

(52) MR 技術を用いた 地下埋設構造物の可視化システムの構築

川越 健生¹・藤 飛²・檜山 和男³
吉永 崇⁴・琴浦 毅⁵・石田 仁⁶

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 都市環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: a20.4dek@g.chuo-u.ac.jp

²学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 都市環境学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: a19.f7fy@g.chuo-u.ac.jp

³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

⁴非会員 公益財団法人 九州先端科学技術研究所 (〒814-0001 福岡市早良区百道浜 2-1-22)
E-mail: yoshinaga@isit.or.jp

⁵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

⁶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: Hitoshi.Ishida@mail.penta-ocean.co.jp

本論文は、地下埋設構造物に対する施工・維持管理を支援するための MR (Mixed Reality) 可視化システムの構築を行ったものである。著者らが構築した地下埋設構造物の MR 可視化のプロトタイプシステムに対して、MR デバイスの豊富な認識機能を用いて使用性の向上を行った。本システムの妥当性と有効性について検討するため、実際の地下埋設構造物の工事現場の可視化に適用した。

Key Words: mixed reality, underground structure, visualization

1. はじめに

近年、拡張現実 (Augmented Reality, 以後 AR) 技術¹⁾や複合現実 (Mixed Reality, 以後 MR) 技術を用いた可視化は、様々な分野において活用されている²⁾。AR 可視化が有効な分野の一つに、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、地下埋設物は地上から見るできないために、そ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発生していることが挙げられる。著者の研究グループでは、これまでスマートデバイスを用いた AR 可視化システムの構築を行い、地下埋設構造物の可視化システムの構築を行ってきた^{3,4)}。しかし、スマートデバイスによる AR 可視化は、画面が小さく操作しにくい上に、両手が塞がってしまうため建設現場での使用には安全性の面で難があった。

著者らは、上記の問題点を解決する手法として、こ

れまでワイヤレスな頭部装着型のホログラフィックコンピュータ (HoloLens) を用いた MR 可視化のプロトタイプシステムの構築⁵⁾を行ってきた。これにより、現場での可視化の安全性の向上が実現できるばかりでなく、ジェスチャー操作でホログラムの操作が可能のため AR 可視化に比べて操作性の向上を実現することが可能となった。しかし、ジェスチャーの認識機能は限定的であり、ディスプレイも視野角が狭く解像度も十分ではなかった。そのような中、新しい MR デバイスとして HoloLens2 がリリースされ注目されている。HoloLens2 は 5 本の指をすべてリアルタイムで検出できるため、HoloLens に比べてより自然で多様なジェスチャーでホログラムの操作が可能であり、視野角や解像度も約 2 倍になっており、より詳細な表現が可能である。

そこで本論文では、著者らが構築した地下埋設構造物の MR 可視化のプロトタイプシステム⁵⁾を HoloLens2 の豊富な認識機能を用いて使用性の向上を行った。本システムの妥当性と有効性について検討するため、実際の地

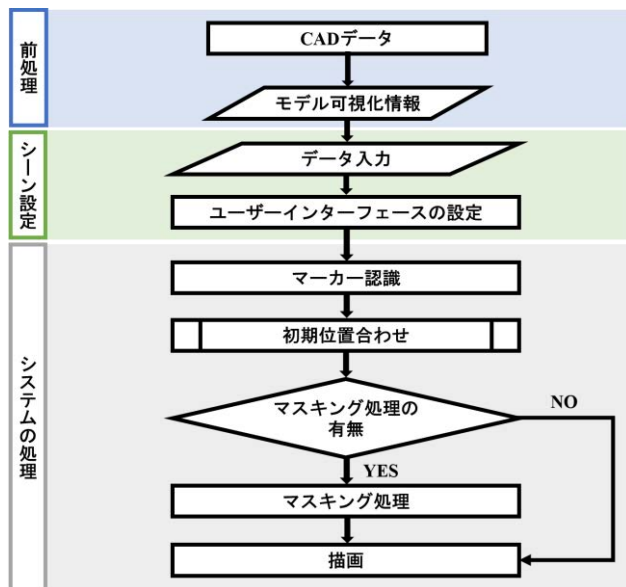


図-1 本システムのフローチャート

下埋設構造物の工事現場の可視化に適用した。

2. 開発環境

本研究では、Mixed Reality Toolkit v2.5.0⁹⁾（以後 MRTK）を用いた可視化システムの構築を行った。開発環境は、Unity2019.4.11f1（64-bit）を使用し、プログラミング言語は、C#を用いた。使用デバイスは、HoloLens2である。MRTKは、MRアプリケーション向けのオープンソースのクロスプラットフォーム開発キットである。

また、重畳の位置合わせには、Vuforia SDK ライブラリ⁷⁾（以後 Vuforia）を用いる。Vuforiaとは、スマートフォンやタブレット、ウェアラブルデバイスに対応したAR開発用ライブラリである。

使用した可視化デバイスの HoloLens2 は、HMD 型の MR デバイスであり、ヘッドトラッキングやアイトラッキング、深度などのセンサーが備えられており、これらのセンサーで装着者の5本の指の動きをすべて検出することが可能である。

3. 本システムの概要

本システムの処理工程を図-1 のフローチャートに示す。本システムは前処理、シーン設定とシステムの処理の3つの工程に分かれている。各工程の概要について、以下に示す。

(1) 前処理

前処理では、入力データとして可視化を行う地下埋

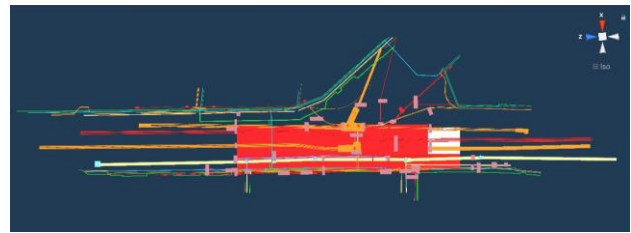


図-2 地下埋設構造物モデル

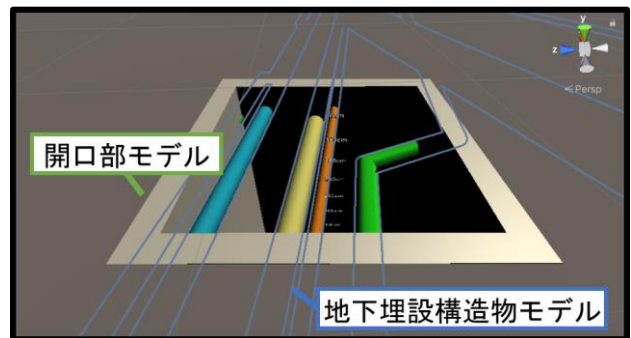


図-3 開口部モデル



図-4 使用したマーカーと設置位置

設構造物と可視化用の開口部の CAD モデルを用意する。なおデータ形式は FBX データ形式を用いる。

また、地下埋設構造物モデルを重畳し位置合わせをするためのマーカー画像を用意する（図-4）。

(2) シーン設定

統合開発環境である Unity に全てのモデルを導入し、モデルの位置設定や、ハンドトラッキング機能を用いたユーザインターフェースの作成を行う。

a) データ入力と設定

地下埋設構造物モデル（図-2）と開口部モデル（図-3）の入力を行った後、前処理時に登録したマーカー画像を入力することで構造物モデルを重畳することが可能になる。なお、マーカーは3次元の空間座標が既知の点に設置する。図-4に今回使用したマーカー（QRコード）と、実際のマーカー設置状況を示す。

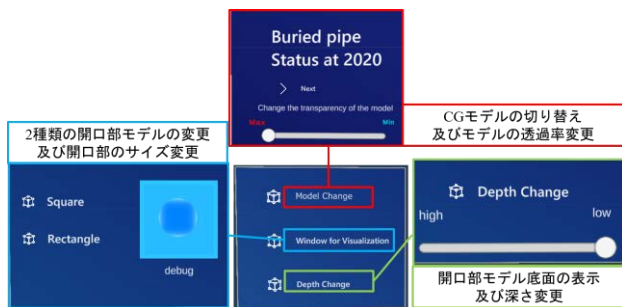


図-5 作成したユーザインタフェース

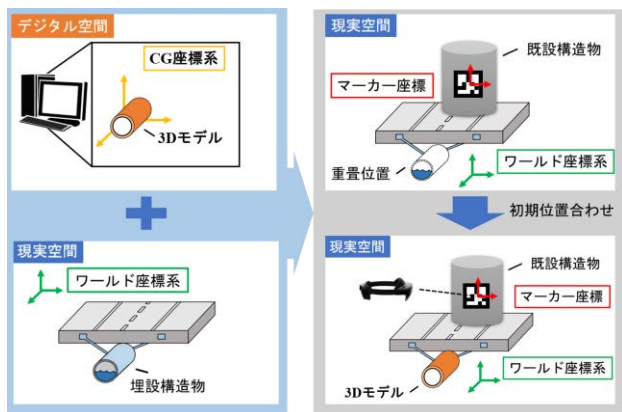


図-6 初期位置合わせ手法

b) ユーザインタフェースの設定

MRTK を用いて作成したユーザインタフェースを図-5に示す。ユーザインタフェースは、CG モデルを操作・制御するためのボタン、レバー、スライダーで構成されている。システム利用者は、このユーザインタフェースを操作することにより、可視化する構造物や開口部モデルの変更、構造物の透過率や開口部のサイズの変更が可能となっている。

(3) システムの処理

a) マーカー認識・初期位置合わせ

本システムの使用方法は、登録したマーカー画像を HoloLens2 で読み込み、地下埋設構造物モデルを表示させる。本システムでは、図-6 に示す方法により、初期位置合わせを行っている。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。

b) マスキング処理・描画

MR 可視化において、重畳させたモデルは現実空間の物体に対してオクルージョン処理が行われておらず、モ



図-7 地下埋設構造物モデル表示

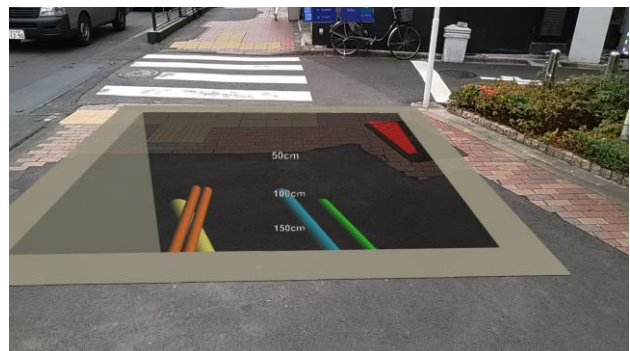


図-8 開口部モデルを使用した表示

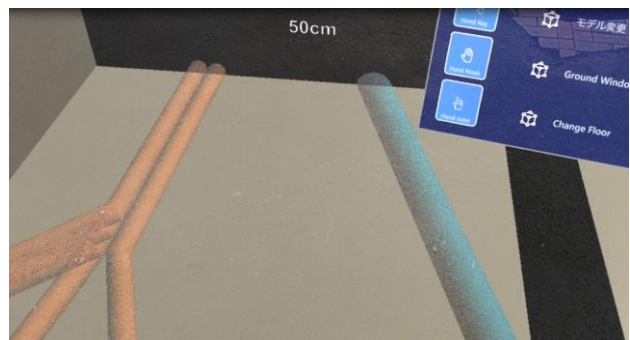


図-9 底面深さ変更機能を用いた表示

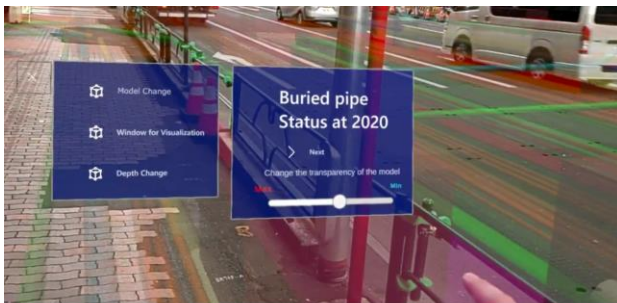
デルが手前にあるように見えてしまう。この問題を解決するために開口部モデルを用いたマスキング処理を行っている。開口部モデルとは、中を覗けるような穴の開いた形状のモデル（図-3）のことである。そして開口部モデルと併せて、地表面と同じ高さに見えている部分を隠すマスキング処理を行った透明な平面を設置することで、開口部モデルの範囲以外の CAD モデルを陰面処理することができる。この開口部モデルを用いたマスキング処理により、システム利用者は地下埋設物が地表面より下にあるように認識できる。

4. MR システムの適用例

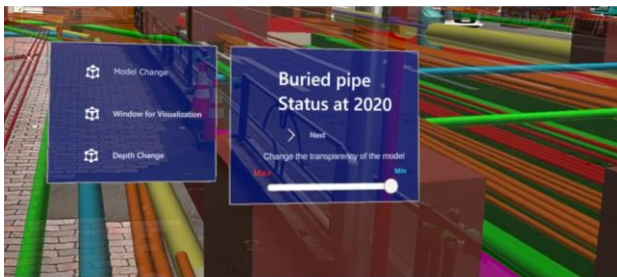
本 MR 可視化システムを実際の地下埋設物の可視化に適用した。可視化にあたり、マーカーは図-6 に示すワールド座標系において座標位置が既知の場所に設置を行



図-10 開口部のサイズの変更例



(a) 透過率変更前



(b) 透過率変更後

図-11 透過率の変更例

った（図-4 参照）。本研究で構築したシステムは、マーカー画像を用いることで容易に地下埋設構造物モデルを現実空間に重畳することが可能である。

図-7 に地下埋設物を重畳した結果を示す。図より、マスキング処理をしない状況では、CG モデルは現実の映像の上に表示されるため、地下埋設物が地上に浮いているように見えてしまう。これを回避するために、本システムでは図-3 に示す開口部モデルを用いたマスキング処理を導入している。図-8 に開口部モデルを用いた表示結果を示す。図より、地下埋設物が地下の正しい位置に重畳表示されていることが分かる。なお、開口部モデルについては、正方形と長方形の2種類を選択することができ、可視化したい平面的なサイズと深さを変更することが可能となっている。図-9 に底面深さ変更をした際の様子を示す。図-10 に開口部の平面サイズを変更した結果を示す。

また、本システムでは地下埋設構造物モデルの透過度を、スライダー操作により変更することが可能であり、

図-11 に可視化した図を示す。透過率を変更することにより地下埋設構造物モデルの強調表示や、現実空間に溶け込むような表示が可能である。

5. おわりに

本報告では、MR 技術を用いた地下埋設構造物の可視化システム構築を行った。本システムを実際の地下埋設構造物の可視化に適用した結果、以下の結論を得た。

- マーカー画像を用いたことで、容易に CG モデルを正しい位置に重畳することが可能である。
- 重畳する地下埋設構造物モデルに関して、透過度を変更する機能を追加したことにより地下埋設構造物モデルの強調表示や、現実空間に溶け込むような透過度に任意で変更することが可能になった。
- 開口部モデルを用いたマスク処理を適用したことにより、現実感を損なわない CG モデルの表示することが可能になった。また可視化する深さを変更の機能により地下埋設構造物の配置関係の理解向上につながると考えられる。

今後は、開口部モデル適用時に選択した領域や注目した地下埋設構造物などを指定し、記録するような機能を追加することが課題として挙げられる。

参考文献

- 1) 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 Sciences*, pp.659-669, 1992.
- 2) 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, No.6, pp.483-488, 2016.
- 3) 池田直旺，樫山和男，吉永崇，琴浦毅，石田仁：施工現場における地下構築物の 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.
- 4) 洲崎 文哉，樫山和男，吉永崇，琴浦毅，石田仁：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, No2, pp.I_131-I_139, 2021.
- 5) 藤 飛，樫山和男，吉永崇，琴浦毅，石田仁：施工現場における地下埋設物の MR 可視化システム，土木学会土木情報学シンポジウム講演集，vol45, pp.17-20, 2020.
- 6) MRTK：Getting started with MRTK, <<https://github.com/Microsoft/MixedRealityToolkit-Unity/releases>>,（入手 2021.06.02）.
- 7) Vuforia：Vuforia Developer Portal, <<https://developer.vuforia.com/>>,（入手 2021.06.04）.