

## 解説

## 共創知能研究用ヒューマノイドプラットフォームの開発

Development of Humanoid Platforms for Studying Synergistic Intelligence

港 隆史<sup>\*1</sup> 吉川 雄一郎<sup>\*2\*3</sup> 石黒 浩<sup>\*2\*3</sup><sup>\*1</sup>国際電気通信基礎技術研究所 / 元 科学技術振興機構 ERATO 浅田プロジェクト (2006年6月-2010年12月)<sup>\*2</sup>科学技術振興機構 ERATO 浅田プロジェクト <sup>\*3</sup>大阪大学大学院基礎工学研究科Takashi Minato<sup>\*1</sup>, Yuichiro Yoshikawa<sup>\*2\*3</sup> and Hiroshi Ishiguro<sup>\*2\*3</sup><sup>\*1</sup>Advanced Telecommunications Research Institute International / Formerly Asada Project, ERATO, JST (Jun. 2006-Dec. 2010)<sup>\*2</sup>Asada Project, ERATO, JST <sup>\*3</sup>Graduate School of Engineering Science, Osaka University

## 1. はじめに

浅田共創知能システムプロジェクトの「共創知能」の意味は、プロジェクトの説明文によると、

「共創知能」の意味は、科学と技術の共創という考えに加え、システムが身体をもって環境とともに知能を共創するという意味を持ち（以下略）

となっている。システムが身体をもって環境とともに知能を共創するためには、人間型のロボットが必要である。そのロボットを用いた認知発達ロボティクス [1] 研究を、ロボット工学研究者と脳科学、神経科学、認知科学などの分野の研究者が連携して行うことにより、科学と技術の共創が生まれる。このような科学と技術の共創的研究の土台を創りその裾野を広げることが、浅田共創知能システムプロジェクトの1つの使命である。それに貢献すべく、社会的共創知能グループでは、工学研究者だけでなく様々な分野の研究者が容易に使える研究用プラットフォームとしてのヒューマノイドの開発に取り組んだ。

認知発達ロボティクスの基本的アプローチは構成的アプローチであり、ロボットによりヒトの発達現象を再現できることが、研究用ロボットに求められる基本性能である。ヒトの発達現象をすべて再現するためには、ヒトそのものを創るしかないが当然不可能であり、これまでは注目している発達現象を再現できるように（例えば腕のリーチングの発達過程を研究するために、腕とカメラだけからなるロボットを開発するように）、部分的なロボットを開発することが行われてきた。これまでの認知発達研究から、身体のすべてが発達に相互に関わっていることは分かっているが、あらゆる機能を埋め込んだロボットを構成的アプ

プローチに開発することは、コスト等の面から困難がある。今回、規模の大きな本プロジェクトに参加することで、この課題に挑戦する機会を得ることができた。すなわち、可能な限り人間らしい身体機能を随所に埋め込んだ認知発達研究用ヒューマノイドを開発するのである。

社会的共創知能グループでは、他者と関わる社会性に重点をおいて、乳幼児の発達メカニズムを探究することを目的としている（研究の詳細は [2] を参照）。そこで、研究用ヒューマノイドを開発する上で最も注目したのは、身体の柔らかさ、筋肉のしなやかさである。システムが身体を持って環境と相互作用を行いながら知能を共創することを実現するために、これまでのヒューマノイドに不足していた要素である。このことは身体的共創知能グループの研究からも明らかにされている [3]。もう一点注目したのは全身触覚である。視聴覚はこれまでも実装されてきたが、身体が環境と相互作用する上で重要な全身触覚が実装された例は少ない。柔軟な関節と柔らかく感覚のある皮膚を備えたヒューマノイドにより、これまで扱えなかった様々な発達上の問題に取り組むことができる。このような方針で開発したヒューマノイドプラットフォームが CB<sup>2</sup> [4] である。CB<sup>2</sup> は様々な機能を備え合わせたという点で、認知発達上の問題を発見することに適したプラットフォームであった。

一方で、様々な人間らしい身体機能を埋め込むと、実用上、制御コストやメンテナンスコストが問題になる（例えば、柔軟アクチュエータの制御の難しさ、多自由度で複雑な運動機構のメンテナンスの難しさ）。これは、様々な研究者が使えるようなプラットフォームとしてボトルネックとなる。もう1つの問題は身体の成長の再現である。ロボットの身体の成長を実現することも技術的に困難であるため、成長段階の異なる乳幼児・子供を模したロボットをそれぞれ開発する必要もある。そこで研究対象とする人間の年齢や認知発達上の現象をある程度限定し、一部機能を単純化して扱いやすさに重点をおいたプラットフォーム群を開発した。それらが M3-Neony, M3-Kindy, M3-Synchy である [5]。本稿では、共創知能研究用ヒューマノイドプラットフォームの設計方針と開発したロボットについて説明し、そ

原稿受付

キーワード: Social development, Synthetic approach, Humanoid platform

<sup>\*1</sup>京都府けいはんな学研都市光台 2-2-2<sup>\*2</sup>大阪府吹田市山田丘 2-1<sup>\*3</sup>大阪府豊中市待兼山町 1-3<sup>\*1</sup>2-2-2 Hikaridai, Keihanna Science City, Kyoto<sup>\*2</sup>2-1 Yamada-oka, Suita, Osaka<sup>\*3</sup>1-3 Machikaneyama, Toyonaka, Osaka

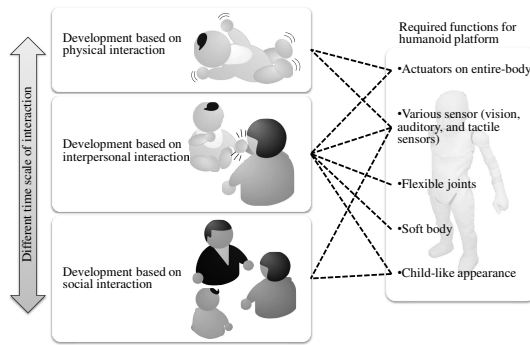


図1 認知発達研究のためのロボットプラットフォーム設計方針。

れらを用いた研究事例をいくつか紹介する。

## 2. 認知発達研究用ロボットプラットフォーム設計方針

ヒトの複雑な認知発達メカニズムを構成的アプローチに基づいて明らかにするためには、身体と環境の相互作用の部分的再現ではなく、身体全体と環境との相互作用の再現が必要である。できるだけ人間に近い特徴を持つ全身ヒューマノイドロボットを使うことにより、新たな認知発達上の問題を探ることができると期待される。それを実現する上で従来のロボットで不足していた点は、1節で述べたように関節の柔軟さ、体の柔らかさである。特に社会的共創知能グループでは社会的文脈の中での乳幼児の発達メカニズムを探ることを目的としているため、これらは他者との密接な相互作用をロボットを用いて再現するためには欠かせない特徴である。例えば、「ロボットを抱きかかえながら起こす」「ロボットの手足を直接動かして教える」などの密接した相互作用を安全に実現することが必要である。またロボットと関わる他者が、人間に対するときと同様に、ロボットに対しても振る舞うことが構成的アプローチにおいては必要となる。言い換えれば、ロボットの発達過程に他者の(介助的)相互作用が自然に現れることが重要である。まとめると以下が我々が重要と考えた認知発達研究用プラットフォームが備えるべき特徴である。

- (a) 人間らしい動作を生成可能な多自由度機構。
- (b) 他者との多様な相互作用のための多様なセンサ(視覚・聴覚・全身触覚)。
- (c) 他者との安全で密接な相互作用のための柔軟な関節。
- (d) 他者との安全な相互作用を実現し、他者の相互作用を誘発するための柔らかい皮膚で覆われた身体。
- (e) 他者の相互作用を誘発するための子供らしい見かけ。

これらの要件をすべて満たすプラットフォームとして、CB<sup>2</sup>(Child-robot with Biomimetic Body)を開発した[4]。可能な限り人間らしい身体機能を持たせたロボットを乳幼児らしく振る舞わせる過程で、発達上の様々な仮説を発見することが期待される。CB<sup>2</sup>は、言わば問題発見型の

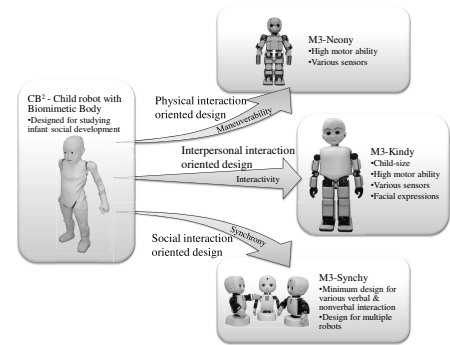


図2 特定の相互作用ダイナミクスに特化したプラットフォーム。

研究用プラットフォームである。このような汎用プラットフォームは、認知発達研究において、工学研究者だけでなく様々な科学の分野の研究者が容易に使えることが望まれる。しかし、CB<sup>2</sup>を普及型プラットフォームとするには、複雑な機構を有するが故、開発コスト、メンテナンス性、制御性(CB<sup>2</sup>に使われてる空気圧アクチュエータの非線形性が強く、歩行等の運動制御が困難)において問題がある。

そこで扱いやすさを念頭においたプラットフォームの開発に着手した。そのためには発達上の現象を分類し、それぞれに特化するように一部機能を単純化した複数のプラットフォームを開発する。分類のために我々が注目した点は、身体と環境との相互作用の時定数である。相互作用の時定数が相互作用のダイナミクスを決定し、それが引いてはロボットに必要な性能を決定するからである。ここでは、発達上の相互作用を以下の3つに分類した。

- 身体的相互作用: 同時または直後と言えらる潜時での変化を伴う現象で、接触などの物理的な相互作用(例えば身体パリング[6]における身体と環境の相互作用)。
- 対面相互作用: 他者と対面する場面のように、一瞬以上の間においての応答が繰り返される相互作用(例えば養育者が身体的接触を伴って乳幼児を手助けするような相互作用)。
- 社会的相互作用: 複数他者と対峙する場面のように、他者同士の応答が存在することにより、より大きな潜時でフィードバックが返ってくる相互作用。

そして、各相互作用の再現に適した異なる3つのプラットフォームを開発した(図2)。M3-Neonyはサーボモータを用いることにより運動性能を向上したプラットフォームで、身体的相互作用を伴う現象の再現に適している。乳児程度の大きさで、衝撃に強い小型の身体と全身のサーボモータにより、寝返り、はいはい、歩行などの躍動的な全身運動が可能である[7]。M3-Kindyは相互作用性を向上したプラットフォームで、多様な対面相互作用を再現することが可能である。他者との相互作用を実現しやすい子供サイズの身体に、多数の自由度、特に表情表出のための自由度を備え、

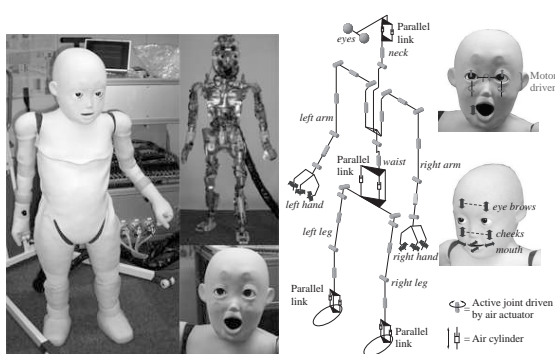


図3 CB<sup>2</sup>の外観(左)と自由度(全56自由度)構成(右)。

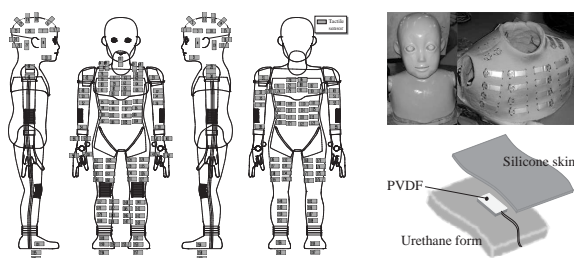


図4 CB<sup>2</sup>の触覚センサ(157箇所)の配置(左),シリコン製皮膚と触覚センサ(右上)および触覚センサ構造(右下)。

他者の相互作用を誘発する社会的参照のような動作や表情を生成できる。M3-Neony同様、サーボモータが採用されており、はいはい、歩行などの躍動的な全身運動や、接触を伴う他者との協調的運動も可能である。社会的相互作用を伴う現象の再現においては、複数のロボットや人との間の同調的振る舞い(互いに頷き合うことやアイコンタクトなど)の実現が重要である。M3-Synchyはそのような社会性を向上させたプラットフォームである。言語・非言語コミュニケーションに必要な最小限の機能を持たせた小型ロボットであり、小型であるために複数ロボットの相互作用場面を容易に実現できるという特徴を有する。

M3シリーズのロボットには、商用のモータや教材用のCPUボードが採用されており、ロボットの開発コストの低減、メンテナンス性や扱いやすさの向上が実現されており、工学以外の分野の研究者でも使いやすい普及型のプラットフォームを目指している。

### 3. 問題発見型プラットフォーム "CB<sup>2</sup>"

#### 3.1 設計方針

CB<sup>2</sup>はできるだけ人間に近い性能を持つ複雑なロボットを実現するという方針で開発した。上述した認知発達研究用プラットフォームが備えるべき特徴に対応して、以下のような特徴を持つ。

- (a) 他の多くのヒューマノイドと同様の自由度を全身に有する。加えて肩の上下や肩をすばめるなどの人間らし

い仕草を表現するための自由度、表情生成のための自由度を有する(図3)。

- (b) 視覚、聴覚だけでなく全身触覚を有する。人間の視聴覚を模倣するために、カメラとマイクはそれぞれ眼球と耳に取り付けられている。触覚センサ(PVDFフィルム)は皮膚変形量が大きな関節部位を除いて、全身に分布させている(図4)。
- (c) 全身(眼球、脛を除く)の駆動関節に空気圧アクチュエータを用いることにより、機械的に柔軟な関節を実現している。眼球、脛には、高速な動きを実現するためにサーボモータを用いている。
- (d) 全身が柔軟なシリコン製の皮膚で覆われており、他者に対する安全性を確保している。また生物的な(機械的でない)外見により、他者の相互作用を誘発する効果が期待される。発熱がほとんどない空気圧アクチュエータを採用することにより、全身を放熱性の低い皮膚で覆うことが可能となった。
- (e) 全長約130cm(8-9歳の日本人男児の平均身長)で(重量約33Kg)、子供らしい見かけを持つ。不気味の谷[8]を避けるため、人間の見かけを完全には模していない。上記の他に特筆すべき特徴は、発声機構として空気圧で音を作り出す人工声帯を有している点である。これにより乳幼児の言語発達の再現にも貢献できる。

CB<sup>2</sup>は自律型システムではなく、本体外に設置した空気流量制御バルブ、エアコンプレッサ、制御/情報処理用のコンピュータとは有線で接続されている。そのため移動を伴う運動に制限があるが、バッテリー充電や本体の熱問題などがなく、長時間(例えば一日中)連続的に動かすことが可能であり、長時間の相互作用の再現も可能である。

#### 3.2 CB<sup>2</sup>を用いた研究事例

運動能力が未熟な乳幼児は、養育者の介助を借りて運動を学習する場面が見られるが、介助をうまく取り込むためには他者との同調が必要である。そこで他者と物理的に同調する能力の発達、コミュニケーション能力発達の基盤になっているという視点で、他者との物理的相互作用を伴う運動学習の研究に取り組んだ[9]。まず、乳幼児は自身の柔らかな身体を利用して他者の介助を取り込むと考え、柔軟な関節を持つCB<sup>2</sup>が他者の介助に基づいて運動を達成するための制御手法を構築した。この手法では運動中に経過するいくつかの姿勢を目標姿勢とし、他者の介助に伴って現在の目標姿勢を切替えることにより運動を達成する。ここでは図5に示すように、座っているCB<sup>2</sup>の両腕を持って他者が立ち上がらせる運動を例題として扱った。実験より、介助をうまく取り込むためには姿勢切替えのタイミングが重要であることが分かってきた。そこで、介助者から与えられる運動の評価に基づいて目標姿勢切替えタイミングを学習する手法を提案した。タイミングに注目すること

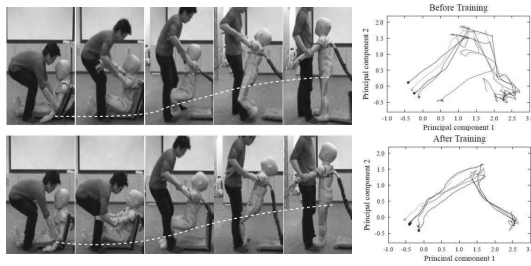


図5 介助による運動改善(上:学習前,下:学習後). グラフは低次元空間に写像したCB<sup>2</sup>の姿勢の軌跡(複数試行分).

により,少試行回数でCB<sup>2</sup>の運動を改善できることが実験結果より示された(図5).これはCB<sup>2</sup>の身体の柔らかさによって初めて可能になった実験だと考えられる.

#### 4. 普及型プラットフォーム "M3シリーズ"

##### 4.1 身体的相互作用指向プラットフォーム M3-Neony

M3-Neony(図6)は身体的相互作用指向のプラットフォームとして開発した.主な仕様を表1に示す.駆動関節にサーボモータを採用することにより,CB<sup>2</sup>と比較して運動性能を向上させている.機械的な関節の柔軟性は失われたが,関節の制御は容易になった.乳幼児の運動発達を研究する上では,はいはい,立ち上がり,歩行などの移動運動の再現が重要である.そのためM3-Neonyでは下半身の運動性能を重視した自由度配置とした(図6).例えば膝は二重関節により可動範囲とトルクを増強している.新生児と同程度の大きさで,転倒等に対する耐衝撃性は充分にあるため,身体バプリングのような探索的運動の実現に適している.またPCやバッテリー等を内蔵した自律型システムであり,移動範囲にも制限がない.M3シリーズのロボットには,商用のモータや教材用のCPUボードを用いている.さらに動作開発には商用のGUIソフトウェアを使うことができる.これらにより,ロボットの開発コストを低減し,メンテナンス性と扱いやすさを向上している.

また,新生児と同程度の大きさのヒューマノイドとして特筆すべき特徴は,全身触覚センサを有していることである(図7).触覚センサは図6に示すように,ロボットの体表面にバネ要素を介して取り付けられた樹脂板と体表面の距離をフォトインタラプタで計測することにより,樹脂板に加えられた外力を計測する機構を採用した.CB<sup>2</sup>に使われているPVDFフィルムと比較して安定したセンサ出力を得ることができ,簡単に扱える触覚センサとなっている.

##### 4.2 対面相互作用指向プラットフォーム M3-Kindy

M3-Kindy(図8)は対面相互作用指向のプラットフォームとして開発した.主な仕様を表1に示す.M3-Neonyと同様に,サーボモータを用いることで運動性能を向上させている.他者(特に親)との相互作用による乳幼児の認知発

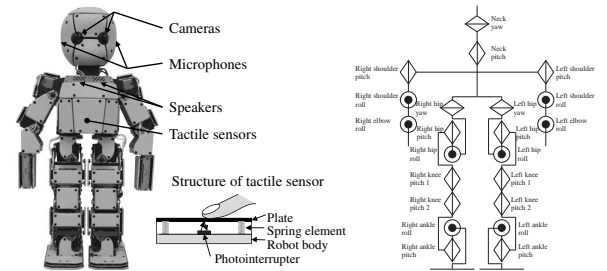


図6 M3-Neonyの外観と触覚センサ構造(左)および自由度構成(右).

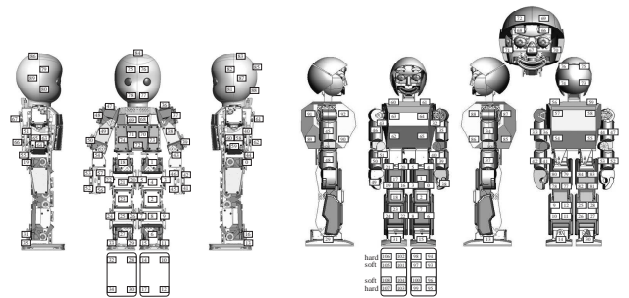


図7 M3-Neony(左)とM3-Kindy(右)の触覚センサ配置.

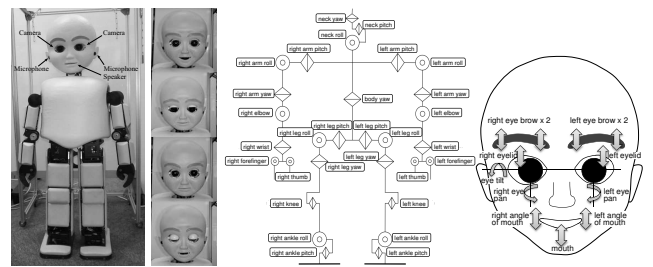


図8 M3-Kindyの外観と表情例(左)および自由度構成(右).

達を研究する上では,多様な相互作用を再現できることが必要である.そのような相互作用性を向上させるため,子供の大きさ(全長約110cm(5歳児の平均身長))の身体に,種々のジェスチャや表情を表出するための自由度を備えている(図8).またM3-Neonyと同じ触覚センサを全身に備えており(図7),他者との身体的接触を伴う相互作用も再現可能である.PCやバッテリー等を内蔵しており,M3-Neony同様自律型システムとなっている.

##### 4.3 社会的相互作用指向プラットフォーム M3-Synchy

M3-Synchy(図9)は社会的相互作用指向のプラットフォームとして開発した.主な仕様を表1に示す.社会発達過程を理解するためには,子供と大人の2者間のコミュニケーションのみにならず,生後すぐから子供が経験する複数の大人との間のコミュニケーション,すなわち社会相互作用にも注目する必要がある.そこでは,複数のロボットや人との間の同調的振る舞い(互いに頷き会うことやアイコンタクトなど)の実現が不可欠である.そのような社会性を向上させるため,卓上に置ける大きさとし,小型化に

表 1 M3-Neony, M3-Kindy, M3-Synchy の主な仕様.

Spec.	M3-Neony	M3-Kindy	M3-Synchy
Size	50cm, 3.5Kg	108cm, 26.5Kg	30cm, 2.3Kg
Processor	One microcontroller (ARM7)	Two microcontrollers (ARM7)	One microcontroller (ARM7)
	One CPU (x86 compatible)	Two CPUs (Core2Duo)	
Actuator	22 servomotors	42 servomotors	17 servomotors
Sensor	Two CMOS cameras (30M pixels)		One CCD camera (33M pixels)
	Two microphones		
	90 tactile sensors	109 tactile sensors	No tactile sensor
	One posture sensor (2 axes gyroscope and 3 axes accelerometer)		No posture sensor
Output	Two speakers	Owo speaker	Two speakers and 15 LEDs
Battery	14.8V, 1400mAh	14.8V, 4000mAh	None

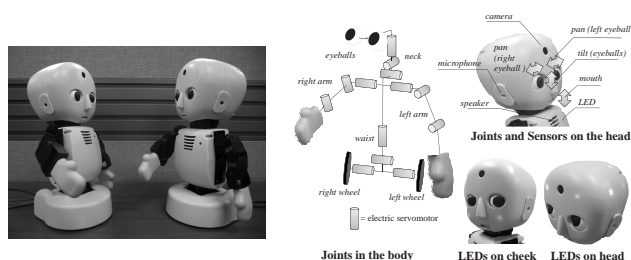


図 9 M3-Synchy の外観 (左) および自由度構成 (右)。

よって、日常生活の場で図 10 (左) のような複数人と複数ロボットの相互作用を容易に実現できる。また小型の身体ながら、非言語コミュニケーションに重要な視線行動や頭部動作を実現するための十分な自由度を有する (図 9)。さらに頭部に埋め込まれた LED によって、表情などを表出することも可能である。

#### 4.4 M3 シリーズを用いた研究事例

乳児の運動発達メカニズムに関する研究として、乳児の身体バブリングを生体ゆらぎメカニズムで説明することを試みる研究を行ってきた [7]。対人共創知能グループでは、神経系の発達モデルを用いたシミュレーションにより、脳神経系の自励的な振舞いに基づく身体運動と環境との相互作用を通して、新生児の寝返りやはいはいのような運動が創発されることを示している [10]。これに対しここでは振舞いの適切度を最大化するような身体バブリングのメカニズムを考えている。具体的には、身体バブリングによるはいはい運動の獲得を例として、前進可能な手足の周期的運動の位相差を単純化した生体ゆらぎメカニズムで発見できることを M3-Neony を用いた実験で確認した (図 11 (左))。不適切な位相差では前進できないが (左列)、位相差を生体ゆらぎメカニズムにより変化させていくことにより、適切な位相差を発見した (右列)。M3-Neony はこのような探索的全身運動の実現に適している。

コミュニケーション能力発達に関する研究として、学習者の身体に直接触れて運動を教示する相互作用において、教

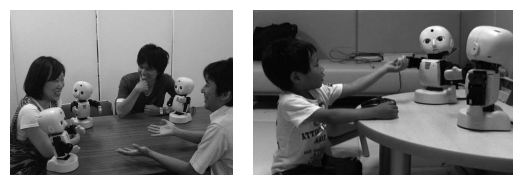


図 10 3 者および 3 体の M3-Synchy によるコミュニケーション場面 (左) および、複数の M3-Synchy を用いて子供に社会的相互作用に参加させている場面 (右)。

示者が触って教えようとしている意図を学習者が推定するメカニズムの研究を行ってきた [11]。接触による教示は状況に依存するため (例えば教示者が脚に触れたとき、その脚を動かせと指示しているのか、脚を動かすなど指示しているのかは状況に依存する)、学習者は教示者の意図を状況に基づいて推定しなければならない。そのような推定メカニズムを、M3-Neony や M3-Kindy を用いて (図 11 (右)) 明らかにしようと試みている。これらロボットの全身触覚と高い運動性能により、このような実験が可能になった。

共創知能機構グループでは、自閉症における模倣獲得と頭頂葉機能の関係について調べており、自閉症児でも左頭頂葉機能の障害が模倣獲得にきわめて大きな影響を及ぼしていること、共同注意等においては右の頭頂葉が重要であることなどを明らかにした [12]。このことは、自閉症におけるコミュニケーションの機能不全の要因のひとつと考えられる。そのため、彼らには相手や第三者の存在を無視するような振る舞いが見られるが、ロボットに対しては比較的興味を持ち、社会的な働きかけをすることが報告されている。従って群ロボットを用い、ロボットを含む三者以上の相互作用場面を自閉症児に経験させることを通じて、自閉症のコミュニケーションメカニズムを理解する実験場面を構築すること、さらにそのことがコミュニケーションのトレーニングに応用されることが期待される。その第一歩として、ある程度、言語による報告が可能な高機能自閉性障害児と複数の M3-Synchy を対峙させ、印象を問うことを試みている。例えば、人の働きかけに回答するように作られた 2 体の M3-Synchy と対峙させたとき (図 10 (右))

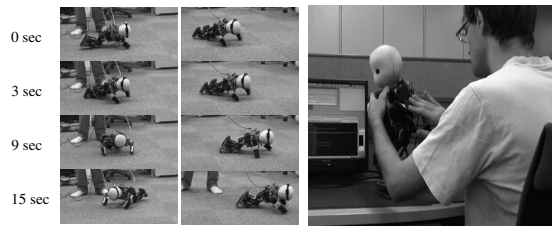


図 11 M3-Neony を用いたはいはい運動の獲得実験（左）と接触による運動教示実験（右）。

表 2 プラットフォームの適用性比較（適用性: A > B > C）。

Target interactions	CB <sup>2</sup>	Neony	Kindy	Synchy
Exploratory motions	B	A	B	C
Physical interactions	A	B	B	C
Interpersonal interactions	A	C	A	B
Social interactions	C	B	C	A
User-friendly system	C	A	A	A

の、印象についての言語報告や視線などの非言語的応答を計測することを通じ、群ロボットが自閉症児のコミュニケーションにおける認知過程を調べる有効な手段となり得るか検討している。

## 5. ま と め

本稿では社会的共創知能グループにおける認知発達研究用プラットフォームの開発について、プラットフォームの設計方針およびそれらを用いた研究事例とともに解説した。表 2 は、異なる種類の相互作用を実現する際の各プラットフォームの適用性を定性的に比較したものである。構成的アプローチによって乳幼児の認知発達メカニズムに迫る上では、様々な人間らしい特性を持つ CB<sup>2</sup> が最も適用性が高いと言える。一方で M3 シリーズは、個々のロボットの適用範囲は限られるが、全体として様々なダイナミクスの相互作用の再現を可能としており、認知発達研究用の普及型プラットフォームとなり得ると考えている。そしてこれらのプラットフォームが共創知能研究の裾野を広げることにより貢献すると期待している。

## 参 考 文 献

- [1] M. Asada, K. Hosoda, Y. Kuniyoshi, H. Ishiguro, T. Inui, Y. Yoshikawa, M. Ogino, and C. Yoshida. Cognitive developmental robotics: a survey. *IEEE Transactions on Autonomous Mental Development*, Vol. 1, No. 1, pp. 12–34, 2009.
- [2] 吉川雄一郎, 石黒浩. 社会的共創知能へのアプローチ: 社会的行動獲得と社会関係構築の相互作用の構成. *人工知能学会誌*, Vol. 27, No. 1, 2012.
- [3] 成岡健一, 細田耕. 筋骨格系赤ちゃんロボットの運動発達における脊椎姿勢の影響. *日本機会学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演論文集*, pp. 1A1–F15, 2010.
- [4] T. Minato, Y. Yoshikawa, T. Noda, S. Ikemoto, H. Ishiguro, and M. Asada. CB<sup>2</sup>: A Child robot with Biomimetic Body for cognitive developmental robotics. In *Proc. of the International Conference on Humanoid Robots*, pp. 557–562, 2007.

- [5] 石黒浩, 港隆史, 吉川雄一郎. 社会的共創知能. *日本ロボット学会第 28 回学術講演会予稿集*, pp. 3A1–3, 2010.
- [6] A. N. Meltzoff and M. K. Moore. Explaining facial imitation: a theoretical model. *Early Development and Parenting*, Vol. 6, No. 2, pp. 179–192, 1997.
- [7] T. Minato, F. DallaLibera, S. Yokokawa, Y. Nakamura, H. Ishiguro, and E. Menegatti. A baby robot platform for developmental robotics. In *Proc. of the Workshop on Synergistic Intelligence: Approach to Human Intelligence through Understanding and Design of Cognitive Development (International Conference on Intelligent Robots and Systems)*, 2009.
- [8] 森政弘. 不気味の谷. *Energy*, Vol. 7, No. 4, pp. 33–35, 1970.
- [9] S. Ikemoto, H. Ben-Amor, T. Minato, H. Ishiguro, and B. Jung. Physical interaction learning: behavior adaptation in cooperative human-robot tasks involving physical contact. In *Proc. of the International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 504–509, 2009.
- [10] 國吉康夫, 寒川新司, 塚原祐樹, 鈴木真介, 森裕紀. 人間的身体性に基づく知能の発生原理説明への構成的アプローチ. *日本ロボット学会誌*, Vol. 28, No. 4, pp. 415–434, 2010.
- [11] F. DallaLibera, T. Minato, I. Fasel, H. Ishiguro, E. Pagello, and E. Menegatti. A new paradigm of humanoid robot motion programming based on touch interpretation. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 57, No. 8, pp. 846–859, 2008.
- [12] 江口博美, 原昭博, 堀あいこ, 乾敏郎. 自閉症児の模倣獲得と脳波異常の関係. 第 19 回日本発達心理学会大会, 2008.

### 港隆史 (Takashi MINATO)

2001 年 11 月大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻博士後期課程単位修得退学。同年 12 月科学技術振興事業団研究員。2002 年 9 月大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻助手。2006 年 6 月より JST ERATO 浅田共創知能システムプロジェクト研究員。2011 年 1 月より ATR 石黒浩特別研究室研究員となり現在に至る。博士（工学）。(日本ロボット学会正会員)

### 吉川雄一郎 (Yuichiro YOSHIKAWA)

2005 年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻修了。同年 ATR 知能ロボティクス研究所研究員。2006 年より JST ERATO 浅田共創知能システムプロジェクト研究員。2010 年より大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻講師となり現在に至る。博士（工学）。認知発達ロボティクスの研究に従事。(日本ロボット学会正会員)

### 石黒浩 (Hiroshi ISHIGURO)

1991 年大阪大学大学院基礎工学研究科物理系専攻修了。同年山梨大学工学部情報工学科助手。1992 年大阪大学基礎工学部システム工学科助手。1994 年京都大学大学院工学研究科情報工学専攻助教授。この間、1998 年より 1 年間カリフォルニア大学サンディエゴ校客員研究員。2000 年和歌山大学システム工学部情報通信システム学科助教授。2001 年より同大学教授。2002 年 10 月より大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻教授。1999 年より、ATR 知能映像研究所客員研究員。現在、大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻教授。ATR 石黒浩特別研究室室長。工学博士。知能ロボット、アンドロイドロボット、センサネットワークの研究に興味を持つ。人工知能学会、電子情報通信学会、IEEE、AAAI 各会員。(日本ロボット学会正会員)