

ユーザの可視化と視覚的表現を用いた 現実空間から VR 空間への情報伝達手法

石丸 敬登^{1,a)} 吉野 孝^{2,b)}

受付日 2024年3月22日, 採録日 2024年10月8日

概要: 近年, VR など仮想空間を利用したコンテンツが多く開発されており, 現実の物体を VR のコンテンツ内で利用するなど仮想空間と現実空間の双方を利用したものも多く開発されている. しかし, VR の使用中は周囲の状況を把握することが容易ではなく, HMD を用いていない人からの情報伝達が困難であるという問題点がある. そこで本研究では, ユーザ・空間の可視化や身体動作を用いた強調・描画機能による視覚的表現によって, 現実空間から VR 空間への情報伝達手法を提案・作成し効果について検証を行った. 検証を行った結果, ユーザの可視化と視覚的な表現によって, ユーザ間の状況把握や言語化が困難な情報の表現が可能となり, 情報伝達をより円滑に行うことができると分かった.

キーワード: VR, 仮想空間, 情報伝達, 視覚的表現, 身体動作

Information Transmission Method from Real Space to VR Space Using User Visualization and Visual Expression

TAKATO ISHIMARU^{1,a)} TAKASHI YOSHINO^{2,b)}

Received: March 22, 2024, Accepted: October 8, 2024

Abstract: In recent years, a lot of content that uses virtual spaces such as VR has been developed, and many that use both virtual and real spaces, such as using real objects in VR content, have been developed. However, while using VR, it is not easy to grasp the surrounding situation, and there are problems in that it is difficult to convey information from people who are not using an HMD. Therefore, in this study, we proposed and created a method for transmitting information from real space to VR space using visualization of the user and space, and visual representation using emphasis and drawing functions using body movements, and verified its effectiveness. As a result of testing, we found that visualization and visual representation of users makes it possible to understand the situation between users and express information that is difficult to verbalize, making it possible to convey information more smoothly.

Keywords: VR, virtual space, information transfer, visual expression, physical movement

1. はじめに

近年, VR など仮想空間を利用した多くのコンテンツが開発されている. さらにはスタンドアロン型の HMD が発

売されるなど仮想空間の普及にともなって, 今後も仮想空間を利用したコンテンツの増加が予想される. 実際に, 教育分野において Pietroszek ら [1] がバーチャルリアリティのリモート教室参加システム, 防災分野において中本ら [2] が VR を用いた地震体験システムを開発するなど, 多くの分野に VR や仮想空間が利用されている.

VR コンテンツでは, ユーザの視界全体に対して仮想空間を提示することで高い没入感や臨場感を実現している. この高い没入感や臨場感は VR を扱ううえで大きな利点となっている. しかし, VR の使用中はユーザの視界全体に

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)} ishimaru.takato@g.wakayama-u.jp

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

対して仮想空間を提示していることから、周囲の現実空間の状況を把握することが困難であることに加え、HMDを装着していないユーザは仮想空間内部の様子を知ることができない。そのため、互いの状態が把握できず周囲の人との情報伝達が困難になるという問題が存在する。周囲が確認できず周囲との情報伝達が困難になることで、現実空間の人やモノとの衝突の危険や周囲との情報伝達に齟齬が発生する場合がある。さらには、VRを利用している際には視界がVR空間で覆われているため情報伝達は口頭で行う場合が多いが、口頭での情報伝達のみでは細かな位置などの詳細な内容を伝えることが困難となる。

またこれらの問題は、シミュレーションやトレーニングにおいて現実空間を活用したシステムでより大きな問題となる。特に、複数人で同一の空間を利用する作業や現実の道具、設備を扱う作業では立ち位置やオブジェクトの一部の正確な位置などの詳細な内容の理解が必要となる。しかし、実空間での移動やオブジェクトの利用がともなう場合、システム利用者または監督者は安全性の面からも仮想空間と現実空間の両方を認識する必要がある。この問題に対して、現実空間と仮想空間をまたいだ適切な情報伝達を行う手法が必要であると考えられる。

そこで本研究では、ユーザの可視化と視覚的な表現を用いた現実空間からVR空間への情報伝達手法を提案する。使用場面は、現実空間を活用したシステムの利用時を想定している。本システムは、HMD装着時の現実空間とのコミュニケーションに焦点を当て、ユーザの可視化や身体動作による視覚的な表現を利用することで、VR空間の利用者と現実空間の利用者間の情報伝達の円滑化を目指す。

本研究は事前実験に加えて予備調査を行っており、利用状況に応じて視覚的な表現を使い分けることで情報伝達が円滑になる可能性がみられた[3]。本研究では、事前実験や予備調査の結果をもとにさらなる改良や検証を行った。

2. 関連研究

2.1 仮想空間におけるユーザの可視化に関する研究

Leeら[4]はVR空間において遠隔地に存在するユーザと仮想空間を共有し、頭部と手の部分のみのアバター表示によりリアルタイムでの対話を可能にする教育システムの提案と評価を行った。結果として、学習内容の定着率や操作性の向上などの効果がみられた。対して本研究では、HMD非装着者へ仮想空間の状況と仮想空間に存在するユーザの位置や様子を提示している。

Scavarelliら[5]は同一空間に存在するVR利用者の衝突回避システムの比較を行った。結果として近づくとワイヤーフレームを提示する表現が安全性、アバターを配置する表現が回避速度で高い評価を得られた。Kudoら[6]はHMD装着者に同一の現実空間に存在する人物を提示するシステムの比較実験を行った。結果として、現実空間の人

物が存在する位置にアバターを表示する手法が最も周囲の人物の存在を認識させやすく、周囲の人物との距離と向きに応じてアイコンの大きさや表示を変化させる手法がVRでの没入感を低下させないという結果が得られた。これらの研究は、VR空間内においてHMD装着者に周囲の実空間の人物に関する情報の提示を行っている。対して本研究では、周囲の実空間の人物からも自由に視覚的な情報を作成し、HMD装着者に提示する。これにより、現実空間に存在するユーザが仮想空間と現実空間の両方を認識したうえで情報を視覚的に伝達することで、仮想空間と現実空間をまたいだ情報伝達の円滑化を目指す。

2.2 複数端末を用いた仮想空間システムに関する研究

Aroraら[7]はARでペン型デバイスを用いて3D空間上に線を描くシステムの開発、評価を行った。結果として、オブジェクトへの線の描画など多くの機能が有用であるという結果が得られた。Wackerら[8]はペンとスマートフォンを利用したARシステムの操作手法を開発、評価を行った。結果として、ペンとスマートフォンの両方を利用した操作方法が最も高い評価となった。これらの研究では、ペン型のデバイスを用いて線の描画やシステム操作を行っている。対して本研究では、ユーザの身体動作によって線を描画し、VR空間と現実空間のユーザ間で情報を共有し、情報伝達を円滑に行うために線の描画を利用している。

Suraleら[9]はVR空間におけるタブレットとジェスチャを用いた操作方法の開発と検証を行った。結果として、タブレットを活用した操作方法によって、直感的にシステム操作が可能であるという効果が実証された。Zhuら[10]はスマートフォンとARHMDを利用したプラットフォームの開発と検証を行った。結果として、すでに普及しているスマートフォンを活用することでユーザが操作に慣れやすいという結果を得られた。これらの研究は、1人のユーザが仮想空間上でのコンテンツを体験する場合に複数端末を利用している。対して本研究は、複数人でのシステム使用時に現実空間と仮想空間の各ユーザに対して他者が存在する空間の情報を提示するために複数端末を利用している。

2.3 現実の物体を活用したVRシステムに関する研究

本信ら[11]は実空間の点群情報を用いた空間接続表現を行うシステムを開発した。このシステムは実空間をつなぐ点群情報の表現に加えて、実空間の物体を接続先の空間に持ち込む表現により臨場感や対話相手との同室感の向上を目指した。長谷川ら[12]は遠隔地の空間をつなぐ表現に加え、オブジェクトを介して引っ張られる「被牽引感」を提示することで、対話相手のテレプレゼンスを向上させるシステムを開発した。結果として被牽引感によって空間接続感や物体の受け渡しでの臨場感の向上がみられた。これらの研究は、仮想空間での没入感や臨場感の向上に現実のオ

プロジェクトを利用している。対して本研究では、オブジェクトの強調表現を用いることで、オブジェクトを介して仮想空間と現実空間をまたいだ情報伝達の円滑化を行った。

2.4 複数人のユーザでの仮想空間システムに関する研究

Gugenheimer ら [13] は床投影とモバイルディスプレイを位置追跡と組み合わせることによって、HMD 以外のユーザが HMD ユーザとともに VR 体験を行うシステムを開発した。調査を行った結果、開発したシステムによって楽しさや臨場感、社会的交流の向上につながったという結果が得られた。対して本研究ではユーザ間の情報伝達に焦点を当て、HMD 装着者が見ている仮想空間上に現実空間から情報を追加することで情報伝達の円滑化を目指している。Lyu ら [14] は遠隔地に存在する VR 装着者と複数の非 VR 装着者が同一の仮想空間上に共有するシステムを開発した。対して本研究では、非 VR 装着者が VR 装着者の存在する現実空間も同時に把握することが可能となっている。

3. ユーザの可視化と視覚的表現を用いた現実空間から VR 空間への情報伝達手法

3.1 システム概要

本研究では、VR 空間と現実空間をまたいだコミュニケーションに焦点を当て、ユーザの可視化と視覚的表現を用いた現実空間から VR 空間への情報伝達手法を開発した。本手法は、現実空間と VR 空間に存在する双方のユーザの可視化を行ったうえで、身体動作によるオブジェクト強調や描画などの視覚的な表現を用いることによって「VR 空間の利用者と現実空間の利用者間の情報伝達の円滑化」を目指す。ユーザの可視化としては、仮想空間上に実空間ユーザの位置や体勢を提示し、スマートフォン上で VR ユーザの位置と仮想空間を提示することで、双方のユーザの認識を可能としている。また、オブジェクト強調や描画表現によってユーザが視覚的に自由に情報を提示、共有することで、口頭のみでは表現が困難な情報伝達の円滑化を行う。

3.2 設計方針

VR 空間の利用者と現実空間の利用者間の情報伝達では、互いの状態把握が困難である。本システムでは、ユーザの可視化や身体動作による視覚的な表現を利用することで、HMD 装着時の現実空間とのコミュニケーションの円滑化を目指す。VR 空間の利用者と現実空間の利用者間の情報伝達を円滑に行うには、ユーザ間の情報共有が重要であると考えた。この課題を解決するために、ユーザの可視化と視覚的表現を用いた情報伝達手法を開発した。

3.3 システム構成

図 1 に、本システムの構成を示す。また、システムの利用を外部から見た様子を図 2 に示す。本システムは、実

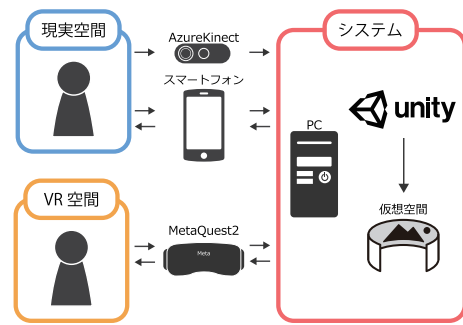


図 1 システム構成

Fig. 1 System configuration.



図 2 システム利用時の様子

Fig. 2 How the system is used.

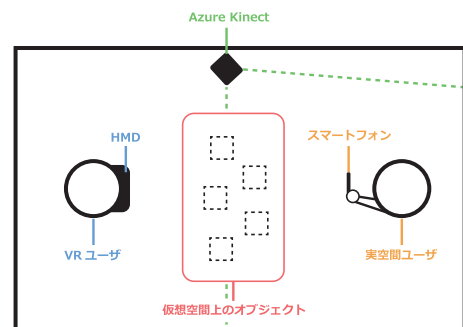


図 3 システムの配置

Fig. 3 System placement.

空間のユーザから VR 空間のユーザへの情報伝達を、システムが中継する形で利用する。Azure Kinect でポゼイトラッキングを行うことにより実空間ユーザの身体情報を取得し、MetaQuest2 のハンドトラッキング機能により VR ユーザの手の動きを取得している。取得したユーザの情報を VR 空間に追加することで、ユーザの身体を可視化した仮想空間を構築する。構築した仮想空間は、スマートフォンと HMD に接続した PC 間の通信を介して共有したうえで各ユーザへ提示を行う。通信では、スマートフォンからスマートフォンの向きと位置を PC から HMD 装着者の頭の位置、両手の位置、スマートフォン利用者の右手の位置を送信している。システム利用時における室内のユーザの位置関係やオブジェクトの位置を図 3 に示す。本システムでは、VR ユーザと実空間ユーザが向かい合う形でシステムを利用し、実空間ユーザは Azure Kinect の撮影範囲内で、VR ユーザは Azure Kinect の撮影範囲外で自由に動

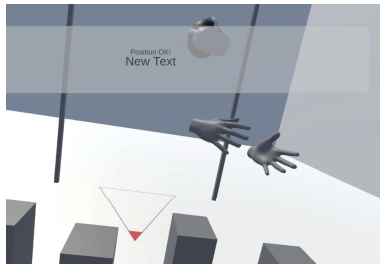


図 4 スマートフォン上の仮想空間の提示
Fig. 4 Presentation of virtual space on smartphone.

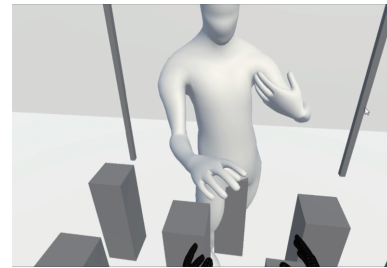


図 5 ボディトラッキングによる実空間のユーザ表示
Fig. 5 User display of real space using body tracking.

くことができる。VR ユーザは HMD を装着しており視界には VR 空間を提示している。対して、同一空間にいる実空間ユーザは HMD などの機器を装着せずスマートフォンを持っている。これにより実空間ユーザの視界では肉眼で現実空間を見るとき同時にスマートフォンを見ることで仮想空間を見ることができる。また、仮想空間上のオブジェクトや描画した線は双方のユーザで同一の位置、大きさで存在するため、2 者間で同じ仮想空間を共有することができる。

本システムの機能は「実空間の位置による仮想空間の提示」「ボディトラッキングによる実空間のユーザ表示」「身体動作によるオブジェクト強調」「身体動作による描画表現」に分けることができる。

3.4 実空間の位置による仮想空間の提示

図 4 に実空間の位置による仮想空間の提示の外観を示す。本機能では、スマートフォンによって実空間ユーザが外部から VR 空間を見ることができ、VR ユーザの頭と手の動きも見ることができる。VR ユーザの頭と手は、HMD のセンサとハンドトラッキング機能により取得し、通信によってスマートフォンに共有したうえで、現実におけるユーザと同じ位置に表示される。また、VR 空間を見る視点を実空間ユーザの動きに追従させることで、VR ユーザとは別の視点で自由に VR 空間を見ることが可能となっている。実空間ユーザのスマートフォンの動きは、スマートフォンのセンサによってスマートフォンの向きや位置の変化を取得することで認識し、実空間のユーザの位置に合わせた仮想空間の風景を提示している。これにより、VR ユーザの視界外の状況など VR ユーザの周囲情報を外部から取得することが可能となる。

3.5 ボディトラッキングによる実空間のユーザ表示

図 5 に実空間のユーザ表示の外観を示す。本機能は、VR ユーザが実空間ユーザの身体的位置や体勢を VR 空間内から見ることができる機能となる。実空間ユーザの身体的位置や体勢の提示は、VR 空間上で白色の人型オブジェクトを実空間ユーザの身体に追従させる形で行い、現実におけるユーザと同じ位置に表示される。実空間ユーザの身

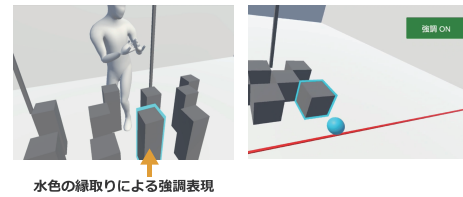


図 6 オブジェクトの強調表現
Fig. 6 Object highlighting.

体全体の情報は、Azure Kinect によるボディトラッキングで取得し、ボーン情報によって取得した実空間ユーザの関節の位置でユーザの位置や動作を取得している。これにより、実空間ユーザの動きや立ち位置を用いたコミュニケーションを可能にすることで、情報伝達の円滑化を目指す。

3.6 身体動作によるオブジェクト強調

図 6 にオブジェクトの強調表現の外観と利用する際のスマートフォンの画面を示す。本機能は、オブジェクトを水色で線取る表現を行うことにより、選択したオブジェクトを視覚的に強調する。オブジェクトの選択は、実空間ユーザが右手で指をさす動作を認識し、指をさした方向に存在するオブジェクトを強調する。指をさす動作の認識は、実空間ユーザの頭部と右手の位置を Azure Kinect によって取得し、頭部から右手の位置への方向ベクトル上に存在するオブジェクトを選択している。オブジェクト強調の実行と実行の解除の切替えは、スマートフォンの画面をタップすることで行う。さらに、強調機能が有効であるか否かは、画面右上に存在するテキストが強調機能の有効時は「強調 ON」、無効時は「強調 OFF」と変化することでユーザに提示している。これにより、オブジェクトを介した視覚的な情報を提示することでユーザ間の情報伝達の円滑化を目指す。

3.7 身体動作による描画表現

図 7 に身体動作による描画表現の外観と利用する際のスマートフォンの画面を示す。本機能は、実空間ユーザの右手の軌跡を追う形で VR 空間上に線を描画する。線の描画は、リアルタイムで行い、実空間ユーザと VR 空間ユーザの双方で見ることが可能となる。この線の描画によって、

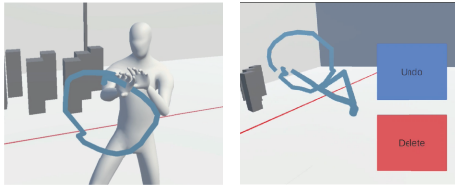


図 7 身体動作による描画表現

Fig. 7 Drawing expression using body movements.

ユーザは自由に線を描き、仮想空間上のオブジェクトに依存しない情報提示を行う。描画は、スマートフォンの画面をタップしている間に動いた右手の軌跡を追ってリアルタイムに線を描画する。右手の位置は、Azure Kinectによって取得する。スマートフォン上の「Undo」ボタンを押すことによって最後に描画した線の削除を「Delete」ボタンを押すことによって描画したすべての線の削除を行う。この線の描画によって、矢印や図形などでの情報伝達が可能になると同時に、点や線でオブジェクトの一部を明示的に提示することが可能となる。これにより、身体動作を利用することによる没入感の向上や視覚的に柔軟な情報伝達の実現を目指す。

4. 実験

4.1 事前実験

本研究の前に事前実験として「実空間の位置による仮想空間の提示」「ボデイトラッキングによる実空間のユーザ表示」「身体動作によるオブジェクト強調」の3つを利用した強調システムの効果の検証を行った [3]。事前実験では、「VRで実空間から指示を受ける」と「スマートフォンを利用し実空間より指示を出す」の2つの条件で2人同時にシステムを体験してもらう。事前実験は和歌山大学の21歳から24歳までの大学生および大学院生の男女14人を対象に行った。事前実験のシステムの体験では、スマートフォンを利用した実空間ユーザが指示を出し、VRユーザを仮想空間上で特定のオブジェクトの位置へ移動を誘導するタスクを条件を変えて計2回行う。事前実験の結果、仮想空間の提示と実空間のユーザ表示によって現実空間と仮想空間に存在する双方のユーザの状況把握が容易になり、仮想空間の提示と実空間のユーザ表示でのユーザの可視化による動作の把握と身体動作によるオブジェクトの強調表現によって言語のみでは表現の難しい内容を簡潔に表現可能になるという結果が得られた。ユーザの可視化や仮想空間の提示、オブジェクトの強調が情報伝達の円滑化につながることが分かった。

4.2 実験概要

本システムでは、仮想空間上で視覚的な表現を利用することにより情報伝達の円滑化を目指している。そこで、本研究では仮想空間と現実空間を両ユーザが共有したう

で、現実空間からの視覚的な情報の作成を行うことによって、情報伝達の円滑化に与える効果に焦点を当てる。強調システムに対する事前実験の結果からユーザや空間の可視化とオブジェクトの強調によって情報伝達が円滑になったという結果を得た。しかし、オブジェクトの強調機能はオブジェクトに依存しており、細かな指示ができないという問題がある。そこで本実験では、オブジェクトのない位置や細かな位置を視覚的に示すことができる「身体動作による描画表現」を用いることによって空間をまたいだ情報伝達において以下の仮説を立て、検証を行った。

- 仮説1：細かな情報を伝えることができる。
- 仮説2：情報伝達がより円滑になる。

本実験の検証では比較実験を実施し、比較対象として事前実験で利用した強調システムと「実空間の位置による仮想空間の提示」「ボデイトラッキングによる実空間のユーザ表示」「身体動作による描画表現」を利用した描画システムの2種類を用意した。実験参加者は上記の2種類のシステムを2人ずつ体験する。実験参加者は和歌山大学の21歳から24歳までの大学生および大学院生の男女14人を対象に行った。うち、男性は10人、女性は4人である。

4.3 実験手順

(1) システムのトレーニング

本実験ではシステムを体験をする前に2つのシステムのトレーニングを行った。このトレーニングでは強調システムと描画システムの機能、利用方法を説明した。さらに、実験参加者は強調システムによるオブジェクトの強調と描画システムによる線の描画を1回ずつ体験し、各システムでの操作方法の確認を行った。

(2) システムの体験

実験参加者は強調システムと描画システムの2種類のシステムを体験する。このとき、システムごとにスマートフォンを利用して指示を出す側とVRを利用して指示を受ける側の2つの条件に分かれてタスクを行い、その後に条件を入れ替えて再度タスクを行った。タスクでは、スマートフォンを持った実験参加者が指示を出すことで、特定のオブジェクトの一部をVR空間上のHMDを装着したユーザに触れさせるタスクを行う。特定のオブジェクトは4パターン存在し、1回のタスクで実験参加者は合計4回の指示を行う。本実験では同一空間に存在するユーザに対して指示を出す場面を想定し、実験参加者が行う指示にはシステムによる視覚的な表現と口頭による指示を自由に用いてもらった。システムの体験の順番としては順序効果を考慮するために、実験参加者の半数は強調システムと描画システムを体験する順序を逆にして行った。

(3) アンケートへの回答

実験参加者に各システムの各条件を体験後に1回ずつ

表 1 スマホ利用者に対するアンケート結果
Table 1 Survey results for smartphone users.

	質問項目	比較条件	評価の分布					中央値	最頻値	有意確率
			1	2	3	4	5			
(1)	システムを操作しやすいと感じた	強調システム	0	2	1	10	1	4	4	0.755
		描画システム	0	1	5	4	4	4	3	
(2)	同一の空間を共有できていると感じた	強調システム	0	0	1	4	9	5	5	1.0
		描画システム	0	0	1	2	11	5	5	
(3)	指示内容を考えやすいと感じた	強調システム	0	0	3	7	4	4	4	0.157
		描画システム	0	0	1	7	6	4	4	
(4)	意図したとおりの表現ができると感じた	強調システム	1	2	3	6	2	4	4	0.163
		描画システム	0	2	2	5	5	4	4, 5	
(5)	細かな指示ができると感じた	強調システム	0	5	6	2	1	3	3	0.005*
		描画システム	0	0	2	7	5	4	4	
(6)	柔軟な指示ができると感じた	強調システム	0	4	4	5	1	3	4	0.007*
		描画システム	0	0	2	6	5	4	4, 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
 ・有意確率の計算には，ウィルコクソンの符号順位検定を使用し，検定は各条件の間で行った。
 ・*：有意差あり $p < 0.05$

最後に1回，計5回のアンケートを実施した。各条件へのアンケートは「スマートフォンを利用して指示を出す」と「VRを利用して指示を受ける」の2条件でのアンケートを強調システムと描画システムの両方で行った。各アンケートの評価項目は5段階のリッカート尺度（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）で回答理由を自由記述で回答してもらった。また，システムの比較アンケートは各質問項目で各システムを直接的に比較を行った。比較アンケートは以下の5件法（1. オブジェクトを強調する手法，2. わずかにオブジェクトを強調する手法，3. どちらも同程度，4. わずかに線を描画する手法，5. 線を描画する手法）で回答理由を自由記述で回答してもらった。

5. 実験結果と考察

5.1 スマートフォン利用者へのアンケートに対する考察

スマートフォン利用者に対するアンケートの結果を表1に示す。

(1) 操作しやすさに関する質問

表1(1)「システムを操作しやすいと感じた」に対する描画システム条件の5段階評価は中央値4，最頻値3という評価が得られた。また，システム間 ($p=0.755 > 0.05$) で有意差がみられなかった。描画システムへの肯定的な回答の理由として操作のシンプルさに対する言及が多くみられた。描画システムへの否定的な意見としてはVR空間での奥行の認識しづらさに対する言及がみられた。以上の結果から，操作のシンプルさが評価されたが，操作のしやすさに関して強調システムとの差はみられなかった。

(2) 空間の共有に関する質問

表1(2)「同一の空間を共有できていると感じた」に対する描画システム条件の5段階評価は中央値，最頻値ともに5という高評価が得られた。また，システム間 ($p=1.0 > 0.05$) で有意差がみられなかった。描画システムへの肯定的な回答の理由として相手が見え，情報がすぐ伝わったことに対する言及が多くみられた。また，これらの意見は事前実験におけるユーザの可視化に関する質問への意見でもみられた。以上の結果から，空間を共有する感覚に関して両システムに差はみられなかった。実空間の位置による仮想空間の提示によるユーザの可視化が空間を共有している感覚に影響を及ぼすと考えられる。

(3) 表現のしやすさに関する質問

表1(3)「指示内容を考えやすいと感じた」に対する描画システム条件の5段階評価は中央値，最頻値ともに4という評価が得られた。また，システム間 ($p=0.157 > 0.05$) で有意差がみられなかった。表1(4)「意図したとおりの表現ができると感じた」に対する描画システム条件の5段階評価は中央値4，最頻値4，5という評価が得られた。また，システム間 ($p=0.164 > 0.05$) で有意差がみられなかった。描画システムへの肯定的な回答の理由として，詳細な位置まで提示できることに対する言及がみられた。描画システムへの否定的な意見として，奥行を含めて線を描画することが難しいといった意見がみられた。以上の結果から，自由な位置で視覚的な表現が可能である点が評価させることが分かった。また，仮想空間上で奥行きを含めて3D空間上に線を描くことが困難であることが分かった。

表 2 VR 利用者に対するアンケート結果
Table 2 Survey results for VR users.

	質問項目	比較条件	評価の分布					中央値	最頻値	有意確率
			1	2	3	4	5			
(1)	意図するオブジェクトや位置が明確に分かった	強調システム	0	0	1	8	5	4	4	0.248
		描画システム	0	0	0	6	8	5	5	
(2)	同一の空間を共有できていると感じた	強調システム	0	0	1	4	9	5	5	0.257
		描画システム	0	0	0	3	11	5	5	
(3)	指示や表現が分かりやすいと感じた	強調システム	0	0	4	5	5	4	4, 5	0.166
		描画システム	0	0	1	6	7	4.5	5	
(4)	細かな指示がされていると感じた	強調システム	0	1	7	3	3	3	3	0.142
		描画システム	0	1	3	4	6	4	5	
(5)	柔軟な指示がされていると感じた	強調システム	0	2	5	4	3	3.5	3	0.065
		描画システム	0	0	2	6	6	4	4, 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
 ・有意確率の計算には，ウィルコクソンの符号順位検定を使用し，検定は各条件の間で行った。
 ・*：有意差あり $p < 0.05$

(4) 情報伝達の詳細さに関する質問

表 1 (5)「細かな指示ができると感じた」に対する描画システム条件の 5 段階評価は中央値，最頻値ともに 4 という評価が得られた。また，システム間 ($p = 0.005 < 0.05$) で有意差がみられた。描画システムへの肯定的な回答の理由として，「好きな場所に線を引くことができ，ピンポイントで特定の場所を指示できた」など自由な位置・形で情報を提示できることに関する言及がみられた。以上の結果から，自由な位置で視覚的な表現ができることが詳細に情報を伝えることにつながる要因となることが分かった。

(5) 情報伝達の柔軟性に関する質問

表 1 (6)「柔軟な指示ができると感じた」に対する描画システム条件の 5 段階評価は中央値 4，最頻値 4, 5 という評価が得られた。また，システム間 ($p = 0.007 < 0.05$) で有意差がみられた。描画システムへの肯定的な回答の理由として「線を書いて表現するので，できることは多いと感じた」や「自由に線が引けると，言葉とも合わせて様々な指示ができそうだと感じたため」など線を描くことによって表現できることの多さに関する言及が多くみられた。

以上の結果から，状況に応じて柔軟に表現を変え，情報が提示できることで表現可能な情報が増加し，自由に情報を作成・提示できることが情報伝達の柔軟性を向上させる要因となることが分かった。

5.2 VR 利用者へのアンケートに対する考察

VR 利用者に対するアンケートの結果を表 2 に示す。

(1) 表現の分かりやすさに関する質問

表 2 (1)「相手の意図するオブジェクトや位置が明確に分かった」に対する描画システム条件の 5 段階評価は中央値，最頻値ともに 5 という評価が得られた。ま

た，システム間 ($p = 0.248 > 0.05$) で有意差がみられなかった。表 2 (3)「指示や表現が分かりやすいと感じた」に対する描画システム条件の 5 段階評価は中央値 4.5，最頻値 5 という評価が得られた。また，システム間 ($p = 0.166 > 0.05$) で有意差がみられなかった。描画システムへの肯定的な回答の理由として視覚的に指示内容が表現されることに対する言及がみられた。描画システムへの否定的な意見として線の太さを調整することでより表現が分かりやすくなるといった意見がみられた。以上の結果から，有意差はみられなかったが両方のシステムは高い評価を得られた。さらに，線の太さを調整することでより表現が分かりやすくなることが考えられる。

(2) 空間の共有に関する質問

表 2 (2)「同一の空間を共有できていると感じた」に対する描画システム条件の 5 段階評価は中央値，最頻値ともに 5 という高評価が得られた。また，システム間 ($p = 0.257 > 0.05$) で有意差がみられなかった。描画システムへの肯定的な回答の理由として相手の状態や VR 空間，視覚的な表現の共有に対する言及がみられた。また，これらの意見は事前実験においてユーザの可視化に関する質問への意見でもみられた。

以上の結果から，空間を共有している感覚に関して両システムに差はみられず，視覚的な表現より，ボディトラッキングによる実空間のユーザ表示によるユーザの可視化が空間を共有している感覚に影響を及ぼすと考えられる。

(3) 情報伝達の細かさに関する質問

表 2 (4)「細かな指示がされていると感じた」に対する描画システム条件の 5 段階評価は中央値 4，最頻値 5 という高い評価が得られた。また，システム間 ($p = 0.142 > 0.05$) で有意差がみられなかった。描画シ

表 3 条件に対する比較アンケート結果

Table 3 Comparison survey results for conditions.

	質問項目	評価の分布					中央値	最頻値
		1	2	3	4	5		
(1)	どちらのシステムが操作しやすかったですか	1	3	1	6	3	4	4
(2)	どちらの指示が分かりやすかったですか	1	1	2	3	7	4.5	5
(3)	どちらが指示内容を考えやすかったですか	0	2	0	4	8	5	5
(4)	どちらが自由な情報伝達ができるか	0	0	0	3	11	5	5

・評価項目：1：オブジェクトを強調する手法，2：わずかにオブジェクトを強調する手法，3：どちらも同程度，4：わずかに線を描画する手法，5：線を描画する手法

システムへの肯定的な回答の理由として、詳細な位置まで表現して提示されることに関する言及がみられた。対してオブジェクトの強調では、表現と口頭の指示によって十分な指示ができることに関する記述がみられた。しかし、他の強調への意見では口頭のみ情報では分からないなどの否定的な意見がみられた。これにより、強調表現のみでは詳細な情報伝達が困難であると考えられる。以上の結果から、詳細な指示を受け取る際の情報伝達では有意差がみられなかったが、細かな位置で視覚的な表現ができる点が高い評価が得られた。また本実験では、表現と口頭で十分に指示ができたが、より言語化が困難な状況では描画が有用になることが考えられる。

(4) 情報伝達の柔軟性に関する質問

表 2(5)「柔軟な指示がされていると感じた」に対する描画システム条件の5段階評価は中央値4、最頻値4、5という高い評価が得られた。また、システム間(p=0.065>0.05)で有意差がみられなかった。描画システムへの肯定的な回答の理由として自由に線の描画ができ、場合に応じて表現を変えられることに関する言及がみられた。対して、強調への意見では口頭の指示も併用することで状況に対応できるという意見が得られた。以上の結果から、指示を受け取る際の情報伝達の柔軟性では有意差がみられなかったが、自由に表現により状況に応じて情報を作成・提示できる点などから高い評価が得られた。また、両システムにおいて有意差がみられなかった要因として、口頭の指示も併用したことがみられた。そのため、より多様な状況では描画が有用になることが考えられる。

5.3 条件に対する比較アンケートに対する考察

条件に対する比較アンケートの結果を表 3 に、描画システム条件の際にみられた線の描画の数例を図 8 に示す。実験タスクにかかった時間は強調システムが平均値は3分5秒、中央値は2分59秒(標準偏差65秒)、描画システムが平均値は2分32秒、中央値は2分23秒(標準偏差56秒)と描画システムが強調システムよりタスク完了時間が小さいという結果が得られた。

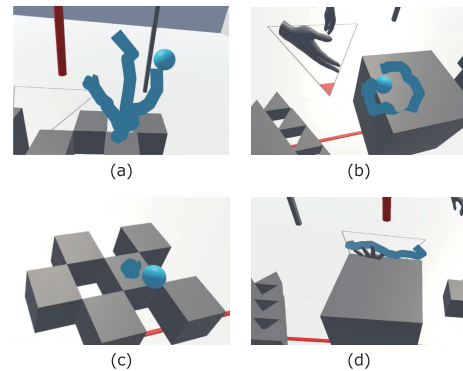


図 8 実験でみられた線の描画

Fig. 8 Drawing lines seen in experiments.

(1) システムの操作しやすさに関する質問

表 3(1)「どちらのシステムが操作しやすかったですか」に対する5段階評価は中央値、最頻値ともに4という評価が得られた。描画システムを評価した理由として、操作の自由度に関わる言及がみられた。対して、強調システムを評価した理由として、操作の少なさに関する言及がみられた。両者を同程度に評価した意見として、各々のシステムに使いやすい場面があることに対する言及がみられた。以上の結果から、細かな位置を提示する状況では描画システムがわずかに高い評価が得られた。しかし、他の点でシステムの操作のしやすさには大きな差はないと考えられる。

(2) 指示の受け取りやすさに関する質問

表 3(2)「どちらの指示が分かりやすかったですか」に対する5段階評価は中央値4.5、最頻値5という評価が得られた。描画システムを評価した理由として、細かな位置を表現できることに関する言及がみられた。両システムを同程度に評価した意見として、オブジェクト全体には強調表現が一部には描画表現が扱いやすいという言及がみられた。以上の結果から、描画表現が指示を受け取りやすく、細かな位置の表現によりオブジェクトの一部を強調できることが大きな要因であると分かった。

(3) 指示しやすさに関する質問

表 3(3)「どちらが指示内容を考えやすかったですか」対

する5段階評価は中央値、最頻値ともに5で描画システムが高い評価を得られた。描画システムを評価した理由として、詳細な位置の表現や表現の自由さに対する言及がみられた。以上の結果から、描画表現は詳細な位置の強調や矢印の描画など多くのことを表現できることで、指示をしやすくすると分かった。

(4) 情報伝達の自由度に関する質問

表3(4)「どちらが自由な情報伝達ができるか」に対する5段階評価は中央値、最頻値ともに5で描画システムが高い評価を得られた。描画システムを評価した理由として、線を自由な形で描画できることに関する言及が多くみられた。実際に実験のタスクにおいて、矢印を描く(図8(a))、円を描く(図8(b))、提示したい部分に点を描く(図8(c))、提示したい部分をなぞる(図8(d))など実験参加者が作成した様々な表現がみられた。このことからユーザの自由に提示情報を作成できることが分かり、描画を行った箇所に対して「ここに触れてください」や「このあたりに触れてください」などの指示が口頭で行われた。以上の結果から、線を描くことで様々な表現ができることが、情報伝達の自由度を向上させていることが分かった。

5.4 仮説に対する考察

5.4.1 仮説1に対する考察

仮説1の「細かな情報を伝えることができる」について身体動作による描画表現によって、細かな指示が可能になると分かった。表1(5)「細かな指示ができると感じた」、表3(4)「どちらが自由な情報伝達ができるか」に比較条件である強調システムとの有意差が認められ、また高評価が得られた。さらにアンケートの回答理由から、線を描画により自由な位置・形状で表現をできることが細かな情報伝達の実現につながったことも分かった。

5.4.2 仮説2に対する考察

仮説2の「情報伝達がより円滑になる」について表1(6)「柔軟な指示ができると感じた」、表3(2)「どちらの指示が分かりやすかったか」、表3(3)「どちらが指示内容を考えやすかったか」に比較条件である強調システムとの有意差が認められ、また高評価が得られた。これにより身体動作による描画表現によって、状況に対して柔軟な指示ができるという結果が得られた。情報伝達において柔軟に表現が可能なのは、指示を出す者が自身の得意な表現や分かりやすい表現を選択できることにつながると考えられる。さらに、表現を制限してしまうと相手に情報が伝わらなくなった場合、別の表現を用いて再度情報を伝えることができなくなるため、柔軟な表現を行うことは情報伝達において重要と考える。以上の結果から、状況への柔軟性の高さという面では情報伝達円滑になると分かった。さらにアンケートの回答理由から、自由な位置やオブジェクトの一部を強

調できることが情報伝達の円滑化につながると分かった。

6. おわりに

本論文では、ユーザ・空間の可視化と視覚的な表現を用いた現実空間からVR空間への情報伝達手法について述べた。ユーザ・空間の可視化に関して、仮想空間上に実空間ユーザの位置や体勢を提示し、スマートフォン上でVRユーザの位置と仮想空間を提示することで、双方の状況を共有している。また、視覚的な表現ではオブジェクト強調や描画表現によってユーザが自由に情報を提示、共有する。

事前実験によってユーザと空間を可視化することによってユーザ間の状況把握が、ユーザの可視化と視覚的な表現によって言語化が困難な情報の表現が可能であると分かった。本実験では事前実験の結果をもとに、「身体動作による描画表現」を用いた描画システムに対して比較実験を行った。本実験の結果では、身体動作によるオブジェクトの強調によって指定のオブジェクトを簡潔に提示でき、身体動作による描画表現によって、細かな情報を自由な表現で提示できると分かった。以上の知見から、本システムはユーザと空間の可視化や視覚的な表現によってユーザ間の状況把握や言語化が困難な情報の提示が可能であり、特定のオブジェクトの位置など簡潔な情報にはオブジェクトの強調、オブジェクトの一部など詳細な情報には描画を使い分けて利用することで、情報伝達が円滑になると考えられる。今後は、線の太さの調整や奥行き表現など視覚的な表現を改善するとともに、口頭の指示の影響の少ない状況など異なる環境での効果を検証していくことを目指す。

参考文献

- [1] Pietroszek, K. and Lin, C.C.: UniVResity: Face-to-Face Class Participation for Remote Students using Virtual Reality, *VRST '19: Proc. 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, No.97, pp.1–2, DOI: 10.1145/3359996.3364730 (2019).
- [2] 中本涼菜, 谷岡遼太, 吉野 孝: VRを用いた被災体験とその対策を繰り返すことによる防災教育システムの提案, 第16回情報処理学会関西支部支部大会, 情報処理学会関西支部大会講演論文集 G-28, pp.1–6 (2017).
- [3] 石丸敬登, 吉野 孝: 身体動作による描画を用いた現実空間からVR空間への情報伝達手法, 情報処理学会第206回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, No.7, pp.1–7 (2024).
- [4] Lee, H., Woo, D. and Yu, S.: Virtual Reality Metaverse System Supplementing Remote Education Methods: Based on Aircraft Maintenance Simulation, *Applied Sciences* 2022, Vol.12, No.5, pp.1–15, DOI: 10.3390/app12052667 (2022).
- [5] Scavarelli, A. and Teather, R.J.: VR Collide! Comparing Collision-Avoidance Methods Between Co-located Virtual Reality Users, *CHI EA '17: Proc. 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.2915–2921 (2017).
- [6] Kudo, Y., Tang, A., Fujita, K., Endo, I., Takashima, K. and Kitamura, Y.: Towards balancing VR immer-

- sion and bystander awareness, *Proc. ACM on Human-Computer Interaction*, No.484, Vol.5, pp.1–22, DOI: 10.1145/3486950 (2021).
- [7] Arora, R., Kazi, R.H., Grossman, T., Fitzmaurice, G. and Singh, K.: SymbiosisSketch: Combining 2D & 3D Sketching for Designing Detailed 3D Objects in Situ, *CHI '18: Proc. 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, No.185, pp.1–15 (2018).
- [8] Wacker, P., Nowak, O., Voelker, S. and Borchers, J.: ARPen: Mid-Air Object Manipulation Techniques for a Bimanual AR System with Pen & Smartphone, *CHI '19: Proc. 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, No.619, pp.1–12 (2019).
- [9] Surale, H.B., Gupta, A., Hancock, M. and Vogel, D.: TabletInVR: Exploring the Design Space for Using a Multi-Touch Tablet in Virtual Reality, *CHI '19: Proc. 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, No.13, pp.1–13 (2019).
- [10] Zhu, F. and Grossman, T.: BISHARE: Exploring Bidirectional Interactions Between Smartphones and Head-Mounted Augmented Reality, *CHI '20: Proc. 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.1–14 (2020).
- [11] 本信敏学, 吉野 孝: 実空間の点群情報を用いた空間接続表現の提案, 情報処理学会論文誌, Vol.63, No.1, pp.21–28 (2022).
- [12] 長谷川駿, 吉野 孝: ポータルを介した空間接続表現における被牽引感提示による対話相手の存在感の強化, 第27回社会情報システム学シンポジウム学術講演論文集, ISSN: 1882-9473, セッション3: キュレーションとエンゲージメント, pp.1–6 (2021).
- [13] Gugenheimer, J., Stemasov, E., Frommel, J. and Rukzio, E.: ShareVR: Enabling Co-Located Experiences for Virtual Reality between HMD and Non-HMD Users, *CHI '17: Proc. 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp.4021–4033, DOI: 10.1145/3025453.3025683 (2017).
- [14] Lyu, H., Vachha, C., Chen, Q., Pyrinis, O., Liou, A., Kumaravel, B.T. and Hartmann, B.: WebTransceiVR: Asymmetrical communication between multiple VR and non-VR users online, *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems Extended Abstracts*, No.313, pp.1–7, DOI: 10.1145/3491101.3519816 (2022).



石丸 敬登

2024年和歌山大学大学院システム工学研究科修了。在学時は仮想空間におけるユーザ体験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。本会シニア会員。