

# ERATO「浅田共創知能システム」プロジェクト 追跡評価報告書

## 総合所見

本プロジェクトの最大の成果は、環境と相互作用しながら経時的に発展するシステムの原理を探求する新しいロボティクスと定義されている「認知発達ロボティクス」という新しい分野を切り開いたことにある。ロボットを創ることを通じて、人の認知や発達の研究に新しいパラダイムを提供した。

論文、競争的資金の獲得、特許、招待講演などのいずれのデータからも、プロジェクト終了後、関連分野の研究をさらに活発に展開していると判断する。特に、(1)胎児・新生児の筋骨格・神経系発達シミュレーションによる発達障害のモデル化、治療への応用、(2)人体に酷似した人工筋骨格構造の設計・作動を目指した運動生理学との連携などによる構成論的運動発達学の構築、(3)ロボットを制御可能な心理実験の対象とするシステムズサイコロジーの確立、(4)親和性の高い人工物の設計論の確立とコミュニケーションロボットの商品化などにおいて大きな進展状況が認められる。さらに、新たな後継プロジェクトを立ち上げ、研究をさらに深化させている点、本プロジェクトで開発された様々な技術やヒューマノイドプラットフォームなどが実用化・商品化している点に関しては、進展が顕著である。

研究成果の科学技術の進歩への貢献に関しては、本プロジェクト終了後も、発達に関する脳や心の理解の研究やヒューマンロボットコミュニケーションに関する研究などの後継のプロジェクトを立ち上げるなど、科学技術の進歩への貢献は大きく、本プロジェクト終了後における参画研究者の国際会議での招待講演が 112 件に上ることからも、これらの研究はいずれも国際的に高い水準であると判断する。一方、学際的な融合による発達モデルの理解というシナジー的な展開はどちらかというと薄れており、各研究者がそれぞれ別個の方向に研究を展開している印象がある。また、発達モデルの理解という壮大な目標に対しては、導出された新たな仮説の正当性の評価などはまだ十分であるとは言えず、得られた成果の工学以外の関連分野への学術的インパクトも必ずしも明確でない。今後のさらなる展開に期待したい。

研究成果の応用に向けての発展に関しては、発達モデルの理解は、その知見が発達障害や自閉症の患者の療育や治療へ応用できるレベルにはまだ達しておらず、より深い理解とさらなる取り組みが必要であると考えられる。本プロジェクトで開発されたヒューマノイドプラットフォームは商品化が進んでおり、実社会の様々な場面で利用されるなど、用途も拡大しつつあり、その社会的なインパクトは大きい。

参加研究者の活動状況に関しても、参画した研究者の多くが、後継の研究を実施するなど、積極的に研究活動を発展させるとともに、順調にキャリアアップを果たしている。

## 1. 研究成果の発展状況や活用状況

本プロジェクト終了後も、研究成果に関する論文 119 報 (2016 年 12 月現在) が出版され、論文の被引用数が Top 10% の論文も 6 報あった。また、競争的資金の獲得に関しては、プロジェクト終了後に、プロジェクト参画研究者が本プロジェクトの研究成果をベースとして、科研費特別推進研究、科研費新学術領域研究、新たな ERATO プロジェクトをはじめとして、新たに大型プロジェクトを複数立ち上げるなど、多くの研究資金を獲得し、本プロジェクトの研究を継続するのみならず、研究をさらに発展させつつある。特許に関しても、国際特許 1 件を含めて 15 件を出願し、そのうち 2 件は登録されており、研究成果の実用化の取り組みも活発に行われていると判断する。また参画研究者のプロジェクト開始後における招待講演は、国内外で 454 件 (国際会議 : 179 件、国内会議 275 件) 行われ、そのうち研究期間終了後が 365 件 (国際会議 : 112 件、国内会議 : 253 件) となっていることから、本プロジェクトの研究が国内外から非常に注目されていることが推察される。

本プロジェクトは、(a) 身体的共創知能、(b) 对人的共創知能、(c) 社会的共創知能、(d) 共創知能機構の 4 テーマに関して研究が行われたが、プロジェクト参画研究者は、本プロジェクト終了後も複数の大型プロジェクトを立ち上げ、着実に研究継続の基盤を維持・発展させている。具体的には、(1) 胎児・新生児の筋骨格・神経系発達シミュレーションによる発達障害のモデル化、治療への応用、(2) 人体に酷似した人工筋骨格構造の設計・作動を目指した運動生理学との連携などによる構成論的運動発達学の構築、(3) ロボットを制御可能な心理実験の対象とするシステムズサイコロジーの確立、(4) 親和性の高い人工物の設計論の確立とコミュニケーションロボットの商品化などにおいて、研究をさらに発展・拡大させている。それぞれの研究課題やアプローチは、必ずしも本プロジェクトの研究成果の直接的な活用ではないかもしれないが、新たに見つかった課題に脳科学の先端的な手法を適用するなど、本プロジェクトの研究成果を活かした提案がなされ、着実に成果を出している。

特に、胎児・新生児シミュレータや赤ちゃんに似せた筋骨格系、触覚系をもつヒューマノイドロボットプラットフォームなどは、その後の構成論的発達科学やヒューマンロボットインタラクションなどの研究の礎となっており、認知発達、模倣学習などの理解、小型ヒューマノイドロボット開発などへ発展している。

## 2. 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果

### (1) 研究成果の科学技術の進歩への貢献

発達に関する脳や心の理解の研究に関しては、構成論的手法による認知発達ロボティクスという新しい学術的分野を開拓し、ロボティクス、計算機シミュレーション、機械学習、脳科学、心理学、認知科学などの学問分野を、発達の解明というテーマで紐づけた点において、科学技術の発展に大きく貢献している。本プロジェクトの研究成果をベースとして、科研費特別推進研究、科研費新学術領域研究などで「構成論的発達科学」に関するプロジェクトが立ち上がっており、発達モデルの構成論的理解に関する研究は、これらのプロジェクトに受け継がれている。本プロジェクトで開発された筋骨格・神経系発達シミュレータは、科

学技術上重要なツールになり得ると考えられる。構成論的手法による ASD（自閉症スペクトラム・アスペルガー症候群）研究も、発達障害の解明と治療という分野に対し新しい視点および解明方法を与えるものであり、学術的に大きなインパクトがある。

ヒューマンロボットインタラクションに関する研究に関しても、本プロジェクトの研究成果をベースとして、ERATO プロジェクトなどが立ち上がっており、親近感などの心理学的な評価を伴うヒューマノイドロボットの設計論に関する研究開発が展開されている。その他にも、人工筋骨格構造の構築による二足歩行の適応機能の解明なども進められており、本プロジェクトが、ロボティクス新たな研究の開拓、学術的展開、科学技術の進歩に大きな貢献を果たしていると判断する。

以上から、本プロジェクトの終了後の科学技術の進歩への貢献は大きく、欧米では異端視されていた人間の形をしたヒューマノイドの研究と実用化に加えて、それらを構成論的手法のプラットフォームとして活用する研究を展開した。また人との親和性に着目したヒューマノイドロボットがコミュニケーションツールとして受け入れられるきっかけを作った。さらに終了後における参画研究者の国際会議での招待講演が 112 件に上り、これらの研究はいずれも国際的に高い水準であると考えられる。

一方、プロジェクト終了後も研究活動自体は活発に継続されているものの、各研究者がそれぞれ別個の方向に研究を展開しており、本来このプロジェクトが目指していた、学際的な融合による発達モデルの理解というシナジー的な展開はどちらかという薄れているような傾向が感じられる。発達モデルの「理解」という壮大な目標に対して、得られた知見はまだ断片的であり、導出された新たな仮説の正当性の評価などはまだ十分であるとは言えない。また得られた成果が、工学以外の関連分野（医学、心理学、生理学、教育学など）にどの程度受け入れられているか、どれほど影響を与えているか、ロボティクスによる構成論的アプローチによって、これまでの方法論でわからなかったことがどこまでわかるようになったのか、この研究成果が参画研究者以外の研究者も含め、どれほど大きな学術的トレンドとコミュニティを形成しているかなどに関しても必ずしも明確でない。工学的には、空気圧によるヒューマノイドの開発がされているが、歩行制御も含めて今後のさらなる展開に期待したい。

## (2) 研究成果の応用に向けての発展

構成論的手法は、近年活発に研究が行われている人工知能、ニューラルネットワーク、深層学習など、機械学習の分野に対しても大きなインパクトを与えている先駆的な研究と言える。数々のロボットプラットフォームの開発は、人間を含む環境との相互作用により、コミュニケーションの本質に迫る研究が展開可能と考える。

一方、発達モデルに関しては、本プロジェクトで得られた研究成果として、発達モデルの仮説が導出されており、後継プロジェクトでもその検証や新たな仮説生成の取り組みが行われているが、その検証は十分とは言えない。社会性やコミュニケーションにかかわるイメ

ージングの研究なども現象の発見と理解が主となっており、これらの知見が発達障害や自閉症の患者の療育や治療へ応用できるかどうかに関しては未知数である。今後、より深い理解とさらなる取り組みが必要であると考えられる。

本プロジェクトで開発された様々な技術やヒューマノイドプラットフォームに関しては、その実用化・商品化が進んでおり、実社会の様々な場面で利用されるなど、用途も拡大しつつあり、その社会的なインパクトは極めて大きい。特に、コミュニケーションロボットに関しては、身体、環境、神経システムが相互作用を起こしながら獲得されていく発達という機能の実現が重要である。現時点ではまだ萌芽的なレベルと思われるが、今後プラットフォームの利用を通して、発達機能の実現・実用化や、より多くの知見が得られることが期待される。

### (3) 参加研究者の活動状況

各グループリーダーや主要なメンバーは構成論的な認知発達ロボットのアプローチから発達論的認知科学の礎を築き、それぞれの領域で継続して活躍している。また、参画した研究者の中でも若手人材の多くが、後継の研究を実施するなど、着実に研究成果をあげ、積極的に研究活動を発展させ、順調にキャリアアップを果たしている。複数の後継プロジェクトが立ち上がったことで、よい意味での競争的環境が形成でき、それらのグループの周囲に優秀な人材が集まり、それが参加者のキャリアアップにつながっている。

## 3. その他

特筆すべき事項としては、下記の2点が挙げられる。

1. 本プロジェクトは、構成論的発達科学やヒューマンロボットインタラクションなど、新しい後継プロジェクトの学術的展開の基礎となった点において、科学技術の進展に大きく寄与した。
2. 本プロジェクトで開発されたヒューマノイドプラットフォームなどが商品化され、またTV番組で使用されるなど、メディアに多く露出し、ロボット技術を一般の人に広くわかりやすく伝えたという点で、大きな社会的な貢献をした。

また、身体運動やコミュニケーションに関する知能、共創、構成論的方法とは何かということ、ロボットやさまざまなコミュニケーションツールを駆使して、一般の人にわかりやすく伝えることで社会に啓蒙を与えるようなアウトリーチ活動を積極的に行っている点も高く評価できる。研究の展開と社会への情報発信が極めて効率的に噛み合った成果だと思われる。今後も、さらなるアウトリーチ活動の展開により、人々の研究に対する理解を深め、その上での発展を期待したい。