

特集 「HAI: ヒューマンエージェントインタラクション」

人間とロボットとの円滑なコミュニケーションを目指して

Toward a Smooth Communication between Humans and Robots

小松 孝徳
Takanori Komatsu

東京大学大学院総合文化研究科
Department of System Studies, The University of Tokyo.
komatsu@cs.c.u-tokyo.ac.jp

開 一夫
Kazuo Hiraki

東京大学大学院総合文化研究科 / 科学技術振興事業団さきがけ研究 21
Department of System Studies, The University of Tokyo / Presto, JST.
khiraki@idea.c.u-tokyo.ac.jp

岡 夏樹
Natsuki Oka

松下電器産業（株）先端技術研究所
Advanced Technology Research Laboratories, Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.
oka@mrit.mei.co.jp

Keywords: human friendly robot, human-agent interaction (HAI), agency, interaction.

1. はじめに

ロボットなどのエージェントと、人間との間にコミュニケーションを成立させることを目的とした HAI (Human-Agent Interaction) 技術の開発においては、人間だけがエージェントに適応する、あるいはその逆にエージェントだけが適応するという一方の適応ではなく、お互いが相手に対して適応していく双方向の適応が重要であると考えられる。このような双方向の適応は、近年その関心が高まっている「人間とコミュニケーションのできるロボット」の実現においても鍵になる技術である。本稿では、人間とコミュニケーションできるロボットの実現に向けて、これまでどのような研究が行われてきたか、そこでどのような課題が明らかになったか、そしてその課題をどのように克服していくべきなのか、といった点に関して HAI 技術という視点から解説していく。

本稿は以下の内容からなる。2章では、人間と共存した環境で作業することを目的とした「人間共存型ロボット」の開発事例を紹介する。ここで人間共存型ロボットを完璧な形で実現したものはないという事実を踏まえ、それらの開発において現時点で欠けていると思われる技術要素（ロボットと人間との間にコミュニケーションを成立させる技術）に焦点を当てる。3章ではこの課題の解決に向けての糸口を探るため、人間同士、特に母子間のコミュニケーションをターゲットとしている認知科学的研究について紹介する。4章では3章で得られた知見から、実際にロボットはどのようにして人間とコミュニケーションを成立させていくべきなのか、その実現に向

けた研究課題をまとめる。最後に5章で、これまでの研究の流れを研究マップにまとめ、人間と円滑にコミュニケーションすることができる HAI 技術や「人間共存型ロボット」の実現を目指す研究の進むべき方向を提案する。

2. 産業用ロボットから人間共存型ロボットへ

過去、工学の分野において、ロボットと人間とをいかにして共存させるかという研究が数多く行われてきた。しかしそれらを完璧な形で実現したものはない。そこには、どのような技術が欠けていたのか。その欠けている技術要素を明らかにするために、これまで行われてきたロボット研究の現状を解説する。

従来のロボット技術は、人間が立ち入ることのできない劣悪な労働環境において定型・繰り返し作業を効率良く行うという、完全無人化・自動化を目指した技術開発を追求することで発展してきた。近年、この高水準の技術を産業用途に応用するだけでなく、人間とコミュニケーションをとりながら作業を遂行できる「人間共存型ロボット」の実現に生かすべきだという意見が多方面から聞かれるようになってきた。このような人間共存型ロボットに求められる性能は安全性・操作性・機能性などの各面において、溶接・切削・組立といった特定のタスクに従事する産業用ロボットとは異なるものとなる。1996年に日本ロボット学会で発足された「人間共存型ロボット研究専門委員会」では、人間共存型ロボットを「人と同時に多様な環境に存在し、人との物理的、情動的、情緒的などのインタラクションを重視したロボットシステム」と定義し、「物理的、情動的、情緒的の三つの視点から、ロボットに人との親和性を確保するための技術開

表1 「人間共存型ロボット専門委員会」の基本研究方針

研究の視点	内容	研究事例
物理的親和性を目指した研究	人間との接触を前提に考え、その際に危害を加えないような技術.	・ロボット表面の柔軟皮膚 ・低剛性の関節・リンク機構 ・接触検知システム
情動的親和性を目指した研究	人間との情報のやり取りをスムーズにするための、情報認識・伝達技術.	・センサフュージョン ・バーチャルリアリティ ・ロボットへの動作教示技術
情緒的親和性を目指した研究	人間同士のようなコミュニケーションを構築するための、情緒認識・表出技術.	・表情・ジェスチャー表出 ・表情・音声認識 ・視線検出

発を行う」という基本研究方針が提案され [RSJ 98], その実現を目指した研究が行われてきている (表1).

このような数々の技術開発に多くの研究者が取り組んだ結果, 近年になってヒューノイド型のロボットなどさまざまなタイプのロボットが実現されるようになってきた. しかし現時点において, 実際に社会で活躍しているロボットは, ごく一部の用途のみに用いられる特殊なロボットである. 人間のような形状をし, 人間の表出する情報がある程度認識し, 自らも表情などを変化できるロボットを開発しても, 社会が期待するような「人間とコミュニケーションを成立できる人間共存型ロボット」の実現には至っていないのである.

その理由の一つは, 開発された技術要素をどのように用いるのかという方針の欠如にあると筆者らは考えている. これまで開発されてきた情報の認識・伝達, 情緒表出などの技術は, 人間とロボットとの間にコミュニケーションを成立させるための基本的な構成要素, いわば「ハードウェア」的な技術要素である. 実際に人間とのコミュニケーションを成立させるためには, これらの技術要素をどのように用いるのかという戦略・方針を担う「ソフトウェア」的な技術開発が不可欠であるが, このような技術開発はまだまだ不十分であるといえる.

このような課題を解決するには, 実際に円滑なコミュニケーションを成立させている人間どうしのコミュニケーションにおいて中核をなしている特性について明らかにすることが重要である. こうした観点に基づき, 次章では近年の乳幼児研究における「コミュニケーション成立」の基礎となる知見を紹介する.

3. コミュニケーションの原型: 赤ちゃん研究からの知見

3.1 時間的随伴性の検出

近年の乳児研究は, 生まれて間もない乳児が従来考えられていた以上の能力をもっていることを明らかにしつつある. 例えば, 生後数日の新生児であっても母語 (主たる養育者が話す言語) と外国語を区別し, 人間の顔の絵とそうでない絵を提示すると人間の顔のほうを好する (例えば, [Bremner 97]).

母子間相互作用の研究によれば, 養育者と子どもとの間には出生直後より原初的なコミュニケーションが成立していることが知られている. Trevarthen らは, 図1のように別室にいる相手の表情と音声を, モニタとスピーカを通してやり取りすることができるダブルTV実験を行っている. 彼らは, この実験で母子双方の表情と音声を精緻に分析し, 養育者と子どもとのやり取りが, 一方的ではなく, どちらかがほほえむともう一方がほほえみ返すといったように情緒的にカップリングしていることを示している [Trevarthen 93]. 彼らの一連の研究で重要な点は, 養育者あるいは乳児のどちらか一方を分析対象とするのではなく, 両者の行動を同一時間軸上で突き合わせて分析したことである. ダブルTV実験では, 録画された母親の表情と音声を再生して乳児に呈示した場合 (再生条件) と, 実際に別室にいる母親からのリアルタイムの情報を呈示した場合 (ライブ条件) とが比較された. その結果, ライブ条件では両者が円滑にコミュニケーションを継続できたのに対し, 再生条件では母親が楽しそうに乳児とインタラクティブしている表情・音声を呈示しているにもかかわらず, 乳児は困惑し不安を感じていることが観察された. こうした実験から, 生後2か月未満の乳児でも, 自分にとっての行動に対して相手が自分に対して行動を返すという「相互作用における時間的随伴性」に対して敏感なことが示唆されている.

Trevarthen 以外にも, Watson らは, 乳児は養育者との間でしばしば観察されるゲームのようなやり取り (一連の行動パターンの繰返し) において, 乳児は自分の行

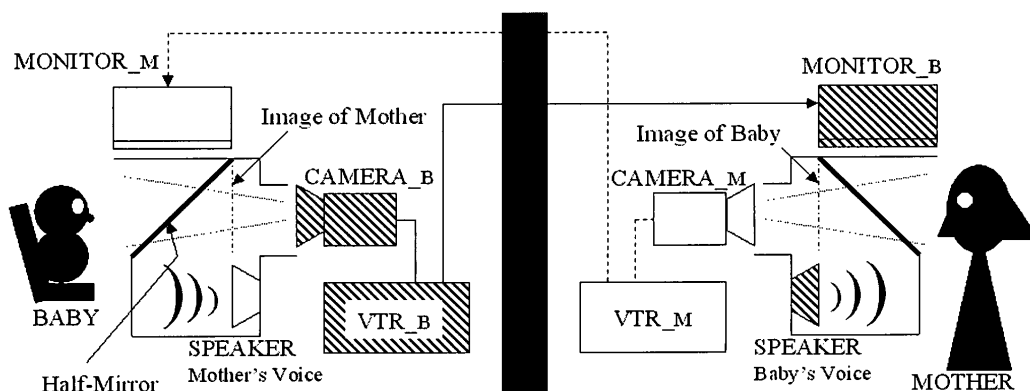


図1 ダブルTV実験

動と養育者の行動の間に時間的随伴性を検出すると、微笑やクーイングで喜びを表現し、それを観察した養育者はゲームを演じつづけることを見いだしている [Watson 72]。また、乳児が言語的音声を発したときと非言語的音声を発したときとを比較すると、養育者は言語的音声を発した乳児のほうをかわいいと感じ、このような乳児に対して随伴的応答を高い頻度で与えるため、結果として乳児の言語的発声が強化されることが知られている [正高 93]。このような機能は、乳児が学習に必要なデータを社会的インタラクションを通じて得るための、極めて巧妙なしくみの一例であるといえる。

3.2 エージェンシの検出

一般的な意味でのコミュニケーションが成立するには、コミュニケーションにおける行為者がコミュニケーション可能な対象である必要がある。人と人が対話するのは当たり前だが、ホウキやチリトリに向かって話しかけるのは奇妙である。Legersteeらは注視時間を測度とする実験パラダイムを用いて、6か月の乳児であってもコミュニケーションにおける「適切」な行為者を理解していることを示している [Legerstee 00]。

さて、乳児はロボットをどのように捉えるのだろうか。ロボットは人工物ではあるが、一般的な人工物とは一線を画する対象である。AritaらはLegersteeの実験パラダイムに基づき、一般的な人工物をヒューマノイドロボットに置き換える実験を行っており、条件によってはロボットをコミュニケーションにおける「適切」な対象として捉えていること、つまりロボットに対してエージェンシを感じているということを示している [Arita 02]。

ロボットを含む人工物と乳幼児との相互作用に関する研究は近年になって関心が高まりつつある。現状では、「〇〇か月児でも□□ができる」といったWhatとWhenを重視した研究が多いが、Trevarthenらが指摘した相互作用における随伴性の視点と、Legersteeらが指摘するコミュニケーションの相手方のエージェンシの視点は、今後ロボットと人間との円滑なコミュニケーションを実現するうえで重要な概念となるであろう。

3.3 コミュニケーション成立における相互適応

乳幼児と養育者の間のコミュニケーション過程においては、乳幼児が養育者に対して学習・適応してだけでなく、養育者の側も乳幼児の能力に応じた振舞いをし、発達の足場 (scaffolds) を提供することが知られている。

例えば、養育者は乳児が見たり触ったりしている対象物に焦点を合わせた言葉をかけることが知られているが、これは言葉の学習の際に考慮すべき情報の範囲を絞り込むことに大いに役立っていると考えられ、共同注意をまだ自発的に成立させることができない乳幼児に対する有効な支援になっていると思われる。

また、乳幼児に向けられた発話 (infant-directed speech) の特徴として、声の調子が高くなる、韻律の変化が豊か、大部分が短く単純で繰返しが多いなどが知られているが、これは人の声への選択的注意を助け、話者の情動の識別や言語の意味の獲得を容易にしていると考えられる。

筆者らは、テレビゲームの操作者と教示者 (いずれも成人) の間でメッセージ指向の表出的コミュニケーションが成立する過程を観察する実験を行い、相互適応の生起やその効果の観察・分析を行った [Komatsu 02]。教示者は操作者の知らない言語を用いるか、または、韻律のみが伝わる状況で音声による教示を行った。教示が理解できていない段階においても教示に対して何らかの行動で応えた操作者は、自らの理解のレベルを教示者に表出していることになるため、この表出により得た情報に基づいて教示者が操作者に適応することを可能とし、結果として教示の理解に到達することが観察された。この実験結果は、直接的に乳幼児のコミュニケーション獲得プロセスと比較することはできないが、コミュニケーションの成立という一般的な現象においても相互適応現象が重要であるということを示しているといえる。

4. 人間-ロボット間の円滑なコミュニケーション実現に向けて

前章では、乳児が学習に必要なデータを社会的インタラクションを通じて得るための極めて巧妙なしくみ (親の適応能力も含む) が存在することを見てきた (図2)。人間とコミュニケーションができるロボットにも、これに相当するような豊かなインタラクションを起こすしくみを備えている必要があると筆者らは考える。本節では、ロボットと人間との間に円滑なコミュニケーションを成立させるための研究課題を考察する。

ロボットが人間との円滑なコミュニケーションを実現するためには、前章で述べた「時間的随伴性」、「エージェンシ」を検知する能力とともに、人間に対して学習・適応していく能力が不可欠である。そしてこの際、ロボットの学習・適応と人間とのコミュニケーションとの間

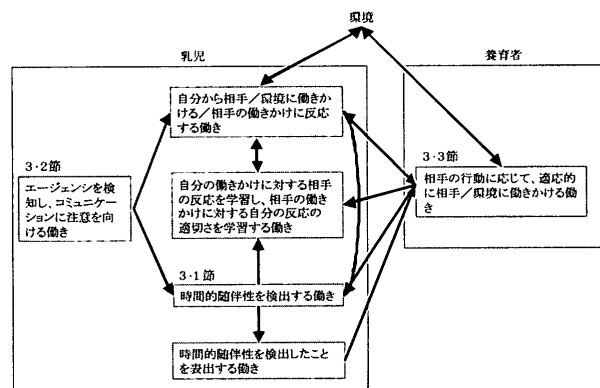


図2 社会的インタラクションを通じた乳児の学習

には循環的な関係が存在すると考えられる。すなわち、学習の結果、円滑なコミュニケーションが実現され、そのコミュニケーションが次の学習のためのデータを提供するというループが存在すると考えられるのである。

この際、人間の側もロボットに適応し、人間とロボットとが相互適応を行うことでロボットが適切な「足場」の提供を受けることができれば、二者の間にはより円滑にコミュニケーションが成立できると考えられる。そのために、ロボットは自らの能力レベルや状態を相手に適切に伝えることができなければならないし、また、支援してやりたいと感じさせるような存在である必要がある。このような状況を実現するための技術開発は、エージェントなどといった概念と非常に密接な関係があり、今後の重要な研究課題の一つである。

ここまで、円滑なコミュニケーションの成立には、教える側を含めた二者がお互いにお互いを学習していく相互適応が重要な役割を果たしていることを解説してきた。しかし、ロボットなどのエージェントと人間との間では、一方が適応したことによりかえってコミュニケーションが阻害されることがあり得る。このコミュニケーションの阻害は、① エージェントが適応することによる場合と、② 人が適応することによる場合が考えられる。

まず、エージェントが適応することによる阻害であるが、これは、エージェントに人間のことを学習する機能が備えられている場合に起こり得る。例えば、コンピュータ上のプルダウンメニューが使用頻度により適応的に変化した結果、使いたいメニューがいつもの場所に見つからず当惑するといった場合がこれに当たる。かな漢字変換も同様に使用頻度により適応するが、この適応が裏目に出ることは少ない。両者の違いの原因を分析し、適応エージェントの設計に生かすことは有意義であろう。

続いて、人が適応することによるコミュニケーション阻害の例をとりあげよう。例えば、騒音のある環境下において、話者が反射的に、大きい声でゆっくりしゃべるといったの適応をしてしまうことが知られている(Lombard 効果)。この適応により、聞き手が人間の場合はその発話が聞き取りやすくなるが、音声認識システムにとっては、訓練データによりつくったテンプレートからは異なった音声を処理しなければならないため、発話認識率が低下することが知られている [Junqua 93]。登録したテンプレートとのマッチングという認識手法を取ると、画像認識にせよ音声認識にせよ、同様の問題がいろいろなコミュニケーション場面で生じると予想される。したがって、こうした適応によるコミュニケーション阻害への対処は、人間-エージェント間の円滑なコミュニケーション実現に向けての重要な研究課題の一つであるといえよう。

ここまであげた研究課題は、身体をもつものも持たないものも含めて、一般的なエージェントが人間との円滑なコミュニケーションを実現するために必要なもので

あったが、ここではさらに、エージェントが身体をもつ場合(ロボットである場合)、その中でも、特に人型の身体をもつ場合について考察する。まず、人間とコミュニケーションするエージェントがロボットである場合の利点を以下にあげる。

- 人間との間で共同注意が成立しやすいことが期待できる。
- 物理的な身体に起因する制約(自分の行動の影響は時空間的にその行動と近接して観測されることが多いことなど)を利用して、推論や学習を効率化できる。
- 人間の側が感情移入しやすいことが期待できる。
- マルチモーダルで自然な社会的インタラクションを可能にする。
- 人と同様のセンサとアクチュエータを備えることにより、人と同様の意味理解をすることが可能になるかもしれない。
- 人間にとって理解しやすい感情表現ができる。

一方、ロボットであることの課題として以下のような項目があげられよう。

- 現在の技術水準では、実世界における実時間の認識・制御は、場面、条件を相当限定しない限り難しい(乳児が養育者に対して、泣く、手を伸ばす、視線を向けるなどの動作によって、さまざまな要請を伝えるように、ロボットも人間に手助けをしてもらうという解もあり得るかもしれない)。
- 実現できる認識、制御の能力と、ロボットの外観から受ける印象(人に近い能力をもっていそうに感じられる)が合わず、それが円滑なコミュニケーションを妨げる可能性がある。

よって、ロボットを用いて人間とコミュニケーションの成立を考える場合、どのようなコミュニケーションを実現させたいのか、といったインタラクション環境や条件をあらかじめデザインしておくことが重要であると考えられる。

5. 今後の研究動向

最後に本章で、これまで行われてきた数々の人共存型ロボットの実現を目指した開発事例を研究マップとしてまとめることで、人間共存型ロボットの実現に対する現状を把握する。そして、人間とエージェントが円滑にコミュニケーションできる環境を提供する HAI 技術や「人間共存型ロボット」の実現を目指す研究が進むべき方向を明らかにする。

ここで提案する研究マップは、3章、4章で議論された二つのキーワードを軸としたものである。一つは、人間がロボットを機械のように感じているのか、生き物と感じているのかという「エージェント軸」、そしてもう一つは、ロボットのインタラクションの複雑さを表した

「インタラクション軸」である。このうちエージェンシー軸では、左に行くほど人間はロボットを「機械」のように感じ、右に行くほど生き物のように感じるということを示している。また、インタラクション軸では、下に行くほど肉体的・物理的な接触によるインタラクションを行うようになり、上に行くほど共同注意や言葉などといった非接触で受信・送信できるような方法を用いたインタラクションを行うということを示している。このマップはロボット自体の完成度や技術力を示しているのではなく、人とのコミュニケーションをどのように考えて開発されているかの指標であることに注意されたい。

そしてこの研究マップに、実際のロボットの開発事例を記載したものが図3である。これらの研究開発は大きく六つのグループに分けることができる。以下、この六つのグループについて興味深い事例とともに解説を行う。

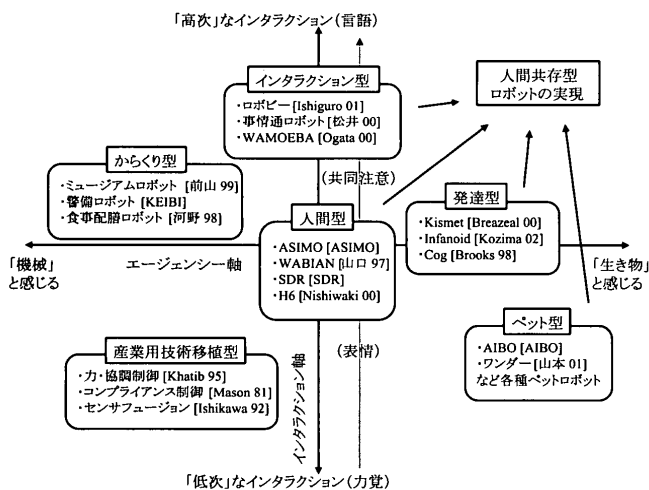


図3 人間共存型ロボットの研究マップ

グループ1：産業用技術移植型

従来の産業用ロボットの各種技術を、人と共同作業するロボットへと直接的に移植したもの。人間とロボットと一緒に重い荷物を運搬するなどの状況が想定された（コンプライアンス制御、力協調制御などの応用）。

グループ2：からくり型

工学的な技術水準は産業用技術移植型とほぼ同じであるが、フェイルセーフ機能が実装されたり、SFで登場するようなロボットの外観・音声が入り込んだりした。その動作の特徴としては、一方的に人間に対して何か行動を起こすものの、それに対する人間の反応は考慮されることはあまりない。よって、結果としてこれらのロボットが人間とコミュニケーションを成立させているとは考えにくい。前世紀の映画に登場するようなロボットや、アミューズメントパークで見られる機械仕掛けの人形に近い。

グループ3：人間型

人間と同じような身体的な自由度、視覚、聴覚など

をもち、二足歩行や対象物把持などを実現した。主に、歩行制御、物体把持などの研究開発のプラットフォーム・テストベッドとして使用されている（一部はテレビ広告など）。ロボット技術的には、非常に高度な技術の集大成である。

グループ4：ペット型

ペット動物のような形態をもち、その形態からイメージできる動作ができるロボット。単純な動作・学習・受け答えなどしかできないが、オーナーの感情移入によってロボットに対して愛着、精神的な絆を構築するということが報告されている。精神的な癒しを与えることを目標としたロボットも多く開発されている。

〈事例1〉ワンダー



図4 対話端末ロボット「ワンダー」

松下電器産業の山本らは、独居高齢者に対してペットのように話し相手になり精神的なストレスを解消すると同時に、ケアサービスセンタに接続された端末として生活の安全・便利をサポートすることのできる対話ロボット端末「ワンダー」を開発した [山本 01]。ワンダーの外観は図4に示すようなぬいぐるみ形をしており、単語ベースの対話が可能となる音声認識システム、ケアセンタのオペレータが送付した音声メッセージを再生する機能、使用者からセンタへの音声メッセージの送付機能などが実装されている。

大阪府池田市のケアセンタと7名の独居高齢者による数か月間にわたるモニタ実験が行われ、その結果、ワンダーの対話成立率は50%程度だったにもかかわらず、被験者にとって安心感や親しみを与えていたことが観察され（例：「いなくなると寂しい」、「センタからの音声で自分が見守られていることを確認できた」などといった意見が被験者から寄せられた）、システムとしての有効性を確認することができた。この実験において被験者

がワンダーに対してエージェンシを感じていたことが観察されたが、被験者のワンダーに対するそのような認知プロセスにはどのような要因が関与しているのだろうか。筆者らはその要因を、ロボットの外見（親しみやすい大きさや形態をしているか）や、コミュニケーション・デザイン（どのような入力情報を検知でき、情報を出力でき、どのようなコミュニケーションができるか）に求めることができると考えている。ワンダーの場合、ぬいぐるみのような親しみやすい外見、センタからの自然な音声メッセージの伝達（音声の内容はセンタの運用者が作成）、信頼性は低いながら自律的な会話が可能、という要因の関与により、被験者はワンダーへ容易に感情移入することができ、ワンダーに対してエージェンシを感じることで、ただの機械ではなく生き物のような印象をもつことができたと考えられる。

グループ5：発達型

主に研究用に用いられ、人間の認知発達過程をシミュレートするために開発されたロボット。ステレオカメラ、簡単な指のついた腕を備えた上半身部分あるいは頭部だけから構成されているものが多い。

〈事例2〉インファノイド

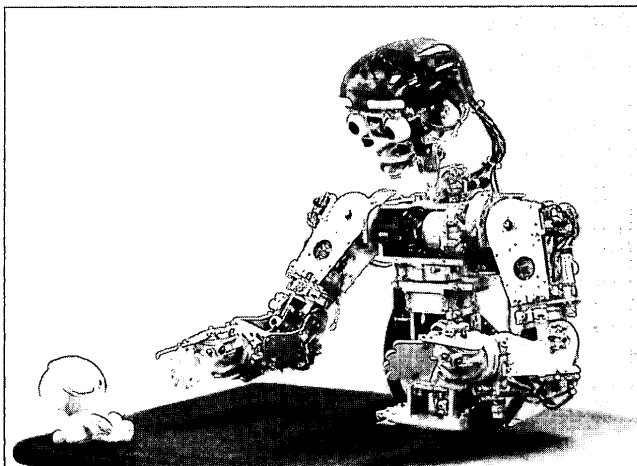


図5 インファノイド

通信総合研究所の小嶋は、視線・指さし・表情など、赤ちゃんがコトバを獲得する以前からもっているコミュニケーション手段である「前言語的コミュニケーション」能力をロボットに実装することで、人間のコミュニケーション能力がどのように発達、獲得されていくのかを解明しようとしている。そこで開発されたのがインファノイドというロボットであり、現在は人間と注意を共有する能力である「共同注意」を実現させるための研究活動を行っている [Kozima 02]。このインファノイドは人間の3歳児とほぼ同じサイズにつくられた計25自由度（頭部7自由度、首3自由度、片腕6自由度×2、胴体3自由度）をもつ上半身ロボットであり、非常に複雑なインタラクションが可能となるように設計されている。

具体的なタスクとしては、① 視界中の人間の顔をと

らえ、② その顔の方向や視線の方向から人間の注意方向を読み取り、③ その方向上にある「意味ある対象」を見つけるといった行動の実現を目指している。このような行動が実現できれば、人間とインファノイドが同じ対象や出来事に注意を向けることになり、「共同注意」が実現されると考えられる。この共同注意を実現することで、インファノイドは、相手の感覚入力（注意の対象からの情報）を推定することができ、相手の運動出力（振舞いや表情）を観察し、それを自分の運動イメージとして捉えることも可能となると考えられる。ここから、自分の行動に意味づけをしたり他者の行動を模倣したりするといった、より複雑で社会的に適応した行動を獲得していくことも期待できる。

グループ6：インタラクション型

ロボットの外観はグループ2のからくり型のロボットと同じく、特に人間の形をしていたりペット動物の形をしているわけではないが、人間に対して一方的に動作を起こすのではなく、自分のとった行動に対する人間の応答を検知することができ、その情報をもとに次の適切な行動を起こすことができるというインタラクティブな動作を行えるロボットである。オフィスを訪れた訪問者と対話をしながら道案内をするオフィスロボット Jijo-2 などが代表的な例であるが [松井 00]、具体的なアプリケーションを目指しているのではなく、人間がロボットなどの人工物にどのように感情移入していくのかという点に注目して心理実験を行っている研究事例もある。

〈事例3〉ロボビー



図6 ロボビー：写真提供 ATR

ATR 知能映像通信研究所の石黒、今井、小野を中心に開発されたロボットで、「人とコミュニケーションをとれるロボット」をコンセプトに開発された。その用途としては上記のインファノイドが認知発達の研究に使用

されるように特定のタスクに使用されることを前提に設計されたのではなく、人とロボットのコミュニケーションに関する研究一般用に幅広く使用されることを想定している。特徴としては、首に3自由度を与えることによりロボットのカメラを用いて「視線」を表現することが可能で、4自由度の腕を従来のロボットよりも前方にオフセットすることで、自由度を抑えたまま振舞いの表現能力の向上を可能とした[今井01]。

このロボピーを用いた研究事例としては、①ロボットの発話と動作の関係が、情報の受け手である人間の理解・解釈にどのような影響を与えるのかという研究、②ロボットのどのような行動に対して人間はエージェンシを感じるのか、またその際に人間の脳はどのような活動をしているのかを観察する研究などがあげられる。

このうち、①の研究では、コミュニケーションにおける身体表現に注目し、共創対話のモデルを提案している[小野01]。共創対話とは、従来の情報技術では十分に扱えなかった身体の同調的動作による対話者間の関係の構築、およびこの関係に基づく情報伝達のメカニズムを説明するためのモデルである。小野らは、このモデルの妥当性を検証するため、人とロボットのインタラクションに関する実験を行った。具体的には、経路案内の場面において、ロボットが人間に道を教えるような状況を設定し、その際の人とロボットの身体表現と情報伝達との関連を観察した。その結果、人とロボットのインタラクションでは、人がロボットの身体の向きや、腕、首の動きに引き込まれるように同調的な動作をしたとき、円滑な情報伝達が行われることが明らかにされている。

以上、列挙したように、これまで開発された人間共存型ロボットを一つの研究マップにまとめることで、これまでの研究の流れを把握することができる。まず、産業用ロボットの技術を用いて機械のような印象を人間に与えるようなロボットの開発を出発点として、人間にとって生き物と感じられるようなエージェンシをもちながら、言語や共同注意などを実現する高度なインタラクション技術を目指したロボット開発へと、徐々にその研究方針が変化している。そして、その実現に向けた道のは、認知発達プロセスをシミュレートすることで人間のような機能をもつロボットの実現を目指している研究、ペット動物に対する感情移入効果に注目した研究など、それぞれの研究者のバックグラウンドにより多種多様な方略がとられている。しかしどのような研究方略を採用したとしても、主要な技術的課題は「対話処理・理解や共同注意などの機能をどのようにロボットに実装するのか」という問題に集約されているという状況が理解できるであろう。

この課題に取り組んでいる研究事例からも明らかなように、このようなロボットの実現には、従来のロボット工学の技術のみならず、「エージェンシ」、「インタラク

ション」という二つのキーワードのもと、脳科学、認知科学、言語学、心理学などさまざまな視点からの人間に関する学問の知見を総動員していく必要があると考えられる。人間のように人間とコミュニケーションできるロボットを開発するには、やはり人間のことを知ることで引きにはその実現は果たせないのである。

謝辞

日頃から本稿の内容に関連する研究の議論に参加いただいている、IAEA (Interaction DEsign for Adaptation) 研究会のメンバに感謝いたします。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [AIBO] <http://www.aibo.com/>
- [Arita 02] Arita, A. and Hiraki, K.: Can we talk to robot?: Infant's understanding robots and people (submitted) (2002)
- [ASIMO] <http://www.honda.co.jp/ASIMO>
- [Breazeal 00] Breazeal, C. and Scassellati, B.: Infant-like Social Interactions Between a Robot and a Human Caretaker, <http://www.mihttp://www.ai.mit.edu/projects/social/publications.html>, To appear in Special issue of Adaptive Behavior on Simulation Models of Social Agents, guest editor Kerstin Dautenhahn (2000)
- [Bremner 97] Bremner, G., Slater, A. and Butterworth, G. (eds.): *Infant Development — Recent Advances —*, Psychology Press (1997)
- [Brooks 98] Brooks, R., Breazeal, C., Marjanovic, M., Scassellati, B. and Williamson, M.: The Cog Project: Building a Humanoid Robot, C. Nehaniv (ed.), *Computation for Metaphors, Analogy and Agents*, Vol. 1562 of Springer Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer-Verlag (1998)
- [今井01] 今井倫太, 小野哲雄, 石黒 浩, 中津良平, 安西祐一郎: ロボットからの発話: 自発的発話生成のための注意の表出機構の実現, 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 11, pp. 2618-2629 (2001)
- [Ishiguro 01] Ishiguro, H., Ono, T., Imai, M., Maeda, T., Kanda, T. and Nakatsu, R.: Robovie: An interactive humanoid robot, *Int. J. Industrial Robotics*, Vol. 28, No. 6, pp.498-503 (2001)
- [Ishikawa 92] Ishikawa, M.: Sensor Fusion System Mechanisms for Integration of Sensory Information, *Advanced Robotics*, Vol. 6, No. 3, pp. 335-344 (1992)
- [Junqua 93] Junqua, J.: The Lombard reflex and its role on human listeners and automatic speech recognizers, *J. Acoustic. Soc. Amer.*, Vol. 93, No. 1, pp. 510-524 (1993)
- [河野 98] 河野寿之, 神田真司: 高齢者・障害者用食事搬送自動ロボットシステム, 日本ロボット学会誌, Vol. 16, No. 3, pp. 317-320 (1998)
- [KEIBI] http://www.sok.co.jp/r_d/roboabo.htm
- [Khatib 95] Khatib, O., Yokoi, K., Chang, K., Ruspini, D., Holmberg, R., Casal, A. and Baader, A.: Force Strategies for Cooperative Tasks in Multiple Mobile Manipulation Systems, *Proc. International Symposium of Robotics Research* (1995)
- [Komatsu 02] Komatsu, T., Suzuki, K., Ueda, K., Hiraki, K. and Oka, N.: Mutual Adaptive Meaning Acquisition by Paralanguage Information: Experimental Analysis of Communication Establishing Process, *Proc. 24th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pp. 448-553 (2002) (より詳しくは以下の論文を参照されたい。小松孝徳, 鈴木健太郎, 植田一博, 開 一夫, 岡 夏樹: パラ言語情報を利用した相互適応的な意味獲得プロセスの実験的分析, 認知科学 (to appear))
- [Kozima 02] Kozima, H.: *Infanoid: A Babybot that Explores the Social Environment*, K. Dautenhahn, A. H. Bond, L. Canamero and B. Edmonds (eds.), *Socially Intelligent*

Agents: Creating Relationships with Computers and Robots, pp. 157-164, Amsterdam: Kluwer Academic Publishers (2002)

[Legarstee 00] Legerstee, M., Barna, J. and DiAdamo, C.: Precursors to the development of intention at 6 months: understanding people and their actions, *Developmental Psychology*, Vol. 36, No. 5, pp.627-634 (2000)

[前山 99] 前山祥一, 油田信一, 五十嵐浩也, 原田 昭: 美術館ロボットのデザイン, *日本ロボット学会学術講演会予稿集*, Vol. 17, No. 2, p. 737-738 (1999)

[正高 93] 正高信明: 0歳児がことばを獲得するとき, *中公新書* (1993)

[Mason 81] Mason, M.: Compliance and force control for computer controlled manipulators, *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-11/6, pp. 418-432 (1981)

[松井 00] 松井俊浩, 麻生英樹, John Fry, 浅野 太, 本村陽一, 原 功, 栗田多喜夫, 速水 悟, 山崎信行: オフィス移動ロボット Jijo-2 の音声対話システム, *日本ロボット学会誌*, Vol. 18, No. 2, pp. 300-307 (2000)

[Nishiwaki 00] Nishiwaki, K., Sugihara, T., Kagami, S., Kanehiro, F., Inaba, M. and Inoue, H.: Design and Development of Research Platform for Perception-Action Integration in Humanoid Robot: H6, *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'00)*, Vol. 3, pp. 1559-1564 (2000)

[Ogata 00] Ogata, T. and Sugeno, T.: Emotional Communication between Humans and the Autonomous Robot WAMOEBEA-2 (Waseda Amoeba), Which has the Emotion Model, *JSME International Journal, Series C: Mechanical Systems Machine Elements and Manufacturing*, Vol. 43, No. 3, pp. 568-574 (2000)

[小野 01] 小野哲雄, 今井倫太, 石黒 浩, 中津良平: 身体表現を用いた人とロボットの共創対話, *情報処理学会論文誌*, Vol. 42, No. 6, pp. 1348-1358 (2001)

[RSJ 98] 人間共存型ロボット研究専門委員会: 人間共存型ロボットシステムにおける技術課題, *日本ロボット学会誌*, Vol. 16, No. 3, pp. 288-294 (1998)

[SDR] <http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/200203/02-0319/>

[Trevarthen 93] Trevarthen, C.: The self born in intersubjectivity: The psychology of an infant communicating, *The Perceived Self*, pp. 121-173 (1993)

[Watson 72] Watson, J. S.: Smiling, cooing, and "the game", *Merrill-Palmer Quarterly*, Vol. 18, pp. 323-339 (1972)

[山口 97] 山口仁一, 井上貞敏, 西野大助, 玄 相昊, 石井啓範, 小澤英樹, 松尾茂樹, 山本要介, 高西淳夫: 2足歩行ヒューマノイドロボットの開発, *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会*, pp. 49-850 (1997)

[山本 01] 山本浩司, 宮崎浩行, 続木貴史, 小嶋良宏: 独居高齢者メンタルケアのための対話ロボット—ワンダー—, *マイクロメカニクス研究会* (2001)

2002年9月9日 受理

著者紹介



小松 孝徳

1997年芝浦工業大学工学部機械第二学科卒業。1997～99年オーストリア工科大学客員兼 Profactor Research GmbH EU 圏外研究員。現在、東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程在籍。2001年より理化学研究所脳科学総合研究センター・ジュニアリサーチアシリエイト。人間との円滑なコミュニケーションを可能とするようなインタフェース、エージェントの開発に興味がある。IEEE, 日本機械学会, 日本ロボット学会, 日本認知科学会などの学生会員。



開 一夫 (正会員)

1993年慶應義塾大学大学院理工学研究科計算機科学専攻博士課程修了。博士(工学)。電子技術総合研究所(現産業技術総合研究所)情報科学部主任研究官を経て、現在東京大学総合文化研究科助教授。科学技術振興事業団さきがけ21「協調と制御」領域研究員および(株)国際電気通信基礎技術研究所メディア情報科学研究非常勤研究員兼務。乳幼児の認知発達過程(特に自己認知の発達)に興味があり、発達認知神経科学的研究を行っている。日本ロボット学会, 日本赤ちゃん学会, 日本認知科学会, SRCD, OHBM, AAAIなどの各会員。



岡 夏樹 (正会員)

1979年東京大学工学部計数工学科卒業。(株)高津製作所, 東京大学に勤務後, 松下電器産業(株)に入社。(財)新世代コンピュータ技術開発機構研究員などを経て, 現在松下電器産業(株)先端技術研究所首席研究員。工学博士。学習, 発達, インタラクションを中心とした認知モデル構築とその工学的実現に関心があり, 自然な日常的インタラクションを通して言語獲得するシステムの構築を目指している。日本認知科学会, 情報処理学会各会員。