

複数の IoT アバタを用いた連続的なコミュニケーションシステムの構築

Construction of a Continuous Communication System Using Multiple IoT Avatars

○学 塚田 真治^{*1}, 学 千葉 俊彦^{*1}, 正 木田 勇輝^{*1}, 正 小木 哲朗^{*1}
Shinji Tsukada^{*1}, Toshihiko Chiba^{*1}, Yuki KIDA^{*1} and Tetsuro OGI^{*1}

^{*1} 慶應義塾大学 Keio University

Abstract

In recent years, avatar robots operated remotely by users have attracted increasing attention as a means of enabling communication with users in real space. In previous work, we developed an IoT avatar, which utilizes a physical object as an avatar instead of a robot, and demonstrated its effectiveness in one-on-one communication with on-site users. However, by employing multiple IoT avatars, it becomes possible to switch avatars in response to the movements and actions of the on-site user, allowing for more flexible and continuous communication. In this study, we constructed a communication system that enables continuous interaction between an on-site user and multiple IoT avatars.

Key Words : IoT, Avatar, Device, Communication, Interaction

1. 緒 言

近年、遠隔コミュニケーション技術の進展により、物理的に離れた場所にいる人間同士がリアルタイムに情報を共有し、対話を行う環境が整いつつある。中でも、アバタロボットと呼ばれる人型ロボットを用いて、遠隔地の人物が現場に“存在”するかのようには振る舞うシステムは、空港や店舗など多くの場面で導入が始まっている。

しかし、こうしたアバタロボットは形状・機構が複雑で、設置や運用に高いコストが伴うため、普及には限界がある。そこで筆者らは、既存の「モノ」に小型 IoT デバイスを設置することで、モノ自体をアバタ化する「IoT アバタ」を開発した。これまでに、評価実験から、IoT アバタと現場のユーザ間の 1 対 1 のコミュニケーションにおける有効性を示してきた(Kida et al., 2025)。一方で、IoT アバタ単体は動くことができないため、現場のユーザの移動や行動に合わせて IoT アバタを追従させるためには、複数の IoT アバタを切り替えることで連続的にコミュニケーションを行うことが必要である。そこで、本研究では、複数の IoT アバタを連携させ、ユーザが空間を移動しながらも一貫したコミュニケーションを可能とするシステムを構築しその有効性を評価した。

2. 関連研究

筆者らの先行研究において、既存の「モノ」にカメラやマイク、スピーカの機能が備わった IoT アバタデバイスを装着することで、被験者はモノがあたかも擬人化したように感じることを示された(Kida et al., 2025)。さらに、擬似的な心拍表現や LED の色調変化を用いることで、被験者がモノに感情の変化があるように感じていることが確認された(千葉他, 2024)。その他、ロボットの分野においても感情を表現する開発が行われている(松元他, 2016, Terada et al., 2011, 後藤他, 2006)。しかし、これまでの多くの研究は 1 対 1 の静的な対話環境を想定しており、ユーザが物理的に移動する中で、複数のモノと連続的かつ一貫性のあるコミュニケーションが成立するかどうかは明らかにされていなかった。

したがって本研究は、複数の IoT アバタを用いて、ユーザが空間を移動しながらも「同じ人格と対話している」と認識し、連続したコミュニケーションが成立するかを明らかにすることを目的とする。

3. 複数のIoTアバタを用いたコミュニケーションシステム

実空間においてモノに設置するIoTアバタデバイスは Raspberry Pi 4 Model B と 360 度カメラ(VR 220 Camera), 小型 USB マイク, 小型 Bluetooth スピーカで構成される(図 1). 複数の IoT アバタにおける通信モデルを図 2 に示す.



Fig. 1 IoT avatar device in this study

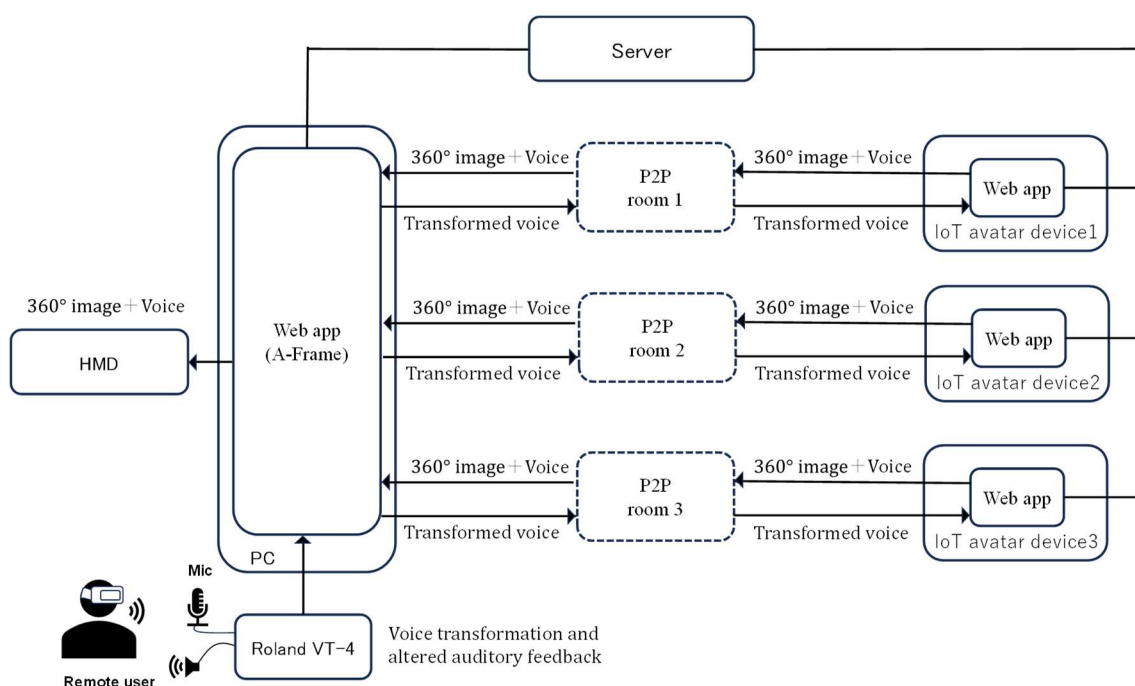


Fig. 2 Communication system for multiple IoT avatars

まず, PC と IoT アバタデバイスの通信については Web RTC を採用し, NTT ドコモビジネスが提供する SkyWay を用いて Web アプリケーションを開発し通信を行った. 具体的に, PC と IoT アバタデバイスの双方の Web ブラウザから https 通信で開発した Web アプリケーションを読み取り, SkyWay により作成された P2P ルームを介して, リアルタイムの通信を行った. 通信の内容としては, IoT アバタデバイスから PC へ 360°映像と音声を送信し, HMD(Meta Quest3)に提示することで遠隔ユーザが没入環境でコミュニケーションできる. なお, 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°映像を HMD で没入映像として見るシステムとした. PC では, 遠隔ユーザの音声のみ IoT アバタデバイスに送信する. 遠隔ユーザの音声

については、これまでの評価実験で、音声変換及び音声変換フィードバックを実装することで、遠隔ユーザがそのモノになったような感覚、また現場のユーザはモノ自体とコミュニケーションしている感覚が高まることが示されており(Kida et al., 2025), 本研究においても実装した. 実際に遠隔ユーザの音声は, Roland VT-4 により音声変換され, IoT アバタデバイスのスピーカから出力される. 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が入力される.

本システムでは, HMD のコントローラで操作することにより, 3 台の IoT アバタデバイスを切り替えるシステムとした. 図 2 より, IoT アバタデバイスは 3 台それぞれ, P2P ルーム (room1,room2,room3) に接続されている状態であり, 遠隔ユーザは HMD のコントローラで操作することにより, 通信したい IoT アバタデバイスの P2P ルームの 1 つに接続し, その IoT アバタデバイス介して現場のユーザとコミュニケーションができる. このように, コントローラ操作により room1, room2, room3 を切り替えて接続することで, 3 台の IoT アバタデバイスを切り替えながら, 連続的なコミュニケーションを実現できるシステムを構築した.

4. 評価実験

4.1 実験目的

本実験では, 複数のモノに設置された IoT アバタデバイスを遠隔ユーザが切り替えて操作することで, 空間を移動する現場のユーザに対して一貫性のある対話を行い, 現場のユーザにとって“連続性”として認知されるかを検証する.

4.2 被験者

本実験には慶應義塾大学の学生, 男女合計 10 名が同意の上, 参加した.

4.3 実験方法

上記の目的を達成するため, 遠隔ユーザが複数の IoT アバタを介して道を案内し, 現場のユーザを目的地まで導く, という実験を実施した. 本実験は慶應義塾大学日吉キャンパスの建物内にて行われた. 図 3 の教室 A を出たところからスタートし, 教室 B を目的地とする. 図中の赤星部分にあるモノに IoT アバタが設置しており, 遠隔ユーザはそれを介して, 現場のユーザに働きかけ, 目的地へ誘導する. 本実験では, 設置するモノとして消毒液のボトル, デジタルサイネージ, ドアを IoT アバタとした (図 4). 配置については, スタート地から, 消毒液のボトル, デジタルサイネージ, ドアの順に配置した.

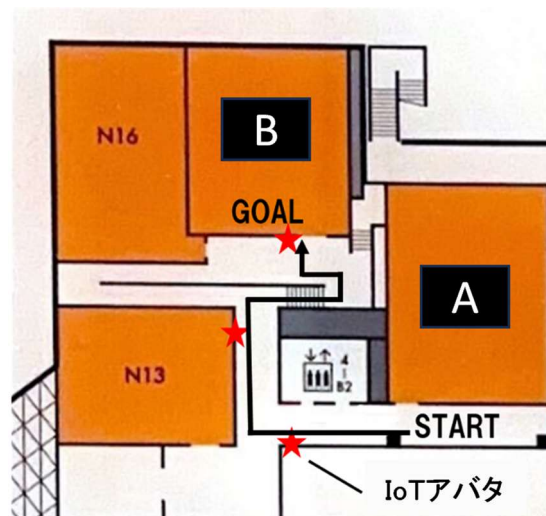


Fig. 3 Experiment route and IoT avatar locations

実験は現場のユーザおよび遠隔ユーザの 2 回に分けて実施した。被験者はまず現場のユーザとして、IoT アバタとコミュニケーションを取りながら目的地へ向かう実験に参加した。その後、遠隔ユーザとして現場のユーザを案内する実験に参加した。各実験終了後、被験者はアンケートの回答を行った。アンケートの内容は 4.4 章にて示す。

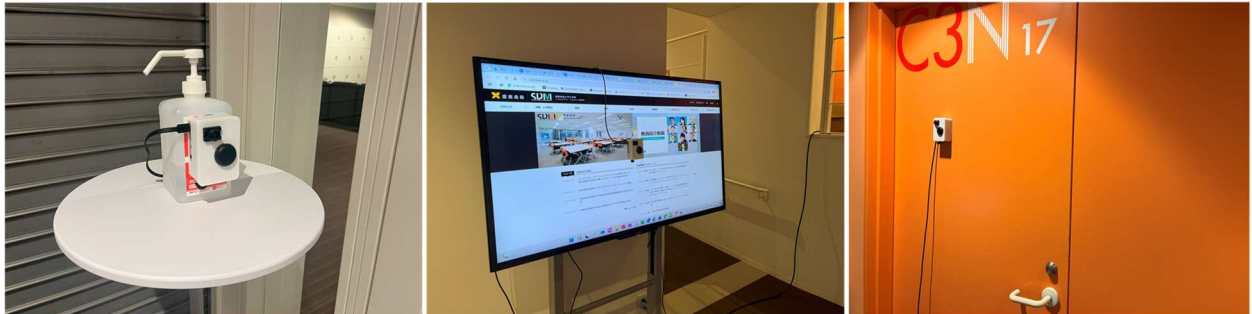


Fig. 4 IoT avatars used in the experiment: an alcohol disinfectant bottle (left), a digital signage (center), and a door (right)

4・3・1 現場のユーザの実験

現場のユーザ（被験者）には、遠隔ユーザ（実験者）が操作する IoT アバタの指示に従い目的地へ向かってもらった（図 5）。その際、被験者は IoT アバタと話したり、触ったりと様々な手法でコミュニケーションを取った。

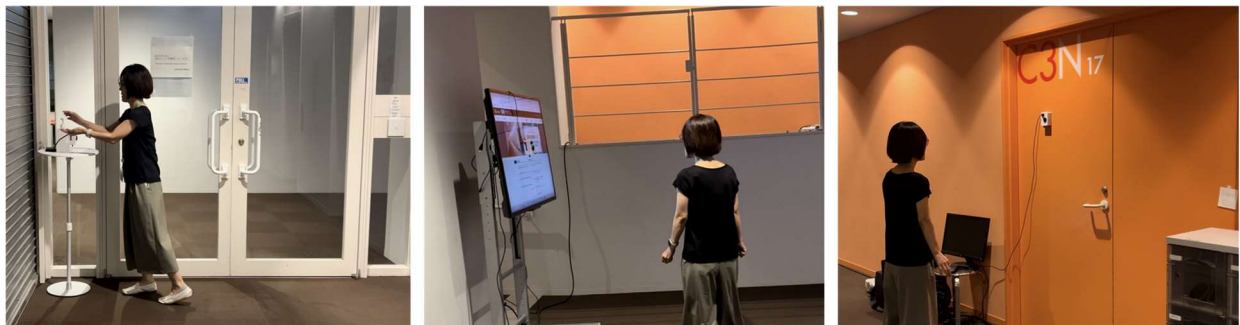


Fig. 5 Scene of communication between the IoT avatars and an on-site user

4・3・2 遠隔ユーザの実験

遠隔ユーザ（被験者）はHMDを装着し（図 6）、コントローラで IoT アバタ間を切り替えながら、モノになりきって現場のユーザ（実験者）を目的地まで案内した。IoT アバタを操作する順番は、消毒液のボトル、デジタルサイネージ、ドアとし、現場のユーザを追従しながらコミュニケーションを行った。

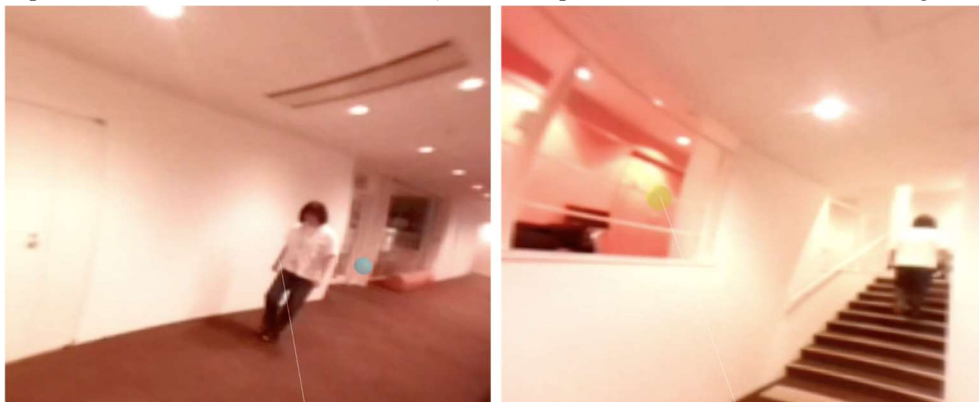


Fig. 6 Scene of a remote user operating the IoT avatars

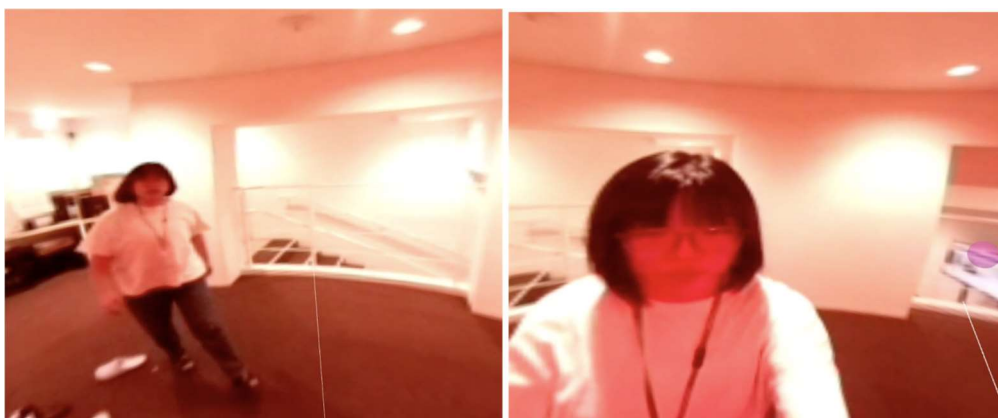
具体的なコントローラでの切り替え操作については、まず消毒液のボトルを操作している際には、次に切り替えたいデジタルサイネージの方向に赤色のCG球が配置されており(図7(a)),そのCG球をコントローラで選択することで、デジタルサイネージからの視点映像と音声に切り替わりコミュニケーションできる。そして、デジタルサイネージからの視点では、消毒液のボトルの方向に青色のCG球、ドアの方向に黄色のCG球が配置され(図7(b)),両方に切り替えることができる。実験では、最終的にドアの方向に被験者を案内した(図7(c))。以上の操作で、被験者が現場のユーザを案内する実験を行った。操作方法については、実験前に被験者に対して説明し、実際にコントローラを使って操作を確認してもらった。



(a) Viewpoint from the alcohol disinfectant bottle (the red CG sphere indicates the direction of the digital signage)



(b) Viewpoint from the digital signage (the blue CG sphere indicates the direction of the alcohol disinfectant bottle, and the yellow CG sphere indicates the direction of the door)



(c) Viewpoint from the door (the red CG sphere indicates the direction of the digital signage)

Fig. 7 View from the remote user's perspective

4.4 アンケート

ユーザの体験を評価するため、各実験終了後にアンケートを実施した。アンケートは現場のユーザと遠隔ユーザ、どちらに対しても実施した。アンケートの項目は以下の表1、表2に示す。Q1~Q6 全て、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. どちらとも言えない, 5. ややそう思う, 6. そう思う, 7. 非常にそう思う）で回答してもらった。

Table 1 Questionnaire for the on-site user

Q1	モノと話していると感じた
Q2	リモートの人と話していると感じた
Q3	同じ人格のモノと話していると感じた
Q4	同じリモートの人と話していると感じた
Q5	連続して会話を繋げられたと感じた
Q6	迷わず案内されたと感じた

Table 2 Questionnaire for the remote user

Q1	モノとして話していると感じた
Q2	自分が話していると感じた
Q3	自分が何のモノとして話しているか理解できた
Q4	自分が同じ人格として話していると感じた
Q5	連続して会話を繋げられたと感じた
Q6	上手く案内できたと感じた

5. 結 果

図8に現場のユーザのアンケート結果、図9に遠隔ユーザのアンケート結果を示す。

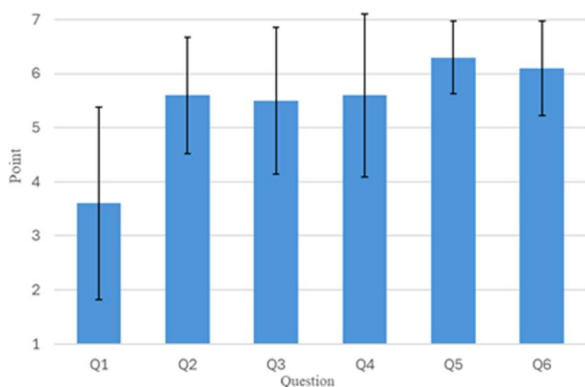


Fig. 8 Questionnaire results from the on-site users

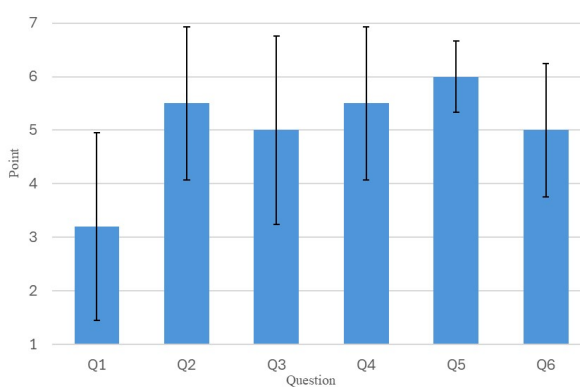


Fig. 9 Questionnaire results from the remote users

現場のユーザ、遠隔ユーザ両者で「Q5. 連続して会話を繋げられたか」の項目で全員が「5. ややそう思う」以上の評価をつけていた。これにより、複数のIoTアバターを通じた案内でも会話が連続していると感じられたことが確認された。また、現場のユーザにおいて「Q3. 同じ人格のモノと話していると感じた」「Q4. 同じリモートの人と話していると感じた」も平均がそれぞれ5.5, 5.6と高く、「同じ人格による会話」として知覚されている傾向が見られた。

一方で、現場のユーザの「Q1. モノと話していると感じた」と「Q2. リモートの人と話していると感じた」の結果に関して、t 検定を用いて検定を行った。2つの質問の結果間には有意差($p < 0.01$)が確認され、モノの擬人化感が弱いという結果が示された。

また、遠隔ユーザ側の評価において「Q3. 自分が何のモノとして話しているか理解できた」の結果にばらつきがあり、自分が何のモノになりきって話せばよいのか理解できていない人もいた。

6. 考 察

本研究の目的であった連続的なコミュニケーションの実現に関しては、今回の結果から十分に可能であるといえる。位置も形も違う物体を同じ人格のモノと認識するには、何かしら共通点を示す必要がある。今回は会話の内容が「道案内」であり、現場のユーザに対して IoT アバタが統一した内容を話しかけていたからこそ、「同じ人格のモノが追ってきている」、「人格が乗り移った」という感覚を持たせることができたと考えられる。同じ人格のものが追尾してきているように感じることは、現場のユーザの Q3, Q4 の結果が高いことから示される。

また、モノとしての存在感や擬人化感を感じにくかった点に関して、単体の IoT アバタではモノの擬人化を感じさせることができていた(Kida et al., 2025)。以前の実験では、現場のユーザが IoT アバタに触れたり、そのモノの機能を使ったりしていたため、1つの IoT アバタとのコミュニケーション時間が2分程度であった。しかし、今回の実験では複数の IoT アバタを用いていることから、1つの IoT アバタとのコミュニケーション時間が約10秒程度であった。コミュニケーション時間が減少したことで、身体的・感情的なやりとりが限定的でモノが擬人化していると感じにくくなってしまったと考えられる。

7. 結 言

本研究では、複数の IoT アバタを用いて空間的な移動を伴うユーザに対し、一貫性のある案内・対話が可能であることを実証した。アンケート結果からは、複数のモノを通じて連続したコミュニケーションが成立し、ユーザが「同じ人格と会話している」と知覚していたことが示された。

今後は、IoT アバタを高齢者支援や子どもの見守り、博物館での案内など、さまざまな実環境へ応用が考えられる。また、AI による応答機能 (AIoT アバタ) を導入することで、遠隔ユーザ無しでモノを擬人化し、サービスを行う方法について検討も今後の課題として挙げられる。

謝 辞

本研究は公益財団法人 JKA の機械振興補助事業 (2024M-549) の補助を受けて実施しました。

文 献

- Kida, Y., Chiba, T., Ogi, T., IoT avatar: various objects in real space are anthropomorphised as avatars, *International Journal of Web and Grid Services*, Vol.21, No.1(2025), pp.42-57.
- 千葉俊彦, 木田勇輝, 小木哲朗, IoT デバイスにおける擬人化生成のための要素評価, 設計工学・システム部門講演会講演論文集.(2024).
- 松元崇裕, 瀬古俊一, 青木良輔, 宮田章裕, 渡部智樹, 山田智広., 人の情動体験を向上させる感情表出ロボット. 電子情報通信学会論文誌 A, 99(1), (2016), pp. 45-55.
- Terada, K., Yamauchi, A., Ito, A., Artificial emotion expression for a robot by dynamic color change, *IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*,(2011), pp.314-321.
- 後藤みの理, 加納政芳, 加藤昇平, 国立勉, 伊藤英則, 感性ロボットのための感情領域を用いた表情生成. 人工知能学会論文誌, 21(1), (2006), pp.55-62.