

戦略的創造研究推進事業
発展研究（SORST）

研究終了報告書

「感覚運動統合理論に基づく
『手と脳』の工学的実現」

研究期間：平成16年11月1日～
平成22年3月31日

石川 正俊
（東京大学大学院
情報理工学系研究科 教授）

1. 研究課題名

感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的実現

2. 研究実施の概要

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から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った開放系であり、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・高機能ロボットマニピュレーションシステムを構築する。CREST 事業で実現した、握る、捕る、打つなどの基本的なタスクにおける高速マニピュレーション能力に対して、さらなる高速化を進め、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。

本研究の特徴は、「脳」、「手」、「眼」、「触感覚」などのロボットを構成する諸要素を、従来品をはるかに超えた高性能なレベルで構築し、それらを有機的に統合することで、特に、速さと環境変化への適応能力に関して、人間が認識不可能なほどの超高速動作が可能なロボットを目標としている点である。具体的には、デバイスやハードウェアの特性を利用することで、各要素の高性能化を図る。視覚センサや触覚センサに関しては、処理の並列化と LSI 化を進めることで、高速な処理と信頼性の高い検出能力を実現する。一方、アクチュエータに関しては、瞬間的に大出力が可能な高性能アクチュエータシステムを開発することで、従来ロボットでは不可能であった高速運動を実現する。また、対象や環境のダイナミクスに応じて、感覚系、処理系、運動系、それぞれのダイナミクスを調整するための方法論であるダイナミクス統合理論に基づき、各要素の特性や制御手法を環境に合わせてリアルタイムに変更可能な感覚運動統合システムを構築する。結果として、柔軟で高速なマニピュレーションを可能とする。

以上のコンセプトのもと、ハードウェアと理論やアルゴリズムの研究を総合的に行った。最終的には、感覚運動統合システムの更なる高速化・多機能化を実現し、人間を超える超高速マニピュレーションシステムの有効性を示した。各グループの研究概要は以下の通りである。

● 感覚運動統合システムの超高速化と多機能化（石川グループ）

従来よりも高速化に重点を置いたロボットアームとアクティブビジョン機構を新たに開発し、CREST 事業で実現してきた高速ロボットシステム（0.1 秒で開閉の多指ハンドと 0.001 秒で認識の視覚）と統合した。これによりシステムのボトルネックが減少し、感覚運動統合システムが制御できる対象や環境のダイナミクスの領域が拡大した。開発したシステムは、他のサブグループの研究成果を統合するためのテストベッドとなるものであり、様々な操りタスクに適用することでシステムや感覚運動統合理論を検証するのに用いた。

実現した高速操りタスクは、既存のロボットマニピュレーションを単に高速化したものではない。システムの性能を最大限に引き出す戦略、高速な物理現象で現れる特性を利用した戦略、不安定領域や非接触状態を積極的に利用する戦略を提案することで超高速ロボットシステムが可能にする新たな運動技能を示し、多機能化をおこなった。具体的には、人間がランダムに投げたボールを目標位置へ打ち返すバッティング動作、二本の指で交互にボールを打撃するドリブル動作、落下してくる生卵を割らずに把持するソフトキャッチ、棒状の物体を高速かつ安定に回転させるペン回し、物体を投げ上げて把持姿勢を変化し直すダイナミックリグラスピング、発生エネルギーの効率的な伝播で手先の運動を高速化するスローイング動作、ロボット表面に配置した高速ビジョンで瞬時の判断をおこなう衝突回避動作を実現した。

● 超高速マニピュレーションメカニズムの開発（金子グループ）

本研究では、器用性や汎用性の実現といった多指多関節ロボットハンドの主用目的を切り捨てる反面、ロボットが得意とする高速性を突破口にして、マニピュレーション研究の新展開を切り開くことを狙った。超高速キャプチャリングシステムの開発を手がかりとして、高速ダイナミックマニピュレーションの力学的観点からの枠組を構築した。ここでは、1000[fps]で対象物の位置・姿勢情報を取得可能な高速ビジョンシステムと、5[回転/s]で駆動可能な多指ロボットハンド関節用軽量高速アクチュエータといった最先端ハイパーヒューマン技術を駆使することによってダイナミックな効果を積極的に活用し、ロボットハンドやパーツフィーダーにフレキシビリティとインテリジェンスを持たせることを狙った。はじめに、高速動作に適したワイヤ駆動式軽量高速ロボットハンドの設計指針として、ワイヤ駆動方式の高速ロボットハンドが対象物を捕獲する場合の Dynamic Preshaping に基づき、ロボットの最適機構パラメータの決定手法を構築した。また、遺伝的アルゴリズムによってワイヤ張力波形を調整するよう学習を行い、入力張力の最適波形を獲得する手法を確立した。次に、高速捕獲対象を棒状物体へと拡張し、並進および回転運動を有する棒状動体に対して、接触摩擦に依存することなく安全に捕獲するための動的捕獲戦略を構築した。さらに、物体の操り問題を把持形態から非把持形態に拡張し、プレートの並進および回転の2自由度運動によって柔軟対象物生成される慣性力と摩擦力を定式化し、接触面積変化に応じた対象物の高速回転メカニズムについて力学的枠組みを構築した。ここでは、従来実施されることのなかった柔軟物体の非把持ダイナミックマニピュレーションの実現と高効率化について示した。

● 触覚情報処理の高速化・知能化（下条グループ）

本課題では、触覚・滑り覚、近接覚を開発し、多指ハンドに統合して把持操り動作を行わせ、その有用性を実験的に確認した。

本課題で開発したセンサは、柔軟な薄型の形状を有し、その面積、配置にかかわらず数ms以下の高速応答性があり、センサからの配線数は、4～6本程度と省配線である。また滑り覚ではセンサは全方位の初期滑りを高感度・高速で検出できる特徴を有する。

次に、本課題では、視覚情報と触覚情報を滑らかに接続する近接覚センサを導入することの有用性を示した。これは視覚は大局的な情報を取得できる反面、対象物近傍では死角・隠蔽による情報の欠落の問題がある。また触覚は、接触を確実に検出できる反面、局所的な情報である欠点がある。これに対して接触表面から数 cm の近距離を検出する近接覚センサは上記の情報の欠落問題に対する一つの有効な解となることを示した。

現在このような統合型センサを用いたロボットハンド制御に関する研究は数少ない。特に滑りの検出は、物体の器用な操りなどにおいて必要不可欠の情報でありながら、すべりの検出技術に関してはいまだ有効な方法が無いのが現実である。

このような特徴を併せてもつセンサシステムはこれまで実現されておらず、これからの触覚を用いたインターフェースはもとより、ロボット技術、各種機械システムに装着する触覚センサシステムの共通的プラットフォーム技術として利用できると考える。

● 高速・高機能多指ハンドシステムの開発（並木グループ）

これまでに動作の高速性を重視して開発された高速多指ハンドの指の構造は、掌旋回 1 自由度と屈曲 2 自由度であり、人間と類似した構造であった。それに対して、本研究グループでは、指先に旋回軸を取り付けた多指ハンドシステムを開発した。この旋回軸を回転させることにより、転がり接触を利用して、対象から指を離さずに対象の位置姿勢を操作することが可能となった。

開発したハンドの指の本数は、外乱に安定な把握が可能な最小本数である 3 本である。各指は、それぞれ、掌旋回、屈曲 2 軸、指先旋回軸の計 4 自由度を有しており、これに手首の屈曲旋回の 2 自由度を加えると、ハンドシステム全体で 14 自由度となる。各指の掌旋回軸は $\pm 90^\circ$ の範囲で動作可能であり、様々な把握形態に対応できるよう設計されている。また、指先旋回軸は、指モジュールの指先部分の指の長手方向軸回りの旋回軸であり、これを利用することで、従来のロボットハンドにない様々な種類のハンドリングの実現が期待される。一例として、指先旋回軸を利用して多面体の回転制御を行った。多面体の場合、対象の回転に応じて回転軸と接触点の距離が変動するため、指先回転と同時に指先の位置制御も行う必要があるが、指の旋回速度と指の位置制御を組み合わせることで、高速回転動作を実現した。

3. 研究構想

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ことを目指して研究を進める。CREST事業によって、握る、捕る、打つなどの基本的なタスクに対して、高速度でのマニピュレーションを実現することができた。継続研究ではさらなる高速化を進め、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指す。同時に、超高速マニピュレーションの産業応用などを目指して、システムの多機能化、微細精密作業に対する高速化についても研究を行う。具体的には、特にマニピュレーションとセンサの超高速化と高機能化に注目して、次の研究方針で研究を進める。

① 感覚運動統合システムの超高速化

CREST プロジェクトによって、視覚(0.001 秒で認識)と多指ハンド(0.1 秒で開閉)については、従来ロボットをはるかに超える高速性を実現することができた。しかし、ロボットアーム、アクティブビジョン機構、触覚などに関しては速度が不十分であり、システムのボトルネックとなっている。これらシステムの要素のダイナミクスを整合させて、全体として超高速マニピュレーションを実現する。

- ロボットアームの超高速化(石川研究グループ、[並木研究グループ](#))

現在使用しているロボットアームは、一般的なロボットアームと比較すると非常に速い(手先の速度が5m/s,加速度が6G)が、人間の手先速度(10m/s以上)に比較すると遅く、ボトルネックとなり、打撃や捕球の成功率を著しく下げていた。そこで、多指ハンドの開発において採用した瞬時高出力化設計を適用することで、軽量高速ロボットアームを開発し手先速度 10m/s、手先加速度 10G 以上の高速性を実現する。

- アクティブビジョンシステムの超高速化(石川研究グループ)

現在使用しているアクティブビジョンに対しても、多指ハンドで採用した瞬時高出力化設計を行うことで、慣性モーメントを小さくして高速な応答を可能とする。例えば、眼前を時速 300km 以上の飛球が通過しても、追従できるような高速動作を実現する。また、運動機構だけでなく、ズームやフォーカスなどの光学系に対しても、軽量化と高速化を実現する。

- 触覚情報処理の高速化・知能化の研究(下条研究グループ)

高速かつ器用な操りを可能とするため、可動部を有する多指ハンド上に実装可能な、高速高精度な触覚センサを構築し、高速多指ハンドに対応した実時間触覚情報処理アルゴリズムを開発する。高速な操りを実現するためには、センサの形状、面積に関わらず 1ms 以下の高速応答性が必要となる。また、多指ハンドの広い面積を覆え、薄型で、柔軟性があることが必要となる。本研究では、このような条件を満たす触覚センシングシステムの開発を行う。また多指ハンドに触覚センサを実装し、実時間触覚情報処理アルゴリズムを用いた高速かつ器用な操りの実現を行なう。

- 超高速マニピュレーションメカニズムの開発(金子研究グループ)

人間の能力を超えるマニピュレーションメカニズムを構築することを目指す。特に、人間の運動の一部は、力の「ため」と「放出」をうまく利用することで、大きなパワーを得ている。一方で、このような高速アクチュエーション技術と高速ビジョンシステムを組み合わせることにより、

人間の能力を超えた運動物体の捕獲、操り動作を実現することが期待できる。本研究では、以上のような人間の能力を超えた人工機械の開発をキーワードとし、超高速マニピュレーションメカニズムの開発と人間を超える高速な動作戦略の力学的観点からの枠組を構築する。

② 感覚運動統合システムの多機能化

これまでに、握る、捕る、打つなどの基本的なタスクに対して限定していた高速マニピュレーションをその他の様々なタスクに対して適用する。

- 超高速マニピュレーションにおけるダイナミクスの整合(石川研究グループ)

CREST 事業で行った視覚情報から運動をダイレクトに生成する視覚運動変換アルゴリズムを一般化して、多様なマニピュレーションに対応させる。また、視覚運動変換パラメータのダイナミクス整合による実時間学習の研究を行う。

- ダイナミックマニピュレーション(石川研究グループ、金子研究グループ、[並木研究グループ](#))

CREST 事業で行った衝突現象を利用したダイナミックアクティブキャッチングを発展させて、動的な操り技能のモデル化を行う。少ない自由度のハンドであっても、高速性を用いてダイナミックに持ち替え、操りを行うことを可能とする。

4. 研究実施内容

4. 1 感覚運動統合システムの超高速化と多機能化（東京大学石川グループ）

(1) 実施の内容

A) 高速アームの開発

従来の市販されていたアームの多くは重量が重すぎる、または、出力が小さすぎるという理由から、人間の腕以上の高速運動能力を実現することは困難であった。そこで、人間を超える高速度、高精度運動能力を目指して、超高速アームの設計開発を行った。基本的なコンセプトとしては、(1)高速多指ハンドと同様、瞬時出力を重視する、これより、小型モータによって高出力を実現することが可能となる。(2)高速動作中のリンク間の干渉が生じないような関節配置を行い、高速動作のための加減速を行いやすくする。(3)ハンドとアームの連動が容易な構造、といった点が挙げられる。図 1-1 に既存のロボットアームとの比較図、図 1-2 に写真を示す。人間の腕に近いサイズのコンパクトな構成となった。手先に高速多指ハンドを搭載することで、高速かつ高精度で器用な動きを実現することが可能となった。

アームのキネマティクスを図 1-3 に示す。肩3軸、肘2軸、手首2軸の計7自由度であり、人間と同様に冗長な自由度構成となっている。メカニズムの特徴として、前腕と上腕の長手方向の中心軸位置をずらしてあり、肘部分が無限回転できる構造になっている。これにより運動の加速区間を長く確保することで手先の速度を高速化することが可能になる。また、肩関節の根元軸を斜向軸とすることで、手先の到達可能領域の拡大化、および 3 次元的なダイナミックな運動を可能にしている。本アームはひも結びや高速投球動作など複数のタスクに適用することで、性能の検証がおこなわれている。



図 1-1 バレットアーム(左)との比較



図 1-2 高速アーム

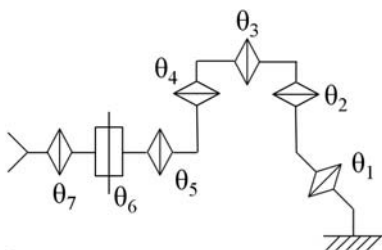


図 1-3 キネマティクス

B) アクティブビジョンの超高速化

開発した高速アクティブビジョンの写真を図 2-1 に示す。パン軸には 750W, チルト軸には 100W のモータを搭載して超高速化を図った。モータに高出力のものを用いたことと、重心と回転中心を一致させたことから、パン軸の搭載重量が増加による応答遅延の影響はほとんど見られなかった。非常に高い性能を実現した一方、動作を安定させるために土台の質量を大きくする必要があり、前バージョンに比べてサイズと質量は大きくなった。

検証実験として、ピッチングマシンから放たれた約 70km/h のカラーボールのトラッキングを行った。図 2-2 にトラッキングの結果を連続写真で示す。右上に現れるボールが対象であり、左下にアクティブビジョンが設置されている。アクティブビジョンが首を振り、トラッキングが実行されている様子が示されている。図 2-3 に画像面上で計測された対象の動きを示す。ボールが解像度 128x128 の視野内に収まるように制御されていることがわかる。図 2-4 に画像面上での対象の時間応答(青線X軸, 赤線Y軸)を示す。トラッキングは約 0.08 秒(5.76 秒から 5.84 秒)の短い時間であるが、関節軸は高速に動いて追従を行っており、特にパン軸では約 20rad/s (=191rpm, 1146 度/s)という非常に高速な運動が実現されている。設計上では、パン軸の速度は 1000rpm 近くまで出せるはずなので、機構やタスクに合わせて最適化することで、現状よりもさらに高性能な結果が得られることが期待される。

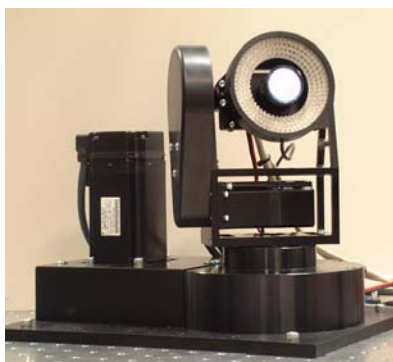


図 2-1 アクティブビジョン

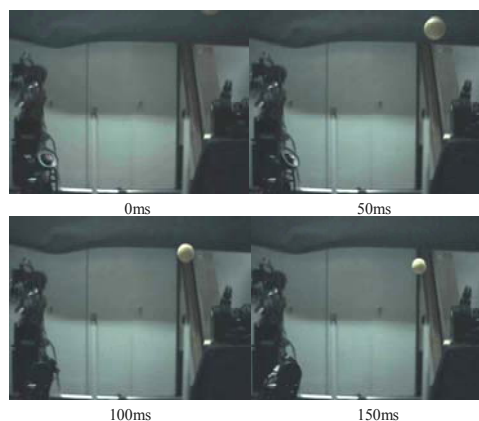


図 2-2 トラッキング

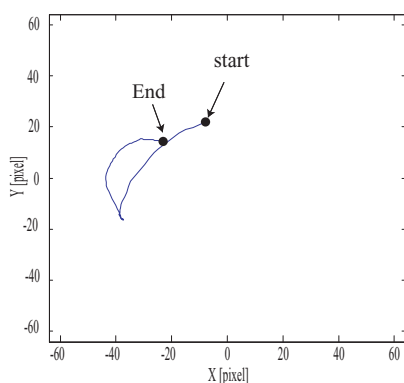


図 2-3 画面上での対象の動き

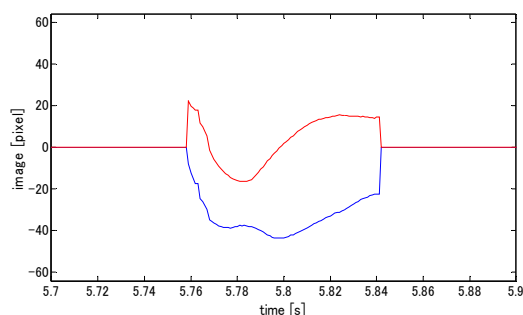


図 2-4 画面上での時間応答

C) 高機能バッティング(打ち分け動作)

CREST プロジェクトで実現したバッティング動作をさらに発展させることを目的に、打球方向の制

御の研究を行い、実機により実現した。これは衝突時の対象物体の制御を行うことに相当し、より器用で精密な動的マニピュレーションをするために必要な要素であると考えられる。具体的には、ハイブリッド軌道生成手法に衝突モデルを導入することで、打球方向の制御を試みた。図3-1に実現したタスクを説明する概略図を示す。バッティングシステムの先端に一自由度の旋回軸を付加することで、制御性能の向上を実現している。

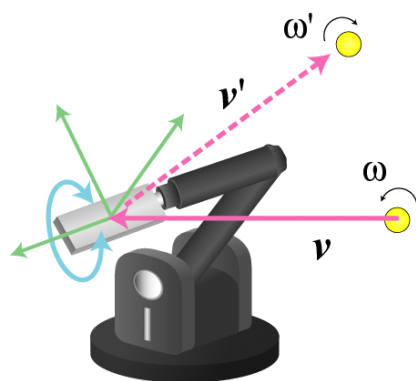


図 3-1 打球の制御



図 3-2 打球制御実験の様子

実験では、マニピュレータに向かって2.3m離れた位置から人間がボールを投げた。バットのスイングに必要な打撃時間は約0.25秒である。図3-2に132 ms 間隔の連続写真を示す。結果として、様々な位置に配置した直径30cm程度の的に打球を当てることに成功した。投球される球は、様々な位置にばらついており、それを目標的に当てることは人間でも至難の技であるが、開発したロボットでは成功率30%程度で実現することができた。本研究の成果は、打撃や衝突現象を生じる制御問題において、広く応用が可能な一般性を持つものである。

D) 動的保持

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を存在する。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。

動的保持動作の一例として、指を用いたドリブル動作について研究を行った。まず、ドリブル動作のダイナミクスのモデルを作成し、その安定解析を行った(図4-1)。解析結果をもとに、少ない自由度と小さな範囲の動作によるドリブルアルゴリズムを提案した。提案したドリブル動作は、最大で15回程度継続することができた。また、一本指だけではなく、二本の指で交互にドリブルすることも実現できた。本実験におけるドリブル動作の連続写真を図4-3に示す。

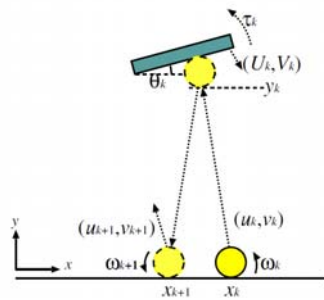


図 4-1 ドリブルモデル

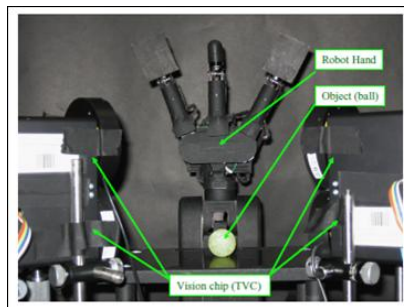


図 4-2 実験システム

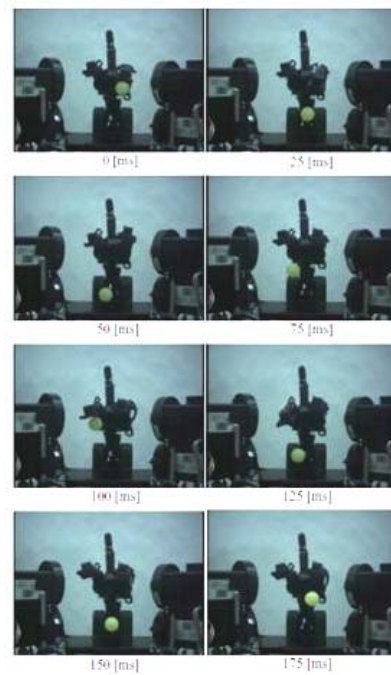


図 4-3 二本指による高速ドリブル実験

E) ソフトキャッチング

CREST プロジェクトにおいて、ロボットハンドを1kHz の視覚フィードバックで制御することで捕球実験を行い、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、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、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付け、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、壊れやすい物体の高速な捕球を実現した。

今回の実験では、壊れやすい物の代表として「卵」を選択し、これを割らずに把握する実験を行った。図5-1にシステムの概略図を、図5-2に実験の結果を示す。ゲル指先のずり変形が大きすぎると卵を滑り落としてしまう一方、ずり変形を小さくするためにゲル被覆を薄くすると衝撃で卵が割れてしまう。ゲル被覆の形状を考察することで、高速に落下してくる生卵のキャッチに成功した。

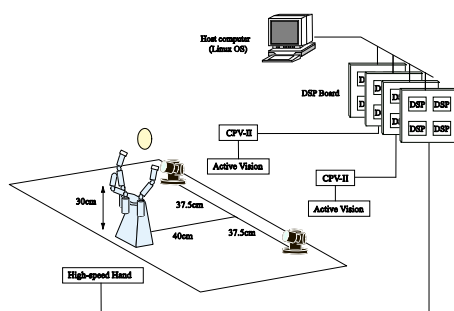


図 5-1 キャッチングシステム

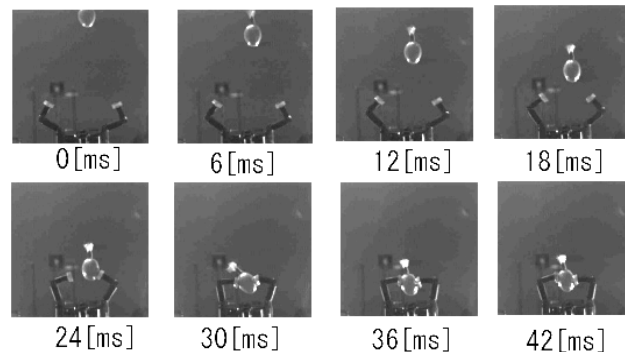


図 5-2 卵のキャッチング

F) ダイナミックリグラスピング

ロボットハンドの重要な機能の一つとしてリグラスピングがある(図 6-1). 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. その欠点を克服するために本研究では「ダイナミックリグラスピング」と呼ばれる戦略を提案した. 図 6-2 に示すように, まず, 対象を上方に正確に投げ上げて自由回転により姿勢を変化させる. 次に落下時に視覚フィードバック制御を用いてキャッチすることにより, リグラスピングを実行する. 投げ上げた後の対象は, オイラーの方程式に基づき自由運動を行う. そのため, 投げ上げ時に適切な初速度を与えることで, 任意の位置姿勢で対象を落下させることが可能である. 投げ上げ時の誤差によるずれは, 視覚フィードバック制御で補正を行う.

まず, 対象が円柱の場合のリグラスピング戦略を解析した. 円柱の軸対称の性質を利用することで, 適切な投げ方により円柱の回転軸の方向を保持しながら対象の姿勢を変化させることができることが解明された. また, 非対称形状を持つ対象と, ダイナミカルパラメータが未知の対象に対しても, リグラスピング戦略について研究を行った. 前者に関しては, 高速ビジョンにより, 直方体状物体の位置と姿勢の6自由度を実時間で計測する手法を開発した. また, 直方体状物体の適切な投げ上げの軌道についても開発し, 実験により検証した. 後者に関しては, 複数回の試行により, 対象のダイナミカルパラメータを推定し, それを用いた適切な投げ上げの軌道の生成方法を開発した. 図 6-3 に携帯電話のリグラスピングの結果を示す.



図 6-1 リグラスピング

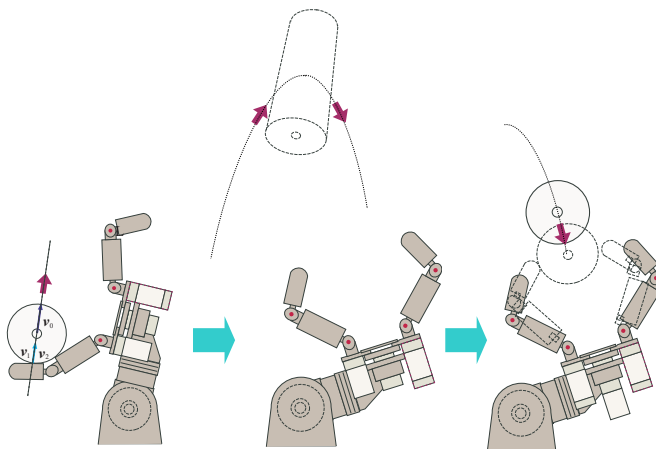


図 6-2 ダイナミックリグラスピング戦略

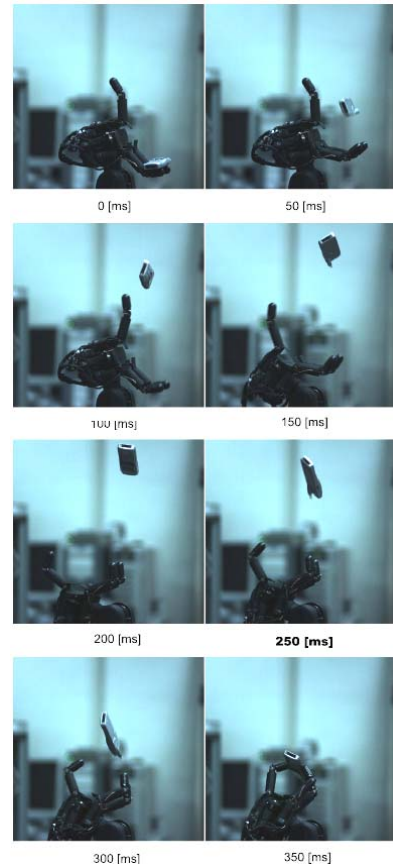


図 6-3 携帯電話のリグラスピング

G) 動的ペン回し動作

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ある。数多く存在するペン回し動作のうち、drummer および 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た。具体的には、図 7-1 にあるように、ペン回しの簡略化モデルを提案して、運動方程式を導出した。実験から、指に滑りがない場合、高速に棒を回転させることにより、棒の回転平面は安定することがわかっていたが、導出した運動方程式より理論的に検証することができた。また、指の表面の大きさの影響を考察するために、図 7-2 のようなペンと指の接触モデルについても導出した。

以上のモデルに基づき、ペン回しのための視触覚フィードバック制御法を提案した。触覚センサとしては下条研究グループで研究を行っている高速高精度触覚センサを装備することで、高速触覚フィードバック制御に対応することができた。これらの結果により、ペン回し動作の成功率を上げることが可能となり、図 7-3 のような drummer 動作を3往復繰り返すことに成功した。また図 7-4 のような 2 つの回転軸周りの運動で構成される sonic 動作を実現した。

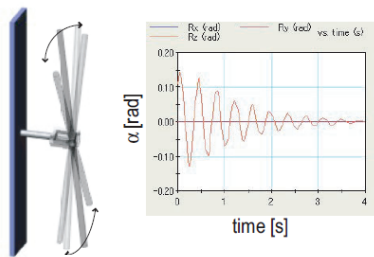
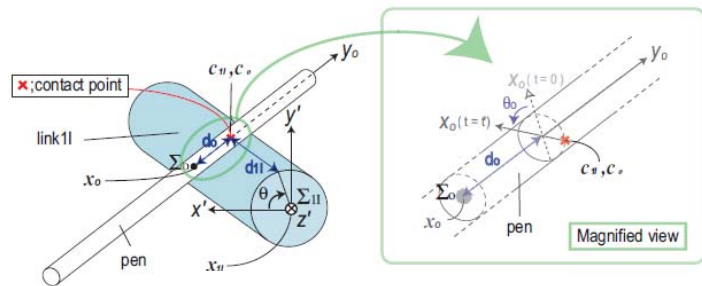


図 7-1 ペン回しのモデル



H) 高速スローイング動作、および高速バッティングとの統合

スポーツにおけるリリース時の人間の手先速度は発生パワーに対して特異的に速い運動を獲得している．これは全関節が力を最大限に発揮して身体を駆動するからではなく，むしろ脱力した状態で身体構造の干渉作用を利用することにより通常よりも高速な運動が可能になっている．このような運動連鎖は，体幹から指先にかけて速度波形のピークの時間が次々と手先の部位へ移行していく特徴を持つ平面的な運動連鎖と，ジャイロのように多重回転運動から発生する 3 次元的な慣性力（遠心力とコリオリ力）の 2 種類がある．そこで，上記の二つの要素を導入したスウィングモデルを考案した（図 8-1）．このモデルは，人間の肩と肘の屈曲，内外旋をモデル化したものとなる（図 8-2）．このモデルに基づき，効率的なスウィングモデルの生成が実現された．同時に，多指ハンドのリリース制御を組み合わせることで高速かつ安定な投球動作を実現した．図 8-3 にリリースの瞬間の連続写真を示す．

高速スローイング動作と，本プロジェクトで実現してきた高速バッティング動作を統合した．スローイングロボットが投げた約 40km/h のボールを，3.9m 先のバッティングロボットがスウィング時間 0.2 秒で打つシステムを実現した．実験の結果を図 8-4 に示す．手前側のマニピュレータがボールを投球し，2 台のアクティブビジョンの眼前をボールが通過して 3 次元情報を計算する．その情報を基に奥側のマニピュレータがバットの軌道を調整してボールを打ち返している様子がわかる．

単体のマニピュレータを中心とした従来のダイナミックマニピュレーションを複数台の協調動作へ拡張することで，リリースやヒッティングなど接触・非接触の状態遷移を利用して対象物体の高速移動を制御する分散型高速マニピュレーションを実現した．

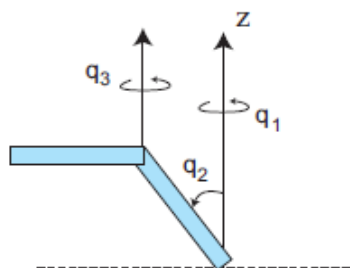


図 8-1 スウィングモデル

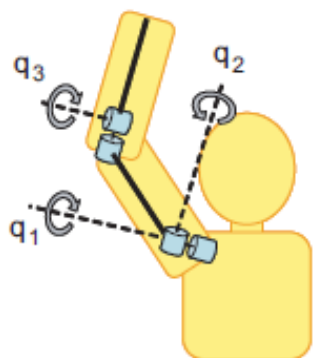


図 8-2 人間とのアナロジー

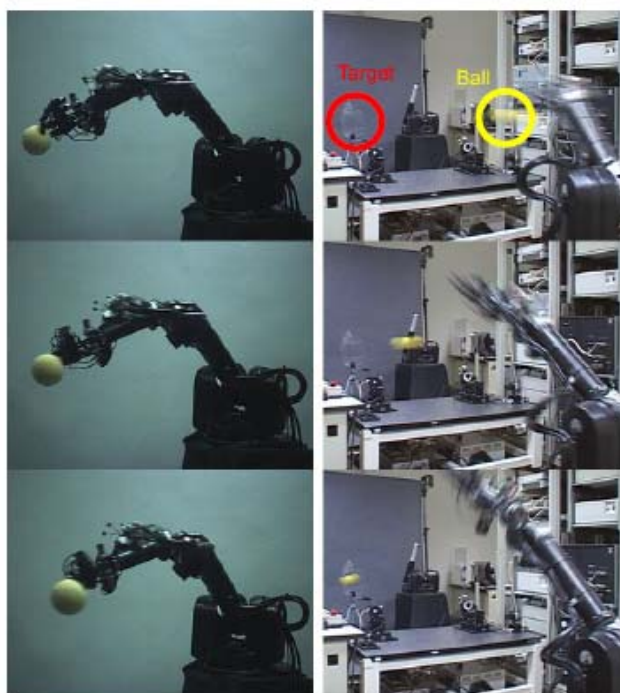


図 8-3 スローイング実験

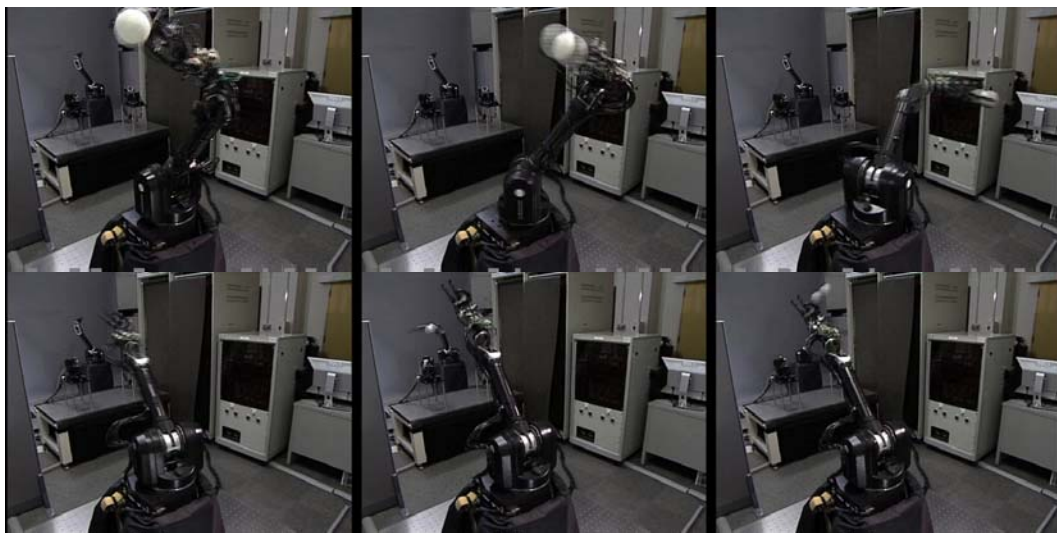


図 8-4 高速スローイング&バッティング

1) 高速視覚フィードバックによる高速アームの回避行動

ロボットアームの衝突回避行動のために視覚センサは有効である．近年，高速ビジョンの小型化が進んでおり，我々は高速ビジョンをロボット表面に多数配置するビジョンセンサネットワーク化を提案してきており，球状の動的に動く障害物の回避に成功している．本年度は，障害物の画像モーメント情報とそれに基づき視覚サーボ制御方法により，棒状物体の回避を実現した．棒状物体を回避するためのロボットアームの軌道としては，図 9-1 に示すように棒から遠ざかる動き②と，棒を回り込んで避ける動き①を統合することで生成した．そのとき，ロボットアーム表面に設置したビジョンによる画像情報は図 9-2 のようになる．図 9-3 に回避シミュレーションの一例を示す．本アルゴリズムは実機においても実現されている．

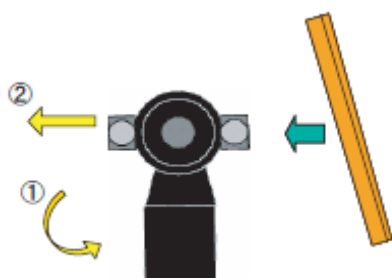


図 9-1 回避運動

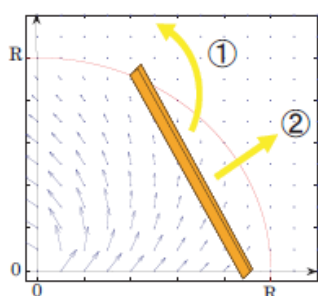


図 9-2 画像空間との対応

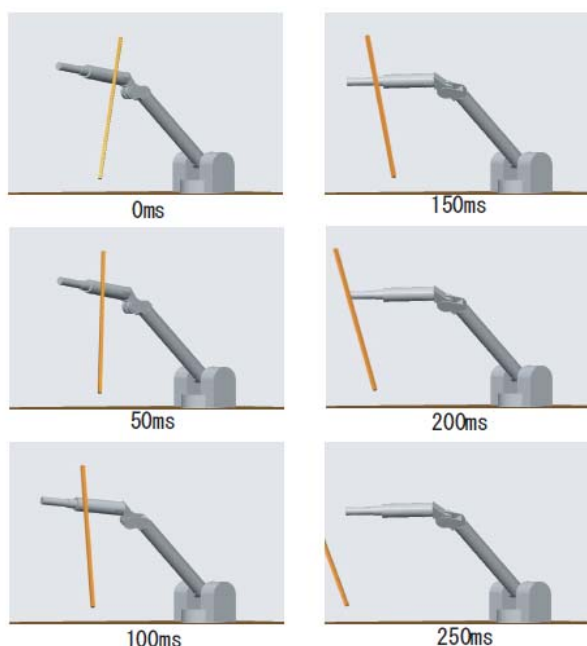


図 9-3 シミュレーション

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

本研究の特徴は、各諸要素を人間の機能や従来工学システムの能力をはるかに超えたレベルで構築し、機械システムの限界を追求した感覚運動統合システムを構築することを目指す点にある。構成要素の物理的制約や計算的制約を陽に考慮して設計することで、機械システムの潜在能力を引き出すことに成功した。これにより予測や学習といった不確定な推定情報ではなく、環境や対象にダイレクトに反応して動くロボットが可能となり、ロボット作業の巧緻性や信頼性を向上することにもつながる。このようなアプローチで行ってきた研究はこれまでにはなく、その研究の進展は現在の技術のブレークスルーになる可能性があると考えている。

特に近年、工場外におけるロボット作業が多様化してきたことや製造現場が多種少量生産へシフトしていることに伴い、環境変化への素早い適応能力を備えたロボットが求められている。開発してきた感覚運動統合システムはこうしたニーズを満たす能力を有しており、その成果は多くの分野へ適用できることが期待される。

例えば、従来から自動化が困難とされてきた分野(労働集約型産業；医療，農林魚業等)に応用することで、作業の機械化が促進され、産業構造の改革に繋がることが考えられる。また、産業用途ではコストダウンの限界の兆しが見える従来型の産業用ロボットに対して、高速センサフィードバックを用いて適応性と高速性を付与することにより、パフォーマンスの向上を提供することが可能である。単体のロボットで様々な作業用途に対応した汎用性を持たせることで、結果としてコスト・パフォーマンスを向上させるものである。現在、世界をリードする日本のロボット技術に新たな応用展開の可能性を与えることが期待される。

4. 2 超高速マニピュレーションメカニズムの開発 (大阪大学金子グループ)

(1) 実施の内容

本研究では高速ビジョンからの情報を利用することを想定した上で、世界最高加速度を実現する超高速キャプチャリングシステムの研究開発と、高速で運動する動体を捕獲し操るための力学的観点からの枠組を構築することを研究目的とした。

A) Dynamic Preshaping に基づく最適機構パラメータの決定指針の開発

ワイヤ駆動方式の高速ロボットハンドが対象物を捕獲する場合の Dynamic Preshaping に基づき、シミュレーションによる最適機構パラメータの決定、および、検証装置による実機実験を実施した。図 1-1 に示すように、高加速度条件下において、目標対象物に対する指姿勢生成をハンドの機構パラメータ（ワイヤリング，関節バネ配分，質量分布）の最適設計問題としてシミュレーションにより検証し、実機モデルに基づいて機構パラメータを決定した。続いて、Dynamic Preshaping 検証装置としてプリー位置，関節バネ定数を変更できるワイヤ駆動 2 本指ハンドを開発し、シミュレーションにより得られた最適パラメ

ータ（プリー位置）の検証実験を行った．ここでは，シミュレーション結果と実験結果が定性的によく一致し，Dynamic Preshaping に基づいた指姿勢の実現を実験的に確認することができた．

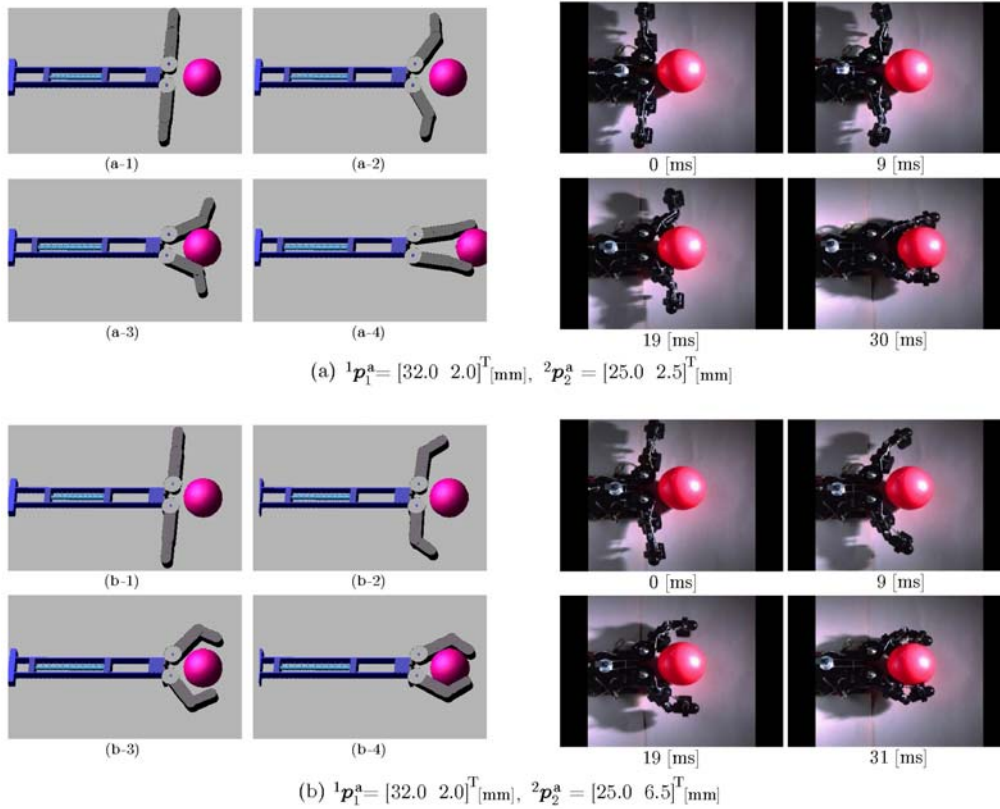


図 1-1 Dynamic Preshaping に基づく高速ワイヤ駆動ハンドの設計・開発

さらに，Dynamic Preshaping に基づく最適機構パラメータの決定手法を拡張し，アクチュエータにより生成されるワイヤ張力を時間的に操作して指姿勢を制御する手法について考察した．対象物の大きさや形状の変化に対応するためには機構パラメータの再設計および再配置が生じるという従来手法の難点を解消することを目的とし，図 1-2 に示すように，“全リンクが捕獲対象と同時に接触するための関節駆動トルクの生成”をワイヤ張力の時間波形の操作により実現する方法を導入した．ここでは，遺伝的アルゴリズムによってワイヤ張力波形を調整するよう学習を行い，ダイナミックシミュレーションによって指リンクの挙動を検証した．図 1-3 に，学習によって得られたワイヤ張力波形と，対象物と接触した瞬間の指姿勢を示す．図 1-3 (b) が基準となる対象物と張力波形であり，図 1-3 (a) および(c)は，それぞれ対象物のサイズを小さくした場合と大きくした場合の張力波形である．これらの図に示すように，Dynamic Preshaping に基づいた指姿勢の実現が，張力波形の操作によって実現可能であることを確認することができた．

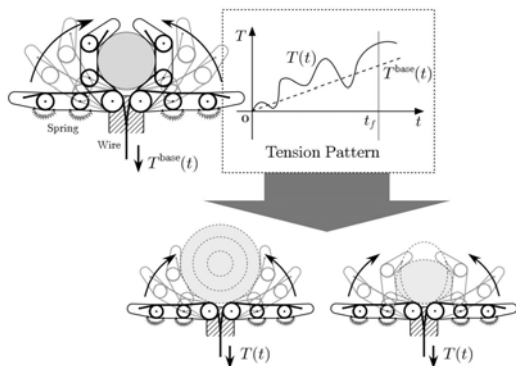


図 1-2 張力操作に基づく Dynamic Preshaping

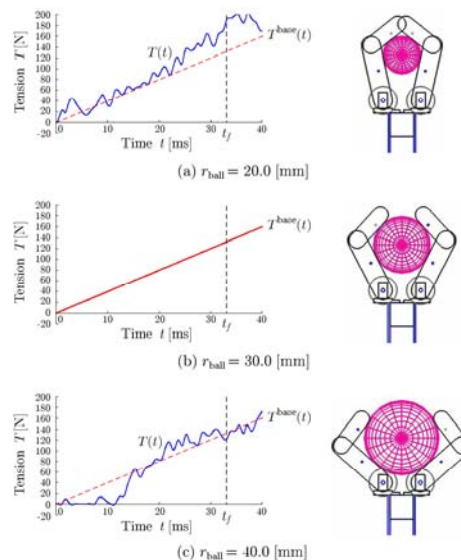


図 1-3 シミュレーション結果

B) 棒状物体の摩擦不感型捕獲戦略の構築

高速ビジョンと高速ハンドを使用し、並進・回転運動を有する棒状物体に対し、指先と対象物との間の接触摩擦に依存しない動的捕獲戦略を構築した。図 2-1 に示すように、提案する捕獲戦略では、対象物の回転運動が除去された状態で、長手軸と直交した並進往復運動を行う最終捕獲段階に基づいている。衝突時に接触摩擦が影響しない摩擦不感型衝突を使用し、2-step 捕獲は 1 回の衝突で初期運動方向に依存した最終捕獲段階を実現する。一方、3-step 捕獲は 2 回の衝突で任意の方向へ対象物を誘導しつつ最終捕獲段階を実現する。この捕獲戦略により、摩擦条件が未知な場合においても、任意の方向への並進・回転運動を有する棒状物体を必ず捕獲状態へと導くことが可能となる。図 2-2 に、3-step 捕獲の実験の様子を示す。第 1 衝突で、対象物の運動を回転運動のみに変換する (図 2-2(c))。第 2 衝突では対象物がパームと直交した姿勢において回転運動を並進運動に変換する (図 2-2(d))。以上のような 2 回の衝突を経て、対象物は両指の中心に導かれ (図 2-2(e))、最終的に捕獲されている (図 2-2(f))。このように、3-step 捕獲戦略を用いれば、衝突によって対象物を巧みに操り、捕獲しやすい状態へと誘導することが可能であることを確認した。

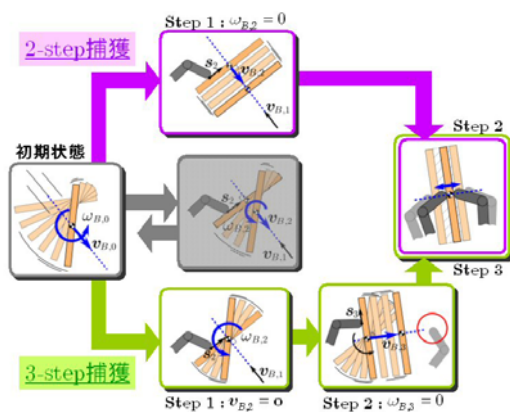


図 2-1: 棒状物体の動的捕獲戦略

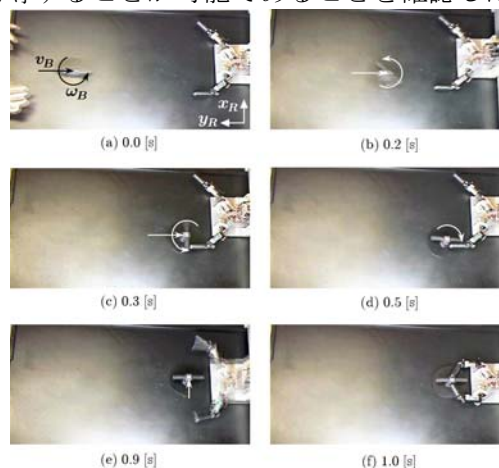


図 2-2: 棒状物体の捕獲実験

C) 非把持ダイナミックマニピュレーション

ロボットマニピュレータの高速動作によるダイナミックな効果を利用した非把持ダイナミックマニピュレーションの理論的枠組みの構築と実験検証を行った．図 3-1 に示すように，高速視覚情報と対象物のダイナミクスに基づいて，対象物に作用する合力・合モーメントを制御するためのプレートの運動計画群を整理した．ここでは，プレートに対して，「並進およびその並進軸回りの回転」の計 2 自由度のみが与えられるという条件下で，プレートを操作することによって対象物に及ぼされる慣性力と摩擦力のバランスを調整し，並進および回転の計 3 自由度運動を対象物に生成する基本原理について示した．また，これらの動作計画を組み合わせ，最終的にプレート上における任意の目標位置・姿勢に到達するための操り戦略の枠組みを構築した．さらに，プレート付き高速マニピュレータを用いた基礎実験システムを構築し，図 3-2 のような円盤対象物に対する基礎実験を行った．ここでは，図 3-2(a)に示すような，初期位置と目標位置（破線）から，最終的な目標位置・姿勢を実現することができた（図 3-2(f)）．

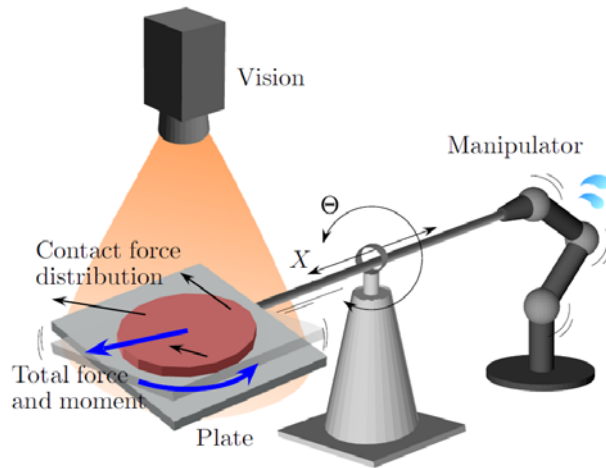


図 3-1. 非把持ダイナミックマニピュレーション

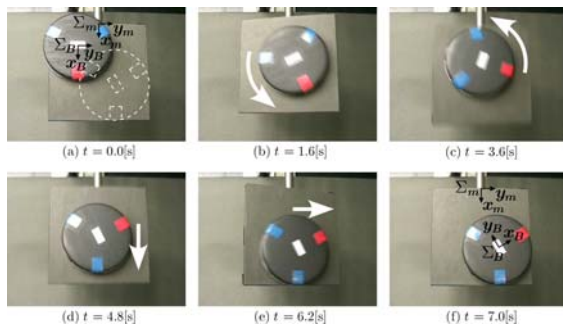


図 3-2. 剛体の 3 自由度操り実験

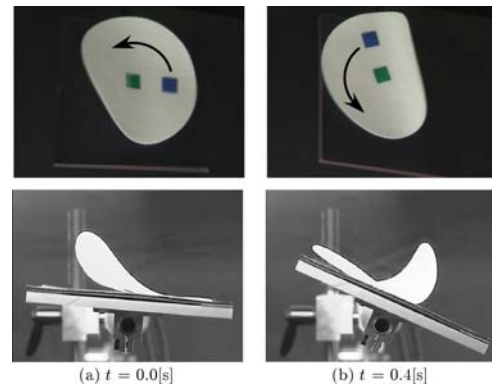


図 3-3. 柔軟物体の回転実験

引き続き，剛体対象物に加えて，ダイナミックな効果により変形を起こす柔軟対象物の操り問題を取り上げた．図 3-3 に示すように，対象物の変形による接触面積変化が，回転運動に多大に貢献することを，高速度カメラによる動画解析を通じて発見した．この解析

を踏まえて得た知見として、対象物とプレート間の接触面積変化に起因した対抗摩擦トルクの軽減則の基本モデルを構築した。さらに、動力学シミュレータ上に、粘弾性パラメータを変更可能な柔軟対象物モデルを再現し、対象物の柔軟性（弾性パラメータ）に応じて、対象物の回転角速度を最大とするための最適プレート運動（プレート振幅、周波数）が存在することを明らかにした。

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

本研究では、器用性や汎用性の実現といった多指多関節ロボットハンドの主用目的を切り捨てる反面、ロボットが得意とする高速性を突破口にして、マニピュレーション研究の新展開を切り開くことを狙った。超高速キャプチャリングシステムの開発を手がかりとして、高速ダイナミックマニピュレーションの力学的観点からの枠組を構築した。

高速動作に適したワイヤ駆動式軽量高速ハンドの設計指針として、ワイヤ駆動方式の高速ロボットハンドが対象物を捕獲する場合の Dynamic Preshaping に基き、最適機構パラメータの決定手法を構築した。また、遺伝的アルゴリズムによってワイヤ張力波形を調整するよう学習を行い、入力張力の最適波形を獲得する手法を確立した。次に、高速捕獲対象を球状物体から棒状物体へと拡張し、並進および回転運動を有する棒状物体に対して、接触摩擦に依存することなく安全に捕獲するための動的捕獲戦略を構築した。さらに、物体の操り問題を把持形態から非把持形態に拡張し、プレートの並進および回転の2自由度運動によって柔軟対象物生成される慣性力と摩擦力を定式化し、接触面積変化に応じた対象物の高速回転メカニズムについて力学的枠組みを構築した。特に、従来実施されることのなかった柔軟物体の非把持ダイナミックマニピュレーションの実現と高効率化について整理したことを強調しておきたい。

以上のような成果は、単純なエンドエフェクタを備えたマニピュレータを用いているにも関わらず、高速動作と高速センシングに基づいたダイナミックな操り戦略を構築し、指本数や関節自由度数の少なさを補う効果を引き出すことを狙いとしているという点、従来、煩わしいと考えられていた柔軟対象物の変形性を積極的に利用としている点に特色を有している。従来、プレートに振動を与えてプレート上の対象物を操る研究、さらに対象物の搬送や仕分けを行う一般的なパーツフィーダーの開発・研究は行われているが、本研究は、1000[fps]で対象物の位置・姿勢情報を取得可能な高速ビジョンシステムと、5[回転/s]で駆動可能な多指ロボットハンド関節用軽量高速アクチュエータといった最先端ハイパーヒューマン技術を駆使することによって、ロボットハンドやパーツフィーダーにフレキシビリティとインテリジェンスを持たせることを狙った。以上のように、今後は、単に学術色の強かった従来のロボットハンドによる把持やマニピュレーションの研究と異なり、産業応用までを十分に見据えた研究に発展させることを考えている。特に変形性を有する柔軟対象物を高速にハンドリングすることが切望されている食品産業の自動化・高速化へ大きく貢献するという実用的意義と効果を絞り出したい。

4. 3 触覚情報処理の高速化・知能化の研究（電気通信大学下条グループ）

(1)実施の内容

高速かつ器用な操りを可能とするため、可動部を有する多指ハンド上に実装可能な、高速高精度な触覚センサを構築し、高速多指ハンドに対応した実時間触覚情報処理アルゴリズムを開発する。高速な操りを実現できるためには、センサの形状、面積に関わらず 1ms 以下の高速応答性が必要となる。また、多指ハンドの広い面積を覆え、薄型で、柔軟性があることが必要となる。本研究では、このような条件を満たす触覚センシングシステムの開発を行う。また多指ハンドに触覚センサを実装し、実時間触覚情報処理アルゴリズムを用いた高速かつ器用な操りの実現を行なう。このため、高速応答可能な触覚センサを開発し、実時間触覚情報処理アルゴリズムを用いた多指ハンドでの操り制御を実施した。

A) 高速触覚センサの開発

(A.1) 接触位置と荷重の検出: 触覚センサは薄型のシート状でロボットハンドに取付、指の接触位置及びその力を計測する。図 1-1 にセンサ構造を示す。センサは感圧素材と導電性フィルムから構成する。本センサの測定原理は、表層(A 層)および裏層(B 層)に、それぞれ抵抗 R を通して電圧を印加し、A 層及び B 層の電極間電圧差から 2 次元分布荷重の中心位置を、A 層及び B 層を流れ全電流から総荷重を検出する。本課題では、センサのモデル化を行いシミュレータを開発し、センサパラメータの設計をおこなった。シミュレーションでは、入力荷重に対する全荷重出力の線形性の確保、位置出力の十分な S/N 比の確保を目的にパラメータを定めた。

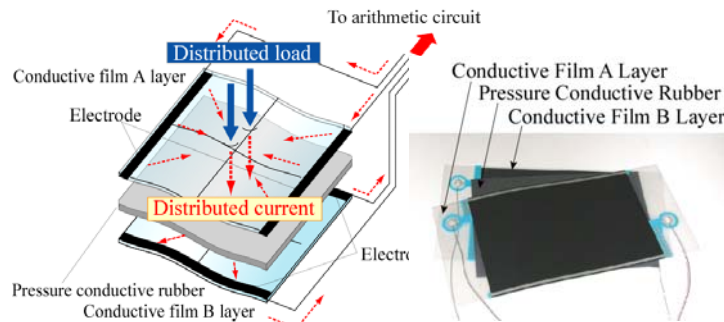


図 1-1 触覚センサの構造と概観

(A.2) 滑りの検出: 開発したセンサは、接線方向力の変化にも敏感で初期滑りを的確に検出できる。この機能は、実際に利用可能な滑り覚センサが無い現状に対して大きな利用可能性を与える。今回そのセンサ特性解析実験を行った。実験では感圧導電ゴムに対して一定なせん断歪速度を与え、その抵抗値変化を電圧出力として測定した。図 1-2 にその特性を示す。図から明らかなように、せん断歪に対して、その発生初期での急激な変化、及び歪発生中における複雑な電圧変化を示す。これらの特徴は、滑りが発生する前段階での初期滑りにおいて発生する。また、出力に含まれる高周波成分(1kHz 以上)が、滑りに関係することから、この瞬時周波数をウェーブレット変換を用いて検出することを行った。図

1-2 にはその実験結果を示す．実験では筒状物体を把持し，内部に砂を入れていくことで自重を増加させた．上段のグラフは，6 軸センサで計測した把持力とレーザー変位計で計測した物体変位を示す．下段は，ウェーブレット係数を示している．物体自重の増加により，①，②等の時点で滑りが発生することがわかる．実験では，この滑りが発生する毎に把持力を更新し滑りを防止することが可能であることを示している．

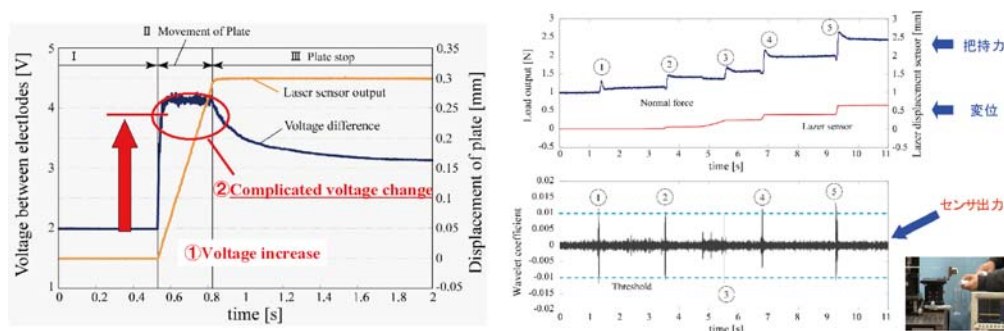


図 1-2 滑りに対する感圧素子特性と滑り検出への利用例

B) 実時間触覚情報処理アルゴリズムを用いた多指ハンドでの操り制御

上記で開発した触覚センサを石川らが開発した高速多指ハンドに装着し，操り制御実験を行った．センサは各指 2 箇所合計 6 箇所に取り付けた．センサ表面保護のためメッシュ状フィルムで覆った．この被覆材は，センサの保護だけでなく，片当たりの防止など重要な役割を果たす．ハンドの制御は各関節の関節角度に対し微分先行型 PD 制御（P-D 制御）によりフィードバック制御を行なった．OS は ART-Linux を用い 1[ms] の制御ループを実現した．



図 2-1 触覚センサを実装した高速多指ハンド

この多指ハンドへの装着と操り実験では，対象物のハンドリング実験，そして把持における滑り制御実験を行なった．前者については，高速ペン回しに成功している．その成果については石川研での実施報告で示す．本報告では，後者のセンサの滑り検出機能を用いた把持制御について述べる．

(B.1) 滑り検出に基づく多指ハンドの把持力制御

多指ハンドが物体を静止状態で把持できるための必要十分条件のひとつとして，ハンドの各指先力が摩擦円錐内にあるという条件が存在する．しかし，このときパラメータとして静止摩擦係数が必要となる．把持対象物を限定しないためには，静止摩擦係数が未知で

あっても制御可能な方法が求められる．そこで滑り検出を利用することで，把持対象物の摩擦係数や重さが未知であっても，把持対象物に応じた適切な把持力が得られる制御方法を提案した．その基本概念は次のようなものである．ある物体を把持しようとするとき，把持力が過小であれば滑りが生じる．そこで，この滑りを検出し把持力をわずかに増加させてゆくと，必要な把持力に達したとき滑りが発生しなくなる．以上の過程において必要なのは滑りを検出することと，それに応じて把持力を増すことのみである．本方法ではセンサ出力のみに基づき把持力を制御するため，摩擦係数など把持対象物の情報は一切必要としない．また，センサ出力変化は滑り変位が生じる直前に得られるため，ハンドが十分高速に動作すれば，ほとんど滑り変位を生じることなく把持力を調整することが可能である．提案する制御手法を多指ハンドに実装し，物体の把持実験を行った．実験装置を図 2-2 に示す．把持対象物のプラスチックボトルは内部の水量変化により 100[g], 150[g], 200[g] の重さに設定し，それぞれの場合について実験を行った．把持力制御は把持を行う指の根元関節のみ行う．それぞれの重さの対象物での実験結果を図 2-2 に示す．実験結果より，提案する制御方法により対象物の重さに応じて把持力が調整されていることがわかる．これは急激に荷重が加わる難しい課題にも関わらず，対象物が滑らず，小さい力で把持できることを確認した．実験では重量が 100gw では滑りが 0.5mm, 200gw では 2.5mm で把持を達成できた．この他，コップに連続して水を注ぎ重量が変化する場合でも，滑らず適切な把持力で把持し続けることも確認した．

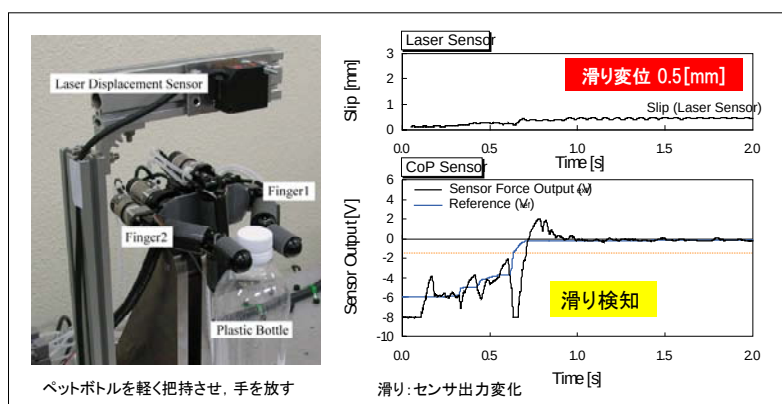


図 2-2 滑り検出と把持力制御

C) 視覚と触覚を接続する近接覚の導入

近年，人間のような手指の巧緻性を工学的に再現することを目指し，ロボットハンドに関する研究が盛んに行われている．このハンドによる器用な動作の実現には，視覚・触覚情報の利用が不可欠である．これまでに石川らは高速ビジョンを用い，対象物へのアプローチから把持までの一連の動作を実現，さらには道具操りを行うなど，視覚情報が把持・操りに有効であることを示した．しかし，視覚の場合，図 3-1 のようにハンドと対象物の距離が極めて近い領域では，ハンドによる隠蔽等により視覚情報が欠落するという問題があった．これに対して接触表面から数 cm の近距離を検出する近接覚センサを用いる方法が有効である．近接覚を用いることで近距離に接近したことを確実に検知できるため，よ

り高速なアプローチ、よりソフトな接触が可能となる。

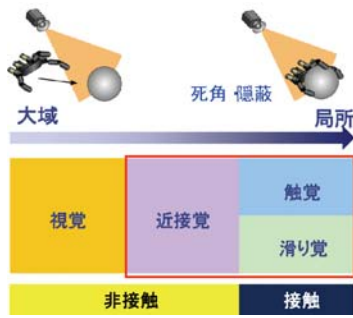


図 3-1 視覚から触覚を接続する近接覚

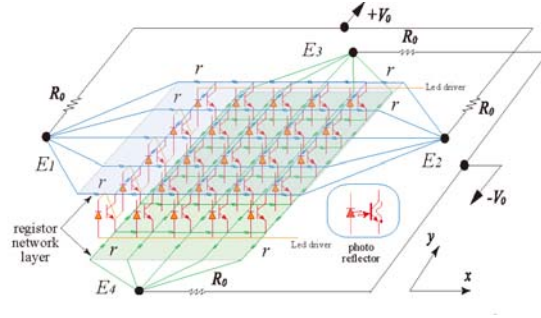


図 3-2 2次元状近接覚センサの構造

本報告では視覚と触覚を接続する近接覚を導入し、把持制御へ応用した研究について述べる。図 3-2 に近接覚センサの構造を示す。今回は、ハンドリングの基本的作業例として把持、運搬、設置を取り上げた。本研究では、近接覚センサを加え、センサ群をロボットハンドに統合することで、近接から接触までをシームレスに検出し、安全・確実な把持の達成、把持、運搬、設置工程において滑り情報による適切な把持力制御を実現した。

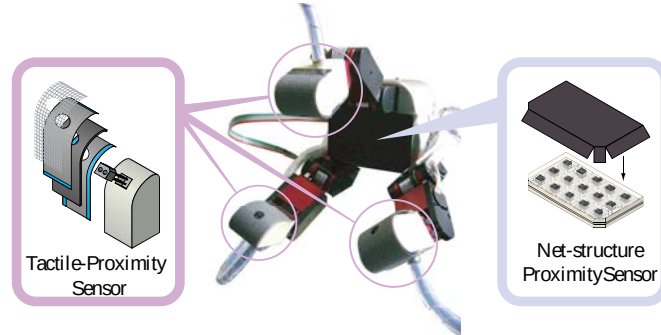


図 3-3 触・滑り・近接覚を統合したロボットハンド

(C.1) ロボットハンドの構成：ハンドは、3 本指 8 自由度ハンドを使用した。またハンドは、XZ ステージに取付け、鉛直方向及び水平方向に移動可能な構成となっている。ハンドの全体像を図 3-3 に示す。各指先には、近接・接触・すべり覚センサを、掌にはマトリクス状近接覚センサを実装している。手掌部に実装した近接覚センサは、3 × 5 のマトリクス構成とした。製作したセンサの特性試験結果を図 3-4 に示す。実験はセンサエレメントに対して円形の白紙を正対させ、接触した状態から遠ざけた場合の出力を測定した。図 3-4 に示すように、センサ位置出力は焦点距離近傍で最大となり、遠ざかるに従って中心へと漸近することが確認できる。

(C.2) 触・近接覚複合センサ：触覚と近接覚は、対象物の接近から接触までを同一面上において計測するため、両センサはハンド表面で共存する必要がある。このため、図 3-3 に示すようにセンサに貫通孔を設け、その開口部に近接覚センサを設置することにより、両センサの共存を図った。なお、貫通孔によるセンサ誤差は最大でも 2mm 程度と軽微である。

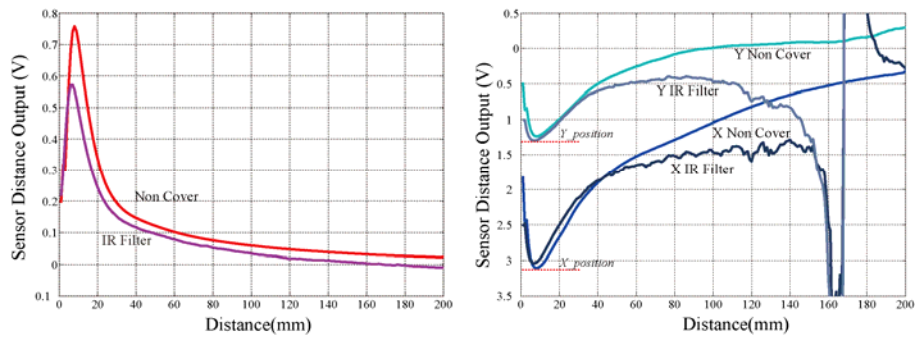


図 3-4 近接覚センサ特性

(C.3) ロボットハンドによる Pick&Place： ハンドを用いて，対象物の重量/形状/摩擦条件が未知， 配置誤差が存在する条件下での Pick&Place 動作を実現した．

ア) 手掌部近接覚センサによる位置誤差対応: まず物体へのアプローチ動作として，図 3-5 に示す位置ずれへの対応を行った．距離方向の制御では，図 3-4 に示すようにセンサ出力は 1 つのピークを持ち，その距離は近接覚センサ素子の焦点距離である 6mm 程度であるため，この距離出力がピークとなるように距離を制御することで，焦点距離まで接近することを可能とした．次に位置方向の制御では，センサの中心位置と手掌部の中心位置は一致しているため，センサ位置出力が 0 となるように制御すればよい．これは好都合なことに図 3-4 に示すように把持するためハンド掌部センサが対象物に近づくに従って，センサ特性により位置出力が目標位置を正確に捉えるために，特別な配慮を行わなくても対象物の直上へととめらかな軌道を描き接近することができる．

イ) 指先近接覚センサによる接触タイミング制御： 次に指先接触タイミング制御を行った．通常，物体の形状差等のため指先接触タイミングの不一致が起こり，把持に際して物体の傾き・倒れ等が生じ安全・確実な把持ができない．今回，各指先の近接覚センサを用い，全ての指先を対象物表面から数 mm に配置することで，各指の接触タイミングを一致させることを可能とした．

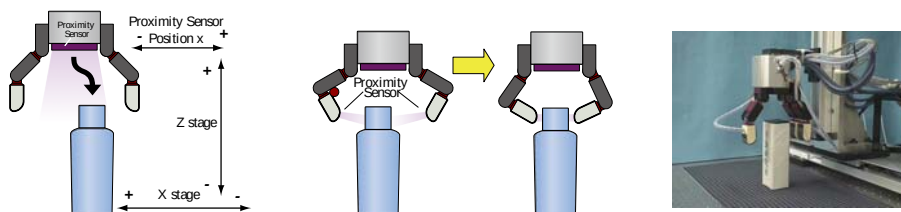


図 3-5 ハンド位置および指先位置制御

ウ) 把持力制御： 対象物を把持する際に問題となるのが対象物に合わせた把持力の決定である．把持力が過大であれば対象物の損傷やモータへの過負荷が生じ，過小であれば対象物を落下させてしまう．このため理想的な把持力は，対象物を滑り落とさない出来るだけ少ない把持力を実現することである．今回は把持力の設定を滑り検出に基づいて行うことにより，対象物を滑り落とさない把持力の実現を目指した．

エ) 動作実験結果： 以上の制御を実装し Pick&Place 動作を行わせた．実験内容としては，対象物の重量を 50g から 200g まで 50g 刻みで変化させた場合と，対象物の設置位置を 70mm の範囲で 10mm ずつ変更した場合について行った．

①位置誤差への対応では，ハンド掌部に実装した 2 次元状近接覚センサにより，距離出力がほぼ最大値，即ち物体から 6mm 程度の距離となるように制御でき，位置出力がほぼに漸近，即ち物体直上へと接近するように制御することが可能となった．また，設置誤差の対応範囲は 50mm 程度である．これは把持対象物の上端部形状にもよるが，ほぼ手掌部近接覚センサの検知面積程度への対応が期待できることを示している．

②接触タイミングの制御 次に指先の配置について述べる．これは各指先の近接覚センサの距離出力により，対象物表面から数 mm の位置に配置され，接触タイミングの一致が図られていることが確認できた．

③把持/運搬/設置 図 3-6 には，把持における 触・近接覚複合センサ出力と第 2 指関節トルク及び手首関節の位置を示す．上段は力出力を，中段は第 2 指の第 1，第 2 関節の指令トルク値を，下段 2 段はハンド設置ステージの Z 方向及び X 方向の位置を示している．図中領域 I-II の境界においてハンドの Z 軸方向への上昇が始まり，それに伴う滑りに応じて関節トルクの増加が観測される．初期状態においては，小さい値に設定されていた把持力が，ハンドの上昇に伴い大きい値に更新され，特定の値に設定されていることが確認できる．重量を変化させた場合に設定された把持力では，対象物重量応じ，適応的に把持力が設定されていることが確認できた．

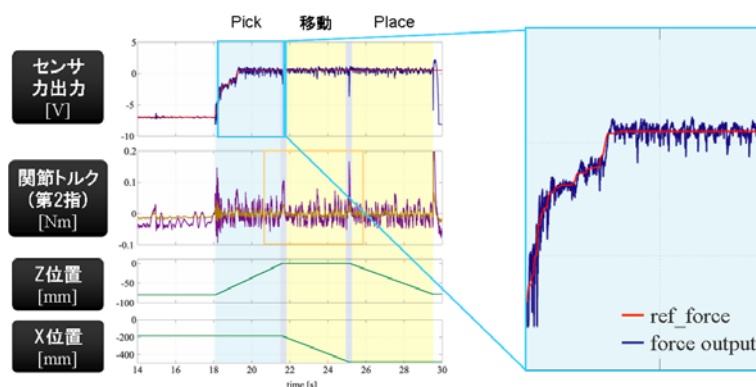


図 3-6 把持/運搬/設置における触・滑りセンサ出力とハンド関節トルク

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

本課題では，図 4-1 のように触覚・滑り覚，近接覚を開発し，多指ハンドに統合して把持動作を行わせ，その有用性を実験的に確認した．

現在，このような統合型センサを用いたロボットハンド制御は関する研究は数少ない．特に滑りの検出は，物体の器用な操りや Haptics インターフェースなどにおいて必要不可欠の情報である．しかしながら，すべりの検出技術に関してはいまだ有効な方法が無いのが現実である．例えば，Howe らの滑りが発生した際の振動を検出する方法，前野らの歪ゲー

ジを曲面状弾性体内に並べる方法があるが、接触－非接触と滑りとの判別が困難、配線数や小型化の問題があった。この他、接触面をカメラを用いて滑りを推定する手法、マイクロヒーターを用いて、滑りが発生した際に生じる温度変化を検出するものなど、様々な検出手法が提案されている。しかしながら、これらの、センサは検出素子をフィンガ内部に埋め込むなど、特殊な加工が必要であり、構造上複雑である。また検出感度、応答性小型、軽量化が困難などの問題があった。

また、本課題では、視覚情報と触覚情報を滑らかに接続する近接覚センサを導入することが有用であることを示した。これは視覚は大局的な情報を取得できる反面、対象物近傍では死角および隠蔽による情報の欠落の問題がある。また触覚は、接触を確実に検出できる反面、局所的な情報である欠点がある。これに対して接触表面から数 cm の近距離を検出する近接覚センサは上記の情報の欠落問題に対する一つの有効な解となる。この近接覚センサを用いることで近距離に接近したことを確実に検知できるため、より高速なアプローチ、よりソフトな接触が可能となる。

以上、これらの開発したセンサは、単純なアナログ回路網で構成するため、高速応答性に優れ、拡張性が高い特徴を有する。これらセンサは、面積、配置にかかわらず数 ms 以下の高速応答性があり、センサからの配線数は、4～6 本程度と省配線である。また滑り覚ではセンサは全方位の初期滑りを高感度・高速で検出できる特徴を有する。

このような特徴を併せてもつセンサはこれまで実現されておらず、これからの触覚を用いたインターフェースはもとより、ロボット技術、各種機械システムに装着する触覚センサシステムの共通的プラットフォーム技術として利用できると考える。（例えば、2009 国際ロボット展では、3 企業からこれらのセンサ方式を試作品として出展した。）

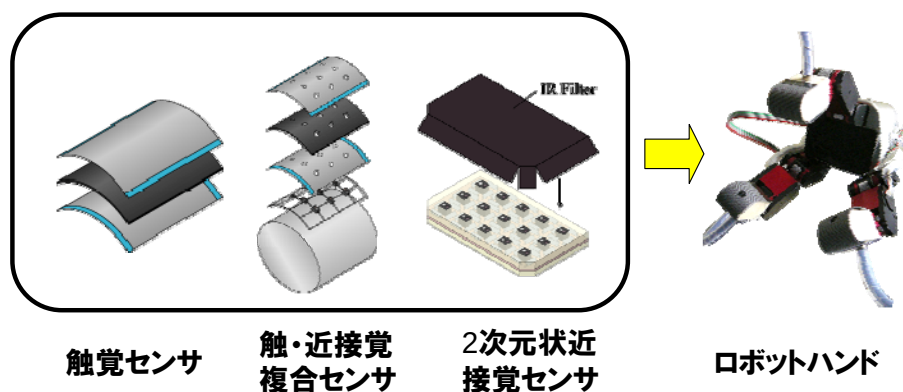


図 4-1 開発した触覚,滑り覚, 近接覚センサと多指ハンドへの統合

4. 4 高速・高機能多指ハンドシステムの開発（千葉大学並木グループ）

(1) 実施の内容

A) 指先旋回軸をもつ多指ハンドの開発

これまでに動作の高速性を重視して開発された高速多指ハンドの指の構造は、掌旋回 1 自由度と屈曲 2 自由度であり、人間と類似した構造であった。それに対して、本研究グル

ープでは、指先に回転軸を取り付けた多指ハンドシステムを開発した。この回転軸を回転させることにより、転がり接触を利用して、対象から指を離さずに対象の位置姿勢を操作することが可能となった。

指先旋回多指ハンドの外観を図 1-1 に、軸の構成図を図 1-2 に示す。指の本数は、外乱に安定な把握が可能な最小本数である 3 本である。各指は、それぞれ、掌旋回、屈曲 2 軸、指先旋回軸の計 4 自由度を有しており、これに手首の屈曲旋回の 2 自由度を加えると、ハンドシステム全体で 14 自由度となる。各指の掌旋回軸は $\pm 90^\circ$ の範囲で動作可能であり、様々な把握形態に対応できるよう設計されている。

また、指先旋回軸は、指モジュールの指先部分の指の長手方向軸回りの回転軸であり（図 1-3）、これを利用することで、従来のロボットハンドにない様々な種類のハンドリングの実現が期待される。



図 1-1

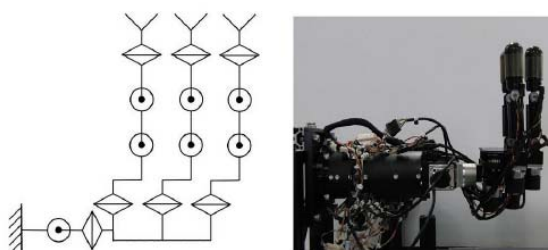


図 1-2

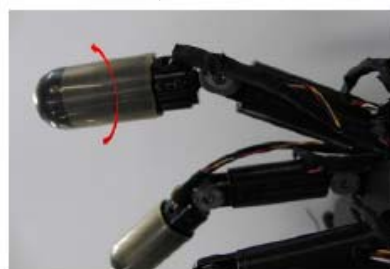


図 1-3

B) 指先旋回による多面体の姿勢制御

指先旋回軸を利用して多面体の回転制御を行う。多面体の場合、対象の回転に応じて回転軸と接触点の距離が変動するため、指先回転と同時に指先の位置制御も行う必要がある。一例として、立方体を対象として、立方体の中心を通りその一つの面に垂直な軸周りの回転を与えるための軌道生成について考える。図 2-1 に示すように、各指先は立方体の側面に配置することとする。正方形の外接円から指先の中心座標の距離を対象の回転角度に応じて、目標値を満たすように指先位置を制御することで、指先は常に対象に接するようになる。ただし、図 2-2 に示すように、指は立方体のエッジに接する時には、その点を境に接触の状態が不連続となるので、この影響に対して補正を行う。

以上、立方体の回転における中指の軌道計算方法を示した。他の二本の指についても位相差があるだけで同様の手順によって軌道を決めることができる。また、対象が六角柱などの他の多面体であっても同様な手法で軌道計算を行うことができる。

これに対して、スポンジ製の各辺の長さが 5cm の立方体を使用して実験を行った。実験

の結果を連続写真にして図 2-3 に示す．また，回転中の立方体のコーナーの目標位置と現在位置の座標をカメラによって計測した．その結果を図 2-4，2-5 に示す．この結果より，対象の姿勢は概ね目標値通りに追従してはいるが，全体に約 0.1s 程度の遅れが見られる．この理由として，今回の実験では把持対象としてスポンジ製の立方体を使用したが生，物体を把持する際に指先は対象に対して若干の押し込みを行っている．そのため，その押し込み分だけ物体は目標位置から決定された指先に対し遅れて追従しているのではないかと考えられる．

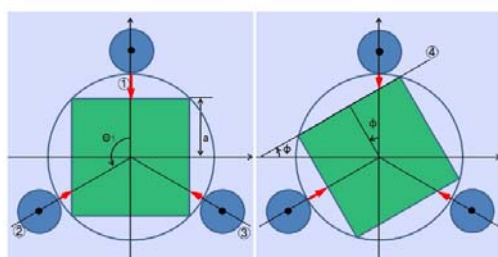


図 2-1

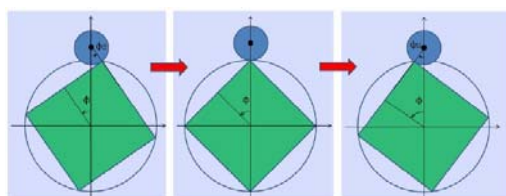


図 2-2

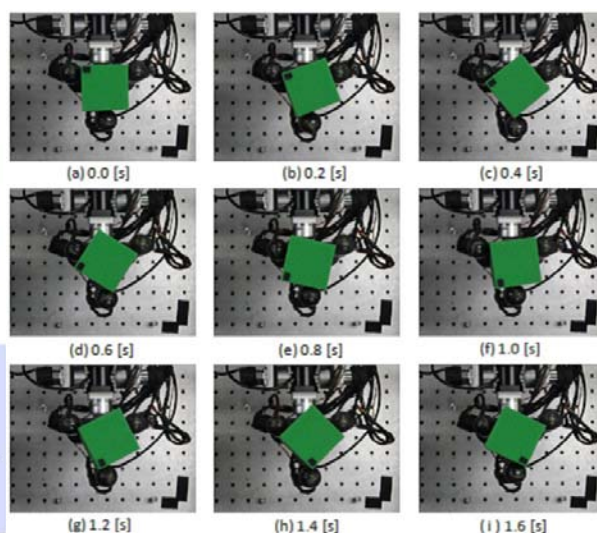


図 2-3

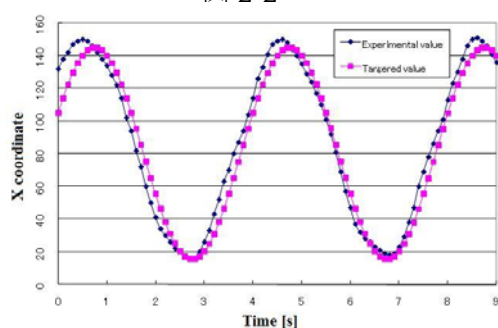


図 2-4

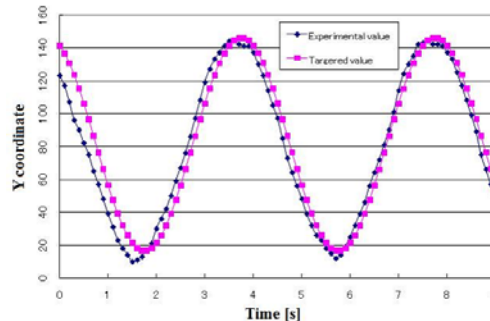


図 2-5

(2) 得られた研究成果の状況及び今後期待される効果

ロボットハンドの重要な機能の一つとしてリグラスピングがある．リグラスピングとは，対象をある把持状態から別の把持状態に持ち替える動作のことであり，安定なリグラスピングを行うためには，少なくとも 4 本以上の指が必要なことが知られている．これは，4 本のうち 3 本の指で対象を安定に把持し，残り 1 本の指で新しい把持位置に移動するというのを繰り返す必要があるからである．この場合，少なくとも一本の指は対象から離して移動するという状態が生じる．このような接触と非接触な状態が入れ替わる動作が，把持動作途中で繰り返されると，把持状態が不安定になる原因となりうる．

本研究で開発した指先旋回ロボットハンドでは，指先を回転させることで，指先を対象から離さずに対象に回転を与えて持ち替え動作を行うことができる．また，指の自由度を

活用して、指の接触姿勢を変えることで、対象の回転軸を任意に変えることができる。このような能力は、人間を真似たロボットハンドとは異なる能力であり、ロボットハンドを様々な分野で応用させるためのブレークスルーとなる。

今後はカメラによる視覚フィードバック制御と、歪みゲージによる力フィードバック制御を導入し、操り精度を向上させることを目指す。

5. 類似研究の国内外の研究動向・状況と本研究課題の位置づけ

本研究プロジェクトでは、人間の手の持つ器用な操り能力を、人間を超える超高速度で実現することを目指しており、現時点までに、高速ハンド、高速アーム、視触覚センサなどのハードウェアを開発し、それらの要素を統合することで感覚運動統合を構築し、複数の操りタスクの高速マニピュレーションを実現できた。現状の大多数のロボットシステムとしては人間の運動を再現することを目指しているため、この超高速マニピュレーションのコンセプトはオリジナルのものであり、現時点では類似した研究プロジェクトは国内外ともに存在しない。さらに、本研究の結果を超える高速マニピュレーションの実現例は見当たらず、世界的に見てもトップレベルにあるものと考えている。

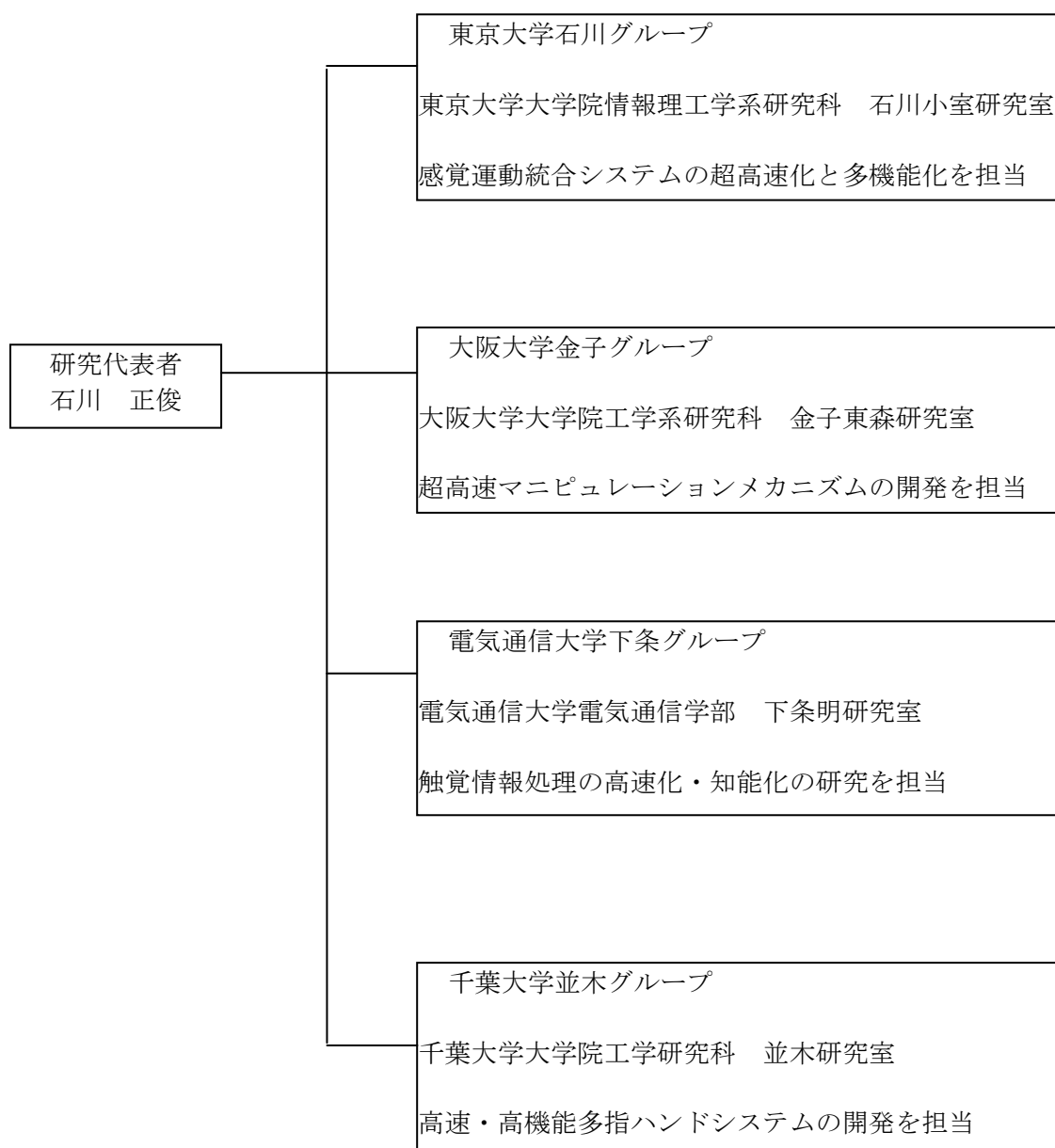
類似研究として、国外ではドイツ DLR とアメリカ NASA が多指ハンド、多関節アーム、センサヘッドの開発などを総合的に行い、高性能で精密なマニピュレーションシステムを開発しているが、人間の手を真似ることに重点が置かれており、人間の性能を超えるものではない。その他でも、日本の GIFU ハンド、英国の shadow ハンドのような人間の手に似せたもの、米国のバレットハンド、安川電機ハンドのような機能を重視した多指ハンドなどが開発されているが、主にハンドのメカニズムの開発に重点をおいており、本研究プロジェクトのように触覚や視覚の開発までを統合したものではない。また、これらについても、人間の性能を超えることを意図したものではない。関連して、ホンダやソニー、産総研などでヒューマノイドの研究は盛んに進められているが、主に歩行に重点が置かれており、応用上最も重要であると思われる手やマニピュレーションの機能に関してはまだ十分ではない。

個々の開発要素に関しても本研究では世界的にもトップレベルの成果が得られている。視覚については 1kHz の高速視覚処理を実現するデバイスを要し、かつ視覚フィードバック制御のマニピュレーション応用の研究を行い、かつ成果を挙げているのは、現状では本研究グループ以外にはない。また、触覚についても、高速応答性、薄型軽量、少配線といった多指ハンドに装着するのに最適なセンサであり、触覚センサを多指ハンドに装着して高速ハンドリングならびに滑り制御を行なった研究は世界的に見当たらない。

以上のように、現状では、本研究のように、理論、アルゴリズム、デバイス、システムといった幅広い要素の開発を行い、それらを融合することで、マニピュレーションシステムを総合的に構築している研究グループは世界的に見ても見当たらない。

6. 研究実施体制

(1) 体制



(2) メンバー表

① 東京大学石川グループ

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
石川 正俊	東京大学大学院情報理工学系研究科	教授	感覚運動統合システムの研究・統括	平成 16 年 11 月～ 平成 22 年 3 月

小室 孝	同上	講師	視覚情報処理システムの開発	同上
奥 寛雅	同上	助教	高速アーム制御実験	平成 17 年 4 月～ 平成 22 年 3 月
アルバロ カシネリ	同上	助教	視覚情報処理システムの開発	平成 16 年 11 月～ 平成 22 年 3 月
妹尾 拓	同上	JST 研究員	高速アーム制御実験， 統合システムの開発	同上
古川 浩太郎	同上	研究生	視覚情報処理システムの開発	平成 17 年 4 月～ 平成 22 年 3 月
森川 翔	同上	院生	高速アーム制御実験	平成 18 年 4 月～ 平成 22 年 3 月
山川 雄司	同上	院生	高速ハンド制御実験	同上
岩下 貴司	同上	院生	触覚センサ用情報処理 LSI 開発	平成 17 年 4 月～ 平成 21 年 3 月
菅野 了也	同上	同上	高速ハンド制御実験	平成 21 年 4 月～ 平成 22 年 3 月
村上 健一	同上	同上	高速アーム制御実験	同上
米山 大揮	同上	同上	高速ハンド制御実験	同上
奥村 光平	同上	院生	高速ハンド制御実験	平成 20 年 4 月～ 平成 22 年 3 月
栗原 優作	同上	院生	高速ビジョン制御実験	同上
小藤 健太郎	同上	院生	高速ビジョン制御実験	同上
田中 和仁	同上	院生	高速ハンド制御実験	同上
畑中 哲生	同上	院生	高速ビジョン制御実験	同上
早川 智彦	同上	院生	高速ハンド制御実験	同上
細谷 弘	同上	院生	高速ハンド制御実験	同上
望戸 雄史	同上	院生	高速ビジョン制御実験	同上
石川 貴彦	同上	院生	高速ハンド制御実験	平成 19 年 4 月～ 平成 22 年 3 月

水澤 悟	同上	院生	高速ハンド制御実験	同上
山本 啓太郎	同上	院生	高速ビジョン制御実験	同上
長谷川 健史	同上	院生	高速ハンド制御実験	平成 19 年 4 月～ 平成 21 年 9 月
荻野 俊明	同上	院生	高速ハンド制御実験	平成 18 年 4 月～ 平成 20 年 3 月
石原 達也	同上	院生	高速ハンド制御実験	平成 17 年 4 月～ 平成 19 年 3 月
伊藤 崇仁	同上	院生	高速ビジョン制御実験	同上
大薄 隆志	同上	院生	高速アーム制御実験	同上
古川 徳厚	同上	院生	高速ハンド制御実験	同上
駒井 崇志	同上	院生	高速アーム制御実験	平成 16 年 11 月～ 平成 18 年 3 月
塩形 大輔	同上	院生	高速アーム制御実験	同上
デービス アンチェリー	同上	院生	視覚情報処理システムの開発	同上
葭本 香太郎	同上	院生	視覚情報処理システムの開発	同上
鵜飼 賀生	同上	院生	視覚情報処理システムの開発	平成 16 年 11 月～ 平成 17 年 3 月
笠原 裕一	同上	院生	高速アーム制御実験	同上
テオドルス	同上	院生	視覚情報処理システムの開発	同上
並木 明夫	同上	講師	高速アームの開発	平成 16 年 11 月～ 平成 20 年 3 月
鏡 慎吾	同上	助教	視覚情報処理システムの開発	平成 16 年 11 月～ 平成 17 年 3 月
坂本 麗子	同上	JST 事務員		平成 16 年 11 月～ 平成 22 年 3 月
橋本 浩一	東北大学大学院情報科学研究科	教授	視覚情報処理理論の研究	平成 16 年 11 月～ 平成 20 年 3 月

②大阪大学金子グループ

氏名	所属	役職	研究項目	参加時期
金子 真	大阪大学大学院 工学研究科	教授	超高速マニピュレーションメカニズムの研究・統括	平成16年11月～ 平成22年3月
東森 充	同上	准教授	多指ハンドの制御アルゴリズム	同上
大本 康隆	同上	院生	多指ハンドの開発	平成20年4月～ 平成22年3月
串田 啓介	同上	院生	多指ハンドの制御アルゴリズム	同上
五所 卓巳	同上	院生	多指ハンドの回路設計・実験	同上
水田 知宏	同上	院生	多指ハンドの開発	同上
光田 裕一	同上	院生	多指ハンドの回路設計・実験	同上
丁 憲勇	同上	院生	多指ハンドの開発	平成16年11月～ 平成21年3月
陶山 貴志	同上	院生	多指ハンドの制御アルゴリズム	平成19年4月～ 平成21年3月
西山 幸貴	同上	院生	多指ハンドの回路設計・実験	同上
古川 功太	同上	院生	多指ハンドの開発	同上
山崎 直幸	同上	院生	多指ハンドの制御アルゴリズム	同上
田中 信行	同上（特別研究学生，広島大学）	院生	多指ハンドの回路	平成18年4月～ 平成20年3月
柴田 暁秀	同上	院生	多指ハンドの回路設計・実験	平成19年4月～ 平成20年3月
石井 抱	広島大学工学研究科	助教授	超高速視覚制御	平成16年11月～ 平成19年3月
村上 義博	同上	技官	多指ハンドの回路設計・実験	同上
林 達郎	同上	院生	多指ハンドの制御アルゴリズム	平成18年4月～ 平成19年3月
高橋 修	同上	院生	多指ハンドの開発	同上

飯田 義親	同上	院生	多指ハンドの開発	同上
戸舎 稚詞	同上	院生	多指ハンドの回路設計・実験	同上
湯谷 政洋	同上	院生	多指ハンドの制御アルゴリズム	平成 16 年 11 月～ 平成 18 年 3 月
木村 麻伊子	同上	院生	多指ハンドの開発	同上
河内 洋一郎	同上	学部生	実時間視覚情報処理	同上
堀内 ルミ	同上	研究 補助員	多指ハンドの評価に関する実験	平成 16 年 11 月～ 平成 17 年 9 月
川原 知洋	同上	院生	多指ハンドの開発	平成 16 年 11 月～ 平成 17 年 3 月
徳田 寛一	同上	院生	多指ハンド制御実験	同上
西尾 祥一	同上	院生	多指ハンドの制御アルゴリズム	同上
原田 学	同上	院生	多指ハンドの制御アルゴリズム	同上
榊上 浩和	同上	院生	多指ハンドの制御アルゴリズム	同上
溝井 敏幸	同上	院生	多指ハンド制御実験	同上
加藤 一樹	同上	院生	多指ハンドの開発	同上

③電気通信大学下条グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
下条 誠	電気通信大学電気通信学部	教授	触覚センサとその情報処理アルゴリズムの研究・統括	H16,11～H21,10
明 愛国	同上	助教授	情報処理アルゴリズムの開発	H16,11～H21,10
多田 隈建二 郎	同上	助教	触覚センサの開発	H20.4～H21. 7
勅使河原 誠 一	同上	院生	触覚センサの開発	H19.4～H21,10
長谷川浩章	電気通信大学電気通信学部	院生	触覚センサの開発	H20.4～H21,10

堤 隆弘		院生	触覚センサの開発	H20.4～H21.10
藤村 竜徳	同上	院生	情報処理アルゴリズムの開発	H20.4～H21.10
片野 広大	同上	院生	触覚センサの開発	H20.4～H21.10
村瀬 悠	同上	院生	触覚センサの開発	H21.4～H21.10
寺田 一貴	同上	院生	触覚センサの開発	H21.4～H21.10
清水 智	同上	院生	触覚センサの開発	H21.4～H21.10
溝口 善智	同上	院生	情報処理アルゴリズムの開発	H19.4～H21.3
平澤 正輝	同上	院生	触覚センサの開発	H19.4～H21.3
有田 浩之	同上	院生	情報処理アルゴリズムの開発	H19.4～H21.3
寺西正裕	同上	院生	触覚センサの開発	H19.4～H21.3
天本 晴之	同上	院生	情報処理アルゴリズムの開発	H18.4～H20.3
柴崎 保則	同上	院生	触覚センサの開発	H18.4～H20.3
西野 高明	同上	院生	マニピュレーションの研究	H18.4～H20.3
荒木拓真	同上	院生	触覚センサの開発	H17.4～H19.3
郡司 大輔	同上	院生	情報処理アルゴリズムの開発	H17.4～H19.3
後藤 優二	同上	院生	マニピュレーションの研究	H17.4～H19.3
岩下 貴司	同上	院生	触覚センサ用情報処理 LSI 開発	H16.11～H18.3
谷保 勇樹	同上	院生	触覚センサの開発・実験	H16.11～H18.3
長澤 俊	同上	院生	触覚センサの開発・実験	H16.11～H18.3
金森 哉吏	電気通信大学電気通信学部	助教	触覚センサの開発・実験	H16.11～H17.3

島田 茂伸	電気通信大学 SVBL	非常勤 研究員	触覚センサ用情報処理 LSI 開発	H16.11～H19.3
-------	----------------	------------	-------------------	--------------

④千葉大学並木グループ

氏 名	所 属	役 職	研究項目	参加時期
並木 明夫	千葉大学工学 研究科	准教授	高速・高機能多指ハンドシステムの設計・開発・統括	平成 20 年 4 月～ 平成 21 年 10 月
金 泰演	同上	院生	ロボットビジョン	平成 20 年 4 月～ 平成 21 年 10 月
西島 良雅	同上	院生	ロボットアーム制御	平成 20 年 4 月～ 平成 21 年 10 月
林 寛和	同上	院生	ロボットハンド制御	平成 20 年 4 月～ 平成 21 年 10 月

7. 研究期間中の主な活動

(1) ワークショップ・シンポジウム等

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2010/3/10	SORST シンポジウム 「ロボット新世代」 ー感覚運動統合理論に 基づく「手と脳」の工 学的実現ー	日本科学未 来館	5 件	SORST 研究の総括として、 開発した技術を広く社会に 向けて発信し、今後の応用 展開について討論。
2007/12/20	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 オーガナイズドセッシ ョン「感覚と運動の統 合によるロボットの高 性能化」	広島国際大 学	6 件	参加者:オーガナイズドセッ ション, 発表者はプロジェクト メンバーを中心に若干の外 部研究者を含む。 内容:ロボットの高性能化に 関する研究発表と討論。
2006/12/15	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 オーガナイズドセッシ ョン「感覚と運動の統合に よるロボットの高性能化」	札幌コンベン ションセン ター	13 件	同上
2005/12/17	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 オーガナイズドセッシ ョン「感覚と運動の統合に よるロボットの高性能化」	熊本電波工 業専門学校	6 件	同上
2004/12/19	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 オーガナイズドセッシ ョン「ハイパフォーマンス マニピュレーション」	つくば国際 会議場	6 件	同上

(2) 招聘した研究者等

なし.

8. 発展研究による主な研究成果

(1) 論文発表 (英文論文 14 件 邦文論文 12 件)

1. Mitsuru Higashimori, Makoto Kaneko, Akio Namiki, 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), 10.1177/0278364905057058
2. M. Higashimori, I. Ishii, and M. Kaneko: Non-Dimensional Analysis Based Design on Tracing Type Legged Robots, Journal of Robotics and Mechatronics, vol.18, no.3, pp.333-339, 2006.
3. M. Higashimori, M. Kimura, I. Ishii, and M. Kaneko: Dynamic Capturing Strategy for a 2-D Stick-Shaped Object Based on Friction Independent Collision, IEEE Transactions on Robotics, vol.23, no.3, pp.541-552, 2007. 10.1109/TRO.2007.895064
4. M. Higashimori, K. Utsumi, Y. Omoto, and M. Kaneko: Dynamic Manipulation Inspired by the Handling of a Pizza Peel, IEEE Transactions on Robotics, vol.25, no.4, pp.829-838, 2009. 10.1109/TRO.2009.2017085
5. Zhijun Li, A. Ming, N. Xi, J. Gu, M. Shimojo: Development of Hybrid Joints for the Compliant Arm of Hyman-Symbiotic Mobile Manipulator, International Journal of Robotics & Automation, Vol.20, No.4, pp.260-270, 2005.
6. Hironori Ogawa, Makoto Shimojo, Development of 2-DOF haptics device driven directly by shaft motor, J. of Robotics and Mechatronics, Vol.18, No.4, pp.392-400, 2006.
7. Tomoari Maruyama, Chunquan Xu, Aiguo Ming, Makoto Shimojo, Motion control of ultra high-speed manipulator with flexible link based on dynamically coupled driving, J. Robotics and Mechatronics, Vol.18, No.5, pp.598-607, 2006.
8. Makoto Shimojo, Toru Niki, Development of a compact and fast-response haptics display system, Systems and Computers in Japan, Vol.37, No.2, pp.46-55, 2006, 10.1002/scj.20297
9. Zhijun Li, Jiangong Gu, Aiguo Ming, Chunquan Xu, Makoto Shimojo, Intelligent compliant force/motion control of nonholonomic mobile manipulator working on the nonrigid surface, Neural Computing & Applications, Vol.15 No.3-4 pp.204-216, 2006, 10.1007/s00521-005-0021-y
10. Xu, C.; Ming, A.; Mak, K.; Shimojo, M., Motion generation for hyper dynamic manipulation, Int. J. Mechatronics, vol. 18, no. 8, pp. 405-416, Oct. 2007, 10.1016/j.mechatronics.2007.05.002
11. M. Hirasawa, H. Okada, M. shimojo, The Development of the plantar Pressure Sensor Shoes for Gait Analysis, J. of Robotics and Mechatronics, vol.20, no.2, pp.289-295, 2008
12. Xie Zhao-xian; Huang Da-gui; Ming Ai-guo; Li Zhi-jun; Shimojo, M., Navigation system for mobile robot based on simultaneous-firing sonar ring, Journal of University of Electronic Science and Technology of China vol.36 Issue: 2 Pages: 309-11, 321

Published: April 2007

13. 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-,Journal of Robotics and Mechatronics Vol.21 No.2, pp. 200-208,2009.
14. ○Shimojo M., Araki T., Ming A., Ishikawa M., A High-Speed Mesh of Tactile Sensors Fitting Arbitrary Surfaces, IEEE Sensors Journal, (2010)(in press), 10.1109/JSEN.2009.2034982
15. ○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)
16. 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, Vol. 27, No.9, pp.1016-1024, 2009.
17. 東森充, 金子真, 単一ワイヤ駆動ロボットハンドの Dynamic Preshaping, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.8, pp.997-1003, 2004.
18. 東森充, 城野淳, 金子真, ダイナミックキャッチングにおける球状物体の状態遷移, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.6, pp.739-745, 2004.
19. 東森充, 原田学, 石井抱, 金子真, シリアルリンクロボットの跳躍パターン生成, 日本ロボット学会誌 vol.23, no.8, pp.1002-1010 (2005)
20. 東森充, 石井抱, 金子真, 無次元解析に基づくなぞり型脚式ロボットの設計, 日本機械学会論文集 (C 編), vol.71, no.704, pp.1342-1348 (2005)
21. 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.
22. 東森充, 木村麻伊子, 石井抱, 金子真: 摩擦不感型衝突に基づく二次元棒状物体の動的捕獲戦略, 日本ロボット学会誌 vol.24, no.5, pp.110-119, 2006.
23. 東森充, 内海圭祐, 大本康隆, 金子真: ピザ職人のハンドリングメカニズムに着目した動的操り, 日本機械学会論文集 (C 編), vol.74, no.743, pp.1825-1833, 2008.
24. ○郡司大輔, 荒木拓真, 並木明夫, 明愛国, 下条誠, 触覚センサによる滑り検出に基づく多指ハンドの把持力制御, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.6, pp.970-978, 2007.
25. 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.
26. 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

(2) 口頭発表

①学会

国内 131 件, 海外 62 件

1. 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 (TEXCRA 2004), (Tokyo, 2004.11.18-19.)/pp.3-4, 10.1109/TEXCRA.2004.1424965
2. Daisuke Shiokata, Akio Namiki, 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, 10.1109/IROS.2005.1545584
3. Dirk Ebert, Takashi Komuro, Akio Namiki, 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, 10.1109/IROS.2005.1545242
4. Akio Namiki and Masatoshi Ishikawa : The Analysis of High-speed Catching with a Multifingered Robot Hand, 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2005) (Barcelona, 2005.4.20)/pp.2666-2671
5. 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, 10.1109/SICE.2006.314768
6. Tatsuya Ishihara, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, Makoto Shimojo : Dynamic Pen Spinning Using a High-speed Multifingered Hand with High-speed Tactile Sensor, 2006 IEEE RAS International Conference on Humanoid Robots(HUMANOID'S'06)(Genova, 2006.12.5)/Proceedings, pp.258-263, 10.1109/ICHR.2006.321394
7. Taku Senoo, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa : Ball Control in High-speed Batting Motion using Hybrid Trajectory Generator, 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2006)(Orlando, 2006.5.17)/pp.1762-1767, 10.1109/ROBOT.2006.1641961
8. 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 (ICRA 2006)(Orlando, 2006.5.16)/pp.181-187, 10.1109/ROBOT.2006.1641181
9. Sho Morikawa, Taku Senoo, Akio Namiki, 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'07) (Roma, 2007.4.11)/Proceedings, pp.794-799, 10.1109/ROBOT.2007.363083
10. Yuji Yamakawa, Akio Namiki, Masatoshi Ishikawa, Makoto Shimojo, One-handed Knotting of a Flexible Rope with a High-speed Multifingered Hand having, 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems , pp.703-708 , 2007, 10.1109/IROS.2007.4399379
11. 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, France, 2008.9.25), pp.3206-3211. 10.1109/IROS.2008.4651142
12. Yamakawa, Y.; Namiki, A.; Ishikawa, M.; Shimojo, M., 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 pp.2691-2696, 2008, 10.1109/IROS.2008.4650802

13. A. Namiki, Y. Yamakawa and M. Ishikawa : Sensory-Motor Integration for Dexterous High-speed Handling, SICE Annual Conference 2008, pp. 3376/3379 (2008), 10.1109/SICE.2008.4655248
14. 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, Japan, 2009.5.15) / Video Proceedings, pp.1611-1612, 10.1109/ROBOT.2009.5152852
15. A. Namiki, R. Sugano, S. Mizusawa, Y. Yamakawa and M. Ishikawa : High Speed Dexterous Manipulation with High Speed Vision, 9th IFAC Symposium on Robot Control, pp. 529/534 (2009)
16. Yamakawa, Y.; Namiki, A.; Ishikawa, M.; Shimojo, M., One-handed knotting of a linear flexible object based on reconfigurable skill synthesis strategy, 2009 ASME/IFTOMM International Conference on Reconfigurable Mechanisms and Robots (ReMAR 2009) ,pp.486-493,2009.
17. M. Higashimori, M. Kimura, I. Ishii, and M. Kaneko: Basic Consideration on Preshaping for Capturing a Rotational Object, Proc. of the ISARC 2004 21st International Symposium on Automation and Robotics in Construction, pp.250-255, 2004.
18. M. Higashimori, A. Jono, and M. Kaneko: Dynamic Behavior of a Sphere Object Sandwiched in Parallel Grippers, ICAM'04 The 4th International Conference on Advanced Mechatronics, MP2-A-2, pp.235-240, 2004.
19. M. Kaneko and M. Higashimori: Design of 100G Capturing Robot, Proc. of the ISORA 2004 10th International Symposium on Robotics and Applications, Paper No.: ISORA-30, 2004. 10.1109/WAC.2004.185207
20. M. Kaneko and M. Higashimori: Design of 100G Capturing Robot, Workshop: Multi-point Interaction in Robotics and Virtual Reality, the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, 2004.
21. 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 (ICRA 2005) (Barcelona, 2005.4.20)/pp.2690-2695
22. M. Higashimori, H. Jeong, and M. Kaneko: Twisting Based Manipulation by Robotic Fingers with Common Rotational Axis, Proc. of The 2nd Int. Conf. on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence, (Daejeon, Korea, 2005.11.3), pp.77-82.
23. M. Higashimori, S. Nishio, and M. Kaneko: Dynamic Preshaping Based Optimum Design for High Speed Capturing Robots, Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS05), (Edmonton, Canada, 2005.8.5), pp.2930-2935. 10.1109/IROS.2005.1545421
24. M. Higashimori, M. Kimura, I. Ishii, and M. Kaneko: Two-step Grasping Strategy for Capturing a Stick-shaped Object, Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS05), (Edmonton, Canada, 2005.8.5), pp.3592-3597. 10.1109/IROS.2005.1545527
25. M. Higashimori, M. Harada, M. Yuya, I. Ishii, and M. Kaneko: Dimensional Analysis Based Design on Tracing Type Legged Robots, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA05), (Barcelona, Spain, 2005.4.20), pp.3744-3749.
26. S. Nishio, M. Higashimori, and M. Kaneko: Dynamic Preshaping Based Design of Capturing Robot Driven by Wire, Proc. of the Tenth Int. Symp. on Artificial Life and Robotics (AROB10), (Beppu, 2005.2.6), IS6-1.
27. M. Harada, M. Higashimori, I. Ishii, and M. Kaneko: Design of Tracing Type Jumping Robots, Proc. of the Tenth Int. Symp. on Artificial Life and Robotics (AROB10), (Beppu, 2005.2.6), IS6-2.
28. M. Higashimori, M. Harada, I. Ishii, and M. Kaneko: Torque Pattern

- Generation Towards the Maximum Jump Height, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA06), (Orlando, Florida, USA, 2006.5.16), pp.1096-1101. 10.1109/ROBOT.2006.1641856
29. M. Higashimori, M. Kimura, I. Ishii, and M. Kaneko: Friction Independent Dynamic Capturing Strategy for a 2D Stick-Shaped Object, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA07), (Roma, Italy, 2007.4.11), pp.217-224. 10.1109/ROBOT.2007.363790
 30. M. Higashimori, K. Utsumi, and M. Kaneko: Dexterous Hyper Plate Inspired by Pizza Manipulation, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA08), (Pasadena, California, USA, 2008.5.21), pp.399-406. 10.1109/ROBOT.2008.4543240
 31. N. Sakamoto, M. Higashimori, T. Tsuji, and M. Kaneko: Piercing Based Grasping by Using Self-Tightening Effect, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA08), (Pasadena, California, USA, 2008.5.23), pp.4055-4066. 10.1109/ROBOT.2008.4543834
 32. M. Higashimori, Y. Omoto, and M. Kaneko: Experimental Approach on Deformable Object Manipulation Inspired by the Handling of a Pizza Peel, Proc. of 9th Int. IFAC Symp. on Robot Control (SYROCO2009), (Gifu, Japan, 2009.9.11), pp.511-516.
 33. M. Higashimori, Y. Omoto, and M. Kaneko: Non-grasp Manipulation of Deformable Object by Using Pizza Handling Mechanism, Proc. of the IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation (ICRA09), (Kobe, Japan, 2009.5.14), pp.120-125. 10.1109/ROBOT.2009.5152352
 34. Makoto SHIMOJO, Development of tactile sensors using liquid type pressure sensitive material, 2004 First IEEE Technical Exhibition Based Conference on Robotics and Automation (TExCRA 2004), Vol.CD-ROM, pp.7-8, 2004.
 35. Shigenobu Shimada, Masami Shinohara, Yutaka Shimizu, Makoto Shimojo, Regarding the Accuracy in Horizontal Force Component of Tactile GUI, Proce. of the First International Conference on Sensing Technology (ICST2005), pp.437-441, 2005.
 36. Tomoari Maruyama, Chunquan Xu, Aiguo Ming, Makoto Shimojo, Motion control of golf swing robot based on dynamically-coupled driving, Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics, pp.77-82, 2005.
 37. Aiguo Ming, Masanobu Henmi, Chunquan Xu, Makoto Shimojo, A new motion control method for golf swing robot hitting a ball, Proc. IEEE/ASME Int. Conf. Advanced Intelligent Mechatronics, pp.1517-1522, 2005.
 38. Makoto Shimojo, Takuma Araki, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, A ZMP Sensor for a Biped Robot, Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, Vol.CD-ROM, pp.1200-1205, 2006.
 39. Zhijun Li, Aiguo Ming, Ning Xi, Makoto Shimojo, Motion Control of Nonholonomic Mobile Underactuated Manipulator, Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.3512-3519, 2006.
 40. Chunquan Xu, Aiguo Ming, Makoto Shimojo, Dynamic performance enhancement design for robot based on dynamically-coupled, 2006 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, pp.254-259, 2006.
 41. Chunquan Xu, Takeharu Nagaoka, Aiguo Ming, Makoto Shimojo, Motion control of golf swing robot based on target dynamics, IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and systems, pp.2545-2550, 2006.
 42. Aiguo Ming, Zhaoxian Xie, Sheng Miao, Zhijun Li, Makoto Shimojo, Development of a Nonholonomic Mobile Manipulator with Hybrid Joints, Proc. of The 2006 International Symposium on Advanced ICT (AICT2006), pp.353-362, 2006.
 43. Ishihara T., Namiki A., Ishikawa M., Shimojo M., Dynamic pen spinning using a high-speed multifingered hand with high-speed tactile, 2006 6th IEEE-RAS

- International Conference on Humanoid Robots, 2006.
44. Chunquan Xu, Aiguo Ming, Shimojo, M., Dynamic performance enhancement design of robot based on dynamically-coupled driving and joint stop , 2006 IEEE Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, 2006.
 45. Makoto Shimojo, Takuma Araki, Seiichi Teshigawara, Aiguo Ming, Masatoshi Ishikawa, A Net-Structure Tactile Sensor Covering Free-form Surface and Ensuring High-Speed, IROS 2007, pp.670-675 , 2007.
 46. Kamata, Y.; Aiguo Ming; Shimojo, M., Motion control of a manipulator with mechanical joint stops, 2007 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO '07) pp. 1541-56, 2007.
 47. Nagata, Y.; Seokyong Park; Aiguo Ming; Shimojo, M., Development of underwater robot using macro fiber composite, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. AIM 2008,955-960,2008, 10.1109/AIM.2008.4601790
 48. Gunji, D.; Mizoguchi, Y.; Teshigawara, S.; Aiguo Ming; Namiki, A.; Ishikawaand, M.,Grasping force control of multi-fingered robot hand based on slip detection using tactile ,2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation., 2605-2610,2008.
 49. Shimada, S.; Yamamoto, S.; Uchida, Y.; Shinohara, M.; Shimizu, Y.; Shimojo, M., New design for a dynamic tactile graphic system for blind computer users, SICE 2008 - 47th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan,pp.1474-1477,2008, 10.1109/SICE.2008.4654891
 50. Shimojo, M.; Arakil, T.; Teranishi, M.; Aiguo Ming; Ishikawa, M., A net-structure tactile sensor covering freeform surface with reduced wiring, SICE 2008 - 47th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan Pages: 904-909 ,2008, 10.1109/SICE.2008.4654783
 51. Teshigawara, S.; Ishikawa, M.; Shimojo, M., Study of high speed and high sensitivity slip sensor characteristic of conductive material, SICE 2008 - 47th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan Pages: 900-903,2008, 10.1109/SICE.2008.4654782
 52. Aiguo Ming; Zhaoxian Xie; Yoshida, T.; Yamashiro, M.; Chao Tang; Shimojo, M.,Home service by a mobile manipulator system: system configuration and basic experiments, 2008 International Conference on Information and Automation (ICIA) ,pp.464-9,2008, 10.1109/ICINFA.2008.4608044
 53. Gunji, D.; Mizoguchi, Y.; Teshigawara, S.; Aiguo Ming; Namiki, A.; Ishikawaand, M.; Grasping force control of multi-fingered robot hand based on slip detection using tactile, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. The Half-Day Workshop on: Towards Autonomous Agriculture of Tomorrow, pp.2605-10,2008.
 54. Teshigawara, S.; Ishikawa, M.; Shimojo, M., Development of high speed and high sensitivity slip sensor, 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems pp.47-52,2008, 10.1109/IROS.2008.4650688
 55. Aiguo Ming; Yawen Huang; Fukushima, Y.; Shimojo, M., Development of an active flapping wing using piezoelectric fiber composites, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 2144-9 ,2008, 10.1109/ROBIO.2009.4913334
 56. Nagata, Y.; Seokyong Park; Aiguo Ming; Shimojo, M., Development of underwater robot using macro fiber composite, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. AIM 2008 ,pp.955-960,2008, 10.1109/AIM.2008.4601790
 57. Gunji, D.; Mizoguchi, Y.; Teshigawara, S.; Aiguo Ming; Namiki, A.; Ishikawaand, M.; Shimojo, M., Grasping force control of multi-fingered robot hand based on slip detection using tactile sensor, 2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation. The Half-Day Workshop on: Towards

- Autonomous Agriculture of Tomorrow pp.2605-10 , 2008
58. Teshigawara, S.; Tadakuma, K.; Ming, A.; Ishikawa, M.; Shimojo, M., Development of high-sensitivity slip sensor using special characteristics of pressure conductive rubber, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) pp. 3289-3294, 2009, 10.1109/ROBOT.2009.5152388
 59. Xu, C.; Ming, A.; Shimojo, M., Motion planning for a golf swing robot based on reverse time symmetry and PGCTC control, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) pp.4000-4005, 2009, 10.1109/ROBOT.2009.5152187
 60. Aiguo Ming, Seokyoung Park, Yoshinori Nagata, Makoto Shimojo, Development of Underwater Robots using Piezoelectric Fiber Composite, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.3821-3826, 2009, 10.1109/AIM.2008.4601790
 61. Yamashiro, M.; Zhaoxian Xie; Yamaguchi, H.; Aiguo Ming; Shimojo, M., Home service by a mobile manipulator system - mobile manipulation of chairs 2009 IEEE International Conference on Automation and Logistics (ICAL) , pp. 295-300, 2009, 10.1109/ICAL.2009.5262909
 62. Seiichi Teshigawara, Satoru Shimizu, Kenjiro Tadakuma, Ming Aiguo, Masatoshi Ishikawa and Makoto Shimojo, High Sensitivity Slip Sensor Using Pressure Conductive Rubber , Int. Conf. on SENSORS 2009, pp.988-991, 2009, 10.1109/ICSENS.2009.5398213
 63. 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論文集, pp.1140-1142, 2004.
 64. 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論文集, pp.1142-1143, 2004.
 65. 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論文集, pp.1146-1147, 2004.
 66. 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論文集, pp.1148-1149, 2004.
 67. 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論文集, pp.1150-1151, 2004.
 68. 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊, 高速ロボットシステムを用いた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ウム, pp.75-80, 2005.
 69. 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論文集, pp.693-694, 2005.
 70. 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論文集, pp.695-696, 2005.
 71. 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論文集, pp.697-698, 2005.
 72. 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論文集, pp.699-700, 2005.
 73. 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論文集, pp.701-702, 2005.

74. 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, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2006 講演論文集, 1A1-B34, 2006.
75. 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 講演論文集, 1A1-B39, 2006.
76. 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 講演論文集, 1A1-E27, 2006.
77. 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論文集, pp.722-723, 2006.
78. 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論文集, pp.724-725, 2006.
79. 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論文集, pp.726-727, 2006.
80. 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論文集, pp.736-737, 2006.
81. 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論文集, pp.738-739, 2006.
82. 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, 2H2-6, 計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2006.
83. 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論文集, pp.746-747, 2006.
84. 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, ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 講演論文集, 2A1-E08, 2007.
85. 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, ロボティクス・メカトロニクス講演会2007 講演論文集, 1A2-F10, 2007.
86. 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論文集, pp. 49-50, 2007.
87. 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論文集, pp.51-52, 2007.
88. 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論文集, pp.59-60, 2007.
89. 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ウム予稿集, pp.529-534, 2008.
90. 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ウム予稿集, pp.541-546, 2008.
91. 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・メカトロニクス部門講演会2008, 1A1-I14, 2008.
92. 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, ロボティクス・メカトロニクス講演会2008, 1P1-A09, 2008.
93. 妹尾拓: 人間を超える高速ロボットシステム, 豊橋技術科学大学グローバルCOEシンポジウムADIST2008 講演抄録集, pp.7-15, 2008.
94. 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, pp. 64, 2008.
95. 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, pp.331-332, 2008.
 96. 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, pp. 329-330, 2008.
 97. 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, pp.205-210, 2009.
 98. 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, pp. 331-336, 2009.
 99. 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部門講演会 2009 講演論文集, 1A1-B09, 2009.
 100. 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部門講演会 2009 講演論文集, 2A2-B05, 2009.
 101. 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, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009, 2A2-G07, 2009.
 102. 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講演論文集, 3A1-08, 2009.
 103. 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論文集, pp.1365-1366, 2009.
 104. 村上健一, 妹尾拓, 石川正俊: 反転動作に基づく高速キャッチング, 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論文集, pp.1363-1364, 2009.
 105. 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, pp. 1227-1228, 2009.
 106. 東森充, 丁憲勇, 石井抱, 金子真: 高速 4 本指ハンドによるハイパーヒューマンタスクの実現, 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論文集, 3A1-2, pp.813-814, 2004.
 107. 東森充, 丁憲勇, 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 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3J22, 2004.
 108. 西尾祥一, 東森充, 金子真: Dynamic Preshaping を考慮したワイヤ駆動キャプチャリングロボット, 第 22 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3J23, 2004.
 109. 原田学, 東森充, 石井抱, 金子真: 多リンクロボットハイジャンプ, 第 22 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2K12, 2004.
 110. 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, 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 2004 講演論文集, 2A1-L1-14, 2004.
 111. 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部門 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2004 講演論文集, 2A1-L1-73, 2004.
 112. 金子真, 丁憲勇, 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, 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 2004 講演論文集, 2A1-L1-13, 2004.
 113. 東森充, 金子真: ワイヤ張力の時間的操作に基づく Dynamic Preshaping, 第 23 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1C21, 2005.
 114. 木村麻伊子, 東森充, 石井抱, 金子真: 動的運動変換問題に基づく回転物体の捕獲に向けて, 第 23 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1C22, 2005.

115. 木村麻伊子, 東森充, 石井抱, 金子真: 棒状物体の 2-step 把握戦略, 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 2005 講演論文集, 1P1-N-091, 2005.
116. 内海圭祐, 東森充, 金子真: ピザ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)論文集, 2H1-5, pp.730-731, 2006.
117. 小田英貴, 東森充, 金子真: 重力場における棒状物体の摩擦不感型動的捕獲戦略, 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)論文集, 2H1-6, pp.732-733, 2006.
118. 東森充, 小田英貴, 金子真: 棒状物体の摩擦不感型把握戦略, 第 49 回自動制御連合講演会, SU4-2-5, 2006.
119. 東森充, 小田英貴, 金子真: 摩擦不感型衝突に基づく棒状物体の三次元動的捕獲戦略, 第 24 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3C21, 2006.
120. 東森充, 木村麻伊子, 石井抱, 金子真: 高速視覚情報に基づく棒状物体の動的捕獲戦略, 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 2006 講演論文集, 1A1-B37, 2006.
121. 林達郎, 東森充, 金子真: マルチリンクロボットの高速跳躍パターン生成, 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 2006 講演論文集, 1A1-D29, 2006.
122. 東森充, 木村麻伊子, 石井抱, 金子真: 摩擦未知環境下での二次元棒状物体の動的捕獲アルゴリズム, 第 11 回ロボティクスシンポジウム, 1D4, pp.98-103, 2006.
123. 大本康隆, 東森充, 金子真: ダイナミックピザマニピュレーション - 対象物形状に関する考察 -, 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)論文集, 1B2-4, pp.69-70, 2007.
124. 東森充, 大本康隆, 金子真: ダイナミックピザマニピュレーション, 第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3M32, 2007.
125. 東森充, 内海圭祐, 金子真: 高速視覚支援による単一グリッパ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・メカトロニクス部門 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2007 講演論文集, 2A1-F05, 2007.
126. 大本康隆, 東森充, 金子真: 非把持形態による柔軟物体のダイナミックマニピュレーション, 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)論文集, 3E1-1, pp.1041-1042, 2008.
127. 吉本佳世, 東森充, 坂本直樹, 金子真: レオロジー物体のアクティブシェイピングに向けた塑性変形量制御, 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)論文集, 3H2-3, pp.1185-1186, 2008.
128. 東森充, 吉本佳世, 坂本直樹, 金子真: レオロジー物体の塑性変形制御に関する基本的考察, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2E2-02, 2008.
129. 大本康隆, 東森充, 金子真: 柔軟物体の非把持マニピュレーション, 第 26 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3E3-09, 2008.
130. 大本康隆, 東森充, 金子真: ピザハンドリング機構に基づく柔軟対象物の動的操り, 第 14 回ロボティクスシンポジウム, 4A2, pp.337-342, 2009.
131. 中島由晴, 東森充, 金子真: Bowl 型エンドエフェクタを用いた動的操り, 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 2009 講演論文集, 2A2-B20, 2009.
132. 吉本佳世, 東森充, 金子真: 粘弾/塑性変形分離に着目したレオロジー物体のアクティブシェイピング, 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 2009 講演論文集, 2A2-G06, 2009.
133. 吉本佳世, 東森充, 金子真: 未知レオロジー物体の弾/塑分離性に基づくアクティブシェイピング, 第 27 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1A2-05, 2009.

134. 大本康隆, 東森充, 金子真: 柔軟物体の非把持ダイナミックマニピュレーション—粘弾性特性に基づいた操作効率の向上に向けて—, 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)論文集, 2J1-4, pp.1229-1230, 2009.
135. 下条誠, 谷保勇樹, 2次元分布荷重中心位置検出触覚センサーセンサ構成パラメータとセンサ特性について—, 2A1-N-107, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2005.
136. 荒木拓真, 学谷保勇樹, 下条誠, 2次元荷重分布中心位置検出触覚センサによる2足歩行ロボットのZMP検出, 2A1-N-108, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2005.
137. 岩下貴司, 下条誠, 石川正俊, 触覚情報処理用 MixedsignalLSI の開発, 2P1-N-103, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2005.
138. 荒木拓真, 下条誠, 2次元荷重分布中心位置検出触覚センサを用いた2足歩行ロボットでのZMP検出, 第23回日本ロボット学会学術講演会, 2005.
139. 郡司大輔, 荒木拓真, 下条誠, 荷重分布中心位置検出触覚センサを用いた滑り検出に関する研究, 2H3-6, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2005.
140. 友納昌則, 星野隆行, 満洲邦彦, 下条誠, 体重支持型アシストシステムの開発遊脚時における足先位置追従方式の実現と評価, 3L3-1, 計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2005.
141. 郡司大輔, 荒木拓真, 柴崎保則, 下条誠, 触覚センサを用いた把持における滑り検出, 2P2-B02, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2006.
142. 荒木拓真, 郡司大輔, 下条誠, 自由曲面への装着と省配線化を可能とする網目状触覚センサ, 2P2-B01, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2006.
143. 荒木拓真, 郡司大輔, 明愛国, 下条誠, 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, 1C16, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2006.
144. 郡司大輔, 荒木拓真, 柴崎保則, 明愛国, 下条誠, 指先に装着した面状CoP触覚センサによる滑り検出, 1C23, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2006.
145. 天本晴之, 下条誠, 2次元状に配置した近接覚センサによる対象物の中心位置検出方式, 1C24, 第24回日本ロボット学会学術講演会, 2006.
146. 下条誠, キーノート講演近接覚から触覚までをシームレスにつなぐ汎用触覚センサ開発, 1O1-1, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2006.
147. 柴崎保則, 天本晴之, 石川正俊, 下条誠, 触覚・近接覚融合センサによる対象物検出方式, 1O1-2, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2006.
148. 後藤優二, 木拓真, 明愛国, 下条誠, ボットの全身に装着できる触覚センサの構成法—柔軟体カバーによる空間フィルタリング効果—, 1O1-5, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2006.
149. 郡司大輔, 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, 2H2-5, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2006.
150. 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—, 1A2-B08, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2007.
151. 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—, 1A2-B08, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2007.
152. 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—, 1A2-B09, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2007.
153. 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用触覚センサの開発, 1P1-B10, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2007.
154. 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用触覚センサの開発, 1P1-B10, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2007.
155. 永田佳範, 朴ソギョン, 明愛国, 下条誠, 圧電繊維複合材料を用いた水中ロボットの開発, 1F21, 第25回日本ロボット学会学術講演会, 2007.
156. HuangYawen, 福島佑一, 明愛国, 下条誠, 圧電繊維複合材料を用いた羽ばたきロボットの開発,
157. 1F23, 第25回日本ロボット学会学術講演会, 2007.

158. 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の実現, 1B1-5, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2007.
159. 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, 2A2-1, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2007.
160. 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, 2A2-2, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2007.
161. 柴崎保則, 天本晴之, 石川正俊, 下条誠, 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-, 2A2-3, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2007.
162. 天本晴之, 下条誠, 石川正俊, 柴崎保則, 赤外線式接近感覚型センサを用いたロボットの対象物認識, 2A2-4, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2007.
163. 平澤輝, 片野広大, 岡田英孝, 下条誠, 広範囲計測が可能な歩行位置検出センサの開発, 2A3-7, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2007.
164. 勅使河原誠一, 西永知博, 石川正俊, 下条誠, 高速・高感度な滑り覚センサの研究開発—感圧導電性ゴムの特性—, 1A1-H11, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008.
165. 寺西裕, 学柴崎保則, 明愛国, 石川正俊, 下条誠, 同期検波を用いたネット状近接覚センサの高機能化, 1A1-H15, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008.
166. 柴崎保則, 堤隆弘, 下条誠, 明愛国, ロボットに全身被覆可能な近接覚・触覚融合型センサを用いた衝突回避動作に関する研究開発, 1P1-I04, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2008.
167. 多田隈建二郎, 下条誠, 他, 全方向包括式なじみグリッパ—基本概念の提案と機械モデルの第一次試作—, 1E1-01, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008.
168. 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, 1E1-04, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008.
169. 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, 3L1-08, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008.
170. 下条誠, 電気通信大学下条研究室のRT-ロボット共存における安全と曲面型近接覚センサ技術-3M1-06, 第26回日本ロボット学会学術講演会, 2008.
171. 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-触・近接覚センサによる捕獲から把持までの制御-, 3B3-7, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2008.
172. 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, 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, 3B4-2, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2008.
173. 寺西裕, 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, 3B4-3, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2008.
174. 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-, 3B4-7, 計測自動制御学会SI部門講演会, 2008.
175. 多田隈建二郎, 多田隈理一郎, 勅使河原誠一, 溝口善智, 長谷川浩章, 寺田一貴, 高山俊男, 小俣透, 明愛国, 下条誠, 全方向包み込み式なじみグリッパ—把持応答性向上を目指した各種方法—, 2A2-B02, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009.
176. 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—PickandPlaceの達成—, 2A2-J04, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009.
177. 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-手先に対し相対的に移動する把持対象物への追従制御-, 2A2-J08, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009.
178. 藤村竜徳, 有田浩之, 多田隈建二郎, 明愛国, 下条誠, ネット状近接覚センサの三次元配置に関する研究—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—, 2A2-K06, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2009.
179. 清水智, 綿奈部裕之, 学勅使河原誠一, 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—法線および接線方向変形と

- 抵抗値変化の関係―，2P1-J13，ロボティクス・メカトロニクス講演会，2009.
180. 寺西裕，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，2P1-K02，ロボティクス・メカトロニクス講演会，2009.
 181. 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―抵抗値変化の高周波成分について―，2P1-K06，ロボティクス・メカトロニクス講演会，2009.
 182. 多田隈建二郎，下条誠ほか，微小震動プレート爪機構，1A1-07，第27回日本ロボット学会学術講演会，2009.
 183. 寺田一貴，多田隈建二郎，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，1I1-02，第27回日本ロボット学会学術講演会，2009.
 184. 長谷川浩章，多田隈建二郎，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，1A3-02，第27回日本ロボット学会学術講演会，2009.
 185. 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，3I1-04，第27回日本ロボット学会学術講演会，2009.
 186. 勅使河原誠一，清水智，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-検出条件に関する検討-2C2-1，計測自動制御学会SI部門講演会，2009.
 187. 藤村竜徳，明愛国，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-光線追跡法を用いたフォトセンサのシミュレーション-，2C2-5，計測自動制御学会SI部門講演会，2009.
 188. 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」シンポジウム講演論文集，pp.204-207
 189. 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 講演論文集，2A2-B19
 190. 村上健一，並木明夫：高速ビジョンを用いた変形するスクリーンへの投影画像制御，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 講演論文集
 191. 林寛和，並木明夫：高速ビジョンを用いた多指ハンドによる紙のハンドリング，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 講演論文集
 192. 金奏演，並木明夫：指先回転軸を有する多指ハンドを用いた把持物体の姿勢制御，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 講演論文集
 193. 菅野了也，並木明夫：ズーム機構を有する高速アクティブビジョンを用いたターゲットトラッキング制御，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 講演論文集

②その他

国内 0件， 海外 0件

(3)特許出願（SORST 研究の成果に関わる特許（出願人が JST 以外のものを含む））

なし.

(4)その他特記事項

[プレス発表]

● 平成21年7月23日

「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

[報道記事]

A)新聞

- 2005.2.9 朝日新聞（夕刊）：高速バッティング，生卵キャッチ，ひも結び
- 2005.7.25 日本経済新聞：高速ロボットハンド，キャッチング
- 2005.12.26 日経産業新聞：ロボット向け感圧センサ
- 2006.8.25 日経産業新聞：触覚センサ&高速ロボットハンド
- 2006.9.20 日経産業新聞：触覚センサ
- 2006.9.25 日本経済新聞：ペン回し
- 2006.12.14 日経産業新聞：全身触覚
- 2009.7.24 読売新聞，毎日新聞，産経新聞，日本経済新聞，日刊工業新聞，東京新聞：高速スローイング&バッティング
- 2009.8.4 朝日新聞：高速スローイング&バッティング
- 2009.8.27 日刊工業新聞：ピンセット操り
- 2009.9.14 日本経済新聞：高速スローイング&バッティング
- 2009.9.14 日刊工業新聞：ひも結び
- 2009.10.09 日経産業新聞：移動ロボット
- 2009.10.10 教育家庭新聞：高速スローイング&バッティング
- 2009.11.26 毎日新聞：高速スローイング&バッティング
- 2009.12.9 朝日小学生新聞：高速スローイング&バッティング
- 2009.12.26 朝日新聞：ピンセット操り
- 2010.01.26 日刊工業新聞：ファナック FA ロボット財団論文賞

B) 雑誌

- 週間アスキー（No.589, 2006）：高速バッティング
- Japan Scope（Vol.6, 2007）：触覚センサ
- JST News（Vol.6, No.7, 2009）：高速スローイング&バッティング
- EETIMES Japan（No.52, 2009）：高速スローイング&バッティング

C) テレビ

- 2004.11.7 韓国 SBS：感覚運動統合システム
- 2005.6.10 Discovery Channel：高速バッティング
- 2006.10.14 NHK BS：ペン回し，高速バッティング
- 2006.11.26 日本テレビ：高速バッティング
- 2007.5.14 NHK BS：ペン回し
- 2007.9.26 NHK：ペン回し
- 2007.11.3 日本テレビ：高速バッティング
- 2008.1.11 テレビ東京：キャッチング，リグラスピング，バッティング
- 2008.5.24 TV 東海：ペン回し
- 2008.7.5 日本テレビ：ドリブル，バッティング
- 2009.7.24 フジテレビ，テレビ朝日：高速スローイング&バッティング
- 2009.7.28 AP 通信：高速スローイング&バッティング
- 2009.9.19 日本テレビ：高速スローイング&バッティング

- 2009.11.17 テレビ東京：高速スローイング&バッティング
- 2009.11.25 テレビ朝日：高速スローイング&バッティング
- 2010.1.3 BS ジャパン：高速スローイング&バッティング
- 2010.2.13 福岡 KBC：触覚センサ

[受賞]

- 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMECH 賞受賞(2007) 古川徳厚, 妹尾拓, 並木明夫, 石川正俊
- IEEE International Conference on Robotics and Automation, Best Manipulation Paper Award Winner (2006) N.Furukawa, A. Namiki, T. Senoo and M. Ishikawa
- 計測自動制御学会 学術奨励賞 (2005) 妹尾拓
- 日本ロボット学会研究奨励賞 (2007) 東森充
- 第11回ロボティクスシンポジウム最優秀論文賞 (2006) 東森充, 木村麻伊子, 石井抱, 金子真
- 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門 ROBOMECH 表彰 (2005) 金子真, 丁憲勇, 東森充, 石井抱, 並木明夫, 石川正俊
- 2007 年 The IEEE Robotics and Automation Society Award, Best Paper Finalist in IROS2007 (下条, 石川)
- 2009 年 日本バーチャルリアリティ学会論文賞受賞
- 2009 年 IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2009) KAZUO TANIE AWARD
- 2010 年 ファナック F A ロボット財団論文賞 (下条, 石川)

9. 結び

本プロジェクトは CREST 事業からの継続課題であり、計 10 年間という長期に渡る研究であった。研究を進めていく上で、様々な新しい知見が得られたり、試作したシステムが予想以上の驚くような性能を実現できたりと、次から次へと興味深い課題や結果が導かれるように現れ、我々の研究意欲をかき立ててくれた。

SORST プロジェクトを開始した当初は、CREST 事業の成果である高速キャッチングや高速バッティングという想像を超えたインパクトのあるタスクを代表として、「高速マニピュレーション」という概念がようやく具現化してきた状態であった。一方、人間の眼では直接確認できないような極限的な高速操作を通じて、システムの不十分な要素も露呈され課題も多々見つかった。また高速マニピュレーションではそのアルゴリズムも独自性の強いものとなる傾向があり、超高速ロボットシステムを用いて様々な技能の蓄積や体系化をおこなっていく必要があると感じられた。そこでシステムの諸要素の高性能化を追求することと並行して、操り動作のバリエーションを増やして多機能化を図ることにした。

ロボットの構成要素に関して第一線の研究者の協力を得て非常に強力な研究チームを構成し、最終的に脳システム、アーム、ハンド、視覚、触覚の各要素に関して、従来のレベルを超える高性能なシステムを実現することができた。同時に、高速性に焦点を絞ることで多くのマニピュレーションを実現し、超高速ロボットが可能にする新しい世界観を示唆することができた。これらの成果は、従来をはるかに超える性能を持つということで高い評価を得ることができたと自負している。

平成 21 年 7 月には、東京大学で高速スローイング&バッティングの記者会見を開いて発表を行った。統合システムの可搬性を向上して実験室外への設置を可能にし、国際ロボット展や本プロジェクト主催のシンポジウムにおいてデモンストレーションも実施した。広報活動も行うことで、開発した統合システム・要素技術・設計コンセプトなどをより広く認知してもらい、本研究の成果を広く社会に発信して新しいロボット像を提示することができた。同時に、開発システムや諸要素の高い信頼性を実証することができた。これらの発表と実演は多くの新聞やテレビなどで報道され、広く一般の方にも研究成果を知らせることができた。

ブレークスルーを産み出すためには理論やアルゴリズムの技術だけでは不十分であり、ハードウェアの技術開発も必要である。一方ハードウェアを高性能化するためには、どうしてもお金がかかってしまう。特にカスタマイズされた試作品は、設計などの初期費用がかかるために高額になりがちであり、それが研究のネックになることが多々ある。今回のプロジェクトでは、SORST 事業の制度や予算運用面で非常に柔軟であることに何度も助けられた。非常に幸せな研究環境においていただけたことを心から感謝している。

最後に、このような機会を与えて頂いた研究領域「脳を創る」総括甘利俊一先生をはじめ領域アドバイザーの委員の先生方、また研究を強力にサポートしていただいた科学技術振興機構の皆様に深く感謝の意を表したいと思います。