

研究紹介／ Introduction

人間の五感に相当する感覚機能，脳の情報処理に相当する階層的並列処理機能，運動系に相当する動的マニピュレーションを工学的に実現し，それらを統合することで，人間を超える性能で知能システム＝認識行動システムを実現することを目標としています．現在の主な研究プロジェクトとして，4つのテーマがあります．

We strive towards realizing high-speed, intelligent systems (recognition-action systems) that exceed human capabilities. To this end, we have developed sensory functionality corresponding to a human's five senses, hierarchical parallel processing corresponding to how our brains process information, and dynamic manipulation corresponding to the human motor system. This technology is applied throughout four main research themes.

センサフュージョン／ Sensor Fusion

ダイナミクス整合に基づく柔軟な認識行動能力を持った超高速ロボットシステムの開発や，その特性を利用した新たな操り技能の開発・体系化を進めています．

We have developed an ultra high-speed robot system with adaptable recognition-action abilities, based on Dynamics Matching. Exploiting the characteristics of this system, we have proposed and implemented a range of entirely new manipulation skills.



ダイナモルフ
レンズ
Dynamorph lens

微生物
トラッキング
Motile
microorganism
tracking



ダイナミックイメージ／ Dynamic Image コントロール Control

光学系・照明系・処理系をコントロールすることで，通常では見ることができない現象を，人間にとってわかりやすい形で提示する技術を目指しています．

We propose new technology that presents, in an easily observable manner, phenomena that cannot be perceived by the human eye. This is achieved by controlling optical, illumination and processing systems with super-human speed and precision.

研究紹介／ Introduction

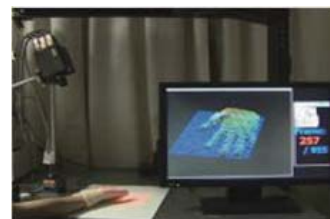
人間の五感に相当する感覚機能，脳の情報処理に相当する階層的並列処理機能，運動系に相当する動的マニピュレーションを工学的に実現し，それらを統合することで，人間を超える性能で知能システム＝認識行動システムを実現することを目指しています．現在の主な研究プロジェクトとして，4つのテーマがあります．

We strive towards realizing high-speed, intelligent systems (recognition-action systems) that exceed human capabilities. To this end, we have developed sensory functionality corresponding to a human's five senses, hierarchical parallel processing corresponding to how our brains process information, and dynamic manipulation corresponding to the human motor system. This technology is applied throughout four main research themes.

ビジョンアーキテクチャ／ Vision Architecture

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進めています．例えば，ロボティクス，検査，ヒューマンインタフェース，デジタルアーカイブなど諸分野での新たな応用を創出しています．

We focus on applied research in various fields using high-speed image sensing, superior to the human eye. We have proposed new applications in fields such as robotics, inspection, human interface, digital archiving etc.



3次元形状計測
3D shape
measurement



BFS-Auto

クロノスプロジェクト
Khronos Projector



スティッキー
ライト
Sticky light



メタ・パーセプション／ Meta Perception

実世界の新たな知覚手法や技術との新しい対話の形を創造するために，人間の感覚能力を超える情報を従来と全く異なる形式で提示したり利用する手法を模索しています．

We coined the term "Meta Perception" to describe technologies that will enable humans to communicate in new ways with each other, by in an active manner using technology possessing capabilities surpassing those of humans.

石川 渡辺 研究室

人間の五感に相当する感覚機能，脳の情報処理に相当する階層的並列処理機能，運動系に相当する動的マニピュレーションを工学的に実現し，それらを統合することで，人間を超える性能で知能システムを実現することを目標としています。

■ センサフュージョン

ダイナミクス整合に基づく柔軟な認識行動能力を持った超高速ロボットシステムの開発や，その特性を利用した新たな操り技能の開発・体系化を進めています。



多指ハンドアーム



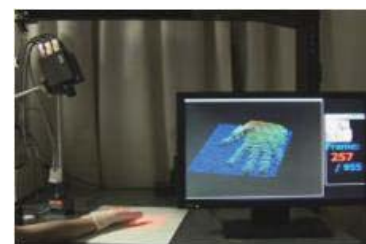
ダイナモルフレンズ

■ ダイナミックイメージコントロール

光学系・照明系・処理系をコントロールすることで，通常では見ることができない現象を，人間にとってわかりやすい形で提示する技術を目指しています。

■ ビジョンアーキテクチャ

超高速の画像センシングを軸として，応用・原理・デバイスを同時並行的に設計することで，物理世界の動的な現象を情報世界へ取り込むための最適なシステムを実現しています。



リアルタイム形状計測



クロノスプロジェクタ

■ メタ・パーセプション

実世界の新たな知覚手法や技術との新しい対話の形を創造するために，人間の感覚能力を超える情報を従来と全く異なる形式で提示したり利用する手法を模索しています。

高速センサ技術に基づく 調和型ダイナミック情報環境の構築

本プロジェクトが目指すもの

時間密度の追求

人間の動作を全てカバーする領域へ
遅延の総和を人間の感覚限界値以下へ

接触拘束の壁を打破

物理的接触なしでの取得・提示
視触覚の同時性の実現

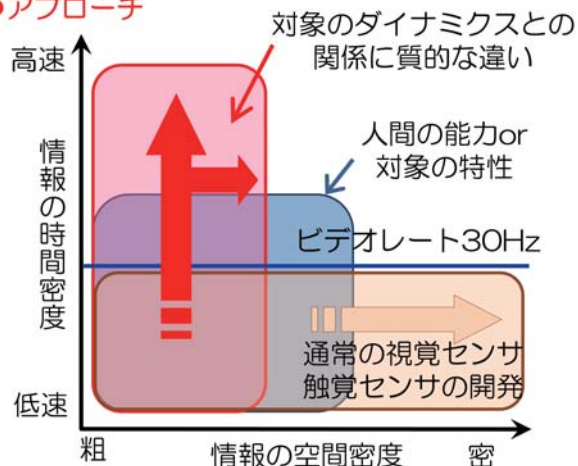
人間を超える瞬時判断・提示機能

センサ・提示デバイスを人間の感覚を
超えるレベルで実現

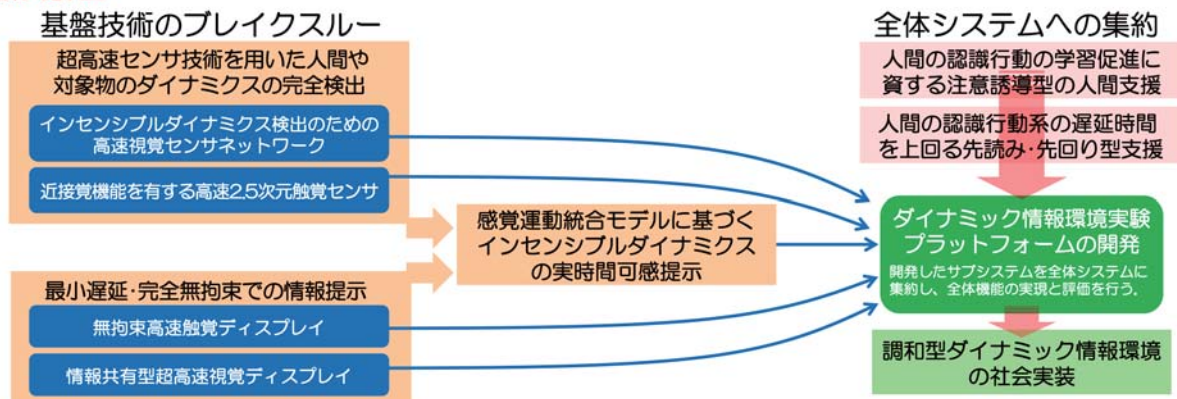
調和型ダイナミック情報環境

人間機能調和型支援・認識行動の学習促進・
注意誘導型アシスト・先読み先回り支援

●アプローチ



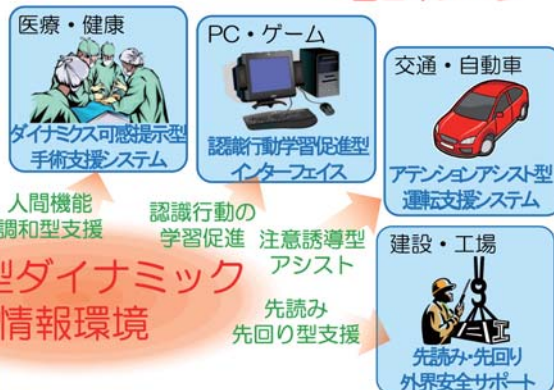
●研究計画



●全体イメージ



●出口イメージ



高速センサ技術に基づく 調和型ダイナミック情報環境の構築

高速視覚センサネットワーク

広島大学 石井グループ

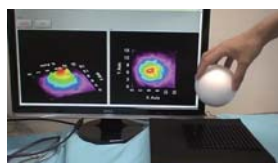
- 512×512 画素カラー画像に対する 2,000fps 画像処理
- 様々な画像処理をハードウェア実装可能



高速 2.5 次元触覚センサ

電気通信大学 下条グループ

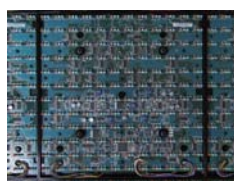
- 近接 (1 m 程度) から接触までをシームレスに検出
- 1 ms の高速応答



情報共有型超高速視覚提示

宇都宮大学 山本グループ

- 超高速 LED ディスプレイを用いた高速ディスプレイ
- 480fps の時空間マッピングを達成



無拘束高速触覚提示

東京大学 篠田グループ

- 超音波放射圧フェーズドアレイによる無拘束触覚提示
- 提示距離 1 ~ 2m、提示遅延 3ms 以下



情報環境と人間の調和に 向けた人間特性モデル

電気通信大学 阪口グループ

要素技術の統合

人間支援のための高速・ 非接触インタフェース

埼玉大学 小室グループ

高速で無拘束な 未来型情報環境の実現

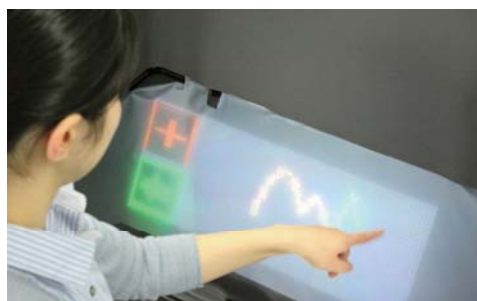
東京大学 石川グループ
群馬大学 奥グループ



- 運動物体をトラッキングして 3 次元位置を取得
- 動く手のひらや物体に映像と触覚刺激を提示

AIRR Tablet

東京大学 石川グループ
宇都宮大学 山本グループ



- 空中映像を手で操作できるシステム
- 手の 3 次元位置とジェスチャーを高速に認識
- 遅れの無いジェスチャー操作

高速ジェスチャー認識

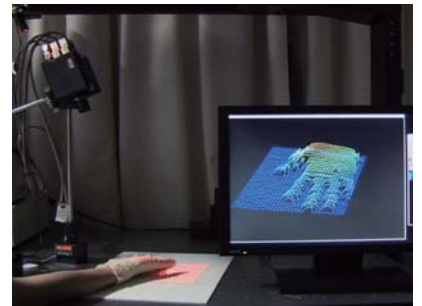
高速画像処理を用いたジェスチャー認識技術を開発しています。本技術によって、高速な手指の動きを捉えるとともに、ジェスチャー動作がディスプレイやロボットに反映されるまでの遅延を最小化することができます。このような高速ジェスチャー認識を用いて、様々な応用展開を図っています。



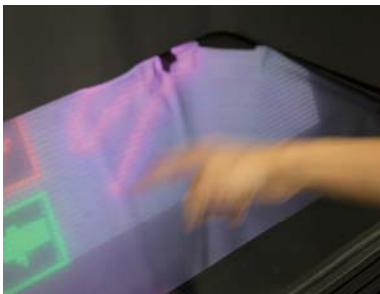
アクティブビジョンによるジェスチャー認識



じゃんけんロボット



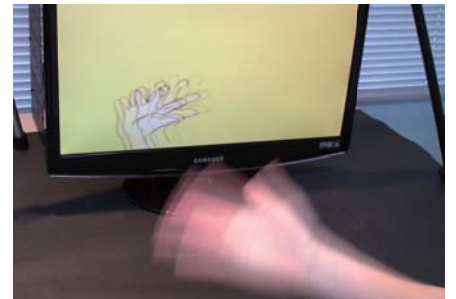
手の高速 3 次元形状取得



空中 3 次元映像の操作



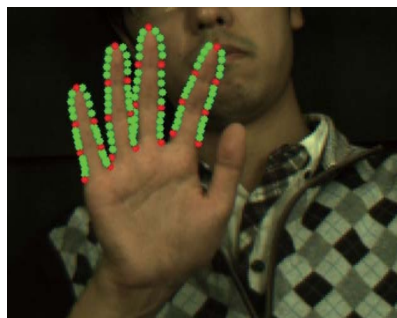
動く手に映像投影



高速ジェスチャー UI



空中タイピング



多指姿勢の高速認識

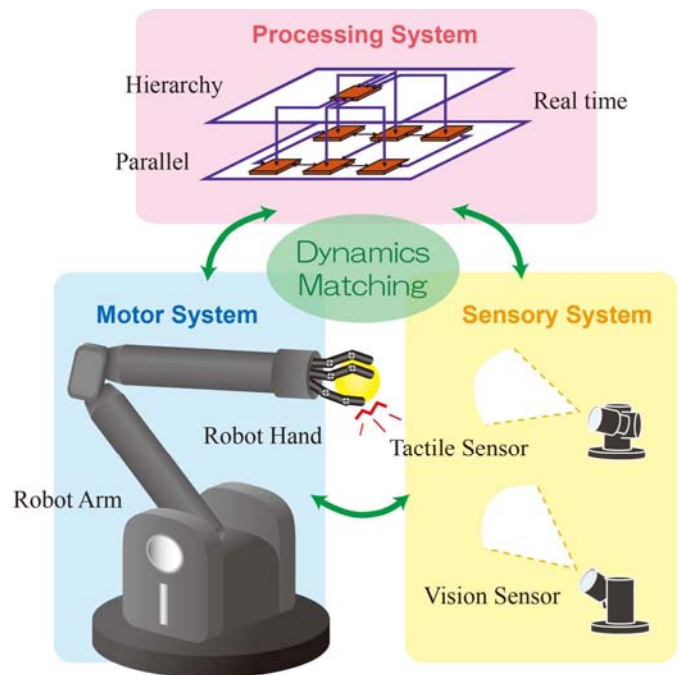


カメラの手首装着による UI

感覚運動統合に基づくロボットの制御

センシング・アクチュエータ・プロセッシングといったロボット諸要素の性能を，対象や環境のダイナミクスに応じて設計した超高速ロボットシステムを開発しています。

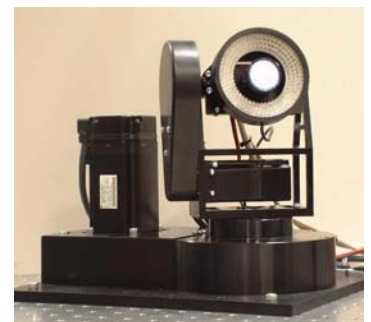
視覚・触覚は1msで処理が可能であり，リアルタイムフィードバック制御に利用しています。アクティブビジョンで対象を常に視野内にトラッキングし，3次元情報を計算しています。ロボットハンドは0.1秒で180度の開閉が可能な高速動作を実現しています。



高速多指ハンド

感覚と運動の統合機能に注目することで，不確定な推定情報ではなく，センサ情報にダイレクトに反応して動くロボットが可能となり，機械システムの潜在能力を十分に引き出すことができます。

開発したロボットシステムを用いて様々なマニピュレーションを実現することで，高速な操り技能の蓄積や体系化を目指しています。人間の処理能力を超えて，機械の限界に挑む運動性能や認識機能を追求することで様々な応用が期待できます。

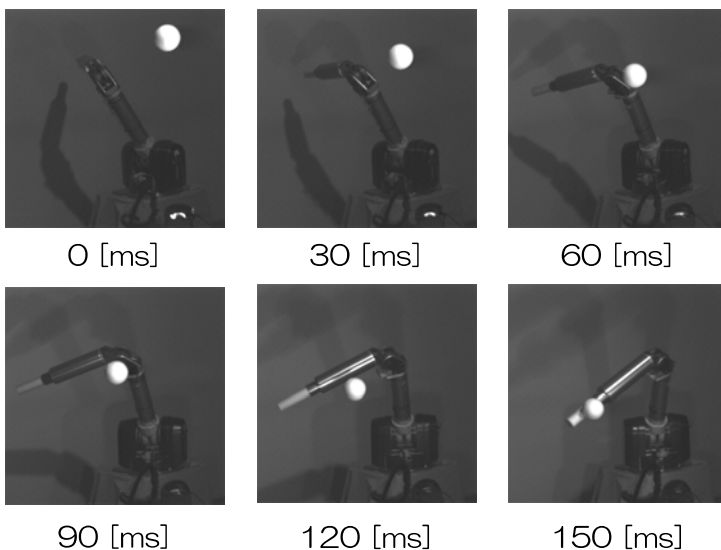
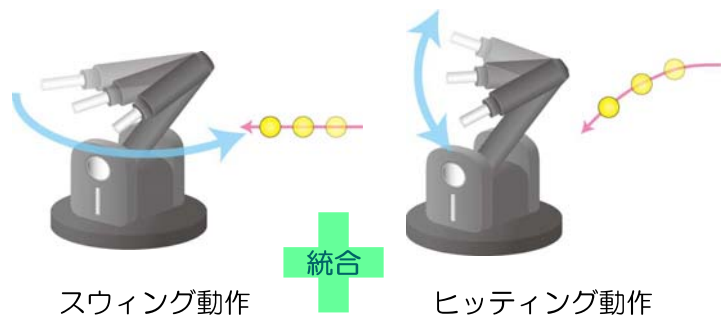


高速アクティブビジョン

バッティングロボット

バットを高速に振り切る動作と、バットの芯で捉える追従動作を統合した軌道でバッティングを実現しています。前者のスウィング動作は、マニピュレータの最大速度となる最適な運動を計算しています。後者のヒッティング動作は、視覚フィードバック制御でマニピュレータの軌道をリアルタイムに補正しています。

二つの動作を統合することで、変化球やランダムに投球された場合でも、高速なスウィングで打ち返すことが可能です。



ボールを視覚で認識してから打つまで約0.2秒の高速動作であり、実際のピッチャーマウンドとホームベースの距離に換算すると理論上は時速300kmのボールを打つことも可能です。

人間のようにボールの軌道を予測するのとは異なり、高速ビジョンでボールの軌道を0.001秒ごとに認識しながらバットの軌道を調整します。このロボットから見ればボールがほぼ止まって見えることに相当し、確実にバットで捉えることが可能です。

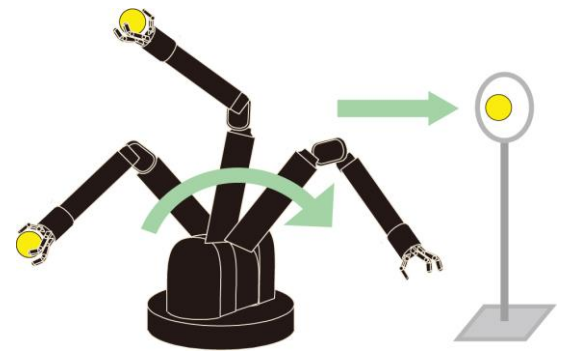


高速アクティブビジョン

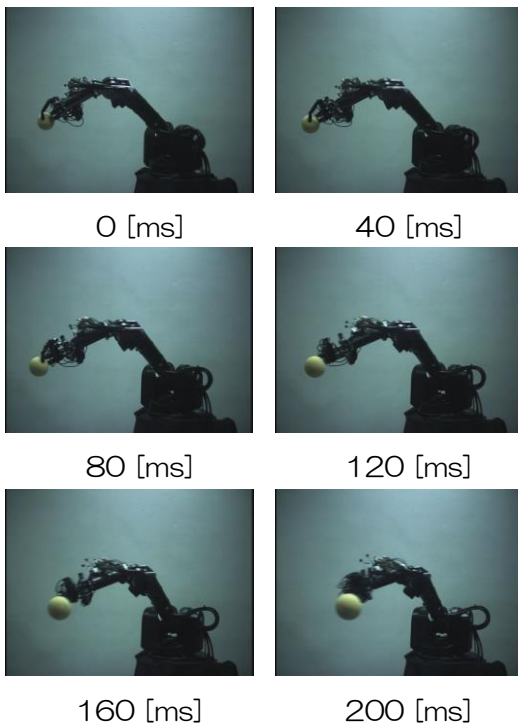
スローイングロボット

アームとハンドを連動させてボールをコントロールする投球動作を実現しています。慣性力の大きいアームを効率的に加速するために、人間のスウィングモデルを参考にした運動連鎖に基づく軌道を生成しています。

多自由度関節の干渉作用を利用し、発生したエネルギーを手先へ伝播することで、リリース直前に急加速する高速なスウィングが可能となっています。

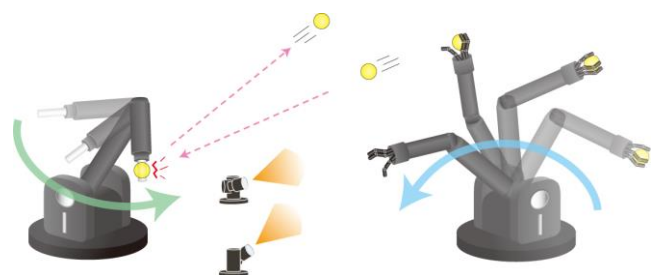


ハンドアームによる投球動作



腕には軽量高速ロボットアームを使い、その先端に0.1秒で180度開閉が可能な高速多指ハンドを取り付けています。人間と同様に指を用いてボールを器用に制御することで、目標位置への投球が可能です。リリースの方向とタイミングを制御し、高速にスウィングしながらロバストな投球コントロールを実現しています。

ストライクゾーンを通過したボールを打ち返すバッティングロボットと組み合わせて、「投げて打つ」という連続動作も実現しています。

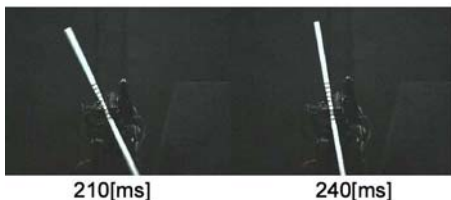
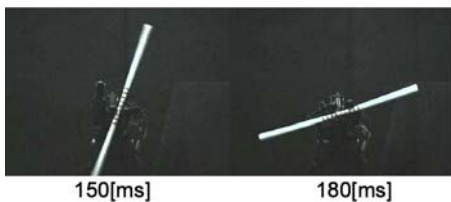
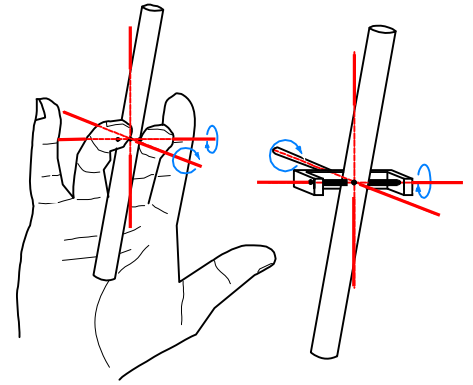


2台のロボットで「投げて打つ」

ペン回しロボット

ペン回し動作は回転と慣性運動によって対象を制御する興味深い運動であり，人間のような器用で高速な運動の原理を解明するために適した研究課題です。

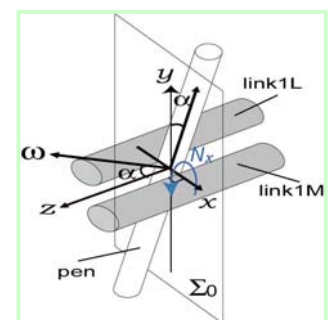
1つの軸周りに回転するdrummerおよび2つの軸周りに回転するsonicと呼ばれるペン回しタスクのダイナミクスの解析を行い，ペン回しを安定に行うための条件について導いています。



高速にペンを回転させることにより，棒の回転平面は安定することを実験と理論で検証しています。

触覚センサで指側面上におけるペンの接触位置と加わる力を1msごとに計測し，リアルタイムにフィードバックすることでロバストなペン回しを実現しています。

指の表面の大きさの影響を考察するために，ペンと指の接触モデルについても導出しています。

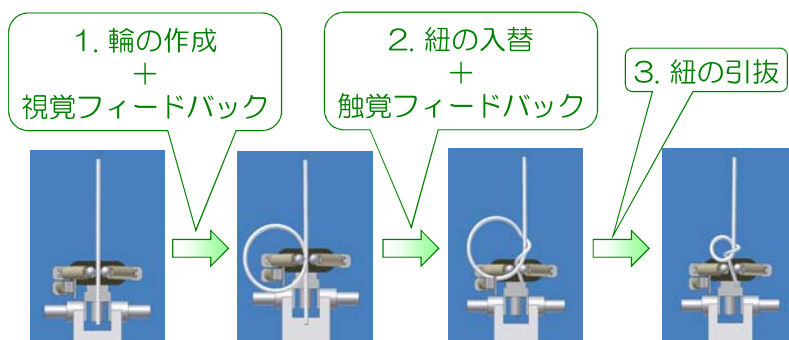


接触モデル

高速多指ハンドと高速センサフィードバックを統合することで，回転運動は速いほど安定化するなど，高速性を利用した新しい操り技能の実現が可能となります。

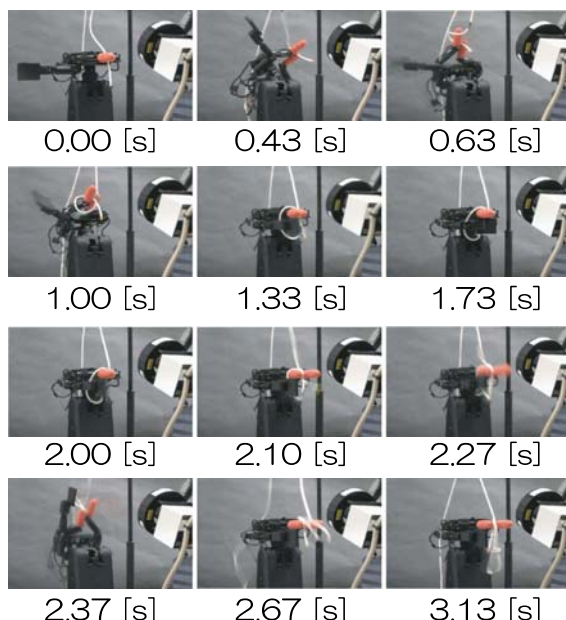
紐結びロボット

従来研究されてきたマニピュレーションにおいて、扱われる対象物体は剛体と仮定できるものばかりです。今後、マニピュレーション技能を向上させるためには、剛体に限らず柔軟物体のマニピュレーションを実現することが重要であります。そこで、柔軟物体マニピュレーションの1例として、柔軟紐の結び操作を実現します。



紐結び操作を3つのスキルに分割して、それぞれのスキルに対して、紐の柔軟性をキャンセルするような戦略を提案しています。

輪の作成は指に紐を巻きつけるように手首を制御して実現し、紐の入替では両指を平行移動させることで実現し、紐の引抜きは手首の屈曲・進展動作により実現しています。さらに、視触覚フィードバック制御を導入することで、戦略にロバスト性を持たせています。



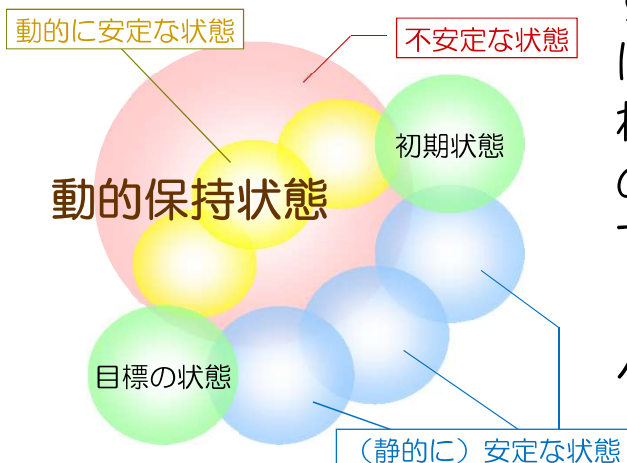
柔軟物体のマニピュレーションでは、柔軟性を考慮したモデルの導出やパラメータ推定が困難でしたが、柔軟性をキャンセルするようなスキル戦略を提案することでモデルを剛体モデルに置き換えることができます。さらに、紐の特性が多少変化しても紐結び操作を実現することができます。

高速ドリブルロボット

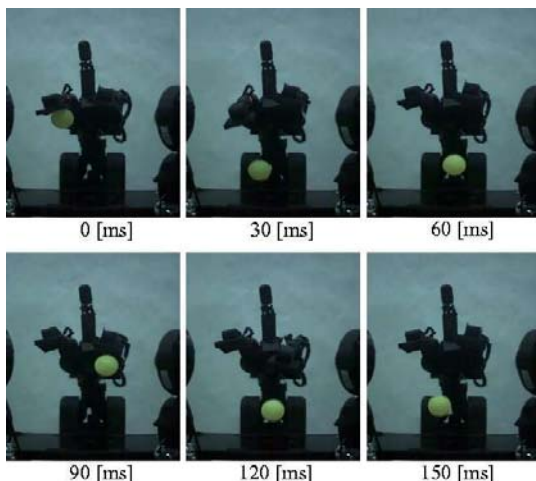
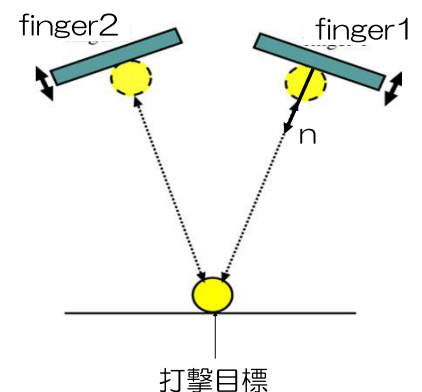
人間は、指が対象と触れたり離れたりする、対象が動的に動く状態を利用することで複雑な操りを実現しています。人間のような複雑な操りを実現するために、我々は動的保持と呼ばれる動作を提案します。動的保持動作において、高速で運動する物体はロボットハンドによって安定な状態に保持され、動的保持を維持しながら保持の状態を変化させることで、人間のように高速で動的な操りが可能になります。

動的保持動作とは、「物体の運動を維持しつつ、ある種の安定状態に拘束する動作」であり、対象物はロボットによって、定常的な周期運動が維持され（**周期安定性**），ロボットは対象物の周期運動の状態を遷移させることができます（**動的可操作性**）。

例として、ジャグリング、ドリブル、ペン回し、皿回しなどがあります。



2本の指を用いてV字軌道のドリブル動作を行います。次の打撃点にバウンドする位置を打撃目標とし法線ベクトル n が打撃目標を向くような姿勢で打撃します。

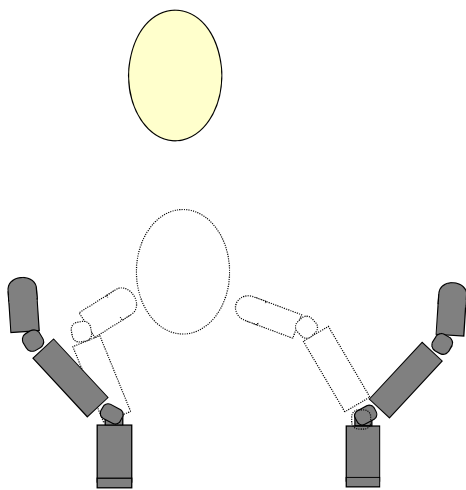


高速で運動する物体をある種の安定状態に保つ動的保持動作によってさらに高速で器用な操りが可能になります。

動的保持動作の基本的な一例としてドリブル動作を取り上げ、高速多指ハンドと高速視覚により0.1秒に1回という高速なドリブルを実現しています。

ダイナミックキャッチ

柔軟な指先を持つ高速多指ハンドと高速ビジョンを用いて、高さ70 [cm]から自由落下した生卵を割らずにキャッチすることを実現します。高速ビジョンを用いて、生卵の3次元位置を1/1,000秒ごとに認識しながら指の先端位置を制御しています。



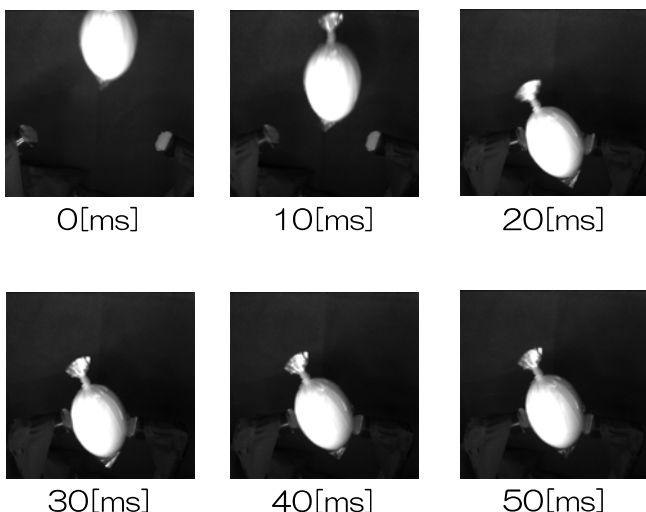
生卵キャッチ

高さ70 [cm]から落下する生卵をキャッチする瞬間、生卵の落下速度は3.7 [m/s]となりますから、把持することがとても困難です。しかし、高速多指ハンドを用いると、1ミリ秒ごとに生卵の3次元位置に合わせて指先の制御が可能となり、生卵を把持することができます。

生卵を割らずにキャッチするためには、把持する瞬間の力制御が重要となります。そこで、指先にジェル状の柔軟材を設置することにより、生卵への撃力を低減させています。



柔軟指先

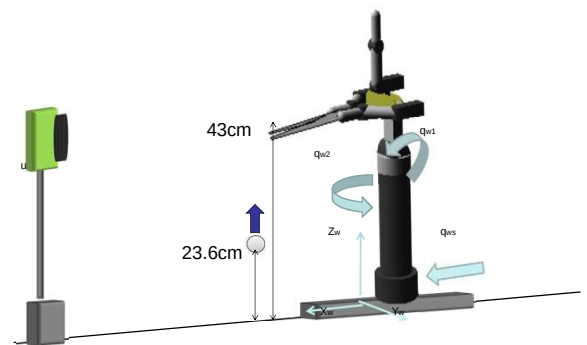


指先と生卵の位置関係から仮想的なバネ・ダンパを調整して、ビジュアルインピーダンス制御を行い、生卵との滑らかな接触を可能とするとともに、生卵を割らずにキャッチすることができます。

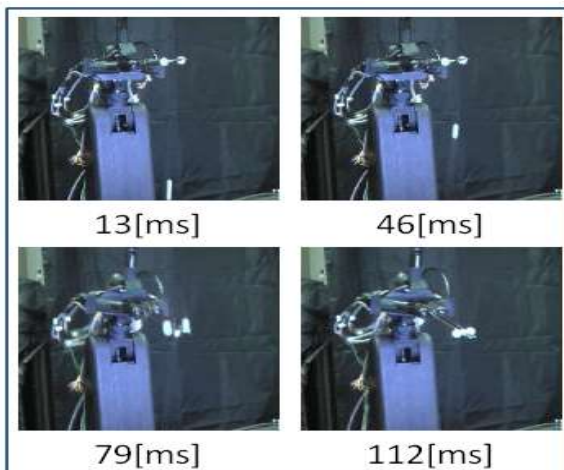
微小物体空中キャッチ

ロボットと人間の共存社会においては、生産工場のようにロボットのためのインフラを完全に整備することは非現実的であり、汎用作業を遂行可能な多指ロボットハンドに要求される機能として、人間用の道具を操ることが挙げられます。本実験では空中を放物運動する微小物体をピンセットを用いてキャッチするタスクを実現しました。

微小物体とピンセットの位置と速度を高速ビジョンを用いて3/1,000秒ごとに認識し、ピンセットの先端部の軌道を3次元的に調節し続けることにより、物体の高速移動に対応させています。

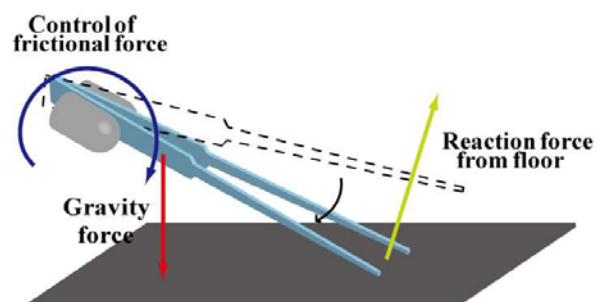


実験設定とシステム



物体を認識してから150[ms]で物体への追従及びキャッチが完了し、キャッチ動作自体は約20[ms]で完了しています。これら一連の動作は高速ビジョンによって予測を用いることなく実現しており、ランダムに動く物体も同様にキャッチ可能です。

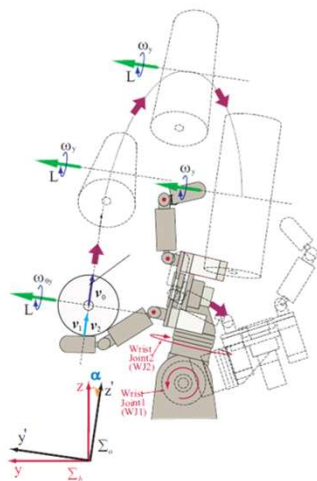
高速視覚サーボを用いてハンドと道具の接触状態（回転や滑りなど）を制御することで、平面上に拘束された対象に対しても、ピンセットと平面の相互作用を利用して器用な操りを実現しています。



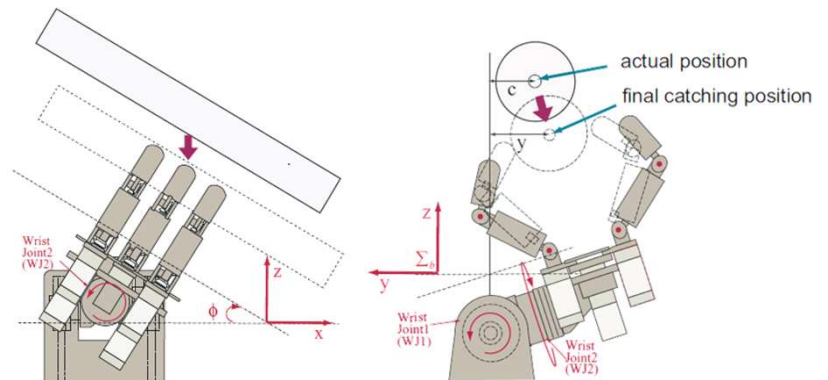
リグラスピング

リグラスピングとはハンドと対象の相対接触位置を変化させて把持し直す動作のことです。ハンドと対象の接触状態を維持しながら把持姿勢を変形していく低速な従来のリグラスピングに対して、物体を空中に投げ上げて瞬間的に姿勢を制御し、キャッチして高速に把持姿勢を変化させるダイナミックなリグラスピングを実現しています。

目標とする持ち替えを行うために、空中における物体の並進・回転運動から指に与える軌道を計算して投げ上げます。

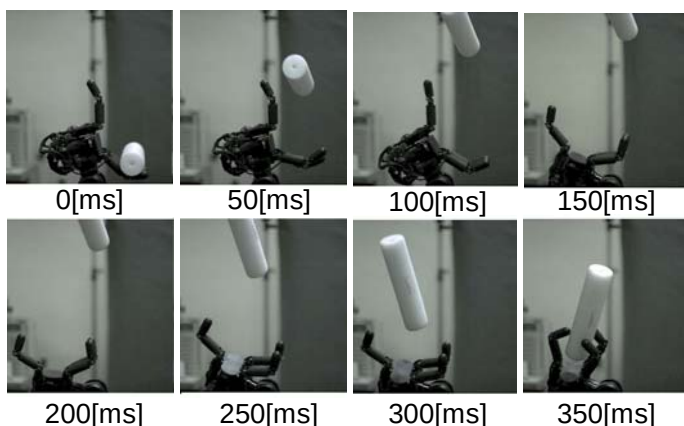


物体の投げあげ



視覚フィードバックによるキャッチング

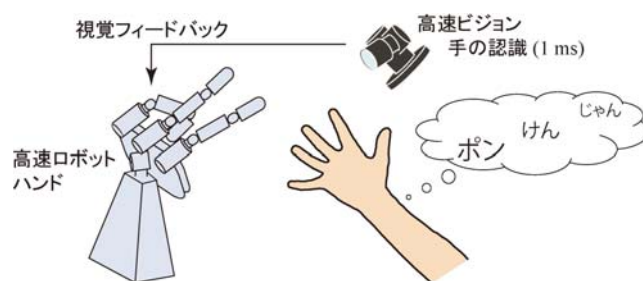
落下してきた物体を視覚フィードバックによりキャッチします。キャッチは、落ちてくる物体の位置・傾きの情報を1/1,000秒で取得し、それに応じてハンドを動かすことで実現します。高速多指ハンドを用いることで、物体が指の間に落ちてきたタイミングを逃さずキャッチを行うことができます。



円柱，角柱，非対称な物体など様々な形状の物体の持ち替えを高速に行うことができます。

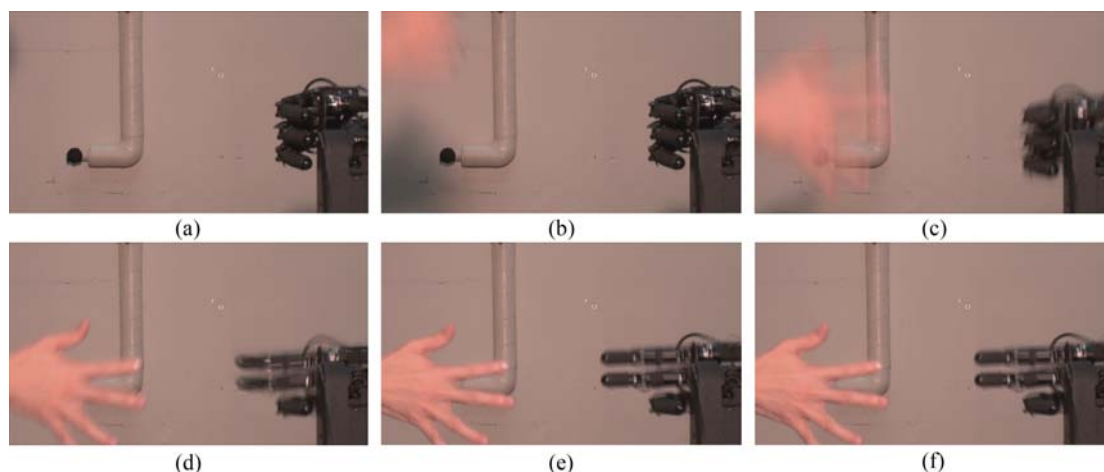
勝率 100% のじゃんけんロボット

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ます。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」を出します。



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ます。人間の手の位置に応じて、ロボットハンドが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、高速な後出しじゃんけんを実現しています。人間の目は約30fpsで認識しているため、本システムにおいて後出しに気づくことはほとんどありません。実験動画をYouTubeにアップしたところ、公開してから1年で再生回数が約360万回に到達し、全世界で注目されている技術です。

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ー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ます。



高速ロボットハンド High-speed Robot Hand

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ましたが、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ありませんでした。一方、人間の把握動作では、高速で動的な操りが大きな役割を果たしています。

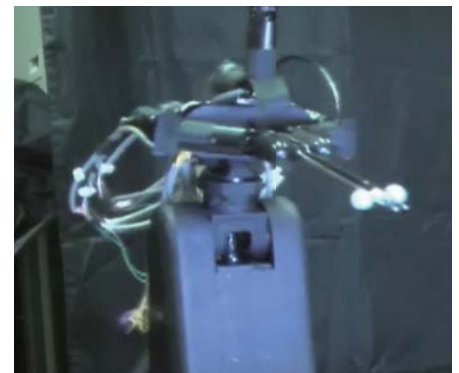
In the field of robotics, a variety of dexterous robotic hands have to this date been developed. However, properties like joint velocities are rarely prioritized. In contrast, the dynamic properties and high-speed nature of the human hand are distinctive features that improve human manipulation.

我々の研究室では、定格パワーよりも瞬時パワーを重視した設計とすることで新たに軽量・高トルクモータを開発し、超高速な多指ロボットハンドを実現しています。3本指 8自由度と2自由度手首の計10自由度で構成されており、180度の開閉を0.1秒で実行可能です。

We have developed high-speed robotic hands equipped with three fingers and 10 DOF, in which a new light-weight and high torque actuator has been designed and installed. As a result, high-speed motion at 180 deg. / 0.1 s can be realized.



高禄ロボットハンド
High-speed Robot Hand



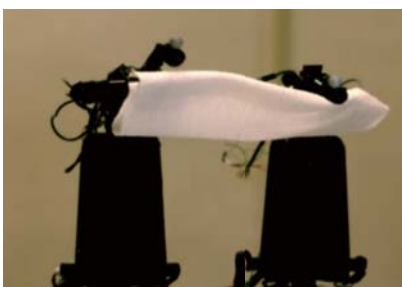
飛翔体キャッチ
Catching of flying object



ダイナミックリグラスピング
Dynamic Regrasping

開発したハンドを用いて、様々なマニピュレーション（飛翔体キャッチ、ダイナミックリグラスピング、柔軟物操りなど）を実現しています。高速ロボットは既存の作業を単に素早く実行するだけではなく、非接触状態や不安定状態を積極的に利用することで、従来とは異なるアプローチでロボット技能を開発していく可能性を有しています。

The properties of this high-speed hand allow for grasping and handling of dynamically moving objects. Various high-speed manipulation tasks such as catching a flying object, dynamic re-grasping and flexible object manipulation are achieved using only high-speed visual feedback.

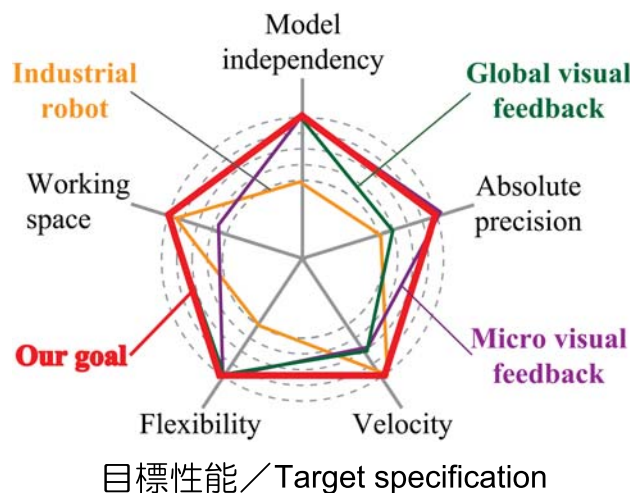


布の折りたたみ
Cloth folding

動的補償 Dynamic Compensation

ロボットで現在広く導入されているのが産業用ロボットであり、その多くはプレイバックモードで動作し、作業空間が広く、速度も大きく、繰り返し精度に優れている。しかし、絶対精度は悪く、プレイバックのためモデル依存度が高く、タスクの柔軟性に欠けている。

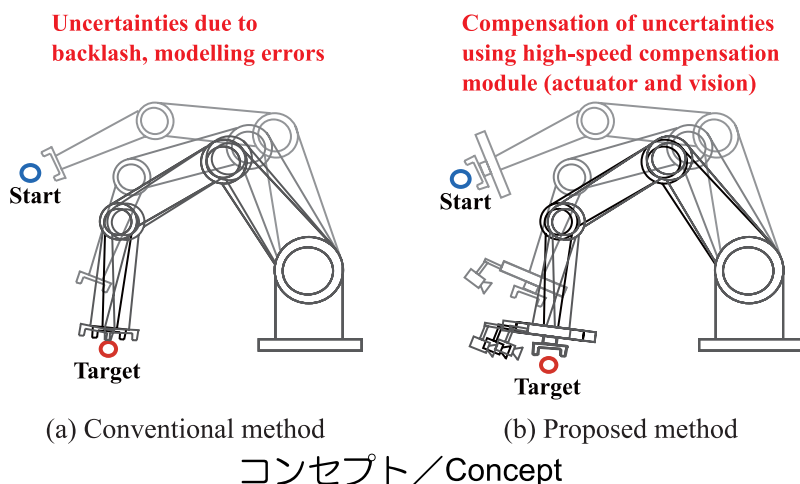
そこで、ロボットの仕様の全てを向上させ、種々の問題点を解決する実用的なロボット制御として、Dynamic Compensation を提案する。



Recent years have seen a widespread adoption of industrial robots, which are predominantly controlled using the playback method. Although rapid motion with excellent repeatability can be achieved within a large working range, absolute accuracy is poor, especially under fast motion. Flexibility is also poor due to the dependency on accurate systematic models. In order to solve these problems and further improve the performance of industrial robots, a dynamic compensation approach is proposed.

Dynamic Compensation (動的補償) とは、一般的なロボットのエンドエフェクタに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）を搭載し、高速ビジョンで得られた画像内の相対座標系で手先位置を高速高精度で制御することにより、ロボットのモデル化誤差やバックラッシュ等を含むシステムの不確実性を補償しながら、高速性と高精度の両立を実現する新しいロボット制御手法である。すなわち、画像内での目標位置とロボットの手先位置の相対誤差に対して、その誤差をゼロにするように制御する手法である。

Under the proposed dynamic compensation scheme, an add-on robotic module (consisting of a high-speed actuator and a high-speed vision system) capable of high-speed and accurate compensation is mounted on the universal end-effector of a traditional industrial robot.



Using relative error information from high-speed visual feedback, uncertainties due to inaccurate systematic models and mechanical defects like backlash, as well as environmental uncertainties can be dynamically compensated for by the high-speed module. Thereby, the overall robotic system can achieve accurate and fast manipulation without depending on accurate systematic models or a structured environment.

動的補償によるタスク実現

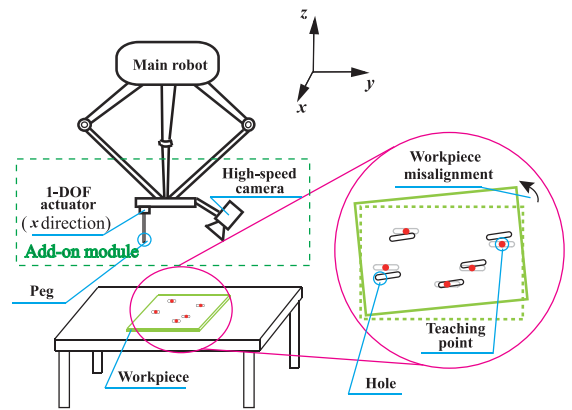
Task Realization based on Dynamic Compensation

高速位置合わせ

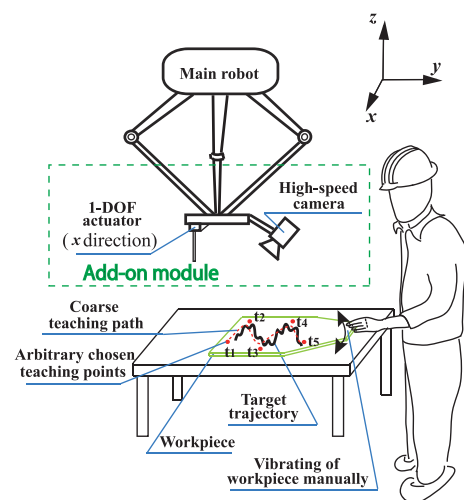
教示や部品設置において高い位置精度が要求される。そこで、動的補償を導入することにより、教示や設置による誤差を補償すると同時に、ペグとホールの位置決めを高速化・高精度化させる。

High-speed peg-and-hole alignment

Traditionally, the peg-in-hole task is separated into two steps: position control and force control. Position control is in current applications usually achieved through accurate teaching with the assumption of a structured environment. With the proposed dynamic compensation method, uncertainties due to coarse teaching and unstructured environment (such as misalignment of the workpiece) can be compensated for. At the same time, very fast position control can be realized.



位置合わせ / Alignment



軌道トレーシング / Contour tracking

軌道トレーシング

滑らかでない軌道の場合、一度ロボットは停止する必要がある。しかし、動的補償により、ロボットを停止することなく、任意の軌道をトレースすることができる。さらに、ロボットや土台の振動も補償可能である。

Contour tracking task

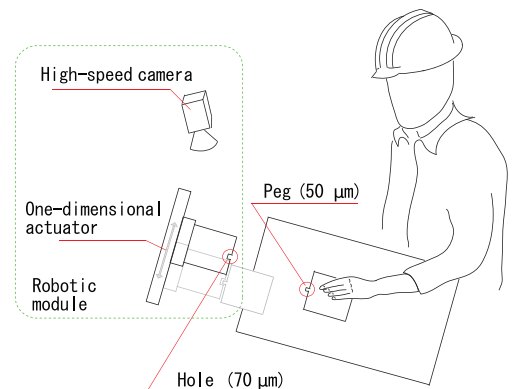
In traditional methods, the robot should be controlled with varied velocity profiles when tracking non-smooth target contours. The proposed dynamic compensation approach enables tracking of arbitrary contours with a constant velocity. At the same time, it can compensate for uncertainties relating to the robot system as well as the external environment.

人間ロボット協調によるマイクロ操作

人間が超精密な位置決め作業を実現するのは困難である。人間の低い精度での作業に対して、ロボットがアシストすることにより μm オーダの位置決めを可能にする。

Micro manipulation based on human-robot cooperation

Using only the human eye for visual feedback, it is difficult to perform very precise manipulations. If instead performing the manipulation in collaboration with a highly accurate robot using high-speed visual feedback, micron-order human manipulation becomes possible.



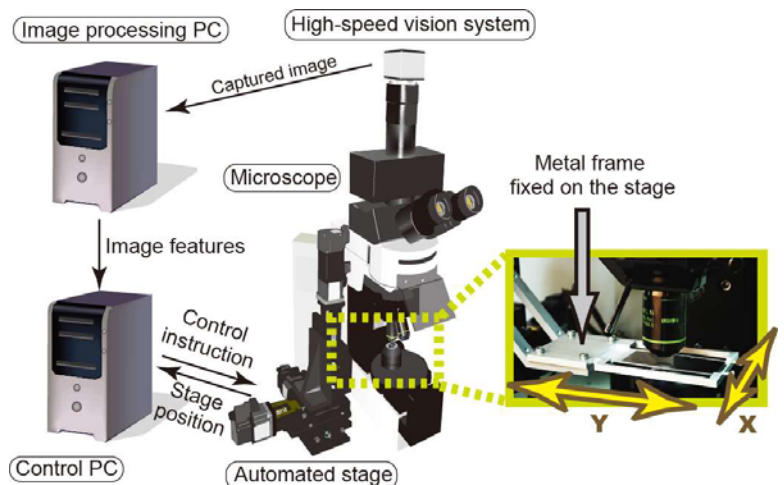
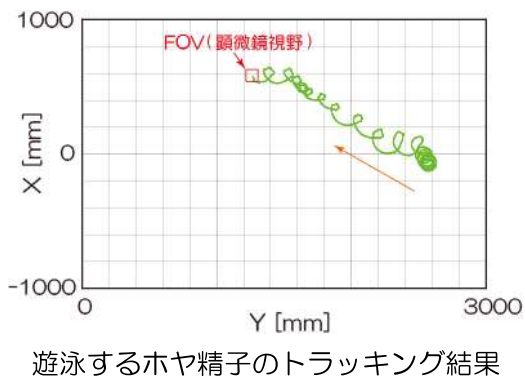
マイクロ操作 / Micro manipulation

マイクロビジュアルフィードバック

顕微鏡下に代表されるマイクロ世界においては、微小な対象が高速かつ高い周波数で運動を行います。そのような対象を安定して制御するために、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実現するマイクロビジュアルフィードバックを提案しています。

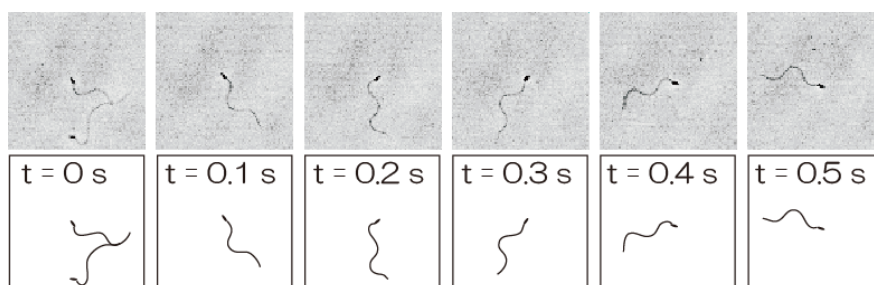
一例として微生物のトラッキングが実現されています。顕微鏡の視野は狭いため、運動する微生物を顕微鏡を通して観察しようとしても短時間で視野から外れてしまい、継続的な観察が困難でした。そこで、顕微鏡視野内の微生物位置を高速な視覚システムで計測・フィードバックすることで、運動する微生物の継続的な観察が可能になりました。

The diagram illustrates the experimental setup for tracking microorganisms. It features a microscope mounted on a metal frame, which is fixed to a stage. A high-speed vision system is positioned above the microscope. An arrow labeled 'Captured image' indicates the flow of data from the vision system to an image processing PC.



トラッキング顕微鏡システム

高速な視覚システムで対象位置を測定し、対象の変位を自動ステージを制御することでキャンセルしています。これにより、運動する微生物を常に視野中心に捉えています。



トラッキングされているホヤ精子の連続写真

ダイナミックイメージコントロール

ダイナミックイメージコントロールとは、光学系・照明系・処理系などをうまくコントロールすることで、通常では見る事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です。従来の固定で低速の撮像システムでは、対象の動きであるダイナミクスが映像に混入していたのに対して、この技術により利用形態に合わせた映像のコントロールが可能となります。



本研究分野は、ダイナミックイメージコントロールに基づく次世代のメディアテクノロジーの創出を目的としており、以下のような幅広い分野において、対象の本質を捉えユーザーが必要とする映像を提供することで、映像利用の新たな展開を生み出すことを目指しています。



FA

DICの応用分野



メディア



顕微鏡



インターフェース



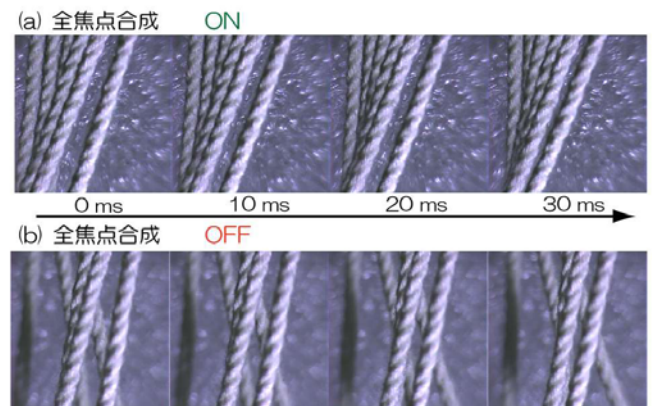
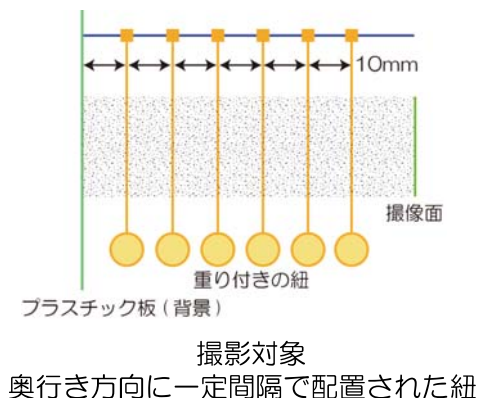
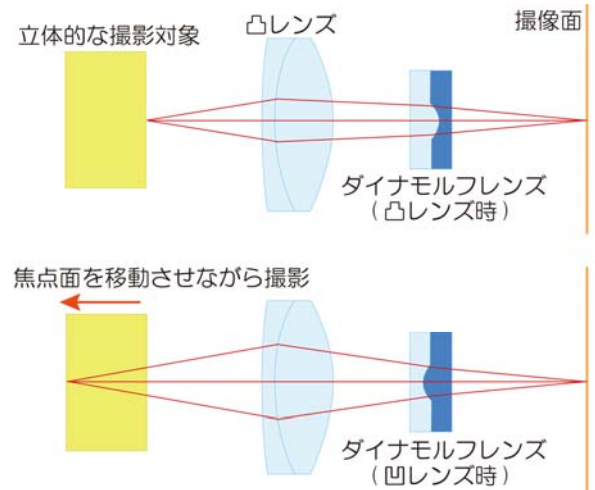
医療

ハイスピードEDoF

高速に焦点面を変えられるダイナモルフレンズを利用することで、光学系をダイナミックに制御することが可能になります。

被写界深度(DoF ; Depth of Field)とはカメラのピントが合う奥行きのことです。ここから外れた対象はボケてしまい立体物の撮影で良く問題になります。ダイナモルフレンズで焦点面を変化させつつ高速カメラで撮影すると、一部にのみピントが合った画像を大量に得る

ことができますので、この画像群を合成することで被写界深度を拡張(強化被写界深度 EDoF ; Extended Depth of Field)し、画面内の全ての点にピントがあった全焦点動画を作ることが可能になります。

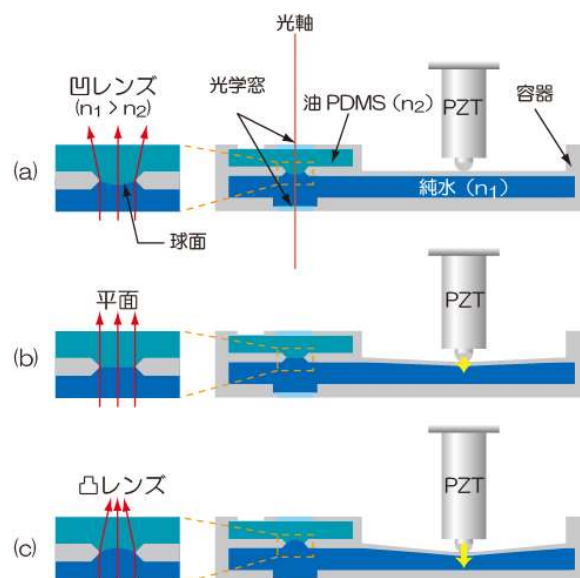


全焦点合成をした場合(a)としていない場合(b)の比較

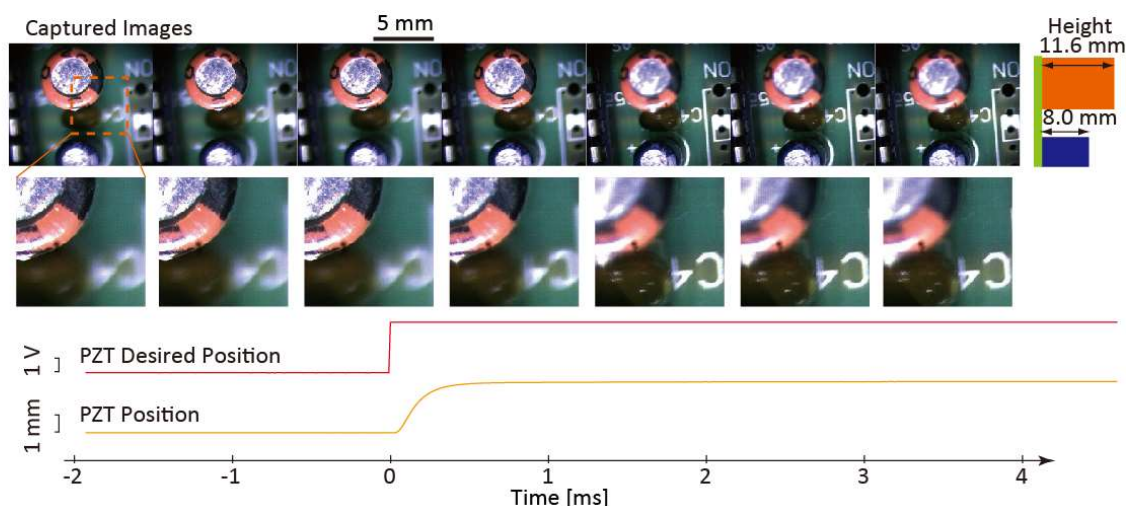
上図は奥行き方向に垂れ下がった紐が揺れている様子を高速カメラで撮影・合成した結果です。8000fpsで撮影された動画を基に8枚を1セットとして全焦点画像合成を行うことで、1000fpsという非常に高速な全焦点動画を得ることに成功しています。

ダイナモルフレンズ

水と油 (PDMS) の界面をピエゾアクチュエータ (PZT) で変形させる事で焦点距離を変える可変焦点レンズです。レンズ群を移動させて焦点距離を変える既存手法と比較して、二桁以上高速な動作が可能になっています。



ダイナモルフレンズの断面図と可変焦点の原理



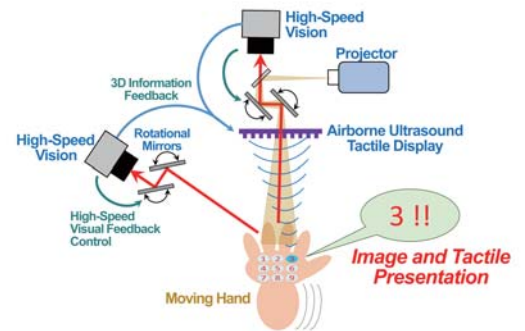
高速にフォーカス位置を切り替えながら電子基板を撮像した結果

上図は電子基板上に配置された素子の頭部と基板面との間でフォーカス位置を切り替えた結果です。時刻(Time)0でフォーカス位置切り替えを開始してから、ほぼ2msで切り替えを終える事が実現出来ています。

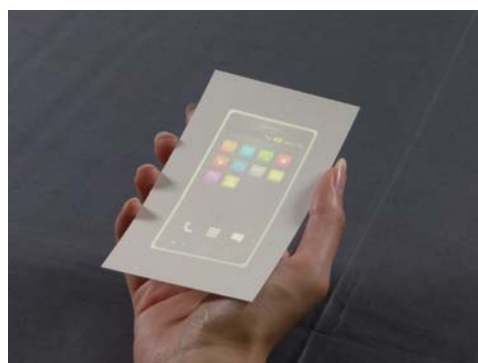
高速で無拘束な未来型情報環境

手の上の映像にさわれる新たなインターフェイスシステム

本システムは、対象の位置を高速に計測することで、たとえ対象が動いていても、あたかも印刷されているかのように対象の上に映像を投影すると同時に、超音波を用いてその対象表面に自由に圧力分布を生成するものです。特に手を対象とすると、自分の手の上に映像と圧力分布が提示されることで、あたかもその映像によって触られているかのような感覚を得ることができます。この技術を用いれば、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となり、しかも触覚刺激まで感じられる、未来型の情報環境が実現できます。



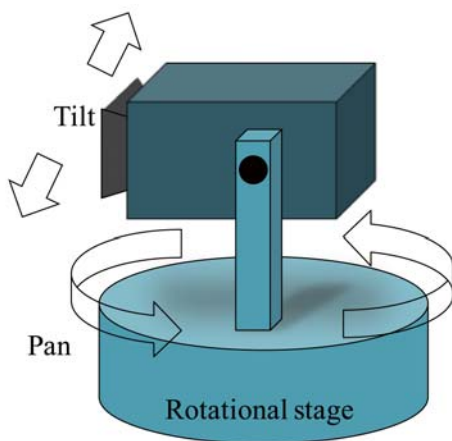
本システムは当研究室で開発された「1ms Auto Pan/Tiltシステム」を2台用いることで、対象の高速ステレオ計測と投影位置の高速制御を実現し、さらに東京大学新領域創成科学研究科複雑理工学専攻／情報理工学系研究科システム情報学専攻篠田研究室で開発された超音波振動子アレイを用いた「非接触触覚ディスプレイ」を用いることで対象表面に圧力分布を生成し、触覚情報を提示しています。



1 ms オートパン・チルト 1 ms Auto Pan-Tilt

近年のカメラには、ごく当たり前のように自動でフォーカスを合わせる機能、いわゆるオートフォーカスがついています。これに倣い、カメラの視線方向を物体に自動で向けることを、オートパン・チルトと呼ぶことにします。

Most recent cameras are with the function of auto focus, which can bring the camera into focus on a certain subject automatically. By taking this term, now some technology of directing a camera gaze toward the specific target is called "auto pan-tilt."

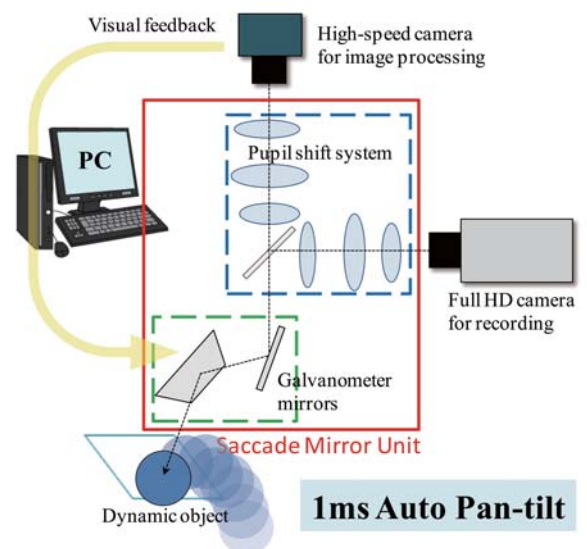


本技術 1ms オートパン・チルトでは、雲台(カメラ用回転ステージ)の代わりにサカードミラーと呼ばれる独自の光学デバイスと、高速ビジョンとを組み合わせ、これまでに無い超高速なオートパン・チルトを実現しました。

従来の雲台方式 (左)
Rotational stage (left)

提案技術 (右)
Our proposal (right)

We developed an novel and high-speed device for auto pan-tilt named "Saccade Mirror" with optical mechanism instead of rotational stages. Our techniques, 1 ms Auto Pan-Tilt is based on this device, a PC and high-speed camera for image processing.



本技術により、仮に撮影したい物体がボールなど、激しく動き回っていたとしても、それをあたかも止まっているかのように撮影することができるのです。

An object even in large motion will be observed as if it would be static using our techniques.



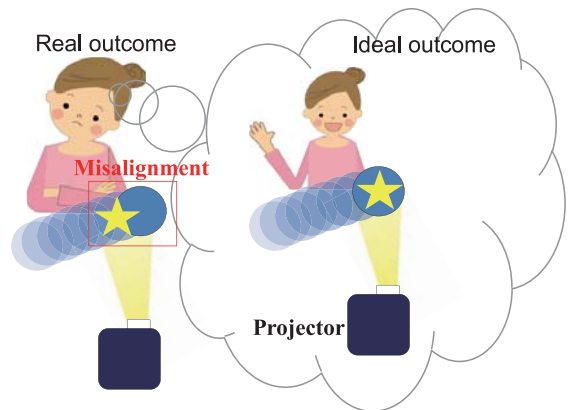
Mere 3.5 ms for 40 deg pan-tilt !!

卓球ボールのトラッキング (上)
Tracking on a ping-pong ball (upper)

るみぺん Lumipen

従来のプロジェクションマッピングは、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いますが、動的な物体に対しては、システムの遅延から生じる不整合を解消することが技術的に困難なため、あまり行われていません。

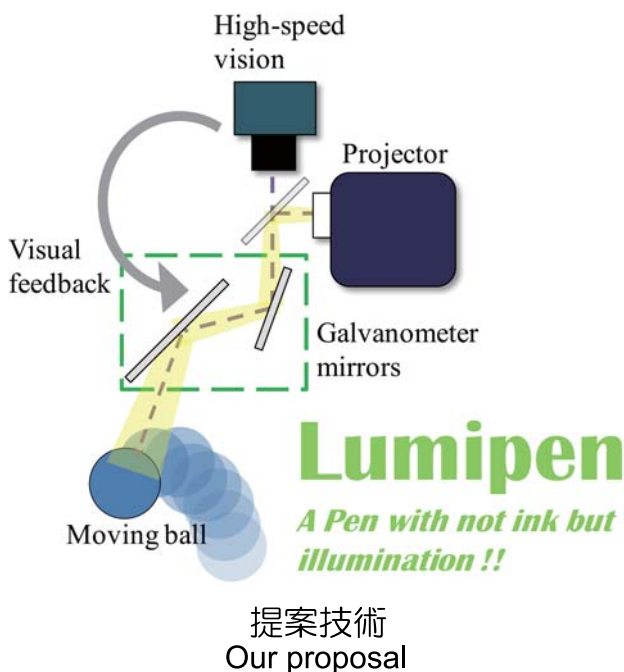
Until now mainly static objects, such as things placed on tables, walls, floors or desk surfaces, have been subjected to the projection mapping. Dynamic scenes and high-speed objects have not been dealt with. Even if this was tried using a traditional projection mapping system, there would be a misalignment between the target and the projection due to delay in the system.



動的物体への
プロジェクションマッピング
Projection mapping
onto an object in motion

我々は独自の手法で動的物体へのプロジェクションマッピングを実現させました。これはサッカードミラーと呼ばれる高速な光学デバイスに、高速ビジョンとプロジェクタを同軸に取り付け、対象をトラッキングさせることで、不整合の問題を解決しています。この技術を、光のペンをイメージして、るみぺんと名付けました。

We propose an unprecedented projection mapping technology aimed at moving targets. In our system, the projector and camera are coaxially aligned in the special optical device, 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.



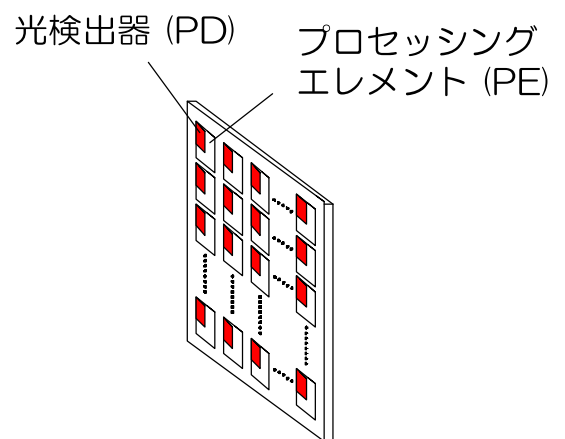
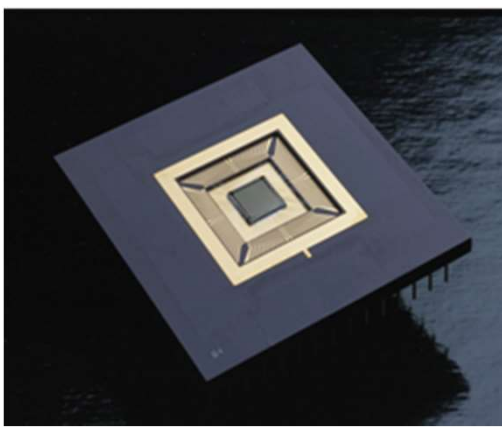
Demo: LIVIN' PINGPONG

Face expression
is projected.

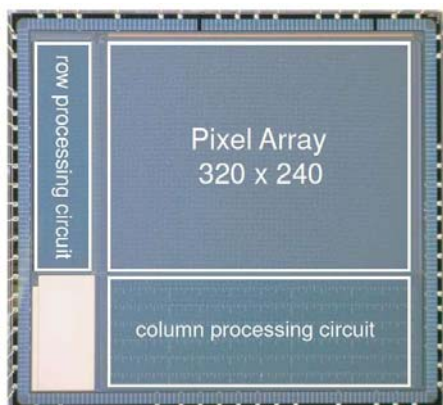


ビジョンチップ

光検出器とプロセッシングエレメントを1対1に対応させることで、入力画像の完全並列処理が可能となります。通常のイメージセンサと異なり、走査による読み出しを行わないため、1秒間に1000枚といった高フレームレートの撮像・処理が可能となり、高速な視覚フィードバック制御に利用することができます。



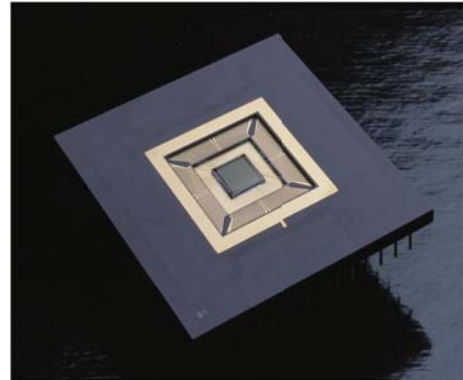
プログラマブルなビジョンチップは、画素毎に小さなプロセッサを持っており、さまざまな画像処理を同一チップで実行できます。一方、機能を限定することで小型化を目指したビジョンチップも開発しています。



最新チップでは、ダイナミック回路を用いて素子数を削減し、320×240画素がワンチップに搭載しています。これはデジタルで演算を行うものとしては、世界最大規模の画素数です。複数の対象物の位置・大きさ・傾きなどが出力できます。

超高速画像処理

超高速画像処理は、従来のビデオレートを遥かに凌ぐ速度の画像センシングを実現する技術です。高速の対象に対して、真の意味でのリアルタイムの画像処理を行うことによって、新たな応用を切り拓くことができます。

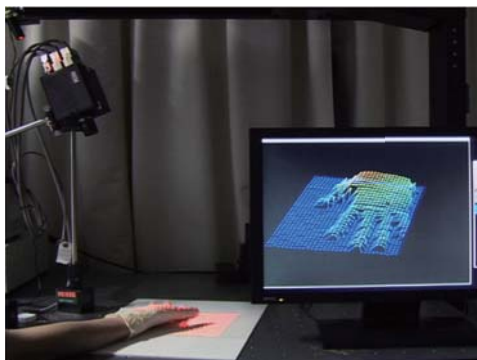


ビジョンチップ

我々は、VLSI技術や並列処理を駆使して、1,000fpsの超高速画像処理システムを研究開発しています。

また、リアルタイム3次元センシングなどの超高速画像センシングを実現しています。

さらに、ロボティクス、検査、ヒューマンインターフェース、デジタルアーカイブなど諸分野での新応用を提案しています。



1,000fps 3次元センシング



超高速書籍電子化



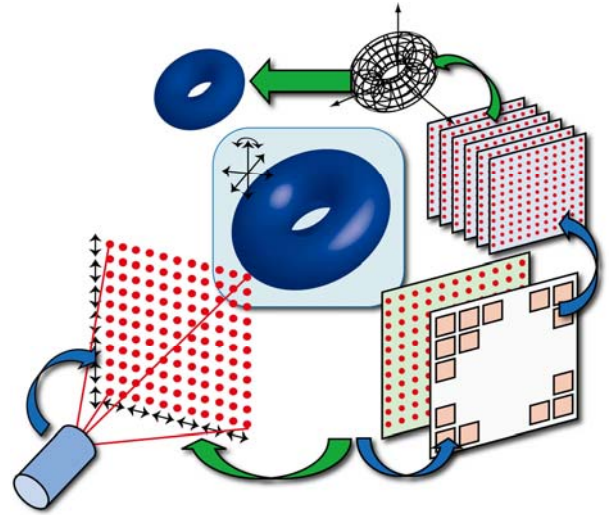
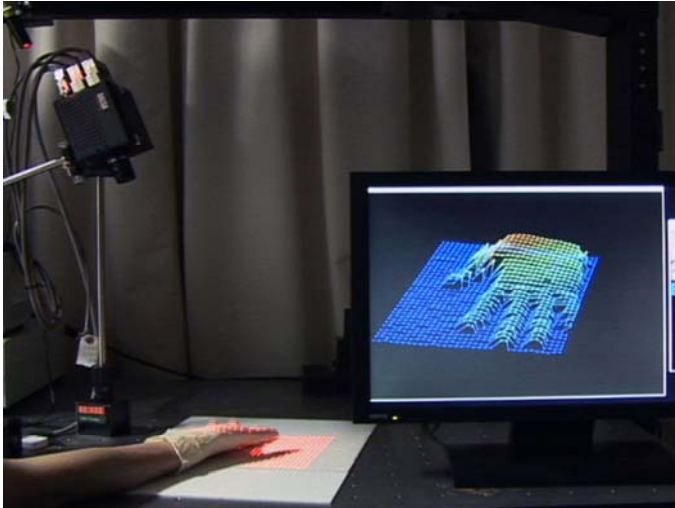
組込モジュール PB-1



空中タイピングインターフェース

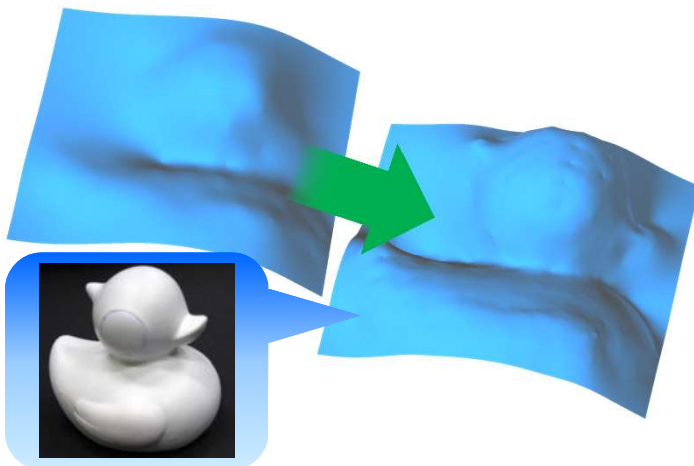
高速3次元センシング

高速3次元センシングは、秒間1,000回の速度で、運動・変形物体の3次元形状を捉えることができる技術です。



従来の3次元センシングは、観測物体が静止していることを前提としていました。また、速度に関しても、十分な機能を備えていませんでした。

高速3次元センシングは、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することができます。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回の速度でセンシングを行います。



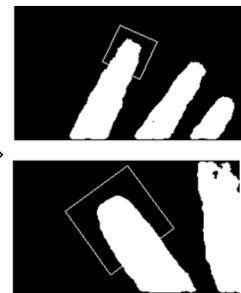
また、高解像度化の技術にも取り組んでいます。これは、高速に取得された複数の形状データを統合することで、より解像度の高い形状を復元するものです。

空中タイピングインターフェース

小型携帯機器の文字入力を支援するため、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ことでテキスト入力を行う新しいインターフェースを開発しました。



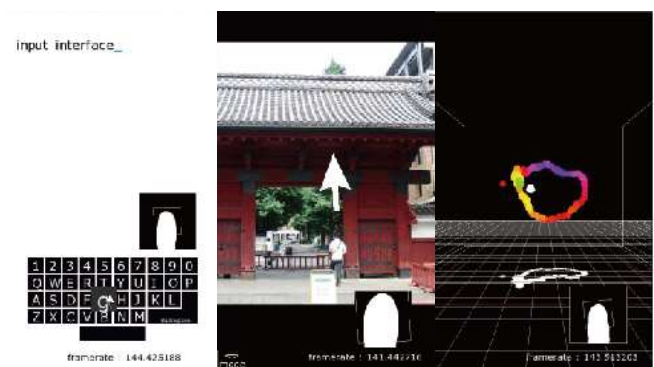
テンプレート登録



トラッキング

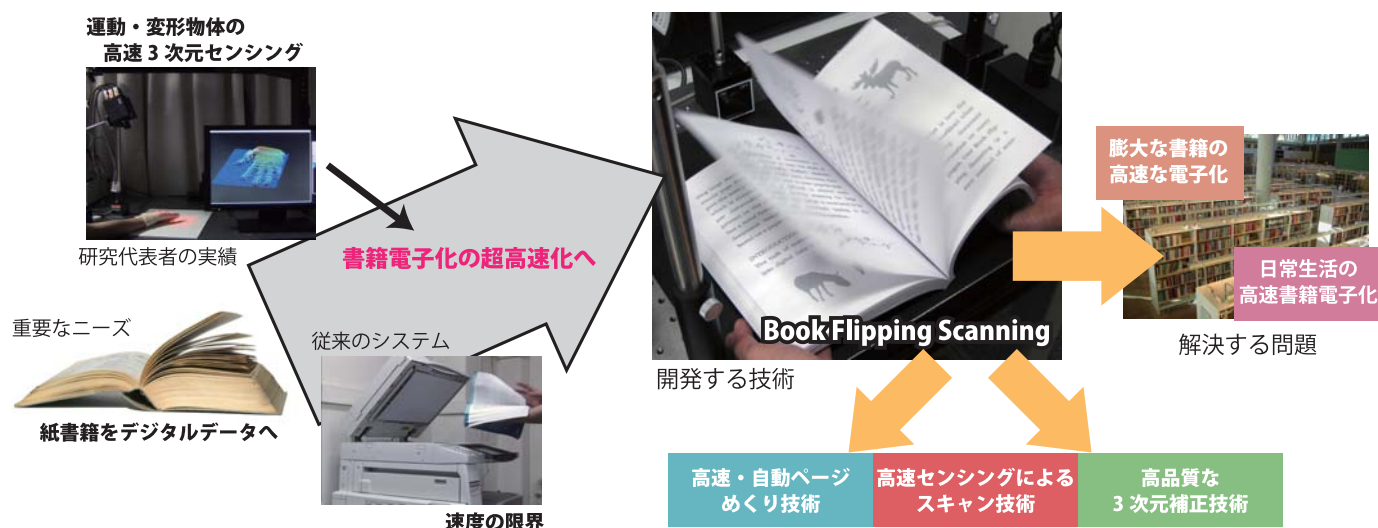
カメラから近い位置での指先の動きは、画像上で高速に移動するため、高フレームレートカメラ（100fps前後）を用いて安定したトラッキングを行っています。使用開始時に登録したテンプレート画像を変形させてマッチングを取ることで、指の並進・回転を推定します。キーストローク動作を他の動作と分離して検出するために、指先画像のサイズ変化に対して周波数フィルタを適用しました。

指先の3次元位置の情報が取得できることを利用して、写真のズームングや三次元空間に直接絵が描けるといった新しい携帯アプリケーションも実現できます。



ブックフリッピングスキニング

デジタル書籍のニーズが急速に高まっています。「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す。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ます。



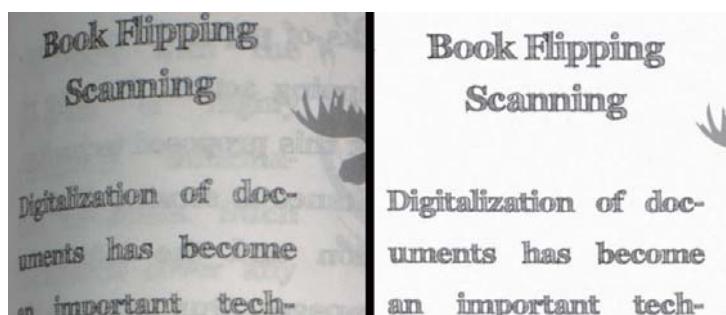
本研究の目標課題は、膨大な書籍に対して、かつてないスピードの高精度スキャンを可能とする技術の実現です。この実現に向けて、新たな書籍電子化の方式として、ブックフリッピングスキニングを提案しています。これは、ページめくり中に、紙面の動きを止めることなく、連続的に書籍を電子化するものです。この構想のもと、図書館や企業などで数百万冊レベルの書籍を電子化する応用から、モバイル端末で手軽に電子化できる応用まで、利用形態に応じた様々なシステムとその要素技術を開発しています。

BFS-Auto: 高速・高精細書籍電子化システム



BFS-Autoは、本をパラパラめくるだけで全ページを電子化する方式ブックフリッピングスキニング(Book Flipping Scanning)を具現化するシステムの1つです。

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す。



本システムは3つの特徴を備えています。まず、1分間に250ページの高速ページめくり機能を搭載しています。次に、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することができます。さらに、リアルタイムでの書籍画像の3次元補正を実現しています。

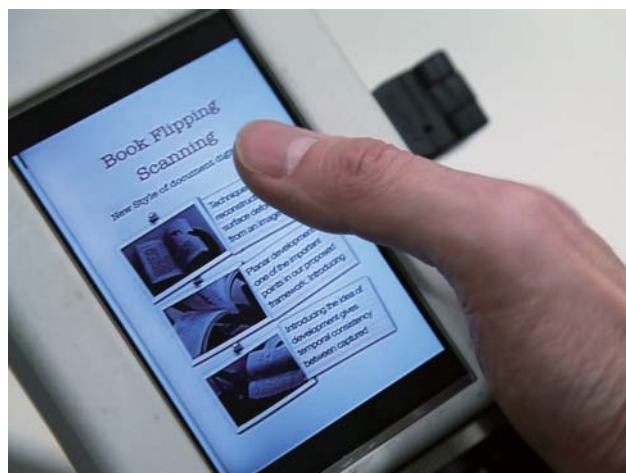
BFS-Solo: 単眼動画像を用いた高速書籍電子化システム

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。



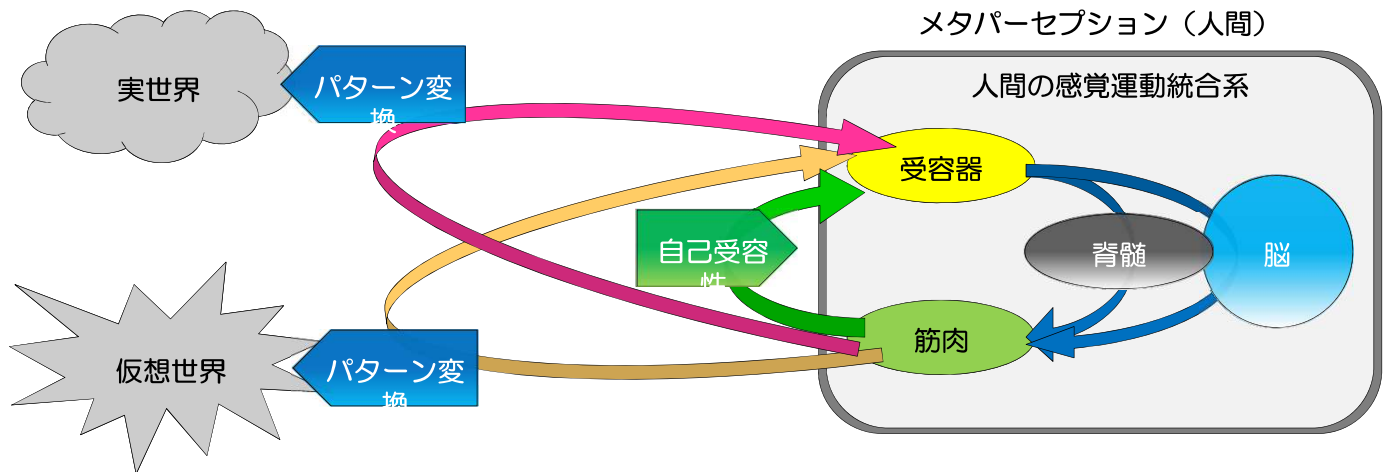
この手法は、めくり動作中のページを捉えた動画像から、紙の可展面特性を利用して、3次元の変形形状と平坦な状態に補正された書籍画像を取得することができます。本システムは、1台のカメラのみで構成されるため、モバイル用や机上用など様々な利用形態における柔軟な展開が可能であり、いつでもどこでも書籍電子化を提供することができる技術となっています。

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。



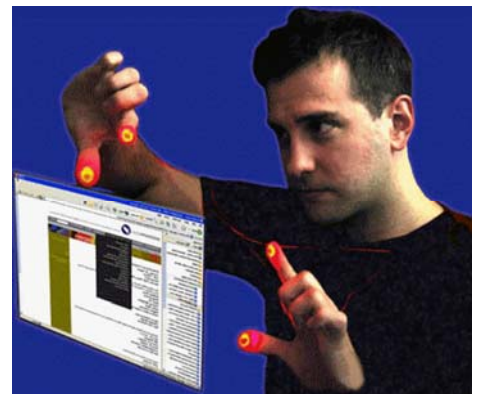
メタパーセプション

メタパーセプションは、人間あるいは機械にとって、通常では得られない感覚情報を、先進的技術を用いて提示・取得する方法。新しい対話の形を創造する研究です。



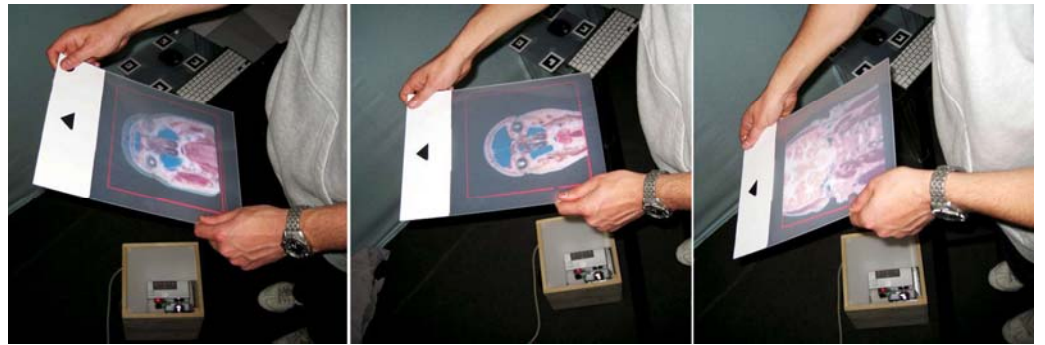
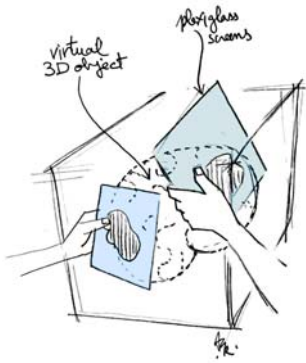
センサ，アクチュエータ，ウェアラブルコンピュータ，ウェアラブルロボットなどを取り込むことで，我々の知覚を自在に操作し，拡張することができます。

例えば，人間と身体的インタラクションを実現するディスプレイ，皮膚の機能を拡張する触覚デバイスなどの研究開発に従事しています。



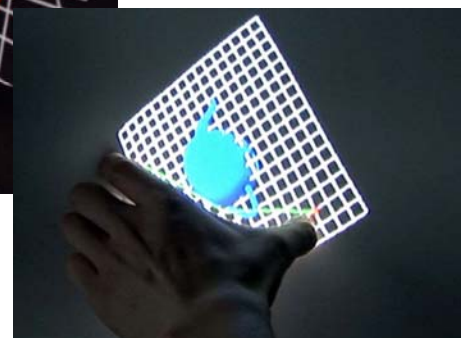
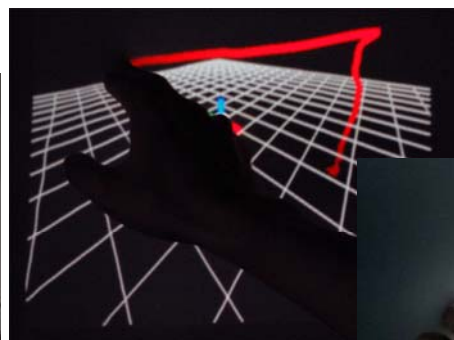
Volume Slicing Display

Volume Slicing Displayは、タンジブルスクリーンを用いて体積データの切断面をインタラクティブに提示するインタフェースです。



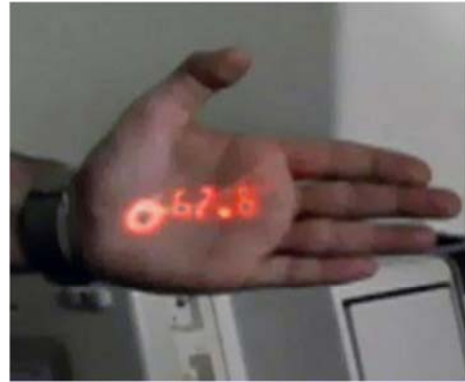
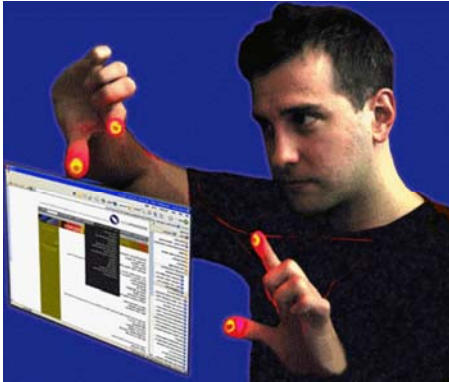
システムは、カメラを用いてスクリーンの3次元位置と姿勢を観測し、対応する断面像を半透明なスクリーンの背面から投影します。医学・建築・科学データの視覚化において、応用発展が期待されている新しいディスプレイ技術です。

3次元の仮想物体を直感的に操作するインターフェースとして、**Deformable Workspace**を提案しています。これは、変形可能なスクリーンを利用することで、あたかもスクリーンの向こう側に物体が存在し、触れているような感覚を得ることができるデザインとなっています。

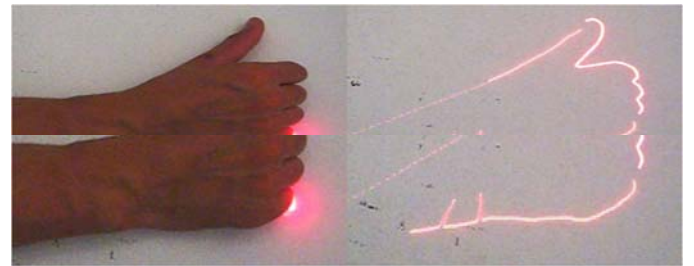


Smart Laser Projector

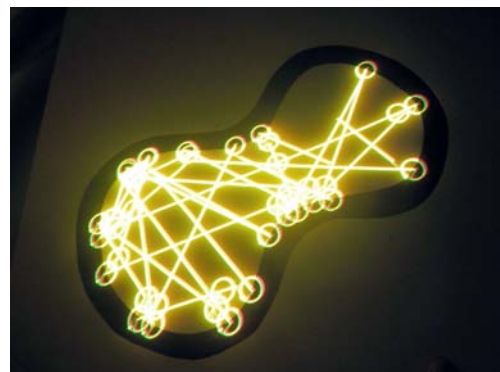
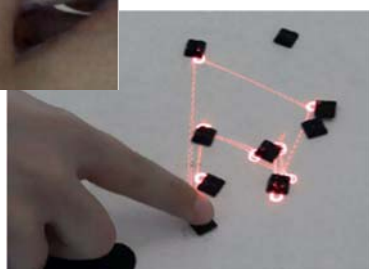
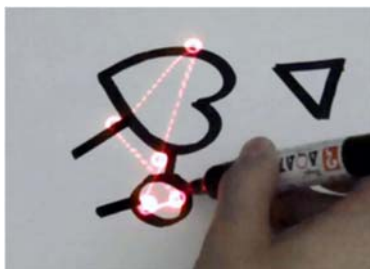
Smart Laser Projectorは、変調されたレーザを投影面に照射することで、反射面の特性をセンシングするとともに、映像を提示するプロジェクタシステムです。



本技術は、マーカーレスの物体追跡，高速な外界認識，あらゆる場所への高品質な映像提示，コンパクトなシステムなど，様々な利点を備えています。



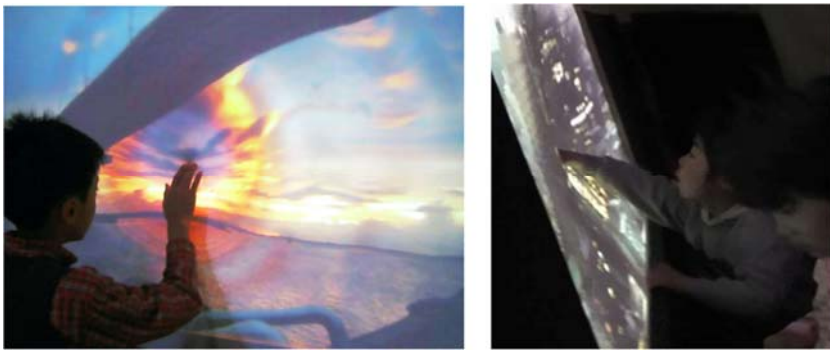
これまでに、応用展開として、手の動きを入力とするインターフェースや、外界の物体とインタラクティブに協調するメディア作品などを開発しました。



Khronotouch

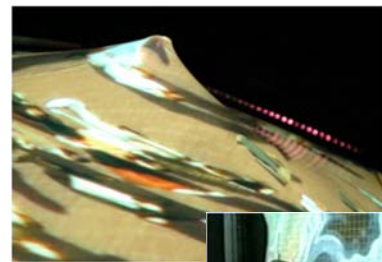
Khronotouchは、シーンの時間変化や物体の内部構造を、インタラクティブに観察することができるディスプレイ技術です。

ユーザは、スクリーンを押し込むことで、異なる時間の映像や物体の内部を見ることができます。



システムは、大型のリアプロジェクタとスクリーン変形を捉えるセンサから構成されています。

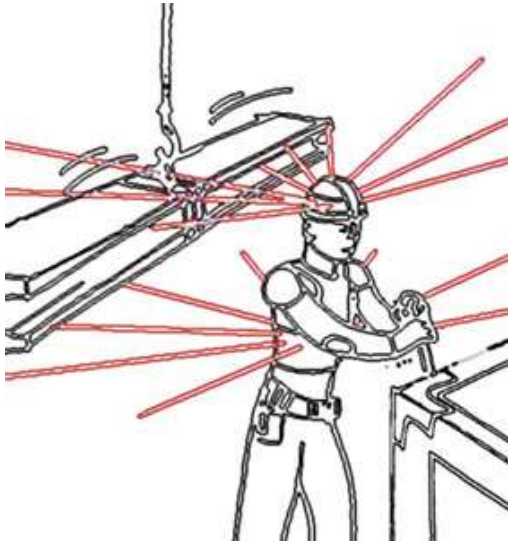
スクリーンの変形は、照射された赤外照明によって生じた陰影をビジョンチップで捉えることで、取得されています。



インタラクティブな広告や、メディアアート、医学画像を始めとする教育用コンテンツなど、様々な応用展開を可能とする技術です。



Haptic Radar



Haptic Raderは、人間の触覚能力を拡張するウェアラブルデバイスです。このデバイスを装着することで、周囲の空間情報を触覚を通じて、直感的に獲得することができます。

この技術は、猫や昆虫が、ヒゲや触角を用いて、外界の危険を回避する能力を、人間にも提供しようとするものです。

Haptic Raderは、レンジセンサと振動素子からなるモジュールをアレイ状に並べた構成となっています。各モジュールは、近接物体までの距離に応じて、振動を発生し、皮膚を刺激します。

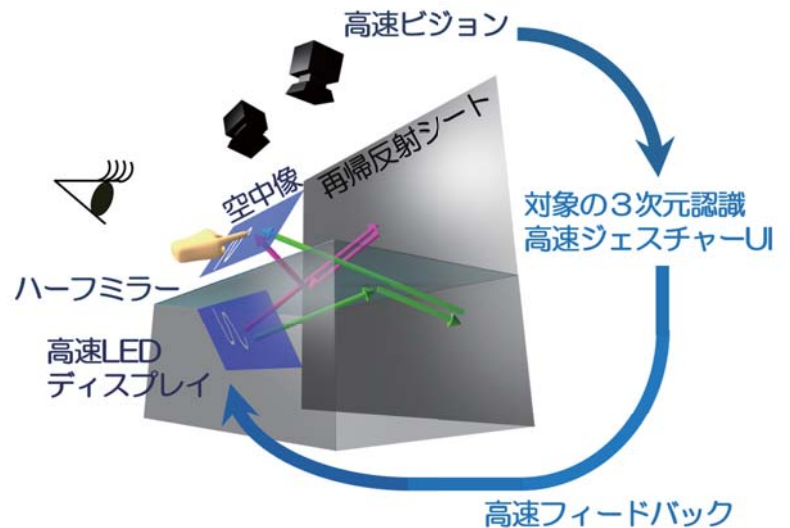
背後から接近する危険物の検知や、目の不自由な方の支援など、様々な応用展開が期待されている技術です。



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 ～

このシステムは, AIRR と呼ばれる表示技術を用いた空中映像に対して, 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ます.



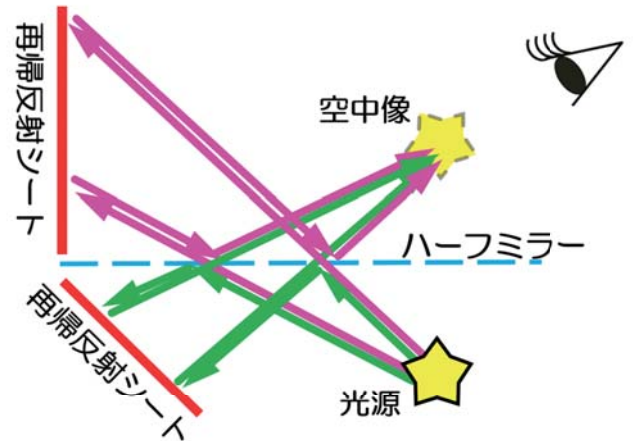
これらを統合したシステムを AIRR Tablet と呼び, 環境に存在する手や対象物を, 人間の認識能力をはるかに超えるスピードで認識し, 遅延等の違和感のない情報の提示と入力を実現しているものです. 従来のコンピュータやスマートフォンとは違い, 情報提示として, 空間そのものを視覚的に実感可能なタッチスクリーンにするものであり, 物理的衝突による制約無く, 自由で高速な3次元入出力が可能となります.



AIRR Tablet

AIRR (Aerial Imaging by Retro-Reflection)

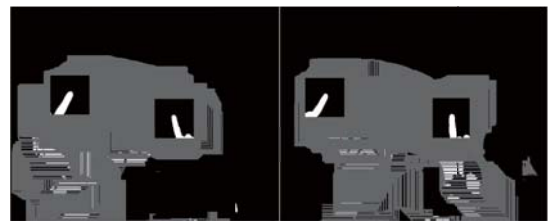
再帰反射を用いた空中映像の形成技術です。入射した方向に光を反射する性質をもつ再帰反射シートを用いて、ハーフミラーの面対称位置に光源の虚像を形成することを実現しています。再帰反射シート、ハーフミラー、光源の3要素によるシンプルな構成で、大画面の空中映像を広い視野に対して提示します。このデモシステムでは、左右90度以上の広い範囲から見える空中映像を形成します。



広い範囲から見える空中映像

高速 3D ジェスチャー認識

2台の超高速カメラによって、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、遅れの無いジェスチャー操作が可能となります。たとえば、両手で空中スクリーン像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返すような速い動きにおいても検出・操作が可能です。



2台のカメラによる両手の認識の様子