

## (53) 地下埋設物に対する AR 可視化システムとその重畳の精度と安定性

洲崎 文哉<sup>1</sup>・檜山 和男<sup>2</sup>・琴浦 毅<sup>3</sup>・石田 仁<sup>4</sup>・吉永 崇<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 中央大学大学院理工学研究科都市人間環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: a16.5tdx@g.chuo-u.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

E-mail: kaz@civil.chuo-u.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 五洋建設株式会社技術研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)

E-mail: tsuyoshi.kotoura@mail.penta-ocean.co.jp

<sup>4</sup> 正会員 五洋建設株式会社技術研究所(〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)

E-mail: Hitishi.Ishida@mail.penta-ocean.co.jp

<sup>5</sup> 非会員 公益財団法人九州先端科学技術研究所(〒814-0001 福岡県福岡市早良区百道浜 2-1-22)

E-mail: yoshinaga@isit.or.jp

本論文は、地下埋設物に対する施工・維持管理を支援する AR 可視化システムを構築するとともに、本システムの重畳の精度と安定性について検証を行ったものである。具体的には、CIM の属性情報を活用した AR 可視化を行うとともに、本システムの使用時において移動に伴う重畳精度と照度差による重畳の安定性について検証を行ったものである。実際の地下埋設物の AR 可視化に適用して、本システムの有効性とその重畳の精度と安定性について検討した。

**Key Words:** *augmented reality, underground structure, accuracy and stability, illuminance*

### 1. はじめに

近年、様々な分野において拡張現実感 (Augmented Reality, 以降 AR) 技術を用いた可視化の有用性が認識され、建設分野においても様々な諸活動において活用事例が報告されている<sup>1)</sup>。AR 可視化が有効な分野の一つに、地上から見ることができない地下埋設物などの地下構造物の可視化がある。その理由としては、地下埋設物の施工や維持管理において、掘削作業等を行う際に、埋設物の位置関係の把握が十分でないために、埋設物の破損事故等が頻発していることが挙げられる。

著者らはこれまで、地下埋設物の安全な施工・維持管理を支援する上で有効となり得る AR 可視化手法の構築を行うため、地下埋設物の可視化に有効な描画手法について検討・実装するとともに<sup>2)</sup>、可視化デバイスとして一般的なスマートフォン・タブレット端末に着目して、iOS に対応した ARKit<sup>3)</sup>を用いてシステムの構築を行ってきた<sup>4)</sup>。本システムは、デバイス本体に搭載しているセンサーによる慣性測定とカメラ映像から得られる特徴点の変化を用いてデバイス本体の自己位置推定を行って

るため、自由な視点・移動での可視化を可能にしている。しかし、一方で可視化中の移動により重畳位置がずれるという問題や、夜間など照度が十分に得られない場合の重畳の安定性についての検討は行っていなかった。また、従来のシステムでは CAD モデルを表示するのみで属性情報を有効に活用する機能は実装されておらず、使用性に課題があった。

そこで本論文では、新たに属性情報を用いた可視化機能の実装を行うとともに、本 AR 可視化システムの使用時の重畳精度と安定性について検討するために、可視化中の移動に伴い発生する重畳誤差と、照度の差異により生じる重畳の不安定性について定量的な検証を行った。

### 2. システム概要

図-1に本システムのフローチャートを示す。以下にフローチャートの各項目について述べる。

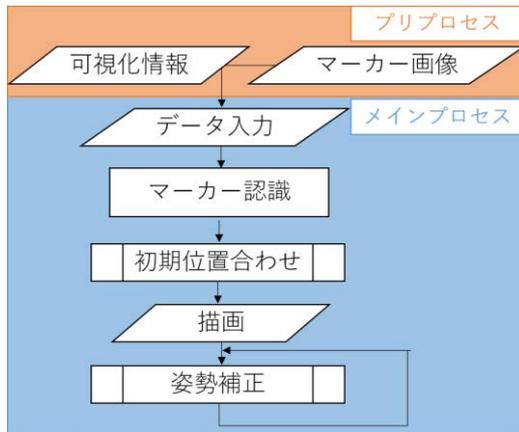


図-1 本システムのフローチャート

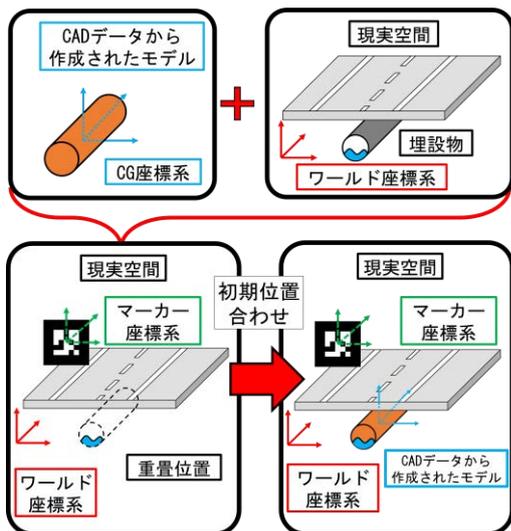


図-2 初期位置合わせ

### (1) 開発環境

本研究では、総合開発環境としてゲーム開発プラットフォームであるUnityを用いる。また、ARシステムの開発キットとして、iOSに対応するARKitを用いる。デバイスはAppleのタブレット端末であるiPadProを用いた。

### (2) データ入力

データ入力では、重畳させる可視化情報とマーカー画像を入力する。可視化情報としては、あらかじめ作成した重畳する三次元モデルを与える。

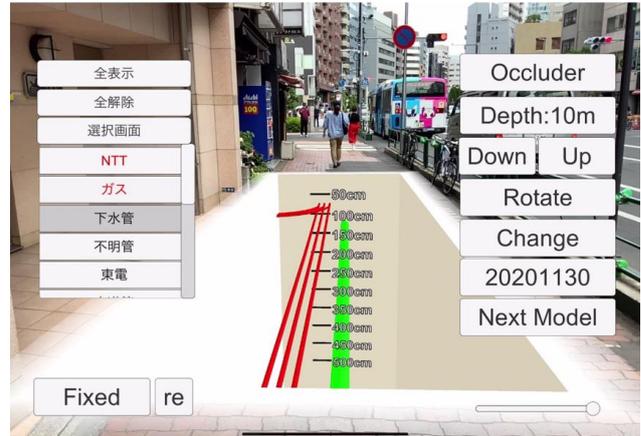
### (3) マーカー認識・初期位置合わせ

初期位置合わせにARKitの機能である画像トラッキングを用いる。図-2に初期位置合わせ手法を示す。具体的には、デバイスのカメラ映像がマーカーとして設定した任意画像を検出し、マーカーの座標系（マーカー座標系）となるその画像の中心点の座標と角度を取得し、現実空間の座標（ワールド座標系）に置き換える。そして、重畳させたいモデルの位置とマーカー設置地点との距離を



(a) 全体表示

(b) 開口部モデル



(c) 属性別表示

図-3 属性情報を用いた可視化

あらかじめ設定しておくことで、CADモデルの座標系（CG座標系）をマーカー座標系に合わせ、ワールド座標系における重畳位置を決定する。

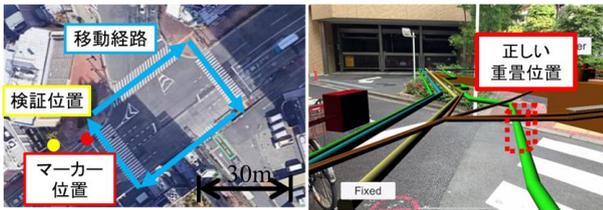
### (4) 描画・姿勢補正

初期位置合わせに画像トラッキングを用いた後、画像トラッキングからARKitのワールドトラッキングへ切り替える。ワールドトラッキングを用いることで、マーカー画像を認識していない場合でも、可視化したモデルは与えられた座標位置に重畳され続けるため、マーカー画像をカメラ映像内にとらえ続ける必要がなくなり、自由な視点でのAR可視化が可能になる。

## 3. 地下埋設物のAR可視化システム

### (1) 本システムの特徴

本システムを地下埋設物に適用し、実際にCADで作成された三次元形状と座標位置を持つ地下埋設物のモデルを現地で重畳させた。また、図-3(a)のような地下埋設物のAR可視化において実際に地下にあるように見えないという描画上の課題について、図-3(b)に示すように、穴の中の埋設物のみ表示できる開口部モデルを用いることで解決した。また、本論文において属性情報を用いた可視化機能を追加したが、可視化例として図-3(c)に通信管とガス管を選択して表示した例を示す。属性情報を選択して可視化する機能を用いることで、本システムが有効であることが確認できた。



(a) 可視化場所 (b) モデルがずれた様子

図-4 移動の伴う可視化

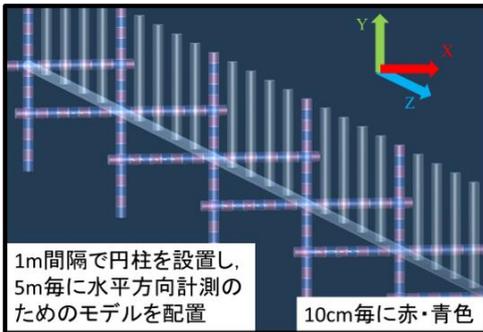


図-5 重畳精度検証用のモデル

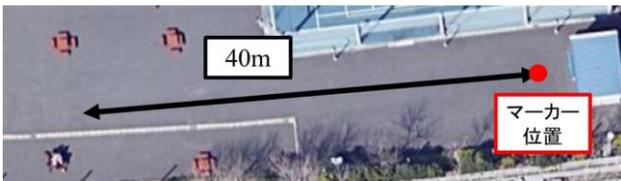


図-6 検証環境と移動

## (2) 課題

実際に現地で可視化した際に、初期位置が合っていた場合でも可視化中の移動により重畳のずれが発生するという課題があった。具体的には、図-4(a)のように、交差点を一周(約 130m)した場合に初期位置からどの程度ずれるか検証した結果を、図-4(b)に示す。図より、移動により重畳のずれが生じていることが分かる。

そこで本研究では、AR 可視化中の移動による重畳精度について次節において定量的に検討を行った。また、人・自動車の往来や天候などの差異による照度の変化も重畳の精度や安定性に影響すると考えられる。本研究では、その中でも AR 可視化を行う際の照度に着目して、照度の差異による重畳の安定性について検証した。

## 4. 重畳の精度と安定性

### (1) 移動によって発生する重畳誤差

AR 可視化中の移動によって発生するずれを計測するために、図-5に示すような直径 10cm、高さ 1m の円柱を移動方向(Z 方向)に 1m 間隔に設置し、5m 毎に目印とな

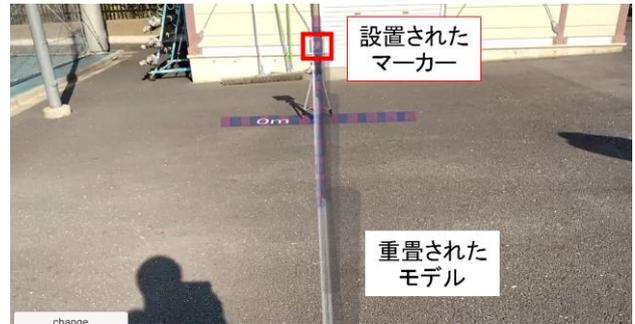


図-7 検証の様子

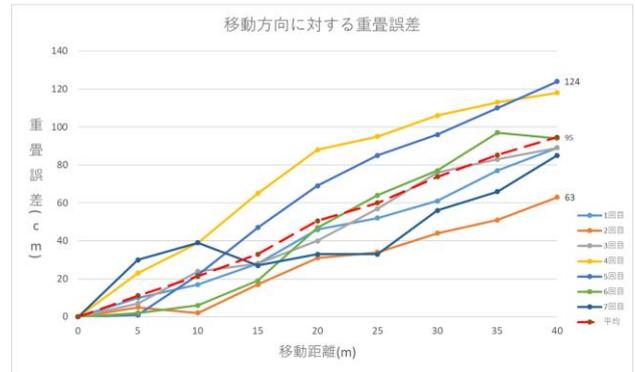


図-8 移動方向に対する重畳誤差

るモデルを用意した。5m 毎に設置されている円柱では、赤・青色の帯を 10cm 間隔で交互に配置しており、水平方向(X 方向)にも円柱を設置することで移動方向のずれとその方向のずれも計測できる。

屋外での検証環境を図-6、検証の様子を図-7に示す。メジャーを移動方向に設置し、メジャーの 0m 地点にマーカーを三脚によって設置した。マーカー認識後、図-5に示したモデルの重畳が開始された後、40m 後方に向かって移動し、5m 間隔で重畳誤差を確認した。また、最後の移動地点において、側面に移動し、鉛直方向(Y 方向)のずれを確認した。

検証した結果を図-8に示す。図-8に示すように、移動距離が伸びるにつれて、重畳誤差が大きくなっていくことが分かる。赤点線は平均値を表しているが、ほぼ移動距離に比例して重畳誤差が大きくなることが確認できた。

### (2) 照度による重畳の安定性

照度の差による安定性を検証を行うために、図-9に示すような中心から各 XYZ 方向に 1m まで円柱を設置したモデルを用いる。なお、円柱に赤・青色の帯を 10cm 間隔で交互に配置している。

本検証を行った場所と移動経路を図-10に示す。各計測点で照度を計測し、マーカーの中心に図-9を重畳させ、マーカー設置位置から構造物の周り(約 80m)を一周する。一周後、初期の重畳位置からモデルがずれるため、そのマーカー中心からの誤差を計測し、照度差での安定性の

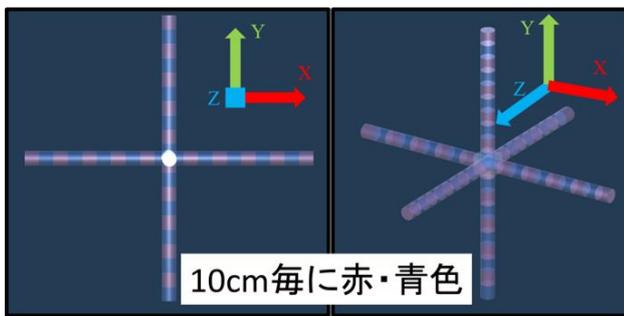


図-9 照度検証用のモデル



図-10 検証環境と移動



(a) 照度が十分な場合 (b) 照度が少ない場合

図-11 検証結果

検証を行った。

照度による安定性の検証を行った結果を図-11 に示す。図より、照度が十分な場合(平均 4810 ルクス, 計測点 1:5260ルクス, 計測点 2:4800ルクス, 計測点 3:4260ルクス, 計測点 4:4920ルクス)よりも少ない場合(平均 4226ルクス, 計測点 1:741ルクス, 計測点 2:83.1ルクス, 計測点 3:642ルクス, 計測点 4:5.44ルクス)の方が大きくずれていることが見て取れる。また、照度が十分な場合では、マーカー位置に近づいた際に、一度認識した特徴点による重畳位置の補正がかかるような挙動があったが、照度が少ない場合では見られなかった。

次に、横軸に平均照度(ルクス)、縦軸にマーカー中心からの距離のグラフを図-12 に示す。このグラフから照度が低い場合の方が不安定になることが確認でき、本システムでは、平均 100 ルクス程度あれば、正しく動作することが分かった。

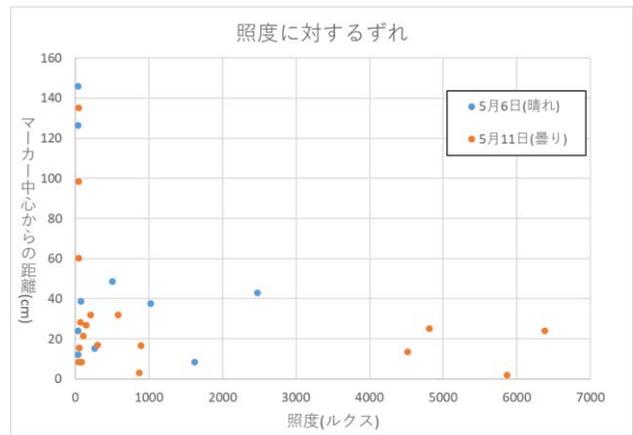


図-12 照度差による重畳誤差

## 5. おわりに

本論文では、地下埋設物に対する AR システムに新たに属性情報を用いた可視化機能の実装を行うとともに、可視化中の移動に伴い発生する重畳の誤差と、照度の差異による重畳の安定性について検証を行った。その結果、重畳誤差については移動距離にほぼ比例して重畳の誤差が発生することを確認し、照度については可視化領域において 100ルクス程度あれば正しく動作することを確認した。

今後は、引き続きシステムの使用性の向上と重畳の精度と安定性について検討するとともに、改善方法について検討を行う予定である。

## 参考文献

- 1) Sutherland, I. E. :A head-mounted three dimensional display, *The AFIPS Fall Joint Computer Conference*, pp.757-764, 1968.
- 2) Caudell, T.P. and Mizell, D.W.: Augmented Reality: An Application of Heads-Up Display Technology to Manual Manufacturing Processes, *IEEE Hawaii International Conference on System Science*, pp.659-669, 1992.
- 3) 矢吹 信喜: 土木建設分野における VR/AR の活用に関する研究と実務への適用, 計測と制御, Vol. 55, No6, pp. 483-488, 2016.
- 4) 池田 直旺, 榎山 和男, 吉永 崇, 琴浦 毅, 石田 仁: 施工現場における地下構造物の AR 可視化システムの構築, 計算工学講演会論文集, Vol. 24, C-13-01, 2019.
- 5) 洲崎 文哉, 榎山 和男, 琴浦 毅, 石田 仁, 吉永 崇: ARKit を用いた地下埋設物の AR 可視化システムの構築と重畳の高精度化の検討, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol. 77, No.2, pp.I\_131-I\_139, 2021.
- 6) Apple Developer: <<https://developer.apple.com/jp/augmented-reality/>>, (入手 2021.6.4).