

生物性を実装したロボットのミスに対する許容度

西村 佑太^{†1} 西島 智史^{†1} 神田 智子^{†1}

概要: 近年、ロボットが医療や家庭など、身近な場所で使用される機会が多くなっている。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。先行研究では、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、許容度が上昇すると仮定した。本稿は、本実験の前に行う予備実験結果について分析、考察したものである。予備実験タスクとして、机上の物体をロボットが捕獲するまでの振舞いに生物性を実装した。振舞いは、反応時間、蛇行、減速、加速、停止方法の5条件、計24水準で、生物性、親近性について問うものである。予備実験の結果を元に、本実験で使用する生物性の高い水準を選定し、本実験の計画を述べる。

Effects of Animacy on the Allowance Level of Robot's Errors

YUTA NISHIMURA^{†1} TOMOFUMI NISHIJIMA^{†1}
TOMOKO KODA^{†1}

Abstract: This research focus on the animacy of robot's behaviors, which we believe to lead to higher acceptance of robots used at home and healthcare. Prior research shows the more animacy robots exhibit, the more likeable they become. We hypothesize animacy of robot's behavior improves their acceptance and allowance level of robot's errors. This paper reports our preliminary results of robot's movements that are perceived to have higher animacy. 24 behaviors with different response time, winding, deceleration, acceleration, breaking are evaluated, then we extract 6 behaviors that are perceived to have high animacy.

1. はじめに

近年、ロボット技術は産業などの特殊環境下から、医療や家庭などの身近な生活面での応用が検討されている。従って、ロボットが人々の生活に関わる中で、どのような特性、振舞いを行えばよいか検討する必要がある、近年では、人とロボットのインタラクション研究が盛んになっている。[1]では、人工物の動きが持つ力の中に、物理的な力と社会的な力があり、社会的な力には、生き物らしさが含まれることが挙げられている。そこで我々は、人工物の振舞いを生物性という観点から着目し、人工物がどのように振舞いを行えばよいか検討する。

生物性とは、生物らしい印象のことであり、2次元上の図形であっても、振舞いに生き物らしさを与える効果があると示されている[2]。生物性印象を高めるものとして、中村ら[3]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[4]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[5]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の条件を選定する。

生物性がもたらす効果は幾つかある。松田ら[4]の研究では、生物的な運動は、好意度が上昇することが考えられており、中田ら[6]の研究では、実際にオオカミが行う対人受

容的行動をロボットに実装し、親和感を演出した結果、好意的な印象を実験参加者に与えた。また、光永ら[7]の研究では、社会で受け入れられるロボットの振舞いに関して、親しみやすさは好感度に関連し、親しみやすさと受け入れ度には正の相関があることがわかった。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。そして我々は、社会的に受け入れられるロボットの振舞いは、誤動作に対する許容に繋がると仮定し、生物性という観点からロボットの誤作動による不快の軽減を試みる。

2. 実験方法

本研究では、予備実験で得られた結果を元に本実験を行う。予備実験の目的は、本実験の条件で使用する生物性の評価が高い条件を選定することである。

2.1 使用ロボット

LEGO社のロボット製作キットであるレゴマインドストームEV3(以下EV3)を使用した(図1)。EV3のベースであるトレーニングロボットを元に、両輪にLモータをそれぞれ搭載して移動ができ、距離センサで物体認識をし、中央に設置したMモータで作動するバーで物体をキャッチできるように、組み立てた。プログラミング言語はEV3ソフトウェアである。

^{†1} 大阪工業大学 情報科学部
Department of Information Science, Osaka Institute of Technology

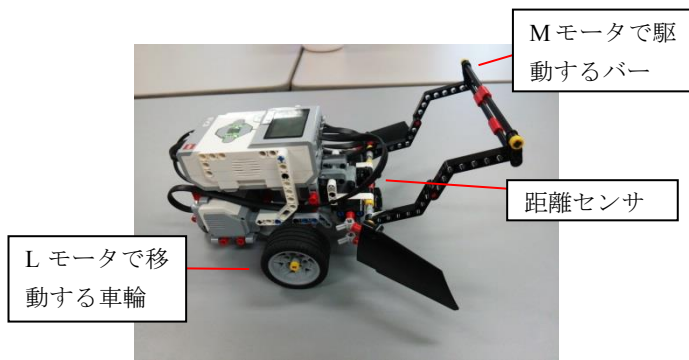


図 1 使用ロボット

Figure 1 Robot Used in the Pre-experiment

2.2 実験手順

予備実験は、男性 4 名、女性 5 名の計 9 名で、3 名ずつそれぞれ実験を行った。実験参加者はすべて大阪工業大学の学生である。予備実験では 180cm×60cm の机の上で行い、1.3m 先の紙コップをキャッチすることを目的に移動する。実験風景を図 2 に示す。



図 2 実験風景

Figure 2 Scenes of the Pre-experiment

実験手順は①～④のとおりである。

予備実験手順:

- ①実験者が EV3 を操作し、実験プログラムを実行する。
- ②両輪の L モーターが作動し、移動する。
- ③物体認識に距離センサを用い、紙コップの 5cm 前で停止する。
- ④停止後に M モーターが作動し、上に設置したバーが下がり、紙コップをキャッチする。

次節では、①～④の実験手順番号を用いて条件の解説をする。

2.3 実験条件

予備実験項目は、第一章で述べた生物性の印象を高める動きを採用する。[3] を元に方向変化を行う蛇行条件、[4] を元に速度変化を行う加速、減速条件、[5] を元に、反応時間条件の 4 条件と、EV3 独自の機能である停止方法を追加し、計 5 条件である。予備実験前に実験者が試行を行った結果、蛇行条件において、角度変化が大きいため紙コッ

プへの接近ができないもの等、タスク遂行上不可能なものは条件から除いた。また、速度変化を伴う条件では、微量な変化では、被験者がその差に気づかないと判断し、実験者が予備実験項目を間引いた。また、予備実験の移動速度 20cm/s、反応時間 0s を統制条件としている。本節以降は、1～24 の水準番号を用いて水準を示す。実際に予備実験で使用した条件は次の通りである。

(1)反応時間条件

反応時間とは、実験者が①でプログラムを実行した際の反応時間と、④の停止後からバーが下がるまでの反応時間を変化させたものである。反応時間条件は 2 水準あり、水準 1 が反応時間 0s、水準 2 が反応時間 2s である。

(2)蛇行条件

蛇行条件とは、②間の運動を蛇行しながら前進する条件である。本条件では、蛇行運動を実現するため、EV3 のモーターの制御プログラムである”ステアリング機能”を使用して、曲線運動を行う。ステアリング機能では、-100～100 までの数値を設定することができ(以下、ステアリング値)、ステアリング値が 0 の場合直進し、負の値が大きくなるほど左に曲がる角度が大きくなり、正の値が大きくなるほど右に曲がる角度が大きくなる。ステアリング値が 100 の時に EV3 のタイヤを 1 回転させた場合、EV3 本体は 180 度右に回転するためステアリング値が 1 の場合 EV3 本体の回転角度は 1.8 度、5 の場合は 9 度であることが考えられる。蛇行運動は一定のステアリング値を使用し曲線運動を行い、EV3 の本体の角度が一定の角度(以下、変化角度)に達した時にステアリング値の符号を入れ替え、進行方向を逆向きにすることにより実現する。そこで我々は、5 刻みの 5～50 までのステアリング値、5～60 度の変化角度を組み合わせた蛇行運動を作成した。蛇行運動の例は図 3 である。

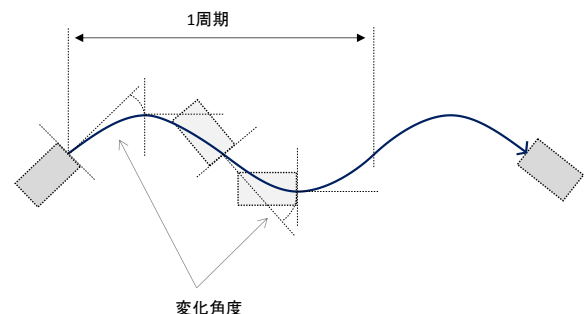


図 3 蛇行運動モデル

Figure 3 Winding Movement Model

ステアリング値が 5、変化角度が 10 度の場合であれば、タイヤが 1 回転すると本体の角度が 9 度変化するため、タ

イヤ 1.1 回転により変化角度に達することになる。作成した蛇行運動の中から実験者の観察により、あまり動きの変化に違いを感じないものや、1 回の曲線運動に要する移動距離が長すぎるものを取り除いた。その結果が表 1 である。ステアリング値が 4 種類(5, 15, 25, 35), 変化角度が 2 種類(5 度, 15 度)の組み合わせによる 8 水準を蛇行条件として使用する。

表 1 蛇行条件

水準	ステアリング値	変化角度(度)
3	5	5
4	15	5
5	25	5
6	35	5
7	5	15
8	15	15
9	25	15
10	35	15

(3)減速条件

減速条件とは、②間の運動について、初速度は 30cm/s から減速する運動である。速度下限を 5cm/s に設定しており、下限に達すると等速運動をする。水準 11, 12, 13 は一定の減速度である。水準 14, 15, 16 は、それぞれの定数と経過時間(t)を掛けあわせたものを減速度とする運動であり、時間経過にもなって減速度は上昇する。表 2 の通り、水準 11~13 間,水準 14~16 間では、水準の値が高いほど、減速度が高い。

表 2 減速度

Table 2 Decelerating Conditions

水準	減速度(cm/s ²)
11	1
12	2
13	3
14	0.5t
15	t
16	1.5t

(4)加速条件

加速条件は、②間の運動について、初速 0cm/s でそれぞれの条件にしたがって、加速する。速度の上限は 30cm/s であり、上限に達すると等速運動をする。水準 17, 18, 19 は一定の加速度である。水準 20, 21, 22 はそれぞれの定数と経過時間(t)を掛けあわせたものを加速度とする運動であり、時間経過にもなって加速度は上昇する。表 3 の通り、水準 17~19 間,水準 20~22 間では、水準の値が高いほど、加速度が高い。

表 3 加速度

Table 3 Accelerating Conditions

水準	加速度(cm/s ²)
17	1
18	2
19	3
20	0.5t
21	t
22	1.5t

(5)停止方法条件

停止方法条件は、③の停止の際の停止方法を変化させたものであり、惰性停止、急停止の 2 水準である。試験走行をした結果、本条件の統制速度である 20cm/s では停止方法の違いが分からないと判断したため、本条件での速度は 30cm/s で行う。

2.4 評価アンケート

実験参加者は、ロボットのそれぞれの動作終了後、アンケートに記入する。EV3 の動きについての印象を評価してもらうため、SD 法による 7 段階評価のアンケートを行った。アンケート項目は、表 4 に示す生物性、親近性それぞれ 3 問ずつの計 6 問であり、[8]を元に作成した。Poppy とは、本実験で使用したロボットの愛称であり、実験参加者には事前に説明している。

表 4 アンケート項目

Table 4 Questionnaire

生物性	親近性
Poppyに生きものらしさを感じる	Poppyはかわいいと感じる
Poppyは心を持っていると感じる	Poppyは親しみやすいと感じる
Poppyはいかにもロボットらしいと感じる	Poppyは怖いと感じる

3. 実験結果

アンケートで得られた結果を集計し、反応時間条件、停止方法条件はそれぞれ t 検定、その他の条件は、条件ごとに水準間の分散分析を行った。生物性得点の結果を図 4 に示す。

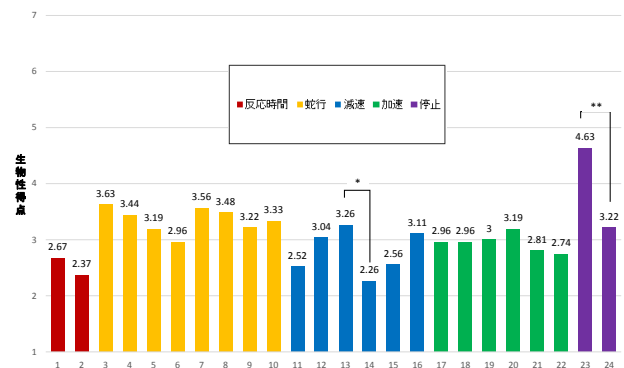


図 4 生物性得点の平均値

Figure 4 Average of the Animacy Score

生物性得点は、全体的に3点前後であり、高い得点ではなかった。反応時間の条件間では統計的に有意な差はなかった。しかし、生物性得点は、反応時間0sの水準1が2.67、反応時間2sの水準2が2.37であり、[5]で述べられている通り、反応時間の短いほど生物性が高いという傾向を示している。蛇行条件では、統計的に有意な差は見られなかったが、運動方向の変化を行わない水準1~2と蛇行条件である水準3~10について水準間の分散分析を行った結果、水準2(2.37)は水準3(3.63)、7(3.56)に対し5%水準で有意な差がみられた ($F(50.5,131.24)=3.24$)。従って、蛇行運動は直線運動より生物性が高いといえる。減速条件では、水準13 (4.15)、14 (3.07) 間に5%水準で有意な差が見られ、減速度が高いほど生物性が高いことがわかった ($F(2.65,68.82)=3.43$)。加速条件では、有意な差は見られなかった。停止方法条件では、水準23 (4.63)、24 (3.22) の水準間に1%水準で有意な差が見られた ($t(26)=3.836, p<0.01$)。親近性得点の結果を図5に示す。

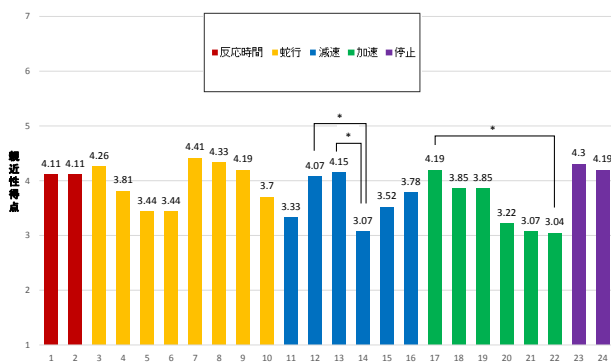


図5 親近性得点の平均値

Figure 5 Average of the Likeability Score

親近性得点は4点台のものが多く、生物性得点よりは得点が比較的高いことがわかる。反応時間条件については、平均値が同じであり、統計的に有意な差はみられなかった。蛇行条件では、生物性得点と同様、有意な差はみられなかった。減速条件では、水準14(3.07)は12(4.07)、13 (4.15)、両水準に対し、5%水準で有意な差がみられた ($F(3.59,93.31)=5.35$)。水準14が13よりも得点が有意に高いところは、生物性得点と同様である。加速条件では、水準17(4.19)、22(3.04)の水準間に5%水準で有意な差が見られた ($F(3.02,78.58)=5.82$)。また、加速度が一定な水準が比較的親近性が高いことがわかる。停止条件では有意な差がみられなかった。

4. 考察

本章では、予備実験結果を考察し、本実験で採用する振舞いについて検討する。

4.1 予備実験考察

反応時間条件では、生物性、親近性共に条件間で有意な差は見られなかった。その原因として、反応時間条件について実験参加者に尋ねたところ、反応時間の違いのみでは生物性の印象は変わらないとの意見が多かったため、本実験での実験条件では除くことにする。しかし、本実験のタスク上、反応時間は予め決めておく必要があるため、予備実験では比較的の高い値が出た反応時間0sである水準1を本実験条件の統制反応時間とする。

蛇行条件では、生物性、親近性共に有意な差は見られなかった。その原因として、蛇行条件は、生物性の印象に関してばらつきがある結果であったためだと考える。しかし、運動方向の変化を行わない水準1~2と蛇行条件である水準3~10について水準間の分散分析を行った結果、運動方向の変化を行わない水準2は、水準3、7に対し統計的に有意な差がみられたため、蛇行運動は生物性の印象を高めることがわかった。図4より、角度変化の頻度が低いほど生物性の印象が高いという傾向がわかったが、これは、方向変化の頻度が高いほど生物性が高いという[4]とは逆の結果になった。その原因として、[4]ではディスプレイに表示された図形の運動に対するものであるが、本研究では実際のロボットの運動に対するものであり、角度変化の頻度が高い蛇行運動はモータ音が小刻みに発生するため、ロボットらしい印象が上昇したのではないかと考える。本実験条件には、蛇行条件間で最も生物性得点の高い、ステアリング値5、変化角度5度の水準3を採用する。

減速条件では生物性において、水準13、14間に統計的に有意な差がみられた。その原因として、[4]で述べられているように、減速度が上昇するにつれて生物性の印象も上昇しており、速度変化が大きいほど、生物性が高い印象になることがわかる。よって、本実験では減速度 3cm/s^2 の水準13を採用する。

加速条件では、生物性では有意な差が見られず、平均値にもあまり差がなかった。その原因として、加速条件は、車が出発するような動きだったという意見があり、生物性という点での印象を得ることができなかったと考えられる。ミスへの許容は親近性が前提であるため、親近性得点を考慮する。親近性は、加速度の異なる水準17と22の間に統計的に有意な差が見られ、親しみやすい動きであることがわかる。したがって本実験では加速度 1cm/s^2 の水準17を採用することにする。

停止条件では、水準23が24よりも生物性の平均値が高く統計的に有意な差がみられた。その原因として、急停止という動きが実験参加者にとって予測できない動きであるため、生物性の印象が上昇したと考えられる。したがって停止方法が急停止である水準23を本実験の条件に採用する。

4.2 本実験の計画

本実験では、生物性が高い振舞いを行う条件において、ミスに対する不快感を軽減し、許容度が向上する効果があるという仮説を元に実験の実施する。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、ロボットの運動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、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う。使用するロボットは予備実験に使用したものに荷台を設置し、荷台の下には物体を認識するカラーセンサを搭載している。荷台の底は、カラーセンサの反射光が透過してブロック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。本実験に使用したロボットを図6に示す。

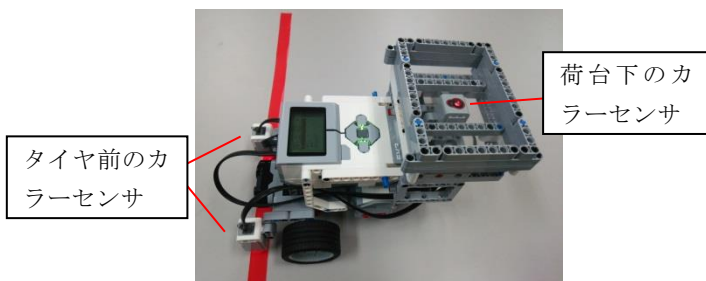


図6 実験に使用したロボット

Figure 6 Robot used in the Main Experiment

実験の手順は①～⑥のとおりであり、実験参加者2名をA,Bとして説明する。実験風景を図7に示す。

本実験手順:

- 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ブロック置き場へ移動し、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)

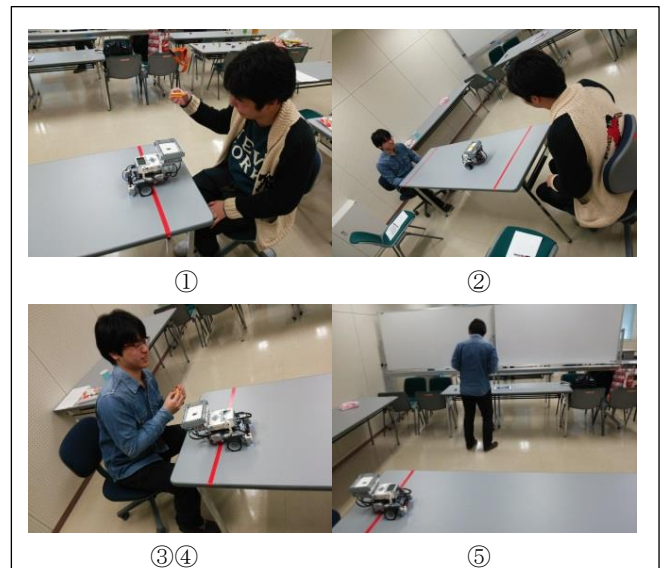


図7 実験風景

Figure 7 Scenes from the Main Experiment

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。実験に使用したブロックの例を図8に示す。

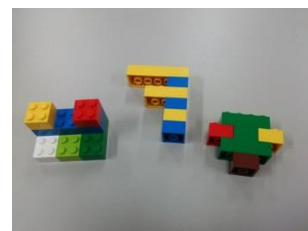


図8 実験に使用したブロック

Figure 8 LEGO Blocks Used in the Experiment

運搬タスクでは、1条件につき1回、ロボットがミスをする。そのミスは、(1)ロボットが指定されたカラーテープの位置で止まらない、(2)ロボットがブロックを認識する前に動き出す、(3)ロボットがブロックを認識しても動き出さない、の計3通りであり、ミスの種類、ミスのタイミングは、6つの運搬を通してランダムで選択される。本実験は、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よう、実験参加者に教示する。各条件終了後に、ロボットに対する印象評価アンケートを行う。評価アンケートの項目は、生物性3項目、親近性3項目と許容度7項目、性能評価2項目の

計 15 項目である。

5. おわりに

本稿では、生物性の印象が高いロボットの振舞いを選定するため、予備実験を行い、結果を述べた。予備実験では、机上の物体をロボットが捕獲するまでの振舞いに生物性を実装し、ロボットの動きについての生物性、親近性の印象を分析した。予備実験の条件は、反応時間、蛇行、減速、加速、停止方法の 5 条件、計 24 水準であり、予備実験の結果を元に、本実験で使用する生物性の高い水準を選定した。反応時間条件では、生物性、親近性ともに有意な差は見られなかった。蛇行条件では、生物性、親近性共に条件間では有意な差は見られなかったものの、直線運動を行う条件と比較すると蛇行運動は有意な差で生物性が高い結果となった。また、角度変化の頻度が低いほど生物性の印象が高いという傾向がみられた。減速条件では、減速度が高い条件は低い条件と比べ有意な差で生物性、親近性が高かった。加速条件では、生物性については条件間で差がなかったものの、親近性では条件間で有意差が見られ、加速度が低いほど親近性が向上することがわかった。停止方法条件では、急停止条件が惰性停止条件に比べて統計的に有意な差で生物性が高いことがわかった。本実験では、予備実験で選定した生物性の高い条件を組み合わせるロボットに実装する。実験条件は、蛇行、加速、減速、停止方法の 4 条件と、それら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 条件である。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う。運搬タスクでは、1 条件につき 1 回、必ずロボットがミスをする。ミスの種類は計 3 通りであり、発生はランダムである。各条件終了後に、ロボットに対する生物性、親近性、性能、許容度についての項目印象評価アンケートを行う。本実験では、生物性が高い振舞いを行う条件において、ミスに対する不快感を軽減し、許容度が向上する効果があるという仮説を元に実験を実施する。

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 第 48 巻第 6 号.(2009)
- [2] F. Heider and M. Simmel. "An experimental study of apparent behavior," The American Journal of Psychology, vol.57, no.2, pp.243-259, (1944)
- [3] 中村 浩, 鷺見 成正, 単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. 電子情報通信学会 信学技報.95-100, (2002)
- [4] 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 第 10 巻第 2 号 133-150 (2013)
- [5] 田中 一晶, 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, Vol. 25, No. 6, pp. 703-711, 2010.

[6] 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 Vol.15No.7, pp.1068~1074(1997)

[7] 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 Vol.26 No.7, pp.812~820(2008)

[8] 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, 2012/3.