

Mixed Realityを用いた 屋外映像インスタレーションの実現

伏田 昌弘^{1,a)} 赤羽 亨^{2,b)}

概要：映像インスタレーションは、映像だけでなく空間構成や鑑賞者の移動、環境条件を含めて体験全体を設計する表現手法である。筆者らが開発してきた MultiChannel MR (MCMR) システムを屋外環境に拡張し、実展示として屋外 MR 映像インスタレーションを実施した。具体的には、(1) アルファチャンネル付き WebM による透過映像再生、(2) ヘッドマウントディスプレイの移動範囲制限を解除した広域歩行体験の実装を行った。展覧会会期中に会場周辺の屋外空間へ9つの鑑賞ポイントを配置し、都市空間の既存要素を隠蔽せずに映像表現と重ね合わせる体験構成を実現した。さらに、屋外展示に固有の課題として照度変化による視認性、位置合わせ精度、運用時の安全設計を整理した。本研究は、屋外 MR 映像インスタレーションを成立させる実装と運用知見を提示し、MR 技術と作品文脈を接続する方法論を示す。

1. はじめに

映像インスタレーションは、複数の映像を空間的に配置し、鑑賞者の視点移動や身体的移動を含めて体験全体を構成する表現形式である。近年では、プロジェクションマッピングや大型ディスプレイ技術の発展により、空間全体を横断する映像表現が数多く試みられている。しかし、これらの展示においては、完成形を事前に十分検証することが難しく、実空間での設営や調整に大きく依存するケースが多い。筆者らはこれまで、VR 技術を用いて実空間を仮想的に再現し、その中で複数映像を配置・検証可能な MultiChannel VR (MCVR) システムを開発してきた。さらに、現実空間に仮想コンテンツを重ね合わせ、建築要素や照明条件を考慮した映像演出のシミュレーションを可能にする MultiChannel MR (MCMR) システムへと発展させてきた。これらのシステムは主に屋内空間を対象としており、設計支援を可能にしてきた。一方、屋外空間は、自然光の変化、気象条件、周囲の騒音、広域な空間スケールといった屋内とは異なる条件を有する。これらは映像展示にとって制約となる一方で、都市環境そのものが持つ文脈と映像表現を結び付けることで、屋内展示では得られない体験価値を生み出す可能性を持つ。本研究では、屋内向けに開発された MCMR システムを屋外環境へ拡張し、展示実践を通じて屋外 MR 映像インスタレーションを実現する

ための技術的要件と、MR 技術と作品文脈を接続する方法論、および設計・運用上の課題を明らかにすることを目的とする。

2. 関連研究

筆者らはこれまで、VR/MR 技術を活用した屋内空間向けの MCVR/MCMR システムを開発し、複数映像を用いた空間的映像展示の設計・検証支援を実現してきた [1]。一方、屋外での AR/MR 研究としては、Feiner らによる都市環境での情報重畳 [2] や、Thomas らによる屋外での移動を伴う AR 体験システム [3] などが報告されている。また、現実空間との整合性確保の観点から、オクルージョン処理は AR/MR における重要課題であることが指摘されている [4]。近年では、Crolla らが香港美術館前の屋外に設置した複合現実アートインスタレーション「Resonance-In-Sight」において、スマートフォンを用いた MR 体験を実現している [5]。同研究では画像トラッカーを用いた SLAM 技術により物理彫刻とデジタルコンテンツを重ね合わせているが、観賞位置は画像トラッカー周辺に制約される。これらの既存研究は主に情報提示・ナビゲーションを目的とするか、あるいは観賞位置が限定される方式であり、広域空間を自由に回遊可能な屋外 MR 映像インスタレーションの実現と、その設計・運用知見を体系的に整理した研究は限られている。本研究では、屋内向け MCMR システムを屋外環境に適用・拡張し、HMD とバウンダリーレス移動機能により画廊周辺の広域空間を自由に回遊可能な体験を実現する。また、屋外の環境文脈とデジタル映像表現を組

¹ 株式会社マーブル

² 情報科学芸術大学院大学

^{a)} fushida.masahiro@marble-corp.co.jp

^{b)} akabane@iamas.ac.jp

み合わせる展示実践を通じて、屋外 MR 映像インスタレーションを成立させるための設計要件と課題を整理・共有する点に独自性がある。

3. システム概要

3.1 基盤システムと開発環境

本研究で使用したシステムは、筆者らがこれまでに開発してきた MCVR/MCMR システム [1] を基盤とし、屋外環境での映像作品制作と展示に対応するための機能拡張を施したものである。MCVR システムは VR 技術を用いて実空間を仮想的に再現し、複数映像の配置を検証するシステムである。これを MR に発展させた MCMR システムは、現実空間に仮想コンテンツを重ね合わせる機能を持ち、実空間に最大 10 枚の仮想スクリーンを配置できる。スクリーンの位置・角度・大きさの調整、映像ソースの選択、再生範囲の指定、スクリーン配置の保存・読み込みなどの基本機能を備えている (図 1)。また、オクルージョン機能により、実空間の構造物による仮想スクリーンの遮蔽を実現し、現実空間と仮想空間の整合性を確保している (図 2、図 3)。本研究では、この屋内向け MCMR システムを屋外環境に適用するため、後述する透過映像対応と広域空間対応の機能を新たに実装した。HMD には Meta Quest 3 を使用し、開発環境は Unity 2022.3.9f1、UI の構築には Mixed Reality Toolkit 2 (MRTK2) を用いた。



図 1 MCMR システムの例



図 2 オクルージョン無効時



図 3 オクルージョン有効時

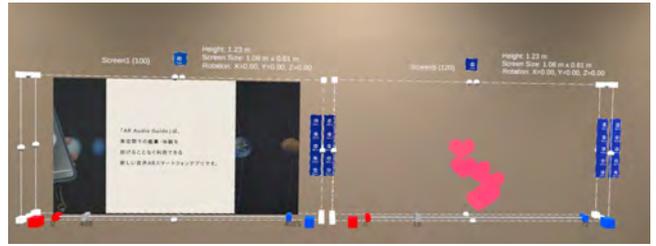


図 4 非透過映像と透過映像の比較

3.2 透過映像対応

屋内向け MCMR システムでは、不透明な映像を仮想スクリーンとして表示していた。しかし、屋外環境では都市空間に既に存在する建築要素や痕跡といった環境的文脈を作品の構成要素として活用することが重要となる。そこで本研究では、これらの要素を隠蔽せずに映像表現と重ね合わせるため、アルファチャンネルを持つ WebM 形式の透過映像再生機能を新たに実装した。図 4 に非透過映像と透過映像の比較例を示す。透過映像では実空間の壁面や構造物が映像を通して視認できるため、現実空間の質感を保持したまま映像表現を統合できる。

3.3 広域空間対応

屋内向け MCMR システムでは、Meta Quest 3 の標準機能であるガーディアン機能により事前に設定した安全な移動範囲内での体験を前提としていた。しかし、屋外空間では数十メートル規模にわたる広域な展示空間が利用可能であり、広範囲に分散配置された複数の鑑賞ポイントを回遊的に巡る体験構成を実現するためには、移動範囲の拡張が必要となる。そこで本研究では、Meta Quest 3 におけるガーディアン機能の移動範囲制限を解除する機能を実装した。具体的には、AndroidManifest.xml に CONTEXTUAL_BOUNDARYLESS_APP 機能を宣言し、アプリケーション内でガーディアン境界を完全に無効化する設定を行った。これにより、鑑賞者は物理的な空間制約に阻まれることなく広域空間を移動し、複数の鑑賞ポイントを巡回する体験が可能となった。なお、本機能は屋外展示での運用を前提に、4.4 節で述べるスタッフ随伴と動線設計を含む安全対策と併用して用いた。

4. 体験展示

4.1 展示概要

本研究では、屋外 MR 映像インスタレーションの実現可能性を検証するため、2025 年 11 月 28 日から 12 月 10 日まで新宿眼科画廊 (会場: スペース地下) で開催された展覧会「glow in/complete」に出展し、画廊周辺の屋外空間を体験展示の実施場所として利用した。展示時間は 13:30 から 18:00 とし、日中から夕方にかけての自然光変化を含む環境条件下での実施となった。

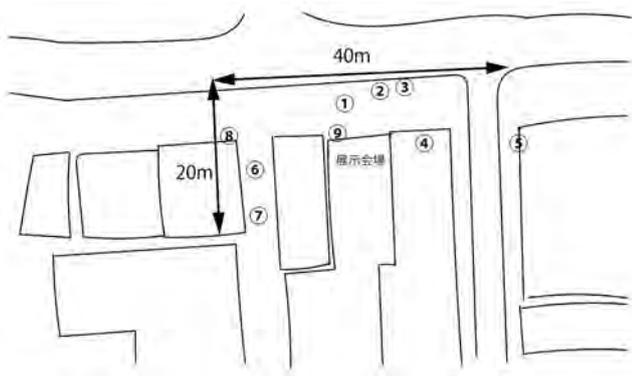


図 5 展示範囲と鑑賞ポイント (1~9) (模式図)

4.2 展示コンテンツ

本展示では、愛知県立芸術大学の小此木氏が本システムを用いて制作した映像作品「都市の皮膜」を展開した。本作品は、都市空間に残された落書きや貼紙、破損した設備といった痕跡を扱う映像作品であり、これらの痕跡を人々の行為の記録として捉え直し、映像表現を通じて新たな意味を付与する試みである。本作品の制作において、本研究で開発した屋外 MR システムが活用され、都市空間の既存要素を保持したまま映像表現と重ね合わせる構成が実現された。

4.3 体験構成

本展示では、展示空間内に 9 つの鑑賞ポイントを設定した (図 5)。各鑑賞ポイントは、都市空間に残された具体的な痕跡 (壁面の落書き、貼紙、破損設備など) の位置に対応して配置され、それぞれに透過映像を重ね合わせた。鑑賞者は Meta Quest 3 を装着し、スタッフの案内のもと屋外空間を自由に移動しながら体験する形式を採用した。各ポイントに明確な鑑賞順序は設けず、鑑賞者自身の判断で空間を回遊できる構成とした。

本展示の体験構成において、3 章で実装した機能が以下のように活用された。まず、透過映像機能 (3.2 節) により、鑑賞者は現実空間の対象物を視認しながら、その上に重ね合わされた映像表現を体験できる (図 6, 図 7, 図 8, 図 9)。これにより、都市空間の痕跡と映像表現が連続的なものとして知覚される。次に、広域空間対応機能 (3.3 節) により、9 つのポイントが数十メートルの範囲に分散配置されているにもかかわらず、鑑賞者はガーディアン境界に阻まれることなく移動できた。また、オクルージョン機能 (3.1 節) により、実空間の構造物が仮想スクリーンを遮蔽する表現が実現され、現実空間との整合性が確保された。透過映像は周囲の環境光の変化に応じて見え方が変わるため、4.1 節で述べた日中から夕方にかけての時間帯において、鑑賞者の身体的移動だけでなく時間経過も体験内容に影響を与えた (図 10, 図 11, 図 12, 図 13)。



図 6 体験の様子 (外観)



図 7 HMD 内の視界



図 8 コンテンツ例 (1)



図 9 コンテンツ例 (2)



図 10 コンテンツ例_日中 (1)



図 11 コンテンツ例_日中 (2)



図 12 コンテンツ例_夕方 (1)

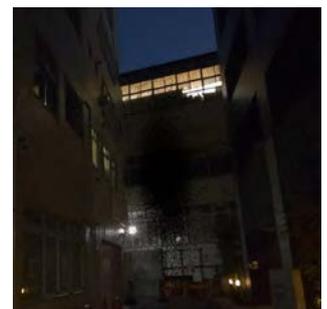


図 13 コンテンツ例_夕方 (2)

4.4 運用と安全設計

屋外展示では、機材故障や鑑賞者の転倒など、体験そのものとは別に運用上のリスクが存在する。本展示では、HMD 装着時の視野制限を踏まえ、鑑賞ポイント間を結ぶ経路に段差や障害物が少ない区間を選定した。運用面では、スタッフが一定距離で随伴して安全を確保した。

5. 考察

本研究では、屋内向けに開発した MCMR システムを屋外環境に適用するための拡張機能を実装し、実際の展覧会での体験展示を通じてその有効性を検証した。以下、本研究で得られた知見について考察する。

5.1 実装機能の有効性

本研究では、屋外 MR 映像インスタレーションを実現するため、透過映像対応と広域空間対応の2つの機能を新たに実装した。透過映像機能により、都市空間に既に存在する建築要素や痕跡を隠蔽することなく映像表現と重ね合わせることが可能となった。本展示では、壁面の落書きや貼紙といった具体的な対象物の上に透過映像を配置し、現実空間の質感を保持したまま映像表現を統合する構成を実現できた。これは、都市環境そのものを作品の構成要素として活用する表現手法において有効な技術的アプローチであることが示された。広域空間対応機能により、数十メートル規模の展示空間に分散配置された9つの鑑賞ポイントを、ガーディアン境界による制約なく巡回する体験が実現された。従来の屋内向けシステムでは移動範囲の制約により困難であった広域空間でのインスタレーション構成が可能となり、屋外環境の空間スケールを活用した展示形態を実現できた。

5.2 屋外展示における設計知見

屋外環境での展示実践を通じて、屋内展示とは異なる設計上の検討事項が明確になった。第一に、照度変化による映像の見え方への影響である。本展示では日中から夕方にかけての時間帯で実施したが、自然光の変化により透過映像の視認性や印象が変化した。これは屋外 MR 展示において、時間帯や天候条件を考慮した映像設計や展示時間の設定が重要であることを示している。第二に、位置合わせ精度の課題である。本システムでは Meta Quest 3 の標準機能による位置合わせを行ったが、広域空間における複数ポイントへの映像配置において、現実空間の対象物と仮想映像の対応関係に揺らぎが生じる場合があった。より高精度な空間キャリブレーション手法の導入が今後の課題である。第三に、運用面での配慮事項として、屋外環境では機材の管理や鑑賞者の安全確保のため、スタッフによる案内と同伴が必要であった。展示の自律性を高めるためには、ナビゲーション支援機能や安全管理手法の検討が求められる。

5.3 考察のまとめ

以上より、屋外 MR 映像インスタレーションの設計においては、照度・位置精度・安全性が環境条件によって変動しうることを織り込んだ上で、表現設計と運用設計を一体

で検討する必要があることが示唆された。

6. 結論

本研究では、屋内向け MCMR システムを屋外環境へ拡張し、実際の展覧会での実装・運用を通じて屋外 MR 映像インスタレーションの実現可能性を検証した。具体的には、透過映像対応と移動範囲制限の解除の2つの機能を新たに実装し、これらを用いて愛知県立芸術大学の小此木氏による作品「都市の皮膜」の制作と展示を実現した。

本研究の展示実践から、屋外 MR 映像インスタレーションを成立させる要件として、(i) 実空間要素を活かす表現(透過・遮蔽)、(ii) 回遊可能な動線設計(広域移動と安全)、(iii) 屋外条件(照度・位置精度)の事前見積り、の3点を設計軸として提示できる。

本研究の貢献は、屋外 MR 映像インスタレーションを実際の展示として成立させるための技術的実装と、展示実践を通じて得られた設計・運用上の知見を提示した点にある。特に、透過映像と広域空間対応により、都市環境の既存要素を作品の構成要素として活用する表現的可能性を実証し、MR 技術と作品文脈を接続する具体的方法論を示した。今後の展開として、照度条件を考慮したシミュレーション機能の実装、より高精度な空間キャリブレーション手法の導入、多様な屋外環境での展示実験を通じたシステムの汎用性向上が挙げられる。

参考文献

- [1] 伏田昌弘, 赤羽亨: 複数映像を用いた空間的映像展示向け VR/MR 設計システムの開発 - 設計支援から新たな表現へ -, 情報処理学会研究報告, IPSJ SIG Technical Report (2024).
- [2] Feiner, S., MacIntyre, B., Höllerer, T. and Webster, A.: A Touring Machine: Prototyping 3D Mobile Augmented Reality Systems for Exploring the Urban Environment, *Personal Technologies*, Vol.1, No.4, pp.208-217 (1997).
- [3] Thomas, B., Close, B., Donoghue, J., Squires, J., De Bondi, P., Morris, M. and Piekarski, W.: ARQuake: An Outdoor/Indoor Augmented Reality First Person Application, *Proc. ISWC '00*, pp.139-146, IEEE (2000).
- [4] Macedo, M.C.F., Apolinario, A.L. and Souza, A.C.S.: A Survey on Occlusion Handling in Augmented Reality, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.25, No.2, pp.1161-1177 (2019).
- [5] Crolla, K. and Goepel, G.: Into Hyperreality: The Mixed Reality Art Installation "Resonance-In-Sight", *Frontiers in Virtual Reality*, Vol.3, 1044021 (2022).