

より良い建造環境づくりに向けて：XR・メタバース・AI・ドローン



特集
ハイテク推進
セミナー

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 福田 知弘氏

1. はじめに

筆者が所属する環境設計情報学領域は、環境デザインにおいて人間、人工物、自然といった多様な要素間の関係を統合的に設計する方法論に取り組んでいる。特に、情報通信技術（ICT）を活用した環境デザインシステムの開発や、総合工学的な観点からの環境情報学の研究・教育に注力している。この分野の取り組みは、環境共生型スマートシティの実現を目指し、環境・土木・建築・都市工学分野における ICT 活用技術の研究を行うものである。具体的には、拡張現実（AR）、複合現実（MR）（以下、MRに統一）、隠消現実（DR）、バーチャルリアリティ（VR）、3次元（3D）計測、プロダクトモデル（BIM）などの技術開発や、それらを活用した共生環境デザインの応用に取り組んでいる（図1）。

建築や土木などの人工的に構築された環境は「建造環境」と呼ばれ、人類はその発展に長年にわたり知恵と工夫を重ねてきた。成熟都市においては、新築のみならず建替えや再整備も行われ、関連する利害関係者も多岐にわたる（図2）。このため、将来の建造環境を検討し、完成後の建造環境を維持管理

し、さらには過去の建造環境を再現するため、長い間様々な方法が用いられてきた。伝統的な図面や模型、透視図に始まり、近年ではBIM、VR、MRといったデジタルメディアも活用されている（図3）。これらのデジタル技術は、物理的な建造環境を検討するツールとしてだけでなく、デジタルサイネージやメディアファサードの形で物理空間においても現れている。

私たちのチームでは、これまでの基礎研究の成果を応用し、VR技術を用いた歴史的建造物の復元、建築（住宅や複合施設）、道路、景観設計といった



1



2

XR (VR・AR・MR・DR)、メタバース、デジタルツイン



3



講師 福田 知弘氏

実際のプロジェクトに取り組んできた (図4)。また、MR 技術では設計や復元に加えて、建築設計と設備設計の統合、さらには遠隔地のユーザに対して形状や色彩などの3D データをリアルタイムで提供するテレプレゼンスの試みも行っている (図5)。

2. AI を駆使した MR・DR

環境デザインシステムを実際のプロジェクトに適用する中で、新たな課題が浮かび上がってきた。例えば、通常の MR や DR は、現実世界と仮想モデルを重ね合わせたり仮想的に消去したりして、将来の景観を視覚化することができる。しかし、現実世界と仮想モデルの相互作用が限られているため、視覚的に違和感が生じる場合がある。一般的な MR では、仮想モデルが常に現実世界の手前に表示されるため、緑地帯の向こうに新たなビルを建てた際の景観シミュレーションが不正確になるというオクルージョン問題が発生する。

一方で、AI 技術の進化により、現実世界の物体を検知したり、リアルな新しい景観を生成することが可能になってきた。このような背景から、AI を MR・DR に統合することで、より高度な表現が実現できるのではないかと考え、開発に取り組んできた。

具体的には、深層学習を用いた物体検出モデルを DR と統合し、シミュレーション中に出現する歩行者を自動的に仮想除去する技術を開発した (図6)。さらに、セマンティックセグメンテーションを MR と統合し、現実世界と仮想モデルの重なり具合を改善することで、オクルージョン問題の解決を図った (文献1、図7)。次に、セマンティックセグメンテーションで建物を自動的に抽出し、その建物を解体撤去した後の背景を生成 AI (敵対的生成ネットワーク、GAN) で自動的に描画する技術を導入することで、3D モデルを準備する手間を省くことに成功した (図8)。また、ランドスケープデザイン検討のために、設計モデルの水面反射を現実的に表現するため、GAN を用いた映り込み表現も導入した (図9)。

3. ドローンと MR の統合

MR は通常、ユーザが HMD (ヘッドマウントディスプレイ) を装着するか、モバイル端末を使用して体験する形式を取っており、体験の視点はユーザ



4



5



6



7



8

の近傍に限定されがちである。しかし、ユーザがドローンを活用することで、上空や離れた位置などからより自由な視点でMRを体験する可能性が広がるのではないかと考え、ドローンとMRを統合したシステムの開発に取り組んできた。

MR・DRでは、リアルタイム処理が求められるため、ドローンの映像を利用しながらオクルージョン処理を含むMR表現を実現する際には、2章で使用した深層学習モデルの使用が困難である。そのため、既存の都市の3Dモデルである「都市デジタルツイン」を活用し、現実の都市構造と設計モデルの位置関係を計算することで、リアルタイムのオクルージョン処理を実現した(文2、図10)。これにより、景観シミュレーションに加え、洪水時の浸水シミュレーションの視覚化も可能となっている(図11)。

また、ユーザがドローンを自由に飛行させた際にも、仮想モデルが本来あるべき位置に忠実に表示され続けるようにするトラッキングシステムの開発にも取り組んだ(文3、図12)。これにより、上空からの視点や動的な視点でのMR体験が可能となり、従来の体験範囲を大幅に拡張することができた。

4. サーバ型MR

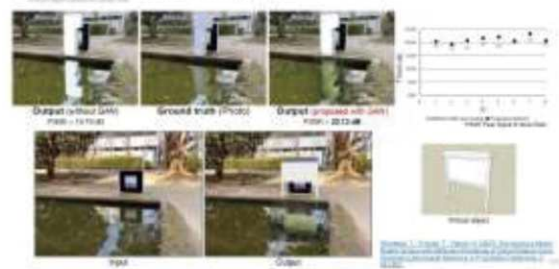
従来のMRは、ユーザ端末に仮想モデルをダウンロードして実行する形式が一般的である。しかし、建造環境分野で使用される3Dモデルは非常に複雑でデータ量が大きくなりがちなため、MR端末には高性能なGPUなどの高い演算能力が求められる。このため、データ量を軽減するためのLOD(詳細度)を自動制御する方法も検討されているが、多様な特徴を持つモデルに対してリアルタイムで適切なLOD処理を行うことは依然として課題が多い。

そこで、インターネット接続された高性能なサーバに能力をオフロードし、システム全体の処理性能を向上させるアプローチを採用した。これにより、複数のユーザが同じ3Dモデルを共有したり、同時に操作することが可能になる点でも利便性が向上する。

具体的には、サーバ側で太陽光のシミュレーションを行い、その結果をストリーミング動画としてクライアント端末に配信する仕組みを構築した。ユーザ端末からの仮想カメラの位置と姿勢に基づいて、日光の差し込み具合がMR表示されるようになっ

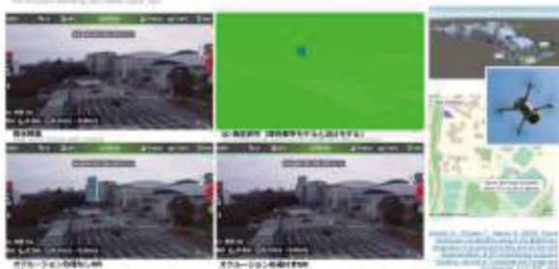
水面反射を伴うMRレンダリング

GAN (高解析3Dモデル) 生成、高品質な3Dモデル生成



9

都市デジタルツインによるMRオクルージョン処理 -3-



10

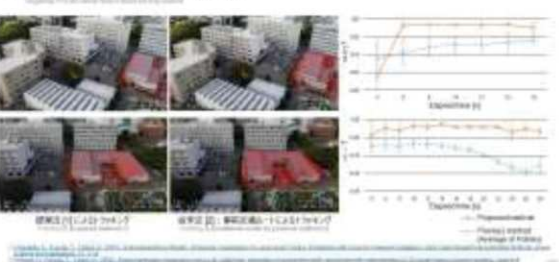
都市デジタルツインを伴うドローンの視点からのMR: 都市洪水の可視化



11

任意の経路で飛行可能なドローン視点の大規模空間MRシステム

・ VPS 自由空間ベースのドローン飛行経路計画 (3)

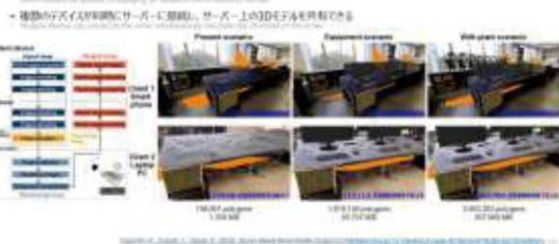


12

複数のデバイスで太陽光シミュレーションを可視化するサーバ型MR

・ MRの3Dモデルは高品質なサーバで実行

・ 複数のデバイスが同時にサーバに接続し、サーバ上の3Dモデルを共有する



13

ている。たとえば、室内空間に仮想モデルを配置しない場合、PC ディスプレイモデルを配置した場合、窓際に観葉植物モデルを配置した場合など、それぞれのケースでデータ量は増加したが、ユーザ端末の描画速度に影響は見られず、サーバによるオフロード処理の効果が確認できた (図 13)。さらに、時系列に基づく洪水シミュレーションを屋外の現地で視覚化する MR も開発し、災害対策にも応用可能なシステムとなっている (文 4、図 14)。ここでは、複数のユーザがアクセスした際には、空いているサーバに自動で割り振る機能を追加し、効率的な負荷分散を実現した。

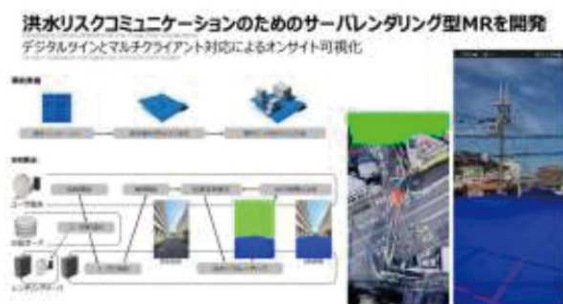
このような技術により、1 章で述べたテレプレゼンス技術の高度な実現も可能になると考えられるが、実物体から生成した点群には欠損が生じやすいため、AI を活用した点群データの補完技術にも取り組んでいる (図 15)。

5. AI 学習用合成データ生成法

深層学習を活用して画像内の対象物を検出するためには、大量の学習データセットを用いてディープニューラルネットワークを訓練する必要がある。しかし、建造環境に特化した学習データセットは極めて不足しており、実世界の写真からアノテーションデータを手作業で作成するには膨大なコストがかかる。この問題を解決するため、コンピュータを用いて実データに近い合成データを自動生成できないかと考えた。3D モデルには属性情報が内部に定義されているため (図 16)、これを利用することでアノテーション付きの画像を生成できるが、課題は合成データで学習した AI が現実の建造環境を正確に認識できるかどうかである。

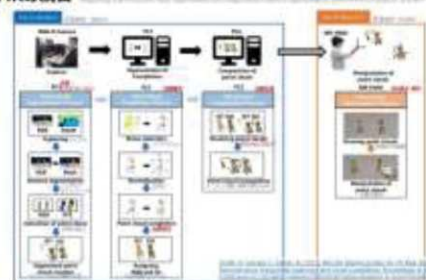
まず、建物の屋根を上空から検出するため、航空写真と 3D 都市モデルを活用して学習データセットを自動生成する方法を開発した (図 17)。航空写真は実世界を撮影した画像であるため、これを使用して学習させることで、現実世界での検出も可能になると考えた。さらに、航空写真に含まれる雲を除去するために、GAN を用いてノイズ除去も施している。

次に、建物ファサード (立面) をインスタンスセグメンテーションモデルで個別に検出するため、都市デジタルツインをゲームエンジン上で表示させ、学習データセットを自動生成する方法を開発した



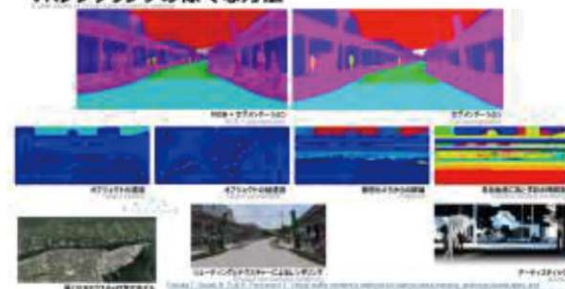
14

図像ベースのインスタンスセグメンテーションによるリアルタイム点群分割と点群補完とMRの統合



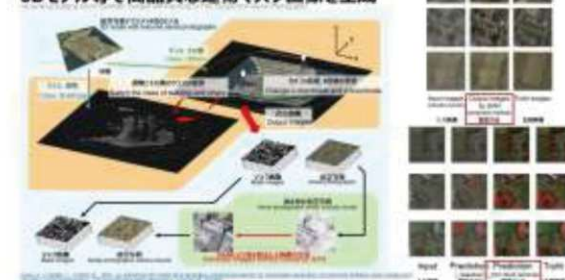
15

VRレンダリングの様々な方法



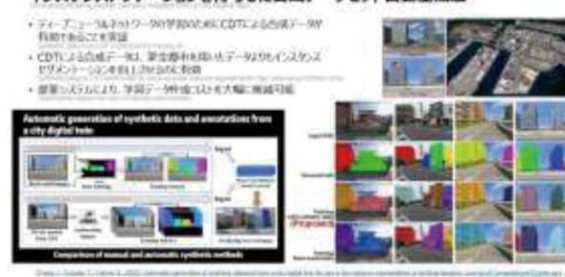
16

航空写真の薄雲を自動除去し 3Dモデル等で高品質な建物マスク画像を生成



17

都市デジタルツイン (CDT) を用いて、建物ファサードのインスタンスアノテーションを付与した合成データセット自動生成法



18

(文5、図18)。さらに、現実的でありながら実在しない都市の3Dモデルを生成するプロシージャルモデリングと、実際の写真に近い画像を生成するディープラーニングの画像変換技術を組み合わせて、建物を個別に検出するための合成データ自動生成法も開発した(文6、図19)。これらの成果を生かしながら、3D点群データをオブジェクトごとにセグメンテーションする方法についても研究を進めている(図20)。

6. eCAADe 2024 国際会議での発表

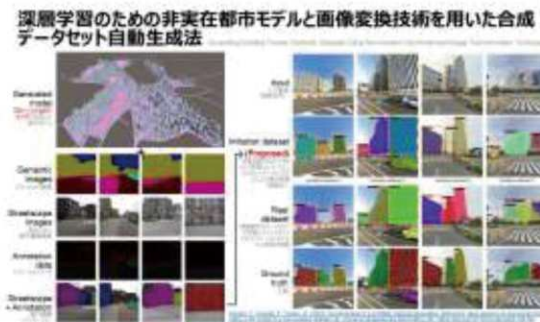
2024年9月にキプロスで開催されたeCAADe 2024国際学会で当領域のM1の学生4名がそれぞれ研究発表を行った(図21)。

最初の発表は、リノベーションや改修を行う際に必要となる現実世界の3Dモデルの取得に関するものである。高精度な3Dモデルを取得するためには通常3Dレーザースキャナが使用されるが、その高コストが課題である。これに対して、複数の写真から3Dモデルを生成するフォトグラメトリ技術に関する研究が進められている。さらに近年では、AIの進展により透明や反射を含む物体の再構成が可能となった。本発表では、複数の写真を用いて3Dガウススplatting法で屋内空間の点群を再構成し、サーフェスマデリングを行う新しい方法について紹介した(図22)。

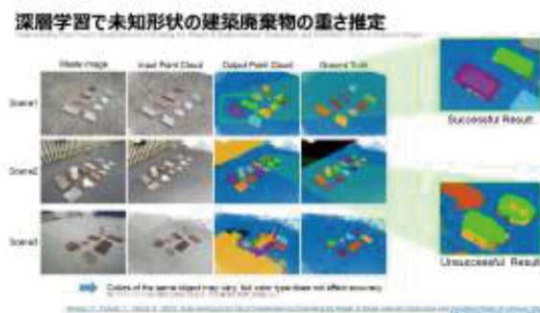
二つ目の発表も、3Dガウススplattingの応用研究である。都市再開発において、使われなくなった建物の解体後の風景を3Dで再構成することが求められるが、計画段階では建物が存在しているために十分な写真を撮影できない場合が多い。そこで、拡散モデルを活用して不十分な写真の部分を補完し、3D再構成を可能にする方法について発表した(図23)。

三つ目の発表は、4章で触れた通り、複数のユーザが同時にMR体験を共有するシステムの開発である。異なる地点にいるユーザ同士がMR画面を共有し、各々がどのような視点でMR体験しているのかを相互に確認できる機能を実装したもので、これによりリアルタイムのコミュニケーションが可能になる(図24)。

四つ目の発表は、3章で述べたドローンとMRを統合したシステムの発展形である。従来の打音検査



19



20



21



22



23

に加えてサーマルカメラを使用することで、建物外壁タイルの検査が可能になりつつある。このシステムは、検査作業中に点検状況などをMR上に表示できるようにし、効率的な作業支援を目的としている（図25）。

以上のように、私たちの研究は、AIやMRなどの先端技術を環境設計の建設プロセスや維持管理、災害対策に適用し、新たな知見を通じて建造環境のデジタル化とその応用の可能性を広げるものである。これらの取り組みは、将来的なスマートシティや建造環境分野でのICT活用に向けた重要な礎となり、実世界における持続可能な環境設計の実現に寄与できると考えている。



24



25

参考文献

- [1] Kido, D. et al. (2021). Assessing future landscapes using enhanced mixed reality with semantic segmentation by deep learning, *Adv. Eng. Inform.*, 48, 101281.
- [2] Kikuchi, N. et al. (2022). Future landscape visualization using a city digital twin: integration of augmented reality and drones with implementation of 3D model-based occlusion handling, *J. Comput. Des. Eng.*, 9(2), 837-856.
- [3] Kinoshita, A. et al. (2024). Drone-based mixed reality: enhancing visualization for large-scale outdoor simulations with dynamic viewpoint adaptation using vision-based pose estimation methods, *Drone Syst. Applicat.*, 12.
- [4] Tsujimoto, R. et al. (2024). Server-enabled mixed reality for flood risk communication: On-site visualization with digital twins and multi-client support, *Environ. Modell. Softw.*, 177, 106054.
- [5] Zhang, J. et al. (2022). Automatic generation of synthetic datasets from a city digital twin for use in the instance segmentation of building facades, *J. Comput. Des. Eng.*, 9(5), 1737-1755.
- [6] Kikuchi, T. et al. (2023). Development of a synthetic dataset generation method for deep learning of real urban landscapes using a 3D model of a non-existing realistic city, *Adv. Eng. Inform.*, 58, 102154.

