

# Web ベースデジタルツインによる XR 脱出ゲームの開発と評価

杉崎 勇介<sup>1,2,a)</sup> 中里 仁<sup>1,b)</sup> 塚田 学<sup>1,c)</sup>

## 概要

近年,Extended Reality(XR) 技術が注目を集め, 製造業・建築・教育・エンターテインメントなど様々な分野での応用が期待されている.XR は現実空間とサイバー空間を融合させる技術であり, 特に Web ベースの XR プラットフォームは, その簡便さとアクセスのしやすさから今後の拡大が予想される.XR の活用に関する最近のトピックとして, 謎解き・脱出ゲームが挙げられ, 知覚的・聴覚的表現による新たな体験価値の提供が可能となっているが, XR の開発・利用には専用の機器や高度な技術力が必要となり, 多くの人が利用できるわけではない. 本研究では, こうした課題に応えるため, Web ベースで実装が簡単な XR プラットフォームを用いてデジタルツインを作成し, これを基に脱出ゲームを構築した. さらに, 実際にユーザに作成したゲームを体験してもらい, アンケートによるユーザスタディを行った. その結果, 謎解きと XR の融合, XR の情報理解, Web ベースの利便性について高評価を得たが, 操作性や没入感に課題が残った.

**キーワード:** XR, デジタルツイン, 脱出ゲーム

## 1. はじめに

Extended Reality(XR) 技術は急速に進化しており, 様々な業界での応用が進んでいる. 例えば, デジタルツイン技術を用いた製品設計やメンテナンス, 建築物の設計やシミュレーションなどが挙げられる [1]. また, 教育分野では XR を用いた仮想教室や実験シミュレーションが活用されており, エンターテインメント分野では Virtual Reality(VR)/Augmented Reality(AR) を利用したゲームやインタラクティブな展示などが人気を博している [2].

XR の活用における最近のトピックとして, 「脱出ゲーム」がある. 脱出ゲームとは, 舞台となるフィールドに仕掛けられた謎や暗号をひらめきを駆使して解き明かし, ゲームクリ



図 1 XR を活用した謎解き・脱出ゲームの例

アを目指す体験型ゲームイベントである. 複数チームで参加してそれぞれテーブル上で謎解きを進める「ホール型」, 1 チームで参加して専用の部屋からの脱出を目指す「ルーム型」, 街中やレジャー施設などを実際に歩き回って謎解きを進める「周遊型」など様々な種類がある.XR を活用した謎解き・脱出ゲームの例として, Oculus Quest(Meta Quest) を使用してバーチャル空間にダイブし, その中で得られる情報を利用してゲームを進める「リアル脱出ゲーム×にじさんじ次元交わる学級会からの脱出 (SCRAP)」 [3] や, HoloLens2 を使用した AR 体験を駆使しながらステージのクリアを目指す「TARGET(Tumbleweed, タンブルウィードラボ)」 [4] などがある (図 1). 国際ゲーム開発者協会日本 (IGDA 日本) の報告では, 2023 年の脱出ゲームの売り上げ規模は 60 億円程度であり, その市場は今後もさらに拡大することが予想されている [5]. また, AI, IoT, クラウド・エッジコンピューティング, 5G などの周辺技術の進化とともに XR も発展し [6], 脱出ゲームにおける XR を利用したユースケースの更なる増加も期待される.

XR を用いた謎解き・脱出ゲームでは, 知覚的・聴覚的表現を活用することによって新たな体験を提供できるが, XR を用いたアプリケーションの開発や利用には専用の機器やシステム実装のための高度な技術力が必要となることが多く, 個人や小規模な団体が利用するにはハードルが高いのが現状である. これらの課題の解決するためには, XR アプリの開発・運用が容易であり, 特殊な機器を必要としないことが重要である.

本研究では, こうしたニーズに応えるために設計された Web ベースのプラットフォームである ARENA を用いて, 現実の部屋の 3D シーンを反映させたデジタルツインを構築し, XR 技術を駆使した脱出ゲームを開発した. 本ゲーム

<sup>1</sup> 東京大学大学院情報理工学系研究科創造情報学専攻

<sup>2</sup> 責任著者

a) y-sugizaki6@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

b) jin-nakazato@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

c) mtsukada@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

では、舞台となる部屋のデジタルツインを ARENA 上に用意し、プレイヤーは現実とデジタルツインの両方を駆使して物語を進めていく。これにより、XR がより多くの謎解きにおいて利用され、新たな体験価値を創出することを目指している。さらに、実際にユーザーに脱出ゲームを体験してもらい、アンケートによるユーザスタディを行った。この結果をもとに、ARENA やデジタルツインと謎解き・脱出ゲームの融合に関する可能性や課題について整理した。本研究の主な貢献は下記の二点である。

- ARENA による Web ベースデジタルツインを利用した脱出ゲームの作成を行うこと
- 作成した脱出ゲームの評価のためのユーザスタディを行うこと

第 2 章では、Web ベースデジタルツインを提供する ARENA について説明する。第 3 章では、開発した脱出ゲームの設計や実装について述べる。第 4 章にてユーザスタディによる評価について述べ、第 5 章で本論文をまとめる。

## 2. ARENA について

Augmented Reality Edge Network Architecture (ARENA) は、XR アプリの開発を簡素化し、現実と仮想空間を組み合わせたプログラミングを可能にするために設計されたプラットフォームである [7]。Web ベースで動作し、複数ユーザーからのアクセスや複数のアプリケーションのホストにも対応できるため、専用機器が不要で拡張性がある。ARENA を使用することで、ユーザーやエージェントとのインタラクションを行う没入型 3D 空間環境を Web ブラウザ内で簡単に作成し、ホストすることができる。

ARENA の利点として、外部団体に依存せずにアプリやサービスを運用できる点が挙げられる。例えば Cluster や VRChat などの既存プラットフォームでは、そのプラットフォーム上の制約下でアプリやサービスを動作させる必要があるが、ARENA では一から XR 環境を設計することができ、それを基に独自のアプリやサービスを運用できる。また、タブレット・スマートフォン・PC など様々なデバイスでアクセスできるため、専用の機器を必要とせず、導入コストを抑えることが期待される。

ARENA では Python や Unity を介して利用できる API をサポートしており、これを通じて ARENA 上でのオブジェクトの生成・更新・削除が可能である。この API を使用することで、ユーザーの操作によるアクションやリアルタイムデータの反映など、動的なコンテンツやインタラクティブな要素を含むアプリケーションの開発が可能である。これにより、開発者は高度なインタラクションやリアルタイムでのデータ同期を実現できる。

## 3. 設計と実装

本研究で開発した脱出ゲームについて、現実を模したデ

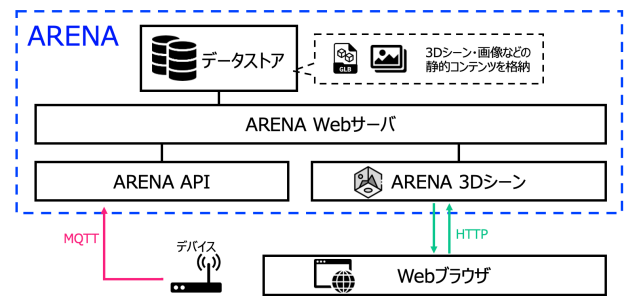


図 2 デジタルツインによる脱出ゲームの設計概要

ジタルツインを作成し、それを ARENA 上でホストした空間がベースとなっている。その設計デザインを図 2 に表す。以下、3D シーン (GLB ファイル) の生成とデジタルツインの実装について述べる。

### 3.1 3D シーンの生成

ARENA を用いた脱出ゲームの開発にあたり、3D スキャンアプリである Scaniverse (version 3.0.1) を使用して 3D シーンの生成を行った。Scaniverse による 3D スキャンに使用したデバイスは iPhone XR (iOS 17.2.1) である。Scaniverse では ManyDepth[8] を用いて点群測定を行い、その結果に 3D Gaussian Splatting[9] を適用することで、高品質な 3D シーンを生成することができる。

具体的には、東京大学工学部 2 号館の一室にて 3D シーン生成を行った。これを ARENA の VR 空間に配置することで、Web ブラウザを経由した 3D シーンへのアクセスが可能となる。部屋の様子、測定した点群データ、生成した 3D シーンの ARENA 上の様子を図 3 に示す。

### 3.2 デジタルツインの実装

3.1 節で生成した 3D シーンを ARENA 上の空間に反映させ、その中に以下の機能を持つデジタルツインシステムを実装した。

1. 端末の Web ブラウザ上で説明パネルの表示・非表示を行う機能 (図 4)
2. 室内のリアルタイム情報を表示する機能 (図 5)

これらの機能を開発した背景には、ユーザーとのインタラクションが可能な環境を提供し、また現実の情報がデジタルツインに反映される仕組みを構築し、脱出ゲームに応用するという意図がある。

説明パネルの表示については、シーン内の特定の球体オブジェクトをタップすることで、プリセットとして用意された画像やテキストが表示される仕組みを採用した。これにより、ユーザーはインタラクティブに情報を取得することが可能となる。説明パネルの表示の様子とその切り替えについて図 4 に示す。

リアルタイムデータの取得には、Raspberry Pi Model 3B を使用した。Raspberry Pi では 1 秒周期でデータを取得



図 3 実際の部屋の様子 (左)・取得した点群データ (中央)・ARENA 上での 3D シーン (右)

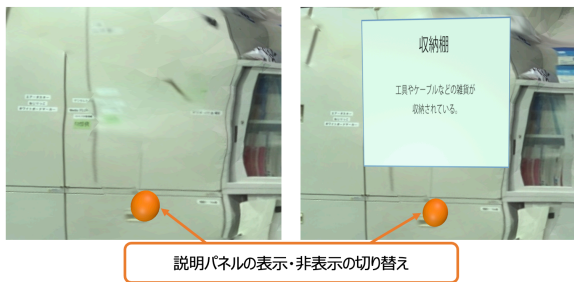


図 4 説明パネルの表示・非表示

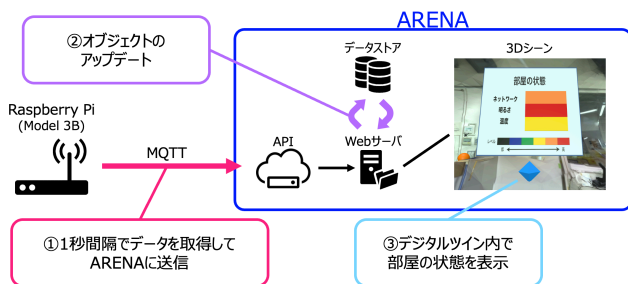


図 5 リアルタイム情報の表示

し, MQTT で ARENA に送信される. ARENA では受信したデータを元にデータベースが更新され, デジタルツイン内のオブジェクトに即座に反映されることによってリアルタイム情報を表示している. リアルタイム情報の表示に関するアーキテクチャおよびデジタルツイン内での表示について図 5 に示す.

## 4. 評価

### 4.1 概要

東京大学工学部 2 号館の一室を舞台とした脱出ゲームを作成し, 2024 年 6 月 6 日-6 月 23 日の期間において実際に体験してもらい, その評価を行った. 本ゲームは 3 章で作成したデジタルツインを駆使しながら部屋に仕掛けられた様々な謎を解き進め, クリアを目指すというものである. デジタルツインのビューワとして, iPad Pro 11-inch(2021) を使用した. 評価は, デジタルツインの機能説明, 実際のゲーム体験, 終了後のアンケート調査を通じて行った.

### 4.2 被験者

被験者は 20 代男性 20 名で構成される. 被験者の内訳について, 謎解き未経験者が 2 名, 謎解き経験者が 18 名である. 全員が評価実験に同意し, 参加前に目的と手順について説明を受けた.

### 4.3 質問項目

アンケートは以下の 6 項目について行い, 5 段階のリッカート尺度を用いた (1: 当てはまらない, 5: 当てはまる):

- Q1. デジタルツインと現実の対応を理解できた
- Q2. デジタルツイン上に表示されている内容 (室内の説明やステータス) を理解できた
- Q3. 没入感の高い体験だった
- Q4. 3D ビューワの操作は簡単だった
- Q5. Web ベースデジタルツインの良さを理解できた
- Q6. 謎解きと XR を組み合わせることの良さが感じられた

アンケートの最後には追加のコメントや質問のための自由記述欄を用意した.

### 4.4 結果

アンケートの結果を図 6 に示す. 図より, 横軸は 1 から 5 までの 5 段階の回答の割合を表し, 縦軸は 4.3 節の Q1 から Q6 までの各質問を表す.

Q1 及び Q2 は, ユーザにとって XR で表示される情報が理解できるかを質問している. いずれも高い評価を得ており, 最高評価であるスコア 5 の割合について, それぞれ 80%, 65% であった. 脱出ゲームを進めるにあたって XR の情報を使用することが必要となる場面において, ARENA における XR の理解に関しては問題がないことが確認された.

次に Q3 は, ARENA によるデジタルツインの体験における没入感について, Q4 は 3D ビューワの操作性についての質問項目であり, これらの評価は高評価と低評価がおおよそ半々となる結果であった. 本ゲームでは, ユーザはタブレット端末を使用してデジタルツインの操作を行ったが, ヘッドセットや AR グラス等を使用してより多方向から情報を

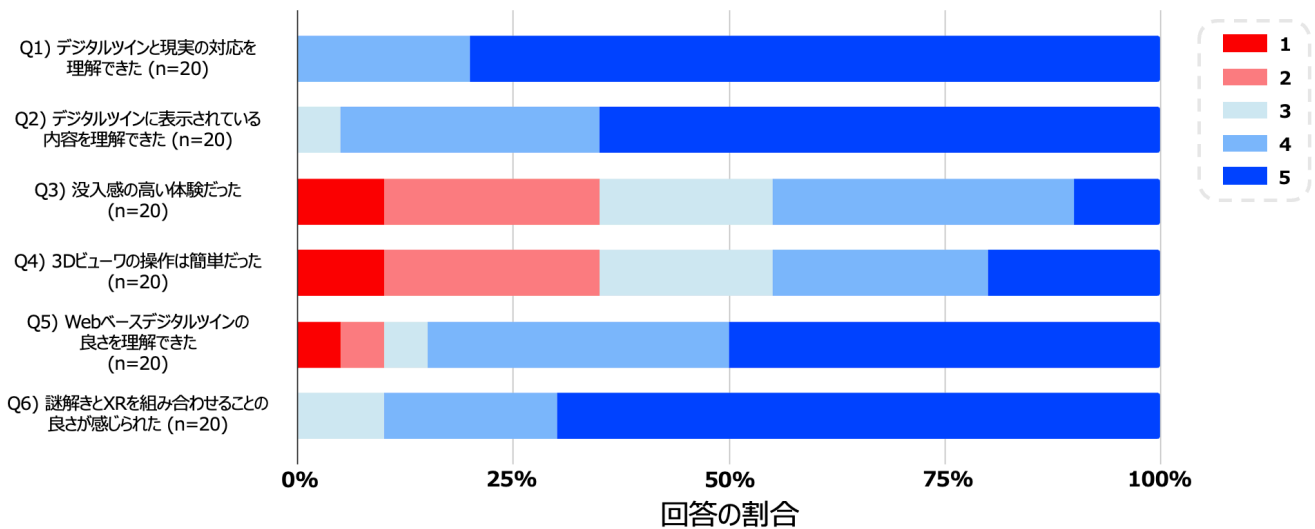


図 6 アンケート結果

提示することで、没入感を高めることが可能であると考えられる。3D ビューワの操作性については自由記述でも多数のコメントがあり、操作方法が直感的でない、移動時に壁や物体を貫通してしまう点が扱いづらいなどの課題が挙げられた。

一方で Q5 は、説明や体験を通じて Web ベースデジタルツインの利点を理解できたかについて質問であり、高い評価 (4-5) が 85% であった。特に、専用の機器を必要とせず、Web ブラウザを使用できるデバイスであればいずれのデバイスでもよいという汎用性については高い評価を得られた。

最後に Q6 は、謎解きと XR の相性の良さについての質問であり、非常に高い評価を得た。高評価 (4-5) が 90% であり、最高評価であるスコア 5 は 70% であった。自由記述欄には、謎解きと XR を組み合わせることによる新たな可能性を体感したというコメントや、謎解きに関するアイデアが記入されており、謎解きと XR およびデジタルツインとの相性の良さ、そして様々な可能性があることを確認した。

## 5. まとめ・展望

本研究では、Web ベースの XR プラットフォームである ARENA を使用して、現実の部屋の 3D シーンをデジタルツインとして構築し、それを基に脱出ゲームを開発した。具体的には、東京大学工学部 2 号館の一室を 3D スキャンし、生成したデジタルツインを ARENA 上に配置して、ユーザが Web ブラウザ経由でアクセスできるようにした。また、リアルタイムデータの表示やインタラクティブな説明パネルの表示機能を持つデジタルツインシステムを実装した。本ゲームは、デジタルツインを駆使しながら仕掛けられた謎を解き明かし、物語を進めていく形式となっている。

評価実験では、被験者 20 名に脱出ゲームを体験してもら

い、アンケート調査を実施した。結果として、デジタルツインの情報理解や Web ベースのプラットフォームの利便性について高い評価を得ることができた。特に、専用の機器を必要とせず、汎用性の高いデバイスでアクセスできる点が大きな利点として認識された。その一方で、3D ビューワの操作性や没入感については改善の余地があることが明らかとなった。ビューワの操作方法について、直感的でないことや移動の際に壁や物体を貫通してしまうことなどが指摘された。

本研究を通じて、デジタルツインを用いた XR 技術が脱出ゲームにおいて高い潜在能力を持つことが確認された。今後の課題として、より直感的で没入感の高いインタフェースの開発を進めることで操作性や没入感の向上を図るとともに、ハードウェアおよびソフトウェアの両面での発展に合わせて XR 表現の強化を進めることが挙げられる。これにより、謎解きや物語体験の補完において新たな価値を提供できるようになる。

また、資金や技術力を持つ団体だけでなく、個人制作や学生サークルなどでも XR を用いた謎解きや脱出ゲームを実装できる環境を整えることが重要である。これにより、多様な創造性が発揮され、新たな体験が生み出されることが期待される。本研究が XR 技術の普及と応用範囲の拡大に寄与し、より豊かで面白い世界の実現に貢献することを願っている。

## 謝辞

本研究の一部は、JST、CREST、JPMJCR22M4 および科研費 (22H03574) の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] Yang C, Tu X, Autiosalo J, Ala-Laurinaho R, Mattila J, Salminen P and Tammi K. “Extended Reality Application Framework for a Digital-Twin-Based Smart Crane,” *Applied Sciences*, 2022, 12(12):6030, <https://doi.org/10.3390/app12126030>
- [2] Varun Kohli, Utkarsh Tripathi, Vinay Chamola, Bijay Kumar Rout and Salil S. Kanhere, “A review on Virtual Reality and Augmented Reality use-cases of Brain Computer Interface based applications for smart cities,” *Microprocessors and Microsystems*, Volume 88, 2022, 104392, ISSN 0141-9331, <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.104392>.
- [3] SCRAP × にじさんじ, “次元交わる学級会からの脱出,” *リアル脱出ゲーム*, 2023-12-08, <https://realdgame.jp/nijisanji/>, (参照 2024-06-22)
- [4] タンプルウィード, “TARGET -UNIVERSAL HIRAMEKI GAME-,” *Tumbleweed*, 2024-05-21, <https://www.tumbleweedjp.info/event/target/>, (参照 2024-06-22)
- [5] IDGA 日本, “体験型エンターテインメントの現在と未来 2024,” *体験型エンターテインメント専門部会 (SIG-体験型エンターテインメント)*, 2024-02-06, <https://arg.igda.jp/2024/02/2024.html>, (参照 2024-06-19)
- [6] Lik-Hang Lee, Tristan Braud, Pengyuan Zhou, Lin Wang, Dianlei Xu, Zijun Lin, Abhishek Kumar, Carlos Bermejo and Pan Hui, “All One Needs to Know about Metaverse: A Complete Survey on Technological Singularity, Virtual Ecosystem, and Research Agenda,” *arXiv preprint arXiv:2110.05352*, 2021
- [7] N. Pereira, A. Rowe, M. W. Farb, I. Liang, E. Lu and E. Riebling, “ARENA: The Augmented Reality Edge Networking Architecture,” 2021 *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)*, Bari, Italy, 2021, pp. 479-488, doi: 10.1109/ISMAR52148.2021.00065.
- [8] Jamie Watson, Oisin Mac Aodha, Victor Prisacariu, Gabriel Brostow and Michael Firman, “The Temporal Opportunist: Self-Supervised Multi-Frame Monocular Depth,” *arXiv preprint arXiv:2104.14540*, 2021
- [9] Bernhard Kerbl, Georgios Kopanas, Thomas Leimkühler and George Drettakis, “3D Gaussian Splatting for Real-Time Radiance Field Rendering,” *arXiv preprint arXiv:2308.04079*, 2023