

## ロボットの生物性と誤動作に対する許容度

西村佑太<sup>†1</sup> 西島智文<sup>†1</sup> 神田智子<sup>†1</sup>

本研究では、ロボットが人間に受け入れられるにはどのような特性、振舞いを行えばよいかについて、ロボットの振舞いの”生物性”という観点に着目する。関連研究では、ロボットの生物性が高くなるにつれ、好意度が上昇することが示されており、我々は、ロボットの生物性が高くなると、ロボットの誤動作に対する許容度が上昇すると仮定した。我々はLEGO MindStorm EV3に、生物性を認知させる様々な振舞いを実装し、予備実験で生物性が高いと評価された蛇行・加速・減速・停止方法を組み合わせた10条件を本実験の条件に定めた。本実験はロボットが2名の実験参加者間を往復してブロックを運搬し、実験参加者がブロックを組み立てるタスクを行った際にロボットが必ず誤動作を行うものである。実験を通し、振舞いの生物性や誤動作への許容度の評価と、実験参加者のスタンスを分類するアンケート調査を行った。その結果、生物性を実装した5条件と統制条件の間に主効果がみられ、等速直線上でタスクを行う条件より見かけの生物性が有意に向上した。更に許容度に関して、生物性を実装した7条件と統制条件の間に主効果がみられ、生物性を実装すると誤動作への許容度が有意に減少した。また、そのうち4条件で交互作用が見られ、意図スタンスの参加者は設計、物理スタンスの参加者に比べ、ロボットの誤動作への許容度が大きく減少した。

## How Robot's Animacy Affects Human Tolerance for their Malfunctions?

YUTA NISHIMURA<sup>†1</sup> TOMOHUMI NISHIJIMA<sup>†1</sup> TOMOKO KODA<sup>†1</sup>

This paper focuses on “animacy” of a robot in order for the robot to be accepted to our daily lives. Related research shows as the robot's perceived animacy increases, friendliness toward the robot also increases. We hypothesize as the robot's animacy increases, our tolerance level for the robot's malfunction also increases. Lego MindStorm is used to evaluate the robot's animacy and tolerance level in our experimental tasks. The results showed the contrary evaluation of the tolerance level, as the higher animacy of the robot resulted in lower tolerance level by the participants. The results also suggest that there is a dichotomy in the tolerance level of the robot's malfunctions between participants' stance to the robot.

### 1. はじめに

従来、ロボットは主に産業ロボットとして特殊環境下に使用されていたが、近年では一般家庭にも普及しつつある。家庭に使用されるロボットの例として、Softbank社のパーソナルロボット Pepper や iRobot社の自律掃除ロボット Roomba があり、これらのロボットは一般家庭に普及を目的に開発されている。今後ロボットは一般家庭に更に普及し、ロボットがより身近なものになることが考えられる。そのため、ロボットは人々の生活に関わる中で、どのような振舞いを行えばよいのか検討する必要がある。人とロボットのインタラクション研究が近年では盛んになっている。ロボットを始めとする機械製品は、そもそも誤動作が起きないよう技術開発されているため、誤動作が行われる前提での設計に着目していない。しかし、生活支援ロボットは家庭で使用されるため、様々な環境に適応しなければならず、予期せぬ誤動作が起きてしまう可能性がある。家電製品のロコミサイトでは、「自動充電機能を搭載した Roomba が充電器を検知できず迷子になっていた」、「Roomba が厚みのあるカーペットに乗り上げてしまうと段差と認識するためカーペット上から降りられない」など、環境に適応で

きず起きた誤動作について幾つか意見が挙げられている。これらのロボットの致命的ではない誤動作に対してユーザが許容することができれば、ロボットとユーザのインタラクションを向上させることができると考える。そこで我々は、「ロボットの振る舞いに生物性を実装することで好意度が向上し、誤動作に対する許容度が向上する」と仮説を立てた。本章では、関連研究を元に仮説の根拠を述べる。

人と人工物のインタラクションについて着目した[1]では、人工物の動きが持つ力に、物理的な力と社会的な力があることが挙げられている。また、社会的な力の中には、自己推進性（自ら開始する動き）、目的指向性（目的にかなった動き）など、生き物らしさを感じさせる力が含まれており、生物らしさを感じさせる動きについて、様々な知見が挙げられている。

生物性とは、生物らしい印象のことであり、アニマシー知覚とも呼ばれる。アニマシー知覚は古くから研究されており、Heider & Simmel[2]の研究が代表的である。Heiderらは、幾何学図形の単純な運動の映像を見せる実験を行い、実験参加者が、実際の生物ではない対象に関しても、その運動を意図や感情に関連した言葉を使って説明し、生き物であるかのようにみなすこと、すなわちアニマシー知覚

<sup>†1</sup> 大阪工業大学情報科学部  
Department of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

することを示した。

物体の運動の生物性について、人間の心的姿勢であるスタンスによって運動の理解が異なることが示されており、哲学者 Dennett は、人間が対象の振舞いを理解するときに、意図スタンス、設計スタンス、物理スタンスの 3 つのスタンスを使い分けることを示している[3]。設計スタンスや物理スタンスは、対象の振舞いが何らかの設計原理や物理的法則に基づいていると考えるスタンスのことであるが、意図スタンスとは、対象の振舞いに意図を付与して理解するスタンスのことである。これらのスタンスの理論は[2]の研究にも関連しており、幾何学図形の運動の映像を見た実験参加者は、図形の運動に対して意図的な印象を持ち、生き物であるかのようにみなしたことから、意図スタンスは非生物に対しても適用可能であり、非生物の物体運動について、意図や生物らしさを感じるときには、意図スタンスが働くことが考えられる。また、寺田らにより、人とロボットのインタラクションにおいて参加者のスタンスを考慮した一連の研究が行われている。[4]では、遠隔操作椅子の動作に対し、参加者のスタンスによって観察行動やインタラクションの積極性が異なることが示され、[5]では参加者にとって意外な振舞いをロボットが行うことで、参加者にロボットの意図が帰属可能であることを検証した。

生物性印象を高める振舞いとして、中村ら[6]の研究によると、運動対象の方向変化の角度よりも方向変化の頻度が多い方に生物的印象が強まることが知られている。また、松田ら[7]は、加速、減速の速度変化から生物性認知の影響を分析しており、物体運動の複雑性が生物性認知の形成に至ることがわかった。また、田中ら[8]の研究では、反応時間が短く、随伴的に応答する条件は生き物らしい印象を与えることがわかった。我々はこれらの知見を元に、ロボットに実装する生物性印象を高める振舞いを選定する。

生物性がもたらす効果について、[7]の研究では、ディスプレイ上に示された物体の運動に関して、生物的な運動は好意度が向上することが示されており、中田ら[9]の研究では、実際にオオカミが行う対人受容の行動をロボットに実装し、親和感を演出した結果、生物らしい振舞いは好意的な印象を実験参加者に与えた。また、光永ら[10]は、コミュニケーションロボットが社会に受け入れられるための要素について研究しており、親しみやすさはロボットの社会的な受け入れに繋がると示されている。我々はこれらの関連研究により、社会に受け入れられるロボットの振舞い設計について、生物性を持ったロボットの振舞いは、ユーザに親しみの印象を与え、社会的に受け入れられると考える(仮説 1)。

また本研究では、ロボットの誤動作に対する許容度の印象について、スタンスによって差が生じるか検証する。[5]により、ロボットに誤動作が起きた際には、意図スタンスの参加者は、ロボットの誤動作に対し失敗、過失と捉え、

設計、物理スタンスでは設計上のミスやあってはならない事故と捉えることが考えられる。また[5]では、ロボットに対して意図スタンスを採用することはロボットが人間の社会的パートナーとして存在するための要素であると示され、[4]では、意図スタンスの参加者は設計、物理スタンスの参加者に比べ、積極的なインタラクションに繋がることが示されており、仮説 1 が適用されるのは意図スタンスの参加者のみであるとする(仮説 2)。

仮説 1:「ロボットの振舞いに生物性を実装することでユーザの好意が向上し、誤動作に対する許容度が向上する」

仮説 2:「実験参加者のスタンスの違いによってロボットの誤動作に対する許容度には差があり、生物性が向上すると許容度が向上するのは意図スタンスの参加者である」

上記 2 つの仮説を、ロボットと参加者のインタラクション実験を通して検証した結果を以下に述べる。

## 2. 本実験の概要

### 2.1 使用ロボット

本実験では、LEGO Mindstorm EV3 を用いて物体の運搬が可能なロボットを使用した(図 1)。荷台の下にはカラーセンサを搭載しており、センサ周辺の明るさの変化を測定することで物体が荷台に乗っているか乗っていないかを識別する。荷台の底は、カラーセンサの反射光が透過して物体を認識できるように、透過性の高いビニール素材を使用している。また、ロボット正面に搭載した超音波センサの両横にカラーセンサを地面に向くように設置し、地面の色を識別できるようにした。

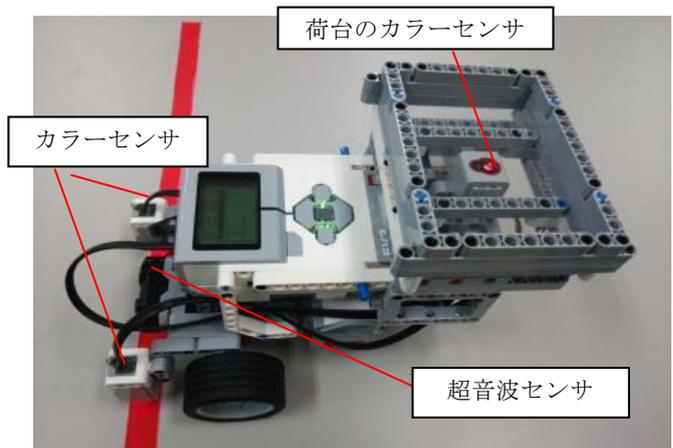


図 1 本実験に使用したロボット

Figure 1 MindStorm Robot Used in the Experiment

### 2.2 実験手順

本実験では、実験参加者 2 名 1 組でロボットと協力し、LEGO ブロックの運搬・組み立てタスクを行う。実験参加者 2 名を A,B として実験手順を説明する。

A, B は縦長のテーブルに対面するように座席に着席する。

①A がロボットの荷台にブロックを置くと、カラーセンサがブロックを認識し、②ブロックの運搬を始める。

- ③ロボットはカラーテープの位置に到着すると停止し、実験者にブロックを差し出すように 180 度方向転換する。  
 ④B は運搬されたブロックを受け取った後、⑤ブロック置き場に移動し、タブレット画面に表示された完成品のブロックを元に、ブロックを組み立てる。  
 ⑥B は組み立てたブロックを持ち、座席に戻る  
 ① ~⑥の繰り返し(A,B の役割交代)

本実験手順で示した運搬・組み立てタスクでは、①~⑥を 1 条件につき 3 往復、6 回の運搬を行う。⑤のブロックの組み立てタスクについて、タブレット、ブロック置き場は実験参加者から 2m 先のテーブルに設置している。ブロック置き場はテーブルの両端に配置しており、1 名につき、3 パーツのブロックが置かれている。また、タブレットには、ブロック 6 パーツで完成する組み立てられたブロックを表示しており、実験参加者が交互に組み立てることで完成できるものである。図 2 に実験風景を示す。

運搬タスクでは、1 条件につき 1 回、ロボットが意図的に誤動作をする。誤動作は、3 通りであり、誤動作の種類、タイミングは、6 つの運搬を通してランダムで選択される。誤動作の詳細を(1)~(3)に示す。

- (1)ロボットが指定されたテープの位置で止まらない：通常は、ロボットは赤色のカラーテープの位置で停止するが、赤色のカラーテープの位置に来て停止せずにそのまま前進を続ける。  
 (2)ロボットがブロックを認識する前に動き出す：ロボットが運搬してきたブロックを実験参加者が受け取り、ブロック置き場でブロックを組み立てている間にロボットが前進を始めてしまう。  
 (3)ロボットがブロックを認識しても動き出さない：実験参加者がブロック置き場で組み立てたブロックをロボットの荷台に置いて、認識をするが前進を始めない。3 回認識すると前進を始める。

本実験は 2 名 1 組でタスクを行うものであるが、実験参加者を募る際、実験参加者が 1 名であった場合は実験者側でペアを組む者を用意した。そのため、実験参加者は実験者側で用意した者を除く奇数の大学生男女 25 名であった。

### 2.3 実験条件

本実験の前に、本実験で使用する生物性の評価が高い振舞い条件を選定するために予備実験を実施した[11]。振舞い条件は、第一章で述べた生物性の印象を高める動きを参考に、[6] を元に方向変化を行う蛇行条件 8 水準、[7] を元に速度変化を行う加速、減速条件各 6 水準、[8] を元に、反応時間条件 2 水準の 4 条件と、EV3 独自の機能である停止方法 2 水準を追加し、計 5 条件 20 水準である。大学生男性 4 名、女性 5 名の計 9 名が、ロボットの振舞いを観察し、生物性と親近性を評価した。予備実験の詳細に関しては[11]を参照されたい。

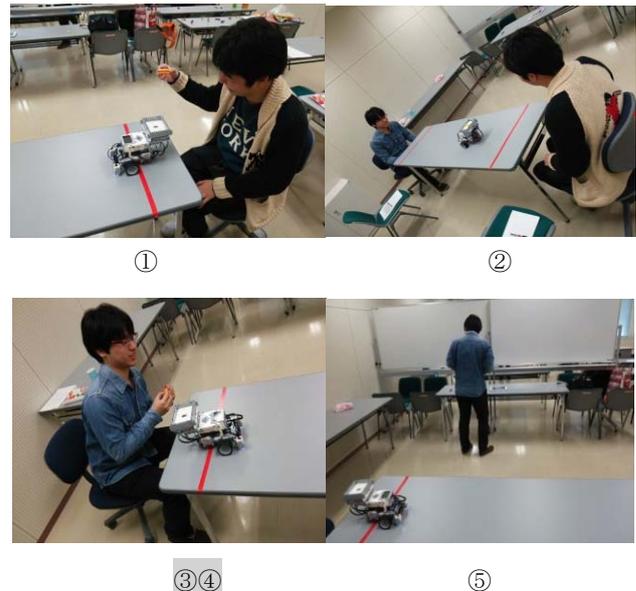


図 2 実験風景

Figure 2 Experiment Scenes

本実験では、予備実験で選定した生物性の高いロボットの振舞い（蛇行,加速,減速,停止方法）の 4 条件と、それらのうち、振舞いが同時に実装可能であったものを組み合わせた 5 条件、ロボットの振舞いを変化させない統制条件の計 10 条件で実験を行う。本実験では、カラーテープ間の移動時のロボットの振舞いを条件ごとに変化させている。(1)~(10)に条件ごとの振舞い方法を示す。

- (1) 統制条件：移動速度 20cm/s で直線運動を行い、停止方法は惰性停止である。  
 (2) 蛇行条件：変化角度 5 度の蛇行を行い、停止方法は惰性停止である。  
 (3) 減速条件：速度  $3\text{cm/s}^2$  が本実験の減速条件であり、停止方法は、惰性停止である。  
 (4) 加速条件：加速度  $1\text{cm/s}^2$  が本実験の加速条件であり、停止方法は、惰性停止である。  
 (5) 急停止条件：予備実験の停止方法条件では、急停止が惰性停止よりも生物性評価が高かったため、本実験の停止方法は、急停止である。  
 (6) 蛇行減速条件：蛇行減速条件は、(2)の蛇行条件と(3)の減速条件を組み合わせた条件であり、前進する際に、減速しながら蛇行する。  
 (7) 蛇行加速条件：蛇行加速条件は、(2)の蛇行条件と、(3)の加速条件を組み合わせた条件であり、前進する際に、蛇行しながら加速する。  
 (8) 蛇行急停止条件：蛇行急停止条件は、(2)の蛇行運動を行い、停止方法は急停止である。  
 (9) 加速急停止条件：加速急停止条件は、(4)の加速運動を行い、停止方法は急停止である。  
 (10) 蛇行加速急停止条件：蛇行加速急停止条件は、(7)の蛇行加速運動を行い、停止方法は、急停止である。

## 2.4 印象評価アンケート

本実験では、ロボットが必ず誤動作を行うが、その際の印象を評価するという本来の目的を知られずに遂行する必要があるため、実験では、「生活支援ロボットの試作品の性能テストが目的であり、運搬の様子に注意して性能評価を行ってもらおう」旨、実験参加者に教示する。実験参加者は、各条件終了後にロボットに対する印象評価アンケートに記入する。

評価アンケートの項目は、表1に示すとおり、生物性3項目、親近性3項目、許容度8項目（内2項目は親近性2項目）であるが、実験参加者が教示の通り性能評価を行ってもらうため、性能評価を行うためのダミー質問を3項目加え、計15項目のSD法による7段階評価のアンケートに回答する。

生物性、親近性、性能については予備実験と同様に、ヒューマノイドロボットの印象を定量的に測定するための心理尺度[12]を元に、許容度については、自律的なアクチュエータの動作エラーがユーザに対してどのような心理影響を与えるかを検証した[13]の研究での動作エラーに対する不快指数を元に質問項目を作成した。また、実験終了後には、実験者がどのスタンスを取ってロボットとのインタラクションを行ったかを調べるため、実験参加者がロボットに対してどのスタンスを取ったのかを問う2項目の質問と、ロボットに心や意志を感じるかどうかについて問う実体性の質問3項目に回答してもらった。Poppyとは本実験で使用したロボットの愛称である。スタンスを問う質問では、ミスと回答すれば意図スタンス、誤動作だと回答すれば設計スタンス、事故だと回答すれば物理スタンスとし、スタンスごとに被験者の分類を行う。また、実体性項目ではSD法による7段階評価を行った。

## 2.5 スタンスの分類

本研究では、実験によりロボットの誤動作に対する人間の許容度について検証するものであるが、ロボットの誤動作に対しての実験参加者の捉え方によって実験結果が異なると考え、実験参加者をスタンスごとに分類する。しかし現在、意図スタンス、設計スタンス、物理スタンスを明確に分類するための基準が確立されていないため、本研究では、2.4で述べたスタンスを問う質問を元にスタンスの分類を行った。

表1のアンケートではEV3の予期せぬ行動に対し、「生き物のミス」と捉えれば意図スタンス、「機械の誤動作（または事故）」と捉えれば設計、物理スタンスであると考え、分類を行ったが、回答者の中に「機械のミス」や「生き物の誤動作」などの回答がみられ、我々の想定する質問の意図が実験参加者に明確に伝わっていなかった。従って、表1のスタンスを問う質問では正確なスタンスの分類が行われていなかったと考えられるため、実験後に行った表1の実体性項目の点数を元にスタンスの分類を行った。実体性

表1 ロボットの印象評価アンケート

Table 1 Perception Questionnaire for the Robot

分類	質問内容
生物性	生き物らしい 心を持っている いかにもロボットらしい
親近性	かわいい 親しみやすい 怖い
許容度	まじめである 感じがわるい 我慢できない 不快である 反抗的である だらしない かわいい(親近性) 親しみやすい(親近性)
性能	機能が優れている 認識力が高い きちんと応答する

スタンスを問う質問	
あなたはPoppyを何だと思えましたか？	機械 / 生き物
あなたはPoppyの予期せぬ行動を次の何だと思えましたか？	ミス / 誤動作 / 事故

実体性	Poppyは心をもっていそうだ Poppyは自分の意志を持っていそうだ Poppyは人間のように独自の意志を持っていそうだ Poppyは人間のような意志をもっていないさそうだ
-----	--

項目を使用したスタンスの分類は、以下(1)~(3)の基準に従って分類する。実体性はロボットの意思を感じるかについて評価する尺度である。そのため、実体性得点が高い実験参加者ほどEV3の振舞いに対して意図を感じ、実体性得点が高い実験参加者ほどEV3の振舞いに対して意図を感じていない（設計上の振舞い）とし、(1)実体性得点高群を意図スタンス、実体性得点低群を物理、設計スタンスとする。また、スタンスの分類を明確に行うため、(2)実体性得点の高群と低群の中間層であった実験参加者を除いた上で、実験中の参加者の発言や行動にも着目した。さらに、(3)実体性得点高群のうち、EV3を生き物であるかのように接した参加者を意図スタンス、実体性得点低群のうち、ロボットを機械として接した参加者を設計スタンスと分類した。(3)で物理スタンスを除いた理由として、本実験では、ロボットの振舞いを物理法則として捉えた発言を行った被験者がいなかったためである。意図スタンスの参加者の発言では、減速運動を行う条件に対して「ロボットの元気がない」、蛇行運動を行う条件に対して「ロボットが迷っている」、ロボットがブロックを認識する前に動き出す誤動作に対して「私、嫌われているのかな」と発言するなど、これらの発言は機械に対する発言ではないため、ロボットに対して意図スタンスで接しているといえる。また、設計スタンスの参加者の発言では、速度変化を伴う条件に対して、速度変化のアルゴリズムを実験者に質問する、ロボットがブロックを認識する前に動き出す誤動作に対して、センサの不調を実験者に伝える、などEV3に対してあくまでも機械とし

て接しており、設計スタンスで接しているといえる。発言を行わなかった参加者は分析では除いた。

上記の分類基準では、意図スタンスと考えられる者 8 名、設計スタンスと考えられる者 8 名であったため、実験参加者 25 名中 16 名に関して以下の分析を行う。

### 3. 本実験の結果

アンケートの回答を、実験参加者のスタンスの違い（スタンス要因：意図スタンス or 設計スタンス）、EV3 の振舞いの違い（振舞い要因：統制条件 or 生物性を実装した 9 条件）で 2 要因混合計画分散分析を行った（スタンス要因：被験者間要因、振舞い要因：被験者内要因）結果を以下に示す。

#### 3.1 生物性得点の分析結果

本節では、統制条件と振舞い要因の各 9 水準の生物性得点を、スタンス毎に比較した結果を示す。実際の分析は、9 水準全てで行ったが、図 3 は統制条件と蛇行加速急停止条件の生物性得点を比較したものである。図中のグラフは縦軸で生物性得点を示し、a)は振舞い要因の各水準におけるスタンス要因の結果を図に示し、b)はスタンス要因の各水準における振舞い要因の結果を図に示したものである。

統制および振舞い要因の双方でスタンスの主効果が見られ、意図スタンスの参加者の生物性得点は設計スタンスより有意に高い。また、振舞い要因間の主効果も認められた( $p < 0.01$ )。蛇行加速急停止条件では、意図スタンス(生物性得点の平均 4.5)と設計スタンス(同 2.6)の間で有意差がみられ ( $F=22.64, p=0.000$ )、意図スタンスの参加者の生物性得点は、設計スタンスの参加者に比べ高くなることが示された。意図スタンスでは、統制条件(3.5)と蛇行加速急停止条件(4.5)の振舞い間で有意差がみられ

( $F=12.76, p=0.001$ )、統制条件と比べ蛇行加速急停止条件の生物性得点が高くなることが示された。設計スタンスでは振舞い要因間で有意差がみられなかった

( $F=1.00, p=0.323$ )。統制条件と蛇行加速急停止条件の間以外に、生物性を実装した他の 4 条件（減速、蛇行減速、蛇行急停止、蛇行加速）の間においても、同様の傾向を見せ、統制条件と比較して振舞い条件の方が有意に生物性が高い傾向を、全ての振舞い条件で、設計スタンスより意図スタンスの方が見かけの生物性が有意に高い結果を示した。

#### 3.2 許容度の分析結果

本節では、統制条件と振舞い要因の各 9 水準の許容度

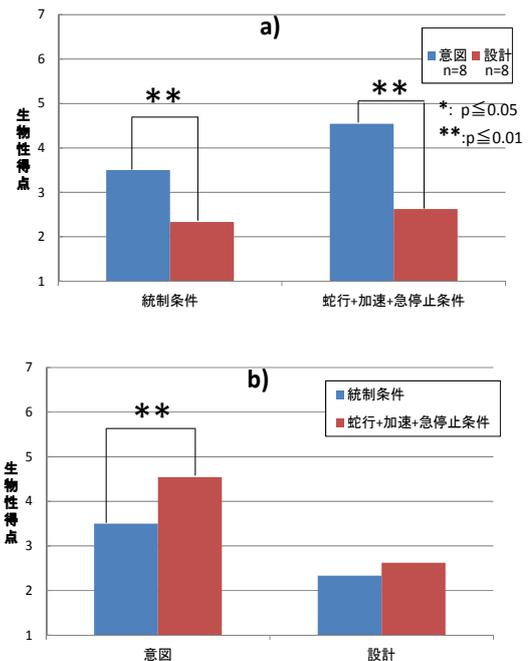


図 3 統制条件と蛇行加速急停止条件の生物性の比較  
Figure 3 Comparison of Perceived Animacy between Control/Behavior Conditions and Stances

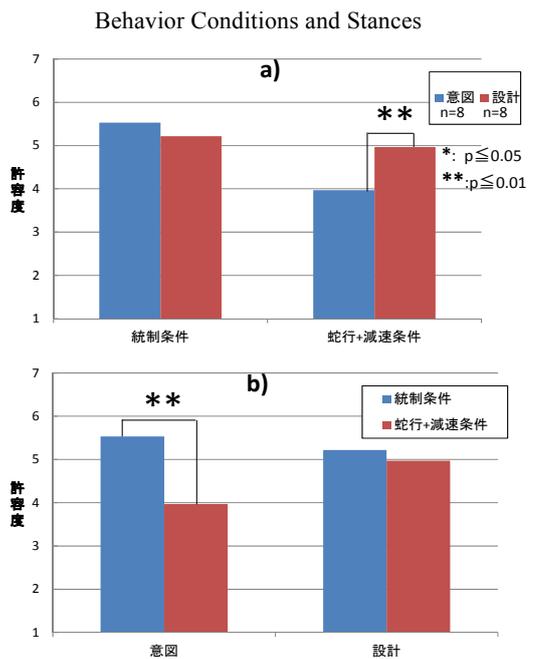


図 4 統制条件と蛇行減速条件の許容度の比較  
Figure 4 Comparison of Tolerance between Control/Behavior Conditions and Stances

得点を、スタンス毎に比較した結果を示す。実際の分析は、9 水準全てで行ったが、図 4 に統制条件と蛇行減速条件の許容度の比較を示す。図中のグラフは縦軸で許容度を示し、a)は振舞い要因の各水準におけるスタンス要因の結果を図に示し、b)はスタンス要因の各水準における振舞い

要因の結果を図に示したものである。

蛇行減速条件では、意図スタンス(4.0)と設計スタンス(5.0)の間に有意差がみられ ( $F=10.96, p=0.001$ ), 設計スタンスの参加者の許容度は、意図スタンスの参加者に比べ高くなること示された。意図スタンスでは、統制条件(5.5)と蛇行減速条件(4.0)の振舞い間に有意差がみられ ( $F=36.89, p=0.000$ ), 統制条件と比べ蛇行減速条件の許容度が低くなること示された。設計スタンスでは振舞い要因間で許容度に有意差がみられなかった ( $F=0.94, p=0.333$ )。

図5は統制条件と蛇行加速急停止条件の許容度を比較したものである。蛇行加速急停止条件では、意図スタンス(4.7)と設計スタンス(4.5)の間に有意差がみられなかった ( $F=0.32, p=0.571$ )。意図スタンスでは、統制条件(5.5)と蛇行加速急停止条件(4.7)の振舞い間に有意差がみられ ( $F=11.97, p=0.001$ ), 統制条件と比べ蛇行加速急停止条件の許容度が低くなること示された。設計スタンスでは、統制条件(5.2)と蛇行加速急停止条件(4.5)の振舞い間に有意差がみられ ( $F=8.07, p=0.005$ ), 統制条件と比べ蛇行加速急停止条件の許容度が低くなること示された。同様に、統制条件と生物性を実装した6条件(減速, 加速, 蛇行減速, 蛇行加速, 蛇行急停止, 加速急停止)においても振舞い要因の主効果が見られ、許容度が有意に低下した。

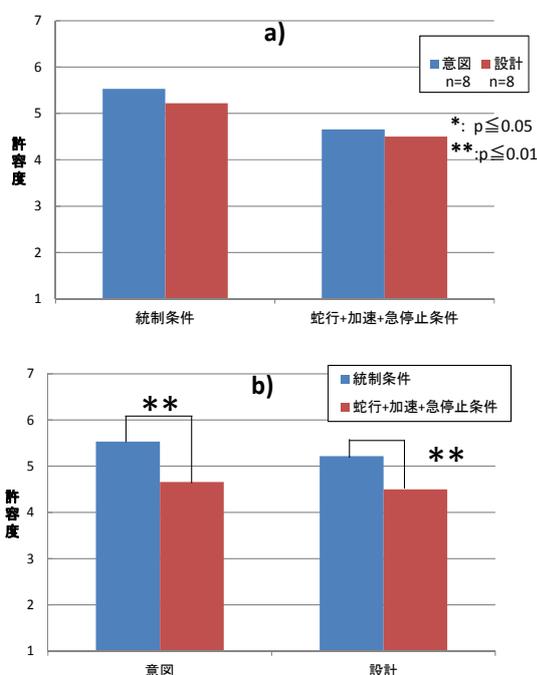


図5 統制条件と蛇行加速急停止条件の許容度の比較  
Figure 5 Comparison of Tolerance between Control/Behavior Conditions and Stances

## 4. 考察

### 4.1 生物性得点の考察

生物性得点について、統制条件と生物性を実装した振舞い5水準(減速, 蛇行減速, 蛇行急停止, 蛇行加速, 蛇行加速急停止)の間において、主効果がみられ、直進運動を変化させることで見かけの生物性が向上した。生物性得点において、統制条件と主効果が見られた振舞い5水準のうち、振舞いを組み合わせた条件が4水準あることから、[7]と同様、複雑な動きをする物体に生物性の印象が高まるということが示された。また、全ての条件で意図スタンスと設計スタンスの間で生物性得点に有意な差がみられたため、意図スタンスの参加者は設計スタンスの参加者よりも生物性得点が高いことがわかった。[4]では、参加者のスタンスの違いによってロボットの振舞いの理解が異なるということが示されており、振舞いの理解が異なると同時に印象の評価が異なったことが考えられる。意図スタンスの参加者が設計スタンスの参加者に比べて生物性得点が高いということについて、[2]では、物体運動に対して意図や生物らしさを感じる際には、意図スタンスが働くことが考えられることが示されているため、同様の結果が得られたといえる。

### 4.2 許容度の考察

許容度について、統制条件と生物性を実装した振舞い7水準(減速, 加速, 蛇行減速, 蛇行加速, 蛇行急停止, 加速急停止, 蛇行加速急停止)においても主効果が見られ、許容度が有意に低下した。これは、仮説1を支持しない結果となった。仮説1では、ロボットの生物性が向上すると好意が上昇すると考えていたが、本実験では生物性と親近性の相関は見られず(意図スタンスの相関係数:0.26, 設計スタンスの相関係数:-0.04), 生物性の高い振舞いをするロボットに対する好意は向上しなかった。しかし、予備実験では生物性と親近性に正の相関が認められていた(相関係数:0.53) [11]。これらの原因として、予備実験と本実験でのインタラクションの深さや、参加者の役割の違いが考えられる。本実験では、1条件の3往復の運搬タスク全体を通してロボットの印象評価を行うものであったが、予備実験では、ロボットの前進運動のみに対する評価であるため、これらのインタラクションの深さの違いによって異なる印象評価につながったと考えられる。また、本実験では、参加者がロボットと直接インタラクションを行ったのに対し、予備実験では、参加者が実験者とロボットのインタラクシ

ョンを観察しており、予備実験と本実験では参加者の役割が異なっていた。[10]では、ロボットと直接インタラクションを行った参加者はインタラクションを行っていない参加者よりもロボットとのコミュニケーションを重視する事が挙げられており、本実験において、参加者はEV3 に対してのコミュニケーションの達成度についても評価していたことが考えられる。本実験では予備実験と比較すると密なインタラクションを行ったにも関わらず、タスクにおける誤動作が起り、ブロックの受け渡しやブロックの運搬が適切に行われないものであったため、参加者はロボットとのコミュニケーションが図れていないと判断し、同時に親近性も低下したのではないかと考える。

また、統制条件と生物性を実装した振舞い4水準(加速, 蛇行減速, 蛇行加速, 蛇行急停止)において、振舞いとスタンスで交互作用がみられた。交互作用が見られた要因間の許容度の比較グラフを図6に示す。図6より、設計スタンスの参加者は統制条件、生物性を実装した4条件に対して許容度の差はあまり見られないが、意図スタンスの参加者は生物性を実装した振舞い4水準について、統制条件と比べて許容度が大きく減少していることがわかる。これら交互作用について、設計スタンスの参加者は、生物性を実装した振舞いであっても生物性得点が低く、誤動作に対する許容度の差がみられなかったのに対し、意図スタンスの参加者は生物性を実装したロボットの誤動作に対して大きく許容度が減少することがわかった。

意図スタンスの参加者は、ロボットに生物性を実装することで、期待する性能が向上したが、誤動作を行う実際の性能とのギャップにより許容度が低下したことが考えられる。また、設計スタンスの参加者は、生物性を実装した振舞いであっても生物性得点が低く、ロボットに対しブロックを運搬する単なる道具として捉えているため、期待した性能と実際の性能の差異が少なく、許容度の変化があまり見られなかったことが考えられる。

#### 4.3 今後の課題

ロボットの外見に関して、本研究では見かけがロボットらしいEV3を使用した。今後、動物や人型ロボットにおいても同様の実験を行うことで、見かけの生物性と許容度についての関係を検証することが必要であると考えられる。ロボットの外見と実際の機能の期待値のギャップに関しては、小松らの適応ギャップ仮説[14]を考慮する必要がある。野々村らは、外見が劣るロボットであっても、接触を伴う感情的なインタラクションを伴うことで、ロボットの初見の劣った印象を緩和させることを示している[15]。

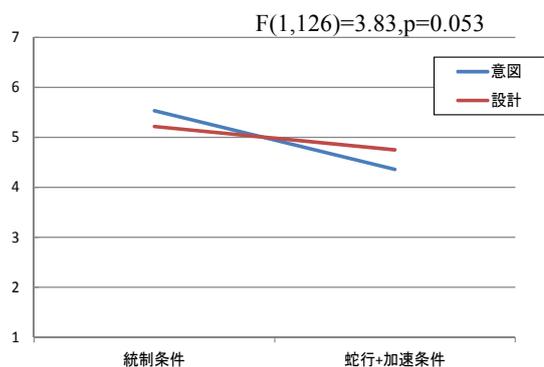
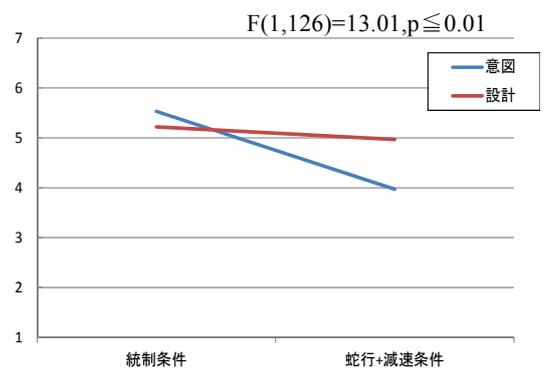
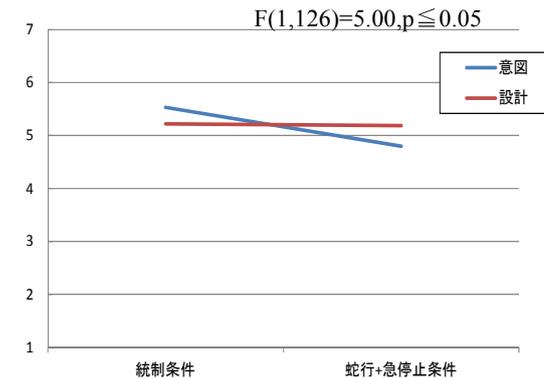
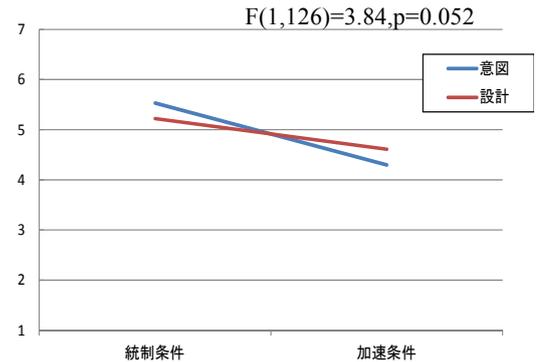


図6 許容度で交互作用が見られた振舞い4水準  
 Figure 6 Interactions of Tolerance Level between Behavior Conditions and Stances

また、誤動作に対する許容度に関して、今後の使用意向やロボットの機能に対する期待感などの評価項目を加えることで、誤動作に対する即断的な許容/非許容ではなく、人間とロボットとの継続的な関わりを評価することも、生活支援ロボットが我々の日常生活に受け入れられるかどうかの指標として重要であると考えます。スタンスの分類に関しては、寺田らの[5,16]でスタンスの明確な分類基準や3つのスタンスの検証が行われているが、本実験においては、実験参加者の言動と実体性得点で分類したため、より明確な分類基準が必要であると考えます。

## 5. おわりに

本稿では、「ロボットの振舞いに生物性を実装することでユーザの好意が向上し、誤動作に対する許容度が向上する」という仮説を検証するため、実験を行い、結果を分析した。実験にあたり、予備実験で生物性の印象が高いロボットの振舞いを選定し、本実験の振舞い条件とした。

本実験では、実験参加者2名がロボットと協力し、LEGOブロックの運搬・組み立てタスクを行った。運搬タスクでは、1条件につき1回、必ずロボットが誤動作をするものであるが、その際の参加者のロボットの誤動作に対する許容度が、ロボットの振舞いやロボットに対する参加者のスタンスの違いによって異なるかを検証した。本実験では、予備実験で選定した生物性の高い蛇行、加速、減速、停止方法の4条件と、それらのうち振舞いが同時に実装可能であったものを組み合わせた5条件、ロボットの運動を変化させない統制条件の計10条件を実験条件とした。実験の結果、直線運動に比べ、振舞いを変化させることで、ロボットの見かけの生物性が向上することが示された。また、意図スタンスの参加者は、設計スタンスの参加者に比べ、ロボットの振舞いに関わらず、ロボットに対する生物性得点が有意に高いことが示された。設計スタンスの参加者は、生物性を実装したロボットの振舞いに対しても生物性得点が低く、統制条件と比較して、誤動作に対する許容度の差がみられなかったのに対し、意図スタンスの参加者では、生物性を実装したロボットが誤動作すると、大きく許容度が減少することが示された。

本研究により、実験参加者のスタンス（意図スタンスと設計スタンス）により、ロボットへの生物性評価および誤動作に対する許容度が異なることがわかった。従って、ロボットの印象評価や振舞い設計において、スタンスを考慮する必要があることが示唆された。

**謝辞** スタンスの分類に関して貴重な助言をいただきました、岐阜大学工学部電機電子・情報工学科 寺田和憲准教授に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 岡夏樹. 動きの力とインタラクションデザイン. 計測と制御 48(6), pp. 463-469 (2009)
- 2) F. Heider and M. Simmel. An experimental study of apparent behavior. *The American Journal of Psychology*, 57(2), pp.243-259 (1944)
- 3) Daniel C. Dennett. *The Intentional Stance*. Cambridge, Mass, Bradford Books/MIT Press (1987)
- 4) 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*, 9(2), pp. 23-33 (2007)
- 5) 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いは意図帰属の原因となる-, *日本ロボット学会誌*, 29(5), pp. 43-52 (2011)
- 6) 中村浩, 鷺見成正. 単一物体運動における生物性・非生物性知覚に寄与する運動情報の研究. *映像情報メディア学会技術報告*, 26(9), pp. 95-100 (2002)
- 7) 松田憲. 物体運動の速度変化とランダム性が能動的注視と選好形成に及ぼす効果. *認知心理学研究*, 10(2), pp.133-150 (2013)
- 8) 田中一品, 尾関基行, 荒木雅弘, 岡夏樹. ロボットへの教示場面における「間」の重要性: ロボットの行動の遅れは学習効率を向上させ教えやすい印象を与える, *人工知能学会論文誌*, 25(6), pp. 703-711 (2010)
- 9) 中田亨. ロボットの対人行動による親和感の演出. *日本ロボット学会誌*, 15(7), pp.1068~1074 (1997)
- 10) 光永法明. 人々の中で日常的に活動するロボットに求められる三つの基本要素. *日本ロボット学会誌*, 26(7), pp.812-820 (2008)
- 11) 西村佑太, 西島智史, 神田智子. 生物性を実装したロボットのミスに対する許容度. *インタラクション 2015 論文集*, pp.329-334 (2015)
- 12) 上出寛子, 前泰志, 川辺浩司, 重見聡史, 広瀬真人, 新井健生. ヒューマノイドの安心感評価-心理的要素の解明と評価尺度の開発. 第17回ロボティクスシンポジウム, 6B1 (2012)
- 13) 駒込大輔, 小野哲雄. *Practical Magic: スマート情報環境との間に因果性を形成するインタフェースロボットの動作設計モデル*, *電子情報通信学会論文誌 A*, J92-A(11), pp.828-839 (2009)
- 14) 小松孝徳, 山田誠二. 適応ギャップがユーザのエージェントに対する印象変化に与える影響. *人工知能学会論文誌*, 24 (2), pp. 232-240 (2009)
- 15) 野々村圭祐, 寺田和憲, 山田誠二, 伊藤昭. ロボットとの感情的インタラクションは外見の悪印象を緩和する. *情報処理学会研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) 2015-HCI-161(6)*, pp. 1-7 (2015)
- 16) 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)