

複数ユーザによる全方位インタラクションを可能にする 360 ロボットハンドシステム

渡辺 圭貴¹ 林田 望海¹ 片山 晋¹ 浦野 健太¹ 米澤 拓郎¹ 河口 信夫^{1,2}

概要：デジタルツインやメタバース等，空間の種類と量が増大する中で，異なる空間に存在するユーザ間を接続するテレプレゼンス手法は，空間間のコミュニケーションやサービスを向上させるために重要となっている．本論文では，空間間でのコミュニケーションにおいて，360 度方向のコミュニケーションに対応した 360 ロボットハンドシステムである RHS360 を提案する．この RHS360 により，サイバー空間上のユーザの位置とロボットハンドの位置整合性を常に担保でき，且つサイバー空間のユーザが空間内の移動にも対応してロボットハンドを再配置できる．これにより，ロボットハンドを用いてジェスチャーを含むコミュニケーションを行えるだけでなく，コミュニケーションにおいて重要とされるソーシャルキューの提供を行う．また，ユーザ調査を行い，ロボットハンドの移動を見たユーザから相手の思考を読み取りやすさの向上，親密度の上昇という結果が得られ，提案手法による異空間間コミュニケーション体験の向上を示した．

360 Robot Hand System for Omni-directional Interaction by Multiple Users

Yoshiki Watanabe¹ Nozomi Hayashida¹ Shin Katayama¹ Kenta Urano¹ Takuro Yonezawa¹
Nobuo Kawaguchi^{1,2}

1. はじめに

デジタルツインやメタバースなど，空間の種類と量が増大する中で，異なる空間に存在するユーザ間を接続するテレプレゼンス手法は，空間間のコミュニケーションやサービスを向上させるために重要となっている．実際に Stephen らによる分散した空間に存在するグループ同士がサイバー空間で会議を行う手法の提案 [1] や，Yonezawa らの分散した空間同士を繋ぐ統一的な手法として MetaPo を提案 [2] などがされている．このようなテレプレゼンスにおける基本的なアプローチは，高精細な等身大のビデオ通話やパートナーの姿や振る舞いの提示であるが，高精細映像のアプローチには限界があり，画質の良し悪しに関係なくディスプレイを介した会話そのものが，相手に距離を感

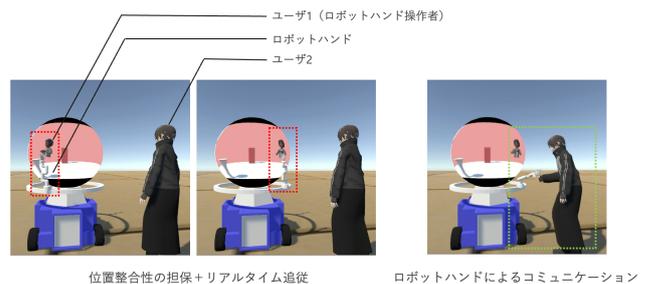


図 1 RHS360 が提供する機能

じさせてしまう可能性が示唆されている [3]．その解決策の1つとして，テレロボティクスとビデオ通話を合わせたアプローチが提案されている．人間のコミュニケーションにおいて伝達される意味の 60%以上を包含すると推定されているジェスチャー [4] をロボットハンドに取らせて行う対話は，ユーザの応答時間の改善や記憶の促進，共同作業の効率化に好影響を与え [5][6][7]，また親しみやすさの向上が認められている [8]．このようにロボットハンドはコ

¹ 名古屋大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Nagoya University

² 名古屋大学 未来社会創造機構
Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

コミュニケーションにおいてその体験の向上に役立ち、テレロボティクスの技術を利用し遠隔のロボットハンドを操作できるテレプレゼンス手法はコミュニケーション体験を大きく向上させる。しかし、ユーザが移動できる空間同士を繋ぐテレプレゼンスにおいてロボットハンドを導入する際には、ディスプレイに映るユーザとロボットハンドの位置整合性が保たれていない問題が発生する。この場合、ユーザ同士の社会的結合に悪影響を及ぼしコミュニケーション体験の低下が示されており [3]、この問題への対応が重要である。

また、一般にコミュニケーションにおいてソーシャルキューは重要な役割を果たす。ソーシャルキューとは、人が社会的環境での相互作用において、他人の行動や感情を理解するために使用する非言語的なヒントや合図を指す。従来のテキストによる会話、音声通話やビデオ会議のようなオンラインのコミュニケーションでは、これらのソーシャルキューをフィルタリングしてしまい、コミュニケーションやメッセージ発信者の社会的認知へのマイナスの影響が示されている [9]。また、MetaPo のように、空間同士をつなぐテレプレゼンスの場合にはそれぞれの空間に複数のユーザが存在するため、どのユーザにコミュニケーションをしようとしているのかの意図が伝わりづらいという問題があり、ソーシャルキューをいかに提示するかが大切である。しかし、比較的ソーシャルキューが多いサイバー空間において、どのようにソーシャルキューを提示するかについての研究は不十分である。

以上の背景を踏まえ、提案手法である 360 ロボットハンドシステム (以下、RHS360: Robothand System 360) (図 1) では、Yonezawa らにより提案された MetaPo[2] を用いてサイバー空間とのコミュニケーションをする際、以下の 3 つの機能を提供し、その体験を向上させる。

- サイバー空間のユーザがロボットハンドを操作し、異なる空間に存在するユーザに対してジェスチャーを交えたコミュニケーションを可能にする
- コミュニケーション時にロボットハンド操作者の位置とロボットハンドの位置整合性を担保する
- ロボットハンド操作者の移動に合わせてリアルタイムにロボットハンドをユーザに追従させる

本論文では RHS360 をシミュレータで実装しユーザ調査を行った。その結果、提案手法によるコミュニケーション相手の思考の読み取りやすさの向上、親密度の上昇が見られ、実際に提案手法による異空間間コミュニケーション体験の向上を可能にした。

2. 関連研究

2.1 ロボットハンドによるジェスチャーコミュニケーション

既存研究で、コミュニケーションをするにあたって、ロボットと人の同一空間の共有による人へのポジティブな影響が示されている。Li らは、ロボットの物理的な存在が、コンピュータグラフィックベースのエージェントとは異なり、あるいはより強く、人とのインタラクションに影響を与えることを示した [10]。また、コミュニケーションにおけるジェスチャーが人に与える影響について報告されており、Dargue らが、ジェスチャーは言語情報の理解に役立つのか調査した [11]。彼らはジェスチャーを iconic gestures, metaphonic gestures, deictic gestures, beat gestures の 4 つに分類し、全ての種類のジェスチャーの有益さを示した。また、Shane Saunderson らはロボットの動作から受ける人間の精神の影響について調査し、ロボットがジェスチャーを用いて感情表現し、感情をうまく伝達できることを示した [12]。さらに、Tanaka らは遠隔地にいるコミュニケーション相手とロボットハンドを用いた握手をする際に、ユーザの顔とロボットハンドの位置や大きさの不整合の影響を調査した [3]。実験の結果、大きさの不整合に関しては空間共有感及び社会的結合の観点からの差が見られなかったが、位置整合性の担保による、空間共有感及び社会的結合の向上を示した。

このように、テレプレゼンスにおいてロボットを用いたジェスチャーの表現が可能であり、それを用いたコミュニケーションの有効性は示されているが、いずれもロボットハンドは固定されており、MetaPo のような空間同士をつなぐテレプレゼンスの際に生じる、「空間内でのユーザの移動」に対応できていない。提案手法である RHS360 においては、サイバー空間のユーザがロボットハンドを操作しながらコミュニケーションを図る際、ロボットハンド自体が 360 度方向の移動ができるため、サイバー空間のユーザの位置とロボットハンドの位置整合性を担保しながらロボットハンドを操作ができ、コミュニケーション相手にジェスチャーを伝えることができる。そのため本研究では位置整合性の担保を実現する。

2.2 ソーシャルキューの提示

コミュニケーションにおいてソーシャルキューは重要な役割を果たす。サイバー空間は他のテクノロジーを介したコミュニケーションと比較して、社会的存在感が高いと言われており、サイバー空間では、視覚、聴覚、触覚、嗅覚など、様々なソーシャルキューを提供できる [13][14]。したがって、様々な技術的特徴が社会的存在感の認知にどのように影響するかを理解し、サイバー空間のプラットフォーム

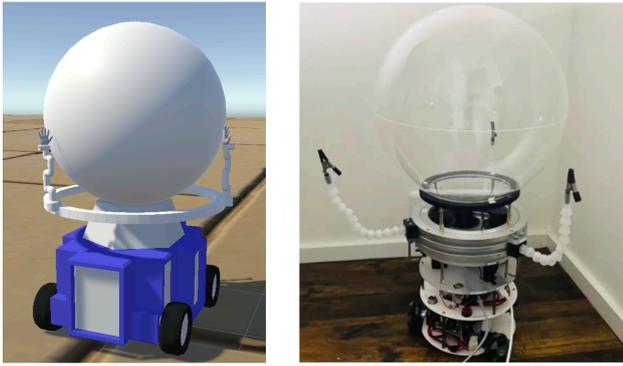


図 2 RHS360 のプロトタイプ (左：サイバー空間, 右：物理空間)

ム設計への利用が大切であり、既存研究ではソーシャルキューの表現方法に関する研究が進みつつある。

Daniel らは日常的な社会的相互作用における重要な行動現象である eye contact, joint attention, grouping の 3 つのソーシャルキューのデザインによって、サイバー空間における社会的行動を強化する新しいアプローチを提示した [15]。その結果、マルチユーザ環境において社会的プレゼンスを大幅に向上させ、アイコンタクトの増加や、シーン内のアバター/オブジェクトへの集中など、参加者の実際の行動への影響が生じ、サイバー空間における社会的知覚と行動に影響を与えるソーシャルキューの可能性を示唆した。また、Jann らはユーザの視野範囲を示す 3D コーン、ユーザが見ているオブジェクトを強調表示する方法及びユーザのビューポートを直接ビデオミラーする方法を用いてソーシャルキューの一つであるゲイズキューを表現した。

このように、サイバー空間同士のソーシャルキューに関する研究がされているが、「サイバー空間とサイバー空間」、「サイバー空間と物理空間」どちらにも対応した統一的手法を提示できていないという問題点が残る。

RHS360 の搭載により、サイバー空間とサイバー空間だけでなく、サイバー空間と物理空間のコミュニケーションにも対応した統一したソーシャルキューの提供方法により、社会的存在感の増加及び複数人存在する異空間間コミュニケーション体験の向上を可能にする。

3. RHS360 : Robothand System 360

3.1 デザイン

RHS360 は、物理空間とサイバー空間どちらの MetaPo にも搭載可能であり (図 2)、ロボットハンド操作者の位置とロボットハンドの位置整合性を担保しながら、リアルタイムな操作者との位置の同期により発生するソーシャルキューの提示によってコミュニケーション体験を向上させる。RHS360 搭載の MetaPo では、以下デバイスを使用する。

- VR デバイス：Meta Quest2^{*1}
- 360 度カメラ：RICOH THETA V^{*2}
- LED 球面ディスプレイ：SP2.5^{*3}
- ロボットハンド：myCobot 280^{*4}
- 自律移動ロボット：HAKOBOT^{*5}

3.2 異空間間コミュニケーション

MetaPo では、Mixed Link と Immersive Link と名付けられた 2 つの基本的な異空間間コミュニケーションモードを定義している。それぞれのモードではビデオ通話など従来のコミュニケーション方式もサポートされているが、以下ではその違いに注目する。Mixed Link は、離れた場所にある空間を対等な関係でつなぐコミュニケーションモードである。それぞれの空間にいるユーザは、自分の体をそれぞれの空間に置いたまま、パノラマオーディオビジュアルメディアを利用して、別の空間にいるユーザとコミュニケーションができる。Mixed Link では、従来の音声・映像による通話も可能だが、MetaPo では 360 度のハードウェアにより、より広い視野と音声通話を実現する。Immersive Link は、より没入感のある形でつながるコミュニケーションモードである。このモードでは、遠隔のユーザは VR デバイスを装着し、サイバー空間にある MetaPo の仮想ポータルに入る。仮想ポータルには、MetaPo の周囲 360 度のサラウンド映像が投影され、没入感の高いコミュニケーションを実現する。さらにサイバー空間のユーザはコミュニケーション相手の空間の MetaPo に設置されたロボットハンドを操作でき、映像、音声に加えてジェスチャーを交えたコミュニケーションを可能にする。

RHS360 搭載 MetaPo のシステム構成図を図 3 に示す。RHS360 においては、サイバー空間内のユーザがロボットハンド操作モードに移行すると自動で API が他ユーザに使われていないロボットハンドを判断・選択し、ロボットハンドをユーザの腕と位置整合性を保つ位置に配置し続ける。位置整合性が担保された状態でジェスチャーを用いたコミュニケーションが可能のため社会的結合を高めることができ、コミュニケーション体験の向上が期待できる。また、コミュニケーションを開始する際に図 4 のような、受け手のユーザがロボットハンドがサイバー空間のユーザと共に移動する様子を目にする。この動作がソーシャルキューとして働き、ロボットハンド操作者がどの相手にコミュニケーションをしようとしているのかの理解につながる。

このように、提案手法では、MetaPo のような移動の自由度がある空間同士のコミュニケーションをする際に起こる、「位置整合性の担保」と「ソーシャルキューの提示方

*1 <https://www.meta.com/jp/quest/products/quest-2/>

*2 <https://theta360.com/ja/about/theta/v.html>

*3 <https://www.hsclcd.com/product/sphere-led-display.html>

*4 <https://www.elephantrobotics.com/myCobot/>

*5 <https://hakobot.com/>

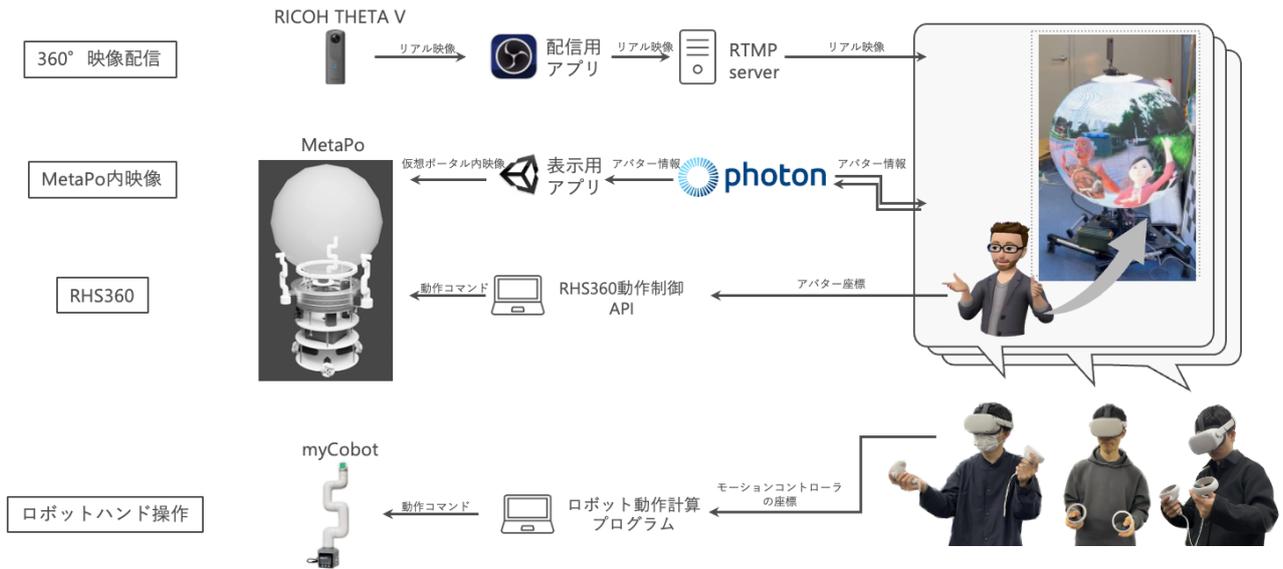


図 3 システム構成

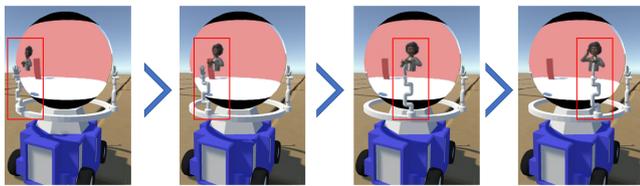


図 4 システムにより提供されるソーシャルキュー

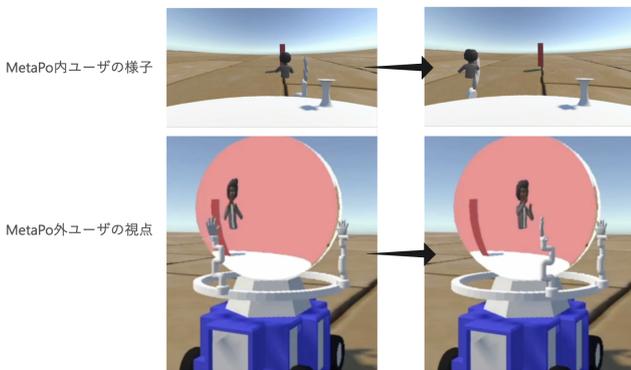


図 5 RHS360 搭載 MetaPo のシミュレータ

法」の2つの問題に対処している。

4. ユーザ調査と結果

RHS360 が遠隔コミュニケーションに与える影響を調査するために、Unity^{*6}を用いてシミュレータを作成した(図5)。

4.1 ユーザ調査

本調査は、男性9名女性1名(内9人は20代, 1人は50代)に先のシミュレータを使用してMetaPoにおけるロボットハンドを用いたコミュニケーション体験をして

もらい、「ロボットハンドが固定されている場合よりも、RHS360の導入により、より対面に近いコミュニケーションの実現が期待できる」という仮説のもと検証を行った。ユーザ調査においては、次の2通りのシナリオにおいて、それぞれロボットハンドが固定されている場合とRHS360搭載の場合を体験してもらった(図6)。

- シナリオ1:ロボットハンドを操作する側のユーザ体験
 - (1) VR デバイスを装着し、MetaPo 内の仮想ポータルに移動する
 - (2) コミュニケーション相手の目の前まで移動し、握手のモーションを行う
 - (3) コミュニケーション相手が握手を返す様子を見る
- シナリオ2:ロボットハンド操作を見る側のユーザ体験
 - (1) VR デバイスを装着し、MetaPo 外のサイバー空間に移動する
 - (2) コミュニケーション相手が目の前まで移動し、握手のモーションを行う様子を見る
 - (3) 握手を返す

以上の2つのシナリオで「ロボットハンドが固定されている場合」と「RHS360 搭載されている場合」の体験してもらったのち、以下のアンケートに答えてもらい、インタビューも行った。評価には Telepresence の QoE 評価指標として用いられる H-MSC-Q[16]の一部及び自作の質問を用い、5段階のリッカート尺度を用いた。Telepresence の QoE 評価指標は現在、SocialVR-Q[17]や、MPS[18]など、様々な指標が提案されている[19]が、H-MSC-Qはその他の指標と比較して、コンテキスト、コンテンツ、ユーザの状態や性格など、二次的な(媒介的な)要因に依存しないような評価項目が用意してあるため。他の QoE 指標ではなく H-MSC-Q を用いた。

*6 <https://unity.com/ja>

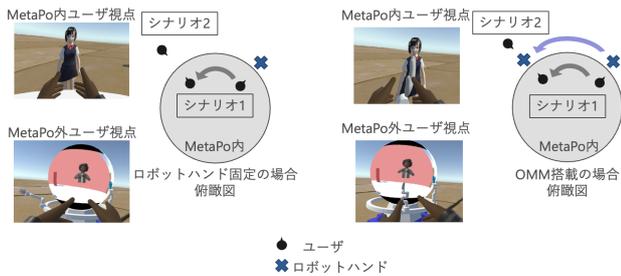


図 6 ユーザ調査の流れ

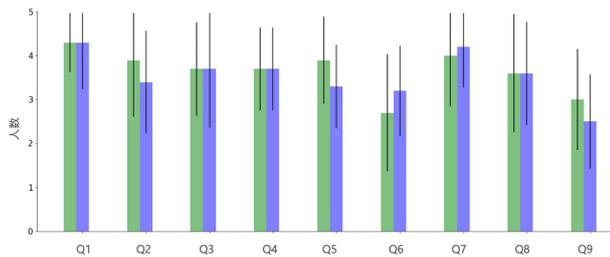


図 7 シナリオ 1 の結果 (平均値のグラフ, エラーバーは標準偏差) (緑: ロボットハンド固定, 青: RHS360 搭載)

実際の質問内容は性別, 年齢に加えては以下の Q1 から Q9 の 9 項目である。ここで, Q1 から Q5 は H-MSC-Q より引用, Q6 から Q9 は自作の質問である。

- Q1 相手の存在を感じた
- Q2 相手との感情的, 知的なつながりを感じた
- Q3 相手の外観が自然に感じられた
- Q4 コミュニケーションをしながら, 自分の思考が正常に働いていると感じた
- Q5 コミュニケーションをしながら, 自分の行動が普通に感じられた
- Q6 ロボットハンドが自分/相手の腕のように感じた
- Q7 相手が目の前にいるように感じた
- Q8 相手と親密感を覚えた
- Q9 相手の手を握っている/握られていると感じた

4.2 調査結果

表 1 から表 4 に調査結果を示す。また, グラフ化した結果を図 7, 図 8 に示す。シナリオ 1 において, ロボットハンド固定の場合と RHS360 搭載の場合について, ウィルコクソンの符号付順位和検定を行い, 有意水準 $p < 0.05$ を統計的に有意であるとした。その結果, シナリオ 1 において, 全ての項目において有意水準を上回った。また, シナリオ 2 については, Q4, Q6, Q7, Q8, Q9 において有意水準を下回る結果となり, いずれの項目でも提案手法の平均値が高くなる傾向があった。

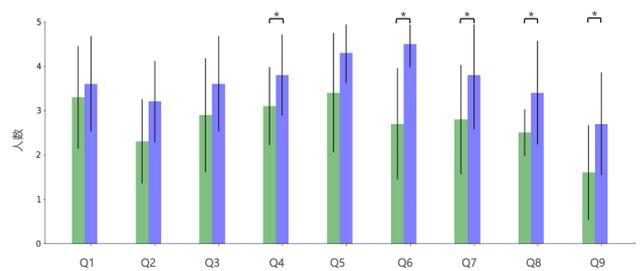


図 8 シナリオ 2 の結果 (平均値のグラフ, エラーバーは標準偏差) (緑: ロボットハンド固定, 青: RHS360 搭載)

5. 考察

5.1 ロボットハンドを操作する側のユーザ体験

MetaPo 内のユーザ体験については, 図 7 に示した通り, RHS360 搭載の有無に関係なく, 有意差は認められなかった。この原因として, 以下のことが考えられる。

本論文で用いたシミュレータにおいては, 実際にロボットハンドを操作するのではなく, アニメーションを用いて実験を行った。これにより, ユーザはロボットハンドを操作している感覚が弱く, またアバターの手とロボットハンドの手が 2 つ同時に視界に存在したため, 違和感となりコミュニケーション体験に悪影響を与えてしまったと考えられる。実際に, 体験後のインタビューでも, 「手が 2 つ見えて違和感があった」や, 「リアルタイムに動いてほしい」という意見が見られた。しかし他の意見として, 「ロボットハンドが見えて操作している感じがあって良い」や「目の前にロボットハンドがあると自分の手と感じた」といったポジティブな意見も同様に見られたことから, ロボットハンドの操作性の改善により, コミュニケーション体験の向上ができると考える。

5.2 ロボットハンド操作を見る側のユーザ体験

MetaPo 外のユーザ体験については, 図 8 に示した通り, Q4, Q6, Q7, Q8, Q9 において有意差が認められ, RHS360 搭載の場合が平均値も高かった。Q4 は, H-MSC-Q の評価項目のうち, 「普段の生活と同じような思考が引き起こされるか」についての項目であるため, RHS360 により, 握手がしたいという相手の感情を読み取りやすくなったと考えられる。これは, ロボットハンドがコミュニケーション相手にリアルタイム追従する様子を見るという, ソーシャルキューの提供により, 相手のコミュニケーションがしたいという感情を読み取りやすくなったためと考えられる。実際に体験後のインタビューでも「ロボットハンドが相手に追従しないと自分の方を見ているのかという疑問が残った」, 「システムがあった方が自分に向かってきているのがわかりやすい」や「相手の意識が自分に向けられて, 自分と握手がしたいという感覚があった」といった意見が見ら

表 1 シナリオ 1: ロボットハンド固定の場合

	そう思う	ややそう思う	普通	あまり思わない	思わない
Q1	4	5	1	0	0
Q2	5	1	2	2	0
Q3	2	5	1	2	0
Q4	2	4	3	1	0
Q5	3	4	2	1	0
Q6	1	2	2	3	2
Q7	4	4	0	2	0
Q8	3	3	2	1	1
Q9	1	3	1	5	0

表 2 シナリオ 1: RHS360 搭載の場合

	そう思う	ややそう思う	普通	あまり思わない	思わない
Q1	1	4	3	1	1
Q2	0	1	3	4	2
Q3	1	3	1	4	1
Q4	0	4	3	3	0
Q5	2	4	1	2	1
Q6	1	1	4	2	2
Q7	1	2	2	4	1
Q8	0	0	5	5	0
Q9	0	1	1	1	7

表 3 シナリオ 2: ロボットハンド固定の場合

	そう思う	ややそう思う	普通	あまり思わない	思わない
Q1	6	2	1	1	0
Q2	1	5	2	1	1
Q3	4	2	1	3	0
Q4	2	4	3	1	0
Q5	0	5	4	0	1
Q6	0	6	0	4	0
Q7	5	2	3	0	0
Q8	3	2	3	2	0
Q9	0	3	0	6	1

表 4 シナリオ 2: RHS360 搭載の場合

	そう思う	ややそう思う	普通	あまり思わない	思わない
Q1	2	4	2	2	0
Q2	0	4	5	0	1
Q3	2	4	2	2	0
Q4	2	5	2	1	0
Q5	4	5	1	0	0
Q6	5	5	0	0	0
Q7	4	2	2	2	0
Q8	2	3	2	3	0
Q9	1	1	3	4	1

れた。また、Q6 から Q9 はそれぞれ、「システム動作の自然さ」「空間共有感」「親密さ」「心理的距離感」についての評価項目である。この全てで有意差が確認され、平均値も RHS360 搭載の方が高かったことから、MetaPo 外ユーザにはシステムが異空間間コミュニケーションにおいて上手く動作しており、またそのコミュニケーション体験としても相手との心理的な距離感の低減や親密度の上昇が起り、良い効果が生まれたと考えられる。実際にインタビューでも「システムの有無で印象が全く異なり、無い場合には相手と繋がっていない感覚が強かった」や「ロボットハンドが向かってくと相手を身近に感じた」「システムがあると親密感を感じた」という意見からも裏付けられる。

6. 結論

本論文では、MetaPo のような空間同士をつなぐテレプレゼンスにおいて、RHS360 を搭載したコミュニケーション方法を提案した。また、シミュレータを用いたユーザ調査を行い、MetaPo 外ユーザにおいては「普段の生活と同じような思考を引き起こすこと」、「心理的な距離感の低減」を確認し、RHS360 による、異空間間コミュニケーション体験の向上を示した。今後は MetaPo 内ユーザ体験の向上やサイバー空間同士だけでなく、物理空間も含めたユーザ調査、複数人対複数人の場合のコミュニケーションについてのユーザ調査を行っていく。

謝辞 本研究の一部は、JST CREST JPMJCR22M4 に支援いただいています。

参考文献

- [1] Stephan Beck, Andre Kunert, Alexander Kulik, and Bernd Froehlich. Immersive group-to-group telepresence. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, Vol. 19, No. 4, pp. 616–625, 2013.
- [2] Takuro Yonezawa, Nozomi Hayashida, Kenta Urano, Johannes Przybilla, Yutaro Kyono, and Nobuo Kawaguchi. Metapo: A robotic meta portal for interspace communication. In *ACM SIGGRAPH 2022 Posters*, pp. 1–2. 2022.
- [3] Kazuaki Tanaka, Reo Mayuzumi, Tomomi Takahashi, Sho Takaki, and Natsuki Oka. Robot mediated hand-holding combined with a mobile video call makes the users feel nearer and closer. In *Proceedings of the 9th International Conference on Human-Agent Interaction*, pp. 3–12, 2021.
- [4] Albert Mehrabian. *Nonverbal Communication*. Transaction Publishers, 1972.
- [5] Laurel D Riek, Tal-Chen Rabinowitch, Paul Bremner, Anthony G Pipe, Mike Fraser, and Peter Robinson. Cooperative gestures: Effective signaling for humanoid robots. In *2010 5th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 61–68, 2010.
- [6] Elisabeth T Van Dijk, Elena Torta, and Raymond H Cuijpers. Effects of eye contact and iconic gestures on message retention in human-robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 5, pp. 491–501, 2013.
- [7] Sara Sheikholeslami, AJung Moon, and Elizabeth A Croft. Cooperative gestures for industry: Exploring the efficacy of robot hand configurations in expression of instructional gestures for human-robot interaction. *The International Journal of Robotics Research*, Vol. 36, No. 5-7, pp. 699–720, 2017.
- [8] Takahiro Hirano, Masahiro Shiomi, Takamasa Iio, Mitsuhiro Kimoto, Ivan Tanev, Katsunori Shimohara, and Norihiro Hagita. How do communication cues change impressions of human-robot touch interaction? *International Journal of Social Robotics*, Vol. 10, pp. 21–31,

2018.

- [9] Martin Lea and Russell Spears. Paralanguage and social perception in computer-mediated communication. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, Vol. 2, No. 3-4, pp. 321–341, 1992.
- [10] Jamy Li. The benefit of being physically present: A survey of experimental works comparing copresent robots, telepresent robots and virtual agents. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 77, pp. 23–37, 2015.
- [11] Nicole Dargue, Naomi Sweller, and Michael P Jones. When our hands help us understand: A meta-analysis into the effects of gesture on comprehension. *Psychological Bulletin*, Vol. 145, No. 8, p. 765, 2019.
- [12] Shane Saunderson and Goldie Nejat. How robots influence humans: A survey of nonverbal communication in social human–robot interaction. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 11, No. 4, pp. 575–608, 2019.
- [13] Catherine S. Oh, Jeremy N. Bailenson, and Gregory F. Welch. A systematic review of social presence: Definition, antecedents, and implications. *Frontiers in Robotics and AI*, Vol. 5, , 2018.
- [14] Julie R Williamson, Joseph O’Hagan, John Alexis Guerra-Gomez, John H Williamson, Pablo Cesar, and David A Shamma. Digital proxemics: Designing social and collaborative interaction in virtual environments. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–12, 2022.
- [15] Daniel Roth, Constantin Klelnbeck, Tobias Feigl, Christopher Mutschler, and Marc Erich Latoschik. Beyond replication: Augmenting social behaviors in multi-user virtual realities. In *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, pp. 215–222. IEEE, 2018.
- [16] Alexander Toet, Tina Mioch, Simon NB Gunkel, Omar Niamut, and Jan BF van Erp. Towards a multiscale qoe assessment of mediated social communication. *Quality and User Experience*, Vol. 7, No. 1, p. 4, 2022.
- [17] Jie Li, Yiping Kong, Thomas Röggl, Francesca De Simone, Swamy Ananthanarayan, Huib De Ridder, Abdallah El Ali, and Pablo Cesar. Measuring and understanding photo sharing experiences in social virtual reality. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–14, 2019.
- [18] Guido Makransky, Lau Lilleholt, and Anders Aaby. Development and validation of the multimodal presence scale for virtual reality environments: A confirmatory factor analysis and item response theory approach. *Computers in Human Behavior*, Vol. 72, pp. 276–285, 2017.
- [19] Pablo Pérez, Ester González-Sosa, Jesús Gutiérrez, and Narciso García. Emerging immersive communication systems: Overview, taxonomy, and good practises for qoe assessment. *arXiv preprint arXiv:2205.05953*, 2022.