知能システムにおける認識と行動

Recognition and Behavior in Smart Systems

2026

石川グループ研究室 研究成果集

Researches in Ishikawa Group Laboratory

価値を創造する「場」を大切にしたい

独特の場の雰囲気がある.

独自の基盤技術を生みだし、それを磨く力、
そこから新しい応用展開を生み出す力、
それらをさまざまに融合させ、さらなる高みに立つ力、

これらの力が生み出す創造の場、
そこに吹く心地よい風を感じていたい.

SAILING: Smart Architecture and Integration Lead Intelligence to the Next Generation

To work a field of inquiry requires instinctive sense
for the valuable and important areas.

Such competitive fields have a specific atmosphere.

Those working within these fields must drive basic technology
and by iterative refinement glimpse new applications and possibilities.

Being the driving force behind such advancements allows a particular perspective,
one only available to those on the cusp of tremendous things.

The direct experience of the forces involved in creative production is exhilarating
and we feel a motive in both the eddies and currents of the creative flow.

目次 Index

1.　研究コンセプト / Concept ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

2.　センサフュージョン / Sensor Fusion

2.1　人間ロボット協調と高速ロボットマニピュレーションによる面状柔軟物体の整列操作 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4
Towel-Like Object Alignment with Human–Robot Cooperation and High-Speed Robotic Manipulation

2.2　両腕同期運動を利用した力覚提示による人間機械協調 ・・・・・・・・・・・ 4
Human-Robot Collaboration with Force Feedback Utilizing Bimanual Coordination

2.3　視覚・触覚に基づく感覚提示による人間機械協調 ・・・・・・・・・・・・・ 5
Combining visual and haptic modalities for human-robot interaction and collaboration

2.4　動的補償ロボットによる高精度ピックアンドプレース・・・・・・・・・・・・ 6
Accurate pick-and-place under uncertainties by a dynamic compensation robot

2.5　アクティブアシスタントロボット - 新しい高速ビジョンに基づく人間協調 ・・・ 6
Active Assistant Robot - human robot cooperation based on a new high-speed vision

2.6　新しいビジョンチップを利用した動的補償ロボットシステム ・・・・・・・・ 7
Dynamic Compensation Robot with a Newly Developed High-speed Vision Chip

2.7　産業用ロボットを変革する Dynamic Compensation（動的補償）・・・・・・・ 7
Dynamic Compensation - Toward the Next-Generation Industrial Robot

2.8　ACHIRES: 高速ビジュアルフィードバックによる , より安定な前傾走行 ・・・・ 8
ACHIRES: Improved Running Taking Dynamically UnstableForward-Bent Posture Achieved with High-Speed Vision

2.9　高速ビジュアルフィードバックを用いた高速二足走行・・・・・・・・・・・・ 9
ACHIRES: High-speed Bipedal Running Robot System

2.10　滑り摩擦非対称性を利用した動的２脚移動 ・・・・・・・・・・・・・・・・10
Dynamic Horizontal Movement of a Bipedal Robot Using Frictional Asymmetry

2.11　勝率 100%のじゃんけんロボット（人間機械協調システムの実現）・・・・・・10
Janken (rock-paper-scissors) robot with 100% winning rate (human-machine cooperation system)

2.12　指上での転がりを利用した高速ハンドアームによる投球方向制御 ・・・・・・11
Robotic Pitching by Rolling Ball on Fingers for a Randomly Located Target

2.13　野球ロボット：投げる、見る、打つ、走る、捕る ・・・・・・・・・・・・・12
Baseball Robots: Throwing, Tracking, Batting, Running, Catching

2.14　高速ビジュアルフィードバックを用いた軽量ボールキャッチング ・・・・・・13
Light-weight Ball Catching with High-speed Visual Feedback

2.15　ロボットハンドアームを用いた変化球のための回転操り動作分析 ・・・・・・13
Analysis of Rolling Manipulation for Breaking Ball Throwing with Robot Hand-Arm

2.16　小型・低摩擦アクチュエータ MagLinkage を備えた多指ハンドシステム ・・・14
Multifingered Hand System equipped with compact size, low-friction actuator "MagLinkage"

2.17　DOC Hand によるリング・シャフト部品の高速組立・・・・・・・・・・・・15
Dynamic Observable Contact Hand for High-Speed Ring Insertion

2.18　微細部品の組み立て実現を目指した高速高精度ロボットハンドの開発・・・・・15
High-speed and High-precision Robotic Hand for Micromanipulation

2.19　軽量高速多指ハンドシステム ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・16
Lightweight High-Speed Multifingered Hand System

2.20　ロボットハンドによる加振を用いたアクティブセンシング・・・・・・・・・16
Active sensing using vibration with robot hand

2.21　高速多指ハンドと高速ビジョンを用いたルービックキューブの操作・・・・・・17
Rubik's Cube handling using a high-speed multi-fingerd hand and a high-speed vision system

2.22　高速ビジュアルフィードバックを用いた高速ロボットハンドによるねじ回し操作・18
Screwing nut with high-speed robot hand using high-speed visual feedback

2.23　ロボットハンドを用いた糸・ロータ系の回転操作 ・・・・・・・・・・・・18
Manipulation of Thread-Rotor Object by a Robotic hand

目次 Index

2.24 高速多指ハンドを用いたケーブル・コネクタの配線操作 ・・・・・・・・・・ 19
Manipulation of cable connector with a High-speed Robot Arm

2.25 高速ビジュアルフィードバックを用いたキャスティングマニピュレーション・・ 19
Winding Manipulator Based on High-speed Visual Feedback Control

2.26 高速ビジョンを用いた形状取得によるフレキシブルアーム操作・・・・・・・ 20
Manipulation of Flexible Arm using Shape Information with High-speed Vision

2.27 ロボットアームによるムチの音速マニピュレーション ・・・・・・・・・・ 20
Sonic-speed Manipulation of a Bull Whip with a High-speed Robot Arm

2.28 磁石歯車グリッパ "Magripper" による高速グラスピング・・・・・・・・・ 21
High-speed Hitting Grasping with Magripper

2.29 磁石歯車を用いた直動機構 "Magslider" による高速衝撃吸収制御 ・・・・・・ 22
Adaptive Visual Shock Absorber with Magslider

2.30 多関節マニピュレータの弾塑性変形制御 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 22
Elasto-plastic Deformation Control of a Multijoint Manipulator

2.31 塑性変形モデルを用いたロボットアームのインピーダンス制御設計 ・・・・・ 23
Plastic Behavior Generation of a Manipulator by Impedance Control

2.32 Maxwell モデルに基づく反発防止特性を備えたビジュアルショックアブソーバ・ 23
Visual Shock Absorber with Anti-rebound Property Based on Maxwell Model

2.33 ダイナミック人間ロボット協調システム ・・・・・・・・・・・・・・・・ 24
Dynamic Human-Robot Interactive System

2.34 高速ロボットハンドを用いた人間との多自由度協調作業 ・・・・・・・・・ 24
Human Cooperative Task with Multiple Degree of Freedom Using a High-speed Hand System

2.35 人間の手先位置の高速高精度制御に向けた動作支援システム・・・・・・・・ 25
Assistive System for High-speed and High-accuracy Position Control of a Human Hand Using High-speed Vision and Actuator

2.36 人間のマイクロ操作のためのロボットシステム・・・・・・・・・・・・・ 25
Human-Robot Cooperation for Micrometer-Order Manipulation Using High-Speed Vision

2.37 高速ビジョンとロボットハンドを用いた人間協調システム ・・・・・・・・ 26
Human-Robot Cooperative System using a High-speed Vision System and a Robot Hand

2.38 高速ビジョンと高速多指ロボットハンドを用いたテレマニピュレーションシステム 27
Telemanipulation System Using High-Speed Vision and High-Speed Multifingered Robot Hand

2.39 ワンボード・USB 給電タイプの高速・高精度近接覚センサ ・・・・・・・・ 27
One Board, USB Type High-speed, High-precision Proximity Sensor

2.40 Super tactile-based active touch による薄板部品の高速・低反力挿入・・・ 28
High-speed, low-contact force insertion using super tactile-based active touch

2.41 高速視覚・近接覚センサを用いたマシュマロの非変形キャッチ・・・・・・・ 29
High-Speed Non-deformation Catching of a Marshmallow with High-speed Vision and Proximity Sensor

2.42 高速・高精度近接覚センサを用いた紙風船キャッチ・・・・・・・・・・・ 29
High-Speed Catching of a Paper Balloon using High-Performance Proximity Sensor

2.43 移動ロボットのための高速障害物トラッキング・・・・・・・・・・・・・ 30
High-speed Obstacle Tracking for Mobile Robots

2.44 下向き高速ビジョンによる自車両位置推定 ・・・・・・・・・・・・・・・ 31
Visual Odometry via Downward High-speed Vision

2.45 高速ビジョンを用いた信号機検出 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
Traffic Light Detection Using High-speed Vision

2.46 吊り下げられた面状柔軟物体に対する展開および整列動作の連続操作 ・・・・ 32
Continuous Manipulation of spreading and aligning operations for a suspended flexible object

2.47 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速３次元位置補償システムの開発・・ 32
Development of High-speed 3D Position Compensation System with High-speed Visual Feedback

2.48 動的補償に基づく全自動ビーズアート組立て ・・・・・・・・・・・・・・ 33
Fully Automated Beads Art Assembly based on Dynamic Compensation Approach

2.49 金環日食の過程を模倣したペグ・アンド・ホールアライメント・・・・・・・ 34
Realizing Peg-and-Hole Alignment by Mimicking the Process of an Annular Solar Eclipse

2.50 動的補償ロボットによる動的塗布の応用 ・・・・・・・・・・・・・・・・ 34
A sealant dispensing robot for applications with moving targets

2.51 2D/3D 視線制御に基づく肢体不自由者向けの生活支援ロボットの実現・・・・ 35
Robotic Assistance for Extended Sensing, Locomotion and Manipulation by Gaze Control

2.52 高速 3D ビジョンと市販ロボットアームの統合・・・・・・・・・・・・・ 36
Utilizing High-Speed 3D Vision for a Commercial Robotic Arm

2.53 ER 流体クラッチを利用した往復運動駆動システム ・・・・・・・・・・・ 37
Reciprocating Actuation Utilizing Two Coaxial Electrorheological Clutches

2.54 その他の研究成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 39
Other research topics

3. ダイナミックビジョンシステム / Dynamic Vision System

3.1 高速・高解像力の液体可変焦点レンズ －ダイナモルフレンズ－ ・・・・・・ 42
Dynamorph Lens (DML): A High-Speed Liquid Lens with High Resolution

3.2 高速フォーカスビジョン・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 43
High-Speed Focusing Vision

目次 Index

3.3 高フレームレート全焦点画像合成のための高速可変焦点光学系・・・・・・・ 44
High-Speed Variable-Focus Optical System for Extended Depth of Field

3.4 大口径可変焦点レンズ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45
Variable focus lens with a large optical aperture

3.5 大口径可変焦点レンズによる屈折力調節可能な老眼鏡 ・・・・・・・・・・ 46
A pair of diopter-adjustable eyeglasses for presbyopia correction

3.6 可変焦点レンズによる色消しアダプティブダブレット・・・・・・・・・・ 47
An adaptive achromatic doublet design by double variable focus lenses

3.7 誘電エラストマーを用いた光線位置制御手法 ・・・・・・・・・・・・・・ 48
Dielectric Elastomer Based Laser Beam Pointing Method

3.8 誘電エラストマーを用いたマイクロレンズアレイ・・・・・・・・・・・・ 49
Variable Focus Microlens Array Based On Dielectric Elastomer Actuator

3.9 ローコスト高解像度三次元マイクロスコープ ・・・・・・・・・・・・・・ 50
Readily Available 3D Microscopy Imaging System with Variable Focus Spinner

3.10 3D 拡張現実ヘッドアップディスプレイ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
3D Augmented Reality Head-Up-Display

3.11 液体レンズを用いた高速焦点追従投影システム ・・・・・・・・・・・・ 52
High-Speed Focal Tracking Projection Based on Liquid Lens

3.12 定量的気管内視鏡画像計測に向けた動脈波シミュレータ ・・・・・・・・・ 54
Arterial Simulator for Quantitative Tracheal Endoscopic Image Measurement

3.13 サッカードミラー（駆動鏡面を用いた高速視線制御デバイス）・・・・・・・ 55
Saccade Mirror: High-speed Gaze Control Device Using Rotational Mirrors

3.14 高速飛翔体の映像計測 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 56
Stationary Observation System for High-speed Flying Objects

3.15 1ms オートパン・チルト ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 57
1ms Auto Pan-Tilt

3.16 動く手のひらや物体に映像と触覚刺激を提示できるシステム
：高速で無拘束な未来型情報環境の実現 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 58
Visual and Tactile Cues for High-Speed Interaction

3.17 るみぺん（動的対象へのプロジェクションマッピング） ・・・・・・・・・ 59
Lumipen: Projection Mapping on a Moving Object

3.18 るみぺん2（ダイナミックプロジェクションマッピングに向けた
ロバストトラッキング）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 59
Lumipen 2: Robust Tracking for Dynamic Projection Mapping

3.19 VarioLight（広域運動・回転変形に対応したプロジェクションマッピング）・・ 60
VarioLight: Dynamic Projection Mapping for a Wide Range
and Rotative/Deformative Performance

3.20 VarioLight 2: 円周マーカを用いた球体ダイナミックプロジェクションマッピング 61
VarioLight 2: Dynamic Projection Mapping for a Sports Sphere using Circumferential Markers

3.21 追従的投影モザイキング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 63
Tracking Projection Mosaicing

3.22 高速注視点推定による広域高解像度投影システム・・・・・・・・・・・・ 64
Wide High-resolution Projection System Using High-speed Gaze Point Estimation

3.23 ゴルフスイングトレーニングに向けた高速投影フィードバック・・・・・・・ 65
High-speed Projection Feedback for Golf Swing Training

3.24 追跡的光線投影による残像を用いた動体軌跡上情報投影 ・・・・・・・・・ 66
Information Display with an Afterimage by Laser Projection Moving Object

3.25 VibroTracker: 振動触覚共有システム・・・・・・・・・・・・・・・・・ 67
VibroTracker

3.26 高速同軸制御光学系とアクティブマーキング法による
回転対称体への発色描画システム ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 68
Coloring Drawing System using High-speed Coaxial Control and Active Marking

3.27 EmnDash: M 系列破線マーカーによる高速自己姿勢推定・・・・・・・・・ 69
EmnDash: M-sequence Dashed Markers for High-speed Spatial Tracking

3.28 トラッキング BOS: 高速飛翔体の衝撃波画像計測 ・・・・・・・・・・・・ 70
Tracking BOS: shock-wave image measurement of high-speed flying objects

3.29 自由遊泳魚の高解像度合焦トラッキング・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
High-resolution Focused Tracking of Freely Swimming Fish

3.30 遠隔虹彩認証に向けた高速光学系トラッキングシステム ・・・・・・・・・ 72
High-speed Optical Tracking System for Dynamic Iris Authentication

3.31 高速光学系制御による眼球微動計測システム ・・・・・・・・・・・・・・ 73
Micro Eye Movement Measurement System with High-Speed Optics Control

3.32 高速動作可能な明瞳孔人工眼球 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 74
Bright-pupil Artificial Eye with High-speed Motion

3.33 Apollon Mark：先読みミラー制御によるボールマーク可視化システム・・・・ 75
Apollon Mark: Ball Mark Visualization System with Preceding Mirror Control

3.34 M 系列多重露光と対称ドットマーカによる卓球ボール高速スピン計測システム・ 76
Table Tennis Ball High-speed Spin Measurement System Using M-sequence Multi-exposures
and Symmetric Dot Markers

3.35 1ms 対象輪郭トラッキング ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
Target Tracking

3.36 高速画像系列における動的背景差分に向けた標的モデリング ・・・・・・・ 78
Targeted modeling for dynamic background subtraction in high-speed sequences

3.37 手指高速トラッキングに向けた楕円群指輪マーカー・・・・・・・・・・・・ 79
High-Speed Real-time Range Finding by Projecting Structured Light Field
3.38 ライトフィールドの投影による高速距離画像計測 ・・・・・・・・・・・・ 80
Ellipses Ring Marker for High-speed Finger Tracking
3.39 FTIR を利用した空中超音波触覚ディスプレイ・カメラ系の校正 ・・・・・・ 81
FTIR based calibration of Airborne Ultrasound Tactile Display and camera system
3.40 サッカードミラーの校正手法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 82
Saccade Mirror calibration
3.41 フラクタルを利用したカメラ校正パターン ・・・・・・・・・・・・・・・ 82
Fractal-based camera calibration pattern
3.42 その他の研究成果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 83
Other research topics

4. システムビジョンデザイン / System Vision Design
4.1 ソニーと東京大学石川渡辺研究室が共同で開発したビジョンチップ・・・・・ 86
Vision Chip developed by Sony and Ishikawa Watanabe Laboratory of the University of Tokyo
4.2 3 視点拘束に基づくセグメントパターン投影型高速 3 次元計測 ・・・・・・ 87
High-speed 3D Sensing with Three-view Geometry Using a Segmented Pattern
4.3 順序構造によるピクセル独立な位相シフト法・・・・・・・・・・・・・・・ 88
Pixelwise Phase Unwrapping Based on Ordered Periods Phase Shift
4.4 多重化レーザーによる任意物体の 3 次元運動センシング・・・・・・・・・ 89
3D Motion Sensing of any Object by Using Multiplexed Lasers
4.5 深度と法線の高速同時計測と高速統合アルゴリズム・・・・・・・・・・・ 90
High-speed Depth-normal Measurement and Fusion
Based on Multiband Sensing and Block Parallelization
4.6 パラレルバスパターンによる高速低遅延 3 次元形状計測・・・・・・・・・ 91
High-speed and Low-latency 3D Sensing with a Parallel-bus Pattern
4.7 パラレルバスパターンによる RGB-D 同時高速計測 ・・・・・・・・・・・ 92
High-speed RGB-D sensing based on a parallel-bus pattern
4.8 ビデオレートプロジェクタでの高速深度計測と映像提示の同時実行・・・・・ 93
Simultaneous High-speed Depth Measurement and Video Presentation
using a Video-rate Projector
4.9 3 次元運動計測を用いた動的物体の形状と色の高解像度統合 ・・・・・・・ 94
High-resolution Shape and Color Integration of Dynamic Rigid Body
Using 3D Motion Sensing System
4.10 多視点レーザー計測による任意物体の 6 自由度運動センシング ・・・・・・ 94
Robust 6-DOF Motion Sensing for an Arbitrary Rigid Body
by Multi-view Laser Doppler Measurements
4.11 RIFNOM/BIFNOM 法線画像における特徴点検出と特徴量記述 ・・・・・・ 95
DPM-1000: Dynamic projection mapping system using high-speed color projector
and high-speed vision chip
4.12 Saccade Argos: 階層化ロバストトラッキングシステム・・・・・・・・・・ 96
Saccade Argos: Hierarchical Robust Tracking System
for High Spatio-temporal Resolution Vision
4.13 空中像形成技術を用いた遮蔽に頑健な 3 次元計測 ・・・・・・・・・・・・ 97
Occlusion-Robust 3D Sensing Using Aerial Imaging
4.14 代数的アルゴリズムと適応的照明を用いた高速 SVBRDF 計測 ・・・・・・ 98
Rapid SVBRDF Measurement by Algebraic Solution Based on Adaptive Illumination
4.15 モデルパラメータ間の分散を用いた適応的な BRDF 計測 ・・・・・・・・ 98
Adaptive BRDF Measurement Method Using the Between-Model-Parameter Variance
4.16 分光反射率特性と自然冷却特性を用いた視覚的な質感の短時間計測・・・・・ 99
Short-time Measurement of Visual Material using Spectral Reflectance Characteristics
and Natural Cooling Characteristics
4.17 錯視によるリアルタイム 3DCG アニメーションの生成 ・・・・・・・・・・ 99
Real-time animation display based on optical illusion by overlaid luminance changes
4.18 適応的三次元形状計測に基づく
UAV の不整地への安全着陸に向けた高速脚制御システム ・・・・・・・・・ 100
Real-time Landing Gear Control System Based on Adaptive 3D Sensing
for UAV Safe Landing on Rough Ground
4.19 非テレセントリック光学系カメラアレイによる
棒材のリアルタイム真直度および外観画像検査 ・・・・・・・・・・・・・ 101
Real-Time Inspection of Rod Straightness and Appearance by Non-Telecentric Camera Array
4.20 Brobdingnagian Glass: 振動曲面鏡を用いた小人化両眼立体視システム ・・ 102
Brobdingnagian Glass: A Micro-Stereoscopic Telexistence System
using a Vibrating Curved Mirror
4.21 高速ロールカメラ：像回転を高速制御するカメラシステム・・・・・・・・ 103
High-speed Roll Camera: High-speed Optical Image Rotator
4.22 ZoeMatrope: マテリアルデザインのための実体ディスプレイ ・・・・・・・ 104
ZoeMatrope: A System for Physical Material Design
4.23 Phyxel: 実物体の周期運動と高速時分割構造化光を用いた
形状と質感を再現するリアリスティックディスプレイ ・・・・・・・・・・ 105
Phyxel: Realistic Display using Physical Objects with High-speed Spatially Pixelated Lighting

目次　Index

4.24 DynaFlash: 1,000fps・3ms 遅延で 8bit 階調の映像を投影する高速プロジェクタ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 106
DynaFlash: High-speed 8-bit image projector at 1,000fps with 3ms delay

4.25 DynaFlash v2 とポストリアリティ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 107
DynaFlash v2 and Post Reality

4.26 ポータブルるみぺん：小型ダイナミックプロジェクションマッピングシステム・ 108
Portable Lumipen: mobile dynamic projection mapping system

4.27 Deformable Dot Cluster Marker: 高速非剛体変形トラッキングのためのマーカ 110
Deformable Dot Cluster Marker: Marker for high-speed non-rigid surface tracking

4.28 Coarse-to-Fine 位相同定のための階層化 ArUco マーカー配列・・・・・・ 111
Hierarchical ArUco Marker Array for Coarse-to-Fine Localization in XR applications

4.29 高速プロジェクタを用いた変形する非剛体曲面へのダイナミックプロジェクションマッピング　・・・・・・・・・・・・・・ 111
Dynamic projection mapping onto deforming non-rigid surface using a high-speed projector

4.30 ダイナミックプロジェクションマッピングのための複数台カメラを用いた高速非剛体３次元トラッキング　・・・・・・・・・・ 112
High-Speed Three-Dimensional Tracking of Non-Rigid Surface for Dynamic Projection Mapping Using Multiple Cameras

4.31 TransMaterial: 高速ビジョン・プロジェクタに基づいた動的質感再現　・・・ 113
TransMaterial: Computational display of material appearance based on dynamic projection mapping

4.32 MIDAS projection: マーカーレス・モデルレスの動的プロジェクションマッピングによる質感表現　・・・・・・・・・・・・ 114
MIDAS Projection: Markerless and Modelless Dynamic Projection Mapping for Material Representation

4.33 ダイナミックプロジェクションマッピングを用いた動物体への視点依存映像の投影 116
Viewpoint-dependent Image Projection onto Dynamic Objects by Dynamic Projection Mapping

4.34 ElaMorph Projection: ダイナミックプロジェクションマッピングを用いた物理シミュレーションに基づく３次元物体の変形錯視　・・・・・・・・・ 117
ElaMorph Projection: Deformation of 3D Shape by Dynamic Projection Mapping

4.35 高速カラープロジェクタと高速ビジョンチップを用いたダイナミックプロジェクションマッピングシステム　DPM-1000・・・・・ 118
DPM-1000: Dynamic projection mapping system using high-speed color projector and high-speed vision chip

4.36 ダイナミックアナモルフォーシスシステム・・・・・・・・・・・・・・ 120
Dynamic Anamorphosis System

4.37 その他の研究成果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 120
Other research topics

5.　アクティブパーセプション / Active Perception

5.1 移動速度に応じたモーションブラー補償を用いた路面投影手法　・・・・・・ 124
A Road Surface Projection Method Using Motion-Blur Compensation Based on Traveling Speed

5.2 観測者の速度に依存した指向性多義ディスプレイ　・・・・・・・・・・・ 124
Bilateral Motion Display: Multiple Visual Perception Depending on Motions

5.3 錯視的に生じる主観色の無彩色化システム・・・・・・・・・・・・・・・ 125
Achromatic System for Subjective Colors in Benham's Top

5.4 眼球運動に同期した錯視画像の補償提示システム　・・・・・・・・・・・ 125
Compensatory Presentation of Moving Illusion Snchronized with Eye Movement

5.5 身体感覚と視覚情報にずれが生じる没入環境における低遅延な映像のユーザーへの影響に関する研究　・・・・・・・・・・・・ 126
Effects of Low Video Latency between Visual Information and Physical Sensation in Immersive Environments

5.6 サーモカメラを用いた温度画像のモーションブラー補償イメージング・・・・ 127
Capturing thermography image using motion blur compensation to detect peeling and floating

5.7 回転アクリルキューブによる光軸制御を用いたモーションブラー補償システム・ 127
Motion-blur-compensated imaging system using a rotating acrylic cube

5.8 白線認識による画角補償機能を利用した時速 100km 対応トンネル覆工表面画像検査システム　・・・・・・・・・・ 128
Real-time Robust Lane Detection Method at a Speed of 100 km/h for a Vehicle-mounted Tunnel Surface Inspection System

5.9 AIRR Tablet: 空中映像を手で操作できるシステム～ 自由空間をインタラクティブなディスプレイに ～・・・・・・・・・・・ 129
AIRR Tablet: Floating Display with High-Speed Gesture UI - Interactive Display in 3D Free Space -

5.10 鮮明な３次元立体映像を素手で高速に操作できるシステム・・・・・・・・ 130
High Speed Gesture UI for Three Dimensional Display zSpace

5.11 高速ジェスチャー UI：低レイテンシーと自己受容性　・・・・・・・・・・ 131
High Speed Gesture UI: Ultra Low latency with Proprioception

5.12 画素単位動き補償イメージング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 132
Pixel-wise Deblurring Imaging(PDI)

5.13 高速道路における点検の高度化に関する研究・・・・・・・・・・・・・・ 133
Research on Advanced Inspection on Highways

5.14 トンネルにおけるクラック検出を目的とした
シルクスクリーンを用いた再帰性反射マーカ ・・・・・・・・・・・・・・・ 133
Silk-Printed Retroreflective Markers for Infrastructure-Maintenance Vehicles in Tunnels
5.15 電気刺激を用いた運動スキル習得支援システム ・・・・・・・・・・・・・ 135
Learning Supportive System to Electrical Stimulation
5.16 モノクロの高速投影映像をカラーに知覚させるシステム・・・・・・・・・・ 136
Coloring Method of Black-and-White High-Speed Projection Images
5.17 スマートレーザープロジェクター
：カメラレスセンシングディスプレイシステム ・・・・・・・・・・・・・・ 137
A "sensing display" based on a cameraless Smart Laser Projector
5.18 Light Arrays：光を用いた身体拡張 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 138
Light Arrays
5.19 スコアライト：レーザーを用いた人工的共感覚生成楽器・・・・・・・・・・ 139
scoreLight: laser-based artificial synesthesia instrument
5.20 スマートレーザスキャナ：カメラレス３次元インターフェイス ・・・・・・・ 140
Gesture tracking with the Smart Laser Scanner
5.21 SENSECASE：スマートフォンを拡張する
デフォーマブルユーザインタフェース ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 141
SENSECASE: Crafting Deformable Interfaces to Physically Augment Smartphones
5.22 高速移動環境下における高速画角拡張手法・・・・・・・・・・・・・・・ 142
Extended Capture Range Method Under High-Speed Motion
5.23 レーザー加温による動的マーカー ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 143
Dynamic Marker using Laser Heating
5.24 トンネル照明認識による自己位置推定システム ・・・・・・・・・・・・・ 144
Self-localization using Tunnel Lighting Recognition
5.25 人の動作意図に基づく物体把持高速化アシストシステム・・・・・・・・・・ 144
Assist System to Accelerate Human Object Grasping with a Solenoid Actuator
5.26 その他の研究成果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 145
Other research topics

6. 基本概念・用語 / Basic Concept and Technical Terms
センサフュージョン / Sensor Fusion ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 148
ダイナミックビジョンシステム / Dynamic Vision System ・・・・・・・・・・ 157
システムビジョンデザイン / System Vision Design・・・・・・・・・・・・・ 163
アクティブパーセプション / Active Perception ・・・・・・・・・・・・・・ 172

7. 論文 / Papers
センサフュージョン / Sensor Fusion・ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 180
ダイナミックビジョンシステム / Dynamic Vision System ・・・・・・・・・・ 203
システムビジョンデザイン / System Vision Design・・・・・・・・・・・・・ 213
アクティブパーセプション / Active Perception ・・・・・・・・・・・・・・ 231
光コンピューティング / Optics in Computing・・・・・・・・・・・・・・・ 238
その他 / Others ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 244

8. 動画 / Movies
YouTube ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 248

9. 受章・受賞 / Awards ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 253

10. メンバー及び所在地 / 連絡先
Members/Affiliation and Location
メンバー / Members ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 266
所在地／連絡先 / Affiliation and Location ・・・・・・・・・・・・・・・・ 267

1. 研究コンセプト Concept



研究コンセプト

センサやロボットはもちろんのこと，社会現象や心理現象等も含めて，現実の物理世界＝リアルワールドは，原則的に並列かつリアルタイムの演算構造を有している．その構造と同等の構造を工学的に実現することは，現実世界の理解を促すばかりでなく，応用上の様々な利点をもたらし，従来のシステムをはるかに凌駕する性能を生み出すことができ，結果として，まったく新しい情報システムを構築することが可能となる．本研究室では，特にセンサ情報処理における並列処理と高速･リアルタイム性を高度に示現する研究として，以下を行っている．また，新規産業分野開拓にもカを注ぎ，研究成果の技術移転，共同研究，事業化等を様々な形で積極的に推進している．

Ⅰ. 五感の工学的再構成を目指した センサ フュージョン の理論並びにシステムアーキテクチャの構築とその高速知能ロボットへの応用に関する研究，特に，視覚センサと触覚センサによるセンサフィードバックに基づく高速知能ロボットの開発並びにその応用としての新規タスクの実現，
Ⅱ. 高速画像処理及び動的光学系に基づき運動対象の情報を適応的に取得する基礎技術を開発及び応用システムを創出する ダイナミック ビジョン システムの研究，特に，高速光軸制御や可変形状光学系の技術開発並びに動的環境の画像計測・情報提示に関する応用システムの実現，
Ⅲ. 並列処理に基づく高速画像処理技術（理論・アルゴリズム，デバイス）並びにその応用システムの実現を目指す システム ビジョン デザイン の研究，特に，高速画像処理システムの開発並びに人間の眼を遥かに凌ぐ高速性を利用した新しい価値を創造する応用システムの実現，
Ⅳ. 実世界における新たな知覚補助技術並びにそれに基づく新しい対話の形を創り出す アクティブ パーセプション技術の構築とその応用に関する研究，特に人間にとって有意義なモダリティの創出並びに各種高速化技術に基づく革新的情報環境・ヒューマンインタフェイスの実現．

Concept

The real physical world essentially has parallel and real-time computing architectures, including sensors and robots, as well as social and psychological phenomena. Realizing an equivalent architecture based on engineering technology will help us to understand the real world, bring various advantages to applications, allow us to achieve performance levels far exceeding conventional systems, and eventually make it possible to build genuinely new information systems. Our laboratory, in particular, conducts research on exploring parallel, high-speed, and real-time operations for sensory information processing, some of which are listed below. Also, we are focusing on finding new industrial markets and strongly promoting technology transfer of our research outcomes in diverse ways, including collaborative research and commercialization.

i. Research on Sensor Fusion theory, construction of system architectures, and applications to high-speed intelligent robots aimed at the engineered re-formation of the five senses. In particular, applications include the development of high-speed intelligent robots based on sensor feedback using visual sensorsand tactile sensors and the development of new tasks.
ii. Research on Dynamic Vision System for development of fundamental technology and creation of application system by adaptively acquiring information of moving objects based on high-speed image processing and dynamic optics. In particular, technology development of high-speed optical axis control and variable optical systems, and implementation of application system on image measurement/information presentation in dynamic environment.
iii. Research on System Vision Design for designing high-speed image processing technology (theory, algorithms, and devices) and the realization of application systems. In particular, the development of application-oriented high-speed image processing systems and innovative applications creating new value by driving at speeds that far exceed the capabilities of the human eye.
iv. Research on Active Perception for creating a new style of interaction by using sensation-enhancing technology and its applications, in particular, the construction of a modality that is meaningful for humans and the realization of futuristic information environments and human interfaces based on various high-speed technologies.

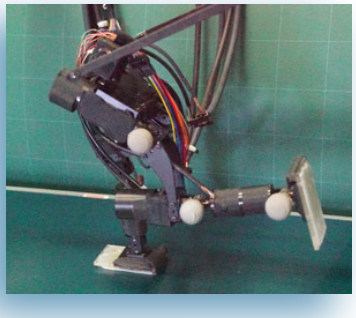
2. センサフュージョン
Sensor Fusion

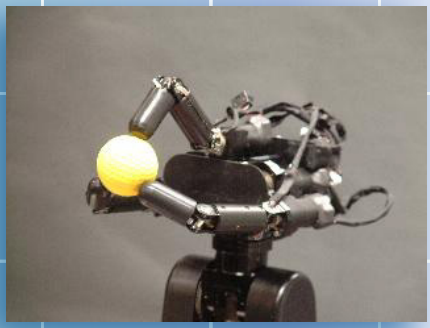
人間の脳は，従来から開発されてきたコンピュータとは異なり高い順応性を持つ．これは，脳が神経系からなる閉じた系ではなく，非常に多くの感覚器で外界からの情報を得て，多数の運動制御機能を用いて外界に働きかけるという開放系であり，外界との情報のやりとりを通じて適応能力や学習能力を高めていくことができるためである．このような感覚からの情報の流れは一つではなく，層状構造をもつ多数の神経細胞により相互に情報をやりとりしながら並列に処理される．結果として，調和のとれた柔軟性・信頼性の高い認識・行動機能を実現することができる．

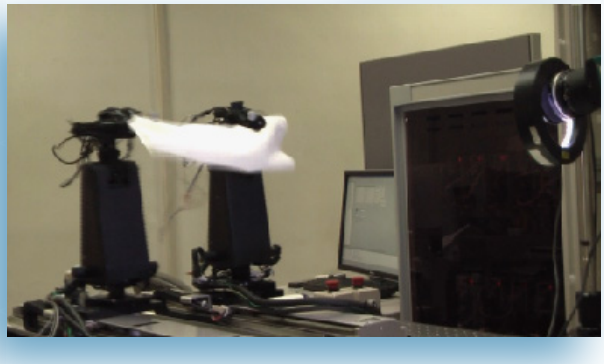
本研究では，脳がもつこのような感覚と運動の統合機能に注目して，実環境に対する柔軟な認識・行動の実現が可能な工学的な脳型処理システムを構築する．特に，人間の運動機能の中でも重要な役割を果たす「手」に注目して，人間や従来ロボットの性能をはるかに超える超高速・高機能ロボットハンドシステムを構築する．最終的に，ロボットの物理的な動作限界を極める超高速マニピュレーションを実現することを目標とする．

A human being recognizes external environment by using many kinds of sensory information. By integrating these information and making up lack of information for each other, a more reliable and multilateral recognition can be achieved. The purpose of Sensor Fusion Project is to realize new sensing architecture by integrating multi-sensor information and to develop hierarchical and decentralized architecture for recognizing human beings further. As a result, more reliable and multilateral information can be extracted, which can realize high level recognition mechanism.









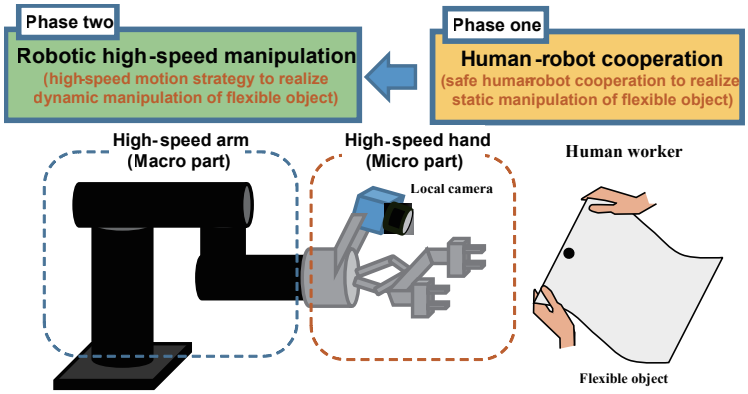
2.1 人間ロボット協調と高速ロボットマニピュレーションによる面状柔軟物体の整列操作
Towel-Like Object Alignment with Human–Robot Cooperation and High-Speed Robotic Manipulation

近年，リネンサプライ業界等で，タオルの様な面状柔軟物体操作の自動化が期待されている．操作の一例として，バラ積みにされたタオルを取り出し，後工程のために決められた位置に展開して設置する操作が挙げられるが，タオルの操作中に変形が起きたり，操作中の変形状態を推定することが難しいため，従来のロボットシステムでは実現が難しかった．

これに対して，我々は下図に示すように人とロボットの協調動作（静的マニピュレーション）と高速なロボット動作（動的マニピュレーション）を組み合わせることで，タオルの整列操作の実現を目指す．具体的には，まず，作業者がばら積みのタオルから取り上げ展開して保持したタオルの位置に合わせてロボットが手先を調整し，タオルを把持する．そして，高速なロボット動作によりタオルを展開した状態で決められた位置に設置する．本手法は，操作の実現が困難な要因であった操作中のタオルの変形及びその認識を人の認識と高速なロボット動作で対応するため，現実的である．また，人とロボットの協調動作時において，作業者の安全を確保するため，動的補償のコンセプトに基づいて，高速なアクチュエータと高速なビジョンを用いた，遅れなく人の動きに追従可能なロボットハンドアームシステムを開発した．

In recent years, there has been an increasing demand for robotic handling of towel-like objects in linen and laun- dry services. One such task involves picking up a towel randomly and aligning it to a predetermined position and posture. However, it is difficult for robots to handle these towel-like flexible objects because deformation occurs during robotic manipulation, and manipulation based on estimation of deformation status is rather challenging and unfeasible for most robotic systems.

As per the below illustration, we propose to realize this task using a method that combines human–robot cooperation for static manipulation (grasping) and high-speed robotic motion strategy for dynamic manipulation (aligning). Specifically, a human worker picks up a towel and holds it for robot to grasp, and then, the robot quickly aligns the towel to desired area of the table, using high-speed motion strategy after grasping the towel. In this manner, the challenging issue of deformation of the flexible towel-like object is addressed by human cognition and high-speed motion strategy. In order to ensure that human workers remain dominant and safe during the cooperative operation phase, a new hand-arm robotic system utilizing high-speed actuators and high-speed visual feedback with a micro-macro configuration is developed.



2.2 両腕同期運動を利用した力覚提示による人間機械協調
Human-Robot Collaboration with Force Feedback Utilizing Bimanual Coordination

人間は両腕協調運動を利用して様々かつ複雑な作業を実現している．人間の両腕を協調させて動かすために，邪魔をしながらも協調しあうことが可能になるといった脳のメカニズムが存在すると考えられる．特に，両腕の同期運動（例えば，左右の手（腕）で異なった運動を同時に行おうとしても，両手が同じような動きになる傾向）は日常生活中にも良く見られて，両腕の同期制御は脳にとって最も基本的な仕組みとも考えられる．本研究では人間機械協調に関する先行研究に基づいて，人間両腕同期運動を利用した力覚提示による人間機械協調の研究を行う．

本研究のコンセプトはFig.1で示すように，人間と機械二つの対象の関係を表している．機械側はアシスタントロボットと力覚提示デバイスにより構成されている．アシスタントロボットには高速ビジョンと高速アクチュエータが備えられ，一定範囲内での高速高精度位置決めができる．作業対象を常にアシスタントロボットの動作範囲内に限定するように，力覚提示を通じて人間のグローバル動作を調整させる．具体的には，高速アクチュエータの位置情報などに基づいて人間の左手に握られた力覚提示デバイスを適切な動作を駆動するより，左手に与えられた力で動作方向・動作範囲を提示し，人間はその提示に合わせて左腕を動かす．それと同時に，右腕も左腕と同期運動を行うことにより，右手に握られているアシスタントロボットはグローバル動作を実行する．アシスタントロボットは力覚提示による粗い精度のグローバル動作（パッシブ動作）と高速高精度のローカル位置決め（アクティブ動作）を同時並行に行うことにより，作業対象に対する高精度作業を実現する．軌道トレーシングのタスクに対して，初期の評価実験を行い，両腕同期運動を利用した力覚提示の有効性を示した．

Humans realize various complex tasks with their upper limbs based on bimanual coordination. A fundamental feature of our bimanual coordination is the natural tendency to synchronize the upper limbs, resulting in preferred symmetrical patterns of interlimb coordination. In this early-stage study, based on the coarse-to-fine human-robot collaboration framework, we investigate the possibility of human-robot collaboration for accurate manipulation under force feedback utilizing the bimanual synchronous mechanism.

The concept of this study is shown in Fig.1. The human-robot collaboration is realized by the integration of the machine side (consisting an assistant robotic module and a force feedback device) for accurate local motion and the human side for coarse global motion. High-speed sensory feedback and high-speed actuators are utilized in the assistant robotic module, to realize high bandwidth feedback control in a limited work range. The human side guides the assistant robotic module in a global motion manner such that a manipulation target should be always kept within the work range of the assistant robotic module, under force feedback. Force feedback generated by a device based on the sensor information of the assistant robotic module is provided to the left hand of the human operator. The human operator percepts the force feedback information and moves the left arm according to the force feedback protocol. At the same time, he/she moves the right hand, which is holding the assistant robotic module, to conduct the same motion as the left arm, forming the naturally synchronous bimanual coordination. Therefore, a closed-loop for coarse global motion with the aim of keeping the target to be always within the work range of the assistant robotic module is realized. On the other hand, accurate local motion by the assistant robotic module is implemented simultaneously, forming the human-robot collaboration in a coarse-to-fine manner. Primary results suggested the effectiveness of the proposed method.

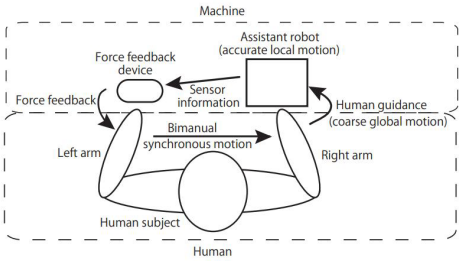


Fig.1 Concept of this study

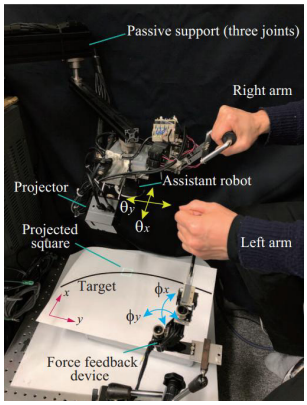
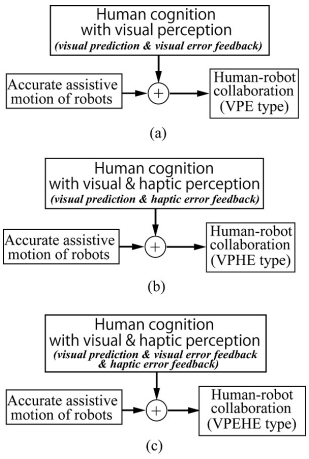


Fig.2 Experimental system

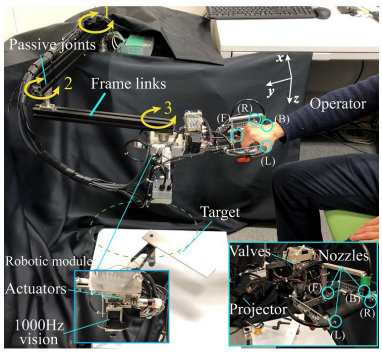
2.3 視覚・触覚に基づく感覚提示による人間機械協調
Combining visual and haptic modalities for human-robot interaction and collaboration

人間の認知能力と機械(ロボット)の高精度な動作を相互補完的に組み合わせることを目指して，動的補償(Dynamic Compensation) に基づく人間機械協調との研究を行ってきた．本研究では上記の先行研究に基づくヒューマンロボットインタラクションを実現するために，人間に対する感覚提示について考察を行った．提案した視覚・触覚に基づく感覚提示による人間機械協調では，人間のオペレータが視覚・触覚などの感覚提示を有するアシスタントロボットを動かして，粗い精度でグローバルモーションを実現する．それと同時に，高速ビジュアルフィードバックに基づいた高速動作可能なアシスタントロボットは能動的にローカル誤差を利用して高精度で補償し，人間への負担を軽減しながら作業精度を向上することを実現する．視覚による予測認知および誤差認知，触覚に基づく誤差認知など感覚提示を組み合わせる感覚提示インタフェースを構築し，三段階の移動速度を設置されたターゲットに対する動的高精度トラッキング実験を考察した．視覚および触覚による感覚提示それぞれのメリットとデメリットを示した．



Combinations of visual and haptic modalities for human-robot interaction and collaboration

In this research, we present the study of combining human visual and haptic perception in human-robot interaction to realize collaborative manipulation. In our human-robot collaboration scheme, cognitive capabilities of human and accurate motion control capabilities of robot are well integrated. Human operator is designated for coarse global-motion under feedback interfaces utilizing human visual as well as haptic modalities. Fine local-motion in an active manner without involving human intention-aware is realized by a dynamic compensation robotic module with high-speed visual feedback. Primary experimental results verified effectiveness of the proposed method.



Experimental system for evaluation

2.4 動的補償ロボットによる高精度ピックアンドプレース
Accurate pick-and-place under uncertainties by a dynamic compensation robot

直径1～2mmの小さなベアリングボールを高精度的にピックアンドプレースすることは容易ではないと考えられる. 特に, 外乱や工具の微細変動など外部からの不確定要素および産業用ロボットの位置決め誤差に起因する不確定要素がある状況下で高精度なピックアンドプレースを実現するのは極めて困難である. 本研究では, 動的補償ロボットを用いて不確定要素がある状況での高精度ピックアンドプレースを実現している. 動的補償ロボットは汎用の産業用ロボットと2自由度補償アクチュエータを備えたアドオンモジュールで構成されている. 前者は, 粗い教示・再生手法または画像処理による運動計画手法で制御され, 高速かつ粗いグローバルモーションを実現する. それと同時に, 後者を前者の産業用ロボットに搭載され, ローカルな高速ビジュアルフィードバック(1000fps)により, タスク実現に伴う不確定要素に対する補償を行う.

実験では, ランダムな外乱が作業対象を乗せた台に加えられ, 粗いグローバルモーションを実行すると伴に, 搭載された補償用ロボットモジュールが細かい誤差に対する補償を行い, 高速かつ高精度のピックアンドプレースを実現した. この技術を実現することにより, 標準化したロボットモジュールを任意のロボットに搭載することで, 既存のロボットを活用しつつ, 高精度な組み立て作業を始め, さまざまな産業に応用されていくものと期待される.

It is challenging to realize accurate pick-and-place of tiny bearing balls under uncertainties. The uncertainties may be attributed to environmental disturbances as well as to positioning errors of a typical industrial robot. We propose to realize the task by a dynamic compensation robot. It consists of a commercial industrial robot and an add-on module with 2DOF compensation actuators. The former is for fast and coarse global motion realized either by coarse teaching-playback programming or by motion planning with the use of computer vision. The latter is to conduct real-time compensation in a local manner under high-speed visual feedback. In the demonstrations, random disturbances are exerted on the working stage. Along with the main robot conducting coarse global motion, fine positioning is realized by the compensation module under 1000 fps visual feedback. This technology is useful for robotic assembly applications where high accuracy is difficult to achieve under uncertain working environment.

2.5 アクティブアシスタントロボット - 新しい高速ビジョンに基づく人間協調
Active Assistant Robot - human robot cooperation based on a new high-speed vision

本研究では, 従来人間にとっては非常に困難であった高精度作業を実現するためのアクティブアシスタントロボットを提案している. 任意な平面軌道をトレーシングする例をとして, 操作者がアシスタントロボット(2自由度)を動かして, 目標軌道をロボットの操作範囲内に維持しながら粗い精度でグローバルモーションを実現する. それと同時に, 1,000Hzの高速ビジュアルフィードバックに基づいたアシスタントロボットは能動的にローカル誤差を利用して目標軌道が常に画像中心となるように高精度で補償し, 人間の作業精度と性能を上げることを実現する.

動的補償(Dynamic Compensation) に基づいて開発したアクティブアシスタントロボットはソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社と東京大学石川渡辺研究室が共同で開発した 高速ビジョンチップを採用している. この新しい高速ビジョンでは, 画像処理をチップ上で実現できるため, 従来の画像処理装置は不要となり, かつ高速ビジュアルフィードバック(1,000Hz)が可能である.

提案したアクティブアシスタントロボットは人間の柔軟性とロボットの高精度を両立しているため, 色々な応用現場に活用できると考えられる.

We propose an active assistant robot to realize high-performance manipulation that is traditionally difficult for human. In this line-following demonstration, human operator moves the assistant robot (2-DOFs) to realize coarse global-motion while keeping the target within the limited work range of the assistant robot. A projected square area is used as visual indication for human operation. With the active assistance of the robot based on 1,000Hz visual feedback in local manner, tracking error (between image center and line center) is reduced dramatically compared to that of human control motion. The robot is developed based on the dynamic compensation approach with a new high-speed vision system. 1,000 fps imaging and processing are implemented within a single Vision Chip simultaneously. This technology can be used in a broad range of application scenarios where required accuracy is beyond traditional human capability, such as laser cutting, welding, sealing as well as assembly.

2.6 新しいビジョンチップを利用した動的補償ロボットシステム
Dynamic Compensation Robot with a Newly Developed High-speed Vision Chip

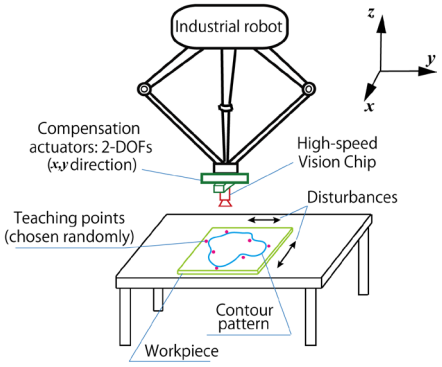
本研究では，二軸補償機構とソニーと東京大学石川渡辺研究室が共同で開発した 高速ビジョンチップにより，産業用ロボットに対して簡単な教示で，任意の二次元軌道に対する軌道トラッキングを高速高精度で行う．本手法は，coarse-to-fine戦略とした動的補償(Dynamic Compensation)に基づき，産業用ロボットの高速動作時におけるダイナミクスの不確定性および工具の微細変動など外部からの不確定要素に対するロバスト性を向上させることができる．提案する戦略の方針として，高速高精度軌道トラッキングタスクを以下二つのサブタスクに分け，並列で実行させる．

1）一台の汎用の産業用ロボットが広範囲で大まかな位置決めを行う．具体的には，補償機構により目標軌道をカバーできる程度のキーポイントをラフに教示し，産業用ロボットの軌道生成を行う．

2）高速ビジョンチップから得られる画像特徴量に基づくローカルな高速ビジュアルフィードバックにより，目標軌道が常に画像中心となるように産業用ロボットに搭載した二軸補償機構を制御する．すなわち，産業用ロボット自身の不確定性および外部環境から生じる外乱の不確定要素に対して補償を行う．

ソニーと東京大学石川渡辺研究室が共同で開発した 高速ビジョンチップでは，画像処理をチップ上で実現できるため，従来の画像処理装置は不要となり，かつ高速ビジュアルフィードバック(1,000Hz)が可能である．

We demonstrate contour following task under dynamic compensation scheme with a newly developed high-speed Vision Chip developed by Sony and Ishikawa Watanabe Laboratory of the University of Tokyo. Given an arbitrary contour pattern, the industrial robot's trajectory is firstly programmed with sparse teaching points chosen roughly. The compensation module (2-DOFs) under 1,000 Hz visual feedback by the new Vision Chip will then realize real-time motion to keep the target contour always in the center of the image, even under systematic uncertainties such as backlash of the main robot, or external disturbances of the workpiece. By realizing image processing on the new Vision Chip, there is no need to provide a device for image processing.



2.7 産業用ロボットを変革するDynamic Compensation（動的補償）
Dynamic Compensation - Toward the Next-Generation Industrial Robot

従来の教示・再生による制御手法は，あらかじめ産業用ロボットに目標軌道をティーチングすることで，実現しやすいものの，教示誤差や工具の微細変動など外部からの不確定要素に対するロバスト性に欠けているようである，特に，複雑形状の対象軌道に対する教示作業は極めて困難である．一方，力センサや視覚センサなどを用いたリアルタイムフィードバック制御による軌道トラッキング手法は外部からの不確定な変動に対応することが出来ている．しかしながら，これらの手法においてロボット自身の不確定性に対するロバスト性は考慮されていない．また，ロボットの高速動作時でのダイナミクスによる不確定性が存在するため，高精度を実現するために，低い作業速度という制約があり，現実的な手法とは言い難いようである，そのため，高速度と高精度を両立でき，かつロボット自身の不確定性を補償する方法が必要である．

そこで本研究では，高速度と高精度の両立を実現するために，動的補償(Dynamic Compensation) コンセプトに基づいて，coarse-to-fine とした戦略を提案する.提案する戦略の方針として，以下二つのサブタスクに分け，並列で実行させる．

1）一台の汎用の産業用ロボットが大範囲で大まかな位置決めを行う．

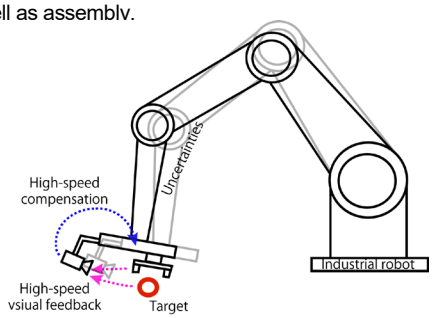
2）高速高精度のロボットモジュール(高速アクチュエータおよび高速ビジョン)を産業用ロボットに搭載することにより，ローカルな高速ビジュアルフィードバックにより，上述した不確定性に対する補償を行う．

本手法は，産業用ロボットに対する教示・再生を行うものの，対象をカバーできるくらいの粗い教示だけで済むため，複雑形状の対象に対しても教示点数を大幅に減少することが可能であり，教示作業も大幅に軽減できる．さらに，人間による教示の代わりに，ビジュアルフィードバックで対象軌道に沿う粗い軌道の自動軌道生成の技術も今後開発する予定であり，従来の汎用産業用ロボットを外部センサでリアルタイムフィードバック制御するより，本手法の方が実現しやすく，安定性も高く，より現実的な手法と考えられる．

本研究の応用例として，高速かつ高精度の軌道トレーシング及び高速位置合わせ二つのタスクを実現した。一台のパラレルリンクロボットを用いて，対象軌道に沿う粗い教示によって，高速な位置決めをさせながら，搭載した補償用ロボットモジュールが細かい誤差に対する補償を行い，高速かつ高精度の軌道トレーシング及び位置合わせを実現した．この技術を実現することにより，標準化したロボットモジュールを任意のロボットに搭載することで，既存のロボットを活用しつつ，作業速度と精度を大幅に向上させることが期待される．

Traditionally it is difficult for industrial robots to achieve highs-speed motion with high accuracy due to large dynamical uncertainties. We present a solution using dynamic compensation by adopting high-speed vision and compensation actuators to compensate for the uncertainties caused by the system itself as well as the external environment. In this study, we present two application tasks: fast and accurate contour-tracking and high-speed peg-and-hole alignment, with a commercial industrial robot. Traditionally, the playback method is the most common approach to control an industrial robot. However, it is time-consuming and exhausting to teach an accurate path point by point. We propose to perform the 2D contour-tracking task by adding a high-speed robotic module under the dynamic compensation scheme. Through this method, a coarse global path can be easily taught with very few roughly chosen teaching points. The errors between the coarse path and the target path are then dynamically compensated by the high-speed robotic module under 1,000 fps visual feedback. As a result, accurate tracking for a target contour with random pattern is achieved with fast speed. The proposed method is also capable of compensation of external uncertainties. For example, the same tracking result can be obtained under unknown external disturbances. It should be noted that since the coarse motion is smooth with constant velocity, it is energy efficient for the industrial robot. The same technology is demonstrated with the task of high-speed peg-and-hole alignment. Here, we require the main robot to move at high-speed while the pose of the workpiece is uncertain. The coarse motion is roughly taught and can be random within a certain range of each hole. Letting the main robot perform the coarse motion, fast and accurate alignment is achieved through fine compensation by the high-speed robotic module.

This technology can improve existing industrial robots' performance while at the same time reduce the workload of robot operators. It may find applications in many industrial tasks, such as in welding, painting as well as assemblv.



2.8 ACHIRES: 高速ビジュアルフィードバックによる，より安定な前傾走行

ACHIRES: Improved Running Taking Dynamically Unstable Forward-Bent Posture Achieved with High-Speed Vision

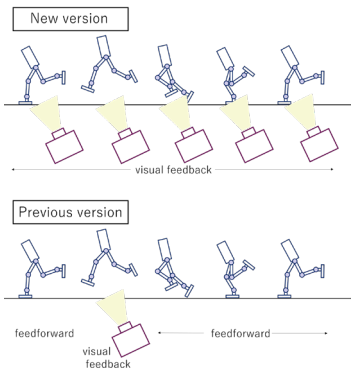
ACHIRES
Actively Coordinated High-speed Image-processing Running Experiment System

ハードウェアと制御手法の両方を刷新することで，人間を超えた機械システムの限界を追求することを目標に，高速ビジュアルフィードバックを用いた二足走行ロボットシステム"ACHIRES"(Actively Coordinated High-speed Image-processing Running Experiment System) を開発し，その第一ステップとして高速走行を実現しました．

With the goal of pursuing the limit of the machine system beyond the human being by improving both hardware and control method, we developed an entirely new bipedal running robot system "ACHIRES" (Actively Coordinated High-speed Image-processing Running Experiment System) using the high-speed visual feedback, and we have realized a high speed running as the first step of this research.

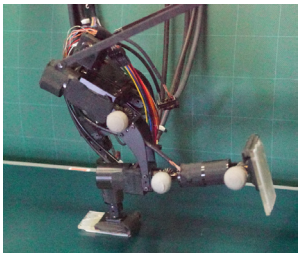
二足走行ロボットシステムACHIRESの走行手法を改良することで，これまでよりさらに安定で信頼性の高い走行が実現されました．

ACHIRESシステムは高出力軽量な二足ロボットと，それを外部から観測する高速ビジョンの組み合わせによって実現されています．これまでの制御手法では高速ビジョンによってリアルタイムに得られるロボットの姿勢の情報は，ロボットの両足が地面から離れている限られた期間にしか利用されていませんでした．本研究では高速ビジョンの情報を走行のすべての過程に導入することによって，人間のような前傾姿勢での走行を，より長い時間安定に継続することができるようになりました．



In this research, the control method for bipedal running system ACHIRES was improved to accomplish more reliable running. ACHIRES is a high-speed bipedal running system that consists of high-power bipedal robot and high-speed vision. In the previous method, the posture information acquired from the high-speed vision was used only when both legs were off the ground, and the control was feed-forward otherwise. Adapting the new method with the visual feedback introduced to almost all process of running, now ACHIRES can run more reliably for a longer time in a more forward-bent posture like human.

2.9 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速二足走行
High Speed Bipedal Robot Running Using High Speed Visual Feedback



高速ロボットハンドの開発およびその応用で培われた技術を基盤として，新たに高速ビジュアルフィードバックを用いた二足走行ロボットシステム（ACHIRES）を開発しました．このシステムは，独自に開発した２つの要素技術を融合したもので，世界トップクラスのスピードで高速走行を実現しました．

要素技術の１つは高速二足走行機構で，当研究室がこれまでに開発してきた高速多指ハンド（じゃんけんロボット等）と同じ技術をベースとした小型のメカニズムです．ここで用いられている軽量かつ高出力なモータによって，地面を瞬間的に力強く蹴って加速する動作と空中で着地姿勢へ高速に復帰する動作が可能となっています．

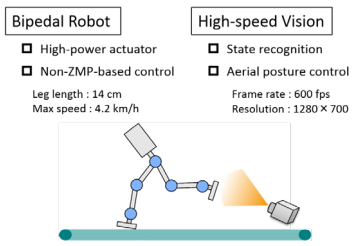
もう一つの要素技術は高速ビジョンで，今回は環境側に設置したカメラの画像に対して，1秒間に600枚の処理を行い，ロボットの状態・姿勢を高速に認識することにより，走行姿勢を安定に保つことを可能にしています．

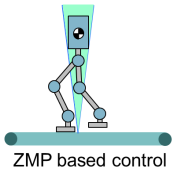
これらの要素技術を用いて，従来とはまったく違う方法によって高速走行を実現しています．従来の二足走行システムは，安定性が確保されたZMP規範の制御法を用いて，転倒しない姿勢の範囲で走行を実現していました．ACHIRESは，上述した２つの要素技術によって，不安定な姿勢でも転倒を回避するための瞬間的な反応動作が可能であることから，簡易な制御手法でより前傾した姿勢を取ることが可能となり，安定な高速走行を実現しています．今回は脚長14cmのロボットで，走行速度4.2km/hを実現しています．加えて，空中転回も実現しています．

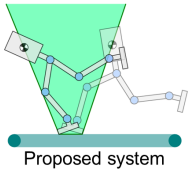
ACHIRESは，従来のロボットの動作速度を凌駕する運動性能と人間を超える高速の認識機能から実現したものと考えています．今回の成果は，勝率100%のじゃんけんロボットと同じ基盤技術を初めて脚ロボットに応用したもので，当研究室が目指している人間を超える能力を有するロボットの研究を加速するとともに，今後のロボット技術を飛躍的に拡大する可能性を示唆するものと考えています．

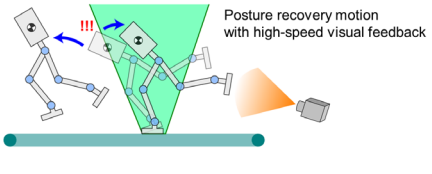
ACHIRES is composed of high-speed vision and high-speed actuators to achieve instantaneous recognition and behavior. The similar technologies are used in our Janken (Rock Paper Scissors) Robot. High-speed vision detects the state of the biped robot including the timing of landing at 600 fps. The biped mechanism with the leg length of 14 cm is set to run in the sagittal plane. At present, the running velocity reaches 4.2 km/h. Simple control based on high-speed performance of sensory-motor system enables the biped robot to stably run without falling, unlike computationally expensive ZMP-based control which is commonly used for balance. The aerial posture is recovered to compensate for the deviation from the stable trajectory using high-speed visual feedback.

We also address a task of somersaulting. While running, the robot takes a big swing with one foot and jumps. After takeoff, both legs are controlled to curl up for high-speed rotation in the air. ACHIRES is going to be improved to push the envelope while demonstrating various biped locomotion tasks.




ZMP based control

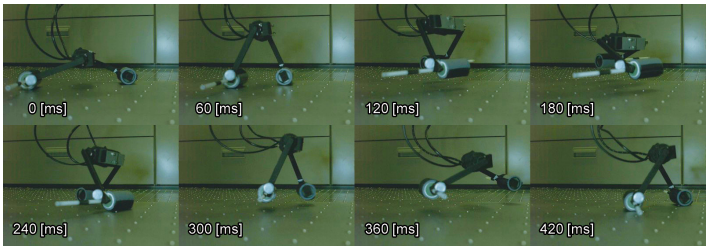

Proposed system



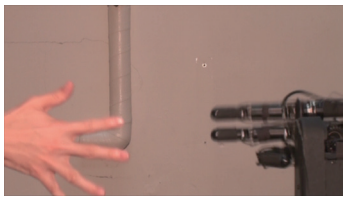
2.10 滑り摩擦非対称性を利用した動的２脚移動
Dynamic Horizontal Movement of a Bipedal Robot Using Frictional Asymmetry

脚移動の推進力として，並進滑りを用いた移動手法を提案した．この手法は，滑り動作と跳躍動作の高速な切り替えによって，ダイナミックな2脚移動が可能である．足裏には，滑り摩擦係数の異なる2種類の材料を取り付けることで，連続的な前進運動を実現している．数値シミュレーションをおこない，跳躍高さや移動周期は摩擦特性にほとんど影響されないのに対して，水平速度は摩擦特性に大きく依存することを導出した．高速ビジョンを着地判定に用いた移動実験をおこない，提案手法の有効性を実証した．

In this research, dynamic horizontal movement is considered with the goal of achieving high-speed dynamic leg motion. We propose a new movement principle using frictional asymmetry for legged robots. This motion strategy consists of sliding motion based on the kinematic constraint and jumping motion which makes use of lightweight high torque motors. In addition, motion characteristics based on the dynamics are analyzed. Experimental results are also shown in which a 2-DOF bipedal robot takes fast short steps repetitively with compensation of landing time by high-speed visual feedback control.



2.11 勝率 100%のじゃんけんロボット（人間機械協調システムの実現）
Janken (rock-paper-scissors) robot with 100% winning rate (human-machine cooperation system)



本研究では，人間機械協調システムの一例として勝率100%のじゃんけんロボットを開発している．人間は，じゃん・けん・ポンのタイミングでグー，チョキ，パーのいずれかを出すものとし，そのタイミングに合わせて，ロボットハンドは人間に勝つ「手」を出す．

人間の手の認識は高速ビジョンを用いて1ミリ秒ごとに行っており，具体的には人間の手の位置と形状を認識している．人間の手の位置に応じて，ロボットハンドも上下運動をするように手首関節を制御すると同時に，ポンのタイミングで人間の出した手の形状を基に，グー・チョキ・パーを認識し，１ミリ秒後に人間に勝つ「手」をロボットハンドが出す，１ミリ秒の後出しじゃんけんを実現している．人間の目は30fps程度であるため，今回のシステムでは後出しされている感覚はほとんどない．

本技術は，人間の動作に合わせたロボットハンドのミリ秒オーダでの協調制御の可能性を示した一例であり，遅延なしの人間の動作支援や人間との協調作業などに応用展開されると期待できる．

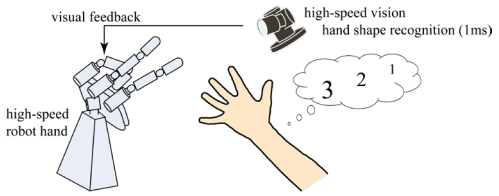
また，別の視点では，人間の眼や手を必要としていた労働集約型の工程は，自動化が困難あるいはコストが見合わないため，海外の工場立地が有利であったが，その工程を人間より高速に実現することにより，コスト面も含めて生産性を上げることが可能となる．ロボットのコストダウンが難しくなっている現在，視覚機能も含めたロボットの高速化により，工場の立地条件を根底から変え，日本の生産現場の空洞化に歯止めをかけることにより，日本に工場を戻すことを目標にしている．

In this research we develop a janken (rock-paper-scissors) robot with 100% winning rate as one example of human-machine cooperation systems. Human being plays one of rock, paper and scissors at the timing of one, two, three. According to the timing, the robot hand plays one of three kinds so as to beat the human being.

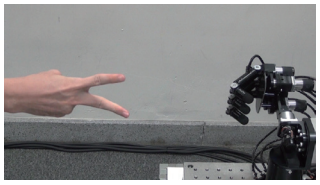
Recognition of human hand can be performed at 1ms with a high-speed vision, and the position and the shape of the human hand are recognized. The wrist joint angle of the robot hand is controlled based on the position of the human hand. The vision recognizes one of rock, paper and scissors based on the shape of the human hand. After that, the robot hand plays one of rock, paper and scissors so as to beat the human being in 1ms.

This technology is one example that show a possibility of cooperation control within a few miliseconds. And this technology can be applied to motion support of human beings and cooperation work between human beings and robots etc. without time delay.

Considering from another point of view, locating factories oversea has been advantageous in labor-intensive process that requires human's eyes and hands because it is difficult to make the process automatic or it is not worth the cost. However, by realizing faster process than human's working speed, the productivity can be improved in regards to cost. Currently although the cost-cutting of the robot is difficult, it is possible to change the location condition of the factory fundamentally by increasing the speed of the robot including visual function.

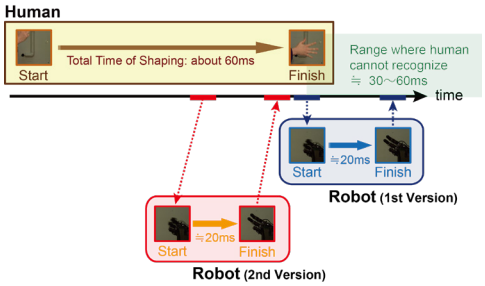


バージョン2　Version 2

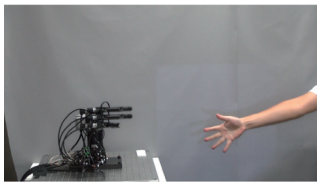


勝率100%じゃんけんロボットバージョン2を開発しました．バージョン1では，人間の「手」が完成してから，ロボットが動作し，人間の目が認識できる時間よりも早くロボットの「手」を出す，後出しじゃんけんを実現しました．バージョン2では，人間の「手」が完成する前に認識するとともに，ロボットの「手」が出るように改良し，先出しもしくは同時に「手」が出るじゃんけんを実現しました．

The second version of the janken (rock-paper-scissors) robot system with 100% winning rate has been developed. The robot realizes 100% winning rate by high speed recognition of high speed vision and high speed acuation of a robot hand. In the first version, a final shape of the robot hand is delayed about 20ms after the finished shape of a human hand. In the second version, a final shape of the robot hand is completed almost the same time of the finished shape of a human hand.

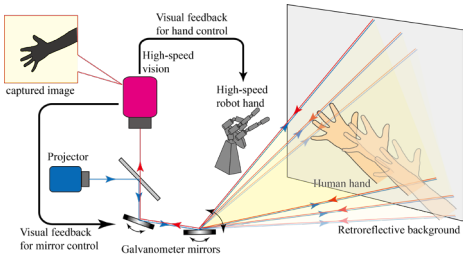


バージョン3　Version 3



勝率100%じゃんけんロボットバージョン3を開発しました．バージョン3では，従来のじゃんけんロボットに高速トラッキング技術（1msオートパン・チルト，るみぺん2）を導入しました．これにより，人間の手のトラッキングを可能にし，常に「手」の認識が出来るようになりました．さらに，トラッキング情報から人間の動作を認識し，その運動に合わせてロボットハンドを制御することができ，人間の動作とロボットの動作の同期性が向上しました．加えて，視野が拡大されたことにより，トラッキングが可能な範囲内であれば，人間はどこにでも手が出せるようになり，可動範囲を拡張しました．

The third version of the Janken (rock-paper-scissors) robot with 100% winning rate has been developed. In this version, we incorporated the high-speed tracking technologies "1ms Auto Pan-Tilt" and "Lumipen 2" in order to extend a field of view of the high speed vision system. The inclusion of these technologies additionally enables the system to dynamically track the human hand and recognize its shape in high speed, regardless of where it moves, as well as improves the synchronization between the motion of the robot hand and that of the human hand. Using high-speed vision together with the high-speed actuation of the robot hand enables the robot to achieve a 100 % winning rate.



ロボットの名称について　Name of robot

このロボットの日本語の名称は，「じゃんけんロボット」です．「じゃんけん」はひらがなで，「ロボット」はカタカナです．また，英語の名称は，「Janken (rock-paper-scissors) robot」で，省略形は，「Janken robot」です．

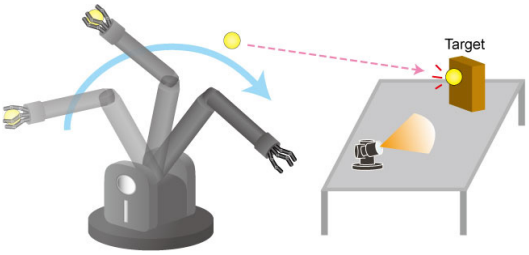
The name of this robot is "Janken (rock-paper-scissors) robot", and the abbreviated form is "Janken robot".

2.12　指上での転がりを利用した高速ハンドアームによる投球方向制御
Robotic Pitching by Rolling Ball on Fingers for a Randomly Located Target

本研究では，人の投球を参考に指の動作を用いることで，ロボットハンドアームによる投球方向の制御を行う．

投球動作の，ボールを押さえている指を離すタイミングと指上でのボールの転がりに着目してモデル化を行い，シミュレーションにより指を離すタイミングによる投球方向への影響を調べた．そして，任意に配置した対象に対し，高速ビジョンで対象の位置を認識し，その位置から求めた適切なタイミングで指を離すことで，高速ハンドアームで対象に向かって投球を行った．

In this study, a robotic pitching task is considered with the goal of achieving dynamic manipulation. To control the pitching direction of the ball, the strategy using the rolling of the ball on fingers is derived with reference to human pitching. The effect of shift in the release timing on the pitching direction is analyzed based on the ball dynamics. Experimental results are shown in which a high-speed manipulator composed of a 4 DOFs robot arm with a 10 DOFs robot hand throws a ball towards a randomly-located target recognized with high-speed vision. As for robotic high-speed pitching based on the ``kinetic chain'' which is observed in human throwing, you can also see here.



2.13 野球ロボット：投げる、見る、打つ、走る、捕る
Baseball Robots: Throwing, Tracking, Batting, Running, Catching

野球の基本要素である,「投げる」,「見る」,「打つ」,「走る」,「捕る」動作に対して, 高速ビジョンと高速アクチュエータを組み合わせることにより, 要素毎にロボットで実現しました. 一体化した動作は, まだ実現しておりませんが, 技術要素として一つのまとまりがついたと思いますので, 整理致しました.

投げる：高速ロボットハンドと高速アームを用いて正確な投球動作を実現しました. 人の投球動作「キネティックチェーン」を参考にした波動の位相伝播に基づく運動の高速化により, 高速な投球動作を実現しています. 90%の確率でストライクゾーンに投げ入れることが可能です.

見　る：AVS(アクティブビジョンシステム)では, 高速カメラを高出力なパン・チルト雲台に搭載し, ビジュアルフィードバック制御を行うことにより, 広い範囲を高速にトラッキングすることが可能となります. また, 1ms Auto Pan/Tilt技術はカメラ自体ではなく, 2枚のミラーで視線を制御することでより高速な対象物のトラッキングが実現されています.

打　つ：高速ビジョンにより計測された1msごとのボールの動きに合わせてアームを制御することで, 定義したストライクゾーンに来たボールを100%打ち返すことができる バッティングロボットを実現しました. 高速アクティブビジョンによって必要なボールの位置情報が全て得られるため, 予測や学習を用いることなく, 極めてシンプルな制御方法で実現しています. また, 平らなバットを用いて, 当てるだけでなく, 狙った所に打ち返すロボットを実現しています.

走　る：軽量かつ高速なモータを用いた小型で高速な駆動機構と高速ビジョンを用いたロボットの状態・姿勢の高速認識により, 前傾姿勢で走行することができる 高速走行ロボットを実現しました. 従来は, ZMP規範を用いた制御が主流ですが, このロボットでは, ZMP規範を用いず, 走行姿勢として不安定な領域も使用しております. 脚長14cmで4.2km/hの走行を実現しています.

捕　る：1秒間に180度の開閉動作が10回可能な高速なハンドを用いて, ハンドを固定したシステムと, 高速なロボットアームに取り付けたシステムを実現しました. 両方とも, 高速ビジョンから得られるボールの動きに合わせて制御することで,（捕球可能な範囲は異なりますが）飛んできたボールの捕球を実現しています.

We have been developing robotic systems that individually achieve fundamental actions of baseball, such as throwing, tracking of the ball, batting, running, and catching. We achieved these tasks by controlling high-speed robots based on real-time visual feedback from high-speed cameras. Before integrating these abilities into one robot, we here summarize the technical elements of each task.

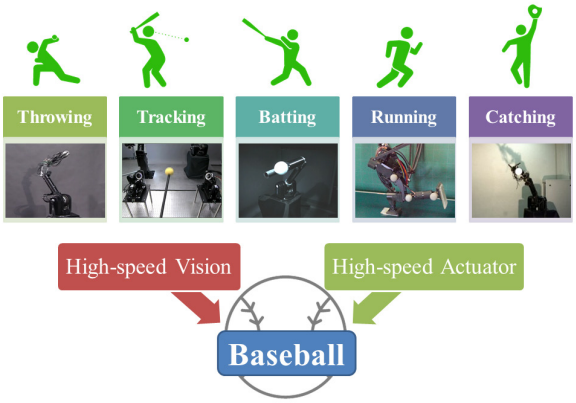
Throwing:This robot can throw a ball with high precision using its fingers, similarly to human throwing. To throw a high-speed ball, we proposed a strategy focused on the superposition of wave patterns based on the kinetic chain. This robot can throw the ball into the strike zone with a success rate of 90%.

Tracking:The AVS, Active Vision System, can achieve a wide field of view by rotating a camera around its pan and tilt axes. Thanks to high-speed actuators and high-speed visual feedback, this system can track a target moving at a high velocity. 1ms Auto Pan/Tilt can track even faster objects by moving two mirrors rather than a camera itself in order to control the gaze direction.

Batting:The batting robot can hit a ball anywhere in the strike zone by controlling the arm in response to the position of the ball every 1 ms. We adopt a simple control law without prediction or learning, since all required information is acquired from the high-speed active vision. In addition, the batting robot can control the strike direction by using a planar bat (Ball Control in High-speed Batting Motion).

Running:The high-speed running robot can run with a forward leaning posture thanks to two features: The first is a small and high-speed motion mechanism with high-speed, light-weight actuators, and the second is high-speed visual feedback that recognizes the state and posture of the robot and modifies them in real time. This robot doesn't use ZMP-based control, which is commonly used for biped robots, and runs with an unstable posture in ZMP. We achieved running at 4.2 km/h with 14 cm long legs.

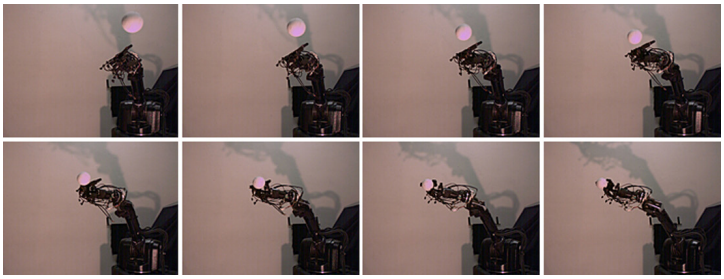
Catching:We developed two catching robots: One with a fixed hand, and one with a hand connecting with high-speed arm. Both use a high-speed hand that can open and close its fingers 10 times per second. These robots can catch a flying ball by controlling its manipulators in response to movements of the ball measured with high-speed vision.



2.14 高速ビジュアルフィードバックを用いた軽量ボールキャッチング
Light-weight Ball Catching with High-speed Visual Feedback

高速マニピュレーションは，既存動作の高速化にとどまらず，高速動作特有のダイナミクスを利用することが出来るためロボットの技能向上の可能性を示している．本研究の目的は，高速多指ハンドアームと高速ビジュアルフィードバックを用いた軽量なボールの捕球である．ロボットによる捕球における問題の１つに捕球の際の衝撃があり，捕球対象がハンドに衝突し，ハンドにダメージを与えたりボールが弾かれて捕球が失敗することがある．特に，高速な軽量ボールの捕球では，ボールの質量に対して衝撃が大きいため，ボールが弾かれやすい．そこで，本研究では，高速多指ハンドアームと高速ビジュアルフィードバックを捕球に導入し，アームで手先を大まかに対象の動きに合わせ，ハンドを用いてアームと対象の動きの差を補償することで，高速な捕球の実現を目指す．

High-speed manipulation has great potential to produce new robotic skills utilizing the feature of high-speed motion. The purpose of this study is to achieve catching a light-weight ball with a high-speed hand-arm system and high-speed visual feedback. One of the main problems in catching a high-speed moving light-weight ball is a ball bouncing off after hitting the hand easily. Therefore in this paper, we propose the catching strategy that reduces relative velocity between the hand and a ball. We show experimental results of a high-speed manipulator catching a ball.



2.15 ロボットハンドアームを用いた変化球のための回転操り動作分析
Analysis of Rolling Manipulation for Breaking Ball Throwing with Robot Hand-Arm

本研究では，高速ダイナミックマニピュレーションの実現を目的として，高速多指ハンド・アームを用いた変化球の投球に取り組む．ボールの回転を考慮した投球動作を扱った先行研究はいくつか行われているが，本研究ではボールの回転数を大きくすることを中心に研究を進める．また，スポーツ科学の分野で変化球の投球法を科学的に解析するために計測や研究が行われているが，どのような体の動きがボールの回転に関係しているのかは明らかにされていない．そこで，本研究では，投球動作を指の上でのボールの回転運動を中心にモデル化し，人の投球との比較やボールの回転に影響を与えている要素の調査を行う．

The purpose of the work is to achieve high-speed dynamic manipulation. As one example, we deal with a breaking ball throwing. There are some previous researches about throwing with ball spin, but we will especially concentrate on making spin rate bigger. There are also some studies and measurements to analyze pitching technique scientifically, However little is known about body motions affecting ball spin. In this research, we modelize throwing motion as swing motion of a accelerating 1 DOF link and compare simulation results with human throwing.

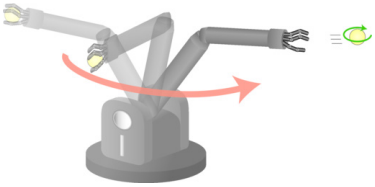


図1. 概要
Fig.1 Overview

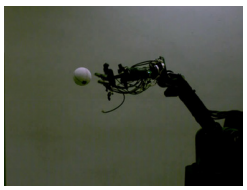


図2.(a) 投球動作 0[s]
Fig.2 (a) Throwing 0[s]

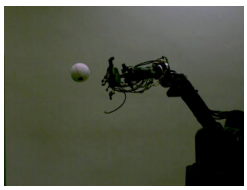
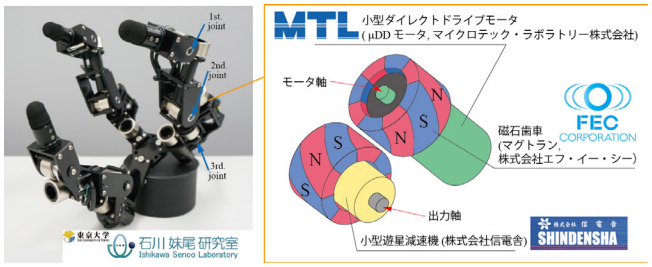


図2.(b) 投球動作 14[ms]
Fig.2 (b) Throwing 14[ms]

2.16 小型・低摩擦アクチュエータ MagLinkage を備えた多指ハンドシステム
Multifingered Hand System equipped with compact size, low-friction actuator "MagLinkage"

ダイナミックな接触検知と衝撃吸収制御を可能とする新しいアクチュエータ"MagLinkage"を備えた多指ハンドを開発しました．MagLinkageは小型ダイレクトドライブモータ(μDDモータ，マイクロテック・ラボラトリー株式会社)，小型遊星減速機(株式会社信電舎)，磁石歯車(マグトラン，株式会社エフ・イー・シー)の3つの要素部品で構成されます．出力軸側に負荷が加わった際にわずかなトルクで逆回転し，この回転量をモータ側のエンコーダで正確に計測できることが特徴です．この特徴を利用することで，外界センサレスで広ダイナミックレンジな仮想バネ・ダンパ特性を実現できます．また，出力軸側に過負荷が加わった際は磁石歯車が脱調するため，トルクリミッタ機能も備えています．

We developed compact size, low-friction and high-torque actuator "MagLinkage" which enables dynamic shock absorption control. MagLinkage is consisted of a compact size DD motor (μDD motor, MTL inc.), low-reduction ratio and compact-size gear box (Shindenssha), and magnet gear (MagTran, FEC inc.). When a load is applied to the output shaft side, it rotates with a slight torque, and this angle change can be accurately measured with the encoder on the motor side. MagLinkage realizes a virtual spring / damper characteristic with a wide dynamic range and no external sensor. A torque limiter function is also provided because the magnet gear will step out when an overload is applied to the output shaft.



MagLinkageハンドを用いて，当研究室が過去に提案した「衝撃吸収制御(Maxwellモデル制御)」を実現しました．さらにこのハンドと衝撃吸収制御の組み合わせにより，机上の薄い物体を高速にスライドさせ掴み上げる動作に成功しました．これは従来の位置決めハンドでは非常に難しいタスクです．ダイナミックな衝撃吸収特性が重視されるタスクではMagLinkageハンドを使用し，高速・精密な位置決め性能を重視する場合は「軽量高速多指ハンドシステム」を 使用することで1ms高速視・触・近接覚センシングの応用展開を拡大できると考えています．

We realized "the shock absorption control (Maxwell model control)" proposed by our laboratory using the MagLinkage hand. The MagLinkage hand can slide and grasp a thin object on the table. By sliding the object with high speed and soft touch, the hand succeeded in grasping one piece from the pile of cards. This is a difficult task with a typical robot hand. The MagLinkage hand is suitable for high-speed and dynamic shock absorption control. For high-speed and precise positioning control, it is suitable to use the "lightweight high-speed multi-finger hand system". Applications of 1ms high-speed sensing (vision, proximity and tactile) can be expanded by using an appropriate hand depending on an application.

協力　MagLinkage は マイクロテック・ラボラトリー株式会社，株式会社エフ・イー・シー，
株式会社信電舎 に技術支援を頂き開発しました．

Thanks　MagLinkage was developed with technical support from Microtech Laboratories, Inc., FEC, Inc, , Shindensha, Inc.

2.17 DOC Hand によるリング・シャフト部品の高速組立
High-Speed Ring Insertion by Dynamic Observable Contact Hand

当研究室で開発している「軽量高速多指ハンドシステム」の応用例として，リング・シャフト部品の高速組立を実現しました．部品間のクリアランスは0-36マイクロメートルと極端に狭く，人間でも挿入完了までに2.58秒の時間を要します．一方，我々が提案した挿入戦略"Dynamic Observable Contact (DOC) hand"を用いることで，人間よりも早い2.42秒での組立を実現しました．DOC handは，1ms周期での各指各関節の剛性制御と，アーム手先速度制御を行うことで，部品同士が接触した際の衝撃力吸収と，挿入位置誤差の修正を実現する戦略です．

上記は，東京大学 石川・グループ研究室とオムロンとの共同研究の成果です．

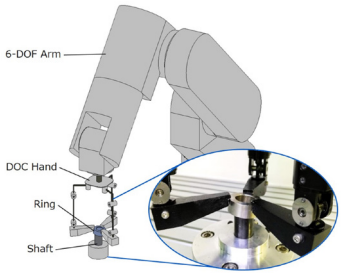


Fig.1. Overview of the insertion system

As an application example of "Lightweight High-Speed Multifingered Hand System" which we are developing in this laboratory, we realize high-speed ring insertion into a shaft part. The clearance between parts is 0 to 36 micro-meters (extremely small). Insertion time of a human is 2.58s. On the other hand, our system archived insertion time 2.42s by using new insertion strategy "Dynamic Observable Contact (DOC) hand". In order to reduce the impact force at insertion and correct the position error between the parts, 1ms joint stiffness control of the hand and arm tip speed control are executed simultaneously. DOC hand enables that “6-DOF dynamic passivity”: The grasp system should exhibit passivity with respect to the impact in any direction and “2 Object-pose observability”: The position and orientation of the grasping object should be observed in the grasp system.

This work was conducted by a joint research project between Ishikawa Group Laboratory and OMRON co., ltd.

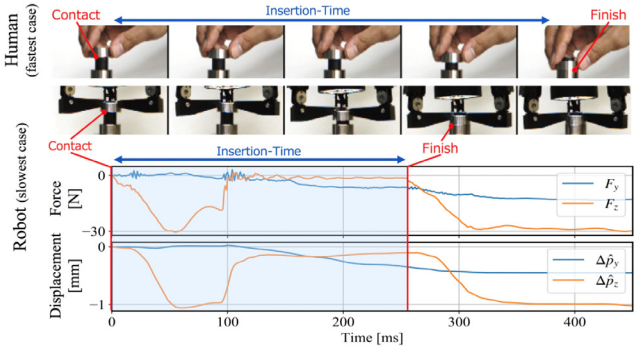


Fig.2. Insertion result of the robot hand and a human

2.18 微細部品の組み立て実現を目指した高速高精度ロボットハンドの開発
High-speed and High-precision Robotic Hand for Micromanipulation

近年生産の現場においては産業用ロボットの導入によるFAが急速に進んでおり、生産工程の高精度化、高速化が実現されてきました。しかし微細な部品の組み立ては自動化が困難と言われており、現在でも人手に頼った生産がなされています。例えば腕時計内部の部品の組み立ては現在でも全自動化はなされておらず熟練工による手作業での組み立てが行われています。

石川グループ研究室ではこうした微細部品の組み立ての全自動化をロボットハンドによって実現しようと考えています。幅広い形状と大きさの対象を扱う必要のある工業的な組み立て動作は、高い操作の柔軟性と高い精度の両方を要求します。この実現には従来の低自由度なマイクロマニピュレーターでは不十分であり、これまでは一般に大きな物体を対象としていた多自由度のロボットハンドの高精度化が解決策になると考えられます。この第一歩として、本研究ではプロトタイプの高速高精度ハンドを開発し、ビジョンシステムとの組み合わせによって0.1mmの物体を把持し、移動させ、整列させるタスクを全自動で行うことを直近の目標としています。

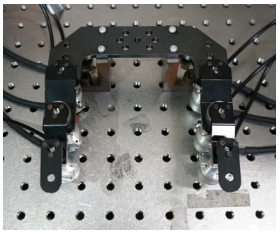


図 1. ハンド概観
Fig.1 The overview of the hand.

In recent years, industrial robots have been widely introduced to manufacturing process for automating and speeding up production. However, some tasks are still difficult for industrial robots to complete and are remaining to be automated. For example, skilled human operators conduct assembly of the watches as yet. In order to realize fast automation of manipulation of micro objects, we incorporated high precision to existing high-speed robotic hand, which realized dynamic manipulation of objects such as dynamic catching and pen spinning. The high-speed and high-accuracy hand realized high operation accuracy of several micrometers at finger tip with the same extent of operating speed as the existing high-speed hand.

2.19 軽量高速多指ハンドシステム
Lightweight High-Speed Multifingered Hand System

従来より，器用で柔軟な把握機能の実現を目指して，多指ロボットハンドの研究が進められてきたが，そのほとんどは準静的な手の運動を対象としており，その動作速度はそれほど速くはなかった．しかし，人間の把握動作では，眼の機能と合わせた高速で動的な操りが大きな役割を果たしている．現状の技術の進展から，工学的ハンドシステムにおいては，原理上，同様の動作を人間よりも速い速度で実現できるはずである．

そこで我々の研究室では，機械システム並びに視覚システムの速度限界を追求し，超高速の領域で，人間と同様な目と手の協調動作を実現した．視覚システムとして，1msで汎用画像処理が実現可能なビジョンチップシステムを用い，機械システムとしてのロボットハンドには新たに開発した軽量・高トルクモータを用いることにより，機械システム限界に迫る速度（180度開閉を0.1秒で実行可能）を実現することに成功した．

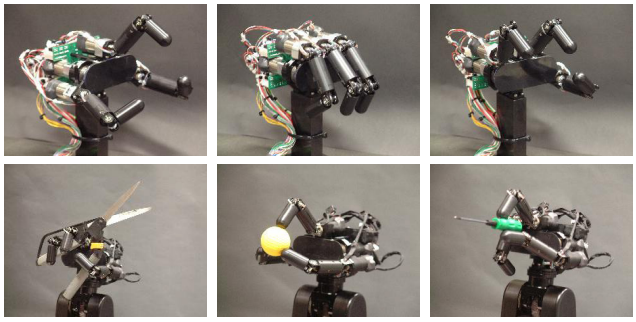
開発したハンドを用いて，様々なタスクが実現されている．

[Dynamic Regrasping]
[Dynamic Pen Spinning]
[Dynamic Dribbling]
[Dynamic Catching]

落ちてくるボール（約4m/s）を指先でつまむという人間にはできないタスクを実現した．ここで，つかむ瞬間は0.01秒にも満たない超高速動作であり，人間の目に見えない速度でタスクが実現されている．

（本ハンドは，ハーモニック・ドライブ・システムズの協力を得て製作されました）

Dynamic grasping using a newly developed high-speed hand system and high-speed vision is proposed. In the high-speed hand system, a newly designed actuator provides the finger with excellent features: It is lightweight (about 110g per finger),and it is moved with speed reaching about 4m/s and 4N power at a finger tip, and backlash is small enough for high-gain feedback control. As a result high-speed motion at 180deg/0.1s is realized. With high-speed visual feedback at a rate of 1KHz, the hand can grasp and handle dynamically moving object. Experimental results are shown in which a falling object is caught by high-speed hand.



2.20 ロボットハンドによる加振を用いたアクティブセンシング
Active sensing using vibration with robot hand

近年，多品種少量生産を達成するため汎用ロボットを用いた生産の需要が増加しており，これに伴って，製品検査の自動化の需要も増している．一方，カメラを用いた外観検査を除いて，製品の自動検査には専用機械が用いられることが多い．

そこで，本研究では汎用なロボットハンドを用いた製品検査に取り組む．具体的には，外観検査では検知出来ない対象内部の異常を検知する加振検査を取り扱う．検査に汎用なロボットハンドを用いることで，生産作業中に製品の異常検知が可能になり，生産性の向上に繋がると考えられる．

提案する検査手法は，指先に6軸の力覚センサを取り付けられたロボットハンドを用いて，対象を把持して振動を加える．そして，その際の力の時系列データを解析することで，異常を検知するものである．今回は，時系列データから3つの特徴量（ピークピーク値，80 ～ 1000Hzのバンドパスフィルタを通したセンサ出力のピークピーク値，パワースペクトル密度比推定の500 ～ 1000Hzの占める割合）を ROC-AUC (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve) により評価した．また，加える振動は，ベイズ最適化の手法を用いて，判別を行いやすいパラメータを求めている．

実験を行い，（外部から見れない場所で）ボルトで締結された物体のボルトの緩み検査，外部から見ることが出来ない容器に入った粘性の異なる液体の分別に成功している．

In recent years, the demand for production using general-purpose robots has increased in order to achieve high-mix low-volume production. Because of this, the demand for automation of product inspection has also increased. On the other hand, except for visual inspection using cameras, dedicated machines are often used for automatic product inspection.

Therefore, in this research, we deal with the product inspection using a general-purpose robot hand. Specifically, it deals with vibration inspection that detects abnormalities inside the object that cannot be detected by visual inspection. By using a general-purpose robot hand for inspection, it is possible to detect abnormalities in products during production work, which is thought to lead to improved productivity.

We propose the inspection method that a robot hand attached a 6-axis force sensor to the fingertip grasps the object and applies vibration. Then, by analyzing the time-series data of the force at that time, the abnormality is detected. This time, evaluations are done by ROC-AUC (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve) for three features (the peak-to-peak value of the signal, the peak-to-peak value of the filtered signal(80-1000 Hz bandpass filter), and the power of high-frequecy vibration) of each axis. In addition, the parameters of vibration are determined using the Bayesian optimization method to improve detection accuracy.

We have conducted experiments and succeeded in inspecting the looseness of bolts of objects fastened with bolts (in a place that cannot be seen from the outside) and discriminating liquids with different viscosities in containers that cannot be seen from the outside.

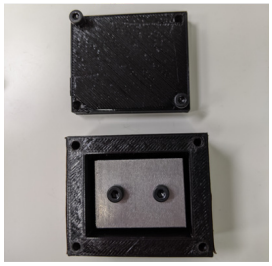


図 1 対象：不透明な箱の中でのボルト締結
Fig.1 Target: Bolt fastening in an opaque box.

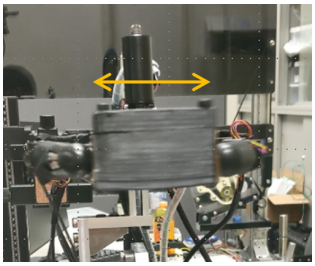


図 2 ロボットハンドによる対象への加振の様子
（矢印の向きに振動．）
Fig.2 Vibration to the target by the robot hand
(vibrates in the direction of the arrow.)

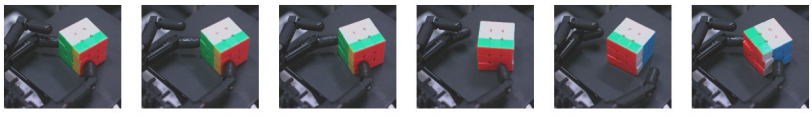
2.21 高速多指ハンドと高速ビジョンを用いたルービックキューブの操作
Rubik's Cube handling using a high-speed multi-fingerd hand and a high-speed vision system

本研究ではロボットハンドによる器用かつ高速な物体操作の実現を目指し，具体的なタスクとしてルービックキューブの操作を行った．

高速ビジョンによる高速な重心位置，角度の取得により，ルービックキューブを完成させるために必要な 2 種類の持ち替え動作と，1 面の回転動作を実現し，この 3 つの連続動作を 1 秒以内で行うことに成功した．

さらに，30 回の連続動作を 10 秒間で行うことに成功した．

In this research, we realized manipulation of Rubik's cube using a high-speed robot hand with three fingers. The experimental system consists of a high-speed vision and a high-speed robot hand, and the high-speed vision can calculate the center of gravity position and angle of the Rubik's cube at 500 fps. The manipulation realized in this research is a total of three operations, two kinds of regrasping and one-face turning of the Rubik’ s cube. By combining these three operations all the faces can be turned. In the experiment, these three operations were performed in a row in 1 second and we succeeded in 30 continuous operations in 10 seconds.



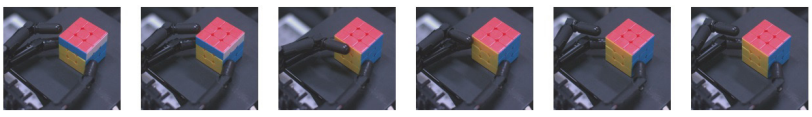
(a) t=0.000 (b) t=0.020 (c) t=0.040 (d) t=0.060 (e) t=0.080 (f) t=0.100

持ち替え動作 (1)
Regrasping(1)



(a) t=0.270 (b) t=0.342 (c) t=0.416 (d) t=0.488 (e) t=0.560 (f) t=0.636

持ち替え動作 (2)
Regrasping(2)



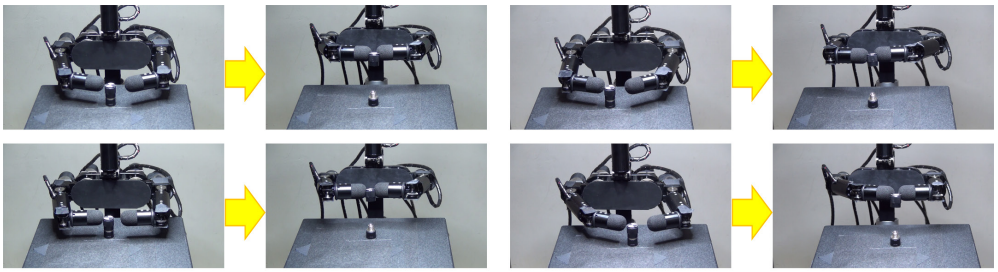
(a) t=0.698 (b) t=0.758 (c) t=0.818 (d) t=0.878 (e) t=0.938 (f) t=0.998

1 面回転動作
Face turning

2.22 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速ロボットハンドによるねじ回し操作
Screwing nut with high-speed robot hand using high-speed visual feedback

本研究では汎用ロボットハンドによる工業製品の操作に着目する．具体的なタスクとして，ロボットハンドによるねじの操りを目標とした．操作対象となるねじ頭部にマーカーを取り付け，ビジョンでその状態を読み取ることによって，ねじの回転情報を抽出し操作に利用した．ビジョン情報にもとづくねじの位置検出に加え，指先の能動的な探索に基づく補正をすることで，位置ずれへの対応を可能とした．回転数からねじが外れる瞬間を検出して，はずれたねじ頭部のキャッチを行った．

This research focuses on the manipulation in assembling of industrial products with general purpose robot hand, and nut screwing task is chosen as an example of such task. Marker is attached on the head of nut to manipulate, and vision sensor get the rotation of the nut. In addition the detection of location of nut, correction by active search is introduced. From rotation information from vision sensor, robot hand catches the nut immediately after it is off from its base.



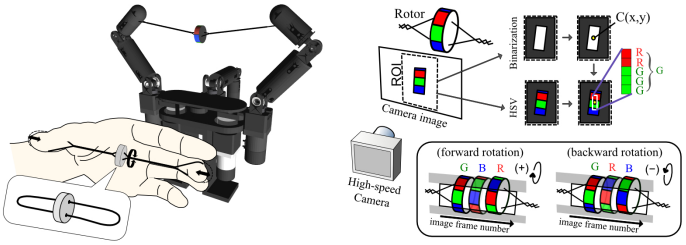
2.23 ロボットハンドを用いた糸・ロータ系の回転操作
Manipulation of Thread-Rotor Object by a Robotic hand

ボタン・スピナー（ぶんぶん独楽）は、回転子と糸の輪で構成された、ヨーヨーに類似した玩具である。ボタン・スピナーをプレーする時、周期的に振動する指先の動きに応じて、6,000RPMという非常に高速な回転子の回転が生じる。回転力は捻られた糸により、指先から回転子にまで伝達される。柔軟物による動力伝達は、簡単な構造及び柔軟な動作を特徴とし、低速且つ線形的な指先の動きを高速回転運動に換える手法として期待される。この動力伝達を活用するためには、柔軟物による非線形システムの不確定性の下でも安定的に力が制御できる必要がある。高速なセンシング系とマニピュレーターで構成されたロボットシステムを導入することで、前述したような非線形系を推定なしでも比較的に簡単に制御することができる。

本研究では、上記の高速ロボットシステムを利用して、ロボットハンドによるボタン・スピナーを成功的に実現した。その際、回転子の回転角度だけではなく糸上における滑りなどを抑制しながら、回転軸方向の位置制御も実現できた。制御誤差としては回転角についてはセンシング分解能以下、回転子の位置については5ピクセル(約0.8mm)以下が達成できた。ボタン・スピナーの核となる機構は撹拌器や発電機などの高速回転系のみならず、一般的な工作機械にも応用できると期待できる。

Button spinner, a hand-toy similar to Yo-Yo, consists of a loop of thread and a button as a rotor. When we play a button spinner, the rotor spins at very high speed, up to 6,000 rpm, according to the periodic and oscillating finger motion, by the power transferred through a pair of twisted thread. The power transmission via flexible objects, which converts slow and linear motion to high-speed rotation is a promising method, because of the simple mechanism and smooth behavior due to its flexibility. However, to take advantage of the power transmission, we need to regulate the power stably, under the uncertainties of non-linear system which is caused by its flexible components. By introducing the high-speed robotic system in sensing and manipulation, we can easily control the related systems without any estimation.

In this research, with the high-speed robotic system, we successfully conducted the robotic button spinner and were able to control not only the rotation angle but also the position of the rotor along the thread. The control error was less than the resolution of measurement in angular position, and less than 5 pixels (about 0.8 mm) in the position of the rotor along the thread. The core structure of the button spinner can be applied to not only high speed rotating systems such as a shaker and a generator, but also machine control.



2.24 高速多指ハンドを用いたケーブル・コネクタの配線操作
Connecting manipulation of cable and connector by high-speed multi-fingered hand

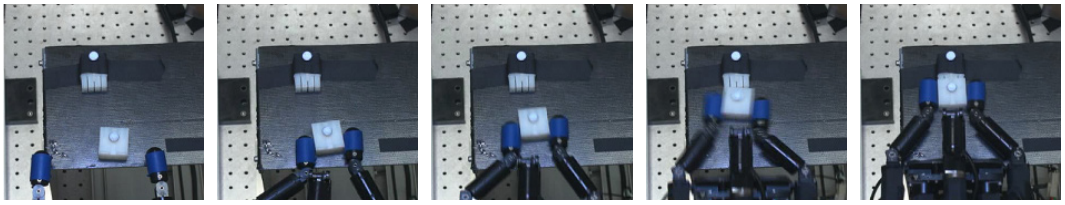
現在FA・製造ラインの高速化，高精度化の要求がある．例えば，自動車生産 ラインでケーブル・コネクタを扱う作業においては自動化がなされておらず，作業者による人手に頼っている．

本研究では、高速カメラで取得したコネクタの位置情報をもとに多指ロボットハンドを用いて高速なコネクタの把持・挿入動作を実現する．

高速に運搬されるコネクタの位置を高フレームレートで取得し，挿入が行われる手前でコネクタに微小な振動を加えることで 挿入時の微小な位置のずれを緩和する．

Higher speed and accuracy are recently required in manufacturing and FA lines.

In this research,we propose a method of manipulation of connectors and cables , the coordinates of which are detected by high-speed visual-servo system. The high-speed robot hand rapidly carries the position of one connector which is tracked by high-speed camera, and then solves the tiny position error between connectors by adding connector a slight vibration before beginning insertion to the other connector.



2.25 高速ビジュアルフィードバックを用いたキャスティングマニピュレーション
Winding Manipulator Based on High-speed Visual Feedback Control

物体を器用に扱い，操るマニピュレーションはロボティクスにおいて重要な研究分野の1つである．中でもキャスティングマニピュレーションは，ロボットが手先にエンドエフェクタを装着して投射を行い，遠方物体に対し把持や撃力を付加するマニピュレーションである．これにより，ロボット本来の動作範囲を超えたマニピュレーションを期待するものである．

従来のキャスティングマニピュレーションに関する研究では，ロボットが操る柔軟物のモデル化，そのパラメータ同定を基にしたフィードフォワード制御が主流である．本研究では，物体へのアプローチを可能にする軌道生成と視覚フィードバックをベースとした，ロバストな巻き付けを可能とするロボットアームによる鞭のキャスティングマニピュレーションを提案する．鞭を器用に操り，その変形を利用し物体に巻きつけることで物体把持の実現を目的とする．鞭の先端速度は極めて速く，これを適切に制御することは困難である．

そこで鞭をマニピュレータとして利用したロボットアームの軌道設計に加え，鞭の対象への巻き付けモーションを高速ビジョンで撮像し，視覚フィードバックを利用することで，鞭の対象への巻き付きをロバストにした．実験では，ロボットアームと鞭，高速ビジョンからなる柔軟マニピュレータシステムを構築し，鞭が物体に巻きつく様子を基にしたビジュアルフィードバックによりロボットの軌道を生成，制御した．これにより鞭を物体に巻きつけられることを確認した．

Controlling a robot to manipulate objects dexterously is an important research field in robotics. In particular, casting manipulation is a manipulation in which an end effector is attached to a robot, and the robot project it in order to grasp a distant object. Manipulation beyond the original operating range of the robot is expected. In research on conventional casting manipulations, modeling of flexible objects manipulated by robots and feedforward control based on parameter identification are the mainstream approaches.

In this research, we propose casting manipulation based on high-speed visual feedback control with a whip. We aim to realize object grasping by manipulating the whip with dexterity by utilizing its deformation. The tip speed of the whip is very high, and it is difficult to properly control. Thus, in addition to the trajectory design of the robot arm using the whip as a manipulator, we captured the winding motion of the whip around the object with a high-speed vision system and made use of visual feedback to achieve robust winding of the whip . In the experiment, we constructed a flexible manipulator system consisting of a robot arm, a whip, and a high-speed vision system, and we controlled the trajectory of the robot by visual feedback based on how the whip winds around an object. We confirmed that the whip can successfully be wound around the object.

2.26 高速ビジョンを用いた形状取得によるフレキシブルアーム操作
Manipulation of Flexible Arm using Shape Information with High-speed Vision

本研究では高速ビジョンシステムを利用したフレキシブルアームの制御を行う.

低剛性アームのフィードバック制御に用いるセンサとして, ビジョンセンサが注目されているものの, 低い画像処理速度とフレームレートの不足が問題となってきた.

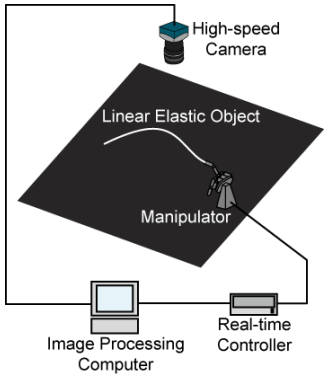
本研究では, 高速ビジョンシステムの導入によってこのような問題を軽減させた上で, 操作対象となるアームの変形の情報を取得・利用することによるフレキシブルアームのマニピュレーションを目標とした. 実験では, ビジョンシステムから得られるアームの形状から振動情報の取得を行い, 操作後にアームに生じる振動の抑制が実現できることを確認した.

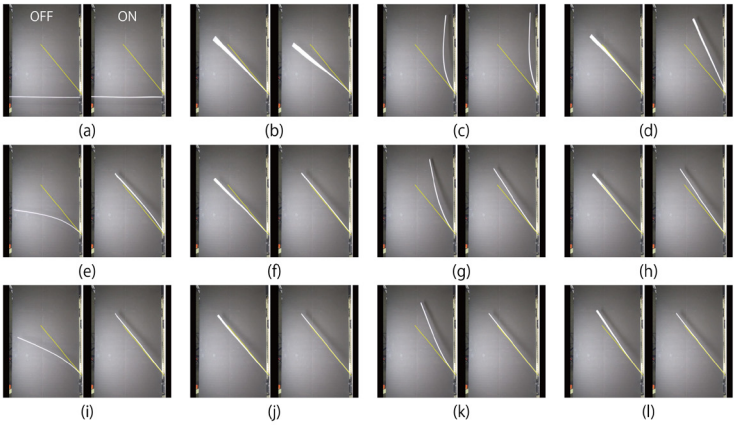
This research focuses on the high-speed visual feedback control of flexible arm.

Vision sensor is regarded as a promissing device to control flexible manipulators. However, vision sensor has disadvantages such as long image processing time and shortage of frame rate.

In this research, these disadvantages are reduced by introducing high-speed vision systems to the feedback control system. Moreover, high-speed vision system is used to obtain rich information : the shape of flexible arm, which is utilized to feedback control.

Through some experiments, vibration information of the flexible arm is captured from its shape, and it is confirmed that suppression of its oscillation can be done with proposed system.





2.27 ロボットアームによるムチの音速マニピュレーション
Sonic-speed Manipulation of a Bull Whip with a High-speed Robot Arm

本研究では, 高速ロボットマニピュレータに取り付けたムチ(柔軟物)を用いて, 全く新しい超高速アクチュエーション手法を提案しています. 具体的には, ムチの特徴(しなり)を利用することで, ムチの器用な操作を実現し, ムチ先端での音速操作を達成することを目指しています.

本研究では, ロボットアームの軌道計画によって, ムチの音速操作の実現可能性を検証しています. ロボットアームの軌道は, 人間によるムチ操作の分析によって得ており, その結果に基づいた軌道を用いて, ムチの音速操作を実験しました. その結果, 音速操作が可能であることを実証しました.

In this research, we propose an entirely new ultra high-speed actuation technique with whip manipulation by a high-speed robot manipulator. By using the characteristics of the whip, we can realize dexterous manipulation of the whip. In particular, we aim to achieve a sonic-speed manipulation at the free end of the whip.

To achieve this, we explore a feasibility of the sonic-speed manipulation of the whip by a trajectory planning of the robot arm. The trajectory is obtained by an analysis of whip manipulation by a human subject. Then we performed an experiment of the sonic-speed manipulation of the whip using the trajectory. Finally we confirmed that the sonic-speed manipulation can be demonstrated and there exists a high feasibility of the whip manipulation with the proposed method.

2.28 磁石歯車グリッパ”Magripper”による高速グラスピング
High-speed Hitting Grasping with Magripper

本研究では、バックドライバビリティが高いグリッパ”Magripper”と、リーチングからシームレスに高速グラスピングできるフレームワーク”Hitting Grasping”を開発した。Magripperによる Hitting Graspingを実現するために、3つの要素を併用したフレームワークを開発した。

• バックドライバビリティが高いグリッパ”Magripper”の設計
• Zenerモデルに基づく塑性変形制御の”Magripper”への実装
• Hitting Graspingのコンセプトの提案

Magripper

高速性と環境適応性を両立させるため、磁石歯車を導入することによって、バックドライバビリティの高い1アクチュエータグリッパを実現した。Magripperはダイレクトドライブモータ、マグネットギア、リンク機構により、object接触時のバックドライブ性と高速動作の両立を実現した。Magripperは1つのアクチュエータで構成されていて、比較的低コストで製造できるため、FA利用に適したグリッパである。

Zenerモデル塑性変形制御の”Magripper”への実装

“Magripper”においては、磁石歯車によるハードウェア的なバックドライバビティの向上だけでなく、制御によるバックドライバビティ向上も実現した。Zenerモデルに基づく変形制御をバックドライブ制御として”Magripper”に実装し、ダイナミックマニピュレーションへの適応性を向上させた。Maxwellモデルと Voigtモデルをパラメトリックにモデルを切り替えることで、グリッパのグラスピングタスクとobjectから受ける衝撃の吸収能力の両方を実現した。

Hitting Grasping

“Magripper”の高いバックドライバビティ性能を活かし、机や床などの環境やobjectにぶつかりながらグラスピングする、高速グラスピングのフレームワークの提案を行い、高速ロボットシステムに実装し実験を行った。物体や環境に当たることを前提としたシームレスなリーチングと高速なグラスピングは、環境への衝突を回避するための静的および準静的アプローチとは異なるアプローチである。実験においては複数のオブジェクトに対して”Hitting Grasping”を同じパラメータにおいて高速グラスピングを行い、デモンストレーションとしてカジノルーレットのベッティングタスクを高速に達成した。特に硬貨のような薄いオブジェクトのグラスピングは、床や机などの環境物との衝突が発生しやすく、ロボットが破損する可能性があるため、非常に困難な作業である。本実験においては画像処理・触覚センサ・近接覚センサを使用しておらず、エンコーダのみを用いたサーボ制御を使用して実現している。

In this study, Magripper, a highly backdrivable gripper, and hitting grasping, high-speed grasping framework, are developed to achieve high-speed hitting grasping executed seamlessly from reaching. The gripper is designed to achieve both high speediness and environmental adaptability. To realize high-speed hitting grasping with Magripper, the framework using three elements were developed.

• Designed Magripper, a highly backdrivable gripper;
• Implemented deformation control based the Zener model in Magripper;
• Proposed the concept of hitting grasping using Magripper.

Magripper

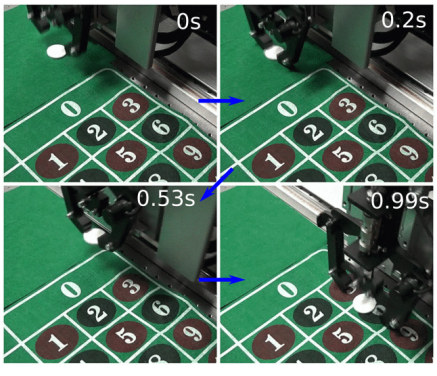
We introduce a magnetic gear and developed Magripper, a highly backdrivable 1-actuator gripper, to achieve both high speed and environmental adaptability. Backdrivability and high-speed operation at the moment of contact are realized by using a DD-motor, the magnetic gear, and link mechanism. Magripper is composed of one actuator and can be fabricated at relatively low cost, making it suitable for factory automation applications.

Implementation of deformation control based the Zener model

We implemented deformation control based the Zener model in Magripper as backdrive control and improve its adaptability to dynamic manipulation. By mounting the Zener model, which can switch between the Maxwell model and Voigt model with parameters, on the gripper, we successfully achieved both grasping task and adaptability to environment with higher backdrivability.

Hitting grasping

We proposed the concept of hitting grasping using Magripper, which is grasping manipulation with hitting of the environment and objects, and experimentally demonstrate its implementation in a high-speed robot system. Overall, seamless reaching and fast grasping on the assumption of hitting objects and the environment are achieved. In this manner, a different approach from the static and quasi-static approaches to avoid hitting environment could be used. In the experiments, Magripper dynamically and robustly grasped a wood block, a wood cylinder, and a plastic coin with the same strategy and same parameters. In addition, the high-speed roulette betting task was achieved as a demonstration within 1 s. In particular, coin grasping with high-speed movement is an extremely difficult task because collisions with environmental objects such as the floor and desk are likely, and the robot may break. These could be achieved using only servo control via only encoder information without image processing, tactile sensors, or proximity sensors.



Experimental snapshots

2.29 磁石歯車を用いた直動機構 ”Magslider” による高速衝撃吸収制御
Adaptive Visual Shock Absorber with Magslider

本研究ではしなやかな制御を目指して、磁石歯車を用いた直動機構”Magslider”による高速衝撃吸収制御を開発した。開発したシステムは以下の3つの要素から成る。

• objectとの非接触状態における、1000Hz高速ビジョンシステムを用いた低反発制御
• objectとの接触瞬間を扱う、バックドライバビリティの大きい磁石歯車を用いた直動アクチュエータ
• objectとの接触状態における、Visual-baseで並列表現のMaxwellモデル塑性変形制御

1000Hz高速ビジョンシステムを用いた低反発制御

1000Hz高速ビジョンシステムを用いて、オブジェクトの位置と速度を計測し、アクチュエータの位置速度制御を行う。衝撃の前に準備動作の制御を行うことで、オブジェクトの反発を抑制する。

磁石歯車を用いた直動アクチュエータ

磁気歯車は接触瞬間に発生する衝撃を受動的に吸収する。従来のフィードバック制御では対応できない接触瞬間に発生する衝撃を、ハードウェアにおいて対処する。磁気歯車により、非接触状態から接触状態へシームレスに制御を移行する。本研究では、磁気歯車を用いた直動機構である”Magslider”を設計した。

Visual-baseで並列表現のMaxwellモデル塑性変形制御

1000Hz高速ビジョンシステムによる衝撃力積項の推定を用いた、並列表現のMaxwellモデル塑性変形制御を開発した。Maxwellモデルは反発の抑制をロボットの塑性変形と捉えることで，従来のインピーダンス制御とは異なり元の変位の位置へ戻る反発力は常に発生しないため、衝撃をいなすような挙動が可能となる。また並列に表現されたMaxwellモデルは、ばねとダンパーを直列に接続するMaxwellモデルから粘性項の変換と、外力の積分項が追加によって等価変換できる。

In this study, a visual shock absorber capable of adapting to free-fall objects with various weights and speeds is designed and realized. An experiment was conducted for the receiving of balls in free-fall and the adaptive shock absorber succeeded in adaptively receiving the light wood ball with different velocities. To realize an adaptive visual shock absorber, the framework using three elements were developed.

• Visual low-rebound control using 1000 Hz high-speed visual object tracking for the object non-contact state;
• High backdrivability of the magnetic gear for the moment of object contact;
• Plastic deformation control of a parallel-expressed Maxwell model for the object contact state.

Visual low-rebound control

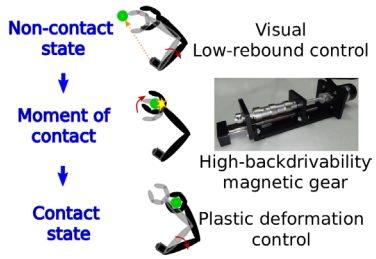
We implemented low-rebound control using 1000 Hz high-speed visual object tracking. 1000 Hz high-speed visual object tracking was used for preparation with position and velocity control in the object non-contact state. Calculating the 3D position of an object using 1000Hz high-speed image processing with larger time density sensing, the control suppresses the object repulsion before an impact to reduce the relative velocity between the end effector and the object.

Magnetic gear

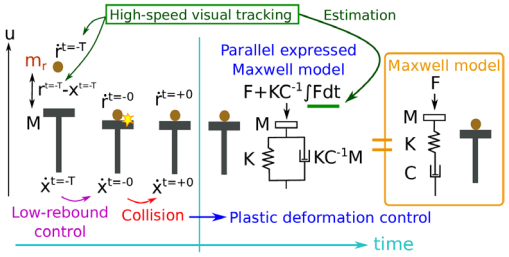
The main contribution of this study is visual-based low-rebound control and plastic deformation control that is integrated with the high backdrivability of the magnetic gear. The magnetic gear can absorb passively shock in the moment of contact, which is difficult for traditional feedback control to deal with. The magnetic gear allows the seamless transfer of control from the non-contact state to the contact state. In this study, we designed Magslider, linear mechanism with a magnetic gear as shown in the figure.

Plastic deformation control

We developed visual-based plastic deformation control based on a parallel-expressed Maxwell model using estimation of impact force integral term with high-speed image processing. The parallel-expressed Maxwell model is transformed from the Maxwell model, which connects a spring and a damper in series if the viscosity term is transformed and the integral term of the external force is added.



concept

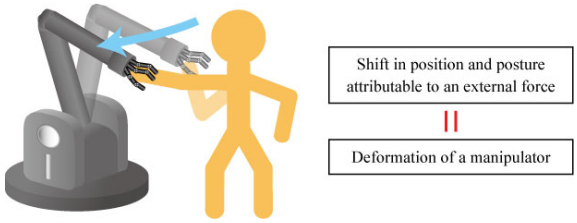


control strategy

2.30 多関節マニピュレータの弾塑性変形制御
Elasto-plastic Deformation Control of a Multijoint Manipulator

本研究では，外力に起因する手先の位置姿勢変化を“ロボットの変形”と捉え，多関節マニピュレータの受動的な挙動を生成する変形制御を提案した．変形制御の特徴は，力や位置の目標値を明示的に設定する必要が無く，外力によって塑性的/弾性的な挙動を受動的に生成することが可能な点である．物質の変形や流動に関するレオロジーの分野において用いられる変形モデルを使い，受動的な制御手法でありながらも力/位置を間接的に調整しながら多様な応答特性を実現した．ロボットアームを用いたシミュレーションによって有効性を実証した．

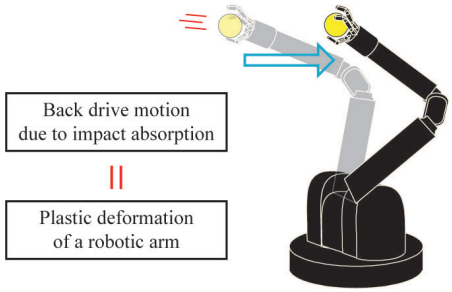
In this study, a deformation control for generating passive response to an external force is designed and implemented. This control strategy treats the shift in position and posture attributable to an external force as the deformation of the robot. The deformation dynamics are constructed from the deformation models, which include plastic and elastic behavior. Next, control methods are proposed to passively achieve deformation characteristics. Physical simulations with a robotic arm are executed to validate the proposed control law.
The single part of plastic deformation control based on the concept can also be seen here.



2.31 塑性変形モデルを用いたロボットアームのインピーダンス制御設計
Plastic Behavior Generation of a Manipulator by Impedance Control

通常のインピーダンス制御は，基本的にバネとダンパを並列に接続した Voigt モデルをベースとしている．そのため，外力に応じて移動する手先に対して，変位の元の位置へ戻るような反発力が常に発生している．同時に，位置の目標値を明示的に設定する必要があるため，接触後において滑らかな受動的挙動を生成することには不向きである．よって，飛来するボールを受け止めるキャッチング動作では，フォロースルー時に衝突方向とは反対に押し返す運動になる可能性があり，把持状態へ移行する前に対象が手先から離脱してしまう原因となる．
本研究では，インピーダンス制御によって受動的かつ低反発なキャッチング軌道を生成するための手法を提案した．衝撃によるバックドライブモーションをロボットの塑性変形と捉えることで，Maxwell モデルに基づく衝撃吸収を実装した．Maxwell モデルにおけるバネとダンパの接続形態に関して，直列表現と並列表現の等価変換が存在することを示した．並列表現ベースと直列表現ベースの制御則を提案し，多関節アームを用いた物理シミュレーションによって有効性を示した．Maxwell モデルの衝撃吸収への適用は，実機実験によるビジュアルショックアブソーバによっても有効性を確認している．

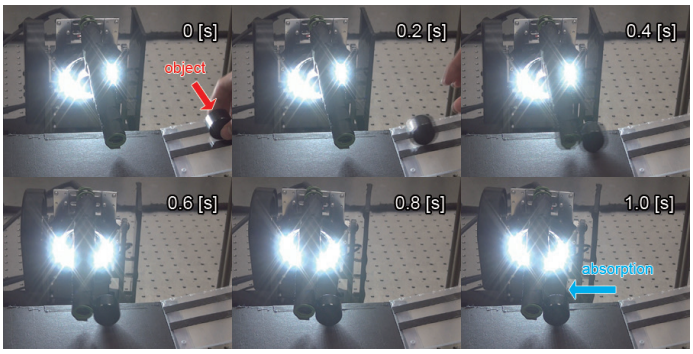
Impedance control for smoothly receiving the impact of an incoming object is designed and realized. The control strategy is based on the idea that the back drive motion of an end-effector attributable to the collision impact is regarded as plastic deformation of the robot. The impedance dynamics is constructed from the Maxwell model, which describes plastic deformation. Next, two types of control methods are proposed in terms of the connection configuration of the spring and the damper. Physical simulation of catching a rolling object with a robotic arm is executed to validate and analyze the proposed methods. Experimetal results based on the concept can also be seen as the Visual Shock Absorber.



2.32 Maxwell モデルに基づく反発防止特性を備えたビジュアルショックアブソーバ
Visual Shock Absorber with Anti-rebound Property Based on Maxwell Model

高速キャッチングの実現を想定し，衝突物体の跳ね返りを抑制したビジュアルショックアブソーバを提案した．反発の抑制をロボットの塑性変形と捉えることで，従来のインピーダンス制御とは異なるMaxwellモデルをベースにした衝撃吸収をおこなっている．受動弾性構造とソフトウェアの可変粘性を直列に接続し，高速ビジョンによって変形認識とダンピング制御を実装したビジュアルショックアブソーバを構築した．実験結果として，転がってくる衝突物体を弾くことなく滑らかに停止することを実現した．

Visual shock absorber is proposed with the goal of achieving anti-rebound of a collision object for high-speed catching. Based on the idea that the trajectory of an end-effector which stops a ball without rebound is regarded as the robot’ s plastic deformation, impact absorption is performed by adopting the Maxwell model which represents plastic deformation. We developed the visual shock absorber which consists of series connection between passive elastic structure and software damper with high-speed vision, whose architecture corresponds to the Maxwell model. Experimental results are shown in which a 2-DOF manipulator with high-speed vision recieves the impact of rolling object without rebound.



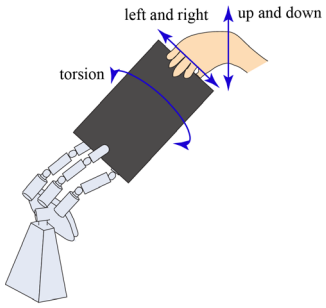
2.33 ダイナミック人間ロボット協調システム
Dynamic Human-Robot Interactive System

本研究では，高速ビジョンシステムと高速ロボットハンドから構成される，高速なロボットハンドシステムを用いて，人間の操作に対して高速かつ低遅延で反応可能なダイナミック人間ロボット協調システムを構築した．その上で，人間とロボットとが同一物体（本研究では板状物体）を把持し，人間の操作にしたがって協調動作（図 (a)）を可能にし，さらに協調動作をしたままで，高精度なペグインホールを実現した（図 (b)）．

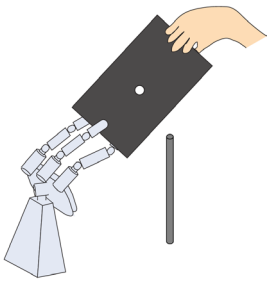
具体的な方法としては，高速ビジョンシステムによって同一物体上の設置したマーカーをトラッキングすることにより，人間が操作する物体の３次元的な位置と姿勢を 1 ミリ秒ごとに認識している．その認識結果に基づいて，人間の意図に沿った協調動作を実現している．ここで，ロボットシステムの高速性を利用することにより，複雑な動力学計算をすることなく，運動学計算のみで実現している点が，本成果の特徴である．

In this research, we developed a dynamic human-robot interactive system which can adapt to a human operation at high speed and low delay, using a high-speed robot hand system consisting of a high-speed vision system and a high-speed robot hand. Then, the human operator and the robot hand grasped the same object, enabled cooperative motion according to the human operations (Figure (a)), and realized a highly accurate peg-in-hole while keeping collaborative motion (Figure (b)).

As the proposed concrete method, by tracking the markers attached on the same object by the high-speed vision system, we recognized the three-dimensional position and orientation of the board to be manipulated by the human operator every 1 millisecond. Based on the visual recognition result, the cooperative motion according to the human motion was realized. Here, it is a feature of this result that utilizing the high-speed performance of the robot system realizes it only by kinematics calculation without performing complex dynamics calculation.



(a) collaborative motion



(b) collaborative peg-in-hole

2.34 高速ロボットハンドを用いた人間との多自由度協調作業
Human Cooperative Task with Multiple Degree of Freedom Using a High-speed Hand System

本研究では，これまでに実現してきた人間とロボットハンドによる協調作業の拡張を目指して，協調自由度の多自由度化を行った．具体的にはロボットと人間が1つのボードを水平に保ちつつ人間が自由な向きに板を動かしロボットが追従するシステムを構築し，これは人間の動きに対してリアルタイムにロボットが反応することを目的とした．物体の状態（位置と姿勢）を計測する画像処理アルゴリズムを実装し，ロボットハンドの逆運動学の制御を提案した．最後に提案された戦略，画像処理，ロボットハンド制御の実験結果を行い，その有効性を確認した．

Recently, robotics research and development have been done actively, and some robots are introduced in human life environment. This means that cooperation between human and robot is significantly important. And it is very interested in human-robot cooperation in that context.

We demonstrated a human–cooperative task multiple degree of freedom using high-speed hand and high-speed camera. In details we have constructed the system in which robots and humans maintain the balance of a board. We constructed a high-speed human-robot cooperative system using high-speed camera and high-speed robot hand. In example task, we focused on the human-robot cooperative task with multiple degree of freedom with visual feedback. We proposed basic strategy of the cooperative task. We explained image processing algorithm for estimating the object state (position and three-dimensional angles). Next, we described inverse kinematics of the robot hand and control of the hand. We showed experimental results of the proposed strategy, image processing, and robot hand control. That task was successful using proposed method.

2.35 人間の手先位置の高速高精度制御に向けた動作支援システム
Assistive System for High-speed and High-accuracy Position Control of a Human Hand Using High-speed Vision and Actuator

人間の動作は非常に柔軟性は高いが，速度と精度が低い．一方，ロボットの動作は柔軟性は低いが，速度と精度が高い．そこで，粗動作を人間に任せ，微動作をロボットが行うことによる，ロボットを用いた人間の動作支援が望ましいと考えられ，新しい人間機械協調の形になる．

本研究では，このような機能を実現するために，人の手の位置を正確に制御するための新しいモジュールを開発し，高速ビジョンシステムによる画像追跡を用いた高速かつ高精度な位置制御システムを構築しました．その性能を評価するために，本システムを用いて円軌道または直線軌道の追従実験を行い，その有効性を確認しました．また，人間だけでは達成できない落下する微小ボールをキャッチするタスクを実現しました．本タスクは人間だけで成功することがほぼ不可能であったが，本システムを用いることにより成功率が大幅に向上しました．

Human motion is very flexible for tasks, while it is low in speed and precision, therefore support and assistance of human motion by robots are considered to be desirable.

In this study, in order to achieve such functions, we developed a new portable module for accurately controlling a human hand position and constructed a high-speed and high-accuracy positioning control system using image tracking by a high-speed vision system. In order to evaluate its performance, we executed tracing tests of circle or line trajectory with the system. Finally, we performed a task of catching a falling small ball, which cannot be achieved by a human subject only. Although the task was nearly impossible to make a success of by a human only, the success rate was dramatically improved with the proposed method.

2.36 人間のマイクロ操作のためのロボットシステム
Human-Robot Cooperation for Micrometer-Order Manipulation Using High-Speed Vision

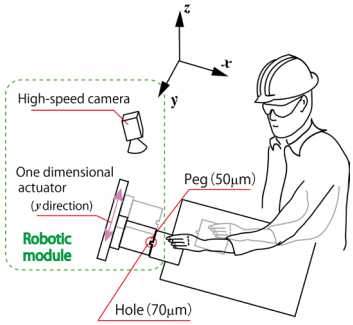
微小物体（マイクロメートルオーダ）の操作において，対象が微小であるため人間の目には見えず，カメラを用いて微小部の拡大図を提示することにより，人間が扱える可能性を高くする．しかし，このようなフィードバックが無い場合，精密な操作は極めて困難である．また，拡大図が提示できたとしても，人間の操作精度には限界があるため，要求される精度（例えば，マイクロメートルオーダ）によって，タスク実現が困難な場合も多く，多大な時間を要する．

そこで本研究では，高速ビジョンと高速アクチュエータから構成されるロボットモジュールを用いて，対象の位置誤差を補償する機能を追加することにより，マイクロメートルオーダの微小物体の操作を可能にする．特に，画像内の相対座標系において高速高精度で位置制御技術（Dynamic Compensation）を導入することにより，人間の粗い動作を補償しながら，マイクロメートルオーダの繊細な作業を実現する．

具体的なタスクとしては，70 マイクロメートルの凹部に 50 マイクロメートルの凸部を挿入する超精密操作を実現している．凹部のあるアルミ材は高速アクチュエータに固定し，凸部のあるアルミ材は人間がが把持し，挿入操作を行う．このとき，高速ビジョンでアルミ材を観察することにより凹凸部を検出すると同時に，凹凸部の位置誤差を計測し，その誤差が無くなるように高速アクチュエータが凹部の位置を制御する．

Usually, it is easy for humans to perform macro manipulations with visual feedback. However, due to poor visual acuity, it becomes difficult for humans to accurately perform micrometer-order manipulation. To solve this problem, we propose to improve the human manipulation performance through robotic cooperation by a high-speed robotic module. The robotic module consists of 1,000 fps high-speed vision and high-speed actuators to realize robust visual supervision and fine accommodation to human coarse manipulation. As a result, the system enables human to realize high precision manipulation while the workload can be reduced and the working efficiency can be improved. As a demonstration task, micrometer-order peg-and-hole alignment in two dimension is presented here. The 1-DOF robotic module drives the workpiece with hole (with a diameter of 70 μm) on it. It aligns the hole with the peg (with a diameter of 50 μm), which is held by the human, by adapting its position with micrometer-order accuracy.

This technology can be useful in many industrial applications. For example, it can be used in the precision assembly & fabrication industry to improve the production quality and efficiency of human workers. It also can be adopted in extreme work environments such as in outer space, where light or zero gravity hinders highly accurate human manipulation.



2.37 高速ビジョンとロボットハンドを用いた人間協調システム
Human-Robot Cooperative System using a High-speed Vision System and a Robot Hand

近年，ロボットの研究開発が目覚しく，人間の生活環境にロボットが導入されつつある．このことは人間とロボットの共存の必要性を意味している．ロボット単体で行うような動作がある一方で，人間とロボットの共存という観点では人間とロボットが同じ作業を行うことは興味深い．

そこで本研究では，ロボットハンドと人間の協調作業，特にロボットハンドと人間が共同で板状の物体を傾けないように支えるという動作を目標とした．具体的には人間が物体の一端，ロボットハンドが他端を持ち，物体を水平に支えるというタスクを想定し，これを高速ロボットハンドシステムを用いて実現した．

Recently, robotics research and development have been done actively, and some robots are introduced in human life environment. This means that cooperation between human and robot is significantly important. And it is very interested in human-robot cooperation in that context.

In this research, we aim at a realization of human-robot cooperative task that the board which is grasped by a human subject and a robot hand is controlled to be keep horizontally. By using the high-speed robot hand system, we achieved this task robustly.

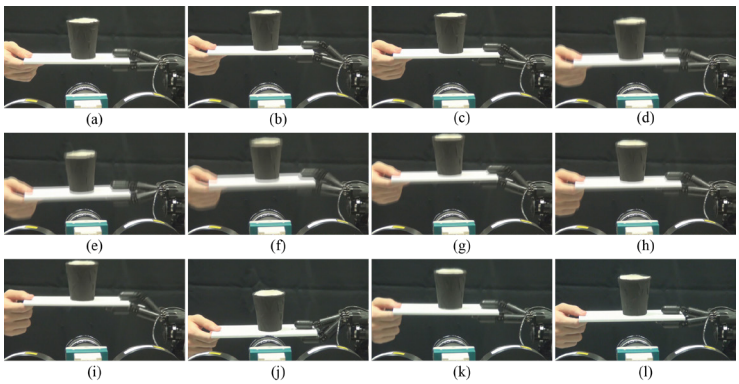


図1. 協調タスクの実験結果(連続写真)
Figure 1. Experimental result of cooperative task (continuous photos)

2.38 高速ビジョンと高速多指ロボットハンドを用いたテレマニピュレーションシステム
Telemanipulation System Using High-Speed Vision and High-Speed Multifingered Robot Hand

近年，異なる場所に存在するロボットハンドを人間が操縦するマスタスレーブ型ロボットハンドシステムに関する研究が進んでいる．特に，マスタ側の人間の手の位置情報センシングを非接触で行い，人間の手の動作に対応するようにスレーブ側のロボットハンドを動作させるシステムは，操作性の観点から有用性は高いと考える．このようなシステムに対して，頻繁に状況が変化するような動的なスレーブ環境下で適切な動作を実現するためには，人間の高速な動作の計測とその再現，高応答速度，そして高速な触覚情報の取得が必要である．

そこで本論文では，高速ロボットハンドシステムを用いたマスタ・スレーブ型システムを提案する．このシステムは人間の手の高速な動作を高時間分解能でスレーブ側で再現可能で，かつ入力から出力までの応答速度が極めて高く，人間の視覚認識速度を凌ぐ．また，ロボットハンド側で操作する物体の硬軟情報を高速に取得できる．構築したマスタスレーブ型ロボットハンドシステムを用いたいくつかの具体例を基に，提案システムの有効性を確かめた．

Recently, there has been significant progress in the development of master-slave robot hand system. Especially we focus on master-slave robot hand systems that can realize non-contact sensing and intuitive mapping between human hand motion and robot hand motion. Such a master-slave robot hand system can be effective from a viewpoint of usability. However, conventional systems are not able to adapt to dynamically changing environments because of their high latency from input to output.

Therefore, we developed a master-slave manipulation system using a high-speed robot hand system. This system can reproduce the high-speed motion of human hand at the slave side, and the latency of the proposed system is so small that humans cannot recognize it. Furthermore, the hardness of target object can be measured at high-speed. We confirmed the effectiveness of our proposed system through experiments.

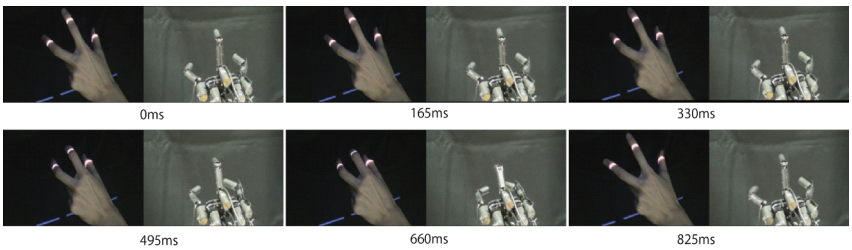


図1. テレマニピュレーションの実験結果(連続写真)
Figure 1. Experimental result of telemanipulation (continuous photos)

2.39 ワンボード・USB 給電タイプの高速・高精度近接覚センサ
One board, USB Type High-speed, High-precision Proximity Sensor

単一基板，単電源で高速・高精度計測が可能な近接覚センサを開発しました（Fig.1）．距離検出の範囲は 0～ 30mm，傾き角度は -45 ～ +45° であり，USB 給電で 1ms 周期での計測が可能です．
近距離での有効分解能は従来［1］の 1.6 倍の高分解能（<26.7μm）を実現しました．

Fig. 2 は開発したセンサの回路ブロック図です．以前に開発した特殊な光学式三角測量センサの回路構成［1］をベースに，初段のアンプ回路を 0.18μm COMS プロセスでカスタム IC 化しました．更に，後段の信号処理回路をデジタルフィルタ化することで計測精度を向上させつつ薄型化しました．

このセンサをロボットハンド指先に搭載することで，高速に指先位置を調整可能になります．この動作は例えば協働ロボットアームのダイレクトティーチング後の手先位置誤差の修正や，カメラの推定誤差の修正に利用できます．また物体表面の形状を高精度にスキャンすることも可能です．

上記の研究成果は，東京大学石川グループ研究室と豊田合成株式会社との共同研究です．

We have developed a proximity sensor that enables high-speed, high-precision measurement with a single board and a single power supply (Fig. 1). The range of distance detection is 0 to 30 mm, the tilt angle is -45 to + 45 ° , and measurement period is 1 ms with USB power supply.

The distance resolution at short distances is 1.6 times higher (<26.7 μm) than the previous sensor [1].

Fig. 2 is a circuit block diagram of the developed sensor. Based on the circuit configuration of the special optical triangulation sensor developed in the past [1], amplifier circuit (the first stage) was made into a custom IC by the 0.18 μm COMS process.

Furthermore, by replacing the analog circuit (latter stage) with a digital filter, the measurement accuracy is improved and the size of sensor is reduced.

When this sensor is mounted on the fingertips of a robot hand, the fingertip position can be adjusted at high speed. For example, it can be used to correct the hand position error after direct teaching of the collaborative robot arm and to correct the camera estimation error. It is also possible to scan the shape of an object surface with high accuracy.

This work was conducted by a joint research project between Ishikawa Group Laboratory and Toyoda Gosei co., ltd.

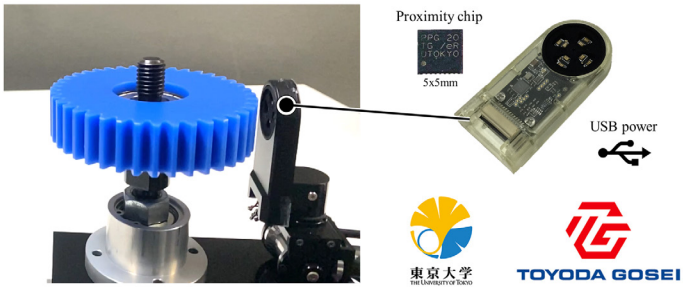


Fig.1. Overview of one board, USB type high-speed, high-precision proximity sensor and proximity chip (CMOS custom chip)

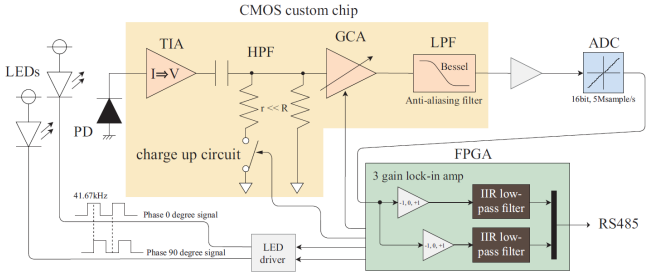
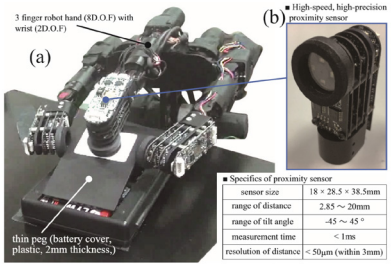


Fig.2. (a) Block diagram of the circuit.

2.40 Super tactile-based active touch による薄板部品の高速・低反力挿入
High-speed, low-contact force insertion using super tactile-based active touch

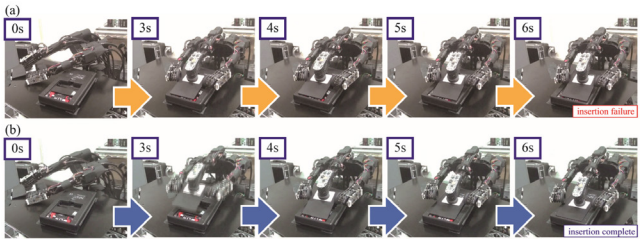
高速・高精度近接覚センサによる高感度な接触検知を利用した新たな組立戦略を提案しました．高速軽量ハンドの2指で把持した薄板部品の姿勢を残り1指の近接覚センサで計測することで挿入位置を調整する戦略です．薄板部品の姿勢変化を基準に部品同士の接触と挿入位置を検出するため，極めて小さい接触力でかつ高速に組立作業ができます．近接覚センサによる高感度な接触検知(超触覚，Super tactile)となぞり動作(アクティブタッチ，active touch)を組み合わせた戦略であるため，〝Super tactile-based active touch〟と呼んでいます．



We propose a new assembly strategy that uses high-sensitivity contact detection with our high-speed, high-precision proximity sensor. The insertion position is adjusted by measuring the posture of thin plate part grasped by two fingers of the high-speed lightweight hand. Since the contact between the parts and the insertion position are detected based on the change in the posture of the thin plate parts, the robot hand can insert the parts at a high speed with an extremely small contact force. This is a strategy that combines high-sensitivity contact detection (super tactile) with the proximity sensor and tracing motion (active touch). We therefore call it "Super tactile-based active touch".

以下の写真は(a)ティーチング軌道のみで挿入を行った場合と，(b)ティーチング軌道とSuper tactile-baesd active touchを使用した場合の挿入結果です．(a)ティーチング軌道のみの場合，ティーチングの位置誤差により挿入を失敗しますが，(b)Super tactile-baesd active touchを用いることで位置誤差を修正し挿入を達成可能です．薄板部品のペグインホールはほとんど研究されておらず，センサフィードバックベースでの高速挿入戦略の提案は我々が知る限り初です．

The following pictures are (a) when the insertion is performed only on a teaching trajectory, (b) insertion result when the teaching trajectory and super tactile-baesd active touch are used. In case of (a) only teaching trajectory, insertion task was failed due to position error. On the other hand, in case of (b), position error could be corrected and insertion could be achieved. The proposal of a high-speed insertion strategy based on the sensor feedback is the first known to us.



2.41 高速視覚・近接覚センサを用いたマシュマロの非変形キャッチ
High-Speed, Non-deformation Catching of a Marshmallow with High-speed Vision and Proximity Sensor

高速ビジョンセンサと高速・高精度近接覚センサを備えた1msセンサフュージョンシステムを開発しました．1msで物体の中心位置と距離を検出することで，単純な制御によりロボットの指先位置を高速・正確に制御可能となり，従来の剛体キャッチに加えて柔軟物キャッチが可能になりました．高速・高精度近接覚センサの距離値に基づいて 接触判定を行うため，接触力に依存しない把持が可能であり，柔軟物（マシュマロ）を潰す前に指先を停止させることができます．

本成果は，柔らかさ特性が未知な物体を高速・非変形での把持が可能になることから，食品を扱う製造ラインへの応用が考えられます．特に現在，人間の作業者に頼りがちな「箱の組立」，「ケーキ類の把持」，「箱のパッケージング」などの複数作業を含む工程への応用が期待できます．

We developed the 1ms sensor fusion system with the high-speed active vision sensor and the high-speed, high-precision proximity sensor. The control algorithm of the high-speed robot hand became simple and robust by the combination of the sensor feedbacks, because the combination of the feedbacks enabled continuous sensing from non-contact to contact state with high-resolution without visual occlusion. Since the contact was detected based on the distance value of the proximity sensor, the hand could control fingertip position without depending on the contact force. The hand could stop the fingertip motion before deforming the sof object (marshmallow).

The feedback control makes it possible to grasp sodt objects with unknown characteristics at high speed and non-deformation. Therefore, the control can be applied to manufacturing lines of soft foods. Especially, it can be expected to be applied to processes including multiple works such as "assembly of boxes", "grasping of cakes" and "packaging of boxes".

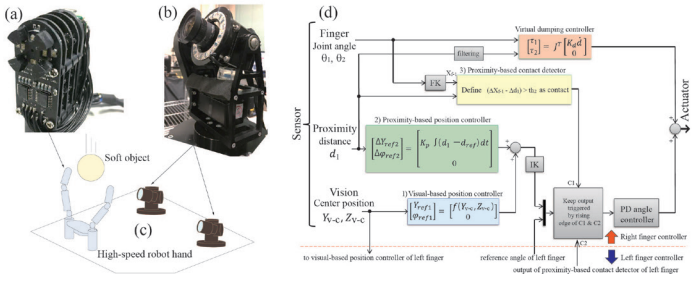


Fig. 1: (a)The high-speed, high-precision proximity sensor, (b)The high-speed active vision sensor, (c)illustration of the catching experiment and 1ms feedback control modules.

2.42 高速・高精度近接覚センサを用いた紙風船キャッチ
High-Speed Catching of a Paper Balloon using High-Performance Proximity Sensor

従来よりも高速かつソフトタッチなキャッチ動作を実現するために，指先サイズの高性能近接覚センサを開発しました．本センサは物体の色や明るさ（光の反射率）によらず距離と傾きを検出します．計測時間は従来の測距センサの1/10以下（<1ms）であり，近距離における距離計測のばらつきは1/129以下（<31 μm, peak-to-peak）です．検出原理は過去に提案された方式（増田，長谷川，佐々，1981）を使用していますが，我々はこの原理に適したアンプ回路を導入し，検出素子の光学設計を最適化することで小型化，高速・高精度化を達成しました．本センサにより，非接触での距離・傾きと接触を高感度に検出する〝超触覚センシング〟が可能となり，落下する紙風船を潰さずにキャッチすることに成功しました．

本研究は物体位置や姿勢，形状の誤差，柔らかさの違いに応じた自律的かつ高速な把持・操作を目指す研究であり，柔軟物と剛体の両方を取り扱う生産ラインやホームサービスロボットなど，様々なロボット分野への応用が考えられます．今後は高速ビジョンセンサと近接覚センサの1msセンサフュージョンにより，より高速性と精密性が求められるキャッチ動作の実現を目指します．

For high-speed and super soft-touch catching, we developed a fingertip-size, high-performance proximity sensor. The sensor detects tilt angles of and the distance to an object surface independent of the reflectance. The measurement time is within 1 ms an the peak-to-peak distance error in a short distance is less than 31 micro meters. Although the detection principle is a method proposed in the past (Masuda et. al, 1981) , we designed an analog circuit suitable for the principle and optimized the optical design of the detection element. We achieved small-size, high-speed and high-accuracy proximity sensor. High-speed, high-accuracy measurement enables "super tactile sensing" which continuously detects the object from non-contact to contact state, allowing the robot hand to grasp a fragile object at high speed and with a soft touch. The hand was able to catch the paper balloon with a deformation equal to or less than that achievable by a human performing the same catching task.

The hand autonomously adjusts the grasping position according to the object position, posture, shape and softness. This technology can be applied to various robot fields such as industrial robots and home service robots. Now, we are developing 1ms sensor fusion system with the high-speed vision sensor and the proximity sensor. We will realize more challenging, high-speed and precise catching.

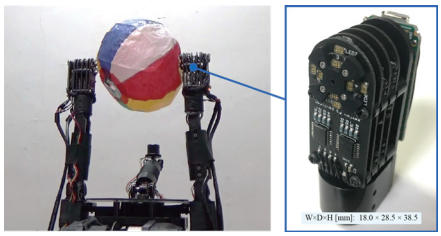


Fig.1. The high-speed robot hand equipped with the high-performance proximity sensor

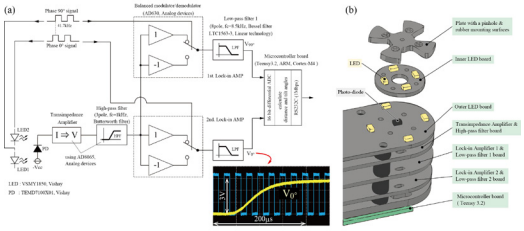


Fig.2. (a) Block diagram of the circuit. (b)Schematic diagram of the arrangement of the circuit board.

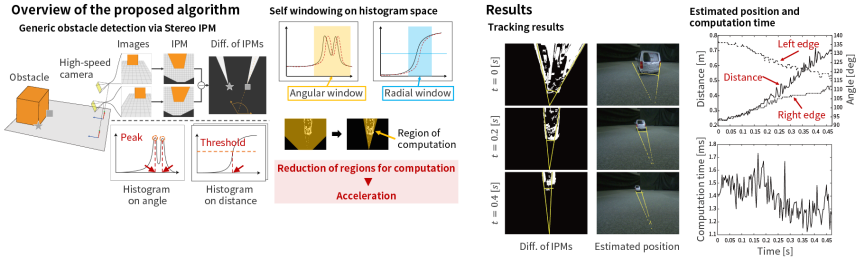
2.43 移動ロボットのための高速障害物トラッキング
High-speed Obstacle Tracking for Mobile Robots

ロボットが周辺環境を適切に認識することは，安全なオペレーションを実現する要素技術のひとつである．特に，ロボットの移動領域に物体が侵入したときに，その存在をすばやくかつ確実に検知し，追跡する技術は鍵となる技術であり，移動ロボットの代表的な例である自動車においても，安全な自動運転技術や先進運転支援システムの確立に向け，盛んに研究が進められている．例えば交差点等における出合い頭衝突事故の回避では，障害物が視野に入ってから衝突回避行動を取るまでに許される時間が数ミリ秒と非常に短く，高速な障害物認識技術の開発が重要となる．

本研究では，高速ビジョンを用いた一般物体の高速トラッキング手法を提案する．移動ロボットにおける様々な障害物に対応するため，モデルや学習を必要とせずに障害物の検知と障害物までの距離の推定が可能なステレオ逆透視投影法を用い，さらに検知した対象の周辺のみ処理を行うセルフウィンドウ法により高速化を図ることで，500fps以上の高速なトラッキングを実現する手法を提案した．

Fast Recognition of the surrounding environment is a central topic for mobile robots. Detection and tracking of obstacles at an earlier stage contribute to safer operations. For instance, in intelligent transportation systems, collision avoidance at intersections with poor visibility requires very high responsiveness. Time for performing an appropriate maneuver is reportedly only a few milliseconds.

In this study, we propose a high-speed tracking technique of generic obstacles on the ground surface using stereo high-speed vision. Obstacles are detected by stereo inverse perspective mapping (stereo IPM) as illustrated in the figure below and then tracked at high speed by exploiting the traits of high-speed vision — a huge computational load reduction by the self-windowing method applied to the histogram spaces. Experiments using RC car demonstrated over 500 fps real-time tracking.



2.44 下向き高速ビジョンによる自車両位置推定
Visual Odometry via Downward High-speed Vision

自動車やトラックを含む広義の移動ロボットにおいて，自己位置推定は基本的でありながら最重要技術の一つである．車両を対象とした自己位置推定では，航法衛星を用いた全球測位衛星システム（GNSS: Global Navigation Satellite System）が現在もっとも一般的に用いられているが，衛星との通信が困難なトンネル内や，アーバンキャニオンと呼ばれる高層ビルに囲まれた場所では，精度が著しく低下することが知られている．こうしたGNSSの持つ欠点を補うため，車両に搭載したセンサの情報を利用して車両の移動量を逐次推定し，相対的な自己位置を推定するデッドレコニング（Dead reckoning）が研究されている．

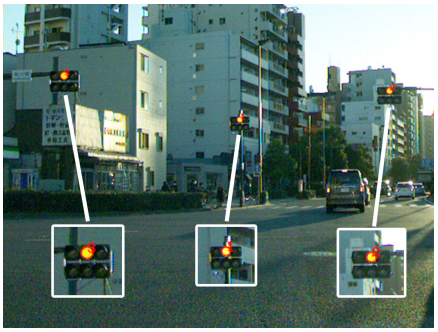
このような背景のもと本研究では，下向きに設置したカメラを用いることで路面を基準とした自己位置推定手法を提案する．特に真下に向けたカメラを用いることで通常3次元で扱われる移動推定問題を2次元に帰着させる．さらに自動車などの高速な移動体では撮像の間に移動する距離が長いため，高速カメラを用いることでこの問題を解決する．本研究では真下を向けたカメラを利用しているため，画像間の変形は相似変換を仮定できることを利用し，雪面などの特徴に乏しい路面においても高精度に推定可能な回転不変位相限定相関法（RIPOC）を用いて画像間の移動量を推定する．

Self-localization of a mobile robot has become a key technology to achieve various kinds of applications ranging from vehicle navigation to autonomous driving. While Global Navigation Satellite System (GNSS) is widely appreciated for vehicle localization, its accuracy considerably decrease at a place surrounded by skyscrapers, or inside a tunnel where GNSS module no longer communicates with satellites. Manufacturer and researchers have devoted their efforts to compensate for such weakness, by using vehicle-attached sensors capable of retrieving vehicle's motion.

We propose a visual odometry technique using high-speed cameras installed vertically to the ground. Thanks to this camera configuration, we can reduce the problem to a continuous two dimensional image registration problem since transformation between adjacent frames can be regarded to be affine. While this configuration narrows the field of view to a very small region, high-speed cameras solve the issue by capturing frames every few milliseconds to make adjacent frames have enough overlaps to successfully estimate image displacements even in high-speed motion. We employed rotation invariant phase-only correlation as an image registration technique to achieve robust and accurate estimation even on the surface of extremely poor texture like snowy surface.



2.45 高速ビジョンを用いた信号機検出
Traffic Light Detection Using High-speed Vision



ITSにおいて交通の流れを大きく支配する交差点は重要箇所である．交通死亡事故発生件数は交差点とその付近で約50%を占めていると同時に，エコの観点では遠方の信号機の的確な認識により無駄な加減速や急ブレーキを極力なくしたスムーズな交差点通過も可能となるため，運転支援において信号機は主要な情報である．本研究では，画像情報による信号機検出として，LED 信号機の時間的点滅パターンを利用した手法を提案している．LED信号機は商用電源に依存した周期的な高周波点滅をおこなっているため，この特徴を高速カメラで抽出することにより信号機検出を実現する．

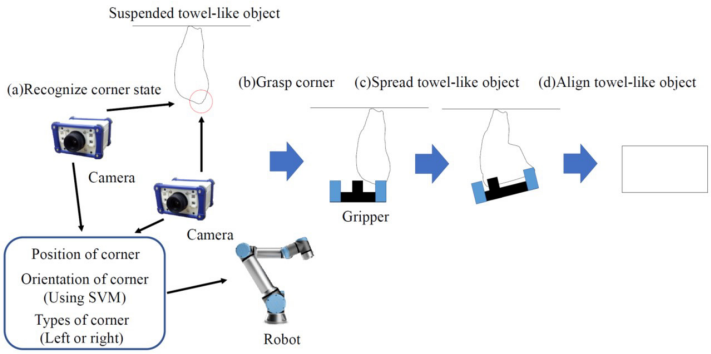
Automatic traffic light detection plays an important role for driver-assistance system and autonomous vehicles. Based on the fact that LED traffic light flashes in proportion to the input AC power frequency, we propose a traffic light detection method which focuses on the flash pattern extraction using high-speed vision. Exploiting temporal information is shown to be very effective in the experiments. It is considered to be more robust than visual information-only methods.

2.46 吊り下げられた面状柔軟物体に対する展開および整列動作の連続操作

Continuous Manipulation of spreading and aligning operations for a suspended flexible object

近年，リネンサプライ業界等で，タオルの様な面状柔軟物体操作の自動化が期待されている．操作の一例として，バラ積みにされたタオルを取り出し，後工程のために決められた位置に展開して設置する操作が挙げられるが，タオルの操作中に変形が起きたり，操作中の変形状態を推定することが難しいため，従来のロボットシステムでは実現が困難である．これに対して，我々は人とロボットの協調動作（静的マニピュレーション）と高速なロボット動作（動的マニピュレーション）を組み合わせることにより，タオルの整列操作を実現してきた．本研究では，さらなる自動化を目指し，タオルの展開動作をロボットで高速に行い，整列操作までを連続して実現する方法を提案した．タオルの展開動作に関しては，2台のToFカメラの情報を用いて吊り下がっているタオルの最下点をコーナーとして抽出し，そのコーナーの状態を機械学習ベースの方法で認識し，その認識結果に基づいてロボットの把持動作を実現した．その後，新規に開発したエンドエフェクタ（両端に固定したグリッパとその間を移動するグリッパ）により展開動作を実現したのち，整列動作までをロボットアームを用いて実現している．

In recent years, there has been an increasing demand for robotic handling of towel-like objects in linen and laun- dry services. One such task involves picking up a towel randomly and aligning it to a predetermined position and posture. However, it is difficult for robots to handle these towel-like flexible objects because deformation occurs during robotic manipulation, and manipulation based on estimation of deformation status is rather challenging and unfeasible for most robotic systems. To solve this problem, we achieved this task using a method that combines human–robot cooperation for static manipulation (grasping) and high-speed robotic motion strategy for dynamic manipulation (aligning) in our previous work. In this reserach, we propose a method to realize the towel spreading operation by a robot at high-speed and the towel alignment operation continuously, aiming at further automation. For the towel spreading operation, we extracted the lowest point of the suspended towel as a corner using information from two ToF cameras, and recognized the state of the corner using a machine learning-based method, then we realized the grasping motion of the robot based on the recognition result. After that, a newly developed end-effector (a gripper fixed at both ends and a gripper that moves between them) is used to realize the spreading motion, and the robot arm is used to realize the alignment motion.



2.47 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速３次元位置補償システムの開発

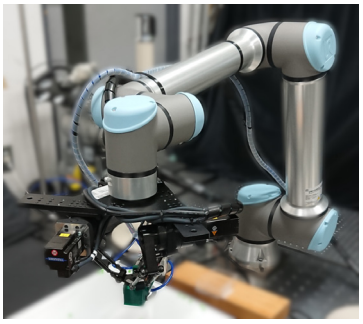
Development of High-speed 3D Position Compensation System with High-speed Visual Feedback

ユーザの多様なニーズの高まりに伴い，製造ラインは従来の少品種大量生産から多品種少量生産へ移行しており，機械や産業用ロボットの柔軟性や知能化が，求められている．これに対して，我々は既存のロボットや人間が操作する機械の先に，高速なセンサ情報に基づいて高速なアクチェータを制御する補償モジュールを搭載する動的補償に基づく知能システムを提案しており，これまでに動的補償を用いたシステムを開発し様々なタスクを実現してきた．

しかし，先行研究では補償動作が２次元動作に限定されていた．そこで，本研究では，高速，高精度な３次元動作を目指して，高速ビジュアルフィードバックを用いた高速3軸位置補償モジュールを開発した．具体的には，ロボットアームの手先に搭載できる小型軽量の3軸（x,y,z軸）デルタロボットであり，手先に高速ビジョンを搭載したシステムを構築した．そして，レーザ変位計を用いて水平方向（x,y軸方向）精度の計測を行い，動作精度が，半径3mmの円軌道において20Hz以下であれば誤差は7%以下になること，繰返し位置精度が，z軸方向に水平方向の50%の移動があった場合でも移動距離の1.3%以下になることを確認した．

With the increasingly diverse needs of users, the production line is shifting from the conventional low-mix high-volume production to high-mix low-volume production, and the flexibility and intelligence of machines and industrial robots are required. In response to this, we have proposed an intelligent system based on Dynamic compensation, in which a compensation module that controls a high-speed actuator based on high-speed sensor information is installed ahead of existing robots and human-operated machines, and developed a system that uses dynamic compensation to perform a variety of tasks.

However, in previous studies, the compensation motion was limited to two-dimensional motion. Therefore, in this study, we developed a high-speed 3-axis position compensation module with high-speed visual feedback for high-speed and high-accuracy 3-D motion. Specifically, we constructed a compact and lightweight three-axis (x-, y-, z-axis) delta robot that can be mounted on the end point of a robot arm. We measured the horizontal accuracy in the x- and y-axis directions using a laser displacement meter, and confirmed that the motion accuracy was less than 7% at 20 Hz or less in a circular orbit with a radius of 3 mm, and that the repeatability was less than 1.3% of the distance traveled even when there was 50% horizontal movement in the z-axis direction.



実験システムの外観
Overview of the experimental system

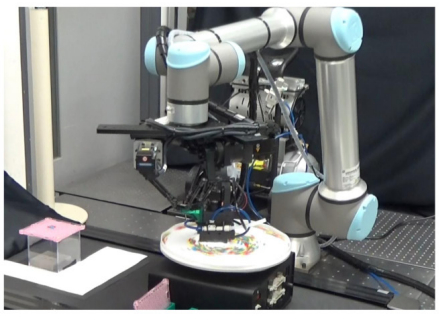
2.48 動的補償に基づく全自動ビーズアート組立て
Fully Automated Beads Art Assembly based on Dynamic Compensation Approach

近年スマートマニュファクチャリングやインダストリー 4.0が注目されている様に，従来の多量少品種生産から，少量多品種・短サイクルの生産への移行という生産の変化や，パンデミックによるサプライチェーンへの大きな被害により，作業者への依存度を減らす生産の自動化や次世代の製造システムが望まれており，これに対して，我々は産業用ロボットの知能化に向けて動的補償を提案してきた．

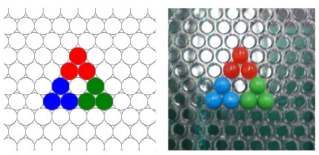
本研究では，オーダーメイドビーズアートの自動組立てを題材に，簡略化されたスマートマニュファクチャリングの実装を示す．具体的には，産業用ロボットアームの手先に三次元位置補償モジュールを搭載したシステムを用いて，ベルトコンベアに見立てた回転ステージ上のビーズをピックアップして，ビーズアートの作成を行う．ロボットを動的補償に基づいて制御することで，生産品質に直接影響を与えるリアルタイムでの作業対象に対する位置精度と，人間の介入や事前設定に頼ることなく，オンラインの変更や不確実性に長期的に適応できることを表す動作計画の知能化という，自動組立てに必要な相反する動作帯域の動作を両立することが可能である．

Smart manufacturing within the context of Industrial 4.0 has become increasingly important in the context of manufacturing evolution, which is changing from traditional high-volume, limited-species production to low-volume, multi-species, short-cycle production. Moreover, the significant damage to the supply chain caused by the pandemic has proven the urgency to build next-generation manufacturing systems that are resilient to future pandemics, requiring the strengthening of robotic automation and less reliance on humans. In response to this, we have proposed Dynamic compensation to improve the autonomy of industrial robots.

In this study, we demonstrate the implementation of a simplified scenario of smart manufacturing of made-to-order bead art. Specifically, using a system equipped with a three-dimensional position compensation module at the end of an industrial robot arm, the proposed system picks up beads on a rotating stage that resembles a belt conveyor and create bead art. By controlling the robot based on dynamic compensation, it is possible to achieve conflicting bandwidths behaviors required for automatic assembly: real-time positional accuracy of the working target, which directly affects production quality, and intelligent motion planning, which represents long-term adaptation to online changes and uncertainties without relying on human intervention or preconfiguration.



Beads picking



Design　　Result

ビーズアート組立ての様子と結果
Beads art assembly and result

2.49 金環日食の過程を模倣したペグ・アンド・ホールアライメント
Realizing Peg-and-Hole Alignment by Mimicking the Process of an Annular Solar Eclipse

この研究では図1に示すように,マイクオーダーのクリアランスを目指した軸と穴の位置合わせのためのロボット支援技術を実現する.ロボット支援の目的は,人間が大まかな位置合わせを行う同時に,動作支援ロボットが細かい誤差を補正しながら人間だけでは困難な高精度作業を実現する.

ロボット支援による軸と穴の位置合わせの微調整は図2と図3に示すように,金環日食の過程を模倣し,日食に相当する部分の画像特徴(穴部分(小さな歯車：貫通穴の内径1 mm)と軸部分(直径0.95 mmのシャフト)の表面を差し引くことによって計算され)の第一と第二主成分軸を計算し,適切な制御則を使って実現した.提案手法の有効性を実験評価により検証したところ,±25μmのクリアランス以下の誤差での位置合わせを実現した.

This study focuses on robotic assistance scenario for peg-and-hole alignment with micrometer-order clearance as shown in Fig.1. The objective of the robotic assistance is to cooperate with a human operator based on a coarse-to-fine strategy in which the human operator conducts coarse alignment and the robotic assistance realizes fine alignment.

Robotic-assisted fine alignment was achieved by mimicking the process toward annularity of an annlar solar eclipse as shown in Fig.2 and Fig.3. The first principal axis of a specified image feature (we call it a eclipse feature) was calculated by subtracting the surfaces of a hole part (a small gear with an inner diameter of 1 mm) and a peg part (a shaft with a diameter of 0.95 mm). Control strategy was developed to realize accurate alignment. The effectiveness of the proposed method was verified by experimental evaluation, which showed that peg-and-hole alignments were successfully realized with errors smaller than the clearance of ±25μm.

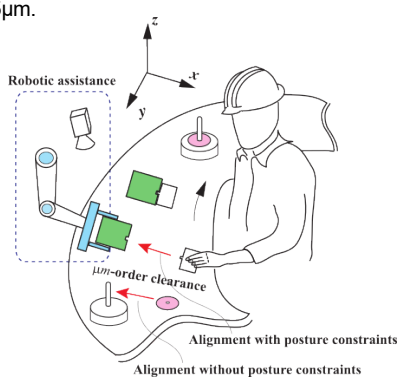


Fig.1 Scenario of human–robot collaboration for peg and hole alignment.

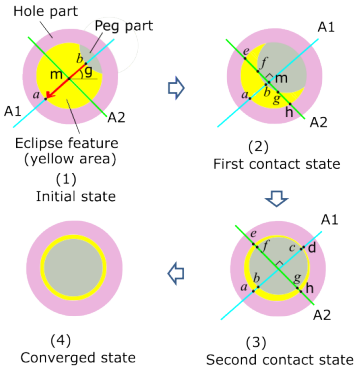


Fig.2 Alignment strategy mimicking annular solar eclipse

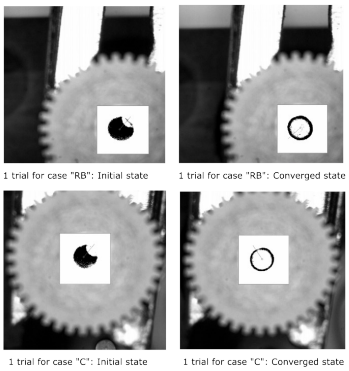


Fig.3 eclipse features of initial and converged states for hole positions at RB and C

2.50 動的補償ロボットによる動的塗布の応用
A sealant dispensing robot for applications with moving targets

一般的な産業用ロボットは,速度・精度・不確定要素に対する適応能力三者を同時に成立させることが難しい.これに対して,我々は高帯域でのセンシング・動作によるローカル誤差吸収と低い帯域でのグローバル計画動作を並列に行う動的補償を提唱している.本研究ではこの動的補償に基づいて,コンベア上を流れている事前情報(置く位置・姿勢,塗布形状などの情報を指す)のない部品に対する高精度な塗布作業の実現を可能とするロボットの設計・開発を行う.

図.1で示すように,本研究で実現したロボットは広い範囲を動作するアーム部と狭い範囲内を高速動作が可能なハンド部に分けられる.アーム部は,高い動作精度を求められず,長期間の視点で適した軌道計画およびタスク計画を含む低周波の知能計画に専念する.その一方で,ハンド部は高速フィードバック情報を用いて作業ツールと対象の間のローカル誤差を高周波に吸収する.評価実験として,コンベアの移動速度を30 mm/s(事前情報として用いない)に設定して,形状や寸法など事前情報がないワーク(2パターン(ワークA,B),一番狭い部分の幅は1.5 mm 程度)を,ワークA,Bの順に任意の姿勢でコンベア上に置き,連続塗布実験を行い,図.2に示した結果の通り,十分に綺麗な塗布(ノズル径は1.0 mm)を実現した.

ロボットの高い動作帯域での精確性および低い動作帯域での適応性を同時に成立させるための動的補償手法の一応用例を通じて,FA・製造ラインの高速化・高精度化・高知能化の実現を示した.

Traditionally, it is difficult for a general robot to achieve fast speed, good accuracy, and good adaptability to unstructured environment simultaneously. In this research, we developed a sealant dispensing robot for moving targets of no prior knowledge (shape, placed pose and position, moving speed, etc.) based on our previously proposed dynamic compensation framework. To realize accurate sealant dispensing for works of unknown shape that are randomly placed on a moving conveyor, the robot as shown in Fig.1, was designed based on a coarse-to-fine strategy such that an arm part (2-DOF) for long-term adaptation of uncertainties in a global manner (global planning), and a hand part (2-DOF) for real-time adaptation of uncertainties in a local manner (real-time error absorption). Specifically, the hand part was capable of high-speed feedback motion control by utilizing 1,000 fps vision feedback. Primary evaluation results as shown in Fig.2 demonstrated the effectiveness of the developed system.

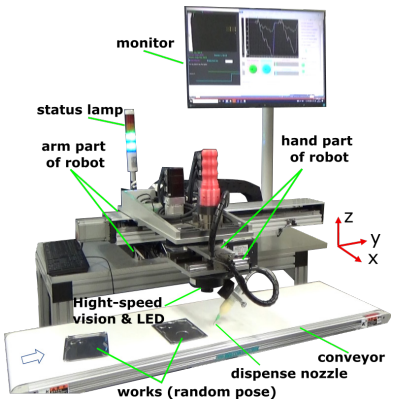


Fig.1 Developed robot system



Fig.2 working target before and after dispensing

2.51 2D/3D 視線制御に基づく肢体不自由者向けの生活支援ロボットの実現

Robotic Assistance for Extended Sensing, Locomotion and Manipulation by Gaze Control

本研究では，図．1 に示すように，視覚障害がない肢体不自由者の日常生活によくある感知、移動、操作など具体的なニーズを満たすためのロボット支援の実現を目的としている．特に，車いす利用による自律移動やロボットアームによる操作支援などロボット支援に加え，肢体不自由者だけでは実現困難になる周囲環境に対する感知支援（例，車いすに座っているユーザーが冷蔵庫上部の中にある食品（目視不可能）を探したい）を実現している．

提案手法の有用性を検証するために，以下の応用シナリオで実験検証を行った．車いすに座っているユーザーが視線制御のみでロボットシステムを利用して約5メール離れている棚（高さ：約1.15 メール）の上に置いてある段ボールの中から目標ペットボトルを取り出す．車いすに座っているユーザーの視点からは段ボールの中に入っているものを見ることができないため，視線制御を利用して車いすによる移動支援、ロボットアームの手先にあるカメラによる感知支援およびロボットアームによる操作支援を一連の流れで実現する．

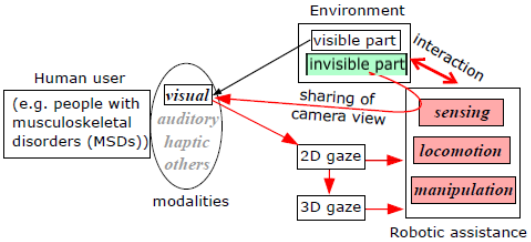


Fig.1 Proposed concept

For people with severe sensory-based motor disorder or musculoskeletal disorders, robotic assistance becomes a promising solution to improve their daily living standards. In this study we propose a robotic assistance method to realize extended sensing, locomotion as well as manipulation for a user to interact with the environment utilizing a 2D/3D gaze interface. Specifically, the proposed method focus on the situation where a user desire to explore the environment beyond their physical perception capability, requiring the robotic assistance of realizing extended sensing. The proposed 2D/3D gaze interface is wearable, unrestrained to users, and it is straightforward to give commands for robot control. Primary studies showed the effectiveness of the method in an indoor environment to fetch an invisible target from a box on a shelf.

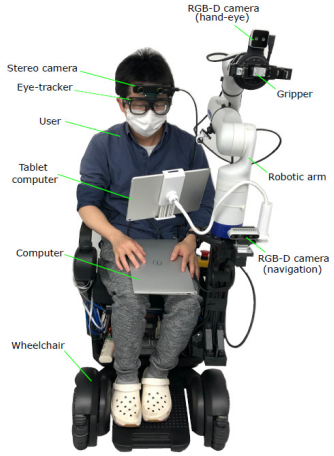
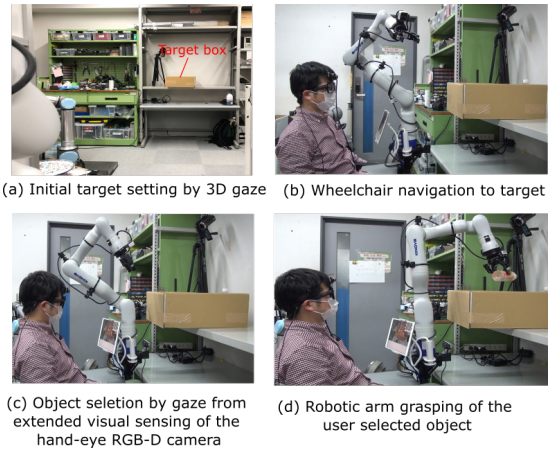


Fig.2 Developed system



(a) Initial target setting by 3D gaze (b) Wheelchair navigation to target

(c) Object seletion by gaze from extended visual sensing of the hand-eye RGB-D camera (d) Robotic arm grasping of the user selected object

Fig.3 Snapshots of experimental process

2.52 高速 3D ビジョンと市販ロボットアームの統合
Utilizing High-Speed 3D Vision for a Commercial Robotic Arm

ロボットが環境や作業対象を観測し，知能的な動作を行うための「目」として，カメラを利用した2D・3Dビジョン技術およびビジュアルフィードバック制御技術が既に広く応用されている．現在，一般的な2D・3Dビジョンは30～100fpsで動作しているため，モーションブラーが発生しない低速な応用に限られている．本研究では，アクティブステレオ方式を用いた高速三次元計測システム(1,000fps)を開発し，広く利用されているロボットアームとの統合を目指す．特に，UR10eを用いてFig.1に示すようなシステムを構築し，フィードバックレートによる性能の検討を行う．

本研究では高い時間分解能で対象を捉えるため，アクティブステレオ方式の三次元計測システムを用いた．構造化光パターンにはワンショットで高速に３次元形状を取得可能なパラレルパスパターンを利用し，高速カメラ（OMRON SENTECH, STC-MBV133U3V-SP, 648×474@1,000fps）とプロジェクタ（TEXAS INSTRUMENTS, DLPDLCR230NPEVM, 1920×1080, 投影画像固定）を用いて計測システムを構築した．高いフィードバックレートは，低いフィードバックレートに比べて応答性の向上，より細かな制御，高速システムにおける安定性の向上といった利点がある．計算量やノイズなどの影響を考慮しない場合，Fig.2に示すようなフィードバックレートが制御誤差に与える影響に関する仮説が立てられる．１）飽和フィードバックレート以内であれば，フィードバックレートが高いほど制御誤差は小さくなる；２）飽和フィードバックレートを超える時間分解能のフィードバック情報をロボットに提供しても，制御誤差の改善は見られない；３）動作帯域が広いロボットほど，飽和フィードバックレートも高くなる；

評価実験では，計測対象は速度調節可能なステッピングモーターで駆動され，不規則かつ高速な円周状の往復運動を行う．フィードバックレートを50Hz, 100Hz, 200Hz, 250Hz, 333Hz, 500Hzの6段階に設定し，UR10eの追従精度を比較した．また，異なる動作帯域のロボットを模擬するため，各周波数においてUR10eの速度スライダーを50%, 60%, 70%, 80%に設定し，出力制限の異なる条件での追従実験を行った．追従性能の評価指標として，UR10eの手先位置と計測対象の三次元位置との間のユークリッド距離を積分し，その平均値を算出する．Fig.3に，UR10eのエンドエフェクタと計測対象間のユークリッド距離平均誤差の結果を示す．各速度スケールにおいて，ロボットの速度が高くなるほど追従誤差が小さくなる傾向が確認された．また，速度スケーラーが一定の場合，カメラのフィードバックレートが高くなるにつれて誤差が減少する傾向も確認された．さらに，フィードバックレートが 200Hzを超えると，誤差がほぼ一定となり，この範囲においてロボットが飽和フィードバックレートに達したと推察される．

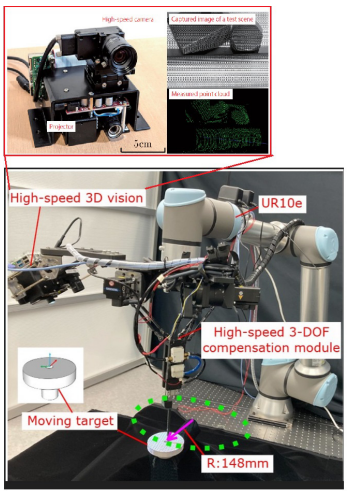


Fig.1 開発した高速 3D ビジョンと UR10e の統合
Fig.1 The developed high-speed 3D vision integrated with a UR10e

Camera-based 2D and 3D vision technologies, as well as visual feedback control, are already widely applied as the "eyes" that enable robots to observe their environment and target objects and perform intelligent motions. Currently, general 2D and 3D vision systems operate at 30-100 fps, limiting their application to low-speed tasks where motion blur does not occur. In this study, we developed a high-speed 3D measurement system (1,000 fps) using an active stereo method and aim to integrate it with a widely used robotic arm. Specifically, we constructed a system using the UR10e as shown in Fig. 1 and investigated its performance under various feedback rate.

In this study, we employed an active stereo 3D measurement system to capture objects with high temporal resolution. For the structured light pattern, we used a parallel bus pattern that enables high-speed 3D shape acquisition in a single shot. The measurement system was constructed using a high-speed camera (OMRON SENTECH, STC-MBV133U3V-SP, 648×474 @ 1,000 fps) and a projector (TEXAS INSTRUMENTS, DLPDLCR230NPEVM, 1920×1080, fixed projection pattern). A higher feedback rate offers advantages over a lower feedback rate, including improved responsiveness, finer control, and enhanced stability in high-speed systems. Assuming that factors such as computational load and noise are not considered, the following hypotheses can be formulated regarding the effect of feedback rate on control error, as illustrated in Fig. 2: 1) Within the saturation feedback rate, a higher feedback rate results in smaller control error. 2) Providing feedback information with a temporal resolution exceeding the saturation feedback rate does not lead to an improvement in control error. 3) Robots with a wider operational bandwidth exhibit a higher saturation feedback rate.

In the evaluation experiment, the measurement target was driven by a speed-adjustable stepping motor, performing irregular and high-speed circular reciprocating motion. The feedback rate was set to six levels: 50 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 333 Hz, and 500 Hz, and the tracking accuracy of the UR10e was compared. Additionally, to simulate robots with different operational bandwidths, the velocity slider of the UR10e was set to 50%, 60%, 70%, and 80% at each frequency, and tracking experiments were conducted under different output limit conditions. As an evaluation metric for tracking performance, the Euclidean distance between the end-effector position of the UR10e and the 3D position of the measurement target was integrated, and its average value was calculated. Fig. 3 shows the average Euclidean distance error between the UR10e end-effector and the measurement target. For each velocity scale, it was confirmed that the tracking error tended to decrease as the robot's speed increased. Furthermore, when the velocity scaler was constant, the error tended to decrease as the camera feedback rate increased. Moreover, when the feedback rate exceeded 200 Hz, the error became nearly constant, suggesting that the robot reached its saturation feedback rate within this range.

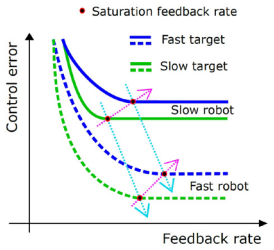


Fig.2 フィードバックレートと制御誤差の関係に関する仮説
Fig.2 The proposed hyposis

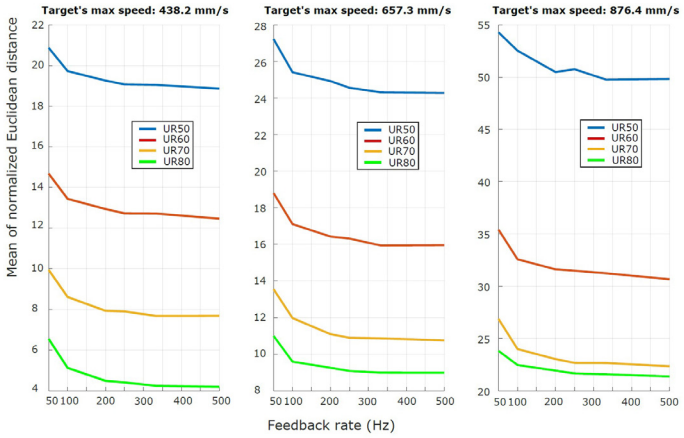


Fig.3 異なる条件下でのUR10eの位置決め誤差
Fig.3 Evaluation results

2.53 ER流体クラッチを利用した往復運動駆動システム
Reciprocating Actuation Utilizing Two Coaxial Electrorheological Clutches

従来のモータ駆動システムでは，頻繁な往復運動および繰り返される始動・停止の動作条件はモーターに悪い影響をもたらす．特に高速の往復運動に伴う急激な加減速が過熱を引き起こし，これにより軸受や巻線などの重要なモーター部品に熱膨張と材料疲労が生じる．高速の往復運動を実現するために，モーター駆動による方向転換方式以外に，クラッチを用いた双方向切り替え方式に着目している．この方式でのモーターは，連続的に一方向の平穏運転を維持することができ，モーターにかかる機械的および熱的応力を大幅に低減し，システムの運用寿命を向上することが期待される．ER流体クラッチの多様な利点を考慮し，我々は図1に示すように，2つの同軸ER流体クラッチを利用して高速な直線往復運動を実現するリニア駆動システムを設計した．

まずはデータ駆動のアプローチで，2つの同軸ER流体クラッチの伝達トルクのモデル化に焦点を当てた．従来法のようにビンガムモデルの粘性項を単純に定数と近似するのではなく，粘性項に電界依存の非線形性を導入することで，ER流体の複雑なレオロジー挙動をより適切に捉える手法を提案した．この枠組みに基づき，同軸クラッチ構造の機械的特性を組み込んだモデル（HEM）および放射基底関数回帰モデル（RBFM）を構築した．さらに，ビンガムモデルから完全に脱却し，放射基底関数ネットワーク（RBFN）およびフィードフォワードニューラルネットワーク（FNN）を用いた直接推定法も検討した．提案した手法は一般的に参照される従来のER流体モデルを上回る性能を示した．特に，ニューラルネットワークによるモデルなしの推定手法は単一の隠れ層かつ少数のニューロンでも優れた推定精度を実現し（Fig.2を参照），計算負荷も最小限で済むため，リアルタイム実装に非常に適していることが明らかとなった．

次に，構築したシステムの高精度な位置制御の実現を着目した．リアルタイム制御を実現するために，単一の隠れ層を持つ単純なフィードフォワードニューラルネットワークに基づいて，トルク伝達の逆問題のモデル化を行った．そして，比例微分(PD)フィードバックループで拡張した計算トルク制御(CTC)の枠組みに基づく位置制御則を構築した．図3に示すように，実験結果から提案する制御アーキテクチャは，モータートルク入力がランダムに変動する外乱下においても，ロバストで高精度な位置制御を実現することが確認した．

Instead of directly controlling a driven motor to achieve high-speed reciprocating motion, employing clutches for bidirectional actuation presents a compelling alternative. By decoupling the motor from dynamic load reversals and enabling relatively steady unidirectional operation, mechanical and thermal stresses on the motor can be significantly reduced, thereby improving system reliability and extending operational lifespan. Furthermore, by eliminating motor reversals and introducing antagonistic driving, effects of gear backlash can be mitigated, leading to improved positioning accuracy and enhanced overall system performance. Considering various advantages of ER fluid clutches, we designed a linear actuation system to achieve high-speed linear reciprocating motion utilizing two coaxial ER fluid clutches, as shown in Fig.1.

As the first step, we focused on modeling the transmission torque of two coaxial electrorheological (ER) fluid clutches through a data-driven approach. Instead of simplifying the viscosity term in the Bingham model to be a constant as shown in conventional methods, we propose the method of introducing electric field-dependent nonlinearity into the viscosity term to better capture the complex rheological behavior of ER fluids. Based on this framework, we developed a heuristic explicit model (HEM) and a radial basis function model (RBFM) that incorporate the mechanical characteristics of the coaxial clutch structure. Furthermore, we explored direct estimation methods using a radial basis function network (RBFN) and a feedforward neural network (FNN) without relying on the Bingham model. Comparative evaluations with traditional ER models validated the effectiveness of our nonlinear formulations. Notably, the FNN approach demonstrated superior accuracy (as shown in Fig.2) even with a single hidden layer containing only a few neurons, making it well-suited for real-time implementation with minimal computational overhead. Real-time validation across diverse operating conditions further confirmed the feasibility and robustness of the FNN-based method.

Next, we targeted on achieving accurate position control of the proposed system. In order to realize real-time application, a simple feedforward neural network with a single hidden layer was proposed to model the inverse problem of torque transmission. We then developed the position controller based on the computed torque control (CTC) framework, augmented with a proportional–derivative (PD) feedback loop. As shown in Fig.3, experimental results confirmed that the proposed control architecture delivers robust and accurate position control, even under disturbances caused by randomly changing motor torque inputs.

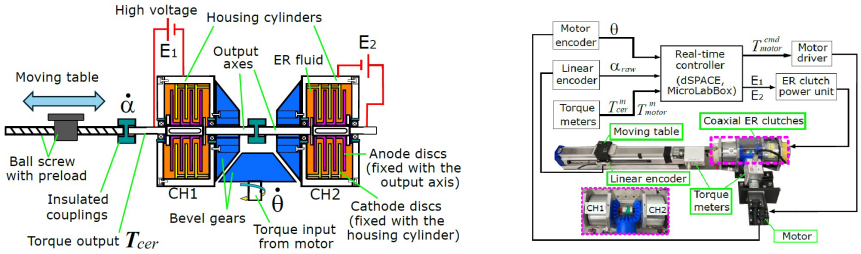


Fig.1 開発したシステム
Fig.1 The developed system

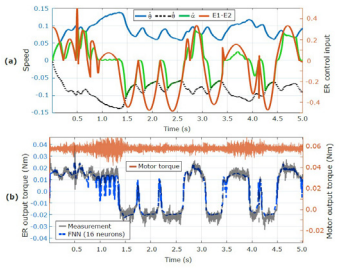


Fig.2 伝達トルクの推定結果
Fig.2 Result of torque transmission estimation

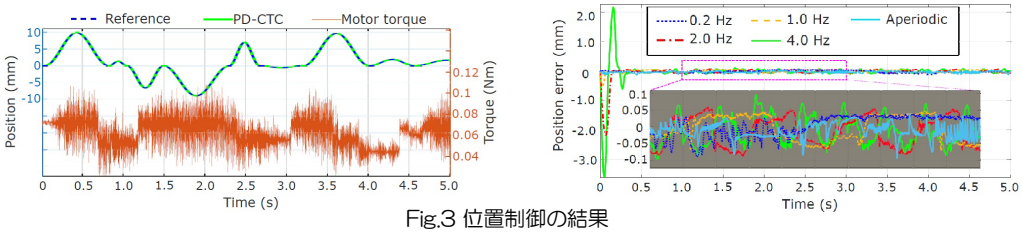


Fig.3 位置制御の結果
Fig.3 Result of position tracking control

2.54 その他の研究成果
Other research topics

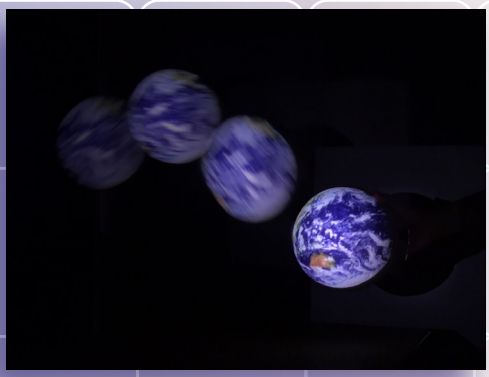
「ロボットが投げたボールをロボットが打つ」システムの開発, 列並列ビジョン（CPV）による高速ターゲットトラッキングシステム, 高速多指ハンドを用いたダイナミックキャッチング, 高速視覚フィードバックを用いたダイナミックグラスピング, 非対称トルクに基づく二足ロボットの空中転回, 人間-ロボット共存のための衝突回避, 高速マニピュレーションのための多眼ビジュアルフィードバックシステム, 学習進度を反映した割引率の調整, 感覚運動統合システムにおけるダイナミクス整合の獲得, 高速キャッチングシステム（日本科学未来館常設展示）, 人間-ロボット共存のための緊急停止, ロボットハンドからの接触感覚を触覚神経経由により提示するシステムの開発, 高速視覚を用いた100Gキャプチャリングシステム, 階層並列センサ情報処理システム（1ms 感覚運動統合システム）, リアルタイム実環境仮想接触システム, 1msビジュアルフィードバックシステム, 多指ハンドによる能動的3次元センシング, 高速多指ハンド,高速視覚を用いた道具操り, 高速視覚フィードバックを用いた把握行動, ビジュアルインピーダンスによるロボットの制御, 視触覚フィードバックを用いた最適把握行動, 1自由度脚ロボットの跳躍パターン解析, 高速アクティブビジョンシステムによる位置計測の高精度化, 画像モーメント特徴量を用いた実時間３次元形状認識, 高速ビジョンのための動的輪郭モデル, 通信遅延を考慮したセンサ選択手法, 能動的探り動作と目的行動の統合, 視覚教示を利用した力制御の学習, 最適軌道の探索と逆モデルの学習を行う運動の習熟機構, 複数センサによる誤差を用いたアクティブセンシング, 触覚パターン獲得のための能動的触運動, 確率過程を用いた聴視覚融合, 3軸パラレルリンク構造を用いた小型作業支援ツール, 視力覚フィードバックに基づく実環境作業支援システム, Robotics Aided Drawing（RAD）システム, 視触覚モダリティ変換による物体形状の提示, 人間の視触覚における能動的統合機能の解析, 反転動作を用いた高速キャッチング, ネットワーク型高速ビジョンによるトラッキング, 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速二足走行, 重心加速度空間における滑走動作の2次元解析, 動的補償に基づく高速、高精度ピッキング作業, 高速多指ハンドとビジョンシステムを用いたカードシューティング, 高速アームを用いた新体操リボンの動的操り, ビジュアルコンプライアンスを用いた高速ペグ・アンド・ホールアラインメント, 高速多指ハンドによるカードの変形を利用した操り, 高速多指ハンドを用いたピザ回し動作, スキル統合に基づく結び目の生成, 波動伝播に基づく高速スローイング動作, 多関節マニピュレータを用いた高速打撃動作, 高速多指ハンドと柔軟指先を用いたソフトキャッチング, ネットワーク型高速ビジョンによるオクルージョンを考慮したターゲットトラッキング, 空中物体の3次元形状復元, ハンドアイビジュアルサーボによる高速トラッキング, 高速マニピュレーションシステム, 高速多指ハンドを用いた柔軟紐の片手結び, 高速打撃動作におけるボール制御, 高速多指ハンドを用いたダイナミックリグラスピング, 高速多指ハンドを用いた高速ペン回し, 高速多指ハンドを用いた動的保持動作等の研究, 高速運動中の微小物体把持, 2台の高速多指ハンドとスライダを用いた布の動的な折りたたみ操作, 高速アームを用いた動的な線状柔軟物体の操り, ネットワーク型高速ビジョンシステムのフレーム同期, 高速ビジョンのためのネットワーク構築, 環境設置型高速ビジョンによる高速移動体の障害物回避, 高速視触覚センサネットワークシステムの開発を行っている.

Throwing and Batting robot system, High-speed Manipulation System, Column Parallel Vision System (CPV), Card Throwing and Shooting by a High-speed Multifingered Hand and a Vision System, Dynamic Active Catching Using High-speed Multifingered Hand, Somersault Based on Sliding Motion Using Torque Asymmetry, Pixel-parallel collision detection for safe human-robot-coexistence, Visual Feedback System Using Multi-High-Speed Vision for High-Speed Manipulation, Adjustment of Discount Rate Using Index for Progress of Learning, Acquisition of Dynamics Matching in Sensory-Motor Fusion System, High-speed Catching System (exhibited in National Museum of Emerging Science and Innovation since 2005 to 2014), Emergency stop for safe human-robot-coexistence, A system for tactile sense through human sensory nerve fiber, 1ms Sensory-Motor Fusion System, Visual Haptization System, 1ms Visual Feedback System, Active 3D Sensing using a Multifingered Hand, Tool Manipulation by a Multifingered Hand Using a High-speed Vision, Grasping Using High-Speed Visual Feedback, Visual Impedance for Robot Control, Optimal Grasping Using Visual and Tactile Feedback, Jumping Patterns Analysis for 1-DOF Two-legged Robot, Object Tracking Using Networked High-Speed Vision, Sensor Selection Method Considering Communication Delays, Integration of Active Exploration and Task Oriented Motion, Learning of Force Control Parameter using Vision, A Model of Acquiring a Skilled Movement by Searching the Optimal Trajectory and Learning the Inverse Model, An Active Sensing Method Using Estimated Errors for Multisensor Fusion Systems, Haptic Motion of Distributed Tactile Sensor for Obtaining Tactile Pattern, Auditory-Visual Fusion Using Multi-Input Hidden Markov Model, Spatial Resolution Improvement Method using High Speed Active Vision System, Real time 3D Shape Recognition Using Image Moment-Based Features, Portable Assist Tool with Visual and Force Feedback, Robotics Aided Drawing (RAD) system, Touching an Object by Visual Information, Effects of Active Perception for Visuo-Motor Sensory Integration, High-speed Catching Based on Inverse Motion Approach, Object Tracking Using Networked High-Speed Vision, High Speed Bipedal Robot Running Using High Speed Visual Feedback and Planar Sliding Analysis of a Biped Robot in Centroid Acceleration Space, High-speed and accurate picking task based on dynamic compensation concept, Card Throwing and Shooting by a High-speed Multifingered Hand and a Vision System, Dynamic Manipulation of a Rhythmic Gymnastics Ribbon with a High-speed Robot Arm, Fast Peg-and-Hole Alignment Using Visual Compliance, Card Manipulation using Card Deformation by a High-speed Multifingered Hand, Rotational Holding of Discotic Flexible Object using a Multifingered Hand, Knotting manipulation based on skill synthesis, High-speed Throwing Motion Based on Wave Propagation, High-Speed Batting Using a Multi-Jointed Manipulator, Soft Catching with a soft finger, Target Tracking Behind Occlusions Using a Networked High-Speed Vision System, 3D Shape Reconstruction of an Object in the Air, High-speed Tracking by Hand-eye Configured Visual Servoing with Cylindrical Coordinate Approachare, Dynamic Grasping Using High-speed Visual Feedback, One Handed Knotting of flexible rope using a High-speed Multifingered Hand, Ball Control in High-speed Batting Motion, Dynamic Regrasping Using a High-speed Multifingered Hand and a High-speed Vision System, Dynamic Pen Spinning Using a High-speed Multifingered Hand with High-speed Tactile Sensor, Dynamic Holding Using a High-Speed Multifingered Hand, Catching a small object in high-speed motion, Dynamic Folding of a Cloth using Dual High-speed Multifingered Hands and Sliders, Dynamic Manipulation of a Linear Flexible Object with a High-speed Robot Arm, Frame Synchronization for Networked High-Speed Vision Systems, Network System for High-Speed Vision, Collision-avoidance of High Speed Mobility using Environmental High-speed Vision, High-speed Visual and Tactile Sensors Network System going on.

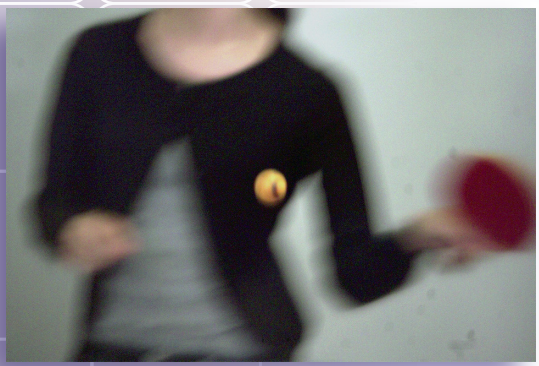
3. ダイナミック ビジョン システム
Dynamic Vision System

人間を含む様々な現象は基本的にダイナミクスを有し，従来のセンシング方法では困難を伴うため扱いきれていないものも多く存在する．ダイナミックビジョンシステムとは，光学系などに工夫が施されたビジョンを用いて，ダイナミックな対象を適応的に計測・理解・応用するシステムのことである．対象のダイナミクスに対応したダイナミックな計測系を利用することで，情報の品質劣化の原因の一つであるダイナミクスを解消した高度な計測及び情報提示が可能となり，様々な新規応用の創出が期待できる．

ダイナミックビジョンシステムは，光学系や処理系に工夫を凝らす基礎技術の開発と，ダイナミックな対象への様々な応用展開の両輪によって，新たな画像計測技術の確立及び発展を目指した研究である．具体的には，映像メディア，ヒューマンインターフェース，検査・FA，スポーツ，医療・バイオなど，幅広い分野で応用を実現しており，更なる基礎技術及び応用展開の拡充を目指している．

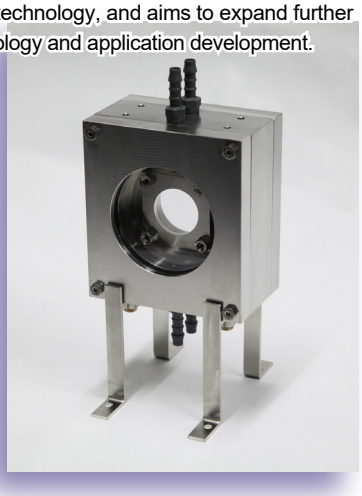






Various phenomena including humans basically have dynamics, and many of them cannot be handled with conventional sensing methods. Dynamic Vision System (DVS) is a system that adaptively measures, understands, and applies dynamic objects using a vision which is devised in optics. Utilizing dynamic measurement systems corresponding to the target dynamics makes it possible to perform advanced measurement and information presentation that eliminates the dynamics, which is one of the causes of information quality deterioration, and can be expected to create various new applications.

DVS is a research concept aiming at establishment and development of new image measurement technology by both the development of fundamental technology with devised optics/processing and various application development to dynamic targets. Specifically, it has realized applications in a wide range of fields such as visual media, human interface, inspection/FA, sports, medical/biotechnology, and aims to expand further basic technology and application development.



3.1 高速・高解像力の液体可変焦点レンズ ーダイナモルフレンズー
Dynamorph Lens (DML): A High-Speed Liquid Lens with High Resolution

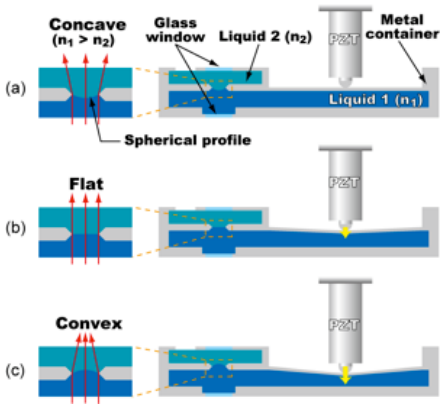


図 1 ダイナモルフレンズの断面図と可変焦点の仕組み

Figure 1. A photograph of the prototype (a), and cross-sectional view of the Dynamorph lens to illustrate its focusing mechanism (b)-(d).

近年，液体界面を屈折面とした可変焦点レンズ技術が登場し注目を集めている．液体界面は，変形が容易であることに加え，理想的には形状が球面となるため可変焦点レンズの屈折面として適している．特に液体の濡れ性が電気的に制御できることを利用して面の曲率を制御する方式は複数の企業により研究・開発され，実用に非常に近い段階に入っている．これらは特に光学系の小型化・省電力化を実現するためのキーデバイスとして開発されている．

一方，可変焦点レンズのもうひとつの可能性として，焦点距離制御の高速化があげられる．既存のほとんどの焦点距離制御手法は，光学系を構成するレンズ(群)位置を動かすことで実現されており，その高速化は難しかった．しかし，可変焦点レンズでは表面形状のわずかな変化のみで焦点距離を大きく変えることが可能であり，高速化が容易であることが期待される．

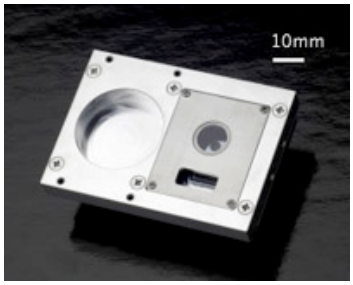
我々は積層型ピエゾアクチュエータを利用する高速応答を実現する駆動原理と，実用的な収差量の可変屈折面である液-液界面とを組み合わせることで，高速かつ高解像力の可変焦点レンズを研究・開発している．我々の提案する可変焦点レンズは，図1に示すように堅い容器の内部に2種類の互いに混ざらない液体を入れた構造を持つ．2種類の液体は容器内に作成された円形開口で互いに接しており，この部分が光線を屈折する面として機能する．界面形状はピエゾアクチュエータが伸縮することに伴う容積変化を利用して変化させる(図1(a)-(c))．この方式では液-液界面がダイナミックに変形するので，我々はこの方式の可変焦点レンズをダイナモルフレンズ(Dynamorph Lens)と名付けた．

実際に試作したダイナモルフレンズの写真を図2に示す．試作したレンズは，絞り径3mmを持ち，液体の初期状態に依存して，約-50 ～ 50[D]の範囲の屈折力をもたせることができる．([D=1/m]は焦点距離の逆数) ピエゾアクチュエータの伸縮によってこの初期状態から最大で50[D]程度の屈折力変化を起こすことができ，80.3nmの波面収差(二乗平均)と71.84[lp/mm]の解像力が測定されている．このレンズを用いて高速に焦点位置を切り替えながら電子基板を撮影したところ，約2[ms]の応答速度が観察された．図3に高速に焦点位置を切り替えながら電子基板を観察している時の像を2200[fps]の高速カメラで計測した結果を示す．また，ページ下部に試作したダイナモルフレンズの動作動画と本実験の動画を示す．

High-speed focusing technology has been desired for decades. The focusing speed of conventional optical systems is limited by the slow response time involved with the physical actuation of lenses. One possible solution is to develop variable-focus devices. Production of practical focusing devices with both high response speed and high optical performance is, however, still a challenge. A liquid interface is known to be suitable for the surface of such a lens due to its almost perfect spherical shape and deformability. Therefore, liquid lenses show great potential to realize both high-speed focusing and high optical performance.

We developed a liquid lens using a liquid-liquid interface that can arbitrarily control the focal length in milliseconds and achieve practical imaging performance. This lens dynamically changes the curvature of the interface by means of liquid pressure, as shown in Fig. 1. Two immiscible liquids, indicated as liquids 1 and 2, are infused in two chambers, but they are interfaced at a circular hole that works as an aperture of the lens. This interface works as a refractive surface due to the different refractive indices of the two liquids. One chamber (the lower chamber in Fig. 1) is equipped with a deformable wall that a piezostack actuator thrusts to change the chamber volume. When the piezostack actuator extends, the lower chamber volume decreases, and the surplus liquid volume presses the interface to change its shape from convex to concave. Since this lens morphs its interface dynamically, it is called a Dynamorph Lens.

Based on the above design, a prototype with an aperture diameter of 3.0 mm was developed. Its photograph is shown in Fig. 1 (a). Ultrapure water and polydimethyl-siloxane (PDMS) were used as immiscible liquids. A wide refractive power change of about 52 D was achieved with a displacement of only 12 um. Note that the initial refractive power could be adjusted by altering the infused volume of liquid 1. The response time of the prototype was measured to be about 2 ms by capturing high-speed video through the prototype while switching its focal length every 10 ms. Image sequences and input/output signals are shown in Fig. 2. Movies of the prototype and the images captured by the high-speed video are also shown in the below.



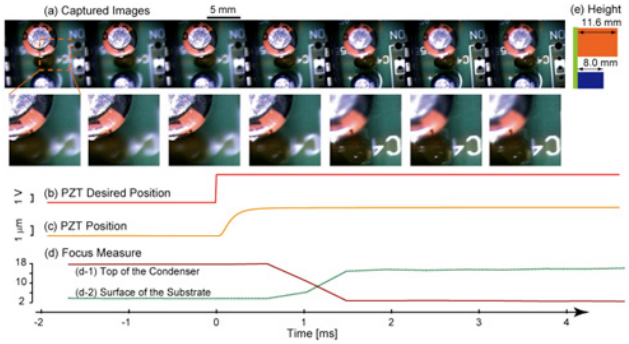


図3 高速にフォーカス位置を切り替えながら撮像した結果. 図中(a)には高速カメラで撮像された連続写真, (b)と(c)にはそれぞれピエゾアクチュエータへの位置指令値と実際のピエゾアクチュエータ応答, (d)には対象を横から見た時の形状, が示されている. 画面左上のコンデンサー上面から画面右下の基盤表面まで焦点面を切り替えており, 時刻(Time)0で切り替えを開始してから2msでほぼ切り替えを終えていることがわかる. なお, コンデンサー上面から基盤上面までの距離は約11.6mmであった.

Figure 2. Step response of the prototype. Top image sequence was captured at 2200 fps through the prototype (a). The voltage input to the actuator (b) and the resulting position (c) are shown below. Focus measures of two regions, the top of the capacitor and the substrate, were extracted from the captured images (d). The capacitor was 11.6 mm in height (e).

3.2 高速フォーカスビジョン
High-Speed Focusing Vision

多くのビジョンセンサは，映像をセンサ面に投影する光学系と投影された画像を取得・処理する撮像・処理部からなる．近年の情報処理技術の飛躍的な進歩を背景として，撮像・処理部の性能の向上，特に高速化が著しく，研究レベルでは1000 fpsで画像の取得と処理を完了できるものが報告されている．

しかし，一方で，もう一つの構成要素である光学系の応答はいまだ遅く，焦点距離の調節やズーム比の変更には1秒近く必要である．光学系の焦点調節は，これまでそのほとんどが機械的に内部のレンズ(群)を動かすことで実現されており，それ以外の方法はほぼないに等しい．レンズは質量が重く，応答の高速化は非常に難しかった．ところが，光学系は画像計測の入り口に位置しており，その特性を対象や環境に調節することで，より的確に対象を認識することが可能であったり，もしくは通常は計測できない対象の奥行き情報が計測できるなど，様々なメリットがあることが知られている．そのため，光学系の高速化への要求は強い．

これに対し我々は，ミリ秒オーダで光学特性を制御可能な光学素子である，ダイナモルフレンズを開発してきた．そこで，ダイナモルフレンズの利用を前提として，ミリ秒オーダで光学特性を制御可能な光学系とやはりミリ秒オーダで高速に画像の取得から処理までを行う高速ビジョンとを組み合わせることで，光学系のボトルネックをミリ秒のオーダで完全に解消した「高速フォーカスビジョン」を提案する．

提案する高速フォーカスビジョンの有効性を検証するために，特にフォーカスの制御を目的とした高速フォーカスビジョンの 試作システムを構築した．さらに，試作システムを用いて，コントラスト法に基づく高速オートフォーカス実験と，運動する対象にフォーカスをあわせ続けるフォーカストラッキング実験とを行った．コントラスト法は画像に含まれる高空間周波数成分を評価することで合焦を判定する手法で応答の高速化が難しいことで知られるが，高速オートフォーカスでは15.8msで合焦を実現し，また，フォーカストラッキング実験では運動する対象にフォーカスをあわせ続けることに成功した．

Although dynamic control of the optical characteristics is an important function in computer vision, the response time of the conventional optical system is too slow (>0.1 s). To solve this problem, we developed a high-speed liquid lens, called a Dynamorph Lens (DML), that achieved both millisecond-order response speed and practical optical performance. A computer vision system equipped with the DML can dynamically control its optical characteristics based on acquired images. In particular, if the total period for image acquisition and processing is matched with the response time of the DML, dynamic and adaptive control of the optical characteristics can be achieved without any loss of bandwidth. Thus, we propose a new vision system, called the {\it high-speed focusing vision system}, composed of high-speed image processing technology and a high-speed lens system based on the DML. State-of-the-art high-speed computer vision systems can acquire and process one image in 1 ms, which is almost matched with the period of the lens system (~ 2 ms).

To validate the concept of High-Speed Focusing Vision System, we developed a prototype system composed of an imaging optical system with a DML, a high-speed image processor system for high-speed visual feedback, a high-speed camera to record images at high frame rate for monitoring, and a personal computer (PC) to control the whole system. Using this prototype system, a high-speed autofocusing experiment and a focus tracking experiment were demonstrated.

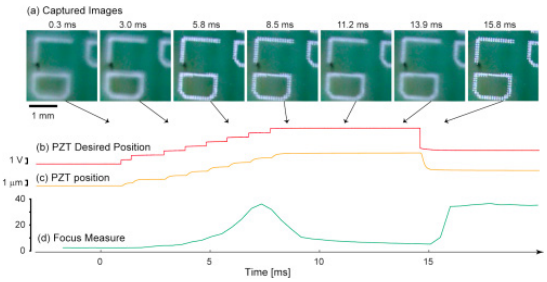
Autofocusing is an essential function for modern imaging systems. One common method is contrast measurement, which finds the best focus position by detecting the maximum contrast of images. The contrast method needs to acquire two or more images at different focus positions and evaluate their contrast. Since the focusing speed of conventional optical systems is slow, the autofocusing process tends to take a long time (typically ~ 1 s). This problem could be solved by our high-speed focusing vision system. Thus, we implemented the contrast method of autofocusing in the prototype system. Figure 1 shows the result of the

autofocusing when the object was the surface of an electronic substrate. The focus scanning process started at t=0 ms and finished at around t=14 ms. The peak of the focus measure was observed at about t=7.5. After the focus scanning process, the focus was controlled to the estimated correct focus position. The entire autofocus process finished at t=15.8 ms. Note that the total autofocus period of 15.8 ms is shorter than the typical frame period (30 to 40 ms) of conventional vision systems.

Next, a dynamic focus control experiment was conducted. The purpose of this experiment was to track the correct focus for a dynamically moving object. For this purpose, a quick estimation of the target depth is important. Thus, we developed a technique that vibrates the object plane position around the target. Three images were captured at near, correct, and far focus positions and their focus measures were measured to estimate the object's depth. Then, the center of the vibration was adjusted to be the object position estimated from the latest three focus measures. Experimental results of focus tracking are shown in Figure 2. The focus tracking was started at t=0. From the images captured by the high-speed camera (Figure 2 (b)), the image was successfully kept in focus.

図 1 高速オートフォーカス実験結果.
時刻0より焦点位置を移動させながら合焦測度(d)を画像から計測し，合焦測度が最大だった場所に焦点をあわせている. 図より15.8msですべての処理を終えていることがわかる.

Figure 1. Experimental results for high-speed autofocusing of an electronic substrate.
(a) Image sequence captured by the high-speed camera at 2200 fps. (b) Instruction voltage input to the piezostack actuator. (c) Displacement of the actuator measured by a built-in sensor. (d) Focus measure (Brenner gradient) calculated by the PC.



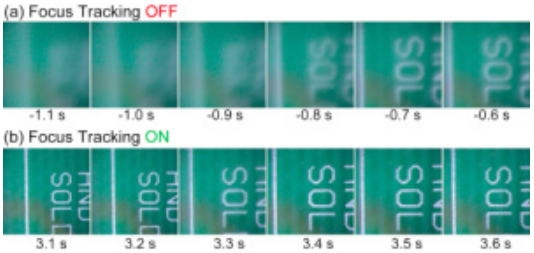


図 2 高速フォーカストラッキングの実験結果.
フォーカストラッキングなしの場合の対象画像系列(a)とフォーカストラッキングを有効にした場合の対象画像系列(b)

Figure 2. Results of the high-speed focus tracking experiment.
Upper row shows an image sequence without focus tracking (a), and lower row with focus tracking (b).

3.3 高フレームレート全焦点画像合成のための高速可変焦点光学系
High-Speed Variable-Focus Optical System for Extended Depth of Field

近年では自動車の衝突や動物の飛翔などの高速現象を撮影するために，しばしば高速度カメラが使われる．高速度カメラは高フレームレートで撮影するため露光時間が短く，十分な光量を確保するために明るいレンズを使う必要がある．しかし光学で知られている性質から，明るいレンズを使用すると被写界深度が浅くなってしまう．

被写界深度とはピントが合っている奥行きの範囲のことで，被写界深度が浅いとピントの合う範囲が狭まり，観察したい対象の一部にしかピントが合わない，動き回る動物がすぐにピントから外れてしまうなどの問題が生じる．この被写界深度を深くする手法として，全焦点画像合成という技術が存在する．これは異なる位置に焦点の合った複数枚の画像を合成して被写界深度を深くするというものである．この全焦点画像合成に必要な焦点位置の異なる複数枚の画像を用意するためには，撮影に用いる光学系の焦点位置を動かす必要がある．しかし今までの技術ではこれを高速に行うことができなかった．

本研究では，当研究室で開発された 液体可変焦点レンズであるダイナモルフレンズ を用いた光学系を開発し，焦点位置変化の速度を飛躍的に向上させた．この光学系で振幅約30mm，振動数500Hzで焦点位置を変化させながら8000fpsで撮影した画像を全焦点画像合成することで，被写界深度の拡張された映像を1000fpsという高速度カメラに匹敵する高フレームレートで出力することができた．

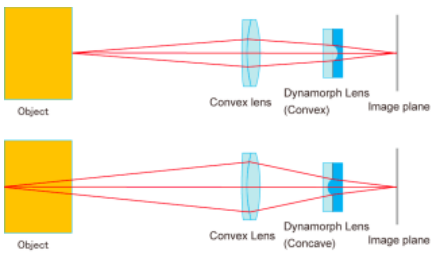


図1 構築した光学系

Figure 1. Schematic diagram of the developed High-Speed Variable-Focus Optical System.

Recently, a high-speed camera is frequently used to record dynamic phenomena such as a collision of cars and a flying animals. The lens of the high-speed camera needs to be bright because the exposure time of the high-speed camera is short due to its high frame rate. The bright lens, however, decrease the depth of field (DOF).

DOF means the depth range of the position in focus. If the DOF is short, some part of the objects may become out of focus or moving animals may instantly go out of focus. Focus stacking is a method for extending the DOF. It synthesizes images whose focal points are at different position, and produce an image with extended DOF. To prepare such images for focus stacking, shifting the focal point of the optical system is required. However, the speed of shifting the focal point of the conventional optical system is strictly limited.

In this research, we developed a new optical system with Dynamorph lens, which is the liquid lens we developed, and greatly improved the speed of shifting the focal point. By applying focus stacking to the images acquired using this optical system and the high-speed camera, we succeeded in producing 1000-fps movies with extended DOF from 8000-fps images captured while scanning the in-focus position with an amplitude of about 30 mm and a frequency of 500 Hz.

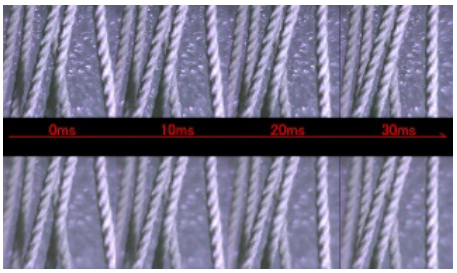


図2 被写界深度の拡張（上）
振幅約30mm，500Hzで焦点位置を振動させながら撮像した8000fpsの画像から全焦点合成した．1000fpsの合成画像系列．（下）全焦点合成を行わず，ある焦点位置における画像を1000fpsの画像系列として示したもの．

Figure 2. Results of DOF Extension
(top: images synthesized by focus stacking; bottom: unsynthesized images).

3.4 大口径可変焦点レンズ
Variable focus lens with a large optical aperture

従来の固体による光学特性が固定されたレンズを用いて焦点移動を実現するには，2つ以上のレンズを協調動作させる必要がある．焦点距離を変えるため機械的に固体レンズを動かす代わりに，可変焦点レンズは単一レンズで焦点距離を動的に制御することが可能である．液体を充満させた可変焦点レンズは，曲率の変化する屈折面の物理的変形に基づき動作する．例として液気レンズは高い応答速度と高い光学特性を持つが，この種のレンズは口径が大きくなった際に，垂直に立てると重力の影響によりレンズ特性が非対称的に変化してしまう．一方，2種類の混ざらない液体間の界面もレンズの屈折面の役割を果たすことができ，その界面形状は流動的圧力やエレクトロウェッティング，誘電泳動効果によって制御可能である．しかしながら，高い光学特性を維持するには，口径は物理的限界である毛管長よりはるかに小さくする必要がある．したがって，液液レンズの口径は常にミリメートルの大きさとなってしまい，液体を封入した大口径レンズはいまだに未解決の問題となっている．

我々は新しい大口径可変焦点レンズを提案し，試作レンズを構築した．2つのチャンバーに2種類の異なる液体を封入しており，理想的な液体の組み合わせは同一密度だが異なる屈折率を持つものである．面内に均質な荷重力を分布させた膜を利用し，膜のゆがみは円形境界条件である円形のリングで制限され，変形する界面は2種類の液体の屈折率の比によって屈折面として作用することとなる．片方の液体を自由にチャンバー内に出入させ，もう片方の液体を固定することで，シリンジポンプを使ってレンズの屈折力の正負を動的に変化させることができる．

上記の発想に基づき，直径26mmの大口径の可変焦点レンズを試作した．なお，更に口径を大きくすることに関して技術的問題は無い．焦点距離として[-∞ -150mm]と[150mm ∞]の範囲が可能であることを示し，最小F/5まで達成可能である．

In order to change focus with traditional solid lenses, which have fixed optical properties, two or more lenses have to be jointly moved mechanically. In contrast, a variable focus lens can dynamically control its focal length by only using a single lens element. Liquid-filled variable focus lenses are based on the physical deformation of refractive surfaces, which changes their curvature. Examples include liquid-air lenses, which are highly responsive and have excellent optical performance. However, if this kind of lens is placed vertically and its aperture is large, the lens profile might be asymmetrically deformed due to gravity. On the other hand, the liquid?liquid interface formed by two immiscible liquids can act as a refractive surface, the shape of which can be controlled by fluid pressure, electro-wetting, or dielectrophoretic effect.

Nevertheless, in order to maintain high optical performance, the size of the aperture should be small compared to the capillary length, due to physical limitations. Hence the size of the apertures of liquid-liquid lenses is always in the order of millimeters, and a liquid-infused lens with a large optical aperture is still an unsolved problem.

We proposed a novel variable focus lens with a large optical aperture. The lens consists of two chambers separated by a membrane. The chambers were infused with two different liquids characterized by their similar density but different refractive indices. The membrane was prepared by applying a homogeneous in-plane pretension force. The membrane was stretched over a circular hole in the wall that separates the two chambers, effectively making it subject to a circular boundary condition. Thus its deformation was in the interface between the two liquids, and it acted as a refractive surface due to the difference in refractive index of these liquids. If one fluid was made to flow into and out of its chamber, while the other was locked, the lens could shift its power dynamically by means of a syringe pump.

Based on the above concept a prototype of the variable focus lens with a 26 mm aperture was produced. Note however that pursuing larger apertures does not create additional technical challenges. The range of available focal lengths was experimentally verified to be in the range [-150 150] mm, with a minimal of F/5.

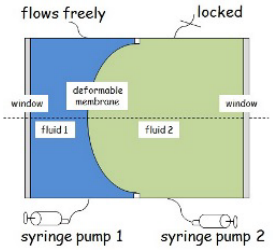


図 1 大口径可変焦点レンズの仕組み
Figure 1. A cross-sectional view of the lens system.

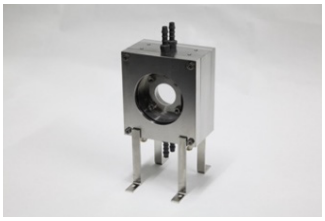


図 2 試作した大口径可変焦点レンズの写真
Figure 2. A photograph of the lens prototype.

3.5 大口径可変焦点レンズによる屈折力調節可能な老眼鏡
A pair of diopter-adjustable eyeglasses for presbyopia correction

老眼はよくある目の疾患であり，40歳を越えると目の不調を訴え始める人が多い．この目の不調は近くで本や新聞を読む際に顕著であり，鮮明に見るために以前より本等を遠ざける必要がある．レストランでのメニューが，特に薄暗い照明下ではかすんで見えたりしてしまう．近傍の対象に鮮明に焦点を合わせられなくなるのが老眼と呼ばれ，加齢と共に生じる水晶体弾性の低下と毛様筋の筋力低下が原因と推定されている．

老眼は近視や遠視とは異なる．近視や遠視は矯正眼鏡を用いて決まった屈折力の単純な増減により矯正できるが，老眼は水晶体の弾性が失われることで目の調節力が低下してしまうため，決まった屈折力のレンズでは老眼を矯正することはできない．

人口の高齢化は平均余命の増加と出生率の低下による現象であるが，中国と日本は次の10年で高齢化社会となりアンバランスな人口増加に直面するという調査もあり，老眼の発病により多くの人が老眼に苦しむこととなる．さらに世界的に老眼の流行は，2020年までに77億人中14億人，2050年までに96億人中18億人まで広がると予想されている．結果として日常の主要な作業をこなすのも制限されてしまうこととなる．3億8600万人，94パーセントもの多くの人が発展途上世界で生きており，多くの人が眼鏡を持たないことで適切に働いたり読むことができず，彼らの日常生活に多大な影響を与えている．

我々は単一レンズ全体にわたって均一な光学力をもつ，屈折力調節可能な眼鏡を提案する．眼鏡の右側面に取り付けた小型の回転球を介して装着者が屈折力を調整することができ，回転方向によって屈折力の正負を素早く段階的に設定できる．実験により老眼鏡として動的な矯正が可能なことを示した．

図１は老眼を矯正する屈折力調整可能な可変焦点レンズであり、装着者はインタラクティブに屈折力を調整することで遠近両方の対象を鮮明に観察できる．図２は実験装置であり、眼鏡から異なる距離(近:0.3m，中:1.0m，遠:3.5m)に3つの物体を設置した．触ることのできる回転球のインターフェースにより眼鏡を調節し，出力がPCのシリアルポートを介して接続されたマイコンに転送される．PCはその信号を処理し，高精度なシリンジポンプを駆動するコントローラに命令を送る．図３は実験結果であるが、動画から3枚のスナップショットである．

Presbyopia is a natural occurring ophthalmic disease. Most people start to experience vision difficulties, when over 40 year of age. These are most noticeable when reading material at close range, such as books or newspapers: it appears necessary to hold them farther away than before to achieve clear focus. A menu in a restaurant may appear blurred, especially under dim light. This inability of the eye to focus sharply on nearby objects, resulting from loss of elasticity of the crystalline lens and the loss of power of the ciliary muscles with advancing age, is called presbyopia.

Presbyopia is unlike myopia and hyperopia: the latter two can be simply corrected by adding or subtracting a fixed amount of optical power through corrective glasses, while in presbyopia, the loss of elasticity of the crystalline lens affects and reduces the eye's accommodation power. Therefore, a fixed lens cannot correct presbyopia.

Population ageing is a phenomenon that due to rising life expectancy and declining birth rates. According to the survey, China and Japan will be facing an unbalanced population growth resulting in an aging society in the next coming decade. According to the pathogenesis of presbyopia, most of them will suffer presbyopia. Furthermore, in the worldwide it is predicted that the prevalence of presbyopia will increase to 1.4 billion people from the total of 7.7 billion by 2020, and to 1.8 billion people of the whole population of 9.6 billion by 2050. As a result their ability to complete important daily tasks is restricted. Most (386 million, or 94 percent) live in the developing world. A massive number of people cannot work or read properly because they do not have vision corrections, with an obvious enormous impact in their everyday life.

We propose here a pair of diopter-adjustable glasses providing a uniform optical power over the whole lens cell; Optical power can be controlled by the wearer through a miniature roller ball attached to the right bridge of the glasses; opposite rolling directions cause a rapid, positive or negative step-by-step change on the optical power. Our preliminary experiments demonstrate that it should be possible to use this system as a pair of active correction glasses for presbyopia.

In figure 1, a variable focus glasses provides tunable diopters to correct presbyopia; the wearer can observe far and near objects in sharp focus by adjusting the lens power interactively. The experimental setup is shown in figure 2. Three objects were placed at different distances away from the glasses - respectively 0.3 m, 1.0 m, and 3.5 m (standing from far, middle and near targets). The glasses are fitted with a touchable interface sensor (roller ball) whose output is polled using a microcontroller connected via a serial port with a computer. The computer will process the signal and sends commands to a pump controller that actuates a high precision syringe pump. Experimental results can be found in figure 3, which were three snapshots from a video recording.

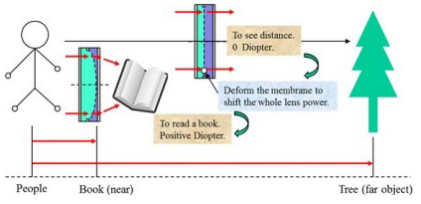


図 1 老眼を矯正する屈折力調整可能な可変焦点レンズの概念図.
Figure 1. A cencept of a pair of diopter-adjustable eyeglasses.

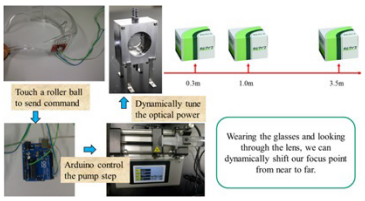


図２実験装置のセットアップ．
眼鏡から近中遠の距離に物体を設置した．
Figure 2. An experimental setup and three objects signs for far-middle-near.

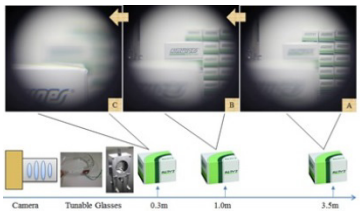


図３実験結果（動画から３枚のスナップショット）．
Figure 3. Three snapshots from a video recording.

3.6 可変焦点レンズによる色消しアダプティブダブレット
An adaptive achromatic doublet design by double variable focus lenses

光学では色収差は典型的な収差の一つであり，異なる波長の光に対する異なる屈折率が原因となる．屈折率は波長が長くなるほど低下し，この物理的現象により全ての色に関してレンズは同一の収束点に焦点を合わせることができない．ゆえに画像が鮮明でなくなり，システムの解像度が低下してしまう．

色収差を最小限に抑える最も一般的な解法は色消しダブレットであり，相対的に分散の低いレンズと高いレンズを組み合わせるものである．典型的な例は正のクラウンレンズと負のフリントレンズの組である．基本的に，相対分散の小さなクラウンレンズは前に置き，ダブレットと正負が同じ屈折力とし，相対分散の大きなフリントレンズは後ろに置き，ダブレットに対し正負が逆の弱い屈折力をもつようにする．この技術のおかげで，赤と青など異なる波長の光が同じ位置に焦点を結ぶことができる．

我々は2つの可変焦点レンズを用いた適応的色消しダブレットを示す．2つの可変焦点レンズは液膜液構造をもつため大口径となっており，高低の分散特性をもつように異なる液体を採用している．単一の可変焦点レンズと比較して，新しいダブレットの色収差は抑制されており，色による焦点距離の変動が焦点距離の2.5%から0.06%に改善された．適応的色消しダブレットの最大の長所は，2つの可変焦点レンズをその焦点距離をある条件のもと協調制御させたとき，ダブレットは動的な焦点距離と色収差補正を同時に実現可能となることである．

In optics, chromatic aberration is one of the typical aberrations which is caused by the different refractive index for different wavelength of light. The refractive index decreases with the increasing of wavelength. This physic phenomenon results in that the lens cannot focus all colors to the same convergence point. In consequence, the image will not be sharp and the system's resolution will be decreased.

To minimize the chromatic aberration, the most common solution is to design an achromatic doublet, which composes a low-relative-dispersion element and a high-relative-dispersion element. The typical candidate is a combination of a positive crown glass lens and a negative flint glass lens. Basically, the crown lens with low-relative-dispersion is in front and showing the same sign power with the doublet, and the flint lens with a high-relative-dispersion is in the back and showing a weak negative sign power against the doublet. With the help of this technique, different wavelengths of light, like red and blue lights, could be brought back to a common focus.

We reported an adaptive achromatic doublet which was composed by double variables focus lenses. They had large optical apertures, because they were based on the liquid-membrane-liquid structure. The two lenses employed different liquids so that they could perform low and high dispersion prosperities. Comparing with singlet variable focus lens, the chromatic aberration of the new doublet was suppressed and its chromatic focal shift range was improved from 2.5% of focal length to 0.06%. The greatest merit of the adaptive achromatic doublet system is that when two variable focus lenses control their focal lengths under an engagement strategy, the doublet could perform a dynamitic focal length and the chromatic aberration could be corrected at the same time.

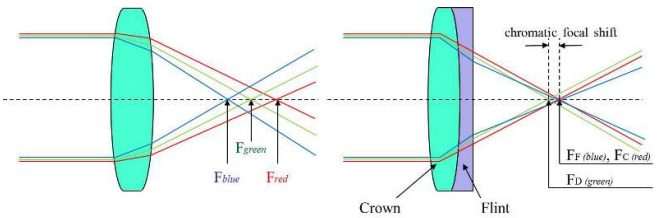


図１（左）単一レンズでの色収差．（右）クラウンレンズとフリントレンズを用いた典型的な色収差補正．
Figure 1. (Left)Chromatic aberration on a singlet. (Right)A typical solution to correct chromatic aberration by employing a crown lens and a flint lens.

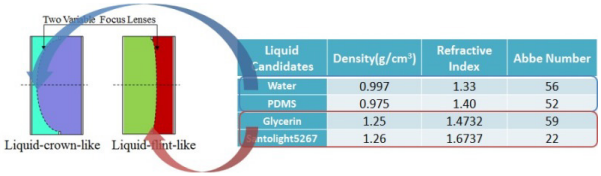


図２色消し可変焦点ダブレットの模式図．２つの可変焦点レンズから成り，異なる分散特性となるように異なる種類の液体ペアを封入してある．
Figure 2. A sketch of the achromatic variable focus doublet. It was composed by two variable focus lenses, who were filled with different type of liquids so as to perform different dispersions.

下記の比較図面は、有効焦点距離である 500mm の対象による、単一アダプティブレンズと色消しアダプティブダブレットのシミュレーション結果である。

The following simulation was run with a target of effective focal length of 500 mm. A comparison between adaptive singlet and doublet was conducted. Click here for other plots.

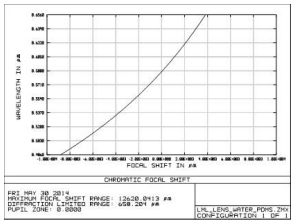
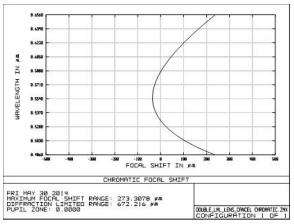


図３（左）単一アダプティブレンズの色による焦点距離変動
Figure 3. (Left) Chromatic focal shift of Adaptive Singlet.



（右）色消しアダプティブダブレットの色による焦点距離変動
(Right) Chromatic focal shift of Doublet Singlet.

3.7　誘電エラストマーを用いた光線位置制御手法
Dielectric Elastomer Based Laser Beam Pointing Method

レーザー及びレーザーの照射位置制御技術は，我々の身近に使われている技術の一つであり，デジタル生活を支えているといえる．昨今ではレーザーそのものや照射位置制御技術の向上により，材料加工や三次元プリンター，三次元センシング等の用途によって高精度な仕上がりが要求されるアプリケーションにおいてもレーザーが活用されている．

最も普及している制御手法として，ギアの組み合わさった機械的な運動に基づく位置制御手法が挙げられるが，ギアはバックラッシュ等を起こすだけでなく，高精度になればなるほどコストが嵩むため，現実的には精度に限界があった．例として，ガルバノミラーはギアを利用した機械機構と比べ単純な構成であるため高精度を出すことが可能であるが，依然として機械機構であり，また，角度制御による位置制御となってしまうため，対象までの距離が長くなると精度が落ちる問題点があった．

以上のことから，機械機構ではなく，且つ角度制御に基づかないレーザー位置制御手法が実現することで，従来より性能を向上させられると考えられる．そこで，誘電エラストマーアクチュエータ(DEA)を用いた新しいレーザ位置制御手法を提案する．

DEA は，電気的エネルギーを利用して形状変化を引き起こすことが可能な素材であり，DEA の厚みを制御することにより，レーザビームの出射方向を精度よく操作する手法を提案する．誘電エラストマーのたわみは電圧印加により発生するため，システム内では機械的運動が発生しない．さらに，角度ではなく位置に基づいて方向が決定されるため，本用途は長距離でも有効である．

Lasers and laser beam pointing methods are one of the key technologies used in our modern digital life. Advanced three-dimensional fabrication and manufacturing techniques is at the core of laser beam pointing technology. It allows the fabrication and manufacturing of complex items that would not be possible using previously available technologies. The market is growing, and the associated cost is decreasing as the technology becomes mature and patent-free such as 3D printing technology.

However, the accuracy is not good enough for more precise fabrication and manufacturing due to the mechanical error, such as screw and gear-teeth errors. The galvanometer scanning method is a typical mechanical movement, and the precision of these systems is limited because of backlash, accuracy of parts processing, etc. Furthermore, the above movement is based on angular control, so it is effective for wide-range scanning; however, its precision is inversely related to the distance between the laser projection system and the target. Hence, laser scanning technology should improve, in turn improving the accuracy for fabrication and manufacturing.

To solve the above two problems, we propose a laser scanning method using dielectric elastomer actuators (DEA) where the manipulation of the direction of the laser beam is controlled by the thickness of the DEA.

DEA-based laser scanning is based on Snell's law: the optical path undergoes a parallel shift when laser beams pass through a certain material. According to this principle, we formularized how the thickness of the transparent layer affects the point of laser projection. This change in optical path is based on the membrane thickness. DEA is a transparent and smart material that can transform electrical energy into mechanical movement. The thickness of DEA material can be controlled by varying the applied voltage, as it will be squeezed by electromechanical pressure.

We employed visible and ultraviolet laser beams to test our system. The experimental results demonstrated good transmittance for two laser candidates (Near to ultraviolet light ~ 405 nm wavelength and Visible light ~ 633 nm wavelength), and both achieved high-precision control at the micrometer level. Near to ultraviolet laser beams are required to congeal photosetting resin for stereolithography in 3D printing, therefore, our result can pioneer the use of DEA-based laser scanning for stereolithography.

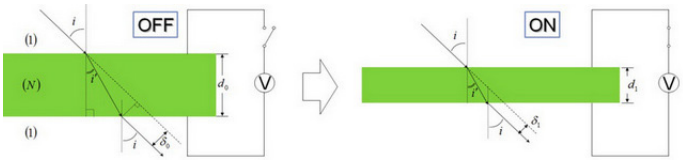


図１．（左側）ある透明な膜状素材を入射光線が通過する際のずれ変位．（右側）膜状素材の厚さが変化すると，変位 _ を制御可能．

Figure1. Sketch showing the displacement shift when an incident ray passes through a DEA material without applied voltage (left), and that the scale of the displacement shift can be controlled by the applied voltage(right).

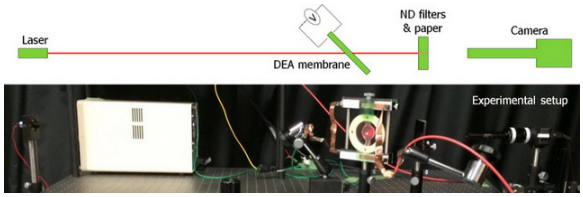


図2. 実験装置のレイアウト.

Figure 2. Setup overview. The laser beam passes through the DEA membrane, projects onto paper, and is captured by a camera with a micro lens.

3.8 誘電エラストマーを用いたマイクロレンズアレイ
Variable Focus Microlens Array Based On Dielectric Elastomer Actuator

可変焦点レンズは焦点距離を変化させられる特徴を持ち、イメージング、オプトエレクトロニクス、およびバイオメトリックデバイスなどの用途に向けて研究開発がなされている。また、可変焦点レンズは、通常液体表面の曲率または2つの液体間の界面における屈折表面の曲率を制御することによって実現されており、ピエゾアクチュエータポンプ、エレクトロウェッティング現象、誘電泳動およびその他の方法によって集束点を制御することができる。しかしながら、液体で満たされた従来の可変焦点レンズと異なり、本研究では、誘電エラストマーアクチュエータ(DEA)に基づく可変焦点マイクロレンズアレイを構築する手法を研究し、それらを提案してきた。提案したレンズアレイは、実験により可変焦点性能を示した。柔らかい素材であるDEA材料がレンズ材料としての役割を果たすことも同時に示した。

誘電エラストマーに電圧を印加すると、電場は膜を横切るマクスウェル応力を引き起こす。そうした静電的圧力は、誘電エラストマーを圧迫し、厚さの減少および面積の増加をもたらす。マイクロレンズアレイパターンを有する2つの電極プレートを誘電エラストマーの上下に取り付け、制御可能な電圧源を接続した。40×40mm角および厚さ1mmのアクリルエラストマー(3M、VHB 4910)をDEA材料として使用した。直径30mm、厚さ1mmの2つの電極(円形導電性ステンレス板)を、誘電エラストマーの上下に別々に配置した。2つの電極は、放電を避けるために、2つの絶縁プラスチックプレート(40×40mm角、厚さ1mm、穴30mm)の穴に固定した。電極板は、9×9のレンズアレイパターンで作製され、各レンズセルのサイズは、直径1.5mmとした。電極板はDEAエラストマー上にしっかりと貼り付けられ、誘電エラストマーに電圧が印加されたとき、電極は膜を圧迫してレンズ形状を変化させることができる。レンズセルの焦点距離は、印加電圧を制御することによって変化する。

プロトタイプとして作製したマイクロレンズアレイの奥側に、深さ情報を持つ画像撮影用のターゲット(Edmund Optics、DOF 5-15 Depth of Field Target)を配置した。反対側にカメラ(Edmund Optics、EO-1312C、単色)をセットし、観察のためにマイクロレンズキット(Edmund Optics、EO-39686およびEO-55359)をカメラに取り付けた。単一レンズセルの可変焦点性能を確認するために、マイクロレンズセルの直径よりも少し大きい開口部を有する黒色の遮光板を、図1(a).に示すようにプロトタイプの上部に配置した。

Adaptive lenses have variable focal length performance and have been studied for applications in imaging, optoelectronic, and biometrical devices. The adaptive lens mostly had been realized by controlling the curvature of the refractive surface of a liquid surface profile or an interface profile between two liquids, and the focusing point could be controlled by piezo actuator pumps, electrowetting phenomena, dielectrophoresis and some other ways. However, unlike the previous variable focus lenses who were filled with liquid, this research proposed a fabrication method on how to build a variable focus microlens array based on a dielectric elastomer actuator (DEA). The proposed lens array was functioned with the variable focal performance. The DEA material, who is a soft elastomer, serves as the lens material.

When a voltage was applied on the DEA elastomer, the electric field will arouse an effective compressive Maxwell stress across the elastomer. The electrostatic pressure will squeeze the DEA elastomer, result in decreasing in thickness and increasing in area. Two electrode plate with microlens array pattern was attached on top and bottom of the DEA elastomer, and connected with a programmable voltage supply. 40*40 mm square and 1 mm thickness acrylic elastomer (3M, VHB 4910) was employed as DEA material. Two electrodes (circular conductive stainless plates) with 30 mm in diameter and 1 mm thickness were placed on top and bottom of the DEA elastomer separately. Two electrodes were fixed in the holes of two insulate plastic plates (40*40 mm square, 1 mm thickness and 30 mm holes) in order to avoid electrical discharge. The electrode plates were fabricated with 9*9 lens array pattern, and each lens cell's aperture size was 1.5 mm in diameter. The electrode plates were pasted on the DEA elastomer firmly, so that when the active voltage was applied on the DEA elastomer, the electrodes can squeeze the elastomer and reshape the lens profile. The focal length of the lens cell will be changed by controlling the applied voltage.

A target with depth information (Edmund Optics, DOF 5-15 Depth of Field Target) was placed behind the test microlens array prototype. A camera (Edmund Optics, EO-1312C, monochrome) was set in the opposite side, and a microlens kit (Edmund Optics, EO-39686 and EO-55359) was mounted on the camera for observation. In order to confirm the variable focus performance of a single lens cell, a black occluder with an aperture, that was a bit larger than the diameter of the microlens cell, was placed above the test prototype, as shown in the Fig.

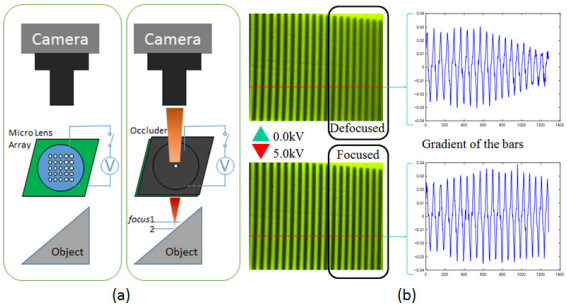


図 1（a）マイクロレンズを有するカメラにより、マイクロレンズアレイのプロトタイプを介して、深度フィールド情報を有するターゲットが観察された。1 つのレンズセルの性能を確認するために、1 つのセルの穴のサイズのみ穴を有する黒い遮光板を設置採用した。(b) 左上の画像は、DEA にゼロ電圧が印加されたときに撮影され、印加電圧が 5kV のときに左下の画像が撮影された。レンズセルの焦点距離が変化するため、画像の右側のピントが上の画像とくらべて下の画像が合っていることが確認された。

Figure 1. (a) A target with depth field information was observed by a camera with a micro lens mounted through the micro lens array prototype. A black occlude was employed so as to confirm the tunable performance of one lens cell. (b) The upper left image was captured when zero voltage was applied on the DEA, and while the lower left image was recorded when the applied voltage was 5 kV. The right side of the image was changed from defocus to focus, due to the focal length changing of the lens cell.

3.9 ローコスト高解像度三次元マイクロスコープ
Readily Available 3D Microscopy Imaging System with Variable Focus Spinner

光学システムでは大口径レンズを利用すると高解像度な画像を撮影可能であるが、被写界深度が浅くなってしまう。高解像度性と被写界深度の拡大を両立させるには、モーターのラック・ピニオンの動きによってレンズを前後に駆動する必要がある。

しかし、モーターの連続的な前後回転は正負の電流を交互に利用するため高い電力を消費してしまい、オーバーヒートを防ぐ安全のための停止が働いてしまう。また、このような状況で高速な応答を達成することは極めて困難である。

このような問題に対し、本研究では顕微鏡システムを改造して三次元焦点走査を達成できるような、低コストかつ容易に利用可能な方法を構築した。具体的には、異なる厚さのプレートを有する可変焦点スピナーを作り、異なる焦点面で12枚の画像群を撮影し、画像群のスケール・位相を補正してからラプラシアン演算子を用いて合焦画素を抽出し、全焦点画像および奥行きマップが得られる。

本システムの基本原理は参考用として有用で、自身で可変焦点スピナーを容易に構築でき、特定の目的に向けたパラメータ修正を含む再設計が容易である。バイオイメージング、チップ検査、三次元センシング、3Dプリントを含む様々な応用が期待される。

A large open aperture in an optical system can capture high-resolution images but yields a shallow depth of field. In order to keep the high-resolution and enlarge the DOF at the same time, back-and-forth movement of the lens should be driven by the rack and pinion motion of a motor.

However, continual forward and reverse rotation is a high-power-consumption task, because positive and negative current are used alternately to control the motor, which quickly triggers a safety stop to prevent overheating. Moreover, it is quite difficult to achieve high-speed responses in such conditions.

To overcome those issue, we investigated a low-cost, readily available method for retrofitting microscopy imaging systems to achieve 3D focus scanning in this study. Specifically, a procedure for fabricating variable focus spinners with dissimilar plates was introduced, and a sequence of 12 images was captured in different focal planes. The image scale and phase were corrected, and the in-focus pixels were abstracted by employing the Laplacian operator. Finally, an all-in-focus sharp image was generated, and a depth map was obtained.

The basic principle of the developed system is useful as a reference, and users could easily build their own spinners and modify and redesign the parameters for specific purposes. This design has a wide variety of potential applications, including in biomedical imaging, chip inspection, 3D sensing, and 3D printing, among other areas.

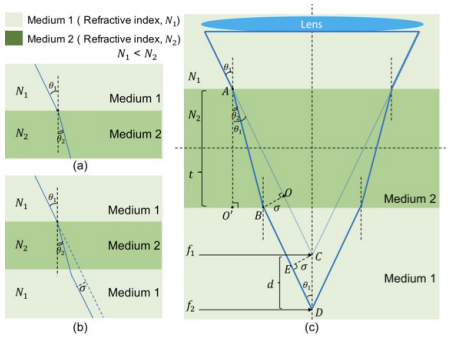


図 1 屈折の法則の模式図。レンズの前方に媒体 2 を配置することによって、f1 から f2 まで焦点距離を延長する。

Figure 1. Illustration of the law of refraction. (a) Basic refraction scenario, where the ratio between the sines of the angles of incidence and refraction is equal to the ratio between the indices of refraction of the two media. (b) A light beam passes through a transparent plate with a certain index of refraction and is refracted twice: when it hits the upper boundary and when it passes through the lower boundary. The final light beam is parallel to the incident beam but is shifted by a certain amount. (c) Extension of the focal length from f1 to f2 by placing Medium 2 in front of a lens, given that N2 > N1.

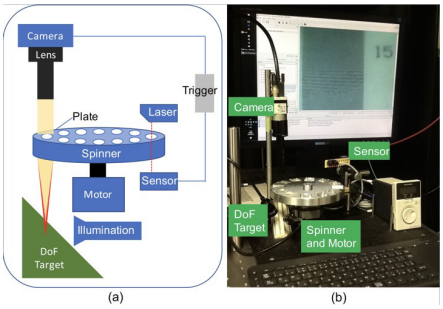


図 2 実験のセットアップ。(a) 可変焦点結像系セットアップの模式図。(b) 実験装置の写真。可変焦点スピナーは、異なる厚さの透明プレートで取り付けられた 12 個の開口部を有する。

Figure 2. Experimental setup. (a) Sketch of the setup of the variable focus imaging system. (b)Photograph of the experimental setup. The variable focus spinner had 12 apertures that were mounted with different transparent plates.

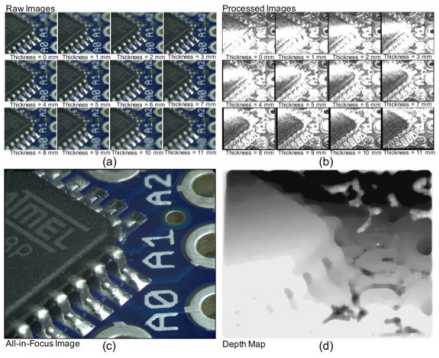


図 3 板厚を 0 mm から 11 mm に変えて得た画像。(a) 生画像シーケンス。(b) スケールと位相を補正し、ラプラシアンエッジ検出した画像。(c) 合焦画素を統合することで生成した全焦点画像。(d) 画像のインデックス番号から作成した奥行き情報を含む奥行きマップ。

Figure 3. Images obtained by changing the plate thickness from 0 mm to 11 mm. (a) Raw image sequence. (b) Images obtained after rescaling, phase correction, and Laplacian edge detection. (c) All-in-focus sharp image generated by merging the in-focus pixels. (d) Depth map produced by using the index numbers of the images, which contained depth information.

3.10 3D 拡張現実ヘッドアップディスプレイ
3D Augmented Reality Head-Up-Display

ヘッドアップディスプレイ(Head-Up Display, 略称: HUD,「ハッド」と発音する)は, 人間の視野に直接情報を映し出す技術である. ユーザーは前方から視線をそらすことなく、周辺デバイスなどの情報を視野の前方に表示された映像として視認することができる.

現在、自動車のドライバーが前方から視線をそらすことなく、車のフロントガラスもしくはコンバイナー上に映像が表示され、スピードメーターやカーナビゲーションなどの情報を運転支援システムとしてヘッドアップディスプレイ採用されている. しかし、従来のHUD投影技術(ここでは2D HUDと呼ぶ)では表示映像が数メートル(3 ～ 5m)先にあるように見せることで、実空間に存在する周辺の車両や歩行者、信号、標識、車線などにAR(拡張現実)を重ね合わせる表示は難しいとなる. 上記の映像の空間的整合性のために, ユーザーの頭部位置が基準観測位置にあり, 視線が光軸に一致する必要がある.

それに対し3D HUD技術は, 三次元空間に虚像投影を行う技術であり, 映像を表示する対象の三次元位置に合わせて, 映像の表示位置を変更することができる. すなわち三次元空間での映像表示を用いることで, ユーザーの頭部位置が基準観測位置から移動しても, 表示映像はずれることがない.

上記の研究成果は、東京大学石川渡辺研究室とコニカミノルタ社との共同研究である.

Head-Up-Display (HUD) enables a driver to view information with his head positioned "up" and looking forward, instead of angled down looking at lower instruments. By adding the Augmented Reality technology, targets, like people and cars, can be marked to alarm to the drivers to avoid the potential accidents.

Traditional 2D AR HUD projects information messages at a certain distance away from the driver. It asks a driver to observe the projection along the optical axis at a certain point. When the driver moves his head, a miss-matching projection occurs between the projected data and the target in the real world.

In this 3D AR HUD technology, a 3D virtual display can be projected in front of the driver. AR messages will be dynamically projected according to the 3D locations of the targets. In our 3D HUD, a virtual display is projected into a three-dimensional world, so there will be no mismatch when the driver moves.

The following demos were recorded by two cameras, which were placed at different places. When the camera was placed along the optical axis, 2D and 3D markers were all perfectly matched. When the camera was placed at an angle to the optical axis, a mismatch was found in 2D HUD, but 3D HUD was still well matched. Another demo shows that if two messages are projected along the same line but at different distances, they are aligned when looking straight, but not aligned when looking from an angle. By using this technology, a speedometer can be dynamically projected at a near or far distance according to the car-speed, so that the driver can enjoy driving more.

This work was conducted by a joint research project between Ishikawa Watanabe Laboratory and Konica Minolta Inc..

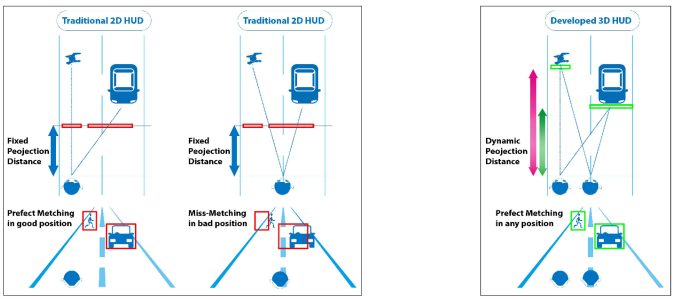


図１.（左図）従来の HUD は、特定の注意情報をウインドウに映し出すことが可能だが，運転者の視線や速度に関係なく決まった奥行き位置に表示される．そのため運転手の視線がずれると，観測される表示にもずれが生じていた．（右図）今回の技術では，高速投影技術を利用して三次元空間に虚像投影を行う．映像の表示位置を数 m～数十 m などに変更可能であり，三次元的な空間表示となるためドライバーの視点位置が基準観察位置からずれても，AR 表示は情報を重畳させる対象からずれない．

Figure 1. (Left) When a user observes in a good position that follows the specified optical axis, the projected data and the target will be well matched. However, when the observing axis have any movement, in position (b), there will be a mismatch projection between the display and the real world.. (Right) In this 3D HUD technology, a 3D virtual display can be projected. AR markers will be dynamically projected according to the 3D locations of the targets. Because the message is projected into a three dimensional world, there will no mismatch even when the drivers moves.



図２. 2D HUD 投影の写真．投影内容（赤）はドライバーから一定な距離のみ．

Figure 2. A photo of 2D HUD projection. All the 2D HUD markers were projected at a certain distance.



図３. 3D HUD 投影の写真（手前に合焦）．投影内容(緑)はドライバーから複数な距離に描画可能．

Figure 3. A photo of 3D HUD projection. 3D HUD markers were projected at different distance. This photo were token when it focused at close.

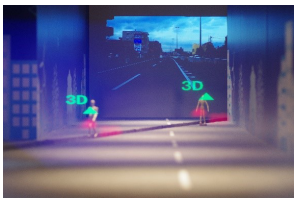


図４. 3D HUD 投影の写真（後ろに合焦）．投影内容(緑)はドライバーから複数な距離に描画可能．

Figure 4. A photo of 3D HUD projection. 3D HUD markers were projected at different distance. This photo were token when it focused at far.

3.11　液体レンズを用いた高速焦点追従投影システム
High-Speed Focal Tracking Projection Based on Liquid Lens

メディアアート，エンターテインメント，拡張現実の新展開を支える基盤技術として，プロジェクションマッピングが注目を集めている．しかし，従来のプロジェクタは被写界深度が浅く，ボケずに投影できる範囲が限られていた．また，運動する物体に投影可能なダイナミックプロジェクションマッピングにおいて，一定距離範囲内での追従投影は達成されてきているが，奥行方向に大きく外れると投影像がボケてしまうため，大きな制約となっていた．

そこで，高速ビジョン・高速プロジェクタ・高速可変焦点レンズを統合した高速焦点追従投影システムを新たに開発した．このシステムでは，高速カメラによる対象物体の奥行きと姿勢の瞬時の認識結果を元に，高速な応答性を持つ液体レンズによる焦点距離の補正と，高速プロジェクタによる投影内容の更新がリアルタイムに行われる．これにより，奥行方向に大きな動きがある場合でも，焦点の合った像の追従投影が実現される．

本システムを用いることで，3次元的にダイナミックな運動する物体に対しても，すべての位置で投影像の焦点を合わせることができる．この技術は，Volume Slicing Displayのような応用のほか，実世界上のあらゆる面を投影像で塗り替え，外観を自在に操作したり，情報提示をしたりする応用を様々な分野で展開するうえで，欠かせない技術になると期待される．

上記の研究成果は、東京工業大学 渡辺研究室・中国広東省科学研究院半導体研究所 王研究室との共同研究の成果である．

Projection mapping (PM) is attractive as a fundamental technology for the advancement of various subjects, such as media art, entertainment, and augmented reality. However, conventional projectors have a shallow depth of field (DOF); therefore, sharp images are only visible in the limited depth range. In the case of dynamic projection mapping (DPM), which can project images on the surface of the moving objects, the shallow DOF limits the permissible motion of the object, because the projected images become blurred when the object is outside the DOF.

Our laboratories have developed a high-speed focal tracking projection system, which includes the technologies of high-speed vision, high-speed projector, and high-speed variable focus optics. In this system, the variation of the object's distance and posture was captured using the high-speed vision technology that served as immediate feedback to the liquid lens and high-speed projector. As a result, the focal distance is compensated, and the projected images are updated in real-time to fit the moving object. Therefore, a well-focused image projection was achieved even when the motion involved large depth range movement.

This system could ensure that the projected images

were sharp and clear at variable distances, while the object was moving dynamically in a large three-dimensional area. Hence, this approach can be effectively applied to applications such as Volume Slicing Display. Furthermore, it can turn any physical surface into an interactive display, and enable the manipulation of their appearance to provide detailed information. Our system provides the essential technology for expanding such applications.

This work is the result of collaborative research between our laboratory, Watanabe Laboratory (Tokyo Institute of Technology), and Wang Laboratory (Institute of Semiconductor, Guangdong Academy of Sciences, China).

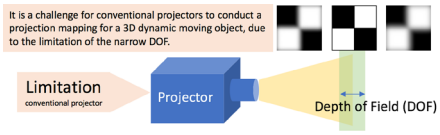


図1 既存技術では狭い被写界深度のため，投影範囲は二次元空間（狭い奥行き範囲）に制約
Fig.1 The conventional projectors have a shallow depth of field.

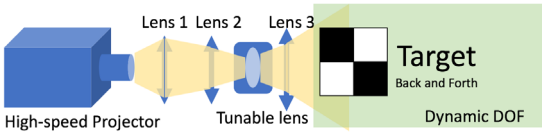


図2 本技術は三次元的にダイナミックな物体に対してもボケずに鮮明に投影可能
Fig.2 The proposed technology can project sharp images in large depth range.

バージョン1

高速焦点追従投影システムバージョン１を開発しました．バージョン１では，液体レンズを用いた光学系を構築し，高速に焦点距離を変更可能なシステムを開発しました．距離センサから得られた距離情報をフィードバックし，液体レンズを制御することで対象の距離が変化してもボケなく投影できます．さらに，距離に応じて投影内容を更新することで，Volume Slicing Displayなどの応用が実現できます．

Version 1

The first version of the high-speed focal tracking projection system has been developed. In this version, we have developed a high-speed variable focus optics unit, which can change the focus at high-speed. In this system, the object's distance was captured using the depth sensor that served as feedback to the liquid lens. As a result, the focal distance is compensated. Moreover, by updating the projected images, volume slicing display has been achieved.

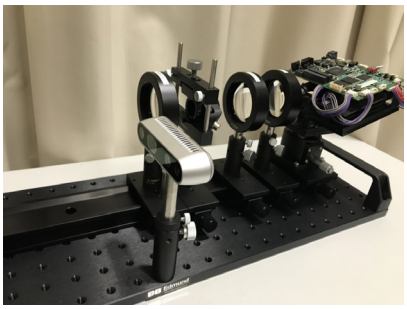


図3 開発した液体レンズを用いたダイナミック投影機のプロトタイプ
Fig.3 Prototype of dynamic focus projector using a liquid lens. (Ver.1)

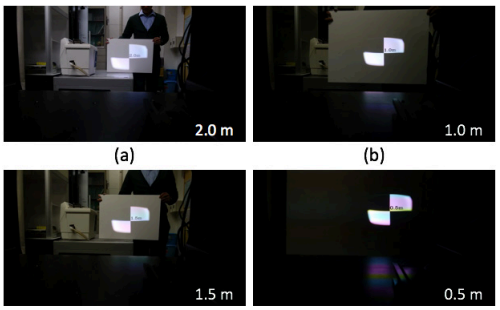


図4 2.0mから0.5mまで移動する投影対象物（ホワイトボード）に常に鮮明に投影
Fig.4 Projection images are kept in-focus, while target (white board) moves from 0.5m to 2.0m.

バージョン2

高速焦点追従投影システムバージョン２を開発しました．バージョン２では，バージョン１に高速ビジョン・高速プロジェクタを統合し，フィードバックと投影画像更新の高速化を行いました．また，マーカを用いた高速な位置姿勢推定を導入しました．これにより，対象の距離だけでなく，姿勢変化に合わせたダイナミックプロジェクションマッピングをボケなく実現できます．

Version 2

The second version of the high-speed focal tracking projection system has been developed. In this version, we incorporated the technologies of high-speed vision and high-speed projector in order to increase in speed of feedback and update the projected images. Moreover, high-speed marker tracking method was incorporated to estimate the object's distance and posture. As a result, a well-focused dynamic projection mapping was achieved even when the motion involved large depth range movement.

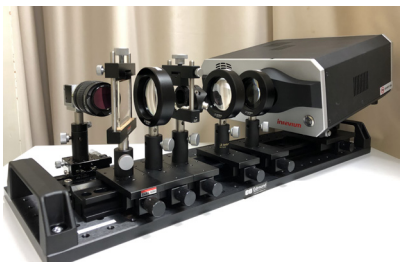


図5 液体レンズを用いた投影システムの試作機
Fig.5 Prototype of projection system using a liquid lens. (Ver.2)

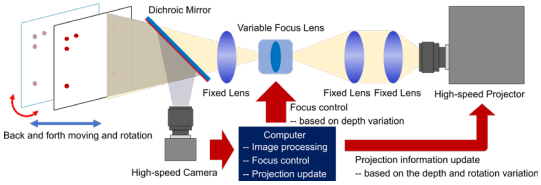


図6 提案システム概要
Fig.6 System configuration.

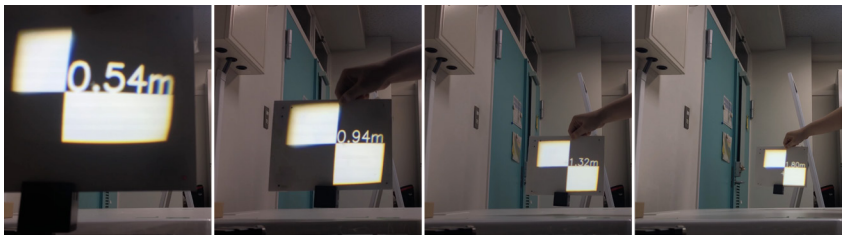


図7 広い奥行範囲で鮮明に投影している様子
Fig.7 In-focus projection in the large depth range.

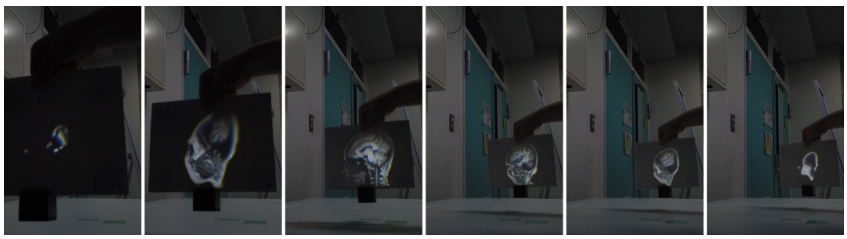


図8 Volume Slicing Display として距離に応じて投影内容を変化させている様子
Fig.8 Volume Slicing Display: change images based on the distance.

3.12 定量的気管内視鏡画像計測に向けた動脈波シミュレータ
Arterial Simulator for Quantitative Tracheal Endoscopic Image Measurement

小児には気管軟化症(tracheomalacia)と呼ばれる，気管軟骨が軟弱になる等により吸気時に気管が虚脱してしまう疾患があるが，現状の気管軟化症の診断は定性的な気管支鏡検査に留まっている．医療の均てん化に向けた気管軟化症の内視鏡検査による定量的診断には呼吸変動の適切な計測が必要だが，呼吸変動の計測の妨げになる気管内壁心原性振動の時空間的定量化も必要となる．高速内視鏡イメージングは気管や呼吸の変動を定量化する可能性を秘めているが，動脈波も含まれると考えられる気管内視鏡画像内の心原性振動(図1)に対しその計測精度や特性が明らかでなく，また気管内壁心原性振動のメカニズムとして動脈波と心臓組織変動との区別も難しい．

そこで本研究では定量的な気管内視鏡画像計測に向けて，脈動ポンプと超柔軟チューブによる動脈波シミュレータ(図2)を提案する．脈波で変形するチューブの2箇所に配置したレーザ変位計によりシミュレータとしての脈波伝播時間を計測する(図3)．また，チューブ内液圧調整により，一定範囲内で特定の脈波伝播速度を生成可能とする．そして調整された脈波伝播速度を用いて，高速内視鏡イメージングによる脈波計測精度を定量化し，計測特性を明らかにすることができる．実際に開発した動脈波シミュレータにおいて，高速内視鏡イメージングによる脈波の計測が可能なことを示した(図4)．本シミュレータを活用した定量的な高速内視鏡イメージングの開発および発展により，医療分野への応用展開が期待される．

In children, a condition called tracheomalacia occurs where the tracheal cartilage becomes weak, causing the trachea to collapse during inhalation. Currently, diagnosis of tracheomalacia relies solely on qualitative endoscopy. For quantitative diagnosis of tracheomalacia via endoscopy, aiming for equalization of medical care, accurate measurement of respiratory fluctuations is essential. However, spatiotemporal quantification of cardiogenic oscillations on the tracheal wall, which can interfere with respiratory fluctuation measurements, is also required. High-speed endoscopic imaging holds potential for quantifying tracheal and respiratory fluctuations. However, its measurement accuracy and characteristics remain unclear for cardiogenic oscillations within tracheal endoscopic images (Fig. 1), which are thought to include arterial waves. Furthermore, distinguishing between arterial waves and cardiac tissue motion as mechanisms for tracheal wall cardiogenic oscillations is difficult.

Therefore, this study proposes an arterial simulator (Fig. 2) using a pulsatile pump and an ultra-flexible tube for quantitative endoscopic image measurement. Pulse transit time is measured using laser displacement sensors placed at two points on the tube deformed by the pulse wave (Fig. 3). Furthermore, by adjusting the fluid pressure inside the tube, specific pulse wave velocities can be generated within a certain range. Using this adjusted pulse wave velocity, the accuracy of pulse wave measurement via high-speed endoscopic imaging can be quantified, clarifying its measurement characteristics. We demonstrated that pulse wave measurement via high-speed endoscopic imaging is feasible using the developed arterial simulator (Fig. 4). The development and advancement of quantitative high-speed endoscopic imaging utilizing this simulator is expected to lead to applications in the medical field.

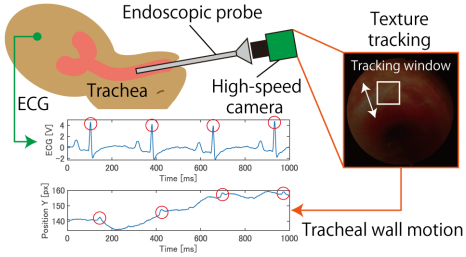


図1 気管内視鏡画像計測
Fig. 1 Tracheal endoscopic image measurement.

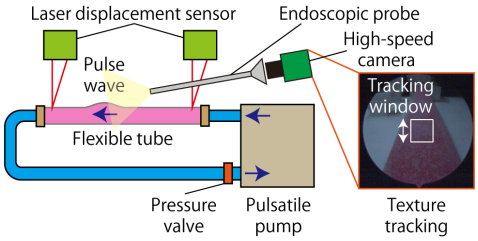


図2 動脈波シミュレータ
Fig. 2 Arterial simulator.

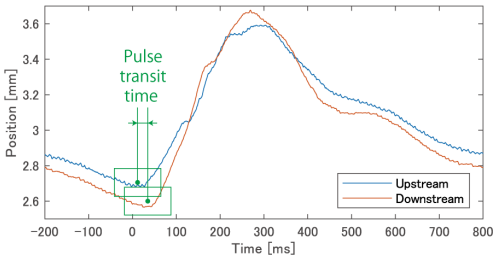


図3 レーザ変位計による脈波伝播時間計測
Fig. 3 Pulse transit time measurement using laser displacement sensors.

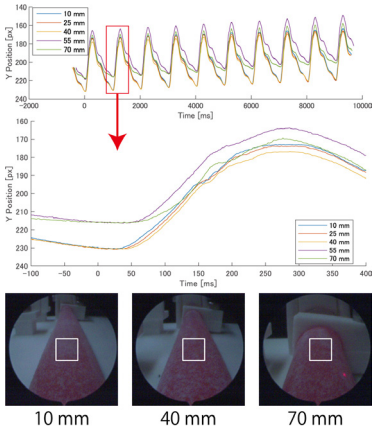


図4 画像追跡による脈波計測
Fig. 4 Pulse wave measurement using image tracking.

3.13 サッカードミラー（駆動鏡面を用いた高速視線制御デバイス）
Saccade Mirror: High-speed Gaze Control Device Using Rotational Mirrors

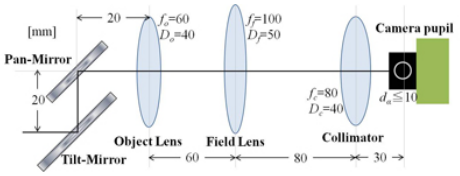


図1 サッカードミラーのセットアップ
Fig.1 Setup of Saccade Mirror

通常ビジョンシステムの視野には限界があるが，主として監視用途やロボットビジョン用途ではその範囲を超えた広い領域の映像を取得したい場合が多く，レンズを含むビジョン（カメラ）自体を動かしてパン・チルトの視線方向を制御できる電動雲台がよく用いられている．一方で近年ビジョンシステムのフレームレート・画像処理速度は共に高速化してきており，一般にこのようなビジョンシステムを高速ビジョン（High-speed Image Processor）と呼ぶ．もしこの高速ビジョンの視線を，ミリ秒（1 ミリ秒 = 0.001 秒）オーダの撮像・画像処理時間に見合う速さで動的に制御すれば，従来ならば速過ぎて差し迫った画角で撮影するのが困難であった運動対象を，適当な画角でかつブレが無い状態で映像計測することが可能となる．このような映像は，メディアコンテンツ，医療，FA，ロボットビジョンなど様々な分野での応用が期待できる．ところが現実には，電動雲台を用いてビジョンの視線を制御するのに要する時間は，撮像・画像処理に要する時間に比べはるかに長く，これがシステム全体の高速化のボトルネックとなっている．そこで我々は，ビジョン自体は固定したまま，光学的に視線方向のみを高速に制御可能なデバイス，サッカードミラー（Saccade Mirror）を提案する．

サッカードミラーは，2軸のガルバノミラーと瞳転送系と呼ばれるレンズ群から構成される．前者は本来レーザを走査するためのデバイスであるため，鏡面のサイズは小さく高速な応答を実現する．しかし，単純にミラーだけを直列に配置した場合，光線束が鏡面上を通過する領域は大きく制限されるため実用的な画角を得ることが出来ない．かといってミラーサイズを大きくしてしまうと，せっかくの高速性を著しく損ねてしまう．そこで瞳転送系と呼ばれるレンズ群を，ミラーとマウントするカメラの間に配置し，カメラの瞳を両ミラーの前後に転送することで本問題を解決した．

この度設計した試作品は，およそ30 degの画角まで対応できるものとなっている．実際に試作品の応答時間を測定した結果，pan，tiltとも視線の最大走査時（40 deg）で3.5 ms以内という非常に小さい値であった．

We developed a high-speed gaze control system to achieve a millisecond-order pan/tilt camera. We named this system "Saccade Mirror." A pan/tilt camera, which can control the gaze direction, is useful for observing moving objects for supervision, inspections, and so on. A high-speed image processor that can both image and process in real time every 1-ms cycle has recently been developed. If this image processor were applied to a pan/tilt camera, it would enable observation of extremely dynamic objects, such as flying birds, balls in sports games, and so on. However, to control the camera's gaze with millisecond order in real time is difficult. The main reason is the method of controlling the gaze. A general pan/tilt camera is mounted on a rotational base with two-axis actuators. The actuators must control both the base and the camera. For millisecond-order control, the weight of the rotating parts must be reduced as much as possible. In our method, the camera is fixed and Saccade Mirror is installed next to the camera. Saccade Mirror controls the camera's gaze optically using two-axis rotational light mirrors.

Saccade Mirror is composed of two important parts, two galvanometer mirrors and pupil shift lenses. A facial size of a galvanometer mirror is small because it is usually used for scanning laser. We cannot expect a wide angle of view if only galvanometer mirrors are used. Pupil shift lenses, however, make an angle of view wider with shifting the camera pupil to near the mirrors. The prototype of Saccade Mirror can be applied up to approximately 30 deg. We measured its response time and ascertained it was mere 3.5 ms even if scanning 40 deg, the widest angle, for both pan and tilt.

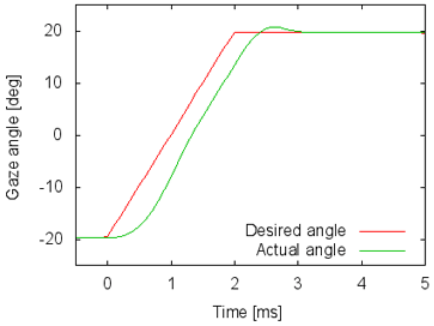


図2　応答時間測定実験の結果
Fig.2 Experimental Result

3.14　高速飛翔体の映像計測
Stationary Observation System for High-speed Flying Objects

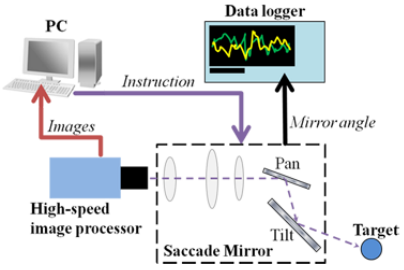


図1　ビジュアルフィードバック系
Fig.1 Visual feedback system.

撮像レートと視線制御レートがともにミリ秒オーダの超高速アクティブビジョンは，ロボットビジョン，メディア，FAなど様々な分野で有用性が期待される．しかし従来の電動雲台によるアクティブビジョンではミリ秒オーダという高速な視線制御が実現出来ない．そこで我々は電動雲台ではなく，光学的にカメラの視線だけを高速に制御出来るデバイス（サブシステム），『サッカードミラー』を開発した．サッカードミラーはパン・チルトそれぞれ60度の視線制御可能範囲を有し，そのステップ応答はわずか3.5 msである．

我々はこの高速性を生かして，スポーツ中継などに大きく貢献すると考えられる高速飛翔体の映像計測システムを構築した．本システムは，サッカードミラー，高速ビジョン，計算機からなるビジュアルフィードバック系である（図1）．映像計測したい対象の画像内の重心位置を逐次計算し，その位置と画像の中心が一致するように視線を制御する．これを繰り返すことで，常に画像中に計測対象がおおよそ画像中心にあるような映像を得ることが出来る（図2）．

ただし，実際にはサッカードミラーの応答時間の限界や計算機による遅延などもあり，とくに計測対象が高速である場合は，完全に画像中心と対象物体を一致させることは困難である（トラッキングエラー）．そこで取得された映像の各フレームに対して再度重心を計算し，その重心が完全に画像中心になるよう画像自体をスライドさせることでトラッキングエラーを補正している．本補正技術は，微生物の擬似静止観察に用いた2nd-pass Image Processingを並進方向に対してのみ適用したものである．

We have developed "Saccade Mirror" and successfully achieved a millisecond-order high-speed pan/tilt camera. As an application of this high-speed pan/tilt camera, we propose a stationary observation system for high-speed flying objects. This system is a kind of visual feedback system which is composed of the Saccade Mirror, a high-speed image processor and a computer (Fig.1).

A developed tracking algorithm is presented (Fig.2). It computes the center of mass of a dynamic target for every frames, and controls the mirrors' angle to let the center of mass correspond with the center of image. Then, it can track the target by these iteration.

These images, however, still have a little translational tracking error due to the mirrors' response and the computer's delay. So for our stationary observation, the computer finally let obtained each image slide even to compensate the tracking error using 2nd-pass Image Processing (for only translational components).

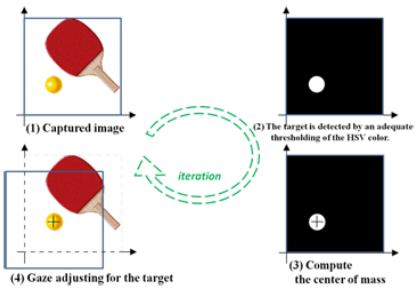


図2　トラッキングアルゴリズム
Fig.2 Tracking Algorithm.

3.15 1ms オートパン・チルト
1ms Auto Pan-Tilt

サッカーのワールドカップやオリンピックなど，スポーツのテレビ放映は人気が高く，それだけにより迫力がある，わかりやすい映像の撮影が求められている．特にサッカーや野球などでは，球や人が激しく動きまわるシーンが多く，そのような動的な状況を安定して撮影することが必要であるが，カメラマンがこのような激しく動く対象にあわせてカメラを動かすことは難しい．そこでこれまでは，広い画角で視線をゆっくり動かしながら全体の状況を撮影するか，もしくはある程度予測に基づいてカメラの方向を変えて，たまたまうまく撮影できたシーンを選択的に放送するなど，撮影可能な構図が限られてきた．特に，注目している選手や球にクローズアップした超スロー映像等は迫力があり価値が高いが，このような画像をカメラマンが撮影することは不可能であった．

そこで当研究室では，この問題を解決するために，1msオートパン・チルト技術を開発した．この技術は，ちょうどオートフォーカスが自動的にフォーカスをあわせるのと同様に，画面の中心に対象がくるように自動的にパン・チルト方向を制御する技術である．卓球のラリーにおける球のように高速な対象でも，当研究室で開発したサッカードミラーと呼ばれる高速視線制御ユニットと，1000fpsの高速画像処理によって安定して追従でき，あたかも画面中央に球が止まっているかのような「1msオートパン・チルト映像」を記録することができる．サッカードミラーは，カメラ全体を動かすかわりに隣接する2つの小さな鏡を回転させることで視線方向を制御するもので，パン・チルト共に最大60度の視線制御が可能である．さらに，ミラーの高速性により，40度の視線方向の変更を3.5ミリ秒（1ミリ秒は1/1000秒）で行うことができる．また，小さな鏡でも大きな画角とフルハイビジョンの高精細画像に対応する光学系を開発したことで，ハイビジョン放送にも耐える画質を実現した．

図1にシステムの外観写真を示す．また，実際の適用例として，卓球をしている様子の1msオートパン・チルト映像を図2に示す．この図はフルハイビジョンの高速カメラで500fpsの高速撮影したものを画像系列として示したものであり，ラリー中の卓球が常に視野中央にくる映像が撮影できていることがわかる．また，1msオートパン・チルト映像の動画がこのページ下部に示されている．本システムにより，スポーツ放映における決定的瞬間をクローズアップしたスローモーション高精細映像として記録するなど，放送技術に格段の進歩をもたらすことが期待される．また，これまで難しかった飛翔する鳥・昆虫や自動車・飛行機等の高速移動対象の詳細な映像記録・解析も可能となる．

Broadcasting contents of sport games (e.g. the FIFA World Cup, the Olympic games etc.) have been quite popular. Hence, high-quality and powerful videos are highly demanded. However, it is often hard for camera operators to keep tracking their camera's direction on a dynamic object such as a particular player, a ball, and so on. In such cases, shootable method has been limited to either moving the camera's gaze slowly with wide angle of view, or controlling the gaze not accurately but based on a prediction and adopting some parts which are shot well by chance. Super slow and close-up videos of the remarkable player or the ball are thought to be especially quite valuable. However, camera operators have not been able to do that.

To solve this issue, we developped "1ms Auto Pan-Tilt" technology. This technology can automatically control the camera's Pan-Tilt angles to keep an object always at the center of field, just like "autofocus" keeps an object in focus. Even a high-speed object like a bouncing pingpong ball in play can be tracked at the center due to a high-speed optical gaze controller Saccade Mirror and a 1000-fps high-speed vision. The Saccade Mirror controls a camera's gazing direction not by moving the camera itself but by rotating two-axis small galvanometer mirrors. It controls the gaze by 60 deg, the widest angle, for both pan and tilt. And steering the gaze by 40 deg takes only 3.5 ms. The newest prototype system accesses a Full HD image quality for an actual broadcasting service.

A photograph of the Saccade Mirror is shown in Fig.1. An image sequence of 1ms Auto Pan-Tilt movie of a pingpong game is shown in Fig.2. The movie was captured by Full-HD high-speed camera with 500fps. From the figure, the ball in the game always can been seen at the center of the each image. A 1ms Auto Pan-Tilt movie is also shown as a video in the bottom of this page. Here, we envision the system for a broadcasting service of a sport game, but also expect recording detail dynamics of a flying bird, an insect, a car, an aircraft, and so on.



図 1 サッカードミラー外観写真
Fig.1 Photograph of the Saccade Mirror.



図 2 卓球の 1ms オートパン・チルト映像（500fps フルハイビジョン）
Fig.2 Auto Pan-Tilt image sequence of a pingpong game. (500fps, Full-HD)

3.16 動く手のひらや物体に映像と触覚刺激を提示できるシステム：高速で無拘束な未来型情報環境の実現
Visual and Tactile Cues for High-Speed Interaction

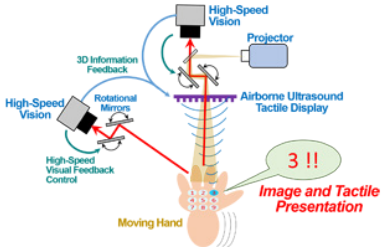


図１システム概要
Fig.1 System Configuration.

本システムは、当研究室で開発された3次元空間内の対象を高速ビジョンと2枚のミラーによって遅延なくトラッキングする2台の「1ms Auto Pan/Tiltシステム」を用いて、動く対象に映像（ゲームやコンピュータの画面、動画等）をプロジェクションすると同時に、対象の3次元位置を2ms（ミリ秒）ごとに抽出することが可能なシステムと、東京大学新領域創成科学研究科複雑理工学専攻／情報理工学系研究科システム情報学専攻篠田研究室で開発された超音波発振機アレイを用いた「非接触触覚ディスプレイ」により、対象の３次元位置に合わせて、特に手のひらの特定の位置に触覚刺激を呈示するシステムの２つを統合した新しいシステムである．今回、身のまわりにある紙や手のひらがコンピュータやスマホのディスプレイに変身し、しかも触覚刺激まで感じられるものを実現した．いわばプロジェクションマッピング技術の動物体版かつ触覚提示版とみなすことができるものである．

本システムは、高速画像処理の技術を用いることで、人間の認識能力をはるかに超えるスピードで環境に存在する手や対象物を認識し、遅延等の違和感なく情報の表示と入力に利用することを可能にするもので、たとえ動く物体であってもその物体をヒューマンインターフェイスの道具に用いることができることを示したものである．従来のコンピュータやスマホがものの中に知的機能を埋め込もうとしていたのに対して、既存の環境や物体そのものに情報を埋め込むものであり、今後の我々の情報環境を劇的に変える可能性を示唆するものと考えている．

This is a new system which integrates two subsystems. One subsystem can extract a 3-dimensional position of a moving object every 2ms, and project pictures (e.g. a screen of a video game or a computer, a movie etc.) on the moving object at the same time, using two "1ms Auto Pan-Tilt" systems we developed which can track an object in 3-dimensional space without delay by high-speed vision and two rotational mirrors. Another subsystem can display tactile sensation on an object depending on its 3-dimensional position, especially a paticular position on a palm of a hand, using "Airborne Ultrasound Tactile Display (AUTD)" by an array of ultrasonic oscillators, which is developed by the Shinoda Laboratory, Department of Complexity Science and Engineering Graduate School of Frontier Sciences, Department of Information Physics and Computing, the University of Tokyo. This time, we realized a demonstration that papers around us and our hands are transformed into a screen of a computer or a smartphone, and we can feel even tactile sensation. In a sense, this system can be regarded as a moving object version and a tactile sensation version of projection mapping technology.

This system recognizes our hands and objects existing in the environment at a high-speed beyond human's ability of recognition by high-speed image processing technology, and it is possible to use the system to display and input information without uncomfortable feelings such as a delay. Thus, this system shows that we can use a object as a tool for human interfaces even if the object is moving. While we aim to embed intelligent function into objects such as conventional computers and smartphones, this system embeds information into existing environments and objects; it points the way toward future dramatic changes in our information environment.

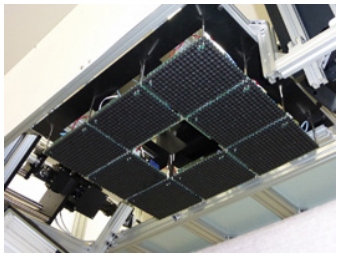


図２ 1ms AutoPan/Tilt システム及び触覚ディスプレイ発振機アレイ
Fig.2 1ms AutoPan/Tilt and Airborne Ultrasound Tactile Display.

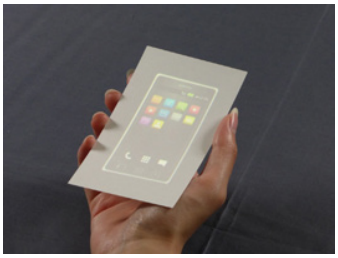


図３ 動く紙に表示される映像
Fig.3 Picture displayed on a moving paper.

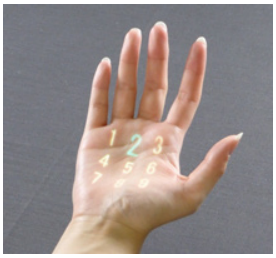


図４ 動く手に表示される映像（触覚刺激も表示されている）
Fig.4 Picture dislayed on a moving hand. (Tactile sensation is also displayed.)

3.17 るみぺん（動的対象へのプロジェクションマッピング）
Lumipen: Projection Mapping on a Moving Object

プロジェクタを用いて，視覚情報を光学的に物体へ重畳させる，いわゆるプロジェクションマッピングが近年注目されている．比較的照明演出の意味合いに近いものから，インタラクティブなアプリケーションに至るまで様々である．しかしながら従来技術に共通して言えることは，主として壁，床上，机上など静的または準静的な対象を扱っており，たとえば演劇における特定演者（ここでは動いている状態を想定），スポーツゲームにおけるボールなど，高周波数あるいは高速で，広範囲に動き回る対象そのものへの投影は技術的に困難で扱われていない．

本研究室では，1秒間に1000枚もの画像の撮像・画像処理可能な高速ビジョンを用いて，様々な動的対象を扱ったアプリケーションを提示してきたが，この研究では，「動的対象へのプロジェクションマッピング」を提案する．技術としては，1msオートパンチルトに用いられている，高速視線制御ユニット（サッカードミラー）に 1000 fpsで撮像・画像処理可能な高速ビジョン及び映像提示用のプロジェクタを同軸上に設置することで，対象にタイムラグ無く継続的に画像を提示している．この技術を用いると，投影したい画像がまるで，実際にペンで描いたかのようにぴたりと対象に貼りついて見えるため，光によるペンに準え「るみぺん」と名付けた．図1にるみぺんの概要図を示す．また動的対象（ボール）に画像（表情）を投影した外観を図2に示す．

Projection mapping technology is a highly anticipated area, which has been used for mere optical effects or interactive AR applications. However, until now mainly static objects, such as things placed on tables, walls, floors or desk surfaces, have been subjected to the projected information. Dynamic scenes and high-speed objects have not been dealt with. Even if this was tried using a traditional projection mapping system, there would be a misalignment between the target and the projection due to delay in the system.

Therefore, we propose an unprecedented projection mapping technology aimed at moving targets, which is achieved by means of a high-speed vision system capable of capturing a thousand images per second and a high-speed optical device, called Saccade Mirror. This device was originally designed to keep the camera gaze fixed at a dynamic target (cf. 1 ms Auto Pan-tilt). In our projection mapping system, the projector and camera are coaxially aligned in the Saccade Mirror which provides a misalignment free projection that previously was considered to be difficult. This technology is named "Lumipen" after an imaginary pen with illumination instead of ink, where arbitrary patterns can be depicted. Fig. 1 and Fig. 2 indicate the concept of Lumipen and a scene of projecting some patterns on a moving ball respectively.

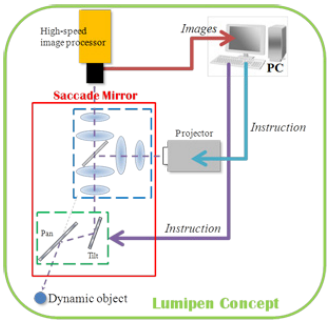


図 1 るみぺんのシステム概要
Fig.1 System Configuration.

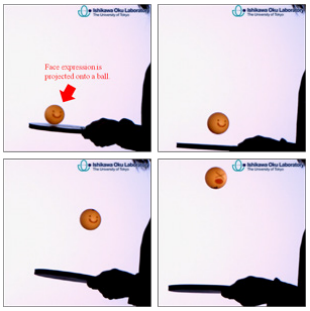


図 2 ボールに表情を投影した様子
Fig.2 Projecting an image on a dynamic ball.

3.18 るみぺん2（ダイナミックプロジェクションマッピングに向けたロバストトラッキング）
Lumipen 2: Robust Tracking for Dynamic Projection Mapping

近年，建物の壁面などの構造物に投影像を重畳させる投影型拡張現実感，いわゆるプロジェクションマッピングが盛んである．演出やヒューマンインターフェースなど様々な応用が実現されている一方，対象が静的または準静的なものに限定されており，動的な対象を扱う例は少ない．実空間とデジタル情報の座標系の一致，すなわち対象上でのずれの無い投影像が違和感のない拡張現実感に求められるが，対象の計測から投影までの遅延が大きいと動的対象においては位置ずれが生じてしまうという問題が存在する．

本研究室では，高速ビジョンと高速ミラーを用いた高速視線制御光学系（1msオートパン・チルト技術）と，高速ビジョンと光軸を一致させたプロジェクタによる「るみぺん」と呼ばれるシステムが提案されている．高速に動くボールなどに対しあたかも貼り付いたような投影ができ，従来のプロジェクションマッピング技術における動的対象での幾何学的不整合を解決可能なシステムである．しかし一方で，追従投影のための対象認識が投影像や環境照明条件に依存しやすく，安定したトラッキングの側面では技術的な課題が存在している．

ダイナミックプロジェクションマッピング，すなわち照明系の変化に対し安定した高速トラッキングのため，るみぺんシステムに対し再帰性反射背景の導入を提案する（図1）．高速ビジョンとしては明るい背景に対する暗い動的対象を認識することとなり，動画といった投影内容の変化や運動に伴う対象付近での照明条件の変化に頑健なトラッキングが可能となる．この技術により，手に持った紙（図2）や跳躍運動するボール（図3）に対し部分的に明るい幾何学的整合性のある投影が可能となり，ピッチャーの投球を火球に見せかけるなどプロジェクションマッピングの新しい応用分野を開拓できる．

Projection Mapping - images are projected to match the surface of objects, such as buildings - has recently generated much attention, and can be applied to areas such as performance art and human-computer interfaces. Projection Mapping typically targets static or semi-static objects, and few systems can deal with dynamic objects. For Augmented Reality (AR) to be experienced without discomfort, geometrical consistency between the real world and the virtual information is essential, meaning that images should be projected without misalignment on the target objects. A large delay, caused by the time between measuring the object and projecting images on the object, results in significant misalignment in the case of dynamic objects.

In our laboratory, the Lumipen system has been proposed to solve the time-geometric inconsistency caused by the delay when using dynamic objects. It consists of a projector and a high-speed optical axis controller with high-speed vision and mirrors, called Saccade Mirror (1ms Auto Pan-Tilt technology). Lumipen can provide projected images that are fixed on dynamic objects such as bouncing balls. However, the robustness of the tracking is sensitive to the simultaneous projection on the object, as well as the environmental lighting.

In order to achieve robust Dynamic Projection Mapping, we introduce a retroreflective background to the Lumipen system (Fig.1). As a result, the object will appear darker than the background during projection, which is observed using a high-speed camera. The tracking will therefore be robust to changes of the content of the projection such as movies, and changes of environmental lighting in the object's vicinity associated with its motion. The tracking technique enables Dynamic Projection Mapping with partially well-lit content and time-geometric consistency on e.g. a paper moved by a hand (Fig.2) or a bouncing ball (Fig.3). This opens up for new applications of Projection Mapping, such as visualizing a pitched ball as a fire ball.

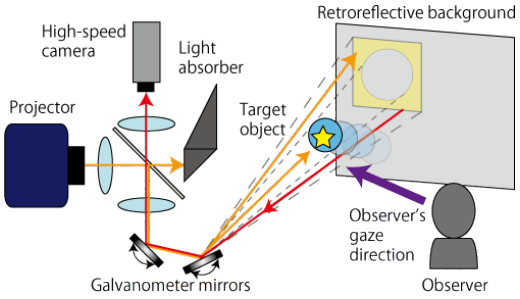


図 1 提案システム概要　Fig.1 System configuration.



図 2 手で動かしている紙に回転する図形を投影した様子
Fig.2 Projection of an image of rotating circles to a moving paper.

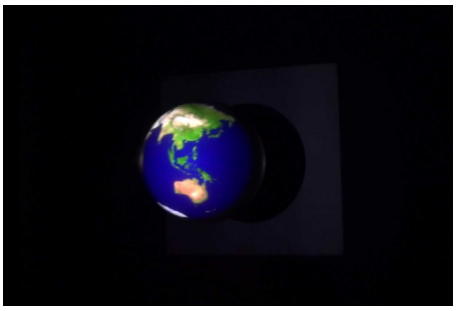


図 3 跳躍するボールに地球を投影した様子
Fig.3 Projection of an image of the earth to a bouncing ball.

3.19 VarioLight（広域運動・回転変形に対応したプロジェクションマッピング）
VarioLight: Dynamic Projection Mapping for a Wide Range and Rotative/Deformative Performance

プロジェクタを利用した拡張現実感であるプロジェクションマッピングは，建物などの静止対象に向けて広く普及しつつあるが，動的対象に向けては様々な困難が存在していた．本研究室では主に二種類のアプローチで動的対象に遅延による違和感のない ダイナミックプロジェクションマッピング（Dynamic Projection Mapping: DPM）に取り組んできた．高速光軸制御系（サッカードミラー）を用いて広範囲に運動する物体に追従投影する方式（るみぺん/ るみぺん２）と，高速プロジェクタ（DynaFlash）を用いて衣服や顔など柔軟体の形状変形に対応し投影する方式（顔への投影/ 紙や衣服への投影）である．これらの方式は低速プロジェクタに起因する投影可能な対象の制約や，固定画角に起因する対象の運動範囲と投影解像度のトレードオフなどの課題を個別に有していた．

本研究室の新たなシステムVarioLight（図１）は両方式を統合することで，広範囲に運動し，回転変形する動的な対象へのダイナミックプロジェクションマッピングを実現した（図２）．従来手法では実現できなかった広範囲性と対象変形性の両立によって，ステージ上でのダンスや大道芸のようなダイナミックな動作を伴うパフォーマンスへの応用（図３）が期待されるのみならず，激しい動きを伴うスポーツのような状況において対象のダイナミクス自体を投影像に反映させた新しい表現（図４）も可能となり，プロジェクションマッピングとしての表現の更なる多様化が期待される．

Projection mapping, which is augmented reality using projectors, is widely spreading towards stationary objects such as buildings, but various difficulties existed for dynamic objects. In our laboratory, we have been working on dynamic projection mapping (DPM) which can avoid time-geometric inconsistency due to delays in dynamic objects mainly by two kinds of approaches; the high-speed optical axis controller (Saccade Mirror) to track the object moving in a wide range (Lumipen/ Lumipen 2), and the high-speed projector (DynaFlash) for shape deformation (onto the face/ onto a paper or clothes). These approaches individually had issues such as constraints of projectable objects due to low-speed projectors and trade-offs between the range of motion of the object and the projection resolution due to fixed angle of view.

The new system VarioLight (Fig. 1) realized Dynamic Projection Mapping for a dynamic object that moves, rotates, and deforms over a wide range by integrating both approaches (Fig. 2). Due to compatibility between the wide range and the target deformability which could not be realized by the conventional methods, it can be applied to performance accompanied by dynamic movement such as dance on the stage and street performance (Fig. 3). Moreover, target dynamics can be visualized as the projected image (Fig. 4), which can be extended as sports application. Further diversification of expression as projection mapping is expected by this technology.

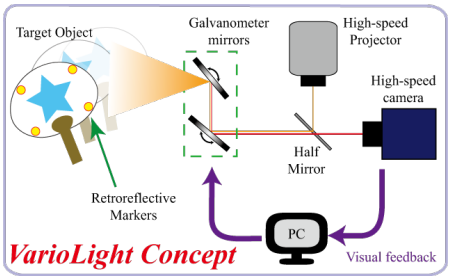


図 1 VarioLight のシステム概要
Fig.1 System configuration.

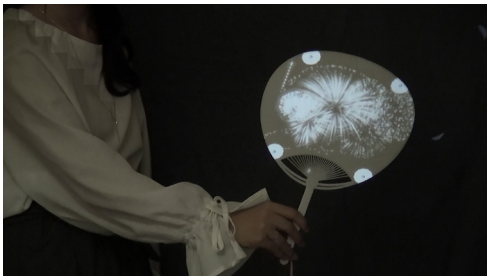


図 2 うちわに花火の動画を投影する様子
Fig.2 Fireworks projection onto a fan



図 3 ジャンプする人の持つうちわに投影した様子
Fig.3 Projection onto a fan while jumping.

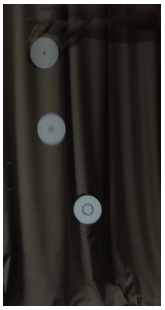


図 4 ヨーヨーの回転速度に応じてテクスチャの大きさを変化させ，投影した様子
Fig.4 Size-transformative projecion onto a rotating yo-yo.

3.20 VarioLight 2: 円周マーカを用いた球体ダイナミックプロジェクションマッピング
VarioLight 2: Dynamic Projection Mapping for a Sports Sphere using Circumferential Markers

バージョン1

従来の高速プロジェクションマッピングでは，対象物体の姿勢変化の認識に向けて，ドット（点形状）をベースとしたマーカが用いられていた．しかし，単一ドットマーカは幾何学情報を含まないため手動でのトラッキング開始を要することが多く，ドットを複数個組み合わせたクラスタマーカは，その符号情報から自動的にトラッキングが開始されるが，低解像度やボケに弱い問題があった．またいずれのマーカも画像上の計測点数が限定されやすいため，手や足などによるランダムな遮蔽にロバストでない．これらの問題により，広域運動する物体の姿勢変化に対応したプロジェクションマッピング（VarioLight）において，スポーツなどの実用的な場面において不便であった．

本研究室は，スポーツで盛んに利用される球体に着目し，それに利用可能なトラッキングマーカとして「円周マーカ」を新たに開発した（図１）．なお，後述のバージョン２との区別のため，Uniform Circumferential Markers（UCM，一様な円周マーカ）と呼ぶ．円はカメラの透視投影により楕円として観測され，その形状は球体の幾何学情報を含む（傾きや潰れ具合からは球体上のマーカ位置，大きさからは球体の奥行位置）ことから，本マーカは自動的なトラッキング開始と低解像度・ボケに強い特徴を有するほか，奥行方向に広い投影範囲を実現する．また，円周上の点群を用いるため，多数の計測点により手や足などのランダムな遮蔽に強い利点をも有する．円周マーカが配置された球体は，図２に示す500 fpsのプロジェクションマッピングシステムを用いることで，

回転に対応した追従投影が実現される．なお，マーカの一様性により，UCMでは相対姿勢のみ計測可能である．

本マーカを用いることで，図３(a) の複数人でキャッチボールを行う様子から示されるように，手によるランダムな遮蔽にロバストで，回転にぴたりと貼りつくプロジェクションマッピングが実現された．また，回転情報を高い時空間分解能で計測し，即座に投影可能なことから，図３(b) に示すように，矢印を用いることで，球体表面上でリアルタイムに回転情報を可視化することに成功した．図３(c) のように，高速回転投影画像の回転速度を実際のそれより遅く提示することで，高速な回転時でも投影内容を理解させながら，同時に回転速度も示すことができる．本投影システムはサッカー，バレー，卓球などのボールを用いるスポーツにおいて，回転可視化により選手の練習に役立てたり，エンターテイメントに活用することが期待される．

Version 1

In conventional high-speed projection mapping, a dot marker has been used to recognize the object's posture. However, it is often necessary to manually start tracking because a single dot marker has no geometric information. A cluster marker that combines multiple dots has a feature of automatic tracking start, but can suffer from problems of low resolution and blur. Such dot markers are not robust against random occlusion by hands or legs because the number of measurement points in an image can often be limited. Due to these problems, a widely projection mapping system corresponding to the object's posture (VarioLight) is inconvenient in practical situations such as sports.

Our laboratory has newly developed "circumferential markers" as tracking markers, focusing spheres that are actively used in sports (Fig. 1). To distinguish them from the version 2 described below, we call them uniform circumferential markers (UCM). The circle is observed as an ellipse in the perspective projection of the camera, and its shape includes geometric information of the sphere (marker position on the sphere from its inclination and collapse condition, and depth position of the sphere from its size). This marker has notable features of automatic tracking start, strong against low resolution and blurring, and a wide projection range in the depth direction. In addition, due to the large number of measurement points on the circumference, it is strong against random occlusion by hands and feet. With the 500 fps projection mapping system shown in Fig. 2, rotation-oriented projection for the sphere with circumferential markers is realized. Note that due to the uniformity of the markers, only relative posture can be measured with UCM.

By using this marker, as shown in Fig. 3(a), it is possible to project onto a playing ball among multiple people which has random occlusion by hands. Moreover, as shown in Fig. 3(b), thanks to circumferential makrers, rotation information is measured with high spatiotemporal resolution and can be projected immediately, and then real-time rotational visualization is realized. As shown in Fig. 3(c), texture projection whose speed is lower than that of the sphere itself, by which users can understand both texture and the sphere's speed, is also realized. This projection system is useful in sports such as soccer, volleyball, and tabletennis. It is expected to be used for sports practice by rotational visualization and wide-area entertainment using balls.



図 1 球体上に配置された Uniform Circumeferential Markers (UCM, 一様な円周マーカ) の様子．

Fig.1 Uniform circumferential markers (UCM) arranged on a sphere.

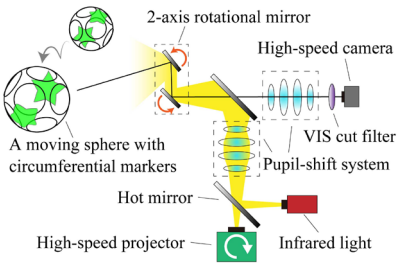


図 2 円周マーカを配置した球体に対し，広域に追従投影する 500 fps のプロジェクションマッピングシステムの模式図．

Fig.2 Schematic diagram of a 500 fps projection mapping system for a widely moving sphere with circumferential markers.

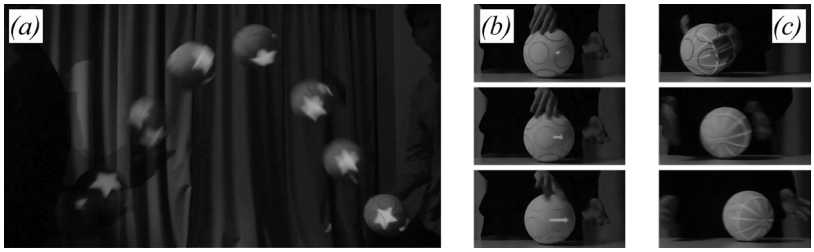


図３ (a) キャッチボールされる球体に対し，手によるランダムな遮蔽にロバストで，回転にぴたりと貼りつく投影が実現される様子．(b) 回転速度の計測結果を即座に矢印として投影し提示する様子．(c) テクスチャを実際の回転速度より遅く提示することで，投影内容と球体の回転速度の双方を同時に伝えられるデモ．

Fig.3 (a) Playing catch with random occlusion by hands. (b) Real-time rotational expression using an arrow. (c) Texture projection whose speed is lower than that of the sphere itself, by which users can understand both texture and the sphere's speed.

バージョン2

前述のバージョン１のUniform Circumferential Markers (UCM, 一様な円周マーカ)は，名前の通り一様な分布のため，絶対姿勢の取得が不可能である。絶対姿勢を取得するには，マーカを非一様な分布にする等により，何らかの符号情報を埋め込む必要がある．従来手法では，QRコードのような角形の複雑な形状や，高密度な点群の分布により符号化を行っていたが，これらはボケや遮蔽に弱い問題があった．

そこで本研究では，Biased Circumferential Markers (BCM, 偏りのある円周マーカ)を提案する(図4)．各マーカの内側円はUCMと同じ分布である一方で，外側円の大きさや，内側円に対する偏りを多様にすることで，符号化を実現している．UCMと同様に大きな円を活かした形状であるためボケに強く，またUCMと同様の画像計測アルゴリズムにより途切れた円周も利用できるため，遮蔽にも強い．これにより，UCMでのトラッキング性能を保持しつつ，球体の絶対姿勢の高速・高精度な推定を実現する．

本マーカは，広域・ロバストな球体へのダイナミックプロジェクションマッピングに有用であることはもちろんだが，円の形状を用いたボケ・遮蔽に強いマーカという，新たな符号化マーカの可能性を示しているともいえる．

球体の絶対姿勢が分かることにより，遮蔽復帰後に投影がずれない，遮蔽の前後の回転情報が正確なため，遮蔽中の運動情報が推定しやすい，等の応用が考えられる．将来的には，多数個のプロジェクタを用いて，継ぎ目のない全周囲投影の実現に利用可能と考えられる．

Version 2

Uniform circumferential Markers (UCM) in the aforementioned version 1, as the name implies, are uniformly distributed on the spherical surface, making it impossible to acquire absolute posture. In order to obtain it, it is necessary to embed unique code into the markers by making the markers non-uniformly distributed. Conventional methods use complex rectangular shapes such as QR codes or dense point cloud distributions for coding, but these methods are susceptible to blurring and occlusion.

In this study, we propose biased circumferential markers (BCM) (Fig. 4). While the inner circle of each marker has the same distribution as in the UCM, the size of the outer circle and its bias against the inner circle are varied to achieve coding. As in the UCM, the shape of the outer circle is strong against blur because it utilizes a large circle. The proposed markers are also strong against occlusion because it can utilize the interrupted circumference of the circle by using the same image measurement algorithm as in the UCM. This enables fast and accurate measuring of the absolute posture of the sphere while maintaining the tracking performance of the UCM.

These markers are not only useful for dynamic projection mapping of a sphere with a wide area and robustness, but also shows the possibility of a new type of encoded marker that uses the circular shape and is resistant to blur and occlusion.

By knowing the absolute posture of the sphere, the projection does not shift after the return to occlusion. In addition, the rotation information before and after occlusion is accurate, so the motion information during occlusion can be easily estimated. In the future, these markers can be used to realize seamless all-around projection mapping using surrounding multiple projectors.



図 4 球体上に配置された Biased Circumeferential Markers (BCM, 偏りのある円周マーカ) の様子.

Fig.4 Biased circumferential markers (BCM) arranged on a sphere.

3.21 追従的投影モザイキング
Tracking Projection Mosaicing

プロジェクタは情報提示デバイスとして解像度や輝度の面で改良が続けられているが，固定プロジェクタにおいては画角と解像度においてトレードオフを有し，観察者の視線を考慮すると広範囲かつ高解像度な投影像表示は困難であった．複数のプロジェクタを用いて投影範囲をタイル状に並べたり，ずらしながら重ね合わせたりすることで解像度を向上させる手法も存在するが，固定プロジェクタを利用している以上，高解像度投影領域の動的変更は困難である．

そこで人の注視点のような不規則な動点に合わせて，高解像度な投影の光軸を動かし続けることで，全体として静的な画像を表現することを考える．本投影表現において，空間的な位置やサイズに違和感が生じないように投影すること(幾何学的整合性)は勿論のこと，動点に対して投影光軸が小さな遅延で追従すること(高速追従性)や，投影光軸が動くことによって生じる投影映像のモーションブラー等の アーティファクトを低減すること(時間幾何学的整合性)も重要である．従来研究においては，特に後者二つの投影条件を十分に満たせていなかった．

本研究では，高速光軸制御と高速プロジェクタに基づく追従的投影モザイキングシステムを提案する(図１)．本システムはこれまで本研究室で開発されてきた，高速ビジョンと高速ミラーを用いた 高速視線制御光学系（1msオートパン・チルト技術)と，最小遅延3ms であり 1,000 fps で投影が可能な高速プロジェクタDynaFlash に基づくものである．このニつの高速デバイスを２種類の同期戦略(図３，４)を利用して制御することで，時間幾何学的整合性が保たれた追従的投影が可能となる．実際に，レーザーポインターの輝点に追従した投影モザイキングが可能となり(図２)，動的なユーザーに対する適応的な映像表現など新しい応用展開が期待される．

Projectors have improved in resolution and brightness as information devices, however, static projectors suffer from a trade-off between the angle of projection and the resolution, and high-resolution projection in a wide area is difficult considering a gaze of an observer. Multiple projectors can improve the resolution by tiling vertically/horizontally or by duplicating the projection areas, but dynamic control of the high-resolution projection area is impossible due to the fixed projectors.

Here, we consider a projective expression with a large static image by controlling an optical axis of the high-resolution projection to a randomly moving point such as a gaze. In this expression, in addition to an imperceptible spacial misalignment (geometric consistency), high responsibility of the optical axis toward the dynamic point (tracking ability), and small motion-based artifacts (e.g., spacial misalignment, motion blur) against the optical axis control (temporal geometric consistency) are essential. Conventional researches did not fully satisfy the latter two conditions in particular.

In this research, we propose a tracking projection mosaicing system using a high-speed optical axis control and a high-speed projector (Fig. 1). This system is based on our two technologies; the high-speed optical axis controller (1ms Auto Pan-Tilt technology) and the high-speed projector DynaFlash that can project an image at 1,000 fps with minimum latency of 3 ms. By controlling these two high-speed devices with two types of synchronization strategies (Fig. 3, 4), tracking projection with the temporal geometric consistency can be realized. Actually, we performed the tracking projection mosaicing against a bright spot of a laser pointer (Fig. 2), which is expected to develop new applications such as adaptive visual expression for dynamic users.

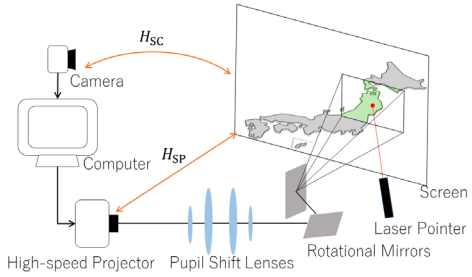


図 1 提案システム概要
Fig. 1 Configuration of the proposed method.

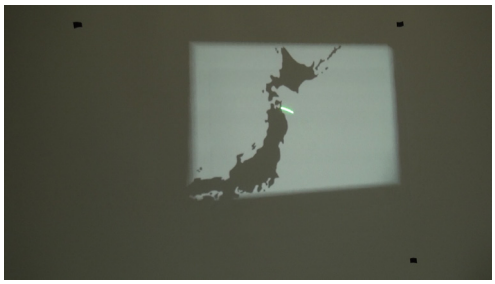


図 2 レーザーポインタに追従して日本地図を投影した様子
Fig. 2 Tracking projection mosaicing against a laser pointer.

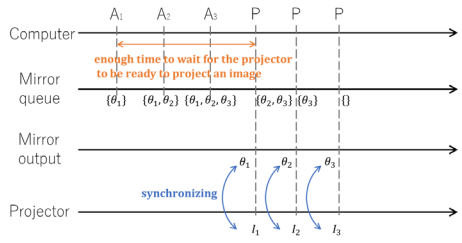


図 3 queue による同期
Fig. 3 Synchronization with queue.

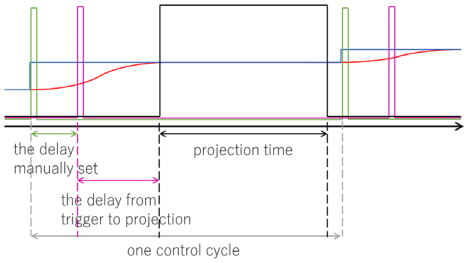


図 4 交互動作による同期
Fig. 4 Alternate synchronization.

3.22 高速注視点推定による広域高解像度投影システム
Wide High-resolution Projection System Using High-speed Gaze Point Estimation

液晶ディスプレイやプロジェクタなど画角が固定された映像提示デバイスにおいて，限られた画素数により解像度の高さと画角の広さを両立することは難しい．観測者の注視領域に合わせて映像提示領域が動くことができれば解像度と画角の両立を実現することができるが，映像提示領域の動的変更に伴う正確な位置合わせだけでなく，観測者の注視領域の高速な推定を行う必要がある．

本研究では，本研究室で開発してきた追従的投影モザイキングシステムと，近赤外光による瞳孔と角膜表面反射像を交互かつ高速に捉えることによる高速注視点推定を組み合わせた，疑似的な広域高解像度投影システムを提案する(図1)．投影スクリーンの四隅に配置された近赤外照明と 観測者の眼を捉えるカメラと同一光軸に配置された近赤外照明を500Hzで交互に明滅させ，照明と同期した1,000fpsの高速カメラで眼球を捉えることで，ほとんど事前の校正を必要とせず各照明の角膜表面反射像の位置関係から高速に注視点領域を推定することが可能となる(図2)．また，注視点位置に合わせてプロジェクタの光線方向をガルバノミラーで動的に切り替えつつ，ガルバノミラーと高速プロジェクタを適切に同期することで投影像の位置ずれを生じさせない追従的投影モザイキングと連携することで，観測者視点では視線を変えてもーつの大きな映像を表示することが可能となる(図3)．また，第三者視点では観測者の視点が可視化される形にもなり得る(図4)．スクリーンと観測者間の事前の位置合わせ精度が要求されない計測投影アルゴリズムであるため，拡張現実感システムにおいて広い範囲で自由に人が動き回るような状況への応用展開が期待される．

In image presentation devices with a fixed angle of view, such as liquid crystal displays and projectors, it is difficult to achieve both high resolution and a wide angle of view with a limited number of pixels. If the image presentation area can move in accordance with the observer's gaze point, it is possible to achieve both resolution and angle of view, but this requires not only accurate positioning of the dynamically changing image presentation area but also fast estimation of the observer's gaze point.

In this study, we propose a wide high-resolution projection system that combines a tracking projection mosaicing system developed in our laboratory and a high-speed gaze point estimation by capturing the pupil and corneal surface reflection images alternately and at high speed using near-infrared light (Fig. 1). The near-infrared illumination placed at the four corners of the projection screen and at the same optical axis as the camera that captures the observer's eyes blink alternately at 500 Hz, and a high-speed camera (1,000 fps) synchronized with the illumination captures the eyes to estimate the gaze point. Positional relationship between the pupil and the corneal reflection of each illumination enables fast gaze point estimation with almost no prior calibration (Fig. 2). In addition, while dynamically switching the direction of the projector's direction with galvanometer mirrors in accordance with the position of the gaze point, the projector can display a single large image from the observer's viewpoint even if the gazing point changes (Fig. 3), in conjunction with the tracking projection mosaicing system that prevents misalignment of the projected image by appropriately synchronizing the galvanometer mirrors and a high-speed projector. The third-person view can also be a form of visualization of the observer's view (Fig. 4). Since this measurement and projection algorithm does not require prior positioning accuracy between the screen and the observer, it is expected to be applied to situations where people can move around freely in a wide area in augmented reality systems.

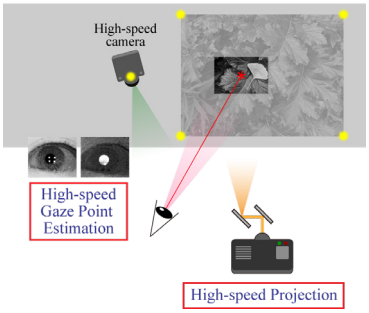


図 1 コンセプト
Fig.1 Concept.

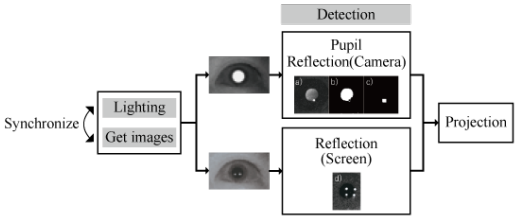


図 2 高速注視点推定アルゴリズム
Fig.2 High-speed gaze point estimation algorithm.

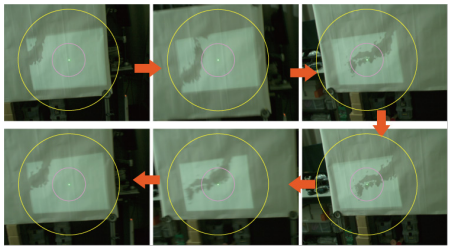


図 3 観測者視点映像
Fig.3 First person view.

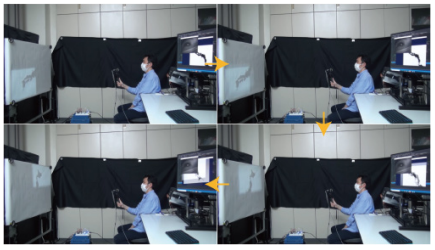


図 4 第三者視点映像
Fig.4 Third person view.

3.23 ゴルフスイングトレーニングに向けた高速投影フィードバック
High-speed Projection Feedback for Golf Swing Training

スポーツ動作の一つであるゴルフスイングは高速な運動であるが，上手なショットを打つには正確かつ再現性のあるスイング動作スキルの獲得が必要である．一方で既存のトレーニング方法において自身のスイングの良し悪しを判断するには，モーションキャプチャシステムや加速度センサなどの計測結果をスイング後にタブレット端末で確認すること多く，動作の計測から視覚的な情報提示までの大きな遅延時間がトレーニング効率を下げていると考えられる．スイング動作の計測から提示までが非常に低遅延な情報フィードバックは，反復可能回数を増やす以上に動作体験と提示情報の時間的整合性による高い学習効果があると期待される．

本研究では，回転ミラーを用いた高速トラッキングシステム と 高速低遅延プロジェクタ を用いた，ゴルフスイングの三次元幾何的情報を床面に高速投影する手法を提案する(図1)．ヘッド付近にマーカーを備えたゴルフクラブを高速ビジュアルフィードバックにより追従撮影することで，単一高速カメラだけでゴルフクラブの三次元的な姿勢情報を計測し，スイング平面などのスイング情報を高速推定することが可能である．そして高速プロジェクタを用いてその幾何的なスイング情報を即座に床面に投影することで，ユーザーはスイング中および直後に自身のスイング品質に関する視覚的フィードバックを得ることができる．例えば図2に示すスイング平面を表す線の投影では，クラブヘッドがボールに到達する前にスイング軌道の妥当性が視認できる．効果的なトレーニングとしての更なるスイング情報の投影表現の改良も必要であるが，ゴルフに限らず様々なスポーツ動作におけるリアルタイムトレーニングシステムとしての応用展開が期待される．

Golf swing as one of the sports motion is fast, and it is necessary to acquire accurate and reproducible swing motion skills to hit a good shot. In common training methods, however, users often use tablet devices to confirm their motion quality with the measurement results of motion capture systems or acceleration sensors after the swing. Such a large latency from measuring the motion to providing visual information is considered to decrease a training efficiency. Low-latency information feedback from the measurement to display is expected to have a high learning effect due to the temporal consistency between the motion experience and the feedback information in addition to increasing the number of trials.

We propose a method to project three-dimensional geometric information of the golf swing onto the ground at high speed (Fig. 1). The method utilizes a mirror-based high-speed tracking system and a high-speed low-latency projecor. The high-speed visual tracking of a golf club with markers near the clubhead enables three-dimensional posture measurement only with a single high-speed camera and quick estimation of swing information such as a swing plane. By using the high-speed projector to immediately project the geometric swing information on the ground, the users can obtain visual feedback information on their swing quality during and immediately after the swing. For example, the validity of the swing trajectory can be visually recognized before the clubhead reaches a ball in the projection of the line representing the swing plane (Fig. 2). While further improvement of the swing information projective expression is necessary for an effective training, various sports applications are expected as real-time training systems by the high-speed projection feedback.

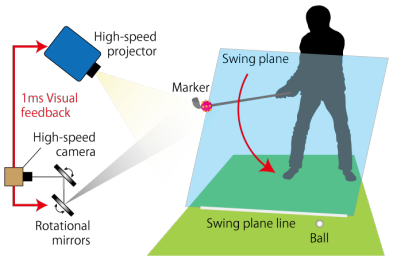


図 1 システム概要
Fig.1 System configuration.

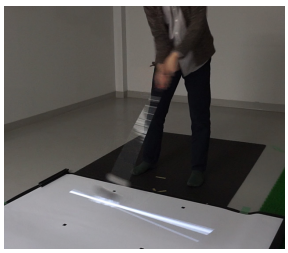


図 2 スイング平面を表す線を投影する様子
Fig.2 Swing plane line projection.

3.24 追跡的光線投影による残像を用いた動体軌跡上情報投影
Information Display with an Afterimage by Laser Projection Moving Object

従来の情報提示手法では，情報提示面にスクリーンやディスプレイ，あるいは情報提示面を形成するための何らかの装置が予め存在して設置されていることが必要であった．これに対して，提案する新たな手法では，任意の動的物体の軌跡上に自由に光点を描画することで提示面に装置を常に存在させることを必要としないことに加え，持続的な繰り返しの連続提示を前提としない一度きりの情報提示によるディスプレイを提案する．

光源を持たない移動する物体に対して，その物体の空間的位置に応じて異なるパターンの輝点 を提示する．時間的に異なるタイミングで空間的に異なる位置に提示されたパターンを人間が観察することによって，その視覚が持つ残像特性がこれを統合し，投影対象となる物体より大きな一枚の情報提示面として認識される．

投影対象物体の正確な位置に動的に投影を行うため，1msオートパン・チルト に用いられている高速視線制御ユニット(サッカードミラー)によって対象を光学追跡し，その同軸上にレーザー光を入射させる．これによって，対象の任意の位置に任意のタイミングで光点を形成することが可能となる．

This is a new method to display information based on the afterimage of a moving object. Existing systems need a static surface on which information is projected. In contrast, we propose a new display system projecting laser on a moving object, and exploit the afterimage phenomenon to expand the projectable region. Human vision can recognize patterns larger than the size of the object due to the afterimage created in the region spanned by the moving object.

In order to realize the system, in other words to aim the laser beam on a specific position given by the object location with precise timing, the projector is integrated with a high-speed optical device, called Saccade Mirror. This device is originally designed to keep the camera gaze fixed at a dynamic target (cf. 1ms Auto Pan-Tilt).

While the Saccade Mirror tracks a moving object, the projector is directed through the optical system of the Saccade Mirror. As a result the laser beam used to project on the desired location on the target, effectively shares the optical axis with the camera tracking the target.

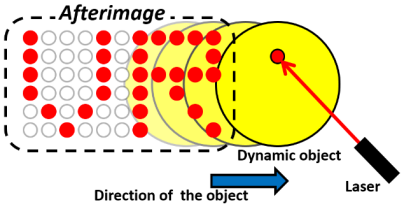


図 1 提案手法での情報投影イメージ画
Fig1. Outline of this method.

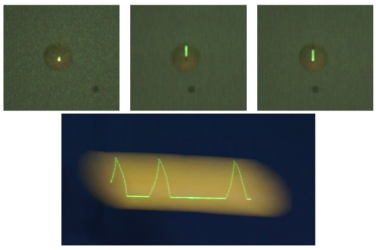


図２ 提案手法での投影の様子
Fig2. Presentation on a moving ball.

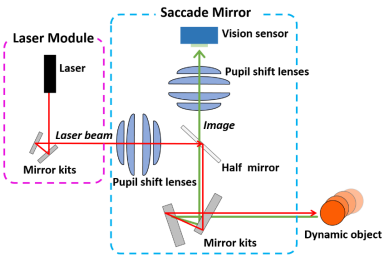
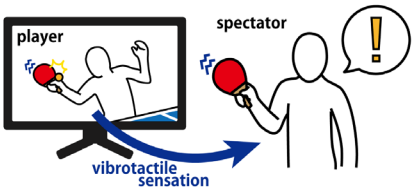


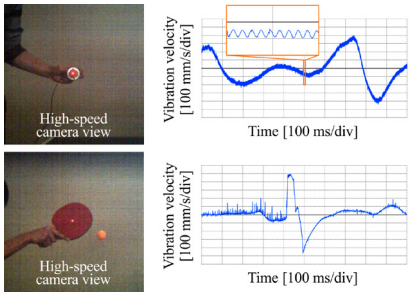
図３ 投影システム概略図
Fig3. Connection of the Laser Module and the Saccade Mirror.

3.25 VibroTracker: 振動触覚共有システム
VibroTracker

スポーツ観戦等において, 視覚や聴覚に加え, プレーヤーの触覚を追体験することは, 時空間的な隔たりを越えた高い臨場感を持つエンターテイメントとなり得る. しかし, 既存の計測システムでは, プレーヤーの感じる振動触覚を適切に計測することは困難であった. 接触式の計測システムは, 本来の振動を歪ませるだけでなく, プレーヤーの動きを阻害してしまい, 超指向性マイクのような非接触式の計測システムでは, 激しく動く計測対象のかすかな振動は周囲の雑音に埋もれてしまう. これに対し, VibroTrackerはレーザードップラー振動計とサッカードミラーを利用した 1msオートパン・チルトシステムを用い, 高速に動く対象を追跡しながら, 非接触かつ高精度の振動計測をリアルタイムに行うことを達成した. これにより, プレーヤーが感じる振動触覚を複数のユーザーで共有することが可能となる. また, 物体の振動には音の情報も含まれるため, このシステムは遠隔音声取得にも用いることができる. システムの計測可能周波数は人間の可聴域の上限である20kHzを優に超えるため, 高音質の音声取得が可能である.

It is exciting merely to watch sports events, but simulating the haptic sensations experienced by a player would make spectating even more enjoyable. This is not peculiar to sports events. In addition to video and audio, the ability to relive the sensations experienced by others would also offer great entertainment value at temporal and spatial distances. However, existing systems have some problems in measuring vibrations. A contact-type vibrometer deforms the original vibrations and is a burden to wear or carry. Even with a non-contact sensor like a microphone, it is difficult to measure slight vibrations of a fast-moving target against the surrounding noise. Our VibroTracker system solved these issues by using a laser Doppler vibrometer and a high-speed optical gaze controller: 1ms Auto Pan-Tilt system using Saccade Mirror. Our system can measure the vibration of a fast-moving target with high accuracy, in real time, without any influence from surrounding noise or physical contact, enabling users to relive the vibrotactile sensations experienced by others. In addition, this system can also be used as a visual microphone because the microscopic vibrations of a object include sound-related movements. Since measurable frequency of our system easily exceeds 20kHz, an audible acoustic wave frequency, high quality remote sound acquisition is achieved.





3.26 高速同軸制御光学系とアクティブマーキング法による回転対称体への発色描画システム
Coloring Drawing System using High-speed Coaxial Control and Active Marking

近年，クロミズムと呼ばれる光や熱の照射により色素の変色を起こす化学反応を用いて，色素を塗布した対象表面上の模様を提示する発色描画の技術が活発に研究されている．中でも，光の照射を用いた現象をフォトクロミズムと呼ぶ．模様は消色し，繰り返し書き換えることが可能なため，コップやケースの模様をその日の気分で変更する，オンラインショッピングの模様をテスターする等の用途がある．また，従来のプリンターとは異なり非接触にプリント可能なため，さまざまな形状の三次元物体への描画技術が期待される．しかし，従来手法では対象の姿勢認識手法が描画対象には不適当な上，描画対象と光学系の位置合わせ（キャリブレーション）が煩雑な問題があった．

本研究では，対象の姿勢変化対応の発色描画システムに向けて，レーザー・カメラの高速同軸制御の光学系と，フォトクロミズムを利用して書き換え可能なマーカーを描画し追加することで，対称体を含めた対象の姿勢を認識するアルゴリズム（アクティブマーキング法）を提案する．システム模式図を図1に示す．カメラとレーザーの同軸制御により，カメラの画角内でレーザーの描画位置は常に固定されるため，位置合わせ（キャリブレーション）が簡便となる．手作業で配置された最小４点の初期マーカーを基準として，レーザーを用いて螺旋状に複数のドットマーカーを描画することで描画範囲を拡大し，画像処理で検出されるマーカーを用いて姿勢推定を行うことで，マーカーや静止絵の高精度な描画を行うことが可能となる．

本手法では，カメラが狭い画角で高解像度に描画領域を撮影するため，高精度なマーカーの描画や検出，および姿勢推定が可能となる．また，高速処理のため，対象の運動，すなわち姿勢変化に依らず高精度な描画が可能となり，三次元物体の全周囲への描画へと繋がりうる．実際に運動する平面対象へ静止状態と同様に高い描画精度（図2），回転対称体である円柱への十分な描画（図３）を確認した．三次元対称物体への模様付けが可能なことから，ガラス製品を含むコップなど日用品へのカスタマイズした色付けや更なる加工などへの応用が期待される．

Recently, coloring drawing system for presenting a pattern on the surface of a dye-coated object using a chemical reaction called chromism, which causes the color of the dye to change by irradiation with light or heat, have been actively researched. Above all, the phenomenon using light irradiation is called photochromism. Since the pattern can be erased and rewritten repeatedly, there are applications such as changing the design and testing the pattern of the object. Furthermore, drawing technology for 3D objects of various shapes is expected to be non-contact printing. However, in the conventional method, the pose recognition method is not suitable for the object to be drawn, and there is a problem of the complicated calibration of the optical system.

In this research, we propose a coloring drawing optical system of laser-camera high-speed coaxial control and active marking that draws multiple rewritable markers onto the object's surface using photochromism for the recognition of the object's dynamic posture and the accurate drawing onto the object's surface, as shown in Fig. 1. Calibration is simplified because the laser drawing position is always fixed within the camera angle of view by laser-camera coaxial control. The drawing area is expanded by drawing multiple dot markers spirally using a laser and two-axis mirror control, centering four initial markers which are manually placed beforehand. Then, the object's posture is estimated using the markers detected in the image processing, and highly accurate drawing of markers and pictures is performed.

Since the camera captures at a high resolution with a narrow angle of view, the marker drawing, detection, and posture estimation is highly accurate. In addition, high-speed processing enables drawing even to the moving object, that is, the posture-changing object, leading to all-around drawing. It was confirmed that the drawing results for both a static and a rotating planar object were highly accurate (Fig. 2), and the drawing for a cylinder (a symmetrical object) was also precise enough (Fig. 3). Because it is possible to pattern 3D symmetrical objects, it is expected to be applied to customized coloring and additional processing of daily necessities such as cups containing glassware.

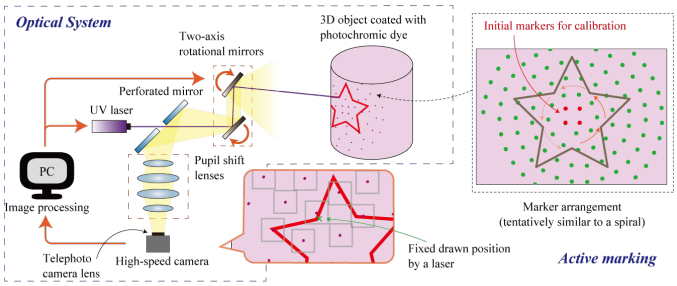


図 1 提案する発色描画システムの概要．
Fig.1 System configuration.

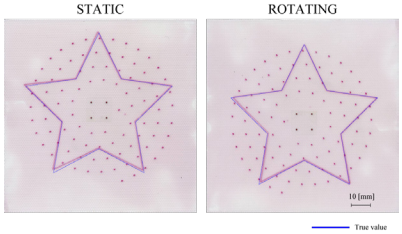


図 2 静止 / 回転する平面対象への描画の様子と評価結果．
Fig.2 Drawn appearance and evaluation result of plane objects.



図 3 回転対称体である円柱への描画の様子．
Fig.3 Drawn appearance of a cylinder (a rotationally symmetric object).

3.27 EmnDash: M 系列破線マーカーによる高速自己姿勢推定
EmnDash: M-sequence Dashed Markers for High-speed Spatial Tracking

カメラを用いた自己位置・姿勢の推定は拡張現実感やナビゲーションに利用され，ユーザーの姿勢情報に応じた高いユーザー体験を創出できる．特に自転車競技などのスポーツに着目すると，広域かつ高速に移動する状況下での姿勢情報は，動作中のフィードバック提示も伴うことで高い運動学習効果が期待できる．しかしながらスポーツを対象とした屋外での自己位置・姿勢推定は，高速性・広域適用性・明環境対策を全て満たす必要があり，環境側のテクスチャを利用する方法や地面埋込などによる光学マーカーを利用する方法では対応が困難であった．

そこで本研究では，広域適用性・明環境対策への手段としてガルバノミラーを用いたベクター型レーザー投影系に着目し，なおかつM系列破線マーカーの埋め込みによる高速なトラッキングを可能とする，EmnDashと名付けたシステムを提案する(図1)．EmnDashは周期的に走査されるベクター図形に対し，破線の長短によって0と1を表現したM系列信号を埋め込んでいる．この破線は奇数周期と偶数周期でオンとオフが入れ替わるため，露光時間の短い高速カメラにとっては破線に見えるのに対し，人間の眼など露光時間の長い条件では破線マーカーが不可視となり実線として観測される(図2, 3)．この露光時間の違いを利用して，ユーザーには周囲の地面に何らかのベクター型図形を表示しつつ，高速カメラがM系列破線マーカーを認識して自己姿勢推定を行うことが可能となる．またM系列は部分系列の観測から全体における位置を一意に特定することの可能な特徴をもつため，1枚の画像だけからカメラの絶対的な姿勢が分かり，遮蔽などに頑健な高速トラッキングも可能となる．本システムはレーザー投影系と高速カメラで同期をとる必要が無く，レーザーの遠方到達性と高速カメラのウェアラブル性により，自転車競技・マラソン・スケート競技といったスポーツ分野だけでなく，自動車などの交通分野での応用展開も将来的に期待される．

Self-position and posture estimation using a camera can be used for augmented reality and navigation, and can create a high user experience according to the user's posture information. In particular, focusing on sports such as cycling, posture information in situations where the user is moving over a wide area and at high speed is expected to have a high motor learning effect when accompanied by feedback information during the movement. However, self-pose estimation for outdoor sports requires high-speed tracking, wide-area applicability, and bright environment robustness.

We focus on a vector laser projection system using galvanometer mirrors as a means for wide applicability and bright environment countermeasures, and propose a system named EmnDash that enables high-speed spatial tracking by embedding M-sequence dashed line markers (Fig. 1). EmnDash embeds M-sequence signals, where 0 and 1 are represented by long and short dashed lines, into periodically scanned vector figures. The dashed lines are switched on and off at odd and even periods, so that they appear as dashed lines to a high-speed camera with a short exposure time, while the dashed markers become invisible and are observed as solid lines to the human eye with a long exposure time (Figs. 2, 3). Using this difference in exposure time, it is possible for the high-speed camera to recognize the M-sequence dashed line markers and perform self-pose estimation while displaying some vector-type figure on the surrounding ground to the user. Since the M-sequence is characterized by its ability to uniquely identify the position in the whole series from the observation of sub-sequences, the absolute pose of the camera can be determined from a single image, and high-speed tracking becomes robust against occlusion. The system does not require synchronization between the laser projection and the high-speed camera, and the far-field reach of the laser and the wearability of the high-speed camera make it suitable for use not only in sports such as cycling, marathon running, and skating, but also in traffic applications such as automobiles.

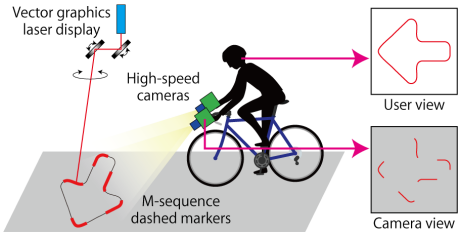


図 1 コンセプト
Fig.1 Concept of EmnDash.

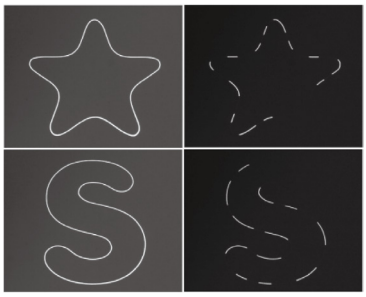


図 2 ユーザー視点映像と高速カメラ映像
Fig.2 User view and high-speed camera view.

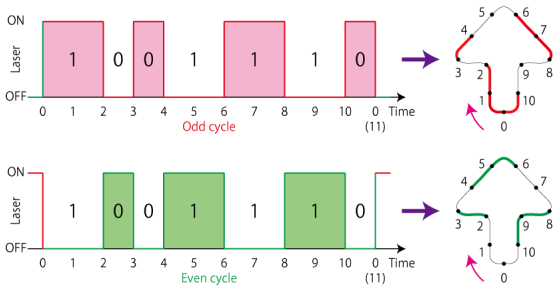


図 3 M 系列破線投影
Fig.3 M-sequence dashed line projection.

3.28 トラッキング BOS: 高速飛翔体の衝撃波画像計測
Tracking BOS: shock-wave image measurement of high-speed flying objects

本研究室では，駆動鏡面（ガルバノミラー）を用いた高速な視線・光軸制御デバイス（サッカードミラー）を開発しており，卓球などダイナミックに動き回る対象を継続的に画像中心に捉え続け撮影する 1msオートパン・チルト技術を確立している．1msオートパン・チルト技術はダイナミックなスポーツ放映などへの応用が期待されるが，本研究ではスポーツのボールよりも更に高速な，通常数万fpsの高速カメラを用いて計測される高速飛翔体を計測対象とする．

本研究では，科学捜査への応用を目標とし，高速飛翔体の飛翔中の振る舞いを詳細に理解することを目指している．風洞を用いた固定対象への手法や数値シミュレーションとは異なり，実際に飛翔する物体に対する光学的計測に着目し，高速ビジョンを用いた1msオートパン・チルト技術を導入した新しい技術を確立した．

本技術は従来の固定カメラを利用した手法と比較して，高速な運動体・飛翔体に対して 1)長時間，2)高解像度，3)長露光時間，4)低モーションブラーの映像記録・画像計測を可能とするのが特徴である．駆動鏡面を用いていることから本画像計測技術とともに，同一光軸における他の光学的計測を同時に行える可能性も高く，科学捜査の更なる発展への大きな寄与が期待される．

なお，本内容は 科学警察研究所 との共同研究の成果である．

In our laboratory, we have developed a high-speed gaze/optical axis control device (Saccade Mirror) using rotational mirrors (galvanometer mirrors), and established 1ms Auto Pan-Tilt technology which can continuously track and capture dynamic objects (e.g., ping-pong balls) at the center of the image. The 1ms Auto Pan-Tilt technology can be applied to dynamic sports broadcasting, but in this research we treat much faster objects than the sports balls, which are usually measured by a high-speed camera with tens of thousands of fps.

In this research, we aim to understand the in-flight behavior of the high-speed flying objects in detail for forensic investigation. We focus on optical measurement for actual flying objects rather than methods for fixed objects using wind tunnels and numerical simulation. We have established a new technology introducing the 1ms Auto Pan-Tilt technology based on a high-speed vision.

Compared to conventional methods using fixed cameras, our technology has the advantages of 1) long duration, 2) high resolution, 3) long exposure time, and 4) little motion blur in video recording and image measurement. Thanks to the optical axis control using rotational mirrors, other optical measurements can be performed on the same optical axis at the same time in addition to this image measurement technology. Then, a great contribution of this technology to the further development of the forensic investigation is expected.

This work is the result of collaborative research between our laboratory and National Research Institute of Police Science.

ステップ 1：高速飛翔体の映像計測
Step 1: Video recording of high-speed flying objects

ステップ1では，まず250[m/s]程度の高速飛翔体を対象として，継続的な映像計測システムを開発した．

従来のスポーツのボールを対象とした1msオートパン・チルト技術では，対象のトラッキング開始時には対象とカメラの光軸の動きが大きく異なっていても，ミラーの応答が十分高いためビジュアルフィードバックを用いたミラー制御により 対象を画角内に収め続けることができる．一方で高速飛翔体では，ミラーの静止状態からトラッキングを開始してもすぐに対象が画角から外れてしまうため，新しい光軸制御戦略として予測軌道指令を導入する必要がある．

本システムではファンクションジェネレータを用いた予測軌道指令に対し，1msオートパン・チルト技術による高速ビジュアルフィードバックを加算変調することで，実際に250[m/s]程度の高速飛翔体の継続的映像計測を実現した．

As step 1, we first developed a video recording system for high-speed flying object (about 250 m/s).

In the conventional 1ms Auto Pan-Tilt technology for sports balls, the object can be kept within the angle of view by high-speed visual feedback and mirror control thanks to high mirror response. Even if the movement of the object and the optical axis of the camera are greatly different at the start of the target tracking, capturing the object within the angle of view can be sufficiently realized. On the other hand, the high-speed flying object will be out of angle of view immediately after the tracking from the stationary state of the mirror. Therefore, it is necessary to introduce trajectory prediction instruction as new optical axis control strategy.

In this system, the trajectory prediction instruction using a function generator is additionally modulated with high-speed visual feedback by the 1ms Auto Pan-Tilt technology. We have realized the continuous video recording of the high-speed flying object of about 250 m/s.

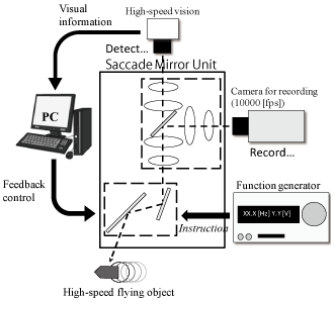


図 1 提案システムセットアップ
Fig.1 Setup of the proposed system.

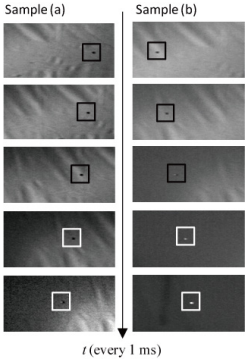


図 2 高速飛翔体の継続的撮影
Fig.2 Video recording of high-speed flying objects.

ステップ２：高速飛翔体の衝撃波画像計測
Step 2: Shock-wave image measurement of high-speed flying objects

ステップ2では，更に高速な遷音速（約340[m/s]前後）の高速飛翔体を対象として，継続的な衝撃波画像計測システムを開発した．

音速で飛翔する対象周囲には衝撃波が発生し，特に音速とほぼ同じ速度では衝撃波発生位置振動など非定常な現象が生じることが知られている．トラッキングBackground-oriented Schlieren（BOS）法と呼ばれる本システムでは，縞状の再帰性反射背景を導入することで，陽炎と同様に光の屈折として高速飛翔体周囲の衝撃波を画像として捉えることができる．

ステップ2ではトラッキングBOS法（応答を改良した予測軌道指令・高速ビジュアルフィードバックを駆使した高速トラッキングと，背景の周期的な縞を含む撮影画像への衝撃波可視化画像処理）を利用して，実際に高速飛翔体の衝撃波画像計測を達成した．そして長時間かつ高解像度な画像計測に基づき，実飛翔体周囲において非定常現象である衝撃波の揺らぎの観測に成功した．

As step 2, we developed a continuous shock-wave image measurement system for high-speed flying objects of even faster transonic speed (about 340 m/s).

Shock waves are generated around objects that fly at sound speed. Especially, it is known that unsteady phenomena such as shock-wave oscillations occur at almost the same speed as sound speed. Our Tracking Background-oriented Schlieren (BOS) system can capture the shock waves around the flying object as refraction of light similarly to the heat haze by introducing a striped retroreflective background.

In step 2, we have achieved shock-wave image measurement of actual high-speed flying object utilizing the Tracking BOS method (trajectory prediction instruction with improved response, high-speed tracking using high-speed visual feedback, and shock-wave visualization image processing to images including periodic stripes of the background). Then, based on the long-duration high-resolution image measurement, we have succeeded in observing the shock-wave oscillations around the actual high-speed flying object as the unsteady phenomena.

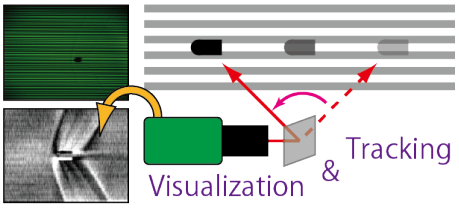


図３ トラッキング BOS 法概要
Fig.3 Concept of the Tracking BOS method.

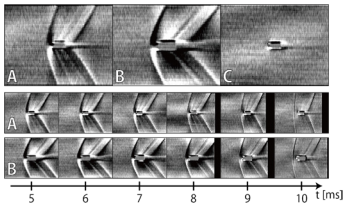


図４ 衝撃波の可視化：
飛翔体 A（388.3 [m/s]），B（419.9 [m/s]），C（238.2 [m/s]）
Fig.4 Shock-wave visualization:
Target A (388.3 m/s), B (419.9 m/s), C (238.2 m/s).

3.29 自由遊泳魚の高解像度合焦トラッキング
High-resolution Focused Tracking of Freely Swimming Fish

自由に泳ぎ回る魚など三次元的に動き回る複数の生物に対して，個体識別や健康管理が非拘束に実施出来ることが望ましい．高解像度画像を取得することで物体の個体識別情報や魚の心拍情報を抽出する技術が知られているが，カメラを利用した画像計測においては画角や解像度，被写界深度の観点から継続的に運動対象の鮮明な画像を撮影することは困難である．画角を固定したカメラにおける画角と解像度のトレードオフの問題に対し，高速ミラー制御を利用した 高解像度撮影（1ms Auto Pan-tilt技術）を用いて継続的な高解像度撮像が期待できるものの，似たような見た目の複数物体（すなわち魚群）の個体間交差に対し同一個体への正しい追従撮影が難しくなる．また，固定望遠レンズでは浅い被写界深度により継続的な合焦撮影も困難となる．本研究では各々の課題に対し，次の楕円セルフウィンドウ法や高解像度イメージングシステムを提案することで課題解決を行う．魚群については養殖業や水族館事業における個体健康管理への応用が期待され，さらにドローンやロボットのピッキングタスクにおける個体識別などへの応用も期待される．

1. 楕円セルフウィンドウ法

魚群における特定個体の継続的位置検出において，他個体との交差を含む遮蔽は大きな課題となる．本研究では高フレームレート画像処理におけるセルフウィンドウ法を拡張し，楕円セルフウィンドウ法を提案する（図1）．各画像フレームにおける二値化などの対象認識を楕円領域に限定し楕円を更新し続けることで，楕円が頭部付近（メダカは下から心臓位置の輝度変化が観測可能）に収束しつつ，個体間交差などの外乱に頑健な高速トラッキングが可能となる．高速ミラー制御系と組み合わせることで，魚群に対しても特定個体の継続的高解像度撮影の効率が向上する．

2. 高解像度イメージングシステム

高速ミラー制御における浅い被写界深度の問題に対し，高速ミラー制御系・高速液体可変焦点レンズ・広角カメラの三つを効果的に連携させることで，複数の三次元運動物体に対して常に合焦した高解像度イメージング手法を提案する（図2）．広角カメラで対象全体を観察しつつ，ミラー式光軸制御系によって特定個体に高解像度カメラの向きを動的に制御する．そして広角カメラとミラー制御系から成るステレオ系の三角測量によって液体レンズの高速制御も行い，三次元運動にも対応した鮮明なイメージングを達成することができる（図3）．

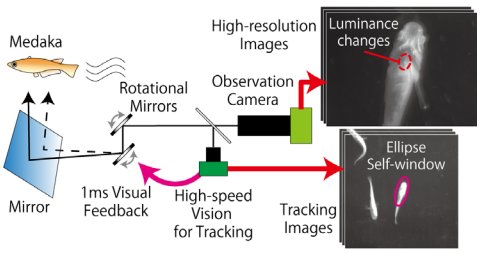


図 1 楕円セルフウィンドウ法
Fig. 1 Ellipse self-window method.

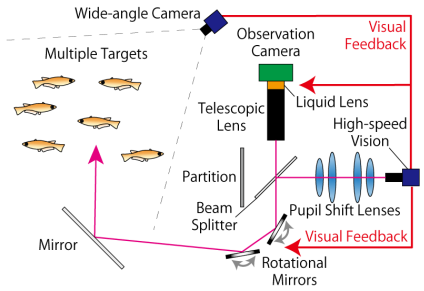


図 2 高解像度イメージングシステム
Fig. 2 High-resolution imaging system.

Individual identification and health management is desirable for multiple dynamic living beings in three dimensions unrestrictedly, such as freely swimming fish. Techniques by high-resolution image measurement are known for extracting individual identification information of a static object and heart rate estimation of fish. In the image measurement, however, continuous high-resolution observation for dynamic targets is difficult from the viewpoint of the angle of view, resolution, and depth of field. To solve a trade-off between the angle of view and resolution in a fixed camera, continuous high-resolution imaging can be expected using a mirror-based high-speed tracking system (1ms Auto Pan-tilt). However, correct tracking for a specific target is difficult with similar appearances (i.e., school of fish), and the mirror-based tracking system suffers from shallow depth of field of a telescopic lens. In this research, we propose an ellipse self-window method and high-resolution imaging system. Individual health management applications in aquaculture and aquarium are expected for the school of fish, and individual identification is also applied to robotics picking and drones.

1. Ellipse self-window method

In continuous detection of the position of a specific individual in a school of fish, occlusion including crossing with other individuals is a major issue. We extend a self-window method in high frame rate image processing and propose an ellipse self-window method (Fig. 1). By limiting the object recognition processing such as binarization in each image to the elliptical area to be updated, the ellipse converges near the fish head (heart brightness changes of Medaka fish can be observed from below) and high-speed tracking robust against individual intersection can be possible. In the mirror-based tracking system, the ellipse self-window method can improve the efficiency of continuous high-resolution imaging of a specific individual.

2. High-resolution imaging system

To solve the shallow depth of field in the mirror-based tracking system, we propose a high-resolution focused imaging method for multiple 3D dynamic targets by effectively combining the high-speed optical axis control system, a high-speed liquid variable focus lens, and a wide-angle camera (Fig. 2). While observing the whole targets with a wide-angle camera, the direction of a high-resolution camera is dynamically controlled for a specific individual by the mirror-based optical axis control system. The liquid lens is also controlled at high speed by triangulation of a stereo system consisting of the wide-angle camera and the mirror control system, and focused imaging against three-dimensional motion can be achieved (Fig. 3).

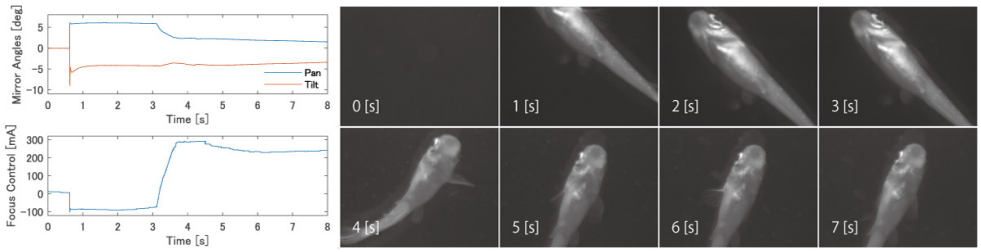


図 3 メダカ追従撮影結果
Fig. 3 Tracking results of Medaka fish.

3.30 遠隔虹彩認証に向けた高速光学系トラッキングシステム
High-speed Optical Tracking System for Dynamic Iris Authentication

生体認証における虹彩は，非接触で計測可能，損傷可能性が低いなどのメリットをもつ一方で，虹彩特徴の高解像度画像を得るために計測装置への接近・静止が必要で，人間への高い拘束性がある．歩行など運動状態の人間への遠隔虹彩認証を実現するには，カメラにおける画角と解像度のトレードオフやフォーカス位置の課題を解決する必要がある．そこで本研究では，眼球付近の狭い領域をガルバノミラーにより高速トラッキングしながら，高解像度カメラに備えた液体レンズの正弦波走査により，十分に合焦した虹彩画像を撮影するシステムを提案する(図1)．

さらに，液体レンズの応答を校正し，正弦波走査パラメータを最適化する手法も提案する(図2)．液体レンズとイメージングレンズを備えた高速カメラにおいて，平面チェッカーパターンのエッジなど異なる奥行位置の合焦度を比較することで，ミリ秒オーダの液体レンズの応答を計測し周波数応答などの特徴を抽出する．そして人間の歩行前進速度を考慮した走査範囲に対する反復的な最適化により適切な正弦波パラメータを導出し，ズーム調整や対象の移動に追従する正弦波フォーカストラッキングを実現する(図4)．本技術はスムーズなセキュリティゲートなど，セキュリティ分野への応用展開が期待される．

なお，本内容は日本電気株式会社との共同研究の成果に基づくものである．

The iris in biometric authentication has advantages such as non-contact measurement and low possibility of damage, but it is highly constraining to humans because it requires the user to approach and remain still at the measurement device to obtain a high-resolution image of the iris features. In order to realize remote iris authentication for humans in motion, such as walking, it is necessary to solve the trade-off between angle of view and resolution in the camera and the focus position issue. In this study, we propose a system that captures well-focused iris images by sinusoidal scanning of a liquid lens equipped with a high-resolution camera while using galvanometer mirrors to track a narrow area near the eye at high speed (Fig. 1).

We also propose a method to calibrate the response of the liquid lens and optimize the sinusoidal scanning parameters (Fig. 2). By comparing the focus of a high-speed camera equipped with the liquid lens and an imaging lens at different depth positions, such as the edge of a flat checker pattern, the response of the liquid lens is measured in milliseconds and features such as the frequency response are extracted. Then, the appropriate sinusoidal parameters are derived through iterative optimization of the scanning range, taking into account the human walking forward speed, to realize zoom adjustment and sinusoidal focus tracking that follows the movement of the target (Fig. 4). This technology is expected to be applied to the security field, such as smooth security gates.

This content is based on the results of joint research with NEC Corporation.

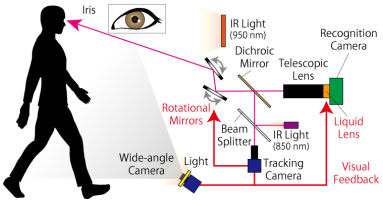


図 1 高速光学系虹彩トラッキングコンセプト
Fig. 1 Concept of high-speed optical iris tracking.

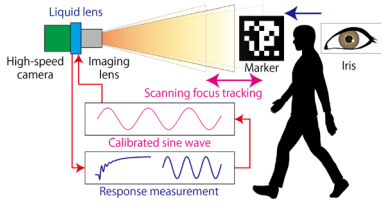


図 2 走査型焦点トラッキング用応答校正
Fig. 2 Response calibration for scanning focus tracking.

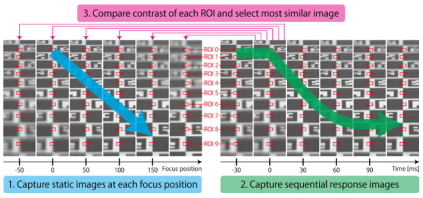


図 3 液体レンズ応答計測
Fig. 3 Liquid lens response measurement.

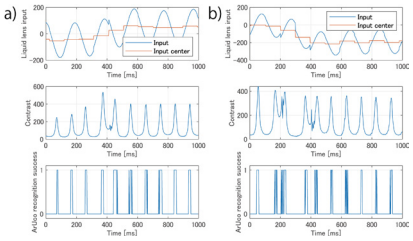


図 4 走査型フォーカストラッキング
Fig. 4 Scanning focus tracking.

3.31 高速光学系制御による眼球微動計測システム
Micro Eye Movement Measurement System with High-Speed Optics Control

人間の眼球の小さな振動運動であるマイクロサッカードは，心理状態や健康状態など人間の様々な現象と相関が発見されている．マイクロサッカードはアイトラッカーを用いて計測することができるが，あご台に頭部を固定する必要があるなど，人間の頭部への拘束性が高いという課題があり，人間が落ち着いた状態での計測が可能であるとは言い難い．

そこで本研究では，ガルバノミラーや液体可変焦点レンズなどの光学系の高速制御・高速トラッキングを用いた，頭部非拘束の眼球微動計測システムを提案する(図1)．遠隔虹彩認証技術 と同様に，広角な固定カメラでは取得困難な眼球付近の高解像度合焦画像を高速な光軸・焦点制御により実現し，角膜反射法に基づく視線情報を適切に処理することで，マイクロサッカードのような眼球微動の検出を可能とする．本システムの開発には，マイクロサッカード動作可能な人工眼球 も有効利用されている．自由な頭部移動を許容する眼球微動計測は，医療・ライフサイエンス分野への応用展開が期待される．

なお，本内容は日本電気株式会社との共同研究の成果に基づくものである．

Microsaccades, which are small oscillatory movements of the human eye, have been found to correlate with various human phenomena such as psychological and health states. Microsaccades can be measured using an eye tracker, but the need to fix the head to a chinrest and the high degree of restraint on the human head make it difficult to make measurements in a calm state.

In this study, we propose a head-unconstrained eye micromotion measurement system using high-speed control and tracking of optical systems such as galvanometer mirrors and liquid variable focus lenses (Fig. 1). As with the remote iris recognition technology, this technology realizes high-resolution in-focus images near the eyeball, which are difficult to obtain with a wide-angle fixed camera, through high-speed optical axis and focus control, and enables the detection of microsaccadic eye movements by appropriately processing eye gaze information based on the corneal reflection method. Artificial eyes capable of microsaccade motion are also effectively used in the development of this system. Eye movement measurement that allows free head movement is expected to be applied in the medical and life science fields.

This content is based on the results of joint research with NEC Corporation.

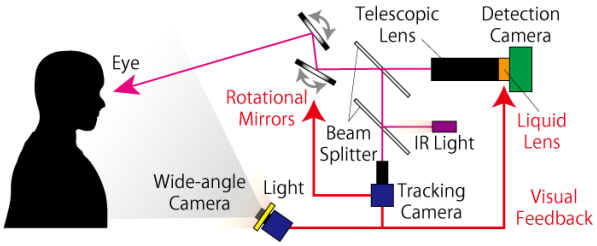


図 1 眼球微動計測システム
Fig. 1 Eye movement measurement system.

3.32 高速動作可能な明瞳孔人工眼球
Bright-pupil Artificial Eye with High-speed Motion

視線から人間の行動や状態を把握するアイトラッカーは様々な場面で利用されるが，アイトラッカーの正確度や精密度を評価する際に人間だけでなく眼球模型も重要な役割を果たす．一般にアイトラッカーは近赤外光とカメラを用いて眼球を計測するが，カメラの光軸に近赤外光源が近い場合は明瞳孔，遠い場合は暗瞳孔として観察され，眼球模型では暗瞳孔が採用されることが多い．また，眼球運動の一種であるマイクロサッカードは神経生理学的・心理物理学的な発見につながることが期待されているが，極めて小さく素早い動きであるマイクロサッカードの計測にはあご台による頭部固定の必要性がある．頭部が動く自由な状況でのマイクロサッカードの検出のための計測装置や検出アルゴリズムの開発には，素早いマイクロサッカードを再現可能な眼球模型の開発が必要である．

そこで本研究では，マイクロサッカードのような高速動作を可能とする明瞳孔を備えた眼球模型を提案する(図1)．角膜反射を模した平凸レンズに砂面加工を施し，裏に再帰性反射材を配置することで，明瞳孔を再現しつつ，高速動作のための軽量性を維持した光学設計をもつ(図2, 3)．ガルバノモータが小型眼球模型を回転し，マイクロサッカードのような高速動作を再現する(図4)．明瞳孔の特徴は頭部移動への高速トラッキングを容易にし，モータによる定量的な微小回転を再現することで，自由な頭部移動を許容する眼球微動計測システム の開発に繋がり，医療・ライフサイエンス分野などへの応用展開の促進が期待される．

なお，本内容は日本電気株式会社との共同研究の成果に基づくものである．

Eye trackers are used in a variety of situations to understand human behavior and conditions based on eye gaze, and artificial eyes as well as humans play an important role in evaluating the accuracy and precision of eye trackers. Generally, eye trackers use near-infrared light and a camera to measure the eyeball. If the near-infrared light source is close to the optical axis of the camera, the pupil is observed as a bright pupil; if it is far away, the pupil is observed as a dark pupil. Microsaccades, a type of eye movement, are expected to lead to neurophysiological and psychophysical discoveries, but the extremely small and rapid movements of microsaccades require head fixation with a chinrest. The development of measurement devices and detection algorithms for the detection of microsaccades in free head movement situations requires the development of artificial eyes that can reproduce quick microsaccades.

In this study, we propose an artificial eye with a bright pupil that enables microsaccadic high-speed motion (Fig. 1). The plano-convex lens, which imitates corneal reflection, is processed with a sandy surface and retroreflective material is placed on the back of the lens to have an optical design that reproduces bright pupils while maintaining light weight for high-speed motion (Fig. 2, 3). Galvano motors rotate the miniature artificial eye to reproduce microsaccadic high-speed motion (Fig. 4). The bright pupil feature facilitates high-speed tracking of head movement, and by reproducing quantitative micro-rotation by the motor, it is expected to lead to the development of an eye movement measurement system that allows free head movement, thereby promoting applications in the medical and life science.

This content is based on the results of joint research with NEC Corporation.

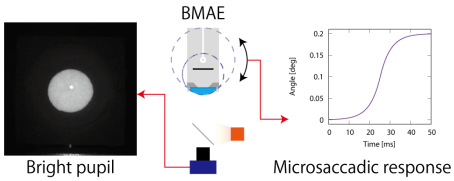


図 1 コンセプト
Fig. 1 Concept.

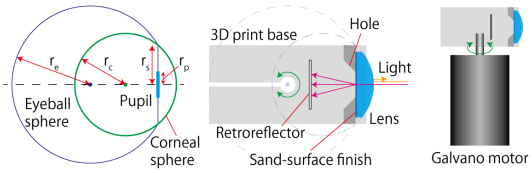


図 2 光学設計
Fig. 2 Optical design.

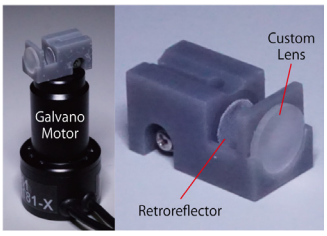


図 3 眼球模型
Fig. 3 Artificial eye.

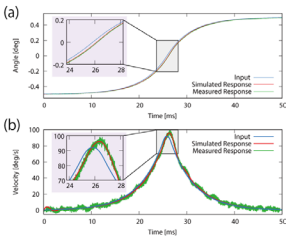


図 4 マイクロサッカード動作
Fig. 4 Microsaccadic motion.

3.33 Apollon Mark：先読みミラー制御によるボールマーク可視化システム
Apollon Mark: Ball Mark Visualization System with Preceding Mirror Control

球技スポーツにおける競技の公平性に向けて，ボールのイン・アウトなどの判定に対し審判補助システムが活用されている．特にテニス競技においては，高速なマルチカメラを活用してボールの三次元軌道を計測し，テニスコートのラインとボールの三次元軌道の位置関係から，イン・アウト判定を行うシステムが公式大会に数多く導入されている．しかし，三次元軌道から推定されたボールの着地位置は，実際のボールのバウンド痕跡とは数[mm]単位で誤差を有する可能性がある．実際，バウンド痕跡が残りやすいクレーコートでは，このマルチカメラの審判補助システムは導入されない傾向にある．

そこで本研究では，ボールの地表面への接触に対し生じる微小な物理的変形を高解像度カメラで捉える，ボールの高速なバウンド位置予測と先読みミラー制御によるボールマーク可視化システムを提案する(図1)．本システムは次の3種類の技術要素から構成される(図2)．(1)マルチ高速カメラによりボールの三次元軌道を計測し，運動情報をカルマンフィルタ等で推定し，バウンド位置を即時に予測する．(2)予測バウンド位置に向けて，高解像度カメラの視線方向を先読みとして高速に制御する．そして，(3)バウンド直前・直後の地表面の高解像度テクスチャ画像を撮影し，その差分によりボールマークを可視化する．本システムは，光学制御技術(光)を用い，落下するターゲットより先にその着地位置を予測(予言)することで ボールマークの可視化を実現しているため，光と予言の神であるApolloから「Apollon Mark」と名付けた．

本技術は，芝生など一見ボールマークが分かりにくい地表面に対して，高速な運動予測と光学系制御を活用することでボールのバウンド直前の高解像度画像を積極的に取得する点が特徴的である．すなわち，十分な解像度をもつバウンド直前の地表面画像を，バウンド直後の地表面画像と単に比較するだけで，ボールマークの可視化を容易にするものである(図3)．本システムは，公平かつ迅速な審判補助システムとしてスポーツ分野の発展に寄与するだけでなく，移動体と壁や地面などの接触面の検査といったインフラ等の応用展開も将来的に期待される．

Referee assistance systems are being used to judge the in/out of the ball in order to ensure fairness in ball sports. In tennis, in particular, many official tournaments have introduced systems that use high-speed multiple cameras to measure the three-dimensional trajectory of the ball and make in/out decisions based on the positional relationship of the ball three-dimensional trajectory with the tennis court lines. However, the bounce position of the ball estimated from the three-dimensional trajectory may have an error in the order of several millimeters from the actual ball mark. In fact, such multiple camera assistant tends not to be installed on clay courts, where ball marks are more likely to remain.

In this study, we propose a ball mark visualization system that uses a high-resolution camera to capture the minute physical deformation that occurs when the ball contacts the ground surface. We propose a ball mark visualization system based on high-speed prediction of the ball bounce position and preceding mirror control (Fig. 1). The system consists of the following three technical elements (Fig. 2). (1) Measure the three-dimensional trajectory of the ball using multiple high-speed cameras, estimate the motion information using a Kalman filter, and immediately predict the bounce position. (2) Control the line-of-sight direction of the high-resolution camera toward the predicted bounce position at high speed. (3) Take high-resolution texture images of the ground surface immediately before and after the bounce, and visualize the ball mark by the difference of the images. The system is named "Apollon Mark" after Apollo, the god of light and prophecy, because it uses prediction and light control technology to visualize the bounce mark.

This technology is unique in that it actively acquires a high-resolution image of the ground surface immediately before the ball bounces by utilizing high-speed motion prediction and optical control for ground surfaces such as grass where ball marks are difficult to recognize. In other words, the ball mark can be easily visualized by simply comparing an image of the ground surface immediately before the bounce with that of immediately after the bounce, which has sufficient resolution (Fig. 3). This system is expected not only to contribute to the development of the sports field as a fair and quick referee assistance system, but also to be applied to infrastructure applications such as the inspection of contact surfaces between moving objects and walls or the ground in the future.

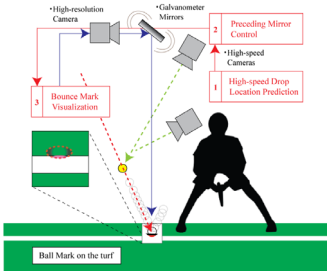


図 1 コンセプト
Fig. 1 Concept.

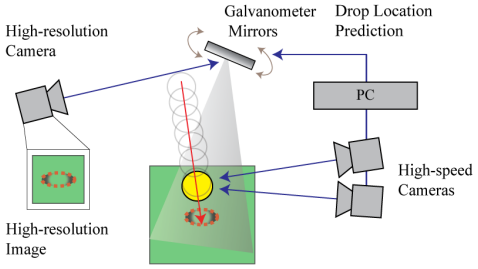


図 2 システム構成
Fig. 2 System configuration.

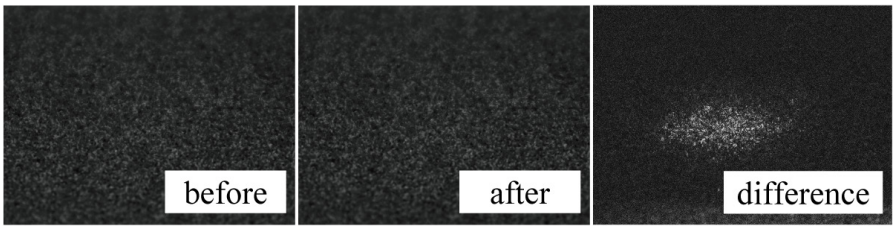


図 3 ボールマークの可視化
Fig. 3 Visualization of the ball bounce mark.

3.34 M 系列多重露光と対称ドットマーカによる卓球ボール高速スピン計測システム
Table Tennis Ball High-speed Spin Measurement System Using M-sequence Multi-exposures and Symmetric Dot Markers

卓球はスピンが特徴的な球技スポーツであり，最大150rpsにも達すると言われるスピンはボールの軌道を大きく変えるため戦術上重要な要素であり，高速スピンのリアルタイム計測はプレーの改善や卓球ロボットの開発への活用に期待される．しかし，150rpsものスピンは1,000fpsの高速カメラを用いても1フレームあたり約54度もの回転が生じるため，卓球ボールの高速な並進運動に対して継続観察を可能とする 1ms Auto Pan/Tiltシステム を用いても，回転運動のモーションブラーによりスピンの計測は容易ではない．

本研究では，卓球ボール表面に対称的なドットマーカーを描画し，そしてM系列符号を備えた1フレームでの多重露光撮影により，卓球ボールの高速スピンを瞬時に計測するシステムを提案する(図1)．スピンによるドットマーカのモーションブラーをM系列多重露光(図2)により破線として捉える画像(図3)への高速画像処理に加え，撮影フレーム毎の姿勢推定問題を解くことで卓球ボールのスピンを高速かつ正確に推定する．そして1ms Auto Pan/Tiltシステム と組み合わせた高解像度撮影により，卓球ボールの大きな並進運動中のスピン計測も可能とする(図4)．本システムにより，ラリー中の卓球ボールのスピン情報を瞬時に計測できるようになるため，高速プロジェクタ と組み合わせた即時視覚情報フィードバックによる卓球プレー改善や，スピンの量や方向に迅速に対応できる卓球ロボットの開発などのスポーツ分野の応用展開が期待される．

Table tennis is a ball game sport characterized by spin. Spin, which is said to reach up to 150 rps, is an important tactical element because it significantly changes the trajectory of the ball, and real-time measurement of high-speed spin is expected to be used to improve play and to develop table tennis robots. However, spin of 150 rps causes about 54 degrees of rotation per frame even with a high-speed camera at 1,000 fps, so even with a 1ms Auto Pan-Tilt system, which enables continuous observation of the high-speed translational motion of the table tennis ball, it is not easy to measure spin due to motion blur of the rotational motion.

In this study, we propose a system to instantly measure the high-speed spin of the table tennis ball by drawing symmetric dot markers on the ball surface and capturing multi-exposure images in a single frame with M-sequence codes (Fig. 1). The motion blur of the dot markers due to spin is captured as dashed lines by the M-sequence multi-exposures (Fig. 2), and the spin of the table tennis ball is estimated quickly and accurately by solving a posture estimation problem for each captured frame (Fig. 3). High-resolution imaging using the 1ms Auto Pan-Tilt system enables measurement of the spin of the table tennis ball during its large translational motion (Fig. 4). This system enables instantaneous measurement of table tennis ball spin information during a rally, and is expected to be applied in sports fields such as table tennis play improvement through immediate visual information feedback combined with a high-speed projector, and the development of table tennis robots that can quickly respond to the amount and direction of spin.

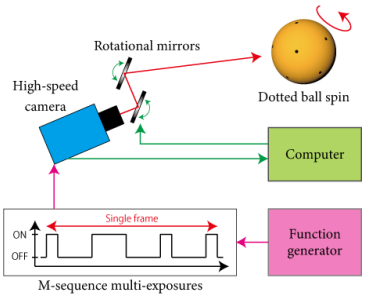


図 1 システム構成
Fig. 1 System configuration.

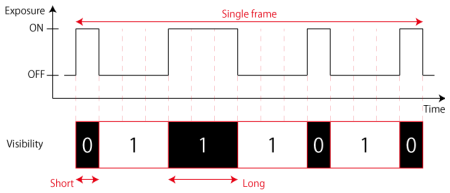


図 2 M 系列多重露光
Fig. 2 M-sequence multi-exposures.

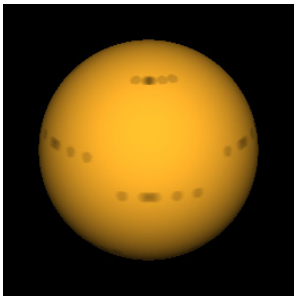


図 3 多重露光シミュレーション画像
Fig. 3 Multi-exposure simulation image.

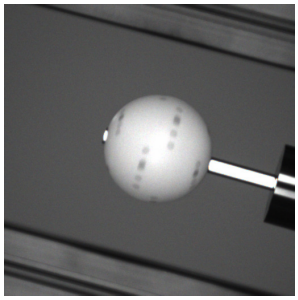


図 4 高速スピン光学トラッキング画像
Fig. 4 High-speed spin image in optical tracking.

3.35 1 ms 対象輪郭トラッキング
Target Tracking

非常に高いフレームレートでの画像処理では，内在するアルゴリズムに対し厳しい要件が求められる．この要件を達成する一つの解は，種々の画像処理の問題に特有である並列化を利用することである．しかし，その問題が並列化可能だとしても，すなわち多くの画素に対し同時に同様の計算が可能だとしても，別の側面も考慮しなければならない．特に，メモリアクセスパターンとキャッシュ戦略が性能に大きな影響を与えるため，メモリスループットが制約となるが，これはアルゴリズムを設計する際にこのような問題を考慮する必要があることでもある．また一方で，高フレームレートでの対象観測は，通常のフレームレートの場合と比較して，この問題の異なる側面が利用可能でもある．

画像系列における対象物体の追跡（対象のトラッキングと呼ばれる）は，ロボット・ヒューマンインターフェース・拡張現実感など幅広い分野で応用可能である．さらに1000fpsでのトラッキングの実現は，高速トラッキングのためのデバイスの開発も可能となる．

トラッキングの一つの手法として，対象の局所特徴量を見つけて追跡する方法があり，この手法は対象に関する知識を必要としない．その反面，対象の外観が劇的に変化してしまうと見失ってしまったり，対象の中心情報が極めて重要となる高速トラッキングデバイスへのフィードバックを悪化させてしまうこともあり得る．そこで，我々は対象物体の輪郭をトラッキングする手法を採用し，その輪郭内全てが対象物体と扱うことが出来る．対象の外観が変化した場合（動画参照）でも，対象のモデルは更新され，トラッキングは新しい外観に適合するという手法である．

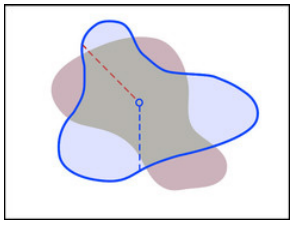
さらに，極座標空間を導入することで，この問題を最近のコンピュータの連続領域メモリに適用可能とする．極座標空間において各行間で部分的に独立となるため，キャッシュコヒーレンスと並列性を両立させつつ，各行に沿って輪郭が内外に動くようにする手法である．本手法は通常のIntel Core i7のプロセッサを用いて，VGAの解像度，1000fpsの動画にも対応可能である．

Doing image processing at extreme frame rates puts strict requirements on the underlying algorithms. One key to achieve this is to exploit the parallelism inherent in many image processing problem. However, even if the problem itself is parallelizable, that is if it is possible to do the same computation simultaneously for many pixels, other aspects have to be taken into consideration. In particular, memory access patterns and cache strategies will have a huge impact on the performance, which in these scenarios often are bound by memory throughput. This implies that these sort of issues will have to be considered already when designing the algorithm. On the other hand, observing scene changes with a high frequency enables the possibility to exploit different aspects of the problem compared to just observing at regular frame rates.

The ability to follow an object in a sequence of images, refered to as object tracking, enables a range of applications in areas such as robotics, human computer interaction and augmented reality. In addition being able to do this at frame rates of 1000 fps enables exploiting tracking hardware designed for this sort of high speed tracking.

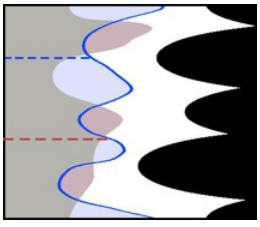
One approach to tracking is to find a local characteristic of the object and follow that. With this approach no concept of an object exists. This can lead to loss of tracking when objects drastically change appearance, and furthermore might give bad feedback to applications like the one presented here, where information about entire extent of the object is crucial. We therefore take an approach where the contours of the target object is tracked. This enables the tracked target to be treated as everything contained within its contour. When the target changes in appearance (see video) the object model gets updated with relevant information and the tracking adapts to this new appearance.

We adapt the problem to the linear memory layout in modern computers by introducing a polar coordinate space. We then let the contour move in and out along each row in this space, exploiting both cache coherency and parallelism due to the partial independence between rows. Our algorithm is able to keep up with a 1000 fps camera capturing images at VGA resolution on a regular Intel Corei7 processor.



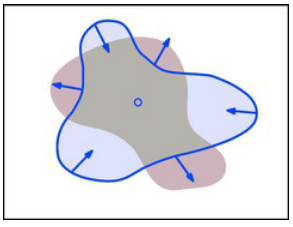
対象（赤）と輪郭（青）。青い円は極座標の原点を表す。

Object (red) and current contour estimate (blue). The blue circle indicates the origin of the polar transform.



極座標の画像。元画像に描いた中心からの放射状の線は極座標上で水平線になる。

Image in polar space. Note that radial lines in the original image become horizontal in polar space.



輪郭は、画像の局所的なマッチング結果に基づき、中心からの放射方向にフィットしていく。

The contour is propagated radially and the direction is determined by the local conformity to the models.

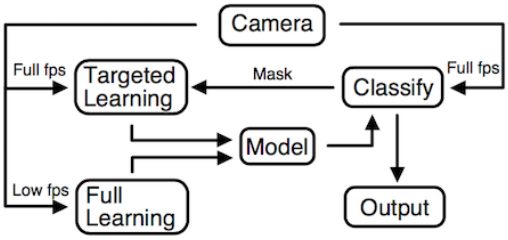
3.36 高速画像系列における動的背景差分に向けた標的モデリング
Targeted modeling for dynamic background subtraction in high-speed sequences

人間の目の性能を大きく超えたフレームレートで観測すると超人的な応用が可能となるが，フレームレートが増加すると計算コストも同様に増加してしまう．しかしながら最初に画像中の注目領域を定めると，その後はより洗練された処理がその領域内でのみ可能となる．一方で高速な画像系列を用いることで，シーン中の出来事のより深い理解も可能である．本研究では，前述の2点に対応した背景差分アルゴリズムを提案する．すなわち1000fps近い速さで注目領域を決定し，同時に通常のフレームレートにおける情報も利用して，単なる背景差分に勝る処理を可能とする．

提案する背景差分アルゴリズムは，物体の移動などによって変化するシーン中の領域（画像中のピクセル）を特定するものである．しかし背景中に紛れ込む移動体の影は複雑な要素の一つで，前景と誤認識しかねない．前景ではなく影として検出する先行研究（Prati et al. CVPR'99）では，暗過ぎないが背景色よりもやや暗いものを本質的に影と定義している．そのため，輝度が大きく異なると前景と識別されてしまう．しかしながら，早い段階で影が検出されていると，問題となる領域が運動による影なのかを学習することができ，影が暗く変化しても対応することができる．

When observing the world at framerates vastly exceeding the capabilities of the human eye, applications with super-human capabilities become possible. However, with increasing framerate, the computational demand increases as well. If however interesting regions in the image are first located, more sophisticated processing can be subsequently applied to only these parts. If looking at the problem from the opposite side, high-speed sequences can help us better understand what is going on in the scene.In this research we address the two aspects above, and propose a background subtraction algorithm that is able to locate regions of interest at nearly 1000 fps while at the same time exploiting the extra information available between frames of normal cameras to generate superior background subtractions.

The purpose of a background subtraction algorithm is to identify which pixels of the image, i.e. which parts of the scene, that are changing, typically caused by moving objects. However, one complicating factor is that shadows caused by the moving objects will fall on the background and might be wrongly treated as foreground. There are methods to detect if a pixel is shadow rather than foreground (Prati et al. CVPR'99) which essentially defines a shadow as a darker, but not too dark, version of the background color. Thus, if the intensity differs too much, the pixel will be classified as foreground. If the shadow is detected at an early stage however, we can learn that the pixel in question is subject to a moving shadow and as the shadow gets darker we can adapt.

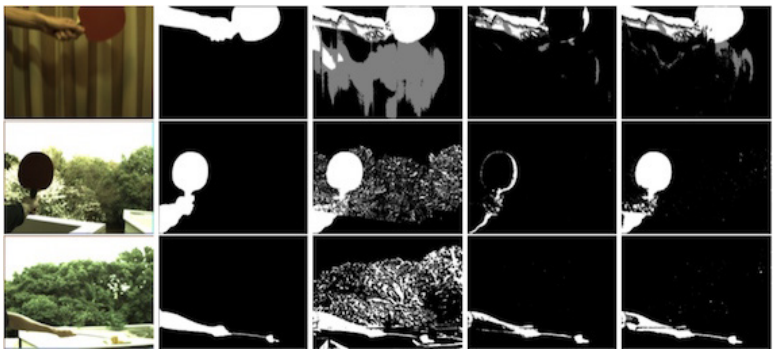


提案システム．動画像系列は二種類に分割され，片方は低い更新レートでモデル全体を更新するのに利用し，もう片方は識別結果画像が与えられた際に最大更新レートにおいて急速に変化する領域のモデルを更新するのに利用する．最大更新レートにおける最終的な前景のマスクも同時に生成する．

The proposed system. The video stream is split in two where one feeds a process that updates the entire model a low rate, and one that targets and updates the model for quickly changing areas at full rate given a classified image. A final foreground mask at full rate is also produced.

提案するアルゴリズム中では，背景モデルは各ピクセルに紐付いており，HSV色空間における可変数要素の混合ガウスモデルを用いる．各ピクセルはモデルの一部であり，モデルが与えられた場合の各ピクセルの確率が特定の定数値より大きいかどうかを示す．モデルは標準的なフレームレートと高速なフレームレートの二つのサイクルで更新される．前者は画像中の全ピクセルに対するモデルを更新するものであるが，本研究のコントリビューションは後者にある．後者において，現在のモデルに基づいて画像を識別し，その後標的モデルを次の特性をもつピクセルにおいて更新する．1）影として識別されたピクセル．2）前景として識別されるが，その近傍は背景として識別されるピクセル．1）はモデルに影の輝度値を導入し，前景として識別される前に背景中の影として識別するのに役立つ．2）は木々の揺れる葉や波のような，周期的な背景の動きがある場合に対応することができる．

In the algorithm a background model is attached to each pixel. This model is a Gaussian Mixture Model over the HSV color space with a variable number of components. A pixel is considered to be part of the model if the probability of the pixel given the model is greater than some constant. The model is updated through two cycles, one running at regular framerates and one running at high framerates. The former update cycle updates the model for all pixels in the image while the contribution of this research is on the latter update cycle. In this the image is classified using the current model. Given the classification a targeted model update is performed on pixels with certain properties: 1) pixels that have been classified as shadow and 2) pixels that is classified as foreground, but whose neighbors would have classified the pixel as background. 1) will introduce shadow intensities in the model thus helping the model to classify shadows as background before they are classified as foreground. 2) targets cases with periodic background motion, such as leaves in a tree or waves.



三種類のシーン．各画像は左から右へ順に，撮影画像，前景の真値，学習無し，従来手法(Z. Zivkovic, ICPR'04)，提案手法を意味する．上二つのシーンでは，従来手法は前景を正しく識別できていないが，提案手法ではほぼ識別できている．学習無しの画像からも分かるように，人の腕や手における誤識別は背景色に似ているため生じている．下二つの実験結果からも，提案手法における対象への学習手法によって急速に変化する背景が正しく識別されており，前景領域も前景として維持されていることが分かる．各画像において，黒色が背景，白色が前景，灰色が影を意味する．

Three scenes. From left to right: scene, ground truth, no learning, conventional method (Z. Zivkovic, ICPR'04) and the proposed method. The first two scenes show the conventional method cannot label the fg correctly, while the proposed method mostly can. The errors of the human arm and hand mostly stem from how similar they are to the background color, which is evident in the no learning column of these experiments. The last two experiments show how well the highly dynamic background gets labeled correctly using the targeted learning method (proposed method), while being able to keep fg-pixels in the fg. In the images black is bg, white is fg and gray is shadow.

3.37 手指高速トラッキングに向けた楕円群指輪マーカー
Ellipses Ring Marker for High-speed Finger Tracking

ディスプレイやロボットなどの情報関連装置を扱う際に必要となる入力インターフェースとして用いる代表的な部位は手や指である．キーボードなどの接触式だけでなくジェスチャー認識などの非接触式の操作インターフェースも存在するが，違和感のない映像や機械とのインタラクションに向けては，マーカーレス方式では計測の遅延時間に大きな課題がある．モーションキャプチャシステムのようなマーカー方式では高速低遅延なトラッキングは可能となるが，凸状のドットマーカーを手指や体表に装着する必要があり，落脱など装着持続性に課題があると考えられる．装着持続性の高いマーカーによる手指姿勢の低遅延トラッキングは，計測の長時間化など手指トラッキングの応用シーンの拡大が期待できる．

本研究では，装着持続性の高いマーカーとして指輪に着目し，複数の楕円から構成される楕円群指輪マーカーを提案する(図1)．透視投影変換によって二次元画像として観測するカメラにおいて，三次元空間における円や楕円は常に楕円に見えるという射影不変性を積極的に活用して姿勢推定を行う．高速画像処理における二値化や輪郭検出などの特徴抽出と楕円フィッティングの最適化処理も含めて，全体として2ミリ秒以下での姿勢推定が可能であり，高速低遅延プロジェクタと連携した 低遅延なフィードバック動作として，図2に示す手のひらへのダイナミックプロジェクションマッピングも可能となる．このような映像投影に限らず，手指の高速かつ複雑な動作に対する低遅延フィードバックが可能となるため，人間機械協調，スポーツ，医療など幅広い分野への応用展開へと繋がる．

The hand and fingers are typical input interfaces for information-related devices such as displays and robots. There are not only contact interfaces such as keyboards, but also non-contact interfaces such as gesture recognition. However, markerless systems have a significant problem of measurement latency in order to achieve a comfortable interaction with the displays and robots. Marker-based systems, such as motion capture systems, are capable of high-speed and low-latency tracking. However, it is necessary to attach convex dot markers to the hand or body surface, which has an issue of the marker wearability. The low latency tracking of hand posture using markers with high wearing continuity is expected to expand the application scenarios of hand tracking such as prolonged measurement.

We focus on a finger-ring as a marker with high wearability, and propose an ellipses ring marker, shown in Fig. 1. Circles and ellipses in three-dimensional space always appear as ellipses by perspective projection transformation (i.e., camera observation with a two-dimensional image). We actively utilize the projective invariance for high-speed marker tracking. High-speed image processing including binarization, contour extraction, and optimization process of ellipses fitting can run less than 2 ms. Then, we can realize dynamic projection mapping onto a palm (Fig. 2) using a high-speed low-latency projector as a low-latency feedback application. In addition to such image projection, low-latency feedback for fast and complex hand motions will be possible, leading to a wide range of applications in human-machine cooperation, sports, and medical operation.

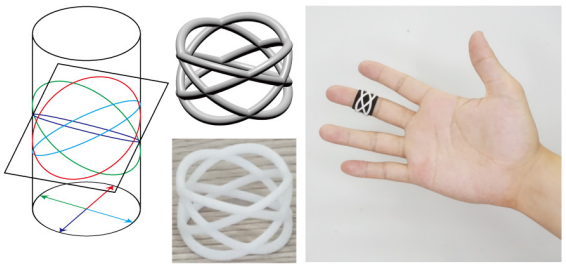


図 1 楕円群指輪マーカー
Fig.1 Ellipses ring marker.

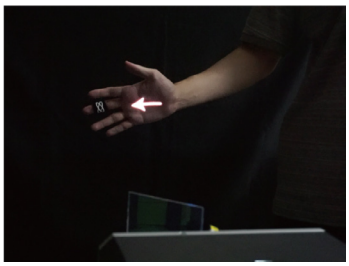


図 2 手のひらへのダイナミックプロジェクションマッピング
Fig.2 Dynamic projection mapping onto a palm.

3.38 ライトフィールドの投影による高速距離画像計測
High-Speed Real-time Range Finding by Projecting Structured Light Field

従来の高速リアルタイム距離画像計測手法は主に，ハードウェアによる並列分散処理を用いることで高速性を達成していた．本手法は，投影系の与える情報に着目し，プロジェクタからの距離に応じて変化する画像を投影することによって，マッチングや最適化の不要な，高速性を重視した距離計測を実現した．提案手法を用いることで，計測精度は低いながらも，通常のPC上においても2,500点の計測点に対して0.2ms と非常に高速で距離計算が可能である．

本手法においては，縦方向と横方向の2つの周期的な縞模様を用い，縦縞が手前側，横縞が奥側に結像するように投影系を構成した．計測物体上には，その奥行き位置に応じて2つの縞がボケを含んだ形で投影される．そのボケ量の比を計算することで，投影系からの距離を計算することが可能となる．

Real-time depth estimation is used in many applications, such as motion capture and human--computer interfaces. However, conventional depth estimation algorithms, including stereo matching or Depth from Defocus, use optimization or pattern matching methods to calculate the depth from the captured images, making it difficult to adapt these methods to high-speed sensing. In this work, we propose a high-speed and real-time depth estimation method using structured light that varies according to the projected depth. Vertical and horizontal stripe patterns are illuminated, and focus is placed at the near and far planes respectively. The distance from the projector is calculated from the ratio of the amount of the blur due to defocus(bokeh) between the stripes projected on the object surface. This method needs no optimization, and the calculation is straightforward. Therefore, it achieves high-speed depth estimation without parallel processing hardware, such as FPGAs and GPUs.

A prototype system of this method calculates the depth map in 0.2 ms for 2,500 sampling points using an off-the-shelf personal computer. Although the depth resolution and accuracy are not on par with conventional methods, the background and the foreground can be separated using the calculated depth information. To verify the speed and the accuracy, we incorporated the method in a high speed gaze controller, called Saccade Mirror. It captures an image every 2 ms, and shifts the camera direction according to the position of the target object. Conventional depth estimation methods cannot be adopted to the Saccade Mirror because of their computational costs. The proposed method on the other hand, detects moving objects by separating foreground from background, and achieves successful tracking of objects with the same color as the background.

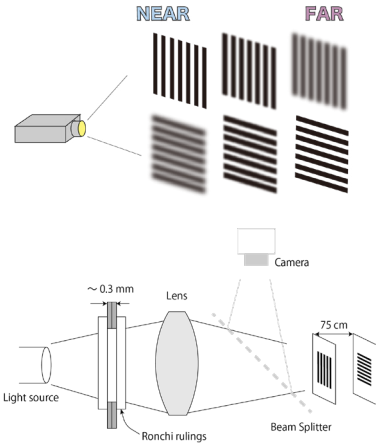


図 1：システム概念図
Fig.1：System Overview

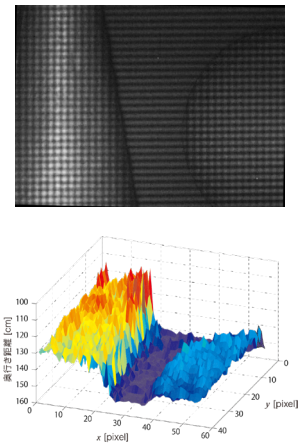


図 2 上：投影画像　下：距離の復元
Fig.2 Upper：Captured Image　Lower：Depth Map

3.39 FTIR を利用した空中超音波触覚ディスプレイ・カメラ系の校正
FTIR based calibration of Airborne Ultrasound Tactile Display and camera system

当研究室で開発されている高速トラッキング技術・高速光軸制御による投影技術と，東京大学新領域創成科学研究科複雑理工学専攻／情報理工学系研究科システム情報学専攻篠田研究室 で開発された空中超音波触覚ディスプレイ（AUTD）により，動く手のひらや物体に映像と触覚刺激を遅延なく提示することのできるシステムが提案されている．

視覚と触覚に関する高速かつ無拘束な拡張現実感を実現するシステムであるが，位置ずれによる違和感の無い情報提示を達成するには各構成要素となるデバイス間の校正が必要となる．特にAUTDは任意の三次元空間位置に焦点を形成し，焦点位置の音響放射圧によって触覚刺激を提示するデバイスであるが，カメラにはその焦点は不可視であるためにプロジェクタ・カメラ系のように提示情報をカメラで直接観測する校正手法は適用困難である．

AUTD・カメラ系の簡便かつ高精度な校正に向けて，Frustrated Total Internal Reflection（FTIR）という現象を利用してAUTD焦点位置の音響放射圧を可視化する手法を提案する．可視光を全反射により内部に充満させたアクリル板に対し，アクリル板上に載せた膜に力が加わると，加圧部においてアクリル表面と膜の接触面積が増え全反射の阻害により光が外部に漏れる．このFTIRによってアクリル平面上の加圧部が輝点として観測可能となるため，特定の焦点パターンを生成することでAUTD・カメラ間の校正が可能となる．人手による主観的な方法や単一マイクを用いた方法での焦点位置の探索と比較して二次元的な探索が可能であるため，人の作業負担が減ると期待され，高精度な情報提示空間をフレキシブルに構築する際に有用であると考えられる．

A system is proposed that can provide visual and tactile information on moving surfaces such as hands and papers without delay. The system is composed of two subsystems. The first one provides high-speed tracking and projection with optical axis control. The second one, "Airborne Ultrasound Tactile Display (AUTD)" can remotely project tactile feedback on our hands. The AUTD is developed by Shinoda Laboratory, Department of Complexity Science and Engineering Graduate School of Frontier Sciences, Department of Information Physics and Computing, the University of Tokyo.

The system provides high-speed and unconstrained Augmented Reality using visual and tactile feedback. In order to eliminate mismatch between the different feedback modalities, a calibration method that aligns the components is needed. In particular, the focal point of the AUTD, which provide tactile sensation with acoustic radiation pressure at the focal point generated at an arbitrary position in the air, is invisible to general cameras. Therefore, it is difficult to apply conventional calibration methods by observing displayed information directly by cameras in a way analogue to how a projector-camera systems are calibrated.

For a simple and high-precision calibration between AUTD and cameras, we propose a method to visualize the acoustic radiation pressure at the focal point by exploiting a phenomenon called Frustrated Total Internal Reflection (FTIR). When pressure is applied to a membrane that covers an acrylic sheet which illuminated from the side, the light leaks out as a result of an attenuation of the total reflection that otherwise keeps the light inside the sheet. This occurs since the contact area between the acrylic surface and the membrane increases at the pressurized position. This light spot is observable and indicates the focal position. By using certain patterns of such focal points, calibration between the AUTD and the cameras is possible. In contrast to methods where e.g. a human hand or a single microphone is used to subjectively identify the AUTD focal point, the FTIR-based method enables structured 2-dimensional search of the focal point in the camera image. It reduces the manual workload and is effective in obtaining an environment where multi-modal information can be presented flexibly with high precision.

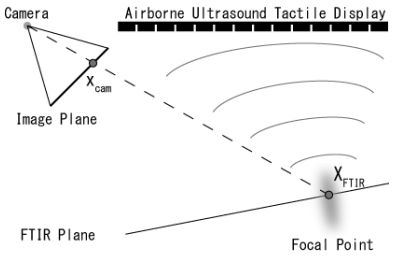


図 1 校正時の装置関係
Fig.1 Positional relation between devices



図 2 FTIR 装置
（アクリル・LED・膜（Compliant surface））
Fig.2 FTIR device(Acrylic Membrane(Compliant surface)).

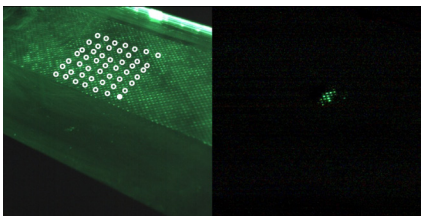


図 3 焦点位置可視化（左：検出した焦点パターンの位置，右：背景差分により抽出した 1 箇所での焦点位置）
Fig.3 Visualized focal position(Left: detected positions of the focal points pattern, Right: one focal point position extracted using background subtraction).

3.40 サッカードミラーの校正手法
Saccade Mirror calibration

当研究室で開発されている高速視線制御光学系であるサッカードミラーは，高速トラッキング技術（1msオートパン・チルト）として運動対象の継続的な高解像度撮影が可能である．この技術の三次元計測への応用を考えると，工場における効率的な検査や，鳥や昆虫などの羽ばたきを忠実に再現したCGモデルの作成，高機能なユーザーインターフェースなど様々な応用が期待される．一方で，サッカードミラーを用いた高精度な三次元計測を行うには事前に十分な精度の校正が必要となるが，焦点距離の長いカメラレンズを用いて近傍を観測する際の浅い被写界深度と，視線変更の機械的構造の二点で高精度な校正に問題があった．

そこで同軸落射照明と再帰性反射校正パターンを用いて，十分な光量を稼ぎつつ絞りを極めて小さくすることで被写界深度を増大させる手法を提案する（図1）．ミラー式視線制御系はハーフミラーを使って同軸でのプロジェクタの導入が可能で，当研究室で開発した動く対象へのプロジェクションマッピング技術（るみぺん）とほぼ同様のシステム構成である．サッカードミラー近傍でも校正パターンを被写界深度内に入れることが可能となり，広い視線範囲で校正可能となる．

さらに二軸の回転ミラーによってカメラの光学中心が大きく並進移動する系に対し，ミラー厚みも含めた新しい視線モデルも提案する（図2）．被写界深度増大手法によって得られた広い視線範囲での校正パターンの情報に基づき，この視線モデルに対しバンドル調整（カメラ校正手法の枠組み）を上手く適用することで，サッカードミラーの校正が達成可能となる．

A high-speed gaze controller, Saccade Mirror, enables high-speed tracking (1msAuto Pan-Tilt technology) and can keep high-magnification imaging of dynamic target objects. This technology has various applications of 3D measurement of dynamic objects; efficient factory automation; precise computer graphics of flying birds or insects; and high-performance human-computer interaction. Although precise calibration is important for high-magnification 3D measurement by Saccade Mirror, conventional calibration methods are difficult to apply; shallow depth of field (DOF) due to long focal lengths at close focus position, and mechanical differences in a gaze model.

We propose a deepening DOF method with episcopic illumination and retroreflective calibration pattern, which provides sufficient luminance even with quite a small aperture (Fig. 1). The mirror-based gaze controller can introduce a coaxially placed projector with a beam splitter, which is almost the same system configuration as Dynamic Projection Mapping technology (Lumipen) in our laboratory. We can place the calibration pattern within the DOF even near the Saccade Mirror, and realize a wide gaze range calibration.

Moreover, we also propose a new gaze model with mirror thickness for Saccade Mirror, which has large translations of center of projection with two rotational mirrors (Fig. 2). Based on the calibration pattern captured at the wide gaze range by deepening DOF, we properly apply bundle adjustment procedure, which is a general camera calibration framework, and can achieve Saccade Mirror calibration.

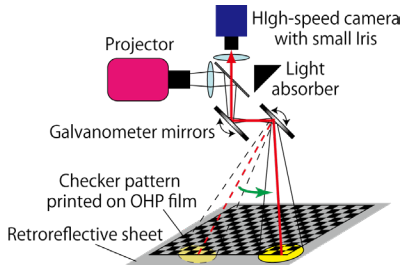


図 1 校正時におけるシステム構成（被写界深度増大）
Fig.1 System configuration to deepen DOF.

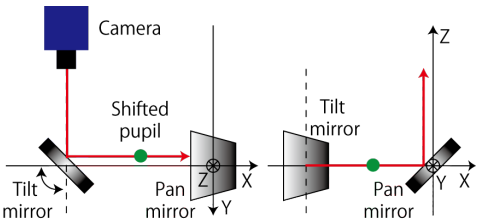


図 2 ミラー式視線モデル
Fig.2 Mirror-based gaze model.

3.41 フラクタルを利用したカメラ校正パターン
Fractal-based camera calibration pattern

カメラを利用した三次元計測や拡張現実感システムでは事前のカメラ校正が必要であり，校正器具として平面パターンがよく用いられる．様々なズーム倍率に対して対応可能なパターンは様々なシーンの校正に役立つが，チェスボードなど一般的なカメラ校正パターンではスケーラビリティとオクルージョンには対応が難しい．すなわち，一定のサイズの四角や円のマーカーではズーム倍率の高低両方のカメラにおいて，十分な解像度での観測とパターン中におけるマーカーの位置の一意の特定が困難である．

そこで様々なズーム倍率に対し，自己相似性をもつフラクタルを用いたパターンを提案する．シェルピンスキーのカーペットと呼ばれるフラクタル図形を，高精度なカメラ校正を意識してサークルグリッドの形に変形し，なおかつ2値の符号情報をサークル・リングの形で表現している．ここで2値の符号情報として2次元M系列であるM配列を用いており，特定の範囲内ではパターンの一部を観測するだけで全体における位置が一意に特定可能となる．一つの応用例として，フラクタルの段数を3に設定したパターン（図1）を用いると，高低両方のズーム倍率の条件でもARマーカーフィールドとして同一の位置にCGモデルを重畳できる（図2, 3）．フラクタル構造と適切な符号情報を含んだ校正パターンは，ズーム倍率の異なるマルチカメラ系や拡張現実感のシステムの構築を容易にし，様々な応用へと繋がる．

Camera-based 3D measurement and Augmented Reality (AR) systems need camera calibration in advance, which often use a planar pattern as a calibration tool. Calibration patterns with availability of several camera zoom levels is preferable for various scenes, but general patterns such as a checkerboard cannot cope with scalability and partial visibility. In other words, square or circular markers at a certain size cannot provide observations at sufficient resolution and unique position detection at both low and high zoom levels.

We propose a fractal-based calibration pattern, which has self-similarity for different zoom levels. The fractal structure of the pattern is based on Sierpinski carpet, which is a common fractal figure. We convert its squares for higher precision detection, and embed binary information with circles or rings with M-array for unique position detection. As one applicational example, we design the fractal pattern with 3 levels (Fig. 1), and show its performance as AR marker field at both low and high zoom levels (Fig. 2, 3). The calibration pattern with fractal structure and appropriate code information can increase flexibility of system configuration of multi-camera systems for 3D measurement and AR, and leads various applications.

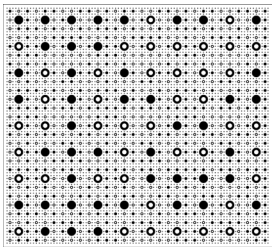


図 1 フラクタル校正パターン（3 段）
Fig.1 Fractal-based calibration pattern (3 levels).

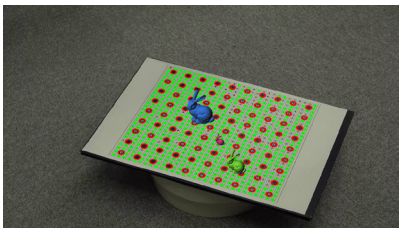


図 2 低ズーム倍率条件での検出と CG モデルの重畳結果
Fig.2 Pattern detection with 3D virtual objects at low zoom level.

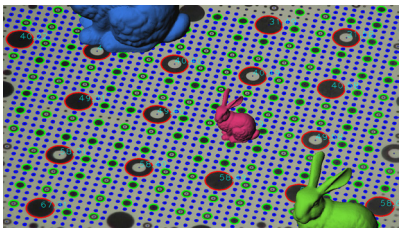


図 3 高ズーム倍率条件での検出と CG モデルの重畳結果
Fig.3 Pattern detection with 3D virtual objects at high zoom level.

3.42 その他の研究成果
Other research topics

球面鏡の高速トラッキングによる動的映像計測, 暗視野顕微鏡法における遊泳細胞の3次元トラッキング, 1-kHz高速可変焦点レンズ(HFL), 焦点の異なる複数の画像を用いた三次元運動認識手法, 高速液体レンズによる焦点スキャン画像群を用いた任意焦点・任意被写界深度の画像合成手法, ビジョンチップ(ビジョンアーキテクチャプロジェクト), 列並列ビジョン(CPV) システム, 微生物トラッキングのための高速ビジョン用動的輪郭モデル, SelfWindowingを用いた高速対象追跡, 3次元空間内での微生物運動制御, 微生物のセンシング情報の可視化, ゾウリムシの非ホロノミック性と軌道計画, 微生物電気走性のダイナミクスモデル, 走電性をもつ微生物運動制御のための電流制御型電気刺戟デバイス, 高速トラッキングによる微生物の運動制御, マイクロビジュアルフィードバック(MVF)システム, 人間と微生物との実世界インタラクション, 高速オートフォーカスによる高速走査型顕微鏡, ホヤ精子の高速トラッキング, 微生物の 3 次元トラッキング, 微生物電気走性の継続観察システム, 微生物トラッキングシステム, 画像処理を用いた微生物の擬似静止観察, DFDi による細胞群の高速奥行き位置推定, 細胞の高速オートフォーカス(DFDi), モバイル顕微鏡システム, 微生物群によるオーガナイズドバイオモジュール, 位相差顕微鏡法における遊泳細胞の3次元トラッキング等の研究を行っている.

Variable-Focus Lens with 1-kHz bandwidth, Arbitrarily Focused Video Using High-speed Liquid Lens, Vision Chip (Vision Architecture Project), CPV: Column Parallel Vision System, High-Speed Snake Algorithm For Tracking A Microorganism, High-Speed Target Tracking using Self Windowing, Motion Control of Microorganism in 3-D Space using High-Speed Tracking, Visualization and Decoding of External Stimuli Perceived by Living Microorganisms, Nonholonomic Properties in Paramecium Galvanotaxis and Path Planning of Paramecium Cells, Dynamics Model of Paramecium Galvanotaxis for Microrobotic Application, A Current-Based Electrostimulation Device for the Motion Control of Paramecium Cells, Microrobotic Visual Control of Motile Cells using High-Speed Tracking System, Microscopic Visual Feedback (MVF) System, Real-World-Oriented Interaction between Humans and Microorganisms, High-Speed Scanning Microscope by Depth From Diffraction (DFDi) Method, High-Speed Tracking of Ascidian Spermatozoa, Three-dimensional tracking of a motile microorganism, Single-Cell Level Continuous Observation System for Microorganism Galvanotaxis, Microorganism Tracking System, Quasi Stationary Observation of Dynamic Microorganism, High-Speed DFDi Algorithm for Multiple Cells, High-Speed Auto-Focusing of A Cell - Depth From Diffraction (DFDi), Mobile microscope system and Organized Bio-Modules (OBM) using Microorganisms, High-Speed 3D Tracking of Chlamydomonas with Phase-Contrast Microscope are going on.

4. システムビジョンデザイン
System Vision Design

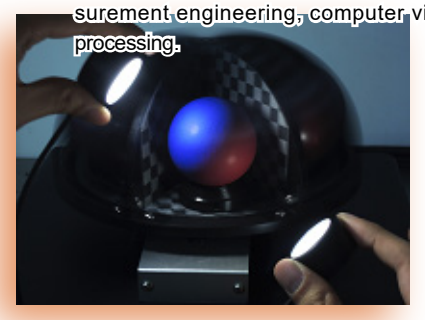
新たな応用を創出する高性能かつ高機能なシステムを実現するためには，入力，処理，出力の 3 者全てが システムとして機能する精緻で調和的な技術の統合が必要となる．入力，処理，出力のうち，いずれが欠けてもシステムとしての性能は制限され，潜在的な応用創出の可能性を失ってしまう．調和のとれた革新的なシステムの構築には，これら 3 者個々の技術だけでなく，実世界の物理と数理的な原理，そして出力先のシステムである人間を理解し，総合的にシステムを設計することが重要である．

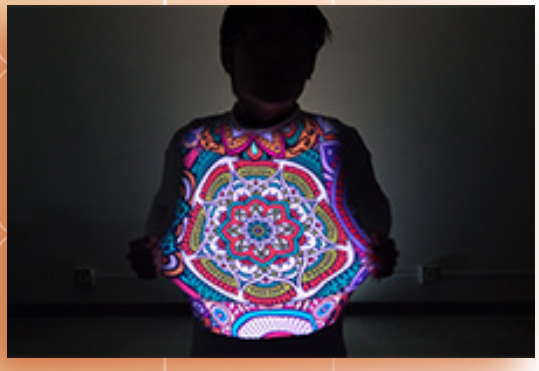
システムビジョンデザインは，この設計思想を基に，高速ビジョン技術を基軸として 様々な分野において新たな応用を切り拓く研究を総称するものである．具体的には，計測工学，数理工学，光学，並列処理技術に基づいた 超高速のセンシングシステム，アルゴリズム，ディスプレイシステムを創出し，ロボティクス，検査，映像メディア，ヒューマンインタフェース，デジタルアーカイブ等の分野で 新たな応用の実現を行っている．



In order to create system technology that can pioneer new applications with the high performance and high functionality, exquisite integration of three system factors; input, processing, and output technology are needed. When any factor of them is inadequate, the performance of the system is limited and potential applications will not be achieved. For constructing such innovative and harmonious system, it is important to comprehensively design the system not only with the three factors but also with understanding of physics in real world, mathematical principle and humans as a system.

The System Vision Design research group aims to create substantive and practical progress in various application areas based on the above design concepts by exploiting high-speed vision. We create various applications in the fields of robotics, inspection, video media engineering, man-machine interfaces, and digital archiving by making full use of high-speed sensing systems, algorithms and display systems based on measurement engineering, computer vision and parallel processing.







4.1 ソニーと東京大学石川渡辺研究室が共同で開発したビジョンチップ
Vision Chip developed by Sony and Ishikawa Watanabe Laboratory of the University of Tokyo

高速かつ頑健なビジョンシステムへの応用に向けて，ソニーと東京大学石川渡辺研究室が共同でビジョンチップを開発した．開発したビジョンチップはPEやメモリ等の周辺回路をイメージセンサに積層することで，PD，PE双方の面積を確保し，高い撮像性能と高い処理性能を両立している．PD部は90nmのプロセスで製作されており，1/3.2インチ型，1.27Mピクセル，裏面照射型の高感度イメージャが採用されている．また，PE部は40nmのプロセスで製作されており，1ミリ秒での画像処理に対応した 列並列PE，列並列ADC，フレームメモリ等が搭載されている．PE部では色やヒストグラムを用いた空間的なフィルタリングに加えて，フレームメモリを利用した時間的なフィルタリング機能を備えており，モーメントや運動方向の計算など，対象の撮像から検出，認識，追跡といった様々な処理を ワンチップで実現することが可能である．これらの画像処理機能をチップ上で実現することにより，1000fpsという高速動作時も消費電力は最大363mWに抑えられており，センサーと計算機を別にした従来システムに対し，高速性と頑健性を維持，または向上させつつ，省スペース化や省電力化が可能であると考えられる．

2017年2月に開催された半導体回路の国際会議ISSCC 2017では，本チップの140GOPSの処理が可能な列並列PEを利用し，時空間フィルタリングをプログラムすることで，高速に運動するボールを1msで認識し、その色に応じて捕球するデモが行われた．本デモンストレーションのように，ビジョンチップを利用することで，高速，低遅延，小型，低電力の様々な応用の実現が期待される．

Sony and Ishikawa Watanabe Laboratory of the University of Tokyo developed a Vision Chip for high-speed and robust visual feedback systems. The developed Vision Chip secures large areas of PE and PD by stacking peripheral circuits including PEs and memory with imager and realizes both of high imaging capability and high functionality. PD part is fabricated by 90nm process and forms 1/3.2-inch, 1.27Mpixels, back-illuminated sensor. PE part is fabricated by 40nm process and mounts column-parallel PEs, column-parallel ADCs and frame memory for 1ms high-speed image processing. The programmable PE can implement high-speed spatio-temporal filtering and enables imaging and various image processing such as detection, recognition and tracking on one chip. By realizing image processing on the chip, the vision chip can suppress power consumption to max 363mW @1000fps and will keep or improve the performance and save space and energy comparison with conventional system which has sensors and processors separately.

At the conference of solid-state circuits, ISSCC 2017 held in Feb. 2017, Sony and Ishikawa Watanabe Laboratory of the University of Tokyo demonstrated 1ms target recognition and tracking by programming spatio-temporal image processing on the 140GOPS column-parallel SIMD PEs. As the demonstration, Vision Chip is expected to provide high-speed, low-latency, low-power and small-sized visual feedback systems.

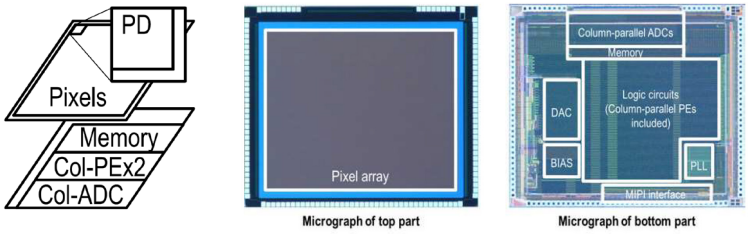
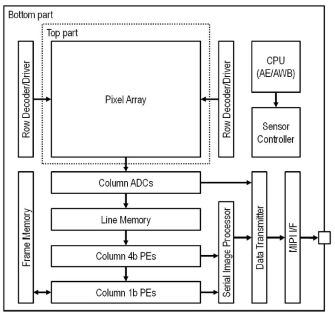


Fig. 1: ビジョンチップのアーキテクチャ模式図と顕微鏡写真 *1.
Fig. 1: Vision Chip Architecture and Micrograph*1.



Fabrication Process		90nm 1P4M CIS / 40nm 1P7M Logic
Supply Voltage		3.3V / 2.9V / 1.8V / 1.1V
Image size		Diagonal 5.678mm (Type 1/3.2)
Number of effective pixel		1296 (H) × 976 (V) 1.27Mpixels
Pixel size		3.50um (H) × 3.50um (V)
Frame rate	Full	60fps at 1.27Mpixels 12b 120fps at 1.27Mpixels 10b 500fps at 1.27Mpixels 4b
	1/2 sub-sampling	120fps at 0.31Mpixels 12b 240fps at 0.31Mpixels 10b 1000fps at 0.31Mpixels 4b
Power consumption		230mW at 1.27Mpixels 12b 60fps 363mW at 0.31Mpixels 4b 1000fps with sensing (32mW at only column PEs)
Saturation signal		19849e- at 60°C
Sensitivity		54396e-/lx·s (Green pixel, 3200K light source with IR-cut filter of 650nm cut-off)
RMS random noise		2.1e- (AnalogGain: 30dB)
Dynamic range		80dB at 12b
Maximum operating frequency		108MHz
Processor count		1 (CPU) + 1304 (Column 4b/1b PE)
Instruction cycle		1 cycle
Memory		Instruction memory 7KB Line memory 3KB Frame memory 165KB Template memory 12KB

Fig. 2: ブロックダイアグラムと仕様表 *1.
Fig. 2: Block Diagram and Specifications*1.

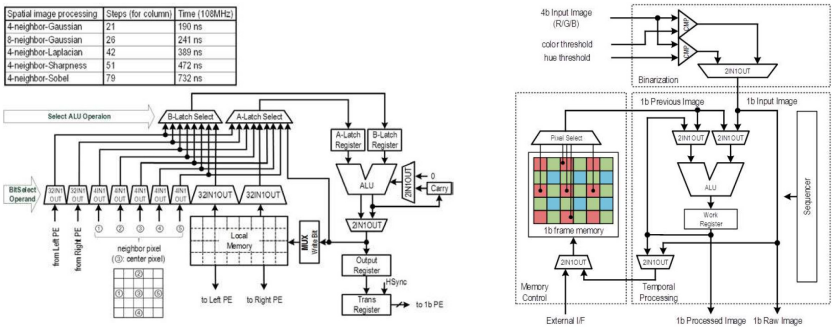


Fig. 3: PE における処理のブロック図 *1.
Fig. 3: Schematic of the PE*1.

*1 図は下記論文の図より引用. / *1 Image credit :

T. Yamazaki, H. Katayama, S. Uehara, A. Nose, M. Kobayashi, S. Shida, M. Odahara, K. Takamiya, Y. Hisamatsu, S. Matsumoto, L. Miyashita, Y. Watanabe, T. Izawa, Y. Muramatsu, M. Ishikawa : A 1ms High-Speed Vision Chip with 3D-Stacked 140GOPS Column-Parallel PEs for Spatio-Temporal Image Processing, International Solid-State Circuits Conference (ISSCC 2017), Proceedings, pp.82-83, San Francisco, California, USA, 5-9 Feb. (2017)

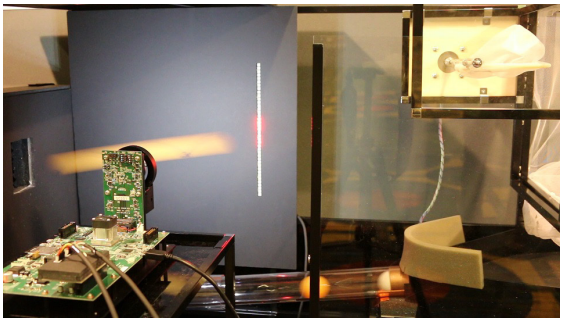
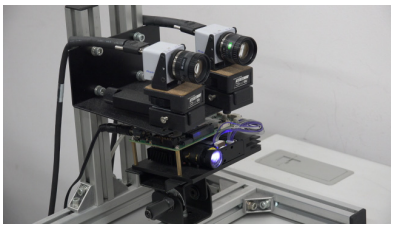


Fig. 4: ISSCC2017 で実演を行ったシステム
Fig. 4: Vision Chip Demo System at ISSCC 2017

4.2 3 視点拘束に基づくセグメントパターン投影型高速 3 次元計測
High-speed 3D Sensing with Three-view Geometry Using a Segmented Pattern



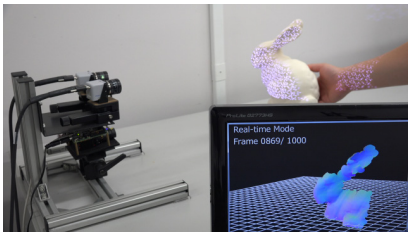
ビデオレート（30Hz）を大幅に上回る速さで撮像から画像処理までを行うことができる高速ビジョンシステムは，ロボティクスやヒューマンインターフェースなどの様々な応用において重要な技術となっている．たとえば，システムや対象が高速に運動する自動車やロボットなどにおいて，ビデオレートの処理では取得データのフィードバックが間に合わないだけでなく，計測自体が困難である場合も多いため，高速リアルタイムに取得可能な高速ビジョンシステムは重要である．また，工場における検査においても，計測のために静止させることは時間効率を下げる原因であるが，高速ビジョンシステムを使うことで運動したまま計測することが可能となる．また，近年はスポーツサイエンスの分野においても高速ビジョンシステムが注目されてきている．

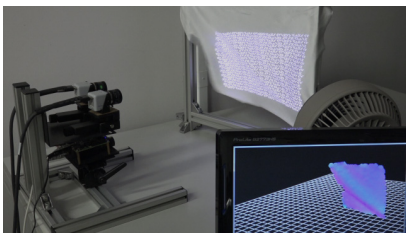
しかし，従来の高速ビジョンシステムは主に2次元的なパターン認識にとどまっている．数百fpsの速度でリアルタイム3次元計測を実現できれば，高速ビジョンシステム応用の可能性がさらに広がると考えられる．これまでにも，200fpsを超える高速なリアルタイム3次元計測は様々なアプローチで実現されているが，対象に対する運動や距離の制限，解像度の低さなどの問題を抱えていた．

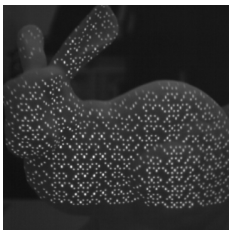
そこで，本研究では，3視点幾何によるエピポーラ拘束と階層処理を組み込むことで，これらの問題を解決し，ロバストかつ高速に3次元点群を取得できることを示す．また，このような処理を実現する独自のパターンとしてセグメントパターンを提案する．さらに，2台のカメラと1台のプロジェクタによって構成される高速3次元計測システムの開発を行った．セグメントパターンは多数の基本要素によって構成され，各基本要素は中央の線分とその周囲の複数の点によって構成されている．3視点幾何のエピポーラ拘束によって，画像間で対応する点を検出するときに必要とされる各基本要素の属性の複雑さが緩和されているため，高速に検出が可能である単純な構成の基本要素を用いても高精度に検出が可能である．エピポーラ拘束による画像間の対応点の探索範囲の大幅な削減と各画像独立に特定可能な属性による画像間で対応する点の候補の削減，そして，基本要素の階層構造による段階的な検出処理と高速に検出可能な構成要素の使用によって高速高精度な計測が実現されている．また，フレームごとに独立して計測するため，対象の運動の急激な変化や不連続な変化に対しても影響を受けずに計測できる．このシステムを用いて1000fpsの速度を実現し，運動や変形する物体の形状を高速に取得できることを示した．

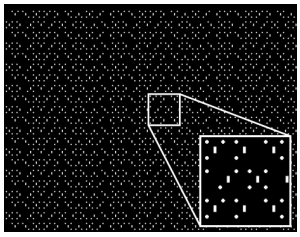
High-speed vision technology in which not just image capturing and recording but also image processing are executed simultaneously at high frame rates, exceeding video rates (30 Hz), has recently been considered an important technology for various applications, such as robotics, vehicle systems, automatic inspection, man-machine interfaces, sports science, and so on. However, the image processing performed in conventional high-speed vision systems is mainly based on two-dimensional pattern recognition. In order to extend the possibilities of this technology, here we focus on real-time three-dimensional sensing at the speeds achievable by high-speed vision systems. Although a related approach for high-speed 3D sensing can achieve a frame rate of over 200 fps, there are disadvantages, including the need for multiple captured frames during sensing, a limited measurement range and low resolution.

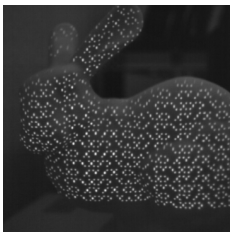
Our proposed real-time 3D sensing system consists of a projector and two cameras. By projecting a well-designed segmented pattern and using threeviewpoint epipolar constraints, the proposed system can obtain 3D points at high speed. In our method, the pattern is designed by using primitives. Each primitive consists of a bar and one or more dots. Incorporating the three-view geometry constraints eliminates the need for a given point in the pattern to have a unique feature in a local area compared with the other points when identifying corresponding points in different views. In this way, our method achieves high-speed and fine 3D point cloud acquisition with low latency based on hierarchical processing which is enabled by the segmented pattern and the three-view geometric properties. The developed system robustly obtained a 3D shape at 1000 fps in real time.











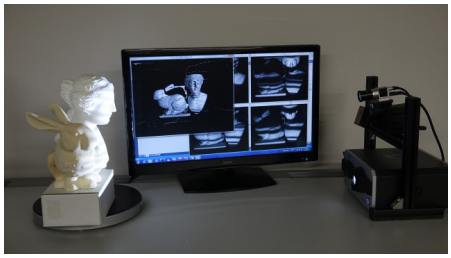
4.3 順序構造によるピクセル独立な位相シフト法
Pixelwise Phase Unwrapping Based on Ordered Periods Phase Shift

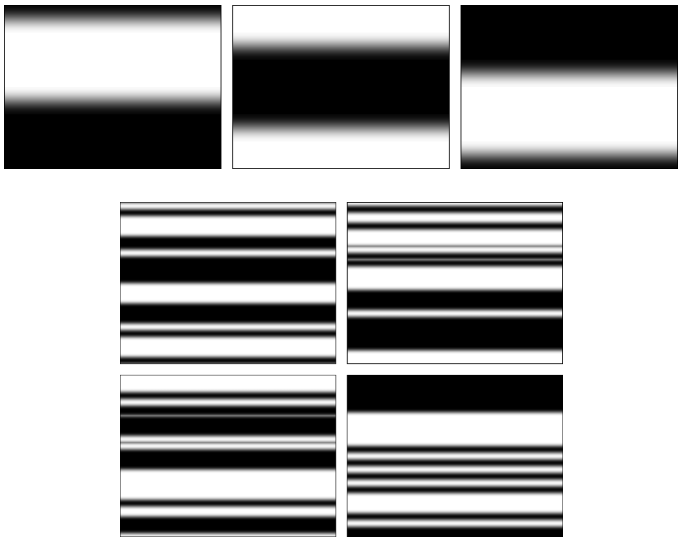
位相シフト法は運動物体のリアルタイム形状計測を高速・高精度・高解像に達成するために有効な手法だが, 実環境で想定される計測対象の運動やグローバルイルミネーションへのロバスト性を両立する位相接続方法は確立されていない. そこで, 正弦波の周期ごとに投影パターンを並べ替える順序構造を導入し, 位相接続の問題をパターンの順番を求める問題に帰着することで, 最低3 枚でロバストかつ高精度に絶対位相を取得する手法を提案する. シミュレーション実験によって, 物体の運動が高速であり, かつ, グローバルイルミネーションが存在する場合においても, この手法を用いて高速・高精度・高解像に三次元形状を計測できることが確認できた. 実際に, 高速カメラと高速プロジェクタで構成される計測システムを構築し, 処理時間1.05ms, スループット500fps でリアルタイム計測を行った.

The existing phase-shift methods are effective in achieving high-speed, high-precision, high-resolution, real-time shape measurement of moving objects; however, a phase-unwrapping method that can handle the motion of target objects in a real environment and is robust against global illumination as well is yet to be established.

Accordingly, a robust and highly accurate method for determining the absolute phase, using a minimum of three steps, is proposed in this study. In this proposed method, an order structure that rearranges the projection pattern for each period of the sine wave is introduced, so that solving the phase unwrapping problem comes down to calculating the pattern order.

Using simulation experiments, it has been confirmed that the proposed method can be used in high-speed, high-precision, high-resolution, three-dimensional shape measurements even in situations with high-speed moving objects and presence of global illumination. In this study, an experimental measurement system was configured with a high-speed camera and projector, and real-time measurements were performed with a processing time of 1.05 ms and a throughput of 500 fps.

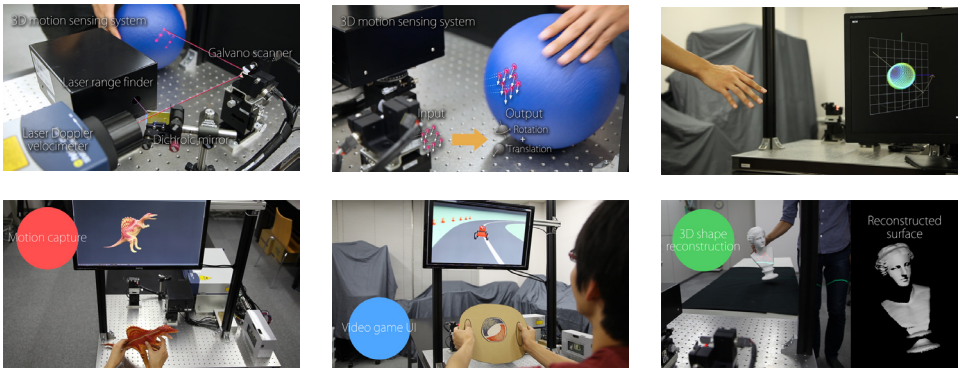




4.4　多重化レーザーによる任意物体の３次元運動センシング
3D Motion Sensing of any Object by Using Multiplexed Lasers

モーションキャプチャを用いた人体の運動の取得，加速度センサやジャイロセンサを用いたスマートフォンの運動の取得など，コンピュータビジョンやユーザインタフェースの分野において，物体の運動情報は広く活用されており，その計測対象は多様化している．しかし，接触型のセンサやカメラを用いた従来の計測システムは既知の物体を計測対象とすることを前提としており，未知の物体を 対象とすることは困難であった．接触型のセンサは対象への設置による拘束が必要であるため，不特定の対象に適用することはできない．また，カメラを用いたシステムは対象の形状やテクスチャに関する 事前知識を用いて，特徴点の検出や対応点の探索を行う必要があるため，計算コストが高く，形状やテクスチャに特徴の無い物体を対象とすることができないという問題があった．本研究では，多重化したレーザーを用いて非接触計測した対象の断片的な運動情報を数理的に統合し，回転や並進といった剛体の３次元運動速度を算出する手法を提案する．この手法では，対象の形状やテクスチャの情報を一切用いないため，これらに依存することなく，数点のレーザー照射のみによって 高速かつ無拘束に未知対象の回転・並進速度を物理的に取得することができる．また，本システムで取得した運動情報の応用例として，対象を限定しないモーションキャプチャや，任意の物体をゲームコントローラとして扱う応用，さらに，運動情報を用いた３次元形状計測の応用を実装し，本手法の有用性を示した．

We propose a novel three-dimensional motion sensing method using lasers. Recently, object motion information is being used in various applications, and the types of targets that can be sensed continue to diversify. Nevertheless, conventional motion sensing systems have low universality because they require some devices to be mounted on the target, such as accelerometers and gyro sensors, or because they are based on cameras, which highly depend on the target shape or texture and require high calculation costs. In particular, when the target has no texture on the surface and no distinctive structural features, the methods based on cameras inevitably fail. Our method solves this problem and enables noncontact, high-speed, deterministic measurement of the velocity of a moving target without any prior knowledge about the target shape and texture, and can be applied to any unconstrained, unspecified target. These distinctive features are achieved by using a system consisting of a laser range finder, a laser Doppler velocimeter, and a beam controller, in addition to a robust 3D motion calculation method. The motion of the target is recovered from fragmentary physical information, such as the distance and speed of the target at the laser irradiation points. From the acquired laser information, our method can provide a numerically stable solution based on the generalized weighted Tikhonov regularization. Using this technique and a prototype system that we developed, we also demonstrated a number of applications, including motion capture, video game control, and 3D shape integration with everyday objects.



4.5 深度と法線の高速同時計測と高速統合アルゴリズム
High-speed Depth-normal Measurement and Fusion Based on Multiband Sensing and Block Parallelization

3次元形状計測技術は幅広い分野で活用が進んでおり、計測性能として高速、高密、高精度を同時に達成することが期待されています。しかし、従来の3次元形状計測システムの多くは、深度計測のみを用いて形状を復元するため、低周波成分である概形が精度よく得られる一方で、高周波成分である物体表面の細かな凹凸を捉えることが困難でした。これに対して、表面法線を計測して3次元形状を捉える手法では 高周波成分を精度よく復元できる一方で、低周波成分は誤差が生じやすいという傾向があります。そこで、本研究では深度と表面法線を同時かつ高速に計測する新しい光学系(図1)を構築し、相補的な関係にある深度と表面法線の情報を高速に統合することで、高速かつ高密度かつ高精度に3次元形状を再構成する手法を提案しています。図2の実システムにおいては、多波長を用いた同時計測とブロック分割による高速統合アルゴリズムによって、400fpsでピクセルワイズの3次元形状計測を平均誤差1.61mmで実現できることを確認しました(図3)。

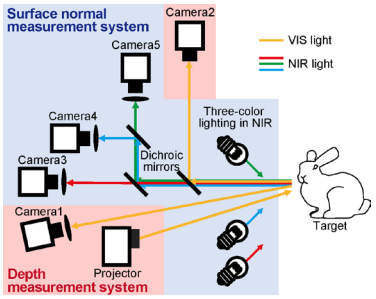


図1 多波長を用いた深度と法線の高速同時計測システム
Fig.1 Optical system for high-speed depth-normal measurement

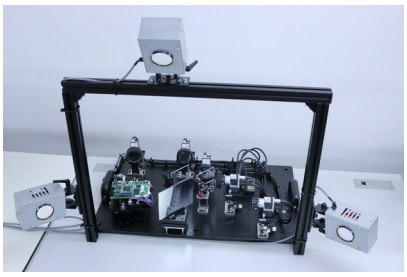


図2 システム外観
Fig.2 Actual system

A wide range of research areas have high expectations for the technology to measure 3D shapes, and to reconstruct the shape of a target object in detail. In this study, we consider a high-speed shape measurement technology that realizes accurate measurements in dynamic scenes. We propose a measurement method that sacrifices neither measurement density nor accuracy while realizing high speed. Many conventional 3D shape measurement systems employ only depth information to reconstruct a shape, which makes it difficult to capture the irregularities of an object's surface in detail. Meanwhile, methods that measure the surface normal to capture 3D shapes can reconstruct high-frequency components, although lowfrequency components tend to include integration errors. Thus, depth information and surface normal information have a complementary relationship in 3D shape measurements. This study proposes a novel optical system that simultaneously measures the depth and normal information at high speed by waveband separation as shown in Fig.1, 2, and a method that reconstructs the high-density, high-accuracy 3D shape at high speed from the two obtained data types by block division. The results confirm that the high-speed measurement was conducted at 400 fps with pixel-wise measurement density, and a measurement accuracy with an average error of 1.61 mm (Fig.3-5).

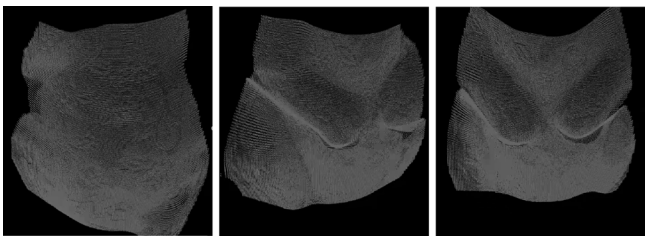


図3 動物体の計測結果
Fig.3 Measured point clouds of a moving target

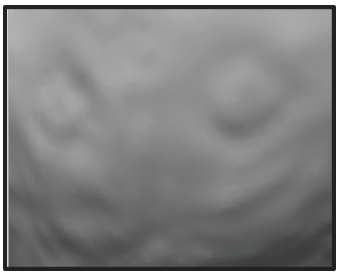


図4 深度計測のみを用いた市販計測器の計測結果
Fig.4 Depth measurement by a commercial system

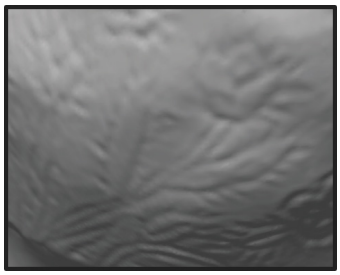


図5 深度と法線の統合による本研究の計測結果
Fig.5 Depth-normal fusion by the proposed system

4.6 パラレルバスパターンによる高速低遅延３次元形状計測
High-speed and Low-latency 3D Sensing with a Parallel-bus Pattern

本研究では動的シーンの高速低遅延3次元形状計測を目的として，新たにパラレルバスパターンによるワンショットの構造化光法を提案しています．3次元形状計測は幅広い分野で活用されている基盤技術で，高速度，高解像度，高精度を同時に達成する次世代手法が期待されています．本研究室で開発を進めてきた構造化光パターンと高速画像処理技術を用いた従来手法では，1,000fpsという高速性を達成する一方で，パターンの情報量密度が低いために計測解像度が低く，それに伴って精度も最大化されていませんでした．

本研究では，カメラとプロジェクタからなるアクティブステレオに物理的平行化を仮定し，パターンにパラレルバス通信の構造を取り入れることで，一般的なコンピュータアーキテクチャで高速にデコード可能なバイナリ空間コードのフレームワークを構築しました．さらに，埋め込む情報を De Bruijn トーラス（図1）を用いて符号化することにより，情報量密度を最大にするパラレルバスパターンを新たに考案しました．

実験の結果，提案手法により平均0.838 mm の精度で26713 点を0.336 ms の計算時間で取得できることを確認しています（図2-4）．この性能は従来手法を速度，解像度，精度の面で上回り，小型化も可能な構成であるため，発展が期待されています．

This study proposes a new one-shot structured light method using a parallel-bus pattern for high-speed, low-latency 3D shape measurement of dynamic scenes. 3D shape measurement is a fundamental technology used in a wide range of fields, and next-generation methods that simultaneously achieve high speed, high resolution, and high accuracy are expected. The conventional method using structured light patterns and high-speed image processing technology, which has been developed in this laboratory, achieves a high speed of 1,000 fps. However, the low information density of the pattern has resulted in low measurement resolution and, accordingly, low accuracy.

In this study, we assume physically stereo-rectified projector-camera systemn, and by incorporating the structure of parallel bus communication into the pattern, we constructed a framework for binary spatial codes that can be decoded at high speed on general computer architectures. Furthermore, by encoding the embedded information using the De Bruijn torus as shown in Fig. 1, we devised a parallel-bus pattern that maximizes the information density.

Experimental results show that the proposed method can acquire 26713 points with an average accuracy of 0.838mm in 0.336ms computation time (Fig. 2-4). This performance outperforms conventional methods in terms of speed, resolution, and accuracy, and its compact configuration is expected to lead to further development.

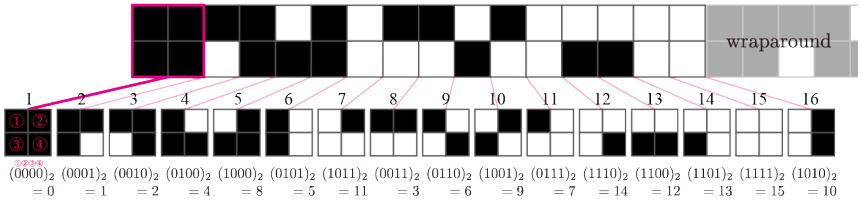


図1 De Bruijnトーラス
Fig. 1 De Bruijn torus

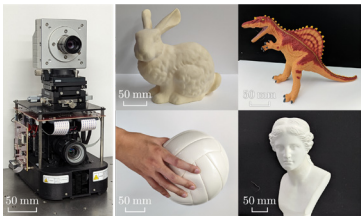


図2 計測対象
Fig. 2 Measured targets

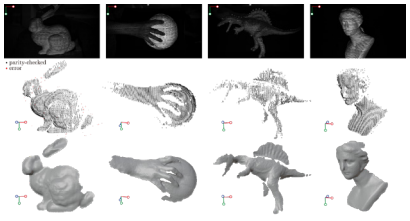


図3 計測結果
Fig. 3 Measurement results

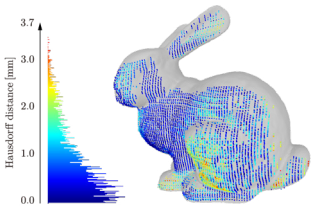


図4 計測精度
Fig. 4 Measurement accuracy

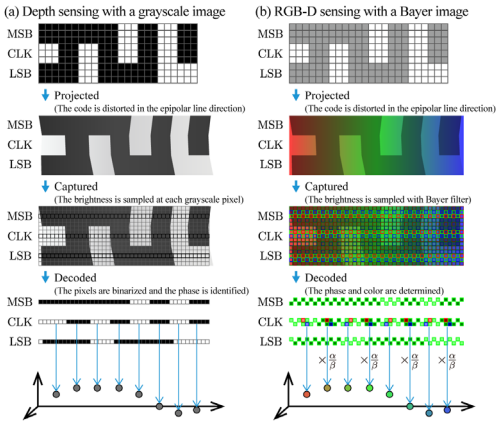
4.7　パラレルバスパターンによるRGB-D同時高速計測
High-speed RGB-D sensing based on a parallel-bus pattern

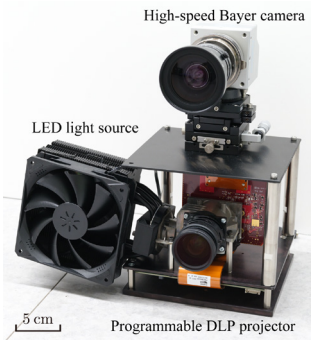
3次元形状（Depth）と色情報（RGB）の同時計測には高い需要がある一方で、従来のRGB-D計測システムには課題がありました。RGB-D計測のために複数のセンサを組み合わせる方式では、形状と色のデータ間に誤対応が生じやすいだけでなく、複数センサの導入によるシステム全体の高コスト化や統合処理にかかる計算負荷が問題でした。また、単一センサで時分割的にRGB-D計測を実現する場合でも、動的な対象に対しては時空間的なずれが生じてしまうという問題がありました。

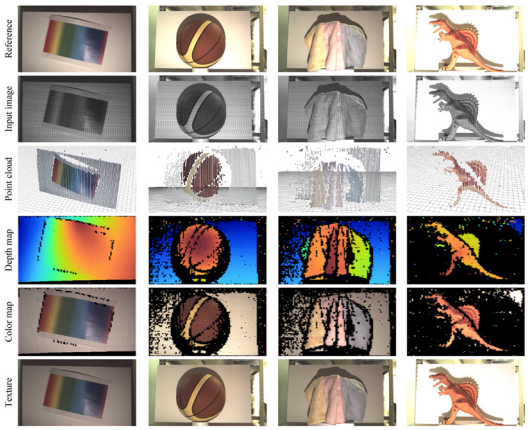
本研究では、高速・低遅延な3次元計測を実現するパラレルバスパターン を用いたワンショットの構造化光法を応用し、この手法の構造的特性を利用することで、3次元形状と色情報を同時に取得する新手法を開発しました。本手法は、単一カメラの単一フレームからRGB-D情報を計測するため、時空間的な誤対応を原理的に排除し、同時にハードウェアコストを抑えることができます。さらに、色情報の計測では画像全体のデベイヤ処理を必要としないため、基盤となった3次元計測技術同様に計算コストを抑えた高速低遅延計測が期待できます。実験では、約22,000点の頂点色付き3次元点群を約0.3msの計算時間で取得し、1,000fpsのRGB-D計測を実現しており、本手法はその高いリアルタイム性能から、素早い動きを伴う動的シーンのデジタル化に活用されることが期待されています。

There is high demand for simultaneous measurement of 3D shape (depth) and color information (RGB), but conventional RGB-D measurement systems have suffered from limitations. Methods combining multiple sensors for RGB-D measurement not only tend to cause misalignment between shape and color data, but also suffer from high system costs due to multiple sensors and computational load from integrated processing. Furthermore, even when achieving RGB-D measurement with a single sensor using time-division multiplexing, spatiotemporal misalignment occurs when measuring dynamic objects.

This research developed a novel method for simultaneously acquiring 3D shape and color information by applying a one-shot structured light technique using a parallel-bus pattern, which enables high-speed, low-latency 3D measurement. Our approach leverages the structural characteristics of the method. This method measures RGB-D information from a single frame captured by a single camera, thereby fundamentally eliminating spatio-temporal misalignment while simultaneously reducing hardware costs. Furthermore, since measuring color information does not require de-beying processing of the entire image, it promises high-speed, low-latency measurement with reduced computational cost, similar to the underlying 3D measurement technology. Experiments achieved approximately 22,000 colored 3D points in about 0.3ms computation time, realizing 1,000fps RGB-D measurement. Given its high real-time performance, this method is expected to be utilized for digitizing dynamic scenes involving rapid motion.







4.8 ビデオレートプロジェクタでの高速深度計測と映像提示の同時実行
Simultaneous High-speed Depth Measurement and Video Presentation using a Video-rate Projector

昨今のXR分野の応用では映像の投影と共に、高フレームレートのリアルタイム深度計測が求められることがあるが、高速プロジェクターは高速投影や高速計測に利用できる高い性能を持つ一方で、特殊な光学系および回路系が必要となるため、導入コストが高い。これに対して、ビデオレートのプロジェクターをそのまま計測に利用すると、映像提示の品質が低下するだけでなく、低速の計測しか行うことができない。一方でDLPプロジェクターのDMDの駆動周波数はビデオレートを遥かに超えるため、投影戦略を工夫することで通常の映像提示を行いながら高速計測を実現できるポテンシャルを持っている。これに着目し、本研究では一般的なビデオレートのプロジェクターを用いた単一のプロカムシステムにより、映像提示と高速深度計測を同時に実現する手法を提案する。

提案手法では投影画像を独自のアルゴリズムで図1のように低bit画像に分解し、図2のように計測用のパターンとの積を順に投影する。これにより、実際のシステムがビデオレートでの映像投影を行いながら1000fpsで深度計測が行えることを実証した。図3は最終的に投影したい8bitの画像で、図4は提案手法による映像の投影結果である。この投影を図5のように対象物体に向けて投射することで、図6左のように3次元点群が得られる。計測された3次元点群から再構成した対象表面とその法線を図6右に示した。

This paper proposes a method to simultaneously realize video presentation and high-speed depth measurement using a single projector-camera system with a general video-rate projector. Some applications in the XR field require real-time depth measurement at high frame rates along with video projection. However, the quality of the video presentation will be degraded and depth measurement will be low speed when a video-rate projector is used as it is for both purposes at the same time.

On the other hand, since the driving frequency of the DMD of a general DLP projector far exceeds the video rate, it has the potential to achieve high-speed depth measurement while presenting images by using a specialized projection strategy. We propose a method to decompose a target image into low-bit images and demonstrate that an actual system using the proposed method can perform depth measurement at 1,000 fps while projecting images at the video rate.

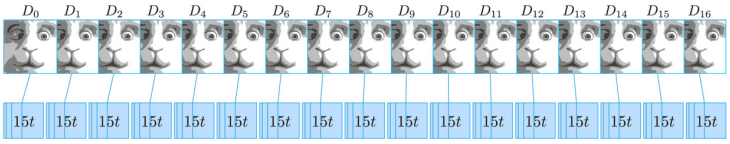


図1 低bit画像分解
Fig. 1 Low-bit image decomposition

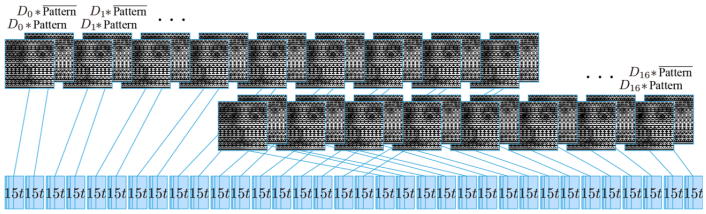


図2 高速計測の同時実行を実現する投影戦略
Fig. 2 Proposed projection strategy



図3 目標投影画像
Fig. 3 Target projection image



図4 投影結果（ビデオレートでの見た目）
Fig. 4 Projection result (Image at the video rate)



図5 計測対象への投影
Fig. 5 Projection onto a target object

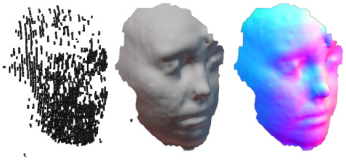


図6 計測結果（1,000fpsで得られる3次元点群）
Fig. 6 Measurement result (3D point cloud obtained at 1,000fps)

4.9　3 次元運動計測を用いた動的物体の形状と色の高解像度統合
High-resolution Shape and Color Integration of Dynamic Rigid Body Using 3D Motion Sensing System

近年，アーカイブやモデリングなどの応用では，対象の動きを止めることなく，高速に運動する動的物体の高解像度かつ高精度な3次元形状を取得するセンシング技術の実現が期待されている．このための有効な手法の一つに形状統合がある．これは，複数回の計測で得られた距離画像を1つの形状に統合することで，1回の計測では実現できないレベルの高解像度化や高精度化を可能にするものである．

本研究では，レーザ距離計とレーザ速度計を用いることで，任意の剛体の回転，並進運動を非接触で物理的に計測することが可能な3次元運動計測を新たに形状統合に導入する手法を提案する．本手法は，時系列に取得される距離画像間の相対位置情報を，推定ではなく，確定的かつ高精度に求めることができる点で優れている．また，本手法は任意の形状計測システムに適用することができる．さらに，このように，3次元運動計測を用いることで，運動中の対象表面上の任意の点が，物体座標系においてどこに位置するか，各時刻のカメラ上でどこに撮像されるかを正確に知ることができる．このことより，形状と同時に色情報を複数回の計測から統合することも可能である．本手法によって，動きを止めることなく様々な運動物体の形状を取り込むことができるため，高速に動く製品の検査，走行中の自動車や歩行中の人のスキャンなど，様々な応用展開が見込める．

Recently, in the applications such as archiving and modeling, it is expected to scan 3D shape of a moving dynamic object with high resolution and high accuracy. For this purpose, 3D shape integration is one of the effective methods. This method integrates multiple measured range images into a single shape and can reconstruct high-resolution and high-precision shape whose performance exceeds a single depth image.

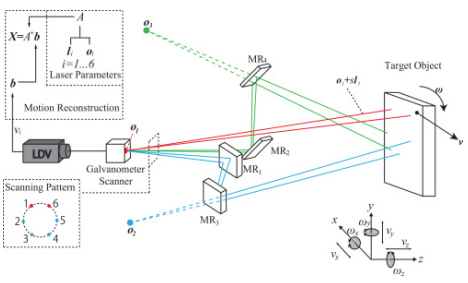
In this research, we propose a new type of solution for this application based on 3D motion sensing system using lasers. Instead of estimating the 3D motion from time-sequential depth images or color images, by using the results of the 3D motion sensing, the depth images obtained by any type of depth sensors can be fused into a single surface. Moreover, in this method, we can precisely track the any positions on the target surface. Therefore, we can know where the tracked point is located on the captured image, if the camera is calibrated. This allows color acquisition as additional functions. This work can be applied to capture of various moving objects in natural everyday scenes, including flying objects, walking humans, travel-ling vehicles, and so on.



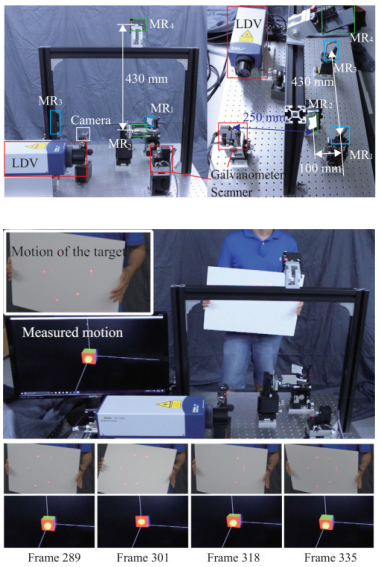
4.10　多視点レーザー計測による任意物体の 6 自由度運動センシング
Robust 6-DOF Motion Sensing for an Arbitrary Rigid Body by Multi-view Laser Doppler Measurements

任意物体の剛体運動を非接触で計測をするために，多重化レーザーを用いた3次元運動計測手法が提案されています．しかし，単眼のシステムから全ての運動成分を高精度に推定することは困難でした．本研究では，レーザー計測による運動推定手法を数学的に解析し，多自由度の計測が可能となる条件を特定しました．この条件を元に，剛体運動6自由度の運動を計測可能な多視点システムを提案しました．

再定式化によって，複数のレーザー計測による6自由度運動速度の計算がレーザー計測器の配置のみに依存する線形システムであることが示されます．その線形システムの階数と条件数を分析し，視点数が3以上であることが6自由度計測の必要条件であると明らかになりました．また，条件数がシステムのパラメータだけに依存するため，応用環境を制限することにより，計測に最適な計測システムの配置や構成を数値分析とシミュレーションから求めることが可能です．さらに，本手法に基づいて多視点のシステムを設計し，構成した結果，高速度かつ高精度に6自由度の計測が実現され，本手法の有用性が確認されました．



We propose a novel method for the robust, non-contact, and six degrees of freedom (6-DOF) motion sensing of an arbitrary rigid body using multi-view laser Doppler measurements. The proposed method reconstructs the 6-DOF motion from fragmentary velocities on the surface of the target. It is unique compared to conventional contact-less motion sensing methods since it is robust against lack-of-feature objects and environments. By discussing the formulation of motion reconstruction by fragmentary velocities, we show that the reconstruction problem is a strict linear problem whose parameters are only related to the arrangement of the lasers. Besides, with analyzation on the matrix rank, we confirm that a multi-view system with at least three viewpoints will strongly benefits the 6-DOF rigid body motion reconstruction. We explain this by introducing the condition number of the measurement matrix, and consider it to be the most important factor in the system design. The proposed method is validated under a optimized system setup, composed of a laser Doppler Velocimeter, a beam controller and four laser reflectors.



4.11 RIFNOM/BIFNOM 法線画像における特徴点検出と特徴量記述
DPM-1000: Dynamic projection mapping system using high-speed color projector and high-speed vision chip

この研究では、法線画像上の特徴点を検出し、特徴量を記述するための新しい手法としてRIFNOMを提案し、また高速化のためのバイナリ特徴量としてBIFNOMを提案しています．これらの特徴量は3次元回転に対して不変であり、色のテクスチャに乏しい対象や非剛体に対しても適用でき、高速に特徴点検出とマッチングが行える特徴を持っています．従来の法線画像を対象とした特徴検出手法および特徴量記述は、輝度画像を対象としたものとは異なり、色のテクスチャに乏しい対象にも適用できる点で優れていましたが、3次元回転に対応できない、検出やマッチングにかかる計算コストが大きいといった問題がありました．そこで、本研究では図1のように3次元局所座標系を導入し、周辺の法線ベクトルを特徴量化、さらにバイナリコード化することで、これらの問題を解決しました．シミュレーションおよび図2のような実環境の両方で提案手法の性能を評価し、バイナリ化したBIFNOMでは750fps以上のリアルタイム特徴点検出・マッチングが可能であることを示しました．

We propose a novel method for detecting features on normal maps and describing features, called RIFNOM and the binarized features, called BIFNOM, that are three-dimensionally rotation invariant and detects and matches interest points at high speed regardless of whether a target is textured or textureless and rigid or non-rigid. Conventional methods of detecting features on normal maps also can be applied to textureless targets, in contrast with features on luminance images; however, they cannot deal with three-dimensional rotation between each pair of corresponding interest points due to the definition of orientation, or they have difficulty in achieving fast detection and matching due to a heavy-weight descriptor. We addressed these issues by introducing a three dimensional local coordinate system as shown in Fig. 1 and converting a normal vector to a float/binary code, and achieved more than 750fps real-time feature detection and matching. Furthermore, we present an extended descriptor and criteria for real-time tracking, and evaluate the performance with both simulation and actual system as shown in Fig. 2.

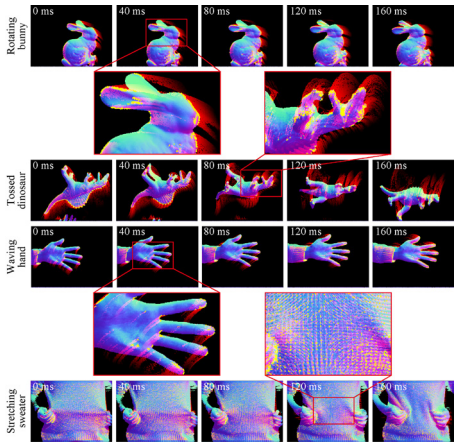


図2 実環境における法線特徴量のトラッキング
Fig. 2 Tracking of feature points on actual normal maps

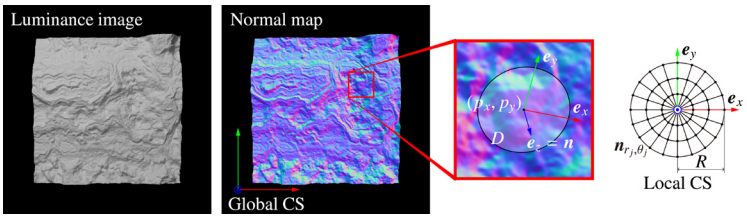


図1 3次元局所座標系の導入
Fig. 1 Introduction of a three dimensional local coordinate system

4.12 Saccade Argos: 階層化ロバストトラッキングシステム

Saccade Argos: Hierarchical Robust Tracking System for High Spatio-temporal Resolution Vision

動く対象にカメラの視線を向けつづけ、継続的に撮影するトラッキング技術はコンピュータビジョンにおける重要なタスクの一つです。しかし、カメラの画角を望遠にすると対象が詳細に観察できる一方で対象の動きも拡大されるため見失いやすく、カメラの画角を広角にすると対象を見失いにくい一方で対象が小さく映ってしまうという画角に関するジレンマがあります。本研究では、広角から望遠まで、異なる画角を持った複数のトラッキングシステムを階層的に扱い、協調的に動作させる制御手法を開発しました。

例えば、図１のように広角側では人物全体を検出してトラッキングしつつ、望遠側では顔、さらに望遠の画角では目をトラッキングするといったようにトラッキング対象が同一でない場合でも、階層関係や包含関係がある場合には、各々のトラッキング対象を追いながら、相互に情報を伝え合い、連携してトラッキングを行うことができます。これにより、高速かつ高解像かつ遮蔽に頑健なトラッキングシステムが実現できます。

この制御手法を35mm換算の焦点距離が約40mm-800mmの３つのトラッキングシステムを統合した図２のSaccade Argosに適用し、実際に対象のトラッキングを行いました。図３では、広角側のステレオカメラが約40fpsで人物全体を３次元的に捉え、中望遠のサッカードミラーが約70fpsでその人物の顔を追いかけ、望遠のサッカードミラーが1,000fps, 248.3 px/deg.という高速高解像度でその人物の目を追いかけています。遮蔽によって目や顔を見失った場合でも、広角側が人物全体を認識しているため、望遠側はその対象が存在すると思われる領域を追い続け、再度検出された際にトラッキングをシームレスに再開することができています。

Target tracking is one of the most important tasks in computer vision to keep capturing an object with high spatio-temporal resolution. However, when the field of view is narrowed to capture a target in detail, it is easy to lose sight of the target due to the fast movement or occlusion. In this paper, we propose a system integration method that hierarchically handles multiple visions with different FOV from wide-angle to telephoto, and each vision independently tracks the target while sharing the target position to achieve robust tracking as shown in Fig. 1.

The proposed method was applied to Saccade Argos, a three-tier tracking system that combines a fixed stereo camera and active tracking systems using Galvano scanners as shown in Fig. 2, and achieved robust target tracking against occlusion with high temporal resolution (1,000 fps) and high spatial resolution (248.3 px/deg.).

Figure 3 shows Saccade Argos is three-dimensionally tracking the human body by wide-FOV stereo cameras at about 40fps, the face by a mid-FOV pan-tilt camera at about 70fps, and the right eye by a tele-FOV pan-tilt camera at 1,000fps. Even when the face and the eye are lost due to occulusion, the wide-FOV system tells the other tracking systems positions of their targets, and so they can keep observing approximate location of the targets, enabling seamless tracking when they reappear.

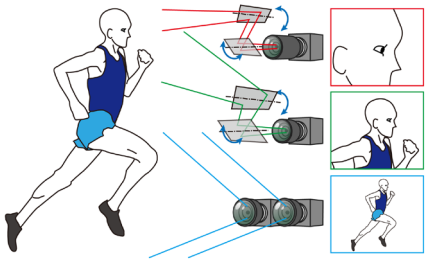


図1 Saccade Argosのコンセプト
Fig. 1 Concept of Saccade Argos

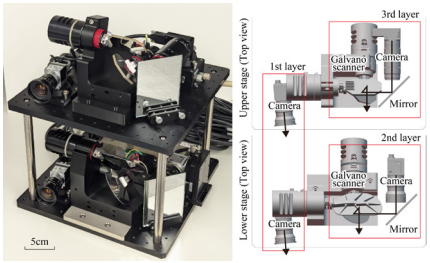


図2 ３階層のSaccade Argos
Fig. 2 Saccade Argos

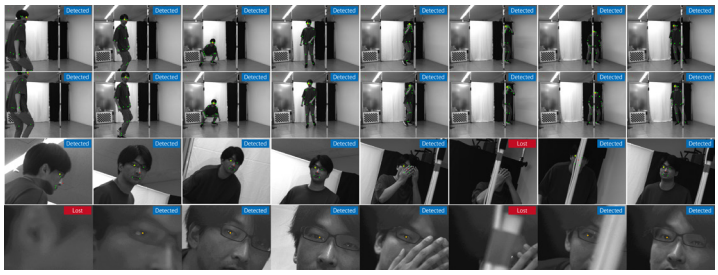


図3 体-顔-目をトラッキングするデモ
Fig. 3 Demonstaration to track the body-face-eye

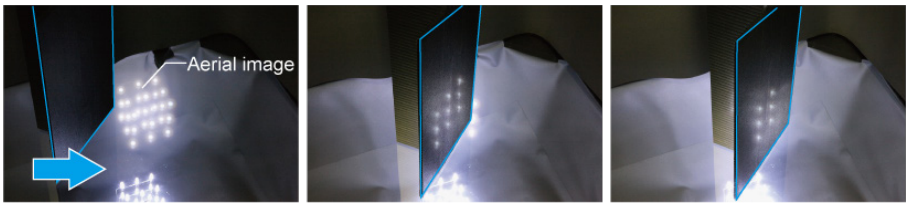
4.13　空中像形成技術を用いた遮蔽に頑健な３次元計測
Occlusion-Robust 3D Sensing Using Aerial Imaging

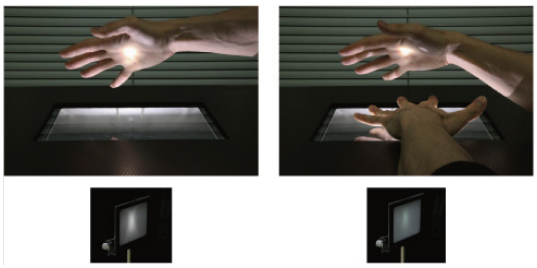
対象の空間的な３次元位置や形状を取得する３次元センシングは，外界環境の空間把握において必要不可欠なものであり，数十年に渡って様々なアイディアが試されてきた．しかし，その多くは，カメラが実世界の１点と画像上の１点を１本の光線で結ぶことを起点とした発展であり，同幾何拘束を超えられない点で構造的な限界があった．具体的には，画像センシングの時空間的な解像度の向上を進めても，対象とカメラの間に遮蔽物があると情報を捉えることができないというボトルネックを抱えている．これに対して，ライトフィールドを捉えるビジョンを用いて僅かに視点を切り替える研究や，超高フレームレートのカメラが捉える光の反射分布から遮蔽物の向こう側の対象物を推定する研究があるが，十分な解決策ではなかった．このほか，超音波や磁気などを利用することで解決する可能性もあるが，光を用いた場合と比べて達成できる空間精度が低い問題が物理的に回避できない．

本研究が着目する問題は，「特定の３次元位置の情報のみを遮蔽物の有無に関わらずカメラ上で捉えることができるか」である．これは，あたかも空間の１点１点に，その位置に物体が存在するかどうかを識別するセンサが仮想的に設置された状況を実現するものであり，従来のカメラの観測方式とは抜本的に異なる構造を目指すものである．しかし，同問題は，実世界の計測点と画像面の観測点が１本の光線のみで結ばれる構造では基本的に解くことができない．

そこで，本研究では空中像形成技術に基づいた能動型３次元センシングの新原理を新たに構築し，問題の解決にあたる．空中像形成技術では，あらゆる方向からの光が局在化することで，視点に応じた３次元像を空中に形成するものであるが，この光線の構造は，能動型３次元センシングの投影系と観測系の両面においても利用できる可能性が高い．投影系は実世界上の任意の位置でのみ反射光を形成する光の場を形成し，計測系は投影系とは逆方向の原理によってこの反射光を新たな場所へ転送することで，遮蔽の影響なく，さらに一意にその場所を画像面から特定することができると考えられる．本研究では，このような目的の下，投影と撮像の両方で遮蔽への頑健性を備える能動型３次元計測のシステム構成を明らかにするとともに，実験によりその性能を評価する．

Conventional active 3D sensing systems do not work well when other objects get between the measurement target and the measurement equipment, occluding the line of sight. In this research, we propose an active 3D sensing method that solves this occlusion problem by using a light field created using aerial imaging. In this light field, aerial luminous spots can be formed by focusing rays of light from multiple directions. Towards the occlusion problem, this configuration is effective, because even if some of the rays are occluded, the rays of other directions keep the spots. Our results showed that this method was able to measure the position and inclination of a target by using an aerial image of a single point light source and was robust against occlusions. In addition, we confirmed that multiple point light sources also worked well.







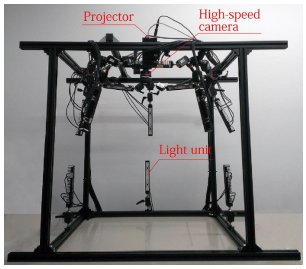
4.14 代数的アルゴリズムと適応的照明を用いた高速 SVBRDF 計測
Rapid SVBRDF Measurement by Algebraic Solution Based on Adaptive Illumination

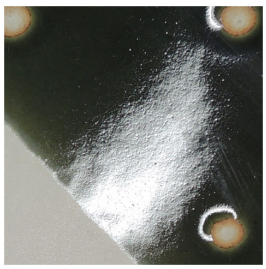
近年，3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)により物体の外見をリアルに再現する研究が盛んに行われており，物体表面における光の反射を記述した双方向反射率分布関数(BRDF)を実物体から取得し，リアルな質感の表現に利用することが行われている．しかし，色や光沢感が異なる様々な質感を持った物体から，その複数のBRDF(SVBRDF)を取得する場合には，あらゆる方向から光を当て，あらゆる方向から撮像し，得られた大量のデータを解析する，長時間の計測・計算が必要であった．

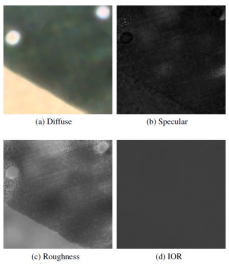
そこで，本研究ではBRDFを数式で表したモデルが特定条件下において代数的に解けることに着目し，非常に少ない撮像画像を元に，簡潔な計算によって高速にSVBRDFを算出する手法を提案する．この手法では，高速な撮像と，撮像時の照明と対象の形状が特定条件を満たすことが必要となるため，対象の3次元形状を計測しながら最適な投光を行う適応的照明システムを開発することで実証を行った．実験の結果，従来では数時間程度要していた計測・計算時間を数分にまで短縮し，本手法によって高速なSVBRDF計測が達成できることを示した．下図では左から計測システム，計測対象である模様の入った皿と得られたSVBRDFモデルパラメータ，また，和紙や金装飾から得られたSVBRDFを仮想的に再現したCGを示す．

The bidirectional reflectance distribution function (BRDF) measured from a real object is one of the most important factors for photorealistic rendering. However, especially when spatially varying BRDFs (SVBRDF) are measured, not only the acquisitio time but also the estimation time become so long due to the need for an enormous number of reflectance samples and calculations.

In this research, we propose a measurement strategy using an algebraic solution that eliminates optimization and over-sampling, and an adaptive illumination system that satisfies the necessary constraints for the solution. As a result of demonstration, we confirmed the validity of this approach by comparison with conventional methods. The following figures show the developed system, a target (uneven glazed dish), SVBRDF parameter maps and the scene using measured SVBRDF of Japanese paper and gold ornament.



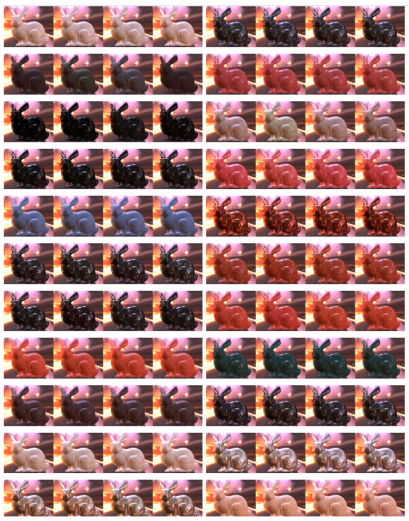






4.15 モデルパラメータ間の分散を用いた適応的な BRDF 計測
Adaptive BRDF Measurement Method Using Between-Model-Parameter Variance

近年，3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)により物体の外見をリアルに再現する研究が盛んに行われており，物体表面における光の反射を記述した双方向反射率分布関数(BRDF)を実物体から取得し，リアルな質感の表現に利用することが行われている。しかし，BRDF を取得する場合には，あらゆる方向から光を当て，あらゆる方向から撮像し，得られた大量のデータを解析する，長時間の計測・計算が必要であった。そこで，本研究では一度光を当て撮像するごとに，次にどのように光を当て撮像すると効率的にBRDF を計測できるかを計算し，少数の計測でBRDF を算出する手法を提案する。



The bidirectional reflectance distribution function (BRDF) measured from a real object is one of the most important factors for photorealistic rendering. However, not only the acquisition time but also the estimation time becomes so long due to the need for an enormous number of reflectance samples and calculations. In this research, we propose a method to shorten the measurement time by adaptively determining the measurement strategy after each sampling.

4.16　分光反射率特性と自然冷却特性を用いた視覚的な質感の短時間計測

Short-time Measurement of Visual Material using Spectral Reflectance Characteristics and Natural Cooling Characteristics

人間は物体に備わる視覚的な質感を鋭敏に知覚する能力を有している．計測システムも同様に実物体から鋭敏に視覚的な質感を取得し，数値化することが出来れば，様々な場面での応用が期待できる．視覚的な質感を取得する手法はこれまでにも計測ベース・推定ベースの アプローチの下，数多く提案されてきたが，いずれの手法でも，取得に要する時間の長さ・結果の信頼性・対象への制約などにおいて改善の余地があった．本研究では，対象の分光反射率特性・自然冷却特性という 2つの特性に着目し，材質・表面粗さを特に短時間で取得する．提案手法は計測ベースであるため結果の信頼性が高く，対象への制約は固体であることのみである．試料を用いた実験の結果，材質の分類は最大 98% の精度で行われ，表面粗さは理論に従う傾向を示し、数十秒程度の短時間でSVBRDFを計測できる可能性を示した．

Humans have the ability to perceive the visual materials of objects sensitively, and if it is possible to acquire the visual materials from real objects as sensitively as humans, applications in various situations will be realized. Many methods to acquire visual materials have been proposed under the measurement-based or estimation-based approach, but with either method there was room for improvement in some points such as the length of acquiring time, the reliability of the result, and the restrictions of the target. The proposed method aims to acquire parameters of visual material in a short time by focusing on the two characteristics of the object: spectral reflectance characteristics and natural cooling characteristics. Since the proposed method is measurement-based, the reliability of the result is expected to be high, and the only restriction of the target is that it is solid. The evaluation shows, the classification of materials was performed correctly with about 98% accuracy, and the calculation of surface roughness parameters tended to follow the theory. In addition, the possibility of measurement in a short time about dozens of seconds was shown.

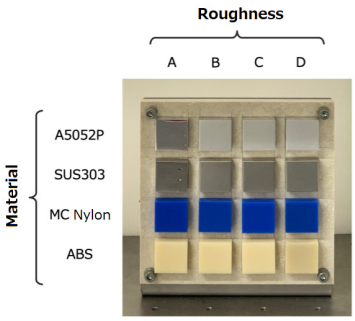


図1 素材と粗さが異なる計測対象．
Fig.1 Material samples.

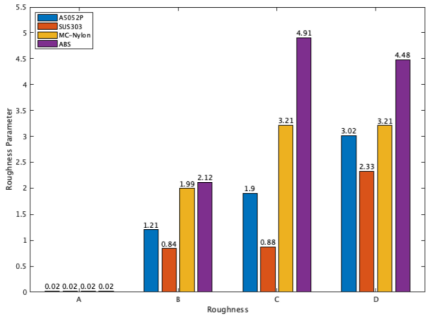


図2 粗さの計測結果．
Fig.2 Measured roughness.

4.17　錯視によるリアルタイム 3DCG アニメーションの生成

Real-time animation display based on optical illusion by overlaid luminance changes

パストレーシングを含む最新のレンダリング手法は、写実的なCGを生成できますが、ゲームや仮想・拡張現実などのリアルタイム応用で使用するにはレンダリング時間が長すぎる場合があります。一方、ラスタライズなどの素朴なレンダリング手法では、高品質な描写の代わりに高速なレンダリングが可能です。そこで本研究では、人間の視覚特性に関する知見を活用し、高品質なレンダリング手法と高速なレンダリング手法を組み合わせて、写実的でリアルタイム性の高いアニメーション生成を実現します。わずかな動きや変形を仮想的に作り出す目の錯覚を利用するため、微小な幾何学的変化を含むアニメーションに着目し、フォトリアリスティックCGに輝度変化により運動情報を付加するリアルタイムレンダリングパイプラインを提案しました。(図1, 2) レンダリング時間やアニメーション品質を主観実験により評価することで、提案手法が従来のパストレーシング手法と比較して 最大約570倍の高速レンダリングを実現できること、およびアニメーション品質を維持するパラメータを明らかにしました。本研究はメタバース総研様で紹介されました。



図1 錯視による弾性アニメーション
Fig. 1 Elastic body animation by an optical illusion

The state-of-the-art rendering methods, including path tracing, provide photorealistic images; however, the render time can be too long to be used in real-time applications such as video games and virtual and augmented reality. On the other hand, naive rendering methods such as rasterization can provide high-speed rendering instead of high-quality depiction. This paper exploits insights about human visual characteristics to combine a high-quality rendering method and a high-speed rendering method and achieve photorealistic and real-time animation. To exploit an optical illusion that virtually produces slight motion and deformation by luminance changes, we focus on an animation including small geometrical changes and propose a real-time rendering pipeline to add motion information to a photorealistic scene. We evaluated the render time and animation quality by subjective experiments. As a result, the proposed method achieved up to about 570 times faster rendering than conventional path tracing, and parameters to present the illusion and preserve the animation quality have been revealed.

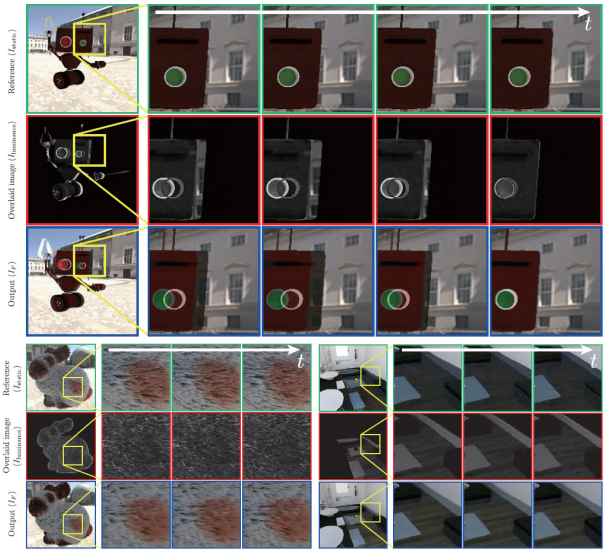


図2 フォトリアリスティックCGと輝度変化量、およびそれらの重畳画像
Fig. 2 Photorealistic CG, luminance change, and overlaid images

4.18 適応的三次元形状計測に基づく UAV の不整地への安全着陸に向けた高速脚制御システム
Real-time Landing Gear Control System Based on Adaptive 3D Sensing for UAV Safe Landing on Rough Ground

物資輸送や測量，探査を行う無人航空機（UAV）にとって安全着陸システムは重要であり，特に，形状が未知の不整地へ安全に着陸する自律システムはUAVの活動領域を拡大する上で必要となります．しかし，自律的な着陸を目指した従来手法の多くは，広範囲を計測して安全に着陸可能な領域を検出し，危険を伴う領域を回避するまでに留まっており，不整地への着陸は考慮されていませんでした．

本研究では，UAV の不整地への安全着陸に向けて，適応的な三次元形状計測に基づく高速脚制御システムを提案しました．このシステムは，適応的三次元形状計測と高速脚制御で構成されています．

1. 適応的三次元形状計測

適応的三次元形状計測は，ビジョンチップ搭載の高速カメラ，ガルバノミラー，ラインレーザーを用いて構成されています．光切断法によって，レーザーが映る画像から三次元形状計測を行い，ガルバノミラーを高速に制御して形状計測を行う領域を適応的かつ高速に変更します．着陸脚が接地する領域や動体が検出された領域に計測範囲を絞ることで，その領域に対しての計測の時空間分解能を向上させます．

2. 高速脚制御

適応的三次元形状計測によって計測された高時空間分解能の地面形状を基に，1軸の着陸脚の長さを空中でリアルタイムに制御します．全ての着陸脚を同時に接地させることによって接地時の不安定性を緩和し，起伏のある地面に対しても安定した着陸を実現することを目指します．

今回提案するシステムを用いたミッションシナリオの一例を示します(図1)．そしてビジョンチップ搭載の高速カメラとレーザー，ガルバノミラー，そして1軸の着陸脚を用いて実験装置を構築しました(図2)．小型軽量低電力のビジョンチップによって1000fpsによる高速低遅延での画像取得から処理を行うことで，着陸脚を高速に制御することが可能になりました．姿勢自由における着陸模擬実験では，外乱で姿勢が変動しても，高時空間分解能の計測結果によって即座に着陸脚の長さを更新し，最終的に全ての着陸脚が同時に接地するように着陸しました(図3)．

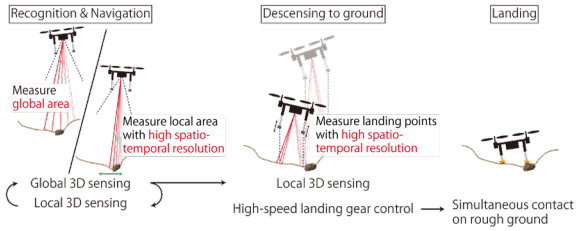


図1 ミッションシナリオ
Fig. 1 Mission scenario

A safe landing system is important for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) to transport parcels, survey land, and explore an unknown area. In particular, an autonomous safe landing system on rough ground with an unknown shape is critical to expand a flying area. However, some conventional systems for autonomous landing do not consider landing on rough ground even though they can detect some safe areas for landing by measuring a wide area.

In this research, we proposed a real-time landing gear control system based on adaptive and high-speed 3D sensing for UAV safe landing on rough ground. This proposed system consists of the adaptive 3D sensing and the high-speed landing gear control.

1. Adaptive 3D sensing

The adaptive 3D sensing system consists of a high-speed camera equipped with a vision chip, galvanometer mirror, and line laser. The system performs the 3D sensing by light section method using an image in which the line laser is irradiated. The system changes the measurement area adaptively and at high speed by controlling the angle of the galvanometer mirror. By focusing the measurement area on landing points or motion detected area, the spatio-temporal resoluion of the measurement can be improved.

2. High-speed landing gear control

Based on the measurement result from the adaptive 3D sensing without touching the ground, lengths of the landing gears are controlled in real time in the sky. Then, all landing gears contact the ground simultaneously. This simultaneous contact reduces the instablity at touchdown and realizes a safe landing even on rough ground.

The mission scenario with the proposed system is shown in Fig. 1. The experimental configuration consists of a high-speed camera with a vision chip, a line laser, a galvano mirror, and one-axis landing gears as shown in Fig. 2. By obtaining and processing an image at 1000 fps at high speed and low latency with a compact, lightweight, and low-power vision chip, the landing gears can be controlled at high speed. In a landing demonstration with unstable attitude, the lengths of the landing gears were updated immediately with the measurement result, and finally all landing gears contacted the ground almost simultaneously as shown in Fig. 3.

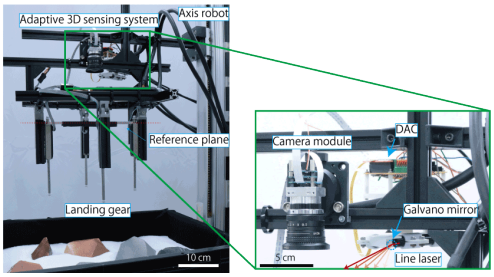


図2 システム外観
Fig. 2 System overview

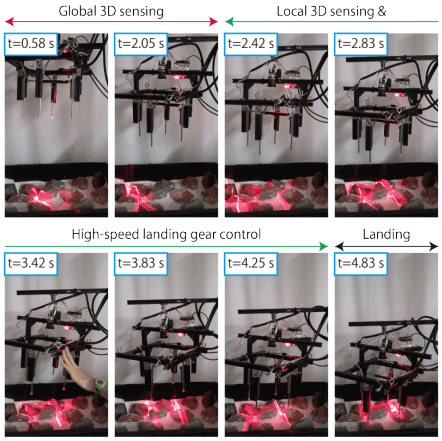


図3 姿勢自由での着陸模擬実験
Fig. 3 Landing demonstration with unstable attitude

4.19 非テレセントリック光学系カメラアレイによる棒材のリアルタイム真直度および外観画像検査
Real-Time Inspection of Rod Straightness and Appearance by Non-Telecentric Camera Array

本研究では、非テレセントリック光学系のカメラアレイを用いた図1の計測システムと、それによる丸棒材の真直度、および長さや直径、外観の計測アルゴリズムを提案しています．画像による工業製品の寸法公差や幾何公差の検査においては、平行投影により距離に依らず寸法比が保存される テレセントリック光学系によって計測を実施することが一般的です．しかし、対象の大きさや検査項目によってはテレセントリック光学系では計測システムの構成が困難な場合があります．本研究では、そのような例として長尺の丸棒材の真直度計測を挙げ、従来の一般的な画像校正手法では補正しきれない微小な ずれや歪みを校正する手法を導入することで、図2のような非テレセントリック光学系のシステムにおいても図3, 4のような高い計測精度が達成できることを示しました．さらに、同計測システムを利用して他の検査項目が測定できることを示すとともに、それらの計測精度を評価し、提案するシステムと提案手法により柔軟な画像検査工程が構築できることを示しました．

In this study, we propose a measurement system that employs a camera array based on a non-telecentric optical system shown in Fig. 1 and an accompanying measurement algorithm to measure the straightness, length, diameter, and appearance of a rod. Measurements using telecentric optical systems, which employ orthogonal projection to preserve the dimensional ratios regardless of distance, are common in image-based inspection of the dimensional or geometrical tolerances of industrial products. However, some cases depend on the size of the target or inspection item, wherein it is difficult to configure a measurement system using telecentric optical systems. As an example, this study considers the measurement of straightness of a long rod (Fig. 2, 3) and shows that it is possible to achieve high measurement accuracy using non-telecentric optical systems by introducing methods to calibrate miniscule errors and distortions that remain uncorrected in conventional image calibration methods. We also show that the same measurement system allows for the measurement of other inspection items (Fig. 4) and evaluation of their respective measurement accuracies, thereby proving that a flexible imagebased inspection process can be constructed using the proposed system and method.



図1 システムの外観
Fig. 1 Inspection system

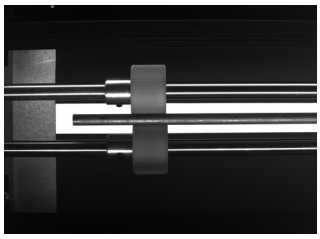


図2 カメラ画像
（カメラアレイを構成する3台のうちの1つ）
Fig. 2 Image captured by a camera composing a camera array

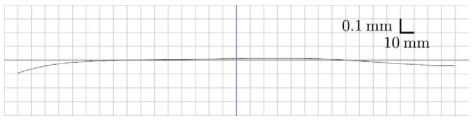


図3 誇張表示された棒材の歪み
Fig. 3 Exaggerated distortion of a rod

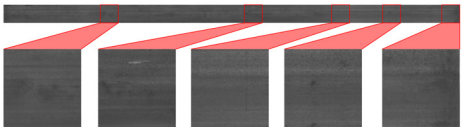


図4 棒材の外観検査
Fig. 4 Appearance inspection of a rod

4.20 Brobdingnagian Glass: 振動曲面鏡を用いた小人化両眼立体視システム
Brobdingnagian Glass: A Micro-Stereoscopic Telexistence System using a Vibrating Curved Mirror

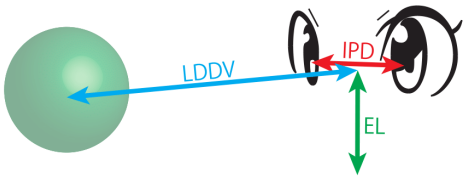


図１ 両眼立体視に重要なパラメタ
Fig. 1 Important parameters for binocular stereoscopic vision.

要旨

本システムは，両眼立体視によって小人の世界を体験するシステムです．本システムによって，ユーザーは実スケールの38分の1，身長5cmほどの人間の世界を体験することができます．

解説

人間のスケール感覚は自身の身体寸法を基準にして生み出されるといわれており，仮想的に身体の大きさを変えてやることで，そのスケールに応じた世界観を実現することができると考えられます．

特に視覚については，スケール感覚の基準となる，つまり両眼立体視を行うために欠かせない寸法として以下の３つがあげられます（図１）．

- 眼間距離（IPD）：右目と左目の間の距離．
- 明視距離（LDDV）：ピントを合わせることのできる最も近い距離．
- 目の高さ（EL）

人間が正しく両眼立体視を行うためにはこれらのパラメタを適切にスケーリングする必要がありますが，２台のカメラを両眼として扱う既存手法では，カメラに物理的な大きさがあるために，眼間距離や明視距離に下限が存在してしまいます．

そこで，我々は球面鏡を振動させることでこの問題を解決しています．システムは以下の順に動作します（図２）．

1. 鏡を振動させる
2. 鏡が左に移動したタイミングで左目の画像を取得する
3. 鏡が右に移動したタイミングで右目の画像を取得する
4. CG空間に画像を張り付けて歪みを補正する
5. ヘッドマウントディスプレイに投影する
6. 以上を繰り返す

観察する物体はステージに載せられるように設計されています．ステージの様子と，そこからヘッドマウントディスプレイに投影される映像は図３のようになります．

本システムによって，ユーザーは実スケールの38分の1，身長5cmほどの人間の世界を体験することができます．現状のシステムでは眼間距離を1.72mmに設定していますが，眼間距離は鏡の振幅によって決まるため，振動に用いているデバイスの性能次第で眼間距離は事実上無限に小さくすることができます．

Summary

This is a device for experiencing the dwarf's world through stereoscopic vision. With this system, you can experience the world of a person who is 1/38 of real scale, about 5cm tall.

Explanation

The worldview of a human depends on his/her body size, and by virtually realizing the body size at a certain scale, it is possible to obtain a worldview corresponding to that scale.

In particular, the following three parameters are essential for binocular stereoscopic vision (Fig. 1):

- Interpupillary Distance (IPD)
- Least Distance of Distinct Vision (LDDV)
- Eye Level (EL)

In order for humans to perform binocular stereoscopic vision correctly, these parameters need to be scaled appropriately. However, in previous methods that treat two cameras as two eyes, there are lower limits of the IPD and the LDDV because of the size of the cameras.

Therefore, we solve this problem by vibrating the spherical mirror. The system operation procedure is as follows (Fig. 2).

1. Vibrate the mirror
2. Capture the left image when the mirror is on the left
3. Capture the right image when the mirror is on the right
4. Map the surrounding landscape to the CG space based on the captured image
5. Display it through HMD
6. Repeat above

The system is designed that the object to be observed is placed on the stage. The state of the stage and the image projected on the head-mounted display are as shown in Fig. 3.

With this system, users can experience a world that is 1/38 of real scale. A human in this scale is about 5cm tall.

The IPD is set to 1.72 mm in the current system, but the IPD is determined by the amplitude of the vibration of the mirror, so the IPD can be made infinitely small depending on the performance of the device used for vibration.

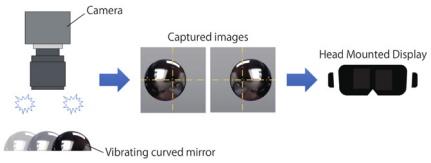


図2 システムの動作フロー
Fig. 2 System operation flow.

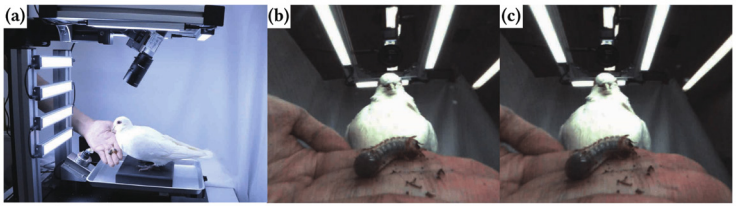


図3 (a) ステージの様子．(b)HMDの左目，(c)右目に投影された映像．
このスケールでは，ユーザーは捕食者であり被食者である．
Fig. 3 (a) Brobdingnagian Glass system. Output images for the (b) left and (c) right eyes.
You are a predator and also a prey in this scale.

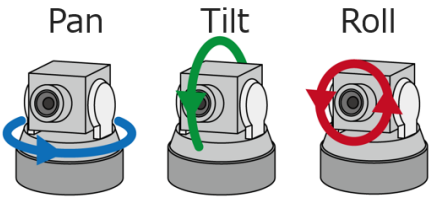
4.21 高速ロールカメラ：像回転を高速制御するカメラシステム
High-speed roll camera

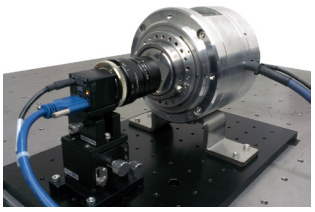
当研究室で開発したサッカードミラーと呼ばれるシステムはカメラの視線方向であるパン・チルトを高速制御することが可能であり，激しく動く対象を安定して画面の中心に捉えることができる（1msオートパン・チルト技術）．しかし、ロール方向の運動には追従することができなかった．

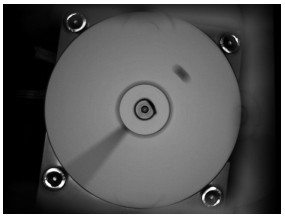
そこで，本研究ではカメラの視線方向を軸とした像の回転（ロール）を高速に制御するシステムを開発した．本システムとサッカードミラーを合わせることにより，カメラの視線方向に関する3つの回転軸全てについて高速制御を行うことができる．ロール方向の高速回転に追従した撮影が可能となれば，ボール，ファン，ホイール，ディスク，エンジン，ベアリングなど，様々な回転物体に対し，静止物体と同様の詳細な映像記録，解析ができるだけでなく，当研究室で開発したるみぺんと同様の拡張を行うことで，対象にプロジェクターの映像を重畳するプロジェクションマッピングの応用においても，対象の回転に追従した投影を行うことができるため，よりダイナミックな表現が可能となる．

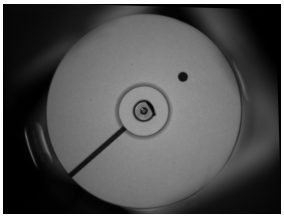
本システムは光学的に像を回転させるダブプリズムという光学素子を中空モータで制御し，カメラを動かすことなく対象の回転を相殺した撮像を行っている．1420rpm（1秒間に約24回転）という高速回転を行う対象についても，露光時間を短くすることなく，ブレを0.125度までに抑えた鮮明な画像を得ることができる．また，対象の回転速度は500fpsの高速画像処理によって算出しているため，予期しない回転の変化にも追従することが可能である．

In our laboratory, the Saccade Mirror, which realizes 1 ms Auto Pan-tilt movement via high-speed mechanical control of small mirrors, has led to some novel high-speed applications. In that system, however, the rotation direction, namely, roll, remains fixed. Therefore, we propose a high-speed roll camera which can control the target image rotation. With this system and Saccade Mirror, pan-tilt-roll, all three axes related to the camera gaze can be controlled at high-speed. If high-speed optical image rotation could be achieved, rotational motion blur could be canceled perfectly, and information including the velocity, deformation and vibration during the rotation could be analyzed for the robotics, media content, measurement and inspection of rotary bodies, such as wheels, fans, engines, bearing, gears, disks, and balls. Besides, in projection based AR (so-called "projection mapping") applications, this system is useful like Lumipen system because the misalignment free projection for rotating target in the dynamic scenes will be achieved. This system is composed of a hollow motor, a Dove prism, and a high-speed camera and controls optical image rotation according to the target rotation by using high-speed image processing. This so-called optical lever formed of the Dove prism worked effectively also for a high-speed rotating target, and our prototype system shows that rotational motion blur was suppressed to 0.125 degrees at 1420 rpm (about 24 rolls per second). Moreover, because this system tracks the target rotation by 500 fps high-speed image processing, the system can deel with the target rotating at irregular speed.









4.22 ZoeMatrope: マテリアルデザインのための実体ディスプレイ
ZoeMatrope: A System for Physical Material Design

コンピュータを用いたプロダクトデザインの現場やインターネットショッピングにおいて 製品の色や光沢などの質感を確認するために，リアルな質感表現が可能なディスプレイが求められている．しかし，従来のディスプレイは解像度やダイナミックレンジに限界があるだけでなく，実世界におけるユーザーの視点や光源の位置に応じた表示を行わないため，質感を十分に表現できているとは言えない．本研究では，このような問題の解決に向けて実物体を利用した質感ディスプレイZoeMatropeを開発した．ZoeMatropeは質感の提示原理に人間の目の特性と実物体を利用しており，人間の目には現実同等の解像度やダイナミックレンジ、視点光源依存性をもった質感を提示することができる．

1. 質感のリアルな再現

今回開発した質感ディスプレイは質感提示にソーマトロープ，ゾートロープと呼ばれる玩具の原理を応用している．ターンテーブルに配置した基底となる質感をもつ複数の物体を高速に回転させ，回転に同期させた光源で照らすことにより，これらの基底を合成した質感を提示することができる．また，光源の発光時間を1us単位で高速制御することにより合成の比率を変え，質感のアニメーションを実現している．人間の目には実物体が重畳された像が見えるため，超高解像度，超広ダイナミックレンジ，完全な視点光源依存性を達成することができる．高速プロジェクタ DynaFlash を利用することで，空間的に一様でない質感をもつ物体の提示も可能である．

2. 最適化された基底

様々な質感をリアルに提示するには基底となる質感を適切に選択し，さらに，これら基底の合成比率を適切に決定する必要がある．本研究では目的の質感と合成可能な質感の差を定式化し，これを混合整数線形計画により最小化することで 最適な基底と合成比率を求めている．本手法は質感の様々な要素の基底と合成比率の 決定に応用することができ，少数の基底で幅広い質感をリアルに表現することを可能にしている．

3. 拡張質感の提示

今回開発した質感ディスプレイは現実にある質感だけでなく，一般には存在し得ない Augmented material(拡張質感)を提示することができる．例えば，アルファチャンネルを持った 半透明の物体や，光源によって異なる質感を示す物体等である．本システムはこれらの拡張質感を一般的な質感と同等に扱い，共存，アニメーションさせることができるため，アートや広告，AR・VRにおける没入感の高い新たなメディア表現として利用することができる．



In product design and internet shopping, a realistic presentation of material is essential to confirming the color and gloss. However, conventional displays not only have limitations including resolution, dynamic range but also do not respond to viewing and lighting directions of the real world and can not represent realistic materials. In this research, we introduce a material display called ZoeMatrope to address the problems. ZoeMatrope utilizes human visual characteristics and real objects, and the quality of the material expressed with ZoeMatrope looks equivalent to that of real objects to the human eye.

1. Realistic material representation

The developed display uses compositing and animation principles used in a zoetrope and a thaumatrope. The system rotates a turntable which accommodates a number of base objects at high speed and illuminates some of those bases by a strobe light synchronized with the rotation. As a result, the system can express a composited material which is composed of plural base materials. Additionally, by controlling the emission time in units of 1us at high speed, the system can change the ratio of the composition and enables material animation. Since the overlaid image of the real objects will be seen by the human eye, outstanding resolution, dynamic range and light field fidelity can be achieved. By using a high-speed projector, "DynaFlash", the system can express spatially-varying materials.

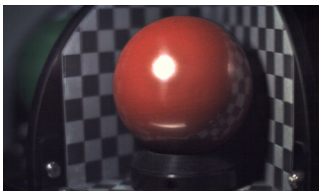
2. Base material optimization

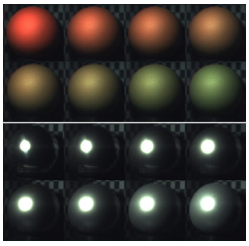
In order to represent a variety of realistic materials, we need to select the optimal base materials and determine the optimal composition ratios of them. In this paper, we formulated an error between the target and composited material, and solved these issues as a mixed integer linear programming problem. This method can be applied to bases for various parameters of a material and enables realistic representations of wide range of materials with a small number of base materials.

3. Augmented material

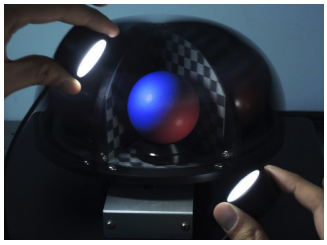
The system can express not only ordinary materials but also augmented materials that would never occur in reality. For example, translucent materials with an alpha channel and materials whose appearance depends on the light source can be expressed. The system can deal with these augmented materials as well as ordinary materials and allow the creation of new forms of expression media and immersive experiences in art, advertising and AR/VR.











4.23 Phyxel: 実物体の周期運動と高速時分割構造化光を用いた形状と質感を再現するリアリスティックディスプレイ

Phyxel: Realistic Display using Physical Objects with High-speed Spatially Pixelated Lighting

実物体と見分けがつかないような高い現実感を有する裸眼用のディスプレイの開発が幅広い分野において望まれている。3 次元的な形状と実物体の持つ質感を同時に表現することは高い現実感の達成に不可欠であるが、この実現は難しかった。そこで私たちは、高い現実感と表現自由度を有するリアリスティックディスプレイの構成手法を提案する。本手法は、周期運動を行う実物体に対して同期したパターン光を高速に投影し、残像特性によって網膜上で時間的に積分された像を呈示するものである。本ディスプレイは、プロダクトデザインなどの分野を始めとして新たな視覚メディアとしての利用が期待される。以下では、本手法によって実現されたアプリケーションを3種類紹介する。

1. Dynamic Stop Motion

本ディスプレイは質感を動的に再配置することが可能であるため、裸眼に対して実物体のアニメーションを呈示することが可能である。呈示するコンテンツは投影するパターン光の制御によって変更することが可能なので、動的に映像を切り替えることが可能である。写真(左)では、赤いフェルト素材の車が毛糸素材でできた背景や木の前を通過している様子を見ることができる。

2. Layered 3D Display

異なる高さをもつ質感を用意することで、実物体の質感を伴った3次元形状を呈示することも可能である。これにより視点の変化に対して自然な見えの変化を実現した3次元形状を呈示することができる。写真(中)では、層構造になった歯車がそれぞれ回転している様子を見ることができる。

3. 3D Shape Mixture

複雑な形状をもつ立体フィギュアの回転と適応的なパターン光を組み合わせることにより、新たな視覚効果を生み出すことが可能である。少数のフィギュアを用意するだけで、これらの組み合わせによる無数の形状を呈示することが可能となった。写真(右)では、馬と人間のフィギュアを組み合わせることでケンタウロスの像を作り出している。

Phyxel is a realistic display that makes a desired physical object appear at spatially pixelated locations. The created image appears to be essentially real and can be manipulated, like a virtual image. Toward the realization of Phyxel, it is essential to closely coordinate the lighting and motion for the perceptual reality. In the developed system, we manipulate the motion of various objects at high speed and control their perceived locations by projecting a computed lighting pattern using a 1000-fps 8-bit high-speed projector. We can utilize this novel visual media in various fields, such as entertainment, digital signage, design industry, exhibition, and so on. We introduce three type of feasible applications.

1. Dynamic Stop Motion

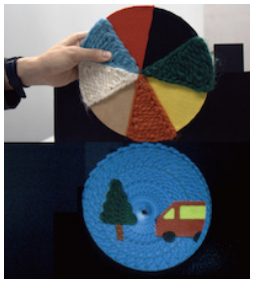
Dynamic stop motion allows the visual effects which have been created by the conventional stop motion method to be seen in real time and for naked eyes, using the dynamic relocation of material appearance. Also, we can change the contents dynamically by control of lighting patterns.You can see the red felted-fabric car move in front of the blue wool background in the figure on the left.

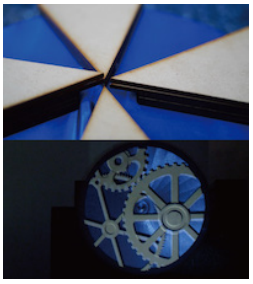
2. Layered 3D Display

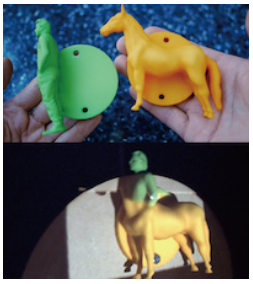
Using material layers with a different height along the optical axis of the projector, 3D shapes with complex texture can be created. We perceive its volumetric shape because of binocular fusion. As a demonstration, we can see the rotating gears at a different layer in the figure on the center.

3. 3D Shape Mixture

3D shape mixture offers the visual recomposition of prepared 3D objects. From a small number of base objects, multi- ple figures are visually generated. Comparing with an ordi- nary 3D zoetrope method, this system has more degrees of freedom of expression.In the figure on the right, preparing two 3D-printed models of horse and human, you can see combination of models, such as a kentauros.







4.24 DynaFlash: 1,000fps・3ms 遅延で 8bit 階調の映像を投影する高速プロジェクタ
DynaFlash: High-speed 8-bit image projector at 1,000fps with 3ms delay

プロジェクションマッピング，デジタルサイネージ，ユーザインタフェース，AR(Augmented Reality)等の分野において，実世界の物体へ映像を投影するプロジェクタ技術の重要性が高まっている．一方，ロボットなどの産業応用においても，プロジェクタから対象に映像を投影してカメラで捉える画像センシングシステムの開発が進んでいる．ところが，従来のプロジェクタは，スクリーン等の静止した対象物体への投影を前提としており，画質面では優れているものの，フレームレートは，30fps ～ 120fpsのものが主流で，上記のような応用には十分ではなかった．このような問題の解決に向けて，新たな高速プロジェクタの実用試作機DynaFlashを開発した．DynaFlashは，8bit階調の映像を最大1,000fpsのフレームレート・最小3msの遅延で投影することができる．

1. 8bit階調の映像を最大1,000fpsで投影

今回開発した高速プロジェクタは，DMDチップ(Digital Micromirror Device)と高輝度LED光源を用い，最大1,000fpsで8bit階調の映像を，最小遅延3msで投影するものである．FPGAに組み込んだ高速制御回路を新たに開発し，これを用いてDMDとLEDを高速に制御することで，高いフレームレートを実現している．さらに，独自の通信インタフェースによって，画像を高速転送する回路を計算機に搭載することで，映像生成から投影までの遅延を最小3msにまで抑えることができる．

2. 高速プロジェクタと高速ビジョンの連携で新たな応用

従来から開発してきた高速ビジョン技術を組み合わせることで新たな応用展開を目指している．この高速プロジェクタの応用例として，高速で移動する対象物へのプロジェクションマッピングシステムを試作した．このシステムは，高速ビジョンにより対象物の位置を認識し，その対象物に対して遅れなく映像を投影するものである．従来のディスプレイでは，運動の速度に対してディスプレイの速度が不足しているため，大きなずれを生じていた．これに対し，今回のシステムでは高速処理を実現することにより，ずれのない映像を表示することができる．さらに，高速ビジョンと連携することで人間の眼には知覚できないmsオーダーでのセンシング，特に3次元計測を飛躍的に高速化することも可能となる．



In the application fields including projection mapping, digital signage, user interface, AR (Augmented Reality), and so on, the projector technology for the image projection to the real-world object has become important. Also, in the industrial application fields such as robot applications, there are various developments of the image sensing systems which consists of a camera and a projector. However, the conventional projectors supposes to project to a static target such as a flat screen. Therefore, although they have high image quality, the frame rate, mainly targeted as 30-120 fps, is not enough performance for the applications described above. To solve this problem, we have developed a working prototype of the high-speed projector “DynaFlash”. DynaFlash can project 8-bit images up to 1,000fps with 3ms delay.

1. 8-bit-level image projection up to 1,000fps

The developed high-speed projector projects 8-bit-level images up to 1,000 fps with the minimum delay of 3 ms using digital micromirror device (DMD) and high-brightness LED. Newly developed high-speed processing modules installed in FPGA control the two devices and this technology enables the performance of high frame rate. Moreover, our own original module of the communication interface is mounted in a computer and transfers images at high speed. This reduces the delay from the image generation to projection within 3 ms at the best performance.

2. New applications in the integration of high-speed projector and high-speed vision

We aim at the development of the new applications by integrating the high-speed projector and the high-speed vision that has ever been developed. As a first example application, we have realized a projection mapping system for the high-speed moving objects. This system recognizes the position of the object by the high-speed vision and projects images to the object with no delay using the high-speed projector. Conventional display technologies have no enough speed performance compared with the motion speed of the object. This causes the large misaligned gap in the interaction of the image projection to the moving object. Our system solves this problem based on the high-speed processing performance. We also plan to develop the sensing with the order of millisecond, for example three-dimensional measurement, whose moment cannot be perceived by human eyes.







4.25 DynaFlash v2 とポストリアリティ
DynaFlash v2 and Post Reality

“What is real? How do you define real?” (Matrix 1999)

単純な問いですが，深遠な問いでもあります．近年，その答えを形にすることがさらに難しくなってきています．仮想現実，拡張現実，複合現実，シミュレーテッドリアリティ，人工知能，ブレイン・マシン・インタフェース，不気味の谷，トランスヒューマニズム，サイバーパンク，ハイパーリアル，ポストトゥルース…．テクノロジー，フィクション，哲学，社会の各分野において次々に現れるこれらの思想は，現実と非現実の境界を茫漠とさせ続けています．世界は“Post Reality”の時代に突入しつつあり，我々もそれを受け入れる準備ができつつあると考えられます．

このように変化し続ける世界のもと，我々も1つのチャレンジを試みています．現実と非現実を眼の前で融合し，新しくて自然な“The Reality X”を作り出すことはできるのか？この目標に向けて，我々は光を操作することにしました．視覚による認識が，光/モノ/ダイナミクス/知覚の4者の相互作用からなると考えたとき，その根源たる光を人間の知覚限界を超えた領域で操り，現実を操作することは有望なアプローチであると考えられます．この構想のもと，秒間1000回の速度で映像を切り替えるモノクロプロジェクタを開発し，同じ速度で駆動するセンシング系と連携させ，変形・運動するフィジカルな物体にデジタルなアピアランスを融合させる試みを実現してきました．

今回，このチャレンジを次のレベルにアップグレードさせるために，新たに947fpsで8bitのカラー映像を切り替えることができる新型の高速プロジェクタDynaFlash v2 (3-LED+1-DMD)を実現しました．さらに，10台のカメラを駆使し，高速かつ広範囲で非剛体変形を3次元で認識可能な新しいトラッキングシステムを開発しました．これらを連携したダイナミックプロジェクションマッピングは，カラフルな非現実のテクスチャを現実に融合させるだけには留まりません．対象表面の3次元的な構造や動きに応じて，投影像を適応的にコントロールすることで，現実とは異なる素材の光沢や凹凸を自在に再現させることが可能となっています．

物理現象としてみた場合，このセンシング・ディスプレイの介入がもたらす状態は現実とは乖離しています．しかし，我々の知覚にとっては，光/モノ/ダイナミクス/知覚の整合性に矛盾は少ないものとなっています．実際，下記の動画を見て頂ければ，我々がそこに見いだすものを現実ではないと切り捨てることが，そこまで容易ではないと感じると思います．

DynaFlash v2 and Post Reality. 現実と非現実の融合．現実とはなにで，非現実との境界はどこにあるのか？混沌と秩序を両立する新しい現実世界の創造へ向けて，今回の成果が単なるテクノロジーの性能進化だけに留まらない意味ときっかけをもたらすことを期待しています．

"What is real? How do you define real?" (Matrix 1999)

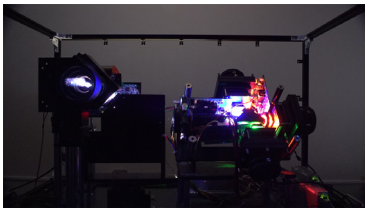
This is a simple yet profound question. Forming the answer to this question has become increasingly difficult in recent years. Virtual Reality, Augmented Reality, Mixed Reality, Simulated Reality, Artificial Intelligence, Brain-Computer Interface, Uncanny Valley, Transhumanism, Cyberpunk, Hyperreal, and Post Truth, etc. These ideas emerging one after another in technology, fiction, philosophy and sociology continue to blur the boundaries of reality and unreality. Our world is entering the era of "Post Reality" and it is considered that we are getting ready to accept it.

In such an ever changing world, we are also trying to make a challenge. Is it possible to fuse reality and unreality in front of your eyes to create a new, yet natural, "The Reality X"? To achieve this goal, we have decided to focus on manipulating the light. Assuming that visual recognition consists of interaction of light, matter, dynamics and perception, manipulating the light at the speed exceeding the perceptual range to control the reality can be a promising approach. Based on this concept, we have developed a black and white projector which switches images at 1000 times per second, linked it to a sensing system which runs at the same speed, and attempted to fuse digital appearance and deforming or moving physical objects.

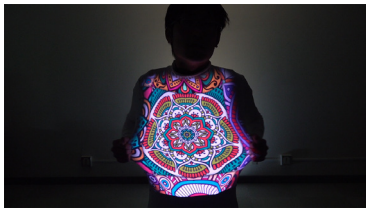
To take this challenge to the next level, we developed a new high speed projector capable of switching 8bit color images at 947 fps, DynaFlash v2 (3-LED+1-DMD). We also developed a new tracking system capable of recognizing non-rigid deformation three-dimensionally at high speed and in wide range by using 10 cameras. The capacity of the dynamic projection mapping linking these components is not limited to fusing colorful unrealistic texture to reality. It can freely reproduce gloss and unevenness of non-existing materials by adaptively controlling the projected image based on the three-dimensional structure and motion of the applicable surface.

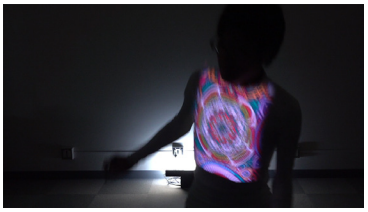
As a physical phenomenon, the state added by this sensing display deviates from reality. The results, however, produce little inconsistencies in light, matter, dynamics and perception in our senses. If you watch our demonstration video, you will probably feel it is difficult to shrug off what we see just because it is not real.

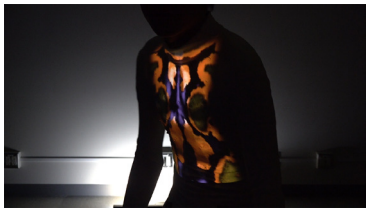
DynaFlash v2 and Post Reality. Fusion of reality and unreality. What is reality and where is the boundary to unreality? I hope that the results of this study will not only evolve the technology performance but also bring the meaning and further opportunity for creating a new real world that includes both chaos and order.

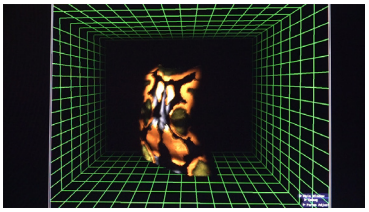












4.26 ポータブルるみぺん：小型ダイナミックプロジェクションマッピングシステム
Portable Lumipen: mobile dynamic projection mapping system

対象に合わせてプロジェクターの映像を投影するプロジェクションマッピング技術が盛んに研究され，エンターテイメントやインターフェイスの分野で利用されている．静止物体に対して投影を行う基本的なプロジェクションマッピング技術に加え，近年では動的物体を対象とするダイナミックプロジェクションマッピング技術の提案もされており，プロジェクションマッピング技術はますますの発展を遂げている．しかし，ダイナミックプロジェクションマッピングにおいても，未だシステム自体は固定のままであり，真にダイナミックなシーンでのプロジェクションマッピング技術の応用はなされていない．これは，従来のシステム構成では，高速性と可搬性の双方を両立することが難しいためである．ダイナミックプロジェクションマッピングでは，時空間的整合性のとれた映像を対象に投影するために，対象の計測と映像の投影を高速に繰り返す必要があるが，大型の計算機では高速処理が可能であるものの可搬性は損なわれ，また，小型の計算機では計算リソースが足りず高速性が失われるという問題があった．これに対し，ソニーと本研究室が共同で開発した積層型ビジョンチップはインテリジェントなソリューションを与える．ビジョンチップは高速撮像と並列演算を用いた高速画像処理を同チップ上で行うことで，高速性と可搬性を両立したビ

ジョンシステムを構築することが可能であり，ポータブルシステムによるダイナミックプロジェクションマッピングに最適なデバイスである．

本研究では，対象の高速計測に積層型ビジョンチップを利用し，さらに，映像の投影に二軸のミラーを用いた高速視線制御ユニットを利用することで，システム全体の遅延を最小化しつつ小型化を達成したポータブルるみぺんを開発した．（参考：るみぺん）プロトタイプシステムは手持ちサイズでありながら，1,000fpsの高速撮像，高速画像処理，3msの高速応答を実現しており，その高速性と可搬性を利用したプロジェクションマッピングの新たな応用展開を切り拓いている．例えば，図２では，動きに追従した投影によって手のひらをスマートフォンのように利用しつつ，壁に目的地までのナビゲーションを提示させるユーザーインターフェイスを構築している．また，図３では，携帯端末で自分を撮影する際に，顔に追従する投影によって映像効果を付与するエンターテイメントを提案している．図４では，周辺環境をスキャンし，ユーザーの注意を検出した高速移動対象に向けさせるアプリケーションと，ユーザーの手指をトラッキングし，ハンズフリーのポインティングデバイスとして活用するアプリケーション例を示している．他にも，可搬性を利用してドローンと組み合わせるなど，ポータブルシステムによるダイナミックプロジェクションマッピングは様々な応用展開が期待できるコンセプトである．

In recent years, Spatial Augmented Reality (SAR) systems for dynamically moving targets have been proposed, and this field is called "dynamic SAR" or "dynamic projection mapping." In these systems, the moving target is recognized by a high-speed camera and the projection onto the target is controlled at high speed, for example, at 1,000fps. By achieving such high responsiveness in sensing and feedback that spatio-temporal consistency between the target and projected image is ensured at the level of human visual perception, these dynamic SAR systems have allowed the development of new application fields in entertainment and user interfaces. However, one problem with most of these conventional SAR systems is that they have restricted spatial movement because they are fixed in a room. Then, we take dynamic SAR a step further. In this research, we use a 3D-stacked vision chip and an optical gaze controller, and realize a portable dynamic SAR system, called "Portable Lumipen." A vision chip is an intelligent imager that has parallel processing elements adjacent to photodetectors, which enables high-speed image capturing and processing on a single chip, and it is a suitable device for a high-speed and small visual feedback system. An optical gaze controller is a unit to change the imaging and projecting direction at high speed by reflecting light at 2-axis motored mirrors, and achieves high-speed alignment of the projection image without the need for a specialized projector or re-rendering of the projection image.

We developed the prototype system of Portable lumipen in Fig.1 and Fig.2, and confirmed that image capturing at 1,000fps, rapid processing and a 3ms response time for projection were achieved on a mobile device. We also propose potential applications using this portable dynamic SAR system. For example, in anywhere surface user interface shown in Fig.3, the system recognizes a gesture and provides a display on an arbitrary object. In Fig.4, a system for taking a selfy with projector-based makeup is shown. The Portable Lumipen can compensate for hand shaking, and realizes animated makeup. Besides, a searchlight that automatically scans the surrounding environment and tracks a detected target while projecting information on it is proposed. Portable dynamic SAR will enhance a variety of applications including entertainment, interface and combination with a drone.



図１ システム外観
Fig.1 Portable Lumipen

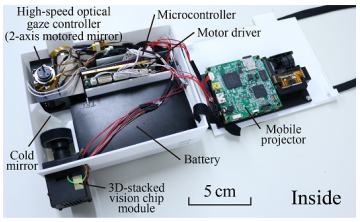


図２ システム内部
Fig.2 System inside

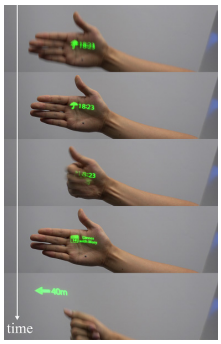


図３ 追従投影インターフェイス
Fig.3 Anywhere surface UI

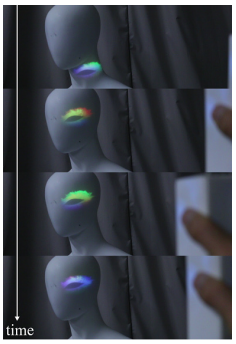


図４ 光の化粧
Fig.4 Selfy with Makeup by light

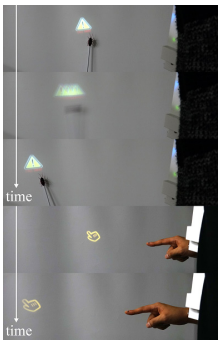


図５ トラッキングサーチライト
Fig.5 Tracking search light

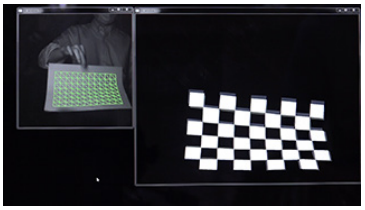
4.27 Deformable Dot Cluster Marker: 高速非剛体変形トラッキングのためのマーカ

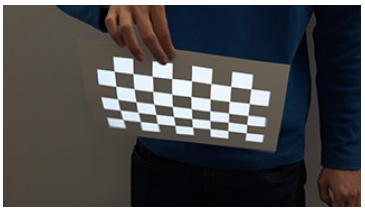
Deformable Dot Cluster Marker: Marker for high-speed non-rigid surface tracking

本研究では，非剛体の変形を継続的に捉えるセンシング技術を，非剛体変形トラッキングと呼ぶ．非剛体変形トラッキングは，コンピュータビジョンの分野において依然として難しい問題の一つである．これは，運動の自由度が高いとともに，変形によって生じる自己遮蔽が問題を複雑化するためである．

本研究では，非剛体変形トラッキングの応用として，ダイナミックプロジェクションマッピングに注目している．これは，運動する物体や動的に変化する環境を投影対象とするタイプのプロジェクションマッピングである．このようなプロジェクションマッピングでは，対象と投影画像との間に生じる幾何学的不整合を，人間が知覚できないレベルの高速性が必要となる．これを実現するためには，非剛体トラッキングをmsオーダで完了させる技術が必要となる．しかし，従来手法にはこのような性能を実現するものはなかった．

このような背景の下，本研究ではマーカベースの高速な非剛体変形トラッキングを新たに提案している．これは，マーカを対象表面に印字し，カメラによって観測されるマーカの歪みを介して，対象の変形を取得するものである．我々は，新たに提案するマーカをDeformable Dot Cluster Markerと呼んでいる．このマーカは，複雑な変形・運動が生じた場合でも，マーカ内の局所的な位置を他の位置と誤識別しないように最適化されている．また，マーカは白と黒のみで表現されるため，対象に簡単に印字することができる．このようなマーカの設計とともに，変形を取得する画像処理も提案している．これは，マーカを画像内から検出する処理と，高フレームレート撮像に基づいて継続的に追跡する処理を並行実行するものである．これによって，ロバストかつ高速な非剛体変形トラッキングが可能である．また，複数の種類のマーカが画像内に存在しても，個別に認識することが可能である．実装の結果，CPU上の実行で1,000fpsを達成可能であることを実証した．また，本トラッキングによって得られた変形情報を利用して画像を生成し，高速プロジェクタDynaFlashによって投影することで，非剛体曲面へのダイナミックプロジェクションマッピングが1,000fpsで実現できることを示している．

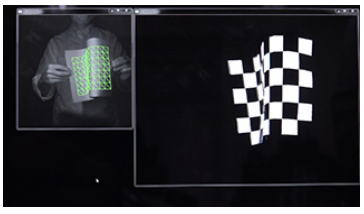


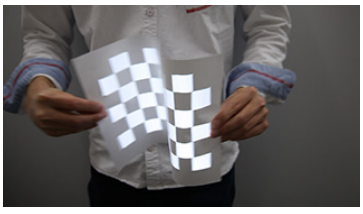


In this research, we call a sensing technology to observe the deformation of a non-rigid surface continuously as non-rigid surface tracking. This technology is still a challenging problem in the field of computer vision. This is because the deformation of a non-rigid surface has high degrees-of-freedom and involves self-occlusions as well as external occlusions. These complicate the tracking problem.

In particular, as an application of the non-rigid surface tracking, we focus on dynamic projection mapping. This is the type of projection mapping which utilizes a moving object and dynamically-changing environment as the projected target. In this application, a speed is required to be sufficiently high that a human does not perceive any misalignment between the target object and the projected images. In order to achieve this requirement, non-rigid surface tracking needs to have millisecond-order computational speed. However, any conventional methods do not have such performance.

Based on this background, we propose a new method of the marker-based high-speed non-rigid surface tracking. In this type of method, a marker is drawn on the target surface and we obtain the deformation through the distortion of the marker in a captured image. We call the proposed marker as Deformable Dot Cluster Marker. This marker design is optimized under the condition that a local position in the marker is not incorrectly identified as other positions. Also the marker is easy to be drawn on the target because it is a binary pattern composing only black and white. With this marker design, we propose an original image processing method to obtain the deformation. This method executes detection of a marker from a captured image and frame-by-frame tracking utilizing high-frame-rate imaging independently and in parallel in separate threads. In addition, even when multiple markers exist in an image, the method can recognize them individually. We have implemented on CPU and achieved 1,000-fps performance. Also we have shown dynamic projection mapping onto deforming non-rigid surface at 1,000 fps in which the system generates the images based on the observed deformation and projects them in real-time by using a high-speed projector "DynaFlash".





4.28 Coarse-to-Fine 位相同定のための階層化 ArUco マーカー配列
Hierarchical ArUco Marker Array for Coarse-to-Fine Localization in XR applications

ARやシステム校正等の応用に向けて，物体とカメラの位置関係を画像から認識できる様々なマーカーが提案されている．一方で，モバイルやウェアラブルなシステム，車載システムなどにおいては，対象との距離が大きく変化するため，単一のスケールのみを考慮したマーカーでは認識が容易でないシーンが想定される．本研究ではAR分野で広く活用されているArUcoマーカーを階層的に組み込んだ図1の階層化ArUcoマーカー配列を提案し，従来のArUcoマーカー検出アルゴリズムをそのまま利用しながらも大域から局所の位相同定にまで対応できる手法を実現する．このマーカーは画角中でのスケールの変化，または前処理として適当なブラーをかけることで，それに応じた階層のマーカーが図2のように自動的に検出され，マルチスケールに対応することが可能である。

Some markers have been proposed to determine the positional relationship between an object and a camera for XR applications. Most of markers consider only a single scale, but there are many cases where the distance to the object varies greatly, and therefore, multi-scale recognition is required in XR systems. In this study, we propose a hierarchical marker array, which is composed of toned ArUco markers and forming fractal structure as shown in Fig. 1. The proposed marker array realizes handling multiscale and coarse-to-fine localization while using the conventional ArUco marker detection and identification algorithm without any modification. When the scale is changed in the actual scene or blurred by pre-processing, the array automatically shows the corresponding markers as shown in Fig. 2.

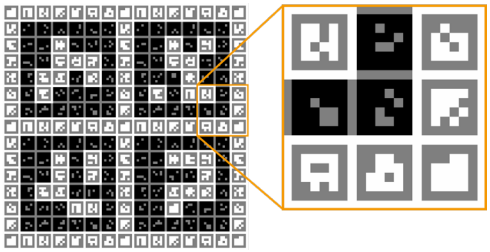


図1 階層化ArUcoマーカー配列
Fig. 1 Hierarchical ArUco Marker Array

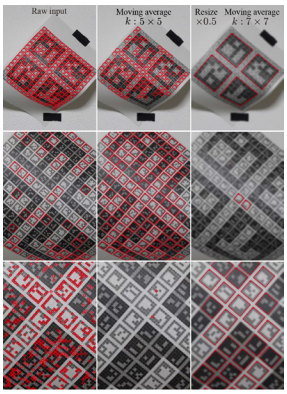
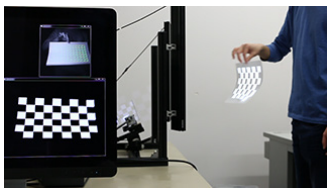


図2 ぼかし量による特定階層の選択的検出
Fig. 2 Selective detection of a certain layer by changing blur amount

4.29 高速プロジェクタを用いた変形する非剛体曲面へのダイナミックプロジェクションマッピング
Dynamic projection mapping onto deforming non-rigid surface using a high-speed projector



プロジェクションマッピングは，現実を拡張するための技術として注目されている．しかし，その応用展開の多くは，静的・準静的環境に制限されていた．本研究では，このような制限をなくし，動的に変化する実世界と仮想的な視覚情報を，人間の知覚レベルで完全に融合させるダイナミックプロジェクションマッピングの実現に着手する．このように，人間が対象と投影画像との間に幾何学的不整合を知覚することのない高速性を有したダイナミックプロジェクションマッピングの実現には，高フレームレートかつ低遅延で投影を行う高速プロジェクタが必要である．我々は，この要請を満たすために，1,000fps・3ms遅延で8bit階調の映像を投影する高速プロジェクタDynaFlashを開発している．

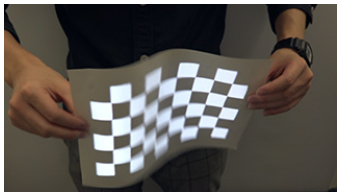
さらに本研究では，ダイナミックプロジェクションマッピングの対象として，非剛体曲面に注目する．非剛体の運動は複雑な変形を伴うため，従来は高速にその状態を把握することが困難であった．これに対して，我々は新たに1,000fpsで非剛体変形をトラッキングできる手法を開発した．これは，提案するDeformable Dot Cluster Markerを対象に印字することで，大きな変形や遮蔽が生じても，高速かつロバストに変形を継続的に捉えることができる技術である．

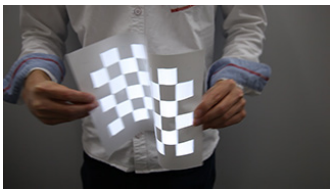
以上のDynaFlashとDeformable Dot Cluster Markerを基盤として，非剛体曲面へのダイナミックプロジェクションマッピングを実現した．本技術では，マーカを赤外インクで対象に印字することで，人間にはマーカを不可視にするとともに，投影像に影響を受けずに変形を捉えることができている．さらに，プロジェクションとセンシングの両方が1,000fpsの速度で実現されている．このため，運動中においても，変形に応じた矛盾のない投影を維持し，あたかも対象に投影画像が印字されている，または対象表面に元々存在していたテクスチャであるかのように現実を拡張できる．特に，ユーザインタフェース分野，及びファッション分野における新展開を目論み，紙面及びTシャツへのダイナミックプロジェクションマッピングを実証した．さらに，複数のマーカを利用することで，異なる対象への投影をコントロールできることも示した．

Projection mapping attracts attentions as an emerging technology to extend the real world. However, almost realized examples have been limited to static or quasi-static environments. This research aims at overcoming this limitation and realizes dynamic projection mapping in which dynamically-changing real-world and virtual visual information are completely merged in the level of human visual perception. This high-speed dynamic projection mapping requires a high-speed projector enabling high-frame-rate and low-latency projection. In order to meet this demand, we have developed a high-speed projector "DynaFlash" that can project 8-bit images up to 1,000fps with 3ms delay.

In particular, as a challenging target for the dynamic projection mapping, we focus on a non-rigid surface. Sensing of non-rigid surface deformation is difficult to be achieved at high speed because it has high degrees-of-freedom and involves self-occlusions as well as external occlusions. Our newly proposed method overcomes this limitation. Our method can obtain the deformation robustly at 1,000 fps by using an originally proposed marker "Deformable Dot Cluster Marker", even when the target causes large deformation and occlusions.

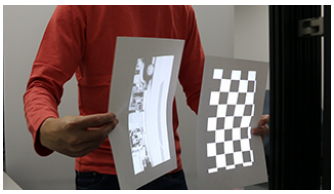
Using these base technologies including DynaFlash and Deformable Dot Cluster Marker, we realize a new dynamic projection mapping onto deforming non-rigid surface. In this demonstration, by drawing the marker on the target with IR ink, we allow the marker to be invisible to human and enable robust sensing independently of the projected images. In our technology, both the projection and sensing are operated at a speed of 1,000 fps. Therefore, it is possible to keep the projection consistent with the deformation and extend the real world as if the projected image is printed or existed as an original (digital) texture on the target. Especially, focusing on new paradigms in the field of user interface and fashion, we have demonstrated dynamic projection mapping onto a deformed sheet of paper and T-shirt. Also we show that projection to multiple targets can be controlled flexibly by using multiple markers.





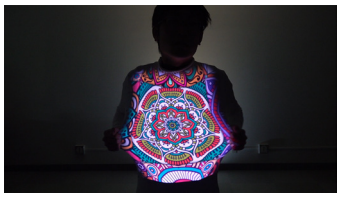


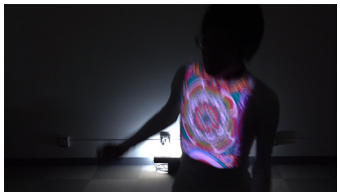




4.30 ダイナミックプロジェクションマッピングのための複数台カメラを用いた高速非剛体３次元トラッキング

High-speed Three-dimensional Tracking of Non-Rigid Surface for Dynamic Projection Mapping Using Multiple Cameras



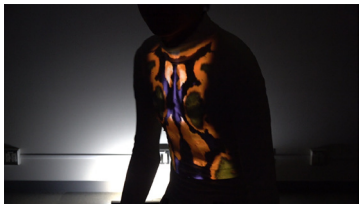


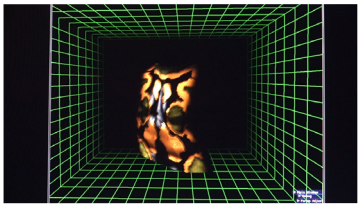
現実を拡張するための手法として，ダイナミックプロジェクションマッピングの有用性が注目を集めている．ダイナミックプロジェクションマッピングにおいては対象の動きを高速にトラッキングする必要があるが，本研究では特に，変形する非剛体の高速3次元トラッキングに着目する．非剛体変形を3次元的にトラッキングする手法は様々に提案されているが，いずれも計算量が大きく，ダイナミックプロジェクションマッピングにおいて人間が対象と投影画像との間に幾何学的な不整合性を知覚しないレベルの高速性を確保することは困難である．また，Deformable Dot Cluster Markerを用いたシステムは非剛体曲面の変形を高速にトラッキングすることに成功しているが，非剛体変形に関する情報が2次元的にしか得られない上，センシング範囲も狭い．

そこで本研究では，Deformable Dot Cluster Markerを基盤として，複数台のカメラを用いたシステムを用いて投影対象に貼付されたマーカ上の各点の3次元位置を求める手法を提案している．この高速非剛体3次元トラッキングを，947fpsで8bitのカラー映像を切り替えることができる新型の高速プロジェクタ DynaFlash v2 (3-LED+1-DMD)と連携させ，対象表面の3次元的な構造や動きに応じた映像を適応的に投影する新たなダイナミックプロジェクションマッピングを実現した．下の画像では，対象の姿勢や動きに応じ，光沢や凹凸が適応的に変化した映像が投影されている様子が確認できる．

Dynamic projection mapping has attracted attention for its usefullness to extend the reality. To realize dynamic projection mapping, it is necessary to track the motion of the object at high speed. In this research, we, in particular, focus on the high-speed three-dimensional tracking of the deforming non-rigid surface. Although various researches for tracking non-rigid deformation in three dimensions have been published, because of the large computational complexity, it is difficult to track the motion of the object at a speed in which human does not perceive geometric inconsistency between the object and the projected image. In addition, although the conventional system with Deformable Dot Cluster Marker succeeds in tracking deformation of non-rigid curved surface at high speed, information of non-rigid deformation can be obtained only two-dimensionally, and the sensing range is not so wide.

Therefore, in this research, we propose a method of finding 3D position of each point on a marker affixed to the projection target by using a system with multiple cameras based on Deformable Dot Cluster Marker. This high-speed non-rigid three-dimensional tracking is coordinated with a new high-speed projector DynaFlash v2 (3-LED + 1-DMD) capable of switching 8-bit color images at 947 fps, resulting in a new dynamic projection mapping that adaptively projects images has been realized. In the images and a movie below, it can be seen that the image in which gloss and irregularities are adaptively changed is projected according to the target posture and motion.





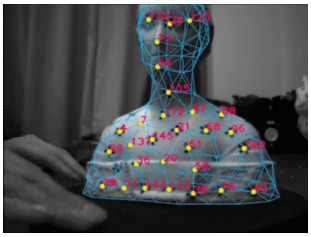
4.31 TransMaterial: 高速ビジョン・プロジェクタに基づいた動的質感再現

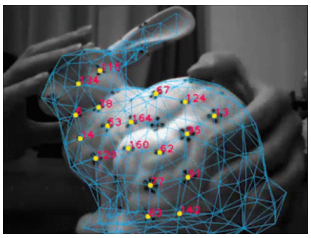
TransMaterial: Computational display of material appearance based on dynamic projection mapping

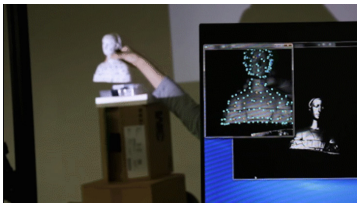
金属，プラスチック，肌など様々な素材の「質感」を再現できるかどうかは，高品質のメディアコンテンツを製作するうえで重要なポイントです．特にニーズが高い分野には，プロダクトデザイン，教育，エンターテイメント分野が挙げられます．プロジェクションマッピングは，このような質感の再現に向けて重要な役割を果たすことが期待されています．プロジェクションマッピングを利用すると，モニタ上ではなく，現実の物体の表面上に素材の質感を再現することができます．例えば，眼の前の樹脂製の模型を，形を維持したまま，鮮やかに光る金属製の物体に変質させることが可能です．

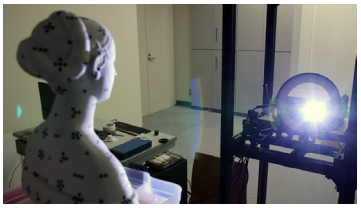
一方，このようなディスプレイでは，動きの変化に追従した質感の再現が重要になってきます．例えば，光沢度の高い物体では，ハイライトを生じる位置が物体自身の動き，観察する人の視点方向，光源位置によって変化します．このような動的な質感再現は，高品質なユーザエクスペリエンスのためには非常に重要なポイントになります．しかし，従来のプロジェクションマッピング技術では，このような要請を満たすことが困難でした．これは，従来のセンシング・プロジェクタ系が十分に高速でなかったためです．さらに，このようなアプリケーションでは，ユーザが対象に触れてインタラクションすることが重要になります．このためには，対象の3次元位置・姿勢を，遮蔽が生じた場合でも頑健に認識できるトラッキング技術が必要になります．

そこで本研究では，新たにマーカベースの3次元トラッキング手法を提案するとともに，同手法を用いたダイナミックプロジェクションマッピングによって，動的に質感を再現するシステムを構築しました．トラッキング手法は，対象の一部だけが観測できれば，その位置と姿勢を高速に認識することが可能です．このため，ユーザが対象を把持している状況でも高精度な認識を継続できます．本システムでは，認識された物体の3次元位置と姿勢に基づいて，表面の質感をコンピュータグラフィクスによって生成し，高速なプロジェクタによって投影します．すると，下図に示されるように，本来は白い石膏製の物体を，あたかも光沢性の高い金属のように変化させることができます．対象の動きに応じて遅れなく再現される表面反射の変化は，質感再現の品質をさらに高めていることが分かります．ここでは金属の例のみを示していますが，そのほかの素材でも再現は可能です．また，部分的に質感を変えることも可能です．さらにはカラー化することも可能です．加えて，マーカは赤外マーカを用いることで不可視化することも可能です．



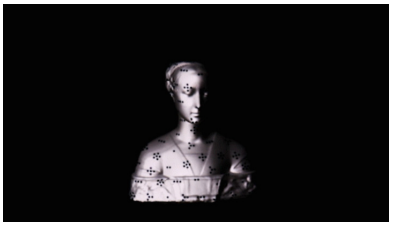


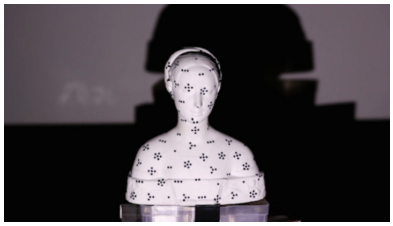




The computational display of material appearance such as metal, plastic, skin, and so on has attracted attention as an important technology in the fields of product design, education and entertainment. Using projection mapping, this type of a material display can be realized. The images projected by the projection mapping can replace the original surface of an existing normal object in the real world with new material appearance virtually. On other hand, in this type of display, it is important to change the appearance dynamically according to the motion of object. For example, when observing a specular object, the highlight point is changed according to its arrangement, viewpoint, and light. This dynamic appearance change plays a substantial role in reproducing high-quality user experiences. However, the conventional projector-camera system is difficult to represent this phenomenon because of its low-speed performance. Also, in the applications using such material display, the interactions where the user can touch and move the object is essentially important. In order to achieve this goal, occlusion-robust and high-speed 3D tracking technology is newly required.

Based on this background, we propose a new marker-based 3D tracking method achieved by only using a monocular monochrome image. Our tracking method achieves both high robustness and high-speed performance even when there is a considerable amount of occlusion. Also we built a computational display of material appearance based on dynamic projection mapping using the proposed tracking technology. According to the recognized 3D position and pose, the graphics of the virtual material are generated and projected by a high-speed projector. As shown in the figure, the appearance of a white plaster object is changed to the metal-like one and the reproduced specular distribution is consistently changed without delay. Our experiment confirmed that it was possible to successfully merge the real-world geometry and the material appearance consistently in a dynamic environment. Furthermore, dynamic changes as a consequence of user manipulation of the object could drastically enrich the experience compared with observation of a static object. Although we show only the example of the metal display in this demonstration, different material can also be realized. In addition, the different materials can be arranged on the surface spatially. We also extend this work to the color material display. And we can make the marker invisible by using the infrared ink.





4.32 MIDAS projection: マーカーレス・モデルレスの動的プロジェクションマッピングによる質感表現

MIDAS Projection: Markerless and Modelless Dynamic Projection Mapping for Material Representation

近年、建物やステージ背景といった現実世界の物体にぴったりと合うようにCG映像を プロジェクタ等で投映し、あたかも対象の質感や形状が変化したかのように見せる プロジェクションマッピング技術が盛んに研究されています。さらに、素早く運動したり変形する物体に対しても、ぴったりと映像を投映する ダイナミックプロジェクションマッピングと呼ばれる技術も開発されており、エンターテイメントやインターフェイス等の分野で活用が期待されています。しかし、従来のダイナミックプロジェクションマッピング技術では、投影先の対象にマーカーを貼付する必要や、対象形状にモデルを仮定する必要があり、事前の準備なしに 対象に応じた投映を行うことはできませんでした。そこで、本研究では、目に見えない近赤外域の光を用いて対象の法線を高速に計測する システムと、計測した法線から高速に映像を生成するアルゴリズムを用いて、マーカーや形状モデルなしにダイナミックプロジェクションマッピングを行う手法を提案しました。本手法では、対象に特別な準備を施す必要がないため、マーカーの貼付が難しい動物や食物、形状のモデル化が難しい水や粘土、たくさんの対象を含む魚の群れや木の葉など、これまで対象とすることが難しかった物体にもぴったりと映像を投映し、その質感や形状が変化したかのような表現を実現することができます。

1. 近赤外域高速法線計測

プロジェクションマッピングに用いる可視光との干渉を避けるため、近赤外域の３つの波長を利用した高速法線計測システムを構築しました。(図1) 本研究では法線の計測と映像の投映はともに500fpsの速度で実現されており、下に挙げた高速シェーディングアルゴリズムと合わせて、人間の眼では知覚できない程度の 遅延での計測と投映を実現しています。

2. 法線を利用した高速シェーディングアルゴリズム

法線は対象の見え方に大きく関与しており、法線に

応じた投映を行うことで対象の質感や形状を見かけ上、大きく変えることができます。(図2) 本研究では法線を利用した高速シェーディングアルゴリズムを提案し、動く対象の質感を、投影によって別の均一な質感や模様を持った質感に 書き換えることを実現しました。(図3,4)

3. エンターテイメントへの応用

対象の反射率に応じて質感を変化させることで、シャツは銀でネクタイは赤といったように 一度に複数の質感を提示する応用を実現しました。(図5) また、対象に触れた際に徐々に質感を書き換えていくことで、触れたものを全て黄金に変えるギリシャ神話のミダス王の逸話を再現する応用も実現しました。(図6) 対象を選ばない柔軟なダイナミックプロジェクションマッピングが可能なため、パフォーマーの演出や、ファッション、広告といったエンターテイメント分野、また、試作品のプレビューなどのインターフェイス分野での応用が期待されます。

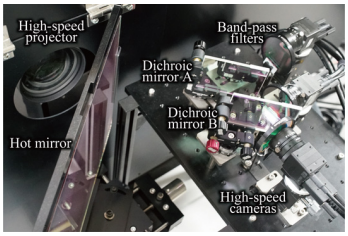


図 1 システム外観
Fig. 1 System



図 2(a) 粘土（投映前）
Fig. 2 (a) Clay（before）

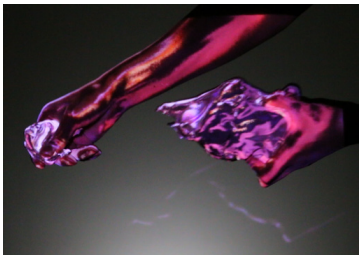


図 2(b) 粘土（投映後）
Fig. 2 (b) Clay（after）

Projection mapping has become a powerful technique for entertainment and visual presentation. Projection light can overwrite the visual appearance of an object to create an illusion of changes in the material and shape of the target. In recent years, a dynamic projection-mapping technique that can target not only static objects but also dynamically moving or deforming objects has been proposed, and increasingly flexible and immersive effects are being achieved. However, conventional projection-mapping methods depend on markers on a target or a model of the target shape, which limits the types of targets and the visual quality. In order to deal with various targets, including static, dynamic, rigid, soft, and fluid objects, we developed a high-speed surface normal measurement system using near infrared (NIR) wavelengths and a novel high-speed texturing algorithm in screen space. Our system achieved projector-based material overwriting with a uniform material and a tileable-textured material with millisecond-order latency, and it realized dynamic and flexible material representation for unknown objects.

1. High-speed surface normal measurement in the NIR region

For projector-based material overwriting in which the system projects artificial shading to change the appearance of the target material, markers or models are not always necessary, because shading with a virtual material, lighting, and viewpoint can be adequately rendered even if we can only measure the surface normals of the target. Then we developed the high-speed surface normal measurement system that performs without visible-light interference with the projection image. (Fig. 1) By using the high-speed shading algorithm using surface normals below, our system achieved 500fps high-speed sensing and projection with unnoticeable latency.

2. High-speed shading algorithm using surface normals

Appearance heavily depends on surface normals of the target object, and so projection according to the surface nomals enables the material to disguise itself. (Fig. 2) In this research, we presented high-speed shading algorithm using surface normals for representation of a uniform material and a tileable-textured mateiral. (Fig. 3, 4) Moreover, we propose an area-based regularization method to avoid the undesirable distortion of a texture due to the noise of target motion and deformation.

3. Advanced applications

We also demonstrated advanced applications using the MIDAS-projection system, including albedo-dependent shading and a graphical Midas touch effect. In albedo-dependent shading, the materials are overwritten according to the albedos (e.g. Silver material onto a shirt, and red material onto a tie as shown in Fig. 5.) In graphical Midas touch effect, all touched objects gradually turn into gold (or different materials) as the ability of King Midas in Greek mythology. (Fig. 6) Such tangible and programmable shading in real life will provide interactive, flexible, and immersive material representation.



図 3 素手への投映（マーカー不要）
Fig. 3 Projection onto a hand（Markerless）

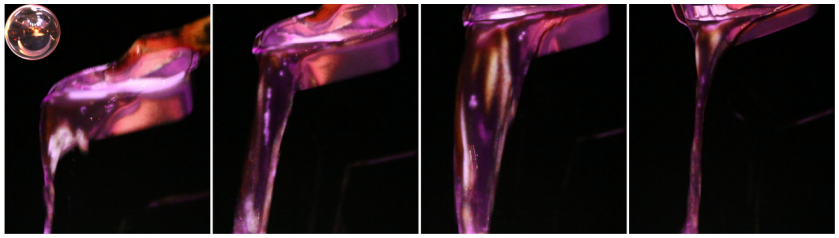


図 4 液体への投映（モデル不要）
Fig. 4 Projection onto liquid（Modelless）



図 5 反射率に応じた投映
Fig. 5 Albedo-dependent shading



図 6 娘を黄金に変えるミダス王
Fig. 6 Graphical Midas touch effect

4.33 ダイナミックプロジェクションマッピングを用いた動物体への視点依存映像の投影
Viewpoint-dependent Image Projection onto Dynamic Objects by Dynamic Projection Mapping

近年、3Dモデルを直感的な方法で立体的に提示することのできる3Dディスプレイの開発に向けて様々な研究が行われています。しかし、これらの研究はいくつかの問題を抱えていました。例えば人間が従来の3Dディスプレイを持ってダンスなど激しい動きをしようとすると、重量があるため動かすのが難しく、電源コードが動きの邪魔になります。さらに、それらの3Dディスプレイは落下などの故障リスクが大きいという問題があります。そこで、本研究では、ダイナミックプロジェクションマッピングと呼ばれる技術を応用して、人間が持ち運びしやすいレンチキュラーレンズに投影することにより、視点依存画像を投影する方法を提案します。ダイナミックプロジェクションマッピングとは、実物体に対し高速にセンシング及び投影を行うことで、素早く動いたり変形したりする物体に対してもぴったりと貼り付いた映像を投影できる技術です。また、レンチキュラーレンズとはよくお菓子などのおまけとして入っているもので、複数の画像を組み合わせた絵をレンズの平らな面に印刷することで、視点に依存して変化する絵や立体感のある絵を提示できるものです。このレンチキュラーレンズは持ち運ぶのに十分軽量であり、落としても壊れにくいため、本研究の目的に適しています。

レンチキュラーレンズに投影を行う際、レンチキュラーレンズは背景に投影された絵が少しでもずれていると見える絵柄が変わってしまうため、投影位置を高精度に制御する必要があります。また、レンチキュラーレンズの位置のセンシングから画像を投影するまでの間にはシステム的な遅延時間が存在します。これら2つの要因で、レンチキュラーレンズを動かすと本来見えてほしい絵柄と異なる絵柄が見えてしまいます。本研究ではシステム遅延によって引き起こされる投影像の位置ずれを補正するために、視点依存映像の品質を表す尺度を定義し、その尺度からシステム遅延時間を推測しました。推測した遅延を元に映像の位置を補正することで、問題である視点依存映像の品質の改善を実現しました。

In recent years, various 3D displays have been studied to present 3D models intuitively in a three-dimensional manner. However, these displays have some problems. For example, when humans try to perform a dynamic movement such as dancing with conventional 3D displays, they will feel heavy and difficult to move and a power cord will disturb the movement. Moreover, conventional 3D displays have a large risk of failure, as by falling. In this study, we propose a method for projecting viewpoint-dependent images by dynamic projection mapping onto a lenticular lens that can be easily carried by humans. Dynamic projection mapping is a technique using high-speed sensing and projection for projecting images as if to be stuck to an object even if it moves or deforms quickly. Besides, a lenticular lens is an optical sheet that can present a viewpoint-dependent picture or a three-dimensional picture by printing a composite image that combines multiple images on the flat surface of the lens. Since a lenticular lens is lightweight enough to carry and hardly break when dropped, it is suitable for the purpose of this study.

When projecting composite images onto a moving lenticular lens, the two factors described below causes unintended display. First, display with a lenticular lens is sensitive to misalignment of the projected image because a composite image is decomposed in a totally incorrect manner even with slight misalignment. Second, there is system delay between sensing the position of the lenticular lens and projecting the image. In this study, in order to correct the misalignment caused by the system delay, we defined an index measuring quality of the viewpoint-dependent video, and estimated the system delay time from the index. By correcting the position of images based on the estimated system delay, we improved the quality of the viewpoint-dependent video.

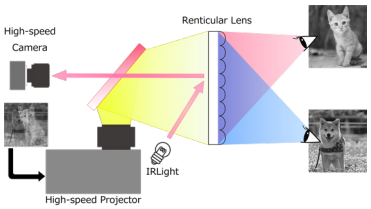


図 1 投影システム
Fig. 1 Projection System

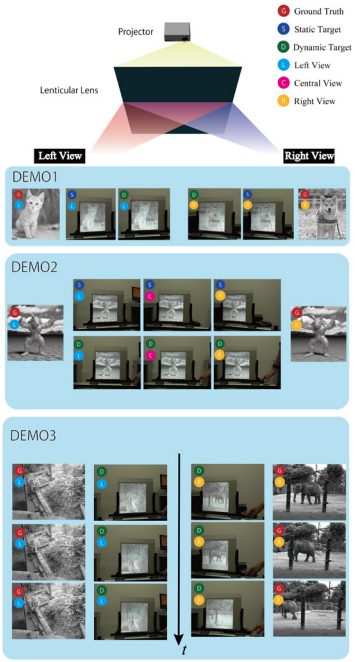


図 2 投影結果
Fig. 2 Projection Result

4.34 ElaMorph Projection: ダイナミックプロジェクションマッピングを用いた物理シミュレーションに基づく 3 次元物体の変形錯視

ElaMorph Projection: Deformation of 3D Shape by Dynamic Projection Mapping

近年, 拡張現実感の一種として, プロジェクタ等を用いて現実世界の物体に付加情報を提示するプロジェクションマッピングと, その応用が注目を集めています. 中でも, 計算機の高性能化や, 高速に撮像や投影を行うことのできるデバイスの台頭により, ダイナミックプロジェクションマッピングという, 素早く動いたり変形したりする物体に対してもぴったりと貼り付いた映像を投影できる技術が可能になりました. 本研究では, そのようなダイナミックプロジェクションマッピング技術の一種として, 運動する剛体の3次元物体の形状を, 仮想的な物理的特性に基づいてあたかも変形したかのように見せる手法を提案します. これにより, 例えば図1のように, 剛体であるはずの投影対象が弾力を持ってぷるぷるしているような錯視を感じる表現が可能になります.

1. 投影画像が背景にはみ出さない高速変形アルゴリズム

以前にもプロジェクションマッピングにより対象が変形したかのような体験を提示する手法は提案されていますが, いずれも事前に作成したアニメーションを用いて投影画像の生成を行っていました. 一方で, 本研究のように物理的特性に基づいて変形を行う場合, 変形後の形状は物理シミュレーションを経て初めて明らかになります. そのため, ダイナミックプロジェクションマッピングが可能な程度に高速な物理シミュレーションの手法が必要です. また, 変形後の形状をもとにレンダリングした画像を投影する際, その画像が現実世界の対象からはみ出してしまうと, 観客に投影により変形を行っているということが気付かれてしまい, 体験の品質が低下してしまいます. そこで, 本研究では軽量に物理シミュレーションを行える従来手法を拡張し, 変形後の形状が投影対象からはみ出さないように輪郭の内部に留めるプロセスを追加することで, 上記の問題を解決しました. これに加えて, 本システムでは弾性マップと名付けた画像を使うことで, 容易に変形させたい領域を指定することができます. 図2に複数の弾性マップで投影を行った結果を示します.

2. 人間の知覚特性に基づいたシェーディング

人間は運動する物体を見る際, 色, 形, 動きの情報を脳内の別々の経路で処理し, 後に高次野でそれらを統合することで現実世界の認識をします. この特性を応用し, 動きの情報のみをプロジェクタにより投影することで, 2次元の絵画があたかも動いて見えるような錯視を提示する手法が提案されています. 本研究では, 2次元の絵画を対象にしていた従来のシェーディングアルゴリズムを, ランバート反射のモデルを使って自然に3次元に拡張することで, 3次元の投影対象でも変形したかのように見せられる錯視の提示手法を実現しました. また, 自然な拡張に加えて, 3次元的な凹凸による陰影をさらに強調するための項を付け加え, より錯視の体験の品質を向上させました.

3. 環境光の寄与のリアルタイム推定によるロバストな錯視の実現

本システムでは, 環境光の強さと方向の情報を組み込んで錯視のための投影画像を生成しています. そこで, 本研究では, 可視光カメラを使って投影を行いながら環境光の情報をリアルタイムに推定します. 環境光をリアルタイムで推定することで, パーティー会場やコンサートホールなど, 照明が時間的に変化する状況でもロバストな錯視を提示できます.

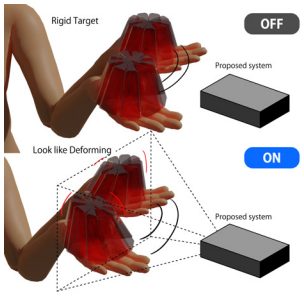


図 1 本研究のコンセプト
Fig. 1 The concept of our method.

Projection mapping is a type of augmented reality which present additional information to objects in the real world by projector. As a result, audiences feel an illusion of changes in the material or shape of the target. Recently, projection mapping and its related applications are currently receiving significant attention. In particular, the advancement of high-performance computer, high-speed camera and high-speed projector have realized a technology called dynamic projection mapping (DPM). DPM involves three sequential processes: sensing, rendering, and projection. These processes are repeated rapidly at such a speed that humans cannot perceive a delay in the projection. Thus, DPM enables the display of images attached to moving objects and further expands the range of content that can be presented. As an application of DPM, we propose a method to give an illusion as if 3D rigid object were deformed based on virtual physical properties. For example, as shown in Fig. 1, our method can make the target object appear to have elasticity, even though it is rigid.

1. High-speed Deformation Algorithm

Several methods have been presented which presents illusion as if the target were deformed by projection mapping. In these methods, a projection image is rendered using pre-made animations. Our research differs from these methods because object deformation in our approach is accomplished via physical animation based on the sequence of spatial movements of the projection targets. Additionally, as the quality of projection diminishes when a part of the projected image extends beyond the projection target, we propose a method for deforming the 3D mesh without extending beyond the projection target. Moreover, artists can easily specify the region to be deformed the by using images named ``elasticity map". Figure 2 shows the results of the projection using several elasticity maps.

2. Shading based on human perception characteristics

When humans see a moving object, the brain processes color, shape, and motion information in separate pathways and integrates them in the higher order field to perceive the real world. Applying this property, there is a method to present the illusion of deformation of a 2D plane by projecting only the motion information using a projector. In this study, we extended the shading algorithm for 2D plane to 3D solid using a model of Lambertian reflection. This enables of illusion of deformation for 3D solid. In addition to this extension, we add a term to further emphasize the shading caused by 3D unevenness to improve the quality of the illusion experience.

3. Estimation of environmental lighting

In our system, the projection image is rendered by incorporating information of the intensity and direction of the environmental lighting. We use a visible light camera to estimate the information of environmental lighting in real time. This enables a robust illusion in various situation where the illumination changes with time, such as party halls and concert halls.

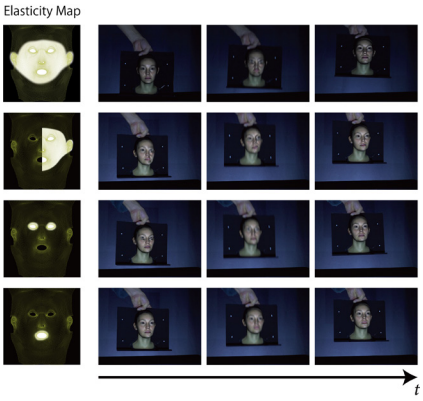


図２ 複数の弾性マップによる投影結果
Fig. 2 Projection results for various elasticity maps.

4.35 高速カラープロジェクタと高速ビジョンチップを用いたダイナミックプロジェクションマッピングシステム DPM-1000

DPM-1000: Dynamic projection mapping system using high-speed color projector and high-speed vision chip

画像を投影するプロジェクタはAR(Augmented Reality)やエンターテイメント、ユーザインタフェースの分野だけでなく、画像を撮影するカメラと組み合わせ、計測システムとしてロボットなどの産業分野にも応用されています．しかし、従来のプロジェクタは人間の視覚に合わせた30fps ～ 120fpsの製品が主流であり、人間の視覚をだましたり、人間の能力を超える高速性をもつ産業用ロボットと組み合わせるには、速度が十分ではありませんでした．

このような問題の解決に向けて、本研究室は1,000fpsで8bitのグレースケール映像を投影可能なDynaFlashを開発し、製品化を行いました．さらに、このたび新たに1,000fpsで24bitのカラー映像を投影可能な高速カラープロジェクタ(図1)を開発し、高速低遅延かつ高輝度の映像投影を実現しました(図2)．

本プロジェクトでは、本研究室がソニーと共同開発した積層型高速ビジョンチップを搭載したHSV-MC1(図3)によって実現される1,000fpsの高速撮像と1,000fpsの高速画像処理に、高速カラープロジェクタによる1,000fpsの高速投影を組み合わせ、ダイナミックプロジェクションマッピングシステムDPM-1000を開発しました(図4)．このDPM-1000は入力・処理・出力を全て1,000fpsで行い、人間の視覚に違和感を感じさせない時空間整合性をもったダイナミックプロジェクションマッピングを実現します(図5, 6)．本研究室では、これら高速なビジョンシステムと共に、独自に開発したダイナミックプロジェクションマッピング技術を用いることで、物体のテクスチャや質感といった光学的特性だけでなく(図7)、弾性といった力学的特性を仮想的に変化させ(図8)、仮想世界と現実世界をシームレスにつなぐ情報環境の構築を目指しています．

Projectors are powerful tools for display in AR(Augmented Reality), entertainment, and user interface. Moreover, in the field of robotics and industry, they are used also for sensing systems with cameras. However, the mainstream of conventional projectors has slow framerates (30-120fps) and it is not enough to deceive human vision or to maximize the performance of a system using high-speed industrial robots.

To solve such problems, we developed DynaFlash, which can project 8bit grayscale images at 1,000fps, and this projector has already been commercialized. Furthermore, we newly developed a 1,000fps 24bit high-speed color projector (Fig.1) and realized high-speed, low-latency, and high-luminance projection (Fig.2).

In this project, we combined the developed projector, which enables 1,000fps projection, with HSV-MC1 (Fig.3) using a 3D-stacked vision chip, which enables 1,000fps sensing and 1,000fps image processing, and developed DPM-1000 (Fig.4). This DPM-1000 performs all steps, namely input, process, and output at 1,000fps, and enables immersive dynamic projection mapping with spatio-temporal consistency (Fig.5, 6). By using these high-speed vision devices and uniquely developed techniques for dynamic projection mapping, we virtually overwrite not only optical properties such as texture (Fig.7) and material but also mechanical properties including elasticity (Fig.8), and are aiming to construct a new information environment linking the virtual world with the real world seamlessly.



図 1 高速カラープロジェクタ
Fig.1 High-speed color projector



図 2 1,000fps 24bit 投影
Fig.2 1,000fps 24bit projection



図 3 高速ビジョン HSV-MC1
Fig.3 High-speed vision, HSV-MC1

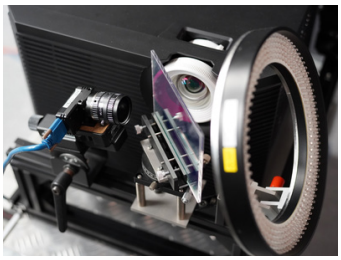


図 4 DPM-1000
Fig.4 DPM-1000

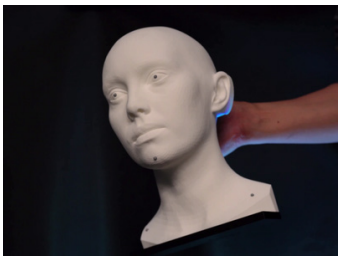


図 5 投影前の対象
Fig.5 Projection target (before)



図 6 投影後の対象
Fig.6 Projection target (after)

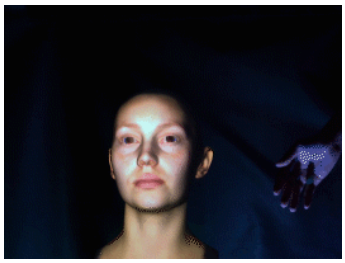


図 7 ダイナミックプロジェクションマッピング
Fig.7 Dynamic projection mapping

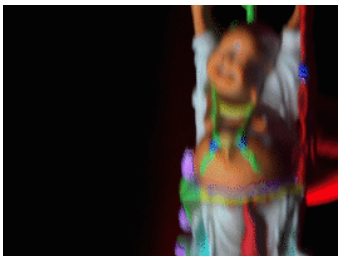


図 8 ElaMorph projection による弾性の付加
Fig.8 Virtual elasticity by ElaMorph projection

Digital Emily (3D モデル , テクスチャ): USC Institute for Creative Technologies, Happy Buddha (3D モデル): Stanford Computer Graphics Laboratory

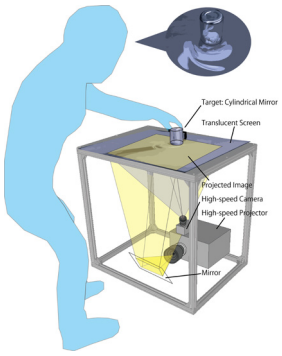
Digital Emily (3D model and texture): USC Institute for Creative Technologies, Happy Buddha (3D model): Stanford Computer Graphics Laboratory

4.36 ダイナミックアナモルフォーシスシステム
Dynamic Anamorphosis System

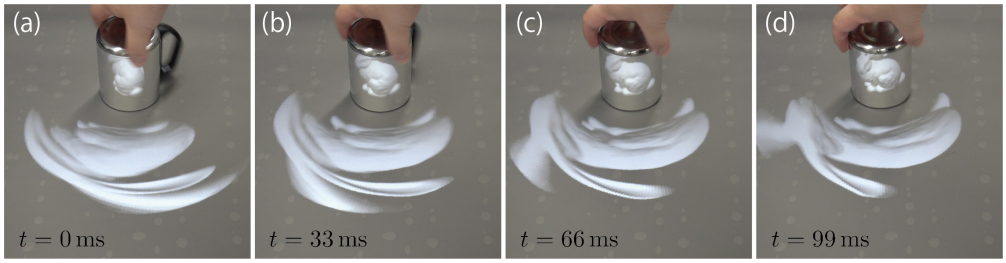
三次元ディスプレイを用いたインタラクションの実在性を高めるには応答の高速性やオブジェクトのタンジブル性が重要となる. 1,000fpsで投影可能な高速プロジェクタによって平面的な映像呈示やダイナミックプロジェクションマッピングが実現されているが, 任意の三次元オブジェクトをタンジブルに表示することは依然として困難であった.

そこで, 本研究では, 平面的な歪像から立体物を知覚させることが可能なアナモルフォーシスの技術に着目し, 高速かつタンジブルな三次元ディスプレイとしてダイナミックアナモルフォーシスシステムを提案している. 最初のプロトタイプとして円筒鏡を用いたアナモルフォーシスを採用し, 高速カメラ・高速プロジェクタを用いたレイテンシ6ms未満, スループット1,000fpsの高速フィードバックシステムを構築することでインタラクティブな三次元ディスプレイを実現した.

開発したシステムでは, セルフウィンドウ法を用いた高速トラッキングにより円筒鏡の位置姿勢を計測し, その情報を元に事前に設定した視点位置で立体像が知覚されるよう歪像のレンダリングを行っている. このようにしてレンダリングされた平面の歪像を高速プロジェクタから半透過スクリーンに投影することで, 円筒鏡内に三次元オブジェクトが存在するように観測される. ユーザは円筒鏡を任意に移動・回転させることで三次元オブジェクトを操作可能であり, 物理シミュレーションを取り入れることで, 円筒鏡と内部の三次元オブジェクトの衝突など, システムの高速性を活用した様々なインタラクションを実現している.



Although high-speed and tangible are important for realizing interactive 3D displays, it has been difficult to display 3D shapes using only the high-speed projector. In this project, we focus on anamorphosis, in which a distorted plane image is used to perceive 3D objects, and propose the Dynamic Anamorphosis System. We developed a high-speed feedback system with a delay of less than 6 ms at 1,000 fps and the tangible system that displays 3D objects by anamorphosis using the cylindrical mirror. We conducted experiments of 3D object displays inside the cylinder and simple physical simulations.



4.37 その他の研究成果
Other Research Topics

高速3次元センシングによる適応的撮像を行う高精細書籍電子化システム, 書籍電子化のための単画像からの高精細化手法, 可展面モデルを用いた非剛体変形の推定, 書籍のデジタルアーカイブに向けためくり動作中の高速反射特性計測, ブックフリッピングスキャニングのプロトタイプ, 画像モーメントセンサ, ダイナミック回路を用いた320×240画素試作チップ, 128×128画素試作チップとセンサボード, 高速モバイルセンシングを用いた実空間を仮想入力環境とするインタフェース, 投げ上げカメラを用いた広範囲画像センシング, 携帯機器向け空中タイピングインターフェース, 変形するディスプレイ (Deformable Workspace) : 3次元の仮想物体を扱うための新しい枠組み, 異なる人物間における3次元姿勢の類似性を用いたリアルタイム動作同期, 高速動画像を用いた日本語子音の機械読唇, 複数の距離画像を用いた曲面/運動同時推定による高解像度形状復元, Analysis-by-Synthesis法を用いた三次元物体姿勢推定, VCS-IV: ビジョンチップを用いた実時間視覚処理システム, 64×64画素を搭載したプログラマブルなビジョンチップ, RISC統合型ビジョンチップコントローラ, ビジョンチップ用超並列コンパイラ vcc, 高速対象追跡ビジョンチップ, CPV: 列並列ビジョンシステム, VCS-III: ビジョンチップを用いた実時間視覚処理システム, ビジョンチップ用プログラミング言語 SPE-C, ビジョンチップコントローラの設計, S3PE アーキテクチャに基づくフルカスタム試作チップ, 1msビジュアルフィードバックシステム, SPE-4kシステム, ピクセル参照のインターリーブ, 高速画像認識のためのメモリ共有型マルチSIMDアーキテクチャ , 多数粒子情報の並列抽出アーキテクチャ , 動的再構成可能なSIMD型超並列処理アーキテクチャ , ディジタルビジョンチップのためのグレイコードを用いたビットシリアルAD変換, S3PE: 超並列ビジョンチップアーキテクチャ , 事前知識を用いたステレオビジョンの高性能化, 高速ビジョンシステムを用いた回転体の表面展開図作成, 高フレームレートカメラを用いた動被写体の高画質撮影, 運動物体の三次元計測における高解像度形状の復元, ズーミングタッチパネル, 高フレームレートカメラを用いたビデオモザイキング, 顔追跡による遠隔カメラのPTZ制御, 運動物体の高解像度三次元形状の復元, 特徴点追跡による三次元形状復元, 運動物

体形状の高解像度化のためのマルチフレーム同時位置合わせ, モーメントを用いた三次元物体のトラッキング, 空中タイピング動作の認識, リアルタイム視覚計測: 対象計数／回転計測, 2分探索ラベリング／マルチターゲットトラッキングアルゴリズム, ビジョンチップを用いたウェアラブルマンマシンインターフェース, ビジョンチップのための複雑背景下での二値画像トラッキングアルゴリズム, ビジョンチップ用コンパイラのためのビットレベル最適化, ソフトウェア A-D 変換を用いたセンサ特性制御, Self Windowingを用いた高速対象追跡, ビジョンチップのためのマッチングアルゴリズム, 超並列コプロセッサ搭載型高速ビジョンシステム, 多点瞬時解析プロセッサ, シンクロナイズドビデオ：身体動作と調和するビデオ操作, ウェアラブルカメラを用いた人間の歩行状態推定, 運動／変形物体の高速リアルタイム3次元センシング, 高速リアルタイム粒子計測／流体計測, 3次元ジェスチャ入力に向けた魚眼ステレオの視点統合に基づく手指検出手法, 小型機器操作に向けた多指位置姿勢の高速推定, ブックフリッピングスキャニング, 空中を自由運動するカメラシステム, 動的撮像制御を行うスタンドアロン高速ビジョン, ウェアラブル高速ビジョンを用いた実物体接触型アーカイブ, Anywhere Surface Touch: 実環境のあらゆる面を入力面とするインタフェース, 高速モバイルセンシングを用いた実空間を仮想入力環境とするインタフェース, 複数枚の距離画像からの適応的階層化に基づく高解像度形状復元, BFS-Solo: 単眼動画像を用いた高速書籍電子化システム, 単眼動画像からの可展面形状とその展開テクスチャの復元, 高速動画像を用いた時系列伝搬による運動物体の逐次的形状復元, 曲率フローに基づく閉曲線ブレンディング, BFS-Auto：高速・高精細書籍電子化システム, リアルタイムページ 3 次元トラッキングとその状態評価, 高速書籍電子化のための高速書籍自動めくり機, 高速 3 次元センシングによる適応, 的撮像を行う高精細書籍電子化システム, 複数視点画像を用いる統合型書籍画像生成とその高品質化, 複数視点による高速撮像を行う書籍電子化システム, 複雑変形紙面の高精度展開補正手法, 3次元形状の事前知識を用いた書籍画像展開補正等の研究を行っている.

High-speed and High-definition Document Digitalization System based on Adaptive Scanning using Real-time 3D Sensing, Estimation of Non-rigid Surface Deformation using Developable Surface Model, Proof-of-concept prototype for Book Flipping Scanning, Image-moment Sensor, 320x240 Pixel Chip using Dynamic Logic Circuits, 128x128 Pixel Chip and Small Sensor Board, Wide Range Image Sensing Using a Thrown-up Camera, In-air Typing Interface for Mobile Devices, The Deformable Workspace: a Membrane between Real and Virtual Space, Real-time Motion Synchronization between Different Persons using Similarities of 3D Poses, Viseme Classi cation Using High-Frame-Rate Vision, High-resolution Shape Reconstruction from Multiple Range Images, 3D Object Pose Estimation using an Analysis-by-Synthesis Method, Multi-frame Simultaneous Alignment for Reconstruction of a High-resolution 3D Shape, VCS-IV: Real-time Visual Processing System using a Vision Chip, A Programmable Vision Chip with 64x64 pixels, Vision Chip Controller Integrated with RISC Microprocessor, A Bit-level Compiler for Massively Parallel Vision Chips, High Speed Target Tracking Vision Chip, CPV: Column Parallel Vision System, Image-moment Sensor, 320x240 Pixel Chip using Dynamic Logic Circuits, 128x128 Pixel Chip and Small Sensor Board, Interleaved Pixel Lookup, Shared-Memory Multi-SIMD Architecture, Parallel Extraction Architecture for Numerous Particles, Dynamically Reconfigurable SIMD Architecture, Massively Parallel Vision Chip Architecture, 3D Object Pose Estimation using an Analysis-by-Synthesis Method, Multi-frame Simultaneous Alignment for Reconstruction of a High-resolution 3D Shape, Surface Image Synthesis of Spinning Cans, Stereo Vision using Prior Knowledge for Artificial Objects, High-S/N Imaging of a Moving Object using a High-frame-rate Camera, Zooming Touch Panel, Video Mosaicing using a High-frame-rate Camera, PTZ Control of a Remote Camera with Head Tracking, Fast Finger Tracking System for In-air Typing Interface, Real-time Visual Measurement: Target Counting / Rotation Measurement, Multi-Target Tracking Algorithm, A Software-Controlled Pixel-Level A-D Conversion Method, High Speed Target Tracking using Self Windowing, High-speed Vision with Massively Parallel Coprocessors, Processor for High-speed Moment-based Analysis of Numerous Objects, Synchronized Video: An Interface for Harmonizing Video with Body Movements, Human Gait Estimation Using a Wearable Camera, Real-time Shape Measurement of a Moving/Deforming Object, Real-time Particle Measurement/Fluid Measurement, Finger Detection based on Data Fusion of Fish-eye Stereo Camera for 3D-Gesture Input Interface, High-Speed Estimation of Multi-finger Position and Pose for Input Interface of the Mobile Devices and Book Flipping Scanning, VolVision: High-speed Capture in Unconstrained Camera Motion, Stand Alone High-speed Vision System with Dynamic Capture Control, Fast Archiving System with Touch Interaction using Wearable High-speed Vision, Anywhere Surface Touch: utilizing any surface as an input area with a wearable device, Utilizing Real Space as Virtual Input Environment with High-Speed Sensing for Mobile Interface, High-Resolution Surface Reconstruction based on Multi-level Implicit Surface from Multiple Range Images, BFS-Solo: High Speed Book Digitization using Monocular Video, Reconstruction of 3D Surface and Restoration of Flat document Image from Monocular Image Sequence, Sequential 3D reconstruction for a moving object based on time-series propagation using high-speed cameras, Rapid blending of closed curves based on curvature flow, BFS-Auto: High Speed & High Definition Book Scanner, Real-time 3D Page Tracking and Book Status Recognition, Automatic page turner machine for Book Flipping Scanning, High-speed and High-definition Document Digitalization System based on Adaptive Scanning using Real-time 3D Sensing, Document Digitization and its Quality Improvement using a Multi-camera Array, Digitization of Deformed Documents using a High-speed Multi-camera Array, High-accuracy rectification technique of deformed document image, using Tiled Rectangle Fragments (TRFs), Document Image Rectification using Advance Knowledge of 3D Deformation are going on.

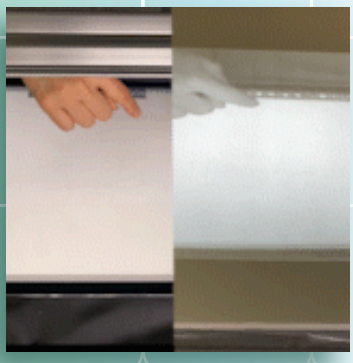
5. アクティブパーセプション
Active Perception

人間の知覚は，本質的に限界がある．人間の能力を超えた知覚を適切な形で人間に与えることは，人間の認識行動能力の向上に寄与するとともに，新たなマンマシンインターフェイスの開発につながる．このためには，人間の認識行動様式を把握し，能動的なインタラクションを誘発し得る適切なインターフェイスを設計する必要がある．機械の知覚も同様であり「はかる」技術から「わかる」技術への変革が求められており，高度な知能システムには，自己の認識や感情の認識などの新たな知覚が求められている．その際，認識と行動は一体のものとして設計される必要があり，これにより両者の能動性を新たに利用することが可能である．

アクティブ パーセプションは，これらの技術の総称であり，本研究室では，センサや知能システムの技術ばかりではなく，ヒューマンコンピュータインタラクション，メディアアート，神経生理学，倫理学，土木工学などの分野からのアプローチにより，ユーザや機械が扱えないとされてきた情報を取得・操作することと共に，新たな学際分野の確立を目指している．

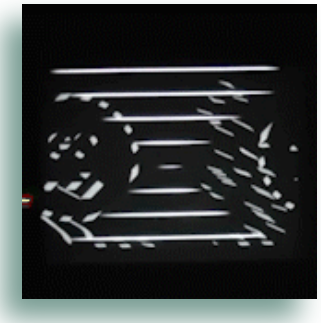
Human sensorial modalities are inherently limited, as is our cognitive capacity to process information gathered by the senses. Technologically mediated sensory manipulation, if properly implemented, can alter perception or even generate completely new forms of perception. At a practical level, it can improve the efficiency of (low or high level) recognition tasks such as behaviour recognition, as well as improve human-to-human interaction. Such enhancements of perception and increased behavior recognition also allow for the design of novel interfaces to incude active interactions. The problems of human perception and machine perception are reciprocally related; machine perception has its own limitations but can be trained to recognize self-perception, social perceptions, and emotional expressions.

Active Perception is an umbrella term for the theory and research practice concerned with the capture and manipulation of information that is normally inaccessible to humans and machines. In doing so, we hope to create new ways of perceiving the world and interacting with technology, and activeness of both humans and machines will be enable to be available. Our group is not only concerned with intelligent sensors and systems technology, but also augmented reality, human-computer interaction, media art, neurophysiology, perspectives, civil engineering from fields such as ethics and computer-supported cooperative-work. Combining techniques we aim to integrate human and machine perception and as a consequence create a new interdisciplinary research area.









5.1 移動速度に応じたモーションブラー補償を用いた路面投影手法
A Road Surface Projection Method Using Motion-Blur Compensation Based on Traveling Speed

本研究では，小型高速プロジェクタを搭載した移動体が走行しながら路面に情報を投影する際，走行速度に起因するモーションブラーをリアルタイムに補償する手法を提案する．車両や移動ロボットが路面に図形・文字・矢印などのシンボルを投影することで，歩行者や周囲の人員に直感的に意図を伝達する技術が注目されているが，移動中は投影パターンにブラーが生じ，視認性が著しく低下するという問題があった．

提案手法では，小型自動搬送車（AGV）に搭載した小型高速プロジェクタの投影光路中にガルバノミラーを配置し，フォトリフレクタで取得した走行速度情報をもとにミラー角度をリアルタイムに制御することで，移動に伴う投影像のブラーを補償する．

室内実験において，走行速度 1 m/s の条件下で補償の有無を比較した結果，投影像の鮮明さが向上することが確認された．本手法は，工場・倉庫内の移動ロボットによる安全表示や，車両周辺への注意喚起・進路提示表示など，幅広い応用が期待される．

This study proposes a method to compensate in real time for motion blur caused by traveling speed when a mobile platform equipped with a compact high-speed projector projects information onto road surfaces while in motion. Projecting symbols such as shapes, text, and arrows onto road surfaces to intuitively convey intention to pedestrians and surrounding personnel has attracted considerable attention, but motion blur degrades the visibility of projected patterns during movement.

In the proposed method, a galvanometer mirror is placed in the projection optical path of a compact high-speed projector mounted on an Automated Guided Vehicle (AGV). The mirror angle is controlled in real time based on traveling speed measured by a photo reflector, thereby compensating for motion blur in the projected image.

Indoor experiments comparing projection results with and without the proposed compensation at a traveling speed of 1 m/s confirmed a clear improvement in the sharpness of the projected image. This method is expected to find broad application in safety signage by mobile robots in factories and warehouses, as well as in hazard warnings and route guidance projected around vehicles.

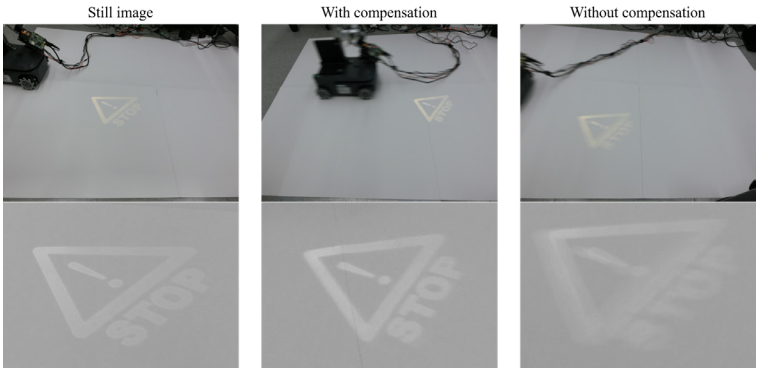
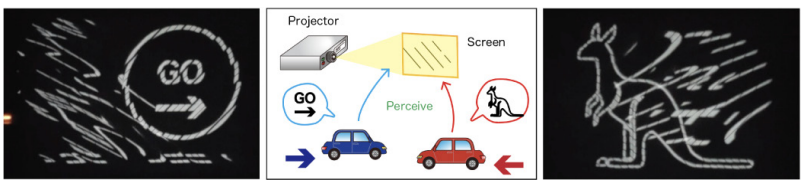


図 1　提案システムの構成と実験結果
Fig. 1 System configuration and experimental results

5.2 観測者の速度に依存したユーザー指向性多義ディスプレイ
Bilateral Motion Display: Multiple Visual Perception Depending on Motions

観測するユーザの身体や視線の動きの速度・方向に応じて，それぞれに異なる映像を知覚させる指向性多義ディスプレイを実現した．高速に投影された画像の一部成分が，残像として重なり合う効果を利用している．複数の画像を埋め込んだ際にも，不必要な画像は認識されず，特定の速度を持つ観測者に対して選択的に目的の画像のみを知覚させることを可能にした．すなわち静止した状態では認識されない映像が，視線の動きを伴うことで鮮明に現れる．画像提示デバイスを活用した表現の可能性を拡大するだけでなく，例えば道路標識として，特定の速度で走るドライバーに対して必要な注意喚起を行うことや，セキュリティ対策が必要な場面で，特定のユーザに対してのみ情報を伝達する等の実応用が考えられる．

We proposed a novel projection method that provides completely different visual perception to multiple observers simultaneously using afterimage effects for specific motion. Initially, the projected patterns do not reveal any information; however, when seen by a user moving his or her gaze in a certain direction and speed, they are spatially integrated and appear as 2D afterimages. Our system only requires a high-speed projector to produce user-oriented perception, which expands the range of display expression, and has various applications such as in road signs.



5.3 錯視的に生じる主観色の無彩色化システム
Achromatic System for Subjective Colors in Benham's Top

明暗の繰り返し刺激によって錯視的に主観色が知覚され、その代表的な例としてベンハムのコマ(図1)が存在する。ベンハムのコマのように白黒の回転するアーチに他の色が見えるといった，主観色が知覚される錯視を無彩色化するシステムを提案した．明暗の繰り返し刺激によって主観色が知覚されるアーチ状の部分に誘導色の補色を提示することによって彩度を減少させる．各アーチにより誘導色が異なるため，誘導色の定量的な測定を行った後に補償を行うことで，知覚の個人差を考慮した誘導色の無彩色化システムが実現した．人間の色覚に関する特性を明らかにするとともに，人間と機械の知覚のギャップを埋めることで，人間の知覚拡張やHuman Computer Interaction(HCI)におけるカラー映像提示のための基盤的研究になると期待される．システムはディスプレイのみによって実現され，画面に表示するベンハムのコマのアーチの色を制御することによって，錯覚を制御することが可能である．

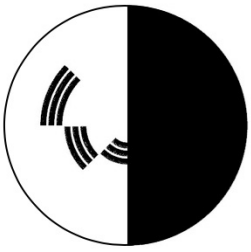


図1　ベンハムのコマの画像例
Fig.1 Benham’ s Top

Subjective color is perceived illusively by repeated light and dark stimuli, and Benham’ s Top (Fig. 1) is a typical example. The principle of this perception involves color constancy and the temporal response of photoreceptors on the retina, with particular dependence on the speed of image rotation. This study proposed a system to make such subjective colors achromatic by presenting a complementary color of a induced color. Because the induced color depends on each person, compensation is performed based on the quantitative measurement of the color, which realized an achromatization system that considers individual differences. This system is expected to be a fundamental research for elucidating the characteristics of human color perception in the cognitive science and for human perception augmentation and human computer interaction (HCI) by closing the gap between human and machine perception.

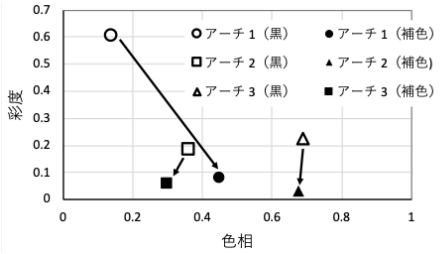


図2　誘導色の色相・彩度の変化
Fig.2 Changes in hue and saturation of induced colors

5.4 眼球運動に同期した錯視画像の補償提示システム
Compensatory Presentation of Moving Illusion Snchronized with Eye Movement

人間の眼球運動と視線位置に基づき，映像に生じる錯視をリアルタイムに補償するシステムおよびアルゴリズムを提案した．静止画が動いているように見える錯視は，周辺視領域に知覚されやすく，眼球の大きな運動が発生した際に錯視が大きくなるという特性を持つ．本研究では，これら提示画像の特性と人間の視線位置・眼球運動の両者に基づく映像の動的な補償を実現した．アイトラッカーで眼球運動を検出し，サッカード（視線が高速で移動する眼球運動）が周辺視領域に発生した際に，錯視画像が補償される．本システムはアイトラッカー (90Hz)，ディスプレイ (30Hz)，ラップトップパソコンで構成される．アイトラッカーおよびディスプレイから 50cm の距離があれば良いので，小型であり持ち運びが容易な構成である．錯視によって視覚情報が不正確な認知を補償することができる．

本システムは，認知科学分野の研究において、人間の知覚特性に応じて映像を動的に補償しながら提示し評価する、心理物理実験を可能にするとともに，視覚情報を動的に補償することで，映像のチラつきの低減や新たな現実感をもたらす映像提示などに適用されることが期待される．

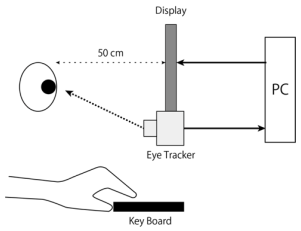


図1　システムの概要（イメージ図）
Fig.1 The Concept of Our System

Our system enables control of imagery rotation synchronized with eye movement. Conventional methods have considerable limitations to apply Augmented Reality (AR) or image projection because experiments about moving optical illusions have been conducted in the constraints like fixation of guidance of eyes. However, with our method, the appropriate performance of compensation with this system can significantly decrease the intensity of Rotating Snakes illusion even without eye fixation or guidance. The system has the potential to apply AR display which has a dynamic image compensation system synchronized with eye movements in order to correct perceptual “distortion”.

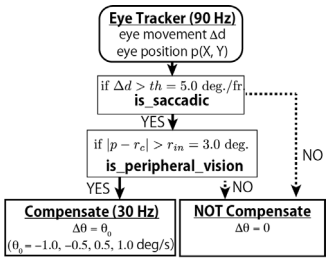


図2　システムの構成を示すフローチャート
Fig.2 The Algorithm Flow

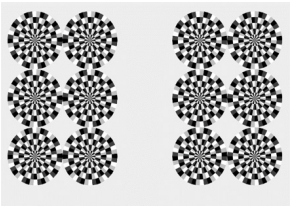


図3　蛇の回転錯視
Fig.3 Rotating Snakes Illusion

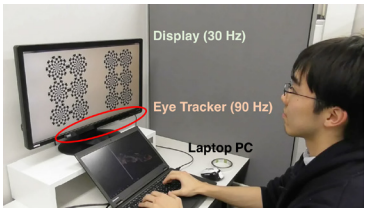


図4　システムの全体像
Fig.4 The Whole System

5.5 身体感覚と視覚情報にずれが生じる没入環境における低遅延な映像のユーザーへの影響に関する研究

Effects of Low Video Latency between Visual Information and Physical Sensation in Immersive Environments

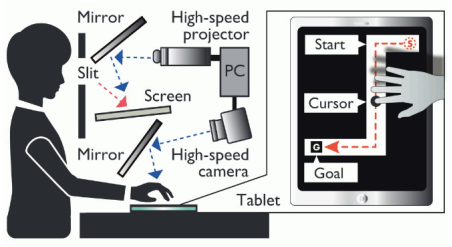
近年，ユーザーの身体運動をバーチャルリアリティ空間に投影し，直感的なインタラクションを可能にする没入型デバイスが数多く登場している．しかし，それらのデバイスには入力と出力の間に内在的な遅延が存在し，ユーザーの視覚情報と身体感覚に時間的不整合を生じさせる．既存研究において，自己が投射された，没入感の高い没入環境における遅延の影響は十分に調査されておらず，具体的な指標も存在しない．

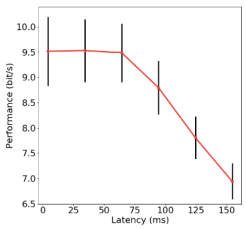
そこで本研究では，高速カメラ及び高速プロジェクターを用いて，撮像から投影までの遅延時間が最小で 4.3ms であり，1ms の分解能で遅延時間を制御可能なシステムを開発し，鏡を用いることで身体感覚と視覚情報に遅延が生じる没入環境を構築し，心理物理学実験を行った．その結果，本システムによって，既存では未調査の 100ms 以下の遅延の影響の探索を可能とした．提案システムを用いて，フィッツの法則に基づくポインティングタスクを行い，ユーザーのパフォーマンスに与える遅延の影響を調査した．実験結果より，遅延時間が 24ms を超えるとパフォーマンスが下がり始めることが明らかになった．また，トンネル状のパスに沿って指を動かすステアリングタスクを行う場合には，遅延時間が 64ms を超えるとパフォーマンスが下がる結果であった．このように，提示する映像の遅延における許容限界値を計測することを可能にした本システムは，今後のインタラクティブな没入型デバイスにおける設計や，バーチャルリアリティを対象とした研究開発における指標として適用可能である．

Recently many VR devices using body movement as input have been developed and enable us to intuitively interact with VR space. However, their intrinsic latency before the resulting images are displayed creates a discrepancy between the user's visual information and the physical sensation. In previous study, there are few study about low latency effects in self-projected immersive environment.

Based on a high-speed projector and high-speed camera, we developed a video latency control system to film the user's hand movements and control the latency by 1ms when displaying the video with the minimum system latency 4.3ms. Using this system and mirrors, the immersive environment with latency from user's physical input to the visual feedback was established and enables us to investigate the latency effects in unknown low range (less than 100ms).

We conducted an experiment wherein the subjects performed a pointing task based on Fitts' law to measure the user performance. The experimental results showed that the performance begins to decrease when the latency is over 24ms. Also, in another experiment using a path-steering task, it was revealed that the latency of visual feedback beyond 64.3 ms was associated with reductions in user performance. These results will be applied to determine a standard limit for video latency in self-projected VR devices.



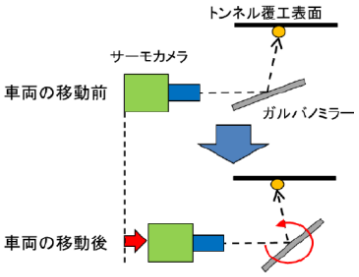


5.6 サーモカメラを用いた温度画像のモーションブラー補償イメージング
Capturing thermography image using motion blur compensation to detect peeling and floating

当研究室で開発している「画素毎動き補償イメージング」のシステムを使用，赤外線サーモグラフィ法（赤外線法）による浮き・剥離検出手法は，非接触で点検可能なことから安全面やコスト面で期待され，実用化が進んでいる．

サーモカメラを用いた走行型のインフラ点検システム．走行時のサーモカメラによるモーションブラーの補償に成功し，コンクリートの剥離を確認することができた．温度分解能が高いサーモカメラを使用する．実験では時速 40km 走行時に，サーモカメラから 5m 離れたコンクリートサンプルのひび割れ・剥離を撮像できた．

本研究では，ガルバノミラーを用いて移動を補償する回転動作を光軸上に設けることで，静止時と遜色ない画質で撮像が可能となる．本システムでは交通インフラを規制することなく，点検の効率を上げるため高速に移動しながら高精度な点検を行うことが可能となる．



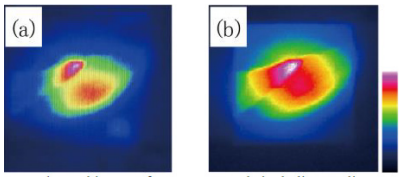
Concept of motion blur compensation

As an application example of "Pixel-wise Deblurring Imaging" which we are developing in this laboratory, we propose alternative method of advanced inspection in maintenance and management of infrastructure.

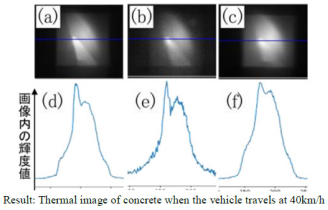
In order to observe the internal state of the tunnel surface on the expressway, a floating / peeling detection method using infrared thermography is used. Unlike the existing sound inspection method, which is an internal state observation method, it can be inspected in a non-contact manner, so it is expected in terms of safety and cost, and its practical use is progressing. On the other hand, in the inspection in the stationary state, it is necessary to regulate the traffic infrastructure, which may cause a secondary disaster. It is conceivable to perform inspections while moving at high speed in order to increase the efficiency of inspections. However, when imaging an object using a normal visible light camera, if the moving object or the infrastructure itself is equipped with strong lighting, By shortening the time, it is possible to capture images that are less affected by motion blur. On the other hand, in the infrared method, it is difficult to make the exposure time variable because the data obtained by performing calibration in advance and the temperature value are associated. For this reason, motion blur occurs when shooting while moving at high speed, and there is a problem that the deformation cannot be measured accurately due to the reduced spatial resolution. In this study, we verified the system by shooting with a thermo camera and running experiments with image quality comparable to that at rest by providing a rotation operation on the optical axis that compensates for movement using a galvanometer mirror. Was successfully compensated, and delamination was confirmed.



(a)Capturing system in the tunnel and
(b) pasted concrete sample including peelings



Thermal image of concrete sample including peeling
(a)spot size of laser heater is narrow, (b)spot size is broad

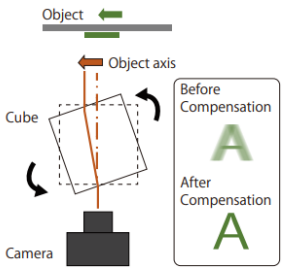


Result: Thermal image of concrete when the vehicle travels at 40km/h

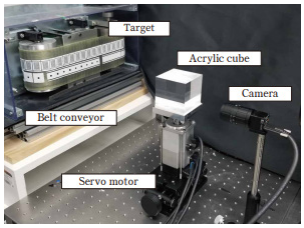
5.7 回転アクリルキューブによる光軸制御を用いたモーションブラー補償システム
Motion-blur-compensated imaging system using a rotating acrylic cube

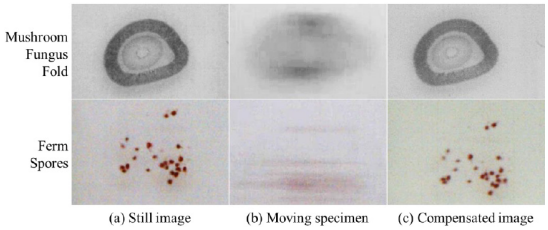
本研究では，高いサンプリングレートで撮影が可能である，スネルの法則を利用した透明回転キューブを用いるモーションブラー補償手法を提案する．回転速度と対象の移動速度が同期することで，モーションブラーを生じさせずに撮像することができるだけでなく，キューブの特性を生かして 90° 回転する毎に撮像画角がリセットされ，従来研究で見られるミラーの往復動作による時間的なロスを生じさせてないことを特徴とする．

従来のガルバノミラーを利用した光軸制御手法より照明装置が小さくて済む点，サンプリングレートを高く撮影できる点等が特徴である．また，インフラの構造物点検や基板の初期不良点検だけでなく，顕微鏡下の対象が移動している状況での撮像画質向上にも寄与しうる．本手法を高速に回転するベルトコンベアに対して適用したところ，時速 12km 相当でも静止時と遜色ない画像を取得できた．



Many methods have been proposed to compensate motion blur. As one of them, this study proposes a compensation method using a transparent rotating cube using Snell's law, which can be used even in a scene with large motion blur and can shoot at a high sampling rate. By synchronizing the rotation speed and the moving speed of the object, it is possible not only to capture images without causing motion blur, but also to reset the imaging angle of view every 90 ° rotation by taking advantage of the characteristics of the cube. The feature is that no time loss is caused by the reciprocating movement of the mirror that can be seen. When this method was applied to a belt conveyor rotating at high speed, it was confirmed that images equivalent to those at rest could be acquired even at a speed of 12 km / h.





5.8 白線認識による画角補償機能を利用した時速 100km 対応トンネル覆工表面画像検査システム

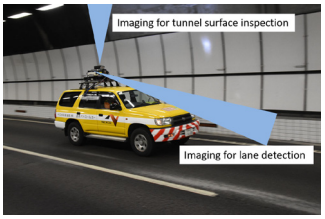
Real-time Robust Lane Detection Method at a Speed of 100 km/h for a Vehicle-mounted Tunnel Surface Inspection System

日常的なトンネル表面点検の必要性により，車載型トンネル検査システムを開発した．本研究では，リアルタイムで装置の角度を制御して撮影するために，キャリブレーションなしで自己位置推定を行う手法を提案している．前方に向けた別のカメラを使って白線認識を行い，照明条件の変化や破線状の白線に対応させた．提案手法はトンネル出入り口での照明条件の変化や通常の白線に追加される破線状の白線，タイヤによる白線の汚れに対応しており，従来手法よりも高精度である．

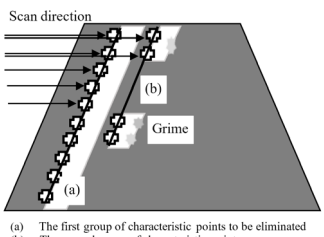
検査車両は車線内で左右に動きながら走行するが，本システムにより常に狙った範囲を撮影することが可能となった．高分解能画像を取得する場合，カメラ台数が少ないと画角が限られてしまうが，この手法を用いて往復走行することで撮像対象の全面が撮像可能となる．提案手法の処理時間は 1 フレーム毎 27.3 ミリ秒，白線検出の精度は 97.4% であり，リアルタイムでアクチュエータの補償を行うのに十分な性能を達成した．実際に高速道路のトンネルで実証実験を行い，白線認識の精度改善と安定取得によって時速 100km で走行する通常の車両からトンネル全周画像を取得出来ることを示した．

Owing to the need for daily tunnel surface inspections, vehicle-mounted tunnel surface inspection systems have been developed. Vehicles do not travel in the same position at all times; hence, the angle of the captured images varies. We herein propose a calibration-free self-localization method for tunnel surface imaging with a stabilized image angle.

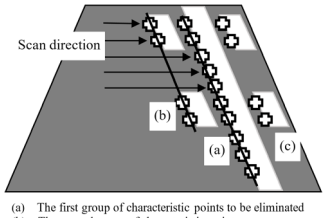
The method is more accurate than the conventional method for challenging environments such as a tunnel with light changes at the exit, additional dotted lines, and tire marks on white lines. Thereby it detects lanes at 97.4 % in 27.3 ms. Those accuracy and speed is enough for real-time compensation. In addition, we performed an actual tunnel inspection experiment in the Kuragaike tunnel and demonstrated that improvements in white-line recognition for the tunnel features to be inspected yielded stable lane detection and whole tunnel surface imaging by a normal vehicle at 100 km/h.



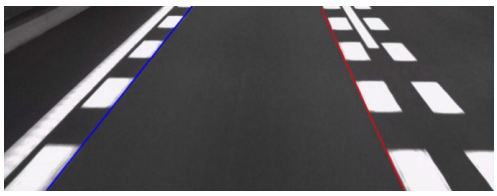


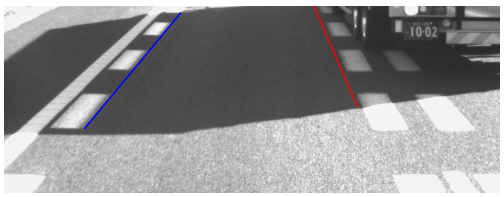


(a) The first group of characteristic points to be eliminated
(b) The second group of characteristic points



(a) The first group of characteristic points to be eliminated
(b) The second group of characteristic points
(c) The third group of characteristic points not to be detected





5.9 AIRR Tablet: 空中映像を手で操作できるシステム ～ 自由空間をインタラクティブなディスプレイに ～

AIRR Tablet: Floating Display with High-Speed Gesture UI - Interactive Display in 3D Free Space -

このシステムは、高速高輝度空中ディスプレイと高速3Dジェスチャー認識とで構成されている. 宇都宮大学山本准教授(平成26年4月1日に徳島大学から異動)らが開発したAIRRと呼ばれる表示技術を用いた空中映像に対して、本研究室で開発した３次元空間内の対象を瞬時かつ低遅延で検出する高速ジェスチャー認識技術を用いて、空中映像を高速に操作することを可能にしている. AIRR技術(注１)は、光を入射方向に反射させる光学素子である、再帰反射シートを用いて空中映像を形成する技術であり、ここで作られる空中映像は、３次元空間内に実際の像となることから、運動視差や眼の焦点調節も可能になり、人に優しい次世代の3Dディスプレイとなるものと考えている. 従来は、レンズやミラーアレイを用いる方法が提案されていたが、AIRR技術を用いることで、広い範囲から観察できる空中映像を実現でき、加えて、光源には新たに開発した高速LEDディスプレイを用いることで、照明のある室内でも明るく見やすい空中映像を表示することが可能となった. また、この空中映像は複数人で見ることができる.

高速３Dジェスチャー認識技術は、超高速のステレオカメラで構成され、ユーザーの手の3次元位置とジェスチャーを高速(500fps)で認識し、遅れのないジェスチャー操作が可能となる. たとえば、両手で空中スクリーンの拡大と回転が行えるだけでなく、空中映像に対してパンチを繰り出すような速い動きにおいても検出・操作が可能となり、空中映像をジェスチャーで高速に操作できる未来型情報環境といえる.

これらを統合したシステムを AIRR Tablet と呼び、人間の認識能力をはるかに超えるスピードで環境に存在する手や対象物を認識し、遅延等の違和感のない情報の表示と入力を実現しているもので、何もない空間を大画面タブレットに変えることができることを示したものである. 従来のコンピュータやスマートホンとは違い、情報表示として、空間そのものを、視覚的に実感可能なタッチスクリーンにするものであり、物理的衝突による制約を受けること無く、自由で高速な3次元入出力が可能になる.

注１：AIRR表示技術
（Aerial Imaging by Retro-Reflection）

再帰反射を用いた空中映像の形成技術です. 入射した方向に光を反射する性質をもつ再帰反射シートを用いて、レンズが像を結ぶような機能を実現しています. AIRRは、再帰反射シート、半透過鏡、光源の3要素によるシンプルな構成で、光学素子の精密な位置合わせを必要とすること無く、大画面の空中映像を広い視野に対して呈示します. このデモシステムでは、超小型のビーズを用いた再帰反射シートにより、左右90度以上の広い範囲から見える空中映像を形成します.

This system integrates high speed high brightness floating display and high-speed 3D gesture recognition. For the aerial image, we use a display technology called AIRR developed by Prof. Yamamoto from Utsunomiya University (moved from Tokushima University) and the 3D High Speed Hand Tracking and Gesture Recognition made it possible to manipulate the aerial image in high speed. The AIRR technology (*Note 1) is an aerial technique which uses retro-reflections sheet which reflects light ray reversely towards the incident direction. Since the image formed by AIRR is a real image in 3D space, it is easier to focus our eyes on the image and motion parallax can also be perceived.

We believe that this will be the next generation of user-friendly 3D display technology. Previous methods to generate aerial image are based on lenses and mirror arrays. By using AIRR, much wider viewing angle is achieved. Furthermore, by using our newly developed high speed LED display, bright image can be formed even under strong room lighting. In addition, the image can be viewed by multiple persons simultaneously.

The high-speed 3D gesture recognition utilize super high-speed stereo cameras, which makes it possible to recognize gesture and track 3D position (500 fps) with extremely small latency. Not only the user can expand and rotate the floating screen, even if we perform extremely fast action such as punching it can still be detected. It can be said that high speed operation on floating image will become the next generation of information environment.

The system we integrated is called "AIRR Tablet" which recognizes hands or any other objects in high-speed beyond human perception. We achieve input and output without any delay, and we show that we can turn the empty space into a large tablet. Unlike conventional computers and smartphones, we can perform operations without any physical collision. It enables high-speed 3D input and output.

* Note 1: AIRR (Aerial Imaging by Retro-Reflection)

It is technology to form a floating image using retro-reflection. Light is reflected reversely towards the incident direction by the retro-reflective sheet. By using retro-reflection sheet, the image formed is similar to that generated by lenses. The system consists of retro-reflection.sheet and half-mirror. No sophisticated calibration of the optical devices is required. It provides large aerial image with wide range of viewpoints. In this demo system, retro-reflective sheet with extremely small beads, allows the generation of floating image which can be seen from a range of 90 degrees.

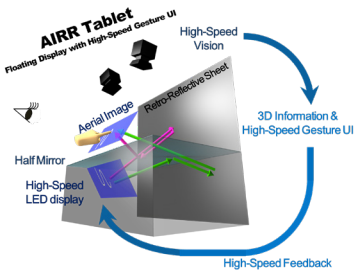


図１　AIRR Tablet の構造
Fig.1 Structure of AIRR Tablet



図２　システムの全体像
Fig.2 The whole system

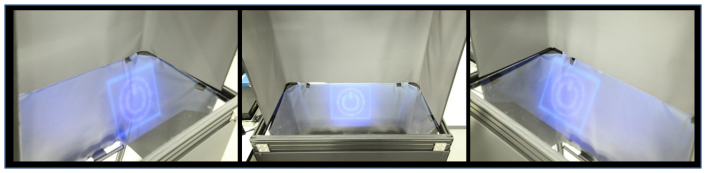


図３　三方向から見た空中映像
Fig.3 Floating images from different viewing angles



図４　空中映像に対して、
線画の入力を行っているところ
Fig.4 Drawing application

5.10 鮮明な３次元立体映像を素手で高速に操作できるシステム
High Speed Gesture UI for Three Dimensional Display zSpace

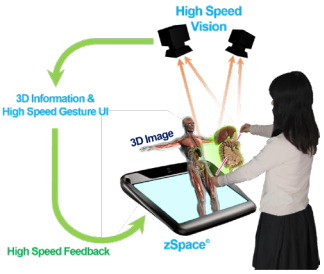


図１　システムの概要（イメージ図）
Fig.1 System

本システムは、当研究室で開発された高速３次元ジェスチャー認識技術によって、ユーザーの手の形と3次元位置を高速で認識し、その情報をzSpace社(注1)によって開発された立体映像ディスプレイ「zSpaceⓇ」(注2)に反映させることで、専用のスタイラスなどを使用することなく、素手で空中立体映像を遅延なく操作することを実現した、未来型情報環境といえるものである。ここで用いられている高速３次元ジェスチャー認識技術は、2台の高速カメラの情報から、ユーザーの手の形と3次元位置を高速(500fps)で認識し、遅れのないジェスチャー操作を可能とするものである。たとえば、両手で立体映像に対して並進と回転が行えるだけでなく、立体映像を小刻みに振るような速い動きにおいても検出・操作が可能となっている。

スマートフォン、タブレット端末、コンピュータなどのユーザーインターフェース(UI)において、その応答性能は機器の操作性に大きく影響する。遅れの無い操作応答は、ユーザーに違和感を与えないばかりか、表現されたデバイス上の操作と自らのジェスチャーとが一体のものであるように感じられ、機器の作り出す空間の中にユーザー自らが没入する感覚をもたらす。

素手でも操作可能である低拘束性と低遅延での高速応答性によって、様々な応用展開が考えられる。3次元情報の操作性の向上という点では、多くの3次元データに対して直感的な操作が可能となり、快適性や作業効率の向上が期待できる。加えて、スタイラスなどの専用機器を使わず、何も持たずに操作可能であるという点では、手が汚れている、あるいは手を清潔に保つため機器に直接触れて操作することができなかった現場、例えば手術室で外科医が患者の3次元的な臓器データを確認するシーンなどでの応用が期待できる。さらには、操作が容易であるという点では、装置が操作者の創造性を妨げることなく最大限引き出すことが期待できる。

注１：zSpace社

米国カリフォルニア州サニーベールに本社を置くzSpace社(http://zspace.com/)は、最先端技術を用いて開発したフラッグシップ製品zSpaceⓇによって、医療と教育の現場における全く新しい学習体験方法を提供しています。

注２：zSpaceⓇ

zSpace社によって開発された立体映像ディスプレイ。(http://zspace.com/the-zspace-system/) 専用のメガネを装着した操作者に対して、メガネ位置のトラッキングによって得られた視線位置情報から左右の目に異なった映像を呈示し、立体映像をもたらします。

This system integrates high speed 3D hand gesture interface and 3D virtual holographic display system. Ishikawa-Watanabe Laboratory developed the high speed 3D hand gesture interface which detects the 3d position of user's hand and recognizes gestures. zSpace®(*Note2) developed the zSpace(*Note1) 3D display system. Integrating the two systems, an immersive virtual environment can be realized. The high speed 3D hand gesture interface utilizes super high speed stereo cameras, which makes it possible to recognize gesture and track 3D position (500 fps) with extremely small latency. With such small latency, very fast and tiny movements, such as shaking, can be detected easily. Not only fast, the system is also correctly aligned with the real world, making the interaction very intuitive.

In other systems, such as smart phones, tablets, computers, etc., the response time have significant influence on user satisfaction. Devices with high latency create some sense of incongruity, which makes the experience unenjoyable. Low latency response not only removes that sense of incongruity, but also gives a feeling of being immersed in the virtual environment.

Low restriction and low latency brings various application. Progress in 3D image operativity brings intuitive interaction and high efficiency. This system is expected to be applied in situations like surgical operation, because user can operate 3D image without touching anything. Creativity is pulled out to the utmost, because any devices don't interfere operator's creativity.

* Note 1: zSpace

zSpace is a leading-edge technology provider that delivers a new way of learning with its flagship product, zSpace. Focused on the learning market, specifically science, technology, engineering and math (STEM) education, medical instruction, corporate training and research, zSpace inspires and accelerates understanding through immersive exploration. zSpace is a privately held, venture backed company located in Sunnyvale, CA, and has filed more than 30 patents for its innovative technologies. (http://zspace.com/)

* Note 2: zSpace®

zSpace® provide 3D image to a operator wearing trackable glasses showing deferent images to both eyes. A virtual reality environment for immersive exploration, visualization, and learning. Unleash the full potential of human understanding. zSpace is an immersive, interactive hardware and software platform for students, educators, researchers, and corporate trainers. zSpace gives depth to the digital learning experience by improving the way things are studied, explored, designed and visualized. (http://zspace.com/the-zspace-system/)



図２　システムの全体像
Fig.2 The whole system

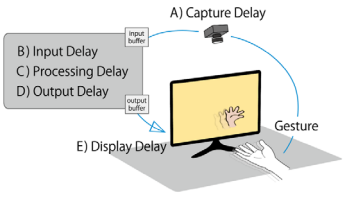


図３　高速３D ジェスチャー認識システム
Fig.3 High speed 3D gesture recognition system



図４　操作の様子
Fig.4 Manipulation with hands

5.11　高速ジェスチャー UI: 低レイテンシーと自己受容性
High Speed Gesture UI: Ultra Low latency with Proprioception



本研究では，ユーザーインタフェースにおける操作性の向上を目的として，人間のジェスチャーによる操作を例に，入力に対して高速に応答するユーザーインタフェースを提案する．

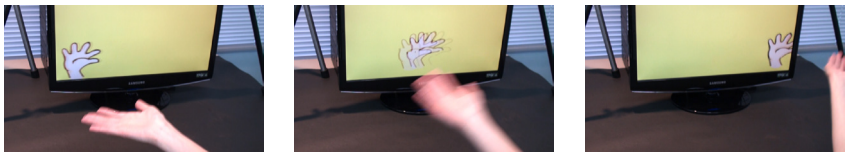
スマートTV，コンピュータ，ゲーム機器，PDA等のユーザーインタフェース(UI)において，その応答性は，機器の操作性に大きく影響する．応答の速いUIはユーザーの操作感を高めるが，これはユーザーのジェスチャー動作から，ディスプレイ上の操作表現までのデータパスのレイテンシーが小さくなることで，表現されたディスプレイ上の操作と自らのジェスチャーとが一体のものであること，すなわちユーザーの自己受容性が向上するからである．

図に概略を示す．ジェスチャー UIのレイテンシーには，A) カメラの入力遅延(走査遅延=フレームレートの逆数)，B) コンピュータや画像処理回路への入力バッファ遅延(通常はフレームレートに対応)，C)画像処理(処理時間はジェスチャー抽出の処理内容に依存．通常は、フレームレートの逆数の整数倍)，D)コンピュータや画像処理回路の出力遅延，E)ディスプレイ遅延(通常はフレームレートに対応) 等が関与する．また，各装置の間で同期が取られていない場合には，フレーム落ちと言われる同期ずれを避けるためのバッファリングの時間も必要となり，通常のビデオレートをベースとしたシステムでは，ジェスチャー認識の画像処理を1フレームで実行したとしても，約150〜200 msものレイテンシーが発生していた．本システムでは，上記 A)〜D)まで1,000 fpsをベースとしたシステムを開発し，ディスプレイに8 msの遅延で表示できる装置を用いることにより，システム全体のレイテンシーの合計を約32 ms(LEDの発光をカメラ入力し，その画面表示をフォトディテクタで計測した値)に抑え，高速なジェスチャー UIを実現した．

In this research, we propose a high speed gesture user interface as an example of ultra low latency interface enhancing the usability.

In user interface of smart TV, computer, video game, etc., the high speed property of a response has a significant influence on the operation feeling, because proprioception which is the sense of linking one's own gesture to the operation on the display, improves by low latency of the datapath from user input to output to the user.

The figure below shows the outline of our system. In gesture interface, a delay occurred due to A) Capture delay (caused by scanning imager array = the reciprocal of frame rate), B) Input delay (caused by data transfer to an input buffer of a computer or an image processing unit), C) Processing delay (caused by image processing including gesture recognition), D) Output delay (caused by data transfer to an output buffer), E) Display delay (= the reciprocal of frame rate). In the case that each device does not achive synchronization, buffering time which prevents synchronization deviation called frame dropping is needed. In the system based on ordinary video rate, total latency takes about 150 - 200 ms even if gesture recognition is finished within 1 frame. We implemented each step A) - D) based on 1,000 fps, and used a display with 8 ms delay. As a result, this system realized high speed gesture interface which has only about 32 ms total latency (the time from the camera observing LED light to a photodetector observing the change of the display).



5.12 画素単位動き補償イメージング
Pixel-wise Deblurring Imaging(PDI)

高速移動体からの撮像ではモーションブラーが生じることから，鮮明な画像を得るためには，シャッタースピードを高速にする必要があり，同じ感度条件の下では強力な照明が必要となる．そのため，例えば，高速道路のトンネル壁面の検査用の撮像は，トンネルの交通を規制する必要が生じ，頻度の高い検査の障害となっている．このモーションブラーを取り除くため，像面情報のみから対象との相対速度と同じ速度で，撮像系の光軸を高速に追従制御する「画素毎動き補償イメージング」を本研究室では提案しており，撮像画像の画質改善を確認している．

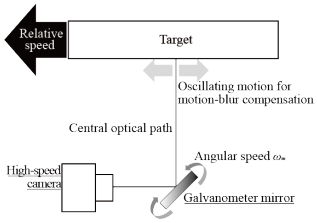
光軸の角度制御には１軸ガルバノミラーを用い，新たにトラッキングアルゴリズムを開発することにより，対象画像の高速トラッキングを実現している．この結果，従来の方法に比べて，特に高周波数帯域においてモーションブラーが改善されることを実証した．

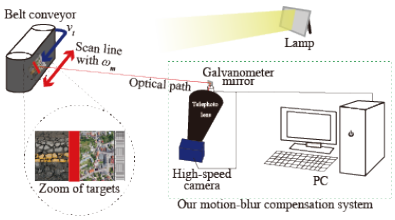
また，従来の方法では，ガルバノミラーの応答性の不足により，システム全体の速度に限界があり，本研究で利用するガルバノミラーでも，当初は，100Hzでの実行が限界であったが，プリエンファシス技術を利用することにより，高精度に追従できる周波数領域を拡張する方法を提案し，実験により，500Hzまで十分な精度を保って実行可能であることを示している．この方法をモーションブラー補償装置に適用した結果，高周波でのガルバノミラー駆動でモーションブラーの除去性能が改善されることが分かった．

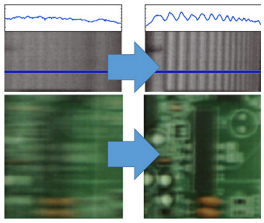
Motion blurring occurs in imaging from a high-speed moving object. Therefore, in order to obtain a clear image, it is necessary to increase the shutter speed, and strong lighting is required under the same sensitivity condition. Therefore, for example, imaging for inspection of a tunnel wall surface of a highway necessitates regulation of tunnel traffic, which is an obstacle to frequent inspection. In order to eliminate this motion blur, we have proposed "Pixel-wise Deblurring Imaging(PDI)" which controls the optical axis of the imaging system at high speed with the same speed as the relative speed with the object from the image plane information alone. Improvement of the image quality of the captured image is confirmed.

High-speed tracking of the target image is realized by using a uniaxial galvanometer mirror for angle control of the optical axis and developing a new tracking algorithm. As a result, we demonstrated that motion blur is improved especially in the high frequency band compared with the conventional method.

In the conventional method, the speed of the entire system is limited due to insufficient responsiveness of the galvanometer mirror, and even with the galvanometer mirror used in this research, initially, execution at 100 Hz was the limit, however, we propose a method to expand the frequency range that can follow highly precisely by using pre-emphasis technology and show that it can be executed with sufficient accuracy up to 500 Hz by experiment. As a result of applying this method to the motion blur compensation device, it was found that the removal performance of motion blur is improved by driving the galvano mirror at high frequencies.







5.13 高速道路における点検の高度化に関する研究
Research on advanced inspection of highways

当研究室で開発している「画素毎動き補償イメージング」の応用例として，インフラ維持・管理における点検技術の高度化に向けた提案を行っている．カメラ撮影において，モーションブラーは画像の画質劣化を招く主たる要因の一つである．このモーションブラーを改善する取り組みは，手ぶれ補正機能やフラッシュ，露光時間の制限といった様々な手法で取り組まれてきており，画質改善に対する寄与が図られている．しかしながら，特にインフラ維持・管理目的の点検では，インフラ機能自体を停止することが難しい状況もあるため，インフラ上を車両で高速に移動しながら構造物等を撮影するといったことが求められる．さらに，点検目的では高い精度の画像判定が要求されるため，高分解能の画像をモーションブラー無しで撮影することは極めて困難な課題であった．そこで，本研究ではモーションブラー補償装置を利用し，上記の問題を改善する手法を提案している．

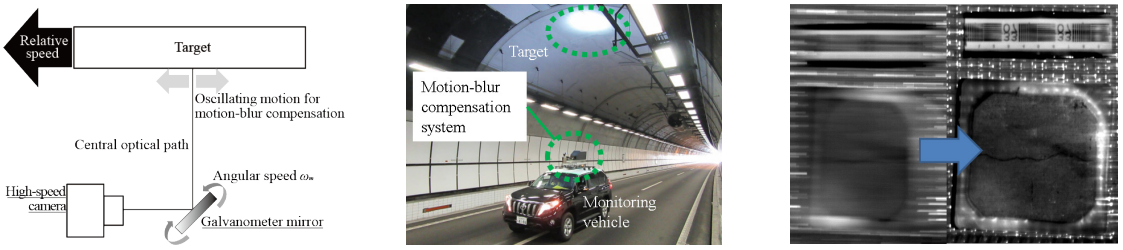
上記の研究成果は，東京大学石川渡辺研究室と中日本高速道路株式会社との共同研究である．

モーションブラー補償装置をインフラ維持・管理に応用するため，要求仕様を検討した上で，複数回の現地実験を経てモーションブラー補償技術の実用化に向けた検証を行っている．その結果，実際のトンネルで地面から高さ7mの天井に対して時速100kmの移動体からの撮像で，設定した要求仕様を満たすモーションブラーの除去を実現した．

As an application example of "Pixel-wise Deblurring Imaging" which we are developing in this laboratory, we propose alternative method of advanced inspection in maintenance and management of infrastructure. In camera shooting, motion blur is one of the main factors leading to image quality degradation. Efforts to improve this motion blur have been tackled by various methods such as shake correction function, flash, exposure time limiting, and contribution to image quality improvement. However, there are situations in which it is difficult to stop the infrastructure function itself, especially when inspecting the infrastructure for maintenance purposes, so it is required to photograph structures etc. while moving on the infrastructure at high speed. Furthermore, because high precision image determination is required for inspection purposes, it is extremely difficult to photograph a high resolution image without motion blur. Therefore, in this research, we propose a method to improve the above problem by using motion-blur compensation system.

This work was conducted by a joint research project between Ishikawa Watanabe Laboratory and Central Nippon co., ltd.

In order to apply the motion-blur compensation system to infrastructure maintenance and management, after reviewing the required specifications, we are conducting verification for practical application of motion-blur compensation technology through field experiments several times. As a result, we realized removal of motion blur that meets the required specifications under conditions to imaging from a moving object with a speed of 100 km/h to the ceiling height of 7 m from the ground in actual tunnel.



※本実験は通行規制区間内で実施しています
[note] This experiment was implemented in the traffic regulation

5.14 トンネルにおけるクラック検出を目的としたシルクスクリーンを用いた再帰性反射マーカ
Silk-Printed Retroreflective Markers for Infrastructure-Maintenance Vehicles in Tunnels

当グループでは、高速道路巡回車に搭載することができ、100 km/hの走行に対応するトンネル検査装置を提案している。このシステムにより、交通規制なしで定期的な点検が可能になり、建設後数十年が経過したトンネルの状況を観察することができる。ただ、トンネル内ではGPSなどが使用できないため、撮影したトンネル壁面のクラックの位置を取得することは困難であった。そのため、クラックの変化を長期間にわたって観察するためには、クラックを一意に特定することが必要である。

そこで、トンネルの壁面にクラックに対応したマーカーをつけることを考える。マーカーには、トンネル内にマーカーが落下するような事故が起きないこと、暗い環境でも認識できること、走行中に撮影してもモーションブラーに影響を受けないことが必要である。そこで、再帰性反射塗料を用いて、シルクスクリーン印刷で一次元バーコードのマーカーをトンネル壁面に作成した。コンクリート壁面に対して再帰性反射塗料を用いて印刷する方法と、コンクリート壁面に下地で再帰性反射塗料を塗り、99.4%の光を吸収する黒色塗料を使用して印刷する方法の2つの方法で、どちらがマーカーの作成に適しているかを検証した結果、後者の方法の方が高いコントラストを示したことが分かった。

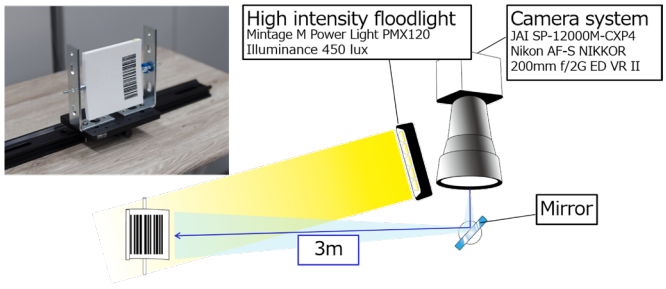
We have proposed a tunnel inspection system that can be installed on a highway patrol vehicle, capable of traveling at 100 km/h. This system enables periodic inspections without traffic regulation, facilitating observation of tunnel conditions decades after their construction. However, due to the inability to utilize GPS and other devices in tunnels, it has been challenging to determine the location of cracks on tunnel walls captured in photographs. Therefore, a unique identification of cracks is necessary to enable long-term monitoring of crack changes.

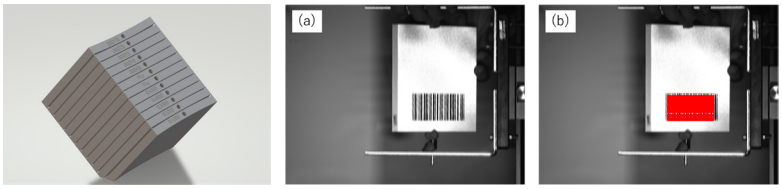
Therefore, the placing markers corresponding to cracks on the walls of the tunnel is proposed. These markers need to be recognizable in a dark environment and not be affected by motion blur, even if captured while the vehicle is in motion, to prevent accidents such as markers falling into the tunnel. One-dimensional barcode markers were created on the tunnel wall using retroreflective paint and silk-screen printing. We tested two methods for creating the markers: printing retroreflective paint directly onto the concrete wall or applying retroreflective paint as a base coat and printing with black paint that absorbs 99.4% of the light. We found that the latter method exhibited higher contrast and was more suitable for creating the markers.

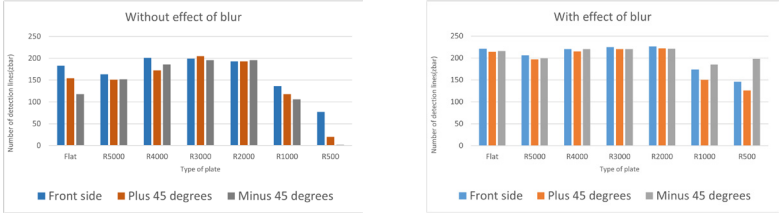


また、後者のマーカーが実際のトンネル点検の環境で使用できることを実証するための実験を行った。モーションブラーが生じる環境下で、ソフトウェアを用いて正しくバーコードが認識できることが確認された。特に，コンクリート上に印刷する際に生じた「かすれ」がモーションブラーにより除去され、モーションブラー環境下においての方が認識の精度が良いという結果となった。トンネル内でマーカーを使用する環境に近づけるため、R500-5000のコンクリート壁面モデルを作成してマーカーを印刷し、±45度からマーカーを撮影した。その結果、R500の壁面に印刷されたマーカーを±45度から撮影した場合でも認識できることが実証された。さらに、R500-5000のすべてのコンクリート壁面上のマーカーを±45度から撮影しても認識されることが確認された。

We conducted experiments to demonstrate the effectiveness of the latter marker in a real tunnel inspection environment. The software correctly recognized the barcodes even in an environment with motion blur. Interestingly, the motion blur removed the noise that occurred during printing on uneven concrete, resulting in better recognition accuracy in such an environment. To simulate the use of markers in a tunnel, we created a model of the R500-5000 concrete wall, printed the markers, and captured them from ±45 degrees. The results demonstrated that the markers printed on the R500 wall surface could be recognized when photographed from ±45 degrees. Furthermore, we confirmed that the markers on all concrete wall surfaces of R500-5000 could be recognized even when captured from ±45 degrees, underlining the robustness of our marker.







5.15 電気刺激を用いた運動スキル習得支援システム
Learning Supportive System to Electrical Stimulation

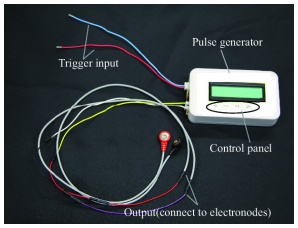
ヒトへの電気刺激は従来，低周波治療器や半身不随患者の歩行支援といった医療用途での活用が主だった．しかし，他の物理的な刺激と異なり電気刺激は与えた筋肉を本人の意思とは無関係な収縮の誘発を行うことが可能である．

本研究ではそうした電気刺激の特性を健常なヒトの学習支援に応用した，スキル習得支援システムの開発を行った．本システムはカメラを用いてヒトの運動を計測し，その運動を画像処理により認識し，動作に応じて修正する方向に電気刺激を与えることにより，体感的なスキルの習得を目指した．本システムは映像によるフィードバックなどの視覚的な学習支援装置と比べより体感的であり，モータなどを用いた物理触覚的な学習支援システムと比較してより非拘束的・スケーラブル・省電力であり自由度の高いシステムであり，運動学習支援において他のシステムよりも有用なシステムだと考えられる．

Electrical stimulation to humans has been mainly used for medical applications such as low-frequency therapy equipment and walking support for patients with unilateral paralysis. However, unlike other physical stimuli, electrical stimulation can induce contraction irrespective of the intention of the muscles given.

In this research, we measures human characteristics to electrical stimulation and developed a skill learning support system that applies the properties of such electrical stimulation to healthy human learning support. Human motion is measured using a camera, and the movement is recognized by image processing, and electrical stimulation is given in a direction to modify according to the motion, aiming at acquisition of a sensible skill. This system is more intuitive than a visual learning support device such as visual feedback, and is more unconstrained, scalable, power saving and more flexible than other physical tactile learning support system using a motor or the like. It is a high degree system and it is considered to be a more useful system than the other systems in the motor learning support.

各論 / Projects



電気刺激装置
Electrical stimulation device

1.電気刺激と他刺激との反応速度の比較

電気刺激に対するヒト反応時間測定とその比較．ヒトが電気刺激に対してどれくらい早く反応できるかを計測することで，動作中の電気刺激の応用可能性についての知見を取得する．

2.電気刺激そのものの学習効果への検証

電気刺激という刺激そのものがヒトの学習にどの程度貢献するのかは明らかになっていない．そこで，動きが誤った場合に電気による刺激を与えた場合と振動刺激を与えた場合でどのようにヒトが動きを学習する効果に差が出るかをカメラフィードバックを用いて比較検証を行う．

3.電気刺激を用いたボウリング投球スキル習得支援システム

ボウリングのスイングを題材にして，ボールを傾かないようにまっすぐ投げるタスクの学習を本システムを用いて支援した．結果としてスイング時の傾きが当初と比較して32%の改善が観測され，本システムの有効性を確認した．また，本プロジェクトでは高速カメラを用いて電気刺激に対するヒトの反応速度の調査や刺激そのものの学習効果への検証を行った．今回の手法は動作ごとに装置を作り変える必要がないため，同一装置でより広い様々なスポーツ動作においても本学習支援システムが適用できる可能性がある．

1.Comparison of reaction speeds between electrical stimulation and other stimuli

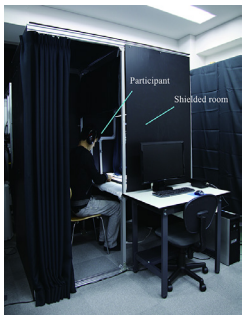
In this experiment, by measuring how quickly a human can respond to electrical stimulation compared with other stimuli such as visual or auditory stimulation, we acquire knowledge about the applicability of electrical stimulation during operation.

2.Investigation of the effect for learning to use electrical stimulation in trajectory task

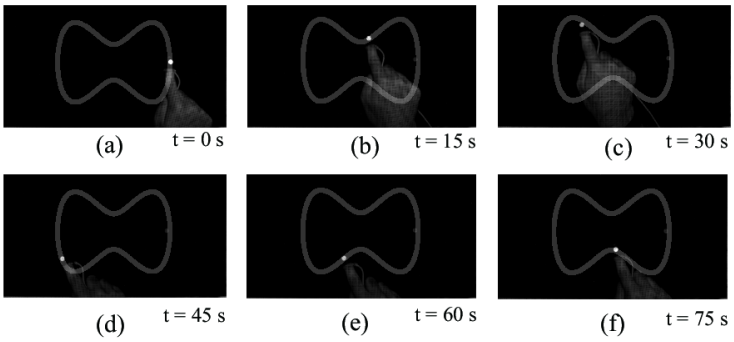
It is not clear how much stimulation of electric stimulation itself contributes to human learning. Therefore, we compare and verify how the difference in the effect of human being learning the motion between electrical stimulation and vibration in case of erroneous movement is checked by camera feedback.

3.Learning supportive training system

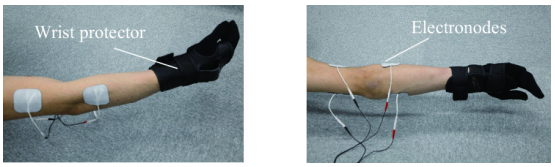
In the experiment, we learned the task of throwing the ball straight to modify the inclination of the ball with the subject of swing of bowling using this system. As a result, an improvement of 32% in inclination at the time of swing was observed compared with the initial, and the effectiveness of this system was confirmed. In this project, we investigated the response speed of human to electrical stimulation and examined the learning effect of stimulus itself using high speed camera. Since the device of this time does not need to rebuild the device for other motion learning tasks, there is a possibility that this learning support system can be applied to a wide variety of sports motions in the same device.



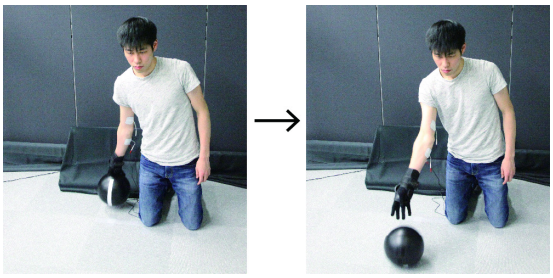
反応速度検証実験の様子
Experiment to measure human response to external stimuli



学習実験の様子
Skill learning experiment



電極をつけた様子
Arm setup in bowling task



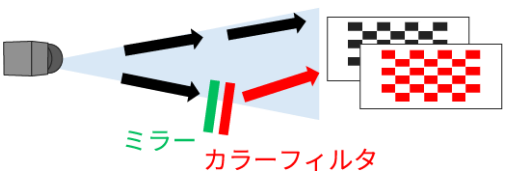
電気刺激装置を取り付けスイングする様子
Swing motion during bowling experiment

5.16 モノクロの高速投影映像をカラーに知覚させるシステム
Coloring Method of Black-and-White High-Speed Projection Images

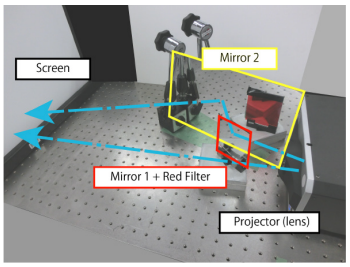
毎秒1000枚の高フレームレートで投影が可能な製品版のプロジェクタDynaFlashは，カラー映像の投影には対応していない．そこで本研究では，モノクロの投影光を用いてカラー映像を表現するために，投影レンズの前方にミラー及びカラーフィルタを配置することで，1台のプロジェクタから同時に投影した2枚の映像をスクリーン上で合成し，高速性を失うことなく，カラーと知覚可能な投影を実現した．

本システムは，ミラーおよびカラーフィルタというシンプルな外付け装置構成のみで構築可能であるため，モノクロ映像をカラー化するというニーズに対して低コストに導入できる．従来カラー化が難しかったシステムを安価に極力スペックを落とさずにカラー化する用途に向いており，認知科学の知見を工学システムに融合させた新たな提案である．

These days, a projector DynaFlash which can project 8-bit gray images at 1,000 frames per second was developed and came to be available for consumers. However, it cannot project full-color images. Therefore, in this research, we propose a system which enables us to perceive colored images using a black-and-white projector without losing its speed of projection by applying Land’ s two-color method, which claims that images made from only two light sources (white and red) can be seen colorfully. We integrated this method with our optical system in which two images superimposed at the same time from a projector combine on the screen after being reflected by mirrors.



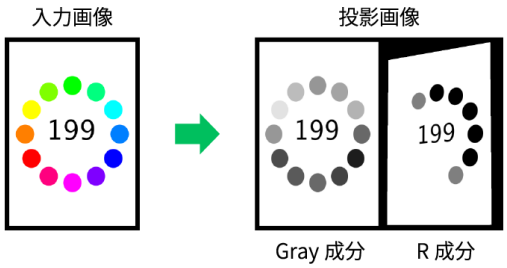
システムのモデル
Models of the system



システムの全体像
The whole system



投影結果
A result of projection



画像処理の概要
Projected images

5.17 スマートレーザープロジェクター：カメラレス センシングディスプレイシステム
A "sensing display" based on a cameraless Smart Laser Projector

スマートレーザープロジェクター(以降SLPと表記)は、レーザーを用いたプロジェクターであり、あらかじめ条件を指定されていない様々な物体表面に対してグラフィックを描画することが可能である。その一方、レーザーのビームを描画と同時にレーダーとして用いることで、照射表面の位置、形状、微細なテクスチャー、スペクトルの反射率、そして相対的な動きでさえも取得することが可能である（両者のビームは同時、異なる波長、もしくは偏光を利用）。そのため、様々な表面反射率を総合的に扱え、幾何学的な歪みを正しく補正することも可能である。また、すべてリアルタイムで処理され、カメラとプロジェクターのキャリブレーションを行う必要がない。これまで私たちは２つのプロトタイプを開発してきた。一つはラスタースキャンを行うタイプで、もう一つはベクターグラフィックモードを搭載したものである。ベクターグラフィックモードでは、本研究以前に開発された スマートレーザースキャナー、スコアライト、スティッキーライト を特別なアプリケーションとして組み込んでいる。

ARは、ここでは実際の物質上に記号(文字列)やアイコンを重ねて描画することを意味しており、危険な障害物の方向を示すことや強調表示すること、そして実用的や美的な目的で線や輪郭を強調することにも利用可能である。

SLPは様々な応用分野を想定している。

・医療分野(皮膚科学：皮膚表面付近の静脈を強調して描画すること、癌細胞によって誘発される特異な偏光を皮膚表面に可視化すること)

・非破壊コントロール(微細な傷、油分の付着した箇所、機械的な圧力の可視化)

・セキュリティー(個人認証：蛍光灯環境下における紫外線や赤外線の透かしの可視化)

・様々な表面(テーブル、壁、床、人肌、印刷物、絵画、陳列された商品等)へのプロジェクションを可能とする、全ての種類のARアプリケーション

レーザーを利用したセンシングディスプレイシステムは、従来のプロジェクターとカメラを利用したシステムに対して様々な利点を持っている。

・カメラとプロジェクターのキャリブレーションが不必要

・高速なフィードバック(画像処理が必要ないことによる)

・幾何学的な補正、色やコントラストの強調及び補正が可能

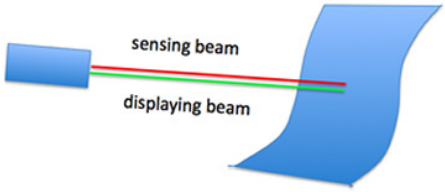
・極めて深い被写界深度

様々な解像度に対応：ROIにおいてレーザーのスキャニング幅が向上

・シンプルでコンパクトな光学システム：二次元の画像光学ではなく、そのため収差や大きな光学装置がない

・遠距離へのプロジェクションが可能(ベクターグラフィックモードにおいて。屋外でのインタラクティブシステムも可能)

MEMSを利用した小型SLPは衣類への埋め込みが見込まれ、どんな表面でもインタラクティブなセンシングディスプレイにしてしまうウェアラブルディスプレイへの利用も想定している。



The `Smart Laser Projector' (SLP) is a modified laser-based projector capable of displaying graphics on a variety of non-prepared surfaces, while simultaneously using the beam (at the same or different wavelength or polarization) as a LIDAR probe gathering information about that surface position, orientation and shape, fine texture, spectral reflectance and even relative motion. It is therefore possible to synthesize an artificial surface reflectance, or to correct geometrical warp, all in real time and without the need of calibrating a camera and a projector. We have developed two prototypes, one working in raster-scan mode, and another in vector graphics mode. Our previous research on the Smart Laser Scanner, scoreLight and Sticky Light can be seen as special applications of the SLP in vector-graphics mode.

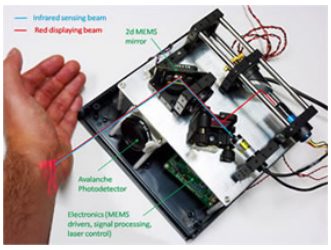
Applications of the SLP may include dermatology (enhancement of superficial veins or direct visualization of anomalous polarization induced by cancerous cells), non-destructive control (visualization of microscopic scratches, oily spots or mechanical stress), authentication (visualization of non-fluorescent UV or IR watermarks thanks to 'artificial fluorescence'), and in general all sort of augmented reality applications using any available surface for projection (tables, desktops, walls and floors, but also human skin, printed material and paintings, market products on a shelf, etc). Augmentation means here overlaying of alphanumeric data or icons over real object (for instance, human-readable price tags appearing under machine-readable

barcodes), dynamic cueing (marking secure perimeters, indicate directions or highlighting dangerous obstacles) and line and contour enhancement for practical or aesthetic purposes.

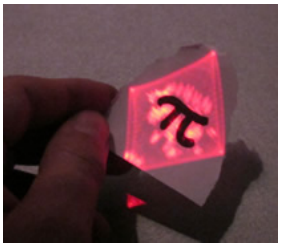
The laser-based 'sensing display' paradigm presents a number of advantages with respect to the more classical `projector-camera' setup used in sensor-enhanced displays, among which:

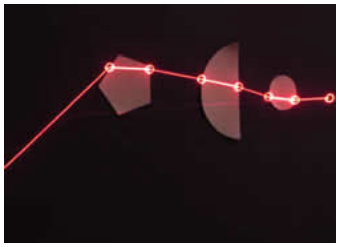
- no camera-projector calibration needed;
- very fast feedback (no image processing required);
- geometrical correction + color and contrast compensation possible;
- extremely large depth of field;
- variable resolution: the laser scanning step can be finer on regions of interest;
- simple and compact optical system: there is no 2d imaging optics, and hence no aberrations nor bulky optics;
- projection at very long distance in vector graphics mode ideal for outdoor interactive applications.

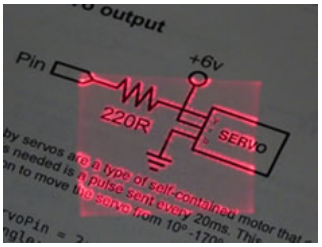
A MEMS based, compact SLP may eventually be embedded on clothes and used as a wearable display capable of transforming on-the-flight any surface near-by into a full interactive 'sensing display'.











5.18 Light Arrays: 光を用いた身体拡張
Light Arrays

Light Arrays プロジェクトは，動作や姿勢といったダイナミックな身体表現を環境に投影する可視光線を通して，身体の拡張を探るものである．興味深いことに，これらの光の手掛かりは，このデバイスを着たユーザだけでなく他者からも見ることが出来る．この特徴は以下に挙げる，研究の2つの興味深い方向を目指してのものである．

・人工的なビジュアルフィードバックシステムにより生成される，受容感覚の拡張．これは，複雑な身体的技術を学習することや，リハビリテーションのスピードを上げることや，身体の表現能力を探ることにも役に立つ．

・身体イメージのインタラクティブな拡張や，個人間のパーソナルスペースをビジュアルで明快に表すことによって促される，強化身体インタラクション．

このシステムは，Haptic Radarを補完する（とともに，いくらかの正反対の機能をもつ）ものである．Haptic Radarが着用者周囲の物体や触覚を変換した情報を集めるのに対して Light Arrays システムは，着用者の姿勢についての情報をまとめ，周囲の観測者全員に投影するものである．

我々は，レーザモジュール，サーボモータ，センサを用いて，Light Arrays の具現化を図っている．レーザ光の方向と強度は，着用者の動作や2人目の動作に応じて，制御される．これによって，同システムを利用する2人のユーザの間で，拡張された身体が共有されるというインタラクションを創出できる可能性がある．

図に示す in-visible skirt プロトタイプでは，4つのサーボモータによりフレキシブルな変形や回転が可能な円状の支持体に，12 個のレーザモジュール（635nm, 3mW）がついている．身体の動作を捉えるウェアラブルセンサのデータに応じて，コントローラは様々なサーボ指令を送り出し，モータを制御する．このビデオでは，前後左右の曲げ姿勢によって，in-visible skirt が動作する様子をデモンストレーションしている．3つの別々の電源がサーボ，レーザ，マイクロコントローラの駆動に用いられている．

データは，XBee Znet 2.5 ネットワークを通じてワイヤレスで送られ，生データの 30Hz での転送とコードされたコマンドの低速での実行が可能である．それと同時に，センサデータが外部のデスクトップコンピュータに送られ，新しいシステムの挙動の設計やデータの解析に役立てられる．

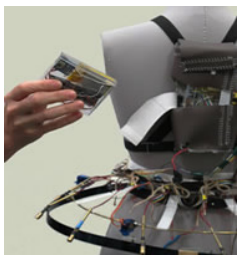
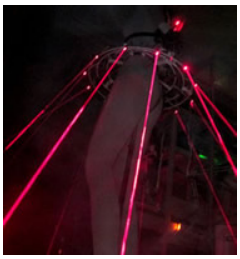
The Light Arrays project explores the extension of the body through an array of visible light beams projecting on the environment a dynamic representation of the body, its movement and posture. Interestingly, these light cues are visible both for the user wearing the device as well as for others. This feature points to two interesting lines of research:

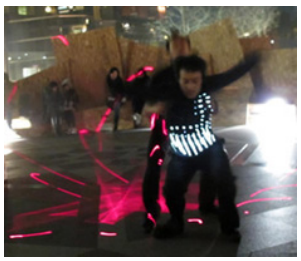
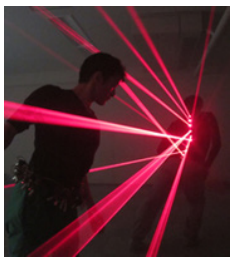
- Augmented Proprioception generated with an artificial visual feedback system. This can be useful for learning complex somatic techniques, speeding-up rehabilitation, as well as exploring the body's expressive capabilities.
- Enhanced body interaction prompted by an interactively augmented body image (in time and space), as well as a clear visual representation of interpersonal space.

This system complements - and to a certain extent functions as the exact reverse - of the Haptic Radar system, in which rangefinders were used to extend spatial awareness through vibrotactile feedback. Indeed, rather than gathering information on the objects surrounded the wearer and transducing it into tactile cues, the Light Arrays system gathers information about the wearer's posture, and projects this information onto the surrounding for everybody to observe.

Prototypes and technology

We are exploring several embodiments of the Light Arrays using laser modules, servo motors, and sensors (either worn or external). Both direction and intensity of the laser beams are modified according to the motion of the wearer, or in response to the motion of a second person. This creates an interesting interaction scenario in which the extended body may be shared between two persons. In the in-visible skirt prototype shown in the figures, each of the 12 laser modules (635nm, 3mW) attach to a flexible circular support that can be deformed and rotated thanks to a set of four servo motors. A microcontroller (ATmega168) maps sensor data comming from a second wearable "controller" into different meaninful servo positions. An elementary mapping demonstrated in this video shows forward/backward or left/right bending postures mapped as similar motions of a light-based skirt. A set of three separated battery sources is used to drive the servos, the lasers and the micrcontroller. Data is sent wirelessly through an XBee 2.5 Znet network capable of transmitting raw data at a rate of 30Hz, or coded commands at a lower speed. At the same time, sensor data is sent to an external desktop computer that will be helpful in designing interesting new mappings and analysing the data.

5.19 スコアライト：レーザーを用いた人工的共感覚生成楽器
scoreLight: laser-based artificial synesthesia instrument

スコアライトは，手描きの線に沿ってリアルタイムに音を生成する楽器のプロトタイプである．同様に，(手，ダンサーのシルエット，建築物などの)３次元の物体の輪郭に沿って音を出すことも可能である．また，このシステムは，カメラとプロジェクタを使用しておらず，レコードプレイヤーにて針がレコードの表面の溝を探索しながら音を出すように，レーザーが絵の輪郭による溝を探索しながら音を出す．音は，描かれた線の垂直方向からの角度，色，コントラストなどの曲がり具合によって生成され，変化する．また，空間性をもっており(下図：4つのデバイスを用いたシステム)，デバイスの探索位置，スピード，加速度などによってパンニング(音の定位の設定)ができる．スコアライトはジェスチャーや形，色などの見えるものを音に変えるといった，人工的な共感覚を実現している．例えば，線の方向が急に変わると，(パーカッションやグリッチのような)離散的な音が起因され，それによってベースとなるリズムが生まれる(一辺の長さによってテンポが定まる)．

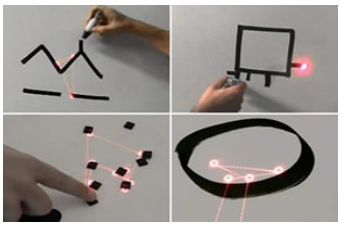
このハードウェアは，とてもユニークである．なぜなら，カメラとプロジェクターなしで(一点のセンサーと光源により) 非常になめらかで速い動きのトラッキングが可能だからである．この光線は，盲目の人が杖を使って道の様子を探るのと全く同じ方法で，照射された物体の輪郭に沿って探索を行う．トラッキング技術の詳細はここに記す．このシステムを(右図のように)テーブルの上で使用するとき，レーザーの電力は0.5ミリワットとなり，弱いレーザーポインタの半分程度の電力となる．そのため，このシステムによる事故は起きにくいだろう．より電力の強い，多くの色を備えたシステムは，10メートル離れた建物の表面を(音と共に，目に見える形で)〝augment〞(強調)するなど，街の外観を〝朗読する〞ときなどに用いられる．

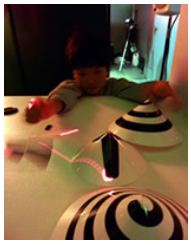
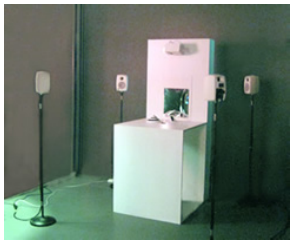
このシステムが楽器として価値があるかを評価するにはまだ早い．(幅広い表現が可能か? 操作できることとランダムに生まれるところのバランスをどうするべきか?)しかし，興味深いことに，今のスコアライトは既に(芸術的な?)研究において予想だにしなかった方向を暴きだした．ユーザーは，自分が絵を描いたり作曲をしていたとしても，そのことを本当に知らないということである．実際，聞こえるものと見えるものの相互の関係や(リアルタイムの)フィードバックがとても強力なため，ユーザーは，行動と音の新しい関係を作ろうとする欲求に駆られるだろう．絵を描いたり(drawing)，演奏したり(playing)しているわけではないが，同時にしているのである．drawplaying?

"scoreLight" is a prototype musical instrument capable of generating sound in real time from the lines of doodles as well as from the contours of three-dimensional objects nearby (hands, dancer's silhouette, architectural details, etc). There is no camera nor projector: a laser spot explores the shape as a pick-up head would search for sound over the surface of a vinyl record - with the significant difference that the groove is generated by the contours of the drawing itself. Sound is produced and modulated according to the curvature of the lines being followed, their angle with respect to the vertical as well as their color and contrast. Sound is also spatialized (see quadrophonic setup below); panning is controlled by the relative position of the tracking spots, their speed and acceleration. "scoreLight" implements gesture, shape and color-to-sound artificial synesthesia; abrupt changes in the direction of the lines produce trigger discrete sounds (percussion, glitches), thus creating a rhythmic base (the length of a closed path determines the overall tempo).

The hardware is very unique: since there is no camera nor projector (with pixellated sensors or light sources), tracking as well as motion can be extremely smooth and fluid. The light beam follows contours in the very same way a blind person uses a white cane to stick to a guidance route on the street. Details of this tracking technique can be found here. When using the system on a table (as in the image on the right), the laser power is less than half a milliwatt - half the power of a not very powerful laser pointer - and does not supposes any hazard. More powerful, multicolored laser sources can be used in order to "augment" (visually and with sound) facades of buildings tens of meters away - and then "read aloud" the city landcape.

It is still too early to decide if this system can be effectively used as a musical instrument (has it enough expressivity? can we find a right balance between control and randomness?). However, it is interesting to note that "scoreLight", in its present form, already unveils an unexpected direction of (artistic?) research: the user does not really knows if he/she is painting or composing music. Indeed, the interrelation and (real-time) feedback between sound and visuals is so strong that one is tempted to coin a new term for the performance since it is not drawing nor is it playing (music), but both things at the same time... drawplaying?


5.20 スマートレーザスキャナ：カメラレス３次元インターフェイス
Gesture tracking with the Smart Laser Scanner

今日，自然環境中で手や指をいかにしてトラッキングするかという問題が注目を集めており，ビジョンシステムと高速な計算機によるイメージプロセッシングとによる受動的な計測方法が研究されている．それに対し我々は，レーザダイオード（可視または不可視光），ステアリングミラー，単一のフォトディテクタを用いたシンプルな動的トラッキングシステムを開発している．

このシステムは，イメージプロセッシングを全く必要とせず，リアルタイムに手や指の３次元座標を取得することができる．本質的にはこのシステムは，視野全体を継続的にスキャンすることなく，対象と同じ大きさの非常に狭い領域にスキャニングを限定したスマートレンジファインダスキャナである．

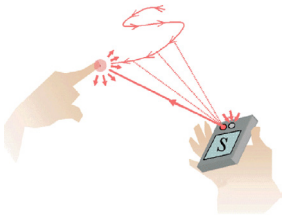
また，一つのシステムで，複数対象をトラッキングすることも可能である（対象を逐次的に処理する）．複数対象のトラッキングアプリケーションは数え切れないくらいあるだろう．例えば，複数のユーザが同時に同じヴァーチャル空間で対話したり，一人のユーザが同時にいくつかのヴァーチャルツールを操作したりすることができる．例えるなら，スピルバーグの映画「マイノリティリポート」を想起させるような，ウィンドウのサイズを変えたり，情報画面を操作したりといったことである．しかも，今回のシステムでは特殊な手袋やマーカーは全く必要ない．

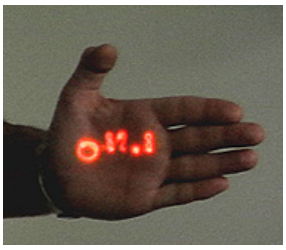
また，提案している３次元レーザベースの位置測定装置の注目すべき特徴に，出力デバイスとして使えることが挙げられる．実際に利用できる表面であれば，手のひらであっても，そこに英数字データを投影する形でユーザに情報を返すことができる．このデモは，すでにトラッキングと同時並行に行い，成功している．最後にハードウェアは，芸術の域に達していると言 え るMicro-Opto-Electro-Mechanical-System（MOEMS）技術のおかげで，全てのシステムが１つのチップ上に載った簡易なものとなっている．このチップのおかげで，携帯型コンピュータデバイスとして使用できる多用途なヒューマンマシーン入出カインターフェイスとなっている．

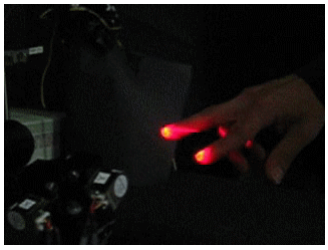
The problem of tracking hands and fingers on natural scenes has received much attention using passive acquisition vision systems and computationally intense image processing. We are currently studying a simple active tracking system using a laser diode (visible or invisible light), steering mirrors, and a single non-imaging photodetector. The system is capable of acquiring three dimensional coordinates in real time without the need of any image processing at all. Essentially, it is a smart rangefinder scanner that instead of continuously scanning over the full field of view, restricts its scanning are to a very narrow window precisely the size of the target.

Tracking of multiple targets is also possible without replicating any part of the system (targets are considered sequentially). Applications of a multiple target tracking system are countless. Such a configuration allows, for instance, multiple users to interact on the same virtual space; or a single user to control several virtual tools at the same time, resize windows and control information screens, as imagined in Spielberg's film ``Minority Report'' - but without the need to wear special gloves nor markers. A very interesting characteristic of the proposed 3D laser-based locator, is that it also can be used as an output device: indeed, the laser scanner can be used to write information back to the user, by projecting alphanumeric data onto any available surface, like the palm of the hand. This has been successfully demonstrated, without having to stop the tracking. Finally, hardware simplicity is such that using state-of-the-art Micro-Opto-Electro-Mechanical-System (MOEMS) technology, it should be possible to integrate the whole system on a single chip, making a versatile human-machine input/output interface for use in mobile computing devices.









5.21 SENSECASE: スマートフォンを拡張するデフォーマブルユーザインタフェース
SENSECASE: Crafting Deformable Interfaces to Physically Augment Smartphones

PC, タブレット端末, スマートフォンなど様々な情報端末において, そのフラットな表面にタッチスクリーンを組み込むことが主流となってきた. 一方, この流れとともに, そのフラットな2次元サーフェスから脱却するためのタンジブルな3Dユーザインタフェース(UI)のニーズも, コンシューマとエンタープライズの両分野において高まってきている. このような背景には2つの理由があると考えられる. まず, ビジョンベースのジェスチャインタフェースのコストが下がりつつあり, スクリーンから離れた空間がUIの新たな展開領域として注目されていることが挙げられる. ただし, このアプローチでは, 空中操作が基本となるため, 触覚フィードバックを一般には組込むことが困難である. 次に, 3次元プリントの爆発的な進化と普及, それに伴ってエンドユーザがスクラッチからUIをハード・ソフトの両面からデザインするトレンドが生み出されていることが挙げられる. このような流れの下で, 大量生産されるスマートフォンはもはやDIYのためのパーツの一つであり, その形や操作はユーザによって, フィジカルに拡張され, パーソナライズされる可能性を本研究では注目する.

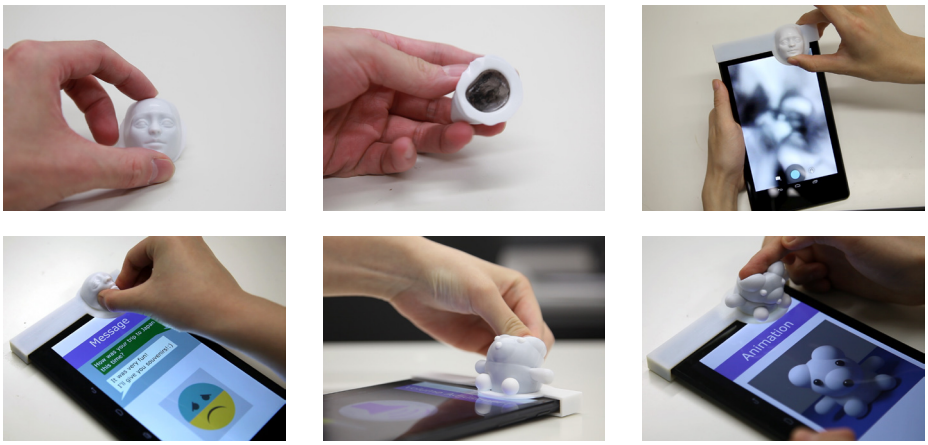
このようにパーソナライズされたUIを製作することには, 愛着心と直感的なインタラクションの2つを生みだせるポテンシャルがある. 特に, 感性が絡む複雑なインタラクションの形態は, ユーザごとに独特である可能性があり, であるからこそパーソナライズされることが良い操作の候補を生み出す余地になると考えられる. また, 愛着心は無機的なデバイスとユーザの間に新たな関係を築かせる鍵である. 例えばテディベアなどで見られるように, 媒体の形とユーザ固有のインタラクションは密接に絡んでおり, その愛着心を生み出す重要な側面である.

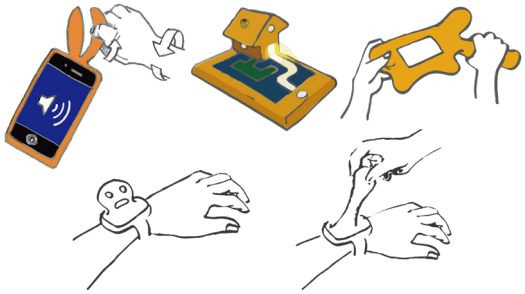
このような背景の下, 任意の形でデザインされる変形可能な入出力UIの製作及びセンシング方法を提案する. 特に, 既存の情報端末に対して, 非侵襲かつミニマルなスタイルでその形と機能を拡張することを主眼とする. 我々が提案するUIシステムでは, 変形可能な物体を情報端末のフロントもしくは背面カメラの上に設置する. このとき, この物体はフィジカルな入力コントローラとしてだけでなく, スマートフォンのカバーとしても機能する. このように, センシングするケースとして捉えられることから, 我々は提案するUIシステムをSENSECASE(センスケース)と呼ぶ. SENSECASEで使われる変形物体の内部は, 透明なゲルと黒いゲルで満たされている. この2つのゲルがもたらす複雑な3次元パターンを用いて, ユーザがどのように物体を変形させているのかを認識する. 認識では機械学習が用いられており, ユーザ固有のパーソナルな操作と外観を, 無電源のミニマルなハードウェアを付属するだけで提供することが可能となっている.

Though we live in the era of the touchscreen (tablet PCs and smart phones providing a rigid and flat interface) people and the industry are getting excited about the world of tangible 3D interfaces. This may be explained for two reasons: first, the emergence of cheap vision-based gestural interfaces conquering the space above and below the screen (but without haptic feedback), and second - and perhaps more important for the present discussion - the explosion of the 3D printing industry and the possibility for the end user to not only customize the layout of icons on a screen, but also of designing their own physical interface from scratch. Mass-produced smartphones could then be seen as bare-bone electronics devices whose shape can be physically augmented, personalized and crafted.

Two interesting issues to consider when crafting the interface are potential for emotional attachment and intuitive interaction. We consider both are complementary: complex interactions involving emotions are highly idiosyncratic, and are therefore a good candidate for personalization. Attachment reinforces the connection between the device and its user - attachment may come from the shape of the interface (e.g. a teddy bear) as well as the highly personal way of interacting with it.

In order to introduce DIY techniques in the world of deformable input-output interfaces, it is necessary to provide a generic manufacturing/sensing method for such arbitrarily designed shapes. The goal of this project is to investigate minimally invasive methods (no wirings) to physically augment tablet PCs or smartphones. Our proposed UI is called as SENSECASE. In SENSECASE, a deformable object is put over the front or rear camera - this 'object' can be part of the smartphone case itself. The object is filled with transparent and black gels. The complex light reflections inside the object can be used to recognize patterns of deformation or grasping and map them to different UI actions. A machine learning algorithm allows object shape and deformation to be designed arbitrarily, bringing the device physical personalization at a level never reached before, with minimal interference with its original hardware.

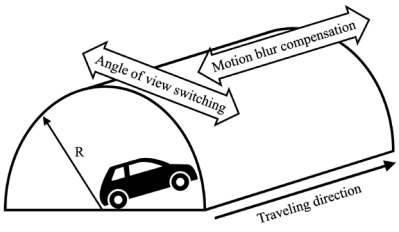




5.22 高速移動環境下における高速画角拡張手法
Extended Capture Range Method Under High-Speed Motion

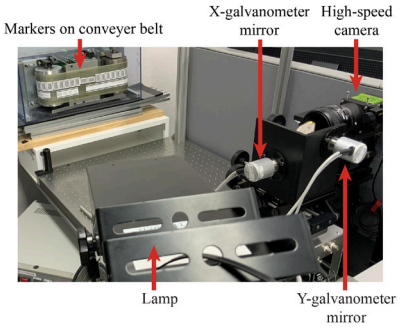
本研究では、高速道路内のトンネルの高速移動下の点検において、効率化のために点検車両の走行回数を減らすことを可能とするシステムを開発する。高速走行下で、トンネル壁面のひび割れを撮像するには、高い分解能が必要である。

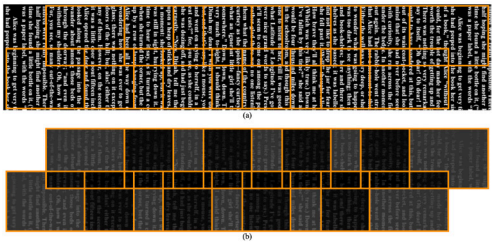
このシステムでは、走行方向に対してミラーを用いてモーションブラーの補償を行うと同時に、キャプチャごとに撮影範囲を切り替えることで、一回の走行で点検する範囲を増やすことができる。1キャプチャ(3ms)ごとに撮影範囲を切り替える場合、ミラー固有の物理的特性などに影響され出力が歪むという問題があった。そのため、モデルを未知と考え、どの物理特性や制御方法を持つミラーに対してもモデル化なしで適用できる手法を用いている。100km/hの速度で地面から高さ5mの天井に対してのトンネルを検査車両が走行するという条件を仮定して実験を行い、実際に得られた画像から、約0.25mm幅のひび割れを検出可能という結果が得られた。



In this research, we developed a high-speed tunnel surface inspection system to improve efficiency. High-resolution images are essential to detect small cracks.

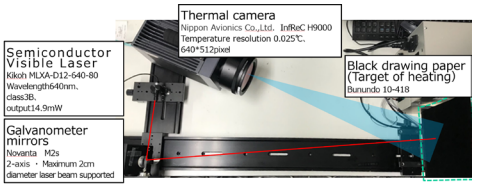
The system compensates for motion blur and increases the captured area by switching the angle of view for each capture. The challenge arises when switching the angle of view every 3ms, as the movement of the mirror can cause blurring in the output images. To address this issue, we adopted a method that adapts to any physical characteristic and controller without the need for modeling. We conducted experiments in which an inspection vehicle traveled through a tunnel with a 5-meter-high ceiling at a speed of 100 km/h. The results showed that cracks with a width of approximately 0.25 mm can be accurately detected.





5.23 レーザー加温による動的マーカー
Dynamic Marker using Laser Heating

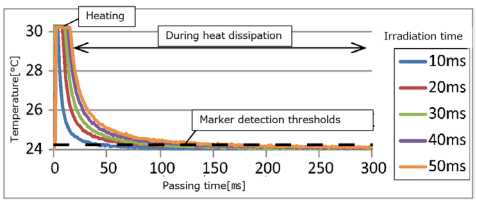
従来のマーカーによるトラッキング手法は、マーカーを貼り付けする必要があった。また、対象の表面のテクスチャを利用した画像処理手法では、表面に十分なテクスチャが存在することを前提としていたため、対象が制約されていた。そこで、本研究ではレーザー加熱によって瞬時に対象の表面の温度を変化させ、動的にマーカーを生成する方法を提案する。生じた動的マーカーはサーモカメラで撮影することで、トラッキング可能となる。レーザー照射はガルバノミラー等によって光軸制御されることにより、任意形状・情報のマーカーが生成され得る。実験では、点群や漢字「光」のパターンを生成し、30個以上のドットマーカー生成を確認した。今後は、より複雑なマーカー生成や実際の応用場面におけるトラッキングに活用される。

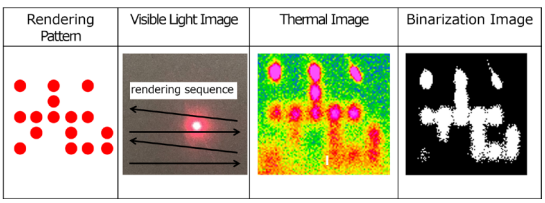


The conventional tracking method using markers required the attachment of markers. Additionally, image processing methods utilizing the texture of the target surface assumed the presence of sufficient texture on the surface, thereby limiting the applicability to certain objects. In this study, we propose a method to dynamically generate markers instantly by changing the surface temperature of the target through laser heating. The dynamically generated markers can be tracked by capturing them with a thermal camera.

Laser irradiation is controlled along the optical axis by devices such as galvanic mirrors, enabling the generation of markers with arbitrary shapes and information. In experiments, we generated patterns such as point clouds and the Chinese character "光" and confirmed the generation of more than 30 dot markers.

In the future, this technique is expected to be applied to more complex marker generation and tracking in real-world scenarios.





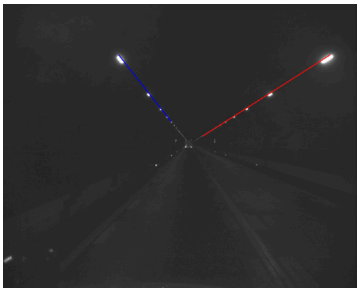
5.24 トンネル照明認識による自己位置推定システム
Self-localization using Tunnel Lighting Recognition

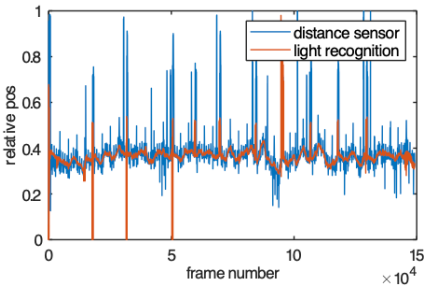
一般的な道路巡回車による日常的なパトロール中にトンネル検査を可能とする技術として、我々は道路巡回車に搭載可能なトンネル検査装置を提案している。この点検において，トンネル壁面内の意図した場所を撮影することは非常に重要である．本研究では、リアルタイムで装置の角度を制御して撮影するために、トンネルの照明を認識してキャリブレーションなしで自己位置推定を行う手法を提案する。

車両の自己位置を推定する手法として白線認識があり、自動運転などのITS（Intelligent Transport Systems）の諸分野において様々な応用がなされている。トンネル内では照明が設置されており、自己位置推定を行う上で白線に代わる安定した特徴として利用できる。そこで、ビジョンベースの白線認識手法を照明認識に応用し、高速で安定したな自己位置推定を実現する。照明はトンネル天井部に路面から一定の高さで一列に設置されており、車両に近い箇所はほぼ直線と見なすことが出来る。これを白線認識と同様に2本の直線として認識することで自己位置推定を行う。精度評価は停車可能な規制内の3地点において、水平に傾けた検査装置の測距センサーの計測値を真値として自己位置推定結果と比較することで行った。実験を行ったトンネルにおいて、点検カメラの水平視野は5m先で52.8cmであるのに対して自己位置推定結果は数cmオーダーでの誤差であることを確認できた。共通して大きく外れている箇所は非常駐車帯があり、照明認識が片側に2つの直線があることを考慮していないためである。

Our group proposes a tunnel inspection device that can be equipped with commonly used road patrol vehicles. This device enables efficient inspection of tunnel walls during routine patrols, ensuring that the intended areas are captured accurately. To achieve this, our study focuses on developing a self-localization system that utilizes tunnel lighting recognition to control the capture angle in real-time, eliminating the need for calibration.

White line recognition is a self-localization method commonly used in Intelligent Transport Systems, including autonomous driving. However, the tunnel lighting can also be used as a stable feature for self-localization instead of white lines. In this study, we propose a method based on visional capture to achieve stable and real-time self-localization using the tunnel lighting. The tunnel lights are arranged in a straight line on the top walls of the tunnel at a constant height, making them almost straight from the inspection vehicle's viewpoint. Therefore, we consider two straight lines as equivalent to white lines and apply the same method used in white line recognition. The accuracy of our self-localization results was evaluated by comparing them to the distances measured by a horizontally tilted inspection device's ranging sensor at three different stopping locations. Our self-localization results have an error in the range of a few centimeters, while the horizontal capture area of the inspection camera at a distance of 5 meters is 52.8 cm. However, it's worth noting that the error is higher in the emergency parking zone of the tunnel, where two lines of lighting are present on one side.





5.25 人の動作意図に基づく物体把持高速化アシストシステム
Assist System to Accelerate Human Object Grasping with a Solenoid Actuator

本研究では，ロボットと人が直接接触せずに，人の動作を高速に支援するロボットシステムの開発を目的としている．日常空間において，人が物体を把持する動作を支援するシステムとして提案する．

机上での人の動作意図を読み取り，ソレノイドなどのアクチュエータが瞬時に作動することで動作支援を果たす．また，アクチュエータにより押し出された物体の予測停止位置を，高速表示レーザが照射することで，スムーズな動作支援を果たす．

システムを使用することで，システムが無い場合と比べて、より早く物体が把持できることが被験者実験により明らかとなり，システムの有効性が認められた．

The purpose of this research is to develop a robotic system that supports human actions at high speed without direct contact between the robot and the human. We propose a system that supports human grasping actions in daily life.

The system reads a person's intention to move hands on a desk and instantly activates an actuator such as a solenoid to support the person's movement. In addition, a high-speed display laser illuminates the predicted stopping position of the object pushed by the actuator to provide smooth motion support.

The effectiveness of the system was confirmed by experiments with test subjects, who were able to grasp objects more quickly with the system than without it.

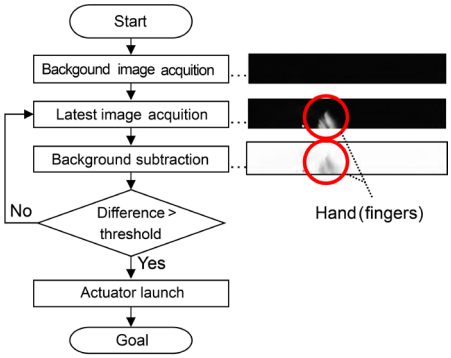


図１　手の動作検知からアクチュエータ駆動までのフローチャート
Fig1 Flowchart of image processing from hand motion detection until robot hand actuating

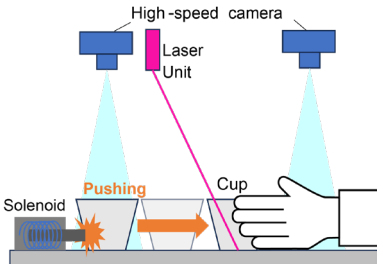


図２　システムの全体図
Fig2 Overall system layout and concept

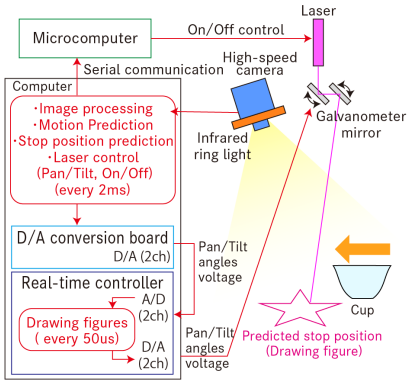


図３　レーザーによる高速表示のシステム構成
Fig3 System configuration of laser-based fast dispray

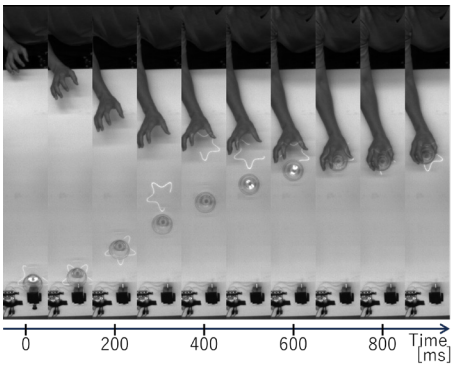


図４　システム使用時に連続俯瞰撮影したもの
Fig4 Sequence from the initial hand movement to grasping process

5.26　その他の研究成果
Other research topics

Invoked Computing: まわりにあるものを視覚・聴覚インターフェイスに変える拡張現実感, Virtual Haptic Radar: 存在しないものを感じるシステム, 箱の中の自己 (boxedEgo): 自分をのぞき見るメディアアート, パララックス・オーギュメンティッド・ディスプレー, テレピンポン：ITを用いたワームホールの検証実験, Laserinne: 雪上へのレーザー描画を通じた大規模インタラクション, スティッキーライト：レーザーを用いた局所特徴の抽出と制御, 努力してしまうインターフェイス：マウスチェア, 触覚フィードバックを用いた引き込み式3次元マウス, Earlids: 筋電センシングによる聴覚情報制御, ハプティカー：ハプティックレーダーの自動車への応用, ChAff: 韻律的な情報によるリアルタイム会話分析, Roboethics: ロボット倫理学, メタ倫理学, Boo-Hooray: 倫理に関する記述の識別, 分析手法, 3次元データの能動的表示 (Volume Slicing Display), ハプティックレーダー：近接覚と振動刺激による皮膚感覚の拡張, 変形するディスプレイ (Deformable Workspace): 3次元の仮想物体を扱うための新しい枠組み, The Laser Aura: 感情表現を人工補完するシステム, 記憶の箱／知識の立体素, 身体表面の入力・出力デバイス化の提案, クロノスプロジェクタ：時空間を操るディスプレイ等の研究を行っている.

Invoked Computing: spatial audio and video AR invoked through miming, Virtual Haptic Radar: touching ghosts, boxedEgo: an experimental stereoscopic & autoscopic display, Parallax Augmented Desktop (PAD), Tele-ping pong: proof-of-principle of an IT-engineered wormhole, Laserinne, Sticky Light: interacting with a beam of pure light, The Mouse Chair: example of a "resless interface", 3D Retractable Mouse with Haptic Feedback, Earlids: voluntary control of auditory gain by contraction of mastication muscles, HaptiKar, ChAff, Roboethics, Boo-Hooray, Dimensional Metaethics, The Volume Slicing Display (VSD), The Haptic Radar / Extended Skin Project, The Deformable Workspace: a Membrane between Real and Virtual Space, The Laser Aura: a prosthesis for emotional expression, Memory Blocks & Knowledge Voxels, Skin Games, The Khronos Projector are going on.

6. 基本概念・用語
Basic Concept and Technical Terms



基本概念・用語／Basic Concept and Technical Terms

このページは, 本研究室の関連ページを理解するために参考となる事項をまとめたものですが、一般的な用語解説ではなく, 研究の背景にある新しい視点, 設計思想, 理論, アーキテクチャ等, 本研究室独自の考え方や独自の視点からの解説をまとめたものです. 従って, 本研究室が提唱している新しい概念や新しい技術が含まれ, また, 従来の用語に対しても新しい考え方や方向性を述べております. 本研究室の研究を理解するための一助となればと思います.

On this page, we provide some reference material from our laboratory's unique viewpoint to help you better understand the relevant pages on our website. Here we summarize the unique perspectives behind our research, such as new viewpoints, design concepts, theories, and architectures. These include new concepts and technologies that we have proposed, and in particular, we describe newer perspectives and directions and contrast them with traditional approaches and terminology.

センサフュージョン／Sensor Fusion

センサ フュージョン／ Sensor Fusion

複数のセンサ情報 (同種または他種) から, 単一のセンサでは得られない有用な情報を抽出する技術の総称. センサ融合あるいはセンサ統合とも呼ばれる. 正確にはセンサデータフュージョン (Sensor Data Fusion) と呼ぶが, 省略形であるセンサフュージョンが定着している. 類似用語として, マルチセンサ (複合センサ), インテグレーション (統合) があり, 心理学分野では, バインディング (結合) も見られる. また, 発展系として, 情報統合 (Information Fusion) やセンサネットワーク (Sensor Network) の分野があり, これらの分野の処理構造の基盤となっている. センサ自体の複合化, センサの知能化に対するセンサ情報処理の構造論, ネットワーク構築や処理ハードウェアのアーキテクチャ論, 処理の計算構造に対する信号処理・統計処理や信号処理, 論理構造に対する人工知能や知識処理, 処理構造が未知の場合の適応･学習理論, 全体システムの設計論等が議論されている.

"Sensor Fusion" is an inclusive term for technologies that use multiple sensors of the same or different types to extract useful information that cannot be obtained from a single sensor. Strictly speaking, it should be called "Sensor Data Fusion"; however, the shorter "Sensor Fusion" has now become entrenched. The similar terms "Multi-sensors" and "Integration" are also used to describe the concept, and "Binding" in psychology has a similar meaning. Sensor fusion forms the basis for processing structures in "Information Fusion" and "Sensor Networks". Many associated themes have been discussed, such as conjoined sensors, structural theory of sensory information processing using intelligent sensors, architectural theory of network construction and processing hardware, signal and statistical processing related to the computational structure of processing, knowledge processing and artificial intelligence related to logical structure, accommodation theory of learning in the case where the processing structure is unknown, and overall system design.

感覚運動統合／ Sensory Motor Integration

従来は, 感覚系で外界の認識をした後, 運動系にフィードバックされ行動が発現されるという直列モデルが主流であったが, 感覚系と運動系の関係は, これだけではなく, 認識のための運動の発現や下位のセンサフィードバック系の上位モニタとしての処理系等, 様々な形で統合的な処理モデルが考えられるようになった. このような処理構造を感覚運動統合と呼ぶ. 実際には, 脳のように超並列的な情報処理機構も必須の構成要素となる. 工学的に感覚運動統合システムを実現するには, アクチュエータやセンサ, コンピュータやアルゴリズム等, 感覚系・処理系・運動系を矛盾なく統合し, タスクや外界を含めて系全体を統一的に扱うことが必要となる. 本研究室では, 機能面と時間特性の両観点から感覚運動統合を行った高速ロボットを開発している.

Conventionally, there was only the serial model, which operates after recognizing the outside world. Recently, however, various types of integrated processing models have been proposed, such as those in which motion is performed in order to realize sensing and those in which processing systems function as upper-level monitors of lower-level sensor feedback systems. These processing architectures are called "Sensory Motor Integration". A massively parallel information processor like the brain is essential for implementing this kind of architecture. In order to construct a sensory motor integration system, we must integrate a sensory system (sensors), a processing system (computers and algorithms), and a kinetic system (actuators) with tight compatibility , and also deal with the entire system comprehensively, involving the outside world and the tasks to be performed. In our laboratory, we develop high-speed robots based on "Sensory Motor Integration" from the standpoint of functional aspects and time characteristics.

高速ロボット／ High-speed Robot

産業用ロボットは, プレイバック動作に対しては高速の動作が実現されているが, センサフィードバック, 特に視覚フィードバックを導入すると認識系の処理に起因して動作が遅くなる. また, 人間の動作を目標とするヒューマノイドロボットをはじめとする知能ロボットでも, 感覚系・認識系の遅さに起因して, 全体の動作は遅い. 機械システムとしてのロボットの高速動作の動作限界は, 人間の動作に比べて速いので, 本研究室では, 感覚系・認識系を高速化することにより, ロボットの高速化を目指している. 本研究室が考えるロボット研究の目標は, 感覚系・認識系も含めて人間をはるかに超える速度で動作する知能ロボットであり, 人間の目には見えない速度で動作する知能ロボットである.

Industrial robots are capable of high-speed motion when it comes to "playback motion", i.e., reproducing a prescribed motion , but when sensor feedback, especially visual feedback, is introduced, their motion can be delayed due to the processing required in the visual system. Even in the case of intelligent robots such as humanoids designed to operate like the human body, their whole body movements are also slow due to the slowness of the sensory and recognition systems. Based on the fact that robots, in mechanical terms, are capable of performing motions much faster than the human body, in our laboratory, we are attempting to speed-up robot tasks by making the sensory and recognition systems faster. Our goal in robot research is to build intelligent robots that include sensory and recognition systems and that are able to move so fast that we cannot even see their motion, surpassing the motion speed of the human body.

知能システム／ Intelligent System

「知能」をどのように考えるかは, 従来からチューリングテストをはじめとして様々な考え方が存在するが, ここでは, 計算機の中ニ情報の世界の中だけの知能ではなく, 実世界 (real world) の中で, 感覚系・認識系 (センサ技術), 処理系 (コンピュータ技術), 運動系・行動系 (アクチュエータ技術) が, 様々に変化する実世界と適応的にインタラクションするシステムと考える. この定義は, 従来の考え方を包含し, 実世界を対象とするため, より困難な問題設定となっている. この知能システムの実現には,「知能」の計算理論 (computational theory) の構築, 特に階層的並列処理構造の構築, その理論を実現するための情報表現とアルゴリズムの構築, 特に内部モデル (internal model) と情報表現 (representation) 並びにフュージョンアルゴリズムの設計, さらには実際に実現するスマートセンサやスマートアクチュエータを含めたハードウェアの三つの要素が重要となる.

Beginning with the Turing test, there have been many conventional ways of thinking about how we define "Intelligence". This question arises not only in computers (that is to say, in the information world) but also in the real world. Therefore, here we consider an intelligent system as a system that interacts adaptively with the real world, where a variety of changes in sensory/recognition systems (sensor technology), processing systems (computer technology), and motor/behavior systems (actuator technology) coexist. Since the definition of intelligence mentioned above includes the conventional one and is aimed at the real world, the problem setting is more difficult. There are three key parts to realize an intelligent system: The first is to establish computational theories, especially for building hierarchical parallel distributed architectures. The second is the configuration of the algorithms and information expression rules by which the theories are applied to the real world, particularly including their internal models and information representation, as well as the design of fusion algorithms. The third is to construct hardware that interacts with the real world, such as smart sensors and smart actuators.

階層的並列分散構造／ Hierarchical Parallel Distributed Architecture

知能システムの分野では, 脳の情報処理構造にヒントを得て, 脳に限らず広く一般的な知能システムの処理構造のモデルとして, 感覚系, 処理系, 運動系を統合し, 機能ごとの処理モジュールが階層的かつ並列に接続された分散処理構造を基本とするモデルがAlbusによって提案されている. このモデルにおいて, 感覚系・認識系に入力されたセンサ情報は, 求心性情報 (afferent information) として, 上位の階層に向けて階層ごとに処理されるとともに, 情報の抽象度を上げていき, 処理後の情報は, 運動系・行動系を遠心性の情報 (efferent information) として, 下位の階層に向けて, 具体的な信号に変換されて, アクチュエータに伝えられる. 各階層では, それぞれの情報表現 (representation) と時定数 (time constant) により処理が行われるとともに, 多層・多重にフィードバックループが形成されている. 上位の層では, 判断や計画という論理構造を実現する知識処理が行われ, 下位の層では, 高いリアルタイム性の制約の中で並列性の高い信号処理が行われる. この構造の効果的な活用のためには, 目的に対するタスク分解が鍵となる (タスク分解の項を参照).

In the domain of intelligent systems, Albus suggested a model serving as a structure model of a general intellectual processing system that is inspired by the human brain but surpasses its limitations. The model is based on a parallel distributed architecture in which processing modules for each function are connected with each other in a parallel and hierarchical way and are integrated with sensory, processing, and motor systems. In the model, sensor data input to the sensory and recognition systems is processed in progressively higher hierarchical levels and is passed to the next level as afferent information, gradually increasing

the level of abstraction of the information. The processed information, which is regarded as efferent information for the lower-level motor and behavior system, is converted to concrete signals that are passed on to the actuators. In each hierarchical level, information is processed using the corresponding representation and time constant, and feedback loops spanning the multiple levels and having a multiplexed structure are formed. In higher levels, knowledge processing is performed to realize logical structures such as decision and planning. In lower levels, highly parallelized signal processing is performed under constraint conditions that require highly real-time properties. To make effective use of the structure, decomposition of the task in question will be key. (Refer to Task Decomposition below.)

タスク分解／ Task Decomposition

階層的並列分散構造を有する知能システムの構築において, 目的の機能を分散化された処理モジュールに実装する際に, 全体のタスクを処理モジュールごとに分解した上で実装する必要がある. これをタスク分解 (task decomposition) と呼ぶ. タスク分解の方法の違いにより, 知能システムの動作が大きく変わるので重要な課題であるが, 一般的な解はなく, いくつかの設計思想が提起されている. 基本構造としては, 感覚系→処理系→運動系という分解の直列分解 (sequential decomposition) と, 並列のフィードバックループを仮想に配置した並列分解 (parallel decomposition) に分けられるが, 実際のシステムでは, この両者の複合構造となる場合が多い. 直列分解は, 各モジュールの設計が容易であるという利点があるが, 高度な処理が間に挟まると全体が遅くなるという欠点がある. 一方, 並列分解は処理速度の面では優位となるが, ヒューリスティックにしか分解が見つからないという欠点がある. 本研究室では, 少ない次元のアクチュエータに対して, 並列モジュールからの出力の単純加算で出力するため, 処理モジュールの出力が時間的又は空間的に独立となるように設計する直交分解 (orthogonal decomposition) を提案している.

In the construction of intelligent systems having a hierarchical parallel distributed architecture, the whole task needs to be decomposed into modular processes in order to functionally implement these subtasks on the distributed processing modules. This is called task decomposition. Task decomposition is an important subject because the behavior of the intelligent system is affected by the task decomposition method used. However, there is no general solution for task decomposition, and several design concepts have been proposed. As a basic structure, task decomposition is separated into sequential decomposition, which decomposes the task into the sensory system, the processing system, and the motor system, and parallel decomposition, which makes virtual parallel feedback loops. In practice, sequential decomposition and parallel decomposition are often used together. With sequential decomposition, the design of each module is easy, but the whole system becomes slow if there is a heavy processing load. On the other hand, parallel decomposition has the advantage of higher processing speed, but it can be realized only by heuristics. Our laboratory has proposed orthogonal decomposition, which makes the outputs of processing modules independent of time and space by simply summing the outputs of parallel modules and using the sum as the input for a limited number of actuators.

ダイナミクス整合／ Dynamics Matching

本研究室が提唱する高速のセンサフィードバックを行う知能システムに対する設計思想. 実世界で扱おうとする対象 (ロボット本体の物理系も含む) には固有のダイナミクスがあり, サンプリング定理により, 対象の完全な把握・制御にはシステムのすべての要素が対象のダイナミクスに対して十分な帯域を確保することが必要である. そこで, ダイナミクス整合は, 対象のダイナミクスをカバーするように, 感覚系 (センサ), 処理系 (コンピュータ), 運動系 (アクチュエータ) を設計することにより, 全体として整合性の取れた知能システムを実現することを意味している. もし, 一部に遅いモジュールがあると, 対象のダイナミクスに対して不完全な情報での制御となり, 全体システムはそのモジュールのダイナミクスに制約されることになる. 現在市販されているサーボコントローラのサンプリングレートは1kHz程度なので, 機械システムを想定した現実的な知能システムでは1kHzが上限の目安となる.

The design concepts for intelligent systems using the high-speed sensor feedback proposed by our laboratory when interacting with real objects (including the physical systems of robots) involve specific dynamics. Therefore, due to the sampling theorem, all of the components of the system need to have sufficiently wide bandwidth relative to the objects' dynamics in order to measure and control the objects perfectly. Dynamics matching means realizing an intelligent system that matches the properties as a whole, by designing the sensory system (sensors), processing system (computers), and motor system (actuators) so that they have sufficiently wide bandwidth to cope with the object's dynamics. If there is a slow module in the system, the whole system is constrained by the dynamics of that module because the system controls the object's dynamics based on imperfect information. Sampling rates of currently available servo controllers are about 1 kHz; therefore, 1 kHz is the rough upper target to be realized in real mechanical intelligent systems.

リアルタイム パラレル プロセッシング／ Real Time Parallel Processing

リアルタイムプロセッシングとは, 何らかの意味で定義された時間内に処理を実現することを補償した処理系を意味し, ロボットのような実世界で高速に動くシステムでは必須の技術である. 並列処理は, 演算処理の高速化に有効であるが, 処理モジュール間のデータ転送や演算の実行時間の変動などにより, 例えばプライオリティインバージョン (priority inversion) 等の問題が起こり, 全体として処理時間の制御が難しくなるため, ロボットに求められるリアルタイム性と両立させることは極めて困難になる. 従って, 多くの場合, 目的の機能に対してアドホックに処理を設計しているのが現状である.

Real-time processing is to realize processing in a defined time, and it is an essential technology in fast-moving systems in the real world, such as robots. Although parallel processing is effective for high-speed arithmetic processing, some problems such as priority inversion occur due to changes in the execution time of operations and data transfer between processing modules. As a result, the overall processing time is difficult to control, so that it is extremely difficult to make parallel processing compatible with the real-time nature required for a robot. Therefore, at present, in many cases, the process is designed in an ad hoc manner for the target function.

センサ フィードバック／ Sensor Feedback

環境やロボットの状況をとらえたセンサ情報をロボットの動作にフィードバックすること. 通常は, 視覚センサや触覚センサといった, 外界の変化や外界とロボットとの相互作用等を捉えるセンサからの情報に対するフィードバックのことをさし, 環境や対象の変化, ロボットとの相互作用等を認識・理解し, ロボットの行動にリアルタイムに反映させる制御のことをさす. 従来の産業用ロボットは, プレイバックと呼ばれる同じ動作を繰り返すことを目標に作られており, 繰り返し動作として精度や速度の仕様が設定され, 評価されていたが, センサフィードバックモードの場合は, 繰り返し動作とはならないため, 精度も絶対精度あるいは対象との相対精度で評価すべきで有り, 動作速度もセンサ情報処理系の認識・理解の処理時間も含めて, 設計する必要がある. 知能システムとして, 高速ロボットを実現するためには, 本研究室が提唱するダイナミクス整合のような設計思想が必要であり, なおかつ非繰り返し制御に対応するバックラッシュレスの機構の導入が必須である.

Sensor feedback involves feeding back sensor information, about the environment as well as the robot, to the robot operation. Usually, sensor feedback denotes feedback of information from sensors that capture changes of the outside world and the interaction between the robot and the outside world, or control to reflect such changes of the environment and the object in the robot's action in real time. Conventional industrial robots are designed to repeat the same operation over and over, that is to say, "playback", with certain levels of accuracy and speed, and are evaluated based on their ability to achieve these levels. On the other hand, in sensor feedback mode, robots are not forced to repeat the same movement, so that the accuracy should be evaluated in terms of an absolute accuracy or a relative accuracy, and the robots must be designed by taking into account also the operating speed and the processing time for recognition and understanding in the sensor information processing system. In order to realize a high-speed robot as an intelligent system, a design concept like dynamics matching proposed by this laboratory is necessary, and the introduction of backlash-free mechanisms suitable for the non-repetitive control is essential.

動的補償／ Dynamic Compensation

ロボットによる高速かつ高精度な位置決めを実現するのに, 機械的なバックラッシュ , モデル化誤差, 較正誤差等を含む動的な不確実性に対する処理は, 非常に困難な問題である. 特に, 生産性の更なる向上の目的で, 通常の応用のために設計された汎用ロボットを高速動作させる場合, それらの不確実性による影響も顕著に現れると考えられる. この問題を解決するため, 高速視覚フィードバック及び軽量の補正アクチュエータの融合による動的補償手法が, 我々の研究室によって提案された. 動的補償手法は, 以下のように３つの基本的な方針によって構成されている. (1) メインロボットが粗い高速接近の役割を担当するが, 安定性を確保する前提で不確実性については考慮せず, 精密な位置決めを補償アクチュエータに任せる. (2) 機械的なバックラッシュ , モデル化誤差, 較正誤差等を含んだ動的な不確実性は, 高速ビジョンで観測するロボットとターゲットの間の相対的な位置情報として表される. (3) 全体的な不確実性は, 高速に反応できる補正アクチュエータによって補償される (補償サイクルの遅延が十分に小さいと仮定する).

For high-speed and high accurate robotic positioning, dynamical uncertainties due to mechanical backlash, modeling errors as well as calibration errors exist as the most difficult problem to cope with. Especially, for general robots designed for normal speed operations, the negative impact of dynamics issue would be greatly magnified if it is assigned to high-speed manipulations in order to further improve the productivity in industrial applications. Based on the traditional macro-micro concept, dynamic compensation approach was proposed in our lab to address this issue by fusing high-speed visual feedback and lightweight compensation actuator. The proposed dynamic compensation concept contains three basic points: (1) The main robot is responsible for coarse high-speed approaching and ignores the dynamical uncertainties as long as it keeps stable. Whereas fine positioning is handed over to the compensation actuator that

is serially configured on the main robot, (2) Dynamical uncertainties including mechanical backlash, modeling errors, calibration errors and others are overall perceived as the equivalent systematic uncertainty, which is resultantly observed as relative positions between robots and target from high-frequency images, (3) The systematic uncertainty is (approximately) compensated by the compensation actuator under the assumption that it responses sufficiently fast (thus the delay of each compensation cycle can be sufficiently small).

ビジュアル フィードバック／ Visual Feedback

センサフィードバックの中で, 特に, 画像情報に対するフィードバック制御を意味する. センサ情報の中で視覚情報は, ２次元パターン情報であるため, 画像処理の時間がフィードバックレートに内包されるため, 従来はリアルタイムフィードバックが困難とされていたが, 高速画像処理の導入により, リアルタイムのビジュアルフィードバックが可能となる. 画像情報をフィードバックする先は, ロボット本体の他にも, 対象物, 照明, 撮像カメラなど様々な形が考えられる. 例えば, ロボットの作業や把持の制御はもちろんのこと, 顕微鏡像の制御を行うマイクロ ビジュアル フィードバック, アクティブ ビジョン, ターゲット トラッキング等への応用が考えられている. また, 画像→世界座標系→作業座標系という絶対座標系をベースとした制御も考えられるが, 画像に写りこんだ対象とロボットの像からそれらの相対的な座標から制御を行う相対座標制御を導入することにより, 座標変換誤差を排除することが可能となる.

Visual Feedback, which is one type of Sensor Feedback, particularly refers to feedback control for image information. Conventionally, it has been difficult to utilize image information for feedback in real time, because image information, which is two-dimensional, requires a long time for image processing, which affects the feedback rate. However, our High-Speed Image Processing system makes real-time visual feedback possible. Target objects for image information feedback include robots, robot manipulation objects, lights, imaging cameras and so on. Example applications include robot tasks, manipulation control, micro-visual feedback for control of microscope images, active vision, target tracking and so on. A coordinate transform error occurs when using a coordinate transform from an image to the task coordinates via absolute coordinates, but this error can be removed by introducing relative coordinate control between the target and robot in the image.

センサ ネットワーク／ Sensor Network

ネットワークの各アドレスに何らかのセンサを配置し, そのセンサ情報をネットワークで活用することを目的としたネットワーク. 従来のネットワークが, ノードとしてコンピュータを想定していたのに対し, センサ情報を対象とすることにより, ネットワーク上で物理世界の情報の把握が可能となり, ネットワーク上に接続されたノードからそれらの情報を利用することが可能となる. サイバーフィジカルシステム (cyber physical system) という考え方も提唱されている. 現状では, 従来のネットワーク構造にどのような形でセンサ情報を接続するかが課題となり, プロトコルの改良が行われているに過ぎない. 現在のネットワーク構造は, リアルタイム性, 情報の空間密度･時間密度, 安全性等の観点から, 本質的な意味でセンシングの基本構造を実現できる構造になっていない. 特に, 本研究室が提唱・実践する, センサ フュージョンや感覚運動統合に不可欠な階層的並列分散構造上の タスク分解や リアルタイム パラレル プロセッシングの基盤を実現し, ダイナミクス整合に基づく, アクティブ センシングや インテンショナル センシングといったセンシングの構造を実現できる構造が, センサネットワークに必要である.

A Sensor Network is a network in which various kinds of sensors are provided, and their sensor information is utilized. Whereas conventional network nodes are mainly computers, sensor network nodes are sensors that provide sensor information, so in a sensor network it is possible to acquire and utilize real-world information. The idea of a cyber physical system has been proposed. As it stands now, the problem is how to use a conventional network architecture to connect sensor information, and research has involved merely improving protocols. Current network architectures are not, in essence, suitable for realizing basic sensing architectures because of the requirements for real-time performance, space and time density of information, and security. In particular, a sensor network needs to realize task decomposition on a Hierarchical Parallel Distributed Architecture, which is essential for Sensor Fusion and Sensory Motor Integration and is the basis of Real-Time Parallel Processing, and also requires a structure capable of implementing active sensing and intentional sensing based on dynamics matching.

アクティブ センシング／ Active Sensing

一般的にはいろいろな意味が与えられているが, 本研究室では, センシング・認識にアクチュエータを活用するセンシング手法をさす. 未知の環境に対して事前のセンシング行動や様々な補償行動が考えられる. 具体的には, 局所的なセンサで大局的構造を探索する際の対象(位置・特徴)の探索や局所性の回避(形状), 同様の目的であるが, 局所的に高分解能のセンサを用い, 大局的に走査することで実現される空間分解能の向上, アクチュエータ系の時系列信号とその応答から微細形状や表面テクスチャの最適化センシング, さらには, アクチュエータの時間特性を制御できることから, センサの動特性の補償, 特に微分的動作の補償等が考えられる. また, 自己の行動と認識との関係から, 環境と主体の行動との間の関係で認識・行動が成立するとするアフォーダンス(J.J. Gibson), 知覚循環 (U. Neisser), 選択的注意 (selective attention), 自己受容性に基づく自己認識等の考え方に強く関係している. 特に, 視覚ではアクティブ ビジョンと呼び, 触覚ではハプティックスという研究分野として注目を集めている.

While the term generally has many meanings, in this laboratory, Active Sensing refers to the way that we sense and recognize objects using actuators. When we are confronted with an unknown environment, Active Sensing enables us to sense the environment in advance and provides a lot of benefits. Specifically, the aim is to search for objects (positions, aspects) and avoid locality (configuration) when exploring a comprehensive structure with regional sensors. It is possible to improve the spatial resolution by using high-resolution regional sensors and comprehensive sweeping, optimized sensing of minute structures and surface textures by using actuator-related time-series signals and the responses to them, and recovery of dynamic characteristics, particularly those with differential behavior, by controlling the temporal properties of actuators. Active Sensing is closely related with ideas such as affordance (J.J. Gibson), which proposes that an agent can perform shape recognition and exhibit certain behavior by means of the relation between her/his behavior and the environment that s/he is involved in, by studying the relationship between self-behavior and self-recognition, as well as the ideas of the perceptual cycle (U. Neisser), selective attention, and self-recognition based on proprioception. This concept is called Active Vision and has been gathering a lot of attention in the field of optical research, and is called Haptics in research on tactile perception.

インテンショナル センシング／ Intentional Sensing

センシングは, 求める情報が存在する解空間に対して, 計測値や拘束条件を使って解が存在する空間や領域を狭めていったり, 使える情報が多い場合には統計的な処理で最も適切な解を求めたりする過程である. 少ないセンサ情報で多次元の情報空間を対象とする場合には, 使える情報が対象の空間に対して少なくなる不良設定問題となったり, 広い情報空間の中の探索問題となったりする場合が多い. この場合, 解を拘束するには, 計測値ばかりでなく, 過去の経験や物理制約等を拘束条件として用いることが多いが, センシングには, センシングの目的が有り, その目的の明示的な記述を制約条件として使い, 対象の情報空間を制約することも可能である. そのような方法をインテンショナルセンシングと呼ぶ. この考え方は, 1991年～1995年に実施されたセンサフュージョンプロジェクトで提唱されたものであり, 感覚運動統合における能動的認識において, 大きな役割を果たしている.

Sensing is a process in which we narrow-down the space in which a solution may exist by using measured values and constraint conditions, or find an optimal solution by statistical processing in cases where a lot of useful information exists, in regard to the solution space, which contains information upon which algorithms may converge. When multidimensional information space is dealt with using a small amount of sensor information, the problem becomes ill-posed, meaning that the amount of useful information is smaller than the amount of information about the target space , and the problem of searching a large information space often occurs. In this case, to constrain the solutions, not only measured values but also past experience or physical constraints are frequently used as constraint conditions. Moreover, as sensing has its own goal, it is also possible to constrain the target information space by using an explicit distribution of the objects as a constraint condition. This method is called Intentional Sensing. This idea was proposed in the Sensor Fusion Project, which ran from 1991 to 1995, and plays an important role in active recognition in Sensory Motor Integration.

触覚センサ／ Tactile Sensor

人間の皮膚の受容器に相当するロボット用センサ. 一般には, 接触に伴うセンサ表面の圧力分布を計測するセンサを指す場合が多いが, カセンサや温度・熱流センサを組み合わせたものもある. 柔軟な弾性体の歪み計測を行うのが一般的であるが, 必要な柔軟性の確保と耐久性の維持, 様々な3次元表面形状への対応, 場合によっては大面積化, 分布情報取得のための回路技術, 取り付け空間が狭隘であるため配線量の削減等, 通常の電子デバイスには見られない設計条件が存在する. センサを固定した利用法もあるが, センサを可動部に取り付けた場合は, センサの運動が計測に強く影響するので, 能動性の強いセンサと言われている. 触覚センサを有効に働かせるための運動を触運動と呼ぶ. また, 触覚を運動と合わせて知覚構造を考えることをハプティックスと呼ぶ.

A Tactile Sensor is a sensor that is equivalent to a touch receptor under the human skin. It usually means a sensor that measures a pressure distribution on its surface associated with touch, but sensor assemblies consisting of force sensors and temperature sensors, or heat current sensors, also exist. Usually, such sensors measure the distortion of a flexible elastic body. When designing a Tactile Sensor, it is necessary to ensure flexibility while maintaining durability, so that the sensor can conform to many kinds of three-dimensional surface forms, to ensure a large surface area, depending on the circumstances, to design circuit technology for acquiring pressure distribution information, and to decrease the number of cables in order to provide a larger working area. None of these requirements are seen in usual electronic devices. While it is not true to say that fixed sensors are never seen, sensors that are fixed to movable parts exhibit high-activity because motion of the sensors has a large influence on the measurement. The motion that makes a Tactile Sensor work effectively is called a touching motion. The study of perceptual structure, while taking account of haptic sense and motion at the same time, is called Haptics.

ダイナミック マニピュレーション／ Dynamic Manipulation

従来のマニピュレーションが低速で準静的な動作であったのに対して, 高速かつ動的な動作を基盤としたロボットマニピュレーションの総称. 例えば, 人間で言えばスポーツ時に見られるような躍動的な動作でかつダイナミクスの限界に近い動作の実現を目指すものであり, 従来のマニピュレーションでは実現しえなかった動作の実現を目指すものである. プレイバックやフィードフォワード主体の制御では, 限定された軌道でのダイナミックマニピュレーションが行われていたが, これらの方法も含め, 一般的に, 対象の加速/高速運動に追従する認識能力や運動能力が不足していたため, センサフィードバックを用いたマニピュレーションでは実現が困難であった. この問題に対して, 本研究室の高速ロボットでは, 広い帯域をカバーする高速のセンサやアクチュエータを開発するとともに, 対象の不安定状態および非接触状態の積極的な利用や高速動作を優先した少ない自由度での器用な操りの実現等, センサ・アクチュエータ系の性能を限界まで活用することにより, 新たなダイナミックマニピュレーションの創出を目指している.

This is the general term for high-speed dynamic robot manipulation. The aim is to realize swinging motions that are close to the dynamical limit, which is impossible for conventional slow and quasi-static manipulation systems. Conventionally, the recognition ability and motion capability have not been rapid enough to keep up with high-speed / accelerated movements of the target; thus, even playback or feedforward-driven control systems could realize dynamic manipulation only with limited trajectories. To solve this problem, our laboratory has developed high-speed sensors and actuators that can cover a wide range, and can also perform high-speed and dexterous manipulations with fewer degrees-of-freedom by intentionally utilizing unstable or non-contact states for the target. We aim to create a brand new dynamic manipulation system by getting the maximum performance from sensor-actuator systems.

サンプリング定理／ Sampling Theorem

サンプリングとは, アナログ信号(原信号, 連続値)の値をある間隔ごとにサンプル（離散信号）として取り込むことを意味し, その際の間隔をサンプリング間隔, この逆数をサンプリング周波数と呼ぶ. サンプリング定理とは, ある帯域制限信号の最大周波数に対して, その周波数の2倍以上のサンプリング周波数で原信号をサンプリングすることにより, サンプル値から原信号を完全に復元できることを意味する. このことから, システムの設計に当たっては, 対象の帯域を把握あるいは設定した上で, 2倍以上の帯域を有するセンシング系を用いることが, 対象を完全に把握するための必要条件となる. しかし, 現実には, 対象の帯域やサンプリング周波数をどのように設定するかは, システムの動作周波数の設定とともに, 極めて難しい問題である. そこで, このことも含め制御系設計を考えると, 設定した帯域の2倍ではなく, より帯域を広くとることが望ましく, 例えば, ロボットの制御（時間軸）では, 10倍程度に設定することを勧めている教科書も存在する. 本研究室で扱うビジュアルフィードバックでは, 一般的なサーボコントローラのサンプリングが1msに設定されている場合が多いので, ダイナミクス整合の観点から視覚情報処理のフレームレートの上限を1,000fpsで実現することを基本としている. このことは, 理論的には500Hz以下の帯域で対象の把握が可能であることを意味しているが, 対象の制御という点では, 対象やシステムの動特性に依存して, もう少し下の帯域（例えば, 100Hz ～ 500Hzを上限とする帯域）をカバーしていることになる.

Sampling means acquiring values of an analog signal (original signal, continuous value) as samples (discrete signals) at certain time intervals. The interval is called the sampling interval, and its reciprocal is called the sampling frequency. The sampling theorem states that, compared with the peak frequency of a certain band-limited signal, it is possible to restore the original signal completely from the sampled values by sampling the original signal at a sampling frequency that is more than twice the peak frequency. Thus, in designing a system, in order to acquire and comprehend an object completely, it is necessary to use a sensing system whose frequency band is more than twice as wide as the frequency band of the target items to be measured , after comprehending or setting the frequency band of these items. In reality, however, it is extremely difficult to set the frequency band or the sampling frequency like the operating frequency of the system. Therefore, by using a control system design that takes account of this problem , it is desirable to set the frequency band not just twice as large but wider. For example, for temporal control management of a robot, some textbooks recommend setting the sampling frequency band to be approximately ten times larger. In the visual feedback in our laboratory, since in many cases the sampling time of the servo controller generally is set to 1 ms, our basic goal is to realize a frame rate with an upper limit of 1,000 fps in visual information processing from the viewpoint of dynamics matching. This means that, theoretically, it is possible to acquire and comprehend the object in a frequency band below 500 Hz, but in terms of control of the object, depending on the dynamical characteristics of the object or the system, we cover a slightly lower frequency band (e.g., a frequency band up to 100 to 500 Hz).

人間機械協調／ Human-machine cooperation

人間と機械システムまたはロボットとが, ある決まったタスクを協働して行うことであり, 動作支援, 作業支援, パワーアシストなどの応用が期待されている. 本研究室では, 感覚運動統合に基づいて開発した高速ロボットを用いることにより, 人間よりも高速な認識・処理・運動を可能とし, 人間の動作に対して低遅延の応答性を実現することで, 人間との高速な協調動作を達成している. 例えば, 人間とロボットとが把持した物体の姿勢制御において, カセンサや触覚センサを用いず, 高速ビジュアルフィードバックにより姿勢制御手法の簡易化に成功している. また, 人間だけでは困難なマイクロメートルオーダの嵌め合い作業に対して, ロボットが位置合わせを補助することにより, 本タスクを実現している. 特に, 機械システムおよびロボットの高速性は人間の動作の先読み・先回り支援を実現するものである.

Human-machine cooperation involves cooperation between humans and mechanical systems or robots to achieve certain tasks. Various applications of this technology are expected, such as motion support, work support and power assist. By using a high-speed robot developed in our laboratory based on sensory-motor integration, recognition, processing and actuation at levels beyond those that are possible by humans alone, and then by realizing low-latency response to human motion, high-speed cooperative operation with humans can be achieved. For example, in posture control of an object grasped by both a human and a robot, we succeeded in simplifying the posture control method by adopting high-speed visual feedback, without using force sensors or tactile sensors. Moreover, we demonstrated a peg and hole task by a robot assisting a human user to position the pegs with micrometer precision, which would be difficult for human beings to perform unassisted. In particular, the high-speed performance of mechanical systems and robots can be exploited to realize prefetching and preliminary support for human motion.

柔軟体制御／ Control of flexible objects

従来, 柔軟体制御はロボットの低速動作によって, 静的もしくは準静的な環境下において実現され, その高速化は困難とされてきた. これは柔軟体のモデル化およびパラメータ同定が困難であり, かつ時々刻々変形する柔軟体の形状の把握が困難であることが主たる要因である. 本研究室では, 高速に柔軟体を操作することによりモデルの簡易化に成功し, ロボットの軌道生成を容易にしている. 例えば新体操のリボンを高速に操作することで, 手先の運動にリボンの変形が追従することを利用したものである. これにより, 連続体の偏微分方程式や多体系の連立微分方程式では表現することなく, 代数方程式に書き換えることができる. この方法に加えて高速ビジョンを用いることにより, 柔軟体の状態をリアルタイムで把握することにより, 紐の動的結び操作や布の動的折りたたみ操作等を実現している.

Conventionally, control of flexible objects has been realized in static or quasi-static environments by using low-speed robots, and it has been considered extremely difficult to speed up this type of task. This is mainly due to the difficulty of modeling flexible objects, including parameter identification, and the difficulty of recognizing the instantaneous shapes of flexible objects that are constantly deforming. In our laboratory, we simplified the model by manipulating flexible objects at high-speed, making it easier to perform trajectory generation of the robot. This can be achieved, for example, by using the fact that the high-speed deformation of a rhythmic gymnastics ribbon follows the movement of the hand. Thus, the model can be rewritten as a simple algebraic equation instead of expressing it using partial differential equations or simultaneous differential equations. By using high-speed vision in addition to this method, real-time recognition of the state of a flexible object enabled dynamic knotting of a flexible rope and dynamic folding of a cloth.

二足走行／ Bipedal running

従来の二足ロボットは, 運動性能と認識機能に関してハードウェアのレベルで十分な能力をもっていないため, アスリートのようなダイナミックな運動には不向きであった. さらに, バランスを崩しても元の状態へ復帰できる許容範囲が狭いため, その狭い範囲から外れないように事前に動作を計画する必要があり, 複雑で計算コストの高い制御手法が主流となっていた. 一方, 本研究室では独自に開発した２つの要素技術を融合することで, 簡易な制御手法によって高速走行を実現している. 要素技術の１つは高速二足走行機構で, 軽量かつ高出力なモータによって, 地面を力強く蹴って加速する動作と, 空中で着地姿勢へ高速に復帰する動作が可能となっている. もう一つの要素技術は高速ビジョンで, 高速カメラを用いて1秒間に600枚の処理を行い, ロボットの状態・姿勢を高速に認識することによって, 走行姿勢を安定に保つことを可能にしている. これらによって, 不安定な姿勢でも転倒を回避するための瞬間的な反応動作を可能とすることで, より前傾した姿勢を取ることが可能となり, 視覚フィードバックを主体とした直観的な制御手法を実現している.

For biped robots, it has been conventionally difficult to achieve dynamic leg motion like athletes due to the limited hardware capabilities in terms of motor performance and recognition functions. Moreover, complex and computationally expensive methods are required to preliminarily plan a stable trajectory for avoiding falls due to the narrow stable area. To solve this problem, our laboratory has developed a high-speed biped robot that integrates two elemental technologies. One is a high-speed mechanism composed of

powerful, compact actuators that ensure compatibility between high power in the ground phase and high-speed in the aerial phase. The other is a high-speed vision system that allows the robot to keep its balance by recognizing the running state of the robot through image processing at 600 fps. These two elements result in instantaneous response movements for avoiding falls and provide an intuitive strategy for generating high-speed running based on visual feedback.

インピーダンス制御／ Impedance control

外力に対するロボットの応答特性を所望の機械的インピーダンス（慣性・粘性・弾性）で表現する力制御手法であり，目標位置に対する誤差を許容して力の緩衝を実現することが出来る．従来のインピーダンス制御は，ロボットを押せば押すほど元の位置へ戻るための反発力が強くなる弾性変形モデルで構成されていたため，外力を自然に受け流すような可塑的挙動が困難であった．これに対して，我々の研究室では，衝撃吸収によって生じるバックドライブモーションを“ロボットの塑性変形”と捉えるコンセプトを提案し，塑性変形モデルに基づいた低反発特性を有するロボット制御を実現している．このアーキテクチャを実現する研究として，機械的バネとソフトウェアダンピングを統合したビジュアルショックアブソーバの開発や，サーボ制御により全てのインピーダンスを任意に調整可能な制御則が構築されている．また，塑性変形と弾性変形の制御モードを各部分空間にそれぞれ割り当てることで，外力を受け流す方向と外力に反発する方向を分離設定可能な制御則も提案されている．

Impedance control is a force control method expressed by using mechanical impedance, which is composed of inertia, viscosity, and elasticity, to adjust a robot's response to an external force. Conventional impedance control has been based on an elastic deformation model in which a repulsive force is always generated to return the end effector to its original, zero-displacement position. Therefore, it is difficult to generate plastic behavior for natural impact absorption. In contrast, our laboratory has proposed a new concept that the back drive motion due to impact absorption should be regarded as plastic deformation of the robot, and has developed an architecture for low-rebound force control based on a plastic deformation model. Our method has been verified by several approaches, such as the development of a visual shock absorber that integrates a mechanical elastic spring with software damping control, and the existence of an equivalent transformation of the deformation model between series and parallel representations.

ビジュアルエンコーダ／ Visual encoder

ビジュアルエンコーダはロータの回転角を高精度且つロバストに計測するための計測手法である．従来のロターリエンコーダで使われる光学パターンを応用したマーカーを導入し，高速カメラシステムを用いて得られた画像をビジョン基盤手法で処理することにより，高速回転系の計測における信頼性の向上を特徴とする．基本原理として，マーカーに赤，緑，青の光の３原色で構成された色ブロックのパタンを配置し，特定位置にある画素における色変化を追跡することにより回転角が計測できる仕組みとなっている．色の推移を観測する画素の位置は，RGBカメラにより撮像されるマーカーの画像重心を基準として一意に決まるように設定される．計測においては３原色を用いることで，回転角だけでなく正転・逆転が同時に観測できるようになっている．ビジョン基盤手法の柔軟性とロターリエンコーダの信頼性，両方が満たされるので，高速ロボットを利用した非線形高速回転系の制御等への応用が期待される計測手法である．

A visual encoder is a robust and precise means of measuring the rotation angle of a rotor. By introducing markers on which the optical patterns used in conventional rotary encoders are applied and by processing the images captured via a high-speed camera system using a vision-based method, it is possible to maintain the flexibility of the vision-based method while improving the reliability of the measurement. As a basic principle, a pattern consisting of color blocks with the primary colors, red, green, and blue, is located on a marker, and the rotation angle is measured by tracing the change in color at a specific pixel on the marker. This specific position of this pixel is set so as to be uniquely determined from the image center of the marker captured by an RGB camera. In the measurement, by using the three color elements, not only the rotation angle but also the direction of the rotation, such as clockwise or counterclockwise, can be observed concurrently. Since both the flexibility of the vision-based method and the reliability of the traditional rotary encoder are achieved simultaneously, it is expected that this visual encoder method can be applied to robotic manipulation for the rotation control of nonlinear high-speed rotary systems.

ダイナミックビジョンシステム／Dynamic Vision System

ダイナミック ビジョン システム／ Dynamic Vision System

様々なダイナミクスを有する現象に対して, 光学系・照明系・処理系等をうまくコントロールすることで, 通常では見ることができない対象や現象を人間にとってわかりやすい形で提示する技術. 従来の固定で低速の撮像システムでは,画角が固定されていることに起因して, 画角と対象の解像度の間にトレードオフが存在するため, 画角外の撮像や対象の高解像度撮像は不可能であった. また, 対象の運動等のダイナミクスが映像に含まれるため, 運動中の対象を高解像度でとらえることはできなかった. そこで, この技術により, 映像に混入する不要な運動を補償することにより,利用形態に合わせて必要とする映像の撮像が可能となる.

Dynamic Vision System is a technology that presents, in a simple form, some objects and phenomena that cannot normally be seen, by appropriately controlling the optical system, illumination system, and processing systems in response to various phenomena exhibiting dynamical behavior. Since a trade-off exists between the angle of view and resolution in conventional slow fixed imaging systems due to the angle of view being fixed, it is impossible to take images outside the angle of view and to take images at high resolution. In addition, it has not been possible to capture a moving object at high resolution because the images include dynamic phenomena, like the movement of the object. Dynamic Vision System enables us to capture the required images, according to the actual implementation of the system, by compensating for unwanted movements in the images.

マイクロ ビジュアル フィードバック／ Micro Visual Feedback

顕微鏡下の対象のように微細な物体を操作することは, 人間にとって困難であり, 特殊なスキルを操作者が獲得する必要がある. マイクロビジュアルフィードバックは, 微細対象の拡大像を高速ビジョンで捉えることにより, 対象に関する情報を高速・高精度・非接触にフィードバックし, 必要な情報・映像を取得する方法である. 微細なスケールでは物体の固有振動数やその大きさに対する相対的な速度が高速になるため, マイクロビジュアルフィードバックにおける画像処理やアクチュエーションの高速性は特に重要な要素となる. この手法により, 人間に過度の負担をかけることなく微細対象の自律的な操作を行うことが可能になり, 顕微鏡下の観察, 検査, 操作にブレークスルーをもたらすものと期待されている.

It is difficult to manipulate minute objects like microorganisms in microscopy, and operators need to acquire special skills. Micro Visual Feedback enables us to get the required information and images by capturing enlarged images of a minute object at a high frame rate and feeding back information about the object at high-speed, with high accuracy, and in a non-contact manner. On the micro scale, the natural frequency of an object and its velocity relative to its size are high; therefore, image processing in Micro Visual Feedback and high-speed actuation performance are especially important elements. It is expected that, with this method, we will be able to manipulate minute objects autonomously without an excessive burden on the operator, which will lead to breakthroughs in microscope observation, inspection, and manipulation.

オーガナイズド バイオモジュール／ Organized Bio Module

高速ビジョンを介して情報処理機構と結合することで, システムを構成するひとつのモジュールとして働く微生物. このモジュールを要素として, 柔軟かつ多様な機能を提供する超大規模マイクロシステムの実現を目指している. 生物にとって, 環境変化の的確な検知とそれに対応した素早い行動は生死に関わるため, 微生物も体内に高感度, 高精度なセンサとアクチュエータを発達させてきた. オーガナイズドバイオモジュールでは, 微生物を高感度センサと超小型アクチュエータが統合されたバイオモジュールととらえ, 複数のバイオモジュールと処理要素を結合させるインタフェースの開発により, 生物と情報処理機構を融合した新しいマイクロシステムの実現を目指している.

A microbe can be regarded as a single module that composes a system in combination with an information processing mechanism through high-speed vision. Such modules will enable very large-scale micro-systems that provide flexible and diverse functions as an element in the system. In living organisms, in order to achieve precise detection of environmental changes and allow quick action in response, microbes have developed highly sensitive, highly precise sensors and actuators. In an Organized Bio Module, a microbe is regarded as a bio module in which a highly sensitive sensor and a microminiature actuator are integrated. The development of an interface for associating a processing element with multiple Organized Bio Modules will realize new microsystems in which living organisms and information processing mechanisms are fused.

アクティブ ビジョン／ Active Vision

何らかの形で対象に情報やエネルギーを加えることにより，有用な画像情報を得る技術．様々な定義がなされているが，最も広い定義では，眼球運動に相当する視線制御を積極的に利用する画像処理，構造照明等を用いて画像に意図的にパターンを照射することを利用する画像処理等が含まれる．視線制御では，リアルタイムビジュアルフィードバックを用いる方法や記憶されている情報（未確定情報）を用いて画像探索の効率を上げる方法等が用いられ，固定のカメラでは得られない性能が引き出されている．

Active Vision is a technology for obtaining useful image information by adding information or energy to an object. Although there are many definitions, in the broadest definition, it includes image processing using gaze control corresponding to eye movement and image processing in which an object is intentionally irradiated with patterned light using structured illumination. Gaze control includes a method using real-time visual feedback, a method of improving image search efficiency by using stored information, and so on. These methods achieve better performance than those using a fixed camera.

ターゲット トラッキング／ Target Tracking

運動する対象（target）を追跡し，必要な情報を得る技術．対象が複数の場合は，マルチターゲットトラッキングと呼ばれる．運動中の対象の画像の取得を目的とする場合には，対象の運動に追従可能な高速ビジョンにより対象を捉え，視線方向を制御するアクチュエータにフィードバックすることにより，対象を画角中心に捉える技術となる．基本は，パンとチルトの２次元（２自由度）の制御となるが，ステレオビジョンによる３次元トラッキングや高速フォーカシングによる単眼３次元トラッキング等も実現されている．

Target tracking is a technique for tracking a moving target and obtaining necessary information about it. In the case where there are multiple targets, it is called multi-target tracking. When the aim is to acquire an image of the moving target, we first capture the target with a high-speed vision system that can track it, then give feedback to the actuator to control the line of sight and fix the target at the center of the field of view. In addition to basic regulation control with two degrees of freedom, i.e., pan and tilt, three-dimensional tracking with stereo vision and monocular three-dimensional tracking with high-speed focusing have also been achieved.

ダイナミック プロジェクション マッピング（光軸追跡型）／ Dynamic Projection Mapping (Optical axis tracking type)

単なる平面スクリーンに対する投影ではなく，３次元物体の表面を対象として，その位置や形状に合わせた映像の投影をプロジェクションマッピングと呼ぶ．通常のプロジェクションマッピングでは，対象となる投影面の位置と形状が既知である必要があるため，変形のない静止物体を対象としていた．運動する物体に投影する場合は，物体の運動に対して遅延なく幾何学的整合性を保つ必要があり，通常の投影系では時間遅れの分だけ，映像がずれることとなる．このような動的な対象に対して時間幾何学的整合性のある投影，すなわち遅延による位置ずれなく映像の投影を行うことをダイナミックプロジェクションマッピングと呼ぶ．違和感のないダイナミックプロジェクションマッピングを実現する方法の一つに，主に高速ビジョンと高速光軸制御系を用いることによって，投影対象のトラッキングを精度良く実現し，同じ光学系を用いて同軸で映像投影を実現する方法があり，動的対象の時間幾何学的不整合を解消したダイナミックプロジェクションマッピングが可能となる．対象の高速運動に適合するように制御された投影は，新しいメディアアートや違和感のないヒューマンインタフェースだけでなく，スポーツ科学や製造現場等、幅広い分野での応用が期待される．

Projection Mapping is not to project some images simply onto a plane screen, but to project the images to fit a position or a shape of a 3-dimensional object surface as a target. General Projection Mapping targets only undeformable static objects because the position and the shape of the target projection surface need to be known. In case of projection to a moving object, we need to keep geometric consistency without delay against its motion. Misalignment of projected images, however, will occur due to a latency of a general projection system. Dynamic Projection Mapping is to project the images with time geometric consistency for such dynamic objects, that is, without misalignment caused by a delay. One method to realize Dynamic Projection Mapping without discomfort is to use a high-speed vision and a high-speed optical axis controller, which realize precise tracking of the target object and coaxial projection with the same optical system. The method enables Dynamic Projection Mapping with time geometric consistency of dynamic objects. The projection which is controlled to fit the dynamics of the target objects is expected to be applied not only to new media art or human-computer interfaces without discomfort but also to wide areas such as sports science and manufacturing scene.

再帰性反射／ Retroreflection

再帰性反射とは光の表面反射特性の一つで，入射する光を元の方向に反射させる特殊な特性である．通常の反射特性は，入射光に対して拡散する反射光を生じる拡散反射や鏡のような鏡面反射（正反射）等であるが，再帰性反射はガラスビーズやマイクロプリズム（コーナーキューブ）等によって，実現することができる．一般には夜間における道路標識などに用いられ，道路標識が遠方に存在しても車のライトの再帰性反射により，十分な明るさで運転者への注意喚起を可能とするものである．ただし，完全に入射方向に戻る再帰性反射では，反射光は光源に戻ることになるため，必要に応じて光源の周りである程度拡散するように設計されている．この再帰性反射を用い，同軸光学系や半透過鏡など適切な照明系を整えることで，自己照明に対して特異的に反射光の強度が高くなるような照明撮像系を組むことが可能となる．このような光学系は，露光時間の短い高速ビジョンでも十分な反射光量を確保できるため，高速トラッキングや広い視野での空中映像の提示等にも用いられている．

Retroreflection is one of optical surface reflectance properties, and a special property which reflects a ray of light entering the surface to its inverse direction. General reflectance properties include diffuse reflection which generates scattered light against incident light, and specular reflection (regular reflection) like mirrors. However, retroreflection is realized with glass beads or micro prism (corner cube). Generally retroreflection is used for road signs at night, which enable call for attention to drivers with sufficient brightness due to retroreflection of car lights even if the signs are far from the drivers. However, retroreflection which returns the light perfectly to the incident direction let reflected light go back only to the light source. Therefore, the retroreflection is designed to scatter the light around the light source to some extent as necessary. Preparing appropriate lighting systems with retroreflection such as a coaxial optical system and a half mirror enables construction of lighting and imaging system, which can obtain specifically high-intensity reflected light against self lighting. This optical system gives sufficient reflected light even for a high-speed vision with short exposure time, and is applied to high-speed tracking or presenting a large aerial image with wide range of viewpoints.

瞳転送光学系／ Pupil Shift System

カメラレンズや人間の眼などの光学系において，像面に伝達する光の幅を制限する部分は瞳と呼ばれ，カメラレンズの絞りや人間の眼球の虹彩がその役割を果たしている．複数の光学系を接続する場合に，単に接続すると一方の光学系の瞳を通った光の一部が他方の瞳を通れなくなってしまい全体として像が暗くなったり，像の一部が欠けてしまったりするといった問題が起きる．これを解決するために，両者の接続部に，片方の瞳を通った光線がもう片方の瞳も必ず通ることができるよう光線の具合を調整する光学系を配置することがあり，これが瞳転送光学系と呼ばれている．サッカードミラーでは小さな回転鏡を通過した光線が効率よくカメラレンズの瞳を通ることができるように，瞳転送光学系が鏡とカメラレンズの間に配置されている．

The part in an optical system that limits light entering the image plane, such as the aperture of a camera and the iris of the human eye, is called the "pupil". Connecting multiple optical systems often causes obscuration and image loss because some rays of light that go through the pupil of one system cannot pass through the pupil of another. The Pupil Shift System is placed at the connection between two optical systems so that more rays can pass through both pupils effectively. In the Saccade Mirror, it is located between the small rotating mirrors and the camera.

セルフウィンドウ法／ Self Window Method

ターゲットトラッキングのアルゴリズムの一種で，高速画像の取得を前提としたシンプルなアルゴリズム．高速画像の場合，対象の像面での動きはフレームごとにわずかであるため，前フレームの対象の周りにウィンドウを設定すれば，次のフレームでの対象はそのウィンドウの中に存在することが仮定できる．もし，像面での動きがそれ以上の場合には，前提条件を満たすようにフレームレートを上げるようにすれば，必要となるターゲットの探索範囲は極端に小さくなるため，簡単なマッチングアルゴリズムで対象の抽出が可能となる．この方法は３次元トラッキングでも同様の方法が利用できる．

The Self-Windowing Method is a simple target tracking algorithm designed on the assumption that images are captured at high-speed. With high-speed images, by setting a window around the target in a frame, it can be assumed that the target is still in the window at the next frame. This is because the movement of the target in the image plane between frames is small. In the case where the movement of the target on the image plane is larger, by increasing the camera frame rate in order to satisfy the assumption, the search range becomes extremely small, and target extraction can be achieved using a simple matching algorithm. This method could also be applied to three-dimensional tracking in the same manner.

可変焦点レンズ／ Variable Focus Lens

ほとんどのカメラや双眼鏡は, そのフォーカスを調節する機構を備えている. 既存の光学系は, 複数の固体レンズから構成されており, その一部のレンズの位置を変更することで, フォーカス調整の機能を実現している. しかし, レンズの位置を高精度に動かす必要があるため, その構造が複雑になって小型化の妨げになったり, フォーカス調整の高速化が難しいなどの問題点も存在する. 可変焦点レンズとは, ひとつのレンズ自体がその焦点距離を調節できるような機能をもつ新たな光学デバイスである. 可変焦点レンズが実現されれば, レンズを動かさずにフォーカス調節やズームを実現できるため, 従来にくらべて遥かに省電力, 小型, 高速かつ高機能なデジタルカメラなどが実現されることが期待される. 膜や板の変形, 液体と液体との界面の変形などを用いてレンズの形状を調整するものや, 液晶のように屈折率を変えられる 材料を用いる方式のものなどが盛んに研究されている. なお, 従来の機械的にレンズを移動させるタイプの光学系全体を指して可変焦点レンズと呼ぶ場合もあるが, 本研究室における「可変焦点レンズ」はレンズ単体でフォーカス調整機能をもつデバイスを指す.

Most cameras and binoculars have a focusing mechanism. Existing optical systems consist of multiple solid lenses, and focus adjustment is achieved by changing the positions of some of the lenses. However, the need to control the positions of the lenses with high accuracy causes some problems; for example, the mechanism becomes complex and is thus difficult to reduce in size, and it is difficult to perform focus adjustment rapidly. A Variable Focus Lens is a new optical device in which a single lens itself has a focusing mechanism. If such a lens could be realized in practice , it could achieve focus adjustment and zoom functions without moving lenses. This would allow the development of extremely small, low-power, high-functionality digital cameras. The Variable Focus Lens is currently an area of active research, including focus adjustment using a change in shape of a plate, film, or interface between two liquids, or by using materials with variable refractive index, such as liquid crystal. In some cases, a whole optical system that achieves focusing by moving lenses mechanically is called a Variable Focus Lens. In this laboratory, however, "Variable Focus Lens" means a device in which the lens itself has a focus adjustment function.

全焦点画像／ All-In-Focus Image, Omnifocal Image

全焦点画像とは, 視野全体でピントが合っている画像のことである. 特に, 視野全体にピントをあわせることが不可能な場合には, フォーカスの異なる複数の画像や, 特殊な光学系で撮影した画像に基いて, 計算機によって全焦点画像を合成する手法が盛んに研究されている. この手法が重要になる理由は, 次に述べる光学系の制約が存在するからである. 通常, カメラで画像を撮影すると, 画像の中にピントが合っている場所と合っていない場所が存在する. ピントの合う・合わないはカメラと撮影対象との距離で決まり, この距離が光学系によって決まるある範囲内であればピントの合った画像が撮影できる. このピントが合った画像が撮影できる距離の範囲を「被写界深度」と呼ぶ. 一般的に, 拡大率が大きいマクロレンズや望遠レンズで撮影する場合には被写界深度が浅くなることが知られており, 対象の位置に合わせてフォーカスを適切に調節することが重要になる. しかし, 対象が大きい場合などには見たい範囲が被写界深度に入らなくなり, 一枚の画像ですべてにピントの合った画像が記録できないという問題が起きる. 本研究室では, 高速可変焦点レンズを用いて, 高速の全焦点画像の取得を目指した研究を行っている.

An all-in focus image is an image in which the whole scene is in focus. While it is impossible to capture such an image with a usual camera, it can be computed from a series of differently focused images or from images captured by a special optical system. This area is under active investigation because the following optical constraints demand these approaches. Normally, an image captured by a usual camera has parts that are both in focus and out of focus because the distance between the camera and the object in the scene defines the sharpness of the image. The range of distances at which the object appears acceptably sharp is called the "depth of field" (DOF). It is generally known that a lens with a high magnification, such as a macro lens or a telephoto lens, has a narrow DOF, and it is therefore necessary to adjust the focal length to match the placement of the object. When the object is large, however, the entire object does not appear acceptably sharp in an image because some parts are outside the DOF. In our laboratory, we are conducting research to obtain all-in-focus images using a high-speed liquid variable-focus lens.

3D HUD ／ Three Dimentional Head-up Display

ヘッドアップディスプレー (Head-up Display, HUD/ハッド) は, ユーザーの視野に図形やテキストなどの情報を重畳して提示する技術である. ユーザーは前方から視線をそらすことなく, 周辺デバイスなどの情報を視野内で表示された映像として視認することができる. 従来のHUD投影技術 (ここでは2D HUDと呼ぶ) は表示映像が数メートル先にあるように見せるものである. 2D HUDでは映像の空間的整合性のために, ユーザーの頭部位置が基準観測位置にあり, 視線が光軸に一致する必要がある. それに対し3D HUD技術は, 三次元空間に虚像投影を行う技術であり, 映像の表示位置を三次元的に変更することができる. そのためユーザーの頭部位置が基準観測位置から移動しても, 表示映像はずれることがない.

A Head-up Display (HUD) is a technology for superimposing and presenting information such as graphics and text on a user's viewing field. The user can visually recognize the information (e.g., peripheral devices) in the form of an image displayed within the field of view without distracting the user from his or her forward line of sight. Conventional HUD projection technology (referred to as 2D HUD here) makes the display image appear to be several meters in front of the user. In a 2D HUD, the position of the user's head is at the reference observation position, and the line of sight needs to coincide with the main optical axis so as to maintain the spatial consistency between the projected information and the real world. On the other hand, a 3D HUD is a technology for projecting a virtual image in a three-dimensional space, and it is possible to dynamically change the projected information and the display position within the three-dimensional space. Therefore, even if the head position of the user moves from the reference observation position, the projected information will not shift.

光軸制御／ Optical Axis Control

光軸 (optical axis) とは光学系で取り扱う光線束の代表的な軸のことであり，拡散光を扱う一般的なカメラ系であればレンズの中心を通る主軸を指し，レーザー光などの平行光であれば光線束そのものとほぼ同じ意味となる．この光軸を上手く制御することで，計測の高精度化など光学系の性能向上が期待される．カメラ系における光軸制御としては電動雲台式や駆動鏡面式が存在し，ビジュアルフィードバックを利用して運動対象に向けてカメラの光軸を十分な応答性に基づき制御することで，モーションブラーが少なく高解像度な対象の撮影が可能となる．これに対し，スネルの法則を利用した透過型誘電エラストマー制御方式では，素材の厚みの変化に比例して光軸の位置制御量が更新されるため，微細な光軸制御が可能となる．

An optical axis is a representative axis of a bundle of rays to be handled by an optical system. In a general camera system handling diffuse light, it refers to a principal axis passing through the center of the lens. In the case of collimated light such as a beam of light from a laser, it has substantially the same meaning as the ray bundle itself. Proper control of the optical axis is expected to give improved performance of optical systems, such as higher measurement accuracy. Optical axis control in a camera system is typically achieved by using an electrically driven camera stage or a rotational mirror, and by controlling the optical axis of the camera based on visual feedback with sufficient responsiveness to point the gaze towards a moving object, an image of the moving object can be acquired with low motion blur and high resolution. On the other hand, in methods based on controlling transmissive dielectric elastomers using Snell's law, since the position control amount of the optical axis is updated in proportion to the change in thickness of the material, fine optical axis control is realized.

トラッキングBOS法／ Tracking BOS Method

陽炎(かげろう)に代表されるように，局所的な密度の違いが生じる気体では様々な光の屈折が生じる．シュリーレン法はその光の屈折を利用することで，衝撃波を含む流れを光学的に可視化する手法である．Background-Oriented Schlieren (BOS)法はその古典的なシュリーレン法を更に発展させた手法であり，カメラとテクスチャを有する背景のみを利用することで流れの可視化が可能という，実験装置として簡便な手法である．特にトラッキングBOS法は，高速な移動体・飛翔体周囲の流れの可視化に向けて，ビジュアルフィードバックなどを駆使してカメラの光軸を計測対象に向け続けながらBOS法による可視化を可能とする手法である．計測対象の運動に十分に追従する光軸制御性能と，光軸制御に伴うモーションブラーの影響を低減できる背景の選択が必要となるが，計測対象付近における長時間・高解像度かつモーションブラーの小さな流れの可視化が可能となる．

As represented by heat haze, various light refraction phenomena are generated in a gas where local density differences occur. The Schlieren method is a technique for optically visualizing a flow including a shock wave by utilizing the refraction of light. The background-oriented Schlieren (BOS) method, which is a further development of the classical Schlieren method, is a simple method that enables flow visualization by using only a textured background and a camera. In particular, for flow visualization around high-speed moving/flying objects, the tracking BOS method enables flow visualization by the BOS method while constantly directing the optical axis of the camera towards the target object by utilizing techniques such as visual feedback. It is necessary to select the optical axis control performance that enables the system to sufficiently follow the motion of the target object, and to select the textured background that can reduce the influence of motion blur accompanying the optical axis control. This technique enables flow visualization around the measurement object over a long duration with high resolution and small motion blur.

投影モザイキング／ Projection Mosaicing

プロジェクタは光線を制御して映像を投射することで現実世界の見た目を変化させることが可能だが，光線制御に用いる液晶やDigital Mirror Device (DMD)の画素数は有限であり，映像投影において画角と解像度のトレードオフの課題を有する．ここで光学的に対となるカメラでは，複数の画像を繋ぎ合わせて一枚の大きな高解像度画像を生成するイメージモザイキングという手法が存在する．プロジェクタも同様に投影モザイキングという戦略によって画角と解像度を両立した映像表示が可能となるが，オフライン処理で問題ないイメージモザイキングとは異なり，投影モザイキングは極めて正確なリアルタイム処理が必要となる．人間の視覚にとって違和感のない映像表現とするには，臨界融合周波数を上回る高フレームレートの映像制御，そして投影像の時間幾何学的整合性を満たすための高時間分解能の同期制御が必要となる．これらの課題は高速回転可能なガルバノミラーと低遅延映像制御が可能な高速プロジェクタの，Queue構造や交互動作に基づく同期戦略によって解決することができ，人間の動的注視点に応じた追従的高解像度投影モザイキングが達成できる．

Projectors are capable of changing the appearance of the real world by controlling light rays and projecting images. However, the number of pixels in Liquid Crystal Displays (LCDs) and Digital Mirror Devices (DMDs) used for ray control is finite, and there is a trade-off between angle of view and resolution in image projection. There is a technique called image mosaicing, in which multiple images are stitched together to form a single large high-resolution image in a camera that is optically opposite to a projector. In contrast to image mosaicing, which can be processed offline, projection mosaicing requires extremely accurate real-time processing. To achieve a projective representation that is comfortable for human vision, projection control with a high frame rate exceeding the critical flicker frequency and synchronization control with high temporal resolution are required to satisfy the temporal-geometric consistency of the projected image. These issues can be solved by using a synchronization strategy based on the queue structure and alternating motion of both a galvanometer mirror capable of high-speed rotation and a high-speed projector capable of low-latency image control. These technique can achieve tracking high-resolution projection mosaicing toward the human dynamic gazing point.

射影不変性／ Projective Invariants

カメラは，物体の世界座標系からイメージセンサの画像座標系への変換を伴う計測機器である．座標変換において様々な特徴は変形を余儀なくされるが，ユークリッド変換における長さや面積，アフィン変換における線の平行など，一部の特徴は不変性を有する場合がある．ピンホールカメラモデルが意味する透視投影変換も同様に複比や楕円などの不変性をもつ特徴があり，高速画像処理においてその不変性を積極的に活用できる．複比(cross ratio)は長さの比の比を指す特徴であるが，平面から平面への変換を指すホモグラフィ変換としても利用可能となる．ビームスプリッター等を用いて光軸を一致させたプロジェクタ・カメラ系では，撮影画像と投影画像に三次元的な変換は不要で，ホモグラフィ変換による高速な二次元的変換で完結できる．人間の眼球における矩形スクリーンの角膜反射像における複比やホモグラフィ変換を用いた，校正がほとんど不要な注視点推定も可能となる．世界座標系の円や楕円が，透視投影変換によって常に楕円に見えるという特徴も有用で，サークルグリッドによるカメラ校正だけでなく，球体上の円形マーカーによる遮蔽に頑健なダイナミックプロジェクションマッピングにも応用が可能である．

A camera is a measurement device that involves a transformation from the world coordinate system of objects to the image coordinate system of image sensors. Although various features are forced to be deformed in coordinate transformations, some features, such as length and area in Euclidean transformations and line parallels in affine transformations, can be invariant. The perspective projection transformation implied by the pinhole camera model also has invariant features such as cross ratio and ellipse, which can be actively utilized in high-speed image processing. The cross ratio is a feature that refers to the ratio of ratios of lengths, but it can also be used as a homography transformation that refers to a transformation from a plane to a plane. In the case of a projector-camera system in which the optical axes are aligned using a beam splitter, there is no need for three-dimensional conversion between the captured image and the projected image. It is also possible to estimate the gazing point of a rectangular screen in the human eye corneal reflection using the cross ratio and homography transformation, which requires almost no calibration. The feature that circles and ellipses in the world coordinate system always appear as ellipses by perspective projection transformation is also useful, and can be applied not only to camera calibration using a circle grid, but also to dynamic projection mapping that is robust to occlusion by circumferential markers on a sphere.

M系列／ M-sequence

M系列とは最大長系列(Maximum length sequence)の和訳で，線形漸化式によって生成される数列であり，通信や計測など幅広い領域で用いられる系列である．できるだけ不規則になるように設計された系列であり，2値のM系列，すなわちバイナリ乱数としてよく利用される．鋭い自己相関性が特徴であり，一定長以上の部分系列のみ観察すれば全体における位置を一意に特定可能となる．1次元信号だけでなく2次元パターンとしても設計が可能であり，カメラ等による位置決めにも利用される．高速トラッキングのためのマーカーの符号化にも利用が可能であり，ベクタレーザー投影系を用いた破線マーカーにM系列による符号化を加えることで，一枚の画像だけで絶対位置姿勢を高速推定することも可能となる．

M-sequence (maximum length sequence) is a sequence of numbers generated by a linear recurrence relation, and is used in a wide range of fields such as communications and measurement. M-sequence is designed to be as irregular as possible, and is often used as a binary M-sequence, i.e., binary random numbers. It can be designed not only as a 1D signal but also as a 2D pattern, which can be used for positioning by cameras. M-sequence can also be used to encode markers for high-speed tracking. By adding M-sequence encoding to dashed line markers using a vector laser projection system, it is possible to rapidly estimate absolute position and orientation using only one-shot image.

アクティブマーキング／ Active Marking

運動対象のトラッキングには，事前に印刷や貼付されたマーカーをしばしば利用する．マーカー式はマーカーレスの手法と比較して精度や速度で優位性をもつ一方で事前準備および位置合わせの煩雑さの課題を有する．アクティブマーキング法はその解決策の一つとして，対象のトラッキングと同時に能動的にマーカーを付与する戦略である．能動的な付与の一つの方法としてフォトクロミック色素を塗布した対象に紫外レーザーを照射することで，書き換え可能なドットマーカーが生成可能となる．レーザー光軸やカメラ画角をガルバノミラーで制御しながら対象にマーカーを付与することで，動的・インタラクティブな姿勢認識が可能となる．

Preprinted markers are often used to track moving objects. Marker-based methods have advantages over markerless methods in terms of accuracy and speed, but they also have challenges in terms of preparation and positioning. The active marking method is one of the solutions to this problem, and is a strategy to actively add markers while tracking the object. As one of the active marking methods, rewritable dot markers can be generated by irradiating a photochromic dye-coated object with an ultraviolet laser. By controlling the optical axis of the laser and the angle of view of the camera with a galvanometer mirror, dynamic and interactive pose recognition can be achieved.

システムビジョンデザイン／System Vision Design

システム ビジョン デザイン／ System Vision Design

実世界を捉え，リアルタイムに応答する高速ビジョン技術並びにその応用システムを応用開拓から，システム実現のための諸課題を設定・解決する学術分野．様々な分野において新しい応用を切り拓くためには，限界性能に近い動作を可能とするシステム技術の創出が求められる．そのためには，応用・原理・デバイスの3者間の洗練された関係性を築くことで突出した性能と機能を追求することが肝要である．システム ビジョン デザインは，この設計思想に基づき，人間の眼を遥かに凌ぐ超高速の画像センシングを軸として，様々な分野において新しい応用を切り拓く実践的な研究を目指すものである．具体的には，VLSI技術，並列処理，画像認識，計測工学を駆使して，超高速の認識・センシングシステムを創出し，ロボティクス，検査，映像メディア，ヒューマンインタフェース，デジタルアーカイブ等の分野で新しい応用を具現化している．

System Vision Design is an academic field established with the aim of examining problems concerning realizing systems from the viewpoint of exploring the applications of high-speed vision technology and practical systems that can recognize the real world and respond in real time. To explore new applications in various fields, it is necessary to create new system technologies that will enable the ideal performance. In order to do that, it is necessary to pursue significant performance and functionality improvements by establishing sophisticated relationships between applications, principles, and devices. Based on this design concept, the System Vision Design focuses on practical research to explore new applications in various fields by using high-speed image sensing that is superior to the human eye. In concrete terms, we are creating new high-speed recognition and sensing systems and developing new applications in fields such as robotics, inspection, visual media, human interfaces, digital archiving, and so on by utilizing VLSI technology, parallel processing, image recognition, and instrumentation engineering.

ビジョン チップ／ Vision Chip

イメージセンサの各画素に光検出器 (PD: Photo Detector) とともに, プログラマブルな汎用ディジタル処理要素 (PE: Processing Element) を一体的に集積し, 汎用かつ高速な画像処理をチップ内で実現するデバイス. 走査のない完全並列の構造を持ち, 従来のように, イメージングデバイスと画像処理機構との間に存在するデータ転送のボトルネックが存在しないため, 小型, 軽量, 低消費電力であるだけでなく, 高い実時間性をもった高速画像処理を実現することができる. 処理アーキテクチャは, 画像処理に効果的なSIMD (Single Instruction stream, Multiple Data stream) 型の並列処理アーキテクチャを用いる場合が多く, 簡易型のA/D変換器も内包する. 汎用演算機構だけでなく, ターゲットトラッキング専用のデバイスも開発されている.

A device that realizes general-purpose, fast image processing in a single chip by integrating a photodetector (PD) and a programmable general-purpose digital processing element (PE) at each pixel of an image sensor. It enables high-speed image processing with high real-time capability, in a small, lightweight, and low-power-consumption form factor. This is due to the fully-parallelized structure, which makes raster scanning unnecessary, and the absence of bottlenecks in data transfer between the imaging device and the image processing unit. The processing architecture often adopts the SIMD (Single Instruction Stream, Multiple Data Stream) architecture and has simple A-to-D converters. In addition to devices with general-purpose processing units, devices specially designed for target tracking have been developed.

高速画像処理／ High-speed Image Processing

ダイナミックな変動現象の把握や, ビジュアルサーボに基づくロボット制御において要求されるサンプリングレートと遅延を充足するように設計された画像処理. 特に, 通常の画像処理で用いられるビデオレート (NTSCの場合で約30fps) 以下の画像に対して, それを上回る, 1秒あたり100 〜 1,000枚の画像に対して, 同じ処理速度で実行されるものを指す. 対象の帯域をカバーできていない従来の画像処理が, 不完全な情報に対する予測や学習が必須であったのに対して, 必要な帯域をカバーするフレームレートでの処理を前提とするため, 処理アルゴリズムが簡素化し, 良好なレスポンスを実現することが可能となる. 一般に, 高速ビデオは, 撮像と録画の高速化を実現する技術であるのに対して, 高速画像処理は撮像と画像処理を高速化するものであって, 例えばリアルタイムビジュアルフィードバックを実現するためには, 高速ビデオではなく, 高フレームレートかつ低レイテンシーの高速画像処理が必須である.

High-Speed Image Processing is an image processing technology designed to satisfy the demands concerning sampling rates and delays required to visualize dynamical phenomena or to control robots based on visual servoing. In particular, it is capable of processing 100 to 1000 images per second, which is much faster than usual image processing, which processes images at only 30 fps or less. Usual image processing requires prediction or learning because it has lower bandwidth than a fast-moving object. In contrast, High-speed Image Processing is assumed to have a high frame rate that ensures sufficient bandwidth, so that processing algorithms becomes simpler, achieving a quick response. Generally, high-speed video is a technology that realizes fast imaging and recording. On the other hand, High-speed Image Processing realizes fast imaging and image processing. For example, real-time visual feedback requires not high-speed video but high-speed image processing with a high frame rate and low latency.

並列画像処理／ Parallel Image Processing

画像のデータ構造と処理の特性を利用して, 並列化による高速化を図った画像処理及びそれを実行する専用の処理アーキテクチャに関する技術. デバイスレベルでは, 走査という逐次処理を排除すると同時に, 特徴量演算のための画素単位での処理の並列化や1,000個のターゲットを同時観測するための対象単位での並列化等がある. 並列画像処理では, データレベルでの並列性を利用したSIMD (Single Instruction stream, Multiple Data stream) 型の処理の導入やコンパクトな処理エレメント (PE: Processing Element) の実現のための ビットシリアルアーキテクチャの導入や多機能化のための リコンフィギュラブルアーキテクチャの導入などが図られている. これらを用いることにより, n×n画素の画像に対して, 1のオーダーの処理時間を実現することが鍵となる.

Parallel Image Processing is an image processing technology, which aims at faster processing by parallelization, using dedicated processing architectures to perform the processing, by utilizing the data architecture and the properties of the processing task. Some examples of this technology at the device level include parallelization of processing at the pixel level for calculating feature values, and parallelization of processing at the target level for simultaneous observation of 1000 targets, without scanning, which is serial processing. Some techniques have been introduced to implement Parallel Image Processing, such as SIMD processing utilizing the parallelism at the data level, bit-serial architectures for realizing compact PEs, and reconfigurable architectures for realizing multiple functions. The key factor for Parallel Image Processing is to use these techniques to achieve O(1) processing time for an nxn image.

走査／ Scanning

何らかの形で配列されているデータに対する取得・転送・表示等において，並列操作ではなく，要素ごとに逐次的に操作する方法である．少数の処理・伝送回路で大規模データを処理できるという利点があるが，速度の点では不利となる．通常の画像は，2次元データであり，行（row）方向と列（column）方向に順次走査されて，画像データとなる．グローバルシャッター機能がある場合は，データの同時性が補償されるが，その機能がない場合のデータの取得時間は走査のタイミングに依存し，左上のデータと右下のデータは，画像全体の走査時間（＝フレームレートの逆数）となる．また，左上のデータは1フレーム前の右下のデータの直後となり，時間を考慮した画像処理では注意が必要である．例えば，走査方向と同方向に移動する物体と逆方向に移動する物体では，映像がかわることになる．

Scanning involves operations carried out element by element, not in parallel, to obtain, transfer, and display arrayed data. This method has an advantage that a large-scale database can be processed using circuits with low processing and transfer performance. However, this method also suffers from the disadvantage that the processing speed is slow. Generally, an image contains 2D data, and image data is obtained by scanning in rows and columns sequentially. If an image sensor has a global shutter, simultaneity of image acquisition is ensured; however, if an image sensor does not have a global shutter, the timing of the data acquisition depends on the timing of the scanning, and the time lag between data acquisition at the top-left and the bottom-right becomes the total scanning time for the whole image (which is equal to the reciprocal of the frame rate). Furthermore, since the acquisition timing of the top-right data is soon after the acquisition timing of the bottom-left data in the previous frame, we should take care in the image processing to account for this short time. For example, the acquired images will be different when the sensor detects objects that move in the same direction as the scanning direction and objects that move in the opposite direction.

列並列／ Column Parallel

２次元のデータ配置（横方向を行，縦方向を列と呼ぶ）を持つ画像データに対して，一つの列に処理要素（PE: Processing Element）を接続・割り当てた並列処理構造．画素に対してPEを１対１に接続する完全並列型と画像全体を走査して一つの演算器で処理するCPU型の中間的な構造と言える．行方向に走査するため，完全並列よりは処理速度が遅くなるが，msオーダーの処理が実現可能である．また，列の数だけ伝送線を出さず，部分的に走査して伝送線やA/D変換の数を抑えるタイプもある．本研究室が開発し，浜松ホトニクスが実用化した インテリジェントビジョンシステムは，この構造を有している．

Column Parallel is a parallel processing structure in which a PE is connected and assigned to one column for image data in a 2D array (we call the crosswise direction a row, and the lengthwise direction a column). This structure falls somewhere between a completely parallel processing structure in which a PE is connected to each pixel and a CPU processing structure in which the whole image is scanned and processed by a single computing unit. Although this structure's processing speed is slower than the completely parallel structure because of the column scanning, this structure is capable of processing on the order of milliseconds. Additionally, some types of processor reduce the number of data transmission wires and A/D converters by reducing the number of wires for columns and performing partial scanning. The Intelligent Vision System developed by our laboratory and put into practical use by Hamamatsu Photonics has this type of structure.

ビット シリアル アーキテクチャ／ Bit Serial Architecture

汎用プロセッサの処理アーキテクチャの一つで，１bit分のALU（Arithmetic and Logic Unit）をｎ回逐次的に用いることにより，ｎbitの演算を実現するアーキテクチャ．このアーキテクチャは，少ない数の真空管を用いていた黎明期の電子計算機で用いられたもので，最近のプロセッサでは32bitあるいは64bit分のALUを並列に用いるビットパラレルアーキテクチャ（Bit Parallel Architecture）が使われている．ｎbitに対して処理時間はｎ倍となるが，処理回路が１bit分で済むため，１画素に使えるトランジスタに限界があるビジョンチップや完全並列タイプの画像処理で導入されている．この際，高速画像処理では1ms程度の処理が求められており，処理速度には余裕があるため，このアーキテクチャの特徴が活かされている．

A Bit Serial Architecture is one of the processing architectures used in a general-purpose processor. This architecture can perform operations on n bits by using a 1-bit ALU (Arithmetic and Logic Unit) n times sequentially. This kind of architecture was used in the early days of electronic computers, which consisted of a small number of vacuum tubes. These days, the Bit Parallel Architecture, which uses an ALU capable of processing 32 or 64 bits in parallel, is normally used in processors. The Bit Serial Architecture has been introduced into vision chips, which have a limited number of transistors that can be used for each pixel, and also in completely parallel image processing. The processing circuit required for n bits is the same as that required for 1 bit, even though the processing time for n operations is n-times longer than the processing time for 1 bit. High-speed image processing is achieved with a processing time of about 1 ms, which allows some margin for dealing with an increase in processing time.

リコンフィギュラブル アーキテクチャ／ Reconfigurable Architecture

処理速度を向上させる上で, 処理を担うプロセッサ回路は, アルゴリズムに応じてその最適な構成が異なると考えられる. 個別のアルゴリズムに対して, 専用化された回路構成をタスクごとに再構成可能なアーキテクチャをリコンフィギュラブルアーキテクチャと呼ぶ. このアーキテクチャは, 専用化による高い性能の実現と柔軟性を両立する技術として注目されている. 本研究室の並列高速画像処理アーキテクチャの一部は, このアーキテクチャを実装しており, 様々な機能を同じハードウェアで実現している.

To speed up processing, the optimal composition of processor circuits varies depending on the algorithm. A Reconfigurable Architecture is an architecture that can reconstruct the optimum circuit configuration in every task for each individual algorithm. This architecture has attracted attention as a technology that achieves flexibility and high-performance implementations by specializing the architecture to match the task. Some of our parallel high-speed image-processing architectures employ a reconfigurable architecture to implement various functions on the same hardware.

SIMD アーキテクチャ／ SIMD Architecture

並列の演算処理回路に対して, 並列のデータパスを有し, 単一のインストラクションで制御する並列処理アーキテクチャで, SIMDは, Single Instruction stream and Multiple Data streamの略. 通常は同一の処理回路 (PE:Processing Element) を並列に配置し, それぞれの処理回路には独自のデータパス (画像の場合はピクセルのデータ)を有し, 並列処理回路全体で単一のインストラクションで制御するアーキテクチャである. 画像の場合は, もともと処理の均質性が高いので, このアーキテクチャに向いているが, 画素ごとの条件分岐をはじめとするMIMD (Multiple Instruction stream and Multiple Data stream) 構造の擬似的な実現やグローバル特徴量の並列回路での抽出等にノウハウがある. また, ハードウェア実現の観点からは, 同じPEを並べる構造となるため, 実際に設計するPEの規模は小さく, ワンチップ化やFPGAでの実装では, 全体の回路規模に比して設計の負荷は小さい.

An SIMD (Single Instruction Stream and Multiple Data Stream) architecture has parallel data paths connected to parallel processing circuits that are controlled by a single instruction. It contains identical processing elements (PEs) which have their own data paths (pixels in the case of image data) arranged in parallel and are controlled by a single instruction supplied to the whole parallel processing circuit. Images are suitable for this architecture because of their high intrinsic homogeneity. Moreover, a pseudo-MIMD structure, especially with conditional branches for each pixel, can be realized, and global feature values can be extracted in a parallel circuit. From the viewpoint of implementation, the PE design is small because the arrayed PEs have the same design , and the design task is simplified compared with the overall circuit size in an FPGA or single-chip implementation.

CMOS イメージャ／ CMOS Imager

画素ごとにフォトディテクタ (Photo Detector) の出力をCMOSスイッチで順次走査しながら画像を構成するタイプのイメージャ . CCDイメージャでは画素ごとのフォトディテクタの出力を一度並列にCCD (Charge Coupled Device) にチャージした上で順次転送するため, 画素データの同時性が補償されるが, CMOSイメージャの場合は原理的にこのようなグローバルシャッター機能がなく, 画素データの同時性が補償されていない. 近年, 回路の改良によりグローバルシャッター付きのCMOSイメージャが開発され, 今後増加するものと期待されている. また, 発展形として, スイッチ機能以外に, 主として感度向上等の撮像性能の向上のための回路を数個から20個程度のトランジスタで実現した画素構造が開発され, アクティブピクセル (Active Pixel) と呼ばれている. さらに, 画像処理等の機能を数十から数百トランジスタで実現した画素構造は, スマートピクセル (Smart Pixel) と呼ばれる. 本研究室で開発したビジョンチップはスマートピクセルの一種で, 汎用PE (Processing Element) を画素ごとに実現している.

CMOS imagers construct images using CMOS switches to sequentially scan the outputs of photodetectors for each pixel. In a CCD (charged coupled device) imager, on the other hand, because charge is transferred to turn on the CCDs in parallel with the outputs of the photodetectors for each pixel, a CCD imager provides simultaneous pixel data, unlike a CMOS imager which does not have a global shutter function. In recent years, CMOS imagers having a global shutter have been developed by improving the circuit design, and they are expected to become more widespread in the future. Moreover, a new pixel architecture called "Active Pixel" has been developed, which is expected to improve not only the switching performance but also the imaging performance. The circuit is constructed of several to about 20 transistors, mainly to achieve better imaging performance, such as improved sensitivity. Also, pixel structures constructed from tens to hundreds of transistors are designed to realize various functionalities, such as image processing, by using such structures, called "Smart Pixels". In our laboratory, we developed a kind of smart pixel device called the "Vision Chip", which has a general-purpose PE (Processing Element) at every pixel.

フレームレート／ Frame Rate

動画像に対して，1秒あたりに表示する画面の数のことを指し，fps（frame per second）という単位を用いる．旧来のNTSC規格（インターレース）では，白黒で30fps，カラーで29.97fps，ヨーロッパのPAL規格では25fps，劇場用のフィルムでは24fpsを用いたという歴史的な経緯から，現在のハイビジョン規格では，60fps，30fps，59.94fps，29.97fps，50fps，25fps，24fps，23.98fps等が解像度とスキャン方式に応じて混在する．走査方式には，プログレッシブ走査（順次走査）とインターレース方式（飛び越し走査）とがあり，前者は走査線を上から順に走査するが，後者は通常，走査線1本おきの走査（2:1と表記する）を走査線をずらして２回行って，全体を走査する方法である．

The frame rate refers to the number of moving images displayed per second. The unit is frames per second (fps). In the old NTSC standard (interlaced), black and white images are 30 fps, and color images are 29.97 fps. In the standard European PAL system, the frame rate is 25 fps, based on the frame rate used for film in theaters, for historical reasons. In the defined depending on the resolution and scan system, including 60 fps, 30 fps, 59.94 fps, 29.97 fps, 50 fps, 25 fps, 24 fps, and 23.98 fps. There are two kinds of scanning: progressive scanning and interlace scanning. The former scans from top to bottom in scanning lines, whereas the latter usually scans the image twice, with the scanning lines shifted by one line each time (written as 2:1).

空間分解能／ Spatial Resolution

一般に，イメージャの空間分解能は，画素数で定義され，例えば，1,024×1,024画素（≒100万画素）や1,920×1,080画素（≒200万画素，HD規格）等をはじめとして，現在では1億画素を越えるものが開発されている．ただし，一般には画素データは走査によって読み出されるため，高分解能になるにつれて，転送時間や 転送回路の速度が増加することとなり，これらに対する対策が必要であり，限界も存在する．すなわち，時間分解能と空間分解能は，ある意味でトレードオフが存在し，この両者のどちらを優先するかや両者の統合といった課題が存在する．

In general, the spatial resolution of an imager is defined by the number of pixels. Imagers that have over a hundred million pixels are being developed today. However, the higher the resolution becomes, the slower the transfer speed because pixel data is generally read out by scanning. Some measures should be taken to alleviate this problem, though there are some limitations. Namely, there is a trade-off between time resolution and spatial resolution, and there is the question of which resolution should be given priority.

イメージャの感度／ Sensitivity of Imager

イメージャあるいはデジタルカメラ（ビデオカメラも含む）の感度の表示は様々なものが使われている．そもそも計測における感度とは，入力に相当する物理量に対する出力に相当する物理量（多くは出力電圧）の比のことを意味するが，日常的に「感度がいい」という場合は，意味のある出力が得られる入力物理量の最小値（計測では感度限界と呼ばれる）を意味している場合もある．そのため，計測用の機器とデジカメ等の消費財では違う表現が用いられている．前者の意味では，イメージャのデバイスとしての感度としては，イメージャの表面照度（カメラでは像面照度）の時間積分値に対する出力電圧として定義され，単位はV/lx・sであるが，正確にはフォトディテクタの分光感度特性があるので光源依存となる．カメラの場合は，像面照度に変えて被写体照度に対する出力特性として考えることになるが，カメラとしての出力を考えると，出力電圧よりも得られる画像に意味があるため，標準光源下での最低被写体照度（感度限界）がよく用いられる．この場合，光源やレンズ系に依存するため，「最低被写体照度 0.06 lx /F1.4」等のように，レンズ系の特性や光源の特性を付記して表現する．また，デジタルカメラ等の場合には，一般のユーザーの便宜のため，従来のフィルムの感度との対応を表現する「ISO感度相当」や，定義された被写体輝度が定義された基準値になる感度である標準出力感度等が用いられる．

The sensitivity of an imager or digital camera is defined in various way. To begin with, sensitivity in measurement means the ratio of output to input levels, but "good sensitivity" may mean the minimum input value for a meaningful output (sensitivity limit). For that reason, different ways of expressing the sensitivity are used in devices designed for measurement and consumer products, such as digital cameras. In the former, the sensitivity is defined by the output voltage divided by the time-integrated value of the surface illuminance, which depends on the light source. In case of a camera, the output characteristics are considered instead of the illumination intensity at the image plane, but considering its use as a camera, the minimum illumination of the field with a standard candle is often used because the obtained image is more meaningful than the output voltage. In this case, the characteristics of the lens system or the light source are also given because the performance depends on them. Also, in the case of a digital camera, "corresponding ISO speed", which describes the speed corresponding to conventional film speed, or the standard output sensitivity, at which the defined brightness of an object comes up to a defined standard value, are used for the convenience of general users.

グローバル シャッター／ Global Shutter

イメージャの各画素データを同時に取得することが可能な電子的シャッター機能. イメージャの回路の動作原理から, CCD (Charge Coupled Device) 型のイメージャではこの機能が実現されているが, 通常のCMOS イメージャではこの機能がない. 近年, この機能がついたCMOSイメージャも開発されている. グローバルシャッター機能を使って撮像された画像データは, 各画素の同時性が補償されているため, 対象の運動の方向と走査の方向との干渉が生じない. ちなみに, 旧来の機械的シャッターも, その構造から撮像時刻の同時性は補償されていない.

A global shutter is an electronic shutter function that allows each pixel data of an imager to be obtained simultaneously. This function is provided in CCD (Charge Coupled Device) imagers, but not in common CMOS imagers. In recent years, however, CMOS imagers having this function have been developed. Image data obtained using a global shutter function ensures simultaneity, so that there is no interference between the direction of the target movement and the scanning direction. Classical mechanical shutters do not ensure simultaneity because of their structure.

構造照明法／ Structured Light

能動的なパターン照明を用いた3次元計測方法. カメラと空間的あるいは時間的にパターン同定が容易な既知のパターン照明を投影するプロジェクターから構成され, 対象の表面上で反射した照明パターンと画像の対応から3次元位置抽出手法 (例えば, 三角測量の原理等) を用いて, 対応点での3次元位置の抽出を行い, それを画像面内を処理することにより, 3次元形状情報を得る方法である. 用いるパターン照明には様々な方法が提案されており, 対応点抽出が容易な場合には, 格子あるいは格子点パターンが用いられ, 対応点抽出が複雑な場合には, 対応点抽出のためにランダムドットや２次元M系列パターン, さらには色情報で変調をかけたもの等が用いられている. また, 扇状レーザーパターンの走査による光切断法は, 速度は遅いが精度が必要な用途ではよく用いられている. 対象表面が鏡面の場合には, 鏡面を考慮した対応点の同定が必要である.

Structured Light is an active light pattern used in three-dimensional measurement methods. This method uses a camera and a light projector that projects a known pattern that can be easily identified spatially or temporally, and calculates three-dimensional shape information by extracting the three-dimensional positions of points that correspond to the light pattern reflected on the surface of the target object by using a three-dimensional position extraction method (for example, triangulation). Various types of light pattern have been proposed. For example, a grid of points or lines has been used as an easy way to extract the corresponding points, and a random dot pattern, a two-dimensional M-sequence pattern, or a pattern modulated by color information has been used as a complicated way to extract the corresponding points. In addition, light-section methods that use a fan-shaped pattern in combination with scanning, which are also often used in applications where speed is not important but accuracy is, have also been used. In the case of a mirror, it is necessary to identify the corresponding points while taking account of the specularity of a target surface.

多点計測／ Multi Target Measurement

画像内を多数の領域に分割し, 各分割領域の局所変化を同時に解析し, 計測量を推定する技術. 特に, 対象が多数の微小対象である場合には, 各対象に対する局所処理を画像全体で並列実行することにより, 全体として高速の多点計測が実現可能となる. 具体的な例としては, 粒子あるいは小型の製品の検査, 多数の細胞等に対するバイオイメージング, 血球・血流解析, 流体計測, 微生物の観測, マイクロ・微小物体のマニピュレーション, 基板などの表面洗浄のための塵検出, 大気中の粒子観測, テクスチャを用いた運動計測, 構造照明による3次元計測, イメージセンサによる可視光通信等がある. １秒間に1,000フレームの速度で, 1,000個以上の対象の状態を同時に計測するための専用プロセッサが開発されている.

Multi-Target Measurement is a technique for estimating the values of measurement targets (e.g., the 3D positions of a point cloud), by dividing an image into a number of regions and simultaneously analyzing the local variations of each divided region. In particular, when dealing with a large number of small targets, it is possible to realize high-speed multi-point measurement as a whole by executing local processes for each object in parallel over the entire image. Specific examples include inspection of small products or particles, bio-imaging of a large number of cells, blood flow analysis, fluid measurement, observation of microorganisms, manipulation of minute or small objects, detection of dust before cleaning the surface of a substrate, particle observation in the atmosphere, motion measurement using a texture, three-dimensional measurement by structured light, and visible light communication using an image sensor. A dedicated processor operating at a rate of 1,000 frames per second has been developed for measuring more than 1,000 objects at the same time.

３次元計測／ 3D Measurement

計測対象の３次元の表面形状を取得する計測技術. 形状計測, 形状測定, 3次元センシングなどとも呼ばれる. 一般に, 機械的プローブを対象物表面に接触させアームの運動学から3次元位置を計測する接触式と光計測を主体とする非接触式がある. １点ずつ計測してスキャンする方法と, 画像により端点を同時に計測する方法がある. 画像ベースの非接触型の方法では, 多点の３次元計測技術が必要となり, 本研究室ではその高速化に取り組んでいる. その結果, 従来は静止した物体の観測が主流であったのに対して, 運動・変形する物体に対しても, 1kHzの速度でリアルタイムに形状を取得するシステムを開発した. このような超高速のリアルタイム3次元センシングシステムは, ロボティクス, 工業製品検査, 自動車, ヒューマンインタフェース等の分野で活用が期待されている.

Three-dimensional measurement is a technique for obtaining the three-dimensional surface shape of a measurement object. It is also called "shape measurement" or "three-dimensional sensing". In general, there are two types of three-dimensional measurement: the contact type, which uses a mechanical probe that touches the surface of the target object to measure the three-dimensional position by kinematics of the arm, and the non-contact type, which mainly uses optical measurement. Two methods are generally used: In one method, the target is scanned by measuring a single point at a time. In the other method, the multiple points are measured from the image at the same time. With an image- based non-contact method, multi-point three-dimensional measurement technology is required, and we have been working on this in our laboratory with the aim of speeding up the process. In conventional systems, stationary target are usually measured. In contrast, we developed a system that is capable of obtaining the shape of a measurement object in real time at a rate of 1 kHz, even for objects which deform and move. Super-fast real-time 3D sensing is expected to be used in the fields of robotics, industrial product inspection, automobiles, and human interfaces.

テンプレート マッチング／ Template Matching

テンプレートマッチングは, 入力画像から対象を検出するための画像処理の手法の一種である. 予め保持されている対象のパターンを入力画像上で走査するもので, 各走査位置でマッチング演算を行い, 得られる類似度に応じて, 対象の認識が行われる. マッチング時に利用される類似度には, SSD (Sum of Squared Difference：2乗誤差の総和), SAD (Sum of Absolute Difference：絶対値誤差の総和), NCC (Normalized Cross-Correlation：正規化相互相関)等の方法が提案されている. ターゲットトラッキングの場合は, 前フレームのターゲット位置に対して移動可能性のある範囲を探索範囲とすることから, 高速画像の利用により探索範囲を狭めることができるため, 演算量を減らすことが可能となると同時に, マッチング演算の並列化を導入するにより, 高速のテンプレートマッチングが実現できる.

Template matching is a kind of image processing that detects an object from an input image. It scans the input image using previously saved patterns of the object, and then performs a matching operation at each scanning point to determine a degree of similarity which enables the system to recognize an object. Several methods have been proposed for determining the degree of similarity, such as SSD (Sum of Squared Difference), SAD (Sum of Absolute Difference), and NCC (Normalized Cross-Correlation). In the case of target tracking, we can make the scan area narrow by utilizing high-speed images and decreasing the computational complexity because the scan area can be assumed to be only an area where an object can move to from its position in the previous frame. Moreover, we can realize high-speed template matching by adopting parallel computing for the matching operation.

特徴量抽出／ Feature Extraction

画像に捉えられている対象を認識・理解するために, 画像パターンを何らかの演算により, 異なる次元の空間, すなわち特徴量空間に変換して, 目的に応じた特徴が抽出されるように演算を行うことを特徴量抽出あるいは特徴抽出と呼ぶ. この演算から得られる量を特徴量と呼び, 目的に応じて, 様々なものが提案されている. 特徴量には大別して, ある画素の近傍の画素データのみから演算・抽出するローカル特徴量と画像の全画素から演算抽出するグローバル特徴量が存在する. いずれの場合でも, 演算の高速化が鍵となるが, 特にグローバル特徴量の演算は, 全画素のデータを用いた積分量 (例えば, モーメント特徴はΣΣの演算) となり, その高速化には工夫が必要となる.

Feature extraction is an operation for recognizing/understanding an object in an image. It transforms image patterns to a space with different dimensions, called "feature space", and then performs calculations to extract various features. A value given by this operation is called a feature. Various values have been proposed as features for various purposes. Features are classified roughly into two types: local features and global features. A local feature is calculated and extracted from only neighboring pixel data, and a global feature is computed using all pixel data of an image. A key issue for both is to accelerate the operations. In particular, we need to pay special consideration to global features because they need an integral calculation involving all pixel data (e.g., for moment features).

モーメント抽出／ Moment Extraction

画像のモーメントは, 画像処理における特徴量の1種である. モーメント特徴によって, 対象のサイズ（0次モーメント), 位置（1次モーメント／0次モーメント), 傾き（2次モーメント)等の幾何情報を表現することができるとともに, パターン認識においても有用な特徴量として利用されている. 本研究室では, モーメント特徴の演算をアナログの並列回路や画素ごとにプロセッシングエレメントを搭載する超並列回路を利用することで高速に演算するいくつかの方法を提案し, 実際に重心位置の計算で利用している.

Moment extraction is a process for extracting a moment of an image, which is one of the features commonly used in image processing. We can utilize this moment feature not only for representing geometric information of an object, such as the size (0th moment), position (1st moment / 0th moment), slope (2nd moment), etc., but also for pattern recognition. We have proposed some schemes where moment features are computed by a massively parallel circuit containing a processing element for every pixel, and these features are used for calculating the center of gravity.

流体・粒子計測／ Real Time Fluid / Particle Mesurement

流体あるいは流体に混入した粒子の動きをリアルタイムで計測する技術. 画像を用いた流体計測では, 流体中に粒子を散布し, その移動・位置情報から流速分布を時系列に得るPIV: Particle Image Velocimetryがよく知られている. フレームレートが不十分で粒子運動の直接計測ができない場合には, 粒子へ照射した光の散乱を観測し, 統計的な処理によって粒子数やサイズを特定する方法が用いられていた. これに対して, 本研究室で開発したリアルタイム多点計測は, 高速画像処理により, 通常オフラインでしか実行されない流体計測のリアルタイム化やパターン解析がリアルタイムで実現できるため, 粒子群のより高度な計測を行うことが可能となる.

Real-Time Fluid / Particle Measurement is a technology for measuring the motion of a fluid or particles mixed in a fluid in real time. In measurement using image processing, one method is Particle Image Velocimetry (PIV), which is a method for obtaining a time-series flow velocity distribution from location information of particles scattered in a fluid. In cases where particle motion cannot be obtained directly due to a low frame rate, a method for identifying the particle number and sizes statistically by using light scattered by illuminated particles has been employed. In contrast to this method, we developed a method called Real-time Moment-based Analysis of Numerous Objects. This method enables fluid measurement and pattern analysis, which are normally executed offline, to be executed in real time and can measure a higher number of particles.

書籍電子化／ Book Scanning

紙媒体の書籍に印刷されている情報を電子化するための技術. 書籍スキャンあるいは書籍スキャニングとも呼ばれる. ネットワークや検索技術の発達並びに電子書籍の進歩に伴い, 書籍を電子化するニーズが全世界で急速に拡大している. 現在の技術は, コピーやフラットベットスキャナ等で培われてきた技術を活用したものが多く, 膨大な書籍を電子化するための技術としては, 速度と手軽さの面で十分ではない. 当研究室では, 書籍電子化の新しい方法として, ユーザがページをめくっている間に, 紙面の動きを止めることなく, 連続的に書籍を読み取る方法を提案し, 試作を行っている. この技術は, 高速3次元形状計測技術を用いて, ページめくりの最中のページの3次元形状を取得し, その形状情報を用いて撮像した映像をフラットなページ情報に変換する方法を用いており, 書籍を裁断する必要がなく, なおかつ書籍を上向きのままでスキャン可能である.

Book scanning is a technology for digitizing and computerizing the information contained in printed books. With the great advances being made in network search technology and digital books, there is a growing need for computerizing printed books. Generally, current technology is based on copiers or flatbed scanners and is inadequate for computerizing an enormous number of books in terms of speed and convenience. We have proposed a new book computerizing system that scans books continuously without users having to laboriously turn the pages one-by-one. We demonstrated the system experimentally. This technology employs a method in which acquired images are transformed into distortion-free images according to the measured 3D shapes of pages while the user rapidly flicks through the book, and can realize non-destructive book scanning without having to place the book face-down as in conventional flatbed scanning.

ジェスチャー認識／ Gesture Recognition

人間のジェスチャーを動作として認識する技術. ジェスチャーに応じた意味づけを行うことにより, 機器の操作を行うことを目的とする. 手だけの動作を対象とする場合と指の動きまで利用する場合があり, 前者は高速のジェスチャーの認識が, 後者は細かい指の動きを捉えることが課題である. テレビ (5m ～ 3m), ゲーム·デジタルサイネージ (3m～ 1m), コンピュータ (30cm ～ 1m), 携帯機器·カーナビ(10cm～30cm)等における機器操作に応用することが考えられている. この際の手指の速度は, 通常のジェスチャーの手首の速度で50km/h程度と考えられ, 最高速度としては, 指先の動きで150km/h, 手首で100km/h程度と考えられる. これらの速度に対応した画像処理が必要で有り, 3次元認識が求められる場合もある. 出力は, 代表特徴点の時系列位置情報からパターン抽出を行い, ジェスチャーの意味の認識を行う場合が多い.

Gesture recognition technology recognizes human gesture motions. The objective is to control devices by giving each gesture a meaning. Recognition systems are often targeted at only the limbs or fingers. The former requires high-speed, whereas the latter requires high precision. Leading applications of this technology are control of TVs (3 m - 5 m), video games and digital signage (1 m - 3 m), computers (0.3 m - 1 m), and portable devices and car navigation systems (10 cm - 30 cm). In these cases, the usual speed of the extremity of the arm is about 50km/h , and the maximum speeds of the wrist and fingers are about 100 km/h and 150 km/h, respectively. For these recognition applications, not just high-speed image processing but also geometry recognition is often needed. The meanings of gestures are recognized by pattern extraction from time-series location information of representative features.

高速プロジェクター／ High-speed Projector

投影のフレームレート, 映像転送の速度, 投影されるまでの遅延などの速度性能が, 従来のプロジェクターを大幅に上回るもの. 例えば, 高速センシングと融合することで, 運動する対象物へ遅れなく投影することができる. プロジェクションマッピング, デジタルサイネージ, ユーザインタフェース, 拡張現実, ロボット制御や検査などのための画像センシングなど多岐に渡る分野でニーズが高まっている.

Our high-speed projector is a system that drastically exceeds the performance of conventional projectors in terms of the projection frame rate, the image transfer speed, and the latency until projection refresh. For example, integrating this system with high-speed sensing allows delay-free projection onto moving objects, as if the projected image were printed on or attached to the target surface. There is strong demand for this kind of technology in a wide range of application fields, including projection mapping, digital signage, user interfaces, augmented reality, image sensing for robot control and inspection, and so on.

リアリスティック ディスプレー／ Realistic Display

現実と見分けがつかないようなイメージを認知させることができる提示デバイス. また, コンピュータによってその色, 形, 質感などの特性を自在に制御することが可能なもの. 特に, 人間の視覚に基づく認知に影響を与える外界の物理的な要因として, 対象の幾何的な形状, 対象表面の光学的特性, 環境の照明状態の3つが挙げられる. リアリスティックディスプレーの設計においては, この3つの全てを現実の対象と近いレベルに到達させることが重要となる.

Our realistic display is a display device that can show images that are difficult to distinguish from reality. Additionally, the attributes of the displayed object, including its color, shape, and reflectance, can be controlled by a computer. In particular, the physical factors affecting human visual perception/recognition include the target's geometric shape, optical characteristics on the target surface, and the lighting conditions in the environment. To design a realistic display, it is critically important to bring these three factors close to real-world levels.

積層型ビジョンチップ／ 3D-Stacked Vision Chip

光検出器(PD: Photo Detector)と汎用ディジタル処理要素(PE: Processing Element)を, 異なる層に積層するタイプのビジョンチップ. ビジョンチップのコンセプトは, PDとPEを一体的に集積することで, チップ内で高速な画像処理を実現することである. しかし, PDとPEの両者をチップ内に一体化するため, 解像度や感度の性能を上げることが困難であった. 積層型ビジョンチップでは, PEやメモリなどの周辺回路を, PDとは異なる層に配置する半導体技術を用いることで, 従来の問題が解決されている.

Our 3D-Stacked Vision Chip is a special type of vision chip in which photodetectors (PDs) and general digital processing element (PEs) are stacked in different physical layers. The concept of a vision chip integrates the PDs and PEs to realize high-speed image processing in a single chip. However, it is difficult to

improve the resolution and sensitivity performance because this would require both the PDs and PEs to be implemented in a single chip. Our 3D-stacked vision chip can solve this problem by using semiconductor technology which allows PEs and peripheral circuits, including memories, to be stacked in different physical layers from the PDs.

臨界融合周波数／ Critical Flicker Frequency

光の明暗変化の時間周期を短くしていくと, 人間は次第にその変化を知覚できなくなる. 臨界融合周波数とは, この変化が知覚できなくなる時間変化の周波数の境界値を意味する. 映画などで映像を提示する場合に重要な指標となる. 光の強さや提示面積などの環境条件によって変化する.

As the time cycle of a light-dark change is gradually shortened, eventually the change cannot be perceived by the human eye. Critical Flicker Frequency indicates the frequency at which this happens. It is an important reference in order to display video in cinemas and so on. This value can change according to the environmental conditions, including light intensity, displayed area, and so on.

ダイナミック プロジェクション マッピング(高速ディスプレー型) ／ Dynamic Projection Mapping (type of high-speed display)

プロジェクションマッピングとは, 実世界の物体の形状に整合するように映像を投影する技術を指す. ダイナミックプロジェクションマッピングは, 特に運動する物体への投影を目的としたタイプのプロジェクションマッピングを指す. 建物などのように静止した物体への投影に比べて, ダイナミックプロジェクションマッピングでは人間を含めて様々な実世界上の物体が自由に動いている環境において, その外観のみをシームレスに変化させることができる. このため, アート, エンターテイメント, ファッション, デジタルサイネージ, マンマシンインタラクション, 拡張現実, 学習支援などの様々な分野に展開可能である. ただし, 物体が運動することによって, 実世界上の対象物体と投影する映像が位置ずれを起こさないように, 高速なセンシングと映像投影技術が必要である. 高速ディスプレー型では, 高速なセンシングの情報をリアルタイムに解析することで, 対象表面に映像が整合するように高速に画像を生成し, 高速なプロジェクターで投影することを行う.

Projection Mapping is a technology that projects images onto objects in the real-world such that the projected image and the object geometric surface fit together and are consistent. In particular, Dynamic Projection Mapping is a special type of Projection Mapping in which images are projected onto moving objects. Compared with projection onto static objects, such as buildings, Dynamic Projection Mapping allows the visual appearance to be seamlessly changed in environments where real-world objects, including humans, move freely. Therefore, this technology covers a wide range of application fields, including art, entertainment, fashion, digital signage, man-machine interaction, Augmented Reality, learning support, and so on. However, it requires high-speed sensing and projection technologies in order not to produce misalignment between the real-world object and the projected image, which is caused by the object motion. A high-speed display is a solution for analyzing high-speed sensing information in real-time, generating visual images that fit the target surface at high-speed, and projecting images by using high-speed projection devices.

アクティブパーセプション／Active Perception

メタ パーセプション／ Meta Perception

センシング技術, ディスプレー技術, アクチュエータ技術等の進歩により, 人間の感覚運動系の能力をはるかに超えた感覚運動系が実現できるようになり, 人間と機械システムとの関係は, 大きく変化しようとしている. そのような人間の能力を超えたシステムを積極的に用いることによって, 新しい人間との相互コミュニケーションを実現する技術分野をメタパーセプション（本研究室の造語）と呼ぶ. 従来のシステムが人間の機能に合わせたシステムの構築を目指していたのに対して, 人工のシステムがそれらの機能を上回る性能を持つ場合には, そのままの形でシステムを構成しても人間側が対応できないので, 人間の感覚運動系の機能と構造を理解した上で, 人間にどのような情報をどのように加工して出すべきかを考える必要がある. そのようなシステムの実現により, 本来人間が知覚・認識できない情報に対しても, 人間の関与が可能となる.

With advancing technologies such as sensors, displays, and actuators, sensory and motor systems with capabilities far beyond those of human beings will become possible, and the relationship between humans and machines is going to change greatly. In our laboratory we coined the term "Meta Perception" to describe technologies that will enable humans to communicate in new ways with each other by actively using such systems possessing capabilities surpassing those of humans. The conventional approach was to develop systems that are matched with human functions. In contrast, if artificial systems possess capabilities beyond ours, we will need to consider how we process information and what kind of information to provide, with full understanding of the capabilities and structure of the human sensory and motor systems. By realizing such systems, humans can start to engage with information that we could not previously perceive or recognize.

スマート レーザー スキャナ／ Smart Laser Scanner

スマートレーザースキャナは, 測定対象物に対して構造的な光線の運動を付与したレーザー光を当て, その反射光の強度変化を単一の受光素子で捉えることにより, 対象の形状や運動を捉え, それらに対して適応的な光線の運動を与えることにより, 対象に応じた光線の動きを実現するものであり, 光線の方向と反射光の強度から３自由度の計測が可能であり, 3次元位置計測, ２次元の対象の特徴トラッキング等を可能とするシステムである. 適応的な動作の設計に応じて, 意味のある動作を実現することが可能であり, 特にその高速性から, レーザー光が対象の変化に応じた動作を行うことが可能で, インタラクティブなインタフェースにも利用することが可能である.

The Smart Laser Scanner aims a laser beam scanned to form a particular spatial pattern toward the target object to be measured, and captures the shape and motion of the target by capturing intensity variations of the reflected light with a single photosensor element. The light beam can be made to move in a way that corresponds to the target by applying adaptive motion to the light beam. This system is capable of measuring three degrees of freedom from the direction of the light beam and the intensity of the reflected light and is capable of 3D position measurement, 2D feature tracking of targets, and so on. To correspond to the design of adaptive motion, this system is capable of creating meaningful motions. In particular, with the high-speed performance that the system achieves, the laser beam can be moved in response to the motion of the target object, which can also be applied to interactive interfaces.

センシング ディスプレー／ Sensing Display

光学的な計測を行う場合, 計測に用いる照明やビームをそのまま, あるいは別の光源を用いて, 表示系を同一の光学系を通すことにより, センシングと表示を同時に実現する方法. 例えば赤外のレーザービームで皮膚から血管像の計測を行い, そのビームと同じ場所に可視光レーザービームで計測結果を表示することによって, 皮膚表面に計測結果の表示が可能となる. 実物に表示でき, なおかつ同じ光学系を用いることにより, センシングと表示の位置ずれを起こさないという利点がある.

When performing optical measurements, Sensing Display is a method of realizing sensing and display functions simultaneously, in order to use illumination and a laser beam for measurement and as a light source through the same optical system as the display system. For instance, this allows images of measured blood vessels to be displayed on the skin surface, to implement measurement of blood vessel images above the skin with an infrared laser beam. This method has the advantage of not causing any position misalignment between sensing and displaying.

インタラクティブ ディスプレー／ Interactive Display

従来のディスプレーは, システムがもっている情報を何らかの形で表示し, 人間に伝えるだけのものであり, 利用している人間の意思や意図は, ディスプレーではなく, キーボードやマウスを通してシステムに入力されていた. インタラクティブディスプレーは, 人間の意思や意図をディスプレーで直接入力することを可能にするもので, 人間とシステムの直接的な相互コミュニケーションを可能とするものである. ディスプレーに直接入力することは, ディスプレーの座標系と入力デバイスとしての座標系が一致していることを意味し, キーボードやマウスで必要とされる人間の脳の内部での座標変換が必要なくなり, 直感的で快適なインタフェースが実現される. この際, 人間の動作から表示までのレイテンシーが操作感に大きく影響する. このため本研究室では, 高速ビジョンを用いることにより, 入力のレイテンシーをmsオーダーに押さえることにより, 高速の動作にも追従し, 追従性の高いディスプレーを実現している.

Up to now, displays just show information in some form or another to present it to users, and users input their intentions via keyboards and mice, not the display. An interactive display enables them to input their intentions directly, allowing the user and the system to communicate with each other directly. Inputting to the display directly means that the coordinate system of the display corresponds to that of the input device, so that a coordinate transformation carried out in the user's head, which is needed when using keyboards

or mice, becomes unnecessary, allowing an intuitive and comfortable interface to be implemented. The latency time between the user's operation and the information display strongly affects the operating sensation. Because of this, in this laboratory we use a high-speed vision system to keep the input latency below a few milliseconds, allowing the implementation of a high-trackability display system that can track high-speed motion.

ダイナミック インタラクション／ Dynamic Interaction

人間とシステムとが相互作用(インタラクション)する場面において,「システムが人間の視覚認識速度よりも高速に認識・行動し, 人間が認識できない遅延レベルと高サンプリングレートで人間とシステムとの相互作用を実現する」インタラクションシステムの基本設計思想を指す. 従来システムよりも高速な応答性を有するシステムを構築することにより, その速度性能によって人間とシステムとの協調性やリアリティを高め, インタラクションの質をも向上させるものである. 知能システムが人間の視覚認識速度よりも低遅延かつ高速に動作することで, 人間がランダムかつ高速な運動を行ったとしても対応可能であり, 人間がシステムの挙動に適応する必要が無く, 操作性や正確性に優れたシステムとなる. 本設計思想に基づくシステムとして, 例えば勝率100%じゃんけんロボットでは, 全体処理が約23ms(画像処理が2ms, 制御指令が1ms, ロボットハンドの運動が約20ms)で実行されており, 人間が遅延(後出し)に気づかないレベル(30ms以内)でロボットシステムが動作している. これにより, 人間の動作に協調しつつ, 人間を超える性能を実現している. 本技術は, VR, ARから人間の運動の先回り支援, パワーアシスト, 人間機械協調まで, 幅広い応用分野において適用可能であり, 特に遅延やサンプリングレートが重要となる場面において大きな役割を果たすと考えられる.

In this research we propose an entirely new concept named "Dynamic Interaction". "Dynamic Interaction" is a basic concept for the system design, in particular human-robot interaction and user interface, in which human interacts with system. This means that "The system can execute at higher speed beyond the human recognition and action. And the system can realize interaction between the human and the system with low-latency and highly sampling rate." By constructing such system with high-speed performance, cooperativeness and reality become higher quality than the conventional systems. We have developed Janken (rock-paper-scissors) robot system with 100% winning rate as one example of Dynamic Interaction applications. This system consists of a high-speed vision, a real time controller and a high-speed robot hand. Since the whole processing can be executed every about 23ms (image processing: 2ms, control input: 1ms and robot hand motion: 20ms), the human cannot recognize the system latency. This technology can be applied to various situations such as VR, AR, motion assist, power assist, human-machine cooperation and so on. In particular, this can be considered to be significantly important role in a scene that the time delay is a big problem to be solved.

自己受容性／ Proprioception

人間は, 自らの脳が指令した運動に対しては, 自らの感覚系を通して, その指令の実行状況を知ることができる. この性質を自己受容性と呼び, 身体性に関連した自己の認識を司るものとして, また異常の認識や他人や環境の存在の認識において, 極めて重要な役割を担っている. 脳の内部では, 遠心性 (efferent) の情報としての運動指令は, 運動系に伝達されるとともに, 認識系へもコピーされる. このパスは, 遠心性コピー (efferent copy) と呼ばれ, 求心性 (afferent) の情報である感覚系の情報と比較されて, 外界並びに身体のモデルの同定に用いられる. ヒューマンインタフェースの設計では, いかに自己受容性を実現するかが一つの指標となり, インタフェースにおける自己の認識の形成, ひいては没入感等の実現に重要な役割を果たす.

Proprioception is the ability of humans to determine the progress of their own motor commands through their own sensory tract when commands are given by their brain. Proprioception plays an imporant role in recognizing the state of one's own body, as well as recognizing something unusual, the presence of another person, and one's surroundings. Inside our brain, a motor command, as efferent information, is transmitted to the motor system, and at the same time, is copied to the recognition system. This process, called efferent copy, is used for identifying the outside world and the body, as compared with the sensory tract which involves afferent information. In designing human interfaces, how proprioception is implemented is one of the indexes used to evaluate the system, and proprioception plays an important role in self-recognition.

自己認識／ Self Recognition

ヒューマンインタフェースにおいて, バーチャルな世界に自己を何らかの形で投射した場合, その表現を自己のものとして理解できるかがバーチャルな世界への没入感の指標となる. 表現のテクスチャーやダイナミクス, 表示のレイテンシーや同期性等が関係し, 自己受容性の確保が鍵となる. また, 逆説的に自他の識別にもつながり, その明確な定義は極めて難しい課題とされている. 一般に, バーチャル世界で表現される自己は, 現実世界の自己とは違い, 情報のずれが存在し, そのずれの程度と人間の脳内での処理の関係で自他の識別が決定されるため, ヒューマンインタフェースの実装にあたっては, 自己認識が容易なシステムの実現が一つの指標になる.

In human interfaces, when we reflect ourselves in a virtual world in some form or another, it is a measure of the realism of the virtual world whether or not we can understand the representation as our own. In reference to texture and dynamics of representation, as well as latency and synchronization of display, ensuring proprioception is critical. It is also related to discrimination between meum et tuum, paradoxically, and a clear definition is too difficult a problem. In general, our selves in the virtual world have some information gaps with those in the real world, and discrimination between meum et tuum is determined by the relation between the degree of those gaps and the processing in the human brain. So, regarding implementation of human interfaces, implementation of an easy self-recognition system is one of the indexes for evaluating the system.

ハプティックス／ Haptics

触覚に関連する知覚･認識の処理構造を対象とする学術分野. 皮膚の受容器としての触覚は, 機械的接触圧力や熱流・温度の表面分布を測定量とするセンサと見なすことができるが, 手をかざしただけでは対象の情報は得られず, 手を動かして対象に接触させて始めて情報の取得が可能となる. このような手の動作を触運動と呼び, 認識のための運動の発現として, アクティブセンシングの典型例の一つと考えられている. つまり, 触覚認識では,皮膚の受容器と触運動を一体のものとして考える必要がある. 触運動の発現は, 認識の準備行動, センサの動特性の補償, 局所性の回避, 空間分解能の向上, 表面テクスチャの認識等, 様々な機能に必要な機能である.

Haptics is an academic field involving processing structures of perception and recognition related to the tactile sense. The tactile receptors on the skin can be regarded as sensors whose measured variables are mechanical contact pressure and a surface map of heat flow and temperature. However, one cannot obtain information about an object only by holding one's hand over it; it is not until one moves one's hand and touches the object that we can get information about the object. The movement of the hands like this is called a touching motion, and it is considered as one typical example of active sensing, as a manifestation of motion for recognition. That is, we need to consider that a receptor on the skin and the touching motion are united in tactile perception. A manifestation of the touching motion is required for several functions, such as a preparation act for recognition, compensation of the dynamic behavior of sensors, evasion of locality, improvement of spatial resolution, and recognition of surface texture.

デフォーマブル ディスプレー／ Deformable Display

一般的な映像ディスプレーは, フラットな平面上に提示されるものであり､インタラクションもその平面上の2次元に拘束されるものであった. これに対して､映像が提示されるディスプレー環境に､自由に変形するデフォーマブルな構造を導入することで, 3次元ユーザインタフェースとして全く新しいインタフェースを提供することが可能となる. 具体的には, これまでの通常のマルチタッチの操作に加えて, 押し込みや変形といった新たな操作も可能となるとともに, インタラクションに応じて生じる曲面への映像提示を実現することができ, 様々な次世代のインタラクティブデジタルメディア環境を提案している.

Popular image displays are presented on a flat plane, and interactions are bounded by the two dimensions in this plane. On the other hand, by introducing a freely deformable structure to display an environment on which images are presented, it becomes possible to offer a totally new interface, that is, a three-dimensional user interface. Concretely, besides conventional ordinary multi-touch control, new controls such as push and deformation become possible, and also it becomes possible to present an image on a curved surface, which is generated depending on the user's interaction with the display. This will lead to various next-generation interactive digital media environments.

アクティブ パーセプション／ Active Perception

人間の知覚には受動的知覚と能動的知覚に大別されるが､一般的に能動的知覚において身体動作による動きが加わることによって、受動的知覚では感じ取ることができない情報を知覚することが可能となる. この従来の能動知覚に加え､人や機械において、能動的動作や刺激を加えることで本来の人と機械の能力を超えた知覚・認識系を実現する技術分野をアクティブパーセプションと呼ぶ. まず､人や機械に対して、どのような動作や刺激を加えることで能力の限界を突破できるかについて把握する必要があるため、システムの設計段階で未知のパラメータの探索を行う. そこで得られたパラメータを元にしたシステムと認識系を組み合わせることにより､人や機械の､情報に対する新たな関与の仕方を可能とする.

Human perception can be divided into passive perception and active perception. In general, however, active perception is accompanied by movement due to body motion, allowing additional information to be perceived. In addition to this conventional active perception, active perception also includes the improved ability of machines to sense and display information by adding active motion and stimulation. As for

machines, it is necessary to grasp what kind of actions and stimuli can be applied to overcome the limits of their capabilities, so we must search for unknown parameters at the design stage of the system. By combining the system based on the parameters obtained and the recognition system, it is possible to devise new ways of cooperatively handling information by people and machines.

画素単位ブラー除去イメージング／ Pixel-wise Deblurring Imaging (PDI)

高速移動体からの撮像ではモーションブラーが生じることから、鮮明な画像を得るためには、シャッタースピードを高速にする必要があり、同じ感度条件の下では強力な照明が必要となる. そのため、例えば、高速道路のトンネル壁面の検査用の撮像は、トンネルの交通を規制する必要が生じ、頻度の高い検査の障害となっている. このモーションブラーを取り除くため、像面情報のみから対象との相対速度と同じ速度で、撮像系の光軸を高速に追従制御する「画素単位ブラー除去イメージング」を本研究室では提案している.

Motion blurring occurs in imaging of a high-speed moving object. Therefore, in order to obtain a clear image, it is necessary to increase the shutter speed, and stronger illumination is thus required, assuming the same sensitivity conditions. Therefore, for example, imaging for inspecting the surface of a tunnel wall in a highway requires placing restrictions on tunnel traffic, which is an obstacle to frequent inspection. In order to remove motion blur, our laboratory has proposed a technique called "pixel-wise deburring imaging", which controls the optical axis of the imaging system at a high-speed equal to the relative speed between the object and the imaging system based on image plane information.

スポーツ訓練システム／ Sports Training Support System

スポーツの訓練において、見よう見まねで動作を繰り返すことや本または言葉による指導での技能の習得が一般的であるが、これに対し、近年ではメディア技術を駆使した効率的なスポーツ訓練システムが開発され、学習効率の最適化が図られてきている. システムの設計仕様として、実際のスポーツを行う場面と訓練時の差異が極力少ないことが効率的な訓練のために必須であり、差異の要因としてシステムの空間分解能・時間分解能・動作遅延の3点が挙げられる. 本研究室では、リアルタイム性を考慮した高速カメラによるビジュアルフィードバックを利用したスポーツ訓練システムの提案を行っている.

In sports training, the common conventional approach involves practicing a motion after observing someone performing that motion and seeking skills or acquiring skills from instruction books or via verbal instruction. In recent years, on the other hand, efficient sports training systems have been developed that make full use of multimedia technology, and optimization of learning efficiency has been attempted. As the design specifications of such a system, it is essential for efficient training that the difference between the desired actual sports scenes and the training be as small as possible. Three factors in achieving this are: spatial resolution, temporal resolution, and operation latency of the system. In our laboratory, we have proposed a sports training system using visual feedback based on a high-speed camera and taking into consideration the real-time properties.

映像遅延／ Video latency

映像情報を含んだ通信系では、単位時間あたりの情報量が他のモダリティーと比べて多いため、情報の入力から出力に至るまで遅延時間が生じやすい. そのため、VRやARといった身体の自己受容性との調和を前提とした入出力システムにおいて、映像遅延が生じることでタスクパフォーマンスや没入感の低下を引き起こすことが知られている. 一方で、近年高速カメラや高速プロジェクタといった映像情報を高速に処理可能なデバイスが増えており、それらを利用した低遅延の没入環境の構築が可能となっている.

In communication systems that include video information, the amount of information per unit of time is larger than in other modalities, so a delay time is likely to occur from the input of information to the output. Therefore, in input-output systems such as VR and AR, which are based on the premise of harmonizing with the body's self-acceptance, it is known that the video delay causes a decrease in task performance and immersion. On the other hand, recent years have seen an increase in the number of devices that can process video information at high speed, such as high-speed cameras and high-speed projectors, making it possible to construct immersive environments with low latency.

錯視補償／ Dynamic Perceptive Compensation for Optical Illusions

人間の視覚系は様々な要因により、物理的な情報とは異なった情報を知覚する錯視現象が生じる．例えば盲点の補完のように錯視が有用に働く場合がある一方で、人間にとって重要な視覚情報を取得できない可能性がある．そこで、後者の状況を想定して錯視が生じる前の視覚情報を人間に知覚させる「錯視補償」が提案されている．特に、アイトラッカー等によって視線の動きを取得することで、視線に連動して生じる運動錯視を動的に補償する手法の効果が確認されている．

Due to various factors, the human visual system is subject to the illusion of perceiving information different from the physical information. In some cases, the illusion is useful, for example, to complement a blind spot, but in other cases, it may prevent us from obtaining important visual information. For the latter situation, "Dynamic Perceptive Compensation for Optical Illusions" has been proposed to allow humans to perceive visual information before the illusion occurs. In particular, a method of dynamically compensating for motion illusions linked to gaze by acquiring eye movements using an eye tracker has been shown to be effective.

白線認識／ Lane detection

自動走行手法の一部として、道路上の画像から白線情報を取得し車両の自己位置情報を推定する．画像処理に利用する計算機の計算能力やカメラ感度の向上に加え、車両がセンシングデバイスを搭載するようになったことで、精度や時間分解能が向上しつつある．走行型点検車両が道路上の構造物を点検する際は、白線認識から得た車両位置情報をリアルタイムに点検箇所の座標系に変換し、アクティブビジョンによって視線制御する．これにより、狙った箇所を点検し続けるシステムの構築が可能となる．

As a part of the automatic driving method, the self-positioning information of a vehicle is estimated by obtaining the white line information from the images on the road. In addition to improvements in the computational power and camera sensitivity of the computer used for image processing, the accuracy and time resolution are being improved as vehicles are equipped with sensing devices. When a traveling inspection vehicle inspects a structure on the road, the vehicle position information obtained from the white line recognition is converted to the coordinate system of the inspection point in real time, and the line of sight is controlled by active vision. This makes it possible to construct a system that continuously inspects the targeted area.

7. 論文 Papers



招待論文／Invited Papers

- 鏡慎吾, 石川正俊: センサフュージョン ― センサネットワークの情報処理構造 ―(招待論文), 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J88-A, No.12, pp.1404-1412 (2005)

学術論文／Papers

- 川原大宙, 妹尾拓, 石井抱, 平野正浩, 岸則政, 石川正俊: 輪郭情報に基づくテンプレートマッチングを用いた重畳車両の高速トラッキング, 計測自動制御学会論文集, Vol.58, No.1, pp.21-30 (2022)
- 塚本勇介, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジョンを用いた形状のフィードバックによる弾性体アームの操り, 計測自動制御学会論文集, Vol.54, No.5, pp.468-475 (2018)
- 山川雄司, 遠山渉, 黄守仁, 村上健一, 石川正俊: 人間の手先位置制御の高速高精度化を目指したモジュール開発と基礎検討, 日本機械学会論文集, Vol.84, No.858, 17-00364 (2018)
- 山川雄司, 久野和生, 石川正俊: 高速ロボットハンドシステムの人間機械協調動作への応用, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.844, 16-00352 (2016)
- 松本卓也, 奥寛雅, 石川正俊: 構造化ライトフィールトを用いた高速距離画像計測, 日本ロボット学会誌, Vol.34, No.1, pp.48-55 (2015)
- 玉田智樹, 五十嵐渉, 米山大揮, 田中和仁, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速2足走行システムACHIRESの開発, 日本ロボット学会誌, Vol.33, No.7, pp.482-489 (2015)
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: 高速ロボットアームを用いた柔軟紐の動的マニピュレーション, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.6, pp.628-638 (2013)
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠: ロボットハンドの構造・運動を考慮した操りスキルの統合に基づく結び目の生成計画, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.3, pp.283-291 (2013)
- 妹尾拓, 高野光浩, 石川正俊: 滑り摩擦非対称性を利用した動的２脚移動, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.3, pp.301-309 (2013)
- 木崎昴裕, 並木明夫, 脇屋慎一, 石川正俊, 野波健蔵: 高速多指ハンドアームと高速ビジョンを用いたボールジャグリングシステム, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.9, pp.924-931 (2012)
- 鈴木健治, 鈴木陽介, 長谷川浩章, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: ロボットハンド指先に付与したネット状近接覚センサ情報に基づく把持姿勢の決定, 計測自動制御学会論文集, Vol.48, No.4, pp.232-240 (2012) [2013年 FA財団論文賞受賞]
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: 高速多指ハンドシステムを用いた布の動的折りたたみ操作, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.2, pp.225-232 (2012)
- 寺田一貴, 鈴木陽介, 長谷川浩章, 曽根聡史, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 全方位検出・高速応答可能なネット状近接覚センサの開発, 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.8, pp.683-693 (2011)
- 溝口善智, 多田隈建二郎, 長谷川浩章, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 近接・触・すべり覚を統合したインテリジェントロボットハンドの開発, 計測自動制御学会論文集, Vol.46, No.10, pp.632-640 (2010)
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠: 高速多指ハンドと高速視触覚フィードバックを用いた柔軟紐の結び操作, 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.9, pp.1016-1024 (2009)
- 西野高明, 下条誠, 石川正俊: 選択走査方式を用いた省配線・分布型触覚センサ, 計測自動制御学会論文集, Vol.45, No.8, pp.391-397 (2009) [2010年 計測自動制御学会論文賞, 2010年 ファナックFAロボット財団論文賞受賞]
- 岩下貴司, 下条誠, 石川正俊: 等電位法に基づく分布型オーバサンプリングA-D変換を用いた触覚センサ, 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J90-C, No.10, pp.683-692 (2007)
- 東森充, 丁憙勇, 石井抱, 並木明夫, 石川正俊, 金子真: 二重旋回機構を備えた４本指ロボットハンドの開発, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.7, pp.813-819 (2006)
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊: 高速打撃動作における多関節マニピュレータのハイブリッド軌道生成, 日本ロボット学会誌, Vol.24, No.4, pp.515-522 (2006)
- 尾川順子, 阪口豊, 並木明夫, 石川正俊: 感覚運動統合システムにおけるダイナミックス整合の適応的獲得, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J87-D-II, No.7, pp.1505-1515 (2004)
- 並木明夫, 石井抱, 石川正俊: 高速センサフィードバックに基づく把握行動, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.7, pp.707-716 (2002)
- 中坊嘉宏, 石川正俊: 超並列・超高速ビジョンを用いたビジュアルインピーダンス, 日本ロボット学会誌, Vol.19, No.8, pp.959-966 (2001)
- 奥寛雅, 石井抱, 石川正俊: マイクロビジュアルフィードバックシステム, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol. J84-D-II, No.6, pp.994-1002 (2001)
- 並木明夫, 石川正俊: 視触覚フィードバックを用いた最適把握行動, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.2, pp.261-269 (2000) [2001年 日本ロボット学会論文賞受賞]
- 大脇崇史, 中坊嘉宏, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊: 視触覚モダリティ変換を用いたリアルタイム実環境仮想接触システム, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J81-D-II, No.5, pp.918-924 (1998)
- 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊: 超並列・超高速ビジョンを用いた1msターゲットトラッキングシステム, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.3, pp.417-421 (1997) [1998年 日本ロボット学会論文賞, 1998年 高度自動化技術振興賞 (本賞) 受賞]
- 向井利春, 石川正俊: アクティブセンシングを用いた視触覚融合システム, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.1, pp.75-81 (1997)
- 矢野晃一, 石川正俊: 最適軌道の探索と逆モデルの学習を行う運動の習熟機構, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J80-D-II, No.5, pp.1231-1238 (1997)
- 山口佳子, 石川正俊: 視覚情報を利用した力制御の学習, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J80-D-II, pp.277-285 (1997)
- 石井抱, 石川正俊: 分布型触覚センサを用いた触覚パターン獲得のための能動的触運動, 日本ロボット学会誌, Vol.15, No.5, pp.795-801 (1997)
- 向井利春, 石川正俊: 複数センサによる予測誤差を用いたアクティブセンシング, 日本ロボット学会誌, Vol.12, No.5, pp.715-721 (1994)
- 高橋昭彦, 石川正俊: センサフュージョン技術の現状と課題, 機械の研究, Vol.45, No.12, pp.1219-1227 (1993)
- 下条誠, 石川正俊, 金谷喜久雄: 高密度フレキシブル圧力分布イメージャ, 機械学会論文集(C編), Vol.57, No.537, pp.1568-1574 (1991)
- 下条誠, 石川正俊: 空間フィルタ型触覚センサを用いた能動的センシング, 電子情報通信学会論文誌C-II, Vol.J74-C-II, No.5, pp.309-316 (1991)
- 高橋昭彦, 石川正俊: センサフュージョンシステムにおける物理ネットワークの再構成手法, 電子情報通信学会論文誌C-II, Vol.J74-C-II, No.5, pp.281-288 (1991)

- 高橋昭彦, 石川正俊:物理ネットワークによる内部表現を用いたセンサフュージョン, 計測自動制御学会論文集, Vol.26, No.7, pp.803-810 (1990)
- 石川正俊, 吉澤修治: 多層型並列処理回路を用いたn次モーメントの検出方法, 計測自動制御学会論文集, Vol.25, No.8, pp.904-906 (1989)
- 宇津木明男, 石川正俊: 格子型ネットワーク回路による線形連想写像の学習, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J72-D-II, No.12, pp.2103-2110 (1989)
- 金谷喜久雄, 石川正俊: 触覚画像システムとその応用, バイオメカニズム学会誌, Vol.13, No.1, pp.45-48 (1989)
- 石川正俊: 並列処理を用いた能動的センサシステム, 計測自動制御学会論文集, Vol.24, No.8, pp.860-866 (1988)
- 石川正俊, 下条誠: ビデオ信号出力をもつ圧力分布センサと触覚パターン処理, 計測自動制御学会論文集, Vol.24, No.7, pp.662-669 (1988)
- 石川正俊: 並列処理を用いた局所パターン処理用LSIとその触覚センサへの応用, 計測自動制御学会論文集, Vol.24, No.3, pp.228-235 (1988)
- 下条誠, 石川正俊: 感圧導電性ゴムと液晶を用いた圧力分布の表示方法, 計測自動制御学会論文集, Vol.21, No.2, pp.177-182 (1985)
- 下条誠, 石川正俊: 薄型フレキシブル位置覚センサとその応用, 計測自動制御学会論文集, Vol.21, No.11, pp.1250-1252 (1985)
- 石川正俊: マトリクス状センサからの出力分布の中心の位置と総和の検出方法, 計測自動制御学会論文集, Vol.19, No.5, pp.381-386 (1983)
- 石川正俊, 武田常広, 下条誠, 伴菊夫: 3次元動態計測システムとその応用, バイオメカニズム6, pp.145-151, 東京大学出版会 (1982)
- 石川正俊, 下条誠: 感圧導電性ゴムを用いた2次元分布荷重の中心の位置の測定方法, 計測自動制御学会論文集, Vol.18, No.7, pp.730-735 (1982) ［1984年 計測自動制御学会論文賞受賞］

本／Books

- 山川雄司, 石川正俊: 20.3 高速ハンドリング, 第20章 高速ロボット, ロボット制御学ハンドブック (松野文俊, 大須賀公一編), pp.656-660, 近代科学社 (2017.12)
- 妹尾拓, 石川正俊: 20.5.1 野球ロボットとジャグリングロボット, 20.5 高速ロボットシステムの例, 第20章 高速ロボット, ロボット制御学ハンドブック (松野文俊, 大須賀公一編), pp.664-667, 近代科学社 (2017.12)
- 石川正俊, 成瀬誠: 第8章 センシングと情報ネットワークの基本課題, 情報ネットワーク科学入門 (電子情報通信学会監修, 村田正幸, 成瀬誠編著), pp.132-138, コロナ社 (2015.10)
- 山川雄司: 9-6 じゃんけんロボット, ハンディブック メカトロニクス 改訂3版, pp.444-449, オーム社 (2014)
- 妹尾拓, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速ビジョン, ロボットテクノロジー (日本ロボット学会編), pp.202-205, オーム社 (2011.8)
- 石川正俊: 2.感覚統合とセンサフュージョン, 脳と認識 (苧坂直行編), pp.74-93, 朝倉書店 (1997.4)
- 石川正俊: ロボット群は周囲の状況をどうやって知るか, 自律分散をめざすロボ, pp.17-29, オーム社 (1995.6.20)
- 石川正俊訳, : カセンシングと制御, ナチュラルコンピューテーション2 -聴覚と触覚・カセンシング・運動の計算理論- (ホイットマン・リチャーズ編), pp.111-264, パーソナルメディア (1994.7)
- 石川正俊訳, : 将来の方向性, ナチュラルコンピューテーション2 -聴覚と触覚・カセンシング・運動の計算理論- (ホイットマン・リチャーズ編), pp.265-281, パーソナルメディア (1994.7)
- 山崎弘郎, 石川正俊編著: センサフュージョン-実世界の能動的理解と知的再構成 - (山崎弘郎, 石川正俊編),コロナ社 (1992.11.10)
- 石川正俊: 触覚情報のインテリジェント処理, センサの事典(高橋清,森泉豊栄, 藤定広幸, 江刺正喜, 芳野俊彦, 相沢益男, 舘暲, 戸川達男, 小林彬編), 朝倉書店, pp.456-472 (1991.5)
- 石川正俊: センシングとセンサフュージョン, ロボット工学ハンドブッ ク (ロボット 工学ハンドブック編集委員会編), コロナ社, pp.103-110 (1990.10)
- 赤松幹之, 石川正俊: 形状知覚における視-触覚感覚統合過程の解析 -感覚統合と能動性の関係-, バイオメカニズム10, 東京大学出版会, pp.23-32 (1990.9)
- 石川正俊, 下条誠: 第15章 圧力センサ, 透明導電性フィルムの製造と応用, 田畑三郎監修, CMC, pp.187-195 (1986.8)
- 石川正俊: 触覚センサー , 最新目視検査の自動化, テクノシステム, pp.101-111 (1986.8)
- 石川正俊: 第19章 演算機能を持つ触覚形センサ, わかるセンサ技術(佐々木清人編著), 工業調査会, pp.221-224 (1986.6)
- 石川正俊: 処理方式とその機能, 半導体センサの知能化, ミマツデータシステム, pp.273-303 (1985.4)

解説論文／Review Papers

- 石川正俊: 高速ビジョンを用いた高速知能ロボット, ロボット, No.263, pp.56-58 (2021)
- 下条誠: 展望：これからの触覚技術, 日本ロボット学会誌, Vol.37, No.5, pp.385-390 (2019)
- 山川雄司: 高速ビジョンと高速ロボットによる人間機械協調, 日本ロボット学会誌, Vol.35, No.8, pp.596-599 (2017)
- 黄守仁, 山川雄司, 妹尾拓, ベリストロムニクラス: 高速ビジョンに基づく動的補償および産業用ロボットへの応用, 日本ロボット学会誌, Vol.35, No.8, pp.591-595 (2017)
- 下条誠, 小山佳祐: ロボットマニピュレーションのための触近接覚, 計測と制御, Vol.56, No.10, pp.758-763 (2017)
- 並木明夫, 石川正俊: 高速ビジョンの応用展開, 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.9, pp.766-768 (2014)
- 妹尾拓, 山川雄司, 石川正俊: 高速ビジョンのロボット応用, 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.9, pp.769-773 (2014)
- 中坊嘉宏, 石川正俊: ハード・リアルタイム制御にかかわるディペンダビリティの課題, 日本信頼性学会誌, Vol.35, No.8, pp.479-480 (2013)
- 山川雄司, 石川正俊: 勝率100%じゃんけんロボットの開発, 画像ラボ, Vol.24, No.6, pp.1-8 (2013)
- 渡辺義浩, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジョンを用いた高速ロボットの実現, ロボット, No.192, pp.47-53 (2010)
- 並木明夫, 妹尾拓, 石川正俊: 高速バッティングロボットシステムの開発, 自動車技術会誌, Vol.58, No.9, pp.79-80 (2004)
- 石川正俊: ビジュアルサーボイングの現状と将来, 計測と制御, Vol.40, No.9, pp.615-617 (2001)
- 石川正俊: 超高速ビジョンシステムが開く新しいロボットの世界, 学術月報, Vol.53, No.9, pp.34-38 (2000)

- 並木明夫, 金子真, 石川正俊: 感覚運動統合に基づく「手と脳」の工学的実現, 日本ロボット学会誌, Vol.18, No.6, pp.805-806 (2000)
- 並木明夫, 石川正俊: 高速フィードバック技術の最先端, 日本音響学会誌, Vol.56, No.5. pp.361-366 (2000)
- 石川正俊: 新たなる計測の世界, 計測技術, Vol.26, No.4, pp.13-14 (1998)
- 石川正俊: センサ情報処理で変わるロボットの世界, システム／制御／情報, Vol.42, No.4, pp.210-216 (1998)
- 石川正俊: センサ情報の並列処理技術＝センサフュージョンと光インターコネクション＝, 計測技術, Vol.25, No.1, pp.61-64 (1997)
- 石川正俊: センサフュージョン -人間の五感の工学的実現を目指して-, 日本音響学会誌, Vol.52, No.4, pp.294-299 (1996)
- 石川正俊: The Art of Sensing, 横河技報, Vol.39, No.34, pp.107-108 (1995)
- 石川正俊: センサ情報の並列処理技術, 次世代センサ, Vol.5, No.1, pp.11-15 (1995)
- 石川正俊: センサフュージョン -五感に迫るはかる技術-, 日本機械学会誌, Vol.98, No.918, pp.378-381 (1995)
- 石川正俊, 山崎弘郎: センサフュージョンプロジェクト, 日本ロボット学会誌, Vol.12, No.5, pp.650-655 (1994)
- 石川正俊: センサフュージョン, 電気学会雑誌, Vol.113, No.2, pp.131-138 (1993)
- 石川正俊: 触覚をつくる, 数理科学, Vol.31, No.2 (No.356), pp.31-37 (1993)
- 石川正俊: アクティブセンシングとロボットハンド, 日本ロボット学会誌, Vol.11, No.7, pp.938-942 (1993)
- 石川正俊: センサ情報の群知能処理, 計測と制御, Vol.31, No.11, pp.1125-1130 (1992)
- 石川正俊: センサフュージョン(Sensor Fusion), 日本ファジィ学会誌, Vol.4, No.3, pp.487 (1992)
- 石川正俊: センサフュージョンがめざす新しいセンシング技術, μα, Vol.1, No.8, pp.26-30 (1991)
- 石川正俊: センサ複合化の現状, 計測技術, Vol.19, No.6, pp.35-39 (1991)
- 石川正俊: センサフュージョンの課題, 日本ロボット学会誌, Vol.8, No.6, pp.735-742 (1990)
- 舘暲, 石川正俊, 木戸出正継, 三上章允: 21世紀のロボット, 座談会-新しいロボットのコンセプト-Neuroboticsとは？-, 日本の科学と技術, Vol.31, No.258, pp.34-51 (1990)
- 石川正俊: センサとニューロボティクス-新しいセンシング技術を求めて-, 日本の科学と技術, Vol.31, No.258, pp.64-70 (1990)
- 石川正俊: センサフュージョンシステム, センサ技術, Vol.10, No.2, pp.68-71 (1990)
- 石川正俊: 触覚のセンシング技術, 精密工学会誌, Vol.55, No.9, pp.1583-1587 (1989)
- 石川正俊: センサフュージョン, 計測と制御, Vol.28, No.4, pp.370 (1989)
- 石川正俊: 触覚センサの研究開発動向, 自動化技術 (韓国), Vol.5, No.11, pp.33-37 (1989)
- 原田和茂(神戸製鋼所), 石川正俊: Transputer搭載のMULTIBUSボードとFAシステムの応用案, 32ビット・マイクロプロセッサ -応用・開発・評価 (日経データプロ編), 日経マグロウヒル刊, pp.125-138 (1988)
- 石川正俊: 触覚センサの研究・開発動向, オートメーション, Vol.33, No.4, pp.31-35 (1988)
- 石川正俊: 触覚センサの作り方・考え方＝触覚センサのための信号処理技術＝, 省力と自動化, Vol.19, No.2, pp.25-35(1988)
- 石川正俊: センサフュージョンシステム -感覚情報の統合メカニズム-, 日本ロボット学会誌, Vol.6, No.3, pp.251-255 (1988)
- 石川正俊: 触覚システム, コンピュートロール, No.21, pp.59-66 (1988)
- 石川正俊: 触覚をつくる, 工業技術, Vol.28, No.7, pp.34-35 (1987)
- 石川正俊: 触覚センサとはなにか, 省力と自動化, Vol.18, No.3, pp.25-35 (1987)
- 石川正俊: 触覚センサー, 最新目視検査の自動化, テクノシステム, pp.101-111 (1986)
- 石川正俊: センサにおける信号処理技術の動向, センサ技術, Vol.6, No.7, pp.18-21 (1986)
- 石川正俊: 人間の手に近づくために 触覚センサー, トリガー, Vol.5, No.2, pp.24-25 (1986)
- 下条誠, 石川正俊: シート状圧力分布センサ, センサ技術, Vol.4, No.12, pp.68-72 (1984)
- 石川正俊: 「触覚センサ特集」編集後記, 日本ロボット学会誌, Vol.2, No.5, p.120 (1984)
- 石川正俊: ＬＳＩ化を目指した新しい発想のインテリジェントセンサ, M&E, Vol.10, No.9, pp.30-31 (1983)
- 石川正俊, 下条誠: 感圧導電性ゴムを用いた圧力センサ, バイオメカニズム学会誌, Vol.6, No.3, pp.46-51 (1982)
- 石川正俊, 下条誠: マトリクス状触覚センサとその処理, センサ技術, Vol.3, No.6, pp.81-84 (1983)
- 石川正俊, 下条誠: 感圧導電性ゴムを使った触覚センサ, センサ技術, Vol.2, No.1, pp.33-36 (1982)

招待講演／Invited Talks and Tutorials

- 石川正俊, 山川雄司, 妹尾拓, 黄守仁: Dynamic Compensation の提案とその応用 (キーノート), 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) ／講演会論文集, pp.302-303
- 石川正俊: 高速ビジョンを用いた高速ロボット, ハーモニックドライブ国際シンポジウム2015 (松本, 2015.5.22) ／講演資料, pp.131-139
- 石川正俊: 高速画像処理が拓く新しい画像応用システムの世界 (特別講演), 光産業技術振興協会 光技術動向セミナー (横浜, 2013.10.17) ／講演プログラム, pp.1-9
- 石川正俊: 高速ビジュアルフィードバックの世界 (特別講演), 第127回微小光学研究会「3D空間情報と微小光学」(東京, 2013.3.7) ／ MICROOPTICS NEWS, Vol.31, No.1, pp.1-6
- 石川正俊: 新しいロボット産業分野の創生はなぜ難しいのか？ ー「よい研究成果は, 必ず役に立つ」という妄想に秘められた構造的課題ー, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会ストラテジックセッション「新しいロボット産業分野の創生のための支援体制 ーロボット技術が事業に成長するためのファイナンス戦略は何か？ー」(札幌, 2012.9.20)
- 石川正俊: 高速画像処理技術が拓くロボットの新しい世界 ー価値創造型研究開発と産学連携ー (基調講演), 応用科学学会秋季シンポジウム2011 (東京, 2011.10.28) ／予稿集, pp.2-11
- 石川正俊: 高速画像処理技術が拓く高速知能システムの新展開, 第31回サイテックサロン (東京, 2010.6.19) ／講演録・対談録, pp.1-22
- 石川正俊: ビジョンチップとその応用 ～ヒューマンインターフェイス, 検査, 医療・バイオ, ロボット～ (招待講演), 映像情報メディア学会情報センシング研究会／コンシューマエレクトロニクス研究会 (東京, 2010.3.26) ／映像情報メディア学会技術報告, IST2010-11/CE2010-20, Vol.34, No.16, pp.15-20 (2010)

- 石川正俊: センサ技術とネットワーク技術の真の融合はあるのか？ー解くべき問題は何か？ (基調講演), ユビキタス・センサネットワークシンポジウム (東京,2010.1.26) ／予稿集, pp.1-4
- 妹尾拓: 人間を超える高速ロボットシステム, 豊橋技術科学大学GCOEシンポジウム (ADIST2008) (豊橋, 2008.10.17) ／抄録集, p.7-15
- 石川正俊: 超並列・超高速ビジョンとその超高速ロボットへの応用 ―見えないスピードで動くロボットの実現― , 第49回プログラミング・シンポジウム (箱根, 2008.1.9)
- 並木明夫: 超高速マニピュレーションの展望, 第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) (広島, 2007.12.20) ／講演会論文集, pp.49-50
- 石川正俊: 高速ビジョンが拓く超高速ロボティクスの世界, 第8回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) (広島, 2007.12.20) ／講演会論文集, pp.61-62
- 石川正俊: より速く、より柔軟に -ビジョンチップが拓く超高速ロボットの世界-, 東京大学公開講座 (東京, 2006.10.21) ／講義要項, pp.65-67
- 石川正俊, 鏡慎吾: センサフュージョン, 電子情報通信学会 センサネットワーク研究会ワークショップ (東京, 2004.12.10) ／pp.97-110
- 石川正俊, 鏡慎吾: センサネットワークの課題, 電子情報通信学会東京支部シンポジウム (東京, 2004.7.23) ／ pp.1-7
- 石川正俊: 超高速ビジョンチップと1msロボットアームハンドシステム, '99建設ロボットフォーラム (東京, 1999.7.13)
- 石川正俊: 超高速・超並列ビジョンとその応用 -1000分の1秒で画像処理ができるとロボットはどう変わるか-, 筑波研究フォーラム (筑波, 1998.10.15) ／資料, pp.1-5
- 石川正俊: 知能システムにおけるセンシング技術の近未来(特別講演), 第25回知能システムシンポジウム (東京, 1998.3.20) ／資料, pp.99-105
- 石川正俊: センシングシステムの未来 -1msビジョンチップとセンサフュージョン-, 第3回画像センシングシンポジウム (東京, 1997.6.11) ／予稿集, pp.149-152
- 石川正俊: 知能ロボットの五感 -センサフュージョンの動向-, 日本植物工場学会第7回SHITAシンポジウム 21世紀の植物工場-安全・情報・未来- (東京, 1997.1.22) ／SHITA REPORT, No.13, pp.1-8
- 石川正俊: アクティブセンシング (概論と展望), 日本機械学会第73期全国大会 (福岡, 1995.9.12) ／資料集, Vol.Ⅵ, pp.75-77 (1995)
- 石川正俊: センサフュージョン -センサ情報処理の新展開- (チュートリアル), 第39回システム制御情報学会研究発表講演会 (大阪, 1995.5.19) ／講演論文集, pp.25-32
- 石川正俊: センサフュージョンへの期待 -センサ情報処理の新展開- (基調講演), 日本機械学会第72期全国大会 (札幌, 1994.8.19) ／講演論文集, pp.579-580
- 石川正俊: センサとセンシング戦略 (キーノート), 日本機械学会ロボッティクス・メカトロニクス講演会 (神戸, 1994.7.1) ／講演論文集, pp.1451-1456
- 石川正俊: センサフュージョンについて, IEEE Robotics and Automation Tokyo Chapter 講演会 (川崎, 1992.12.22)
- 石川正俊: センサフュージョンによる知的計測, 計測自動制御学会東北支部講演会 (仙台, 1991.12.14)
- 石川正俊: センサフュージョンの現状と課題 (チュートリアル), 第29回 計測自動制御学会学術講演会 (東京, 1990.7.24) ／予稿集, pp.i-viii
- 石川正俊: センサフュージョン -感覚情報の統合メカニズム- (招待講演), センサの基礎と応用シンポジウム (東京, 1990.5.31) ／講演概要集, p.21 ／ M.Ishikawa : Sensor Fusion -Mechanism for Integration of Sensory Information, Technical Digest of 9th SENSOR SYMPOSIUM, pp.153-158 (1990)
- 石川正俊: 光連想記憶と学習 (光学論文賞受賞記念講演), 第37回応用物理学関係連合講演会 (朝霞, 1990.3.29)
- 石川正俊: 光ニューロコンピューティングの展望, 第9回光産業技術シンポジウム (東京, 1989.11.8) ／予稿集, 85-99

レター論文／Letters

- 小山佳祐, 堀邊隆介, 安田博, 万偉偉, 原田研介, 石川正俊: ワンボード・USB給電タイプの高速・高精度近接覚センサの開発とプリグラスプ制御の解析, 日本ロボット学会誌, Vol.39, No.9, pp.862-865 (2021)

講演／Lectures

- 黄守仁: 高速ビジョンに基づく知能ロボットおよび人間拡張を目指した人間機械協調の実現, 日本医科大学・東京理科大学 第10回合同シンポジウム (野田, 2023.12.9)

学会発表／Proceedings

- 黄守仁, 石川正俊: ER流体クラッチを利用した往復運動: ニューラルネットワークモデルおよびPD計算トルク法による位置制御の実現, 第43回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2025) (東京, 2025.9.3) ／講演論文集, RSJ2025AC1R1-01
- 黄守仁, 石川正俊: 直動往復運動を実現する同軸ER流体クラッチの伝達トルク推定, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2025) (山形, 2025.6.5) ／講演会予稿集, 1P1-R02
- 川脇優輝, 黄守仁, 山川雄司, 石川正俊: 上腕の一自由度回転運動に向けた高速ビジョンに基づく電気刺激フィードバック制御の実現および性能検討, 第25回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2024) (盛岡, 2024.12.20) ／講演会論文集, pp.2795-2799
- 王文鶴, 黄守仁, 宮下令央, 村上健一, 山川雄司, 石川正俊: 高速3Dビジョンとロボットアームの統合：フィードバックレートによる性能検討, 第25回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2024) (盛岡, 2024.12.18) ／講演会論文集, pp.780-782
- 金賢梧, イ ソヒョン, 石川正俊, 山川雄司: 高速マルチカメラシステムによる遠隔映像コミュニケーション支援手法, 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2023) (新潟, 2023.12.15) ／講演会論文集, pp.2058-2059
- 黄守仁, Sørensen Sune Lundø, Cao Yongpeng, Mikkel Kjærgaard, 石川正俊, 山川雄司: 2D/3D視線制御に基づく肢体不自由者向けの生活支援ロボットの実現, 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2023) (新潟, 2023.12.14) ／講演会論文集, pp.130-132
- 黄守仁, 村上健一, 石川正俊: 対象の事前情報必要としない動的塗布応用に向けたロボットの実現, 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022) (千葉, 2022.12.14) ／講演会論文集, pp.999-1001 [2022年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 SI2022優秀講演賞受賞]

センサフュージョン 和文 ／ Sensor Fusion Japanese

- 村上健一, 黄守仁, 石川正俊, 山川雄司: 動的補償を用いたピーズピッキング, 第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022) (東京, 2022.9.8) ／講演概要集, 4C1-05
- Shouren Huang, Yongpeng Cao, Kenichi Murakami, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Bimanual Coordination Protocol for the Inter-Limb Transmission of Force Feedback, 第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022) (東京, 2022.9.6) ／講演概要集, 2C1-05
- 村上健一, 黄守仁, 石川正俊, 山川雄司: 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速３次元位置補償システムの開発, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021) (鹿児島, 2021.12.16 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.1403-1405 [2021年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 SI2021優秀講演賞受賞]
- 岡衛, 村上健一, 黄守仁, 角博文, 石川正俊, 山川雄司: 面状柔軟物の展開に向けたコーナーの状態認識と把持動作計画, 第39回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021) (オンライン, 2021.9.11) ／講演概要集, 3F1-01
- 上野永遠, 黄守仁, 石川正俊: 上腕の一自由度回転運動に向けた高周波電気刺激フィードバック制御システムの構築, 第39回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021) (オンライン, 2021.9.10) ／講演概要集, 2J1-01
- 長谷川雄大, 黄守仁, 山川雄司, 石川正俊: 閉リンク機構を用いた動的補償モジュールの開発, 第39回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2021) (オンライン, 2021.9.10) ／講演概要集, 2D2-05
- 川原大宙, 妹尾拓, 石井抱, 平野正浩, 岸則政, 石川正俊: 重畳車両の輪郭抽出に基づく高速トラッキング, 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2020) (福岡, 2020.12.17 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.1457-1459 [2020年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 SI2020優秀講演賞受賞]
- 島田史也, 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: 6軸力センサを搭載したロボットハンドを用いた加振によるボトル内の液体判別, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2020) (金沢, 2020.5.29 [オンライン]) ／講演論文集, 2A2-N16
- 漆原昂, 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: 弾塑性変形制御を用いたヒューマンロボットインタラクション, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2020) (金沢, 2020.5.29 [オンライン]) ／講演論文集, 2A2-C15
- 黄守仁, 小山佳祐, 石川正俊, 山川雄司: 両腕同期運動を利用した力覚提示による人間機械協調, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2020) (金沢, 2020.5.29 [オンライン]) ／講演論文集, 2A2-C14
- 長谷川雄大, 黄守仁, 石川正俊, 山川雄司: 動的補償ロボットのための新しい平面3軸機構の設計, 第25回ロボティクスシンポジア (函館, 2020.3.15 [オンライン]) ／講演論文集, pp.30-33
- 田中敬, 小山佳祐, 妹尾拓, 石川正俊: 高速・低摩擦・トルクリミッタ付き小型直動機構Magsliderの開発, 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2019) (高松, 2019.12.14) ／講演会論文集, pp.2572-2574
- 妹尾拓, 王允卓, 平野正浩, 岸則政, 石川正俊: 高速ステレオビジョンによる重畳車の距離・速度計測, 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2019) (高松, 2019.12.14) ／講演会論文集, pp.2200-2202
- 海保陽太, 平野正浩, 妹尾拓, 岸則政, 石川正俊: 効率的な隊列走行に向けた前方車両の高速ダイナミクス推定, 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2019) (高松, 2019.12.12) ／講演会論文集, pp.376-380
- 小山佳祐, 下条誠, 妹尾拓, 石川正俊: 小型・低摩擦アクチュエータ"MagLinkage"を用いた低衝撃・ノンストップ把持, 第37回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2019) (東京, 2019.9.6) ／講演概要集, 3E2-07
- Hyuno Kim, and Masatoshi Ishikawa: Vision-based joint control using visual encoder, 第37回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2019) (東京, 2019.9.4) ／講演概要集, 1L2-07
- 田中敬, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジョンシステムを用いたUAVへの荷物受け渡しシステムの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2019) (広島, 2019.6.7) ／講演論文集, 2P2-I06
- Shouren Huang, Chaoyue Hu, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Combining Human Visual and Haptic Perception in Human-Robot Interaction for Collaborative Manipulation, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2019) (広島, 2019.6.7) ／講演論文集, 2P1-L03
- 小山佳祐, 下条誠, 妹尾拓, 石川正俊: 小型・低摩擦アクチュエータMagLinkageの開発とハンド応用, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2019) (広島, 2019.6.7) ／講演論文集, 2P1-H02 [2020年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰]
- 小山佳祐, 下条誠, 妹尾拓, 石川正俊: 触覚機能を内包する高速・高精度近接覚センサ -第3報：Super tactile-based active touchによる薄板部品の高速・低反力挿入-, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2019) (広島, 2019.6.7) ／講演論文集, 2P1-H01
- 飯島尚仁, 海保陽太, 平野正浩, 妹尾拓, 岸則政, 石川正俊: 高速ビジョンを用いた重畳車の分離識別トラッキング, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2019) (広島, 2019.6.7) ／講演論文集, 2A1-E10
- 平野正浩, 海保陽太, 妹尾拓, 岸則政, 石川正俊: 移動ロボットのための路面空領域を用いた周辺物体の絶対速度推定, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2019) (広島, 2019.6.6) ／講演論文集, 1P1-R07
- 石本幸暉, 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: インナーループを用いた塑性変形制御によるロボットインタラクション, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2019) (広島, 2019.6.6) ／講演論文集, 1P1-C01
- 田中敬, 妹尾拓, 石川正俊: 高速アクティブビジョンを用いたマルチカメラトラッキングシステム, 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2018) (大阪, 2018.12.15) ／講演会論文集, pp.3002-3005
- 平野正浩, 海保陽太, 妹尾拓, 岸則政, 石川正俊: ステレオ逆透視投影を用いたセルフウィンドウ法による一般物体の高速トラッキング, 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2018) (大阪, 2018.12.15) ／講演会論文集, pp.2953-2956
- 妹尾拓, 陳嘉恵, 岸則政, 石川正俊: 高速ビジョンを用いた点滅パターン抽出に基づく信号機検出, 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2018) (大阪, 2018.12.15) ／講演会論文集, pp.2913-2915
- 小山佳祐, 村上健一, 妹尾拓, 下条誠, 石川正俊: 触覚機能を内包する高速・高精度近接覚センサ-第2報：柔軟物を潰さずに高速キャッチするための視覚・近接覚制御の提案-, 第36回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2018) (春日井, 2018.9.5) ／講演概要集, 1G3-04
- 肥後亮佑, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジョンシステムを使用したゴルフ打球点制御システムの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2018) (北九州, 2018.6.5) ／講演論文集, 2P2-E07
- 小島治, 黄守仁, 村上健一, 石川正俊, 山川雄司: 高速ビジョンを用いた支援システムにおけるはめあいタスクの実現, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2018) (北九州, 2018.6.5) ／講演論文集, 2A1-E13 [2019年 日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞受賞]
- 妹尾拓, 村上健一, 石川正俊: Zenerモデルに基づくロボットアームの形状変形制御, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2018) (北九州, 2018.6.5) ／講演論文集, 2A1-H17
- 小山佳祐, 下条誠, 妹尾拓, 石川正俊: 触覚機能を内包する高速・高精度近接覚センサ —第1報：センサモジュールの開発と接触判定の実現— , ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2018) (北九州, 2018.6.4) ／講演論文集, 1P1-H13 [2019年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰]
- 佐藤宏, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 二足走行における高速ビジュアルフィードバックを用いた姿勢安定化制御, 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2017) (仙台, 2017.12.22) ／講演会論文集, pp.2591-2596 [2017年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2017優秀講演賞受賞]
- 平野正浩, 妹尾拓, 岸則政, 石川正俊: 下向き高速ビジョンによる自車両位置計測手法, 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2017) (仙台, 2017.12.22) ／講演会論文集, pp.3192-3195 [2017年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2017優秀講演賞受賞]

センサフュージョン 和文 / Sensor Fusion Japanese

- 肥後亮佑, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速多指ハンドを用いた立体回転パズルハンドリング, 第18回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2017) (仙台, 2017.12.21) /講演会論文集, pp.1400-1401
- 大前佑斗, 小林幹京, 酒井一樹, 塩野谷明, 高橋弘毅, 宮地力, 櫻井義久, 中井一文, 江崎修央, 秋月拓磨: 深層学習と慣性センサを活用した個別ストローク動作開始タイミングの推定手法, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU2017) (熊本, 2017.10.13) /電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.238, pp.155-160
- 黄守仁, 新家健太, ベリストロム ニクラス, 山川雄司, 山崎智裕, 石川正俊: 新しいビジョンチップを利用した動的補償ロボットシステム, 第35回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2017) (川越, 2017.9.13) /講演概要集, 2K1-01
- 小山佳祐, 下条誠, 石川正俊: 触覚機能を内包する近接覚の提案, 第35回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2017) (川越, 2017.9.12) /講演概要集, 1F1-02 [2018年 日本ロボット学会 研究奨励賞受賞]
- 妹尾拓, 田丸浩気, 村上健一, 石川正俊: 高速多指ハンドによるボール転がりを用いたピッチング戦略, 第35回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2017) (川越, 2017.9.12) /講演概要集, 1L1-01
- 松井雄太郎, 山川雄司, 石川正俊: 高速ビジョンを用いた対象状態の実時間計測による人間機械協調の実現, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2017) (郡山, 2017.5.12) /講演論文集, 2P1-J06
- 石関峻一, 小山佳祐, 明愛国, 下条誠: 近接覚センサとRCサーボモータを用いた高機能・多自由度ハンドの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2017) (郡山, 2017.5.12) /講演論文集, 2P1-B09
- 妹尾拓, 村上健一, 石川正俊: 標準線形固体モデルを用いたマニピュレータの変形挙動生成, ロボティクス・メカトロニクス講演会2017 (ROBOMECH2017) (郡山, 2017.5.11) /講演論文集, 1P2-B12 [2018年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰]
- 村上健一, 堀内悠生, 中西慶亘, 妹尾拓, 石川正俊: ボールリリース解析に基づくロボット投球制御, 第22回ロボティクスシンポジア (安中, 2017.3.16) /講演論文集, pp.221-226
- 塚本勇介, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジュアルフィードバックによる線状弾性体の振動抑制手法, 第22回ロボティクスシンポジア (安中, 2017.3.15) /講演論文集, pp.63-64
- ベリストロム ニクラス, 黄守仁, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速高精度ロボットマニピュレーションのための二次元補償システム, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2016) (札幌, 2016.12.17) /講演会論文集, pp.2658-2660
- 村上健一, 堀内悠生, 中西慶亘, 妹尾拓, 石川正俊: 指上での転がりを利用した高速ハンドアームによる投球方向制御, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2016) (札幌, 2016.12.17) /講演会論文集, pp.3086-3088
- 黄守仁, Bergström Niklas, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジョン及びカ・トルクセンシングによる柔軟物に対する軌道トラッキング, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2016) (札幌, 2016.12.17) /講演会論文集, pp.2651-2653
- 遠山渉, 黄守仁, 村上健一, 山川雄司, 石川正俊: 高速ビジョンを用いた人間の手先位置の高精度制御, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2016) (札幌, 2016.12.17) /講演会論文集, pp.2654-2657
- 石川正俊: 高速ビジョンを用いた画像計測とその応用, 第227・228回西山記念技術講座 (大阪, 2016.11.9 / 東京, 2016.11.25) /鉄鋼の製造プロセスを革新し続けるセンシング技術, pp.1-10
- 妹尾拓, 小池正憲, 村上健一, 石川正俊: 受動的緩衝動作における直列表現ベースの塑性変形制御, 第34回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2016) (山形, 2016.9.9) /講演概要集, 3E2-08
- 佐藤宏, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速高精度ロボットハンドの開発, 第34回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2016) (山形, 2016.9.7) /講演概要集, 1B1-02
- 山川雄司, 野田聡人, 石川正俊, 下条誠: 高速視触覚センサネットワークシステムの開発, 第33回センシングフォーラム (紀の川, 2016.9.1) /資料, pp.119-122 [2017年 計測自動制御学会 学術奨励賞・技術奨励賞受賞]
- 山川雄司, 古山佳和, 石川正俊: ブラキエーションロボットの開発と運動生成 (第1報), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2016 (ROBOMEC2016) (横浜, 2016.6.10) /講演論文集, 2A2-08a3
- 山川雄司, 安宅佑樹, 石川正俊: ブラキエーションロボットの開発と運動生成 (第2報), 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2016 (ROBOMEC2016) (横浜, 2016.6.10) /講演論文集, 2A2-08a4
- 塚本勇介, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速ロボットハンドによるねじ回し戦略, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2016 (ROBOMEC2016) (横浜, 2016.6.10) /講演論文集, 2P1-04a3
- 妹尾拓, 陣内岳, 村上健一, 石川正俊: 多関節ロボットアームの弾塑性変形制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2016 (ROBOMEC2016) (横浜, 2016.6.10) /講演論文集, 2P1-04a6
- 梅村元, 玉田智樹, 五十嵐渉, 米山大揮, 田中和仁, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジュアルフィードバックを用いた二足走行ロボットによる空中転回, 第21回ロボティクスシンポジア (長崎, 2016.3.18) /講演論文集, pp.414-419
- 妹尾拓, 小池正憲, 村上健一, 石川正俊: インピーダンス制御によるマニピュレータの可塑的挙動生成, 第21回ロボティクスシンポジア (長崎, 2016.3.17) /講演論文集, pp.111-116 [2016年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 研究奨励賞受賞] [2016年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 若手奨励賞受賞] [2016年 ロボティクスシンポジア 優秀論文賞受賞]
- 妹尾拓, 小池正憲, 村上健一, 石川正俊: 塑性変形モデルを用いたロボットアームのインピーダンス制御設計, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) /講演会論文集, pp.158-160 [2015年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2015優秀講演賞受賞]
- 黄守仁, Bergström Niklas, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: Dynamic Compensationによる高速ペグ・イン・ホールの実現, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) /講演会論文集, pp.304-306
- 黄守仁, Bergström Niklas, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速高精度軌道トラッキングロボットシステム, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) /講演会論文集, pp.307-309 [2017年 計測自動制御学会 学術奨励賞・技術奨励賞受賞] [2015年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2015優秀講演賞受賞]
- ベリストロムニクラス, 黄守仁, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: マイクロ操作のための人間支援ロボットシステム, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) /講演会論文集, pp.310-312
- 伊藤光一郎, 末石智大, 山川雄司, 石川正俊: じゃんけんロボットに向けた高速アクティブセンシング, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) /講演会論文集, pp.321-323 [2015年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2015優秀講演賞受賞]
- 小池正憲, 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: 塑性変形制御に基づくビジュアルショックアブソーバ, 第33回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2015) (東京, 2015.9.3) /講演概要集, 1A2-04
- 村上健一, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速キャッチのための多関節アームによる実時間軌道生成, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2015 (ROBOMEC2015) (京都, 2015.5.18) /講演論文集, 1P1-H08
- 梅村元, 玉田智樹, 五十嵐渉, 米山大輝, 田中和仁, 妹尾拓, 山川雄司, 石川 正俊: ダイナミックな脚運動の実現に向けた二足走行実験システムACHIRESの機構改良, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2015 (ROBOMEC2015) (京都, 2015.5.18) /講演論文集, 1P2-B02
- 妹尾拓, 小池正憲, 村上健一, 石川正俊: Maxwellモデルに基づく反発防止特性を備えた衝撃吸収制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2015 (ROBOMEC2015) (京都, 2015.5.18) /講演論文集, 1P2-I07

センサフュージョン 和文 ／ Sensor Fusion Japanese

- Shouren Huang, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, Masatoshi Ishikawa: Towards the High-Speed and Accurate Macro Positioning, 第32回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2014) (福岡, 2014.9.5) ／講演概要集, 2A2-06
- 玉田智樹, 五十嵐渉, 米山大輝, 田中和仁, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速二足走行, 第32回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2014) (福岡, 2014.9.4) ／講演概要集, 1B2-03
- 妹尾拓, 石川正俊: 重心加速度空間における二足ロボットの滑り状態判定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014 (ROBOMEC2014) (富山, 2014.5.28) ／講演論文集, 3P1-D06
- 村上健一, 山川雄司, 石川正俊: ロボットハンドアームを用いた変化球のための回転操り動作分析, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014 (ROBOMEC2014) (富山, 2014.5.28) ／講演論文集, 3P1-P03
- 野田聡人, 山川雄司, 石川正俊: ネットワーク型高速ビジョンによるオクルージョンを考慮したターゲットトラッキング, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014 (ROBOMEC2014) (富山, 2014.5.28) ／講演論文集, 3P2-M01
- 野田聡人, 山川雄司, 石川正俊: ネットワーク型高速ビジョンシステムのフレーム同期, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014 (ROBOMEC2014) (富山, 2014.5.28) ／講演論文集, 3P2-M02
- 平野正浩, 野田聡人, 山川雄司, 石川正俊: 環境設置型高速ビジョンを用いた高速移動体の衝突回避支援システム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2014 (ROBOMEC2014) (富山, 2014.5.27) ／講演論文集, 2A2-G06
- 玉田智樹, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速ロボットハンドと高速ビジュアルフィードバックを用いたコネクタの高速挿入操作, 第19回ロボティクスシンポジア (有間, 2014.3.14) ／講演論文集, pp.438-445
- 野田聡人, 山川雄司, 石川正俊: 高速移動体追跡のためのネットワーク型高速ビジョンシステム, 電子情報通信学会ネットワークシステム研究会 (沖縄, 2014.1.24) ／電子情報通信学会技術研究報告, NS2013-176, Vol.113, No.388, pp.77-80
- 平野正浩, 野田聡人, 山川雄司, 石川正俊: 環境設置型高速ビジョンによるインテリジェントカーの衝突回避, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2013) (神戸, 2013.12.18) ／講演会論文集, pp.940-941
- 野田聡人, 平野正浩, 山川雄司, 石川正俊: ネットワーク化高速ビジョンシステムによる移動体の周辺環境認識, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2013) (神戸, 2013.12.19) ／講演会論文集, pp.1046-1048
- 金賢梧, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 柔軟物のねじりを利用した多指ハンドによる軸対象物の回転制御, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2013) (神戸, 2013.12.19) ／講演会論文集, pp.1192-1194
- 妹尾拓, 石川正俊: 動的2脚移動における状態遷移の2次元解析, 第31 回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2013) (東京, 2013.9.4) ／講演論文集, 1K3-08
- 山川雄司, 中農士誠, 妹尾拓, 石川正俊: 高速多指ハンドによるピザ回し動作の解析, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013 (ROBOMEC2013) (つくば, 2013.5.23) ／講演論文集, 1A2-J03
- 田畑義之, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 視体積交差法を用いた空中回転物体の3次元形状復元, 第18回ロボティクスシンポジア (上山, 2013.3.15) ／講演論文集, pp.310-315
- 妹尾拓, 高野光浩, 石川正俊: 非対称摩擦による二足ロボットの並進滑り移動, 第18回ロボティクスシンポジア (上山, 2013.3.15) ／講演論文集, pp.561-566
- 長谷川浩章, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 抵抗ネットワーク型近接覚センサにおけるセンサ間相互干渉・妨害防止方式 -直接スペクトラム拡散技術を応用した赤外線変調駆動の実験的検討-, 第18回ロボティクスシンポジア (上山, 2013.3.15) ／講演論文集, pp.586-591
- 国府田直人, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 赤外線反射型センサアレーの発光位置制御による物体の質点モデル化, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012) (福岡, 2012.12.18) ／講演会論文集, pp.302-306 [2012年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2012優秀講演賞受賞]
- 有田輝, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 抵抗ネットワークを持つ光学式センサアレイにおける回路設計の検討と三次元入力インタフェースへの応用, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012) (福岡, 2012.12.18) ／講演会論文集, pp.311-315
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: 高速多指ハンドシステムを用いたカード操り, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012) (福岡, 2012.12.19) ／講演会論文集, pp.1806-1809
- 玉田智樹, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 高速多指ハンドを用いたケーブル・コネクタの接続操作, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2012) (福岡, 2012.12.19) ／講演会論文集, pp.1810-1811
- 石川正俊: 新しいロボット産業分野の創生のための支援体制 -ロボット技術が事業に成長するためのファイナンス戦略は何か?-, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会 (RSJ2012) (札幌, 2012.9.20) ／講演論文集, 4A2-1
- 田畑義之, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 空中物体の3次元形状復元, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会 (RSJ2012) (札幌, 2012.9.20) ／講演論文集, 4I2-3
- 高野光浩, 妹尾拓, 石川正俊: 摩擦非対称性を利用した脚ロボットの跳躍移動, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012 (ROBOMEC2012) (浜松, 2012.5.29) ／講演会論文集, 2A1-T02
- 森明日見, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: フォトアレイとLED を用いた多点位置計測方式の提案, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012 (ROBOMEC2012) (浜松, 2012.5.29) ／講演会論文集, 2P1-P02
- 宮本一郎, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: ネット状近接覚センサを用いたヒューマンインタフェースに関する基礎的検討, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012 (ROBOMEC2012) (浜松, 2012.5.29) ／講演会論文集, 2P1-P03
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: 高速ロボットハンドの指先高速振動を用いたカード飛ばし, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012 (ROBOMEC2012) (浜松, 2012.5.28) ／講演会論文集, 1A1-J04
- 叶沙, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 近接覚を用いた把持物体の位置・姿勢・動きに応じた把持手法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012 (ROBOMEC2012) (浜松, 2012.5.28) ／講演会論文集, 1A1- L01
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: ロボットアームの等速度運動による紐の簡易変形モデルと形状制御, 第17回ロボティクスシンポジア (萩, 2012.3.15) ／講演論文集, pp.421-426 [2013年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰]
- 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: 時間反転に基づく捕球戦略, 第17回ロボティクスシンポジア (萩, 2012.3.15) ／講演論文集, pp.580-585
- 勅使河原誠一, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 高速高感度型すべり覚センサの研究開発 ー荷重分布中心位置を用いたすべり方向の検出ー, 第17回ロボティクスシンポジア (萩, 2012.3.14) ／講演論文集, pp.122-127
- 田畑義之, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 多指ハンドによるリグラスピングを利用した能動的3次元センシング, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.23) ／講演会論文集, pp.352-353
- 知場充洋, 勅使河原誠一, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 高速高感度型すべり覚センサの研究開発 -すべり検出原理の解明-, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.23) ／講演会論文集, pp.598-601
- 向山由宇, 長谷川浩章, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 赤外線反射型近接センサアレーの適切な光学素子配置に関する研究, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.23) ／講演会論文集, pp.627-630
- 曽根聡史, 長谷川浩章, 叶沙, 鈴木陽介, 石川正俊, 下条誠: 光電式近接覚センサによる対象物の反射特性に対しロバストな速度検出手法, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.23) ／講演会論文集, pp.631-634

センサフュージョン 和文 / Sensor Fusion Japanese

- 国府田直人, 向山由宇, 長谷川浩章, 鈴木陽介, 石川正俊, 下条誠: 赤外光反射分布型近接覚センサを用いたロバストな距離計測手法の検討, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.23) /講演会論文集, pp.635-637
- 中農士誠, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊: 多指ハンドを用いた視覚フィードバックによる円盤状柔軟物体の回転保持, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.24) /講演会論文集, pp.1407-1408
- 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: 高速多指ハンドを用いた反転動作に基づくキャッチング動作, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.24) /講演会論文集, pp.1409-1411
- Shouren Huang, Taku Senoo, Masatoshi Ishikawa: High-speed Visual Servoing with Cylindrical Coordinates by a Robot Arm, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.25) /講演会論文集, pp.2457-2460
- 五十嵐渉, 山川雄司, 妹尾拓, 石川 正俊: 高速アクティブビジョンシステムを用いた位置計測精度の向上手法の提案, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.25) /講演会論文集, pp.2461-2463
- 叶沙, 鈴木健治, 向山由宇, 鈴木陽介, 石川正俊, 下条誠: ネット状近接覚センサのみを用いたロボットハンドによる物体探索と把持, 第29回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2011) (東京, 2011.9.8) /予稿集, 3E2-1
- 黒島麻衣, 米山大揮, 山川雄司, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊: 高速ビジュアルサーボを用いた多指ロボットハンドによる微小物体の3次元把持動作, 第29回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2011) (東京, 2011.9.7) /予稿集, 1E1-1
- Niklas Bergström, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, Carl Henrik Ek, and Masatoshi Ishikawa: State Recognition of Deformable Objects using Shape Contexts, 第29回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2011) (東京, 2011.9.7) /予稿集, 1E1-2
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: ロボットアームの高速運動を用いた紐の変形制御, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMEC2011) (岡山, 2011.5.28) /講演会論文集, 2A1-K05
- 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: サッカードミラーと画像処理を用いた高速飛翔体の映像計測, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMEC2011) (岡山, 2011.5.28) /講演会論文集, 2A1-L10
- 勅使河原誠一, 秋本直哉, 清水智, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 高速すべり覚情報処理システムの開発 -信号処理手法の検討-, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMEC2011) (岡山, 2011.5.28) /講演会論文集, 2A2-003
- 勅使河原誠一, 森田竜峰, 清水智, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 高感度型すべり覚センサの研究開発 -高速度カメラによるすべり検出原理の解明-, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMEC2011) (岡山, 2011.5.28) /講演会論文集, 2A2-004
- 国府田直人, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 布型近接覚センサからの情報処理, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMEC2011) (岡山, 2011.5.28) /講演会論文集, 2A2-P05
- 森明日見, 寺田一貴, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: ネット状近接覚センサの抵抗値設計手法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMEC2011) (岡山, 2011.5.28) /講演会論文集, 2P1-001
- 向山由宇, 鈴木陽介, 長谷川浩章, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 赤外線反射型近接センサアレーの適切な光学素子配置に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMEC2011) (岡山, 2011.5.28) /講演会論文集, 2P1-O15
- 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: 逆再生動作を用いた高速キャッチングのための実時間軌道生成, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMEC2011) (岡山, 2011.5.28) /講演会論文集, 2P2-P03
- 鈴木健治, 叶沙, 長谷川浩章, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: ネット状近接覚センサを用いた物体姿勢検出手法による把持動作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2011 (ROBOMEC2011) (岡山, 2011.5.27) /講演会論文集, 1A1-J02
- 西島良雄, 妹尾拓, 石川正俊, 並木明夫: 高速多指ロボットアームを用いた投球制御, 第16回ロボティクスシンポジア (指宿, 2011.3.15) /講演論文集, pp.417-422
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: 高速多指ハンドシステムによる面状柔軟物体の動的操り, 第16回ロボティクスシンポジア (指宿, 2011.3.15) /講演論文集, pp.506-511 [2011年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 研究奨励賞受賞]
- 米山大揮, 水澤悟, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊: 高速視覚サーボによるピンセット型道具操り, 第16回ロボティクスシンポジア (指宿, 2011.3.15) /講演論文集, pp.512-517
- 寺田一貴, 長谷川浩章, 国府田直人, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: ネット状近接覚センサの開発 -センサ回路の簡略化-, 第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010) (仙台, 2010.12.25) /講演論文集, pp.1784-1787 [2010年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2010優秀講演賞受賞]
- 勅使河原誠一, 清水智, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: DWTを用いた高速すべり覚情報処理システムの開発, 第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010) (仙台, 2010.12.25) /講演論文集, pp.1788-1791
- 長谷川浩章, 向山由宇, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 検出対象物の寸法・反射特性に対してロバストナニ層化近接覚センサの提案, 第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010) (仙台, 2010.12.25) /講演論文集, pp.1792-1793 [2010年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2010優秀講演賞受賞]
- 鈴木健治, 長谷川浩章, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: ネット状近接覚センサを用いたロボットハンド・アーム方式の研究開発, 第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010) (仙台, 2010.12.25) /講演論文集, pp.1976-1978
- 高橋陽介, 鈴木陽介, 石川正俊, 明愛国, 下条誠: ネット状近接覚センサの距離出力補正方式の研究, 第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010) (仙台, 2010.12.23) /講演論文集, pp.139-140
- 石川正俊: 高速センサー技術に基づく調和型ダイナミック情報環境の構築, CREST「共生社会に向けた人間調和型情報技術の構築」研究領域 第一回公開シンポジウム (東京, 2010.11.25) /講演予稿集, pp.75-83
- 新納弘崇, 下条誠, 國本雅也, 鈴木隆文, 石川正俊, 矢口博彬, 満渕邦彦: 末梢神経障害による感覚障害に対するマイクロスティミュレーション法を用いた感覚補填・感覚強化システムモデルの構築, 第23回日本マイクロニューログラフィ学会 (横浜, 2010.10.24) /資料, p.4
- 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: 多関節アームによる反転動作に基づくキャッチング動作, 第28回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2010) (名古屋, 2010.9.22) /予稿集, 1M2-5
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: 高速多指ハンドシステムによる視覚フィードバックを用いた布の動的折りたたみ操作, 第28回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2010) (名古屋, 2010.9.22) /予稿集, 103-6
- 勅使河原誠一, 堤隆弘, 清水智, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 高速・高感度型すべり覚センサの研究開発ー多指ロボットハンドへの応用ー, 第28回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2010) (名古屋, 2010.9.23) /予稿集, 201-5
- 寺田一貴, 長谷川浩章, 曽根聡史, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 全方位ネット状近接覚センサによる複数物体検出手法, 第28回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2010) (名古屋, 2010.9.24) /予稿集, 3I3-7
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: 2台の高速多指ハンドを用いた布の動的折りたたみ動作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMEC2010) (旭川, 2010.6.16) /講演会論文集, 2A1-F05
- 妹尾拓, 丹野優一, 石川正俊: 1 自由度脚ロボットの跳躍パターン解析, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMEC2010) (旭川, 2010.6.16) /講演会論文集, 2A1-F30

- 米山大揮, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊: 多指ハンドによるピンセットでの三次元把持動作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMEC2010) (旭川, 2010.6.16) ／講演会論文集, 2A2-D04
- 曽根聡史, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 接触部位の面積とその中心位置が計測可能なセンサの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMEC2010) (旭川, 2010.6.15) ／講演会論文集, 1A1-C16
- 清水智, 勅使河原誠一, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 高感度初期滑り検出センサの研究開発ー感圧ゴムの種類と被覆材の検討, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMEC2010) (旭川, 2010.6.15) ／講演会論文集, 1A1- D02
- 藤村竜徳, 向山由宇, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: ネット状近接覚センサの三次元素子配置に関する研究 ～光線追跡法による光電式近接覚センサのシミュレーション～ , 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMEC2010) (旭川, 2010.6.15) ／講演会論文集, 1A1- D03
- 長谷川浩章, 明愛国, 石川正俊, 下条誠: 指先にネット状近接覚センサを装着したロボットハンド -近接覚情報を利用した移動物体追従動作-, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMEC2010) (旭川, 2010.6.16) ／講演会論文集, 2A2-C22
- 西島良雅, 妹尾拓, 並木明夫: 高速ハンドアームのダイナミクスを考慮した高速投球動作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2010 (ROBOMEC2010) (旭川, 2010.6.15) ／講演会論文集, 1A1-G10
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: 線状柔軟物体の柔軟性を利用したロボットアームによる高速結び操作, 第15回ロボティクスシンポジア (吉野, 2010.3.15) ／講演論文集, pp.114-119
- 勅使河原誠一, 清水智, 明愛国, 下条誠, 石川正俊: 高感度初期滑り検出センサの研究開発ー検出条件に関する検討ー, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2009) (東京, 2009.12.25) ／講演論文集, pp.1035-1038 [2009年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2009優秀講演賞受賞]
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊: 高速アームによる柔軟紐のダイナミックな結び操作, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2009) (東京, 2009.12.25) ／講演会論文集, pp.1227-1228
- 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: 反転動作を用いた高速キャッチング, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2009) (東京, 2009.12.25) ／講演会論文集, pp.1363-1364
- 米山大揮, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊: 高速多指ハンドによるピンセットを用いた微小物体把持, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2009) (東京, 2009.12.25) ／講演会論文集, pp.1365-1366
- 長谷川浩章, 多田建二郎, 明愛国, 石川正俊,下条誠: 指先にネット状近接覚センサを装着したロボットハンドの研究ー高速な把持動作の実現のための制御系の構築ー, 第27回日本ロボット学会学術講演会 (横浜, 2009.9.15) ／予稿集, 1A3-02
- 寺田一貴, 多田建二郎, 石川正俊, 下条誠：360° 特異点の無いネット状近接覚センサの構成法, 第27回日本ロボット学会学術講演会 (横浜, 2009.9.15) ／予稿集, 1I1-02
- 田中和仁, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：ダイナミックリグラスピングにおける非対称物体のスローイング戦略, 第27回日本ロボット学会学術講演会 (横浜, 2009.9.17) ／予稿集, 3A1-08
- 勅使河原誠一, 清水智, 多田隈建二郎, 明愛国, 石川正俊, 下条誠：感圧導電性ゴムを用いた高感度型滑り覚センサの研究開発, 第27回日本ロボット学会学術講演会 (横浜, 2009.9.17) ／予稿集, 3I1-04
- 並木明夫, 水澤悟, 石川正俊：視覚サーボ制御に基づく多指ハンドによる道具の操り, 第11回「運動と振動の制御」シンポジウムーMoViC2009ー (福岡, 2009.9.3) ／講演論文集, pp.204-207
- 田中和仁, 妹尾拓, 古川徳厚, 並木明夫, 石川正俊：ダイナミックリグラスピングにおけるスローイング戦略, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.26) ／講演論文集, 2A2-B05
- 西島良雅, 妹尾拓, 並木明夫：多指ハンドアームを用いた高速投球動作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.26) ／講演論文集, 2A2-B19
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊：高速ロボットアームを用いた線状柔軟物体のダイナミックマニピュレーション, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.26) ／講演論文集, 2A2-G07
- 溝口善智, 堤隆弘, 長谷川浩章, 明愛国, 多田隈建二郎, 石川正俊, 下条誠：インテリジェントロボットハンドの研究開発ーPick and Place の達成ー, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.26) ／講演論文集, 2A2-J04
- 長谷川浩章, 溝口善智, 多田隈建二郎, 明愛国, 石川正俊, 下条誠：薄型ネット状近接覚センサを装着したロボットハンド指先の開発と特性評価ー手先に対し相対的に移動する把持対象物への追従制御ー, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.26) ／講演論文集, 2A2-J08
- 清水智, 綿奈部裕之, 勅使河原誠一, 多田隈建二郎, 明愛国, 石川正俊, 下条誠：感圧導電性ゴムの特性を用いた滑り覚センサの研究開発ー法線および接線方向変形と抵抗値変化の関係ー, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.26) ／講演論文集, 2P1-J13
- 寺西正裕, 高橋陽介, 多田隈建二郎, 明愛国, 石川正俊, 下条誠：障害物回避のための同期検波を利用したネット状近接覚センサ, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.26) ／講演論文集, 2P1-K02
- 勅使河原誠一, 清水智, 多田隈建二郎, 明愛国, 石川正俊, 下条誠：感圧導電性ゴムの特性を用いた滑り覚センサの研究開発ー抵抗値変化の高周波成分についてー, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.26) ／講演論文集, 2P1-K06
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：2台のマニピュレータによる非接触状態を利用した高速ダイナミックマニピュレーション, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.25) ／講演論文集, 1A1-B09
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：多指ハンドアームシステムによる高速投球動作, 第14回ロボティクスシンポジア (登別, 2009.3.16) ／講演会予稿集, pp.205-210
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：多指ハンドの動作を考慮したスキル統合に基づく結び操作, 第14回ロボティクスシンポジア (登別, 2009.3.17) ／講演会予稿集, pp.331-336
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：多指ハンドによる結び操作実現を目指したスキル統合, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2008) (岐阜, 2008.12.5) ／講演会論文集, pp.329-330
- 妹尾拓,並木明夫, 石川正俊：高速投球動作におけるリリース制御の解析, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2008) (岐阜, 2008.12.5) ／講演会論文集, pp.331-332
- 溝口善智, 多田隈建二郎, 石川正俊, 明愛国, 下条誠：インテリジェントロボットハンドの研究開発 -触・近接覚センサによる捕獲から把持までの制御, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2008) (岐阜, 2008.12.7) ／講演会論文集, pp.991-992 [2008年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2008優秀講演賞受賞]
- 長谷川浩章, 溝口善智, 多田隈建二郎, 石川正俊, 明愛国, 下条誠, ロボットハンド指先に搭載可能な薄型ネット状近接覚センサシートの開発, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2008) (岐阜, 2008.12.7) ／講演会論文集, pp.995-996
- 寺西正裕, 多田隈建二郎, 明愛国, 石川正俊, 下条誠：同期検波を利用したネット状近接覚センサの高機能化, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2008) (岐阜, 2008.12.7) ／講演会論文集, pp.997-998
- 勅使河原誠一, 多田隈建二郎, 明愛国, 下条誠, 石川正俊：感圧導電性ゴムの特異性を用いた高感度型滑り覚センサの研究開発 -センサの試作と特性評価-, 第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2008) (岐阜, 2008.12.7) ／講演会論文集, pp.1005-1006
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：高速多指ハンドシステムを用いた線状柔軟物体の結び操作, 豊橋技術科学大学GCOEシンポジウム (ADIST2008) (豊橋, 2008.10.17) ／抄録集, p.64 [2008年 豊橋技術科学大学グローバルCOE ADISTシンポジウム ADIST2008 最優秀ポスター講演賞受賞]

- 溝口善智, 多田隈建二郎, 明愛国, 石川正俊, 下条誠：インテリジェントロボットハンドの研究開発，第26回日本ロボット学会学術講演会 (神戸, 2008.9.9) ／講演予稿集, 1E1-04
- 勅使河原誠一, 明愛国, 多田隈建二郎, 石川正俊, 下条誠：高速・高感度な滑り覚センサの研究開発，第26回日本ロボット学会学術講演会 (神戸, 2008.9.11) ／講演予稿集, 3L1-08
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：運動連鎖スウィングモデルに基づく高速スローイング動作，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008 (ROBOMEC2008) (長野, 2008.6.6) ／講演予稿集, 1A1-I14
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：スキル統合に基づく結び操作と多指ハンドによる実現，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008 (ROBOMEC2008) (長野, 2008.6.6) ／講演予稿集, 1P1-A09
- 水澤悟, 並木明夫, 石川正俊：高速多指ハンドによる高速視覚サーボを用いたピンセット型道具操り，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2008 (ROBOMEC2008) (長野, 2008.6.6) ／講演予稿集, 1P1-A13
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：多指ハンドと視触覚フィードバックによる柔軟紐の高速マニピュレーション，第13回ロボティクスシンポジア (香川, 2008.3.17) ／講演予稿集, pp.529-534
- 並木明夫, 石原達也, 山川雄司, 石川正俊, 下条誠：高速多指ハンドを用いた棒状物体の回転制御，第13回ロボティクスシンポジア (香川, 2008.3.17) ／講演予稿集, pp.541-546
- 勅使河原誠一, 西永知博, 石川正俊, 下条誠：滑り検出と感圧導電性ゴムの性質, 第8回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) (広島, 2007.12.21) ／講演会論文集, pp.487-488
- 西野高明, 石川正俊, 下条誠: 省配線を可能とする荷重分布検出触覚センサの開発, 第8回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) (広島, 2007.12.21) ／講演会論文集, pp.489-490
- 柴崎保則, 天本晴之, 下条誠, 石川正俊: ロボットの全身を被覆可能なネット状近接覚センサの開発 -センサを用いた衝突回避動作-, 第8回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) (広島, 2007.12.21) ／講演会論文集, pp.491-492
- 天本晴之, 下条誠, 柴崎保則, 石川正俊: 赤外線を用いた接近感覚型センサにおけるロボットの対象物認識，第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) (広島, 2007.12.21) ／講演会論文集, pp.493-494
- 森川翔, 並木明夫, 石川正俊：画像モーメント情報を利用した棒状物体の回避行動，第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) (広島, 2007.12.20) ／講演会論文集, pp.51-52
- 水澤悟, 並木明夫, 石川正俊：高速視覚を用いた多指ハンドによる道具の操り，第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2007) (広島, 2007.12.20) ／講演会論文集, pp.55-56
- 溝口善智, 勅使河原誠一, 並木明夫, 石川正俊, 明愛国, 下条誠：滑り検出に基づくPick&Place動作，第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) (広島, 2007.12.20) ／講演会論文集, pp.57-58
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：高速視触覚フィードバックを用いた多指ハンドによる柔軟紐の操り，第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2007) (広島, 2007.12.20) ／講演会論文集, pp.59-60
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：触覚フィードバックを用いた柔軟紐の高速片手結び，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC 007) (秋田, 2007.5.12) ／講演論文集, 2A1-E08
- 郡司大輔, 溝口善智, 明愛国, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：滑り検出に基づく多指ハンドの把持力制御，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC2007) (秋田, 2007.5.12) ／講演論文集, 1A2-B07
- 溝口善智, 郡司大輔, 明愛国, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：触覚センサを用いた多指ハンドの接触力制御-触覚フィードバックによる多点接触力制御-，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC2007) (秋田, 2007.5.11) ／講演論文集, 1A2-B08
- 勅使河原誠一, 石川正俊, 下条誠：CoP触覚センサによる滑り検出-メカニズムの解明と被覆材の影響-，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC2007) (秋田, 2007.5.11) ／講演論文集, 1A2-B09
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：波動伝播に基づく高速スローイング動作，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC2007) (秋田, 2007.5.11) ／講演論文集, 1A2-F10
- 下条誠, 天本晴之, 柴崎保則, 明愛国, 石川正俊：近接覚から触覚までをシームレスにつなぐ汎触覚センサの開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC2007) (秋田, 2007.5.11) ／講演論文集, 1P1-B10
- 古川徳厚, 並木明夫, 妹尾拓, 石川正俊：ビジュアルフィードバックに基づく高速多指ハンドを用いたダイナミックリグラスピング，第12回ロボティクスシンポジア (長岡, 2007.3.15) ／講演論文集, pp.144-149
- 並木明夫：高速マニピュレーションプロジェクト, 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.722-723
- 古川徳厚, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：未知な動的パラメーターの学習と高速視覚を用いたダイナミックリグラスピング，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.724-725 [2006年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2006優秀講演賞受賞]
- 石原達也, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：高速多指ハンドによるペン状物体の回転制御，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.726-727
- 森川翔, 並木明夫, 石川正俊：高速ビジュアルサーボによる実時間障害物回避行動，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.728-729
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：高速スローイング動作におけるエネルギー伝播の解析，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.736-737
- 大薄隆志, 並木明夫, 石川正俊：多関節マニピュレータによる低衝撃捕球動作，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.738-739
- 荻野俊明, 並木明夫, 石川正俊：高速視覚による多指ハンドのテレマニピュレーション，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.740-741
- 郡司大輔, 荒木拓真, 明愛国, 並木明夫, 下条誠：CoP触覚センサを装着したロボットハンドによる接線方向力に抗する把持力制御，第7回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.742-743
- 山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：高速多指ハンドを用いた柔軟紐の片手結び，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.744-745 [2006年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2006優秀講演賞受賞]
- 石川正俊, 並木明夫：超高速ロボティクスの展望，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.746-747
- 柴崎保則, 天本晴之, 下条誠, 石川正俊：触覚・近接覚融合センサによる対象物検出方式，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.14) ／講演会論文集, pp.460-461
- 荒木拓真, 下条誠, 河原宏太郎, 石川正俊：自由曲面への装着と省配線化を実現する網目状触覚センサの開発 -ヒューマンインターフェースへの応用-, 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.14) ／講演会論文集, pp.462-463
- 森川翔, 並木明夫, 石川正俊：小型軽量高速ビジョンを搭載したロボットマニピュレータによる実時間障害物回避行動，第24回日本ロボット学会学術講演会 (岡山, 2006.9.15) ／予稿集, 2B18

センサフュージョン 和文 ／ Sensor Fusion Japanese

- 古川徳厚, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：ダイナミックリグラスピングにおける把持戦略，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2006 (ROBOMEC2006) (東京, 2006.5.27) ／講演論文集, 1A1-B34 ［2007年 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門ROBOMEC表彰］
- 石原達也, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠：高速触覚システムを用いたペン状物体の高速把持・操り，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2006 (ROBOMEC2006) (東京, 2006.5.27) ／講演論文集, 1A1-B39
- 並木明夫, 石川正俊, 加藤真一, 金山尚樹, 小山順二：高速キャッチングロボットシステム，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2006 (ROBOMEC2006) (東京, 2006.5.27) ／講演論文集, 1A1-E27
- 塩形大輔, 並木明夫, 石川正俊：高速多指ハンドと視覚フィードバックによる高速ドリブル動作の研究，第11回ロボティクスシンポジア (佐賀, 2006.3.17) ／講演会論文集, pp.482-487
- 並木明夫：感覚と運動の統合によるロボットの高性能化，第6回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2005) (熊本, 2005.12.17) ／講演会論文集, pp.693-694
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：高速バッティングシステムによる打ち分け動作，第6回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2005) (熊本, 2005.12.17) ／講演会論文集, pp.695-696
- 大薄隆志, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：高速視覚フィードバックによる非把握キャッチング，第6回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2005) (熊本, 2005.12.17) ／講演会論文集, pp.697-698
- 古川徳厚, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：高速多指ハンドと高速視覚を用いたダイナミックリグラスピング，第6回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2005) (熊本, 2005.12.17) ／講演会論文集, pp.699-700
- 石原達也, 並木明夫, 塩形大輔, 石川正俊, 下条誠：高速触覚フィードバックシステムによる動的なペン回し動作の実現，第6回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2005) (熊本, 2005.12.17) ／講演会論文集, pp.701-702
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：高速ロボットシステムによるバッティングタスクの実現, 第10回ロボティクスシンポジア (箱根, 2005.3.14) ／講演論文集, pp.75-80
- 並木明夫, ハイパフォーマンス マニピュレーション, 第5回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2004) (つくば, 2004.12.19) ／講演会論文集, pp.1140-1141
- 笠原裕一, 並木明夫, 石川正俊：多眼高速ビジョンを用いた高速マニピュレーション, 第5回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2004) (つくば, 2004.12.19) ／講演会論文集, pp.1142-1143
- 下条誠, 谷保勇樹, 並木明夫, 石川正俊, ２次元分布荷重測定法を用いた触覚センサへの応用，第5回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2004) (つくば, 2004.12.19) ／講演会論文集, pp.1144-1145
- 鵜飼賀生, 大西政彦, 並木明夫, 石川正俊：高速視覚と柔軟指先を用いたソフトキャッチング，第5回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2004) (つくば, 2004.12.19) ／講演会論文集, pp.1146-1147
- 塩形大輔, 並木明夫, 石川正俊：高速ロボットハンドによるドリブル動作の実現，第5回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2004) (つくば, 2004.12.19) ／講演会論文集, pp.1148-1149 ［2004年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2004ベストセッション講演賞受賞］
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：高速バッティングシステムによる打球方向の制御，第5回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2004) (つくば, 2004.12.19) ／講演会論文集, pp.1150-1151
- 東森充, 丁憙勇, 金子真, 石井抱, 並木明夫, 石川正俊：二重旋回機構を備えた高速４本指ロボットハンド，第22回ロボット学会学術講演会 (岐阜, 2004.9.17) ／予稿集, 3J22
- 塩形大輔, 並木明夫, 石川正俊：高速ロボットハンドによる物体の動的保持，第22回ロボット学会学術講演会 (岐阜, 2004.9.17) ／予稿集, 3J13
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：高速バッティングロボットシステムの性能評価，第22回ロボット学会学術講演会 (岐阜, 2004.9.15) ／予稿集, 1D25
- 谷保勇樹, 下条誠, 石川正俊, 並木明夫：２次元分布荷重測定法を用いた触覚センサへの応用，第22回ロボット学会学術講演会 (岐阜, 2004.9.15) ／予稿集, 1J31
- 並木明夫, 今井睦朗, 石川正俊：高速多指ハンドによる能動的捕獲戦略，ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC2004) (名古屋, 2004.6.20) ／2A1-L1-9
- 大西政彦, 並木明夫, 橋本浩一, 石川正俊：柔軟な指先を持つ高速ハンドによる捕球動作の実現，ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC2004) (名古屋, 2004.6.20) ／2A1-L1-10
- 金子真, 丁憙勇, 東森充, 石井抱, 並木明夫, 石川正俊：高速4本指ハンドシステムの開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC2004) (名古屋, 2004.6.20) ／ 2A1-L1-13 ［2005年 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門ROBOMEC表彰］
- 東森充, 木村麻伊子, 並木明夫, 石川正俊, 金子真, 石井抱, 高速視覚情報に基づくダイナミックキャッチング，ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC2004) (名古屋, 2004.6.20) ／2A1-L1-14
- 東森充, 湯谷政洋, 石井抱, 並木明夫, 石川正俊, 金子真, なぞり型ジャンピングロボットの基本的特性，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC2004) (名古屋, 2004.6.20) ／2A1-L1-73
- 笠原裕一, 並木明夫, 小室孝, 石川正俊：高速マニピュレーションのための多眼ビジュアルフィードバックシステム，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC2004) (名古屋, 2004.6.20) ／2P2-L1-50
- 鵜飼賀生, 並木明夫, 石川正俊：モーメント特徴量を利用した高速ビジョンによる実時間３次元形状認識，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC2004) (名古屋, 2004.6.20) ／2P1-H-61
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：高速打撃動作におけるマニピュレータのオンライン軌道生成，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC2004) (名古屋, 2004.6.19) ／1P1-H-14
- 今井睦朗, 並木明夫, 橋本浩一, 石川正俊, 金子真, 亀田博, 小山順二：高速多指ハンドと高速視覚によるダイナミックキャッチング，第9回ロボティクスシンポジア (那覇, 2004.3.9) ／pp.517-522
- 並木明夫, 石川正俊：高速視覚と多指ハンドアームを有する実時間感覚運動統合システム，第4回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2003) (東京, 2003.12.19) ／pp.109-110
- 笠原裕一, 並木明夫, 小室孝, 石川正俊：多眼高速ビジョンを用いた把握システム，第4回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2003) (東京, 2003.12.19) ／pp.111-112
- 鵜飼賀生, 並木明夫, 石川正俊：高速ビジョンと能動的照明装置を用いた3次元形状認識，第4回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2003) (東京, 2003.12.19) ／pp.113-114
- 今井睦朗, 並木明夫, 橋本浩一, 石川正俊：高速多指ハンドによる柱状物体のキャッチング動作，第4回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2003) (東京, 2003.12.19) ／pp.121-122
- 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊：多関節マニピュレータを用いた高速打撃動作の研究，第4回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2003) (東京, 2003.12.19) ／pp.123-124
- 東森充, 原田学, 石井抱, 並木明夫, 石川正俊, 金子真：ジャンピング動作のためのインピーダンス設計に関する基本的考察，第4回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2003) (東京, 2003.12.19) ／pp.129-130
- 石川正俊, 並木明夫：感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的実現，第4回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2003) (東京, 2003.12.19) ／pp.131-132

センサフュージョン 和文 ／ Sensor Fusion Japanese

- 並木明夫, 石川正俊, 金子 真, 亀田 博, 小山 順二：軽量高速多指ロボットハンドの開発, (社) 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門 ロボティクス・メカトロニクス講演会2003 (ROBOMEC2003) (函館, 2003.5.24) ／講演論文集, 1P1-1F-G3 [PDF format]
- 今井睦朗, 並木明夫, 橋本浩一, 石川正俊：高速多指ハンドによる動的捕球動作の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2003 (ROBOMEC2003) (函館, 2003.5.24) ／講演論文集, 1P1-1F-G2
- 下条誠, 金森克彦, 明愛国, 金森哉史, 石川 正俊：液状感圧ゴムを用いた自由曲面型触覚センサの開発, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2003 (ROBOMEC2003) (函館, 2003.5.24) ／講演論文集, 1A1-3F-B3
- 並木明夫, 石川正俊：視覚情報から運動指令へのダイレクトマッピングによる捕球動作の実現, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2003 (ROBOMEC2003) (函館, 2003.5.25) ／講演論文集, 2A1-1F-C5 [PDF format]
- 尾川順子, 並木明夫, 石川正俊：学習進度を反映した割引率の調整：電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会 (札幌市, 2003.2.4) ／電子情報通信学会技術研究報告, NC2002-129, pp.73-78
- 並木明夫, 今井睦朗, 石川正俊：捕球動作のための視覚フィードバック制御, 第3回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (神戸, 2002.12.20) ／講演論文集, Vol.2, pp.219-220 [2003年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門奨励賞受賞]
- 竹中麗香, 東森充, 金子真, 並木明夫, 石川正俊：100Gキャプチャリングシステム -高速ビジョンを使った動体捕獲-, 第3回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (神戸, 2002.12.20) ／講演論文集, Vol.2, pp.217-218
- 東森充, 竹中麗香, 金子真, 並木明夫, 石川正俊：100Gキャプチャリングシステム -Dynamic Preshaping-, 第3回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (神戸, 2002.12.20) ／講演論文集, Vol.2, pp.215-216
- 下条誠, 金森克彦, 明愛国, 金森哉史, 石川正俊：高密度型触覚センサの開発 -液状感圧ゴムを用いた自由曲面型触覚センサの開発-, 第3回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (神戸, 2002.12.20) ／講演論文集, Vol.2, pp.211-212
- 下条誠, 牧野了太, 小川博教, 鈴木隆文, 並木明夫, 齋藤敏, 國本雅也, 石川正俊, 満渕邦彦：ロボットハンドからの触覚情報を人間の触覚神経経由により提示するシステムの開発, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会 (大阪, 2002.10.12) ／講演論文集, 1E33
- 下条誠, 金森克彦, 明愛国, 金森哉史, 石川正俊：液状感圧ゴムを用いた自由曲面型触覚センサの開発, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会 (大阪, 2002.10.12) ／講演論文集, 1G24
- 並木明夫, 石川正俊：視覚情報に基づくオンライン軌道生成による捕球タスクの実現, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会 (大阪, 2002.10.14) ／講演論文集, 3M23
- 今井睦朗, 並木明夫, 橋本浩一, 金子真, 石川正俊：視覚フィードバックを用いた高速ハンドシステムの開発, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会 (大阪, 2002.10.14) ／講演論文集, 3E11
- 下条誠, 牧野了太, 小川博教, 鈴木隆文, 並木明夫, 斎藤敏, 石川正俊, 満渕邦彦：ロボットハンドからの接触感覚を触覚神経経由により提示するシステムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2002 (ROBOMEC2002) (松江, 2002.6.9) ／講演論文集, 2P2-E08 [2003年 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門ROBOMEC表彰]
- 並木明夫, 亀田博, 小林清人, 坂田順, 金子真, 石川正俊：軽量高速ロボット指モジュールの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2002 (ROBOMEC2002) (松江, 2002.6.9) ／講演論文集, 2P2-F04 [PDF 形式]
- 奥寛雅, 石川正俊：kHzオーダで応答可能な可変焦点レンズの試作, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2002 (松江, 2002.6.9) ／講演論文集, 2P2-J09
- 並木明夫, 中坊嘉宏, 石川正俊：高速視覚を用いたダイナミックグラスピング, 計測自動制御学会機械システム制御シンポジウム (東京, 2002.3.29) ／機械システム制御シンポジウム講演論文集, pp.96-99
- 中坊嘉宏, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：2台の超高速ビジョンによる3次元トラッキング, 計測自動制御学会機械システム制御シンポジウム (東京, 2002.3.29) ／機械システム制御シンポジウム講演論文集, pp.78-81
- 橋本浩一, 並木明夫, 石川正俊：ビジョンベースドマニピュレーションのための視覚運動アーキテクチャ, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 (名古屋, 2001.12.21) ／ SICE SI-2001 講演論文集, pp.137-138
- 並木明夫, 中坊嘉宏, 石川正俊：ダイナミクスの整合に基づく高速マニピュレーション, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 (名古屋, 2001.12.21) ／ SICE SI-2001 講演論文集, pp.153-154
- 金子真, 竹中麗香, 澤田光史, 辻敏夫, 並木明夫, 石川正俊：高速キャプチャリングシステム, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 (名古屋, 2001.12.21) ／ SICE SI-2001 講演論文集, pp.155-156
- 下条誠, 金森克彦, 石川正俊：高密度型触覚センサの開発, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 (名古屋, 2001.12.21) ／ SICE SI-2001 講演論文集, pp.159-160
- 中坊嘉宏, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：2台の高速ビジョンを用いた3次元トラッキング, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会 (名古屋, 2001.12.21) ／ SICE SI-2001 講演論文集, pp.161-162
- 下条誠, 金森克彦, 石川正俊：低ヒステリシス型液状感圧ゴムの開発, 第19回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 2001.9.20) ／予稿集, pp.1211-1212
- 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：超高速ビジョンを用いた3次元セルフウィンドウ法, 第19回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 2001.9.20) ／予稿集, pp.939-940
- 尾川順子, 阪口豊, 並木明夫, 石川正俊：多様な制約に対するダイナミクス整合の学習, 第19回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 2001.9.19) ／予稿集, pp.711-712
- 並木明夫, 中坊嘉宏, 石川正俊：高速視覚を用いたダイナミックマニピュレーションシステム, 第19回日本ロボット学会学術講演会 (東京,2001.9.19) ／予稿集, pp.389-390[PDF 形式 (0.2Mbytes)]
- 中坊嘉宏, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：2台の高速アクティブビジョンによる3次元トラッキング, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2001 (ROBOMEC2001) (高松, 2001.6.9) ／講演論文集, 2A1-C1
- 奥寛雅, 石井抱, 石川正俊：高速ビジュアルフィードバックによる微生物のトラッキング, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2001 (ROBOMEC2001) (高松, 2001.6.10) ／講演論文集, 2P2-C4
- 尾川順子, 阪口豊, 並木明夫, 石川正俊：ダイナミクス整合に基づく感覚運動統合---ターゲットトラッキングにおける戦略の学習---, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会 (東京, 2001.3.14) ／電子情報通信学会技術研究報告, NC2000-109, Vol.100, No.686, pp.47-54
- 池田立一, 下条誠, 並木明夫, 石川正俊, 満渕邦彦：ワイヤ縫込方式触覚センサの開発ー４本指ハンドを用いた把持実験ー, 第18回日本ロボット学会学術講演会 (草津, 2000.9.14) ／予稿集, 1B33, pp.69-70
- 山田泉, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：実時間視力覚フィードバックを用いた実環境作業支援システム, 第18回日本ロボット学会学術講演会 (草津, 2000.9.14) ／予稿集, 3A12, pp.959-960 [PDF 形式 (0.2Mbytes)]
- 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：2台の超高速ビジョンシステムを用いた3次元トラッキング, 第18回日本ロボット学会学術講演会 (草津, 2000.9.13) ／予稿集, 2K22, pp.821-822
- 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：視力覚フィードバックを用いた小型作業支援ツールの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2000 (ROBOMEC2000) (2000) ／講演論文集, 2P2-76-101 [PDF 形式 (0.2Mbytes)]
- 奥寛雅, Andy Chen, 石井抱, 石川正俊：高速ビジュアルフィードバックによるマイクロアクチュエーション, 日本ロボット学会学術講演会 (平塚, 1999.9.10) ／予稿集, pp.637-638
- 小室孝, 小川一哉, 鏡慎吾, 中坊嘉宏, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：高集積化に向けた汎用デジタルビジョンチップの開発とその応用, 第38回計測自動制御学会学術講演会 (盛岡, 1999.7.29) ／予稿集, pp.375-376

センサフュージョン 和文 ／ Sensor Fusion Japanese

- 並木明夫, 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：1ms感覚運動統合システムにおける高速並列分散処理，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス'講演会1999 (ROBOMEC1999) (東京, 1999.6.13) ／講演論文集, 2P2-49-058 [PDF 形式 (0.2Mbytes)]
- 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：高速センサフィードバックに基づく感覚運動統合アーキテクチャとその把握・操り行動への応用，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会1999 (ROBOMEC1999) (東京, 1999.6.12) ／講演論文集, 1A1-63-094[PDF 形式 (0.2Mbytes)]
- 並木明夫, 中坊嘉宏, 石井 抱, 石川正俊：高速センサフィードバックを用いた感覚運動統合把握システム，第4回ロボティクスシンポジア (仙台, 1999.3.31) ／予稿集, pp.1-6[PDF 形式 (0.3Mbytes)]
- 並木明夫, 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：高速視覚を用いた多指ハンドによる物体操作，第16回日本ロボット学会学術講演会 (札幌, 1998.9.19) ／予稿集, pp.699-700
- 奥寛雅, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：高速視覚を用いた運動教示システム，日本ロボット学会学術講演会'98 (札幌, 1998.9.19) ／予稿集, pp.695-696
- 白須潤一, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：描画機能を有する能動的実環境作業支援システム，第16回日本ロボット学会学術講演会 (札幌, 1998.9.19) ／予稿集, pp.771-772
- 並木明夫, 中坊嘉宏, 石井 抱, 石川正俊：高速視覚を用いた多指ハンドによる物体操作，第16回日本ロボット学会学術講演会 (札幌, 1998.9.16) ／講演会論文集
- 並木明夫, 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：高速視覚を用いた把握行動システム，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会1998 (ROBOMEC1998) (仙台, 1998) ／講演会論文集
- 大脇崇史, 並木明夫, 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：実時間ビジュアルハプタイゼーションシステムの開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会1998 (ROBOMEC1998) (仙台, 1998) ／講演会論文集
- 日下部裕一, 春日和之, 石井抱, 石川正俊：人間の視触覚における能動的統合機能の解析，日本バーチャルリアリティ学会第２回大会 (名古屋, 1997.9.19) ／論文集, pp.336-339
- 大脇崇史, 中坊嘉宏, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：視触覚モダリティ変換機能を有するリアルタイム実環境提示システム，日本バーチャルリアリティ学会第２回大会 (名古屋,1997.9.18) ／論文集, pp.151-154
- 並木明夫, 石川正俊：能動的探り動作と目的行動の統合 -- 把握・マニピュレーションへの応用 --，第15回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 1997.9.13) ／予稿集
- 石井抱, 石川正俊：触覚パターンの獲得のための能動的触運動の解析，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会1997 (ROBOMEC1997) (厚木, 1997.6.7) ／講演論文集, pp.549-552
- 伊藤健太郎, 石川正俊：群を形成するロボット群の構成，第14回日本ロボット学会学術講演会 (新潟, 1996.11.1) ／予稿集, pp.1055-1056
- 並木明夫, 石川正俊：観測行動を導入した最適把握位置姿勢の探索，第14回日本ロボット学会学術講演会 (新潟, 1996.11.1) ／予稿集, pp.331-332
- 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：ビジュアルインピーダンスを用いたロボットの制御，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会1996 (ROBOMEC1996) (宇部, 1996.6.21) ／講演論文集, ビデオプロシーディングス, pp.999-1002
- 並木明夫, 石川正俊：視触覚を用いた最適把握位置姿勢の探索行動，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会1996 (ROBOMEC1996) (宇部, 1996.6.20) ／講演論文集, pp.1003-1006
- 穴吹まほろ, 宇津木仁, 石井抱, 石川正俊：視触覚統合における能動性の影響，第39回 ヒューマンインターフェイス研究会 (東京, 1996.5.28) ／ Human Interface News and Report, Vol.11, pp.273-278 ／電子情報通信学会技術報告, MVE96-27, Vol.96, No.82, pp.83-88
- 並木明夫, 石井抱, 中坊嘉宏, 石川正俊：1ms感覚運動統合システムのアーキテクチャ，第5回ロボットセンサシンポジウム (新潟, 1996.4.19) ／予稿集, pp.99-102
- 山口佳子, 石川正俊：視覚教示を利用した力制御の学習, 第13回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 1995.11.5) ／予稿集, pp.1087-1088
- 並木明夫, 石川正俊：センサ情報を用いた最適把持位置の探索行動, 第13回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 1995.11.3) ／予稿集, pp.113-114
- 鈴木伸介, 小室孝, 石川正俊：ビジョンチップのための並列演算アーキテクチャ，第34回計測自動制御学会学術講演会 (札幌, 1995.7.27) ／予稿集, pp.495-496
- 矢野晃一, 石川正俊：学習度に応じた最軌道の探索と逆モデルの学習を行う運動の習熟機構，第34回計測自動制御学会学術講演会 (札幌, 1995.7.26) ／予稿集, pp.209-210
- 山口佳子, 石川正俊：視覚情報を利用した力制御の学習, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会 (金沢, 1995.5.22) ／電子情報通信学会技術報告, NC95-12, Vol.95, No.57, pp.89-96
- 矢野晃一, 石川正俊：最適軌道の探索と逆モデルの学習を行う運動の習熟機構，電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会 (東京, 1995.3.17) ／電子情報通信学会技術報告, NC94-112, Vol.94, No.562, pp.277-284
- 石川正俊, 石井抱, 並木明夫, 中坊嘉宏, 山口佳子, 向井利春：1ms 感覚運動統合システム，第13回日本ロボット学会 (1995) ／予稿集, pp.483-484
- 向井利春, 石川正俊：予測誤差を用いた能動的な視触覚融合, 第33回計測自動制御学会学術講演会 (東京, 1994.7.26) ／予稿集, pp.127-128
- 向井利春, 石川正俊：予測誤差を用いた複数センサによるアクティブセンシング，第32回計測自動制御学会学術講演会 (金沢, 1993.8.4) ／予稿集, pp.299-300
- 石井抱, 石川正俊：動物体形状の能動的認識機構, 第10回ロボット学会学術講演会 (金沢, 1992.11.1) ／予稿集, pp.679-680
- 青野俊宏, 石川正俊：確率過程を用いた聴視覚融合, 1992年電子情報通信学会春季大会 (野田, 1992.3.27) ／予稿集, 第6分冊, pp.(6-293)-(6-294)
- 森田彰, 石川正俊：センサ情報処理のための大規模並列演算機構，第30回計測自動制御学会学術講演会 (米沢, 1991.7.17) ／予稿集, pp.371-372
- 設楽光明, 鄭有成, 石川正俊, 藤村貞夫：シミュレーティッドアニーリングを用いたセンサフュージョンシステム，第30回計測自動制御学会学術講演会 (米沢,1991.7.17) ／予稿集, pp.135-136
- 青野俊宏, 石川正俊：確率的手法を用いたセンサフュージョン-多系列隠れマルコフモデルを用いた視聴覚融合-，第2回自律分散システムシンポジウム (大阪, 1991. 1.16) ／予稿集, pp.115-118
- 青野俊宏, 石川正俊：確率過程を用いた聴視覚融合, 第34回自動制御連合講演会 (日吉, 1991.11.22) ／予稿集, pp.特セ-87-89
- 向井利春, 森隆, 石川正俊, 藤村貞夫：アクチュエータを含むセンサフュージョンシステム，第8回日本ロボット学会学術講演会 (仙台, 1990.11.3) ／予稿集, pp.853-856
- 森隆, 向井利春, 石川正俊, 藤村貞夫：位置情報間の学習を用いたセンサフュージョンシステム，第29回計測自動制御学会学術講演会 (東京, 1990.7.24) ／予稿集, pp.201-202

展示会／Exhibition

- 国際ロボット展 2017 (東京, 東京ビッグサイト), 2017年11月29日～ 12月2日[二足走行ロボット, Active Assistant Robot]
- 国際ロボット展 2015 (東京, 東京ビッグサイト), 2015年12月2日～5日[Dynamic Compensation]
- NEDO FORUM 2014 (東京, 東京国際フォーラム), 2015年2月12日～13日[じゃんけんロボット]
- DIGITAL CONTENT EXPO 2014 (東京, 日本科学未来館), 2014年10月23日～26日[じゃんけんロボット Ver.2]
- CEATEC 2014 (千葉, 幕張メッセ), 2014年10月7日～11日[高速ロボット ビデオ展示]
- 人とくるまのテクノロジー展 (横浜, パシフィコ横浜アネックスホール), 2014年5月21日～23日[じゃんけんロボットVer.2]
- 国際ロボット展 2013 (東京, 東京ビッグサイト), 2013年11月6日～9日[じゃんけんロボット Ver.2]
- NI Week 2013 (Austin, Austin Convention Center), 2013年8月5日～8日[じゃんけんロボット・ディスプレイ版]
- SORSTシンポジウム併設展示 ((東京, 日本科学未来館), 2010年3月10日[バッティングロボット,ペン回しロボット]
- 国際ロボット展 2009 (東京, 東京ビッグサイト), 2009年11月25日～28日[バッティングロボット]

招待論文／Invited Papers

- Masatoshi Ishikawa: Is There Real Fusion between Sensing and Network Technology? - What are the Problems? (Invited Paper), IEICE Trans. Commun., Vol.E93.B, No.11, pp.2855-2858 (2010)
- Akio Namiki, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: High Speed Sensory-Motor Fusion Based on Dynamics (Invited Paper), Proc. IEEE, Vol.90, No.7, pp.1178-1187 (2002)

学術論文／Papers

- Shouren Huang, and Masatoshi Ishikawa: Torque Transmission Modeling of Two Coaxial Electrorheological Clutches for Reciprocating Actuation, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.10, No.12, pp.12724-12731 (2025)
- Yongpeng Cao, Shouren Huang, Sune Lundø Sørensen, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: A Wearable Real-Time 2D/3D Eye-Gaze Interface to Realize Robot Assistance for Quadriplegics, IEEE Access, Vol.13, pp.155259-155276 (2025)
- Taohan Wang, Mamoru Oka, Kenichi Murakami, Shouren Huang, Hirofumi Sumi, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Robot system for sequential suspending point selection, grasping, spreading, and aligning manipulation of randomly placed towel-like objects, Robotics and Autonomous Systems, Vol.192, 105053, pp.1-12 (2025)
- Shouren Huang, Wenhe Wang, Leo Miyashita, Kenichi Murakami, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Utilizing High-Speed 3D Vision for a Commercial Robotic Arm: Direct Integration and the Dynamic Compensation Approach, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.37, No.2, pp.424-433 (2025)
- Kenichi Murakami, Shouren Huang, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Fully Automated Bead Art Assembly for Smart Manufacturing Using Dynamic Compensation Approach, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.936-945 (2022)
- Shouren Huang, Kenichi Murakami, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Robotic Assistance for Peg-and-Hole Alignment by Mimicking Annular Solar Eclipse Process, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.946-955 (2022)
- Taku Senoo, Atsushi Konno, Yunzhuo Wang, Masahiro Hirano, Norimasa Kishi, and Masatoshi Ishikawa: Tracking of Overlapped Vehicles with Spatio-Temporal Shared Filter for High-Speed Stereo Vision, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.1033-1042 (2022)
- Hyuno Kim, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Seamless Multiple-Target Tracking Method Across Overlapped Multiple Camera Views Using High-Speed Image Capture, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.1043-1052 (2022)
- Masahiro Hirano, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: An acceleration method for correlation-based high-speed object tracking, Measurement: Sensors, Vol.18, Article No.100258 (2021) [Young Excellent Presentation Award]
- Hyuno Kim, and Masatoshi Ishikawa: Sub-Frame Evaluation of Frame Synchronization for Camera Network Using Linearly Oscillating Light Spot, Sensors, Vol.21, No.18, Article No.6148, pp.1-14 (2021)
- Yuji Yamakawa, Yugo Katsuki, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Development of a High-Speed, Low-Latency Telemanipulated Robot Hand System, Robotics, Vol.10, Issue1, Article No.41, pp.1-22 (2021)
- Yuji Yamakawa, Yutaro Matsui, and Masatoshi Ishikawa: Development of a Real-Time Human-Robot Collaborative System Based on 1 kHz Visual Feedback Control and Its Application to a Peg-in-Hole Task, Sensors, Vol.21, No.2, Article No.663, pp.1-25 (2021)
- Kenichi Murakami, Koki Ishimoto, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Human Robot Hand Interaction with Plastic Deformation Control, Robotics, Vol.9, Issue3, Article No.73, pp.1-15 (2020)
- Kento Yabuuchi, Masahiro Hirano, Taku Senoo, Norimasa Kishi, and Masatoshi Ishikawa: Real-Time Traffic Light Detection with Frequency Patterns Using a High-Speed Camera, Sensors, Vol.20, No.14, Article No.4035, pp.1-18 (2020)
- Shouren Huang, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: A coarse-to-fine framework for accurate positioning under uncertainties-from autonomous robot to human-robot system, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol.108, pp.2929-2944 (2020)
- Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Aiguo Ming, and Masatoshi Ishikawa: Integrated control of a multiple-degree-of-freedom hand and arm using a reactive architecture based on high-speed proximity sensing, The International Journal of Robotics Research, Vol.38, Issue14, pp.1717-1750 (2019)
- Taku Senoo, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa: Deformation Control of a Manipulator Based on the Zener Model, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31, No.2, pp.263-273 (2019)
- Keisuke Koyama, Kenichi Murakami, Taku Senoo, Makoto Shimojo, Masatoshi Ishikawa: High-Speed, Small-Deformation Catching of Soft Objects Based on Active Vision and Proximity Sensing, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.4, Issue2, pp.578-585 (2019)
- Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed High-Precision Proximity Sensor for Detection of Tilt, Distance, and Contact, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.3, No.4, pp.3224-3231 (2018)
- Yuji Yamakawa, Yutaro Matsui, Akihito Noda, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Development of a Sensor Network System with High Sampling Rate Based on Highly Accurate Simultaneous Synchronization of Clock and Data Acquisition and Experimental Verification, micromachines, Vol.9, No.7, Article No.325, pp.1-15 (2018)
- Akihito Noda, Satoshi Tabata, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Synchronized High-Speed Vision Sensor Network for Expansion of Field of View, Sensors, Vol.18, No.4, Article No.1276, pp.1-14 (2018)
- Shouren Huang, Kenta Shinya, Niklas Bergström, Yuji Yamakawa, Tomohiro Yamazaki, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic compensation robot with a new high-speed vision system for flexible manufacturing, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.95, Issue9-12, pp.4523-4533 (2018)
- Masahiro Hirano, Akihito Noda, Masatoshi Ishikawa, Yuji Yamakawa: Networked high-speed vision for evasive maneuver assist, ICT Express, Vol.3, Issue4, pp.178-182 (2017)
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Planning of Knotting Based on Manipulation Skills with Consideration of Robot Mechanism/Motion and Its Realization by a Robot Hand System, symmetry, Vol.9, No.9, Article No.194 (2017)
- Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Analysis of sliding behavior of a biped robot in centroid acceleration space, Robotica, Vol.35, Issue3, pp.636-653 (2017)
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Simplified deformation model and shape generation of a rhythmic gymnastics ribbon using a high-speed multi-jointed manipulator, Mechanical Engineering Journal, Vol.3, No.6, pp.15-00510 (2016)
- Taku Senoo, Masanori Koike, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa: Impedance Control Design Based on Plastic Deformation for a Robotic Arm, IEEE Robotics and Automation Letters, Vol.2, No.1, pp.209-216 (2017)
- Shouren Huang, Niklas Bergström, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Applying High-Speed Vision Sensing to an Industrial Robot for High-Performance Position Regulation under Uncertainties, Sensors, Vol.16, No.8:1195, pp.1-15 (2016)
- Hyuno Kim, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Visual encoder: robust and precise measurement method of rotation angle via high-speed RGB vision, Optics Express, Vol.24, Issue 12, pp.13375-13386 (2016)
- Hiroaki Hasegawa, Yosuke Suzuki, Aiguo Ming, Keisuke Koyama, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Net-Structure Proximity Sensor: High-Speed and Free-Form Sensor With Analog Computing Circuit, IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, Vol.20, No.6, pp.3232-3241 (2015)

- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Analysis and Realization of Card Flicking Manipulation Using a High-speed Robot Hand, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.12, Article No.130, pp.1-12 (2015)
- Shouren Huang, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: A Pre-compensation Fuzzy Logic Algorithm Designed for the Dynamic Compensation Robotic System, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.12, No.3, pp.1-12 (2015)
- Shouren Huang, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic compensation by fusing a high-speed actuator and high-speed visual feedback with its application to fast peg-and-hole alignment, Advanced Robotics, Vol.28, No.9, pp.613-624 (2014)
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic High-speed Knotting of a Rope by a Manipulator, International Journal of Advanced Robotic Systems, Vol.10, Article No.361, pp.1-12 (2013)
- Ichiro Miyamoto, Yosuke Suzuki, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Basic Study of Touchless Human Interface Using Net Structure Proximity Sensors, J. Robotics and Mechatronics Vol.25, No.3, pp.553-558 (2013)
- Hiroaki Hasegawa, Yosuke Suzuki, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Robot Hand Whose Fingertip Covered with Net-Shape Proximity Sensor -Moving Object Tracking Using Proximity Sensing-, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.23, No.3, pp.328-337 (2011)
- Masatoshi Ishikawa: Is There Real Fusion between Sensing and Network Technology? - What are the Problems? (Invited Paper), IEICE Transactions on Communications, Vol.E93-B, No.11, pp.2855-2858 (2010)
- Makoto Shimojo, Takuma Araki, Aigou Ming, and Masatoshi Ishikawa: A High-Speed Mesh of Tactile Sensors Fitting Arbitrary Surfaces, IEEE SENSORS JOURNAL, Vol.10, No.4, pp.822-830 (2010)
- Seiichi Teshigawara, Kenjiro Tadakuma, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: High Speed and High Sensitivity Slip Sensor Utilizing Characteristics of Conductive Rubber Relationship Between Shear Deformation of Conductive Rubber and Resistance Change, J. Robotics and Mechatronics Vol.21 No.2, pp.200-208 (2009)
- Alvaro Cassinelli, Stephane Perrin, and Masatoshi Ishikawa: Smart Laser-Scanner for 3D Human-Machine Interface, ACM SIGCHI 2005 (Portland, 4.2-7)
- Naoko Ogawa, Yutaka Sakaguchi, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Adaptive Acquisition of Dynamics Matching in Sensory-Motor Fusion System, Electronics and Communications in Japan (Part III: Fundamental Electronic Science), Vol.89, No.7, pp.19-30 (2006)
- Mitsuru Higashimori , Makoto Kaneko, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Design of the 100G capturing robot based on dynamic preshaping, International Journal of Robotics Research, Vol.24, No.9, pp.743-753 (2005)
- Makoto Shimojo, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, Ryota Makino, and Kunihiko Mabuchi: A Tactile Sensor Sheet Using Pressure Conductive Rubber With Electrical-Wires Stitched Method, IEEE SENSORS JOURNAL, Vol.4, No.5, pp.589-596 (2004) [Most Cited from All Time by April 2014 (No.8)], [25 Most Accessed Articles - April 2012 (No.15), June 2012 (No.10), and April 2014 (No.22)], [50 Most Accessed Articles - September 2014 (No.37), October 2014 (No.10), September 2016 (No.49), October 2016 (No.21)]
- Makoto Kaneko, Mitsuru Higashimori, Reika Takenaka, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: The 100G Capturing Robot -- Too fast to see, IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, Vol.8, No.1, pp.37-44 (2003)
- Yoshihiro Nakabo, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: Moment feature-based 3-D tracking, Advanced Robotics, vol.17, no.10, pp.1041-1056 (2003)
- Akio Namiki, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Hierarchical Control Architecture for High-speed Visual Servoing, The International Journal of Robotics Research, vol.22, no.10, pp.873-888 (2003)
- Akio Namiki, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: High-speed sensory-motor fusion for robotic grasping, Measurement Science and Technology, Vol.13, No.11, pp.1767-1778 (2002)
- Akio Namiki, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: High Speed Sensory-Motor Fusion Based on Dynamics Matching, Proceedings of the IEEE, Vol.90, No.7, pp.1178-1187 (2002)
- Akio Namiki, Yoshihiro Nakabo, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: 1ms Sensory-Motor Fusion System, IEEE Transactions On Mechatoronics, Vol.5, No.3, pp.244-252 (2000)
- Toshiharu Mukai, and Masatoshi Ishikawa: An Active Sensing Method Using Estimated Errors for Multisensor Fusion Systems, IEEE Trans. IES, Vol.43, No.3, pp.380-386 (1996)
- Toshihiro Aono, and Masatoshi Ishikawa: Auditory-Visual Fusion Using Multi-Input Hidden Markov Model, Robotics, Mechatronics and Manufacturing Systems (T.Takamori and K.Tsuchiya Eds.), pp.177-184, Elsevier (1993)
- Haruyoshi Toyoda, Naohisa Mukohzaka, Yoshiji Suzuki, and Masatoshi Ishikawa: Adaptive optical processing system with optical associative memory, Appl. Opt., Vol.32, No.8, pp.1354-1358 (1993)
- Masatoshi Ishikawa: Active Sensor System Using Parallel Processing Circuits, J. Robotics and Mechatronics, Vol.5, No.1, pp.31-37 (1993)
- Masatoshi Ishikawa: The Sensor Fusion System Mechanisms for Integration of Sensory Information, Advanced Robotics, Vol.6, No.3, pp.335-344 (1992)
- Masatoshi Ishikawa: Parallel Processing for Sensory Information, Electronics and Communications in Japan, Part 2, Vol.75, No.2, pp.28-43 (1992)
- Akio Utsugi, and Masatoshi Ishikawa: Learning of Linear Associative Mapping by Latticed Network Circuits, Systems and Computers in Japan, Vol.22, No.2, pp.56-65 (1991)
- Akio Utsugi, and Masatoshi Ishikawa: Construction of Inner Space Representation of Latticed Network Circuits by Learning, Neural Networks, Vol.4, pp.81-87 (1991)
- Makoto Shimojo, and Masatoshi Ishikawa: Thin and Flexible Position Sensor, J. Robo. Mech., Vol.2, No.1, pp.38-41 (1990)

本／Books

- Shouren Huang, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Compensation Framework to Improve the Autonomy of Industrial Robots, Industrial Robotics-New Paradigms, IntechOpen, pp.1-19 (2019)
- Yuji Yamakawa, Shouren Huang, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Toward Dynamic Manipulation of Flexible Objects by High-Speed Robot System: From Static to Dynamic, Dynamic Modelling and Control of Robotic Interaction, IntechOpen, pp.1-21 (2019)
- Akio Namiki, Taku Senoo, Satoru Mizusawa and Masatoshi Ishikawa: High-speed Visual Feedback Control for Grasping and Manipulation, Visual Servoing via Advanced Numerical Methods (G. Chesi and K. Hashimoto Eds.), pp.39-53, Springer (2010)
- Taku Senoo, Akio Namiki and Masatoshi Ishikawa: Ball Control in High-speed Throwing Motion Based on Kinetic Chain Approach, Robotics 2010 Current and Future Challenges (H. Abdellatif Ed.), pp.109-122, INTECH (2010)
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa and Makoto Shimojo: Knotting a Flexible Rope using a High-speed Multifingered Hand System based on Synthesis of Knotting Manipulation Skills, Robotics 2010 Current and Future Challenges (H. Abdellatif Ed.), pp.149-166, INTECH (2010)
- Satoru Mizusawa, Akio Namiki, Taku Senoo and Masatoshi Ishikawa: Tweezers Type Tool Manipulation by a Multifingered Hand Using a High-speed Visual Servoing, Cutting Edge Robotics 2010 (Vedran Kordic Ed.), pp.395-410, INTECH (2010)

- Koichi Hashimoto, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Visuomotor Architecture for High-Speed Robot Control, Control and Modeling of Complex Systems (Koichi Hashimoto, Yasuaki Oishi and Yutaka Yamamoto Eds.), pp.323-337, Birkhauser (2002.9)
- Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Vision-Based Online Trajectory Generation and Its Application to Catching, Control Problems in Robotics (A.Bicchi, H.I.Christensen, and D. Prattichizzo Eds.), pp.249-264, Springer (2002)
- Masatoshi Ishikawa, Takashi Komuro, Akio Namiki, and Idaku Ishii: 1ms Sensory-Motor Fusion System, Robotics Research (J.M.Hollerbach and D.E.Koditschek eds.), pp.359-364, Springer (2000.6)
- Masatoshi Ishikawa: Sensor Fusion : The State of the Art, Intelligent Sensors (ed. Hiro Yamasaki), Elsevier, pp.273-283 (1996)
- Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Tactile Systems, Intelligent Sensors (ed. Hiro Yamasaki), Elsevier, pp.165-176 (1996)
- Toshihiro Aono, and Masatoshi Ishikawa: Auditory-Visual Fusion Using Multi-Input Hidden Markov Model, Robotics, Mechatronics and Manufacturing Systems (T.Takamori and K.Tsuchiya Eds.), pp.177-184, Elsevier (1993)

解説論文／Review Papers

- Taku Senoo, Yuji Yamakawa, Shouren Huang, Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Yoshihiro Watanabe, Leo Miyashita, Masahiro Hirano, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Intelligent Systems Based on High-Speed Vision, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31, No.1, pp.45-56 (2019)
- Taku Senoo, Yuji Yamakawa, Yoshihiro Watanabe, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Vision and its Application Systems, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.26, No.3, pp.287-301 (2014)
- Masatoshi Ishikawa, Takashi Komuro, Yoshihiro Nakabo, and Akio Namiki: The 1ms-Vision System and Its Application Examples, Workshop: Innovative Sensory-Motor Fusion Opens a New Robotic World (Organizers : Masatoshi Ishikawa, Makoto Kaneko), 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation, (Washington D.C. 2002.5.11)
- Makoto Kaneko, Toshio Tsuji, and Masatoshi Ishikawa: Design of Capturing System with 100G, Workshop: Innovative Sensory-Motor Fusion Opens a New Robotic World (Organizers: Masatoshi Ishikawa, Makoto Kaneko), 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Washington D.C. 2002.5.11)
- Masatoshi Ishikawa: Robot Sensors with Parallel Processing Capabilities, International Journal of the Japan Society for Precision Engineering, Vol.29, No.3, pp.201-204 (1995)
- Masatoshi Ishikawa: Sensor Fusion, The State of the Art, J. Robotics and Mechatronics, Vol.2, No.4, pp.235-244 (1991)
- Masatoshi Ishikawa: Optical Neurocomputing - Optical Associative Memory with Learning Capabilities -, Now and Future, Vol.5, 1990-1, pp.4-6 (1990)
- M.Ishikawa: Tactile Sensors in Robotics, Now and Future, Vol.4, No.3, pp.11-12 (1988)

招待講演／Invited Talks and Tutorials

- Masatoshi Ishikawa: High-speed Robots Based on High-speed Visual Feedback, Workshop on Agile Robotics, 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2024) (Yokohama, 2024.5.13)
- Taku Senoo: High-speed Sensory Feedback Control for Dexterous Robotic Limbs, Asia Pacific Society for Computing and Information Technology 2019 (APSCIT 2019) (Sapporo, 2019.7.27)/Proceedings, No.101, Abstract ID: 10
- Keisuke Koyama: High-Speed High-Precision Proximity Sensor for Detection of Tilt, Distance and Contact, International Conference on Soft Computing and Machine Learning (SCML2019) (Wuhan, 2019.4.28)/SCML 2019 Abstract Collection, pp.17-18
- Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Robotic Handling and Running Based on Sensory-Motor Integration, International Conference on Soft Computing and Machine Learning (SCML2019) (Wuhan, 2019.4.28)/SCML 2019 Abstract Collection, p.17
- Keisuke Koyama: Reactive Control for High-Speed Grasping Using Optical Proximity Sensors, 1st Workshop on Proximity Perception in Robotics, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2018) (Madrid, 2018.10.1)

学会発表／Proceedings

- Zhiqiang Hu, Shouren Huang, and Masatoshi Ishikawa: UAV Video Deblurring via Motion-Aware Diffusion: A Path to Robust Target Detection, 2025 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2025) (Hangzhou, 2025.10.21)/Proceedings, pp.3511-3518
- Chunxin Yang, Shouren Huang, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Design of a Robotic Assistance System for Individuals with Disabilities based on a Wearable 2D/3D Gaze Control Interface, 2025 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS2025) (Beijing, 2025.10.18)/Proceedings, pp.662-668
- Yuki Kawawaki, Shouren Huang, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Rotational Control of Human Elbow Joint by Electrical Stimulation Based on High-Speed Visual Feedback, 2025 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS2025) (Beijing, 2025.10.17)/Proceedings, pp.31-36 [Best Cyborg Award Finalist]
- Zhiqiang Hu, Tao Yu, Shouren Huang, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic SpectraFormer for Ultra-High-Definition Underwater Image Enhancement, 2024 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2024) (Abu Dhabi, 2024.10.17)/Proceedings, pp.8633-8640
- Sune Lundø Sørensen, Shouren Huang, Yongpeng Cao, and Mikkel Baun Kjærgaard: Perceptual Anchoring for Gaze-tracking Wearables and Robot-mounted Sensors, 2024 21st International Conference on Ubiquitous Robots (UR2024) (New York, 2024.6.25)/Proceedings, pp.71-76
- Shouren Huang, Yongpeng Cao, Kenichi Murakami, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Human-Robot Interaction and Collaboration Utilizing Voluntary Bimanual Coordination, The 2023 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2023) (Honolulu, 2023.10.2)/Proceedings, pp.1044-1051
- Shouren Huang, Sune Lundø Sørensen, and Yongpeng Cao: Robotic Assistance to Reconnect the Daily Life Interactions for Sensing, Locomotion and Manipulation from Paralysis, 32nd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2023), Robot Design Competitions, (Busan, 2023.8.30)
- Shouren Huang, Sune Lundø Sørensen, Yongpeng Cao, Masatoshi Ishikawa, Mikkel Baun Kjærgaard, and Yuji Yamakawa: Robotic Assistance for Extended Sensing, Locomotion and Manipulation by Gaze Control, 32nd IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2023) (Busan, 2023.8.29)/TuPO.02

- Taku Senoo, Atsushi Konno, Yunzhuo Wang, Masahiro Hirano, Norimasa Kishi, and Masatoshi Ishikawa: Automotive Tracking with High-speed Stereo Vision Based on a Spatiotemporal Shared Filter, the 2022 26th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC2022) (Sinaia, 2022.10.21)/Proceedings, pp.613-618
- Hiromichi Kawahara, Taku Senoo, Idaku Ishii, Masahiro Hirano, Norimasa Kishi, and Masatoshi Ishikawa: High-speed tracking for overlapped vehicles using Instance Segmentation and contour deformation, 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2022) (Narvik, 2022.1.11 [online])/Proceedings, pp.730-735
- Mamoru Oka, Kenichi Murakami, Shouren Huang, Hirofumi Sumi, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: High-speed Manipulation of Continuous Spreading and Aligning a Suspended Towel-like Object, 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2022) (Narvik, 2022.1.10 [online])/Proceedings, pp.7-12
- Masahiro Hirano, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, Norimasa Kishi, Masatoshi Ishikawa: Multiple Scale Aggregation with Patch Multiplexing for High-speed Inter-vehicle Distance Estimation, 32nd IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV21) (Nagoya, 2021.7.12 [online])/Proceedings, pp.1436-1443
- Shouren Huang, Keisuke Koyama, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Human-Robot Collaboration with Force Feedback Utilizing Bimanual Coordination, 2021 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI2021) (Boulder, 2021.3.11 [online])/Proceedings, pp.234-238
- Satoshi Tanaka, Keisuke Koyama, Taku Senoo, Makoto Shimojo, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Hitting Grasping with Magripper, a Highly Backdrivable Gripper using Magnetic Gear and Plastic Deformation Control, 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2020) (Las Vegas, 2020.10.25 [online])/Proceedings, pp.9137-9143 [IEEE Robotics and Automation Society Japan Joint Chapter Young Award]
- Ryosuke Higo, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic In-Hand Regrasping Using a High-Speed Robot Hand and High-Speed Vision, 1st Virtual IFAC World Congress (IFAC-V2020) (Berlin, 2020.7.13 [online])/Proceedings, pp.985:1-985:6
- Fumiya Shimada, Kenichi Murakami, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa, Bolt loosening detection using multi-purpose robot hand, The 2020 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2020) (Boston, 2020.7.9 [online])/Proceedings, pp.1860-1866
- Kenichi Murakami, Koki Ishimoto, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Robot Hand Interaction Using Plastic Deformation Control with Inner Position Loop, The 2020 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2020) (Boston, 2020.7.9 [online])/Proceedings, pp.1748-1753
- Satoshi Tanaka, Keisuke Koyama, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Adaptive Visual Shock Absorber with Visual-based Maxwell Model Using Magnetic Gear, 2020 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2020) (Paris, 2020.6.2 [online])/Proceedings, pp.6163-6168
- Hyuno Kim, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Robust hand tracking method by synchronized high-speed cameras with orthogonal geometry, 2020 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS2020) (Kuala Lumpur, 2020.3.20 [online])/Proceedings, pp.1-5
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, and Masatoshi Ishikawa: Deep Learning Approach to Face Pose Estimation for High-Speed Camera Network System, IEEE The 2nd International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIC2020) (Fukuoka, 2020.2.19)/Proceedings, pp.84-88
- Satoshi Tanaka, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Non-stop Handover of Parcel to Airborne UAV Based on High-speed Visual Object Tracking, 19th International Conference on Advanced Robotics (ICAR) (Belo Horizonte, 2019.12.3)/Proceedings, Tu1T2.1, pp.414-419
- Satoshi Tanaka, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-speed UAV Delivery System with Non-stop Parcel Handover Using High-speed Visual Control, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC2019) (Auckland, 2019.10.30)/Proceedings, pp.4449-4455
- Shouren Huang, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Human-Robot Interaction and Collaborative Manipulation with Multimodal Perception Interface for Human, the 7th annual International Conference on Human-Agent Interaction (HAI2019) (Kyoto, 2019.10.9)/Proceedings, pp.289-291
- Yukihisa Karako, Shinji Kawakami, Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Ring Insertion by Dynamic Observable Contact Hand, 2019 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2019) (Montreal, 2019.5.20)/Proceedings, pp.2744-2750
- Keisuke Koyama, Kenichi Murakami, Taku Senoo, Makoto Shimojo, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed, Small-Deformation Catching of Soft Objects Based on Active Vision and Proximity Sensing, 2019 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2019) (Montreal, 2019.5.20)/Proceedings, pp.578-585
- Hyuno Kim, Ryo Ito, Seohyun Lee, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Simulation of Face Pose Tracking System using Adaptive Vision Switching, 2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS2019) (Sophia Antipolis, 2019.3.11)/Proceedings, pp.1-6
- Yuji Yamakawa, Yutaro Matsui, and Masatoshi Ishikawa: Development and Analysis of a High-speed Human-Robot Collaborative System and its Application, 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2018)(Kuala Lumpur, 2018.12.15)/Proceedings, pp.2415-2420
- Kenichi Murakami, Shouren Huang, Hirofumi Sumi, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Towel-Like Object Alignment with Human-Robot Cooperation and High-Speed Robotic Manipulation, 2018 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2018) (Kuala Lumpur, 2018.12.13)/Proceedings, pp.772-777
- Taku Senoo, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa: Robotic Physical Interaction Using Deformation Control Based on the Zener Model, 2018 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS2018) (Shenzhen, 2018.10.27)/Proceedings, pp.445-448
- Shouren Huang, Kenichi Murakami, Takanori Akiyama, Sho Tatsuno, Tomohiko Hayakawa, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Experimental Study on Set-Point Regulation of Human Elbow Joint by Electric Stimulation Under Various Visual Feedback Rate, 2018 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS2018) (Shenzhen, 2018.10.27)/Proceedings, pp.430-434
- Yuji Yamakawa, Yutaro Matsui, and Masatoshi Ishikawa: Human-Robot Collaborative Manipulation Using a High-speed Robot Hand and a High-speed Camera, 2018 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (CBS2018) (Shenzhen, 2018.10.27)/Proceedings, pp.426-429
- Shouren Huang, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: An Active Assistant Robotic System based on High-Speed Vision and Haptic Feedback for Human-Robot Collaboration, The 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2018) (Washington DC, 2018.10.22)/Proceedings, pp.3649-3654
- Osamu Kojima, Shouren Huang, Kenichi Murakami, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Human-robot interaction system for micromanipulation assistance, The 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON2018) (Washington DC, 2018.10.22)/Proceedings, pp.3256-3261
- Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Dynamical Robotic Interaction Using High-speed Visual Feedback and High-speed Robot Hand, Workshop on Human-Robot Cooperation and Collaboration in Manipulation: Advancements and Challenges, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2018) (Madrid, 2018.10.5)
- Shouren Huang, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Human-Robot Collaboration with Robotic Assistance Confined to Local Motion to Assure Human Safety, Workshop on Human-Robot Cooperation and Collaboration in Manipulation: Advancements and Challenges, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2018) (Madrid, 2018.10.5)
- Ryosuke Higo, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Rubik's Cube Handling Using a High-Speed Multi-Fingered Hand and a High-Speed Vision System, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2018) (Madrid, 2018.10.4)/Proceedings, pp.6609-6614

- Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed High-Precision Proximity Sensor for Detection of Tilt, Distance, and Contact, 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2018) (Madrid, 2018.10.3)/Proceedings, pp.3224-3231
- Shouren Huang, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Human-Robot Collaboration based on Dynamic Compensation: from Micro-manipulation to Macro-manipulation, 27th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2018) (Nanjing, 2018.8.28)/Proceedings, pp.603-604
- Hyuno Kim, Masatoshi Ishikawa, and Yuji Yamakawa: Reference Broadcast Frame Synchronization for Distributed High-speed Camera Network, 2018 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS2018) (Seoul, 2018.3.14)/Proceedings, pp.389-393
- Kenta Kajihara, Shouren Huang, Niklas Bergström, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Tracking of Trajectory with Dynamic Deformation Based on Dynamic Compensation Concept, 2017 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2017) (Macau, 2017.12.8)/Proceedings, pp.1979-1984
- Yutaro Matsui, Akihito Noda, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Development of a high-speed sensor network system with multiple sensors using simultaneous clock synchronizations, SICE Annual Conference 2017 (SICE2017) (Kanazawa, 2017.9.22)/Proceedings, pp.1595-1596
- Kenichi Murakami, Lihui Wang, Tomohiko Hayakawa, Taku Senoo, Masatoshi Ishikawa: Catching Robot Hand System in Dynamic Depth Variation with a Rotating Variable Focusing Unit, OSA Frontiers in Optics 2017 (FiO2017) (Washington D.C., 2017.9.19)/Proceedings Frontiers in Optics 2017, JTu2A.52
- Koichiro Ito, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Winding Manipulator Based on High-speed Visual Feedback Control, 2017 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA) (Hawaii, 2017.8.28)/Proceedings, pp.474-480
- Taku Senoo, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa: Deformable Robot Behavior based on the Standard Linear Solid Model, 2017 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA) (Hawaii, 2017.8.28)/Proceedings, pp.746-751
- Yutaro Matsui, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Cooperative Operation between a Human and a Robot based on Real-Time Measurement of Location and Posture of Target Object by High-speed Vision, 2017 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA) (Hawaii, 2017.8.28)/Proceedings, pp.457-462
- Niklas Bergström, Yuji Yamakawa, Shouren Huang, and Masatoshi Ishikawa: Accurate High-Speed 3D Reconstruction Using an Array of Networked Cameras, The 7th Annual IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems (IEEE-CYBER2017) (Hawaii, 2017.8.3)/Proceedings, pp.1572-1575
- Shouren Huang, Niklas Bergström, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Robotic Contour Tracing with High-Speed Vision and Force-Torque Sensing based on Dynamic Compensation Scheme, The 20th World Congress of the International Federation of Automatic Control(IFAC2017) (Toulouse, 2017.7.11)/Proceedings, pp.4702-4708
- Hiroshi Sato, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Development of a High-speed, High-accuracy Robot Hand for Micromanipulation, 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2016) (Qingdao, 2016.12.6)/Proceedings, pp.1535-1541
- Masanori Koike, Taku Senoo, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa: Plastic Deformation Control Based on Time-varying Impedance Adjustment, 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2016) (Qingdao, 2016.12.4)/Proceedings, pp.106-111
- Yuji Yamakawa, Yuki Ataka, and Masatoshi Ishikawa: Development of a Brachiation Robot with Hook-shaped End Effectors and Realization of Brachiation Motion with a Simple Strategy, 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2016) (Qingdao, 2016.12.4)/Proceedings, pp.737-742
- Taku Senoo, Yuuki Horiuchi, Yoshinobu Nakanishi, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa: Robotic Pitching by Rolling Ball on Fingers for a Randomly Located Target, 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2016) (Qingdao, 2016.12.4)/Proceedings, pp.325-330 [T. J. Tarn Best Paper in Robotics Award]
- Niklas Bergström, Shouren Huang, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Towards Assistive Human-Robot Micro Manipulation, 2016 IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids2016) (Cancun, 2016.11.17)/Proceedings, pp.1188-1195
- Wataru Tooyama, Shouren Huang, Kenichi Murakami, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Development of an Assistive System for Position Control of a Human Hand with High Speed and High Accuracy, 2016 IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids2016) (Cancun, 2016.11.16)/Proceedings, pp.230-235
- Shouren Huang, Niklas Bergström, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Visual Feedback for Realizing High-Performance Robotic Manipulation, The 31st International Congress on High-Speed Imaging and Photonics (ICHSIP-31) (Osaka, 2016.11.10)/Proceedings, pp.706-711
- Yuji Yamakawa, Akihito Noda, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Integration of High-speed Visual and Tactile Sensors with Synchronization in a Sensor Network System, IEEE SENSORS 2016 (Orlando, 2016.11.2)/Proceedings, pp.1703-1705
- Kenichi Murakami, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Rolling Manipulation for Throwing Breaking Balls by Changing Grasping Forms, 2016 IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS CONFERENCE (IECON2016) (Florence, 2016.10.26)/Proceedings, pp.791-796
- Taku Senoo, Gaku Jinnai, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa: Deformation Control of a Multijoint Manipulator Based on Maxwell and Voigt Models, 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2016) (Daejeon, 2016.10.12)/Proceedings, pp.2711-2716
- Koichiro Ito, Tomohiro Sueishi, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Tracking and Recognition of a Human Hand in Dynamic Motion for Janken (rock-paper-scissors) Robot, 2016 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE2016) (Fort Worth, 2016.8.24)/Proceedings, pp.891-896
- Yuji Yamakawa, Kazunori Odani, and Masatoshi Ishikawa: Sonic-speed Manipulation of a Bull Whip Using a Robot Manipulator, 2016 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2016) (Banff, Alberta, 2016.7.13)/Proceedings, pp.1139-1144
- Hyuno Kim, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Distributed Camera Network Based on Message Passing Interface, 2016 19th International Conference on Information Fusion (FUSION2016) (Heidelberg, 2016.7.8)/Proceedings, pp.1768-1773
- Shouren Huang, Niklas Bergström, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-Performance Robotic Contour Tracking based on the Dynamic Compensation Concept, 2016 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2016) (Stockholm, 2016.5.18)/Proceedings, pp.3886-3893
- Kenichi Murakami, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Motion Planning for Catching a Light-weight Ball with High-speed Visual Feedback, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2015) (Zhuhai, 2015.12.7)/Proceedings, pp.339-344 [Finalist of Best Student Paper Award]
- Masanori Koike, Kenichi Murakami, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Visual Shock Absorber Based on Plastic Deformation Control, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2015) (Zhuhai, 2015.12.7)/Proceedings, pp.656-661
- Yugo Katsuki, Yuji Yamakawa, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: High-speed Sensing of Softness during Grasping Process by Robot Hand Equipped with Tactile Sensor, IEEE SENSORS 2015 (Busan, 2015.11.4)/Proceedings, pp.1693-1696
- Shouren Huang, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Robotic Needle Threading Manipulation based on High-Speed Motion Strategy using High-Speed Visual Feedback, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015) (Hamburg, 2015.9.30)/Proceedings, pp.4041-4046

- Yugo Katsuki, Yuji Yamakawa, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Development of Fast-Response Master-Slave System Using High-speed Non-contact 3D Sensing and High-speed Robot Hand, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015) (Hamburg, 2015.9.29)/Proceedings, pp.1236-1241
- Taku Senoo, Masanori Koike, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa: Visual Shock Absorber Based on Maxwell Model for Anti-Rebound Control, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015) (Hamburg, 2015.9.29)/Proceedings, pp.1640-1645
- Hyuno Kim, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Robotic Manipulation of Rotating Object via Twisted Thread Using High-Speed Visual Sensing and Feedback, 2015 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI2015) (San Diego, 2015.9.16)/Proceedings, pp.265-270
- Shouren Huang, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Realizing 1D Robotic Catching Without Prediction Based on Dynamic Compensation Concept, 2015 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2015) (Busan, 2015.7.10)/Proceedings, pp.1629-1634
- Yuji Yamakawa, Kazuki Kuno, and Masatoshi Ishikawa: Human-Robot Cooperative Task Realization Using High-speed Robot Hand System, 2015 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2015) (Busan, 2015.7.8)/Proceedings, pp.281-286
- Chris Raabe, Niklas Bergström, Emad Saad, John Vian, Masatoshi Ishikawa, and Shinji Suzuki: Robust Autonomous Navigation in a Factory Environment, International Conference on Aeronautical, Robotics and Manufacturing Engineering (ARME2015) (Bangkok, 2015.6.15)/Proceedings, pp.72-79
- Niklas Bergström, Chris Raabe, Kenjiro Saito, Emad Saad, and John Vian: Sensitivity Study for Feature-Based Monocular 3D SLAM, 2015 IEEE Aerospace Conference (Montana, 2015.3.9)/Proceedings, pp.1-14
- Yugo Katsuki, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Human/Robot Hand Interaction System --Rock-Paper-Scissors Robot System with 100% Winning Rate, 2015 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI) (Portland, 2015.3.4)/Proceedings, pp.117-118
- Yugo Katsuki, Yuji Yamakawa, Yoshihiro Watanabe, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Super-Low-Latency Telemanipulation Using High-Speed Vision and High-Speed Multifingered Robot Hand, 2015 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI) (Portland, 2015.3.3)/Proceedings, pp.45-46
- Yuji Yamakawa, Kazuki Kuno, and Masatoshi Ishikawa: Throwing and Shooting Manipulations of Playing Cards using a High-Speed Multifingered Hand and a Vision System, 2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids2014)/Proceedings, pp.92-98
- Tomoki Tamada, Wataru Ikarashi, Daiki Yoneyama, Kazuhito Tanaka, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Bipedal Robot Running Using High-speed Visual Feedback, 2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids2014)/Proceedings, pp.140-145
- Akihito Noda, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Target Tracking Behind Occlusions Using a Networked High-Speed Vision System, IEEE SENSORS 2014 (Valencia, 2014.11.5)/Proceedings, pp.2018-2021
- Akihito Noda, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Frame Synchronization for Networked High-Speed Vision Systems, IEEE SENSORS 2014 (Valencia, 2014.11.3)/Proceedings, pp.269-272
- Chris Raabe, Niklas Bergström, Emad Saad, John Vian, Masatoshi Ishikawa, and Shinji Suzuki: Efficient Alignment of Position Measurements with Differing Reference Frames, Asia-Pacific International Symposium on Aerospace Technology (APISAT2014) (2014.9.)
- Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Planar Sliding Analysis of a Biped Robot in Centroid Acceleration Space, 2014 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (Chicago, 2014.9.17)/Proceedings, pp.4050-4056
- Masahiro Hirano, Akihito Noda, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Collision Avoidance of Intelligent Vehicle based on Networked High-speed Vision System, 11th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (ICINCO2014) (Vienna, 2014.9.1)/Proceedings, Vol.2, pp.539-544
- Hyuno Kim, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Manipulation Model of Thread-Rotor Object by a Robotic Hand for High-speed Visual Feedback Control, 2014 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2014) (2014.7.9)/Proceedings, pp.924-930
- Akihito Noda, Masahiro Hirano, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: A Networked High-Speed Vision System for Vehicle Tracking, 2014 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS2014) (Queenstown, 2014.2.20)/Proceedings, pp.343-348
- Akihito Noda, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Object Tracking Across Multiple Networked Cameras, 2013 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2013) (Kobe, 2013.12.17)/Proceedings, pp.913-918
- Tomoki Tamada, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Manipulation of Cable Connector Using a High-Speed Robot Hand, 2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2013), (Shenzhen, 2013.12.14)/Proceedings, pp.1598-1604
- Yuji Yamakawa, Shisei Nakano, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Manipulation of a Thin Circular Flexible Object using a High-Speed Multifingered Hand and High-speed Vision, 2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2013), (Shenzhen, 2013.12.14)/Proceedings, pp.1851-1857
- Shouren Huang, Kenichi Murakami, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Fast Peg-and-Hole Alignment Using Visual Compliance, 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2013) (Tokyo, 2013.11.4)/Proceedings, pp.286-292
- Yuji Yamakawa, Yoshiyuki Tabata, Taku Senoo and Masatoshi Ishikawa: 3D Shape Reconstruction of an Object based on its Silhouette using a High-speed Vision, SICE Annual Conference 2013 (Nagoya, 2013.9.17)/Proceedings, pp.1966-1971
- Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Two-Dimensional Analysis of Dynamic Biped Locomotion Based on Feet Slip, 2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 013) (Wollongong, 2013.7.10)/Proceedings, pp.512-517
- Shouren Huang, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Realizing Peg-and-Hole Alignment with One Eye-in-Hand High-Speed Camera, 2013 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2013) (Wollongong, 2013.7.11)/Proceedings, pp.1127-1132
- Sha Ye, Kenji Suzuki, Yosuke Suzuki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Robust Robotic Grasping Using IR Net-Structure Proximity Sensor to Handle Objects with Unknown Position and Attitude, 2013 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA2013) (Karlsruhe, 2013.5.8)/Proceedings, pp.3256-3263
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Dexterous Manipulation of a Rhythmic Gymnastics Ribbon with Constant, High-Speed Motion of a High-Speed Manipulator, 2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2013) (Karlsruhe, 2013.5.7)/Proceedings, pp.1888-1893
- Niklas Bergström,Carl Henrik Ek, Danica Kragic, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: On-line learning of temporal state models for flexible objects, 2012 12TH IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids2012) (Osaka, 2012.12.1)/Proceedings, pp.712-718
- Masatoshi Ishikawa, Akio Namiki, Taku Senoo, and Yuji Yamakawa: Ultra High-speed Robot Based on 1 kHz Vision System, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012) (Vilamoura, 2012.10.11)/Proceedings, pp.5460-5461 [Best IROS Jubilee Video Award]
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Card Manipulation using a High-speed Robot System with High-speed Visual Feedback, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012) (Vilamoura, 2012.10.10)/Proceedings, pp.4762-4767

- Taku Senoo, Mitsuhiro Takano, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Horizontal Movement of a Bipedal Robot Using Frictional Asymmetry, 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012) (Vilamoura, 2012.10.9)/Proceedings, pp.1834-1839
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Simple Model and Deformation Control of a Flexible Rope using Constant, High-Speed Motion of a Robot Arm, 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2012) (St. Paul, 2012.5.16)/Proceedings, pp.2249-2254
- Kenichi Murakami, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Catching Based on Inverse Motion Approach, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011) (Phuket, 2011.12.9)/Proceedings, pp.1308-1313
- Taku Senoo, Daiki Yoneyama, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Tweezers Manipulation Using High-speed Visual Servoing Based on Contact Analysis, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2011) (Phuket, 2011.12.9)/Proceedings, pp.1936-1941
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Manipulation of a Cloth by High-speed Robot System using High-speed Visual Feedback, the 18th IFAC World Congress (Milano, 2011.8.31)/Proceedings, pp.8076-8081
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Motion Planning for Dynamic Folding of a Cloth with Two High-speed Robot Hands and Two High-speed Sliders, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2011) (Shanghai, 2011.5.12)/Proceedings, pp.5486-5491
- Seiichi Teshigawara, Takahiro Tsutsumi, Satoru Shimizu, Yosuke Suzuki, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Highly Sensitive Sensor for Detection of Initial Slip and Its Application in a Multi-fingered Robot Hand, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2011) (Shanghai, 2011.5.10)/Proceedings, pp.1097-1102
- Masatoshi Ishikawa: Dynamic Information Space based on High-speed Sensor Technology, JST Open Café (Singapore, 2011.3.21)
- Masatoshi Ishikawa: Dynamic Information Space based on High-speed Sensor Technology, JST Workshop in conjunction with ISVRI 2011 (International Symposium on VR Innovation) (Singapore, 2011.3.20)
- Taku Senoo, Yuichi Tanno, and Masatoshi Ishikawa: Jumping Patterns Analysis for 1-DOF Two-legged Robot, 2010 11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV2010) (Singapore, 2010.12.8)/Proceedings, pp.603-608
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Motion Planning for Dynamic Knotting of a Flexible Rope with a High-speed Robot Arm, 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2010) (Taipei, 2010.10.19)/Proceedings, pp.49-54 [IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award]
- Taku Senoo, Daiki Yoneyama, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa: Tweezers-type Tool Manipulation By a High-speed Robot System, Workshop: Bridging Human Hand Research and the Development of Robotic Technology for Hands, IEEE BIOROB 2010 (Tokyo, 2010.9.26)
- Masatoshi Ishikawa: Dynamic Hand Manipulation Using High Speed Visual Feedback (Invited), Workshop on Bridging Human Hand Research and the Development of Robotic Technology for Hands, 2010 IEEE/RAS-EMBS Int. Conf. on Biomedical Robotics and Biomechanics (Tokyo, 2010.9.26)
- Kunihiko Mabuchi, Hirotaka Niiro, Masanari Kunimoto, Takafumi Suzuki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Development of a Wearable Sensory Prosthetic Device for Patients with Peripheral Neural Disturbances, 15th Annual Conf. of the Int. FES Society (IFESS2010)(Vienna, 2010.9.8-12) /Proceedings, pp.309-311
- Akio Namiki, Ryoya Sugano, Satoru Mizusawa, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: High Speed Dexterous Manipulation with High Speed Vision (Invited), 9th IFAC Symposium on Robot Control (SYROCO2009) (Gifu, 2009.9.11)/Proceedings, pp.529-534
- Masatoshi Ishikawa: High Speed Vision and Its Applications in Robotics (Invited), IEEE 1st Workshop on Computer Vision for Humanoid Robots in Real Environments (Kyoto, 2009.9.27)/ Invited Talk Abstracts, p.10
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: One-handed Knotting of a Linear Flexible Objectbased on Reconfigurable Skill Synthesis Strategy, ASME/IFToMM International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots (ReMAR2009) (London, 2009.6.23)/Proceedings, pp.486-493/Reconfigurable Mechanisms and Robots, pp.478-485
- Taku Senoo, Yuji Yamakawa, Satoru Mizusawa, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Skillful Manipulation Based on High-speed Sensory-Motor Fusion, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Kobe, 2009.5.15)/Proceedings, pp.1611-1612
- Masatoshi Ishikawa: High Speed Vision and its Applications in Robotics (Plenary), The 5th Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI2008) (Seoul, 2008.11.21)/Proceedings, p.23
- Taku Senoo, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Throwing Motion Based on Kinetic Chain Approach, 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (Nice, 2008.9.25)/Proceedings, pp.3206-3211
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Knotting Manipulation of a Flexible Rope by a Multifingered Hand System based on Skill Synthesis, 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (Nice, 2008.9.24)/Proceedings, pp.2691-2696
- Satoru Mizusawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Tweezers Type Tool Manipulation by a Multifingered Hand Using a High-Speed Visual Servoing, 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (Nice, 2008.9.24)/Proceedings, pp.2709-2714
- Seiichi Teshigawara, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Development of High Speed and High Sensitivity Slip Sensor, 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (Nice, 2008.9.23)/Proceedings, pp.47-52
- Daisuke Gunji, Yoshitomo Mizoguchi, Seiichi Teshigawara, Aiguo Ming, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Grasping Force Control of Multi-fingered Robot Hand based on Slip Detection Using Tractile Sensor, International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology 2008 (SICE Annual Conference 2008) (Tokyo, 2008.8.20)/Proceedings, pp.894-899
- Seiichi Teshigawara, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Study of High Speed and High Sensitivity Slip Sensor Characteristic of conductive material, International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology 2008 (SICE Annual Conference 2008) (Tokyo, 2008.8.20)/Proceedings, pp.900-903
- Makoto Shimojo, Takuma Araki, Masahiro Teranishi, Aigou Ming, and Masatoshi Ishikawa: A Net-Structure Tactile Sensor Covering Freeform Surface with Reduced Wiring, International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology 2008 (SICE Annual Conference 2008) (Tokyo, 2008.8.20)/Proceedings, pp.904-909
- Akio Namiki, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: Sensory-motor Integration for Dexterous High-speed Handling, International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology 2008 (SICE Annual Conference 2008) (Tokyo, 2008.8.22)/Proceedings, pp.3376-3379
- Daisuke Gunji, Yoshitomo Mizoguchi, Seiichi Teshigawara, Aiguo Ming, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Grasping Force Control of Multi-fingered Robot Hand based on Slip Detection Using Tactile Sensor, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2008) (Pasadena, 2008.5.23)/Conference Proceedings, pp. 2605-2610
- Makoto Shimojo, Takuma Araki, Seiichi Teshigawara, Aigou Ming, and Masatoshi Ishikawa: A Net-Structure Tactile Sensor Covering Free-form Surface and Ensuring High-Speed Response, 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (San Diego, 2007.10.30)/Proceedings, pp.670-675 [Best Paper Nomination Finalist]
- Yuji Yamakawa, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: One-handed Knotting of a Flexible Rope with a High-speed Multifingered Hand having Tactile Sensors, 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (San Diego, 2007.10.30)/Proceedings, pp.703-708

- Masatoshi Ishikawa: System Architecture for Dynamic Information Fusion: Dynamics Matching and Meta Perception(Plenary), The 10th International Conference on Information Fusion (FUSION2007) (Quebec, 2007.7.12)
- Sho Morikawa, Taku Senoo, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Realtime collision avoidance using a robot manipulator with light-weight small high-speed vision systems, 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2007) (Roma, 2007.4.11)/Proceedings, pp.794-799
- Masatoshi Ishikawa: Vision Chip and Its Applications for Robots (Invited), The 6th Taiwan-Japan Microelectronics Int. Symp. (Taiwan, 2006.11.1)/Proceedings, pp.1-13
- Akio Namiki, Taku Senoo, Noriatsu Furukawa, and Masatoshi Ishikawa: Visuomotor Integration in High-speed Manipulation System, SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (Busan, 2006.10.2)/Proceedings, pp.4192-4197
- Tatsuya Ishihara, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Dynamic Pen Spinning Using a High-speed Multifingered Hand with High-speed Tactile Sensor, 2006 IEEE RAS International Conference on Humanoid Robots (HUMANOIDS2006) (Genova, 2006.12.5)/Proceedings, pp.258-263
- Alvaro Cassinelli, Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Augmenting spatial awareness with Haptic Radar, Tenth International Symposium on Wearable Computers (ISWC2006) (Montreux, 2006.10.12)/Proceedings, pp.61-64
- Makoto Shimojo, Takuma Araki, Aigou Ming, and Masatoshi Ishikawa: A ZMP Sensor for a Biped Robot, 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2006) (Orlando, 2006.5.16)/pp.1200-1205
- Taku Senoo, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Ball Control in High-speed Batting Motion using Hybrid Trajectory Generator, 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2006) (Orlando, 2006.5.17)/pp.1762-1767
- Noriatsu Furukawa, Akio Namiki, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Regrasping Using a High-speed Multifingered Hand and a High-speed Vision System, 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2006) (Orlando, 2006.5.16)/pp.181-187 [Best Manipulation Paper Award]
- Daisuke Shiokata, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Robot Dribbling Using a High-Speed Multifingered Hand and a High-Speed Vision System, 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2005) (Alberta, 2005.8.5)/Proceedings, pp.3945-3950
- Dirk Ebert, Takashi Komuro, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Safe Human-Robot-Coexistence:Emergency-Stop Using a High-Speed Vision-Chip, 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2005) (Alberta, 2005.8.4)/Proceedings, pp.1821-1826
- Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: The Analysis of High-speed Catching with a Multifingered Robot Hand, 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2005) (Barcelona, 2005.4.20)/pp.2666-2671
- Mitsuru Higashimori, Hieyong Jeong, Idaku Ishii, Makoto Kaneko, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: A New Four-Fingered Robot Hand with Dual Turning Mechanism, 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2005) (Barcelona, 2005.4.20)/pp.2690-2695
- Alvaro Cassinelli, Stephane Perrin, and Masatoshi Ishikawa: Markerless Laser-Based Tracking for Real-Time 3D gesture Acquisition, ACM SIGGRAPH 2004 (Los Angeles, 2004.8.10-11)
- Akio Namiki, Yoshiro Imai, Makoto Kaneko, and Masatoshi Ishikawa: Development of a High-speed Multifingered Hand System, International Conference on Intelligent Manipulation and Grasping (Genoa, 2004.7.1)/pp.85-90
- Stephane Perrin, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Gesture Recognition Using Laser-based Tracking System, 6th International Conference on Automatic Face and Gesture (Seoul, 2004.5.18)/pp.541-546
- Taku Senoo, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Batting Using a Multi-Jointed Manipulator, 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2004) (New Orleans, 2004.4.28)/pp.1191-1196
- Yoshiro Imai, Akio Namiki, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Active Catching Using a High-speed Multifingered Hand and a High-speed Vision System, 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2004) (New Orleans, 2004.4.29)/pp.1849-1854 [Best Vision Paper Award Finalist]
- Akio Namiki, Yoshiro Imai, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Manipulation Using High-speed Multifingered Hand-Arm System - Grasping, Catching, and Batting -, 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2004) (New Orleans, 2004.4.26-5.1)/Video Proceedings, No.L
- Stephane Perrin, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Laser-Based Finger Tracking System Suitable for MOEMS Integration, Image and Vision Computing New Zealand 2003 (IVCNZ2003) (Palmerston North, 2003,11.26)/Proceedings, pp.131-136
- Akio Namiki, Yoshiro Imai, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Kaneko: Development of a High-speed Multifingered Hand System and Its Application to Catching, 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (Las Vegas, 2003.10.30)/pp.2666-2671 [PDF format]
- Makoto Kaneko, Mitsuru Higashimori, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa : The 100G Capturing Robot -Too Fast To See-, Proc. of 11th Int. Symp. on Robotics Research (Siena , 2003.10.22)/W.2A-2
- Stephane Perrin, and Masatoshi Ishikawa: Quantized Features for Gesture Recognition Using High Speed Vision Camera, SIBGRAPI 2003 (XVI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing) (Sao Carlos, SP, 2003.10.15)/pp.383-390
- Makoto Shimojo, Ryota Makino, Hironori Ogawa, Takafumi Suzuki, Akio Namiki, Takashi Saito, Masanari Kunimoto, Masatoshi Ishikawa, and Kunihiko Mabuchi: Development of a System for Experiencing Tactile Sensation from a Robot Hand by Electrically Stimulating Sensory Nerve Fiber, 6th Japan-France & 4th Asia-Europe Mechatronics Congress (Saitama, 2003.9.11)/pp.471-476 [Excellent Paper Award]
- Akio NAMIKI, Yoshiro IMAI, Masatoshi ISHIKAWA, Makoto KANEKO, Hiroshi KAMEDA, and Junji KOYAMA: Dynamic Catching Using a Ultra-High-Speed Multifingered Hand System, 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Taipei, 2003.9.17)/Video Proceedings, Abstracts & References, pp.28-29
- Akio NAMIKI, and Masatoshi ISHIKAWA: Robotic Catching Using a Direct Mapping from Visual Information to Motor Command, 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Taipei, 2003.9.17)/pp.2400-2405 [PDF format]
- Mitsuru Higashimori, Makoto Kaneko, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Preshaping for a Robot Driven by a Single Wire, 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Taipei, 2003.9.16)/pp.1115-1120
- Makoto Shimojo, Takafumi Suzuki, Akio NAMIKI, Takashi Saito, Masanari Kunimoto, Ryota Makino, Hironori Ogawa, Masatoshi ISHIKAWA, and Kunihiko Mabuchi: Development of a System for Experiencing Tactile Sensation from a Robot Hand by Electrically Stimulating Sensory Nerve Fiber, 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Taipei, 2003.9.16)/pp.1264-1270
- Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Vision-Based Online Trajectory Generation and Its Application to Catching, Second Joint CSS/RAS International Workshop on CONTROL PROBLEMS IN ROBOTICS AND AUTOMATION (Las Vegas, 2002.12.14)(Invited) [PDF format]
- Makoto Kaneko, Reika Takenaka, and Masatoshi Ishikawa: The Capturing Robot with Super High Acceleration, 8th Int. Symp. on Experimental Robotics (San't Angelo d'Ischia, 2002.8.9)/Experimental Robotics VIII
- Makoto Shimojo, Ryota Makino, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, Takafumi Suzuki, and Kunihiko Mabuchi: A Sheet Type Tactile Sensor using Pressure Conductive Rubber with Electrical-Wires Stitches Method, 2002 IEEE Sensors (Orlando, 2002.6.15)
- Makoto Shimojo, Ryota. Makino, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, Takafumi Suzuki, Kunihiko Mabuchi: A Sheet-Type Sensor Using Pressure-Conductive Rubber with Electrical-Wire Stitches Method (Invited), The 1st IEEE Int. Conf. on Sensors (Orland, 2002.6.13)/Proceedings, 23.2

- Makoto Kaneko, Toshio Tsuji, and Masatoshi Ishikawa: The Robot that can Capture a Moving Object in a Blink, 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Washington D.C., 2002.5.14)
- Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Sensory-Motor Fusion Architecture Based on High-Speed Sensory Feedback and Its Application to Grasping and Manipulation Proceedings of the 32nd International Symposium on Robotics (Soul, 2001.4.19)/pp.784-789 [PDF format]
- Masatoshi Ishikawa: How Can High Speed Vision Change Robotics World? (tutorial on "Sensing and Actuation toward 21st Century"), Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (Takamatsu, 2000.10.31)
- Hiromasa OKU, Idaku ISHII, and Masatoshi ISHIKAWA: Tracking a Protozoon Using High-Speed Visual Feedback, Proc. of 1st Annual Int. IEEE-EMBS Special Topic Conf. on Microtechnologies in Medicine & Biology (Lyon, 2000.10.12-14)/pp.156-159
- T.Suzuki, K.Mabuchi, M.Kunimoto, M.Shimojo, T.Saito, N.Kakuta, and M.Ishikawa: Development of a system for experiencing tactile sensation from an artificial arm by electrically stimulating sensory nerve fiber, European Medical & Biological Engineering Conf. (Vienna, 1999.11.7)/Proc., p.776
- K.Mabuchi, T.Suzuki, M.Kunimoto, M.Shimojo, N.Kakuta, T.Saito, H.Nishimura, N.Inami, and M.Ishikawa: A system of interpreting somatic sensations for use with artificial hands and limbs, The First Joint BMES/EMBS Conf. (Atlanta, 1999.10.13-16)/Proc.,p.643
- T.Suzuki, K.Mabuchi, H.Nishimura, T.Saito, N.Kakuta, M.Kunimoto, M.Shimojo, and M.Ishikawa: The electrical control of pressure sensations: the relationship between stimulation signals and subjective intensities and areas, The First Joint BMES/EMBS Conf. (Atlanta, 1999.10.13-16)/Proc., p.457
- Masatoshi Ishikawa, Takashi Komuro, Akio Namiki, and Idaku Ishii: 1ms Sensory-Motor Fusion System (Invited), Int. Symp. of Robotics Research (Snowbird, 1999.10.12)/pp.291-296 [PDF format]
- Masatoshi Ishikawa, Akio Namiki, Takashi Komuro, and Idaku Ishii: New Generation of Sensory Information Processing for Intelligent Systems - VLSI Vision Chip and Sensor Fusion System - (Plenary), Fourth Int. Conf. Electronics Measurement, and Instruments (ICEMI1999) (Harbin, 1999.8.18)/Proceedings,pp.1-6
- Masatoshi Ishikawa, Akio Namiki, Takashi Komuro, and Idaku Ishii: 1ms Sensory-Motor Fusion System with Hierarchical Parallel Processing Architecture (Invited), The Second International Conference on Information Fusion (Sunnyvale, 1999.7.7)/Proceedings, pp.640-647
- T.Suzuki, K.Mabuchi, M.Kunimoto, M.Shimojo, T.Saito, N.Kakuta, and M.Ishikawa: Incorporating a Pressure-Sensing Function into an Artificial Arm System, XIIth World Congress of the Int. Soc. for Artificial Organs/XXXVIth Congress of the European Soc. for Artificial Organs (London, 1999.7)/Artificial Organs, Vol.23, No.7, p.674 (1999)
- K.Mabuchi, T.Suzuki, M.Kunimoto, M.Shimojo, T.Saito, and M.Ishikawa: Relationship Between an Intraneural Electrical Stimulation Signal to a Slow Adaptive Mechanoreceptor Unit and the Evoked Artificial Pressure Sensation, XIIth World Congress of the Int. Soc. for Artificial Organs/XXXVIth Congress of the European Soc. for Artificial Organs (London, 1999.7)/Artificial Organs, Vol.23, No.7, p.671(1999)
- Akio Namiki, Yoshihiro Nakabo, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: High Speed Grasping Using Visual and Force Feedback, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (Detroit, 1999.5.14)/Proceedings, pp.3195-3200 [PDF format (0.4Mbytes), ps+gzip format (2.0Mbytes)]
- Akio Namiki, Yoshihiro Nakabo, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: 1ms Grasping System Using Visual and Force Feedback, Video Proceedings of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (Detroit, 1999.5.13)/Abstract and References, p.12
- Masatoshi Ishikawa: New Generation of Sensory Information Processing for Intelligent Systems - VLSI Vision Chip and Sensor Fusion System with 1ms Sampling Rate - (Plenary), The 5th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems (Sapporo, 1998.6.2)
- Yoshihiro Nakabo, and Masatoshi Ishikawa: Visual Impedance Using 1ms Visual Feedback System, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (Leuven, 1998.5.18)/Proceedings, pp.2333-2338
- Takashi Owaki, Yoshihiro Nakabo, Akio Namiki, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: Real- time System for Virtually Touching Objects in the real world Using a high Speed Active Vision System, Video Proceedings of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (Leuven, 1998.5.18)/Abstract and References, p.2
- Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Optimal Grasping Using Visual and Tactile Feedback, IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (Washington DC, 1996.12.11)/Proceedings, pp.589-596 [PDF format 0.1Mbytes, ps+gzip format 0.6Mbytes]
- Toshiharu Mukai, and Masatoshi Ishikawa: An Active Sensing Method Using Estimated Errors for Multisensor Fusion Systems, International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (Las Vegas, 1994.10.5)/Proceedings, pp.615-622
- Makoto Shimojo, and Masatoshi Ishikawa: An Active Touch Sensing Method Using a Spatial Filtering Tactile Sensor, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (Atlanta, 1993.5.3-5)/Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.948-954
- Akihiko Takahashi, and Masatoshi Ishikawa: Signal Processing Architecture with Bidirectional Network Topology for Flexible Sensor Data Integration, IROS 1993 (1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems) (Yokohama, 1993.7.27)/Proceedings, pp.407-413
- Toshiharu Mukai, Takashi Mori, and Masatoshi Ishikawa: A Sensor Fusion System Using Mapping Learning Method, IROS 1993 (1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems) (Yokohama, 1993.7.27)/Proceedings, pp.391-396
- Toshihiro Aono, and Masatoshi Ishikawa: Auditory-Visual Fusion Using Multi-Input Hidden Markov Model, IMACS/SICE International Symposium on Robotics, Mechatronics and Manufacturing Systems '92 (Kobe, 1992.9.19)/Proceedings, pp.1085-1090
- Masatoshi Ishikawa: Robot Sensor Technology for Medical, Ergonomical and Physiological Applications, Colloquium on Medical and Neurological Applications in Robotics: New Trends, IROS'92 (1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems) (Raleigh, 1992.7.8)/Proceedings, pp.1-7
- Kikuo Kanaya, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo: Tactile Imaging System for Body Pressure Distribution, 11th Congress of Int. Ergonomics Association (Paris, 1991.7.15-20)/Proceedings (Designing for Everyone), Vol.2, pp.1495-1497
- Makoto Shimojo, Masatoshi Ishikawa, and Kikuo Kanaya: A Flexible High Resolution Tactile Imager with Video Signal Output, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (Sacramento, 1991.4.9-11)/Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.384-391

学術論文／Papers

- 井上満晶, 末石智大, 松村蒼一郎, 谷内田尚司, 細井利憲, 石川正俊: 非接触マイクロサッカード検出に向けた高速追跡を用いた眼球運動検出システム, 生体医工学, Vol.60, No.6, pp.170-174 (2023)
- 松本明弓, 新田暢, 末石智大, 石川正俊: 高速注視点推定を用いた広域高解像度投影システムの実現, 計測自動制御学会論文集, Vol.58, No.1, pp.42-51 (2022)
- 末石智大, 奥寛雅, 石川正俊: 駆動鏡面式高速光軸制御系の3次元計測に向けた高精度校正手法, 映像情報メディア学会誌, Vol.71, No.5, pp.J162-J171 (2017)
- 安井雅彦, アルバロ カシネリ, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 残像による動体軌跡上情報投影手法の提案とその実現にむけた残像特性の基礎的研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.20, No.1, pp.55-64 (2015)
- 宮下令央, 藏悠子, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 高速光軸制御を用いた動的物体の非接触振動計測システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19, No.2, pp.99-104 (2014)
- 末石智大, 長谷川圭介, 奥村光平, 奥寛雅, 篠田裕之, 石川正俊: 空中超音波触覚ディスプレイ・カメラ系による高速ダイナミック情報環境とその校正手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19, No.2, pp.173-183 (2014) [2015年 日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞]
- 荒井祐介, 若林憲一, 吉川雅英, 奥寛雅, 石川正俊: 暗視野顕微鏡法におけるクラミドモナスの三次元トラッキング, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.10, pp.1028-1035 (2013)
- 奥村光平, 石井将人, 巽瑛理, 奥寛雅, 石川正俊: 高速視線制御光学系による高速飛翔体の映像計測, 計測自動制御学会論文集, Vol.49, No.9, pp.855-864 (2013) [2014年 計測自動制御学会論文賞・蓮沼賞受賞], [2014年 計測自動制御学会計測部門論文賞受賞]
- 末石智大, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 二眼駆動鏡面式視線制御による高速運動・変形物体のステレオ計測システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.18, No.2, pp.181-190 (2013)
- 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 高速光軸制御を用いた動的物体への投影型拡張現実感, 映像情報メディア学会誌, Vol.67, No.7, pp.J204-J211 (2013) [2014年 映像情報メディア学会動画コンテンツ優秀賞受賞]
- 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊：アクティブビジョンの高速化を担う光学的視線制御システム，日本ロボット学会誌, Vol.29, No.2, pp.201-211 (2011) [2013年 日本ロボット学会論文賞受賞]
- 奥寛雅, 石川貴彦, 石川正俊：光学系と画像処理系の速度を整合した高速フォーカスビジョン，日本ロボット学会誌, Vol.27, No.7, pp.739-748 (2009)　[2010年 日本ロボット学会論文賞受賞]
- 尾川順子, 菊田恭平, 奥寛雅, 長谷川健史, アルバロカシネリ, 石川正俊：微生物との実世界インタラクションシステムの提案と初期検討，情報処理学会論文誌, Vol.49, No.10, pp.3546-3552 (2008)
- 長谷川健史, 尾川順子, 奥寛雅, 石川正俊：三次元空間内における微生物のマイクロロボット応用に向けた制御フレームワークの提案，日本ロボット学会誌, Vol.26, No.6, pp.575-582 (2008)
- 奥寛雅, 石川正俊：キロヘルツオーダーで応答可能な高速ビジョンチップ用可変焦点レンズの構造，光学, Vol.31, No.10, pp.758-764 (2002)

本／Books

- 石川正俊: 2-2 画像処理とディスプレイ 高速画像処理が生み出すダイナミックディスプレイの世界, 第2章 どこでもディスプレイ, ディスプレイ技術年鑑2015, pp.34-41, 日経BP社 (2014)

解説論文／Review Papers

- 谷内田尚司, 並木重哲, 小川拓也, 細井利憲, 石川正俊: 高速カメラ物体認識技術を用いた錠剤外観検査装置, 製剤機械技術学会誌, Vol.30, No.4, pp.35-40 (2021)
- 渡辺義浩, 末石智大, 石川正俊: ダイナミックプロジェクションマッピング, 映像情報メディア学会誌, Vol.72, No.3, pp.332-335 (2018)
- 奥寛雅, 末石智大: 高速ビジョンと科学計測, 日本ロボット学会誌, Vol.35, No.8, pp.605-609 (2017)
- 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 1msオートパン・チルト, 画像ラボ, Vol.25, No.5, pp.8-15 (2014)
- 奥寛雅, 石川正俊：微生物トラッキング顕微鏡の原理と特徴, 映像情報メディア学会誌, Vol.67, No.9, pp.771-775 (2013)
- 奥寛雅, 石川正俊：高速画像処理による運動細胞トラッキング，O plus E, Vol.33, No.3, pp.268-273 (2011)
- 奥寛雅, 石川正俊：高速ビジュアルフィードバックによる微生物トラッキング顕微鏡，機能材料, Vol.31, No.2, pp.39-47 (2011)
- 奥寛雅, 石川正俊：高速液体レンズによる映像制御技術，画像ラボ, Vol.21, No.9, pp.16-22 (2010)
- 奥寛雅, 尾川順子, 石川正俊：高速ビジョンによる微生物トラッキング顕微鏡，生物物理, Vol.49, No.1, pp.11-14 (2009)
- 奥寛雅：ミリ秒レベルの高速応答を実現する液体可変焦点レンズ，O plus E, Vol.31, No.1, pp.1-2 (2009)
- 石川正俊：ビジュアルサーボイングの現状と将来，計測と制御, Vol.40, No.9, pp.615-617 (2001)
- 橋本浩一：ビジュアルサーボにおける予測と感度，計測と制御, Vol.40,No.9, pp.630-635 (2001)
- 中坊嘉宏, 石川正俊：1ms高速ビジョンを用いたビジュアルサーボイング，計測と制御, Vol.40, No.9, pp.636-640 (2001)

招待講演／Invited Talks and Tutorials

- 末石智大: 高速光学系制御に基づくパターン計測, 第30回パターン計測シンポジウム (東京, 2025.11.21)
- 末石智大: 高速光学系制御による動的イメージングシステムとその応用, 高速度イメージングとフォトニクスに関する総合シンポジウム2023 (JCHSIP2023) (東大阪, 2023.12.14) ／論文集, 9-4, pp.1-2
- 末石智大: 動的対象の追従的画像計測によるダイナミックビジョンシステム, 第151回微小光学研究会 (東京, 2019.2.28) ／MICROOPTICS NEWS, Vol.37, No.1, pp.1-6
- 石川正俊: 最先端高速画像処理技術のスポーツ科学への応用 (招待講演), 第11回JISSスポーツ科学会議 (東京, 2014.11.21) ／プログラム・抄録集, pp.10-14
- 奥寛雅: 光学系の高速制御に基づくロボプティクス, 映像情報メディア学会情報センシング研究会 (浜松, 2013.11.15) ／社団法人映像情報メディア学会技術報告, Vol.37, No.48, pp.31-36

- 奥寛雅：高速液体レンズによるダイナミック ビジョン システム，世代画像入力ビジョン・システム部会第１３４回定例会（主催社団法人日本工業技術振興会）（東京, 2010.11.29）／講演資料, pp.1-40
- 奥寛雅：顕微鏡の高速制御技術とその生物学への応用，定量生物学の会第三回年会（東京, 2010.11.27）
- 奥寛雅，石川正俊：高速・高解像力液体レンズによるダイナミック ビジョン システム，映像情報メディア学会技術報告（情報センシング研究会），IST2009-84, Vol.33, No.49, pp.7-14（2009）
- 尾川順子：高速ビジュアルサーボ技術を用いたマイクロ世界の計測と制御，第21回エアロ・アクアバイオメカニズム研究会（千葉, 2008.3.21）／講演会資料集, pp.6-9
- 尾川 順子：ゾウリムシをロボットに〜微生物と高速ビジョンが拓くマイクロバイオロボティクス，ロボティクス若手ネットワーク・オープンセミナー「君と共に，ロボティクスが拓く未来」（第25回日本ロボット学会学術講演会一般公開セッション）（習志野, 2007.9.15）
- 奥寛雅，橋本浩一，石川正俊：1kHzの帯域幅を持つ高速可変焦点レンズ，日本光学会年次学術講演会Optics Japan 2005（東京, 2005.11.23）／講演予稿集, pp.158-159
- 尾川順子，奥寛雅，橋本浩一，石川正俊：高速トラッキングを用いたゾウリムシの運動制御，計測自動制御学会第 5 回制御部門大会（仙台, 2005.5.27）／資料, pp.687-690
- 尾川順子，奥寛雅，橋本浩一，石川正俊：ゾウリムシ電気走性のダイナミクスモデル，計測自動制御学会第 5 回制御部門大会（仙台, 2005.5.27）／資料, pp.691-694
- 橋本浩一：視覚と制御，計測自動制御学会制御部門大会ワークショップ（京都，2001.5.）制御部門大会ワークショップテキスト／ pp.37-68

学会発表／Proceedings

- 末石智大, 栃岡陽麻里, 石川正俊: 単フレームM系列多重露光を用いた卓球高速スピンの低遅延追跡, 第26回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2025) (広島, 2025.12.10) ／講演会論文集, pp.1596-1599
- 末石智大, 古村眞, 石川正俊: 気管軟化症診断定量化に向けた気管内心原性振動の高速画像計測手法, 生体医工学シンポジウム2024 (東京, 2024.9.13) ／講演予稿・抄録集, C-17, p.82
- 横山恵子, 井上満晶, 末石智大, 谷内田尚司, 石川正俊: 非接触・非拘束型の眼球撮影装置を用いた眼球微細運動検知システム, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW 2023) (横浜, 2023.12.8) ／講演論文集, IS3-8, pp.413-418
- 栃岡陽麻里, 末石智大, 石川正俊: ボールのバウンド位置予測に基づくダイナミックプロジェクションマッピングの開発, 第28回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2023) (東京, 2023.9.14) ／論文集, 3D2-01
- 末石智大, 井上満晶, 谷内田尚司, 石川正俊: 照明制御に基づく動的眼球高速トラッキングによる明瞳孔微振動画像計測, 動的画像処理実利用化ワークショップ2023 (DIA2023) (宇都宮, 2023.3.2) ／講演論文集, pp.133-136
- 末石智大, 石川正俊: 縞状同心円パターンを用いた可変焦点制御系のカメラ校正手法, 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022) (千葉, 2022.12.16) ／講演会論文集, pp.2093-2097
- 栃岡陽麻里, 末石智大, 石川正俊: 球技スポーツの着地痕跡判定に向けた高速ビジョンを用いた落下位置予測, 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022) (千葉, 2022.12.16) ／講演会論文集, pp.2089-2092 [2022年計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 SI2022優秀講演賞受賞]
- 井上満晶, 末石智大, 松村蒼一郎, 谷内田尚司, 細井利憲, 石川正俊: 非接触マイクロサッカード検出に向けた高速追跡を用いた眼球運動検出システム, 生体医工学シンポジウム2022 (オンライン, 2022.9.9) ／講演予稿・抄録集, 1A-11, p.13
- 末石智大, 石川正俊: 高速光学系制御と対称的ドットマーカによる卓球回転実時間計測, 第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022) (東京, 2022.9.6) ／講演概要集, 2B1-08
- 松村蒼一郎, 末石智大, 井上満晶, 谷内田尚司, 石川正俊: 光学系制御撮影下の角膜反射法によるマイクロサッカード検出高精度化の検討, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021) (鹿児島, 2021.12.16 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.2025-2028
- 末石智大, 松村蒼一郎, 谷内田尚司, 石川正俊: マイクロサッカード高精度計測に向けた動的な明瞳孔眼球模型の開発, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021) (鹿児島, 2021.12.16 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.2011-2016
- 末石智大, 石川正俊: 手指高速トラッキングに向けた楕円群指輪マーカーの開発, 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2021) (鹿児島, 2021.12.16 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.1382-1387 [2021年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 SI2021優秀講演賞受賞]
- 三河祐梨, 末石智大, 石川正俊: 球体姿勢に対応した回転相殺テクスチャの高速投影の残像効果による一軸回転可視化法の提案, 第26回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2021) (オンライン, 2021.9.13) ／論文集, 2D2-5
- 三河祐梨, 末石智大, 渡辺義浩, 石川正俊: VarioLight2: 円周マーカを用いた球体への広域かつ遮蔽に頑健なダイナミックプロジェクションマッピング, 第27回画像センシングシンポジウム (SSII2021) (オンライン, 2021.6.9) ／講演論文集, IS1-25/SO1-25
- 松村蒼一郎, 末石智大, 谷内田尚司, 石川正俊: 高速光学系制御を用いた頭部非拘束状態における眼球微振動検出手法, 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2020) (福岡, 2020.12.17 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.1894-1898
- 松本明弓, 末石智大, 石川正俊: 注視点追従高解像度投影に向けた高速視線推定システム, 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2020) (福岡, 2020.12.17 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.1886-1889
- 末石智大, 西薗良太, 石川正俊: ベクター型レーザー投影系におけるM系列破線マーカーを用いたロバスト高速自己姿勢推定, 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2020) (福岡, 2020.12.17 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.1445-1448 [2020年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2020優秀講演賞受賞]
- 末石智大, 深山理, 宮地力, 山川雄司, 石川正俊: ゴルフスイングのフォーム・幾何情報の逐次的高速投影システムの開発, 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2020) (福岡, 2020.12.16 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.386-389
- 上村将之, 王澤, 竹原浩成, 角博文, 田代洋行, 春田牧人, 笹川清隆, 太田淳: 近赤外カラー高速眼底カメラ向けイメージセンサへのモザイク多層膜干渉フィルタ搭載と評価, 映像情報メディア学会情報センシング研究会 (オンライン, 2020.7.1) ／映像情報メディア学会技術報告, Vol.44, No.14, pp.19-21
- 神宮亜良太, 末石智大, 谷内田尚司, 石川正俊: 遠隔虹彩認証に向けた高速光学系制御を用いた眼追従合焦撮影手法, 第26回画像センシングシンポジウム (SSII2020) (横浜, 2020.6.11 [オンライン]) ／講演論文集, IS2-16/SO2-16
- 末石智大, 石川正俊: 高速指先姿勢推定に向けたネイルマーカーの試作, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2019) (東京, 2019.9.12) ／論文集, 5C-07
- 徐鴻金, 王立輝, 渡辺義浩, 石川正俊: 液体可変焦点レンズと高速プロジェクタを用いたダイナミックフォーカシング投影の基礎検討, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2019) (東京, 2019.9.11) ／論文集, 3C-09
- 三河祐梨, 末石智大, 早川智彦, 石川正俊: フォトクロミズムと高速光軸制御による発色型ファブリケーションに向けた動的描画システム, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2019) (東京, 2019.9.11) ／論文集, 3C-03

- 末石智大, 小川拓也, 谷内田尚司, 石川正俊: 高速光軸・焦点制御系と広角カメラ連携による三次元運動物体の継続的高解像度合焦撮影手法, 第37回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2019) (東京, 2019.9.4) ／講演概要集, 1L2-03
- 菅間拓実, 末石智大, 石川正俊: 手指の高速姿勢推定に向けた再帰反射特性に基づく立体的リング状マーカーの検討, 第25回画像センシングシンポジウム (SSII2019) (横浜, 2019.6.13) ／講演論文集, IS2-20/SO2-20
- 西薗良太, 末石智大, 石川正俊: ヘクタ型レーサ投影における自己位置推定のためのマーカ埋め込み手法の検討, 第25回画像センシングシンポジウム (SSII2019) (横浜, 2019.6.12) ／講演論文集, IS1-10/SO1-10
- 横山恵子, 谷内田尚司, 柴田剛志, 宮野博義, 石川正俊: 高速カメラでのリアルタイム画像認識に適した認識適合画像の選別, 動的画像処理実利用化ワークショップ2019 (DIA2019) (北九州, 2019.3.8) ／講演論文集, pp.232-238
- 三河祐梨, 末石智大, 渡辺義浩, 石川正俊: VarioLight: 高速プロジェクタ及び光軸制御による非対称な移動物体への投影型拡張現実感システム, 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2018) (仙台, 2018.9.19) ／論文集, 14D-4
- 新田暢, 末石智大, 石川正俊: 光学的に動的な投影状況における高解像度静的映像投影手法, 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2018) (仙台, 2018.9.19) ／論文集, 11D-4
- 川原田美雪, 末石智大, 宮地力, 石川正俊: ゴルフスイングの即時情報提示に向けた高速光軸制御を用いた打具姿勢推定手法, 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2018) (仙台, 2018.9.19) ／論文集, 12C-4
- 末石智大, 小川拓也, 谷内田尚司, 渡辺義浩, 石川正俊: メダカの高速高解像度光学的追従撮影に向けた楕円セルフウィンドウ法, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU2017) (東京, 2018.3.19) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.514, pp.213-218
- 三河祐梨, 末石智大, 石川正俊: 動的プロジェクションマッピングに向けた輪郭情報に基づく高速球体トラッキング, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2017) (徳島, 2017.9.27) ／論文集, 1E4-03
- 末石智大, 石川正俊: 高速視線制御系と広角カメラの協調に向けたフラクタルパターンによるカメラ校正, 映像情報メディア学会2016年次大会 (津, 2016.9.1) ／講演論文集, 21C-2
- 末石智大, 石川正俊: ダイナミックプロジェクションマッピングに向けた低照度照明下におけるロバスト高速トラッキング, 第19回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2014) (名古屋, 2014.9.19) ／論文集, pp.369-372
- 松本卓也, 奥寛雅, 石川正俊: 構造化ライトフィールドの投影による実時間距離計測, 第32回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2014) (福岡, 2014.9.4) ／講演概要集, 1J3-06
- Alessandro Pieropan, Niklas Bergström, Hedvig Kjellström, and Masatoshi Ishikawa: Robust Tracking through Learning, 第32回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2014) (福岡, 2014.9.5) ／講演概要集, 2A1-04
- 奥村光平, 末石智大, 奥寛雅, 石川正俊: 時間幾何学的整合性を有する動的物体へのプロジェクションマッピング, 第20回画像センシングシンポジウム (SSII2014) (横浜, 2014.6.12-13) ／講演論文集, DS1-01
- 安井雅彦, カシネリ アルバロ, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 追跡的光線投影による残像を用いた大空間情報提示手法の提案と基礎検討, 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2013) (大阪, 2013.9.20) ／論文集, pp.499-502
- 末石智大, 長谷川圭介, 奥村光平, 奥寛雅, 篠田裕之, 石川正俊: 駆動鏡面式高速視線制御を用いたステレオトラッキングによる動的対象への視触覚提示システム, 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2013) (大阪, 2013.9.20) ／論文集, pp.594-597
- 長谷川圭介, 末石智大, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊, 篠田裕之: 運動する人体上へ高速追従する映像投影への空中超音波触覚の重畳, 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2013) (大阪, 2013.9.19) ／論文集, pp.307-310
- 奥寛雅, 奥村光平, 石川正俊: 高速視線制御ユニットによる動的プロジェクションマッピング, 第18回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2013) (大阪, 2013.9.19) ／論文集, pp.373-375
- 奥村光平, 横山恵子, 奥寛雅, 石川正俊: 1 msオートパン・チルト ～動きの並進成分を極力除去した映像の生成技術～ , 日本ロボット学会第31 回学術講演会 (RSJ2013) (東京, 2013.9.4) ／講演論文集, 1E2-03
- 小林鉱石, 奥寛雅, 石川正俊: 可動ミラーを用いた全周走査高速視線制御ユニットの提案, 日本ロボット学会第31 回学術講演会 (RSJ2013) (東京, 2013.9.4) ／講演論文集, 1E3-04
- 奥寛雅, 奥村光平, 石川正俊: 高速光学系により応答時間を整合した新たなビジョンシステムの提案, 第19回画像センシングシンポジウム (SSII2013) (横浜, 2013.6.14) ／講演論文集, IS3-11 [2014年 画像センシングシンポジウムSSII2013最優秀学術賞受賞] [2013年 画像センシングシンポジウムSSII2013 オーディエンス賞受賞]
- 横山恵子, 末石智大, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 背景差分を適用した高速視線制御トラッキングシステムおよび屋外用ユニット, 第19回画像センシングシンポジウム (SSII2013) (横浜, 2013.6.13) ／講演論文集, DS1-07
- 松﨑翔太, 奥寛雅, 石川正俊: 焦点距離の高速スキャンにより得られる時系列画像を用いた高速三次元動き推定手法, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013 (つくば, 2013.5.23) ／講演論文集, 1P1-J06
- 末石智大, 奥寛雅, 石川正俊: 駆動鏡面式高速視線制御光学系を用いた高精度計測のための光学パラメータ推定, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013 (つくば, 2013.5.24) ／講演論文集, 2A1-J01
- 奥寛雅, 奥村光平, 石川正俊: ロボプティックビジョン：フレーム毎の高速光学系制御に基づく次世代ビジョンシステムの提案, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013 (ROBOMEC2013) (つくば, 2013.5.24) ／講演論文集, 2A1-J04
- 横山恵子, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 可搬型高速視線制御システムの開発と背景差分を用いた屋外での高速物体追跡, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013 (ROBOMEC2013) (つくば, 2013.5.24) ／講演論文集, 2A1-K01
- 大塚博, 奥寛雅, 石川正俊: 液体可変焦点レンズの応用に向けた焦点距離計測機構の基礎評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013 (ROBOMEC2013) (つくば, 2013.5.24) ／講演論文集, 2A1-K03
- 横山恵子, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 高速視線制御システムを用いた物体追跡のための背景除去アルゴリズム, 第13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI 2012) (福岡, 2012.12.20) ／講演会論文集, pp.2237-2240
- 井上碩, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊：自由運動する球面鏡の高速高解像度トラッキングによる動的な周囲環境イメージング, 第17回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2012) (横浜, 2012.9.14) ／講演論文集, pp.519-522
- 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊：動的対象への投影型拡張現実感, 映像情報メディア学会2012年次大会 (広島, 2012.8.29) ／講演論文集, 2-4 [2012年 映像情報メディア学会 学生優秀発表賞受賞]
- 松﨑翔太, 奥寛雅, 石川正俊：焦点スキャン画像群による動的シーンにおける新たな三次元運動認識手法, 第18回画像センシングシンポジウム (SSII2012) (横浜, 2012.6.8) ／講演論文集, IS4-19
- 大塚博, 奥寛雅, 石川正俊：液体可変焦点レンズを用いた高速ズーム系の基礎評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012 (ROBOMEC 2012) (浜松, 2012.5.29) ／講演会論文集, 2P1-K02
- 末石智大, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊：二眼駆動鏡面式視線制御による高速ステレオビジョンシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2012 (ROBOMEC 2012) (浜松, 2012.5.28) ／講演会論文集, 1A1-A11
- 松﨑翔太, 奥寛雅, 石川 正俊：焦点の異なる複数の画像を用いた３次元動き推定アルゴリズム, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI 2011) (京都, 2011.12.25) ／講演会論文集, pp.2442-2445
- 荒井祐介, 持地翔太, 若林憲一, 吉川雅英, 奥寛雅, 石川正俊：暗視野顕微鏡法における遊泳細胞の三次元トラッキング, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI 2011) (京都, 2011.12.24) ／講演会論文集, pp.1577-1580
- 出口裕己, 奥寛雅, 石川正俊：高速液体レンズによるフォーカス走査画像系列を用いた任意焦点・被写界深度の画像合成手法, 2011年映像情報メディア学会冬季大会 (豊洲, 2011.12.21) ／講演会論文集, 6-2

- 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊：Full HD画質対応超高速パンチルトカメラ, 映像情報メディア学会2011年次大会 (東京, 2011.8.24) ／講演論文集, 7-11 [2012年 映像情報メディア学会 鈴木記念奨励賞受賞]
- 奥寛雅, 清川博貴, 山野隆志, 吉川雅英, 石川正俊：位相差顕微鏡法における遊泳細胞の三次元トラッキング, 第17回画像センシングシンポジウム (SSII 2011) (横浜, 2011.6.9) ／講演論文集, IS1-11
- 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊：駆動鏡面を用いた超高速アクティブビジョン, 第16回画像センシングシンポジウム (SSII 2010) (横浜, 2010.6.10-11) ／講演論文集, DS2-04
- 等康平, 奥寛雅, 石川正俊：高速焦点スキャン画像群に基づく実時間画像認識フレームワークの提案, 第16回画像センシングシンポジウム (SSII 2010) (横浜, 2010.6.10) ／講演論文集, IS1-03
- 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊：駆動する鏡面を用いた高速視線制御システム-サッカードミラー -, 第15回 ロボティクスシンポジア (吉野, 2010.3.15) ／講演論文集, pp.214-219
- 奥寛雅, 石川正俊：高速画像処理と高速光学デバイスによる光学顕微鏡の高機能化, 定量生物学の会第2回年会 (大阪, 2010.1.10-11) ／ポスター発表要旨集, 100
- 奥寛雅, 石川正俊：高速液体可変焦点レンズの光学特性とコンピュータビジョンへの応用, 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2009 (OPJ 2009) (新潟, 2009.11.26) ／講演予稿集, 26aE5
- 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊：駆動鏡面式超高速アクティブビジョン, 第27回日本ロボット学会学術講演 (横浜, 2009.9.17) ／予稿集, 3R1-02
- 奥寛雅, 石川貴彦, 石川正俊：光学系と画像処理系の速度を整合した高速フォーカスビジョン, 第27回日本ロボット学会学術講演 (横浜, 2009.9.17) ／予稿集, 3R1-03
- 細谷弘, 奥寛雅, 石川正俊：手の振戦のアクティブ制御による微細作業支援手法の提案, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC 2009) (福岡, 2009.5.25) ／予稿集, 1P1-F05
- 奥寛雅, 石川正俊：ダイナミック ビジョン システム, 第3回新画像システム・情報フォトニクス研究討論会 (東京, 2009.5.20) ／講演予稿集, pp.10-11
- 奥寛雅, 石川正俊：微生物トラッキング顕微鏡―細胞運動の定量的な計測を実現する顕微鏡―, 定量生物学の会 第一回年会 (駒場, 2009.1.11) ／番号95
- 菊田恭平, 尾川順子, 長谷川健史, 奥寛雅, Cassinelli Alvaro, 石川正俊：ローバ型インターフェースによる微生物との実世界インタラクション, 日本バーチャルリアリティ学会第１３回大会 (生駒, 2008.9.24) ／論文集, pp.173-176
- 奥寛雅, 門内靖明, 石川正俊：ミリセカンド高速液体可変焦点レンズとそのロボットビジョン応用への可能性, 第26回日本ロボット学会学術講演会 (神戸, 2008.9.11) ／予稿集, 3I1-03
- 奥村光平, 長谷川健史, 奥寛雅, 石川正俊：運動する微生物の疑似静止観察―トラッキング映像のさらなる安定化―, 第26回日本ロボット学会学術講演会 (神戸, 2008.9.9) ／予稿集, 1D1-04
- 奥寛雅, 門内靖明, 石川正俊：ミリセカンド高速・高解像力液体可変焦点レンズ, 第69回応用物理学会学術講演会 (名古屋, 2008.9.2) ／講演予稿集, 2a-ZG-9
- 牧瀬壮四郎, 奥寛雅, 石川正俊：細胞の回折像を用いた高速オートフォーカスの走査型顕微鏡への応用, 第47回生体医工学会大会 (神戸, 2008.5.8) ／プログラム・論文集, pp.390-391
- 柴小菊, 奥寛雅, 尾川順子, 石川正俊, 吉田学：高速ビジュアルフィードバックを用いたトラッキング顕微鏡によるホヤ精子運動の長時間長距離観察, 第60回日本動物学会関東支部大会 (東京, 2008.3.22) ／発表演題要旨, 36
- 尾川順子, 長谷川健史, 奥寛雅, 石川正俊：微生物との実世界インタラクションに向けたインタフェース用アバタロボットの制御, インタラクション2008 (東京都, 2008.3.3) ／論文集, 0077
- 長谷川健史, 尾川順子, 奥寛雅, 石川正俊：高速ビジョンによるトラッキングを用いた３次元空間内での微生物制御, 第25回日本ロボット学会学術講演会 (千葉, 2007.9.14) ／予稿集, 2D12
- 石川貴彦, 奥寛雅, 石川正俊：単眼高速ビジョンを用いた画像安定化機能を備えるモバイル顕微鏡の基礎検討, 第13回画像センシングシンポジウム (横浜, 2007.6.8) ／講演論文集IN4-21
- 尾川順子, 石川貴彦, 奥寛雅, 柴小菊, 吉田学, 石川正俊：高速ビジュアルフィードバックを用いたホヤ精子のトラッキング, ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC 2007) (秋田, 2007.5.12) ／講演論文集, 2A2-005
- 長谷川健史, 尾川順子, 奥寛雅, 石川正俊：高速ビジョンによる3次元トラッキングを用いた電場形成下での微生物運動計測, ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC 2007) (秋田, 2007.5.12) ／講演論文集, 2A2-006
- 石川貴彦, 奥寛雅, 石川正俊：モバイル顕微鏡の実現に向けた単眼高速ビジョンによる画像安定化手法, ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC 2007) (秋田, 2007.5.11) ／講演論文集, 1A2-N01
- 牧瀬壮四郎, 奥寛雅, 石川正俊：回折像を用いた細胞群深さ位置の広範囲・高速推定手法, ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 (ROBOMEC 2007) (秋田, 2007.5.11) ／講演論文集, 1A2-N02
- 奥寛雅, 石川正俊：液体界面を屈折面とする高速可変焦点レンズの構造, 日本光学会年次学術講演会・日本分光学会秋季講演会, Optics & Photonics Japan 2006 (東京, 2006.11.9) ／ Post-Deadline論文集, pp.10-11
- 牧瀬壮四郎, 奥寛雅, 石川正俊：回折像を用いた細胞群に対する高速なオートフォーカスの研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会2006 (ROBOMEC 2006) (東京, 2006.5.27) ／講演論文集, 1A1-C28
- 尾川順子, 奥寛雅, 橋本浩一, 石川正俊：マイクロロボット応用のための微生物の軌道計画, ロボティクス・メカトロニクス講演会2006(ROBOMEC 2006) (東京, 2006.5.28) ／講演論文集, 2P1-A26
- 奥寛雅, Theodorus, 橋本浩一, 石川正俊：回折パターンを用いた細胞の高速フォーカシング, 第6回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2005) (熊本, 2005.12.16) ／講演会論文集, pp.121-122　[2005年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2005ベストセッション講演賞受賞]
- 奥寛雅, 尾川順子, 橋本浩一, 石川正俊：トラッキング顕微鏡による遊泳する微生物のin vivo計測, 第14 回日本バイオイメージング学会学術集会 (東京, 2005.10.28) ／要旨集, pp.148-149
- 尾川順子, 奥寛雅, 橋本浩一, 石川正俊：電気走性アクチュエーションにおけるゾウリムシの非ホロノミック性, 第23回日本ロボット学会学術講演会 (横浜, 2005.9.17) ／予稿集, 3F14
- 尾川順子, 奥寛雅, 橋本浩一, 石川正俊：ゾウリムシ電気走性のダイナミクスモデルによるオーバランの評価, ロボティクス・メカトロニクス講演会2005 (ROBOMEC 2005) (神戸, 2005.6.11) ／講演論文集, 2P1-N-078
- 奥寛雅, 橋本浩一, 石川正俊：1-kHz高速可変焦点レンズによる動的な顕微鏡下対象への高速焦点面トラッキング, ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC 2004) (名古屋, 2004.6.19) ／ 1A1-H-25
- テオドルス, 奥寛雅, 石川正俊, 橋本浩一：微生物の三次元トラッキングに向けた高速ビジョンによる顕微鏡フォーカシング, ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC 2004) (名古屋, 2004.6.19) ／ 1A1-H-26
- 竹本征人, 尾川順子, 奥寛雅, 石川正俊, 橋本浩一：微生物トラッキングのための高速ビジョン用動的輪郭モデル, ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC 2004) (名古屋, 2004.6.19) ／ 1A1-H-27
- 山根淳, 尾川順子, 奥寛雅, 橋本浩一, 石川正俊：ゾウリムシの運動制御のための電流制御型電気刺激デバイス, ロボティクス・メカトロニクス講演会2004 (ROBOMEC 2004) (名古屋, 2004.6.19) ／ 1A1-H-28
- 尾川順子, 奥寛雅, 橋本浩一, 石川正俊：微生物の電気走性の継続観察システム, 第4回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2003) (東京, 2003.12.20) ／ pp.385-386

- 奥寛雅, 橋本浩一, 石川正俊：1-kHz高速可変焦点レンズのための収差補正手法の検討, 日本光学会年次学術講演会 (OJ 2003) (浜松, 2003.12.8) ／講演論文集, pp.4-5
- 奥寛雅, 尾川順子, 橋本浩一, 石川正俊：イメージインテンシファイア付高速視覚による微生物トラッキングシステム, 計測自動制御学会 計測部門大会 第20回センシングフォーラム (小金井, 2003.9.17) ／講演論文集, pp.331-334
- 橋本浩一：ビジュアルサーボにおける構成とロバスト性, (社) 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門 ロボティクス・メカトロニクス講演会2003 (ROBOMEC 2003) (函館, 2003.5.25) ／講演論文集, 2A1-1F-C4
- 尾川順子, 奥寛雅, 橋本浩一, 石川正俊：オーガナイズドバイオモジュールの実現に向けたゾウリムシの応答計測, (社) 日本機械学会 ロボティクスメカトロニクス部門 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2003 (ROBOMEC 2003) (函館, 2003.5.25) ／講演論文集, 2P2-3F-E3
- 奥寛雅, 石川正俊：高速可変焦点レンズHFLによる顕微鏡下対象奥行き情報の1ms高速計測, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2003 (ROBOMEC 2003) (函館, 2003.5.24) ／講演論文集, 1P1-3F-A5
- Koichi Hashimoto and Graziano Chesi：A Robust Visual Servoing with Global Stability, 計測自動制御学会機械システム制御シンポジウム (東京, 2002.3.29) ／講演論文集, pp.82-87
- Graziano Chesi and Koichi Hashimoto：Static-eye against hand-eye visual servoing, 第19回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 2001.9.20) ／講演論文集, pp.947-948
- 橋本浩一：視覚による機械システムのダイナミック制御, 第40回計測自動制御学会学術講演会 (名古屋, 2001.7.27) ／講演論文集, 209A-8
- 新開誠, 橋本浩一, 石川正俊：高速ビジョンを用いたビジュアルサーボシステムの同定, 第40回計測自動制御学会学術講演会 (名古屋, 2001.7.27) ／講演論文集, 307C-6

展示会／Exhibition

- ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies (東京, 東京国際フォーラム), 2018年12月5日～ 7日 [Yuri Mikawa, Tomohiro Sueishi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa:VarioLight: Hybrid Dynamic Projection Mapping Using High-speed Projector and Optical Axis Controller]
- PHOTON FAIR 2018 (浜松, アクトシティ浜松展示イベントホール), 2018年11月1日～ 3日 [るみぺん2]
- 東京大学バーチャルリアリティ教育研究センター設立記念式典 (東京, 伊藤国際学術研究センター伊藤謝恩ホール), 2018年11月1日 [VarioLight]
- NHKサイエンスゼロ (東京, 渋谷NHKスタジオ), 2018年4月20日 [るみぺん, DynaFlash]
- DIGITAL CONTENT EXPO 2015 (東京, 日本科学未来館), 2015年10月22日～ 25日 [るみぺん2]
- 第20回 画像センシングシンポジウム (横浜, パシフィコ横浜アネックスホール), 2014年6月12日～ 13日 [るみペン]
- ICATラボツアー・未来館オープンラボ (東京, 日本科学未来館), 2013年12月13日～ 15日 [るみペン]
- DIGITAL CONTENT EXPO 2013 (東京, 日本科学未来館), 2013年10月24日～ 26日 [1ms Auto Pan/Tilt]
- 第19回画像センシングシンポジウム (横浜, パシフィコ横浜アネックスホール), 2013年6月12日～ 14日 [1ms Auto Pan/Tilt]

学術論文／Papers

- Junhao Zhang, Lihui Wang, Yutao Huang, Jiaju Wang, Lei Li, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Dielectric elastomer-based laser pointing control system for UV to NIR laser, Optics & Laser Technology, Vol.193, Part A, 114218, pp.1-9 (2026)
- Tomohiro Sueishi, Shoji Yachida, Takuya Ogawa, Murtuza Petladwala, and Masatoshi Ishikawa: Quasi-Static Imaging System for Swimming Fish by High-Speed Elliptic and Optical Tracking, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.37, No.6, pp.1557-1568 (2025)
- Tomohiro Sueishi, Michiaki Inoue, Soichiro Matsumura, Shoji Yachida, and Masatoshi Ishikawa: Bright-pupil microsaccadic artificial eyes with optical gaze visualization, Applied Optics, Vol.64, No.25, pp.7323-7332 (2025)
- Tomohiro Sueishi, Himari Tochioka, and Masatoshi Ishikawa: High-speed spin measurement system for dotted table tennis ball using single-frame M-sequence multi-exposures, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.18, Issue1, Article No.2466881, pp.1-11 (2025)
- Himari Tochioka, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: Apollon Mark: bounce mark visualization system for ball sports judgement using prediction-based preceding mirror control, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.17, Issue1, pp.164-175 (2024)
- Jiaqi Li, Lin Li, Lihui Wang, Lei Li, Shaoyong Li, and Masatoshi Ishikawa: Adaptive milliseconds tracking and zooming optics based on a high-speed gaze controller and liquid lenses, Optics Express, Vol.32, No.2, pp.2257-2270 (2024)
- Lihui Wang, Satoshi Tabata, Hongjin Xu, Yunpu Hu, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic depth-of-field projection mapping method based on a variable focus lens and visual feedback, Optics Express, Vol.31, No.3, pp.3945-3953 (2023)
- Tomohiro Sueishi, Ryota Nishizono, and Masatoshi Ishikawa: EmnDash: A Robust High-Speed Spatial Tracking System Using a Vector-Graphics Laser Display with M-Sequence Dashed Markers, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.1085-1095 (2022)
- Hao Xu, Satoshi Tabata, Haowen Liang, Lihui Wang, and Masatoshi Ishikawa: Accurate measurement of virtual image distance for near-eye displays based on auto-focusing, Applied Optics, Vol.61, No.30, pp.9093-9098 (2022)
- Yuping Wang, Senwei Xie, Lihui Wang, Hongjin Xu, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: ARSlice: Head-Mounted Display Augmented with Dynamic Tracking and Projection, Journal of Computer Science and Technology, Vol.37, Issue3, pp.666-679 (2022)
- Yuri Mikawa, Tomohiro Sueishi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Projection Mapping for Robust Sphere Posture Tracking Using Uniform/Biased Circumferential Markers, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.28, No.12, pp.4016-4031 (2022)
- Ruimin Cao, Jian Fu, Hui Yang, Lihui Wang, and Masatoshi Ishikawa: Robust optical axis control of monocular active gazing based on pan-tilt mirrors for high dynamic targets, Optics Express, Vol.29, No.24, pp.40214-40230 (2021)
- Yuri Mikawa, Tomohiro Sueishi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Projection Mapping for Robust Sphere Posture Tracking Using Uniform/Biased Circumferential Markers, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (2021)
- Hongjin Xu, Lihui Wang, Satoshi Tabata, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Extended depth-of-field projection method using a high-speed projector with a synchronized oscillating variable-focus lens, Applied Optics, Vol.60, No.13, pp.3917-3924 (2021)
- Masahiko Yasui, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Wide viewing angle with a downsized system in projection-type integral photography by using curved mirrors, Optics Express, Vol.29, No.8, pp.12066-12080 (2021)
- Zhangxu Pan, Chan Guo, Xianchi Wang, Jiucheng Liu, Ruimin Cao, Yanfen Gong, Jiantai Wang, Ningyang Liu, Zhitao Chen, Lihui Wang, Masatoshi Ishikawa, and Zheng Gong: Wafer-Scale Micro-LEDs Transferred onto an Adhesive Film for Planar and Flexible Displays, Advanced Materials Technologies, 2000549, pp.1-11 (2020)
- Lihui Wang, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Response of Elastomer-Based Liquid-Filled Variable Focus Lens, Sensors, Vol.19, No.21, Article No.4624, pp.1-13 (2019)
- Lihui Wang, Hongjin Xu, and Masatoshi Ishikawa: Solar energy-actuated back and forth optical mechanism, Applied Optics, Vol.58, No.15, pp.E7-E11 (2019)
- Lihui Wang, Jianjiang Cui, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: Low-cost, readily available 3D microscopy imaging system with variable focus spinner, Optics Express, Vol.26, No.23, pp.30576-30587 (2018)
- Yuto Omae, Yoshihisa Kon, Masahiro Kobayashi, Kazuki Sakai, Akira Shionoya, Hirotaka Takahashi, Takuma Akiduki, Kazufumi Nakai, Nobuo Ezaki, Yoshihisa Sakurai, and Chikara Miyaji: Swimming Style Classification Based on Ensemble Learning and Adaptive Feature Value by Using Inertial Measurement Unit, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.21, No.4, pp.616-631 (2017)
- Lihui Wang, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Dielectric-elastomer-based fabrication method for varifocal microlens array, Optics Express, Vol.25, No.25, pp.31708-31717 (2017)
- Lihui Wang, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Paraxial ray solution for liquid-filled variable focus lenses, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.56, No.12, 122501-1-7 (2017)
- Tomohiro Sueishi, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Lumipen 2: Dynamic Projection Mapping with Mirror-Based Robust High-Speed Tracking against Illumination Changes, PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments, Vol.25, Issue4, pp.299-321 (2017)
- Tomohiro Sueishi, Masato Ishii, and Masatoshi Ishikawa: Tracking background-oriented schlieren for observing shock oscillations of transonic flying objects, Applied Optics, Vol.56, No.13, pp.3789-3798 (2017)
- Kohei Okumura, Keiko Yokoyama, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: 1 ms Auto Pan-Tilt - video shooting technology for objects in motion based on Saccade Mirror with background subtraction, Advanced Robotics, Vol.29, Issue 7, pp.457-468 (2015) [Advanced Robotics Best Paper Award, the Robotics Society of Japan]
- Lihui Wang, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: An improved low-optical-power variable focus lens with a large aperture, Optics Express, Vol.22, Issue16, pp.19448-19456 (2014)
- Taku Senoo, Yuji Yamakawa, Yoshihiro Watanabe, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Vision and its Application Systems, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.26, No.3, pp.287-301 (2014)
- Lihui Wang, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Variable-focus lens with 30 mm optical aperture based on liquid-membrane-liquid structure, Applied Physics Letters, Vol.102, pp.131111-(1)-131111-(4) (2013)
- Hiromasa Oku, Soshiro Makise, Masatoshi Ishikawa: High-Speed Autofocusing of Cells Using Radial Intensity Profiles Based on Depth From Diffraction (DFDi) Method, Journal of Aero Aqua Bio-mechanisms, Vol.3, No.1, pp.13-21 (2013)
- Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa: High-speed liquid lens with 2 ms response and 80.3 nm root-mean-square wavefront error, Applied Physics Letters, Vol.94, 221108 (2009); DOI:10.1063/1.3143624
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Dynamics modeling and real-time observation of galvanotaxis in Paramecium caudatum, Bio-mechanisms of Swimming and Flying -- Fluid Dynamics, Biomimetic Robots and Sports Science -- (N. Kato and S. Kamimura Eds.), pp.29-40, Springer (2007)
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Trajectory Planning of Motile Cell for Microrobotic Applications.Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.19, No.2, pp.190-197 (2007)
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: A physical model for galvanotaxis of Paramecium cell, Journal of Theoretical Biology, Vol.242, Issue 2, pp.314-328 (2006)

- Hiromasa Oku, Masatoshi Ishikawa, Theodorus, and Koichi Hashimoto: High-speed autofocusing of a cell using diffraction pattern, Opt. Express, No.14, pp.3952-3960 (2006)
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Microrobotic Visual Control of Motile Cells using High-Speed Tracking System, IEEE Transactions of Robotics, Vol.21, No.4, pp.704-712 (2005)
- Hiromasa Oku, Naoko Ogawa, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Two-dimensional tracking of a motile microorganism allowing high-resolution observation with various imaging techniques, Review of Scientific Instruments, Vol.76, No.3, 034301 (2005)
- Hiromasa Oku, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: A microscopic visual feedback system, Systems and Computers in Japan, Vol.35, No.13, pp.71-79 (2004)
- Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Variable-focus lens with 1-kHz bandwidth, Optics Express, Vol.12, No.10, pp.2138-2149 (2004)
- Koichi Hashimoto: A review on vision-based control of robot manipulators, Advanced Robotics, Vol.17, No.10, pp.969-991 (2003)
- Graziano Chesi, and Koichi Hashimoto: Effects of camera calibration errors on static-eye and hand-eye visual servoing, Advanced Robotics, Vol.17, No.10, pp.1023-1039 (2003)
- Koichi Hashimoto, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Visuomotor Architecture for High-Speed Robot Control, Control and Modeling of Complex Systems (Koichi Hashimoto, Yasuaki Oishi and Yutaka Yamamoto Eds.), pp.323-337, Birkhauser (2002.9)

解説論文／ Review Papers

- Taku Senoo, Yuji Yamakawa, Shouren Huang, Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Yoshihiro Watanabe, Leo Miyashita, Masahiro Hirano, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Intelligent Systems Based on High-Speed Vision, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31, No.1, pp.45-56 (2019)

招待講演／Invited Talks and Tutorials

- Tomohiro Sueishi: Large-area Projection System with High-speed Optical Control, The 32nd International Display Workshops (IDW'25) (Hiroshima, 2025.12.3)/Proceedings, PRJ2-2, pp.1052-1054
- Lihui Wang: A large aperture variable focus lens and its application on the next generation of clinical optics, 2015 EMN Optoelectronics Meeting (2015ENM) (Beijing, 2015.4.26)/Proceedings pp.195-196
- Hiromasa Oku: Dynamic image control based on high-speed optical devices (invited), The 5th International Symposim on Photoelectronic Detection and Imaging (ISPDI2013) (Beijing, 2013.6.26)/Invited Talks, p.59
- Hiromasa Oku: Dynamic imaging based on high-speed optical components (invited), The 5th International Symposium on Aero Aqua Bio-Mechanisms (ISABMEC 2012) (Taipei, 2012.8.26)/Proceedings, pp.13-18
- Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa: A rapidly deformable liquid lens, SPIE Newsroom (Technical Article) (2009.12.14); DOI:10.1117/2.1200912.002505
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Microrobotic Control of Paramecium Cells using Galvanotaxis, 2005 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (Robio 2005) (Hong Kong and Macau, 2005.7.3)/Workshop Proceedings, pp.23-35
- Koichi Hashimoto: A visuomotor control architecture for high-speed grasping, Workshop on Visual Servoing at 2002 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, (Lausanne, 2002.10.1)
- Koichi Hashimoto: A visuomotor control architecture for high-speed grasping, EURON Summer School on Visual Servoing, (Benicassim, 2002.9.20)
- Graziano Chesi, Koichi Hashimoto, D. Prattichizzo, and A. Vicino: Title: Keeping features in the camera's field of view: a visual servoing strategy, 15th Int. Symp. on Mathematical Theory of Networks and Systems (Notre-Dame, Indiana, 2002. 8.12-16)
- Koichi Hashimoto, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: A Visuomotor Control Architecture for High-Speed Grasping, 40th IEEE Conference on Decision and Control (Orlando, Florida, 2001.12.4)/Proceedings pp.15-20

学会発表／Proceedings

- Tomohiro Sueishi, Keiko Yokoyama, and Masatoshi Ishikawa: Calibration of Optical Center Alignment between a High-speed Camera and Galvanometer Mirrors for High-precision Laser Tracking, 2026 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2026) (Cancun, 2026.1.13)/Proceedings, pp.645-650
- Tomohiro Sueishi, Makoto Komura, and Masatoshi Ishikawa: Arterial Simulator with Configurable Pulse Wave Velocity for Quantitative Tracheal Endoscopic Image Measurement, 2026 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2026) (Cancun, 2026.1.12)/Proceedings, pp.21-27 [Best Paper Finalist]
- Tomohiro Sueishi, Keiko Yokoyama, Shoji Yachida, and Masatoshi Ishikawa: Image-based Response Measurement of Liquid Lens and Iterative Calibration of Scanning Focus Tracking for Dynamic Iris Authentication, 2025 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2025) (Munich, 2025.1.23)/Proceedings, pp.1016-1021
- Keiko Yokoyama, Tomohiro Sueishi, Michiaki Inoue, Shoji Yachida, Toshinori Hosoi, and Masatoshi Ishikawa: Toward Micro Eye Movement Detection in Practice: Stand-alone Eye Tracker with High Resolution and Wide Measurement Range, 2024 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2024) (Abu Dhabi, 2024.10.17)/Proceedings, pp.10633-10640
- Tomohiro Sueishi, Himari Tochioka, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Spin Measurement Method for Dotted Table Tennis Ball Using Structured Light of M-sequence Flickering Pattern, SICE Festival 2024 with Annual Conference (SICE FES 2024) (Kochi, 2024.8.30)/Proceedings, pp.1188-1193
- Tomohiro Sueishi, Makoto Komura, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Tip Position Estimation of Tracheal Endoscope Probe with Ring-shaped Optical Markers, 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2024) (Orlando, 2024.7.19)/Poster ID.118374
- Tomohiro Sueishi, Makoto Komura, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Image-based Measurement Method of Tracheal Cardiac-induced Pulse Transit Time, 46th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2024) (Orlando, 2024.7.19)/Poster ID.118373
- Himari Tochioka, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: Bounce Mark Visualization System for Ball Sports Judgement Using High-speed Drop Location Prediction and Preceding Mirror Control, SICE Annual Conference 2023 (SICE2023) (Tsu, 2023.9.8)/Proceedings, pp.784-789 [SICE Annual Conference International Award]

- Yu-Ping Wang, Sen-Wei Xie, Lihui Wang, Hongjin Xu, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: ARSlice: Head-Mounted Display Augmented with Dynamic Tracking and Projection, The 10th international conference on Computational Visual Media (CVM2022) (Beijing, 2022.4.8)/Session 5-1
- Yuri Mikawa, Tomohiro Sueishi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Projection Mapping for Robust Sphere Posture Tracking Using Uniform/Biased Circumferential Markers, IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2022) (Christchurch, 2022.3.16 [online])
- Ayumi Matsumoto, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Gaze-oriented Projection by Cross-ratio-based Eye Tracking with Dual Infrared Imaging, 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW2022) (Christchurch, 2022.3.14 [online])/Proceedings, pp.594-595 [Best Poster Award Nomination]
- Tomohiro Sueishi, Soichiro Matsumura, Shoji Yachida, and Masatoshi Ishikawa: Optical and Control Design of Bright-pupil Microsaccadic Artificial Eye, 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2022) (Narvik, 2022.1.11 [online])/Proceedings, pp.760-765
- Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: Ellipses Ring Marker for High-speed Finger Tracking, The 27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2021) (Higashiosaka, 2021.12.10 [online])/Proceedings, Article No.31, pp.1-5
- Soichiro Matsumura, Tomohiro Sueishi, Shoji Yachida, and Masatoshi Ishikawa: Eye Vibration Detection Using High-speed Optical Tracking and Pupil Center Corneal Reflection, 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2021) (Guadalajara, 2021.11.4 [online])/Proceedings, ThDT3.5, p.5239
- Tomohiro Sueishi, Arata Jingu, Shoji Yachida, Michiaki Inoue, Yuka Ogino, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Iris Authentication by High-speed Gaze and Focus Control, 2021 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2021) (Iwaki, 2021.1.14 [online])/Proceedings, pp.813-814
- Shigeaki Namiki, Keiko Yokoyama, Shoji Yachida, Takashi Shibata, Hiroyoshi Miyano, and Masatoshi Ishikawa: Online Object Recognition Using CNN-based Algorithm on High-speed Camera Imaging, 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2020) (Milan, 2021.1.13 [online])/Proceedings, Paper No.679, pp.2025-2032
- Ryota Nishizono, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: EmnDash: M-sequence Dashed Markers on Vector-based Laser Projection for Robust High-speed Spatial Tracking, 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct2020) (Recife, 2020.11.12 [online])/Proceedings, pp.195-200
- Lihui Wang, Hongjin Xu, Satoshi Tabata, Yunpu Hu, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Focal Tracking Projection Based on Liquid Lens, The 47th International Conference & Exhibition On Computer Graphics & Interactive Techniques (ACM SIGGRAPH 2020) (Washington DC, 2020.8.28 [online])/ACM SIGGRAPH 2020 Emerging Technologies, Article No.15, pp.1-2
- Murtuza Petladwala, Tomohiro Sueishi, Shoji Yachida, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Occlusion Recovery Method for Multiple Fish Visual Tracking, 42nd Annual International Conferences of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2020) (Montreal, 2020.7.20 [online])/Proceedings, MoAT14.12, p.6185
- Yuri Mikawa, Tomohiro Sueishi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Projection Mapping System To A Widely Dynamic Sphere With Circumferential Markers, 2020 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2020) (London, 2020.7.9 [online])/Proceedings, pp.1-6
- Tomohiro Sueishi, Chikara Miyaji, Masataka Narumiya, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Projection Method of Swing Plane for Golf Training, Augmented Humans International Conference (AHs2020) (Kaiserslautern, 2020.3.16 [online])
- Yuri Mikawa, Tomohiro Sueishi, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Laser-based drawing method for posture-free objects by photochromic active marking with high-speed coaxial gaze control, SPIE Photonics West 2020 (San Francisco, 2020.2.5)/Proceedings of SPIE, Vol.11271, pp.112710V-1-8
- Lihui Wang, Satoshi Tabata, Hirotoshi Takeuchi, and Masatoshi Ishikawa: A study for accelerating the speed of all-in-focus image processing, SPIE Photonics West 2020 (San Francisco, 2020.2.5)/Proceedings of SPIE, Vol.11245, pp.112450U-1-6
- Hongjin Xu, Lihui Wang, Satoshi Tabata, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: An extended depth-of-field projection method using a high-speed projector with a synchronized oscillating variable focus lens, SPIE Photonics West 2020 (San Francisco, 2020.2.5)/Proceedings of SPIE, Vol.11304, pp.113040T-1-7
- Tomohiro Sueishi, Takuya Ogawa, Shoji Yachida, and Masatoshi Ishikawa: Continuous high-resolution observation system using high-speed gaze and focus control with wide-angle triangulation, SPIE Photonics West 2020 (San Francisco, 2020.2.2)/Proceedings of SPIE, Vol.11250, pp.1125012-1-10
- Lihui Wang, Yunpu Hu, Hongjin Xu, and Masatoshi Ishikawa: A method for passive, monocular distance measurement of virtual image in VR/AR, IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP2019) (Tokyo, 2019.5.15)/Poster, pp.1-2
- Lihui Wang, Hongjin Xu, Yunpu Hu, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Depth-of-Field Projection for 3D Projection Mapping, ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2019) (Glasgow, 2019.5.5-9)/Proceedings, INT021, pp1-4
- Yuri Mikawa, Tomohiro Sueishi, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Laser-based Photochromic Drawing Method for Rotating Objects with High-speed Visual Feedback, the 26th IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2019) (Osaka, 2019.3.27)/Proceedings, pp.1082-1083
- Lihui Wang, Yunpu Hu, Hongjin Xu, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic focal tracker display, SPIE Photonics West 2019 (San Francisco, 2019.2.7)/Proceedings of SPIE, Vol.10942, pp.109420K-1-8
- Yuri Mikawa, Tomohiro Sueishi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: VarioLight: Hybrid Dynamic Projection Mapping Using High-speed Projector and Optical Axis Controller, The 11th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH ASIA 2018) (Tokyo, 2018.12.4)/Emerging Technologies, Article No.17, pp.1-2
- Lihui Wang, Hongjin Xu, and Masatoshi Ishikawa: Optical Mechanism controlled by Shape Memory Alloy Spring, 11th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication (ODF'18) (Hiroshima, 2018.11.29)/Poster Session, 29PSb-36, pp.1-2
- Masashi Nitta, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: Tracking Projection Mosaicing by Synchronized High-speed Optical Axis Control, The 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2018) (Tokyo, 2018.11.29)/Article No.13, pp.1-5 [Honorable Mentions (Paper)] [Microsoft Award]
- Lihui Wang, Hongjin Xu, and Masatoshi Ishikawa: Solar Energy Actuated Optical Mechanism, OSA Light, Energy and the Environment Congress (Singapore, 2018.11.6)/Poster, JT2A.11
- Lihui Wang, Jianjiang Cui, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: Readily Available Varifocal Microscope Imaging System, 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2018) (Honolulu, 2018.7.20)/Proceedings, FrPoS-31.3
- Tomohiro Sueishi, Takuya Ogawa, Shoji Yachida, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: High-resolution Observation Method for Freely Swimming Medaka Using High-speed Optical Tracking with Ellipse Self-window, 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2018) (Honolulu, 2018.7.20)/Proceedings, FrPoS-32.41
- Lihui Wang, and Masatoshi Ishikawa: Investigation of the dynamic response performance for the liquid-filled variable focus lens, SPIE Photonics West 2018 (San Francisco, 2018.1.31)/Proceedings of SPIE, Vol.10544, 1054419-1-8
- Lihui Wang, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Depth of field extended imaging method based on intensification of time and spatial expansion, SPIE Smart Structures/Nondestructive Evaluation 2017 (NDE 2017) (Portland, 2017.3.26)/Proceedings of SPIE, Vol.10167, 101670C:1-8

- Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Motion-blur-compensated structural health monitoring system for tunnels using pre-emphasis technique, Fifth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE2016) (Delft, 2016.10.19)/Life-Cycle of Engineering Systems: Emphasis on Sustainable Civil Infrastructure, 1627-1633
- Tomohiko Hayakawa, Lihui Wang, and Masatoshi Ishikawa: Three-dimensional scanning method based on deformation of a dielectric elastomer actuator, European Optical Society Bi-Annual Meeting 2016 (EOSAM2016) (Berlin, 2016.9.29)/Poster, pp.283-284
- Lihui Wang, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: A fabrication method for variable focus micro lens array based on deformation of dielectric elastomer actuator, European Optical Society Bi-Annual Meeting 2016 (EOSAM2016) (Berlin, 2016.9.28)/Proceedings, pp.452-453
- Tomohiko Hayakawa, Lihui Wang, and Masatoshi Ishikawa: Dielectric Elastomer Based Laser Beam Pointing Method with Ultraviolet and Visible Wavelength, SPIE Photonics West 2016 (San Francisco, 2016.2.17)/Proceedings of SPIE, Vol.9742, 97421Y-1-7
- Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: Circle Grid Fractal Pattern for Calibration at Different Camera Zoom Levels, 8th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH ASIA 2015) (Kobe, 2015.11.2-5)/Poster, Article No.21
- Tomohiko Hayakawa, Lihui Wang, and Masatoshi Ishikawa: A Novel Precise Laser Beam Pointing Method with Dielectric Elastomer, OSA's 99th annual meeting, Frontiers in Optics 2015 (FiO2015) (San Jose, 2015.10.19)/Proceedings, pp.FM2G.5
- Tomohiro Sueishi, Hiromasa Oku, Masatoshi Ishikawa: Mirror-based High-speed Gaze Controller Calibration with Optics and Illumination Control, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015) (Hamburg, 2015.9.30) /Proceedings, pp.3064-3070
- Tomohiro Sueishi, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Robust High-speed Tracking against Illumination Changes for Dynamic Projection Mapping, IEEE Virtual Reality Conference (VR2015) (Arles, 2015.3.26)/Proceedings pp.97-104
- Lihui Wang, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: An adaptive achromatic doublet design by double variable focus lenses, SPIE Optics + Photonics 2014 (San Diego, 2014.8.18)/Proceedings SPIE Vol.9193, 91930O
- Lihui Wang, Alvaro Cassinelli, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: A pair of diopter adjustable eyeglasses for presbyopia vision correction, SPIE Optics + Photonics 2014 (San Diego, 2014.8.18)/Proceedings SPIE Vol.9193, 91931G
- Niklas Bergström, and Masatoshi Ishikawa: 1 ms tracking of target boundaries using contour propagation, 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2013) (Tokyo, 2013.11.4)/Proceedings, pp.2144-2151
- Lihui Wang, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: A Weak Power Enhanced Liquid-Membrane-Liquid Lens by a Pretension Elastic Membrane, OSA's 97th Annual Meeting, Frontiers in Optics 2013/Laser Science XXIX (FiO/LS 2013), (Orlando, 2013.10.8)/OSA Technical Digest FTu5F.5
- Kohei Okumura, Masato Ishii, Eri Tatsumi, Hiromasa Oku and Masatoshi Ishikawa: Gaze Matching Capturing for a High-speed Flying Object, SICE Annual Conference 2013 (Nagoya, 2013.9.15)/Proceedings, pp.649-654
- Leo Miyashita, Yuko Zou, and Masatoshi Ishikawa: VibroTracker: a Vibrotactile Sensor Tracking Objects, 2013 ACM SIGGRAPH (Anaheim, 2013.7.21-25)/Disc 1
- Kohei Okumura, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Active Projection AR using High-speed Optical Axis Control and Appearance Estimation Algorithm, 2013 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2013) (San Jose, 2013.7.18)/IEEE Xplore
- Lihui Wang, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: A solution of pre-tension membrane for improving the usability of liquid-membrane-liquid lens in its weak power area, 2nd EOS Conference on Optofluidics (EOSOF2013) (Munich, 2013.5.15)/Abstract, 1569716891
- Hiromasa Oku, Kazuma Tsukamoto, and Masatoshi Ishikawa: Measurement of temporal response characteristics of liquid-liquid interface with a pinned contact line for high-speed liquid lens design, 2nd EOS Conference on Optofluidics (EOSOF2013) (Munich, 2013.5.14)/ Abstract, 1569714639_002 (poster)
- Lihui Wang, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Development of variable-focal lens with liquid-membrane-liquid structure and 30mm optical aperture, SPIE Photonics West 2013 (San Francisco, 2013.2.7)/Oral Session, Proceedings 8617-5
- Hiroki Deguchi, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Arvitrarily Focused Video Using High-Speed Liquid Lens, 5th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH ASIA 2012) (Singapore, 2012.11.29-12.1)/Poster
- Lihui Wang, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: A Liquid Lens with Liquid-Membrane-Liquid Structure, OSA's 96th Annual Meeting, Frontiers in Optics 2012/Laser Science XXVIII (FiO/LS 2012) (NewYork, 2012.10.15)/Technical Digest FM3A
- Kohei Okumura, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Lumipen: Projection-Based Mixed Reality for Dynamic Objects, 2012 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2012) (Melbourne, 2012.7.11)/Proceedings, pp.699-704
- Kohei Okumura, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Gaze Controller for Millisecond-order Pan/tilt Camera, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2011) (Shanghai, 2011.5.12)/Proceedings, pp.6186-6191
- Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: High-speed liquid lens with 2-ms response and 80.3-nm root-mean-square wavefront error, SPIE Photonics West 2010 (San Francisco, 2010.1.25)/Proceedings, 7594-05
- Nobuyuki Mizoguchi, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: High-speed variable-focus optical system for extended depth of field, IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE2009) (Seoul, 2009.7.8)/Proceedings, pp.1668-1673
- Hiromasa Oku, Naoko Ogawa, Kogiku Shiba, Manabu Yoshida, and Masatoshi Ishikawa: How to Track Spermatozoa using High-Speed Visual Feedback, 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2008) (Vancouver, 2008.8.21)/Conference Proceedings, pp.125-128
- Soshiro Makise, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Serial Algorithm for High-speed Autofocusing of Cells using Depth From Diffraction (DFDi) Method, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2008) (Pasadena, 2008.5.23)/Conference Proceedings, pp.3124-3129
- Takahiko Ishikawa, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Mobile microscope : A new concept for hand-held microscopes with image stabilization, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2008) (Pasadena, 2008.5.23)/Conference Proceedings, pp.3130-3134
- Takeshi Hasegawa, Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: A New Framework for Microrobotic Control of Motile Cells based on High-Speed Tracking and Focusing, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2008) (Pasadena, 2008.5.23)/Conference Proceedings, pp.3964-3969 [IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter Young Award (ICRA2008)]
- Anchelee Davies, Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Visualization and Estimation of Contact Stimuli using Living Microorganisms, 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2006) (Kunming, 2006.12.18)/Proceedings, pp.445-450 [Best Paper in Biomimetics]
- Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: Rapid Liquid Variable-Focus Lens with 2-ms Response, 19th Annual Meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society (Montreal, 2006.11.2)/Proceedings, pp.947-948
- Koichi Hashimoto, Kiyonori Takahashi, Naoko Ogawa, and Hiromasa Oku: Visual Feedback Control for a Cluster of Microorganisms, SICE-ICASE International Joint Conference 2006 (SICE-ICCAS2006) (Busan, Korea, 2006.10.20)/Proceedings, pp.4198-4201
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Dynamics Modeling and Real-Time Observation of Galvanotaxis in Paramecium caudatum toward Robotic Maneuvering, The 3rd International Symposium on Aero Aqua Bio-mechanisms (ISABMEC2006) (Okinawa, 2006.7.5)/Proceedings, P02

- Hiromasa Oku, Theodorus, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Focusing of Cells Using Depth-From-Diffraction Method, 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2006) (Orlando, 2006.5.18)/Proceedings, pp.3636-3641
- Kiyonori Takahashi, Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, and Koichi Hashimoto: Organized Motion Control of a lot of Microorganisms Using Visual Feedback, 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2006) (Orlando, 2006.5.16)/Proceedings, pp.1408-1413
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Evaluation and Suppression of Overrun of Microorganisms using Dynamics Model for Microrobotic Application, 9th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-9) (Kashiwa, 2006.3.8)/pp.1015-1024
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Dynamics Model of Paramecium Galvanotaxis for Microrobotic Application, 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2005) (Barcelona, 2005.4.19)/pp.1258-1263
- Hiromasa Oku, Naoko Ogawa, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Microorganism Tracking Microscope System, 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2005) (Barcelona, 2005.4.18-22)
- Theodorus, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Optical Axis Tracking of Microorganism using High-speed Vision, Focus on Microscopy(FOM2005) (Jena, 2005.3.22)/p.105
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Motile Cell Galvanotaxis Control using High-Speed Tracking System, 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA2004) (New Orleans, 2004.4.28)/pp.1646-1651
- Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa: Single-cell level continuous observation of microorganism galvanotaxis using high-speed vision, 2004 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging(ISBI2004) (Arlingtona, 2004.4.18)/pp.1331-1334
- Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: A Variable-Focus Lens with 1kHz Bandwidth Applied to Axial-Scan of A Confocal Scanning Microscope, The 16th Annual Meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society 2003(LEOS2003) (Tucson, 2003.10.28)/ Vol.1, pp.309-310
- Graziano Chesi, and Koich Hashimoto: Improving camera displacement estimation in eye-in-hand visual servoing: a simple strategy, 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Taipei, 2003.9.18)/pp.3911-3916
- Graziano Chesi, Koich Hashimoto, D. Prattichizzo, and A. Vicino: A switching control law for keeping features in the field of view in eye-in-hand visual servoing, 2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Taipei, 2003.9.18)/pp.3929-3934
- Graziano Chesi, and Koich Hashimoto: A self-calibrating technique for visual servoing, 41st IEEE Conf. on Decision and Control (Las Vegas, 2002.12.10-13)/pp.2878-2883
- Graziano Chesi, and Koich Hashimoto: Static-eye against hand-eye visual servoing, 41st IEEE Conf. on Decision and Control (Las Vegas, 2002.12.10-13)/pp.2854-2859
- Graziano Chesi, and Koichi Hashimoto: Static-eye against hand-eye visual servoing, the 19th Annual conference of the Robotics Society of Japan, (Tokyo, 2001.10)/pp.947-948

招待論文／Invited Papers

- 石川正俊, 小室孝: ディジタルビジョンチップとその応用 (解説論文), 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J84-C, No.6, pp.451-461 (2001)
- 石川正俊：センサ情報の並列処理技術, 電子情報通信学会論文誌C-II, Vol.J74-C-II, No.5, pp.255-266(1991)

学術論文／Papers

- 井倉幹大, 宮下令央, 山下淳, 石川正俊, 淺間一: 高速点滅LEDマーカと複数のRGB-Dセンサを用いた遮蔽領域を提示可能な任意視点重畳映像生成システム, 精密工学会誌, Vol.88, No.3, pp.282-290 (2022)
- 田畑智志, 渡辺義浩, 石川正俊: 移動量微小仮定に基づくPoint Cloud型3次元トラッキングの高速化, 電子情報通信学会論文誌D, Vol.J101-D, No.12, pp.1539-1550 (2018)
- 新家健太, 渡辺義浩, 石川正俊: カーネル法に基づく単眼カメラによる書籍画像のひずみ補正, 電子情報通信学会論文誌D, Vol.J101-D, No.8, pp.1089-1098 (2018)
- 呂彩林, 渡辺義浩, 石川正俊: 3次元計測を用いた書籍電子化のための高速かつ高精度なページ分割, 精密工学会誌, Vol.83, No.12, pp.1192-1200 (2017)
- 吉田貴寿, 渡辺義浩, 石川正俊: 周期運動する実物体と高速時分割構造化光を用いたリアリスティックディスプレイの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.22, No.2, pp.229-240 (2017) [2018年 日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞]
- 平野正浩, 渡辺義浩, 石川正俊: 曲率フローに基づく閉曲線ブレンディング, 情報処理学会論文誌ジャーナル, Vol.58, No.7, pp.1311-1322 (2017)
- 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速ロールカメラを用いた回転ブラー相殺撮像, 映像情報メディア学会誌, Vol.70, No.9, pp.J209-J214 (2016) [2017年 映像情報メディア学会丹羽高柳賞論文賞賞受賞]
- 田畑 智志, 野口 翔平, 渡辺 義浩, 石川 正俊: 3視点拘束に基づくセグメントパターン投影型高速3次元計測, 計測自動制御学会論文集, Vol.52, No.3, pp.141-151 (2016)
- 新倉雄大, 渡辺義浩, 石川正俊: Anywhere Surface Touch: 実環境のあらゆる面を入力面とするインタフェース, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19, No.1, pp.69-80 (2014)
- 野口翔平, 溜井美帆, 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊: 自動めくり機を搭載する適応的撮像型の高速書籍電子化システム, 電子情報通信学会論文誌D, Vol.J96-D, No.10, pp.2590-2602 (2013)
- 溜井美帆, 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速書籍電子化のための高速書籍自動めくり機, 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.7, pp.712-719 (2013)
- 渡辺義浩, 柴山裕樹, 石川正俊: 高速書籍電子化に向けた単眼動画像からの三次元変形とその展開テクスチャの復元, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J96-D, No.8, pp.1731-1742 (2013)
- 渡辺義浩, 畑中 哲生, 小室 孝, 石川 正俊: 単一のウェアラブルカメラを用いた人間の歩行動作推定, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.219-229 (2012) [2013年 日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞]
- 渡辺義浩, アルバロカシネリ, 小室孝, 石川正俊：変形するタンジブルスクリーンへの適応的映像投影を行うインタラクティブディスプレイシステム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.15, No.2, pp.173-182 (2010) [2011年 日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞]
- 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：超並列コプロセッサを搭載する高速ビジョンシステムとリアルタイム多点計測への適用, 電子情報通信学会論文誌D, Vol.J90-D, No.12, pp.3233-3245 (2007)
- 石川正俊：ビジョンチップとその応用展開, 電子情報通信学会技術研究報告(集積光デバイス技術研究会), IPD07-15, pp.36-41 (2007)
- 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：多点瞬時解析高速ビジョンによる運動/変形物体のリアルタイム3次元センシング, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.6, pp.1005-1013 (2007) [2008年 日本ロボット学会論文賞受賞]
- 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊, 片山善夫：超並列画像プロセッサのためのビットレベルコンパイラ, 情報処理学会論文誌コンピューティングシステム, Vol.48, No.SIG13, pp.106-116 (2007)
- 鏡慎吾, 石川正俊：通信遅延を考慮したセンサ選択手法, 電子情報通信学会論文誌 A, Vol.J88-A, No.5, pp.577-587 (2005)
- 鏡慎吾, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：ビジョンチップを用いた実時間視覚処理システム VCS-IV, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J88-D-I, No.2, pp.134-142 (2005)
- 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップのための動的再構成可能なSIMD プロセッサ, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86-D-II, No.11, pp.1575-1585 (2003)
- 渡辺義浩, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップのためのマルチターゲットトラッキングとその応用, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J86-D-II, No.10, pp.1411-1419 (2003)
- 鏡慎吾, 小室孝, 藤村英範, 石川正俊：ディジタルビジョンチップのためのソフトウェア A-D 変換手法, 映像情報メディア学会誌, Vol.57, No.3, pp.385-390 (2003)
- 鏡慎吾, 小室孝, 石井抱, 石川正俊：実時間視覚処理のためのビジョンチップシステムの開発, 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J84-D-II, No.6, pp.976-984 (2001)
- 小室孝, 石井抱, 石川正俊, 吉田淳：高速対象追跡ビジョンチップ, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J84-D-II, No.1, pp75-82 (2001)
- 石井抱, 小室孝, 石川正俊：ディジタルビジョンチップのためのモーメント計算法, 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J83-D-II, No.8, pp.1733-1740 (2000)
- 石井抱, 石川正俊：高速ビジョンのためのSelf Windowing,電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J82-D-II, No.12, pp.2280-2287 (1999)
- 石井抱, 石川正俊：1msビジュアルフィードバックシステムのための高速対象追跡アルゴリズム, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.2, pp.195-201 (1999)
- 石井抱, 石川正俊：高速ビジョンのための直線抽出法,電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.J81-D-II, No.8, pp.1920-1926 (1998)
- 小室孝, 鈴木伸介, 石井抱, 石川正俊：汎用プロセッシングエレメントを用いた超並列・超高速ビジョンチップの設計, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D-I, No.2, pp.70-76 (1998)

本／Books

- 小室孝, 石川正俊：VII 2-5 ビジョンチップ, 光科学研究の最前線(「光科学研究の最前線」編集委員会編), 強光子場科学研究懇談会, pp.414-415 (2005.8)
- 石井抱, 石川正俊: ビークルと画像処理, ビークル (金井喜美雄他著, 計測自動制御学会編), pp.124-141, コロナ社 (2003)
- 石川正俊：6.4並列ビジョンセンサー, 6.5並列画像入力・処理システム, 光コンピューティングの事典(稲葉文男, 一岡芳樹編), 朝倉書店, pp.218-231 (1997.12)

解説論文／Review Papers

- 田畑智志, 石川正俊, 渡辺義浩: 小型高速三次元スキャナの開発, 画像ラボ, Vol.35, No.9, pp.13-18 (2024)
- 宮下令央, 田畑智志, 石川正俊: 高速画像処理を用いた3次元計測とその応用, レーザー研究, Vol.51, No.4, pp.215-219 (2023)
- 田畑智志, 渡辺義浩, 石川正俊: 小型高速三次元スキャナの研究開発と将来展望, ロボット, No.271, pp.45-47 (2023)
- 成田岳, 渡辺義浩, 石川正俊: 非剛体へのダイナミックプロジェクションマッピング, 光学, Vol.47, No.6, p.245 (2018)
- 渡辺義浩: 高速ビジョンと映像投影, 日本ロボット学会誌, Vol.35, No.8, pp.587-590 (2017)
- 渡辺義浩: 高速ビジョンの要素技術と応用展開の進化, 日本ロボット学会誌, Vol.35, No.8, pp.574-578 (2017)
- 石川正俊: 高速ビジョンのアーキテクチャと新展開, 日本ロボット学会誌, Vol.35, No.8, pp.570-573 (2017)
- 石川正俊: 高速画像処理の新展開, O plus E, Vol.39, No.9, pp.912-913 (2017)
- 石川正俊: 1000分の1秒の画像処理で常識を超えた機械を生む, 日経エレクトロニクス, 2015年6月号, pp.103-110 (2015)
- 並木明夫, 石川正俊: 高速ビジョンの応用展開, 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.9, pp.766-768 (2014)
- 渡辺義浩: 高速三次元センシングとその応用, 日本ロボット学会誌, Vol.32, No.9, pp.779-783 (2014)
- 石川正俊: 二次元情報処理のシステムアーキテクチャー ― 光ニューロコンピューティング, 光インターコネクション, 超高速ビジョン ―, 光学, Vol.43, No.1, pp.27-34 (2014)
- 石川正俊, 池田誠, 角博文, 太田淳, 有本和民, 清水徹: 光り輝く日本のイメージセンサ技術とその応用の今後の取組み, 映像情報メディア学会誌, Vol.68, No.1, pp.12-20 (2014)
- 渡辺義浩, 石川正俊：書籍電子化技術の新展開 -ブックスキャナの技術動向と超高速化への挑戦-, 現代の図書館, Vol.51, No.4, pp.210-216 (2013)
- 石川正俊: 忘れられていた時間軸 (巻頭言), 光学, Vol.42, No.8, p.393 (2013)
- 石川正俊：高速ビジョンとその応用, 応用物理, Vol.81, No.2, pp.115-120 (2012)
- 小室孝, 奥寛雅, 石井抱, 石川正俊：高速画像処理を利用した撮像システムならびにその撮像処理への応用, 映像情報メディア学会誌, Vol.65, No.10, pp.1376-1380 (2011)
- 渡辺義浩, 石川正俊：超高速センシングを実現するリアルタイムビジョンシステムの開発, 自動車技術, Vol.65, No.7, pp.114-115 (2011)
- 石川正俊：ビジョンチップとその応用(巻頭言), アドバンテスト・テクニカル・レポート Probo35, No.35, pp.4-14 (2010)
- 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：超高速3Dセンシング技術と3Dインタフェイス, 映像情報インダストリアル増刊号, Vol.42, No.13, pp.27-30 (2010)
- 渡辺義浩, 妹尾拓, 石川正俊：高速ビジョンを用いた高速ロボットの実現, ロボット, No.192, pp.47-53 (2010)
- 小室孝, 石川正俊：インテリジェントカメラの可能性, 画像ラボ, Vol.19, No.9, pp.73-75 (2008)
- 田畑友啓, 小室孝, 石川正俊：実用型高速ビジョン画像処理システム, 画像ラボ, Vol.19, No.9, pp.76-79 (2008)
- 渡辺義浩：超並列コプロセッサ搭載型高速ビジョン-1,000対象を秒間1,000回解析するビジョンシステム-, 画像ラボ, Vol.19, No.2, pp.1-7 (2008)
- 小室孝, 石川正俊, 鏡慎吾：ビジョンチップシステムを用いた高速視覚処理, 画像ラボ, Vol.16, No.11, pp.36-40 (2005)
- 石川正俊：超高速ビジョンの展望：日本ロボット学会誌, Vol.23, No.3, pp.274-277 (2005)
- 小室孝, 石川正俊, 石井抱, 吉田淳, 稲田喜昭, 小宮泰宏：高速対象追跡ビジョンチップの開発, 計測と制御, Vol.43, pp.802-804 (2004) [2004年 計測自動制御学会技術賞友田賞受賞記念解説論文]
- 渡辺義浩, 石川正俊：ビジョンチップによるマルチターゲットトラッキングと視覚計測への応用, 画像ラボ, Vol.15, No.9, pp.17-21 (2004)
- 鏡慎吾, 石川正俊：分散リアルタイムセンシングによる高速動作獲得技術, 情報処理, Vol.44, No.1, pp.34-39 (2003)
- 小室孝, 石川正俊：ビジョンチップを用いたオンライン計測, 計測技術, Vol.30, No.9, pp.1-4 (2002)
- 小室孝, 石川正俊：ビジョンチップの概要と応用, 画像ラボ, Vol.13, No.7, pp.1-4 (2002)
- 小室孝, 石川正俊：コンピュテーショナルセンサの研究の歴史と今後の展開, 日本ロボット学会誌, Vol.20, No.4, pp.381-384 (2002)
- 小室孝, 並木明夫, 石川正俊：多機能な目, 映像情報メディア学会誌, Vol.56, No.3, pp.356-359 (2002)
- 石川正俊, 小室孝：デジタルビジョンチップとその応用, 映像情報インダストリアル, Vol.33, No.12, pp.35-43 (2001)(＊電子情報通信学会論文誌 VOL.J84-C No.6より抜粋)
- 小室孝, 石川正俊：高速画像処理のワンチップ集積化, 光学, Vol.30, No.11, pp.725-731 (2001)
- 豊田晴義, 向坂直久, 水野誠一郎, 中坊嘉宏, 石川正俊：開発すすむ列並列ビジョンシステム, エレクトロニクス, Vol.46, No.3, pp.18-21 (2001)
- 吉田淳, 小室孝, 石川正俊：高速追跡用ビジョンチップの可能性, エレクトロニクス, Vol.46, No.3, pp.22-23 (2001)
- 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：超並列ビジョンチップ開発は今…, エレクトロニクス, Vol.46, No.3, pp.6-9 (2001)
- 小室孝, 石川正俊, 吉田淳：ターゲットトラッキングビジョンチップ, 画像ラボ, Vol.12, No.6, pp.5-8 (2001)
- 石川正俊, 小室孝: ディジタルビジョンチップとその応用, 電子情報通信学会論文誌C, Vol.J84-C, No.6, pp.451-461 (2001)
- 小室孝：ISSCC99詳報 ビジョンチップの最前線 -- 携帯機器開発に視覚情報を与える, エレクトロニクス, Vol.44, No.5, pp.27-29 (1999)
- 小室孝：ISSCC99詳報 イメージセンサの最前線, エレクトロニクス, Vol.44, No.4, pp.11-13 (1999)

- 石井抱, 石川正俊：高速視覚とロボットシステム－超並列ビジョンチップ の開発とその応用 -, 画像ラボ, Vol.10, No.4, pp.10-14 (1999)
- 小室孝, 石井抱, 石川正俊：超並列ビジョンチップの開発, 映像情報, Vol.30, No.23, pp.35-40 (1998)
- 石川正俊：超並列・超高速視覚情報システム -汎用ビジョンチップと階 層型光電子ビジョンシステム-, 応用物理, Vol.67, No.1, pp.33-38 (1998)
- 石川正俊：並列処理を用いた知能化センシング, 計測と制御, Vol.36, No.9, pp.648-654 (1997)
- 石川正俊：画像センシングの新展開, 映像情報, Vol.27, No.23, pp.25-28 (1995)
- 石川正俊：高速ビジョン -その技術のうねり, エレクトロニクス, Vol.40, No.10, pp.21-23 (1995)
- 石川正俊：光電子ハイブリッド型ビジョンシステム, O plus E, No.184, pp.76-82 (1995)
- 石川正俊：超並列システム ビジョン デザイン, BREAK THROUGH, No.103, pp.17-19 (1995)
- 石川正俊：超並列・超高速ワンチップビジョンとその応用, 日本ロボット学会誌, Vol.13, No.3, pp.335-338 (1995)
- 石川正俊: 超高速・超並列ビジョンシステム, 光学, Vol.21, No.10, pp.678-679 (1992)
- 石川正俊：超並列・超高速ワンチップビジョン, 映像情報, Vol.24, No.23, pp.73-78 (1992)

招待講演／Invited Talks and Tutorials

- 宮下令央: 動的デジタルツイン計測とダイナミックプロジェクションマッピング, 第33回レーザーディスプレイ技術研究会 (宇都宮, 2024.11.25)
- 胡云普, 宮下令央, 石川正俊: Differential Frequency Heterodyne Time-of-Flight Imaging for Instantaneous Depth and Velocity Estimation, Visual Computing 2023 (VC2023) (東京, 2023.9.20) ／ SIGGRAPH招待セッション3, 54
- Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, Masatoshi Ishikawa: MIDAS Projection: Markerless and Modelless Dynamic Projection Mapping for Material Representation, 第22回 画 像 の 認 識・理 解 シ ン ポ ジ ウ ム (MIRU2019) (大 阪, 2019.8.1) ／講演論文集, IT3B-3
- 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: MIDAS Projection: マーカーレス・モデルレスの動的プロジェクションマッピングによる質感表現, Visual Computing (VC2019) (東京, 2019.6.28) ／ SIGGRAPH ASIA 2018/Eurographics2019採択論文招待講演, 13
- 吉村真一, 山崎智裕, 片山博誠, 上原修二, 能勢敦, 小林正嗣, 志田さやか, 伊澤崇, 村松良徳, 小田原正起, 高宮健一, 久松康秋, 松本静徳, 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 140GOPS列並列PEを用いた積層型1000fpsビジョンチップとその応用, 第1回日本光学会情報フォトニクス研究グループ+CMOS研究会 映像情報メディア学会情報センシング11月研究会, (東京, 2017.11.13) ／映像情報メディア学会技術報告 情報センシング, Vol.41, No.37, pp.1-4
- 宮下令央, 石原響太, 渡辺義浩, 石川正俊: ZoeMatrope: マテリアルデザインのための実体ディスプレイ, Visual Computing/グラフィクスとCAD 合同シンポジウム2016 (東京, 2016.6.20) ／予稿集, invited 04
- 石川正俊: 高速ディスプレイと高速画像処理で創る新しいインタラクティブディスプレイの世界 (特別講演), 第18回レーザーディスプレイ技術研究会 (東京, 2016.2.3) ／講演予稿集, pp.3-11
- 石川正俊: 高速画像処理が拓く新しい知能システムの世界 (基調講演), 第29回光通信無進歩ジウム (三島, 2015.12.17) ／講演予稿集, pp.4-12
- 宮下令央, 米澤亮太, 渡辺義浩, 石川正俊: 事前知識を用いない任意物体の3次元運動計測 (招待講演), 第161回CG・第199回CVIM合同研究発表会 (神戸, 2015.11.6) ／ Vol.2015-CG-161, No.7 ／ Vol.2015-CVIM-199, No.7
- 石川正俊: 超高速ビジョン／プロジェクターでクルマを革新 (特別講演), 日経エレクトロニクスセミナー「車載イメージングソリューション」(東京, 2015.8.7)
- 石川正俊: 高速ビジョンとその応用 (特別講演), 画像符号化シンポジウム (PCSJ)・映像メディア処理シンポジウム (IMPS) (修善寺, 2014.11.13)
- 石川正俊: 高速知能化センシングの未来 ー高速ビジョンの応用展開ー (基調講演), 日本学術会議 計測連合シンポジウム 先端計測2014 (東京, 2014.3.11)
- 石川正俊: 人を超える高速ビジョンシステムとその応用 (特別講演), ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW 2013) (東京, 2013.12.5) ／講演概要集, pp.123-125
- 石川正俊: 高速画像処理が拓く新しい画像応用システムの世界 (特別講演), 光産業技術振興協会 光技術動向セミナー (横浜, 2013.10.17) ／講演プログラム, pp.1-9
- 石川正俊: 高速ビジュアルフィードバックの世界 (特別講演), 第127回微小光学研究会「3D空間情報と微小光学」(東京, 2013.3.7) ／ MICROOPTICS NEWS, Vol.31, No.1, pp.1-6
- 石川正俊: イメージセンサの応用展開, 2012年映像情報メディア学会冬季大会特別企画「最新のイメージセンサ技術と将来」 (東京, 2012.12.19)
- 石川正俊, 山田雅宏: 高速画像処理技術とその応用 ー世界最速ブックスキャナの開発秘話と関連技術が拓く未来ー, 第14回図書館総合展フォーラム (横浜, 2012.11.22)
- 石川正俊: 広がる高速画像処理の世界ービジュアルフィードバックの新展開ー(基調講演), 日本光学会年次学術講演会(Optics & Photonics Japan 2012) (東京, 2012.10.23) ／ 講演予稿集CD, 23pPL3 ／ Conference Guide, pp.29-30
- 石川正俊: 高速ビジョンとその応用展開, 公益財団法人服部報公会第82回設立記念会, 報公賞受賞者講演 (東京, 2012.10.9)
- 石川正俊: 新たな応用システムの開発が進む高速画像処理技術, CEATEC JAPAN コンファレンス (幕張, 2012.10.2)
- 石川正俊: 高速画像処理とその応用 ー技術移転の課題と展開方策ー, 次世代センサ協議会特別講演会 (東京, 2012.7.4)
- 石川正俊: 超並列・超高速ビジョンの開発とその応用展開, 第31回島津賞受賞記念講演 (京都, 2012.2.21) ／資料, pp.2-3
- 石川正俊: 高速画像処理とその応用 ーデバイスからシステムまでー (特別講演), 計測展2011TOKYO〈計測自動制御学会(SICE)50周年記念セミナー〉(東京, 2011.10.28)
- 石川正俊: 超高速画像処理とその応用 (招待講演), 徳島大学・日本光学会中四国支部・計測自動制御学会四国支部合同講演会「光センシングの質的変革」(徳島, 2011.4.14)
- 石川正俊: 高速画像処理とその応用 (特別招待講演), 国際画像機器展2010国際画像セミナー (横浜, 2010.12.9)
- 石川正俊: ビジョンチップとその応用 ～ヒューマンインターフェイス, 検査, 医療・バイオ, ロボット～ (招待講演), 映像情報メディア学会情報センシング研究会／コンシューマエレクトロニクス研究会 (東京, 2010.3.26) ／映像情報メディア学会技術報告, IST2010-11/CE2010-20, Vol.34, No.16, pp.15-20 (2010)
- 渡辺義浩, 石川正俊：高速3次元センシングの実現とその新応用(招待講演), 第57回応用物理学関係連合講演会 (神奈川, 2010.3.18) ／講演論文集, p.173
- 石川正俊：超高速画像処理とその応用(招待講演), 電子情報通信学会2008年総合大会 (北九州, 2008.3.21) ／講演論文集, DS-3-4

- 小室 孝：高速イメージングと高速画像処理(招待講演)，第39回光波センシング研究会(浜松, 2007.6.13) ／ 講演論文集, pp.197-204
- 石川正俊：ビジョンチップが拓く未来, 第100回記念微小光学研究会 (東京, 2006.5.16) ／ MICROOPTICS NEWS, Vol.24, No.2, pp.7-12
- 石川正俊, 小室孝：ビジョンチップとその応用, 第29回光学シンポジウム (東京, 2004.6.18) ／ pp.63-68
- 石川正俊, 小室孝：瞬く間に反応するロボット, 第89回微小光学研究会 (東京, 2003.7.29) ／ MICROOPTICS NEWS, Vol.21, No.3, pp.1-6
- 石川正俊, 小室孝：ビジョンチップ応用の新展開(特別招待講演), 電子情報通信学会集積回路研究会 (東京, 2003.7.24) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103, No.216, ICD2003-43, pp.25-30
- 石川正俊：機能イメージセンサの展望(招待講演), 第6回システムLSIワークショップ (琵琶湖, 2002.11.26) ／講演資料集, pp.99-108
- 石川正俊, 小室孝, 鏡慎吾：ディジタルビジョンチップの新展開(特別招待講演), 電子情報通信学会集積回路研究会 (東京, 2002.7.25) ／電子情報通信学会技術研究報告, ICD2002-39, Vol.102, No.234, pp.23-28
- 石川正俊: イメージング技術の今後の動向と産業応用の可能性 (基調講演), 浜松地域知的クラスター創成事業発足記念イメージングフォーラム (浜松, 2002.7.22)
- 石川正俊：ビジョンチップとその応用(特別講演), 3次元画像コンファレンス(東京, 2002.7.4) ／ 講演論文集, pp.33-36
- 石川正俊：1msビジョンチップの現状と将来(招待論文), 電子情報通信学会集積回路研究会 (熊本, 2000.9.22)／電子情報通信学会技術研究報告, ICD00-138, Vol.100, No.652, pp.35-42, 映像情報メディア学会情報センシング研究会／映像情報メディア学会技術報告, Vol.24, No.53, pp.35-42 (2000)
- 石川正俊：1msビジョンチップとその応用(特別講演), AVIRG総会 (東京, 2000.5.25)
- 石川正俊: 超並列・超高速ビジョンチップとその応用, 日本光学会応第33回サマーセミナー「新しい視覚と画像の世界」(軽井沢, 1999.9.18) ／講演論文集, pp.42-48
- 石川正俊: スーパービジョンチップと今後の応用, STARCシンポジウム99 (京都, 1999.9.17) ／講演予稿集, pp.99-106
- 石川正俊: スーパービジョンチップとその応用(招待講演), 第2回システムLSI琵琶湖ワークショップ (琵琶湖, 1998.11.27) ／講演資料集, pp.175-190
- 石川正俊: 超高速・超並列ビジョンとその応用 -1000分の1秒で画像処理ができるとロボットはどう変わるか-, 筑波研究フォーラム (筑波, 1998.10.15) ／資料, pp.1-5
- 石川正俊：超並列ビジョンチップ, 日本機械学会第75期通常総会「先端技術フォーラム」(東京, 1998.3.31) ／資料集VI, pp.286-287
- 石川正俊：知能システムにおけるセンシング技術の近未来(特別講演), 第25回知能システムシンポジウム (東京, 1998.3.20) ／資料, pp.99-105
- 石川正俊: 計測技術の近未来, INTERMAC'97技術講演会 (東京, 1997.10.24)
- 石川正俊：センシングシステムの未来 -1msビジョンチップとセンサフュージョン-, 第3回画像センシングシンポジウム (東京, 1997.6.11) ／予稿集, pp.149-152
- 石川正俊：超並列・超高速ビジョンチップ, 第10回回路とシステム軽井沢 ワークショップ (軽井沢, 1997.4.21) ／論文集, pp.151-155
- 石川正俊：超並列・超高速ビジョンとその応用 (招待講演), レーザー学会学術講演会第16回年次大会 (横浜, 1996.1.25) ／講演予稿集, pp.302-305
- 石川正俊：超並列・超高速ワンチップビジョンとその応用, 第15回光応用計測部会講演会 (東京, 1995.10.26) ／資料, pp.33-37
- 石川正俊：センサ技術と並列処理, 計測自動制御学会第８回先端電子計測部会講演会 (東京, 1991.11.29) ／予稿集, pp.21-24

レター論文／Letters

- 田畑智志, 渡辺義浩, 石川正俊: 小型高速三次元スキャナの開発, 日本ロボット学会誌, Vol.42, No.1, pp.82-85 (2024)
- 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊: 世界最速ブックスキャナの開発, 日本印刷学会誌, Vol.50, No.3, pp.267-271 (2013) [2013年 日本印刷学会技術奨励賞受賞] [2013年 日本印刷学会研究発表奨励賞受賞]
- 岩下貴司, 小室孝, 石川正俊：128x128画素を有する画像モーメントセンサの開発, 映像情報メディア学会誌, Vol.61, No.3, pp.123-126 (2007)
- 渡辺義浩, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：超並列コプロセッサIPを用いたリコンフィギャラブル高速ビジョンシステムの構築と評価, 情報科学技術レターズ, Vol.5, pp.25-28 (2006)

講演／Lectures

- 宮下令央: 高速ビジョンによる1,000fps三次元計測が拓くデジタルツインの新展開, 光応用技術シンポジウムSenspec2025 (横浜, 2025.6.13)

学会発表／Proceedings

- 宮下令央, 石川正俊: 合成画像データセット生成による位置姿勢認識モデルの自動構築と高速認識, 電子情報通信学会画像工学研究会 (札幌, 2026.2.19) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.125, No.356, pp.73-76
- 田畑智志, 渡辺義浩, 石川正俊: 複数物体の高速三次元スキャンにおける物体認識を用いた分離統合の検討, 第26回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2025) (広島, 2025.12.10) ／講演会論文集, pp.1600-1603
- 田畑智志, 石川正俊: 可変焦点光学系キャリブレーションのためのジーメンススターサークルグリッドの検討, 第42回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2024) (大阪, 2024.9.6) ／講演概要集, 3A3-03
- 宮下令央, 田畑智志, 石川正俊: Coarse-to-Fine位相同定のための階層化ArUcoマーカー配列, 電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会 (SeMI) (那覇, 2024.5.17) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.124, No.22, SeMI2024-4, pp.16-19

- 田畑智志, 末石智大, 宮下令央, 石川正俊: 円筒位置姿勢情報の高速フィードバックを用いたダイナミックアナモルフォーシステムの開発, 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2023) (新潟, 2023.12.14) ／講演会論文集, pp.1280-1285 [2023年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 SI2023優秀講演賞受賞]
- 宮下令央, 田畑智志, 石川正俊: パラレルバスパターンによる高速低遅延3次元形状計測, 計測自動制御学会 第39回センシングフォーラム計測部門大会 (東京, 2022.9.21) ／資料, pp.49-54 [2022年 計測自動制御学会 計測部門 センシングフォーラム研究奨励賞受賞]
- 田畑智志, 渡辺義浩, 石川正俊: 小型高速三次元スキャナの開発, 第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022) (東京, 2022.9.6) ／講演概要集, 2B1-07
- 深水健太郎, 宮下令央, 石川正俊: ダイナミックプロジェクションマッピングを用いた動物体への視点依存映像の投影, 情報処理学会インタラクション2020 (東京, 2020.3.9 [オンライン]) ／予稿集, 1P-70, pp.431-435 [2020年 情報処理学会インタラクション2020インタラクティブ発表賞(PC推薦)受賞]
- 井倉幹大, 宮下令央, 石川正俊: 不整地への着陸に向けた適応的3次元形状計測によるUAVの高速脚制御システム, 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2019) (高松, 2019.12.13) ／講演会論文集, pp.1881-1886
- 伊藤遼, 宮下令央, 石川正俊: 振動球面鏡の同期撮像による単一のカメラを用いた小人化両眼立体視システムの開発, 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2019) (高松, 2019.12.13) ／講演会論文集, pp.1322-1327
- 濱崎龍馬, 宮下令央, 石川正俊: 分光反射率特性と自然冷却特性を用いたBRDFモデルパラメータの計測手法の検討, 2019年映像情報メディア学会冬季大会 (東京, 2019.12.12) ／講演予稿集, 11C-5
- 伊藤遼, 宮下令央, 石川正俊: 小人が見る世界を体験する両眼立体視システム, 電子情報通信学会メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 (MVE2019) (斜里, 2019.10.10) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.119, No.222, pp.1-4 [2019年 電子情報通信学会メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 MVE賞受賞]
- 木村洋太, 田畑智志, 宮下令央, 石川正俊: 疎な法線情報と高速距離計測を用いた密な形状の高速復元, 第22回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2019) (大阪, 2019.7.31) ／講演論文集, OS2B-4, pp.1-4 [2019年 画像の認識・理解シンポジウム MIRU学生奨励賞受賞]
- 井倉幹大, 宮下令央, 石川正俊: UAVの安全着陸に向けた適応的3次元形状計測による時空間分解能の向上, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2019) (広島, 2019.6.6) ／講演論文集, 1P1-S06 [2020年 日本機械学会若手優秀講演フェロー賞受賞]
- 安井雅彦, 渡辺義浩, 石川正俊: インテグラルフォトグラフィ型システムの省スペース化のための鏡を利用した投影に関する検討, 映像情報メディア学会情報ディスプレイ研究会 (東京, 2018.10.25) ／映像情報メディア学会技術報告, Vol.42, No.35, IDY2018-41, pp.1-3
- 遠藤宣明, 渡辺義浩, 石川正俊: 変形する曲面モデルを利用した高速高精度非剛体3次元トラッキングの検討, 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2018) (仙台, 2018.9.21) ／論文集, 32D-3
- 加地宏乃介, 渡辺義浩, 石川正俊: 機械学習を用いた高精度・少数サンプリングを両立する反射特性推定器の構築, 第21回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2018) (札幌, 2018.8.7) ／講演論文集, PS2-6
- 新田暢, 渡辺義浩, 石川正俊: モデル間分散を利用した適応的な反射特性計測手法の検討, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU2017) (堺, 2018.1.19) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.391, pp.251-256
- 渡辺義浩, 斎藤謙二郎, 宮下令央, 石川正俊: 反射特性計測の高速化に向けたベイズ最適化を利用したサンプリングの設計, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU2017) (堺, 2018.1.19) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.391, pp.245-250
- 田畑智志, 天野光, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速3次元トラッキングを用いたマーカレスダイナミックプロジェクションマッピングの検証, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU2017) (堺, 2018.1.18) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.391, pp.147-152 [2018年 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会PRMU月間ベストプレゼンテーション賞受賞]
- 遠藤宣明, 天野光, 渡辺義浩, 石川正俊: ダイナミックプロジェクションマッピングのための複数カメラを用いた高速非剛体3次元トラッキング, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU2017) (堺, 2018.1.18) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.391, pp.87-92
- 岩永朋樹, 渡辺義浩, 石川正俊: 非負値行列因子分解を用いた空間分布反射特性の推定, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU2017) (堺, 2018.1.18) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.391, pp.81-86
- 石川正俊: 高速ビジョンセンシングの最新技術と応用, 第286回薄膜第131委員会 (名古屋, 2017.10.17) ／合同研究会資料, pp.27-34
- 天野光, 加藤俊幸, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速プロジェクタによる光源変調と階調制御の連携に基づく不可視パターン埋め込み手法の検討, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2017) (徳島, 2017.9.28) ／論文集, 2E1-01
- 田畑智志, 渡辺義浩, 石川正俊: 移動量微小仮定に基づく対応点探索の効率化によるPoint Cloudベース3次元トラッキングの高速化, 第16回情報科学技術フォーラム (東京, 2017.9.12) ／講演論文集第3分冊, CH-003, pp.11-16
- 新家健太, 渡辺義浩, 石川正俊: カーネル法に基づく単眼カメラによる書籍画像の歪み補正, 第20回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2017) (広島, 2017.8.9) ／講演論文集, OS3-5 [2017年 画像の認識・理解シンポジウム MIRU学生奨励賞受賞]
- 丸山三智佳, 田畑智志, 渡辺義浩, 石川正俊: 微分情報に基づく位相接続を用いた運動物体に対する3次元計測, 第23回画像センシングシンポジウム (SSII2017) (横浜, 2017.6.8) ／講演論文集, SO2-IS2-25 [2018年 画像センシングシンポジウム SSII2017 優秀学術賞受賞]
- 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 多重化レーザー計測による3次元運動センシングを用いた物体トラッキング, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2017) (郡山, 2017.5.12) ／講演論文集, 2A2-M11
- 小林正嗣, 山崎智裕, 片山博誠, 上原修二, 能勢敦, 志田さやか, 小田原正起, 高宮健一, 久松康秋, 松本静徳, 宮下令央, 渡辺義浩, 伊澤崇, 村松良徳, 石川正俊: 時空間処理のための140GOPS列並列演算器を有する積層型1ms-高速ビジョンチップ, 映像情報メディア学会情報センシング研究会 (東京, 2017.3.10) ／映像情報メディア学会技術報告, Vol.41, No.10, pp.3-6
- 呂彩林, 渡辺義浩, 石川正俊: 3次元計測を用いた書籍電子化のための高速かつ高精度なページ分割手法の提案, 動的画像処理実利用化ワークショップ2017 (DIA2017) (松江, 2017.3.9) ／講演論文集, pp.58-64 [2017年 動的画像処理実利用化ワークショップDIA2017 研究奨励賞受賞]
- 天野光, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速プロジェクタとウェアラブル型トラッキングに基づく低遅延な空間型拡張現実の検討, 情報処理学会インタラクション2017 (東京, 2017.3.2) ／論文集, pp.210-215
- 吉田貴寿, 渡辺義浩, 石川正俊: 実物体の周期運動と高速時分割構造化光を用いた形状と質感を再現するリアリスティックディスプレイ, 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2016) (つくば, 2016.9.16) ／論文集, 33C-01 [2017年 日本バーチャルリアリティ学会学術奨励賞受賞]
- 渡辺義浩: 高速性がもたらす実世界把握・提示の新展開, 第77回応用物理学会秋季学術講演会 (新潟, 2016.9.15) ／講演予稿集, 15p-A32-3
- 安宅佑樹, 渡辺義浩, 石川正俊: 音を用いた舌インタフェース, 第21回日本バーチャルリアリティ学会大会 (つくば, 2016.9.15) ／論文集, 21B-01
- 斎藤謙二郎, 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速BRDF計測に向けた代数的解法の拡張の実機検証, 第19回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2016) (浜松, 2016.8.3) ／講演論文集, PS2-32
- 平野正浩, 渡辺義浩, 石川正俊: ZoeMatrope: 一筆書きアニメーションの中割り手法の提案, Visual Computing/グラフィクスとCAD 合同シンポジウム2016 (東京, 2016.6.18) ／予稿集, No.19

- 吉田健太郎, 龍野翔, 渡辺義浩, 石川正俊: 動的投影のための投影型不可視マーカーによる3 次元トラッキングに関する研究, 第22回画像センシングシンポジウム (SSII2016) (横浜, 2016.6.8) ／講演論文集, IS1-16
- 板垣俊輝, 米澤亮太, 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 三次元運動センシングを用いた運動物体の三次元形状・法線統合, 第22回画像センシングシンポジウム (SSII2016) (横浜, 2016.6.8) ／講演論文集, IS1-17
- 斎藤謙二郎, 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速BRDF計測に向けた代数的解法の拡張の提案. 2015年映像情報メディア学会冬季大会 (東京, 2015.12.15) ／講演予稿集, 11C-5
- 龍野翔, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速プロジェクタを用いた位相シフト法による動物体への三次元センシングの検証, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) ／講演会論文集, pp.366-370
- 安井雅彦, 渡辺義浩, 石川正俊: 構造化光空間を用いた遮蔽に頑健な浮遊型入力機構の提案, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) ／講演会論文集, pp.371-374 [2015年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2015優秀講演賞受賞]
- 中井啓貴, 米澤亮太, 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 三次元運動センシングを用いた移動体からの三次元形状統合システムの提案, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) ／講演会論文集, pp.377-380
- 米澤亮太, 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 3次元運動計測を用いた動的物体の高解像度RGB-D取得, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2015) (名古屋, 2015.12.14) ／講演会論文集, pp.381-386
- 伊藤光一郎, 渡辺 義浩, 石川 正俊: 事例ベース歪み補正のための書籍構造を利用した紙面形状マッチング, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2015) (横浜, 2015.12.3) ／講演論文集, pp.116-120
- 平野正浩, 渡辺義浩, 石川正俊: 曲率フローに基づく閉曲線ブレンディング, 第161回CG・第199回CVIM合同研究発表会 (神戸, 2015.11.7) ／ Vol.2015-CG-161, No.28 ／ Vol.2015-CVIM-199, No.28 [2016年 情報処理学会 CGとビジュアル情報学研究会 優秀研究発表賞受賞][2017年 情報処理学会山下記念研究賞受賞]
- 宮下令央, 米澤亮太, 渡辺義浩, 石川正俊: 多重化レーザー計測を用いた任意物体の3次元運動センシングとその応用, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2015) (東京, 2015.9.10) ／論文集, pp.245-248
- 安井雅彦, 渡辺義浩, 石川正俊: 空中像形成技術を用いた構造化光空間による3次元計測手法の提案, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2015) (東京, 2015.9.10) ／論文集, pp.249-252
- 吉田貴寿, 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速カメラと偏光による透明物体の姿勢推定手法, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2015) (東京, 2015.9.10) ／論文集, pp.253-256
- 畑中智貴, 渡辺義浩, 石川 正俊: ウェアラブル高速ビジョンを用いた実物体接触型アーカイブの検討, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2015) (東京, 2015.9.9) ／論文集, pp.46-49
- 安宅佑樹, カシネリアルバロ, 渡辺義浩,石川正俊: 特徴音による無線無電源インタフェースの実現, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2015) (東京, 2015.9.9) ／論文集, pp.50-53
- 成田岳, 江連悠貴, 湯浅剛, 角野究, 渡辺義浩, 石川正俊: 1000fps・8bit 階調と低レイテンシ投影を実現する高速プロジェクタの開発, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2015) (東京, 2015.9.9) ／論文集, pp.162-165
- 成田岳, 渡辺義浩, 石川正俊: マルチドットマーカの高速トラッキングによる変形・伸縮物体への高速プロジェクションマッピング, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2015) (東京, 2015.9.9) ／論文集, pp.166-169
- 米澤亮太, 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 多重化レーザ計測による三次元運動センシングを用いた三次元形状統合, 第33回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2015) (東京, 2015.9.3) ／講演概要集, 1H1-02
- 日下部佑理, Muhammad Sakti Alvissalim, 渡辺義浩, 石川正俊: ウェアラブル高速ビジョンのための識別型指先トラッキング, 第21回画像センシングシンポジウム (SSII2015) (横浜, 2015.6.12) ／講演論文集, IS3-10
- 田畑智志, 野口翔平, 渡辺義浩, 石川正俊: 3視点拘束に基づくセグメントパターン投影型リアルタイム3次元センシング, 第15回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2014) (東京, 2014.12.17) ／講演会論文集, pp.2261-2265
- 渡邊千紘, カシネリアルバロ, 渡辺 義浩, 石川 正俊: フラットな情報端末の物理的な拡張に向けたカスタム型柔軟体ユーザインタフェース, 第19回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2014) (名古屋, 2014.9.19) ／論文集, pp.427-430
- 橋本順祥, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速動画像を用いた時系列伝搬による運動物体の逐次的形状復元, 第20回画像センシングシンポジウム (SSII2014) (横浜, 2014.6.12) ／講演論文集, IS2-20
- 多田圭佑, 渡辺義浩, 石川正俊: 3次元形状の事前知識を用いた書籍画像展開補正, 第20回画像センシングシンポジウム (SSII2014) (横浜, 2014.6.13) ／講演論文集, IS2-31
- 松本康平, 渡辺義浩, 石川正俊: 動的撮像制御を行うスタンドアロン高速ビジョンの設計と高速書籍電子化への応用, 第20回画像センシングシンポジウム (SSII2014) (横浜, 2014.6.13) ／講演論文集, IS2-33
- 郷原啓生, 渡辺義浩, 石川正俊: 異なる時刻に撮像された複数視点画像を用いる統合型書籍画像生成とその高品質化, 第20回画像センシングシンポジウム (SSII2014) (横浜, 2014.6.13) ／講演論文集, IS2-35
- 野口翔平, 渡辺義浩, 石川正俊: 小型・高速3次元センシングシステムを用いた高解像度形状復元, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2013) (神戸, 2013.12.19) ／講演会論文集, pp.1067-1070
- 郷原啓生, 渡辺義浩, 石川正俊: 複数視点型書籍電子化のためのテクスチャ配置と解像度向上を最適化する統合画像生成手法, 2013年度映像メディア処理シンポジウム (IMPS2013) (熱海, 2013.11.8) ／講演論文集, 1-5-04
- 松本康平, 溜井美帆, Carson Reynolds, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速ビジョンの小型化とスタンドアロン化に向けた試作と検証, 第19回画像センシングシンポジウム (SSII2013) (横浜, 2013.6.14) ／講演論文集, IS3-24
- 野口翔平, 溜井美帆, 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊: 適応的撮像に基づく自動・高速・高精細書籍電子化システムの開発と評価, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2013 (ROBOMEC2013) (つくば, 2013.5.24) ／講演論文集, 2A2-J03 [2014年 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門ROBOMEC表彰]
- 野口翔平, 溜井美帆, 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊: 適応的撮像による書籍電子化のためのリアルタイムページ3次元トラッキングとその状態評価, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU2012) (東京, 2013.3.15.) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.112, No.495, pp.75-80
- 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: デジタル応用に向けた変形する紙の高速な反射特性の取得, 2012年映像情報メディア学会冬季大会 (東京, 2012.12.18) ／講演予稿集, 3-3
- 郷原啓生, 渡辺義浩, 石川正俊: 多視点型高速書籍電子化のための適応的境界生成手法, 2012年映像情報メディア学会冬季大会 (東京, 2012.12.18) ／講演予稿集, 4-8
- 多田圭佑, 渡辺義浩, 石川正俊: 書籍電子化のための単画像からの高精細化手法の検討, 2012年映像情報メディア学会冬季大会 (東京, 2012.12.18) ／講演予稿集, 4-9
- 松本康平, 溜井美帆, Carson Reynolds, 渡辺義浩, 石川正俊: スタンドアロン高速ビジョンシステムの試作, 2012年映像情報メディア学会冬季大会 (東京, 2012.12.19) ／講演予稿集, 11-11
- 宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊: 書籍のデジタルアーカイブに向けためくり動作中の高速反射特性計測, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2012) (横浜, 2012.12.7) ／講演論文集, IS2-D1
- 野口翔平, 溜井美帆, 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊: 自動めくり機を搭載する適応的撮像型の高速書籍電子化システム, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2012) (横浜, 2012.12.7) ／講演論文集, IS2-D2
- 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊: 世界最速ブックスキャナ, 日本印刷学会第128回秋期研究発表会 (大阪, 2012.11.9) ／講演予稿集, pp.39-42

- 溜井美帆, 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊: 高速書籍電子化のための高速書籍自動めくり機の設計と評価, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会 (RSJ2012) (札幌, 2012.9.20) ／講演論文集, 4G3-8
- 近藤理貴, 新倉雄大, 渡辺義浩, 石川正俊: バーチャルキーボードの高速入力に向けた指識別型の動作認識手法の提案, 第17回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2012) (横浜, 2012.9.14) ／講演論文集, pp.515-518
- 新倉雄大, 渡辺義浩, 石川正俊: Anywhere Surface Touch: 実環境のあらゆる平面を入力平面とするインタフェースの提案, 第17回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2012) (横浜, 2012.9.13) ／講演論文集, pp.385-388
- 野口翔平, 渡辺義浩, 石川正俊：複数枚の距離画像からの適応的階層化に基づく高解像度形状復元，第15回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2012) (福岡, 2012.8.8) ／講演論文集, OS12-03
- 松谷淳史, 新倉雄大, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：小型機器操作に向けた多指位置姿勢の高速推定，第18回画像センシングシンポジウム (SSII2012) (横浜, 2012.6.8) ／講演論文集, IS3-10
- 久保伸太郎, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：3次元ジェスチャー UIのための魚眼ステレオを用いた手指検出手法，第18回画像センシングシンポジウム (SSII2012) (横浜, 2012.6.8) ／講演論文集, IS3-11
- 竹岡英樹, 望戸雄史, Carson Reynolds, 小室孝, 渡辺義浩, 石川 正俊：VolVision：空中を自由に飛ぶ高速カメラからの画像群の3次元合成，第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.25) ／講演会論文集,
- 松谷淳史, 新倉雄大, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：高速ジェスチャインタラクションのための動的変形モデルを用いた指先トラッキング，第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2011) (京都, 2011.12.25) ／講演会論文集, pp.2436-2439
- 久保伸太郎, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：3次元ジェスチャー UIのための魚眼ステレオを用いた手指検出手法，ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2011) (横浜, 2011.12.8) ／講演論文集, pp.79-84
- 糸山浩太郎, 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊：複数視点による同時撮像を行う高速書籍電子化システムのための三次元変形推定と展開画像合成，電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU2011) (長崎, 2011.11.24) ／電子情報通信学会信学技報, Vol.111, No.317, pp.75-80
- 大野紘明, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：異なる人物間における３次元姿勢の類似性を用いたリアルタイム動作同期手法の提案，第16回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2011) (函館, 2011.9.22) ／講演論文集, pp.646-649
- 新倉雄大, 渡辺義浩, 石川正俊：高速モバイルセンシングを用いた実空間を仮想入力環境とするインタフェースの提案，第16回日本バーチャルリアリティ学会大会 (函館, 2011.9.21) ／講演論文集, pp.394-395
- 三浦洋平, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：高速動画像を用いた視覚音素織別手法の提案，ヒューマンインタフェースシンポジウム2011 (仙台, 2011.9.14) ／講演論文集, pp.283-286
- 柴山裕樹, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：単眼動画像からの可展面物体の3次元変形とその展開テクスチャの復元，第12回画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2011) (金沢, 2011.7.22) ／講演論文集, pp.1437-1444
- 有間英志, 糸山浩太郎, 山田雅宏, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：高速3次元センシングによる適応的撮像を行う高精細書籍電子化システムの提案，第17回画像センシングシンポジウム (SSII2011) (横浜, 2011.6.10) ／講演論文集, IS2-17 ［2012年 画像センシングシンポジウムSSII2011優秀学術賞受賞］［2011年 画像センシングシンポジウムSSII2011オーディエンス賞受賞］
- 上田知広, 新倉雄大, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：高速カメラを用いた仮想物体とのインタラクションにおける同期精度向上，映像情メディア学会情報センシング研究会 (東京, 2011.5.27) ／映像情報メディア学会技術報告, IST2011-21, Vol.35, No.19, pp.17-20 (2011)
- 佐野乾一, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：物体の転がり運動を利用した三次元形状復元，第11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2010) (仙台, 2010.12.25) ／講演論文集, pp.2168-2169
- 大野紘明, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊, 深山理, 鈴木隆文, 満渕邦彦：姿勢と筋活動を提示するシンクロナイズドビデオ，第15回日本バーチャルリアリティ学会大会 (石川, 2010.9.17) ／講演論文集, pp.444-447
- 三浦洋平, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：口唇形状の時間変化に基づく日本語子音認識，映像情報メディア学会情報センシング研究会 (金沢, 2010.6.22)) ／映像情報メディア学会技術報告, IST2010-34, ME2010-106, Vol.34, No.22, pp.21-24 (2011)
- 畑中哲生, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：ウェアラブルカメラを用いた人間の歩行状態推定，第16回画像センシングシンポジウム (SSII2010) (横浜, 2010.6.11) ／講演論文集, IS3-05
- 望戸雄史, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：Analysis-by-Synthesis法を用いた三次元物体姿勢推定手法のGPUによる実装，第16回画像センシングシンポジウム (SSII2010) (横浜, 2010.6.11) ／講演論文集, IS4-17
- 鍬利孝, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：投げ上げカメラによる広範囲画像センシング，映像情報メディア学会情報センシング研究会 (東京, 2009.12.10) ／映像情報メディア学会技術報告, IST2009-92, Vol.33, No.56, pp.9-12 (2009)
- 田畑友啓, 小室孝, 石川正俊：高速エリアカメラを用いた回転体の表面画像合成，映像情報メディア学会情報センシング研究会 (東京, 2009.12.11) ／映像情報メディア学会技術報告, IST2009-97, Vol.33, No.56, pp.29-32 (2009)
- 渡辺義浩, 大野紘明, 小室孝, 石川正俊：シンクロナイズドビデオ：身体動作と調和するビデオ操作，第14回日本バーチャルリアリティ学会大会 (東京, 2009.9.9) ／講演論文集, 1A3-2
- 小藤健太郎, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：人工物に対する事前知識を用いたステレオビジョンの高性能化，第12回画像の認識・理解シンポジウム (島根, 2009.7.22) ／講演論文集, pp.1500-1507
- 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：複数の距離画像を用いた曲面/運動同時推定による高解像度形状復元，第12回画像の認識・理解シンポジウム (島根, 2009.7.22) ／講演論文集, pp.1638-1645
- 望戸雄史, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：CGとGPUを用いた三次元物体の姿勢推定，第12回画像の認識・理解シンポジウム (島根, 2009.7.22) ／講演論文集, pp.1653-1660
- 中島崇, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：可展面モデルを用いた非剛体変形の推定と展開，第12回画像の認識・理解シンポジウム (島根, 2009.7.22) ／講演論文集, pp.1690-1697
- 山本啓太郎, 小室孝, 石川正俊：高速ビジョンを用いたビデオモザイキング，映像情報メディア学会情報センシング研究会・メディア工学研究会 (金沢, 2009.6.16) ／映像情報メディア学会技術報告, IST2009-28,ME2009-104, Vol.33, No.23, pp.49-52 (2009)
- 廣部祐樹, 船橋一訓, 新倉雄大, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：単眼カメラを用いた携帯機器向け空中タイピングインターフェース，映像情報メディア学会情報センシング研究会・メディア工学研究会 (金沢, 2009.6.16) ／映像情報メディア学会技術報告, IST2009-32, ME2009-108, Vol.33, No.23, pp.65-68 (2009)
- 田畑友啓, 小室孝, 石川正俊：高速ビジョンシステムを用いた回転体の表面展開図作成，第15回画像センシングシンポジウム (横浜, 2009.6.11) ／講演論文集, IS1-18
- 畑中哲生, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：ウェアラブルカメラを用いた人間の歩行状態推定手法の提案，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2009 (ROBOMEC2009) (福岡, 2009.5.25) ／講演論文集, 1A1-D02
- 山口光太, 小室孝, 石川正俊：顔追跡によるPTZ操作と魚眼パノラマへの応用，情報処理学会インタラクション2009 (東京, 2009.3.5) ／ CD-ROM
- 山口光太, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：遠隔カメラ映像のための覗き込みインタフェース，第13回映像メディア処理シンポジウム (IMPS2008) (伊豆, 2008.10.31) ／シンポジウム資料, pp.83-84 ［2008年 映像メディア処理シンポジウム ベストポスター賞受賞］

- 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：高フレームレートカメラを用いた動被写体の高画質撮影，第13回映像メディア処理シンポジウム (IMPS2008) (伊豆, 2008.10.31) ／シンポジウム資料, pp.129-130
- 渡辺義浩, 三浦洋平, 小室孝, 石川正俊：めくり動作を利用した書籍スキャンシステムの試作，第13回映像メディア処理シンポジウム (IMPS2008) (伊豆, 2008.10.31) ／シンポジウム資料, pp.157-158
- 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊, 奈良部忠邦：高フレームレートカメラを用いた運動物体の高S/N イメージング, 第11回画像の認識・理解シンポジウム (軽井沢, 2008.7.30) ／講演論文集, pp.973-978 (IS3-18)
- 杉原裕, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：運動物体の三次元計測における高解像度形状の復元，3次元画像コンファレンス2008 (東京, 2008.7.10) ／講演論文集, pp.19-22 ［2009年 3次元画像コンファレンス2008優秀論文賞受賞］
- 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：マルチフレーム同時位置合わせに基づく運動物体形状の高解像度化，第14回画像センシングシンポジウム (横浜, 2008.6.13) ／講演論文集, IN3-22
- 宮城康暢, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：マルチフレーム画像合成による高速カメラ画像の高画質化，第14回画像センシングシンポジウム (横浜, 2008.6.13) ／講演論文集, IN3-15
- 田畑友啓, 小室孝, 石川正俊：産業用途向け高速ビジョンモジュール ～PCベースエントリーシステムと組み込み型ボードシステム～(特別展示)，第14回画像センシングシンポジウム (横浜, 2008.6.13) ／講演論文集, EX2-03
- 山本啓太郎, 山口光太, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：高速ビジョンを用いた特徴点追跡による３次元形状復元，電子情報通信学会2008年総合大会 (北九州, 2008.3.21) ／講演論文集, DS-3-5
- 寺嶋一浩, 小室孝, 石川正俊：高フレームレートカメラとFPGAによる空中タイピングシステムの構築，動的画像処理実利用化ワークショップ2008 (豊田, 2008.3.7) ／講演論文集, pp.304-309
- 田畑友啓, 小室孝, 石川正俊：産業用途に向けた高速ビジョンモジュールの開発，動的画像処理実利用化ワークショップ2008 (豊田, 2008.3.7) ／講演論文集, pp.314-318
- 石川正俊：ビジョンチップとその応用展開，電子情報通信学会集積光デバイス技術研究会 (名古屋, 2007.12.6) ／電子情報通信学会技術研究報告, IPD07-15, pp.36-41
- 渡辺義浩, 河野仁, 小室孝, 石川正俊：運動物体の高分解能３次元センシングに向けた時系列統合の検討，第25回日本ロボット学会学術講演会 (千葉, 2007.9.13) ／講演予稿集, 1N21
- 西亀健太, 小室 孝, 石川正俊：モーメントテーブルを用いた３次元物体のトラッキング，第10回画像の認識・理解シンポジウム (広島, 2007.7.31) ／講演論文集, pp.1099-1104 (IS-3-30)
- 宅見宗則, 向坂直久, 豊田晴義, 石川正俊：超高速インテリジェントビジョンシステム：CPV - 4 -小型モジュール化のための128×128 PE アレイの１チップ化-，第13回画像センシングシンポジウム (横浜, 2007.6.7) ／講演論文集, LD1-08
- 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：超並列コプロセッサ搭載型高速ビジョンシステム，第13回画像センシングシンポジウム (横浜, 2007.6.7) ／講演論文集, IN1-15
- 寺嶋一浩, 岩下貴司, 小室孝, 石川正俊：高速ビジョンを用いた空中タイピング動作の認識，第13回画像センシングシンポジウム (横浜, 2007.6.7)／講演論文集, IN2-12
- 福岡功慶, 小室孝, 石川正俊：Zooming Touch Panel：小型カメラを用いたタッチパネルの高機能化，情報処理学会インタラクション2007 (東京, 2007.3.15) ／論文集, pp.33-34
- 岩下貴司, 小室孝, 石川正俊：画像モーメントの抽出に特化した高分解能型ビジョンチップ，映像情報メディア学会情報センシング研究会 (東京, 2007.1.25) ／映像情報メディア学会技術報告, Vol.31, No.3 (IST2007-2) pp.5-8
- 寺嶋一浩, 岩下貴司, 小室孝, 石川正俊：携帯機器向け空中キー入力インタフェースのための手指の動作認識アルゴリズム，第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2006) (札幌, 2006.12.16) ／講演会論文集, pp.1378-1379
- 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：多点瞬時解析高速ビジョンシステムによる運動・変形物体のリアルタイム形状計測，第24回日本ロボット学会学術講演会 (岡山, 2006.9.15) ／予稿集, 2B17
- 小室孝, ビヨーン ウェアクマン, 駒井崇志, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップシステムの小型化とウェアラブルマンマシンインターフェースへの応用，第5回情報科学技術フォーラム (福岡, 2006.9.6) ／一般講演論文集第3分冊, pp.463-464 (K-037)
- 山口光太, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：高速画像認識のための超並列ビジョンプロセッサの設計，第5回情報科学技術フォーラム (福岡, 2006.9.5) ／一般講演論文集第1分冊, pp.181-184
- 山口光太, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊：メモリ共有型マルチSIMDアーキテクチャを有する高性能ビジョンプロセッサの設計，電子情報通信学会集積回路研究会・情報処理学会アーキテクチャ研究会 (川崎, 2006.6.9) ／ 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.106, No.92, (ICD2006-56) pp.89-94
- 斉藤翔一郎, 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：ネットワーク接続機能を実装した高速ビジョンチップシステム，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 (神戸, 2005.6.11) ／講演論文集, 2A1-N-096
- 葭本香太郎, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップによる背景存在下での高速トラッキング，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 (神戸, 2005.6.11) ／講演論文集, 2P1-N-096
- 岩下貴司, 下条誠, 石川正俊：触覚情報処理用 Mixed signal LSI の開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'05 (神戸, 2005.6.11) ／講演論文集, 2P1-N-103
- 小室孝, 鏡慎吾, 渡辺義浩, 竹内大介, 神明前方嗣, 石川正俊：ビジョンチップシステムを用いた高速視覚処理，第11回画像センシングシンポジウム (横浜, 2005.6.10) ／講演論文集, pp.325-330 (G-2)
- 小室孝, 鏡慎吾, 渡辺義浩, 並木明夫, 妹尾拓, 奥寛雅, 石川正俊：ビジョンチップによる高速視覚計測と機械制御への応用，第5回計測自動制御学会制御部門大会 (仙台, 2005.5.25) ／資料, pp.5-8
- 渡辺義浩, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：リアルタイム画像計測のための多数粒子情報の並列抽出アーキテクチャの設計と実装，第12回 FPGA/PLD Design Conference (横浜, 2005.1.27) ／論文集, pp.1-6
- 葭本香太郎, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップを用いた複雑背景下での二値画像トラッキング，第5回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2004) (つくば, 2004.12.17) ／ 講演会論文集, pp.200-201
- 駒井崇志, 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：ウェアラブルインタフェースのためのビジョンチップの位置姿勢推定法の検討，第5回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2004) (つくば, 2004.12.17) ／ 講演会論文集, pp.202-203
- 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ドミノ論理を用いた可変長パイプライン総和回路と機能イメージセンサへの応用，第8回システムLSIワークショップ (北九州市, 2004.11.30) ／講演資料集およびポスター資料集，pp.259-262
- 渡辺義浩, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：多数物体の画像モーメント取得のための並列演算アーキテクチャ，第8回システムLSIワークショップ (北九州市, 2004.11.30) ／講演資料集およびポスター資料集, pp.271-274
- 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：画像モーメントセンサの設計，映像情報メディア学会情報センシング研究会 (東京, 2004.10.15) ／映像情報メディア学会技術報告, Vol.28, No.59 (IST2004-86) pp.5-8
- 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：高速・高感度ビジョンチップのための画素内 A-D 変換を行う光検出回路の検討，映像情報メディア学会情報センシング研究会 (東京, 2004.10.14) ／映像情報メディア学会技術報告，Vol.28, No.58 (IST2004-79) pp.25-28
- 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップを用いたリアルタイム形状認識，第22回日本ロボット学会学術講演会 (岐阜, 2004.9.17) ／予稿集, 3F21

- 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：ビジョンチップシステム VCS-IV を用いたソフトウェア撮像制御，電子情報通信学会集積回路研究会（大阪, 2004.7.13）／電子情報通信学会技術研究報告，ICD2004 － 40, pp.17-22
- 千條吉基, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：リアルタイムビジョンのための画像マッチングによるモデルベース形状認識，ロボティクス・メカトロニクス講演会2004（ROBOMEC2004）（名古屋, 2004.6.20）／2P1-L1-54
- 小室孝, 石川正俊：リアルタイム図形処理のための次元階層並列プロセッサ，ロボティクス・メカトロニクス講演会2004（ROBOMEC 2004）（名古屋, 2004.6.20）／2P2-L1-45
- 渡辺義浩, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップを用いたリアルタイム視覚計測，ロボティクス・メカトロニクス講演会2004（ROBOMEC2004）（名古屋, 2004.6.20）／2P2-L1-46
- 神明前方嗣, 鏡慎吾, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊：ビジョンチップを用いた時間符号化光の画素並列検出手法，ロボティクス・メカトロニクス講演会2004（ROBOMEC2004）（名古屋, 2004.6.20）／2P1-L1-47
- 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：実時間視覚センシングにおけるフレームレートの最適選択，ロボティクス・メカトロニクス講演会2004（ROBOMEC2004）（名古屋, 2004.6.20）／2P2-L1-51
- 竹内大介, 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：ソフトウェアA-D変換を用いたビジョンチップの固定パターンノイズ除去手法，映像情報メディア学会情報センシング研究会（東京, 2003.10.16）／映像情報メディア学会技術報告，Vol.27, No.58（IST2003-71）pp.1-4
- 宗玄清宏, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップのための並列処理を用いた形状認識手法の検討，日本ロボット学会第21回学術講演会（東京, 2003.9.20）／予稿集, 1K21
- 佐々木広, 笠原裕一, 小室孝, 石川正俊：複数のビジョンチップを用いた広視野ターゲットトラッキング，日本ロボット学会第21回学術講演会（東京, 2003.9.20）／予稿集, 1K23
- 鏡慎吾, 石川正俊：通信遅延を考慮したセンサ選択手法，日本ロボット学会第21回学術講演会（東京, 2003.9.20）／予稿集, 1F25
- 渡辺義浩, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップを用いた動画像統計解析とそのリアルタイム計測への応用，計測自動制御学会 計測部門大会 第20回センシングフォーラム（東京, 2003.9.17）／講演論文集, pp.325-330
- 山野高将, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップコンパイラのビットレベル最適化手法，情報科学技術フォーラム 2003（札幌, 2003.9.10）／講演論文集, 第1分冊, pp.177-178
- 豊田晴義, 向坂直久, 水野誠一郎, 中坊嘉宏, 石川正俊：超高速インテリジェントビジョンシステム(CPV-Ⅱ)を用いた動画像特徴量抽出方法の検討，第9回画像センシングシンポジウム（横浜, 2003.6.13）／講演論文集, E-2, pp.289-294
- 鳥居晋太郎, 小室孝, 石川正俊：ビジョンチップにおけるモーメント計算回路のパイプライン化，電子情報通信学会集積回路研究会（東京, 2003.7.24）／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.103, No.216, ICD2003-42, pp.19-24
- 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：ディジタルビジョンチップを用いた実時間視覚処理システム ― 小型化・高速化と感度特性制御の実現 ―,（社）日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門ロボティクス・メカトロニクス講演会 2003（ROBOMEC '03）（函館, 2003.5.25）／講演論文集2P2-1F-D8
- 向坂直久, 豊田晴義, 水野誠一郎, 中坊嘉宏, 石川正俊: 超高速インテリジェントビジョンシステム: CPV-Ⅱを用いたステレオ視，計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会（神戸, 2002.12.21）／講演論文集, Vol.3, pp.55-56
- 沓掛暁史, 佐藤辰雄, 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：高速ビジョンチップのためのぶれ画像復元の一手法，日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会（大阪, 2002.10.12）／講演論文集, 1A31
- 向坂直久, 豊田晴義, 水野誠一郎, 中坊嘉宏, 石川正俊：超高速インテリジェントビジョンシステム：CPV-Ⅱ ―2眼システムによるステレオ視実験―, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会（大阪, 2002.10.14）／講演論文集, 1H21
- 小室孝, 石井抱, 石川正俊, 吉田淳：高速対象追跡ビジョンチップを用いた複数物体のトラッキング，日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会（大阪, 2002.10.14）／講演論文集, 3A16
- 山野高将, 中坊嘉宏, 橋本浩一, 石川正俊, ビジョンチップに適した並列化スネークアルゴリズム, 日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会（大阪, 2002.10.14）／講演論文集, 3A12
- 渡辺義浩, 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：ビジョンチップを用いた分割領域のラベリングと回転計測への応用，日本ロボット学会創立20周年記念学術講演会（大阪, 2002.10.14）／講演論文集, 3A14
- 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：ビジョンチップのためのソフトウェア A-D 変換とその動的制御，映像情報メディア学会情報センシング研究会（東京, 2002.6.21）／映像情報メディア学会技術報告，Vol.26, No.42（IPU2002-46）, pp.51-54
- 小室孝, 鏡慎吾, 石川正俊：超高速ビジョンチップの試作と感度評価，映像情報メディア学会情報センシング研究会（東京, 2002.6.20）／映像情報メディア学会技術報告，Vol.26, No.41（IPU2002-30）pp.25-28
- 小室孝, 鏡慎吾, 石川 正俊：高性能デジタルビジョンチップの開発，ロボティクス・メカトロニクス講演会'02（松江, 2002.6.9）／講演論文集, 2P2-G02
- 渡辺義浩, 小室孝, 鏡慎吾, 橋本浩一, 石川 正俊：ビジョンチップを用いた高速回転物体の運動計測，ロボティクス・メカトロニクス講演会'02（松江, 2002.6.9）／講演論文集, 2P2-G03
- 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：ディジタルビジョンチップの動的な感度特性制御手法，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'02（松江, 2002.6.9）／講演論文集, 2P2-G06
- 鏡慎吾, 小室孝, 藤村英範, 石川正俊：ディジタルビジョンチップのためのソフトウェア A-D 変換方式の検討，電子情報通信学会集積回路研究会・VLSI設計技術研究会共催（沖縄, 2002.3.7）／電子情報通信学会技術研究報告，ICD2001-228, VLD2001-153, pp.51-58
- 武内喜則, 川合英雄, 柴田元司, 馬場彩子, 小室孝, 藤村英範, 石川正俊：高速視覚センサ「デジタル・スマートピクセル」と高速機器制御，画像電子学会第190回研究会（大阪, 2001.11.22）／画像電子学会研究会予稿集01-05-04, pp.23-28
- 川合英雄, 馬場彩子, 柴田元司, 武内喜則, 小室孝, 藤村英範, 石川正俊：デジタル・スマートピクセルによる画像処理と１６ｘ１６デバイスの試作，日本光学会年次学術講演会（東京, 2001.11.5）／予稿集, pp.39-40
- 向坂直久, 豊田晴義, 田中博, 水野誠一郎, 中坊嘉宏, 石川正俊：超高速インテリジェントビジョンシステム，電子情報通信学会集積回路研究（神戸, 2001.9.7）／電子情報通信学会技術研究報告, ICD2001-100, pp.63-66
- 鏡慎吾, 小室孝, 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：ビジョンチップ評価システムとソフトウェア開発環境，第19回日本ロボット学会学術講演会（東京, 2001.9.18）／予稿集, pp.387-388
- 豊田晴義, 向坂直久, 田中博, 宅見宗則, 水野誠一郎, 中坊嘉宏, 石川正俊：超高速インテリジェントビジョンシステム：CPV-Ⅱ-センサ部および並列演算部の小型集積化-，第19回日本ロボット学会学術講演会（東京, 2001.9.18）／予稿集, pp.383-384
- 沓掛暁史, 佐藤辰雄, 鏡慎吾, 小室孝, 石川正俊：ビジョンチップの高速検査・計測への適用に関する検討，第19回日本ロボット学会学術講演会（東京, 2001.9.18）／予稿集, pp.381-382
- 吉田淳, 小室孝, 石川正俊：高速対象追跡ビジョンチップエバレーションボードの紹介，第19回日本ロボット学会学術講演会（東京, 2001.9.18）／予稿集, pp.237-238
- 小室孝, 石川正俊：ブロック内特徴量フィードバック機構を有するデジタルビジョンチップ，第19回日本ロボット学会学術講演会（東京, 2001.9.18）／予稿集, pp.71-72
- 川合英雄, 馬場彩子, 柴田元司, 武内喜則, 小室孝, 藤村英範, 石川正俊：デジタル・スマートピクセルによる画像処理，第６２回応用物理学会学術講演会（愛知, 2001.9.12）／講演論文集, pp.764

- 小室孝, 石川正俊：PE 結合機能を持つ汎用デジタルビジョンチップの設計，電子情報通信学会集積回路研究会(シリコン材料・デバイス研究会共催) (室蘭, 2001.8.2) ／電子情報通信学会技術研究報告，ICD2001-37(SDM2001-114), pp.9-16
- 小室孝, 鏡慎吾, 小川一哉, 石井抱, 石川正俊：高集積化ビジョンチップの開発，第40回計測自動制御学会学術講演会 (名古屋, 2001.7.27) ／講演論文集, 310C-2
- 藤村英範, 小室孝, 石井抱, 石川正俊：完全ビットシリアルディジタルビジョンチップのための変動テンプレート相関トラッキングアルゴリズム，第40回計測自動制御学会学術講演会 (名古屋, 2001.7.27) ／講演論文集, 310C-3
- 向坂直久, 豊田晴義, 田中博, 水野誠一郎, 中坊嘉宏, 石川正俊：超高速インテリジェントビジョンシステム-小型モジュール化-, 第7回画像センシングシンポジウム (横浜, 2001.6.6) ／講演論文集, A-1, pp.1-4
- 小室孝, 石井抱, 石川正俊, 吉田淳：高速対象追跡ビジョンチップの設計と試作，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 (高松, 2001.6.10) ／講演論文集, 2P1-N4
- 鏡慎吾, 小室孝, 小川一哉, 石井抱, 石川正俊：超並列ビジョンチップの実時間制御アーキテクチャとそのシステム開発，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01 (高松, 2001.6.10) ／講演論文集, 2P1-N5
- 中坊嘉宏, 石川正俊, 豊田晴義, 向坂直久, 水野誠一郎：1ms列並列ビジョン(CPV)システム,第94回光コンピューティング研究会 (東京, 2001.5.25) ／予稿集，pp.18-22
- 鏡慎吾, 小室孝, 小川一哉, 石井抱, 石川正俊：64×64 PE を集積した超並列ビジョンチップとそのシステム開発，第4回システムLSI琵琶湖ワークショップ (守山, 2000.11.28) ／講演資料集およびポスター資料集，pp.271-274 ［2000年 IEEE Solid-State Circuits Society Japan Chapter 奨励賞受賞］
- 藤村英範, 小室孝, 石井抱, 石川正俊：ディジタルビジョンチップのためのグレイコードを用いたビットシリアルAD変換，電子情報通信学会集積回路研究会 (熊本, 2000.9.22) ／電子情報通信学会技術研究報告，ICD2000-85(Vol.100, No.310) ／pp.7-14
- 小室孝, 鏡慎吾, 奥寛雅, 小川一哉, 石井抱, 石川正俊：高集積化ビジョンチップとその応用，第39回計測自動制御学会学術講演会 (飯塚, 2000.7.27)
- 豊田晴義, 向坂直久, 水野誠一郎, 中坊嘉宏, 石川正俊：超高速インテリジェントビジョンシステム：CPV 第6回画像センシングシンポジウム (横浜, 2000.6.15)
- 鏡慎吾, 小室孝, 石井抱, 石川正俊：超並列ビジョンチップシステムを用いた高速ロボットビジョン，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'00 (熊本, 2000.5.12) ／講演論文集, 1A1-50-070
- 中坊嘉宏, 石川正俊, 豊田晴義, 水野誠一郎：ビジュアルフィードバックのための1ms列並列ビジョン(CPV)システム，第5回ロボティクスシンポジア論文集 (神戸, 2000.3.27) ／予稿集, 22C2, pp.375-380
- 中坊嘉宏, 石川正俊, 豊田晴義, 水野誠一郎：超高速・列並列ビジョンシステム(CPV-I)を用いたアクティブビジョン，第17回日本ロボット学会学術講演会 (東京, 1999.9.9) ／予稿集, 2B23, pp.491-492
- 小室孝, 小川一哉, 鏡慎吾, 中坊嘉宏, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：高集積化に向けた汎用デジタルビジョンチップの開発とその応用，第38回計測自動制御学会学術講演会 (盛岡, 1999.7.29) ／予稿集, pp.375-376
- 小室孝, 石井抱, 中坊嘉宏, 石川正俊：デジタルビジョンチップのためのモーメント抽出アーキテクチャ，電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (函館, 1999.7.16) ／電子情報通信学会技術研究報告，Vol.PRMU99-51, pp.17-22
- 石井抱, 小室孝, 石川正俊：ビットプレーン特徴分解を用いたモーメント計算法，電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (函館, 1999.7.16) ／電子情報通信学会技術研究報告，Vol.PRMU99-52, pp.23-28
- 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊, 豊田晴義, 水野誠一郎：列並列S3PEアーキテクチャによる超高速ビジョンシステム(CPV-II)，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'99 (東京, 1999.6.13) ／講演論文集, 1P1-65-096
- 小川一哉, 小室孝, 鏡 慎吾, 石井抱, 石川正俊：汎用デジタルビジョンチップのワンチップ集積化とシステム実装，日本機械学会ロボット・メカトロニクス'99講演会 (東京, 1999.6.13) ／講演論文集, 2P2-49-057
- 小川一哉, 小室孝, 石井抱, 石川正俊：S3PEアーキテクチャに基づくデジタルビジョンチップとその高集積化，電子情報通信学会集積化回路研究会 (松山, 1999.4.16) ／電子情報通信学会技術研究報告，Vol.ICD99-4, pp.7-13
- 鏡慎吾, 中坊嘉宏, 小室孝, 石井抱, 石川正俊：1msビジョンチップシステムの制御アーキテクチャ，電子情報通信学会集積回路研究会 (松山, 1999.4.16) ／電子情報通信学会技術研究報告，Vol.ICD99-4, pp.15-20
- 小川一哉, 小室孝, 中坊嘉宏, 並木明夫, 石井抱, 石川正俊：スーパービジョンチップと応用システムのための処理アーキテクチャ，第2回システムLSI琵琶湖ワークショップ (滋賀, 1998.11.26) ／講演資料集及びポスター資料集，pp.269-271
- 鏡慎吾, 小室孝, 石井抱, 石川正俊: ロボットビジョンのためのビジョンチップシステムの設計，第16回日本ロボット学会学術講演会(札幌, 1998.9.19) ／予稿集, pp.697-698
- 小室孝, 石井抱, 石川正俊：汎用プロセッシングエレメントを用いた超並列ビジョンチップの開発，日本機械学会ロボット・メカトロニクス'98講演会 (仙台, 1998.6.27) ／講演論文集, 2CIII4-2
- 石井抱, 村田達也, 松内良介, 小室孝, 石川正俊：高速ロボット制御のための超並列ビジョンチップシステム，第３回ロボティクスシンポジア (広島, 1998.5.7) ／予稿集, pp.59-66 ［1998年 ロボティックスシンポジア最優秀論文賞受賞］
- 村田達也, 松内良介, 中坊嘉広, 石井抱, 石川正俊：超並列・超高速ビジョンチップシステムのための制御アーキテクチャ，電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会 (小樽, 1997.11.20) ／電子情報通信学会技術研究報告，Vol.PRMU97-150, pp.161-168
- 松内良介, 村田達也, 中坊嘉広, 石井抱, 石川正俊：ビジョンチップシステムのためのソフトウェア開発環境の構築，情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会 (阿蘇, 1997.8.20) ／情報処理学会研究報告，Vol.ARC-125, No.7, pp.37-42
- 村田達也, 松内良介, 石井抱, 石川正俊：超並列・超高速ビジョンチップの制御構造，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'97 (厚木, 1997.6.8) ／講演論文集，pp.1089-1092
- 小室孝, 鈴木伸介, 坂口隆明, 石川正俊：プログラマブルな超高速ビジョンチップの設計および試作，電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会 (東京, 1996.11.12) ／資料, pp.465-474
- 石井抱, 石川正俊：超高速ビジョンのための２値画像処理アルゴリズム，電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会 (東京, 1996.11.12) ／資料, pp.455-464
- 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：超並列・超高速ビジョンシステムを用いたビジュアルフィードバック，電気学会センサ・マイクロマシン部門総合研究会 (東京, 1996.11.12) ／資料, pp.445-454
- 中坊嘉宏, 石川正俊：ビジュアルインピーダンスを利用したはめ合い動作，第14回日本ロボット学会学術講演会 (新潟, 1996.11.1) ／予稿集, pp.755-756
- 坂口隆明, 小室孝, 石井抱, 石川正俊：ビジョンチップのためのモーメント出力回路，第35回計測自動制御学会学術講演会 (鳥取, 1996.7.27) ／予稿集, pp.829-830
- 小室孝, 鈴木伸介, 石川正俊：超並列ビジョンチップの設計と試作，1996年テレビジョン学会年次大会 (名古屋, 1996.7.19) ／講演予稿集, pp.25-26
- 小室孝, 鈴木伸介, 石川正俊：FPGAを用いた超並列ビジョンチップの試作，ロボティクス・メカトロニクス講演会'96 (宇部, 1996.6.20) (ROBOMEC1996) ／講演論文集, pp.698-701
- 石井抱, 中坊嘉宏, 石川正俊：1msビジュアルフィードバックシステムのための画像処理アルゴリズム，第5回ロボットセンサシンポジウム (新潟, 1996.4.20) ／予稿集, pp.141-146
- 石井抱, 中坊嘉宏, 石川正俊：超並列・超高速ビジョンチップアーキテクチャ，テレビジョン学会情報入力研究会 (東京, 1995.10.27) ／テレビジョン学会技術報告, Vol.19, No.57, pp.13-18

- 鈴木伸介, 小室孝, 石川正俊：ビジョンチップのための並列演算アーキテクチャ，第34回計測自動制御学会学術講演会 (札幌, 1995.7.27) ／予稿集, pp.495-496
- 石井抱, 石川正俊：超並列・超高速ビジョンのためのマッチングアルゴリズム，電子情報通信学会パターン認識・理解研究会 (札幌, 1995.7.20) ／電子情報通信学会技術研究報告，PRU95-70, Vol.95, No.165, pp.121-126 (1995)
- 小室孝, 鈴木伸介, 石川正俊：超並列ビジョンチップアーキテクチャ，電子情報通信学会コンピュータシステム研究会(フォールトトレラント研究会, 集積回路研究会共催) (新潟, 1995.4.28) ／電子情報通信学会技術研究報告, CPSY95-19, Vol.95, No.21, pp.63-69
- 山田義浩, 高柳信夫, 石川正俊：VLSIビジョンセンサの試作と評価, 第42回応用物理学関係連合講演会 (東京, 1995.3.31) ／予稿集, pp.948
- 石井抱, 向井利春, 石川正俊：並列処理に基づく視覚センサ情報処理システム, 電気学会A部門総合研究会 (箱根, 1994.11.22) ／技術資料IM-94-85, pp.53-62
- 中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊：並列ビジョンシステムを用いた高速ターゲットトラッキング，第34回計測自動制御学会学術講演会 (札幌, 1994.7.26) ／予稿集, pp.21-22
- 山田義浩, 高柳信夫, 戸田真志, 石川正俊：超高速ビジョンを用いた高速ターゲットトラッキングシステム, ロボティクス・メカトロニクス講演会'93 (札幌, 1993.7.6) (ROBOMEC 1993) ／講演論文集, pp.190-193
- 石井抱, 石川正俊：超高速ビジョンを用いた高速ターゲットトラッキングアルゴリズム，ロボティクス・メカトロニクス講演会'93 (札幌, 1993.7.6) (ROBOMEC1993) ／講演論文集, pp.615-622
- 向井利春, 石川正俊: 並列ビジョンのための２次元座標変換回路，電子情報通信学会パターン認識・理解研究会 (京都, 1992.11.19) ／電子情報通信学会技術研究報告，PRU92-72, Vol.92, No.329, pp.111-116
- 高柳信夫, 石川正俊：超並列・超高速視覚センサシステムの制御構造，第31回計測自動制御学会学術講演会 (熊本, 1992.7.24) ／予稿集, pp.701-702
- 高柳信夫, 森田彰, 石川正俊：大規模並列処理を用いた知能化視覚センサシステム，電気学会センサ技術研究会 (東京, 1992.3.13) ／資料, ST-92-4, ST-92-4, pp.29-35
- 高柳信夫, 森田彰, 石川正俊: 大規模並列処理を用いた高速視覚センサシステム，第3回ロボットセンサシンポジウム (名古屋, 1992.1.18) ／予稿集, pp.145-148

展示会／Exhibition

- 東京大学バーチャルリアリティ教育研究センター設立記念式典 (東京, 伊藤国際学術研究センター伊藤謝恩ホール), 2018年11月1日[DynaFlash]
- JSTフェア2017 (東京, 東京ビッグサイト), 2017年8月31日～ 9月1日[高速画像処理を用いた知能システムの応用展開(Dynaflash)]
- Digital Signage Expo & Conference 2017 (Las Vegas, Las Vegas Convention Center),2017年3月28日 ～ 31日 [Exvision ZKOO Light, 東京エレクトロンデバイス DynaFlash]
- ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies (Anaheim, Anaheim Convention Center),2016年7月24日～ 28日 [Takatoshi Yoshida, Yoshihiro Watanabe, Masatoshi Ishikawa:Phyxel: realistic display using physical objects with high-speed spatially pixelated lighting]
- ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies (Anaheim, Anaheim Convention Center),2016年7月24日～ 28日 [Leo Miyashita, Kota Ishihara, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa:ZoeMatrope: a system for physical material design]
- ACM SIGGRAPH 2013 Emerging Technologies (Anaheim, Anaheim Convention Center),2013年7月21日～ 25日 [Leo Miyashita, Yuko Zou, and Masatoshi Ishikawa: VibroTracker: a vibrotactile sensor tracking objects]
- センサエキスポ 2011 (東京, 東京ビッグサイト), 2011年10月12日～ 14日[高速画像処理]
- ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies (Los Angels, Los Angels Convention Center),2010年7月25日 ～ 29日 [Takehiro Niikura, Yuki Hirobe, Alvaro Cassinelli, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa:In-air typing interface for mobile devices with vibration feedback]

学術論文／ Papers

- Masahiko Yasui, Ryota Iwataki, Masatoshi Ishikawa, and Yoshihiro Watanabe: Projection Mapping with a Brightly Lit Surrounding Using a Mixed Light Field Approach, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.30, No.5, pp.2217-2227 (2024)
- Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Real-Time Inspection of Rod Straightness and Appearance by Non-Telecentric Camera Array, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.975-984 (2022)
- Leo Miyashita, Yohta Kimura, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Depth-Normal Measurement and Fusion Based on Multiband Sensing and Block Parallelization, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.1111-1121 (2022)
- Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Portable High-Speed Optical Gaze Controller with Vision Chip, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.1133-1140 (2022)
- Yunpu Hu, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Differential Frequency Heterodyne Time-of-Flight Imaging for Instantaneous Depth and Velocity Estimation, ACM Transactions on Graphics, Vol.42, No.1, pp.9:1-9:13 (2022)
- Leo Miyashita, Akihiro Nakamura, Takuto Odagawa, and Masatoshi Ishikawa: BIFNOM: Binary-Coded Features on Normal Maps, Sensors, Vol.21, No.10, Article No.3469, pp.1-12 (2021)
- Mikihiro Ikura, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Stabilization System for UAV Landing on Rough Ground by Adaptive 3D Sensing and High-Speed Landing Gear Adjustment, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.33, No.1, pp.108-118 (2021)
- Yunpu Hu, Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Visual Calibration for Multiview Laser Doppler Speed Sensing, Sensors, Vol.19, No.3, Article No.582, pp.1-12 (2019)
- Masahiko Yasui, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Occlusion-robust sensing method by using the light-field of a 3D display system toward interaction with a 3D image, Applied Optics, Vol.58, Issue5, pp.A209-A227 (2019)
- Satoshi Tabata, Michika Maruyama, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Pixelwise Phase Unwrapping Based on Ordered Periods Phase Shift, Sensors, Vol.19, No.2, Article No.377, pp.1-20 (2019)
- Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: MIDAS Projection: Markerless and Modelless Dynamic Projection Mapping for Material Representation, ACM Transactions on Graphics, Vol.37, No.6, pp.196:1-196:12 (2018)
- Atsushi Nose, Tomohiro Yamazaki, Hironobu Katayama, Shuji Uehara, Masatsugu Kobayashi, Sayaka Shida, Masaki Odahara, Kenichi Takamiya, Shizunori Matsumoto, Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, Takashi Izawa, Yoshinori Muramatsu, Yoshikazu Nitta, and Masatoshi Ishikawa: Design and Performance of a 1 ms High-Speed Vision Chip with 3D-Stacked 140 GOPS Column-Parallel PEs, Sensors, Vol.18, No.5, Article No.1313, pp.1-19 (2018)
- Yunpu Hu, Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Robust 6-DOF motion sensing for an arbitrary rigid body by multi-view laser Doppler measurements, Optics Express, Vol.25, No.24, pp.30371-30387 (2017)
- Masahiro Hirano, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Rapid blending of closed curves based on curvature flow, Computer Aided Geometric Design, Vol.52-53, pp.217-230 (2017)
- Gaku Narita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Projection Mapping onto Deforming Non-Rigid Surface Using Deformable Dot Cluster Marker, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.23, No.3, pp.1235-1248 (2017)
- Leo Miyashita, Kota Ishihara, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: ZoeMatrope: A System for Physical Material Design, ACM Transactions on Graphics, Vol.35, No.4, pp.66:1-66:11 (2016)
- Leo Miyashita, Ryota Yonezawa, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: 3D Motion Sensing of any Object without Prior Knoledge, ACM Transactions on Graphics, Vol.34, No.6, pp.218:1-218:11 (2015)
- Takehiro Niikura, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: In-Air Finger Motion Interface for Mobile Devices with Vibration Feedback, IEEJ TRANSACTIONS ON ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING, Vol.9, No.4, pp.375-383 (2014)
- Shohei Noguchi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: High-resolution Surface Reconstruction based on Multi-level Implicit Surface from Multiple Range Images, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol.5, pp.143-152 (2013)
- Tomohira Tabata, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Surface Image Synthesis of Moving Spinning Cans Using a 1000-fps Area Scan Camera, Machine Vision and Applications, Vol.21, No.5, pp.643-652 (2010)
- Takashi Komuro, Tomohira Tabata, and Masatoshi Ishikawa: A Reconfigurable Embedded System for 1000 f/s Real-Time Vision, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.20, No.4, pp.496-504 (2010)
- Takashi Komuro, Atsushi Iwashita, and Masatoshi Ishikawa: A QVGA-size Pixel-parallel Image Processor for 1,000-fps Vision, IEEE Micro, Vol.29, No.6, pp.58-67 (2009)
- Atsushi Iwashita, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: An Image-Moment Sensor with Variable-Length Pipeline Structure, IEICE Transactions on Electronics, Vol. E90-C, No.10, pp.1876-1883 (2007)
- Shingo Kagami, Masatsugu Shinmeimae, Takashi Komuro, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: A Pixel-Parallel Algorithm for Detecting and Tracking Fast-Moving Modulated Light Signals, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.4, pp.387-394 (2005)
- Takashi Komuro, Yoshiki Senjo, Kiyohiro Sogen, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: Real-time Shape Recognition Using a Pixel-parallel Processor, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.4, pp.410-419 (2005)
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: Parallel Extraction Architecture for Information of Numerous Particles in Real-time Image Measurement, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.4, pp.420-427 (2005)
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: Multi-Target Tracking Using a Vision Chip and its Applications to Real-Time Visual Measurement, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.17, No.2, Apr., Special Issue on Selected Papers from ROBOMEC'04 (I), pp.121-129 (2005)
- Takashi Komuro, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: A Dynamically Reconfigurable SIMD Processor for a Vision Chip, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.39, No.1, pp.265-268 (2004.1)
- Takashi Komuro, Idaku Ishii, Masatoshi Ishikawa, and Atsushi Yoshida: A Digital Vision Chip Specialized for High-speed Target Tracking, IEEE Trans. on Electron Devices, Vol.50, No.1, pp.191-199 (2003)
- H. Kawai, A. Baba, M. Shibata, Y. Takeuchi, T. Komuro, H. Fujimura and M. Ishikawa: High-speed image processing on digital smart pixel array, Electronics Letters, Vol.38, No.12, pp. 590-591 (2002)
- Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: Self windowing for high-speed vision, Systems and Computers in Japan, Vol.32, Issue 10, pp.51-58 (2001.9)
- Takashi Komuro, Shingo Kagami, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: Device and System Development of General Purpose Digital Vision Chip, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.12, No.5, pp.515-520 (2000)
- Takashi Owaki, Yoshihiro Nakabo, Akio Namiki, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: Real-time system for virtually touching objects in the real world using modality transformation from images to haptic information, Systems and Computers in Japan, Vol.30, Issue 9, pp.17-24 (1999.8)

本／ Books

- Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: 64x64 Pixels General Purpose Digital Vision Chip, SOC Design Methodologies (Michel Robert et al. ed.), pp.15-26, Kluwer Academic Publishers, (2002.7)
- Masatoshi Ishikawa: Description and Applications of a CMOS Digital Vision Chip Using General Purpose Processing Elements, Smart Imaging Systems (Bahram Javidi ed.), pp.91-109, SPIE PRESS, (2001)

解説論文／ Review Papers

- Leo Miyashita, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed 3D Vision Based on Structured Light Methods, MDPI Metrology, Vol.5, Issue2, 24, pp1-11 (2025)
- Taku Senoo, Yuji Yamakawa, Shouren Huang, Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Yoshihiro Watanabe, Leo Miyashita, Masahiro Hirano, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Intelligent Systems Based on High-Speed Vision, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.31, No.1, pp.45-56 (2019)
- Yoshihiro Watanabe: High-speed optical 3D sensing and its applications, Advanced Optical Technologies, Vol.5, Issue 5-6, pp.367-376(2016)
- Yoshihiro WATANABE, Hiromasa OKU, and Masatoshi ISHIKAWA: Architectures and Applications of High-Speed Vision (Invited), OPTICAL REVIEW, Vol.21, No.6, pp.875-882 (2014)
- Taku Senoo, Yuji Yamakawa, Yoshihiro Watanabe, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Vision and its Application Systems, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.26, No.3, pp.287-301 (2014)
- Takashi Komuro, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: General-purpose vision chip architecture for real-time machine vision, Advanced Robotics, Vol.12, No.6, pp.619-627 (1999)

招待講演／ Invited Talks and Tutorials

- Leo Miyashita, Tomohiro Sueishi, Satoshi Tabata, Tomohiko Hayakawa, Masatoshi Ishikawa: Dynamic Projection Mapping Technologies Pioneered by High-speed Vision, International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC 2024) (Kitakyushu, 2024.11.27)
- Leo Miyashita: Dynamic Projection Mapping Based on High-speed Sensing and Display, The 24th International Meeting on Information Display (IMID 2024) (Jeju, 2024.8.23)
- Leo Miyashita: Virtual Material Creation by High-speed Projection, The 38th International Display Workshops (IDW'23) (Niigata, 2023.12.8)/Proceedings, PRJ7-1, pp.829-831
- Masatoshi Ishikawa: High-speed Image Processing Devices and Its Applications, 2019 IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM2019) (San Francisco, 2019.12.9)/Technical Digest, pp.226-229 (pp.10.7.1-10.7.4)

学会発表／ Proceedings

- Satoshi Tabata, Tomohiro Sueishi, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Anamorphosis System Using High-speed Feedback of Cylinder Pose, SICE Festival 2025 with Annual Conference (SICE FES 2025) (Chiang Mai, 2025.9.11)/Proceedings, pp.679-684
- Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Simultaneous measurement of color and depth images at 1,000 fps based on a parallel-bus pattern, SPIE Optics+Optoelectronics, Real-time Processing of Image, Depth and Video Information 2025 (Prague, 2025.4.7)/Proceedings of SPIE, Vol.13526, pp.135260E-1-11
- Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Simultaneous High-speed Depth Measurement and Video Presentation using a Video-rate Projector, International Conference Cybernetics & Informatics 2025 (K&I2025) (Mikulov, 2025.2.3)
- Leo Miyashita, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: Hierarchical ArUco Marker Array for Coarse-to-Fine Localization in XR applications, 2025 IEEE International Conference on Artificial Intelligence & eXtended and Virtual Reality (AIxVR2025) (Lisbon, 2025.1.29)/Proceedings, pp.209-212
- Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Saccade Argos: Hierarchical Robust Tracking System for High Spatio-temporal Resolution Vision, 2025 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2025) (Munich, 2025.1.23)/Proceedings, pp.811-816
- Masahiko Yasui, Ryota Iwataki, Masatoshi Ishikawa, and Yoshihiro Watanabe: Projection Mapping with a Brightly Lit Surrounding Using a Mixed Light Field Approach, The 31st IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (IEEE VR 2024) (Orlando, 2024.3.19)/IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.30, No.5, pp.2217-2227
- Akane Ogata, Chika Shirakata, and Leo Miyashita: Individual identification using black spots pattern on Humboldt penguins' (Spheniscus humboldti) chest, 11th International Penguin Congress, (Viña del Mar, 2023.9.4-9)/Abstract book, p.147, Poster58
- Yunpu Hu, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Differential Frequency Heterodyne Time-of-Flight Imaging for Instantaneous Depth and Velocity Estimation, The 50th International Conference & Exhibition On Computer Graphics & Interactive Techniques (ACM SIGGRAPH 2023) (Los Angeles, 2023.8.8)/ACM Transactions on Graphics, Vol.42, No.1, pp.9:1-9:13
- Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: High-speed Optical Sensing of Pose, Position, and Surface Normal for Dynamic Projection Mapping, SPIE Optical Metrology 2023, Automated Visual Inspection and Machine Vision V (Munich, 2023.6.28)/Paper, 12623-16
- Leo Miyashita, Kentaro Fukamizu, Yuki Kubota, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Real-time animation display based on optical illusion by overlaid luminance changes, SPIE Optical Architectures for Displays and Sensing in Augmented, Virtual, and Mixed Reality (AR, VR, MR) IV (San Francisco, 2023.1.30)/Proceedings of SPIE, Vol.12449, 124490W-1-11
- Leo Miyashita, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: High-speed and Low-latency 3D Sensing with a Parallel-bus Pattern, The 10th International Conference on 3D Vision (3DV2022) (Prague, 2022.9.14)/Proceedings, pp.291-300
- Leo Miyashita, Kentaro Fukamizu, and Masatoshi Ishikawa: Simultaneous Augmentation of Textures and Deformation Based on Dynamic Projection Mapping, The 14th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH Asia2021) (Tokyo and online, 2021.12.17)/Real-Time Live!, p.1
- Leo Miyashita, Kentaro Fukamizu, and Masatoshi Ishikawa: Simultaneous Augmentation of Textures and Deformation Based on Dynamic Projection Mapping, The 14th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH Asia2021) (Tokyo and online, 2021.12.15-17)/Emerging Technologies, Article No.16, pp.1-2
- Leo Miyashita, Yohta Kimura, Satoshi Tabata, and Masatoshi Ishikawa: High-speed simultaneous measurement of depth and normal for real-time 3D reconstruction, SPIE Optical Engineering + Applications (San Diego, 2021.8.1-5 [online])/Proceedings SPIE Vol.11842, Applications of Digital Image Processing XLIV, 118421D, pp,1-7

- Hirofumi Sumi, Hironari Takehara, Jun Ohta, and Masatoshi Ishikawa: Advanced Multi-NIR Spectral Image Sensor with Optimized Vision Sensing System and Its Impact on Innovative Applications, 2021 Symposium on VLSI Technology (Kyoto, 2021.6.19 [online])/2021 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, JFS4-8, pp.1-2
- Kentaro Fukamizu, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: ElaMorph Projection: Deformation of 3D Shape by Dynamic Projection Mapping, 2020 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2020) (Recife, 2020.11.11 [online])/Proceedings, pp.220-229
- Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Wearable DPM System with Intelligent Imager and GPU, 2020 IEEE International Conference on Artificial Intelligence Circuits and Systems (AICAS2020) (Genova, 2020.9.1 [online])/Proceedings, pp.129-130
- Masahiko Yasui, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Projection-type integral 3D display using mirrors facing each other for a wide viewing angle with a downsized system, SPIE Photonics West 2020 (San Francisco, 2020.2.5)/Proceedings of SPIE, Vol.11304, pp.1130406-1-7
- Mikihiro Ikura, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Real-time Landing Gear Control System Based on Adaptive 3D Sensing for Safe Landing of UAV, 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2020) (Honolulu, 2020.1.14)/Proceedings, pp.759-764
- Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed and High-Brightness Color Single-Chip DLP Projector Using High-Power LED-Based Light Sources, The 26th International Display Workshops (IDW'19) (Sapporo, 2019.11.29)/Proceedings, PRJ6/AIS3-4L, pp.1350-1352
- Ryo Ito, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa: Brobdingnagian Glass: A Micro-Stereoscopic Telexistence System, The 12th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH Asia2019) (Brisbane, 2019.11.18-20)/Emerging Technologies, pp.7-8 [Best Demo Voted By Committee - Honourable Mentions]
- Haruka Ikeda, Leo Miyashita, Masahiro Hirano, and Masatoshi Ishikawa: Decorative knots in 3D Artwork: Fabricating Models with Successive Knotting, The Fabrication and Sculpting Event (FASE2019), Shape Modeling International Conference (SMI2019) (Vancouver, 2019.6.21)/HYPERSEEING, SUMMER, pp.53-60 (2019): Proc. Fabrication and Sculpting Event, pp.53-60
- Leo Miyashita: Disguising reality with technology, ACM CHI Lites 2019 (Glasgow, 2019.5.9)
- Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: MIDAS Projection: Markerless and Modelless Dynamic Projection Mapping for Material Representation, The 11th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH ASIA 2018) (Tokyo, 2018.12.7)/Technical Papers, Article No.196, pp.196:1-196:12
- Leo Miyashita, Tomohiro Yamazaki, Kenji Uehara, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Portable Lumipen: Dynamic SAR in Your Hand, IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME2018) (San Diego, 2018.7.26)
- Hirofumi Sumi, Hironari Takehara, Shunsuke Miyazaki, Daiki Shirahige, Kiyotaka Sasagawa, Takashi Tokuda, Yoshihiro Watanabe, Norimasa Kishi, Jun Ohta, and Masatoshi Ishikawa: Next-generation Fundus Camera with Full Color Image Acquisition in 0-1x Visible Light by 1.12-micron Square Pixel, 4K, 30-fps BSI CMOS Image Sensor with Advanced NIR Multi-Spectral Imaging System, 2018 Symposium on VLSI Technology (HAWAII, 2018.6.21)/2018 Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, pp.163-164 [Best Demo Paper Award]
- Yunpu Hu, Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: GLATUI: Non-intrusive Augmentation of Motion-based Interactions Using a GLDV, The ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2018) (Montreal, 2018.4.24)/CHI'18 Extended Abstracts, Paper No.LBW123
- Akihiro Nakamura, Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: RIFNOM: 3D Rotation-Invariant Features on Normal Maps, Eurographics 2018 (EG2018) (Delft, 2018.4.17)/Eurographics Proceedings, pp.17-18
- Michika Maruyama, Satoshi Tabata, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Multi-Pattern Embedded Phase Shifting using a High-speed Projector for Fast and Accurate Dynamic 3D Measurement, 2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV2018) (Lake Tahoe, 2018.3.13)/Proceedings, pp.921-929
- Yoshihiro Watanabe, Toshiyuki Kato, and Masatoshi Ishikawa: Extended Dot Cluster Marker for High-speed 3D Tracking in Dynamic Projection Mapping, 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2017) (Nantes, 2017.11.11)/Proceedings, pp.52-61
- Püren Güler, Alessandro Pieropan, Masatoshi Ishikawa, and Danica Kragic: Estimating deformability of objects using meshless shape matching, 2017 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2017) (Vancouver, 2017.9.27)/Proceedings, pp.5941-5948
- Atsushi Nose, Tomohiro Yamazaki, Hironobu Katayama, Shuji Uehara, Masatsugu Kobayashi, Sayaka Shida, Masaki Odahara, Kenichi Takamiya, Yasuaki Hisamatsu, Shizunori Matsumoto, Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, Takashi Izawa, Yoshinori Muramatsu, Yoshikazu Nitta, and Masatoshi Ishikawa: A 1ms High-Speed Vision Chip with 3D-Stacked 140GOPS Column-Parallel PEs for Diverse Sensing Applications, International Image Sensor Workshop (IISW2017) (Hiroshima, 2017.6.1)/Technical Program, R49
- Masahiro Hirano, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Rapid blending of closed curves based on curvature flow, International Conference on Geometric Modeling and Processing (GMP2017) (Xiamen, 2017.4.19)/Computer Aided Geometric Design, Vol.52-53, pp.217-230
- Tomohiro Yamazaki, Hironobu Katayama, Shuji Uehara, Atsushi Nose, Masatsugu Kobayashi, Sayaka Shida, Masaki Odahara, Kenichi Takamiya, Yasuaki Hisamatsu, Shizunori Matsumoto, Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, Takashi Izawa, Yoshinori Muramatsu, and Masatoshi Ishikawa: A 1ms High-Speed Vision Chip with 3D-Stacked 140GOPS Column-Parallel PEs for Spatio-Temporal Image Processing, 2017 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC2017) (San Francisco, 2017.2.6)/DIGEST OF TECHNICAL PAPERS, pp.82-83
- Yoshihiro Watanabe: Emerging Applications Based on High-speed Computational Vision (Invited), The 22nd Asia and South Pacific Design Automation Conference (ASP-DAC2017) (Chiba, 2017.1.19)
- Leo Miyashita, Kota Ishihara, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: ZoeMatrope for realistic and augmented materials, The 9th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH ASIA 2016) (Macao, 2016.12.5)/Workshops, Virtual Reality meets Physical Reality: Modelling and Simulating Virtual Humans and Environments, pp.2:1-2:2
- Yoshihiro Watanabe: High-speed 3D vision and its applications for real-world interaction, The 31st International Congress on High-Speed Imaging and Photonics (ICHSIP-31) (Osaka, 2016.11.10)/Proceedings, pp.722-727
- Zhipeng Wu, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Hybrid LED Traffic Light Detection Using High-Speed Camera, 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2016) (Rio de Janeiro, 2016.11.3)/Proceedings, pp.1235-1241
- Takatoshi Yoshida, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Phyxel: Realistic Display of Shape and Appearance using Physical Objects with High-speed Pixelated Lighting, 29th ACM User Interface Software and Technology Symposium (UIST2016) (Tokyo, 2016.10.18)/Proceedings, pp.453-460
- Leo Miyashita, Kota Ishihara, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: ZoeMatrope: A System for Physical Material Design, ACM SIGGRAPH 2016 (Anaheim, 2016.7.26)/Technical Papers, pp.66:1-66:11
- Takatoshi Yoshida, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Phyxel: Realistic display using physical objects with high-speed spatially pixelated lighting, ACM SIGGRAPH 2016 (Anaheim, 2016.7.24-28)/Emerging Technologies, p.18:1
- Leo Miyashita, Kota Ishihara, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: ZoeMatrope: A System for Physical Material Design, ACM SIGGRAPH 2016 (Anaheim, 2016.7.24-28)/Emerging Technologies, p.24:1

- Masahiko Yasui, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Occlusion-Robust 3D Sensing Using Aerial Imaging, IEEE International Conference on Computational Photography (ICCP2016) (Evanston, 2016.5.15)/Proceedings, pp.170-179
- Yoshihiro Watanabe, Gaku Narita, Sho Tatsuno, Takeshi Yuasa, Kiwamu Sumino, and Masatoshi Ishikawa: High-speed 8-bit Image Projector at 1,000 fps with 3 ms Delay, The International Display Workshops (IDW2015), (Ohtsu, 2015.12.11)/Proceedings, pp.1064-1065 [Best Paper Award]
- Gaku Narita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic Projection Mapping onto a Deformable Object with Occlusion Based on High-speed Tracking of Dot Marker Array, The 21st ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2015) (Beijing, 2015.11.14)/Proceedings, pp.149-152
- Leo Miyashita, Ryota Yonezawa, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: 3D Motion Sensing of any Object without Prior Knoledge, 8th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH ASIA 2015) (Kobe, 2015.11.4)/218:1-218:11
- Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Image Rotator for Blur-Canceling Roll Camera, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015) (Hamburg, 2015.10.1)/Proceedings, pp.6047-6052
- Satoshi Tabata, Shohei Noguchi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: High-speed 3D Sensing with Three-view Geometry using a Segmented Pattern, 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015) (Hamburg, 2015.9.30)/Proceedings, pp.3900-3907
- Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Rapid SVBRDF Measurement by Algebraic Solution Based on Adaptive Illumination, International Conference on 3D Vision (3DV2014) (Tokyo, 2014.12.8-11)/Posters, pp.232-239
- Masahiro Hirano, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: 3D Rectification of Distorted Document Image based on Tiled Rectangle Fragments, 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2014) (Paris, 2014.10.29)/Proceedings, pp.2604-2608
- Masatoshi Ishikawa: High Speed Vision and Its Applications (Plenary), 2014 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS 2014) (Jakarta, 2014.10.19)/ADSVDNCED PROGRAM, p.14
- Masahiro Hirano, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: High-Accuracy Rectification of Non-Planar Documents using Isometric Developable Mesh, The 17th Meeting on Image Recognition and Understanding (MIRU2014) (Okayama, 2014.7.30)/Extended Abstracts, OS2-4
- Chihiro Watanabe, Alvaro Cassinelli, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Generic method for crafting deformable interfaces to physically augment smartphones, Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2014) (Toronto, 2014.4.29)Extended Abstracts, pp.1309-1314
- Shohei Noguchi, Masahiro Yamada, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Real-time 3D Page Tracking and Book Status Recognition for High-speed Book Digitization based on Adaptive Capturing, IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision 2014 (WACV2014) (Colorado, 2014.3.24)/Proceedings, pp.137-144 [Best Paper Award]
- Takehiro Niikura, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Anywhere Surface Touch: Utilizing any surface as an input area, The 5th Augmented Human International Conference (AH2014) (Kobe, 2014.3.7) [Honorable Mention]
- Yoshihiro Watanabe, Miho Tamei, Masahiro Yamada and Masatoshi Ishikawa: Automatic Page Turner Machine for High-Speed Book Digitization, 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2013) (Tokyo, 2013.11.4)/Proceedings, pp.272-279
- Shohei Noguchi, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: High-Resolution Surface Reconstruction based on Multi-level Implicit Surface from Multiple Range Images, 2013 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP2013) (Melbourne, 2013.9.16)/Proceedings, pp.2140-2144
- Masatoshi Ishikawa: Emerging Technologies in High Speed Visual Feedback (special invited), INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OPTICAL MEMORY 2013 (ISOM'13) (Incheon, 2013.8.21)/Technical Digest, pp.154-155
- Masatoshi Ishikawa: High Speed Vision and Its Applications - Sensor Fusion, Dynamic Vision System, System Vision Design, and Meta-perception - (Keynote), Embedded Vision Alliance Member Meeting (San Jose, 2013.7.17)
- Hiroki Shibayama, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Reconstruction of 3D Surface and Restoration of Flat Document Image from Monocular Image Sequence, The 11th Asian Conference on Computer Vision (ACCV2012) (Daejeon, 2012.11.9)/Proceedings, pp.350-364
- Yoshihiro Watanabe, Kotaro Itoyama, Masahiro Yamada, and Masatoshi Ishikawa: Digitization of Deformed Documents using a High-speed Multi-camera Array, The 11th Asian Conference on Computer Vision (ACCV2012) (Daejeon, 2012.11.09)/Proceedings, pp.394-407
- Masatoshi Ishikawa: High Speed Image Processing and Its Application Systems, The 10th Int. System-on-Chip (SoC) Conf., Exhibit & Workshops (Irvine, 2012.10.25)/ Conference Proceedings, pp.1-21
- Takehiro Niikura, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: In-air Typing Interface: Realizing 3D operation for mobile devices, The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012) (Chiba, 2012.10.03)/ Proceedings, pp.228-232
- Yoshihiro Watanabe, Atsushi Matsutani, Takehiro Niikura, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Estimation of Multi-finger Position and Pose for Input Interface of the Mobile Devices, The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012) (Chiba, 2012.10.03) Proceedings, pp.233-237
- Yoshihiro Watanabe, Shintaro Kubo, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Finger Detection based on Data Fusion of Fish-eye Stereo Camera for 3D-Gesture Input Interface, The 1st IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2012) (Chiba, 2012.10.03) Proceedings, pp.284-288
- Hideki Takeoka, Yushi Moko, Carson Reynolds, Takashi Komuro, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: VolVision: High-speed Capture in Unconstrained Camera Motion, The 4th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia (SIGGRAPH ASIA2011) (Hong Kong, 2011.12.14)/Article No.4
- Masatoshi Ishikawa: High Speed Vision for Gesture UI, Dynamic Vision System and Visual Feedback (Invited), The 2011 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM2011) (Nagoya, 2011.9.28)/Extended Abstracts, pp.1027-1028
- Masatoshi Ishikawa: High Speed Vision Opens New Era of Applications of Image Processing (Invited), 2011 IEEE SVDIL Computer Elements Workshop (Vail, USA, 2011.6.28) [Best Presentation Award]
- Yushi Moko, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Masatoshi Ishikawa, Masami Nakajima, and Kazutami Arimoto: Implementation and evaluation of FAST corner detection on the massively parallel embedded processor MX-G, The Seventh IEEE Workshop on Embedded Computer Vision (Colorado Springs, 2011.6.20)/Proceedings, pp.157-162
- Masatoshi Ishikawa: New Application Areas Made Possible by High Speed Vision (Invited), 2011 International Image Sensor Workshop (IISW2011) (Hakodate-Onuma, 2011.6.9)/Proceedings, pp.189-192
- Kentaro Kofuji, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Stereo 3D Reconstruction using Prior Knowledge of Indoor Scenes, 2011 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2011) (Shanghai, 2011.5.10)/Proceedings, pp.5198-5203
- Masatoshi Ishikawa: The Correspondence between Architecture and Application for High Speed Vision Chip (Invited), IEEE Symp. on Low-Power and High-Speed Chips (COOL Chips XIV) (Yokohama, 2011.4.22)/Proceedings
- Yoshihiro Watanabe, Tetsuo Hatanaka, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Human Gait Estimation Using a Wearable Camera, IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV2011) (Hawaii, 2011.1.5)/Proceedings, pp.276-281

- Yoshihiro Watanabe, Takashi Nakashima, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Estimation of Non-rigid Surface Deformation using Developable Surface Model, 20th International Conference on Pattern Recognition (ICPR2010) (Istanbul, 2010.8.23)/Proceedings, pp.197-200
- Takehiro Niikura, Yuki Hirobe, Alvaro Cassinelli, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: In-air Typing Interface for Mobile Devices with Vibration Feedback, The 37th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH2010), (Los Angeles, 2010.7.25-29)/Article No.15
- Toshitaka Kuwa, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Wide Range Image Sensing Using a Thrown-up Camera, 2010 IEEE International Conference on Multimedia & Expo (ICME2010) (Singapore, 2010.7.21)/Proceedings, pp.878-883
- Takehiro Niikura, Yuki Hirobe, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: 3D Input Interface for Mobile Devices (demo session), 12th Virtual Reality International Conference (VRIC 2010/Laval Virtual) (Laval, 2010.4.7-11)/Proceedings, pp.297-298
- Masatoshi Ishikawa: Vision Chip and Its Applications to human interface, inspection, bio/medical industry, and robotics (Invited), ISSCC 2010 Forum on High Speed Image Sensor Technologies (San Francisco, 2010.2.11)/Proceedings, pp.1-42
- Takashi Nakashima, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Book Flipping Scanning, 22nd ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2009) (Victoria, 2009.10.5)/Adjunct Proceedings, pp.79-80
- Yoshihiro Watanabe, Hiroaki Ohno, Takashi Komuro, Masatoshi Ishikawa: Synchronized Video: An Interface for Harmonizing Video with Body Movements, 22nd ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2009) (Victoria, 2009.10.5)/Adjunct Proceedings, pp.75-76
- Yuki Hirobe, Takehiro Niikura, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Vision-based Input Interface for Mobile Devices with High-speed Fingertip Tracking, 22nd ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST2009) (Victoria, 2009.10.5)/Adjunct Proceedings, pp.7-8
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: High-resolution Shape Reconstruction from Multiple Range Images based on Simultaneous Estimation of Surface and Motion, The 12th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV2009) (Kyoto, 2009.10.1)/Proceedings, pp.1787-1794
- Atsushi Iwashita, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: A 320x240 Pixel Smart Image Sensor for Object Identification and Pose Estimation, IEEE Symposium on Low-Power and High-Speed Chips (COOL Chips XII) (Yokohama, 2009.4.17)/Proceedings, pp.331-346
- Kazuhiro Terajima, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Fast Finger Tracking System for In-air Typing Interface, The 27th Annual CHI Conference on Human Factors in Computer Systems (CHI2009) (Boston, 2009.4.7)/Extended Abstracts, pp.3739-3744
- Kota Yamaguchi, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: PTZ Control with Head Tracking for Video Chat, The 27th Annual CHI Conference on Human Factors in Computer Systems(CHI2009) (Boston, 2009.4.7)/Extended Abstracts, pp.3919-3924
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Integration of Time-Sequential Range Images for Reconstruction of a High-Resolution 3D Shape, The 19th International Conference on Pattern Recognition(ICPR2008) (Florida, 2008.12.8)/Proceedings
- Masatoshi Ishikawa: Massively Parallel Processing Vision and Its Applications (Plenary), International Topical Meeting on Information Photonics 2008 (Awajishima, 2008.11.17)/Technical Digest, p.18
- Takashi Komuro, Yoshihiro Watanabe, Masatoshi Ishikawa and Tadakuni Narabu: High-S/N Imaging of a Moving Object using a High-frame-rate Camera, 2008 IEEE International Conference on Image Processing(ICIP2008) (San Diego, 2008.10.13)/Proceedings, pp.517-520
- Yoshihiro Watanabe, Alvaro Cassinelli, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: The Deformable Workspace: a Membrane between Real and Virtual Space, IEEE Int. Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems (Tabletops & Interactive Surfaces 2008) (Amsterdam, 2008.10.3)/Proceedings, pp.155-162
- Haruyoshi Toyoda, Munemori Takumi, Naohisa Mukozaka, and Masatoshi Ishikawa: 1 kHz Measurement by Using Intelligent Vision System -Stereovision experiment on Column Parallel Vision system:CPV4-, International Conference on Instrumentation, Control and Information Technology 2008(SICE Annual Conference 2008) (Tokyo, 2008.8.20)/Proceedings, pp.325-328
- Kota Yamaguchi, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Interleaved Pixel Lookup for Embedded Computer Vision, Fourth Workshop on Embedded Computer Vision(ECVW) (Anchorage, 2008.6.28)
- Shingo Kagami, Shoichiro Saito, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: A Networked High-Speed Vision System for 1,000-fps Visual Feature Communication, First ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras (Vienna, 2007.9.26)/Proceedings, pp.95-100
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: A High-speed Vision System for Moment-based Analysis of Numerous Objects, 2007 IEEE International Conference on Image Processing(ICIP2007) (San Antonio, 2007.9.19)/Proceedings, pp.V177-V180
- Kota Yamaguchi, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Design of a Massively Parallel Vision Processor based on Multi-SIMD Architecture, 2007 IEEE International Symposium on Circuits and Systems(ISCAS2007) (New Orleans, 2007.5.30)
- Takashi Komuro, Bjorn Werkmann, Takashi Komai, Masatoshi Ishikawa, and Shingo Kagami: A High-Speed and Compact Vision System Suitable for Wearable Man-machine Interfaces, IAPR 10th Conference on Machine Vision Applications(MSVD2007) (Tokyo, 2007.5.17)/Proceedings, pp.199-202
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: 955-fps Real-Time Shape Measurement of a Moving/Deforming Object Using High-Speed Vision for Numerous-Point Analysis, 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA2007) (Roma, 2007.4.13)/Proceedings, pp.3192-3197
- Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: A Moment-based 3D Object Tracking Algorithm for High-speed Vision, 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA2007) (Roma, 2007.4.11)/Proceedings, pp.58-63
- Masatoshi Ishikawa: Vision Chip and Its Applications for Robots (Invited), The 6th Taiwan-Japan Microelectronics Int. Symp. (Taiwan, 2006.11.1)/Proceedings, pp.1-13
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: Parallel Extraction Architecture for Image Moments of Numerous Objects, IEEE 7th International Workshop on Computer Architecture for Machine Perception(CAMP2005) (Palermo, 2005.7.4)/Proceedings, pp.105-110
- Takashi Komuro, Shingo Kagami, Masatoshi Ishikawa, and Yoshio Katayama: Development of a Bit-level Compiler for Massively Parallel Vision Chips, IEEE 7th International Workshop on Computer Architecture for Machine Perception(CAMP2005) (Palermo, 2005.7.5)/Proceedings pp.204-209
- Björn Werkmann, Takashi Komuro, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: Development of a High Speed Eye Tracking System Using the Vision Chip, 2005 JSME Conference on Robotics and Mechatronics (Kobe, 2005.6.11)/2P1-N-094
- Takashi Komuro, Shingo Kagami, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa: A High-speed Vision Chip and Robot Applications, 2004 1st IEEE Technical Exhibition Based Conference on Robotics and Automation(TExCRA2004) (Tokyo, 2004.11.18-19.)/pp.3-4
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: Real-time Visual Measurements using High-speed Vision, Optics East 2004 (Philadelphia, 2004.10.28)/Machine Vision and its Optomechatronic Applications, Proceedings of SPIE Vol. 5603, pp. 234-242 [PDF]
- Dirk EBERT, Takashi KOMURO, Akio NAMIKI, and Masatoshi ISHIKAWA: Safe Human-Robot-Coexistence : Emergency Stop Using a High-speed Vision Chip, The 22nd Annual Conference of the Robotics Society of Japan (Gifu, 2004.9.16)/Proceedings, 2E11

- Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: A Sensor Selection Method Considering Communication Delays, 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA2004) (New Orleans, 2004.4.28)/pp.206-211
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: Real-Time Visual Measurement using a High-Speed Vision Chip, 2004 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA2004) (New Orleans, 2004.4.26-5.1)/Video Proceedings
- Shingo Kagami, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: A High-Speed Vision System with In-Pixel Programmable ADCs and PEs for Real-Time Visual Sensing, 8th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control (Kawasaki, 2004.3.26)/pp.439-443
- Daisuke Takeuchi, Shingo Kagami, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Improving the Sensitivity of a Vision Chip Using the Software A-D Conversion Method, IS&T/SPIE 16th Annual Symposium on Electronic Imaging Science and Technology (San Jose, 2004.1.21)/Sensors and Camera Systems for Scientific, Industrial, and Digital Photography Applications V, Proceedings of SPIE, Vol.5301, pp.138-148
- Masatoshi Ishikawa: High-speed vision chips and its applications (Plenary), 16th Int. Conf. on Optical Fiber Sensors (Nara, 2003.10.14)/Technical Digest, pp.28-31
- Shingo Kagami, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: An Advanced Digital Vision Chip and Its System Implementation, SICE Annual Conference 2003 (Fukui, 2003.8.5)/Proceedings, pp.2512-2515
- Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: Vision Chip Architecture for Simultaneous Output of Multi-Target Positions, SICE Annual Conference 2003 (Fukui, 2003.8.5)/ Proceedings, pp.2591-2594
- Shingo Kagami, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: A Software-Controlled Pixel-Level A-D Conversion Method for Digital Vision Chips, 2003 IEEE Workshop on Charge-Coupled Devices and Advanced Image Sensors (Elmau, 2003.5.17)
- Takashi Komuro, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: A High Speed Digital Vision Chip with Multi-grained Parallel Processing Capability, 2003 IEEE Workshop on Charge-Coupled Devices and Advanced Image Sensors (Elmau, 2003.5.15)
- Yoshihiro Nakabo, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: 3D Tracking Using Two High-Speed Vision Systems, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems(IROS2002) (Lausanne, 2002.10.4) /Proceedings, pp360-365
- Takashi Komuro, Shingo Kagami, and Masatoshi Ishikawa: A New Architecture of Programmable Digital Vision Chip, 2002 Symposium on VLSI circuits (Honolulu, 2002.6.15)/Proceedings pp. 266-269
- Shingo Kagami, Takashi Komuro, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: A Real-Time Visual Processing System using a General-Purpose Vision Chip, 2002 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Washington D.C. 2002.5.13)/Proceedings pp.1229-1234
- Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: 64 x 64 Pixels General Purpose Digital Vision Chip, 11th IFIP International Conference on Very Large Scale Integration (VLSI-SOC2001) (Montpellier. 2001.12.4)/Proceedings pp.327-332
- Masatoshi Ishikawa: High Speed Vision and Its Applications (Invited Lecture), Advance Science Institute 2001 (Tokyo, 2001.7.28)
- Hideo Kawai, Asako Baba, Motoshi Shibata, Yoshinori Takeuchi, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Image Processing on a Digital Smart Pixel Array, CLEO/Pacific Rim 2001 (Makuhari, 2001.7.19)/Technical Digest, Vol.II, pp.680-681
- Haruyoshi Toyoda, Naohisa Mukohzaka, Seiichiro Mizuno, Yoshihiro Nakabo, and Masatoshi Ishikawa: Column parallel vision system (CPV) for high-speed 2D-image analysis, Optical Engineering for Sensing and Nanotechnology(ICOSN2001) (Yokohama. 2001.6.6)/Proceedings of SPIE Vol.4416, pp,256-259
- Masatoshi Ishikawa, and Takashi Komuro: Digital Vision Chips and High-Speed Vision Systems (Invited), 2001 Symposium on VLSI Circuits (Kyoto, 2001.6.14-16)/Digest of Technical Papers, pp.1-4
- Masatoshi Ishikawa: How Can High Speed Vision Change Robotics World? (tutorial on "Sensing and Actuation toward 21st Century"), Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (Takamatsu, 2000.10.31)
- Masatoshi Ishikawa: High-Speed VLSI Vision Chip and Its Applications (Plenary), Int. Congress on High-Speed Photography and Photonics (Sendai, 2000.9.27)/Proc. SPIE, Vol.4183, pp.1-8
- Kenji Tajima, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: CMOS Image Sensor with APS Structure for High-Speed Video Camera, Int. Congress on High-Speed Photography and Photonics (Sendai, 2000.9.27)/Abstracts, p.253
- Takashi Komuro, Idaku Ishii, Masatoshi Ishikawa, and Atsushi Yoshida: High Speed Target Tracking Vision Chip, Int. Conf. on Computer Architecture for Machine Perception (Padova, 2000.9.11)/proceedings, pp.49-56
- Idaku Ishii, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Method of Moment Calculation for a Digital Vision Chip System, Int. Conf. on Computer Architecture for Machine Perception (Padova, 2000.9.11)/proceedings, pp.41-48
- Yoshihiro Nakabo, Masatoshi Ishikawa, Haruyoshi Toyoda, and Seiichiro Mizuno: 1ms Column Parallel Vision System and Its Application of High Speed Target Tracking, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (San Francisco, 2000.4.26)/Proceedings,pp.650-655
- Idaku Ishii and Masatoshi Ishikawa: A Line Extraction Algorithm for High Speed Vision, Forth Asian Conf. on Computer Vision (Taipei, 2000.1.9)/Proc., pp.330-335
- Masatoshi Ishikawa: VLSI Vision Chip and Its Applications (Invited), Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (Tokyo, 1999.9.21)/Extended Abstracts, pp.106-107
- Masatoshi Ishikawa, Takashi Komuro, Akio Namiki, and Idaku Ishii: New Generation of Sensory Information Processing for Intelligent Systems - VLSI Vision Chip and Sensor Fusion System -(Plenary), Fourth International Conference on Electronic Measurement and Instruments (Harbin, 1999.8.18)/Proceedings, pp.1-6
- Masatoshi Ishikawa, Akio Namiki, Takashi Komuro, and Idaku Ishii: 1ms Sensory-Motor Fusion System with Hierarchical Parallel Processing Architecture (Invited), The Second International Conference on Information Fusion (Sunnyvale, 1999.7.7)/Proceedings, pp.640-647
- Idaku Ishii and Masatoshi Ishikawa: Self Windowing for High Speed Vision, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (Detroit, 1999.5.13)/Proc., pp.1916-1921
- Masatoshi Ishikawa, Takashi Komuro, Kazuya Ogawa, Yoshihiro Nakabo, Akio Namiki, and Idaku Ishii: Vision Chip with General Purpose Processing Elements and Its Application, Int. Symp. on Future of Intellectual Integrated Electronics (Sendai,1999.3.16)/Proceedings, pp.169-174
- Masatoshi Ishikawa, Kazuya Ogawa, Takashi Komuro, and Idaku Ishii: A CMOS Vision Chip with SIMD Processing Element Array for 1ms Image Processing, 1999 Dig. Tech. Papers of 1999 IEEE Int. Solid-State Circuits Conf(ISSCC1999) (San Francisco, 1999.2.16)/Abst. pp.206-207
- Ferenc Birloni, and Masatoshi Ishikawa: Depth Estimation Using Focusing and Zooming, for High Speed Vision Chip, Int. Conf. Intelligent Autonomous Systems 5 (Sapporo, 1998.6.3)/Intelligent Autonomous Systems (Y.Kakazu, M.Wada, and T.Sato eds.), pp.116-122, IOP Press
- Masatoshi Ishikawa: New Generation of Sensory Information Processing for Intelligent Systems - VLSI Vision Chip and Sensor Fusion System with 1ms Sampling Rate - (Plenary), The 5th Int. Conf. on Intelligent Autonomous Systems (Sapporo, 1998.6.2)
- Masatoshi Ishikawa: 1ms VLSI Vision Chip System and Its Application (Plenary), Int. Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition (Nara, 1998.4.15)/Proceedings, pp.214-219
- Takashi Komuro, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: Vision Chip Architecture Using General-Purpose Processing Elements for 1ms Vision System, 4th IEEE Int. Workshop on Computer Architecture for Machine Perception(CAMP1997) (Cambridge, 1997.10.22)/Proceeding, pp.276-279

- Idaku Ishii, Yoshihiro Nakabo, and Masatoshi Ishikawa: Target Tracking Algorithm for 1ms Visual Feedback System Using Massively Parallel Processing, IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (Minneapolis, 1996.4.25)/Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.2309-2314
- Yoshihiro Nakabo, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: High Speed Target Tracking Using 1ms visual Feedback System, Video Proceedings of IEEE Int. Conf. Robotics and Automation (Minneapolis, 1996.4.24-26)/Abstract, p.6 [ps+gzip] [Best Video Award Finalist]
- Masatoshi Ishikawa, Takashi Komuro, Yoshihiro Nakabo, and Idaku Ishii: Massively Parallel Processing Vision and Its Applications, 4th Int. Conf. on Soft Computing (Iizuka, 1996.10.3)/proceedings, pp.117-120
- Toshiharu Mukai, and Masatoshi Ishikawa: Resistive Network for Detecting the Centroid of Nonlinear Coordinates, The 22nd Annual Int. Conf. on Industrial Electronics, Control, and Instrumentation (Taipei, 1996.8.8)/Proceedings, pp.1052-1058
- Masatoshi Ishikawa: Parallel Processing Architecture for Sensory Information, The 8th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators (Transducers1995), and Eurosensors (Stockholm, 1995.6.27)/Proceedings, pp.103-106
- Masatoshi Ishikawa: The Art of Sensing (Tutorial), The Fourth Int. Symp. on Measurement and Control in Robotics (Houston, 1994.11.30)
- Masatoshi Ishikawa: High speed vision system with massively parallel processing architecture for integration into one chip, Workshop on Computer Architectures for Machine Perception(CAMP1993) (New Orleans, 1993.12.15)
- Yoshihiro Yamada, and Masatoshi Ishikawa: High Speed Target Tracking Using Massively Parallel Processing Vision, IROS1993 (1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems) (Yokohama, 1993.7.27)/Proceedings, pp.267-272
- Masatoshi Ishikawa, Akira Morita, and Nobuo Takayanagi: Massively Parallel Processing System with an Architecture for Optical Computing, Optical Computing Topical Meeting (Palm Springs, California, 1993.3.18)/1993 Technical Digest Series, Vol.7, pp.272--275
- Masatoshi Ishikawa, Akira Morita, and Nobuo Takayanagi: High Speed Vision System Using Massively Parallel Processing, IROS1992 (1992 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems) (Raleigh, 1992.7.8)/Proceedings, pp.373-377

学術論文／Papers

- 早川智彦, 東晋一郎: 時速100km走行での覆工コンクリート高解像度変状検出手法, 建設機械, Vol.58, No.4, pp.34-38 (2022)
- 門脇拓也, 丸山三智佳, 早川智彦, 松澤直熙, 岩崎健一郎, 石川正俊: 身体感覚と視覚情報にずれが生じる没入環境における低遅延な映像のユーザーへの影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.24, No.1, pp.23-30 (2019) [2020年 日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞]
- 龍野翔, 早川智彦, 石川正俊: ボウリング投球動作を対象とした電気刺激によるスポーツスキル習得支援システムの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.22, No.4, pp.447-455 (2017)
- 安井雅彦, M. Sakti Alvissalim, 山本裕紹, 石川正俊: 空中映像と高速3Dジェスチャー認識技術の統合による低遅延な立体映像作業環境の実現, 計測自動制御学会論文集, Vol.52, No.3, pp.134-140 (2016)
- 宮下令央, 蔵悠子, 奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊: 高速光軸制御を用いた動的物体の非接触振動計測システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.19, No.2, pp.99-104 (2014)

解説論文／Review Papers

- 早川智彦, 石川正俊, 亀岡弘之: 時速100km走行でのトンネル覆工コンクリート高解像度変状検出手法, 建設機械施工, Vol.73, No.8, pp.19-23 (2021)
- 早川智彦, 望戸雄史, 石川正俊, 大西偉允, 亀岡弘之: 【大臣賞】時速100km走行での覆工コンクリート高解像度変状検出手法, 土木施工, Vol.62, No.7, p.146 (2021)
- 早川智彦, 久保田祐貴, 望戸雄史, 柯毓珊, 石川正俊: モーションブラー補償による高速撮像技術のインフラ検査への応用, 光学, Vol.50, No.2, pp.61-67 (2021)
- 早川智彦: 高速ビジョンのインフラ検査への応用, 日本ロボット学会誌, Vol.35, No.8, pp.600-604 (2017)
- 渡辺義浩, 石川正俊：仮想物体を3次元操作するインタラクティブディスプレイシステム -The Deformable Workspace-, 機能材料, Vol.31, No.1, pp.33-42 (2011)

招待講演／Invited Talks and Tutorials

- 早川智彦, 久保田祐貴, 望戸雄史, 石川正俊: インフラ点検技術の高度化に向けた補償光学系及びレーザー加熱の活用, 一般社団法人レーザー学会学術講演会第40回年次大会 (仙台, 2020.1.22) ／講演予稿集, X01-22a-XI-04
- 石川正俊, アルバロカシネリ, カーソンレノツ：メタ・パーセプション(招待講演), レーザー学会学術講演会第28回年次大会 (名古屋, 2008.1.31) ／講演予稿集, pp.199-200

学会発表／Proceedings

- 蛭間友香, 望戸雄史, 早川智彦, 三野綾子, 石川正俊: 移動速度に応じたモーションブラー補償を用いた路面投影手法, 第26回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2025) (広島, 2025.12.10) ／講演会論文集, pp.1576-1578
- 望戸雄史, 早川智彦, 馬場庸平, 田代想, 蛭間友香, 資延伸一, 石川正俊: 同期制御に基づくモーションブラー補償を用いた移動環境下でのフォトグラメトリ用画像撮影システム, 第26回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2025) (広島, 2025.12.10) ／講演会論文集, pp.1579-1581
- 早川智彦, 望戸雄史, 馬場庸平, 田代想, 蛭間友香, 資延伸一, 石川正俊: トンネル内での移動環境下におけるフォトグラメトリ用画像撮影システム, 令和7年度土木学会全国大会第80回年次学術講演会 (熊本, 2025.9.12) ／講演論文集, CS9-49
- 早川智彦, 末石智大, 大倉秀斗, 蛭間友香, 妹尾拓, 栃岡陽麻里, 三野綾子, 黄守仁, 石川正俊: 人の動作意図に基づくロボットハンドによる物体把持高速化アシストシステム, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2025) (山形, 2025.6.6) ／講演論文集, 2P1-L05
- 早川智彦, 蛭間友香, 妹尾拓, 黄守仁, 石川正俊: 机上における人の動作意図読み取りによる物体把持高速化アシストシステム, 第25回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2024) (盛岡, 2024.12.19) ／講演会論文集, pp.2482-2483
- 岩崎健一郎, 早川智彦, 石川正俊: 高速カメラを用いた接地直後の背屈筋収縮の推定手法, 第2回スポーツ情報学研究発表会 (北見, 2024.11.1) ／映像情報メディア学会技術報告, Vol.48, No.36, pp.15-17
- 早川智彦, 三野綾子, 蛭間友香, 石川正俊: 回転六角柱によるモーションブラー補償システム, 第42回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2024) (大阪, 2024.9.4) ／講演概要集, 1A5-04
- 望戸雄史, 蛭間友香, 早川智彦, 柯毓珊, 大西偉允, 石川正俊: 照明認識を利用した高速道路のトンネル外観検査のための自己位置推定手法, 第21回ITSシンポジウム2023 (富山, 2023.12.7) ／対話セッション2-B-13, pp1-6
- 望戸雄史, 早川智彦, 大西偉允, 石川正俊: トンネル内における照明認識による自己位置推定手法, 令和5年度土木学会全国大会第78回学術講演会 (広島, 2023.9.14) ／ WEB版年次学術講演会プログラム, CS9-24:1-CS9-24:2
- 蛭間友香, 早川智彦, 石川正俊: 映像遅延および空間情報を制御可能な手の高速撮像・投影システムの構築, 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2022) (札幌, 2022.9.14) ／論文集, 3F5-4
- 栃岡陽麻里, 早川智彦, 石川正俊: 身体感覚と視覚情報にずれが生じる低遅延没入環境におけるターゲットの加速度がユーザへ与える影響, 第26回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2021) (オンライン, 2021.9.14) ／論文集, 3B2-3
- 池田遼, 早川智彦, 栃岡陽麻里, 石川正俊: 観測者の視線運動に応じた残像効果による指向性ディスプレイ, 情報処理学会インタラクション2021 (東京, 2021.3.11 [オンライン]) ／予稿集, pp.57-63
- 早川智彦, 栃岡陽麻里, 久保田祐貴, 美間亮太, 石川正俊: 色と形に関する2種の錯視における知覚のフレームレート依存性ーベンハムのコマとラバーペンシル錯視による錯視の映像表現への応用検討ー, 映像表現・芸術科学フォーラム2021 (オンライン, 2021.3.8) ／映像情報メディア学会技術報告, Vol.45, No.8, pp.157-160
- 早川智彦, 高原慧一, 柯毓珊, 石川正俊: 半導体可視光レーザーによる加熱箇所の熱画像を利用した動的マーカー生成手法, 一般社団法人レーザー学会学術講演会第41回年次大会 (オンライン, 2021.1.20) ／講演予稿集, H03-20a-VIII-04
- 久保田祐貴, 柯毓珊, 早川智彦, 石川正俊: 2種の材料を用いた着脱可能な赤外マーカーにおける撮像性能の検証, 映像情報メディア学会創立70周年記念大会 (オンライン, 2020.12.22) ／予稿集, 12E-2, pp.1-2
- 美間亮太, 久保田祐貴, 早川智彦, 石川正俊: ベンハムのコマの無彩色化システムを用いた主観色の補償効果の評価, 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2020) (福岡, 2020.12.17 [オンライン]) ／講演会論文集, pp.1955-1957
- 早川智彦, 柯毓珊, 望戸雄史, 石川正俊: モーションブラー補償撮像手法を利用した走行型点検車両の照明要件ー高速道路のトンネル覆工表面の撮影に向けてー, 2020年度第42回照明学会東京支部大会 (オンライン, 2020.12.9) ／予稿集, pp.B-6:1-B-6:2 [2020年 第42回照明学会東京支部大会最優秀研究発表者賞受賞]

アクティブ パーセプション 和文 ／ Active Perception Japanese

- 早川智彦, 柯毓珊, 石川正俊: 再帰性反射光の広がりによる空中結像を利用したディスプレイ空間拡張手法, 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2020) (オンライン, 2020.9.17) ／論文集, 2B1-5
- 早川智彦, 柯毓珊, 石川正俊: 再帰性反射光の広がりによる空中結像を利用した光源拡張手法, 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2020) (オンライン, 2020.9.16-18) ／ Open Virtual Exhibition, A17-(3)
- 早川智彦, 望戸雄史, 村上健一, 石川正俊: 軌道材料の異常検出に向けた鉄道巡航速度における高解像度画像撮影手法の提案, 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会Web討論会 (オンライン, 2020.9.9-11) ／ WEB版年次学術講演会プログラム, VI-892:1-VI-892:3
- 江崎ゆり子, 望戸雄史, 早川智彦, 石川正俊: ガルバノミラーを用いた撮影角度の高速スイッチング, 2020年第45回光学シンポジウム (東京, 2020.6.25 [オンライン]) ／講演予稿集, pp.85-89
- 藤田尚輝, 池田遼, 栃岡陽麻里, 早川智彦, 石川正俊: 没入環境におけるフレームレートおよび画像遅延が人間の動作に与える影響, 2020年電子情報通信学会総合大会 (東広島, 2020.3.20) ／講演論文集, H-2-13, p.201
- 美間亮太, 久保田祐貴, 早川智彦, 石川正俊: ベンハムのコマにおける誘導色の無彩色化システム, 2020年電子情報通信学会総合大会 (東広島, 2020.3.20) ／講演論文集, H-2-12, p.200
- 池田遼, 藤田尚輝, 栃岡陽麻里, 早川智彦, 石川正俊: 高速カメラ・プロジェクタ系におけるフレームレートの計測, 2020年電子情報通信学会総合大会 (東広島, 2020.3.18) ／講演論文集, H-3-8, p.217
- 村松海渡, 深山理, 伊藤遼, 早川智彦, 石川正俊: ピアノ演奏の「脱力」スキル習得のための上腕三頭筋活動に基づく電子楽器発音遮断システム, 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2019) (高松, 2019.12.14) ／講演会論文集, pp.2010-2012
- 久保田祐貴, 早川智彦, 石川正俊: 視線計測に基づくハーマン格子錯視のリアルタイム映像補償, 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2019) (高松, 2019.12.14) ／講演会論文集, pp.1979-1983
- 中根悠, 早川智彦, 門脇拓也, 石川正俊: レンズ系を用いたアクリルキューブ回転モーションブラー補償システムにおける高速移動対象への対応, 第80回応用物理学会秋季学術講演会 (札幌, 2019.9.18) ／講演予稿集, 18a-PA3-8
- 久保田祐貴, 早川智彦, 深山理, 石川正俊: 一対比較法を用いた蛇の回転錯視の補償パラメータチューニング, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2019) (東京, 2019.9.11) ／論文集, 4C-06
- 栃岡陽麻里, 早川智彦, 門脇拓也, 池田遼, 石川正俊: 身体感覚と視覚情報にずれが生じる低遅延没入環境におけるフレームレートが人へ与える影響, 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2019) (東京, 2019.9.11) ／論文集, 4C-05
- 早川智彦, 久保田祐貴, 望戸雄史, 蛭間友香, 栃岡陽麻里, 石川正俊: 高速走行時におけるモーションブラー補償に基づくトンネル覆工浮き・剥離検査システム, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会 (高松, 2019.9.3) ／ WEB版年次学術講演会プログラム, VI-146:1-VI-146:3
- 久保田祐貴, 早川智彦, 望戸雄史, 蛭間友香, 栃岡陽麻里, 石川正俊: 可変スポット径のレーザ加熱光学系を用いた浮き・剥離の顕在化, 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会 (高松, 2019.9.3) ／ WEB版年次学術講演会プログラム, VI-145:1-VI-145:3 [2019年 令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会年次学術講演会優秀講演者表彰]
- 早川智彦, 加茂佳吾, 久保田祐貴, 望戸雄史, 妹尾拓, 石川正俊: PID制御に対するパルス入力を用いたガルバノミラーの高速ラスタ走査手法ー高速移動によるモーションブラーの補償撮像に向けてー, ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2019) (広島, 2019.6.6) ／講演論文集, 1P2-L05
- 石川正俊: 高速ビジョンのアーキテクチャと新展開, 光設計研究グループ第66回研究会 (東京, 2019.4.19) ／ OPTICS DESIGN, No.66, pp.3-4
- 久保田祐貴, 早川智彦, 石川正俊: 眼球運動に同期した運動錯視画像の補償提示と評価, 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 (HIP) (高知, 2019.3.9) ／電子情報通信学会技術研究報告, Vol.118, No.493, pp.29-31
- 門脇拓也, 早川智彦, 石川正俊: 回転アクリルキューブによる光軸制御を用いたモーションブラー補償システム, 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2018) (大阪, 2018.12.15) ／講演会論文集, pp.3105-3107 [2018年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2018優秀講演賞受賞] [2019年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門部門研究奨励賞受賞]
- 池田遼, 早川智彦, 石川正俊: Landの二色法を用いたモノクロ高速プロジェクタにおけるカラー化手法の提案, 第19回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2018) (大阪, 2018.12.15) ／講演会論文集, pp.3063-3066
- 早川智彦, 望戸雄史, 森下健太, 石川正俊: 白線認識による画角補償機能を利用した時速100km対応トンネル覆工表面画像検査システム, 第16回ITSシンポジウム2018 (京都, 2018.12.14) ／対話セッションショットガンスライド集, 4-B-01, p.1
- 村上健一, 早川智彦, デ レオン ジェローム ピトゴ, 石川正俊: ガルバノミラーによるリアルタイム高速モーションブラー補償を利用したマイクロ加工物体の形状計測手法, 日本機械学会第9回マイクロ・ナノ工学シンポジウム (札幌, 2018.11.1) ／講演論文集, 01pm1-PN-153
- 門脇拓也, 丸山三智佳, 早川智彦, 松澤直熙, 岩崎健一郎, 石川正俊: 身体感覚と視覚情報にずれが生じる没入環境における映像遅延のユーザーパフォーマンスへの影響に関する研究, 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2018) (仙台, 2018.9.19) ／論文集, 12B-1
- 深山理, 龍野翔, 安井雅彦, Muhammad Sakti Alvissalim, 早川智彦, 石川正俊: 高速撮像系フィードバックを用いた介入的スポーツ訓練システムのプロトタイプ, 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門シンポジウム2018 (LE2018) (会津若松, 2018.9.12) ／論文集, 3B1-1
- 龍野翔, 早川智彦, 石川正俊: 学習促進としての電気刺激による感覚提示システムの開発, 第17回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2016) (札幌, 2016.12.16) ／講演会論文集, pp.2080-2084
- 早川智彦, 小松由里子, 東晋一郎, 石川 正俊: インフラ維持・管理におけるモーションブラー補償装置の利用, 第31回日本道路会議 (東京, 2015.10.27) ／論文集, pp.2006:1-2006:2
- 安井雅彦, M.Sakti Alvissalim, 山本裕紹, 石川正俊: 空中映像と高速3Dジェスチャー認識技術の統合による直感的操作可能なインタラクションシステム, 第15回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2014) (東京, 2014.12.16) ／講演会論文集, pp.1404-1407 [2014年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門SI2014優秀講演賞受賞] [2015年 計測自動制御学会学術奨励賞・研究奨励賞受賞]
- 高橋彩, 岩崎健一郎, カシネリアルバロ, 渡辺義浩, 石川正俊: 仮想コンテナ重畳システムを用いた拡張現実感ユーザインタフェースの評価手法の検討, 第19回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ 2014) (名古屋, 2014.9.18) ／論文集, pp.314-317
- Ken Iwasaki, Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Toward Augmenting Emotion: Study On Real Time ECG Feedback, 第156回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会 (下呂, 2014.1.15) ／情報処理学会研究報告, Vol.2014-HCI-156, No.6, pp.1-4
- 宮下令央, Cassinelli Alvaro, 石川正俊：マウスチェア -restless-interface-, エンタテインメントコンピューティング2011 (EC 2011) (東京, 2011.10.9) ／講演論文集, pp.322-325, 06B-01
- 藏悠子, Alvaro Cassinelli, 石川正俊：Extroverting Interface, エンタテインメントコンピューティング2011 (EC 2011) (東京, 2011.10.9) ／講演論文集, 06B-07
- 吉田匠, 家室証, 南澤孝太, 新居英明, 舘暲：再帰性投影型多視点立体ディスプレイのための物体操作インタフェース, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会 (石川, 2010.9.16) ／講演論文集, 2A2-2
- 伊藤崇仁, Alvaro Cassinelli, 小室孝, 石川正俊：タンジブルスクリーンを用いた３次元物体表現, 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI 2006) (札幌, 2006.12.15) ／講演会論文集, pp.774-775

展示会／Exhibition

- サイエンスアゴラ (東京, 日本科学未来館), 2014年11月7日～ 9日[AIRR Tablet]
- JST Symposium in conjuntiction with IEEE VR2011, (Singapore, Suntec Convention Center), 2011年3月20日 ～ 27日[scoreLight]
- ACM SIGGRAPH 2010 Emerging Technologies (Los Angels, Los Angels Convention Center),2010年7月25日 ～ 29日 [Alvaro Cassinelli, Alexis Zerroug, Yoshihiro Watanabe, Masatoshi Ishikawa, and Jussi Angesleva:Camera-less Smart Laser Projector]
- SIGGRAPH ASIA 2009 (juried), Art Gallery & Emerging Technologies, (横浜, パシフィコ), 2009年12月17日～ 19日 [scoreLight]
- CONTEX2009 exhibition, (Tokyo, Miraikan), 2009年10月22日～ 25日,[scoreLight]
- 13th Japan Media Art Festival 2009 (Excellence Prize), (東京, 国立新美術館), 2009年2月3日～ 14日[scoreLight]
- Ars Electronica - Tokyo University Campus Exhibition, (Linz, kunstuniversität: University of Art and Industrial Design Linz),2008年9月4日～ 9日[HYBRID EGO: boxedEgo, Sticky Light, Wireless Haptic Radar]
- Prix Ars Electronic 2006, Interactive Art Category, (Linz, O.K. Center for Contemporary Art), 2006年8月31日 ～ 10月8日,[Khronos Projector]
- TIMESCAPE, the Okamura Design Space (collaboration with architect Hiroshi Naito), (東京, ホテルニューオータニ), 2006年7月13日～ 28日,[Khronos Projector]
- 第9回メディアアートフェスティバル, (東京, 東京都写真美術館) 2006年2月24日～ 3月5日,[Khronos Projector]
- Laval Virtual, (Laval, Salle Polyvalente, Place de Hercé), 2006年4月25日～ 30日,[Khronos Projector]
- Digital Art Festival 2005 (東京, パナソニックセンター東京), 2005年12月9日～ 13日,[Khronos Projector]

学術論文／Papers

- Yushi Moko, Yuka Hiruma, Tomohiko Hayakawa, Yushan Ke, Yoshimasa Onishi, and Masatoshi Ishikawa: Vehicle Self-Position Estimation Using Lighting Recognition in Expressway Tunnel for Visual Inspection Flow, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.36, No.3, pp.746-757 (2024)
- Yuriko Ezaki, Yushi Moko, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Angle of View Switching Method at High-Speed Using Motion Blur Compensation for Infrastructure Inspection, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.985-996 (2022)
- Tomohiko Hayakawa, Yushi Moko, Kenta Morishita, Yuka Hiruma, and Masatoshi Ishikawa: Tunnel Lining Surface Monitoring System Deployable at Maximum Vehicle Speed of 100 km/h Using View Angle Compensation Based on Self-Localization Using White Line Recognition, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.997-1010 (2022)
- Kenichi Murakami, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Hybrid surface measuring system for motion-blur compensation and focus adjustment using a deformable mirror, Applied Optics, Vol.61, Issue2, pp.429-438 (2022)
- Yuki Kubota, Yushan Ke, Tomohiko Hayakawa, Yushi Moko, and Masatoshi Ishikawa: Optimal Material Search for Infrared Markers under Non-Heating and Heating Conditions, Sensors, Vol.21, No.19, Article No.6527, pp.1-17 (2021)
- Yuki Kubota, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Dynamic perceptive compensation for the rotating snakes illusion with eye tracking, PLOS ONE, Vol.16, Issue3, Article No.e0247937, pp.1-20 (2021)
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, Hideo Higuchi, and Masatoshi Ishikawa: Visualization Method for the Cell-Level Vesicle Transport Using Optical Flow and a Diverging Colormap, Sensors, Vol.21, No.2, Article No.522, pp.1-13 (2021)
- Tomohiko Hayakawa, Takanoshin Watanabe, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Gain-compensation Methodology for a Sinusoidal Scan of a Galvanometer Mirror in Proportional-Integral-Differential Control Using Pre-emphasis Techniques, Journal of Visualized Experiments, Issue122, pp.e55431:1-e55431:11 (2017)
- Tomohiko Hayakawa, Takanoshin Watanabe, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa: Gain-compensated sinusoidal scanning of a galvanometer mirror in proportional-integral-differential control using the pre-emphasis technique for motion-blur compensation, Applied Optics, Vol.55, Issue21, pp.5640-5646 (2016)
- Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Development of Motion-Blur-Compensated High-Speed Moving Visual Inspection Vehicle for Tunnels, International Journal of Structural and Civil Engineering Research, Vol.5, No.2, pp.151-155 (2016)
- Tomohiko Hayakawa, Takanoshin Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Real-time high-speed motion blur compensation system based on back-and-forth motion control of galvanometer mirror, Optics Express, Vol.23, Issue25, pp.31648-31661 (2015)
- A.Cassinelli, E.Sampaio, S.B.Joffily, H.R.S.Lima, and B.P.G.R.Gusmao: Do blind people move more confidently with the Tactile Radar?, IOS Press, Technology and Disability/pp.161-170 (2014)

招待講演／Invited Talks and Tutorials

- Tomohiko Hayakawa: Motion blur compensation techniques for infrastructure inspection, 3rd International Conference Advances in 3OM (Timisoara, 2025.12.8)/Proceedings, p.144
- Tomohiko Hayakawa: Infrastructure monitoring system on expressway using optical axis control, SPIE Optics + Photonics 2025 (San Diego, 2025.8.3)
- Tomohiko Hayakawa: Measurement of Tolerance Limits for Video Latency using High-speed Cameras and High-speed Projectors, The 31st International Display Workshops (IDW'24) (Sapporo, 2024.12.4)/Proceedings, PRJ1-3, pp.896-898
- Tomohiko Hayakawa: Optical axis control methods for infrastructure inspection, 2nd International Conference Advances in 3OM: Opto-Mechatronics, Opto-Mechanics and Optical Metrology, (Timisoara, 2023.12.14)/Paper No.OPT23-42
- Tomohiko Hayakawa: User Performance based on the Effects of Low Video Latency between Visual and Haptic Information in Immersive Environments (Invited), The 6th International Conference on Intelligent Robotics and Control Engineering (IRCE 2023) (Jilin, 2023.8.6 [online])/Invited Session 2
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, Hideo Higuchi, and Masatoshi Ishikawa: Deep learning approach for metastatic cancer cell classification using live-cell imaging data (Invited), SPIE Photonics West BiOS, Conference on Imaging, Manipulation, and Analysis of Biomolecules, Cells, and Tissues XX (San Francisco, 2022.3.3 [On demand])/Proceedings of SPIE, Vol.11964, pp.1196404-1-6
- Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Monitoring Method of Concrete Crack on Tunnel Surface Using Motion-blur Compensation System as Health Monitoring, BIT's 6th Annual World Congress of Advanced Materials-2017 (WCAM-2017) (Xi'an, 2017.6.15)/Conference Abstract Book, p.405
- Masatoshi Ishikawa: Interactive Display Technologies Using High-speed Image Processing (Invited), Workshop on 3D/Hyper-Realistic Display in The 21st International Display Workshops (IDW '14) (Niigata, 2014.12.4)/Proceedings, pp.812-813
- Alvaro Cassinelli : Time Delayed Cinema, [PPT-28MB], invited talk at Microwave/Animatronica New Media Art Festival (Hong Kong, 2006.11.4-15)

学会発表／Proceedings

- Tomohiko Hayakawa, Yuka Hiruma, Yushi Moko, Masatoshi Ishikawa: Exploring persistent luminescence of common powders for non-invasive flow visualization, Optical Components and Materials XXIII, SPIE Photonics West OPTO (San Francisco, 2026.1.19)
- Ken Iwasaki, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Method for estimating plantar pressure distribution with thermal imaging, 2025 International Conference on Movement Science and Technology (ICMST2025) (Noda, 2025.11.30)/P-2-19
- Tomohiko Hayakawa, Yushi Moko, Yuka Hiruma, Yoshimasa Onishi, and Masatoshi Ishikawa: 3D reconstruction method using motion-blur compensation for infrastructure monitoring systems, Ninth International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering (IALCCE2025) (Melbourne, 2025.7.18)/Proceedings, pp.1187-1194
- Tomohiko Hayakawa: User Performance Based on the Effects of Low Video Latency, 6th International Bio-Medical Interface Symposium 2025 (IBMI2025) (Taipei, 2025.3.8)/Proceedings, p.19
- Tomohiko Hayakawa, Tomohiro Sueishi, Yuka Hiruma, Himari Tochioka, Taku Senoo, Shouren Huang, and Masatoshi Ishikawa: Object Grasping Assist System with Reading Human Intention and Predicting Object Position, The 11th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA2025) (Zagreb, 2025.2.13)
- Tomohiko Hayakawa, Ayako Mino, Yuka Hiruma, and Masatoshi Ishikawa: Motion-Blur Compensation Method Using a Transparent Hexagonal Prism, 2025 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2025) (Munich, 2025.1.22)/Proceedings, pp.159-160
- Tomohiko Hayakawa, Yushi Moko, Yuka Hiruma, Yoshimasa Onishi, and Masatoshi Ishikawa: 3D Measurement Method Using Stereo Matching Of 2D Images Taken by Infrastructure Monitoring Systems, The second IALCCE Workshop on Life Cycle Management (LCM2024) (Ijmuiden, 2024.10.7)

- Yushi Moko, Tomohiko Hayakawa, Yuka Hiruma, Yushan Ke, Yuriko Ezaki, Yoshimasa Onishi, and Masatoshi Ishikawa: Thick crack width calculating method using chalk-marks in low-contrast 2D images acquired during high-speed traveling, SPIE Smart Structures + Nondestructive Evaluation conferences, NDE 4.0, Predictive Maintenance, Communication, and Energy Systems: The Digital Transformation of NDE II (Long Beach, 2024.3.25)/Proceedings of SPIE, Vol.12952, pp.1295204-1-4
- Tomohiko Hayakawa, Yuka Hiruma, Yushi Moko, Yushan Ke, and Masatoshi Ishikawa: Label-free position tracking in stuffed sparrow using phosphorescence, Conference on Label-free Biomedical Imaging and Sensing (LBIS) 2024, SPIE Photonics West BiOS (San Francisco, 2024.1.27)/Proceedings of SPIE, Vol.12854, pp.1285403-1-3
- Tomohiko Hayakawa, Yuka Hiruma, Yushan Ke, and Masatoshi Ishikawa: Active thermal marker using thermal images of heated areas with visible semiconductor laser, the 10th edition of the International Conference on Optical and Photonic Engineering (icOPEN2023) (Singapore, 2023.11.28)/Proceedings of SPIE, Vol.13069, pp.130690B-1-6
- Yushi Moko, Yuka Hiruma, Tomohiko Hayakawa, Yoshimasa Onishi, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Localization Estimation Method Using Lighting Recognition in Tunnels, 2023 7th International Conference on Intelligent Traffic and Transportation (ICITT2023) (Madrid, 2023.9.19)/Emerging Cutting-Edge Developments in Intelligent Traffic and Transportation Systems, Vol.50, pp.89-100
- Yuki Kubota, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Foveated Noise Reduction: Visual Search Tasks under Spatio-Temporal Control Synchronized with Eye Movements, The 2023 ACM Symposium of Eye Tracking Research & Applications (ETRA2023) (Tubingen, 2023.6.1)/Proceedings, Article No.43, pp.1-2
- Yushan Ke, Yushi Moko, Yuka Hiruma, Tomohiko Hayakawa, Elgueta Scarlet, and Masatoshi Ishikawa: Silk-printed retroreflective markers for infrastructure-maintenance vehicles in curved tunnels, SPIE Smart Structures + Nondestructive Evaluation (Long Beach, 2023.3.15)/Proceedings of SPIE, Vol.12483, 124830M-1-6
- Kairi Mine, Chika Nishimura, Tomohiko Hayakawa, Satoshi Yawata, Dai Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Migration correction technique using spatial information of neuronal images in fiber-inserted mouse under free-running behavior, SPIE Photonics West 2023 (San Francisco, 2023.1.31)/Proceedings of SPIE, Vol.12365, 1236508-1-5
- Yushan Ke, Yushi Moko, Yuka Hiruma, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Silk-printed retroreflective markers for infrastructure-maintenance vehicles in tunnels, SPIE Smart Structures/Nondestructive Evaluation 2022 (NDE 2022) (Long Beach, 2022.4.4-10 [online])/Proceedings of SPIE, Vol.12046, 12046:1-6
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, Hideo Higuchi, Masatoshi Ishikawa, and Ryuichiro Natato: A Generative Adversarial Network Approach to Metastatic Cancer Cell Images, IEEE The 4th International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIC2022) (Jeju Island, 2022.2.24)/Proceedings, pp.403-406
- Yuki Kubota, Tomohiko Hayakawa, Osamu Fukayama, and Masatoshi Ishikawa: Sequential estimation of psychophysical parameters based on the paired comparison, 2022 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2022) (Narvik, 2022.1.10 [online])/Proceedings, pp.150-154
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, Hideo Higuchi, and Masatoshi Ishikawa: Classification of Metastatic Breast Cancer Cell using Deep Learning Approach, IEEE The 3rd International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIC2021) (Jeju Island, 2021.4.16)/Proceedings, pp.425-428
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, Hideo Higuchi, and Masatoshi Ishikawa: A Machine Learning Approach to Transport Categorization for Vesicle Tracking Data Analysis, SPIE Photonics West BiOS 2021 (San Francisco, 2021.3.11 [online])/Proceedings of SPIE, Vol.11647, pp.116470W-1-5
- Tomohiko Hayakawa, Haruka Nakane, and Masatoshi Ishikawa: Motion-blur Compensation System Using a Rotated Acrylic Cube with Visual Feedback, 1st Virtual IFAC World Congress (IFAC-V2020) (Berlin, 2020.7.13 [online])/Proceedings, pp.696:1-696:4
- Yuriko Ezaki, Yushi Moko, Haruka Ikeda, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Extension of the Capture Range Under High-Speed Motion Using Galvanometer Mirror, The 2020 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2020) (Boston, 2020.7.9 [online])/Proceedings, pp.1854-1859
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, Hideo Higuchi, and Masatoshi Ishikawa: Estimation of Vesicle Transport near the Cellular Membrane using Image Processing, OSA Imaging and Applied Optics Congress (Vancouver, 2020.6.24 [online])/Proceedings, JF4E.2
- Yuki Kubota, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Quantitative Perception Measurement of the Rotating Snakes Illusion Considering Temporal Dependence and Gaze Information, The 12th ACM Symposium on Eye Tracking Research and Applications (ETRA2020) (Stuttgart, 2020.5.27 [online])/Proceedings, Article No.45, pp.1-4
- Yuki Kubota, Tomohiko Hayakawa, Yushan Ke, Yushi Moko, and Masatoshi Ishikawa: High-Speed Motion Blur Compensation System in Infrared Region Using Galvanometer Mirror and Thermography Camera, SPIE Smart Structures + Nondestructive Evaluation (Anaheim, 2020.4.23 [online])/Proceedings of SPIE, Vol.11379, 1137919:1-7
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, Hideo Higuchi, and Masatoshi Ishikawa: Visualization and Data Analysis for Intracellular Transport using Computer Vision Techniques, 2020 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS2020) (Kuala Lumpur, 2020.3.20 [online])/Proceedings, pp.1-6
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, Hideo Higuchi, and Masatoshi Ishikawa: Optical Flow of Vesicles: Computer Vision Approach for Endocytosis of Nanoparticles in a Living Cell, SPIE Photonics West 2020 (San Francisco, 2020.2.3)/Proceedings of SPIE, Vol.11254, pp.112541J-1-6
- Yuki Kubota, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Reduction of Moving Optical Illusion through Synchronization with Eye Movement, The 26th International Display Workshops (IDW'19) (Sapporo, 2019.11.27)/Proceedings, INP1-5L, pp.1652-1655
- Haruka Ikeda, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Bilateral Motion Display: Strategy to Provide Multiple Visual Perception Using Afterimage Effects for Specific Motion, the 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2019) (Parramatta, 2019.11.14)/Proceedings, Article No.17, pp.141-145
- Himari Tochioka, Haruka Ikeda, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Effects of Latency in Visual Feedback on Human Performance of Path-Steering Tasks, the 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2019) (Parramatta, 2019.11.13)/Proceedings, Article No.65, pp.383-384
- Seohyun Lee, Tomohiko Hayakawa, Chika Nishimura, Satoshi Yawata, Hiroki Yagi, Dai Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Comparison of Deep Learning and Image Processing for Tracking the Cognitive Motion of a Laboratory Mouse, Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS2019) (Nara, 2019.10.18)/Proceedings, pp.1-4
- Seohyun Lee, Tomohiko Hayakawa, Chika Nishimura, Satoshi Yawata, Dai Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Movement Analysis for Volitional Direction Change of Laboratory Mouse based on High-Speed Imaging, OSA Imaging and Applied Optics Congress (Munich, 2019.6.26)/Proceedings, IW1C.1
- Tomohiko Hayakawa, Takuya Kadowaki, Himari Tochioka, and Masatoshi Ishikawa: Motion-Blur-Compensated Microscopic Imaging System by Controlling the Optical Axis Using a Rotating Acrylic Cube, Focus on Microscopy 2019 (FOM2019) (London, 2019.4.16)/Program and Abstract Book Focus on Microscopy FOM 2019, p.410
- Tomohiko Hayakawa, Yushi Moko, Kenta Morishita, and Masatoshi Ishikawa: Real-time Robust Lane Detection Method at a Speed of 100 km/h for a Vehicle-mounted Tunnel Surface Inspection System, 2019 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS2019) (Sophia Antipolis, 2019.3.11)/Proceedings, pp.1-6
- Seohyun Lee, Hyuno Kim, Masatoshi Ishikawa, and Hideo Higuchi: 3D Nanoscale Tracking Data Analysis for Intracellular Organelle Movement using Machine Learning Approach, IEEE The 1st International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication (ICAIIC2019) (Naha, 2019.2.12)/Proceedings, pp.181-184
- Tomohiko Hayakawa, Kenichi Murakami, Jerome Pitogo de Leon, and Masatoshi Ishikawa: Focus adjustable motion-blur compensation method using deformable mirror, SPIE Photonics West 2019 (San Francisco, 2019.2.5)/Proceedings of SPIE, Vol.10925, pp.1092507-1-6

- Takuya Kadowaki, Michika Maruyama, Tomohiko Hayakawa, Naoki Matsuzawa, Kenichiro Iwasaki, and Masatoshi Ishikawa: Effects of low video latency between visual information and physical sensation in immersive environments, The 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2018) (Tokyo, 2018.11.29)/Article No.84, pp.1-2
- Kenta Morishita, Tomohiko Hayakawa, Yushi Moko, Hiroyuki Kameoka, and Masatoshi Ishikawa: Tunnel inspection system using high-speed moving visual inspection vehicle, 25th ITS World Congress (ITSWC18) (Copenhagen, 2018.9.20)/AP-TP1421, pp.1-7
- Jerome de Leon, Kenichi Murakami, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: High-resolution Accurate Mosaic Imaging Technique for Laser Micro-fabrication using Motion-blur Compensation, The 13th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO Pacific Rim 2018) (Hong Kong, 2018.8.2)/Proceedings, PDP.9
- Osamu Fukayama, Naoki Sudo, Kunihiko Mabuchi, and Takashi Isoyama: Rattractor - Closed-loop Rat Attractor by Deep Brain Stimulation, 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2018) (Honolulu, 2018.7.18)/proceedings, WePoS-26.43
- Kenichi Murakami, Tomohiko Hayakawa, Jerome Pitogo de Leon, and Masatoshi Ishikawa: Real-time high-speed motion blur compensation method using galvanometer mirror for shape sensing of microfabricated objects, SPIE Photonics Europe 2018 (Strasbourg, 2018.4.25)/Proceedings of SPIE, Vol.10679, 106790Z:1-6
- Tomohiko Hayakawa, Kenichi Murakami, Chung Wenting, and Masatoshi Ishikawa: Motion-Blur-Less Microscopic Imaging without Thermal Effect, Focus on Microscopy 2018 (FOM2018) (Singapore, 2018.3.27)/Program and Abstract Book Focus on Microscopy FOM 2018, p.105
- Tomohiko Hayakawa, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa: Precise shape-sensing method using micro pinhole for micro holes, SPIE Smart Structures and Materials + Nondestructive Evaluation and Health Monitoring 2018 (Denver, 2018.3.5)/Proceedings of SPIE, Vol.106020, 106020D:1-6
- Tomohiko Hayakawa, Yushi Moko, Kenta Morishita, and Masatoshi Ishikawa: Pixel-Wise Deblurring Imaging System Based on Active Vision for Structural Health Monitoring at a Speed of 100 km/h, 2017 The 10th International Conference on Machine Vision (ICMV2017) (Vienna, 2017.11.14)/Proceedings of SPIE, Vol.10696, 1069624-1-7
- Sho Tatsuno, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Supportive Training System for Sports Skill Acquisition Based on Electrical Stimulation, 2017 IEEE World Haptics Conference (WHC) (Munich, 2017.6.8)/Proceedings of the 2017 IEEE World Haptics Conference (WHC), pp.466-471
- Tomohiko Hayakawa, Masatoshi Ishikawa, Tomohiro Imahoko, Hirokazu Tahara, and Hitoshi Sekita: Micro fabrication and inspection of fine ceramics using ultra-short pulse laser, International Conference on Small Science 2017 (ICSS2017) (San Sebastian, 2017.5.11)/PROGRAM & ABSTRACTS, pp.65-66
- Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Motion-blur-compensated structural health monitoring system for tunnels at a speed of 100 km/h, SPIE Smart Structures/Nondestructive Evaluation 2017 (NDE 2017) (Portland, 2017.3.29)/Proceedings of SPIE, Vol.10169, 101692G:1-8
- Sho Tatsuno, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Trajectory Adjustment System for Learning based on Electrical Stimulation, Augumented Human 2017 (AH2017) (California, 2017.3.17)/Proceedings, Article No.28
- Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Simultaneous position and angle control for outgoing laser beam design using two galvanometer mirrors, SPIE Photonics West 2017 (San Francisco, 2017.2.2)/Proceedings, 100850Z-1-7
- Sho Tatsuno, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Comparison of Reaction Times in Response to Electrical and Visual Stimulation Using a High-speed Camera, 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2016) (Budapest, 2016.10.12)/CONFERENCE PROCEEDINGS, pp.1251-1256
- Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: Outdoor Gesture Recognition System Using Accurate Absolute Position Coordinates, 18th International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2016) (Toronto, 2016.7.20-22)/Posters' Extended Abstracts, pp.101-106
- Tomohiko Hayakawa and Masatoshi Ishikawa: Development of Motion-Blur-Compensated High-Speed Moving Visual Inspection Vehicle for Tunnels, 2016 3rd International Conference on Geological and Civil Engineering (ICGCE2016) (Penang, 2016.1.13)/Proceedings, pp.24-28 [Best Presentation Award]
- Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa: GPS Error Range Reduction Method based on Linear Kinematic Model, 2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE2015) (Gothenburg, 2015.8.27)/Proceedings, pp.1515-1520
- Muhammad Sakti Alvissalim, Masahiko Yasui, Chihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Immersive Virtual 3D Environment based on 499 fps Hand Gesture Interface, 2014 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (Jakarta, 2014.10.18)/Proceedings, pp.198-203 [Best Student Paper Award]
- Ken Iwasaki, Emi Tamaki, Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Augmenting Emotion with Real Time Biofeedback: A Pilot Study, 4th International Symposium on Pervasive Computing Paradigms for Mental Health (MindCare2014) (Tokyo, 2014.5.9)
- Ken Iwasaki, Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Toward Emotional Well-Being: Staying Calm with ECG Feedback, AAAI 2014 Spring Symposia, Big Data Becomes Personal: Knowledge into Meaning (Stanford, 2014.3.25)/AAAI Spring Symposium Technical Report, Vol.SS-14-01, pp.17-22
- Yuko Zou, Leo Miyashita, Tomohiko Hayakawa, Eric Siu, Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: i-me TOUCH: Detecting Human Touch Interaction, 2013 ACM SIGGRAPH (Anaheim, 2013.7.21-25)/Disc 1
- Kaisa Väänänen-Vainio-Mattila, Jonna Häkkilä, Alvaro Cassinelli, Jorg Müller, Enrico Rukzio, Albrecht Schmidt: Experiencing Interactivity in Public Spaces (EIPS), CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing, ACM Press, 2013 (Paris, 2013.4.26)/pp.3275-3278
- Jurgen Steimle, Hrvojo Benko, Alvaro Cassinelli, Hiroshi Ishii, Daniel Leithinger, Pattie Maes, and Ivan Poupyrev: Displays Take New Shape: An Agenda for Future Interactive Surfaces, CHI'13 Extended Abstracts on Human Factors in Computing, ACM Press, 2013 (Paris, 2013.4.26)/pp.3283-3286
- Alvaro Cassinelli, Jussi Angesleva, Yoshihiro Watanabe, Gonzalo Frasca, and Masatoshi Ishikawa: Skin Games, ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces (ITS2012), (Cambridge, 2012.11.13)/Proceedings, pp.323-326
- Kazuma Murao, Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Blink Suppression Sensing and Classification, The 30th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2012) (Austin, 2012.5.10)/Proceedings, Proceedings, pp.2255-2260
- Danielle Wilde, Alvaro Cassinelli, Alexis Zerroug: LightArrays, The 30th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2012) (Austin, 2012.5.8)/Proceedings, pp.987-990
- Alvaro Cassinelli, Daito Manabe, Stephane Perrin, Alexis Zerroug, Masatoshi Ishikawa: scoreLight & scoreBots, The 30th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2012) (Austin, 2012.5.8)/Proceedings, pp.1011-1014
- Alvaro Cassinelli, Yuko Zhou, Alexis Zerroug, and Masatoshi Ishikawa: The Laser Aura: a prosthesis for emotional expression, SIGGRAPH ASIA 2011, Tech. Sketches and Posters (Hong Kong, 2011.12.12-15)/Article No.24
- Alvaro Cassinelli, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: The Volume Slicing Display: a tangible interface for slicing and annotation of volumetric data (Invited), Optics & Photonics Japan 2011 (OPJ2011) (Suita, 2011.11.29)/Proceedings, 29pCS4
- Alexis Zerroug, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Invoked computing: Spatial audio and video AR invoked through miming, Virtual Reality International Conference (VRIC 2011) (Laval, 2011.4.7)/Proceedings, pp.31-32
- Chi Man Siu, and Carson Reynolds: Optical Handlers - eeyee, Third Workshop on Devices that Alter Perception (DAP 2010) in conjunction with 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2010)
- Carson Reynolds: Surfel Cameras, Third Workshop on Devices that Alter Perception (DAP 2010) in conjunction with 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2010) (Seoul, 2010.10.13)/Proceedings, pp.38-41

- Alvaro Cassinelli: EARLIDS & entacoustic performance, Third Workshop on Devices that Alter Perception (DAP 2010) in conjunction with 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2010) (Seoul, 2010.10.13)
- Alvaro Cassinelli, and Stephane Perrin: To Blink or Not To Blink, Third Workshop on Devices that Alter Perception (DAP 2010) in conjunction with 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2010) (Seoul, 2010.10.13)
- Tomoko Hayashi, and Carson Reynolds: Empathy Mirrors, Third Workshop on Devices that Alter Perception (DAP 2010) in conjunction with 2010 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR 2010) (Seoul, 2010.10.13)
- Danielle Wilde: The Poetics of Extension: using art & design ideation techniques to develop engaging body-worn devices, 2010 IEEE International Symposium on Wearable Computing (ISWC 2010) (Seoul, 2010.10.12)/Proceedings, pp.242-247
- Carson Reynolds: Uncanny Moral Behavior, 8th European Conference on Computing and Philosophy (ECAP10) (Munich, 2010.10.4-6)/pp.173-175
- Danielle Wilde, Alvaro Cassinelli, Alexis Zerroug, R J N Helmer, and Masatoshi Ishikawa: Light Arrays: a system for extended engagement, 2010 International Conference Series on Disability, Virtual Reality and Associated Technologies (ICDVRAT) with ArtAbilitation (Chile, 2010.9.1)/Proceedings, pp.157-164
- Danielle Wilde, R J N Helmer, and M Miles: Extending body & imagination: moving to move, 2010 International Conference Series on Disability, Virtual Reality and Other Technologies (ICDVRAT) with ArtAbilitation (Chile, 2010.9.1)/Proceedings, pp.175-183
- Alvaro Cassinelli, Alexis Zerroug, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Camera-less Smart Laser Projector (Invited), The 37th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH2010) (Los Angeles, 2010.7.25-29)/Article No.9
- Alvaro Cassinelli, Yusaku Kuribara, Alexis Zerroug, Masatoshi Ishikawa, and D. Manabe: scoreLight: Playing with a human-sized laser pick-up, International Conference on New Instruments for Musical Expression (NIME2010) (Sydney, 2010.6.15-18)/Proceedings, pp.144-149
- Alvaro Cassinelli, Alexis Zerroug, and Masatoshi Ishikawa: Camera-less Smart Laser Projector, 12th Virtual Reality International Conference (VRIC 2010/Laval Virtual) (Laval, 2010.4.7-11)/Proceedings, pp.291-295
- Carson Reynolds, Susanna Hertrich, Alvaro Cassinelli, Masatoshi Ishikawa, and Marshall Smith: Ethical Aspects of Video Game Experiments, Video Games as Research Instruments Workshop in conjunction with Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2010) (Atlanta, 2010.4.10)/Proceedings, pp.1-4
- Carson Reynolds, Alvaro Cassinelli, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: I am near my navel: learning mappings between location and skin, Key Issues in Sensory Augmentation Workshop (Brighton, 2009.3.26-27)
- Yoshihiro Watanabe, Alvaro Cassinelli, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: The DeformableWorkspace:a Membrane between Real and Virtual Space, IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems (Tabletops & Interactive Surfaces 2008) (Amsterdam, 2008.10.3)/Proceedings, pp.155-162
- Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Boxed Ego, Devices that Alter Perception Workshop (DAP2008) in conjunction with UbiComp 2008 (Seoul, 2008.9.21)/Proceedings, pp.10-13
- Carson Reynolds, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Aural Antennae, Devices that Alter Perception Workshop (DAP 2008) in conjunction with UbiComp 2008 (Seoul, 2008.9.21)/Proceedings, pp.26-29
- Alexis Zerroug, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Spatial coverage vs. sensorial fidelity in VR, Devices that Alter Perception Workshop (DAP 2008) in conjunction with UbiComp 2008 (Seoul, 2008.9.21)/Proceedings, pp.34-37
- Carson Reynolds, Alvaro Cassinelli, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa: Manipulating Perception, 6th European Conference on Computing and Philosophy (Montpellier, 2008.6.16)
- Carson Reynolds, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Meta-perception: reflexes and bodies as part of the interface, Conference on Human Factors in Computing Systems(CHI 2008) (Florence, 2008.4.7)/Proceedings, pp.3669-3674
- Carson Reynolds: Image Act Theory, Seventh International Conference of Computer Ethics, Philosophical Enquiry (San Diego, 2007.7.12-14) [PDF]
- Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Robotic Thugs, The Ninth ETHICOMP International Conference on the Social and Ethical Impacts of Information and Communication Technology(ETHICOMP 2007) (Tokyo, 2007.3.28)/Proceedings, pp.487-492 [PDF]
- Carson Reynolds, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Economically Autonomous Robotic Entities, 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA'07) (Roma, 2007.4.14) [PDF-54KB]
- Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Robot Trickery, International Workshop on Ethics of Human Interaction with Robotic, Bionic and AI Systems: Concepts and Policies (Naples, 2006.10.18)/Proceedings, pp.43-46 [PDF]
- Carson Reynolds, Hiroshi Tsujino, and Masatoshi Ishikawa: Realizing Affect in Speech Classification in Real-Time, Aurally Informed Performance Integrating Machine Listening and Auditory Presentation in Robotic Systems (Washington, D.C., 2006.10.13)/Proceedings, pp.53-54 [PDF]
- Carson Reynolds, and Wren C.: Worse Is Better for Ambient Sensing, Workshop on Privacy, Trust and Identity Issues for Ambient Intelligence, In conjunction with the 4th International Conference on Pervasive Computing (Dublin, 2006.5.7-10) [PDF]
- Carson Reynolds: Boo-Hooray and Affective Approaches to Ethical Textual Analysis, Computers and Philosophy, an International Conference (Laval, 2006.5.3-5) [PDF]
- Alvaro Cassinelli, Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Augmenting spatial awareness with Haptic Radar, Tenth International Symposium on Wearable Computers(ISWC) (Montreux, 2006.10.11-14)/pp.61-64 [PDF-103KB] [PPT-6.4MB]
- Alvaro Cassinelli, Carson Reynolds, and Masatoshi Ishikawa: Haptic Radar, The 33rd International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques(SIGGRAPH) (Boston, 2006.8.1) [PDF-202KB, Large Quicktime Video, Small Quicktime Video, MPG-4]
- Alvaro Cassinelli, Takahito Ito, and Masatoshi Ishikawa: Khronos Projector, Interactive Tokyo 2005 (Tokyo, 2005.8.25-26)/p.23 [PDF-2.1MB]
- Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Khronos Projector, Emerging Technologies, SIGGRAPH 2005 (Los Angeles, 2005)/One page abstract [PDF-0.5MB] Video Demo [WMB-40MB] Power Point presentation (with abundant video) [PPT-10MB]
- Alvaro Cassinelli, Stephane Perrin, and Masatoshi Ishikawa: Smart Laser-Scanner for 3D Human-Machine Interface, ACM SIGCHI 2005 (Portland, 2005.4.2-7)/pp.1138-1139 [PDF-835KB] Video Demo : Good Quality: [MPG-176MB] Compressed : [MPG-28MB] Slides Presentation [PPT-10MB]
- Alvaro Cassinelli, Stephane Perrin, and Masatoshi Ishikawa: Markerless Laser-based Tracking for Real-Time 3D Gesture Acquisition, ACM SIGGRAPH 2004 (Los Angeles, 2004.8.8-12)/Abstract [PDF-87KB] Video Demo : Good Quality : [AVI-24,7MB] Compressed : [AVI-6MB] Poster [JPG -835KB]
- Stephane Perrin, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Gesture Recognition Using Laser-based Tracking System, 6th International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition 2004(FG 2004) (Seoul, 2004.5. 17-19)/pp.541-546 [PDF-402KB], Poster [PPT-457KB]
- Stephane Perrin, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Laser-Based Finger Tracking System Suitable for MOEMS Integration, Image and Vision Computing, New Zealand(IVCNZ 2003) (Palmerston North, 2003.11.27)/proceedings, pp.131-136 [PDF-239KB], Poster presentation [PPT-1432KB]

学術論文／Papers

- 成瀬誠, 石川正俊：光インターコネクションを用いたシステムのための並列アルゴリズムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.5, pp.1509-1516(2000)
- 成瀬誠, 石川正俊：特異値分解を用いた光インターコネクションのアライメント解析, 光学, Vol.29, No.2, pp.101-107 (2000)
- 成瀬誠, ニール マッカードル, 豊田晴義, 小林祐二, 川又大典, 石川正俊：再構成可能光インターコネクションを用いた階層的並列処理システム, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol.83, No.5, pp.397-404 (2000)
- 石川正俊, 石田隆行：ホログラムを用いた光インターコネクション, 光学, Vol.24, No.6, pp.341-342 (1995)
- 豊田晴義, 石川正俊：スパースコーディングを用いた相関学習, 光学, Vol.22, No.4, pp.210-215 (1993)

本／Books

- 石川正俊: 光情報処理, 応用物理ハンドブック第２版, pp.58-59, 丸善 (2002.4)
- 石川正俊：光インターコネクションを用いた並列処理システム, 光通信技術の最新資料集Ⅴ, オプトロニクス社, pp.286-290 (2001.6)
- 石川正俊：光ニューロコンピューティング, 生物化学素子とバイオコンピュータⅡ -バイオコンピューティング研究戦略- (神沼二真, 甘利俊一, 相澤益男, 三輪錠司 編), サイエンスフォーラム, pp.326-331 (1990.12)
- 石川正俊：光ニューロコンピューティング, ニューロコンピュー タの現状と将来 (甘利俊一監修, 日本学際会議編), 共立出版, pp.61-98 (1990.7)
- 石川正俊：ニューラルネットワークプロセッサ, 光コンピュータ技術(谷田貝豊彦 監修), トリケップス, pp.91-109 (1989.7)

解説論文／Review Papers

- 石川正俊：The Art of Photonics, O plus E, Vol.23, No.1 (2001)
- 石川正俊：情報技術の中で輝く光技術, オプトロニクス, No.229, p.53 (2001)
- 石川正俊：光インターコネクションを用いた並列処理システム, オプトロニクス, No.223, pp.176-180 (2000)
- 石川正俊：自由空間型スマートピクセルと並列処理システムへの応用, 情報処理, Vol.41, No.9, pp.1021-1025 (2000)
- 石川正俊：光インタコネクションで変わるコンピュータの世界, エレクトロニクス実装学会誌, Vol.1, No.3, pp.176-179 (1998)
- 石川正俊：光インタコネクションで変わるコンピュータ技術, Computer Today, Vol.16, No.1, pp.19-24 (1999)
- 石川正俊：スマートピクセルと並列画像処理, オプトロニクス, No.203, pp.145-152 (1998)
- 石川正俊：光インタコネクションで変わるコンピュータ技術, M&E, Vol.25, No.8, pp.134-139 (1998)
- 石川正俊：超並列・超高速視覚情報システム -汎用ビジョンチップと階層型光電子ビジョンシステム-, 応用物理, Vol.67, No.1, pp.33-38 (1998)
- 石川正俊：スマートピクセル並列処理システム, O plus E, No.209, pp.99-106 (1997)
- 石川正俊：光インターコネクションと光設計, 光学, Vol.25, No.12, pp.705-706 (1996)
- 石川正俊：同じ方向に向っていくようなことをやっていたのでは、エネルギーの無駄遣いになります, O plus E, No.195, pp.67-73 (1996)
- 石川正俊：光オリエンティッドなアーキテクチャを実現しないと光は電子の下僕になります, O plus E, No.194, pp.69-74 (1996)
- 石川正俊：光インターコネクションと超並列処理, 光技術コンタクト, Vol.32, No.3, pp.137-143 (1994)
- 石川正俊：光センシングの現状と将来, 計測と制御, Vol.32, No.11, pp.877-883 (1993)
- 神谷武志, 森村正直, 大津元一, 石川正俊：ハイテクノロジーはいま --光技術の夢を語る, Renta Station, No.27 (1993)
- 石川正俊：超高速・超並列ビジョンシステム, 光学, Vol.21, No.10, pp.678-679 (1992)
- 石川正俊：センサ情報の並列処理技術, 電子情報通信学会論文誌C-Ⅱ, Vol.J74-C-, No.5, pp.255-266 (1991)
- 石川正俊：並列処理システムとしての光ニューロコンピューティング, 光学, Vol.19, No.11, pp.755-761 (1990)
- 石川正俊：光ニューロコンピューティング, vision, Vol.3, No.3, pp.137-144 (1990)
- 石川正俊：光アソシアトロン -学習可能な光連想記憶システム-, 別冊数理科学「脳と情報-ニューロサイエンス-」, サイエンス社, pp.144-148 (1989.4)
- 石川正俊：光アソシアトロン-学習を実現した光連想記憶システム, 電気学会雑誌, Vol.109, No.6, pp.438-444 (1989)
- 石川正俊：光コンピューティング, 電子情報通信学会誌, Vol.72, No.2, pp.157-163 (1989)
- 石川正俊：センサ情報の並列処理技術, 光技術コンタクト, Vol.27, No.1, pp.9-14 (1989)
- 石川正俊：学習機能を実現した光連想記憶システム, O Plus E, No.110, pp.97-103 (1989)
- 石川正俊：光並列演算による連想記憶システム, Inter AI, Vol.2, No.3, pp.36-38 (1988)
- 石川正俊：光ニューロコンピュータ, I/O, Vol.13, No.5, pp.233-236 (1988)
- 石川正俊：光連想記憶システム, コンピュートロール, No.24, pp.82-90 (1988)
- 石川正俊：光ニューロ・コンピューティング, 光技術コンタクト, Vol.26, No.8, pp.543-552 (1988)
- 石川正俊：光アソシアトロン -学習可能な光連想記憶システム-, Computer Today, Vol.5, No.5(No.27), pp.68-72 (1988)
- 石川正俊：光並列演算による連想記憶システム, エレクトロニクス, Vol.33, No.8, pp.39-44 (1988)
- 石川正俊：光コンピュータと並列学習情報処理, 計測と制御, Vol.27, No.12, pp.1115-1122 (1988)

招待講演／Invited Talks and Tutorials

- 石川正俊: 光インターコネクションを用いた並列処理システムとその応用 (基調講演), 第7回OEIC・光インターコネクションミニワークショップ「高機能・小型化が進む光デバイス技術」(東京, 1999.1.18) ／講演予稿集, pp.3-10
- 石川正俊：光波センシングと光コンピューティングの接点, 第17回光波センシング技術研究会 (大宮, 1996.6.19) ／講演論文集, pp.99-106
- 石川正俊：計測・センシングにおける光の役割, 計測自動制御学会第9回光応用計測部会講演会 (東京, 1992.11.5) ／資料, pp.1-6
- 石川正俊, 豊田晴義, 向坂直久, 鈴木義二：光アソシアトロン -学習を 実現した光連想記憶システム-(招待講演), レーザー学会学術講演会第9回年次大会 (大阪, 1989.1.27) ／予稿集, pp.217-220

学会発表／Proceedings

- 成瀬誠, 石川正俊：高密度光インターコネクトの機械的ダイナミクスを用いたアクティブアライメント, 第49回応用物理学関係連合講演会 (神奈川, 2002.3.30) ／講演予稿集, pp.1193
- 成瀬誠, 山本成一, 齋藤章人, 石川正俊：自由空間光インターコネクションのための実時間アクティブアライメント, 第62回応用物理学会学術講演会 (愛知, 2001.9.11) ／講演予稿集, pp.887
- 藤田元信, 成瀬誠, 石川正俊：面発光レーザアレイを用いたコンフォーカルマイクロスコピー, 第26回光学シンポジウム (東京, 2001.6.21) ／講演予稿集, pp.61-62
- 川合英雄, 馬場彩子, 武内喜則, 小室孝, 石川正俊：８ｘ８デジタル・スマートピクセルと光接続, Optics Japan '00 (北見, 2000.10.7) ／講演予稿集, pp.31-32
- 成瀬誠：システムフォトニクス - 計測・処理・通信の統合 -, 第99回光コンピューティング研究会 (京都, 2000.7.7) ／pp.33-37
- 成瀬誠, 豊田晴義, 小林祐二, 石川正俊：階層的並列処理のための自由空間光インターコネクションモジュール, 信学技報, EMD2000-3 (2000-4) ／ pp.13-17
- 成瀬誠, 石川正俊：スマートピクセルを用いた高速・並列共焦点顕微鏡システム, 第47回応用物理学関係連合講演会 (東京, 2000.3.29)
- 石川正俊, 成瀬誠, 小林祐二, 豊田晴義：再構成可能な光インターコネクションを用いた並列処理システム, レーザ・量子エレクトロニクス研究会 (東京, 2000.2.23)
- 川合英雄, 馬場彩子, 武内喜則, 小室孝, 石川正俊：デジタル・スマートピクセルと光接続, Optics Japan '99 (大阪, 1999.11.25) ／講演予稿集, pp.127-128, 23pA4
- 川又大典, 成瀬誠, 石井抱, 石川正俊：固有空間法による動画像データベース構築・検索アルゴリズム, Optics Japan '99 (大阪, 1999.11.25)
- 成瀬誠, 豊田晴義, 小林祐二, 川又大典, ニール マッカードル, 石川正俊：光インターコネクションを用いた階層的並列処理システム(OCULAR-Ⅲ), Optics Japan '99 (大阪, 1999.11.23)
- 成瀬誠：Optoelectronic VLSI と光インターコネクションを用いた システムにおける認識系アルゴリズム, 第84回光コンピューティング研究会 (1998.12.4)
- 川又大典, 成瀬誠, 石井抱, 石川正俊：超並列アーキテクチャ SPEを用いた画像検索アルゴリズム, Optics Japan'98 (岡山, 1998.9.19) ／講演予稿集
- N.McArdle, M.Naruse, A.Okuto, T.Komuro, and M.Ishikawa：Realization of a Smart-Pixel Parallel Optoelectronic Computing System, Optics Japan '97 (仙台, 1997.10.1) ／講演予稿集, pp.169-170
- 成瀬誠, 石川正俊：光電子ハイブリッドシステムのための階層的処理アルゴリズム, Optics Japan '97 (仙台, 1997.10.1) ／講演予稿集, pp.171-172
- 奥戸あかね, 成瀬誠, ニール・マッカードル, 石川正俊：光電子ハイブリッドシステム(SPE-Ⅲ)における光インターコネクションの特性評価, Optics Japan '97 (仙台, 1997.10.1) ／講演予稿集, pp.173-174
- 田畑友啓, 石川正俊：フーリエ変換ホログラムを用いた書き換え可能なスペースバリアント光インターコネクション, 第44回応用物理学関係連合講演会 (東京, 1997.3.29) ／予稿集, pp.909
- N.McArdle, and M.Ishikawa：Comparisonof GRIN Rods and Conventional Lenses for Imaging of 2D Optoelectronic Computing Devices, 第44回応用物理学関係連合講演会 (東京, 1997.3.29) ／予稿集, pp.909
- 成瀬誠, 石川正俊：特異値分解を用いた２次元光デバイスのアライメントの解析, 第44回応用物理学関係連合講演会 (東京, 1997.3.29) ／予稿集, pp.908
- 田畑友啓, 石川正俊：書き換え可能なスペースバリアントインターコネクションを用いた実時間ガーベッジコレクションの提案, 電子情報通信学会コンピュータシステム研究会 (東京, 1996.10.31) ／電子情報通信学会技術研究報告, CPSY-73, Vol.96, No.342, pp.31-38
- N.McArdle, M.Naruse, T.Komuro, H.Sakaida and M.Ishikawa：An optoelectronic smart-pixel parallel processing, 光学連合シンポジウム (福岡, 1996.9.7) ／講演予稿集, pp.247-248
- 山本裕紹, 石川正俊：非線形写像変換を有する光フィードバックシステム, 光学連合シンポジウム (東京, 1995.9.22) ／講演予稿集, pp.389-390
- 境田英之, Neil McArdle, 石川正俊：光電子ハイブリッド並列処理システム (SPE-Ⅲ)における多段光インターコネクション, 光学連合シンポジウム (東京, 1995.9.21) ／講演予稿集, pp.217-218
- 成瀬誠, 石川正俊：光インターコネクションを利用した３次元シストリックアレイアーキテクチャ, 光学連合シンポジウム (東京, 1995.9.21) ／講演予稿集, pp.215-216
- 石田隆行, 石川正俊：バイナリーホログラムを用いた再構成可能なスペースバリアント光インターコネクション, 光学連合シンポジウム (東京, 1995.9.21) ／講演予稿集, pp.213-214
- 田畑友啓, 石川正俊：光-電子ハイブリッドチップ間光インターコネクションの提案, 光学連合シンポジウム (東京, 1995.9.21) ／講演予稿集, pp.211-212
- 山本裕紹, 成瀬誠, 石川正俊：再構成可能な光インターコネクションを用いた汎用並列処理システム, 情報処理学会計算機アーキテクチャ研究会 (別府, 1995.8.24) ／情報処理学会研究報告, 95-ARC-113, Vol.95, No.80, pp.113-120
- 成瀬誠, 山本裕紹, 石川正俊：光インターコネクションを用いた並列処理システムにおけるパターン抽出, 第42回応用物理学関係連合講演会 (東京, 1995.3.29) ／予稿集, pp.905
- 田畑友啓, 石川正俊：超並列・超高速ビジョンと光インターコネクション, 第4回フォトニック情報処理研究会 (大阪, 1994.11.9) ／資料, PIP94-30, PIP94-30, pp.53-62
- 石田隆行, 鈴木隆文, 田畑友啓, Andrew Kirk, 石川正俊：光インターコネクションを用いた並列演算処理システム, 第54回応用物理学会学術講演会 (札幌, 1994.9.28) ／予稿集(第Ⅲ分冊), pp.877
- 田畑友啓, 石川正俊：実時間フーリエ変換ホログラムを用いた光インターコネクション-性能評価と最大チャンネル数の改善-, 光学連合シンポジウム (浜松, 1994.9.22) ／予稿集, pp.95-96

・成瀬誠, 山本裕紹, 石川正俊：光インターコネクションを用いた並列処理システムのための演算アルゴリズム，光学連合シンポジウム（浜松, 1994.9.22）／予稿集, pp.209-210
・石田隆行, 石川正俊：アダプティブバイナリーホログラム, 光学連合シンポジウム(浜松, 1994.9.22）／予稿集, pp.207-208
・中坊嘉宏, 寺田夏樹, 山本裕紹, 成瀬誠, 石川正俊：再構成可能な光インターコネクションを用いた並列処理システム, 光学連合シンポジウム（浜松, 1994.9.22）／予稿集, pp.97-98
・田畑友啓, アンドリュー・カーク, 石川正俊：実時間フーリエ変換ホログラムを用いた光インターコネクション，光学連合シンポジウム（旭川, 1993.9.25）／予稿集, pp.27-28
・Andrew Kirk, Tomohira Tabata, and Masatoshi Ishikawa：Signal to noise ratio enhancement with quasi-periodic computer generated holograms (quasi-periodic 構造を有する計算機ホログラムにおけるS/N比の改善)，第40回応用物理学関係連合講演会（東京, 1993.3.30）／予稿集, pp.902
・Andrew Kirk, Tomohira Tabata, and Masatoshi Ishikawa：Reconfigurable shift-invariant diffractive interconnects for parallel processing (書き換え可能なホログラムを用いた並列処理用光インターコネクション)，第40回応用物理学関係連合講演会（東京, 1993.3.29）／予稿集, pp.876
・大石峰士, 田原鉄也, 石川正俊：Poisson方程式を解くための光演算アーキテクチャ，第53回応用物理学会学術講演会（大阪, 1992.9.16）／予稿集, pp.790

招待論文／Invited Papers

- Neil McArdle, Makoto Naruse, Haruyoshi Toyoda, Yuji Kobayashi, and Masatoshi Ishikawa: Reconfigurable Optical Interconnections for Parallel Computing (Invited), Proc. IEEE, Vol. 88, No.6, pp.829-837 (2000)
- N.McArdle, M.Naruse, and M.Ishikawa: Optoelectronic Parallel Computing Using Optically Interconnected Pipelined Processing Arrays (Invited), IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.5, No.2, pp.250-260 (1999)
- Masatoshi Ishikawa: System Architecture for Integrated Optoelectronic Computing (Invited), Optoelectronics - Devices and Technologies -, Vol.9, No.1, pp.29-38 (1994)

学術論文／Papers

- Makoto Naruse, Hirokazu Hori, Kiyoshi Kobayashi, Masatoshi Ishikawa, Kenji Leibnitz, Masayuki Murata, Naoya Tate, and Motoichi Ohtsu: Information theoretical analysis of hierarchical nano-optical systems in the subwavelength regime, Journal of the Optical Society of America B, Vol.26, No.9, pp.1772-1779 (2009)
- Alvaro Cassinelli, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Multistage Network with Globally-Controlled Switching Stages and its implementation using Optical Multi-interconnection Modules, IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, Vol.22, No.2, pp.315-328 (2004)
- Alain Goulet, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Simple integration technique to realize parallel optical interconnects: implementation of a pluggable two-dimensional optical data link, Applied Optics, Vol.4, No.26, pp.5538-5551 (2002.9.10)
- H. Kawai, A. Baba, M. Shibata, Y. Takeuchi, T. Komuro, H. Fujimura, and M. Ishikawa: High-speed image processing on digital smart pixel array, Electronics Letters, Vol.38, No.12, pp.590-591 (2002.6.6)
- Makoto Naruse, Seiichi Yamamoto, and Masatoshi Ishikawa: Real-time Active Alignment Demonstration for Free-space Optical Interconnections, IEEE Photonics Technology Letters, Vol.13, No.11, pp.1257-1259 (2001)
- James Gourlay, Tsung-Yi Yang, and Masatoshi Ishikawa: Andrew C. Walker: Low-order Adaptive Optics for Free-space Optoelectronic Interconnects, Applied Optics, Vol.39, No.5, pp.714-720 (2000)
- Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Analysis and Characterization of Alignment for Free-Space Optical Interconnects Based on Singular-Value Decomposition, Applied Optics, Vol.39, No.2, pp.293-301 (2000)
- Neil McArdle, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Optoelectronic Parallel Computing Using Optically Interconnected Pipelined Processor Arrays, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol.5, No.2, pp. 250-260 (1999)
- Masatoshi Ishikawa, and Neil McArdle: Optically Interconnected Parallel Computing Systems, IEEE Computer, Vol.3, No.2, pp.61-68 (1998)
- Haruyoshi Toyoda, and Masatoshi Ishikawa: Learning and recall algorithm for optical associative memory using a bistable spatial light modulator, Appl. Opt., Vol.34, No.17, pp.3145-3151 (1995)
- Andrew G. Kirk, Tomohira Tabata, and Masatoshi Ishikawa: Programmable diffractive optical interconnections for cellular processing applications, International Journal of Optoelectronics, Vol. 9, No.1, pp.13-23 (1994)
- Andrew G. Kirk, Tomohira Tabata, and Masatoshi Ishikawa: Design of an optoelectronic cellular processing system with a reconfigurable holographic interconnect, Appl. Opt., Vol.33, No.8, pp.1629-1639 (1994)
- Andrew G. Kirk, Tomohira Tabata, Masatoshi Ishikawa, and Haruyoshi Toyoda: Reconfigurable Computer Generated Holograms, Opt. Comm., Vol.105, No.5,6, pp.302-308 (1994)
- Masatoshi Ishikawa, Sadao Fujimura, and Tadashi Ito: Massively Parallel Optical Computing, Ultrafast and Ultra-Parallel Optoelectronics - Interim Report -, pp.95-96 (1992)
- Masatoshi Ishikawa: Optical Neuron Computers - Associative Memory and Learning by Optical Parallel Processing -, J. Robotics and Mechatronics, Vol.2, No.4, pp.322-323 (1991)
- Masatoshi Ishikawa, Naohisa Mukohzaka, Haruyoshi Toyoda, and Yoshiji Suzuki: Experimental studies on learning capabilities of optical associative memory, Appl. Opt., Vol.29, No.2, pp.289-295 (1990)
- Masatoshi Ishikawa, Naohisa Mukohzaka, Haruyoshi Toyoda, and Yoshiji Suzuki: Experimental Studies on Adaptive Optical Associative Memory, Optical Computing 88, J.W.Goodman, P.Chavel, G.Roblin, Eds., Proc. SPIE, Vol.963, pp.527-536 (1989)
- Masatoshi Ishikawa, Naohisa Mukohzaka, Haruyoshi Toyoda, and Yoshiji Suzuki: Optical Associatron - A Simple Model for Optical Associative Memory -, Appl. Opt., Vol.28, No.2, pp.291-301 (1989) [Best Optics Paper Award from Society of Applied Physics in Japan]

本／Books

- Masatoshi Ishikawa, Haruyashi Toyoda, and Ming Hsein Wu: Optical Associative Memory and Adaptive Learning, Optical Storage and Retrieval (Eds. Francis T. S. Yu and Suganda Jutamulia), Marcel Dekker, Inc., pp.247-282 (1996)
- Masatoshi Ishikawa: Optoelectronic Parallel Computing System with Reconfigurable Optical Interconnection, Optoelectronic Interconnects and Packaging (Eds. Ray T.Chen and Peter S. Guilfoyle), Critical Reviews of Optical Science and Technology, SPIE , Vol.CR62, pp.156-175 (1996)
- Masatoshi Ishikawa: Parallel Optoelectronic Computing System, Ultrafast and Ultra-Parallel Optoelectronics (Eds. T.Sueta and T.Okoshi), Ohmsha and John Wiley & Sons, pp.486-494 (1995)
- Masatoshi Ishikawa: Parallel optoelectronic computing systems and applications, Proc. Int. Conf. Optical Computing '94/Optical Computing, Inst. Phys. Conf. Ser., No.139: Part I, pp.41-46 (1995)
- Masatoshi Ishikawa, Naohisa Mukohzaka, Haruyoshi Toyoda, and Yoshiji Suzuki: Optical Associative Memory with Learning Capabilities, Optical Computing in Japan (S.Ishihara ed.), NOVA Science Publishers, pp.175-182 (1990)

解説論文／Review Papers

- Masatoshi Ishikawa, Makoto Naruse, T. Haruyoshi, and Y. Kobayashi: Reconfigurable free-space optical interconnection module, Optics & Information Systems (SPIE's International Technical Group Newsletter), Vol.11, No.1, May 2000.
- Timothy Drabik, Hugo Tienpont, and Masatoshi Ishikawa: Optics in computing: introduction to the feature issue, Appl. Opt., Vol.39, No.5, pp.669-670 (2000)
- Masatoshi Ishikawa, and Neil McArdle: Optically Interconnected Parallel Computing Systems, IEEE Computer, pp.61-68, 1998

- Masatoshi Ishikawa: Optoelectronic Parallel Computing Systems and Applications, Optoelectronics Research in Japan and the U.S., Stanford University, 1996.5.9
- Masatoshi Ishikawa: Parallel optoelectronic computing system with reconfigurable optical interconnection, Optical Processing & Computing (SPIE), Vol.7, No.1, pp.6, 1996
- Masatoshi Ishikawa: System Architecture for Integrated Optoelectronic Computing (Invited Paper), Optoelectronics - Devices and Technologies -, Vol.9, No.1, pp.29-38 , 1994
- Masatoshi Ishikawa: Optical Neurocomputing, Japan Computer Quarterly, No.89, pp.45-50, 1992
- Masatoshi Ishikawa: Optical Neurocomputing - Optical Associative Memory with Learning Capabilities -, Now and Future, Vol.5, pp.4-6, 1990-1
- Masatoshi Ishikawa: Optical Neurocomputing, Science & Technology In Japan, Vol.9, No.34, pp.20-21, 1990

学会発表／Proceedings

- Alvaro Cassinelli, Alain Goulet, Makoto Naruse, Fumito Kubota, and Masatoshi Ishikawa: Load-Balanced Optical Packet Switching using two-stage time-slot interchangers, IEICE Conference (Tokushima, 2004.9.23)/Proceedings, pp.49-50
- Alain Goulet, Alvaro Cassinelli, Makoto Naruse, Fumihito Kubota, and Masatoshi Ishikawa: A Load-Balanced Optical Packet Switch Architecture 30th European conference on Optical Communication(ECOC2004) (Stockholm, 2004.9.5-9)
- Alain Goulet, Alvaro Cassinelli, Makoto Naruse, Fumihito Kubota, and Masatoshi Ishikawa: A Load-Balanced Optical Packet Switch Architecture with an O(1) scheduling complexity, 9th Optoelectronic and Communications Conference / 3rd International Conference on Optical Internet(OECC/COIN) (Yokohama, 2004.7.12)
- Alvaro Cassinelli, Makoto Naruse, Alain Goulet, and Masatoshi Ishikawa: Arbitration-free Time-Division Permutation Switching suitable for All-Optical Implementation, IEICE meeting (Koufu, 2003.12.18)/pp.23-27
- Alvaro Cassinelli, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Stage-Distributed Time-Division Permutation Routing in a Multistage Optically Interconnected Switching Fabric, ECOC-IOOC 2003 (Rimini, 2003.9.24)/pp.830-831, Poster presentation, We4.P.137
- Alvaro Cassinelli, Makoto Naruse, Masatoshi Ishikawa, and Fumito Kubota: Reconfigurable optical interconnections using multi-permutation-integrated fiber modules, Optics Japan 2003 Conference, Japanese Society of Applied Physics and Related Societies(JSAP) (Kanagawa, 2003.3.27)/Extended Abstracts p.1256 (27a-W12)
- Alvaro Cassinelli, Makoto Naruse, Masatoshi Ishikawa, and Fumito Kubota: A modular, guided wave approach to plane-to-plane optical interconnects for multistage interconnection networks, Optics Japan 2002 Conference, Japanese Society of Applied Physics(JSAP) (Koganei, 2002.11.2-4)/Extended Abstracts pp.124-125(3aES4)
- Makoto Naruse, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Two-dimensional fiber array with integrated topology for short-distance optical interconnections 2002 IEEE LEOS Annual Meeting Conference Proceedings (2002.11.14)/pp.722-723
- Makoto Naruse, Alvaro Cassinelli, and Masatoshi Ishikawa: Real-Time Alignment Using Mechanical Dynamics of Optical Interconnection Systems, OSA Annual Meeting & Exhibit 2002 (Orlando, 2002.10.1)/Conference Program, p.77
- Alvaro Cassinelli, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Quad-tree image compression using reconfigurable free-space optical interconnections and pipelined parallel processors, Optics in Computing conference, Grand Hotel Taipei (Taipei, 2002.4.8-11)/Proceedings, pp.23-25
- Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Active alignment for dense optical interconnections using mechanical dynamics of optical systems, The Japan Society of Applied Physics and Related Societies,Extended Abstracts (The 49th Spring Meeting, 2002) (Kanagawa, 2002.3.27)/p.1204
- Alvaro Cassinelli, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Elemental optical fiber-based blocks for building modular computing parallel architectures, The Japan Society of Applied Physics and Related Societies, Extended Abstracts, The 49th Spring Meeting, 2002 (Kanagawa, 2002.3.27)/p.1204
- Motonobu Fujita, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Parallel confocal microscope using vertical-cavity surface-emitting laser array, Microscopy and Microanalysis 2001 (Long Beach, 2001.8.7)/pp.1004-1005
- Masatoshi Ishikawa, Makoto Naruse, Alain Goulet, Haruyoshi Toyoda, and Yuji Kobayashi: Reconfigurable Free-space Optical Interconnection Module for Pipelined Optoelectronic Parallel Processing (Invited), Int. Symp. on Optical Science and Technology, Conference 4457: Spatial Light Modulators : Technology and Applications (San Diego, 2001.7.31)/proceedings, Vol.4457, pp.82-87
- Masatoshi Ishikawa, and Makoto Naruse: Optoelectronic Parallel Computing System with Reconfigurable Interconnection (Invited), CLEO/Pacific Rim 2001 (Makuhari, 2001.7.19)/Technical Digest, Vol.II, pp.678-679
- Alain Goulet, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Integration technique to realize alignment-free opto- electronic systems, 2001 International Topical Meeting on Optics in Computing (Lake Tahoe, 2001.1.11)/Technical Digest, pp.122-124
- Alain Goulet, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Novel integration and packaging technique for free-space optoelectronic systems, Optics Japan 2000, (Kitami, 2000.10.8)/pp.247-248
- Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Parallel Confocal Laser Microscope System using Smart Pixel Arrays, The International Symposium on Optical Science and Technology 2000 (San Diego, 2000.10.1)
- Masatoshi Ishikawa: Parallel Computing System Using Integrated Optoelectronic Devices (invited), Int. Symp. on Optical Science and Technology, Conf. 4114: Photonic Devices and Algorithms for Computing II (San Diego, 2000.8.3)/proceedings, Vol.4114, pp.146-153, SPIE
- Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: An Optimal Distribution of Interconnections and Computations for Optically Interconnected Parallel Processing Systems, 2000 IEEE/LEOS Summer Topical Meetings (Aventura, 2000.7.25)
- Hideo Kawai, Asako Baba, Yoshinori Takeuchi, Takashi Komuro, Masatoshi Ishikawa: 8 x 8 Digital Smart Pixel Array, Int. Conf. on Optics in Computing 2000 (Quebec City, 2000.6.22)/Proc. SPIE, Vol.4089, pp.715-720 (2000)
- D. Kawamata, Makoto Naruse, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa: Image Database Construction and Search Algorithm for Smart Pixel Optoelectronic systems, in Optics in Computing 2000, R. A. Lessard and T. Galstian, eds., Proc. SPIE, 4089 (2000)/pp.797-805
- Makoto Naruse, Haruyoshi Toyoda, Yuji Kobayashi, D. Kawamata, Neil McArdle, Alain Goulet, and Masatoshi Ishikawa, "An Optically Interconnected Pipelined Parallel Processing System: OCULAR-II," in Optics in Computing 2000, R. A. Lessard and T. Galstian, eds., Proc. SPIE, 4089 (2000)/pp.440-448
- Neil McArdle, Makoto Naruse, Haruyoshi Toyoda, Yuji Kobayashi, and Masatoshi Ishikawa: Reconfigurable Optical Interconnections for Parallel Computing (Invited), Proc. IEEE, Vol.88, No.6, pp.829-837 (2000)
- A.Goulet, H.Thienpont, I.Veretennicoff, and M.Ishikawa: Board to Board Parallel Optical Interconnects Using Large Diameter Graded Index Polymer Optical Fiber (GIPOF), Int. Conf. on Optics in Computing (Quebec City, 2000.6.19)/Proc. SPIE, Vol.4089, pp.234-241 (2000)
- Neil McArdle, Makoto Naruse, Masatoshi Ishikawa, Haruyoshi Toyoda, and Yuji Kobayashi: Implementation of a Pipelined Optoelectronic Processor : OCULAR-II, 1999 International Topical Meeting on Optics in Computing (Snowmass, 1999.4.13)/Technical Digest, pp.72-74

- Haruyoshi Toyoda, Kobayashi, N.Yoshida, Y.Igasaki, T.Hara, Neil McArdle, Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: Compact Optical Interconnection Module for OCULAR-II: a pipelined parallel processor, 1999 International Topical Meeting on Optics in Computing (Snowmass, 1999.4.15)/Technical Digest, pp.205-207
- Neil McArdle, Makoto Naruse, Akane Okuto, and Masatoshi Ishikawa: Design of a Pipelined Optoelectronic Processor, Optics in Computing (Brugge, 1998.6.19)/Optics in Computing'98 (P.Chavel, D.A.B.Miller, and H.Tienpont eds.), Proc.SPIE, Vol.3490, pp.302-305 (1998)
- Neil McArdle, S.J.Francey, J.A.B.Dines, J.F.Snowdon, Masatoshi Ishikawa, and A.C.Walker: Design of Parallel Optical Highways for Interconnecting Electronics, Optics in Computing (Brugge, 1998.6.18)/Optics in Computing '98 (P.Chavel, D.A.B.Miller, and H.Tienpont eds.), Proc.SPIE, Vol.3490, pp.143-146 (1998)
- Masatoshi Ishikawa: Optical Interconnection for Integrated Massively Parallel Processing (Invited), Second Int. Research Workshop on Future Information Processing Technologies (Sapporo, 1997.8.26)
- Neil McArdle, Makoto Naruse, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa: Realization of a Smart-Pixel Parallel Optoelectronic Computing System, International Conference on Massively Parallel Processing Using Optical Interconnections (Motreal, 1997.6.24)/Proceedings, pp.190-195
- Makoto Naruse, and Masatoshi Ishikawa: A theoretical and experimental analysis of active alignment based on singular value decomposition, 1997 International Topical Meeting on Optics in Computing (Lake Tahoe, 1997.3.20)/Technical Digest, pp.230-232
- Neil McArdle, and Masatoshi Ishikawa: Analysis of GRIN Rod and Conventional Optical Systems for Imaging of Two-Dimensional Optoelectronic Device Arrays, 1997 International Topical Meeting on Optics in Computing (Lake Tahoe, 1997.3.18)/Technical Digest, pp.36-38
- Haruyoshi Toyoda, Yoshiji Suzuki, and Masatoshi Ishikawa: Optical Design of Associative Memory Using a Bistable Spatial Light Modulator, Proc. Int. Conf. on Neural Information Processing and Intelligent Information Systems, pp.745-748 (1997)
- Masatoshi Ishikawa: System Architecture for Optoelectronic Parallel Computing (Invited), 1996 International Topical Meeting on Optical Computing (Sendai, 1996.4.21)/Technical Digest, pp.8-9
- Masatoshi Ishikawa: Optoelectronic parallel Computing System with Reconfigurable Optical Interconnection, Photonics WEST, OE/LASE '96 SPIE's International Symposium on Lasers and Integrated optoelectronics, conference CR62 (San Jose, 1996.1.30)/proceedings, Vol.CR62, pp.156-175
- Neil McArdle, Makoto Naruse, Takashi Komuro, Hideyuki Sakaida, Masatoshi Ishikawa, Yuji Kobayashi, and Haruyoshi Toyoda: A Smart-Pixel Parallel Optoelectronic Computing System with Free-Space Dynamic Interconnections, International Conference on Massively Parallel Processing Using Optical Interconnections (Maui, 1996.10.28)/Proceedings, pp.146-157
- Neil McArdle, Takashi Komuro, Makoto Naruse, Hideyuki Sakaida, and Ishikawa: An Optoelectronic Smart-Pixel Parallel Processing System with Dynamic Interconnections, OSA Annual Meeting & Exhibit (Rochester, 1996.10.22)
- Neil McArdle, Takashi Komuro, Makoto Naruse, Hirotsugu Yamamoto, Hideyuki Sakaida, and Masatoshi Ishikawa: A Smart-Pixel Free-Space Interconnected Parallel Processing System, 1996 Summer Topical Meeting on Smart Pixels (Keystone, 1996.8.8)/Digest, pp.59-60
- Makoto Naruse, Neil McArdle, Hirotsugu Yamamoto, and Masatoshi Ishikawa: An algorithmic approach to hierarchical parallel optical processing systems, 1996 International Topical Meeting on Optical Computing (Sendai, 1996.4.21)/Technical Digest, pp.102-103
- Neil McArdle, Hideyuki Sakaida, Hirotsugu Yamamoto, and Masatoshi Ishikawa: A Compact Dynamically-Interconnected Parallel Optoelectronic Computing System, 1996 International Topical Meeting on Optical Computing (Sendai, 1996.4.21)/Technical Digest, pp.16-17
- Masatoshi Ishikawa: Parallel optoelectronic computing system, '95 RWC Symposium (Tokyo, 1995.6.15)/Proceedings, pp.145-146
- Takayuki Ishida, and Masatoshi Ishikawa: Reconfigurable Space-Variant Optical Interconnection Using Binary CGH, Optical Computing Topical Meeting (Salt Lake City, Utah, 1995.3.14)/1995 Technical Digest Series, Vol.10, pp.PD1 1-1 - PD 1-4
- Masatoshi Ishikawa: Parallel Optoelectronic Processing Systems and Applications (Invited), International Conference on Optical Computing (Edinburgh, 1994.8.25)/Technical Digest, pp.385-386
- Masatoshi Ishikawa: Massively Parallel Processing System with Reconfigurable Diffractive Interconnects, International Symposium on Ultrafast and UltraParallel Optoelectronics (Makuhari, 1994.7.12)/Proceedings, pp.203-206
- Andrew Kirk, Tomohira Tabata, Takayuki Ishida, and Masatoshi Ishikawa: Optoelectronic parallel processing system with reconfigurable diffractive interconnections, International Conference on Optical Computing (Edinburgh, 1994.8.25)/Technical Digest, pp.85-86
- Andrew G. Kirk, Tomohira Tabata, and Masatoshi Ishikawa: Cellular processing with diffractive optical elements, Optical Computing Topical Meeting (Palm Springs, California, 1993.3.18)/1993 Technical Digest Series, Vol.7, pp.272-275
- Andrew G. Kirk, Masatoshi Ishikawa, S.Jamieson, and T.J.Hall: The Design and Fabrication of Quasi- Periodic Computer Generated Holograms, Fourth Int. Conf. on Holographic Systems, Components and Applications (Switzerland, 1993.9.13-15)
- Haruyoshi Toyoda, and Masatoshi Ishikawa: Sparse Encording Algorithm for Optical Associative Memory Using Bistable Spatial Light Modulator, Japan Display '92 (Kobe, 1992.9.19)/Proceedings, pp.371-374
- Masatoshi Ishikawa, Haruyoshi Toyoda, Naohisa Mukohzaka, and Yoshiji Suzuki: Optical Associative Memory Combining with Optical Preprocessing, OPTICAL COMPUTING '90 (Kobe, 1990.4.10)/Technical Digest, pp.160-161
- Masatoshi Ishikawa, Naohisa Mukohzaka, Haruyoshi Toyoda, and Yoshiji Suzuki: Experimental studies on adaptive optical associative memory, OPTICAL COMPUTING '88 (Touron, 1988.9.1)/Proc. SPIE, Vol.963, pp.527-536

学術論文／Papers

- 野口達治, 水落隆司, 堀越喜臣, 近重勝吉, 佐々田博信, 各務茂夫, 石川正俊: リアル・オプションを活用した大学の知的財産に関する財務戦略, 研究技術計画, Vol.20, No.2, pp.166-175 (2005)
- 石川正俊, 原俊弘, 塩田ふゆひこ, 原宏：ジョゼフソンダブルジャンクションのアナログシミュレーション, 応用物理, Vol.47, No.7, pp.641-648 (1978)

本／Books

- 石川正俊: プロジェクトを終えて, 50年後の日本 (東京大学 野村證券 共同研究　未来プロデュースプロジェクト), pp.214-217, 三笠書房 (2006.3)
- 石川正俊: 産学連携の推進, 東京大学大変革 現状と課題, pp.71-80, 国立大学法人東京大学 (2005.3)
- 石川正俊: 第11章　法人化後の国立大学における産学連携ポリシー , 産学連携と技術経営 (西村吉雄, 塚本芳昭編), pp.153-162, 丸善 (2005)

解説論文／Review Papers

- 石川正俊: データサイエンスから知能システムへ, 応用統計学, Vol.53, No.2, pp.93-97 (2024)
- 石川正俊: 分野融合から生まれる社会受容性 ー 課題解決から価値創造への道 ー (焦点), 光技術コンタクト, Vol.62, No.12, pp.1-3 (2024)
- 王立輝, 田畑智志, 徐鴻金, 胡云普, 渡辺義浩, 石川正俊: 液体レンズを用いた高速焦点追従投影システム, 光学, Vol.53, No.6, p.234 (2024)
- 宮下令央, 末石智大, 田畑智志, 早川智彦, 石川正俊: 高速ビジョンが開くダイナミックプロジェクションマッピング技術, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン B-plus, Vol.64, pp.275-284 (2023) [2024年 電子情報通信学会 通信ソサイエティ マガジン論文賞受賞]
- 石川正俊: 情報科学技術の構造と情報教育, IDE 現代の高等教育, 2021年8-9月号, No.633, pp.9-13 (2021)
- 石川正俊: 最先端研究を取り巻く社会構造の変化と新規産業分野創出ー市場原理が働く研究成果ー, 化学経済, 9月号, pp.71-74 (2013)
- 柘植綾夫, 市川惇信, 北森俊行, 石川正俊, 永島晃: 第二回パネルディスカッション報告「After 3.11 我々はどう行動すべきか」, 計測と制御, Vol.51, No.2, pp.111-116 (2012)
- 石川正俊: 新たな一歩の重み ー変える勇気と変えない勇気 (巻頭言), 計測と制御, Vol.51, No.1, p.1 (2012)
- 石川正俊: 未来へ　ー50年の歴史から学ぶものー (巻頭言), 計測と制御, Vol.50, No.8,9, p.533 (2011)
- 石川正俊: 会長就任にあたって 創立50周年迎えるSICE ー科学技術の構造の変化を学会のカに (巻頭言), 計測と制御, Vol.50, No.4, p.255 (2011)
- 石川正俊: 新たな「創造」を生み出すこれからの産学連携, 商工にっぽん, No.736, pp.40-43 (2008)
- 石川正俊: 新しい研究者像と求められる創造的知財戦略 成果の社会還元のために, 科学, Vol.78, No.9, pp.1002-1005 (2008)
- 石川正俊: 研究における特許使用の円滑化　ー大学における研究活動と成果活用の促進ー , 特許研究, No.43, pp.44-50 (2007)
- 石川正俊: ベンチャー企業の活用を目指す　ライセンスに伴う株式等の取得規則, ビジネス法務, 6月号, pp.8-9 (2006)
- 石川正俊: 技術移転の現場から-東京大学産学連携本部の試み-, 特技懇, No.240, pp.24-31 (2006)
- 石川正俊: 産学連携が拓く創造的未来, inrevium lab, pp.3-6 (2006)
- 石川正俊: 創造的産学官連携の推進, InterLab, No.87, p.33 (2006)
- 水落隆司, 野口達治, 堀越喜臣, 近重勝吉, 佐々田博信, 秋山忠次, 石川正俊: 金融工学の視点から見た大学と企業の共同研究, 電子情報通信学会誌, Vol.88, No.9, pp.740-744 (2005)
- 石川正俊: 東京大学の知的財産戦略, 化学工学, Vol.69, No.7, pp.27-30 (2005)
- 石川正俊: 新たな知的生産構造が求められるとき, 時評, pp.41-45 (2005)
- 石川正俊: 創造を支える構造, 淡青, Vol.15, p.17 (2005)
- 石川正俊: 工学部を志望する高校生へ 工学を学ぶということは, 自らの創造性を磨き, それを発揮することだ, 工学部受験の総合的研究, pp.110-114, 旺文社 (2005)
- 石川正俊: 進化する産学連携 新産業を創出する研究・創造機能の強化, BUSINESS RESEARCH, No.970, pp.6-12 (2005)
- 石川正俊: 東京大学の産学連携, 文部科学時報, NO.1547, p.29 (2005)
- 石川正俊: 産学連携が目指すもの, BIO Clinica, Vol.20, No.3, p.13 (2005)
- 石川正俊: 巻頭言 科学技術の構造と産学連携, RICOH TECHNICAL REPORT, No.30, pp.3-5 (2004)
- 石川正俊: 研究、教育に次ぐ大学の使命, 産業力向上へ産学連携, 日本経済新聞, 31面 (平成16年11月13日)
- 石川正俊: 大学の法人化と産学連携への取り組み, CIAJ Journal, Vol.44, No.10, pp.4-9 (2004)
- 石川正俊: 東京大学の産学連携, IDE現代の高等教育, No.463, pp.27-31 (2004)
- 石川正俊: 法人化後の産学連携, 淡青, No.12, p.10 (2004)

招待講演／Invited Talks and Tutorials

- 石川正俊: 超高速ビジョンの開発と高速知能システムへの応用, 立石科学技術振興財団 助成研究成果集, 第27号, pp.10-13 (2018)
- 石川正俊: 高速画像技術が拓く知能システムの未来 (Future of Intelligent Systems Created by High-speed Vision) (基調講演), 日本光学会年次学術講演会 (Optics & Photonics Japan 2018) (東京, 2018.10.31) ／ Conference Guide, p.33
- 石川正俊: 科学技術の構造の変化と産学官連携ー新規産業分野の創成はなぜ難しいのか？ー(招待講演), 第1回情報フォトニクスシンポジウム(東京, 2013.6.11)／講演予稿集, pp.30-33
- 石川正俊:新しいロボット産業分野の創生のための支援体制 ーロボット技術が事業に成長するためのファイナンス戦略は何か？ー, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会 (札幌, 2012..9.20) ／ 講演予稿集, RSJ2012AC4A2-1　(2012)

- 石川正俊：イノベーションエコシステムの推進方策について ー大学発新産業創出のための基盤構造ー(基調講演), 文部科学省「大学発新産業創出拠点プロジェクト」シンポジウム (東京, 2012.2.8) ／資料, pp.7-16
- 石川正俊: 新規産業分野創造のための研究開発戦略 -科学技術の構造の変化と産官学連携-, パネルディスカッション「日本産業の将来を創る産学連携と知財マネジメント」, 国際知的財産活用フォーラム2012 (東京, 2012.1.23) ／講演会予稿集, pp.181-189
- 石川正俊：価値創造のための研究開発戦略 ー科学技術の構造の変化と産官学連携ー, つくば発イノベーション第17回講演会 (つくば, 2011.11.29) ／資料, p.1-6
- 石川正俊：創造的産学連携のすすめ, 財団法人光産業技術振興協会 平成17年度成果報告および18年度事業方針説明会(特別講演)(東京, 2006.5.12) ／講演要旨集, pp.57-72
- 石川正俊：創造的知的財産戦略の実現に向けて(基調講演), 平成18年度 発明の日記念シンポジウム (東京, 2006.4.18) ／配布資料集, pp.1-10
- 石川正俊：新たなステージを迎えた産学官連携～東京大学の事業戦略～ (特別講演), 第4回産学官連携推進会議(京都, 2005.6.25)
- 石川正俊: 大学における知的財産戦略, 知的財産シンポジウム (東京, 2004.10.18)

講演／Lectures

- 早川智彦, 宮下令央, 黄守仁: 高速画像処理とその応用展開, 東京理科大学サステナブル技術社会実装研究部門オープンセミナー (東京, 2023.8.24)

学会発表／Proceedings (和文／Japanese)

- 新井俊希, 安江俊夫, 北村和也, 島本洋, 小杉智彦, ジュンスンウク, 青山聡, Ming-Chieh Hsu, 山下雄一郎, 角博文, 川人祥二: サイクリック系3段ADCを用いた1.1 μm3,300 万画素240枚/秒3次元積層構造CMOSイメージセンサ, 映像情報メディア学会情報センシング研究会 (東京, 2016.3.11) ／映像情報メディア学会技術報告, pp.21-24
- 塚本勇介, 加藤俊幸, 石川正俊: 研究用標準高速動画 (SHIP-v) の構築とジェスチャー認識条件, 第20回日本バーチャルリアリティ学会大会 (VRSJ2015) (東京, 2015.9.9) ／論文集, pp.20-21
- 高橋彩, 加藤俊幸, 石川 正俊: 研究用標準高速動画(SHIP-v)の構築と撮影条件, ビジョン技術の実利用ワークショップ (ViEW2014) (横浜, 2014.12.4) ／講演論文集, IS1-21
- 高橋彩, 石川正俊: 研究用標準高速動画(SHIP-v)の構築とその解析, 第32回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2014) (福岡, 2014.9.5) ／講演概要集, 2J2-06
- 石川正俊：研究開発･市場開拓戦略 ーファイナンスの改革が新しいロボット産業を生み出すー, パネルディスカッション「ロボット市場創造課題研究」, 第28回日本ロボット学会学術講演会 (名古屋, 2010.9.22)
- 石川正俊：産学連携の基本構造と実効的運用方策, 日本光学会年次学術講演会・日本分光学会秋季講演会, Optics & Photonics Japan 2006 (東京, 2006.11.9) ／講演予稿集, 9aDS3
- 石川正俊：東京大学の産学連携体制と事業戦略, 日本知財学会第3回年次学術研究発表会(東京, 2005.5.28) ／講演要旨集, p.2
- 石川正俊, 原宏：ジョゼフソン接合線路を用いた論理回路, 第39回応用物理学会学術講演会 (札幌, 1979.10) ／予稿集, p.347
- 石川正俊：ジョゼフソン素子の神経モデルへの応用, 電気学会クライオエレクトロニクス常置専門委員会 (東京, 1979.7.27)
- 石川正俊, 原俊弘, 塩田ふゆひこ, 原宏：ダブルジャンクションのアナログシミュレータ, 第38回応用物理学会学術講演会 (岡山, 1977.10.10) ／予稿集, p.482

招待論文／Invited Papers (英文／English)

- Masatoshi Ishikawa, Idaku Ishii, Hiromasa Oku, Akio Namiki, Yuji Yamakawa, and Tomohiko Hayakawa: Special Issue on High-Speed Vision and its Applications, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, p.911 (2022)
- Masatoshi Ishikawa: High-Speed Vision and its Applications Toward High-Speed Intelligent Systems, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.34, No.5, pp.912-935 (2022)

学会発表／ Proceedings (英文／English)

- Yasuaki Monnai: A Consideration of High-Speed and Non-Contact Human Physiology Sensing for Dynamic Human-Computer Interaction Scenarios,NAMIS (Nano and Micro Systems) Workshop 2013 (Hsinchu, 2013.12.13)
- Masatoshi Ishikawa: University Cooperate Relations for Designing the Future World (Keynote),3rd Conf. of the Association of University Technology Managers in Asia (AUTM Asia 2013) (Kyoto, 2013.3.22)

8. 動画 Movies



動画　Movies

YouTube Ishikawa Senoo Laboratory Channel

我々の研究室では, YouTube内に独自のチャンネル(Ishikawa Senoo Laboratoryチャンネル: 主チャンネル)を設定し, 整理された最新の研究成果のビデオを公開・広報用に順次アップしています. また, このチャンネル以外にも, 多くのYouTubeページで我々の研究室のビデオや研究室を紹介したビデオが使われております.
主チャンネルとは別に, YouTube内に第二チャンネル(Ishikawa Senoo Laboratory IIチャンネル)を設定し, 主チャンネルにない実験結果等のビデオを記録・保存用にアップしています.

Our laboratory has our own YouTube channel (Ishikawa Senoo Laboratory channel). We will upload edited videos on recent research results timely.You can also access to various videos concerning our research or laboratory in other channels.
In addition, our laboratory has the second YouTube channel (Ishikawa Senoo Laboratory II channel). We will upload videos on our research results which have not uploaded to the main channel.

https://www.youtube.com/IshikawaLab

アップロード動画数　123	登録者数　9,010人	動画の再生回数　980万回	（2026.3.31 現在）
Uploaded Videos: 123	Subscribers: 9,010	Video Views: over 9,805,000	(2026.3.31)

研究室 / Laboratory

1. 1000 分の 1 秒の世界が新時代を切り拓く
   1 Millisecond Vision Pioneers a New Era
2. 研究成果の概要
   Recognition and Behavior in Smart Systems
3. 研究用標準高速動画 SHIP-v
   SHIP-v: High Frame Rate Video Samples for researches of High-speed Image Processing
4. ダイナミック知能システムの研究
   Dynamic Intelligent Systems Based on 1 kHz Vision System
5. 超高速ロボットの研究
   Ultra High-speed Robot Based on 1 kHz Vision System
6. 研究室紹介ビデオ 2010 年版
   Ishikawa Lab Video

センサフュージョン / Sensor Fusion

1. 動的補償に基づく全自動ビーズアート組立て
   Fully Automated Beads Art Assembly based on Dynamic Compensation Approach
2. 動的補償ロボットによる動的塗布の応用
   A sealant dispensing robot for applications with moving targets
3. ステレオビジョンを用いた高精度車間距離計測
   Inter-vehicle distance estimation using stereo high-speed vision
4. 吊り下げられた面状柔軟物体に対する展開および整列動作の連続操作
   Continuous Manipulation of spreading and aligning operations for a suspended flexible object
5. ワンボード・USB 給電タイプの高速・高精度近接覚センサ
   Proximity sensor-based High-speed Tracking and High-precision Depth Scanning
6. 高速ビジョンシステムを用いた無人航空機への荷物受け渡しシステムの開発
   High-speed UAV delivery system with non-stop parcel handover using high-speed visual control
7. 小型・低摩擦アクチュエータ MagLinkage を備えた多指ハンドシステム
   Multifingered Hand System equipped with compact size, low-friction actuator "MagLinkage"
8. DOC Hand によるリング・シャフト部品の高速組立
   High-Speed Ring Insertion by Dynamic Observable Contact Hand
9. ダイナミック人間ロボット協調システム
   Dynamic Human-Robot Interactive System
10. 高速多指ハンドと高速ビジョンを用いたルービックキューブの操作
    Rubik's Cube handling using a high-speed multi-fingerd hand and a high-speed vision system
11. 高速視覚・近接覚センサを用いたマシュマロの非変形キャッチ
    High-Speed, Non-deformation Catching of a Marshmallow with High-speed Vision and Proximity Sensor
12. 動的補償に基づく人間機械協調：マイクロからマクロまで
    Human-Robot Collaboration based on Dynamic Compensation: from Micro-manipulation to Macro-manipulation
13. 高速・高精度近接覚センサを用いた紙風船キャッチ
    High-Speed Catching of a Paper Balloon using High-Performance Proximity Sensor
14. ACHIRES: 高速ビジュアルフィードバックによる, より安定な前傾走行
    ACHIRES: Robust Bipedal Running Based on High-speed Visual Feedback
15. 動的補償ロボットによる高精度ピックアンドプレース
    Accurate pick-and-place under uncertainties by a dynamic compensation robot
16. ACHIRES: 高速ビジュアルフィードバックによる, より安定な前傾走行
    ACHIRES: Improved Running Taking Dynamically Unstable Posture Achieved with High-Speed Vision

17 アクティブアシスタントロボット - 新しい高速ビジョンに基づく人間協調
Active Assistant Robot - human robot cooperation based on a new high-speed vision

18 新しいビジョンチップを利用した動的補償ロボットシステム
Dynamic Compensation Robot with a Newly Developed High-speed Vision Chip

19 動的補償に基づく全自動化高速高精度軌道トラッキング
Fully Automatic Robotic Tracking of Uncertain Contours

20 動的補償に基づく全自動ペグ・アンド・ホールアライメント
Fully Automatic Peg-and-Hole Alignment Based on Dynamic Compensation

21 産業用ロボットを変革するDynamic Compensation（動的補償）
Dynamic Compensation - Toward the Next-Generation Industrial Robot

22 人間のマイクロ操作のためのロボットシステム
Human-Robot Cooperation for Micrometer-Order Manipulation Using High-Speed Vision

23 ロボットハンドを用いた糸・ロータ系の回転操作
Robotic Button Spinner – Manipulation of High-speed Rotating Object via Twisted Thread

24 勝率100%のじゃんけんロボット（人間機械協調システムの実現）
Janken (rock-paper-scissors) Robot with 100% winning rate: 3rd version

25 野球ロボット：投げる、見る、打つ、走る、捕る（撮影協力　東大野球部）
Toward the Dream of a Baseball Android

26 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速二足走行
ACHIRES: Bipedal Running Using High-speed Visual Feedback

27 超高速ロボットの研究
Ultra High-speed Robot Based on 1 kHz Vision System

28 勝率100%のじゃんけんロボット（人間機械協調システムの実現）
Janken (rock-paper-scissors) Robot with 100% winning rate: 2nd version

29 勝率100%のじゃんけんロボット（人間機械協調システムの実現）
Janken (rock-paper-scissors) Robot with 100% winning rate

30 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速二足走行
Running Progress - The History of Project ACHIRES -

31 高速ビジュアルフィードバックを用いた高速二足走行
(no narration version) ACHIRES: Bipedal Running Using High-speed Visual Feedback

32 多関節マニピュレータを用いた高速打撃動作
Batting Motion

33 高速多指ハンドを用いた動的保持動作
High-speed Dribbling

34 軽量高速多指ハンドシステム
High-speed Hand

35 「ロボットが投げたボールをロボットが打つ」システムの開発
Throwing & Batting Robot

36 「ロボットが投げたボールをロボットが打つ」システムの開発
Throwing & Batting Robot (full ver.).wmv

37 高速運動中の微小物体把持
3D catching with tweezers

38 高速多指ハンドと柔軟指先を用いたソフトキャッチング
Egg Catching

39 高速多指ハンドを用いた高速ペン回し
Pen Spinning

40 高速多指ハンドを用いたダイナミックリグラスピング
Dynamic Regrasping

41 高速キャッチングシステム（日本科学未来館常設展示）
High-speed Catching System

42 高速多指ハンドを用いた柔軟紐の片手結び
Knotting of a Rope

43 高速多指ハンド , 高速視覚を用いた道具操り
Grasping with Tweezers

44 高速多指ハンドを用いたダイナミックキャッチング
Active Catching

45 高速打撃動作におけるボール制御
Directional Hitting

46 波動伝播に基づく高速スローイング動作
Throwing motion

ダイナミックビジョンシステム / Dynamic Vision System

1 VarioLight 2: 円周マーカを用いた球体ダイナミックプロジェクションマッピング
VarioLight 2: Wide Dynamic Projection Mapping in Rhythmic Gymnastics

2 追従的投影モザイキング
Tracking Projection Mosaicing for Wide High-resolution Display

3 自由遊泳魚の高解像度合焦トラッキング
High-resolution Focused Tracking of Freely Swimming Fish

4 液体レンズを用いた高速焦点追従投影システム
High-Speed Focal Tracking Projection Based on Liquid Lens

5 VarioLight 2: 円周マーカを用いた球体ダイナミックプロジェクションマッピング
VarioLight 2: Dynamic Projection Mapping for Ball Sports

6 ゴルフスイングトレーニングに向けた高速投影フィードバック
High-speed Projection Feedback for Golf Swing Training

7 液体レンズを用いた高速焦点追従投影システム
Dynamic Depth-of-Field Projection for 3D Projection Mapping

8 VarioLight（広域運動・回転変形に対応したプロジェクションマッピング）
VarioLight: Dynamic Projection Mapping for a Wide Range and Rotative/Deformative Performance

9 トラッキング BOS: 高速飛翔体の衝撃波画像計測
Tracking Background-oriented Schlieren: shock-wave image measurement of high-speed flying objects

10 ダイナミックプロジェクションマッピング総集編
Dynamic Projection Mapping; Now and the Future at Ishikawa Watanabe Laboratory

11 3D 拡張現実ヘッドアップディスプレイ
3D Augmented Reality Head-Up-Display for the Advanced Driver Assistance System in-vehicle

12 るみぺん2（ダイナミックプロジェクションマッピングに向けたロバストトラッキング）
Lumipen 2: Illumination and Magic by Dynamic Projection Mapping

13 DynaFlash: 1,000fps・3ms 遅延で 8bit 階調の映像を投影する高速プロジェクタ
DynaFlash: High-speed 8-bit image projector at 1,000fps with 3ms delay

14 るみぺん2（ダイナミックプロジェクションマッピングに向けたロバストトラッキング）
Lumipen 2: Robust Tracking for Dynamic Projection Mapping

15 大口径可変焦点レンズ
Optics revolution: variable focus lens with large aperture

16 1ms オートパン・チルト
1ms Auto Pan-Tilt; Yo-yo version

17 高フレームレート全焦点画像合成のための高速可変焦点光学系
A high-speed liquid lens called "Dynamorph Lens (DML)" applied for extended depth-of-field.

18 るみぺん（動的対象へのプロジェクションマッピング）
Lumipen: Projection Mapping on a Moving Object

19 1ms オートパン・チルト
1ms Auto Pan-Tilt for perfect recentering

20 動く手のひらや物体に映像と触覚刺激を提示できるシステム：高速で無拘束な未来型情報環境の実現
Visual and Tactile Cues for High-Speed Interaction

21 サッカードミラー（駆動鏡面を用いた高速視線制御デバイス）
Saccade Mirror: High Quality Video-shooting System for Dynamic Sport Games by Super-speed Tracking

22 高速・高解像力の液体可変焦点レンズ ーダイナモルフレンズー
Dynamorph Lens - a high-speed liquid lens with 2-ms response

23 高フレームレート全焦点画像合成のための高速可変焦点光学系
High-speed focus stacked movie using a high-speed liquid lens called "Dynamorph Lens (DML)".

24 ホヤ精子の高速トラッキング
High-speed visual tracking of a swimming ascidian spermatozoa

25 微生物の 3 次元トラッキング
Three-dimensional tracking of a freely swimming paramecium

システムビジョンデザイン / System Vision Design

1 高速カラープロジェクタと高速ビジョンチップを用いた
ダイナミックプロジェクションマッピングシステム DPM-1000
High-speed color projector toward the world of 1,000fps vision

2 ElaMorph Projection: ダイナミックプロジェクションマッピングを用いた
物理シミュレーションに基づく 3 次元物体の変形錯視
ElaMorph Projection: Deformation of 3D Shape by Dynamic Projection Mapping

3 ダイナミックプロジェクションマッピングを用いた動物体への視点依存映像の投影
Viewpoint-dependent Image Projection onto Dynamic Objects by Dynamic Projection Mapping

4 Brobdingnagian Glass: 振動曲面鏡を用いた小人化両眼立体視システム
Brobdingnagian Glass: A Micro-Stereoscopic Telexistence System using a Vibrating Curved Mirror

5 MIDAS projection: マーカーレス・モデルレスの動的プロジェクションマッピングによる質感表現
MIDAS Projection: Markerless and Modelless Dynamic Projection Mapping for Material Representation

6 ポータブルるみぺん：小型ダイナミックプロジェクションマッピングシステム
Portable Lumipen: mobile dynamic projection mapping system

7 DynaFlash v2 とポストリアリティ
DynaFlash v2 and Post Reality

8 SENSECASE: スマートフォンを拡張するデフォーマブルユーザインタフェース
SENSECASE: Crafting Deformable Interfaces to Physically Augment Smartphones

9 ダイナミックプロジェクションマッピング総集編
Dynamic Projection Mapping; Now and the Future at Ishikawa Watanabe Laboratory

10 ビジョンチップの歴史
History of Vision Chip at Ishikawa Watanabe Laboratory

11 ソニーと東京大学石川渡辺研究室が共同で開発したビジョンチップ
ISSCC 2017 New Vision Chip Demo

12 高速プロジェクタを用いた変形する非剛体曲面へのダイナミックプロジェクションマッピング
Dynamic projection mapping onto deforming non-rigid surface

13 3 視点拘束に基づくセグメントパターン投影型高速 3 次元計測
High-speed 3D Sensing with Three-view Geometry using a Segmented Pattern

14 Phyxel: 実物体の周期運動と高速時分割構造化光を用いた
形状と質感を再現するリアリスティックディスプレイ
Phyxel: Realistic Display using Physical Objects with High-speed Spatially Pixelated Lighting

15 ZoeMatrope: マテリアルデザインのための実体ディスプレイ
ZoeMatrope: A System for Physical Material Design

16 空中像形成技術を用いた遮蔽に頑健な３次元計測
Occlusion-Robust 3D Sensing Using Aerial Imaging

17 高速ロールカメラ
High-Speed Image Rotator for Blur-Canceling Roll Camera

18 多重化レーザーによる任意物体の３次元運動センシング
3D Motion Sensing of any Object without Prior Knowledge

19 DynaFlash: 1,000fps・3ms 遅延で 8bit 階調の映像を投影する高速プロジェクタ
DynaFlash: High-speed 8-bit image projector at 1,000fps with 3ms delay

20 代数的アルゴリズムと適応的照明を用いた高速 SVBRDF 計測
Rapid SVBRDF Measurement by Algebraic Solution Based on Adaptive Illumination

21 Anywhere Surface Touch: 実環境のあらゆる面を入力面とするインタフェース
Anywhere Surface Touch: utilizing any surface as an input area with a wearable device

22 BFS-Solo: 単眼動画像を用いた高速書籍電子化システム
BFS-Solo: High Speed Book Digitization using Monocular Video

23 BFS-Auto: 高速・高精細書籍電子化システム
BFS-Auto: High Speed Book Scanner at over 250 pages/min

24 ブックフリッピングスキャニングのプロトタイプ
Book Flipping Scanning

25 携帯機器向け空中タイピングインターフェース
3D Input Interface for Mobile Devices

26 運動／変形物体の高速リアルタイム３次元センシング
Real-time Shape Measurement

27 変形するディスプレイ（Deformable Workspace）: ３次元の仮想物体を扱うための新しい枠組み
The Deformable Workspace

28 スマートレーザスキャナ：カメラレス３次元インターフェイス
Map browsing with the Smart Laser Scanner

アクティブパーセプション / Active Perception

1 回転アクリルキューブによる光軸制御を用いたモーションブラー補償システム
Motion-blur Compensation Method Using a Transparent Cube

2 観測者の速度に依存したユーザー指向性多義ディスプレイ
Bilateral Motion Display : Multiple Visual Perception Using Afterimage Effects for Specific Motion

3 眼球運動に同期した錯視画像の補償提示システム
Dynamic Perceptive Compensation for Optical Illusions Synchronized with Eye Movement

4 身体感覚と視覚情報にずれが生じる没入環境における低遅延な映像のユーザーへの影響に関する研究
Effects of Low Video Latency between Visual Information and Physical Sensation in Immersive Environments

5 高速道路における点検の高度化に関する研究
Advanced Inspection System on Expressways Using Pixel-wise Deblurring Imaging

6 VibroTracker: 振動触覚共有システム
VibroTracker; Tele-Vibration by Visual Target Tracking and Vibration Measurement (Revised Video)

7 鮮明な３次元立体映像を素手で高速に操作できるシステム
High Speed Gesture Recognition for zSpace 3D Display

8 AIRR Tablet: 空中映像を手で操作できるシステム ～ 自由空間をインタラクティブなディスプレイに ～
AIRR Tablet: Floating Display with High-Speed Gesture UI

9 VibroTracker: 振動触覚共有システム
VibroTracker: You can feel vibrations of moving objects

10 高速ジェスチャーUI: 低レイテンシーと自己受容性
High Speed Gesture UI: Ultra Low latency with Proprioception

11 動く手のひらや物体に映像と触覚刺激を提示できるシステム：高速で無拘束な未来型情報環境の実現
Visual and Tactile Cues for High-Speed Interaction

12 スコアライト：レーザーを用いた人工的共感覚生成楽器
scoreLight

13 スマートレーザープロジェクター：カメラレス センシングディスプレイシステム
The Smart Laser Projector: a laser based, camera-less "Sensing Display"

14 3 次元データの能動的表示 (Volume Slicing Display)
Volume Slicing Display

15 変形するディスプレイ (Deformable Workspace): 3 次元の仮想物体を扱うための新しい枠組み
The Deformable Workspace

16 スマートレーザスキャナ：カメラレス 3 次元インターフェイス
3d tracking with the markerless Smart Laser Scanner

17 クロノスプロジェクタ：時空間を操るディスプレイ
The Khronos Projector - a tangible, deformable screen to explore pre-recorded video

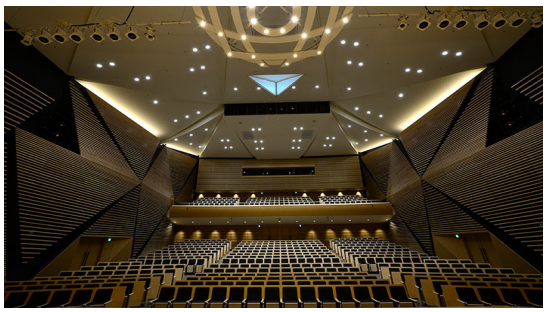
18 ハプティックレーダー：近接覚と振動刺激による皮膚感覚の拡張
Haptic Radar

19 スマートレーザスキャナ：カメラレス 3 次元インターフェイス
Map browsing with the Smart Laser Scanner

20 スマートレーザスキャナ：カメラレス 3 次元インターフェイス
Markerless Smart Laser Tracking for HCI

21 スマートレーザスキャナ：カメラレス 3 次元インターフェイス
Video browsing with the Smart Laser Scanner

9. 受章・受賞
Awards



褒章（1件）／ Medal of Honour (Domestic) (1)

2011年 紫綬褒章（石川正俊）

2011 Medal with Purple Ribbon, Japanese Government (Masatoshi Ishikawa)

学会論文賞・技術賞・業績賞等
（国内, 論文賞・技術賞・業績賞またはそれらに相当するもの）（24件）
／Awards from Academic Society (Domestic) (24)

2025年 日本バーチャルリアリティ学会 研究業績賞（石川正俊）

2020年 日本ロボット学会 優秀研究・技術賞（小山佳祐, 下条誠, 妹尾拓, 石川正俊）

- 日本バーチャルリアリティ学会 論文賞（門脇拓也, 丸山三智佳, 早川智彦, 松澤直熙, 岩崎健一郎, 石川正俊）

2019年 画像センシング技術研究会 高木賞（渡辺義浩, 山田雅宏, 石川正俊）

2018年 日本バーチャルリアリティ学会 論文賞（吉田貴寿, 渡辺義浩, 石川正俊）

2017年 映像情報メディア学会 丹羽高柳賞論文賞（宮下令央, 渡辺義浩, 石川正俊）

2016年 日本ロボット学会 Advanced Robotics Best Paper Award （Kohei Okumura, Keiko Yokoyama, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa）

2015年 日本バーチャルリアリティ学会 論文賞（末石智大, 長谷川圭介, 奥村光平, 奥寛雅, 篠田裕之, 石川正俊）

2014年 計測自動制御学会 論文賞・蓮沼賞（奥村光平, 石井将人, 巽瑛理, 奥寛雅, 石川正俊）

- 映像情報メディア学会 動画コンテンツ優秀賞（奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊）

2013年 日本バーチャルリアリティ学会 論文賞（渡辺義浩, 畑中哲生, 小室孝, 石川正俊）

- 日本ロボット学会 学会誌論文賞（奥村光平, 奥寛雅, 石川正俊）
- 日本印刷学会 技術奨励賞（山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊）

2011年 日本バーチャルリアリティ学会 論文賞（渡辺義浩, アルバロ カシネリ, 小室孝, 石川正俊）

2010年 日本ロボット学会 論文賞（奥寛雅, 石川貴彦, 石川正俊）

- 計測自動制御学会 論文賞（西野高明, 下条誠, 石川正俊）

2008年 日本ロボット学会 論文賞（渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊）

2005年 応用物理学会 光・電子集積技術業績賞（林厳雄賞）（石川正俊）

2004年 計測自動制御学会 技術賞・友田賞（石川正俊, 小室孝, 石井抱, 吉田淳, 稲田喜昭, 小宮泰宏）

- 映像情報メディア学会 技術振興賞開発賞（インテリジェントビジョンシステム開発グループ ［浜松ホトニクス、理化学研究所、東京大学、代表：豊田晴義, 中坊嘉宏, 石川正俊］）

2001年 日本ロボット学会 論文賞（並木明夫, 石川正俊）

1998年 日本ロボット学会 論文賞（中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊）

1990年 応用物理学会 光学論文賞（石川正俊）

1984年 計測自動制御学会 論文賞（石川正俊, 下条誠）

2025 Research Achievement Award, the Virtual Reality Society of Japan (Masatoshi Ishikawa)

2020 Excellent Research and Technology Award, the Robotics Society of Japan (Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa)

- Best Paper Award, the Virtual Reality Society of Japan (Takuya Kadowaki, Michika Maruyama, Tomohiko Hayakawa, Naoki Matsuzawa, Kenichiro Iwasaki, and Masatoshi Ishikawa)

2019 Takagi Award, the Society of Image Sensing Technology (Yoshihiro Watanabe, Masahiro Yamada, and Masatoshi Ishikawa)

2018 Best Paper Award, the Virtual Reality Society of Japan (Takatoshi Yoshida, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)

2017 Niwa Takayanagi Best Paper Award, the Institute of Image Information and Television Engineers (Leo Miyashita, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)

2016 Advanced Robotics Best Paper Award, the Robotics Society of Japan (Kohei Okumura, Keiko Yokoyama, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa)

2015 Best Paper Award, the Virtual Reality Society of Japan (Tomohiro Sueishi, Keisuke Hasegawa, Kohei Okumura, Hiromasa Oku, Hiroyuki Shinoda, and Masatoshi Ishikawa)

2014 Best Paper Award and Hasunuma Award, the Society of Instrument and Control Engineers (Kohei Okumura, Masato Ishii, Eri Tatsumi, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa)

- Best Video Contents Award, the Institute of Image Information and Television Engineers (Kohei Okumura, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa)

2013 Best Paper Award, the Virtual Reality Society of Japan (Yoshihiro Watanabe, Tetsuo Hatanaka, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa)

- Best Paper Award, the Robotics Society of Japan (Kohei Okumura, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa)
- Award for Encouragement of Research, the Japanese Society of Printing Science and Technology (Masahiro Yamada, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)

2011 Best Paper Award, the Virtual Reality Society of Japan (Yoshihiro Watanabe, Alvaro Cassinelli, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa)

2010 Best Paper Award, the Robotics Society of Japan (Hiromasa Oku, Takahiko Ishikawa, and Masatoshi Ishikawa)

- Best Paper Award, the Society of Instrument and Control Engineers (Takaaki Nishino, Makoto Shimojo, and Masatoshi Ishikawa)

2008 Best Paper Award, the Robotics Society of Japan (Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa)

2005 Major Contribution Award in integration of opto-electronics, the Society of Applied Physics in Japan (Izuo Hayashi Award) (Masatoshi Ishikawa)

2004 Best Technique Award, Tomoda Award, the Society of Instrument and Control Engineers (Masatoshi Ishikawa, Takashi Komuro, Idaku Ishii, Atsushi Yoshida, Yoshiaki Inada, and Yasuhiro Komiya)

- Best Development Award, the Institute of Image Information and Television Engineers (Intelligent Vision System Development Group [Hamamatsu Photonics, RIKEN, the University of Tokyo, Haruyoshi Toyoda, Yoshihiro Nakabo, and Masatoshi Ishikawa])

2001 Best Paper Award, the Robotics Society of Japan (Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa)

1998 Best Paper Award, the Robotics Society of Japan (Yoshihiro Nakabo, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa)

1990 Best Optics Paper Award, the Optical Society of Japan, the Society of Applied Physics in Japan (Masatoshi Ishikawa)

1984 Best Paper Award, the Society of Instrument and Control Engineers (Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo)

学会以外表彰等（国内）（39件）
／ Awards from non-Academic Society (Domestic) (39)

2025年 ヒロセ財団 第5回ヒロセ賞（石川正俊）

2021年 市村清新技術財団 市村学術賞功績賞（石川正俊）

- 経済産業省, 日本機械工業連合会他, 関係各省 第9回ロボット大賞 優秀賞（研究開発部門）（東京大学, 中日本高速道路株式会社）
- 国土交通省他, 関係各省 第4回インフラメンテナンス大賞 国土交通大臣賞（東京大学［早川智彦, 望戸雄史, 栃岡陽麻里, 石川正俊］, 中日本高速道路株式会社［亀岡弘之, 藤田友一郎, 大西偉允］）

2020年 経済産業省, デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2020, スポンサー賞（横浜コンサルティングファーム）（石川・早川・黄・末石・宮下研究室）

- 経済産業省, デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2020, Special Prize - Vision -（石川・早川・黄・末石・宮下研究室）
- 船井情報科学振興財団 船井研究奨励賞（早川智彦）

2019年 経済産業省, デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2019, ACM SIGGRAPH Special Prize（石川妹尾研究室／東京工業大学渡辺研究室）

- 経済産業省, デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2019, スポンサー賞（CGWORLD）（石川妹尾研究室／東京工業大学渡辺研究室）
- 経済産業省, デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2019（石川妹尾研究室／東京工業大学渡辺研究室）
- 船井情報科学振興財団 船井研究奨励賞（宮下令央）

2018年 立石科学技術振興財団 立石賞特別賞（石川正俊）

- 船井情報科学振興財団 船井研究奨励賞（末石智大）
- 船井情報科学振興財団 船井学術賞（山川雄司）
- 井上科学振興財団 井上研究奨励賞（宮下令央）

2015年 テレビ東京 ワールドビジネスサテライト トレたま2015 大江・大浜賞（石川渡辺研究室）

- 経済産業省, デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2015（石川渡辺研究室）
- テレビ東京 ワールドビジネスサテライト トレたま選考委員会, トレたま4000回記念 ベスト オブ トレたま 優秀賞（東京大学工学部）

2014年 経済産業省, デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2014（石川渡辺研究室）

2013年 FA財団 論文賞（鈴木健治, 鈴木陽介, 長谷川浩章, 明愛国, 石川正俊, 下条誠）

- 経済産業省, デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2013 特別賞 （Industry）（石川奥研究室）
- 経済産業省, デジタルコンテンツ協会 Innovative Technologies 2013（石川奥研究室）
- 井上科学振興財団 井上研究奨励賞（山川雄司）

2012年 エリクソン・ジャパン株式会社 エリクソン・テレコミュニケーション・アワード（石川正俊）

- 服部報公会 報公賞（石川正俊）
- 船井情報科学振興財団 船井研究奨励賞（山川雄司）
- 島津科学技術振興財団 島津賞（石川正俊）

2010年 文化庁 メディア芸術祭 エンターテインメント部門 優秀賞（アルバロ カシネリ, 真鍋大度, 栗原優作, アレクシィ ゼログ）

- ファナックFAロボット財団 論文賞（下条誠, 西野高明, 石川正俊）

2009年 エリクソン・ジャパン株式会社 エリクソン・ヤング・サイエンティスト・アワード（渡辺義浩）

2006年 文化庁 メディア芸術祭 アート部門 大賞（アルバロ カシネリ）

2002年 エリクソン・ジャパン株式会社 エリクソン・ヤング・サイエンティスト・アワード（小室孝）

- LSI IP デザイン・アワード 完成表彰部門 IP賞（石川正俊, 鏡慎吾, 小室孝, 石井抱）

2000年 光科学技術研究振興財団 研究表彰（成瀬誠）

- 井上科学振興財団 井上研究奨励賞（成瀬誠）
- LSI IP デザイン・アワード 完成表彰部門 IP優秀賞（石川正俊, 小室孝, 小川一哉, 石井抱）

1999年 光産業技術振興協会 櫻井健二郎氏記念賞（石川正俊）

1998年 高度自動化技術振興財団 高度自動化技術振興賞（本賞）（中坊嘉宏, 石井抱, 石川正俊）
1988年 通商産業省工業技術院 工業技術院長賞（石川正俊）

2025 Hirose Award, Hirose Foundation (Masatoshi Ishikawa)

2021 Ichimura Prize in Science for Excellent Achievement Award, Ichimura Foundation for New Technology (Masatoshi Ishikawaa)

- The 9th Robot Award, Excellent Prize, Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan Machinery Federation, and related Ministries (University of Tokyo and Central Nippon Expressway Company Limited)
- Infrastructure Maintenance Award, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Award, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (University of Tokyo [Tomohiko Hayakawa, Yushi Moko, Himari Tochioka, and Masatoshi Ishikawa], Central Nippon Expressway Co., Ltd [Hiroyuki Kameoka, Yuichiro Fujita, and Yoshimasa Onishi])

2020 Innovative Technologies 2020, Special Prize - Vision -, Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan and Digital Content Association of Japan (Ishikawa Hayakawa Huang Sueishi Miyashita Laboratory)

- Innovative Technologies 2020, Sponsor Award (Yokohama Consulting Firm), Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan and Digital Content Association of Japan (Ishikawa Hayakawa Huang Sueishi Miyashita Laboratory)
- Funai Research Award, the Funai Fundation for Information Technology (Tomohiko Hayakawa)

2019 Innovative Technologies 2019, ACM SIGGRAPH Special Prize, Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan and Digital Content Association of Japan (Ishikawa Senoo Laboratory / Watanabe Laboratory, Tokyo Institute of Technology)

- Innovative Technologies 2019, Sponsor Award (CGWORLD), Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan and Digital Content Association of Japan (Ishikawa Senoo Laboratory / Watanabe Laboratory, Tokyo Institute of Technology)
- Innovative Technologies 2019, Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan and Digital Content Association of Japan (Ishikawa Senoo Laboratory / Watanabe Laboratory, Tokyo Institute of Technology)
- Funai Research Award, the Funai Fundation for Information Technology (Leo Miyashita)

2018 Tateisi Prize, Grand Award, Tateisi Science and Technology Foundation (Masatoshi Ishikawaa)

- Funai Research Award, the Funai Fundation for Information Technology (Tomohiro Sueishi)
- Funai Academic Award, the Funai Fundation for Information Technology (Yuji Yamakawa)
- Inoue Research Award for Young Scientists, the Inoue Fondation for Science (Leo Miyashita)

2015 Oe Ohama Award of 2015 Toretama, World Business Satellite, TV TOKYO (Ishikawa Watanabe Laboratory)

- Innovative Technologies 2015, Minister of Economy, Trade and Industry, Japan and Digital Content Association of Japan (Ishikawa Watanabe Laboratory)
- Best of Toretama Finalist, the commemorative 4000th Toretama, Toretama Award Selection Committee, World Business Satellite, TV TOKYO (Faculty of Engineering, The University of Tokyo)

2014 Innovative Technologies 2014, Minister of Economy, Trade and Industry, Japan and Digital Content Association of Japan (Ishikawa Watanabe Laboratory)

2013 Best Paper Award, FA Foundation (Kenji Suzuki, Yousuke Suzuki, Hiroai Hasegawa, Aigou Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo)

- Special Award of Innovative Technologies 2013 (Industry), Minister of Economy, Trade and Industry, Japan and Digital Content Association of Japan (Ishikawa Oku Laboratory)
- Innovative Technologies 2013, Minister of Economy, Trade and Industry, Japan and Digital Content Association of Japan (Ishikawa Oku Laboratory)
- Inoue Research Award for Young Scientists, the Inoue Fondation for Science (Yuji Yamakawa)

2012 Ericsson Telecommunications Award, Ericsson Japan K.K. (Masatoshi Ishikawa)

- Houkou Award, the Hattori Houkou Foundation (Masatoshi Ishikawa)
- Funai Research Award, the Funai Fundation for Information Technology (Yuji Yamakawa)
- Shimazu Award, the Shimazu Science and Technology Foundation (Masatoshi Ishikawa)

2010 Excellence Prize, Entertainment Division of Japan Media Arts Festival (Alvaro Cassinelli, Daito Manabe, Yusaku Kuribara, and Alexis Zerroug)

- Best Paper Award, the FANUC FA and Robot Foundation (Makoto Shimojo, Takaaki Nishino, and Masatoshi Ishikawa)

2009 Ericsson Young Scientist Award, Ericsson Japan K.K. (Yoshihiro Watanabe)

2006 Grand Prize, Art Division of Japan Media Arts Festival (Alvaro Cassinelli)

2002 Ericsson Young Scientist Award, Ericsson Japan K.K. (Takashi Komuro)

- IP Award (LSI IP Design Award), the Steering Committee of LSI IP Design Award (Masatoshi Ishikawa, Shingo Kagami, Takashi Komuro, and Idaku Ishii)

2000 Research Award, the Research Foundation for Opto-Science and Technology (Makoto Naruse)

- Inoue Research Award for Young Scientists, the Inoue Fondation for Science (Makoto Naruse)
- Best IP Award (LSI IP Design Award), the Steering Committee of LSI IP Design Award (Masatoshi Ishikawa, Takashi Komuro, Kazuya Ogawa, and Idaku Ishii)

1999 Kenjiro Sakurai Memorial Prize, the Optoelectronic Industry and Technology Development Association (Masatoshi Ishikawa)

1998 Award for Progress in Advanced Automation Technology, the Foundation for Promotion of Advanced Automation Technology (Yoshihiro Nakabo, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa)

1988 Best Researcher Award, the Agency of Industrial Science and Technology (Masatoshi Ishikawa)

学会部門賞等（国内, 部門論文賞・部門業績賞またはそれらに相当するもの）（15件）／Awards from Division of Academic Society (Domestic) (15)

2024年 電子情報通信学会通信ソサイエティ 論文賞（和文マガジン論文賞） （宮下令央, 末石智大, 田畑智志, 早川智彦, 石川正俊）

2020年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰 （小山佳祐, 下条誠, 妹尾拓, 石川正俊）

2019年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 研究奨励賞 （門脇拓也, 早川智彦, 石川正俊）

– 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰 （小山佳祐, 下条誠, 妹尾拓, 石川正俊）

2018年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰 （妹尾拓, 村上健一, 石川正俊）

2016年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 研究奨励賞 （妹尾拓, 小池正憲, 村上健一, 石川正俊）

2014年 計測自動制御学会 計測部門 論文賞 （奥村光平, 石井将人, 巽瑛理, 奥寛雅, 石川正俊）

– 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰 （野口翔平, 溜井美帆, 山田雅宏, 渡辺義浩, 石川正俊）

2013年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰 （山川雄司, 並木明夫, 石川正俊）

2011年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 研究奨励賞 （山川雄司, 並木明夫, 石川正俊）

2007年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰 （古川徳厚, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊）

2005年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰 （金子真, 丁憲勇, 東森充, 石井抱, 並木明夫, 石川正俊）

2003年 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 奨励賞 （並木明夫, 今井睦朗, 石川正俊）

– 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMEC表彰 （下条誠, 牧野了太, 小川博教, 鈴木隆文, 並木明夫, 斉藤敬, 石川正俊, 満渕邦彦）

1999年 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門 学術業績賞（石川正俊）

2024 Best Magazine Paper Award, Communication Society, Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (Leo Miyashita, Tomohiro Sueishi, Satoshi Tabata, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa)

2020 ROBOMEC Award, Division of Robotics and Mechatronics, the Japan Society of Mechanical Engineers (Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa)

2019 Award for Encouragement of Research, Technical Division of System Integration, the Society of Instrument and Control Engineers (Takuya Kadowaki, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa)

- ROBOMEC Award, Division of Robotics and Mechatronics, the Japan Society of Mechanical Engineers (Keisuke Koyama, Makoto Shimojo, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa)

2018 ROBOMEC Award, Division of Robotics and Mechatronics, the Japan Society of Mechanical Engineers (Taku Senoo, Kennichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa)

2016 Award for Encouragement of Research, Technical Division of System Integration, the Society of Instrument and Control Engineers (Taku Senoo, Masanori Koike, Kennichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa)

2014 Best Paper Award, Technical Division of Measurement, the Society of Instrument and Control Engineers (Kohei Okumura, Masato Ishii, Eri Tatsumi, Hiromasa Oku, and Masatoshi Ishikawa)

- ROBOMEC Award, Division of Robotics and Mechatronics, the Japan Society of Mechanical Engineers (Shohei Noguchi, Miho Tamei, Masahiro Yamada, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)

2013 ROBOMEC Award, Division of Robotics and Mechatronics, the Japan Society of Mechanical Engineers (Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa)

2011 Award for Encouragement of Research, Technical Division of System Integration, the Society of Instrument and Control Engineers (Yuji Yamakawa, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa)

2007 ROBOMEC Award, Division of Robotics and Mechatronics, the Japan Society of Mechanical Engineers (Noriatsu Furukawa, Taku Senoo, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa)

2005 ROBOMEC Award, Division of the Robotics and Mechatronics, the Japan Society of Mechanical Engineers (Makoto Kaneko, Hieyong Jeong, Mitsuru Higashimori, Idaku Ishii, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa)

2003 Award for Encouragement, Technical Division of System Integration, the Society of Instrument and Control Engineers (Akio Namiki, Yoshiro Imai, and Masatoshi Ishikawa)

- ROBOMEC Award, Division of Robotics and Mechatronics, the Japan Society of Mechanical Engineers (Makoto Shimojo, Ryota Makino, Hironori Ogawa, Takafumi Suzuki, Akio Namiki, Takashi Saito, Masatoshi Ishikawa, and Kunihiko Mabuchi)

1999 Major Contribution Award, Division of Robotics and Mechatronics, the Japan Society of Mechanical Engineers (Masatoshi Ishikawa)

学会フェロー等（国内）（7件）／ Fellow from Academic Society (Domestic) (7)

2025 年 情報処理学会 フェロー（石川正俊）

2022 年 計測自動制御学会 名誉会員（石川正俊）

2019 年 日本工学会 フェロー（石川正俊）

2014 年 日本機械学会 フェロー（石川正俊）

2012 年 電子情報通信学会 フェロー（石川正俊）

2010 年 日本ロボット学会 フェロー（石川正俊）

1997 年 計測自動制御学会 フェロー（石川正俊）

2025 Fellow, Information Processing Society of Japan (Masatoshi Ishikawa)
2022 Honorary Member, the Society of Instrument and Control Engineers (Masatoshi Ishikawa)
2019 Fellow, the Japan Federation of Engineering Societies (Masatoshi Ishikawa)
2014 Fellow, the Japan Society of Mechanical Engineers (Masatoshi Ishikawa)
2012 Fellow, the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (Masatoshi Ishikawa)
2010 Fellow, the Robotics Society of Japan (Masatoshi Ishikawa)
1997 Fellow, the Society of Instrument and Control Engineers (Masatoshi Ishikawa)

国際学会受章（1件）／ Awards from International Academic Society (1)

2017 The Finkelstein Medal, Institute of Measurement and Control (InstMC) (Masatoshi Ishikawa)

国際会議貢献賞（1件）／ Award from International Academic Society (1)

2024 Distinguished Service Award, International Measurement Confederation (IMEKO) (Masatoshi Ishikawa)

国際学会・国際会議論文賞等（47件）
／Best Paper Awards of International Journal or Conference (47)

2026 Best Paper Finalist, 2026 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2026) (Tomohiro Sueishi, Makoto Komura, and Masatoshi Ishikawa)
2025 Best Cyborg Award Finalist, 2025 IEEE International Conference on Cyborg and Bionic Systems (IEEE CBS 2025) (Yuki Kawawaki, Shouren Huang, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa)
2023 SICE Annual Conference International Award, The SICE Annual Conference 2023 (SICE2023) (Himari Tochioka, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa)
2022 Best Poster Award Nomination, 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW2022) (Ayumi Matsumoto, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa)
2021 Young Excellent Presentation Award, XXIII World Congress of the Int. Measurement Confederation (IMEKO2021) (Masahiro Hirano)
2020 Young Award, IEEE Robotics and Automation Society Japan Joint Chapter (IROS 2020) (Satoshi Tanaka)
- Best Student Paper Award, 2020 IEEE/SICE Int. Symp. on System Integration (Mikihiro Ikura, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa)
2019 Best Demo Voted By Committee, Honourable Mention (Emerging Technology), SIGGRAPH Asia 2019 (Ryo Ito, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa)
2018 Microsoft Award, The 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2018) (Masashi Nitta, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa)
- Honorable Mentions (Paper), The 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST2018) (Masashi Nitta, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa)
2017 Outstanding Reviewer, Mechatronics, Elsevier (Taku Senoo)
2016 T.J.Tarn Best Paper in Robotics Award, 2016 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biominetics (ROBIO 2016) (Taku Senoo, Yuuki Horiuchi, Yoshinobu Nakanishi, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa)
- Best Presentation Award, 2016 3rd Int. Conf. on Geological and Civil Engineering (ICGCE 2016) (Tomohiko Hayakawa)
2015 Best Paper Award, Int. Display Workshop (IDW '15) (Yoshihiro Watanabe, Gaku Narita, Sho Tatsuno, Takeshi Yuasa, Kiwamu Sumino, and Masatoshi Ishikawa)
- Finalist of Best Student Paper Award, 2015 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biominetics (ROBIO 2015) (Kenichi Murakami, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa)
- Young Scientist Award, 2015 Asia-Pacific Symposium on Measurement of Mass, Force and Torque (APMF2015) (Yuji Yamakawa)
2014 Best Student Paper Award, 2014 Int. Conf. on Advanced Computer Science and Information Systems (Muhammad Sakti Alvissalim, Masahiko Yasui, Chihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)
- Best Paper Award, Winter Conf. on the Applications of Computer Vision (Shohei Noguchi, Masahiro Yamada, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)
- Honorable Mention, 5th Augmented Human Int. Conf. (Takehiro Niikura, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)
2013 Young Author Award, 2013 Asia-Pacific Symposium on Measurement of Mass, Force and Torque (APMF2013) (Yuji Yamakawa)
- Poster Award, International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology (OTST) 2013 (Yasuaki Monnai)
2012 Best IROS Jubilee Video Award, 2012 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (Masatoshi Ishikawa, Akio Namiki, Taku Senoo, and Yuji Yamakawa)
2011 Young Author Award, 2013 Asia-Pacific Symposium on Measurement of Mass, Force and Torque (APMF2011) (Yuji Yamakawa)
- Best Presentation Award, 42nd IEEE VAIL Computer Elements Workshop (Masatoshi Ishikawa)
- Le Grand Prix du Jury, 13th Int.Conf.on Virtual Reality (Laval Virtual) (Ishikawa Komuro Laboratory)

2010 Young Author Award in IROS2010, IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter (Yuji Yamakawa)

2009 Best project in the category of Medicine and Health, 11th Int. Conf. on Virtual Reality (Laval Virtual) (Ishikawa Komuro Laboratory)

2008 Young Author Award in ICRA'08, IEEE Robotics and Automation Society Japan Chapter (Takeshi Hasegawa)

2007 Best Paper Nomination Finalist, 2007 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (Makoto Shimojo, Takuma Araki, Aiguo Ming, and Masatoshi Ishikawa)

2006 Best Paper in Biomimetics, 2006 IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (Anchelee Davies, Naoko Ogawa, Hiromasa Oku, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa)

- Best Manipulation Paper Award, 2006 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (Noriatsu Furukawa, Akio Namiki, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa)

2004 Best Vision Paper Award Finalist, 2004 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (Yoshiro Imai, Akio Namiki, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa)

2003 Excellent Paper Award, 2003 6th Japan-France Congress on Mechatronics & 4th Asia-Europe Congress on Mechatronics (Makoto Shimojo, Ryota Makino, Hironori Ogawa, Takafumi Suzuki, Akio Namiki, Takashi Saito, Masanori Kunimoto, Masatoshi Ishikawa, and Kunihiko Mabuchi)

1996 Best Video Award Finalist, 1996 IEEE Int.Conf.on Robotics and Automation (Yoshihiro Nakabo, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa)

IEEE Sensors Council, 50 Most Accessed Articles

2017 May No.41 Apr. No.35 Mar. No.50

2016 Dec. No.32 Nov. No.16 Oct. No.21 Sep. No.49

2014 Oct. No.10 Sep. No.37

IEEE Sensors Council, Most Cited from All Time by April 2014

2014 Apr. No.8

IEEE Sensors Council, 25 Most Accessed Articles

2014 Apr. No.22

2012 Jun. No.10 Apr. No.15
(Makoto Shimojo, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, Ryota Makino, and Kunihiko Mabuchi)

学会以外表彰等（国際）（2件）
／Awards from non-Academic Society (International) (2)

2017年 中国深圳・第1回国際イノベーションコンテスト情報分野決勝戦三等賞 (黄守仁, 山川雄司, 郭登極)

2010年 Nissan Research Challenge Innovative Concept Award, Nissan Research Center (Carson Reynolds, Alvaro Cassinelli, Yoshihiro Watanabe, Masatoshi Ishikawa, Tomoko Hayashi, Isao Kanemaki, Takehiro Goto, Takashi Asari, Yuichi Nakamura, Koutaro Furukawa)

2017 Third Prize winner in the Internet and Mobile Internet (IT) Industry Final of The First China (Shenzhen) Innovation & Enterpreneurship International Competotion (Shouren Huang, Yuji Yamakawa, Dengji Guo)

2010 Nissan Research Challenge Innovative Concept Award, Nissan Research Center (Carson Reynolds, Alvaro Cassinelli, Yoshihiro Watanabe, Masatoshi Ishikawa, Tomoko Hayashi, Isao Kanemaki, Takehiro Goto, Takashi Asari, Yuichi Nakamura, Koutaro Furukawa)

学会奨励賞等（国内）（20件）
／Awards for Young Researcher from Academic Society (Domestic) (20)

2018年 日本ロボット学会 研究奨励賞（小山佳祐）

2017年 日本バーチャルリアリティ学会 学術奨励賞（吉田貴寿）

- 情報処理学会 山下記念研究賞（平野正浩）
- 計測自動制御学会 学術奨励賞・技術奨励賞（黄守仁）
- 計測自動制御学会 学術奨励賞・技術奨励賞（山川雄司）

2016年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門 若手奨励賞（妹尾拓）

- 映像情報メディア学会 学生優秀発表賞（斎藤謙二郎）
- 計測自動制御学会 学術奨励賞・技術奨励賞（田畑智志）
- 計測自動制御学会 学術奨励賞・研究奨励賞（安井雅彦）

2014年 日本機械学会 奨励賞(研究)（山川雄司）

2012年 計測自動制御学会システムインテグレーション部門 若手奨励賞（山川雄司）

- 映像情報メディア学会 鈴木記念奨励賞（奥村光平）

2011年 日本ロボット学会 研究奨励賞（山川雄司）

2009年 日本ロボット学会 研究奨励賞（奥寛雅）

2006年 日本ロボット学会 研究奨励賞（尾川順子）

2005年 計測自動制御学会 学術奨励賞（妹尾拓）

2004年 日本ロボット学会 研究奨励賞（鏡慎吾）
2002年 映像情報メディア学会 研究奨励賞（小室孝）
2000年 日本ロボット学会 研究奨励賞（並木明夫）
1999年 日本ロボット学会 研究奨励賞（石井抱）

2018 Young Investigation Excellence Award, the Robotics Society of Japan (Keisuke Koyama)
2017 Award for Encouragement of Research, The Virtual Reality Society of Japan (Takatoshi Yoshida)
- Yamashita Memorial Research Award, Information Processing Society of Japan (Masahiro Hirano)
- Young Author Award, the Society of Instrument and Control Engineers (Shouren Huang)
- Young Author Award, the Society of Instrument and Control Engineers(Yuji Yamakawa)

2016 Young Excellence Award, the System Integration Technical Division of the Society of Instrument and Control Engineers (Taku Senoo)
- Best Student Research Presentation Award, the Institute of Image Information and Television Engineers (Kenjiro Saito)
- Young Author Award, the Society of Instrument and Control Engineers (Satoshi Tabata)
- Young Author Award, the Society of Instrument and Control Engineers (Masahiko Yasui)

2014 Young Engineers Award (Research), the Japan Society of Mechanical Engineers (Yuji Yamakawa)
2012 Young Excellence Award, the System Integration Technical Division of the Society of Instrument and Control Engineers (Yuji Yamakawa)
- Suzuki Memorial Incentive Award, the Institute of Image Information and Television Engineers (Kohei Okumura)

2011 Young Investigation Excellence Award, the Robotics Society of Japan (Yuji Yamakawa)
2009 Young Investigation Excellence Award, the Robotics Society of Japan (Hiromasa Oku)
2006 Young Investigation Excellence Award, the Robotics Society of Japan (Naoko Ogawa)
2005 Young Author Award, the Society of Instrument and Control Engineers (Taku Senoo)
2004 Young Investigation Excellence Award, the Robotics Society of Japan (Shingo Kagami)
2002 Best Author Award, the Institute of Image Information and Television Engineers (Takashi Komuro)
2000 Young Investigation Excellence Award, the Robotics Society of Japan (Akio Namiki)
1999 Young Investigation Excellence Award, the Robotics Society of Japan (Idaku Ishii)

国内会議論文賞等（56件）／ Best Paper Awards of Domestic Conference (56)

2025年 電子情報通信学会 センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会 優秀発表賞（宮下令央）
2023年 計測自動制御学会計測部門 センシングフォーラム研究奨励賞（宮下令央）
2020年 照明学会東京支部大会 最優秀研究発表者賞（早川智彦）
- 日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞 （井倉幹大）
- インタラクション2020インタラクティブ発表賞 (PC推薦)（深水健太郎, 宮下令央, 石川正俊）

2019年 土木学会全国大会第74回年次学術講演会優秀講演者表彰 （久保田祐貴）
- 電子情報通信学会メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 MVE賞 （伊藤遼, 宮下令央, 石川正俊）
- 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2019) MIRU学生奨励賞 （木村洋太）
- 日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞 （小島治）

2018年 画像センシングシンポジウム SSII2017 優秀学術賞 （丸山三智佳, 田畑智志, 渡辺義浩, 石川正俊）
- 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会PRMU月間ベストプレゼンテーション賞 （田畑智志）

2017年 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2017) MIRU学生奨励賞 （新家健太）
- 動的画像処理実利用化ワークショップDIA2017 研究奨励賞 （呂彩林, 渡辺義浩, 石川正俊）

2016年 情報処理学会 CGとビジュアル情報学研究会 優秀研究発表賞 （平野正浩）
- ロボティックスシンポジア 優秀論文賞 （妹尾拓, 小池正憲, 村上健一, 石川正俊）

2014年 画像センシングシンポジウム SSII2013 最優秀学術賞 （奥寛雅, 奥村光平, 石川正俊）
- 日本機械学会 若手優秀講演フェロー賞 （野口翔平）

2013年 画像センシングシンポジウム SSII2013 オーディエンス賞 （奥寛雅, 奥村光平, 石川正俊）
- 日本印刷学会 研究発表奨励賞（山田雅弘, 渡辺義浩, 石川正俊）

2012年 計測自動制御学会 計測部門 研究・技術奨励賞（山川雄司）
- 映像情報メディア学会 学生優秀発表賞（奥村光平）
- 画像センシングシンポジウム SSII2011 優秀学術賞 （有間英志, 糸山浩太郎, 山田雅弘, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊）

2011年 画像センシングシンポジウム SSII2011 オーディエンス賞 （有間英志, 糸山浩太郎, 山田雅弘, 小室孝, 渡辺義浩, 石川正俊）
2009年 ３次元画像コンファレンス2008 優秀論文賞 （杉原裕, 渡辺義浩, 小室孝, 石川正俊）
2008年 豊橋技術科学大学グローバルCOE ADISTシンポジウム ADIST2008 最優秀ポスター講演賞 （山川雄司）
- 映像メディア処理シンポジウム ベストポスター賞（山口光太）

2000年 IEEE Solid-State Circuits Society Japan Chapter 奨励賞受賞 （鏡慎吾, 小室孝, 小川一哉, 石井抱, 石川正俊）
1998年 ロボティックスシンポジア 最優秀論文賞 （石井抱, 村田達也, 松内良介, 小室孝, 石川正俊）

計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演賞等

2023年 SI2023 優秀講演賞 （田畑智志, 宮下令央, 石川正俊, 末石智大）
2022年 SI2022 優秀講演賞 （栃岡陽麻里, 末石智大, 石川正俊）
- SI2022 優秀講演賞 （妹尾拓, 川原大宙, 石井抱, 籔内健人, 平野正浩, 岸則政, 石川正俊）
- SI2022 優秀講演賞 （黄守仁, 村上健一, 石川正俊）

2021年 SI2021 優秀講演賞 （末石智大，石川正俊）
- SI2021 優秀講演賞 （村上健一，黄守仁，石川正俊，山川雄司）

2020年 SI2020 優秀講演賞 （川原大宙, 妹尾拓, 石井抱, 平野正浩, 岸則政, 石川正俊）
- SI2020 優秀講演賞 （末石智大, 西薗良太, 石川正俊）
- SI2020 優秀講演賞 （松本明弓, 末石智大, 石川正俊）

2019年 SI2019 優秀講演賞 （田中敬，小山佳祐，妹尾拓，石川正俊）
- SI2019 優秀講演賞 （妹尾拓, 王允卓, 平野正浩, 岸則政, 石川正俊）
- SI2019 優秀講演賞 （伊藤遼，宮下令央，石川正俊）

2018年 SI2018 優秀講演賞 （門脇拓也, 早川智彦, 石川正俊）
2017年 SI2017 優秀講演賞 （佐藤宏, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊）
- SI2017 優秀講演賞 （平野正浩, 妹尾拓, 岸則政, 石川正俊）

2015年 SI2015 優秀講演賞 （安井雅彦, 渡辺義浩, 石川正俊）
- SI2015 優秀講演賞 （伊藤光一郎, 末石智大, 山川雄司, 石川正俊）
- SI2015 優秀講演賞 （妹尾拓, 小池正憲, 村上健一, 石川正俊）
- SI2015 優秀講演賞 （黄守仁, Niklas Bergström, 山川雄司, 妹尾拓, 石川正俊）

2014年 SI2014 優秀講演賞 （安井雅彦, M. Sakti Alvissalim, 山本裕紹, 石川正俊）
2012年 SI2012 優秀講演賞 （国府田直人, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠）
2010年 SI2010 優秀講演賞 （寺田一貴, 長谷川浩章, 国府田直人, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠）
- SI2010 優秀講演賞 （長谷川浩章, 向山由宇, 鈴木陽介, 明愛国, 石川正俊, 下条誠）
- SI2009 優秀講演賞 （勅使河原誠一, 清水智, 明愛国, 石川正俊, 下条誠）

2008年 SI2008 優秀講演賞 （溝口善智, 多田隈建二郎, 明愛国, 石川正俊, 下条誠）
2006年 SI2006 優秀講演賞 （古川徳厚, 妹尾 拓, 並木明夫, 石川正俊）
- SI2006 優秀講演賞 （山川雄司, 並木明夫, 石川正俊, 下条誠）

2005年 SI2005 ベストセッション講演賞 （奥寛雅, Theodorus, 橋本浩一, 石川正俊）
2004年 SI2004 ベストセッション講演賞 （塩形大輔, 並木明夫, 石川正俊）

2025 Excellent Presentation Award, Technical Committee on Sensor Networks and Mobile Intelligence, Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (Leo Miyashita)

2023 Research Encouragement Award, Sensing Forum, the Society of Instrument and Control Engineers (Leo Miyashita)

2020 Best Presentation Award, Tokyo Branch, Illuminating Engineering Institute of Japan (Tomohiko Hayakawa)
- Young Fellow Award for Best Presentation, the Japan Society of Mechanical Engineers (Mikihiro Ikura)
- Interactive Presentation Award (Recommendation by PC), Interaction 2020 (kentaro Fukamizu, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa)

2019 Excellent Presentation Award in Annual Meeting 2019, Japan Society of Civil Engineering (Yuki Kubota)
- MVE Award, Technical Group on Media Experience and Virtual Environment, The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (Ryo Ito, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa)
- MIRU Student Encourage Award, MIRU2019 (Yohta Kimura)
- Young Fellow Award for Best Presentation, the Japan Society of Mechanical Engineers (Osamu Kojima)

2018 Excellent Paper Award, Symposium on Sensing via Image Information SSII2017 (Michika Maruyama, Satoshi Tabata, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)
- PRMU Monthly Best Presentation Awrad (Satoshi Tabata)

2017 MIRU Student Encourage Award, MIRU2017 (Kenta Shinya)
- Rsearch Encouragement Award, Dynamic Image-processing for Real Application Workshop 2017 (Chaerim Yeo, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)

2016 Best Research Presentation Award, Information Processing Society of Japan, The Special Interest Group of Computer Graphics and Visual Informatics (Masahiro Hirano)
- Excellent Paper Award, Robotics Symposia (Taku Senoo, Masanori Koike, Kennichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa)

2014 Best Paper Award, Symposium on Sensing via Image Information SSII2013 (Hiromasa Oku, Kohei Okumura, and Masatoshi Ishikawa)
- Young Fellow Award for Best Presentation, the Japan Society of Mechanical Engineers (Shohei Noguchi)

2013 Audience Award, Symposium on Sensing via Image Information SSII2013 (Hiromasa Oku, Kohei Okumura, and Masatoshi Ishikawa)
- Award for Encouragement of Research Presentation, the Japanese Society of Printing Science and Technology (Masahiro Yamada, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)

2012 Award for Encouragement of Research and Technology, the Measurement Technical Division of the Society of Instrument and Control Engineers (Yuji Yamakawa)
- Excellent Student Presentation Award, the Institute of Image Information and Television Engineers (Kohei Okumura)

2012 Excellent Paper Award, Symposium on Sensing via Image Information SSII2011 (Hideshi Arima, Koutaro Itoyama, Masahiro Yamada, Takashi Komuro, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)

2011 Audience Award, Symposium on Sensing via Image Information SSII2011 (Hideshi Arima, Koutaro Itoyama, Masahiro Yamada, Takashi Komuro, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)

2009 Best Paper Award, 3D Image Conference 2008 (Yutaka Sugihara, Yoshihiro Watanabe, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa)

2008 Best Poster Award, Global COE ADIST Symposium, Toyohashi University of Technology (Yuji Yamakawa)

- Best Poster Award, Image Media Processing Symposium (Kota Yamaguchi)

2000 Award for Encouragement, IEEE Solid-State Circuits Society Japan Chapter (Shingo Kagami, Takashi Komuro, Kazuya Ogawa, Idaku Ishii, and Masatoshi Ishikawa)

1998 Best Paper Award, Robotics Symposia (Idaku Ishii, Tatsuya Murata, Ryosuke Matsuuchi, Takashi Komuro, and Masatoshi Ishikawa)

Award from the System Integration Technical Division of the Society of Instrument and Control Engineers

2023 SI2023 Best Presentation Award (Satoshi Tabata, Leo Miyashita, Masatoshi Ishikawa, and Tomohiro Sueishi)

2022 SI2022 Best Presentation Award (Himari Tochioka, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa)

- SI2022 Best Presentation Award (Taku Senoo, Hiromichi Kawahara, Idaku Ishii, Kento Yabuuchi, Masahiro Hirano, Norimasa Kishi, and Masatoshi Ishikawa)
- SI2022 Best Presentation Award (Shouren Huang, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa)

2021 SI2021 Best Presentation Award (Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa)

- SI2021 Best Presentation Award (Kenichi Murakami, Shouren Huang, Masatoshi Ishikawa, Yuji Yamakawa)

2020 SI2020 Best Presentation Award (Hiromichi Kawahara, Taku Senoo, Idaku Ishii, Masahiro Hirano, Norimasa Kishi, and Masatoshi Ishikawa)

- SI2020 Best Presentation Award (Tomohiro Sueishi, Ryota Nishizono, and Masatoshi Ishikawa)
- SI2020 Best Presentation Award (Ayumi Matsumoto, Tomohiro Sueishi, and Masatoshi Ishikawa)

2019 SI2019 Best Presentation Award (Satoshi Tanaka, Keisuke Koyama, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa)

- SI2019 Best Presentation Award (Taku Senoo, Yunzhuo Wang, Masahiro Hirano, Norimasa Kishi, and Masatoshi Ishikawa)
- SI2019 Best Presentation Award (Ryo Ito, Leo Miyashita, and Masatoshi Ishikawa)

2018 SI2018 Best Presentation Award (Takuya Kadowaki, Tomohiko Hayakawa, and Masatoshi Ishikawa)

2017 SI2017 Best Presentation Award (Hiroshi Sato, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa)

- SI2017 Best Presentation Award (Massahiro Hirano, Taku Senoo, Norimasa Kishi, and Masatoshi Ishikawa)

2015 SI2015 Best Presentation Award (Massahiko Yasui, Yoshihiro Watanabe, and Masatoshi Ishikawa)

- SI2015 Best Presentation Award (Koichiro Ito, Tomohiro Sueishi, Yuji Yamakawa, and Masatoshi Ishikawa)
- SI2015 Best Presentation Award (Taku Senoo, Masanori Koike, Kenichi Murakami, and Masatoshi Ishikawa)
- SI2015 Best Presentation Award (Shouren Huang, Niklas Bergström, Yuji Yamakawa, Taku Senoo, and Masatoshi Ishikawa)

2014 SI2014 Best Presentation Award (Masahiko Yasui, M. Sakti Alvissalim, Hirotsugu Yamamoto, and Masatoshi Ishikawa)

2012 SI2012 Best Presentation Award (Naoto Kouda, Yousuke Suzuki, Aigou Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo)

2010 SI2010 Best Presentation Award (Kazuki Terada, Hiroaki Hasegawa, Naoto Kouda, Yousuke Suzuki, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo)

- SI2010 Best Presentation Award (Hiroaki Hasegawa, Yu Mukoyama, Yousuke Suzuki, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo)
- SI2009 Best Presentation Award (Seiichi Teshigawara, Satoru Shimizu, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo)

2008 SI2008 Best Presentation Award (Yoshitomo Mizoguchi, Kenjiro Tadakuma, Aigou Ming, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo)

2006 SI2006 Best Presentation Award (Noriatsu Furukawa, Taku Senoo, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa)

- SI2006 Best Presentation Award (Yuji Yamakawa, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, and Makoto Shimojo)

2005 SI2005 Best Session Presentation Award (Hiromasa Oku, Theodorus, Koichi Hashimoto, and Masatoshi Ishikawa)

2004 SI2004 Best Session Presentation Award (Daisuke Shiokata, Akio Namiki, and Masatoshi Ishikawa)

研究室が協力した作品の受賞（2件）／ Awards to Related Persons (2)

2018年 Best Animated Music Videos, 25. Internationale Trickfilm-Festival Stuttgart（Nobumichi Asai, Eiji Tanigawa）

- 第21回文化庁メディア芸術祭アート部門審査委員会推薦作品選定（浅井宣道, 谷川英司, Aya Bambi）

2018 Best Animated Music Videos, 25. Internationale Trickfilm-Festival Stuttgart (Nobumichi Asai, and Eiji Tanigawa)

- Recommended Work by Review Committee, Art Division of Japan Media Arts Festival (Nobumichi Asai, Eiji Tanigawa, and Aya Bambi)

学内（9件）／ University of Tokyo (9)

情報理工学系研究科 研究科長賞
2022年 システム情報学専攻 博士課程（安井雅彦）
2019年 システム情報学専攻 博士課程（田畑智志）
2017年 システム情報学専攻 博士課程（宮下令央）
　　- システム情報学専攻 修士課程（吉田貴寿）
2016年 システム情報学専攻 修士課程（安井雅彦）
2014年 創造情報学専攻 博士課程（黄守仁）
2013年 創造情報学専攻 修士課程（ダニエル ヘフェルナン）
2011年 システム情報学専攻 博士課程（山川雄司）
2008年 創造情報学専攻 修士課程（寺嶋一浩）

Dean's Award, Graduate School of Information Science and Technology
2022 Department of Information Physics and Computing, Doctor Course (Masahiko Yasui)
2019 Department of Information Physics and Computing, Doctor Course (Satoshi Tabata)
2017 Department of Information Physics and Computing, Doctor Course (Leo Miyashita)
　- Department of Information Physics and Computing, Master Course (Takatoshi Yoshida)
2016 Department of Information Physics and Computing, Master Course (Masahiko Yasui)
2014 Department of Creative Informatics, Doctor Course (Shouren Huang)
2013 Department of Creative Informatics, Master Course (Daniel Heffernan)
2011 Department of Information Physics and Computing, Doctor Course (Yuji Yamakawa)
2008 Department of Creative Informatics, Master Course (Kazuhiro Terajima)

10. メンバー及び所在地 / 連絡先
Members/Affiliation and Location



メンバー Members

教授	石川 正俊	Professor	Masatoshi Ishikawa
准教授	早川 智彦	Associate Professor	Tomohiko Hayakawa
准教授	宮下 令央	Associate Professor	Leo Miyashita
講師	黄 守仁	Junior Associate Professor	Shouren Huang
講師	末石 智大	Junior Associate Professor	Tomohiro Sueishi
助教	田畑 智志	Assistant Professor	Satoshi Tabata
客員研究員	熊澤 金也 胡 志強	Intellectual Property Producer	Kinya Kumazawa Zhiqiang Hu
技術者	望戸 雄史 蛭間 友香 村上 健一	Engineer	Yushi Moko Yuka Hiruma Kenichi Murakami
理科大 プロジェクトメンバ	栃岡 陽麻里 三野 綾子	Project Member	Himari Tochioka Ayako Mino

プロジェクトメンバ
山川 雄司（東大情報学環 准教授）
平野 正浩（東大生研 助教）
金 賢梧（東大生研 特任助教）

Project Member (University of Tokyo)
Yuji Yamakawa
(Associate Professor, Interfaculty Initiative in Information Studies)
Masahiro Hirano
(Assistant Professor/Research Associate, Institute of Industrial Science)
Hyuno Kim
(Project Assistant Professor / Project Research Associate, Institute of Industrial Science)

事務
佐久間 淳， 坂本 麗子， 小黒 恵美，
貝沼 由布， 重森 逸子

Office staff
Atsushi Sakuma, Reiko Sakamoto, Emi Oguro,
Yufu Kainuma, Itsuko Shigemori



石川 グループ 研究室 Ishikawa Group Laboratory

東京理科大学 研究推進機構 総合研究院
Research Institute for Science & Technology, Tokyo University of Science
E-Mail：contact@ishikawa-vision.org

居室及び郵便物宛先

学長室（石川）
東京理科大学 神楽坂キャンパス 学長室
President's Office (Ishikawa)
Kagurazaka Campus
Tokyo University of Science

郵便物宛先/Address
〒162-8601 東京都新宿区神楽坂1-3
1-3 Kagurazaka, Shinjuku-ku, Tokyo 162-8601, Japan

研究室（早川、宮下、黄、末石、田畑、胡、望戸、蛭間、村上、栃岡、三野、佐久間）
東京理科大学 葛飾キャンパス 第1研究棟４階 石川グループ研究室
Laboratory (Hayakawa, Miyashita, Huang, Sueishi, Tabata, Hu, Moko, Hiruma, Murakami, Tochioka, Mino, Sakuma)
Katsushika Campus
Tokyo University of Science
Tel: 03-5876-1697

郵便物宛先/Address
〒125-8585 東京都葛飾区新宿6-3-1 東京理科大学 第1研究棟4階 総合研究院 石川グループ研究室
6-3-1 Niijuku, Katsushika-ku, Tokyo 125-8585, Japan.

事務室（熊澤、坂本、小黒、貝沼、重森）
飯田橋ラムラ セントラルプラザ２階 東京理科大学 インキュベーションルーム８
Office (Kumazawa, Sakamoto, Oguro, Kainuma, Shigemori)
Iidabashi RAMLA Central Plaza 2F Incubation Room 8
Tokyo University of Science
Tel: 03-5227-6267

郵便物宛先/Address
〒102-0072 東京都千代田区飯田橋4-10-1 セントラルプラザ2階
インキュベーションルーム8 石川グループ研究室
4-10-1 Iidabashi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0072, Japan.

知能システムにおける認識と行動　2026
Recognition and Behavior in Smart Systems 2026

石川グループ研究室 研究成果集
Researches in Ishikawa Group Laboratory

令和8年4月20日 (2026.4.20)　　発行 / edition

編者 / editor　石川グループ研究室 / Ishikawa Group Laboratory

発行者　石川 正俊　　publisher　Masatoshi Ishikawa

〒125-8585 東京都葛飾区新宿6-3-1
東京理科大学　第1研究棟4階　総合研究院　石川グループ研究室
Ishikawa Group Laboratory,
Research Institute for Science & Technology,
Tokyo University of Science, Niijuku 6-3-1, Katsushika-ku, Tokyo 125-8585, Japan.

本書に関する情報等は当研究室Webサイトをご参照下さい.
http://ishikawa-vision.org/index-j.html（日本語）
Please visit the web site of our laboratory to get related information on this book.
http://ishikawa-vision.org/index-e.html (English)

本書の著作権は石川グループ研究室が有します.
© 2026 Ishikawa Group Laboratory All Rights Reserved.

そのままプリントすることは構いませんが、著作権法上の例外を除き、変更、改変、
加工、削除、部分利用等は、認められておりません.
You can print out this without change. You cannot alter, edit, delete, add, partially
use contents of this booklet with some exceptions in the Copyright Act .

URL: https://ishikawa-vision.org/
YouTube: https://www.youtube.com/IshikawaLab
Facebook(日本語): https://www.facebook.com/IshikawaLab
Facebook(English): https://www.facebook.com/IshikawaLaboratory


Ishikawa Group Lab
Tokyo University of Science