

人を動かす HAI デザインの認知的アプローチ

Cognitive Approach to HAI Design for Moving Humans

山田 誠二
Seiji Yamada

国立情報学研究所 / 総合研究大学院大学 / 東京工業大学
National Institute of Informatics, SOKENDAI, Tokyo Institute of Technology
seiji@nii.ac.jp, <http://www.ymd.nii.ac.jp/lab/seiji/>

寺田 和憲
Kazunori Terada

岐阜大学 工学部 応用情報学科
Gifu University, Faculty of Engineering, Department of Information Science
terada@gifu-u.ac.jp, <http://www.elf.info.gifu-u.ac.jp/terada/>

小林 一樹
Kobayashi Kazuki

信州大学 大学院 理工学系研究科
Graduate School of Science and Technology, Shinshu University
kby@shinshu-u.ac.jp, <http://www.cs.shinshu-u.ac.jp/~kkobayashi/>

keywords: HAI, cognitive properties, intention attribution, PCT, ASE, Rebo

1. はじめに

2011 年, 2012 年の人工知能学会全国大会において行われてきたオーガナイズドセッション「人を動かす HAI」において, 関連する様々な研究発表が行われ, そこでの研究発表, 議論が本特集の基盤になっている. そこでの大きなテーマは, 人間-エージェント間のインタラクションデザインを目指す HAI において, 設計対象となる「人間 エージェント」, 「エージェント 人間」の双方向のインタラクションのうち, 人を何らかの意味で行動に向かわせる「エージェント 人間」の情報の流れをいかにデザインするかについて焦点を絞っている. この「何らかの意味で行動」とは, 身体を動かすという物理的な行動から人間の内面 (意志, 感情, 思考) の変化も含めた広義の「人間の行動」という解釈である.

よって, 本稿では, ロボットに対する人間の物理的な行動から情報通知の受理, アプライアンスの操作に至る広い意味での人間の行動に変化を与える「エージェント 人間」の情報伝達のデザインを扱い, その方法論に対し人間の認知特性 [Stafford 04] を利用したアプローチを我々の関わる具体的な研究例の紹介を中心に解説する. 内容としては, 大きく分けて以下の方向がある.

- 人から人工物への意図帰属によって人を動かす: 人は人工物に対して意図を感じる (意図帰属) と反応が変わってくる. そのような認知特性を利用して, 人を動かす HAI デザインの設計指針を探る. 研究例として, 「動く椅子」, 「騙すロボット」に対する人間の意図帰属実験を挙げ, 考察を行う.
- 認知的負荷をかけずに人を動かす技術: 人を動かすための「エージェント 人間」のインタラクションデザインは, できるだけ人に認知的負荷をかけず実装さ

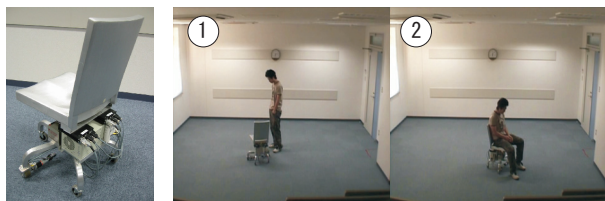
れることが望ましい. この考え方に基づき, 様々な研究例として, 周辺認知テクノロジー PCT, Artificial Subtle Expression, リモコンロボット: Rebo を紹介し, HAI の具体的な設計方針への示唆を議論する.

2. 人から人工物への意図性の帰属によって人を動かす

人は擬人化が得意である [Reeves 98]. そのような人の認知特性を使うとうまく人を動かすことができる. 本章ではまず, 人がエージェント (意図的主体) と機械をどのように見分けているかについてを認知科学の視点から説明した後に, 椅子の振る舞いに目的志向性, 随伴性を導入した結果意図帰属がなされることを示した研究を紹介する. また, 意図帰属の原因として定型性逸脱を提案し, ロボットが定型性を逸脱することで騙す意図の帰属が行われることを示した研究を紹介する.

2.1 エージェントか機械か

哲学者 Dennett は人が対象の振る舞いを理解し予測する際に物理スタンス, 設計スタンス, 意図スタンスという 3 つのスタンスを使い分けると考えた [Dennett 87]. 物理スタンスとは, 主体の物理的組成・性質, 物理法則に基づいて振る舞いを予測する戦略である. 設計スタンスとは, 物理スタンスで想定される物理的組成などの細部を無視し, 主体が設計意図に基づいて作られていることを前提として, 様々な状況において設計どおりに振る舞うと予測する戦略である. そして, 意図スタンスとは主体は意図, 信念, 願望などの心的状態に基づいて合理的に振る舞うという前提のもとに, 振る舞いの起源となる心的状態を帰属した上で振る舞いを予測する戦略である.



(a) 自律移動椅子

(b) 随伴的に動く椅子に着座した参加者

図 1 エージェント性と機械性の両方を有する人工物としての自律移動椅子と実験の様子

Dennett の設計スタンスと物理スタンスの違いは、法則の観点からみると粒度の違いでしかない。電子レンジの振る舞いを理解するのに電磁波による水分子の振動を理解する必要はなく、時間設定のダイヤルと温度の対応さえ理解すればよい。また、時計の振る舞いを理解するためにはエネルギー源であるバネや振り子、電池の物理的挙動や歯車の摩擦について理解する必要はなく、3本の針の動きを理解すればよい。

Dennett の設計スタンスと物理スタンスの違いは、法則の粒度だけでなく、設計者の意図の有無という観点からも説明できる。Dennett の設計スタンスは設計者の意図に基づいて設計通りに振る舞うことを予測するというものである。時計の長針が 12 周する間に短針が 1 周するという法則は、時計の設計者がバネや振り子、電池のエネルギー出力をメカニズムやアルゴリズムを利用してうまく制御した結果表出されるのである。設計者が存在しない限り、そのような法則が顕在化することはなく、その意味で設計スタンスと物理スタンスは異なる。ただ、アンティキティラ島で発見された機械のように、機械であることは分かってもらえればそれが何であるかが長年分からなかった物体の例や、古いアイロンをブックエンドとして活用することもあるため [Dennett 90]、設計者の意図が分からなくても第 3 者が帰属可能であるという意味で、その振る舞いが生成している機能（定型性の目的論的解釈）は曖昧なものである [Defeyter 09]。

設計スタンスと意図スタンスはどちらも目的を帰属するという意味では同じであるが、目的を帰属するのが観察対象そのものであるか、観察対象の設計者や使用者であるかという点で異なる。別の言い方をすると、その違いは「目的が振る舞いを駆動する」か「法則によって駆動された振る舞いが合目的である」かの違いである。換言すると、振る舞いの原因を帰属する際に定型性を想定するか意図を想定するかの違いである。設計スタンスでも意図は想定するが、それは振る舞いを規定するための定型性を導出するための意図にすぎない。

2.2 動く椅子

一般的に、家具やアプライアンスなど人間的なアピランスを持たない人工物に対しては擬人化が行われにくいように思われるが、認知科学の知見を流用し、適切な振る舞いのトリガーを生成することによって意図帰属が可能になることが示されている。意図スタンス採用のトリガーとなる振る舞いの要素が認知科学の研究分野において数多く調べられている。例えば、合理性 [Csibra 08]、目的や目的志向性 [Tremoulet 00]、自己推進性 [Luo 05]、等終局性 [Gergely 95]、随伴性 [Bassili 76]、物理法則違反 [Scholl 00]、状況依存性 [Tremoulet 06]、動作不連続性 [Gao 11] などが知られている。電機製品に目や手などの擬人的パーツを取り付けることによって、提示する情報の分かりやすさを向上させる試みもあるが [Osawa 09]、ここでは特に振る舞いの性質に注目した研究を紹介する。

寺田らの研究 [Terada 08] では、目的志向性や随伴性を有する振る舞いを生成する“椅子型ロボット”（図 1(a)）に対して人が意図を帰属するかについて調べている。椅子は人体を特定の姿勢のまま保持するという機能を有するが、椅子そのものは本来受動的であり、機能は人が働きかけない限り顕在化しない。しかし、椅子が目的志向性や随伴性を有する振る舞いをを行うと、ランダムに動く場合よりも多くの実験参加者が椅子に座ろうとした（図 1(b)）。これは椅子が意図の主体として理解されたために、椅子の挙動が機能としてではなく、「着座させよう」という意図として解釈されたためと説明できる。

前節では人工物の機能解釈における恣意性について説明した。機能解釈と同様に意図帰属も恣意的になされる [Sperber 86]。寺田らの椅子を用いた研究によっても、椅子の振る舞いに対して様々な意図が帰属されることが示されている。例えば随伴的に動く椅子に対して、「自分を避けるように動いている」という意図を帰属する実験参加者と「椅子は自分の方へ向かってきている」という正反対の意図を帰属する実験参加者がいた [Terada 07]。すなわち、随伴性や目的志向性という意図帰属のトリガーとなる振る舞いだけでは、特定の意図を正確に伝えることは難しい。この問題は言語情報を提示することによって解決されるが、意図帰属がなされなければ機械の発話に意味を見いだせないことも事実である [岡田 95]。

2.3 騙すロボット

機械に対しての意図帰属を継続させることは容易ではない。例えば、随伴的な振る舞いをする機械に対して、インタラクションの初期ではエージェンシー（意図）が感じられるかもしれない。しかし、随伴性を特定のセンサ入力に対する動作出力というアルゴリズムで法則化してしまうと、とたんにエージェンシーは消滅してしまう。寺田らは、機械認知とエージェント認知の本質的な違いを定型性逸脱によって説明している [寺田 12]。これは、人は機械に対して法則的・定型的な振る舞いをするとい



(a) ロボット (b) ロボットに駆け寄る参加者

図2 だるまさんがころんだを行うロボットを用いた定型性逸脱仮説の検証実験

うモデルを持ち、人のような意図的主体に対しては、「ある程度の予測不可能性 = 定型性の逸脱」を持った振る舞いをするというモデルを持つのではないかという仮説である。すなわち、意外な振る舞いを生成し続ける主体に対して人らしさの知覚が維持されるというものである。

寺田らによる騙すロボットの研究 [寺田 11] では、ロボットが定型性を逸脱する（予測を裏切る）ような振る舞いをした場合に騙すという意図が帰属されるかどうかについて調べている。狼少年が信用を失うように、常に嘘ばかり言っていると信用されなくなる。すなわち、騙しが成立するためには、通常は本当のことを言うなどして相手を信用させなければならない（正直者というモデル化を誘導する）。一方で、常に正直に振舞っていると、競合状態においては、容易に搾取される。従って、騙しが成立する条件は、正直な（定型的）行動と裏切り（逸脱的）行動の適当な比率として記述できる。通常、機械が定型性を逸脱するのは事故や故障の場合である（設計スタンスによる解釈）。騙しであるという解釈は意図帰属を行わなければ発生しないので、ある振る舞いに対して騙されたと感じることはその振る舞いに対して意図帰属を行ったという証拠になる。

寺田らは、機械であるロボットがこのような合目的定型性逸脱を行った場合に、意図性が感じられるかどうかをロボットと人が「だるまさんがころんだ」を行う実験を行うことで調べた（図2）。実験参加者は、鬼であるロボットが壁の方を向いて「だるまさんがころんだ」を唱えている間にロボットに近づき、ロボットの背面のボタンスイッチを押下することと、ロボットが参加者の方へ振り返った際には動きを同定されないように静止することを求められた。ロボットはゲーム開始時から一貫して一定速度で唱え、一定速度で振り返ることを繰り返した。統制条件ではロボットは最後まで定型性を崩さなかったが、裏切り条件では参加者がボタンスイッチを押下しようとした際に唱える速度を急激に上げ素早く振り向いた。実験結果によって、ロボットが最初から最後まで定型的

に振る舞っていた場合に比べて、途中で唱詠速度を急に上げて素早く振り向いた場合に実験参加者が有意に騙されたと感じていたことが分かった。

機械が意図的主体であるとユーザに錯覚させることで、機械の振舞いがアルゴリズムレベルではなく目的レベルで解釈され、容易に理解されるようになる。目的を持った主体であることの認識を発生させるためには、先述のような物理的運動による自己推進性や目的志向性、随伴性の提示がある程度有効かもしれない。しかし、高度な知性を持った意図的主体であることの認識を発生させるためには、それらの単純な運動要素の提示ではなく、適切なタイミングで逸脱するというインタラクションの中で感じられる目的志向性を埋め込むことが有効だと考えられる。

3. 認知的負荷をかけずに人を動かす技術

3.1 周辺認知テクノロジー PCT

§1 情報通知の問題点とその解決法

現在オフィスや家庭において PC が広く利用されており、そのディスプレイ上では、様々な情報がユーザに通知される環境となっている。そのような通知は、情報通知 (information notification) [Iqbal 10a] と呼ばれ、例えば、メールの着信、マイクロブログの書き込み、OS やアプリケーションのアップデートなど種々様々な内容が通知情報として、日々ユーザに通知されている。これらの情報通知は、最新の情報をプッシュして知らせしてくれる利便性はあるものの、アプリケーションやチェックする必要のある情報の増加と共に、適切でないタイミングで現れる情報通知がユーザの作業に干渉して、ユーザが本来のタスクに集中できなくなる問題が生じる [Iqbal 10b]。

この問題に対して、人間の認知・知覚特性を利用して、ユーザモデルを持たずに適切なタイミングで情報通知を行う方法論である PCT (Peripheral Cognition Technology) が提案されている [Yamada 12]。また、その実現型としてリフェラルエージェントとシェイプシフティングデバイスが開発されている。PCT は、「人間の認知・知覚特性を利用して認知的負荷をかけずに人に情報を伝え人を動かす技術」を目指すものであり、その実装型であるリフェラルエージェントとシェイプシフティングの結果が様々な HAI デザインの示唆を与えてくれる。

情報通知の通知対象は、緊急性が高い情報ではなく、電子メール、マイクロブログ、アプリケーションや OS のアップデート通知といった、緊急性はないが受取ることが望ましい情報である。このような情報通知は、ユーザのメインタスク作業に干渉しないように提示されるべきであるが、その方法論は2つに大別される。一つは、ユーザがメインタスクの遂行を休止するなどにより通知情報を受取できる状態を表す割り込み可能性 (interruptibility) をシステムが推定して、割り込み可能 (interruptible) なタ

イミングで情報を通知する方法であり、これまで様々な研究が行われてきた [Horvitz 03, Iqbal 10a, 田中 10]。これらのアプローチは、ユーザ状態の推定を行うアプローチであり、キーボードタイピング、マウス操作、ユーザの画像、アプリケーションの切り替えなどを入力として機械学習やページアンネットなどを用いて割込可能性を推定する。このような手法では、ユーザ状態を正確に推定することが必要であるが、その推定自体が容易ではない。

一方、ユーザの状態推定を必要としないアプローチがある。その典型が、ペリフェラルディスプレイ (peripheral display) と呼ばれる研究 [McCrickard 01, Kim 10] である。そこでは、ユーザ状態を推定せず、「人間は周辺視野にある対象を不正確ながらも大きな認知的負荷なくの認識する」という周辺視 (peripheral vision) に関する人間の認知・知覚特性を利用する。この方法は、前述のようなユーザ状態モデル自体を必要としない方法のため、ユーザモデルレスのアプローチと考えられ、具体的実装には、ディスプレイ上やその近傍の周辺視野領域に通知内容を提示することで、ユーザはメインタスクを実行しながら並列的に通知情報を認識できる。しかし、2つのタスクが並列に行われるため、その認識は明らかに不十分であり、また通知内容も非常に制限される問題がある。

§2 PCT: 周辺認知テクノロジー

以上のような背景から、PCTでは、従来のユーザモデルあり/なしアプローチのよい部分を取り、視野ナローイング、不注意盲などの人間のもつ動的な認知・知覚特性を利用して、ユーザモデルレスでユーザが割込可能状態になった場合に認知的負荷なく自動的に情報通知に気づき、通知情報にアクセスするとウザ組みを提案する [Yamada 12]。また、PCT研究により得られる知見は、HAI[山田 07]における、情報通知エージェントやデバイスの配置、アピランスなどの設計について示唆を与えるものである。

現在 PCT で利用されている人間の認知特性は、視野ナローイング、不注意盲である。視野ナローイング VFN (Visual Field Narrowing)[Williams 95] とは、人間の視野がタスクへの集中度、認知的付加の影響により変化することを意味する。タスクへの集中度が高いときは視野が狭くなり、集中度が下がると視野は広くなる。また、不注意盲 (inattention blindness)[Simons 99] は、人間は注視しないと環境の情報を認識できないという心理学的現象である。これらの認知特性は、後述する PCT の実装型であるペリフェラルエージェントとシェイプシフティングデバイスで利用される。

§3 PCT の実装型 1: ペリフェラルエージェント

PCT の一実装型として開発されているのが、ペリフェラルエージェントである [森 12, Yamada 12]。人間の認識できる視野領域は、あるタスクに集中していると非集中時よりも狭くなることがわかっており [Williams 95]、その認知特性が視野ナローイング VFN と呼ばれる。ペリフェラルエージェントとは、タスクへの集中度により認

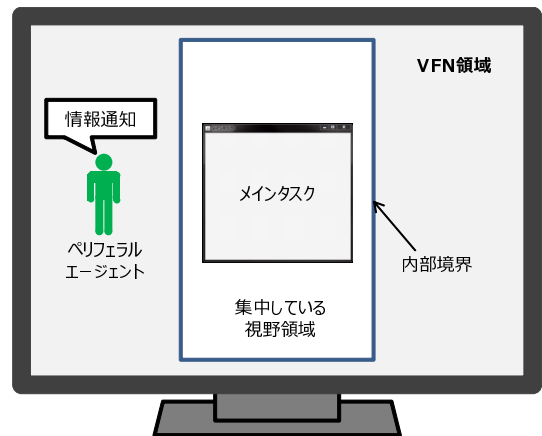


図3 ペリフェラルエージェント

識度が変化する視野領域 (VFN 領域) に配置され、ユーザの集中度が高いときにはユーザに気づかれずに、集中度が下がるとユーザが自動的に気づくという機能を実現する情報通知エージェントである (図3)。その情報通知の機能は、情報通知が発生すると周辺視野領域に出現し、ユーザがクリックすると通知情報をユーザに提示するというシンプルなものである。

VFN 領域が決定できれば、ペリフェラルエージェントをその領域内に設定するだけで、ユーザモデルレスでかつ割り込み可能な時にユーザが自動的に気づく情報通知が実現できる。VFN 領域は PC モニター上の矩形閉領域として定義される (図3の“VFN 領域”) が、その領域は定量的に決まっていないため、参加者実験により VFN 領域の内側境界 (図3) の下限値を推定するめモデル構成実験を行った。参加者実験には、Dark Room に似た集中できる環境 (図4) で 23 インチ液晶モニターの中央にスクロール表示される文字列をタイピングするメインタスクを採用した。そこで、タスク作業中にモニターの上下左右斜め方向の端から徐々に中心に向かってエージェントを表示し、ユーザがエージェントに気がついた時点でフットスイッチ (図4の赤丸) を踏んでもらった。その結果をプロットしたものが、図5 (平均値を青線で結んでもの標準偏差) である。モニター画面は真っ黒であるため、この平均値は内部境界の下限値と考えられる。また、VFN 領域のもう一つのパラメータである VFN 領域の中心 (モニター上のユーザの視点) は、様々なシンプルな手法 [Huang 12] により推定可能としている。

ペリフェラルエージェントの有効性は、メインタスクの難易度を変えることでユーザの認知的負荷をコントロールした実験環境で、提案方法が実際に「ユーザの認知的負荷が高いときは通知に気づかず、認知的負荷低くなると自動的に気づく」という PCT の目指す機能が実現されているかを従来法の情報通知と比較して評価を行う。

ペリフェラルエージェントの研究が、認知的アプローチとして「人を動かす HAI」デザインに与える示唆は、人

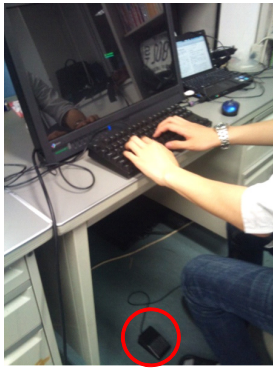


図4 モデル構成の実験環境

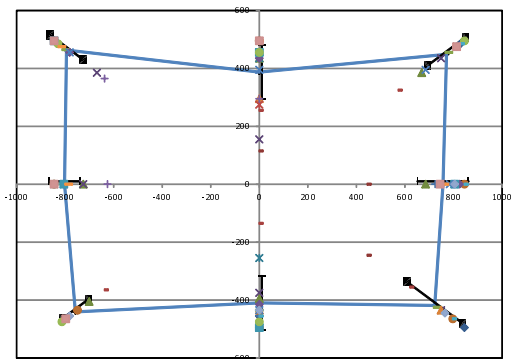


図5 VFN 領域の計測データ

間のメインタスクに干渉せずに情報を伝えるためのエージェントのピアランス、提示位置の決定方法を提案し、実験的にその妥当性を示していることである。

§4 PCTの実現型2: シェイプシフティングデバイス

シェイプシフティングデバイスとは、緩やかに機器の姿勢を変化させてユーザの注意を奪わずに情報通知を行うデバイスである [小林 12a]。このデバイスでは、VFN や不注意盲などの見えているのに気づかない特性を利用して、姿勢変化中はユーザに気づかれぬように非常にゆっくりと静かに変化が進行する。ユーザは作業への集中が低下したときに初めてデバイスの変化に気が付き、情報通知が成立する。変化後は一見して変化に気づくように設計することが重要である。情報通知を行う機器として携帯電話が想定されており、その実現方法の1つとして図6に示す台座型デバイスが開発された。このデバイスでは、外部から情報を受信したとき携帯電話をゆっくりと起き上がらせて(図6の①~④)情報通知を行う。これにより、変化中はユーザに気づかれず、変化後は一見して姿勢の違いに気づきやすい状況を作り出している。

ユーザの気づき方とその状況に関するデータを収集するため、約2週間にわたって開発したシェイプシフティングデバイスを利用した実験が実施された。デバイス上には携帯情報端末(iPod touch)が設置され、1-3分間隔でランダムに姿勢を変化させて通知を行った。通知の際



図6 気づかれずに通知するシェイプシフティングデバイス

には1分かけて45°まで起き上がる設定とした。ユーザは通知に気づく度に端末に表示されるアンケート画面で気づき方と状況に関する質問項目に回答した。使用状況を分析した結果、注意を奪わずに(作業中断なしに)通知できた割合は全通知数の45%であり、作業を邪魔した割合は20%であった。また、デバイスの動作ログから、通知に気づいた数は全通知数の37.9%であり、見逃しが多い点が課題として示された。

通信網の整備と小型デバイスが普及した現代社会では、人間は外部から非常に多くの刺激を受け取り、否応なしに反応してしまう。しかし、インタラクションデザインとしては、人間を無闇に動かすのではなく「適切に」動かすことが重要である。その点においてシェイプシフティングデバイスでは、「人を動かさない」ことで適切に「人を動かす」ことを狙ったアプローチだといえる。

3.2 Artificial Subtle Expression による内部情報伝達

ASE (Artificial Subtle Expression) とは、エージェントの内部状態をユーザに伝達することを目的としてわずかに情報を変化させる人工的な表出方法である。人間同士のコミュニケーションにおいては、表情や視線といった非言語情報の些細な変化であっても心的状態を伝達しており、そのような表出は subtle expression と呼ばれている。ロボットや擬人化エージェントにおいても、この subtle expression を用いて人間とのコミュニケーションを円滑化する研究が行われている。しかし、わずかな動作を行うにも多くの関節や自然かつ緻密な動作が求められ制御が複雑になる問題がある。これに対し、ASEでは人間を模倣した subtle expression でなくてもユーザにエージェントの内部状態をユーザに伝達できることが示されている。以下では、明滅光源による ASE と、ピーブ音による ASE の研究事例を紹介する。

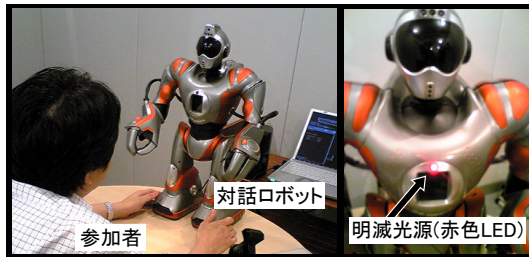


図 7 明滅光源が埋め込まれた対話ロボット

§ 1 明滅光源による ASE

船越ら [船越 09] は、人間とロボットとの音声対話において明滅光源による ASE を用いてロボットの内部状態表出を実現している。一般にシステムとの音声対話では、人間の発話とロボットの発話とが重複することで円滑な話者交替が阻害される発話衝突の問題がある。この研究では、その原因の 1 つである言い直しを抑制することを目的とし、高さ 50cm ほどの人間型ロボットの胸部に直径 4mm の赤色 LED を埋め込み (図 7)、それをロボットが返答するまでの間に明滅させて「考えている」という内部状態を表出させている。実験ではユーザとロボットとのしりとり対話において、明滅条件と非明滅条件とが比較された。しりとり対話においては、WOZ (Wizard-of-Oz) を採用して参加者からはロボットが自律的に動作しているように見せ、参加者の発話した単語をオペレータが聞き取ってシステムに入力した。単語が入力されてから、0~15 秒間でランダムに発話待機時間が決定され、明滅条件ではその間に LED が明滅した。参加者の言い直し回数やロボットの印象などを調査した結果、明滅条件では不要な言い直しが抑制され、ロボットを誠実で心が広いと評価することが示された。参加者には、明滅の意味について何ら説明されていないが、多くが「考えている」と解釈していた。

ホテル予約対話実験 [船越 11] においても同様に、明滅光源を用いることで発話衝突が減少し、ユーザに安心感を与えることが示された。実験ではロボットの応答速度を速くした条件と遅くした条件が設けられた。ロボットの応答速度が遅い場合、ユーザの発話終了を音声認識器が検出しやすくなり、発話衝突を避けられる利点がある。しかし、応答が遅いことでユーザが同じ内容を繰り返したり、言い換えたりする可能性があり、これが発話衝突の原因となる。また、応答が遅いことでユーザをじらしてしまい、印象を低下させる可能性もある。遅い返答速度によるそのような悪影響が予測されたが、48 名の参加者のデータを分析した結果、ロボットの応答が遅い場合には発話衝突が減少し、明滅光源を導入することでユーザに安心感を与えられることが統計的に示された。

§ 2 ビープ音による ASE

小松らは、選択課題においてシンプルなビープ音による ASE によって確信度の伝達を行っている [小松 10a,

Komatsu 10b]。この実験では、選択課題として宝探しゲームが採用され、参加者は 3 つの盛り土の中から金貨が隠された 1 つを探し当てるように指示された。盛り土選択は 20 回繰り返され、その都度画面横に置かれているロボットが金貨の隠されている場所を予想し、合成音声にて参加者に助言した。その合成音声に続いて 2 種類のビープ音のうち一方が再生された。一つは抑揚がない音声 (基本周波数 400Hz, 0.5 秒)、もう一つは下がり調子の抑揚の音声 (基本周波数 400Hz から 250Hz に変化, 0.5 秒) であった。このビープ音は確信度を意図して設計されており、抑揚がないものは助言に自信があり、下がり調子の抑揚は自信がないことを表す。実験では、参加者にロボットはある程度の確率で宝の位置を推定できること (具体的な確率には言及なし) が説明されたが、ビープ音に関しては何ら説明を行わなかった。参加者にはビープ音に関する予備知識がまったくなく、金貨の有無も選択後に示されないため、選択を繰り返してもビープ音の意味を合理的には解釈できない。それにもかかわらず、下がり調子のビープ音が提示された場合には、ロボットの提案が統計的に有意に拒否されており、提示したビープ音が直観的かつ正確に解釈されていることが示唆された。

また、小松らは、誤認識や設計上の制約のためにエージェントからユーザに提示される情報が常に正しいとは限らないという問題に着目し、確信度とその表出方法がエージェントの印象に与える影響を調査している [小松 12]。実験では、確信度の表出方法として、上記の実験と同様の 2 種類のビープ音と、パラ言語情報、言語情報が用いられ、金貨の位置を発話したあとに条件に応じて 1 つの音声再生された。抑揚が一定のビープ音、早口で断定的な口調の合成音声によるパラ言語、「 です! 」という断定を表す言語情報が高い確信度の音声として用いられた。また、下がり調子のビープ音、ゆっくりとして語尾が上がり調子になる合成音声によるパラ言語、「 かもしれません 」という言語情報が低い確信度の音声として用いられた。上記の実験と異なり選択後に金貨の有無が示されるため、参加者はゲームを繰り返すうちにエージェントの確信度がどの程度信頼できるのかを推定できる。確信度とその結果が高確率で一致する条件と、低確率でしか一致しない条件を設け、エージェントが参加者に与える印象についてアンケート調査したところ、確信度が低確率でしか一致しない場合にビープ音の印象点が高く、エージェントが不確実な情報を提供せざるを得ない場合には、ビープ音のような ASE を用いるほうが適切であることが示唆された。

このように、ASE の利点は、コストを抑えた実装と事前知識なしで直観的に理解できる点であり、シンプルな明滅光源や人工音声でユーザの協力を自然に引き出せ、システムにとって都合のよい状態を作り出せる可能性がある。システムの不足を補うように自然に「人を動かす HAI」技術として今後の進展が期待される。

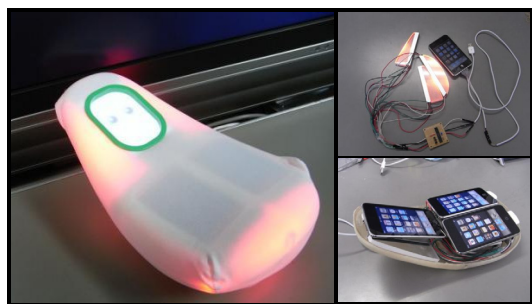


図8 リモコンロボット Rebo とその内部構造

3.3 リモコンロボット：Rebo

Rebo(リーボ)とは、リモコンとして動作するペットのような存在感を付与したエージェントである [Kobayashi 12b]。Rebo は、リモコンが抱える問題のうち、操作しにくさ、機能の見つけにくさに着目してデザインされた。一般に、ユーザは目的のボタンをリモコンから探して押すが、制御したい機器は離れた場所にあるため、手元のリモコンと遠くの機器とを交互に見ることを繰り返さなければならない。また、マニュアルを読まずに新しい機能を発見することは難しい。これらを解決するように Rebo は設計されたが、そのような新しい技術や機器は導入時に拒否されたり、有用でないとみなされる場合がある。そのために、ユーザが機器への理解を深め協力するアプローチ [Sung 07] を採用し、親和性を高めるためにペットのような存在として受け入れられるように Rebo の形状がデザインされた (図8)。

Rebo の利点は、なでる操作、機能発見、親和性の3点であり、テレビリモコンの機能が組み込まれた。Rebo の表面を左右になでるとチャンネルの切り替えに、上下になでると音量の調整になる。また、長く触れることで画面のオンオフを切り替えられる。各操作時には、機能実行の進捗を表す連続的なフィードバック(部分実行)を返すように設計した。具体的には、左右に少しなでると映像が再生されながら連続的に映像が左右に動き、画面の端から異なるチャンネルの映像が見えてくる。また、画面のオンオフ時には、触れている時間に比例して画面が徐々に拡大・縮小され、その後オンかオフかが表出される。変化の途中状態で操作を中断すると元の状態に戻るよう設計されており、なでる操作によって手元のリモコンを見なくても、画面の様子から操作と結果が容易に把握できる。Rebo の表面を無造作に触って、自分の意図とは異なる反応が返ってきたときには、操作を中断したり別の操作を行えばよく、試行錯誤による機能の探索ができ誤動作も生じにくい。

一般的なテレビリモコンとの比較実験を実施し、外見の印象や使い勝手、視線の動きについて調査したところ、Rebo のほうが親和性が高く、操作が容易で、手元に視線向ける頻度が少ないことが示された。このように、Rebo ではリモコンにペットのような存在感を与えることで機

械を操作するという負担感を低減させており、容易な操作とリラックスした状態で「人を動かす HAI」技術として有用だと考えられる。

4. ま と め

本稿では、人を動かす HAI をいかにデザインするかについて、認知的なアプローチによる研究例の紹介を中心に考察した。ここでは、「人を動かす HAI」の意味を、人間の物理的行動から情報の受理、獲得という知的行動までの広義でとらえ、これらの行動を誘発する「エージェント 人」のインタラクションデザインについて、人間の認知特性を利用する方法論を研究例を交えて解説した。具体的な方法論としては、「人から人工物への意図帰属によって人を動かす」、「認知的負荷をかけずに人を動かす技術」の2つについて、我々の関与した様々な研究例を紹介し、その研究例から考察される「人を動かす HAI」のインタラクションデザインに寄与できる知見を考察した。ここで議論された知見が、「人を動かす HAI」の具体的なインタラクションデザインに役に立つ示唆を与えることを期待する。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Bassili 76] Bassili, J. N.: Temporal and Spatial Contingencies in the Perception of Social Events, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 33, No. 6, pp. 680–685 (1976)
- [Csibra 08] Csibra, G.: Goal Attribution to Inanimate Agents by 6.5-Month-Old Infants, *Cognition*, Vol. 107, No. 2, pp. 705–717 (2008)
- [Defeyter 09] Defeyter, M. A., Hearing, J., and German, T. C.: A Developmental Dissociation between Category and Function Judgments about Novel Artifacts, *Cognition*, Vol. 110, No. 2, pp. 260–264 (2009)
- [Dennett 87] Dennett, D. C.: *The Intentional Stance*, Cambridge, Mass, Bradford Books/MIT Press (1987)
- [Dennett 90] Dennett, D. C.: The Interpretation of Texts, People and Other Artifacts, *Philosophy and phenomenological research*, Vol. 50, pp. 177–194 (1990)
- [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, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-A, pp. 818–827 (2009)
- [船越 11] 船越 孝太郎, 小林 一樹, 中野 幹生, 小松 孝徳, 山田 誠二: 対話の低速化と Artificial Subtle Expression による発話衝突の抑制, 人工知能学会論文誌, Vol. 26, No. 2, pp. 353–365 (2011)
- [Gao 11] Gao, T. and Scholl, B. J.: Chasing vs. Stalking: Interrupting the Perception of Animacy, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 37, No. 3, pp. 669–684 (2011)
- [Gergely 95] Gergely, G., Nádasdy, Z., Csibra, G., and Bíró, S.: Taking the intentional stance at 12 months of age, *Cognition*, Vol. 56, No. 2, pp. 165–193 (1995)
- [Horvitz 03] Horvitz, E. and Apacible, J.: Learning and Reasoning about Interruption, in *Proceedings of the 5th International Conference on Multimodal Interfaces (ICMI'03)*, pp. 20–27 (2003)
- [Huang 12] Huang, J., White, R., and Buscher, G.: User see, User point: Gaze and Cursor Alignment in Web Search, in *Proceedings of the 2012 ACM Annual Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'12)*, pp. 1341–1350 (2012)
- [Iqbal 10a] Iqbal, S. T. and Bailey, B. P.: Oasis: A Framework for Linking Notification Delivery to the Perceptual Structure of Goal-

- directed Tasks, *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 17, pp. 15:1–15:28 (2010)
- [Iqbal 10b] Iqbal, S. T. and Horvitz, E.: Notifications and Awareness: A Field Study of Alert Usage and Preferences, in *Proceedings of the 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW'10)*, pp. 27–30 (2010)
- [Kim 10] Kim, T., Hong, H., and Magerko, B.: Design Requirements for Ambient Display that Supports Sustainable Lifestyle, in *Proceedings of the 8th ACM Conference on Designing Interactive Systems (DIS'10)*, pp. 103–112 (2010)
- [小林 12a] 小林 一樹, 山田 誠二: Peripheral Cognition Technology を用いた端末の姿勢変化による情報通知, 第 26 回人工知能学会全国大会, pp. 302–OS–3b–4 (2012)
- [Kobayashi 12b] Kobayashi, K., Yamada, S., Nakagawa, S., and Saito, Y.: Rebo: A Pet-Like Stroking Remote Control, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 16, No. 7, pp. 771–783 (2012)
- [小松 10a] 小松 孝徳, 山田 誠二, 小林 一樹, 船越 孝太郎, 中野 幹生: Artificial Subtle Expressions: エージェントの内部状態を直感的に伝達する手法の提案, 人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 733–741 (2010)
- [Komatsu 10b] Komatsu, T., Yamada, S., Kobayashi, K., Funakoshi, K., and Nakano, M.: Artificial Subtle Expressions: Intuitive Notification Methodology of Artifacts, in *Proceedings of the 28th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'10)*, pp. 1941–1944 (2010)
- [小松 12] 小松 孝徳, 小林 一樹, 山田 誠二, 船越 孝太郎, 中野 幹生: 確信度表示における人間らしい表現と Artificial Subtle Expressions との比較, 人工知能学会論文誌, Vol. 27, No. 5, pp. 263–270 (2012)
- [Luo 05] Luo, Y. and Baillargeon, R.: Can a Self-Propelled Box Have a Goal?, *Psychological Science*, Vol. 16, No. 8, pp. 601–608 (2005)
- [McCrickard 01] McCrickard, D. S., Catrambone, R., and Stasko, J. T.: Evaluating Animation in the Periphery as a Mechanism for Maintaining Awareness, in *Proceedings of the IFIP TC.13 Conference on Human-Computer Interaction (INTERACT'01)*, pp. 148–156 (2001)
- [森 12] 森 直樹, 山田 誠二, 小林 一樹: ペリフェラルエージェントによるユーザモデルレスな情報通知, HAI シンポジウム 2012 (HAI 2012), 3-B-1 (2012)
- [岡田 95] 岡田 美智男: 口ごもるコンピュータ, 共立出版 (1995)
- [Osawa 09] Osawa, H., Ohmura, R., and Imai, M.: Using Attachable Humanoid Parts for Realizing Imaginary Intention and Body Image, *International Journal of Social Robotics*, Vol. 1, No. 1, pp. 109–123 (2009)
- [Reeves 98] Reeves, B. and Nass, C.: *The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*, CSLI Publications (1998)
- [Scholl 00] Scholl, B. J. and Tremoulet, P. D.: Perceptual Causality and Animacy, *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 4, No. 8, pp. 299–309 (2000)
- [Simons 99] Simons, D. J. and Chabris, C. F.: Gorillas in Our Midst: Sustained Inattention Blindness for Dynamic Events, *Perception*, Vol. 28, pp. 1059–1074 (1999)
- [Sperber 86] Sperber, D. and Wilson, D.: *Relevance: Communication and Cognition*, Oxford: Blackwell (1986)
- [Stafford 04] Stafford, T. and Webb, M.: *Mind Hacks -Tips & Tricks for Using Your Brain-*, O'Reilly Media (2004)
- [Sung 07] Sung, J.-Y., Guo, L., Grinter, R. E., and Christensen, H. I.: My Roomba is Rambo: Intimate Home Appliances, in *Proceedings of the International Conference on Ubiquitous Computing*, pp. 145–162 (2007)
- [田中 10] 田中 貴紘, 松村 京平, 藤田 欣也: 利用アプリケーション切り替え時に着目したユーザの割り込み拒否度推定法の検討, 人工知能学会論文誌, Vol. 25, No. 6, pp. 683–693 (2010)
- [Terada 07] Terada, K., Shamoto, T., Mei, H., and Ito, A.: Reactive Movements of Non-humanoid Robots Cause Intention Attribution in Humans, in *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 2007 (IROS 2007)*, pp. 3715–3720 (2007)
- [Terada 08] Terada, K., Shamoto, T., and Ito, A.: Human Goal Attribution toward Behavior of Artifacts, in *The 17th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN2008)*, pp. 160–165 (2008)
- [寺田 11] 寺田 和憲, 伊藤 昭: 人間はロボットに騙されるか?—ロボットの意外な振舞は意図帰属の原因となる—, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 5, pp. 43–52 (2011)
- [寺田 12] 寺田 和憲, 岩瀬 寛, 伊藤 昭: Dennett の論考による 3 つのスタンスの検証, 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J95-A, No. 1, pp. 117–127 (2012)
- [Tremoulet 00] Tremoulet, P. D. and Feldman, J.: Perception of Animacy from the Motion of a Single Object, *Perception*, Vol. 29, No. 8, pp. 943–951 (2000)
- [Tremoulet 06] Tremoulet, P. D. and Feldman, J.: The influence of spatial context and the role of intentionality in the interpretation of animacy from motion, *Perception & Psychophysics*, Vol. 68, No. 6, pp. 1047–1058 (2006)
- [Williams 95] Williams, L.: Peripheral Target Recognition and Visual Field Narrowing in Aviators and Nonaviators., *International Journal of Aviation Psychology* (1995)
- [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)
- [Yamada 12] Yamada, S., Kobayashi, K., and Mori, N.: Peripheral Cognition Technology: Approach and Implementation, in *Proceedings of 2012 International Workshop on Human-Agent Interaction (iHAI 2012)*, TW8.0001 (2012)

 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。1989 年大阪大学基礎工学部助手。1991 年大阪大学産業科学研究所講師。1996 年東京工業大学大学院総合理工学研究科助教授。2002 年国立情報学研究所教授。現在にいたる。HAI ヒューマンエージェントインタラクション, 知的インタラクティブシステムに興味をもつ。情報処理学会, 日本ロボット学会, AAAI, IEEE, ACM 各会員。

寺田 和憲 (正会員)

1995 年大阪大学工学部精密工学科卒業。2001 年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。2000 年独立行政法人通信総合研究所特別研究員。2002 年岐阜大学工学部応用情報学科助手。2007 年同助教。知性に関わる哲学的問題に興味を持つ。日本ロボット学会, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, IEEE, ACM 各会員。

小林 一樹 (正会員)

2000 年茨城大学工学部卒業。2002 年同大学院理工学研究科博士前期課程修了。2006 年総合研究大学院大学複合科学研究科博士後期課程修了。博士 (情報学)。同年関西学院大学理工学研究科ヒューマンメディア研究センター博士研究員。2008 年より信州大学大学院工学系研究科助教授。HAI, ICT 農業に関する研究に従事。電子情報通信学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本ロボット学会, 日本知能情報ファジィ学会, ACM 各会員。