



多重化された VR 空間におけるコプレゼンス向上手法の検討

Investigation of a Method to Improve the Sense of Co-presence in Multiplexed VR Space

上平将裕¹⁾, 伴祐樹¹⁾, 割澤伸一¹⁾

Masahiro KAMIHIRA, Yuki BAN, and Shin'ichi WARISAWA

1) 東京大学 新領域創成科学研究科 (〒 277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5, kamihiramasahiro@lelab.t.u-tokyo.ac.jp, ban@edu.k.u-tokyo.ac.jp, warisawa@edu.k.u-tokyo.ac.jp)

概要: VR 空間において, 参加者が同じ空間を共有しているように見えながら, 実際には各自が異なる空間を知覚する「VR 空間多重化」技術は, ブレインストーミングでのアイデア生成を促進する可能性がある一方で, 共存在感 (コプレゼンス) を低下させる課題が指摘されている. 本稿では, VR 空間内に全参加者から常に共通して見えているオブジェクトを配置することにより, コプレゼンスの低下を抑制することを提案した. 実験の結果, 提案手法によるコプレゼンスの向上が確認されたが, その効果は限定的であり, 要因と解決策が考察された.

キーワード: バーチャルリアリティ, VR 会議, 共存在感, コプレゼンス

1. はじめに

近年, 新型コロナウイルス感染症の世界的流行を契機に, ビデオ会議等, 遠隔でのコミュニケーションやコラボレーションの重要性が高まっている. この社会的要請に応える技術の一つとして, バーチャルリアリティ (VR) が注目されている. VR 技術の発展により, 複数の参加者が同じ仮想空間を共有するコラボレティブ VR 環境が実現可能となり, 対面でのコミュニケーションに近い体験を提供することが期待されている.

このような VR でのコミュニケーションの可能性をさらに拡張する技術として, 「VR 空間多重化」が提案されている [1]. これは, 参加者がそれぞれ異なる仮想空間を知覚しながら, 同じ空間を共有しているように見える技術である (図 1). VR 空間多重化には, 以下のような重要なメリットがある: (1) アイデア生成の質の向上. ディスカッション中にアイデア生成に詰まったときに仮想空間を切り替えやすくなり, 結果として生成されるアイデアの質が向上することが確認されている [1]. (2) 個人化された最適空間の提供. 個人に最適化したリラックス空間を提供できる. 最適なリラックス空間の要件には個人差があることが知られている [2]. (3) インクルーシブな環境の創出. 感覚障害者に専用の空間を提示することで, 障害のない人々との共存を可能にする. このように, VR 空間多重化は現実に近い体験を提供する VR でのコミュニケーションに, さらなる付加価値を提供することができる. 特にブレインストーミングなどの創造的作業において, 各参加者が独自の視点や情報を持ちながら協働することを可能にし, アイデア生成の促進が期待されている.

しかし, VR 空間多重化には課題も存在する. 最も顕著な課題は, 参加者間の共存在感 (Co-presence, コプレゼン

ス) の低下である. コプレゼンスとは, 他の参加者と同じ空間にいるという感覚であり [3], 効果的な遠隔コラボレーションにとって重要な要素である [4]. コプレゼンスは VR 環境におけるコラボレーションやインタラクションのレベルを示す重要な指標となっており [3], その低下はグループワークの質に直接的な影響を与える可能性がある. VR 空間多重化によって各参加者が異なる空間を知覚することで, このコプレゼンスが損なわれる可能性が指摘されている [1].

本研究では, VR 空間多重化の利点を活かしつつ, コプレゼンスの低下を最小限に抑える手法を提案する. 具体的には, 仮想空間内に全参加者が常に共通して見えるオブジェクトを配置することで, 共有体験の基盤を提供し, コプレゼンスの維持を図る.



図 1: VR 空間多重化の様子. 2 人の参加者が VR 体験を共有しているとき, 1 人目の参加者からは 2 人が会議室にいるように見えているのに対し, 2 人目の参加者からは 2 人が森にいるように見えている.

2. 手法

本稿では, 先行研究 [1] で実際にコプレゼンスの低下が確認された, ディスカッションの場面を対象とする. また, VR 空間多重化によりアイデア生成を補助するために, 仮想空間の切り替えを可能にした状態を想定する. このような場面では, アイデア出しに際して仮想空間に意識が向き,

VR空間多重化によって別々の空間が提示されていることが強調されやすいため、コプレゼンスの低下が見られやすいと考えられる。また、参加者らの状態としては、複数人が向き合って座っており、移動やオブジェクトとのインタラクションはないような状態とする。

VR空間多重化の最大の特徴は、参加者間で同時に見ているものが異なるという点であり、それ以外では通常の状態との差異はない。そのため、この見ているものが異なるという感覚が、コプレゼンスの低下を引き起こすと考えられる。そこで本稿では、参加者全員の仮想空間内に、常に共通して見えているオブジェクトを置くことによりコプレゼンスを維持する手法を提案する。このオブジェクトは、全員の参加者から常に同じ見たと位置で配置されており、仮想空間が切り替えられても変化しない。

提案するオブジェクトの要求機能として、以下の3つを考える。(1) 使用される仮想空間のすべてに対して、1つの空間としての整合性を損ねず、違和感を生じさせないこと。特に、大きいオブジェクトでは多種多様な空間に適合させることが難しくなる。(2) ディスカッション中に参加者らの意識に入ること。オブジェクトが小さすぎたり、見つけにくい場所に位置していたりすると不適切である。(3) ディスカッションに際して視界の妨げにならないこと。ディスカッション相手を遮る場所に位置していたり、必要な情報(ディスカッションであればアイデアが表示されるパネル等)を隠してしまっていたりすると不適切である。以上の3点を考慮し、「机の上に置かれる、植木鉢に植えられたプランタ」を、配置するオブジェクトとして採用する。

3. 実験

提案手法がコプレゼンスの低下を抑制する効果を持つか調査するために、VR会議を模擬した2人1組のブレインストーミング実験を実施した。視覚・聴覚に疾患や障碍のない22歳から27歳の12名の参加者(男性11名、女性1名、平均年齢24.1)を募り、6グループに対して実験を行った。参加者らのVR経験は、10時間未満が58.3%、10-100時間が16.7%、100時間以上が25.0%であった。

3.1 実験デザイン

実験は、VRプラットフォームであるVRChat¹を用いて実施した。参加者らは実験環境の統制のため1つの部屋に集められ、あらかじめ配置された椅子に向かい合うように座り、HMD(Meta Quest 2)と付属のコントローラを使用して、VRChatの仮想空間内でブレインストーミングを行った。実験中の参加者らのアバタには、性別や年齢によらず同一の標準的なロボットアバタを使用した。

実験条件として、仮想空間が多重化されていない“多重化なし条件”と、仮想空間が多重化されている“多重化あり条件”、多重化あり条件に前章で述べたオブジェクトを追加した“共通オブジェクト条件”の3つを設定した。また、ブレインストーミングのテーマとして、「観察日記を楽しく続

けられるためのアイデアを考える」、「地域活性化のためのお祭りやイベントのアイデアを考える」、「SNSで注目を集めるユニークな投稿のアイデアを考える」の3つを用意した。実験は被験者内計画で行われ、3つの条件と3つのテーマがカウンターバランスをとって提示された。

仮想空間は、遊園地、聖堂、都市、教室、会議室、森、旅館、図書館、リビング、美術館、海辺、雪原の12種類を用意した。すべての仮想空間には、1つの机と2つの椅子が配置された。机と椅子の高さや配置は、現実空間のものと同じになるように調整された。そのため、参加者2人の位置関係は、現実空間と仮想空間で同一であった(図2)。なお、参加者らは実験中常に座った状態で、所定の位置から動くことはできなかった。そのほか、無地の部屋に机と椅子だけを配置した仮想空間も用意した。この仮想空間は、説明の際に提示する空間として作成されたものであるため、切り替えの選択肢には含まれていなかった。また、海辺の空間の水面を除き、仮想空間内に動きを持つものはなかった。仮想空間内に、ブレインストーミングのテーマ、およびブレインストーミング中に参加者らによって出されたアイデアを表示するためのパネルが配置された。

仮想空間の切り替えは、右側のコントローラの特定のボタンを操作することで表示されるパイメニューによって行われた。参加者らはコントローラを使って、ブレインストーミング中いつでも好きなように仮想空間を切り替えることができた。この仮想空間の切り替えを、参加者間で同期させたものが多重化なし条件、非同期にしたものが多重化あり条件および共通オブジェクト条件ということになる。なお、説明中および各条件開始後最初に参加者が仮想空間を切り替えるまでは、無地の仮想空間が提示されていた。いずれの条件でも、仮想空間の切り替えによって各参加者のアバタおよびパネルの外見や位置が変わることはなかった。

共通オブジェクト条件で配置された共通オブジェクトは、前章で述べた要求機能を満たすように配置された。すなわち、植木鉢に植えられたプランタが、すべての仮想空間で机の上の特定の箇所に配置された。詳細は図3に示す通りである。参加者らからは、仮想空間を切り替えても、プランタだけは常に同じ見たと目で同じ場所にあり続けているように見えた。参加者の間でも、見えているプランタの外見や位置に違いはないようにした。なお、共通オブジェクト条件開始後最初に参加者が仮想空間を切り替えるまでは、無地の仮想空間内にプランタが提示された。

3.2 実験手順

参加者らは部屋に到着後、指定された席に着き、性別、年齢、VR経験を問う事前アンケートに回答した。続いて、実験手順や操作方法の説明を受けた。参加者らは実験条件についての説明も受け、多重化なし条件を「参加者間で仮想空間が共有されている条件」、多重化あり条件を「参加者間で仮想空間が共有されていない条件」、共通オブジェクト条件を「多重化あり条件に、仮想空間を切り替えても共通して変化しないオブジェクトが追加された条件」として、そ

¹<https://hello.vrchat.com/>



図 2: 実験の様子。一番左が現実空間での様子で、残りが仮想空間（左から会議室、教室、海辺）での様子を示す。仮想空間の奥に映っているのがパネルである。現実空間と仮想空間で参加者同士の位置関係は同一であったほか、すべての仮想空間で、参加者らの間に現実空間に置かれた机と同程度の高さの机が置かれていた。

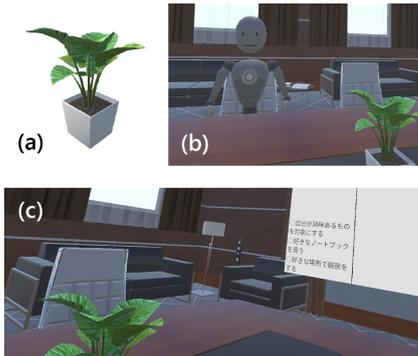


図 3: 共通オブジェクトの詳細。外観は、(a) のような植木鉢に植えられたプランタであった。(b) と (c) は共通オブジェクト条件時に参加者の 1 人から見た光景を表す。要求機能を満たすため、(b) 参加者らの間の相手を遮らない位置で、かつ (c) パネルには被らないがパネルを見たときに視界に入るような位置に配置された。

それぞれの条件の特徴を伝えられた。

説明の後、5 分間の操作練習が行われた。ここで、参加者らは用意されたすべての仮想空間を体験するとともに、多重化なし条件、多重化あり条件の双方における切り替え操作を練習した。同時に、参加者同士で自己紹介を行うアイスブレイクも行った。

アイスブレイクの終了後、どの条件で実験を行うかが告知された後に、12 分間のブレインストーミングが開始された。実験中、参加者らによって提案されたアイデアは、Korte らの実験デザイン [5] に倣い、仮想空間に置かれたパネルに実験者によって記録された。ブレインストーミングの終了後、参加者らは HMD を外して実験アンケートに答えた。その後、2 分間の休憩をとったのち、条件とテーマを変更して再度ブレインストーミングを開始した。これを、3 つの条件・テーマを一度ずつ実施するまで繰り返した。三度目のブレインストーミングの終了後、参加者らは実験全体を通した自由記述形式のアンケートに回答し、実験は終了した。アンケートにはすべて Google フォームを使用し、参加者らは各々 iPad を用いてアンケートに回答した。実験の総所要時間は約 90 分であった。

3.3 評価

7 段階リッカート尺度のアンケートにより、参加者が実験中に感じたコプレゼンスおよび一体感（2 項目、Task cohesion

と Social cohesion）を測定した。アンケートには、先行研究で使用されていた質問文 [6, 7] を和訳して使用した。また、VR 空間多重化により向上効果があることが報告されていた [1]、仮想空間の切り替えとアイデア生成のパフォーマンスが提案手法によって影響を受けていないかを確認するため、仮想空間の切り替え回数と生成されたアイデアの数を測定した。さらに、自由記述形式のアンケートにより、参加者らが条件を比較して感じたことを収集した。

3.4 結果

アンケート項目について、結果の箱ひげ図を図 4 に示す。Friedman 検定を行ったところ、一体感の 2 項目ではいずれも条件間で有意差は見られなかった（Task cohesion: $\chi^2(2) = 3.32, p = 0.19$; Social cohesion: $\chi^2(2) = 0.057, p = 0.97$ ）一方で、コプレゼンスでは有意差が確認された（ $\chi^2(2) = 10.98, p = 0.0041$ ）。そこで、コプレゼンスのみ、下位検定として、Benjamini-Hochberg 法による補正の下、各条件間で Wilcoxon の符号順位検定を実施した。その結果、いずれの条件の間にも有意差が確認され、効果量は中～大程度であった（多重化なし-多重化あり: $Z = 3.10, p = 0.0058, r = 0.63$; 多重化なし-共通オブジェクト: $Z = 2.38, p = 0.025, r = 0.49$; 多重化あり-共通オブジェクト: $Z = 2.02, p = 0.042, r = 0.41$ ）。

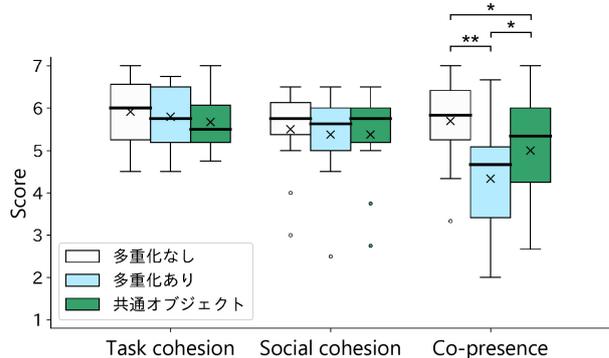


図 4: 一体感の 2 項目およびコプレゼンスのアンケート結果の箱ひげ図 (*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$)。四分位点から 1.5 倍以上離れたデータを外れ値としている。

仮想空間の切り替え回数については、Shapiro-Wilk 検定にて正規性が認められなかったため Friedman 検定を行ったところ、条件間で有意差が確認された（ $\chi^2(2) = 13.38, p = 0.0012$ ）。そこで、下位検定として、Benjamini-Hochberg

法による補正の下、各条件間で Wilcoxon の符号順位検定を実施したところ、多重化あり条件と共通オブジェクト条件の間でのみ有意差が確認されず、その他の条件の組み合わせでは有意差が確認された（多重化なし-多重化あり: $Z = 2.97, p = 0.0058, r = 0.61$; 多重化なし-共通オブジェクト: $Z = 2.88, p = 0.0058, r = 0.59$; 多重化あり-共通オブジェクト: $Z = 1.47, p = 0.14, r = 0.30$ ）。

生成されたアイデアの数については、Bhagwatwar ら [8] に倣い、GLM ANOVA で Poisson 分布に従うという仮定の下解析を行ったところ、条件間で有意差は見られなかった ($\chi^2(2) = 0.73, p = 0.69$)。

3.5 考察

今回の結果からは、共通オブジェクトの存在が VR 空間多重化の持つ利点、すなわち仮想空間の切り替えやアイデア生成パフォーマンスに与える影響は確認できなかった。アンケート項目の結果からは、VR 空間多重化がコプレゼンスを低下させることが再確認された一方で、仮想空間内の共通オブジェクトの存在により、VR 空間多重化を実施した状態でコプレゼンスが向上することが確認された。共通オブジェクトでコプレゼンスが向上した要因としては、共通オブジェクトによって何かを共有している感覚が生じたことや、共通オブジェクトが話題の起点になったといったことが考えられる。この点においては、共通オブジェクトは仮説通りの効果を持っていたといえる。

しかし、共通オブジェクト条件でのコプレゼンスは多重化なし条件より有意に低かった。つまり、提案手法は VR 空間多重化によるコプレゼンスの低下を部分的に抑制したものの、多重化なし状態と同等のレベルまでは向上させられなかった。自由記述回答では、「共通オブジェクトへの注意が時間経過で薄れていき、あまり意識に入らなくなった」という意見があり、共通オブジェクトが生じさせた共有感覚は、総合的にはあまり大きくなかったと考えられる。

改善策として、例えば、共通オブジェクトが時間とともに変化していくようにすれば、常に参加者らの注意を引き付け、コプレゼンス向上への寄与をより高められる可能性がある。

また、多重化あり条件の課題として、参加者らから「自分が見ている空間を話題にしにくい」「話し始めた相手がどの空間から発想を得ていたのか分からない」といった意見が聞かれた。これらがコプレゼンス低下の主因である場合、共通オブジェクトだけでは解決策として不十分である可能性がある。むしろ、コプレゼンスの低下はあくまでこれを受けた結果に過ぎず、真に解決すべき課題は VR 空間多重化が空間からの話題提供を妨げていたことかもしれない。その場合、この課題の解決が、発話のしやすさを維持し、結果的にコプレゼンスの低下も抑制すると考えられる。

そのための具体的な解決策として、相手がいる空間を一目で分かるようにすることや、相手のいる空間に即座に切り替えられるようにすることが考えられる。これにより、VR 空間多重化の利点を保ちつつ、円滑なコミュニケーション

とコプレゼンスの向上が期待できる。

4. おわりに

本稿では、VR 空間多重化がもたらすコプレゼンス低下という課題に着目し、その解決手法を検討した。提案した、「仮想空間に共通したオブジェクトを配置する」という手法は、コプレゼンスの低下を部分的に抑制したものの、VR 空間多重化のない状態と同等のレベルまでは向上させられず、課題の完全な解決には至らなかった。

しかし、本実験を通じて、コプレゼンス低下の根底にある新たな課題が明らかになった。それは、VR 空間多重化によって参加者が自身の見ている空間を話題にしづらくなるという課題である。今後の方針としては、この新たに浮き彫りになった課題に焦点を当て、VR 空間多重化の下でも空間を話題にしやすくし、発話を促進できるようにするための手法を検討する。

参考文献

- [1] Masahiro Kamihira, et al. Multiplexed VR: Individualized multiplexing virtual environment to facilitate switches for group ideation creativity. In *Proceedings of AHs '24*, pp. 168–180, 2024.
- [2] Susanna Pardini, et al. The role of personalization in the user experience, preferences and engagement with virtual reality environments for relaxation. *IJERPH*, Vol. 19, No. 12, p. 7237, 2022.
- [3] Juan Casanueva and Edwin Blake. The effects of group collaboration on presence in a collaborative virtual environment. In *Proceedings of EGVE 2000*, pp. 85–94. Springer, 2000.
- [4] Nanda Amalia Putri, et al. Exploring co-presence in virtual work: A literature review. *PERSPEKTIF*, Vol. 12, No. 4, pp. 1261–1273, 2023.
- [5] Elsbeth De Korte, et al. Effects of meeting room interior design on team performance in a creativity task. In *Proceedings of EHAWC 2011*, pp. 59–67, 2011.
- [6] Mel Slater, et al. Small-group behavior in a virtual and real environment: A comparative study. *Presence*, Vol. 9, No. 1, pp. 37–51, 2000.
- [7] Sally A Carless and Caroline De Paola. The measurement of cohesion in work teams. *Small group research*, Vol. 31, No. 1, pp. 71–88, 2000.
- [8] Akshay Bhagwatwar, et al. Contextual priming and the design of 3d virtual environments to improve group ideation. *Information Systems Research*, Vol. 29, No. 1, pp. 169–185, 2018.