

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)}

概要: 近年, AR/VR 市場はコンシューマ向けのエンターテインメント用途と企業向けの教育や訓練用途などがともに拡大している. 一部の企業では, 働き方改革を推進するために, VR を使ったテレワークなどに対する期待が高まっている. VR 会議は, 複数の地点にいる人々が一つの仮想空間に集まってコミュニケーションすることを可能にした. また最近ではビデオチャットが普及し, 複数の遠隔地間にいる人との対話が容易となった. 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一つの仮想空間に集まる表現ではなく, 相互空間をつなぐ表現である. 我々は, 遠隔地同士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, 身体映像だけでなく部屋内の状況も共有するために, 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. 実験結果から, 提案手法は同室感や空間連結感などを向上し, より対面環境に近づけ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.

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

1. はじめに

近年では, 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のが可能となった. 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をするのに問題がある. また, VR 空間でも現実との乖離について問題視されている.

没入型ビデオチャットは, 各遠隔地にいるユーザを一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をする. 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 [4]. これらのことから, 遠隔地同士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.

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同士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.

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)} s206263@wakayama-u.ac.jp

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

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伺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 [5]. 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 [6]. 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、同時に多く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 [7]. 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 [8]. 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 [9]. 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、一台の 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、遠隔地同士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、遠隔地同士の対称的な 3 次元情報を提示する

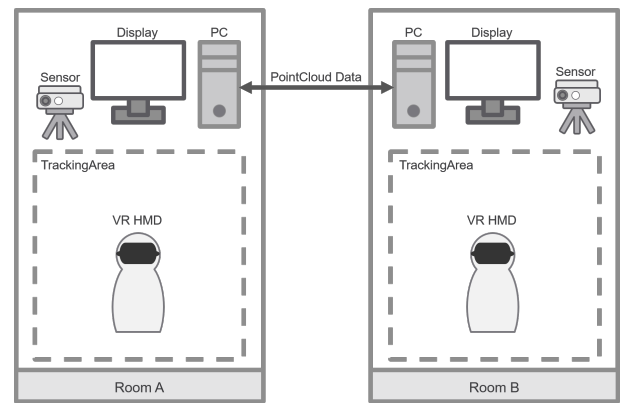


図 1 システム構成

形式にした。そこで、本稿ではユーザ同士の部屋をつなげて一つの空間として表現する手法を提案する。また、空間接続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同士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。

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内の色情報と深度情報を取得する。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事が可能となる。

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。今回は深度センサについて 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ルームエリアの広さは約 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

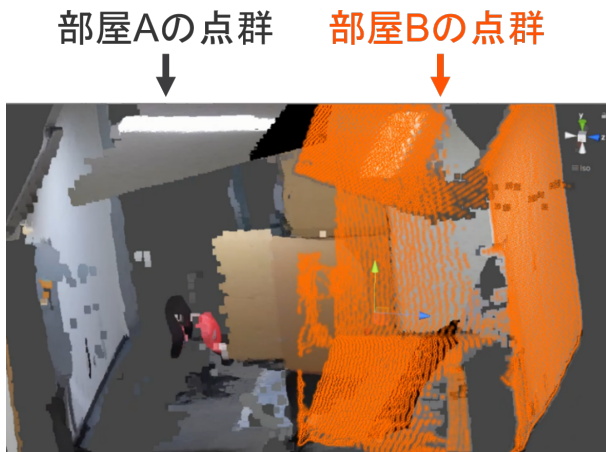


図 2 空間接続表現のイメージ

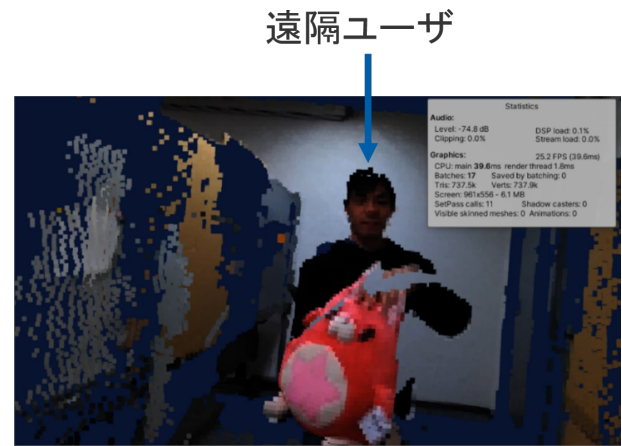


図 4 空間移動表現のイメージ
(遠隔ユーザが自分の部屋に侵入してくる場合)

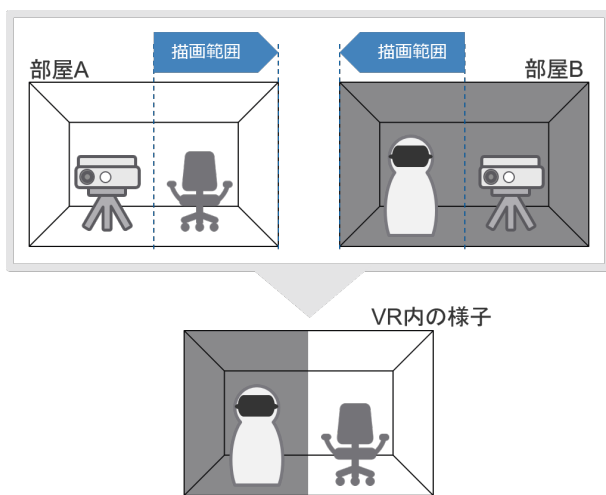


図 3 空間接続表現の構成

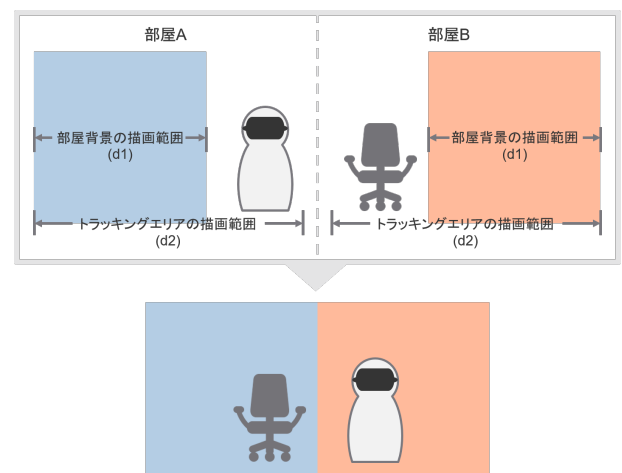


図 5 空間移動表現の構成

ある。

3.4 空間接続表現

遠隔地同士の部屋が見える空間接続表現を実装した。図 2 に空間接続表現のイメージを示す。図 2 のように部屋 A と部屋 B (橙色) をつなげ、一つの空間として再現した。図 3 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 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 4 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 5 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、部屋背景同士をつなげる。これにより、図 5 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。

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、空間同士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をよりわかりやすくなる。本実験では提案手法を用いた VR チャット、プロジェ

クター投影（映像投影）を用いたビデオチャットの2つの手法を比較した。

実験協力者と実験補助者をそれぞれ別々の部屋に分け、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やプロジェクターを使用せず、PCの画面で実験を行った。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。

4.2 実験内容

実験はぬいぐるみを用いた操作と簡単な会話を行った。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。実験協力者が椅子に座った状態から実験を開始した。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、椅子から立ち上がり、自分がいる部屋内で動き回る。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。その際に、実験協力者は別の部屋にいる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、実験担当者から部屋内で動き回る際、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。これは、実験協力者がHMDを装着した状況で、どの程度実空間内で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後に、実験協力者は自分の椅子の後ろまで移動して、実験補助者がこれまで行ったタスクを同様に行っているところを見る。

実験後、アンケート調査を実施した。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) 部屋の様子がわ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、遠隔地同士を一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)「私は部屋同士がつながっていると感じた」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6だったという結果に対し、映像投影が中央値2.5、最頻値2だった。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「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。これらのことから、映像投影は相手側の2次元映像を表示するだけで、遠隔地とは空間的に分かれているを感じさせることが分かった。しかし、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、対話相手の部屋まで移動する表現もできる。これにより、提案手法は部屋同士がつながっている感覚をユーザに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一人いた。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、手で視点の位置

表 1 アンケート結果

	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感じた	映像投影	0	0	0	0	3	3	4	6	7	
(7)	私は部屋同士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 情報のやり取りが便利だと感じた		0	0	0	0	3	5	2	6	6	

・評価分布 (1: 全く同意できない, 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: どちらかというと同意的, 6: かなり同意できる, 7: 非常に同意できる)

・*: 有意確率には, ウィルコクソンの符号順位と検定を使用し, 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 $p < 0.05$

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、臨場感が少し低い結果となった。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荒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、遠隔地同士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, 対話相手が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, 場の情報の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, 提案手法が中央値, 最頻値ともに 5 だった. また, 映像投影が中央値, 最頻値ともに 6 だった. 提案手法が映像投影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「点群が少し荒くて, 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取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踏まえて, 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, 一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. 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 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. 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 [10] 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 [11] で今後解決されると考えられる.

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, プロジェクター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. しかし, 点群の粗さによって空間の再現度が低かったため, 臨場感が低下した. 今後は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を実現し, 提案手法による身体操作が可能性和実物体を介した遠隔インタラクションによる臨場感の向上についての評価実験を行う.

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, <https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r02/html/nd123210.html>(参照 2020.12.2).
- [2] Marilyn M. Mantel, Ronald M. Baecker, Abigail J.Sellen, 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, <https://tech.fb.com/avatars-the-art-and-science-of-social-presence/>(参照 2020.12.2).
- [4] 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)
- [5] R.W.Root.: Design of a Multi-Media Vehicle for Social Browsing, Proceedings of CSCW' 88, pp.25-38(1988).
- [6] P. Dourish and S. Bly.: Portholes: Supporting Awareness in a Distributed Work Group Proc. of Conf. on Human factors in computing systems (CHI' 92), ACM, pp.541-547(1992).
- [7] R.S.Fish, R.E.Kraut, B.L.Chalfonte.: The VideoWindow System in Informal Communications, Proceedings of CSCW' 90, pp.1-11(1990).
- [8] Synamon, NEUTRANS BIZ, <https://neutrans.space>(参照 2020.12.2).
- [9] 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(2016).
- [10] Christian Frueh, Avneesh Sud, Vivek Kwatra: Headset removal for virtual and mixed reality: In ACM SIGGRAPH 2017 Talks, SIGGRAPH '17, July 2017, Article No.80, pp.1-2(2017).
- [11] Shih-En Wei, Jason Saragih, Tomas Simon, Adam W Harley, Stephen Lombardi, Michal Perdoch, Alexander Hypes, Dawei Wang, Hernan Badino, and Yaser Sheikh: VR Facial Animation via Multiview Image Translation(ACM Trans. Graph), Vol.38, No.4, Article 67. pp.1-16(2019).