

コミュニケーション円滑化のための 同室感共有システムの構築

村田 直樹^{1,a)} 須賀 聖¹ 栗原 聡²

概要: 遠く離れた人物同士が会話を行う際に、既存の通信システムでは、対面でのやり取りに劣る部分が存在する。そこで本研究では遠隔地間で即時性をもち、対面に近いやり取りを行えるようなシステムの構築を目指す。システムには仮想現実技術を利用し、現実空間にアバターを表示することで、遠隔地にいる人物がまるで同じ部屋にいるかのような感覚を生じさせる。システムの実装後、既存の通信システムとの比較により評価を行った。

Abstract: In modern times, there are many situations to visit various places at the time of work and private life due to the development and improvement of traffic. However, moving is costly in terms of time and labor. We would like to realize a system that reduces the cost of traveling and enable face-to-face communication between remote points. Therefore, in this paper, we aim to construct a communication system sharing 3D space. In our system, we use Mixed Reality (MR) and Virtual Reality (VR) technologies and users communicate via an avatar between remote sites. Therefore each user experiences a sense as if they are in the same space. In addition, this feeling is called "feeling of sharing living-in-room" in our research. We implemented the proposed system and conducted experiments on it.

1. はじめに

現代では交通の発達により、様々な場所を訪れる機会が増えている。また実際に目的の場所に訪れ、その場にいる人とコミュニケーションを取る必要がある要件も多く存在する。しかし、移動には時間や労力といった点でコストがかかる上、人によっては移動することが困難な人もいる。そこで場所を移動せずにある空間へ擬似的に訪れ、その場にいる人とコミュニケーションをとることはできないかと考える。ここで擬似的に訪れるという点で、仮想現実技術を使ったテレプレゼンスの技術を用いる。また、現実の空間を共有するために、VR デバイスだけではなく MR デバイスも用いる。VR デバイスを用いたユーザーは目的の空間を擬似的に訪れ、MR デバイスを用いたユーザーは遠隔地にいるユーザーをアバターとして認識する。以上から本研究では、移動のコスト削減を目的とし、仮想現実技術を用いて、現実のある空間を共有し、対面に近いコミュニケーションをとっているような感覚を得られるシステムを提案する。対面に近いコミュニケーションという点で、原

田 [1] は、遠隔地にいるユーザーとあたかも同じ部屋にいるような感覚を同室感という言葉で表している。

2. 関連研究

Morikawa ら [2] は、クロマキー処理によって撮影したユーザーの自己像のみを切り出し、遠隔地にいる相手ユーザーの映像に重ね合わせることで、同一画面上に各ユーザーが存在するかのような感覚を得られる SuperMirror というシステムを作り出した。また Hirata ら [3] は、複数のカメラと円柱状に並べたディスプレイで構成された装置で遠隔地にいる各ユーザーを囲み、撮影されたユーザーの映像を、位置関係を合わせてディスプレイ上に表示するシステム t-Room を開発した。以上のように、遠隔地間での空間共有システムはいくつか存在するが、いずれも問題点が挙げられる。Morikawa らの SuperMirror ではオクルージョンの問題があり、ユーザーが動ける範囲や、映し出す相手空間の範囲が限定されている。また、これらのシステムは画面上という 2 次元的な限られた空間の共有であり、3 次元的な広がりを持つ空間を共有できていない。Piumsomboon ら [4] は、VR デバイスと MR デバイスの両方のデバイスを用いた遠隔地間での通信において、ユーザーの頭と手を仮想物体として共有した上で、お互いの視野や視線、頭の向きなどを可視化するシステムを構築し、

¹ 慶應義塾大学 理工学研究科
Keio University, Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan

² 慶應義塾大学 理工学部
Keio University, Yokohama, Kanagawa 223-8522, Japan

a) muratanaoaki@keio.jp

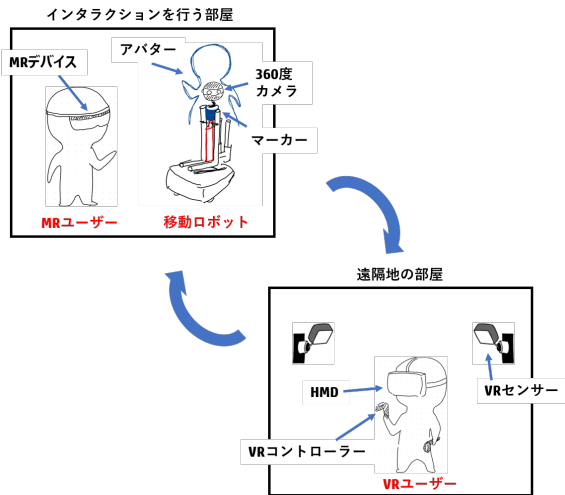


図 1 システムの概要図

可視化した各要素が遠隔コミュニケーションに与える影響を調べている。しかし、この研究では、ユーザーが通信システムを使うことによって受ける印象などを評価していない。またインタラクションに用いるアバターも手及び胸の部分でしか表示しておらず、本研究の全身を表した人型のアバターとは異なっている。

3. 提案手法

本研究では、MR デバイスをつけたユーザーが存在する空間に、VR デバイスをつけたユーザーが擬似的に訪れるシステムを考える。以下、VR デバイスをつけたユーザーを VR ユーザー、MR デバイスをつけたユーザーを MR ユーザーと呼ぶ。システムの概要は以下の通りである。

まず、移動ロボットを、MR ユーザーが存在する空間に配置する。VR ユーザーは移動ロボットに設置された 360 度カメラの映像を見ることで MR ユーザーの存在する空間を見回すことができ、さらに、移動ロボットを操作することで視点の移動を行うことができる。MR ユーザーは MR デバイスを通して人型のアバターを移動ロボットに重ね合わせるようにして表示する。アバターは VR ユーザーの動きを反映し、各ユーザーはそのアバターを介して遠隔地間でのインタラクションを行う。以下、システムの概要図を図 1 に、移動ロボットの外観を図 2 に、MR デバイス越しに表示されるアバターを図 3 に示す。

各ユーザー・ロボット間の通信について具体的に説明すると、まず移動ロボット・VR ユーザー間の通信に関しては次のようになる。移動ロボットに設置された 360 度カメラの映像が、VR ユーザーの HMD へ送信される。今回は 360 度立体映像の撮影・リアルタイム配信が行える Insta360 Pro というカメラを用いた。また、VR ユーザーは VR コントローラーの入力により、移動ロボット及びカメラの昇降機構を操作する。

次に VR ユーザー・MR ユーザー間の通信に関して説



図 2 移動ロボットの外観



図 3 アバターの外観

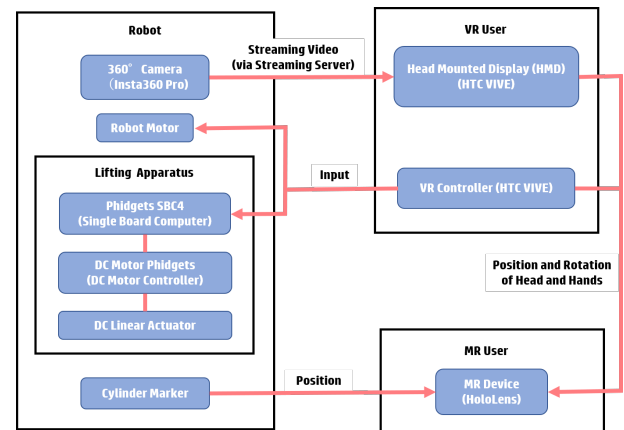


図 4 システムの設計概要

明する。VR ユーザーが装着している HMD とコントローラーの位置情報及び回転情報が MR デバイスに送信される。MR デバイスを通して表示される人型のアバターの頭と手の位置を、受信した各情報に合わせて変化させることで、VR ユーザーの動きとアバターの動きを連動させる。

最後に移動ロボットと MR ユーザー間の通信に関して説明する。移動ロボットに設置された円柱状のマーカーを MR デバイスが認識することで、移動ロボットの位置情報を取得し、その位置情報から移動ロボットに重ね合わせるようにして、人型のアバターを表示する。これにより、アバターは移動ロボットの動きに追従するように表示される。

VR ユーザー、MR ユーザー及び移動ロボットの間で伝送される情報と各デバイスの関係を説明したシステムの設計概要を図 4 に示す。

4. 評価実験

4.1 実験概要

同室感という観点から提案システムを評価するために、既存のシステムとの比較実験を行った。20 代～50 代の 12 人の被験者に協力してもらい、2 人 1 組の計 6 組のペアになってもらった。各ペアにはそれぞれ条件ごとに、遠隔地から指示をする指示者と指示を受けて実際にタスクを行う作業者をそれぞれ交代で担当してもらい、ブロックを積み

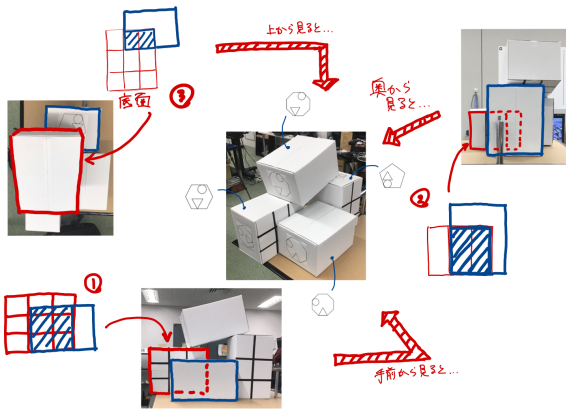


図 5 ブロックの完成図

上げるタスクを遂行してもらった。アンケートによる主観的な評価に加え、実験中に交わされた言葉の発話数なども計数、比較した。またタスクにかかった時間も一つの評価尺度とした。

比較対象となる通信システムにはテレビ電話システムを用いた。さらにテレビ電話システムの場合にも、遠隔地の指示者が視点映像を変えられるかどうかで二つのパターンに分けた。つまり、以下の条件で3つのパターンの実験を行った。

実験の条件

条件1：テレビ電話システム。ただし指示者が見る映像は固定カメラからの俯瞰の映像（視点移動は不可）

条件2：テレビ電話システム。ただし作業者がカメラを手に持ち、移動させることで、指示者の望む視点から見ることができる（視点移動可）

条件3：提案システム

また提案システムにおける3D360度動画配信の遅延時間が約10秒かかるため、今回は他のシステムにおける通信でも約10秒の遅延をかけて行った。さらに移動ロボットの操作に関しては遅延の影響で、指示者が操作することが難しいため、作業者の部屋にいる第三者が、指示者からの指示を受けて指定した位置にロボットを移動させた。

タスクとして、遠隔地からの指示を受けて正しくブロックを積み上げる作業を設定した。実験に用いるブロックは、ある一面に各ブロックを区別するためのマークが記載されており、また他の一面には格子状の線が描かれている。ブロックの完成形には3カ所のチェックポイントを設けた。以下、ブロックの完成図を図5に示す。

大学内の遠く隔たった2つの部屋を利用し、各部屋間での通信による遠隔協調タスクを行った。指示者及び作業者がタスクを行う各部屋を図6に示す。

実験の手順は以下ようになる。

- (1) 遠隔地にいる指示者にはブロックの完成図を事前に確認してもらった上でタスクを開始する
- (2) 作業者のいる空間には、ブロックの完成図に載ってい

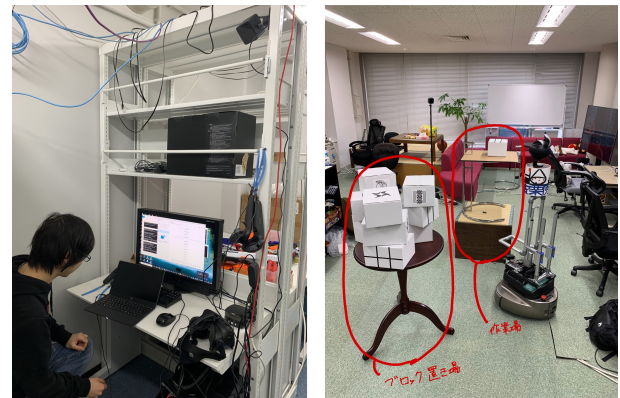


図 6 指示者側がタスクを行う部屋(左図)と作業者側がタスクを行う部屋(右図)

る4つのブロックに加え、二つのダミーブロックが置かれており、作業者は指示者の指示にしたがって適切なブロックを選んだ後に、それらのブロックを積み上げていく。

(3) ブロックが完成したら、指示者が完成した旨を伝え、第三者がチェックする。

(4) もしブロックが正しく積みまれている場合タスクを終了し、間違っていた場合訂正箇所を伝えずにタスクを再開する。

2人1組で実験を行い、各ペアに対して3つの条件でそれぞれ指示者・作業者を交互に担当し、計6回の実験を行った。各条件ごとに指示者と作業者を入れ替えてタスクを行った。また全体を通して、同様のタスクを連続で行うため、タスクへの慣れの影響を考慮して、それぞれのペアで条件の順番を入れ替えた。

実験に関しては、タスク完了までの時間、実験中に交わされた言葉の種類と数、被験者へのアンケートにより評価を行った。タスク完了までの時間は実験開始からブロックの完成までを測定する。また実験中に交わされた言葉に関しては、以下の基準でそれぞれの発話を計数・分析し、比較した。

計数・分析する言葉

- 全体の発話数（文に起こした際におおよそ句点で区切られると考えられるまでを一つとして計数した）
- 指示語の数
- 位置を表す言葉の数（「平行になるように」や「90度横に回転させて」など、向きや場所を示す言葉）
- モノの属性を表す言葉（「長い辺が～」や「一番広い面を～」などの対象とするモノに関する言葉）

さらにアンケートに関しては、以下の質問を、7段階の1（全くそう思わなかった）～7（まるで実際に同じ部屋に存在しているようなくらい）という尺度で回答してもらった。各設問は、質問文の適切さや意図解釈の揺らぎなどによる誤差を少しでも抑えるために、各項目ごとに二つの質問の平均評点を評価尺度と定義して分析を行った。

作業者側のアンケート

(1) 対話容易性

- 相手に指示を伝えやすかったか
- 相手とやり取りしやすかったか

(2) 空間把握容易性

- 遠隔地の様子がわかりやすかったか
- 相手の部屋の状況を理解しやすかったか

(3) 同室感醸成度

- 実際に相手が身近にいて作業したように感じたか
- 実際に相手と同じ部屋に存在しているように感じたか

指示者側のアンケート

(1) 対話容易性

- 相手の指示を理解しやすかったか
- 相手とやり取りしやすかったか

(2) 注目点の共有度

- 相手がどこに注目しているかがわかりやすかったか
- 相手が焦点を当てている箇所が理解しやすかったか

(3) 同室感醸成度

- 実際に相手が身近にいて指示をしてくれているように感じたか
- 実際に相手と同じ部屋に存在しているように感じたか

4.2 実験結果

以下、指示者側/作業側アンケート (図7, 図8, 図9, 図10, 図11, 図12), タスク中の発話 (図13, 図14, 図15, 図16) 及びタスク完了時間 (図17) の結果に対して, それぞれ項目別の平均評点, 標準偏差および検定結果を示した. これらの結果は一つの被験者の組に対して3つの条件の元それぞれ同様のタスクを行ってもらったため, 対応ある3群の比較となる. また正規性を示せるほどの十分なデータ数ではないと判断したため, ノンパラメトリック手法を用いて分析した. 具体的には対応ある3群以上の比較を行う際に用いるノンパラメトリック手法である Friedman 検定を用いて, 全体に有意差や有意傾向があるかどうかを検定した. その上で, 有意差の原因となった群の対を特定するために, 対応ある2群間での比較を行う際に用いる, 同じくノンパラメトリック手法である Wilcoxon 符号付順位検定をそれぞれの群間で実施し, 有意差のある2群を特定した. またこのとき多重比較という問題が発生するため, Bonferroni 法によって有意水準の調整を行った.

4.3 指示者側アンケート

図7, 図8, 図9より, (1) 対話容易性を除いて, $p < 0.05$ を示しており, アンケート結果の有意差が認められた. 特に, (2) 空間把握容易性と (3) 同室感醸成度に関しては, テレビ電話を用いた2つの各条件と提案システムとの間の有意差が認められている. また図8, 図9より, 2つの項目において提案システムの方がより高い評点を得ている.

まず, 空間把握容易性に関しては, 360度立体動画を用い

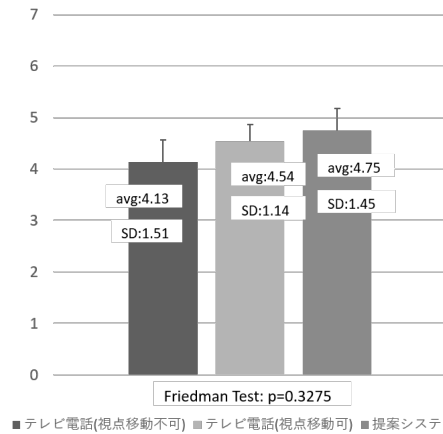


図7 指示者側アンケート (1) 対話容易性の平均評点と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 評点, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.10$)

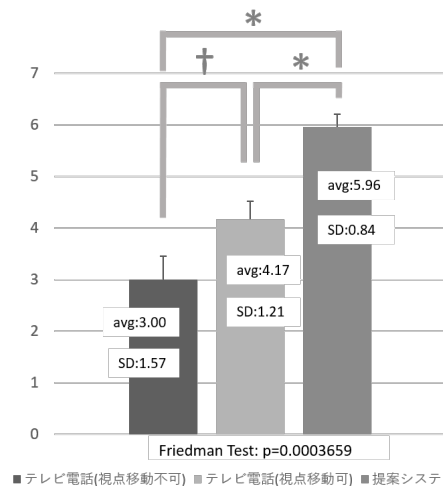


図8 指示者側アンケート (2) 空間把握容易性の平均評点と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 評点, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.10$)

ている点でよりその部屋の状況を読み取れたのではないかと考える. 被験者の感想の中でも, 没入感が高かった点や, 360度自在に見回せる点良かったという意見を頂いた. ただ, 映像や音声の遅延といった要因から, 移動ロボットの操作性が課題であると感じた. 今回の実験では, 被験者がコントローラを使って自ら移動ロボットを動かすのは難しいと感じたため, 移動ロボットと同じ空間にいる第三者に移動の旨を伝える形で空間を移動した. そのため, 移動することが億劫になり, 定点カメラのようにその場にどまってしまうケースや, 感覚の不一致により VR 酔いを訴えるケースが見受けられた. その点では, 視点の移動が容易であるテレビ電話 (視点移動可) の条件の方が指示しやすいという意見もあった.

また, 同室感醸成度に関しては, 360度立体動画の没入

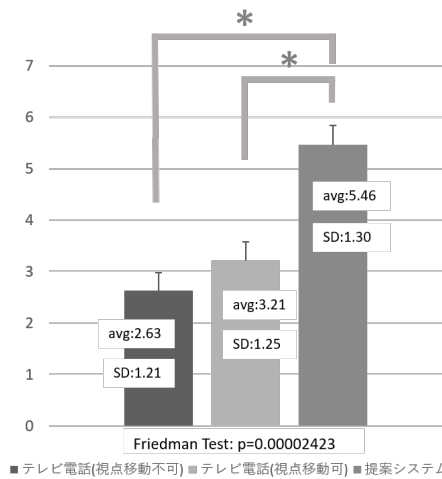


図 9 指示者側アンケート (3) 同室感醸成度の平均評点と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 評点, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: $p<0.05$, †: $p<0.10$)

感の高さが影響しているように感じた。またそれ以外にも、テレビ電話の各条件の際には作業者が画面に映っている指示者の映像を見る頻度が少なかったのに対して、提案システムでは作業者が、実際にブロックなどをアバターに向けてくれたり、アバターの方を向いて指示を聞いてくれるなど、アバターの身体性が対面でのコミュニケーションを助長している場面も見られた。またアバターの身体性がコミュニケーションに作用している点を述べた被験者の感想もあった。ただ、今回のシステムでは VR 空間内に自分の持つ VR コントローラの位置のみを表示しており、指示者自身がアバターを感じる要素がなかったという点でマイナスの意見も頂いた。

対話容易性に関しては、システム間の差が見られなかった。これについては前述の移動ロボットの操作性や VR 酔いなどのシステム自体の使いやすさが影響していると感じられた。さらに提案システムでは 360 度カメラの性能の問題から、レンズ間の映像が正しく表示されない問題があったため、カメラの位置によっては部屋の空間の中で見えないう死角の部分が存在した。またこうした 360 度カメラの映像の誤差により、アバターの指差しなどの動作も適切に作用しなかった。こうした仮想空間と現実空間のずれが指示者の感覚に影響した部分は大いにあると考えられる。また被験者の意見の中には固定カメラによる指示の方が自分の視点の向きが定まっているので、指示が出しやすかったというものや、テレビ電話 (視点移動可) の方は、実際にその空間で作業している感覚は少なかったが、指示は出しやすかったなどの意見も頂いている。これらの意見は、今回の実験が遅延により双方向ではなく、一方の要素が強いコミュニケーションであったということが原因の一つであると考えられる。一方のやり取りでは、指示を出す行為

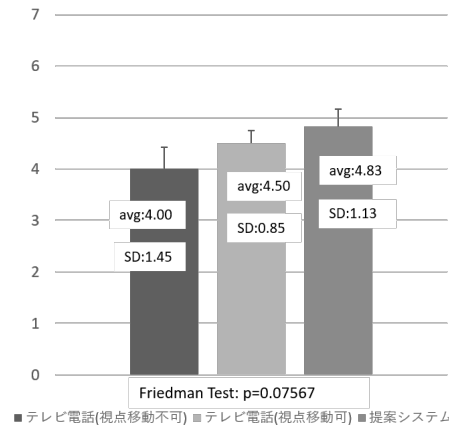


図 10 作業者側アンケート (1) 対話容易性の平均評点と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 評点, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: $p<0.05$, †: $p<0.10$)

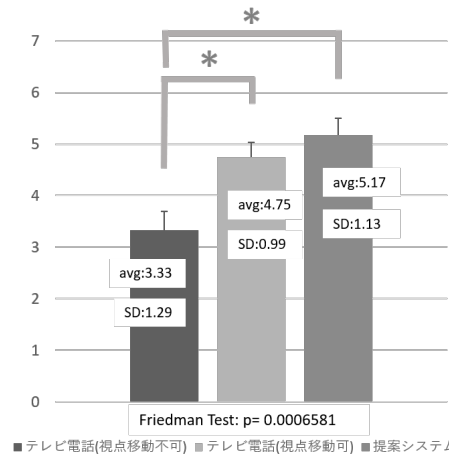


図 11 作業者側アンケート (2) 注目点の共有度の平均評点と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 評点, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: $p<0.05$, †: $p<0.10$)

が主になるので、相手の存在を考慮する必要性が少ないと思われる。そのため、相手のいる位置や相手の視点などを考慮せず、自らの視点がどのようであるかという部分が定まっていたり、その自由度が高かったりする場合の方がタスクに対して有効であったのではないかと考える。

4.4 作業者側アンケート

図 10, 図 11, 図 12 より, (1) 対話容易性を除いて, $p<0.05$ を示しており, アンケート結果の有意差が認められた。また (2) 注目点の共有度に関してはテレビ電話 (視点移動不可) と他の 2 つの条件との違いについて, (3) 同室感醸成度に関しては, 提案システムとテレビ電話を用いた 2 つの条件との違いが示された。図 11, 図 12 を見ると, テレビ電話 (視点移動不可), テレビ電話 (視点移動可), 提案シ

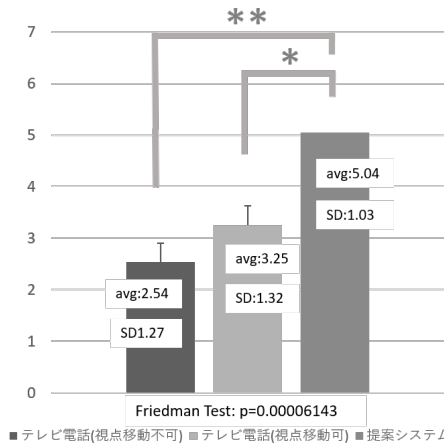


図 12 作業側アンケート (3) 同室感醸成度の平均評点と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 評点, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: $p<0.05$, †: $p<0.10$)

システムの順に評点が高くなっており, 2つの項目において提案システムの方がより高い評点を得ている。

図 11 より, 提案システム及びテレビ電話 (視点移動可) がテレビ電話 (視点移動不可) の条件より高い評点を得ている。提案システムではアバターの身体性により, 指示者側の注目点がアバターの顔や体の向きから伝わったからではないかと考えられる。またテレビ電話 (視点移動可) に関しては, 作業者が実際に指示者の視点となるカメラを持って作業したため, どこに注目しているのかがわかったという意見もあった。以上の理由から, それぞれ手持ちカメラ・アバターといった作業側が指示者側の存在を知覚できる要素によって, 相手の注目点を共有できることがわかった。またアバターと手持ちのカメラに明確な差が表れなかった。

図 12 より, 同室感という観点では提案システムがより高い評点を得ている。これはやはり前述のアバターの身体性という面が大きく作用していると思われる。実験を観察している際にも, テレビ電話の各条件では画面に映っている相手を見ることが少なかったのに対して, 提案システムでは相手の方を見て, 指示を聞く頻度や, 実験に用いたブロックなどをアバターの方に向けるなどの動作が多く見られた。また, テレビ電話 (視点移動可) の場合には, 指示者が見ている大まかな位置はわかるが, より細かい位置まではわからない上, 指示者が実際に注目している感覚は少ないという意見もあった。反対に, テレビ電話 (視点移動不可) が相手の存在を感じる方がより困難であるという意見もあった。視点移動がある条件の場合, カメラの位置から相手の視点を理解することができ, 提案システムではアバターを見ることで相手を感じることができる。そういった点で, 視点移動不可のシステムは指示者の存在を伝える要素が少なかったのではないかと考え, そういった部

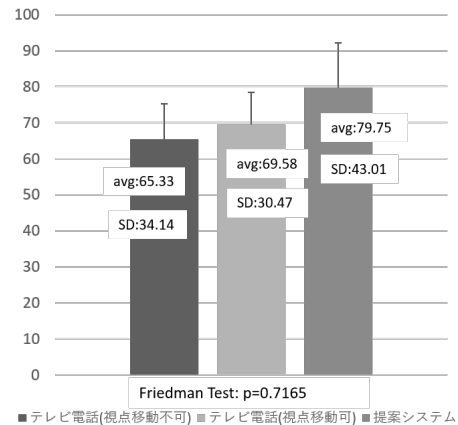


図 13 全体の発話数の平均値と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 発話数, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: $p<0.05$, †: $p<0.10$)

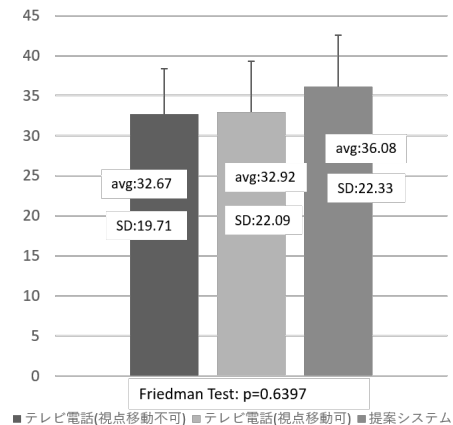


図 14 指示語の数の平均値と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 発話数, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: $p<0.05$, †: $p<0.10$)

分が同室感の醸成度につながっているのではないかとと思われる。

図 10 より, 指示者側のアンケートと同様に対話容易性に関してはシステム間の有意性が認められなかった。これは指示者アンケートの考察でも述べたが, 遅延による一方方向コミュニケーションの影響が大きいと考えられる。また, 作業側に関してはタスクを繰り返す中で徐々に発話が少なくなり, そもそも指示者へ話しかけることが全くないというペアもあった。

4.5 実験の中でやり取りされた会話

今回の実験では遅延の影響により, 指示者による一方方向の発話数がほとんどであったため, 作業側の発話に関しては分析を行わなかった。

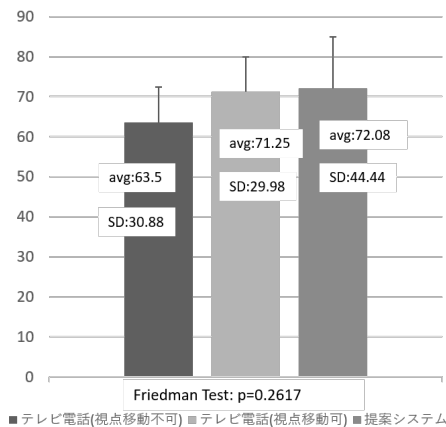


図 15 位置を表す言葉の平均値と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 発話数, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: p<0.05, †: p<0.10)

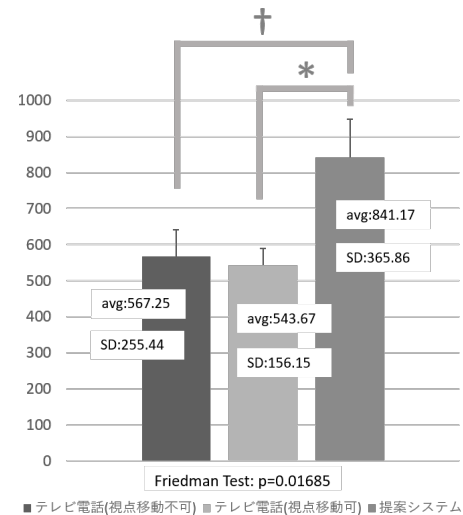


図 17 タスク完了時間の平均値と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 時間 (s), avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: p<0.05, †: p<0.10)

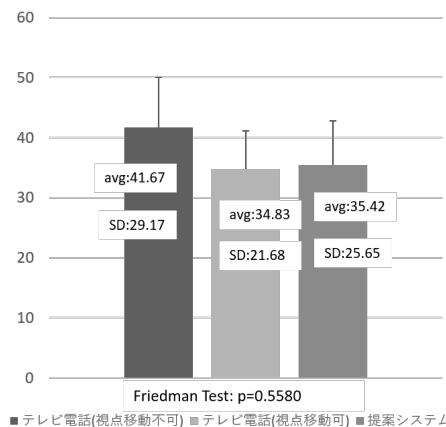


図 16 モノの属性を表す言葉の平均値と Friedman 検定, Wilcoxon 符号付順位検定の結果 (縦軸: 発話数, avg: 平均値, SD: 標準偏差, *: p<0.05, †: p<0.10)

図 13, 図 14, 図 15, 図 16 より, 指示者の発話に関する各項目はいずれも $p < 0.05$ の水準を満たさなかったため, 今回の実験における指示者及び作業者の発話データの比較は有意差が認められなかった. そのため, 今回の実験では言葉のやり取りという側面でのシステムの評価は難しいと考える.

このような結果になってしまった原因として考えられる大きな要因の一つは, 映像及び音声の遅延の問題である. 提案システムにおける 360 度立体映像の配信には約 10 秒ほどの遅延が生じてしまう. ハードウェアの性能やネットワーク環境などを考えると, 現状の開発環境では今回のような遅延を避けることは難しかった. そのため, 今回の実験では, 指示者が一方的に指示を出す, 一方向的な通信となってしまっていた. 以上の理由から, 指示者は相手の状

況を, 相手との言葉のやり取りではなく映像で理解し発話を行うといった状況になってしまったため, 相互通信におけるシステムの強みが活かせなかったのではないかと推測する.

4.6 タスク完了時間

図 17 より, 提案システムとテレビ電話システムの各 2 条件との間に有意差が認められた. また提案システムの方が約 300 秒程, 完了までに時間がかかっていることがわかる. これらの要因として考えられるのは, 前述の各アンケートでの考察にもつながるが, システムの使いやすさに関する部分である. 特に視点移動の際の VR 酔いや, VR 映像自体に慣れることが難しかったり, さらには 360 度カメラの死角の存在が指示者のタスクの進行を妨げている場面も多くあった. また被験者の意見の中には, 指示者側アンケートの章でも述べたが, 固定カメラの映像の方が指示者が言葉で伝える際に, 指示者の位置が固定されているので向きなどの情報が(「〇〇から見て～」など)が伝えやすかったり, 反対に視点の移動を作業者が担う反面, 提案システムよりも自由度の高い視点の移動が行える視点移動可の条件の方がブロックなどの対象を観察しやすいなど, テレビ電話システムと比べて, 提案システムにおける操作性の悪さが結果に出たと考えられる.

5. おわりに

仮想現実技術を用いてアバターを介した遠隔地通信システムを構築し, 同室感という観点でシステムの評価実験を行った.

今回の実験を通して, 360 度立体映像やアバターの身体

性がユーザーにもたらず、システムの利点を確認することができた。特に360度立体映像はVRユーザーの没入感を向上させ、相手のいる空間を把握する上で有効であることがわかった。またアバターの身体性はMRユーザーにVRユーザーの存在を知覚させ、体の向きなどの3次元情報を認識させる上でも重要であるという結果となった。これにより、現実空間においてもアバターの存在が注目点共有の促進や同室感醸成につながるということが分かった。

こうした利点がある反面、現実空間と仮想空間のずれという点で欠点がいくつか存在する。360度立体映像に関しては光の具合やカメラの位置によって360度動画の合成がうまく行かない場合があり、移動ロボットで視点を変えた際にレンズとレンズの間に死角が生まれることが多々ある。こうした映像における誤差が、VR酔いなどの現象や、アバターと現実空間との位置関係のずれを生じさせる。以上から提案システムは、指差し動作が機能しなかったり、長時間のインタラクションに向かないなどの欠点を持つ。

現状のシステムでは360度立体映像を配信する際にどうしても遅延が発生してしまう。それにより今回のように一方向のやり取りになってしまうなどの、本来のリアルタイム性のある通信とかけ離れてしまう。その上で特に遅延によるマイナスの影響が見られたのは、ユーザー間の対話とロボットの操作性という側面であった。個々の指示者の発言を比較した形になり、双方向のやり取り・対話といった面ではシステムを測ることができなかった。こうした面も発話分析による評価において、システム間の有意性が認められなかった結果に一部つながる部分であると推測される。またロボットの操作性に関しては、遅延により指示者が自律的に視点を移動できる機能を十分に発揮することができなかった。

今後の課題としては、ハードウェアやネットワークの面での改善により、映像のずれや配信の遅延を少しでも抑える工夫が必要であると考え。またアバターに関しては、まばたきや表情の変化といったユーザーの細かい挙動を、より自然に反映させる機能が必要であると考え。

ここで改めて本研究の意義について考えてみる。それはこれからの遠隔通信システムの有用性を探ることである。現在ネットワーク通信技術は5Gという新たな規格の実用化が進んでいる。また5Gにとどまらず、2030年の実用化を目指した6Gの研究開発がすでに始まっており、それが実現すればいよいよ本格的な仮想現実技術の実用化につながると考える。こうしたMR・VR技術活用への期待感が高まる中で、いち早く同室感通信システムの有意性を確認できたことは大きいと考える。

参考文献

[1] 原田安徳, "同室感通信", インタラクティブシステムとソフトウェア, 日本ソフトウェア科学会 WISS' 98, pp.53-60,

1998.

- [2] Morikawa Osamu, and Takanori Maesako, "HyperMirror: toward pleasant-to-use video mediated communication system.", Proceedings of the 1998 ACM conference on Computer supported cooperative work, pp.149-158, 1998.
- [3] Hirata Keiji, et al, "t-Room: Next generation video communication system.", IEEE GLOBECOM 2008-2008 IEEE Global Telecommunications Conference, pp.1-4, 2008.
- [4] Piumsomboon Thammathip, et al, "The effects of sharing awareness cues in collaborative mixed reality.", Frontiers in Robotics and AI, Vol.6, pp.5, 2019.