

博士論文

2024 年度

心理学的考察に基づいた
実空間でのアバタコミュニケーションの研究

木田 勇輝

2025 年 3 月

慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

Doctoral Thesis

2024

Research on Avatar Communication in Real Space
Based on Psychological Considerations

Yuki Kida

March 2025

Graduate School of System Design and Management, Keio University

Major in System Design and Management

論 文 要 旨

論 文 題 目：

心理学的考察に基づいた実空間でのアバタコミュニケーションの研究

(内容の要旨)

アバタ技術の発展により、アバタを介して人間関係を築くことが可能になった。将来的に、現在の SNS におけるユーザがアカウントを所有し、そのアカウントを介して様々な人間関係を築くというように、誰もが自分自身のアバタを所有しそのアバタを介して人間関係を築き活動するというようなアバタ社会が訪れることが期待される。そうした中でメタバースといったバーチャル空間の場合においては、ユーザはお互い CG アバタ同士という対等な状況でコミュニケーションでき関係を築くことができる。一方で、近年では、ロボットアバタや AR などにより表示されるアバタといった実空間で用いられるアバタの研究・開発も進み、実空間で一方は生身の人間で、一方はアバタという状況でのコミュニケーションが発生する。こうした実空間でのアバタコミュニケーションにおいて、どのように人間関係が構築されるのかについてはこれまでに十分に議論できていない。

通常、実空間での人同士の対面コミュニケーションであれば、対面する相手を意識し遠隔ユーザの存在を意識することはない。しかしながら、アバタコミュニケーションの場合には、アバタを操作する遠隔ユーザが存在する。つまり、現場のユーザがアバタと対面した際に、アバタ自体をコミュニケーション相手として意識して関係を構築するのか、あるいはアバタを操作する遠隔ユーザを意識して関係を構築するのかという意識の違いが生まれる。また、遠隔ユーザにおいても、自分自身が相手とコミュニケーションしているという意識で関係を構築するのか、操作するアバタが相手とコミュニケーションしている意識で関係を構築するのかという意識の違いが存在する。要するに、実空間におけるアバタコミュニケーションの人間関係という場合には、現場のユーザと遠隔ユーザ間の関係（人-人の関係）の構築であるのか、現場のユーザとアバタ間の関係（人-アバタの関係）の構築であるのかという違いが生まれる。こうした違いは、従来の実空間での人同士の人間関係の構築とは異なり、アバタコミュニケーションにおける特有の人間関係の構築といえる。アバタコミュニケーションにおける人間関係の構築を評価・分析し理解することで、今後のアバタ社会における実空間での関係の構築のあり方を議論できるとともに、その知見をもとに新たなアバタの開発も期待できる。そこで、本研究では、実空間でのアバタコミュニケーションにおける人間関係の構築に着目し評価・分析を行い、その知見をもとに新たなアバタの開発を目的とした。

本論文では、第1章で本研究の背景と目的、アバタ技術の動向、本論文の構成を述べる。

第2章では、没入型ロボットアバタを開発し、遠隔ユーザの意識について評価・分析を行い議論した。開発した没入型ロボットアバタを使用することで、遠隔ユーザはロボットに乗り移る感覚で自分自身が現場のユーザとコミュニケーションしている感覚であり、一方で現場のユーザはロボット自体とコミュニケーションしている感覚となることが分かった。つまり、遠隔ユーザは匿名で現場のユーザと関係を構築できること明らかになった。匿名であることで、見かけ、性別、年齢などといった様々な属性やアイデンティティにとらわれず、現場のユーザと関係の構築ができるという利点が考えられ、さらなる応用が期待できた。

第3章では、アバタと対面する現場のユーザの意識について評価・分析を行い議論した。現場のユーザの意識については、アバタの見かけ、物理的な実体の有無を変えることで、コミュニケーション相手への意識を変化させることができることが分かった。具体的に、物理的な実体のみあるアバタの場合には、現場のユーザの意識はアバタ自体へ向き、見かけが遠隔ユーザであるARのアバタの場合には、遠隔ユーザに意識が向くことが明らかになった。要するに、現場のユーザの意識を遠隔ユーザへ向かせ関係を構築することも可能であることが分かった。

第4章では、アバタ形状に注目し、アバタの形状がユーザに与える効果について評価した。その結果、使用するアバタ形状（ペンギン型、煙型）が無意識のうちにユーザの振る舞いを変える効果があることが分かった。生物ではない煙型のアバタ形状においても遠隔ユーザの振る舞いを変えることができ、様々なアバタ形状の活用の可能性が示唆された。

以上、第2章から第4章までで遠隔ユーザは匿名的に現場のユーザと関係を構築できることの利点、様々なアバタ形状の活用の可能性が示唆された。その知見から、第5章では、新たなアバタとして、実空間の様々な形状の物をアバタとして擬人化しコミュニケーションできる「IoTアバタ」を開発した。評価実験から、現場のユーザは物自体とコミュニケーションしている感覚であり、遠隔ユーザは自分自身が物となって相手とコミュニケーションしている感覚であることが分かった。すなわち、開発したIoTアバタにおいては、遠隔ユーザ自身の見かけ、性別、年齢、生身の身体などといった属性やアイデンティティにとらわれず、様々な物として現場のユーザとし関係を構築できる。そして、様々な場所の様々な物がIoTアバタ化でき、アバタ社会における日常生活から災害時にいたるまで有効な活用が期待できる。

様々なアバタを使用した際の特有の心理や行動、人間関係の構築などといった理解はアバタ社会における生活において重要であり、今後も研究・議論される必要がある。アバタ社会においては、従来の心理学の枠組みがアバタにおける心理学として置き換え議論する必要があると考えられ、アバタ社会における心理学を体系化する「アバタ心理学」が提案される。

SUMMARY OF DISSERTATION

Title :

Research on Avatar Communication in Real Space Based on Psychological Considerations

(Abstract)

With the advancement of avatar technology, it has become possible to build human relationships through avatars. In the future, just as users currently own accounts on social media and build various human relationships through them, it is expected that an avatar society will emerge, where individuals own avatars and engage in human relationships and activities through them. In this context, users can communicate and build relationships in virtual spaces like the metaverse, where both parties interact with a level of equality as CG avatars. On the other hand, recent advancements in research and development have also focused on avatars used in real space, such as robot avatars and AR-displayed avatars. This has led to situations where communication occurs between a physical person and an avatar in real space. However, how human relationships are formed in such real space avatar communication has not yet been sufficiently discussed.

In face-to-face communication between people, we are usually aware of the person we are talking to, and there is no remote user to complicate things. However, in the case of avatars, there may be a remote user operating the avatar. In other words, when an on-site user is face-to-face with an avatar, there is a difference in awareness as to whether they are building a relationship with the avatar itself or with a remote user operating the avatar. There is also a difference in the awareness of remote users, whether they are building a relationship with the awareness that they themselves are communicating with the other person, or whether they are building a relationship with the awareness that the avatar itself is communicating with the other person. In short, in the case of avatar communication in the real world, there are two possible relationships: the relationship between the on-site user and the remote user (person-to-person relationship), or the relationship between the on-site user and the avatar itself (person-to-avatar relationship). This difference in user awareness is different from the construction of human relationships between people in the real space, and can be said to be the construction of unique human relationships in avatar communication. By evaluating, analyzing and understanding the construction of human relationships in avatar communication, we can discuss how relationships should be constructed in the future avatar society, and we can also expect the development of a novel avatar based on these insights gained. Therefore, this study focused on the formation of human relationships in avatar communication within real space, conducted evaluation and analysis, and aimed to develop a novel avatar based on the insights gained.

In Chapter 1, we describe the background and purpose of this study, the trends in avatar technology, and the structure of this thesis.

In Chapter 2, we developed an immersive robot avatar and evaluated and analyzed the awareness of remote users using it, and discussed the results. It was found that by using the immersive robot avatar that had been developed, the remote user felt as if they themselves were communicating with the on-site user by transferring into the robot, while the on-site user felt as if they were communicating with the robot itself. In other words, it was shown that the remote user could build a relationship with the on-site user anonymously, without being influenced by various attributes or identities such as appearance, gender, or age, and it was thought that further applications could be expected.

In Chapter 3, we evaluated and analyzed the awareness of on-site users who were face-to-face with avatars. With regard to the awareness of on-site users, it was found that changing the appearance of the avatar and whether or not it has a physical entity can change the awareness of the communication partner. Specifically, it was found that when the avatar has only a physical entity, the on-site user's awareness is directed towards the avatar itself, and when the appearance is that of an AR avatar of a remote user, the awareness is directed towards the remote user. In short, it was found that it is also possible to direct the awareness of on-site users towards remote users and to build relationships with them.

In Chapter 4, we evaluated the effects of avatar shapes on the awareness and physical movements of users. We found that the avatars used (penguin-shaped and smoke-shaped) had the effect of unconsciously changing the behavior of remote users. Even the smoke-shaped avatar, which does not look like a living thing, was able to change the behavior of remote users, suggesting the possibility of using various avatar shapes.

The above discussion in Chapters 2 to 4 suggested the advantages of allowing remote users to build relationships with on-site users anonymously, and the potential for using various avatar shapes. Based on these insights gained, in Chapter 5 we developed a novel avatar called the "IoT avatar," which can communicate by anthropomorphizing various objects in the real space as avatars. From the evaluation experiment, it was found that the on-site user felt as if they were communicating with the object itself, while the remote user felt as if they had become the object and were communicating with the other person. This means the IoT avatar we developed can be used to build relationships with users in the field as various objects, without being constrained by some attributes and identities of the remote user, such as their appearance, gender, age, and physical body. Furthermore, it is possible to turn various objects in various places into IoT avatars, and we can expect to see the effective use of an avatar society in everyday life and in times of disaster.

Understanding the unique psychology, behavior, and relationship-building associated with the use of various avatars is crucial for life in an avatar society and requires continued research and discussion. In an avatar society, it is considered necessary to replace and discuss traditional psychological frameworks such as psychology within the context of avatars. Therefore, a systematic approach to psychology in an avatar society, referred to as "Avatar Psychology," is proposed.

目 次

第1章	序論	7
1.1	研究の背景と目的	8
1.2	アバタ技術の動向	12
1.3	アバタがユーザの身体や心理に与える効果	15
1.4	本論文の構成	17
第2章	アバタを使用する遠隔ユーザの意識	19
2.1	没入型ロボットアバタの利用時の意識	20
2.1.1	概要	20
2.1.2	システム設計	21
2.1.3	プロトタイプ	22
2.1.4	評価実験	25
2.1.5	実験結果	27
2.1.6	考察	29
2.2	活用実験	30
2.2.1	実験システム	30
2.2.2	評価	32
2.2.3	結果	33
2.2.4	考察	36
2.3	本章のまとめ	37
第3章	アバタと対面する現場のユーザの意識	39
3.1	物理的な実体の有無及びアバタの見かけの違いの影響	40
3.1.1	概要	40
3.1.2	アバタの設計	41
3.1.3	実験システムの設計	43
3.1.4	評価実験	47
3.1.5	実験結果	51
3.1.6	考察	58
3.2	本章のまとめ	60
第4章	アバタ形状がユーザに与える効果	61
4.1	概要	62
4.2	非人型アバタの設計	63

4.3	評価実験.....	66
4.4	結果及び考察.....	70
4.4.1	アンケート評価による結果	70
4.4.2	ボデイトラッキングデータによる結果.....	73
4.4.3	考察.....	77
4.5	本章のまとめ.....	78
第 5 章	IoT アバタ：実空間の様々な物をアバタとして擬人化	79
5.1	IoT アバタ	80
5.1.1	コンセプト	81
5.1.2	IoT アバタデバイス	83
5.1.3	提案システムの設計	84
5.1.4	比較システムの設計	85
5.1.5	評価実験	86
5.1.6	実験 1: IoT アバタとの対面コミュニケーション.....	87
5.1.7	実験 1 の結果.....	89
5.1.8	実験 2: IoT アバタを介した現場の人とのコミュニケーション	94
5.1.9	実験 2 の結果.....	97
5.1.10	考察.....	102
5.2	本章のまとめ.....	103
第 6 章	考察及び展望.....	105
6.1	各章の考察及び総括.....	106
6.2	様々な物が IoT アバタ化するアバタ社会	110
6.3	IoT アバタの実装へ向けた展望.....	114
6.4	アバタ社会における心理学：アバタ心理学	114
第 7 章	結論	117
謝辞		119
参考文献		121
研究業績		133

第1章

序論

Introduction

1.1 研究の背景と目的

パーソナルコンピュータ (PC), スマートフォン及びインターネットの普及により, 遠隔地にいる人同士がコミュニケーションを行うことは, 日常生活に欠かせないものとなった. 現在, 電話や電子メールといった遠隔コミュニケーションのみならず, 新型コロナウイルス 感染症 (COVID-19) の流行以降 (2020 年以降) は, ビデオ通信によるリモートワークといった遠隔コミュニケーションが急速に普及し, 多くの人々が用いる遠隔コミュニケーション手段の一つとなった. こうした遠隔コミュニケーションは, 主に情報の伝達や共有という点で, 現代を生きる人々の生活にとって不可欠なものとなっている.

一方で, コミュニケーションの機能には, 情報伝達の他に相手と関係を築くという機能があると言われている[1]. 遠隔コミュニケーションにおいて相手と関係を築くことについては, 現在身近に行われており, 例えばその代表的なツールとして, Social Networking Service (SNS) が挙げられる. SNS では, PC やスマートフォンから写真や動画, テキストなどを投稿することで自分自身を表現し, SNS 上の相手とコミュニケーションし人間関係を築くことができる. 現状, 様々な SNS プラットフォームが存在し, ユーザはそれらの SNS アカウントを作製し, PC やスマートフォンなどで利用されている.

さらに近年では, より高性能な PC やスマートフォンの普及に加えて高性能かつ低価格な家庭向け Head Mounted Display (HMD) の登場により, Virtual Reality (VR) 技術と SNS と掛け合わせた VR SNS が注目され活用され始めている. 特に, 近年 VR SNS としてメタバース (多人数が同時にオンラインで社会的活動が可能な 3D バーチャル空間[2]) の利用が広がりつつある. メタバースでは, ユーザは, Computer Graphics (CG) の様々な見かけのアバタ (自分自身の分身) を用いて自己を表現し, 多数のユーザと交流し遠隔コミュニケーションできる. つまり, ユーザはアバタを介して多数のユーザと遠隔コミュニケーションを行い, 人間関係を築くことができるようになった. また, 近年では実空間に CG アバタを提示しコミュニケーションするといったアバタ技術も開発され[3], 実空間で CG アバタを用いて人間関係を構築するといったことも期待される.

他方で, CG アバタの他に, アバタを介した遠隔コミュニケーションという点では, 実空間でロボットをアバタとして用いるロボットアバタの研究・開発も近年盛んに行われおり, 有効な遠隔コミュニケーションの手段の一つとして実際に活用されている[4-6].

要するに、現状様々なアバタを活用した遠隔コミュニケーションが行われるようになり、様々なアバタを介して人間関係を築くことが可能となった。将来的に、現在の SNS におけるユーザがアカウントを所有し、そのアカウントを介して様々な人間関係を築くというように、誰もが自分自身のアバタを所有しアバタを介して人間関係を築き活動するというようなアバタ社会が訪れることが期待される（図 1-1）。例えば、ユーザは、アバタを使って大学に通ったり、接客したり、海外に行ったりと様々な場面でアバタの活用が考えられ、アバタを介して多様な人々と関係を構築できる可能性がある。

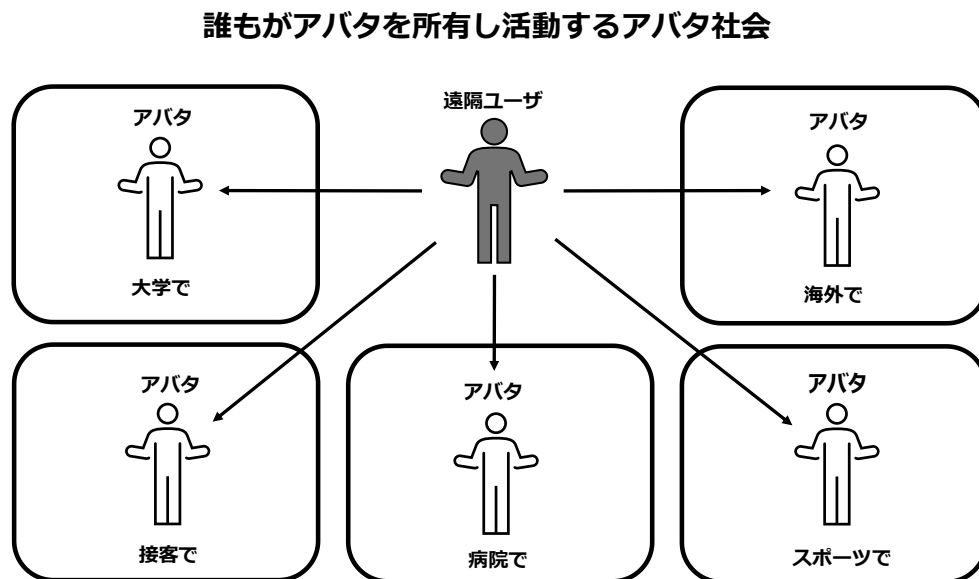


図 1-1 アバタ社会

そうした中で、メタバースといったバーチャル空間の場合には、ユーザらは、お互い CG アバタ同士という対等な状況でコミュニケーションでき関係を築くことができる。一方で、近年では、ロボットアバタや Augmented Reality (AR) などにより表示されるアバタといった実空間で用いられるアバタの研究・開発も進み、一方は生身の人間で、一方はアバタという状況でのコミュニケーションが発生する（図 1-2）。こうした実空間でのアバタコミュニケーションにおいて、どのように人間関係が構築されるのかについてはこれまでに十分に議論できていない。

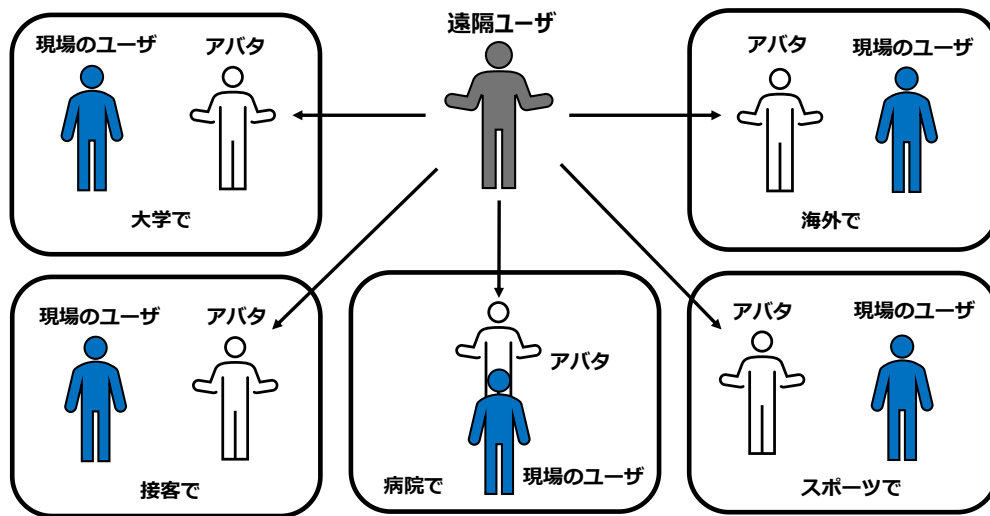


図 1-2 実空間でのアバタと現場のユーザとの関係の構築

通常、実空間の人同士の対面コミュニケーションであれば、対面する相手を意識し、遠隔ユーザの存在を意識することはない。しかしながら、アバタコミュニケーションの場合には、アバタを操作する遠隔ユーザが存在する。つまり、現場のユーザはアバタと対面した際に、アバタ自体をコミュニケーション相手として意識して関係を構築するのか、あるいはアバタを操作する遠隔ユーザを意識して関係を構築するのか、という意識の違いが生まれる（図 1-3）。また、遠隔ユーザにおいても、自分自身が相手とコミュニケーションしているという意識で関係を構築するのか、あるいはアバタ自体が相手とコミュニケーションしている意識で関係を構築するのかという意識の違いが存在する（図 1-4）。要するに、実空間におけるアバタコミュニケーションの人間関係という場合には、現場のユーザと遠隔ユーザ間の関係（人-人の関係）の構築であるのか、現場のユーザとアバタ間の関係（人-アバタの関係）の構築であるのかという、現場のユーザ及び遠隔ユーザの意識の違いが生まれると考えられる。この意識の違いは、従来の実空間での人同士の人間関係の構築とは異なり、アバタコミュニケーションにおける特有の人間関係の構築といえる。こうしたアバタコミュニケーションにおける人間関係の構築を評価・分析し理解することで、今後のアバタ社会における関係の構築のあり方を議論できるとともに、その知見をもとに新たなアバタの開発も期待できる。

そこで、本研究では、実空間でのアバタコミュニケーションにおける人間関係の構築に着目し評価・分析を行い、その知見をもとに新たなアバタの開発を目的とした。

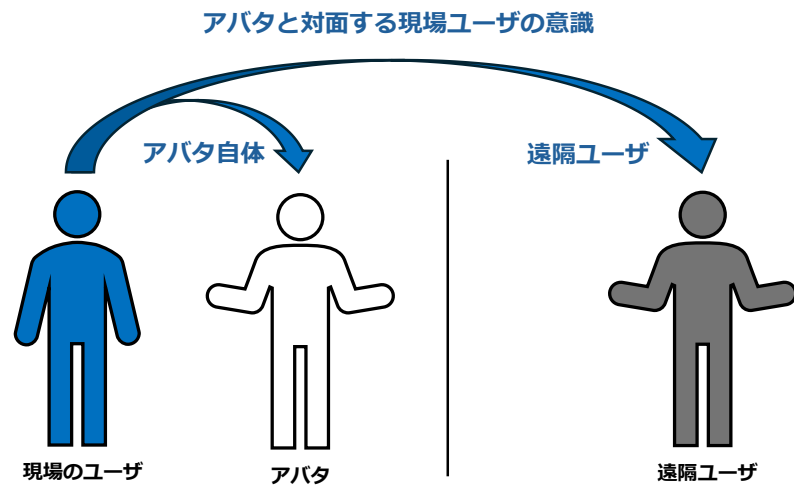


図 1-3 アバタと対面する現場のユーザの意識

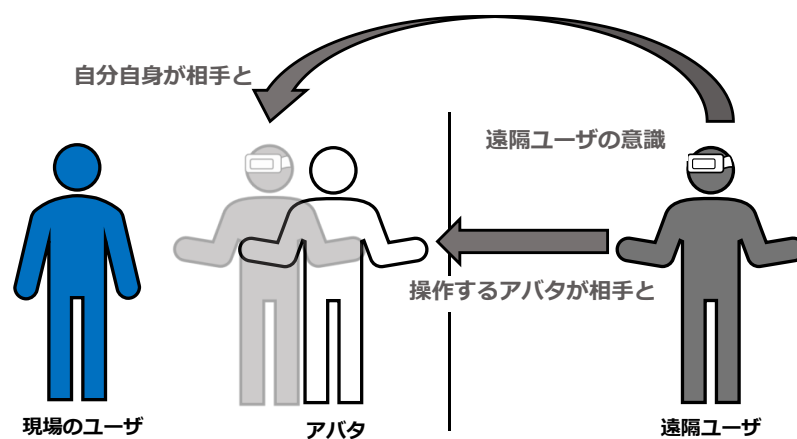


図 1-4 アバタを使用する遠隔ユーザの意識

1.2 アバタ技術の動向

アバタ(アバター)は、サンスクリット語のアヴァターラが語源であるとされ、「神の分身(化身)」が本来の意味であると言われている[7]。現在使われているアバタという用語については、明確な定義はないものの、「自分自身の分身」として研究やサービスなどの場面で用いられている場合が多い。本研究においても、アバタは「自分自身の分身」として扱う。そして、現在アバタは「自分自身の分身」として、実空間及びバーチャル空間で利用され、広義にCGアバタとロボットアバタに分けることができる。以下、CGアバタ技術とロボットアバタ技術の動向について概説する。

(1) CGアバタ

まず、CGアバタにおいては、2次元ディスプレイ上に表示するアバタ、Immersive Projection Technology (IPT)ディスプレイにおけるアバタ、メタバースで利用されるアバタ、ARなどにより実空間に表示されるアバタが挙げられる。

具体的に、2次元ディスプレイ上に表示するアバタとしては、実写のアバタを縦型の2次元ディスプレイ上に等身大で表示し効果的に人とインタラクションするシステムの開発研究[8]や、道案内を行う研究[9]がある。また、PCの画面上でCGアバタを用いたカウンセリング[10]や、スクリーンに投影されるアバタによる大学での講義[11]における研究も行われている。実際の実証活用としては、日本航空株式会社とパナソニックシステムソリューションズジャパン株式会社による、空港でアバタを活用した遠隔案内サービスの実証実験がある[12]。この実証実験では、遠隔にいる係員がディスプレイ上のキャラクターのアバタを介して、空港利用者に対して案内が行われた。その他に、AVITA株式会社とコンビニエンスストアのローソンは、実店舗でアバタを活用した接客サービスを開始した[13]。具体的に、遠隔オペレーターがキャラクターのアバタを操作し、セルフレジ付近でレジ操作のサポートを行ったり、商品陳列棚付近で商品をお勧めしたりする。このように、2次元ディスプレイ上にCGアバタを表示し、人との遠隔コミュニケーションを効果的に行う研究・実証が進められている。

IPTディスプレイ[14-16]においても、アバタ技術に関する研究がこれまでに進められてきた。IPTディスプレイは、プロジェクタを使用した没入型ディスプレイであり、高精細なプロジェクタによって、臨場感の高い広視野の立体映像空間を提示する[17]。こうした没入型ディスプレイを各遠隔地に設置し、遠隔地間同

士で空間通信を行う研究が行われてきた。特に、代表的な没入型ディスプレイとして CAVE があり、空間通信においてビデオアバタ[18-20]は、有効なアバタ技術として研究されてきた。ビデオアバタとは、ユーザのビデオ映像そのものをアバタとして利用するアバタである。これまでに、2次元のビデオ映像そのものを使う2次元ビデオアバタ、デプス情報から構成される表面形状モデルにビデオ映像をテクスチャマッピングすることで構築される2.5次元ビデオアバタ、マルチカメラによる多方面からの映像による3次元形状モデルにビデオ映像をテクスチャマッピングすることにより構築される3次元ビデオアバタが開発されてきた[21]。各遠隔地のユーザは、こうしたビデオアバタをお互いに送受信し遠隔コミュニケーションが行われてきた。また、ビデオアバタは、ユーザのビデオ映像そのものを使用するため、キャラクタなどのCGアバタよりも比較的ユーザの表情や感情を伝えやすいという特徴がある。

一方で、近年では、メタバースが活用され始めている。メタバースでは、ユーザは、CGアバタを介して3Dバーチャル空間内でコミュニケーションを取ることができる。メタバースは、既存のビデオ会議ツールと異なり、3Dバーチャル空間内で、自由にアバタの身体や視点を移動しながらコミュニケーションを取ることが可能である。また、ユーザは自身が使用するアバタの見かけなどを容易に変更することができ、例えば、ユーザと年齢や性別が異なるアニメキャラクタのアバタ、動物のアバタなどが利用されることが多い。現在メタバースは、会議やイベント、エンターテインメントにおけるコミュニケーションツールとして今後盛んに活用されることが期待されており、実際に大学の授業や学会発表の場としても使用され始めている。現状のメタバースの利用方法としては、PCやスマートフォン、タブレット上のディスプレイで利用する場合、あるいは、HMDで利用する場合が挙げられる。したがって、現在、HMDを所有していないユーザでもPC等を用いることで、多くのユーザがメタバースを利用でき、メタバースは身近なコミュニケーションツールとなりつつある。具体的に、VR SNSとして、VRChat, cluster などといったメタバースプラットフォームがあり、その中で多くのユーザが交流し盛り上がりを見せている。

その他、ARなどで実空間にアバタを表示する方法がある。例えば、Microsoft Research が研究・開発した Holoportation がある[3]。Holoportation は、ユーザをリアルタイムでキャプチャし、そのユーザ本人の3次元映像を生成し、HoloLens (Microsoft)によりARとして表示する。これにより、遠隔の人があたかも同じ部

屋でインタラクションできるようなシステムが開発されている。また、他に研究として、講義において教室にCGアバタをARで表示し、CGアバタが講義内容をリアルタイムで手話翻訳する研究[22]などが行われており、実空間でのCGアバタの有効な活用について議論されている。

以上CGアバタにおいては、様々な見かけや環境における効果的な活用や研究が行われており、技術の進展とともに多様な分野での応用が期待される。

(2) ロボットアバタ

次にロボットアバタに関して概説する。現在商業化されているロボットアバタサービスとして、avatarin社のnewme[4]などがある。これらは、ディスプレイと移動型ロボットを組み合わせたロボットアバタであり、ディスプレイ上にユーザの顔を映しながら対話や遠隔操縦で移動が可能である。ユーザは、ロボットアバタを介して様々な遠隔地を訪問しコミュニケーションができる。その他に、OriHime-Dというロボットアバタを活用することで、障害者の就労の支援を目指し、遠隔で物品の運搬や接客を行うサービス及び研究がある[5]。また、実際に実店舗「分身ロボットカフェ DAWN ver. β 」で活用されている。このように、ロボットアバタは、人々の移動や働き方などを変える手段として有効に活用され、盛んに研究や実装が行われている。こうした現状実装レベルで効果的に活用されているロボットアバタの特徴としては、遠隔ユーザはPCなどの情報端末上でロボットアバタを遠隔操作しコミュニケーションを行う場合が多い。

一方で、PCなどの情報端末上の操作ではなく、トレイグジスタンスシステムとしてのロボットアバタの活用も期待され研究が行われている[23,24]。トレイグジスタンスとは、舘暲氏によって「人間が自分自身が現在する場所とは異なった場所に実質的に存在し、その場所で自在に行動するという人間の存在拡張の概念であり、また、それを可能とするための技術体系である」[25]と提唱されている。具体的に、舘らによって研究・開発されたトレイグジスタンス分身ロボットTELESAR VIがある[26]。TELESAR VIは、操縦者の手足の動きと連動しロボットが動き、視覚・聴覚の伝達機能、触覚フィードバック機能が実装され、操作者が一人称体験としてロボットを操縦できる。つまり、あたかも操縦者がロボットとして存在できるようなシステムが実現している。その他に、実際のトレイグジスタンスシステムの活用としては、TELEXISTENCE inc.と国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)は、トレイグジスタンス分身ロボ

ット Model-T を用いて、コンビニエンスストアの実店舗において商品の陳列などを実施している[27]. 実店舗でトレイグジスタンスシステムを活用することで、遠隔地からの就労の支援を行い人手不足の解消など社会貢献が目指されている。

他方で、ロボットの見かけを本物の人そっくりに開発したアンドロイドによるロボットアバタも注目されている。その代表例として、石黒らによって開発されたジェミノイドが挙げられる[28,29]. ジェミノイドは、本物の人にそっくりに開発した遠隔操作型ロボットアバタであり、遠隔操作者が操作することにより、現場にいる人と対話ができる。例えば、「ジェミノイド HI シリーズ」は開発者の石黒氏本人そっくりに開発され、国際会議やメディアなどで紹介され注目を集めている。見かけという点に関しては、ロボットの見かけを人とそっくりに開発する際には、「不気味の谷」[30]という現象が知られている。不気味の谷とは、ある程度人に似ている場合には、ロボットに対して好感がもてるが、それを越え人に似すぎてしまうと逆に不気味に感じ嫌悪感を持ち、さらにこれを越え人とはほぼ区別がつかないほど人に近づくと、そのロボットに対して再び好感が持てるようになるといった現象のことである。実際にアバタを設計・製作する際には、この不気味の谷について考慮する必要があると言える。

以上、遠隔操作の方法や見かけなどが異なる様々なロボットアバタが研究・開発されている。また、ロボットアバタは、実体を持つため物理的なインタラクションが可能であり、実空間での多様な用途への応用が期待される。

1.3 アバタがユーザの身体や心理に与える効果

人の自己身体の認識については、身体所有感と運動主体感で構成されると言われている[31]. 具体的に、身体所有感はこの身体は自分自身の身体であるというような身体が自己に帰属する感覚であり、運動主体感はこの運動を起こしたのは自分自身であるというような自分自身の意思で行った運動として帰属される感覚である[2]. 身体所有感に関する代表的な先行研究として、ゴム製の偽物の手(ラバーハンド)を自分の手のように感じてしまうラバーハンド錯覚が知られている[32,33]. これについては具体的に、参加者が絵筆で撫でられたラバーハンドを見ると同時に、参加者が見えないように衝立で隠され参加者自身の本物の手も絵筆で撫でられると、参加者はラバーハンドを自分の手のように感じてしまう錯覚が起こる。すなわち、自分自身の手ではない偽物の手に対しても身体

所有感を感じてしまうことが分かっている。また、関連事例として、四肢を切断した患者が存在しないはずの四肢を知覚する幻肢が報告され、そこに痛みを感じる幻肢痛が報告されている[34,35]。これまでに VR を用いた幻肢痛の神経リハビリテーションも行われており、また身体所有感との関係も議論されている[36]。他方で、運動主体感については、人の運動機能において重要な役割を果たすとされ、運動機能を回復させる運動リハビリテーションにおける研究などが行われてきた[37]。こうした人の自己身体の認識については、これまでに認知心理学などの領域で研究・議論されてきた。また、上述した身体所有感や運動主体感といった感覚を自分自身の身体以外の対象に実装することが出来れば、その対象を自分自身の身体のように操作することができると期待されている。

近年では、アバタを自分自身の身体として用いる際における身体所有感や運動主体感などといった身体の認識についての研究が行われるようになった[38-40]。具体的に、身体所有感に関しては没入型の仮想空間内で、自分自身の身体と性別や大きさが異なる人型の CG アバタに対しても生起することが報告されており[41,42]、また、鳥や虎、コウモリなどといった人型以外の CG アバタにおいても生起することが報告されている[43,44]。その他、被験者の視点（一人称視点、三人称視点）及びアバタと被験者の動きの同期と非同期という条件における身体所有感や運動主体感などといった感覚の研究が行われている[45]。具体的に、この研究では、没入型 VR 空間の街中を進む VR 映像を見ながら、被験者が全身アバタを使い足踏みする評価実験が行われた。この研究の実験条件における評価の結果では、一人称視点及び三人称視点という視点に関係なく動きが同期している状態であれば運動主体感が生起し、身体所有感は一人称視点で動きが同期している状態で生起することを報告している。

また、これまでにアバタの外見がユーザの心理的状态・振舞いに影響を与える効果として「プロテウス効果」が知られている[46-48]。プロテウス効果は、Yee らによって提唱され、姿を変幻自在に変える能力を有するギリシャ神話のプロテウスが由来である[46]。具体的に、Yee らは、魅力的な外見の人型のアバタを使用した群は、魅力的ではない外見のアバタを使用した群よりも、自己開示や対人距離という側面から友好的になり、また、背の高いアバタを使用した群は、背が低いアバタを使用した群より、交渉タスクにおいて、自信を持った行動ができることを報告している[46]。その他、Sadek らは、有名サッカー選手のアバタを利用することで、仮想空間内のサッカーのパフォーマンスが向上することを報

告している[49]. 人型以外のアバタにおける, プロテウス効果の影響に関する研究も行われている. 小柳らは, 仮想空間内でドラゴンアバタを使用し, ドラゴンの持つ, 飛行能力と強靱な身体の影響によるプロテウス効果から, 高所への恐怖, 落下に対する不安, 自身の頑強さに関して, 抑制・改善する効果を明らかにしている[50]. また, 仮想空間内で鳥アバタを使用することにより高所に対する主観的な恐怖が軽減されることが示されている[51]. 以上のことから, ユーザは没入型の VR 環境で様々なアバタを自分の身体とし, またそのアバタの外見の特徴に基づき心理状態が変化し行動が変容することが知られている.

そして, コミュニケーションという点では, メタバースなどの VR 空間におけるアバタを用いたコミュニケーションに関する研究はこれまでに盛んに行われてきた[52-55]. 市野らは, 対人関係の構築に関して自己開示に注目し, HMD を用いた仮想空間で外見がユーザと類似しているアバタ, 類似していないアバタ, モニタ上でのビデオ会議を比較する調査を行っている[56]. その結果, 仮想空間で外見がユーザと類似していないアバタを用いた場合に, より自己開示において効果的であることを示した. また, その他の研究として, メタバースにおける社会的存在感を高めることは, 若いユーザ間の支援的なインタラクションを促進するといったことも報告されている[57].

上述してきたように, VR 空間において様々なアバタを自分の身体とし, そのアバタの見かけに影響され心理状態や振る舞い, コミュニケーションが変化することが明らかにされている. 一方で, 実空間における一方は生身の人間で, 一方はアバタという状況でのコミュニケーション及び人間関係の構築における議論は十分に行われていない. したがって, 本研究では, 実空間でのアバタコミュニケーションにおけるユーザの意識及び人間関係の構築という点に注目した.

1.4 本論文の構成

本論文は, 「心理学的考察に基づいた実空間でのアバタコミュニケーションの研究」と題し, 図 1-5 に示すように全部で7章から構成される.

第1章は, 序論であり, 本研究の背景と目的, アバタ技術の動向, 本論文の構成を述べる. 第2章では, アバタを使用する遠隔ユーザの意識について評価・分析を行い議論する. アバタコミュニケーションにおいて, 遠隔ユーザが, 自分自身が相手とコミュニケーションしているという意識で関係を構築しているのか,

あるいはアバタ自体が相手とコミュニケーションしている意識で関係を構築しているのか、という意識の違いについて議論する。第3章では、アバタと対面する現場のユーザの意識について評価・分析を行い議論する。アバタコミュニケーションにおいて、現場のユーザが、アバタと対面した際に、アバタ自体をコミュニケーション相手として意識して関係を築いているのか、あるいはアバタを操作する遠隔ユーザを意識して関係を築いているのか、という意識の違いについて議論する。第4章では、アバタ形状に注目しアバタの形状が遠隔ユーザの意識や身体運動に与える影響について評価し、様々なアバタ形状の利用の可能性を議論する。第5章では、第2章から第4章までの知見をもとに開発した新たなアバタについて述べる。具体的に、実空間の様々な形状の物をアバタとして擬人化し、人間関係を築くアバタを開発し評価実験により有効性を評価した。第6章は、本研究における考察及び展望について述べ、第7章で、結論として本研究をまとめる。

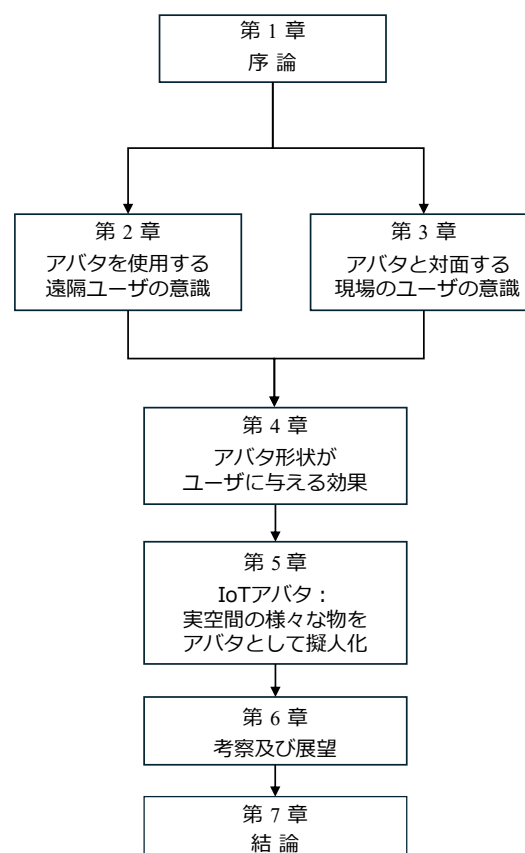


図 1-5 本論文の構成

第2章

アバターを使用する遠隔ユーザの意識

Awareness of remote users who use an avatar

2.1 没入型ロボットアバタの利用時の意識

2.1.1 概要

遠隔地にいる人々とコミュニケーションをとる手段として、自分自身の身体をロボットとして用いるロボットアバタがある。ロボットアバタは、物理的な実体を持つため、実空間の実際のモノを触れたり移動させたりしながらのインタラクションなどが可能であり、様々な用途や環境での活用が期待されている。しかしながら、遠隔ユーザがロボットアバタの身体に乗り移るような感覚、すなわちロボット操作において没入環境での一人称体験として、相手（現場のユーザ）とコミュニケーションを行い、人間関係を築くということに関しては十分に議論できていない。

遠隔ユーザが、ロボットアバタの身体に乗り移るような感覚でコミュニケーションした場合、自分自身に対する意識に影響を与えと考えられる。具体的に、「誰が相手とコミュニケーションしているのか」という意識である。図2-1に示すように、自分自身が相手とコミュニケーションしているように感じるのか、あるいは操作するロボットが相手とコミュニケーションしていると感じるのか、が挙げられる。この「誰が相手とコミュニケーションしているのか」という意識は、コミュニケーション相手と人間関係を築くうえで重要となる。

そこで、本章では、自分自身がロボットアバタに乗り移り、遠隔地にいる相手と同じ場所にいる感覚でコミュニケーションができる没入型ロボットアバタのプロトタイプを開発し、遠隔ユーザの意識について評価・分析した。

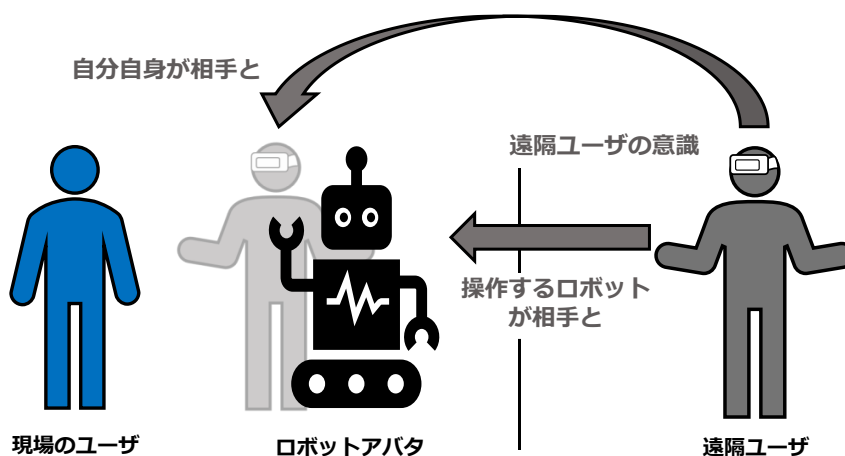


図2-1 没入型ロボットアバタを使用する遠隔ユーザの意識

2.1.2 システム設計

本章で提案するロボットアバタのコンセプトは、PC上でロボットアバタを遠隔操作するのではなく、自分自身がそのロボットアバタに乗り移るような感覚で操作する没入型ロボットアバタである。すなわち、遠隔ユーザはロボットアバタの目で捉えた視覚情報を一人称体験として没入しながら見ることができ、また、自分自身の動作の意思をロボットが表現でき、自由に発話できることを意味する。したがって、本システムでは次の機能を実装した。

- ・自分自身の身体のように自由にロボットの身体を動かせる機能（動作機能）
- ・見たい方向を360度自由に没入しながら見ることができる機能（視覚機能）
- ・話したいことを自由に話すことができる機能（発話機能）

これらの機能を実装するための本システムのコンポーネントの設計について述べる。まず、動作機能に関しては、人型ロボット Pepper（ソフトバンクロボティクス）とボディトラッキング用に Azure Kinect (Microsoft)を用いて実現するように設計した。Pepper は、身長 121cm の人型ロボットであり、ネットワークと連動した音声コミュニケーションを行うことができる。また、頭、肩、肘、手首、手、腰、膝が可動でき、人間のような多様な振る舞いやジェスチャーができる。これまでに、人とのインタラクションに関する研究はいくつか行われており[58-60]、ロボットアバタとしての活用は可能であると考え、本研究では Pepper を採用した。また、Azure Kinect のボディトラッキング機能を使用し、ユーザの関節の3次元座標情報を取得、ユーザ自身の動作と Pepper の動作を連動させる設計とした。

次に、視覚機能においては、360度カメラ THETA V (RICOH) と HMD (Oculus Quest 2) を用いて、ユーザが没入型の 360 度自由な視角方向を実現できるように設計した。

発話機能においては、Pepper はテキストデータから音声を出力する仕様となっており、ユーザの声をそのまま出力することができないため、ユーザの声をマイクで取得しテキストデータに変換した上で、Pepper が発話することで、自由に話せるように設計した。

2.1.3 プロトタイプ

本研究で開発したプロトタイプのシステム構成を図 2-2 に示す。本システムにおいて、ユーザが Azure Kinect の前に立つと、ボディトラッキング機能によりユーザの関節の三次元座標情報が取得される。図 2-3 は、Azure Kinect によるボディトラッキングの様子である。取得された関節の三次元座標情報から、両肩のピッチ角、ロール角、両肘のロール角、ヨー角を計算し、HTTP 通信によりサーバへ送られる。Choregraphe (Pepper 開発用のソフトウェア) を通じて、サーバに送られた両肩のピッチ角、ロール角、両肘のロール角、ヨー角を読み取り、Pepper の両肩、両肘を制御することで、ユーザの腕の動作と Pepper の腕の動作が連動する。なお、本プロトタイプにおいては、Pepper には両足がないことを考慮し、下半身の動作や移動はさせず、腕のみを連動させる実装とした。

音声に関しては、PC に有線接続されたマイク (エレコム HS-MC06BK) で取得され、Web Speech API によりテキストデータに変換され、HTTP 通信によりサーバへ送られる。サーバに送られた音声のテキストデータは Choregraphe を通じて、読み取り Pepper の声で音声を出力する。なお、ロボットアバタ側の音声は、PC 上でビデオ会議ツール Zoom の通話機能を用いてユーザ側の PC と通信し、音声を出力した。

視覚に関しては、Pepper の胸部の位置に THETA V をテープで取り付け (図 2-4)、THETA V から取得したリアルタイムの 360 度映像をゲームエンジン Unity で作成したアプリケーションにより、Oculus Quest 2 に投影することで実現した。具体的に Unity 内に球オブジェクトを作成し、THETA V から取得したリアルタイムの 360 度映像を貼り付ける。Unity 内でユーザはその球の内部から映像を見することで、360 度自由な視角方向が実現できる。このアプリケーションを Oculus Quest 2 用にビルドすることで、ユーザは HMD 越しに現場の風景を自由に見渡すことが可能となる。THETA V には、ローカル環境で自身をサーバとして、接続してきたクライアントと無線 LAN で通信するための内部機能が備わっており、リアルタイムの 360 度映像を提示することができる。本研究では、実験的に同じ建物内の別々の部屋を遠隔地と想定し実験を行うことにしたため、THETA V の無線 LAN 通信機能を使用しプロトタイプを開発した。

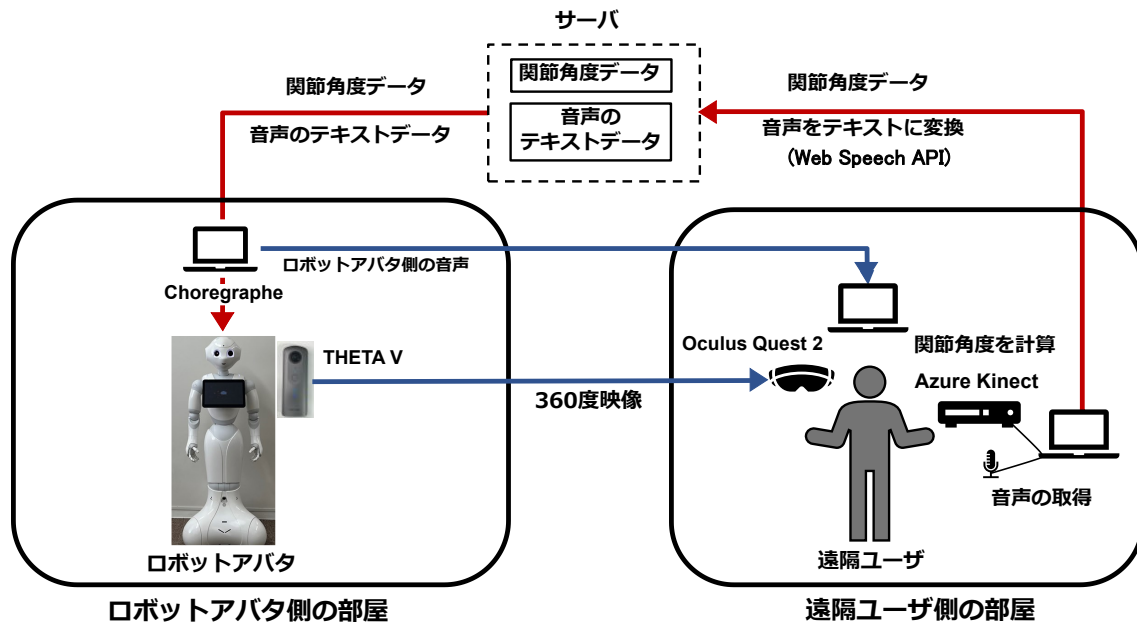


図 2-2 システム構成

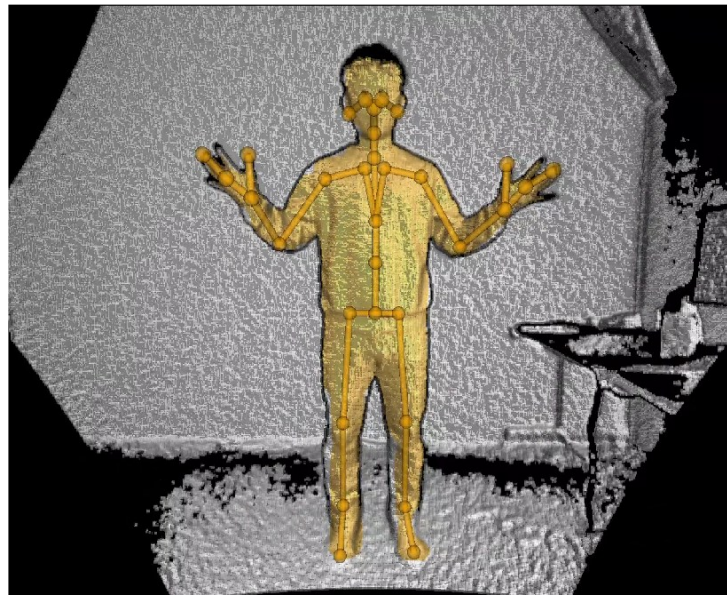


図 2-3 Azure Kinect によるボディトラッキング



図 2-4 THETA V の設置

図 2-5 に開発したプロトタイプ動作様子を示す。ユーザは HMD で 360 度映像を見ながら、自分の体を動かすことができる(図 2-5(c))。ユーザの視点映像にはロボットアバタの腕が映り込むため、自分の動作に連動して動作するロボットアバタの腕を見ながらコミュニケーションが行える(図 2-5(b))。ロボットアバタ側では、ロボットアバタのジェスチャーと発話により、その場にいる人とコミュニケーションを行うことができる(図 2-5(a))。



(a) ロボットアバタ側

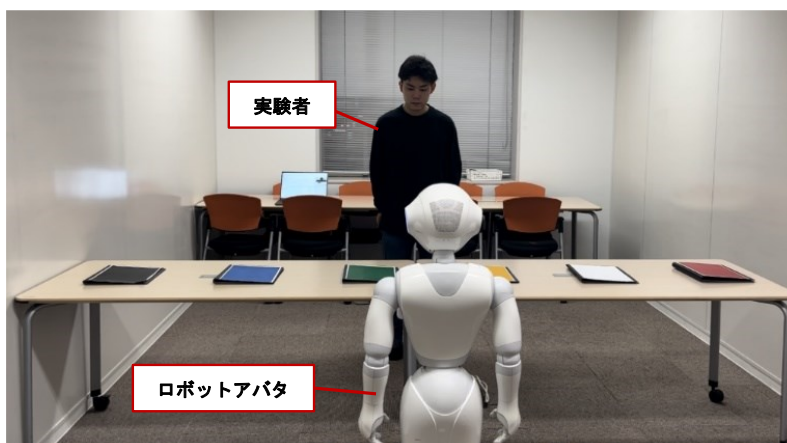
(b) 遠隔ユーザ視点の映像

(c) 遠隔ユーザ側

図 2-5 開発した没入型ロボットアバタにおける動作様子

2.1.4 評価実験

評価実験として、被験者がロボットアバタを介して実験者と共同タスクを行う実験を実施した。本実験においては、開発したシステムを使用しコミュニケーションした際の遠隔ユーザ（被験者）の意識について評価した。実験環境については、2つの部屋を用意し、一方の部屋には実験者が1人とロボットアバタが1体（図2-6(a)）、もう一方の部屋にはロボットアバタを操作する被験者が1人いるようにした（図2-6(b)）。また、図2-6(a)のように、実験者とロボットアバタは、6色の6つのファイルが置かれた高さ70cmテーブルを挟み、対面するものとした。ファイルからロボットアバタまで距離を1mとし、6色の6つのファイルはテーブルの上に50cm間隔で配置した。



(a) 実験者及びロボットアバタ側の部屋



(b) 被験者（遠隔ユーザ）側の部屋

図2-6 被験者がロボットアバタを使用する実験の環境

具体的な実験方法を以下に記述する。まず、実験者とロボットアバタはテーブルを挟み、対面した状態で実験を開始する。実験者は、ロボットアバタに特定の色のファイルを選択するように声で指示を出す。被験者は、ロボットアバタを介して実験者に指示された色のファイルを声とファイルの方向を指し示すジェスチャーで選択する。例えば、実験者が「赤色のファイルを選んでください」と声をかけた場合、被験者はロボットアバタを介して、赤色のファイルの方向をジェスチャーで指し示し、ロボットアバタの音声で「赤色のファイルはこれです」と伝えることでファイルを選択する。この試行を3回行い1セットとした。実験は2セット行い、1セット目の終了後と2セット目の終了後それぞれでアンケートに答えてもらった。実験者の色のついたファイルの選択の指示はランダムとした。

本実験は、男女10人の被験者に対して行った。アンケート項目は表2-1に示す通りであり、7段階のリッカート尺度(1:全くそう思わない, 2:そう思わない, 3:あまりそう思わない, 4:どちらともいえない, 5:ややそう思う, 6:そう思う, 7:非常にそう思う)で評価してもらった。

表2-1 アンケート項目

指示の理解	Q1 指示は理解できましたか？
同室感	Q2 自分自身が相手と同じ部屋にるように感じましたか？ Q3 自分自身ではなく操作するロボットが相手と同じ部屋にるように感じましたか？
共同作業感	Q4 自分自身が相手と共同で作業したように感じましたか？ Q5 自分自身ではなく操作するロボットが相手と共同で作業したように感じましたか？
コミュニケーションのしやすさ	Q6 自分自身が相手とコミュニケーションしやすいと感じましたか？ Q7 自分自身ではなく操作するロボットが相手とコミュニケーションしやすいと感じましたか？
身体所有感	Q8 ロボットの身体を自分の身体のように感じましたか？
運動主体感	Q9 自分がロボットの身体を動かしているように感じましたか？
なりきり感	Q10 ロボットになりきっているように感じましたか？
動作影響	Q11 ロボットのような動きをしてしまったように感じましたか？

2.1.5 実験結果

実験結果を図 2-7、表 2-2 に示す。図 2-7 のエラーバーは標準偏差を示す。

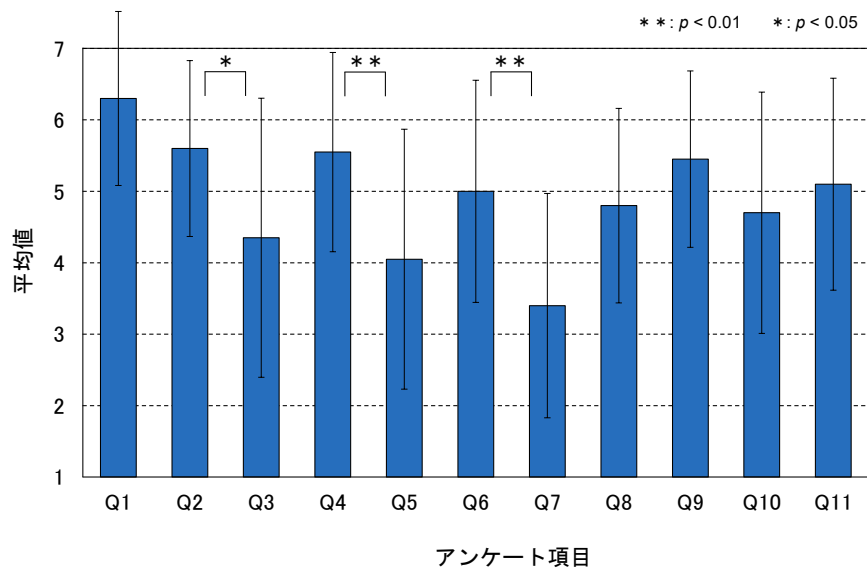


図 2-7 没入型ロボットアバタによる実験結果

表 2-2 没入型ロボットアバタによる実験結果（数値データ）

		平均（標準偏差）		p 値 (t 検定)
指示の理解	Q1	6.30	(1.22)	
同室感	Q2	5.60	(1.23)	$p = 0.020$
	Q3	4.35	(1.95)	
共同作業感	Q4	5.55	(1.39)	$p = 0.006$
	Q5	4.05	(1.82)	
コミュニケーションの しやすさ	Q6	5.00	(1.56)	$p = 0.003$
	Q7	3.40	(1.57)	
身体所有感	Q8	4.80	(1.36)	
運動主体感	Q9	5.45	(1.23)	
なりきり感	Q10	4.70	(1.69)	
動作影響	Q11	5.10	(1.48)	

まず、Q1の評価より、指示の理解に関しては、被験者はロボットアバタを介して、実験者の指示を理解しながらコミュニケーションできたことが分かる。

次に、同じ部屋にいる感覚 (Q2, Q3)、共同で作業している感覚 (Q4, Q5)、コミュニケーションのしやすさ (Q6, Q7) について t 検定により比較した。Q2 と Q3 については、Q2 の自分自身が相手と同じ部屋にいる感覚の評価が高く、有意な差 ($p = 0.020$) があった。また、Q4 と Q5 については、Q4 の自分自身が相手と共同作業している感覚の評価が高く、有意な差 ($p = 0.006$) があった。そして、Q6 と Q7 については、Q6 の自分自身が相手とコミュニケーションしやすいと感じる評価が高く、有意な差 ($p = 0.003$) があった。このことから、本システムでは、操作するロボットがではなく、自分自身が、相手と同じ部屋にいる感覚、相手と共同で作業している感覚、でコミュニケーションできたと言える。

Q8 の身体所有感、Q9 の運動主体感に関する評価については、評価の値が 4.5 以上であり、概ねその感覚を感じる傾向にあることが分かった。要するに、ロボットアバタの身体を自分の身体のように感じ、またその身体を自分が動かしていると感じることができ、ロボットアバタに乗り移る感覚の生起があったと考えられる。

Q10 のなりきり感、Q11 の動作影響に関する評価についても、評価の値が 4.5 以上であり、ロボットになりきっているような感覚及びのロボットのような動きをしてしまったような感覚を概ね感じている傾向にあることが分かった。

2.1.6 考察

上述した実験結果から、遠隔ユーザの意識及び人間関係の構築に関して考察する。本章では、没入型ロボットアバタを使用する遠隔ユーザの「誰が相手とコミュニケーションしているのか」という遠隔ユーザの意識に注目し調査した。開発した没入型ロボットアバタを使用することで、遠隔ユーザは、図2-8に示すように、自分自身が、相手と同じ部屋にいる感覚、相手と共同で作業している感覚であることが分かった。また同時に、ロボットになりきっているような感覚及びのロボットのような動きをしてしまったような感覚もあることが分かった。要するに、単にロボットを遠隔操作し、そのロボットが相手とコミュニケーションしているという意識ではなく、あたかも自分自身がロボットの身体に移り、相手と同じ部屋でコミュニケーションしているという意識で、関係を築くことができることが示唆された。

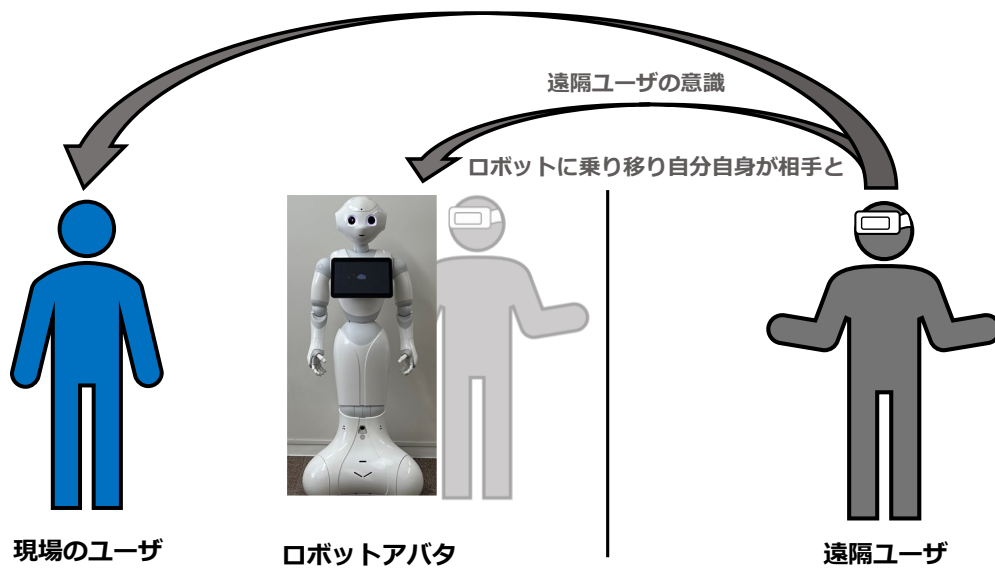


図2-8 開発した没入型ロボットアバタを使用する遠隔ユーザの意識

2.2 活用実験

没入型ロボットアバタを用いて、実際に研究室紹介などを行う活用実験を実施した。本セクションでは、遠隔ユーザと現地ユーザを対象に行ったアンケート評価を基に、ロボットアバタを用いた際のユーザの意識について議論する。

2.2.1 実験システム

本実験システムは、セクション 2.1 のプロトタイプを改良した。図 2-9 に、そのシステム構成を示す。まず、本システムでは、ロボットアバタ側と遠隔ユーザ側のリアルタイム遠隔通信においては、Web Real-Time Communication (WebRTC) を採用した。WebRTC は、ブラウザ間での映像や音声などのストリーミングを可能にする技術である。本システムでは、WebRTC プラットフォーム SDK である SkyWay (NTT Communications) を使用し、ロボットアバタ側と遠隔ユーザ側のリアルタイム遠隔通信を行った。図 2-9 に示すように、THETA V で取得した 360 度映像及び音声は、THETA V と USB 接続された小型スティック PC (Intel Compute Stick m3) から、HMD (Meta Quest 3) に送信されるシステムとした。具体的に、小型スティック PC と HMD 間の送受信においては、SkyWay SDK を使用し通信するための Web アプリケーションを作製し、低遅延化を図り Peer to Peer (P2P) での通信を実装した。小型スティック PC 及び HMD ではそれぞれ作成された Web アプリケーションで、SkyWay SDK により作成された P2P コミュニケーションルームを介してお互いリアルタイム遠隔通信ができる。実際のシステムの動作について、小型スティック PC からの 360 度映像及び音声は、P2P コミュニケーションルームを介して、HMD 側の Web アプリケーションへ配信される。音声は、HMD のスピーカから出力される。映像に関しては、HMD 側の Web アプリケーション内に実装された A-Frame (WebVR オープンソースフレームワーク) により、送られてきた 360 度映像を天球に貼り付けることで、HMD で没入映像を見るシステムとした。なお、THETA V 及び小型スティック PC の取り付け位置に関しては、THETA V は取り付け用のアタッチメントを 3D プリンタにより PLA 素材で作製し Pepper の胸部に取り付け、また小型スティック PC は Pepper の背中にテープで固定した (図 2-10)。

動作機能に関しては、Kinect v2 を用いて遠隔ユーザのボディトラッキングを行い、ロボットアバタに連動させるシステムとした。Kinect v2 で取得されたボ

デイトラッキングデータから、ロボットアバタへ反映させる両肩のピッチ角、ロール角、両肘のロール角、ヨー角、両手首のヨー角、ヒップのピッチ角、頭部のヨー角の計算及び、両手の開く・閉じるの状態の判定を行う。これらの関節角度データ及び両手の状態のデータは、サーバを介して、ロボットアバタ側の PC 上の Choregraphe で読み取り、ロボットアバタへ反映させるシステム設計とした。

遠隔ユーザ側の音声に関しては、PC に有線接続されたマイク (エレコム HS-MC06BK) で取得され、Web SpeechAPI によりテキストデータに変換され、HTTP 通信によりサーバへ送られる。サーバに送られた音声のテキストデータは Choregraphe を通じて読み取り、Pepper の声で音声を出力するシステムとした。

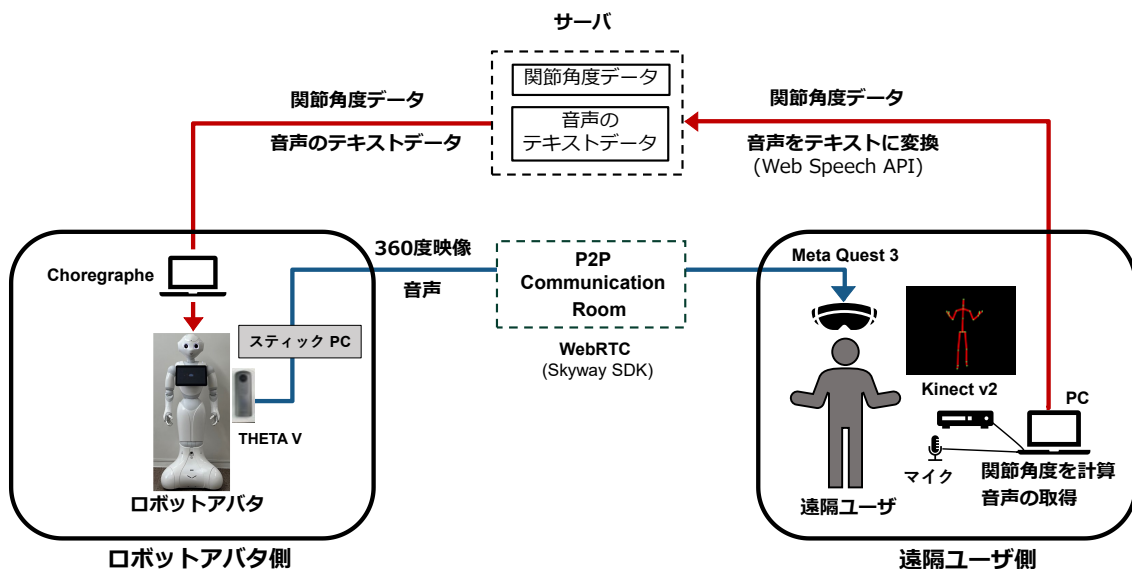


図 2-9 改良したシステム構成

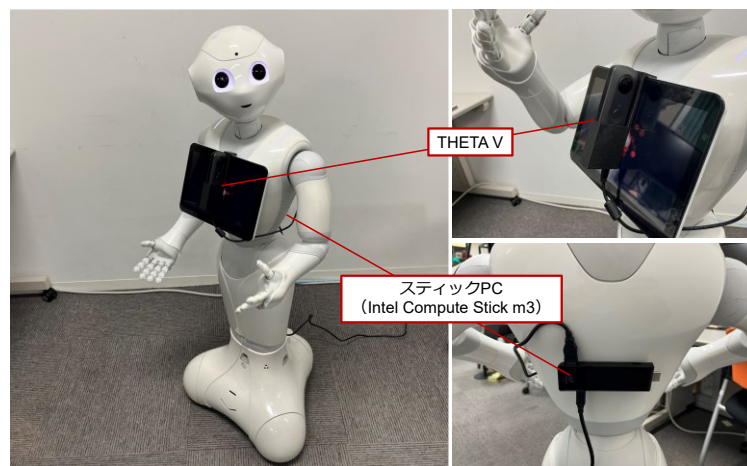


図 2-10 THETA V 及び小型スティック PC の取り付け位置

2.2.2 評価

実験者（遠隔ユーザ）がロボットアバタを操作し、実験者が所属する研究室を知らない人（被験者）へ研究室の紹介を行った。被験者とロボットアバタは向かい合い、ロボットアバタは、ポスターを指し示めしたりジェスチャーしたりしながら研究室の紹介を行った（図 2-11）。研究室紹介を聞いた被験者は、一方的に話を聞くだけではなく、ロボットアバタに質問するなどロボットアバタとコミュニケーションした。被験者には、実験者がロボットアバタを操作していることをあらかじめ知らせていた。実験時間は、説明と質疑応答を含めて 5 分程度であり、実験終了後、被験者は 10 人に、アンケートに回答してもらった。アンケート項目は表 2-3 に示す通りであり、5 段階のリッカート尺度（1:全くそう思わない, 2:そう思わない, 3:どちらともいえない, 4:そう思う, 5:非常にそう思う）で評価してもらった。なお、現場のユーザには、あらかじめ誰がロボットアバタを操作しているのかを知らせていた。

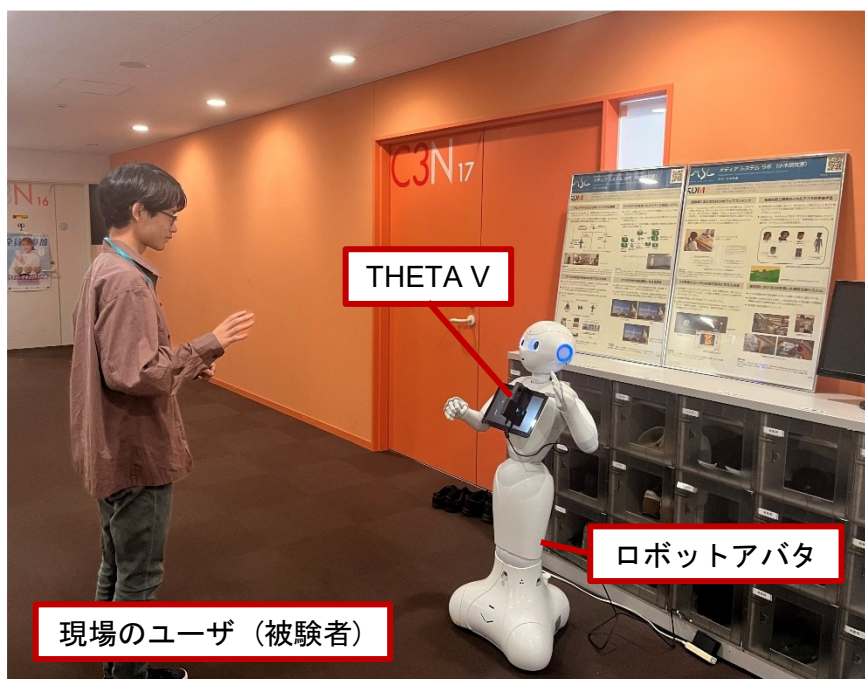


図 2-11 ロボットアバタによる研究室紹介

表 2-3 アンケート項目 1

コミュニケーション相手 への意識	Q1 ロボットと会話しているように感じた
	Q2 遠隔ユーザと会話しているように感じた

別の 10 人の被験者に対して、被験者がロボットアバタを操作して自己紹介や自分が行う研究について紹介してもらった。実験時間は、同様に説明と質疑応答を含めて 5 分程度とし、表 2-4 に示アンケートに回答してもらった。

表 2-4 アンケート項目 2

相手と同じ場所 にいる感覚	Q1 自分自身が相手と同じ場所にいるように感じた
	Q2 自分自身ではなく操作するロボットが相手と同じ場所にいるように感じた
身体運動の意識	Q3 自分自身の身体を動かしているように感じた
	Q4 自分自身ではなく操作するロボットの身体を動かしているように感じた

2.2.3 結果

図 2-12, 表 2-5 にロボットアバタとコミュニケーションした現場のユーザの評価結果, 図 2-13, 表 2-6 にロボットアバタを操作した遠隔ユーザの評価結果を示す。図 2-12, 図 2-13 のエラーバーは標準偏差を示す。

図 2-12, 表 2-5 より, ロボットアバタとコミュニケーションした現場のユーザのコミュニケーション相手への意識について, 比較するため Q1 と Q2 において t 検定を行った。その結果, Q1 のロボットと会話している感覚が有意に高い評価 ($p=0.037$) となった。

図 2-13, 表 2-6 より, 同様に Q1 と Q2, Q3 と Q4 において t 検定を行うと, Q1 の自分自身が相手と同じ場所にいる感覚が有意に高い評価 ($p=0.039$) となった。一方で, Q3 と Q4 の間に有意な差はなく, 自分自身の身体を動かしている感覚及びロボットの身体を動かしている感覚の両方をやや感じていることが分かった。

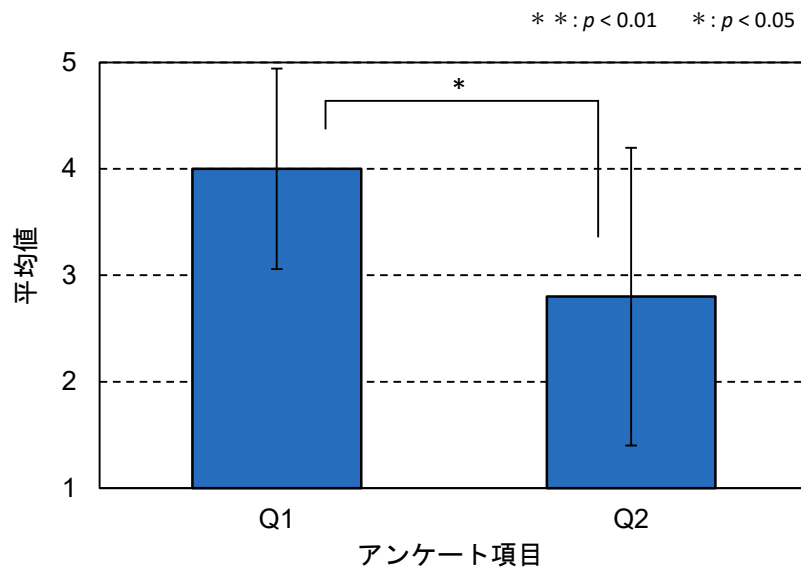


図 2-12 ロボットアバタとコミュニケーションした現場のユーザの実験結果

表 2-5 ロボットアバタとコミュニケーションした現場のユーザの実験結果（数値データ）

		平均（標準偏差）		p 値（t 検定）
コミュニケーション相手 への意識	Q1	4.00	(0.94)	$p = 0.037$
	Q2	2.80	(1.40)	

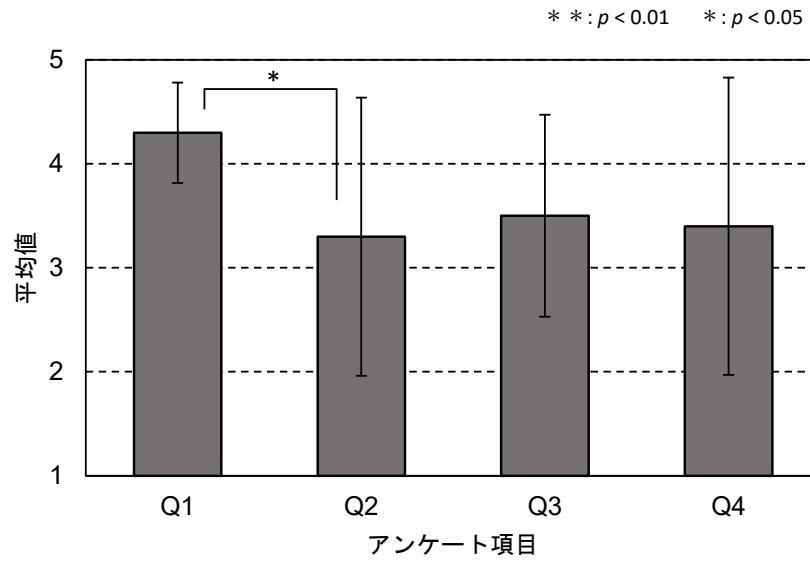


図 2-13 ロボットアバタを操作した遠隔ユーザの評価

表 2-6 ロボットアバタを操作した遠隔ユーザの実験結果 (数値データ)

		平均 (標準偏差)		p 値 (t 検定)
相手と同じ場所にいる感覚	Q1	4.30	(0.48)	$p = 0.039$
	Q2	3.30	(1.33)	
身体運動の意識	Q3	3.50	(0.97)	$p = 0.873$
	Q4	3.40	(1.43)	

2.2.4 考察

評価結果より、遠隔ユーザは、自分自身があたかも相手と同じ場所にいるような感覚でコミュニケーションしていることが分かった。また、自分自身の身体を動かしていると同時にロボットの身体を動かしているように感じる事が分かった。この結果は、セクション2.1の結果と同様に、あたかもロボットアバタに乗り移るような感覚でコミュニケーションできていると考えられる。

一方で、現地のユーザは、あらかじめ誰がロボットアバタを操作しているのかを知っている状態であったが、遠隔ユーザとはなく、図2-14のように目の前のロボット自体とコミュニケーションしている感覚があることが示された。つまり、現場のユーザは、ロボット自体とコミュニケーションしている感覚であるが、遠隔ユーザはロボットに乗り移り自分自身が相手とコミュニケーションしている感覚であり、お互いのコミュニケーション相手への意識が異なる状態で関係の構築が行われることが分かった。特に、遠隔ユーザにとっては、匿名でロボットとして現場のユーザと関係を構築できることが明らかになった。また、遠隔ユーザが匿名であることで、見かけ、性別、年齢などといった様々な属性やアイデンティティにとらわれず現場のユーザ関係の構築ができるという利点が考えられ、さらなる応用が期待できる。

一方で、本システムにおける発話機能は、遠隔ユーザの発話を一度テキストデータに変更し、それをロボットアバタが読み取り話すシステムであるため、やや発話に遅れがあり、より自然なコミュニケーションを行うためには改善が必要であることが分かった。後述する第5章での新たなアバタを開発する際には、改善しほぼ遅延がない音声機能を実装した。

また、本章では、1種類の人型ロボットをロボットアバタとして開発し、評価・分析を行ったが、アバタの見かけなどによって、現場のユーザの意識は変化すると考えられる。したがって、アバタの見かけなどといったアバタ表現の違いにおける、現場のユーザの意識についての調査が次に必要であると考えられた。

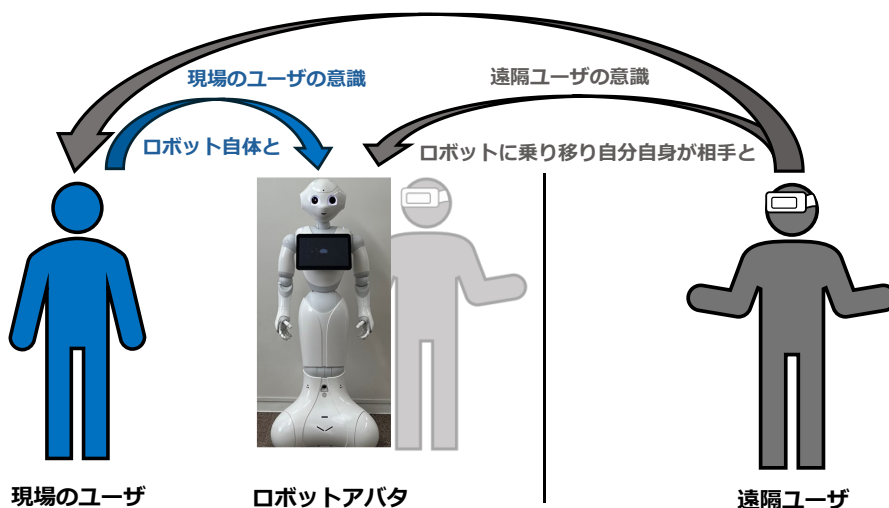


図 2-14 開発した没入型ロボットアバタを使用する遠隔ユーザ及び現場のユーザの意識

2.3 本章のまとめ

本章では、自分自身がロボットアバタに乗り移り遠隔地にいる相手と同じ場所にいる感覚でコミュニケーションができる没入型ロボットアバタを開発し、評価実験を行った。

評価実験の結果、遠隔ユーザは単にロボットを遠隔操作し、そのロボットが相手とコミュニケーションしているという感覚ではなく、あたかもロボットの身体に乗り移り、自分自身が相手と同じ場所でコミュニケーションしているという意識であることが示唆された。一方で、ロボットアバタとコミュニケーションする現場のユーザは、遠隔ユーザとではなく、ロボット自体とコミュニケーションしているという意識であることが示された。つまり、お互いのコミュニケーション相手への意識が異なる状態で関係の構築ができることが分かった。

本章では、1 種類の人型ロボットをロボットアバタとして開発し調査したが、アバタの見かけなどのアバタ表現の違いでユーザの意識が変化すると考えられ、その調査が次に必要であることが分かった。

第3章

アバタと対面する現場のユーザの意識

Awareness of on-site users who interact face-to-face with avatars

3.1 物理的な実体の有無及びアバタの見かけの違いの影響

3.1.1 概要

現在、遠隔コミュニケーションの方法として、実空間でのオフライン会議に、遠隔地の人が参加するためにオンラインビデオ会議ツールを組み合わせた、ハイブリッド型の遠隔コミュニケーションが行われることが多くなった。この場合、実空間で同じ現場にいる会議参加者同士は自然な会話や共同作業を行うことができるが、実空間にいる会議参加側から遠隔ユーザが同じ空間にいるという感覚を得ることは困難である。そのため、ハイブリッド型の遠隔コミュニケーションにおいて、実空間で同じ現場にいない遠隔ユーザの存在をどのように表現するかが重要な研究課題の一つである。

遠隔ユーザの存在を共有させる方法としては、実空間において、遠隔ユーザをCGで具現化させるARアバタ、あるいは物理的に実体が存在するロボットアバタを用いて遠隔コミュニケーションを行う方法などの研究・開発が盛んに行われている。しかしながら、実空間でアバタを利用して、同じ空間にいない遠隔ユーザの存在感を表現するためのアバタに求められる表現に関しては、十分に検討されていない。具体的に「アバタは遠隔ユーザに似たARの見かけのみが存在すれば良いのか」、あるいは「アバタは遠隔ユーザに似た見かけがなくても物理的な実体のみ存在すれば良いのか」、または「アバタは遠隔ユーザに似た見かけも物理的な実体も必要ないのか」といった、アバタの見かけや物理的な実体の有無という観点が挙げられる。

こうしたアバタの表現の違いは、そのアバタと対面する現場のユーザのコミュニケーション相手に対する意識に影響を与えられられる。具体的には、「自分は誰とコミュニケーションしているのか」というようなコミュニケーション相手に対する意識である。図3-1に示すように、アバタと対面する現場のユーザは、コミュニケーション相手を、アバタ自体と意識するのか、あるいは遠隔ユーザと意識するのかが挙げられる。この「自分は誰とコミュニケーションしているのか」という意識は、コミュニケーション相手と人間関係を築くうえで重要となる。そこで、本研究では、実際に、アバタの見かけの違い、物理的な実体の有無という点に注目し、「遠隔ユーザに似た見かけのARリアルアバタ」、「遠隔ユーザに似た見かけでない物理的な実体のみあるロボットアバタ」、「遠隔ユーザに似た見かけも物理的な実体もないARロボットアバタ」の3種類のアバタ

を開発した。そして、評価実験により、アバタと対面する現場のユーザのコミュニケーション相手に対する意識について調査し、人間関係の構築について議論した。

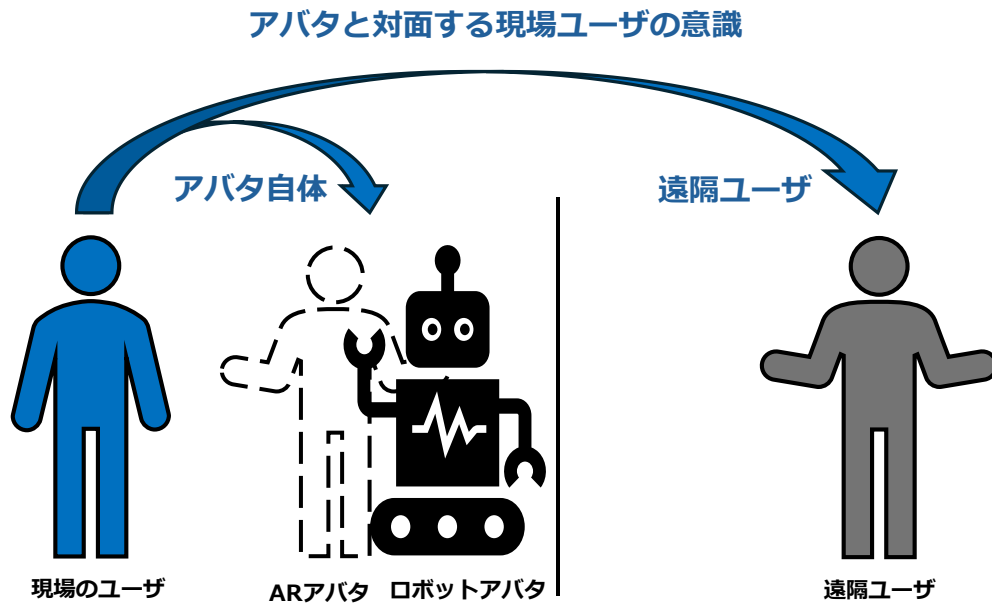


図 3-1 アバタと対面する現場のユーザのコミュニケーション相手への意識

3.1.2 アバタの設計

本研究では、「遠隔ユーザに似た見かけの AR リアルアバタ」、「遠隔ユーザに似た見かけではない物理的な実体のみあるロボットアバタ」、「遠隔ユーザに似た見かけも物理的な実体もない AR ロボットアバタ」の3種類のアバタと、実際の人（遠隔ユーザ本人）（図 3-2(a)）とのコミュニケーションと比較評価した。

まず、本研究で扱った AR リアルアバタとは、本物の人の見かけに似せて作製したリアリスティックなアバタのことであり、本研究では遠隔ユーザ本人の見かけに似せた 3 次元モデルを作製した（図 3-2(b)）。このリアルアバタは、Reallusion Inc.が提供しているソフトウェア Character Creator 3 を用いて遠隔ユーザの顔写真を基に作製した（図 3-3）。そして、図 3-4 に示すように Unity 上で母音の「あ、い、う、え、お」の音声に連動して、口を動かせるようにリップシン

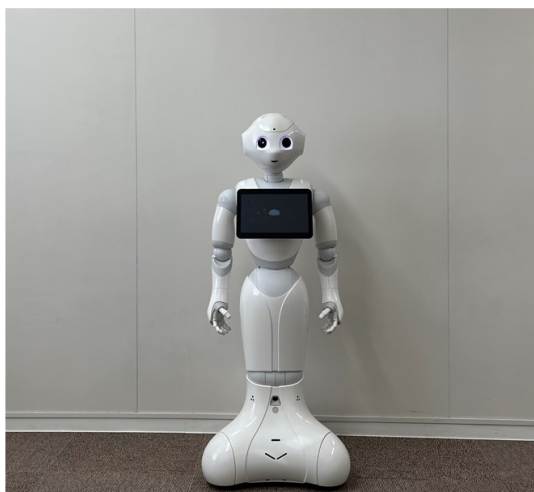
クを作製した。また、リアルアバタの身長は、実験者の身長に合わせて、約 168cm で実空間に表示されるように作製した。ロボットアバタに関しては、2 章のロボットアバタと同様に、ソフトバンクロボティクスが提供する人型ロボット Pepper を用いてロボットアバタとして開発した（図 3-2(c)）。AR ロボットアバタに関しては、「遠隔ユーザに似た見かけも物理的な実体もない AR ロボットアバタ」として、実物の Pepper と同じ見かけ、同じ身長の 3 次元モデル（図 3-2(d)）を AR で表示するアバタとした。



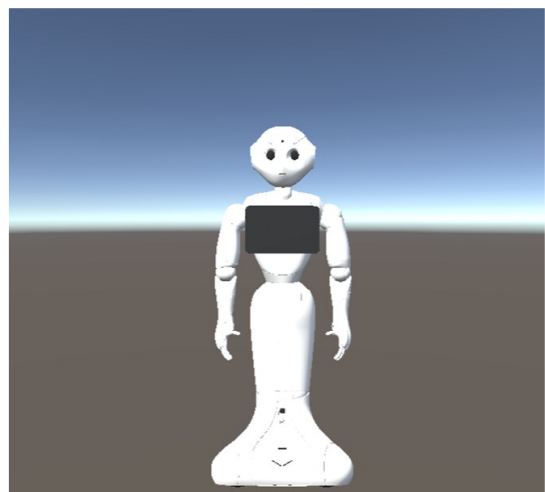
(a) 実際の人（遠隔ユーザ本人）



(b) AR リアルアバタ用の 3 次元モデル



(c) Pepper（ロボットアバタ用に開発）



(d) AR ロボットアバタ用の 3 次元モデル

図 3-2 遠隔ユーザ本人と各種アバタ



図 3-3 Character Creator 3 によるリアルアバタの作製

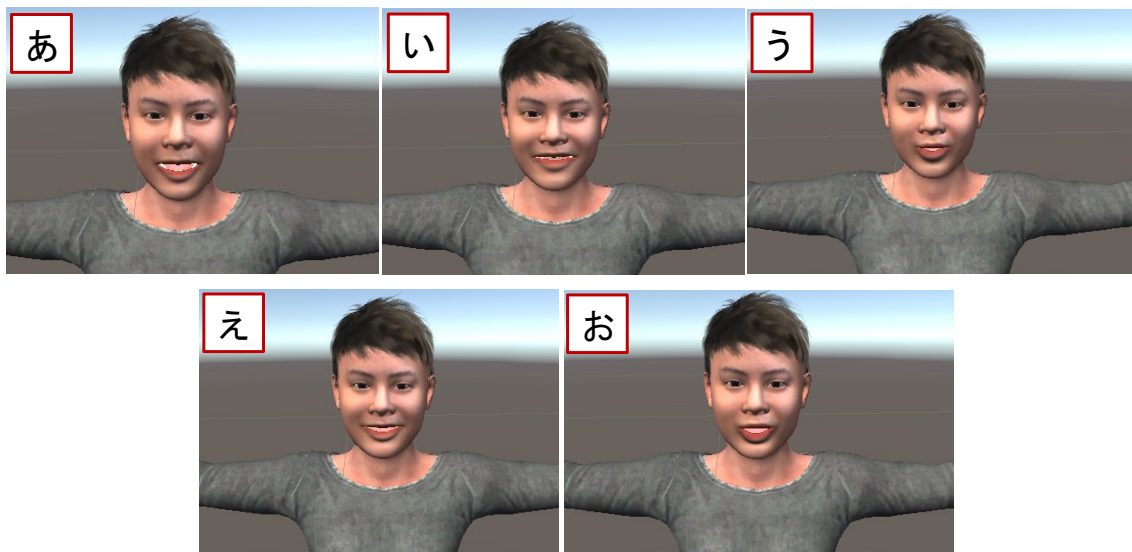


図 3-4 リアルアバタのリップシンク

3.1.3 実験システムの設計

(1) AR リアルアバタ

図 3-5 に AR リアルアバタを用いた実験システムを示す。本システムでは、被験者と遠隔ユーザは、図 3-5 のように、それぞれ別の部屋でコミュニケーションする。被験者側の部屋では、被験者は AR リアルアバタと対面しコミュニケーション

ョンする。この時、AR リアルアバタは遠隔ユーザが操作するが、動きについては、ボディトラッキングにより、遠隔ユーザの動きと AR リアルアバタの動きを連動させるシステムとした。使用した機器は、AR リアルアバタを提示するための HoloLens 2 (Microsoft)、遠隔ユーザの体の動きをトラッキングするための Azure Kinect (Microsoft)、ゲームエンジン Unity を用いてアバタの動作連動及び音声出力させるためのアバタ制御用 PC が 1 台、遠隔ユーザ側と被験者側の通信のための通信用 PC が 2 台である。具体的に図 3-5 より、まず、遠隔ユーザは、アバタ制御用 PC に接続された Azure Kinect の前に立つとボディトラッキングされる。同時に、アバタ制御用 PC 上で作成した Unity アプリケーションにより、リアルアバタの Head, Neck, Chest, Spine, Hips, Shoulder, UpperArm, LowerArm, Hand, UpperLe, LowerLeg, Foot のボーンがボディトラッキングデータによりリアルタイムで連動してアバタが動作する（図 3-6）。そして、HoloLens 2 の Holographic Remoting Player 機能を使いアバタ制御用 PC から同じ建物内の別の部屋にいる被験者が被る HoloLens 2 へアバタを表示する。アバタは、HoloLens 2 を被った被験者と対面する形で表示される。遠隔ユーザの声はアバタ制御用 PC に有線接続されたマイク（エレコム HS-MC06BK）から Unity アプリケーションを通じて、HoloLens 2 へ出力される。AR リアルアバタの声は実験者の声とした。なお、被験者側からの音声は、ビデオ会議ツール Zoom を用いて被験者側の通信用 PC から遠隔ユーザ側の通信用 PC へ出力されるものとした。また、HoloLens 2 を被った被験者側の視点映像は、HoloLens 2 から遠隔ユーザ側の通信用 PC へ出力でき、被験者と対面しているアバタの動きが遠隔ユーザから確認できるシステムとした。

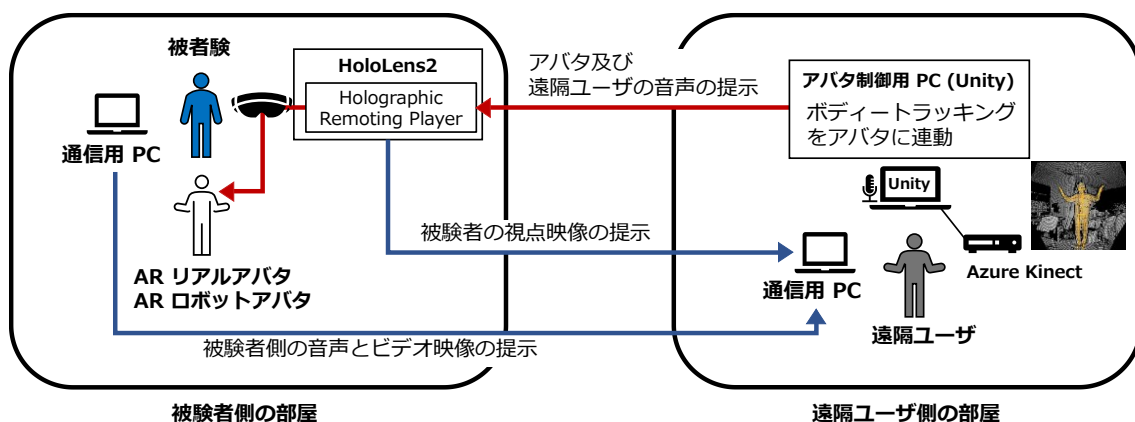


図 3-5 AR アバタの遠隔コミュニケーションシステム

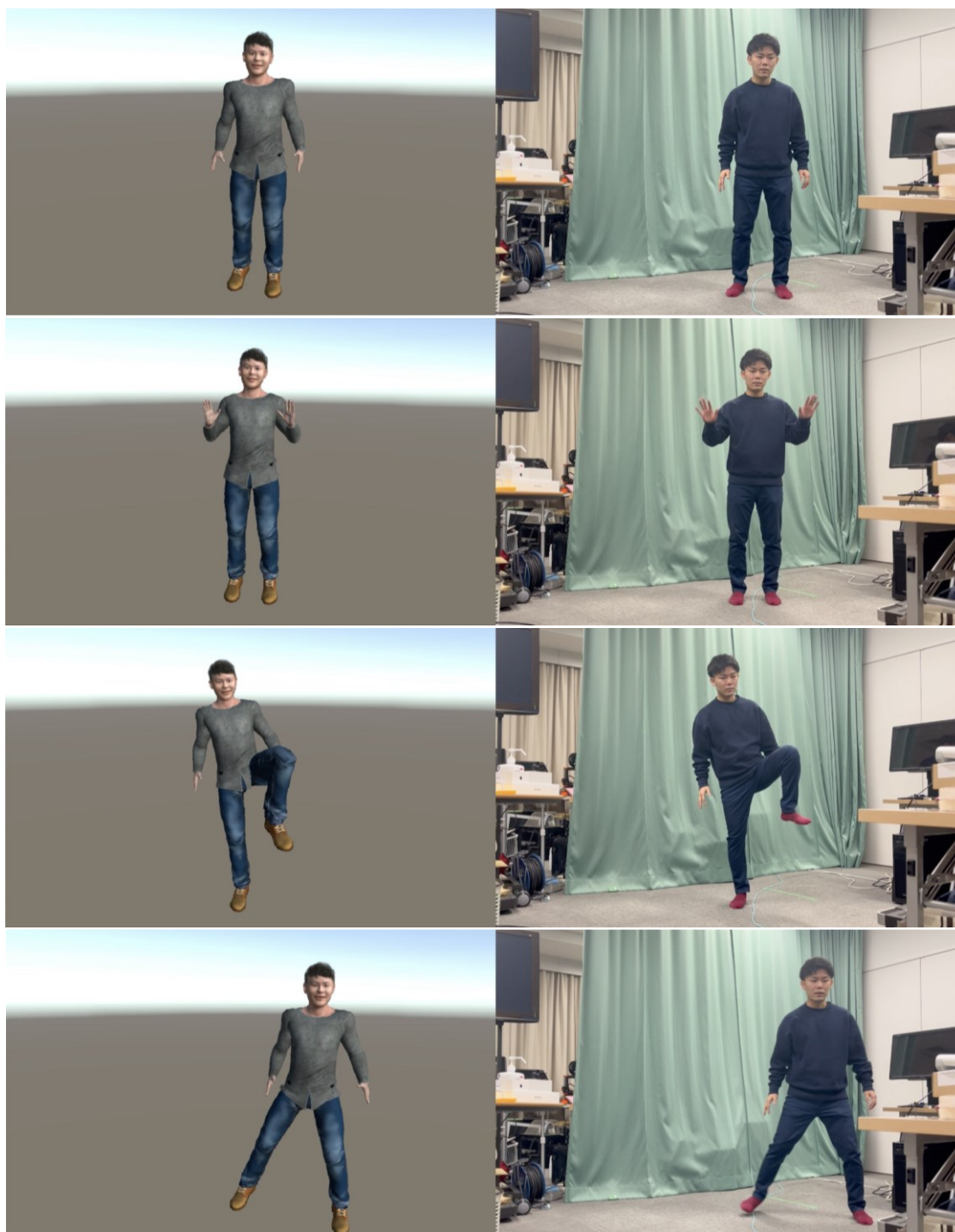


図 3-6 AR リアルアバタの動作の連動

(2) ロボットアバタ

図 3-7 にロボットアバタを用いた実験システムを示す。本システムでは、(1)の AR リアルアバタの実験システムと同様に、被験者と遠隔ユーザは、図 3-7 のように、それぞれ別の部屋でコミュニケーションする。被験者側の部屋では、被験者はロボットアバタと対面しコミュニケーションする。この時、ロボットアバタは別の部屋にいる遠隔ユーザによって操作される。使用した機器は、ロボットアバタとして用いる実物の Pepper, サーバ, ロボットアバタ制御用 PC 1 台, 被験者側の通信用 PC 1 台である。ロボットアバタの制御に関して、Pepper の仕様は、テキストデータから音声を出力する仕様となっており、遠隔ユーザの声をそのまま出力ができないため、遠隔ユーザの声をテキストデータに変換し、Pepper の音声で出力するシステムが必要となった。動作に関しては、あらかじめ必要な動作をプログラムし、動作コマンドを入力操作することで、プログラムされた動作を行うシステムとした。したがって、ロボットアバタの制御は、ロボットアバタ制御用 PC 上で作製された web アプリケーションを通じて行うシステムとした。Web アプリケーションには、遠隔ユーザの声を入力する機能とロボットアバタを動作させるための動作コマンドを入力する機能を実装した。遠隔ユーザの声による音声入力は、web アプリケーション上の音声入力ボタンを押して、PC に向かって話す。その後、Web Speech API により、入力された声は、テキストとして変換され、HTTP 通信によりサーバへ送られ記録される。例えば、遠隔ユーザが「こんにちは」と話した場合、「こんにちは」とテキストデータに変換され、サーバへ送られ記録される。ロボットアバタを動作させるための動作コマンドの入力は、web アプリケーション上のボタンを押すことで、HTTP 通信によりサーバへ動作情報が送られ記録される。サーバに記録された音声テキスト及び動作コマンドは、Pepper 内に作成されたロボットアプリケーションが読み取り、音声出力及び動作が行われる。なお、被験者側の音声及び映像は、被験者側の通信用 PC と遠隔ユーザ側のロボットアバタ制御用 PC をビデオ会議ツール Zoom で通信し確認した。第 2 章同様に、本ロボットアバタシステムにおける発話機能は、遠隔ユーザの発話を一度テキストデータに変更し、それをロボットアバタが読み取り話すシステムであるため、やや発話に遅れがあったが、後述する実験において、まずロボットアバタが発話し、その後実験が開始される形式であったため、この遅れに問題はなかった。

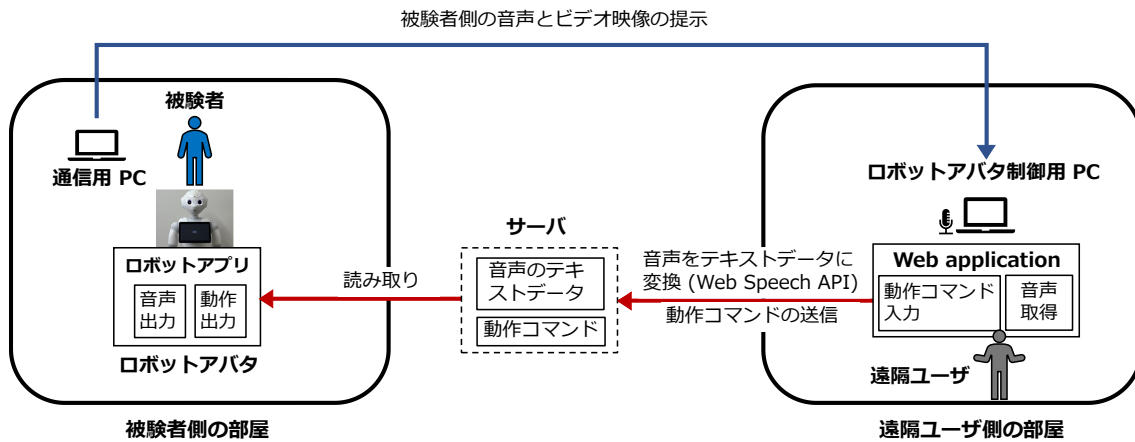


図 3-7 ロボットアバタの遠隔コミュニケーションシステム

(3) AR ロボットアバタ

AR ロボットアバタを用いた実験システムは、(1) AR リアルアバタで説明した実験システム（図 3-5）と同様のシステムとした。AR ロボットアバタの場合には、頭、肩、腕を遠隔ユーザと連動して動くシステムとした。なお、実物の Pepper が動かせる頭、肩、腕の関節の可動域と合わせるため、頭、肩、腕の可動域をアバタ制御用 PC で作成した Unity アプリケーション上で制限した。また、AR ロボットアバタの音声に関しては、あらかじめ録音した Pepper の音声を再生するものとした。

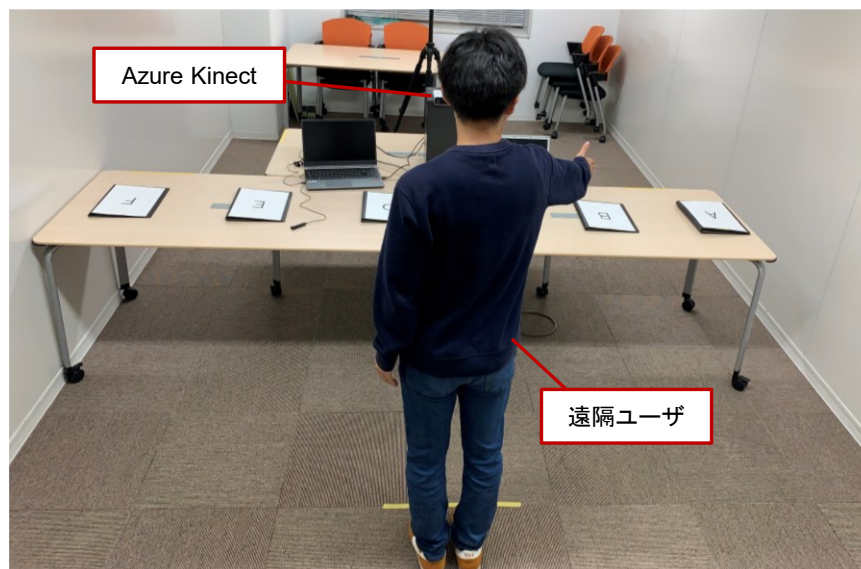
3.1.4 評価実験

実験は、被験者がアバタと共同作業するタスクを行い、アンケートにより評価を行った。共同作業の内容は、アバタが手で指した方向のファイル（6つの中から3つ）を被験者にとって重ねてもらった作業を行った。実験環境は、2つの部屋を用意し、1つの部屋には被験者が1人（図 3-8 (a)）、もう1つの部屋には遠隔ユーザ（実験者）が1人いるようにした（図 3-8 (b)）。被験者側の部屋と遠隔ユーザ側の部屋は、同じ環境を作り、遠隔ユーザが手で指した方向と、被験者側の部屋に提示されるアバタが手で指す方向が同じとなる環境を作った。実験環境としては、被験者とアバタは、6つファイルが置かれた高さ 70 cm テーブルを挟み、対面するものとした。被験者からファイルをまでの距離を 1 m、ファイルからア

バタまでの距離を 1 m, また実験者とアバタの距離は 2m とした. 6つのファイルはテーブルの上に 50 cm 間隔で配置した. 同様に遠隔ユーザ側の部屋も, 6つのファイルをテーブルの上に 50 cm 間隔で配置し, ファイルから遠隔ユーザまでの距離は 1m とした. なお, アバタは, 遠隔ユーザと同じ向きで被験者の前に対面するように提示される.



(a) 被験者側の部屋



(b) 遠隔ユーザ（実験者）側の部屋

図 3-8 評価実験の環境

具体的な実験手順を以下に説明する．まず、被験者とアバタはテーブルを挟み、対面した状態で実験を開始する．アバタが、「それを取ってください」と声をかけ1つ目のファイルをアバタがランダムに手で指し、被験者はその方向のファイルを取りテーブルの上に置く．再び、アバタが、「それを取ってください」と声をかけ別のファイルをアバタがランダムに手で指し、被験者はその方向のファイルを取りテーブルの上に重ねて置く．この手続きで、アバタが手で指した方向のファイル（6つの中から3つ）を被験者にとって重ねてもらった作業を行った（図3-9）．なお、指示は、「それを取ってください」に統一し、アバタの声は、AR リアルアバタは実験者の声で、AR ロボットアバタ及びロボットアバタの声は、Pepper の音声とした．動きに関しては、AR アバタは、遠隔ユーザと連動した動きでファイルを手で指すことができる．ロボットアバタに関しては、6つのファイルを手で指す動作をプログラムし、web アプリケーション上のボタン操作で動作を操作した．

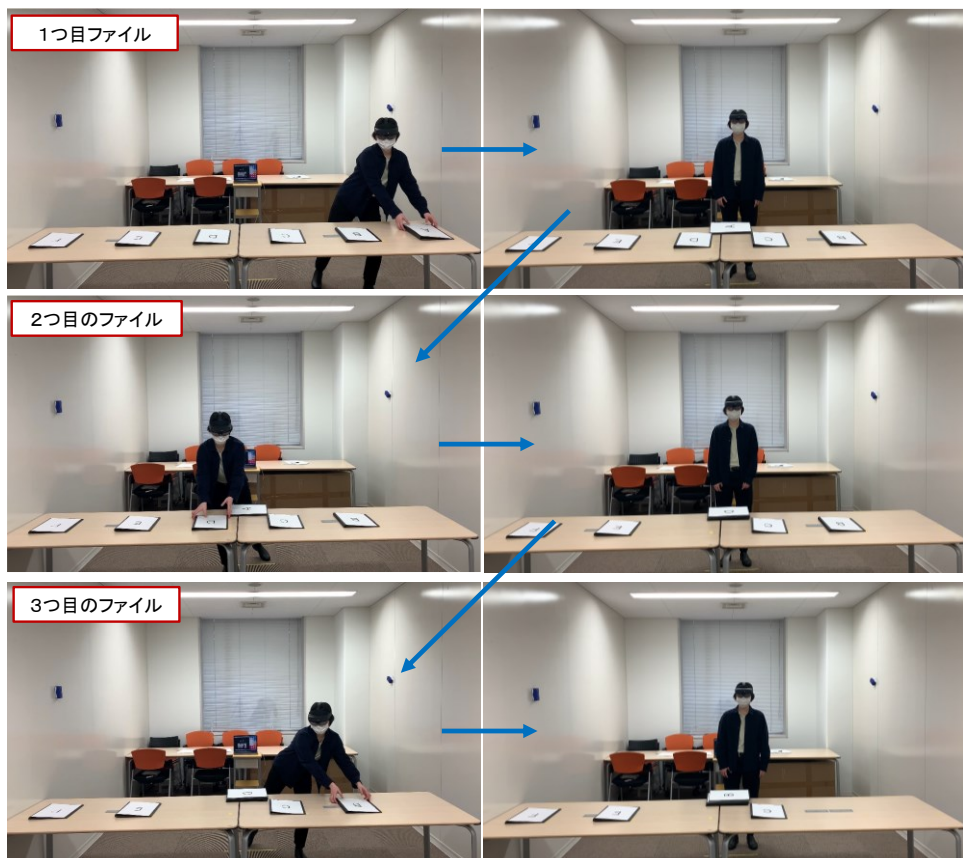


図3-9 実験タスク（被験者ファイルを重なる）

評価方法については、まず、アバタではなく、実際の人（実験者）と被験者による上述したファイルをとる共同作業を行う実験を行った（図 3-10 (a)）。この実際の遠隔ユーザ（実験者）が同じ部屋で指示を行った際に感じる評価を標準刺激 10 として、3 種類のアバタ図 3-10 (b), (c), (d) に対して感じる主観的評価を数値で、アンケートに答えるマグニチュード推定法で評価した。アンケート項目は、表 3-1 に示す。なお、被験者には、実験者がロボットアバタを操作していることをあらかじめ知らせていた。

3 種類のアバタごとに、共同作業終了のタイミングでそれぞれアンケート答えてもらった。3 種類のアバタと共同作業を行う実験の順番は、被験者ごとにランダムとした。被験者は、3 種類のアバタと共同作業を行う実験を 1 セットとし、2 セット行った。2 セット目も 1 セット目同様に、3 種類のアバタごとに共同作業終了のタイミングでそれぞれアンケート答えてもらった。実験は、20 代から 50 代の 10 人の被験者に対して行った。



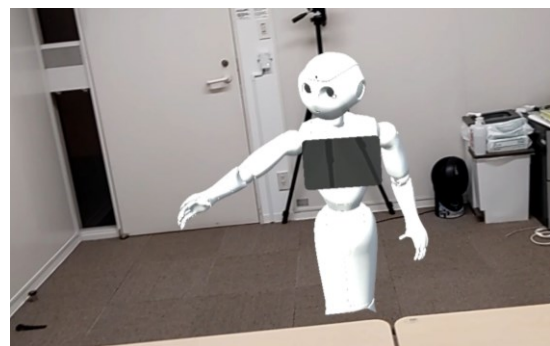
(a) 実際の遠隔ユーザ（実験者）



(b) AR リアルアバタ



(c) ロボットアバタ



(d) AR ロボットアバタ

図 3-10 実験者及び各種アバタの動作の様子

表 3-1 アンケート項目

指示の理解	Q1 指示は理解できましたか？
同室感	Q2 遠隔ユーザ(実験者)が同じ部屋にいるように感じましたか？ Q3 アバタが同じ部屋にいるように感じましたか？
共同作業感	Q4 遠隔ユーザ(実験者)と共同で作業したように感じましたか？ Q5 アバタと共同で作業したように感じましたか？
コミュニケーションのしやすさ	Q6 遠隔ユーザ(実験者)とコミュニケーションしやすいと感じましたか？ Q7 アバタとコミュニケーションしやすいと感じましたか？
好感	Q8 遠隔ユーザ(実験者)に好感を持てましたか？ Q9 アバタに好感を持てましたか？
信頼	Q10 遠隔ユーザ(実験者)を信頼できましたか？ Q11 アバタを信頼できましたか？

3.1.5 実験結果

図 3-11, 表 3-2 にアンケートの各項目の 3 種類のアバタ全て含めた評価結果を示す. 図 3-11 のエラーバーは標準偏差を示す.

まず, 遠隔ユーザとアバタとの対の評価項目である, Q2 と Q3, Q4 と Q5, Q6 と Q7, Q8 と Q9, Q10 と Q11 を t 検定により比較した. 図 3-11 より, 遠隔ユーザに対する各項 (Q2, Q4, Q6, Q8, Q10) の評価よりも, アバタに対する各項目 (Q3, Q5, Q7, Q9, Q11) の評価が有意に高くなる結果となった. つまり, 3 種類のアバタ全てを含めた結果においては, 遠隔のユーザではなく, アバタとの同室感 ($p < 0.001$), 共同作業感 ($p < 0.001$), コミュニケーションのしやすさ ($p = 0.032$), アバタへの好感 ($p < 0.001$), 信頼 ($p < 0.001$) を有意に高く感じていることが確認された.

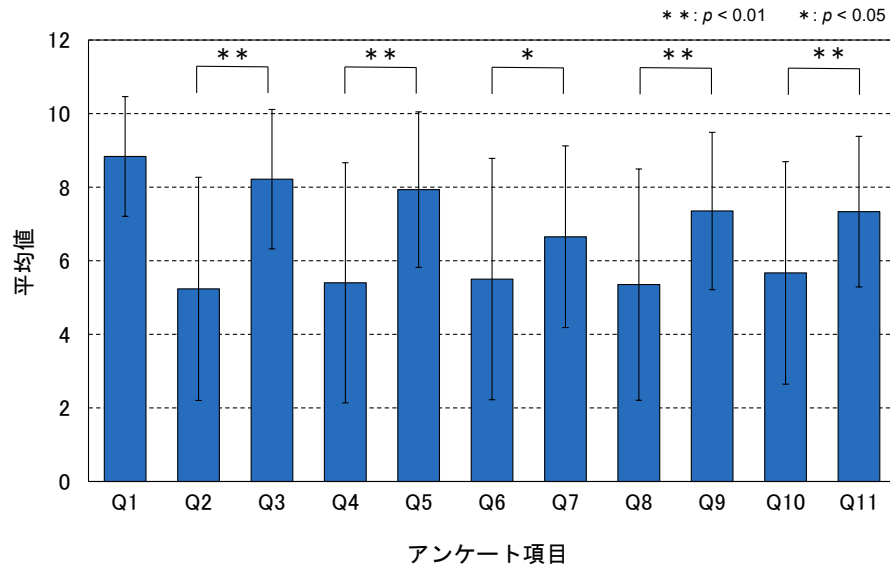


図 3-11 3 種類のアバタ全てを含めた評価結果

表 3-2 3 種類のアバタ全てを含めた評価結果 (数値データ)

		平均 (標準偏差)		p 値 (t 検定)
指示の理解	Q1	8.83	(1.63)	
同室感	Q2	5.23	(3.03)	$p < 0.001$
	Q3	8.22	(1.90)	
共同作業感	Q4	5.40	(3.26)	$p < 0.001$
	Q5	7.93	(2.11)	
コミュニケーションの しやすさ	Q6	5.50	(3.28)	$p = 0.032$
	Q7	6.65	(2.47)	
好感	Q8	5.35	(3.15)	$p < 0.001$
	Q9	7.35	(2.14)	
信頼	Q10	5.67	(3.02)	$p < 0.001$
	Q11	7.33	(2.05)	

次にアバタの物理的な実体（有り，無し），見かけ（遠隔ユーザ，遠隔ユーザではない）を因子（図 3-12）とする分散分析を行った．図 3-12 より，物理的な実体（有り，無し）に関して，物理的な実体が有る場合は，物理的な実体のみあるロボットアバタであり，物理的な実体が無い場合は，AR リアルアバタと AR ロボットアバタが含まれる．見かけ（遠隔ユーザ，遠隔ユーザではない）に関して，見かけが遠隔ユーザである場合は，AR リアルアバタであり，見かけが遠隔ユーザでない場合は，ロボットアバタと AR ロボットアバタが含まれる．

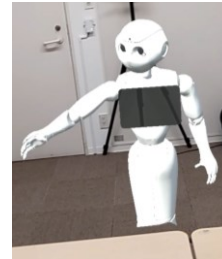
実際の遠隔ユーザ (実験者)	AR リアルアバタ	ロボットアバタ	AR ロボットアバタ
			
物理的な実体	無し	有り	無し
見かけ	遠隔ユーザ	遠隔ユーザではない	遠隔ユーザではない

図 3-12 アバタの物理的な実体の有無及び見かけの違い

まず，図 3-13，表 3-3 にアバタの物理的な実体（有り，無し）における各回答の結果を示す．図 3-13 のエラーバーは標準偏差を示す．図 3-13 より，Q1 のアバタによる指示の理解の項目に関しては，アバタの物理的な実体（有り，無し）において有意な差はなく，指示への理解に影響がないことが確認された．

Q3, Q5, Q7, Q9 の評価については，アバタの物理的な実体（有り,無し）において，有意な差 (Q3: $p = 0.001$, Q5 : $p = 0.002$, Q7: $p = 0.039$, Q9: $p = 0.004$) があり，アバタの実体が有る方が評価は高くなった．したがって,アバタに物理的な実体があることは遠隔ユーザではなく，目の前のアバタ自体との同室感，共同作業感，

コミュニケーションのしやすさ、アバタ自体への好感が高まることが分かった。

一方で、Q4, Q6, Q8, Q10 の評価については、アバタの物理的な実体の因子において有意な差はなかった。Q4, Q6, Q8, Q10 においては、アバタの物理的な実体が有る場合において、評価が比較的低い傾向にあった。つまり、遠隔ユーザとの同室感、共同作業感、コミュニケーションのしやすさ、遠隔ユーザへの好感、信頼に関しては、あまり感じていない傾向にあることが分かった。

また、Q11 のアバタに対する信頼における項目に関しては、物理的な実体（有り、無し）という要素で評価に有意な差はなかった。この点について考察すると、例えば、人とコミュニケーションする際に、その人を信頼するという場合には、その人が誰であるかといった情報や見かけなどという要素が信頼に影響し重要であると考えられる。アバタにおいても同様にそれらの要素は信頼という点で重要な要素と考えられるが、物理的な実体（有り、無し）という要素は信頼において影響を与えない結果になった。

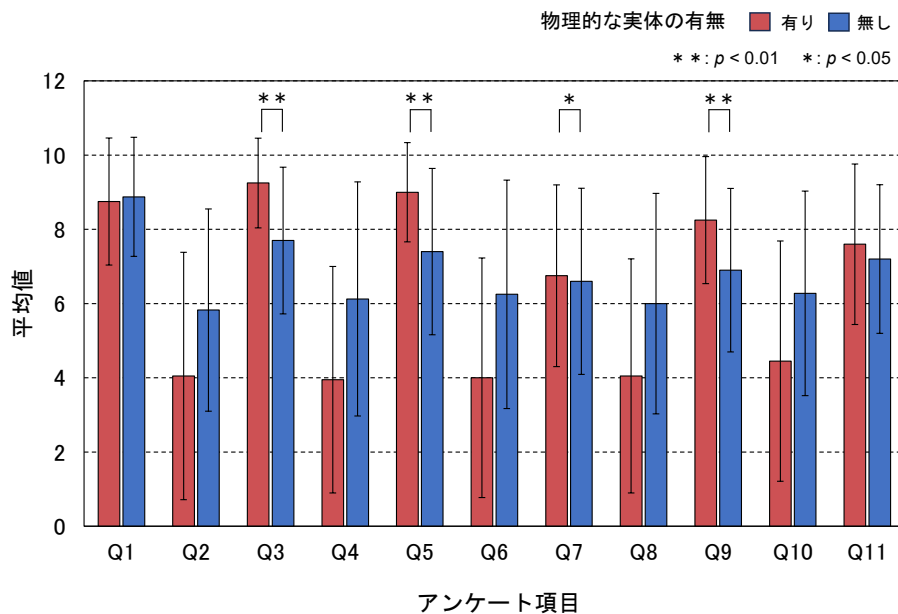


図 3-13 物理的な実体の有無における結果

表 3-3 物理的な実体の有無における結果 (数値データ)

	物理的な実体の有無		平均 (標準偏差)	p 値 (分散分析)
指示の理解	Q1	有り 無し	8.75 (1.71) 8.88 (1.60)	$p = 0.924$
同室感	Q2	有り 無し	4.05 (3.33) 5.83 (2.73)	$p = 0.951$
	Q3	有り 無し	9.25 (1.21) 7.70 (1.98)	$p = 0.001$
共同作業感	Q4	有り 無し	3.95 (3.05) 6.13 (3.16)	$p = 0.952$
	Q5	有り 無し	9.00 (1.34) 7.40 (2.24)	$p = 0.002$
コミュニケーション のしやすさ	Q6	有り 無し	4.00 (3.23) 6.25 (3.08)	$p = 0.857$
	Q7	有り 無し	6.75 (2.45) 6.60 (2.51)	$p = 0.039$
好感	Q8	有り 無し	4.05 (3.15) 6.00 (2.97)	$p = 1.000$
	Q9	有り 無し	8.25 (1.71) 6.90 (2.20)	$p = 0.004$
信頼	Q10	有り 無し	4.45 (3.24) 6.28 (2.75)	$p = 0.951$
	Q11	有り 無し	7.60 (2.16) 7.20 (2.00)	$p = 0.122$

次に、図 3-14、表 3-4 に、アバタの見かけ（遠隔ユーザ、遠隔ユーザではない）における各回答の結果を示す。図 3-14 のエラーバーは標準偏差を示す。図 3-14 より、Q1 のアバタによる指示の理解の項目に関しては、見かけ（遠隔ユーザ、遠隔ユーザではない）において有意な差はなく、指示への理解に影響がないことが確認された。

Q2, Q4, Q6, Q7, Q8, Q10 については、見かけの因子において有意な差 (Q2: $p < 0.001$, Q4: $p < 0.001$, Q6: $p < 0.001$, Q7: $p < 0.001$, Q8: $p < 0.001$, Q10: $p < 0.001$) があり、アバタの見かけが遠隔ユーザである方が高い評価となった。つまり、アバタの見かけが本人であることは、遠隔ユーザとの同室感、共同作業感、コミュニケーションのしやすさ、遠隔ユーザへの好感、信頼が有意に高まることが分かった。

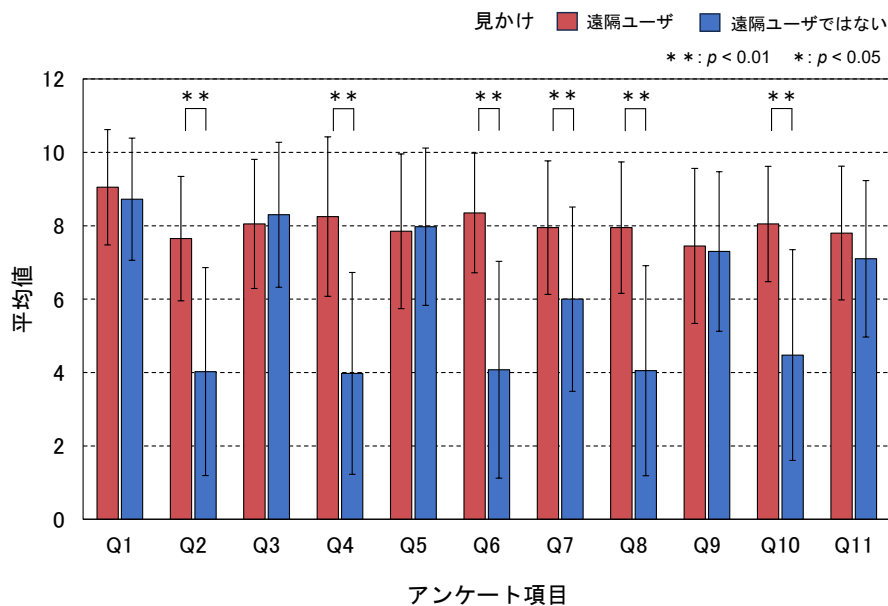


図 3-14 見かけ（遠隔ユーザ、遠隔ユーザではない）の違いにおける結果

一方で、Q3, Q5, Q9, Q11 の評価については、見かけ（遠隔ユーザ、遠隔ユーザではない）において有意な差はなかった。Q3, Q5, Q9, Q11 おいては、評価が比較的高い傾向にあった。つまり、遠隔ユーザとの同室感、共同作業感、コミュニケーションのしやすさ、遠隔ユーザへの好感、信頼を感じる一方で、アバタ自体との同室感、共同作業感、コミュニケーションのしやすさ、アバタ自体への好感、信頼も同時に感じている傾向にあることが分かった。

なお、Q7 のアバタとのコミュニケーションのしやすさに関しては、AR リアルアバタのリップシンクがコミュニケーションのしやすさに影響し、遠隔ユーザとのコミュニケーションのしやすさだけでなく、アバタとのコミュニケーションのしやすさにおいても有意な差がある結果になったと考えられる。

表 3-4 見かけ（遠隔ユーザ，遠隔ユーザではない）の違いにおける結果（数値データ）

	見かけ	平均（標準偏差）	p 値（分散分析）
指示の理解	Q1 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	9.05 (1.57) 8.73 (1.66)	$p = 0.505$
同室感	Q2 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	7.65 (1.69) 4.03 (2.83)	$p < 0.001$
	Q3 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	8.05 (1.76) 8.30 (1.98)	$p = 0.212$
共同作業感	Q4 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	8.25 (2.17) 3.98 (2.75)	$p < 0.001$
	Q5 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	7.85 (2.11) 7.98 (2.14)	$p = 0.154$
コミュニケーション のしやすさ	Q6 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	8.35 (1.63) 4.08 (2.96)	$p < 0.001$
	Q7 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	7.95 (1.82) 6.00 (2.51)	$p < 0.001$
好感	Q8 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	7.95 (1.79) 4.05 (2.86)	$p < 0.001$
	Q9 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	7.45 (2.11) 7.30 (2.17)	$p = 0.091$
信頼	Q10 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	8.05 (1.57) 4.48 (2.87)	$p < 0.001$
	Q11 遠隔ユーザ 遠隔ユーザではない	7.80 (1.82) 7.10 (2.13)	$p = 0.064$

3.1.6 考察

上述した実験結果から、ユーザの意識及び人間関係の構築に関して考察する。本章では、アバタと対面する現場のユーザの「自分は誰とコミュニケーションしているのか」というようなコミュニケーション相手に対する意識に注目し調査した。物理的な実体のみあるアバタの場合には、図 3-15 に示すように、アバタと対面する現場のユーザはアバタ自体へ意識が向く傾向にあることが明らかになった。一方で、見かけが遠隔ユーザである AR のアバタの場合には、図 3-16 に示すように、アバタ自体だけでなく、遠隔ユーザにも意識が向く傾向にあることが分かった。要するに、実空間で、アバタの見かけ、物理的な実体の有無を変えることで、現場のユーザのコミュニケーション相手への意識を変化させることができることと示唆された。

図 3-15 のように、現場のユーザの意識がアバタ自体に向くことで、遠隔ユーザは自分の素性を隠し匿名で遠隔コミュニケーションできる。つまり、実空間で匿名の遠隔コミュニケーション及びインタラクションが可能であり、また現場のユーザは、匿名のアバタ自体と関係を構築することとなる。匿名であることで、遠隔ユーザの個人的な情報が特定されないため、遠隔ユーザが自由に意見を発言したり行動したりしやすくなる可能性がある。例えば、人前での発言が苦手な遠隔ユーザなどにとってはコミュニケーションを活発にさせ、人間関係の構築を円滑にさせる効果が期待される。そして、現場のユーザにおいては、遠隔ユーザの性別、年齢などといった属性にとらわれず、人間関係の構築を行えることが期待できる。具体的に、実空間でのイベントといった不特定多数の人と交流し関係を築くといった場合や、人には話しにくい内容の相談やカウンセリングといった場面でのコミュニケーションなどでの活用が考えられる。

一方で、図 3-16 のように、現場のユーザの意識がアバタだけでなく遠隔ユーザにも意識が向くことで、現場のユーザは、アバタを介して遠隔ユーザと関係を構築することとなる。すなわち、あたかも遠隔ユーザがアバタとして同じ空間に存在し、遠隔ユーザを意識した関係の構築となる。このようにアバタ利用時に、遠隔ユーザの見かけを明かすことで、図 3-14 の実験結果からも示されるように、現場と遠隔のユーザ間で、より信頼した関係を築くという点で効果的であると考えられる。具体的に将来的な活用として、遠隔診療などへの活用が期待される。例えば、医師がアバタを介して患者と遠隔コミュニケーションすると

した場合には、医師の本人の見かけがアバタに反映されることで、患者は「遠隔の医師本人と対話している」というような意識を持ち、匿名のアバタよりも信頼した関係を築くことができる可能性が考えられる。

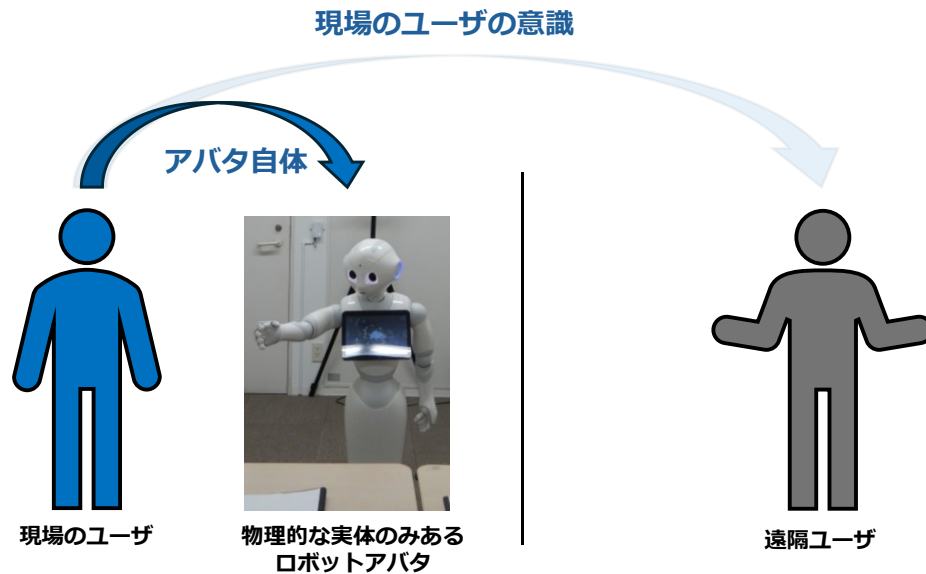


図 3-15 物理的な実体のみあるロボットアバタにおけるユーザの意識

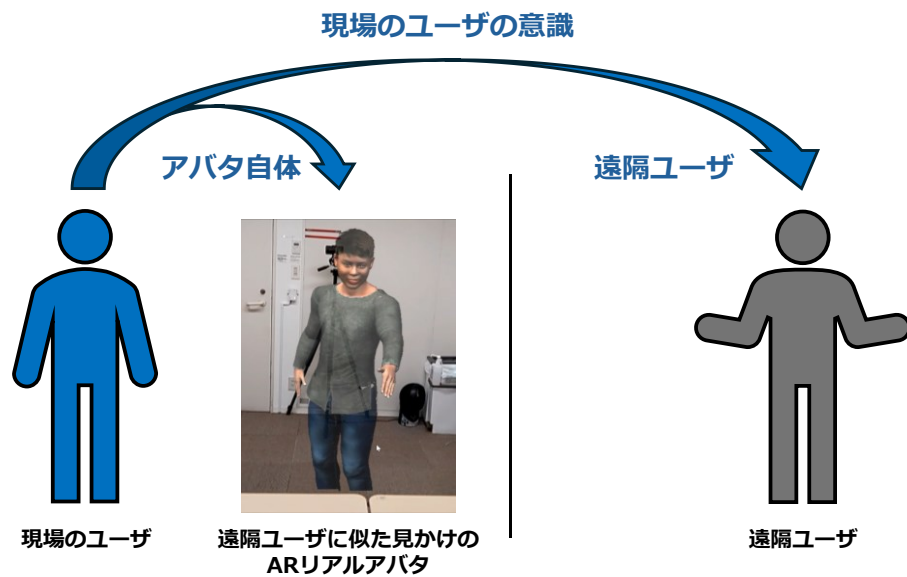


図 3-16 遠隔ユーザに似た見かけの AR リアルアバタにおける現場のユーザの意識

3.2 本章のまとめ

本章では、アバタの見かけの違い、物理的な実体の有無という点に注目し、アバタと対面するユーザのコミュニケーション相手に対する意識について調査した。そして、アバタコミュニケーションにおける人間関係の構築という点について議論した。評価実験から、実空間で、アバタの見かけ、物理的な実体の有無を変えることで、現場のユーザのコミュニケーション相手への意識を変化させることができることが示唆された。具体的に、物理的な実体のみあるアバタの場合には、現場のユーザの意識はアバタ自体へ向く傾向にあり、見かけが遠隔ユーザであるARのアバタの場合には、アバタ自体だけでなく、遠隔ユーザにも意識が向く傾向にあることが明らかになった。こうしたアバタを用いたアバタコミュニケーションにおける特徴は、従来の人同士の対面コミュニケーションにはない柔軟性をもたらし、多様な状況やニーズに応じた人間関係の構築の支援が期待できる。見かけが遠隔ユーザであるARのアバタの場合には、アバタ自体だけでなく、遠隔ユーザにも意識が向き、より信頼関係が必要とされる場面でのコミュニケーションに活用が期待される。一方で、物理的な実体のみあるアバタの場合には、現場のユーザの意識はアバタ自体へ向くため、遠隔ユーザは、見かけ、性別、年齢などといった様々な属性やアイデンティティにとらわれず、関係の構築ができるという利点が考えられさらなる応用が期待できる。

第4章

アバター形状がユーザに与える効果

Effects of avatar shapes on users

4.1 概要

アバタを使用する際に、ユーザ本人とは異なる様々な見かけや身体形状のアバタを自身のアバタとして容易に変更できる。例えば、ユーザ自身と年齢や性別が異なるアバタ、アニメキャラクターのアバタ、動物のアバタなどといったユーザ本人の見かけや身体形状、関節の自由度が異なる様々なアバタが作製できる。

これまでにアバタを使用する際において、既存研究でいくつかの心理的な感覚や行動の変容が生起することが報告されている。具体的には、アバタ使用時に、そのアバタの身体を自分の身体であるように感じる身体所有感、自分がアバタの身体を動かしていると感じる運動主体感などの心理的な感覚がある。またその他に、使用するアバタの外見がユーザの心理状態及び行動・振る舞いに影響を与えるプロテウス効果がある。近年、VR 心理学の研究では、没入環境での様々なアバタにおける身体所有感、運動主体感、プロテウス効果などといった、アバタを身に纏ったときのユーザの心理的な感覚や行動への影響が報告され盛んに研究されている。つまり、没入環境でユーザはアバタを自由に変更し自分の身体として身に纏うことで、そのアバタになりきり身体所有感などの心理的な感覚が生起され、またそのアバタの外見の特徴に基づき心理状態が変化し行動が変容することが知られている。

上述したアバタによるユーザの心理的な感覚や行動変容は、具体的に、スポーツやリハビリテーションなどにおける運動支援への応用も期待できる。近年では、HMD を使用した没入環境においては、アバタを使いスポーツのトレーニングあるいはリハビリテーションを行う研究が報告されている[61-63]。一方で、HMD での没入環境においては、VR 酔い[64-66]や眼精疲労[67]により、継続した使用が困難な場合もある。通常スポーツのトレーニングやリハビリテーションにおいては、実空間上で行われるため例えば、スクリーン上にアバタを表示するなどでのアバタの使用が求められる。HMD を用いた没入型環境では、アバタを使用する場合は、通常一人称視点であり、ユーザはアバタを客観的に観察することが難しい。一方、スクリーン上などでアバタを使用する場合は、ユーザは実空間で自分の全身を客観的に見ながら動くことができる。

スクリーン上でのアバタの使用は、没入環境とは異なり、そのアバタになりきらず身体所有感などのユーザの心理的な感覚は意識されない可能性がある。同時に、外見の形状及び関節の自由度が人型とは異なるアバタにおいては、その特徴に沿った行動や運動が無意識にできる可能性が期待され、ユーザが本来行う

ことがないような運動の可動や制限が無意識にできる可能性がある。これらの動きの可動や制限を利用することで、例えば、スポーツでの怪我につながる動きの可動を制限する、あるいは、リハビリテーションにおける、あまり動かしていない手足を大きく動かす、速く動かすなど、自分自身で行えていない身体運動を、種々のアバタを介して無意識にできるようになる可能性がある。つまり、様々なアバタ形状の応用的な活用が考えられる。

したがって、本研究では、人型以外のアバタを用意し、そのアバタ形状が、実空間のユーザの心理的な感覚や身体運動へ与える影響について評価・分析した。

4.2 非人型アバタの設計

アバタ形状の設計に関して、比較評価を行うための人型と、ユーザの身体運動の変化の誘起が期待できる形状として、ペンギン型、煙型を選択し作成した。具体的に、ペンギンは、陸上では人と同じ2足歩行の動物であるが、人とは異なる手や足などの身体形状によりペンギンのような手足が制限されたような動きをユーザに誘起させる可能性があると考えられた。一方、煙については、流体の柔らかい動きをユーザに誘起させる可能性が考えられ選択した。この流体のようになめらかな動きは、ユーザの腕などといった身体の動きの柔軟性を高め、動きをより速くする可能性が考えられた。つまり、ペンギン型は、ユーザの動きを制限する動き、煙型はユーザの動きを拡張するような動きを誘起するという仮説が考えられ、本研究では、ペンギンアバタと煙アバタに注目した。

図4-1に、それぞれのアバタ形状とその骨組み（ボーン）を示す。人型については、評価の際に被験者の性別によって影響がでないように、テクスチャは付けず男女が分からない形状の人型とした。また、3DCG作成ツールのBlender上で人型オブジェクトに合わせたボーンを組み合わせ、ゲームエンジンUnity上で表示させた。ペンギン型については、図4-1に示すようなボーンをBlender上でペンギン型オブジェクトに組み合わせ、Unity上で両肘、両手首、両膝、両足首の関節の自由度は無くし曲がらないように制限し、ペンギンのような動きができるアバタとして作成した。煙型の作成は、Unityアセットの流体シミュレータFluXYを用いて煙を作成し、煙のような柔らかい動きができることを考慮した設計とした。煙型については、Unity上でボーンの両手、両足、頭から煙が出ている形状として作成し、また煙以外の身体形状と関節は見えないようにUnity上

で透明にし、煙のみが見えるアバタとして表示した。



図 4-1 アバタ形状とボーン

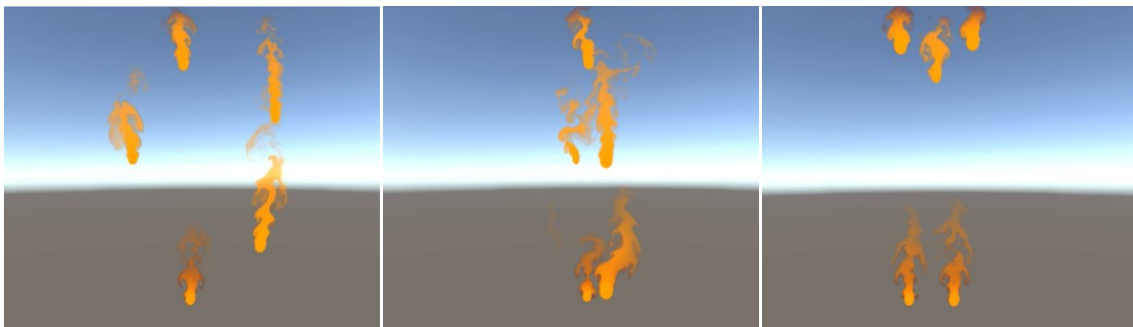
アバタの動作方法については、 Azure Kinect のボディトラッキングデータを使用してユーザの動きとアバタが連動して動くシステムとした。 Azure Kinect でユーザの動きを取得し、アバタのボーンと対応付け動作させた。 具体的に、人型、煙型の場合は、 Head, Neck, Chest, Spine, Hips, Shoulder, UpperArm, LowerArm, Hand, UpperLe, LowerLeg, Foot のボーンを、 ペンギン型は、 Head, Neck, Chest, Spine, Hips, UpperArm, LowerArm, Hand, UpperLeg, LowerLeg, Foot のボーンと取得したボディトラッキングデータを対応付けて動かした。 関節の自由度に関しては、人型と煙型は同じであるが、煙型のアバタの場合は、ボーンの両手、両足、頭から出る煙だけの身体形状であり、視覚的に関節が見えない設計である。 ペンギン型の自由度に関しては、人型と煙型とは異なり、上述したように両肘、両手首、両膝、両足首の関節の自由度は無くし曲がらないように制限した。 図 4-2 に各種アバタの動作の様子を示す。



(a) 人型アバタの動作



(b) ペンギン型アバタの動作



(c) 煙型アバタの動作

図 4-2 各種アバタの動作

4.3 評価実験

アバタの形状や関節の自由度が、実空間のユーザの心理的な感覚及び身体運動にどのような変化をもたらすかについて評価し考察する。心理的な感覚はアンケートによる主観的評価、身体運動の変化はボディトラッキングデータによる客観的評価により考察する。

図4-3に実験環境を示す。アバタは、180インチの大型スクリーン上に表示させ、被験者と表示されたアバタが向かい合うようにし評価実験を行った。本研究では、大型スクリーンにアバタを表示し、実空間でユーザがアバタを動かし運動するシステムとした。表示するアバタは、バーチャル空間のユーザ自身とするため、自分自身を鏡で見ているような映像とし、例えば、ユーザが左手を上げると、向かい合うアバタは右手を上げるように表示した。被験者は、スクリーンから3.5m離れた位置に立ち、被験者から3m離れた高さ80cmの位置に Azure Kinect を配置し、被験者のボディラッキングを行った。アバタは、アバタ制御 PC 上の Unity で制御し、PC から大型スクリーンに表示した。ユーザのボディトラッキングのデータの記録用に、別の Azure Kinect とデータ記録用 PC を用意し、ユーザのボディトラッキングデータを記録した。

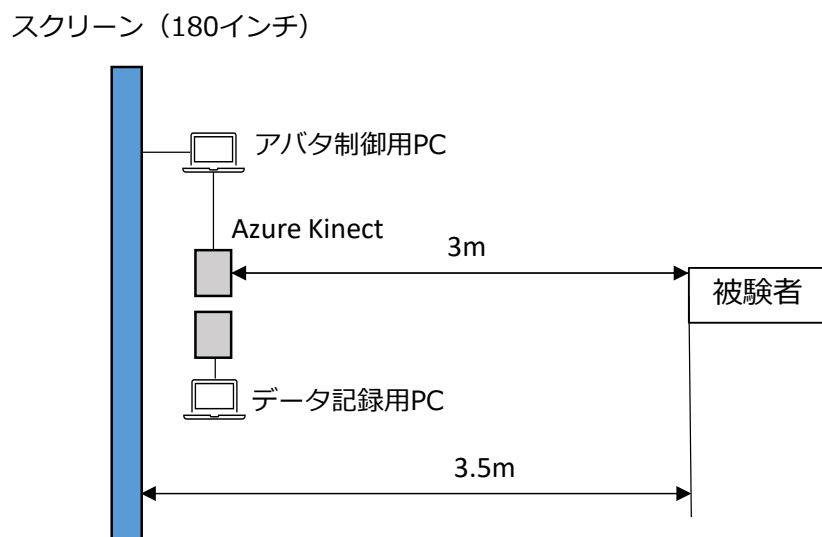


図 4-3 実験環境

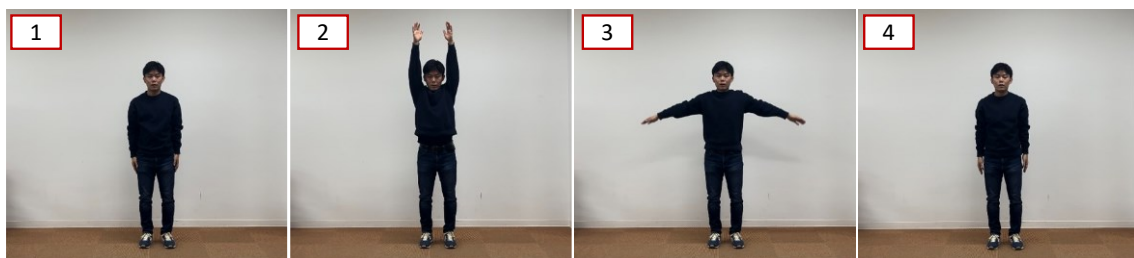
評価実験は、20代から50代の10名の被験者に対して行った。評価実験で行うタスクとしては、図4-4に示すラジオ体操第一の以下の3種目(1),(2),(3)を、人型、ペンギン型、煙型のアバタを使って被験者に行ってもらった。図4-5は実験の様子である。ラジオ体操第一とは、日本においては公共放送や学校などで使われている多くの人が知る国民的な体操である。そのため、実験のために特別なイントロダクションやトレーニング指導を必要としないため選択した。また、種目の選択については、アバタによる運動の変化を調査するため、ラジオ体操第一の中でも、腕を大きく使い全身で運動するという特性を持つ以下の3種目を選択した。



(1) 腕を振って脚を曲げ伸ばす運動



(2) 体を横に曲げる運動



(3) 深呼吸

図 4-4 ラジオ体操第一の3種目



(a) 人型



(b) ペンギン型



(c) 煙型

図 4-5 実験の様子（体を横に曲げる運動）

被験者は、1つのアバタで各種目10秒ずつ(1),(2),(3)の順で行いそれを1回とし、2回行った。なお、時間の計測は、実験者が10秒計測し、被験者へ10秒経過した際に、次の種目を行うように指示した。また、使用する3種類のアバタの順番は、被験者ごとにランダムな順とした。

被験者には、1回目終了時、2回目終了時に表4-1に示す評価アンケートに回答してもらった。アンケート項目は、身体所有感、運動主体感、動作影響、なりきり感、体操のしやすさを評価する質問であり、7段階のリッカート尺度（1:全くそう思わない、2:そう思わない、3:あまりそう思わない、4:どちらともいえない、5:ややそう思う、6:そう思う、7:非常にそう思う）で評価した。また、実験中の被験者の運動においては、Azure Kinectでボディトラッキングデータを記録し、そのデータから身体運動の変化を評価した。

表4-1 アンケート項目

身体所有感	Q1 目の前のアバタは自分の身体であるように感じた
運動主体感	Q2 自分がアバタの身体を動かしていると感じた
動作影響	Q3 アバタによって自分自身の体の動作が影響を受けたように感じた
なりきり感	Q4 自分がアバタのキャラクタ(人、ペンギン、煙)になったように感じた
体操のしやすさ	Q5 このアバタを使って体操しやすいと感じた

4.4 結果及び考察

4.4.1 アンケート評価による結果

アンケートによる評価結果を図4-6、表4-2、表4-3に示す。図4-6のエラーバーは標準偏差を示す。アンケートによる評価結果については、アバタ形状（人型、ペンギン型、煙型）、被験者、回数（1回目、2回目）を因子に分散分析を行った。

身体所有感(Q1)については、分散分析の結果からアバタ形状の因子において有意($F(2,18)=3.93, p=0.038$)であったため多重比較を行った。多重比較の結果から、ペンギン型と煙の間には有意な差はなく($p=0.971$)、人とペンギン型の間($p=0.052$)、人型と煙の間($p=0.081$)については、5%有意までは無かったが有意な傾向にある結果となった。この結果から、人型アバタに関しては、比較的体感所有感を感じる傾向にあるが、人型以外のアバタは、人型アバタと比較すると体感所有感はあまり感じていない傾向があることが分かった。一方で、運動主体感(Q2)については、分散分析の結果からアバタ形状の因子は有意ではなく($F(2,18)=0.122, p=0.886$)、人型、ペンギン型、煙型の3種類のアバタ全て高い評価結果となった。つまり、人型以外のアバタを使用した場合にユーザは、体感所有感は感じていないが、運動主体感は感じていることが分かる。人型以外の自分と大きく異なる身体形状のアバタについては、自分の身体であるとは感じない一方で、自分がアバタの身体を動かしているという感覚があることは妥当な結果であると考えられる。

動作影響(Q3)に関しては分散分析の結果、人型、ペンギン型、煙型の3種類のアバタ形状で有意($F(2,18)=0.296, p=0.747$)ではなかった。特にペンギン型と煙型において、評価値が4.5を下回り動作影響を感じたかについてどちらとも言えないという結果になった。つまり、主観的には、人型以外のアバタ形状の場合、動作影響は感じているとは言えない結果となった。

なりきり感(Q4)、体操のしやすさ(Q5)については、アバタ形状の因子においてそれぞれ有意(Q4: $F(2,18)=9.66, p=0.001$, Q5: $F(2,18)=15.60, p<0.001$)であったため多重比較を行った。Q4なりきり感に関しては、ペンギン型と煙型の間には有意な差はなく($p=0.807$)、人型とペンギン型の間($p=0.002$)、人型と煙型の間($p=0.008$)については、有意差がある結果となった。Q5体操のしやすさに関しても、ペンギン型と煙型の間には有意な差はなく($p=0.109$)、人型とペンギン型の間($p<0.001$)、人型と煙型の間($p=0.009$)については、有意差がある結果とな

った。これらの結果から、人型以外のアバタは人型のアバタと比較して、なりきり感、体操のしやすさが、有意に評価が低くなりあまり感じていないことが明らかになった。

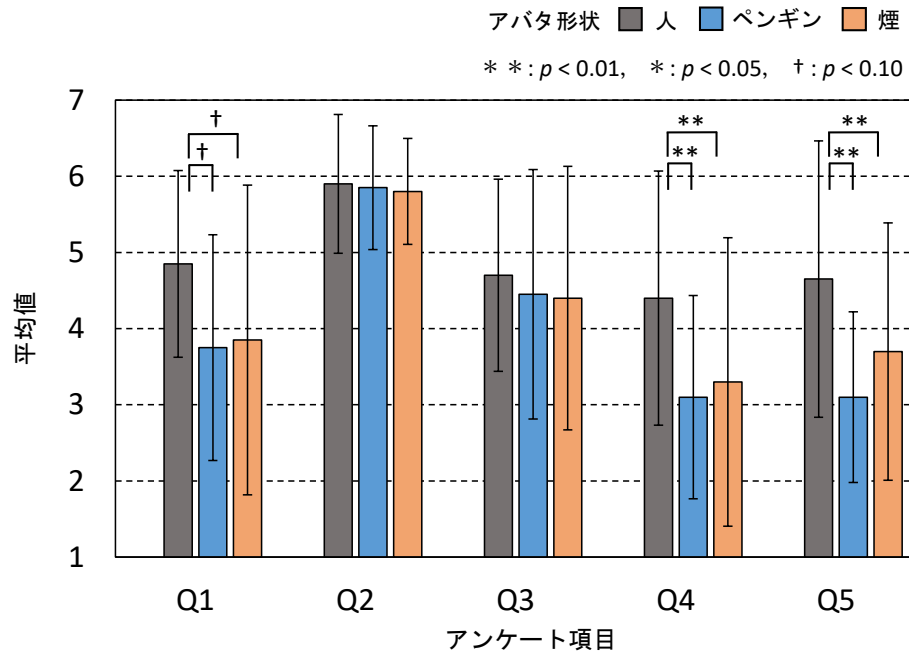


図 4-6 アンケートによる評価結果

表 4-2 アンケートによる評価結果(数値データ)

	アバタ形状	平均 (標準偏差)	p 値 (分散分析)
身体所有感	Q1 人型 ペンギン型 煙型	4.85 (1.23) 3.75 (1.48) 3.85 (2.03)	$p = 0.038$
運動主体感	Q2 人型 ペンギン型 煙型	5.90 (0.91) 5.85 (0.81) 5.80 (0.70)	$p = 0.886$
動作影響	Q3 人型 ペンギン型 煙型	4.70 (1.26) 4.45 (1.64) 4.40 (1.73)	$p = 0.747$
なりきり感	Q4 人型 ペンギン型 煙型	4.40 (1.67) 3.10 (1.33) 3.30 (1.89)	$p = 0.001$
体操のしやすさ	Q5 人型 ペンギン型 煙型	4.65 (1.81) 3.10 (1.12) 3.70 (1.69)	$p < 0.001$

表 4-3 多重比較の結果

	アバタ形状	p 値 (多重比較)
身体所有感	Q1 人型—ペンギン型 人型—煙型 ペンギン型—煙型	$p = 0.052$ $p = 0.081$ $p = 0.971$
なりきり感	Q4 人型—ペンギン型 人型—煙型 ペンギン型—煙型	$p = 0.002$ $p = 0.008$ $p = 0.807$
体操のしやすさ	Q5 人型—ペンギン型 人型—煙型 ペンギン型—煙型	$p < 0.001$ $p = 0.009$ $p = 0.109$

4.4.2 ボディトラッキングデータによる結果

ボディトラッキングデータによる評価結果について述べる。ボディトラッキングデータについては、Azure Kinect で取得できる骨格モデル 32 点 (図 4-7) の 3 次元位置データ及びその時の時間を約 0.06 秒間隔で取得された。ボディトラッキングデータに関しては、1 名のデータが取得できていない部分があったため分析から除外した。本実験の運動の評価については、腕の振りという側面で評価した。まず、取得したボディトラッキングデータをもとに腕の速度について評価した。図 4-8 は取得したデータから部分的に可視化したものであり、腕を振って脚を曲げ伸ばす運動における、腕を動かす寸前の腕をクロスした状態 (図 4-8 (a)) から、腕を広げ高さが最高点に到達した状態 (図 4-8 (b)) の様子である。図 4-8(a)から図 4-8 (b)への運動は、図 4-8 (c)のような微小区間を刻む軌跡で、運動が行われた。図 4-8 (c)のように、取得されたデータの微小区間から各地点での左手首の瞬間の速度を計算し、その瞬間の速度を平均し、図 4-8 (a)から図 4-8 (b)までの腕の振りの速度とした。また、この腕の振りの速度は、被験者がアバタ操作に慣れてくるタイミングとして、10 秒間の腕を振って脚を曲げ伸ばす運動の中の、最後に行った腕の振りの速度を抽出し、比較した。なお、この運動の中で、最後に行う腕の振りを途中で止め次の運動に移る場合があったため、その場合は、その前に行った腕の振りの速度を抽出した。

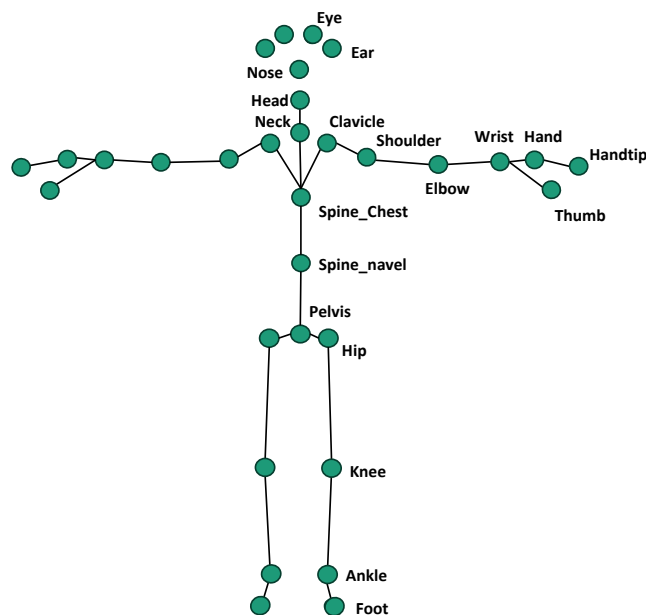
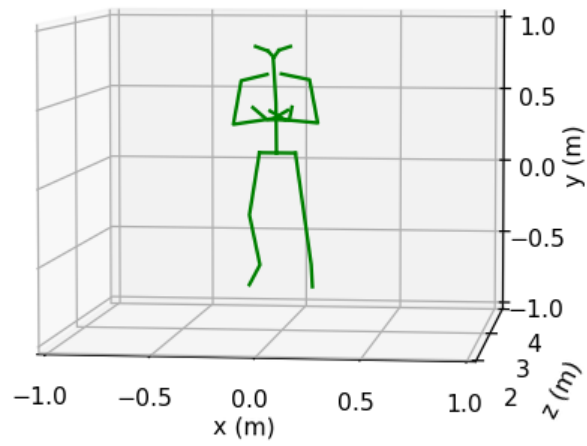
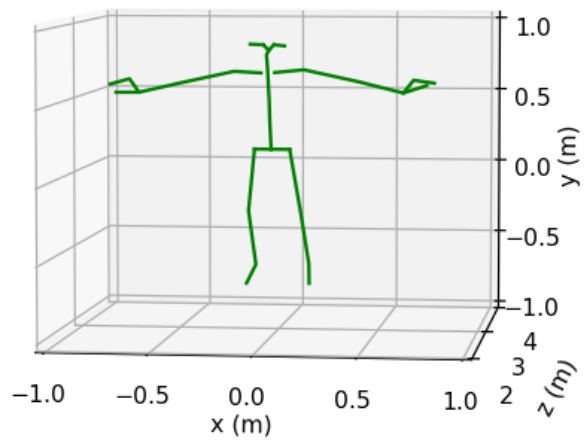


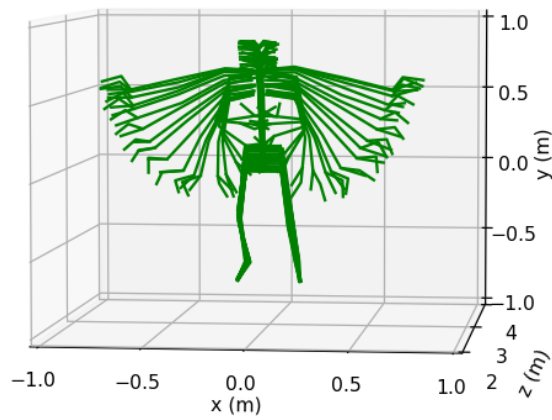
図 4-7 トラッキングデータの取得



(a) 腕をクロスした状態



(b) 最高点まで腕を広げた状態



(c) 腕をクロスして広げるまでの軌跡

図 4-8 腕を振って脚を曲げ伸ばす運動

図4-9は、すべての被験者の腕の振りの速度を各種アバタごとで平均したグラフである。図4-9のエラーバーは標準偏差を示す。分析については、すべての被験者の腕の振りの速度を、アバタ形状（人型、ペンギン型、煙型）、被験者、回数（1回目、2回目）を因子に分散分析を行った。その結果、アバタ形状の因子において有意($F(2,16)=12.42$, $p<0.001$)であったため多重比較を行った。多重比較の結果からは、人型と煙型の間($p<0.001$)、ペンギン型と煙型の間($p=0.027$)について、有意な差があった。具体的に、人型は1.47m/s（標準偏差:0.31）、ペンギン型は1.59m/s（標準偏差:0.32）、煙型は1.76m/s（標準偏差:0.35）という結果であり、煙型が人型とペンギン型と比較して有意に腕の振りの速度が速くなっていることが分かった。したがって、煙型のアバタを使用することで、ユーザの腕の振り運動は、人型よりも速く動かすことを誘発できる可能性が示された。

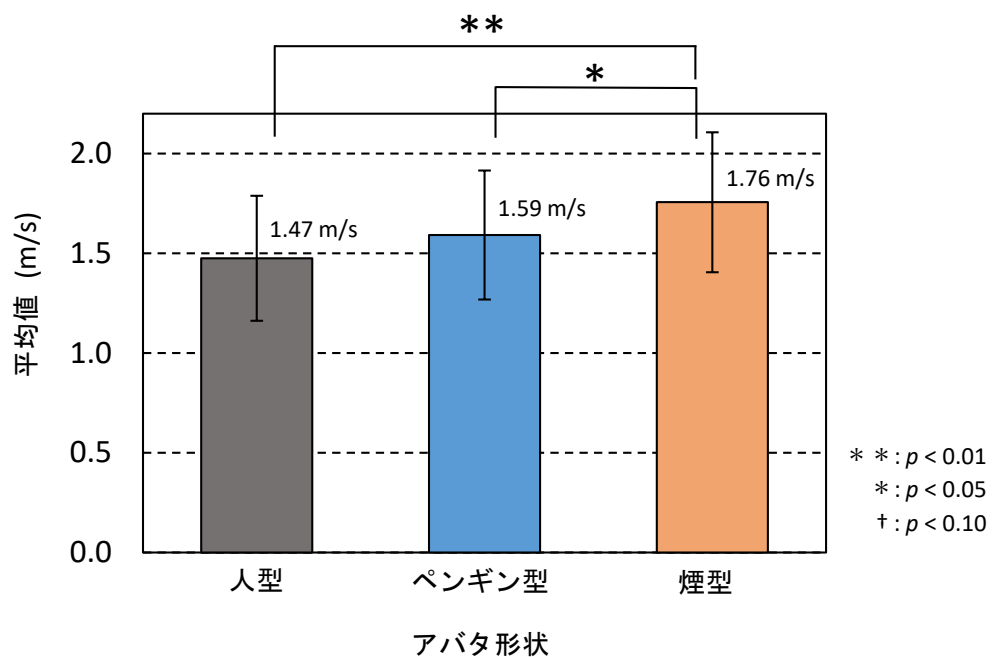


図4-9 腕の振りの速度の比較

次に、腕を広げた際の最高の高さについて注目した。図4-10は、すべての被験者の腕を広げた際の最高の高さを各種アバタごとで平均したグラフである。図4-10のエラーバーは標準偏差を示す。なお、この時の高さは、Azure Kinectを配置した高さ(80cm)を原点として計測されたy軸の値のデータである。分析については、すべての被験者の腕を広げた際の最高の高さを、アバタ形状(人型、ペンギン型、煙型)、被験者、回数(1回目、2回目)を因子に分散分析を行った。その結果、アバタ形状の因子において有意差($F(2,16)=12.23$, $p<0.001$)があったため多重比較を行うと、人型とペンギン型の間($p=0.032$)、ペンギン型と煙型の間($p<0.001$)について、有意な差があった。具体的に、人型は0.72m(標準偏差:0.16)、ペンギン型は0.68m(標準偏差:0.14)、煙型は0.75m(標準偏差:0.16)という結果であった。つまり、ペンギン型は、人型と煙型と比較して有意に腕を広げた際の最高点の高さが低くなることが分かった。要するに、ペンギン型のアバタを使用することで、ユーザの腕の振り運動の可動が小さく制限されること示唆された。これらの結果の数値については、例えば、リハビリテーションなどで、本来自分ができていない腕の運動で、アバタを介すことにより、少しでも速く動かせるようになる、あるいは、少しでも高く腕を挙げられるようになるなどができる可能性が示唆され、この結果の数値は有用な結果であると考えられる。

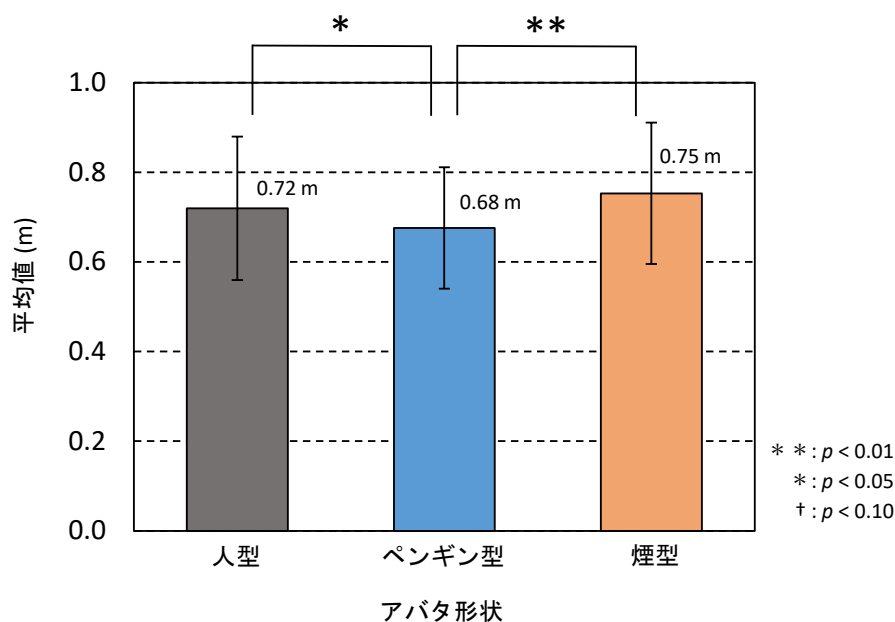


図4-10 腕の振りの高さの最高点の比較

4.4.3 考察

アンケート評価による結果とボディトラッキングデータによる結果を踏まえて考察をする。アンケート結果から、人型以外のアバタに関しては、ユーザは心理的に運動主体感に関しては感じている傾向にあるが、身体所有感、動作影響、なりきり感は比較的感じていない傾向にあった。しかしながら、客観的なボディトラッキングデータによる結果からは、アバタの違いで、腕の速度が速くなることや、腕を広げた際の最高の高さが制限されることが確認され、動作影響を受けていることが分かった。つまり、アバタを介して無意識のうちに、被験者の身体運動が変化していることが示唆された。

煙型のアバタの関節の自由度は人型と同じであるが、視覚的に関節が見えない煙型のみというアバタ形状が、被験者に流体のような柔らかい動きを無意識のうちに影響を与え、腕の振りの速度を上げたと考えられる。また、煙型のアバタは、アンケート評価においては、なりきり感、体操のしやすさは、人型よりも有意に低く、なりきり感や体操のしやすさを感じず、腕の振りの速度が有意に速くなっている。これに関しては、ユーザは、人型とは全く異なる煙型という初めて使う身体形状に対して心理的には、なりきり感、体操のしやすさは感じていないことが考えられる。

ペンギン型については、人型及び煙型と形状も関節の自由度も異なるアバタであり、腕を振って脚を曲げ伸ばす運動の際の、腕を広げた際の最高の高さが有意に低くなることが確認された。これは、ペンギン型のアバタの両肘、両手首、両膝、両足首の関節の自由度を無くし曲がらないように制限しているためであると考えられる。ペンギン型においても、アンケート評価においては、なりきり感、体操のしやすさは、人型よりも有意に低い結果となった。つまり、心理的ななりきり感が、腕を広げた際の最高の高さが有意に低くなることに影響を与えているとは考えにくい。体操のしやすさという点では、関節の自由度を制限したことが影響し、ペンギン型で体操しにくく感じているように考えられる。

以上のことから、煙型やペンギン型といったアバタを使用することで、人型では行っていないような運動の速度変化や運動の可動制限を無意識のうちに誘起させることができたと言える。すなわち、人型以外のアバタ形状を使用し、実空間のユーザの身体運動の変化を無意識的に変化させることが可能であることが示唆された。これによって、具体的に、リハビリテーションにおいて、あまり動かしていない手足を大きく動かす、速く動かすなど、あるいは、スポーツでの怪

我につながる動きの可動を制限するなど、人型以外の形状のアバタを介して無意識的にできるようになる可能性がある。

本研究では、ペンギン型と煙型に注目し、これらのアバタを介して、無意識のうちに身体運動の変化が誘起されることが分かったが、その他のアバタ形状についての検証も今後の課題として挙げられる。

4.5 本章のまとめ

本章では、人型以外のアバタを用意し、そのアバタ形状がユーザの心理的な感覚や身体運動へ与える影響について調査した。評価実験から、人型と異なる、ペンギン型、煙型のアバタを使用することで、人型では行っていないような運動の速度変化や運動の可動制限を無意識のうちに誘起できることが示唆された。つまり、アバタ形状によって無意識のうちにユーザの振る舞いを変えられることが分かった。特に、生物でないような煙型のアバタ形状においてもユーザの振る舞いを変えることができ、様々なアバタ形状の有効活用や応用の可能性が示唆された。

第5章

IoT アバタ：実空間の様々な物をアバタとして擬人化

IoT avatar: various objects in real space are anthropomorphized as avatars

5.1 IoT アバタ

IoT (Internet of Things) 技術の発展により、身の回りの様々な物からインターネットを介してデータのやり取りが可能となり、市販の製品やサービスに IoT が組み込まれるようになった。具体的に、センサ類を用いてデータを取得し、その物の周囲の状況の分析やモニタリングを行うこと、あるいは遠隔地から信号を送りその物を操作することなどが主に行われてきた。

一方で、近年の IoT に関する研究・開発においては、センサデータの送受信や遠隔操作などにとどまらず、IoT デバイスとその周囲の人々が効果的にインタラクションを行うための研究・開発が行われている[68-70]。特に、注目されているものの一つとして音声インタフェースの活用がある[71-73]。前例として、Amazon Echo や Google Home などのスマートスピーカを活用することで、家の中などでユーザの音声により周囲の IoT デバイスとのインタラクションが行われるようになった。また、IoT デバイス自体が音声を発し情報提示する研究として、マルチ IoT スピーカの研究がある[74]。この研究では、実空間の様々な物に IoT スピーカを設置することで、その物たちが話し情報提示するシステムを開発している。そして、公共空間などでの活用を目指し評価実験が行われ、マルチ IoT スピーカによる音声を用いた情報提示の有効性を明らかにした。

しかしながら、よりユーザの要求を正しく理解し、その場の状況や状態に応じて柔軟に情報を提供するためには、スピーカとしての情報提示だけではなく、あたかも人がその場にいて、人のようにユーザとコミュニケーションができることが求められる。そこで本研究では、実空間における様々な物自体をアバタとすることを、その物自体が人のようにユーザとコミュニケーションを行うことを目指した。すなわち、様々な物自体をアバタとして擬人化する「IoT アバタ」を提案する。

物をアバタとして擬人化する際に、考慮する要素の一つとして、アバタの音声が挙げられる。これまでに遠隔ユーザのオリジナルの声を IoT アバタの声として開発し、IoT アバタとその場のユーザが会話する評価実験を行った[75]。この場合、IoT アバタと会話する現場のユーザは、物自体と話している意識と同時に、遠隔ユーザと話しているという意識も持つことが示された。この結果から、IoT アバタの音声を、遠隔ユーザのオリジナルの声ではなく、例えば、ロボットやキャラクターが話しているような音声に変換することで、遠隔ユーザへの意識が下がり、より物自体と話している意識が高まると期待される。また、物をアバタと

して擬人化するためには、前提として、アバタを操作する遠隔ユーザが、その物自体になりきる感覚をもつことも必要となる。「なりきる」という観点では、遠隔操作ロボットにおける先行研究がある[76]。この研究では、遠隔ユーザの音声をそのロボットらしい音声へ変換（音声変換）しロボットから出力すると同時に、変換された音声を遠隔ユーザへリアルタイムでフィードバック（変換音声フィードバック）することで、「ロボットになりきる」ことへの効果を示している。

以上を踏まえて、本研究では、様々な物をアバタとして擬人化させる IoT アバタという新しいアバタの開発を目的とし、擬人化の要素として音声機能に着目した。したがって、音声変換機能及び変換された音声を遠隔ユーザへフィードバックする音声変換フィードバック機能を実装したプロトタイプを開発し、その有効性を評価した。

5.1.1 コンセプト

本研究で提案する IoT アバタは、実空間の様々な物自体をアバタとして擬人化し、その物と周囲の人とがコミュニケーションを行えるようにすることを実現する。図 5-1 にそのコンセプトにおけるユースケースの一例を示す。例えば、ユーザらがホワイトボードを使いながら設計作業を行っている際に、ホワイトボードが話し出し一緒に議論したりアイデアを出したりすることができる。あるいは、ドアが話し出し、部屋の使用状況や本人確認などユーザとコミュニケーションが可能となる。これらの IoT アバタの機能は、インターネットに接続された IoT アバタデバイスを様々な物に取り付けることで IoT アバタとし、IoT アバタ自体は IoT アバタデバイスを介して遠隔ユーザが操作することで実現する。また、図 5-1 の IoT アバタのユースケースは、一例であるが、これに限らず、その他、ショッピングモールや駅、空港など人が集まる様々な場所の様々な物をアバタとして幅広い活用が期待できる。

実空間でアバタを使う例としては、ロボットアバタを用いる方法もある。ロボットアバタは、物理的な実体を持つロボットを自分の分身として活用することで遠隔コミュニケーションを行う。例えば、ショッピングモール[77]、観光案内所[78]、公共空間[79]等において、ロボットをアバタとして活用されている。ただし、遠隔地の様々な場所でロボットをアバタとして使う場合には、それぞれの遠隔地にロボットを配置するため多数台ロボットを必要とするが、IoT アバタの場合は、その場の物自体をアバタとすることができるという利点がある。

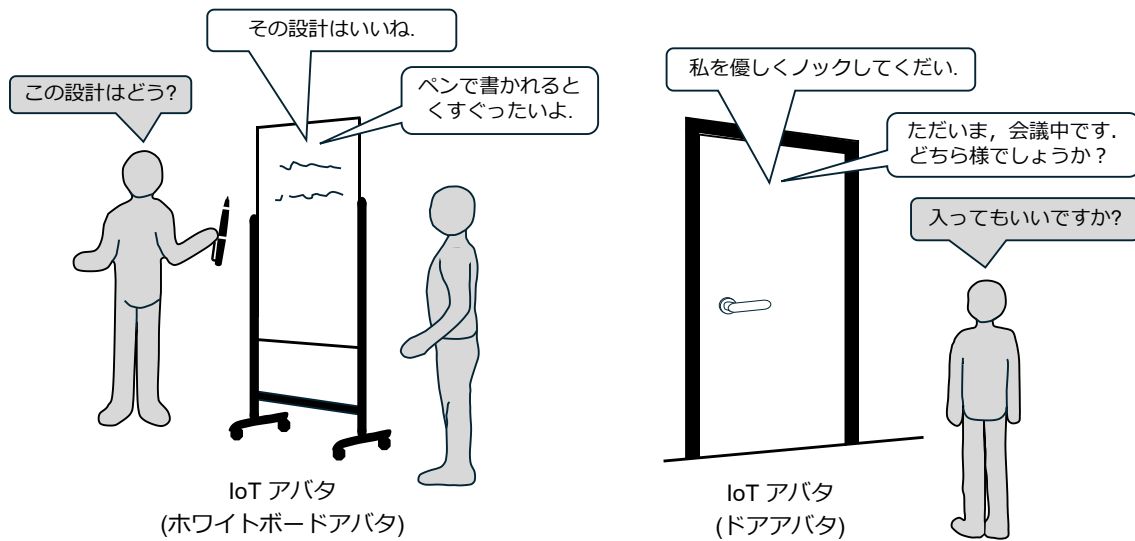


図 5-1 IoT アバタのユースケース

物の擬人化に関する研究はいくつか報告されている[80,81]. 実際の日常的な物の擬人化については、具体的に、冷蔵庫、プリンタ、コーヒーマーカーなどの物を擬人化し、人とインタラクションするシステムの設計・開発する研究が行われている[82-84]. また、研究の他にも、物の擬人化については、映画やアニメでもよく描かれる。例えば、ディズニー映画「美女と野獣」では、時計、燭台、ティーポットといった日常的な物が、擬人化されたキャラクターとして登場する。これらのキャラクターは、物語の中で主人公らと会話し、主人公らの行動をサポートする様子が描かれている。本研究で提案する IoT アバタについても、日常的な物が擬人化され、人とコミュニケーションをとるという点で、映画の登場キャラクターと類似している。しかし、実際に実空間で、物をアバタとして擬人化し、あたかも人間のように柔軟に人とコミュニケーションさせることが可能かどうかは、十分に検討されていない。本研究では、実際にプロトタイプを開発し、検討を行った。

さらに、物と人とのインタラクションという点では、「Robject」[85,86]という概念がある。Robject は、日常生活で見かける物とロボットを融合させた対話型ロボットである。研究としては、例えば、ランプ型のロボジェクト「Lumos」、マイク型のロボジェクト「Whimbo」が開発され人と効果的にインタラクション

している[87,88]. つまり, ロボットを組み込んだ日用品と人との間で, 効果的なインタラクションが可能であることが示されている. 一方, 本研究で提案するIoT アバタは, 身の回りの物をロボットではなくアバタとして擬人化し, その場で人とコミュニケーションする. すなわち, 遠隔地にいるユーザがあたかも物その物になったかのような感覚を実現し, 情報提示や共有など, 現場の人々との効果的な音声コミュニケーションを実現することを目指している.

その他の関連研究として, むいぐるみと人とのコミュニケーションを可能にするデバイス「Pechat」がある[89,90]. Pechat は, むいぐるみに取り付けられたボタン型のスピーカデバイスであり, スマートフォンなどで操作することで, むいぐるみがしゃべっているかのような音声を出力する. Pechat の主な機能はスピーカであるが, 本研究で使用する IoT アバタデバイスには 360 度カメラ, マイク, スピーカが搭載されている. そのため, 遠隔地にいるユーザは, IoT アバタの視点で映像を見ながら, 音声を使ってその場にいる人とコミュニケーションをとることができる.

また, IoT デバイスの内部の振る舞いや状態を, 複合現実を用いた CG キャラクタで表現する IoT アバタの研究が行われている[91]. しかしながら, 本研究で提案する IoT アバタは, CG を用いてアバタを表現するのではなく, 実空間の物自体をアバタとして擬人化するという新たなコンセプトである.

5.1.2 IoT アバタデバイス

本研究では, 上述の IoT アバタのコンセプトを実現するために, 図 5-2 に示すような IoT アバタデバイスを開発した. まず, IoT アバタデバイスの構成機器は, Raspberry Pi 4 model B, 小型 Bluetooth スピーカ (Wireless Ultra Mini Speaker), 360 度カメラ (VR 220 Camera), 小型 USB マイクで構成されている. IoT アバタデバイス自体のボディは, 縦 92mm, 横 63mm, 高さ 38mm であり, ボディ自体は, 3D プリンタによって PLA 素材を用いて作製された. この IoT アバタデバイスを様々な物に取り付けることで IoT アバタとし実現する. なお, IoT アバタを介してコミュニケーションする遠隔ユーザは, HMD (Meta Quest 3) を用いて没入環境で行うものとした. また, IoT アバタデバイスにおいては, その他アクチュエータなどを実装することも考えられたが, アクチュエータなどで IoT アバタデバイス自体を目立たせると, 物自体へ意識が向くのではなく, デバイス自体へ意識が向く可能性が考えられたため実装しなかった.

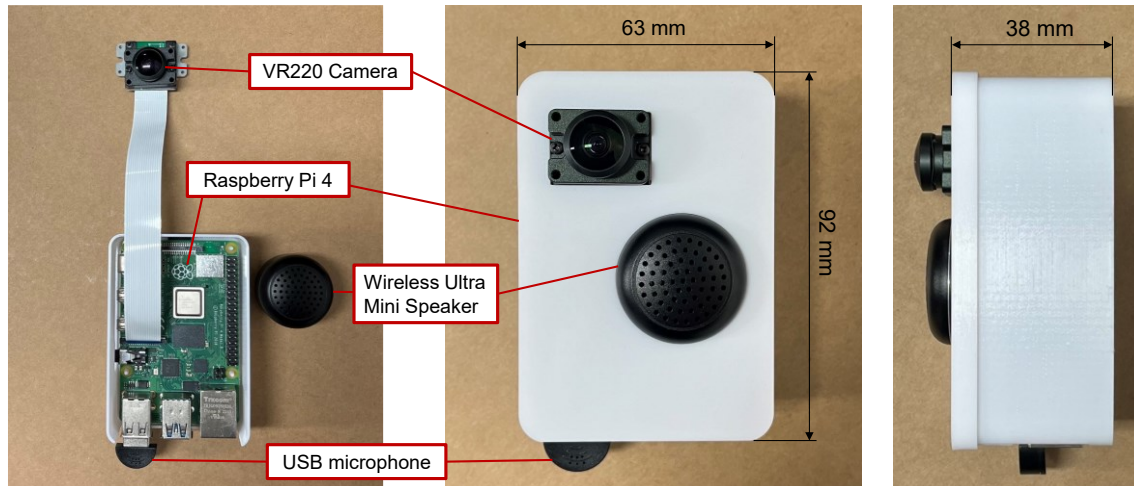


図 5-2 IoT アバタデバイスの構成

5.1.3 提案システムの設計

図 5-3 に、本研究で提案する IoT アバタのシステム構成を示す。本システムでは、WebRTC プラットフォーム SDK である SkyWay を使用し、IoT アバタデバイスと PC がリアルタイムで遠隔通信を行い、音声及び映像の送受信を行うシステムとした。HMD での没入環境の構築においては、PC が受信する音声及び映像を PC に接続された HMD へ出力することで実現した。

具体的な IoT アバタデバイスと PC 間のリアルタイム遠隔通信については、SkyWay SDK を使用し通信するための Web アプリケーションを作製した。まず、図 5-3 に示すように、IoT アバタデバイスと PC は、それぞれブラウザで Web アプリケーションを開く。Web アプリケーションのプログラムはサーバに保存され、HTTPS 通信により IoT アバタデバイスと PC のブラウザで読み込む。IoT アバタデバイスと PC 間の通信は、低遅延のために P2P 通信を用いて実装されている。次に、IoT アバタデバイス及び PC ではそれぞれ Web アプリケーションで、SkyWay SDK により作成された P2P コミュニケーションルームを介してお互いリアルタイム遠隔通信ができる。

実際のシステムの動作について、IoT アバタデバイスで取得された音声と 360 度映像は、P2P コミュニケーションルームを介して、PC 側の Web アプリケーションへ配信される。音声は、PC に接続された HMD のスピーカから出力される。映像に関しては、PC 側の Web アプリケーション内に実装された A-Frame によ

り、送られてきた 360 度映像を天球に張り付け、HMD で没入映像を見るシステムとした。PC 側では、Roland 社の Roland VT-4 を用いて、遠隔ユーザの音声の変換及び遠隔ユーザへの音声変換フィードバックが行われる。遠隔ユーザの音声は、Web アプリケーションにより、Roland VT-4 に接続された有線マイクで取得され音声変換される。変換された遠隔ユーザの音声は、IoT アバタデバイスに送信され、IoT アバタデバイスのスピーカにより出力される。同時に、PC 側では、Roland VT-4 に接続された有線スピーカから遠隔ユーザへリアルタイムで変換された音声をフィードバックする。なお、Roland VT-4 により変換される音声は、ロボットキャラクターのような声を想定し、Roland VT-4 で声のピッチとフォルマントを上げ、遠隔ユーザのオリジナルの声と全く異なる音声とした。また、映像及び音声通信においては、ほぼ遅延はなかった。

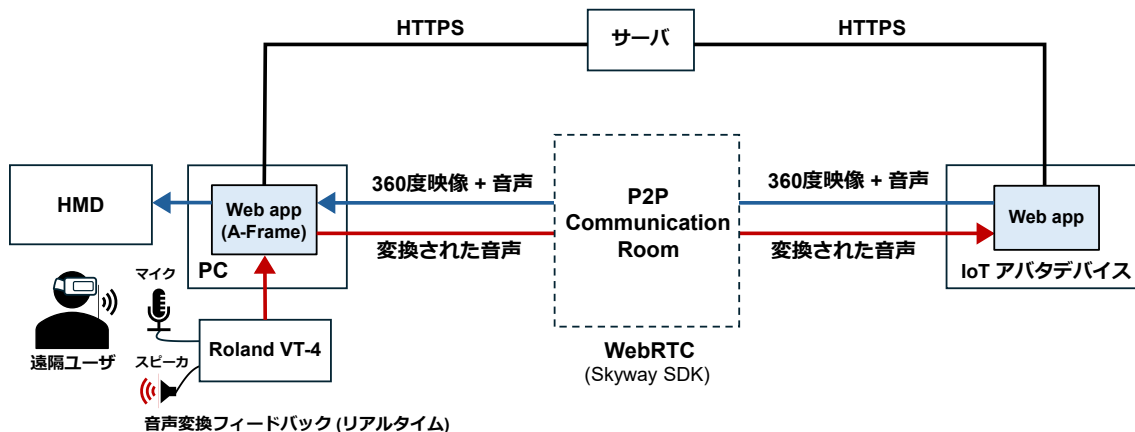


図 5-3 提案する IoT アバタのシステム構成

5.1.4 比較システムの設計

図 5-4 に、評価実験の比較ために用いる、これまでに開発した従来の IoT アバタのシステム構成を示す。この比較システムにおいても、提案システムと同様に、SkyWay SDK を使用し、IoT アバタデバイスと PC がリアルタイムで遠隔通信を行っている。このシステムでは、IoT アバタデバイスのカメラは Raspberry Pi Camera V2 (画角：62.2×48.8°) が使用され、このカメラで取得された映像は、PC へ送信され PC のモニタ上で映像を見るシステムとしている。IoT アバタ

デバイスから取得された音声は、PC へ送信され、PC のスピーカから出力される。遠隔ユーザ側では、PC のマイクで遠隔ユーザの声を取得し、IoT アバタデバイスに送信され、IoT アバタデバイスのスピーカから遠隔ユーザのオリジナルの音声が出力される。

以上のように、この比較システムでは、遠隔ユーザは HMD を使用せず PC 上の非没入環境で、IoT アバタを介し現場のユーザと自分自身の音声でコミュニケーションする。映像及び音声通信においては、ほぼ遅延はなかった。

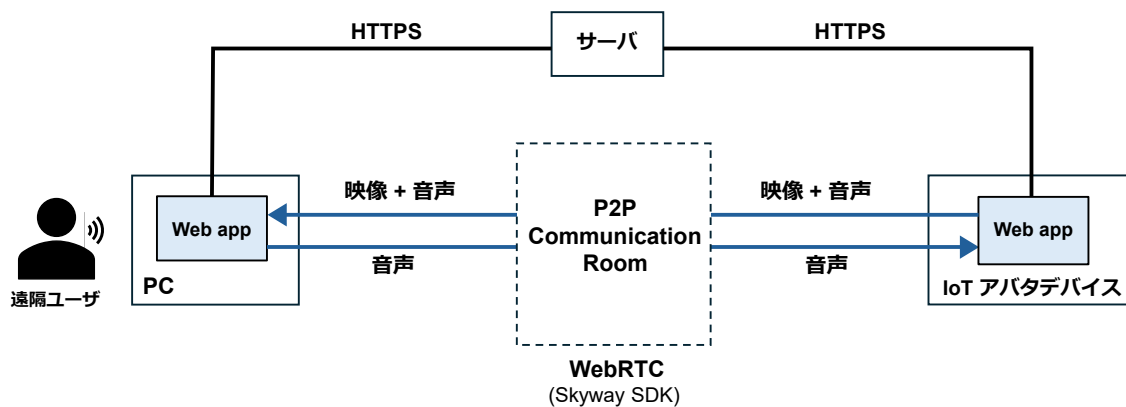


図 5-4 比較システムの構成

5.1.5 評価実験

本実験において、IoT アバタにする物としては、大学施設内で多くの人に使われているホワイトボード、ドアを選定した。そして、提案システムの有効性を評価するため 10 人の被験者に対し評価実験（実験 1，実験 2）を行った。

- ・実験 1：被験者が IoT アバタと対面しコミュニケーションを行う
- ・実験 2：被験者が IoT アバタを介して現場の人とコミュニケーションを行う

5.1.6 実験1: IoT アバタとの対面コミュニケーション

実験1では、被験者がIoT アバタと対面しコミュニケーションを行う実験を行った(図5-5).



(a) IoT アバタ (ホワイトボード)



(b) IoT アバタ (ドア)

図5-5 IoT アバタとコミュニケーションする被験者の様子

実験1については、別の部屋にいる実験者（遠隔ユーザ）が、IoT アバタを介して、被験者とコミュニケーションを行う。ホワイトボードの場合には、被験者にはホワイトボードに自由に書きながらホワイトボードとコミュニケーションを行ってもらった。実験者は、ホワイトボードになりきり、被験者とコミュニケーションをとる。例えば、「ペンで書かれるとくすぐったいよ」などのホワイトボードになりきったような発言をした。ドアの場合には、被験者にはドアをノックしたり、ドアノブを回したりしながらドアとコミュニケーションを行ってもらった。同様に、実験者はドアになりきりながら、例えば、「僕の手（ドアノブ）を強く握ると痛いよ」など発言しながら被験者とコミュニケーションをとった。

表 5-1 に、実験1の実験条件を示す。実験条件に関しては、ホワイトボードが話す声を音声変換（VT）する条件、ドアが話す声を音声変換（VT）する条件、ホワイトボードが話す声を音声変換しない（No-VT）条件、ドアが話す声を音声変換しない（No-VT）条件とした。VT の条件の場合は 5.1.3 節の提案システム、No-VT の条件の場合は 5.1.4 節の比較システムである。VT の条件、No-VT の条件の実施順は被験者ごとにランダムとした。

表 5-1 実験1の実験条件

IoT アバタの声	アバタ化する物
VT	ホワイトボード、ドア
No-VT	ホワイトボード、ドア

実験1での評価については、それぞれの実験条件終了時に、表 5-2 に示すアンケートに回答してもらった。アンケートは、7段階のリッカート尺度（1:全くそう思わない、2:そう思わない、3:あまりそう思わない、4:どちらともいえない、5:ややそう思う、6:そう思う、7:非常にそう思う）で評価された。アンケートの Q1, Q2 は、物自体とコミュニケーションしている感覚であるのか、遠隔ユーザとコミュニケーションしている感覚であるのかを比較するため、対の質問を作成した。Q3 は、物に対して人間性を感じるか、Q4 は利用意欲を問うアンケートとした。

表 5-2 実験1のアンケート項目

Q1 遠隔ユーザではなく物自体とコミュニケーションしていると感じた
Q2 物自体ではなく遠隔ユーザとコミュニケーションしていると感じた
Q3 物自体に人間性を感じた
Q4 このシステムを利用したい

5.1.7 実験1の結果

図 5-6, 表 5-3 に音声変換の有無 (VT, No-VT) における実験結果, 図 5-7, 表 5-4 に物の種類 (ホワイトボード, ドア) における実験結果を示す. 図 5-6, 図 5-7 のエラーバーは標準偏差を示す.

まず, Q1 の物自体とコミュニケーションしていると感じたかに関して, 音声変換の有無 (VT, No-VT), 物の種類(ホワイトボード, ドア)を因子に分散分析を行った. その結果, 音声変換の有無の因子では有意 ($p=0.016$) であった. 図 5-6 のように, Q1 (VT) の評価は値が 5 を超え, Q1 (No-VT) より有意に高い評価となった. つまり, VT の条件において, 物自体とコミュニケーションしている感覚が生起することが示唆された. 一方で, 図 5-7 より, Q1 における, 物の種類 (ホワイトボード, ドア) に関しては, ホワイトボードとドアとの間に有意な違い ($p=0.453$) は見られなかった.

次に, Q2 の遠隔ユーザとコミュニケーションしているように感じたかに関して, 音声変換の有無 (VT, No-VT), 物の種類(ホワイトボード, ドア)を因子に分散分析を行った. その結果, 図 5-6 のように, Q2 (VT) と Q2 (No-VT) の間では, Q2 (No-VT) が有意に高くなる結果($p<0.001$)になった. これは, 遠隔ユーザのオリジナルの声 (No-VT) であるため妥当な結果であると言える. また, 図 5-7 より, Q2 における, 物の種類 (ホワイトボード, ドア) に関しては, ホワイトボードとドアとの間に有意な違いは見られなかった ($p=0.573$).

また, Q1 (VT) と Q2 (VT) の間, Q1 (No-VT) と Q2 (No-VT) の間, において t 検定により比較した. 図 5-6 より, Q1 (VT) と Q2 (VT) の間 ($p<0.001$), Q1 (No-VT) と Q2 (No-VT) の間 ($p=0.028$) に有意な差が見られた.

つまり以上の Q1, Q2 の結果から, VT の条件で, 遠隔ユーザではなく, 物自

体とコミュニケーションしている感覚をより感じさせる効果があることが示唆された。

Q3 の物自体に人間性を感じたかの項目に関して、音声変換の有無（VT, No-VT）、物の種類(ホワイトボード、ドア)を因子による分散分析を行った。図 5-6 より、VT と No-VT の間に有意な差 ($p = 1.000$) は無かった。VT, No-VT の条件とも評価の値は 5 を超え、概ね人間性を感じている結果となった。また、ホワイトボードとドアとの間にも有意差 ($p = 0.508$) はなかった (図 5-7)。

Q4 のこのシステムを利用したいかの項目においても、同様に分散分析を行うと VT, No-VT の間に有意な差 ($p = 1.000$) はなく、VT, No-VT の条件ともポジティブな結果が得られた。Q4 においても、ホワイトボードとドアとの間にも有意な差 ($p = 0.673$) はなかった (図 5-7)。

以上の結果から、提案システム (VT) において、より物自体とコミュニケーションしているように感じさせる効果があり、また、人間性に関しても概ね感じている結果となった。すなわち、これらの結果から擬人化という点で、提案システム (VT) の有効性が示唆された。

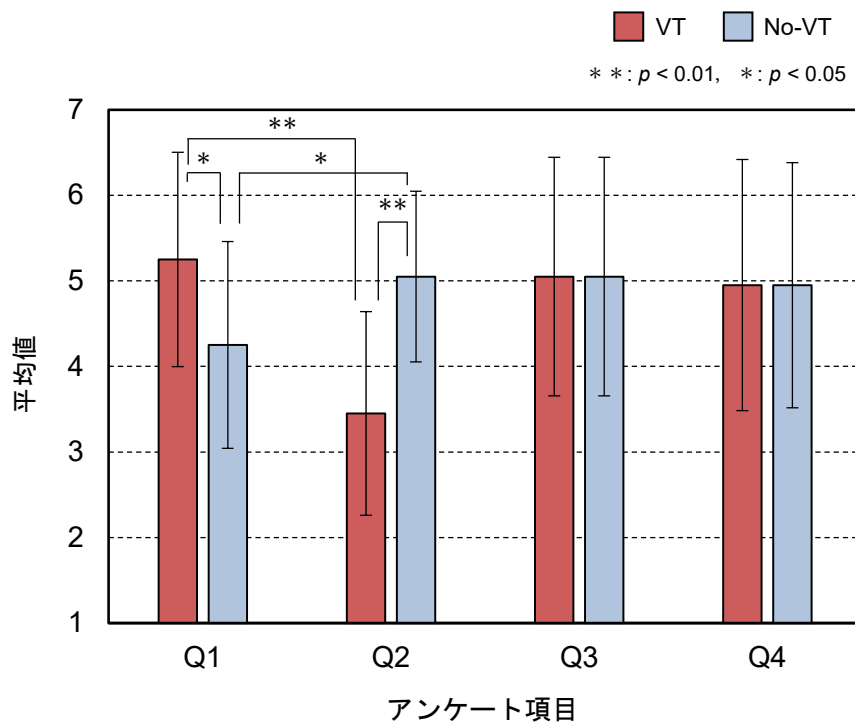


図 5-6 実験 1 の VT と No-VT における実験結果

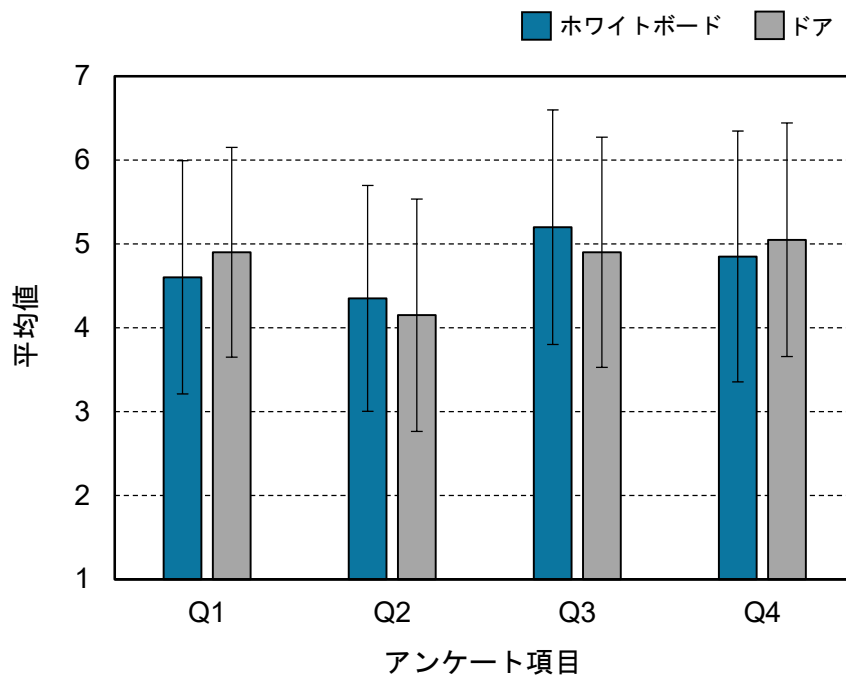


図 5-7 実験 1 のドアとホワイトボードにおける実験結果

表 5-3 実験 1 の VT と No-VT における実験結果（数値データ）

音声変換の有無		平均（標準偏差）	p 値（分散分析）
Q1	VT	5.25 (1.25)	$p = 0.016$
	No-VT	4.25 (1.21)	
Q2	VT	3.45 (1.19)	$p < 0.001$
	No-VT	5.05 (1.00)	
Q3	VT	5.05 (1.39)	$p = 1.000$
	No-VT	5.05 (1.39)	
Q4	VT	4.95 (1.47)	$p = 1.000$
	No-VT	4.95 (1.43)	

表 5-4 実験 1 のドアとホワイトボードにおける実験結果（数値データ）

物の種類		平均（標準偏差）	p 値（分散分析）
Q1	ホワイトボード	4.60 (1.39)	$p = 0.453$
	ドア	4.90 (1.25)	
Q2	ホワイトボード	4.35 (1.35)	$p = 0.573$
	ドア	4.15 (1.39)	
Q3	ホワイトボード	5.20 (1.40)	$p = 0.508$
	ドア	4.90 (1.37)	
Q4	ホワイトボード	4.85 (1.50)	$p = 0.673$
	ドア	5.05 (1.39)	

アンケートにおける自由記述でのコメントや感想の一部を以下に記載する。

<VT 条件>

- ・ ドアとのやり取りが楽しく、面白かった（ノックしたり、ドアの取っ手と握手したり）。老人ホームや子供の施設（幼稚園や児童養施設など）に設置すると、利用者の心がなごむようなきがしました。
- ・ ホワイトボードに書いた内容についてアバタさんと会話できたら面白かったかもしれないです。
- ・ 聞き取れなかったときにもう一度言ってくれて人間性を感じた。
- ・ 声が変わると余計に物自体とコミュニケーションしているように感じた。
- ・ 声の質が変わった状態で「くすぐったい」と言われると、ホワイトボードに描くことに少し戸惑いがあった。

<No-VT 条件>

- ・ オンライン会議や遠隔での講義での活用により効果がありそうに感じた。ホワイトボードから音声があるので、通常のリモートでの会議より臨場感を感じた。
- ・ オフィスの受付にあるインターフォンを思い出しました。
- ・ 小さいお子さんのいる家庭で、親の外出中に、子供を遠隔で確認するときに見えるのではとおもいました。
- ・ 痛いや感情等が言われたときに物と話している気持ちになれた気がする。

5.1.8 実験2: IoT アバタを介した現場の人とのコミュニケーション

実験2については、被験者がIoTアバタを介して、現地にいる実験者とコミュニケーションを行う。この時、被験者（遠隔ユーザ）は、別の部屋からIoTアバタを介して、実験者とコミュニケーションを行う。ホワイトボードの場合には、被験者にはホワイトボードになりきって、実験者とコミュニケーションを行ってもらった。実験者は、ホワイトボードに自由に書きながらホワイトボードとコミュニケーションを行った。ドアの場合には、被験者はドアになりきって、実験者とコミュニケーションを行ってもらった。実験者は、ドアをノックしたり、ドアノブを回したりしながらドアとコミュニケーションを行った。

表5-5に、実験2の実験条件を示す。実験条件に関しては、ホワイトボードが話す声を音声変換し、遠隔ユーザへ変換音声フィードバックする条件（VT）、ドアが話す声を音声変換し、遠隔ユーザへ変換音声フィードバックする条件（VT）、ホワイトボードが話す声を音声変換せず、遠隔ユーザへのフィードバックもしない条件（No-VT）、ドアが話す声を音声変換せず、遠隔ユーザへのフィードバックもしない条件（No-VT）とした。VTの条件の場合は、5.1.3節の提案システムであり被験者はHMDを被り（図5-8）、No-VTの条件の場合は、5.1.4節の比較システムであり被験者はPCを使用した（図5-9）。なお、VTの条件、No-VTの条件の実施順は被験者ごとにランダムとした。図5-10は、ホワイトボードでのVT+HMDのシステムにおけるIoTアバタからの視点映像である。図5-10のように、HMDによる没入環境により、視覚情報としてIoTアバタの形状（ホワイトボードの形状）が一部確認できる。

表 5-5 実験2の実験条件

IoT アバタのシステム	アバタ化する物
VT + HMD	ホワイトボード、ドア
No-VT + PC	ホワイトボード、ドア



図 5-8 VT + HMD のシステム(5.1.3 節の提案システム)

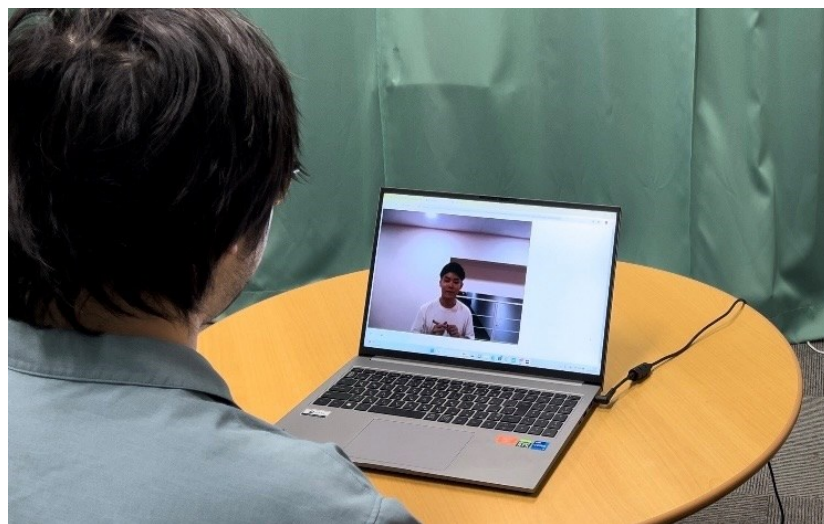


図 5-9 No-VT + PC のシステム(5.1.4 節の比較システム)



図 5-10 ホワイトボードでの VT + HMD のシステムにおける IoT アバタの視点映像

実験2の評価についても、それぞれの実験条件終了時に、表5-6に示すアンケートに回答してもらった。アンケートは、7段階のリッカート尺度（1:全くそう思わない, 2:そう思わない, 3:あまりそう思わない, 4:どちらともいえない, 5:ややそう思う, 6:そう思う, 7:非常にそう思う）で評価された。アンケートのQ1, Q2は、物自体が相手とコミュニケーションしている感覚であるのか、自分自身が相手とコミュニケーションしている感覚であるのかを比較するため、対の質問を作成した。Q3は、物になりきる感覚を感じるか、Q4は利用意欲を問うアンケートとした。

表5-6 実験2のアンケート項目

Q1. 自分自身ではなく物自体が相手とコミュニケーションしていると感じた
Q2. 物自体ではなく自分自身が相手とコミュニケーションしていると感じた
Q3. 自分自身が物自体になったように感じた
Q4. このシステムを利用したい

5.1.9 実験2の結果

図5-11, 表5-7にIoTアバタのシステム（VT+HMD, No-VT+PC）における実験結果, 図5-12, 表5-8に物の種類（ホワイトボード, ドア）における実験結果を示す。図5-11, 図5-12のエラーバーは標準偏差を示す。

まず, Q1の物自体が相手とコミュニケーションしていると感じたかに関して, IoTアバタのシステム（VT+HMD, No-VT+PC）, 物の種類（ホワイトボード, ドア）を因子に分散分析を行った。その結果, IoTアバタのシステムの因子では有意（ $p < 0.001$ ）であった。図5-11のように, Q1（VT+HMD）の評価は, Q1（No-VT+PC）より有意に高くなり, 値が5に近づいた。すなわち, 提案システム（VT+HMD）では, 物自体が相手とコミュニケーションしている感覚を感じていることが示された。図5-12より, Q1における, 物の種類（ホワイトボード, ドア）に関しては, ホワイトボードとドアとの間に有意な違い（ $p = 0.914$ ）は見られなかった。

次に, Q2の自分自身が相手とコミュニケーションしていると感じたかに関して, 音声変換の有無（VT, No-VT+PC）, 物の種類（ホワイトボード, ドア）を

因子に分散分析を行った。図 5-11 のように、Q2 (VT) と Q2 (No-VT+PC) の間では、Q2 (No-VT+PC) が有意に高くなる結果($p=0.005$)となった。図 5-12 より、Q2 における、物の種類 (ホワイトボード, ドア) に関しては、ホワイトボードとドアとの間に有意な違い ($p=0.743$) は見られなかった。

また、Q1 (VT+HMD) と Q2 (VT+HMD) の間、Q1 (No-VT+PC) と Q2 (No-VT+PC) の間において t 検定により比較した。Q1 (VT+HMD) と Q2 (VT+HMD) の間には、有意な差が見られなかった ($p=0.150$)。Q2 (VT+HMD) は、値が 4.5 を下回り、“どちらとも言えない”という評価になった。一方、Q1 (No-VT+PC) と Q2 (No-VT+PC) の間では有意な差 ($p<0.001$) が見られた。Q2 (No-VT+PC) の評価は、有意に高く値が 5 を超え、No-VT+PC の条件では、自分自身が相手とコミュニケーションしている感覚を感じていることが分かる。

Q3 の物自体になったように感じたかの項目に関して、IoT アバタのシステム (VT+HMD, No-VT+PC)、物の種類 (ホワイトボード, ドア) を因子に分散分析を行った。VT+HMD の条件では、値は 5 を超え、No-VT+PC の条件より有意に評価が高くなった($p<0.001$)。つまり、物自体になった感覚を感じられていることが示唆された。一方で、ホワイトボードとドアの間には、有意差($p=0.648$)はなかった (図 5-12)。

Q4 のこのシステムを利用したいかの項目においても、IoT アバタのシステム (VT+HMD, No-VT+PC)、物の種類 (ホワイトボード, ドア) を因子に分散分析を行った。VT+HMD の条件では、No-VT+PC の条件より有意に評価が高くなり ($p=0.040$)、利用意欲に関してポジティブな結果が得られた。また、Q4 においても、ホワイトボードとドアの間にも有意な差 ($p=1.000$) はなかった (図 5-12)。

以上の結果から、提案システム (VT+HMD) により、遠隔ユーザは、物自体になりきり、その物自体が相手とコミュニケーションしているという感覚を感じていることが分かった。

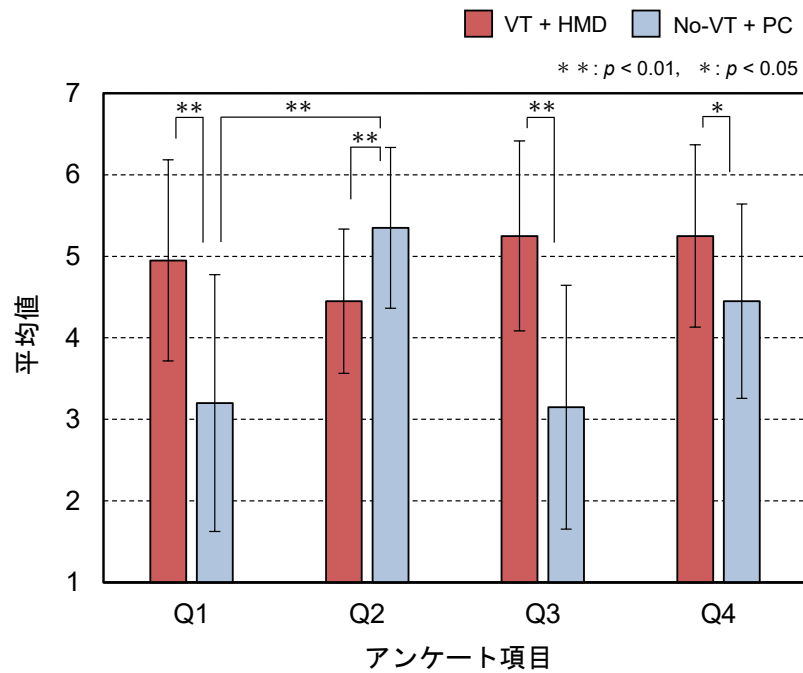


図 5-11 実験 2 の VT+HMD と No-VT+PC における実験結果

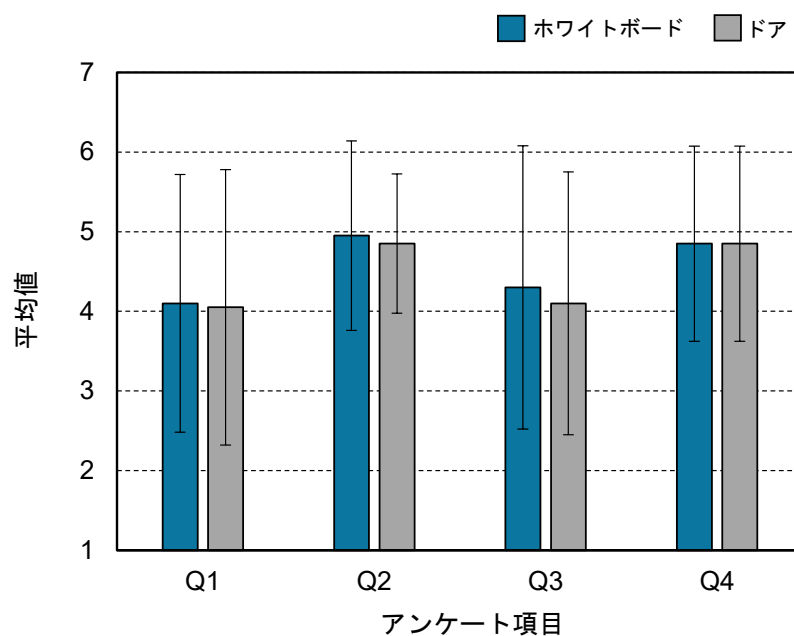


図 5-12 実験 2 のドアとホワイトボードにおける実験結果

表 5-7 実験 2 の VT+HMD と No-VT+PC における実験結果（数値データ）

音声変換の有無		平均（標準偏差）	p 値（分散分析）
Q1	VT+HMD	4.95 (1.23)	$p < 0.001$
	No-VT+PC	3.20 (1.58)	
Q2	VT+HMD	4.45 (0.89)	$p = 0.005$
	No-VT+PC	5.35 (0.99)	
Q3	VT+HMD	5.25 (1.16)	$p < 0.001$
	No-VT+PC	3.15 (1.50)	
Q4	VT+HMD	5.25 (1.12)	$p = 0.040$
	No-VT+PC	4.45 (1.19)	

表 5-8 実験 2 のドアとホワイトボードにおける実験結果（数値データ）

物の種類		平均（標準偏差）	p 値（分散分析）
Q1	ホワイトボード	4.10 (1.62)	$p = 0.914$
	ドア	4.05 (1.73)	
Q2	ホワイトボード	4.95 (1.19)	$p = 0.743$
	ドア	4.85 (0.88)	
Q3	ホワイトボード	4.30 (1.78)	$p = 0.648$
	ドア	4.10 (1.65)	
Q4	ホワイトボード	4.85 (1.23)	$p = 1.000$
	ドア	4.85 (1.23)	

アンケートにおける自由記述でのコメントや感想の一部を以下に記載する。

<VT + HMD 条件>

- ・ 楽しいです。本音を話しにくい間柄のときにこれを使ってゲームをして本音を引き出せそう。
- ・ ドアの場合は、相手に何かしてもらうのかを明確にしにくいです。ホワイトボードは、相手に情報を書いてもらうという目的が明確でした。
- ・ 手の場所や音のフィードバックで触られている気がしてくる。
- ・ 声が違うと物の気持ちになりやすかった。
- ・ 自分が没入しているから自分という気持ちもありながら、声が機械だからドアのような気持ちになれた。

<No-VT + PC 条件>

- ・ 地声だとおちゃらけられないので、フォーマルなやり取りになってしまう。相手がホワイトボードに何を書いたか、こちらでも確認できるとうれしいです。
- ・ 地声なので意識がオフィシャルになってしまう。話し方や話す内容にそそがないように気をつけてしまう。（会社の受付みたいな感じ）
- ・ 視点が動かせないと書いてくれているのか消してくれているのかわからない。鏡を置くなどでフィードバックがあるとうれしい。
- ・ 自分の声で話すとホワイトボードになりきれないと感じた。

5.1.10 考察

まず、実験1の結果から、提案システムにより、物をアバタとして擬人化するというコンセプトが実現できたと考えられる。具体的に、本システムでIoTアバタの音声を、遠隔ユーザのオリジナルの声ではなく、ロボットキャラクタが話しているような音声に変換することで、遠隔ユーザへの意識が下がり、より物自体と話している意識が高くなったと考察する。また、実験2の結果からは、提案システムにより、遠隔ユーザは、その物自体になったような感覚が生起され、自分がなったその物自体が相手とコミュニケーションしているという感覚があることが分かった。つまり、図5-13のように、現場のユーザは、物自体とコミュニケーションしている感覚であるが、遠隔ユーザは自分自身が物となって相手とコミュニケーションしている感覚であり、お互いのコミュニケーション相手の意識が異なる状態で関係の構築ができることが分かった。以上のことから、本章で提案したIoTアバタは、実空間に存在する様々な物をアバタとして擬人化し、遠隔ユーザは、物として現場のユーザと関係を築けることが明らかになった。

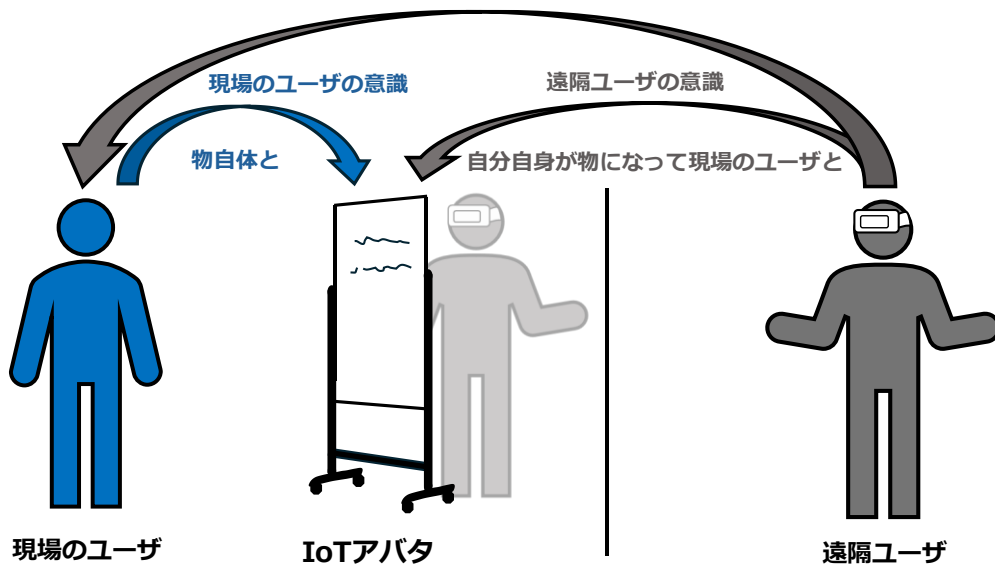


図 5-13 提案した IoT アバタと対面する現場ユーザ及び遠隔ユーザの意識

5.2 本章のまとめ

本章では、実空間の様々な物をアバタとして擬人化し、周囲の人とコミュニケーションを行うことができる IoT アバタを開発した。評価実験から、提案システムにより、物をアバタとして擬人化し、その場のユーザとコミュニケーションを行うことが実現できた。また、遠隔ユーザは提案システムを介して、その物自体になったような感覚で現場のユーザとコミュニケーションできていることが分かった。つまり、提案した IoT アバタにより、実空間に存在する様々な物をアバタとして擬人化し、遠隔ユーザは、物として日常生活のいたるところで現場のユーザと関係を築けることが示唆された。

第6章

考察及び展望

Discussions and Prospects

以上、本研究では、実空間でのアバタコミュニケーションにおける人間関係の構築という点に注目し評価・分析を行い、その知見を基に様々な物をアバタとして擬人化するIoTアバタを開発した。本章では、各章で議論した実空間でのアバタコミュニケーションにおける人間関係の構築について考察及び総括し、様々な物がアバタとなるアバタ社会における考察と展望を述べる。

6.1 各章の考察及び総括

図6-1に各章のつながりを示す。まず、第2章では、開発した没入型ロボットアバタを用いたコミュニケーションにおいて、遠隔ユーザと現場のユーザとの間で異なる意識を持ちながら関係構築が可能であることが分かった。具体的に、遠隔ユーザはロボットアバタに乗り移る感覚で自分自身が現場のユーザとコミュニケーションしている意識である一方で、現場のユーザは遠隔ユーザとではなくロボット自体とコミュニケーションしている意識であることが分かった。つまり、遠隔ユーザは自分自身が実名の現場のユーザとコミュニケーションしている意識であるが、現場のユーザにとっては匿名のロボットアバタと関係を構築されることが明らかになった。特に、遠隔ユーザが匿名になるということで、見かけ、性別、年齢などといった様々な属性やアイデンティティにとらわれず、そのアバタとして現場のユーザと関係の構築ができるという利点が考えられさらなる応用が期待された。すなわち、将来的に、アバタ社会において、多様な人々がその属性やアイデンティティに依存せずに活躍できる可能性が期待できる。

一方で、第3章では、現場のユーザのコミュニケーション相手への意識は、アバタの見かけ、物理的な実体の有無を変えることで変化することが分かった。具体的に、現場のユーザが、物理的な実体のみあるアバタと対面した場合には、現場のユーザの意識はアバタ自体へ向く。現場のユーザが、見かけが遠隔ユーザであるARのアバタと対面した場合には、現場のユーザの意識は、遠隔ユーザに向く。要するに、現場のユーザの意識を遠隔ユーザへ向けさせ、遠隔ユーザとの関係を構築することも可能であることが第3章で分かった。

そして、使用するアバタ形状（ペンギン型、煙型）が無意識のうちにユーザの振る舞いを変える効果があることが第4章で分かった。特に、生物でないような煙型のアバタ形状においてもユーザの振る舞いを変えることができ、様々なアバタ形状の有効活用や応用の可能性が示唆された。

以上、第2章から第4章までで遠隔ユーザは匿名的に現場のユーザと関係を構築できることの利点、及び様々なアバタ形状の活用の可能性が示唆された。これらの知見を基に第5章では、実空間の様々な物をアバタとして擬人化しコミュニケーションできる「IoT アバタ」を開発した。

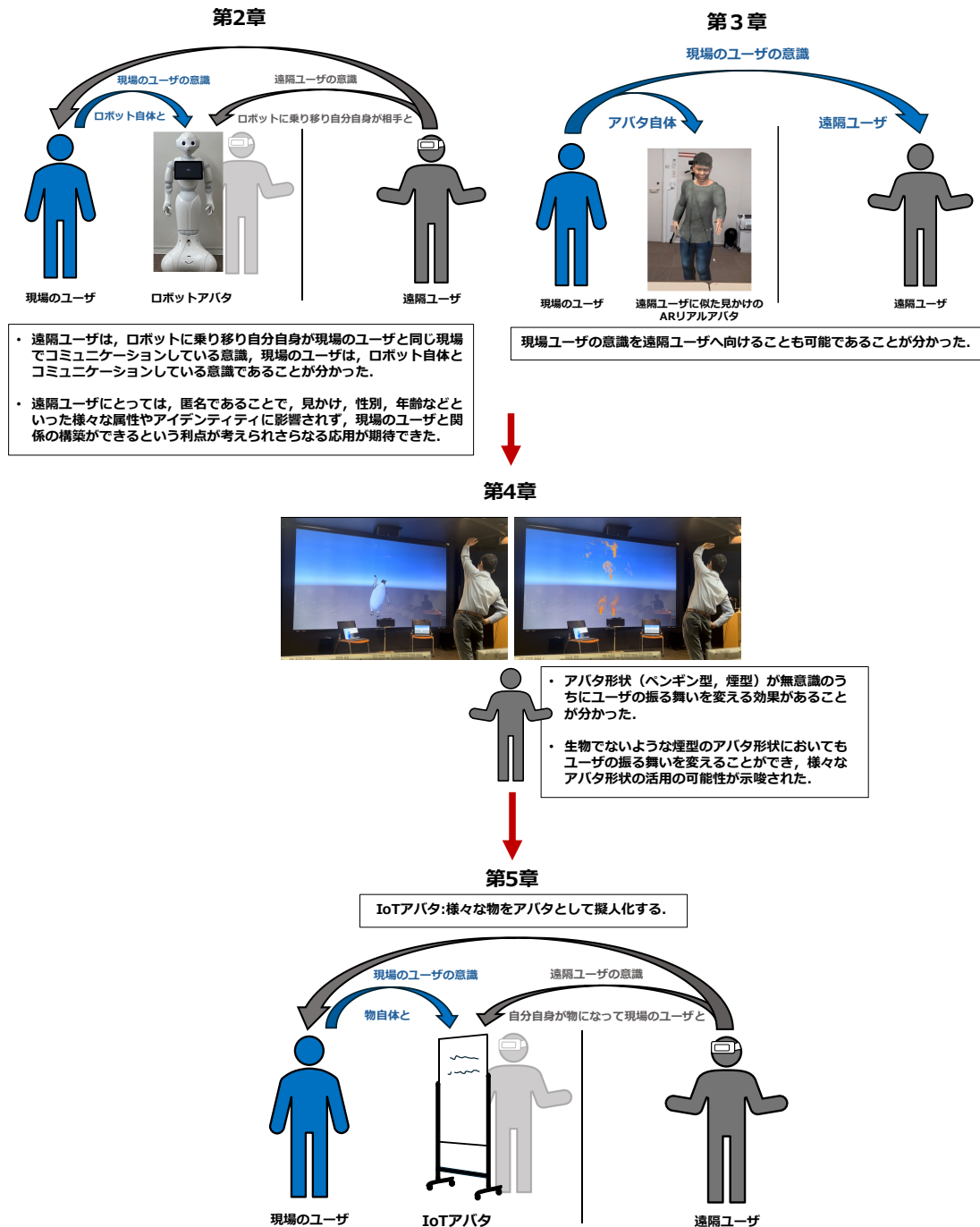


図 6-1 各章のつながり

IoT アバタにおける人間関係の構築という点について考察する。まず、第2章、第3章で得られた、見かけが遠隔ユーザではない物理的な実体があるアバタを用いることで、遠隔ユーザが自身の属性やアイデンティティにとらわれず、匿名的に関係を築くことができるという知見が IoT アバタには反映されている。そして、第4章における様々なアバタ形状の有効活用や応用の可能性を発展させ、本研究では、実空間の様々な形状の物をアバタとする IoT アバタを開発した。

第1章で、実空間におけるアバタコミュニケーションの人間関係という場合には、現場のユーザと遠隔ユーザ間の関係(人-人の関係)の構築であるのか、現場のユーザとアバタ間の関係(人-アバタの関係)の構築であるのかという、現場のユーザ及び遠隔ユーザの意識の違いが生じる可能性を述べた。開発した IoT アバタにおける現場のユーザの意識については、遠隔ユーザではなく IoT アバタ(アバタとして擬人化された様々な物)へ向く。つまり、現場のユーザにとっては、現場のユーザと IoT アバタ間の関係(人-IoT アバタの関係)の構築となる(図 6-2)。一方で、遠隔ユーザにとっては、物になりきり現場のユーザを意識しコミュニケーションすることで、現場のユーザと遠隔ユーザ間の関係(人-人の関係)の構築になる(図 6-3)。図 6-2、図 6-3 より、現場のユーザは、様々な物を人間のようなコミュニケーションの相手として意識し関係の構築ができ、実社会での至る所でこうした関係の構築が期待される。また、遠隔ユーザは、物になりきり現場の状況や現場のユーザの様子・態度等を把握し、柔軟にコミュニケーションできる。

また、第5章では、物をアバタとして擬人化するため、音声変換機能及び音声変換フィードバック機能、HMD による没入環境が実装されていたが、これに対して、比較システムとして、これらの機能が実装されていないシステムを用いて比較した。すなわち、音声変換せず遠隔ユーザのオリジナルの声で、PC の画面上という非没入環境で IoT アバタの視点映像を見るシステムで比較した。この場合は、現場ユーザの意識は遠隔ユーザへ向く。また、遠隔ユーザは物になりきったような感覚は感じられず、PC の画面越しに自分自身が現場のユーザとコミュニケーションしている感覚になることが分かった。お互いに現場のユーザと遠隔ユーザ間の関係(人-人の関係)の構築となり、自由記述のコメントでもあったように、インターフォンのような感覚となってしまうことが分かった(図 6-4)。インターフォンのような関係の構築になってしまうと、物になりきりその物として振る舞いコミュニケーションする IoT アバタとしての利点が生かせない。

IoT アバタはインターフォンとは異なり、遠隔ユーザはその物として没入環境で、現場のユーザと空間を共有しながら、現場の状況や現場のユーザの様子・態度等を把握しコミュニケーションできる。

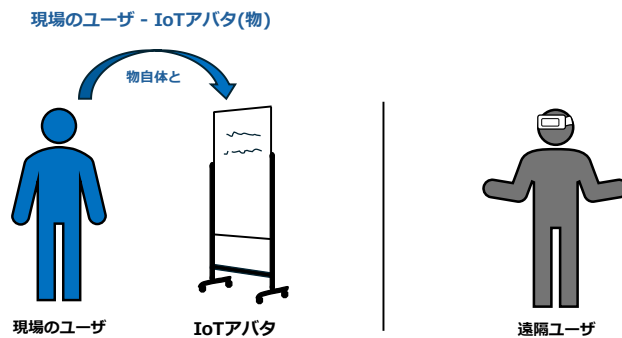


図 6-2 開発した IoT アバタにおける現場のユーザの意識

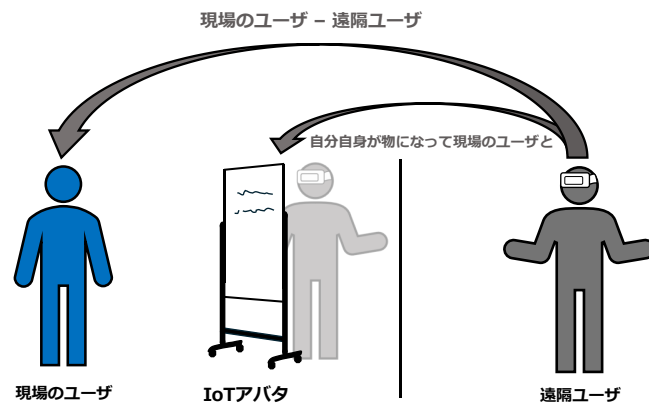


図 6-3 開発した IoT アバタにおける遠隔ユーザの意識

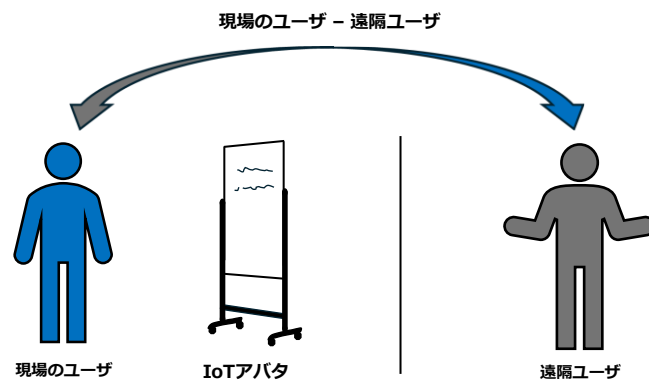


図 6-4 インターフォンのような関係の構築（比較システム）

6.2 様々な物が IoT アバタ化するアバタ社会

IoT アバタは、実空間にある様々な物をアバタとして擬人化し、遠隔ユーザはその物になって、日常生活のいたるところで現場のユーザと関係が構築できる。この IoT アバタにおいて、遠隔ユーザは、自分自身の素性を明かさずその物になったような感覚で現場のユーザと関係を構築できる。つまり、遠隔ユーザ自身の見かけ、性別、年齢、実際の身体などといった様々な属性やアイデンティティにとらわれず、様々な物としてアバタ社会での活躍が期待できる。現場のユーザにとっては、様々な物が擬人化され話しかけられることで、単にスピーカなどによる一方な音声の出力ではなく、その場の状況に応じて柔軟にインタラクティブなコミュニケーションができる。また、ロボットアバタと比べて、比較的低価格な小型の IoT アバタデバイスを様々な物に取り付けアバタ化するため、遠隔地に多数のロボットを配置するコストや運用負担の軽減につながると考えられる。

具体的な実装例として、ショッピングモール内での活用が考えられる(図 6-5)。ショッピングモール内のカートや商品が IoT アバタ化され、従業員が遠隔ユーザとして IoT アバタを操作できることが考えられる。そして、顧客と対話し商品情報を提供したり、購入を勧めたりすることが可能となり物自体による対面販売のようなサービスの提供が考えられる。例えば、図 6-5 のようにショッピングモールで現場ユーザが帽子を購入するというユースケースがあった場合に、カートが現場のユーザと会話したり案内したりしながら一緒に帽子は売り場まで移動できる。そして帽子は、商品情報を話したり、購入を勧めたりすることができる。帽子以外にも近くに陳列する例えば、靴などといった商品も、商品情報を話したり、購入を勧めたりすることができる。この時、従業員（遠隔ユーザ）は 1 人で、1 体あるいは複数体の IoT アバタを操作するということが期待できる。

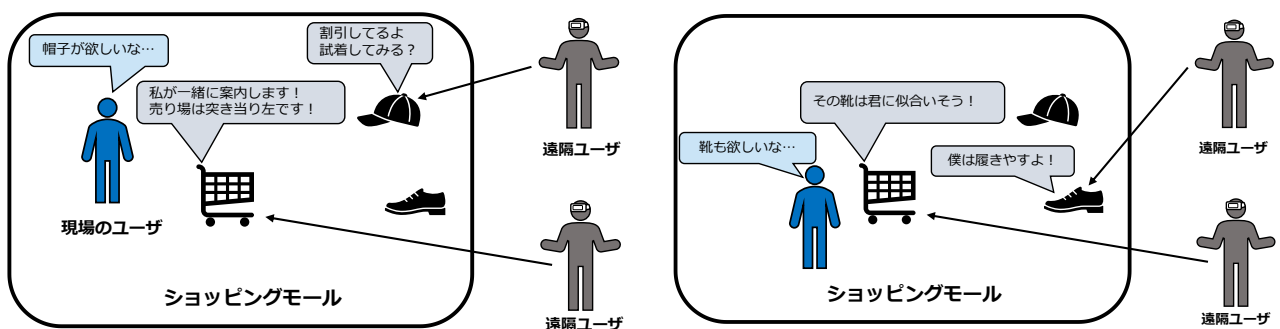


図 6-5 ショッピングモールにおける IoT アバタの実装例

その他に、例えば、博物館で展示物がIoT アバタ化され、学芸員が遠隔ユーザとしてIoT アバタを操作できることが考えられる(図 6-6)。博物館でIoT アバタは、展示物の情報を提供したり、施設案内をしたりすることが考えられる。また、スポーツジムのトレーニング機材などがIoT アバタ化され、トレーナーが遠隔ユーザとしてIoT アバタを操作できることが考えられる。スポーツジムでIoT アバタは、現場のユーザのトレーニングを評価しながら励ましや適切な指導を行うパーソナルトレーナーのような活用も考えられる(図 6-7)。その他、学校内の教室のホワイトボードや机などがIoT アバタ化され、専門の講師が遠隔ユーザとしてIoT アバタを操作できることが考えられる。そして、生徒の学習支援などティーチングアシスタントのような活用も考えられる(図 6-8)。

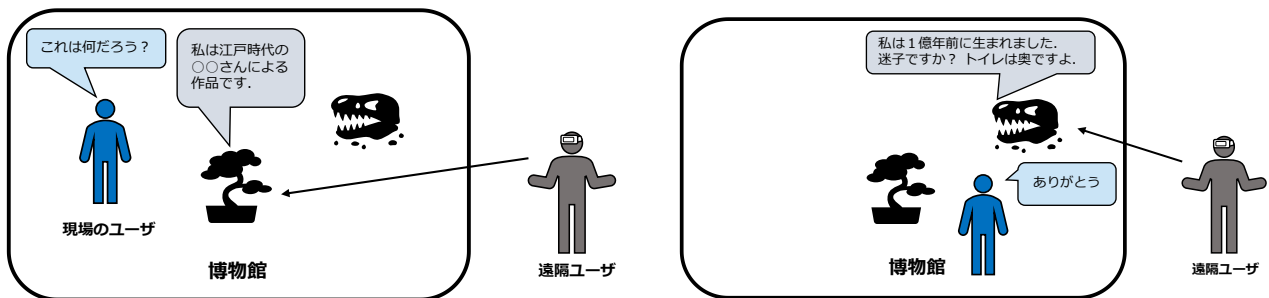


図 6-6 博物館における IoT アバタの実装例

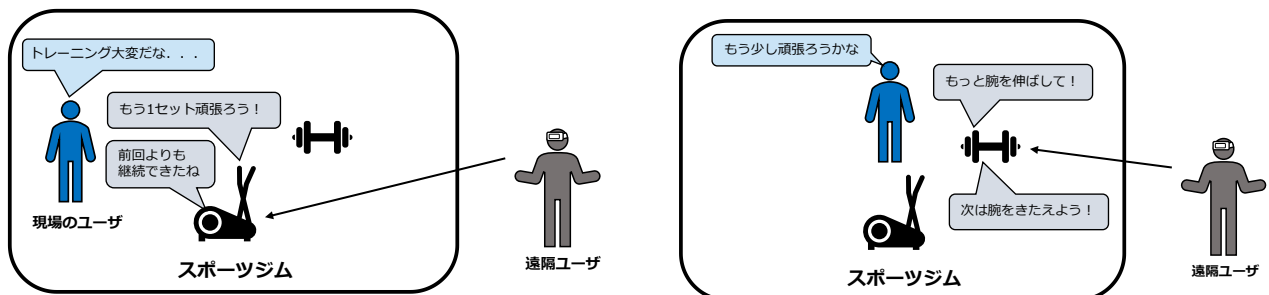


図 6-7 スポーツジムにおける IoT アバタの実装例

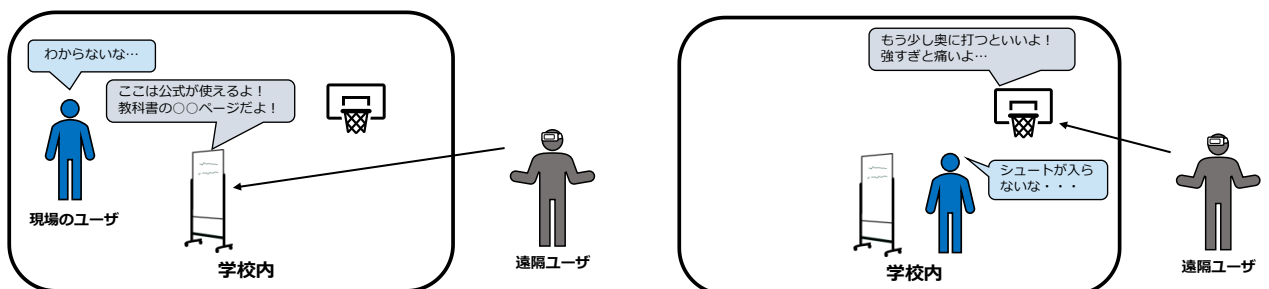


図 6-8 学校内における IoT アバタの実装例

また、街中では、ゴミ箱やベンチ、街灯などの公共物がIoTアバタ化され、例えば市区町村の職員が遠隔ユーザとしてIoTアバタを操作できることが考えられる。街中でIoTアバタは、雑談や日常会話で住人や通行人と関係を築くことが期待できる(図6-9(a))。例えば、その地域に関連する出来事、イベント情報、交通情報など住民や通行人が関心を持つトピックに至るまでコミュニケーションでき、地域コミュニティの形成や社会的なつながりを強化する効果が期待される。一方で、災害時にはIoTアバタが、災害情報の提供や避難経路の案内、安全な場所への誘導といった緊急時の対応も期待できる(図6-9(b))。こうした機能は、災害時における住民や通行人の混乱を抑え、安全確保を支援するために重要であると考えられる。

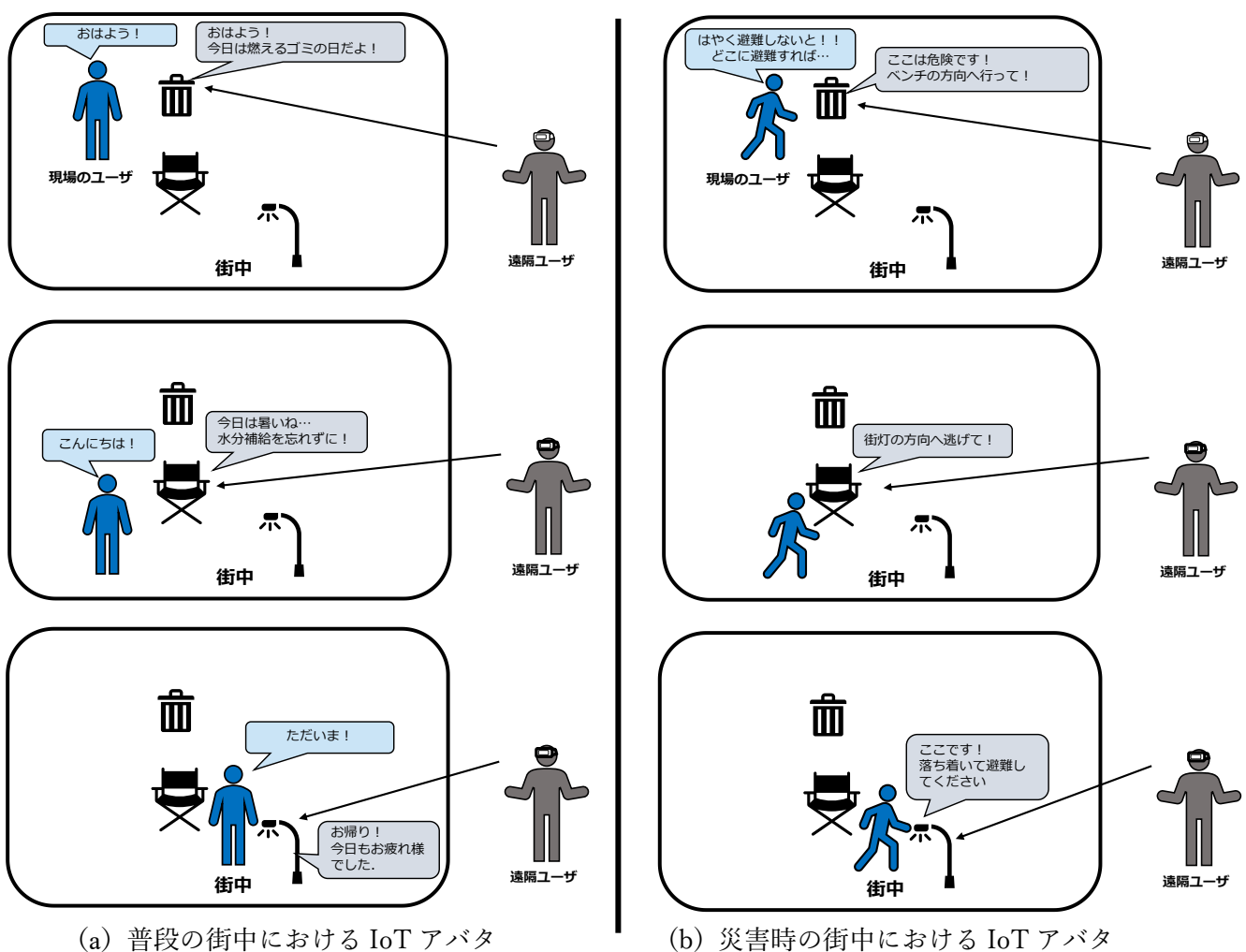


図 6-9 街中における IoT アバタの実装例

以上のように、将来的にアバタ社会において、様々な場所の様々な物が IoT アバタ化され、現場のユーザとコミュニケーションし関係を構築ができ、日常生活から災害時にいたるまで有効な活用が期待できる(図 6-10)。遠隔ユーザは、自身の属性やアイデンティティにとらわれず、現場のユーザと関係を構築できると期待でき、またプロテウス効果も期待できる。第1章で先行研究として、魅力的な外見の人型のアバタを使用した際に自己開示や対人距離という側面から友好的になること、背の高いアバタを使用した際に、交渉タスクにおいて自信を持った行動ができること[46]、ドラゴンアバタを使用することで、高所への恐怖が軽減されること[50]など報告されていることを述べたが、IoT アバタにおいてもこうしたプロテウス効果が期待できる。例えば、IoT アバタを用いることで、その物としてショッピングモールで自信をもって購入を勧めたり、その物として学校内でより親身に学習支援をしたりするなど、その物に影響され遠隔ユーザの振る舞いや心理状態を引き出し現場のユーザと関係を築き活動できると考えられる。このように、IoT アバタを用いたコミュニケーションを行う際の利点となるような、プロテウス効果の調査も今後の展望として挙げられる。

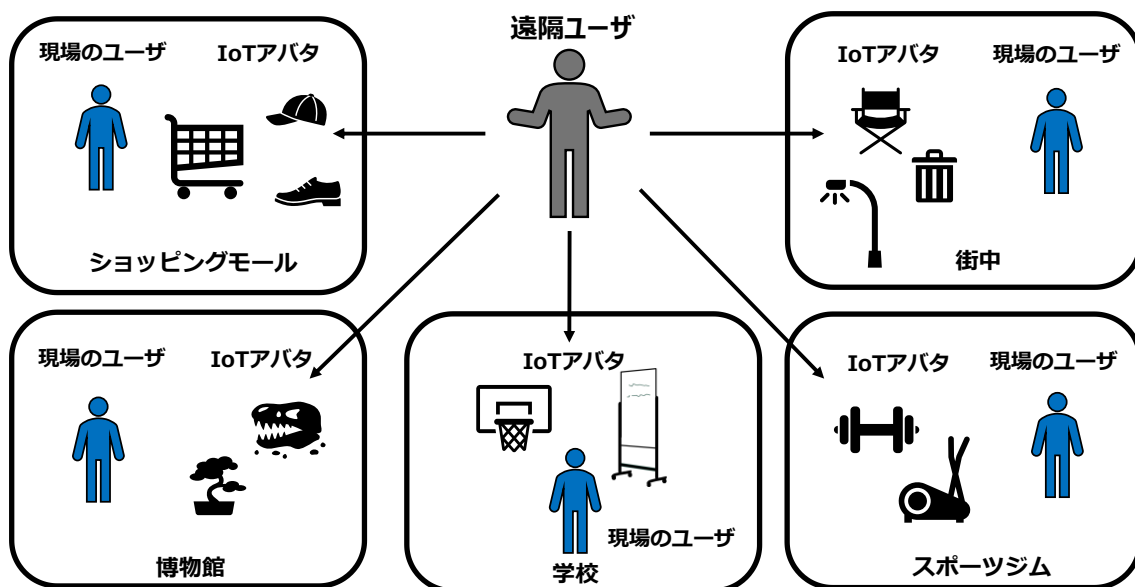


図 6-10 アバタ社会における IoT アバタ

6.3 IoT アバタの実装へ向けた展望

本研究で実際に開発した IoT アバタは、1 人の遠隔ユーザが 1 体の IoT アバタを操作するシステム設計であった。今後、前節で述べたように遠隔ユーザが複数の IoT アバタを操作し、コミュニケーションすることが期待される。先行事例として、これまでに、複数のロボットアバタを操作する研究が行われている[6]。具体的に、この研究では、カフェ内で、障害者が一度に最大 4 体のロボットアバタを操作し、テーブルの案内や注文などサポートを行っている。IoT アバタにおいても、1 人の遠隔ユーザが、複数の IoT アバタを操作するシステムは実装可能であると考えられる。ただし、1 人の遠隔ユーザが何体の IoT アバタを操作できるのか、どの程度 IoT アバタを配置し、遠隔ユーザを何人必要とするのかという点については、実際に実装して調査する必要がある。また、1 人の遠隔ユーザが IoT アバタを操作できる数においても限度があると考えられる。そこで、自律的に IoT アバタが現場のユーザとコミュニケーションできるように生成 AI を実装したコミュニケーションシステムの開発も今後の展望として考えられ、実装においては更なる研究が必要であると考えられる。近年の生成 AI 技術においては、人間らしいチャットのやり取りや音声会話が出来るようになってきたが、あたかも様々な物自体が話しているようなシステムが IoT アバタには求められる。現状遠隔ユーザが操作する場合の方が、現場のユーザや現場の状況を見て、柔軟にコミュニケーションできると考えられるが、近い将来、遠隔ユーザが操作しているかのようにコミュニケーションできる可能性も考えられる。その場合、IoT アバタ(AI)が正しいことを話しているか、信頼できるのかなど、現場のユーザ-IoT アバタ(AI)間の関係の構築についての議論も重要となる。

6.4 アバタ社会における心理学：アバタ心理学

様々なアバタを使用した際の特有の心理や行動、人間関係の構築などといった理解はアバタ社会における生活において重要であり、今後も研究・議論される必要がある。これまで、人間の心理や行動を科学的に議論・研究する学問として心理学が発展してきた。心理学は、人間個人や集団の行動、振る舞い、感情、思考などを解明し、それをもとに社会や個人の課題を理解し解決するための知見を提供してきた。それらは、基礎心理学（認知心理学、学習心理学、社会心理学

など)から応用心理学(スポーツ心理学, 犯罪心理学, 教育心理学など)まで様々な議論がされてきた。一方で, アバタ技術が発達したアバタ社会においては, 従来の心理学の枠組みがアバタにおける心理学として置き換え議論する必要があると考えられる。具体的に, アバタ基礎心理学(アバタ認知心理学, アバタ学習心理学, アバタ社会心理学など)からアバタ応用心理学(アバタスポーツ心理学, アバタ犯罪心理学, アバタ教育心理学など)というように, アバタ社会におけるアバタがもたらす特有の心理や行動の特性を明らかにすることで豊かなアバタ社会が実現されると考えられる。したがって, こうした議論において, 新たな研究領域として, 現状の心理学に対してアバタ社会における心理学を体系化する「アバタ心理学」と呼ぶことができ, 今後のアバタ社会での生活に貢献することが期待される。

第7章

結論

Conclusion

結論

本研究では、実空間でのアバタコミュニケーションにおけるユーザの意識及び人間関係の構築に着目し評価・分析を行い(第2章から第4章)、その知見をもとに新たなアバタの開発を行った(第5章)。

まず、第2章で開発した没入型ロボットアバタを用いると、遠隔ユーザは実空間で匿名的に現場のユーザと関係の構築ができ、更なる応用が期待できた。この知見は、アバタ社会において、多様な人々が自身の属性やアイデンティティに依存せずに活躍できる可能性が期待できた。

一方で、第3章では、見かけが遠隔ユーザであるARのアバタを使用することで、遠隔ユーザに意識を向けることが可能であることが明らかになった。すなわち、アバタの見かけを遠隔ユーザの見かけにすることで、遠隔ユーザが素性を明かした状態でも関係を構築できることも分かった。

そして、第4章で、アバタ形状に着目し、アバタ形状が遠隔ユーザへ与える影響を評価・分析した。その結果、生物でないようなアバタ形状において無意識に遠隔ユーザの振る舞いを変えることができ、様々なアバタ形状の活用や応用の可能性が示唆された。

以上、遠隔ユーザは匿名的に現場のユーザと関係を構築できることの利点、及び様々なアバタ形状の活用や応用の可能性を踏まえ、第5章で、新たなアバタとして、実空間の様々な物をアバタとして擬人化しコミュニケーションできる「IoTアバタ」を開発した。開発したIoTアバタにおいては、遠隔ユーザ自身の見かけ、性別、年齢、生身の身体などといった様々な属性やアイデンティティにとらわれず、様々な物として現場のユーザと関係を構築できる。そして、様々な場所の様々な物がIoTアバタ化でき、アバタ社会において日常生活から災害時にいたるまで有効な活用が期待できる。

様々なアバタを使用した際の特有の心理や行動、人間関係の構築などといった理解はアバタ社会における生活において重要であり、今後も研究・議論される必要がある。アバタ社会においては、従来の心理学の枠組みがアバタにおける心理学として置き換え議論する必要があると考えられ、アバタ社会における心理学を体系化する「アバタ心理学」が提案される。

謝辭

Acknowledgment

謝辞

研究生活では、大変多くの方々にご指導・ご協力を頂きまして有意義な研究を行うことが出来ました。研究を進めるにあたり、大変親身にご指導を頂きました慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科 小木哲朗教授に心より感謝申し上げます。修士課程から博士課程まで小木研究室で研究生活を送り、具体的な研究のアドバイスから学会発表に至るまで、様々なご指導を頂き研究者としての基礎を築いて頂きました。

副査を担当して頂きました、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科 当麻哲哉教授、東京都市大学情報システム学科 宮地英生教授、東京大学情報基盤センター 雨宮智浩教授に深く感謝いたします。頂いたご助言、ご意見は博士論文をまとめる上で重要な指針となりました。

また、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科 矢向高弘教授には、ゼミなどで様々なご助言を頂きましたことを深く感謝いたします。そして、研究室の先輩である、香川大学創造工学部 松岡慧講師、目白大学外国語学部 Steven Urueta 講師、東京大学情報基盤センター 伊藤研一郎助教には研究についての数々のご指導、ご助言を頂きました。深く感謝いたします。

研究室での生活については、博士課程での研究生活をともに過ごし、様々なご助言を頂きました武藤英樹さん、修士課程から様々なご助力を頂きました醍醐博明さんに深く感謝いたします。また、一緒に研究に励んだ研究室の皆さんに深く感謝するとともに、敬意を表します。

生活全般においては、修士課程の同期である伊藤佳美さん、石角圭佑さんには生活面での様々なサポートをして頂きましたことを心から感謝いたします。

また、同研究科の先輩である稲山嗣人さん、加藤智之さん、三原裕介さんには数々のご助言を頂きましたことを深く感謝いたします。

最後に、博士課程在学中に他界した父には心より深く感謝いたします。直接成果を見せることは叶いませんでしたが、改めて感謝の気持ちを伝えたいと思います。そして、母、兄、妹には最後までサポートして頂いたことを深く感謝いたします。

2025 年 2 月 木田勇輝

参考文献

References

参考文献

- [1] Scollon, R., Scollon, S. W., Jones, R. H. (2011). *Intercultural communication: A discourse approach*, John Wiley & Sons.
- [2] 雨宮智浩. (2023). *メタバースの教科書 ー原理・基礎技術から産業応用までー*, 株式会社 オーム社, 第1版第1刷.
- [3] Orts-Escolano, S., Rhemann, C., Fanello, S., Chang, W., Kowdle, A., Degtyarev, Y., Kim, D., Davidson, P L., Khamis, S., Dou, M., Tankovich, V., Loop, C., Cai, Q., Chou, P A., Mennicken, S., Valentin, J., Pradeep, V., Wang, S., Kang, S B., Kohli, P., Lutchyn, Y., Keskin, C., Izadi, S. (2016). Holoportation: Virtual 3d teleportation in real-time. In *Proceedings of the 29th annual symposium on user interface software and technology*, pp. 741-754.
- [4] 深堀昂. (2022). アバターロボットを活用した新たな移動サービス (< 特集> with コロナにおける新たな生活様式を支える技術). *日本機械学会誌*, 125(1244), pp. 30-33.
- [5] Takeuchi, K., Yamazaki, Y., Yoshifuji, K. (2020). Avatar work: Telework for disabled people unable to go outside by using avatar robots. In *Companion of the 2020 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*, pp. 53-60.
- [6] Barbareschi, G., Kawaguchi, M., Kato, H., Nagahiro, M., Takeuchi, K., Shiiba, Y., Kasahara, S., Kunze, K., Minamizawa, K. (2023). “I am both here and there” Parallel Control of Multiple Robotic Avatars by Disabled Workers in a Café. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1-17.
- [7] 新保史生. (2021). サイバネティック・アバターの存在証明—ロボット・AI・サイバーフィジカル社会に向けたアバター法の幕開け—. *人工知能*, 36(5), pp. 570-577.
- [8] 原健太, 堀磨伊也, 武村紀子, 岩井儀雄, 佐藤宏介. (2014). 実画像アバタを用いた対人インタラクションシステムの構築. *電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌)*, 134(1), pp. 102-111.

- [9] 井上路子, 白岩史, 吉村宏紀, 西山正志, 岩井儀雄. (2018). 道案内インタフェースにおける実写アバタの手振り動作の効果検証. ヒューマンインタフェース学会論文誌, 20(3), pp. 343-352.
- [10] 川北輝, 大西巖, 石原茂和, 橋本健汰, 金井秀明. (2022). カウンセラーアバタの外観とユーザの相談状況の違いが相談意欲に及ぼす影響の検討. 日本感性工学会論文誌, 21(3), pp. 267-274.
- [11] 宮地英生. (2022). アバターの外見による講義での学生の活性度の違い. 日本バーチャルリアリティ学会誌, 27(1), pp. 12-13.
- [12] JAPAN AIRLINES, “JAL とパナソニック、アバター式リモート案内サービスの共同実証実験を開始”, <https://press.jal.co.jp/ja/release/202009/005762.html>
- [13] AVITA 株式会社, “アバター活用で誰もが活躍できる人にやさしいコンビニの実現に向けて、ローソンで『AVACOM』を導入”, <https://avita.co.jp/avacom/case/W24ynI8Q>
- [14] Ogi, T., Tamagawa, K., Yamada, T., & Hirose, M. (1999). Collaborative scientific visualization in networked immersive virtual environment. In IEEE SMC'99 Conference Proceedings. 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No. 99CH37028) Vol. 6, pp. 87-91.
- [15] Ogi, T. (2011). Emotional design in the virtual environment. In Emotional Engineering: Service Development, pp. 103-117.
- [16] Tateyama, Y., Ogi, T., Hirose, M. (2001). pwm: Using 2-Dimensional applications in an immersive multiscreen display. Proc. ICAT2001, pp. 185-190.
- [17] 小木哲朗. (2001). ネットワークバーチャルリアリティ: ビデオアバタと空間通信. 情報処理, 42(3), pp. 241-245.
- [18] Ogi, T., Yamada, T., Kurita, Y., Hattori, Y., Hirose, M. (2003). Usage of video avatar technology for immersive communication. In Proc. First Intl Workshop on Language Understanding and Agents for Real World Interaction 2003.

- [19] Ogi, T., Yamada, T., Tamagawa, K., Kano, M., Hirose, M. (2001). Immersive telecommunication using stereo video avatar. In Proceedings IEEE Virtual Reality 2001, pp. 45-51.
- [20] Lee, S. Y., Ahn, S. C., Kim, H. G., Lim, M. (2006). Real-time 3D video avatar in mixed reality: An implementation for immersive telecommunication. *Simulation & gaming*, 37(4), pp. 491-506.
- [21] 小木哲朗. (2022). パーソナルテレイメーションとアバタ技術. *日本バーチャルリアリティ学会誌*, 27(1), pp. 9-11.
- [22] Yang, F. C., Mousas, C., Adamo, N. (2022). Holographic sign language avatar interpreter: A user interaction study in a mixed reality classroom. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 33(3-4), e2082.
- [23] 舘障. (2015). テレイグジスタンス. *日本ロボット学会誌*, 33(4), pp. 215-221.
- [24] Tachi, S. (2015). Telexistence: Past, present, and future. In *Virtual Realities: International Dagstuhl Seminar, Dagstuhl Castle, Germany, June 9-14, 2013, Revised Selected Papers*, pp. 229-259.
- [25] 舘障. (2018). テレイグジスタンスの新展開. *日本ロボット学会誌*, 36(10), pp. 658-662.
- [26] Tachi, S., Inoue, Y., & Kato, F. (2020). Telesar vi: Telexistence surrogate anthropomorphic robot vi. *International Journal of Humanoid Robotics*, 17(05), 2050019.
- [27] TELEXISTENCE Inc “ローソン店舗にて遠隔操作ロボット、Model-T による商品陳列を開始”, <https://tx-inc.com/ja/blog/2020/09/07/10676/>
- [28] 石黒浩. (2008). ロボットメディアによる人間情報処理研究: 2. アンドロイド, ジェミノイドと人間の相違. *情報処理*, 49(1), pp. 7-14.

- [29] Straub, I., Nishio, S., Ishiguro, H. (2010). Incorporated identity in interaction with a teleoperated android robot: A case study. In 19th international Symposium in robot and human interactive communication, pp. 119-124.
- [30] Mori, M., MacDorman, K. F., Kageki, N. (2012). The uncanny valley [from the field]. IEEE Robotics & automation magazine, 19(2), pp. 98-100.
- [31] Gallagher, S. (2000). Philosophical conception of the self: Implications for cognitive science. Trends in Cognitive Science, vol.4, no.1, p.14-21.
- [32] Botvinick, M., Cohen, J. (1998). Rubber hands ‘feel’ touch that eyes see. Nature, 391(6669), pp. 756-756.
- [33] 金谷翔子, 横澤一彦. (2015). 手の身体所有感覚とラバーハンド錯覚. バイオメカニズム学会誌, 39(2), pp. 69-74.
- [34] 住谷昌彦. (2015). 幻肢の感覚表象と幻肢痛. バイオメカニズム学会誌, 39(2), pp. 93-100.
- [35] 大住倫弘, 猪俣一則, 井上裕治, 住谷昌彦. (2022). 当事者とともに拓かれる幻肢痛リハビリテーション. 認知科学, 29(2), pp. 303-311.
- [36] 住谷昌彦, 大住倫弘, 猪俣一則, 大竹祐子, 井上玲央, 土田陸平, 横島弥栄子, 東賢志, 阿部博昭. (2019). バーチャルリアリティーを用いた幻肢痛の治療とその機序解明. PAIN RESEARCH, 34(1), pp.19-23.
- [37] 中谷真太郎. (2022). リハビリテーションにおける運動主体感向上のためのシステム・制御系設計. システム/制御/情報, 66(11), pp. 440-445.
- [38] Argelaguet, F., Hoyet, L., Trico, M., Lécuyer, A. (2016). The role of interaction in virtual embodiment: Effects of the virtual hand representation. In IEEE virtual reality 2016, pp. 3-10.
- [39] Amemiya, T. (2022). Influence of hand-arm self-avatar motion delay on the directional perception induced by an illusory sensation of being twisted. Scientific Reports, 12(1), 6626.

- [40] Ogawa, N., Narumi, T., Hirose, M., (2020). Effect of avatar appearance on detection thresholds for remapped hand movements. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 27(7), pp.3182-3197.
- [41] Slater, M., Spanlang, B., Sanchez-Vives, MV., Blanke, O. (2010). First person experience of body transfer in virtual reality. *PloS one*, 5(5), e1056.
- [42] Banakou, D., Groten, R., Slater, M., Banakou, D., Groten, R., Slater, M. (2013). Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(31), pp. 12846-12851.
- [43] Oyanagi, A., Ohmura, R. (2018). Conditions for Inducing Sense of Body Ownership to Bird Avatar in Virtual Environment. *Journal of Computers*. 13(6), pp. 596-602.
- [44] Krekhov, A., Cmentowski, S., Krüger, J. (2019). The illusion of animal body ownership and its potential for virtual reality games. In *IEEE Conference on Games*, pp. 1-8
- [45] 大塚一輝, 嶋田総太郎. (2021). VR 環境下でのフルボディ錯覚における遅延視覚フィードバックの影響. *知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌)*, 33(3), pp. 657-662.
- [46] Yee, N., Bailenson, J. (2007). The Proteus effect: The effect of transformed self-representation on behavior. *Human communication research*, 33(3), pp. 271-290
- [47] Fox, J., Bailenson, JN., Tricase, L., (2013). The embodiment of sexualized virtual selves: The Proteus effect and experiences of self-objectification via avatars. *Computers in Human Behavior*, 29(3), pp. 930-938.
- [48] Yim, Y., Xia, Z., Kubota, Y., Tanaka, F. (2024). The proteus effect on human pain perception through avatar muscularity and gender factors. *Scientific Reports*, 14(1), 11332.
- [49] Sadek, N., Elagroudy, P., Khalil, A., Abdennadher, S. (2022). The Superhero Pose: Enhancing Physical Performance in Exergames by Embodying Celebrity Avatars in Virtual Reality. In *Nordic Human-Computer Interaction Conference 2022*, pp. 1-11.

- [50] 小柳陽光, 鳴海拓志, 安藤英由樹, 大村廉. (2020). ドラゴンアバタを用いたプロテウス効果の生起による高所に対する恐怖の抑制. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 25(1), pp. 2-11.
- [51] Oyanagi, A., Ohmura, R. (2019). Transformation to a bird: Overcoming the height of fear by inducing the proteus effect of the bird avatar. In Proceedings of the 2nd International Conference on Image and Graphics Processing, pp. 145-149.
- [52] Han, E., Miller, MR., DeVaux, C., Jun, H., Nowak, KL., Hancock, JT., Ram, N., Bailenson, JN., (2023). People, places, and time: a large-scale, longitudinal study of transformed avatars and environmental context in group interaction in the metaverse. Journal of Computer-Mediated Communication, 28(2), pp. 1-27.
- [53] Nakayama, Y., Sumi, K. (2024). The Impact of Anonymity on Communication in the Metaverse. In 2024 IEEE 48th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC), pp. 2095-2100.
- [54] Sato, K., Usui, Y. (2024). The Impact of Avatar Customization Flexibility on Conversational Satisfaction. IIAI Letters on Informatics and Interdisciplinary Research, 5.
- [55] Ogi, T., Sumida, K., Kida, Y. (2023) Video Avatar Communication Among HMD Users in Metaverse Environment. In International Conference on Network-Based Information Systems, pp. 316-324.
- [56] Ichino, J., Ide, M., Yokoyama, H., Asano, H., Miyachi, H., Okabe, D. (2022) . "I've talked without intending to": Self-disclosure and Reciprocity via Embodied Avatar. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 6(CSCW2), pp. 1-23.
- [57] Oh, H. J., Kim, J., Chang, J. J., Park, N., Lee, S. (2023). Social benefits of living in the metaverse: The relationships among social presence, supportive interaction, social self-efficacy, and feelings of loneliness. Computers in Human Behavior, 139, 107498.

- [58] Carros, F., Schwaninger, I., Preussner, A., Randall, D., Wieching, R., Fitzpatrick, G., Wulf, V. (2022). Care workers making use of robots: results of a three-month study on human-robot interaction within a care home. In Proceedings of the 2022 CHI conference on human factors in computing systems, pp. 1-15.
- [59] Mou, W., Ruocco, M., Zanatto, D., Cangelosi, A. (2020). When would you trust a robot? a study on trust and theory of mind in human-robot interactions. In 2020 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 956-962.
- [60] Hsieh, W. F., Sato-Shimokawara, E., Yamaguchi, T. (2020). Investigation of robot expression style in human-robot interaction. Journal of Robotics and Mechatronics, 32(1), pp. 224-235.
- [61] Pastel, S., Petri, K., Chen, C. H., Wiegand Cáceres, A. M., Stirnatis, M., Nübel, C., Schlotter, L., Witte, K (2023). Training in virtual reality enables learning of a complex sports movement. Virtual Reality, 27(2), pp. 523-540.
- [62] Perez-Marcos D, Solazzi M, Steptoe W, Oyekoya O, Frisoli A, Weyrich T, Steed A, Tecchia F, Slater M, Sanchez-Vives MV (2012). A fully immersive set-up for remote interaction and neurorehabilitation based on virtual body ownership. Frontiers in neurology, 3, 110.
- [63] Avola, D., Cinque, L., Foresti, G. L., Marini, M. R., Pannone, D (2018). VRheab: a fully immersive motor rehabilitation system based on recurrent neural network. Multimedia Tools and Applications, 77, 24955-24982
- [64] 田中信壽. (2005). VR 酔い対策の設計に求められる知見の現状. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 10(1), pp. 129-138.
- [65] 藤木卓, 市村幸子, 寺嶋浩介, 小清水貴子. (2012). VR コンテンツの精度が現実感と酔いに与える影響. 日本教育工学会論文誌, 36, pp. 73-76.

- [66] Saredakis, D., Szpak, A., Birckhead, B., Keage, H. A., Rizzo, A., Loetscher, T (2020). Factors associated with virtual reality sickness in head-mounted displays: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in human neuroscience*, 14, 96.
- [67] Wang, Y., Zhai, G., Chen, S., Min, X., Gao, Z., Song, X (2019). Assessment of eye fatigue caused by head-mounted displays using eye-tracking. *Biomedical engineering online*, 18, pp. 1-19.
- [68] Alanwar, A., Alzantot, M., Ho, B. J., Martin, P., Srivastava, M. (2017). Selecon: Scalable IoT Device Selection and Control Using Hand Gestures. In *Proceedings of the Second International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation*, pp.47-58.
- [69] Rubio-Drosdov, E., Díaz-Sánchez, D., Almenárez, F., Arias-Cabarcos, P., Marín, A. (2017). Seamless Human-Device Interaction in the Internet of Things. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 63(4), pp.490-498.
- [70] Delgado Rodriguez, S., Prange, S., Mecke, L., Alt, F. (2021). ActPad–A Smart Desk Platform to Enable User Interaction with IoT Devices. In *Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1-6.
- [71] Meng, Y., Zhu, H., Li, J., Li, J., Liu, Y. (2020). Liveness Detection for Voice User Interface via Wireless Signals in IoT Environment. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, 18(6), pp.2996-3011.
- [72] Zhang, L., Tan, S., Wang, Z., Ren, Y., Wang, Z., Yang, J. (2020). Viblive: A Continuous Liveness Detection for Secure Voice User Interface in IoT Environment, In *Proceedings of the 36th Annual Computer Security Applications Conference*, pp.884-896.
- [73] Muhamad, W. N. W., Abd Halim, M. A., Sarnin, S. S., Shuhaimi, N. I. (2021). Smart Voice User Interface Office Monitoring System via Internet of Things. In *2021 IEEE 15th Malaysia International Conference on Communication (MICC)*, pp.1-6.

- [74] Ogi, T., Enomoto, K., Akita, S., Miyahashi, T., Akima, T., Sano, T. (2020). Construction of Information Presentation Environment Where Various Objects Talk Using Multiple IoT Speakers. In the 23rd International Conference on Network-Based Information Systems, pp.432-439.
- [75] Kida, Y., Chiba, T., Kinoshita, T., Mikami, A., Yakoh, T., Ogi, T. (2024). IoT Avatar: Turning Various Objects into Avatars. In International Conference on Network-Based Information Systems, pp.398-405.
- [76] Ogawa, N., Baba, J., Nakanishi, J. (2024). Investigating Effect of Altered Auditory Feedback on Self-Representation, Subjective Operator Experience, and Task Performance in Teleoperation of a Social Robot. In Proceedings of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-18.
- [77] Song, S., Baba, J., Nakanishi, J., Yoshikawa, Y., Ishiguro, H. (2021). Teleoperated robot sells toothbrush in a shopping mall: A field study. In Extended Abstracts of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1-6.
- [78] Glas, D. F., Wada, K., Shiomi, M., Kanda, T., Ishiguro, H., Hagita, N. (2013). Never too old for teleoperation: Helping elderly people control a conversational service robot. In 2013 IEEE RO-MAN, pp.703-710.
- [79] Baba, J., Song, S., Nakanishi, J., Yoshikawa, Y., Ishiguro, H. (2021). Local vs. avatar robot: Performance and perceived workload of service encounters in public space. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, 778753.
- [80] Wan, E. W., Chen, R. P. (2021). Anthropomorphism and object attachment. *Current Opinion in Psychology*, 39, pp. 88-93.
- [81] Gelman, S. A., Davidson, N. S., Umscheid, V. A. (2022). The role of object features and emotional attachment on preschool children's anthropomorphism of owned objects, *Cognitive Development*, 62, 101165.

- [82] Osawa, H., Mukai, J., Imai, M. (2006). Anthropomorphization of an object by displaying robot. In ROMAN 2006-The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp.763-768.
- [83] Osawa, H., Ohmura, R., Imai, M. (2008). Embodiment of an Agent by Anthropomorphization of a Common Object. In 2008 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, Vol. 2, pp.484-490.
- [84] Qiu, S. (2020). Anthropomorphic Design for Everyday Objects, In Human-Computer Interaction. Design and User Experience: Thematic Area, HCI 2020, Held as Part of the 22nd International Conference, HCII 2020, Proceedings, Part I 22, pp.137-146.
- [85] Rey, F., Leidi, M., Mondada, F. (2009). Interactive mobile robotic drinking glasses. Distributed Autonomous Robotic Systems 8, pp.543-551.
- [86] Kwak, S. S., Kim, J. S., Choi, J. J. (2017). The effects of organism-versus object-based robot design approaches on the consumer acceptance of domestic robots. International Journal of Social Robotics, 9, pp.359-377.
- [87] 肥田木遼, 本所然, 長谷川孔明, 大島直樹, 岡田美智男. (2023). ミニマルな聞き手性を備えたマイク型ロボプロジェクト< Whimbo> の提案, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 25(3), pp.231-240.
- [88] 本所然, 長谷川孔明, 大島直樹, 岡田美智男. (2023). 社会的受容性を志向するロボプロジェクト概念の提案, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 25(3), pp.203-218.
- [89] Mitsukuni, K., Ichikawa, J., Hori, Y., Ikeno, Y., Alexandre, L., Kawamoto, T., Oka, N., Nishizaki, Y. (2019). Analysis of the influence of mothers' traits and behaviors on children's conversational play with an utterance-output device. In Proceedings of the 7th International Conference on Human-Agent Interaction, pp.271-273.

- [90] Ichikawa, J., Mitsukuni, K., Hori, Y., Ikeno, Y., Alexandre, L., Kawamoto, T., Nishizaki, Y., Oka, N. (2019). Analysis of how personality traits affect children's conversational play with an utterance-output device. In 2019 Joint IEEE 9th International Conference on Development and Learning and Epigenetic Robotics (ICDL-EpiRob), pp. 215-220.
- [91] Morris, A., Guan, J., Lessio, N., Shao, Y. (2020). Toward mixed reality hybrid objects with IoT avatar agents. In 2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), pp.766-773.

研究業績

Research Work

国際ジャーナル

- Kida, Y., Ogi, T. (2025). Evaluating how psychological senses and physical motions are affected by avatar shapes in a non-immersive environment. *Artificial Life and Robotics*, Vol.30, No.1, pp. 165-172.
- Kida, Y., Chiba, T., Ogi, T. (2025). IoT avatar: various objects in real space are anthropomorphized as avatars. *International Journal of Web and Grid Services*, (accept).

国際会議

- Kida, Y., Chiba, T., Kinoshita, T., Mikami, A., Yakoh, T., Ogi, T. (2024). IoT Avatar: Turning Various Objects into Avatars. In *International Conference on Network-Based Information Systems*, pp. 398-405.
- Kida, Y., Li, S., Ueda, Y., Takayanagi, N., Matsuoka, K., Ogi, T. (2023). Evaluation of User's Psychological Sense in Tele-Immersion Robot Avatar. In *International Conference on Network-Based Information Systems*, pp. 325-333.
- Kida, Y., Matsuoka, K., Ogi, T. (2023). Evaluation of conveying spatial information by pointing gestures of a tele-immersion robot avatar. In *Proceedings of International Conference on Design and Concurrent Engineering & Manufacturing Systems Conference 2023*.
- Kida, Y., Matsuoka, K., Ogi, T. (2022). Necessary Requirements of Avatars for Remote Communication in Real Space. In *International Conference on Network-Based Information Systems*, pp.354-364.
- Kida, Y., Wu, F., Matsuoka, K., Ogi, T. (2021). Multilingual Guide Robot Using Conversation-Based and Smartphone-Based Language Identification. In *Proceedings of International Conference on Design and Concurrent Engineering & Manufacturing Systems Conference 2021*.

- Ogi, T., Kida, Y. (2024). Human Relationship Felt in Communication Using Tele-immersion Avatar Robot. In The 20th International Conference on Machine Design and Production.
- Matsuoka, K., Kida, Y., Kato, T., Ogi, T. (2024). Multilingual Communication Robot Using Language Detection System. In The 20th International Conference on Machine Design and Production.
- Ogi, T., Sumida, K., Kida, Y. (2023). Video Avatar Communication Among HMD Users in Metaverse Environment. In International Conference on Network-Based Information Systems, pp. 316-324.

国内会議

- 木田勇輝, 山本匠, 川崎陽平, 住田一眞, 松岡慧, 小木哲朗.(2023). 非没入型メタバース環境におけるアバタの透明度変化による会話への参加度の表現. 日本バーチャルリアリティ学会 第 51 回テレイマージョン技術研究会, 2023.12.
- 木田勇輝, 李書界, 高柳直歩, 上田雄斗, 松岡慧, 小木哲朗.(2023). ロボットアバタを用いた没入型テレイマージョンシステムの構築. 日本バーチャルリアリティ学会 第 49 回テレイマージョン技術研究会, 2023.3.
- 木田勇輝, 上遼太, 小木哲朗.(2022). アバタ形状によるユーザの身体所有感と動作順応の評価. 日本バーチャルリアリティ学会 第 48 回テレイマージョン技術研究会, 2022.12.
- 木田勇輝, 松岡慧, 小木哲朗.(2022). 実空間での遠隔コミュニケーションにおける各種アバタによる空間共有感覚の比較. 日本バーチャルリアリティ学会 第 46 回テレイマージョン技術研究会, 2022.3.
- 木田勇輝, 呉凡, 松岡慧, 小木哲朗.(2021). 人と自然なコミュニケーションを行う多言語案内コミュニケーションロボット. 日本機械学会 第 31 回設計工学・システム部門講演会講演論文集.

- 木田勇輝, 松岡慧, 小木哲朗. (2020). ユーザの使用言語を自動推定する多言語コミュニケーションロボット. 日本機械学会 第 30 回設計工学・システム部門講演会講演論文集.
- 木田勇輝, 尾高康恵, 醍醐博明, 醍醐奈生子, 小木哲朗, 遠山忠晃, 櫻木徹. (2020). 情報端末を用いたコミュニケーションのためのアザラシの認知能力評価. ヒューマンインタフェース学会. ヒューマンインタフェースサイバーコロキウム.
- 千葉俊彦, 木田勇輝, 小木哲朗. (2024). IoT デバイスにおける擬人化生成のための要素評価. 日本機械学会 第 34 回設計工学・システム部門講演会講演論文集.
- 劉 徳凱, 閻 思文, 木田勇輝, 小木哲朗. (2024). メタバースコミュニケーションにおける生成 AI を用いた可視化による概念の共有. 日本機械学会 第 34 回設計工学・システム部門講演会講演論文集.
- 住田一眞, 木田勇輝, 小木哲朗. (2023). メタバース空間におけるビデオアバタコミュニケーション. 日本バーチャルリアリティ学会 第 49 回テレイマージョン技術研究会, 2023.3.
- 木下翼, 三上葵, 木田勇輝, 矢向高弘, 小木哲朗. (2023). 360° カメラ映像と音声を利用したアバタ感覚の生成評価. 日本機械学会 第 33 回設計工学・システム部門講演会講演論文集.
- 上遼太, 山下拓歩, 井口恵吾, 西眞輝, 木田勇輝, 小木哲朗. (2023). アバタの使用が身体知獲得に与える効果. 日本機械学会 第 33 回設計工学・システム部門講演会講演論文集.
- 上遼太, 木田勇輝, 小木哲朗. (2023). アバタの表現方法が身体知の獲得に与える効果. 第 28 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集.
- 山本匠, 川崎陽平, 住田一眞, 木田勇輝, 松岡慧, 小木哲朗. (2022). うなずき検出とアバタの透明度変化によるメタバース会議支援手法の提案. 日本機械学会 第 32 回設計工学・システム部門講演会講演論文集.

- Shi Yunying, 村田穰, Zhou Jie, Jia Yue, 木田勇輝, 小木哲朗. (2021).アバターロボットを介した双方向コミュニケーションシステムの設計と検証. 日本機械学会 第 31 回設計工学・システム部門講演会講演論文集.
- 大村正太郎, 佐久間達也, 木田勇輝, 松岡慧, 小木哲朗.(2020). 新しい生活様式支援のためのコミュニケーションロボットの利用. 日本機械学会 第 30 回設計工学・システム部門講演会講演論文集.
- 松岡慧, 木田勇輝, 小木哲朗. (2020). 案内ロボットの Beacon 連携による多言語コミュニケーション. 日本バーチャルリアリティ学会 第 40 回テレ-immersion技術研究会, 2020.6.