

# 地下埋設物に対する MR 可視化システムの構築

## Development of MR visualization system for underground buried objects

都市人間環境学専攻 藤 飛

Civil, Human and Environmental Science and Engineering Course Fei TENG

### 1. はじめに

近年, AR(Augmented Reality・拡張現実), MR(Mixed Reality・複合現実) 技術は建設分野における様々な分野・用途に対して適用が試みられている。中でも, 地上から埋設物・構造物を直接確認することができない地下構造物・埋設物の可視化は施工や維持管理等における諸作業を安全かつ効率的に行う上で有効であるといえる。

筆者は, 既往の研究において空間の三次元形状の認識と自己位置の推定を同時に行う SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 技術を搭載したスマートフォンに着目し, 空間の三次元的な特徴点マッチングが可能な SLAM 技術を用いた AR 可視化システムの構築を行い, 施工現場における地下構造物・埋設物の可視化に適用し, 施工・維持管理等における支援システムとしてその妥当性と有効性を示した<sup>1) 3)</sup>。しかしスマートフォンによる AR 可視化は, 画面が小さく, 操作が困難となり, また施工現場で可視化を行う際に手が塞がってしまう, という使用上の問題点がある。

一方, 近年同じく SLAM 技術を有する装着型 MR デバイスとして, Microsoft 社の HoloLens 2 が注目されている。HoloLens 2 は視界を覆う事なく, 目視しているリアルな景色にそのまま CG やデジタル情報が合成表示される。利用者自身の視界の上に CG のみが重畳されるため描画の遅延等による違和感が少ない<sup>2) 6)</sup>, また両手が自由となるため建設現場での安全性にも優れるという利点が挙げられている。

そこで本報告では, 装着型の MR デバイスに着目し, 地下埋設物 3D モデルを紙媒体設計図面に重畳させるシステムおよび現地において CAD モデルを重畳させるシステムの構築を行った。なお, 本システムの重畳の精度を向上させる手法および有効な可視化表示に関する提案を行い, 地下埋設構造物等の施工・維持管理等における支援システムとしての有用性を検討する。

### 2. 開発環境

本研究では, Microsoft Mixed Reality Toolkit (MRTK) v2.5.0 ライブラリを用いた MR 可視化システムの構築を行う。開発環境は Unity 2019.4.11f1(64-bit) を使用し, プログラミング言語は C#を用いた。

Microsoft Mixed Reality Toolkit (MRTK) とは, Mixed Reality 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。MRTK を Unity プロジェクトにインポートし, Unity 上で

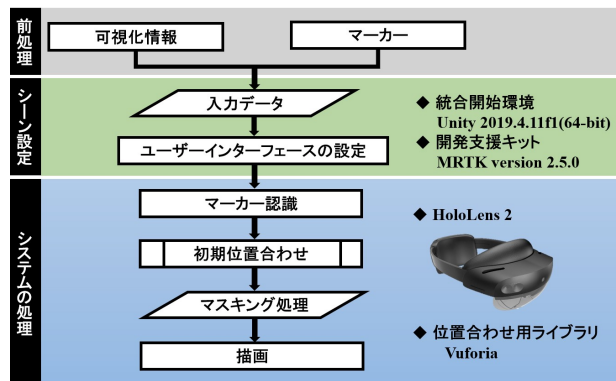


図-1 本システムのフローチャート

Mixed Reality エクスペリエンスを構築するための基本的なコンポーネントや, 共通のインタラクションや, UI コントロールを提供している<sup>5)</sup>。

### 3. 本システムの概要

本研究で構築した HoloLens 2 を用いた MR 可視化システムのフローチャートを図-1 に示す。本システムでは前処理, シーン設定とシステムの処理に分かれている。各工程について以下に示す。

#### (1) 入力データ

可視化モデルである 3D の CAD モデルを図-2 に示すような平面直角座標系における座標と形状情報を持つ地下埋設物の CAD で作成した 3 次元モデルを用いる。全てのモデルを統合開発環境 Unity に対応した FBX 形式に変換し入力データとして与える。

設計図面に対する CAD モデルの MR 可視化では, 図-3 に示すような位置関係を考慮し, 地下埋設物の地上部分にあたる市販の 3D 都市モデルを用いた。

また, 現地での CAD モデルの MR 可視化では, 図-4 に示す目盛り付き開口部モデルを用いた。開口部モデルは地面に穴を設置し, 穴以外の CAD モデルを非表示とするマスキング処理をして, 可視化したい地下埋設構造物の範囲を限定する“覗き窓”である。

#### (2) ユーザーインターフェースの設定

モデルの切り替え, モデルの配置などのデジタルコンテンツを実現するため, 本システムでは MRTK の UX ビルディングブロックを平面に配置し, 図-5 に示すような操作盤を作成した。これについては適用例において詳しく説明する。

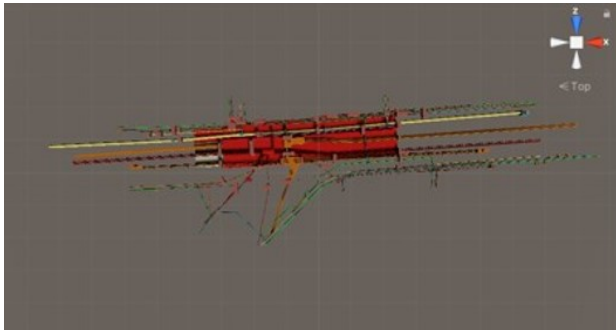


図-2 CAD データから作成されたモデル

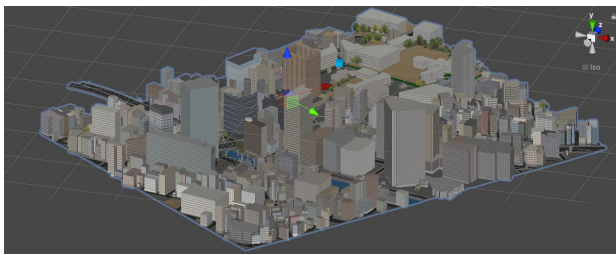


図-3 都市モデル

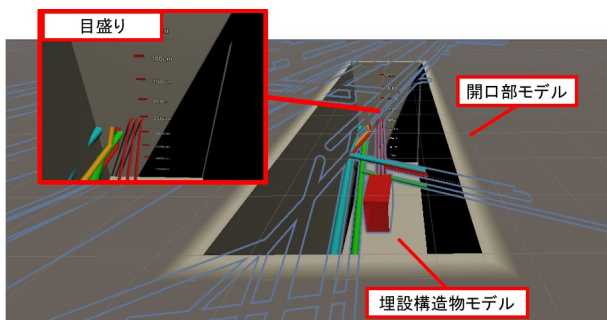


図-4 開口部モデル

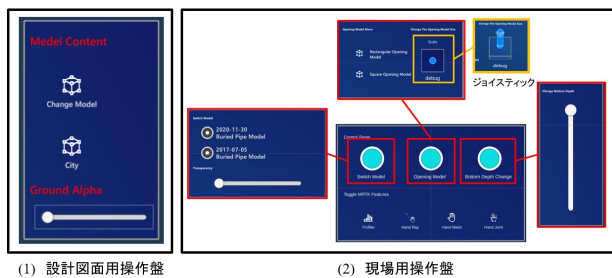


図-5 操作盤

### (3) マーカー認識・初期位置合わせ

本システムでは、コンテンツの開始位置が原点 (0,0,0) になるため、重畳するモデルのデジタルの座標系に現実空間の座標系を合わせる必要がある。

そこで本研究では、初期位置合わせに Vuforia の機能である画像認識を用いる。画像認識は、あらかじめマーカーとして設定した任意画像の特徴点を検出する機能

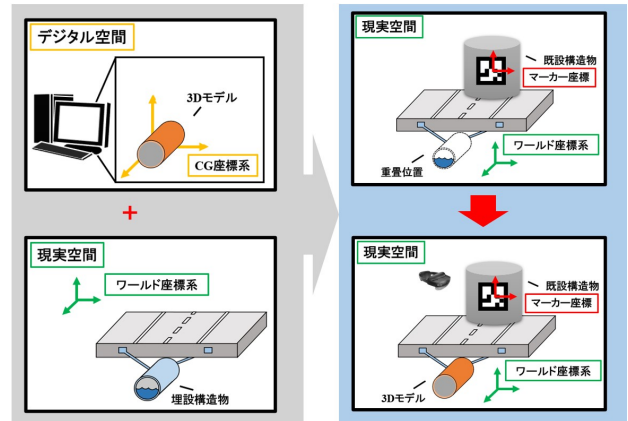


図-6 初期位置合わせ

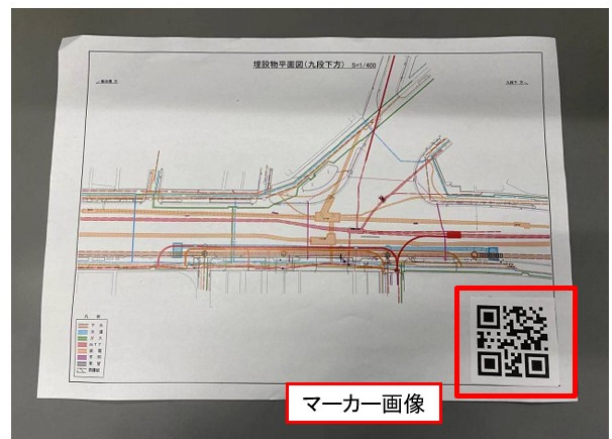


図-7 マーカー画像を貼り付けた設計図面

である<sup>4)</sup>。図-6 に初期位置合わせ手法を示す。具体的には、マーカーとして設定した任意画像を HoloLens 2 が検出すると、マーカーの座標系となるその画像の中心点の座標と角度を取得し、現実空間のワールド座標系に置き換える。そして、モデルの重畳させたい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。

設計図面に対する CAD モデルの MR 可視化では、初期位置合わせにおいて、図-7 のように設計図面の右下にマーカー画像を貼り付ける。

また、現地での CAD モデルの MR 可視化については、既往のシステムでは図-8 (1) のように、三脚を用いてマーカーを設置していたが、この方法では、人の手でマーカーの位置・角度を決定するため、正しく重畳するのに、三脚の位置・角度・地表面からの高さといった項目を調整する必要があった。そこで本研究では、現地における CAD モデルの重畳の精度を向上させるために、図-8 (2) のような平面直角座標系における座標が分かる既設構造物に対してマーカー設置を行う。

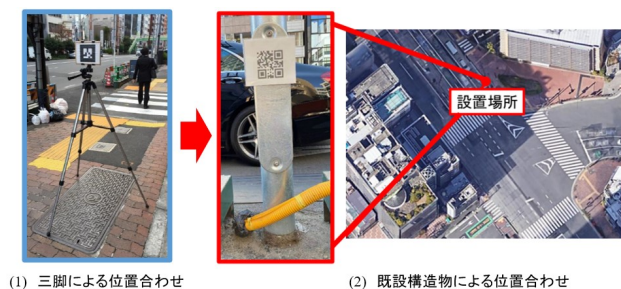


図-8 現地での位置合わせ手法

#### (4) マスキング処理・描画

MR コンテンツにおいては、一般に重畳された埋設構造物の CAD モデルは現実空間の物体との上下関係を正しく表現することが困難なため、地下埋設物を表示すると地上に浮いているように見えるという問題点が挙げられる。そのため、本システムでは、前叙した開口部モデルを用いたマスキング処理を行うことで、オクルージョン処理を行う。図-4 に示すように、開口部以外の平面領域においては見える範囲を検定する板を設置し、マスキング処理を行う。そうすることで、MR 可視化の際に、開口部モデルの以外の CAD モデルを見えないようにできる。

### 4. 図面に対する CAD モデルの MR 可視化

設計図面に対する地下埋設物の CAD モデルを重畳させる MR 可視化システムの適用について述べる。

#### (1) 可視化情報

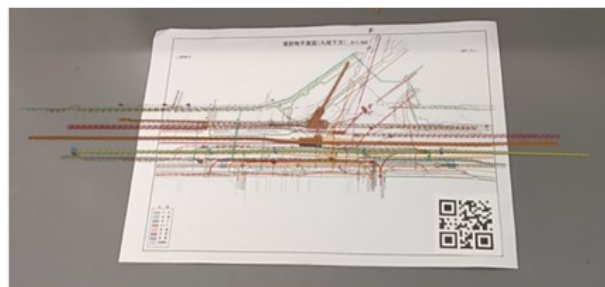
可視化情報としては、図-2 に示すように、CAD データから作成された 3 次元座標を持つ地下埋設物の 3D モデル二つを室内空間に合わせて縮尺補正したものと、図-3 に示した地下埋設物の地上部分にあたる 3 次元都市モデルを用いる。都市モデルと地下埋設物の 3D モデルが重なる位置・角度を事前に考慮し、重畳位置を決定している。

#### (2) 可視化結果

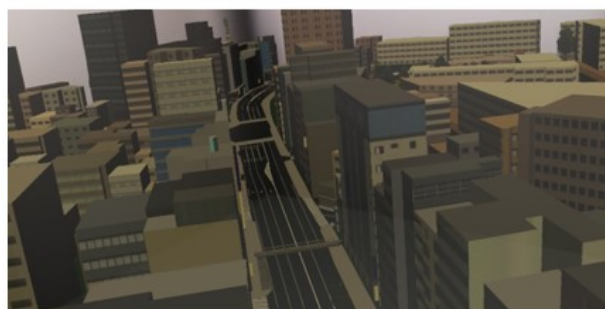
本システムの重畳結果を図-9 に示す、システムのアプリケーションを起動後、図-7 のように紙媒体の設計図面に貼り付けたマーカー画像を認識させることで、図-9 (1) に示すように、CAD モデルの重畳位置を決定する。その後、図-9 (2) の示すように、操作盤の上のボタン操作で、都市モデルを埋設物構造物の上に表示させることが可能となる。そして、図-9 (3) の示すように、操作盤スライダー操作で都市モデルの地面部分を透明化することができる。

### 5. 現地での CAD モデルの MR 可視化

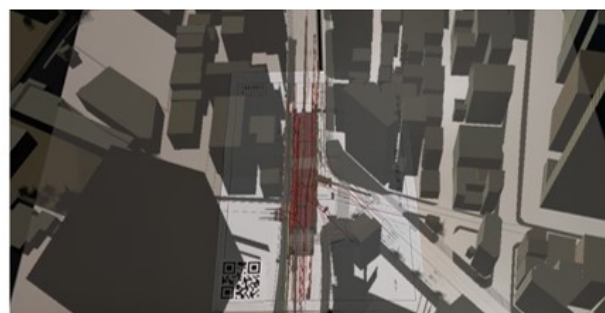
現地で地下埋設物の CAD モデルを重畳させる MR 可視化システムの適用について述べる。



(1) 埋設物構造物のみ



(2) 都市モデルの表示



(3) 道路の透明化

図-9 設計図面に対する CAD モデルの MR 可視化

#### (1) 可視化情報

可視化情報としては、図-2 に示すように、CAD データから作成された実寸大の 3 次元座標を持つ地下埋設物の CAD モデルと図-4 に示した地表面の開口部モデルを用いる。

#### (2) 重畳の高精度化の検討

従来のシステムでは、三脚によるマーカー設置を行ってきたが、三脚を座標が既知の基準点上に正しく据え付けた上で、マーカーを地表面に対して垂直に設置するとともに向きの調整の必要がある、そのため、手調整による時間がかかってしまうという問題点があった。

本研究は、この問題を解決するために、図-8 に示すように、既設構造物にマーカーの設置を行った。マーカー画像を設置する既設構造物は、可視化する CAD モデルに合わせ、平面直角座標系で測量した座標を用いることで、重畳精度の向上を図る。マーカー画像を設置する際、地表面からの高さ 1m のところに配置することを Unity 内で指定する。既設構造物に対しマーカーを設置



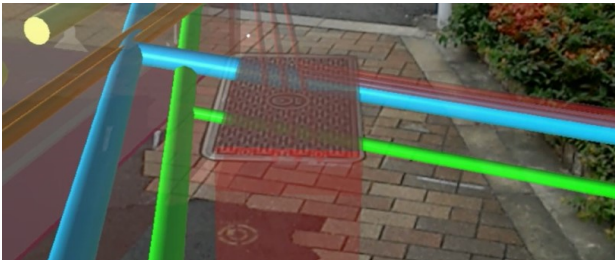


図-10 重畳位置が正しい様子

することで、従来の三脚によるマーカー設置よりも設置時にかかる工程が減り、マーカー設置が容易になった。また、図-10は位置合わせより現場にあるマンホール位置近を示したものである。図の示すように、マンホールとそのCGモデルが正しい位置に重畳されていることが確認できた。

### (3) 可視化結果

図-11に示すように、図-11(1)は埋設物構造物モデル全体表示の重畳結果となる。また、本システムでは複雑な現場状況に応じてモデルの透過率変更できる機能を追加した。操作盤上のモデルの透過率を管理しているスライダーで、モデルの色の透過率を変えて表示させることができる。しかし、一般に地下埋設物をマスキング処理することなく表示すると地上に浮いているように見えるという問題点が挙げられる。

そこで開口部モデルを用いたマスキング処理を行った、開口部モデルの重畳結果は図-11(2)。本システムでは、開口部モデルが2種類を用意したため、操作盤上でのボタン操作で切り替えて重畳することができる。

また、使用上の向上のために、ジョイスティックを用いて開口部モデルの大きさ変更するような機能を追加した、また開口部モデル底面の深さを変更できる機能を追加した。底面の深さの変更を行うことで、鉛直方向に対する理解と全体表示で確認できなかった埋設物の埋まっている深さの理解が容易となる。これより、システムの操作性の向上ができ、現場において複雑な状況に応じて対応できるようになった。

## 6. おわりに

本論文では、地下埋設物の設計・施工・維持管理を支援する可視化システムの構築を行った。具体的には、地下埋設物3Dモデルを紙媒体の設計図面に重畳させるシステムの構築と現地においてCADモデルを簡便にかつ正確に重畳させるMR可視化システムの構築を行った。その結果、以下の結論を得た。

- 設計図面に対するMR可視化システムでは、形状や上下関係の理解が容易になるとともに、都市モデルを併せて重畳させることで、位置把握を行うことが可能となった。



(1) 全体表示



(2) 操作盤による開口部モデルの表示

図-11 現場でのMR可視化結果

- 現場におけるMR可視化システムでは、既設構造物に対しマーカーを設置することで、重畳が簡便にかつ高精度に行えることが可能となった。また、開口部モデルを用いることで、現実感を損なわないMR可視化が可能となった。

以上より、本システムは地下埋設物構造物の設計・施工・維持管理に有効なシステムとなり得る。

今後の課題として、移動によって埋設物構造物モデル重畳のずれについてその定量化と改善方法について検討を行う。

### 参考文献

- 1) 池田直旺, 花立麻衣子, 樫山和男, 車谷麻緒, 吉永崇, 前田勇司: SLAM技術に基づく空間情報を用いたAR可視化システムの構築とその適用性の検討, 土木学会論文集F3(土木情報学), Vol.73, No.2, pp.148-154, 2017.
- 2) 吉永崇: 次世代ARデバイスの紹介—Microsoft HoloLensとGoogle Tangoの概要と利用事例—, 可視化情報学会誌, Vol.37, No.146, pp.128-133, 2017.
- 3) 羽鳥文雄, 矢吹信喜, 小森絵未, 福田知弘: 複数マーカーを用いた拡張現実感技術の施工現場への応用, 土木学会論文集F3(土木情報学), Vol.69, No.2, pp.124-133, 2013.
- 4) Vuforia Developer Portal : <https://developer.vuforia.com>, 2020/11/15 閲覧.
- 5) MixedRealityToolkit-Unity : <https://github.com/Microsoft/MixedRealityToolkit-Unity/releases>, 2021/01/15 閲覧.
- 6) Mixed Reality Technology : <https://developer.vuforia.com>, 2020/03/05 閲覧.