

INAMO : ロボットを介した共同的な遊びと コミュニケーションについて

香川 真人^{1,a)} 柄戸 拓也¹ 岡田 美智男^{1,b)}

概要: 私たちが遊び心を持って遊ぶとはどういうことなのだろうか。他者の振る舞いに遊び心を感じながら自分自身の振る舞いを変化させるような共同的な遊びの場面では、そのおもしろさはどのようにして生じているのだろうか。本研究では、(a) ロボットを介した人同士の共同的な遊び、(b) 自律的に動作するロボットと人との共同的な遊びなどの場면을観察し、そこから立ち現れるおもしろさの種類と要因について探っている。本発表では、本研究プラットフォームの INAMO の概要とそのインタラクションについて紹介する。

INAMO: Cooperative Play and Communication with Robot

KAGAWA MASATO^{1,a)} KARATO TAKUYA¹ OKADA MICHIO^{1,b)}

Abstract: What does it mean that we play with playful spirit? What is the interestingness generated in a cooperative play that changes own behavior while feeling playful about the behavior of others? In this research, we will observe scenes such as (a) cooperative play between people via robot, (b) cooperative play between autonomously robot and people. And we are exploring the kinds and factors of the interesting that generate from it. In this paper, INAMO outline of this research platform and its interaction will be introduced.

1. はじめに

私たちは、幼いころから遊びを繰り返し行ってきた。幼少時は友達とごっこ遊びやテレビゲームを行い、日常の大半を過ごした人も多くいるだろう。また、大人になってからも、スポーツや賭け事を行っている人もいる。遊びは生活の中で欠かせないものであり、私たちの生活に潤いを与えている。

遊びの形態は時代とともに変化してきている。何も言わずとも、友達と放課後に公園に集まってごっこ遊びをしていた時代から、携帯ゲーム機を持ち寄って遊んだり、あるいはインターネットゲームなど、世界中のどこにいても、直接顔を合わせなくても遊ぶことができる遊びへと変化してきている。遊びはその形態は変化しながらも、その本質である、他者と競い合いながらも、協力・協調することに

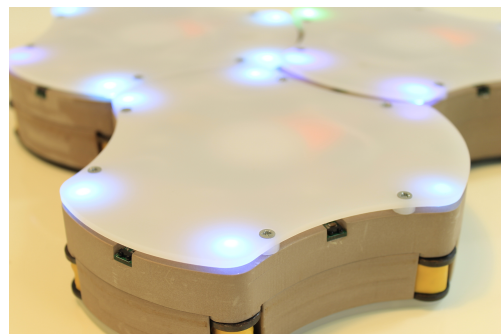


図 1 パネル型ロボット INAMO

Fig. 1 Panel type robot INAMO

おもしろさを見出す点是不変である。

こうした共同的な遊びを人同士ではなく、人とロボットとのかかわり合いの中で構築する試みとして、エンタテインメントロボットと呼ばれるロボットが研究・開発されている。ここでのロボットの多くは、人からの一方的な働きかけに対し、ロボットがある決められた反応を返すだけの一方的なかかわりに過ぎず、人とロボットとで共同的な遊

¹ 豊橋技術科学大学
TUT, Toyohashi, Aichi 1-1, Japan

a) kagwa@icd.cs.tut.ac.jp

b) okada@tut.jp

びが行えているとは言い難い。

筆者らは研究用プラットフォームとして、離合集散を繰り返すパネル型ロボット INAMO を開発している。このロボットは慣性モーメントと電磁石を用いた動作原理により、目的方向に移動するためには「他者との協調・協力」を必要とする。また、ロボットを操作するモードにおいて、うまく操作できない「もどかしさ」を特徴として持つロボットである。

本研究では、これらのパネル型ロボット (INAMO) の特性を生かして、人同士の INAMO を介した共同的な遊びで得られた知見から、自律動作する INAMO の動作パターンを設計した。さらに、自律型 INAMO と人が操作する INAMO との共同的な遊びを観察し、主観評価実験により、ロボット INAMO と人とのコミュニケーションの中で生まれてくる遊びの成立要件やおもしろさの要素について考察した結果を述べる。

2. 研究背景

2.1 エンタテインメントロボットと遊び研究

犬型ロボット AIBO の開発などをきっかけに、エンタテインメントロボット [1][2] と呼ばれるロボットが数多く開発されるようになってきた。これらのロボットは人の遊び相手としてデザインされ、ロボットがより身近なモノになったことを示している。しかし、多くのロボットは、人からの働きかけに対してあらかじめ定められたいくつかの選択肢の内から選ばれた、ある一定の反応を返すのみであり、すぐに飽きられてしまう。また、ロボットと遊んでいる場面を観察してみると、ロボットと遊んでいるのは人であり、必ずしもロボットが遊んでいるわけではないことは明らかである。

そうした観点から考えてみると、そもそも「私たち人が遊ぶということはどういうことか」、「人とロボットとが共同的な遊びを成立させるとはどういうことか」について、人とロボットとの関わり合いを手掛かりして議論できる可能性がある。同時に、人とロボットとの遊び研究から得られる知見は、人とロボットとのインタラクション研究のみならず、インターフェースの研究分野においても生かすことができる [3][4]。

本研究のパネル型ロボット INAMO は、こうした人とロボットとの遊び研究のプラットフォームとして開発・構築されたものである。ここでは、人同士の INAMO を介した共同的な遊びから得られた知見を用いた、自律動作する INAMO と人が操作する INAMO を用いて、ロボットと人との共同的な遊びを行うために必要な要素ならびに、ロボットと人との共同的な遊びにおける「おもしろさ」を生み出す要因について探ることとした。

2.2 おもしろさの種類

遊びの本質にある「おもしろさ」について、小川 [6] は Catch, Create, Control, Communicate, Comprehend の 5 つの C によって特徴づけている。本研究で用いるパネル型ロボット INAMO を用いた遊びにおいてもこの 5 つの C を満たしており、遊びの本質である「おもしろさ」を十分に備えていると考えられる。

また、藤田 [7] は、エンタテインメントロボットの例として、(1) 見て楽しむ、(2) 相互作用を楽しむ、(3) 操作して楽しむ、(4) 作ることを楽しむという 4 つ分類している。これらは小川 [6] が唱えているおもしろさの種類と近く、INAMO はこれらのエンタテインメントロボットの要素を十分に備えている。

また、小野 [8] は人工知能および認知科学の視点からエンタテインメントロボットに必要とされる要素を考察し、以下の 3 つの階層に分類している。この分類において、「時間」と表出・理解という「インタラクション」の方式が重要となっている。

- 第一次層：「短時間」のエンタテインメントを「表出」できる
直接的かつ瞬間的な刺激や動作が人間の驚きや楽しさなどの感情を引き起こすカテゴリー
- 第二次層：「一定時間」継続するエンタテインメントを「表出・理解」できる
ある構造をもった刺激や動作が人間の社会的な文脈の中で解釈され始めておもしろさや楽しさを感じることができるカテゴリー
- 第三次層：「長期間」継続するエンタテインメントを「自律的に表出・理解」できる
自分から楽しさを追及し、それを創り出すことに喜びを感じることができるカテゴリー

INAMO は第二次層に分類される。第三次層に該当するロボットは現在開発されておらず、INAMO ではこの層に該当することを目指し、必要となる要素について追及する。

2.3 おもしろさと身体性

川上らは、遊びを知覚心理学の視点から知覚側と運動側に分けて考察している [5]。遊びと知覚あるいは運動との直接的な関係については明らかになっていないものの、遊びに含まれるいくつかの特徴が知覚と運動にとって重要な学習、発達の機会を与えているとしている。

この観点からおもしろさの要因について考えてみると、「身体性」というキーワードが浮かび上がってくる。自分自身の身体を動かそうとした時、頭では動かし方や方法を理解していても、実際には周囲の環境や他者との関係性によってうまく動かせない。ここで感じる「もどかしさ」や、あるいは何度も繰り返すことで新たな手段・方法を見つけ

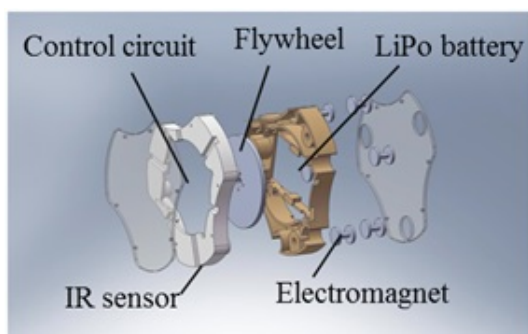


図 2 INAMO のシステム構成

Fig. 2 System configuration of INAMO

実践していく過程にこそ「おもしろさ」は生まれてくるのではないだろうか。

INAMO はこうした関係を生み出すことができるプラットフォームとして開発されている。詳しくは次章以降で詳しく述べるが、操作者が INAMO に自分自身の身体を重ねることで、自身の身体でありながらもうまく動かせない「もどかしさ」を感じつつ、最適な操作方法を模索する「おもしろさ」を誘発できると考えている。

3. パネル型ロボット INAMO

本研究では、人とロボットとの共同的な遊びについて議論する研究用プラットフォームとして、パネル型ロボット INAMO の構築している。INAMO は図 1 に示すパネルの形状を持ったロボット群である。正六角形の角を丸めた形をしており、複数体集まることで平面充填可能である。INAMO は複数体集まることで、群れを形成し群れとしての行動や形状の変化など、群ロボットとしての特徴を兼ね備えている。

INAMO はその内部にフライホイールと呼ぶ金属製の円盤と電磁石が搭載されている。フライホイールを回転させ、急停止あるいは逆回転を与えることで発生する慣性モーメントにより INAMO 本体が回転し、電磁石の極性を切り替えることにより、INAMO 同士で離合集散をすることが可能である。こうした特徴から、INAMO は単体だとうまく目標方向にまで進むことができない弱さを備えるとともに、他者の協力を引き出す性質を持っている。

3.1 システム構成

INAMO の外形は正六角形の角を丸めた形をしている。これは直径 176 mm の円から 3 辺を同じ直径 176 mm の円で削りとった大きさとなっている。また、厚さは 55 mm、重量は 1036 g である。

INAMO は人と同じ場で遊ぶことを想定している。身体的なインタラクションを考慮し、モータなどのアクチュエータを外部に露出しておらず、内部にコントローラ以外のすべての機能が内包されている (図 2)。したがって、小さな

子どもも INAMO と安全に関わるができる。INAMO を設置する床材やコントローラに対する人の操作や後述するフライホイールの回転量によって多少の誤差はあるが INAMO 自身は 1 rpm 程度で回転する。

以下にその主な機能などを順に説明する。

3.1.1 INAMO の動きを産み出すフライホイール

INAMO の内部にはフライホイールと呼ばれる金属製の円盤が内蔵されている。その円盤を高速回転し、停止させ、逆回転を与えると発生する慣性モーメントにより INAMO 本体が回転する。

また、INAMO の外見からではどのように動くのか、実際に動いていてもどのような原理で動いているかの判断することがわからず、INAMO に対して新奇性を抱きやすくなり、操作してみたいと人を惹きつける要素になっていると考えられる。

3.1.2 INAMO 同士の離合集散を行う電磁石

INAMO の各頂点には電磁石が搭載されている。この電磁石の極性を切り替えることにより INAMO 同士の離合集散を切り替えている。6 か所の内、どの電磁石が励磁状態になっているか視覚的に確認できるように、電磁石上部に青色と緑色の LED を 1 つずつ取り付けている。LED の色はコイルの極性によりその色を使い分けている。そのため、同じ色同士の場合だと、極性が同じになるため反発しあうようになり、違う色同士の場合は極性が異なるため引力が発生し、INAMO 同士がくっついた状態になる。この LED の色の切り替えにより人と遊んでいる場合にも、INAMO のどの頂点が接続状態あるいは、反発状態になっているかが判断できる手がかりになっている。

3.1.3 INAMO の制御と通信機能

フライホイールの回転速度や加速度、回転方向を調整するために、ブラシレス DC モータの電圧・電流を制御している。また、INAMO と外部の制御用 PC とは無線通信によって、PC から INAMO への命令、INAMO の状態 (INAMO のどの辺が別の INAMO と接続状態にあるか) を PC に送信している。INAMO をジョイスティック型のコントローラを用いて操作する際には、PC を経由し INAMO 内のフライホイールの回転量と回転方向を操作できるようになっている。

INAMO の電磁石の切り替えについては、自動的に行われるようプログラムされている。そのため、コントローラを用いて操作する場合には、電磁石の ON/OFF を気にすることなく、INAMO の操作そのものだけに集中することができる。また、ほかの INAMO とは 6 辺にそれぞれ設置された IR センサを用いた IR 通信によって、情報の受け渡しを行い、隣接する他の INAMO の存在を確認すると、相互の電磁石を自動的に切り替えるようにしている。

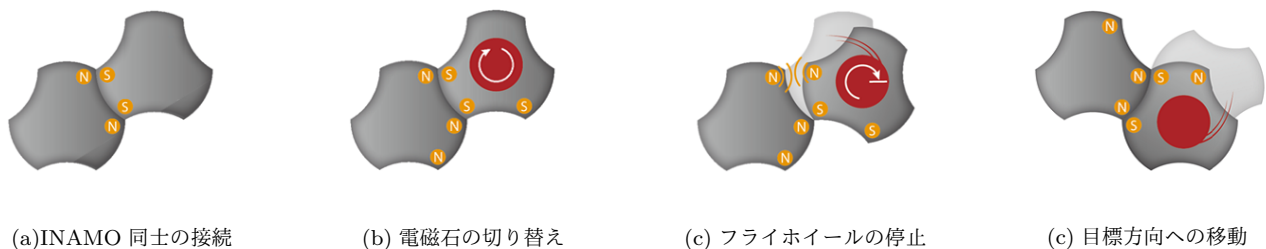


図 3 INAMO の群体移動

Fig. 3 Dynamic locomotion of INAMO

3.2 パネル型ロボット INAMO の基本動作とデザイン

INAMO はフライホイールによって発生する慣性モーメントと電磁石によって動作する。この性質のため、単体の INAMO では、その場でコマのように回転することしかできない。しかし、平面充填可能なデザインにより、複数のロボットが集まり、寄り添い合いながら、協力しながら動作することで目標方向へと移動することができる。以下ではその基本動作について詳しく述べる。

(1) INAMO 同士との接続

INAMO が目標方向への移動を行うためには INAMO 同士が接続状態にあることが望ましい。したがって図 3(a) の状態のように INAMO 同士が電磁石によって接続された状態にしておく。

(2) フライホイールの回転・急停止

INAMO 同士が接続された状態で片方の INAMO のみ、フライホイールを回転させる (図 3(b))。ある程度回転させた後、急停止させることによって慣性モーメントが発生し INAMO 自身が回転する (図 3(c))。

(3) 電磁石の切り替え

INAMO 内部のフライホイールが回転し始めると同時に電磁石の極性を切り替えている。1 点のみで接続状態になり、別の点では反発状態に電磁石を切り替える。また、フライホイールが回転し始めると次に接続される電磁石も決まるため、次に接続される場所の電磁石も励磁される (図 3(b))

(4) 目標方向への移動

慣性モーメントと電磁石の極性の切り替えをタイミングよく行うことで、他の INAMO を支点に回転する (図 3(d))。この回転によって目標方向へ少し進むことができる。この動作を 2 体で交互に繰り返す行うことで目標方向へと移動することができる。

この原理から INAMO 単体ではその場で回転動作をするのみになり、目標方向に移動することができない。目標方向に移動するためには、他の INAMO を起点として回転しながら移動する必要がある。

3.3 INAMO の持つおもしろさ

INAMO が持つおもしろさは大きく分けて 2 種類あると考えている。

一つ目は INAMO の操作におけるものである。INAMO の操作にはジョイスティック型コントローラを用いて行うが、直感的に操作が行えるわけではない。上記の慣性モーメントによる回転動作は普段の生活では見ない動きであり、最初は操作に不安を感じるが、繰り返すことで慣れを感じ始め徐々に操作できていく感覚を得る。

この移動方法は必ずしも思い通りにいくものではない。操作者がなんとなく移動方法を頭では理解していながらもうまく動かすことのできない「もどかしさ」を感じながら操作していく。また、うまく目標方向に操作していくためには、自分の技術だけでなくある程度その環境に委ねながら、運に頼りながら操作する必要がある。自身が操作していながらも、自分の身体のままならなさに繋がり、完全に操作できない不安定さがおもしろさを生み出す要素になっていると考えている。

二つ目は、INAMO が持つ〈弱さ〉からくるおもしろさである。INAMO はその動作原理から単体では目標方向への移動が行えないロボットである。他者の手助けをうまく引き出しながら、あるいは他者を踏み台にしながら目的 (= 目標方向への移動) を果たそうとしている。しかしながら、他者の思考や突然のアイディアを常に理解できるわけではなく、必ずしも他者があてになるわけではない。他者がいることで、さらなる制約が生まれ、より一層思い通りにいかなくなる。そうした中でも、何度か繰り返すことで相手の意図をなんとなく汲み取れたり、こちらの意図が伝わったような感覚を得ることができる。こうした、他者との関わりにおけるままならなさがおもしろさに繋がっていると考えられる。

3.4 自律型 INAMO の動作デザイン

INAMO は自身のもつ特徴から、別の INAMO と交互に動作することが望ましい。そのためには相手とのコミュニケーションをとることが必要不可欠である。また、INAMO を介した人同士の遊びにおいても、相手とうまくコミュニケーションをとることができれば、その遊びの持つ「おも

しろさ」についても強く感じることができていることが示唆される [17].

これらのことから、自律型 INAMO にも相手である人とうまくコミュニケーションをとることを考える。人同士の場合にはコミュニケーションをうまくとる手がかりとして社会的参照がある [9]。しかしながら、社会的参照は人同士が互いの様子を観察し、表情や視線から様々な情報を得る行動であるため、人-ロボット間では成り立たない。そのため、別の視点からのアプローチが必要である。

INAMO はシステム構成でも述べたように、移動の仕方は独特の手法をとっているが、構成そのものはシンプルな作りになっている。そのため、会話やアイコンタクトといった人同士で日常的に行っているものを利用して、人とコミュニケーションをとることができない。そこで、自律的に動作する際の振る舞いと INAMO の内部状態を開示させることにより人とコミュニケーションをとることを考える。

人と共同的な遊びするために重要となってくるのは自律型 INAMO の振る舞いである。この振る舞いの違いによって人と協力しながらタスクを達成できるか、協調しあいながら遊びを楽しめているかについて影響を与える。自律型 INAMO の振る舞いには先行研究 [17] で行った、人同士の INAMO を介した遊び (図 4) での人の操作をベースに考える。

人同士が互いの様子を伺いながら交互にそれぞれの INAMO を操作した場合、目標方向に向かって INAMO を進めることができた。INAMO の持つ特徴をうまく扱うことができれば人同士は遊びの中で互いに協力・協調関係を築くことができる。この振る舞いを自律型 INAMO に搭載し、人とロボットで同じような関係を構築することを目指す。しかしながら、INAMO には人の目に当たる部分 (カメラ等) がなく、相手が完璧に動作し終わったかどうか、INAMO 自身がうまく先の辺に移動できたか確認することができない。この判断をするのは人でありうまく INAMO をアシストしながら協力していけるよう自律型 INAMO をデザインした。具体的には、人の操作している状態をコントローラの入力値から判断し、人が操作し終わったタイミングでフライホイールを回転させ動作し始める。フライホイールの回転量、方向はあらかじめ設定しており一定である。

また、振る舞いだけでなく、内部状態を表現するものとして LED の点滅を用意した。ここでの内部状態とは、自律型 INAMO が動作したいという気持ちを表したものである。自律型 INAMO の中央部には赤色 LED が取り付けられており、フライホイールが回転する数秒前から点滅を始める。3 回点滅を繰り返すとフライホイールが回り始める。フライホイールが回っている間も LED は点滅を繰り返している。

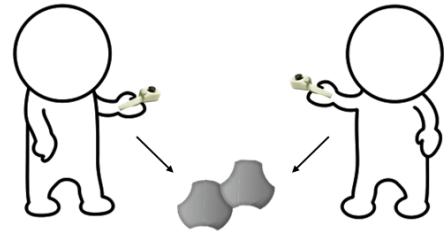


図 4 人同士の INAMO を介した遊び

Fig. 4 Cooperative play between Human-Human with INAMO

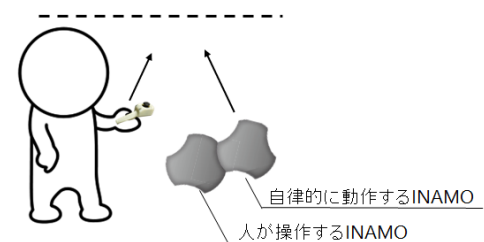


図 5 自律型 INAMO と人との遊び

Fig. 5 Cooperative play between autonomously INAMO-Human

内部状態の開示によってロボットから人へ自身の意思を伝達するとともに、相手と協調する振る舞いをするすることで、人とロボットとのコミュニケーションを実現できると考え動作デザインとした。この知見を活かし、次章より自律型 INAMO と人との共同的な遊びの成立要件とおもしろさについて主観評価実験を行った。

4. 主観評価実験

本研究では人とロボットとの共同的な遊びの成立要件やおもしろさの要素について議論していくため、自律型 INAMO と人との共同的な遊び (図 5) について質問紙を用いた主観評価実験を行った。

4.1 実験内容

参加者にはコントローラを用いて INAMO を操作してもらい、条件を変えることによってその遊びの「おもしろさ」やそこでのコミュニケーションに対する印象の変化について考察を行った。実験条件は以下のとおりである。

(1) 人と協調した振る舞いの有無

協調動作条件 自律型 INAMO が参加者と協調し、人の操作の後動作しようとする条件。

ランダム条件 自律型 INAMO が参加者の動作に関係なく、自由なタイミングで動作する条件。



図 6 フィールド

Fig. 6 Experiment Field

表 1 実験における質問とカテゴリ

Table 1 Question items and their categories for experiment

質問番号	質問内容	カテゴリ
Q1	ゲームとして楽しめた	ゲーム性に関する質問
Q2	思い通りに自分のロボットを操作できた	
Q3	相手のロボットに生き物らしさを感じた	ロボットの生物性に関する質問
Q4	相手のロボットには動こうとする気持ちや意図があった	
Q5	相手のロボットはあなたと同時に動こうとしていた	コミュニケーションに関する質問
Q6	相手のロボットはあなたと交互に動こうとしていた	
Q7	相手のロボットの気持ちを理解できた	
Q8	相手はゲームとして楽しんでいた	相手の楽しさに関する質問

(2) 内部状態の開示の有無

点滅条件 自律型 INAMO の動き出しを、動き出す 3 秒前から INAMO 上部中央の LED の点滅によって人に伝えようとする振る舞いがある条件。

点灯条件 自律型 INAMO の動き出しを、人に伝えようせず INAMO 上部中央の LED が点灯したままの条件。

実験は各条件を組み合わせた 4 条件を 1 回ずつ合計 4 回試行した。1 試行 3 分間で行い、参加者は各試行終了後に質問紙 (表 1) に 5 件法 (5: と思う, 4: ややと思う, 3: どちらでもない, 2: やや思うわない, 1: そう思わない) 回答した。実験では 20 名 (男性 19 名, 女性 1 名, 平均 24 歳) の参加者で各実験を行った。実験 1 では 1 名が質問紙に対し記入漏れがあったため、無効とした。また、両実験を行った参加者はおらず、初めて INAMO を操作する人のみ対象として行った。

実験では図 6 に示すフィールドを用いた。フィールド上にある黄色のライン (破線) はどの程度進んだかの目安として用いた。

4.2 実験結果

質問紙による回答のスコアの平均値を図 7 に示す。横軸は各質問の平均スコア、縦軸は各質問である。振る舞い条件と開示条件が人と INAMO との共同的な遊びにどのように影響を与えているか探るために、分散分析を行う。多群の比較をするために、まず上位検定として有意水準 5% で

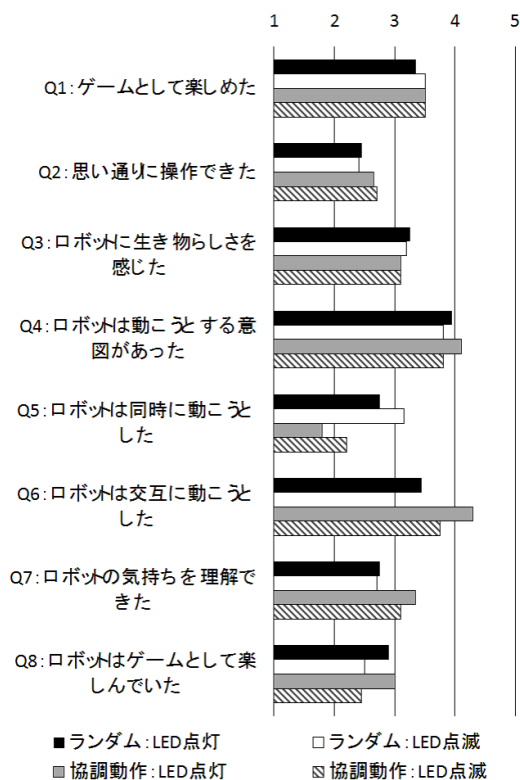


図 7 実験結果

Fig. 7 Result of experiment

二元配置分散分析を行った。分散分析の結果、Q5, Q6 の二項目で群間の差が有意であり、Q7, Q8 の二項目で有意傾向が確認できた。

4.3 考察

分散分析の結果、Q5, Q6 の二項目で統計的に差が有意であること、Q7, Q8 の二項目で有意傾向が確認できた。

Q5「相手のロボットはあなたと同時に動こうとしていた」、Q6「相手のロボットはあなたと交互に動こうとしていた」とともに協調動作条件について主効果が認められた。すなわち、協調動作条件が内部状態の開示の有無にかかわらず、4 条件間の平均値の差に影響を与えうることが分散分析によって明らかになった。

このことから、ロボットが相手を意識した振る舞いとそうでない振る舞いとの違いによって「ロボットが自分と協調しているかどうか」という質問に影響を与えていることが統計的に差が有意であることから確認できる。さらに条件間に平均値の差があるかどうか調べるために Holm 法を用いて多重比較を行い、その結果について考察する。有意水準 5% で下位検定として Holm 法による多重比較を行った。その結果、Q5, Q6 とともに差が有意であることが認められた。Q5, Q6 における多重比較の結果をそれぞれ図 8, 9 (**: $p < .01$, ***: $p < .001$) に示す。人同士での共同的な遊びで得られた知見をベースにデザインした自律的に動作する INAMO の振る舞いは、人に対して、ロボットと協調・

表 2 分散分析結果

Table 2 Analysis of variance results

Question	Factor	F Value	Pr(>F)
Q1	振る舞い条件	0.169	0.685
	開示条件	0.146	0.707
	交互作用	0.184	0.673
Q2	振る舞い条件	1.667	0.212
	開示条件	0.000	1.000
	交互作用	0.066	0.800
Q3	振る舞い条件	0.314	0.582
	開示条件	0.016	0.902
	交互作用	0.019	0.891
Q4	振る舞い条件	0.151	0.702
	開示条件	2.335	0.143
	交互作用	0.234	0.634
Q5	振る舞い条件	19.11	0.000 ***
	開示条件	2.040	0.169
	交互作用	0.000	1.00
Q6	振る舞い条件	10.26	0.004 **
	開示条件	3.585	0.074 †
	交互作用	0.076	0.785
Q7	振る舞い条件	3.016	0.099 †
	開示条件	0.305	0.587
	交互作用	0.369	0.551
Q8	振る舞い条件	0.033	0.858
	開示条件	3.944	0.062 †
	交互作用	0.299	0.591

†:p<0.1, **:p<0.01, ***:p<0.001

協力することができているという感覚を生み出すことに對し有効であることがいえる。

実験の結果から、ロボットから人へ協調しようとしている感覚を人は感じるができているが、Q7「相手のロボットの気持ちや意図が理解できた」というコミュニケーションが行えたかどうかを聞く項目ではどの条件でも差が見られなかった。このことから、本実験ではまだロボットと人との共同的な遊びにおいて課題が残されている。その要因として、そもそも遊びとして成立していない場合があったことがあげられる。そこで、遊びとして成立した場合とそうでない場合に比べて比較し、ロボットと人との遊びを成立させる要因について考察する。

また、内部状態の開示の有無に関しては統計的に差が有意と言えない。実験終了後、参加者の方に口頭で、「LEDの点滅に気がついたか」と質問したところ、ほぼ全員が気づいておらず、気づいた人も何を意味していたか理解できなかったと答えた。このことから、本実験ではロボットの内部状態がうまく人に伝わっておらずその要因での差が見られなかったものとし、以下の考察では人と協調した振る舞いの有無での差について考察していく。

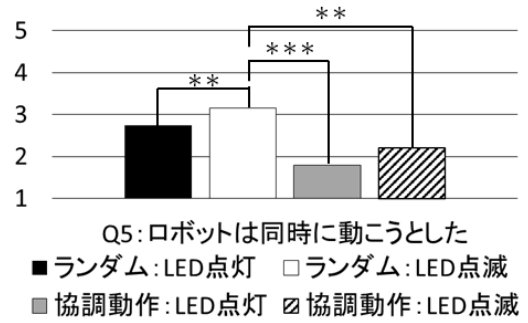


図 8 Q5 における多重比較結果

Fig. 8 Multiple comparisons result of Q5

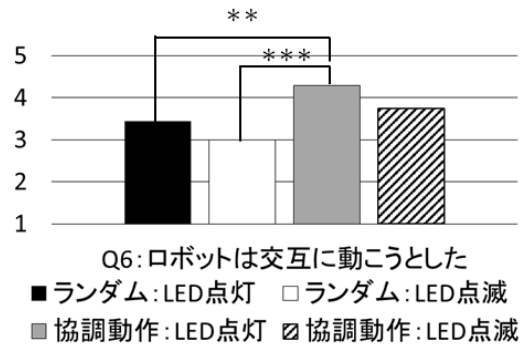


図 9 Q6 における多重比較結果

Fig. 9 Multiple comparisons result of Q6

4.4 操作性による比較

うまく操作できたかどうかとその遊びがもつ「おもしろさ」に影響を与える。これはおもしろさの種類にある「Control」に深く関係している。そこで、うまく操作できた場合とそうでない場合にわけて議論する。

Q2「思い通りに自分のロボットを操作できた」の項目の評価スコアが3以上の場合、うまく操作できたとし、評価スコアが2以下の場合操作できなかったとした。実験参加者がうまく操作できたかどうかを図10に示す。ここでも、内部状態の開示条件では差が見られないことから、人と協調した振る舞いの有無について考察する。

うまく操作できたと回答したのは37事例、操作できなかったと回答したのは43事例であった。図10にあるように、操作できたと回答している人は振る舞いの違いにかかわらず、Q1「ゲームとして楽しめた」の評価スコアが高くなっている。うまく操作できたと感じることでゲームのもつ「おもしろさ」を強く感じることに繋がっている。

人同士の遊びの場合での「ゲームとして楽しめた」の評価スコアと比較する。比較した結果を図11に示す。うまく操作できた場合では、振る舞いの違いにかかわらず、人同士の社会的参照を許す場合と同程度の「おもしろさ」を感じていることがわかる。また、社会的参照を制限した場合と比較して社会的参照を制限した人同士との遊びよりも「おもしろさ」をより強く感じており、統計的に差が有意で

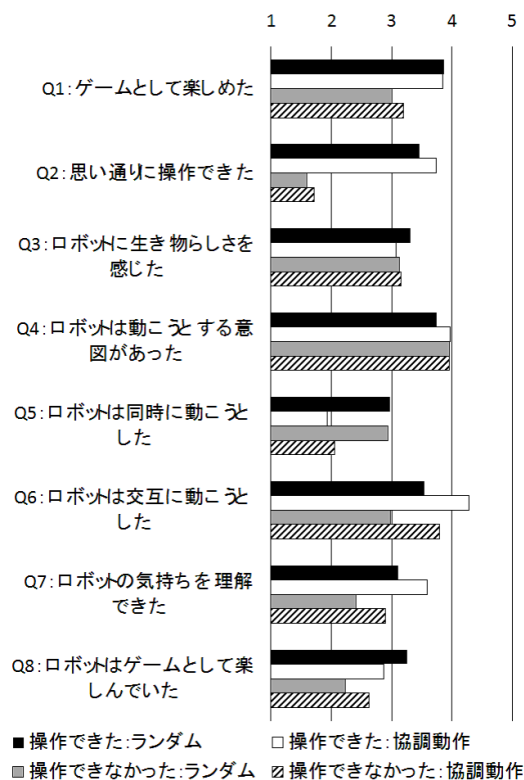


図 10 操作性による比較

Fig. 10 Comparison with could manipulate or could not

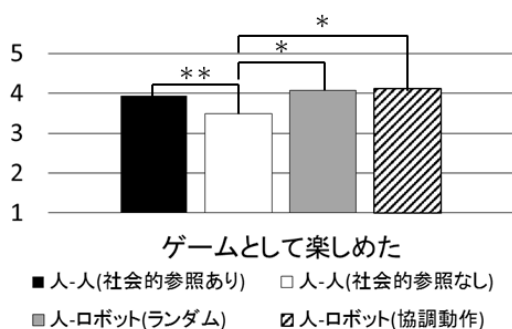


図 11 人同士の遊びとの比較結果

Fig. 11 Comparison with human or robot

あることが認められる (ランダム: $p < 0.1$, 協調動作: $p < 0.1$).

うまく操作できた場合, Q7「相手のロボットの気持ちや意図を理解できた」についても, 振る舞いの違いにかかわらず, 操作できたと感じることで評価スコアが高くなっている. 操作性とコミュニケーションとの間にも関連があることが示唆される. カイ二乗検定の結果, p 値が $0.08 (< 0.1)$ であり有意傾向が示された.

また, 操作性においても実験結果と同じように, 振る舞いの違いで Q5, Q6 で差が確認できる. t -検定を行った結果, 操作できた場合 (Q5: $t = 2.89$, $p < 0.01$, Q6: $t = 3.03$, $p < 0.01$) と操作できなかった場合 (Q5: $t = -2.71$, $p < 0.05$, Q6: $t = -2.76$, $p < 0.01$) において統計的に差が有意であることが確認できた. ここでも, うまく操作できた人とそう

でない人も INAMO の人と協調したかどうかの振る舞いの違いによって, INAMO が人と協調していたかどうかについて差が生まれていることがわかる.

5. おわりに

本研究では, 人とロボットとの共同的な遊びについて議論するため, パネル型ロボット INAMO を構築した. 「ロボットと人が一緒に遊ぶ」とはどういうことか探るため, 人同士の場合から得られた知見より, 自律型 INAMO の動作をデザインした. その自律型 INAMO と人との間に共同的な遊びの課題を設定し, そこから生まれる「おもしろさ」を生み出す要因を主観評価によって調べた.

実験から, 人とロボットとの遊びがうまく行えた事例をあげると, 「操作性」と「コミュニケーション」がおもしろさに影響を与えることが確認できた. うまく操作できたと感じている人ほど, その遊びを楽しめた傾向にあった. また, 相手と協力しようと相手の出方を伺いながら操作している人は操作時間そのものが短い. その場合はうまく操作できなかったと回答しながらもゲームとして楽しめており, うまく操作できない「もどかしさ」が「おもしろさ」へと繋がっている.

また, ゲームとして楽しめたと感じている人ほど, 自律型 INAMO の気持ちや意図を理解でき, 相手とのコミュニケーションが取れたと感じている. 操作性やコミュニケーションが人とロボットとの遊びにおいて重要な要素になりうることが確認できた. このことは人同士の場合でも同じであり, 人同士のロボットを介した遊びでの動作を参考にした自律型 INAMO の動作デザインには有用性があることがわかった.

本研究より, 人とロボットとの遊びにおける人側の「おもしろさ」を生み出す要素について検証することができた. しかしながら, ロボット側が楽しめた感覚を生み出すことはできておらず, 共同的な遊びが行えているとは言い難い. 今後の展望として, ロボットの内部状態の開示を人へ伝える方法について検討し, 人とロボットとの間で共同的な遊びを成立させていくことを目標としたい.

謝辞 本研究の一部は, 科学研究費補助金 (基盤研究 (B): 26280102) の助成を受けて行われた. ここに記して感謝申し上げたい.

参考文献

- [1] 景山浩二, 石田健蔵: エンタテインメントロボットビジネス; 日本ロボット学会誌 Vol.20, No.7, pp.668-671 (2002).
- [2] 土井利忠: 犬型ロボット A I B O と新ロボット産業; 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.10, pp.1000-1001 (2012).
- [3] 田中文英: 子どもとロボットのインタラクションにおけるエージェンシー; 日本ロボット学会誌, Vol.31, No.9, pp.858-859 (2013).

- [4] 阿部香澄, 岩崎安希子 中村友昭, 長井隆行, 横山絢 美, 下斗米貴之, 岡田浩之, 大森隆司: 子供と遊ぶロボット: 心的状態の推定に基づいた行動決定モデルの適用; 日本ロボット学会誌 Vol.31, No.3, pp.263-274 (2013).
- [5] 川上浩司, 三嶋博之, 塩瀬隆之, 岡田美智男: インタフェースとしての遊び・遊具に対する考察; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 6, No. 4, pp. 1-10 (2004).
- [6] 小川純生: 遊びは人間行動のプラモデル?; 経営論集, 第58号, pp.25-47 (2003).
- [7] 藤田雅博: ロボットエンターテインメントと人工知能; 人工知能学会誌, Vol.16, No.3, pp.399-405(2001)
- [8] 小野哲雄: エンタテインメントロボットとコミュニケーション; 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.17.No.2, pp150-155(2005)
- [9] 小沢哲史: 社会的情報収集行動の起源と発達, 遠藤利彦(編), 『読む目・読まれる目』, pp.139?156. 東京大学出版会 (2005).
- [10] やまだようこ: 共に見ること語ること-並ぶ関係と三項関係, 北山修(編), 『共視論-母子関係の心理学』, pp.73-87, 講談社 (2005).
- [11] 岡田美智男: 『弱いロボット』, シリーズ ケアをひらく, 医学書院 (2012).
- [12] 石島このみ, 根ヶ山光一: 乳児と母親のくすぐり遊びにおける相互作用: 文脈の共有を通じた意図の読み取り; 発達心理学研究 Vol.24, No.3, pp.326-336 (2013).
- [13] 栗山容子, 萩原美文, 足立実絵: ビー玉獲得課題を用いた2人ゲーム遊び方略の発達; 発達心理学研究 Vol.7, No. 1, pp.52-61 (1996).
- [14] 宮本英美, 李銘義, 岡田美智男: 社会的他者としてのロボット: 自閉症児ーロボットの関係性の発展; 発達心理学研究, Vol.18, No.1, pp.78-87 (2007).
- [15] Kozima, H., Nakagawa, C. and Yasuda, Y.: Children-robot Interaction : A Pilot Study in Autism Therapy, Progress in Brain Research, Vol.164, pp.385-400 (2007).
- [16] Dautenhahn, K., Werry, I., Rae, J., Dickerson, P., Stribling, P. and Ogden, B. : Robotic Playmates : Analysing Interactive Competencies of Children with Autism Playing with a Mobile Robot, Socially Intelligent Agent, Kluwer Academic Publishers, pp.117-124 (2002).
- [17] 香川真人, 馬場翔太郎, 竹田泰隆, 岡田美智男: パネル型ロボット INAMO を介した共同的な遊びとコミュニケーションについて, ヒューマンインタフェース学会論文誌 Vol.18, No.3, pp.209-218 (2016).