

建築・都市分野における VR・MR の応用と展望 2023 (1)

Applications and Prospects of Virtual and Mixed Reality in Architecture and Urbanism 2023 (1)

○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

建築・都市 VR・MR 小委員会は、建築・都市分野の 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。)の技術探求と水平展開を目指し、様々なバックグラウンドのメンバーが活動している。

本稿では当小委員会に属する研究者ならびに実務者有志による VR・MR の応用・活用状況と展望を二編にわたって概観する。画像・図形処理、メタバース、3D スキャン、

点群データ、BIM (Building Information Modeling)、IoT (Internet of Things)、生成 AI など VR・MR を取り巻く様々な先端技術との融合に関する研究や、これらの技術を建築・都市分野の実務側から見た課題や期待などについても触れる。

2. 応用・活用状況と展望

2.1 可視化から見えた想定外の原因

設計実務の場において廊下の幅、階段の位置や大きさ

などのいわゆるコア計画は、プロジェクトの最初期に検討される建物の骨格を決める重要項目のひとつである。

ある工場プロジェクトでは廊下や階段の計画において、人流シミュレーションの可視化を通して想定外の問題を発見することができた。このプロジェクトでは順次増築された工場棟が渡り廊下で接続され、最終的には厚生棟が増築されて全体計画が完成する予定となっている。現在、従業員の出勤の動線は個々の工場棟内で完結しているが、今後、厚生棟が完成すると、全ての従業員は出勤時には厚生棟を起点・終点として個々の工場棟へと行き来することとなり、人の動線が大きく変わることになる。

設計者は、厚生棟が完成すると、ここに接続する渡り廊下を各工場棟の全従業員が経路することになる事から、この渡り廊下が混雑する可能性を考え、幅員検討が重要と考えた。そこで出勤時を想定した人流シミュレーションによる可視化を試みた。各エリアの詳細なスケジュール（発生人数、移動開始時刻、歩行速度、起点・経路地・終点）をもとに人流シミュレーションを実施した結果、当初懸念していた厚生棟への接続部の廊下部分に混雑は発生せず、むしろ厚生棟から遠く離れた既存棟の廊下の合流部などに混雑が発生することが分かった（図1）。これは、各工場棟の従業員の動線が大きく変わったことにより、想定されていなかった新たな人の流れ、合流などが生じたことが原因の一つであると考えられる。

人流シミュレーションの結果を使って広範囲を俯瞰して可視化したことで、設計者は当初予想していた箇所が混雑するのではなく、想定外の箇所が混雑するという新たな気づきを得ることができた。これが設計段階であれば設計案を変更することになるが、今回のように竣工後であれば運用面でカバーすべき問題として顧客と共有することになる。

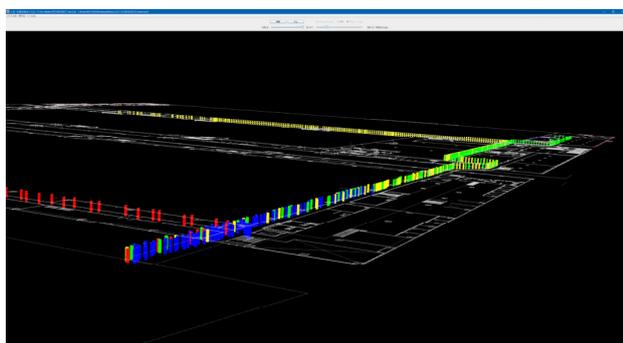


図1 人流シミュレーションによる混雑の可視化の様子

2.2. CG 学会 SIGGRAPH2023 における VR の潮流と今後の期待

SIGGRAPH は、米国コンピュータ学会におけるコンピュータグラフィックス分野の SIG（分科会）である。XR 全般（VR/AR/MR）の研究、先進的デバイスの提案はもとよ

り、エンターテインメント性の高い映像分野での VR 活用事例も重要な要素の一つとなっている。2023 年 8 月に米国ロサンゼルスで開催された SIGGRAPH では、こういった XR の進化を支える先行研究や新しいテクノロジーが数多く発表された。振動、衝撃、形状を知覚できる VR コントローラー、VR 機器の省電力化のための表示色の工夫、パスルーと呼ばれる実写映像を取り込み VR で活用する際の高速化、眼が持っている焦点を合わせる機能を考慮した映像表示、視線に応じて VR ゴーグルのディスプレイが前後移動してピントを補正する仕組み、動きを速く感じられる身体拡張デバイスなど、体験が可能な試作デバイスとともに展示された。また VR 関連で注目の論文として、360 度広がる VR 映像を見回す時の首の筋肉や骨の負担を軽減するために、VR ゴーグル装着時の頸部筋肉収縮のデータを活用する手法が提案された¹⁾。

近年、VR 機器の発展や、産業への応用がいったん落ち着き、手堅く実用が広がっていく中で、Apple 社が Vision Pro という現実世界とデジタル世界を繋ぐ「空間コンピューティング」デバイスを発表した。XR 領域の進化がもう一段階押し上げられる予感もたらされており、産業界からもエンターテインメント界からも大きな注目を集めている。ここでの注目ポイントは、Apple 社がこの新デバイスの説明に「VR/AR/MR」という言葉を一言も使っていない点にある。もちろんマーケティング戦略で、他社の VR 機器と差別化を図りたいという意図もあると考えられるが、そこに新しい概念や体験をもたらそうという強い意志が感じられる。

今後、地形や建築物など現実世界をより正確に VR 世界に取り込むことと、より高精細で映像的に違和感の無い VR デバイスによって没入感のある現実と仮想世界との差分が曖昧なシームレスな体験によって、様々な産業分野、エンターテインメント分野での発展が期待される。

2.3. メタバース空間を活用した建築検査システム

2022 年 5 月国土交通省は「デジタル技術を活用した建築基準法に基づく完了検査の立ち合いの遠隔実施について」という指針を出した。デジタル技術を活用した遠隔検査を可能にすることにより、建築生産の効率化や働き方改革に資することを期待している。また同時に国土交通省は 2028 年度以降に BIM モデルによる建築確認審査を試行すると発表した。本報告では、これら動向を見据えた建築検査システムについて紹介する。

昨年筆者は指定確認検査機関とともにタブレット端末で撮影した現地映像に建築確認を想定した BIM モデルを重ねし、その映像を遠隔地に送信して完了検査を行う検証を行った²⁾。防火区画・排煙設備等 BIM に登録した情報と現地映像を重ね合わせ、遠隔地からも確認し法適合判定を審査した。一定の効果はあったが、現場映像は現地立会者

の操作に依存し、遠隔者が自由に見ることができない、現場映像と BIM モデルの位置合わせに時間と手間がかかる、現地対象物と BIM モデルの前後関係が正しく表示されない等の課題が残った。

これらを改善する方法として、現地建物を 3D スキャンしメタバース空間で BIM モデルと合成。現場担当者と検査者が VR ゴーグルを装着し、メタバース空間で検査する手法を開発し、指定確認検査機関と検証を行った。自由視点で必要な場所に瞬時に移動できるとともに、位置合わせの手間もなくなり、対象物の前後判定も正確に行えるようになった。検査機能として BIM モデルとスキャンデータによる差分表示も可能となり、位置・寸法等 BIM 情報と異なるところが瞬時にわかるため大幅な検査効率化につながった。また、目視を前提とする検査では分かりにくかった斜線制限等の法規制空間、避雷針保護範囲なども鳥瞰等現実ではありえない視点からの確認も可能となった。メタバース空間内で質疑応答等のコミュニケーションも可能であり即応性も確保できた(図2)。これらは建築基準法で決められた中間検査・完了検査だけでなく、設計事務所・建設会社が行う工程内検査にも応用可能である。今後、標準化を目指し、業界全体の効率化に活用していきたい。



図2 メタバースによる建築検査システム画面

2.4. まだ見ぬものを見る -VRで設計案を体感する-

建売を除けば、建築は完成品を確認した上で購入することができない数少ない人工物の一つである。一方、BIM を利用した設計では、最新案の 3D モデルが「常に」存在するという状況を利用し、VR と Head Mounted Display (HMD) を使って設計中の建物が存在する 1/1 の世界をいつでも自由に歩き回ることができる。

昨年度末から、熊本市西方の山中に建つ「金峰山自然の家」を建て替える PFI プロジェクトに関わっている(図3)。我々は主に、発注者である熊本市や PFI 構成企業、学校関係者やアウトドア活動関係者など本プロジェクトに関わる多くの主体間における、VR を用いた設計案共有の支援に取り組んでいる。当該自然の家はコテージ形式の平家もしくは 2 階建ての木造宿泊棟を全 13 棟有し、その多くにロフトや二段ベッドが設置されている。宿泊利用時の子ども

の安全性と大人の利便性の両立が求められており、その確認のために HMD を利用した(図4)。

この確認を通じて分かったことは、例えば高さが届く(届かない)や幅が入る(入らない)などの身体寸法と関連付けた検討や、「上段ベッドをしゃがんで移動する際に上下する頭が低い天井の梁に当たる」等の身体動作を伴う検討は、比較的スケールの大きい展開図や部分詳細図でも困難であるという点である。VR 及び HMD を利用して建つ前に空間を体感することで、本来不要な手間やコストが削減でき、「どんなものができるか、本当のところはわからない」という不安は以前より解消されるに違いない。



図3 熊本市立金峰山自然の家の VR モデル



図4 意匠設計者が VR+HMD で設計案を確認する様子

2.5. 「踊る建築」から「建築擬人化計画」へ

「踊る建築」を提唱してから 1 年が経ち、トレンドは AI に押され気味ではあるが XR の浸透も進んでおり、仮想空間や拡張空間のデザインは今や身近な存在になっているのではないだろうか。アプリケーションや HMD の機能や価格など、目的に合わせたデバイスが登場し、開発キットやチュートリアルが豊富に出回っており、自由自在に仮想空間と現実空間を往来しながらデザインが可能になっている。しかし、身体は重力を感じる現実空間に存在することは避けられない事実である。そこで、複数の感覚デバイスを活用することで、仮想空間への没入体験ができるコンテンツや研究の成果が多くみられるようになった。

デジタルツインのように仮想空間やメタバースを現実空間の代替とした利用も増えているが、現実空間の拡張という認識も広まり、建築・都市においては、MR は「ガラ

スの家」、メタバースは「新しいグラウンド」、プロジェクトマッピングは「空間の着せ替え」などと例えられる。

「踊る建築」³⁾を遂行していく過程で、建築・都市と感情や身体がインタラクティブな対話をする空間（生理的反応を用いた空間変化）では、意図しない「バグ」や「ラグ」に遭遇することが多く、空間体験者の予測しないタイミングの空間や変化が生じた。「バグ」や「ラグ」に対して体験者が合わせようとしている様子が見受けられ、また体験者の感想からも感情を持つモノと対話している様子が伺えた（図5）。そこで、「バグ」や「ラグ」の存在を許容できる現実空間とは異質で異次元な空間を生かし、「踊る建築」を進化させる「建築擬人化計画」を遂行する。

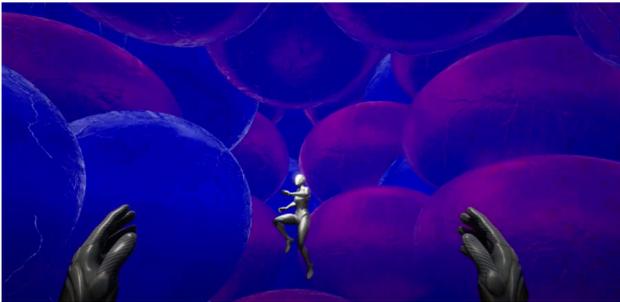


図5 Dancing Alveoli（実験空間）

2.6. 異種デジタルセンシングプラットフォームの開発

地震直後の建造物の損傷検知や被災状況の把握が求められるが、正確な分析と評価のためには、センサ間の時刻同期を確保しなければならない。そこで、チップスケール原子時計（Chip Scale Atomic Clock, CSAC）を利用して、自律的に正確な時刻情報を確保するセンサモジュールを開発した。これを地震観測と構造健全性評価に応用し、実建物や実橋梁で実証を行った。また、高感度デジタル型加速度センサを搭載し、常時微動の計測を可能としつつ、ノイズに対するリスクを低減したデジタルセンサモジュールを開発し、さらに、加速度センサに加えカメラセンサを接続可能とする異種デジタルセンサプラットフォームの開発を行っている⁴⁾。開発したプラットフォームは、図6に示すように、GPS時刻（GPST）とCSACを同期させ、安定したリファレンス信号を供給する発信器ボード、デジタル型加速度センサ及び外部アナログセンサ入力インターフェースを搭載したセンサボード、CPU及びFPGAを搭載した信号処理ボード、画像を撮影するカメラで構成されている。発信器ボードから、高精度なリファレンス・クロックが供給され、タイムスタンプやデータ取得のトリガ信号がFPGAで生成される。外部アナログセンサ入力インターフェースには、任意のアナログ型センサを接続することが可能である。デジタル型加速度センサは、トリガ信号に応じたデータを出力する。カメラはトリガ信号に応じてシャッターを切ることができ、RGB値で出力される。取得した

データは、接続されているストレージ（SSD）に保存される。今後は、開発したプラットフォームを実建造物に適用し、事象のマルチモーダル分析結果のXRによる可視化を試みる予定である。

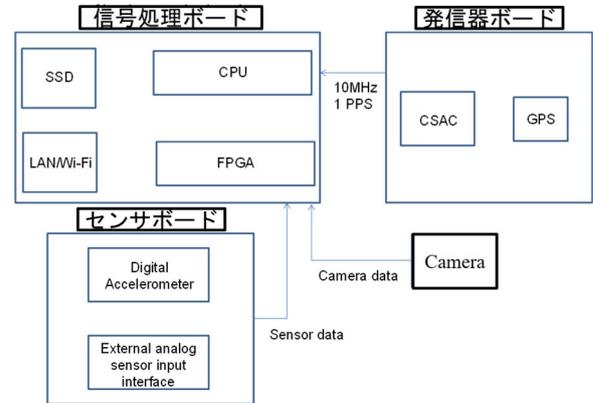


図6 デジタルセンシングプラットフォームの回路構成

3. 小結

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。可視化から見えた想定外の原因、CG学会SIGGRAPH2023におけるXRの最先端動向、メタバース空間を活用した建築検査システム、PFIプロジェクトにおけるVRを活用した設計案の共有、「踊る建築」から「建築擬人化計画」へ、異種デジタルセンシングプラットフォームの開発についてである。

【参考文献】

- 1) Toward Optimized VR/AR Ergonomics: Modeling and Predicting User Neck Muscle Contraction (Yunxiang Zhang, ACM SIGGRAPH 2023 Conference Proceedings July 2023 Article No.27 Pages 1–12)
- 2) 福田知弘ら：2022,, 建築・都市分野におけるVR・MRの応用と展望 2022 (1), 第45回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 236
- 3) 福田知弘ら：2022,, 建築・都市分野におけるVR・MRの応用と展望 2022 (1), 第45回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 240
- 4) N. Kurata : 2021, High-precision Time Synchronization Digital Sensing Platform Enabling Connection of a Camera Sensor, The Twelfth International Conference on Sensor Device Technologies and Applications (SENSORDEVICES 2021), pp. 98-104.