

特集 「深化する HAI : ヒューマンエージェントインタラクション」

HAI 研究のオリジナリティ

Originality in Human-Agent Interaction

山田 誠二
Seiji Yamada

国立情報学研究所, 総合研究大学院大学
National Institute of Informatics. / SOKENDAI.
seiji@nii.ac.jp, <http://ymd.ex.nii.ac.jp/lab/~seiji/>

Keywords: human-agent interaction.

1. はじめに

HAI (Human-Agent Interaction : ヒューマンエージェントインタラクション) 研究の発表を中心とする HAI シンポジウムの初開催が 2006 年であり, 今年の 12 月に第 4 回が開催される. 毎年 100 名を超える参加者も増加傾向にある. このように, HAI は日本初の新しい研究分野として, 活気を呈しているといえよう. また, 本特集執筆陣の多くがオーガナイザとなり, この数年間にわたりさまざまな学会誌で特集, 論文特集が生まれ [岡 06, 山田 02, 山田 03, 山田 05, 山田 06b], HAI の研究分野としての浸透が図られてきた. そして, 現在に至る HAI の研究成果は, 拙著『人とロボットの〈間〉をデザインする』[山田 07] に総括されている.

HAI では, 人間と擬人化エージェントのインタラクション, 人間とロボットのインタラクション, エージェントメディアイテッドな人と人のインタラクションの三つの異種インタラクションのデザインについて, その共通する要因, 異なる要因を実験的に検証することが目的である [山田 07]. このとき, 「エージェント」は, 擬人化エージェント, ロボットそして人間そのものを意味し, またそこにおける人間は, 研究者, 開発者などの特別な知識をもつ人ではなく, 一般の人を想定している. これにより, エージェントが一般家庭, オフィスに導入された状況での人-エージェントインタラクションが扱えることになる [山田 07].

著者がもともと HAI 研究を始めるきっかけとなったのは, それまでのいわゆるエージェント, マルチエージェントシステム研究が, 否定的な意味で人工知能そのものだったからである. 人工知能は, そのほとんどの研究が閉じた系, 特に人間を含まない系を対象とし, 評価実験もコンピュータ上に閉じたシミュレーションで完結する. つまり, 事前に系を完全に設計できると仮定し, さらにその系の実行もコンピュータ上で閉じており, 完全に制御可能であるとしている. このような仮定のもとに, すべてのエージェントが全く同じ行動規則で制御される完全に同種 (homogenous) なシステムという, 現実的

にはあり得ないシステムが研究対象となり得てしまう. しかし, 実世界に存在する系は, 事前にすべて設計できる閉じた系を探すのが難しいほど, ほとんどが解放系である. 特に, 人間とのインタラクションのない, つまり完全に自律的に稼働し続ける系は非現実的である.

実際には, エージェントは不可避免的に人 (ユーザ) とインタラクションをもつことになり, またそのインタラクションを積極的かつ有効に利用することが求められるのである. そう考えると, 人を含まない閉じた系を扱う場合の多い従来の (マルチ) エージェント研究の限界が露呈したように思えた. また, エージェント自身ができること, 特に実世界とのインタラクションを伴うタスク処理の能力には限界があり, 人間のほうがはるかに優れている場合が多い. つまり, 工学的な立場からは, 最初からエージェントを人間とインタラクションをもって協調作業を行うシステムの要素として想定し, そこではかにエージェントが人間とうまく協調作業を行えるかという観点から, エージェント研究を再構築する必要を痛切に感じたのである. このような背景が, HAI 研究発動のきっかけとなった. 幸い賛同していただける多くの個人的な研究者の協力も得られ, 現在に至っている.

このような経緯から, HAI 研究には, 従来のエージェント, 人工知能の研究にはなかった独創的な方向性をもつものが多い. 本稿では, 各章でそのような HAI 研究のオリジナリティを取り上げ, 実際にそのオリジナリティに基づく研究の例を紹介していく. ただし, 取り上げるオリジナリティは著者の主観に依存しており, 研究例も著者の関係する研究に偏っていることはお断りしておきたい. また, あえて取り上げなかったオリジナルな研究は, 本特集のほかの解説において見ることができるだろう.

2. ロボットを疑おう

従来の HCI (Human-Computer Interaction) や HRI (Human-Robot Interaction) では, 人とインタラクションをもつ対象をコンピュータやロボットに限定して考えるのが当たり前である. 特に HRI においては, ロボット研究者が中心になっていることもあり, 最初にロボ

ットありきのインタラクション研究がほとんどである。しかし、本来インタラクションの対象を選定、あるいは新たに設計することから始めるべきではないか。HAI では、人とインタラクションをもつ対象を従来のコンピュータやロボットに限定して考えることはしない。むしろ、その対象としてどのような人工物が適しているのか、を議論すること自体が HAI における重要なテーマとなる。

人とエージェントが協調する主要なタスクの一つが、オフィスワークである。オフィスワークは、一般に、工場、農業などの肉体労働に対して、主に事務所内でのデスクワークを意味するが、その多くは身体をもつ協力者がある場所に存在することをタスク達成の必須条件としない。つまり、多くのオフィスワークにおいて、タスク達成に必要な協力者とのコミュニケーションは、電子メール、電話、インスタントメッセンジャなどによる情報のやり取りで事足り、インタフェースとしての物理的身体をもつロボットを必要としない。

このように、ユーザは、さまざまなタスクで PC を使っている場合が多く、その PC モニタ上に現れる擬人化エージェントが、ロボットよりもインタフェースとして優れているし、自然である。さらに、実装コストは、ロボットに比べて擬人化エージェントのほうが明らかに少なく済む。これは、開発コストの軽減のみならず、研究コストの軽減も意味する。

HAI では、エージェントのもつさまざまなパラメータを変更した実験を行う研究が重要であるが、それが擬人化エージェントでは容易である。特に、CG により外見を簡単に変更できる擬人化エージェントは、外見を物理的に変更しなければならないロボットよりも、エージェントの外見に関する研究では有利である。

このような背景から、工学的な意味でも、以下のような先進的なテーマの追求が、HAI 研究のオリジナルな方向性の一つを示しているといえよう。

- 人がインタラクションをもつ対象として、擬人化エージェント、ロボットのいずれが優れているのか。
- その性質はどのようにタスク依存するのか。
- 人とのインタラクションにおいて従来のエージェントよりも優れた人工物とは何か。

本節では、これらのテーマに関連する HAI 研究を概観する。

2・1 外見のデザイン：エージェント、エージェントを超えた人工物

HAI におけるエージェントは、物理的身体をもつロボットがよいのか、あるいは物理的身体をもたない擬人化エージェントのほうが適しているのか。この問いは、HAI において重要である。その答えがタスク依存であることは明白であるが、ではどのようにタスクに依存するのかはそれほど自明なことではない。

HAI 黎明期における Muu[Okada 00] (図 1) に代



図 1 Muu

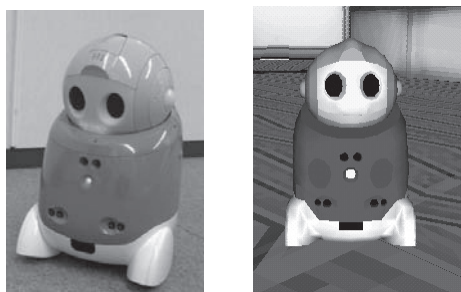
表されるように、「エージェントの外見は目だけでよい」というミニマムデザイン [Matsumoto 05] の考えは、HAI 研究に通じるものであり、著者自身も共感する点が多い。自然物に類似した複雑な外見を追求するのではなく、エージェントとして認識されるために必要十分な外見の要因を追求するために、できるだけ余分なものをそぎ落とした外見、デザインから適切な外見を検証するアプローチは、HAI の有効な方法論の一つであろう。ただし、この種の研究はユーザスタディが困難であることが課題である。今後は、統計的検定のみには頼らない実験的検証方法を開発していく必要がある。

できるだけシンプルな外見のデザイン、そしてそのエージェントとのインタラクションと外見の関係について実験的に検証した研究として、ビープ音を表出するエージェントの外見の研究 [小松 08a, Yamada 06a] がある。小松、山田は、図 2 のような三つのエージェント (左から、犬の外見をもつロボット AIBO、メカニカルな外見のマインドストーム、そしてノート PC) から、全く同じビープ音を表出した場合に、それを人間がどのように解釈するかを調べた。ビープ音は、周波数が増加、減少、変化しない 3 種類を用い、それぞれがエージェントの三つの内部状態「ポジティブ」、「ネガティブ」、「ニュートラル」を表出することに対応している。

被験者による実験の結果、ビープ音による内部状態の推定はエージェントの外見の違いにより、その解釈の精度に有意な差があることが示された。なんと、AIBO よりもマインドストームやノート PC のほうが有意に解釈



図 2 ビープ音を表出する三つのエージェント



(a) 実機のパペロ (b) 仮想的パペロ

図3 二つのパペロ

の精度が高かったのである。このことは、HAIにおいて表出する情報の表現、内容によって、情報伝達に適切な外見が異なることを意味する。つまり、人とのインタラクションを規定せずには、エージェントの外見を決めることができないことを示唆している。より具体的には、単純な情報を伝えるのであれば、単純な外見のほうが適しているというエージェントの外見の設計指針を示している。ほかにも、ロボット（擬人化エージェント）の外見と人間側の背景知識との関係を調べた研究 [Goetz 03] がある。

また、より直接的に、実機ロボットとロボットの外見をもつ擬人化エージェントのいずれがHAIに適しているのかを調べる研究として、小松らの実ロボットエージェントと仮想ロボットエージェントに関する研究がある [Komatsu 08b]。この研究では、テレビゲームをプレイする被験者に対し、実際のロボット：パペロ（NEC社製、図3(a)）と仮想パペロ（図3(b)）が割込みを行い、それに対する被験者の対応を実験的に調査している。実機パペロと仮想パペロの2グループの被験者に対して同じ距離の位置にそれぞれのパペロを設置する（図4）。そして、被験者には、「テレビゲームをやる際のマウスの挙動の調査」とダミーの実験目的が伝えられる。ゲームが始まりしばらくすると、パペロが「退屈だから、しりとりしようよ」と、被験者に同じ音量で告げ、被験者がそれを受諾すると、エージェントとの尻取りがWoZにより始まる。

このような設定で実験が行われ、被験者が、1. 尻取りを始めたか、2. エージェントのほうを見たか、3. どの程度テレビゲームの得点があったか、が調べられた。その結果、1. では、実機パペログループの被験者の80%が尻取りを行い、仮想パペログループの40%との差に有意傾向があった。2. と3. は両グループ間に有意差なしであった。このことは、「実機のロボットエージェントは、仮想エージェントよりも人を引きつけ、自分のタスクに引きずり込む能力が高い」ことを示唆している。二つのエージェントのアピールの微妙な差異やタスクの違いの影響も考えられるため、一般的な結果と主張するにはまだ十分ではないかもしれないが、非常に興味深い結果を示している。また、類似した研究とし



(a) 実機のパペロ (b) 仮想的パペロ

図4 パペロの比較実験

て、[Powers 07, Shinozawa 04, Wainer 06] などがある。

2.2 HAIにより適した人工物へ

HAIにおいて人間とインタラクションをもつ典型的な人工物は、ロボットと擬人化エージェントである [山田 07]。このうちロボットは、以下の特徴もっている。

- 物理的身体による人間の注意の喚起。
- 擬人化しやすい外見によるエージェント化の促進。

しかし、これらの特徴は、非常に実装コストのかかるロボットだけがもつものだろうか。むしろ、これらの特長をもち、かつ実装が比較的容易な新しい人工物の可能性はないだろうか。

HAIでは、人間とインタラクションをもつ人工物の概念自体を模索することが重要なテーマである [山田 07]。よって、よりHAIに適した人工物の研究は、最初にコンピュータありき、ロボットありきの従来のHCI, HRIからは生まれにくい、HAI研究のオリジナルな方向性をもった研究と考えられる。以下に、このような研究の実例を紹介する。

§1 アプライアンスのエージェント化

従来の人工物、特にすでに多くの人々が慣れ親しんでいるアプライアンス（一般家電、情報機器）に、先の二つめの特性「擬人化しやすい外見」をもたせることで、アプライアンスのエージェント化を行う研究が、大澤、今井により行われている [今井 07, 大澤 08a, Osawa 08b]。

製品を指示してその使い方や機能を説明をするタスクは、ロボットや擬人化エージェントの利用が有効とされるタスクの一つである。しかし、その説明タスクにおいて、エージェントのほうに人の注意が集まってしまう、肝心の製品に注意が向かない問題が生じる。それを解決するために、説明対象の製品に目や手を装着することでエージェント化し、注目すべき製品とエージェントを同一化するというのがこの研究のアイデアである。

具体的には、アプライアンスに、駆動可能な目や手を取り付ける試みを行っている。例えば、図5ではゴミ箱が、図6ではエアロバイクがエージェント化されている。このようなエージェント化は、既存のアプライアンスを容易にエージェント化することで、HAIにおいていわゆるロボットのもつアドバンテージを実現できるという大きな利点があると考えられる。

また、この研究では、目や手のデバイスが装着された

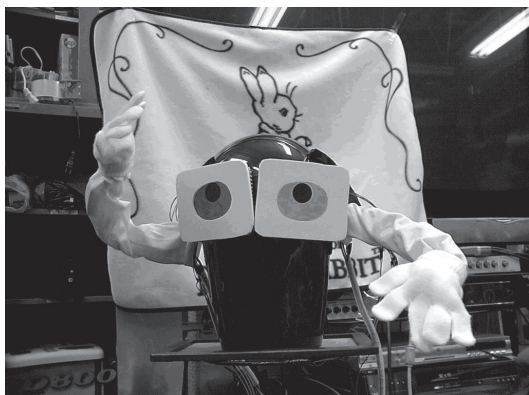


図5 エージェント化されたアプライアンス：ゴミ箱

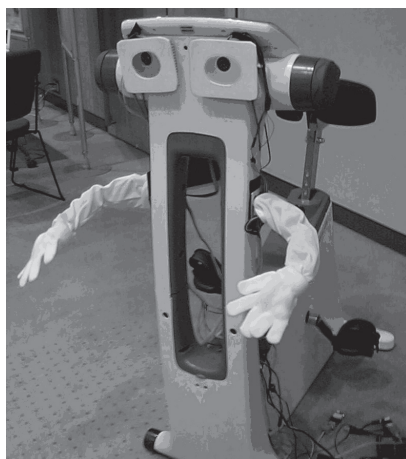


図6 エージェント化されたアプライアンス：エアロバイク

アプライアンスの部位を指示する際に、「頭」や「お腹」などの人間の身体部位の表現で会話が行えるようになり、擬人化を介した直感的なインタラクションが可能になる。例えば、冷蔵庫に取り付けた手が冷蔵庫のドアを指して、「僕のお腹を開けてね」と身体イメージを利用した発話をユーザに対して用いることができる。

さらに、三次元超音波タグにより「目」デバイス、周囲の物体、人の位置座標を取得して、人間や物体の方向へ視線を向けるようになっている。また、まばたきや視線を周囲へちらっと向けることで、視線の自然さを実現している。そして、これらの擬人化デバイスの効果はさまざまな実験を通して検証されている [大澤 08a, Osawa 08b]。

§2 擬人化しやすいアプライアンスのデザイン

前項のアプライアンスのエージェント化は、多くのユーザが慣れ親しんだ既存のアプライアンスをエージェント化し、従来のロボットとは違う新しい「擬人化しやすい人工物」を作成する方法であった。これに対して、最初から「擬人化しやすいアプライアンス」を設計する方法論が考えられる。物理的身体をもちながら、いわゆるロボットではなく擬人化しやすいアプライアンスのデザインである。このような、ロボットとアプライアンスの中間的な存在としての新しい人工物を目指す研究の方向

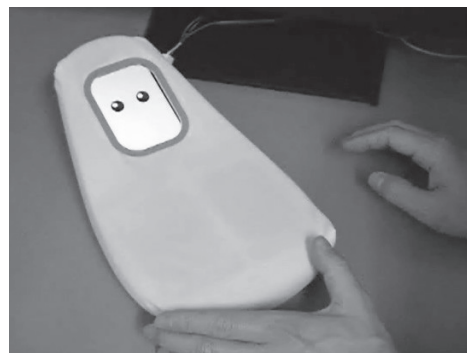


図7 リモコンエージェント：Rebo

性も、最初にロボットありき、アプライアンスありきではない HAI 研究のオリジナルなものと考えられる。

この方向の研究例として、小林らの「なでて気づくリモコンエージェント：Rebo（リーボ）」(図7)がある [Kobayashi 09]。Rebo は、工学者と工業デザイナーとのコラボレーションにより綿密にデザインされた擬人化しやすいアプライアンス（汎用リモコン）である。図7のアプライアンスからわかるように、生物学的なもの機械的なものの中間的なアプライアンスを狙っている。3台の iPod touch で構成された汎用リモコンであり、すべてのリモコン機能をユーザが本体の上部を指でなでることにより利用することができる。このなでる操作により、従来のボタン式リモコンよりも直感的で認知的負荷の少ない操作が期待できる。また、連続的である「なでる操作」により、アクションスローピンによる機能発見 [Kobayashi 08] のテストベッドとしても利用される。

3. 人との「インタラクション」を学習

学習は、エージェントの本質的機能の一つである。これまで、強化学習 [Sutton 00] がエージェントの学習に応用されてきた。強化学習では、エージェントがマルコフ決定過程において実際の行動により得られる報酬をもとに、静的環境で最大報酬を得る行動を試行錯誤的に学習する。強化学習は、エージェントが環境で試行錯誤しながら行動を学習するタスクになじむため、エージェントの行動学習で広く応用されている。

確かにエージェントの行動学習は重要ではあるが、HAI では人とのインタラクションをより重要視する。強化学習では、報酬は既与としているが、HAI におけるエージェント学習では実際の人間が教師であり、人間から報酬を受けることになる。そのとき、ロボットの行動に対して人間はさまざまモダリティやパターンでロボットに報酬を与えるため、事前にその報酬パターンを組み込んでおくことは難しい。よって、学習により報酬パターンを獲得する必要がある。このような視点は、従来のエージェント学習とは異なり、人間とエージェント間でやり取りされるインタラクション、コミュニケーションの

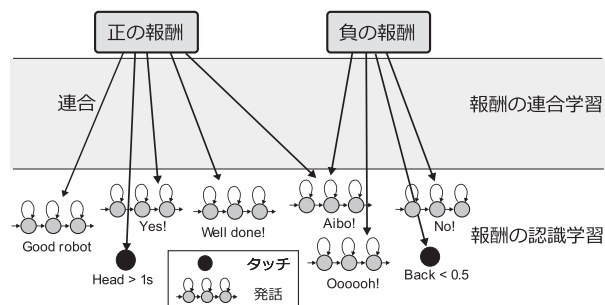


図8 マルチモーダル報酬の学習モデル

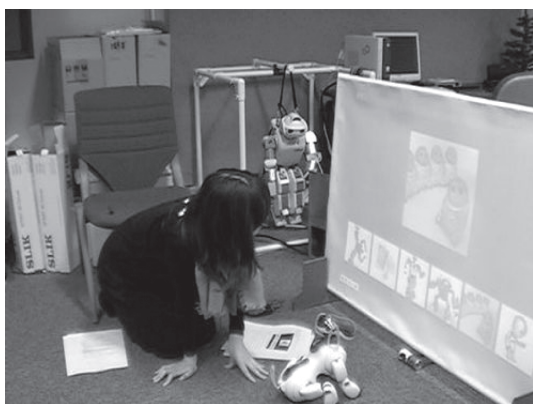


図9 AIBOの学習実験

プロトコル、解釈そのものを学習対象とするという HAI ならではの新しい視点を与えるオリジナルなものである。

このようなエージェント学習の研究として、人間からのロボットへのマルチモーダルな報酬パターンの学習がある [Austermann 08, Austermann 09]。この研究では、AIBO がユーザ（教師）からマルチモーダルに自由に与えられる行動の意味する評価（正の報酬か負の報酬）を認識する学習を行う。センサ情報は、タッチセンサ、音声入力などである。学習は、図8に示すように、認識学習と連合学習の二つのレベルからなる。認識学習では、各モダリティからの入力のプリミティブについて、隠れマルコフモデルによる認識ノードが学習を行い、関連学習では、それらの認識ノードの活性化と正・負の報酬の活性化が古典的条件付けにより関連づけられる。

訓練フェーズでは、ユーザが正しい行動を明確に判定できるようなゲーム（4目並べ、神経衰弱など）を AIBO が行う。そして、その AIBO の行動に対し、ユーザが自然に制約なく反応する（「よしよし」、「ダメ」と発話したり、背中をなでたりなど）ことで、先の学習モデルにより、正負の報酬がマルチモーダル入力データと関連づけられ、認識できるように学習が進む。図9に、ゲームをする AIBO の行動を評価するユーザの様子を示す。

4. エージェントの内部状態の表出：もっと人の助けを

人とインタラクションをもつエージェント、人工物は、その内部状態を適切な表現で表出して、人に負担なく正確に伝えることが望ましい [小林 06, Kobayashi 07]。ここで、エージェントが人に伝えるべき内部状態として、「処理中」、「困っている」、「暇である」などの比較的単純な状態が重要である。これらの内部状態を人間にうまく伝えることにより、人間からエージェントに対する協調的で補完的な支援行動を誘発できる。HAI では、『「人に優しい機械」から「機械に優しい人」へ』というインタラクションデザインのパラダイムシフトを図るため（本特集の「パネル討論：HAI 研究のおもしろさとは何か？—インタラクションデザイン、産業化・事業化、アカデミックの立場から—」を参照）、潜在的に学習、適応能力の非常に高い人間にできるだけ助けてもらうことを目指す。エージェントの内部状態の表出を真っ向から捉える研究も、HAI 研究ならではのオリジナリティがあると考えられる。

では、実際にどのようなモダリティでどのような表現をデザインすれば、うまくエージェントの内部状態を表出できるのだろうか。文化的ギャップ、認知的負荷を軽減するためには、エージェントの文字の内部状態の表出は、自然言語の音声発話やモニタによる表示などのパーバルな表出よりも、ノンバーバルな表出が望ましい。また、付加的なデバイスを必要としないほうが好ましい。ここでは、このような考えに基づいた、動きによる表出とささいだが重要な表出を目指す研究を紹介する。

4.1 動きによる内部状態の表出

ロボットはもともと何らかのアクチュエータを持っているのだから、内部状態表出のために、付加的な装置は全く使わずに、そのアクチュエータによるロボット自体の「動き」で表出を実現すればよい。このような考えから、小林、山田 [小林 06, Kobayashi 07] は、ロボットの内部状態を動きによって人に伝達する方法の設計指針として、「モーションオーバーラップ」(motion-overlap) を提案している。これは、図10に示すように、人間が日常的に実行する、意味のあるモーションと類似した動きをロボットが実行することで、それを観察したユーザが人間とのアナロジーを発見し、ロボットの内部状態の推定が促進されることを目指す擬人化法である。モーションオーバーラップは、装置を付加することなく容易に実装できる実装性、多様なモーションの組合せによる表現力、そして動きは視覚情報であるためユーザの注意喚起を強制しない低ストレスであるという利点をもつ。

[小林 06, Kobayashi 07] では、小型移動ロボット KheperaII が人間に障害物を取り除いてもらうタスクに

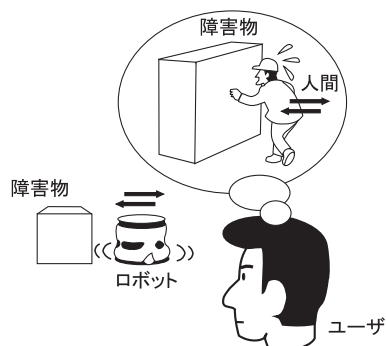


図 10 モーションオーバーラップ

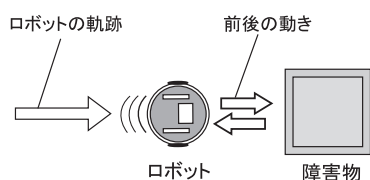


図 11 「行ったり来たり」の動作

において、図 11 のようなロボットが障害物の前で行ったりきたりする動き (back-and-forth) で、モーションオーバーラップを実現している。そして、ビープ音、LED による表出との比較を被験者実験により行い、モーションオーバーラップの方法がほかの二つの方法に比べて、実際に障害物を移動させた被験者数が有意に多かったことが示されている。

4.2 ささいな、しかし重要なシグナル

人間同士のコミュニケーションでは、subtle expression (ささいな表出) と呼ばれる、顔の表情、視線、身振りなどの非言語情報の重要性が指摘されている [Kendon 94]。そこで、人間と擬人化エージェントやロボットのコミュニケーションでも、subtle expression を利用して人間に負担をかけずにコミュニケーションを円滑化を図る研究 [Bartneck 05, Suzuki 05] がある。しかし、これらはエージェントの表情や身振りに subtle expression を実現するため、実装コストが非常に高い。

一方、2.1 節で触れたように、小松、山田らは、周波数が変化するビープ音を 1 回鳴らすだけでエージェントの内部状態の推定を促すことに成功している [小松 08a, Yamada 06a]。この研究は、人間に近い複雑な表現によらずとも単純な表現を用いて subtle expression を実現できる可能性を示している。単純な表現には、実装が容易、適用範囲が広いというメリットが期待できる。このような考えにより、船越、小松らは人工物における subtle expression を複雑な表現ではなく、できるだけ単純な表現での実現を目指す ASE (Artificial Subtle Expression) [Funakoshi 08, 船越 09] を提案している。ASE により、ユーザに負荷をかけることなく直観的なロボットの内部状態の理解を促す表出を容易に実現できる。

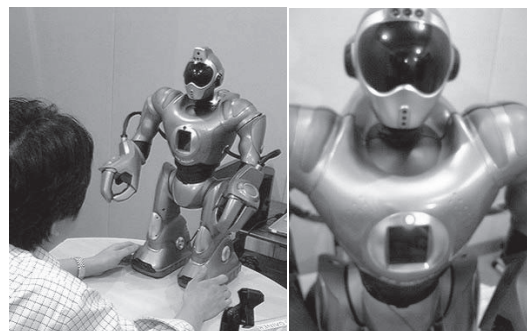


図 12 ASE としての LED 明滅

具体的には、ユーザとロボットとのしりとり対話タスクにおいて、LED の明滅という非常に単純な光のシグナルにより話者交替 (turn-taking) [Nakano 07] の円滑化を実現した [Funakoshi 08, 船越 09]。ロボット (RS Media) の胸部に赤色 LED を埋め込み (図 12)、ロボットが返答を生成する内部処理が行われている間のみ 1/30 秒の等間隔で明滅させる。この ASE により、ロボットが音声を聞き取れなかったのか、聞き取ったが処理中なのかの二つの内部状態をユーザが容易に区別できるようになり発話衝突を回避できる。しりとりタスクにおける被験者実験の結果、明滅光源により不要な言い直しを抑制し、適切な言い直しについては促進できることが示唆されている。また、アンケート結果の分析から、明滅光源によりロボットに対する印象が向上すること、大部分の参加者は明滅光源の意味を短時間で適切に解釈したことなどがわかった。

5. 人と人工物のインタラクションデザインへの哲学的アプローチ

エージェントの定義でよくあるのが、「自律性」である。つまり、人間の制御下にあるのではなく、周りの状況を判断して自身で行動決定、実行を行える能力のことである。HAI において、人間がインタラクションをもつエージェントもこの自律性を有することが想定される。特に今後は、自分で判断し、行動できるエージェントのような人工物が、社会に浸透していくことは容易に想像でき、そのとき一般の人とそのような自律的な機械のインタラクションデザインはさまざまな問題を生むだろう。そして、これは極めて HAI 的でオリジナルな問題である。

そのようなインタラクションデザインをどのようにすればよいかは、まだ明確ではない。しかし、HAI 研究において、哲学的アプローチをとる萌芽的な研究が、寺田らにより精力的に行われている [寺田 07a, 寺田 07b]。彼らはまず自律的機械として、図 13 のような移動可能な「動く椅子」を実装した。この動く椅子は、二つの駆動輪、Linux PC、無線 LAN、カメラが搭載されており、ジョイスティックにより行動の遠隔操作が可能である。

哲学者 Dennett は、人間が対象の挙動を理解する方法

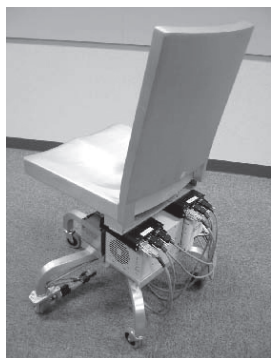


図13 動く椅子

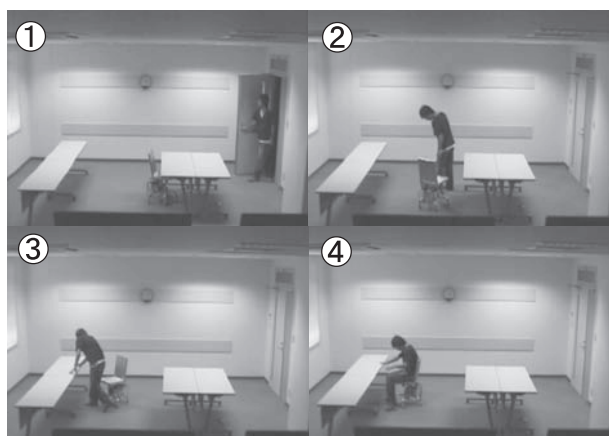


図14 実験風景

として、信念、欲求、目的に帰属させる「意図スタンス」、他者に設計された対象として認識する「設計スタンス」、単なる物理現象として認識する「物理スタンス」を提案している[ダニエル C. 96]。寺田らは、この三つのスタンスが自律的人工物（エージェント）の認識、理解に関係が深いと考え、以下の実験を行っている。

部屋内にある三つの机の一つに着座するタスクにおいて、動く椅子を移動させ、部屋の中の人間がその椅子にどのように反応するかを実験的に調査した。同一の実験者が、注意の誘発動作、着座誘発動作などの11個の動作プリミティブから適時選択して実行することで、タスク達成に誘導した[寺田 07b]。図14に実験風景を示す。①が入室直後で、椅子の動作を観察した②後に、目的地で着座している③、④。被験者の挙動をビデオで撮影、分析し、また椅子に対して Dennett のどのスタンスを採用したかをアンケートにより調べた。

その結果、ほぼ同じである椅子の挙動に対して、被験者の挙動に大きな違いがあった。その違いが、Dennett の三つのスタンスを援用して説明されている。着座誘導の成否については、物理スタンスを採用した被験者に対しては失敗、意図スタンスを採用した被験者に対しては成功する傾向があることがわかった。また、着座に要する時間は、意図スタンスの被験者が有意に短いこともわかった。さらに、意図スタンスの被験者が積極的に椅子

と関わっていたのに対して、物理スタンスの被験者は消極的な行動であったこともわかった。通常は設計スタンスの対象である椅子に対し、意図スタンスを採る被験者がいたことも興味深い。

この結果は、HAI においてエージェントが人間に意図スタンスを採らせることができれば、その意図を推定して協調作業が円滑に遂行できることを示している。では、人に意図スタンスを採らせるにはどうすればよいのか。寺田らは、人の注意を誘発する動作（具体的には、人のほうを見続ける）により、意図スタンスの採用を促進できる可能性を示している。

本研究は、ヒューマノイドロボットで心の理論を実現したというような類いの研究とは異なり、工学的に扱にくい説明原理である哲学の理論を HAI において適切に応用した重要な研究であると考えられる。

6. ま と め

本解説では、著者なりの考えに基づき、HAI において従来の研究分野と異なるオリジナリティの高い方向性をもつアイデア、そして研究例をまとめて紹介してきた。ここで述べたように、HAI 研究は、従来の人工知能、エージェント研究の枠を超えた新しい問題意識をもち、それに伴い研究自体のアプローチもオリジナルなものが多い。この解説により、HAI のオリジナリティがより深く受け入れられ、理解され、そしてそのアプローチに共感する研究者の参入により、HAI がより一層学術的に発展することがあれば、著者にとって大きな喜びである。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Austermann 08] Austermann, A. and Yamada, S.: "Good Robot", "Bad Robot" — Analyzing users' feedback in a human-robot teaching task, *Proc. 17th IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 41-46 (2008)
- [Austermann 09] Austermann, A. and Yamada, S.: Teaching a pet-robot to understand user feedback through interactive virtual training tasks, *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, DOI 10.1007/S10458-009-9095-8 (2009)
- [Bartneck 05] Bartneck, C. and Reichenbach, J.: Subtle emotional expressions of synthetic characters, *Int. J. Human-Computer Studies*, Vol. 62, No. 2, pp. 179-192 (2005)
- [ダニエル C. 96] ダニエル C. デネット: 「志向姿勢」の哲学—人は人の行動を読めるのか—, 白揚社 (1996)
- [Funakoshi 08] Funakoshi, K., Kobayashi, K., Nakano, M., Yamada, S., Kitamura, Y. and Tsujino, H.: Smoothing human-robot speech interactions by using a blinking-light as subtle expression, *2008 ACM/IEEE Int. Conf. on Multimodal Interface*, pp. 293-296 (2008)
- [船越 09] 船越孝太郎, 小林一樹, 中野幹生, 山田誠二, 北村泰彦, 辻野広司: Artificial Subtle Expression としての明滅光源による音声対話の円滑化, *信学論 (A)*, Vol. J92-A, No. 11 (2009), to be published
- [Goetz 03] Goetz, J., Kiesler, S. and Powers, A.: Matching robot appearance and behavior to tasks to improve human-robot cooperation, *Proc. 12th IEEE Int. Workshops on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 55-60 (2003)

- [今井 07] 今井倫太, 大澤博隆 著, 山田誠二 監著: 『人とロボットの〈間〉をデザインする』, 第 6 章家具・家電・日用品をエージェント化する, pp. 195-219, 東京電機大学出版局 (2007)
- [Kendon 94] Kendon, A.: Do gestures communicate?: A review, *Research in Language and Social Interaction*, Vol. 27, No. 3, pp. 175-200 (1994)
- [小林 06] 小林一樹, 山田誠二: 擬人化したモーションによるロボットのマインド表出, 人工知能学会論文誌, Vol. 21, No. 4, pp. 380-387 (2006)
- [Kobayashi 07] Kobayashi, K. and Yamada, S.: Motion overlap for a mobile robot to express its mind, *J. Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 11, No. 8, pp. 964-971 (2007)
- [Kobayashi 08] Kobayashi, K., Yamada, S. and Kitamura, Y.: Action sloping for increasing awareness of robot's function, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 10, No. 1, pp. 37-46 (2008)
- [Kobayashi 09] Kobayashi, K., Nakagawa, Y., Yamada, S., Nakagawa, S. and Saito, Y.: Rebo: A remote control with strokes, *Proc. 18th IEEE Int. Symp. on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 751-756 (2009)
- [小松 08a] 小松孝徳, 山田誠二: エージェントの外見の違いがユーザの態度解釈に与える影響 - 外見の異なるエージェントからの同一人工音の提示実験, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 20, No. 4, pp. 47-57 (2008)
- [Komatsu 08b] Komatsu, T. and Abe, Y.: Comparing an on-screen agent with a robotic agent in non-face-to-face interactions, *Proc. 8th Int. Conf. on Intelligent Virtual Agents (IVA08)*, pp. 498-504 (2008)
- [Matsumoto 05] Matsumoto, N., Fujii, H., Goan, M. and Okada, M.: Minimal design strategy for embodied communication agents, *14th IEEE Int. Workshop on Robot-Human Interaction*, pp. 335-340 (2005)
- [Nakano 07] Nakano, M., Nagano, Y., Funakoshi, K., Ito, T., Araki, K., Hasegawa, Y. and Tsujino, H.: Analysis of user reactions to turn-taking failures in spoken dialogue systems, *Proc. 8th Annual SIGDIAL Meeting on Discourse and Dialogue*, pp. 120-123 (2007)
- [岡 06] 岡 夏樹, 山田誠二: IDEA: 適応のためのインタラクション設計, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 642-647 (2006)
- [Okada 00] Okada, M., Sakamoto, S. and Suzuki, N.: Muu: Artificial creatures as an embodied interface, *Proc. 27th Int. Conf. on Computer Graphics and Interactive Techniques (SIGGRAPH 2000)*, p. 91 (2000)
- [大澤 08a] 大澤博隆, 大村 廉, 今井倫太: 直接擬人化手法を用いた機器からの情報提示の評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 10, No. 3, pp. 11-20 (2008)
- [Osawa 08b] Osawa, H., Ohmura, R. and Imai, M.: Using attachable humanoid parts for realizing imaginary intention and body image, *Int. J. Social Robotics*, Vol. 1, No. 1, pp. 109-123 (2008)
- [Powers 07] Powers, A., Kiesler, S., Fussel, S. and Torrey, C.: Comparing a computer agent with a humanoid robot, *Proc. 2nd ACM/IEEE Int. Conf. on Human-robot Interactions*, pp. 145-152 (2007)
- [Shinozawa 04] Shinozawa, K., Naya, F., Yamato, J. and Kogure, K.: Differences in effects of robot and screen agent recommendations on human decision-making, *Int. J. Human-Computer Studies*, Vol. 62, pp. 267-279 (2004)
- [Sutton 00] Sutton, R. and Andrew G. Barto 著, 三上貞芳, 皆川 雅章 訳: 強化学習, 森北出版 (2000)
- [Suzuki 05] Suzuki, N. and Bartneck, C.: Special issue on subtle expressivity for characters and robots, *Int. J. Human-Computer Studies*, Vol. 62, No. 2 (2005)
- [寺田 07a] 寺田和憲 著, 山田誠二 監著: 『人とロボットの〈間〉をデザインする』, 第 8 章 意図的な機械, pp. 195-219, 東京電機大学出版局 (2007)
- [寺田 07b] 寺田和憲, 社本高史, 伊藤 昭: 心の理論の枠組を利用した人工物から人間への意図伝達, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 9, No. 1, pp. 23-33 (2007)
- [Wainer 06] Wainer, J., Feil-Seifer, D. J., Sell, D. A. and Mataric, M. J.: Embodiment and human-robot interaction: a task-based perspective, *Proc. 16th IEEE Int. Conf. on Robot and Human Interactive Communication*, pp. 872-877 (2006)
- [山田 07] 山田誠二 監著: 人とロボットの〈間〉をデザインする, 東京電機大学出版局 (2007)
- [山田 03] 山田誠二, 角所 考: ユーザ - システム間の適応のためのヒューマンコンピュータインタラクションのデザイン, システム制御情報学会誌, Vol. 47, No. 4, pp. 197-202 (2003)
- [山田 05] 山田誠二, 角所 考: IDEA: 適応のためのインタラクション設計, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 17, No. 3, pp. 279-288 (2005)
- [Yamada 06a] Yamada, S. and Komatsu, T.: Designing simple and effective expression of robot's primitive minds to a human, *Proc. 2006 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS-2006)*, pp. 2614-2619 (2006)
- [山田 06b] 山田誠二, 角所 考, 小松孝徳: 人間とエージェントの相互適応と適応ギャップ, 人工知能学会誌, Vol. 21, No. 6, pp. 648-653 (2006)
- [山田 02] 山田誠二, 角所 考: 適応としての HAI, 人工知能学会誌, Vol. 17, No. 6, pp. 658-664 (2002)

2009 年 8 月 15 日 受理

 著 者 紹 介



山田 誠二 (正会員)

1984 年大阪大学基礎工学部卒業。1989 年同大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。同年大阪大学基礎工学部助手。1991 年同大学産業科学研究所講師。1996 年東京工業大学大学院総理工学研究科助教授。2002 年国立情報学研究所教授, 現在に至る。人工知能, 特に, HAI ヒューマンエージェントインタラクション, 知的 Web インタラクションに興味をもつ。情報処理学会, 日本ロボット学会, 電子情報通信学会, AAAI, IEEE, ACM 各会員。