

ドアコム AR：ポータルを用いた空間接続表現手法 による対話相手の存在感の強化

濱上 宏樹^{1,a)} 吉野 孝^{2,b)}

概要：本研究では，侵入可能な枠を境界として遠隔地間を繋ぐ映像表現手法を提案する．提案手法では，AR/MR 技術を用いることで，実際の空間に遠隔地へと繋がる枠を出現させる．この空間を繋げる枠を本研究ではポータルと呼ぶ．ポータルを越えて遠隔の空間に侵入する映像によって，対話相手に自身の空間へと侵入されている感覚「被侵入感」を提示し，テレプレゼンスの向上を目指す．提案手法を実装したビデオチャットシステム「ドアコム AR」を開発し，提案手法が存在感に与える効果の検証を行った．検証の結果，ポータルを介して遠隔地間を繋ぎ，境界を越えてくる表現によって被侵入感を与えられることが分かり，存在感が向上することが確認できた．また，提案手法は対話相手の空間の映像を表示しているにも関わらず，従来手法と同様に同じ部屋にいる感覚を与えることが分かった．

1. はじめに

近年，Skype などの無料でビデオチャットを行えるツールが普及してきている [1]．しかし，従来のビデオチャットには，対面環境に比べて対話相手と心理的な距離感を感じてしまう問題点がある．この問題を解決するために，遠隔地間コミュニケーションにおいてテレプレゼンスが重要である．テレプレゼンスとは離れた場所にいる人とあたかも対面しているような感覚のことである．テレプレゼンスの向上を目指して様々な研究がなされていた．一般的に普及しているビデオチャットといえば Skype や FaceTime であり，これらはディスプレイを窓と見立てて窓越しに対話相手と会話を行う．この形式は窓型ビデオ会議と呼ばれている．窓型ビデオ会議では，ディスプレイ面が対話相手との境界となり，物理的な制約によりこの境界を超えることはできない．また，鏡型や没入型のビデオ会議システムがある．これらのビデオ会議では対面環境に近づけることや遠隔地にいる対話相手と同じ部屋にいるような表現によって，テレプレゼンスの向上を目指している [2], [3]．しかし，実際には対話相手は別の部屋に存在しており，表現している状況と実際の状況に差異が生じてしまう．

そこで本研究では，侵入可能な枠を境界として遠隔地間を繋ぐ映像表現を行った．対話者は枠を介して自身と相手の空間を行き来しながら対話することができる．提案手法

では，AR/MR 技術を用いることで，実際の空間に遠隔地へと繋がる枠を出現させる．この空間を繋げる枠を本研究ではポータルと呼ぶ．ポータルは遠隔地との境界となり，ポータルの向こう側には遠隔空間が立体的に存在して見える．ポータルを越えて遠隔の空間に侵入する映像によって，対話相手に自身の空間へと侵入されている感覚「被侵入感」を提示し，テレプレゼンスの向上を目指す．提案手法を実装したビデオチャットシステム「ドアコム AR」を開発し，提案手法が存在感に与える効果を検証した．また，ポータルの奥に遠隔地の映像が見えることで，従来手法に比べて同じ部屋にいる感覚が損なわれないか検証を行った．

2. 関連研究

2.1 窓型ビデオ会議

ディスプレイを窓と見立てた窓型ビデオ会議は，対話相手と向かいあった状態での会話が可能であり，対面環境と近い表現が可能である．窓型ビデオ会議の特徴として，対話しているユーザの背景が表示される点がある．これにより，お互いに別の部屋にいる状態での会話することとなる．しかし，ディスプレイを用いることで，対話相手との間に物理的な壁が生じてしまう．この問題によって窓型ビデオ会議でのテレプレゼンスは低いと考えられている．この問題を解決することで，テレプレゼンスの向上を目指した研究がいくつかある．例えば，ディスプレイによって生じる壁を透明なガラスと見立てて，そこに文字を書く方法がある [3]．また，窓型ビデオ会議はディスプレイが壁となり，対面環境では可能である遠隔地への指さしや，物の受け渡

¹ 和歌山大学大学院システム工学研究科

² 和歌山大学システム工学部

^{a)} hamaue.hiroki@g.wakayama-u.jp

^{b)} yoshino@sys.wakayama-u.ac.jp

しができない。この問題を解決し、テレプレゼンスを向上させるための研究も行われている。PopArm ではロボットの腕を用いて遠隔地への指さしを実現し、テレプレゼンスの向上を確認している [4]。また、ユーザの位置関係に注目しユーザの前後移動を反映させることで、テレプレゼンスが向上することが確認されている [2], [5], [6], [7]。また、大画面ディスプレイを用いて等身大に表示する方法 [8] や、ハーフミラーを用いてアイコンタクトを可能にする方法 [9]、立体形状ディスプレイを用いて対話相手の顔を立体的に表示する方法 [10] などによって、対話相手の存在感が向上することが分かっている。

本提案手法を用いたドアコム AR は窓型ビデオ会議の一種である。深度カメラによって取得された距離画像とカラー画像を用いることで、従来のビデオ会議が平面的な映像であったことに対し、窓の奥に別の空間が広がるような奥行きのある立体映像を表示することが可能である。HMD を用いて対話相手の映像を表示することで、従来の窓型ビデオチャットとは異なり、ディスプレイによる物理的な壁は生じない。奥行きのある立体映像と壁の生じない表現により、ユーザは窓の中から腕を伸ばすことによって、相手の空間へと侵入する映像表現が可能となる。

2.2 鏡型ビデオ会議

ディスプレイを鏡と見立てたビデオ会議の方式は、鏡型ビデオ会議である。鏡型ビデオ会議の特徴は、窓型ビデオ会議と異なり、対話相手と同じ部屋にいるような表現を行う点である。超鏡では、クロマキー合成により一方のユーザの背景を消し、遠隔地の映像と合成した。この手法により、テレプレゼンスの向上が確認されている。また、鏡型ビデオ会議は対話相手と同じ部屋にいるような映像表現によって、ユーザ同士が映像上で体を接触させるようなインタラクションを誘発することが確認されている [11]。鏡型ビデオ会議は遠隔地間での共同作業や子供が遊ぶといった利用方法が可能である。鏡型ビデオチャットにおいて触覚提示を用いて同じベンチに座っている感覚を提示することでテレプレゼンスを向上できることが確認されている [12]。また、ディスプレイを鏡と見立て、キャラクターの映像とベンチの触覚提示を組み合わせることで、キャラクターと同じ部屋にいるような AR/MR プラットフォームも提案されている [13]。

2.3 VR/AR/MR ビデオ会議

VR 空間上での遠隔会議システムも多数提案されている [14], [15]。Facebook の「Facebook Spaces」はアバターを用いて VR 空間でユーザ同士でコミュニケーションを行う [16]。Facebook Spaces では、VR 空間上に対話相手のビデオ映像を表示する、VR 上での窓型ビデオ会議も行わ

れる。AR/MR を用いたビデオ会議では、対話相手の空間に全身の映像を重畳表示し対話を行う Holoportation が提案されている [17]。これは HoloLens を使って、実際の空間に対話相手の映像を重ねて表示し、テレポーテーションを表現する方法である。複数台の深度カメラを用いて、空間をセンシングする。リアルタイムで人物の三次元モデルを生成し、このモデルを表示している。Holoportation では複数台の深度カメラが必要であったが、これを簡略化し、一台の Kinect で実装可能な HoloportationLite が発表されている。また、AR/MR での窓型ビデオ会議手法として Skype for HoloLens [18] がある。これは一般的な PC やタブレットと HoloLens をつなぐビデオチャットシステムである。HoloLens 側ユーザの視界に対話相手の映像を窓型ビデオ会議のように平面的に表示する。また、PC 側ユーザは HoloLens 側ユーザの視界映像を共有し、HoloLens ユーザの視界をマーカーにより指示したり、線を引くことが可能になっている。Skype for HoloLens は HoloLens アプリとして既に公開され利用可能である。

2.4 空間の三次元データ化

遠隔空間内を三次元データとして構成することで、空間内を移動可能なテレプレゼンスシステムがある。Jack-InSpace [19] では遠隔地の様子を Kinect で取得し、三次元データとしている。複数人の視点映像と三次元空間データを用いることで、遠隔空間内における自由な視点移動を実現している。提案手法では、同様に Kinect によって三次元データを取得し、遠隔地と共有する。遠隔空間の三次元データを用いて、ポータルの位置からの視点映像を作成する。ポータルを操作するユーザは遠隔地の中を三次元的に移動し、任意の場所から会話や指示を行うことができる。また、ポータル操作側ユーザの様子は、HoloLens を介して見えているため、対話相手とお互いに会話に相手の場所を理解した上で会話を行うことができる。

2.5 遠隔空間との接続表現

実世界では、物理的な制約により、遠隔地間を接続することはできていない。しかし、物理的な制約のない漫画や映画、ゲームでは、空間接続表現はしばしば登場する。漫画「ドラえもん」では「どこでもドア」という道具が登場する [20]。これは、ドアを介して遠隔地間を接続しドアを通り抜けることで遠隔地への移動を可能にするものである。映画「ドクターストレンジ」では、空間を操作する力によって、遠隔地間をつなぎ移動を行っている [22]。遠隔地へと移動する表現は、自身の座標を移動させる瞬間移動があるが、空間を接続後に境界を抜けて移動する点が異なる。このような空間接続方法は多くのフィクション作品で離れた場所への移動やコミュニケーションに用いられて

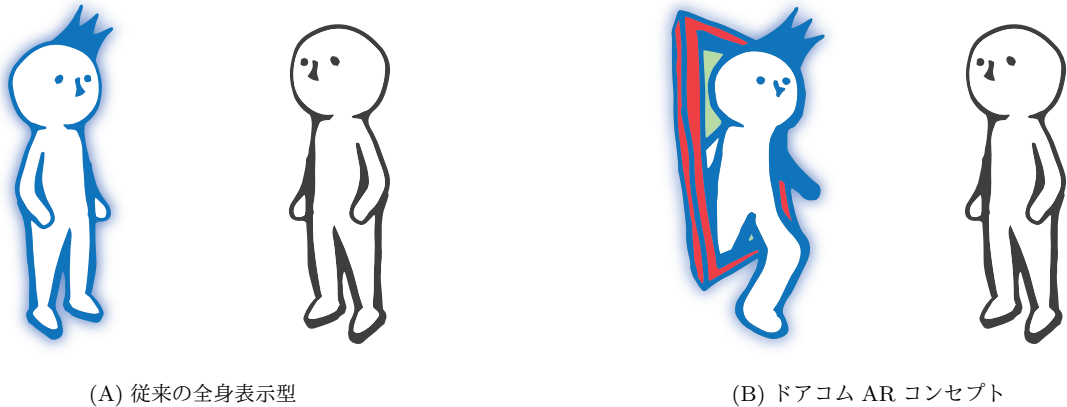


図 1 コンセプト

いる [21], [23]. AR を用いたコンテンツでは, 枠によって空間が繋がって見える表現が多々用いられる. HoleLens Gate[24] では, 実際にユーザがいる場所とパノラマ画像をゲートを介してつなぎ, 双方向の移動を可能にしている.

3. ドアコム AR

3.1 従来のドアコム概要

ドアコムは, 対話相手と自身の映像の重畳表示を行う部分重畳表示型ビデオチャットである [25], [26], [27]. 部分重畳表示型ビデオチャットとは, 遠隔地間の一方または両方のカメラの映像の一部を, 他方の映像や別の映像に重畳し, 会話を行うシステムである. ポータルを介して遠隔地間を仮想的につなぎ, 相手の空間と繋がっているような表示によって, テレプレゼンスの向上を目指す.

ポータルは, 他人の部屋に入るために使用する「ドア」をメタファとした. ドアコムでは, 相手のいる空間の映像の上に, ポータル操作側の映像を重ねることで, 遠隔地間を繋ぐ表現を行い, 対話相手の空間に入り込むような表現を実現した [25], [26]. ポータルの存在はユーザに対して, 対話相手の存在感と映像の立体感を増加させることが分かっている. ドアコム Z では, 利用者に「相手の空間で指示操作をしている感覚」や「相手の空間へ侵入している感覚」を与えるため, 遠隔空間内における三次元的な移動と遠隔空間内の物との前後関係を考慮した重畳表示を行った. ポータルから手を出す越境表現により, 相手の空間で指示操作をしている感覚の向上が確認された [27]. 既存のビデオチャットと比較すると, ドアコムを用いることで, 相手の空間と繋がっている感覚は, ある程度得られていると考えられるが, 得られている効果はまだ十分とは言えない.

本研究では相手の空間に入ることを「侵入」と表現する. 自身の空間に居ながらにして, ポータルから相手の空間に入る「進入」と, 通常入ることのできない対話相手の領域を侵す「侵入」の意味を意図している. また, 相手に自身の空間へと侵入されることを「被侵入」と表現する.

3.2 設計方針

従来のテレプレゼンスの向上は, 対話相手と同じ部屋にしているような感覚「同室感」の向上を目指してきた. しかし, 実際には対話相手は別の部屋に存在しており, 表現している状況と実際の状況に差異が生じてしまう. そこで, 本研究では AR/MR 技術を用いて枠を介して空間を繋げることで, 鏡の映像を介することなく, 実際の空間から直接遠隔空間へと繋がっているような表現を行う. 空間の境界である枠の奥に, 対話相手のいる空間が存在し繋がっているような表現によって, お互いが別々の空間にいる状態でのテレプレゼンスの向上を目指す. 奥行きのある空間からの体の全身または体の一部が侵入してくる映像は, テレプレゼンスが向上すると考えている.

そこで, 本研究では, 侵入可能な枠を境界として遠隔地間を繋ぐ映像表現を行った. 図 1 に提案手法のコンセプトを示す. 従来の全身表示型ビデオ会議では, 遠隔地間を行き来することはできない. 提案手法を用いたドアコム AR では, 対話者は枠を介して自身と相手の空間を行き来しながら, 対話することができる. 提案手法では, AR/MR 技術を用いることで, 実際の空間に遠隔地へと繋がる枠を出現させる. この空間を繋げる枠を本研究ではポータルと呼ぶ. ポータルは遠隔地との境界となり, ポータルの向こう側には遠隔空間が立体的に存在して見える. ポータルを超えて遠隔の空間に侵入する映像によって, 対話相手に自身の空間へと侵入されている感覚「被侵入感」を提示し, テレプレゼンスの向上を目指す. 提案手法の効果を検証するために, 体の一部が侵入可能であり, 遠隔空間内の三次元的な移動が可能なドアコム AR (窓) と体の全身が侵入可能なドアコム AR (ドア) を開発した.

3.3 システム構成

図 2 にドアコム AR のシステム構成を示す. 本システムは HoloLens を装着する被侵入側 (図 2 Room A) とポータルを介して遠隔地に侵入する侵入側 (図 2 Room B) とで通

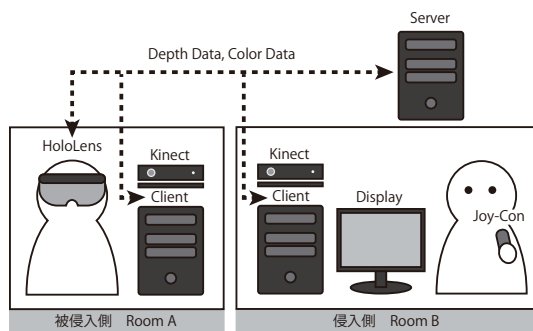


図2 システム構成

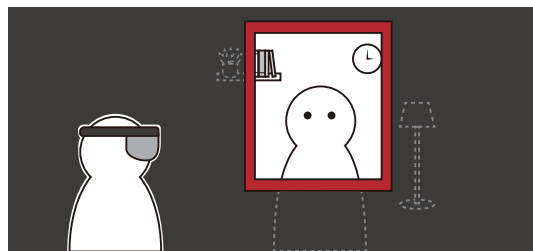


図3 HoloLens 側アプリケーションのイメージ

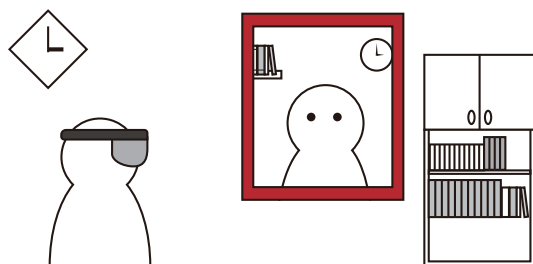


図4 HoloLens 側アプリケーションの表示イメージ

信を行う。ドアコム AR は、他人の部屋に入るために使用する「ドア」をメタファとした。被侵入側ユーザの HMD には、自身の部屋の映像に侵入側ユーザのポータルとポータルの奥に侵入側ユーザの存在する空間の映像が重畳表示される。これにより、被侵入側の空間 (Room A) と侵入側の空間 (Room B) がポータルによって繋がっているような映像となる。各クライアントは Kinect よりカラー情報、深度情報、骨格情報を取得し、サーバと通信を行う。PC と HoloLens のクライアントアプリケーションは Unity を用いて開発した。サーバ PC には 2 台のクライアント PC と 1 台の HoloLens を接続している。サーバは各クライアント間のデータ送受信の役割を担う。

(1) 被侵入側 (Room A)

被侵入側の構成は図 2(Room A) である。被侵入側の使用機器は Kinect, PC (クライアント), HoloLens である。被侵入側では、Kinect からカラー情報、深度情報を取得する。これらの情報から Room A の三次元点群データを生成する。処理負荷、通信負荷の軽減のために、三次元データを背景と人物で分ける。人物の情報は更新頻度を高く、背景の情報は低く設定す

る。人物と背景の三次元データをサーバに送信する。HoloLens ではサーバから送られてきた侵入側ユーザの空間 (Room B) の三次元データを用いて映像表示を行う。

HoloLens 側アプリケーションの概要を図 3 に示す。ポータルを境界として空間が繋がっているような表現を行うためには、ポータルの中に奥行きがあり、遠隔空間が広がっているような映像を実際の視界の映像に重畳表示する必要がある。サーバから受信した侵入側 Room B の人と背景の三次元データを HoloLens の空間上に点群として表示を行う。本システムでは Unity の Particle 機能を用いている。HoloLens と Room B の点群映像の間を黒い Plane で区切る。HoloLens では完全な黒は不可視であるため、黒の Plane によって隠された三次元点群は見えなくなる。黒の Plane に赤い枠に囲われた穴を開ける。ポータルは空間の境界を表すため明確である必要があり、視認しやすい赤とした。HoloLens 側アプリケーションの表示イメージを図 4 に示す。この手順により、HoloLens の視界にポータルとポータルの奥の空間を重畳表示することが可能になる。また、ポータルを覗き込む角度によりポータルから見える遠隔地の映像が変わり奥行きが感じられる。

(2) 侵入側 (Room B)

侵入側の構成は図 2(Room B) である。侵入側の使用機器は Kinect, PC (クライアント), ディスプレイ, Joy-Con である。侵入側でも被侵入側と同様に、Kinect からカラー情報、深度情報を取得する。これらの情報から Room B の三次元点群データを生成する。Kinect は侵入側ユーザの全身とユーザの背景が撮影できるよう、ユーザが 2m 程度離して設置する。処理負荷、通信負荷の軽減のために、三次元データを背景と人物で分ける。人物の情報は更新頻度を高く、背景の情報は低く設定する。人物と背景の三次元データをサーバに送信する。Joy-Con を用いてポータルの出現座標を制御する。ポータルは遠隔空間内において三次元的に移動可能である。

次にディスプレイへの映像表示手順を記す。サーバから侵入側 Room A の人と背景の三次元データを受信する。受信した遠隔空間の三次元データと遠隔空間内でのポータルの座標の位置合わせを行う。ポータルの位置をカメラとして、三次元データから映像を生成する。これにより、遠隔空間内のポータルのある位置から見えるはずの映像を表示することができる。侵入側ユーザも被侵入側ユーザと同様に HoloLens をつけることで、ポータルを超えて遠隔地へと侵入した際に、HoloLens の映像表示領域全てに遠隔空間の映像を表

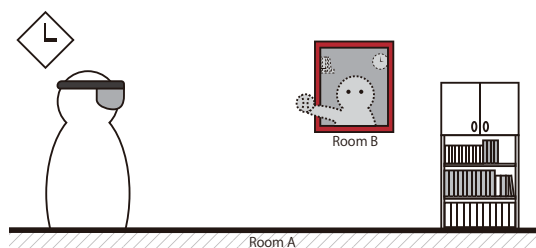


図 5 ドアコム AR (窓) のイメージ

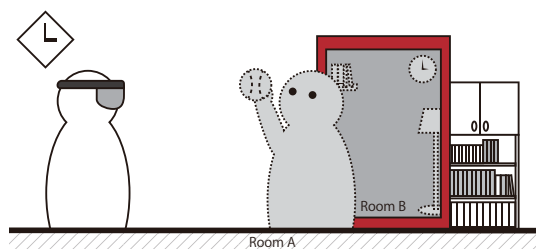


図 6 ドアコム AR (ドア) のイメージ

示し、遠隔地へと移動したような表現を行うことも可能である。しかし、現時点での HoloLens の映像表示領域は視界に対して狭く、視界を遠隔地の映像で満たすことができないため、ディスプレイを用いた実装とした。

3.4 窓

正方形の「窓」をメタファとしたポータルによって空間を繋ぐドアコム AR の 1 つの形態である。図 5 にイメージを記す。従来の一般的な窓型テレビ会議同様、人物と背景が実際の大きさよりも小さく表示される。侵入側ユーザは窓の奥に位置しており、遠隔地への侵入は腕や頭など体の一部分のみである。遠隔空間の物への直接指示が可能である。身体の一部の侵入によるテレプレゼンスへの効果の検証のために開発した。

3.5 ドア

縦に長い長方形の「ドア」をメタファとしたポータルによって空間を繋ぐドアコム AR の 1 つの形態である。図 6 にイメージを記す。Holoportation と同様、全身表示型ビデオ会議システムであり、人物と背景は等身大で表示される。図 7 に侵入前の表示映像、図 8 に侵入後の表示映像を示す。遠隔地への全身での侵入が可能であり、侵入側ユーザはドアの奥の空間と遠隔地の空間の 2 つの空間を自由に行き来できる。侵入側の構成は図 2(Room B) である。また、侵入側の空間にある物をポータルを介して遠隔地へと持ち込むことが可能である。遠隔地からの全身での侵入によるテレプレゼンスへの効果の検証のために開発した。

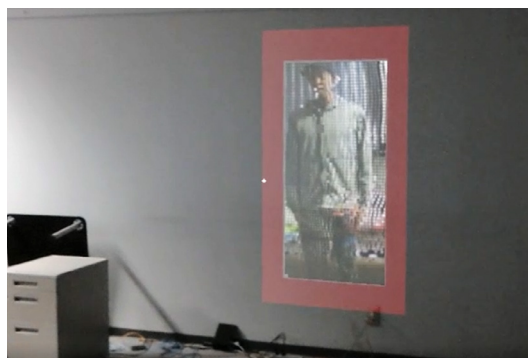


図 7 ドアコム AR(ドア) 侵入前

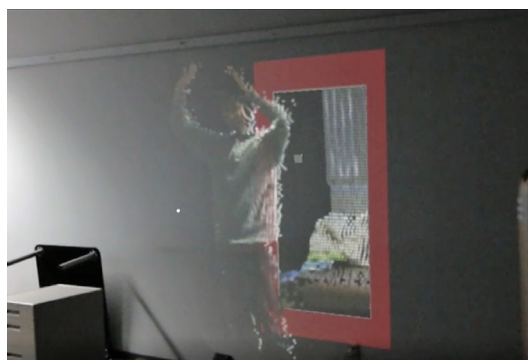


図 8 ドアコム AR(ドア) 侵入後

4. 空間接続表現の検証

4.1 実験の概要

HoloLens を装着した被侵入側のユーザと、自身の空間が相手の空間とがポータルを境界として繋がることにより、遠隔地にいる対話相手に自身の空間へと侵入されることが可能である。ポータルを境界とした空間接続表現と、提案手法によって可能となる被侵入がテレプレゼンスに与える効果の検証を行った。検証に用いた表現手法 4 つを図 9 に記す。HoloLens によって実際の風景に重畳表示される侵入側の映像を図 10 に記す。

窓型ビデオ会議における提案手法の効果を検証するため、比較対象として、MR 映像を用いた窓型ビデオ会議として有名な Skype for HoloLens を模した窓型従来手法を実装したシステムを開発した (図 9(C), 図 10(C)). 窓型従来手法を実装したシステムでは、窓枠内に表示される映像は 2 次元的な映像であり、枠の中に視差により立体的な奥行きはない。また、枠を越えて腕や体の一部を対話相手の空間に侵入させることはできない。窓型従来手法と窓型提案手法ドアコム AR(窓)(図 9(D), 図 10(D)) との比較実験を行なった。

全身を用いたビデオ会議における提案手法の効果を検証するため、比較対象として、MR 映像を用いた全身を用いるビデオ会議である HoloportationLite を模した全身表示型従来手法を実装したシステムを開発した (図 9(A),

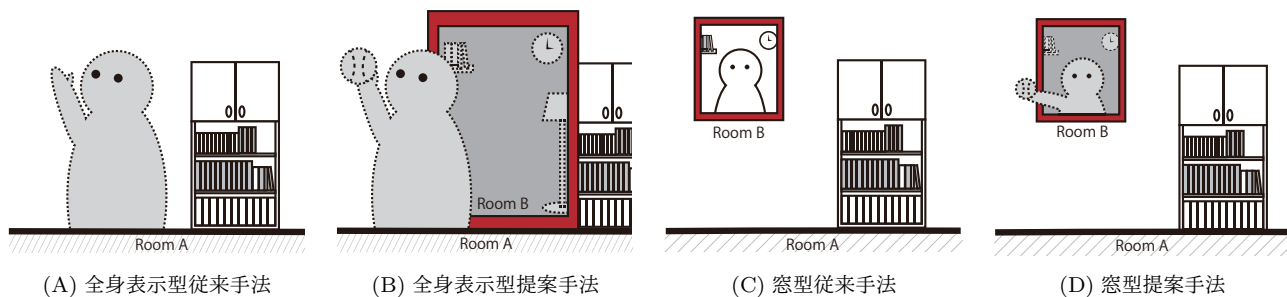


図 9 表示手法概要



図 10 表示映像



図 11 実験風景

図 10(A)). 全身表示型従来手法システムでは、視差によって立体感の生じる 3 次元的な映像である。ユーザの体は HoloLens 上に立体的に表示されるため、物を直接指差することが可能である。全身表示型従来手法と全身表示型提案手法ドアコム AR(ドア)(図 9(B), 図 10(B)) との比較実験を行なった。全身表示型は両手法とも HoloLens に表示される侵入側ユーザの映像は等身大である。

4.2 実験手順

提案手法の評価実験を行った。実験では、従来の窓型ビデオ会議、提案手法を用いた窓型会議、従来の全身を用いたビデオ会議、提案手法を用いた全身を用いたビデオ会議の 4 つの手法が利用者に与えるテレプレゼンスの効果を比較する。本実験では侵入側ユーザと被侵入側ユーザを別室に分けシステムを用いて会話をを行った。実験協力者は被侵

入側である。実験協力者は和歌山大学の 22 歳から 25 歳までの学生 10 名 (女性 2, 男性 8) である。順序効果を考慮し、手法の実施順序は協力者毎に異なる。図 11 に実験の様子を示す。図 11 は HoloLens を装着する被侵入側ユーザの空間である。実験は、ぬいぐるみを用いた簡単な会話と質問を行なった。被侵入側の空間にぬいぐるみを 2 個設置した。侵入側空間には被侵入側とは異なった種類のぬいぐるみを設置した。侵入側ユーザはポータルを越えて対話相手の空間に侵入し、被侵入側空間にある 2 つのぬいぐるみをそれぞれ指差し、簡単な会話をを行う。ポータルの位置は固定している。空間を越える際、映像上で足がポータルに当たらないように空間を跨ぐ動作を行う。侵入側ユーザの空間に実際の枠は存在しておらず、対話相手の HoloLens に表示される自身の映像を見て、枠の位置を把握している。侵入側にあるぬいぐるみについて会話をを行う際は、侵入側ユーザは自身の空間にあるぬいぐるみを手で持つ。全身表示型提案手法の場合は、ポータルを超えて一度自身の空間に戻りぬいぐるみを手に取り、再び対話相手の空間へと戻ってくるような動作を行う。

対話相手の映像は図 11 の AR 映像表示領域に表示されている。実験協力者に、手法による表現の違いは説明していない。表現手法毎にアンケートを実施し、評価として用いた。アンケートは 5 段階のリッカート尺度による評価と記述式を用いた。質問項目は以下の 4 つである。

- (1) 相手と同じ部屋にいるような感じがした。
- (2) 相手と別の部屋にいるような感じがした。
- (3) 自身の空間に侵入された感じがした。

(4) 相手がこちら側のものを指差している感じがした。
また、4つの表現手法終了後に、相手の存在感を感じた順に、映像表現の順位づけを行なった。

5. 実験結果と考察

表1にアンケート結果を示す。アンケートは5段階評価と記述式を用いた。

5.1 同室感の検証

相手と同じ部屋にいる感覚について質問した結果(表1(1))、全身表示型は従来手法、提案手法共にスコアは高く有意差がみられなかった($p=0.75$)。全身表示型において、侵入側ユーザが実際にいる遠隔地の映像を表示する提案手法を用いても、従来手法に比べて同じ部屋にいる感覚に違いはみられないことが分かった。自由記述により「目の前できて、指さしてくれたので」「自分と同じ部屋にあっているようにみえた」「全身が映っていたから」という意見が得られ、表示手法に関係なく、自身の空間にある物への指さしや全身を表示する映像は相手と同じ部屋にいる感覚を与えることが分かった。窓型は従来手法、提案手法共にスコアは低く有意差がみられなかった($p=0.75$)。窓型において、提案手法を用いても、従来手法に比べて同じ部屋にいる感覚に違いはみられないことが分かった。自由記述により「窓から別の部屋をみている感じ」「窓越しの会話だったので」「相手の部屋が見えたから」という意見が得られ、表示手法に関係なく、窓型ビデオ会議は相手と同じ部屋にいる感覚を与えないことが分かった。

5.2 別室感の検証

相手と別の部屋にいる感覚について質問した結果(表1(2))、全身表示型は従来手法、提案手法共にスコアは低く有意差がみられなかった($p=0.53$)。全身表示型において、侵入側ユーザが実際にいる遠隔地の映像を表示する提案手法を用いても、従来手法に比べて別の部屋にいる感覚に違いはみられないことが分かった。自由記述により「ドアからこちらの空間に入ってきた」「姿のみが投影されていたため、別の部屋にいるという感覚はあまりない」という意見が得られ、表示手法に関係なく、別の部屋にいる感覚を与えないことが分かった。

窓型は従来手法、提案手法共にスコアは高く有意差がみられなかった($p=1$)。窓型において、提案手法を用いても、従来手法に比べて別の部屋にいる感覚に違いはみられないことが分かった。自由記述により「距離感を感じた」「窓越しの会話だったので」「こちらにはない人形を持っていたので」という意見が得られ、表示手法に関係なく、窓型ビデオ会議は相手と別の部屋にいる感覚を与えることが分かった。

5.3 被侵入感の検証

自身の空間に侵入された感覚(被侵入感)について質問した結果(表1(3))、全身表示型の従来手法と提案手法ではスコアに有意差がみられた($p=0.016<0.05$)。従来手法では「同意しない」という結果、提案手法では「同意する」という結果が得られた。従来手法に比べて提案手法は自身の空間に侵入される感覚を与えられることがわかった。自由記述より、従来手法では「侵入されているというよりそこにいる」という意見が得られた。提案手法では「ドアの向こう側からこちらに来るというモーション」「違う部屋からこちらにきたように見えた」という意見が得られ、ポータルを介して遠隔地間を繋ぎ、境界を超えてくる提案手法の表現によって被侵入感を与えられることが分かった。

窓型の従来手法と提案手法ではスコアに有意差がみられた($p=0.0039<0.05$)。従来手法では「同意しない」という結果、提案手法では「同意する」という結果が得られた。窓型ビデオ会議においても従来手法に比べて提案手法は自身の空間に侵入される感覚を与えられることがわかった。自由記述より、従来手法では「平面だったから」という意見が得られた。提案手法では「ドアから手が伸びて指さしてくれたので」「ぬいぐるみを指差すときの腕が枠から出ていたから」という意見が得られ、境界を超えて立体的な腕によって指差しが可能な提案手法の表現によって被侵入感を与えられることが分かった。

5.4 指さされている感覚の検証

自身の空間にあるものを相手に指さされている感覚について質問した結果(表1(4))、全身表示型は従来手法、提案手法共にスコアは高く有意差がみられなかった($p=0.75$)。全身表示型において、表示手法に関わらず指さされている感覚を与えられることが分かった。自由記述により「指が立体的だった」「ぬいぐるみを指差していた」という意見が得られ、表示手法に関係なく、立体的な腕の映像によって遠隔地にある物を指差することが可能であることが分かった。

窓型は従来手法に比べて提案手法のスコアが高く、有意差がある傾向があった($p=0.078<0.1$)。窓型において、提案手法は従来手法よりも自身の空間を指さされる感覚を与える可能性があることが分かった。自由記述により従来手法では「ぬいぐるみと相手の間に距離があった」という意見が得られた。提案手法では、「立体感があった」「枠から指先や腕が飛び出していたため」という意見が得られた。窓型においても立体的な腕がポータルを超えることで、遠隔地への指差しが可能であることが分かった。

5.5 存在感の検証

表2に表現手法毎の存在感の比較結果を示す。アンケートは4つの手法の順位付けと自由記述を用いた。合計点は

表 1 アンケートの結果 (5 段階評価)

	質問項目	表示方法	評価の分布					中央値	最頻値	有意確率
			1	2	3	4	5			
(1)	相手と同じ部屋にいるような感じがした.	全身表示型従来手法	0	1	1	4	4	4	4, 5	0.75
		全身表示型提案手法	0	0	1	4	5	4.5	5	
		窓型従来手法	5	4	1	0	0	1.5	1	0.75
		窓型提案手法	4	4	2	0	0	2	1, 2	
(2)	相手と別の部屋にいるような感じがした.	全身表示型従来手法	2	5	2	1	0	2	2	0.53
		全身表示型提案手法	3	3	0	3	1	2	1, 2, 4	
		窓型従来手法	0	0	0	3	7	5	5	1
		窓型提案手法	0	0	0	4	6	5	5	
(3)	自身の空間に侵入された感じがした.	全身表示型従来手法	0	3	2	3	2	3.5	2, 4	0.016*
		全身表示型提案手法	0	0	0	1	9	5	5	
		窓型従来手法	3	5	1	1	0	2	2	0.0039*
		窓型提案手法	0	1	1	5	3	4	4	
(4)	相手がこちらのものを指さしている感じがした.	全身表示型従来手法	1	0	0	1	8	5	5	0.75
		全身表示型提案手法	0	0	1	0	9	5	5	
		窓型従来手法	0	4	1	5	0	3.5	4	0.078
		窓型提案手法	0	1	0	4	5	4.5	5	

・評価項目 (1: 強く同意しない, 2: 同意しない, 3: どちらともいえない, 4: 同意する, 5: 強く同意する)

・*: 有意差あり $p < 0.05$

・有意確率には, ウィルコクソンの符号付順位検定を使用.

・有意確率は従来手法と提案手法の評価の差.

表 2 表現手法の比較 (順位付け)

	質問項目	評価の分布										合計点
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
(1)	全身表示型従来手法	3	2	4	1	2	2	2	2	2	2	28
(2)	全身表示型提案手法	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	39
(3)	窓型従来手法	4	4	3	4	4	4	4	3	3	4	13
(4)	窓型提案手法	2	3	2	3	3	3	3	4	4	3	20

・順位は実験協力者の順位付けの結果である. 4つの表示方法を1位から4位まで順位付けしている.

・合計点は実験協力者による順位付けを1位: 4点, 2位: 3点, 3位: 2点, 4位: 1点として換算した合計である.

実験協力者による順位付けを1位: 4点, 2位: 3点, 3位: 2点, 4位: 1点として換算した合計である. 実験協力者は10名のため, 合計点数の最も高い場合は40点, 最も低い場合は10点である. 合計点数を比較して, 点数の高い方法から順位を付けている. 手法の順位付けのアンケートの結果より, 1位は「全身表示型提案手法」であった. 合計点数が39点で10人中9人が1番存在感を感じる手法と回答した. 2位は「全身表示型従来手法」で28点. 3位は「窓型提案手法」で20点. 4位は「窓型従来手法」で13点だった. 結果から全身型は窓型より存在感を与えることが分かった. また, 同一の型では従来手法より提案手法のほうが存在感を与えることが分かった. 自由記述により「こちらの空間にはいつてきた感じがして存在感を感じた」「全身表示型従来手法のほうが自然であったが, 提案手法の方が相手がこちら側にくる感じを強く感じた」という意見が得られた. 対話相手が境界を越えてくる表現は存在感を向上させることが分かった.

6. おわりに

本研究では, AR/MR技術を用いてポータルを介して空間を繋ぐ提案手法と, 提案手法を用いた部分重畳型ビデオチャットシステム「ドアコムAR」を開発した. ポータルを介して空間を繋ぎ, 自身の空間から遠隔地へと侵入することで, 対話相手に自身の空間へと侵入されている感覚「被侵入感」を提示し, テレプレゼンスの向上を目指した. 提案手法では, 遠隔空間と自身のいる空間への出入りや自身の空間から対話相手の空間へと物を持ち込むといった表現が可能となる. ポータルを用いた空間接続表現の効果について検証し, 以下を明らかにした.

- (1)「同室間」の検証の結果, 提案手法は対話相手の空間の映像を表示しているにも関わらず, 従来手法と同様に同じ部屋にいる感覚を与えることが分かった. 全身表示型は窓型に比べて同室間を与えることが分かった.
- (2)「別室感」の検証の結果, 提案手法は全身表示型と窓

型の両方において、従来手法に比べて別の部屋にいる感覚に違いはみられないことが分かった。

(3)「被侵入感」の検証の結果、ポータルを介して遠隔地間を繋ぎ、境界を超えてくる提案手法の表現によって従来手法より被侵入感を与えられることが分かった。窓型ビデオ会議においても従来手法に比べて提案手法は自身の空間に侵入される感覚を与えられることがわかった。

(4)「自身の空間への指さし」の検証の結果、全身表示型において、表示手法に関わらず指さされている感覚を与えられることが分かった。窓型においても、提案手法は従来手法よりも自身の空間を指さされる感覚を与える可能性があることが分かった。

また、提案手法は従来手法よりも存在感が向上することが分かった。以上のことから、AR/MR技術を用いてポータルを介して空間を繋ぐ提案手法によって、遠隔地間での対話において、テレプレゼンスが向上することが確認できた。今後、ポータルを介して空間をつなぐ表現が可能なドアコムARを利用することで、遠隔コミュニケーションにおけるユーザの行動の変化について調査を行う。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 15K12085 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Skype Blogs: Skype の同時接続ユーザー数、4000 万人を達成, <http://blogs.skype.com/2012/04/13/skype4000/> (参照 2015.1.9).
- [2] 田中 一品, 加藤 慶, 中西 英之, 石黒 浩: 人の移動の表現方法:ズームカメラと移動ディスプレイによる社会的テレプレゼンスの向上, 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.4, pp.1393-1400 (2012).
- [3] Hiroshi Ishii and Minoru Kobayashi: ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact, CHI92, pp.525-532(1992).
- [4] 大西 裕也, 田中 一品, 中西 英之: PopArm: 身体映像の部分実体化によるソーシャルテレプレゼンスの強化, 情報処理学会, インタラクシオン 2015 論文集, pp.38-46(2015).
- [5] Nakanishi, H., Murakami, Y. and Kato, K. Movable Cameras Enhance Social Telepresence in Media Spaces. Proceedings of CHI 2009, pp.433-442 (2009).
- [6] 平岡 勇作, 宮田 慎也, 坂本 竜基: 前後移動時の運動視差を模した擬似視差映像の生成, 情報処理学会研究報告, 2012-HCI-146, Vol.2012, No.5, pp.1-5 (2012).
- [7] 川路 崇博, 坂本 竜基: 擬似的な前後方向の運動視差付き映像が社会的テレプレゼンスに及ぼす影響の評価, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.5, pp.1509-1517 (2014).
- [8] Marilyn M. Mantel, Ronald M. Baecker, Abigail J. Sellen, et al.: Experiences in the Use of a Media Space, CHI '99, pp.203-208 (1991).
- [9] Yevgenia Bondareva and Don Bouwhuis: Determinants of Social Presence in Videoconferencing, AVI2004 Workshop on Environments for Personalized Information Access, pp.1-9 (2004).
- [10] 三澤 加奈, 石黒 祥生, 暦本 純一: LiveMask: 立体顔形状ディスプレイを用いたテレプレゼンスにおけるコミュニケーションの評価, 情報処理学会, インタラクシオン 2012, pp.41-48 (2012).
- [11] 森川 治: 「超鏡」: 魅力あるビデオ対話方式をめざして, 情報処理学会論文誌, Vol.41, No.3, pp.815-822 (2000).
- [12] 田中 一品, 加藤 良治, 中西 英之: 鏡型ビデオ会議における視触覚相互作用によるソーシャルテレプレゼンスの強化, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.5, pp.946-954 (2017).
- [13] Kyna McIntosh, John Mars, James Krahe, Jim McCann, Alexander Rivera, Jake Marsico, Ali Israr, Shawn Lawson, Moshe Mahler: Magic Bench -A Multi-User and Multi-Sensory AR/MR Platform, ACM SIGGRAPH 2017 VR Village(2017).
- [14] 中西 英之, 吉田 力, 西村 俊和, 石田 亨: FreeWalk: 3 次元仮想空間を用いた非形式的なコミュニケーションの支援情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1356-1364 (1998).
- [15] 箕浦 大祐, 松浦 宣彦, 菅原 昌平, 石橋 聡: リアルタイム生成 3D 人物顔を用いたコミュニケーションシステム, 情報処理学会研究報告 マルチメディア通信と分散処理, 30 号, pp.1-6(2000).
- [16] <https://www.facebook.com/spaces>
- [17] Sergio Orts-Escolano, Christoph Rhemann, Sean Fanello, Wayne Chang, Adarsh Kowdle, Yury Degtyarev, David Kim, Philip L. Davidson, Sameh Khamis, Mingsong Dou, Vladimir Tankovich, Charles Loop, Qin Cai, Philip A. Chou, Sarah Mennicken, Julien Valentin, Vivek Pradeep, Shenlong Wang, Sing Bing Kang, Pushmeet Kohli, Yuliya Lutchyn, Cem Keskin, and Shahram Izadi: Holoportation: Virtual 3D Teleportation in Real-time, In Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST), pp.741-754.
- [18] Henry Chen, Austin S. Lee, Mark Swift, John C. Tang: 3D Collaboration Method over HoloLens and Skype End Points, In Proceedings of the 3rd International Workshop on Immersive Media Experiences, pp.27-30(2015).
- [19] 小宮山 凌平, 味八木 崇, 暦本 純一: JackIn Space: 一人称・三人称映像間の連続的な遷移を可能にするテレプレゼンスシステム, 情報処理学会, インタラクシオン 2016 論文集, pp.29-37(2016).
- [20] 藤子・F・不二雄: ドラえもん, 小学館
- [21] 仲間りょう: 磯部磯兵衛物語〜浮世はつらいよ〜, 集英社.
- [22] Scott Derrickson: Doctor Strange(2016 film), Marvel Studios(2016).
- [23] Valve Corporation, Portal(2007).
- [24] VoxelKei: HoleLenz Gate, VoxcellDesign.
- [25] 藤田 真吾, 吉野 孝: 重畳表示型ビデオチャットにおける枠の 3 次元的な移動と存在の効果, 情報処理学会, インタラクシオン 2012 論文集, pp.813-818 (2012).
- [26] 吉野 孝, 藤田 真吾: 重畳表示型ビデオチャットにおける枠の 3 次元的な移動と存在の効果, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.249-255 (2013).
- [27] 濱上 宏樹, 吉野 孝: 部分重畳型ビデオチャットにおける侵入感を与える三次元的な移動表現, 情報処理学会論文誌, Vol.58, No.1, pp.189-196 (2017).