石川妹尾研究室
Researches in Ishikawa Senoo Laboratory
研究成果集



System Vision Design

Dynamic Vision System





Sensor Fusion



Active Perception

知能システムにおける認識と行動

Recognition and Behavior in Smart Systems

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　動的補償ロボットによる高精度ピックアンドプレース・・・・・・・・・・・・ 4
Accurate pick-and-place under uncertainties by a dynamic compensation robot

2.2　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 ・・・ 4
Active Assistant Robot - human robot cooperation based on a new high-speed vision

2.3　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 ・・・・・・・・ 5
Dynamic Compensation Robot with a Newly Developed High-speed Vision Chip

2.4　産業用ロボットを変革する Dynamic Compensation（動的補償）・・・・・・・ 5
Dynamic Compensation - Toward the Next-Generation Industrial Robot

2.5　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・・・・ 6
ACHIRES: Improved Running Taking Dynamically Unstable
Forward-Bent Posture Achieved with High-Speed Vision

2.6　高速ビジュアルフィードバックを用いた高速二足走行　・・・・・・・・・・ 7
High Speed Bipedal Robot Running Using High Speed Visual Feedback

2.7　滑り摩擦非対称性を利用した動的２脚移動　・・・・・・・・・・・・・・・ 7
Dynamic Horizontal Movement of a Bipedal Robot Using Frictional Asymmetry

2.8　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）・・・・・・ 8
Janken (rock-paper-scissors) robot with 100% winning rate
(human-machine cooperation system)

2.9　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　・・・・・・ 9
Robotic Pitching by Rolling Ball on Fingers for a Randomly Located Target

2.10　野球ロボット：投げる、見る、打つ、走る、捕る ・・・・・・・・・・・・・10
Baseball Robots: Throwing, Tracking, Batting, Running, Catching

2.11　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　・・・・・・11
Light-weight Ball Catching with High-speed Visual Feedback

2.12　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　・・・・・・11
Analysis of Rolling Manipulation for Breaking Ball Throwing with Robot Hand-Arm

2.13　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・・・・・12
High-speed and High-precision Robotic Hand for Micromanipulation

2.14　軽量高速多指ハンドシステム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・12
Lightweight High-Speed Multifingered Hand System

2.15　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・・・・・・13
Rubik's Cube handling using a high-speed multi-fingerd hand and a high-speed vision system

2.16　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・13
Screwing nut with high-speed robot hand using high-speed visual feedback

2.17　ロボットハンドを用いた糸・ロータ系の回転操作　・・・・・・・・・・・・14
Manipulation of Thread-Rotor Object by a Robotic hand

2.18　高速多指ハンドを用いたケーブル・コネクタの配線操作・・・・・・・・・・14
Manipulation of cable connector with a High-speed Robot Arm

2.19　高速運動中の微小物体把持　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・15
Catching a small object in high-speed motion

2.20　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　・・15
Winding Manipulator Based on High-speed Visual Feedback Control

2.21　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　・・・・・・・16
Manipulation of Flexible Arm using Shape Information with High-speed Vision

2.22　ロボットアームによるムチの音速マニピュレーション・・・・・・・・・・・16
Sonic-speed Manipulation of a Bull Whip with a High-speed Robot Arm

2.23　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・・・・・17
Dynamic Folding of a Cloth using Dual High-speed Multifingered Hands and Sliders

2.24 高速アームを用いた動的な線状柔軟物体の操り ・・・・・・・・・・・・・・ 17
Dynamic Manipulation of a Linear Flexible Object with a High-speed Robot Arm
2.25 多関節マニピュレータの弾塑性変形制御・・・・・・・・・・・・・・・・・ 18
Elasto-plastic Deformation Control of a Multijoint Manipulator
2.26 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 ・・・・・ 19
Plastic Behavior Generation of a Manipulator by Impedance Control
2.27 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・ 19
Visual Shock Absorber with Anti-rebound Property Based on Maxwell Model
2.28 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 ・・・・・・・・・・ 20
Human Cooperative Task with Multiple Degree of Freedom Using a High-speed Hand System
2.29 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 ・・・・・・・・ 20
Assistive System for High-speed and High-accuracy Position Control
of a Human Hand Using High-speed Vision and Actuator
2.30 人間のマイクロ操作のためのロボットシステム ・・・・・・・・・・・・・・ 20
Human-Robot Cooperation for Micrometer-Order Manipulation Using High-Speed Vision
2.31 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 ・・・・・・・・・ 21
Human-Robot Cooperative System using a High-speed Vision System and a Robot Hand
2.32 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 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 22
Telemanipulation System Using High-Speed Vision and High-Speed Multifingered Robot Hand
2.33 高速視触覚センサネットワークシステムの開発 ・・・・・・・・・・・・・・ 22
High-speed Visual and Tactile Sensors Network System
2.34 ネットワーク型高速ビジョンシステムのフレーム同期・・・・・・・・・・・ 23
Frame Synchronization for Networked High-Speed Vision Systems
2.35 高速ビジョンのためのネットワーク構築・・・・・・・・・・・・・・・・・ 24
Network System for High-Speed Vision
2.36 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 ・・・・・・・・・・ 24
Collision-avoidance of High Speed Mobility using Environmental High-speed Vision
2.37 高速マニピュレーションシステム ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 25
Dynamic Grasping Using High-speed Visual Feedback
2.38 高速多指ハンドを用いた柔軟紐の片手結び・・・・・・・・・・・・・・・・ 25
One Handed Knotting of flexible rope using a High-speed Multifingered Hand
2.39 高速打撃動作におけるボール制御 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 26
Ball Control in High-speed Batting Motion
2.40 高速多指ハンドを用いたダイナミックリグラスピング・・・・・・・・・・・ 26
Dynamic Regrasping Using a High-speed Multifingered Hand and a High-speed Vision System
2.41 高速多指ハンドを用いた高速ペン回し・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 27
Dynamic Pen Spinning Using a High-speed Multifingered Hand with High-speed Tactile Sensor
2.42 高速多指ハンドを用いた動的保持動作・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 28
Dynamic Holding Using a High-speed Multifingered Hand
2.43 動的補償に基づく高速、高精度ピッキング作業 ・・・・・・・・・・・・・・ 28
High-speed and accurate picking task based on dynamic compensation concept
2.44 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・・・・・ 29
Card Throwing and Shooting by a High-speed Multifingered Hand and a Vision System
2.45 高速アームを用いた新体操リボンの動的操り ・・・・・・・・・・・・・・・ 29
Dynamic Manipulation of a Rhythmic Gymnastics Ribbon with a High-speed Robot Arm
2.46 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 30
Fast peg-and-hole alignment using visual compliance
2.47 高速多指ハンドによるカードの変形を利用した操り・・・・・・・・・・・・ 30
Card Manipulation using Card Deformation by a High-speed Multifingered Hand
2.48 高速多指ハンドを用いた高速ピザ回し動作・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
Rotational Holding of Thin Circular Flexible Object using a Multifingered Hand
2.49 スキル統合に基づく結び目の生成 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31
Knotting manipulation based on skill synthesis
2.50 波動伝播に基づく高速スローイング動作・・・・・・・・・・・・・・・・・ 32
High-speed Throwing Motion Based on Wave Propagation
2.51 多関節マニピュレータを用いた高速打撃動作 ・・・・・・・・・・・・・・・ 32
High-Speed Batting Using a Multi-Jointed Manipulator
2.52 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 ・・・・・・・・・・ 33
Soft Catching with a soft finger
2.53 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・・・・・・・・・・・・ 33
Target Tracking Behind Occlusions Using a Networked High-Speed Vision System
2.54 空中物体の３次元形状復元・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34
3D Shape Reconstruction of an Object in the Air
2.55 ハンドアイビジュアルサーボによる高速トラッキング・・・・・・・・・・・ 34
High-speed Tracking by Hand-eye Configured Visual Servoing
with Cylindrical Coordinate Approach
2.56 反転動作を用いた高速キャッチング ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 35
High-speed Catching Based on Inverse Motion Approach
2.57 ネットワーク型高速ビジョンによるトラッキング ・・・・・・・・・・・・・ 36
Object Tracking Using Networked High-Speed Vision

2.58　重心加速度空間における滑走動作の２次元解析 ・・・・・・・・・・・・・ 36
Planar Sliding Analysis of a Biped Robot in Centroid Acceleration Space
2.59　「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 ・・・・・・・ 37
Throwing and Batting Robot System
2.60　高速キャッチングシステム（日本科学未来館常設展示)・・・・・・・・・・ 37
High-speed Catching System
(exhibited in National Museum of Emerging Science and Innovation since 2005)
2.61　高速多指ハンド , 高速視覚を用いた道具操り ・・・・・・・・・・・・・・ 38
Tool Manipulation by a Multifingered Hand Using a High-speed Vision
2.62　高速多指ハンドを用いたダイナミックキャッチング・・・・・・・・・・・・ 38
Dynamic Active Catching Using High-speed Multifingered Hand
2.63　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 ・・・・・・・ 39
Spatial Resolution Improvement Method using High Speed Active Vision System
2.64　多指ハンドによる能動的３次元センシング・・・・・・・・・・・・・・・ 39
Active 3D sensing using a multifingered hand
2.65　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・・・・ 40
CPV: Column Parallel Vision System
2.66　人間－ロボット共存のための衝突回避行動 ・・・・・・・・・・・・・・・ 41
Pixel-parallel collision detection for safe human-robot-coexistence
2.67　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・ 41
A system for tactile sense through human sensory nerve fiber

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ー ・・・・・・ 44
Dynamorph Lens (DML): A High-Speed Liquid Lens with High Resolution
3.2　高速フォーカスビジョン・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45
High-Speed Focusing Vision
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・・・・・・・ 46
High-Speed Variable-Focus Optical System for Extended Depth of Field
3.4　大口径可変焦点レンズ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47
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・・・・・・・・・・・ 48
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・・・・・・・・・・・ 49
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 ・・・・・・・・・・・・・・ 50
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・・・・・・・・・・・・・ 51
Variable Focus Microlens Array Based On Dielectric Elastomer Actuator
3.9　3D 拡張現実ヘッドアップディスプレイ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 52
3D Augmented Reality Head-Up-Display
3.10　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）・・・・・・・ 53
Saccade Mirror: High-speed Gaze Control Device Using Rotational Mirrors
3.11　高速飛翔体の映像計測 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 54
Stationary Observation System for High-speed Flying Objects
3.12　1ms オートパン・チルト ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 55
1ms Auto Pan-Tilt
3.13　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 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 56
Visual and Tactile Cues for High-Speed Interaction
3.14　るみぺん（動的対象へのプロジェクションマッピング)・・・・・・・・・・ 57
Lumipen: Projection Mapping on a Moving Object
3.15　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）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 57
Lumipen 2: Robust Tracking for Dynamic Projection Mapping
3.16　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 ・・・・・・・・・ 58
Information Display with an Afterimage by Laser Projection Moving Object
3.17　VibroTracker: 振動触覚共有システム・・・・・・・・・・・・・・・・・ 59
VibroTracker
3.18　トラッキング BOS: 高速飛翔体の衝撃波画像計測 ・・・・・・・・・・・・ 60
Tracking BOS: shock-wave image measurement of high-speed flying objects
3.19　1ms 対象輪郭トラッキング ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 61
Target Tracking
3.20　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・・・・・・・・ 62
Targeted modeling for dynamic background subtraction in high-speed sequences
3.21　ライトフィールドの投影による高速距離画像計測・・・・・・・・・・・・ 64
High-Speed Real-time Range Finding by Projecting Structured Light Field
3.22　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 ・・・・・・ 64
FTIR based calibration of Airborne Ultrasound Tactile Display and camera system

目次 Index

3.23 サッカードミラーの校正手法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 65
Saccade Mirror calibration
3.24 フラクタルを利用したカメラ校正パターン・・・・・・・・・・・・・・・ 66
Fractal-based camera calibration pattern
3.25 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・・・・・・・・・ 67
High-Speed 3D Tracking of Chlamydomonas with Phase-Contrast Microscope
3.26 マイクロビジュアルフィードバック（MVF）システム・・・・・・・・・・・ 68
Microscopic Visual Feedback (MVF) System
3.27 人間と微生物との実世界インタラクション・・・・・・・・・・・・・・・ 69
Real-World-Oriented Interaction between Humans and Microorganisms
3.28 高速オートフォーカスによる高速走査型顕微鏡 ・・・・・・・・・・・・・ 70
High-Speed Scanning Microscope by Depth From Diffraction (DFDi) Method
3.29 ホヤ精子の高速トラッキング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
High-Speed Tracking of Ascidian Spermatozoa
3.30 微生物の３次元トラッキング・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
Three-dimensional tracking of a motile microorganism
3.31 微生物電気走性の継続観察システム・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 72
Single-Cell Level Continuous Observation System for Microorganism Galvanotaxis
3.32 微生物トラッキングシステム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 72
Microorganism Tracking System
3.33 画像処理を用いた微生物の擬似静止観察・・・・・・・・・・・・・・・・ 73
Quasi Stationary Observation of Dynamic Microorganism
3.34 DFDi による細胞群の高速奥行き位置推定 ・・・・・・・・・・・・・・・ 73
High-Speed DFDi Algorithm for Multiple Cells
3.35 細胞の高速オートフォーカス（DFDi）・・・・・・・・・・・・・・・・・ 74
High-Speed Auto-Focusing of A Cell - Depth From Diffraction (DFDi)
3.36 モバイル顕微鏡システム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 75
Mobile microscope system
3.37 微生物群によるオーガナイズドバイオモジュール・・・・・・・・・・・・ 75
Organized Bio-Modules (OBM) using Microorganisms
3.38 1-kHz 高速可変焦点レンズ（HFL）・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 76
Variable-Focus Lens with 1-kHz Bandwidth
3.39 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 ・・・・・・・ 77
High-Speed Snake Algorithm For Tracking A Microorganism
3.40 ３次元空間内での微生物運動制御 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
Motion Control of Microorganism in 3-D Space using High-Speed Tracking
3.41 微生物のセンシング情報の可視化 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 78
Visualization and Decoding of External Stimuli Perceived by Living Microorganisms
3.42 ゾウリムシの非ホロノミック性と軌道計画・・・・・・・・・・・・・・・ 79
Nonholonomic Properties in Paramecium Galvanotaxis and
Path Planning of Paramecium Cells
3.43 微生物電気走性のダイナミクスモデル・・・・・・・・・・・・・・・・・ 80
Dynamics Model of Paramecium Galvanotaxis for Microrobotic Application
3.44 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・・・・・ 80
A Current-Based Electrostimulation Device for the Motion Control of Paramecium Cells
3.45 高速トラッキングによる微生物の運動制御・・・・・・・・・・・・・・・ 81
Microrobotic Visual Control of Motile Cells using High-Speed Tracking System
3.46 スポーツ中継等で迫力ある映像の撮影を実現する
高速・高精細追跡撮像システム・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 82
High Quality Video-shooting System for Dynamic Sport Games by Super-speed Tracking

4. システムビジョンデザイン / System Vision Design

4.1 空中像形成技術を用いた遮蔽に頑健な３次元計測 ・・・・・・・・・・・・ 86
Occlusion-Robust 3D Sensing Using Aerial Imaging
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 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・・・・・・・・・ 88
3D Motion Sensing of any Object by Using Multiplexed Lasers
4.4 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・・・・ 88
DynaFlash: High-speed 8-bit image projector at 1,000fps with 3ms delay
4.5 BFS-Auto: 高速・高精細書籍電子化システム ・・・・・・・・・・・・・ 90
BFS-Auto: High Speed & High Definition Book Scanner
4.6 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・・・・・・・・・ 91
Real-time 3D Page Tracking and Book Status Recognition
4.7 高速書籍電子化のための高速書籍自動めくり機 ・・・・・・・・・・・・ 91
Automatic page turner machine for Book Flipping Scanning
4.8 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 ・・ 92
High-speed and High-definition Document Digitalization System
based on Adaptive Scanning using Real-time 3D Sensing

目次 Index

4.9 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 ・・・・・・・・・ 93
Document Digitization and its Quality Improvement using a Multi-camera Array

4.10 複数視点による高速撮像を行う書籍電子化システム・・・・・・・・・・・・ 93
Digitization of Deformed Documents using a High-speed Multi-camera Array

4.11 BFS-Solo: 単眼動画像を用いた高速書籍電子化システム・・・・・・・・・・ 94
BFS-Solo: High Speed Book Digitization using Monocular Video

4.12 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 ・・・・・・・・ 94
Reconstruction of 3D Surface and Restoration of Flat document Image
from Monocular Image Sequence

4.13 複雑変形紙面の高精度展開補正手法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 95
High-accuracy rectification technique of deformed document image
using Tiled Rectangle Fragments

4.14 3 次元形状の事前知識を用いた書籍画像展開補正 ・・・・・・・・・・・・ 96
Document Image Rectification using Advance Knowledge of 3D Deformation

4.15 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 ・・・・・・・・・ 96
High-speed roll camera: High-speed optical image rotator

4.16 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・・・・・・・・・・・・・・・・ 97
Dynamic projection mapping onto deforming non-rigid surface using a high-speed projector

4.17 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 ・・・・・・・・ 98
High-resolution Shape and Color Integration of Dynamic Rigid Body
Using 3D Motion Sensing System

4.18 代数的アルゴリズムと適応的照明を用いた高速 SVBRDF 計測・・・・・・・・ 99
Rapid SVBRDF Measurement by Algebraic Solution Based on Adaptive Illumination

4.19 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・・・・・・100
Sequential 3D reconstruction for a moving object based on time-series propagation
using high-speed cameras

4.20 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・・・・・・100
High-Resolution Surface Reconstruction based on Multi-level Implicit Surface
from Multiple Range Images

4.21 Deformable Dot Cluster Marker:
高速非剛体変形トラッキングのためのマーカ ・・・・・・・・・・・・・・・101
Deformable Dot Cluster Marker: Marker for high-speed non-rigid surface tracking

4.22 ZoeMatrope: マテリアルデザインのための実体ディスプレイ・・・・・・・・102
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・・・・・・・・・・・103
Phyxel: Realistic Display using Physical Objects with High-speed Spatially Pixelated Lighting

4.24 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・・・・・104
Vision Chip developed by Sony and Ishikawa Watanabe Laboratory of the University of Tokyo

4.25 曲率フローに基づく閉曲線ブレンディング・・・・・・・・・・・・・・・105
Rapid blending of closed curves based on curvature flow

4.26 TransMaterial: 高速ビジョン・プロジェクタに基づいた動的質感再現・・・・106
TransMaterial: Computational display of material appearance based on
dynamic projection mapping

4.27 モデルパラメータ間の分散を用いた適応的な BRDF 計測・・・・・・・・・108
Adaptive BRDF Measurement Method Using the Between-Model-Parameter Variance

4.28 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・・・・・・・・・・108
High-Speed Three-Dimensional Tracking of Non-Rigid Surface
for Dynamic Projection Mapping Using Multiple Cameras

4.29 DynaFlash v2 とポストリアリティ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・109
DynaFlash v2 and Post Reality

4.30 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 ・・・・・・110
3D Motion Sensing of any Object by Using Multiplexed Lasers

4.31 動的撮像制御を行うスタンドアロン高速ビジョン ・・・・・・・・・・・111
Stand Alone High-speed Vision System with Dynamic Capture Control

4.32 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 ・・・・・・・111
Fast Archiving System with Touch Interaction using Wearable High-speed Vision

4.33 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・・・・・・・・・・・112
Anywhere Surface Touch: utilizing any surface as an input area with a wearable device

4.34 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・113
Utilizing Real Space as Virtual Input Environment with High-Speed Sensing for Mobile Interface

4.35 空中を自由運動するカメラシステム ・・・・・・・・・・・・・・・・・113
VolVision: High-speed Capture in Unconstrained Camera Motion

4.36 超並列コプロセッサ搭載型高速ビジョンシステム ・・・・・・・・・・・114
High-speed Vision with Massively Parallel Coprocessors

4.37 多点瞬時解析プロセッサ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・114
Processor for High-speed Moment-based Analysis of Numerous Objects

4.38 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 ・・・・・・・・115
Synchronized Video: An Interface for Harmonizing Video with Body Movements

4.39 ウェアラブルカメラを用いた人間の歩行状態推定 ・・・・・・・・・・・116
Human Gait Estimation Using a Wearable Camera

4.40 運動／変形物体の高速リアルタイム３次元センシング・・・・・・・・・・ 116
Real-time Shape Measurement of a Moving/Deforming Object
4.41 高速リアルタイム粒子計測／流体計測 ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 117
Real-time Particle Measurement/Fluid Measurement
4.42 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・ 118
Finger Detection based on Data Fusion of Fish-eye Stereo Camera for 3D-Gesture Input Interface
4.43 小型機器操作に向けた多指位置姿勢の高速推定 ・・・・・・・・・・・・・ 118
High-Speed Estimation of Multi-finger Position and Pose for Input Interface of the Mobile Devices
4.44 ブックフリッピングスキャニング ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 119
Book Flipping Scanning
4.45 ブックフリッピングスキャニングのプロトタイプ ・・・・・・・・・・・・ 119
Proof-of-concept prototype for Book Flipping Scanning
4.46 携帯機器向け空中タイピングインターフェース ・・・・・・・・・・・・・ 120
In-air Typing Interface for Mobile Devices
4.47 可展面モデルを用いた非剛体変形の推定・・・・・・・・・・・・・・・・ 120
Estimation of Non-rigid Surface Deformation using Developable Surface Model
4.48 高速動画像を用いた日本語子音の機械読唇・・・・・・・・・・・・・・・ 121
Viseme Classi cation Using High-Frame-Rate Vision
4.49 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 ・・ 122
Real-time Motion Synchronization between Different Persons using Similarities of 3D Poses
4.50 小型機器操作に向けた多指位置姿勢の高速推定 ・・・・・・・・・・・・・ 122
High-Speed Estimation of Multi-finger Position and Pose for Input Interface of the Mobile Devices
4.51 スタンドアロン高速ビジョンシステム ・・・・・・・・・・・・・・・・・ 123
Standalone High-Speed Vision System
4.52 投げ上げカメラを用いた広範囲画像センシング ・・・・・・・・・・・・・ 124
Wide Range Image Sensing Using a Thrown-up Camera
4.53 画像モーメントセンサ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 124
Image-moment Sensor
4.54 ダイナミック回路を用いた 320×240 画素試作チップ・・・・・・・・・・ 124
320x240 Pixel Chip using Dynamic Logic Circuits
4.55 128×128 画素試作チップとセンサボード ・・・・・・・・・・・・・・・ 125
128x128 Pixel Chip and Small Sensor Board
4.56 64×64 画素を搭載したプログラマブルなビジョンチップ・・・・・・・・・ 125
A Programmable Vision Chip with 64x64 pixels
4.57 高速対象追跡ビジョンチップ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 126
High Speed Target Tracking Vision Chip
4.58 CPV: 列並列ビジョンシステム ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 126
CPV: Column Parallel Vision System
4.59 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・・・・・・・・・ 127
Surface Image Synthesis of Spinning Cans
4.60 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・・・・・・・・・ 127
High-S/N Imaging of a Moving Object using a High-frame-rate Camera
4.61 ズーミングタッチパネル ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 127
Zooming Touch Panel
4.62 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・・・・ 128
High-resolution Shape Reconstruction from Multiple Range Images
4.63 事前知識を用いたステレオビジョンの高性能化 ・・・・・・・・・・・・・ 128
Stereo 3D Reconstruction using Prior Knowledge of Indoor Scenes
4.64 Analysis-by-Synthesis 法を用いた三次元物体姿勢推定・・・・・・・・・ 129
3D Object Pose Estimation using an Analysis-by-Synthesis Method
4.65 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・ 130
Utilizing Real Space as Virtual Input Environment with High-Speed Sensing for Mobile Interface

5. アクティブパーセプション / Active Perception

5.1 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 ・・・・・・・・・・・・・ 132
The Deformable Workspace: a Membrane between Real and Virtual Space
5.2 クロノスプロジェクタ：時空間を操るディスプレイ・・・・・・・・・・・・ 132
The Khronos Projector
5.3 Light Arrays: 光を用いた身体拡張・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 133
Light Arrays
5.4 スコアライト：レーザーを用いた人工的共感覚生成楽器 ・・・・・・・・・ 134
scoreLight: laser-based artificial synesthesia instrument
5.5 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 ・・・・・・・ 136
Gesture tracking with the Smart Laser Scanner
5.6 The Laser Aura: 感情表現を人工補完するシステム ・・・・・・・・・・・ 136
The Laser Aura: a prosthesis for emotional expression
5.7 記憶の箱 / 知識の立体素 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 137
Memory Blocks & Knowledge Voxels

5.8　身体表面の入力・出力デバイス化の提案・・・・・・・・・・・・・・・・・ 138
Skin Games
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 ～・・・・・・・・・・・・ 138
AIRR Tablet: Floating Display with High-Speed Gesture UI
- Interactive Display in 3D Free Space -
5.10　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・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 140
SENSECASE: Crafting Deformable Interfaces to Physically Augment Smartphones
5.11　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 ・・・・・・・・・ 141
High Speed Gesture UI for Three Dimensional Display zSpace
5.12　高速ジェスチャー UI：低レイテンシーと自己受容性 ・・・・・・・・・・・・ 142
High Speed Gesture UI: Ultra Low latency with Proprioception
5.13　画素単位ブラー除去イメージング ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 143
Pixel-wise Deblurring Imaging (PDI)
5.14　高速道路における点検の高度化に関する研究 ・・・・・・・・・・・・・・・ 143
Research on Advanced Inspection on Highways
5.15　電気刺激を用いた運動スキル習得支援システム ・・・・・・・・・・・・・・ 144
Learning Supportive System to Electrical Stimulation
5.16　３次元データの能動的表示 (Volume Slicing Display)・・・・・・・・・・・ 146
The Deformable Workspace: a Membrane between Real and Virtual Space
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 ・・・・・・・・・・・・・・・ 147
A "sensing display" based on a cameraless Smart Laser Projector
5.18　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・・・・・・・ 148
The Haptic Radar / Extended Skin Project
5.19　スマートフォンの拡張操作を行う、
変形可能物体の一般的な製作手法に関する研究 ・・・・・・・・・・・・・・・ 149
Generic Method for Crafting Deformable Interfaces to Physically Augment Smartphones
5.20　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・・・・ 150
Invoked Computing: spatial audio and video AR invoked through miming
5.21　Virtual Haptic Radar: 存在しないものを感じるシステム ・・・・・・・・・ 150
Virtual Haptic Radar: touching ghosts
5.22　箱の中の自己 (boxedEgo): 自分をのぞき見るメディアアート・・・・・・・・ 151
boxedEgo: an experimental stereoscopic & autoscopic display
5.23　パララックス・オーギュメンティッド・ディスプレー・・・・・・・・・・・ 152
Parallax Augmented Desktop (PAD)
5.24　テレピンポン：IT を用いたワームホールの検証実験・・・・・・・・・・・・ 153
Tele-ping pong: proof-of-principle of an IT-engineered wormhole
5.25　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 ・・・・ 154
Laserinne
5.26　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・・・・・・・ 155
Sticky Light: interacting with a beam of pure light
5.27　触覚フィードバックを用いた引き込み式３次元マウス・・・・・・・・・・・ 156
3D retractable mouse with haptic feedback
5.28　Earlids: 筋電センシングによる聴覚情報制御 ・・・・・・・・・・・・・・・ 157
Earlids: voluntary control of auditory gain by contraction of mastication muscles
5.29　ハプティカー：ハプティックレーダーの自動車への応用・・・・・・・・・・ 158
HaptiKar
5.30　ChAff: 韻律的な情報によるリアルタイム会話分析・・・・・・・・・・・・ 159
ChAff
5.31　Roboethics: ロボット倫理学・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 159
Roboethics
5.32　メタ倫理学 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 160
Dimensional Metaethics
5.33　Boo-Hooray: 倫理に関する記述の識別，分析手法・・・・・・・・・・・・・ 160
Boo-Hooray
5.34　努力してしまうインターフェイス：マウスチェア ・・・・・・・・・・・・・ 160
A restless interface: the Mouse Chair

6.　基本概念・用語 / Basic Concept and Technical Terms
センサフュージョン / Sensor Fusion ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 164
ダイナミックビジョンシステム / Dynamic Vision System ・・・・・・・・・・・ 173
システムビジョンデザイン / System Vision Design・・・・・・・・・・・・・・ 177
アクティブパーセプション / Active Perception ・・・・・・・・・・・・・・・ 186

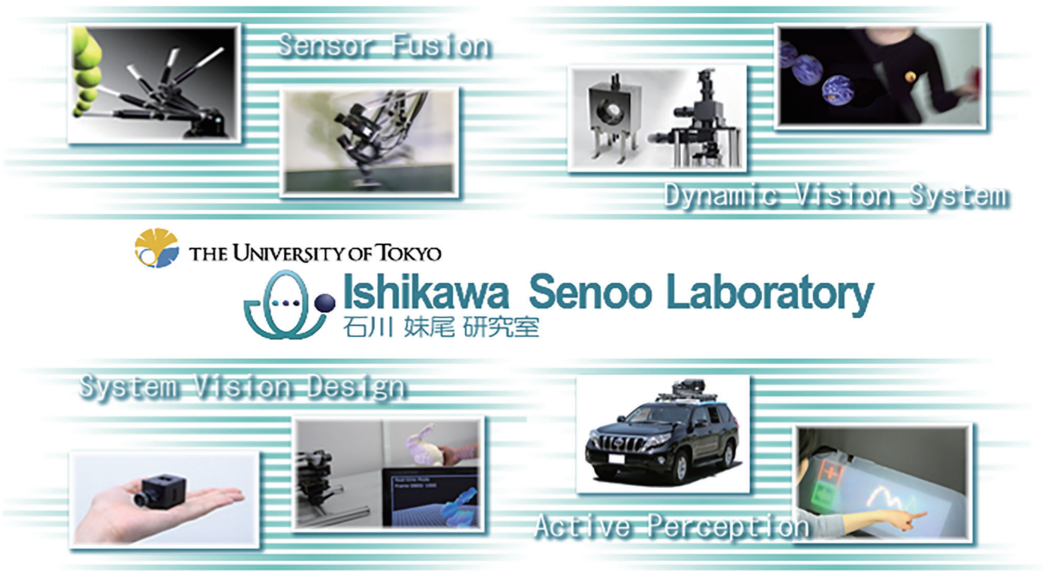
7. 論文 / Papers
センサフュージョン / Sensor Fusion ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 192
ダイナミックビジョンシステム / Dynamic Vision System ・・・・・・・・・・・ 211
システムビジョンデザイン / System Vision Design・・・・・・・・・・・・・・ 218
アクティブパーセプション / Active Perception ・・・・・・・・・・・・・・・ 233
光コンピューティング / Optics in Computing・・・・・・・・・・・・・・・・ 237
その他 / Others ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 243

8. 動画 / Movies
YouTube ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 246
研究用標準高速動画 /
Services for High-speed Image Processing - Videos ・・・・・・・・・ 250

9. 受章・受賞 / Awards ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 251

10. メンバー及び所在地 / 連絡先
Members/Affiliation and Location
メンバー / Members ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 260
所在地／連絡先 / Affiliation and Location・・・・・・・・・・・・・・・・ 261
アクセス / Access ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 262

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. 高速画像処理並びに新しいアクティブ光学デバイス・システムを用いて高速撮像制御を実現する ダイナミック ビジョン システム に関する研究，特に，焦点及びパン・チルト機能の高速制御並びにその応用としての高速運動する対象に対する高速撮像制御システムの実現，
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 sensors and tactile sensors and the development of new tasks.
ii. Research on Dynamic Vision System for realizing high-speed imaging control using high-speed image processing and new active optical devices and systems. In particular, applications include high-speed control technology for focusing and pan/tilt, and the development of high-speed imaging control systems for high-speed moving targets.
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.

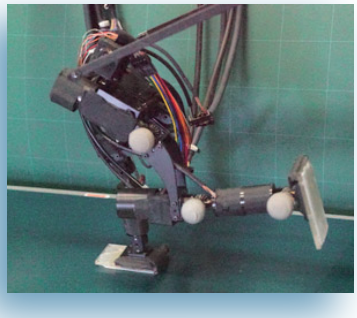
2. センサフュージョン Sensor Fusion

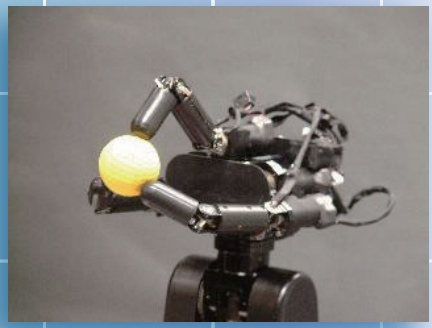
人間の脳は，従来から開発されてきたコンピュータとは異なり高い順応性を持つ．これは，脳が神経系からなる閉じた系ではなく，非常に多くの感覚器で外界からの情報を得て，多数の運動制御機能を用いて外界に働きかけるという開放系であり，外界との情報のやりとりを通じて適応能力や学習能力を高めていくことができるためである．このような感覚からの情報の流れは一つではなく，層状構造をもつ多数の神経細胞により相互に情報をやりとりしながら並列に処理される．結果として，調和のとれた柔軟性・信頼性の高い認識・行動機能を実現することができる．

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 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二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.

2.2 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.

2.3 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

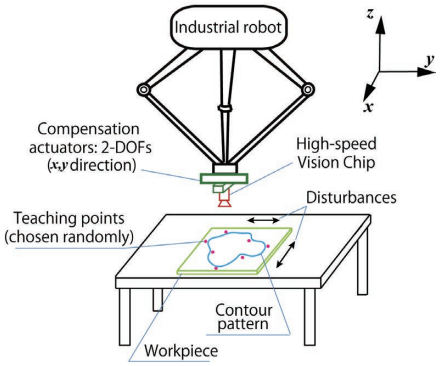
本研究では，二軸補償機構とソニーと東京大学石川渡辺研究室が共同で開発した 高速ビジョンチップにより，産業用ロボットに対して簡単な教示で，任意の二次元軌道に対する軌道トラッキングを高速高精度で行う．本手法は，coarse-to-fine戦略とした動的補償(Dynamic Compensation)に基づき，産業用ロボットの高速動作時におけるダイナミクスの不確定性および工具の微細変動など外部からの不確定要素に対するロバスト性を向上させることができる．提案する戦略の方針として，高速高精度軌道トラッキングタスクを以下二つのサブタスクに分け，並列で実行させる．

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.



2.4 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，カ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．

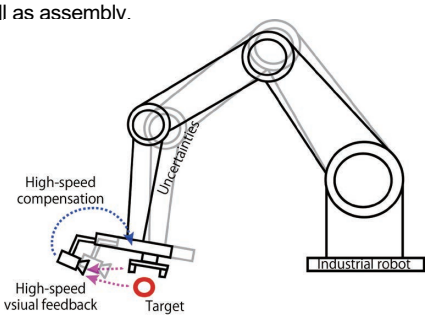
2) 高速高精度のロボットモジュール(高速アクチュエータおよび高速ビジョン)を産業用ロボットに搭載することにより，ローカルな高速ビジュアルフィードバックにより，上述べした不確定性に対する補償を行う．

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 assembly.



2.5 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

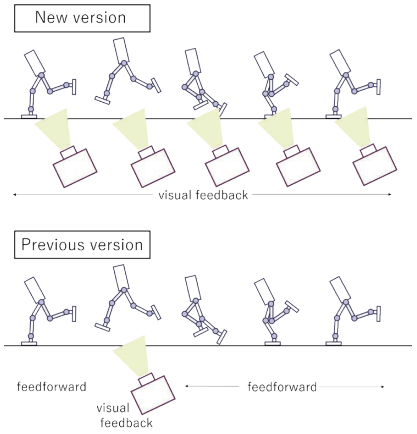
ハードウェアと制御手法の両方を刷新することで，人間を超えた機械システムの限界を追求することを目標に，高速ビジュアルフィードバックを用いた二足走行ロボットシステム"ACHIRES"(Actively Coordinated High-speed Image-processing Running Experiment System) を開発し，その第一ステップとして高速走行を実現しました．

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．

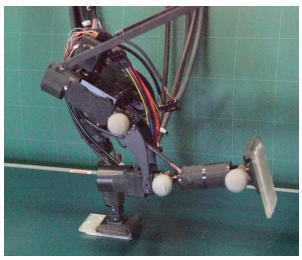
ACHIRESシステムは高出力軽量な二足ロボットと，それを外部から観測する高速ビジョンの組み合わせによって実現されています．これまでの制御手法では高速ビジョンによってリアルタイムに得られるロボットの姿勢の情報は，ロボットの両足が地面から離れている限られた期間にしか利用されていませんでした．本研究では高速ビジョンの情報を走行のすべての過程に導入することによって，人間のような前傾姿勢での走行を，より長い時間安定に継続することができるようになりました．

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.



2.6 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

ACHIRES 概要 ／ Summary



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．

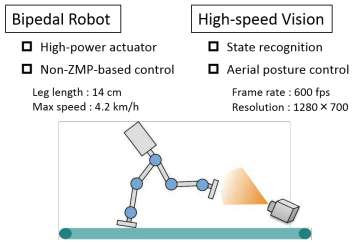
もう一つの要素技術は高速ビジョンで，今回は環境側に設置したカメラの画像に対して，1秒間に600枚の処理を行い，ロボットの状態・姿勢を高速に認識することにより，走行姿勢を安定に保つことを可能にしています．

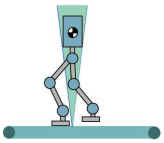
これらの要素技術を用いて，従来とはまったく違う方法によって高速走行を実現しています．従来の二足走行システムは，安定性が確保されたZMP規範の制御法を用いて，転倒しない姿勢の範囲で走行を実現していました．ACHIRESは，上述した２つの要素技術によって，不安定な姿勢でも転倒を回避するための瞬間的な反応動作が可能であることから，簡易な制御手法でより前傾した姿勢を取ることが可能となり，安定な高速走行を実現しています．今回は脚長14cmのロボットで，走行速度4.2km/hを実現しています．加えて，空中転回も実現しています．

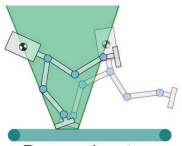
ACHIRESは，従来のロボットの動作速度を凌駕する運動性能と人間を超える高速の認識機能から実現したものと考えています．今回の成果は，勝率100%のじゃんけんロボットと同じ基盤技術を初めて脚ロボットに応用したもので，当研究室が目指している人間を超える能力を有するロボットの研究を加速するとともに，今後のロボット技術を飛躍的に拡大する可能性を示唆するものと考えています．

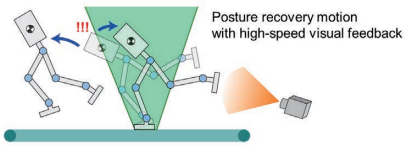
ACHIRES is composed of high-speed vision and high-speed actuators to achieve instantaneous recognition and behavior. The similar technologies are used in our Janken (Rock Paper Scissors) Robot. High-speed vision detects the state of the biped robot including the timing of landing at 600 fps. The biped 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

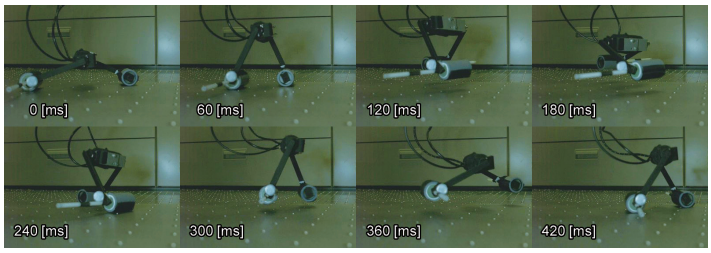

Proposed system



2.7 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.



2.8 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．

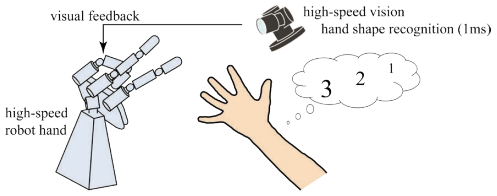
また，別の視点では，人間の眼や手を必要としていた労働集約型の工程は，自動化が困難あるいはコストが見合わないため，海外の工場立地が有利であったが，その工程を人間より高速に実現することにより，コスト面も含めて生産性を上げることが可能となる．ロボットのコストダウンが難しくなっている現在，視覚機能も含めたロボットの高速化により，工場の立地条件を根底から変え，日本の生産現場の空洞化に歯止めをかけることにより，日本に工場を戻すことを目標にしている．

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.

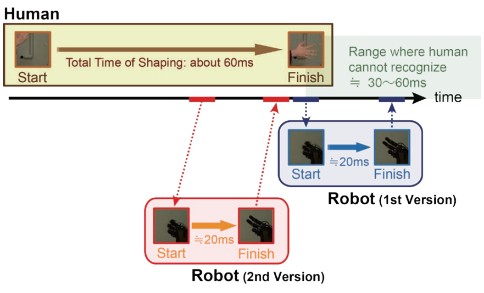
Considering from another point of view, locating factories oversea has been advantageous in labor-intensive process that requires human's eyes and hands because it is difficult to make the process automatic or it is not worth the cost. However, by realizing faster process than human's working speed, 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．

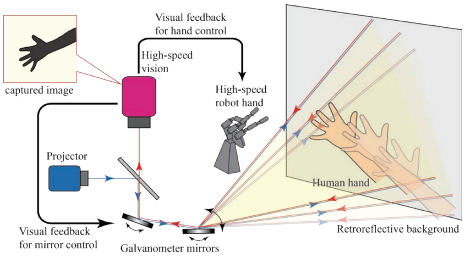
The second version of the janken (rock-paper-scissors) robot system with 100% winning rate has been developed. The robot realizes 100% winning rate by high speed recognition of high speed vision and high speed acuation of a robot hand. In the first version, a final shape of the robot hand is delayed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

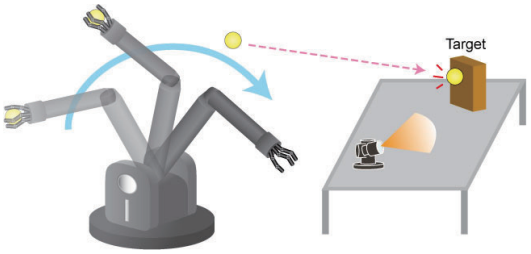
The name of this robot is "Janken (rock-paper-scissors) robot", and the abbreviated form is "Janken robot".

2.9　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.



2.10 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.

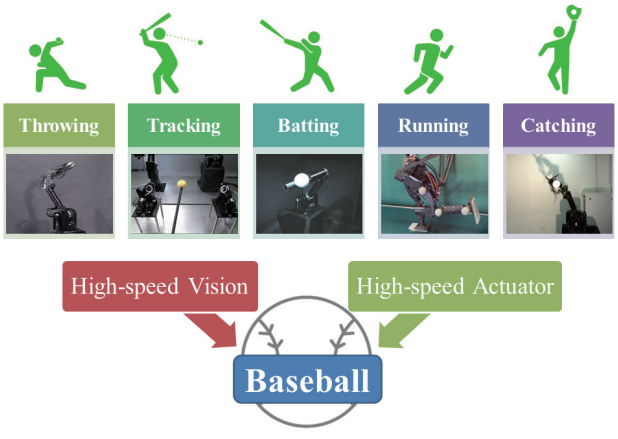
Throwing: This robot can throw a ball with high precision using its fingers, similarly to human throwing. To throw a high-speed ball, we proposed a strategy focused on the superposition of wave patterns based on the kinetic chain. This robot can throw the ball into the strike zone with a success rate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

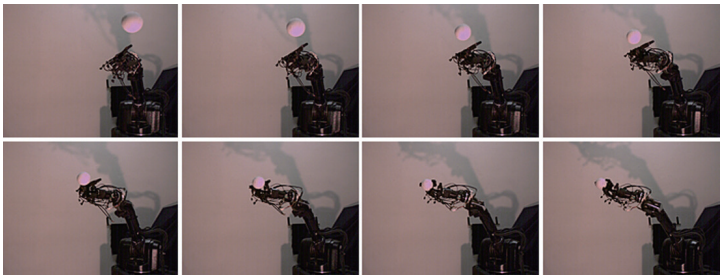
Catching: We developed two catching robots: One with a fixed hand, and one with a hand connecting with high-speed arm. Both use a high-speed hand that can open and close its fingers 10 times per second. These robots can catch a flying ball by controlling its manipulators in response to movements of the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



2.11 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.



2.12 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.

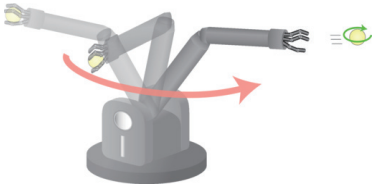


図1. 概要
Fig.1 Overview

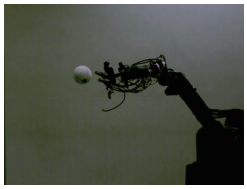


図2.(a) 投球動作 0[s]
Fig.2 (a) Throwing 0[s]

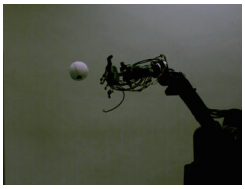


図2.(b) 投球動作 14[ms]
Fig.2 (b) Throwing 14[ms]

2.13 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。

石川妹尾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。

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.

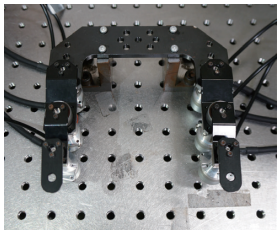


図 1. ハンド概観
Fig.1 The overview of the hand.

2.14 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．

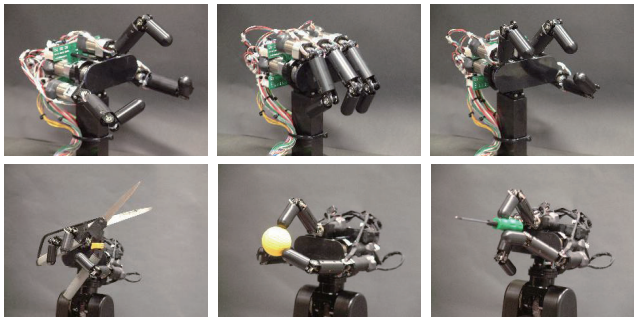
そこで我々の研究室では，機械システム並びに視覚システムの速度限界を追求し，超高速の領域で，人間と同様な目と手の協調動作を実現した．視覚システムとして，1msで汎用画像処理が実現可能なビジョンチップシステムを用い，機械システムとしてのロボットハンドには新たに開発した軽量・高トルクモータを用いることにより，機械システム限界に迫る速度(180度開閉を0.1秒で実行可能)を実現することに成功した．

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）

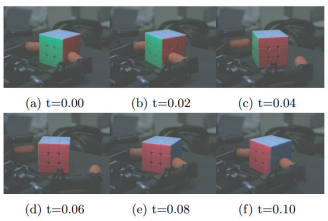
Dynamic grasping using a newly developed high-speed hand system and high-speed vision is proposed. In the high-speed hand system, a newly designed actuator provides the finger with excellent features: It is lightweight (about 110g per finger),and it is moved with speed reaching about 4m/s and 4N power 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.



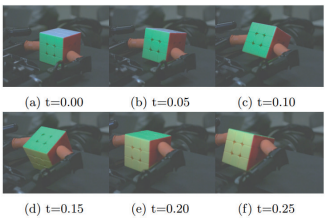
2.15 高速多指ハンドと高速ビジョンと用いたルービックキューブの操作
Rubik's Cube handling using a high-speed multi-fingerd hand and a high-speed vision system

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．

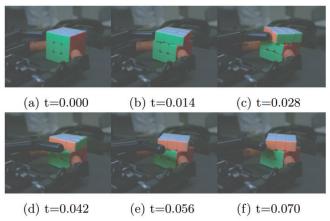
In this research, we aimed to realize dexterous and high-speed object manipulation by robot hand, and operated Rubik's cube as a concrete task.
By acquiring center of gravity position and angle of the Rubik's cube with a high-speed vision, we realized two kinds of regrasping and one turning operation required for solving the Rubik's cube and succeeded to do this within seconds.



持ち替え動作 (1)
Regrasping(1)



持ち替え動作 (2)
Regrasping(2)

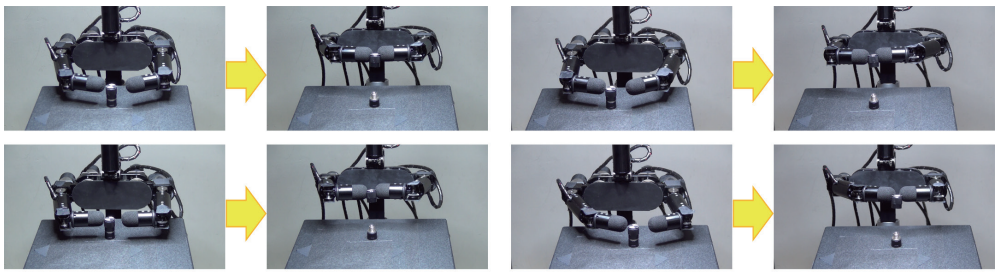


1 面回転動作
Face turning

2.16 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.



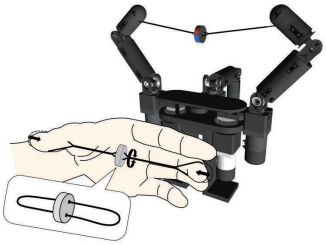
2.17 ロボットハンドを用いた糸・ロータ系の回転操作
Manipulation of Thread-Rotor Object by a Robotic hand

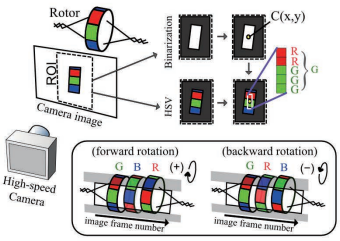
ボタン・スピナー（ぶんぶん独楽）は、回転子と糸の輪で構成された、ヨーヨーに類似した玩具である。ボタン・スピナーをプレーする時、周期的に振動する指先の動きに応じて、6,000RPMという非常に高速な回転子の回転が生じる。回転力は捻られた糸により、指先から回転子にまで伝達される。柔軟物による動力伝達は、簡単な構造及び柔軟な動作を特徴とし、低速且つ線形的な指先の動きを高速回転運動に換える手法として期待される。この動力伝達を活用するためには、柔軟物による非線形システムの不確定性の下でも安定的に力が制御できる必要がある。高速なセンシング系とマニピュレーターで構成されたロボットシステムを導入することで、前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





2.18 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

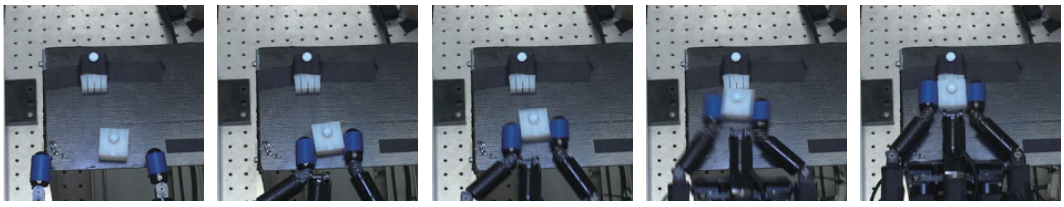
現在FA・製造ラインの高速化，高精度化の要求がある．例えば，自動車生産 ラインでケーブル・コネクタを扱う作業においては自動化がなされておらず，作業者による人手に頼っている．

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.



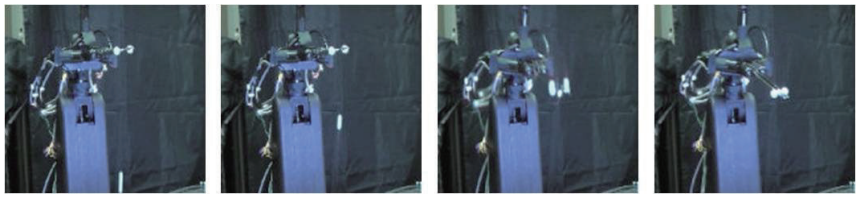
2.19 高速運動中の微小物体把持
Catching a small object in high-speed motion

これまでに本研究室ではロボットの器用な道具の操りを目指し，道具の受動関節性を提案した．また，ここで扱う高速ロボットシステムでは、高速なアクチュエータや高速画像処理技術を用いることによって，精確性はもちろんのこと，人間よりも速い動作と外界の認識を行うことができ，人間では行えないタスク，道具の操りを実現できる可能性を秘めている．そこで本研究では，高速運動する物体の扱いを通して，ロボットの高速性を活かした道具の器用な操り技能の獲得を目的とする．

人間を超える動作例として，空中を放物運動中の直径6mmのプラスチック球（米粒ほどの大きさ）をピンセットでキャッチする実験を行った．ここで用いるピンセットの鉛直方向の幅は3mmであり，キャッチ時にはピンセットの中心部とプラスチック球の位置誤差は±1.5mmしか許されず，高精度な操りが要求されるタスクである．

So far, we proposed the passive joint between hand and tools in order to achieve more skillful tool-handling. The high-speed robot system we developed has the potential of achieving the task and tool-handling which human cannot do, because it can behave faster and get information from the external world faster than human by high-speed actuator and high-speed vision system. In this research, we aim for finding out new skill in tool-handling which uses high-speed performance maximally.

For instance of task overcoming human, we achieved catching 6mm plastic ball in parabolic motion using tweezers. In this task, the margin for error between the center of tweezers and ball is plus or minus 1.5mm. So precise handling is needed.



2.20 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.

2.21 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.

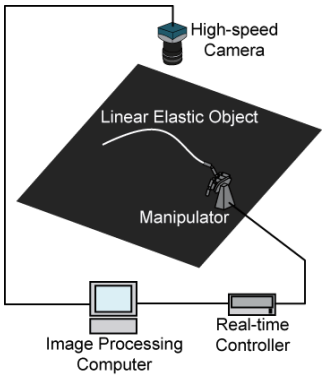
本研究では, 高速ビジョンシステムの導入によってこのような問題を軽減させた上で, 操作対象となるアームの変形の情報を取得・利用することによるフレキシブルアームのマニピュレーションを目標とした. 実験では, ビジョンシステムから得られるアームの形状から振動情報の取得を行い, 操作後にアームに生じる振動の抑制が実現できることを確認した.

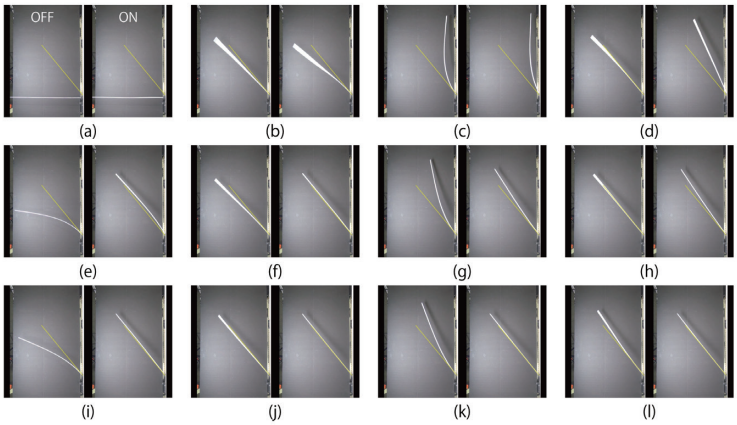
This research focuses on the high-speed visual feedback control of flexible arm.

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.





2.22 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.

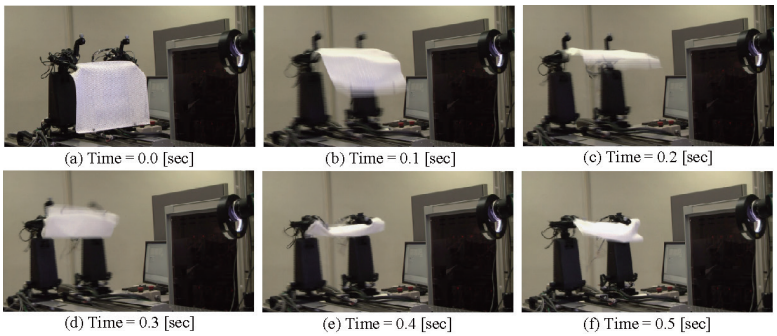
2.23 2台の高速多指ハンドとスライダを用いた布の動的な折りたたみ操作
Dynamic Folding of a Cloth using Dual High-speed Multifingered Hands and Sliders

これまでに剛体のマニピュレーションを対象として，様々な解析・制御手法提案が行われ，現在も盛んに研究されている．一方，柔軟物体のマニピュレーションはその実現が望まれているものの，タスクを実現するための戦略提案，柔軟物体のモデル構築と制御などの多くの問題点が存在し，その実現が困難とされてきた．近年になり，柔軟物体のモデルが構築され，視覚フィードバックによる軌道生成手法も提案され，線状柔軟物体のマニピュレーションとして紐結びが実現され，面状柔軟物体のマニピュレーションとして布の展開動作や折り紙操作が実現されている．さらに，面状柔軟物体に似た帯状柔軟物体のモデル構築も行われている．

しかしながら，従来の柔軟物体マニピュレーションは，ロボットを低速で動作させて静的な操りを行ってきた．本研究室では柔軟物体の動的マニピュレーションを目指して，ダイナミックな紐結び操作を実現している．そこでは，ロボットの高速性を利用した簡易モデル(代数方程式)を提案し，その有効性を確認している．また，紐の形状から導出できる軌道生成手法を提案した．

本研究では線状柔軟物体のダイナミックマニピュレーションの発展研究として，面状柔軟物体のダイナミックマニピュレーション実現を目指す．具体的なタスクとして，空中での布のダイナミックな折りたたみ動作を行う．はじめに，人間の折りたたみ動作の解析を行い，タスク実現に必要な運動を抽出している．次に，線状柔軟物体のモデルの拡張として，ロボットの運動から代数的に変形が計算できる布の変形モデルを提案した．布の変形モデルを用いて，布の目標形状を得るためのロボットの軌道生成手法を提案している．そして，シミュレーションにより，得られた軌道の妥当性を検討している．さらに，タスクの成功率を向上させるために，高速視覚フィードバックを導入している．ロボットハンドの指と布に取り付けたマーカをトラッキングし，2 msごとにマーカ位置と画像面積を 計測することで，布が折りたたまれた瞬間の把持タイミングを検出し，ロバストな把持戦略を提案している．以上のロボットの軌道と視覚フィードバックを基に実験した結果が下図であり，約0.4秒での高速な折りたたみ操作が可能である．

The purpose of this research is to achieve a dynamic manipulation of sheet-like flexible object. As one example of dynamic manipulations of sheet-like flexible object, dynamic folding of a cloth with two high-speed multifingered hands mounted on sliders system will be carried out. First, the dynamic folding by a human is analyzed in order to extract the necessary motion for achievement of this task. Second, a model of the cloth will be proposed by extending the linear flexible object model (algebra equation) using high-speed motion. Third, the motion planning of the robot system will be performed by using the proposed model and the simulation result will be shown. Fourth, a high-speed visual feedback (2 ms) is introduced in order to improve the success rate. Finally, the experiment with the trajectory obtained by the simulation and high-speed visual feedback will be executed.


(a) Time = 0.0 [sec] (b) Time = 0.1 [sec] (c) Time = 0.2 [sec]
(d) Time = 0.3 [sec] (e) Time = 0.4 [sec] (f) Time = 0.5 [sec]

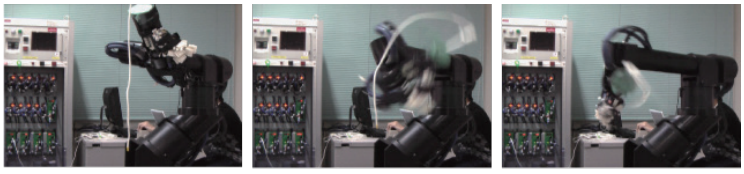
2.24 高速アームを用いた動的な線状柔軟物体の操り
Dynamic Manipulation of a Linear Flexible Object with a High-speed Robot Arm

マニピュレーションを対象物体と操り手法の観点から考察すると，これまでに剛体の静的・動的マニピュレーションや柔軟物体の静的マニピュレーションが実現されてきた．これらのマニピュレーションについては，適切な戦略もしくは制御手法が提案されてきた．しかしながら，柔軟物体の動的マニピュレーションは実現されておらず，適切な戦略や制御手法も提案されていない．そこで本研究では，高速アームを用いた線状柔軟物体の動的マニピュレーションを行う．その一例として，柔軟紐のダイナミックな紐結び操作の実現を目指す．

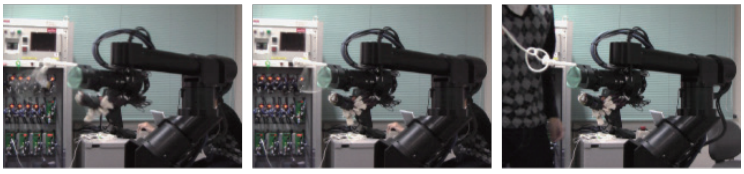
高速アームの軌道に，人間による紐結びを解析し，動作を抽出し，その運動を実装している．これまで柔軟物体のモデルは，分布定数系で表現されたモデルや柔軟物体を多リンク系と仮定し，微分方程式で表現したモデルなどで記述されてきた．これらのモデルは複雑で，モデルパラメータに大きく依存し，軌道生成や制御手法の提案に有効であるとは言い難い．そこで本研究では，ロボットの高速性を利用することで，ロボットの運動から幾何学的な表現（代数方程式）で柔軟物体をモデル化できることを示している．そして，提案したモデルを用いて高速アームの軌道の妥当性を検討している．さらに，モデルが代数方程式であることから，紐の形状を指定したときに，その形状からアームの軌道を得ることも可能である．高速性を利用することで，従来よりも比較的簡単なモデルが得られており，制御も容易になると期待する．

Considering the manipulation from the viewpoint of target object and manipulation method, the static manipulation of a rigid body or a flexible object and the dynamic manipulation of a rigid body have been achieved. And, the suitable strategies and control methods about these manipulations are proposed. However, the dynamic manipulation of a flexible object has not been performed, and the strategy and the control method has not also been suggested. So, this research performs the dynamic manipulation of a linear flexible object by a high-speed robot arm. As an example, the dynamic knotting of a flexible rope is achieved.

The motion of the high-speed robot arm is extracted by analyzing the dynamic knotting by a human. Until now, the model of the flexible object is described by distributed parameter system or ordinary differential equation based on the multi-link model. These models are extremely complex and depend on the model parameter. Thus, we consider that these models are not effective for the motion planning and the proposition of the control method. In this research, we show that the model can be described by the algebraical relation from the robot trajectory during the high-speed robot motion. Moreover, the robot arm trajectory can be obtained from the rope state by using the proposed model. And, the proposed model is not more complex than the typical model. Therefore, we expect that the control of the flexible object will be more simple by using the high-speed motion.



(a) t = 0.00 [sec] (b) t = 0.16 [sec] (c) t = 0.32 [sec]



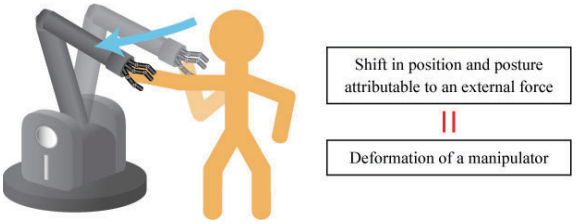
(d) t = 0.48 [sec] (e) t = 0.64 [sec] (f) t = 3.20 [sec]

2.25 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.

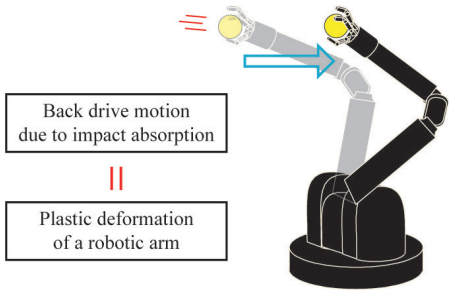


2.26 塑性変形モデルを用いたロボットアームのインピーダンス制御設計
Plastic Behavior Generation of a Manipulator by Impedance Control

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．

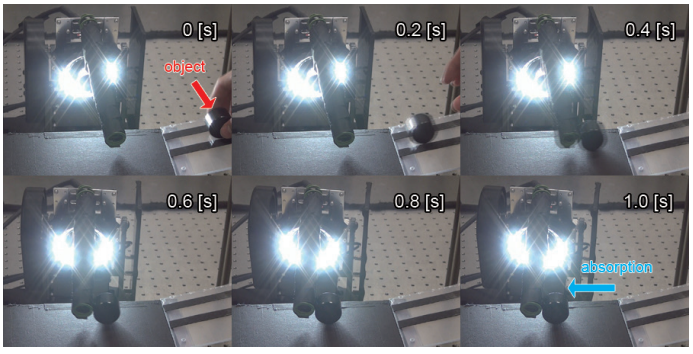
Impedance control for smoothly receiving the impact of an incoming object is designed and realized. The control strategy is based on the idea that the back drive motion of an end-effector attributable to the collision impact is regarded as plastic deformation of the robot. The impedance dynamics is constructed 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.



2.27 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.



2.28 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.

2.29 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.

2.30 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

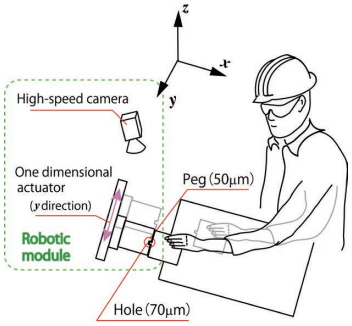
微小物体（マイクロメートルオーダ）の操作において，対象が微小であるため人間の目には見えず，カメラを用いて微小部の拡大図を提示することにより，人間が扱える可能性を高くする．しかし，このようなフィードバックが無い場合，精密な操作は極めて困難である．また，拡大図が提示できたとしても，人間の操作精度には限界があるため，要求される精度（例えば，マイクロメートルオーダ）によって，タスク実現が困難な場合も多く，多大な時間を要する．

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.



2.31 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.

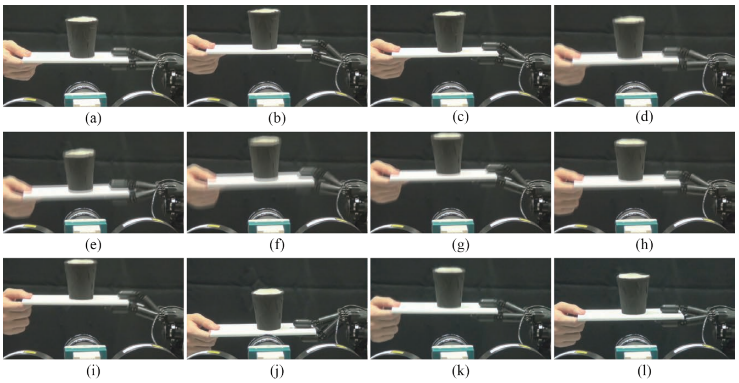


図1. 協調タスクの実験結果(連続写真)
Figure 1. Experimental result of cooperative task (continuous photos)

2.32 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 signi cant 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 con rmed the effectiveness of our proposed system through experiments.

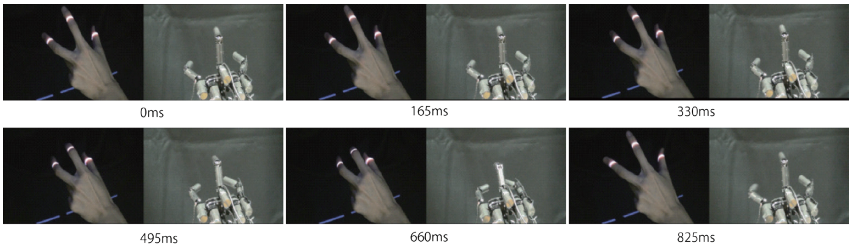


図1. テレマニピュレーションの実験結果(連続写真)
Figure 1. Experimental result of telemanipulation (continuous photos)

2.33 高速視触覚センサネットワークシステムの開発
High-speed Visual and Tactile Sensors Network System

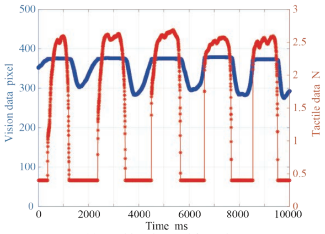
本研究では，高速な視触覚センサネットワークの基本システムの構築を目指し，高い時間密度での様々なセンサを用いたネットワークシステムを実現する．

特に，各センサノードの時刻が高精度で同期されたセンサネットワークシステム上で，各種センサのデータ取得を同期させる手法を提案し，これにより，センサ入力情報として有益なデータが得られ，時間軸上で整合性の高いデータ解析が可能になると考えられる．

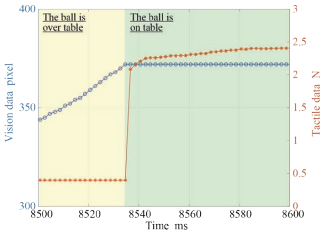
提案手法を用いた実験では，人間の手でボールを上下に運動させ，ボールが触覚センサに接触したらボールを押し付ける実験環境において，ビジョンと触覚センサの計測結果を評価した．左図からボールを触覚センサに押し付けている場合には，ビジョンデータは一定値(ボールの位置は変化しないため)を示し，触覚センサのデータは力の変動が観測できている．また，実験データの拡大図から2ミリ秒ごとにデータが取得できており，接触と非接触状との間の遷移状態が明瞭に見て取れる．さらに，実験において，ビジョンと触覚センサから得られたデータ取得同期の時間誤差について検討した．各フレームにおけるデータ取得同期の時間誤差の結果を右図に示す．本結果から，約2マイクロ秒以内に時間誤差が収まっていることが分かり，高精度でのデータ取得同期に成功していることがわかる．しかしながら，最大で15マイクロ秒の時間誤差が発生する場合が存在する．

In this research, we propose a data acquisition synchronization scheme for integrating 500 Hz class high-speed networked visual and tactile sensors systems.

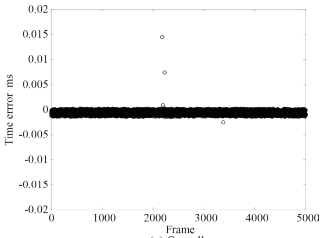
In the proposed scheme, multiple sensor nodes including PCs are connected via Ethernet for data communication and for clock synchronization. The clocks of the PCs are synchronized over the network using Precision Time Protocol (PTP) with negligible errors of around a few microseconds. The trigger of each sensor is locally controlled based on the PC' s clock locally provided in the node, and the clocks are globally synchronized over the network. An experimental system comprising a high-speed vision system, a high-speed tactile sensor, and two PCs was constructed, and the experimental results showed that the timing error between the sensor nodes for data acquisition was less than 15 microseconds, which is significantly smaller than the time interval of 2 milliseconds.



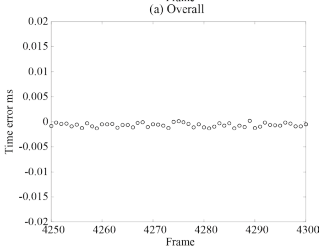
(a) Tracking data and force data



(b) Enlarged



(a) Overall



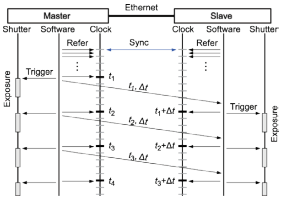
(b) Enlarged

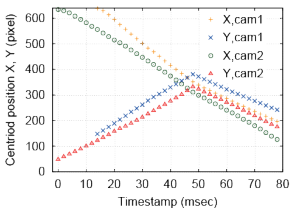
2.34 ネットワーク型高速ビジョンシステムのフレーム同期
Frame Synchronization for Networked High-Speed Vision Systems

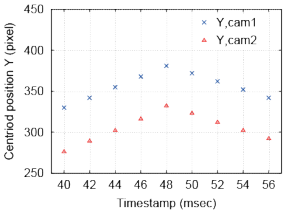
本研究では，ネットワーク型高速ビジョンシステムを構成している高速ビジョン群のフレーム同期を実現するための方法を提案している．ネットワーク型高速ビジョンシステムでは各ビジョンの時間同期が実現されているため，フレーム時刻とシャッターのトリガー信号を用いて，次のシャッタータイミングを推定することができる．このシャッタータイミングを用いることにより，各ビジョン間のフレーム同期を可能にしている．加速度が瞬間的に変化する物体のトラッキングを行った結果，同時刻で対象物体の速度が変化していることを捉えることができ，かつシャッターのトリガー信号が同タイミングで取得できている．

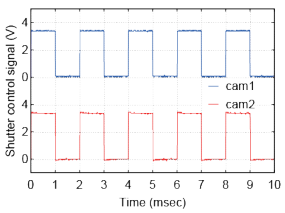
We propose a frame synchronization scheme for 500-fps class high-speed networked vision systems. Multiple vision sensor nodes, individually comprising a camera and a PC, are connected via Ethernet for data communication and for clock synchronization. The clocks of the PCs are synchronized over the network by Precision Time Protocol (PTP) with negligible errors around a few microseconds.

In the proposed scheme, the trigger of each camera's shutter is locally controlled based on the PCs clock that is locally provided inside the node and is globally synchronized over the network. An experimental system comprising two cameras and two PCs is presented, and the experiment results show that the shutter timing error between the two cameras are less than 10 microseconds, which is significantly smaller than the frame interval of 2 milliseconds.









2.35 高速ビジョンのためのネットワーク構築
Network System for High-Speed Vision

これまでの研究開発により，高速ロボットの制御やヒューマンインタフェースへの応用を含め，様々なアプリケーションにおいて高フレームレートの視覚情報のフィードバックが有用であることを示してきた．

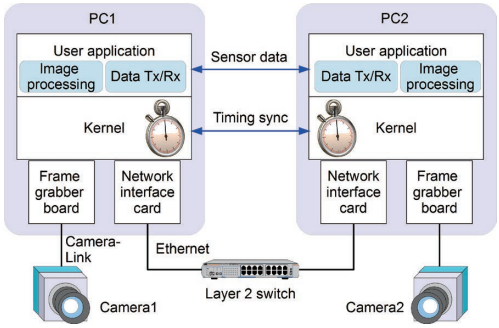
一方，計測システムの構成として，広範囲に分散した多数のセンサをネットワーク化することで，単一ないしは局所的なセンサデータからだけでは得られない情報を得るセンサネットワークという形態が重要性を増してきている．

本研究では，高速ビジョンをネットワーク化することで，その応用領域を拡大することを目的とする．

1,000fpsの高速ビジョンのフレーム間隔は1msであり，これに対してネットワーク遅延は必ずしも無視できるレベルに収まる保証はない．そのため，無視できないネットワーク遅延が存在しうること，パケットの到着順序が送出順序の通りにならないことを前提として，「その情報がいつ得られたものか」を明確にしてネットワーク上で共有される必要がある．つまり各ビジョンセンサにおいて，フレーム取得毎にデータにタイムスタンプを付与することが必要である．

しかし，ここで各センサノードが各自勝手な時計に基づいてタイムスタンプを付与すると，異なるノード間のデータを正しく時系列順に整列できない．このため，ネットワーク全体で参照される時計が統一されている必要がある．

この目的のために，IEEE 1588として標準化されているPresision Time Protocol (PTP)を導入し，高速ビジョンシステムのフレームレートに対し充分な精度(10μs以下)で時計を同期するシステムを構築した．



We have shown that high-framerate visual feedback is essentially important for various applications including high-speed robot control systems and human-computer interfaces.

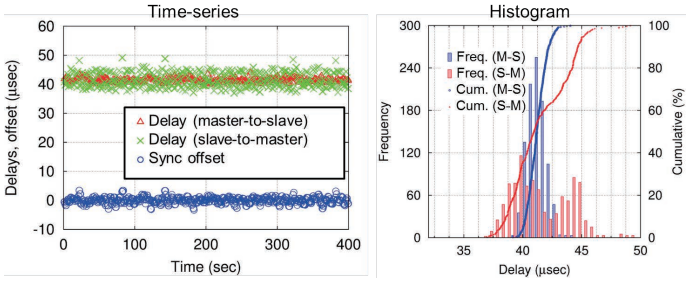
On the other hand, the importance of sensor network is increasing. It enables obtaining information that cannot be obtained by a single sensor nor by locally distributed sensors.

This work aims to enhance the application of the high-speed vision (HSV) technologies by introducing a networked architecture into HSV systems.

In a usual IP network, the packet latency is not guaranteed to be significantly less than the 1-ms frame interval of a 1,000-fps HSV. Since there can be significant latencies and changes in packet order, when the data was acquired have to be known and shared over the network. Therefore, in each vision sensor, timestamps have to be provided for every acquired frames.

Besides, the timescale synchronization over the network is required to correctly align the data in time.

For this purpose, Precision Time Protocol (PTP), which has been standardized as IEEE 1588, was employed for constructing a timescale-synchronized network for HSV, with synchronization errors less than 10 microseconds.



2.36 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
Collision-avoidance of High Speed Mobility using Environmental High-speed Vision

世界最先端IT国家創造宣言(平成25年6月14日)の中で，「世界で最も安全で環境にやさしく経済的な道路交通社会の実現」が掲げられた．本目標に対して，交通渋滞の緩和や安全運転支援などの個々のアプリケーションについての提案が主に行われてきたが，今後は来るべき社会の構造を想定した上でこれらの具体策を考えることが重要である．このためには，まずITS共通のフレームワークであるITSインフラの整備から進めるべきである．

我々が提案しているネットワーク化高速ビジョンシステム1 は，路面を高速ビジョンで隙間なく把握することにより，従来のシステムを凌駕する機能を達成することができる．本研究では，特に，路面上の移動体と障害物を高速で把握することにより，安全運転支援に役立てることができることを示したものである．

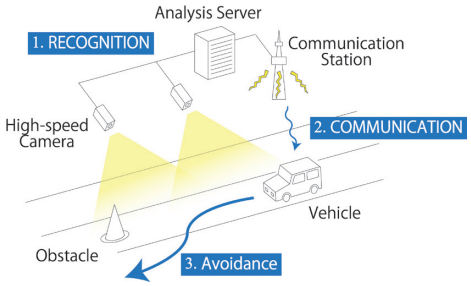
具体例として，1/10スケールの実験環境において，時速約10km(実環境では，時速100kmに相当)で高速に運動している移動体を，ネットワーク化高速ビジョンシステムで認識すると同時に，移動体の障害物回避を実現している．本技術を応用することにより，高速道路上や見通しの悪い交差点などにおいて突然飛び出してきた人や物を瞬時に判断するとともに，その情報を元に移動体を制御することで安全運転・交通事故防止を可能にし，さらなるITS技術の発展に寄与すると考えられる．

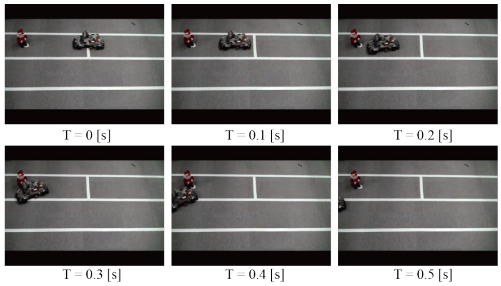
We propose a driving safety support system (DSSS) which employs high-speed vision installed in surrounding environments such as highways, urban roads, and crossroads.

The system is aiming to recognize traffic situations including hidden places from mobilities and utilize such information for driving safety support. The system consists of synchronized high-speed cameras which acquire images every millisecond, and mobilities capable of communicating with these high-speed cameras via communication stations.

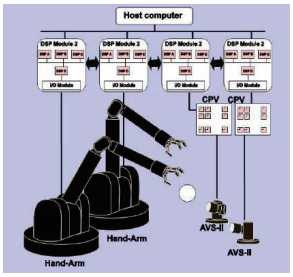
We conducted experiments on collision avoidance and demonstrate that the proposed system can resolve the deficiency of readiness, which is common to environmental vision systems, by introducing high-speed vision.

This system contributes to further ITS technology on the grounds that it enables us to realize obstacles very soon after they appear and also enables the mobility to avoid them due to information on obstacles.





2.37 高速マニピュレーションシステム
Dynamic Grasping Using High-speed Visual Feedback



実環境において，投げる・捕るなどに代表されるような動的な操り動作を実現することを目的として，視覚フィードバックに基づく高速マニピュレーションシステムを開発した．このシステムは，センサとして高速ビジョンチップシステムを搭載した双眼アクティブビジョン，アクチュエータとして双腕4軸高速マニピュレータと3指高速ハンド，処理システムとしてDSPを用いた階層並列システムを備えている．システムの各構成要素の動特性を考慮して設計されているために，無駄のない最適なパフォーマンスを引き出すことが可能である．移動物体に対する把握実験を行うことで，構築したシステムの有効性を示した．

In most conventional manipulation systems, changes in the environment cannot be observed in real time because the vision sensor is too slow. As a result the system is powerless under dynamics changes or sudden accidents. To solve this problem we have developed a high-speed manipulation system using high-speed visual feedback. This is a hand-arm with a hierarchical parallel processing system and visual feedback rate is set as 1ms. Using this system, we have achieved many manipulation such as grasping, collision avoidance, and so on.

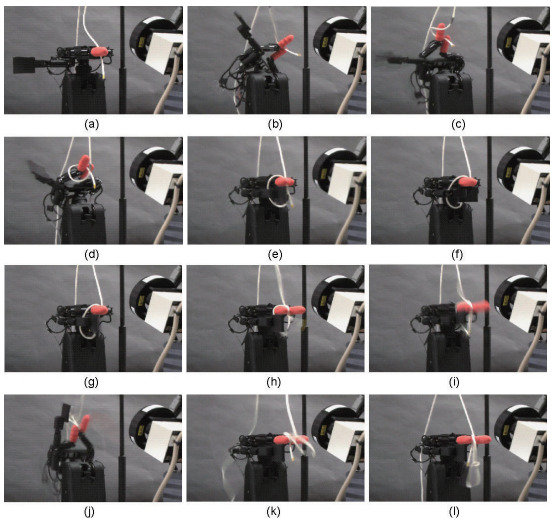


2.38 高速多指ハンドを用いた柔軟紐の片手結び
One Handed Knotting of flexible rope using a High-speed Multifingered Hand

これまでに本研究室では，高速多指ハンドと高速な応答性を持つセンサシステムにより様々なタスクを実現してきた．しかし，それらのタスクは対象物体が剛体と仮定できるものであった．今後，ロボットハンドの開発を行う上で，器用さという点も重要になる．以上の点を考慮して本研究では，柔軟線状物体の操りの一例として多指ハンドによる柔軟紐の片手結びを行っている．

片手結びを実現することは極めて困難であり，また，片手結びを実現する技能が必要である．片手結びを比較的容易に実現でき，片手結びの技能を抽出するために，人の片手結びを参考に，紐結び動作を3つのスキルに分割している．そのスキルとは，①輪の作成，②紐の入替，③紐の引抜である．①輪の作成において，高速ビジョンを用いて手首の旋回軸制御を提案し，輪の作成の成功率を向上させている．さらに，②紐の入替において紐が入替わる瞬間の両指の間隔を適切にするために，触覚センサの力情報を基に，把持力制御を実現している．以上の技能とフィードバック制御により片手結びを実現している．実験結果を下図に示す．

This research proposes a new strategy of one handed knotting with a high-speed multifingered robot hand and tactile and visual sensors. The strategy is divided to three steps: loop production, rope permutation, and rope pulling. Through these three steps, a knotting is achieved by only one multifingered robot hand. Moreover, this study proposes the control method of wrist joint angle in loop production and the grasping force control in rope permutation.



2.39 高速打撃動作におけるボール制御
Ball Control in High-speed Batting Motion

現在のロボットマニピュレーションにおいて欠けている要素の一つに,〝俊敏さ〟が挙げられる. ロボットの高速化は, 産業用ロボットなど生産システムのスループットの向上につながるという点だけではなく, 不安定状態や非接触状態を積極的に利用した器用な操りを実現するための要因となることからも重要な指標といえる.

従来のロボットシステムでは(人間もそうであるが)視覚など感覚機能の処理速度が遅いために, その軌道生成の過程には予測や学習などフィードフォワードに焦点が当てられており, 反応速度まで含めた運動能力が十分に引き出せていなかった. そこで我々は 高速マニピュレーションシステムに適した動作戦略として, 運動速度と反応速度の高速性を最大限に利用するハイブリッド軌道生成を提案した.

これをバッティングロボットに応用することで, 人間が投げたボールをロボットが狙った場所に打ち返すタスクを実現し, その有効性を示した.

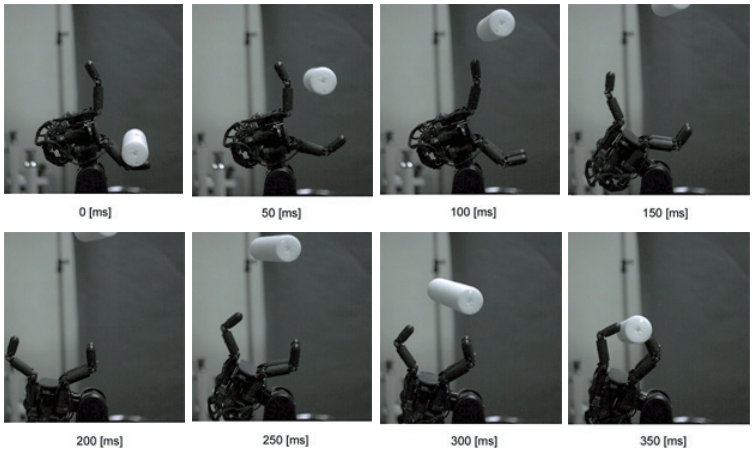
Speeding up of robot motion provides not only improvement of operating efficiency but also dexterous manipulation taking advantage of unstable state or non-contact state. We propose a hybrid trajectory generator in order to produce high-speed manipulation. This algorithm consists of both mechanical high-speed motion and sensor-based reactive motion. As an example of high-speed manipulation, a robotic ball control in batting task has been realized.



2.40 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 Using a High-speed Multifingered Hand and a High-speed Vision System

多指ロボットハンドによるリグラスピングに関して, 従来の手法では, 安定な把持を保ちつつ把握状態を遷移させる必要があるため, 高速なリグラスピングは困難であった. そこで本研究では, 新たなリグラスピング戦略としてダイナミックリグラスピングを提案する. ダイナミックリグラスピングでは, 対象を上方に投げ上げて自由回転により姿勢を変化させ, 落下時にキャッチすることによって, リグラスピングを実行する. その一例として, 高速多指ハンドと高速ビジョンを用いた円柱に対するダイナミックリグラスピングについて, 実験を行っている.

In most previous studies, it has been difficult for a robot hand to regrasp a target quickly because its motion was static or quasi-static with keeping contact state. In order to achieve high-speed regrasping, we propose a new strategy which we call dynamic regrasping. In this strategy, the regrasping task is achieved by throwing a target up and by catching it. In this paper, the regrasping strategy based on visual feedback and the experimental results using a high-speed multifingered robot hand and a high-speed vision system are shown. As an example of a target for dynamic regrasping, we selected a cylinder and we achieved the dynamic regrasping tasks in the experiment.



2.41 高速多指ハンドを用いた高速ペン回し
Dynamic Pen Spinning Using a High-speed Multifingered Hand with High-speed Tactile Sensor

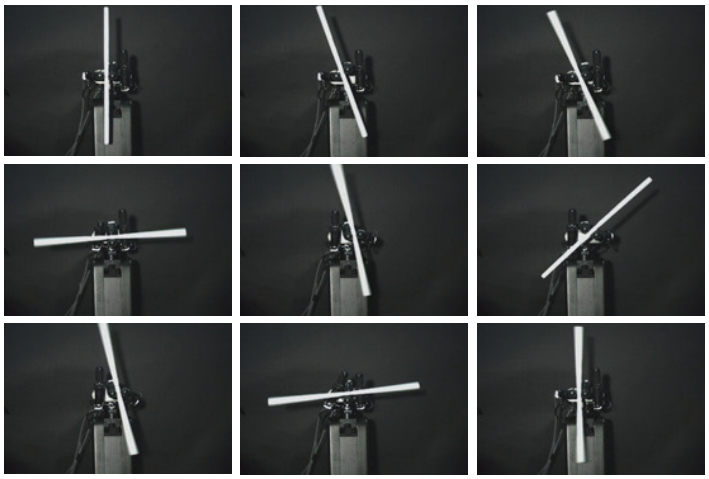
ロボットハンドに人間のような器用な把持・操りをさせるためにはリアルタイムでの触覚情報が必須であるが，現状では，触覚フィードバック制御によるロボットハンド制御の研究例は少ない．本研究の目的は、0.1秒で関節角度が180度変化する動作が可能な高速多指ロボットハンドに，1ms以内に重心情報が取得可能な高速触覚センサを装着することにより，器用な操り動作を高速に実現することである．

また，世の中にあふれている工具・道具等にはペン状物体が多い．そこでペン状物体を器用・高速に扱うタスクの一例としてペン回しを選定し，これをロボットハンドに実行させた．

ペン回しを実現させる際に，はじめに2本指でペン振り動作を実現し，そのペン振り動作に対して触覚センサ情報を基に，ペンから指を離すタイミングを抽出し，ロボットハンドの中指を中心にペンを回す．その後，触覚センサからペンが中指に接触している位置を計測し，把持タイミングを抽出し，ロボットハンドで把持する．これを繰り返すことでペン回しを実現している．

We propose a tactile feedback system in real time using a high-speed multifingered robot hand and a high-speed tactile sensor. The hand and the sensor are capable of high-speed finger motion up to 180 [deg] per [0.1] s and high-speed tactile feedback with a sampling rate higher than 1 [kHz], respectively. In this research, we achieve a dynamic pen spinning as an example of a skillful manipulation task using a high-speed multifingered hand equipped with tactile sensors.

At first, we perform a pen oscillation using the two fingers of the robot hand. Next, we introduce the tactile feedback in order to extract timings of grasp and release of the pen. And then, the pen spinning can be carried out by using the pen oscillation and the grasp and release of the pen using tactile feedback. The below figures show the experimental result of the pen spinning.

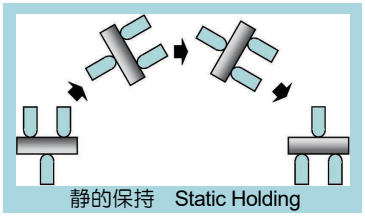


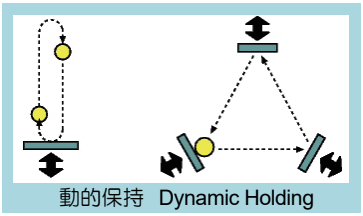
shutter speed; 20[f/s]

2.42 高速多指ハンドを用いた動的保持動作
Dynamic Holding Using a High-Speed Multifingered Hand

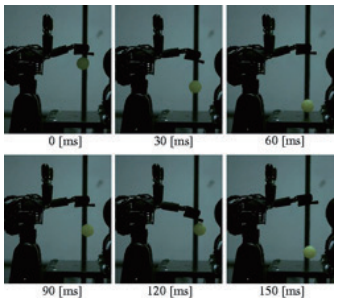
ロボットハンドによる器用な操りの実現を目指して，さまざまな把握や操りのアルゴリズムが考えられてきたが，これらの多くはロボットの指先を対象物に接触させて，静的な安定条件を実現させることを目的としていた．一方，人間による操り動作にはこのような静的な操りだけではなく，指と対象物の接触状態が動的に変化するような操りも存在する．人間の操りがロボットに比べて器用で柔軟なのはこのためである．このような器用な動きを実現するために，我々は「動的保持」と呼ばれる動作を提案している．動的保持動作とは，静的には安定状態にない物体を定常な周期運動状態に保つ動作のことである．

本研究では，高速で器用な動的操りを目的とした動的保持動作の一例として，高速多指ハンドによる毎秒10 回のドリブル動作実験を行っている．

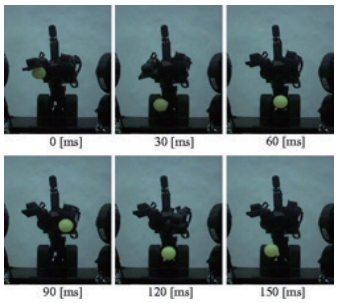




In order to achieve faster and more dexterous manipulations, we are proposing a strategy called "dynamic holding." In the dynamic holding condition, an object is held in a stable condition while the object is moving at high-speed. In this research, high-speed dribbling is achieved as an example of dynamic holding using a high-speed multifingered hand and a high-speed vision system.



一本指ドリブル
One Finger Dribbling



二本指ドリブル
Two Finger Dribbling

2.43 動的補償に基づく高速、高精度ピッキング作業
High-speed and accurate picking task based on dynamic compensation concept

従来のロボットはランダムな軌道で動かす小さなターゲットを予測なしで捕ることは非常に困難です。本研究は、先行研究で提案された動的補償の手法を利用し、この問題に取り組む手法を提案しています。動的補償の手法によって、メインロボットは高速かつ大まかな接近の役割を務め、精確な位置決めは相対座標に基づく高速視覚フィードバックを利用した高速かつ軽量の補正アクチュエータで実現しています。提案手法を用いて、90%以上の成功率までに達成しました。

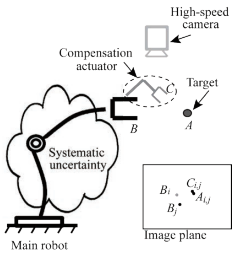


Figure 1. The proposed dynamic compensation concept

It is very challenging to realize high-speed and accurate robotic picking (catching) of small targets with random trajectories in a large workspace without prediction. It requires both high-speed approaching and accurate positioning, whereas these two aspects usually conflict with each other due to nonlinear dynamics and systematic uncertainty like backlash. We proposed the dynamic compensation concept to tackle this problem. It is realized by fusing high-speed visual feedback based on relative coordinate and a high-speed lightweight compensation actuator (for fine positioning) to cooperate with a main traditional robot (for fast yet coarse approaching). Experiments show that for randomly flying object in a work range around 500mm, the success rate reached over 90% (clearance: 2mm) with the proposed approach.

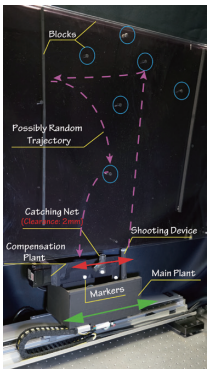


Figure 2. High-speed and accurate picking task

2.44 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
Card Throwing and Shooting by a High-speed Multifingered Hand and a Vision System

本研究では面状弾性物体の器用な操りを目指して，高速ロボットシステムを用いたカード操りを目的としています．特に，高速ロボットハンドとビジョンシステムによって，対象物体に向けてカードを器用に投擲することを実現しています．その実現に向けて，はじめに人間によるカード投げを分析するとともに，初期状態におけるカード把持を解析し，タスクを実現するための基本的な戦略を提案しています．また，カードの把持位置や目標とする方向へカード投擲を行うためのリリースタイミングについて調査し，適切な把持位置およびリリースタイミングを実験的に導出しています．最後に，提案手法を用いて，カード投げや対象へのカード投擲を実現しています．

We successfully demonstrated dexterous manipulation of sheet-like elastic objects, namely, playing cards, using a high-speed robot system. In particular, our goal was to achieve card throwing and card shooting of a target object by a high-speed multifingered robot hand and a visual feedback based on a vision system. We discuss card grasping in the initial state by analyzing a motion of a human subject for achieving card throwing, and we propose a strategy for card throwing and card shooting. We also explore a grasping position of a card and a release timing to perform the card throwing toward a desired direction. Finally, we show experimental results of card throwing and card shooting of target objects, such as a static cup, a static pen and a moving cup, without/with visual feedback.

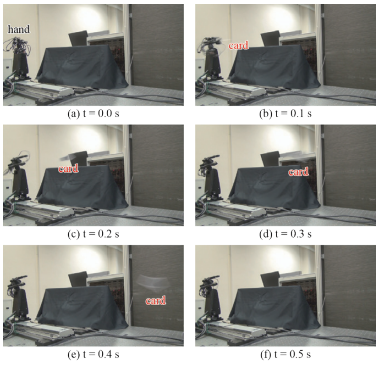


図1. カード投げの実験結果(連続写真)
Figure 1. Experimental result of card throwing.

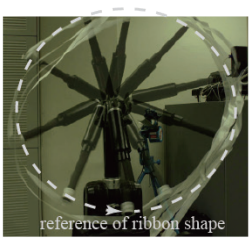
2.45 高速アームを用いた新体操リボンの動的操り
Dynamic Manipulation of a Rhythmic Gymnastics Ribbon with a High-speed Robot Arm

本研究室では，これまでに柔軟紐の動的操りとして，紐の形状制御や紐の動的結び操作を実現している．厳密な紐の変形モデルを基に，ロボットの軌道を辿りながら紐が変形するための条件として，ロボットの等速かつ高速運動を導出している．この戦略を用いて，紐の変形モデルが代数方程式で近似できることを示すとともに，物理シミュレーションによって有効性を確認している．

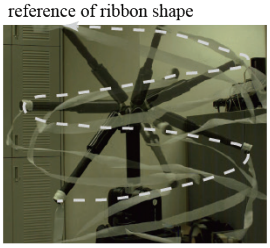
本研究では，柔軟紐のような線状柔軟物体からリボンのような帯状柔軟物体へと操作対象を拡大し，帯状物体に操りにおいて考慮すべき空気抵抗の影響や，重力の影響を加味したモデルを基に解析を行い，線状柔軟物体と同じように，帯状柔軟物体がロボットの軌道と同じように変形するための条件として，ロボットの等速かつ高速運動を導出し，変形モデルの簡易化にも成功している．解析結果を基に，リボン操作を行い，様々な形状生成を実現している．

Our laboratory have achieved dynamic manipulations of a linear flexible object. In particular, we performed shape control of a rope and dynamic knotting of a rope as examples of the manipulations.

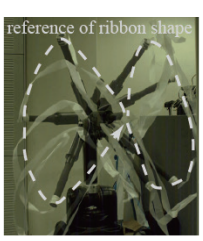
In this research, we aim at dynamic manipulation of a belt-like flexible object as extended version of a linear flexible object manipulation. We analyzed dynamic model of the belt-like flexible object, and we derive a condition of the robot in order to control a shape of the target object. Based on the analysis result, we achieve various experiments of shape control of a rhythmic gymnastics ribbon using a high-speed manipulator.



Production of circle shape



Production of wave shape



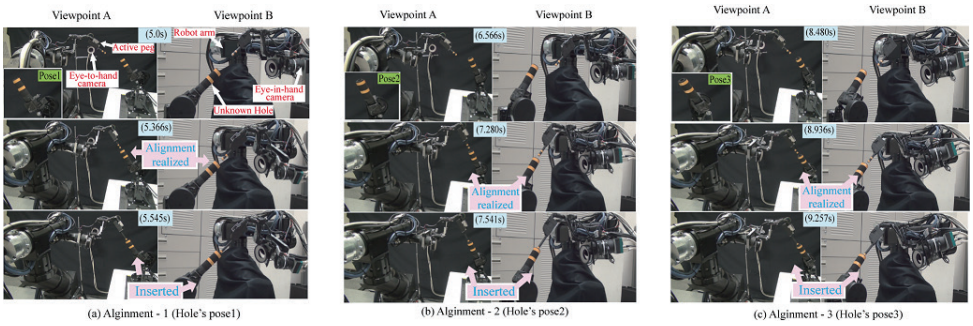
Production of eight-figure

2.46 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
Fast peg-and-hole alignment using visual compliance

この研究は,高速不確定な位置および姿勢のペグ・アンド・ホールアラインメントの実現を目的としている。小さい慣性且つ高速的な3自由度能動ペグを使って、2つの高速カメラによるビジュアルコンプライアンスを用いた手法によって、高速、安定的な収束が実現されている。

We presents a visual compliance strategy to deal with the problem of fast peg-and-hole alignment with large position and attitude uncertainty.

With the use of visual compliance and adoption of a light-weight 3-DOF active peg, decoupled alignment for position and attitude is realized. The active peg is capable of high-speed motion and with less dynamic defects than a traditional robot arm. Two high-speed cameras, one configured as eye-in-hand and the other as eyeto-hand are adopted to provide with the task-space feedback. Visual constraints for effecting the visual compliant motion are analyzed. Alignment experiments show that peg-and-hole alignment with the proposed approach could be successfully realized with robust convergence, and on average, the alignment could be realized within 0.7 s in our experimental setting.



(a) Alginment - 1 (Hole's pose1)
(b) Alginment - 2 (Hole's pose2)
(c) Alginment - 3 (Hole's pose3)

2.47 高速多指ハンドによるカードの変形を利用した操り
Card Manipulation using Card Deformation by a High-speed Multifingered Hand

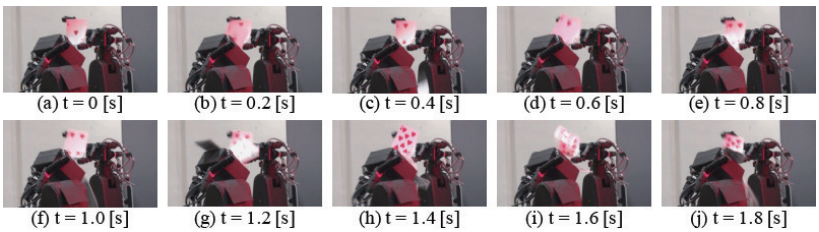
本研究では面状弾性物体のダイナミックマニピュレーションとして，カードの変形を利用した操りの実現を目的としている．具体的なタスクとして，カードを変形させ，カードのひずみエネルギを用いることによりカード飛ばしを実現し，その飛ばされたカードをキャッチすることである．

カード飛ばしは高速多指ハンドの指先の高速振動を利用することにより実現され，カードキャッチは高速ビジョンを用いてカードの位置を認識し，その位置にロボットを動かすことにより実現されている．

カード飛ばしについては，カードとハンド指先の間の滑り条件について考察し，その滑り条件を基に高速振動の有効性を確認している．また，カードの変形による弾性エネルギから運動エネルギへの遷移についても理論的に考察し，カードが飛び出す方向とその速度を導出している．

A purpose of this study is to achieve a card manipulation using a card deformation as one example of dynamic manipulations of a sheet-like elastic objects. In particular, we aim at a card flicking with the card deformation and a card catching using a high-speed visual feedback control.

The card flicking is performed by using a fingertip high-speed vibration. And the card catching is carried out so as to match the positions of the card and the robot with the high-speed visual feedback.


(a) t = 0 [s] (b) t = 0.2 [s] (c) t = 0.4 [s] (d) t = 0.6 [s] (e) t = 0.8 [s]
(f) t = 1.0 [s] (g) t = 1.2 [s] (h) t = 1.4 [s] (i) t = 1.6 [s] (j) t = 1.8 [s]

2.48 高速多指ハンドを用いた高速ピザ回し動作
Rotational Holding of Thin Circular Flexible Object using a Multifingered Hand

従来のロボットマニピュレータを用いた物体の操りの対象としては剛体を選択することが多いが, 日常生活環境や生産現場などで柔軟物体を対象とした操りが必要とされている.

そこで,本研究では,その操りの一例として, 高速ロボットハンドを用いて円盤状柔軟物体を回転させて保持する動作を実現するための戦略を提案する. この戦略では一本の指で重心位置を保持し, 他の指を用いて回転速度を保持する.

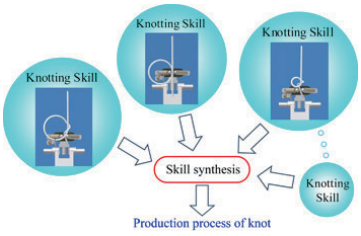
A dynamic manipulation of flexible object is needed for manufacturing domain and daily living environment.

In this research, we propose a new simple strategy of rotational holding about a thin circular flexible object. In the strategy, one finger holds center of gravity, and another finger holds angular velocity.



shutter speed; 16[f/s]

2.49 スキル統合に基づく結び目の生成
Knotting manipulation based on skill synthesis



高速多指ハンドを用いた柔軟紐の片手結びにおいて, 止め結びと呼ばれる結び目を実現している. この結び目は, 3つのスキルである①輪の作成, ②紐の入替, ③紐の引抜を組み合わせることにより実現され, これらのスキルのロバスト性を向上させるために高速視触覚フィードバック制御手法を提案している.

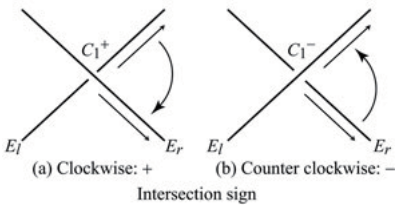
しかしながら, 結び目生成に関する一般的な議論は行われていなかった. そこで, 本研究では, 結び目を実現するために最小限必要なスキルを人間の結び動作を基に抽出し, 抽出されたスキルを統合することにより様々な結び目の生成が可能であることを示している.

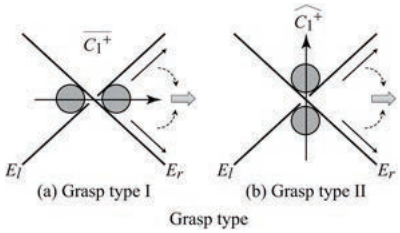
In the previous research (One Handed Knotting of flexible rope using a High-speed Multifingered Hand), an overhand knot is achieved by high-speed multifingered hand. This knot is carried out by combining the three skills such as loop production, rope permutation, and rope pulling. Moreover, in order to improve the robustness of these skills, high-speed visual and tactile sensory feedback control method is proposed.

However, the general knotting production has not been suggested. Therefore, this research examines the relationship between a knotting process and the individual skills of which a robot hand is capable. To determine the necessary hand skills required for knotting, we first analyzed the knotting action performed by a human subject. We identified loop production, rope permutation, and rope pulling skills. To take account of handling of the two ends of the rope, we added a rope moving skill. We determined the characteristics of these skills using an intersection-based description. The knotting process was examined based on the analysis of knots and the characteristics of the robot hand skills.

結び目の記述として, 結び目を構成している交点に着目し, 交点の記述を以下の法則に従って記述している.

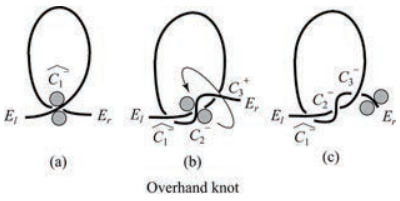
As the description of the knot, the intersections that constitute the knot is considered. The intersection description can be obtained by following law.

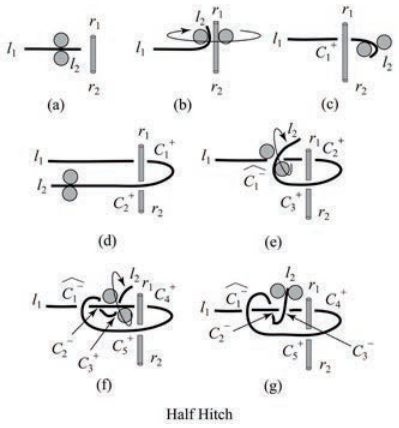




止め結びとひと結びの生成方法を以下に示す.

The production methods of two knots (overhand knot and half hitch) are shown.



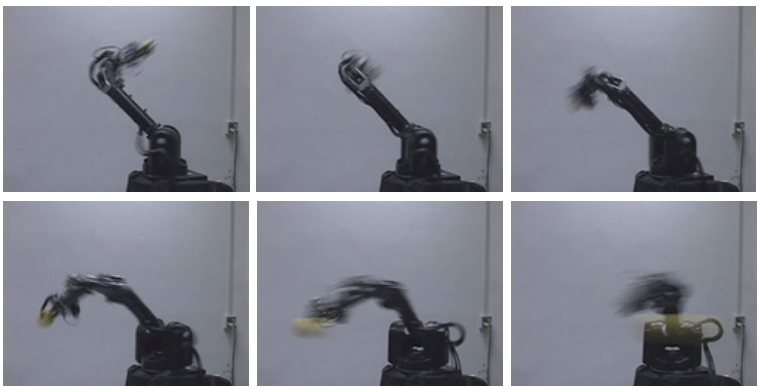


2.50 波動伝播に基づく高速スローイング動作
High-speed Throwing Motion Based on Wave Propagation

ハンドアームシステムによる高速作業の実現を目指して, アームを主体とした高速化とハンドによる器用なコントロールから構成されるスローイング動作をおこなった.

スウィング動作は, バイオメカニクスの分野で研究されている人間の投球動作「キネティックチェーン」を参考にして, 波動の位相伝播に基づく運動の高速化をおこなった. またリリースの制御においては, 高速動作で顕著に出現する慣性力を巧みに利用することでボールの投球方向をロバストに制御する方法を提案した. 実験では, 目標方向に向かってボールを高速にリリースするスローイング動作を実現した.

The speed of robotic manipulation is slow at present although a mechanical system excels in the speed of motion fundamentally. In this paper the robotic throwing task is taken up in order to achieve high-speed robot manipulation. We propose a strategy focused on the superposition of wave patterns. In addition the contact model for ball control is analyzed. Experimental results are also shown in which a high-speed manipulator throws a ball toward targeted direction.

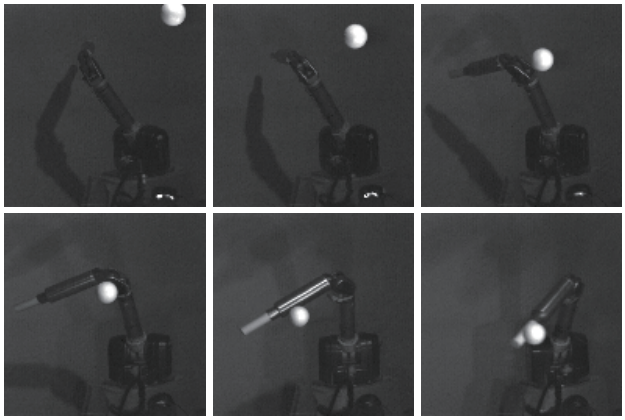


2.51 多関節マニピュレータを用いた高速打撃動作
High-Speed Batting Using a Multi-Jointed Manipulator

人間のマニピュレーション動作の中にはゆっくりとした精密な動作だけではなく, 操作対象との接触状態が激しく変化するような「打つ」「捕る」「投げる」などの俊敏でダイナミックな動作が存在する. ここでは高速ダイナミックマニピュレーションの一例としてバッティングタスクを取り上げる.

ボールの速度に関わらずバットを高速に振り切るスウィング動作と, バットの芯で正確に捉えるヒッティング動作を統合するハイブリッドな軌道生成アルゴリズムを提案した. 前者のスウィング軌道は高速動作となるように最適化しておき, これを時間軌道として与える. 後者のヒッティング動作は, 視覚フィードバックにより1msごとのボールの動きに合わせてマニピュレータの軌道を修正する. 予測を用いた場合とは異なり, 変化球を打つことも可能である. 2.5m離れた位置から人間がランダムにボールを投げるという設定で, ロボットがスウィング時間約0.2sで打ち返すことを達成した.

Batting motion using a high-speed arm and a high-speed stereo vision is represented. In the algorithm, in order to achieve both rapidity of swing and accuracy of hitting, a hybrid trajectory generator of both visual information and time variable is proposed and it is compensated by visual feedback in real time. As a result, under a severe condition that such as when the manipulator must immediately start to swing 0.1s after the vision sensor recognized the ball, the manipulator can hit the ball near the core of the bat by high-speed visual feedback.



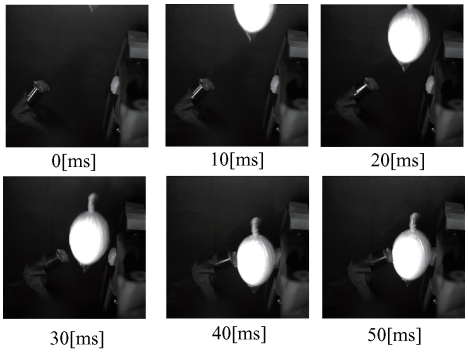
2.52 高速多指ハンドと柔軟指先を用いたソフトキャッチング
Soft Catching with a soft finger

ロボットハンドの運動能力を人間以上に高速化することを目指して 高速ハンド が開発されている．このロボットハンドを１[kHz]の視覚フィードバックで制御することで捕球実験が行われており，現在までに球や円柱などの捕球に成功している．

しかし，これらの実験で用いたロボットハンドは，プラスチック成型した指先に滑り止めのゴム被覆をつけた，固いハンドであった．そのため，高速な繰りを行う場合には，対象に過大な力を加えてしまう危険があり，今までの捕球実験では捕球対象として柔らかいものしか用いることができなかった．

そこで本研究では，この問題を解決するために，指先にゲルを用いた柔軟被覆をつけた高速指モジュール制御システムを開発した．ゲルの持つ衝撃吸収能力と，高速視覚フィードバックによる仮想インピーダンス制御を統合することで，壊れやすい物体を高速に捕球することを目指す．今回の実験では，このことを実証するために壊れやすい物の代表として「生卵」を選択し，これを割らずに把握する実験を行った．

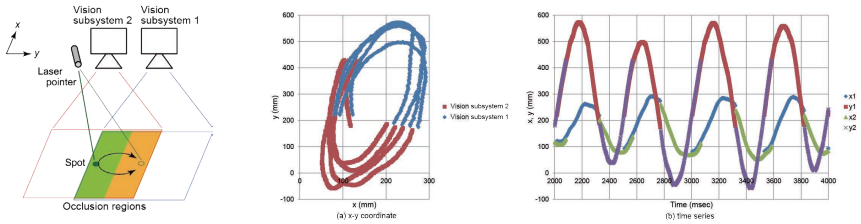
Using a high-speed multifingered hand, which can move at 180[deg]/0.1[s], a high-speed catching of a falling ball was achieved. However it was impossible to catch a fragile object, because a collision made a large impact with it. In this paper, a high-speed catching of a fragile object, like an egg, is achieved, using a high-speed hand with a gel fingertip and using shock absorption of gel in combination with visual feedback control.



2.53 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
Target Tracking Behind Occlusions Using a Networked High-Speed Vision System

本研究では，ネットワーク型高速ビジョンシステムを用いたロバストなターゲットトラッキングに焦点を当て，具体的にはコンピュータビジョン分野において課題となるオクルージョン問題について取り組み，オクルージョン下でもロバストなターゲットトラッキングを可能にする方法を提案し，有効性を確認している．提案手法とは，ネットワーク型高速ビジョンシステムにおいてトラッキング中のビジョン群からデータを取得し，それらのデータを統合するといったシステムの特徴を利用した簡易な手法であり，シームレスなトラッキングデータの取得を可能にする．

This research is concerned with robust target tracking of a high-speed moving object using a networked high-speed vision system. We discuss the occlusion problem faced in the field of computer vision, and we propose a simple tracking method that exploits the high performance of the networked vision system. Using the proposed method, we performed high-speed and robust target tracking behind an occlusion. Then we could obtain continuous, seamless tracking data every 1-millisecond under the environment with the occlusion. As a result, we confirmed the validity of the proposed method.



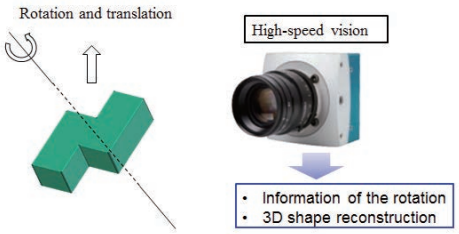
2.54 空中物体の３次元形状復元
3D Shape Reconstruction of an Object in the Air

ヒューマノイドロボットやビンピッキングなどの分野において，3次元形状復元は非常に大きな注目を浴びている．本研究では，対象物体の回転軸・回転角・3次元形状を同時に推定する新しい手法を 提案する．

本手法では，対象物体を回転させ，その様子を高速ビジョンで撮影する．その後，撮影した画像から対象物体の輪郭を抽出し，その輪郭を用いて回転軸と回転角を推定する．同時にスペースカービング法を用いて，対象物体の3次元形状を復元する．

3D sensing has attracted a great deal of attention in several disciplines including humanoid robots and bin picking robots.

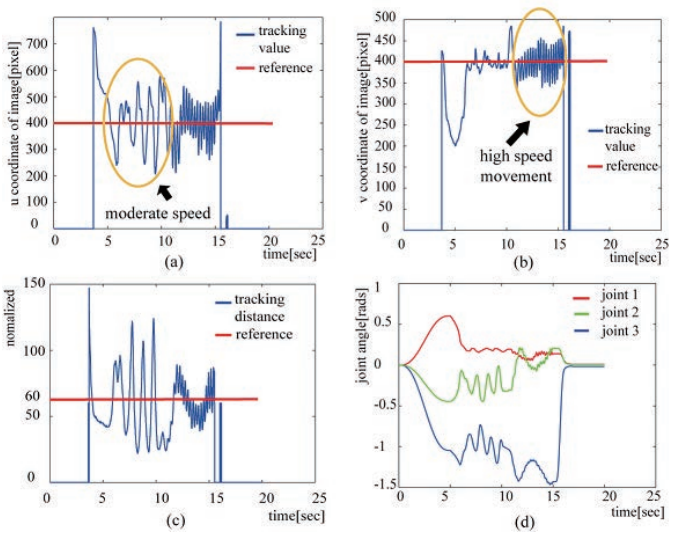
In this research, we propose an entirely new method for the simultaneous estimations of an object's rotation axis, rotation angle and 3D shape. In this method, an object is rotated and a high-speed vision captures its motion. Then, we estimate the object's rotation axis and rotation angle by using its silhouette, and simultaneously we reconstruct the object's 3D shape using space carving method.



2.55 ハンドアイビジュアルサーボによる高速トラッキング
High-speed Tracking by Hand-eye Configured Visual Servoing with Cylindrical Coordinate Approach

この研究は，ロボットアームを使って移動するターゲットを追跡するための高速ビジュアルサーボの手法を提案した。従来の手法とは違い、奥行き情報は必要としない計算しやすい単眼アイ・イン・ハンド構造での画像ベースの視覚サーボ(IBVS)手法を提案した。

We presents a visual servoing approach for high-speed manipulation with one eye-in-hand high-speed vision sensor. By exploiting the special features of high-speed visual feedback and motion, a direct visual servoing scheme based on a simplified interaction matrix is proposed. The camera's internal parameters are not calibrated. Simplifying the interaction matrix allows decoupling of motions, which improves global convergence. By further simplifying the interaction matrix so as to make it depth-independent, estimation of depth information is not needed, making the approach suitable for high-speed setpoint control.



トラッキングの特徴量
Tracking process

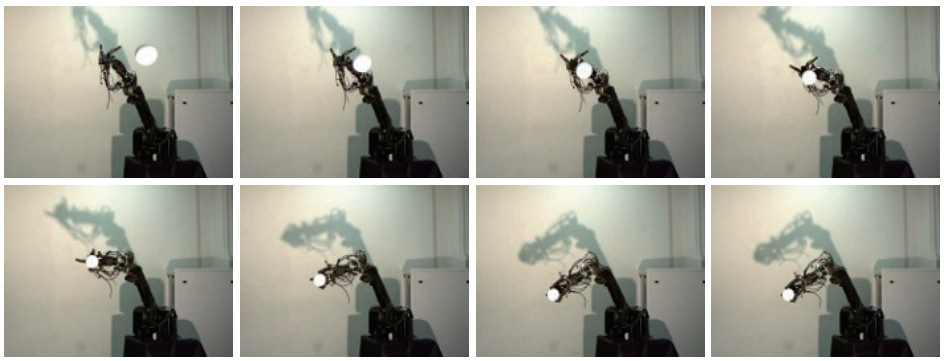
2.56 反転動作を用いた高速キャッチング
High-speed Catching Based on Inverse Motion Approach

我々の研究室では，〝ロボットハンドアームによる高速な投球動作〟を実現してきた．また，ロボットによる捕球の研究の中に，捕球時のボールとハンドの速度が小さくなるようにアームを動作させる戦略があり，捕球時の衝撃を小さくできたり，捕球がしやすくなるなどの点において優れている．しかし，この戦略ではボールと手先の速度を等しくしなければならないため，アームの最高速度より遅いボールしか捕球できない．

そこで我々は，上記の投球動作を捕球に応用することで高速なボールを捕球できると考えた．また，投球と捕球は運動の方向が反対であるため，ある動作を時間的に逆再生した動作を『反転動作』と定義し，投球の反転動作を捕球に用いる戦略を提案した．ここで，反転動作は元の動作を逆再生した動作であり，上記の投球動作は最適化計算により求められるものであるため，そのままでは捕球動作に適用できない．そこで，本戦略では予め何種類か反転動作軌道を用意しておき，それらをボールの軌道に基づいて補間することで，捕球動作に対応した．そして，ボールの捕球実験を行った．

We had developed "High-speed Throwing Motion Based on Wave Propagation (throwing strategy)". On the other hand, there is a catching strategy to minimize the velocity difference between ball and manipulator at the moment of catching. This strategy is effective in terms of making impact smaller and avoiding flipping a ball because the velocity difference is small. However, with this strategy we can only catch a slower ball than the maximum velocity of the arm because we must move the arm at the same velocity as the ball. In other words, we must move the arm at high speed to catch a high-speed ball.

We consider that we can achieve catching a faster ball by applying the throwing strategy. Therefore, we propose catching strategy using the inverse motion of the throwing motion because catching and throwing move in opposite direction. Here we defined "Inverse motion" as the motion that played the original motion backwards. However, we can't generate catching motions simply, because the inverse motion is the motion that played the original motion backwards and the throwing strategy is calculated by optimal calculations. Therefore, we calculate several types of the inverse motion of throwing motion preliminarily and generate the catching motion by interpolating the inverse motions based on trajectory of the ball. We achieved catching a ball in planar motion.



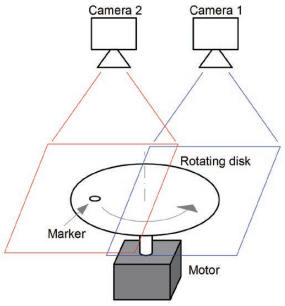
2.57 ネットワーク型高速ビジョンによるトラッキング
Object Tracking Using Networked High-Speed Vision

本研究では，一つのカメラの視野内に収まらない，複数のカメラの異なる視野にまたがって移動する対象をシームレスにトラッキングすることを目的とする．これにより，設置場所の固定されたアクティブビジョンのパン / チルトによる視野の移動よりもさらに広い視野を持つシステムの実現が可能になる．

ネットワーク化された複数台の高速ビジョンセンサ によって，それらの視野内を高速に行き来する対象を追跡できる．下の図は，視野の一部が重なるように設置した 2 台のカメラをネットワークで接続し，それらの視野をまたいで運動する対象の位置を計測した例である．2 台のカメラは事前に空間的にキャリブレーションされ，各カメラのフレームを取りこんで処理するPCの時計はPTPによって同期している．

高速に円運動するマーカーの位置を見失うことなく，視野の境界部においてもシームレスに追跡できている．円盤の回転速度は毎秒 10 回転，マーカーの移動速度は 2000 mm/s である．

いくつものカメラの視野にまたがって高速に移動する物体の追跡として，たとえば高速道路に沿って設置した高速ビジョンセンサ群によって，道路上の車をすべて見失うことなく追跡するなどの応用が考えられる．

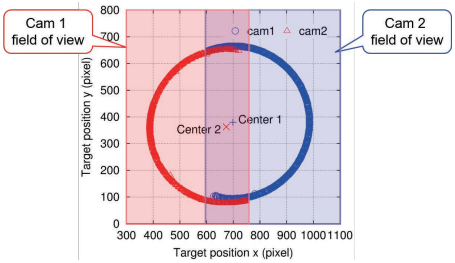


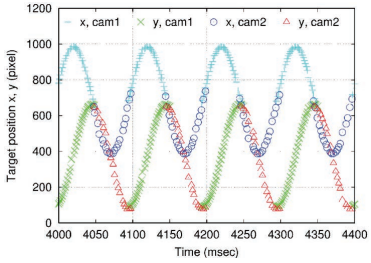
This work aims to develop a networked high-speed vision system that can seamlessly track target objects moving across multiple cameras' fields of view. The system enables much wider tracking range compared to active (pan-tilt) cameras.

Multiple high-speed cameras connected with network enable tracking objects that move across the multiple fields of view at high-speed. The figures below show an experiment of networked high-speed ameras with partly overlapping fields of view. A small marker moving across the two fields of view was tracked and its position was measrued. The two cameras were spatially calibrated, and the timescales of PCs that acquire and process the images from the cameras are synchronized by PTP.

The marker moving at high-speed was seamlessly tracked without losing, even at the bondary of the fields of view. The rotation speed of the disk was 10 revolutions-per-second, and the marker moving speed was 2000 mm/s.

For example of a high-speed object that moves across numbers of cameras' fields of view, vehicle tracking along highway is one of possible applications.

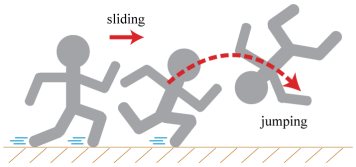




2.58 重心加速度空間における滑走動作の 2 次元解析
Planar Sliding Analysis of a Biped Robot in Centroid Acceleration Space

クーロン摩擦を仮定した滑りダイナミクスに基づき，重心加速度空間における状態判定の定式化をおこなった．定式化された図を「滑り摩擦三角形」と定義し，類似の状態判定図である摩擦円錐との比較や加減速に関する考察をおこなった．シミュレーションでは，2 自由度モデルを設定して具体的な挙動を解析した．結果として，滑り摩擦の非対称性が体幹の回転運動には影響せず滑り加速へ寄与するのに対して，トルクの非対称性は滑り加速と回転運動の両者に寄与し，このバランスを決める要因がモータの粘性摩擦であることがわかった．

A two-dimensional analysis of biped robot sliding dynamics is considered. First, the dynamics of a biped robot based on feet slip are derived using the Coulomb friction model. The state transition can be formulated in the centroid acceleration space whose diagram is defined as a "triangle of sliding friction." The triangle of sliding friction's characteristics are explained by focusing on comparison with the cone of friction, which has a similar state decision diagram. Moreover, the behavioral simulation of a concrete 2-DOF biped robot is used to analyze the sliding features in terms of the asymmetry of the dynamics of both legs.



2.59 「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 and Batting Robot System

従来の知能ロボットは，人間と比較してその動作が緩慢であった．一方，産業用ロボットは，一定の繰り返し作業に対しては高速の動作が実現されていたが，特定の繰り返し作業に特化した動作しか実現されていなかった．また，両者ともその対象は静止状態あるいは静止状態に近いものが想定されており，動きを伴い変化する対象に対しての作業は実現できていなかった．その意味で，人間の能力には遠く及ばなかった．

今回，人間の能力を超えるロボットとして，動的に変化する対象を扱うロボットの実現を目指し，その第一歩として，スローイングロボット と バッティングロボットを開発し，その連続動作を実現した．

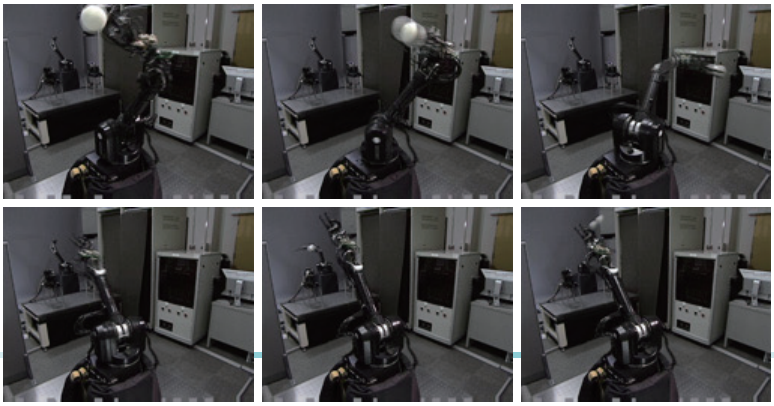
このシステムは,①人間のように多指ハンドを用いてボールをコントロールし，目標位置に投球するスローイングロボットと，②高速ビジョンを用いてボールを確実に打つバッティングロボットを組み合わせたものであり，今回，これら２つのロボットを用いてボールを投げて打ち返すという連続的な動作を実現した．

スローイングロボットでは，1秒間に180度の開閉動作を10回実現する指を備えた高速多指ハンドを開発し，腕と指を巧みに操った器用なリリース動作によってストライクゾーンへの投球を実現した．バッティングロボットは，1秒間に1,000枚の画像を処理する高速ビジョンにより，ボールの軌道を的確に捕らえ，ストライクのボールを確実に打つことが可能である．

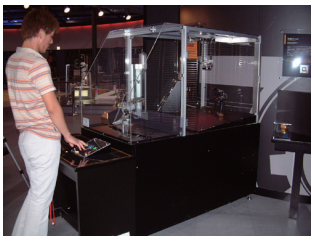
これらのロボットは，従来のロボットの動作速度の限界を打ち破る運動性能と人間を超える高速な認識機能を実現したものである。従来のロボットが静止状態に近いものを対象としていたのに対して，動的に変化する対象物に対してもロボットの応用可能性を広げたものであり，人間を超える能力を有するロボットの研究を加速するとともに，生産工程の高速化や飛んでいる対象を扱うロボット等，今後のロボット技術の対象範囲を飛躍的に拡大する可能性を示唆するものである。

General intelligent robots cannot achieve fast and dexterous movement such as human motion. On the other hand industrial robots can repeat preplanned motion quickly, however its variation of motion is limited only to a certain specific task. In addition these robots cannot respond quickly to changing objects due to insufficient motor performance and recognition performance.

In this research we aim at the realization of the robot which can manipulate dynamic changing objects. As a first step, we have developed a Throwing and Batting robot system and achieved the high-speed continuous motion.



2.60 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
(exhibited in National Museum of Emerging Science and Innovation since 2005)



投げ込まれたボールの軌道をビジョンによって瞬時に判断してキャッチすることができる，超高速ロボットハンドシステムを開発した．このシステムは，1ms（0.001秒）で画像処理が可能な ビジョンチップ，人間を超える高速運動が可能な 高速ロボットハンド，画像情報に基づいてロボットを制御する視覚フィードバック制御の３つがキーとなる技術であり，わずか0.1秒で到達するボールを，人間の眼には見えない速度で瞬時にキャッチすることができる．

本システムは，独立行政法人科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業の研究テーマ「感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的実現」(研究代表者：石川正俊，東京大学大学院情報理工学系研究科教授)で開発された技術に基づいており，2005年７月より，日本科学未来館（東京都江東区)において展示されている．

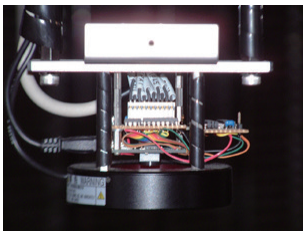
本システムは，セイコープレシジョン(高速キャッチングシステム開発，視覚フィードバック制御担当)，ハーモニック・ドライブ・システムズ（高速ロボットハンド開発担当)の協力を得て製作されました．



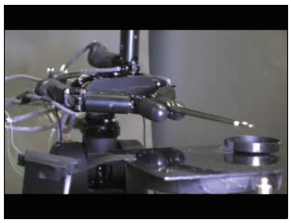
A multifingered hand system which can catch a thrown ball at a high-speed (0.1s) by visual feedback control is developed.

It has been exhibited in National Museum of Emerging Science and Innovation since July 2005.

This system is developed in cooperation with SEIKO Precision, Inc. (Catching System and Visual Feedback Control)and Harmonic Drive Systems, Inc.(High-speed Hand Mechanism).



2.61 高速多指ハンド，高速視覚を用いた道具操り
Tool Manipulation by a Multifingered Hand Using a High-speed Vision



多指ハンドが器用な操りをするうえで，道具の操りは欠かせないタスクである．道具を扱うには，時間ごとに変化する多指ハンド，道具，道具によって操る対象の三者の相対位置や姿勢を知る必要がある．本研究ではこの問題を高速視覚を用いることによって解決し，ハンドと道具との間に生じる受動関節性を利用しより柔軟に操りを実行している．その一例として，多指ハンドによるピンセットの操りを取り上げ，実験を行っている．

In order to achieve skillful handling, it is necessary that a multifingered hand has a capability to manipulate tools. One important problem of tool handling with a multifingered hand is that the relative positions among a robot hand, a tool and a handled object change during the handling. For this reason, it is necessary to measure the relative positions in real time, and to control a hand so as to cancel the changes by passive joint arise from frictional force between hand and tools. In our research, we have resolved this problem by using a high speed visual servoing. As an example, a tweezers is handled by a multifingered hand.

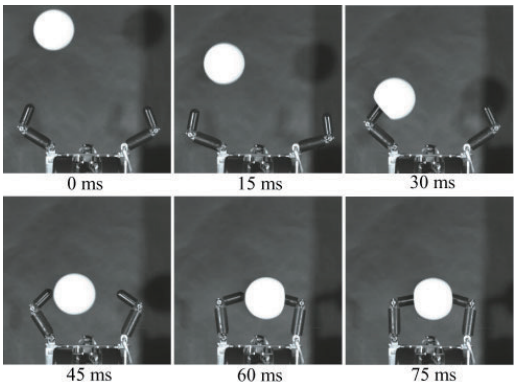
2.62 高速多指ハンドを用いたダイナミックキャッチング
Dynamic Active Catching Using High-speed Multifingered Hand

0.1 秒で指の180度開閉動作が実行可能な，新しい高速多指ロボットハンドが開発されている．これにサイクルタイム1msの高速視覚フィードバックシステムを適用することにより，これまでのロボットハンドには不可能であった様々な動的操作が可能になる．ここでは，動的操作の一例として，落下物体の捕球動作を取り上げる．

We have achieved dynamic catching tasks as examples of dynamic manipulation. In this regard, we propose an "active" strategy for catching. The catching strategy in our previous study may be called "passive" in that impact forces between the target and the fingertip are kept as low as possible. However, in order to be effective in various situations, it is important to utilizing the high-speed motion of the hand and impact forces actively. This is because the hand may catch the target in the optimal position by changing the position and the orientation of the target. We use a falling ball and a falling cylinder as catching targets.

落下球の能動的キャッチング動作　Active catching of a falling ball

約１[m]の高さから落下するゴムボールを，2本指を用いて捕球する．落下位置は２本の指のちょうど中心とは限らず，指の設置された直線上においていくらかのずれがあるとする．このような場合，落ちてきたそのままの位置で安定して把持することは難しい．しかし，球と指との衝突現象をうまく利用することにより，安定しやすい２本指の中心位置に球を追い込み，捕球を成功させる．このような能動的な捕球戦略は，対象の動きに対して受動的な捕球動作と比較して，捕球の可能性を広げることができるものと考えられる．高速ビジョンシステムを用いて球の3次元位置情報をフィードバックしながらハンドを制御し，このタスクを実現した．

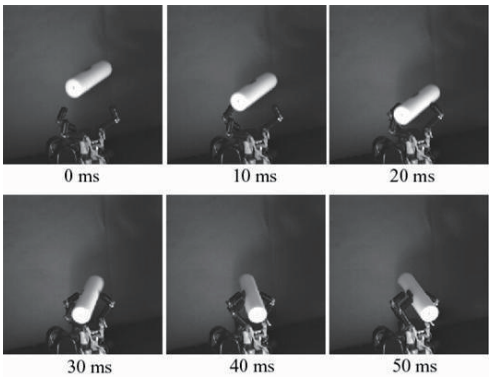


The ball does not fall at the center of the two fingers but falls in a position shifted from center in the experiments. To achieve robust catching, the two fingers are controlled so that the target should bounce into the middle of two fingers.

落下円柱の能動的キャッチング動作　Active catching of a falling cylinder

約１[m]の高さから落下する円柱を，3本指を用いてキャッチングする．このとき，ある傾きを持って落下する円柱を，３本指をうまく用いて回転させることにより，把握しやすい姿勢まで操作する．対象の3次元位置に加えて姿勢の情報もフィード バックすることにより，このタスクを実現した．

The cylinder with postual change falls at the center of the three fingers in the experiments. To achieve stable catching, the fingers instantaneously rotate the cylinder to be grasping configuration in the horizontal plane.



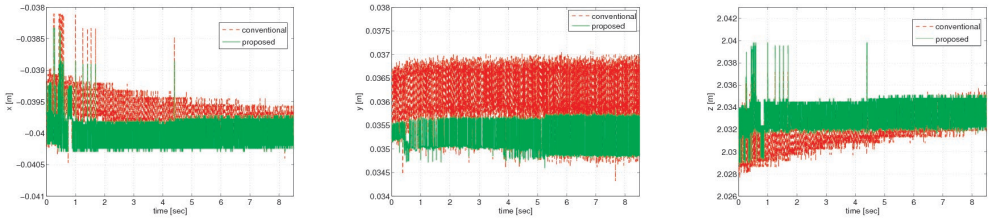
2.63　高速アクティブビジョンシステムによる位置計測の高精度化
Spatial Resolution Improvement Method using High Speed Active Vision System

高速ビジョンを用いたアクティブビジョンシステムは視覚フィードバックによるロボット制御において様々な利点を持つ．しかし，高速ビジョンは解像度が高くない場合が多く，立体視による三次元位置の推定精度を高くし難い．

そこで，本研究では，高速ビジョンの高い時間分解能を用いて二値画像上の対象の重心位置が変化する関節角を計測することで，対象の重心位置に対応するアクティブビジョンの関節角を求め三次元位置の推定精度を向上させる手法を提案した．

Active vision using high-speed vision has many advantages in controlling robots by visual feedback. However, high-speed vision has often low spatial resolution and this limits the accuracy of three-dimensional position estimation by stereo vision.

This research proposes a method improving the accuracy of three-dimensional position estimation of a static object by two high-speed active vision systems.



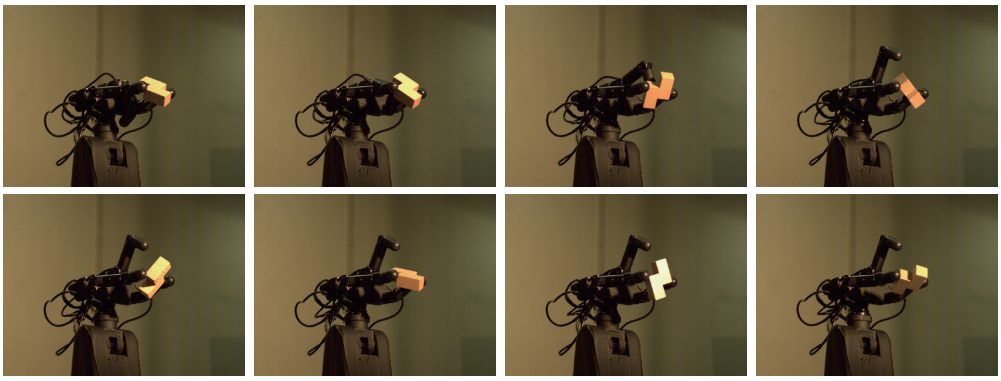
2.64　多指ハンドによる能動的３次元センシング
Active 3D sensing using a multifingered hand

ヒューマノイドロボットや産業用ロボットの研究が盛んになるにつれ，物体の3次元形状を認識することはより必要不可欠な問題となり，注目を集めている．近年では，より素早くかつ効率的に物体の3次元形状をセンシングするために，物体を操るロボット自らが，その物体をセンシングしやすいように，物体を傾けたり回したりして能動的にセンシングする技術の需要が高まってきている．

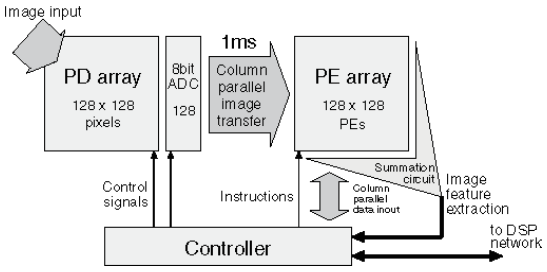
回転する物体の3次元形状を復元する研究は，過去にいくつか行われてきたが，実際にハンドを用いた能動的なセンシングに関しては，十分な研究がなされてきてはいない．そこで本稿では，多指ハンドによって物体を回転させることで，能動的に物体の3次元形状をセンシングする手法を提案する．具体的には，対象となる木製の立体パズルのピースを多指ハンドを用いて回転させ，それを高速カメラで撮影し，そこから得られた輪郭情報をもとに，対象物体の存在しうる範囲を徐々に限定していくことによって，3次元形状を復元することを目指す．

As humanoid robots and industrial robots become a popular research topic, recognizing the 3D shape of physical objects is more essential and attracts much attention. In recent years, in order to sense the shape of objects more quickly and more effectively, the technology to sense objects actively is demanded widely; for example, a manipulating robot itself tilts or rotates objects so that the camera senses them easily.

Although 3D reconstruction of rotating objects has been done in some previous researches, active sensing actually using a robot hand has not been done enough. In the present study, we suggest a method of active 3D shape sensing by rotating the object using a multifingered hand. Specifically, the multifingered hand rotates a piece of wooden 3D puzzle, and the high-speed camera captures the rotating piece. Then, we limit the shape of the piece refer to its contour information. As a result, we can realize the reconstruction of its 3D shape.



2.65 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
CPV: Column Parallel Vision System



本研究の成果が浜松ホトニクス(株)により製品化されました→ インテリジェントビジョンシステム

ビジュアルフィードバックによってロボットの高速かつ動的な制御を実現したいという要求が高まっている．このためにはビジョンシステムが，高速な動きに追従し，高速な処理と特徴量のフィードバックを実現しなければならない．

これに対して，ロボットの制御に必要なサーボレートは一般に1kHz程度であり，動的な制御を実現する上で，これまでのビジョンシステムはこの要求を満たすものではなかった．

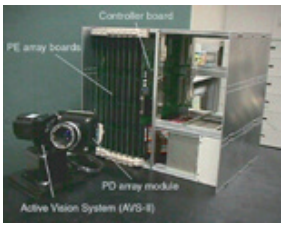
このような背景のもと，我々は，列並列画像伝送と完全並列処理を組み合わせることで，1msの高速性と128×128画素の高解像度を実現した．センサチップは128×128画素のフォトディテクタと128個の8bitのAD変換器からなり，列ごとに並列に，ビットシリアルにデータを出力する．これに対して並列処理部は多数のFPGAを用いて実装され，128×128個のプロセッシングエレメント(PE)により，画素ごとに完全並列な処理が行われる．

(本研究は 浜松ホトニクス(株)との共同研究です)

The research results have been a commercial reality by Hamamatsu Photonics. -> Intelligent Vision Sensor.

Our 1ms vision system has a 128x128 PD array and an all parallel processor array connect to each other in a column parallel architecture, so that the bottleneck of an image transfer has been solved. 1ms visual feedback has been realized in this system, in which the image feature value is extracted in 1ms cycle-time for visual servoing.

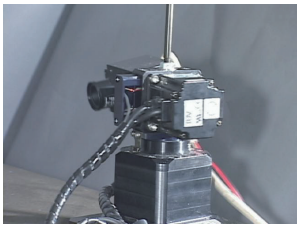
(This is a collaborative research with Hamamatsu Photonics)



CPV-I

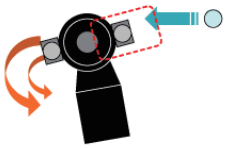


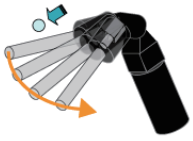
CPV-II



CPV-II + アクティブビジョン
CPV-II + active vision

2.66 人間－ロボット共存のための衝突回避行動
Pixel-parallel collision detection for safe human-robot-coexistence



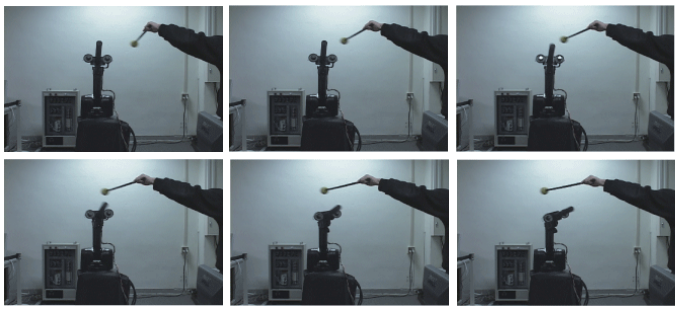


回避軌道
Avoidance trajectory

近年、ロボットは工場などの人間からある程度隔離されている環境のみならず、コミュニケーションロボットなどといった、人と積極的に関わり、人と生活を共にするような環境での活躍が期待されている。このようにロボットと人間が関わりあう機会が増えるにつれ、ロボットが人間を傷つけないため、またはロボット自身が傷つかないための安全対策が重要になってくる。

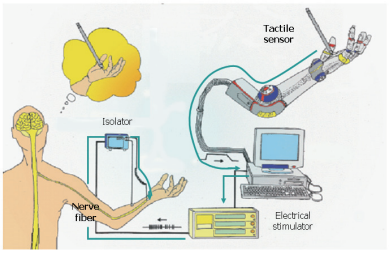
本研究では、ロボットに接近してくる対象を実時間に回避することを目標とした。ロボットアームのリンク部分に高速視覚を搭載する機構を用いており、エンドエフェクタ部が障害物の運動に対して回り込むような回避行動をとるように制御している。

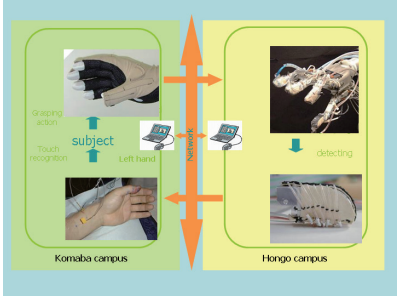
Recently, the need for a robot that collaborates with humans has increased not only in the industrial settings but also in home use. It is certain that the opportunities that robots associates with humans increase from now on, and human safety becomes a big problem. In our research, we propose a collision avoidance system in which high-speed camera heads are placed on a robot manipulator. The manipulator can avoid the fast moving obstacle. The arm link is controlled so that the obstacle describes a spiral on the image plane, and the trajectory of the end effector describes a spiral.



2.67 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
A system for tactile sense through human sensory nerve fiber

触覚センサを装着したロボットハンドの把持動作により生じた触覚情報を、触覚神経経由で生体に伝達するシステムを構築しました. システムは被験者とロボットハンド側の2つに分かれており、相互をネットワークにより接続しています。被験者が右手により把持動作を行うと、その動作をサイバーグローブにより計測し、ネットワーク経由でロボットハンド側に伝送して、ロボットハンドを制御します。把持動作によって生じた対象物との接触状態を触覚センサにより検出し、再度ネットワーク経由で被験者側に伝送し、被験者の左腕の触覚神経系に挿入した微小電極により神経線維に電気刺激（パルス列）を与え生体に提示します。被験者は提示された感覚強度を足元のペダルにより表現します。実験の結果、触覚センサの出力変化に応じて被験者が申告する感覚強度に変化が生じていることが確認できました。（本研究は，東大 満渕研究室，電通大 下条研究室 との共同研究です.）



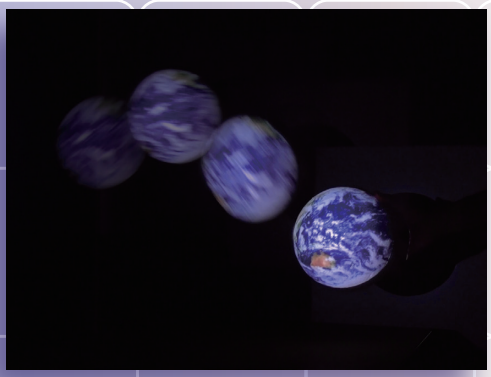


Signals is inputted directly to human's sensory nerves to transmit the sense of touch. This method may not only applied to virtual reality technology, but also applied to prosthesis technology.
(This is joint research with Mabuchi Laboratory and Shimojo Laboratory .)

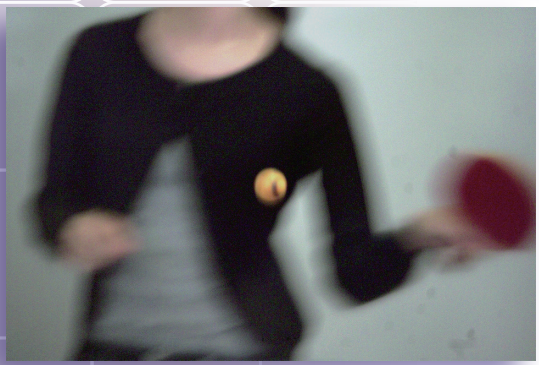
3. ダイナミック ビジョン システム
Dynamic Vision System

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．

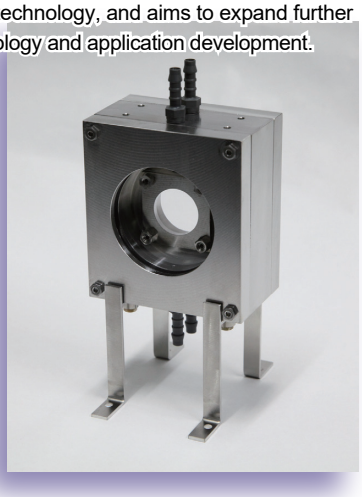






Various phenomena including humans basically have dynamics, and many of them cannot be handled with conventional sensing methods. Dynamic Vision System (DVS) is a system that adaptively measures, understands, and applies dynamic objects using a vision which is devised in optics. Utilizing dynamic measurement 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

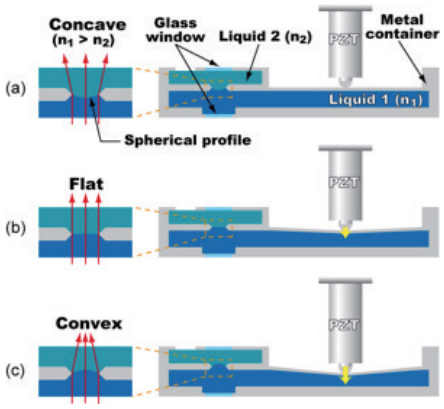


図 1 ダイナモルフレンズの断面図と可変焦点の仕組み

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．

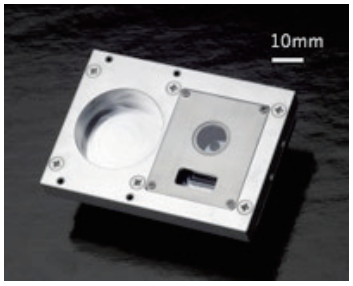
我々は積層型ピエゾアクチュエータを利用する高速応答を実現する駆動原理と，実用的な収差量の可変屈折面である液-液界面とを組み合わせることで，高速かつ高解像力の可変焦点レンズを研究・開発している．我々の提案する可変焦点レンズは，図1に示すように堅い容器の内部に2種類の互いに混ざらない液体を入れた構造を持つ．2種類の液体は容器内に作成された円形開口で互いに接しており，この部分が光線を屈折する面として機能する．界面形状はピエゾアクチュエータが伸縮することに伴う容積変化を利用して変化させる(図1(a)-(c))．この方式では液-液界面がダイナミックに変形するので，我々はこの方式の可変焦点レンズをダイナモ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



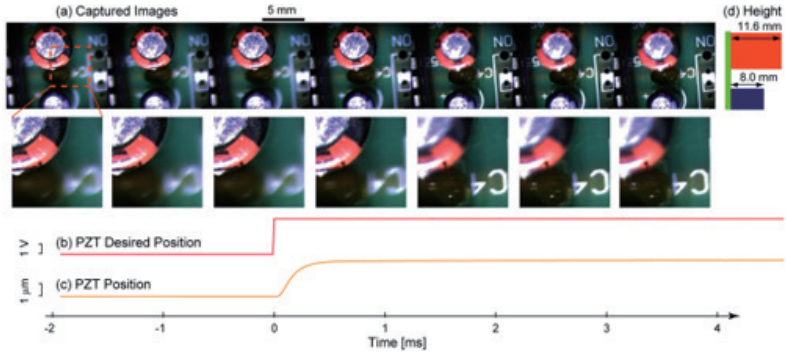


図2 高速にフォーカス位置を切り替えながら撮像した結果. 図中(a)には高速カメラで撮像された連続写真, (b)と(c)にはそれぞれピエゾアクチュエータへの位置指令値と実際のピエゾアクチュエータ応答, (d)には対象を横から見た時の形状, が示されている. 画面左上のコンデンサー上面から画面右下の基盤表面まで焦点面を切り替えており, 時刻(Time)0で切り替えを開始してから2msでほぼ切り替えを終えていることがわかる. なお, コンデンサー上面から基盤上面までの距離は約11.6mmであった.

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.

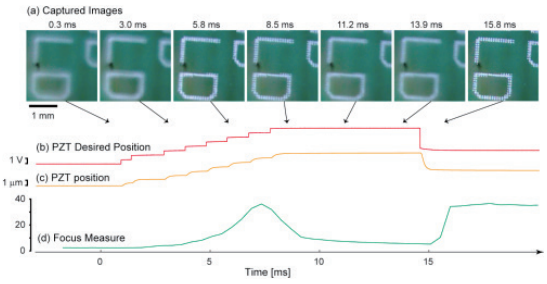
Autofocusing is an essential function for modern imaging systems. One common method is contrast measurement, which finds the best focus position by detecting the maximum contrast of images. The contrast method needs to acquire two or more images at different focus positions and evaluate their contrast. 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

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.



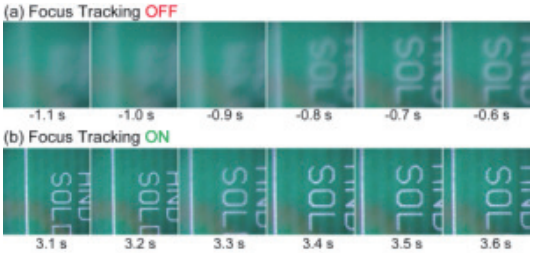


図 2 高速フォーカストラッキングの実験結果.
フォーカストラッキングなしの場合の対象画像系列(a)とフォーカストラッキングを有効にした場合の対象画像系列(b)

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．

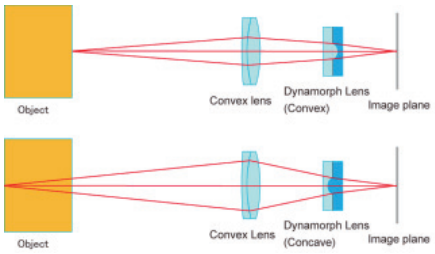


図1 構築した光学系
Figure 1. Schematic diagram of the developed High-Speed Variable-Focus Optical System.

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.

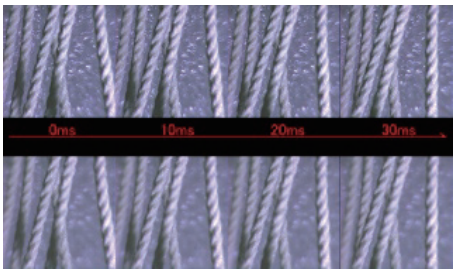


図2 被写界深度の拡張（上）
振幅約30mm，500Hzで焦点位置を振動させながら撮像した8000fpsの画像から全焦点合成した．1000fpsの合成画像系列．（下）全焦点合成を行わず，ある焦点位置における画像を1000fpsの画像系列として示したもの．

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.

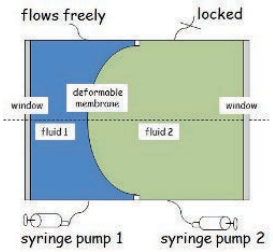


図 1 大口径可変焦点レンズの仕組み
Figure 1. A cross-sectional view of the lens system.

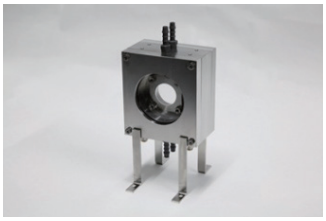


図 2 試作した大口径可変焦点レンズの写真
Figure 2. A photograph of the lens prototype.

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.

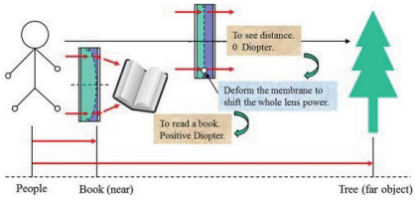


図 1 老眼を矯正する屈折力調整可能な可変焦点レンズの概念図.
Figure 1. A cencept of a pair of diopter-adjustable eyeglasses.

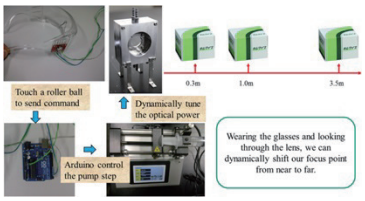


図 2 実験装置のセットアップ.
眼鏡から近中遠の距離に物体を設置した.

Figure 2. An experimental setup
and three objects signs for far-middle-near.

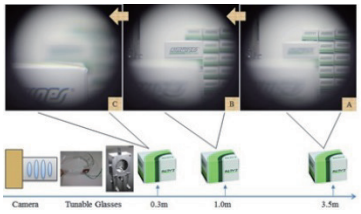


図 3 実験結果（動画から 3 枚のスナップショット）.
Figure 3. Three snapshots from a video recording.

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.

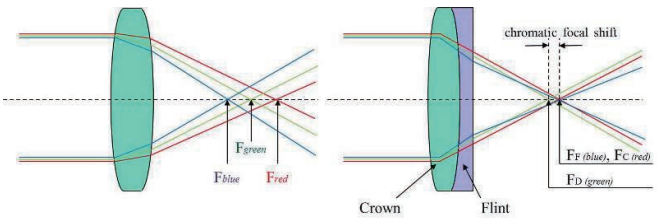


図 1（左）単一レンズでの色収差．（右）クラウンレンズとフリントレンズを用いた典型的な色収差補正 .

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.

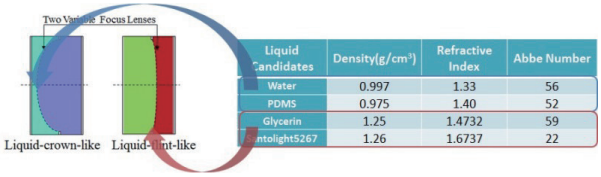


図 2 色消し可変焦点ダブレットの模式図．２つの可変焦点レンズから成り，
異なる分散特性となるように異なる種類の液体ペアを封入してある .

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.

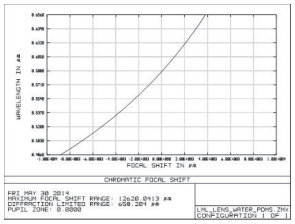
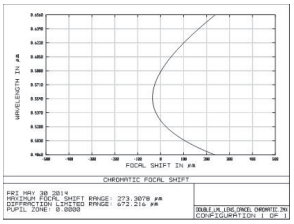


図３（左）単一アダプティブレンズの色による焦点距離変動
Figure 3. (Left) Chromatic focal shift of Adaptive Singlet.



（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.

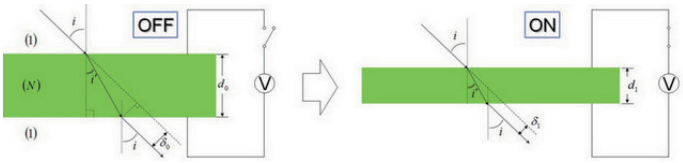


図１．（左側）ある透明な膜状素材を入射光線が通過する際のずれ変位．
（右側）膜状素材の厚さが変化すると，変位を制御可能．

Figure 1. Sketch shows the displacement shift when an incident ray passes through a DEA material without applied voltage (left), and the scale of the displacement shift can be controlled by the applied voltage(right).

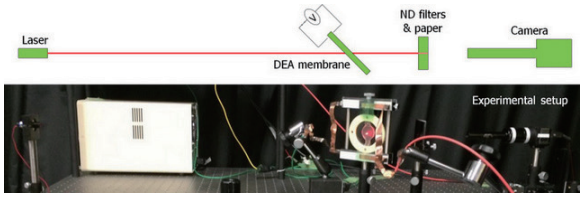


図２．実験装置のレイアウト

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 diame-

eter. 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.

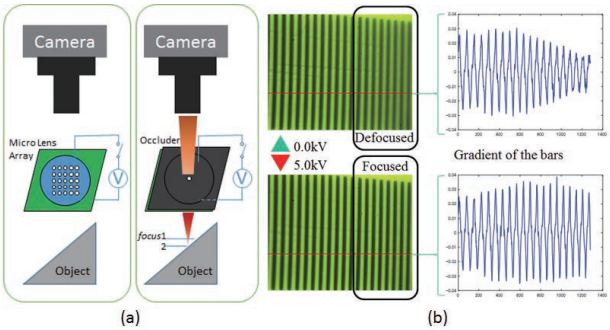


図 1（a）マイクロレンズを有するカメラにより、マイクロレンズアレイのプロトタイプを介して、深度フィールド情報を有するターゲットが観察された。1 つのレンズセルの性能を確認するために、1 つのセルの穴のサイズのみ穴を有する黒い遮光板を設置採用した。（b）左上の画像は、DEA にゼロ電圧が印加されたときに撮影され、印加電圧が 5kV のときに左下の画像が撮影された。レンズセルの焦点距離が変化するため、画像の右側のピントが上の画像とくらべて下の画像が合っていることが確認された。

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 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..

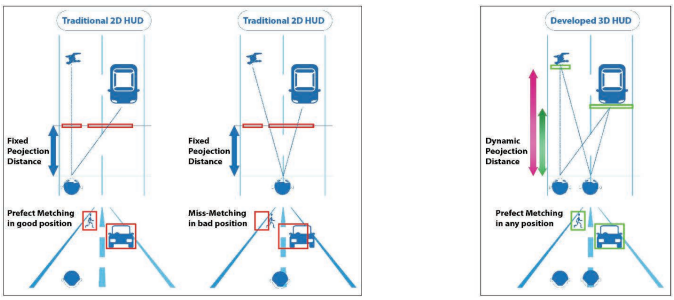


図１.（左図）従来の HUD は、特定の注意情報をウインドウに映し出すことが可能だが，運転者の視線や速度に関係なく決まった奥行き位置に表示される．そのため運転手の視線がずれると，観測される表示にもずれが生じていた．（右図）今回の技術では，高速投影技術を利用して三次元空間に虚像投影を行う．映像の表示位置を数 m～数十 m などに変更可能であり，三次元的な空間表示となるためドライバーの視点位置が基準観察位置からずれても，AR 表示は情報を重畳させる対象からずれない．

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.

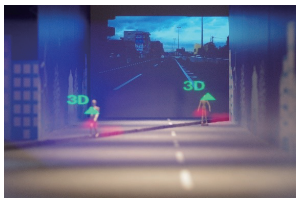


図４. 3D HUD 投影の写真（後ろに合焦），投影内容(緑)はドライバーから複数な距離に描画可能．

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.

3.10　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

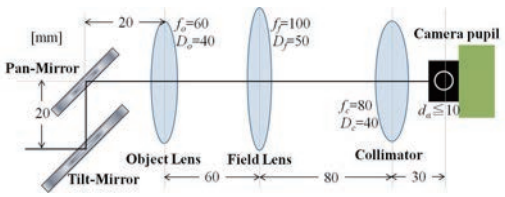


図1　サッカードミラーのセットアップ
Fig.1 Setup of Saccade Mirror

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.

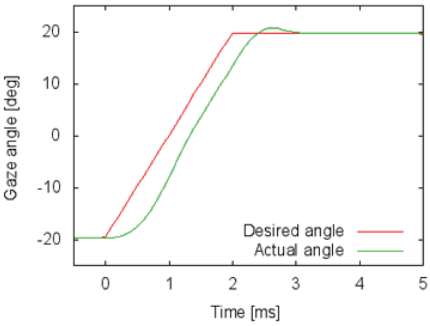


図2　応答時間測定実験の結果
Fig.2 Experimental Result

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

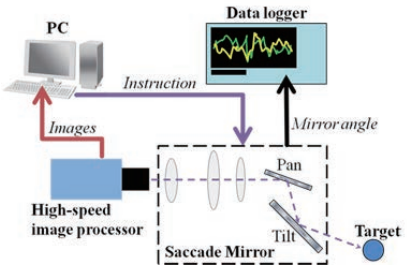


図1　ビジュアルフィードバック系
Fig.1 Visual feedback system.

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).

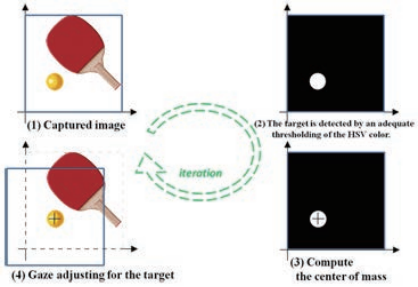


図2　トラッキングアルゴリズム
Fig.2 Tracking Algorithm.

3.12　1ms オートパン・チルト
1ms Auto Pan-Tilt



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

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 accuratly 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.

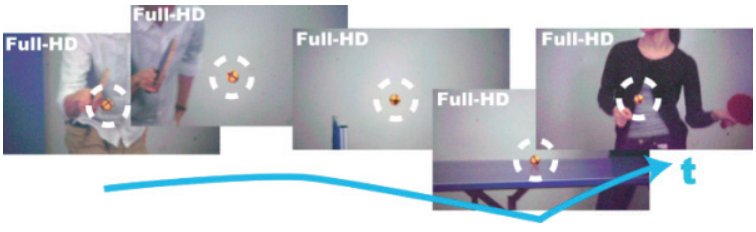


図２　卓球の 1ms オートパン・チルト映像（500fps フルハイビジョン）
Fig.2 Auto Pan-Tilt image sequence of a pingpong game. (500fps, Full-HD)

3.13 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

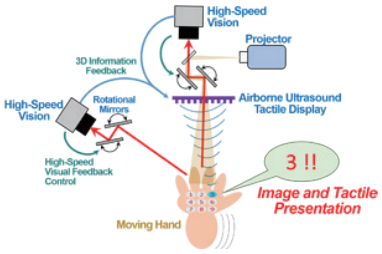


図１ システム概要
Fig.1 System Configuration.

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.

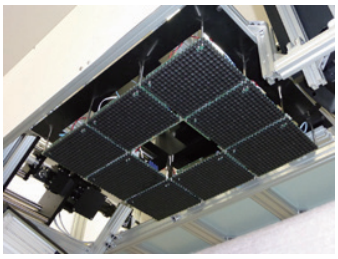


図２ 1ms AutoPan/Tilt システム及び触覚ディスプレイ発振機アレイ
Fig.2 1ms AutoPan/Tilt and Airborne Ultrasound Tactile Display.



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

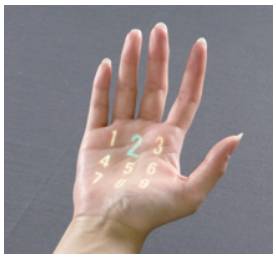


図４ 動く手に表示される映像（触覚刺激も表示されている）
Fig.4 Picture dislayed on a moving hand. (Tactile sensation is also displayed.)

3.14 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.

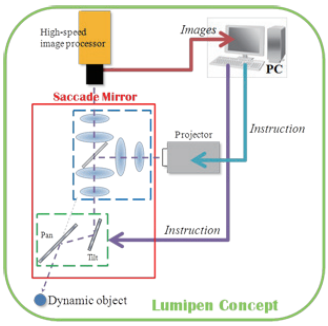


図 1 るみぺんのシステム概要
Fig.1 System Configuration.

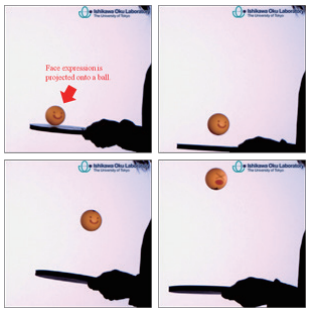


図 2 ボールに表情を投影した様子
Fig.2 Projecting an image on a dynamic ball.

3.15 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.

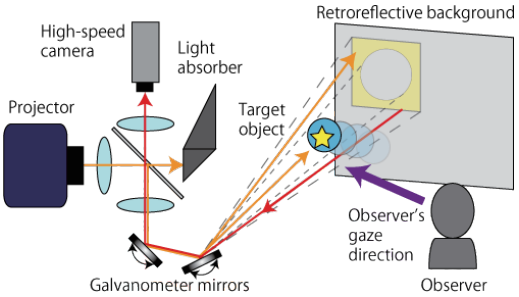


図 1 提案システム概要　Fig.1 System configuration.



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.

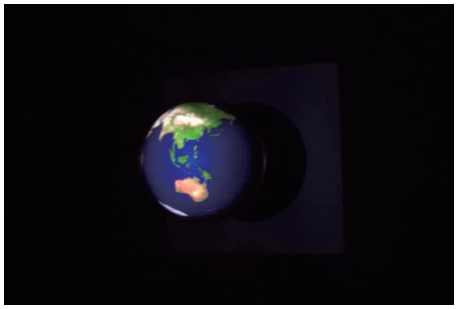


図 3 跳躍するボールに地球を投影した様子
Fig.3 Projection of an image of the earth to a bouncing ball.

3.16 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

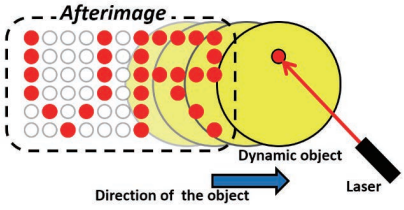


図 1 提案手法での情報投影イメージ画
Fig1. Outline of this method.

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.

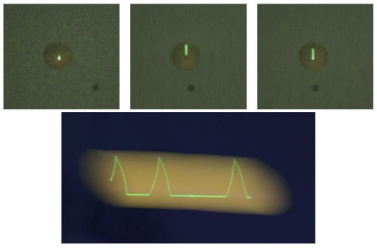


図 2 提案手法での投影の様子
Fig2. Presentation on a moving ball.

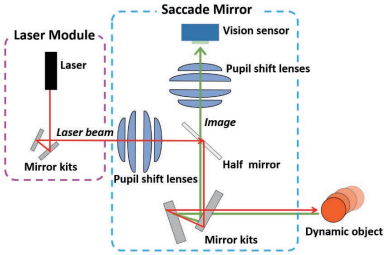
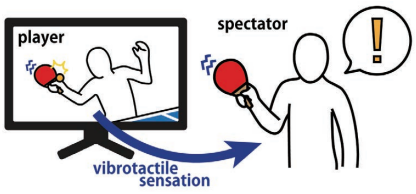


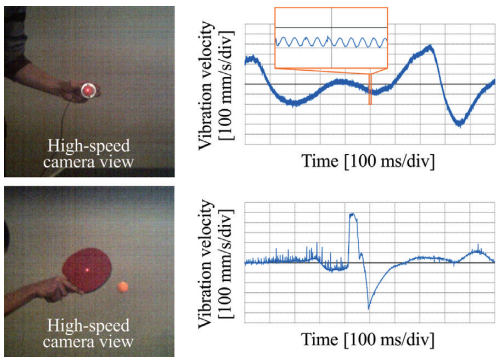
図 3 投影システム概略図
Fig3. Connection of the Laser Module and the Saccade Mirror.

3.17 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.



3.18 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.

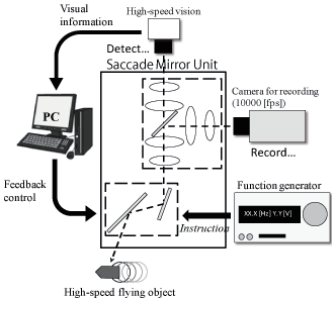


図 1 提案システムセットアップ
Fig.1 Setup of the proposed system.

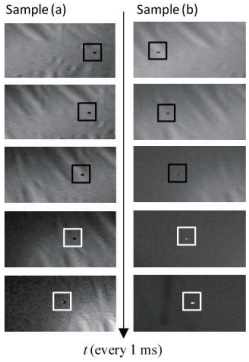


図 2 高速飛翔体の継続的撮影
Fig.2 Video recording of high-speed flying objects.

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.

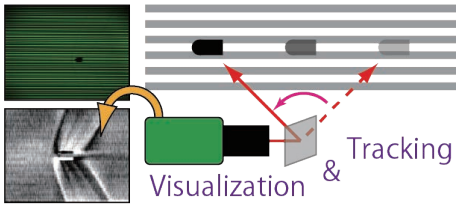


図３ トラッキング BOS 法概要
Fig.3 Concept of the Tracking BOS method.

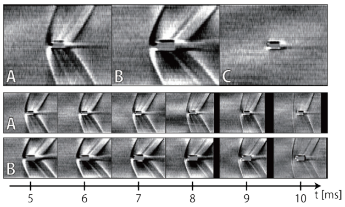


図４ 衝撃波の可視化：飛翔体
A（388.3 [m/s]），B（419.9 [m/s]），C（238.2 [m/s]）
Fig.4 Shock-wave visualization:
Target A (388.3 m/s), B (419.9 m/s), C (238.2 m/s).

3.19　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．

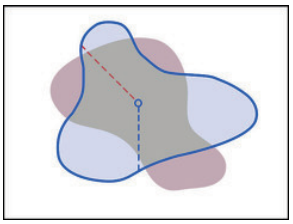
さらに，極座標空間を導入することで，この問題を最近のコンピュータの連続領域メモリに適用可能とする．極座標空間において各行間で部分的に独立となるため，キャッシュコヒーレンスと並列性を両立させつつ，各行に沿って輪郭が内外に動くようにする手法である．本手法は通常のIntel Core i7のプロセッサを用いて，VGAの解像度，1000fpsの動画にも対応可能である．

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.

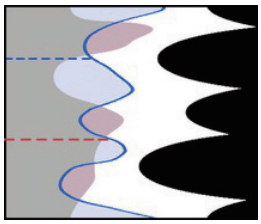
One approach to tracking is to find a local characteristic of the object and follow that. With this approach no concept of an object exists. This can lead to loss of tracking when objects drastically change appearance, and furthermore might give bad feedback to applications like the one presented here, 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.



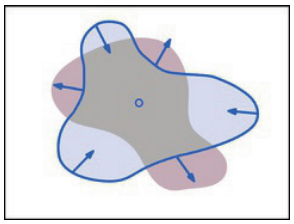
対象（赤）と輪郭（青）。青い円は極座標の原点を表す。

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.

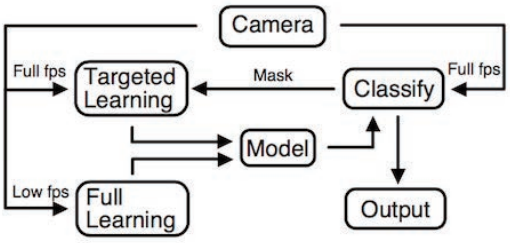
3.20 高速画像系列における動的背景差分に向けた標的モデリング
Targeted modeling for dynamic background subtraction in high-speed sequences

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.

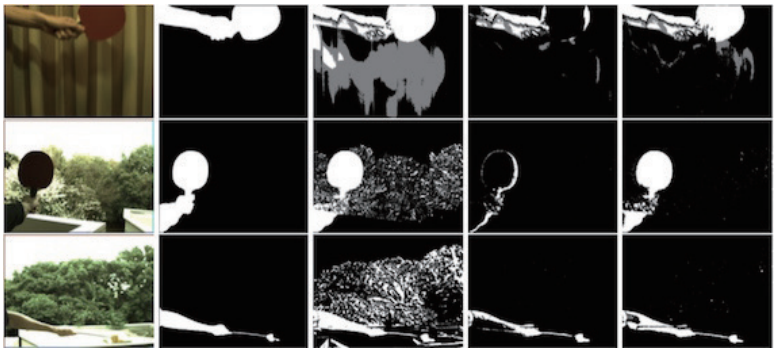


提案システム．動画像系列は二種類に分割され，片方は低い更新レートでモデル全体を更新するのに利用し，もう片方は識別結果画像が与えられた際に最大更新レートにおいて急速に変化する領域のモデルを更新するのに利用する．最大更新レートにおける最終的な前景のマスクも同時に生成する．

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.

3.21 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.

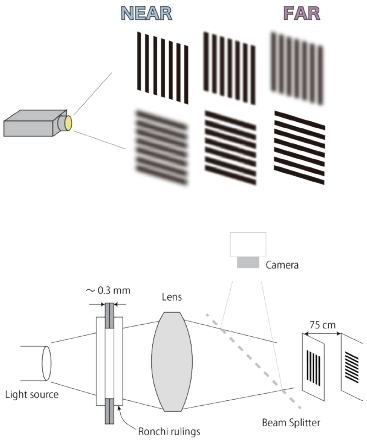


図１：システム概念図
Fig.1：System Overview

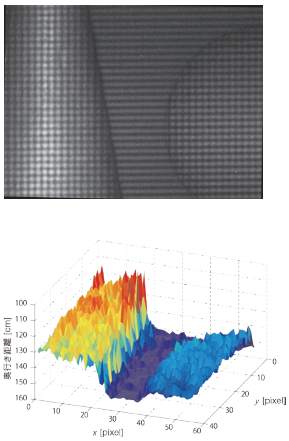


図２上：投影画像　下：距離の復元
Fig.2 Upper：Captured Image　Lower：Depth Map

3.22 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.

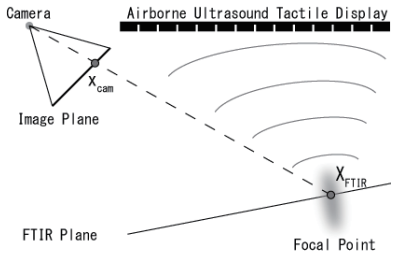


図 1 校正時の装置関係
Fig.1 Positional relation between devices.

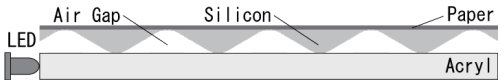


図 2 FTIR 装置
（アクリル・LED・膜（Compliant surface））
Fig.2 FTIR device(Acrylic Membrane(Compliant surface)).

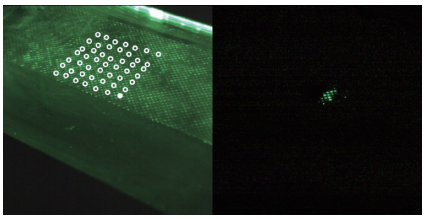


図 3 焦点位置可視化（左：検出した焦点パターンの位置，右：背景差分により抽出した 1 箇所での焦点位置）
Fig.3 Visualized focal position(Left: detected positions of the focal points pattern, Right: one focal point position extracted using background subtraction).

3.23 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.

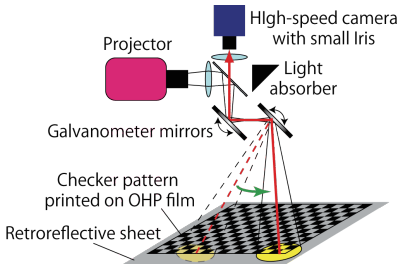


図 1 校正時におけるシステム構成（被写界深度増大）
Fig.1 System configuration to deepen DOF.

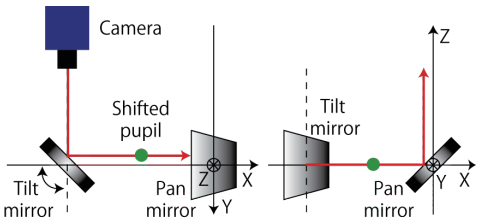


図 2 ミラー式視線モデル
Fig.2 Mirror-based gaze model.

3.24 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.

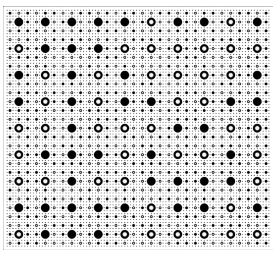


図 1 フラクタル校正パターン（3 段）
Fig.1 Fractal-based calibration pattern (3 levels).

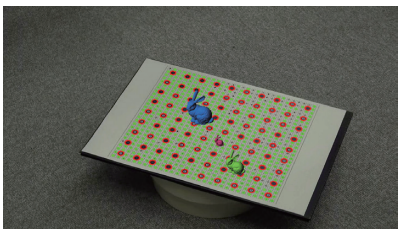


図２ 低ズーム倍率条件での検出と CG モデルの重畳結果
Fig.2 Pattern detection with 3D virtual objects at low zoom level.

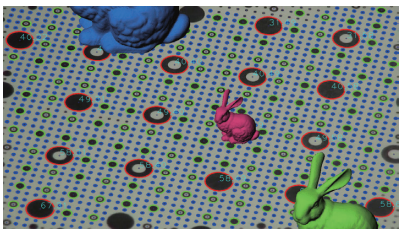


図３ 高ズーム倍率条件での検出と CG モデルの重畳結果
Fig.3 Pattern detection with 3D virtual objects at high zoom level.

3.25 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
High-Speed 3D Tracking of Chlamydomonas with Phase-Contrast Microscope

開発した微生物トラッキングシステム を実際の生物学研究に応用する試みの一つとして，東京大学大学院医学系研究科生体構造学分野，吉川研究室 と共同で，クラミドモナスの遊泳計測への応用を進めている．

近年，べん毛や繊毛といった運動する微細構造が様々な生命現象に関わっていることが明らかになり，その構造や機能の解明の重要性が増している．べん毛研究におけるモデル生物として，二本のべん毛で遊泳するクラミドモナスと呼ばれる藻の一種がよく研究対象として用いられている．この細胞が自由に遊泳しているところを微生物トラッキングシステムで追跡し，そのべん毛運動を詳細に観測することが本研究の目的である．

べん毛は太さ200-300nmと非常に細いため，その観察には位相差顕微鏡法などの微細構造を可視化する顕微鏡法が不可欠である．しかし，我々が開発したDFDi法は位相差顕微鏡法には適用できないため，高速なオートフォーカスの実現ができなかった．そこで，位相差顕微鏡法における高速オートフォーカスを可能にする手法を開発した．本手法は DFDiによる細胞群の高速奥行き位置推定手法 を拡張したものであり，位相差顕微鏡法下でも細胞動径方向の強度分布と細胞奥行き位置との間に線形の関係があると仮定して細胞の奥行き位置を推定するものである．

位相差顕微鏡法下での線形性の仮定のために奥行き位置推定精度はあまり良くないが，細胞がフォーカス位置にあるのか，それより上にいるのか，もしくは下にいるのかを推定するには十分な精度をもつため，トラッキング制御を行うには十分な奥行き位置推定精度を持つことを実験的に確かめた．開発手法でフォーカス位置制御を行い，画像面内方向は細胞位置を画像処理により抽出し，対象を含む容器位置を自動ステージをフィードバック制御することで，位相差顕微鏡法下でのクラミドモナスの3次元トラッキングに成功した．図1に，約88秒間に渡ってトラッキングしたクラミドモナス個体の三次元軌跡を，その軌跡の曲率(a)と遊泳速度(b)とを色で示したプロットを示す．

We have applied our microorganism tracking system to assess flagella mechanism of chlamydomonas, collaborating with T. Yamano and Prof. M. Kikkawa in Graduate School of Medicine and Faculty of Medicine, University of Tokyo.

Recently, flagella and cilia have gathered attension since their important role in mammal cells and relation to genetic diseases of human were revealed. Chlamydomonas is one of model organism of flagella research. The purpose of our research is to track a freely swimming indivisual chlamydomonas cell to observe its flagella and whole body movement and to study flagella mechanism.

Flagella of Chlamydomonas are very small structure with length of 10-15 micro meter, thickness of 200-300 nm. Special microscopic technique such as phase-contrast microscopy is essential to observe such small target. However, formally developed high-speed autofocusing algorithm named Depth From Diffraction (DFDi) could not be applied to the phase-contrast microscope.

A new method was developed to achieve high-speed autofocus with the phase-contrast microscope, based on the DFDi technique. This new method estimates depth position of individual chlamydomonas from single image by assuming the linear relationship between the radial intensity profile of the cell image and its depth position.

Though the estimated depth includes considerable error due to the linear assumption, the estimated depth had sufficient precision for the visual tracking, because of focusing control can be achieved by coarse depth resolution. In the minimum case, only three states, far from focus, in focus, and near from focus, are sufficient to achieve focus tracking, since the target is just needed to be shifted continuously in the direction of in focus if the state is not in focus.

Experimental results showed that we successfully achieved continuous stable 3D tracking of swimming Chlamydomonas with quality sufficient for assessing flagella movement, indicating the feasibility of our system.

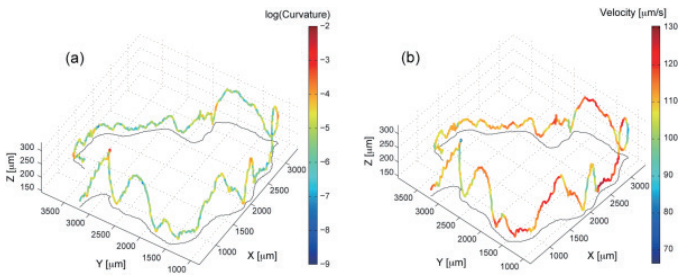


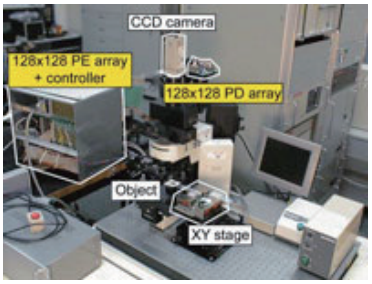
図１ クラミドモナス３次元遊泳軌跡のプロット．(a) 曲率の対数を色で表示した軌跡，(b) 速度を色で表示した軌跡．
Figure 1. Three-dimensional trajectory of a free swimming chlamydonomas, (a) showing the curvature, and (b) showing the velocity.

3.26 マイクロビジュアルフィードバック (MVF) システム
Microscopic Visual Feedback (MVF) System

顕微鏡下で代表されるマイクロ世界における作業のほとんどは，環境に合わせた作業を行うためのスキルを人間が習得する必要があった。この状況を打開し，人間に過度な負担をかけることなくマイクロ世界での自律的な操作を目指して，マイクロ世界において高速なビジュアルフィードバックを実現可能とする手法であるマイクロビジュアルフィードバック (MVF) を提案し，MVFシステムを試作してきた。MVFは高速視覚によって，微小な対象の情報を高速・高精度・非接触に計測・フィードバックすることで微小対象の自律的な制御を行う手法である。

With the rapid development of micro technology, it becomes more important to handle micro objects such as LSIs and cells. For human beings, however, handling micro objects through micro scope is very difficult. To solve this problem and realize automatization of manipulation of micro objects, we proposed MVF (Micro Visual Feedback). MVF is a technique that uses High-Speed Vision as a sensor to control micro objects. It has three advantages: high precision, high-speed, and no physical contact. By using MVF, systems can automatically control micro objects.

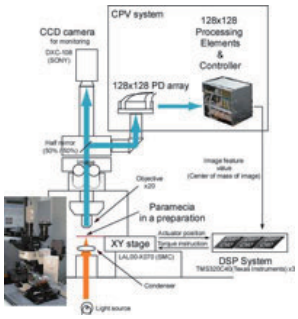
試作したMVFシステム　MVF system

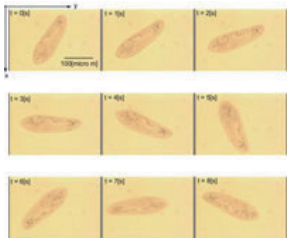


システムの現段階での構成は，マイクロ世界の運動対象を視野内に捕捉するための仕様をとっており，その構成は，列並列ビジョンシステム (CPV)，顕微鏡,直動コイルアクチュエータによる二軸のXYステージ，それらを制御するDSPシステムからなる．対象の画像は顕微鏡を通して拡大され,高速視覚システム,CPVシステムに入力される。高速視覚システムは,画像の入力・処理を行い,画像特徴量を抽出して外部に出力する。この画像の入力から出力までを,1フレームあたり1.28[ms]で行う。画像処理結果は制御用DSPシステムに送られ，その情報をもとに制御用DSPはアクチュエータに対して制御指令を与える。現在のシステムではこれらの全体の制御ループを約1kHzでの動作で実現している。

Developed MVF system is designed to control the position of micro objects in field of view. Components are Column Parallel Vision (CPV) system, microscope, XY stage with two computer controlled linear actuators, and DSP system.

CPV system watches a magnified image of micro objects through the microscope. CPV system captures and processes the image and output image feature values to DSP system in 1.28[ms] par frame. DSP system output torque instructions to actuators which were calculated from the image feature value.





トラッキングしている様子の連続写真と，その時のゾウリムシの軌跡を示す。ゾウリムシの軌跡は，XYステージの位置と画像中の対象位置を合わせて算出した結果を図示している。

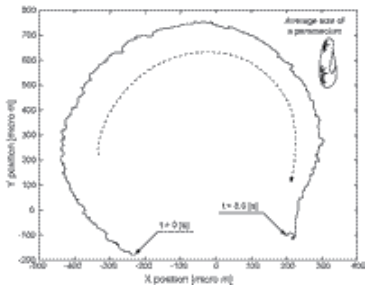
運動する微生物の顕微鏡視野内トラッキング
Tracking of motile microorganisms

運動する微生物を顕微鏡で観測しようとする場合，対象がすぐに顕微鏡視野から外れてしまい，継続的な観測が難しいという問題点がある。そこで，運動する微生物を顕微鏡視野内にトラッキングする実験を行った。本実験では運動する微生物としてゾウリムシを対象とした。

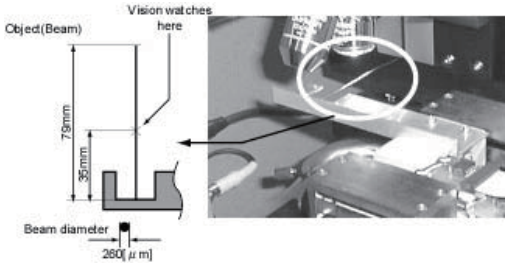
これらの結果から，ゾウリムシのような運動する微生物を顕微鏡視野内に補足しつづけることができることがわかる。

When observing motile microorganisms, objects swim out of field of view very quickly. This phenomena hindes the observer from observing one microorganism continuously for a long time. This problem is solved by using MVF to track the object within the field of view. Visually tracking a paramecium experiment was done. As a result, MVF system could track a paramecium continuously.

Photos captured by CCD camera for monitoring and trajectory of a paramecium are shown. The trajectory of a paramecium is calculated from both the position of the XY stage and the position of the paramecium in the image.

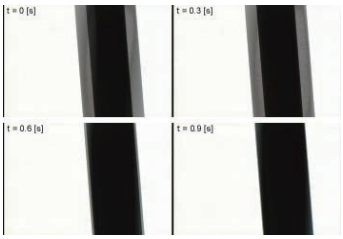


微小な片持ち梁の振動制御　Vibration control of micro beam



外乱を受けて振動する片持ち梁を,ビジュアルフィードバックで制御することで, その振動が止まるように制御した。

対象は図に示すような細い針金(一次固有振動数 約21[Hz])を用いた。結果の連続写真から, 振動を制御して, 止めていることがわかる。



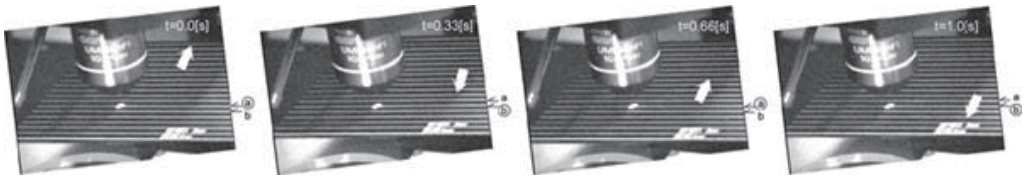
In this experiment, MVF system controlled micro beam vibration to stop using high-speed visual feedback.

The object's first order characteristic frequency was about 21[Hz]. Results show that the developed system succeeded to control the object and stopped it's vibration.

自律的直線検出実験　Line search

隣接する直線を高速視覚からの情報のみから自律的に検出・捕捉する実験。この実験では一つの直線を200msトラッキングすると, 隣接する直線を探しにいき, 検出するとその直線をまた200msトラッキングするという動作を繰り返す。本実験から本システムは自律的にマイクロ世界対象を操作できることがわかった。

In this experiment, MVF system searches and finds a line using only high-speed visual feedback. Once a line found, the system tracks a line for 200[ms], and move to search another line. The result shows that the system can visually search and find a line automatically.



3.27　人間と微生物との実世界インタラクション
Real-World-Oriented Interaction between Humans and Microorganisms

近年の計算機科学の発展は遠隔地や仮想空間内の相手との自在なインタラクションを可能にしたが, 異なるスケールの世界にいる存在とのインタラクションは未だに困難である. 特にマイクロ・バイオ分野の発展によりマイクロ世界とのインタラクションの必要性が高まっているにも関わらず, マイクロ世界とのインタフェースは未だ顕微鏡のレンズをのぞき込むことが主流であり, ユーザビリティは著しく低い.

そこで本研究ではこのスケールの壁を取り払い, マイクロ世界とマクロ世界をつなぐ新しいインタフェースを提案したい. ここではその第一歩として, 微生物との物理的な触れ合いを等価的に体験できるインタラクションシステムを提案し, まるでペットと遊ぶように微生物と触れ合えるシステムを実現する.

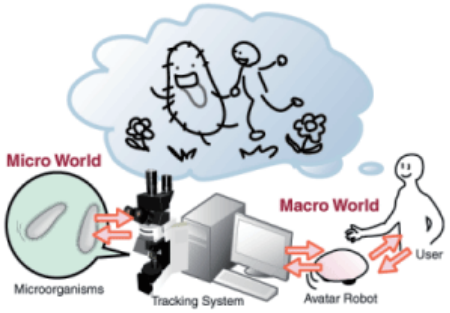
本研究では実世界志向の直観的な触れ合いを重視し, 微生物の運動や状態をマクロ世界で体現するアバタロボットを介して, 微生物と人間がインタラクションを行う. 微生物の位置や姿勢, 速度等は 微生物トラッキング顕微鏡 によってリアルタイムで計測・処理され, アバタロボットに伝えられる. これにより, ロボットはまるで微生物が乗り移ったかのように動く. また微生物が非常に元気な時はロボットの LED が光るなどの演出も考えられる. 逆にユーザがロボットに近付いた, 触れたなどの情報はロボットに装着された各種センサで検知され, 電気走性アクチュエーション などの手段によって微生物にアクションがかかる. こうして双方向のインタラクションループが形成され, 一種のリアルタイムなコミュニケーションが微生物とユーザとの間で成立する. あいだにイーサネットを介することで, さらに場所の壁も超えた遠隔コミュニケーションも可能になる.

エンターテインメント, 教育・学習, アート・インスタレーションなどへの展開が期待される.

Recent progress in computer technologies has enabled us to interact with people in distance or in virtual spaces. It is still almost impossible, however, to interact with existences in the world with different scales. Though demand for interaction with microscopic world is more and more increasing according to the development of micro-bio technologies, peering into the microscope is still the only interface for the micro world, whose useability is extremely low.

We would like to propose a novel interface to link the micro and macro world by removing the wall of scale. For its first step, here we propose a system which allows us to experience equivalent physical interaction with microorganisms like playing with your pets.

Focusing on real-world-oriented interaction, we use a small robot as an avatar, or the substantialized entity embodying the status of the microorganism. A human and a cell in react with each other via this robot. The position, attitude and other status of the cell are measured and processed in real-time by Tracking Microscope and sent to the robot. The robot moves as if the cell appears in our macro world. Conversely, when the user touches or approaches the robot, the information is detected by several sensors, and feed some actions back to the cell by galvanotaxis actuation and so on. Thus bilateral interaction loop is formed, and a kind of real-time communication between the cell and the user is established. The ethernet will also enable us to communicate with cells even in other continents.



3.28 高速オートフォーカスによる高速走査型顕微鏡
High-Speed Scanning Microscope by Depth From Diffraction (DFDi) Method

顕微鏡下対象の計測や作業の自動化・自律化において，オートフォーカスの実現は最も重要な作業の一つである．というのも，顕微鏡の焦点面は非常に浅いため，対象が数マイクロメートル上下に動いただけで画像がぼやけてしまい，対象の情報を正確に計測することができなくなってしまうからである．

一方，顕微鏡には視野の制限があるため，膨大な対象を計測するためには，視野を移動しながら複数回の撮像を行う必要がある．そのため，対象や顕微鏡自体を電動ステージなどで移動させながら計測を行う走査型顕微鏡が開発されている．走査型顕微鏡の計測スループットはその移動速度に依存しているが，従来はオートフォーカスが低速であったため，オートフォーカスに必要な時間がボトルネックとなってそのスループットには限界があった．

これに対し，我々は細胞を対象として高速なオートフォーカスの実現を可能にする手法として Depth From Diffraction (DFDi) を提案している．この手法は，細胞を平行かつコヒーレントな光で照明した際にその背後にできる干渉パターンを計測することで，焦点面と細胞の奥行き方向の位置関係を一枚の画像から推定可能とするものである．この手法を走査型顕微鏡に応用すれば，従来よりはるかに高速な走査型顕微鏡を実現できることが予想される．

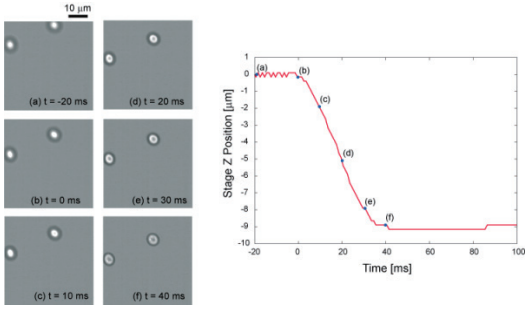
そこで，本研究では，走査型顕微鏡に適したDFDi手法に基づく画像処理アルゴリズムを開発し，それを実装して高速なオートフォーカス機能を有する高速走査型顕微鏡を試作した．以下にイースト菌を対象とした場合のフォーカシング実験結果を示す．イースト菌は画像上部から下方向に自動ステージにより移動しており，視野内に対象が入る(b)とすぐにオートフォーカスが開始され，40ms後(f)には合焦していることがわかる．

When the number of specimens is large, it is impossible to observe all specimens in a static field of view of a microscope due to the limited resolution of the microscope or camera. A scanning microscope solves this problem by moving its field of view to observe the specimen as a sequence of images. Scanning microscopes are commonly used in the field of cytometry.

Autofocusing is essential for the scanning microscope to obtain a precise image of the specimen. It is not possible to maintain focus simply by determining the best focus depth at two points on a microscope slide and scanning along the line between them in three-dimensional space. There may be many reasons for this, including mechanical instability of the microscope and irregularity of the glass slide surface.

Furthermore, major applications of such automated measurement, such as image cytometry, require high throughput because the number of target specimens tends to be enormous. Therefore, high-speed autofocusing is important.

We developed a high-speed scanning microscope using high-speed autofocusing algorithm based on Depth From Diffraction (DFDi) method and DFDi algorithm for multiple cells that we've developed. High-speed scanning and observation of enormous yeast cells were conducted to confirm it's validity. Results are shown below. Left image sequence are captured images while laterally scanning the specimens. At first (a), the incoming two cells were out of focus. As they entered inside of the field of view (b), the system started autofocusing and move them into focus just in 40 ms (f). Right plot shows depth position of the target. Videos are also available below in this page.



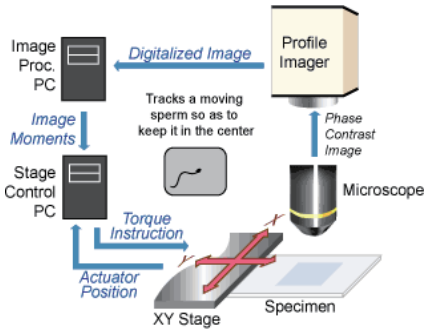
3.29　ホヤ精子の高速トラッキング
High-Speed Tracking of Ascidian Spermatozoa

本研究室で開発した微生物トラッキングシステムを実際の生物学研究に応用する試みの一つとして，東京大学三崎臨海実験所の吉田グループ と共同で，ホヤ精子研究への応用をすすめている．

ホヤ精子にはある種の化学物質に近寄って行く性質（走化性）があり，走化性のメカニズムの解明は不妊治療応用などの点から期待されている．精子走化性を評価するには，顕微鏡下で精子の位置姿勢や鞭毛の形状を広範囲にわたって継続的に観察する必要があるため，本研究室の微生物トラッキングシステムを導入することとした．

ホヤ精子は 1 秒間に頭部直径の 150 倍の距離を泳ぐという驚異的な遊泳スピードを持ち，また非常に小さく見えづらいことから，トラッキングが難しい対象である．しかし，構成要素やアルゴリズム等を調整することで，極めて高速なホヤ精子をトラッキングすることに成功した．

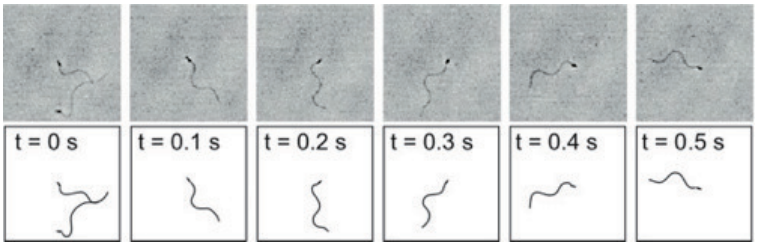
現在，誘引物質の濃度勾配を形成する特殊な容器を用いて実際にホヤ精子の走化性を計測している．



We have utilized our microorganism tracking system to assess chemotaxis of ascidian spermatozoa, collaborating with Prof. Yoshida in Misaki Marine Biological Station, University of Tokyo.

The new system is capable of tracking fast-moving, small objects under extreme conditions by using high-speed visual feedback for assessing sperm chemotaxis. The system shows remarkable performance and versatility, good enough for practical use in biology. Spermatozoa are tracked under severe conditions of ultra-high speed, diffraction-limit size, and the low contrast targets.

Experimental results showed that we successfully achieved continuous stable tracking of swimming ascidian spermatozoa with quality sufficient for assessing sperm motility, indicating the feasibility of our system to tracking almost any type of cell.



3.30　微生物の３次元トラッキング
Three-dimensional tracking of a motile microorganism

これまで運動する微生物対象が常に顕微鏡視野内に捕捉され続けるようにする 微生物トラッキングシステムを構築してきたが，対象の 2 次元的な運動にしか対応できないという問題点があった．そこで，細胞に対する高速なオートフォーカスを実現する DFDi 手法を微生物トラッキングシステムと組み合わせて，3 次元的に運動する微生物をトラッキングするシステムを構築した．

本システムでは，顕微鏡視野内の微生物対象の 3 次元位置を高速な視覚システムで計測・フィードバックすることで，運動する微生物対象の顕微鏡視野内へのトラッキングを実現している．画像重心から対象の画像面内における 2 次元的な位置を計測し，残りの 1 次元である対象の奥行き方向位置は DFDi 手法により計測している．

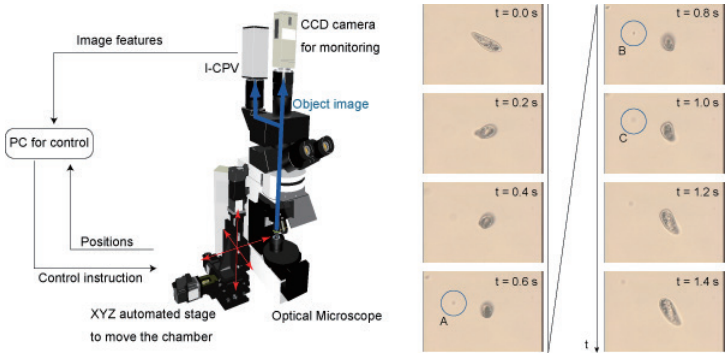
実際に自由に遊泳するゾウリムシに対して 3 次元トラッキング実験をおこない，約 70 秒間にわたり対象をトラッキングし続けられることが確かめられた．また，そのときの XYZ ステージの軌跡から対象微生物の 3 次元遊泳軌跡が計測できた．この記録から対象微生物の運動をコンピュータグラフィックスで再構成した映像を動画として以下に示した．

The microorganism tracking system was developed to track a freely swimming microorganism two-dimensionally. This system, however, could not track the target movement in depth direction.

To solve this problem, dynamic focusing using the depth-from-diffraction (DFDi) method was applied to three-dimensional tracking of a swimming paramecium.

Experimental system was developed to demonstrate the three-dimensional tracking of a paramecium. The system was consist of an optical microscope, an XYZ automated stage, a high-speed vision system (I-CPV), and a CCD camera for monitoring. It can track the specimen three-dimensionally by controlling the chamber position using X and Y axis of the stage to keep the specimen within the field of view, and by controlling the depth position of the chamber to keep the specimen focused using DFDi method.

Three-dimensional tracking of a swimming paramecium for 70 s was successfully demonstrated. Right figure shows a sequence of images captured by the monitoring CCD camera while the paramecium turned from facing the bottom of the chamber to facing the top, while tracking the paramecium to keep it on the focal plane. The focal position variance can be seen by observing a dust particle indicated by the circles A, B, and C in the figure. The specimen's trajectory can be calculated from the sequence of the XYZ stage position.



3.31 微生物電気走性の継続観察システム
Single-Cell Level Continuous Observation System for Microorganism Galvanotaxis

微生物は進化の過程で高性能なセンサとアクチュエータを体内に獲得してきた．我々は微生物を高機能マイクロマシンとみなして制御することを目指している．

多くの微生物にはある種の外部刺激に対して定位しながら移動する性質があり，「走性」と呼ばれている．OBM (Organized Bio-Modules) の実現においては微生物制御手法の確立が大きな課題であり，この走性の利用が制御手法として有用と考えられる．

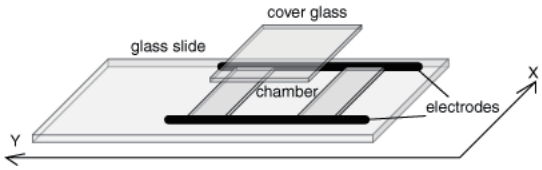
微生物の走性には個体差があるため，より高度なアクチュエーションを実現するには，微生物の走性を個体レベルで観察，評価する必要がある．しかし，従来の観察方法では，高倍率で観察するとすぐに微生物を見失ってしまい，一個体の電気走性の継続観察が非常に困難であった．そのため，対象が視野から外れないように低倍率での観察を余儀なくされていた．

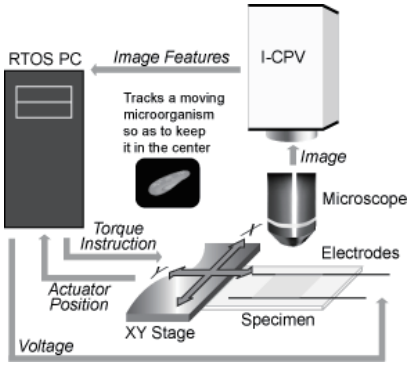
この問題を解決するため，高速視覚によるダイナミックイメージコントロールを応用して，微生物一個体の電気走性を高倍率で継続的に観察可能なシステムを構築した．

システム構成

構成要素は，対象の画像情報を高速に取得する高速視覚システムと対象を視野中心に保持する XY ステージ，電気刺激入力デバイス，制御用 PC，および顕微鏡である．

A novel system for measurement of motile microorganism galvanotaxis using high-speed vision is presented. Our goal is to construct a smart microsystem composed of many controlled microorganisms. The system utilizes galvanotaxis (intrinsic reaction to electrical stimulus) of microorganisms for actuation. For evaluation of taxis, continuous observation of a moving single cell in a sufficiently large working area without fixation is needed. Using high-speed vision, we developed a system for continuous evaluation of galvanotaxis of freely swimming cells in a large area at the single-cell level. Experimental results demonstrate the continuous measurement of galvanotaxis of a Paramecium caudatum cell moving in a 3.5-mm-square area for 18 s with 1 ms precision.





3.32 微生物トラッキングシステム
Microorganism Tracking System

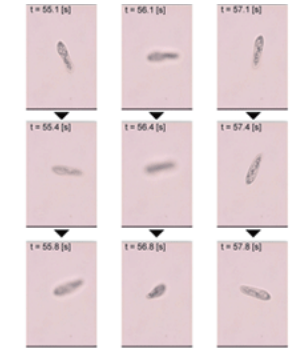
運動する微生物をそのまま顕微鏡で観察しようとすると，すぐに顕微鏡の視野から外れてしまい，継続的に観測することができないという問題がある．そこで，運動する微生物対象が常に顕微鏡視野内に捕捉され続けるようにする微生物トラッキングシステムを構築した．

本システムでは，顕微鏡視野内の微生物対象位置を高速な視覚システムで計測・フィードバックすることで，運動する微生物対象の顕微鏡視野内へのトラッキングを実現している．

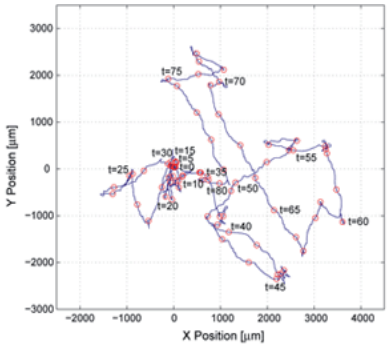
また，このシステムでは2次元のトラッキングであるが，3次元のトラッキングも実現されている．

Continuous observation of individual motile microorganisms is difficult, since their swimming speed is fast compared with their diameters. Microorganisms can quickly go out of the range of static measurement instruments, such as the field of view of optical microscopes.

To solve this problem, a microorganism tracking system using a high-speed vision system has been developed. This system tracks a freely swimming microorganism within the field of an optical microscope by moving a chamber of target microorganisms based on high-speed visual feedback.



Photographs captured by CCD camera



Obtained trajectory of the target paramecium

3.33 画像処理を用いた微生物の擬似静止観察
Quasi Stationary Observation of Dynamic Microorganism

運動する微生物を継続的にかつ安定的に観察するために，我々は3次元的に運動する微生物のトラッキングシステム を実現した．ところがこのシステムでは，トラッキングそのものは成功しているものの，アクチュエータの限界から生ずるわずかな並進ぶれや回転の動きは映像に残っており，これらを取り除くことが課題と言える．そこで我々は従来のシステムの後に，画像処理(2nd-pass Image Processing)を導入することでこれらの問題点を解決した．

We have realized 3-D Tracking System in order to observe dynamic microorganism continuously and stably. The movies captured by this system, however, included mere small blurring and microorganism's rotation as problems. Therefore we resolved it using image processing in addition to the conventional system, which was named "2nd-pass Image Processing."

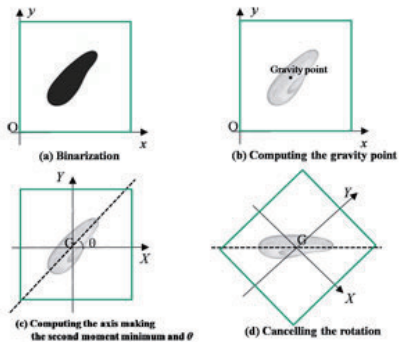
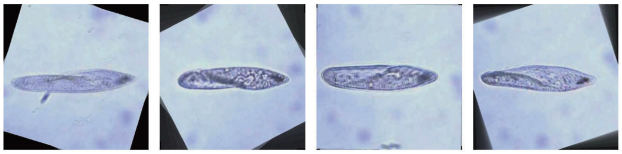


図1　画像処理アルゴリズム
Fig.1 Algorithm



Images obtained by tracking system

$t=t_0$　$t=t_0+0.67$ s　$t=t_0+1.34$ s　$t=t_0+2.00$ s



Images obtained by 2nd-pass processing

図2　実験結果
上段：2nd-passフィルタ無し
下段：2nd-passフィルタ有り

Fig.2 Experimental Result
Upper: 2nd-pass Filter OFF
Lower:2nd-pass Filter ON

3.34 DFDi による細胞群の高速奥行き位置推定
High-Speed DFDi Algorithm for Multiple Cells

我々は細胞を対象として高速なオートフォーカスの実現を可能にする手法として Depth From Diffraction (DFDi) を提案している．この手法は，細胞を平行かつコヒーレントな光で照明した際にその背後にできる干渉パターンを計測することで，焦点面と細胞の奥行き方向の位置関係を一枚の画像から推定可能とするものである．

これまで細胞単体に対してその有効性を確認してきたが，走査型顕微鏡による計測や自動検査等を考慮すると，視野内に複数の細胞が存在する方が一般的である．そこで本研究では，視野内に多くの細胞が存在する場合でも適用できるDFDi手法に基づく画像処理アルゴリズムを開発した．

本アルゴリズムは，細胞群を構成する個々の細胞の輪郭を抽出してから，輪郭と垂直な方向にどのような光量分布をもっているのかを抽出し，これを画像特徴量として細胞群の奥行き位置を推定する物である．図(a)に抽出している光量分布(Radial Intensity Profile)を示した模式図を示す．また，実際にイースト菌の細胞を対象として，この特徴量を基に奥行き位置を推定した結果を図(b)に示す．おおむね1マイクロメートル程度の誤差で対象の奥行き位置を推定できていることがわかる．

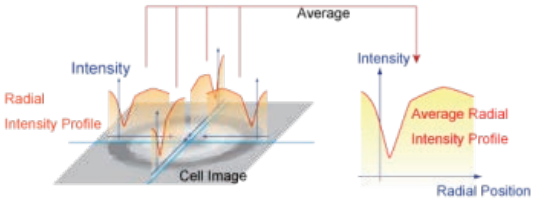
実際にこのアルゴリズムを用いてオートフォーカスを行った結果は 高速オートフォーカスによる高速走査型顕微鏡 に示す．

We proposed a new autofocusing method for microbiological specimens, such as cells, using depth information included in their diffraction pattern. This method was named as Depth From Diffraction (DFDi).

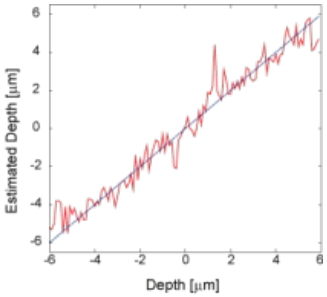
The previously developed image processing algorithm of DFDi could estimate depth of a cell only when single cell is included in a field of view. However, it's common case when multiple cells exist in the field of view, considering real applications such as scanning microscopy and automated inspections. Thus, we developed a new image processing algorithm for DFDi that can estimate depth of multiple cells.

This algorithm recognizes boundaries of each cell in the acquired image first. Then it extracts radial intensity profiles which is image intensity profile along perpendicular direction to the cell boundary. A schematic figure of this process is shown in the following figure (a). Finally, it estimates the depth of cells from the extracted radial intensity profiles.

This algorithm was applied to yeast cell. Figure (b) shows it successfully estimated its depth with an error of 1 um. It also applied to high-speed autofocusing of multiple yeast cells. This result is shown in High-Speed Scanning Microscope by Depth From Diffraction (DFDi) Method.



(a)



(b)

3.35 細胞の高速オートフォーカス (DFDi)
High-Speed Auto-Focusing of A Cell - Depth From Diffraction (DFDi)

顕微鏡下対象の計測や作業の自動化・自律化において，オートフォーカスの実現は最も重要な作業の一つである．というのも，顕微鏡の焦点面は非常に浅いため，対象が数マイクロメートル上下に動いただけで画像がぼやけてしまい，対象の情報を正確に計測することができなくなってしまうからである．

しかし，従来提案されてきたオートフォーカス手法は焦点位置を移動しながら複数枚の画像を計測し，その画像に含まれる空間周波数の成分を計測することで合焦位置を判断するもので，オートフォーカスには最短でも1秒程度の時間が必要であった．特に，ハイスループットスクリーニングなどの応用を考えた場合，この時間は遅すぎるものである．

そこで，特に細胞を対象として高速なオートフォーカスの実現を可能にする手法として、Depth From Diffraction (DFDi)を提案した．この手法は対象を細胞に限定し，細胞を平行かつコヒーレントな光で照明した際にその背後にできる干渉パターンを計測することで，焦点面と細胞の奥行き方向の位置関係を一枚の画像から推定可能とするものである．これにより，従来手法で必要であった，複数枚の画像を焦点位置を変えながら取得するプロセスを省くことが可能となるため，高速なオートフォーカスを実現できた．

以下にゾウリムシを対象とした場合に観測される干渉パターンの写真を示す．焦点面に前後して明暗の干渉縞の位置関係が逆転していることがわかる．

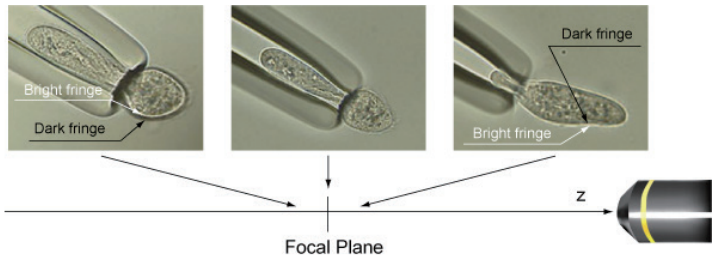
実際にDFDi手法を細胞のオートフォーカスに適用した結果は 微生物の3次元トラッキング に示されている．

Automated microscopic measurement of biological specimens is becoming increasingly important in medicine and life sciences. A critical step in such measurement is autofocusing. Since the depth of focus of microscopes is very shallow, on the order of several micrometers, small shifts in the depth direction cause the specimen to easily become out of focus; thus, autofocusing is essential to keep the object in focus for precise observation. Furthermore, major applications of such automated measurement, such as image cytometry, require high-throughput because the number of the target specimens tends to be enormous. Therefore, high-speed operation is also important.

Many microscope focusing methods based on the spatial frequency of the acquired image have been proposed. The best focal position providing the highest amount of detail can be estimated from a focus curve, formed by sampling a focus score and plotting it against focal position in the depth direction. The best focal position is then found by searching for the peak in the focus curve. However, sampling of the focus curve takes a considerable amount of time, because many images at many focal positions must be individually acquired and processed.

To solve this problem, we proposed a new autofocusing method for microbiological specimens, such as cells. The proposed focusing method used a quick focus estimation named ``depth from diffraction'', based on a diffraction pattern in a defocused image of a biological specimen. Since this method can estimate the focal position of the specimen from only a single defocused image, it can easily realize high-speed autofocusing.

For example, here shows the diffraction patterns generated by the target specimen, a paramecium. Bright and dark fringe position changes depending on the z-position of the specimen.



3.36 モバイル顕微鏡システム
Mobile microscope system

従来の台に置かれた光学顕微鏡には、ステージに載せられないような大きなものや分解できないものを観察できないという欠点がある。そこで、それを解決する「モバイル顕微鏡」のコンセプトを提案する。これは、手で顕微鏡本体を持ち、対象へ向けるという観察スタイルを採用する。これにより、手の届く範囲ならどこでも観察できるという大きなメリットが生まれる。

モバイル顕微鏡の実現のためには手ブレの影響の除去が不可欠である。そのために、ビジュアルフィードバックを用い画像安定化手法を提案した。撮像面を光学軸に対して傾けた高速ビジョンにより、顕微鏡と対象の3次元相対位置を計測する。そして、その相対位置を一定に保つように、顕微鏡システムをフィードバック制御する、という手法である。

我々は、この手法を実装したシステムを試作した。相対位置を保つためのアクチュエータは、顕微鏡内部にではなく対象の置かれたステージに装備した。顕微鏡観察実験を行った結果、このシステムによって顕微鏡画像を安定化できた。

キーワード: 顕微鏡, 画像安定化, ビジュアルフィードバック

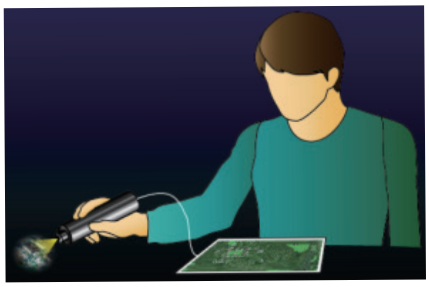


図1：モバイル顕微鏡コンセプト
figure 1:The concept of the "mobile microscope".

We propose a concept of "mobile microscope" for handheld use, which enable various places to be observable.

We propose an image stabilization method for images from microscope effected by hand-shake. This method is based on high-speed visual feedback with an inclined image sensor to measure the 3D movements of a microscope.

We developed a trial microscope system employing the method without a built-in actuator. Experimental results showed that images from a handheld microscope can be stabilized by the proposal method.

Key Words: microscope, image stabilization, visual feedback

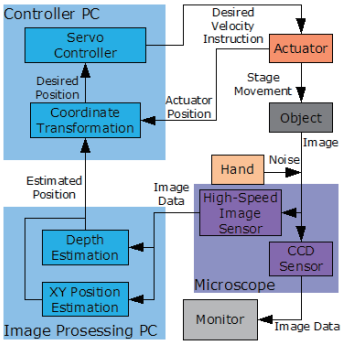


図2：試作システムのダイアグラム
figure 2:System diagram of the trial microscope system.

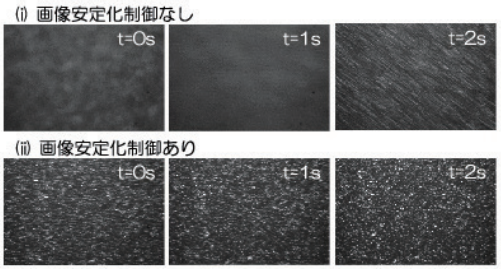


図3：観察実験結果
figure 3:Experimental result.

3.37 微生物群によるオーガナイズドバイオモジュール
Organized Bio-Modules (OBM) using Microorganisms

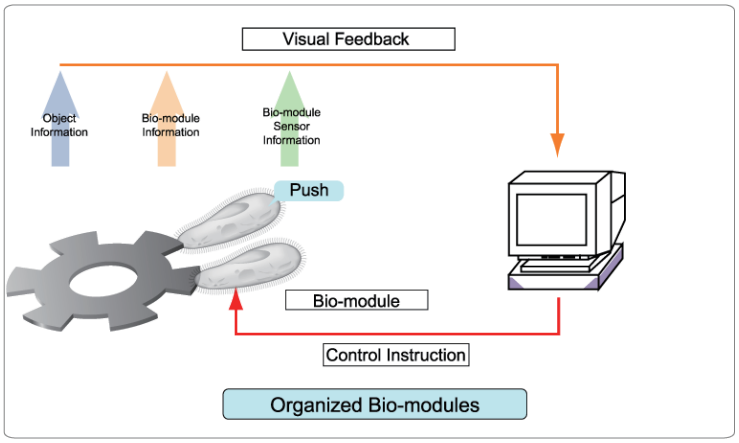
本研究は，微生物をモジュールとして情報処理機構と結合することで，柔軟かつ多様な機能を提供する超大規模マイクロシステムの実現を目指すものである．

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．そのため，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．本研究では微生物をセンサとアクチュエータの統合体ととらえてバイオモジュールと呼び，複数のバイオモジュールとコンピュータを結合させるインタフェースを開発する．これ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．

既存のマイクロエレクトロメカニカルシステム(MEMS)技術では，システムの状態をセンシングすることが困難であり，ひとつのハードウェアはひとつの機能しか提供できない．しかし微生物は非常に優れたマイクロマシンである．したがって，多数の微生物を協調させるフィードバック制御システムが構築できれば，既存のMEMSの概念を超越するプログラム可能な多機能マイクロシステムが実現できる．

ビジュアルサーボ理論，ダイナミックイメージコントロール（DIC）システム，高速可変焦点レンズなどの知見を生かし，OBM の実現に向けて研究を進めている．

Our goal is the realization of a super-large-scale microsystem that provides flexible and various functions, by integrating microorganisms as modules into information processing systems. For existing Micro-Electro Mechanical System (MEMS), it has been difficult to sense the status of the system. Therefore it provides only a single function. However, microorganisms are very smart micromachines with built-in sensors and actuators in their bodies. By feedback control system which makes many microorganisms cooperate together, a novel programmable and multi-functional microsystem will be realized. Our technologies, such as Visual Servoing Theory, Dynamic Image Control (DIC) System and High-speed Focusing Lens, will be applied effectively to the OBM system.



3.38 1-kHz 高速可変焦点レンズ (HFL)
Variable-Focus Lens with 1-kHz Bandwidth

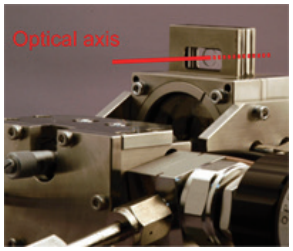
近年の高速視覚システムの発展に伴い，結像光学系にも高速性が求められるようになってきている．例えばフレームレート1[kHz]の高速視覚システムと光学ズームを組み合わせて，撮像する画像毎に光学ズームの量を変化させたいとすると，光学ズームにも1[kHz]程度の高速性が要求される．しかし，既存の光学系の応答は非常に遅く，市販品では10[Hz]程度，研究レベルでも最も速くて150[Hz]程度の応答しかない．そこで，この問題を解決するために，1[kHz]の応答をもつ高速可変焦点レンズの実現を目的として研究をおこなっている．

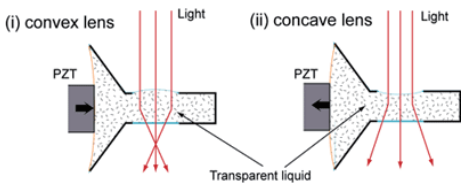
試作品レベルでは，1[kHz]の応答が確認されている．

High-speed focusing is required in many application fields as a result of the recent development and widespread use of optical devices. For example, rapid axial scanning of the focal plane is important for confocal scanning microscopes to acquire three-dimensional information of objects at high speed. In these application fields, since millisecond-order scanning is required, we assume that 1-kHz bandwidth is adequate for our proposed high-speed focusing device.

However, no previous focusing mechanisms have yet attained a 1-kHz bandwidth. For example, the axial tracking mechanism of optical disks, which is one known fast-focusing system, has a first resonant frequency of around 100 Hz.

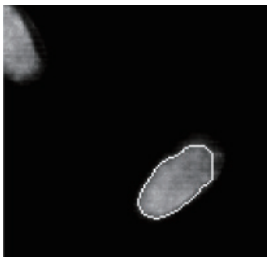
To solve this problem, we proposed a variable-focus lens with 1-kHz bandwidth. The lens transforms its shape rapidly using the liquid pressure generated by a piezo stack actuator. This mechanism also includes a built-in motion amplifier with high bandwidth to compensate for the short working range of the piezo stack actuator. Prototypes have been developed to validate the proposed design. A 1-kHz bandwidth of the lenses was confirmed by measuring the frequency responses. Refractive power ranging from -1/167 to 1/129 mm-1 and a maximum resolution of 12.3 cycles/mm were attained.





3.39 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
High-Speed Snake Algorithm For Tracking A Microorganism

微生物の画像処理で求められる要求にあった画像処理アルゴリズムとして動的輪郭モデルがある．これを高速ビジョンに適用し，高速処理を行う手法が提案されている．しかし，この手法では画面内にある微生物全てを抽出してしまうので，一匹の微生物を継続して抽出する用途には向いていない．そこで本研究では，微生物一個体の発生する光量が位置姿勢にかかわらず一定であるということを利用し，一匹の微生物を継続して輪郭抽出を行う新しい動的輪郭モデルを提案した．



Active Contour method (Snake method) is one of a candidate for cell image processing. Though our laboratory has proposed a high-speed algorithm suitable for high-speed vision system, it has a drawback that all cells in the frame are extracted. Thus we proposed a novel Active Contour model to extract a single cell continuously by using the fact that the total intensity emitted by a single cell is constant independent of the cell attitude.

3.40 3 次元空間内での微生物運動制御
Motion Control of Microorganism in 3-D Space using High-Speed Tracking

近年ナノ・マイクロテクノロジーの進歩に伴い，微細な領域で計測・制御を行う機会が増加している．だが顕微鏡下での作業は操作者に大きな負担を強いるため，このような作業を補助するマイクロマシンの実現が求められている．

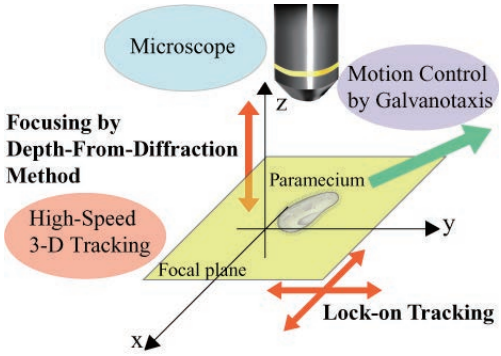


Fig.1. 3 次元空間内での微生物運動制御のコンセプト．
Fig.1. The concept of motion control of microorganisms in 3-D space.

我々は，微生物が進化の過程で高性能なセンサとアクチュエータをその微小な体内に獲得したことに着目し，微生物を高機能マイクロマシンとみなして制御することを目指している．微生物は外部からの電気刺激に対してその運動方向を変化させる「走電性(電気走性)」を持つため，これを運動制御の手段として利用した研究を行ってきた．

だが従来の研究は制御が 2 次元平面内に限定されており，マイクロマシンとしての応用を考えたとき 3 次元空間内への制御へ拡張されることが望ましい．しかし正確に微生物の 3 次元位置を計測するために顕微鏡の倍率を上げてしまうと，顕微鏡で観察可能な領域，すなわちマイクロマシンとしての作業領域は狭くなってしまうというトレードオフが問題となっていた．

そこで高速な視覚システムを用いた微生物の3次元トラッキングによってこのトレードオフを根本的に解消した．常に視野中心・焦点面内に微生物を捉え続けることで広い作業領域を実現した．これに走電性による制御を組み合わせることにより 3 次元空間内で微生物の運動を制御することを可能にした．

We propose a new framework and novel visual control system for motile cells in three-dimensional (3-D) space

Our goal is to utilize microorganisms as micro-robots in various applications by exploiting galvanotaxis (locomotor response to electrical stimulus) to actuate them. This requires automated motion control of swimming cells in 3-D space; in contrast, our previous work has been limited to 1-D or 2-D motion control on the focal plane.

The system is capable of 3-D tracking and control of swimming cells by utilizing a high-speed vision system. A combination of ``lock-on'' tracking within the focal plane and automated focusing using a Depth-From-Diffraction method executed at 1-kHz frame rate ensures both detailed measurement and a large working space. Experimental results for closed-loop 3-D motion control of Paramecium cells trapped within a small 3-D region demonstrate the possibility of using microorganisms as micromachines.

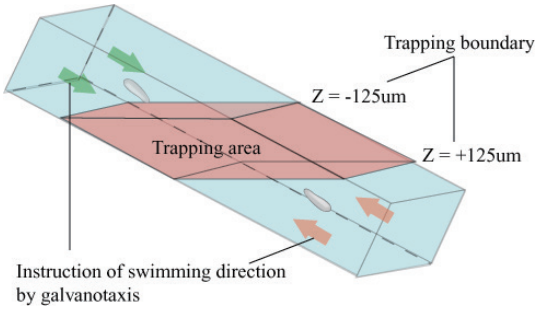
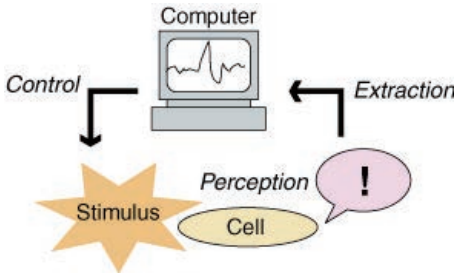


Fig.2. トラッピング制御実験．
Trapping Area内に閉じ込める運動制御を行った．
Fig.2. Trapping task.

3.41　微生物のセンシング情報の可視化
Visualization and Decoding of External Stimuli Perceived by Living Microorganisms



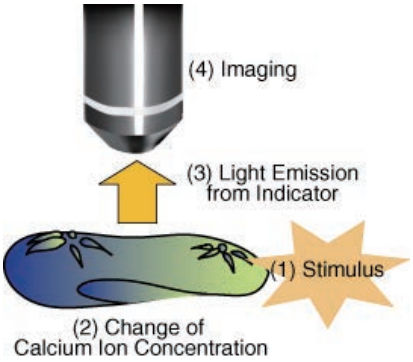
これまでに提案されてきたマイクロセンサーと比べて微生物の持つ知覚は優れた点を多く持つ．そのような微生物が体内に持つ洗練された知覚能力を利用することが出来れば大きなメリットがあると考えられる．下図に示されるように，PCを用いて微生物から知覚情報の抽出や解析またそれらの情報を基に微生物に対しフィードバックをかけることは，これまでにない生物模倣型センサーの実現に向けた大きな一歩になる．また，筆者らが行ってきた微生物の運動制御と相まって，微生物をマイクロロボットとして利用することへの期待も高まる．

本研究では対象として単細胞原生生物の一種である Paramecium caudatum(ゾウリムシ)を取り上げる．Paramecium は筆者らが微生物のマイクロロボット応用へ向けた研究を行ってきた際の対象でもある．Paramecium は障害物等との接触刺激を感じると障害物を避けるように逆向きに遊泳する性質を持ち，この過程において細胞内のカルシウムイオン濃度が上昇することが知られている．言い換えると，接触したという情報がカルシウムを用いた信号に変換されていると言える．もしこの機械受容信号を抽出し解析することが出来れば，細胞が何を知覚したのかを知ることが出来る．機械受容信号の抽出には信号を可視化する手法が有効と考えられ，カルシウムに反応する指示薬等を用いれば細胞内におけるカルシウム濃度を下図のように可視化することが出来る．

In this paper, we propose a novel microsensing scheme in which intrinsic sensing capability in microorganisms is utilized. Extraction of signals inside the cell and decoding of stimuli received would be an interesting challenge toward development of novel biomimetic sensors, or for potential utilization of a living microorganism itself as a microrobot. As a prototype, we focus on the mechanosensory process in Paramecium cells. When a mechanical stimuli is applied, calcium ion concentration in the cell rises. By visualizing the calcium level rise by using calcium fluorescent indicators and input intensity data into PCs, we can extract the sensation perceived by the cell. A simple experiment was performed in vivo and contact sensation was successfully extracted and decoded. It can be applied for on-board sensors in cells as microrobots in future works. Technology to link living cells and computers would lead to the Cell Machine Interface, to come next after the forthcoming brain machine interface (BMI) paradigm.

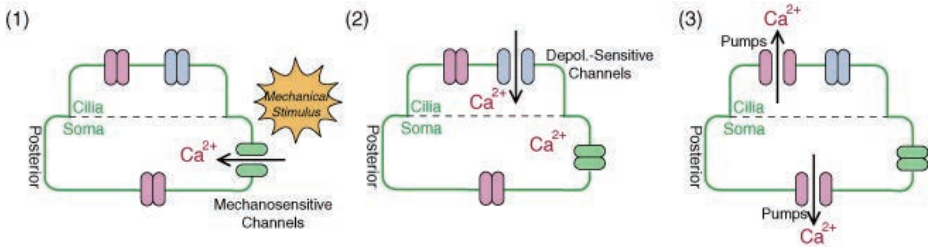
The sensing ability of living things are superior to most of the existing artificial microsensors. It would be of great benefit and interest to utilize such sophisticated capabilities built in living cells in vivo. As illustrated in figures below, extraction, decoding, and feedback of the sensation received by microorganisms by computers would be an interesting challenge toward development of novel biomimetic sensors, or for potential utilization of a living microorganism itself as a sensor, coupled with robotic maneuvers of living cells that the authors have achieved.

As an example, we introduce Paramecium caudatum, a kind of unicellular protozoa, which we have utilized for microrobotic application. A Paramecium cell detects a contact stimuli and swims back so as to avoid an obstacle. During this behavior, the calcium ion concentration rises inside the cell. In other words, the stimulus information is coded as a calcium signal. If we can extract this mechanosensation signal and decode it, we can estimate what the cell perceived. For extraction of the signal, some visualization methods would be effective. For example, calcium indicators can visualize the intracellular calcium concentration, as illustrated below.



Paramecium の接触刺激に対するカルシウム濃度の変化は下図のようにイオンチャネルを通したカルシウムイオンの移動で説明される．マイクロ・インジェクションで細胞内にカルシウム指示薬を注入することで，カルシウムイオンによる信号伝達を視覚化し Paramecium が接触刺激を受けた瞬間の推定を行った．

As a prototype, we considered visualization of contact stimuli using Paramecium caudatum cells. When a paramecium cell receives a contact stimulus, a rise in calcium concentration occurs inside the cell, which can be visualized by calcium indicators. We introduced an indicator into cells by microinjection, visualize the signal transduction, and estimate the timings of when the cell detected contact stimuli.

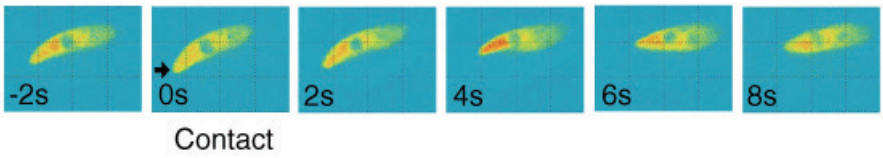


結果

指示薬による蛍光発光を撮影した画像を以下に示す．刺激が与えられるとカルシウム濃度が急激に増大した後にゆっくりと減衰していくのが分かる．

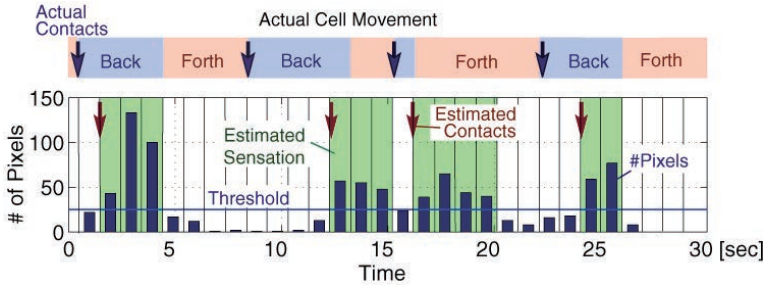
Experimental Results

The figure below shows an example of the captured image sequence of the detected fluorescence. After stimulus application, one can find that the calcium level increased rapidly and then decayed slowly.



蛍光物質の画像輝度から細胞の先端が接触を起こしたかどうかの情報を得ることが出来る．カルシウム濃度の情報を用い細胞が接触を知覚したかどうか，またその時刻を推定した．推定はオフラインでMATLAB を用いて行った．その結果30秒間におこった4回の接触を数秒の遅れがあるものの全て推定することに成功した．

From the intensity of the pseudocolored image sequences, we retrieved the information on whether or not the head of the cell made a contact, i.e., on/off 1 bit information. Using calcium level data, we estimated the sensation the cell perceived, and the timings of contact. The estimation was performed off-line by MATLAB. Four contacts occurred in 30s were successfully estimated with a few seconds of delays.



3.42 ゾウリムシの非ホロノミック性と軌道計画

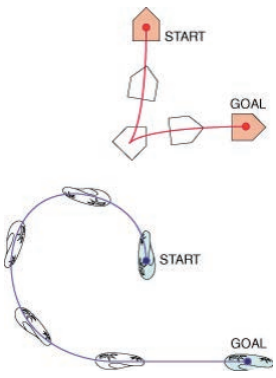
Nonholonomic Properties in Paramecium Galvanotaxis and Path Planning of Paramecium Cells

微生物は進化の過程で高性能なセンサとアクチュエータを体内に獲得してきた．我々は微生物を高機能マイクロマシンとみなして制御することを目指している．

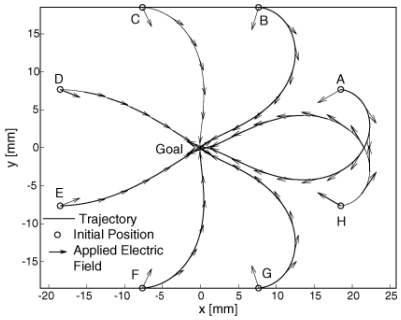
微生物マイクロマシン応用においてアクチュエーション技術の確立は最重要課題であり，これまでゾウリムシに対し電気走性を利用したごく単純な運動制御が行われているが，これらは経験則に基づいた制御のため，制御性能に限界があった．これに対し，ゾウリムシをロボティクスの枠組から議論すればより高度な制御が可能になると考えられる．このための最低限の準備として，まずゾウリムシの物理的なダイナミクスモデルを構築した．

このモデルを簡略化することにより，ゾウリムシが二輪車によく似た非ホロノミック拘束系であること，大域的に可制御であることを示した．この結果により，ロボティクス分野において確立された既存の非ホロノミック系の軌道計画手法がゾウリムシに適用できる可能性がひらかれた．

さらに，このモデルに Lyapunov ライクな手法を適用して，切り返し等による尖点をなくした軌道計画および運動制御手法を提案し，任意の地点から目標地点に向かって安定に軌道が収束することを数値実験により検証した．



Our goal is to utilize microorganisms as micro-robots by using galvanotaxis (locomotor response to electrical stimulus). Previous studies were based on simple empirical rules without consideration of the dynamics of the cells, and thus had limited control performance. To achieve more precise control as microrobots, it is essential to deal with Paramecium cells in the framework of standard robotics methodologies. This paper is the first attempt to derive a control law of Paramecium cells under an electric field from a dynamics model for microrobotic applications. Simplification of the dynamics model reveals that a Paramecium cell in an electric field is a nonholonomic system. Based on the simplified model, we derive a control law for cells using a common Lyapunov-like method for nonholonomic systems and generate cusp-free trajectories. Numerical experiments demonstrate successful static convergence of the cell trajectories to the desired position and attitude.



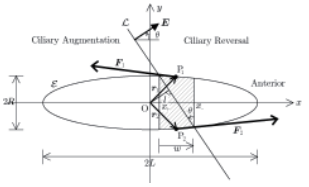
3.43 微生物電気走性のダイナミクスモデル
Dynamics Model of Paramecium Galvanotaxis for Microrobotic Application

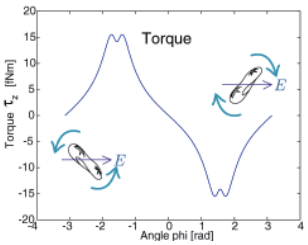
微生物は進化の過程で高性能なセンサとアクチュエータを体内に獲得してきた．我々は微生物を高機能マイクロマシンとみなして制御することを目指している．

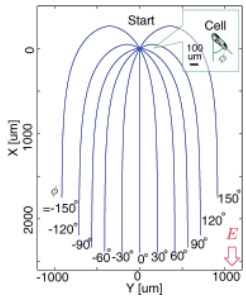
微生物マイクロマシン応用においてアクチュエーション技術の確立は最重要課題であり，これまでゾウリムシに対し電気走性を利用したごく単純な運動制御が行われているが，これらは経験則に基づいた制御のため，制御性能に限界があった．これに対し，ゾウリムシをロボティクスの枠組から議論すればより高度な制御が可能になると考えられる．このための最低限の準備として，まずゾウリムシの物理的なダイナミクスを把握し数学的に表現することが必要となる．

そこで，ゾウリムシの電気走性のダイナミクスモデルを構築し，実際のゾウリムシの行動と比較してその振舞いが定性的に妥当であること，陰極への遊泳やU ターン行動などが再現されることを確認した．

We propose a qualitative physical model of galvanotaxis of Paramecium cells using a bottom-up approach to link the microscopic ciliary motion and the macroscopic behavior of the cells. From the characteristic pattern of ciliary motion called the Ludloff phenomenon, the torque that orients the cell toward the cathode is derived mathematically. Dynamical equations of motion are derived and their stability is discussed. In numerical simulations using our model, cells exhibit realistic behavior, such as U-turns, like real cells.







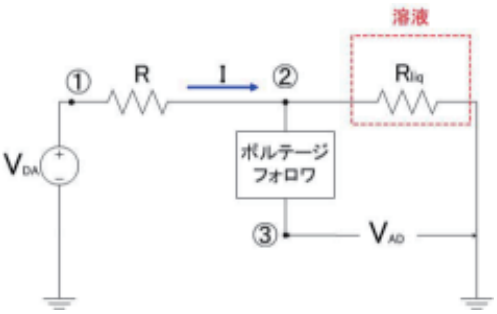
3.44 走電性をもつ微生物運動制御のための電流制御型電気刺戟デバイス
A Current-Based Electrostimulation Device for the Motion Control of Paramecium Cells

微生物は進化の過程で高性能なセンサとアクチュエータを体内に獲得してきた．我々は微生物を高機能マイクロマシンとみなして制御することを目指している．

本研究では，負の走電性を利用して微生物の運動を制御する手法をより厳密に研究するために，より高い精度で溶液中の電位分布の制御が可能となる電流制御手法を提案した．次に，提案手法に基づいて開発した電流制御型電気刺激デバイスを開発し，これを用いておこなった電位分布制御実験から，提案手法の有効性を示した．

Microorganisms have smart built-in sensors and actuators in their bodies. Our goal is to control microorganisms as micro-scale smart robots for various applications.

In this Paper, we propose a current controlled electrostimulation device to control and predict the shape of electric potential gradient in the liquid. We aim at controlling the motion of paramecia by using paramecia's galvanotaxis. By using this device, we can predict the shape of electric potential gradient in the liquid, and control paramecia more precisely.



3.45 高速トラッキングによる微生物の運動制御

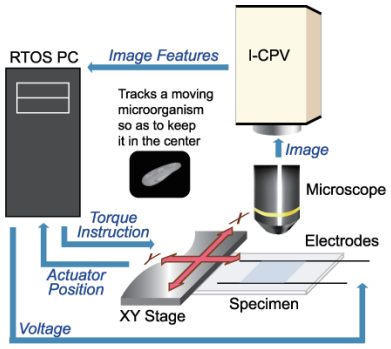
Microrobotic Visual Control of Motile Cells using High-Speed Tracking System

微生物はその進化の過程で，既存のマイクロマシンを凌駕する高性能なセンサとアクチェータを体内に獲得してきた．我々の目的は，微生物を高機能マイクロマシンとみなして制御する「オーガナイズドバイオモジュール (OBM)」システムの構築である．本論文ではその最初のステップとして，視覚フィードバックによる微生物の制御システムを構築した．

多くの微生物には電気刺激に対して定位しながら移動する「電気走性」という性質があり，微生物の制御手法として有用と考えられる．電気走性には個体差があるため，高度なアクチュエーションには，運動する微生物を一個体レベルで観察，評価する必要がある．しかし従来の観察方法では，高倍率で観察するとすぐに微生物を見失ってしまい，低倍率での観察を余儀なくされていたうえに，作業領域が視野内に限られていた．そこでトラッキング技術を応用して，作業領域の制限なしに微生物一個体を高倍率で評価できるようにした．また，トラッキングを 1kHz という高速で行うことにより，従来のトラッキングの問題点である magnification と trackability のトレードオフを解消するとともに，従来のビデオレート視覚フィードバックではなしえなかった，リアルタイムでの微生物制御を可能にしている．

Microorganisms have smart built-in sensors and actuators in their bodies. Our goal is to control microorganisms as micro-scale smart robots for various applications. As a first step, we have developed a visual feedback control system for Paramecium caudatum cells.

In order to ensure both detailed measurement and a large working space, lock-on tracking of a free-swimming cell with high frame rate is essential. In our system, high-speed (1-kHz frame rate) tracking hardware and software are used for continuous observation of moving cells with high magnification. Cells swim in a chamber, and their positions and other properties are measured and computed in real time. The chamber position is visually controlled automatically to track a specific cell. The cell motion is controlled electrically by utilizing the galvanotaxis (intrinsic reaction to electrical stimulus) of microorganisms. Experimental results for open-loop control (periodic zigzag motion) and closed-loop control (trapping within a small region 1 mm wide) demonstrate the possibility of using microorganisms as micromachines.



システム概要

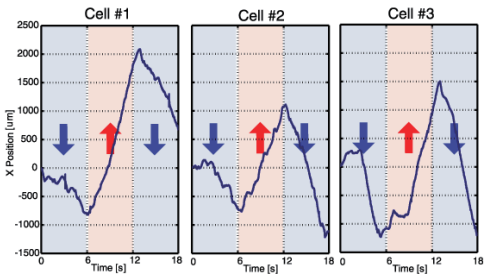
システム概要は以下のとおりである．プレパラート上のチャンバー内を運動する微生物の位置が，イメージインテンシファイア付高速ビジョンである I-CPV によって 1kHz という高フレームレートで計測され，軌跡や姿勢などの情報がリアルタイムで計算される．チャンバーは XY ステージ上に固定されているので，ステージ位置を視覚情報によってフィードバック制御することで，個体を常に視野中心に据えてトラッキングできる．また微生物に電気刺激を与えるための電極がチャンバーに設置され，微生物のリアルタイムアクチュエーションを実現する．

実験結果

実験では原生生物の一種であるゾウリムシ (Paramecium caudatum) を用い，4.1V/cm の電圧印加によって制御実験を行った．ゾウリムシは電場をかけた方向に向かって泳ぐという負の電気走性がある．

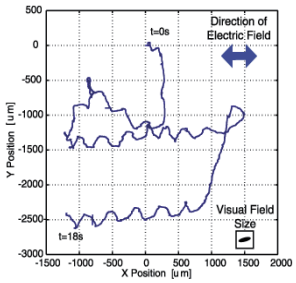
Experimental Results

We used Paramecium caudatum cells, which tends to swim toward the cathode (the negative pole).



フィードフォワード制御実験

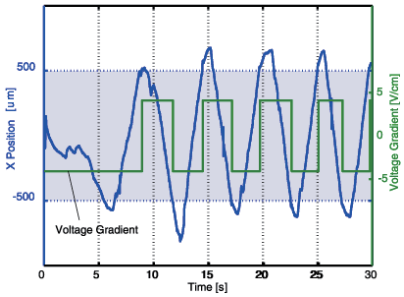
フィードフォワード制御実験（電場を6秒ごとに反転させる）の結果を以下に示す．制御入力に追従してゾウリムシの往復運動が実現されている．



Open-Loop Control

First, open-loop control of cells was performed. Cells were controlled by a time-varying stimulus whose pattern was fixed in advance. The electrical stimulus was applied, and reversed every 6 s. The strength of the voltage gradient was 4.1 V/cm (9 V across a 22mm gap).

The left plot shows the X position (parallel to the electric field) of cells in the open-loop control experiment. Arrows indicate the direction of the applied electric field. The right plot shows the trajectory of cell #3, and its orientation (small arrows), where the direction of the electric field is horizontal. The spiral path and the ever-changing orientation of the cell were reconstructed with high fidelity. It also indicates that both high magnification and good trackability over a large working area were achieved.



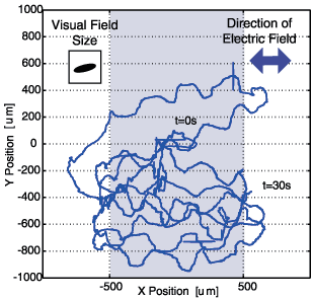
フィードバック制御実験

フィードバック制御実験（狭い領域内に細胞をトラップする）の結果を以下に示す．ブルーの網掛け領域がトラッピング領域である．トラッピング領域内へのゾウリムシ閉じ込めに成功している．

Closed-Loop Control (Trapping)

In order to confirm the ability of closed-loop visual feedback control of cells, we performed a simple trapping experiment; the stimulus was adjusted in real time according to the target status. The width of the trapping region was set to 1 mm. The voltage was reversed when the cell moved out of the boundaries. Other conditions were the same as those of the open-loop control experiment described above.

The plots below demonstrate results of the control experiment, where the blue area is the trap region. The left plot shows the time sequence of both the voltage and the position parallel to the field (X), and the position perpendicular to the field (Y). The voltage was reversed when the cell went out the region. Consequently the cell swam back and forth in the region. The trajectory of the cell is shown in the right plots.



3.46 スポーツ中継等で迫力ある映像の撮影を実現する高速・高精細追跡撮像システム

High Quality Video-shooting System for Dynamic Sport Games by Super-speed Tracking

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，高速に運動する対象を画像処理によって追跡し，高精細な映像を安定して記録するシステムを開発した．このシステムは，『サッカードミラー』という高速に視線を制御できる光学デバイスを，約1000fpsの高速画像処理によって対象が常に視野中央にくるように制御することで実現されている．サッカードミラーでは，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している．この仕組によって，3.5ミリ秒（1ミリ秒は1/1000秒）で左端から右端まで60度に渡って視線を変化させることが可能である．また，小さな鏡でも大きな画角とFullHD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，本システムで卓球をしている様子を撮影した映像を図2に示す．片方のプレイヤーがスマッシュを行い，相手のプレイヤーが打ち返しそこねて球が上の方へ飛んでいく様子を，常に球が画像中心にくるように撮影できていることがわかる．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・解析が可能となる．

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 accuratly 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 "high quality video-shooting system for dynamic sport games by super-speed tracking" that can track a high-speed dynamic object using image processing and record a high image quality movie. It is realized by a high-speed optical gaze controller, Saccade Mirror and 1000-fps high-speed image processing. The Saccade Mirror controls a camera's gazing direction not by moving the camera itself but by rotating two-axis small galvanometer mirrors. It takes no more than 3.5 ms even if it controls the gaze by 60 deg, the widest angle, for both pan and tilt. The newest prototype system accesses a Full HD image quality for an actual broadcasting service.

A configuration of the system is shown in Fig.1. A result of shooting a pingpong game using the system is also shown in Fig.2. The ball in the game always can been seen at the center of the each image. In this time, 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.

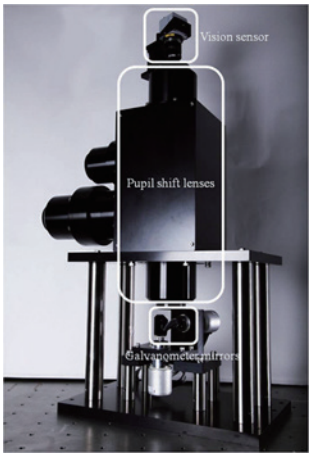
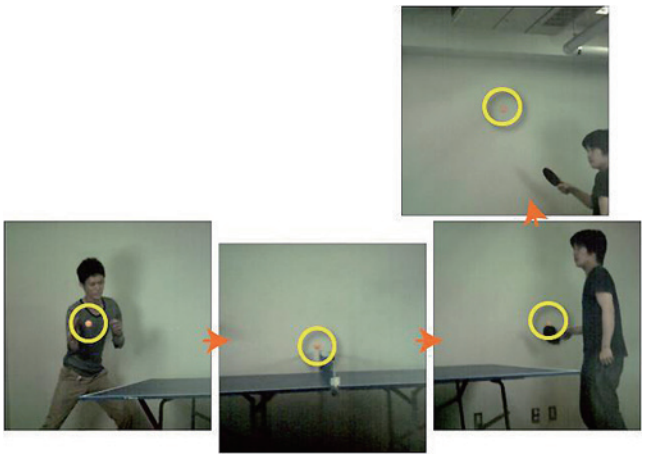


図１　システムの外観写真
Fig.1 A configuration of the system.



4. システムビジョンデザイン
System Vision Design

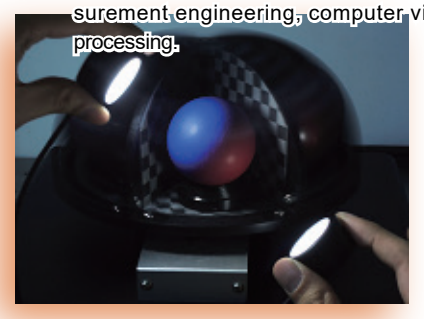
新たな応用を創出する高性能かつ高機能なシステムを実現するためには，入力，処理，出力の 3 者全てが システムとして機能する精緻で調和的な技術の統合が必要となる．入力，処理，出力のうち，いずれが欠けてもシステムとしての性能は制限され，潜在的な応用創出の可能性を失ってしまう．調和のとれた革新的なシステムの構築には，これら 3 者個々の技術だけでなく，実世界の物理と数理的な原理，そして出力先のシステムである人間を理解し，総合的にシステムを設計することが重要である．

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．

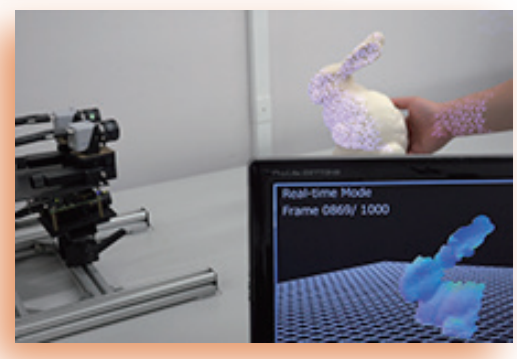


In order to create system technology that can pioneer new applications with the high performance and high functionality, exquisite integration of three system factors; input, processing, and output technology are needed. When any factor of them is inadequate, the performance of the system is limited 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.







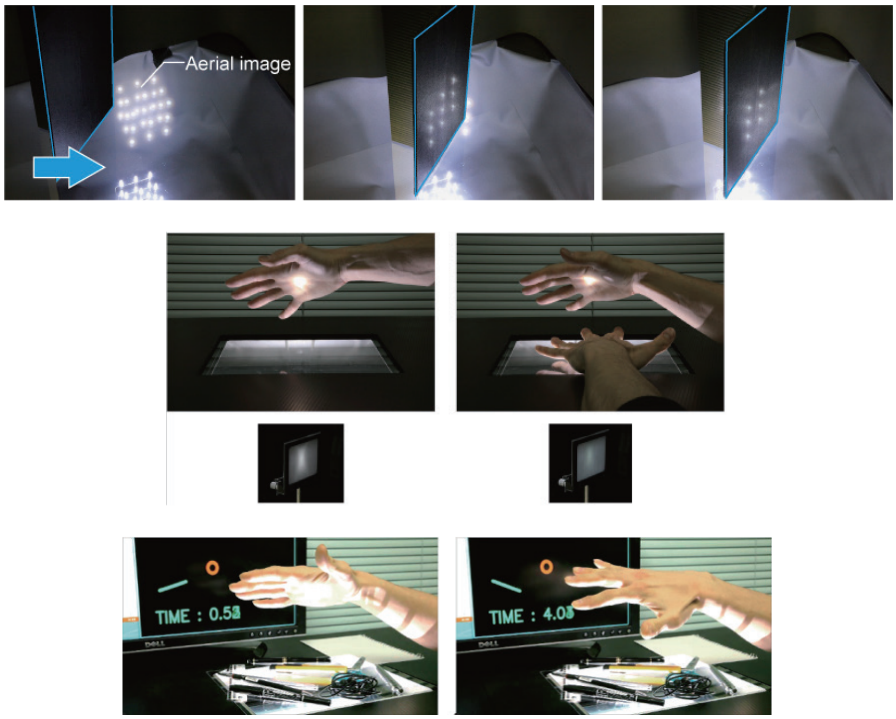
4.1　空中像形成技術を用いた遮蔽に頑健な３次元計測
Occlusion-Robust 3D Sensing Using Aerial Imaging

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．

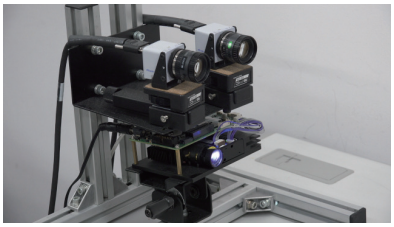
本研究が着目する問題は，「特定の３次元位置の情報のみを遮蔽物の有無に関わらずカメラ上で捉えることができるか」である．これは，あたかも空間の１点１点に，その位置に物体が存在するかどうかを識別するセンサが仮想的に設置された状況を実現するものであり，従来のカメラの観測方式とは抜本的に異なる構造を目指すものである．しかし，同問題は，実世界の計測点と画像面の観測点が１本の光線のみで結ばれる構造では基本的に解くことができない．

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.



4.2　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



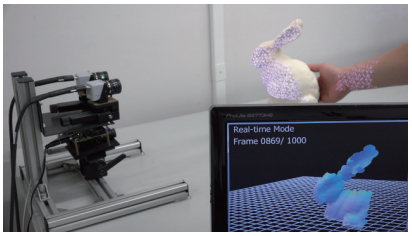
ビデオレート（30Hz）を大幅に上回る速さで撮像から画像処理までを行うことができる高速ビジョンシステムは，ロボティクスやヒューマンインターフェースなどの様々な応用において重要な技術となっている．たとえば，システムや対象が高速に運動する自動車やロボットなどにおいて，ビデオレートの処理では取得データのフィードバックが間に合わないだけでなく，計測自体が困難である場合も多いため，高速リアルタイムに取得可能な高速ビジョンシステムは重要である．また，工場における検査においても，計測のために静止させることは時間効率を下げる原因であるが，高速ビジョンシステムを使うことで運動したまま計測することが可能となる．また，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．

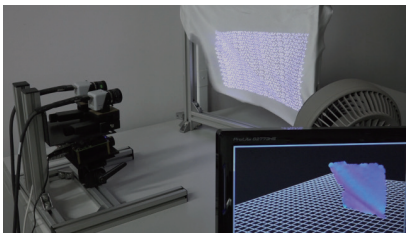
しかし，従来の高速ビジョンシステムは主に2次元的なパターン認識にとどまっている．数百fpsの速度でリアルタイム3次元計測を実現できれば，高速ビジョンシステム応用の可能性がさらに広がると考えられる．これまでにも，200fpsを超える高速なリアルタイム3次元計測は様々なアプローチで実現されているが，対象に対する運動や距離の制限，解像度の低さなどの問題を抱えていた．

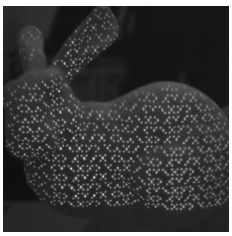
そこで，本研究では，3視点幾何によるエピポーラ拘束と階層処理を組み込むことで，これらの問題を解決し，ロバストかつ高速に3次元点群を取得できることを示す．また，このような処理を実現する独自のパターンとしてセグメントパターンを提案する．さらに，2台のカメラと1台のプロジェクタによって構成される高速3次元計測システムの開発を行った．セグメントパターンは多数の基本要素によって構成され，各基本要素は中央の線分とその周囲の複数の点によって構成されている．3視点幾何のエピポーラ拘束によって，画像間で対応する点を検出するときに必要とされる各基本要素の属性の複雑さが緩和されているため，高速に検出が可能である単純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．

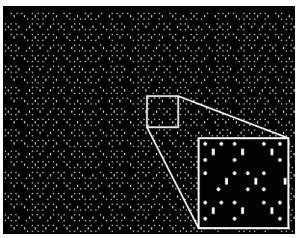
High-speed vision technology in which not just image capturing and recording but also image processing are executed simultaneously at high frame rates, exceeding video rates (30 Hz), has recently been considered an important technology for various applications, such as robotics, vehicle systems, automatic 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.

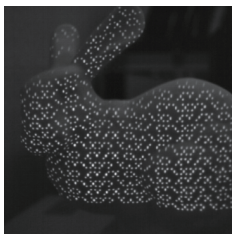
Our proposed real-time 3D sensing system consists of a projector and two cameras. By projecting a well-designed segmented pattern and using threeviewpoint epipolar constraints, the proposed system can obtain 3D points at high speed. In our method, the pattern is designed by using primitives. Each primitive 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.







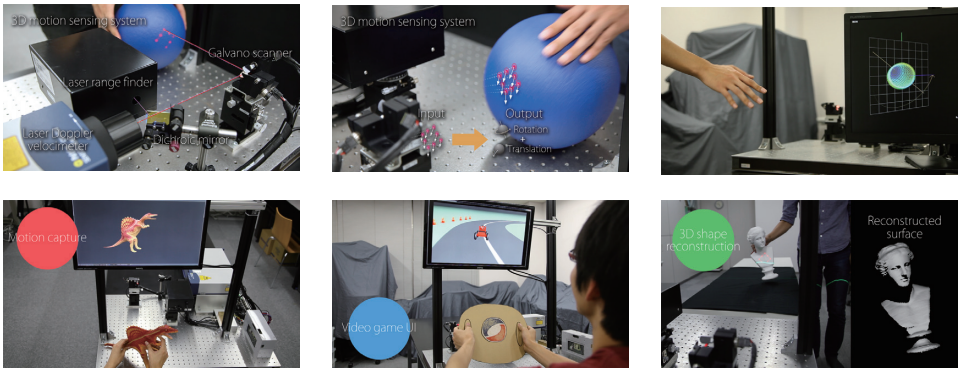




4.3 多重化レーザーによる任意物体の３次元運動センシング
3D Motion Sensing of any Object by Using Multiplexed Lasers

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.



4.4 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.







4.5 BFS-Auto: 高速・高精細書籍電子化システム
BFS-Auto: High Speed & High Definition Book Scanner

書籍電子化の超高速化に向けて，新しい方式 ブックフリッピングスキャニング(Book Flipping Scanning)が提案された．これは，本をパラパラめくるだけで全ページを画像として保存できるものである．この方式を具現化するシステムとして，新たにBFS-Autoを開発した．本システムは，機械による高速ページめくりと，リアルタイムで実行される書籍の3次元状態認識技術，さらに高速のゆがみ補正アルゴリズムを導入することにより，冊子体のままで，電子書籍の要求解像度での高速スキャンを実現したものである．

1. 1分間に250ページの高速ページめくり機能を搭載: Book Flipping Scanningの構想は，書籍電子化速度の大幅な向上を可能とするが，自動化に向けてめくり機の性能不足が問題であった．これまでの自動めくり機は同構想が目指す速度に対して十分な性能を備えていなかった．そこで，独自の高速書籍自動めくり機を新たに開発した．設計では，ページめくりの機構が撮像の邪魔にならないように設計することが重要な鍵となる．結果として，このブックスキャナーでは，冊子体を裁断することなく，1分間に250ページの高速スキャンを実現している．つまり，250ページ程度の本であれば，1冊を1分で電子化することができる．

2. 超高速の3次元状態認識によって高速かつ高品質な電子化を実現: 本システムでは，ページをめくるときに生じる紙面の3次元形状を1秒間に500回の速度で捉え，最も高品質に電子化できる瞬間を，新たに開発した独自のアルゴリズムに基づいて，リアルタイムに識別している．この識別された瞬間に高精細カメラによる撮像を行うことで，高速かつ高精細な電子化を実現可能とした．これにより，解像度を1インチあたり400画素まで高めることに成功し，電子書籍での利用が可能となった．この技術によって，独自に開発した高速ページめくり装置の速度でも，すべてのページを見逃すことなく，高精細で高品質な電子化が可能である．

3. リアルタイムでの書籍画像の3次元補正を実現: 本システムは，撮像された画像と同時に取得した3次元形状を用いて，変形する前の平面の書籍画像に復元する独自の補正技術を備えている．3次元の形状を用いているため，ページに印刷されたコンテンツに依存せずに補正を行うことができる．今回，本処理の効率化と並列化を図り，撮像と同時に補正できるシステムを開発した．左図では，補正前と補正後の結果を示している．



BFS-Auto can achieve high-speed and high-definition book digitization at over 250 pages/min using the original media format. This performance is realized by three key points: high-speed fully-automated page flipping, real-time 3D recognition of the flipped pages, and high-accuracy restoration to a flat document image.

1. High-speed page flipping machine at 250 pages/min

The automated flipping machine can provide high-speed and labor-saving style of book digitization. The key point is to design the mechanism not to cause obstruction for the scanner while maintaining full speed. The developed system can flip and scan the book at over 250 pages/min without modifying the book by cutting. Therefore, we can finish a book (250 page) within a minute.

2. High-speed & high-definition book digitization based on real-time 3D recognition

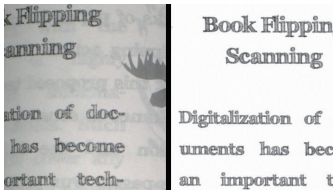
Our system continuously observes 3D deformation of the each flipped page at 500 times per second, and recognizes the best moment for book image digitization at the highest quality using the newly constructed original algorithm in real-time. At this recognized moment, the high-definition camera captures the document so that both high-speed and high-definition performance all is realized. The definition performance is enhanced to 400 pixels per inch. This technology enables high-speed and high-definition digitization with the speed of the developed flipping machine without missing any pages.

3. Real-time 3D restoration to a flat document image

This system has a technology to restore a captured image which is distorted because of page curling to a flat original document image by using the captured image and the obtained 3D deformation. This system's new improvement to processing speed allows real-time restoration for capturing books. In the diagram at the left, before and after images show the restoration process.







4.6　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
Real-time 3D Page Tracking and Book Status Recognition

我々は，書籍のページを自動で高速にめくりながら，高精細な書籍画像を取り込む書籍電子化システム（BFS-Auto）を提案した．本システムは，高速カメラと高精細カメラのハイブリッドなセンサ構成によって適応的撮像を行うことで，高速性と高精細性の両立を実現している．より精度の高い適応的撮像のためには，高速かつ正確に書籍の状態を認識する必要がある．本研究では，新たに書籍状態ヒストグラム（Book Status Histogram）という特徴量を導入し，高速にめくられる紙面に対して，リアルタイムに書籍紙面のページの形状をトラッキングし，変形の状態を認識する手法を提案した．実験の結果，約300ページ/分の速度でめくられる書籍に対して，ページ分割や状態評価をノイズに頑健に正確に行えることを確認し，高品質な書籍画像の取得が行えることも確認した．

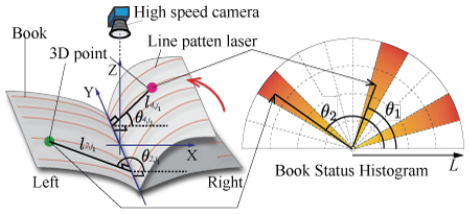


Fig. 1 本研究で新たに導入した書籍状態ヒストグラムの概要
Fig. 1 Schematic illustration of book status histogram.

We proposed a new book digitization system that can obtain high-resolution document images while flipping the pages automatically(BFS-Auto). The distinctive feature of our system is the adaptive capturing that has a crucial role in achieving high speed and high resolution. This adaptive capturing requires observing the state of the flipped pages at high speed and with high accuracy. In order to meet this requirement, we newly proposed a method of obtaining the 3D shape of the book, tracking each page, and evaluating the state. In addition, we explain the details of the proposed high-speed book digitization system. We also report some experiments conducted to verify the performance of the developed system.

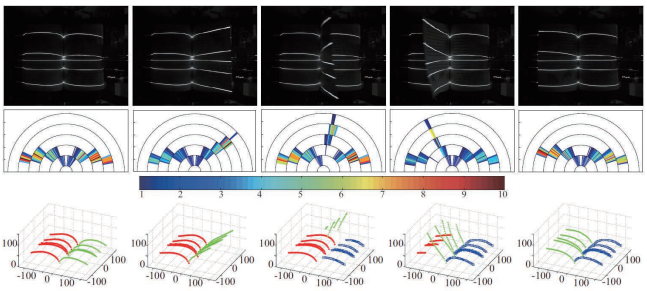


Fig. 2 ページのトラッキング結果
（上段：高速カメラ画像．中段：書籍状態ヒストグラム．下段：ページごとに分割された３次元点群）
Fig. 2 Results of page tracking.
Top: Images from high-speed camera. Middle: Book status histogram. Bottom: 3D point cloud. The unit of length in the graph is mm.

4.7　高速書籍電子化のための高速書籍自動めくり機
Automatic page turner machine for Book Flipping Scanning

近年，膨大な量の書籍を電子化する需要が高まっている．このような背景のもと，高速な書籍電子化を実現する技術として，Book Flipping Scanningが提案された．これは，書籍のめくり動作中に，紙面を止めることなく連続的に書籍情報を取り込む新たな構想であるが，書籍は人が手でめくらなければならなかった．そこで，高速かつ正確にめくれる書籍の自動めくり機を設計，開発した．

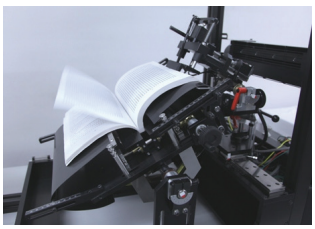
提案する装置は，紙の弾性力と送風を利用して，非接触で紙面を搬送する機構に基づいたものである．具体的には，まず書籍の紙束を湾曲させた状態で，書籍端面をヘッドで抑える．そしてこの抑えを直線的に動かすことで，１ページずつページが解放される．解放されたページは，弾性力と横から吹き付ける送風により，反対側に搬送され，めくりが完了するという仕組みである．

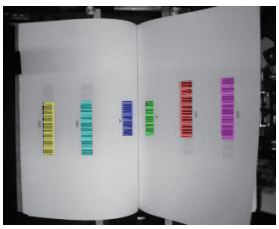
性能評価実験の結果，提案する装置において，速度300 ページ/分で100%に近いめくり成功率を達成し，ほぼ重送なくめくれることが示された．実験の結果，提案装置が様々な紙質の書籍に対して，高速性と正確性を両立できる見込みが十分に高いことが確認された．

In recent years, there has been an increasing demand to digitize a huge number of books. In order to meet this demand, a new promising approach called Book Flipping Scanning has been proposed. This is a new style of scanning in which all pages of a book are captured while a user continuously flips through the pages without stopping at each page. Although this new technology has had a tremendous impact in the field of book digitization, the page turner is done by human hand. This point causes a bottleneck in the development of the high-speed book digitization. Based on this background, we propose a newly designed high-speed and precise book page turner machine.

Our machine transfers paper in contactless by utilizing the elastic force of the paper and the air blow. This design enables high-speed performance that is ten times faster than the conventional ones. In addition this configuration is unobstructed for the digitization. We evaluated the proposed machine performance using various papers with different qualities.

The results show that our machine achieved almost 100% success rate of turning pages at around 300 pages/min and was promising for the high-speed and precise book page turner.





4.8 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

High-speed and High-definition Document Digitalization System based on Adaptive Scanning using Real-time 3D Sensing

書籍電子化のニーズが全世界で急速に高まっている．このようなニーズのもと，様々な書籍電子化技術が開発されているが，書籍を高速かつ手軽に電子化するための技術力はそのニーズに対して十分でない．特に，書籍電子化には高速性と高精細の両者を備えた画像センシング技術が必須であるが，その両者を兼ね備えたシステムは未だに実現されていない．

我々は，高速な書籍電子化技術の実現に向けて，書籍のページめくり動作中に動きを止めることなく，連続的に読み取る方式ブックフリッピングスキャニングを提唱している．ブックフリッピングスキャニングのアプローチは強力であり，様々な応用形態を提供しうると考えられる．これまでに，高速な３次元センシングを用いて，この新しい方法の有効性を確認してきた．しかし，電子化された書籍画像が低解像度である問題があった．

高精細化に向けたキーポイントは，ダイナミックな現象に対して適応的に撮像を行う画像センシング方法にあると考えられる．任意のタイミングで生じる最適な一瞬に合わせて，画像センシングを機能させることで，効率的な高精細センシングを達成できると期待できる．そこで，本研究では，高速な３次元センシングと高解像度カメラのハイブリッドなセンサ構成によって，変形中の書籍に対して電子化に最適な瞬間を適応的に認識し，高精細なスキャンを行うシステムを新たに提案する．

There is a growing demand for book digitization. However, the conventional technology cannot meet the demands for ease-of-use and high-speed book digitization. One emerging solution that meets these demands is Book Flipping Scanning. This is a new style of scanning in which all pages of a book are captured while a user continuously flips through the pages without stopping at each page. Although this new technology has had a tremendous impact in the field of book digitization, it has a problem with the resolution of the digitized document image.

The key point for the improvement of the resolution is in the visual sensing technique which enables adaptive capture to the dynamically changing phenomena. It is expected that effective high-resolution sensing can be achieved by controlling the visual sensing according to the optimal moment occurring at an unpredictable timing. Based on this approach, we propose a new hybrid sensing system consisting of high-speed 3D sensing and high-resolution imaging. This system can achieve high-resolution document digitization by recognizing an optimal timing adaptively from the 3D deformation of the pages observed at high-speed in real-time.



左から，システム外観，観測画像，補正した結果
System(Left), Observed image(Center), Rectified image(Right)

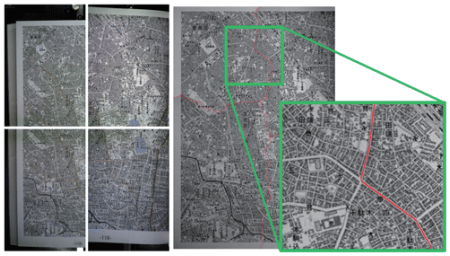
4.9 複数視点画像を用いる統合型書籍画像生成とその高品質化
Document Digitization and its Quality Improvement using a Multi-camera Array



非破壊・超高速の書籍電子化に向けて，めくり動作中に電子化を行うブックフリッピングスキャニングが提案された．この構想の下，適応的撮像と自動めくり機を搭載するBFS-Autoが開発された．さらに，電子化される書籍画像の高解像度化に向けて，複数台のカメラによってページを分割して撮像し，歪んだ書籍画像を補正・統合する手法が提案された．しかし，同手法では，同じ時刻に撮像された複数画像を統合していた．紙面形状はページごとに変わるため，同時刻画像の統合が各カメラにおいて最適とは限らない．そこで本研究では，BFS-Autoの適応的撮像に基づいて，1ページを分割撮像する4台の高解像度カメラの撮像タイミングを個別制御するシステムを報告する．さらに，統合される書籍画像の高品質化に向けて，異なる画像間の境界を最適化する手法を提案する．これによって，約1,000dpiの高速・高解像度書籍電子化が可能となることを示した．

Toward the non-destructive and high-speed digital archiving, Book Flipping Scanning has been proposed. As one of the system realizing this concept, BFS-Auto have been proposed, which mounts two element technologies including Adaptive capturing and Automatic page turner machine. Also, for the resolution improvement of the digitized document image, we propose a method achieving both rectification and stitching of the distorted document images which are captured with a system configuration in which multiple cameras are arranged with small overlapping captured areas. However, in this method, those multi-view images are captured at the same timing. As the page deforms freely while pages are flipped, such capture strategy is not always optimal.

In this research, we propose a new system controlling the capturing timing of four high-resolution cameras individually based on the adaptive capturing approach introduced in BFS-Auto. Those high-resolution cameras captures a single page with small overlapping areas. In addition, toward high-quality document digitization, we introduce a new method to optimize the boundary between the different-view images. Experimental results show that our method enables around 1,000-dpi high-speed and high-resolution document digitization.



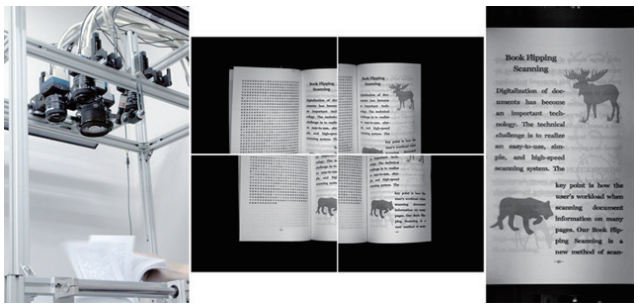
4.10 複数視点による高速撮像を行う書籍電子化システム
Digitization of Deformed Documents using a High-speed Multi-camera Array

近年，高速かつ高精細な書籍電子化技術の需要が高まってきている．このような技術の実現において，複数台のカメラを配置して書籍を捉え，異なる視点の画像を統合することで高精細化を図る手法が有効であると考えられる．しかし，書籍の紙面は平坦でないと同時に，要求される画像の解像度が高い．このため，紙面の変形による書籍画像の歪みを補正するとともに，画像間の統合を正確に行うためには高い精度が要求される．さらに本研究では，めくり動作中の書籍に対して複数視点による高速・高精細電子化を行うことを目的としている．

このような背景のもと，複数視点での高速撮像を行う書籍電子化システムを新たに構築した．本システムでは，複数台の高速カメラを互いの撮影領域がほとんど重複しないように配置し，解像度の向上を図っている．さらに，このような構成下においても，めくり動作中の書籍の高精度な三次元変形推定と高精細な書籍画像補正の両立を図る手法を提案する．

Digitization of documents recently has become an important technology. However, it is difficult for existing scanners to read books at high speed and at high resolution simultaneously. In order to realize a promising new book scanning system, we aimed to scan a book containing many pages by using multiple high-speed cameras to acquire images while continuously flipping through the pages, then integrating the images viewed by different cameras to digitize all of the pages. However, high-accuracy integration with the non-uniform rectification required for such input images is a challenging task because the sheets of the document are deformed and the image resolution is so high that misalignment can easily occur.

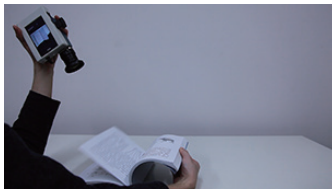
This research proposes a new multi-camera-array book scanning system and a method of achieving high-accuracy three-dimensional deformation estimation and high-resolution rectification of the distorted document images with a system configuration in which multiple high-speed cameras are arranged with small overlapping captured areas. Experiments using the developed system showed that highaccuracy document images were reconstructed.

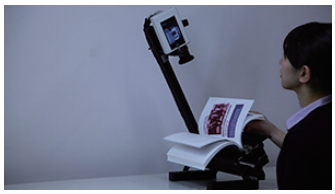


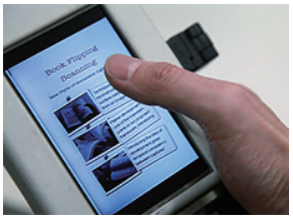
左から，システム外観，観測画像，4 視点を統合・補正した結果
Left: developed system, Center: observed images, Right: integrated & rectified image

4.11 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

BFS-Solo は，1 台のカメラで撮影された動画像を用いることで，高速な書籍電子化を実現する新しいシステムです．このシステムでは，独自に開発した補正手法が組み込まれています．この手法は，めくり動作中のページを捉えた動画像から，紙の可展面特性を利用して，3 次元の変形形状と平坦な状態に補正された書籍画像を取得することができます．本システムは，1 台のカメラのみで構成されるため，モバイル用や机上用など様々な利用形態における柔軟な展開が可能であり，いつでもどこでも書籍電子化を提供することができる技術となっています．BFS-Solo は，大型で高性能な BFS-Auto に比べて，個人用途に向けた手軽な書籍電子化に焦点を置いた設計となっており，全く異なる原理のシステムとなっています．なお，本システムは実用化に向けて，著作権法の下でのみ機能するように開発される予定です．







BFS-Solo enables high-speed book digitization using monocular video captured while the paper is deformed. Our original method can reconstruct the 3D deformation and restore a flat document image by taking into account the physical constraints on deformation for a sheet of paper from the monocular image sequence. This system allows flexibility of configuration for high-speed book digitization, anywhere and anytime. BFS-Solo is designed for a simple and convenient style of book digitization for personal use, and the design concept is different from BFS-Auto which is an automatic and high-performance system for professional use. The principle introduced in this system is totally different from the BFS-Auto principle. Toward the practical use, BFS-Solo is planned to be designed to be used under the copyright law.

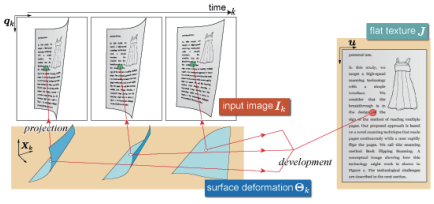
4.12 単眼動画像からの可展面形状とその展開テクスチャの復元
Reconstruction of 3D Surface and Restoration of Flat document Image from Monocular Image Sequence

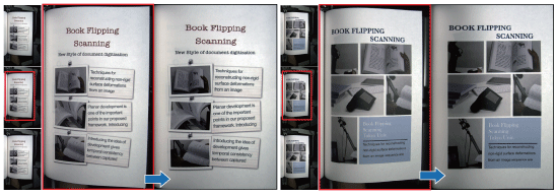
日常的な書籍電子化を可能とすることを目的として，めくり動作中の書籍を単眼のカメラで撮像することで書籍電子化を行う新しいスキャニングの形態を提案する．この応用形態を実現するために，単眼動画像から，非剛体物体の3次元形状とともに同変形を平面に展開した際のテクスチャも同時に推定する手法を新たに構築した．

本手法のキーポイントは，物体の可展面特性に着目して平面展開のプロセスを復元手法に導入している点である．このようなアプローチによって，複数の撮像画像から得られる情報を統一的に整合する枠組みを構築することが可能となっている．提案手法では，変形紙面を撮像した複数枚の画像を入力とし，可展面モデルを用いて，展開テクスチャと紙面形状を交互に相補的に復元している．この枠組みの下，物体の変形の動きをカメラ上で観測することで，連続曲面の変形と高解像度な展開テクスチャの両者が復元されることを実証した．

There is a strong demand for the digitization of books. To meet this demand, camera-based scanning systems are considered to be effective because they could work with the cameras built into mobile terminals. One promising technique proposed to speed up book digitization involves scanning a book while the user flips the pages. In this type of camera-based document image analysis, it is extremely important to rectify distorted images.

In this research, we propose a new method of reconstructing the 3D deformation and restoring a flat document image by utilizing a unique planar development property of a sheet of paper from a monocular image sequence captured while the paper is deformed. Our approach uses multiple input images and is based on the natural condition that a sheet of paper is a developable surface, enabling high-quality restoration without relying on the document structure. In the experiments, we tested the proposed method for the target application using images of different documents and different deformations, and demonstrated its effectiveness.





4.13 複雑変形紙面の高精度展開補正手法
High-accuracy rectification technique of deformed document image using Tiled Rectangle Fragments (TRFs)

タブレットやスマートフォン等の電子機器の普及により，電子書籍が読まれる機会が増加している．これを下支えする技術が書籍電子化技術であるが，フラットベッドスキャナ等で電子化する作業は大量の時間と人的リソースを必要としていた．そこで我々は，書籍をめくりながら電子化を高速に行うことで，1分間に250ページの電子化を達成するブックフリッピングスキャニングの開発を行ってきた．このような電子化のスタイルにおいて必要不可欠な技術が，めくり動作中に撮影された，複雑に歪んだ書籍の画像を高精度に補正する技術である．

そこで，本研究では，複雑に変形した紙面の3次元形状を，後述する新しいモデルであるTiled Rectangle Fragments (TRFs) モデルで表現することにより，高精度に展開補正を達成する手法を提案する．

展開補正とはそもそも，歪んだ(2次元)画像を歪みのない(2次元)画像に補正するということであるが，3次元変形紙面を撮影した画像とその展開面の画像という3次元的な描像で捉えると，これらのジオメトリの間に等長写像(isometric mapping)を構成するということに他ならない．Tiled Rectangle Fragments (TRFs)　モデルとは，可展な3次元形状を，同じ大きさの長方形切片を並べて表現したものである．ただし，使用する長方形切片は元の3次元形状を展開したものを細分化したものを使用するとする．このモデルを用いることで，TRFモデルと展開面の間に準等長写像を構成することが可能となり，高精度の展開補正が可能となる．

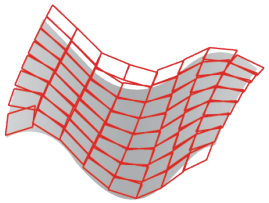
本手法で使用している入力は，変形紙面の３次元点群とその撮像画像のみであり，紙面のテクスチャに全く依存することなく展開補正が達成されている．

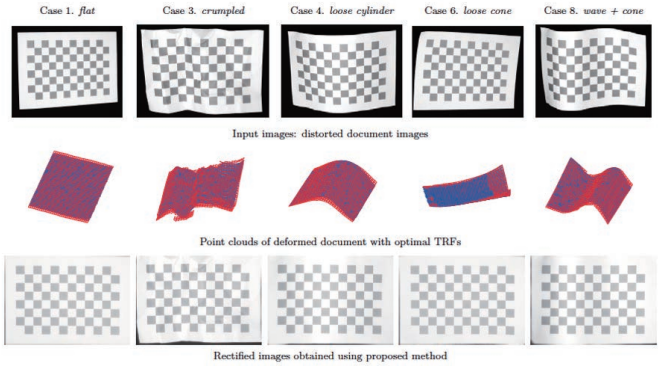
Digital books are getting popular because of the spread of electric devices such as ebook reader, smartphone and tablet. Book digitizaiton technologies play significant roles in supporting such popularity. However, traditional way of digitization that digitize books with flatbed scanners is time-consuming and needs human power. To overcome this obstale, we have developed a novel system called Book Flipping Scanning (BFS), which digitizes whole a book within a minute. The key point in achieving high-speed digitization is to perform scanning while the book is flipping. While it enables to scan very quickly, this stype of book digization, scanning during flipping, naturally raises rectification problem because the captured image is deformed.

This study approaches such a rectification problem by introducing a novel model 'Tiled Rectangle Fragments' (TRFs) representing a developable surface (details follow.)

Rectification problem is to construct a 2D to 2D mapping from a warped document image to its rectified document image. Revisiting this problem from 3D point of view, it can be understood to construct an isometric mapping from 3D deformed document surface to its developed surface. TRFs represent a developable surface by tiling the same size of rectangle. Each rectangle is a subdivied fragment of the developed surface of the original developable surface. This model enables us to construct a quasi-isometric mapping and rectify with high accuracy.

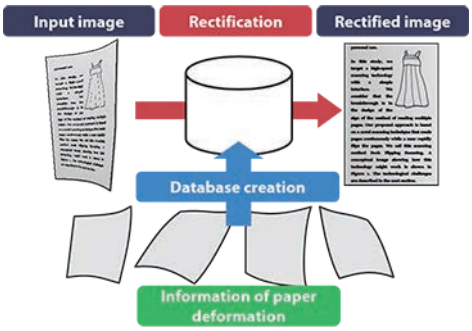
Note that the proposed method only requires 3D point cloud of the deformed document surface and its captured image. This means that our method doesn't depend on the texture on the document.

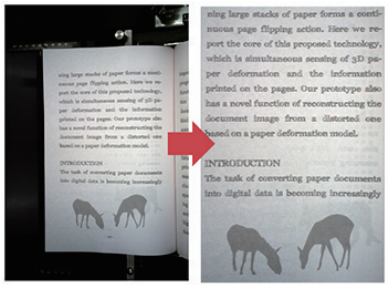




4.14　3 次元形状の事前知識を用いた書籍画像展開補正
Document Image Rectification using Advance Knowledge of 3D Deformation

高速かつ非破壊かつ手軽な新たな書籍電子化の方式として，ページのめくり動作中にその動きを止めることなく連続的に書籍情報を取り込むブックフリッピングスキャニングが提案された．同技術では，変形した紙面を電子化するため，書籍画像を補正する必要がある．これまでに，紙の可展面特性を利用して，計測された3 次元点群から同曲面モデルのパラメータを推定し，変形紙面を平面に展開する形で補正する手法が提案されている．しかし，任意の変形を表す可展面モデルを汎用的に設計することは難しく，補正後の書籍画像に歪みが残ることがあった．そこで，本稿では，モデルベースではなく，事前知識を用いて書籍画像を補正する手法を提案する．





As a promising approach for high-speed, non-destructive and easy-to-use book digitization, Book Flipping Scanning which scan large stacks of paper, while the pages are flipped continuously without stopping on each page, has been proposed. In this technology, the image rectification is required because the captured document images are distorted because of the paper deformation. As one of the solutions, there is a conventional technique based on the estimation method of non-rigid surface deformation using developable surface model. However, it is difficult to design a general developable surface model which can express any deformation. This problem degrade the quality of the digitization. In this research, we propose a new document image rectification using advance knowledge of 3D deformation without relying on the model-based approach.

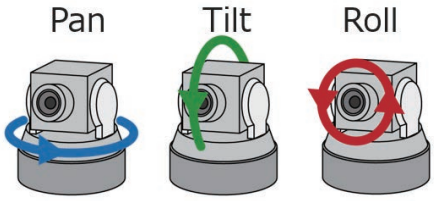
4.15　高速ロールカメラ：像回転を高速制御するカメラシステム
High-speed roll camera: High-speed optical image rotator

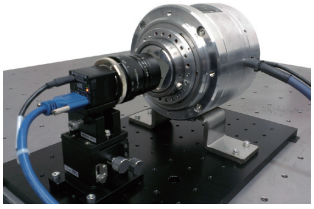
当研究室で開発したサッカードミラーと呼ばれるシステムはカメラの視線方向であるパン・チルトを高速制御することが可能であり，激しく動く対象を安定して画面の中心に捉えることができる（1msオートパン・チルト技術）．しかし，ロール方向の運動には追従することができなかった．

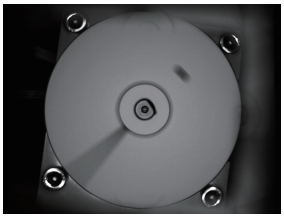
そこで，本研究ではカメラの視線方向を軸とした像の回転（ロール）を高速に制御するシステムを開発した．本システムとサッカードミラーを合わせることにより，カメラの視線方向に関する3つの回転軸全てについて高速制御を行うことができる．ロール方向の高速回転に追従した撮影が可能となれば，ボール，ファン，ホイール，ディスク，エンジン，ベアリングなど，様々な回転物体に対し，静止物体と同様の詳細な映像記録，解析ができるだけでなく，当研究室で開発したるみぺんと同様の拡張を行うことで，対象にプロジェクターの映像を重畳するプロジェクションマッピングの応用においても，対象の回転に追従した投影を行うことができるため，よりダイナミックな表現が可能となる．

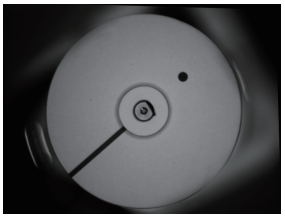
本システムは光学的に像を回転させるダブプリズムという光学素子を中空モータで制御し，カメラを動かすことなく対象の回転を相殺した撮像を行っている．1420rpm（1秒間に約24回転）という高速回転を行う対象についても，露光時間を短くすることなく，ブレを0.125度までに抑えた鮮明な画像を得ることができる．また，対象の回転速度は500fpsの高速画像処理によって算出しているため，予期しない回転の変化にも追従することが可能である．

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.







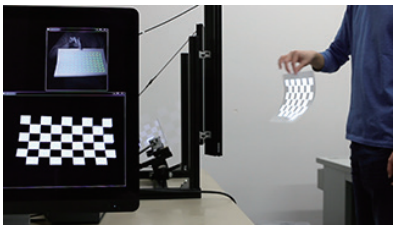


4.16 高速プロジェクタを用いた変形する非剛体曲面へのダイナミックプロジェクションマッピング
Dynamic projection mapping onto deforming non-rigid surface using a high-speed projector

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．

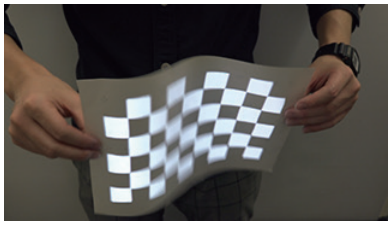
以上のDynaFlashとDeformable Dot Cluster Markerを基盤として，非剛体曲面へのダイナミックプロジェクションマッピングを実現した．本技術では，マーカを赤外インクで対象に印字することで，人間にはマーカを不可視にするとともに，投影像に影響を受けずに変形を捉えることができている．さらに，プロジェクションとセンシングの両方が1,000fpsの速度で実現されている．このため，運動中においても，変形に応じた矛盾のない投影を維持し，あたかも対象に投影画像が印字されている，または対象表面に元々存在していたテクスチャであるかのように現実を拡張できる．特に，ユーザインタフェース分野，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．

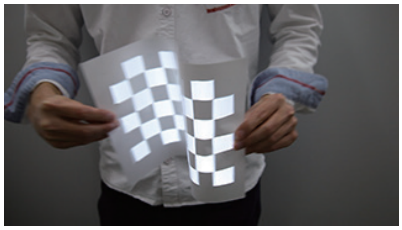


Projection mapping attracts attentions as an emerging technology to extend the real world. However, almost realized examples have been limited to static or quasi-static environments. This research aims at overcoming this limitation and realizes dynamic projection mapping in which dynamically-changing 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.

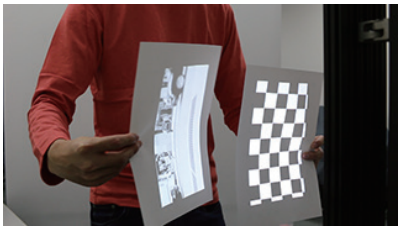
Using these base technologies including DynaFlash and Deformable Dot Cluster Marker, we realize a new dynamic projection mapping onto deforming non-rigid surface. In this demonstration, by drawing the marker on the target with IR ink, we allow the marker to be invisible to human and enable robust sensing 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.











4.17 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．

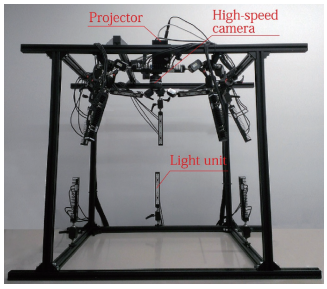
本研究では，レーザ距離計とレーザ速度計を用いることで，任意の剛体の回転，並進運動を非接触で物理的に計測することが可能な3次元運動計測を新たに形状統合に導入する手法を提案する．本手法は，時系列に取得される距離画像間の相対位置情報を，推定ではなく，確定的かつ高精度に求めることができる点で優れている．また，本手法は任意の形状計測システムに適用することができる．さらに，このように，3次元運動計測を用いることで，運動中の対象表面上の任意の点が，物体座標系においてどこに位置するか，各時刻のカメラ上でどこに撮像されるかを正確に知ることができる．このことより，形状と同時に色情報を複数回の計測から統合することも可能である．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.



4.18 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

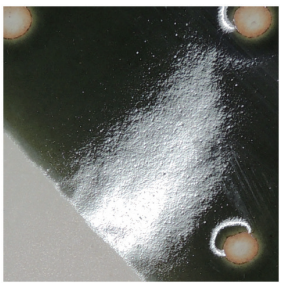


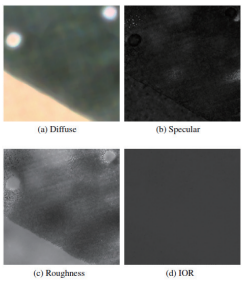
近年, 3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)により物体の外見をリアルに再現する研究が盛んに行われており, 物体表面における光の反射を記述した双方向反射率分布関数(BRDF)を実物体から取得し, リアルな質感の表現に利用することが行われている. しかし, 色や光沢感が異なる様々な質感を持った物体から, その複数のBRDF(SVBRDF)を取得する場合には, あらゆる方向から光を当て, あらゆる方向から撮像し, 得られた大量のデータを解析する, 長時間の計測・計算が必要であった.

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.







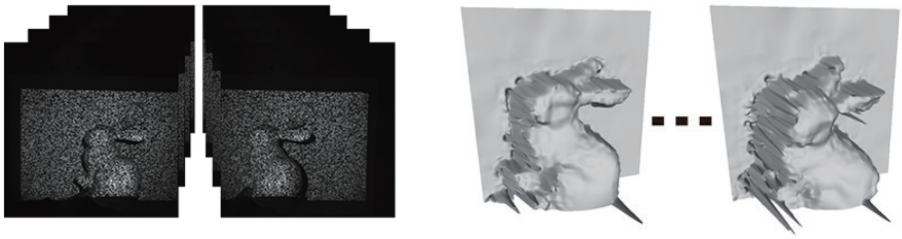
4.19 高速動画像を用いた時系列伝搬による運動物体の逐次的形状復元
Sequential 3D reconstruction for a moving object based on time-series propagation using high-speed cameras

近年，様々な分野において運動物体に対する形状計測の高解像度や高速化のニーズが高まっている．構造化光法を用いた運動形状計測は様々な手法が提案されているが，ワンショット計測における解像度には限界がある．また，全ピクセルの視差を独立に探索する直接的なステレオマッチングは十分な処理速度を達成しない．

そこで本研究では，高フレームレート下で撮像されたステレオ動画像において，連続するフレーム間における対象の運動が微小であるという仮定の下で，推定形状を時系列伝搬し，最小限の処理で高解像度形状を復元する手法を提案する．

There is a growing need for the improvement of the resolution and speed for the 3D sensing of a moving object in the various fields. Although many structured-light-based methods have been proposed for the shape acquisition of a moving object, the resolution performance based on the one-shot measurement has a limitation. Also it is difficult for the direct stereo matching which searches the disparity in all pixels independently to achieve high-speed calculation.

In this research, we propose a new method to reconstruct a high-resolution shape in minimum amount of calculation. Our method introduces the time-series propagation of the reconstructed shape for the efficient calculation under the assumption that the target motion in two successive images captured by high-frame-rate stereo cameras is small.



4.20 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
High-Resolution Surface Reconstruction based on Multi-level Implicit Surface from Multiple Range Images

近年，センサ技術の発展により，高いサンプリングレートで運動物体の形状を計測するシステムが実現されつつある．しかし，運動物体に対する形状計測において，解像度向上には限界があり，3次元形状を高速に計測し，かつ高解像に取得するのは困難である．そこで，本論文では運動物体を計測して取得した複数枚の距離画像を用いて，より高精細な3次元形状を復元する手法を提案する．提案手法は，運動推定と形状推定を同時推定の枠組みで解くものである．その際，形状表現として適応的な階層構造を有するような陰関数表現を用いるとともに，形状特徴を利用した運動推定と，推定された運動による点群の移動量に応じた形状推定によって，運動と形状の単なる交互推定ではなく，より厳密な同時推定を達成している．評価実験では，異なる点群密度やノイズに対する復元精度を評価するとともに，従来の手法と比較し，本手法の有効性を示した．

Sensing the 3D shape of a dynamic scene is not a trivial problem, but it is useful for various applications. Recently, sensing systems have been improved and are now capable of high sampling rates. However, particularly for dynamic scenes, there is a limit to improving the resolution at high sampling rates. In this paper, we present a method for improving the resolution of a 3D shape reconstructed from multiple range images acquired from a moving target. In our approach, the alignment and surface estimation problems are solved in a simultaneous estimation framework. Together with the use of an adaptive multi-level implicit surface for shape representation, this allows us to calculate the alignment by using shape features and surface estimation according to the amount of movement of the point clouds for each range image. By doing so, this approach realized simultaneous estimation more precisely than a scheme involving mere alternating estimation of shape and alignment. We present results of experiments for evaluating the reconstruction accuracy with different point cloud densities and noise levels.

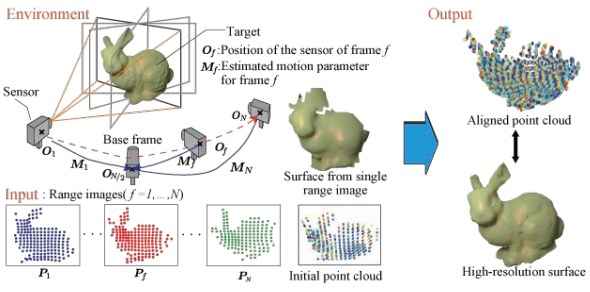


Fig. 1 提案手法のコンセプトと Stanford Bunny を用いた実験結果
Fig. 1 Concept of high-resolution surface reconstruction, measument environment and the reconstructed surface of Stanford bunny.

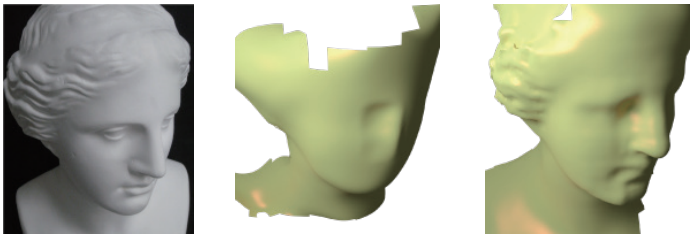


Fig. 2 石膏像を用いた実データでの実験（左から 真の形状，一枚の距離画像からの形状，高解像度復元形状）
Fig. 2 Result of experiment using actual-data.
(Left:Orignal surface. Center:Surface reconstructed using a single frame. Right: Surface reconstructed by proposed method using 30 frames.)

4.21 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．

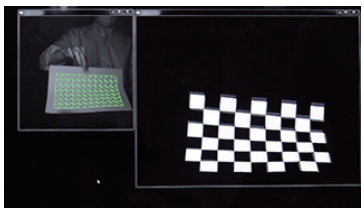
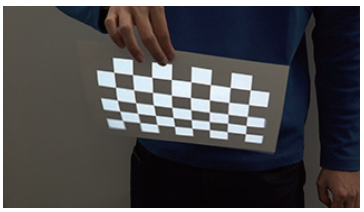
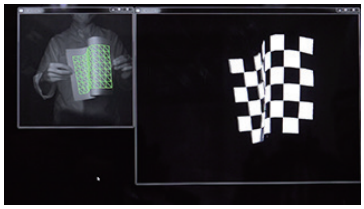
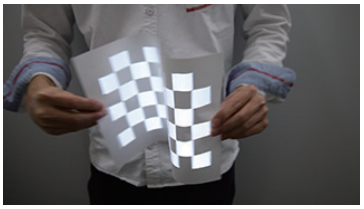
本研究では，非剛体変形トラッキングの応用として，ダイナミックプロジェクションマッピングに注目している．これは，運動する物体や動的に変化する環境を投影対象とするタイプのプロジェクションマッピングである．このようなプロジェクションマッピングでは，対象と投影画像との間に生じる幾何学的不整合を，人間が知覚できないレベルの高速性が必要となる．これを実現するためには，非剛体トラッキングをmsオーダで完了させる技術が必要となる．しかし，従来手法にはこのような性能を実現するものはなかった．

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".

4.22 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.

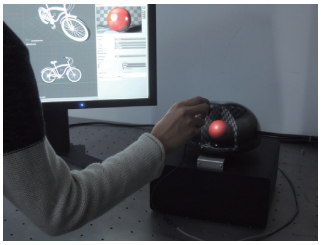
2. Base material optimization

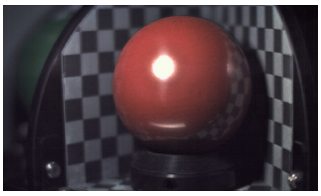
In order to represent a variety of realistic materials, we need to select the optimal base materials and determine the optimal composition ratios of them. In this paper, we formulated an error between the target and composited material, and solved these issues as a

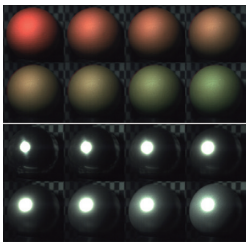
mixed integer linear programming problem. This method can be applied to bases for various parameters of a material and enables realistic representations of wide range of materials with a small number of base materials.

3. Augmented material

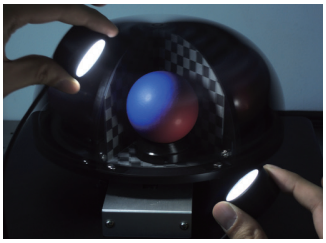
The system can express not only ordinary materials but also augmented materials that would never occur in reality. For example, translucent materials with an alpha channel and materials whose appearance depends on the light source can be expressed. The system can deal with these augmented materials as 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.

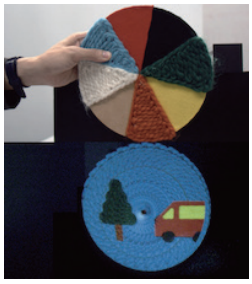
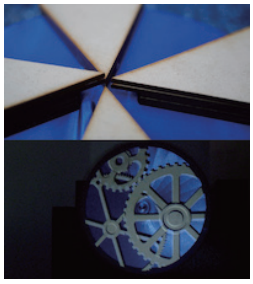
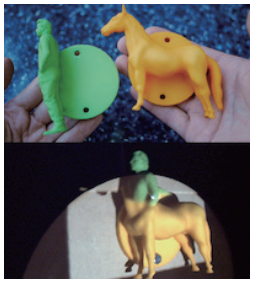
2. Layered 3D Display

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 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.

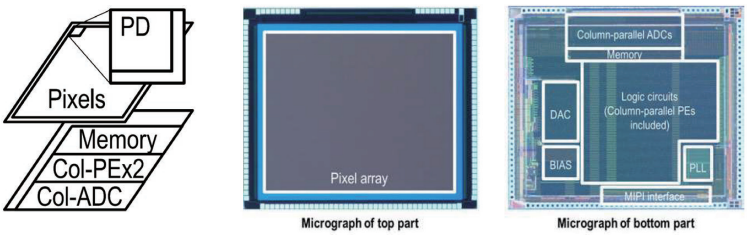
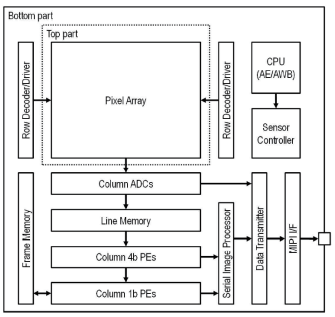


Fig. 1: ビジョンチップのアーキテクチャ模式図と顕微鏡写真 *1.
Fig. 1: Vision Chip Architecture and Micrograph*1.



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		19949e- 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.

Spatial image processing	Steps (for column)	Time (108MHz)
4-neighbor-Gaussian	21	190 ns
8-neighbor-Gaussian	26	241 ns
4-neighbor-Laplacian	42	389 ns
4-neighbor-Sharpness	51	472 ns
4-neighbor-Sobel	79	732 ns

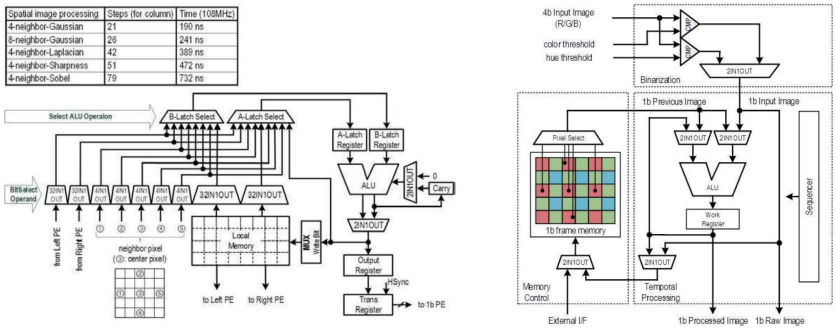


Fig. 3: PE における処理のブロック図 *1.
Fig. 3: Schematic of the PE*1.

*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)

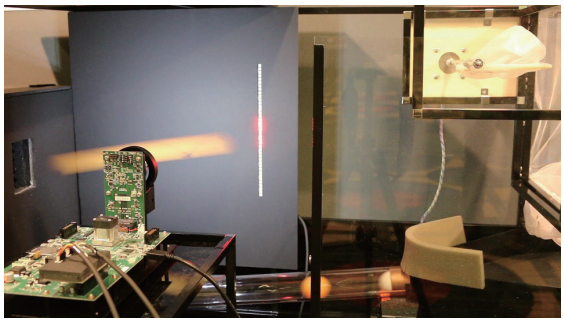


Fig. 4: ISSCC2017 で実演を行ったシステム
Fig. 4: Vision Chip Demo System at ISSCC 2017

4.25 曲率フローに基づく閉曲線ブレンディング
Rapid blending of closed curves based on curvature flow

シェープブレンディング(シェープモーフィング)とは,閉曲線やソリッドモデル間の遷移を連続的に表現する手法であり,コンピュータグラフィックスにおいて活発に研究されている.とりわけ対象を閉曲線に限定した問題を閉曲線ブレンディングと呼び,アニメーションの生成等の様々なアプリケーションに用いられている.閉曲線ブレンディングは,一般に頂点対応問題と頂点パス問題の2つのサブ問題に分解して解かれる.本研究では特に後者の頂点パス問題,すなわち与えられた頂点対応を元に指定された頂点対がどのようなパスをたどるかを計算する手法を提案する.

閉曲線ブレンディング手法は,いくつかの性質を満たしていることが望ましい.アニメーション生成においては,計算したブレンディング曲線が自然に遷移しているように見えることが重要である.またアニメータ支援の観点からは,アニメータがインタラクティブに編集できるようブレンディング曲線をできるだけ短時間で計算できることが望ましい.

本研究では,曲率等の幾何量が定義された多様体上の幾何フローの一種である曲率フローを用いて,上記の性質を持つ閉曲線ブレンディング手法を提案する.これまでも形状フェアリング等のジオメトリ処理に応用されてきたものであるが,本研究ではシェープブレンディングにも応用できる点に着目する.また,曲率フローをデザインすることにより,関連手法では困難であった様々な性質を持たせることが可能となる.

下に示すFig. 1とFig. 2は,それぞれ一番左と一番右にある閉曲線を入力として,提案手法によってブレンディングした結果を間に並べたものである.Fig. 1

は，閉曲線対の回転数 *1 が同じ場合に提案手法を適用した結果であり，Fig. 2は回転数が異なる場合に適用した結果である．特にFig. 2では，曲率フローとして曲率拡散フローを組み込むことで，回転数が異なり尖点 *2 が生じる場合であっても，尖点が生じる瞬間を除いて滑らかなブレンディングを生成することが可能であることを示した．また，関連手法よりも2桁以上高速に，かつ数値的に安定なブレンディングを計算することが可能であることを確認した．

*1閉曲線の全曲率を2πで割った整数値で，閉曲線を特徴付けることができる

*2その点における外角がπとなる点

Shape blending (or shape morphing), which describes the continuous and gradual transition of solid models, has been actively investigated in computer graphics. In particular, the closed curve blending problem has received a great deal of attention because of its wide range of applications in areas including computer-assisted animation. The closed curve blending problem can be decomposed into two consecutive subproblems, namely the vertex correspondence problem and the vertex path problem. In this study, we focus only on the vertex path problem: computing the actual path by which each vertex moves to its counterpart specified by vertex correspondence.

A blending algorithm needs to be equipped with several properties. For animation-oriented applications, a sequence of blended curves should be aesthetic: the source shape should appear to undergo a natural transition to the target shape. It is also desirable to calculate blended curves as quickly as possible so as to let animators modulate the entire collection of blended curves interactively.

We propose a new closed blending technique based on curvature flow. Curvature flow is a type of geometric flow that is often defined as a gradient flow associated to a functional on a manifold wherein a geometric value (e.g., curvature) is defined. We find that curvature flow has great potential for applications in shape blending, but it is currently applied only in shape fairing. Furthermore, designing curvature flow provides great flexibility upon blending and conveys special properties described below.

Thanks to the problem formulation in curvature space, our method performs stable and fast calculation, namely two orders of magnitude faster than state-of-the-art methods. Our method can be applied for a pair of curves wherein the turning numbers are both same (Fig. 1) and different (Fig. 2). Especially for curves with different turning numbers, incorporating curvature smoothing flow enables as smooth as possible blending, which could have not been realized so far.

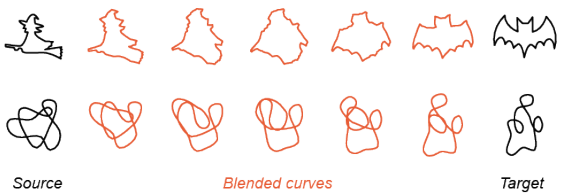


Fig. 1: Blending results of curves with same turning numbers

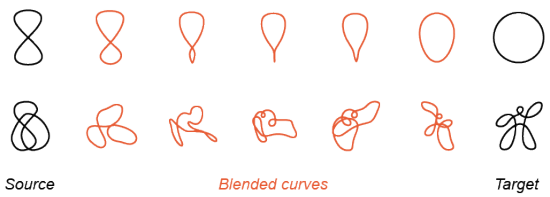


Fig. 2: Blending results of curves with different turning numbers

4.26 TransMaterial: 高速ビジョン・プロジェクタに基づいた動的質感再現

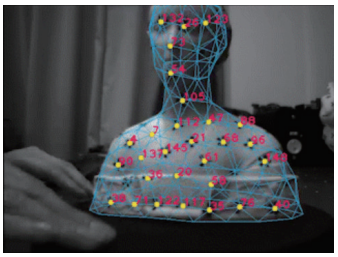
TransMaterial: Computational display of material appearance based on dynamic projection mapping

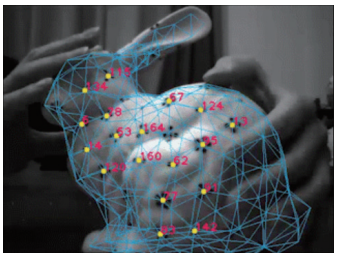
金属，プラスチック，肌など様々な素材の「質感」を再現できるかどうかは，高品質のメディアコンテンツを製作するうえで重要なポイントです．特にニーズが高い分野には，プロダクトデザイン，教育，エンターテイメント分野が挙げられます．プロジェクションマッピングは，このような質感の再現に向けて重要な役割を果たすことが期待されています．プロジェクションマッピングを利用すると，モニタ上ではなく，現実の物体の表面上に素材の質感を再現することができます．例えば，眼の前の樹脂製の模型を，形を維持したまま，鮮やかに光る金属製の物体に変質させることが可能です．

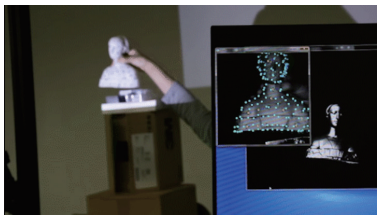
一方，このようなディスプレイでは，動きの変化に追従した質感の再現が重要になってきます．例えば，光沢度の高い物体では，ハイライトを生じる位置が物体自身の動き，観察する人の視点方向，光源位置によって変化します．このような動的な質感再現は，高品質なユーザエクスペリエンスのためには非常に重要なポイントになります．しかし，従来のプロジェクションマッピング技術では，このような要請を満たすことが困難でした．これは，従来のセンシング・プロジェクタ系が十分に高速でなかったためです．さらに，このようなアプリケーションでは，ユーザが対象に触れてインタラクションすることが重要になります．このためには，対象の3次元位置・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

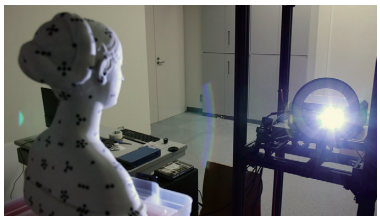
が必要になります.

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.





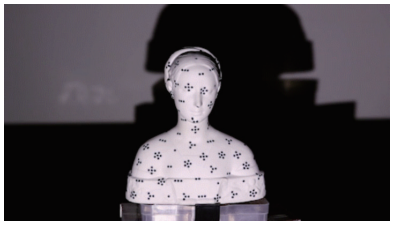




The computational display of material appearance such as metal, plastic, skin, and so on has attracted attention as an important technology in the fields of product design, education and entertainment. Using projection mapping, this type of a material display can be realized. The images projected by 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.

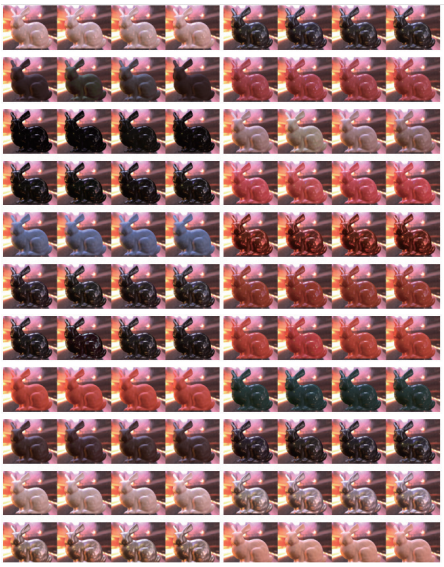
Based on this background, we propose a new marker-based 3D tracking method achieved by only using a monocular monochrome image. Our tracking method achieves both high robustness and high-speed performance even when there is a considerable amount of occlusion. Also we built a computational display of 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.





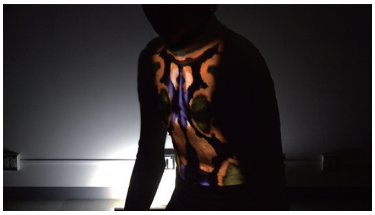
4.27 モデルパラメータ間の分散を用いた適応的な BRDF 計測
Adaptive BRDF Measurement Method Using Between-Model-Parameter Variance

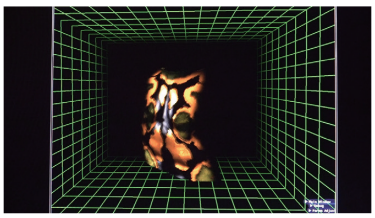
近年，3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)により物体の外見をリアルに再現する研究が盛んに行われており，物体表面における光の反射を記述した双方向反射率分布関数(BRDF)を実物体から取得し，リアルな質感の表現に利用することが行われている。しかし，BRDF を取得する場合には，あらゆる方向から光を当て，あらゆる方向から撮像し，得られた大量のデータを解析する，長時間の計測・計算が必要であった。そこで，本研究では一度光を当て撮像するごとに，次にどのように光を当て撮像すると効率的に BRDF を計測できるかを計算し，少数の計測で BRDF を算出する手法を提案する。



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.

4.28 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





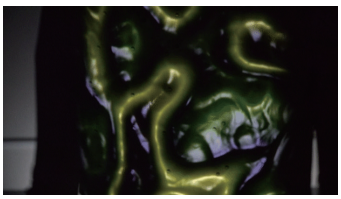
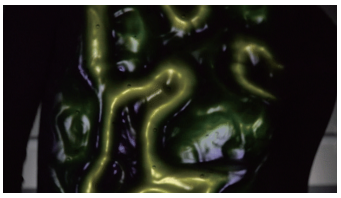
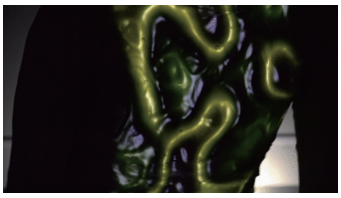
現実を拡張するための手法として，ダイナミックプロジェクションマッピングの有用性が注目を集めている．ダイナミックプロジェクションマッピングにおいては対象の動きを高速にトラッキングする必要があるが，本研究では特に，変形する非剛体の高速3次元トラッキングに着目する．非剛体変形を3次元的にトラッキングする手法は様々に提案されているが，いずれも計算量が大きく，ダイナミックプロジェクションマッピングにおいて人間が対象と投影画像との間に幾何学的な不整合性を知覚しないレベルの高速性を確保することは困難である．また，Deformable Dot Cluster Markerを用いたシステムは非剛体曲面の変形を高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.

4.29 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)

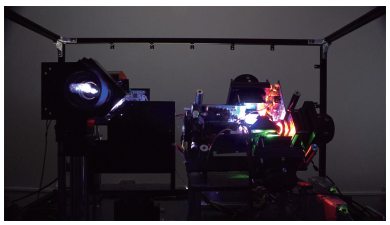
単純な問いですが，深遠な問いでもあります．近年，その答えを形にすることがさらに難しくなってきています．仮想現実，拡張現実，複合現実，シミュレーテッドリアリティ，人工知能，ブレイン・マシン・インタフェース，不気味の谷，トランスヒューマニズム，サイバーパンク，ハイパーリアル，ポストトゥルース…．テクノロジー，フィクション，哲学，社会の各分野において次々に現れるこれらの思想は，現実と非現実の境界を茫漠とさせ続けています．世界は“Post Reality”の時代に突入しつつあり，我々もそれを受け入れる準備ができつつあると考えられます．

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

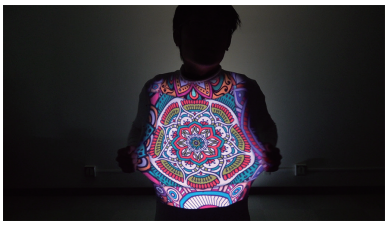
the era of "Post Reality" and it is considered that we are getting ready to accept it.

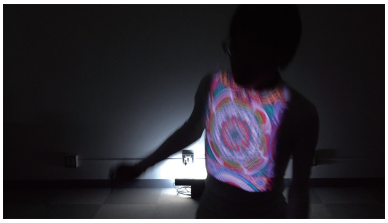
In such an ever changing world, we are also trying to make a challenge. Is it possible to fuse reality and unreality in front of your eyes to create a new, yet natural, "The Reality X"? To achieve this goal, we have decided to focus on manipulating the light. Assuming that visual recognition consists 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.

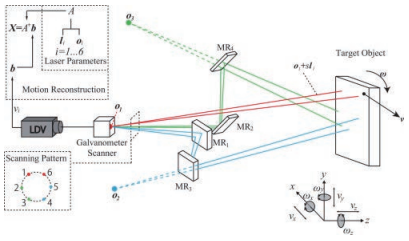


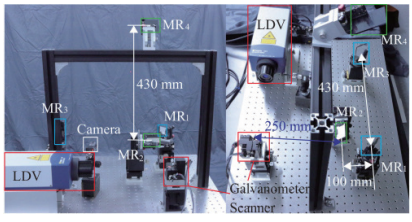


4.30 多視点レーザー計測による任意物体の６自由度運動センシング
3D Motion Sensing of any Object by Using Multiplexed Lasers

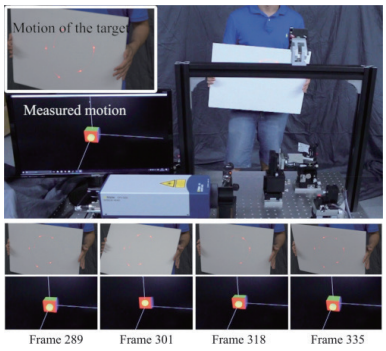
任意物体の剛体運動を非接触で計測をするために，多重化レーザーを用いた3次元運動計測手法が提案されています．しかし，単眼のシステムから全ての運動成分を高精度に推定することは困難でした．本研究では，レーザー計測による運動推定手法を数学的に解析し，多自由度の計測が可能となる条件を特定しました．この条件を元に、剛体運動6自由度の運動を計測可能な多視点システムを提案しました．

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.

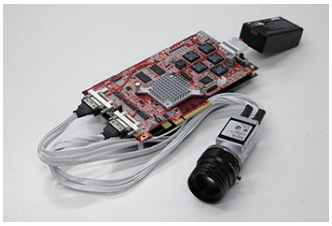


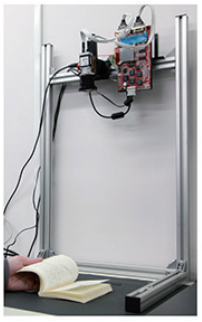
4.31 動的撮像制御を行うスタンドアロン高速ビジョン
Stand Alone High-speed Vision System with Dynamic Capture Control

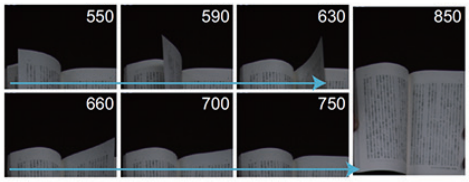
数百～ 1,000fpsで高速画像処理を行うビジョンシステムの需要が高まっている. ニーズの高まりとともに, 移動体からの画像センシング, 携帯機器での高速運動物体の計測, ウェアラブルな形態での外界認識など, スタンドアロンかつ小型な構成の高速ビジョンの重要性も注目されつつある. 本研究では, このような新たな応用展開に向けて開発したスタンドアロン高速ビジョンについて報告する. 本システムでは, システムの小型化に伴う機能の劣化を回避するための手段として, 高速な画像処理に基づいて撮像形態をフレーム毎に制御する動的撮像制御を提案する. さらに, このようなシステムを高速書籍電子化に応用した事例を紹介する.

There is an increasing need of the vision system allowing high-speed image processing at from hundreds to a thousand fps. With this needs, the importance of the standalone and small high-speed vision start to gamer attention in the various applications such as image sensing from a moving vehicle, measurement of a high-speed-moving target with a mobile device, environment recognition in a wearable sensing style, and so on.

In this research, we develop a standalone high-speed vision system aiming at such application development. Our system introduces dynamic capture control in which the configuration of the capturing is controlled every frames adaptively based on the results of high-speed image processing. This design allows a system to avoid the functional degradation caused by the downsizing. Also we apply this developed system to a high-speed document digitization.







4.32 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
Fast Archiving System with Touch Interaction using Wearable High-speed Vision

近年, スマートフォンなどのカメラ機能付き携帯デバイスの普及やブログやSNS などの写真と連携可能なウェブサービスの普及により, 情報の記録や日常のメモを目的とした写真撮影の利用が増えている. しかしこうした写真撮影の多様化に対して, 撮影手法は, 撮影対象をファインダーにおさめてシャッターを切る, という手法が依然として一般的である. この従来の撮影手法は, 撮影デバイスを取り出す手間や時間および, 撮影対象を画角内に捉えるまでの時間を要するため, 情報の記録や日常のメモを目的として写真撮影を行う上で手軽さや高速性を欠いている.

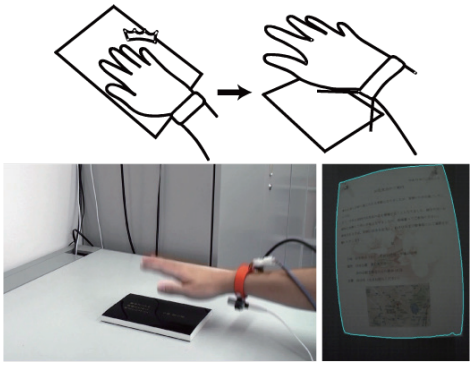
そこで本研究では, 情報の記録や日常のメモを目的とした撮影を, より簡単かつ, より高速に実現する, 実物体接触型アーカイブという新たなアーカイブシステムを提案する. 提案システムは, 手首に装着するウェアラブル高速カメラを用いて, アーカイブ対象への手による実物体接触を撮影トリガとして撮影を行う. また, シームレスな情報記録に向けて, 提案システムは撮像動画像からアーカイブ対象の写真を自動的に取り込む機能の実現も目指す.

提案するアーカイブシステムの実現に向けて, リストバンド型ウェアラブルデバイスに搭載可能な構成で実現できる接触検出手法と, 接触検出後にアーカイブ対象全体を画角内に捉えたベストショットを選択する手法を提案する. 接触検出は, 加速度センサから得られる運動情報およびマイクから得られる接触音を用いるものである. また, ベストショットの選択はアーカイブ対象の輪郭のトラッキングを用いて解決を図るものである.

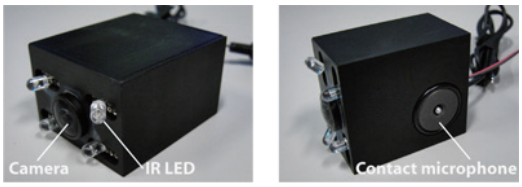
Recently, as a mobile device with camera such as smartphone and web service in which we can upload pictures such as blogs and SNS have become more popular, many people take pictures for the purpose of archiving information and daily life more frequently. However, the traditional archiving method requires a long time because we need to take out a camera, gaze target in the finder and press the shutter.

Based on this background, we propose a fast archiving system with touch interaction by which we can archive targets easier and faster. In this archiving system, we archive targets with hand-touch interaction to real targets using a wearable wrist-band typed device having high-speed vision. For seamless archiving, this system aims to realize the function of choosing the best shot from captured images and save it automatically.

In order to realize this archiving system, we propose the method of detecting hand-touch interaction that can be realized on the condition that all components can be put on wrist-band wearable device. In the developed system, we used the data of acceleration by a 3D accelerometer and the sound of hand-touch by a microphone. Also we propose the method of choosing the best shot from the images captured while the archiving action. This method is based on target tracking using active contour models.



4.33 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



近年，携帯電話やスマートフォンなどの小型情報端末が広く普及している．このような情報端末の小型化は，デバイス・ネットワーク・計算性能の向上とともに，将来的にますます進展していくものと考えられる．しかし，小型化に伴い，操作領域が同様に縮小していくことは大きな問題である．情報端末の小型化の追求は，携帯性や応用展開の面から重要な指針であるが，操作性の問題を解決しない限り，限界がある．今，携帯機器の小型化に影響を受けない操作方法の新たな設計が求められている．

そこで，本研究では，机，壁，ソファのアームレスト，クッションから，上半身や脚などの身体表面まで，身の回りの環境に存在する様々な面を操作領域として利用するインタフェース“Anywhere Surface Touch”(AST)を新たに開発した．ASTは手首に装着するウェアラブルなインタフェースである．ASTを装着したまま，面上で接触入力を行うだけで，様々な入力を捉えることができる．

ASTには，高速ビジョンとコンタクトマイクが搭載されており，視覚と聴覚の情報を統合して，入力を認識している．これによって，面に接触している指がどの指かを識別するとともに，指の動きを高精度に捉えることができる．さらに，軽くタップする，普通にタップする，爪でタップするなど，面に接触した時の状態も識別することができる．これによって，片手だけで100種類以上の入力を可能としている．さらに，キーボードのように場所に依存した入力方式ではないため，手元を見ずに複雑な操作を実現することも可能である．

キーワード: ウェアラブルデバイス，入力インターフェース，どこでもキーボード

The current trend towards smaller and smaller mobile devices may cause considerable difficulties in using them. In this research, we propose an interface called Anywhere Surface Touch, which allows any flat or curved surface in a real environment to be used as an input area. The interface uses only a single small camera and a contact microphone to recognize numerous kinds of interaction between the fingers of the user and the surface. The system recognizes which fingers are interacting and in which direction the fingers are moving. Additionally, the fusion of vision and sound allows the system to distinguish the contact conditions between the fingers and the surface. Evaluation experiments showed that users became accustomed to our system quickly, soon being able to perform input operations on various surfaces.







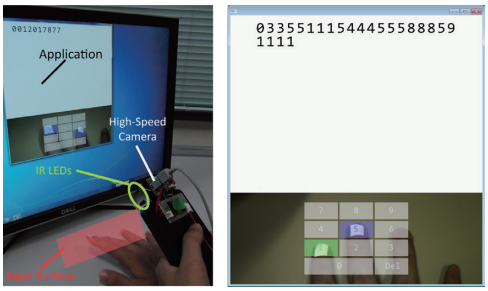
4.34 高速モバイルセンシングを用いた実空間を仮想入力環境とするインタフェース
Utilizing Real Space as Virtual Input Environment with High-Speed Sensing for Mobile Interface

近年，携帯機器小型化の技術進歩にともなって，携帯機器が広く普及している．しかし最近では，小型化が進んだ影響で機器表面に広い操作領域を確保した入力インタフェースの実現は難しい．これは人間の手の大きさなどに由来する問題であり，問題解決には新たなインタフェースが必要となる．従来より様々な手法が提案されているが，利用するための特殊なデバイスを設置する必要がある，あるいは多くの特殊な機器を身につける必要がある，などの課題があり問題の解決には至っていない．

そこで，本研究ではいつでもどこでも実世界の任意平面をシームレスに仮想入力平面へと変え，高速センシングによってその操作を認識するインタフェースを提案する．ユーザは片手に携帯機器を把持し，携帯機器に取り付けられたカメラで撮影された映像を通して実世界を見る．ユーザは，機器を把持していない側の手を端末が操作面と認識した平面上で動かすことによって入力動作を行う．システムは実空間の平面を仮想入力平面として操作する．平面にはキーボードなどの機器を置く必要はなく，机や膝の上などユーザが操作面として擬似的に認識できる面があれば良い．

本システムを用いた実験の結果，机の上や膝の上など様々な平面上で安定してタップ入力を行うことが出来た．

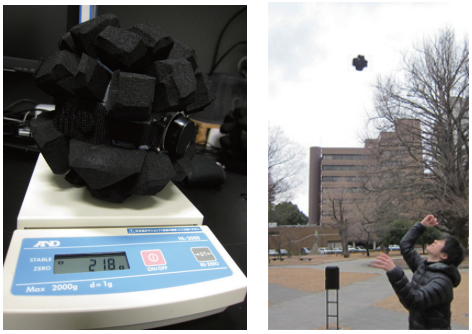
Recently the size of mobile devices has significantly reduced and mobile devices are widespread in our daily life. It is desirable to input quickly and freely in every-where with mobile devices. In this research, we propose a new interface which utilizes anywhere in the real space as a input environment with high-speed sensing. High-speed sensing enables stable recognition of the real environment or the operation of users, new interactions that are adapted to the environmentand large operation area that is not limited to the devices' surface. We developed the interface which recognizes any plane of the real space and allow users to input on the plane.



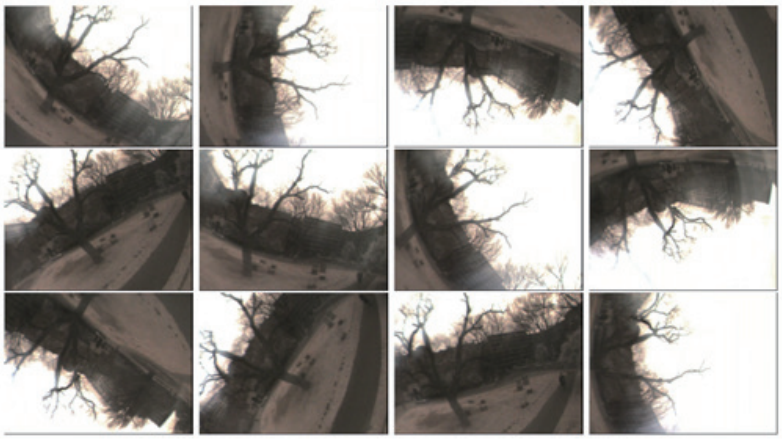
4.35 空中を自由運動するカメラシステム
VolVision: High-speed Capture in Unconstrained Camera Motion

短時間で広範囲に撮像する方法として、カメラを投げる方法が考えられる。しかしながらこのような撮影方法を行う際にはカメラは高速な回転、並進を含む6自由度の運動をしてしまう。従って被写体が画像内を高速に運動するため、激しいブラーや画像間の距離移動が含まれる。

そこで，本研究では空中を自由運動するカメラ内で被写体がどの程度移動するか計算し、他の代表的なカメラ撮影方法と比較した。その結果を用いて要求仕様を策定し、高速運動を行ってもブラーが生じないスタンドアロンで動作するカメラシステムのプロトタイプを開発した。



we propose a novel concept called VolVision that en-compasses using a camera to reconstruct 6DoF unconstrained mo- tion. "VolVision" is designed to handle imagery falling, tossed or thrown cameras. And VolVision also allows users to reconstruct dynamic images and generate a 3D-mapped scene from image se- quences. It could be used to model severe environments like valley and mountains that are normally not easily viewed by humans. We produced a prototype that embodies the concept above, and were able to reconstruct the camera's path, perform image mosaicing, and track 3D information of feature points in images.



4.36 超並列コプロセッサ搭載型高速ビジョンシステム
High-speed Vision with Massively Parallel Coprocessors



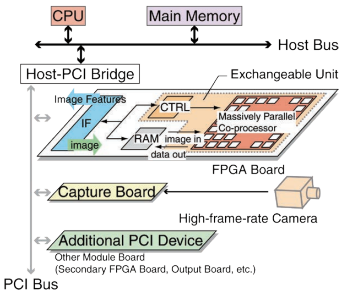
運動物体や変動現象を制御するアプリケーションでは，外界情報をリアルタイムに定量化する必要がある．このような局面で利用されるセンサ情報として，視覚情報が担う役割は大きい．加えて，リアルタイム化の要請から，結果を取得する頻度を最大化し，その際の遅延を最小化することが必要となる．

このような背景のもと，リアルタイム視覚情報処理をkfpsレベルが要請される局面でも実行できる環境の構築が目標課題となる．このような課題に対するボトルネックは，データ処理の速度にあると考えられる．目標となる高速ビジョンシステムは，特定用途化によって達成される処理速度と，多様な応用展開を可能とする機能の柔軟性の両者が求められている．

提案するビジョンシステムは、演算機能や内部の構成について専用のアーキテクチャを備えた超並列コプロセッサを交換可能な形式で搭載するものである．このようなマルチコアシステムは，低/中位の視覚情報処理のための並列処理モジュールの強化に焦点が置かれており，様々な高速ビジョン応用において有効であると考えられる．

High-speed image processing at high frame rates is highly effective in real-time applications, including automation, inspection, robot control, microscope observation, and manmachine interfaces. However, the performance demonstrated thus far is not high enough to observe and control phenomena that typically require data output at high throughput rates and low latency.

Our proposed system involves three effective strategies: (A) parallelization of algorithms to minimize the amount of calculation, (B) optimal processor circuit structure for the algorithms, and (C) large scalability. We realize thesefeatures by introducing a swappable massively parallel processing module as a co-processor having specialized functionality and configuration. The developed system demonstrates a throughput of 1 kfps and a latency of several milliseconds.



4.37 多点瞬時解析プロセッサ
Processor for High-speed Moment-based Analysis of Numerous Objects

多点計測は，画像内の多数分割領域の局所変化を解析し，計測量を推定するものであり，様々な応用で利用できる基盤技術である．多点計測が関連するアプリケーションは，粒子製品の検査，バイオイメージング，血流解析，流体計測，微生物の観測，マイクロ応用における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，3次元計測，イメージセンサによる光無線通信などがある．

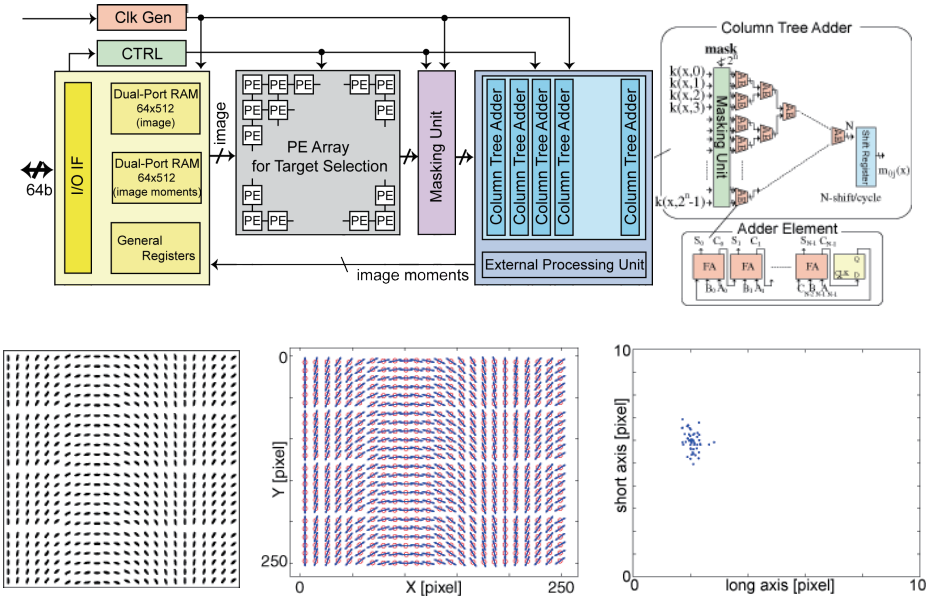
これらの事例における新たな計測制御応用の開発のためには，リアルタイム化，サンプリングレートの向上，観測点数の増大，柔軟性の高い計測量の利用などが必要になると考えられる．

そこで，1kfpsで1,000 ～ 2,000個の対象の画像解析を可能とする多点瞬時解析プロセッサを開発した．本プロセッサは、画素単位の演算並列化によって特徴量演算の高速化を図り、対象単位の演算並列化によって対象数増大に伴う計算量を抑えるアーキテクチャとなっている．超並列コプロセッサ搭載型高速ビジョンシステムに完全画素並列構造のコアを搭載し，kfpsレベルのスループットで，1,000個以上の2次までの画像モーメントを取得できることを確認した．例えば，下左図のような画像から，サイズ，位置，傾き，縦横比などをリアルタイムに得ることができる．

We developed a processor for moment-based analysis of numerous objects. Moments are useful values providing information about geometric features and invariant features with respect to image-plane transformations. In addition, the simultaneous observation of numerous objects allows recognition of various complex phenomena. Our processor has a high-performance core based on a pixel-parallel and object-parallel calculation method.

This module was mounted to the high-speed vision system as a co-processor. As a result, the moments from 0th to 2nd order of 1,024 objects were extracted at 1kfps. We believe that the achieved performance is highly promising for wide range of applications such as flow control, particle manipulation, image classification in industrial inspection, real-time shape measurement for robotics, and so on.

For example, the features including size, centroid, orientation, and horizontal to vertical ratio can be obtained at high throughput rates and low latency as shown below.



4.38 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
Synchronized Video: An Interface for Harmonizing Video with Body Movements

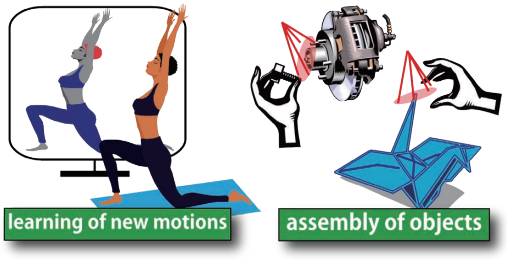
ビデオコンテンツの多様化とともに，そのインターフェースデザインが重要な課題となっている．本研究では，ビデオとユーザのインタラクションが鍵となるものに焦点を当てる．代表的な例として，ユーザに新しい動作を紹介するビデオが挙げられる．このタイプのビデオの目的は，ユーザが，提示される動作要素を身体へ適応的にマッピングすることを促すインタラクションを生み出すことである．

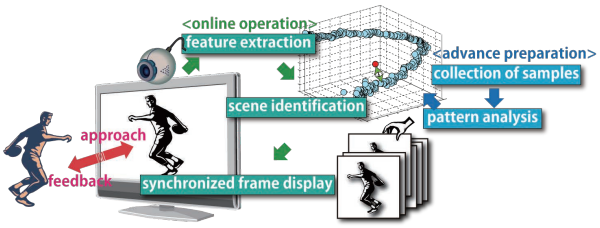
しかし，既存のビデオ閲覧技術は，そのようなビデオの潜在的価値を阻害するものであったと考えられる．問題は，ユーザが受動的にビデオ閲覧を行うことを前提とするデザインにある．これまでの操作には，付属機器や，ジェスチャ，音声などに基づくものがあるが，いずれも明示的な指令を伴う非効率的なデザインであり，ユーザがビデオとのインタラクションに集中する構成をとっていなかった．

提案するシンクロナイズドビデオは，実世界の状態と同期して，映像を提示するビデオ操作技術である．このようなビデオ操作に有効なコンテンツには，体操などのフォームや構造物の組み立ての学習などが考えられる．提案するインターフェースにおける同期は，機器などの明示的な指令を介さず，ユーザが創出する実世界の状態が，ビデオを直接操作する構成となっている．これによって，ビデオ操作の感覚を強く意識させず，意図した映像を直感的に取得する連続的なインタラクションを形成することができる．

Synchronized Video is a video control technique that shows frames in synchronization with real-world actions. Suitable video content for this type of video interface includes learning forms of exercise and assembly of structural objects. In the proposed system, the user feels as if he or she is standing in front of a strange mirror where there is a virtual human performing the correct actions in synchronization. Also, the proposed technology is effective for projecting target images onto real-world objects serving as a screen, for recreating the same situation as in prepared video content.

The synchronization in this proposed interface is achieved without the user performing any explicit operations. The state created in the real world by the user is what directly controls the video. This design allows transparent video control for users. The intended frames could be provided intuitively in a continuous form.





4.39 ウェアラブルカメラを用いた人間の歩行状態推定
Human Gait Estimation Using a Wearable Camera

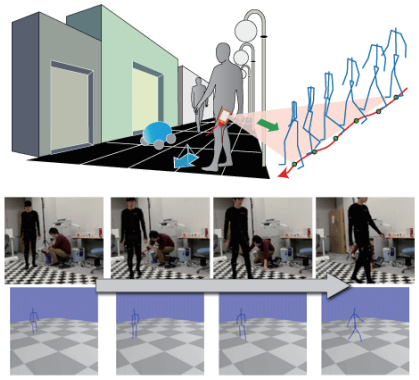
実環境下における人間の位置・姿勢推定に関して，様々な研究が行われてきた．これまでの研究では，GPSによる位置のみの推定や，設置カメラによる姿勢推定が行われていた．一方，日常環境や屋外で人間のモーションキャプチャを行う技術のニーズも高まってきている．このような技術は，従来の複数のカメラを固定設置して行うやり方では実現が難しいと考えられる．屋内や，障害物がある環境下，群衆中においても適用可能なモーションキャプチャを実現するためには，新たな技術が必要とされている．

そこで，本研究では，ウェアラブルカメラによって，周囲の環境に影響されず，歩行中の人間の位置と姿勢を取得する新たなセンシング手法を提案する．我々の手法は，ユーザの動作に関する事前知識を利用し，1台のカメラから得られる外界の変動を入力するだけで，歩行動作を推定することができる．

実験では1台の小型な高速カメラを大腿部に設置し，歩行推定を行った．その結果，全身の歩行姿勢とともに，ユーザの大域的な位置も推定可能であることを示した．下図は，ユーザの実際の歩行と推定された歩行動作を比較したものである．

We focus on the growing need for a technology that can achieve motion capture in outdoor environments. The conventional approaches have relied mainly on fixed installed cameras. With this approach, however, it is difficult to capture motion in everyday surroundings.

This page describes a new method for motion estimation using a single wearable camera. We focused on walking motion. The key point is how the system can estimate the original walking state using limited information from a wearable sensor. This page describes three aspects: the configuration of the sensing system, gait representation, and the gait estimation method.



4.40 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 of a Moving/Deforming Object

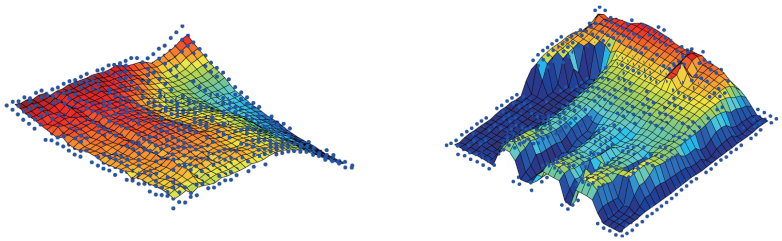
1kHz のサンプリングレートと数ms のレイテンシでの高速センシングが，様々な問題を解決し，新たな応用を創出することが明らかにされつつある．しかし，従来の3次元センシングでは静止した物体の観測が主流であり，物体が運動・変形する局面に対して，十分な機能を有するものが存在しなかった．

直面する課題は，運動する物体を捉える原理とセンシング速度の2点である．このような課題を克服した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，自動車応用，マンマシンインターフェースにおいて，強力な役割を果すことが期待される．

我々が新たに開発した3次元センシングシステムは，1,100 点のマルチスポットパターンを投影することで，単一の撮像画像から形状を取得し，さらに，独自の超並列画像処理システムによって，秒間1,000回の速度で画像を3次元点の情報へ変換することができる．このような高速3次元センシング技術を用いて，従来にはなかったデジタルアーカイブ応用や，インタラクティブディスプレイシステムを実現した．また，3次元センシングを支える情報処理技術として，超高速に取得された形状情報を用いて，高解像度の形状を復元する技術も開発している．

We have described a time-sequential highframe-rate shape measurement system for moving and deforming objects. The system is based on multi-spot projection measurement in a single image using a high-speed vision with a co-processor for numerous-point analysis. We demonstrated a throughput of 955 fps and a latency of 4.5 ms. Experimental results for three kinds of objects showed that the objects were measured correctly.

This type of measurement system is expected to find uses particularly in feedback applications such as robotic manipulation, automobile application, surgery support, inspection, human-machine interfaces, and so on.



4.41 高速リアルタイム粒子計測／流体計測
Real-time Particle Measurement/Fluid Measurement

粒子計測では，錠剤，食品顆粒，金属粒子，蛍光粒子，生体細胞などを扱う．計測の目的は，多数個の粒子材料を同時に観測し，個々のサイズ，位置，速度，形状などの情報を同時に取得することである．本計測は，静止画による製品検査から，動画像による流体解析まで様々な局面で利用することができる．しかし，従来はオフラインベースのものや，光散乱を観測する手法に基づくものが主であった．

粒子計測は，高フレームレート視覚情報処理の導入によって，その応用範囲がさらに広がると期待できる．例えば，リアルタイム化，運動の詳細観測，粒子数の増大，パターン解析による柔軟性などのアドバンテージを得ることが可能となる．ここでは，多点瞬時解析高速ビジョンシステムによる検証事例について述べる．

Fig. 1は，流体中を運動する粒子群を955fpsでリアルタイムに観測した結果である．Fig. 2, Fig. 3は，サイズの異なる運動粒子群のパターン識別を実施した結果である．

Objects of particle measurement include tablets, food granules, metallic particles, fluorescent particles, biologic cells, and so on. In this measurement, we need to observe numerous particles at a time and obtain information of each one such as size, position, moving velocity and shape. This can be used in still-image-based inspection and video-based fluid analysis. However, the conventional ones are mainly based on off-line operation or light scattering data analysis.

Introduction of high-frame-rate image processing is expected to lead the expansion in the range of its applications. For example, it enables to give advantages such as real-time operation, detail observation of moving particles, increase of number of particles, and high flexibility by pattern analysis. Here, we show two examples using a high-speed vision for numerous-point analysis.

Fig. 1 shows the trajectories of particles in a flowing fluid measured at 955 fps. Fig. 2 and 3 show the results of pattern classification of moving particles with different sizes.

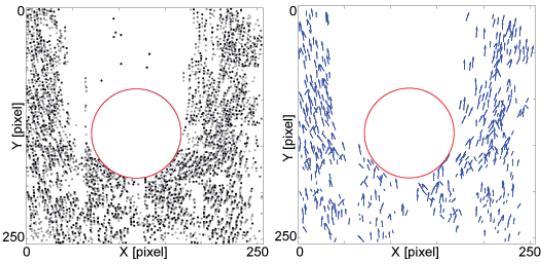


Fig.1 流体中の粒子軌跡
Fig.1 Real-time Fluid Measurement

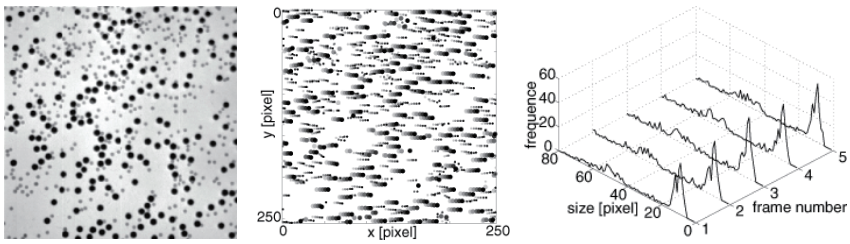


Fig.2 運動粒子群のサイズ識別
Fig.2 Size Classification of Moving Particles

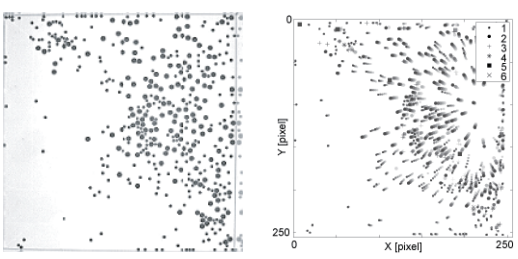
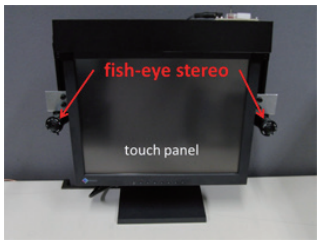


Fig.3 運動粒子群の衝突解析
Fig.3 Collision Analysis of Moving Particles

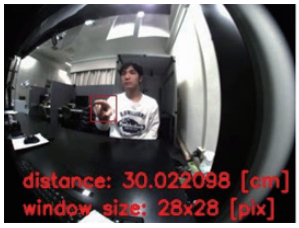
4.42 3次元ジェスチャ入力に向けた魚眼ステレオの視点統合に基づく手指検出手法
Finger Detection based on Data Fusion of Fish-eye Stereo Camera for 3D-Gesture Input Interface



近年，ユーザにとってより直感的でストレスのないユーザインタフェース(UI)の実現が重要視されている．この背景のもと，我々に最も身近なUIの一つであるタッチパネルに対し，よりスムーズな操作性を実現するべく，「ズーミングタッチパネル」が提案されている．同UIは，2台のカメラによってパネルに接触する前のユーザの指位置検出を行い，ユーザの見たいエリアをズームすることで従来よりも直感的な入力を可能にしているが，カメラのキャプチャ範囲の狭さや複雑背景下での手指認識の脆弱性などの課題が残っている．

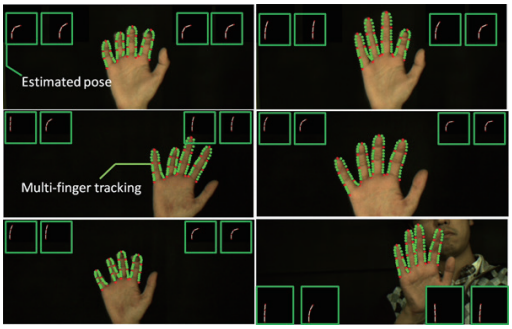
本研究では，そのような課題を解決すべく，2つの魚眼レンズカメラを用いた手指認識手法を提案する．魚眼ステレオを用いた本手法によって，キャプチャ範囲を左右方向に大幅に広げるとともに，奥行きは遠方からタッチパネルに接触する直前までを捉えることができる．さらに，見えの異なる2眼情報を統合的に利用することで，背景が一様でない状況下でも，高精度な手指認識を実現することができる．

There is a growing importance of the in-air hand operation for the input devices. In order to introduce such in-air operation, we require an image sensing technology that enables 3D position detection of the user's hand in wide range. In this research, as a practical application system, we focus on the Zooming Touch Panel [1] that connects the touch-panel and in-air operations seamlessly. In order to provide wide operation space for this type of the system, we propose a new hand detection method based on data fusion of fish-eye stereo camera. This technique enables both high-accuracy and wide-range 3D hand detection. Also we show two example demonstrations.





4.43 小型機器操作に向けた多指位置姿勢の高速推定
High-Speed Estimation of Multi-finger Position and Pose for Input Interface of the Mobile Devices



本研究では，小型機器における操作性を改善するため，機器の前面にかざした手指を用いて多様な操作を行う入力システムを達成することを目的に，高速に運動する手指の位置・屈曲姿勢を推定する手法を提案する．

本手法では，一般的なカメラより高いフレームレートを用いることで手指運動のフレーム間差分が少ない状況下を想定し，起こり得る手指の画像を学習した指変形モデルを利用したトラッキングを行う．そしてこの結果より，手指領域の位置を推定する．ここで用いる指変形モデルは，予め想定した手指運動の自由度に対して，手の構造と運動から制約される見え方を統計的に学習することで作成する．これにより，屈曲動作などの見えが大きく変わる指のトラッキングと，時系列情報と組み合わせた短い処理時間を達成できる．さらに，屈曲運動の変化と画像の変化の相関を表現できることを利用し，モデルパラメータからの姿勢推定が可能となる．

Mobile devices are too small to operate freely using their input surfaces. To solve this problem, non-contact and natural gesture interfaces have been the focus of recent research. In this research we propose a method of estimating multi-finger position and pose for operating such devices at high speed using a single camera. Our method achieves the finger tracking based on the appearance and shape deformation model by estimating the translational movements and the degree of bent finger. The experimental results show that our method can obtain the position of the hand and the pose of the each finger within 9.7 ms.



4.44 ブックフリッピングスキャニング
Book Flipping Scanning

デジタル書籍のニーズが急速に高まっている．しかし，紙に印字された従来の書籍を，高速かつ手軽に電子化するための技術力は十分でなく，デジタル書籍の波及に歯止めをかけている．「全世界の全ての書籍を電子化する」という戦略目標を実現するために，今求められている必須の技術は，超高速な書籍の電子化技術である．この技術は，これまでの世界観を確実に変貌させる強力なものである．スキャンに要する作業時間が大幅に短くなることで，ビジネスから日常まであらゆる局面における行動のスタイルに対して，多大なインパクトがあると期待できる．

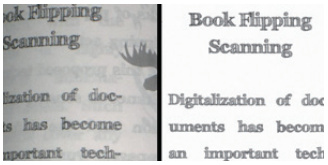
本研究の目標課題は，膨大な書籍に対して，かつてないスピードの高精度スキャンを可能とする技術の実現である．この実現に向けて，新たな書籍電子化の方式として，ブックフリッピングスキャニング(Book Flipping Scanning) を提案する．これは，ページめくり中に，紙面の動きを止めることなく，連続的に書籍を電子化するものである．この構想のもと，図書館や企業などで数百万冊レベルの書籍を電子化する応用から，モバイルで手軽に電子化できる応用まで，利用形態に応じた様々なシステムとその要素技術を開発している．

There is a growing demand for camera-based document analysis and recognition. Book digitization, a relatively new application of camera-based document capturing which images all of the pages in a book, has a rapidly expanding market globally and is attracting various types of potential users, including libraries, corporations, and general users of books, official documents, and notes. However, the conventional technology cannot meet the demands for ease-of-use and high-speed book digitization.

One emerging solution that meets these demands is Book Flipping Scanning. Book Flipping Scanning is a new style of book digitization to overcome the speed of book scanning. In this technique, all pages of a book are captured while a user continuously flips through the pages without stopping on each page. We propose multiple types of systems for various use cases.


1. めくって
1. Flipping


2. スキャンして
2. Scanning



3. 補正する
3. Restoration

4.45 ブックフリッピングスキャニングのプロトタイプ
Proof-of-concept prototype for Book Flipping Scanning

デジタル書籍の市場が全世界で急速に拡大している．しかし，紙に印字された従来の書籍を，高速かつ手軽に電子化するための技術力はそのニーズに対して十分でない．超高速な書籍の電子化技術は，ビジネスから日常まであらゆる局面に対して影響を与える強力なものである．次世代のスキャナは，シンプルな構成の下，手軽で高速な読み取りを実現することが求められている．鍵となるポイントは，複数のページの書籍情報を読み取る際にいかにユーザの作業負担を減らすことができるか，にあると考えられる．

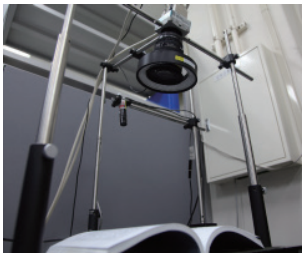
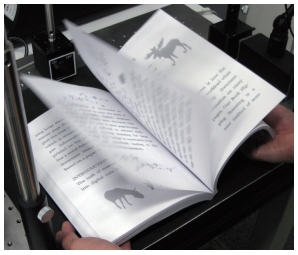
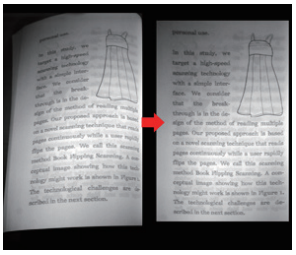
提案する「ブックフリッピングスキャニング」は，ユーザによるページめくり中に，紙面の動きを止めることなく，連続的に書籍を読み取る新しい技術である．ブックフリッピングスキャニングのアプローチは強力であり，様々な応用形態を提供しうると考えられる．

開発したシステムは，高速に変形する紙面の3次元形状をリアルタイムに捉えるセンシング技術を用いて，変形と書籍表面の画像情報を同時に一つのカメラで高速に捉えることができる．また，紙の物理モデルに基づき，紙面変形を推定することができる．さらに，読み取られたデータは歪んだ画像になるが，推定された紙面変形から，平坦な状態に補正された書籍情報を出力する機能を備えている．

Digitalization of documents has become an important technology. The technical challenge is to realize an easy-to-use, simple, and high-speed scanning system. The key point is how the system can decrease the user's workload when scanning document information on many pages.

Our Book Flipping Scanning is a new method of scanning large stacks of paper while the user performs a continuous page flipping action.

Here we report the core of this proposed technology, which is simultaneous sensing of 3D paper deformation and the information printed on the pages. Our prototype also has a novel function of reconstructing the document image from a distorted one based on a paper deformation model.

4.46 携帯機器向け空中タイピングインターフェース
In-air Typing Interface for Mobile Devices

近年携帯機器の小型化が進行し，携帯電話などが広く世の中に普及する一方で，機器表面に広い操作領域を確保する事は難しくなってきている．この問題は人間の手の大きさなどに由来する問題であり，解決するためには新たな入力インターフェースが必要不可欠である．

これまでにこの問題に取り組んでいる多くの先行研究が存在する．しかし，それらの先行研究の多くは特定の使用環境で使用可能なものや特別な機器を装着する必要があるものなど，使用にあたって制約があるものが多い．我々は外部機器や特別な環境を必要としない・直感的な操作が可能である・広い操作領域が実現可能といった特徴を備えた空中タイピングインタフェースを提案する．

本研究では，単眼カメラを用いて指先の動きを3 次元追跡し，指先の微小な動きをキーストローク動作として検出する．カメラから近い位置での指先の動きは、画像上で高速に移動するため、高フレームレートカメラを用いることで安定したトラッキングを行った。キーストローク動作を他の動作と分離して検出するために、指先画像のスケール変化に対して周波数フィルタを適用した．

We propose vision-based interface for mobile devices by tracking 3D motion of a human fingertip using a single camera and by recognizing small input gestures in the air. Since the fingertip near the camera moves fast in the image, a high-frame-rate camera is used for stable tracking. In order to separate the click gesture from the others, frequency filter is applied to scale change in the fingertip images.



4.47 可展面モデルを用いた非剛体物体変形の推定
Estimation of Non-rigid Surface Deformation using Developable Surface Model

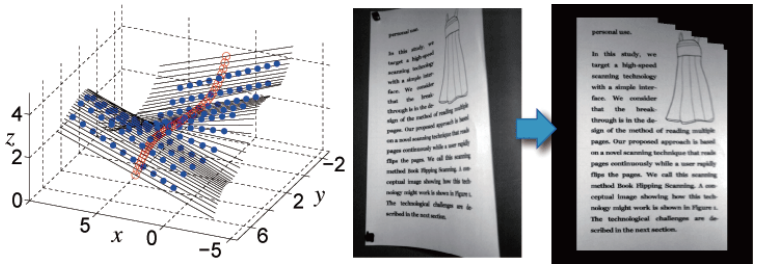
非剛体物体の3次元変形を高精度かつ高解像度に取得するセンシング技術のニーズが高い．しかし，計測機器の性能限界によって，そのニーズに応えることは難しかった．

そこで，本研究では，事前知識によって構造化された変形モデルを組み込むことで，限られたセンシングデータから，低ノイズ・高解像度の形状情報を推定する．特に，非剛体の対象として，可展面に注目する．可展面は，伸縮・断裂することなく平面に展開することができる特殊な非剛体であり，紙などの様々な物体がこの特性を満たしている．

提案手法は，可展面の幾何学的特徴に基づいた微分幾何モデルを導入し，逆問題の枠組みにより正確な形状推定と平面展開をおこなうものである．これは少ないパラメータで高い自由度を表現できるモデルを用いることで，低解像度で，またノイズが含まれるような3次元データからでも高精度な推定を可能とするものである．この提案手法を用いた発展研究として，ブックフリッピングスキャニングがある．

There is a strong demand for a method of acquiring a non-rigid shape under deformation with high accuracy and high resolution. However, this is difficult to achieve because of performance limitations in measurement hardware.

We propose a modelbased method for estimating non-rigid deformation of a developable surface. The model is based on geometric characteristics of the surface, which are important in various applications. This method improves the accuracy of surface estimation and planar development from a low-resolution point cloud. Experiments using curved documents showed the effectiveness of the proposed method.



4.48 高速動画像を用いた日本語子音の機械読唇
Viseme Classification Using High-Frame-Rate Vision

人間の音声には音響的側面と視覚的側面がある．ふつう「音声認識」と言った場合，音響情報を利用した音声認識を指すことが多い．これは，情報量としては音響的側面の方が圧倒的に多く，音響音声認識が自然に音声認識の主役になるからである．しかし，視覚情報を用いた音声認識は，非常に雑音の多い環境で音響情報にノイズがのる場合でも全く認識率に影響を受けず，音声認識システムの信頼性と頑健性に大きく寄与する．その他，構音に障害を持つユーザへの音声認識システムや，唇ジェスチャを用いたインターフェイスなど，視覚音声認識ならではの独自のアプリケーションも数多く提案されている．

このような視覚情報を用いた音声認識は，Visual Speech Recognition (VSR)や機械読唇と呼ばれている．VSR の認識率はASR の認識率に大きく劣っているのが現状であり，現在も多くの挑戦的な研究が行われている．

本研究では，対象を日本語の音素レベルでの認識とし，中でもいまだ課題の残る子音をターゲットとしている．音素レベルでの機械読唇の精度をさらに向上させるためには，静止画像情報では不十分で動画像を情報を扱わなければならない．本研究では，特にフレームレートの高い動画像を利用することで，機械読唇の音素認識に新しい展開を図っている．また，機械読唇には決定的な特徴量が存在しないため，複数の種類の特徴量を効率的に組み合わせて，識別を行うことが有効であると考えられる．そこで，認識手法として，ブースティングを利用した識別を実証した．

Automated lip reading, the speech recognition based on visual domain information of human speech, is difficult but challenging problem. In recent researches, it is suggested that the classification framework using the adaboost algorithm is efficient method to improve the recognition rate.

We applied this learning algorithm to the Japanese consonant classification problem. As a weak classifier for the adaboost, we introduced features based on the high-speed vision capturing the object at a high-frame-rate such as 300 frames per second. Experiments showed the effectiveness of this framework and the features.



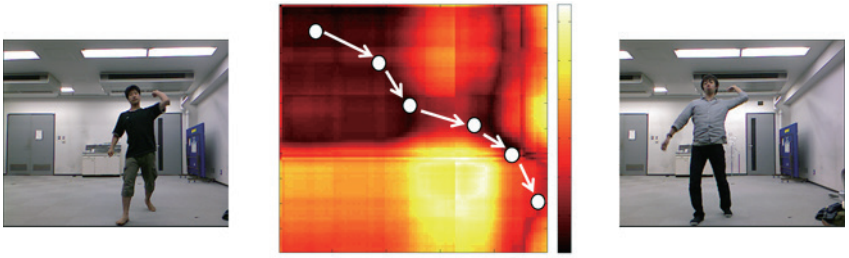
4.49 異なる人物間における３次元姿勢の類似性を用いたリアルタイム動作同期
Real-time Motion Synchronization between Different Persons using Similarities of 3D Poses

本研究では，異なる人物が行った2つの同一の種類の動作を同期して再生する技術に着目する．具体的には，入力されるユーザの動作ごとに，その姿勢が，予め記録された異なる人物の動作のどこのタイミングに相当するかをリアルタイムに認識する手法を提案する．同種の動作のリアルタイム同期がとられると，ユーザは自身の身体動作に最も近い時刻の動作を即時に得ることが可能となる．この技術は様々なインターフェースに応用が可能であるが，その一例としてシンクロナイズドビデオがある．

提案する手法は，動作の3次元情報を用いて，異なる動作の同期を行うものである．3次元の動作情報を用いることで，カメラの情報のみを用いた場合に問題となっていたカメラパラメータや奥行きの問題は解決される可能性があると考えられる．一方，体格差の問題の解決は，同期をとるための認識特徴量に依存する．さらに，異なる人物間の動作のレベルが異なる問題は，3次元動作情報を用いるだけでは容易に解決できないと考えられる．そこで，3次元動作情報に表れる類似性を用いて動作間の差を吸収し同期をとる手法を提案する．

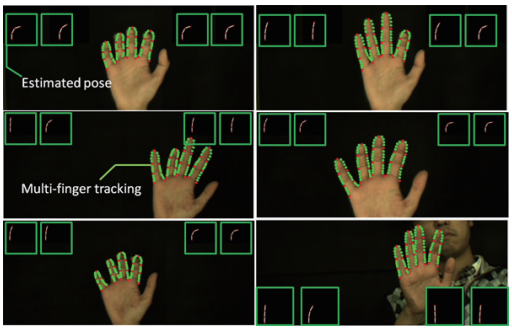
In this research, we focus on the technology that plays two similar motions by different persons in synchronization. The proposed method finds timing from the recorded motion data, which is matched with the inputted user’s pose, in real-time. Real-time motion synchronization allows a user to obtain a pose instantaneously which is closest to the user’s present pose during making motions. As an promising example application, we propose Synchronized Video.

For the synchronization between different motions, the proposed method uses 3D information of the poses. By using 3D information, the synchronization is expected to be achieved without relying on camera specification and setup configuration. On the other hand, we need to solve the problem caused by the difference in stature and skill level. Therefore, the method introduces new recognition features and matching technique which is not affected by such differences in motions.



動作間の類似性マップと同期された２つの動作姿勢
Similarity map of motions and the synchronized poses

4.50 小型機器操作に向けた多指位置姿勢の高速推定
High-Speed Estimation of Multi-finger Position and Pose for Input Interface of the Mobile Devices



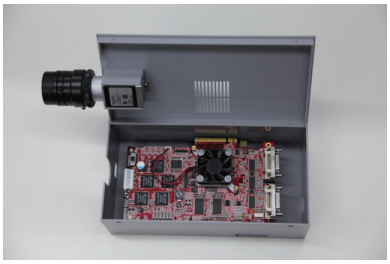
本研究では，小型機器における操作性を改善するため，機器の前面にかざした手指を用いて多様な操作を行う入力システムを達成することを目的に，高速に運動する手指の位置・屈曲姿勢を推定する手法を提案する．

本手法では，一般的なカメラより高いフレームレートを用いることで手指運動のフレーム間差分が少ない状況下を想定し，起こり得る手指の画像を学習した指変形モデルを利用したトラッキングを行う．そしてこの結果より，手指領域の位置を推定する．ここで用いる指変形モデルは，予め想定した手指運動の自由度に対して，手の構造と運動から制約される見え方を統計的に学習することで作成する．これにより，屈曲動作などの見えが大きく変わる指のトラッキングと，時系列情報と組み合わせた短い処理時間を達成できる．さらに，屈曲運動の変化と画像の変化の相関を表現できることを利用し，モデルパラメータからの姿勢推定が可能となる．

Mobile devices are too small to operate freely using their input surfaces. To solve this problem, non-contact and natural gesture interfaces have been the focus of recent research. In this research we propose a method of estimating multi-finger position and pose for operating such devices at high speed using a single camera. Our method achieves the finger tracking based on the appearance and shape deformation model by estimating the translational movements and the degree of bent finger. The experimental results show that our method can obtain the position of the hand and the pose of the each finger within 9.7 ms.



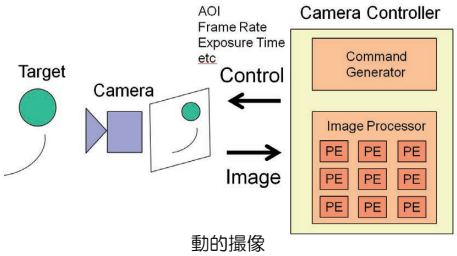
4.51 スタンドアロン高速ビジョンシステム
Standalone High-Speed Vision System

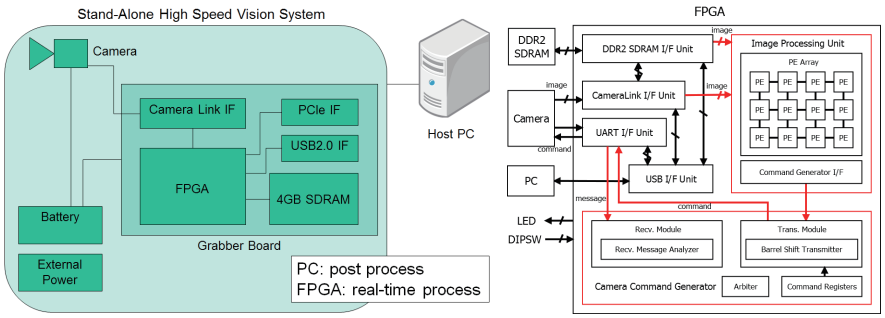


スタンドアロン高速ビジョンシステムの試作
Prototype of Standalone High-Speed Vision System

数百～1000fpsで高速撮像・処理を行うビジョンシステムの需要が高まっているが，その多くは大型であり，可搬性やモジュール化を運用上の設計の焦点としていなかった．一方，新応用として，車載や入力インタフェースや新しい映像キャプチャが重要性を増してきており，これらの実現に適した小型かつスタンドアロン動作が可能なビジョンシステムの実現が望まれる．このようなシステムにおいて，使用可能なカメラの性能や数が制限された環境に置ける問題を解決する手法として動的撮像（Dynamic Capture）を提案する．また，動的撮像を用いた小型ビジョンシステムの応用例を示し，これを実現することのできる小型で高速撮像・処理が可能なスタンドアロン高速ビジョンのプロトタイプを試作した．

There is highly demand that a vision system which is transportable and enables high-speed capture and image processing. The number or specification of cameras is ristricted in an environment with a such small vision system. We propose a new approach "Dynamic Capture", which solves the problem mentioned above. We also show an application using the small vision system and Dynamic Capture, then introduce a prototype of small vision system, Standalone High-Speed vision System.





スタンドアロン高速ビジョンシステムおよびシステムに搭載された FPGA 内のブロック図
Block diagrames of Standalone High-Speed Vision System and FPGA on the system

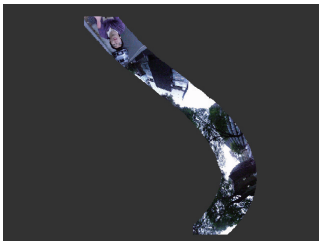
4.52 投げ上げカメラを用いた広範囲画像センシング
Wide Range Image Sensing Using a Thrown-up Camera

カメラを固定したまま撮影した場合，狭い範囲の情報しか取得することができない．そこで，シーンに関するより多くの情報を得るために，カメラを固定せずに撮影する方法が用いられる．例えば，複数の画像を合成して 1 枚の大きな画像を生成する技術として，イメージモザイキングがある．しかし，これまではカメラを動かす範囲は自分の手の届く範囲までであり，例えば自分の頭上からの画像などを撮影することは難しい．

そこで，本研究では，カメラを自由運動させることにより，すばやく広範囲の画像をセンシングする手法を提案する．これによって，短時間で広範囲の環境をセンシングすることが可能であると考えられる．

具体的には，投げ上げカメラで撮影した動画像をイメージモザイキングにより合成することを行っている．高フレームレートで撮影画像を用いることで，高精度に情報を獲得することができることを示している．

In this study, we propose a method of wide range image sensing using a thrown-up camera. By throwing up a camera, we can get images that were difficult to get before, such as those taken from overhead. As an example of wide range image sensing, we integrated video images captured by the camera using image mosaicing technique. We also propose to use a high frame rate camera (HFR camera) in order to get much information. A seamless large image was obtained by synthesizing the images captured by a thrown-up HFR camera.



生成された画像
The image generated by using the image mosaicing technique

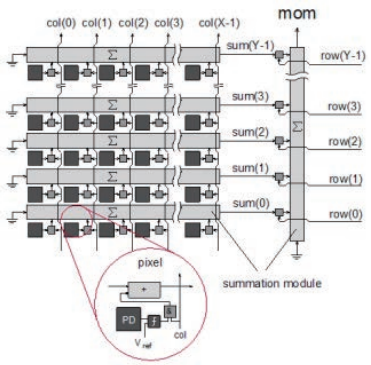
4.53 画像モーメントセンサ
Image-moment Sensor

近年，機器の自動制御において視覚情報が重要になりつつある．これまでは，画像をリアルタイムに分析し，機器制御に利用できる情報を取得するには，イメージセンサと強力なプロセッサを用いた画像処理システムの利用が一般的であった．この手法は手軽で柔軟な処理を実現できる反面，機器が大型で効果になる欠点がある．

一方で，単一のチップにイメージセンサと画像処理回路を搭載した，スマートイメージセンサの研究開発が行われている．これらは小型・安価で使いやすいが，抽出できる情報が限られていたり，処理回路が占める割合が高く，画素数や開口率が限られるという問題があった．

そこで，画像の統計量であるモーメントの抽出に特化したスマートイメージセンサを開発した．画像モーメントから，面積や重心，拡大縮小・回転・アフィン変換に対する不変量が算出でき，物体識別や機械制御などに利用できる．開発した画像モーメントセンサは，4画素で1つの演算器を共有することで画素回路の大幅な小型化を図るとともに，可変長パイプライン構造によって演算の高速化を図っている．

In order to realize automatic control of machines, we designed a new vision chip specialized for extraction of image moments. Moments are statistical values containg information of object size, position, orientation and shape, and are used in object recognition and pose estimation.



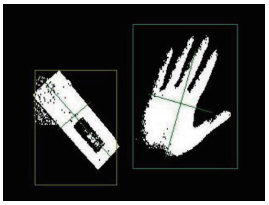
4.54 ダイナミック回路を用いた 320×240 画素試作チップ
320x240 Pixel Chip using Dynamic Logic Circuits

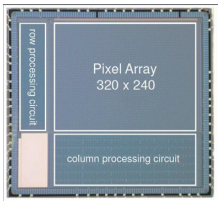
近年，工業製品検査や乗り物の緊急回避など，システム自動化の分野において，視覚情報が重要な役割をはたすようになってきた．これらのアプリケーションの実現には，画像から対象を抽出し，識別や姿勢推定を行う必要がある．このような処理は，画像の部分領域における画素値の重み付け総和である，画像モーメントを計算することで実現できる．

モーメント演算を高速に実行するためには強力なプロセッサが要求されるが，一般的に大型で高コストとなる問題がある．民生品や汎用組立ロボットなど，今後の需要拡大が期待される分野のニーズに応えるには，撮像と演算を1チップ化し，小型化・低コスト化を図る必要がある．また，多数の対象の抽出や不変量を利用した識別などを実現するには，高い解像度と高次モーメントの演算能力が必要である．

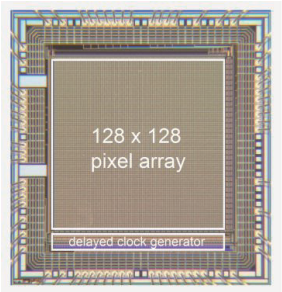
これらの要求を満たすため，我々はモーメント抽出に特化したCMOSスマートイメージセンサの開発を行った．ダイナミック回路を用いて画素回路の素子数を削減し、チップサイズ9.22mm×8.52mmに320×240画素を実装した．これはデジタルで演算を行うビジョンチップでは最大規模の画素数である．

We reduced transistors in the pixel circuit using dynamic logic and implemented 320x240 pixels in 9.22mm x 8.52 mm chip, This is the biggest size among vision chips that perform digital processing.





4.55　128×128 画素試作チップとセンサボード
128x128 Pixel Chip and Small Sensor Board

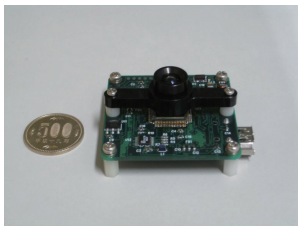


センサ情報を用いた機器の自動制御は一般的に行われているが，画像情報を利用したものは少ない．画像情報をリアルタイムに分析し，必要な情報を取得しようとすると，イメージセンサのほかに膨大な画像情報を必要とし，そのことが機器の大型化と高コスト化を招いていた．

一方，イメージセンサの画素ごとに処理回路を搭載したビジョンチップの研究が行われている．しかし高度な画像処理を実現するチップを作ろうとすると画素回路が大きくなってしまうという問題があり，機器の自動制御に十分な機能を，十分な画素数・小さい面積で実現したものはなかった．

そこで，機器の自動制御において特に重要な機能である，画像モーメントの抽出に特化したビジョンチップを開発した．写真は開発したセンサとそれを搭載した小型ボードである．センサチップのピクセル数は128×128でチップ面積は3.28mm×3.48mmとなっている．センサボードは，5.5cm角の基板にセンサチップ，ボードレンズ，制御用FPGA，通信用マイコン，USBコネクタが実装されており，PCに接続して簡単に動作を確認できる．

The photos of developed sensor and small board on which the sensor is mounted are shown below. The number of pixels of the sensor is 128x128 and the chip area is 3.28mm x 3.48mm. The sensor chip, board lens, FPGA for control, microcontroller for communication, and USB connector are mounted on the 5.5cm square board. You can easily connect the board to a PC and confirm the operation.



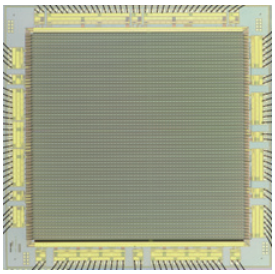
4.56　64×64 画素を搭載したプログラマブルなビジョンチップ
A Programmable Vision Chip with 64x64 pixels

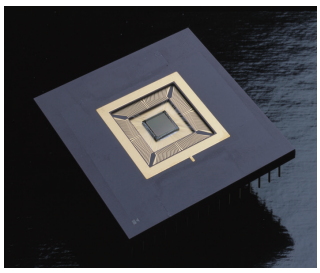
近年，半導体集積化技術の進歩や，画像処理を手軽に扱いたいというニーズの高まりから，画像処理を専門に扱うプロセッサをワンチップ化する動きが進んでいる．

しかし，従来の画像処理用プロセッサは，その並列性により主に初期視覚処理に対して強い威力を発揮するが，より高度な処理を行おうとした場合に，非局所演算が不得手であることや，画素数と汎用性の間にトレードオフが存在することなどの問題があった．

そこで，イメージセンサの画素ごとにPEを取り付けることで，高フレームレートの画像処理を実現するビジョンチップの開発を行った．開発したビジョンチップは，64×64画素を搭載し，プログラマブルで処理を与えることが可能である．演算回路には新たに設計した動的再構成可能なSIMDアーキテクチャを採用している．0.35μm CMOSプロセスを使用しており，チップサイズは5.4mm×5.4mmである．各画素の面積は67.4μm×67.4μmであり，256×256画素が約1.8cm角のチップに乗る計算である．

A programmable vision chip that integrates 64x64 pixels has been developed. It adopts newly designed dynamically reconfigurable SIMD architecture for processing circuits. It is fabricated using 0.35um CMOS process and the chip size is 5.4mm x 5.4mm. Each pixel area is 67.4um x 67.4um and 256x256 pixels could be integrated on about 1.8cm square chip.





4.57 高速対象追跡ビジョンチップ
High Speed Target Tracking Vision Chip

2004年度計測自動制御学会技術賞・友田賞をいただきました。

1秒間に1000フレーム以上の処理を行う高速ビジョンによって，新しい応用が可能になると考えられる．この実現に向けて，センサと並列演算装置を一体化し，1チップ上に収めたビジョンチップというデバイスを開発している．

これまで汎用性を重視したビジョンチップの開発を進めてきたが，多様な画像処理が可能である反面，限られたチップ面積上に多くの画素を配置することが困難であった．応用の場面を想定した場合，特定用途化により小型化・低コスト化を図った新しいビジョンチップも有効であると考えられる．

開発した高速対象追跡ビジョンチップは，特徴として，(1)ターゲットトラッキングに用途を限定，(2)セルフウィンドウ法をハードウェア化，(3)モーメント抽出回路の導入 が挙げられる．実用化に向けて，日本プレシジョン・サーキッツ(株)と共同で，64×64画素を集積したチップを試作したほか，48×32画素のチップを搭載した小型モジュールを開発した．

A new architecture for compact and low-cost vision chips by single-purpose specialization has been designed. It features (1) the function is limited to binary target tracking, (2) hardware implementation of the Self Windowing algorithm, (3) dedicated moment extraction circuit. Collaborating with Nippon Precision Circuit Inc., 64x64 pixel prototype chips are produced, as well as compact modules with a 48x32 pixel chip.

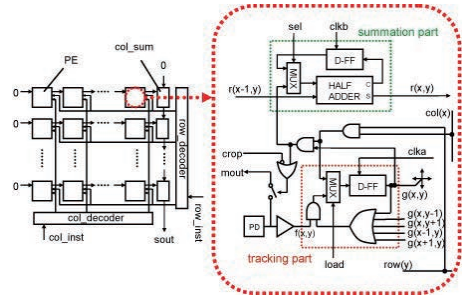


Fig.1 高速対象追跡ビジョンチップのアーキテクチャ
Fig.1 Architecture of high speed target tracking vision chip



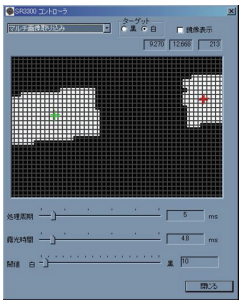


Fig.2 試作した小型モジュールとデモソフトウェア
Fig.2 Developed compact module and demo software

4.58 CPV: 列並列ビジョンシステム
CPV: Column Parallel Vision System

本研究の成果が浜松ホトニクス(株)により製品化されました→ インテリジェントビジョンシステム

ビジュアルフィードバックによってロボットの高速かつ動的な制御を実現したいという要求が高まっている．このためにはビジョンシステムが，高速な動きに追従し，高速な処理と特徴量のフィードバックを実現しなければならない．

これに対して，ロボットの制御に必要なサーボレートは一般に1kHz程度であり，動的な制御を実現する上で，これまでのビジョンシステムはこの要求を満たすものではなかった．

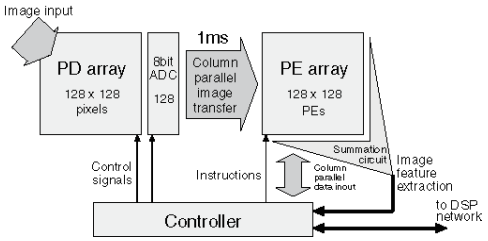
このような背景のもと，我々は，列並列画像伝送と完全並列処理を組み合わせることで，1msの高速性と128×128画素の高解像度を実現した．センサチップは128×128画素のフォトディテクタと128個の8bitのAD変換器からなり，列ごとに並列に，ビットシリアルにデータを出力する．これに対して並列処理部は多数のFPGAを用いて実装され，128×128個のプロセッシングエレメント(PE)により，画素ごとに完全並列な処理が行われる．

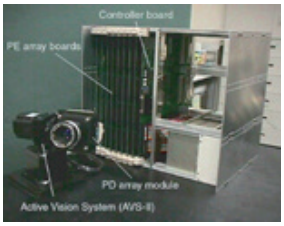
(本研究は 浜松ホトニクス(株)との共同研究です)

The research results have been a commercial reality by Hamamatsu Photonics. -> Intelligent Vision Sensor

Our 1ms vision system has a 128x128 PD array and an all parallel processor array connect to each other in a column parallel architecture, so that the bottleneck of an image transfer has been solved. 1ms visual feedback has been realized in this system, in which the image feature value is extracted in 1ms cycle-time for visual servoing.

(This is a collaborative research with Hamamatsu Photonics)

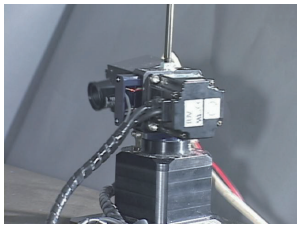




CPV-I



CPV-II



CPV-II + アクティブビジョン
CPV-II + active vision

4.59 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
Surface Image Synthesis of Spinning Cans

カメラを用いた検査自動装置は幅広く活用されている．一方で，フレームレートの制限により高速化が難しかった．高速ビジョンは，外観検査において，このような問題を解決する技術として期待が寄せられている．

本研究では，我々が開発したFPGAベースの並列画像処理ボードPB-1と1,000fpsの高速エリアカメラからなるビジョンシステムを用いて，回転移動する円筒の表面展開図の生成をデモンストレーションした．特に，エリアカメラによる画像処理によって，合成や幾何情報取得のために回転数などの詳しい情報が不要である点で優れている．

実験では，回転数30rps以上の回転体の展開図生成が行え，また寸法誤差も理論通りの振る舞いをし，1.5%以下であった．この技術によってより柔軟な対象物体の運動に対しても表面検査が行えることが期待される．

We demonstrate surface image synthesis of moving spinning cylindrical objects using a high speed area scan camera commercially available. The frame rate used for demonstrations is 1,000 fps, and it successfully covers the surface image synthesis of cylinders spun over 30 rps. A FPGA-based parallel image processing board, PB-1, we have developed is used to implement this demonstration.



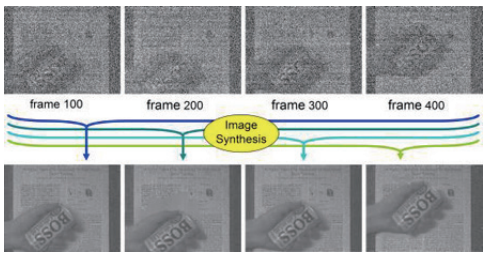
4.60 高フレームレートカメラを用いた動被写体の高画質撮影
High-S/N Imaging of a Moving Object using a High-frame-rate Camera

イメージセンサの性能向上に伴い，デジタルカメラの高画質化が進んでいる．しかし，暗所で利用したり，動被写体をぶれなく撮影したりしようとすると，イメージセンサのさらなる高S/N化が必要となる．

イメージセンサのS/Nを向上させる簡便な手段として，露光時間を長くするという方法がある．露光時間を長くすることにより，信号量を増やすことができるので，ノイズが一定量の場合にはS/Nを向上させることができる．しかしこの方法では，対象が静止していなければならず，カメラや撮影対象が動いた場合は画像がぶれてしまうという問題がある．

そこで本研究では，1秒間に1000枚の高フレームレート撮像が可能なカメラを用いることで，ぶれの少ない画像を多数枚取得し，それらを合成することで高画質の画像を得る手法を提案する．

In this paper we propose a method of high quality imaging of a moving object by combining images captured by a high-frame-rate camera. Extraction of target region enables combination of both target and background areas. Video-to-video conversion is also realized by repeating image combination with shifting a base frame.



4.61 ズーミングタッチパネル
Zooming Touch Panel

タッチパネルは，銀行のATM，駅の券売機，飲食店のオーダー端末などあらゆる場面で使われている．タッチパネルの利点は操作が直感的で，誰にでも使いやすいということにある．しかしタッチパネルには細かい操作が難しいという問題や指が接触する前にどこを指しているか分からないという問題がある．

本研究では，カメラを用いることで新たな機能を実現するタッチパネルを提案する．本システムは，2台のカメラを利用して，指先の3次元位置を計測することができる．これによって，指先の3次元座標に基づいた画面のスクロール及びズームを行うインターフェースを実現することができる．このようなインターフェースは，広い表示範囲と精細な表示を両立させることができる．

具体例として，駅の券売機への応用を想定した試作を行った．大都市の地下鉄網は稠密で画面上にすべての項目を表示することは難しい．そこで，ズームの機能を活用することで地図上で直接目的地を選択して切符を買うことのできるアプリケーションを実装した．

Information devices with a touch panel are often seen in our life, but a touch panel is difficult to operate precisely as well as it is unsanitary.

We developed a touch panel with new interface, which measures three dimensional position of the finger near the panel using two cameras, displays a cursor on the panel, and zooms the screen according to the finger depth.



4.62 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
High-resolution Shape Reconstruction from Multiple Range Images

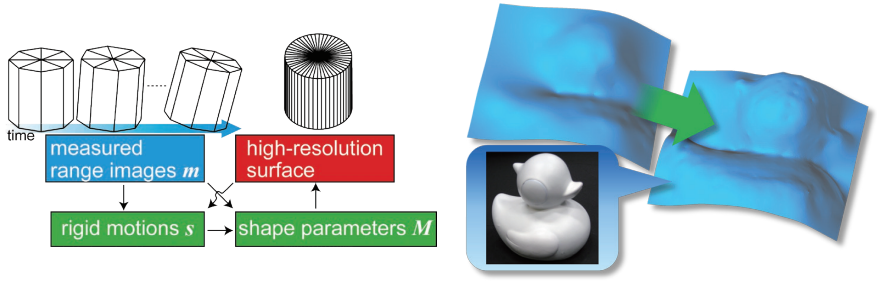
運動中の物体形状を高速かつ高解像度に観測する技術は，様々な応用展開で実現が有望視されるものであると考えられる．しかし，速度と解像度に関する性能をセンシングシステムが両立することは難しい．

そこで，我々は複数の距離画像を統合することで，高解像度の形状を復元する手法を実現した．仮定する状況は，固定されたセンサ系が運動剛体を観測するケース，または静止物体をセンサ系が動いて観測するケースである．このようなセンサ系と対象物体の相対位置の変化によって，いくつかのセンシングシステムの原理では，異なる時刻に，対象表面の異なる位置をサンプルした距離画像が取得される．これらの距離画像によって，使用されるセンサ系の解像度の限界を超える形状復元が実現できると考えられる．

本タスクは，レジストレーションと曲面復元の2つのプロセスを行う必要がある．提案手法は，これらのプロセスを同時推定の枠組みで解くものである．また，形状表現として，陰関数曲面を導入し，様々な運動物体の形状に対する高解像度化を実現する．評価実験では，提案手法と従来手法を複数の物体に対して適用し，その有効性を示した．

High-resolution shape reconstruction from acquired range images is a highly promising technique for various applications, regardless of sensing principle. This task involves two processes: registration and surface reconstruction. Those processes are essentially interrelated problems, and performing registration using only the acquired range images causes errors because of the image degradation involving aliasing and measured noise. Also, the shape surface representation needs to have a continuous form and a high degree of freedom with a compact data set. In addition, local smoothness control is an important issue for surface reconstruction.

Based on these requirements, in this paper, we present an algorithm for estimating the motions and surface jointly. The method realized shape reconstruction based on an implicit surface obtained using an RBF function. We demonstrated the potential of this approach with three kinds of real shapes. The experiments were successfully achieved. The obtained results show that we can see details on the surface that cannot be found in a single range image.



高解像度形状復元のプロセス概念図と高解像度形状復元の結果
The process and the results of high-resolution shape reconstruction

4.63 事前知識を用いたステレオビジョンの高性能化
Stereo 3D Reconstruction using Prior Knowledge of Indoor Scenes

ロボティクスなどの分野において，ステレオ視を用いた3次元復元が広く用いられている．一方，ステレオ視では，視点間の対応点を求める必要があるが，画像のみからこの問題を解くことは難しかった．

特に，屋内環境では，壁などテクスチャがない部分が視野に多く存在する．このような問題を解決するために，屋内環境の大域的な構造の特性を事前知識として利用する手法を提案する．このようなアプローチは，エイムズの部屋のような錯視にも見られるように，人間の視覚認識においても有効な役割を果たしている．

提案する手法は，人工物の事前知識に関する3つの仮定を利用する．この仮定を用いて，確率による問題の記述を行い，最適化問題によってステレオ視の3次元復元を行う．実験の結果，提案手法が，視差画像の滑らかさを仮定したグラフカットによる手法に比べて，テクスチャレスな領域が大きい入力画像に対して有効であることがわかった．

We propose a new method of indoor-scene stereo vision that uses probabilistic prior knowledge of indoor scenes in order to exploit the global structure of artificial objects. In our method, we assume three properties of the global structure (planarity, connectivity, and parallelism/orthogonality) and we formulate them in the framework of maximum a posteriori (MAP) estimation.

To enable robust estimation, we employ a probability distribution that has both high peaks and wide flat tails. In experiments, we demonstrated that our approach can estimate shapes whose surfaces are not constrained by three orthogonal planes. Furthermore, comparing our results with those of a conventional method that assumes a locally smooth disparity map suggested that the proposed method can estimate more globally consistent shapes.

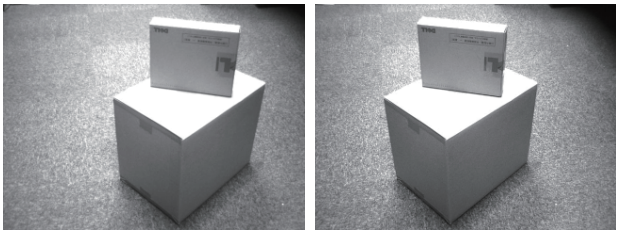


Fig1.入力画像
Fig1. Input images

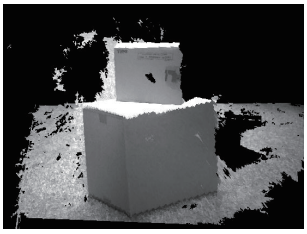


Fig2.復元された3次元形状
Fig2. The result of reconstruction with the proposed method

4.64 Analysis-by-Synthesis 法を用いた三次元物体姿勢推定
3D Object Pose Estimation using an Analysis-by-Synthesis Method

既知物体の姿勢推定は対象物体に対してマシンビジョンシステムが 行動を取る為の第一段階であり，様々な手法が提案され，実システムに 広く応用されている．しかしビジョンシステムは一般に計算量が大きく，実用的な処理時間で姿勢を推定するためには様々な制約が必要となる．そのため，現時点では二次元画像認識の利用が主流であり，三次元の位置姿勢を 推定するには適切な初期値を与えて探索範囲を狭めるか，初めの位置姿勢を 既知としてトラッキングを行う手法が多い．手法も材質や光源，オクルージョンなどの条件に対して特化していることが 多いため，様々な問題に対して一つの手法で対処することが難しいという問題がある．

そこで我々は，三次元モデルが既知の物体の位置姿勢推定にAnalysis-by-Synthesis(A-b-S)法を利用し，Computer Graphics(CG)による 予測画像の描画と入力画像とのマッチングに Graphics Processing Unit(GPU)の能力を積極的に活用する手法を提案した．A-b-S法によって，モデルの情報から逆問題として解くことが難しい材質や 光源等の条件を，合成した画像上で探索的に扱うことが出来る．

本手法により，複雑な背景のある入力画像とGPUでレンダリングした 予測画像のエッジ画像同士のマッチングによって毎秒964,207個の姿勢を評価し，テクスチャの少ない三次元物体の位置姿勢推定を約1分半で行えることを実験で確認した．

We propose a new method for 3D object pose estimation using the analysis-by-synthesis (A-b-S) method. This method is applicable to machine vision systems for 3D object recognition and generalized in terms of the operating conditions, such as materials and lighting. An A-b-S approach usually requires a number of computations so large that a conventional global search was not applicable. We realized a global search for pose estimation by an effective algorithm using a coarse-to-fine strategy and a weak perspective projection assumption. We implemented this method and maked full use of both the rendering and computing power of a graphics processing unit (GPU). The system could evaluate 964,207 candidate poses per second and estimate the pose of a textureless 3D object in about one and a half minutes.

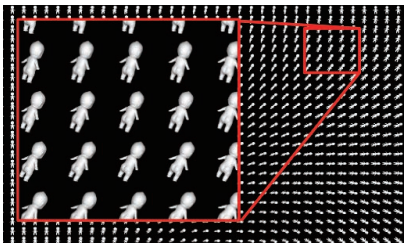


Fig. 1 GPUによってレンダリングした予測画像群
Fig. 1 Candidate images rendered by GPU



Fig. 2 複雑な背景を持つ入力画像
Fig. 2 Input image

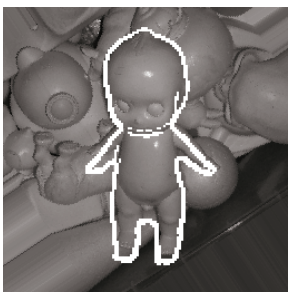


Fig. 3 位置姿勢推定結果
Fig. 3 Result

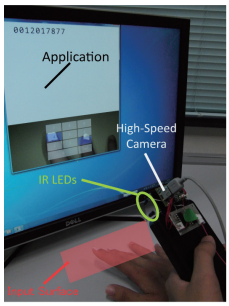
4.65 高速モバイルセンシングを用いた実空間を仮想入力環境とするインタフェース
Utilizing Real Space as Virtual Input Environment with High-Speed Sensing for Mobile Interface

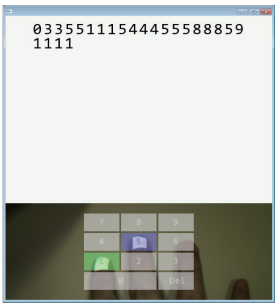
近年，携帯機器小型化の技術進歩にともなって，携帯機器が広く普及している．しかし最近では，小型化が進んだ影響で機器表面に広い操作領域を確保した入力インタフェースの実現は難しい．これは人間の手の大きさなどに由来する問題であり，問題解決には新たなインタフェースが必要となる．従来より様々な手法が提案されているが，利用するための特殊なデバイスを設置する必要がある，あるいは多くの特殊な機器を身につける必要がある，などの課題があり問題の解決には至っていない．

そこで，本研究ではいつでもどこでも実世界の任意平面をシームレスに仮想入力平面へと変え，高速センシングによってその操作を認識するインタフェースを提案する．ユーザは片手に携帯機器を把持し，携帯機器に取り付けられたカメラで撮影された映像を通して実世界を見る．ユーザは，機器を把持していない側の手を端末が操作面と認識した平面上で動かすことによって入力動作を行う．システムは実空間の平面を仮想入力平面として操作する．平面にはキーボードなどの機器を置く必要はなく，机や膝の上などユーザが操作面として擬似的に認識できる面があれば良い．

本システムを用いた実験の結果，机の上や膝の上など様々な平面上で安定してタップ入力を行うことが出来た．

Recently the size of mobile devices has significantly reduced and mobile devices are widespread in our daily life. It is desirable to input quickly and freely in everywhere with mobile devices. In this research, we propose a new interface which utilizes anywhere in the real space as a input environment with high-speed sensing. High-speed sensing enables stable recognition of the real environment or the operation of users, new interactions that are adapted to the environmentand large operation area that is not limited to the devices' surface. We developed the interface which recognizes any plane of the real space and allow users to input on the plane.





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．

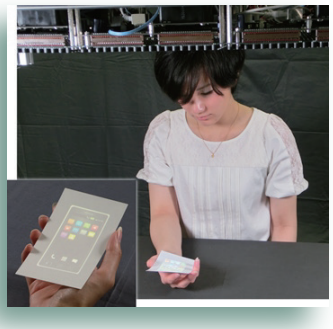
アクティブ パーセプションは，これらの技術の総称であり，本研究室では，センサや知能システムの技術ばかりではなく，ヒューマンコンピュータインタラクション，メディアアート，神経生理学，倫理学，土木工学などの分野からのアプローチにより，ユーザや機械が扱えないとされてきた情報を取得・操作することと共に，新たな学際分野の確立を目指している．

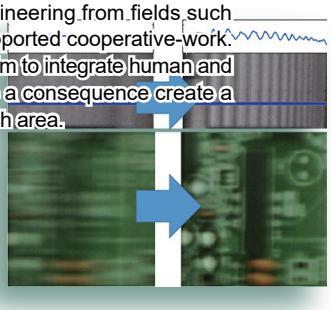
Human sensorial modalities are inherently limited, as is our cognitive capacity to process information gathered by the senses. Technologically mediated sensory manipulation, if properly implemented, can alter perception or even generate completely new forms of perception. At a practical level, it can 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 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: a Membrane between Real and Virtual Space

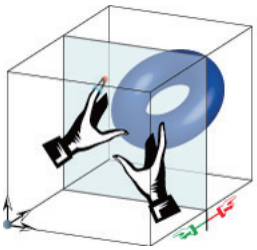
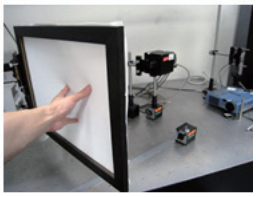
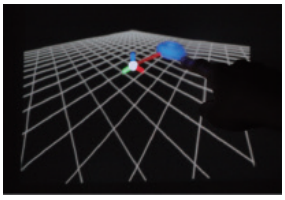
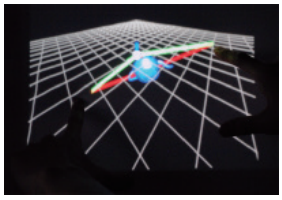
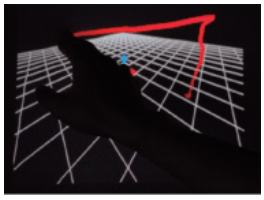
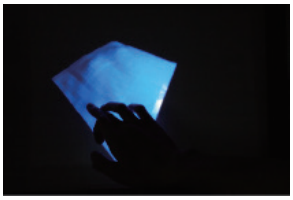
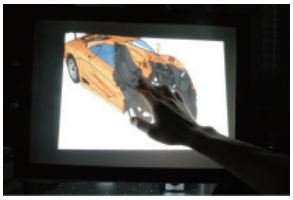
3 次元の仮想物体を扱うための新しい枠組み Deformable Workspace を提案する．提案技術では，現実と仮想の 2 つの空間において，知覚の整合性を保つことで，仮想物体との直感的なインタラクションを実現することを目的としている．本システムでは，透明でタンジブルな境界面として働く物理的な膜を介して，両空間が接続していることをメタファとして取り込むことで，本目的の実現を目指した．

システムは，3 つの重要な技術を基盤として開発された．基盤技術となったものは，タンジブルで変形可能な投影スクリーン，リアルタイム 3 次元センシング，アナモルフィック投影における適応的映像補正の 3 技術である．変形するタンジブルスクリーンの導入によって，知覚の問題を解消するとともに，独自に開発した高速センシングによって，適応的な映像補正とシームレスな操作が可能となっている．また，本システムで有効に作用する新たな応用を提案した．本論文では，マルチタッチによる物体の 3 次元操作，自由曲線や曲面の 3 次元モデリング，物体の内部構造の表示機能を具体的に実証した．

We propose a variant of the multi-touch display technology that introduces an original way of manipulating three-dimensional data. We will call the implemented system a deformable workspace.

The left image illustrates the metaphor of our proposed deformable workspace. The virtual object "exists" and is represented in virtual space, while the user exists in real space, but is not represented (as a whole or in part) in the virtual space. The idea is to maintain a useful and simple relationship between virtual and real space by using a unique coordinate system that is shared by both spaces. Between these spaces lies a "transparent" and tangible membrane. Users can manipulate the objects in virtual space by deforming the membrane and observing the effects on the virtual object (much like a surgeon operating on a patient with gloves).

By doing so, the interface can create the illusion of continuity between the user's real space and the virtual three-dimensional space. The prototype system presented here enables this by employing three key technologies: a tangible and deformable projection screen, a real-time three-dimensional sensing mechanism, and an algorithm for dynamic compensation for anamorphic projection. We successfully demonstrated several applications including 3D translation, 3D manipulation by two hands, 3D freehand drawing, 3D sculpture, and arbitrary volume slicing.

5.2 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



クロノスプロジェクタはあらかじめ録画してある映像コンテンツを探索できる，新しいインタラクティブアートインスタレーションである．ユーザは，映像が投影されたスクリーンを変形させることで，映像の一部分の時間を進ませたり，巻き戻したりできる．柔らかいスクリーンを手で触ることでスクリーンを揺らしたり部分的に歪めたりすると，投影されている映像の時間が空間的に波打つ「時間の波」や，空間の一部分だけが異なる時間の映像になる「時間の島」をスクリーン内に創り出すことができる．こうしたスクリーン上の映像は，映像の空間軸と時間軸（奥行き）から成る直方体状の 3 次元データを「切断する」2 次元の時空間断面を，インタラクティブに変形することで生成されている．このスクリーンは，伸び縮みする薄い布地を用いることで，触覚フィードバックを通じて繊細かつ自然な反応を実現している．これは人間と機械のインタラクションと

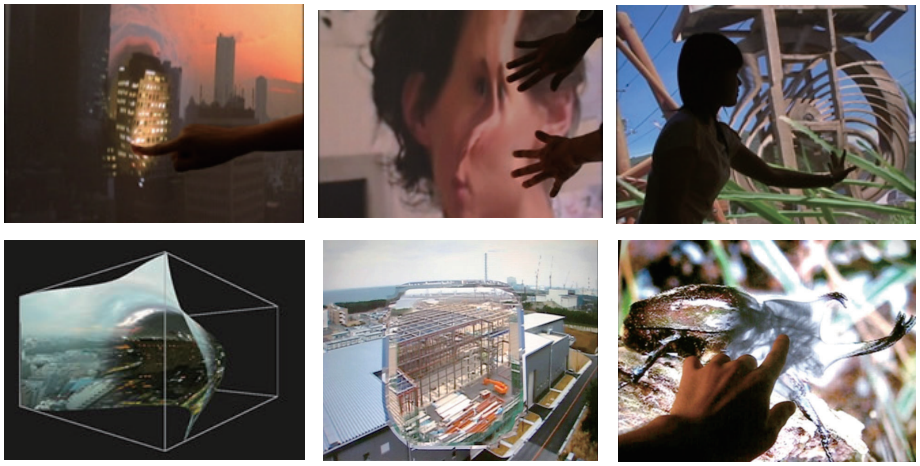
いう観点からすれば，物に触れる際の繊細さを測れるタンジブルヒューマンマシンインターフェイスに向けての第一歩と言える．

このプロジェクトは多くのメディアアートフェスティバルやテレビ番組でこれまでに 取り上げられてきた．

この変形型圧力感知スクリーンは，当初「ビデオ・キューブ」(上述した映像の空間と奥行きを時間軸とした直方体データ) の切断面を表現するために開発されたが，一般的にはどんな種類の立方データであれ (例：人体のスキャナ画像)，任意の形の断面をインタラクティブに設定し，視覚化することができる．具体的には，実際に外科医が手術している時のように，人体の断面を複雑な形状の表面に表示することができるので，手術練習用インターフェイスの基礎技術になり得る．また，このコンセプトを拡張した Volume Slicing Display も我々の研究室で開発している．

The Khronos Projector is an interactive-art installation allowing people to explore pre-recorded movie content in an entirely new way. By touching the projection screen, the user is able to send parts of the image forward or backwards in time. By actually touching a deformable projection screen, shaking it or curling it, separate "islands of time" as well as "temporal waves" are created within the visible frame. This is done by interactively reshaping a two-dimensional spatio-temporal surface that "cuts" the spatio-temporal volume of data generated by a movie. From the human-machine interaction point of view, the Khronos-Projector tissue-based deformable screen is a first step towards a tangible human-machine interface capable of sensing the delicacy of a caress - while at the same time able to react in a subtle and natural way, also through tactile feedback.

This project has been featured in a number of Media Art festivals and TV programs (abundant information, images and video can be found here). Although the pressure-sensitive deformable screen was initially developed for the slicing the "video-cube", it can in general be used to interactively define and visualize arbitrarily-shaped slices of any sort of volumetric data (e.g. body scanner images, layered geological data, architectural or mechanical drawings, etc). In particular, it can be a starting point for developing a pre-operatory interface capable of showing inner body sections mapped onto complex surfaces, just as they would appear to the surgeon during an actual operation. The Volume Slicing Display also being developed in our lab is an extension of this concept.



5.3 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.

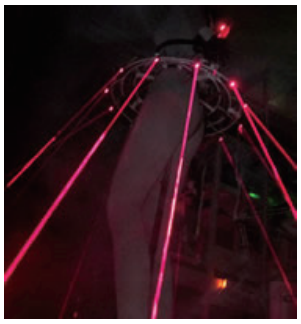
• Enhanced body interaction

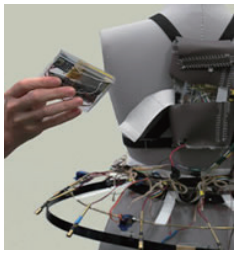
prompted by an interactively augmented body image (in time and space), as well as a clear visual representation of interpersonal space.

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

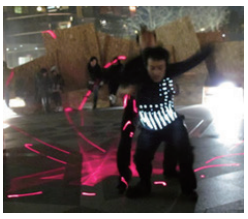
We are exploring several embodiments of the Light Arrays using laser modules, servo motors, and sensors (either worn or external). Both direction and intensity of the laser beams are modified according to the motion of the wearer, or in response to the motion of a second person. This creates an interesting 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.













5.4 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

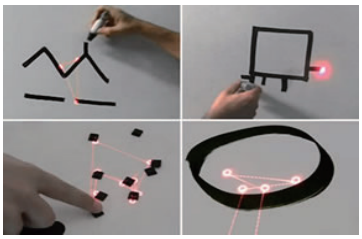
スコアライトは，手描きの線に沿ってリアルタイムに音を生成する楽器のプロトタイプである．同様に，（手，ダンサーのシルエット，建築物などの）３次元の物体の輪郭に沿って音を出すことも可能である．また，このシステムは，カメラとプロジェクタを使用しておらず，レコードプレイヤーにて針がレコードの表面の溝を探索しながら音を出すように，レーザーが絵の輪郭による溝を探索しながら音を出す．音は，描かれた線の垂直方向からの角度，色，コントラストなどの曲がり具合によって生成され，変化する．また，空間性をもっており（下図：４つのデバイスを用いたシステム），デバイスの探索位置，スピード，加速度などによってパンニング（音の定位の設定）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?

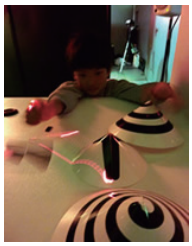


"scoreLight" is a prototype musical instrument capable of generating sound in real time from the lines of doodles as well as from the contours of three-dimensional objects nearby (hands, dancer's silhouette, architectural details, etc). There is no camera nor projector: a laser spot explores the shape 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?









5.5 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．

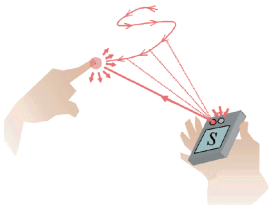
また，一つのシステムで，複数対象をトラッキングすることも可能である（対象を逐次的に処理する）．複数対象のトラッキングアプリケーションは数え切れないくらいあるだろう．例えば，複数のユーザが同時に同じヴァーチャル空間で対話したり，一人のユーザが同時にいくつかのヴァーチャルツールを操作したりすることができる．例えるなら，スピルバーグの映画「マイノリティリポート」を想起させるような，ウィンドウのサイズを変えたり，情報画面を操作したりといったことである．しかも，今回のシステムでは特殊な手袋やマーカーは全く必要ない．

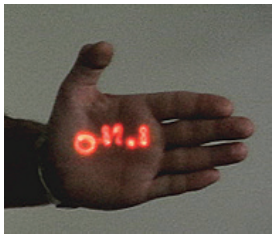
また，提案している３次元レーザベースの位置測定装置の注目すべき特徴に，出力デバイスとして使えることが挙げられる．実際に利用できる表面であれば，手のひらであっても，そこに英数字データを投影する形でユーザに情報を返すことができる．このデモは，すでにトラッキングと同時並行に行い，成功している．最後にハードウェアは，芸術の域に達していると言えるMicro-Opto-Electro-Mechanical-System（MOEMS）技術のおかげで，全てのシステムが１つのチップ上に載った簡易なものとなっている．このチップのおかげで，携帯型コンピュータデバイスとして使用できる多用途なヒューマンマシーン入出力インターフェイスとなっている．

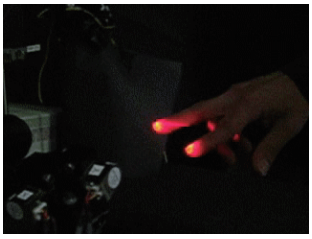


The problem of tracking hands and fingers on natural scenes has received much attention using passive acquisition vision systems and computationally intense image processing. We are currently studying a simple active tracking system using a laser diode (visible or invisible light), steering mirrors, 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.



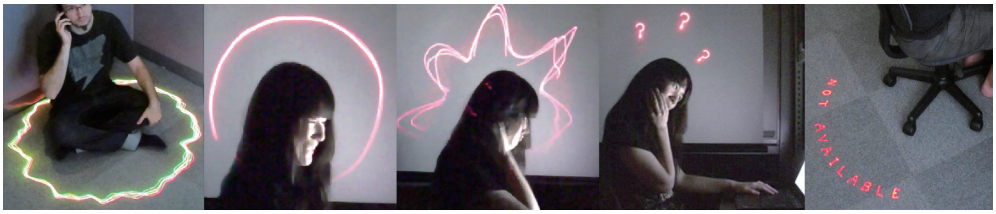




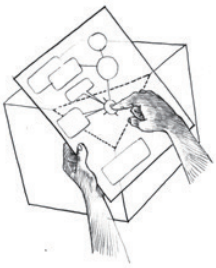
5.6 The Laser Aura: 感情表現を人工補完するシステム
The Laser Aura: a prosthesis for emotional expression

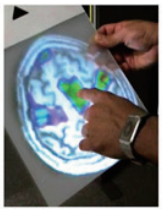
我々は感情表現の高まりを人工補完する（着用可能な）システムとしての「レーザーオーラ」の利用について研究を行っている。そのような着用可能なディスプレイの目的は、ユーザーのすぐ近くに単純なイメージを投影することによって、ユーザーの微細な精神心理学的状態を他者に見えるよう外在化することである。現時点での設定では、「レーザーオーラ」あるいは「レーザーヘイロー」はその形状を変化させ、ユーザーのストレスの作用として動的に振舞う。そのような（漫画におけるグラフィカルな表現から想起された）イメージアイコンは、その人の心理状態に関しての素早い手がかりを他者に与えるであろう（そしてゆえに、実世界ではオンラインでの予約状況管理と同等のものとして作用する）。また、バイオフィードバックデバイスとしても機能し、ストレスフルな状況の中でその人の身体のコントロールを取り戻す助けにもなり得る。

We are studying the use of a 'laser aura' as a (wearable) prosthesis for enhanced emotional expression. The goal of such wearable display is to externalize subtle psycho-physiological states of the user by projecting minimalistic imagery in the immediate surrounding for others to see. In the present configuration, a 'laser aura' or 'laser halo' change its shape and dynamic behavior as a function of the user stress. Such iconic imagery (inspired by manga graphical representations) may give others an instant cue about the person psychological state (and thus function as the equivalent of online availability status in the real world). It may as well function as a biofeedback device, and help regain control of one's own body in stressful situations.



5.7 記憶の箱／知識の立体素
Memory Blocks & Knowledge Voxels





このプロジェクトは、慣れ親しんだ通勤途中のビルや曲がり角、並木や花々など、身の回りのあらゆるものを用いた、保存や検索などのデータ管理の枠組みの構築に向け、３次元の仮想的なデータコンテナを実空間に重畳することで、触れられないクラウドコンピューティングに取って代わるシステムの実現を目指している。この〝Memory Blocks/Knowledge Voxels〟プロジェクトでは、仮想的なデータコンテナを実空間へ重畳するというアイディアのもと、具体的なデータの提示手法やデータを閲覧するインターフェイスの開発を進めている。さらに、「場所法」は基礎結合法と呼ばれる記憶術の一つで、情報を「記憶の宮殿」と呼ばれる空想上の空間と結びつけることで効率的に記憶する手法であり、この研究は「記憶の宮殿」を個々の心の中ではなく、相互に利用可能な３次元空間に落とし込むことで、この記憶術を次の段階に進めることを見据えている。これらのコンセプトは本研究室で開発された空間的なARやMRの技術とタンジブルインターフェイスを融合させることで実現可能となる。我々はまず、会議室や公共スペースにおいて〝Memory Blocks〟を複数人で同時に扱えるようにし、Web 2.0の技術を用いてオンラインの情報共有やブックマークを可能にすることを進めている。

体積を持った仮想的な物体である〝Memory Blocks〟を実空間に重畳することでこのシステムは機能し、マルチメディアを空間的に構築する土台として活用することができる。また、〝Memory Blocks〟は、目次の代わりに検索機能を持った仮想的な図書館、または本棚として捉えたり、音楽や文献、連絡先などといった情報を保存できる任意形状のコンテナとして捉えることもできる。〝Volume Slicing Display〟で既に示したように、ユーザーは重畳により結び付けられたスペースを利用して注釈をつけるなど、インタラクティブに対象を扱うことも可能である。

Imagine being capable of storing/retrieving multi-media data from familiar things in the path to work: buildings, corners, trees or flowers... anything around you can be a "scaffold" to organize your personal data. This project is an alternative to the intangible "cloud", based on the idea of superimposing virtual 3d "data containers" onto real space.

More concretely, the "Memory Blocks/Knowledge Voxels" project aims at creating a format to represent, and an interface to browse dense databases based on the idea of superimposing volumetric virtual objects onto real space. The “method of loci” is a mnemonic technique that relies on human capacity to quickly and efficiently store new information on an imaginary 3d space (or “memory palace”): the goal of this research is to take this technique to the next level by making this “memory palace” an interpersonal 3d space to store and retrieve information instead of an individual, mental map. This will be done by merging spatial augmented reality, mixed reality and tangible interfaces developed in our lab. We first plan to make these volumetric Memory Blocks (MB) accessible simultaneously to several people in a large room (or even in public spaces); then, by using Web 2.0 technologies, we plan to make these MB the support of online collaborative bookmarking and information sharing.

The interface will work by superimposing Memory Blocks (that is, volumetric virtual objects) into a region of real physical space. These objects will be the receptacle, or scaffold,onto which multimedia information can be spatially organized. One can think of a “Memory Block” (MB) as a virtual library or bookshelf whose architecture or shape suffices to guide the search - instead of using a catalog or an alphabetic index. MBs may be used to store any kind of information (music album, literary references, contacts, etc) in an arbitrarily shaped 3d container - including public spaces. Users will be able to annotate, interact and navigate these objects by relying on their own physical frame of reference, as already demonstrated in our Volume Slicing Display system. They will be able to add notes and hyperlinks (manually or semi-automatically) onto 3d representations of the subject of study.



5.8 身体表面の入力・出力デバイス化の提案
Skin Games

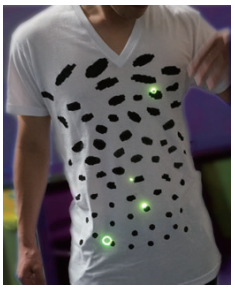


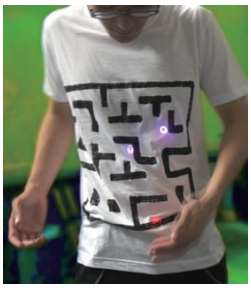
商業的なゲームの展開において、近年のコンピュータビジョン関連の機器の発展により、人間の全身姿勢をゲームコントローラーの入力に利用することが可能となってきており、また普及しつつある。しかし、同時に出力側のコンピュータースクリーンは、今でも眼で見る場所であり続けている。この「四角形の画面への拘束」からの解放は、空間的な拡張現実(SAR)において注目の話題であり、静的・動的なプロジェクションマッピングや一部のプロジェクターでは、ゲームグラフィクスをあらゆる表面に表示することが可能となってきた。この研究では、運動インタフェースやSARにおける新たなパラダイムの構築を紹介する。具体的に、「Skin Games」では、身体は入力コントローラーとして機能するだけでなく、同時にゲームのアウトプットが身体の表面に変形可能なディスプレイとして表示される。

「Skin Games」は、全身の物理的なレベルでの没入をコンセプトに掲げる。あなたの身体はゲーム画面によって覆われる。これは、ユーザーが自分自身の身体上でグラフィックスを見る必要があるということであり、Skin Gamesの潜在的な興味を惹く特徴として挙げられる。技術的な観点からいうと、本コンセプトを実現するにはいくつか異なる方法がある。一つ目の方法は、スクリーンを実際に着てしまうことである。これは技術的に実現性の高い方法であり、既に様々なアート・エンターテイメントのプロジェクトで実現されてきた。加速度センサやジャイロといったような運動センサ、バイオセンサ、シンプルなスイッチを入力コントローラーとして、比較的簡易に開発可能である。(過去に我々の研究室でもライトアレイプロジェクトにてデモを行った) 異なる方法は、外部のトラッキング・プロジェクション用ハードウェアを利用することである。従来のプロジェクター・カメラのセットアップでは、比較的上位機種のハードウェアと膨大なコンピュータの計算量が必要であった。なぜなら、システムが最小の遅延と空間的な位置合わせの正確さを維持することが、動的な投影に求められたからである。我々はこの問題に対して取り組む一方、本研究のプロトタイプを、我々の研究室内で開発されたレーザーセンシングディスプレイの技術を利用して、開発した。

Recent developments in computer vision hardware have enabled (and popularized) the use of gestures as well as full body posture as a form of input control in commercial gaming applications. However, the computer screen remains the place where the eyes must be placed at all times. Freeing graphics from that rectangular cage is a hot topic in Spatial Augmented Reality (SAR): using static or dynamic projection mapping and 'smart projectors', it is possible to recruit any surface in the surrounding for displaying the game's graphics. The present work introduces an original interaction paradigm building on kinetic interfaces and SAR: in 'Skin Games' the body acts simultaneously as the controller and as the (wildly deformable) projection surface on which to display the game's output.

Skin Games takes the concept of 'immersion' to a whole new physical level: you are litterally covered by the game. The fact that the user needs to contort to see the graphics on her own body is perceived here as an interesting inherent feature of the Skin Games paradigm. Technologically speaking, there are different possible ways to materialize the concept. One approach is to actually wear the screen; this is technically feasible as demonstrated in numerous art/entertainment projects. A wearable, full body display can easily integrate kinetic sensors (accelerometers, gyros), biosensors or simple switches thus providing appropriate input, as demonstrated in our Light Arrays project. A different approach consist on using external tracking and projection hardware. In the case of a traditional projector/camera setup, this requires relatively sophisticated hardware and signifcant computer power, because the system must realize real-time dynamic projection mapping while maintaining minimum delay and spatial mismatch. While we are working on this technology and setup (see for instance "Real-time Shape Measurement of a Moving/Deforming Object"), the prototype demonstrated here uses the Laser Sensing Display technology developped in our lab.





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.

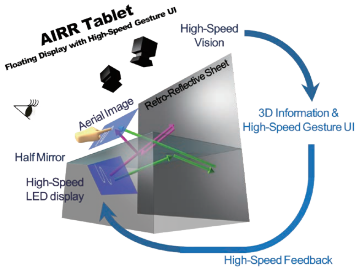


図１　AIRR Tablet の構造
Fig.1 Structure of AIRR Tablet

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

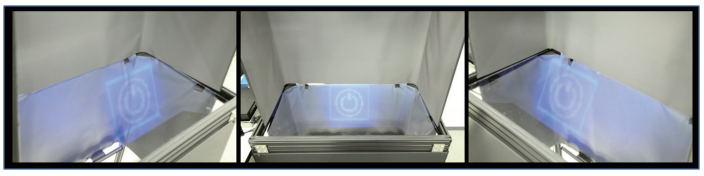


図３　三方向から見た空中映像
Fig.3 Floating images from different viewing angles



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 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, 触覚フィードバッグ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.

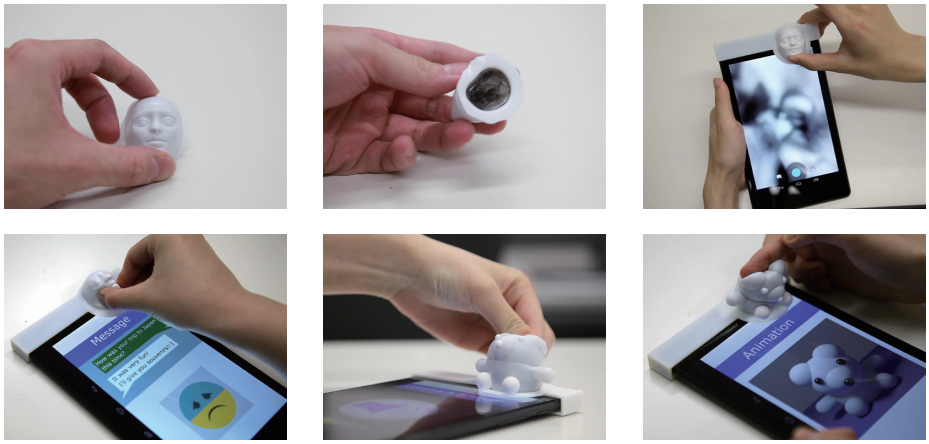
このようにパーソナライズされたUIを製作することには, 愛着心と直感的なインタラクションの2つを生みだせるポテンシャルがある. 特に, 感性が絡む複雑なインタラクションの形態は, ユーザごとに独特である可能性があり, であるからこそパーソナライズされることが良い操作の候補を生み出す余地になると考えられる. また, 愛着心は無機的なデバイスとユーザの間に新たな関係を築かせる鍵である. 例えばテディベアなどで見られるように, 媒体の形とユーザ固有のインタラクションは密接に絡んでおり, その愛着心を生み出す重要な側面である.

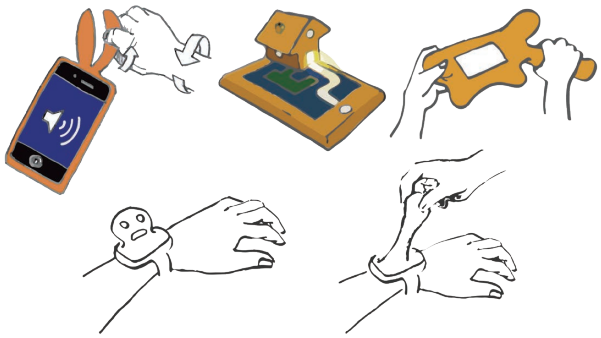
このような背景の下, 任意の形でデザインされる変形可能な入出力UIの製作及びセンシング方法を提案する. 特に, 既存の情報端末に対して, 非侵襲かつミニマルなスタイルでその形と機能を拡張することを主眼とする. 我々が提案するUIシステムでは, 変形可能な物体を情報端末のフロントもしくは背面カメラの上に設置する. このとき, この物体はフィジカルな入力コントローラとしてだけでなく, スマートフォンのカバーとしても機能する. このように, センシングするケースとして捉えられることから, 我々は提案するUIシステムをSENSECASE(センスケース)と呼ぶ. SENSECASEで使われる変形物体の内部は, 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.





5.11　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

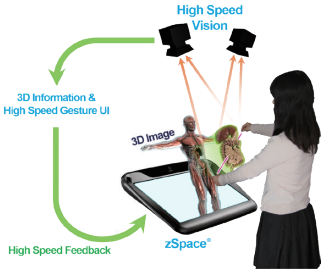


図１　システムの概要（イメージ図）
Fig.1 System

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危機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® developed the zSpace 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 explo-



図２　システムの全体像
Fig.2 The whole system

ration, 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/)

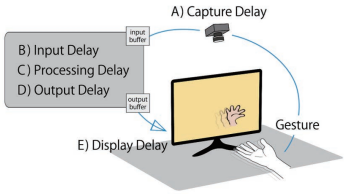


図３　高速３D ジェスチャー認識システム
Fig.3 High speed 3D gesture recognition system



図４　操作の様子
Fig.4 Manipulation with hands

5.12　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．

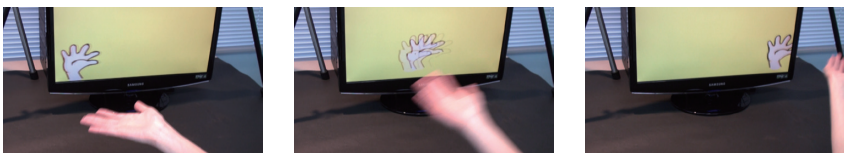
スマートTV，コンピュータ，ゲーム機器，PDA等のユーザーインタフェース(UI)において，その応答性は，機器の操作性に大きく影響する．応答の速いUIはユーザーの操作感を高めるが，これはユーザーのジェスチャー動作から，ディスプレイ上の操作表現までのデータパスのレイテンシーが小さくなることで，表現されたディスプレイ上の操作と自らのジェスチャーとが一体のものであること，すなわちユーザーの自己受容性が向上するからである．

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).



5.13 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．

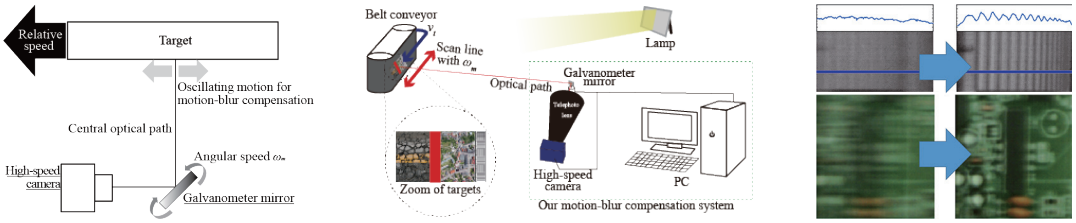
光軸の角度制御には１軸ガルバノミラーを用い，新たにトラッキングアルゴリズムを開発することにより，対象画像の高速トラッキングを実現している．この結果，従来の方法に比べて，特に高周波数帯域においてモーションブラーが改善されることを実証した．

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.



5.14 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

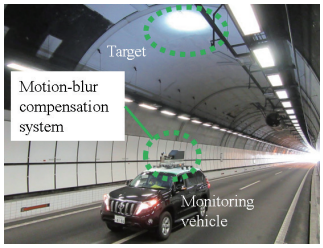
当研究室で開発している「画素毎動き補償イメージング」の応用例として，インフラ維持・管理における点検技術の高度化に向けた提案を行っている．カメラ撮影において，モーションブラーは画像の画質劣化を招く主たる要因の一つである．このモーションブラーを改善する取り組みは，手ぶれ補正機能やフラッシュ，露光時間の制限といった様々な手法で取り組まれてきており，画質改善に対する寄与が図られている．しかしながら，特にインフラ維持・管理目的の点検では，インフラ機能自体を停止することが難しい状況もあるため，インフラ上を車両で高速に移動しながら構造物等を撮影するといったことが求められる．さらに，点検目的では高い精度の画像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．

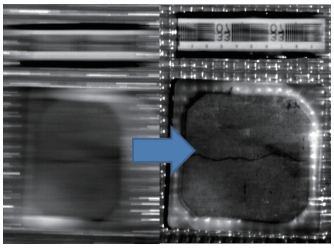
上記の研究成果は，東京大学石川渡辺研究室と中日本高速道路株式会社との共同研究である．

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. Further-

more, 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.





※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

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．

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.

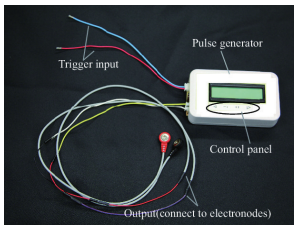
5.15 電気刺激を用いた運動スキル習得支援システム
Learning Supportive System to Electrical Stimulation

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.



電気刺激装置
Electrical stimulation device

各論 / Projects

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

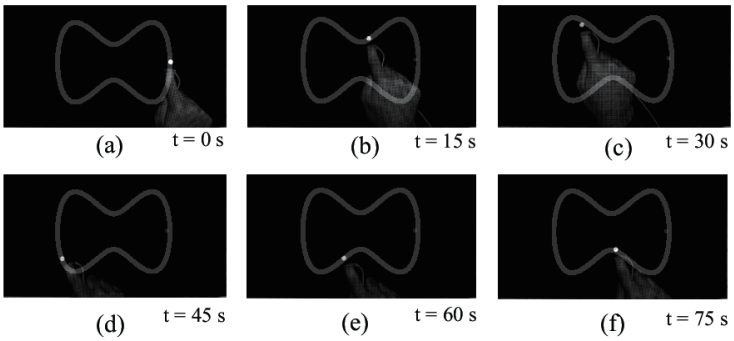
It is not clear how much stimulation of electric stimulation itself contributes to human learning. Therefore, we compare and verify how the difference in the effect of human being learning the motion between electrical stimulation and vibration in case of erroneous movement is checked by camera feedback.

3.Learning supportive training system

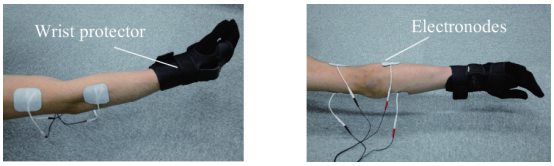
In the experiment, we learned the task of throwing the ball straight to modify the inclination of the ball with the subject of swing of bowling using this system. As a result, an improvement of 32% in inclination at the time of swing was observed compared with the initial, and the effectiveness of this 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.



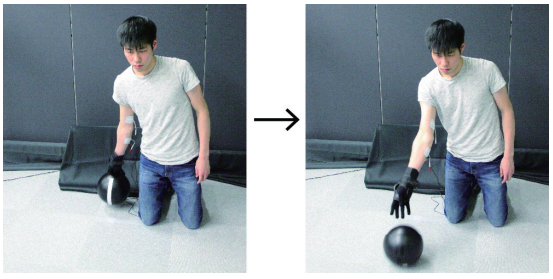
反応速度検証実験の様子
Experiment to measure human response to external stimuli



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

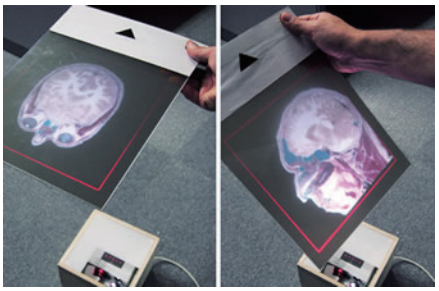
5.16 ３次元データの能動的表示 (Volume Slicing Display)
The Volume Slicing Display (VSD)

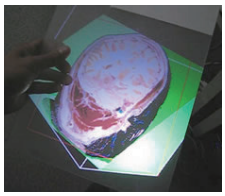
Volume Slicing Displayは，タンジブルスクリーンを用いて体積データをインタラクティブに探索するインターフェイスである．

このシステムでは，我々の研究室で開発された単眼超高速ビジョンシステム（ビジョンチップ）を用いて，空間中にある受動的スクリーン（アクリル板）の３次元的な形状と位置をトラッキングしている．そして，プロジェクタからリアルタイムに，スクリーンの傾きに合わせた３次元ヴァーチャルオブジェクト断面をスクリーンに投影する．

この実験的インターフェイスは多人数のユーザに実空間上に３次元ヴァーチャルオブジェクトが存在しているかのように感じさせるだろう．また，受動的かつ安価な投影表面（アクリルや紙でもよい）を用いることで，インタラクティブに３次元オブジェクトの任意断面を探索することを可能にしている．

構造化光源と我々のビジョンチップシステムとを組み合わせることで，変形可能なスクリーンの形状をリアルタイムに取得することもできる．よって，任意形状の「切断曲面」を設定することができる．（この意味では，このプロジェクトは クロノスプロジェクタインターフェイスのゴールを拡張するものだと言える．）

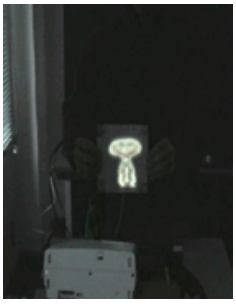




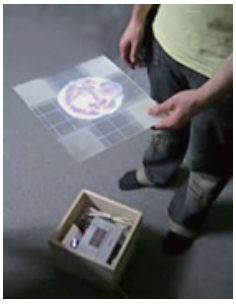
We introduce a method and a prototype system for interactive exploration of volumetric data using a tangible screen, called the Volume Slicing Display. The system tracks the shape and the position of a passive screen (a piece of plexiglas or paper) using a custom monocular high-speed vision system (Vision Chip) or using ARToolkit markers in a more recent setup conceived to be built from off-the-shelf hardware; then one or more projectors on the room project the corresponding slice of a 3D virtual object on that surface in real time. This experimental interface will enable multiple users to feel as if 3D virtual objects co-exist in real space, as well as to explore them interactively using cheap passive projection surfaces (plexiglas or even paper).

Coupling our Vision Chip system with a source of structured light we can also acquire the shape of a deformable screen in real time [see ref. 2], thus enabling the definition of arbitrarily shaped "cutting surfaces" (in this sense, this project extend the goal of the Khronos Projector interface). The ARToolkit markers also serve as buttons setting different interaction modes.

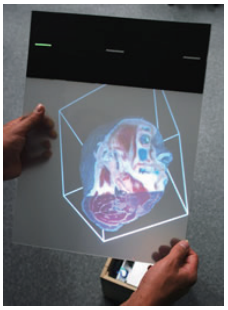




Old system using vision chip



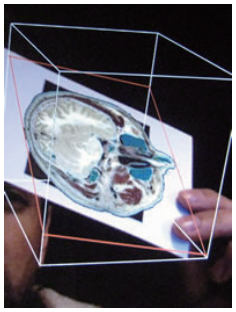
System using markers



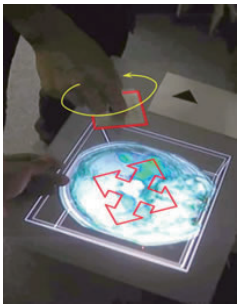
volume visualization



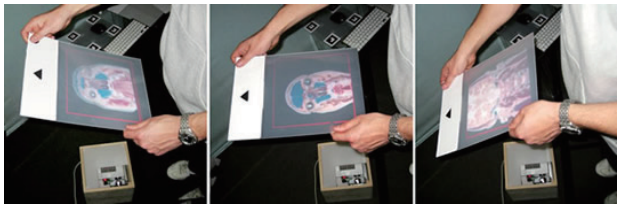
3d annotation



running without a projector



zooming using physical widgets



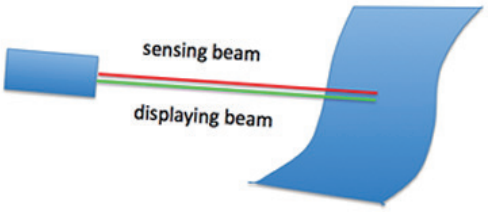
5.17 スマートレーザープロジェクター：カメラレス センシングディスプレイシステム
A "sensing display" based on a cameraless Smart Laser Projector

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。

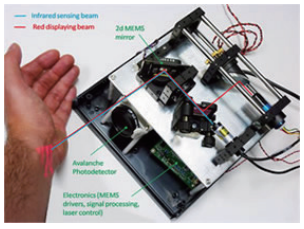
- 医療分野（皮膚科学：皮膚表面付近の静脈を強調して描画すること、癌細胞によって誘発される特異な偏光を皮膚表面に可視化すること）
- 非破壊コントロール（微細な傷、油分の付着した箇所、機械的な圧力の可視化）
- セキュリティー（個人認証：蛍光灯環境下における紫外線や赤外線の透かしの可視化）
- 様々な表面（テーブル、壁、床、人肌、印刷物、絵画、陳列された商品等）へのプロジェクションを可能とする、全ての種類の AR アプリケーション



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.

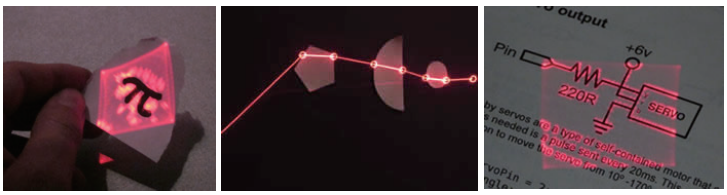
Applications of the SLP may include dermatology (enhancement of superficial veins or direct visualization of anomalous polarization induced by cancerous cells), non-destructive control (visualization of microscopic scratches, oily spots or mechanical stress), authentication (visualization of non-fluorescent 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 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
The Haptic Radar / Extended Skin Project





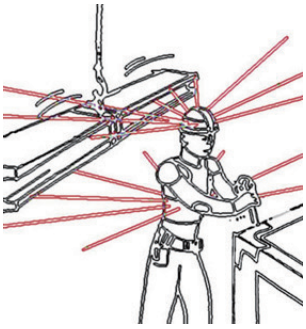
我々は，空間情報を触覚情報に変換することで，ユーザが直感的かつ自然に反応できる装着型モジュールデバイスを開発している．

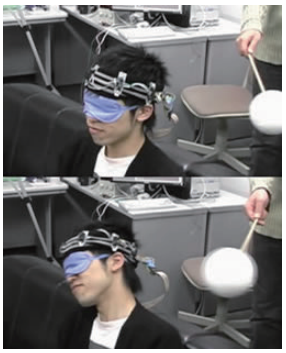
このシステムは，アレイ状の「光学的な触角モジュール」が皮膚上に並べてあり，個々のモジュールは距離情報を感知する．そして感知した情報は振動の強弱に変換されモジュール直下の皮膚に提示される．このセンサシステムは，人が，微生物の繊毛，昆虫の触角や哺乳類の髭のように，皮膚と直接接していない対象に触れた感覚を得ることを可能にするものである．

将来，このモジュールインターフェイスは，肌全体，あるいは体表面全体を覆い，あたかも２枚目の皮膚となり人間の触感覚の機能を拡張することができるようになるだろう．この種のセンサは，特に障害のない道筋を見つけたり，衝突を回避したりといったタスクにおいて既存の視触覚変換システムより優れていると我々は考えている．このインターフェイスが対象とするアプリケーションには，視力障害者のための視覚補助，危険な作業環境での空間認知補助，車の運転手のためのわかりやすい知覚拡張（この場合，拡張された肌のセンサは車の表面全体を覆う）がある．

つまり，ここで我々が提案しているのは，人工的，着用型，光ベースの髪（または触角）である．実際の髪の毛に相当する物は，見えないレーザビームである．

近い将来，MOEMS技術を用いれば，チップ上に集積化された，皮膚に埋め込み可能な物を開発できる可能性がある．このMOEMS技術を用いることに関して，我々は スマートレーザスキャナ のフレームワークで一定の成果を上げている．最初のプロトタイプである頭部装着型は，装着者の360°の空間認知を可能にするものであり，原理実験で非常に良好な結果を得ている．

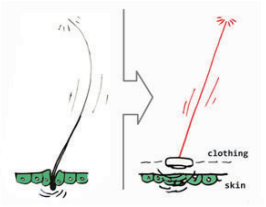


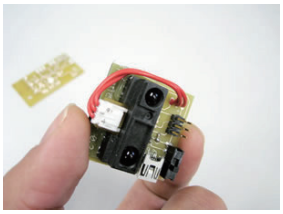
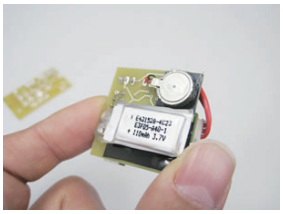


We are developing a wearable and modular device allowing users to perceive and respond to spatial information using haptic cues in an intuitive and unobtrusive way. The system is composed of an array of "optical-hair modules", each of which senses range information and transduces it as an appropriate vibro-tactile cue on the skin directly beneath it (the module can be embedded on clothes or strapped to body parts as in the figures below). An analogy for our artificial sensory system in the animal world would be the cellular cilia, insect antennae, as well as the specialized sensory hairs of mammalian whiskers. In the future, this modular interface may cover precise skin regions or be distributed in over the entire body surface and then function as a double-skin with enhanced and tunable sensing capabilities. We speculate that for a particular category of tasks (such as clear path finding and collision avoidance), the efficiency of this type of sensory transduction may be greater than what can be expected from more classical vision-to-tactile substitution systems. Among the targeted applications of this interface are visual prosthetics for the blind, augmentation of spatial awareness in hazardous working environments, as well as enhanced obstacle awareness for car drivers (in this case the extended-skin sensors may cover the surface of the car).

In a word, what we are proposing here is to build artificial, wearable, light-based hairs (or antennae, see figures below). The actual hair stem will be an invisible, steerable laser beam. In the near future, we may be able to create on-chip, skin-implantable whiskers using MOEMS technology. Results in a similar direction have been already achieved in the framework of the smart laser scanner project in our lab. Our first prototype (in the shape of a haptic headband) uses of-the-shelf components (arduino microcontroller and sharp IR rangefinders), and provides the wearer with 360 degrees of spatial awareness. It had very positive reviews in our proof-of-principle experiments, including a test on fifthy real blind people (results yet to publish).





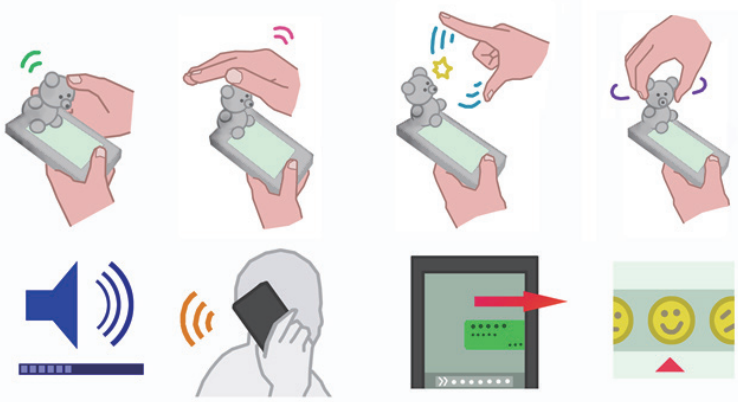
5.19 スマートフォンの拡張操作を行う、変形可能物体の一般的な製作手法に関する研究
Generic Method for Crafting Deformable Interfaces to Physically Augment Smartphones

昨今タブレットPCやスマートフォンなど、平面で且つ固形のタッチスクリーン型インタフェースが溢れる情報社会となっており、産業界でも触ることが可能な3次元インタフェースを取り扱う機運が熟してきているといえる。これには2つの理由がある。1つ目は触覚的なフィードバックがないながらも、スクリーンの上もしくは下でユーザーのジェスチャーを、安価に視覚的フィードバック可能となってきたことによる。2つ目は3次元プリンターに関連する産業やエンドユーザーの可能性として、スクリーン上のアイコンのレイアウトをカスタマイズするだけでなく、ユーザー自身の物理的なインタフェースを自分自身の手で作り出せることになったことによるものと思われる。大量生産され、画一化されたスマートフォンは、ユーザーの手によって形の拡張がなされ、自分だけのものとして再定義可能である。

変形可能な入出力インタフェースを作るために、一般的な任意のデザインされた形状に対する製作及びセンシング手法の概略をここで紹介していく。本プロジェクトのゴールは、物理的な拡張タブレットPCやスマートフォンに対して非侵襲且つミニマルな手法を見つけることである。まず、変形可能な物体をフロントもしくは背面カメラの上に乗せる。この際、物体はスマートフォンのカバーと一体化していてもよく、また、この物体の内部が部分的に透明であることで、物体中を伝わる光は全反射を起こし、ユーザーが物体を握っているのか撫でているのかなど、異なるジェスチャーを認識が可能となる。機械学習アルゴリズムは、任意にデザインされた物体の形状や変形を判定し、今まで到達し得なかった次元で、ユーザー自身のオリジナルな物理的インタフェースを生み出す。

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.

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. By putting a deformable object over the front or rear camera - this 'object' can be part of the smartphone case itself - and by making the inside of the object partially transparent, the complex light reflections 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.



5.20 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
Invoked Computing: spatial audio and video AR invoked through miming

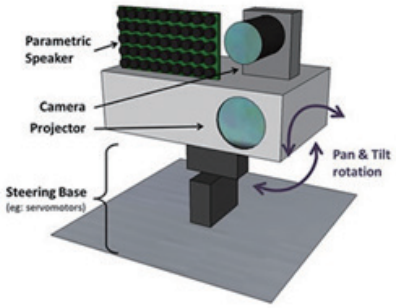


普段使っているモノがそのまま拡張され、人間と直接インタラクションをとれるようになることは、人間の本来持つ能力を伸ばすヒューマンコンピューターインタフェースへの第一歩である。Rich Goldは過去にユビキタスコンピューティングのことを「魔法にかけられた村」に例えている(R. Gold, “This is not a pipe.” Commun. ACM 36, July 1993.)。そこでは、人々は普段使っている(インタフェースとして機能している)モノから隠されたアフォーダンスを見つけ出してゆく。このプロジェクトでは我々はRich Goldの説とは逆の方向からアプローチする。ここでは、ユビキタスシステムは人が取る行動によって提示された行動を発見し、それに応じたアフォーダンスを提供する。ここでの人が取る行動とは、普段使っているモノをつかって何かの動作をまねる一連の流れをさす。まねることで、ユビキタスシステムの環境が、共通のAR技術を利用して実在するモノの機能を拡張させ、環境を統合できる。例えば、バナナをもって耳に近づける動作。マイクと部屋のなかの見えないところに設置されたパラメトリックスピーカとを通して実在するバナナに現実世界の受話器の機能をその場で与えることができる。

言い換えれば、“invokd computing”プロジェクトの狙いは、普段つかっているモノが、その場でコンピュータインタフェースになったり、コミュニケーションデバイスに変わったりするようなマルチモーダルなARシステムを開発することだと言える。動作を試してもらうことで、アプリケーションが起動する。システムは提示されたアフォーダンスを理解し、AR技術を通して提示された機能を具現化する。(例えば、ノートPCの機能を起動するにはユーザはピザの箱をあけて軽く表面を叩いてあげればよいといったものがあげられる。)我々はみな普段使っているモノを音や映像で拡張してゆくことに興味がある。

Direct interaction with everyday objects augmented with artificial affordances may be an approach to HCI capable of leveraging natural human capabilities. Rich Gold described in the past ubiquitous computing as an "enchanted village" in which people discover hidden affordances in everyday objects that act as "human interface "prompt[s]" (R. Gold, "This is not a pipe." Commun. ACM 36, July 1993.). In this project we explore the reverse scenario: a ubiquitous intelligence capable of discovering and instantiating affordances suggested by human beings (as mimicked actions and scenarios involving objects and drawings). Miming will prompt the ubiquitous computing environment to "condense" on the real object, by supplementing it with artificial affordances through common AR techniques. An example: taking a banana and bringing it closer to the ear. The gesture is clear enough: directional microphones and parametric speakers hidden in the room would make the banana function as a real handset on the spot.

In other words, the aim of the "invoked computing" project is to develop a multi-modal AR system able to turn everyday objects into computer interfaces / communication devices on the spot. To "invoke" an application, the user just needs to mimic a specific scenario. The system will try to recognize the suggested affordance and instantiate the represented function through AR techniques (another example: to invoke a laptop computer, the user could take a pizza box, open it and "tape" on its surface). We are interested here on developing a multi-modal AR system able to augment objects with video as well as sound using this interaction paradigm.





5.21 Virtual Haptic Radar: 存在しないものを感じるシステム
Virtual Haptic Radar: touching ghosts

Virtual Haptic Radar は、CG を後から合成する仮想的なスタジオにおいて、見えない仮想物体の存在を役者に伝えるためのウェアラブルデバイスである。本デバイスは、Haptic Radar を、バーチャルリアリティ空間で利用するための拡張システムである。Haptic Radar は振動素子と実在の障害物に対する距離を測るレンジファインダから構成されているが、Virtual Haptic Radar はレンジファインダの代わりに超音波型の位置測定システムを備えている。これは、スタジオ内の相対位置を測るためのもので

ある。同モジュールは、現在の仮想シーンに対する簡単な3次元マップをワイヤレスに取得することができる。仮想物体との距離が近いことを検出した場合には、振動素子がユーザにその距離を伝える。

このような仮想スタジオでのトラッキングシステムは、次の要求仕様を満たす必要がある。(1)それぞれのモジュールは室内での自己位置を、他のモジュールと独立して、分散的に取得する必要がある。(2)スケーラビリティの点から安価である必要がある。(3)各モジュールは役者を撮影するカメラに対して不可視である必要がある。(4)モジュール間の干渉が起こらない構成である必要がある。

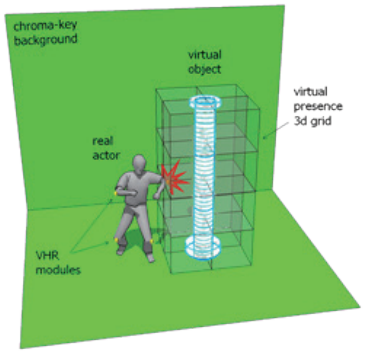
このような要求を満たす構成として、例えば、Prakash [Raskar and al. 2007]のような光学式のシステムが考えられるが、複雑性を避けるために、超音波方式のカスタムシステムを採用した。開発したプロトタイプは、2から8個の15msごとに信号を出力する超音波モジュールから構成されている。受信機は到達時間の違いから自己位置を計測し、適切な振動の強度を計算するマイクロコントローラで構成されており、衣服の下に装着される。検証の結果、このような安価なシステムを用いて、4m×4m程度の空間における仮想物体の障害物回避に成功した。位置精度の向上が今後の課題である。

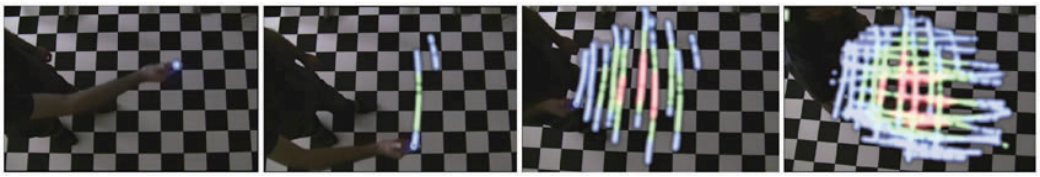
The Virtual Haptic Radar (VHR) is a wearable device helping actors become aware of the presence of invisible virtual objects in their path when evolving in a virtual studio (such as a "bluescreen" filming stage). The VHR is a natural extension of the Haptic Radar (HR) and its principle in the realm of virtual reality. While each module of the HR had a small vibrator and a rangefinder to measure distance to real obstacles, the VHR module lacks the rangefinder but accommodates instead a (cheap) ultrasound-based indoor positioning system that gives it the ability to know exactly where it is situated relatively to an external frame of reference. Each module maintains a simplified 3d map of the current virtual scene that can be updated wirelessly. If the module founds that its own position is inside the force field of a virtual object, it will vibrate.

It is important to understand that the requirements for our tracking system are fundamentally different from that of traditional (optical or magnetic based) mo-cap systems: (1) each VHR module must know its own position in the room, independently from the others and without the need for a centralized computer; (2) the tracker must be inexpensive in order to enable scalability; (3) the modules must be invisible to the cameras (in particular, they should not emit or reflect visible light); and (4) interference should be minimal or inexistent if one wants tens of modules to work simultaneously (this puts aside most non-sophisticated magnetic trackers).

With these considerations in mind, we first considered optical based methods such as Prakash [Raskar and al. 2007], which have been shown to satisfy all these constraints. However, we eventually preferred to develop a custom system based on ultrasonic triangulation and radio synchronization (the main reason for this choice being avoiding a complexity of the spatio-temporal structured optical beacon). Our prototype simply consists on 2 to 8 ultrasonic beacons emitting bursts every 15ms. A radio signal synchronizes receivers with the start of an ultrasound sequence. The receivers, concealed under the clothing, contain a micro-controller that computes the difference of arrival times, triangulates its own position and determines the adequate level of vibration. We successfully demonstrated this cheap solution for virtual object collision avoidance in a plane about 4x4 meters wide.

Future work will aim to decrease directivity of the ultrasonic beams which was shown to limits the range of movements of the user as well as improving the triangulation algorithm in order to compute height.





5.22 箱の中の自己 (boxedEgo): 自分をのぞき見るメディアアート
boxedEgo: an experimental stereoscopic & autoscopic display



BoxedEgo（箱の中のエゴ）は自己の為の二重の罠である。展覧会を訪れた鑑賞者は、まず展示室の隅に置かれたピープショー（見せ物箱）と鑑賞者自身に好奇心をそそられることになる。のぞき穴をのぞくと、一見その箱には何も含まれていないかの様に見えるが、鑑賞者が言葉を発したり、息をすると、その箱は人間という餌食を見つけ出し、彼らを箱の中に引きずり込んでしまう。その事によって、鑑賞者を鑑賞される対象へと変化させることになる。箱の中に閉じ込められた鑑賞者は徐々に三次元の小人として現れるが、ライブストリーミングの遅延を利用する事によって鑑賞者は当初他者を見ているかの様な錯覚に陥る。鑑賞者が静止すると、イルージョンは終わりを迎え、その箱は徐々に、無限に連なる隠れた空間から餌食を追い出して空になっていく。Boxed Ego は多数の映写技術的視覚効果を合わせる事で、不思議な体外離脱体験を創造する事を目的としている。（ステレオスコープ、

ジオラマ、ピープショー、ペッパーズゴースト）研究の観点から考察すると、この作品は脳科学の視点からみる小視症による人口遅延を用いた自己像幻視の閾を探る実験として捉えることが出来るだろう。

二つのステレオカメラは四角い見せ物箱のある小さな台の上に向けて設置され、カメラから撮影されたライブビデオは箱の中にある二つの小さなディスプレイから上映されている。（箱に付いている二つの穴は立体鏡眼鏡と言える。）現実空間に分離して設置されたニつのビデオカメラ（目と目）の間の距離は実際の目と目の間の距離の約10倍に設定されている為、鑑賞者は１０分の１に縮小された展示場の中にいる同じく縮小された自己を見る事が出来る。これはハイパーステレオ効果を使った物である。（カメラとカメラの間隔を、人間の眼の間隔よりも遠くして、肉眼では知覚できない奥行感を作り出す）箱の中の角に確実に適合する誤った三次元の角はLCDを元にしたステレオペア（視差が生じるような2枚の画像を左右に並べたステレオグラム）によりもたらされ、特殊なレンズ／プリズムによって右の眼のバージェンス（双眼視のために必要とされる反対の方向の両方の目の同時動き）を生む事が出来た。



BoxedEgo is a double trap for the Self. A peep-show box waiting in a corner of the exhibition space first captures the curiosity of the observer - and then the observer himself. The box appears empty; however, if the observer talks or breathes, the box readily detects this human prey and traps it in its interior, effectively transforming the observer into its own object of observation. Indeed, a dwarfed, truly three-dimensional version of the observer (peering inside an even smaller box!) will slowly materialize inside the box (a short delay is introduced in the otherwise live video stream, so that for a very brief moment the observer may think he/she is seeing someone else). If the observer stays still, the illusion will come to an end and the box will gradually empty itself, expelling its human prey from a suggested infinite nested chain of boxed spaces. BoxedEgo seeks to combine several pre-cinematographic techniques in order to create a magical out-of-body experience (stereoscope, diorama, peep-show box and synthetic pepper ghost effect). From the research perspective, this work can be seen as a preliminary experiment on the cognitive (and possible practical) aspects of time-delayed artificial autoscopy/heautoscopy with micropsia (see [1]).

Two stereo cameras are aimed towards a small platform on a corner of the exhibition space over which sits the cubic peep-show box; the live video from the cameras is fed into two small displays inside the box (the holes of the peep-box are in fact the eyepieces of a live-stereoscope). The separation of the video cameras in real space is set to about ten times the real inter-ocular distance, so the viewer will see a ten times scaled-down version of himself, inside an equally miniaturized exhibition space (hyperstereo effect). False three-dimensional corners (from pre-recorded footage or synthetized by the computer) that exactly match the real corner of the box are generated through an LCD based stereo-pair and a special lens/prism is used to produce the right eye vergence.



5.23 パララックス・オーギュメンティッド・ディスプレー
Parallax Augmented Desktop (PAD)

本研究の目的は、2次元ディスプレー上でより広い範囲を扱うことができる簡単な空間的操作を実現することにある．この方法は、立方体を表示する際に、スクリーンでは隠れた面、すなわち他の５つの面まで表示し、アプリケーションの操作ができるようにするものである．このような方法によって、自然で効果的なインタラクションが実現できる．ユーザーの頭部位置はカメラによって測定し、立方体の各面は回転し投影された形で表現される．

画像は3次元ではないが、ユーザーの頭部位置に基づき正確に計算された仮想的なパララックスを用いて、仮想的な3次元空間を産み出すことができる．それを用いることで、通常のＧＵＩの環境の上でも、アイコンを選んだり、ウィンドウを空けたり閉じたりといった操作を簡素化することが可能となる．

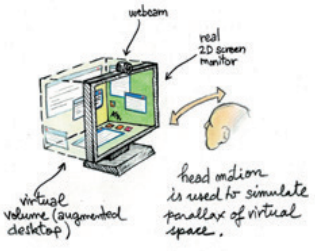
直感的で訓練の必要のないパララックス・オーギュメンティッド・デスクトップを試作し、遠く離れた情報を得ることに対して、通常のマウスによるスクローリングよりも高いパフォーマンスを得ることを示した．

The goal of this project is to exploit a simple spatial metaphor to simulate a much larger desktop area on a two-dimensional displaying screen. The metaphor consist on considering the actual displaying screen as the face of a cube that extends behind the screen (see figure below). The user is then able to see the other five faces of the cube (from the inside), and can place icons and organize applications over its faces. The interaction method is designed in such a way as to naturally and powerfully evoque the metaphor described above: the user head is continuously tracked by a webcam on top of the screen, and the virtual cube is rotated and projected on the screen creating the illusion of a real cube right behind the screen.

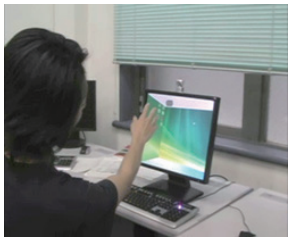
Even though the image is not in 3D, when fine tunned, the adequate simulation of virtual parallax with respect to the motion of the user's head creates a compelling illusion of a virtual three-dimensional space. We hypothesized that we could take advantage of this illusion in order to simplify the task of selecting icons,

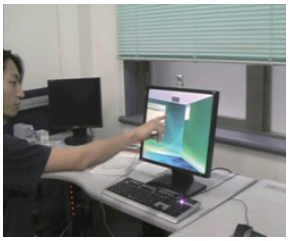
closing and opening active windows as well as organizing information windows on a conventional Graphical User Interface environment.

Our first usability test was encouraging, as it showed that the use of the Parallax Augmented Desktop is very intuitive (training is not needed at all), and actually performs better (in terms of speed) than scrolling the mouse in order to get information on the far right or left of the screen.





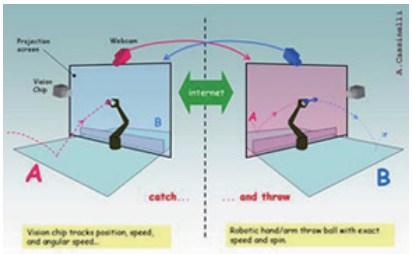




5.24 テレピンポン：IT を用いたワームホールの検証実験
Tele-ping pong: proof-of-principle of an IT-engineered wormhole

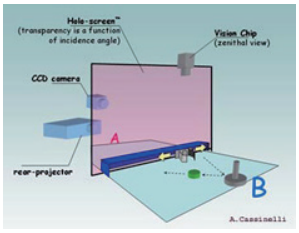
満渕研究室と 下条研究室の協力を得て、ロボットベースの遠隔現実感システムを開発した [1]．このシステムは、ユーザーが 遠くにある対象物を認知し触れ合うことを可能にするもので、先進的な遠隔現実感システムである．このプロジェクトでは、この成果を用い、物理的な対象物に対してインターネットを通した遠隔操作をシミュレートする人工的なワームホールのようなシステムへレベルアップを図ろうとしている．物理的対象のすべての構造がインターネットを通して伝達できるのであれば、遠隔地ではその情報に基づいて対象物を再構成できるはずである．このことは、SF のテレポーテーションに近いものとなる．今回、離れたところでピンポン球を遠隔操作してピンポンを行うシステムを構築した．高速トラッキングにはビジョンチップ [2] を用い、ピンポン玉の状態（位置、速度、回転 [4]）を測定し、投球／キャッチロボット [5] で用いた高速ロボットを用いることにより、双方でピンポン球を操作できるようになる．

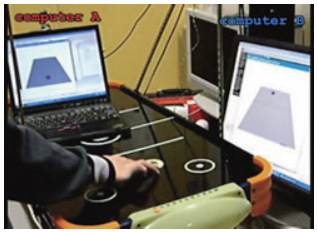
研究室で既に開発済みの ビジョンチップベースのエアホッケーシステム [3] を用いてプロトタイプシステムを開発し、実証実験を行った．現在、これを改良して、電磁的なキャッチャーと発射装置に高速のリニアアクチュエータを用いることで、正確な運動を再現するシステムを設計している [6]．伝達時間遅れは避けようがないが、発射のタイミングは予測を導入して補償し、実際のキャッチの前にデータを送ることが可能である．

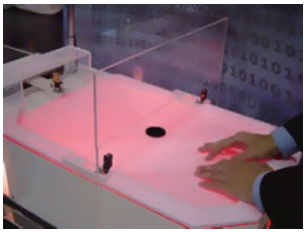


Robotic-based tele-existence has been studied in our lab in collaboration with Mabuchi Lab and Shimojo Lab [1]. This was an advanced form of tele-presence allowing the user to feel and interact with object at a distance. With this project we try to bring the experience to the next level by simulating the teleportation of a physical object through internet, thus creating an artificial (IT-engineered!) gravitational wormwhole. One can argue that, if all the structural information of a physical object could be transmitted through internet, and then on the other side a machine could exactly reconstructs the object based on this information (very much like "total fax" machine), this would be, if not exactly the same, something very close to SF-teleportation. We then set ourselves to simulate the teleportation of a ping-pong ball in a ping-pong game where the users are very far away from each other. Thanks to vision-chip based high-speed tracking [2], we can acquire in real time all the parameters of the relevant phase space of the ball (namely, its position, speed and spin [4]). Then, using high-speed and high-precision robotic arms such as the one used in our catching/throwing experiments [5], one can in principle catch the ball on one side, and throw another ball on the other side - with copied, identical dynamical parameters.

A prototype system was developed and successfully demonstrated in two dimensions, taking advantage of the research already done in our lab on a vision chip-based air-hockey system [3]. This configuration (namely a tele-air hockey system) was discussed in 2005 with a researcher in Australia who then went on developing a very similar system but without real transmission of the puck momentum, nevertheless demonstrating the thrilling possibilities of social interaction generated by physical games at a distance. We are now designing an electromagnetic catcher/ launcher mounted on a high-speed linear motor (THK GLM10) to exactly reproduce the momentum of the puck [6]. The delay for transmission is incompressible (not a real gravitational wormhole!), but the robot launching-time (i.e. setting the linear motor to the right speed/position) can be compensated by predicting the projectile trajectory and sending this data before the actual ball is caught in front of the screen.







5.25 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 Laserinne

この研究のゴールは、スキー場の斜面全体をインタラクティブなディスプレイに変えてしまうことであり、スキーヤーの動きに合わせて雪上に絵が描かれていくことでもある。本研究ではレーザープロジェクションを用いることで、一ヶ所の投影機から、様々な距離におけるでこぼこした表面に絵が描かれていく（通常のプロジェクターでは難しい）。さらに、高いコントラストのイメージを投影することで、雪は優れた投影面となる。また、いくつかのインタラクションのシナリオは既に検討されている。

- 仮想スキーヤー
- 仮想障害物
- スキーヤーへの情報呈示（競争者のスコア、動きの軌跡、スピードの表示等）
- 安全な場所の境界線
- 初心者用と上級者用のトラック
- リアルタイムにネットワーク化された体験
- 異なる場所
- 大陸間のスキー斜面からのスキーヤーのシルエットの投影等

本研究は、ラプランド大学とベルリン芸術大学と東京大学の共同研究であり、直近のゴールを、2011 FIS アルペンスキーワールドカップにおいて、本システムを稼働させることに定めている。

本システムは通常のカメラトラッキングとカメラプロジェクターキャリブレーションを組み合わせており（カメラはステレオのペアか、既知の地形上にいるスキーヤーのトラッキング用カメラ１つを用いる）、レーザーセンシングディスプレイの理論的枠組みは我々の研究室で研究されてきた。後者の技術は、キャリブレーションのフェーズ無しの配置で簡単に、最小のフィードバック遅延でリアルタイムのインタラクションを可能とする。本システムは、情報学的なものからエンターテイメント的なものまで（観客やスキーヤー自身のため、スコアや安全圏、危険な障害物の喚起等）、いくらかの可能なインタラクションのシナリオを容易に実現させ、雪上斜面における新しい形での競争や体験を提供していくことを目指す。（雪上のみならず、あらゆる種類の平面での適用が考えられる：サッカー、テニス、遊び場、クライミングウォール、卓球台、普通の道 等）





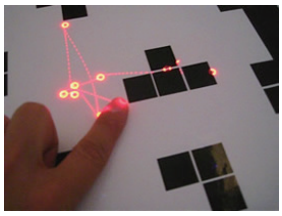
The goal of the project is to transform a whole ski slope into an interactive display, where (laser) graphics are drawn in response to the skiers' motion. Using laser projection, common in large scale audio visual shows, the graphics can be drawn from a single location onto an uneven surface in varying distance (something impossible to attain with standard projectors). Moreover, snow provides an excellent projection surface, giving high contrast imagery. Various interaction scenarios are being explored, including interaction with virtual skiers and virtual obstacles, annotation (competition scores, motion trails, speed display, etc), demarcation of safety perimeters and tracks for novices and skilled skiers, as well as real-time networked experiences (e.g. projection of skiers silhouettes from a ski slope in a different continent, etc). This is a collaborative project between the University of Lapland, the Berlin University of the Arts and the University of Tokyo, and the immediate goal is to showcase the system during the 2011 FIS Alpine Ski World Cup.

The system combines standard camera tracking and camera-projector calibration (stereo pair or single camera for tracking skiers on a slope with known topography), as well as the laser sensing-display paradigm being studied in our lab - the latter enables real-time interaction with minimum feedback delay as well as easy deployment without the need of a calibration phase. All this facilitates numerous possible interaction scenarios ranging from informative to playful (for the audience and for the skiers themselves - including scores, secure perimeters, notification of dangerous obstacles in real time), to new forms of competitions and experiences on the slopes (and eventually on all kind of playgrounds regardless of the scale and shape - such as football or tennis, playgrounds, climbing walls, ping-pong tables, or just the street).



5.26 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
Sticky Light: interacting with a beam of pure light





レーザーによるスポットライトが、紙に描かれた模様で跳ね、模様の囲いから飛び出そうとします。このシステムにはカメラやプロジェクタがいっさい使われていません。Sticky Lightでは、ユーザーはレーザーで映し出された点にそのまま触れ、インタラクションすることができます。だから、素手でピンポンだってできちゃうんです。このようにスポットライトの性質や柔軟な動きを通じて、他では味わえない体験が創出されます。Sticky Lightの基盤技術には、１つのレーザーダイオード、１組のステアリングミラー、１つのフォトディテクタからなる〝smart laser scanner〟と呼ばれる技術を用いています。〝smart laser scanner〟は2003年に我々の研究室で開発された３次元トラッキングシステムです。（詳細はこちら）スムーズに、柔軟に動きつつトラッキングを行うための十分な解像度をもった画像センサーや、光源がついたカメラやプロジェクタが既存のものになかったため、ハードウェアも独自のものを用いています。（レーザーの電源は0.5mW以下であり、あまり強力でないレーザーポインタの半分程度なので危険性は低くなっています）探索範囲にインタラクション対象がない場合は、レーザードットが指、手、図形などの物体を探索するまで探索範囲を広げてゆきます。この探索のプロセスが端から見ていて愛らしいくなるように設計されているため、ユーザとスポットライトとの間に自然とインタラクションが生じるようになっています。

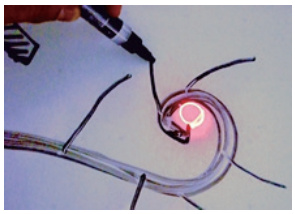
インスタレーションとしてみると、このシステムで一番興味深い点は、紙に描かれた絵画の鑑賞する際に、照明が潜在的に絵画の見方の手がかりとなっていることです。自然光も人工光も基本的に我々が見たいものをいつも必ず照らし出してくれます。本システムではスポットライトの性質、また位置と角度によって描かれたものの知覚のされ方が変化します。実際のところ、光源自体は消極的な動作をしている訳ではありません。知覚された作品と、概念のレベルでインタラクションし見方を変化させているのです。このインスタレーションでは、次のような効果が特徴的です。描かれたものとの間へ、新たなインタラクションの方法を提示する。描かれたものを読み取り、その輪郭を辿ったり色の違いで跳ねたりすることでその絵画を拡張する。絵画の上を動くことで、スッポトライトは視聴者の注意を惹き付ける。つまるところ、我々はレーザー光によって動的に生成された経路で絵画を見てしまうわけなんです。

HCIの研究としてみれば、（現状では既にMEMSマイクロミラーを用いて非常に小型化されている）このシステムを用いて、デザイン、広告、拡張現実アーキテクチャ、エンタテイメント、HCI、ユビキタスコンピューティング、（もうすぐ実現されるであろう）身近なものとインタラクションできるようにするウェアラブルディスプレイなど、非常に多様な分野においてアプリケーションが提示できることが挙げられます。



A laser spot bounces on a figure being drawn on paper, trying to escape the labyrinth of lines. There is no camera nor projector; Sticky Light proposes an experience where the audience can touch and interact with a beam of pure light - and even play a pong game with bare hands. The quality of the laser light, and the fluidity of the motion makes for a very unique experience. The piece is based upon a 3d tracking technology developed in our lab in 2003, using a laser diode, a pair of steering mirrors, and a single non-imaging photodetector called the "smart laser scanner" (for details, see here). 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 laser power is less than half a milliwatt - half the power of a not very powerful laser pointer - and does not supposes any hazard). When alone, the laser dot perform enlarging spirals until it finds some objet of interest with which to play (fingers, hands, drawings, etc). A dialog then establishes naturally between the user and the spot of light - whose wanderings seems always playful and purposeful.

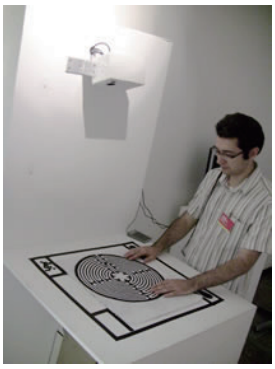
As an art installation, the most interesting aspect of the work is that it promotes a reflection on the role of light as a passive substance used for contemplating a painting or a drawing. Natural light, or an artificial spot of light is always necessary to illuminate what we want to see; the quality of the light, the position and angle will modify the perception of a painting. In fact, the source of light is not really passive: it interacts and modifies the perceived work in an essential way. The installation amplifies such effect: it gives the light spot new ways of

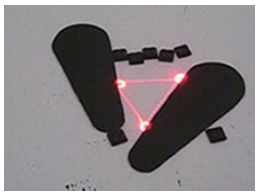


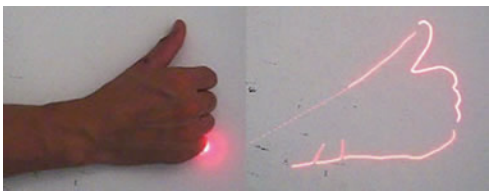


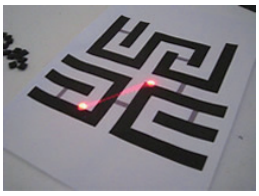
interacting with the painting; it augments its content by scanning the drawing, following the lines and bouncing on the colors. By moving on the drawing, the light spot attracts the attention of the viewer. It actually forces our sight to follow the dynamic path taken by the light.

From the point of view of HCI research, this system (which is now being miniaturized using MEMS micromirrors) will certainly find a number of applications in domains as varied as design and advertisement, augmented/live architecture, entertainment, human computer interfaces, ubiquitous, (and in the near future) wearable displays capable of interacting with their immediate surrounding.





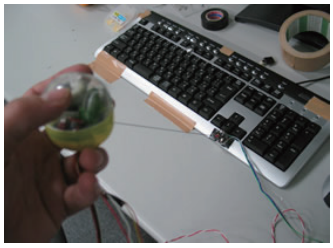




5.27 触覚フィードバックを用いた引き込み式３次元マウス
3D retractable mouse with haptic feedback

触覚フィードバックが可能な入力デバイスとして、机、衣服等、様々な所に取り付け可能な引き込み式の3次元マウスを提案、試作した．このシステムは我々が以前に提案した光ヘアモジュールに基づき、レーザーの代わりに手先部分と基部との間を物理的に繋いだ上で触覚フィードバック機能を付加したものである．2軸のポテンショメーターにより引き込み可能なコードの2軸の方位角を計測すると同時に、手先部分にはロータリーエンコーダーによってコードの長さを測ることにより、3次元の位置及び速度を精度良くリアルタイムに検出している．また、マウスやトラックパッドのような従来の方法との比較を行った．その結果、2次元のカーソルの制御においても、引き込み式のコードを調節することで、速やかに対応が出来ることが示された．このシステムは、基部のないシステムに拡張でき、両手で操作することによりジェスチャー認識にも適用可能である．

ロータリーエンコーダー、モーターによる振動子、プッシュボタン、多色LEDが手先部分に組み込まれている．現実点では引き込み可能なコードと信号線は別のものであるが、将来は一体化する予定である．この装置により入力されたデータはジェスチャー認識や仮想オブジェクトの操作等で利用できる．

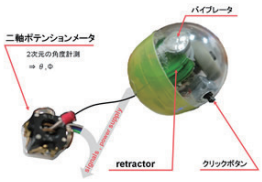


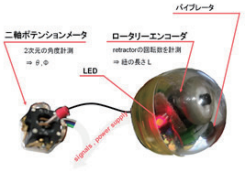
We propose and demonstrate a retractable 3d tracking device that can be attached to any surface (desk, clothing, or another wearable electronic device) for use as an input interface providing haptic feedback. The system is based on "optical hair module" idea proposed earlier in our research (see smart laser scanner) but instead of a laser, it relies on a physical link between a reference base and a graspable extremity, and thus is capable of haptic feedback. A two axis potentiometer forms the base and records azimuth and elevation of the retractable cord (we also tried with two-axis isometric force sensor), while a rotary encoder embedded on the mobile part continuously measures elongation, thus achieving precise 3D measurements in real time. We investigated pointing accuracy and pointing speed by fitting the parameters of Fitt's law and steering law [], and compared the device performances with that of more traditional interfaces such as the mouse and trackpad. An interesting feature of this system for controlling a 2d cursor is the ability to swiftly (and smoothly) trade cursor speed for accuracy by simply modifying the length of the retractable cord. The system was also tried on a base-less configuration, where each extremity is hold in a different hand, thus providing fast or slow cursor displacement depending on which hand is performing the gesture.

A rotary encoder, a motor vibrator, push buttons and a multi-colored LED was embedded on the case containing the retractable keychain spring. (Presently, the retractable cord and the signal wires run separately, but we plan to use a conductor cable that would have this double function.) While 3D data recorded by this device can be used for gesture recognition or virtual object manipulation in a CAD environment as with the smart laser scanner, this research brings many interesting issues of its own. We also plan to put a speaker and a microphone in the case, so that the device could be coupled with a mobile phone - that would never leave the pocket! - and used alternatively as a microphone, speaker and annotation device.







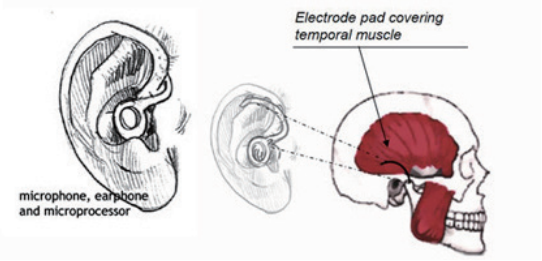


5.28 Earlids: 筋電センシングによる聴覚情報制御
Earlids: voluntary control of auditory gain by contraction of mastication muscles

EARLIDSは聴覚機能をコントロールする半自律的な装着型デバイスだ。このデバイスは〝耳のまつげ〟というべき機能を備えている。通常、まつげは素早く、無意識的に動いて繊細な目という感覚器官を保護する。EARLIDSはこれを耳に対して行う。外見は普通のヘッドフォンに見えるが、覆われて見えない耳の中の部分では筋電電極が咬筋と側頭筋の収縮をセンシングしており、筋肉の伸び縮みに応じて左右の音を大きくしたり小さくしたりすることができる。この装置のアプリケーションは幅広くあると考えている。例えば、シンプルなハンズフリーなイヤホンとして使うこともできる。特に、クラブのDJのような音の大小が激しい環境に有効だろう。また、個人個人に応じて、可能な限り非常にきめ細かい音響効果を提供することもできるようになるだろう。

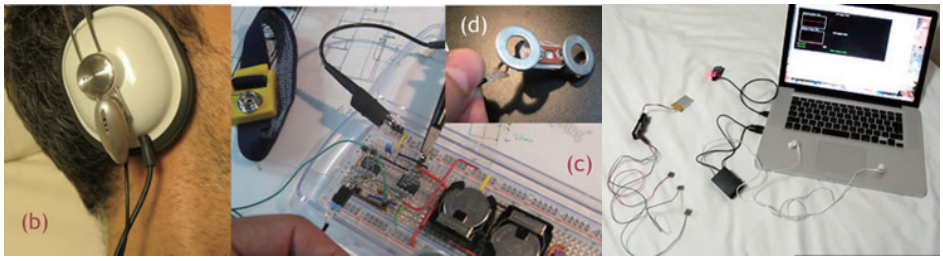
初代プロトタイプの概要は以下の通りだ。まず、耳をすっぽりと覆うヘッドフォンにより、環境からユーザへの音の殆どは遮断される。一方で、左右両方のヘッドフォン付近にあるマイクでは音を拾い、MAX/MSPパッチへ入力する。このパッチは、INA128アンプを拡張した筋電検知器からの出力を制御信号として利用しており、マイクからユーザへの入力の大きさを制御していた。二代目プロトタイプでは、ノイズキャンセル機能をもった小型インカムを利用しており、初代と比較して一層耳と一体化したデバイスになった。(とはいえ、現状ではインカムデバイスはデータを無線でノートパソコンに飛ばしていて、未だに制御などの処理はノートパソコン側で行っている。)

二台目プロトタイプで利用しているワイヤレス筋電センサは真鍋大渡、照岡正樹両氏の提供していただきました。御二方の御好意に深く感謝します。(このセンサに関する詳細はTEI2010の〝BodyHack〟をご参照ください。)



EARLIDS is a wearable device enabling the semi-voluntary control of auditory gain. Artificial "earlids" represent to the ears what natural eyelids are to the eyes: a fast and efficient reflex mechanism for protecting delicate sensory organs. Externally, the device presents itself as an ordinary pair of closed headphones, but hidden under each ear-cup we find EMG electrodes that monitor the contraction of the temporal and masseter muscles. When they contract or relax (consciously or unconsciously), the external sound being picked by binaural microphones placed on each side of the head will be greatly attenuated - or greatly amplified depending on the mode of operation. Applications may range from instant hearing protection without requiring the use of hands (in particular for people having to work at the boundary of environments with notably different sound levels such as night clubs), to the generation of highly personal acoustic experiences rendered possible by the manipulation of the environmental acoustic material.

In a first prototype, sound is first blocked almost completely by circumaural (ear-cup) headphones; sound is picked by bin-aural microphones and fed to a MAX/MSP patch on a laptop computer. The patch modulates the gain before redirecting the sound stream towards the headphones, using as a control signal the output of a custom made EMG detector based on an INA128 instrumentation amplifier. A second prototype was built using noise canceling ear-buds, coming closer to in-ear 'earlids' (but the processing was done wirelessly on a laptop computer - bottom/right image). This second prototype was made using a wireless myoelectric sensor graciously provided by Daito Manabe and designed by Masaki Teruoka (for more information on this, check "BodyHack" workshop at TEI2010).



5.29 ハプティカー：ハプティックレーダーの自動車への応用
HaptiKar



この研究はハプティックレーダープロジェクトを拡張及び補完した研究といえる。ハプティックレーダーの研究目標は、見えない障害物に対する個人の空間知を、体の外側に向けて拡張された敏感な「光の触角」で、拡げることにあり、目で見えない領域に対しても視覚が拡張されることにあった。本ハプティカーシステムの実験装置は、センサーを表面に載せた車と、体にアクチュエイターを付けた運転手から成る。この方法で、運転手は車の周りにあるものを感じることが出来る。たとえば、車からの死角に潜む障害物の存在を、頭の後ろ側にあるアクチュエイターからの不快な刺激によって感知することが可能となる。

右の図はハプティカーのインタラクションモデルであり、新しいセンサー・モーターループを表す。車の表面の距離センサーは障害物を検知することに用いられ、その情報は、必要なときには自動的にハンドルを切ることに役立つ（右の図における下側の経路）。また、距離情報によって運転手の頭の周囲に配置された小さなモーター振動子が動き出し、運転手が車内にいるときのみならず、遠隔操作する際にも車にいる感覚で操作することを可能とする。（右の図における上側の経路）

我々はこのコンセプトの下、２００９年にラジコンカーの制作及び展示を行った。運転手はミニチュアカーの周囲の様子を、ウェアラブルのヘッドセットに付けられたモーター振動子を通じて、コンピューターの制御画面の前にいる限り、空間知の拡張として〝感じる〟ことが可能である。また、車には小さなカメラが実装されており、運転手の正面のコンピューターでライブビデオストリーミングを見ることが出来る。こうした機器構成は、本物の運転環境をハプティカーによって模倣しているといえる。（視触覚情報の一体化の実現）

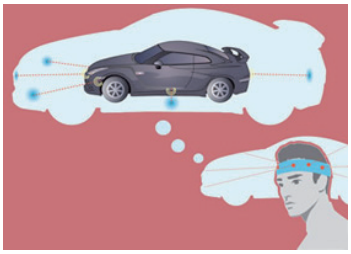


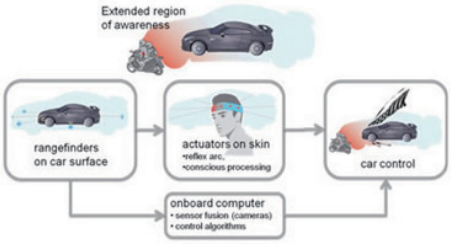
This research extends and complements the Haptic Radar project. The goal of the Haptic Radar was to augment an individual spatial awareness through a set of invisible, sensitive "light hairs" that extended the body outwards, and into regions not directly not covered by the eyes. The HaptiKar experiment consist on placing the sensors over the surface of a car, while mantaining the actuators over the body of the driver. This way, the driver would feel the surrounding of the car: obstacles on the car blind spots, proximity of the cars behind as "annoying" pressure on the back of the head, etc.

The figure on the right represents some new sensory-motors loops emerging on the haptic-radar car configuration: rangefinders over the surface of the car are used to sense obstacles, and this information is used to automatically steer the car when necessary (lower path in the diagram) and also to activate small motor vibrators placed around the head of the driver - which in turn can control the car through a remote control (upper path of the diagram).

We demonstrated this concept using a reduced RC (radiocontrolled) model car in 2009; the driver was able to "feel" the extended region of awareness around the miniature car through haptic cues (motor vibrators on a wearable headband) while seating in front of a computer console. Data from and to the car was sent wirelessly. A tiny camera was also embedded on the car, and the live video stream was sent to a portable computer in front of the "driver". This configuration would then mimick certain aspects of real driving with the Haptikar (combined visual and tactile information).





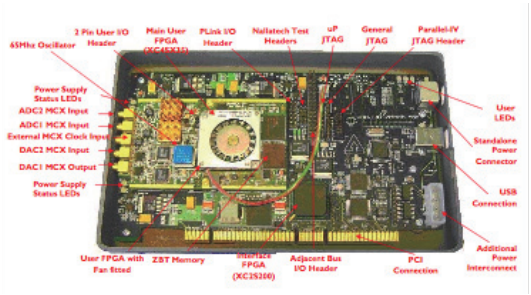


5.30 ChAff: 韻律的な情報によるリアルタイム会話分析
ChAff

ロボットの不手際でミーティングが中断されることを想像してみる．この邪魔によって話者は，ロボットに怒り，口頭で激しい非難を浴びせる．ではさらに，ロボットが謝り，その行動を改めることを想像してみよう．このシナリオを実現するために，ChAffプロジェクトのゴールは韻律的な情報によってリアルタイムに会話を分類するFPGAをデザインすることである．

現在取り組んでいるのは，韻律に関する特徴に基づいたアプローチである．リアルタイム会話分析のシミュレーション結果から，我々は目的に適ったアルゴリズムを見つけることができる．シミュレーションが終わったら，会話分析アルゴリズムをレジスタトランスファレベル(RTL)記述に論理合成し，FPGA上で動作させる．

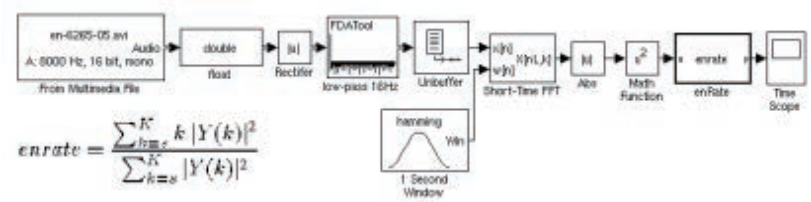
現在，このシステムは会話速度(毎秒)，ピッチ(基本的には速度)や音量(デシベル) をリアルタイムに計算している．将来的には，速度・ピッチ・音量の空間における軌跡の分類を進めるつもりである．



Imagine a robot clumsily interrupts a meeting. This disturbance causes the speaker to vocally and angrily chastise the robot's behavior. Further imagine that the robot was able to react by apologizing and changing its behavior. To realize this scenario, the goal of the ChAff project is to design an FPGA to classify speech in real-time according to prosodic information.

The approach taken is to build upon existing features related to prosody. By performing simulations of real-time speech analysis we are able to find algorithms that are expedient. Following simulation, register transfer level representations of the prosody classifications are synthesized and run on a FPGA.

Currently, the system computes real-time estimates of speaking rate (syllables per second), pitch (fundamental frequency), and loudness (in dB). Future work centers on classifying the resulting trajectories in rate-pitch-loudness space.



5.31 Roboethics: ロボット倫理学
Roboethics

ロボット倫理学とは、ロボット分野に適用された倫理哲学である。ロボット倫理学に関する研究は２つのカテゴリーに分けることができる。

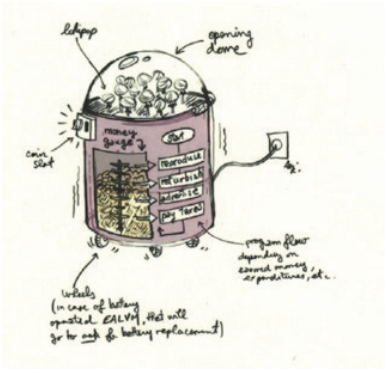
1.ロボットを社会に導入するための倫理的な検討
2.ロボットを含めた倫理の発展

SF作家はロボットが普及した社会を描いてきたが、ロボットとの関わり合いが強くなる一方で、複雑さを持った数々の問題は未だ解決されていない。哲学者やガイドライン立案者、ロボット開発者は現在、ロボットの行動を統治するための規範(文化的、法律的、ソフトウェア上の)を確立しようとしている。

Roboethics is the application of ethical philosophy to domain of robotics. Research in Roboethics can be crudely split into two categories.

1.Ethical considerations that arise with robots as they are introduced into society.
2.Development of ethics for robots

While science fiction writers have attempted to depict society in which robots are pervasive, many complex and increasingly relevant questions remain unanswered about robots. Philosophers, policy makers, and robotic designers are now actively working to establish codes (cultural, legal, and software) to govern the behavior of robots.



5.32 メタ倫理学
Dimensional Metaethics

Dimensional Metaethicsは，あるシステムについて「何が良いことか」を，多くの違う社会的な評価軸に関連付けて評価する行為のことである．この行為では最初に，システムのデザイナー達がシステムのデザインや役割に関係すると彼らが考える，違った評価軸を記述することを推進する．この次に，デザイナーはこれらの評価軸に沿った評価値について彼らが置いている仮定をリストする．最後に，デザイナーは，これらの仮定を変更し，その結果として倫理的な許容度がどのように変化するのかを推測，もしくは計測することを要求される．

Dimensional metaethics is a procedure that sees "what is good" about a system as related to the value of a number of different social dimensions. As such, it first advocates that designers of systems describe different dimensions that they think are relevant to their system's design and use. The next step is then for the designers to list their assumptions about values along these dimensions. Lastly designers are asked to vary these assumptions and to speculate or (even better) to observe the resulting changes in ethical acceptability.

5.33 Boo-Hooray: 倫理に関する記述の識別，分析手法
Boo-Hooray

「言語・真理・論理」(A. J. Ayer)は道徳的判断や説教，もしくは記述は真偽を問えるものではなく，単なる感情的記述であるという点で驚くべき立場にあると言える．彼の議論は論理実証主義的な立場を支持するものであり，コンピュータシステムが言葉の倫理的な側面(善悪)を認識するための新たな手法を示唆している．すなわち，感情表現は，隠喩的な群衆の倫理的な反応による「ブーイング」または「賞賛」になぞらえることができる．

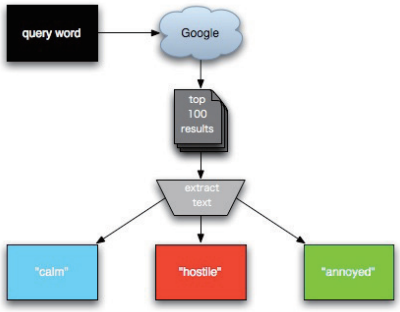
この論文では，与えられた単語を検索し，検索結果の文章中にある単語を「ブーイング」と「賞賛」とに分類する単純な自然言語処理システムを示している．単語の分類では，Cowie et alによって集められた感情的言葉のリストや，WhisselやPlutchikによる言葉の位置付けの記録を利用している．このシステムでは，ユーザが選択する言葉に対し，感情的な得点を割り当てるためのこうした言葉のリストや，サーチエンジンを用いている．

本研究のオリジナリティは，計算機が原文の検索要求を倫理的に評価する初歩的な手法の提示にある．

Boo-hoorayは，倫理に関する記述の識別，分析手法を追求するシステムの例である．これは，哲学的実験または，倫理の性質に関して批判と討議が起こり得る人為的結果、つまり話の種として捉えるべきものである．

In Language, Truth, and Logic Ayer took the surprising position that ethical judgments, exhortations, and descriptions are neither true nor false, but are emotive statements. While his argumentation was in support of the logical positivist position, it suggests a novel method for computational systems to recognize utterances regarding ethics. Namely, expressions of emotion can be likened to "boos" or "hoorays" issued from a metaphorical crowd in moral response. This paper presents a simple natural language processing system that searches for terms and categorizes the text accompanying these terms as a "boo" or "hooray," making use of a list of emotional terms compiled by Cowie et al. and orientations recorded by Whissel and Plutchik. The system uses this bag-of- words and a search engine to assign emotive scores to terms of the user's choosing. The contribution of this work is a primitive technique for computers to ethically evaluate textual queries.

Boo-hooray is presented as an example of a system which explores a method for identification and analysis of statements regarding ethics. The system should viewed as a philosophical experiment or conversation piece, an artifact around which criticism and debate regarding the nature of ethics can take place.



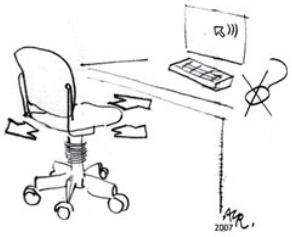
5.34 努力してしまうインターフェイス：マウスチェア
A restless interface: the Mouse Chair

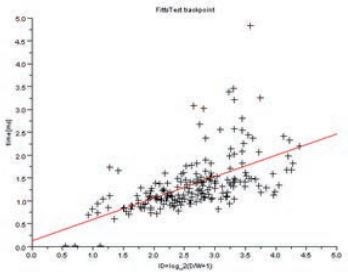
マウスチェアは〝restless-interface〟と呼んでいるインターフェイスのプロトタイプである。このコンセプトでは、オフィス環境で作業するユーザーに対して、無意識下で努力するように働きかけるインターフェイスを目指している。はっきりとした警告を行うことなく、長時間の姿勢の悪さが引き起こす健康問題の緩和を手助けするなど、〝restless-interface〟は〝exertion interface〟とは大きく異なるコンセプトである。〝Restless〟という言葉は僅かな不自由から起こる無意識下の動きを表しており、〝restless-interface〟はユーザーに必要なときに働きかけ、凝り固まった姿勢を解きほぐすことができる。

マウスチェアは〝restless-interface〟のプロトタイプであり、椅子に設置されたロードセルと加速度計で計測されるユーザーの姿勢が、画面上のカーソルの動きに反映されるようになっている。ポインティングデバイスとしての有用性は小さいものの、このシステムは姿勢の悪さを検出し、カーソルをかすかにずらすことでユーザーに正しい姿勢を促すことができる。

The "mouse-chair" is a prototype of what we would call a "restless-interfaces". The goal of such kind of interface is to challenge, in a way as subtle as possible, the passive attitude of the computer user in an office environment (the interface forces her/him to efectively rest less). This may help mitigate health problems induced by a day-long bad musculoskeletal posture (e.g. carpal syndrome, scoliosis, etc.) without prompting the user to explicitly exert any physical effort (this constitutes a significant difference between a “restless interface", and an “exertion interface”). “Restless” conveys here the idea of uncontrolled motion - motion that is under the threshold of consciousness, motion that is the result of some subtle anxiety or discomfort (that can presumably be introduced in a controlled fashion). A restless interface make the user restless only when necessary, thus protecting her from the harmful consequences of a completely static posture.

The prototype introduced here is a chair fitted with sensors (load cells, accelerometers) so that the whole body posture is used to interfere with the movement of the mouse cursor. After calibration, the system is capable of detecting bad static postures, and produce a subtle feedback which does not interfere with the workflow: the cursor will drift if the person is not sitting up-right in a neutral position. It is important to note that even if the usability tests forces us to discard the use of the chair as the pointing mechanism itself, it is always possible to use the information gathered by the chair to interfere with the mouse (by creating subtle drifts that presumably the user will compensate unconsciously by correcting the body posture).





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 moddel) 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

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 イメージコントロール／ Dynamic Image Control

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 Image Control 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 Image Control 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ー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 ／ 3D HUD

ヘッドアップディスプレイ（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.

システムビジョンデザイン／System Vision Design

ビジョン アーキテクチャ／ Vision Architecture

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. ビジョンアーキテクチャは, 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.

Vision Architecture 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 Vision Architecture 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 Elemnt) 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 (flame 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, 対象が多数の微少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, ヒューマンインター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イ／ 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イの設計においては, 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, ディスプレイ技術, 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ーフェイ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 ディスプレイ／ 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 ディスプレイ／ Interactive Display

従来のディスプレイは, 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, ディスプレイではなく, 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イは, 人間の意思や意図をディスプレイ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. ディスプレイに直接入力することは, ディスプレイ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ーフェイスが実現される. 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イを実現している.

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. ヒューマンインターフェイスの設計では, いかに自己受容性を実現するかが一つの指標となり, インターフェイ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

ヒューマンインターフェイスにおいて, 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, ヒューマンインターフェイ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 ディスプレイ／ Deformable Display

一般的な映像ディスプレイは, 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イ環境に､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次元ユーザインターフェースとして全く新しいインターフェイ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.

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

- 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ド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)
- 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, 丁憲勇, 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カ制御の学習, 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

- 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

- 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 ー見えないスピードで動くロボットの実現ー , 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

学会発表/Proceedings

- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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, 2016.3.16) /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, 2016.3.15) /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: 高速ビジョン及び力・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

センサフュージョン 和文 ／ Sensor Fusion Japanese

- 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
- 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
- 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
- 黄守仁, Bergstrom 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, Bergstrom 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
- ペ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
- 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
- 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, 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, 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
- 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

センサフュージョン 和文 / Sensor Fusion Japanese

- 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
- 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 -荷重分布中心位置を用いたすべり方向の検出-, 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
- 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 (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 (東京, 2011.9.7) /予稿集, 1E1-1
- Niklas Bergstrom, 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 (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

センサフュージョン 和文 ／ Sensor Fusion Japanese

- 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回ロボット学会学術講演会 (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回ロボット学会学術講演会 (名古屋, 2010.9.22) ／予稿集, 1O3-6
- 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回ロボット学会学術講演会 (名古屋, 2010.9.23) ／予稿集, 2O1-5
- 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回ロボット学会学術講演会 (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-C2
- 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
- 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

センサフュージョン 和文 / Sensor Fusion Japanese

- 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

センサフュージョン 和文 ／ Sensor Fusion Japanese

- 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
- 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'06 (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

センサフュージョン 和文 / Sensor Fusion Japanese

- 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
- 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, (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-G2
- 下条誠, 金森克彦, 明愛国, 金森哉吏, 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, (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, 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, (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, 2003.5.25) / 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, 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-，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-，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, 金森哉吏, 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-，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, 金森哉吏, 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'02 (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'02 (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'02 (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'01 (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'01 (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'00講演会 (2000) ／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
- 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，日本機械学会ロボット・メカトロニクス' 98講演会 (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，日本機械学会ロボット・メカトロニクス' 98講演会 (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'97 (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，ロボティクス・メカトロニクス講演会'96 (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，ロボティクス・メカトロニクス講演会'96 (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カ制御の学習, 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]
- 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]
- 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]
- 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, 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 Bergstrom, 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, Member, IEEE, 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)
- 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

- 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, 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)

学会発表／Proceedings

- 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, 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 Bergstrom, 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 Bergstrom, 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 Bergstrom, 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.45-48

- 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
- 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 Multi-sensor 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

- 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)
- 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)
- 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

- 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

- 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イメージコントロール，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イメージコントロール，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, 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
- 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
- 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
- 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：ダイナミックイメージコントロール，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-O05
- 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-O06
- 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

学会発表／Proceedings

- 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

- 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

- 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)

招待講演／Invited Talks

- 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

- 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)
- 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
- 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)
- 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 Manipulation Method with Dielectric Elastomer, A Novel Precise Laser Manipulation Method with Dielectric Elastomer (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 Bergstrom, 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 for Computer Vision, 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2010) (Anchorage, 2010.5.5)/Proceedings, pp.2643-2648
- 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, 759407□E□E-011
- 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

- 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)
- 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: ピークルと画像処理, ピークル (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

- 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：超並列ビジョンアーキテクチャ, 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

- 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回光通信無進歩シウム (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), Vision Engineering Workshop 2013 (ViEW 2013) ビジョン技術の実利用ワークショップ (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―ビジュアルフィードバックの新展開―(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

- 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)
- 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)

学会発表／Proceedings

- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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 (PRMU2012-188) (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，精密工学会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 ［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

システム ビジョン デザイン 和文 ／ System Vision Design Japanese

- 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-I)，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

- 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 2015 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 2015 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

- 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)
- 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

- 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)

学会発表／ Proceedings

- 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), (Shiga, 2015.12.11)/Proceedings, pp.1064-1065 [Best Presentation 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)/ADVANCED 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 Image Control, Vision Architecture, 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 Image Control and Visual Feedback (Invited), The 2011 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials (SSDM2011) (Nagoya, 2011.9.28)/Extended Abstracts, pp.1027-1028
- 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(MVA2007) (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

- 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, 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)

解説論文／Review Papers

- 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

- 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

- 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
- 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

- 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, Issue 25, 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

- 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
- Avaro 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, 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 2018 (Denver, 2018.3.5)/Proceedings of SPIE
- 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)
- 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 techniques for outgoing laser beam design using two galvos, 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

- 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-Ⅱ), 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-Ⅱ)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-Ⅱ)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

招待講演／Invited Talks

- 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: 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力に (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, N0.1547, 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

- 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)

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1.1μm3,300 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: 高速動画を利用した手の運動方向検出とトラッキング, 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.324-327
- 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.20-2
- 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

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　89	登録者数　5,587人	動画の再生回数　861万回	（2018.5.7 現在）
Uploaded Videos: 89	Subscribers: 5,587	Video Views: over 8,618,000	(2018.5.7)

研究室 / Laboratory

1. 研究成果の概要
   Recognition and Behavior in Smart Systems
2. 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
3. ダイナミック知能システムの研究
   Dynamic Intelligent Systems Based on 1 kHz Vision System
4. 超高速ロボットの研究
   Ultra High-speed Robot Based on 1 kHz Vision System
5. 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. 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
2. 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
3. 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
4. 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
5. 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
6. 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
7. 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
8. 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
9. 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
10. 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
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: 3rd version
12. 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
13. 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
14. 超高速ロボットの研究
    Ultra High-speed Robot Based on 1 kHz Vision System
15. 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
16. 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

17 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 -

18 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

19 多関節マニピュレータを用いた高速打撃動作
Batting Motion

20 高速多指ハンドを用いた動的保持動作
High-speed Dribbling

21 軽量高速多指ハンドシステム
High-speed Hand

22 「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

23 「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

24 高速運動中の微小物体把持
3D catching with tweezers

25 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

26 高速多指ハンドを用いた高速ペン回し
Pen Spinning

27 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

28 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

29 高速多指ハンドを用いた柔軟紐の片手結び
Knotting of a Rope

30 高速多指ハンド , 高速視覚を用いた道具操り
Grasping with Tweezers

31 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

32 高速打撃動作におけるボール制御
Directional Hitting

33 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 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

2 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

3 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

4 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

5 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

6 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

7 大口径可変焦点レンズ
Optics revolution: variable focus lens with large aperture

8 1ms オートパン・チルト
1ms Auto Pan-Tilt; Yo-yo version

9 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.

10 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

11 1ms オートパン・チルト
1ms Auto Pan-Tilt for perfect recentering

12 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

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 Quality Video-shooting System for Dynamic Sport Games by Super-speed Tracking

14 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

15 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)".

16 ホヤ精子の高速トラッキング
High-speed visual tracking of a swimming ascidian spermatozoa

17 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 DynaFlash v2 とポストリアリティ
DynaFlash v2 and Post Reality

2 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

3 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

4 ビジョンチップの歴史
History of Vision Chip at Ishikawa Watanabe Laboratory

5 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

6 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

7 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

8 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

9 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

10 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

11 高速ロールカメラ
High-Speed Image Rotator for Blur-Canceling Roll Camera

12 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

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 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

15 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

16 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

17 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

18 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

19 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

20 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

21 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

22 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 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

2 VibroTracker: 振動触覚共有システム
VibroTracker; Tele-Vibration by Visual Target Tracking and Vibration Measurement (Revised Video)

3 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

4 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

5 VibroTracker: 振動触覚共有システム
VibroTracker: You can feel vibrations of moving objects

6 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

7 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

8 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

9 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"

10 3 次元データの能動的表示 (Volume Slicing Display)
Volume Slicing Display

11 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

12 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

13 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

14 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

15 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

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
Markerless Smart Laser Tracking for HCI

17 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

研究用標準高速動画／ SHIP-v
Services for High-speed Image Processing - Videos

概要・目的／Summary

高速画像処理技術は，従来の画像処理が対応できていなかった，高速のフレームレートで画像情報を活用しようとするものです．従来の画像処理では，高速の対象を処理しようとすると，対象のダイナミクスをカバーできていないフレームレートでは，取得した画像情報だけでは対象のダイナミクスを完全に把握することができないため，不足する情報を補うために，予測，推測，学習，広範囲の探索等の複雑なアルゴリズムを用いることが多く，このことが画像処理の高速化を難しくするという問題がありました．一方，我々の研究室で推進している高速画像処理では，必要なダイナミクスをカバーするフレームレートでの撮像・処理を前提とするため，処理アルゴリズムが簡素化し，高速の処理の実現が容易で，多くの新しい応用を開拓しています．

今後,高速画像処理はますます魅力的な研究分野となると考えられるので，関連研究の推進を図るべく，研究に必要となる高速動画サンプルを手軽に利用できるように，研究用標準高速動画データベース SHIP-v (Services for High-speed Image Processing - Videos) を立ち上げました．高速動画撮影用のカメラをお持ちでない研究者の方でも，容易に高速画像処理の研究を始められるように，必要となる各種データを添えた研究用高速動画を提供しサポートすることで，広く高速画像処理研究に活用していただくことを目的としております．また，共通の動画を研究者の方々に使用していただくことにより，新しい高速動画処理アルゴリズムのベンチマークとして役立つことも，併せて目的としております．

高速画像処理の応用分野は幅広いので，今後，様々な場面を想定した高速動画を追加していく予定ですし，動画の種類の追加希望などにも可能な限り対応していく所存です．また，将来の撮像機器の性能の向上に対しても，より高性能な機材を用いた動画の更新に対応していく予定です．

なお,SHIP-vには，ジェスチャーの高速動画が多く含まれておりますが，これは昨今ジェスチャー認識を利用したアプリケーションの開発が進んでいることが背景にあります．しかしながら，現状では，アプリケーションによって，あるいは開発主体によって，ジェスチャーとそれに対応した操作の意味が異なっていることがあり，ジェスチャーの意味が定まらないことでジェスチャー認識を用いたアプリケーションの進展が妨げられる可能性があります．それを防ぐため，この標準高速動画プロジェクトでは，ジェスチャー認識の意味づけについて広くご意見をいただき，どのようなジェスチャが適しているかをまとめるきっかけにしたいと考えております．

High-speed image processing technology allows us to take advantage of information from high-frame-rate video, something that traditional technology cannot do. At low frame rates, it is impossible to completely capture the dynamics of high-speed objects using image information obtained from processing those objects with traditional image processing technology. Therefore, complex algorithms (prediction, calculation, learning and wide searching) are often used to make up for shortage in information, but with this approach, it is difficult to speed up the image processing. On the other hand, with the high-speed image processing technology being developed in our laboratory, we can acquire and process images at a frame rate that is high enough to capture the necessary dynamics. In addition, high-speed image processing simplifies the processing algorithms, makes high-speed processing easy, and will pave the way to a number of new applications.

We believe that research on high-speed image processing will become increasingly important. Therefore, we set up SHIP-v (Services for High-speed Image Processing – Videos) for encouraging the development of related work , so that researchers can easily use sample high-speed videos needed for their research. Our aim in developing SHIP-vis to allow researchers to engage in high-speed image processing research with the support offered by high-speed videos and associated necessary data that we make available , so that even researchers who do not have cameras capable of acquiring high-speed video can begin to investigate high-speed image processing without difficulty. Another benefit of SHIP-v is that it helps researchers by setting benchmarks for new high-speed image processing algorithms by using a common set of videos.

High-speed image processing has a wide range of applications, and therefore, we are going to add new high-speed videos for various situations in the future. Please give us your ideas about the kinds of videos you want. Also, we are planning to update the videos to replace them with videos taken with higher-spec equipment as better cameras become available in the future.

Meanwhile, SHIP-v includes many high-frame-rate videos of gestures. The reason for this is that the number of applications that take advantage of gesture recognition has been on the increase in recent years. However, in this situation, there are differences between gestures and the meanings of the corresponding operations, depending on the applications or developers. Uncertain meanings have the potential to nip the progress of applications that use gesture recognition. Therefore, in this project, we would like to obtain diverse feedback from you about creating meanings for recognized gestures, and we hope to use SHIP-vas an opportunity to collect suitable gestures.

動画の例／Sample Videos


腕主体ジェスチャー
arm gestures


腕主体ジェスチャー
arm gestures


指主体ジェスチャー
finger gestures


指主体ジェスチャー
finger gestures


指+腕ジェスチャー
finger and arm gestures


３次元対象物
3D objects


３次元対象物
3D objects


マルチターゲット
multiple targets

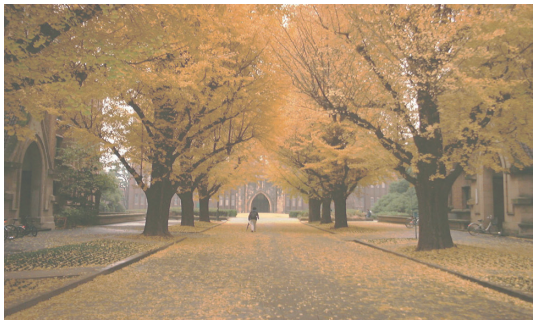

マルチターゲット
multiple targets


アクティブビジョン画像
active-vision


車の走行動画
running car


剛体の回転運動
rolling movement of rigid body

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)

受章（1件）／ Awards from International Academic Society (1)

2011 The Finkelstein Medal, Institute of Measurement and Control (InstMC) (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）（19件）
／Awards from Academic Society (Domestic) (19)

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, 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）

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, 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）（25件）
／ Awards from non-Academic Society (Domestic) (25)

2018年 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 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）

2018 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）（10件）／Awards from Division of Academic Society (Domestic) (10)

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, 丁憙勇, 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）

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）（4件）／ Fellow from Academic Society (Domestic) (4)

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）

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・国際会議論文賞等（37件）／Best Paper Awards of International Journal or Conference (37)

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 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）（19件）
／Awards for Young Researcher from Academic Society (Domestic) (19)

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）

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（34件）／ Best Paper Awards of Domestic Conference (34)

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 （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

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）

2018 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)
- 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, Third 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

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（1件）／ Awards to Related Persons (1)

2018年 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 Recommended Work by Review Committee, Art Division of Japan Media Arts Festival (Nobumichi Asai, Eiji Tanigawa, and Aya Bambi)

学内（7件）／ University of Tokyo (7)

2017年 情報理工学系研究科 研究科長賞（システム情報学専攻博士課程　宮下令央）

- 情報理工学系研究科 研究科長賞（システム情報学専攻修士課程　吉田貴寿）

2016年 情報理工学系研究科 研究科長賞（システム情報学専攻修士課程　安井雅彦）

2014年 情報理工学系研究科 研究科長賞（創造情報学専攻博士課程　黄守仁）

2013年 情報理工学系研究科 研究科長賞（創造情報学専攻修士課程　ダニエル ヘフェルナン）

2011年 情報理工学系研究科 研究科長賞（システム情報学専攻博士課程　山川雄司）

2008年 情報理工学系研究科 研究科長賞（創造情報学専攻修士課程　寺嶋一浩）

2017 Dean's Award, Graduate School of Information Science and Technology (Department of Information Physics and Computing, Doctor Course) (Leo Miyashita)

- Dean's Award, Graduate School of Information Science and Technology (Department of Information Physics and Computing, Master Course) (Takatoshi Yoshida)

2016 Dean's Award, Graduate School of Information Science and Technology (Department of Information Physics and Computing, Master Course) (Masahiko Yasui)

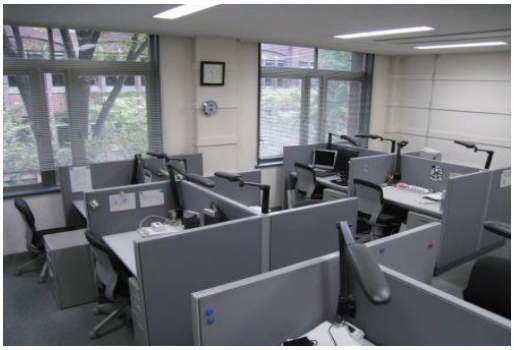
2014 Dean's Award, Graduate School of Information Science and Technology (Department of Creative Informatics, Doctor Course) (Shouren Huang)

2013 Dean's Award, Graduate School of Information Science and Technology (Department of Creative Informatics, Master Course) (Daniel Heffernan)

2011 Dean's Award, Graduate School of Information Science and Technology (Department of Information Physics and Computing, Doctor Course) (Yuji Yamakawa)

2008 Dean's Award, Graduate School of Information Science and Technology (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

講師　妹尾 拓

助教　深山 理， 早川 智彦

特任助教
金 賢梧， 末石 智大， 宮下 令央， 小山 佳祐
王 立輝， 黄 守仁， 平野 正浩

客員研究員
JST ACCEL PM　岸 則政
知財プロデューサ　熊澤 金也
東工大 准教授　渡辺 義浩

プロジェクトメンバ　生産研講師　山川 雄司

特任研究員　角 博文， 宮地 力， 下条 誠， 石川 安則

学術支援職員（研究スタッフ）
望戸 雄史， 村上 健一， 蛭間 友香， 鍾 雯婷

大学院生（博士課程）
渡辺 省吾， 田畑 智志， 胡 云普， 石川 貴彦， 安井 雅彦

大学院生（修士課程）
横山 欧十郎， 遠藤 宣明， 門脇 拓也， 新田 暢， 肥後 亮佑
井倉 幹大， 池田 遼， 伊藤 遼， 木村 洋太， 久保田 祐貴
島田 史也， 田中 敬， 中根 悠， 西薗 良太， 三河 祐梨

外国人特別研究学生等
イヴァン ズドラブコブ
アラブ アルヴィン， アビトボール エリ， レチャ カミル
アビ スリーマン クリストフ， ハン デビット，
アロシュ タシテ ロレ パスカル， カテレ フランクリン
ルグラン ロマン

共同研究員
川上 真司， 谷内田 尚司， 小川 拓也， 唐子 征久

学術支援専門職員　佐久間 淳

学術支援職員（事務スタッフ ）
鳥羽 敏樹， 坂本 麗子， 斉藤 由布， 大矢 公枝，
矢嶋 慶子， 重森 逸子， 宮澤 範子

事務補佐員　小黒 恵美

外国人のカタカナ表記は、[First Name] [Middle Name] [Last Name] を原則として、本人の希望の表記を用いています.

Professor　Masatoshi Ishikawa

Assistant Professor / Lecturer　Taku Senoo

Assistant Professor (Research Associate)
Osamu Fukayama, Tomohiko Hayakawa

Project Assistant Professor (Research Associate)
Hyuno Kim, Tomohiro Sueishi, Leo Miyashita, Keisuke Koyama
Lihui Wang, Shouren Huang, Masahiro Hirano

Visiting Researcher
Norimasa Kishi (JST ACCEL Program Manager)
Kinya Kumazawa (Intellectual Property Producer)
Yoshihiro Watanabe (Associate Professor, Tokyo Institute of Technology)

Project Member　Yuji Yamakawa
(Assistant Professor / Lecturer, Institute of Industrial Science)

Project Researcher
Hirofumi Sumi, Chikara Miyaji, Makoto Shimojo, Yasunori Ishikawa

Academic Support Staff (Research Staff)
Yushi Moko, Kenichi Murakami, Yuka Hiruma, Chung, Wen-Ting

Graduate Students
Seigo Watanabe, Satoshi Tabata, Yunpu Hu,
Takahiko Ishikawa, Masahiko Yasui

Ojuro Yokoyama, Noriaki Endo, Takuya Kadowaki
Masashi Nitta, Ryosuke Higo
Mikihiro Ikura, Haruka Ikeda, Ryo Ito, Yohta Kimura
Yuki Kubota, Fumiya Shimada, Satoshi Tanaka
Haruka Nakane, Ryota Nishizono, Yuri Mikawa

Research Students
Ivan Zdravkov
Arhab Alvin, Abitbol Elie, Lechat Camille, Abi Sleiman Christophe,
Huang David, Alechou Tacite Lore Pascale, Cadre Franklin, Legrand Romain

Research Fellows
Shinji Kawakami, Shoji Yachida, Takuya Ogawa, Yukihisa Karako

Academic Support Specialist　Atsushi Sakuma

Academic Support Staff (Support Staff)
Toshiki Toba, Reiko Sakamoto, Yufu Saito, Kimie Oya
Keiko Yajima, Itsuko Shigemori, Noriko Miyazawa

Administrative support staff　Emi Oguro



石川 妹尾 研究室　Ishikawa Senoo Laboratory

東京大学 大学院情報理工学系研究科 システム情報学専攻, 創造情報学専攻
工学部 計数工学科 システム情報工学コース

Department of Information Physics and Computing, Department of Creative Informatics
Graduate School of Information Science and Technology
Department of Mathematical Engineering and Information Physics
Faculty of Engineering
University of Tokyo

住所：〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

Address: Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan

FAX： 教授室・講師室 03-5841-8604, 研究室 03-5841-6952

Prof. Ishikawa and Assistant Prof. Senoo +81-3-5841-8604
other members +81-3-5841-6952

石川教授室：工学部 6号館 2階 251号室（Tel: 03-5841-8602 ／ 03-5841-6935）
妹尾講師室：工学部 6号館 2階 254号室（Tel: 03-5841-6936 ／ 03-5841-8704）

Faculty Members' Room
Prof. Ishikawa: Room No.251, 2nd Floor, Faculty of Engineering Bldg. No.6 (Tel: +81-3-5841-8602)
Assistant Prof. Senoo: Room No.254, 2nd Floor, Faculty of Engineering Bldg. No.6 (Tel: +81-3-5841-8704)

研究室メンバー居室：
工学部 6号館 2階
230号室（Tel: 03-5841-6937） 232号室（Tel: 03-5841-7906） 233号室（Tel: 03-5841-8702）
工学部 6号館 地下
060号室（Tel: 03-5841-0225）

Lab Members' Room
2nd Floor, Faculty of Engineering Bldg. No.6
Room No.230 (Tel: +81-3-5841-6937) Room No.232 (Tel: +81-3-5841-7906) Room No.233 (Tel: +81-3-5841-8702)
1st Basement, Faculty of Engineering Bldg. No.6
Room No.060 (Tel: +81-3-5841-0225)

実験室：
工学部 6号館 地下1階
060号室:SF（Tel: 03-5841-0225） 063号室:SF（Tel: 03-5841-6938） 067号室:DVS（Tel: 03-5841-6939）
工学部 1号館 5階
501号室:PJ（Tel: 03-5841-0226） 503号室:SVD（Tel: 03-5841-8097）
工学部14号館 5階
505号室:AP（Tel: 03-5841-0224） 506号室:PJ

Expelimental Room:
Faculty of Engineering Bldg. No.6, 1st Basement
Room No.060:SF (Tel: +81-3-5841-0225) Room No.063:SF (Tel: +81-3-5841-6938) Room No.067:DVS (Tel: +81-3-5841-6939)
Faculty of Engineering Bldg. No.1, 5th Floor
Room No.501:PJ (Tel: +81-3-5841-0226) Room No.503:SVD (Tel: +81-3-5841-8097)
Faculty of Engineering Bldg. No.14, 5th Floor
Room No.505:AP (Tel: +81-3-5841-0224) Room No.506:PJ

SF：センサフュージョン/Sensor Fusion、DVS：ダイナミックビジョンシステム/Dynamic Vision System
SVD：システムビジョンデザイン/System Vision Design、AP：アクティブパーセプション/Active Perception、PJ：プロジェクト/Project

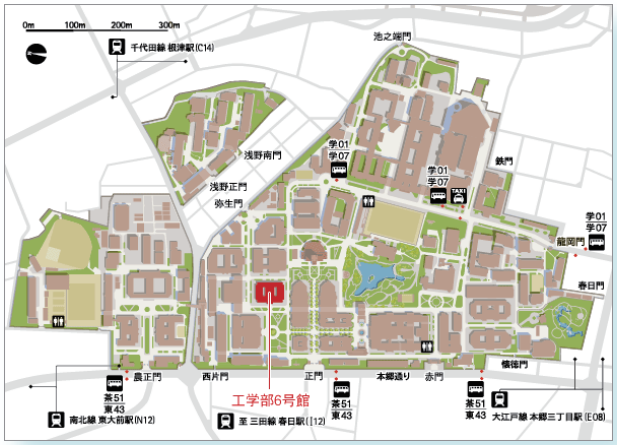
アクセス Access

石川 妹尾 研究室（工学部6号館）へのアクセス方法

- 南北線東大前駅より（所用時間約８分）
「1 番出口」を出て，左に曲がり本郷通りを南下します．東大農学部の正門を左手に見ながら直進し，交番のところで交差点（言問通り）を渡ります．20m ほど直進し，左手の「西片門」より東大キャンパスに入り，工学部６号館へ．
- 千代田線根津駅より（所用時間約 12 分）
「1 番出口」を出てすぐ右側の信号を右折して，言問通りに入ります．坂を上がりきったあと，２番目の信号（Y 字路）を少し戻る方向で左に入ります．坂を下り，右手の「弥生門」から東大キャンパスに入り，工学部６号館へ．
- JR 上野駅、京成上野駅より（所用時間約 22 分）
JR 上野駅「公園口」を出て上野公園を横切るか，不忍口を出て京成上野駅を通り右に回り込んで，不忍池の弁天島に向かいます．弁天島の弁財天を通り抜け，ボート管理棟のところから右方向に池を半周し，池之端交番前の信号で不忍通りを渡って正面の路地に入り，50m 先の突き当たりのすぐ右側にある「池之端門」から東大キャンパスに入り，右手の坂を上り，工学部６号館へ．
- 都営大江戸線 本郷三丁目駅より（所用時間約 12 分）
「３番出口」を出て，右方向すぐの本郷三丁目交差点で左折して本郷通りに入ります．交番の前を通り，本郷通りを約５分ほど直進し，右手の「赤門」から東大キャンパスに入り，工学部６号館へ．または，「４番出口」を出て，右に曲がり 150m ほど直進し，右手の「懐徳門」から東大キャンパスに入り，工学部６号館へ．
- 丸の内線 本郷三丁目駅より（所用時間約 13 分）
「本郷通り方面出口」を出て，つきあたりの本郷通りを左に曲がります．本郷通りを約５分ほど直進し，右手の「赤門」から東大キャンパスに入り，工学部６号館へ．
- 都営三田線春日駅より（所用時間約 15 分）
「A5 出口」を出て 20m 直進し，信号を右に曲がり交差する言問通りに入るか，「A6 出口」を出て右に曲がり言問通りに入ります．言問通り沿いに直進し，菊坂下の信号（三差路）を過ぎて，右側の２本目の路地（急坂）を登ります．この道を直進していくと，本郷通りに付き当たります．正面に見える「正門」から東大キャンパスに入り，工学部６号館へ．

Map and Directions to Our Lab. (Faculty of Engineering Bldg. No.6)

- From Todai-mae Station (Namboku Line)
Take the No.1 exit from the station and turn left onto the main road (Hongo-dori ave.). Go past the first gate. Go straight on at the traffic lights. Walk on for ~200 meters until you reach the Main Gate. Follow the map to Engineering Building Number 6. Walking time: around 8 minutes.
- From Kasuga Station (Mita Line)
Take the A6 exit from the station and turn right onto the road (Kototoi-dori ave.) going away from Hakusan-dori. Walk up to the 3-way junction and continue straight on. Turn right after the telephone box and walk up the hill (narrow street). Continue straight on, through the Y-shaped junction until you reach the traffic lights at the main road (Hongo-dori ave.). The Main Gate is on the opposite side of the road. Follow the map to Engineering Building Number 6. Walking time: around 15 minutes.
- From Nezu Station (Chiyoda Line)
Take the #1 exit from the station and turn right at the traffic lights onto Kototoi-dori. Walk up the hill and take the second street on the left. Walk down the hill until you come to the Yayoi Gate. Follow the map to Engineering Building Number 6. Walking time: around 12 minutes.
- From Hongo-sanchome Station (Marunouchi Line)
Take the "Hongo-dori ave." exit from the station. Turn left at the main road (Hongo-dori) and follow it, going straight through the traffic lights, until you reach the Red Gate or the Main Gate of University of Tokyo. Follow the map to Engineering Building Number 6. Walking time: around 13 minutes.
- From Hongo-sanchome Station (Oedo Line)
Take the #4 exit from the station and turn right. Walk on for 150 meters until you reach the Kaitoku-Mon(Gate). Follow the map to Engineering Building Number 6. Walking time: around 12 minutes.



知能システムにおける認識と行動
Recognition and Behavior in Smart Systems

石川妹尾研究室 研究成果集
Researches in Ishikawa Senoo Laboratory

平成30年7月20日 (2018.7.20)　　発行 / edition

編者 / editor　石川妹尾研究室 / Ishikawa Senoo Laboratory

発行者　石川 正俊　　publisher　Masatoshi Ishikawa
発行所　SAILING 出版会　　SAILING Authors & Publishing

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1
東京大学　情報理工学系研究科　石川妹尾研究室
Ishikawa Senoo Laboratory,
Graduate School of Information Science and Technology,
University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan
電話 03-5841-6935 / Tel +81-3-5841-6935

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://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/index-j.html (日本語)
Please visit the web site of our laboratory to get related information on this book.
http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/index-e.html (English)

本書の著作権は石川妹尾研究室が有します.
© 2018 Ishikawa Senoo 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: http://www.k2.t.u-tokyo.ac.jp/
YouTube: https://www.youtube.com/IshikawaLab
Facebook(日本語): https://www.facebook.com/IshikawaLab
Facebook(English): https://www.facebook.com/IshikawaLaboratory