

Pelat:おぼつかなさを有するロボットと人との関わりについて

Pelat:Human-robot interaction derived from a robot's unstable behaviors

堀田 大地^{1*} 伊藤 夏樹¹ 竹田 泰隆¹ P.Ravindra De Silva¹ 岡田 美智男¹
Daichi hotta¹ Natsuki Ito¹ Yasutaka Takeda¹ P. Ravindra De Silva¹ Michio Okada¹

¹ 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

¹ Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

Abstract: We will be excited when infant began to walk with unstable behaviors. If somebody is just about fallen on the floor even a little, it would hold out our hand unintentionally. The concept is considered as unstable behaviors and unreliably has power to move/ elicit our behaviors. To clarify the above aspects of relationship between the robot and human, we have developed a Pelat inverted pendulum type robot that is capable to produces the unstable behaviors. Through this study, we described the Pelat's design, concept and unstable behaviors that bring out the unintentional behaviors of human from the results of the experiment.

1 はじめに

幼児のおぼつかない足取りは周囲の手助けを思わず引き出してしまうという点で興味深い。ようやくヨタヨタと歩き始めた幼児の姿を周囲の人が固唾をのんで追いかける。幼児が少しでも倒れそうになるならば、思わず手を差し伸べてしまいたくなるだろう。このような状況において、私たちの身体は思いがけず揺り動かされてしまう。

他者の身体を揺り動かす手段には、相手を押したり引いたりする「物理的な手段」や、情報を提供して相手の行動を促すような「情報的手段」が考えられる。しかしおぼつかない幼児の振る舞いは「物理的な手段」とも「情報的手段」とも異なる方法で、私たちの思わず手を差し伸べてしまう様な行動を引き出している。

一方で、ロボットの振る舞いに思いがけず行動が引き出されることもある。二足歩行ロボットの動歩行を初めて目にしたとき、私たちは幼児に対するそれと同様の体験をしたことだろう。また、筆者らの開発した「ゴミ箱ロボット」でも、周囲の人から思わずゴミ拾いを手伝ってしまうという振る舞いを引き出すことを確認している [1]。このように私たちの身体が思いがけず揺り動かされてしまうような方略をロボットが持つことは、人とロボットとの共生を目指す上でも興味深く、人とロボットとのインタラクションについて議論する Human-Robot Interaction (HRI) や社会的なロボティ

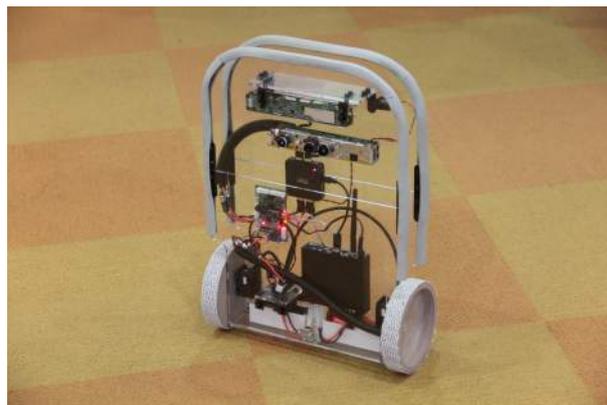


図 1: 倒立振り子型ロボット「Pelat」

クス (social robotics) の分野においても重要なテーマのひとつと考えられる。

本研究では、ふらふらとした倒立振り子の振る舞いを参考に、重力にさからいながらおぼつかない動きで私たちと距離を調整しあうロボット「Pelat」を設計し、その実装を行った (図 1)。Pelat は、上で述べた幼児の足取りの例のように、思わず人の身体が揺り動かされてしまうインタラクションを引き出すことを狙いとしている。また、おぼつかない動きに引き出される人のロボットに対する構えを観察するために、ロボットに対するインタラクション実験と主観評価実験を行った。こうした思わずの人の振る舞いを引き出す方略を探ることで、自然にコミュニケーションの場に引き込み、持続的な人とロボットのインタラクションの実現

*連絡先: 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 F1-404
E-mail: hotta@icd.cs.tut.ac.jp

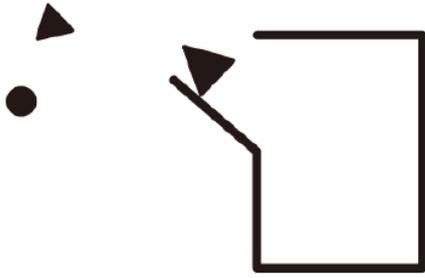


図 2: Heider らが実験したフィルムの様子

を目指している。

本稿では次の構成に従い、これらの詳細を述べることにする。まず 2 章では、本研究の背景について整理する。また 3 章ではおぼつかない振る舞いのロボット「Pelat」の実装内容について述べる。4 章では、ロボットに対する評価実験、5 章ではその結果と考察について整理する。6 章では総合的な考察と今後の展望を述べる。

2 研究背景

2.1 人工物に対する帰属傾向

私たちは動くものをどのように捉えているのか、ここでは Heider の行った心理実験と Dennett の志向姿勢に関する議論を手がかりに考えてみたい。Heider らは、図 2 に示すような、丸や三角などの 3 つの図形が動き回る動画を実験参加者に見せ、図形の様子を答えさせる古典的な心理実験を行った [2]。実験参加者の多くは、それらの図形に対して「ためらった」「あきらめた」などの心の状態を表す説明をしたという。このように、その対象が図形のような非常にシンプルなものであっても、動きや周囲との関わり方などの条件によっては、人は心があるかのように解釈してしまう。

Dennett によれば「なにか動いているもの」を見たとき、その動きを説明しようと下記の 3 つの構え (stance) のうちどれかを取るとする [3]。

- 志向姿勢 (志向的な構え)
- 設計姿勢 (設計的な構え)
- 物理姿勢 (物理的な構え)

志向姿勢とは、対象の動きが意図や信念を伴った合理的な行為者 (rational agent) であると説明する構えである。また、設計姿勢とは、対象の動きがすでに設計デザインされたものであると説明しようとする構え

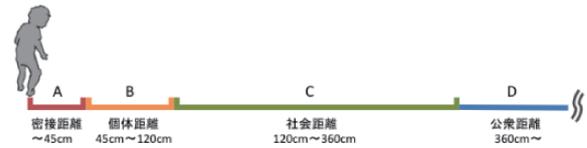


図 3: ホールによる対人距離の分類

であり、物理姿勢は、対象の動きが物理的な法則に従ったものであると説明しようとする構えである。

例えば「石ころ」が転がってきて、「何かにぶつかったためだ」と解釈しやすい (物理的な構え)。目覚まし時計が鳴ったとしたら、その仕組みがわからなくとも誰かがセットしたとおりに機能したのだろうと解釈しやすい (設計的な構え)。エサを運ぶ蟻に対しては、その行為を蟻の欲求・意図によるものだと解釈しやすい (志向的な構え)。

しかし、蟻が私たちの思いがない行為を促す場面は多くない。このことから、私たちは自身の身体を思いがけず揺り動かす存在に対して、「志向的な構え」に加え、別の観点からも対象を捉えていると考えられる。

2.2 関係としての同型性

幼児や二足歩行ロボットのおぼつかない足取りに私たちの身体が思わず揺り動かさってしまうのは、彼らが私たちと同型な身体の性質を備えているからであるとも考えられる。ここで二足歩行ロボットは、単に人と同じ手足を備えている点で同型な身体なのではないことに留意したい。つまり私たちと同じように環境とかわり、その環境との切り結びの様式が同型なのである。

以下では、人と同じ身体構造をもつという意味の同型性を「実体としての同型性」、環境とのかかわりからもたらされる同型性を「関係としての同型性」と呼ぶ [4]。すると、私たちの身体に備わった手足の役割や価値は周囲との関わりの中で事後的に立ち現れるものであると考えることができる [5]。この考えに基づけば、私たちが思わず手を差し伸べてしまうあるいは、私たちの身体を揺り動かすような方略をロボットが持つためには必ずしも「実体としての同型性」を有する必要はない。むしろ、自身の行為に意味や役割を完結した形で与えられない不定さをもって、歩行という行為を大地とともに「委ねる／支える」という関係を築きながら行なっている存在、私たちと「関係としての同型性」をもった存在がみせるおぼつかない足取りに私たちの身体は思いがけず揺り動かされるのだと考えられる。

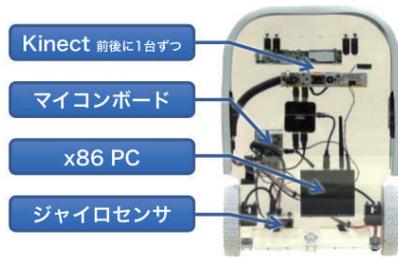


図 4: Pelat 内部機構

2.3 パーソナルスペース

本研究では実世界に身体を有する人とロボットの間で生まれる、思わず身体が揺り動かされてしまうインタラクションについて考える。思わず身体が揺り動かされてしまうような関わりでは、インタラクションを行う者同士の距離が密接に関係していると考えられる。自分から遠く離れた場所で歩く幼児に、思わず身体が揺り動かされることは少ないだろう。さらにディスプレイに表示されたエージェントに思わず身体が揺り動かされることも考えにくい。

人の動く対象に対する構えを探る手がかりとして、その対象との距離の調整がある。社会学者のホール (E. Hall) は、人と人との間にその関わりモードに応じて、(a) 密接距離 (intimate distance, 45cm 以内), (b) 個体距離 (personal distance, 45-120cm), (c) 社会距離 (social distance, 120-360cm), (d) 公衆距離 (public distance, 360cm 以上) などの対人距離が存在することを指摘している (図 3) [6]。これらの差異は文化の差などを議論する手掛かりとなると述べている。本実験の後半では、ロボットと人の距離や、インタラクションの経過時間によって変化する距離の調整行動を観察し、ロボットに対する構えを考察する。

3 関係としての同型性を備えるロボット

3.1 倒立振子型ロボット Pelat の構築

本研究では、ふらふらとした倒立振子の振る舞いを参考に、重力を感じながらおぼつかない動きで私たちと距離を調整しあうロボット「Pelat」を構築した。

「Pelat」は自身のおぼつかない動きに不定さをもっている点や、歩行という行為を大地とともに「委ねる／支える」という関係を築きながら行なっている点で、私たちと「関係としての同型性」をもった存在といえる。

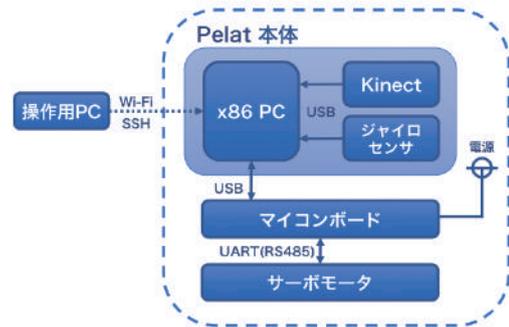


図 5: 本体構成概略図

3.2 ミニマルデザイン

ロボットとの社会的なインタラクションをデザインするためのひとつの考えとして、「ミニマルデザイン」と呼ばれるものがある [7]。この「ミニマルデザイン」のねらいは、外見や機能的な制約があることを前提とした上で、周囲の状況や文脈の変化による人の意味付け行為を利用し、人からの積極的な関わり (対人的な行動) を引き出す事である。「Pelat」の身体には手足がなく、外見や機能に制限をもたせている。このように「ミニマルデザイン」に依拠して作られた「Pelat」は、実体としての同型性を避けながら、むしろ「関係としての同型性」を顕在化させることを目的としている。

3.3 ハードウェア構成

「Pelat」は上記のコンセプトを実現するために最小限の要素で構成されている (図 4)。図 5 に示すように、Pelat のシステムは小型 PC (FitPC2) を中心に、モータ、モータの制御やセンサからのデータを取得するマイコン (SH2)、本体の傾きを検出するジャイロセンサ、Kinect、バッテリー、無線 LAN を備える。まず、主な役割を持つ構成要素の詳細を解説する。

Kinect: Pelat には、前面と背面に 1 台ずつ深度センサデバイス「Kinect」が搭載されている。RGB カメラ、深度センサが搭載されており、センサに映った人への距離などを得ることができる。

マイコンボード: モータやセンサの制御を行うためのマイコンボードであり、SH2 マイコンと電源回路などの周辺回路で構成されている。Pelat の構成では、車輪を回すためのサーボモータの制御に用いている。

x86 PC: Pelat にはロボット全体の管理・制御を行うために小型の x86 PC (CompuLab 社 Fit-PC3) が搭載されている。表 1 にこの PC のスペックを示す。

ジャイロセンサ: 倒立振子制御を行うため、ロボットの傾きや、加速度を計る 6 軸ジャイロセンサ (ZMP 社 IMU-Z Lite) を搭載している。

表 1: x86 PC スペック

	Fit-PC3
CPU	AMD G-T40E 1.0GHz (Dual Core)
GPU	RADEON HD6250
メモリ	4GB
OS	Ubuntu 12.04 LTS

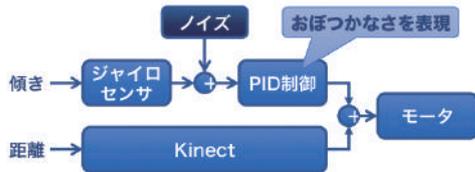


図 6: 動作原理

3.4 動作原理

図 6 に Pelat における倒立振り制御を実現するための原理を示す。Pelat はジャイロセンサを利用し本体の傾き、加速度を検知する。この値を利用し、PID 制御を用いることによって自立を実現させている。Pelat では振る舞いにおぼつかさを付加するために、PID 制御に与えるセンサの実測値にノイズを加算している。これにより自らバランスを崩し、立ち直すことで「不定さ」を備えつつ大地とともに関係を築きながら行う「動歩行」を表現している。この振る舞いに加え、Kinect から前後にいる人の距離を取得し、人との距離を前後に調整する制御を行っている。

4 実験

4.1 実験概要

本実験の目的は Pelat の振る舞いの変化によって、帰属傾向にどのような影響があるかを調査することである。Pelat のおぼつかない振る舞いに対する、人の距離調整の変化や主観評価による人の構えの変化から考察を行う。実験では Pelat とのインタラクションのタスクを行ってもらい、質問を用いて印象を評価してもらうという手順で行う。Limesurvey を用いて印象評価のための web ページを作成した。



図 7: 実験の様子

4.2 実験方法

今回の実験では、Pelat の安定モードと不安定モードの二種類の動作モードのインタラクションに対する振る舞いを比較する。二種類の動作モードは、上の動作原理で述べた通り、PID 制御による安定モードと制御に与えるセンサの実測値にノイズを加算して生成した不安定モードを用意した。実験では、安定モードを A 条件、不安定モードを B 条件とする。

実際の実験の様子を図 7 に示す。実験参加者にはスタートライン (図 7 右側) からゴールライン (図 7 左側) に Pelat を誘導してもらうタスクを設定した。Pelat は Kinect によって正面に人を認識すると人の方向に進むように制御した。試行中、スタートラインからゴールラインに誘導する際の人と Pelat の距離を記録した。試行後、実験参加者は印象評価のための質問に回答した。この試行を各実験参加者に対して、A 条件と B 条件で行う。各条件の体験した順番の影響を避けるため、実験参加者に対して A 条件と B 条件を交互に行い、カウンターバランスを考慮した。

4.3 質問紙

各条件の試行に対する実験参加者の主観評価を得るために、以下のような質問項目を用意した。それぞれの質問項目は 5 段階で評価する (5:とてもあてはまる, 4:あてはまる, 3:どちらでもない, 2:あまりあてはまらない, 1:あてはまらない)。

- Q1 ロボットにおぼつかなさを感じた。
- Q2 ロボットに気持ちを感じた。
- Q3 ロボットはあなたのことを意識していた。
- Q4 ロボットはあなたと関わろうとしていた。
- Q5 ロボットのふるまいが気になった。
- Q6 ロボットに子供らしさを感じた。
- Q7 ロボットを助けようとした。

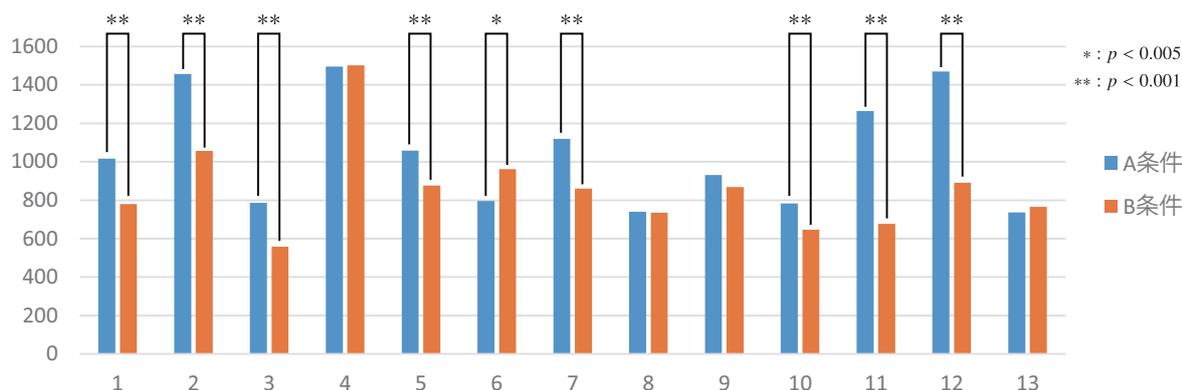


図 8: 各実験参加者の人とロボットの平均距離

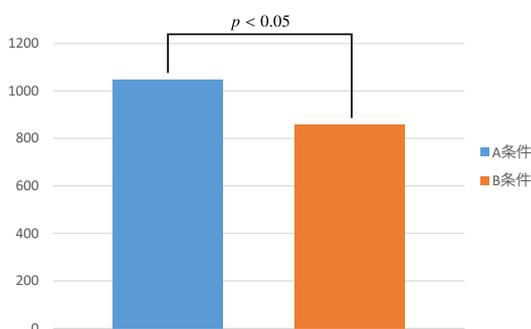


図 9: 実験参加者全体の人とロボットの平均距離

4.4 実験参加者

実験参加者は 18 歳から 25 歳の男子 11 名, 女子 4 名の計 15 名である。なお参加した全ての実験参加者は, 本研究に関連した実験は初めてであった。

5 結果

13 名から有効な距離データと印象評価の回答を得られた。本実験の結果を, 距離データの分析, 主観評価の分析の 2 点から考察する。

5.1 距離データの分析

5.1.1 実験参加者全体の平均距離

実験条件 A, B で実施した試行における実験参加者全体の人とロボットの平均距離の結果を図 9 に示す。スタートラインからゴールラインに到達するまでの時間

に対する実験参加者全体の人とロボットの平均距離は, 条件 A では 1050mm, 条件 B では 860mm という結果が出た。これらの結果に対して t 検定を行ったところ, 有意水準 5 % で統計的有意差を確認できた。A 条件よりも B 条件での不安定な動作モードでは, 人とロボットの距離が短くなることが示された。この結果により, A 条件と B 条件の間で人のロボットに対しての距離調整に変化が生じたことを示唆している。

5.2 各実験参加者の人とロボットの平均距離の分析

実験条件 A, B で実施した試行における各実験参加者の人とロボットの平均距離の結果を図 8 に示す。これらの結果に対して t 検定を行ったところ, 13 名中 9 名において有意水準 5 % の統計的有意差を確認できた。また有意差が示された 9 名中 8 名は B 条件での試行の方が人とロボットの距離が短くなることが示された。実験参加者全体の平均距離での t 検定の結果と合わせ, B 条件での試行の方が, 人とロボットの距離が短くなるような距離の調整が行われているといえる。

5.3 距離データの時間変化

Pelat はどのように人の距離調整を引き出しているのか。人とロボットの時間あたりの距離の変化を観察することで調査した。統計的な有意差が確認できた実験参加者の実験条件 A, B における時間あたりの距離を表したグラフを図 10 と図 11 に示す。図 10 から実験条件 A の場合は, スタートからゴールに到達するまで徐々にロボットとの距離が長くなっていることがわかる。一方図 11 から実験条件 B ではタートからゴール

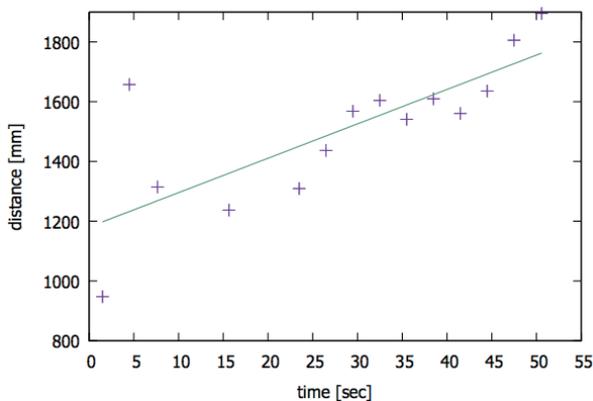


図 10: 人とロボットの時間あたりの距離:A 条件

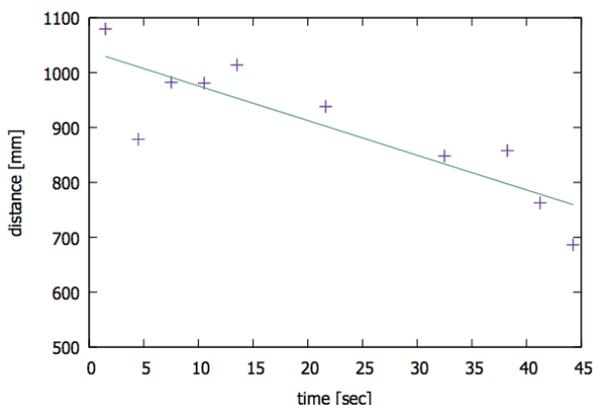


図 11: 人とロボットの時間あたりの距離:B 条件

に到達するまで徐々にロボットとの距離が短くなっていることが解る。これは試行中に実験参加者がロボットに抱いた気持ちによるものと推察できる。実験条件 B ではおぼつかない動きに構えの変化や、気持ちの変化が生まれ、距離が短くなるような距離調整を行ったのではないかと考えられる。

5.4 主観評価の分析

実験条件 A, B で実施した印象評価アンケートにおける主観評価の結果を図 12 に示す。これらの結果に対して t 検定を行ったところ、質問項目 Q1(ロボットにおぼつかないと感じた。)と Q7(ロボットを助けようとした。)の質問項目に対して有意水準 5% の統計的有意差を確認できた。これにより B 条件の Pelat のおぼつかない動きは、人のロボットを助けようとする気持ちを引き出したと考えられる。上で述べた、B 条件での距離データの変化も、おぼつかない振る舞いが人の

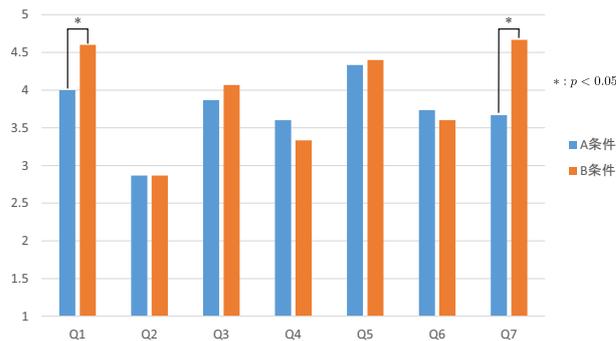


図 12: 主観評価の平均

「ロボットを助けよう」という気持ちを引き出し、距離調整された振る舞いの結果だと考えられる。

6 まとめ

本研究では幼児のおぼつかない足取りに思わず手を差し伸べてしまう振る舞いに着目し、おぼつかない動きで私たちと距離を調整しあうロボット「Pelat」の設計をし、実装を行った。おぼつかないインタラクションについて整理し、人はどのような気持ちで、距離の調整を行っているか実験を行った。

実験結果から距離データ、主観評価データから分析を試みた。その結果、(1) Pelat との距離を短くする人の距離調整を引き出していること、(2) Pelat の「おぼつかない振る舞い」に対して人の助けたいという気持ちを引き出していることがそれぞれわかった。

今後は、実験結果の解析を進めるとともに、人の思わず身体が揺り動かされる振る舞いを微視的に観察し、身体が思わず動く要因について調査したい。これらに加えて、人の調整行動に対して「Pelat」が人の振る舞いを予期する適応機構を実装し、身体を基盤とした相互の「なり込み」を実現してみたい。相互の「なり込み」により両者の共感的な状態が形成できれば、より一体感のある人とロボットのインタラクションが可能になると考えられる。

謝辞

本研究の一部は、科研費基盤研究 (B) 26280102 によって行われている。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] 三宅泰亮, 山地雄土, 大島直樹, デシルバラビン ドラ, 岡田美智男: Sociable Trash Box: 子どもた

ちはゴミ箱ロボットとどのように関わるのか, 人工知能学会論文誌, Vol. 28, No. 2, pp. 197-209 (2013).

- [2] Fritz Heider and Marianne Simmel. An experimental study of apparent behavior. The American Journal of Psychology, Vol. 57, No. 2, pp. 243-259(1944).
- [3] ダニエル・C・デネット (若島正・河田学訳):『志向姿勢の哲学』, 白揚社, (1996).
- [4] 吉池佑太, 岡田美智男:ソーシャルな存在とは何か-Sociable PC に対する同型性の帰属傾向について-, 電子情報通信学会論文誌 A Vol. J92-A No.11 pp.743-751(2009).
- [5] 岡田美智男:『弱いロボット』, 医学書院 (2012).
- [6] エドワード・ホール (日高敏隆, 佐藤信行 共訳):『かくれた次元』, みすず書房 (2000).
- [7] N. Matsumoto, H. Fujii, M. Goan and M. Okada: Minimal Design Strategy for Embodied Communication Agents, in In Proceedings of the 14th IEEE International Workshops on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN '05),pp. 335-340 (2005)
- [8] 坂本大介, 神田崇行, 小野哲雄, 石黒浩, 萩田紀博:遠隔存在感メディアとしてのアンドロイド・ロボットの可能性, インタラクション 2007, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2007, No.4, pp.97-104(2007).
- [9] 岡田美智男, 松本信義, 塩瀬隆之, 藤井洋之, 李銘義, 三島博之:ロボットとのコミュニケーションにおけるミニマルデザイン, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.189-197 (2005).
- [10] 福田玄明, 植田一博:対象の運動に対する関わりが生物らしさの知覚に与える影響, HAI シンポジウム 2007 論文集, 1F-2(2007).
- [11] 寺田和憲, 社本高史, 伊藤昭:人工物に対する意図性の付加が機能発現に及ぼす影響, HAI シンポジウム 2006 論文集, 1A-3(2006).