



Researcher's Bar : メタバースを活用した 実験プラットフォームと実装テンプレートの提案

HU Yong-Hao^{1,2)}, 畑田裕二¹⁾, 鳴海拓志¹⁾, 平木剛史²⁾

1) 東京大学 (〒 113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1, {yh-haoareyou, hatada, narumi}@cyber.t.u-tokyo.ac.jp)

2) クラスタ メタバース研究所 (〒 141-0031 東京都品川区西五反田 8-9-5, t.hiraki@cluster.mu)

概要: 本研究では, HCI・VR 研究向けの実験基盤として, メタバース上での実験プラットフォームとそこで行われる実験の実装テンプレートの構築を提案し, 参加者募集・実験系作成・実験実施の加速や簡便化を目指す. また, 研究者と参加者双方の交流を促す空間として機能させることや, 実験報酬によるメタバース上の経済圏の活性化を通じ, 研究とメタバースの相互発展を図る. プロトタイプはメタバースサービスである cluster を用いて開発する.

キーワード: メタバース, リモート実験, 実験ツール, 実験プラットフォーム

1. はじめに

Human-Computer Interaction (HCI) や Virtual Reality (VR) などの研究分野では, 対面で行われる実験室実験の他にも, クラウドソーシングや Social VR プラットフォームを用いたオンラインでの実験系が提案・模索されてきた [1, 2]. オンラインプラットフォームを用いた非同期の実験は, 参加者一人一人への個別対応が不要になるため, 大規模なデータを収集することを可能にする. 先行研究では, バーチャル環境においても対面での実験系が十分に再現可能であることが報告されており, メタバースプラットフォームは遠隔で, 非同期的に実験を可能にする新たなプラットフォームとして大きな注目を集めている. COVID-19 以降, こうしたオンラインでの実験実施に対する関心はますます高まっている. また HCI/VR 分野では, 実験参加者の多様性が分野全体として十分に担保されてこなかったことが問題点として指摘されてきた [3]. メタバースを活用したオンライン実験プラットフォームは, 実験を実施する場所や時間などの物理制約を超えて参加者を募ることができるため, 参加者の多様性確保の一助となることも期待される. しかし, こうしたメタバースの実験プラットフォームとしての活用は, メタバースでのシステム実装に熟知した研究者がそれぞれ独自の方法で実践しているのが現状であり, 統一的な方法論や誰もが簡単に利用できるツールの整備はまだなされていない.

そこで本研究では, 先行研究 [1, 2] で得られているメタバースにおけるオンライン実験の知見を踏まえながら, 実験参加者の募集から実験の実施とデータ収集までをメタバースで一貫して行うことのできる包括的な実験プラットフォームと, 各実験実施者がメタバース上に独自の実験システムを構築するために利用できる汎用的な実装テンプレートを提案する. 本システムを利用することで, 研究者はそれまで実環境で実施していた実験系をメタバース上に簡単に実

装できるようになるとともに, 参加者との日程調整をはじめとする個別対応の手間なく大規模なデータ収集を自動で並列的に行えるようになることが期待される. 本論文では, クラスタ社が運営するメタバースプラットフォームである cluster¹上に構築したプロトタイプの概要と将来展望を述べる.

2. 提案システム

2.1 用語説明

提案システム全体の概要を図 1 に示す. 一連の実装はゲームエンジンである Unity, 及び Unity 用の cluster 開発ツールキットである Cluster Creator Kit(CCK)²を用いて行った.

提案システムでは以下の cluster の機能を使用している:

- **ワールド:** cluster にアップロードされたバーチャル空間. ユーザはワールドにおいてアバタを介したインタラクションを行うことができる. cluster 上には, ユーザが Unity および CCK を用いて構築した多様なワールドが存在する.
- **スペース:** あるワールドが, イベントやユーザの操作によって複製され, 実体化したもの. ワールドが同じでもスペースが異なれば, ユーザは別の空間として入室することになる.
- **ワールドゲート:** 通過したユーザを他のワールドやスペースに移動させるワールドのオブジェクト.

また, 提案システムに関する専門用語は以下の通り:

- **実験プラットフォーム:** 実験参加者の募集から実験の実施までをメタバース上で完結させるプラットフォーム.
- **実装テンプレート:** 各実験実施者がメタバース上に実験システムを構築するための Unity プロジェクトであり, CCK がインストールされている.

¹<https://cluster.mu/>

²<https://docs.cluster.mu/creatorkit/>

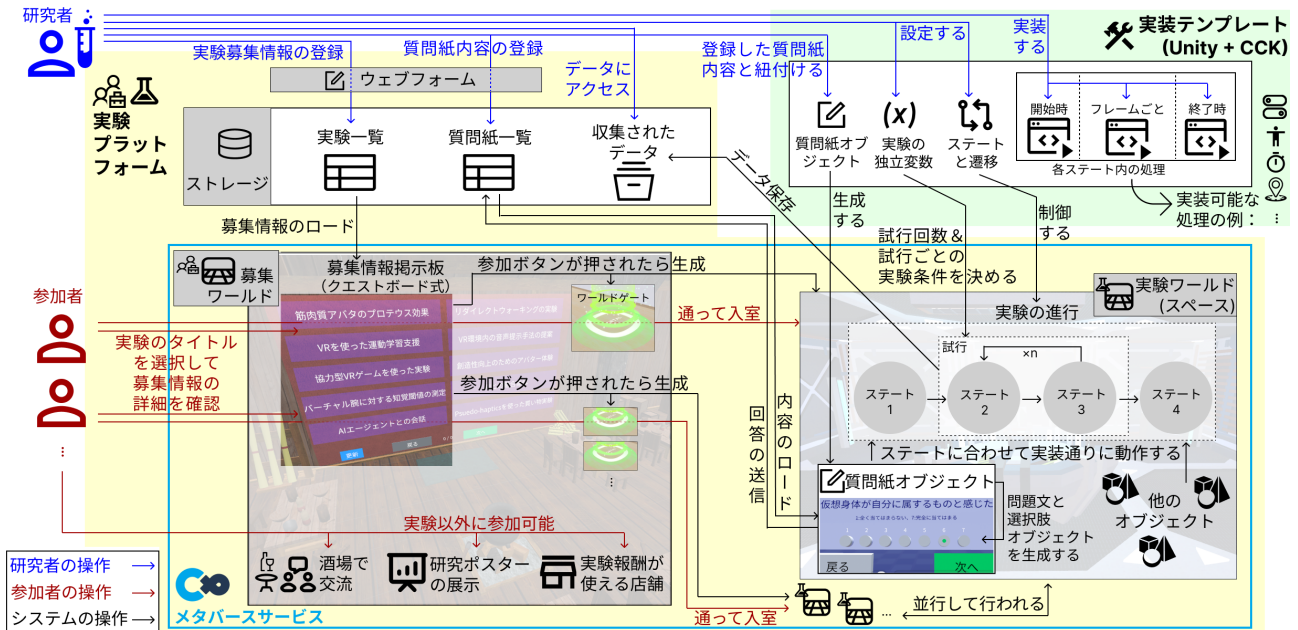


図 1: 提案システムの概要図。本提案システムは、実験参加者の募集から実験の実施までをメタバース上で完結させる実験プラットフォームと、各実験実施者がメタバース上に実験システムを構築するための汎用的な実装テンプレートで構成されている。実験プラットフォームは、実験情報の登録と掲載、実験実施の自動化および並列化、データ収集と整形の自動化などの機能を含んでいる。実装テンプレートは、実験の進行・実験条件や試行の管理を事前に設定する機能を有している。

- **募集ワールド**：実験プラットフォーム上で実験参加者を募集するためのワールド。CCK がインストールされた Unity プロジェクトを用いて著者らによって開発され、cluster にアップロードされた。
- **実験ワールド**：実験プラットフォーム上で実験が実際に行われるワールド。各実験実施者が実装テンプレートを用いて構築し、cluster にアップロードすることで作られる。
- **ストレージ**：実験プラットフォームの一部として、実験募集情報、質問紙内容、実験で収集されるデータなどを保存するクラウドサービスまたは cluster 上のサーバ。本提案ではプロトタイプとして Google Spreadsheet を利用し、Google App Script を介して内容の登録や取得を行う。
- **ウェブフォーム**：実験プラットフォームの一部として、研究者が実験募集情報や質問紙内容を登録するフォーム。プロトタイプとして Google Form を利用する。

2.2 実験プラットフォーム

2.2.1 実験情報の登録

研究者がウェブフォームに登録した実験募集情報はストレージに保存される。実験募集情報には実験タイトル、説明、報酬、画像、参加条件、実験ワールドの識別子が含まれる。

2.2.2 募集ワールドへの情報掲載

現状の募集ワールド外観を図 2 に示す。募集ワールドは、ロールプレイングゲーム (RPG) の中でプレイヤーやゲーム



図 2: 募集ワールドと募集情報掲示板の外観 (仮)

キャラクターが集い、ゲームの依頼や任務 (クエスト) を受ける「冒険者の酒場」をモチーフとして作成された。募集ワールドは、ストレージから実験募集情報の一覧を取得し、掲示内容を自動で更新する機能を持つ。ユーザは募集ワールド内に設置された「募集情報掲示板」に掲載されている任意の実験を選択することで、その実験の詳細情報を得るとともに、参加の意思表示を行うことができる。

2.2.3 実験実施の自動化・並列化

募集ワールドで実験が選択され、参加ボタンが押されると、実験募集情報に含まれる実験ワールドの識別子を用いて該当する実験ワールドを特定し、そのスペースが生成される。同時に、該当スペースへのワールドゲートが、該当ユーザのみに利用できる設定で生成される。一つの実験ワールドであっても、各ユーザに合わせて異なるスペースを同時

に複数生成可能であるため、日程調整等の手間を必要とせず、複数人が同時に同じ実験に参加することができる。

2.2.4 参加者への謝礼

実験が終了した際、参加者には謝礼として cluster 内で使用可能な通貨（クラスターポイント）が自動で支払われる。クラスターポイントは、他のユーザが作成したアバター、アクセサリ、ワールド作成に使用するオブジェクトなどの購入に使用できる。

2.2.5 データ収集と整形の自動化

実験ワールドでは、参加者の位置、向き、ポーズ、および操作などの行動データが随時記録される。実験終了時には、データが自動的に整形され、ストレージに保存される。研究者は随時ストレージにアクセスし、収集されたデータを使用することができる。なお、参加者を特定できる cluster のユーザ ID や音声などのプライベート情報に関しては、参加者の同意が得られる場合にしか保存できないような制限の実装を検討している。

2.3 実験系構築のための実装テンプレート

実装テンプレートは CCK がインストールされた Unity プロジェクトとなっている。実験実施者がこれを用いてワールドを構築し、cluster にアップロードして実験ワールドとして公開することができる。実装テンプレートが有する標準的な機能は以下の通りである。

2.3.1 実験進行の管理

本提案システムで行われる実験の進行管理にはステートパターン [6] を採用した。実装テンプレートでは各ステートとステート間の遷移条件を設定する箇所が設けられている。また、それぞれのステートの開始時、終了時、ステート中のフレーム毎の処理の実装にも対応している。実験ワールドで実験が実施される際には、実装テンプレートで設定されたステートおよび遷移条件に基づいて自動的に実験が進行し、各ステートの開始時、終了時、ステート中のフレーム毎の処理が実装通りに行われる。

2.3.2 独立変数、実験条件と試行の管理

実装テンプレートには実験の独立変数を設定する箇所が設けられている。実験ワールドで実験が実施される際には、Unity 用の実験実施フレームワークである bmlTUX[4] を参考にし、設定された独立変数に基づいて試行の回数や試行ごとの実験条件が自動的に決定される。例えば、ある実験が 2 要因の参加者内計画であり、A 要因に A1 と A2 の 2 水準、B 要因に B1, B2, B3 の 3 水準がある場合、試行は 6 回繰り返され、それぞれの試行における実験条件は $A1 \times B1 \cdot A1 \times B2 \cdot A1 \times B3 \cdot A2 \times B1 \cdot A2 \times B2 \cdot A2 \times B3$ となる（順番はランダム化可能）。各実験条件に合わせた個別の処理（例：オブジェクトの表示の切り替え、オブジェクトやプレイヤーのパラメータの変更など）もここで実施される。

2.3.3 質問紙オブジェクト

ウェブフォームを通じてあらかじめストレージに記録した質問紙の識別子を実装テンプレートの中の質問紙オブジェクトに登録することで、実験ワールドで実験が実施される際

に質問紙内容および選択肢オブジェクトが自動的に生成される。研究者はバーチャル環境内で質問紙調査を実施するためのオブジェクトを個々に作成する必要がなくなる（例：選択肢ごとにクリック判定を持ったオブジェクトを配置する）。本実装テンプレートでは、ラジオボタン、均等目盛、チェックボックス、テキスト入力に対応している。

3. 想定される使用

3.1 使用手順

3.1.1 実験実施者

まず、研究者は実装テンプレートの Unity プロジェクトをダウンロードし、実験用のワールド開発を行う。実装テンプレート内の指定された箇所において、実験変数、実験進行ステート、およびその遷移条件を登録し、実験条件やステートごとの処理をテンプレートに従って実装する。また、実験時に実施したい質問紙調査の内容をウェブフォームで登録し、その識別子を実装テンプレート内の質問紙オブジェクトに登録する。以上の開発が完成したら、cluster にワールドをアップロードし、実験ワールドの識別子を含めた実験の募集情報をウェブフォームで登録する。その後は、研究者が立ち会うことなく、実験参加者の募集と実験の実施が自動的に行われる。データは実験が終了するたびに自動的にストレージに保存・整形され、いつでもアクセス可能である。

3.1.2 実験参加者

実験参加を希望するユーザは、実験プラットフォームの募集ワールドにアクセスし、募集情報掲示板を閲覧する。興味のある実験を選択して詳細情報を確認した後、参加を選択すると現れるワールドゲートを通過することで、実験ワールドに転送される。入室時にもう一度参加条件を確認し、電子版の同意書を提出すると、ただちに実験が始まる。実験ワールドでは、その実験ワールドの開発者が実装したタスクに従事したり、質問紙に回答を行ったりする。実験終了後に謝礼としてクラスターポイントを受け取ると、募集ワールドに転送される。

3.2 実装可能な実験刺激と評価指標

本提案システムで利用できる機能や機材は、現行の cluster が有する機能や商用 VR デバイスの入出力インターフェースなどの制約を受ける。現時点对対応可能な評価指標および刺激提示の例を以下に述べる。収集可能なデータとしては、ユーザやオブジェクトの位置・姿勢・動作、顔の向き、音声、ユーザがオブジェクトに対する操作、質問紙の回答やフィードバックなどである。そこからユーザの行動・認知・心理・一部の生理指標を評価できると考えられる。一方、収集が困難なデータとしては、PC や商用 VR デバイス以外の機材を用いた生理指標（例えば心拍など）やインタビューが考えられる。また、対応可能な刺激の提示は、視覚提示、聴覚提示、およびコントローラを用いた触覚提示が含まれる。逆に、PC や商用 VR デバイス以外の機材を用いた五感の提示や電気刺激などは対応がまだ難しい。

4. 将来展望

4.1 研究・実験を起点とするコミュニティづくり

本提案システムにある実験プラットフォームは最終的に、単なる実験実施者と実験参加者のマッチングを行うのみならず、研究者と実験参加者の間の交流を促進するコミュニティへと成熟していくことを目指している。そのために、Ducheneautら [5] がまとめた「多機能空間 (Multifunctional Space)」や「カジュアルな交流の促進 (Facilitate Casual Interactions)」といった Third Space のデザイン要件を参考し、募集ワールドの改良に取り組んでいく。まずは募集ワールドの外観をRPGに登場する酒場のように設計し、リラックスした雰囲気を創り出し、ユーザー間の交流のハードルを下げることを試みる。さらに募集ワールドには、研究成果の展示を通じて一般ユーザが最新の研究内容に触れたり、研究者同士が議論を行ったりする場としての機能を持たせる。実験プラットフォームを Third place として設計することで、研究者と実験参加者、研究と社会をつなぐ交流の場として機能させる。さらには実験報酬をメタバース内の通貨とすることでメタバース経済圏の活性化にも貢献する。

4.2 提案システムの公開に向けた現状と今後の予定

本稿投稿時点では、本稿で紹介している提案システムの一般公開はまだ行っていない。現在、実際の挙動を踏まえながら提案システムの有用性を検証している最中であり、2024年度中に順次プロトタイプ的一般公開を行っていく予定である。有用性の検証が完了次第、実験プラットフォームの募集ワールドを cluster 上で公開し、実験ワールド作成用の実装テンプレートを Unity プロジェクトあるいは Unity 用のパッケージの形式で配布する予定である。また、現段階において、提案システムが対応できる実験の種類は限られているが、将来的には API の開放などを通じて多様なデバイスとの連携を実現し、より多様な実験が実施可能になると考えられる。

5. むすび

本研究では、メタバース上で実験参加者の募集と実験の実施を可能にする実験プラットフォームと実験の実装テンプレートの設計を提案し、cluster を用いてそのプロトタイプを作成した。メタバース上での実施により、広範なユーザ層にアクセスすることで参加者募集の人数および多様性の確保が容易になり、さらに物理的な制約が軽減されるという利点がある。加えて、本研究では独自の設計により、実

験実施とデータ収集の自動化および並列化、新規実験系構築の手間の軽減、そしてメタバース上での交流や経済の促進を目指している。

将来展望として、研究を通じた交流の場の構築、提案システムの有用性の検証と公開、多様なデバイスとの連携などの予定が立てられている。本研究によりメタバースを活用した研究の加速と、それに伴うメタバースの発展が相互に促進されることが期待される。

謝辞 本研究の一部は、JST ムーンショット型研究開発事業 (JPMJMS2013) の支援を受けた。

参考文献

- [1] Saffo, D., Di Bartolomeo, S., Yildirim, C., & Dunne, C. (2021). Remote and collaborative virtual reality experiments via social VR platforms. In Proceedings of the 2021 CHI conference on human factors in computing systems, 1–15.
- [2] Radiah, R. et al. (2021). Remote VR studies: A framework for running virtual reality studies remotely via participant-owned HMDs. ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI), 28(6), 1–36.
- [3] Zielasko, D., & Weissker, T. (2023). Stay vigilant: The threat of a replication crisis in VR locomotion research. In Proceedings of the 29th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, 1–10.
- [4] Bebkko, A. & Troje, N. (2020). bmlTUX: Design and control of experiments in virtual reality and beyond. i-Perception, 11(4), 2041669520938400.
- [5] Ducheneaut, N., Moore, R. J., & Nickell, E. (2004). Designing for sociability in massively multiplayer games: an examination of the “third places” of SWG. In Conference Proceedings for Other Players, Center for Computer Games Research, IT University of Copenhagen, DK.
- [6] Unity Technologies: State Pattern; Level up your programming with game programming patterns, 69–78. Retrieved from <https://unity.com/resources/level-up-your-code-with-game-programming-patterns>