



裸眼立体視ディスプレイを用いた バーチャルバックミラーシステムの提案

篠原七海¹⁾, 三武裕玄²⁾

- 1) 明治大学 先端数理科学研究科 (〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, cs252019@meiji.ac.jp)
2) 明治大学 先端メディアサイエンス学科 (〒164-8525 東京都中野区中野 4-21-1, mitake@meiji.ac.jp)

概要: 本研究ではソーシャル VR 内における他者の存在感を自然に提示する手法として, 裸眼立体視ディスプレイを用いたバーチャルバックミラーシステムを提案する. 鏡という日常的なメタファーに着目し, ディスプレイに VR 空間が反射して映り込んでいるかのように提示することで, 現実空間に VR 空間が重なって存在するような視覚体験を実現する. これにより, VR 空間内の他者がユーザと同じ空間に存在しているような感覚をもたらすことを目的としている. 予備的な印象調査を通じて, 本手法が HMD に依存しない PC 作業と両立可能なソーシャルプレゼンス提示手法として有効である可能性が示唆された.

キーワード: ソーシャル VR, コミュニケーション, 作業支援, 存在感提示

1. はじめに

ソーシャル VR とは, VR 空間内でユーザがアバターを介して他者とコミュニケーションを行うことができるサービスである. 多くのソーシャル VR プラットフォームではユーザ同士が集うコミュニティが形成されており, VR 空間内で人と会う体験が日常的に行われている. HMD を装着することで高い没入感を得ることができる一方で, 長時間の装着による身体的負担や現実環境からの遮断といった問題も指摘されている. その代替手段として PC 画面上で操作を行うデスクトップモードも広く利用されているが, 視野が限定されるため, 他者の存在感が希薄になりがちである.

本研究ではソーシャル VR 内における他者の存在感を自然に提示する手法として, 裸眼立体視ディスプレイを用いたバーチャルバックミラーシステムを提案する. 本手法では鏡という日常的なメタファーに着目し, ユーザ自身のアバターと現実空間を模した VR 空間がディスプレイに反射して映り込んでいるかのように提示することで, 現実空間に VR 空間が重なって存在するような視覚体験を実現する. これにより, VR 空間内の他者がユーザの周囲や背後といった同じ空間に存在しているような感覚をもたらすことを目的としている. さらに, 他者の視覚的な位置と一致する方向から立体音響で音声を再生することで, より高い存在感の提示を実現する. また, VR 空間の映像が PC 作業の妨げにならないようにし, PC 作業と VR 空間でのコミュニケーションを両立できる環境の構築を目的とする.

2. 関連研究

2.1 VR 空間内での PC 作業支援

Wang らは HMD 装着中に現実空間のパススルー映像を VR 空間に重ねて表示する UI を提案し, 従来のパススルー方式と比較してよりシームレスな体験が得られたことを報告している[1]. また, Virtual Desktop は VR 空間内に PC 画面を表示して操作できる環境を提供するアプリケーションである[2]. これらはいずれも HMD の装着を前提としており, HMD なしの両立支援システムの提案はほとんど見られない. 本研究では, VR 空間内の情報を提示する手段として裸眼立体視ディスプレイを活用する.

2.2 裸眼立体視ディスプレイの応用

Lyu らは立体映像とジェスチャー操作を組み合わせることで安全な化学実験のシミュレーション学習を実現した[3]. また, Kusano らは立体的に表示された 3D オブジェクトを直接手で操作するシステムを提案し, 直感的なユーザインタラクションを可能にしている[4]. これらの研究は主に教育や物理的操作を目的としている. 一方で, 研究以外のプロダクトにおいては裸眼立体視ディスプレイをコミュニケーション用途に利用している事例も見られるが, VR 空間表示はユーザの正面方向に限定されており, VR 空間内の自身やその後方の他者の存在感を得ることが難しい. 本研究では, 鏡のメタファを応用することで VR 空間が現実のユーザの周囲や背後にまで広がって存在するように提示する点に特徴があり, 従来の提示手法とは異なる新たなアプローチといえる.

3. 提案手法

3.1 システム概要

本手法では鏡という日常的なメタファーに着目し、VR空間がディスプレイに反射して映り込んでいるかのように提示することで、現実空間にVR空間が重なって存在するような視覚体験を実現する。これにより、VR空間内の他者がユーザの周囲や背後といった同じ空間に存在しているような感覚をもたらすことを目的としている。

ユーザはPC作業を行いながら、ディスプレイに映る鏡写しの自身のアバターや、現実空間を模倣したVR空間を自然に視認できる。システム使用時のユーザの様子を図1に示す。



図1: システム使用時のユーザの様子

アバターはユーザの動作に連動して動くため、画面が鏡として機能しているように感じられる。また、VR空間内の他者が背後に現れるとその姿が画面上に映り込むと同時に、その方向から音声が生体音響で再生される。このような視覚と聴覚の一致を通じて実在感が強化され、ユーザは他者が実際に自身の背後に存在しているかのような感覚を得ながら作業を継続することが可能となる。

本システムのシステム構成図を図2に示す。

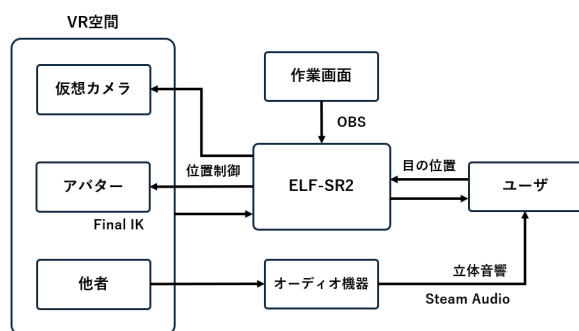


図2: システム構成図

本システムは(1)仮想カメラの位置制御、(2)アバターの動作制御、(3)現実空間を模倣した鏡写しのVR空間、(4)

他者の位置に基づく立体音響提示、(5)作業画面と統合された映像提示といった5つの要素の統合により、鏡としての空間的な演出を実現している。

3.2 VR空間映像の提示方式

ユーザの作業環境に応じて選択可能な2種類の提示方式を設計した。いずれの方式においても作業画面は2Dで提示され、VR空間映像が作業の妨げとならないよう工夫している。1つ目は、作業画面全体にVR空間を半透明で重畳する全画面表示である。ディスプレイ全体が仮想の鏡として機能し、広い画面にVR空間を提示することができる。2つ目は、ディスプレイ右上領域に小型画面でVR空間映像を提示する小型画面表示である。これは小さなバックミラーを模しており、ユーザは視界の端に常に他者の存在を映し出しながら、作業への干渉を最小限に抑えることができる。本研究では、PCモニターの一部領域を仮想的に小型ディスプレイと見なして実装を行ったが、将来的にはディスプレイ上部に小型の裸眼立体視ディスプレイを設置する運用を想定している。

3.3 実装

本システムはSONY製の裸眼立体視ディスプレイELF-SR2を使用し、Unity用SKDを基にプロトタイプシステムを構築した。ELF-SR2にはユーザの目の位置を取得できるカメラが搭載されており、その情報に基づいて仮想カメラの位置を制御することでユーザの身体動作と視点が一致した映像提示が可能となる。アバターの動作は、ユーザの目の位置変化に応じて頭部の位置を調整し、Final IKを用いることで全身が自然に追従するよう制御している。VR空間内には現実空間を模倣したワールドを構築し、これを左右反転することで鏡映しの表示を実現している。このワールドはBlenderで簡易的にモデリングされており、現実空間と同じスケール感とレイアウトを再現している。音声提示にはSteam Audioを使用し、VR空間内の他者の位置に応じた立体音響を実現している。作業画面はOBS Studioを用いて提示し、全画面表示時にはPeek ThroughによりVR空間画面を半透明化して重畳表示している。

4. 体験に対する予備的な印象調査

提案システムの有用性および改良の方向性を探るため、初期段階における予備的な印象調査を実施した。調査では全画面表示および小型画面表示のそれぞれに対して複数の表示方式を設定した。表示方式としては、トラッキングなしの2D表示、トラッキングありの2D表示、トラッキングありの3D表示の3種類を用いた。表示内容は、アバターとワールドが鏡のように映り込む条件と、VR空間が画面の奥に存在するように提示する条件の2種類を設けた。なお、後者の条件ではアバターは表示せず、ワールドも簡易的な構造とした。これらの条件を組み合わせ、合計12通りの表示条件を提示した。各表示の見え方を図3に示す。

各条件において、参加者にYouTube上の任意の映像を自由に視聴してもらいながら共通の観察タスクを実施した。

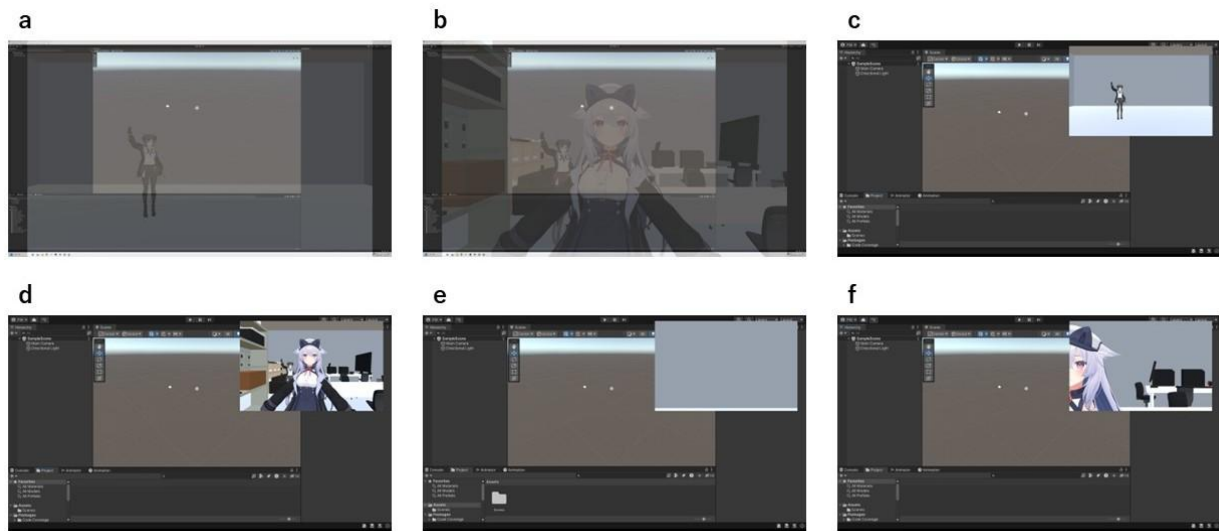


図3: 提案システムにおける表示方式の比較

a) 全画面・非鏡表示, b) 全画面・鏡表示, c) 小型画面・非鏡（固定）表示,
d) 小型画面・鏡（固定）表示, e) 小型画面・非鏡（追従）表示, f) 小型画面・鏡（追従）表示

これは、作業中や映像鑑賞中といった日常的な利用シーンを模倣することを意図したものである。観察タスクでは、同じVR空間内のアバターが左右いずれかの方向から足音を立てて歩き、途中で立ち止まって声をかけるという一連の動作が行われる。これらはすべて著者が手動で制御し、現実における他者の接近や呼びかけを模した動作として設計された。各表示条件の体験後に口頭インタビューを行い、VR空間内の他者に対して、(1) 自分と同じ空間に自然な存在感を感じられたか、(2) PC作業と両立可能か、の2点を主軸に、それぞれの表示手法のメリット・デメリットを聞き取った。また、すべての条件の体験後には、最も良いと感じた表示方式および表示内容について半構造化インタビューを実施し、その理由や総合的な印象についても併せて確認した。

5. 結果と考察

本調査にはソーシャルVRに一定の経験を有する大学生3名が参加した。各参加者に対して個別に調査を実施し、所要時間は約1時間であった。

5.1 全画面表示に対する評価

全画面表示は映像の見え方が自然であり、デスクトップモードで鏡を見ているような感覚が得られたと報告された。また、画面が暗転したときに画面に自分の顔が反射して映る感覚に近く、アバターを自分自身として自然に認識できていた。さらに、視線を動かすことなく焦点距離の調整のみで作業画面とVR空間画面を切り替えられる点について、視覚的負担が少なく快適であると評価された。

2D表示については、前後関係が視覚的に把握しやすい映像でありながら、立体視のための焦点調整が不要である点が肯定的に受け取られた。一方、3D表示では奥行き知覚が向上し、現実空間とVR空間が地続きであるかのような印象を得られたが、立体視の成立に焦点調整を要する

ため、視覚的疲労を感じる懸念があると指摘された。

5.2 小型画面表示に対する評価

小型画面表示では、空間の一部が切り取られて提示されるため、ディスプレイの奥に世界が広がっているように感じられたという意見があった。特に、表示範囲外の空間が自然と想起されることで、VR空間の存在感が高まったと評価された。一方で、表示範囲が限定されているため、画面外の状況を把握しづらいことには不便さを感じるという指摘も見られた。

また、ヘッドトラッキングにより視点が頭の動きに追従することで鏡を覗き込むような体験が生まれ、自分自身の視点であるという感覚が高まり、没入感が高まっていた。特に、見切れた要素を自ら覗き込むという行動が自然なインタラクションとして肯定的に捉えられていた。また、自分のアバターの頭部が常に視界の端に映り込むことで、無意識の内にアバターの存在を意識し続けられるという意見もあった。一方で、画面上で動きがあった際に、それを確認するために距離を伴う視点移動が必要となる点については、煩わしさを感じるという声もあった。

3D表示に関しては、背景に情報量がある場面では視線の移動中に焦点距離が自然に一致し、立体感をスムーズに得られる点が好意的に評価された。一方で、画面の一部だけが立体的に見えることに違和感を覚えた参加者もいた。

5.3 全体を通じた評価と課題

5.3.1 表示方式に関する意見

参加者からは全画面表示と小型画面表示を状況に応じて使い分けたいという意見が複数見られた。全画面表示は画面サイズの大きさから没入感が高い点が評価された。一方で、小型画面表示は作業画面と物理的に分離されており、作業への干渉が少なく、アニメや映画視聴、色の見え方が重要な作業に適していると考えられた。また、2D表示と

3D 表示の選択についても、表示される空間の情報量やユーザの目的に応じて切り替える必要性が指摘された。ヘッドトラッキングの有無については、視点がユーザの動作に連動するヘッドトラッキングあり条件の方が VR 空間への没入感が高まると一貫して評価された。

5.3.2 アバター・ワールドに関する意見

ユーザのアバターは空間の奥行を把握するための視覚的な基準点として機能しており、空間的認識を補助する役割を果たしていることが示唆された。一方で、アバターの動きがユーザの実際の動作と完全には一致しておらず、鏡として見た際に違和感を覚えるという指摘もあった。また、より自然な表現を実現するためには、表情トラッキングの導入が必要であるとの意見も挙げられた。ワールドに関しては、背景に情報量があることで空間が立体的に知覚されやすく、没入感の向上に寄与していた。一方で、その情報量は作業の妨げにはならないと評価されており、提示手法としての実用性が示唆された。しかし、VR 空間が現実空間と乖離している点に対しては違和感を覚えるという意見もあり、今後の改善点としてフォトグラメトリによる写実的な空間の構築や、映像の明度を調整して映り込み表現をより自然に見せるといった工夫が求められた。さらに、アバターやワールドにユーザ自身が親しみを持てる場合に空間全体に対する没入感が高まる可能性があるとの指摘もあった。

5.3.3 音声に関する意見

音声に関しては、急に大きな音が鳴ることで集中が阻害される、複数の音が同時に重なることで注意が分散されるといった指摘があった。また、後方からの音については、実際の位置とずれて聞こえるという意見が複数見られ、立体音響の精度や距離減衰の調整に課題があることが示唆された。一方で、足音のように動きを伴う音に関しては違和感が少なく、空間内に他者が存在することを伝える手がかりとして効果的に機能していた。特に、視覚情報と一致した動的な音声は存在感の補強として肯定的に評価されたため、後方音声の提示精度を改善することで、さらなる存在感の向上が期待される。

6. おわりに

6.1 まとめ

本研究ではソーシャル VR 空間における他者の存在感を自然に提示する手法として、鏡をメタファーとした裸眼立体視ディスプレイによるバーチャルバックミラーシステムを提案した。本システムは PC 作業中のユーザがソーシャル VR 内の他者とコミュニケーションを行う状況を想定し、VR 空間がユーザの周囲や背後に重なって広がっているかのように提示することを目的としている。さらに、ヘッドトラッキングと立体音響を組み合わせることで、視覚と聴覚の一致に基づいた存在感の向上を図った。

提案手法の有用性を探るため予備的な印象調査を実施し、ユーザからの主観的評価を収集した。その結果、利用状況に応じた表示方式の使い分けや、アバターの存在によ

る空間認識の補助効果、ヘッドトラッキングによる没入感の向上といった点が肯定的に評価され、提案手法の有用性が示唆された。一方で、アバターの挙動の不自然さ、ワールドの描画と現実との乖離、立体音響の精度といった点には課題が残されており、今後の改良が求められる。

6.2 展望

本システムは現在 Unity 上でのみ動作するプロトタイプとして実装されているが、今後は実際のソーシャル VR 環境への導入を目指している。これにより、より現実に近い利用状況での検証が可能となり、実用性に関する知見を深めることができると考えられる。

現時点では一時的かつ定性的な観察にとどまっているが、今後は長期的な利用を想定した定量的な評価実験の実施を検討している。特に、HMD と比較して本システムは身体的負担が少なく、作業との併用が容易である点が特徴であるため、今後は HMD 利用時と比較した身体的・心理的負荷の違いを明らかにすることが課題である。

また、現状では現実側で作業しているユーザのみを対象に調査を行っているため、今後は VR 空間側のユーザ体験についても検討する必要がある。たとえば、作業中のユーザの姿がどのように見えるか、どの程度の親しみやすさや話しかけやすさを感じるかといった観点から、インタラクションの質を多面的に評価することが求められる。

さらに、本システムは単なる存在感の可視化にとどまらず、画面を介した新たな形の協調作業への応用も期待される。特に、創作活動や情報共有の場面において、アバターを通じた指差しや視線といった非言語ジェスチャーが自然なコミュニケーションの補助となる可能性がある。現実の作業画面と VR 空間の存在を同時に視界に収められるという特性は、双方の状況を把握しながら作業を進める上で大きな利点となる。

参考文献

- [1] C.-H. Wang, B.-Y. Chen, and L. Chan: "RealityLens: A User Interface for Blending Customized Physical World View into Virtual Reality," Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '22), Article 49, 11 pages, ACM, New York, NY, USA, 2022. DOI:10.1145/3526113.3545686
- [2] Virtual Desktop. <https://www.vrdesktop.net/> (参照 2025-07-12)
- [3] L. Lyu, T. Hu, H. Wang, and W. Hou: "SRD Method: Integrating Autostereoscopy and Gesture Interaction for Immersive Serious Game-Based Behavioral Skills Training," Electronics, Vol. 14, No. 7, Article 1337; 2025. DOI: 10.3390/electronics14071337
- [4] T. Kusano, T. Niikura, and T. Komuro: "A Virtually Tangible 3D Interaction System using an Autostereoscopic Display," Proceedings of the ACM Symposium on Spatial User Interaction (SUI 2013), p.87, 2013.