

建築・都市分野における VR・MR の応用と展望 (2)

Applications and Prospects for Virtual and Mixed Reality in Architecture and Urban Areas (2)

○福田 知弘*¹, 安藤 幸央*², 上田 淳*³, 大石 智久*⁴, 大西 康伸*⁵, 北本 英里子*⁶, 倉田 成人*⁷, 酒谷 粹将*⁸, 笹田 岳*⁹, 灘 英樹*¹⁰, 松永 直美*¹¹, 松山 洋人*¹², 満田 衛資*¹³
Tomohiro FUKUDA*¹, Yukio ANDO*², Jun UEDA*³, Tomohisa OISHI*⁴, Yasunobu ONISHI*⁵, Eriko KITAMOTO*⁶, Narito KURATA*⁷, Suisho SAKATANI*⁸, Gaku SASADA*⁹, Hideki NADA*¹⁰, Naomi MATSUNAGA*¹¹, Hiroto MATSUYAMA*¹² and Eisuke MITSUDA*¹³

*1 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.

*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 パナソニック株式会社 エレクトリックワークス社 海外事業企画部 課長 修士(工学)

Senior Manager, Global Business Planning & Marketing Department, Electric Works Company, Panasonic Corporation, ME.

*5 熊本大学 大学院先端科学研究部 准教授 博士(学術)

Associate Professor, Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, Ph.D.

*6 立命館大学 理工学部 初任助教 博士(工学)

Starting Assistant Professor, College of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Dr. Eng.

*7 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.

*8 関東学院大学 建築・環境学部 建築・環境学科 専任講師 博士(工学)

Lecturer, College of Architecture and Environmental Design, Kanto Gakuin University, Ph.D.

*9 鹿島建設株式会社 建築設計本部 修士(工学)

Architectural Design Division, Kajima Corporation, ME.

*10 境港市建設部 部長 博士(工学)

Construction manager, Sakaiminato Municipal Office, Ph.D.

*11 レモン画翠 代表取締役社長 博士(工学)

Representative Director, LEMON GASUI, Ph.D.

*12 フォーラムエイト 解析支援 Group

Analysis support Group, Forum 8 Co. Ltd.

*13 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；深化；探索

Keywords: Planning and design; construction; virtual reality; augmented reality; mixed reality; deepening; exploration.

1. はじめに

前稿「建築・都市分野における VR・MR の応用と展望(1)」に引き続き、本稿では、VR・MR 応用に向けた「探索」の事例について述べる。

2. 探索

2.1. CG 学会 SIGGRAPH における VR/AR のトレンドと建築分野への応用

SIGGRAPH とは、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とインタラクティブ技術を扱う SIG (分科会) である。XR 全般 (VR/AR/MR: 仮想/拡張/複合現実) の最先端の研究、活用事例、新規デバイスの提案はも

とより、それらの技術を活用した映像作品を披露する場でもある。近年 CG/VR の研究や作品制作の世界が生み出すシーズ（種）と、建築や土木、都市設計などの実務が求めるニーズ（必要性）が合致することで可能性が広がり、従来考えられなかったようなスピードでの検討や試作、実験、体験などが可能になると考えている。

Unlimited corridor¹⁾では、限られた物理空間内に湾曲した壁を設置し、VR ヘッドマウントディスプレイで直線的な映像を提供することで壁が無限に存在すると認知する VR システムについて研究成果が発表展示されている。こういった VR 研究から建築分野への応用の可能性が広がる一方、著名建築家が、3D ゲーム空間や VR 空間のデザインや設計に進出する事例も増加してきている。重力や建築構造や資材の制限を受けないバーチャル空間における建築は、建築家が頭の中で描いていた建築物の実現につながるかもしれないと考えている。

また、近年研究開発や実用が進みつつある自動運転の走行テストのために、バーチャル空間に道路や建築物、そこで歩く人や動く車なども含め、丸ごと都市を作ってしまう、その中で走行実験を行う事例が増えてきている。建築においても、現実世界のコピーとしてのバーチャル空間や、バーチャル空間独自の空間設計など、建築や構造、都市設計の専門家もつノウハウを生かして活躍すべき領域は多く、期待を持って受け入れられつつあるのが現状だ。これからはさらに物理的空間とバーチャル空間を区別するのではなく AR の活用によってシームレスに繋がっていく世界が期待される。

2.2. デジタル空間による新しい働き方

感染拡大の終息が見通せない中、各企業のニューノーマルを見据えた働き方の模索が続いている。一方で在宅勤務をはじめとするリモートワークの定着が進んだ。今後は通勤時間の削減や育児・介護との両立等のメリットを保ちながら生産性や創造性の向上を図るハイブリッドワークへのシフトが主流になると考えられている。

高い生産性を維持し創造性を発揮するにはコミュニケーションが不可欠である。それは、高い専門性を活かし議論をすることもあれば、カジュアルなコミュニケーションによる気づき・共感などもある。偶発的な会話から新たな発想が生まれることも多くあった。若手への指導教育にはちょっとした会話も極めて重要であり、これが技術伝承や育成にも大きく貢献していた。入社前提の働き方では若手が上職者の様子を見て相談を持ち掛けことも多々あったが、在宅勤務では乏しくなったとの社内調査報告もある。

オンラインミーティングは時間・場所の自由度から急速に進んだ。しかし現段階では対面のリアルなコミュニケーションほどの質・量・応答性は高くない。またリモートの相手の状況が容易にわからないため、突発的な相談・声掛

けも簡単ではない。

対面のコミュニケーションの良さを目指しつつ、ワークライフバランスの取れた多様な働き方を支援するシステムも増えてきた。バーチャルオフィスでアバターがコミュニケーションを支援したり、オフィス状況を定点映像にて配信したりするシステムなどがある。ただコミュニケーションには相手の表情やしぐさも大切であり単純なアバターではその雰囲気伝えるまでは難しい。また、定点映像は個人への過度な監視状態を感じさせ、心理的な影響も考えられる。

しかしデジタル技術が重要であることには変わらない。各種システムの進化に加え、高精度位置情報、音声、バイタル等のセンサーや AI 活用など様々なデジタル技術の連携により、バーチャル空間でリアルをつなぎ、様々な場所においてもまるでひとつの場所で働いているかのような体験ができる新しい働き方が可能になると期待している。

2.3. 没入型仮想空間の設計手法の構築の重要性

XR 技術を用いた体験空間では、没入感が得られる空間の制作が求められる。建築空間を設計する場合も、空間の構成要素を検討する際には、その空間に居るような体験が好ましいと考えられる。しかし、仮想空間では、現実空間を模倣した設計を行っていても、空間の印象が異なる場合がある。例えば、部屋の広さや質感など、完成後に違いに気づくことがある。そこで、体験空間ごとに設計手法を明確にする必要がある。本節では、その重要性の提唱を目的とし、HMD を用いて没入感が得られる空間の検討として、パーソナルスペースを対象とした実験について報告する。

具体的には、1 方向と 3 方向の間仕切りについての「距離の知覚」と「心理評価」について調査実験を行った²³⁾(図 1)。これらの研究では、設置したオブジェクトに対して距離の知覚（設置型）と、移動しているオブジェクトに対して「空間の開放感や気配」の印象の変化が現れた時の距離の知覚（移動型）について、調査実験を行った。得られた知見から、前者はモデルルーム、後者は設計者と施主の打ち合わせなどの場合に、HMD が有用的なツールとなり得ると解釈し、仮想空間と現実空間での寸法の取り扱いにつ



図1 空間体験の様子

いて留意点を示した。例えば、仮想空間で検討した値と同様の知覚を得たい場合は、現実空間では距離を長く設定し直す必要がある。また、現実空間の値をそのまま仮想空間に用いると、短く感じる可能性がある。

このような研究から、デザイン支援に繋げることを目的とし、知見を増やしながら仮想空間を用いた設計手法の構築を図る。

2.4. 非構造部材設計におけるゲームエンジン物理演算機能の活用とその VR 表現力への期待

柱・梁といった主要な構造部材が重要であることは言うまでもないが、外装材や階段・手摺などの耐震性には影響しない、いわゆる非構造部材もまた適切に構造設計されなければならない。ところが、それらは意匠性の強さからか、構造設計者の手を離れたところで設計主体が曖昧なまま造られている場合があることも否めない。筆者らは、そうした事例として免震 Exp.J を取り上げつつ、その挙動を簡便に可視化する方法を提示すると共に、安全性を高める手段として VR 利用の有効性を説いた⁴⁾。

本稿では、加えてゲームエンジン活用への期待も述べておきたい。例えば非構造部材の一つである手摺は、壊れてしまうと人命に関わる事故につながる恐れもあり、荷重の設定には慎重さを要する。建築物荷重指針・同解説⁵⁾など参照値が記された書籍も存在するが、全ての事象を網羅しているわけではない。どのような物体がどのように衝突しうるかは建物毎に異なる。公共性のある建物などでよく目にする自動床洗浄機は重量が 120kg ほどあり、操作を誤ると非構造部材に大きなダメージを与える可能性もある。そこでゲームエンジンの出番である。

筆者がゲームエンジンに感じている魅力は、時間軸を有した 3 次元空間や要素を簡便に作成できる点、様々な物理即が備わっており運動する物体の挙動を簡便に表現できる点、である。衝突時の力積値など設計に関わる結果も容易に取得できる。構造設計者と建築主との間のリスクコミュニケーションが重要と言われて久しいが、建築主に「荷重は 1000(N)で良いですね？」と同意を求めても話にならない。ところがゲームエンジンで作成した衝突シミュレーションを VR 空間内で見せつつ「この場合 X(N)の荷重が作用するので、それに対し安全に設計します」と説明すれば、説得力は飛躍的に向上するだろう。ゲームエンジンと VR の組み合わせは、構造設計者・建築主の双方に有益な情報をもたらすことになるため、益々の広範に活用されることを期待している。

2.5. 設計者の思考プロセスにおけるインターフェイスとしての XR への期待

建築設計業務においては、その検討過程において様々なシミュレーションを用いた試行錯誤を繰り返すことが普

通になってきている。建物の形状のみならず、光、音、温熱、気流、人流、避難など内容は多岐にわたり、その多くが社内の専門家の手によって検討される。

一方で設計者自らがシミュレーションを実施したり、専門家が提供した結果を素早く確認したいとの要望は常にあるが、有効な手段を構築することが中々困難であった。

ところが昨今では比較的簡単に使えるプログラミングツールが出現していることもあり、設計者自らが 3D モデル上で様々なシミュレーションを行う事例が出てきている(図 2)。この結果を自社開発の人流シミュレーション(図 3)⁶⁾で得られた結果と重ね合わせることで、より高度なエビデンスに基づくデザインを試行しているケースなどもあり、設計者の思考プロセスにおける様々な検討結果を重ね合わせるためのインターフェイスとしての XR への期待は益々高まってきている。

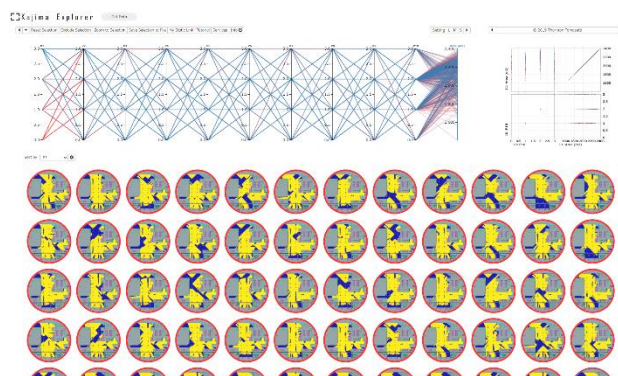


図 2 Grasshopper による最適化ツールのイメージ

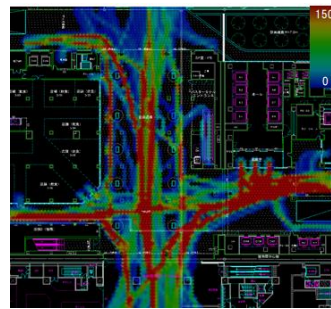


図 3 人流シミュレーションのイメージ

2.6. 社会基盤整備計画策定プロセスにおける合意形成とインターフェイスとしての XR への期待

現在、国土交通省では、フィジカル空間の都市をサイバー空間に再現する 3D 都市モデルの整備を進めており、全国 56 都市を対象に 3D マップ (PLATEAU) をオープンデータ化し活用することを可能とし、また、国土技術政策総合研究所ではデジタルツインの実現に向け、3 次元データ視覚化機能、データハブ機能、情報発信機能を有するプラットフォームの構築を進めている。今後これら取り組みが加速化されることで、デジタルサイバー空間を再現し、フィジカル空間はもとより、サイバー未来空間の起こりうる事

象を表現し、計画や検証することが身近に行えるようになると期待は膨らむ。

これらのデジタルサイバー空間の再現技術の活用が身近なものになることで、ステークホルダーとの合意形成はもとより、建設分野における全体生産プロセスにおいては、将来を可視化することでフロントローディングによるコンカレントエンジニアリングが可能となり、リスク回避、コスト削減、工程の円滑化等に大きく寄与し、最終的にサプライチェーンマネジメント（全体最適）に導くことが可能となる。「空間コンピューティング」といわれる情報伝達の境界面（インターフェイス）がプラットフォーム上で同期することで BIM・CIM などとも連動し⁷⁾、設計・施工・管理プロセスにおいても生産性の向上が期待されることから取り組みが加速化すると考えられる。

このことで、各種計画策定や政策立案プロセスにおいてバックキャスト思考によるアプローチ⁸⁾が可能となり、従来型のフォアキャスト思考によるアプローチからバックキャスト思考への転換が図られていくことで、各地域における身の丈に合った持続可能な社会基盤施設経営につなげていけることを期待する。

2.7. VR による AI 学習サンプル生成と AI やドローンを連携させた景観 MR

まず、VR を応用した AI 学習サンプル生成について。都市計画や防災分野では航空写真から建物の平面形状などを自動検出するために画像セグメンテーションが注目されている。深層学習で画像セグメンテーションの精度を高めるためには、検出対象の特徴を有する多量の画像を教師データとして学習させる必要がある。写真に含まれる正解領域を手作業で指定すればコスト増となるため、筆者らは航空写真付きの 3D モデルを用いて学習サンプルの自動生成法を開発した。しかし、航空写真に雲が含まれる場合、雲がノイズとなり学習精度が低下してしまう。そこで、敵対的生成ネットワーク（GAN）により薄雲を除去した航空写真付きの 3D モデルを用いて学習サンプルの自動生成法を開発した。結果、6956 セットのマスク画像と雲のない航空写真を 438 秒で生成できた。生成したデータセットで学習した深層学習モデルの検出精度は、IoU=0.651 であった⁹⁾。

次に、景観 MR では、本来手前にある実物体が仮想モデルで隠れるオクルージョン問題が残る。深層学習のセマンティックセグメンテーションにより動的オクルージョンが可能な景観 MR が提案されたが、同じクラス（種類）のオブジェクトは全て同じオブジェクトとして認識され、前景オブジェクトのクラスを事前定義する必要があった。ある既存ビルと別のビルは同じクラス・同じオブジェクトとなりこれらのビルの前後に、3D モデルを配置できない。そこで、インスタンスセグメンテーションにより同じクラ

スのオブジェクトを個別認識した上で、前景オブジェクトを自動算出する景観 MR 法を開発した¹⁰⁾。また、現実世界のドローン位置と都市デジタルツインである仮想世界のカメラを連携させ、ドローンと MR を統合しオクルージョンに対応した景観 MR 法を開発した。ドローンと AR という異なるシステム体系を扱う際に生じる機種依存性を緩和するために仮想カメラやミラーリングなどの汎用モジュールで結合した¹¹⁾。

3. まとめ

本稿は、VR・MR 応用の「探索」状況について概観した。SIGGRAPH 参加に基づく建築都市分野の展望、デジタル空間でのワーク、没入型仮想空間での空間知覚、物理シミュレーションの可視化、データ駆動型設計のインターフェース、3D デジタル世界の社会基盤整備計画への影響、AI 学習サンプル生成と AI・ドローンと MR の連携について考察した。

[参考文献]

- 1) Matsumoto, K., et al.: 2016, Unlimited corridor: redirected walking techniques using visuo haptic interaction, ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies, 20
- 2) 山田悟史ら：2018, 没入型仮想空間における空間知覚の研究-パーソナルスペースの検討を想定した距離の知覚と心理評価を対象として-, 日本建築学会技術報告集, 第 24 巻, 第 58 号, pp.1303-1307
- 3) 北本英里子ら：2021, 没入型 VR 空間における空間知覚の研究-パーソナルスペースを対象とした困われ感についての距離の知覚と心理評価-, 日本建築学会技術報告集, 第 27 巻, 第 66 号, pp.1104-1109
- 4) 満田衛資、中西由衣：2020, VR 技術を活用した免震エキスパンションジョイントの挙動可視化 現実的課題を認識させるための支援装置としての VR 技術の可能性, 第 43 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.336-339
- 5) 日本建築学会:2015, 建築物荷重指針・同解説
- 6) 天野和洋他:2021, 人流シミュレータへの待ち行列モデルの組み込み, 日本建築学会 2021 年度大会（東海）学術講演梗概集
- 7) 入江眞：2021, XR の可能性 高鮮度の価値伝達が実現する新しい世界, 知的資産創造 3 月号, pp.20-35
- 8) 牧原出:2021, 人口減の未来を見越した自治体経営とは何か?, 都市社会研究 第 13 号, pp.1-16
- 9) Ikeno et al., 2021, An enhanced 3D model and generative adversarial network for automated generation of horizontal building mask images and cloudless aerial photographs, Advanced Engineering Informatics, Vol. 50, 101380.
- 10) Nakabayashi et al., 2021, Mixed reality landscape visualization method with automatic discrimination process for dynamic occlusion handling using instance segmentation, Proceedings of the 39th eCAADe Conference, Vol. 2, pp. 539-546.
- 11) Kikuchi et al., 2021, Landscape visualization by integrating augmented reality and drones with occlusion handling to link real and virtual worlds - Towards city digital twin realization, Proceedings of the 39th eCAADe Conference, Vol. 2, pp. 521-528.