

解体校舎の記憶継承と避難判断を支える 3D 校舎メタバースと煙体験 VR 防災教材

藤原 遙馬^{*1}・浮田 明季^{*1}・大野 智己^{*2}・高松 胡桃^{*3}・中村 南瑠^{*3}

指導教員：笹岡 慎太郎^{*4}

Email : ssasaoka9030@gmail.com

*1: 愛媛県立松山南高等学校理数科3年

*2: 愛媛県立松山南高等学校理数科2年

*3: 愛媛県立松山南高等学校普通科2年

*4: 愛媛県立松山南高等学校

◎Key Words

3D 校舎メタバース, 煙シミュレーションVR, 地域デジタルアーカイブ

1. はじめに

学校統廃合や校舎老朽化で失われるのは建物だけではない。教室の雰囲気、階段からの景色、体育館での行事など、卒業生や地域の人の記憶も、場所とともに共有しにくくなる。文部科学省によると、平成16年度から令和5年度までに公立学校8,850校が廃校となり、現存施設のうち213校は取壊し予定である。(1) 松山南高校でも旧校舎の解体が進み、私たちは、なくなる前に空間を記録したいと考えた。

写真や動画でも校舎を残すことはできる。しかし、後から見る人が自分で歩き回り、教室と廊下の距離感を確かめたり、離れた人と同じ空間を見ながら話したりすることは難しい。3D計測は文化資産の記録に有効であり、VRは危険な火災場面を安全に学ぶ手段として研究されてきた。(2)(3) 一方で、記憶継承用の3Dモデルと防災教材は別々に作られることが多く、撮影や形状修正の負担が二重になりやすい。そこで本研究では、本校の先行活動「南高3D博物館」(4)を発展させ、同じ校舎3D資産を、記憶を語り合うWeb空間と避難を判断するVR教材の両方に用いることにした。

本研究で確かめることは三つである。RQ1: 身近な機器で取得した校舎をブラウザ上で共同訪問できるか、RQ2: 同じ3D資産を煙体験VRへ再利用できるか、RQ3: 実装と公開の結果から、他校展開に必要な条件と限界を明らかにできるか、である。本稿の主張は、システムを実際に動かしたこと、公開を通じて外部に届いたこと、他校でも取り組む条件を整理したことまでとする。避難学習としての効果は、今後の体験者調査と事前・事後比較で検証する。本研究の新規性は、保存用3Dデータをただ眺める記録で終わらず、思い出を語り合う場と避難判断を考える教材の二つに生かした点にある。

2. 研究設計

2.1 「共通原モデル+用途別派生」

私たちの考え方は、「一度記録し、二つの学びに使う」である(図1)。設計要件は、A: 校舎を「歩ける記憶」として残す、B: 専用アプリなしで閲覧できる、C: 離れた利用者が同時訪問できる、D: 同じ形状を防災教材へ転用する、E: 他校が段階的に追試できる、の5点とした。スマートフォン等で取得したデータをBlenderで修正し、縮尺と座標をそろえた高精細の共通原モデルを保存する。そこからWeb用には軽量モデル、VR用には火災計算と体積描画に適したモデルを作る。再利用とは完成ファイルをそのまま使うのではなく、撮影と形状修正を共通化し、用途に合わせて派生版を作ることである。



図1 共通原モデルから記憶共有と避難判断へ展開する構成

2.2 評価の考え方

成果を感覚だけで判断しないため、先に確認項目を決めた。RQ1では、ブラウザ閲覧、複数端末での位置・向き同期、公開後の到達範囲を確認した。RQ2では、校舎形状を使った煙計算、VR端末での校舎移動と煙描画を確認した。RQ3では、開発中の不具合や解決方法、必要な機材、専門家の支援を記録した。アクセス数は実人数や学習効果を直接表すものではないため、公開の広がり性を示す指標として扱った。

3. 開発方法

3.1 3D取得とモデル管理

屋内や校内の小物は、LiDAR対応スマートフォンとScaniverseで分割して撮影し、8名の協力生徒も参加した。スマートフォンでは死角になりやすい外壁は、えひめ産学官ドローン活用協議会と連携して空撮した。取得したメッシュには穴、重複面、浮遊点、面の向きの乱れ、縮尺のずれがあったため、Blenderで修正した。保存用の高精細原本と、公開・VR用の軽量化派生版を分けて管理し、公開時には立入可能範囲、人の顔、掲示物、個人情報を確認した。

3.2 交流型Webメタバース

Web版では、軽量化したモデルをThree.jsで描画し、(7)PCやスマートフォンのブラウザから一人称視点で歩けるようにした。Node.jsサーバとWebSocketを用い、各利用者の識別子、位置、向きを送受信して、他の利用者を同じ空間に表示した。通信では

3D 形状全体を送り続けるのではなく、各端末が共通モデルを持ち、変化する利用者の状態だけを同期した。これにより通信量を抑え、単独で眺めるアーカイブから、離れた人が同じ場所を歩きながら話せる共同訪問の空間へ広げた。

3.3 煙体験 VR

防災教材では、廊下、教室、体育館、階段室など避難判断に関わる 10 か所を出火候補とし、まず 1 条件を FDS で予備計算した。FDS は米国 NIST が公開する火災流体解析ソフトである。(5) 個人用 Linux PC では 1 条件の計算に約 40 時間かかった。煙の時系列体積データは、GPU で扱いやすい NanoVDB へ変換し、(6) Unity に読み込んだ。OpenXR を介して Meta Quest 3S 上で動作させ、(8) 校舎内を移動しながら煙の広がりや視界低下を見て経路を選ぶ試作教材とした。

この VR 教材では、正解の経路を自動で表示しない。利用者が煙の見え方を手掛かりに、自分で進む方向を考えるためである。ただし、FDS の結果は出火位置、燃焼物、換気、格子幅などの条件で変わるため、実際の建築安全性を保証しない。防災・流体分野の専門家による条件確認を前提とし、体験時には VR 酔いや心理的負担にも配慮する。

(a) 解体が進む旧校舎



(b) Web校舎メタバース



(c) FDSによる煙の予備可視化

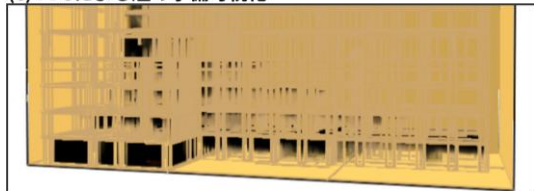


図2 解体中の校舎と二つの実装結果

4. 結果

RQ ごとの確認結果を表 1 にまとめた。Web 版では、旧校舎、階段、体育館、思い出の品を閲覧でき、複数端末間で位置と向きの同期を確認した。公開サイトは 2025 年 10 月時点で総閲覧数 591 件、20 か国からアクセスされた。この数値だけで記憶継承の効果は示せないが、地域に限られた題材を校外・国外へ届け、複数人が同じ空間を訪問できる構成が実際に機能したことは確認できた。

煙体験 VR では、予備 1 条件の計算が完了し、煙が校舎内へ広がる時間変化を確認した。また、Meta Quest 3S 上で校舎内移動と煙描画を同時に実行できた。一方で、Web 用モデルをそのまま入れるだけではうまく動かなかった。ポリゴン削減、座標の統一、衝突判定、FDS 用形状の整理、煙データの変換が必要であった。この経験から、「完全な使い回し」ではなく、「共通原本から用途に応じて派生させる」設計が現実的だと分かった。

表 1 研究課題に対する確認結果

RQ	根拠（観察・データ）	現時点の結論
1	ブラウザ閲覧、複数端末同期、591 件・20 か国	共同訪問と校外公開の成立を確認
2	FDS 予備 1 条件、約 40 時間計算、VR 内移動・煙描画	同一 3D 資産から煙体験 VR へ派生可能
3	外壁欠損、表示負荷、計算負荷、個人情報確認の改善記録	原本／派生分離、状態同期、事前計算が条件

4.1 開発過程から得た五つの設計原則

開発を進める中で、次の五点が重要だと分かった。第一に、スマートフォンだけでは取得しにくい外壁は、地域のドローン技術で補う。第二に、保存精度と実時間動作を両立させるため、高精度原本を残して軽量版を派生する。第三に、Web では 3D 形状ではなく利用者の状態だけを同期する。第四に、高負荷な煙計算は事前に行い、VR 端末には描画しやすいデータを渡す。第五に、公開前に立入範囲と個人情報を確認する。失敗や制約を次に使える設計原則へ変換できたことが、RQ3 への成果である。

5. 考察

5.1 独創性：同じ 3D 資産を二つの学びに生かす

本研究で最も大切な点は、3D 保存と VR 防災を単に並べたことではなく、一つの校舎空間を共通基盤として、Web では他者と思い出を語り、VR では自分で避難経路を判断するという二つの学びにつなげた点である。失われる校舎を懐かしむ記録として残すだけでなく、命を守る判断を考える教材へ変換した。AI 時代には、技術に何を任せるかだけでなく、人が何を考え、どのように他者と関わるかが重要になる。本研究は、情報技術を人が語り合い、考えて選ぶために用いた点に意義がある。

また、私たち高校生が、課題発見、協力依頼、撮影、3D 修正、Web 通信、流体計算、VR 実装を分担し、大学・企業・地域団体の専門性を取り入れながら形にした。単一ソフトの使い方を学ぶだけではなく、「保存精度と動作速度」「公開性と個人情報」「現実性と安全性」の間で何を優先するかを何度も判断した。この点に、情報機器を用いた探究学習としての価値がある。

5.2 有用性：他校が段階的に始められる構成

他校で応用する場合、最初からすべての機材をそろえる必要はないと考える。段階 1 では、スマートフォンと PC で撮影し、Web で閲覧できるところまで行う。段階 2 では、サーバを用意し、複数人で同じ空間を訪問できるようにする。段階 3 では、計算環境、VR 端末、専門家の助言を得て煙体験へ進む。校舎モデルだけを自校のものに置き換え、Web 表示、通信、煙描画の枠組みを再利用できれば、統廃合校、文化財、避難所、公共施設にも応用できる。

表 2 他校展開の段階モデル

段階	必要なもの	得られる成果
1 記録	スマートフォン、PC、3D 編集	歩ける地域デジタルアーカイブ
2 共有	Web サーバ、リアルタイム通信	遠隔地からの共同訪問
3 防災	FDS 計算環境、VR 端末、専門助言	煙下での避難判断体験

5.3 限界と実証計画

第一に、591 件・20 か国は閲覧の広がりを示すものであり、記憶が実際に継承されたことを示すものではない。今後は卒業生や地域住民への同意付き調査で、想起された場所、語られた記憶、共同訪問の有無、継続利用意向を記録する必要がある。第二に、煙計算は 1 条件の予備実証である。火源、材料、換気、格子幅について専門家と確認し、残る 9 候補も比較する必要がある。

第三に、VRが避難判断を改善するかは、まだ検証できていない。次の評価では三つの面から確かめる。記憶継承では、想起場所数、記憶エピソード、共同訪問の有無、継続利用意向を調査する。避難判断では、同じ校舎について「平面避難図」「煙なし3D」「煙ありVR」の三条件を比較し、危険経路選択率、出口決定時間、経路記憶、確信度、VR酔いを測る。再現性では、撮影時間、データ容量、変換手順、必要機材、外部支援の有無を記録し、他校での段階導入を検討する。

6. おわりに

私たちは、解体される校舎を3Dで保存し、共通原モデルから交流型Webメタバースと煙体験VRへ展開した。複数端末での共同訪問、591件・20か国への公開、FDS予備計算、Meta Quest 3Sでの校舎移動と煙描画までを確認した。成果は、保存用3Dデータを記憶共有と避難判断の両方へ生かす設計と、そのための原本や派生分離、状態同期、事前計算、安全確認という原則である。今後は利用者データを集めて学習効果を検証し、撮影・変換・安全運用の手順を公開して、他校が再現できる地域デジタルアーカイブへ発展させたい。

謝辞

本研究にあたり、3D制作を支援いただいた有限会社ナカノジョイントカンパニー、空撮に協力いただいたえひめ産学官ドローン活用協議会、計算環境・研究助言に協力いただいた愛媛大学関係者、ならびに撮影・公開に協力いただいた本校生徒・教職員の皆様に感謝する。

参考文献

- (1) 文部科学省：“令和6年度 公立小中学校等における廃校施設の活用状況に関する調査”，2025.
- (2) Koller, D., Frischer, B., Humphreys, G.: “Research Challenges for Digital Archives of 3D Cultural Heritage Models”, *Journal on Computing and Cultural Heritage*, Vol.2, No.3, Article 7, pp.7:1-7:17 (2009).
- (3) Smith, S., Ericson, E.: “Using immersive game-based virtual reality to teach fire-safety skills to children”, *Virtual Reality*, Vol.13, No.2, pp.87-99 (2009).
- (4) 松山南高校)ばーちやるず：“松山南高校バーチャル博物館”，<https://mmh-virtual.jp/> (参照2026-06-20).
- (5) McGrattan, K. et al.: “Fire Dynamics Simulator User’s Guide”, *NIST Special Publication 1019*, Sixth Edition, National Institute of Standards and Technology (2023).
- (6) Museth, K.: “NanoVDB: A GPU-Friendly and Portable VDB Data Structure for Real-Time Rendering and Simulation”, *SIGGRAPH ’21 Talks*, Article 26 (2021).
- (7) Three.js: “three.js docs”, <https://threejs.org/docs/> (参照2026-06-20).
- (8) Khronos Group: “OpenXR Specification”, <https://registry.khronos.org/OpenXR/> (参照2026-06-20).