

## 研究課題別 中間評価結果

1. 研究課題名: 感覚運動統合理論に基づく「手と脳」の工学的表現

2. 研究代表者: 石川 正俊(東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授)

### 3. 研究概要

本研究は、脳の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、人間や従来の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。握る、捕る、打つ等の基本的な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」等のロボットを構成する諸要素を、従来のロボットをはるかに超える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の実現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整合理論に基づき、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ことにより、柔軟で高速なマニピュレーションの実現を目指す。

開発したシステムを用いて、握る、捕る、打つ等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を実現し、人間を超えるパフォーマンスを実現する。最終的には、ネジ等の微細部品の組み立て等の実用マニピュレーションの超高速化や、人間の動きを先読みし、人間を超える速度で動作する高性能ヒューマンマシンインタラクションの実現を通して、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すことを目指す。

本研究結果をまとめると下記の通りである。

- (1) 高機能バッティング: 打球制御のための制御アルゴリズムの開発と実機実験を実現した。
- (2) 動的保持: ドリブル動作のモデル解析を行い、実機実験によりその有効性を検証した。
- (3) ソフトキャッチング: ビジュアルインピーダンスモデルにより落下する卵の高速キャッチを実現した。
- (4) ダイナミックリグラスピング: 円柱対象と直方体対象の高速リグラスピング(re-grasping)を実

現した。

(5) 動的ペン回し: 棒状物体の回転運動モデルを構築し、実機実験を実現した。

(6) 多関節ロボットアームによるスローイング動作: 波動の重ね合わせ理論による投球動作を実機により実現した。

(7) 高速アームの開発: 高速多指ハンドの搭載が可能な人間の腕のサイズの高速ロボットアームを開発した。

(8) 高速キャッチングシステム: キャッチングタスクの技術に基づき、日本科学館未来における常設展示システムを開発した。

(9) 棒状動体の操り、捕獲: 対象物—ロボットシステムを2次元水平面でモデル化し、並進・回転運動を有する棒状動体の操り、捕獲が可能になった。

(10) 把持対象物の滑り検出: ハンドリングを行う場合重要な問題である把持(はじ: しっかり持つこと)対象物の滑り検出に関して、滑り検出メカニズムの解析、および滑り検出に基づく未知対象物の把持力制御方法について基礎的な実験に成功した。

## 4. 中間評価結果

### 4-1. 研究の進捗状況と今後の見込み

本研究で開発した高速ハンド、高速アーム等の要素を融合することにより感覚運動統合システムを構築し、バッティング、ドリブル、ペン回し、スローイング等、動的マニピュレーションの個別の高速技能等が順調に実現される等、進捗は良好である。一方、アクティブビジョンの超高速化や超高速マニピュレーションシステムの開発、および高速ヒューマンマシンインタラクションについては成果がまだ明確に示されておらず、今後の進展を期待する。

### 4-2. 研究成果の現状と今後の見込み

感覚運動システムの多機能化については、超高速アームの実現、動的捕獲の成功、適切な把持力制御の成功等、システム各部分の高度化により実現された感覚行動技能の技術的インパクトは極めて高い。個別技能の拡大と高性能化等、性能は世界的に見ても他の追従を許さないものとなっており、今後も研究計画に従った順調な成果が期待出来る。高速画像処理や専用ハードウェアによる高速動作の実現は、これまでと異なる、意義のある処理手法を生み出す可能性がある。このため、高速処理による応用の広範さを追求するだけでなく、「新しい価値や概念の創出」といった観点からの研究の進展も期待する。

### 4-3. 総合的評価

ダイナミクス整合を保ちつつ、センサ系と運動系を高速にすることにより、高度な機能を持たせることが出来ることを実証した意義は極めて高い。

他に追従を許さないパフォーマンスを工学的に実現しており、個別の手作業を実行するときに生じる物理現象を研究者が観察・分析し、マニピュレーション技能として高性能の感覚運動統合シ

システム上に実装するというアプローチの正当性を立証した。超高速化というコンセプトとその実現は、従来の制御工学、画像工学のパラダイムシフトとなる可能性がある。これまでに実装された個別技能の性能から、アプローチの原理あるいは理論の正当性はすでに立証されたと言える。一方、現時点では実用化の目処は示されておらず、新たな理論展開と手法に関して、これまでの成果以上の一般化・普遍化を期待する。学習や予測等のファクターを入れないという方針は一つのやり方であるが、今後、本当に必要がないのか、考慮の余地がある。本研究成果である世界独自の技術が非常に高い価値を持ち得ることは確かであり、新しい価値や概念の創出の道筋が示されることが強く望まれる。