

建築・都市 VR・MR の応用と展望 2022 (2)

Applications and Prospects of Virtual and Mixed Reality in Architecture and Urbanism 2022 (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 准教授 博士(工学)

Associate Professor, 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；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 2022 (1)」に引き続き、建築・都市 VR・MR 小委員会に所属する筆者らによる 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) の応用・活用状況や展望について述べる。

2. 応用・活用状況と展望

2.1. XR を利用した構造デザイン支援システム

2010 年代後半になり安価で軽量かつレスポンスの早い HMD 等の XR デバイスが普及し、私たちの空間疑似体験のレベルは飛躍的に向上したと言える。構造設計の世界は果たしてその恩恵を受けることは出来るのだろうか？現

実の構造設計の世界は既に成熟期にあり、XR デバイスを装着することによるよほどのメリットを感じない限りは、継続的に活用されることはない。つまり XR 体験に基づいた設計判断が出来る状況にでもならない限り、わざわざそのような装置を被ってみようという気にはならない。もし、そうした手法に可能性があるとするれば、それはシェル構造やテンション構造といった形態と構造性能が密接に結びついた空間構造の設計においてであろうと考えている。ここでは構造形態は剛性や耐力といった構造性能だけでなく、外観フォルムや内部空間体験にも強く影響を及ぼす。それ故、その構造形態は本来、構造性能と意匠性・空間性を同時に考慮できる状態で検討されねばならない。何らかの構造指標（歪エネルギーや座屈荷重係数等）を定義しておき、形態をコントロールする設計変数を定めると、設計変数の微小変化に応じて指標がどの程度変化するかを調べる（＝感度解析）ことで、形態をどのように変化させれば良い状態となるかのアドバイス情報を得ることが出来る。XR デバイスを装着した人間は、屋根の曲面形状を変化させたいという欲求を抱くが、デバイスの画面上に構造アドバイス情報を同時に表示させ、両者がスムーズに連動する状態にあれば、感性と理性とが対等にせめぎ合う新しい設計の世界が開けるのではないだろうかと思つながら研究を進めている（図1）。今はまだ、ようやくこのシンポジウムで発表できるレベルになったばかりである。

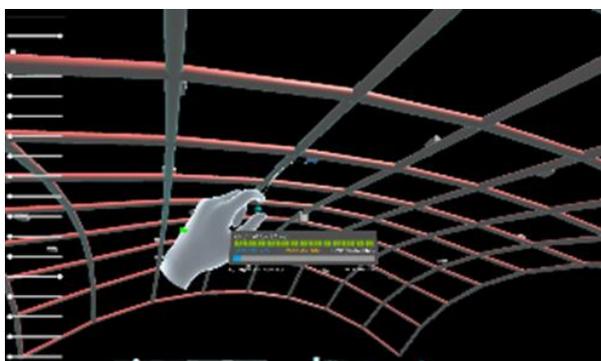


図1 Unity 内で形態を操作すると様々な解析が連動する

2.2. 設計者の思考と XR とのかかわり方

建築設計における様々な試行錯誤のプロセスにおいて比較的簡単なプログラミングツールの出現により、設計者自らが様々なシミュレーションを実施する例が増えてきている。その中で多く見受けられるのが最適解を求めることが目的となっているケースである。そのこと自体は誤りとは言えないが、シミュレーションで求めた最適解に設計者の知識、経験、感性、他のシミュレーションの結果などを掛け合わせることで最終案が決定することを期待している。

下記は高低差を吸収する斜面の中に水平面を作る検討の事例である（図2）。最適化計算では水平面の面積を最大

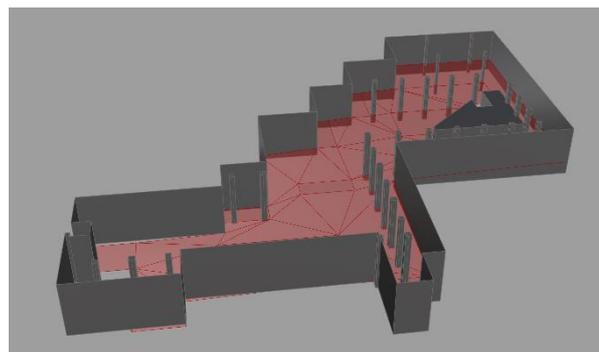


図2 検討事例

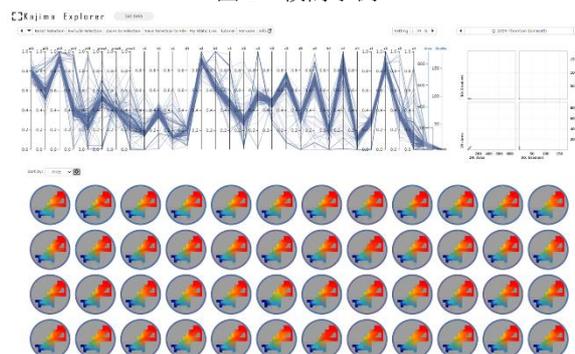


図3 最適化計算

化することを目的関数としている（図3）。この結果を元に設計者の思考の飛躍を目指して XR の活用を模索している。

2.3. VR・MRを通して高まる設計プロセスへのアクセシビリティ

建築の設計者はその時点では実在しないが未来に存在しうる、または存在すべき空間について設計思考の中で検討を重ね、より良い設計解を探究する。そして都度スケッチや模型、図面といった設計ツールを用いて現実空間に設計を表現し、それを見た他者の声に耳を傾け、自身も新たな気づきを得ながら設計を展開していく。しかし平面図からは空間の高さは見えにくく、模型は実際の空間と大きくスケールが異なるように、設計ツールは設計の内容のすべてを再現できるわけではない。ツールに含まれる限られた要素を補完しながら設計対象の空間を想像する必要があり、それは設計者の重要な専門的スキルといえるだろう。

そんな中、近年 VR や MR が建築設計でも使用されはじめてきているが、バーチャルな空間を現実的な知覚・認識のもとで体験できたり、バーチャルな要素を実空間の中に重ね合わせることができたり、設計ツールとしての VR・MR の表現力はかなり大きいものと言えるだろう。そしてそれはバーチャルな空間の想像のために必要な空間補完の能力を補うものとなり、専門的スキルを持たない人々の設計プロセスへのアクセシビリティは大きく向上したように思う。

このような考えのもと、筆者（酒谷）の研究室ではゲームエンジンである Unity を用いてオンライン設計空間システムを構築した¹⁾。設計検討中の空間を 3D で構築し、

その中を人の目線で歩き回りながら気づいたことをメモとして空間に残すことができる。同時に複数人が同じ空間に入ることができ、データベース（Google スプレッドシート）に保存されたメモの内容も共有されるため、多様な設計のアイデアを集的に集められる。インターフェースには VR ゴーグル等ではなく、多くの人が最も慣れ親しんでいるであろう PC モニターと Web ブラウザを想定している。そうすることで、SNS で更新される知人の活動を眺めたり、動画サイトで知りたい情報を探索したりするように、例えば自宅の設計を依頼中の施主が進行中の設計を日々眺め、少しだけその内容について考えることが暮らしの習慣となるようなシステムを目指した。

2.4. 「踊る建築」をめざして

「踊る建築」と聞くと、フランク・ゲーリーのダンシング・ハウス（ナショナル・ネーデルランデン・ビル）や安藤忠雄監修のフィッシュ・ダンスを想像するかもしれない。または、劇場やホールのような舞台や、音のノーションを取り入れた建築を連想するかもしれない。しかし、ここでは動きや音の一部を切り取って可視化された「静止した構造物」を指すのではなく、実際に建築が踊り舞うことを指す。とは言っても、建築が意思を持って動くことは少々リアリティに欠ける（AI 分野ではそうでは無いかもしれない）ので、ここでは「まるで意思を持っているかのように振る舞う建築」という意味合いで書き記す。

そもそも建築を踊らせる意図であるが、ダンスから感じる表現性・形態性・審美性のような印象や体感を「建築から感じ取ること」への探求と探究である。ジャンルやシチュエーションの違いは有るが、ダンサーの動きは音と空間を読み取り反射的に体を動かし、巧妙に動きをつなぎ合わせながら表現したり、形の無いものまでも体現したりする。また、ダンサーだけではなく DJ（奏者）も、空間の様相を読み取りながらミキシングやスクラッチなどを使って音を構成していく。そして、オーディエンスはそれらを介し、空間全体から没入感や臨場感を得ている。このような「人・音・空間」の関係性が上記の印象や体感に繋がるとし、建築デザインで実現させることを目的としている。

現段階では「人の感性情報（生理反応）」と音や空間の変化をインタラクティブに反応させることに着目して研究や制作を行っている。取り組みの過程であるが、センシングや仮想空間を用いた XR の活用や、マルチモーダルやクロスモーダルの利用が効果的な手法として取り組んでいる。このような取り組みの先駆けとして、筆者は仮想空間における視覚を対象とした知覚と印象の研究を行ってきた。また、仮想空間を用いた音によるデザインの生成にも取り組んでいる²⁾。今後は、このようなシステムを用いた調査実験や作品から、新たな建築デザインツールの開発と（少々壮大ではあるが）感性の拡張を目指す。

2.5. 浸水災害におけるデジタルツイン+シミュレーション適用事例

近年はデジタルツインを構築するにあたり、国土交通省の PLATEAU といったベースとなる 3D 都市モデルのオープンデータが充実し、ユースケース開発が進められている。デジタルツインではシミュレーションした結果を現実空間へフィードバックし、将来起こりうるかもしれない事態にいち早く対応できるようになることが重要であり、デジタルツイン+シミュレーション事例として、浸水ハザードマップの事例を紹介する。

図 4 はある地区を対象に、オープンデータをベースに浸水シミュレーションを行い、3DVR 空間へ反映した事例である³⁾。



図 4 3DVR 浸水ハザードマップ

これまでのハザードマップは平面地図で表すことが多く、本地区でも定期的に平面地図のハザードマップが配布されている。平面地図は平面図としての良さはあるが、理解力は個人差が大きく、被害のイメージや避難ルート等について、得に高さの情報が直感的には理解しがたい。それに対し 3DVR のハザードマップでは、3次元空間で災害状況や避難経路を確認でき、専門知識がない方や外国人、子供など、誰も直感的に被害状況や時系列での状況変化を理解しやすい。作成したデータをクラウド上に公開することでデータの共有が行え、注釈や掲示板機能を使いコミュニケーションを行うこともできるので、防災教育や避難訓練で有効に活用でき、デジタルツインの目的達成への効果が期待される。

近年の災害被害は甚大となることがあり、このようなデジタルツイン+シミュレーションの事例がさらに充実し、減災啓発の相乗効果へ期待したい。

2.6. CG 学会 SIGGRAPH2022 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）の研究、活用事例の共有、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、安価で高性能な VR 視聴デバイス、収録デバイスが浸透し、用途や応用例が広く一般に浸透しつつある状況である。それにともない貧弱な空間表現は敬遠され、よりリアルな現実世界と見まごうような建築物や都市環境を

再現または仮想空間ならではの表現に重きが置かれているのが現状だ。また仮想空間の映像表現においても、照明や日照、実際には手で触れなかったとしても質感や重量感、素材感といった、人間が空間を把握するために用いている各種要素の表現が豊かになってきている。そういったニーズを実現するために、Meta 社(旧 Facebook)の Haptic Glove や、A Touch of the Metaverse⁴⁾のような触覚フィードバックデバイスの研究開発、実用化も広がりつつある。しかしまだまだ人間の持つ微妙な触感などに追いつけていない状況ではない。今後も研究の余地と可能性の広がる分野である。

一方、エンターテインメントや仮想空間内でのファッションなどでのビジネスが展開する一方、常設のバーチャルプロダクション(またはインカメラ VFX)と呼ばれる仮想空間を背景とした撮影環境も浸透しつつある。従来は研究用途や試験運用的であったものが、2022 年に入ってからそれらがビジネスとして大きく展開し始めている傾向があり、研究から実用化へのスピードが感じられる。ただし XR の展開が素早い分野、遅々として進まない分野は、混沌とした状況であり、今後の進展が期待される。

2.7. XR と深層学習・ネットワーク統合と都市デジタルツインによる合成データセット生成

隠消現実感(DR)は現実世界にあるものを仮想的に消し去る技術で、再開発予定地など現地(in situ)で、古くなった建物を取り壊した後の景観をシミュレーションできる。これまで、建物のような「動かない物体」を DR する場合、除去する建物(除去モデル)とその建物を除去した後に現れる背景(隠背景モデル)の3次元モデルを予め作成する必要があった。この解決のため、2種類の深層学習を応用し、セマンティックセグメンテーションで除去モデルを検出し、敵対的生成ネットワーク(GAN)で隠背景モデルを生成する。これらを処理するサーバPCを、現地で DR 体験するクライアント端末とインターネット接続した。結果、3次元モデルを事前に準備することなく、建物を取り壊した後の景観を DR シミュレーションできる⁵⁾。

上記の DR は3次元モデルを使用していないが、建築・都市分野の MR では現実世界に3次元モデルを重ね合わせる。建築・都市分野の3次元モデルはデータ量が多く処理負荷が高いため、ノートPCやスマートフォンなど、現地でユーザが使用するデバイスでは処理が困難になる。そこで、MR の処理をサーバで代行し、3Dモデルをサーバでレンダリング処理した結果をリアルタイムかつ複数のデバイスに同時表示させる方法を開発した。約260万ポリゴンの室内3Dモデルを用いた昼光シミュレーションで検証した⁶⁾。

建物ファサードは、都市環境の情報基盤として重要な項目である。現実世界から建物ファサードを自動検出できれば、分析への道が開ける。そのためには、深層学習ネット

ワークを学習させるためのデータセットが必要であり、現状では、建物ファサードが撮影された写真を大量に収集し、その画像の中で建物ファサードの領域をラベル付けして作成しており高コストである。近年、国土交通省の PLATEAU など、都市デジタルツイン(CDT)の整備により、高品質な建物デジタルアセットが大量に作成されている。このデジタルアセットを活用することで、写真を用いたデータセットに代わり高品質の合成データセットを生成できれば、費用対効果の高い建物ファサードのインスタンスセグメンテーションの学習用データセットにできる。そこで、CDT から建物ファサードのインスタンス注釈付き合成データを自動生成する方法を開発した。提案した CDT 合成データを拡張して現実世界のデータと混合することでインスタンスセグメンテーションの性能を向上させることを確認した⁷⁾。

3. まとめ

建築・都市 VR・MR 応用・活用状況と展望に関して、7名の取組みを概観した。XR を利用した構造デザイン支援システム、設計者の思考と XR とのかかわり方、VR・MR を通して高まる設計プロセスへのアクセシビリティ、「踊る建築」をめざして、浸水災害におけるデジタルツイン+シミュレーション事例、CG 学会 SIGGRAPH2022 における VR/AR のトレンドと建築分野への応用、XR と深層学習・ネットワーク統合と都市デジタルツインによる合成データセット生成についてである。

[参考文献]

- 1) 森龍也, 酒谷稔将: 2022, 建築の Co-design のプロセスを支えるオンライン設計空間の構築 その1-ゲームエンジンを用いた多主体による対話のための設計ツールの実装, 日本建築学会大会(北海道) 学術講演梗概集, 79-80
- 2) 北本英里子ら: 2021, 音と形状の変化に対する空間認知に着目したデザインに関する研究, 第44回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 607
- 3) 国土交通省 国土地理院: ハザードマップポータルサイト, <https://disaportal.gsi.go.jp/index.html> (accessed 2022. 9. 27).
- 4) A Touch of the Metaverse. University of Chicago. Pedro Lopes, ACM SIGGRAPH 2022
- 5) Kikuchi, T., et al.: 2022, Diminished reality using semantic segmentation and generative adversarial network for landscape assessment: Evaluation of image inpainting according to colour vision, Journal of Computational Design and Engineering, 9 (5), 1633-1649, doi: 10.1093/jcde/qwac067
- 6) Tsujimoto, R. et al.: 2022, Server-Based Mixed-Reality System For Multiple Devices To Visualize A Large Architectural Model And Simulations, 2022 Annual Modeling and Simulation Conference (ANNSIM), 605-616, doi: 10.23919/ANNSIM55834.2022.9859400.
- 7) Zhang, J., et al.: 2022, Automatic generation of synthetic datasets from a city digital twin for use in the instance segmentation of building facades, Journal of Computational Design and Engineering, 9 (5), 1737-1755, doi: 10.1093/jcde/qwac086