

実空間の点群情報を用いた空間接続表現の提案

本信 敏学^{1,a)} 吉野 孝^{2,b)}

受付日 2021年4月13日, 採録日 2021年10月8日

概要: ビデオチャットは、複数の地点にいる人々が1つの仮想空間に集まってコミュニケーションをとることを可能にした。しかし、ビデオチャットは対面環境と比べて、対話相手に心理的な距離感を生じさせる問題がある。そこで本研究では、仮想空間内で遠隔地間の実空間の点群情報を表示する遠隔インタラクションシステムを提案する。提案手法は、片方の実空間を共有する表現や1つの仮想空間に集まる表現ではなく、相互の空間をつなぐ表現である。我々は、遠隔地どうしのインタラクションにおいて、人の身体情報以外に、互いの周辺環境の情報も重要だと考えている。そこで、身体映像だけではなく、部屋内の状況共有のために、空間接続表現と空間移動表現を実装し、評価実験を行った。実験の結果、提案手法は同室感や空間連結感が向上し、より対面環境に近づいたインタラクションが可能であることが分かった。また、ユーザの身体映像に加えて、周辺環境の情報が遠隔インタラクションにおいて重要であることを確認した。

キーワード: ビデオチャット, 心理的距離感, 空間接続表現, 空間移動表現, 点群表現

Proposal of Spatial Connection Expression Using Point-cloud Information in Real Space

TOSHIGAKU MOTONOBU^{1,a)} TAKASHI YOSHINO^{2,b)}

Received: April 13, 2021, Accepted: October 8, 2021

Abstract: Video chat enables people in multiple locations to gather and communicate in a single virtual space. However, compared to face-to-face environments, video chat has the problem of creating a psychological distance between the interactants. Therefore, in this study, we propose a remote interaction system that displays real space point cloud information between remote locations in a virtual space. The proposed method is not a representation that shares one real space or gathers in one virtual space, but a representation that connects mutual spaces. In addition to physical information, we believe that information about each other's surrounding environment is also important in remote interaction. In order to share not only the body image but also the situation in the room, we implemented a spatial connection expression and a spatial movement expression, and conducted an evaluation experiment. From the experimental results, we found that the proposed method improves the sense of room sharing and spatial connectivity, and enables interaction that is closer to a face-to-face environment. In addition to the user's body image, we confirmed that information about the surrounding environment is important for remote interaction.

Keywords: videochat, psychological distance, spatial connection expression, spatial movement expression, point-cloud information

1. はじめに

近年、Microsoft Teams 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いる [1]。これにより、ユーザは画面内に表示された複数の遠隔地間の映像から、対話相手の様子を見ることが可能となった。しかし、ビデオチャットは対面環境と比べて、対話相手と心理的な距離感を感じる問題がある。同室感や臨場感などの欠如が原因として考え

¹ 和歌山大学大学院システム工学研究科
Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University, Wakayama 640-8510, Japan

² 和歌山大学システム工学部
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University, Wakayama 640-8510, Japan

a) motonobu.toshigaku@g.wakayama-u.jp

b) yoshino@wakayama-u.ac.jp

られる。

この問題を解決するために、大画面のディスプレイで遠隔地の相手を等身大に表示することや [2], 仮想空間で遠隔地にいる人々の動きをアバターに同期させること [3] など遠隔地間を対面環境に近づける試みが多くなされてきた。これによって、従来のビデオチャットよりも高い臨場感を与えることが分かっている。しかし、実空間の映像投影では空間移動などの身体的な操作に課題がある。たとえば、2次元映像による遠隔インタラクションでは、対面環境と比べて距離情報が不足しているため、対象となる物体の位置の説明が困難となる。また、視線を合わせた意識疎通が難しいという問題やジェスチャによる身体との距離感の把握が難しくなると考えられる。3D オブジェクトによって構築された VR 空間においても、現実空間との乖離が問題視されている。たとえば、HMD を装着した状態では、実空間内を移動するなどの単純な行動でさえ困難である [4]。

没入型ビデオチャットは、各遠隔地にいるユーザを1つの仮想空間に集めてコミュニケーションやインタラクションを行う。その際に、自分の空間を共有し、相手の身体情報だけを表示して対話する。しかし、それだけでは相手側の周辺環境などの場の情報が欠如し、ユーザ同士の情報量が異なる。相互の空間に対して身体的なインタラクションを行う場合（自分の空間からモノを相手の空間まで持っていくなど）において、対話相手の身体情報だけでは不十分であると考えられる。また、対面コミュニケーションにおいて、コミュニケーションにおける場（コンテキスト）が共有されると、「今、共にここ」といった共存在感が得られることが分かっている [5]。これらのことから、遠隔地どうしのユーザが提示する情報の平等性について検討する必要があると考えられる。本論文における「平等性」とは、仮想世界で自分側の空間と相手側の空間が同程度の空間情報を有することである。

そこで本研究では、仮想空間内で複数地点の映像を表現する手法を提案し、システムを開発した。また、実空間情報での遠隔コミュニケーションにおける遠隔地どうしの各空間の平等性に着目し、空間接続表現手法を実装して新しいマルチユーザインタラクション形態を検討する。

2. 関連研究

2.1 複数拠点の同時接続

ビデオと音声ネットワークを用いて、廊下を歩きながらほかの人の様子をうかがうような話し相手を探す行動をソーシャルブラウジングと呼ぶ [6]。Portholes はソーシャルブラウジングを実現するために、画面に多地点の静止画を並べて表示した [7]。また、多地点の静止画を数秒ごとに送るアプローチをとることで、多地点と接続する通信コストを下げた。これにより、同時に多地点の様子をユーザに提示し、誰かに話しかける機会を提供する。また、

VideoWindow は大型超ワイドスクリーンを用いて、遠隔地のインフォーマルコミュニケーションの支援を試みた [8]。大型超ワイドスクリーンに遠隔地の映像と音声を 24 時間流すことで、離れた地点にいる人とつながることが可能となった。これにより、遠隔地による距離的制約を超え、対面で会話する環境に近づけた。

2.2 VR/AR/MR ビデオ会議

VR は従来のビデオチャットとは異なり、ボイスチャットだけでなく、身振りや手ぶりを相手の目の前で伝えられるため、実際に同じ空間にいる感覚が強いのが特徴である。これまでのビデオチャットの臨場感を上回っており、同じ VR 空間にいる他のプレイヤーを意識する感覚（ソーシャル・プレゼンス）が生まれる [3]。Synamon の「NEUTRANS」はアバターを用いて、VR 空間内で会議を行うシステムを開発している [9]。離れた場所にいるユーザ同士を同じ仮想空間に集め、現実と似た空気感や熱量を感じさせながら会議する環境を整えている。AR/MR を用いたビデオ会議では、対話相手の全身の映像を空間に重畳表示し、対話を行うシステム「Holoportation」が提案されている [10]。Holoportation は複数台の深度カメラを用いて、空間をセンシングしてリアルタイムで遠隔地にいる人と対話するシステムである。MR デバイスである HoloLens を使い、自分がいる部屋内に遠隔地にいる対話人物の身体モデルを表示することで、テレポーテーション表現を実現した。Holoportation では複数台の深度カメラを必要としたが、現在では、1 台の Kinect v2 で実装可能な「HoloportationLite」が発表されている。

3. 提案手法

3.1 設計方針

本研究では VR 技術を用いて、遠隔地どうしの空間を再構築する。ユーザを再構築された実空間に没入させることで、空間の臨場感や対話相手との同室感の向上を目指す。また、遠隔インタラクションにおける周辺環境情報の平等性に着目し、遠隔地どうしの対称的な 3 次元情報を提示する形式にした。つまり、提案手法は仮想空間で描画される各遠隔地の空間的な広さには差異がでないように、同程度の空間情報を提示する。そのため、従来の一方的な空間共有型遠隔インタラクションと比べて、提示する双方の空間情報が同等である。そこで、本論文ではユーザ同士の部屋をつなげて 1 つの空間として表現する手法を提案する。また、空間接続するだけでなく対話相手の空間に移動することで、空間に対する臨場感がさらに向上すると考えられる。これにより、遠隔における物理的制約を超えた遠隔地どうしのインタラクションを実現する。以上のことを実現するために、空間接続表現と空間移動表現を実装した。

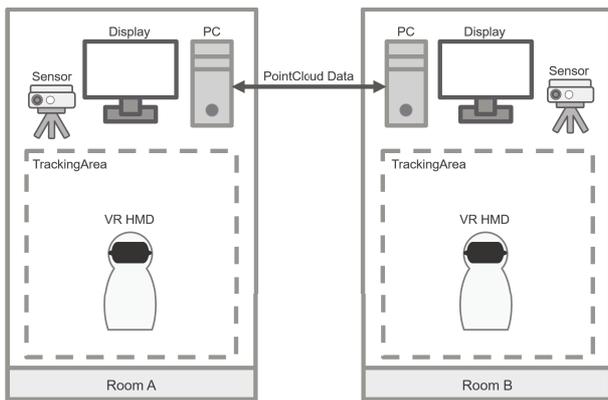


図 1 システム構成

Fig. 1 System configuration.

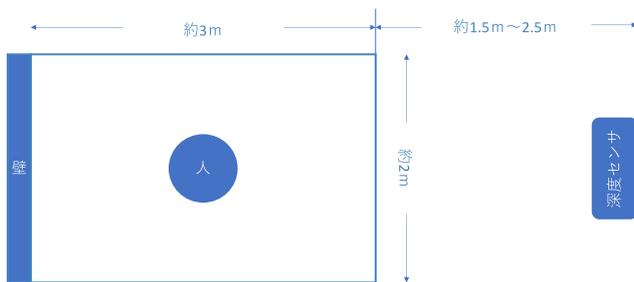


図 2 トラッキングエリアと機器の配置

Fig. 2 Tracking area and placement of equipment.

3.2 システム構成

図 1 にシステムの構成を示す。本システムは、Unity を用いて開発した。図 1 のようにユーザ側の部屋 (図 1 Room A) と、遠隔地にいる対話相手側の部屋 (図 1 Room B) の様子を示す。各クライアント側に設置された深度センサから、トラッキングエリア^{*1}内の色情報と深度情報^{*2}を取得する。

取得した深度情報と色情報を UDP で相互に送受信する。受信した相手側の深度情報と色情報、また深度センサから取得した自分側の深度情報と色情報をそれぞれ 3 次元の点群データに変換する。変換された各部屋の点群情報を仮想空間内で描画し、実空間を再構築する。これにより、ユーザは HMD を装着して対話相手と自分の部屋両方を同時に見ることが可能となる。

3.3 システム環境

本システムは、Oculus Quest (解像度: 2,880 × 1,600, 視野角: 100°) を使用した。Oculus Link を使用し、PC と Oculus Quest を接続した。これにより、PC 側で実装された本システムの VR 映像を HMD に表示する。また、トラッキングエリア外に深度センサを 1 台設置した。図 2 に、トラッキングエリアと機器の配置を示す。深度センサ

^{*1} 深度センサで計測するエリア。

^{*2} 深度センサからは、RGB のカラー画像と対象物との距離情報が得られる。

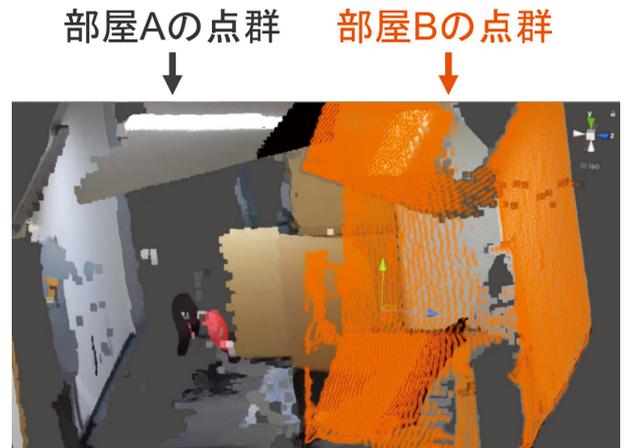


図 3 空間接続表現のイメージ

Fig. 3 Image of spatial connection representation.

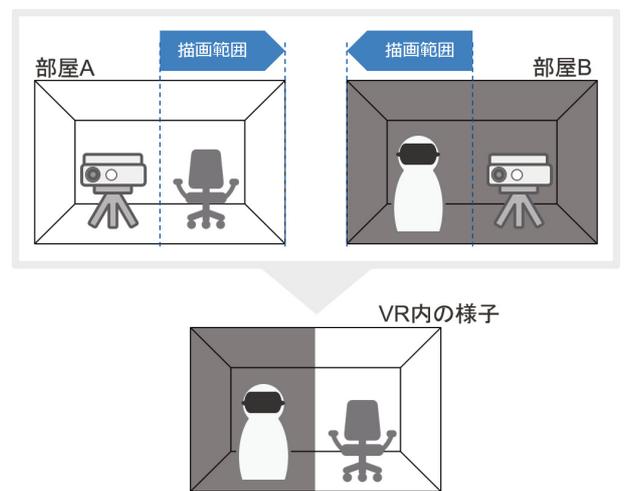


図 4 空間接続表現の構成

Fig. 4 Composition of spatial connection representation.

について Azure Kinect (モード: NFOV 2x2 Binned) を使用した。深度センサでトラッキングしたプレイエリア^{*3}の広さは約 2.0m × 約 3.0m である。また、Oculus Quest も同様のガーディアンサイズ (プレイエリアの境界線) を設定する。これにより、Oculus Quest は HMD 装着者の頭の回転や傾きに加え、頭の上下左右前後の動きまで 6DoF (DoF: 自由度) を測定することが可能である。

3.4 空間接続表現

遠隔地どうしの部屋が見える空間接続表現を実装した。図 3 に空間接続表現のイメージを示す。図 3 のように部屋 A と部屋 B (橙色) をつなげ、1 つの空間として再現した。図 4 に空間接続表現の構成を示す。各ユーザの部屋に深度センサを設置し、深度情報と色情報を取得する。取得した深度情報と色情報を点群データに変換し、事前に定義された描画範囲で部屋を再構築する。再構築された各ユーザの部屋を対向となるようにつなげる。これにより、HMD

^{*3} 現実世界の側で動ける範囲。

を通して同時に自分と相手側の様子を確認する表現を実装した。

3.5 空間移動表現

ユーザが対話相手の部屋へ移動する表現を実装した。図 5 に遠隔ユーザが自分の部屋に侵入してくる、空間移動表現のイメージを示す。また、自分が相手の部屋に移動することも可能である。図 6 に空間接続表現の構成を示す。深度センサを使い、事前に背景となる部屋の点群データを保存する。部屋背景の点群データを保存した後に、トラッキングエリアの点群データを取得し続ける。トラッキングエリアと部屋背景の背景差分を求め、後から映る人やモノの点群データのみを抽出する。空間接続表現と同様に空間を再構築し、部屋背景どうしをつなげる。これにより、図 6 のように部屋背景の描画範囲 (d1) が人の描画範囲 (d2) よりも距離を短く ($d2 > d1$) 設定することで、ユーザの身体が相手の部屋にいる表現を実現した。図 5 は、遠

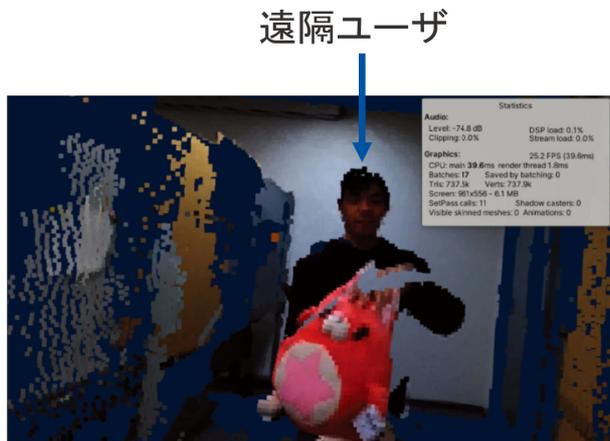


図 5 空間移動表現のイメージ (遠隔ユーザが自分の部屋に侵入してくる場合)

Fig. 5 Image of spatial movement expression (when a remote user invades your room).

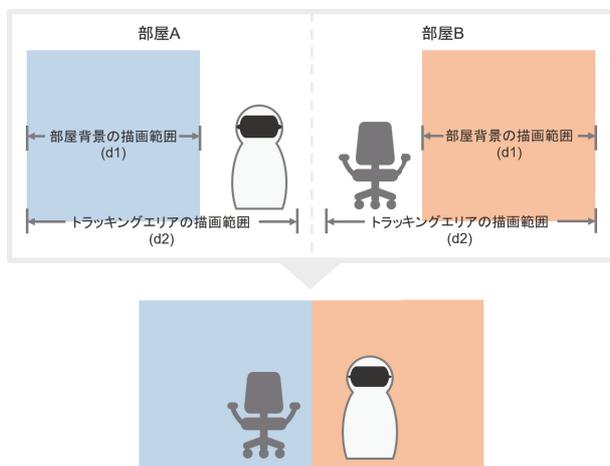


図 6 空間移動表現の構成

Fig. 6 Composition of spatial movement representation.

隔ユーザが部屋 B から部屋 A に侵入してきた様子である。なお、空間移動表現の適用可能な空間の大きさは、利用する深度センサの性能に依存する*4。

4. 実験

4.1 実験概要

提案手法の評価実験を行った。空間接続表現と空間移動表現による同室感や臨場感の向上について調査した。空間を超えて移動する感覚を低減し、空間どうしがつながっている感覚を向上することで、ユーザの心理的距離を縮めると考えている。また、部屋内で人以外の情報を提示することで、人が部屋内で何をしているのかがより分かりやすくなる。本実験では提案手法を用いた VR チャット (以下、提案手法) とプロジェクタ投影 (映像投影) を用いたビデオチャット (以下、映像投影型ビデオチャット) の 2 つの手法を比較した。

図 7 に、提案手法と映像投影型ビデオチャットと実験中の実験協力者の様子をそれぞれ示す。実験協力者と実験補助者を別々の部屋に移動させ、システムを用いて遠隔コミュニケーションを行った。実験内容は事前に実験補助者に伝えているが、実験協力者には伝えていない。また、実験補助者側は HMD やプロジェクタを使用せず、PC の画面で実験を行った。

両方の実験とも、2m×3m のエリア内で実施した。プロジェクタは、エリア外で壁から約 1m 離れた場所に設置した。また、実験補助者側には Web カメラ (解像度: 1,280×720) を設置し、Web カメラの映像をプロジェクタで表示する。Web カメラは、トラッキングエリアから約 1m 離れた場所に設置した。

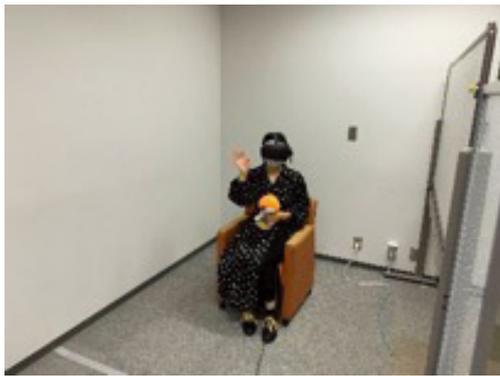
実験協力者は和歌山大学の 21 歳から 24 歳までの学生 10 名 (女性 3 名, 男性 7 名) である。順序効果を考慮し、システムの実施順序は実験協力者ごとに異なる。また、実験協力者ごとに VR 体験用のアイマスクの装着とアルコール消毒を行った。

本研究は、HMD 装着者が相手とコミュニケーションを行う際、違和感なく自然な行動が行えることを目的としている。HMD の装着者同士の実験では、HMD によって相手の顔が隠れてしまう。HMD 装着者にとって、通常の姿の方が受け入れやすく、違和感が少ないと考えられるため、今回の実験においては、実験協力者のみ HMD 装着という形態で実験を行った。

4.2 実験内容

実験では、実験協力者に、ぬいぐるみを用いた操作と簡単な会話を行ってもらった。各部屋には異なった種類の椅子とぬいぐるみを設置した。実験は、実験協力者が椅子に

*4 本システムは、Azure Kinect の深度センサの動作範囲を 1.5m～5.46m に設定した。



(1) 提案手法



(2) 映像投影型ビデオチャット

図 7 実験中の実験協力者の様子

Fig. 7 Experimental collaborator during the experiments.

座った状態から開始する。実験開始後、実験協力者は実験担当者の指示に従い行動する。まず、実験担当者は、実験協力者に対し、椅子から立ち上がり、部屋内を動き回することを指示する。次に、ぬいぐるみを持って実験補助者がいる部屋まで移動し、ぬいぐるみを動かして相手に見せることを指示する。その際に、実験協力者は実験補助者に、ぬいぐるみの距離の近さを聞いて調整する。映像投影型ビデオチャットの場合では相手の部屋に移動できないため、カメラの近くまで移動してぬいぐるみを相手に見せる。また、実験協力者は、実験担当者から、部屋内を動き回る際、なるべく椅子を動かさずに移動するという指示を受ける。実験協力者の HMD には、対話相手側と同様に、自分の部屋も仮想空間の点群として表示されている。これは、実験協力者が HMD を装着した状態で、どの程度実空間内を動き回れるかを調査するためである。

以上のことを行ったあとに、実験協力者は自分の椅子の後ろまで戻る。その後、実験補助者は、実験協力者が行ったタスクと同じことを行い、実験協力者は、実験補助者がタスクを行っている様子を観察する。

各手法終了直後にアンケート調査を行った。アンケートは 7 段階のリッカート尺度による評価と記述式を用いた。以下の 5 つの観点に基づき、質問項目を作成した。

- (1) 同室感 (同じ部屋にいると感じた)。
- (2) 別室感 (別の部屋にいると感じた)。
- (3) 空間連結感 (部屋がつながっていると感じた)。
- (4) 場の情報が重要だと感じた。
- (5) 部屋の様子が分かりやすいと感じた。

また、提案手法については以下 2 つの観点に基づき、質問項目を追加した。

- (1) 臨場感 (そこにいると感じた)。
- (2) 空間移動感 (別の部屋に移動したと感じた)。

また、ウィルコクソンの符号順位と検定を用いて、映像手法と提案手法の有意確率を求めた。

5. 実験結果と考察

提案手法と映像投影型ビデオチャットとの比較実験を行った。表 1 にアンケート結果の一部を示す。

5.1 同室感と別室感

表 1(1)「私は自分の部屋にいるとき、相手が自分と同じ空間にいると感じた」に対する 7 段階評価は中央値、最頻値ともに 6 だった。表 1(2)「私は相手の部屋にいるとき、相手が自分と同じ空間にいると感じた」に対する 7 段階評価は中央値、最頻値ともに 5 だった。表 1(3)「私は、相手が自分と同じ空間にいると感じた」に対する 7 段階評価は中央値、最頻値ともに 2 だった。検定した結果、いずれも有意差が得られた (表 1(1)と表 1(3)の $p = 0.0047 < 0.05$; 表 1(2)と表 1(3)の $p = 0.0066 < 0.05$)。これらの結果から、提案手法は映像投影型ビデオチャットと比べて同室感が高いことが分かった。

表 1(4)「私は自分の部屋にいるとき、相手が自分と別の空間にいると感じた」に対する 7 段階評価は中央値、最頻値ともに 2 だった。表 1(5)「私は相手の部屋にいるとき、相手が自分と別の空間にいると感じた」に対する 7 段階評価は中央値 2.5、最頻値 2 だった。表 1(6)「私は、相手が自分と別の空間にいると感じた」に対する 7 段階評価は中央値 6、最頻値 7 だった。検定した結果、いずれも有意差が得られた (表 1(4)と表 1(6)の $p = 0.0046 < 0.05$; 表 1(5)と表 1(6)の $p = 0.0049 < 0.05$)。これらの結果から、提案手法は映像投影型ビデオチャットと比べて別室感が低いことが分かった。同室感と別室感の結果により、提案手法と映像投影型ビデオチャットはほぼ対照的な結果になったといえる。したがって、遠隔地どうしを 1 つの空間として表現することで、同室感を向上したことが分かった。

5.2 空間連結感

表 1(7)「私は部屋どうしがつながっていると感じた」の

表 1 アンケート結果
Table 1 Questionnaire results.

	質問項目	手法	評価分布							中央値	最頻値	有意確率*
			1	2	3	4	5	6	7			
(1)	私は自分の部屋にいるとき 相手が自分と同じ空間にいると感じた	提案手法	0	0	0	0	2	6	2	6	6	0.0047*
(2)	私は相手の部屋にいるとき 相手が自分と同じ空間にいると感じた		0	0	0	2	4	3	1	5	5	0.0066*
(3)	私は、相手が自分と同じ空間にいると感じた	映像投影	3	4	1	1	1	0	0	2	2	
(4)	私は自分の部屋にいるとき 相手が自分と別の空間にいると感じた	提案手法	0	6	4	0	0	0	0	2	2	0.0046*
(5)	私は相手の部屋にいるとき 相手が自分と別の空間にいると感じた		0	5	3	1	1	0	0	2.5	2	0.0049*
(6)	私は、相手が自分と別の空間にいると感じた	映像投影	0	0	0	0	3	3	4	6	7	
(7)	私は部屋どうしがつながっていると感じた	提案手法	0	0	0	0	1	6	3	6	6	0.0074*
		映像投影	2	3	2	1	1	1	0	2.5	2	
(8)	私は相手の部屋の様子が見えることで 相手の行動の理解の助けになった	提案手法	0	0	0	0	2	4	4	6	6, 7	0.020*
		映像投影	0	0	0	0	4	6	0	6	6	
(9)	私は相手の部屋の様子を見やすいと思った	提案手法	0	0	2	1	5	1	1	5	5	0.30
		映像投影	0	0	1	1	2	6	0	6	6	
(10)	私は自分の部屋にいるときにその部屋にいると感じた	提案手法	0	1	0	2	3	3	1	5	5, 6	
(11)	私は相手の部屋にいるときにその部屋にいると感じた	提案手法	0	0	0	4	3	2	1	5	4	
(12)	私が物を相手の部屋に持っていったように感じた	提案手法	0	0	0	1	4	4	1	5.5	5, 6	
(13)	相手が自分の部屋に物を持ってきたように感じた	提案手法	0	0	0	0	4	4	2	6	5, 6	
(14)	私は部屋を移動する際 空間をまたいで移動したと感じた	提案手法	1	2	4	3	0	0	0	3	3	
(15)	私はお互いの部屋が見えることは コミュニケーションにおいて重要だと思った		0	0	0	1	0	7	2	6	6	
(16)	私は映像投影よりも本システムを使ったとき 情報のやりとりが便利だと感じた		0	0	0	0	3	5	2	6	6	

- ・ 評価分布 (1:まったく同意できない, 2:ほとんど同意できない, 3:あまり同意できない, 4:どちらともいえない, 5:どちらかという同意できる, 6:かなり同意できる, 7:非常に同意できる)
- ・ 有意確率は, ウィルコクソンの符号順位検定を使用し, 検定は提案手法の各条件と映像投影の間で行った
- ・ *: 有意差あり $p < 0.05$
- ・ 表内の「映像投影」は, 映像投影型ビデオチャットを示す

7段階評価において, 提案手法の中央値, 最頻値はともに6であり, 映像投影型ビデオチャットは中央値2.5, 最頻値2であった. 検定した結果, 有意差が得られた(表1(7)の $p = 0.0074 < 0.05$). また, 実験協力者から「(提案手法は) 同じ空間に部屋がつながっているように見えた」という意見が得られた. 映像投影型ビデオチャットは相手側の2次元映像の表示しかしていないため, 空間的に分かれていると感じさせていることが分かった. 一方, 提案手法では, 3次元的に空間がつながっている表現だけでなく, 相手の部屋まで移動する表現も実現できており, 部屋どうしがつながっている感覚を与えることが分かった.

5.3 臨場感

表1(10)「私は自分の部屋にいるときにその部屋にいると感じた」に対する7段階評価は中央値5, 最頻値5, 6だった. 全体的に高評価という結果になったが, 低評価

(評価:2)を付けた実験協力者が1人いた. その実験協力者から「動いたときに, 視点と実際のモノの位置に誤差が発生し, 違和感を感じた」という意見が得られた. 今回の提案手法では実験協力者ごとの身長に合わせて, 手動で視点の位置を調整する必要があった. この実験協力者については, 頭部の回転の向きを調整するのに失敗していたため, 視点がずれてしまう問題が生じた.

表1(11)「私は相手の部屋にいるときにその部屋にいると感じた」に対する7段階評価は中央値5, 最頻値4だった. 表1(10)と比べて, 違いは見られなかった. 実験協力者から自分の部屋と相手の部屋の区別ができないという意見があった. 実験協力者の記述から, 今回実験で使用した点群データの粗さが原因であると考えられる. 今後, 点群の解像度の変更や複数台の深度センサで, 再度実験を行い確認する必要があると考えられる.

5.4 空間移動感

表 1(12)「私が物を相手の部屋に持っていったように感じた」に対する 7 段階評価は中央値 5.5, 最頻値 5, 6 だった。また, 表 1(13)「相手が自分の部屋に物を持ってきたように感じた」に対する 7 段階評価は中央値 6, 最頻値 5, 6 だった。実験協力者からは「実際に目の前に人が物を持ってきたように感じた」といった意見が得られた。これらのことから, 遠隔地どうしへの移動表現により, 対面環境に近づけられることが分かった。

さらに, 表 1(14)「私は部屋を移動する際, 空間をまたいで移動したと感じた」に対する 7 段階評価は中央値, 最頻値ともに 3 だった。これらの結果から, 提案手法は空間移動する際に, 空間をまたぐことをあまり意識せずに自然体で遠隔地とのインタラクションが可能であることが分かった。

5.5 場の重要性

表 1(8)「私は相手の部屋の様子が見えることで, 相手の行動の理解の助けになった」に対する 7 段階評価では, 提案手法が中央値 6, 最頻値 6, 7 だった。また, 映像投影型ビデオチャットが中央値, 最頻値ともに 6 だった。両手法ともに高評価という結果が得られた。検定した結果, 有意差が得られた (表 1(8) の $p = 0.020 < 0.05$)。また, 表 1(15)「私はお互いの部屋が見えることはコミュニケーションにおいて重要だと思った」に対する 7 段階評価は中央値, 最頻値ともに 6 だった。これらの結果から, 対話相手の部屋内での行動に対して, 対話相手の身体映像だけでなく周りの環境の情報も必要と考えた実験協力者が多いことが分かった。これにより, 仮想空間内で遠隔地間の接続表現においても, 場の情報が重要であることを確認した。

5.6 見やすさと安全性

表 1(9)「私は相手の部屋の様子を見やすいと思った」に対する 7 段階評価では, 提案手法が中央値, 最頻値ともに 5 だった。また, 映像投影型ビデオチャットが中央値, 最頻値ともに 6 だった。提案手法が映像投影型ビデオチャットよりも少し評価が低い, 両手法ともに高評価である。検定した結果, 有意差が得られなかった (表 1(9) の $p = 0.30 > 0.05$)。提案手法について, 実験協力者から「点群が少し粗くて, 空間の再現度が低かったので, 少し見にくかった」という意見が得られた。これは, 臨場感と同様に点群の解像度の変更や複数台の深度センサの利用で, この問題を解決できると考えられる。表 1(16)「私は映像投影よりも本システムを使ったとき情報のやりとりが便利だと感じた」に対する 7 段階評価は中央値, 最頻値ともに 6 という高評価が得られた。同室感と空間連結感などの結果もふまえて, 提案手法は遠隔地との 3 次元的なインタラクションを実現し, 映像投影型ビデオチャットより対面環

境に近づけられることが分かった。

実験中で多くの実験協力者は HMD を装着した状態で, 1 人で部屋を自由に動き回ることができた。このことから, 提案手法はプレイエリア内にモノがあっても, 安全に行動できると考えられる。今回は, d2 を 3m, d1 を 2m の設定で実験を行った。仮想空間内で 2 つの空間をつなぎ合わせており, 最大 4m のエリア ($2 \times d1$) が存在する。d2 までの距離なら, 深度センサで実空間をトラッキングすることが可能である。また, 今回用いた HMD でも, d2 までユーザの位置を追跡できるため, 3m 以内の実空間にモノがあっても問題はない。しかし, 本実験ではあくまで椅子をよけて部屋を動き回るといった簡単な身体動作しか調査できていないため, 今後 HMD を装着した際の安全性について詳しく調査する必要があると考えられる。また, 一般的な VR チャットでは, 話者同士の両方が HMD を装着するが, 本実験では実験協力者のみ HMD を装着し, 対話相手となる実験補助者は HMD を装着していない。そのため, 双方ともに HMD を装着する形態の場合とは異なる結果になる可能性がある。しかし, HMD を用いた遠隔コミュニケーションでは, ユーザの目元が HMD に隠されて表情が分からなくなる問題がある。この問題については, HMD に人の顔を重畳表示する研究 [11] や, VR デバイス装着者の顔の表情をリアルタイムにアバターへ反映させる研究 [12] で今後解決されると考えられる。

5.7 平等性について

本研究では, 双方の周辺環境情報が同程度になるように, 仮想世界で自分側の空間と相手側の空間が同程度の空間情報を提示した。これにより, 自分の空間に相手が存在しているような表現が可能になった。この表現により, より高度な双方向インタラクションが可能となり, インタラクションの幅を広げると考えている。今回の実験では, 相手側の空間への移動やぬいぐるみを用いた操作, 簡単な会話タスクを行った。実験の結果, 2 つの場所の空間情報が同程度の状況下では, 双方が互い空間に干渉することができ, より高度なインタラクションが可能であることが分かった。また, 空間移動表現の実現により, 相手との同室感や空間連結感が向上したことも分かった。

6. おわりに

本研究では, 実空間情報を用いた空間接続表現による遠隔インタラクションシステムの提案を行った。実空間点群情報を用いた空間接続表現と空間移動表現を実装し, プロジェクタ投影との評価実験を行った。評価実験の結果により, 提案手法は 3 次元空間をつなげるだけでなく遠隔地への移動表現も可能なため, 2 次元の映像投影型ビデオチャットよりも対話相手との同室感や空間連結感を高め, より対面環境に近づけたことが分かった。

実験では、点群の粗さによって空間の再現度が低い場合には、臨場感が低下が見られたが、点群の粗さの問題は、PCの性能向上等で解決可能であると考えている。

また、今後はさらに臨場感を向上するために、複数台の深度カメラを用いて全方位に再構築された映像表現の実現を目指す。

参考文献

- [1] 総務省：令和2年版情報通信白書テレワークの推進，コミュニケーションツールの利用拡大，入手先 (<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd123210.html>) (参照 2020-12-2)。
- [2] Mantel, M.M., Baecker, R.M., Sellen, A.J., et al.: Experiences in the Use of a MediaSpace, *CHI '99*, pp.203–208 (1991).
- [3] Tech@facebook, Avatars: The art and science of social presence, available from (<https://tech.fb.com/avatars-the-art-and-science-of-social-presence/>) (accessed 2020-12-2).
- [4] Hartmann, J., Holz, C., Ofek, E. and Wilson, A.D.: RealityCheck: Blending Virtual Environments with Situated Physical Reality, *CHI '19: Proc. 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Paper No.347, pp.1–12 (2019).
- [5] 三輪敬之：共創的コミュニケーションにおける場の技術（「人間を内部に含んだ系のモデリングと設計特集号」），システム/制御/情報，Vol.45, No.11, pp.638–644 (2001)。
- [6] Root, R.W.: Design of a Multi-Media Vehicle for Social Browsing, *Proc. CSCW '88*, pp.25–38 (1988).
- [7] Dourish, P. and Bly, S.: Portholes: Supporting Awareness in a Distributed Work Group, *Proc. Conf. Human Factors in Computing Systems (CHI '92)*, pp.541–547, ACM (1992).
- [8] Fish, R.S., Kraut, R.E. and Chalfonte, B.L.: The Video-Window System in Informal Communications, *Proc. CSCW '90*, pp.1–11 (1990).
- [9] Synamon, NEUTRANS BIZ, available from (<https://neutrans.space/>) (accessed 2020-12-02).
- [10] 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. and Izadi, S.: Holoportation: Virtual 3D Teleportation in Real-time, *Proc. ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST)*, pp.741–754 (2016).
- [11] Frueh, C., Sud, A. and Kwatra, V.: Headset removal for virtual and mixed reality, *ACM SIGGRAPH 2017 Talks, SIGGRAPH '17*, Article No.80, pp.1–2 (2017).
- [12] Wei, S.-E., Saragih, J., Simon, T., Harley, A.W., Lombardi, S., Perdoch, M., Hypes, A., Wang, D., Badino, H. and Sheikh, Y.: VR Facial Animation via Multiview Image Translation, *ACM Trans. Graph.*, Vol.38, No.4, Article 67, pp.1–16 (2019).



本信 敏学

2019年和歌山大学システム工学部システム工学科卒業。2021年同大学大学院システム工学研究科博士前期課程修了。在学中、遠隔コミュニケーションに関する研究に従事。



吉野 孝 (正会員)

1992年鹿児島大学工学部電子工学科卒業。1994年同大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。博士(情報科学)。現在、和歌山大学教授。コミュニケーション支援およびビッグデータの社会的応用に関する研究に興

味を持つ。