

# 建築・都市 VR・MR の応用と展望 2022 (1)

## Applications and Prospects of Virtual and Mixed Reality in Architecture and Urbanism 2022 (1)

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

\*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

建築・都市分野を対象として調査・研究・開発すべき内容は大規模化している上、情報通信技術 (ICT) は日進月歩で発展している。一方、多くの大学や企業では当該分野の研究者・技術者は限られており、エコシステムとして活動できることが望ましい。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) の技術探求と水平展開を目指し、バックグラウンドが多様なメンバーが活動している。

本稿では、当小委員会に所属する研究者、実務者有志による VR・MR 応用・活用状況と展望を二編にわたって概

観する。CG、画像・図形処理、3Dモデルなどの要素技術、BIM (Building Information Modelling)、IoT (Internet of Things)、AI (人工知能) など先端技術・システムとの融合や、これらの技術や建築・都市分野のニーズの側から見たVR・MRの課題や期待についても触れる。

## 2. 応用・活用状況と展望

### 2.1. MR を利用した外壁劣化診断支援システム

従来の外壁劣化診断で用いていたメジャーや図面等の備品を必要とせず、現実の劣化箇所をバーチャル空間でなぞることで劣化形状や劣化箇所の位置を記録する、MRデバイス (HoloLens) を利用したシステムを開発した (図1)。加えて、即時的にデータベースに記録された点検結果を既開発のウェブベースの点検結果閲覧システムで閲覧する機能を開発した (図2)。ここでは5階建て中層共同住宅を例に開発システムを紹介する。

本システムでは、MRデバイスの現実空間の物体を瞬時にモデリングする空間メッシュ機能を利用し、建物の壁面を捉えそこに表れている劣化形状を手のゼスチャで計測し記録する。また、建物立面における劣化位置の記録は、MRデバイスの自己位置推定の機能を利用し、設置したマーカー (QRコード) を基点として壁面幅方向と高さ方向の移動距離によって自動的に記録する。基点となるマーカーは、住棟パラペット側面にゴンドラを設置する位置ごとに貼付することで、自己位置推定精度を向上させている。なお、マーカー読み取り時の座標軸の回転のずれは、マーカー貼付面の法線ベクトルと重力方向のベクトルを利用して補正する。

開発システムのゴンドラを使用した実地検証の結果、劣化箇所の計測結果のずれは最大10mm程度であり、従来の計測方法と比較して大幅に精度が向上した。また、劣化位置のずれは最大100mm程度であり、モデル上で劣化位置を示す上では問題がなかった。一方、空間メッシュ作成において、壁面の微妙な奥行きの変化 (50mm程度) が取得できず、点検結果閲覧システム上で劣化箇所が壁面に埋没することがあった。また、直射光が壁面に当たると空間メッシュが作成されないことがあり、今後の課題である。

### 2.2. 3D都市モデルの多様な利活用と学校教育への展開

日本における建築・都市計画の領域での3D都市モデルの活用は近年加速しつつある。2019年に日本政府 (内閣府) の都市政策として、地物属性の情報を併せ持った3D都市モデルの普及・促進の検討が本格化し、世界標準形式であるCityGMLを採用した都市計画基礎調査結果に基づく日本独自の規格が策定され公開に至った (「i-都市再生」)<sup>1)</sup>。その翌年には、国土交通省の「Project PLATEAU」にて全国56都市で同規格を応用した3D都市モデルの構築にはじまり、現在では多くの自治体にて同規格が採用、展開され、



図1 外壁劣化診断結果入力システムの操作の様子



図2 点検結果閲覧システムに自動入力された診断結果



図3 学校教育における3D都市モデルとVRの活用事例 (i-都市再生モデル調査: 2020年、福岡県宗像市にて)

まちづくりの現場の様々な課題解決に活用されつつある。

学校教育においても、これらデジタル技術の活用への期待が高まっている。高校の社会科系教科では、2022年度からの新学習指導要領で必修となる地理総合科目で求められる「持続可能な地域づくりと私たち」の学習を通じ、将来のまちづくりを担う子供たちが自らの地域・故郷の魅力を主体的に考えていくための工夫が重要とされている。

内閣府では2020年に、先述のi-都市再生の規格を採用した3D都市モデルとVR技術の活用により、学校教育における教材のデジタル化の有効性について検証を行った。福岡県宗像市とパナソニックが協働し、市内の小学校と中学校のそれぞれで教員らと試作した地域学習コンテンツとまちづくりシミュレータを特別授業で活用したところ、「市民・子供たちの体験価値向上 (持続可能なまちづくりに対する理解・関心の深化、参画意欲の向上)」、ならびに、

「学校教育の現場での IT 活用による運営の効率化（教員の資料作成・事前準備に係る負担・コストの低減）」において、大いに効果があることが実証されている（図 3）。

これらは今後、日本における自治体の都市計画基礎調査や関連する情報が i-都市再生の規格に準拠し整備されていくことと、そこで活用可能な VR 技術等のツールが増えていくことで、全国の学校教育への展開と更なる効果に繋がるものと期待されている。

### 2.3. 都市空間におけるインフラ総合管理台帳としての PLATEAU の活用

私たちが社会生活を営む都市空間には、社会基盤、産業基盤、国土保全等に必要な社会基盤施設が数多く存在しており、今やそのストックは膨大な数に上っている。一方でそれら多くは築後数十年を経過し、老朽化を迎えている。加えて、これらの社会基盤施設を取り巻く社会経済環境に着目すると、人口減少高齢化社会の急速な進展、激甚化する気象災害、頻発化する地震、デジタル社会の進展、自然再生エネルギーの活用など、先に述べた施設の老朽化の問題以外にも、社会基盤施設への影響が生じる課題が多数存在している。

これらの課題に対し、より効率的に対応していくため、現在、国土交通省において普及が進められている 3D 都市モデル PLATEAU を活用することを提案する。

具体的な構想としては、まず、これまで各社会基盤施設管理者が個別に管理してきた施設管理台帳情報（図面及びデータ等）について PLATEAU 上で、各社会基盤施設についての施設管理台帳情報を一元管理するインフラ情報プラットフォーム（インフラ総合管理台帳）を構築する。PLATEAU と VR/MR、デジタルツイン等の ICT を連動させることで、PLATEAU と同一空間上（地下空間も含む）に、社会基盤施設の可視化を可能とする。さらに同一の 3D 仮想空間上で環境変化に対する社会基盤施設への影響シミュレーションを行い、そのシミュレーション結果をインフラ情報プラットフォームにフィードバックさせることで、各社会基盤施設への環境変化に対応した施設整備手法の検討を可能とする。これらの情報について都市空間内の社会基盤施設管理者と共有し、各施設が展開する事業ごとの個別最適化に加えて、都市空間全体として最適化が図れるようマネジメント含めた全体計画の立案つなげることを目指すものである。この構想（チャレンジ）が実現することにより、都市空間内における社会基盤施設の一元的管理と社会経済変化の影響を検証が同一の仮想空間上で可能となり、これら一連のプロセスにおける生産性は大きく改善されるものと考えられ、今後、持続可能な社会基盤施設の維持保全や防災分野での活用に繋がることを期待している。

### 2.4. BIM モデルによる建築確認申請、検査に向けた取り組み

建築分野において BIM の活用が一層の広がりを見せている。建築確認検査の一連の業務においても BIM の活用事例が複数公表されてきた。ただし、建築基準法は BIM モデルを建築確認申請の図書として認めていない。一方、国土交通省が主催する「建築 BIM 推進会議」の部会③「BIM を活用した建築確認検査の実施検討部会」ではその実施に向け活発に議論されている。今後の ICT 技術の進化も見据えて取り組んだ、BIM モデルと法適合判定プログラムを活用した建築確認申請、その BIM モデルを利用した遠隔臨場による中間検査・完了検査の事例を紹介する。

BIM モデルによる建築確認申請を行うためには、「データの原本性」、「情報の真正性」、「情報の長期見読性」の担保が必要である。「データの原本性」ではデータ変換や中間ファイルを無くするため Autodesk 社の Revit に法関連情報も含めてすべて登録し、更新履歴も確保した。「情報の真正性」では法適合判定プログラムにビジュアルプログラムミング言語 Dynamo を利用。プログラムの中身を解読できるようにした。「情報の長期見読性」については、ソフトの進化もあるため今後検討となる。事前協議において 145 審査項目をプログラムで、1103 審査項目を図面ビューのテンプレート化による自動作図で審査した。最終的な確認申請図書は BIM ソフトの自動作図・作表であるため、モデルと図面等の同一性も確保され審査の効率化が図れた。

この BIM モデルを中間検査・完了検査にも利用した。BIM モデルを Unity Technologies 社の UnityReflect によりそのままタブレット画面に表示し、それに現地の映像・図面・検査記録を AR により重畳した検査や、LiDAR による実測モデルと BIM モデルの差分計算による整合確認、法適合判定プログラムで生成した現実では見ることのできない法規制空間と重ね合わせによる検査を実施した。その画面を遠隔地にリアルタイム伝送し、双方向でコミュニケーションすることで遠隔地からも検査に参加することが可能になった。

今後はこれらの取り組みを標準化し、業界全体での効率化に活用していきたい。

### 2.5. 加速度と映像の時刻同期センシング

サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムを、サイバーフィジカルシステム (Cyber-Physical System, CPS) と称するが、建築分野ではデジタルツインという用語が使われることが多い。フィジカル空間をサイバー空間へ写し取るためのシステムが、IoT であり、様々なセンサにより構築される。センシングの対象は目的に応じて変わるが、建築空間のリスクを把握するためには、加速度と映像の計測が効率的である。例えば、建築物の床の加速度を計測することにより、地震時の振動を捉え被災度

の判定をしたり、人の歩行や高齢者の転倒、不審者の侵入等を検知することが可能となる。通常時より過大な加速度の検知をトリガーとして、映像を計測すれば、リスクが発生したときにどのような事象が発生したのかを明らかにすることもできる。そうした観点から、筆者（倉田）の研究室では、加速度センサを内蔵し、カメラセンサを接続可能なセンサモジュールとデータ収集・分析・可視化基盤の開発を行っている。まずプロトタイプを製作し、それをもとに実用性を向上させたモジュールを開発した<sup>2)</sup>。多種類のセンサにより計測を行う場合、時刻同期を確保することが必要であるが、超高精度な時計であるチップスケール原子時計（Chip Scale Atomic Clock, CSAC）を応用することで実現した。具体的には、デジタル型加速度センサとカメラセンサの出力に、CSACによる正確なタイムスタンプを付与するメカニズムを開発し、実装した。図4に開発したセンサモジュール3台の振動台による時刻同期性能確認試験の様子を示す。今後は、開発したセンサモジュールを実構造物に適用し、正確な時刻情報を保持した加速度及び映像データを取得し、事象のマルチモーダル分析を行うとともに、XRによる可視化を試みる予定である。



図4 開発したセンサモジュールと振動試験装置

## 2.6. メタバースの「美学」考察の必要性

メタバースは、すでにバズワードとなり、参入する企業や団体の数は急速な増加をみせている。人工工学（設計科学）に関する研究を経て、さまざまな領域を横断・結合するハイブリッドなメディアアートの世界を開拓している久保田晃弘氏（多摩美術大学美術学部情報デザイン学科教授・工学博士）に〈美術〉の観点から見たメタバースについて伺った。久保田氏は、メタバースにかぎらず、〈技術〉には、芸術や哲学といった人文科学的な視点が必要だと考えている。

60/70年代のコンピューター・アート（プログラム言語により芸術作品を生成する）の根底には、造形的な探求だけでなく、人間社会に〈技術〉をどう活かすか、という問題意識があった。90年代に生まれたメディアアート運動に

も、技術決定論的なユートピアと対峙する、批判的な精神が満ちていた。〈技術〉によって「人間や社会がどうデザインされているのか」という存在論的な議論をすることが必要だ。

Web3.0は、「次世代の分散型インターネット」といわれているが、インターネットやWebはそもそも分散テクノロジーであった。Web3.0は、GAF(A)などの独占的IT企業へ個人情報が集中している現状に対する反省から、情報が集中しない新しい形の社会のインフラストラクチャーとして期待されている。しかし、Webが巨大IT企業に独占されたり、スパムやフェイクニュースが横行するようになったのは、技術ではなく人間の本性（ダークサイド）が原因である。人間が変わらない限り、Web3.0でもやがて同じ状況になるのは、目に見えている。

メタバースが新たなインフラストラクチャーであるならば、それは物理世界同様に、ユニバーサルなものでなければならない。例えば、視覚障害者はメタバースにどのように参加できるのか。この視覚偏重技術は社会基盤としてはあまりにも未熟であり、それを賞賛する人間は、技術以上に幼稚である。物理世界において、身体や感覚を駆使することで、公正と平等を目指してきた努力に逆行する技術は必要ない。

美術は常に、現実に対する疑いを社会に投げかけてきた。美 (beauty) は数ある力 (power) のひとつであり、真や善とは無関係である（どころか、偽や悪に今なお利用され続けている）。だからこそ、メタバースにおける「美」ではなく、感性を操作する術としての「美学」(aesthetics) について、私たちは議論する必要がある。

## 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。MRを利用した外壁劣化診断支援システム、3D都市モデルの多様な利活用と学校教育への展開、都市空間におけるインフラ総合管理台帳としてのPLATEAUの活用、BIMモデルによる建築確認申請、検査に向けた取り組み、加速度と映像の時刻同期センシング、メタバースの「美学」考察の必要性についてである。

### [参考文献]

- 1) Akahoshi, K. et al.: 2020, I-URBAN REVITALIZATION: CONCEPTUAL MODELING, IMPLEMENTATION, AND VISUALIZATION TOWARDS SUSTAINABLE URBAN PLANNING USING CITY GML, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., V-4-2020, pp.179-186.
- 2) Kurata, N.: 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.