

意図的人工物

Intentional Artifacts

寺田和憲*¹ 社本高史*¹ 梅海櫻*² 伊藤昭*¹
 Kazunori Terada Takashi Shamoto Haiying Mei Akira Ito

*¹岐阜大学 *²イビデン株式会社
 Gifu University IBIDEN CO.,LTD.

An artifact's behavior must be easily construed and interpreted as meaningful signals in a social or working context. In order to design such an artifact's behavior, we could exploit human psychological functions - *theory of mind* (ToM) - the ability to interpret other people's behavior in terms of intentional causal mental states such as beliefs, desires and intentions. In order to apply theory of mind to human-robot interaction, the mechanism that trigger intention attribution must be revealed. This paper describes recent findings of our studies, including 1) how intention attribution toward an artifact effects humans behavior, 2) effects of artifact's attention toward humans on intention attribution, and 3) effects of artifact's reactive movements on intention attribution. The result indicated that whether or not humans could construe behaviors of an artifact in terms of its goal depends on how human could attribute intention to the artifact and that attention toward humans and reactive movements would be a cue for such mental state attribution.

1. はじめに

石器から携帯電話に至るまで人間は欲求を実現する手段として、必要な機能を道具として外化することで能力を拡張し、身体的制約を克服してきた。外化された機能を人間の要求に対して過不足なく具現化するためには、その対象を操作しなければならない。ヒューマン-マシンインタフェースの問題は人間の要求をいかに適切に機械へ伝達するかということである。しかし、機械に計算機やアクチュエータが搭載され自律的に動作するようになった現在、これまで人間が行っていた判断についても機械に委ねる場面が多くなり、機械はもはや制御対象ではなくパートナーへ格上げされつつある。このような観点から、人間-機械のコミュニケーションという概念が発生し、様々な研究が行われている。その中で、ノンバーバルはひとつのキーワードであり、多くの研究が行われている [5]。人間同士の対面コミュニケーションにおいて、伝達される情報の 65%以上が身体動作などのノンバーバル情報によって伝達されると言われているため、[1] ノンバーバル的側面を人間-機械のコミュニケーションに取り入れることは有効であると考えられる。

しかし、ノンバーバル情報はスベルベル流に言うと、相手の認知環境を変容させる手段の一つであり、自然言語を発するのと何ら変わりはない [4]。むしろ情報伝達手段としては、自然言語は表現可能な概念の豊富さと論理的な構造があるために強力である。では、何故ノンバーバル情報が重要なのか？スベルベルは伝達意図 (communicative intention) という言葉を用いて、コミュニケーションのブートストラップとでもいふべきものの存在を説いている。伝達意図とは、伝達すべき内容 (伝えようと意図しているもの：情報意図 (informative intention)) そのものではなく、それを伝えようとする意図のことである。伝達意図が伝われば、両者の間で相手の認知環境を変化させ、それに基づいて推論が行われ、情報意図が伝わる。我々は、伝達意図を伝えるための一つの手段としてのノンバーバル情報に注目する。

相手が伝達意図を持っているかどうかを判断することは意

図帰属 (intention attribution) という言葉で置き換えられる。意図帰属とは、相手が意図を持った存在であると仮定することである。これは心の理論 (Theory of Mind) - 他者の振舞を信念、願望、意図などの心的原因に基づいて理解する認知能力 - の核となる機能として考えられている [2]。また、心の理論は他の認知戦略、例えば、飛行物体の軌道を予測する際に用いる素朴物理学のように、有生対象の振舞の理解の際に適用される特別な認知戦略として位置付けられる。

人間-機械のコミュニケーションにおいて発生する齟齬は、多くの場合、機械の振舞を意図のレベルで理解できないことに原因があると考えられる。心の理論を人間-機械のコミュニケーションに取り入れることができれば、機械の振舞を意図に基づいて直感的に理解できると考えられる。そのためには、人間がロボットのどのような振舞に対して意図帰属を行うかについて知る必要がある。発達心理学、社会心理学の分野において、意図帰属を引き起こす要因について、合理性 (rationality)、目的志向性 (goal-directedness)、自発動作 (self-propelled motion)、同結果性 (equifinality) などが報告されている。非生物に対する意図帰属に関する古典的な研究は Heider らの研究である [3]。Heider らは被験者に大小の二つの三角と一つの円が扉つきの矩形のある環境で運動する様子を見せた。被験者の多くは単純な図形の振舞であるのにもかかわらず、図形の振舞を「追いかける」や「戦う」といった人間性 (意図性) を帰属して解釈した。この現象は多くの研究者の興味を引き、さらに簡単な運動や図形を用いて多くの実験が行われ、再確認されている。

心の理論を人間-機械のコミュニケーションに応用しようという試みは少ない [6]。本稿では、これまでに我々が行った、動作する椅子と人間とのインタラクションを観察して得られた知見をまとめる。まず、動作する椅子と人間との比較的自由的なインタラクションを観察することで、人間の心的姿勢が動作にどのように現れるかについて述べる。次に、椅子が人間に常に注意を向けつづけることで、椅子を意図的な存在として認識するかどうかについて調べた結果を述べる。常に注意を向けるというのは明示的な人間への興味を表す。次に、暗黙的な注意として、人間の動作に対するリアクティブな動作が意図帰属に影響を与えるかどうかについて調べた結果を示す。

連絡先: 寺田和憲, 岐阜大学工学部応用情報学科, 〒 501-1193
 岐阜市柳戸 1-1, Tel & Fax : 058-293-2792, E-mail :
 terada@info.gifu-u.ac.jp



図 1: 椅子ロボット

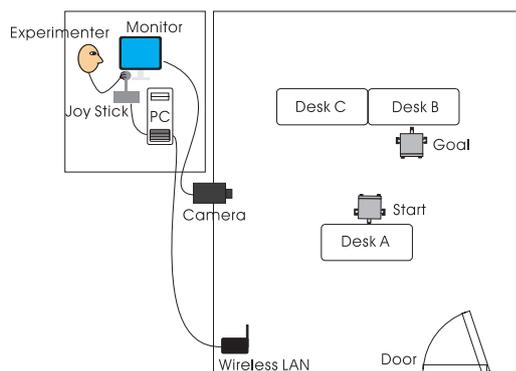


図 2: 実験環境

2. 実験 I: スタンスと行動の関係

本実験では、被験者が遠隔操作する椅子ロボットと人間のインタラクションを観察することで、椅子ロボットに対する心的状態と行動の関係について調べた [6]。

2.1 実験装置と環境

図 1 に本実験で用いた椅子ロボットを示す。これは市販のアルミニウム製の椅子を改造したものである。二つの駆動輪を有し、搭載したコンピュータによって独立して動作する。無線 LAN を搭載しているため、実験者が別室からジョイスティックによって遠隔操作することができる。

図 2 は実験に使用された環境の概略図である。実験者は別の部屋から実験室の天井に取り付けられたカメラを通じて実験室の様子を監視することができる。

2.2 実験方法

被験者に提示する刺激は、実験者がジョイスティックによって操作する椅子の動作である。実験者に課せられた目標は机 B の前で被験者を椅子に座らせることである。そのために、あらかじめ決められたいくつかの動作を実験者の判断で出力した。動作は主に、被験者に対して椅子の注意が向いていることを示す”Direction of Attention Detector (DAD) 誘発動作” と机 B の前で着座を誘う”着座誘発動作” の二つのカテゴリからなる [6]。

被験者は 21 歳から 41 歳までの男性 14 人、女性 7 人の計 21 人である。どの被験者もこれまでに椅子ロボットに接した経験がない。

被験者の行動は実験室の天井に取り付けられたカメラを用いて HDD レコーダに記録した。記録された映像を用いて、被験者の動作を 12 個の動作要素に分類した。これらの動作要素は

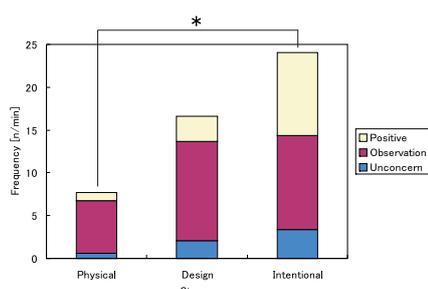


図 3: スタンスと動作頻度の関係

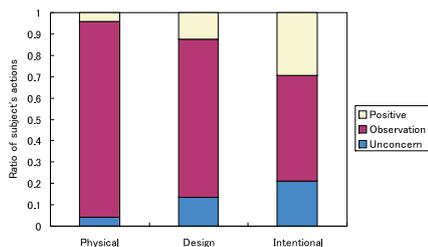


図 4: スタンスと累積動作時間の割合の関係

無関心、観察、積極の三つのカテゴリーに大別される。また、被験者が椅子ロボットに対して Dennett の提案する三つのスタンス (物理スタンス、設計スタンス、意図スタンス)[2] のうちどれをとったかについて質問した。質問の際には具体例を用いてそれぞれのスタンスについて被験者が十分理解できるように配慮した。意図スタンスとは、他者の振舞いの原因を信念、欲求、目的などの心的原因に帰属させることである。設計スタンスは設計原理にもとづいて対象の振舞を理解するスタンスである。物理スタンスは素朴物理学のような物理法則にもとづいて対象の振舞を理解するスタンスである。

2.3 実験結果

被験者が椅子ロボットに対して採用したスタンスは物理スタンスが 3 人、設計スタンスが 7 人、意図スタンスが 11 人であった。以下では、被験者を採用したスタンスによって 3 群に分類し、群間の比較を行う。

スタンスの違いは動作頻度と動作の種類に表れている。図 3 は動作頻度について各カテゴリーごとにまとめたものである。一元配置分散分析 (ANOVA) を行った結果、群間で動作頻度の平均値に差があることが確認された ($F = 6.357, p < 0.01$)。また、Scheffe の方法による多重比較によって物理スタンスと意図スタンスに有意差があることが確認された。これを見ると、動作の発生頻度は物理スタンス群が最も少なく 1 分あたり 8 回、意図スタンス群が最も多く 24 回と物理スタンス群の 3 倍である。また、動作の内訳を見ると、意図スタンス群で積極カテゴリーの動作割合が高く、物理スタンス群で低い。これらは、意図スタンスを採用した被験者が積極的に椅子ロボットと関わる行動をしたのに対して、物理スタンスを採用した被験者が積極的な行動をしなかったことを意味する。物理スタンスを採用した被験者群の消極性は無関心動作のうちの一つ「椅子を見ながら静止」の累積動作時間の割合が 2/3 を超えていたことから裏付けられる。

観察カテゴリー動作の累積動作時間の割合は物理スタンス

群が最も高く、意図スタンス群が最も低い(図4参照)。しかし、この動作の内訳を見ると、物理スタンス群ではほとんどが「椅子を見ながら静止」であるのに対し、設計スタンス群では他の動作も行っている。また、統計的に有意な差はないが、観察カテゴリー動作の中で積極的な観察行動は設計スタンス群で高い値を示している。これは、同じ観察動作であっても、設計スタンス群が積極的な観察であるのに対して物理スタンス群が単に眺めているだけという消極的な観察行動であることを意味している。

積極カテゴリー動作については動作頻度、累積動作時間の割合ともに意図スタンス群が高い値を示している。これは何度も着座を試みたことを意味している。実際には、意図スタンス群と設計スタンス群は両群ともに入室直後の椅子の初動によって着座動作を誘発されて着座を試みた。しかし、その後の椅子ロボットの着座拒否動作に対する反応が両群で異っていた。意図スタンス群はそのまま着座を試みようとしたのに対し、設計スタンス群は着座を試みることを中止し観察行動に移行した。

以上をまとめると、各スタンス群の特徴は、意図スタンス群が積極、設計スタンス群が観察、物理スタンス群が消極と言える。

3. 実験 II: 注意方向と意図伝達

先の実験では椅子ロボットの動作生成は実験者の主観に頼ってインタラクティブに生成されていた。本実験では系統的な手順を用いることによってDAD誘発動作が被験者のスタンスと意図伝達に寄与するかどうかを調べた[6]。

3.1 実験方法

基本的な実験方法は実験1と同様であるが以下の点で異なる。実験は40秒間の慣化期間とその後に続く2分20秒間の着座誘導期間(合計180秒)から成る。両群ともに全期間に渡って動作の間には2秒間の停止を入れる。DAD誘発条件と統制条件の二つの条件を設定する。被験者は19歳から25歳までの男性13人、女性3人の計16人である。どの被験者もこれまでに椅子ロボットに接した経験はない。被験者は、DAD誘発群が男性6人、女性2人、統制群が男性7人、女性1人の二群に分けた。DAD誘発群に対してはDAD誘発動作を含む動作を被験者に提示し、統制群に対してはDAD誘発動作を含まない動作を提示する。

DAD誘発群に対する慣化期間では常に被験者の2m以内に接近し、被験者の方を向き続ける動作を生成した。着座誘導期間では2種類の着座誘導動作をランダムに生成した。

統制群に対する慣化期間では被験者の方向を向かない動作をランダムに提示した。着座誘導期間ではDAD誘発群と同様に2種類の着座誘導動作を提示したが、被験者に正対しないように動くことが異なる。

実験終了後、アンケートを行った。アンケートでは被験者が椅子からどれくらい視線を感じていたかについて調べた。これは以下に示す4項目について5段階で評価をもらった。1.椅子はあなたに視線を送っていた。2.椅子はあなたの様子をうかがっていた。3.あなたが椅子を見たとき、椅子もあなたの方を向いていた。4.椅子の背もたれの前面すなわち、人間が椅子に座ったときに背中が当たる面を前、その裏を後と考えた。

また、被験者が椅子ロボットに対してDennettの提案する3つのスタンスのうちどれを採用したかについて質問した。

3.2 実験結果

表1に各条件における着座の成否、着座成功率を示す。これによると、DAD誘発群で着座成功率が高いことが分かる。ま

表 1: 実験条件と着座誘導の成否の関係

	着座誘導成功 (目的地以外)	着座成功率 (%)
DAD 誘発群	6 (3)	75
統制群	2 (2)	25
合計	8 (5)	50

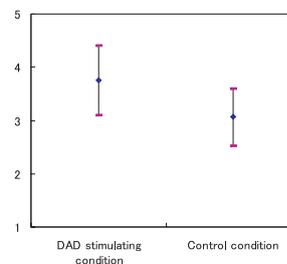


図 5: 被験者の椅子に対する視線感知性

た、目的地での着座はDAD誘発群では3人なのに対して、統制群では0人である。この結果はDAD誘発群で着座誘導の意図が伝達されやすかったことを意味する。

3.3 DAD誘発動作による視線表現

図5に被験者の視線感知性を示す。縦軸は各項目について「全くそう思わない」を1、「あまりそう思わない」を2、「どちらともいえない」を3、「そう思う」を4、「強くそう思う」を5としたときの平均値を表している。t検定によって二グループ間に有意な差があることが確認された($t = 2.31, p < 0.05$)。これによって、DAD誘発群の被験者が統制群の被験者より、より椅子ロボットの注意を感じていたと言える。またこれは、DAD誘発群の被験者は、実験後のインタビューにおいて「椅子が自分の方を向いた」とか「椅子が自分の方を見ていた」といった表現を多用していたことから裏付けられる。

3.4 DAD誘発動作がスタンスに与える影響

図7に被験者が実験中に椅子ロボットに対して採用したスタンスの分布を示す。 χ^2 検定によって2グループ間でスタンスの分布に有意差があることは確認されなかった($\chi^2_{(2)} 4.24, p = 0.12$)。図からDAD誘発群では意図スタンスを採用した被験者が多く、統制群では設計スタンスを採用した被験者が多かったことが分かる。

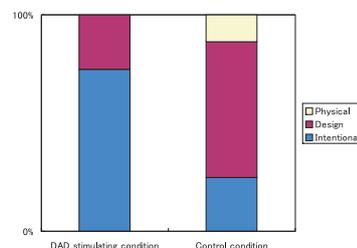


図 6: 被験者が椅子ロボットに対してとったスタンス

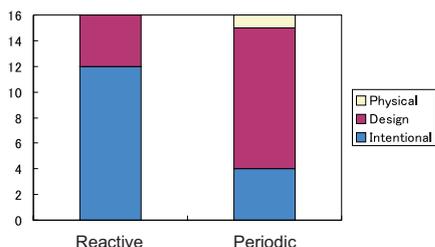


図 7: 被験者の椅子に対するスタンス

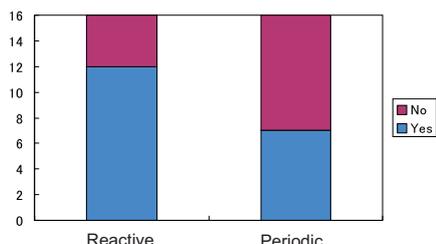


図 8: 椅子の振舞に対する目的帰属

4. 実験 III: リアクティブな振舞が意図帰属に与える影響

先の実験では、DAD 誘発動作が意図伝達に寄与することが明らかになった。本実験では人工物が人間とリアクティブに振る舞うことが意図的な存在として認識されることに貢献するかどうか調べた [7]。

4.1 実験方法

実験条件はリアクティブ、周期 (統制) の 2 条件の被験者内 1 要因計画であった。リアクティブ条件では椅子は被験者の動作直後 (本実験では 0.5 秒後) に動作を出力した。被験者の動作はカメラからの映像に閾値以上のオプティカルフローが検出された場合と定義した。周期条件では椅子は 5 秒間隔で動作した。生成する動作系列はあらかじめランダムに生成された系列であるが、どちらの条件においても同一であり、生成するタイミングだけが異なる。生成される動作要素は 6 種類であり、前進、後退、回転等の単純なもので、持続時間は 1 秒または 2 秒である。

被験者の動作は次の基準に従って 3 つのカテゴリーに分類した。(1) Observing: 関心を持って椅子を見ていたり観察する動作。(2) Interrupted: 椅子の動作によって影響を受けた被験者の動作。(3) Probing: 椅子がどのような反応を示すか試す動作。

また、被験者が椅子ロボットに対して Dennett の提案する 3 つのスタンスのうちどれを採用したかについて質問した。

4.2 実験結果

McNemar 検定によって椅子の振舞に対して採用したスタンスに条件間で有意な差があることが認められた ($\chi^2_{(3)} = 8.00$, $p < 0.05$)。リアクティブな動作を提示された被験者の方が周期的な動作を提示された被験者より意図スタンスを採用する傾向にあったことがわかった。

周期的な動作を提示された被験者は、椅子の動作をランダムな動きだと感じたとして報告した。一方で、リアクティブな動作を提示された被験者は「椅子は座られないように逃げていた」

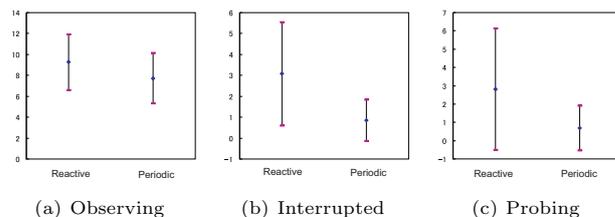


図 9: Motion analysis result for human-chair interaction.

や「椅子は自分の方に向かってきた」などと報告した。これは、椅子のリアクティブな動作が自動的な目的帰属を引き起こしたものと考えられる。

リアクティブ条件の 75% の被験者が椅子の動作に目的があると回答した一方で、周期条件では 44% であった。ただし、McNemar 検定の結果、2 群の間で有意な差はないことが確認された ($\chi^2_{(1)} = 3.20$, $p = 0.073$)。

動作分析の結果に対して t 検定を行った結果、いずれの動作についても条件間で動作頻度に有意な差が見られた (observing actions: $t = 2.74$, $p < 0.05$; interrupted actions: $t = 2.80$, $p < 0.05$; probing actions: $t = 2.94$, $p < 0.05$ (図 9 参照)。これは、リアクティブな動作が人間の活発な動作を誘発したものと考えられる。

5. おわりに

人間が機械を意図的な存在だと認識すると、人間-機械のコミュニケーションにおける多くの問題が解決する。重要なことは、機械が実際に意図を持つことではなく、意図を持っていると人間に思わせることである。本稿では、人間が一旦機械 (例えば椅子であっても) を意図を持つ存在として仮定すると、自動的に意図を付与して振舞を理解すること示した。意図帰属を誘発するための人工物の動作として、注意を向ける動作とリアクティブな動作について注目し、心理実験によって効果を確かめた。

参考文献

- [1] Michael Argyle. *Bodily Communication*. Methuen & Co., 1988.
- [2] Daniel C. Dennett. *The Intentional Stance*. Cambridge, Mass, Bradford Books/MIT Press, 1987.
- [3] Fritz Heider and Marianne Simmel. An experimental study of apparent behavior. *The American Journal of Psychology*, Vol. 57, No. 2, pp. 243-259, 1944.
- [4] Dan Sperber and Deirdre Wilson. *Relevance: Communication and Cognition*. Oxford: Blackwell, 1986.
- [5] 黒川隆夫. ノンバーバルインタフェース. オーム社, 1994.
- [6] 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. 23-22, 2007.
- [7] 社本高史, 寺田和憲, 伊藤昭. 人工物の同調的な振舞が意図理解に与える影響. *ヒューマンインタフェースシンポジウム*, 2006.