

LayerLens: 複数の Virtual Reality 空間を用いた空間編集のための可視化手法とその評価

斎藤 翼^{1,a)} 井尻 敬¹

概要：複数の異なる Virtual Reality (VR) 空間を比較したい場合、テレポートで VR 空間を移動する方法や複数の VR 空間を 3 人称視点で俯瞰する方法が存在する。しかし、テレポートでは複数の空間を同時に見ることが難しく、3 人称視点では比較する空間の大きさを正確に把握することは難しいという問題がある。そこで本研究では、VR 環境において、複数の空間を比較・編集できるユーザインタフェース『LayerLens』を提案する。LayerLens は四角い窓状のオブジェクトで、ユーザがいる VR 空間とは異なる VR 空間を窓内に可視化する。ユーザは LayerLens で可視化される空間に配置されたオブジェクトを編集することも可能である。提案手法の有用性を確認するため、提案手法またはテレポートを用いて複数空間を比較・編集するユーザスタディを実施した。結果、提案手法は複数の空間を参照しながら空間編集を行うタスクに適している可能性が示唆された。一方、提案手法で可視化される空間は部分的であるため、空間全体の様子を観察することが難しい可能性も示唆された。加えて、提案手法の活用例として、複数の空間を用いて部屋のレイアウトを行うアプリケーションとパズルゲームを作成した。

1. はじめに

VR 技術は、ゲーム等のコンテンツ体験だけでなく、3D 空間の編集にも活用されている。例えば、VR 空間を複数人で制作できるゲーム [1] や、VR 空間を複数人で編集する手法に関する研究 [2] が発表されている。また、実空間の物体に合わせた VR 空間内のオブジェクト配置を支援する手法 [3] も研究されている。

VR 環境での空間編集には、ユーザが編集する空間に入りこみ、その空間の大きさや雰囲気を確認しながら直接編集を行えるという利点がある。一方で、ユーザは編集対象の空間に入ってしまうため、複数の編集候補や編集前後の空間を比較しながら編集作業を行うことは難しい。VR 環境において複数の異なる空間を比較するには、テレポートで空間を移動する方法や、複数の空間を 3 人称視点で俯瞰する方法がある。しかし、テレポートでは複数の空間を同時に見ることが難しく、3 人称視点では比較する空間の大きさを正確に把握することが難しいという問題がある。

本研究では、VR 環境において複数の空間を比較・編集できる手法の実現を目的とし、マジックレンズ型のインターフェース『LayerLens』を提案する。LayerLens は、四角い窓状のオブジェクトで、ユーザがいる空間と同じ座標上

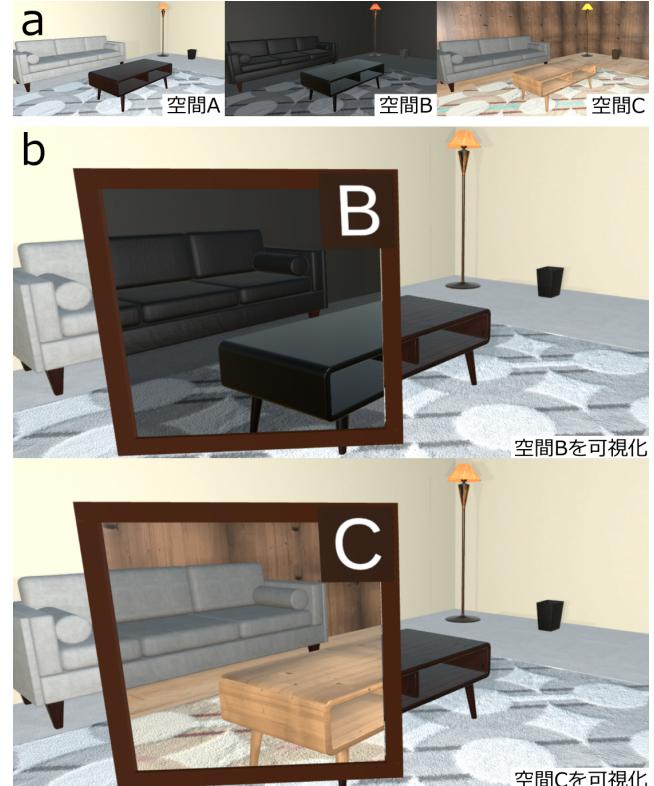


図 1 LayerLens による可視化。同じ座標系に 3 つの空間 (a) が存在し、ユーザは空間 A にいる。空間 A には LayerLens が配置され、表側には空間 B が、裏側には空間 C が表示される (b)。

¹ 芝浦工業大学
a) ma22066@shibaura-it.ac.jp

に存在する別の空間をレンズ内部に可視化する（図 1）。また、LayerLens は、レンズ内のオブジェクトの位置・姿勢・テクスチャを編集できる機能も提供する。LayerLens を使用すると、ユーザは現在いる VR 空間とレンズ内の VR 空間を同時に観察しながら、これらの空間を編集できる。

提案手法の有用性を確認するため、提案手法とテレポートを比較するユーザスタディを実施した。ユーザスタディにおいて、実験協力者は、複数空間を比較するタスクと、複数空間を観察し編集するタスクを、LayerLens とテレポートを用いて実施した。結果、提案手法は複数の空間を参照しながら空間編集を行う作業に適している可能性が示唆された。また、LayerLens の活用例として制作した模様替えアプリケーションとパズルゲームを紹介する。

2. 関連研究

複数の VR 空間を同時に可視化する手法が提案されている。Chiu-Hsuan らは、ユーザを中心とする扇形の形状に VR 空間を切り取ることで、1 つの空間に複数の VR 空間を可視化する手法 Slice of Light を提案した [4]。この研究では、同じ実空間内にいる複数のユーザが異なる VR 空間で作業をしている状況を想定し、あるユーザに他のユーザの VR 空間の様子を可視化・共有するアプリケーションが提案された。増子らは、VR 空間に複数の視点を配置し、ユーザが頭を向ける方向を変化させることで自身の存在する空間を切り替えられる手法 Turn Teleport を提案した [5]。Jonas らは、VR 空間に複数の視点を配置し、すべての視点から得られるレンダリング映像を重ね合わせて表示することで、複数視点を同時に認識し各視点の空間とインタラクションできる OVRLap を提案した [6]。

レンダリング映像のみで生成された VR 空間と、実空間に仮想オブジェクトを提示する Mixed Reality (MR) 空間の両者を同時に扱う Cross Reality 環境において、MR 空間と VR 空間の両者を可視化する手法が研究されている。Uwe らは、VR 空間と MR 空間を滑らかに切り替えるスライダー型のインターフェースを提案した [7]。Robbe らは、VR 空間と MR 空間が存在する状況において、一方の空間に置かれたレンズによりもう一方の空間を観察し、レンズを通してオブジェクトを別の空間に移動できる手法を提案した [8]。

VR 空間の一部に実空間を重ねて、または、実空間の一部に VR 空間を重ねて可視化する手法も研究されている。Mark らは実空間の映像を VR 空間に重ねることで [9]、Chiu-Hsuan らは実空間の映像を映す球状のレンズを VR 空間に提示することで [10]、VR 体験中に実空間とのインタラクションを行う手法を提案した。また、実空間に配置された実物体に仮想空間を重ねて可視化することで、実空間上で仮想空間とのインタラクションを行う手法も複数提案されている [11][12][13]。

これらの手法では、複数の VR 空間、VR 空間と MR 空間、VR 空間と実空間、の同時可視化が実現されている。しかし、これらの手法では、複数の VR 空間を比較し編集する方法については論じられていない。

3. 提案手法

本研究では、複数の VR 空間を比較しながら編集できる手法の実現を目的とし、マジックレンズ型のインターフェース『LayerLens』を提案する。LayerLens は四角い窓状のオブジェクトで、コントローラを用いて移動でき、レンズ内のオブジェクトの編集作業も行える。

3.1 複数 VR 空間の可視化

本研究では、ある空間の編集前後の比較や、同じ空間に異なるオブジェクトを配置した場合の比較といった、同じ座標系に複数の似た VR 空間が存在する状況を仮定する（図 1a）。この状況において、LayerLens は、ユーザがいる空間とは異なる VR 空間を覗いた映像をその枠内に可視化する、これにより、現在いる VR 空間に LayerLens を重ねることで、編集前後の様子や異なるオブジェクトを配置した様子などを簡単に比較できる。また、LayerLens は、表と裏に異なる VR 空間を提示する。これにより、1 つのレンズで 2 つの空間を可視化できる（図 1b）。

LayerLens は、一度に複数の空間をレンダリングすることで実装できる。具体的には、ユーザのいる空間 A の他に可視化用の空間 B を用意し（図 2a）、シーンをレンダリングする際に、空間 A と空間 B の両方をレンダリングする（図 2b）。その後、空間 A の映像をユーザの視点に表示し、空間 B の映像をレンズの枠内に表示する（図 2c）。

3.2 LayerLens 越しのオブジェクト編集

複数の VR 空間を比較しながら編集できると、効率的な空間編集が可能になると考えられる。そのため、LayerLens は、オブジェクトの移動と回転、マテリアル変更、空間入れ替え、属性コピー、といった複数の空間編集機能を提供する。以下ではユーザのいる空間を空間 A、LayerLens 内の空間を空間 B と表記する。

- **オブジェクトの移動と回転（図 3a）：** ユーザが、コントローラから投射されるレイにより VR 空間内のオブジェクトを選択し、コントローラを動かすことで、そのオブジェクトを移動できる。また、コントローラの『回転ボタン』を長押しすることでオブジェクトを回転させることができる。この機能は空間 A のオブジェクトだけでなく、レンズ越しに観察できる空間 B のオブジェクトにも利用できる。
- **マテリアル変更（図 3b）：** レイによりオブジェクトを選択し、コントローラの『マテリアル変更ボタン』を押すとそのオブジェクトのマテリアルを変更できる。

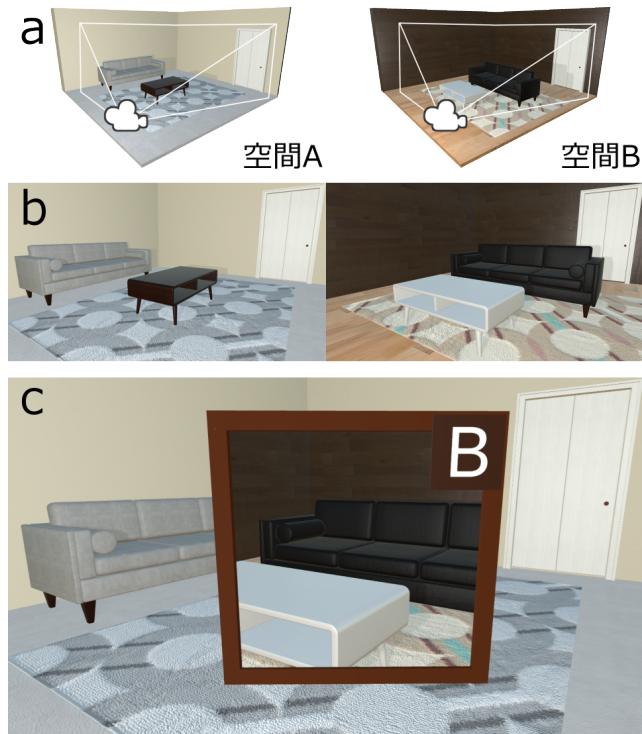


図 2 ユーザがいる空間 A と可視化用の空間 B には、1つずつカメラが用意されている (a)。それぞれのカメラで各空間の映像がレンダリングされ (b)，ユーザの視点には空間 A が，レンズには空間 B が可視化される (c)。

この機能も空間 AB 両方に対して利用できる。

- **空間入れ替え（図 3c）：** 空間 A と空間 B に共通したオブジェクトが存在する場合に、空間 A のオブジェクトと空間 B のオブジェクトを入れ替える機能である。ユーザが、LayerLens 内の空間 B のオブジェクトをレイにより選択し、コントローラの『入れ替えボタン』を押すと、空間 A のオブジェクトが空間 B に、空間 B のオブジェクトが空間 A に移動する。
- **属性コピー（図 3d）：** 空間 A と空間 B に共通したオブジェクトが存在する場合に、空間 B のオブジェクトの属性（位置・姿勢・マテリアル）を、空間 A のオブジェクトにコピーする機能である。ユーザが、レイにより空間 B のオブジェクトを選択し、コントローラの『属性コピーボタン』を押すと、空間 B のオブジェクトの属性が空間 A のオブジェクトにコピーされる。

4. ユーザスタディ

提案手法の有用性を確認するため、複数の VR 空間の比較・編集作業に関するユーザスタディを実施する。本ユーザスタディでは、複数の VR 空間を観察する際に利用される最も基本的な手法であるテレポートと提案手法を比較する。テレポートでは、ユーザがコントローラのボタンを押すと、表示される VR 空間が切り替わるものとする。

ユーザスタディを実施するにあたり、次の仮説を立てる。
(i) 『テレポートに比べ提案手法を利用した方が、複数空間

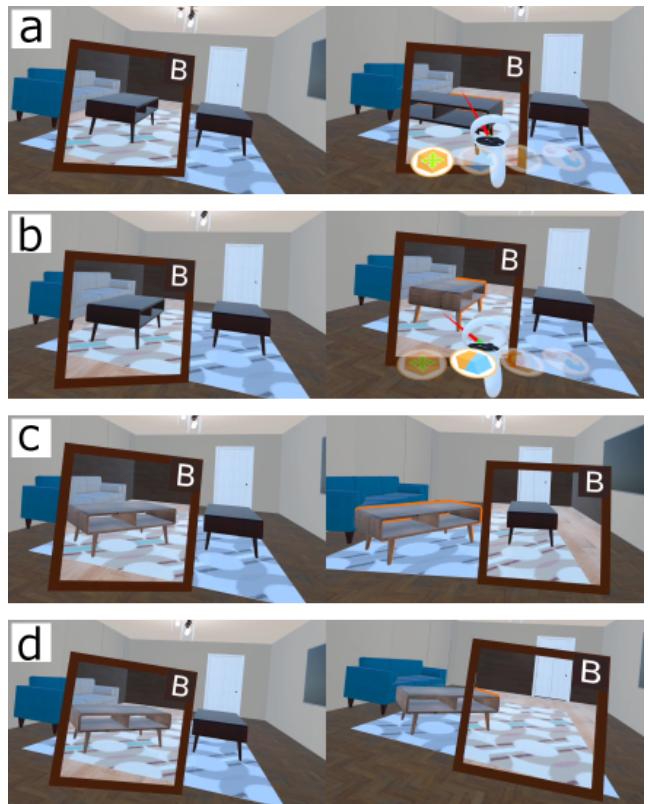


図 3 空間編集を行う前の空間（左）と編集後（右）の様子。LayerLens はオブジェクトの移動と回転 (a)，マテリアル変更 (b)，空間入れ替え (c)，属性コピー (d)，といった編集機能を提供する。(c) は空間 A と空間 B のテーブルを入れ替えた例であり、(d) は空間 B のテーブルの属性を空間 A のテーブルにコピーした例である。

を比較しやすい。』 提案手法ではユーザの視点に 2つの空間を可視化することで、比較に必要な情報を同時に提示できるため、複数の空間を比較しやすいと考えられる。(ii) 『テレポートに比べ提案手法を利用した方が、他の VR 空間を参考にした空間編集を行いやすい。』 提案手法では編集作業を行いながら別の空間を観察できるため、空間全体を切り替える必要のあるテレポートよりも、他の VR 空間を参考にした空間編集作業を行いやすいと考えられる。

4.1 実験手順

実験協力者は、後述する比較タスクと編集タスクを、提案手法とテレポートの 2種類の手法を用いて実施する。なお、提案手法とテレポートを利用する順序は偏りがなくなるように実験協力者ごとに変化させる。また、実験協力者は、各タスクの終了後、そのタスクに関するアンケートに回答し、最後に、システムのユーザビリティを測る System Usability Scale (SUS) に回答する。

4.2 比較タスク

比較タスクは、3つの異なる部屋を比較して質問に回答するタスクである。このタスクでは、家具や壁紙などが変

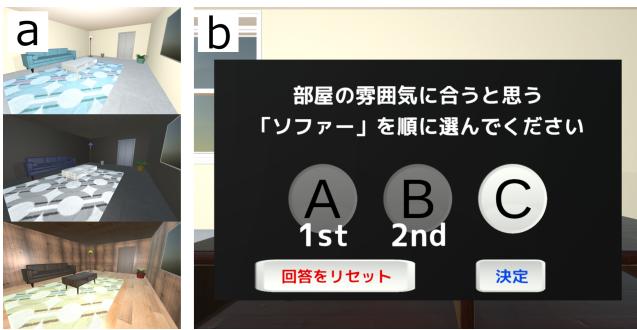


図 4 比較タスクの例。ユーザは、3種の部屋を観察し (a)，これらを順序付けする質問に回答する (b)。

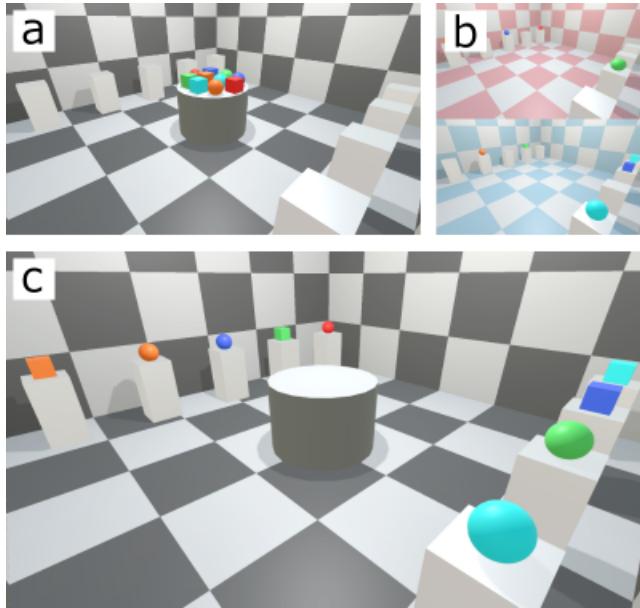


図 5 編集タスク。編集用の空間 (a) のオブジェクトを、手本となる 2つの空間 (b) に従って、正しい位置に配置する (c)。

化した3つの部屋がVR空間として提示され、実験協力者は質問に応じて3つの空間に順序付けを行う。質問内容は3つ空間に共通して存在する要素について好みを問うもので、解答にはVR空間内に提示されたパネルを利用する。具体例を図4に示す。

ユーザはまず、提案手法とテレポートの使い方の説明を受けながら、練習用の3種の空間を観察して3個の質問に回答する練習タスクを実施する。続いて、計測用の3種の空間を観察して10個の質問に回答する計測タスクを実施する。このタスクで確認したいのは比較結果ではなく比較の行きやすさであるため、ここでは10個の質問に回答するのにかかった時間を計測する。

4.3 編集タスク

編集タスクは、編集用のVR空間(図5a)を、2つの手本となるVR空間(図5b)に従って編集するタスクである。タスク開始時、編集用の空間には複数のオブジェクト(青・緑・赤・橙・水色の球と立方体)が中央のテーブルに配置され、手本となる空間には各オブジェクトを移動すべ

き場所が示される。実験協力者は、手本となる空間にあるオブジェクトの色と形状を参考に、編集空間内にあるオブジェクトを正しい場所に配置する(図5c)。

ユーザはまず、オブジェクトの移動方法の説明を受けながら、3個のオブジェクトを配置する練習タスクを実施する。続いて、計測用の空間を用いて10個のオブジェクトを配置する計測タスクを実施する。実験協力者は全てのオブジェクトを配置できたと判断した時点で終了ボタンを押し、タスクが終了する。この編集タスクでは、タスク開始時から終了ボタンを押すまでにかかった時間を計測する。

5. 結果と考察

工学系の大学生6名の協力のもとユーザスタディを実施した。実験協力者は過去に数回のHMD使用経験があった。

5.1 比較タスク

比較タスクに関して「複数空間を比較しやすかったか」という質問に5段階のリッカート尺度で回答してもらった結果を図6に示す。この結果より、提案手法を利用するよりテレポートを利用した方が複数の空間を比較しやすいと感じた実験協力者が多い傾向があることがわかる。これは仮説(i)に反するものである。実験協力者から、テレポートの方が部屋の全体像を見ることができた、という意見が多数あり、空間全体を観察して比較を行いたいユーザには、空間の一部を表示する提案手法は不十分であった可能性が考えられる。また、レンズの外側から別の部屋が見えてしまい全体を比べにくいというコメントもあった。レンズの大きさを可変にする・レンズ内に顔を近づけてのぞき込むようにするなどして、没入感の高い複数VR空間可視化を実現することが今後の課題となると考えられる。

タスクにかかった時間を図7に示す。提案手法とテレポートについて、タスクにかかった時間に有意な差は観察されなかった。提案手法では2つの空間を同時に比較することができるが、レンズ内に空間全体を映すことは難しく、空間全体の様子を観察するのに時間がかかったと考えられる。

5.2 編集タスク

編集タスクに関して「複数空間を参考にした編集がしやすかったか」という質問に5段階のリッカート尺度で回答してもらった結果を図8に示す。対応のあるt検定の結果、提案手法とテレポートのスコアの間に有意な差が確認された。これより、ユーザは、提案手法を利用した方がテレポートを利用するよりも複数の空間を参考にした空間編集がしやすいと感じることが分かった。また、実験協力者より、テレポートでは現在自分がいる空間が把握しづらい、提案手法では作業する空間が固定されていてわかりやすい、という意見が多数挙げられた。これより、提案手法

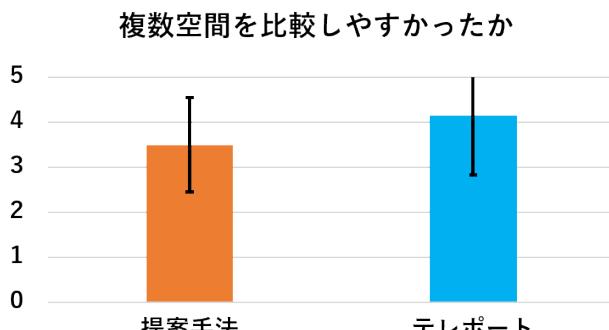


図 6 比較タスクのアンケート結果.

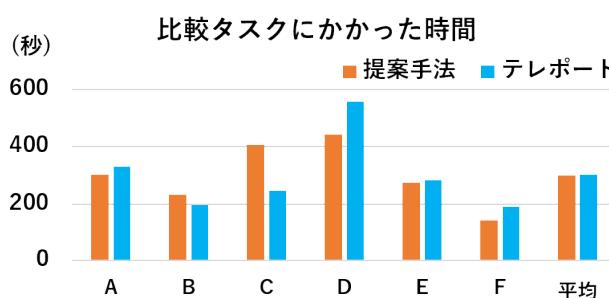


図 7 比較タスクにおける実験協力者 A-F のタスク完了時間とその平均.

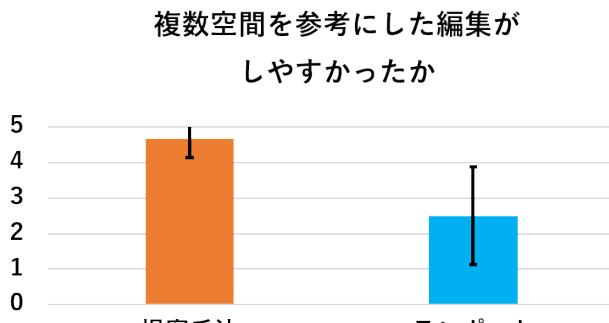


図 8 編集タスクのアンケート結果.



図 9 編集タスクにおける実験協力者 A, C-F のタスク完了時間とその平均.

は、自分がいる空間を変更せずに他の空間を見る必要がある作業に適していると考えられる。

編集タスクの完了時間を図 9 に示す。ただし、実験協力者のうち 1 名が提案手法を用いたタスクにおいて、手本となる空間の片側に設置されているオブジェクトに気づかず

にタスクを終えたため、タスクにかかった時間の結果では、その 1 名を除いた 5 名分のデータを示す。提案手法とテレポートについて、タスクにかかった時間に有意な差は観察されなかった。この編集タスクでは、オブジェクトの正しい配置を一度覚えてしまえば、空間を複数回切り替える必要がないため、提案手法とテレポートの完了時間に差が発生しなかったと考えられる。また、手本となる空間の片側に配置されたオブジェクトに気づかずタスクを終えた実験協力者がいたことから、提案手法では、ユーザが能動的に注目した部分以外の情報を見落とす可能性があることが示唆された。

最後に、提案手法とテレポートそれぞれの SUS スコアを図 10 に示す。2 つのスコアに有意な差は確認されなかったものの、提案手法の方がテレポートよりも使いやすい傾向があることがわかった。実験協力者より、テレポートについて『何度も違う部屋を行ったり来たりして目がチカチカした』や『画面を切り替えずに比較できるレンズの方が便利だと感じた』などのコメントが挙げられた。これに対し、提案手法では視界全体は切り替わらず、視界の一部に別の空間が表示されるため、テレポートよりも使いやすいと評価される傾向にあったと考えられる。また、実験協力者より提案手法に対して『レンズが割と大きかったので比較しにくいくことは無かったが、コントローラーをたまに HMD にぶつけてしまった』というコメントが挙げられた。このコメントより、コントローラと HMD の干渉を避けながらレンズをのぞき込める機能を追加することで、ユーザビリティを向上できると考えられる。

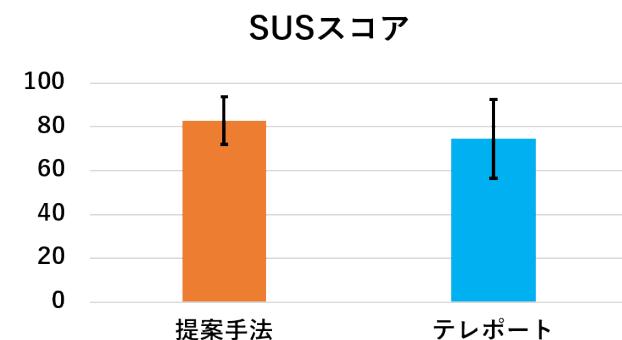


図 10 提案手法とテレポートそれぞれの SUS スコア.

6. アプリケーション例

LayerLens の活用例として、2 つのアプリケーションを作成した。1 つ目は、複数の空間を用いて家具配置を行う模様替えアプリケーションである（図 11a）。このアプリケーションでは、3 つの VR 空間が用意されており、各空間には同じ形状の部屋モデルが配置されている。ユーザは、3 つの空間それぞれに自由に家具を配置し、配置した結果を LayerLens により比較できる。また、LayerLens の属性

コピー機能を用いて、気に入った家具配置情報をほかの空間にコピーすることも可能である。2つ目は、パズルゲームである（図11b）。このゲームでは、2つのVR空間（空間Aと空間B）が用意されており、ユーザは、空間Aにおいて転がるボールをゴールへ導くようにブロックで道を作るのが目的である。ただし、ボールは空間Aのブロックだけでなく空間Bに置かれたブロックの上にも乗ることができる。つまり、空間Aと空間Bのブロックをうまく組み合わせて道を作る必要がある。このように、提案手法は複数のVR空間を比較しながら編集する作業や、複数空間を同時に編集するゲームに活用できる。

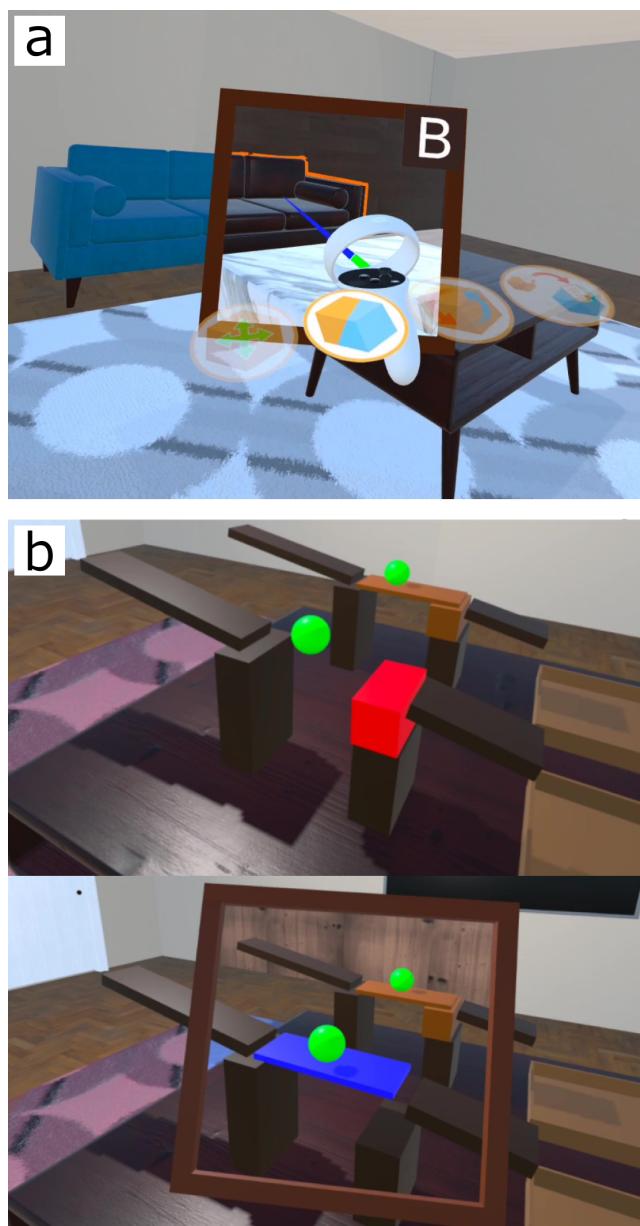


図 11 アプリケーション例。3つの空間を利用して異なる家具配置を比較できる模様替えアプリ (a)。2つの空間にブロックを配置して道を作るパズルゲーム (b)。

7. まとめと展望

本研究では、複数のVR空間を比較しながら編集できる手法の実現を目的とし、マジックレンズ型のインタフェース『LayerLens』を提案した。提案手法の有用性を確認するため、提案手法とテレポートを比較するユーザスタディを実施した。その結果、提案手法は複数の空間を参照しながら行う空間編集に適している可能性が示唆された。一方、LayerLensが可視化するのはVR空間の一部分だけであることから、空間全体の様子を観察する作業への適用は難しい可能性が示唆された。

本研究の課題の1つは、LayerLensがVR空間の一部分しか可視化できないことである。今後、顔を極端に近づけてのぞき込むようにLayerLensを拡張することで、より没入感の高い複数VR空間可視化を実現したい。また、現在のLayerLensでは表裏で2つの空間を可視化できるが、ユーザが同時に視認できる空間はレンズの片面のみである、同時に3つ以上の空間を並べて比較できるユーザインターフェースの提供も本研究の重要な将来課題である。

参考文献

- [1] Yellow Dog Man Studios. Resonite. <https://resonite.com> (2023).
- [2] Haijun Xia, Sebastian Herscher, Ken Perlin, and Daniel Wigdor. Spacetime: Enabling Fluid Individual and Collaborative Editing in Virtual Reality. In *Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '18, p. 853–866, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [3] Jose F. Garcia, Adalberto L. Simeone, Matthew Higgins, Wendy Powell, and Vaughan Powell. Inside Looking out or Outside Looking in? An Evaluation of Visualisation Modalities to Support the Creation of a Substitutional Virtual Environment. In *Proceedings of the 2018 International Conference on Advanced Visual Interfaces*, AVI '18, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [4] Chiu-Hsuan Wang, Chia-En Tsai, Seraphina Yong, and Liwei Chan. Slice of Light: Transparent and Integrative Transition Among Realities in a Multi-HMD-User Environment. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, UIST '20, p. 805–817, New York, NY, USA, 2020. Association for Computing Machinery.
- [5] 増子恭平, 井尻敬. TurnTeleport:振り向きにより複数視界を切り替えられるVR空間ナビゲーション. 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI), Vol. 196, No. 35, pp. 1–7, 2022.
- [6] Jonas Schjørlund, Kasper Hornbæk, and Joanna Bergström. OVRlap: Perceiving Multiple Locations Simultaneously to Improve Interaction in VR. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '22. Association for Computing Machinery, 2022.
- [7] Uwe Gruenefeld, Jonas Auda, Florian Mathis, Stefan Schneegass, Mohamed Khamis, Jan Gugenheimer,

- and Sven Mayer. VRception: Rapid Prototyping of Cross-Reality Systems in Virtual Reality. CHI '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [8] Robbe Cools, Augusto Esteves, and Adalberto L. Simeone. Blending Spaces: Cross-Reality Interaction Techniques for Object Transitions Between Distinct Virtual and Augmented Realities. In *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, pp. 528–537, 2022.
- [9] Mark McGill, Daniel Boland, Roderick Murray-Smith, and Stephen Brewster. A Dose of Reality: Overcoming Usability Challenges in VR Head-Mounted Displays. CHI '15, p. 2143–2152, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [10] Chiu-Hsuan Wang, Bing-Yu Chen, and Liwei Chan. RealityLens: A User Interface for Blending Customized Physical World View into Virtual Reality. UIST '22, New York, NY, USA, 2022. Association for Computing Machinery.
- [11] Paul Issartel, Lonni Besançon, Tobias Isenberg, and Mehdi Ammi. A Tangible Volume for Portable 3D Interaction. In *2016 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*, pp. 215–220, 2016.
- [12] Martin Spindler, Wolfgang Büschel, and Raimund Dachselt. Use Your Head: Tangible Windows for 3D Information Spaces in a Tabletop Environment. In *Proceedings of the 2012 ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, ITS '12, p. 245–254, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [13] Julian Looser, Raphael Grasset, and Mark Billinghurst. A 3D Flexible and Tangible Magic Lens in Augmented Reality. In *2007 6th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 51–54, 2007.