

参加者の共同を引き出す  
インタラクティブメディアに関する研究

(A study of novel interactive robots that make  
cooperative activities among multiple participants)

2020年1月

博士（工学）

香川 真人

豊橋技術科学大学



---

## 参加者の共同を引き出すインタラクティブメディアに関する研究

### 論文概要

Wellbeing（ウェルビーイング）という言葉がある。この言葉は直訳すると「幸福」、「健康」という意味で使われている。健康については、世界保健機関憲章の前文内にて定義されており、同様の意味合いで用いることが多く、近年ではビジネスや会社経営の方針としても取り上げられている。

こうした世界的な動きの中で、ロボット分野の観点からウェルビーイングについて考えてみるとロボット分野では、生産性や効率の向上に重きを置いて研究・開発が行われてきており、人とロボットとの関わり合いの中から生まれてくるウェルビーイングについては議論されていなかった。そこで、本研究では、ロボット分野の観点から、これまで着目されていなかったウェルビーイングについて人とロボットとの関わり合いの中から議論している。

「おもしろい」、「楽しい」という感情は、ウェルビーイングを構成する一部分である。本論文では、ロボットを介した共同的な遊びの場面を設定し、その場面での身体性を伴った社会的相互作用を媒介するロボットの性質や特徴を知見とし整理することで、ロボットを介しての遊びがおもしろさやコミュニケーションの形成をどう導くのかについて論じている。

第1章では、本研究の背景と、研究目的の概要について述べるとともに、本論文の構成について述べた。

第2章では、本研究に関連する研究事例について示し、本研究での中心的なアイデアとして、身体の拡張および共同的な遊びを構成する上での概念を整理し、本研究の位置付けを明らかにした。

第3章では本研究で使用するロボット INAMO の基本的な性質を説明するとともに、自分の身体が思い通りにならないもどかしさについて議論する。「もどかしさ」を操作者への情報負荷として考え、その大小を統制条件とし、それがその遊びのおもしろさにどのような影響を与えているのかについて知見をまとめ述べた。

第4章では、INAMO を介した人同士の共同的な遊びの成立要件を探るととも

に、ロボットと人とのコミュニケーションの中で立ち現れる遊びの成立要件やおもしろさの要素について得られた知見を述べている。

第5章では、4章で得られた知見を基に、自律的に動作する INAMO を設計し、人とロボット INAMO との間で共同的な遊びの構築を試みる。人とロボットとの共同的な遊びに必要な要素ならびに、おもしろさを生み出す要素について述べている。

第6章では、ソーシャルメディアとしての機能を有するロボット〈Column〉を用いて3名の参加者の拡張された身体の一体化を図る。〈Column〉を介した3人の実験参加者が共同的な遊びを行った場合において、重要な役割を果たす社会的参照の有無や、試行を繰り返すことで得られる習熟がその遊びにおけるおもしろさやコミュニケーションにどのような影響を与えるのかについて知見をまとめ述べた。

本論文では、このような事柄について、順を追って説明する。最後の第7章では、本研究で得られた結果と今後の展望を述べ、本研究の統括を行っている。

---

# A study of novel interactive robots that make cooperative activities among multiple participants

## Abstract

Wellbeing – the word used “happiness” or “health”. “Health” is defined by WHO, Wellbeing used same meaning in many fields (ex. business, financial information). In the field of robots, research and development have been conducted with emphasis on improving productivity and efficiency. However, Wellbeing arising from the interaction between humans and robots was not researched. In this research, we research on Wellbeing from the interaction between humans and robots in the field of robots. The emotions of “interesting” and “fun” are part of Wellbeing. In this thesis, we set a scene of a cooperative play through a robot. Then we have organized the properties and characteristics of the robot that mediate social interaction with physicality in that scene. We discussed how play can lead to the formation of fun and communication.

In our daily lives, we play many kinds of games, and enjoy with them in some various ways. However, playing alone TV games or toys often make us feel bored. On the other hand, cooperative plays such as enjoying communicating and competing with others let us to notice the other people’s feelings, also we can even find an unexpected side of the other player. This kind of cooperative plays make it easier to maintain the fun.

As well, in sports etc., although we can understand how to use our own body, we feel “impatience” that results as inability to move our body well. As we repeatedly practice, we learn some tips and radially alleviate our “impatience”. This predicts acquisition of further capabilities and becomes a factor to bring people into further practice. Entertainment robots have been studied and developed to construct the collaborative plays that is not among people but in the relationship between people and robots. Many of these robots can respond only to certain unilateral

approach of humans. This situation cannot expose that human and robots can play cooperative play.

The contents of this thesis are containing two interactive mediator robots (INAMO and Column) for exploring how participants utilize those interactive artifacts and are cooperative plays by them in human-human/human-robot social interaction.

Chapter 1-2 is introduction and background. In this section, we described the research purpose and structure of this thesis. And then we present research cases related to this research. And as a central idea organizes which concepts in constructing body expansion and cooperative play in this research. Finally, we clarified the position of this research.

INAMO (Chapter 3-5) is panel type robot that can charge the kinetic energy by rotating the built-in flywheel and rotate around the corner of electromagnet contacting with other INAMO. Users can control the moving of INAMO using the joystick that can make quick acceleration and breaking of the flywheel. As a cooperative play, users can precede the INAMO 's moving by the collaborative and competitive interactions with some "impatience". In Chapter 3, we set up an experiment by utilizing a game with INAMO to examine the effects of controlling the timing and the direction of the robot 's movement by utilizing randomly or deliberative controlling methods of human and INAMO itself in different conditions. We analyzed the performance of the subjects and their impressions on the experimental game. The results demonstrated the users exhibit more sense of fun in the condition of the operation methods are able to controlled by users.

In Chapter 4, we demonstrated the user's impressions and preferences for INAMO 's behaviors and the roles of triadic interactions and sharing goals in the collaborative play with INAMOs. When sharing a common task, we share not only that common task but also "impatience" and sense of accomplishment. When social reference was allowed, communication with the other one was easy,

and “interestingness” was highly appreciated.

In Chapter 5, we developed autonomously moving INAMO based on the result of chapter 4. Moreover, we observed collaborative play between this autonomously moving INAMO and INAMO operated by human and investigated elements of fun and establishment requirements for the play born during the communication between robots and human. The results showed that many participants who enjoyed the game felt that they could communicate with the autonomous moving INAMO.

Column (Chapter 6) is ball-shaped interactive artifacts consisting of eight modules that are connected to twelve servo motors for studying the nature of behaviors and communications in our everyday cooperative plays. Three users can control the above servo motors by swinging the wireless modules “Gear” simultaneously. In the interaction, Column will become a social mediator to prompt the connectivity of the users. In this section, we aim to integrate the expanded body of three participants using a robot Column that functions as a social mediator. In subjective evaluation experiment, we revealed user’s feel more fun to the proficiency level rather than the social reference in the cooperative play mediated by Column. We consider that this result caused by Column’s ability “impatience”.



# 目次

<b>第1章 序論</b>	<b>1</b>
1.1 はじめに . . . . .	1
1.2 本論文の構成 . . . . .	3
<b>第2章 研究背景</b>	<b>5</b>
2.1 遊びとおもしろさ . . . . .	5
2.2 拡張された身体とロボット . . . . .	6
2.3 身体性とコミュニケーション . . . . .	8
2.4 エンタテインメントロボットと遊び研究 . . . . .	10
2.5 古典的な遊び . . . . .	11
2.6 おもしろさの種類と見いだす手がかり . . . . .	11
2.7 エンタテインメントロボットとコミュニケーション . . . . .	14
2.8 不利益なシステムデザインとおもしろさ . . . . .	15
<b>第3章 ロボットの操作における「もどかしさ」と「おもしろさ」</b>	<b>17</b>
3.1 はじめに . . . . .	17
3.2 「おもしろさ」と情報負荷量 . . . . .	18
3.3 パネルロボット INAMO の設計と実装 . . . . .	20
3.3.1 INAMO のデザインと基本動作の設計 . . . . .	20
3.3.2 INAMO のシステム構成 . . . . .	22
3.3.3 関連イベントでの INAMO の展示 . . . . .	25
3.3.4 INAMO とのインタラクションイメージ . . . . .	26

---

3.4	主観評価実験 . . . . .	27
3.4.1	実験目的 . . . . .	27
3.4.2	実験方法 . . . . .	27
3.4.3	実験参加者 . . . . .	28
3.4.4	実験条件 . . . . .	30
3.4.5	実験結果 . . . . .	31
3.4.6	考察 . . . . .	34
3.4.7	まとめ . . . . .	37
<b>第4章</b>	<b>ロボットを介した人同士の遊びとコミュニケーション</b>	<b>39</b>
4.1	はじめに . . . . .	39
4.2	共同的な遊びにおける第三項とコミュニケーション . . . . .	39
4.3	主観評価実験 . . . . .	41
4.3.1	実験目的 . . . . .	41
4.3.2	実験方法 . . . . .	41
4.3.3	実験参加者 . . . . .	42
4.3.4	実験条件 . . . . .	43
4.3.5	実験環境 . . . . .	43
4.3.6	実験結果 . . . . .	45
4.3.7	考察 . . . . .	49
4.3.8	まとめ . . . . .	53
<b>第5章</b>	<b>人と INAMO との共同的な遊びとコミュニケーション</b>	<b>55</b>
5.1	はじめに . . . . .	55
5.2	自律型 INAMO の動作デザイン . . . . .	55
5.3	主観評価実験 . . . . .	57
5.3.1	実験目的 . . . . .	57
5.3.2	実験方法 . . . . .	57
5.3.3	実験参加者 . . . . .	58

---

5.3.4	実験条件 . . . . .	59
5.3.5	実験環境 . . . . .	60
5.3.6	実験結果 . . . . .	61
5.3.7	考察 . . . . .	63
5.3.8	まとめ . . . . .	71
<b>第 6 章</b>	<b>拡張された身体の一体化を志向するロボット</b>	<b>75</b>
6.1	はじめに . . . . .	75
6.2	拡張された身体とその一体化 . . . . .	76
6.3	球状変形ロボット Column の設計と実装 . . . . .	77
6.3.1	Column のデザインと基本動作の設計 . . . . .	77
6.3.2	Column のシステム構成 . . . . .	78
6.3.3	Column のインタラクションイメージ . . . . .	84
6.4	主観評価実験 . . . . .	85
6.4.1	実験目的 . . . . .	85
6.4.2	実験方法 . . . . .	85
6.4.3	実験参加者 . . . . .	86
6.4.4	実験条件 . . . . .	88
6.4.5	実験結果 . . . . .	88
6.4.6	考察 . . . . .	91
6.4.7	アンケートによる主観評価結果 . . . . .	91
6.4.8	まとめ . . . . .	101
<b>第 7 章</b>	<b>結論</b>	<b>103</b>
	参考文献	107
	謝辞	113

## 目 次

3.1	INAMOの外観	17
3.2	INAMOの群体移動	21
3.3	INAMOシステム構成図	22
3.4	電磁石による接続状態の違い	23
3.5	有線コントローラ	24
3.6	INAMOの通信イメージ	24
3.7	オープンキャンパスでのデモンストレーションの様子	25
3.8	INAMOとのインタラクションイメージ	26
3.9	実験室の様子	28
3.10	アンケートによる主観評価結果	31
3.11	得点化した順位付けウィルコクソンの符号順位検定結果	37
4.1	実験フィールド概要図	44
4.2	実験における実験環境	44
4.3	社会的参照の有無結果	46
4.4	第三項の有無による比較(条件1)	47
4.5	第三項の有無による比較(条件2)	48
5.1	実験環境	60
5.2	実験フィールド	60
5.3	実験結果	61
5.4	Q5に対するA、B要因の効果	63
5.5	Q6に対するA、B要因の効果	63
5.6	Q5における多重比較結果	64
5.7	Q6における多重比較結果	64
5.8	楽しさによる比較	65
5.9	操作性による比較	68

5.10 前章での実験との比較結果 . . . . .	69
5.11 グループ A 結果 . . . . .	72
5.12 グループ B 結果 . . . . .	72
6.1 〈Column〉の外観 . . . . .	75
6.2 様々な形状の Column . . . . .	77
6.3 〈Column〉システム構成図 . . . . .	79
6.4 内部フレームの様子 . . . . .	80
6.5 サーボモータの伸縮 . . . . .	81
6.6 Column 専用コントローラ 〈Gear〉 . . . . .	82
6.7 〈Gear〉を用いた操作イメージ . . . . .	82
6.8 〈Column〉を介した共同的な遊びイメージ . . . . .	84
6.9 実験フィールド概略図 . . . . .	86
6.10 実験条件 . . . . .	88
6.11 ウィルコクソンの符号付順位和検定結果 . . . . .	89
6.12 交互作用効果 . . . . .	93
6.13 多重比較結果 . . . . .	93
6.14 クラスタリング結果 . . . . .	95
6.15 Group A での発話タグ割合 . . . . .	96
6.16 Group B での発話タグ割合 . . . . .	97
6.17 Group C での発話タグ割合 . . . . .	98

## 表目次

3.1 質問項目とカテゴリー . . . . .	29
3.2 分散分析結果 . . . . .	32
3.3 順位付け結果 . . . . .	33
3.4 得点化した順位付けフリードマン検定結果 . . . . .	36

---

4.1	主観評価実験における質問項目とカテゴリ	42
4.2	t-検定結果(社会的参照の有無)	46
4.3	t-検定結果(第三項の有無:条件1)	47
4.4	t-検定結果(第三項の有無:条件2)	48
5.1	主観評価実験における質問項目とカテゴリ	59
5.2	実験条件と要因の対応	60
5.3	分散分析結果	62
5.4	t-検定結果(楽しさによる比較)	66
5.5	t-検定結果(操作性による比較)	69
5.6	コントローラ入力状況(%)	70
6.1	質問項目とカテゴリー	87
6.2	分散分析結果	90
6.3	発話タグとカテゴリー	94

# 第1章 序論

## 1.1 はじめに

『Wellbeing (ウェルビーイング)』という言葉がある。この言葉は直訳すると「幸福」、「健康」という意味である。健康については、世界保健機関憲章の前文内で「健康とは、病気ではないとか、弱っていないということではなく、肉体的にも、精神的にも、そして社会的にも、すべてが満たされた状態にあることをいう。」と定義している（日本 WHO 協会訳）。ウェルビーイングも、同様の意味合いで用いることが多く、もともと社会福分野（心理学）で使用されていた単語であるが、近年では、ビジネスや会社経営の方針としても取り上げられるようになってきている。

こうした動きが世界的にみられてる今現在、工学・テクノロジーの分野からウェルビーイングについて考えてみたい。コンピュータが開発され始めたばかりの黎明期では、生産性や効率の向上に重きを置いて研究・開発が行われ、工学の発明・発展が人々の生活をより良くするものであると考えられていた。しかしながら、実際にこうした発明は人々を幸せにしているのだろうかという疑問がある。事実、国連の関連団体が公表した世界幸福度ランキング 2019[1] では、日本は 58 位であり、諸先進国と比較しても低い結果となっている。こうした現状からも技術の発展・進展が必ずしもウェルビーイングの指標になるわけではなく、技術が進んだからと言って幸せになった、良くなったとは言えない。

しかしながら、テクノロジーの進歩が個人のウェルビーイングとともに社会全体の利益に貢献することが求められている。本研究では、工学、技術分野の観点からウェルビーイングについて議論していきたい。

「おもしろい」、「楽しい」という感情はウェルビーイングを構成する一部分である。ウェルビーイングを快楽で達成させる考え方は、快楽的アプローチの1つであり、哲学界では古くから議論されている。本研究での学術的新規性はここにあり、ロボットを介した共同的な遊びの場面を設定し、その場面での身体性を伴った社会的相互作用を媒介するロボットの性質や特徴を知見として整理することで、ロボットを介しての遊びがおもしろさをどう導くのかについて議論することである。

ウェルビーイングの心理学的アプローチとして、1) 医学的アプローチ、2) 快楽的アプローチ、3) 持続的幸福的アプローチがある [2]。それぞれについて優劣はなく、どの手法でも学術的に述べられている。本研究ではその中で、持続的幸福的アプローチについて着目する。

持続的幸福的アプローチは、意義の発見と潜在能力の発揮としてのウェルビーイングである。飲食をする、趣味にいそしむ、遊びを行う等の様々な行動をとりながら、多くの人は快楽を追求したがっている。しかしながら、こうした行動は、やりすぎるとうんざりきてしまい、持続することが難しい。

持続的幸福的アプローチでは、こうした点に関して、自己決定理論 (Self-Determination Theory : SDT) [3] を用いている。自己決定理論では、次の3つが動機づけとウェルビーイング双方の重要性を説いている。

自律性：自分の活動の結果は自分の意図によるもの

有能感：自分が有能である感覚、自分には課題解決能力があるという自信

関係性：安心感や他の人との繋がりを感ずる

このSDT法は、比較的使いやすく工学分野へ適用しやすい理論の1つである。本研究で使用する、パネル型ロボット INAMO、球状変形ロボット〈Column〉もこの3つを満たすことができおり、ウェルビーイングを感じることでできるコンテンツである。これらを介した遊びで得られるおもしろさや楽しさが起こる理由を述べることで工学分野でのウェルビーイングについて議論することができる。

共同的な遊びを人同士ではなく、人とロボットとの関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

きている。しかしながらまだ、人からの一方的な働きかけに対してロボットが決められた反応を返すばかりで一方的な関わりにすぎず、人とロボットとで共同的な遊びが行えているとは言い難い。

本研究では、研究用プラットフォームとして、パネル型ロボット INAMO、球状変形ロボット〈Column〉と呼ばれるロボットを開発・構築している。これらのロボットはインタラクションの際に「相手との協調・協力」を必要とする。この性質から、ロボットを操作するモードにおいて「もどかしさ」を感じるという特徴を持つロボット達である。本研究のもう一つの狙いとして、見たこともないようなロボットを介して遊ぶ際に人はどのような反応をするのか、どのような繋がりが生まれてくるのか、新奇性の高いロボットが引き出す人と人、人とロボットとの繋がりを明らかにするものである。

## 1.2 本論文の構成

本論文は以下の章で構成される。

### 第1章：序論

本研究の背景と目的の概要について述べるとともに、本論文の構成を示す。

### 第2章：研究背景

本研究に関連する研究事例を示し、共同的な遊びを構成する上での概念を整理し、本研究の位置付けを明らかにする。

### 第3章：ロボットの操作における「もどかしさ」と「おもしろさ」

ここでは、以降の章で使用するパネル型ロボット INAMO の基本的な性質・動作について説明するとともに、パネル型ロボット INAMO を操作する際の「もどかしさ」に着目する。「もどかしさ」を操作者への情報負荷として考え、その大小を統制条件とし、それがその遊びのおもしろさにどのような影響を与えているのかについて知見をまとめ述べる。

#### 第4章：ロボットを介した人同士のコミュニケーション

ここでは、INAMO を介した人同士の共同的な遊びの成立要件を探るとともに、ロボット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得られた知見を述べる。

#### 第5章：人と INAMO との共同的な遊びとコミュニケーション

4章で得られた知見を基に、自律的に動作する INAMO を設計・構築し、人とロボット INAMO との間で共同的な遊びの構築を試みる。人と自律的に動作するパネル型ロボット INAMO を用いて、人とロボットとの共同的な遊びに必要な要素ならびに、おもしろさを生み出す要素について検証する。

#### 第6章：拡張された身体の一体化を志向するロボット

ソーシャルメディアとしての機能を有する球状変形ロボット〈Column〉を用いて3名の参加者の拡張された身体の一体化を図る。ここでは、〈Column〉の持つ基本的な性質・動作について説明するとともに、〈Column〉を介した3人の実験参加者が共同的な遊びを行った場合において、重要な役割を果たす社会的参照の有無や、試行を繰り返すことで得られる習熟がその遊びにおけるおもしろさやコミュニケーションにどのような影響を与えるのかについて知見をまとめ述べる。

#### 第7章：結論

本論文の結論および、今後の展望について述べる。

## 第2章 研究背景

### 2.1 遊びとおもしろさ

私たちは、種類や形態は様々ながら多くの遊びを経験してきた。その遊びの中で、おもしろかった、楽しかったという経験は誰にもあるだろう。また、その逆に、つまらなかった、飽きてしまった遊びもある。なぜ、ある遊びはつまらなく感じ、別の遊びはおもしろいのだろうか。すぐに飽きてしまう遊びがある一方で、別の遊びは長期にわたって楽しめるのだろうか。

私たち人同士が遊ぶ場面を思い描いてみると、相手とのやり取りや競い合いを楽しむもの、相手の気持ちを読み、その裏をかいて楽しむ様子などが思い起こされる。こうした共同的な遊びは、遊び相手の普段とは異なる意外な一面を見出したり、互いの協力や出し抜きあいを引き出しており、その遊びの持つおもしろさは維持されやすいといえる。

特に、共同的な遊びでは、道具やルール、ゴールなどを人同士で共有し、それらを介しながら遊びを行っている。児童館や幼稚園などでの積み木遊びの場面では、見ず知らずの子ども同士であっても、積み木を介することで、いつの間にか一緒に仲良く遊んでしまう。この時、積み木は、互いの注意を制約する媒介(メディエータ)としての役割を果たしている。こうした共同的な遊びのおもしろさはどこからくるものなのだろうか。本研究では、共同的な遊びの場面において、人同士をつなぐ媒介物としてロボットがその役割を担うことはできないだろうかと考えた。

チクセントミハイのフロー理論 [4] では、フロー状態にある時、人は楽しさのあまり、その対象に没入して、時間感覚を失ってしまう。フロー状態は、ある物事に集中しているときに楽しさゆえにそれに完全にとらわれている状態であるとして

いる。その状態には、行為への機会と行為者の技能が釣り合っているときに感じられるとしている。

また、M・J・エリスの最適覚醒理論 [5] の中で、『遊びとは、覚醒水準を最適状態に向けて高めようとする欲求によって動機づけられる行動である』としており、最適覚醒を求める行為やその過程、最適覚醒をもたらしえる刺激がすべておもしろさとなるとしている。最適覚醒は、情報負荷と覚醒水準が釣り合っているときに感じられる。つまり、遊びの場面において考えてみると、頭で考えていることと実際に体を動かすことで起きるギャップが釣り合っているときにおもしろさを感じる。

ゲームデザイナーであるラフ・コスターも「あまりに難しすぎるゲームは煩わしいだけであり、簡単すぎるゲームもつまらない」としており、ゲームでは課題の重さ、秩序の統制、情報の過不足のバランスを取ることが重要であると述べている [6]。ゲームデザインにおいてもこうしたバランスを取りながらデザインすることは成功するゲームを作るうえでも重要な要素になっている。

こうしたことから、「小さな成功」と「期待」によるポジティブな要素と、「失敗」による負の要素のバランスによって生じる「もどかしさ」を感じながら行う共同的な遊びは私たちのおもしろいと認識する感性を刺激し、おもしろさを維持しやすくなると考えられる。

## 2.2 拡張された身体とロボット

メルロポンティは著書『知覚の現象学』の中で、身体は意識とは異なる独自の意思を持つと考えており、これを身体図式（身体像）と呼んでいる [7]。例として、足を怪我した際に、杖を使いだすと、初めはうまく扱えないが、経験を積んでいくと、身体図式は自動的に更新され、再組織化され自分の手足の延長のように思うように扱えるようになる。これと同じことがロボットでも起こるのではないだろうか。今回提案するロボット INAMO、〈Column〉はコントローラ操作によって動作する。初めは、自分の動きとの対応関係がわからないが習熟してくることで、

自身の頑張りや、振る舞いがロボットに影響してくることがわかると身体図式が拡張され、ロボットの動きが自分の身体の拡張によって行われるように感じるのではないだろうか。本論文では、こうした身体図式の拡張を身体の拡張、拡張された身体と定義し議論を進める。

メルロポンティは、身体を自分と世界、自分と他者を繋ぐ媒体とも考えている。自らの身体が拡張されることにより、社会に出会う。このことを、もどかしさとおもしろさの観点から考えていくと、次のように解釈できるのではないだろうか。

まず、初めの段階としては、自分の身体を思い通りにすることができないもどかしさからくるおもしろさである。例えば、スポーツなどで、道具を使って遊ぶ場面を思い浮かべてみる。始めたばかりのころはその道具をうまく扱うことができず、もどかしい。しかしながら、そのもどかしさがその次の能力を予見させ、さらなる練習や習熟へのモチベーションになっている。本論文では、3章にて、「もどかしさ」を情報負荷（量）と捉え、1人遊びの情態での情報負荷（量）を統制することで、その遊びにおける「もどかしさ」がおもしろさにどのような影響を与えるのかについて述べる。

さらに次の段階としては、他者との交流によるおもしろさが考えられる。他者や相手がいないう状況において完璧にその遊びを行えていても、他者がいるとその通りにならない。他者が入り込んで来ることによる情報の変化によって、自分一人では行えていたことも行えないもどかしさや、自分の思い通りにならないもどかしさが相手を知る、理解するきっかけになり他者だけでなくその遊びについてより探求したくなるきっかけを得る。本研究では、4章にて、人同士がロボットを介した共同的な遊びの場面、5章にて、人とロボットとの共同的な遊びの場面を構築した。それぞれの場面での共同的な遊びにおける「もどかしさ」とおもしろさの影響について議論する。

さらに、ただ他者がいるだけではなく、他者との協力が必要な場面であるところの関係がより顕著になるのではないだろうか。自分一人だけではどうすることもできず、他者と協力がないと思い通りにならないもどかしさが、他者との媒介物になり、共有することでさらなるおもしろさや遊びに惹きつけるものになると考えてい

る。6章にて、複数の操作者が1つの身体を操作するタイプのロボット〈Column〉を用いて、遊びの場面におけるこうした「もどかしさ」と自身の拡張された身体とその一体化について詳しく述べる。

## 2.3 身体性とコミュニケーション

よたよたと歩き始めたばかりの幼児の姿を見ていると思わず目で追いかけてしまうことがある。倒れそうで倒れないその幼児の行動は私たちにハラハラさせ、その一挙手一投足に注目してしまう。これは、これまでの自身の経験から、その幼児に自分を思わず重ねてしまいその行動の先を無意識に読んでしまうためである。こうした現象は「なり込み」と呼ばれている [8]。

ロボットをデザインする場合に、大別して2通りのアプローチがある。1つは、「実体としての同型性」の追求、もう一つは「関係としての同型性」の追求である。「実体としての同型性」の追及は、近年のヒューマノイドロボット研究に代表されるような、実世界に存在する生き物を手本とし、それに近づけていくことにより、きっと本物に近づくであろうというアプローチである。しかしながら、人とほぼ同一の大きさ、ほぼ同一の動作を行える肢体、そして同等の表情などを追加していけばしていくほど、本物からかけ離れた存在となってしまう可能性もある。この場合、「なり込み」現象も起こりにくく、むしろこうした考え方は、その壁をどう乗り越えるかが重要であると考えられる。

一方で、「関係としての同型性」の追求は、私たちの同一の世界における状況や環境に存在し、それらから受ける影響に時に流され、時に逆らいつつ絶妙なバランスを調整し続けるというアプローチである。この環境との拮抗した関係は、私たちの身体、あるいは行為-知覚循環に基づく身体経験との同調を思わず引き起こしてしまう。幼児のよたよたとした振る舞いに心を動かされてしまうのはこうした「関係としての同型性」の側面が強いためである。幼児が大地を一步踏み占めるたびに地面の隆起や重力にうまく逆らいながら微妙なバランスを取る振る舞いが私たちの身体との同調を引き出している。

また、浜田は相手が自分のことを見ている際や、自分の手を握られる際などに、相手の能動性（主体性）が自分（主体性）に向けられていると感じるような、関係性の中にある主体性を関主観性（相互主体性）としている [9]。例えば、人同士がコミュニケーションを行う場面では、人は他者の視点の中に自分を見つめる主体性を感じる。また自分の視点を他者が同様に主体性をもって感じとっていることを無意識のうちに理解している。つまり、人は自然と他者の視点と自己の視点を重ね合わせることによって相互にコミュニケーションを行っている。浜田は、このような〈見る-見られる〉に代表されるような能動と受動の関係性の交叉の構造を「間主体性（相互主体性）」として説明している。人は他者とのやりとりの中で、見つめる自己の能動性と同時に、他者に見つめられる受動性を体験する [9]。

こうした関主観性の考え方は、メルロポンティの身体論でも述べられており、間身体性（Intercorporeality）という概念で紹介している [10]。身体は個人が所有しているものではなく、個人と他人の中間に、見えないが間身体があり、私たちの身体はその間身体性の枝分かれしたもの、それを分有したものに過ぎないと唱えている。つまり、媒介物（メディア）を通して身体を拡張し、あるモノに（社会的に）触れる時、その拡張された身体は受動的なメディアであると同時に、他者から触れられている発信メディアでもあると言える。

認知科学や人工知能研究の分野では、Pfeifer らが提唱した“身体性認知科学”という考え方が2000年前後から盛んになり、身体と環境との相互作用の中での創発する性質の重要性が説かれるようになった [11]。こうした流れから、「身体性」という言葉が多くの研究分野でキーワードとしてあがるとともに、「単純に物理的な身体を有すること」という解釈で用いられることも見られる。本研究では、行為-知覚循環で得られる同調を思わず引き出してしまう関係としての同型性、メルロポンティの身体論で唱える、見るものが同時に見られるものであり、触れる身体が同時に触れられるという両義性を備えたものを「身体性」と呼び [12]、こうした、同一の間身体性を表現するソーシャルメディアータとして、パネル型ロボット INAMO、球状変形ロボット〈Column〉を開発・構築した。

INAMO と 〈Column〉 どちらのロボットも、操作者が操作するにつれて、操作

者の身体が拡張される。INAMOの場合は、自身の操作するINAMOと他者の操作するINAMOとが群れとなって移動していくことでその群れそのものが間身体として機能する。〈Column〉でも同様に、各操作者の拡張された身体が〈Column〉というロボットに一体化され、間身体が構築される。どちらのロボットも操作し、うまく移動していくために取られる方略や作戦、協調・協働していく過程において間主観が形成される。

## 2.4 エンタテインメントロボットと遊び研究

2018年に再販売されるようになったaiboに代表されるように、エンタテインメントロボットが日常に多く浸透してきており、遊び相手として、ロボットが身近なものになってきている。しかし、多くのロボットはその新奇さ、真新しさから初めのうちは非常に注目されるものの、人からの働きかけに対して一定の反応を返すのみであることも多く、すぐに人に飽きられてしまう。また、その様子を観察すると、ロボットで遊んでいるのは人であり、ロボットが人で遊んでいるわけではない。私たちが普段行っている「遊び遊ばれる関係」を構築できていない現状がある。

そうした観点から考えると、そもそも「私たち人が遊ぶとはどういうことなのか」、「人とロボットとの間で共同的な遊びが成立するとはどういうことか」を、人とロボットとの関わりを手掛かりに議論できる可能性がある。さらに、人とロボットとの遊びの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、インタフェース研究の分野にも生かすことができると考えられる [13, 14, 15, 16]。

また、遊びのおもしろさや楽しさを探る研究として、山本らの研究 [17] や藤江らの研究 [18]、山下らの研究 [19] がある。主に着目しているのは、PC上でのゲームやテレビゲームであり、身体性を備えたロボットを介した遊びのおもしろさや楽しさについてはまだ十分に議論されていない。本研究では、身体性を備えた2種類のロボットを介した共同的な遊び場を構築し、そこでの「もどかしさ」やお

もしろさについて議論してく。

## 2.5 古典的な遊び

私たちは、日々の生活の中で数多くの遊びを楽しみながら行っており、私たちが生活をしていく上で遊びは必要不可欠なものである。オランダの歴史家ホイジンガは、自身の著書『ホモ・ルーデンス』[20]の中で、「文化は遊びのなかで遊びとして発生し展開した」とし、人の本質を「遊ぶ人(ホモ・ルーデンス)」と捉えて、遊びの重要性について訴えている。また、遊びの本質を、その遊びが持つ「おもしろさ」にあるとしている。

カイヨワは著書『遊びと人間』[21]の中で、遊びを4つのタイプに分類している。Agon(競技)、Alea(賭け)、Mimicry(模倣)、Ilinx(渦巻)である。多くの遊びは、この4つに分類されるものの、最近のインタラクティブ・メディアやエンタテインメント・コンピューティングの分野では、それらの遊びのなかで立ち現れてくる「創造的な要素」や「意味生成的な要素」を重視するものも多い。これらの遊びは、偶然的な要素や競い合いの中で立ち現れる意味を楽しむものである。

また、道具や遊具を使つての遊びは数多く存在し、その遊び方は多様なものになっている。しかし、これらの道具、遊具を開発しているデザイナーがその遊具との関りあいのなかで生まれてくる遊びすべてを予見できているわけではない[22]。子どもたちはその遊びのなかで新たな遊び方を生み出していくこともあり、そのこと自体が創発的なおもしろさをもたらし、楽しみの一つとなっている場合もある。

## 2.6 おもしろさの種類と見いだす手がかり

遊びの本質にある「おもしろさ」について、小川[23]はCatch、Create、Control、Communicate、Comprehendの5つに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や球状変形ロボット〈Column〉との一人遊びおよび、共同的な遊びについて関連付けながら説明していく。

- Catch(Sense) : 5感で感じるおもしろさ

人は5感を通じて、目の前にある対象の性質を探ろうとする。触ったり、なでたり、叩いてみたりしながらそこから得られる感覚に「おもしろさ」を感じることもある。INAMOは六角形の角を丸めた特徴的な見た目や、動作音、LEDの明滅などがデザインとして設計されている。〈Column〉も同様に、特徴的な見た目や不規則な動作、操作としてコントローラを振る行為等、それを操作するだけでも動きや反応を楽しむことができるコンテンツである。

- Create : 創造することのおもしろさ

人は何かを創り出すことに「おもしろさ」を感じる。絵や文章、粘土細工などがこれに当てはまる。離合集散を繰り返す、INAMOは、それを操作するたびに群れの形状が変化していき、新たな形状を創り出すことができ、自分が思ってもいなかった新たな発見を楽しむことができる。〈Column〉では、複数の操作者との間で、うまく目標方向に転がすために探る手法や戦術がこれにあてはまる。このことが創出する「おもしろさ」につながると考えられる。

- Control : 道具や他者などをコントロールすることのおもしろさ

人はこれまでうまく操作できなかったものを操作できるようになった時に「おもしろさ」を感じる。クルマの運転などがこれに含まれる。また、モノだけでなく、チェスや将棋などの他者との次の手を読み合いながら行われる遊びにおいて、自分の思い通りに事を運べた時に「おもしろさ」を感じるができる。これらは、モノや道具、あるいは相手の思考にまで、自身の身体が拡張され一体化されたことが要因にあると考えている。

INAMOでは、フライホイールによって発生する慣性モーメントを利用して動作する。〈Column〉も重心を崩しながら転がるという性質から単純な操作ではうまく転がることができない。そのため、どちらのロボットもそれを操作しようとしても思い通りに動かない。何度も繰り返し試行していくことで、もどかしさを感じながらも試行錯誤を繰り返しながらコツを学び、次第に上

手に操作できるようになるときに「おもしろさ」を感じることができる。

- Communicate : 人と人、人とモノとでコミュニケーションするおもしろさ  
相手と一緒に遊びながら、相手の気持ちが伝わってきたり、自分の思いが相手に伝わったように思えるときに「おもしろさ」を感じることがある。  
INAMO や〈Column〉は、複数の人によって操作することができ、操作を繰り返しながら他者との交流の結果、協調や競合が行われるときに「おもしろさ」を感じることができるのではないかと考えられる。
- Comprehend : ものごとを理解する、わかることのおもしろさ  
人はクイズや謎解きなど、その答えを追及したり、答えがわかったときに安堵の気持ちと同時に「おもしろさ」を感じる。  
INAMO や〈Column〉は、その見た目の形からではどのようなモノであるかわからない。さらに、その操作方法も人が動かしているのを見ているだけではわからない。操作に慣れた人が動かしているのを見ると簡単そうに操作しているが実際に試してみるとうまく動かない。自分自身で操作し、操作を繰り返すなかで次第にその操作を理解し、そのコツを見出すことで「おもしろさ」を感じることができると考えられる。

藤田 [24] 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つに分類している。これらは小川 [23] が唱えているおもしろさの種類と近く、INAMO や〈Column〉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 [25] 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 や〈Column〉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、本研究ではコンテンツとしてこの層に該当することを目標にしその時に必要となる要素について追及する側面も持つ。

## 2.7 エンタテインメントロボットとコミュニケーション

中津 [26] はエンタテインメントとコミュニケーションには強いつながりがあると述べている。その中でも特に非言語的な情報の受け渡しを行うコミュニケーションとは深いつながりを持つとしている。エンタテインメントとコミュニケーションをつなげる重要な役割として、「体験の共有」、「身体的体験と精神的体験」さらに「没入」をあげている。

「体験の共有」はエンタテインメントにかかわらず、人同士あるいは、ロボットと人とのコミュニケーションには必要不可欠なものである。「体験の共有」が第三項となり自身と他者、自身とロボットを繋ぐ架け橋となることで相手のことを探る手掛かりになっていく。

身体的体験の特徴は体を動かすことにより得られる「爽快感」であり、精神的体験の特徴は高度な精神的体験による「感動」が伴うことであるとしている。多くの体験はこの2つの体験がそれぞれ含まれており、身体的経験と精神的体験の両者がバランスした体験を統合的体験と呼んでいる。INAMO や〈Column〉を用いた遊びも、操作することによる身体的体験と、目標方向に向かうために相手と

の協力・協調が必要なことから統合的体験に分類できる。統合的体験はきわめてレベルの高いコミュニケーションであるとしており、INAMOや〈Column〉を用いた遊びもレベルの高いコミュニケーションを行えると考えられる。

中津は「没入」をスポーツ鑑賞や映画鑑賞のように人間が情報の受け手とする役割にある「受動的没入」と芸術創造活動やスポーツを行う際の関り方を「能動的没入」の2つに分類している。INAMOや〈Column〉と人とのかかわり合う関係を考えてみると、コミュニケーションを取りながら没入している点から能動的没入の一例にあたる。

ロボットが人間とコミュニケーションをとる研究は数多く行われおり、その手法は音声認識や画像処理を用いたものなど多数の解説がなされてきている。本研究ではそうした中でよりシンプルな振る舞いの違いに着目し、「遊び」について焦点を絞り人間とロボットとのコミュニケーションについて実験、考察を行っていく。

## 2.8 不利益なシステムデザインとおもしろさ

川上は、不便をもたらす効用を「不利益」と名付け、システムデザインの一つとして提唱している [27]。

この不利益の考えからおもしろさについて議論できる。例えば、近年開発されている自動運転が実現すれば、目的地までの移動はより簡単に、便利になるだろう。しかし、運転の楽しみ、おもしろさの観点から見てみるとどうだろうか。ハンドリングやアクセルの踏み込みなど私たちドライバーがこれまで行っていたことは負担ではあったが運転に引き込む要素になっていたのではないだろうか。なかなかうまくいかなかった運転がうまくなってきた時や自分の想定通りの時間で移動出来た時におもしろさや楽しさを感じる人もいるだろう。

現在では、オートマ車が主流になっているがそれでもミッション車を好んで運転している人もいる。ミッション車はオートマ車に比べて不便であるが、その分ドライバーに開かれている部分も多く、そこからおもしろさを生み出しているからだろう。

こうした不便益の観点から考えてみても、少し思い通りにならない「もどかしさ」を感じることはおもしろさを感じるためにも重要であると言える。INAMOや〈Column〉の場合に置き換えてみると、その動作原理から、操作者1人で簡単に自分の思い通りに操作することは難しく、他者との協調や熟練といった、少し手のかかる動作デザインをしている。思い通りに動いてはくれないが、思いがけない結果を生み出す可能性もある。しかし、あまりにも自分の手から離れた動作や、全く動作しない場合、自分とは関係のないモノとしか捉えられず、そこでの関係性は崩壊してしまう。不便益の面からみても、少し手のかかるくらいの方が、私たち操作者に対して参与する余地を残しており、おもしろさをより感じやすいと考えられる。

## 第3章 ロボットの操作における「もどかしさ」と「おもしろさ」

### 3.1 はじめに

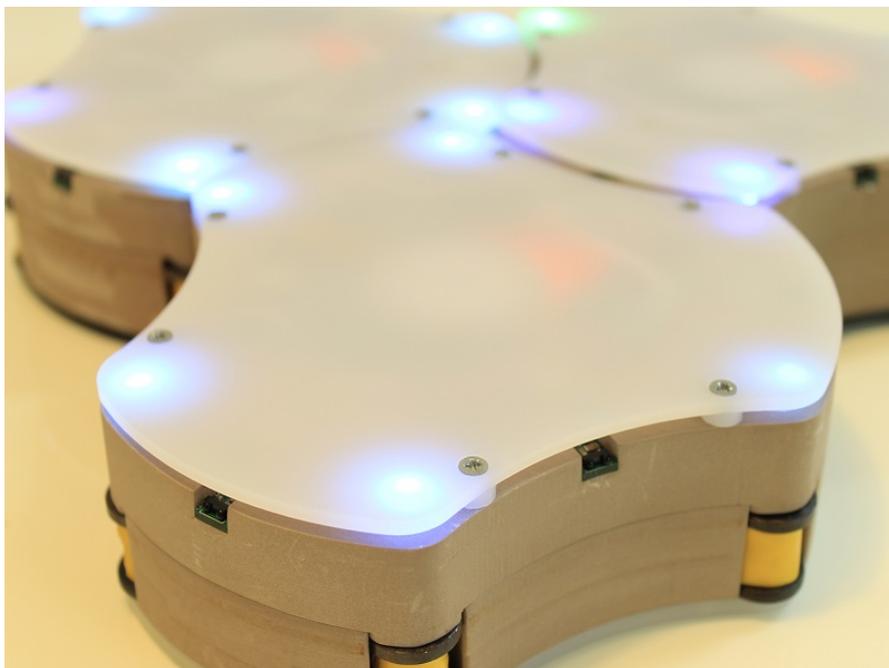


図 3.1: INAMO の外観

私たちは人とロボットとの共同的な遊び場面でのコミュニケーションを明らかにするため、離合集散を繰り返すパネル型ロボット INAMO(図 3.1) を用いて研究を進めてきた。このロボットは内蔵されたフライホイールの回転によって生じる慣性モーメントを利用して動作し、他のロボットを踏み台にすることで目標方向

に移動するものである。

人がINAMOをコントローラを用いて操作する場合、単体のINAMOではその性質上その場で独楽のようにくるくると回転してしまい目標方向に移動することができない。そこで、他のINAMOと電磁石によって接続・分離をすることで目標方向への移動が行える。また、INAMOを目標地点までスムーズに正確に動作させるには、INAMOだけでなく、床との設置状況や他のINAMOとの接続状況等、周囲の環境を気にしなければならない、「もどかしさ」を感じるロボットである。こうした動作原理から、ロボットでありながら、従来のイメージである個体のみでうまく移動することができず、周囲や他者の支えが必要な少し手のかかるロボットである。

本章では、1人遊びの状態パネル型ロボットINAMOを操作する際に生じる「もどかしさ」を手掛かりとして、その「もどかしさ」の大きさを統制条件としてそれがおもしろさにどのような影響を与えるのかについて主観評価実験により調べることにした。

## 3.2 「おもしろさ」と情報負荷量

ホイジンガは遊びの本質は「おもしろさ」であるとしている。しかしながら、ホイジンガ自身は「おもしろさ」がなんであるかについての追及は行っていない。

チクセントミハイのFlow理論[4]では、フロー状態にある時、人は楽しさのあまり、その対象に没入して、時間感覚を失ってしまう。フロー状態は、ある物事に集中しているときに楽しさゆえにそれに完全にとらわれている状態であるとしている。その状態には、行為への機会と行為者の技能が釣り合っているときに感じられるとしている。

また、M・J・エリスの最適覚醒理論[5]の中で、『遊びとは、覚醒水準を最適状態に向けて高めようとする欲求によって動機づけられている行動である』としており、最適覚醒を求める行為、過程、最適覚醒をもたらしえる刺激がすべておもしろさとなるとしている。最適覚醒は、情報負荷と覚醒水準が釣り合っていると

きを感じられる。

さらに、小川は、おもしろさについて情報負荷の関係から考察している [23][28]。ここでの、「情報」は心理学用語での「刺激」と同じであるとしている。この情報負荷をうまく調整することで、感じるおもしろさが変化するとしており、情報の量と質、さらには個人の情報処理能力の釣り合いをうまくとる必要があるとしている。

これらのことから、私たちが遊びを行い、おもしろさを見出し、感じるためには、その遊びでのタスク達成までに必要な情報や、遊びそのものから与えられる情報とのバランスをうまく調整することが重要であることがわかる。本研究では、操作の難易度やタスクを情報負荷(量)とし、これらを変化させることでロボットを用いた遊びでもこの関係が言えることを証明する。

INAMO の操作における情報負荷(量)は、フライホイールの回転方向や回転量(ブレーキのタイミング)、別のロボットとの接続状況、床との摩擦が考えられる。操作者が処理しなければならない情報は多いように見えるが、実際に操作をする際には、別のロボットとの接続・分離の切り替えはINAMOが行っているため操作者はその切り替えタイミングに合わせることで、フライホイールの回転方向や回転量のみ注力することができる。床との摩擦については、実際に動かなければわからない部分も多く、INAMOと操作者どちらかが処理するわけではなく、両者の行為の結果によって産まれるものである。こうしたことから、INAMOの操作における情報負荷(量)は、操作者一方に過剰に与えられているわけではなく、INAMOと一緒に処理していく場合もあり、少し手はかかるが程よいバランスであると考えている。

### 3.3 パネルロボット INAMO の設計と実装

#### 3.3.1 INAMO のデザインと基本動作の設計

単体の INAMO は平面充填する (=平面内をタイルで隙間なく敷き詰める) ことが可能とする正六角形を変形したパネルのような形状を持つロボットである。複数の INAMO は群れをなし、離合集散しながら移動するような群移動型ロボットとしての特徴も備えている。

パネル型ロボット INAMO の内部には、フライホイールと呼ばれる金属製の円盤と扁平モータ、INAMO 同士を接続する電磁石、制御基板などから構成されている。フライホイールを回転させ、逆回転や停止させることによって発生する慣性モーメントにより、それを包み込んでいる INAMO のボディ全体を回転させる仕組みとなっている。また、INAMO の各頂点に配置された電磁石の制御によって、隣接する INAMO 同士の接続・分離が可能となる。この際、INAMO の回転に合わせて INAMO 同士の接続関係を切り替えることで、INAMO 自身を移動させることができる。

こうした、フライホイールと電磁石を用いた群ロボットとして、MIT で開発されている M-blocks がある [29, 30]。このロボットはキューブ状のロボットであり、単独で回転するだけでなく、他のロボットを支点に、空中を飛び回ったり、複数のロボットと連携し互いの上をよじ登る、つたって転がり落ちることが可能である。本研究で使用する INAMO とは、移動の自由度が異なり、より幅広い、自由な動きをすることができる。しかしながら、MIT での研究は、火災現場での上階から助ける階段の構築や、地下から地上へ人を運搬する一時的な階段の構築といった災害時での利用を目的としており、本研究での人とのインタラクションの解明には利用していない。

INAMO はその動作原理から、INAMO 単体ではその場で回転運動をするだけで、目標方向に移動することは出来ない。目標方向に向かうためには他の INAMO を起点として回転しながら、移動する必要がある。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

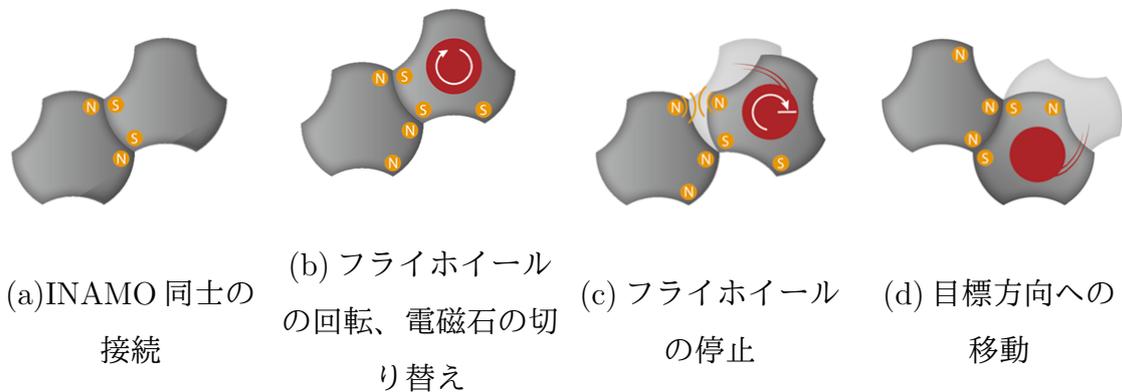


図 3.2: INAMO の群体移動

質を持っている。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 3.2(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 3.2(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 3.2(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 3.2(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 3.2(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 体で交互に繰り返し行うことで目標方向へ

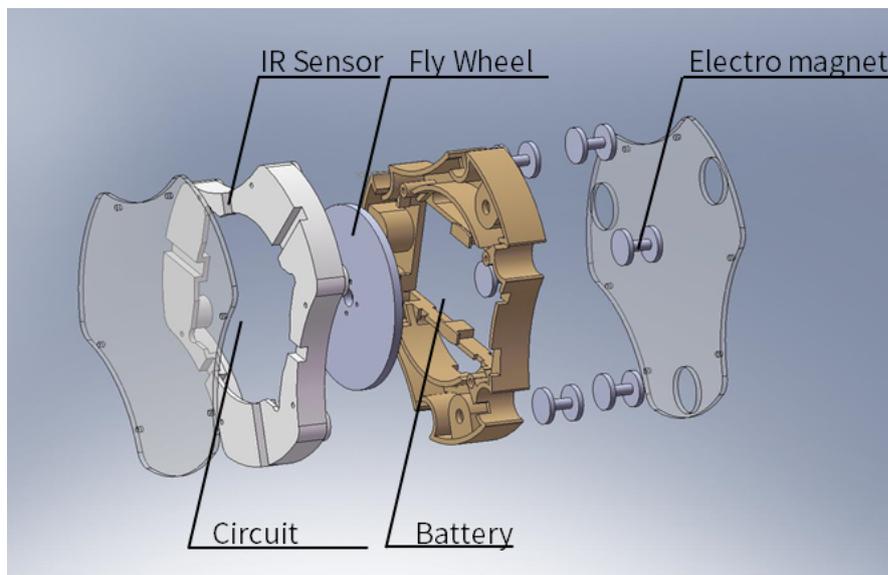


図 3.3: INAMO システム構成図

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。

### 3.3.2 INAMO のシステム構成

パネル型ロボット INAMO のシステム構成図を図 3.3 に示す。図 3.3 に示すように、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 176 mm の円で削り取った大きさになっている。また、厚さは 55 mm、重さは 1036 g である。INAMO を設置する床材や、コントローラに対する人の操作によって多少の変動はあるが、INAMO 自身は 1 rps 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。

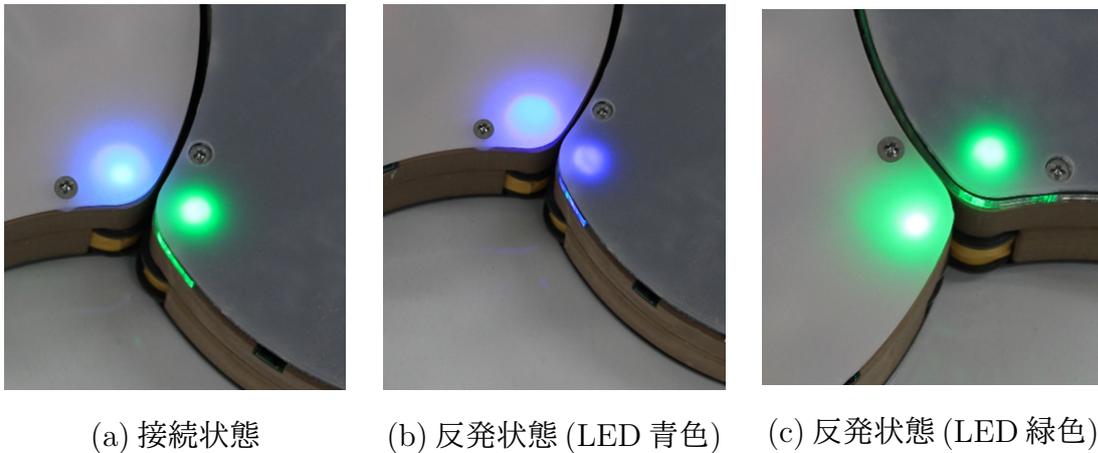


図 3.4: 電磁石による接続状態の違い

#### 動きを生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。

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すると、モータやタイヤなどのアクチュエータが外部に露出しておらず、INAMO と安全に関わることが出来る。

また、遊びの側面から考えると、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のか判断するのかわからず、「未知のもの」として捉えられ、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。

#### 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 の同士の離合集散を切り替えている。6ヶ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



図 3.5: 有線コントローラ

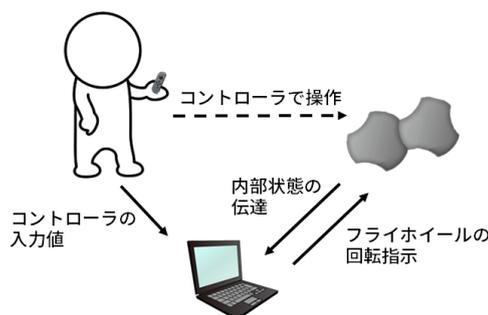


図 3.6: INAMO の通信イメージ

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（図 3.4）。この LED の明滅や色の状態の切り替えによって 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掛かりになっている。

### 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。操作者は、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。コントローラは、図 3.5 にあるような自作の有線接続によるものと、任天堂社の joy-con を持ちいた無線接続のどちらかを選択し操作することができる。これらのコントローラから、PC を経由することで、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（図 3.6）。ジョイスティックを倒す方向でフライホイールの回転方向を、ジョイスティックを倒している時間でフライホイールの回転量を制御することができるようになっている。



図 3.7: オープンキャンパスでのデモンストレーションの様子

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。

### 3.3.3 関連イベントでの INAMO の展示

パネル型ロボット INAMO を用いた遊びやインタラクションのデザインを探るために、一般参加者向けのデモ展示や本学でのオープンキャンパス、関連学会におけるデモ展示を行い、一般の方々や子どもたちの遊ぶ様子を観察した。

図 3.7 は、本学でのオープンキャンパスにおいてデモ展示を行った際の様子である。展示の際に、「このようにして遊んでください」といった説明を行わなくても、子どもたちは自由に INAMO を操作して遊ぶ様子が見られた。代表的な事例としては、(a) INAMO をパズルと見立てて、その位置関係を手で変えながら、いろいろな形状を作って遊ぶ、(b) ぐるぐると 1 体の INAMO を回し続けて、コマのよう



図3.8: INAMO とのインタラクションイメージ

にして遊ぶ、(c) 上手に他のINAMOを軸にして回転することを楽しむなどの振る舞いを観察できている。

どの子どもたちも楽しそうに遊び、周囲の子どもと会話しながら、新奇なロボットに対してそれぞれに解釈する。上手く操作できないもどかしさもあり、INAMOには人を遊ばすに誘う十分な力があることを確認した。

### 3.3.4 INAMO とのインタラクションイメージ

パネル型ロボットINAMOとのインタラクションは図3.8に示すように、コントローラを用いて行われる。操作者である人は、コントローラを使用しながらINAMOの外部から操作していく。しかしながら、慣性モーメントを利用して、INAMOの動きを生み出すため、必ずしも思い通りの動きができるとは限らない。また、INAMOは上記に示してきた特徴から、単体では、移動できず群れを形成して移動してい

く。目標方向に移動するためには、他の INAMO を踏み台にする、あるいは、他の INAMO から踏み台にされるこの関係を築く必要がある。そのため、INAMO の動きは隣接する他の INAMO との関係から全体の動きがきまる。

INAMO との共同的な遊びにおいては、隣接する他の INAMO を他者あるいは、自律的にロボット自身が操作するため、相手の操作タイミングや床との摩擦、フライホイールの回転量など様々な要因から影響を受ける。これらのことから、目標方向に移動しようとする、一人で操作しようとする場合に比べ「もどかしさ」をより強く感じやすくなる。INAMO はこうした偶然性や「もどかしさ」を感じながらも、それらが楽しみやおもしろさとなり遊ぶことができるコンテンツであると考えている。

## 3.4 主観評価実験

### 3.4.1 実験目的

パネル型ロボット INAMO を用いての遊びでは、情報負荷量として「タスクの難易度」や「操作の難易度」がある。このバランスをうまくとることで、人は遊ぶときにおもしろさや楽しさを感じる。あるタスクの難易度を一定にした場合、方向のみを指示する操作がしやすい半自動で動作する場合や、方向・パワーがランダムに動作するため操作が難しい場合と比較して、操作において少し手がかかる動作をする場合ではバランスがとれるため、よりおもしろさを感じられるのではないかと考えた。

そこで、操作の難易度を調整することで、操作者に与える操作感やおもしろさがどのように変化するかを質問紙を用いた主観評価実験によって明らかにする。

### 3.4.2 実験方法

実験参加者は、無線のコントローラを用いて 1 台の INAMO を操作する。実験室の様子は図 3.9 のようになっており、中央の机上にはロボットの動作フィールド

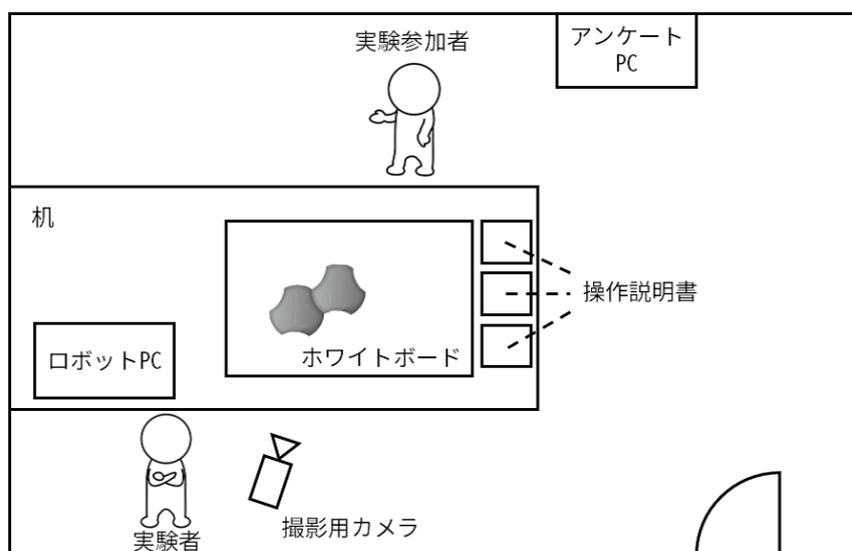


図 3.9: 実験室の様子

としてホワイトボードが置かれている。実験参加者はその前に立ちコントローラを持った状態で実験がスタートする。アンケートに答える際には、別の机に用意してある PC の前まで移動してもらい、PC 上で質問に答えてもらった

タスクは、静止しているロボットの周囲を移動し、スタート地点とは反対の位置まで移動した後、スタート地点まで戻ってもらうものを設定した。スタート地点に戻る際はそのまま 1 周する場合、あるいは同じルートを辿る場合のどちらでもよいとした。

また、操作者にスタート位置と、反対の位置を分かりやすくするため静止しているロボットに印をつけてある。

### 3.4.3 実験参加者

実験参加者は 18 名 (平均年齢 21.6 歳) で男性は 11 名、女性 7 名であった。実験参加者はすべての条件を行うものとし、その順序はカウンターバランスに注意して行った。

表 3.1: 質問項目とカテゴリー

質問番号	質問内容	カテゴリー
Q1	ロボットの操作方法は理解できた	ロボットの操作感
Q2	ロボットを思い通りに操作できた	
Q3	ロボットを自分の体の一部のように感じた	身体の延長感
Q4	ロボットを動かすコツがわかった	
Q5	ロボットにあなたの行きたい方向が伝わっているように感じた	意思の疎通性
Q6	あなたにロボットが行きたい方向が伝わってきたように感じた	
Q7	あなたはゲームとして楽しめた	ゲーム性
Q8	ロボットはゲームとして楽しんでいるようだった	
Q9	ロボットは自身の意思で動いているようだった	ロボットの志向性
Q10	ロボットはあなたの指示通りに動いていた	
Q11	ロボットはあなたを意識して動いているようだった	

主観評価に用いた質問項目を表 3.1 に示す。各試行終了後にこれらの項目について 5 件法 (5: そう思う、4: ややそう思う、3: どちらでもない、2: あまりそう思わない、1: そう思わない) で回答を求めた。質問項目は各カテゴリーに分類されており、それぞれ Q1、Q2 はロボットの操作感について、Q3、Q4 は身体の延長感について、Q5、Q6 は意思の疎通について、Q7、Q8 はゲーム性について、Q9、Q10、Q11 はロボットの志向性についての質問となっている。

また、実験参加者には、すべての条件を終えた後に、全体を通しての印象として、(a) 操作のしやすさ、(b) おもしろさをそれぞれ順位付けしてもらった。このほか、各条件終了時に自由記述欄も用意した。

### 3.4.4 実験条件

#### ロボットの振る舞い

実験条件として、以下の条件を設定した。条件はすべてロボットの振る舞いに関するものであり、操作者がコントローラのスティックを倒すことをトリガーとして動作し始める。

#### 条件 A：半自動で動作する INAMO

スティックを倒すことで INAMO 内部のフライホイールが回転し、既定の時間回転すると操作に関係なくブレーキがかかる。操作者は方向のみ指示する形になる。

つまり、操作者のスティックを倒している時間の長さに関わらずロボット内部でシステム上決められた時間フライホイールが回転する。操作者の視点から捉えると、スティックを倒す時間が短い場合はその時間を補うように、逆に長い場合は、適切なタイミングでロボットが移動しようとするため人の操作に関わらず移動する。

人のスティックを倒す動作をトリガーにし、システム的に理想的な移動(完璧な移動)をしようとする条件である。この条件では回転方向のみを指示するため情報負荷(量)は少ないと仮定している。

#### 条件 B：人と一緒になって動作する INAMO

スティックを倒すことで INAMO 内部のフライホイールが回転し、操作者がスティックを離すことでブレーキがかかる。

INAMO が本来想定している動作条件であり、フライホイールの回転方向や回転量、別のロボットとの接続状況、床との摩擦等、人が見守る部分や一緒になって行為した結果がいくつかあり、操作に関して少し手のかかる条件である。この場合、人と目的や方向を共有しながら一緒になって移動しようとする。

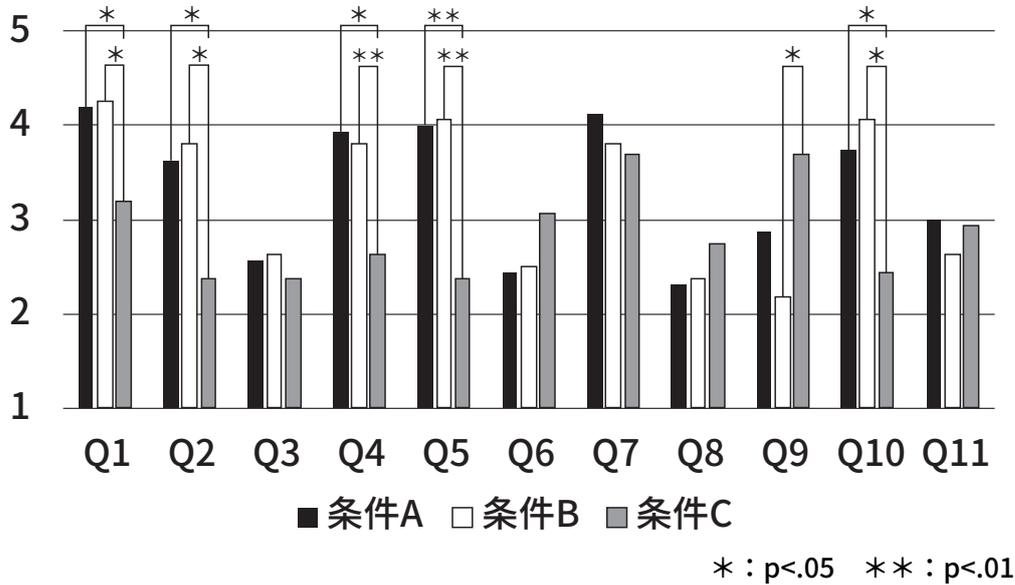


図 3.10: アンケートによる主観評価結果

#### 条件 C : ランダムに動作する INAMO

スティックを倒すことで INAMO 内部のフライホイールが回転し、操作者がスティックを離すことでブレーキがかかるが、フライホイールの回転方向とパワーがランダムになっているため、人と目的を共有せず、自分勝手に動作する。

この条件では、情報負荷(量)が多くなり、操作者の意図とは異なる、思いもしない動きをするものである。

#### 3.4.5 実験結果

質問紙による主観評価のスコアを平均化した結果について、各質問ごとに下位検定として分散分析を行い、条件間で有意な差が認められた質問について上位検定として Holm 法による多重比較を行った。各結果をそれぞれ表 3.2、図 3.10 に示す。

質問紙の結果から、Q1、Q2、Q4、Q5、Q10 の質問において、条件 A、B と条件 C との間で有意な差が確認できた。また、Q9 の質問においては条件 B と条件 C

表 3.2: 分散分析結果

質問番号	平均平方 (MS)	F 値	Pr(>F)
Q1	5.796	7.623	.0013 **
Q2	9.389	8.484	.0007 ***
Q3	0.241	0.173	.8417
Q4	8.167	7.388	.0016 **
Q5	14.74	10.95	.0001 ***
Q6	1.241	0.672	.5150
Q7	0.574	0.477	.6240
Q8	1.056	0.742	.4810
Q9	7.463	5.103	.0096 **
Q10	9.722	7.257	.0017 **
Q11	0.796	0.670	.0516

\*:p<.5, \*\*:p<.01, \*\*\*:p<.001

との間で、有意な差が確認できた。これらのことから、条件 A、B と条件 C との間で、自分の頭の中でうまく操作できているという操作性と、ロボットにその指示がうまく伝わっているといった意思の伝達の部分において差があることが確認できる。

また、すべての条件を終えた後に、(a) 操作のしやすさ、(b) おもしろさをそれぞれ順位付けしてもらった。その結果を表 3.3 に示す。表中の数字は得票数である。

表 3.3: 順位付け結果

## (a) 操作のしやすさについて

	1位	2位	3位
条件 A	3	12	3
条件 B	13	4	1
条件 C	2	2	14

## (b) おもしろさについて

	1位	2位	3位
条件 A	3	8	7
条件 B	10	6	2
条件 C	5	4	9

また、タスクを達成できなかった実験参加者は2名おり、両者とも条件Cの場合のみタスクを達成できていなかった。

## (a) 操作のしやすさについて

最も操作しやすかったと挙げた人が多かったのはB条件であった(約72%)。逆に、最も操作しにくいと挙げた人が多かったのはC条件(約77%)であった。A条件は中間に置かれることが多く(約66%)、2番目に操作しやすいと答えている。

## (b) おもしろさについて

最もおもしろいと挙げた人が多かったのはB条件であった(約55%)。逆に最もおもしろくなかったと挙げた人が多かったのはC条件(50%)だった。また、A条件が最もおもしろくなかったと挙げた人は全体の約38%であった。最もおもしろくなかったと答えた人はほぼA、C条件を挙げており、一緒になって遊びを作り上げるB条件が最もおもしろいと感じられていた。

### 3.4.6 考察

#### 質問紙による主観評価について

質問紙による主観評価の結果、条件A、Bと条件Cとの間で、操作者は操作に対して違いがあることに気づいている。また、自由記述からも、条件Cは協力しているように感じない、ランダムに動作している等のコメントがあり(18人中6名、残り無記入)、同様の結果が伺える。さらに、タスクを達成に多くの時間を要した参加者の1人(297.7秒でタスク達成)からは、『自分の思った方向にロボットが動いてくれずイライラ?を感じた』、『後半は何もわからなくなった』といったような記述があり、条件Cでの操作において非常にネガティブな印象を受けている。

これは、条件Cのランダムに動作するロボットは操作者から見ると、移動方向やフライホイールの回転量、慣性モーメントの勢いなど、情報量が多くありすぎてしまい、ほとんど思い通りにならなかったためである。この状態での遊びの場合、表3.3にもあるように、おもしろさは感じにくい。また、ランダムに動作する場合、ロボットと人との間で共通の目的(第三項)をうまく共有することができず、意思疎通がうまくいかず、協調が生まれにくい結果となっている。これは、人同士のロボットを介した遊びにおいても、社会的参照や共通のタスク(第三項)がない場合において同様の結果が得られている[31]。

しかしながら、一部の参加者はランダムであることを逆手にとり、そこから生まれるギャンブル性を楽しんでいる参加者もいた。エリスのいう、最適覚醒に近づくために、複数のランダムを運要素だと割り切り、うまく自分の中でタスク達

成までの情報を抑制した結果であると言える。

#### 順位付けについて

条件 C とその他の条件とは操作感について差があるが、条件 A と条件 B との間には質問紙による主観評価から差が確認できない。しかしながら、全体を通してのアンケートでは操作のしやすさ、おもしろさのどちらも割合的に差があるように見える。そこで、この順位付けに対し、各順位に得点を付け点数化した (1 位 : 5 点、2 位 : 3 点、3 位 : 1 点)。

その結果、操作のしやすさについては、条件 A は 54 点 (平均 : 3.00 点)、条件 B は 78 点 (平均 : 4.33 点)、条件 C は 30 点 (平均 : 1.67 点) であった。また、おもしろさについては、条件 A は 46 点 (平均 : 2.56 点)、条件 B は 70 点 (3.89 点)、条件 C は 46 点 (平均 : 2.56 点) であった。得点化した順位付けの得点を平均化し、下位検定としてフリードマン検定を行い、条件間で有意な差、有意傾向がそれぞれ認められたため、上位検定として Bonferroni 法を用いたウィルコクソンの符号順位検定を行った結果を表 3.4、図 3.11 に示す。主観評価では表れなかった結果がこの結果から見て取れる。全体を通して行ってみた場合、操作のしやすさについては条件 A と条件 B との間 ( $p = .045$ ) で、条件 B と条件 C ( $p = .005$ ) との間で有意な差が、おもしろさについては、条件 A と条件 B との間で有意傾向 ( $p = .100$ ) が認められる (条件 B と条件 C 間では、 $p = .160$ 、条件 A と条件 C 間では、 $p = 1.00$ )。これらの結果から、主観評価アンケートの結果から見られたものとは異なるものが見えてくる。

まず、操作のしやすさについて見てみると、条件 B と条件 C との間だけではなく、条件 A と条件 B との間にも有意な差が確認できる。実験前の仮説として、動作条件から考えると条件 B は少し手のかかるので、操作はややしにくいものであると考えていた。しかしながら、条件 B が最も操作しやすいという結果になった。まず、条件 C については、動作のトリガー操作者が持っているものの、方向やフライホイールのパワーが操作者の意図からかけ離れたところで決定しているため操作者と関係のない他者と捉えられたためであろう。次に、条件 A は、最も操作

表 3.4: 得点化した順位付けフリードマン検定結果

	カイ二乗値	自由度	Pr(>F)
操作のしやすさ	16.0	2	.0003 ***
おもしろさ	5.33	2	.0694 †

† : $p < .10$ , \*\*\*: $p < .001$

が簡単であるとして設定していた。しかしながら、そうではなく、2番目に操作がしやすいとされている。これは、ロボットがシステムの的に動作しているためであると考えられる。時間が来れば動作するという条件では、単体で回転するには十分な慣性モーメントを生成できているが、別のINAMOとの接続状況や床面との摩擦など他に注意しなければならないものがある。それらを見捨ててロボット単独で動作しようとしていたため、人の操作する余地が残されておらず、操作がしやすいとは言えない結果になったと考えられる。

操作において、条件Bのようにやや手のかかるものである方が、人の参与する余地が残されていることが操作へと引き込む要因となり、操作感に影響を与えていることがこの結果から伺える。

次に、おもしろさについて見てみると、条件Aと条件Bとの間に有意傾向( $p = .100$ )が伺える。A条件の半自動で動作するロボットは人の操作する余地が残されておらず、おもしろくないと捉えられている。これは小川の言う情報量が少なすぎるために起きたと考えられる。それに対して、操作がやや手のかかる条件Bの場合では、一緒になって動作するロボットは、ロボットのみで閉じた状態の動作を行うものよりも手がかかるものの、その部分がおもしろさを感じるために必要な要素の一つになっていると考えられる。

また、C条件のランダムに動作するロボットは統計的に差があるとは言えない。これは、一部の操作者はランダム性やギャンブル性におもしろさを見出しており、

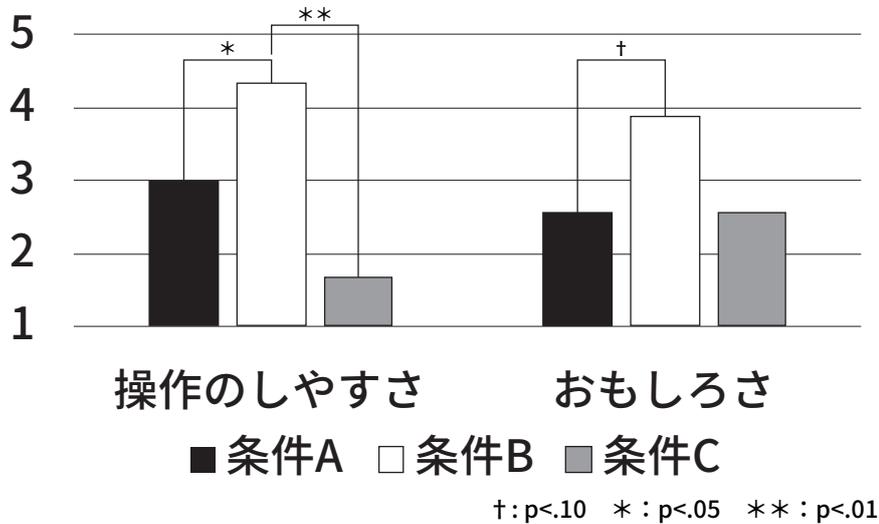


図 3.11: 得点化した順位付けウィルコクソンの符号順位検定結果

分散値が大きくなってしまったためであると考えられる。しかしながら多くの操作者は、ほとんど思い通りにならずおもしろくないとしていることから、情報量が多くなりすぎてしまい操作者の手に負えなくなった結果、おもしろさを感じる事ができていない。

### 3.4.7 まとめ

本章では、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、動作条件を変化させながら遊びを行うことで、操作感がおもしろさにどのような影響を与えるのかについて主観評価実験により調べた。

チクセントミハイの「Flow 理論」や、エリスの「最適覚醒理論」から、私たちが遊びからおもしろさを見出し、感じるためには、その遊びでのタスク達成までに必要な情報や、遊びそのものから与えられる情報とのバランスをうまく調整することが重要である。

実験では、パネル型ロボット INAMO を用いた遊びに備わっている、「操作の難易度」を、半自動で動作する場合、少し手はかかるが一緒になって動作しようとす

る場合、ランダムに動作する場合と変化させた。アンケートの結果から、ランダムに動作する場合は操作感がなく、ロボットに自分の意思がうまく伝わっていないという傾向にあった。半自動で動作する場合と、一緒になって動作する場合との間ではアンケート上では、有意な差が見られなかった。しかしながら、実験の最後に行った全体の順位付けにおいて、操作性に関して有意な差が確認され、それに伴いおもしろさにも有意傾向が見られた。

ロボットを用いた遊びにおいても、仮説として設定した、チクセントミハイやエリスの唱えるバランスをうまく調整できる、人の参与する余地が残されている条件において、最もおもしろさを感じる事が確認できた。

今回の実験では、人がロボットに対してのみ調整を行っていたが、ロボット側にも調整する機構を備えさせ、ロボットを用いた遊びから、ロボットと人との遊びの場面でのおもしろさの要因について議論していく。また、実験中は、操作者は遊びに没頭・熱中しているとまでは言えず、フロー状態にまでは陥ってなかった。今後はこの状態への遷移についても併せて明らかにしていきたい。

## 第4章 ロボットを介した人同士の遊びとコミュニケーション

### 4.1 はじめに

人がINAMOをコントローラを用いて操作する場合、単体のINAMOではその性質上その場で独楽のようにくるくると回転してしまい目標方向に移動することができない。そこで、他のINAMOと電磁石によって接続・分離をすることで目標方向への移動が行える。また、INAMOを目標地点までスムーズに正確に動作させるには、INAMOだけでなく、床との設置状況や他のINAMOとの接続状況等、周囲の環境を気にしなければならない、「もどかしさ」を感じるロボットである。

こうした動作原理から、ロボットでありながら、従来のイメージである個体のみでうまく移動することができず、周囲や他者の支えが必要な少し手のかかるロボットである。

本章では、INAMOを介した人同士の共同的な遊びの成立要件を探るとともに、ロボット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、主観評価実験から明らかにする。

### 4.2 共同的な遊びにおける第三項とコミュニケーション

誰かと一緒に散歩をする、一緒に映画を見る、一緒に食事をする、日常での他者とのコミュニケーションの場面を思い浮かべてみると、必ずしも対面的なコミュニケーションを行っているわけではなく、「並ぶ関係」でのコミュニケーションが行われている場面もある。こうした場面での大きな特徴は、参与者間での対称性

と何らかのオブジェクトやモノを参与者間で共有すること、そしてそれを媒介とし、コミュニケーションを成立させているという点である。また、その背後には、身体の「同型性」を前提としている。

例えば、母親と幼児が絵本を読んでいる場面を想像してみる。そうした場面では、両者の間にある「絵本」が媒介物として、お互いを繋ぐ重要なものになっている。また、実体のある「絵本」だけではなく、そこでの時間や「間」を共有している。一緒に絵本を眺めながらおしゃべりを楽しんでいる時、お互いは勝手に絵本の登場人物の姿を追いかけているわけではない。母親は子どもがいま何を見ているのか、その対象にどのような感想を抱いているのかを探ろうと、子どもの視線とその先を交互に追いかけることをする。これは「社会的な参照 (social referencing)」やゲイズ・オルタネーションと呼ばれるものである [32]。同様に、子どもの方も、母親はいま絵本のなかのどの人物に注意を向け、それに対してどのような気持ちを抱いているのかを、その視線の先を読みながら探ろうとする。

こうした場面では、母親と子どもは「対峙しあう関係」ではなく、むしろ絵本に対して「並ぶ関係」にあり、この母親と子ども、絵本の3つの要素から構成される関係は「三項関係」と呼ばれている [33]。

同様に、2人の子どもの共同的な遊び場面では、2人の子どもとその間にある玩具との間で「三項関係」を形作っており、その第三項としての玩具は二人の行動を制約し、お互いをつなぐ媒介物として重要な役割を果たしている [34, 35]。そのため、この第三項の選択が共同的な遊びや二人のコミュニケーションをデザインする上での要となっている [36, 37]。

こうした知見を活かした研究として、HRI(Human-Robot Interaction) 研究が挙げられる。この分野において、特にコミュニケーションに障害を持つ子どもの療育支援環境への応用がされてきた [38, 39, 40]。これらの研究において、コミュニケーションを促す目的で、ロボットを2人の子どもの間を繋ぐ役割を果たす第三項として利用されてきた。これらの試みは、ロボットという能動的でレスポンスブルなメディアを利用することで、普段の環境では互いに関わろうとしない子どもの共同的な遊びや協力を引き出そうとするものである。

本研究では、ロボット INAMO と人が操作する INAMO との間に共同的な遊びを構成することを試みる。この場合にロボット INAMO との共同的な遊びにおける第三項として考えられるのは次の3つである。

- (a) INAMO という2つのロボット
- (b) 目標位置にできる限り近づくという共通のタスク
- (c) うまく移動することができないもどかしさ

ここでの実験では、この INAMO を介した人同士の遊び場面において、「社会的な参照」を許す場合と許さない場合、「共通のタスク」を設定する場合と設定しない場合などの条件を統制しながら、これらが二人のコミュニケーションや遊びの「おもしろさ」にどのような影響を与えるのかを調べることにした。

## 4.3 主観評価実験

### 4.3.1 実験目的

パネル型ロボット INAMO を介した共同的な遊びの可能性について探るために、二人の操作者が操作する INAMO 同士の連携により、目標方向に移動させるという課題を設定する。この共同的な遊びにおいて、(a) 目標地点まで INAMO を移動させるという「共通したタスク」を設定した場合と特に設定しない場合、(b) 一緒に遊ぶ際に「社会的な参照」を許す場合と許さない場合などの条件を変え、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がどのように変わるのかを、質問紙を用いた主観評価実験により明らかにする。

### 4.3.2 実験方法

実験参加者2名が1組となり、両者がそれぞれのコントローラを用いて INAMO を操作し、相手と協力しながらゴール方向に移動することをタスクとした。1 試行

表 4.1: 主観評価実験における質問項目とカテゴリ

Q1	操作方法は理解できた	技能に関する質問
Q2	思い通りに操れた	
Q3	相手の考えや意図を理解できた	意思疎通に関する質問
Q4	相手は自分の考えや意図を理解していた	
Q5	相手の考えや意図を理解するのは容易であった	
Q6	ゲームとして楽しめた	おもしろさに関する質問
Q7	相手はゲームとして楽しんでいた	

は3分間で行い、後述する実験条件（共通のタスクの有無と社会的参照の有無）による4つのパターンを各2回ずつ、合計8回行った。

実験参加者には教示として、「ロボットを使って2人で遊んでください」と伝えられた。また、共通したタスクがある条件では、実験フィールドにある黒い線を2つのINAMOが完全に超えるまでをタスクの達成とする旨を伝えた。

### 4.3.3 実験参加者

実験参加者として、10グループ、合計20名が参加した。20名の内訳は、男性9名、女性11名、年齢の幅は9歳から45歳、平均年齢26.5歳であった。しかしながら、アンケートでの無記入欄があった男性1名を無効回答として、19名からの回答を有効回答とした。実験参加者はすべて初めてINAMOを操作する人であった。

10グループの内奇数グループの5組は「社会的参照あり」の条件で4回試行し、その後に「社会的参照なし」の条件で4回試行した。偶数グループの5組は逆に、「社会的参照なし」の条件で4回試行した後に、「社会的参照あり」の条件で4回試行する。また各条件で「タスクあり」と「タスクなし」を交互に繰り返し行った。

実験参加者は、各試行の後、質問紙による評価を行った。質問紙を表4.1に示す。各質問は3つのカテゴリに分類され、実験参加者は質問に関して、5件法（5：そ

う思う、4：ややそう思う、3：どちらでもない、2：ややそう思わない、1：そう思わない)で回答するようにした。各条件における回答結果の平均値の差について統計的有意差検定(t検定)を行った。また、最後に自由記述欄も用意した。

#### 4.3.4 実験条件

実験条件として、実験フィールドにある黒い線を2つのINAMOが完全に超えるまでをタスク達成とする旨を教示した場合の「タスクあり」とINAMOを自由に動かすように教示を行った「タスクなし」を設けた。共同的な遊びとして考えると、このタスクが二人を繋ぐ「第三項」として機能するものとなる。

また、一緒にINAMOを操作する際に、相手とのコミュニケーションの方法には制限を設けず、会話やジェスチャーなど日常的な方法でコミュニケーションを図ることを許す場合を「社会的参照あり」とし、相手とのコミュニケーションを制限する場合を「社会的参照なし」とした。社会的参照なしの条件では、会話を行うことを禁止し、視線やジェスチャーなどの情報を隠すために、2人の間に壁(=ホワイトボード)を設置している。この時、相手とのコミュニケーションは、INAMOの動きを介してのみ行われる。

1試行は3分間であり、この時間設定は、タスクの達成に影響を与えると考えている。容易にクリアできてしまうとすぐ飽きられてしまう。一方で、あまりに難しい制約の場合は途中で諦めてしまう。このバランスをとるために、熟練者ならば余裕を持ってクリアできるじかんを3分間と見積もり、INAMOの操作に慣れてくればちょうどクリアできる程度の時間として設定した。

#### 4.3.5 実験環境

図4.1に本実験で使用したフィールドの概略図を示す。実験参加者はこのフィールドの前に立ち、コントローラを持った状態で行う。また、実験条件であった社会的参照の有無については、実験参加者の間にホワイトボードを設置することで、

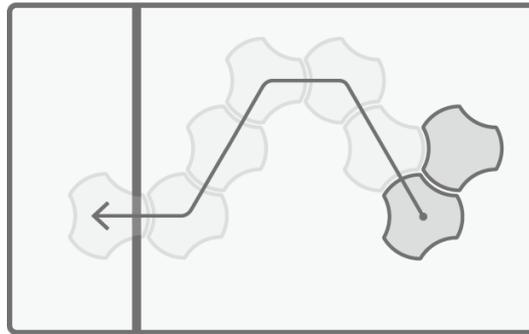


図 4.1: 実験フィールド概要図



(a) 条件 1(社会的参照あり)

(b) 条件 2(社会的参照なし)

図 4.2: 実験における実験環境

相手との会話や相手の身振りなどの様子を伺えないようにした (図 4.2)。2 人の間に壁がなく、社会的参照がある場合を条件 1、壁があり社会的参照がない場合を条件 2 と区別する。

### 4.3.6 実験結果

#### 社会的参照の有無による比較

図 4.3 はタスクの有無を含めた、「社会的参照あり」(条件 1)と「社会的参照なし」(条件 2)に対する主観評価のスコアの結果を平均化し、グラフに示したものである。また、表 4.2 に t-検定の結果を示す。図 4.3 の縦軸は各質問の平均スコア、横軸はそれぞれの質問項目である。

#### 共通したタスク（第三項）の有無による比較

相手の INAMO と協力しながら、ゴールまで一緒に移動させるという「タスクあり」と自由に操る場合の「タスクなし」との差異に関しては、それぞれ「社会的参照あり」と「社会的参照なし」の二つの場合に分けて比較を行う。それぞれの結果を図 4.4、4.5 に示す。また、表 4.3、4.4 に t-検定の結果をそれぞれ示す。それぞれの図の縦軸は各質問の平均スコア、横軸はそれぞれの質問項目である。

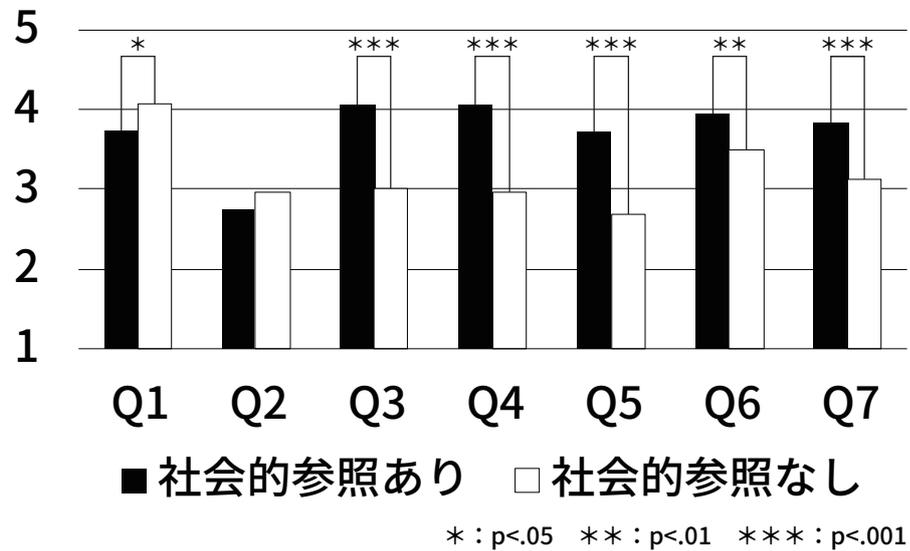


図 4.3: 社会的参照の有無結果

表 4.2: t-検定結果 (社会的参照の有無)

Question	df	t-value	p-value
Q1	147.73	-2.516	0.013 *
Q2	147.83	-1.357	0.176
Q3	137.72	6.063	0.000 ***
Q4	130.86	6.289	0.000 ***
Q5	149.10	5.271	0.000 ***
Q6	139.08	3.017	0.003 **
Q7	144.01	5.079	0.000 ***

\*:p<0.05, \*\*:p<0.01, \*\*\*:p<0.001

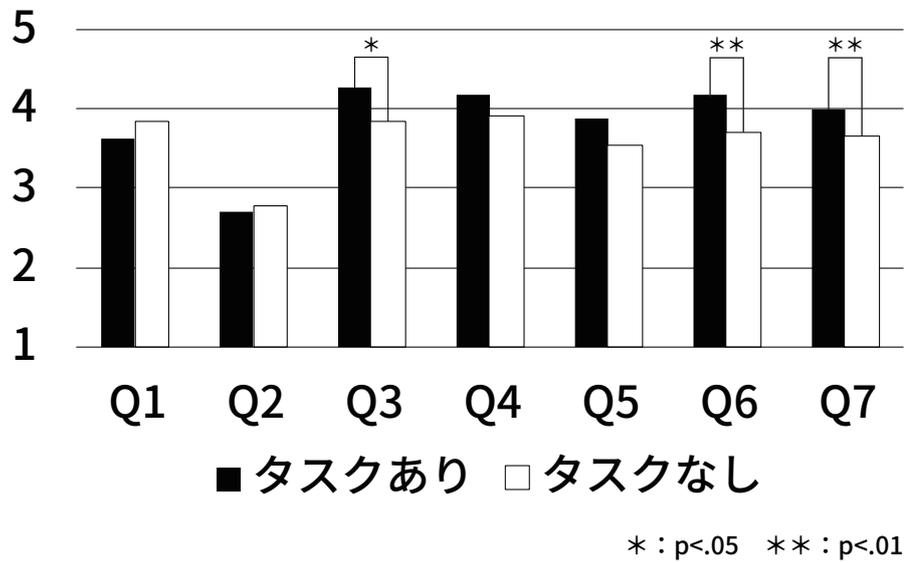


図 4.4: 第三項の有無による比較 (条件 1)

表 4.3: t-検定結果 (第三項の有無 : 条件 1)

Question	df	t-value	p-value
Q1	68.151	-1.075	0.286
Q2	72.866	-0.381	0.703
Q3	64.476	2.102	0.039 *
Q4	67.956	1.388	0.169
Q5	73.911	1.198	0.235
Q6	65.089	2.692	0.009 **
Q7	70.849	2.014	0.048 *

\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

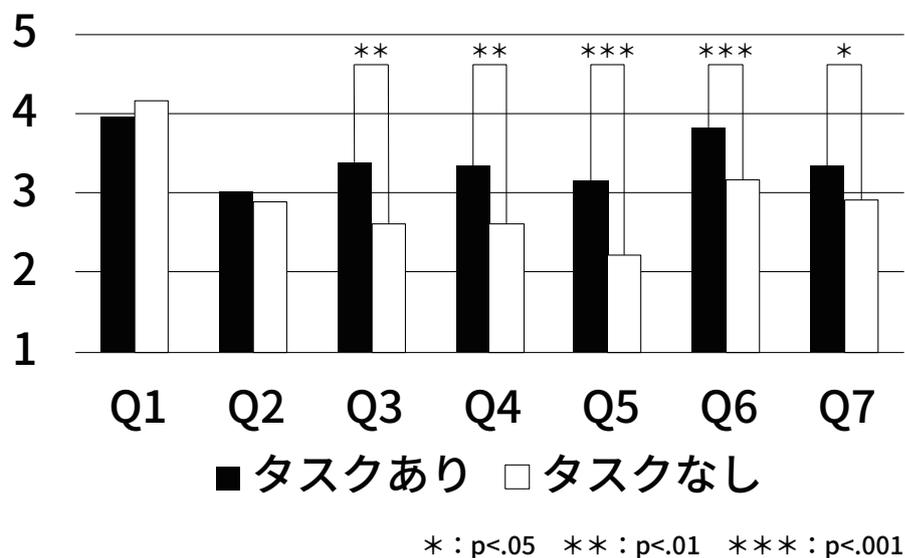


図 4.5: 第三項の有無による比較 (条件 2)

表 4.4: t-検定結果 (第三項の有無 : 条件 2)

Question	df	t-value	p-value
Q1	64.713	-1.066	0.290
Q2	72.902	0.563	0.575
Q3	72.582	2.957	0.004 **
Q4	72.974	2.688	0.009 **
Q5	73.661	3.563	0.000 ***
Q6	73.643	2.811	0.000 ***
Q7	73.653	2.016	0.047 *

\*:p&lt;0.05, \*\*:p&lt;0.01

### 4.3.7 考察

#### 社会的参照の有無による比較

ここでは、社会的参照の有無による意思疎通の変化や、その遊びに備わる「おもしろさ」について考察する。共通したタスクについては次節にて述べる。

「意思疎通に関する質問」の Q3、Q4、Q5 では、いずれも「社会的参照なし」に比べ、「社会的参照あり」に対する評価スコアが高く、t-検定の結果から統計的にも有意な差が確認できる。社会的参照の存在が、両者の意思疎通に大きく寄与しており、INAMO の動きだけのみを介したコミュニケーションと比較して、相手の表情や視線を参照した方が相手の意図を理解しやすいことがわかる。

「おもしろさに関する質問」の Q6、Q7 においても同様に「社会的参照なし」に比べ、「社会的参照あり」のスコアが高く、統計的にも有意な差が確認できる。このことから社会的参照がないと「おもしろさ」が低下することがわかる。

しかしながら、その一方で、「技能に関する質問」の Q1 では、「社会的参照あり」と比較して、「社会的参照なし」の方が、評価スコアが高く、統計的にも有意な差が確認されている。このことから、「社会的参照なし」の方が操作方法を理解しやすいという結果になっている。相手の状況が見えず、相手の意図をうまく読み取ることのできない状態では、共同的な遊びではなく、一人遊びに近い状態になることから自らの技能を高めるために集中しており、結果として「操作方法が理解できた」、「思い通りに操れた」と感じたのではないかと推測される。

#### 共通したタスク（第三項）の有無による比較

実験参加者同士で社会的参照が行えない状況（図 4.5）では、全体的に評価スコアが低い傾向にある。特に共通のタスクもない状態では、ほとんど一人遊びの状態になることから相手の意図もうまく伝わってこず、自身の意図も相手にうまく伝わっているという感覚が得られていない。そのような社会的参照がない状態でも、共通のタスクがある場合は、その INAMO の動きだけから相手の意図がやや伝わっているような感覚が得られている。さらに、「自分なりにゲームとして楽し

めた」というスコアも高くなっている。相手と合わせることで「もどかしさ」がさらに高まったり、「ゴールを共有している」、「もどかしさを共有している」という感覚があるためだと考えられる。

社会的参照が行える状況（図4.4）では、共通のタスクがある場合、ない場合関わらず相手の意図が伝わってきたり、自分の意図も伝わっていると感じ、その意思疎通した感覚を得られている。しかしながら、その中でもタスクを共有することでより「意思疎通に関する質問」のスコアや、「おもしろさに関する質問」のスコアはともに高くなっており、統計的にも有意な差が確認できる。「ゴールを目指して協力している」、「もどかしさを共有できている」ことを2人の間で確認しあえるためだと考えられる。

その一方で、「技能に関する質問」では、共通したタスクの存在の有無に関わらず、操作方法はやや理解できたという回答にも関わらず、「Q2:思い通りに操れた」のスコアが低いことから、頭では、操作方法を理解していながらも、その通りに操作できない「もどかしさ」を感じていることがわかる。

### 自由記述による考察

アンケートの最後に自由記述欄を設け、実験参加者からのコメントを求めた。回答として多く得られたのは、「だんだんと操作には慣れたが、タスクを達成するのは難しい」等の、INAMOの操作の難易度に関するもの（5名）と、「もどかしい」、「できそうで出来なかった、悔しい」などのうまくINAMOを操作できずに悔しい、もどかしいという感想（計9回）を確認できた。

遊びの要素で重要なものの1つとして、「飽きさせないこと」がある。簡単ですぐにクリア出来てしまうものでは、「おもしろさ」も持続せず、すぐに飽きられてしまう。その一方で、難しく設定した場合はじめから「もう無理だ」と早い段階で諦めてしまう。遊びにおいてはこのバランスを取ることが非常に重要である。

本実験において、操作の難しさに関する感想・記述が多い中でそれ以上に、「もどかしさ」についてのコメントが多いことから、このINAMOを介した遊びでは、適切な課題設定になっていたのではないかと考えられる。

また、本実験で設定した「2つの INAMO が一緒にゴールに到達する」という課題を達成したグループは皆無であった。しかしながら、1つの INAMO だけゴールに到達したグループは複数存在している。こうした「もどかしさ」がより人をコンテンツに引き付ける力になっていたことがこれらのコメントより示唆された。

#### コントローラの入力の変化による考察

INAMO を目標方向にうまく進めるためには、INAMO が持つ特徴から操作者2名が交互に操作することが望ましい。すなわち、コントローラの入力も交互に行う必要がある。その点に着目し、コントローラの入力が同時に行われている時間を重複時間とし設定した。

実験中の様子を撮影したビデオから、実験参加者がうまく INAMO を進められた（ゴールに近づくことができた）試行例を選別し、それらの試行について、コントローラの入力がどのようなになっているか、またそれらはどの条件の場合に起きているのかを観察した。うまく INAMO を進めることが出来たと判断した試行数は11例であった（全試行80）。この11例中のコントローラの重複時間を Ward 法にてクラスタリングし、3つのグループに分類した。

- グループ A

重複時間が短いグループをグループ A とした。このグループの重複時間は、前試行時間の約 20%程度である。このグループは、「社会的参照あり」かつ「タスクなし」の条件でのみ見られた。タスクが設定されていないことから、タスク達成をしなければならないという強制力もなく、急かされないことから、コミュニケーションを取りながら、前に進むためにはどうすればよいのか戦略を練ることができたためであると考えられる。こうした結果から、重複時間が少なくなり、うまくゴール方向へと進めたと考察する。また、このグループの実験参加者は、互いに相手の様子を伺いながら交互に動こうとしており、INAMO の持つ特徴をうまく引き出そうとしていたグループでもある。

- グループB

重複時間が試行時間の半数以上を占めているグループである。このグループの重複時間は、前試行時間の約60%程度である。このグループは、「社会的参照あり」かつ「タスクあり」の条件で多く見られた。「社会的参照なし」の条件でも見られたが、その場合でも「タスクあり」の条件で見られた。上記に示した考察から、タスクがあることが条件によらず、相手の意志を感じやすいことが得られている。相手の姿が見えない場合にも、タスクがあることで相手の動きを読むことができるか、それが完璧でないことからグループAと比べて、重複時間が多くなっている原因であると思われる。しかしながらその状態でもゴール方向へ進むことは出来ている。

- グループC

分類した中では、最も重複時間が多いグループをグループCとした。このグループは、重複時間が約75%程度であった。このグループは、「社会的参照なし」の場合で多く見られた。相手の様子を伺うことが出来ないことから、とりあえず、自分だけでも動かしてみようと実験参加者各々が考えたためであると思われる。この結果、相手と同じタイミングで動きまわることになり、独楽のように、互いにはじきあうようにしながら結果としてゴール方向に進むことができたものであった。この動きは、偶然的にゴール方向に進めたものである。

どのグループも結果として、ゴール方向へと進めることが出来ていた。INAMOを介した遊びとして初めに想定していたのは、グループAのように相手の様子を伺いながら、交互に操作するものである。しかしながら、グループCのように、運や偶然によりゴール方向に進むといったものも見られた。遊びとしては、運や偶然も重要な要素であるが、このグループCは、それぞれが一人遊びのような状態になっているため、共同的な遊びになっているとは言い難く、パーテンの唱える平行遊び[41]に近い状態になっていると考えらる。

#### 4.3.8 まとめ

2つのINAMOを介した、人同士の共同的な遊びでは、2人の間で共通のタスクが設定されず、お互いの社会的参照も許されない状況では、ほぼ、一人遊びの状態になり、他の条件と比較して、「おもしろさ」に関する評価スコアは低くなる。そこでは、INAMOの操作そのものに注意を向けるようになる。

共同的な遊びを成立させる上では、共通のタスクという第三項の存在が大きいことが分かった。タスクを共有した状態では、その目標を共有するだけでなく、おなじ「もどかしさ」も共有することとなる。またその目標に向かうまでのプロセスを共有し、達成感をも共有できる。

アンケートの自由記述からも、「悔しい」、「もどかしい」という感想がおおく、INAMOの操作には人を遊びへと誘う力があることが確認できた。

社会的参照が制限された状況では相手との意思疎通が難しく、「おもしろさ」も低く評価される傾向になった。質問項目間での回答内容の関連性を調べてみても、互いの意思疎通とその「おもしろさ」を感じるかどうかについては強い相関があることが分かった。



## 第5章 人とINAMOとの共同的な遊びとコミュニケーション

### 5.1 はじめに

前章にて、ロボットを介した人同士の遊びについて議論してきた。本章では、人同士のINAMOを介した共同的な遊びにおけるおもしろさの要素として、共有のタスクやもどかしさなどの「第三項」と相手の様子を伺いながら協力・協調を行う「社会的参照」が重要な役割を果たしていることが前章の知見より確認できた。また、実験中に見られた動作として、実験参加者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。

前章で得られた知見を活かし、自律的に動作するINAMOを設計・構築し、人とロボットINAMOとの共同的な遊び場面の構築を試みる。

本章では、人と自律的に動作するパネル型ロボットINAMOを用いて、人とロボットとの共同的な遊びに必要な要素ならびに、おもしろさを生み出す要素について検証する。

### 5.2 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

とができることが後述する実験結果から示唆される。[31]。

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かりとして社会的参照がある、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。人-ロボット間でコミュニケーションをとるためには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、移動の仕方において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をしたり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 の振る舞いには人同士の INAMO を介した遊び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。

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。

## 5.3 主観評価実験

### 5.3.1 実験目的

本実験では、人-INAMO間の共同的な遊びの成立要件や条件ごとのおもしろさの違いを探るため、(a)自律型INAMOがランダムに動作する場合と相手の動きと協調しようとする場合の振る舞いの違いと、(b)LEDの点滅による内部状態の開示の有無を変化させ、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がどのように変わるのかを、質問紙を用いた主観評価実験により明らかにする。

### 5.3.2 実験方法

実験参加者がコントローラを用いて操作するINAMOと自律動作するINAMOと協力し、目標位置まで近づくというタスクを設定する。1試行は3分間で行い、後述する実験条件(振る舞いの条件と内部状態の開示の有無)による4パターンを各1回ずつ、合計4回行った。また、実験参加者は、実験を始める前にINAMOの操作や特性について理解をする練習フェーズを行うものとした。

実験参加者には、「ロボットと遊んでください」と教示を与えた。また、タスク

として「相手のロボットと協力し、交互に動作させ、フィールド上にある黒い線までできる限り近づいてください」と伝えた。

INAMO の操作は上記に挙げてきたように特殊なため、初めて操作する人の場合うまく操作することができず、よくわからないまま実験が終わってしまう可能性があったため、基本の操作の説明及び交互に動作している様子のビデオ(15秒程度)を見てもらった。その後3分程度練習をしてもらい INAMO の操作にある程度慣れた後に実験を行った。

さらに、実験を行う前に、INAMO の操作に慣れてもらうため、練習フェーズを設けた。練習は2つのフェーズに分けて行った。最初のフェーズとして、実験参加者が1人で1つの INAMO を操作し、移動するタイミングやコントローラ之感覚等を確認するフェーズである。この間、もう一つの INAMO は静止した状態である。

ある程度一人での操作を行えると実験者が判断した場合、次の練習フェーズとして、実験者の操作する INAMO と交互に操作してもらい INAMO を介した共同的な遊びを行った。これにより、交互に動作することやうまく目標方向に進めることや同時に動作することやうまく動くことができないことを確認した。

### 5.3.3 実験参加者

実験参加者として、工学部の学生を中心に20名で実験を行った。ロボットと遊ぶよう教示し、交互に動作して目標位置まで近づくタスクを与えた。実験参加者20名の内訳は、男性19名、女性1名となっており、年齢の幅は19歳から46歳、平均年齢は24歳であった。

実験参加者は、条件の異なる4パターンの振る舞いをする自律型 INAMO と遊び、各パターンの終了後、質問紙による評価を行った。質問紙を表5.1に示す。各質問は4つのカテゴリに分類され、実験参加者は質問に関して5件法(5: そう思う、4: ややそう思う、3: どちらでもない、2: ややそう思わない、1: そう思わない)で回答するようにした。

表 5.1: 主観評価実験における質問項目とカテゴリ

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や意図を理解できた	
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

#### 5.3.4 実験条件

実験条件として大きく2つの条件を用意した。自律型 INAMO の振る舞いの違いと内部状態の開示の有無である。振る舞いの違いを A 要因、内部状態の開示の有無を B 要因とし、これらの2つの要因をそれぞれ組み合わせ全部で4つのパターンを用意した。

振る舞いの違いである A 要因の水準は、A1：ランダムに動作する、A2：人の動作をみて動作する(交互に動作しようとする)の2つである。内部状態の開示の有無である B 要因の水準は、B1：内部状態の開示無し、B2：内部状態の開示ありの2つである。ここでの内部状態とは、自律型 INAMO が動作しようとすることを他者に伝えるものである。実験では、内部状態の開示ありの場合、動作する約3秒前から INAMO 上部中央に設置された LED が点滅し始め、動作終了時に点滅をやめる。また、B1、B2 条件に関わらず、実験開始の合図として INAMO 上部中央の LED が点灯する。

条件と要因の対応を表 5.2 に示す。A1/B1、A1/B2、A2/B1、A2/B2 をそれぞれ A、B、C、D 条件と呼ぶ。

表 5.2: 実験条件と要因の対応

		振る舞い要因 A	
		ランダムに動作 A1	交互に動作 A2
開 示 要 因  B	開示なし B1	A	C
	開示あり B2	B	D

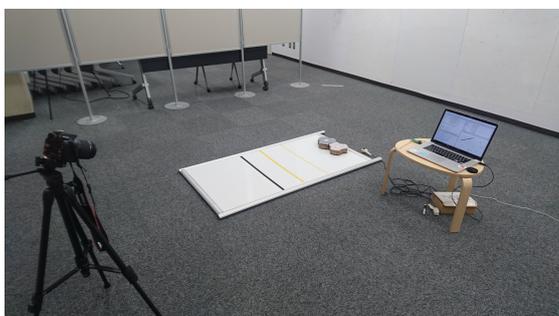


図 5.1: 実験環境



図 5.2: 実験フィールド

また、各パターンはカウンターバランスに配慮し、ランダムに実験を行った。

### 5.3.5 実験環境

実験環境を図 5.1 に示す。実験は図にあるフィールドの前に実験参加者が立ちコントローラを持った状態で行う。実験者はパソコンの前に待機し、実験用プログラムの開始・停止を行い、フィールド上での各 INAMO の動作状況を観察した。フィールド上での各 INAMO の様子を記録するために、実験参加者からフィールドを挟んでカメラを設置している。

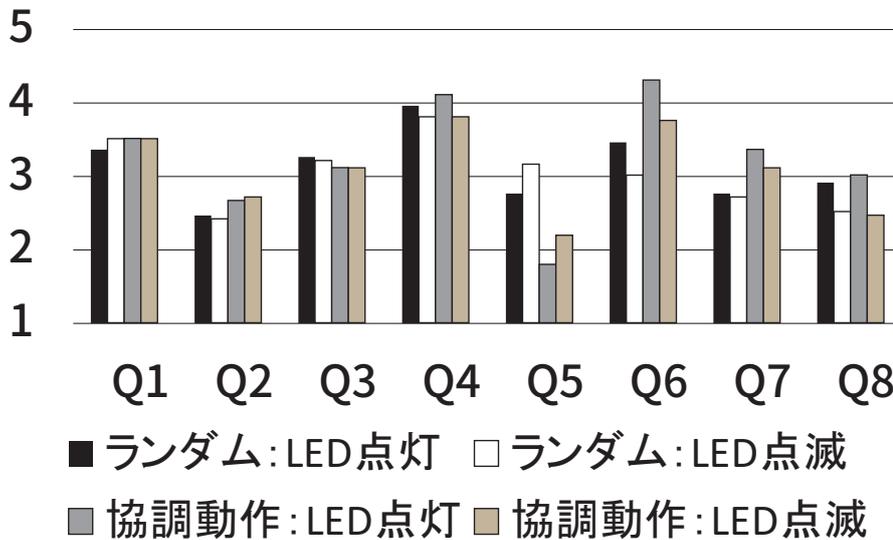


図 5.3: 実験結果

また、INAMO が動作するフィールドを図 5.2 に示す。実験タスクにある、「黒い線」はスタート位置から 90 cm の地点になっている。黄色の破線は中間地点 (45 cm)、黄色の実線は約 4 分の 3 の地点 (72 cm) である。実験参加者には、黄色の線を目印にどの程度進んだかの判断材料にするよう指示した。

### 5.3.6 実験結果

質問紙による回答のスコアの平均値を図 5.3 に示す。

振る舞い要因 A と開示要因 B 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% で二元配置分散分析を行った。分散分析の結果を表 5.3 に示す。

その結果、「コミュニケーションに関する質問」である、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。差が有意である二項目について図 5.4、5.5 に示す。どちらの図も縦軸に要因の平均値、横軸に振る舞い要因の水準となっている。

表 5.3: 分散分析結果

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

†:p<0.1、 \*\*:p<0.01、 \*\*\*:p<0.001

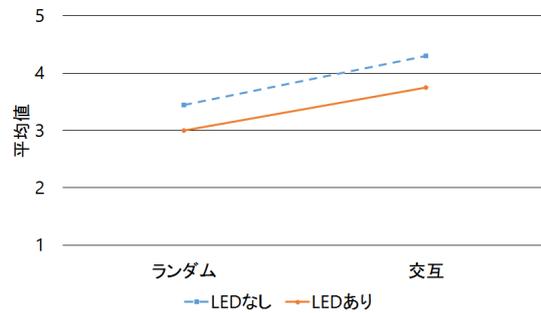
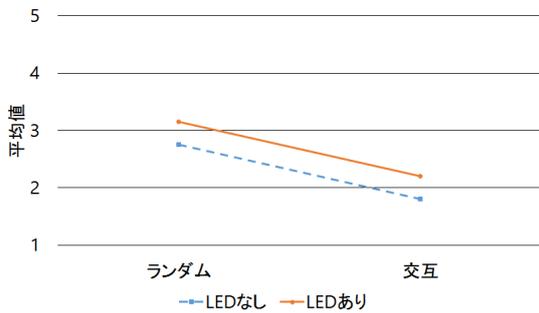


図 5.4: Q5 に対する A, B 要因の効果

図 5.5: Q6 に対する A, B 要因の効果

### 5.3.7 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」とともに振る舞い要因 A について主効果が認められた。すなわち、振る舞い要因 A が開示条件 B 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。

Q5「相手のロボットはあなたと同時に動こうとしていた」では、ランダムに動作する A1 の場合にスコアが高くなっており、ロボットが自分と協調していない感覚を実験参加者は感じている。その一方で、Q6「相手のロボットはあなたと交互に動こうとしていた」では、交互に動作する A2 の場合にスコアが高くなっており、ロボットが自分と協調している感覚を実験参加者は感じている。

これらのことから、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 ともに差が有意であることが認められた。Q5、Q6

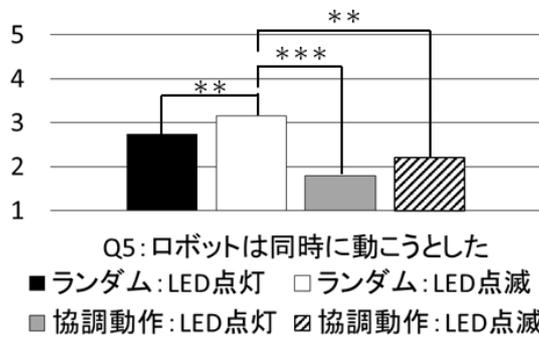


図 5.6: Q5 における多重比較結果

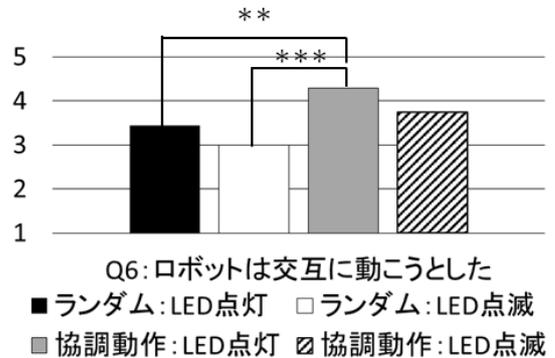


図 5.7: Q6 における多重比較結果

における多重比較の結果をそれぞれ図 5.6、5.7(\*\*: $p < .01$ 、\*\*\*: $p < .001$ ) に示す。

差が有意であると認められた組は、Q5では、A-C間、B-C間、B-D間の3組で、Q6ではA-C間、B-C間の2組であった。これらの組はQ5、Q6にかかわらず、振る舞い要因の水準のみが変化している条件間の組であり、この結果からも分散分析の結果を確認できる。したがって、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、操作者である人に対して、ロボットと協調・協力することができるという感覚を生み出すことに対し有効であることがいえる。

しかしながら、開示要因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」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、以下の考察では振る舞い要因Aでの差について考察していく。

これらの結果から、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事ができているが、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を実現で

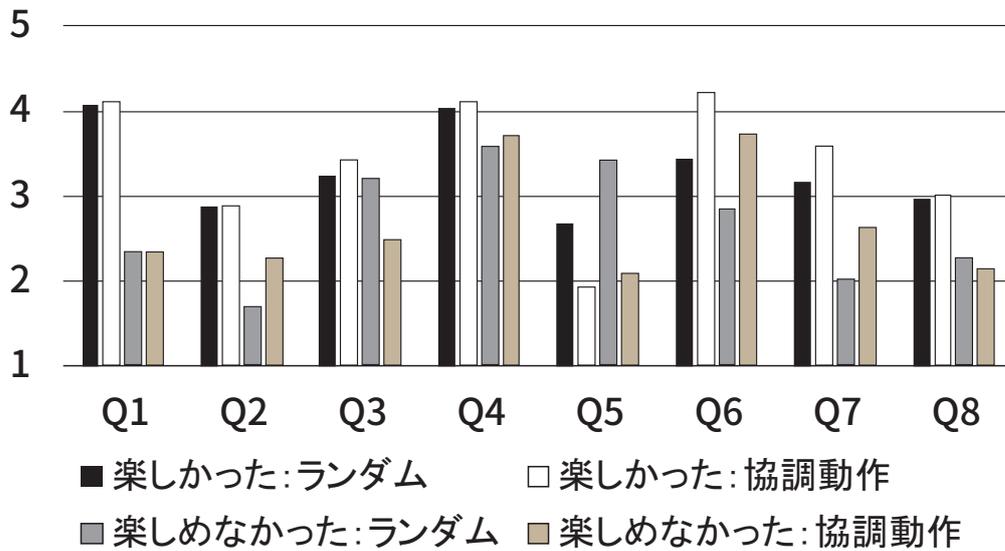


図 5.8: 楽しさによる比較

きたといい難い。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。練習フェーズを設けたものの、実験参加者の中にはまだうまく INAMO を操作できなかった人もおりその状態で実験を行った結果、遊びとして成立しなかつた可能性がある。そこで、遊びとして成立した場合とそうでない場合に分けて比較し、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。

#### ゲームの楽しさによる比較

遊びとして成立したかどうかの一つの基準として、実験参加者である人が楽しめたかどうかがある。ここでは、実験参加者が楽しめた場合とそうでない場合に分けて議論する。

Q1「ゲームとして楽しめた」の項目の評価スコアが4以上の場合、ゲームとして楽しめたとし、評価スコアが3以下の場合楽しめなかったと判断した。実験参加者が楽しめたかどうかによるスコアの平均値を図 5.8 に示す。開示要因 B は差が見られないことから、ここでは振る舞い要因 A について示す。

ゲームとして楽しめたと回答したのは 51 事例、楽しめなかったと回答したのは

表 5.4: t-検定結果 (楽しさによる比較)

	Question	df	t-value	p-value
ゲームとして楽しめた人	Q5	47.205	2.935	0.005 **
	Q6	45.408	-3.007	0.004 **
ゲームとして楽しめなかった人	Q5	26.431	3.166	0.004 **
	Q6	25.137	-1.877	0.072 †

† :p&lt;0.1、 \*\*:p&lt;0.01

29 事例であった。図 5.8 にあるように、楽しめたと回答した人は振る舞いの違いにかかわらず、Q2「思い通りに自分のロボットを操作できた」、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」、Q7「相手のロボットの気持ちや意図を理解できた」、Q8「相手はゲームとして楽しんでいた」の4つの項目で評価スコアが高くなっている。このことから、ゲームとして楽しむための要素として、自身の操作性、相手ロボットの主体性、そして相手とのコミュニケーションが重要なものであることがわかった。操作性については次節にて述べる。

INAMO に気持ちや意図があった、ゲームを楽しんでいたといったロボットに主体性があると強く感じることで人はよりその遊びに「おもしろさ」を感じている。INAMO をただの機械ではなく何かしら意図をもったものとして捉え、主体性を感じるにより、相手と一緒に遊べる遊びを構築していく感覚が強くなり、その結果「おもしろさ」を強く感じていると考察できる。

また、どちらの振る舞いでも、結果同様に Q5、Q6 で差が見られる。これらについて t-検定を行った結果統計的に差が有意、あるいは有意傾向があることが確認できた(表 5.4)。ゲームとして楽しめた人も、そうでない人も INAMO の振る舞いによって協調関係に差があると感じていることが確認できる。

相手の気持ちや意図を理解でき、コミュニケーションをとることができたと回答した人はゲームとして楽しめた傾向にあり、「おもしろさ」とコミュニケーションとの間に関連があることが示唆される。このことについてカイ二乗検定を行っ

た結果、関連があることが示された ( $p < .001$ )。この結果から、ロボットと人との遊びにおいても、人同士の遊びの場合と同様に、ゲームの楽しさと相手とのコミュニケーションについては関連性があることが統計的にもわかった。

ロボットと人との遊びにおいて「おもしろさ」を感じるたと回答した人は相手の気持ちが理解でき、相手と協調することができたと感じている。このことから、人同士の遊びの場合と同様に相手とのコミュニケーションが「おもしろさ」に強い影響を与えることがわかった。

相手の気持ちや意図を理解でき、コミュニケーションをとることができたと回答した人はゲームとして楽しめた傾向にあり、「おもしろさ」とコミュニケーションとの間に関連があることが示唆される。このことについてカイ二乗検定を行った結果、関連があることが示された ( $p < .001$ )。この結果から、ロボットと人との遊びにおいても、人同士の遊びの場合と同様に、ゲームの楽しさと相手とのコミュニケーションについては関連性があることが統計的にもわかった。

ロボットと人との遊びにおいて「おもしろさ」を感じるたと回答した人は相手の気持ちが理解でき、相手と協調することができたと感じている。このことから、人同士の遊びの場合と同様に相手とのコミュニケーションが「おもしろさ」に強い影響を与えることがわかった。

### 操作性による比較

うまく操作できたかどうかはその遊びがもつ「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5.9に示す。ここでも、開示要因Bは差が見られないことから、振る舞い要因Aについて示す。

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5.9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

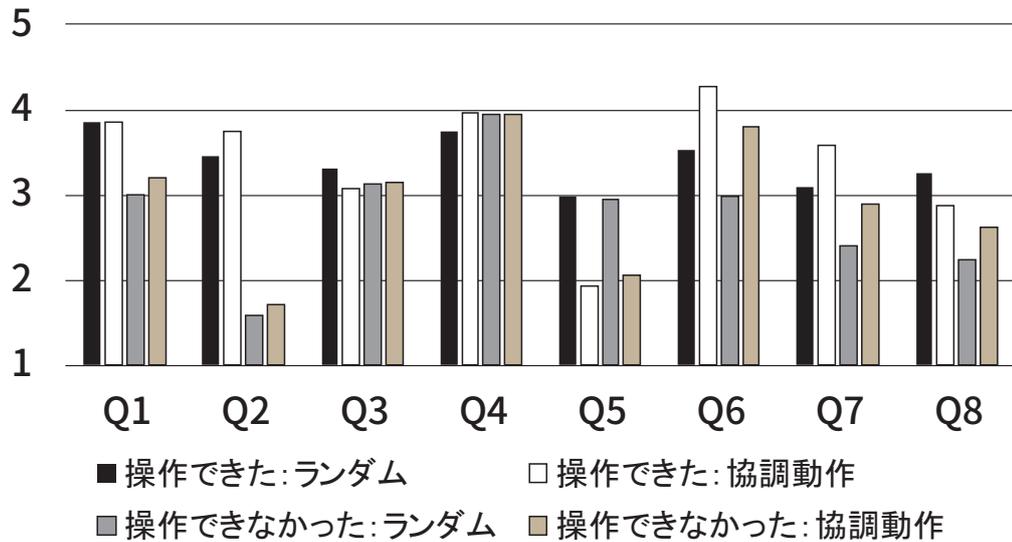


図 5.9: 操作性による比較

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 5.10 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あることが認められる(ランダム: $p=0.034$ 、交互: $p=0.038$ )。

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 であり有意傾向が示された。

また、操作性においても同じように、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、操作できたかどうかにかかわらず、統計的に差が有意であることが確認できた(表 5.5)。ここでも、うまく操作できた人とそうでない人

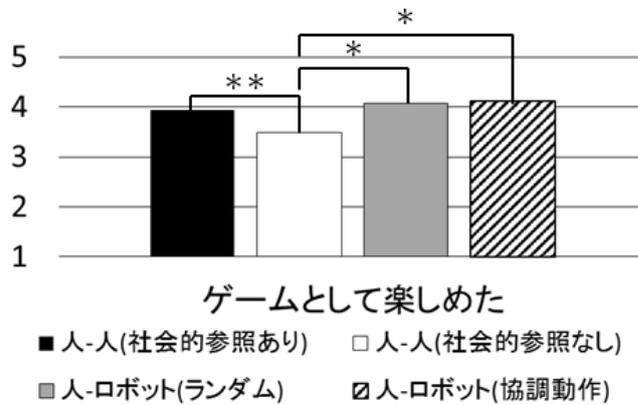


図 5.10: 前章での実験との比較結果

表 5.5: t-検定結果 (操作性による比較)

	Question	df	t-value	p-value
うまく操作できた人	Q5	32.247	2.8942	0.007 **
	Q6	39.698	3.0296	0.004 **
操作できなかった人	Q5	34.078	-2.172	0.037 *
	Q6	40.747	-2.7605	0.008 **

\*:p&lt;0.05、 \*\*:p&lt;0.01

も INAMO 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。

#### コントローラの入力による比較

操作性により、遊びの「おもしろさ」やコミュニケーションと取れたかどうかに影響を与えることが質問紙の結果から示された。そこで、参加者が実験で用いたコントローラの入力についても変化があるのではないかと考えられる。表 5.6 に実験参加者の各条件でのコントローラの入力状況を示す。表中の A、B、C、D は

表 5.6: コントローラ入力状況 (%)

実験参加者	A	B	C	D	実験参加者	A	B	C	D
1	26.0	25.8	31.2	15.3	11	25.0	26.5	25.8	24.2
2	23.6	26.5	23.3	21.2	12	19.9	26.1	14.9	21.5
3	17.4	19.2	15.0	25.1	13	31.3	34.7	39.6	36.9
4	43.6	70.5	48.9	47.4	14	28.7	36.9	33.5	38.8
5	33.0	26.9	30.7	31.6	15	33.2	37.2	32.7	32.7
6	32.9	30.9	23.1	30.1	16	32.4	29.4	27.7	28.1
7	25.3	34.8	25.1	25.5	17	35.8	38.3	35.6	32.5
8	44.8	56.6	36.7	57.8	18	47.0	29.1	26.6	30.2
9	18.6	21.0	29.5	24.5	19	44.5	36.9	35.2	44.4
10	28.5	26.9	30.6	26.7	20	36.1	32.8	32.2	26.7

条件と同じものである。表中には、実験参加者が1試行3分中にどれだけの時間コントローラの入力を行ったかについて百分率で示している。実験参加者毎に入力状況は異なっているが、参加者個人内では条件が異なっても入力状況に変化はあまり見られない。そこで、コントローラの入力状況による遊びの「おもしろさ」やコミュニケーション、操作性について考察するため Ward 法によるクラスタリングを行い、3つのグループに分類した。

- グループ A

入力が少ないグループである。7名がこのグループに属し、平均操作時間は42.3秒(23.5%)である。グループ A の質問紙の平均値を図 5.11 に示す。

- グループ B

コントローラの入力がやや少ないなグループである。11名がこのグループに属し、平均操作時間は59.3秒(32.9%)である。グループ B の質問紙の平均値を図 5.12 に示す。

- グループC

コントローラの入力が多いグループである。2名がこのグループに属し、平均操作時間は91.4秒(50.8%)である。このグループに属する人数が少なく、質問紙の回答も不規則であるため、今回は外れ値として扱い、考察しないこととする。

グループAとグループBで比較してみると、操作時間の少ないグループAの方が振る舞いの違いにかかわらず、「おもしろさ」を強く感じている。さらに、Q4、Q7で評価スコアが高くなっている。このことから、操作時間が短く、フィールド上の自身のINAMOの動きや、相手の様子を伺う時間が多い人ほどINAMOに主体性を感じやすく、相手の気持ちも伝わっているような感覚を得ている。

どちらのグループもQ2の操作性に関する評価スコアが低い。前章の実験より、操作方法を理解しながらも、うまく操作することができない「もどかしさ」が「おもしろさ」に繋がっている。

グループAは練習フェーズで操作方法を理解できたものの、実際に自律型INAMOと遊ぶとうまく操作できなかったと感じたのではないかと考えられる。そのギャップにより「もどかしさ」を強く感じ「おもしろさ」に繋がったと推察される。

グループBは練習フェーズでの練習が不十分であり、うまく操作できなかったと考えられる。相手を見る時間が少なく、自身でうまく操作し、目標方向に進もうとしたのではないかと推察される。

コントローラの入力状況から、相手の様子を伺いながら操作している場合、操作に対するもどかしさを感じながらも、相手とのコミュニケーションをとりつつ遊びとしての「おもしろさ」を感じやすいことが示された。

### 5.3.8 まとめ

本実験では、用意した条件間で人-INAMO間での共同的な遊びの成立を示すことはできなかった。しかしながら、INAMOの振る舞いの違いによる「おもしろさ」やコミュニケーションに対する印象の違いを確認できた。さらに、人とロボッ

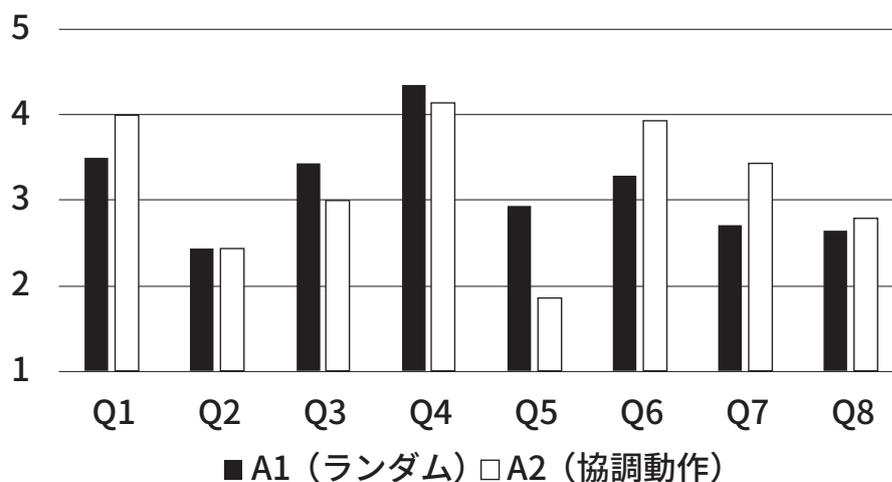


図 5.11: グループ A 結果

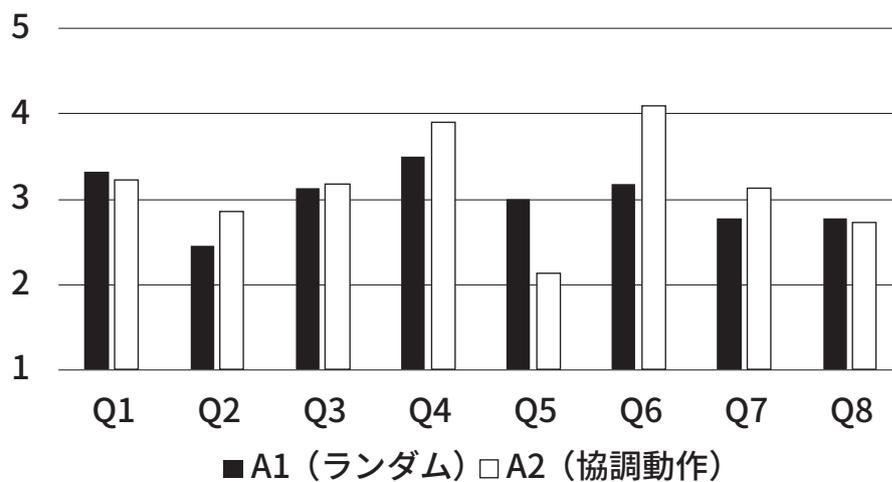


図 5.12: グループ B 結果

トとの共同的な遊びがうまく行えた場合から、遊びの成立要因を分析した。人と INAMO との共同的な遊びをうまく行うためには、「操作性」と「相手とのコミュニケーション」が重要な要素になることがわかった。

質問紙の結果から自身の INAMO をうまく操作できた場合は遊びとして楽しむ

た人も多く、「おもしろさ」を強く感じている。またコントローラの入力状況から、操作時間が多くなり、相手の様子を伺う時間が少なくなるにつれ「おもしろさ」を感じにくくなっている。また、人同士の遊びでも確認できたように、練習フェーズで操作方法を理解しながらもうまく動かすことができない「もどかしさ」を感じていることが入力状況からわかった。このことから、人とロボットの間にも人同士と同じ部分で遊びにおける「おもしろさ」を感じることができると、前章の実験での結果を踏まえた自律型 INAMO の動作デザインは有用性があることが確認できた。

INAMO の性質上うまく操作できたかどうかは相手との協力・協調が行えたかどうかに関係している。ゲームとして楽しめた、うまく操作できたと回答している場合はコミュニケーションに関する評価スコアも高くなっている。人とロボットとの遊びに関しても、人同士の場合と同様に「おもしろさ」が操作性やコミュニケーションに深く関連していることがわかった。

しかし、どの場合においても Q8「相手のロボットはゲームを楽しんでいた」の項目に関する評価スコアは低くなっている。本実験の振る舞いでは自律型 INAMO から人へ動きたいという意思は伝わっているものの楽しんでいる様子をうまく表現することができていない。INAMO の楽しかったという内部状態の開示をどのように、人へうまく伝えることができるかが今後の課題である。



## 第6章 拡張された身体の一体化を志向するロボット

### 6.1 はじめに



図 6.1: 〈Column〉の外観

これまで議論してきた、共同的な遊びでは、道具やルール、ゴールなどを人同士で共有し、それらを介しながら遊びを行っている。児童館や幼稚園などでの積み木遊びの場面では、見ず知らずの子ども同士であっても、積み木を介することで、いつの間にか一緒に仲良く遊んでしまう。このとき積み木は、互いの注意を制約する媒介(メディエータ)としての役割を果たしている。

多くのコミュニケーションロボットが社会に進出してきている背景や、自閉症児に対し、ロボットを介してのコミュニケーションが社会的相互作用とその発達を促進することが知られている [39]。こうした観点から共同的な遊びの場面において、人と人をつなぐ媒介物としてロボットがその役割を担うことはできないだろうか。本章では、そうした観点から、人の関心を引き出すと共に、メディアータとしての機能をするタイプのロボット〈Column〉を提案し、その評価を行ったものである (図6.1)。

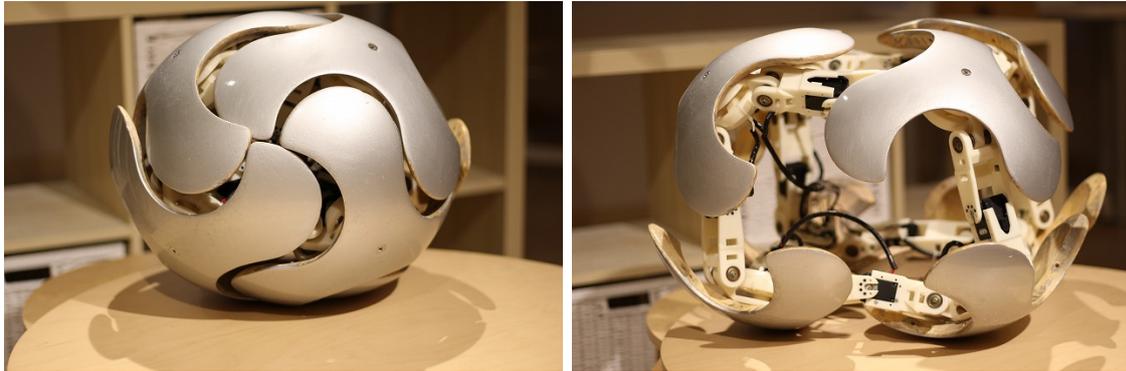
この〈Column〉は、12の関節を持つ球状変形ロボットである。3名の操作者がコントローラを振ることでそれぞれの対応する関節が動作し、球体変形に伴い、その重心を崩すことで転がりながら移動する。こうした動作から〈Column〉は、1人の操作だけでは、うまく重心を崩すことができず、目標方向にうまく転がることができないといった「もどかしさ」を感じさせる性質を持つロボットである [42, 43, 44, 45]。

これらの性質から、〈Column〉を介した人同士のインタラクションの様子を観察することで、ロボットを介した共同的な遊びの成立要件やおもしろさを生み出す要素、人同士が協調していく過程、コミュニケーションメディアとしてのロボットの可能性等を議論できると考えている。

そこで、本章では、まず〈Column〉の基本的な機能を示すともに、〈Column〉を介した3人の実験参加者が共同的な遊びを行った場合において、重要な役割を果たす社会的参照の有無や、試行を繰り返すことで得られる習熟がその遊びにおけるおもしろさやコミュニケーションにどのような影響を与えるのかを主観評価実験によって探ることとした。

## 6.2 拡張された身体とその一体化

身体の拡張と一体化について自己所有感、自己主体感 [46] の観点から考えてみる。自己所有感は、観察された物体を自分の身体に備わっている所有物であると認知する感覚であり、自己主体感は、観察された物体の運動が自身によって引き



(a) 球体状の Column

(b) 立方体上の Column

図 6.2: 様々な形状の Column

起こされていると認知する感覚である。

〈Column〉に置き換えて考えてみる。操作者1人は、自身の操作によって〈Column〉内部の3つの自由度の内どこかが動作する。初めは、うまく操作できないが、習熟により、どの自由度を操作しているか、どの程度の動作でその自由度を操作できるかがわかり、身体の拡張によって自己所有感を感じる。これが3人の操作者が集まると、各操作者の拡張された身体である各自由度が〈Column〉という1つのロボットに束ねられる。それぞれの拡張された身体の一部化が行われうまく協調することができると〈Column〉を転がし移動させることができる。こうした運動を引き起こすことで、自己主体感を感じるができる。

## 6.3 球状変形ロボット Column の設計と実装

### 6.3.1 Column のデザインと基本動作の設計

本研究で提案する〈Column〉は、12個のサーボモータを持つ球状変形ロボットである。そうした性質から、〈Column〉は例えば球体(図6.2(a))、あるいは立方体(図6.2(b))ように定まった形状を持たないため、1つ1つの動きの予測を立てることが難しいという特徴がある。〈Column〉は動きの予測の難しさと、操作者の入力

によって常に変化を続けることを利用して、操作者自身、あるいは周囲の傍観者の注意を引きつける。こうした身体の変形を実現するメカニズムは、〈Column〉内に搭載された多数のサーボモータからなる多自由度系であり、操作者は〈Column〉内部の自由度から、ある一部分を操作することができる。合計3人の操作者によってすべての自由度を操作できるが、〈Column〉を思い通りの方向へ移動させるためには、操作者同士の協力が必要となる。多自由度のロボット研究として、Ünsalらの研究[47]や、黒河らの研究[48]がある。こうした多自由度を持つロボットは複雑な組み合わせによって自由に形状変形させられる利点から、救助ロボットとしての運用方法が示唆されている。また、球状のロボットとして、金城らの研究[49]があるが同様に災害救助場面での運用を目的としている。これらのロボットは、本研究で用いるような人とのインタラクション研究のためのプラットフォームとしては研究されていない。

〈Column〉は操作者にとっての“拡張された自分の身体の一部”であるとともに、他者の身体の一部でもある、いわば「二人三脚」の状態において操作する事になり、この時、〈Column〉は、操作者同士のせめぎ合いによって生じる、思い通りに操作できないという一種のストレスのようなもの、「もどかしさ」を生み出す。

このように〈Column〉は、「新奇」である事を利用して操作者の興味を引きつけつつ、「二人三脚」という関係性によって操作者間同士の協調を引き出す新しいタイプのロボットメディアータである。また、こうした、「もどかしさ」を媒介にしながら行う共同的な遊びは単なる「新奇」な遊びより「おもしろさ」を引き出し、維持することができると考えられる。

### 6.3.2 Column のシステム構成

〈Column〉システムは、〈Column〉本体、コントローラの〈Gear〉、そして制御・コントローラ入力記憶用のPCから構成される(図6.3)。

〈Column〉本体は重量6.5kgであり、球体時は直径33cm、サーボモータが伸びた状態では1辺が37cmとなる。また、〈Column〉本体の自重より高さ方向にお

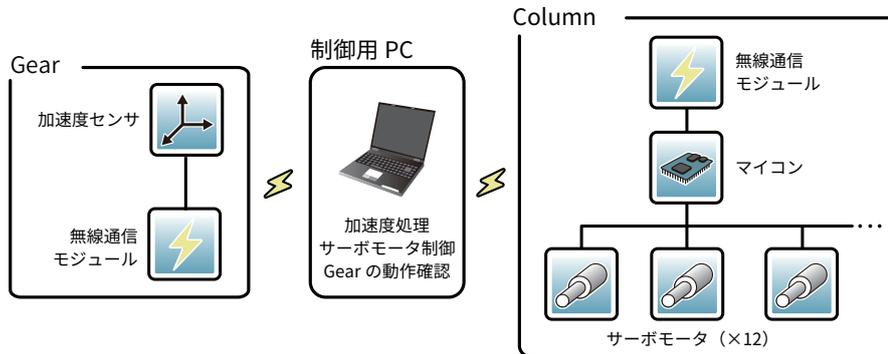


図 6.3: 〈Column〉システム構成図

いてはやや潰れた形状になる。

以下にその主な機能について述べる。

#### 動きを生み出すサーボモータ

〈Column〉は搭載されたサーボモータによって自由に変形することができる。内部には 12 個のサーボモータが立方体の辺上に配置されており、このサーボモータが伸縮することで外装を押し上げ変形する（図 6.4,6.5）。

サーボモータにはデジタルサーボ（Robotis 社製 RX-28）を用い、これらの制御と通信用のマイコンとしてベストテクノロジー社製 DXMIO2 を採用している。サーボモータは、0.5 秒で後述する指定角度まで移動するようになっている。また、サーボモータを固定しているフレームには、3D プリンタにて製作した ABS 樹脂製フレームを採用した。これらのサーボモータは、それぞれの動きを阻害しないようスフェリカルジョイントを用いて各骨組みに接続されている。

#### 外装と電源供給

〈Column〉の外装は、骨組みの各頂点 8 つにそれぞれ取り付けられており、外部からの負荷によってスタビライザーの制限によって許容できない変形があった場合に干渉が起こらないようになっている。ロボット外装内に全てのサーボモータ

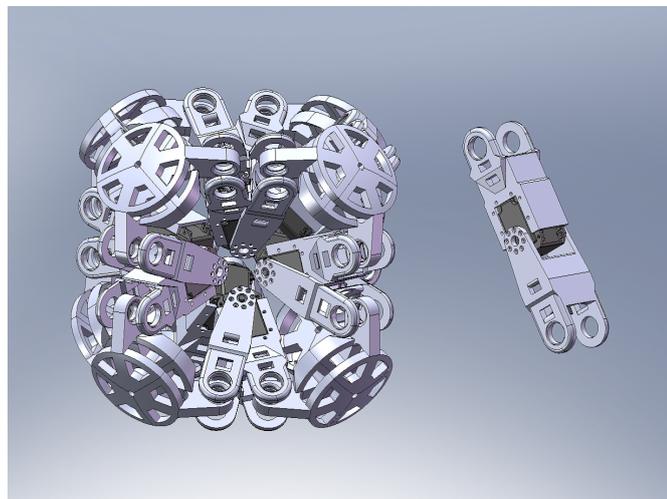


図 6.4: 内部フレームの様子

タ・構造材を内包し、それぞれが干渉しない範囲で高い自由度を実現している。

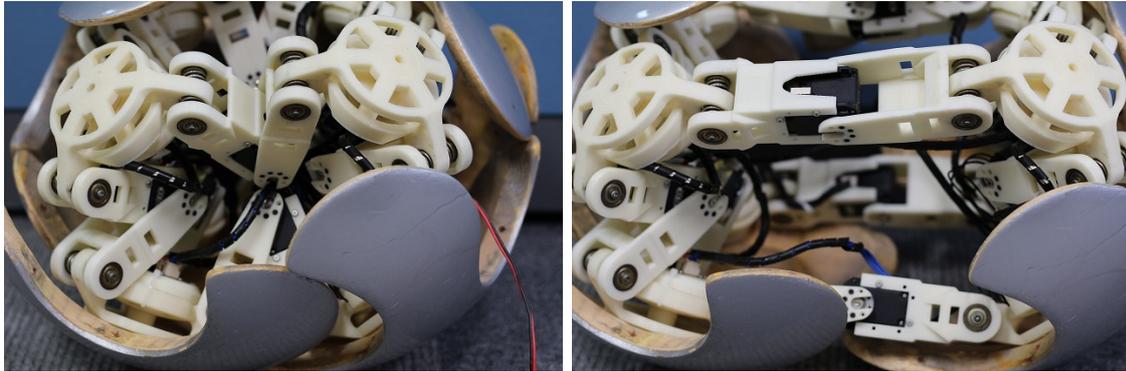
また、〈Column〉本体にはバッテリーを内蔵するスペースがなく、各サーボモータ、マイコンへの電源供給として外部から有線による 12V の DC 電源が供給されている。

### コントローラ 〈Gear〉

- 加速度センシング

〈Column〉のコントローラとして加速度センサを利用した〈Column〉専用コントローラ〈Gear〉を開発した(図 6.6)。“振る”ことを入力として〈Gear〉にかかった加速度の大きさを制御用 PC に送信する。

操作方法を“振る”ことに限定した理由は、1) 直感的で簡単に操作できること、2) 自身の頑張りが反映されることの2つである。複雑な操作方法であると、操作者が操作に集中してしまい、ロボットのことを気になれない可能性がある。また、単純な操作方法として、コントローラ等が挙げられるが、これは2つ目の理由として適さないと判断した。“振る”行為による自身の頑張りがロボットに反映されることは、自己所有感、自己主体感をより強



(a) サーボモータ収縮時

(b) サーボモータ伸長時

図 6.5: サーボモータの伸縮

く感じることに繋がり、身体の延長の手掛かりになると考えている。また、“振る”行為は疲労を感じさせることにも繋がるが、スポーツの練習等でも疲労が次の成功へのステップになりえることから、“振る”行為を採用した。

この加速度はモノワイヤレス社製の加速度センサー無線タグ TWELITE 2525A を用いて連続的に測定・通信している。〈Gear〉は 3D プリンタで作成した ABS 樹脂製の球体状内部に加速度センサを収納している。電源として加速度センサ駆動用のコイン型電池 (CR2032) を使用している。

このコントローラは〈Column〉本体の駆動部にそれぞれ対応している。駆動部は縦、横、高さ方向の 3 つであり、例えば、ある〈Gear〉を振ると縦方向に、また別の〈Gear〉を振ると高さ方向にとサーボモータが伸縮することで駆動するようになっている (図 6.7)。また、〈Gear〉は駆動部である各サーボモータに対応しているため、〈Column〉が回転することで対応が変化する。

- 〈Gear〉の通信

〈Gear〉と PC の通信には、加速度センサとワイヤレス製の MONOSTICK (高出力 RED) を用いている。PC に MONOSTICK を各〈Gear〉の個数接続し、それぞれの〈Gear〉からの加速度を受け取り、処理している。本研究



図 6.6: Column 専用コントローラ 〈Gear〉

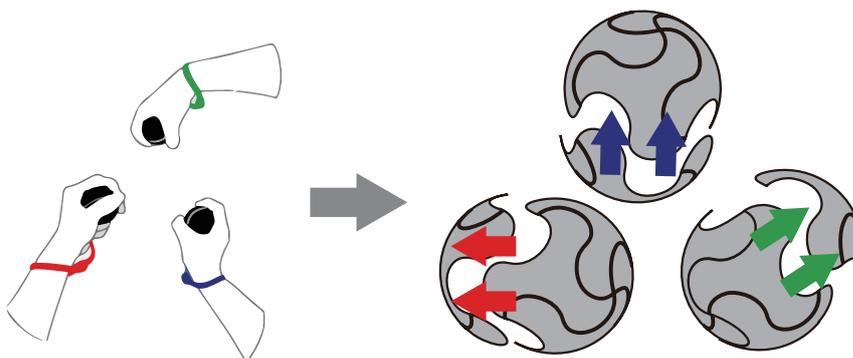


図 6.7: 〈Gear〉を用いた操作イメージ

では、加速度センサから取得した加速度を 0.1 秒毎に制御用 PC に送信している。

### 制御用 PC

〈Column〉本体と〈Gear〉は C# で作成したプログラムにより、1) 〈Column〉本体の動きの管理、2) 〈Gear〉から送られた加速度の処理、3) 〈Gear〉の動作確認を行っている。

- 〈Column〉本体の動きの管理

プログラム上にて、加速度センサから送られてきた値によってサーボモータの角度を制御する。〈Column〉では、閾値を2つ設定しており、後述する加速度の処理を行った値がその閾値を超えているかどうかで角度を制御する。加速度センサの値が3.5gよりも大きい場合は最大角(140度)までサーボモータが開き、センサの値が2.0gよりも大きい場合は中間角度(75度)までサーボが開く。それよりも小さい値の場合はサーボが閉じ(13度)、〈Column〉は球体に戻ろうとする。

- 〈Gear〉から送られた加速度の処理

〈Gear〉から0.1秒毎に送られてくる加速度情報の内、xyz軸それぞれ送られてくる値を用いている。

操作者が〈Gear〉をどの向きで持ち、どの方向に振るかは不定であるため、各軸の総和を取ることで操作者の操作量とした。加速度センサの仕様より各軸の値をそれぞれ100で割ることで1g(重力加速度)と設定し、各軸の値をオフセットするために1.5g以下の値の場合は0gとしている。

サーボモータの姿勢制御では、0.1秒毎に送られてくる各軸の加速度の総和から15区間での移動平均をとりその値でサーボモータの姿勢制御を行っている。移動平均をとることで、急速に加速度が変化してもすぐさま反映されることはなくサーボモータへの負荷を軽減している。また、目標位置は随時更新されるようにプログラムされているため、ある角度まで移動中に別の角度への移動指示があった場合には現時点から新しい目標位置へ移動される。

操作者は、こうしたプログラム上で行われている処理は知らず、単純にコントローラである〈Gear〉を振るだけで〈Column〉を操作することができる。

- 〈Gear〉の動作確認

実験中に〈Gear〉内部の加速度センサが正常に動作しているか1秒毎に確認する。制御用PCの画面上に各〈Gear〉から1秒毎に送られてくる加速

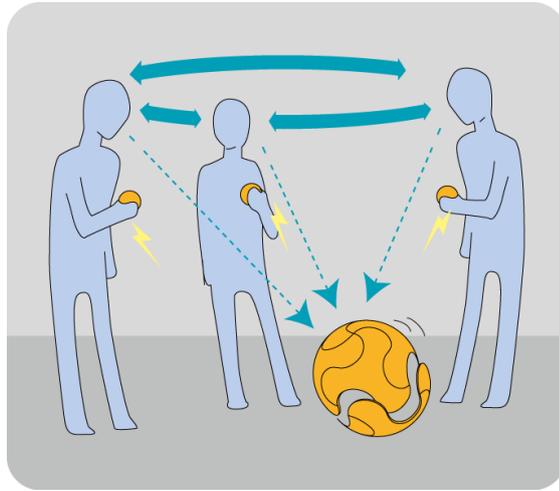


図 6.8: 〈Column〉を介した共同的な遊びイメージ

度をタイムスタンプを付けてリアルタイムに表示する。本実験では、操作者の加速度データを解析に使用しないこと、サンプリング間隔が短いとソフトウェアに負荷がかかり正常に計測できないためサンプリング間隔を1秒としている。

### 6.3.3 Column のインタラクションイメージ

〈Column〉を介したインタラクションのイメージを図 6.8 に示す。3名の操作者は、それぞれ〈Gear〉を手を持って操作する。この時、操作者たちは〈Column〉という1体のロボットに対して、同じタイミングでの操作や、交互に操作する等の試行錯誤を繰り返しながら、一緒になって操作することで、互いに協調しつつ課題の達成を行おうとする。3名でうまく協調を構築できれば〈Column〉が「転がる」といった運動を行うことができる。この「転がり」自体は偶然の中で生じる場合もある。この偶然による転がりは、操作者間で再度「転がり」を引き起こすための手がかりとなり、次の動きに向けて協調するためのステップとなる。また、操作者はうまく転がそうとする際に、転がりそうで転がらない「もどかしさ」を感じる。こうした「もどかしさ」は一見して物事がうまくいかない為に起こる

ストレスのように捉えられるが、共同的な遊びにおいてある程度のもどかしさは次の行動を予見させる材料にもなり、その遊びの持つおもしろさを維持しやすいと考えている。

このように〈Column〉は、上手に操作できるようになるまでの協調関係構築の過程を利用することで、見ず知らずの人同士であっても、試行を繰り返すうちにいつの間にか協調を引き出されてしまうインタラクティブコンテンツとして機能する。

## 6.4 主観評価実験

### 6.4.1 実験目的

〈Column〉を介して3名の操作者が共同的な遊びを行う際に、社会的参照がある場合（自由にコミュニケーションを行える場合）と社会的参照がない場合（コミュニケーションに制約がある場合）において、その遊びの持つおもしろさや楽しさを感じることが出来るのか、それらの違いは単純なコミュニケーションの有無によるものなのかについてアンケートを用いた主観評価実験によって明らかにする。また、試行回数を増やすことで感じる協調や習熟がどのような影響を与えるのかについても調査する。

### 6.4.2 実験方法

実験参加者3名を1組として、各参加者が〈Gear〉を用いて〈Column〉を操作し他の参加者と協力しながら1.5m四方の中心から線の外側まで移動することを基本的なタスクとした。図6.9に、この実験で用いるフィールドの概略図を示す。教示としてタスクに加え、〈Gear〉を振ることで〈Column〉が動作すること、1試行3分とし、全部で6回試行することも伝えた。また、〈Column〉を線の外側まで完全に移動できた場合はそこで試行終了であることも伝えた。

この実験フィールドのサイズと回数は、〈Column〉が初期位置から2度連続で

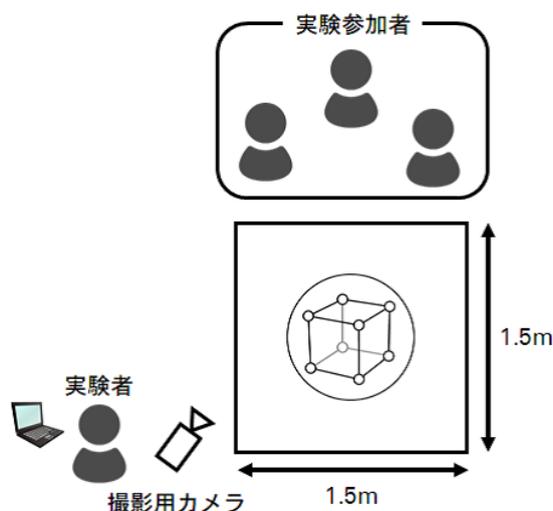


図 6.9: 実験フィールド概略図

同一方向に転がれば本体が完全に出ること、連続で同一方向、目標方向に転がすためにはある程度の慣れが必要なことから設定している。

### 6.4.3 実験参加者

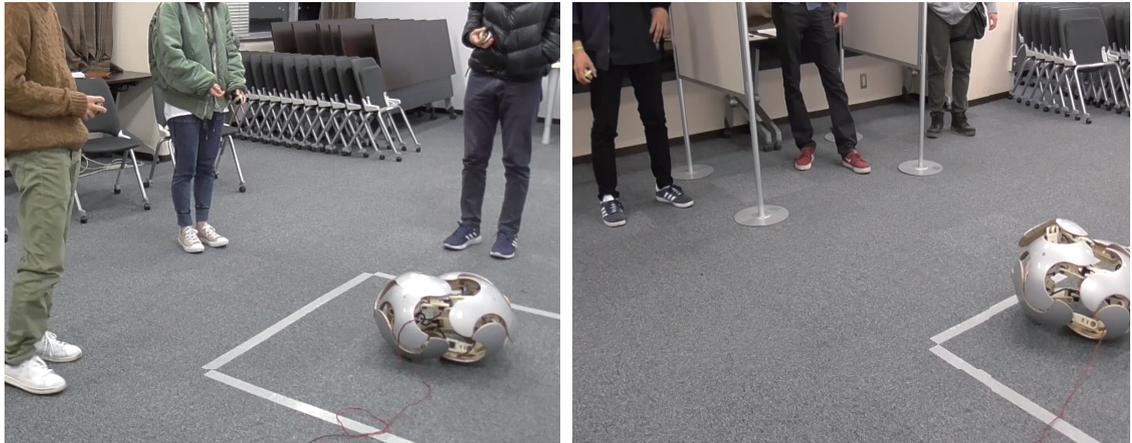
実験参加者は、全て〈Column〉を初めて操作する顔見知りの20～24歳の男女30名である。平均年齢21.93歳、男性25名、女性5名の参加者が参加した。参加者は実験条件のうちどちらかのみに参加しており、社会的参照ありで実験を行った組は社会的参照なしでの実験は行っていない。また、女性が参加している組は全て女性が1人のみであり、5組がそれに該当する（社会的参照あり2組、社会的参照なし3組）。

今回の実験で用いた質問項目とそのカテゴリを表6.1に示す。回答は、5件法(5: そう思う、4: ややそう思う、3: どちらでもない、2: あまりそう思わない、1: そう思わない)で回答を求めた。質問紙は各条件ともに2回目、4回目、6回目の試行終了後に回答してもらった。なお、今回の実験では、4回目のアンケートでは2名の参加者から記入漏れがあったことから、考察に使用していない。

表 6.1: 質問項目とカテゴリー

質問番号	質問内容	カテゴリー
Q1	操作方法は理解できた	操作性
Q2	自分の担当部位を思うように動かせた	
Q3	自分はどの部位を操作しているのかわかった	
Q4	他の参加者は自分の思った通りに操作してくれた	意思疎通性
Q5	他の参加者の気持ちが理解できた	
Q6	他の参加者は自分の気持ちを理解してくれた	
Q7	ゲームとして楽しめた	おもしろさ
Q8	他の参加者は楽しんでいた	
Q9	またやりたいと思った	
Q10	もうすこし頑張ればもっとうまくなると思った	
Q11	一体感を感じた	達成感
Q12	達成感を感じた	
Q13	ロボットを思い通りに転がすことができた	貢献度
Q14	ロボットを転がすことに貢献できた	

アンケートには、この質問項目のほかに自由記述欄も用意した。また、全てのアンケート終了後に、「今回の遊びに飽きを感じたか」を質問しており、「はい」と答えた参加者にはそれが何回目の試行からか、理由は何であるのかを記述してもらう欄を用意した。



(a) 社会的参照あり

(b) 社会的参照なし

図 6.10: 実験条件

#### 6.4.4 実験条件

実験条件として、社会的参照の有無を設定した。社会的参照がある場合(図6.10(a))では、参加者はジェスチャーや会話等自由にコミュニケーションをとってもよいとした。また、自身の立ち位置も自由に移動してもよいと伝えた。社会的参照がない場合(図6.10(b))では、各参加者の間に壁(縦1.2m、横0.97m)を設置し直接的に他の参加者が見えないようにした。この条件では、各参加者は声を発することも禁止しているため、〈Column〉の動きを介してのみコミュニケーションを行う。

また、どの条件でも電源接続を行っている有線ケーブルが動作に影響しないよう、十分な長さを確保するとともに、〈Column〉の移動・回転を妨げるようであれば適宜、実験者が有線ケーブルを移動させている。

#### 6.4.5 実験結果

アンケートによる主観評価のスコアを平均化した結果について、各質問ごとに下位検定として社会的参照の有無と試行の繰り返し(2回目と6回目)の二元配置分散分析を行った。その結果を表6.2に示す。

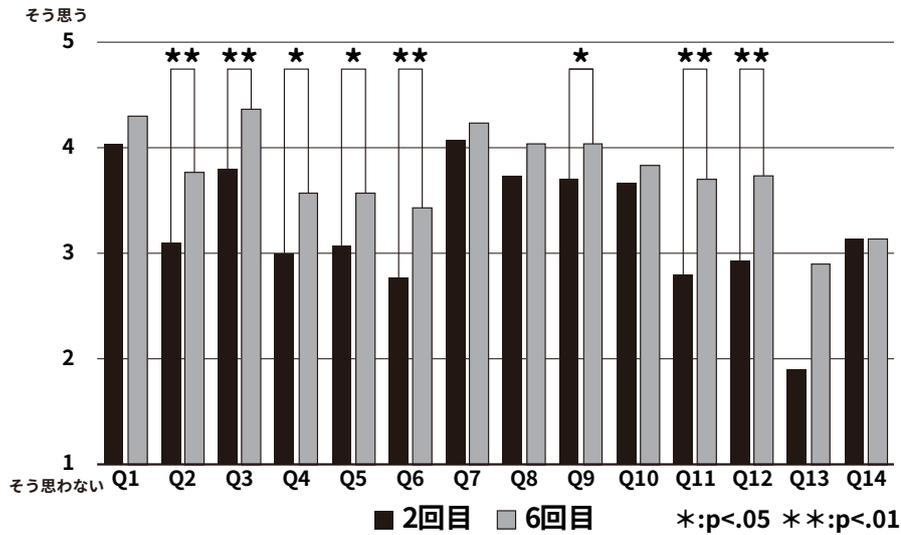


図 6.11: ウィルコクソンの符号付順位和検定結果

表 6.2 より、社会的参照の有無よりも、試行回数の要因において多くの質問で有意な差が確認できた。このことより、〈Column〉を介した共同的な遊びにおいては主効果として、社会的参照の有無よりも試行回数を繰り返すことが多くのカテゴリ、質問項目に影響を与えることを示している。また、交互作用も Q13 のみで確認された。このことから、以降では試行回数要因と交互作用のみの考察を行う。

試行回数要因について、分散分析で有意差が見られた質問について上位検定として、ウィルコクソンの符号付順位和検定を行った。その結果を図 6.11 に示す。図 6.11 の横軸は質問番号を示しており、縦軸はスコアの平均を示している。また、Q13 について主効果として試行回数要因が認められるが、交互作用により打ち消されるため記述していない。

また、タスクを達成した組は、全 10 組中 7 組で社会的参照ありの組は 4 組、社会的参照なしの組は 3 組であった。

表 6.2: 分散分析結果

Question	Factor	F Value	Pr(>F)	Question	Factor	F Value	Pr(>F)
Q1	社会的参照要因 A	0.045	0.833	Q8	社会的参照要因 A	11.29	0.0023 **
	試行回数要因 B	3.007	0.094		試行回数要因 B	4.725	0.0383 *
	交互作用 (A:B)	0.000	1.000		交互作用 (A:B)	0.525	0.4747
Q2	社会的参照要因 A	0.294	0.592	Q9	社会的参照要因 A	1.777	0.193
	試行回数要因 B	10.81	0.0027 **		試行回数要因 B	0.146	0.0246 *
	交互作用 (A:B)	1.730	0.199		交互作用 (A:B)	3.613	0.068
Q3	社会的参照要因 A	1.818	0.188	Q10	社会的参照要因 A	0.44	0.512
	試行回数要因 B	0.146	0.0047 **		試行回数要因 B	1.923	0.176
	交互作用 (A:B)	0.818	0.374		交互作用 (A:B)	0.077	0.784
Q4	社会的参照要因 A	7.016	0.0131 *	Q11	社会的参照要因 A	4.36	0.046 *
	試行回数要因 B	13.136	0.0011 **		試行回数要因 B	11.923	0.0018 **
	交互作用 (A:B)	1.136	0.2955		交互作用 (A:B)	2.764	0.1071
Q5	社会的参照要因 A	3.678	0.0654	Q12	社会的参照要因 A	0.434	0.516
	試行回数要因 B	5.321	0.0287 *		試行回数要因 B	10.695	0.0029 **
	交互作用 (A:B)	0.024	0.8789		交互作用 (A:B)	3.639	0.0667
Q6	社会的参照要因 A	5.934	0.0215 *	Q13	社会的参照要因 A	0.232	0.634
	試行回数要因 B	14.737	0.0006 ***		試行回数要因 B	30.58	0.000 ***
	交互作用 (A:B)	3.684	0.0652		交互作用 (A:B)	6.66	0.0154 *
Q7	社会的参照要因 A	1.189	0.285	Q14	社会的参照要因 A	1.651	0.209
	試行回数要因 B	0.697	0.411		試行回数要因 B	0.000	1.000
	交互作用 (A:B)	2.259	0.144		交互作用 (A:B)	1.489	0.232

\*:p&lt;0.05、\*\*:p&lt;0.01、\*\*\*:p&lt;0.001

### 6.4.6 考察

#### 6.4.7 アンケートによる主観評価結果

- 操作性について

参加者は「Q1：操作方法は理解できた」、「Q3：自分はどの部位を操作しているかわかった」の平均スコアがどの場合も高くなってはいる。しかし、「Q2：自分の担当部位を思うように動かせた」の平均スコアはそれらよりも低いことから、頭では操作方法や操作場所を把握しているけれども、実際に思うように動かすことができない「もどかしさ」を感じながら操作していることがわかる。

その中でも、Q2、Q3の質問では有意な差が確認できていることから回数を重ねることで操作感が上昇していることがわかる。初めは新奇なロボットであった〈Column〉が徐々に自分の制御可能な、拡張された身体となっている様子が伺える。

- 意思疎通性について

意思疎通性のカテゴリであるQ4～Q6の質問全てにおいて有意な差が確認された。しかしながらスコアはそれほど高くなく、相手と明確にコミュニケーションが行えているとは言い難い。そのような結果でありながらも、2回目よりも6回目まで試行を繰り返し行った方がより相手と意思疎通できていると感じている。これは、繰り返し行うことで〈Column〉の操作に慣れ、他者の様子を〈Column〉から読み解く余裕が生まれたからだと考えられる。

また、後述のおもしろさに関連するが、相手とはっきりと明確にコミュニケーションが行えなくてもおもしろさを感じることができていることから、共同的な遊びにおいて、相手の意思を完全に読み取れない「もどかしさ」もおもしろさの要因になると考えられる。

- おもしろさについて

楽しいは、感情形容詞であり、おもしろいは属性形容詞である [50]。感情

形容詞は、感情・感覚を表現し、属性形容詞は、その人や物の性質を表現するのに使われる。楽しい、おもしろいはどちらも同じような意味を持つが、本研究では、個人で楽しいと感じ、かつ他の参加者も楽しんでいると感じた場合その性質としておもしろいと定義している。

「Q7:ゲームとして楽しめた」の質問に対して、平均スコアが4を超えていること、「Q8:他の参加者は楽しんでいた」の質問もQ7に比べるとやや平均スコアが低い4付近であることから、自分が楽しめた、かつ他の参加者も楽しんでいるようだったと感じている。そのため、今回設定した共同的な遊びは参加者に対しておもしろさを十分に感じてもらえていたことがわかる。

さらに、試行を繰り返すことで「Q9:またやりたいと思った」の平均スコアにも有意な差が表れている。これは、初めは新奇なものからくるおもしろさを感じていたが、徐々に慣れることで遊び本来のおもしろさに気づき、遊びへと誘われていることを示している。こうした遊びでは飽きを感じにくく、遊びそのものを長続きさせることができると考えられる。自由記述として、「あと30分はこれで遊んでいられる」(1名)と記述した参加者もあり、持続性のある遊びであったことが示唆される。

また、アンケートにおいて飽きを感じたのは4名おりそれらはすべて社会的参照が制限された組に属していた。その理由としては、「振っている腕が疲れた」(3名)、「振ったのに反応がなかったから」(1名)となっており、相手との遊びを楽しむというよりは個人の動作に閉じたこと、彼らの意思疎通性の平均スコアも低くなっており、本来の共同的な遊びをうまく行えていなかったことが原因にあると考えられる。

- 一体感について

試行を繰り返すうちに一体感、達成感を強く感じていることがわかる。慣れることで自分だけの操作から他者を見る余裕が生まれてきたためであると考えられる。また、実験の後半になるにつれて〈Column〉が転がる、移動することが多くなっていた。〈Column〉の動作のコツを掴むことでこれらの感覚を強く感じているということは、〈Column〉のメディエータとしての役

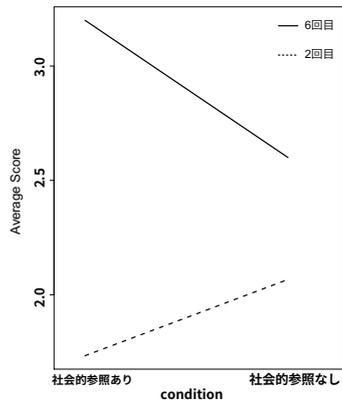


図 6.12: 交互作用効果

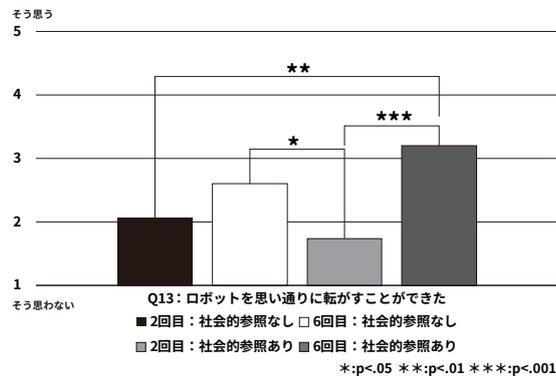


図 6.13: 多重比較結果

割が存分に発揮された結果といえる。

- 交互作用について

「Q13：ロボットを思い通りに転がすことができた」の質問において交互作用が見られた(図 6.12)。この質問について多重比較を行った結果を図 6.13 に示す。

この質問に関する平均スコアは低く、思い通りに操作できたと感じた参加者は少なかったが、多重比較の結果より、試行数を多くとり、習熟した状態で他者と直接コミュニケーションを取ることができれば操作できたと感じるができている。また、完全に操作できているとは感じていないものの、おもしろさの平均スコアは高いことから、共同的な遊びにおいて、「もどかしさ」を感じることは重要な要素であることがわかる。

- タスクの達成について

タスクを達成した組は、全 10 組中 7 組で社会的参照ありの組は 4 組、社会的参照なしの組は 3 組であった。社会的参照の有無によつてのタスク達成に大きな差はない。これは、質問紙の結果からもわかるように、相手の姿が見えてなくても〈Column〉の動きから他者の意志や気持ちを感じることであったためだと考えられる。

表 6.3: 発話タグとカテゴリー  
(1) ロボットの動作に直接関係ある発話

発話タグ	内容	発話例
Action	動作の指示、提案（方向、振るかどうか）	「〇〇、動かして」
Understand	自分の担当部位確認	「俺どこ？上だ」
Ask	他者の担当部位確認、訪ねる	「〇〇、どこ？横？」
Condition	ロボットの状態説明	「転がりそう、そっちいきそう」
OK/NG	指示、提案を受けての肯定・否定	「うん、分かった」

(2) ロボットの動作に直接関係ない発話

発話タグ	内容	発話例
Chat	他者への発話（指示でなく雑談より）	「場所変わって」、喋るよう促す
Mono	自分への発話（独り言）	発話先が不明、いない発話
Robot	ロボットへの発話	「そっちじゃない」
Laugh	笑い声	笑い声のみなので表情は判別しない

(3) 会話になってないような発話・感嘆

発話タグ	内容	発話例
Negative	残念な様子	「ああ…、むずかしい…」
Positive	喜び、達成感を感じている様子	「よし！いけるいける！」

しかしながら、タスクを達成した社会的参照ありの組の内3組は6試行中2度タスクを達成しており、社会的参照がある方がより意思の疎通が行いやすくタスクの達成に影響している。うまくいった事例を直接的な会話や身振りで共有することで戦略として〈Column〉の動きを統制することができたためであると考えられる。

#### ● ビデオ分析による振る舞いについて

〈Column〉を介してを3名の操作者が共同的な遊びを行う際の様子をビデオを録画し実験中にどのような発話が行われていたか分析する。ここでは、発話内容に焦点を当てているため、自由に発話をしてよい条件である社会的参照ありの5組において分析を行い考察する。

今回の分析で用意した発話タグを表 6.3 に示す。分析では、実験中にどの

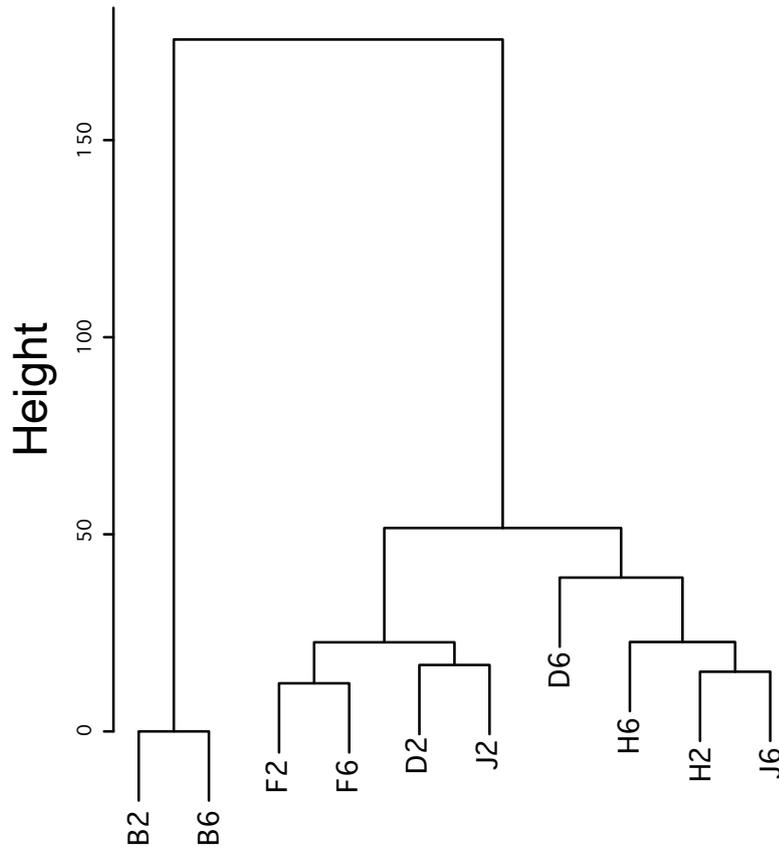


図6.14: クラスタリング結果

ような発話がなされていたかについて分析する。発話タグは大きく以下の3つに分類した。

1. ロボットの動作に直接関係ある発話

他者や自分に対してコントローラを振る指示や方略を伝える発話やロボットの状態 (転がりそう、重心が崩れている等) について伝える発話

2. ロボットの動作に直接関係ない発話

他者や自分に対してロボットの動作に関係のない発話、雑談のような発話

3. 会話になってないような発話・感嘆

達成感や嬉しさ、残念な様子を伝える発話

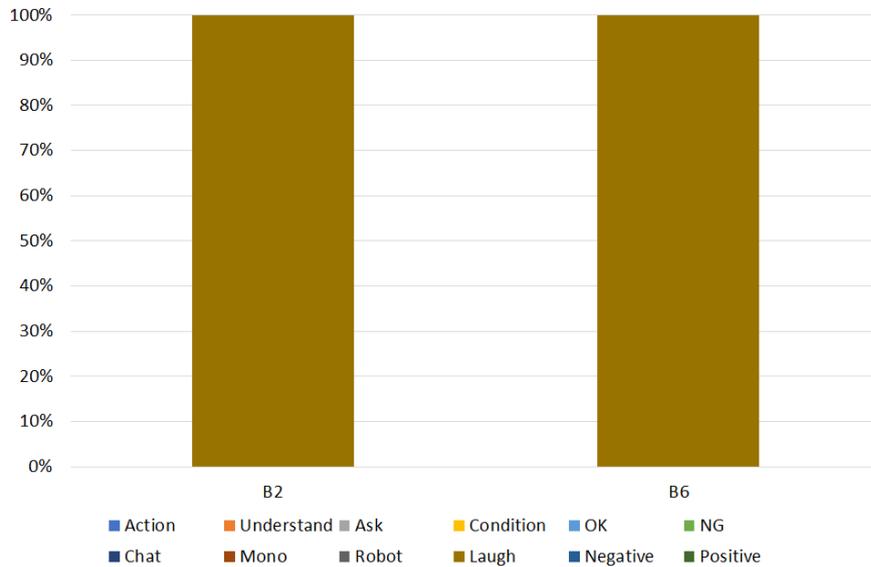


図 6.15: Group A での発話タグ割合

これらの発話タグをそれぞれのビデオについてアノテーションしていき、各試行での参加者の発話分析を行った。今回の解析では、各試行での発話タグの種類とその割合を基に分析した。

各試行での発話タグの種類とその割合を基にワード法によるクラスター分析を行った。その結果を図 6.14 に示す。ここでのアルファベットは組名、数字は試行回数を示している (B2 ならば B 組 2 回目の試行を意味する)。

このクラスター分析より、実験参加者を Group A (B2、B6)、Group B (D2、F2、J2、F6)、Group C (H2、H6、D6、J6) と 3 組に分類した。3 組に分類した発話タグの割合をそれぞれ図 6.15、6.16、6.17 に示す。

まず、クラスター分析によってグループ分けしたグループそれぞれの特徴について考察する。

#### – Group A について

このグループは、図 6.15 から発話を行ってなおらず、笑い声だけが起きているグループであることがわかる。このグループは B 組のみが

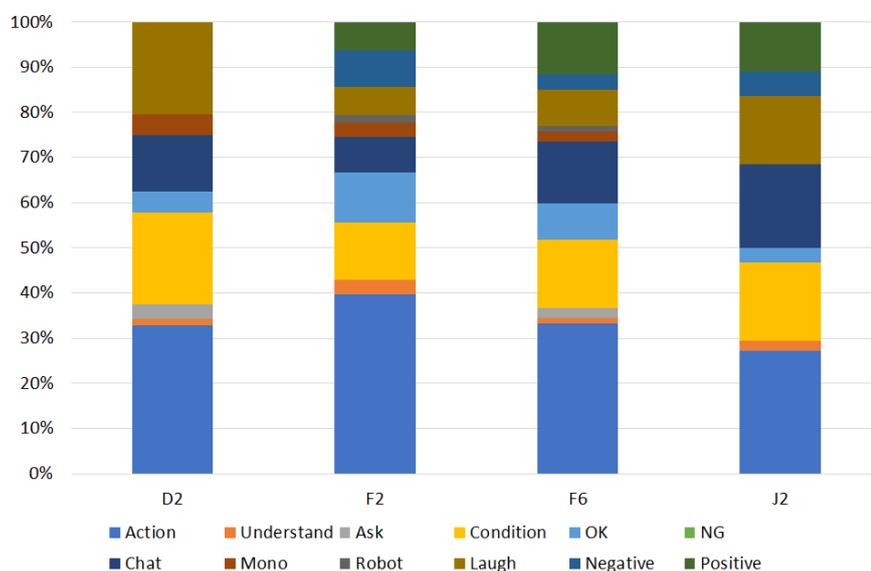


図 6.16: Group B での発話タグ割合

属している。今回の実験は、各組内での参加者は顔見知りであることを条件に行っている。そのため、この結果は、初めてあった人同士の緊張から発話をするのを戸惑ったわけではない。

実験後になぜ話をしなかったのか口頭で質問した際に、「実験という場に緊張して何を話ししていいのかわからなかった」、「ロボットのことがわからなかったので何も言えなかった」という返答が得られた。

これらのことから B 組の 3 名は、実験環境に慣れることができず協調関係を構築するフェーズにまで移行できなかつたと、〈Column〉のもつメディエータとしての機能がうまく生かせなかつたと考察する。

#### – Group B について

このグループは、図 6.16 からロボットの操作に関して直接的な指示を与える発話の割合が多いグループであることがわかる。

このグループの内訳を見てみると 4 つのうち 3 つが 2 回目の試行である。まだ序盤であり、ロボットをどう操作していけばよいのか、コツがまだ掴めておらず試行錯誤した結果であると考えられる。

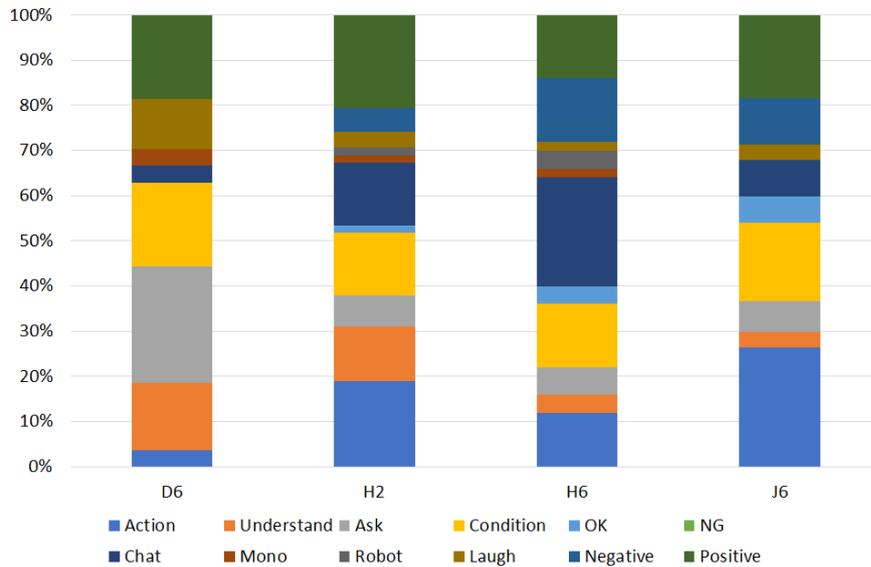


図 6.17: Group C での発話タグ割合

#### ー Group C について

このグループは、図 6.17 から Group B と比較してロボットの操作に関して直接的な指示を与える発話の割合が少ないグループであることがわかる。

このグループでは、6 回目の試行が 3 つあり、ロボットの操作に十分慣れた後に多く現れている。このことから、試行を繰り返すことで参加者間で何かしらのコツやもどかしさを共有することができたため、直接的な操作の指示を行わなくともロボットの様子から操作のタイミングを図れたためであると考えられる。

また、このグループでは、発話タグ「Positive」「Negative」の割合も増えており、ロボットの動きに対して一喜一憂する様子が増加している。

これらのことから、操作方法を習熟するにつれて、自分だけの操作に集中することから、他者の操作やロボットの様子に合わせた操作にも着

目する余裕が生まれてきている可能性を示唆している。したがって、試行を繰り返し行ことで〈Column〉のもつメディエータとしての機能がうまく生かされ、協調関係が構築されていると考えられる。

実験中の様子をビデオで撮影しているが、全ての組についての分析はより詳細な分析になるため、ここでは、今回の実験で見られた特徴的な1組のみについて考察する。着目するのはD組である。D組は、男性2名、女性1名の組であった。この組について、実験の序盤と終盤の時系列順に追って考察したい。

#### － 実験序盤

まず、実験の序盤であるが、男性1名がリーダー的役割を担っていた(以下、Aさんとする)。Aさんの指示に他の参加者2名が従うといった構図が展開されていた。2回目の試行中ではこの関係が顕著に現れており、発話のほとんどがこのAさんのものであった。

Aさんは操作の指示以外にも、他の参加者へ話をするようにも勧る場面も見られた。この時、女性は、操作についてわからない旨の発言をしている。その他、発話はしていたものの少なく、だれかに向けて指示を出しているのではなく、雑談やロボットの様子を周囲に伝えていた。

もう一人の男性は、〈Column〉の不可解な動きから操作や目標達成までの方法がよくわかっていないため発話を控えていると告げていた。この男性は実際に2回目の施行中この男性が発話したのはこの一度だけであり方略を考えている様子が伺えた。

この状況では、未だ〈Column〉の操作についてわからないことが多く、一斉に操作したり、交互に操作したりと試行錯誤しながら実験を進めており、うまく動かすことが出来ていなかった。

#### － 実験終盤

終盤では、序盤とうって代わり、Aさんがリーダー的役割をしておらず、3人の内の誰かがリーダー的な役割を担うことなく、視線や、簡単

な指示（「はい」、「次」のような目配せと共に伝える）で〈Column〉を操作する様子が見られた。

特に、序盤ではほぼ発話を行わなかった男性が率先して発話を行っている様子も見られた。女性も序盤よりもロボットの様子をより伝えていた（こっちにいきそう、転がりそう等）。

Aさんも発話はしていたものの序盤ほど直接的な指示を行うこともなく、3者間でロボットの様子を伺いながら、タイミングを伺いながら操作することができていた。結果的にタスクである、線からロボットを出すことにも成功しており、この組では、うまく協調関係を構築することができたと考えられる。

また、終盤では、操作の手続きとして、まず最初にだれがどの部位を操作しているか、1人ずつ〈Gear〉を振り、確認しながら進めていた。終盤では、状況に合わせて、必要な部分のみの操作や、一斉に操作などを選択しながら実験を進めていた。こうした、習熟による操作の手続きや戦略、発話の変化がビデオ分析により確認できた。

このことから、この組では、序盤は一人のリーダーに従いながらも、試行を繰り返していくにつれて操作のコツもどかしさやの共有、ロボット特性の理解が進んだと考えられる。そして、終盤には、誰かがリーダーにならずとも、誰からともなく発話を繰り出しており、ロボットを通して拡張された身体の一体化が図れたと考えらる。

今回は、社会的参照ありの特徴的な1組についての分析のみだが、社会的参照なし条件や他の組、発話以外の振る舞い等のより詳細な分析を行い、今回設定した条件でのもどかしさの度合いや時系列でのコミュニケーションの変化について議論する必要があると考えている。

### 6.4.8 まとめ

本章では、人とロボットとの間での遊びについて議論するための研究用プラットフォームとして〈Column〉を提案した。人同士がロボットを介して遊ぶ、共同的な遊びの場面を設定し、社会的参照や習熟がおもしろさ等に与える影響について主観評価実験によって調べた。

社会的参照が〈Column〉を介した遊びにおいて重要な役割を果たすと仮説を立てて実験を行ったものの、実験結果より社会的参照の有無よりも試行回数による慣れの部分が遊びのおもしろさや、意思疎通といったコミュニケーションに多く影響を与えることが確認された。

これは、他者の姿が見えていなくても、繰り返し試行を行うことで〈Column〉の動きから相手の次の選択や意図を、読み取れてさえいればおもしろさを感じることを示している。

また、〈Column〉を介した共同的な遊びは、初めは新奇性からおもしろさを感じやすいが、徐々に慣れてくることで共同的な遊びが持つ相手との協力や相手の意思を感じるといった本来の特性を見出すことができ、その遊びの持つおもしろさが維持されやすいことも示唆された。さらに、実験の後半になるにつれて〈Column〉が転がる、移動することが多くなっていた。動作のコツを掴むことで一体感や達成感を強く感じており、〈Column〉のメディアータとしての役割が如実に表れている。

ビデオ分析では、実験中に操作者間でどのような種類の発話が行われていたかに着目した。その結果、発話の種類とその割合によって大きく3つのグループに分けられることができた。

〈Column〉のもつメディアータとしての機能がうまく生かせなかったと考える1組を除くと、協調関係の構築には、試行回数を増やすことで起きる習熟が影響するとビデオ分析からも考えられる。

こうした結果は、〈Column〉が持つ「もどかしさ」により引き起こされたと考えられる。ここでの「もどかしさ」とは、バランスを崩せた「小さな成功」と転がりそうな「期待」によるポジティブな要素と、うまく転がらなかったという「失

敗」による負の要素のバランスによって生じるものである。参加者間で〈Column〉を操作するうちに、「小さな成功」と試行の結果の「失敗」という形で「もどかしさ」は媒介され、そこに共感が生じることで協調が生まれたと考えられる。

本研究では、〈Column〉を媒介にした共同的な遊びにおけるおもしろさの要因について議論してきた。しかしながら、〈Column〉の持つメディアータとして機能している要因、協調が進む要因についてはまだ詳しい議論が十分に行えていない。本研究の知見によれば、習熟度が増すにつれて、コミュニケーションがうまく行えていると主観評価から感じていることが伺える。今後の応用として、子どもの遊びを通した発達研究のほかにも、初対面時のアイスブレイキングに応用できると考えている。操作者同士の行為がお互いを制約し合う「場」は、自然と会話や身振り手振りなどのコミュニケーションを誘発し、きっかけを生じさせることができると考えている。

## 第7章 結論

本論文では、工学分野、テクノロジーの観点からウェルビーイングについて議論するために、ウェルビーイングを構成する一部である「おもしろさ」、「楽しさ」をロボットを介した共同的な遊びの場面から、どう導くのかについて議論してきた。

パネル型ロボット INAMO、球状変形ロボット〈Column〉らの共同的な遊び場面でのソーシャルメディアータとしての採用について提案し、ロボットの構築・開発し、その有用性やロボットを介した遊びのおもしろさについて主観評価実験、考察を行い知見を整理してきた。

第1章および第2章ではウェルビーイングの概念および、工学分野に残される課題を述べ、遊びのおもしろさや、メルロ・ポンティの唱える身体拡張について整理し、遊びにおける「もどかしさ」の重要性について述べた。また、本研究の背景、目的について述べ、不利益の観点から見たおもしろさにも着目しつつ、本研究のシステムデザインのための理論背景を述べ、本研究の位置づけを行った。

第3章では、パネル型ロボット INAMO を、動作条件を変化させながら遊びを行うことで、操作感がおもしろさにどのような影響を与えるのかについて主観評価実験により調べた。チクセントミハイやエリスらの主張を基に、パネル型ロボット INAMO を用いた遊びに備わっている、「操作の難易度」を、半自動で動作する場合、少し手はかかるが一緒になって動作しようとする場合、ランダムに動作する場合と変化させその印象について検証した。実験より、バランスをうまく調整できる、人の参与する余地が残されている条件において、最もおもしろさを感じることが確認できた。ここでは、人がロボットに対してのみ調整を行っていたが、ロボット側にも調整する機構を備えさせ、ロボットを用いた遊びから、ロボットと人との遊びの場面でのおもしろさの要因について議論していく必要がある。

第4章では、ロボットを介した人同士の共同的な遊び場を設定し、そこでのおもしろさの要因やコミュニケーションの違いについて検証を行った。その結果、2つのロボットを介した場面での、共同的な遊びを成立させるためには、共通のタスクという第三項の存在が大きいことが分かった。「一緒に協力しながらゴールを目指す」というタスクを共有している場合、その目標飲みを共有するのではなく、「もどかしさ」をも共有している。さらに、ゴールまで向かうプロセスや達成感も共有することができていることが示された。

第5章では、第4章で得られた人同士の遊びでうまく行えた事例から、自律的に動作するINAMOを設計した。人と自律的に動作するINAMOとの共同的な遊びにおいてうまく行えた事例から、「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示された。自律的に動作するINAMOと協力しようと、INAMOの出方を伺いながら操作した参加者ほど操作時間そのものが短く、「うまく操作できなかった」とアンケートで回答していながらも「ゲームとして楽しめた」と回答している。このことから、うまく操作できない「もどかしさ」が「おもしろさ」へと繋がっていることが確認できた。しかしながら、ロボットINAMOの内部状態を参加者がうまく読み取れたとは言い難く、内部状態を人へ伝える手法については議論の余地が残されている。

第6章では、複数の参加者の拡張された身体の一体化を志向する球状変形ロボット〈Column〉の設計・構築し、その共同的な遊びにおけるおもしろさとコミュニケーションについて検証した。〈Column〉の持つ「もどかしさ」が参加者の拡張された身体を一体化させる要因となり、試行回数を繰り返すことで習熟し、協調関係を構築させる手がかりとなることが示された。しかしながら、〈Column〉の持つメディエータとして機能している要因、協調が進む要因についてはまだ詳しい議論が十分に行えておらず、今後の検証が必要である。

HAI/HRI研究の分野では、これまで、人とシステムの間における効率性や正確性などについて焦点が当てられるものが多く、ウェルビーイングの観点からは議論してこなかった。そこで、本研究では、ソーシャルメディエータとしての機能を有する2種類のロボットを開発・構築し、ウェルビーイングを構成する一部であ

---

る、人とロボットとの共同的な遊びの場面でのおもしろさについて論じた。今後  
もより、社会的なロボットの開発・社会進出が期待されるだろう。この分野におい  
て、遊びにおけるおもしろさと「もどかしさ」について明らかにした。本研究の  
成果が、人とロボットとの間での遊び・遊ばれる関係の構築に寄与すること、遊  
びにおけるおもしろさについて構成論的に明らかにする基盤として工学分野から  
のウェルビーイングに寄与し得ると信じている。



## 参考文献

- [1] World happiness report 2019. <https://worldhappiness.report/>.
- [2] ラファエル・A・カルヴォ, ドリアン・ピーターズ 著 ; 木村千里 [ほか] 翻訳. 『ウェルビーイングの設計論：人がよりよく生きるための情報技術』. ビー・エヌ・エヌ新社, 2017.
- [3] Richard M. Ryan and Edward L. Deci. *Self-Determination Theory: Basic Psychological Needs in Motivation, Development, and Wellness*. Guilford Pubn, 2017.
- [4] M・チクセントミハイ (今村浩明訳). 『フロー体験喜びの現象学』. 世界思想社, 1996.
- [5] 大塚忠剛 訳) M・J・エリス (森稜. 『人間はなぜ遊ぶか - 遊びの総合理論』. 黎明書房, 2000.
- [6] Raph Koster (酒井皇治訳). 『「おもしろい」のゲームデザインー楽しいゲームを作る理論』. オライリー・ジャパン, 2016.
- [7] 小木 訳) M. メルロ＝ポンティ (竹内. 『知覚の現象学』. みすず書房, 1967.
- [8] 鯨岡峻. 『原初的コミュニケーションの諸相』. ミネルヴァ書房, 1997.
- [9] 浜田寿美男. 『発達心理学再考のための序説』. ミネルヴァ書房, 1993.
- [10] M. メルロ＝ポンティ (竹内訳). 『シーニュ』. みすず書房, 1969.

- [11] Rolf Pfeifer and Christian Scheier. *Understanding Intelligence*. Bradford Books. 共立出版, 1999. (石黒章夫, 細田耕, 小林宏 共訳 (2001) 『知の創成一身体性認知科学への招待』共立出版).
- [12] 岡田美智男, 片井修, 塩瀬隆之, 大須賀美恵子, 椎尾一郎. コミュニケーションと身体性. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 5, No. 2, pp. 1-10, 2003.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 岩崎安希子, 下斗米貴之, 阿部香澄, 中村友昭, 長井隆行, 大森隆司. 遊びロボットによる子どもの性格傾向の推定に関する研究. 日本感性工学学会, Vol. 12, No. 1, pp. 219-227, 2013.
- [16] 阿部香澄, 日永田智絵, アッタミムハマンド, 長井隆行, 岩崎安希子, 下斗米貴之, 大森隆司, 岡夏樹. 人見知りの子どもとロボットの良好な関係構築に向けた遊び行動の分析. 情報処理学会論文誌, Vol. 55, No. 12, pp. 2524-2536, 2014.
- [17] 山本吉伸, 松井孝雄, 開一夫, 梅田聡, 安西祐一郎. 計算システムとのインタラクション—楽しさを促進する要因に関する考察. 認知科学, Vol. 1, No. 1, pp. 107-120, 1993.
- [18] 藤江清隆, 馬場章. ゲームの面白さとは何か-テレビゲームのプレジャラビリティをめぐる-. 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol. 9, No. 1, pp. 15-19, 2004.

- 
- [19] 山下利之, 清水孝昭, 栗山裕, 橋下友茂. コンピュータゲームの特性と楽しさの分析. 日本教育工学会論文誌, Vol. 28, No. 4, pp. 349–355, 2005.
- [20] ホイジンガ (高橋英夫訳). 『ホモ・ルーデンス』. 中公文庫, 1973.
- [21] 塚崎幹夫 訳) ロジェ・カイヨワ (多田道太郎. 『遊びと人間』. 講談社, 1990.
- [22] 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, 2004.
- [23] 小川純生. 遊びは人間行動のプラモデル? 経営論集, Vol. 58, pp. 25–47, 2003.
- [24] 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.
- [25] 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, pp. 150–155, 2005.
- [26] 中津良平. コミュニケーションとエンタテインメント. 情報処理, Vol. 44, No. 8, pp. 803–806, 2003.
- [27] 川上浩司. 不便の効用に着目したシステムデザインに向けて. ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 11, No. 1, pp. 125–134, 2009.
- [28] 小川純生. 遊び概念 -面白さの根拠-. 経営研究所論集, Vol. 26, pp. 99–119, 2003.
- [29] J. W. Romanishin, K. Gilpin, and D. Rus. M-blocks:momentum-driven, magnetic modular robots. Proceedings of the 26th IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '13), pp. 4288–4295, 2013.
- [30] J. W. Romanishin, K. Gilpin, S. Claiici, and D. Rus. 3d mblocks:self-reconfiguring robots capable of locomotion via pivoting in three dimensions. n Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA '15), pp. 1925–1932, 2015.

- [31] 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.
- [32] 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: 視線理解の進化と発達の心理学』. 東京大学出版会, 2005.
- [33] 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』. 講談社, 2005.
- [34] 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.
- [35] 岡田美智男. 『〈弱いロボット〉の思考 わたし・身体・コミュニケーション』. 講談社現代新書, 2017.
- [36] 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, 2013.
- [37] 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, 1996.
- [38] 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—ロボットの関係性の発展. 発達心理学研究, Vol. 18, No. 1, 2007.
- [39] H. Kozima, C. Nakagawa, and Y. Yasuda. Children-robot interaction: A pilot study in autism therapy. *Progress in Brain Research*, Vol. 164, pp. 385–400, 2007.
- [40] K. Dautenhahn, I. Werry, J. Rae, P. Dickerson, P. Stribling, and B. Ogden. Robotic playmates: Analysing interactive competencies of children with autism playing with a mobile robot. *Kluwer Academic Publishers*, pp. 117–124, 2002.
- [41] 河崎道夫 (編). 『子どものあそびと発達』. ひとなる書房, 1983.

- 
- [42] 竹田泰隆, 吉田広平, P Ravindra De Silva, 岡田美智男. Column : 個人間での協調を引き出す「もどかしさ」について. ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012 論文集, pp. 167–172, 2012.
- [43] 竹田泰隆, 吉田広平, P Ravindra De Silva, 岡田美智男. 心を1つに : マルチエージェント型アバターの構築とその応用. Human-Agent Interaction シンポジウム 2012 (HAI-2012) 論文集, pp. 2D–13, 2012.
- [44] Yasutaka Takeda, Kohei Yoshida, P. Ravindra S. De Silva, and Michio Okada. Column: The visually mediated interpersonal coordination. In *The 10th Asia Pacific Conference on Computer Human Interaction (APCHI) 2012*, pp. 649–650, 2012.
- [45] Yasutaka Takeda, Shohei Sawada, Tatsuya Mori, Kohei Yoshida, Yu Arita, Takahiro Asano, Naoki Ohshima, P. Ravindra De Silva, and Michio Okada. Sociable creatures for child-robot interaction studies. In *Proc. of the 8th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction Demonstration Session*, 2013.
- [46] S. GALLAGHER. Philosophical conceptions of the self : Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Science*, Vol. 4, pp. 14–21, 2000.
- [47] Cem Ünsal, Han Kiliçgöte, and Pradeep K. Khosla. A modular self-reconfigurable bipartite robotic system: Implementation and motion planning. *Autonomous Robots*, Vol. 10, pp. 23–40, 2001.
- [48] 黒河治久, 吉田英一, 神村明哉, 富田康治, 村田智, 小鍛治繁. 変形し移動する自立モジュール型ロボット (m-tran). 日本ロボット学会誌, Vol. 21, No. 8, pp. 855–859, 2003.
- [49] 金城孝俊, 青木岳史. 球体外殻を持つ歩行ロボットの跳躍動作の実現. 設計工学, Vol. 54, No. 2, pp. 111–122, 2019.

- [50] 村上佳恵. 感情形容詞の使用実態：属性形容詞との対比を通して. 學習院大學國語國文學會誌, Vol. 56, pp. 74-60, 2013.

## 謝辞

本論文をまとめるにあたり、多くの方々にご協力ご指導頂きました。ここから感謝の意を表します。

本研究の遂行ならびに論文の作成にあたっては、研究の機会を与えて頂き、かつその遂行にあたって懇切なる御指導を賜りました豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 教授 岡田美智男 先生に謹んで感謝の意を表します。岡田美智男 先生には、研究そのものに対する哲学や思想だけでなく、論文執筆や学外発表での心構えなど、厚く指導頂きました。

審査委員長である豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 教授 三浦 純 先生、並びに審査委員である同系 教授 栗山 繁 先生には、ご多忙でありながら、審査を通して貴重なご意見、有益かつ重要な指摘を賜りました。ここに深く感謝を申し上げます。

また、豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 助教 長谷川孔明先生、講師 大島直樹先生には、本研究を論理的に組立てるにあたり厚いご助言を頂きました。心より謝意致します。本研究の遂行ならびに論文の作成にあたり、御協力いただいた、豊橋技術科学大学 情報・知能工学系 岡田研究室の皆様へ感謝 致します。研究室の皆様と夜遅くまで議論や作業をしたり、学外発表準備をしたことは非常にかげがえのない経験となりました。

そして、これまで暖かく見守り、支えてくれた両親、家族に心から感謝致します。

2020年1月 香川真人



## 本論文に関する研究業績

### 査読付き学術論文

- [1] 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).
- [2] 松下仁美、香川真人、山村祐之、岡田美智男：非流暢性を伴うロボット (Talking-Ally) の発話調整方略とその聞き手に対する適応に関する研究、ヒューマンインタフェース学会論文誌、Vol.20, No.2, pp.255-268 (2018).
- [3] 香川真人、岡田美智男：球状変形ロボット〈Column〉を介した共同的な遊びとそのおもしろさについて、日本バーチャルリアリティ学会論文誌、Vol.25, No.1 (2020年3月末発行 掲載予定)。

### 国際会議

- [1] Masato Kagawa, Nihan Karatas, Michio Okada : Communication Fundamentals within a Triadic Interaction in a Cooperative Play Mediated by INAMO, 5th International Conference on Human-Agent Interaction (HAI), pp.491-494(2017).

## 国内会議

- [1] 香川真人、馬場翔太郎、竹田泰隆、デシルバ ラビンドラ、岡田 美智男：パネル型ロボットを介した相互的な遊びの構成について、情報処理学会エンタテインメントコンピューティング 2015 論文集, pp.447-451 (2015).
- [2] 香川真人、岡田美智男：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、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016 DVD-ROM 論文集, pp.577-582(2016).
- [3] 新保智喝、石川将輝、香川真人、岡田美智男：〈MoCoMo〉：宛名性を伴う情報環境がユーザに与える 効果について、HAI シンポジウム 2016(2016).
- [4] 古川真杉、香川真人、柄戸拓也、田村真太郎、岡田美智男:アイ・ボーンズ:オドオドしながらティッシュを配ろうとするロボット、HAI シンポジウム 2016(2016).
- [5] 石川将輝、塚本浩祐、川合喜己、香川真人、岡田美智男:〈もこもこ音〉による人とロボットのコミュニケーションに向けて、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017 DVD-ROM 論文集、 pp.915-918 (2017).
- [6] 松下仁美、星野 翔平、香川 真人、山村 祐之、岡田 美智男：Talking-Ally：非流暢性を伴う発話調整方略とその適応について、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2017 DVD-ROM 論文集, pp.909-914(2017).
- [7] 香川真人、柄戸拓也、岡田美智男：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、エンタテインメントコンピューティング 2017 論文集, pp.29-37(2017).
- [8] 見目海人、西脇裕作、香川真人、岡田美智男：アイ・ボーンズ：モジモジしながらティッシュを配ろうとするロボット、情報処理学会エンタテインメントコンピューティング 2017 論文集, pp.368-370(2017).
- [9] 佐々木祐哉、見目海人、香川真人、岡田美智男:おぼつかないロボット〈ペラット〉における弱さの開示手法について、ヒューマンインタフェースシンポジウム 2018 DVD-ROM 論文集, pp.658-661(2018).
- [10] 佐々木祐哉、見目海人、香川真人、岡田美智男:Pelat：おぼつかない振る舞い

をするロボットにおける内部状態の表出について, HAI シンポジウム 2018, P-27(2019).

- [11] 香川真人、岡田美智男: 心を1つに: 拡張された身体の一体化を志向するメディアの提案, 情報処理学会エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2019) 論文集, pp. 121-127(2019).

## 外部デモ展示

- [1] WIRED X DESIGN ワークショップ「弱いロボット」のつくりかた: トークイベント&体験会, loftwork Lab(2015/5/16)
- [2] あいち次世代ロボットフェスタ, あいち健康プラザ (2015/11/27-11/28)
- [3] Mitsukoshi Experience Gathering, 日本橋三越本店 本館1階 中央ホール (2016/9/14-20)
- [4] メッセナゴヤ 2016 異業種交流展示会, メッセ名古屋 (2016/10/26-10/29)
- [5] 名古屋ウィメンズマラソン 2017 愛知県 PR ブース, 名古屋ドーム (2017/3/11-12)
- [6] ロボカップ 2017 名古屋世界大会併催「ロボット技術・産業フェア」, ポートメッセ名古屋 (名古屋市国際展示場) (2017/7/27-30)
- [7] 科学大好き!こどもサイエンスラボ 2018, 愛・地球博記念公園 体育館 (2018/3/11)
- [8] 〈弱いロボット〉のインタラクティブ展示, コンピュータエンターテインメントデベロッパーズカンファレンス 2018 (CEDEC 2018), 横浜市西区みなとみらい, パシフィコ横浜 会議センター (2018/8/22-24)

## メディア等での掲載

- [1] 2015/6/13  
SENSORS.jp、あえて“不完結”にこだわる「弱いロボット」が人とモノの関係性に問うもの

- [http://www.sensors.jp/post/post\\_78.html](http://www.sensors.jp/post/post_78.html)
- [2] 2015/8/10  
NHK 名古屋放送局、おはよう東海 リポート、「弱々しいロボットの力とは」
- [3] 2016/5/6  
The Strength of “Weak Robots” - “More is better” to “design by subtraction”  
<http://3tags.org/article/the-strength-of-weak-robots-more-is-better-to-desi>
- [4] 2016/11/6  
BS ジャパン 「未来 EYES」  
<https://www.bs-tvtokyo.co.jp/official/eyes/backnumber/161106/index.html>
- [5] 2018/3/15  
中京テレビ、キャッチ
- [6] 2020/1  
医療福祉生協誌 comcom, No.629, 2020 1 月号 「弱さ」から生まれる「強さ」

## 受賞等

- [1] HAI シンポジウム 2016 Impressive Poster Award 優秀賞  
アイ・ボーンズ：オドオドしながらティッシュを配ろうとするロボット  
古川真杉、香川真人、柄戸拓也、田村真太郎、岡田美智男
- [2] HAI シンポジウム 2016 Outstanding Research Award  
〈MoCoMo〉：宛名性を伴う情報環境がユーザに与える効果について  
新保智喝、石川将輝、香川真人、岡田 美智男
- [3] エンタテインメントコンピューティング 2017 ベストデモ賞  
アイ・ボーンズ：モジモジしながらティッシュを配ろうとするロボット  
見目海人、西脇裕作、香川真人、岡田美智男
- [4] CEDEC2018 インタラクティブセッション オーディエンス賞 (第2位)  
〈弱いロボット〉のインタラクティブ展示

岡田美智男、香川真人、伏木ももこ、見目海人、近藤祐太、平井一誠

[5] 第19回ヒューマンインタフェース学会論文賞

非流暢性を伴うロボット (Talking-Ally) の発話調整方略とその聞き手に対する  
適応に関する研究

松下仁美、香川真人、山村祐之、岡田美智男

[6] HAI シンポジウム 2018 優秀ポスター発表賞

Pelat : おぼつかない振る舞いをするロボットにおける内部状態の表出について

佐々木祐哉、見目海人、香川真人、岡田美智男

[7] エンタテインメントコンピューティングシンポジウム (EC2019) ベストプレゼンテーション賞

心を1つに : 拡張された身体の一体化を志向するメディアの提案

香川真人、岡田美智男