

## 研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名 「感覚運動統合理論に基づく「手と脳」システムの実現」
2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）

研究代表者 石川 正俊（東京大学大学院情報理工学研究所 教授）

主たる研究参加者

岩田 穆（広島大学大学院先端物質科学研究科 教授）

金子 真（広島大学大学院工学研究科 教授）

下条 誠（電気通信大学電気通信学部 教授）

阪口 豊（電気通信大学大学院情報システム学研究科 助教授）

石井 抱（広島大学大学院工学研究科 助教授）

3. 研究内容及び成果：

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を用いて外界からの情報を得て、多数の運動制御機構を用いて外界に働きかけるという開放系であり、外界との情報のやりとりを通じて適応能力や学習能力を高めていくことができるためである。人間の感覚運動統合機能の中でも特に重要な役割を果たすものに「手と脳」の関係がある。手は脳の機能と深い関わりを持っており、視覚や触覚などの様々な感覚系と運動系の統合を超並列的に処理する脳の機能と、優れたアクチュエータであると同時に優れたセンサーでもある手の有する感覚運動統合機能の密接な統合を実現している。本研究は、このような「手と脳」のもつ感覚と運動の統合機能に注目して、実環境下での認識・行動を工学的なシステムとして構築することを目的としている。

本研究は、感覚と運動の統合における中心設計概念として、「ダイナミクス整合」を提案した。ダイナミクス整合とは、システムを構成する要素であるセンサー系、処理系、アクチュエータ系の時間特性を整合させる、という概念であり、従来の機能面での統合とは異なる、時間特性からみた統合を考えるものである。一般に、工学システムのセンサーやアクチュエータは、人間と比較して非常に速い処理能力や応答特性を持つので、工学システムを最適にダイナミクス整合させることで、人間を超える高速の認識行動システムを構築することが可能となる。

以上のコンセプトのもとに、工学的感覚運動統合システムの構築、それを構成する各要素（高速センサー、高速アクチュエータ、並列処理系）の開発、感覚運動統合理論の研究が行われた。最終的に、人間を超える高速な認識行動能力を持つ「手と脳」システムの原型を開発し、キャッチングやバッティングなどのデモを、人間を超える性能で実現し、その有効性を示した。

各サブグループの研究概要は以下の通りである。

- 1) 「手と脳」における感覚運動統合システムの研究（東大 石川グループ）

視覚や触覚などのセンサー、ハンドやアームなどのアクチュエータを階層分散構造で統合する感覚運動統合システムを構築した。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、様々な把握・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られた。特に、高速で正確な動作が必要なため、従来では実現が難しかった、動的マニピュレーションに適用し、その有効性を示した。

a) 感覚運動統合システムの開発

b) 軽量高速多指ハンドの開発

c) 高速キャッチング

d) 高速バッティング

- 2) 「手と脳」における脳型情報処理の集積化の研究（広大 岩田グループ）

速度の点で人間の能力を超える脳型情報処理システムを工学的に構築することを目標とする。特に、神経ネットワークが学習によって最適な情報伝達経路を形成している点に注目し、状況に対応して動的に再構成可能な並列分散ネットワーク構造を持つ工学的脳を実現することを目標とし

て研究を行った。具体的には、CDMA シリアル通信チップを搭載したインタフェースボードを試作し、これを用いたマルチ DSP プロセッシングシステムのプロトタイプを試作を行い、ロボットのブレイン (制御機構) 実現の基盤技術の一つを確立した。

3) 「手と脳」における超高速メカニズムの研究 (廣大 金子グループ)

世界最高加速度を実現する超高速ロボットメカニズムの研究開発と、高速で運動する動体を捕獲する場合の力学的観点からの枠組を構築することを目的とした研究を行った。

4) 「手と脳」のための実時間触覚情報処理の研究 (電通大 下条グループ)

「手と脳」のための感覚運動統合理論に対応した、実時間触覚情報処理の研究を行った。指ハンドに触覚機能を付与する場合、ハンド全体を覆うような人工皮膚感覚の実現が望ましい。このような触覚センサーの条件としては、薄型で、広い面積を覆え、柔軟性があり、自由曲面にも対応でき、法線・接線方向力の検出が可能であり、さらに耐久性が必要となる。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目的として、研究を行った。

5) 「手と脳」のための能動的感覚運動統合学習理論の研究 (電通大 阪口グループ)

実時間感覚運動統合を実現するための基礎計算理論の構築、および、人間の感覚運動統合機構の理解を目的として、「感覚運動統合実現のためのアルゴリズムの構築」と「手の運動にかかわる行動実験、および、手の運動の性質を説明する計算モデルの構築」の二つの観点から研究を行なった。

6) 「手と脳」のための実時間視覚情報処理の研究 (廣大 石井グループ)

視覚システムの高速化に対応した高速なジェスチャー認識システムを構築した。特に、十分な視覚システムの高速化並びにロボットハンドの高速化、つまり「手と脳」システムの高速化により、人間の能力を上回るジェスチャー行動を実現した。

#### 4. 事後評価結果

##### 4 - 1. 外部発表、特許、研究を通じての新たな知見の取得などの研究成果の状況

本研究は、人間の脳に制御された手の機能を凌駕する高速な工学システムを実現すべく現代の技術を結集したもので、ダイナミクス整合など、脳の原理を参考にしつつも脳とは異なる思想のもとで新しいシステムを構築し、最先端技術の可能性を示した。この成果は、海外 22 件、国内 12 件の学術論文として発表されているが、このような技術開発は、論文よりは実際に実現したシステムが重要であり、世界に誇る高速性能を実現した。このことは、国内 86 件、海外 50 件に及び、多数の招待講演を含む研究発表、および 7 件に及び受賞からも明らかである。さらに、10 回に及びテレビ報道、多数の新聞紙上での報道などがあり、最先端の技術として世の関心を呼んだことがわかる。また、本ロボットの一部は日本科学未来館で常用の展示に供されている。

##### 4 - 2. 成果の戦略目標・科学技術への貢献

脳からダイナミクス整合および階層並列分散情報処理方式を学びつつ、なお脳より優れた工学センサー、情報処理素子、アクチュエータを用いてどのようなシステムが構築できるか、その現代における極限の可能性を追求し、これらを統合して実際に動く世界最高といえるシステムを構築したことは高く評価される。これらの技術はすぐにも実用可能なもので、産業界との連携も進んでいる。

##### 4 - 3. その他の特記事項 (受賞歴など)

本研究は現代のロボットシステム技術の最先端の可能性を示したものであるが、一方脳研究に寄与するところはあまりない点で、多少の議論を呼んだ。人間は、そのセンサー、アクチュエータの限界のもとで、優れた情報処理機能を持つ脳を極限まで発展させた。本研究は、逆に、工学センサーとアクチュエータの性能を極限まで活かして、それを統合するシステムを作ることで人間の脳を超える工学システムを実現した。これはまだ硬いシステムである。これに、さらに脳の柔らかさが加われば、まさに鬼に金棒の技術が実現するであろう。