

建築・都市分野における VR・MR の応用と展望 (1)

Applications and Prospects for Virtual and Mixed Reality in Architecture and Urban Areas (1)

○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

建築・都市分野における調査研究は大規模化している。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、協同が求められる。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たエコシステムである。日ごろの会議で、委員は各自の新鮮なプロジェクトと批評を提供し、議論を交わすことで知識や技術を共有し、研究や産業化を加速させたり、新たなアイデアを探求している。

「VR の強化」は、目標が達成可能となった場合には人

類の生活水準に大きな向上をもたらす「今世紀中に達成すべき14の重点技術目標」のひとつに挙げられた²⁾。建築・都市分野においては、VR黎明期よりわが国でも研究と産業化が始められた²⁾。以来、VR・MRは様々なシーンに応用され進化している。CG、画像・図形処理などの要素技術、BIM (Building Information Modelling)、IoT (Internet of Things)、AI (人工知能)、ロボットなどの先端技術との融合も進む。

本稿では、小委員会に属する研究者、実務者のVR・MR応用について二編にわたり概観する。「深化」「探索」の観点から整理した。本稿では、「深化」事例について述べる。

2. 深化

2.1. 情報表現のパラダイムシフト：平面的情報空間から立体的情報空間へ

研究室での活動を例に、建築や都市の分野において図面等の平面的な広がりの中で長らく表現され活用されてきた情報が、三次元空間という立体的な広がりの中で表現され活用されることの可能性について示す。

事例1「設計図書の立体化」：BIMモデルの部材形状と属性情報に基づき、VRを用いて実施設計図書を立体視することを試みた(図1)。言わば飛び出す設計図書である。事例2「図面と建物モデルの融合による情報の相互補完」：図面と建物モデルをARにより重畳することで、文字や数字を図面から、立体情報を建物モデルから読み取ることを試みた(図2)。建築の非専門家がスマートフォンとARゴーグルで気軽に見ることができる。事例3「維持管理情報

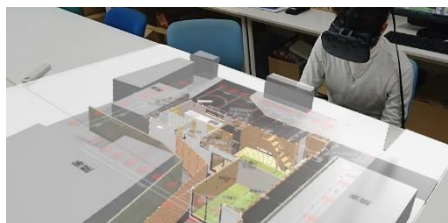


図1 VR図書(平面詳細ビュー)のイメージ



図2 設計図書と建物モデルの重畳による情報の相互補完

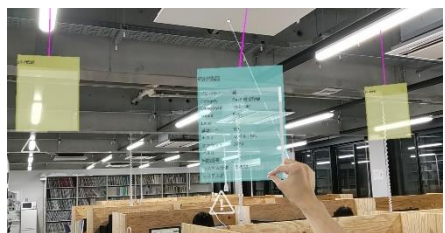


図3 現実空間に浮遊する設備機器の維持管理情報

の現実空間での浮遊」：MRを用いて、データベースに記録された建物部位や設備機器の維持管理情報を、即時的に眼前に表示することを試みた(図3)。漫画・アニメのドラゴンボールのスカウターのような機能である。

2.2. 3D都市モデルの多様な利活用・VR技術で加速する「まちづくりのDX」

1990年代後半から、日本の自治体において数多くの「3D都市モデル」が作成されてきた。民間企業の例を挙げると、パナソニックでは過去20年に亘り300地域以上の都市モデルのデータ作成を支援しており、これは日本の主要都市数の30%以上に相当する。これら都市モデルの実装については、主に都市計画に必要な社会的合意形成を促進する目的で、様々な可視化ツール等が開発されまちづくりの現場を中心に活用されてきた。近年では、VR・AR技術の応用が数多くみられる。

一方で、日本のこれらの3D都市モデルにおける課題は、その大半が幾何学形状のみで構成されており、地物属性(セマンティクス)の情報がない、あるいは担保されてこなかったことである。これを受けて、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」)³⁾。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都市モデルが構築された。

これらはオープンデータ化により、様々なステークホルダーが各々の目的において最新のxRやシミュレーション技術と併せて活用できるようになる。今後、スマートシティに向けた人々の活動の様々な動的データや、市街地再開発における建築計画のBIMデータ等との連携により、政府が目指す全体最適・持続可能なまちづくり(「まちづくりのDX」)の実現可能性が高まることが期待されている(図4)。

この3D都市モデルの多様な利活用には、まちづくりの現場に散在する課題を解決する視点でのアイデアが必要であることから、その中心になる各都市の自治体職員が十分に理解を深めるための教育やネットワークが求められ

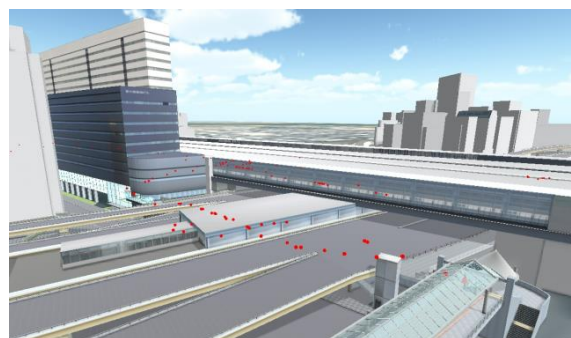


図4 3D都市モデルの活用事例(新大阪駅の人流可視化)

ており、産学もその活動を大いに後押しすべきである。

2.3. 時刻同期センシングと IoT 基盤

IoT の技術革新により、実世界の状況が直接サイバー空間に再現され、サイバー空間での AI による分析結果をもとに実世界の動きを制御する CPS (Cyber Physical System)、あるいはデジタルツインが現実のものとなり、建築・都市の DX もこの流れの中で進んでいる。その情報基盤となるのが、建築物の BIM モデルと、3D 都市モデルである。

2019 年に国土交通省が建築 BIM 推進会議を設立し、建築物の設計・生産プロセス及び維持管理において、BIM を一貫して利活用する仕組みの構築を図り、建築分野の生産性向上と付加価値の創出を実現するために活動している。そこでは将来像として、BIM モデルと AI・IoT 等の先進技術が密接に融合する社会像が議論されている。一方、都市単位では、3D 都市モデルの整備・活用・オープンデータ化のプロジェクト・PLATEAU が推進されている。将来的には、一つひとつの構造物の BIM モデルの集合体が 3D 都市モデルとなる方向に発展していくことが考えられる。

情報基盤上で様々なデータを利活用する際、IoT デバイス等のセンサデータとのリアルタイム連携には課題がある。センサデータの形式や規格は、一般的には規定されていない。また、容量が膨大であることが多く、処理と時間にコストがかかるため、分析等に利用されるデータは蓄積されたものの一部になってしまう。リアルタイムのセンサデータを、数十年という時間軸で利活用するためには、こうした課題を解決し、BIM モデルや 3D 都市モデルと連携するための IoT 基盤が必要となる。こうした IoT 基盤を建築物の地震計測、構造ヘルスマonitoring に利用している例を示す。筆者は、GPS、ネットワーク、専用配線不要で、多数の地震センサの時刻同期を確保するために、チップスケール原子時計を搭載した自律型時刻同期地震センサの開発と適用を行っている⁴⁾。これを 4 階建て建築物の各階に設置し、地震が発生するたびに、データを IoT 基盤に収集・蓄積し、構造健全性の分析を行って、その結果を 3 次元 BIM モデル上で可視化している (図 5)。こうした情報の閲覧のために、建築物の管理者等が用途に応じて VR・MR を使いこなすことが期待されている。

2.4. VR・MR を通して建築空間と分かれがたく結びつく人々の声

ここでは建築デザインの特長な技術や能力を持たない、しかし建築の様々な意思決定の中で重要な役割を担うクライアントやユーザー等が設計プロセスにより深く関わるための設計空間システムについて述べる。

そもそもこの建築設計の専門家か否かを分ける要素の一つとして、目の前に存在しない建築の姿を想像しながら様々な検討を重ねる空間認識の技能が挙げられる。人々の



(a) リアルタイムデータ表示 (b) BIM モデル上の表示

図 5 IoT 基盤上のデータ表示と BIM モデル上での可視化

行為は、その空間の状況と分かちがたく結びついており⁵⁾、建築の有り様とそこでの人々の振る舞いを一旦切り分け、あるべき空間を探究し、操作する設計という行為には高度なスキルが求められる。一方で設計対象の建築がまるで実在するかのようにその空間を経験することができれば、専門外の多くの人々が建築設計に関わるチャンスが生まれるだろう。そこに VR・MR の設計ツールとしての可能性が見出されるのである。

以上のような認識のもと、VR・MR の設計ツールの開発に取り組んでいる。例えば設計案の空間を VR 化し、その中で仮想のオブジェクトを生成・編集しながら、複数人で設計検討ができるツールを構築した。ここでは建築の各種寸法体系を知らない人でも、自身の身体感覚に基づいて机やベンチ等を即座に操作できた⁶⁾。

また VR・MR の可能性は必ずしも物理空間の経験の忠実な再現にとどまるものではなく、時間の幅を前提とした空間の経験にも広がりうる。たとえば「ワークショップ」のような対話の機会は大抵時間的な制限があるが、その中で設計に関わる多くのことを検討するのは困難である。逆に日々の暮らしの中で設計対象の新しいアイデアをふと思いつくことも多い。そこで現在、我々の身体に馴染んだウェブブラウザ上で建築の設計案を VR として共有し、日常的に空間内のあらゆる箇所に直接言葉を置き残せる設計空間システムの開発に取り組んでいる。数ヶ月、数年にわたる設計プロセスを通して空間の中に位置付けられた数多くの人々の声を活かした多様性に富んだ建築の創造を支える設計空間システムを目指している。

2.5. BIM・解析・VR 技術を活用した社員寮の課題

社員寮の建設にあたり、BIM によるモデリング、構造解析・CFD 解析、日照検討・可視化・景観検討に VR 技術を用いて建築計画が実施され 2017 年 8 月 31 日に竣工に至った⁷⁾ (図 6)。

約 4 年経過するが、いくつかの課題も抱えている。竣工当初には 1F 床のコンクリート打ち継ぎ目より浸水被害が発生した。当日の降雨量は比較的多かったが、構造的な集水、排水面では問題は確認できなかった。分析の結果、地下水位が高い地質であり、降雨による水位の上昇に耐えられなかったことが原因と考えられ、一定の地下水位に達す



図6 社員寮の建築計画

ると地下水を排水するポンプを追加設置することで、以降は再発していない。

最近では湿度が問題視されており、来訪者はじめ、湿度が常時高いという意見が多い。これに対し、換気シミュレーション解析が必要であるが、現状は個人の体感の部分もあるため、詳細にはIoT技術を用いて計測を行い、計測データを反映させた分析と対策が必要である。

最後に社員寮の立地は緑も多く静観な場所であり、住みやすい環境であるが、約10年後に車道4車線の環状線が社員寮の目下に完成予定となっている。既に地区まちづくりルール策定に向けた意見交換会なども実施されており、これから自動車や歩行者の動線も大きく変化し、周辺環境が激変することは間違いない。社員寮においても、計画に合わせてVRデータを更新するとともに、騒音・日照・景観検討等についても見直しを行い、快適な生活環境を提供できるように対策を検討していきたい。

2.6. VR・ARの世界観と「夢幻能」

時間と空間を自在に支配すると言われる、能楽の「夢幻能」という様式は、全体がワキ（主役のシテの脇役）の見た〈夢〉や〈幻〉という構成で書かれている。観客は、演技は舞台上で行われているのに、自分自身がワキになり、シテの台詞や謡を聴き、舞を見ているような錯覚に陥る。そしてシテが揚幕の中へ消えたとき、ハッと我に帰り、あたかも〈夢〉を見ていたような心持ちのまま能楽堂を出て行く。「夢幻能」の物語にある現実の旧跡を訪れ、偶然、隣家から横笛の音色が聴こえてきたときには、〈夢〉の世界に突如深く入り込み、しばし呆然と立ち尽くすことになる。

VR・AR作品も「夢幻能」の体験と同様の世界観をユーザーに与えている。「高精細シアター型VR安土城・VR安土城タイムスコープ」の報告では、現実の安土城跡に足を踏み入れ、コントローラを使い仮想空間を歩いた大手道を、自分の足で登りながら天主方面を仰ぎ見ると、実際は大木に覆われて見えないのだが、VRを観た後なので、往時の天主の姿がしっかりと蘇ってきて、かつショートムービーにある岡部又右衛門のセリフやBGMまでが聞こえてくる、という。タイムスコープは、スマートフォンを現地安土山にかざすと、信長が3年の月日を

かけて築いた幻の城が現出し、ユーザーを過去へ向かう時間へと遡行させる⁸⁾。

「丹後国分寺五重塔AR」のプロジェクトでは、数百年前に焼失した五重塔の焼け跡が今だに残る礎石の間を歩いたのちに、WebARで浮かび上がる茜色に輝く五重塔を見たとき、人は時間と空間を超え、天橋立を描いた室町時代の禅僧雪舟が見たと同様の景色を迫体験する⁹⁾。

VR・ARの世界観は「夢幻能」同様、時間と空間を支配し、ヴァーチャルとリアル境界を曖昧にして、ときに人々を惑わす。

「ヴァーチャルは非現実的でも潜在的でもない。ヴァーチャルは現実の次元に存在するのだ」という情報文化学者フィリップ・ケオーの言説は、昨今のVR・AR技術の進展に伴い、ますます現実味を帯びてきている。ヴァーチャルとリアルとの境界線〈あわい〉は、以前にも増して不鮮明(blur)になった。今後は、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考えている。

3. 小結

本稿は、VR・MR応用に関する「深化」状況を概観した。設計図書の代替や維持管理の方法、3D都市モデルのオープンデータ整備と活用、IoT基盤構築、設計プロセスに深く関わり合える機能、BIM-解析ツール連携、デジタル遺産への考察である。次稿では「探索」状況を述べる。

【参考文献】

- 1) National Academy of Engineering (NAE): 2008, Grand Challenges for Engineering, <http://www.engineeringchallenges.org/challenges.aspx> (accessed 2021. 9. 30)
- 2) 野村淳二: 1991, 人工現実感によるシステムキッチン体験システム, 精密工学会誌, 57(8), pp.1352-1355
- 3) Akahoshi, K. et al.: 2020, I-URBAN REVITALIZATION: CONCEPTUAL MODELING, IMPLEMENTATION, AND VISUALIZATION TOWARDS SUSTAINABLE URBAN PLANNING USING CITYGML, ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., V-4-2020, pp.179-186.
- 4) Kurata, N.: 2020, A Sensing System with High Accurate Time Synchronization for Earthquake Observation and Structural Health Monitoring of Structures, Proceeding of the 17th World Conference on Earthquake Engineering (17WCEE), Paper No. 9a-0008, pp.1-9.
- 5) Suchman, L.: 1987, Plans and Situated Actions: The Problem of HumanMachine Communication, Cambridge University Press
- 6) 四宮駿介ら: 2021, 設計空間としてのVRにおける状況との対話のプロセス, 日本建築学会計画系論文集 86巻 783号, pp.1409-1419
- 7) 家入龍太(監修): 2016, フォーラムエイトが広げるBIM/CIMワールド, 日本建通新聞社
- 8) 福田知弘: 2020a, 「都市と建築のブログ 総覧」, FORUM8 PUBLISHING, pp.240-243.
- 9) 福田知弘: 2020b, 「都市と建築のブログ 総覧」, FORUM8 PUBLISHING, pp.244-247.