

建築・都市分野における VR・MR の応用と展望 2023 (2)

Applications and Prospects of Virtual and Mixed Reality in Architecture and Urbanism 2023 (2)

○笹田 岳^{*1}, 安藤 幸央^{*2}, 上田 淳^{*3}, 大西 康伸^{*4}, 北本 英里子^{*5}, 倉田 成人^{*6}
酒谷 粹将^{*7}, 清水 駿太^{*8}, 福田 知弘^{*9}, 藤田 真衣^{*10}, 松永 直美^{*11}, 満田 衛資^{*12}
Gaku SASADA^{*1}, Yukio ANDO^{*2}, Jun UEDA^{*3}, Yasunobu ONISHI^{*4}, Eriko KITAMOTO^{*5},
Narito KURATA^{*6}, Suisho SAKATANI^{*7}, Shunta SHIMIZU^{*8}, Tomohiro FUKUDA^{*9}, Mai FUJITA^{*10},
Naomi MATSUNAGA^{*11} and Eisuke MITSUDA^{*12}

- *1 鹿島建設株式会社 建築設計本部 チーフアーキテクト 修士(工学)
Chief Architect, Architectural Design Division, Kajima Corporation, ME.
- *2 株式会社エクサ Smart システム開発本部
Smart Systems Division, EXA CORPORATION.
- *3 清水建設株式会社 建築総本部 設計本部 デジタルデザインセンター センター長 修士(工学)
Digital Design Center, Design Division, Building Construction Headquarters, SHIMIZU CORPORATION, ME.
- *4 熊本大学 大学院先端科学研究部 教授 博士(学術)
Professor, Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, Ph.D.
- *5 神奈川工科大学 情報学部 准教授 博士(工学)
Associate Professor, Kanagawa Institute of Technology, Dr. Eng.
- *6 筑波技術大学 産業技術学部 教授 博士(工学)
Professor, Faculty of Industrial Technology, Tsukuba University of Technology, Ph.D.
- *7 関東学院大学 建築・環境学部 建築・環境学科 准教授 博士(工学)
Associate Professor, College of Architecture and Environmental Design, Kanto Gakuin University, Ph.D.
- *8 株式会社フォーラムエイト VR サポート Group
VR support Group, Forum 8 Co. Ltd.
- *9 大阪大学 大学院工学研究科 環境エネルギー工学専攻 准教授 博士(工学)
Associate Professor, Graduate School of Engineering, Osaka University, Ph.D.
- *10 パナソニック株式会社 エレクトリックワークス社 修士(工学)
Electric Works Company, Panasonic Corporation, ME.
- *11 レモン画翠 代表取締役社長 博士(工学)
Representative Director, LEMON GASUI, Ph.D.
- *12 京都工芸繊維大学 デザイン・建築学系 教授 博士(工学)
Professor, Faculty of Design and Architecture, Kyoto Institute of Technology, Ph.D.

キーワード：計画設計；施工；仮想現実；拡張現実；複合現実；応用；展望

Keywords: Planning and design; construction; virtual reality; augmented reality; mixed reality; application; prospect.

1. はじめに

前稿「建築・都市 VR・MR の応用と展望 2023 (1)」に引き続き、建築・都市 VR・MR 小委員会に所属する著者らによる VR (仮想現実、人工現実)・MR (複合現実。ここでは AR (拡張現実) の概念を含む。またこれらを総称して XR とも言う。) の応用・活用状況と展望について述べる。

2. 応用・活用状況と展望

2.1. 空き家改修とデジタルツイン

筆者はこれまでの研究でゲームエンジン unity を用いて、オンライン上に 3D 空間を設け、モデリングされた設計中の建築空間を、Web ブラウザを通して体験し、その空間内に様々な意見やアイデアを言語情報として残すことのできる設計空間システムを構築した。そして空き家改修の実プロジェクトにおける設計段階での様々な検討の中でそれを活用しながら、設計ツールとしての利便性やその効果

の検証を行ってきた。窓サッシの改変や構造補強、コンクリート土間の打設等、専門業者による作業が必要な比較的大きな規模の工事を経てその改修プロジェクトは一旦完了し、本年度から施設の運用（学生シェアハウス兼地域活動拠点）を始めたのであるが、そうした新しい空間の具体的な活用を始める中で、設計段階では想定していなかった課題や空間に対する新たな機能要求等が次々と浮かび上がってきた。空き家改修に限らずこうした竣工後の思いもよらない事態の発生は建築プロジェクトでは珍しいことではないだろうが、そこに発生する多種多様な不満や要望の全体像を捉えることは簡単なことではない。本プロジェクトにおいてもそうした新規の要件をどのように集約し、それを整理しながら空間の改善へと繋げていけるかが課題として挙がっている。そこで設計段階で構築した設計空間システムを竣工後も継続して活用することを試み、改修された空き家の現実空間と同等の空間をオンライン上の3D空間として設置し、Webブラウザを通してその空間内に誰でも言葉を残すことができるデジタルツインとしての仮想空間の運用を始めることにした。現在はその中に集約された意見やアイデアをもとに、新しい収納を設けたり、カーテンを取り付けたり、様々なスケールの新たな空間の改変を仮想空間内でシミュレーションしながら、関係者らでその内容を検討し、定期的に改修作業を行っている。関係者の中には高齢者や子どもらも多く、そうした人たちでも現実空間と仮想空間をシームレスに往来できるより良いインターフェースの開発を今後も目指したい。

2.2. 点群の共有と協議が可能なメタバースシステムの開発の取り組み

ブラウザ上のメタバース空間を構築可能なWebVRプラットフォームを利用して点群を表示し、情報共有や協議に活用する仕組みの開発を進めている。近年、国土交通省が取り組んでいる国土交通データプラットフォームや、静岡県が取り組んでいるVIRTUAL SHIZUOKAといった、点群をオープンデータとして公開し、ブラウザ上で表示するコンテンツは徐々に普及しつつある。本件で取り組んでいるシステムでは、複数人が同時に入ることのできるメタバース空間上に点群を表示させることで情報共有ができ、Web会議機能を併用することで、目の前に点群を表示したり点群内に没入しながら協議を進めるといった用途での活用も可能となる。さらに、各種HMDやMRデバイスを利用した場合は、点群による形状や空間再現状況をより正確に把握することができるようになる。

本件でベースとするシステムにはメタバース空間上での音声やチャットによるコミュニケーションやビデオ通話、空間内スクリーンによる画面共有等の機能を有していることから、バーチャルオフィス、バーチャル展示会、バーチャル講演会といった用途での活用実績があるが、点群

表示機能が加わることで、点群による現場の状況の確認と遠隔協議にも活用できるようになる。バーチャル会議の参加者はアバターによって他者の視点位置が認識でき、画面共有機能と組み合わせると他者の視点からの見え方も確認できることから、現場状況の共有は容易に行える。また、メタバース空間上での現場の再現も、点群を更新することで日々最新の状況を反映することができ、点検や維持管理などの用途にも活用の幅を広げていくことが期待される。



図1 メタバース空間での点群表示とアバターによるバーチャル会議のイメージ

点群データ出典：VIRTUAL SHIZUOKA / CC BY 4.0/ODbL

2.3. 生成AIを基軸としたXRと合成データセット生成法

従来のMR（複合現実）は、水面など実世界の反射面（以下、現実水面）に対して仮想モデルの反射を表現できていない。リアルタイムレイトレーシングを用いて仮想モデルの反射を表現するMRが提案されているが、現実水面の揺らぎを考慮していない。そこで本研究¹⁾は、GAN（敵対的生成ネットワーク）を用いて、水面上の仮想モデルの反射を「もっともらしく」レンダリングするMRを提案した。プロトタイプシステムを開発し、景観設計に適用して反射レンダリングの品質、処理速度を検証した。結果、GAN適用により正解値との類似性が向上し、クライアント端末の描画速度は6.3fpsであった。

専門的なスキルや労力を必要とせず、既存建造物の解体や再開発後の将来景観を表現する方法として、深層学習による画像生成に着目する。本研究²⁾は、インスタンスセグメンテーションと拡散モデルを組み合わせ、既存建造物の撤去後と再開発後それぞれの将来景観画像を自動生成する方法の提案を目的とした。提案法は、(I) 個々の建造物検出、(II) 選択された建造物に対するマスク画像の自動生成、(III) 将来の景観画像生成のプロセスから構成される。建造物個々の検出精度、建造物除去精度、テキスト入力により生成された建造物の再現性について検証した。

既存建造物を自動検出するためには深層学習モデルを学習させるデータセットが必要である。データセットを手動で作成する方法はコスト増であり、自動生成が望ましい。3D都市モデルを用いる方法はモデルの忠実度（LOD2以

上)に依存し、数的限界もある。そこで本研究は³⁾、手続き型モデリングと画像変換技術を用いて、現実らしい架空の建物ファサードを生成し、インスタンスセグメンテーションのための合成データセット自動生成法を提案した。提案法により、4.45秒/セットで生成した合成データセットで学習した深層学習モデルは、現実世界の建物ファサードを検出することができた。

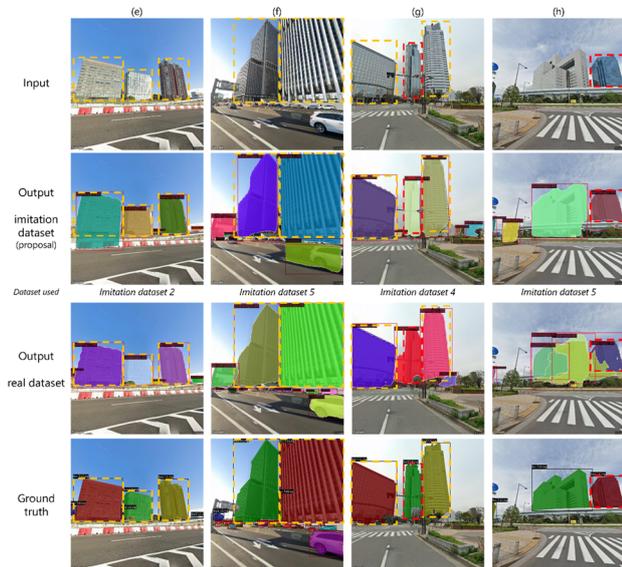


図2 提案法で生成したデータセットを用いて学習したモデル(2行目)と、現実画像を用いて学習したモデル(3行目)の検出精度の比較。現実画像で学習したモデルと同程度、もしくはより優れた結果を得ることが可能であることが示された。赤破線は現実画像で学習したモデルより優れた結果を得られた領域を示す。

2.4. ゲームフィケーションによる参加型まちづくり

国土交通省が主導するProject PLATEAUでは日本全国の3D都市モデルの整備・活用・オープンデータ化が進められている。その一環として、3D都市モデルを市販のゲームであるCities: Skylines(区画の用途指定や道路、公共施設の設置を行い、都市を形成・成長させるParadox Interactiveが制作したゲーム)に取りこみ、現実の都市をベースにまちづくりシミュレーションが可能なシステムを開発した。また本システムを活用した高校生を対象としたワークショップを行い、まちづくりへの理解や関心、参加意識の向上に関する効果の検証を行った。

ワークショップでは、市内の人口の増加や魅力的な駅前づくりをテーマに、高校生が自らゲーム上で自由に試行し、グループごとにその結果の発表を行った。実施後のアンケート調査では、90%以上の参加者が「まちづくりへの関心・参加意欲が高まった」と回答した。特にゲームを活用したことに対する高校生の順応性は高く、駅前の施設のイメージや車窓から見たランドスケープの創り方といった、詳細なデザイン検討を行う学生がいる等、具体的なイメージと

して意見を抽出することができた。またワークショップ開催自治体職員からはまちづくり分野の他、農業分野や観光プロモーション等においても活用の可能性があるという意見が得られた。

今後は3D都市モデルの整備エリアの拡大とともに、他自治体での導入や様々な分野の方を対象に幅広く活用を促すことによって、まちづくりの計画検討や市民参画の促進が期待される。

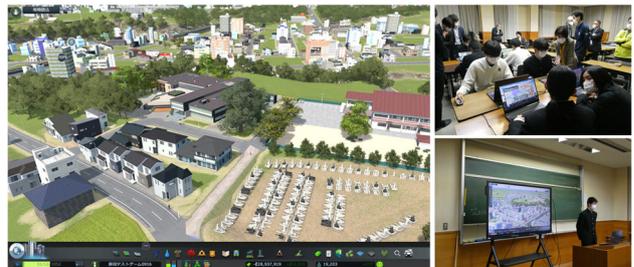


図3 ゲームフィケーション手法を用いた3D都市モデルの活用事例

2.5. 「新実在論」から考察するヴァーチャルとリアルの「境界線(あわい)」-VR・ARと夢幻能の世界観を用いて-

時間と空間を自在に支配するといわれる能楽の「夢幻能」とVR・ARの世界観は、ヴァーチャルとリアルの境界を曖昧にして、人々を惑わしてきた。ICTの進展によりこの「境界線(あわい)」は、以前にも増して不鮮明(blur)になった。シンポジウム「私たち・建築・都市をつなぐ最先端XR2022」のパネルディスカッションでは、この境界線(あわい)について、踏み込んで研究することが重要になるとの意見が交わされた。筆者がシンポジウムで比較に用いた作品の一例は「丹後国分寺五重塔AR」⁴⁾と夢幻能「井筒」であった。ARプロジェクトの参加者は、数百年前に焼失した五重塔の焼け跡が残る礎石の間を歩いたのち、WebARで浮かび上がる茜色に輝く五重塔を見上げ、天橋立を描いた室町時代の禅僧雪舟が見た同様の景色を時間と空間を超えて追体験する。夢幻能「井筒」では鑑賞者が演目ゆかりの旧跡を訪れた折、偶然、隣家から横笛の音色が聞こえてきたときなど、夢幻能の世界に突如深く入り込み、劇中の女があたかもそこにいるような錯覚に陥り、しばし呆然と立ち尽くす。

このような、ヴァーチャルとリアルの境界である「あわい」における体験については、認知科学や心理学を用いて研究することが、情報文化的アプローチとして重要だと考えていた。しかし、ドイツの哲学者マルクス・ガブリエルが提唱する「新実在論(New Realism)」⁵⁾では、彼のいう「意味の場」に現出する事象は全て実在することになる。彼は存在論の基本単位を「意味の場(領域)」と呼ぶ。「意味の場」は複数あり、それぞれの領域は違うがすべてが同等に現実である。意味の場に何が

現象する＝その何かは存在する。どのような対象でも必ずある領域に現れる。例えば、丹後国分寺五重塔 AR (図4) は、WebAR 上という「意味の場」に存在しているが、21 世紀の天橋立という領域には存在していない。夢幻能の鑑賞者が旧跡で見た(思い浮かべた)女は白昼夢の「意味の場」には存在しており、物理的な旧跡の「意味の場」には存在していない。「新実在論」は、デジタル革命の結果として出てきた知見であるとガブリエルは述べている。フィクションと事実の境界線、ヴァーチャルとリアルとの境界線が不鮮明 (blur) であるという考えは、ポストモダンの哲学的思考の結果生まれたものであり「新実在論」によって、リアルとヴァーチャルの境界は再び明確になろうとしている、とガブリエルは主張する。筆者は、建築・都市研究の分野においても「新実在論」は重要な役割を担っていくことになると考えている。今後、新しい実在論における「境界線 (あわい)」についての知見を深めていきたい。



図4 丹後国分寺五重塔カット
©大阪大学 福田研究グループ

2.6. 点群情報と構造 XR の間にある大きな壁

3D スキャンによって得られた点群で表現された VR 空間内を自由に移動する経験は何ら難しい時代ではなくなった。実在する空間をスキャンしているため、しっかりと作りこまれた BIM から作成した VR 空間などよりも高いリアリティを感じる。構造エンジニアとしては、そこにさらなるリアルを感じたい。例えば、地震動が作用した際に建物がどのように動くか等。そのためには、建物の構造躯体の情報が必要になるわけだが、対象がたとえ RC 打放しや真壁の木造のような躯体を視認できる建物であっても、点群からその情報を読み取ることは難しい。なぜなら点群は表層の情報に過ぎず、深層に潜む部材芯や形状寸法等の情報を何ら示してはいない。構造エンジニアが欲しい情報は後者の方だ。この 3D 点群情報から構造躯体情報を抽出する技術は、特に既存建築物の保存再生に向けた建物調査において必ず役立つ技術となるため、(必ずしも XR 化しなければならない話ではないのだが) 筆者の研究室でも数年前から積極的に取り組んでいる。当初は、スキャナ付属のソフトウェアを利用して点群をメッシュ化しメッシュ

サーフェスの分析から部材芯情報を抽出しようとしたが、メッシュ化に伴って点の情報欠落してしまうことが多い。PC 画面上での目視と手動で地道に部材を選択したり⁶⁾、あるいはいったん 2 次元画像に落とし込んだ上でテンプレートマッチングにより部材のセグメンテーションを試みたりもしたが⁷⁾、現在は点群を直接分析しデジタル情報をデジタルのまま扱うことを重視してこの課題に取り組んでいる。

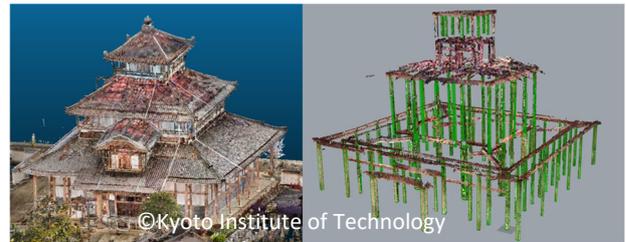


図5 正法寺の点群 (左) および、その部材芯モデルと点群の重ね合わせ (右)⁶⁾

3. まとめ

建築・都市 VR・MR 応用・活用状況と展望に関して、6 名の取組みを概観した。空き家改修とデジタルツイン、点群の共有と協議が可能なメタバースシステムの開発、生成 AI を基軸とした XR と合成データセット生成法、ゲーミフィケーションによる参加型まちづくり、「新実在論」から考察するヴァーチャルとリアル「境界線 (あわい)」、点群情報と構造 XR の間にある大きな壁についてである。

[参考文献]

- 1) Shirahase, T., Fukuda, T., & Yabuki, N. (2023). Developing a mixed-reality system with reflection rendering of virtual objects using generative adversarial networks, Proc. of the 41st eCAADe Conf., 2, 853–862, https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2023_66
- 2) Mugita, Y., Fukuda, T., & Yabuki, N. (2023). Future landscape visualization by generating images using a diffusion model and instance segmentation, Proc. of the 41st eCAADe Conf., 2, 549–558, https://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/paper/ecaade2023_68
- 3) Kikuchi, T., Fukuda, T., & Yabuki, N. (2023). Development of a synthetic dataset generation method for deep learning of real urban landscapes using a 3D model of a non-existing realistic city, Advanced Engineering Informatics, 58, 102154, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102154>
- 4) 福田知弘：2020、「都市と IT が出会うところ」、FORUM8 PUBLISHING、pp.244-247
- 5) マルクス・ガブリエル：2018、「なぜ世界は存在しないのか」、講談社選書メチエ、pp.97-106、pp.1
- 6) 加芝亮、満田衛資：建築物の点群を利用した部材芯モデル作成手法の研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)、pp.261-262、2023.9
- 7) 平岡縁、満田衛資：3 次元点群情報における構造躯体抽出に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)、pp.257-258、2023.9