

建築分野における Mixed Reality を活用した施工管理

Construction Management of Mixed Reality in the Building Field

波多野 純*¹ 藤原 光弥*² 黒坂 文生*³
Jun Hatano Mitsuhiro Fujiwara Fumio Kurosaka
内田 公平*¹ 福 拓也*¹
Kohei Uchida Takuya Fuku

要旨

急速に実用化が進んでいる複合現実：Mixed Reality（以下 MR）について社会的背景や動向を俯瞰し、建築分野で求められる非 GPS 環境でも利用可能な技術として Microsoft HoloLens*¹（以下 HoloLens）による位置計測技術に着目した。当報告では、建築現場で当技術を活用するために必要な要素技術および、現時点で実用上で得られる精度、それを実現させるための条件等を明らかにするために実施したフィールド下での精度に関する検証結果を報告するとともに、工事現場での試行結果と将来展望について述べる。

キーワード：Mixed Reality HoloLens 複合現実 精度検証 生産性向上

はじめに

少子高齢化による働き手不足が深刻化している現状に対し、国土交通省は 2017 年を「生産性革命元年」と位置づけ、生産性革命に取り組む姿勢を打ち出した。その中に建設生産プロセス全てを対象として ICT（Information and Communication Technology）施工を推進し、2025 年度までに建設現場の生産性の 2 割向上を目指すことを謳われている。

また、政府が 2020 年 7 月に閣議決定した「経済財政運営と改革の基本方針 2020」ではデジタルトランスフォーメーション（DX）の推進が明記されており、Society5.0 の実現を目指してきた従来の取り組みから一歩も二歩も進め、地域を含む社会全体の DX の実装を加速すると強調している。なお、Society5.0 とは、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムによって経済発展と社会的課題の解決を両立させる人間中心の社会のことである。社会資本整備分野においてもデジタル化・スマート化を進め、この基本方針では、特に ICT 施工や建設生産プロセス全体での 3D データ活用などの i-Construction を推進している。

1. Mixed Reality の概要と動向

1.1 位置情報の取得

現在、建築分野において、上記の国の方針に従い ICT を用いた各種取り組みが行われており、空間情報を活用したシステムによる生産性向上もその一つである。

一般的に重要な位置情報の取得については、GPS や GNSS をはじめとする衛星からの電波を利用した衛星測位システムの利用が主流となっている。しかし、建築分野においては建屋内（非 GPS 環境）や電波状況の悪い高層建物密集地での位置情報取得が必要であり、精度確保が大きな課題となっている。このような環境下でも利用可能な技術として Wi-Fi、BLE ビーコン、LiDAR（Light Detection and Ranging 光検出と測距）スキャナーを利用した拡張現実：Augmented Reality（以下 AR）や MR が注目されている。

1.2 MR の位置付け

近年、3D 映像で仮想的な空間をつくり上げる仮想現実：Virtual Reality（以下 VR）や、現実空間の映像に各種の情報を重ねて表示する AR を導入する事例が増えてきている。これらのコンピュータ上で作り出した BIM モデルや CG 画像を、ヘッドマウントディスプレイ（以下 HMD）やスマートデバイスと組み合わせて可視化する技術を総称して XR（X Reality, Extended Reality）と呼んでいる。XR の技術は、さまざまなセンサーへの対応や物体認識技術との統合により、今後さらに進化をとげると予測されている。

MR は、VR と AR の情報を融合化させた技術で、一般的に「複合現実」と言われている。現実の三次元空間と三次元的な位置を持つ情報を融合して表示・処理できることが特徴である。MR に対応した HMD には、現実世界と仮想空間が重なって表示される。AR と同様に位置情報やマーカーを使い現実世界と仮想空間の座標を一致させることで、

*1 工務管理本部 技術統括部 *2 技術研究所 *3 ㈱インフォマティクス

VR と同様に奥行き感とスケール感のある空間情報をリアルタイムに得ることができる。それぞれの特徴を表 1 に示す。

表 1 XR 技術の比較

	VR Virtual Reality	MR Mixed Reality	AR Augmented Reality
日本語	仮想現実	複合現実	拡張現実
概要	現実とは異なる仮想空間への没入	現実世界に仮想空間を反映して融合	現実+非現実による現実世界の拡張
主体	仮想空間	現実世界+仮想空間	現実世界
距離感の把握	一部	可能	一部
実物大	一部	可能	一部
主なデバイス	ヘッドマウントディスプレイ VRゴーグル	ヘッドマウントディスプレイ MRゴーグル	スマートフォン/タブレット ARグラス

1.3 MR の動向と活用

図 1 は Google Trends によりキーワード検索をかけた結果である。検索キーワードは「複合現実」「Mixed Reality」の 2 語である。2004 年から 2020 年の結果を表しており「複合現実」についてはトレンド検索（多言語）も合わせて表示している。2016 年までは、大きな変化もなく、なだらかに減少傾向で推移している。その後、2017 年 10 月に一つの大きなピークを迎えるが、これは後述する HoloLens の発表・発売に起因するものと考えられる。

図 2 は日本建築学会の論文データベースにおいて論文タイトルにキーワード検索をかけた結果である。検索キーワードは「複合現実」「Mixed Reality」「MR」の 3 語である。それぞれの語の検索結果に重複が無かったことを確認している。「MR」については、「MR ダンパー」など MR を含む他の論文もピックアップされるため、1 件ずつチェックしそれらを除外した。なお「HoloLens/ホロレンズ」がタイトルに含まれている論文は 1 件のみであった。2012 年から 2016 年には全く投稿されていないことが興味深い。このことは先の Google Trends の結果からも同様の傾向を読み取ることができる。2010 年頃までの複合現実という概念が、2017 年以降実際のデバイスとして使える状況になり、MR が単なる概念ではなく現実として建築業界に浸透してきたということであろう。

また、2018 年以降、製品のシミュレーションやリモートでの遠隔支援など産業界での活用事例が増えており、建設業においても、各社のニュースリリースから、様々な施工シーンで取り組み始めていることがわかる。

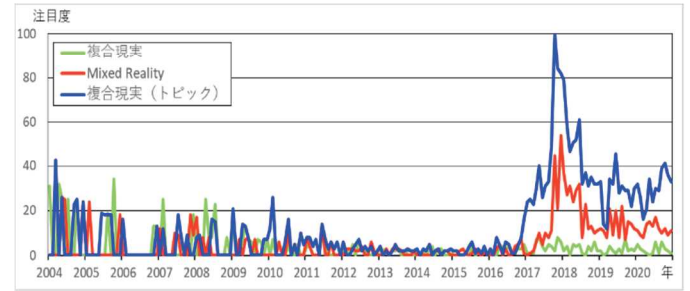


図 1 Google Trends によるキーワード検索結果

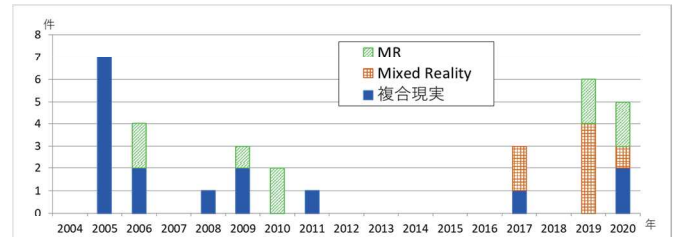


図 2 日本建築学会の論文データベースによる検索結果

1.4 MR を実現する上で必要なツール

1.4.1 ハードウェア

Magic Leap 1 (NTT ドコモ, Magic Leap)、NrealLight (KDDI, Nreal)、ThirdEyeX2 (ThirdEye Gen)、Vargo XR-3 (エルザジャパン) など各社からハードウェアが発売されている。ここでは、単体で動作し動き回ることができる HoloLens を取り上げる。

HoloLens (写真 1) : マイクロソフト社が開発したホログラフィックコンピューターデバイスの第一世代。現実世界の上に仮想の映像を重ねて映す MR を可能とする。立体視用のディスプレイや PC 本体を内蔵している。



写真 1 HoloLens

HoloLens2 (写真 2) : 2019 年 11 月に発売された後継機。また Trimble XR10 (ニコン・トリニプル社製) (写真 3) はヘルメットと一体化した製品である。HoloLens は各種熱対策が施されているが、夏場の炎天下での作業では熱暴走することがある。また、屋外の直射日光下では、ホログラム画像が見えづらくなることも課題である。これらに対する対策としてサンバイザーなど後付けの器具が考案されている。



写真 2 HoloLens2



写真 3 Trimble XR10

1.4.2 ソフトウェア

GyroEye Holo^{※2} : HoloLens 対応の MR 用ソフトウェアであり、原寸大図面や 3D モデルの映像を空間に投影することが可能となる。

1.4.3 その他

CAD や BIM の 3D データ、通信環境、また自己位置推定の補助機材として自動追尾型のトータルステーション（以下 TS）を用いる場合もある。

2. Mixed Reality における精度向上の論点

HoloLens による MR で、CAD や BIM ソフト等で作成された図面や 3D モデルが正しい位置に実寸投影されれば、現場作業員による施工管理の生産性が大幅に向上することが期待できるため、MR の表示精度の向上が求められる。本章では HoloLens を用いた MR での精度向上の問題点を明確にする。

2.1 HoloLens による MR の精度

2.1.1 HoloLens による MR の仕組み

HoloLens を用いた MR では、デバイスに内蔵された環境認識カメラ・深度センサー・加速度センサー・ホログラム投影パネルを用いて下記①～⑤の処理をリアルタイムに行うことで MR を実現している。

① 空間認識：現実空間をスキャンし 3D モデル（以下測定モデル）化する（図 3）

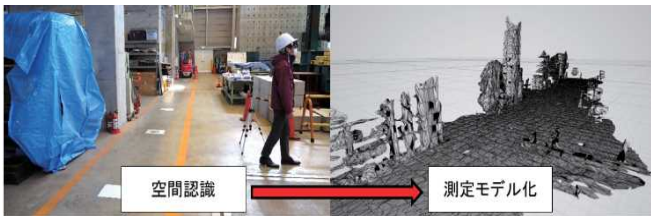


図 3 空間認識による測定モデル化

② 自己位置推定：測定モデル内での自己位置を推定する。

a. 視点（デバイスの位置） b. 注視点（見ているポイント）で構成される（図 4）。

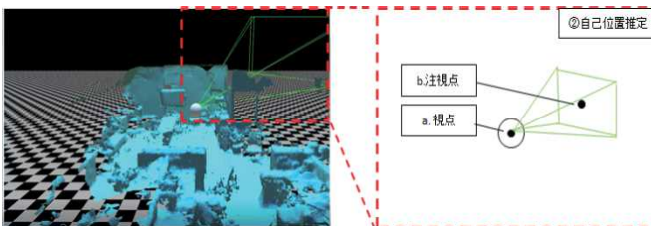


図 4 自己位置推定

③ モデル配置：現実空間に配置した AR マーカー等をもとに測定モデルに MR モデル配置の座標軸を配置する（空間アンカーという）。

④ 立体視：②で推定した自己位置より③にて配置した MR モデルを測定モデルの大きさに合わせ立体視する（図 5）。

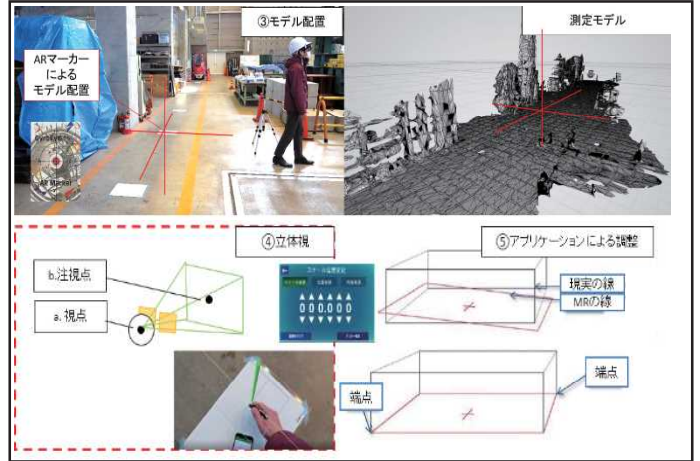


図 5 MR モデルの立体視

⑤ アプリケーションによる調整：MR アプリケーションである GyroEye Holo^{※2} ビューワでは、スケール位置調整機能にて、AR マーカーにより配置した MR モデルを、より正確な位置・向きに配置し、現実空間と一致したスケールで立体視出来るよう調整可能である。

2.1.2 精度の構成要素

MR 表示の基準となる測定モデルや自己位置推定は HoloLens の環境認識カメラ・深度センサーにより最大 60 回/秒更新される。

アプリケーションによる初期調整を十分に行ったとしても、測定モデルの更新によりモデル配置の原点・軸や立体視におけるスケールは影響を受ける。

測定モデルが更新されることによる誤差をここでは「測定誤差」自己位置推定に関する誤差を「推定誤差」とする。

また、位置確認を行う上で、対象ポイントに対する深度方向（地面への墨出しの場合は高さ）の調整が不十分であると、立体視の視差による誤差が生ずる。これを「体感誤差」とする（図 6）。

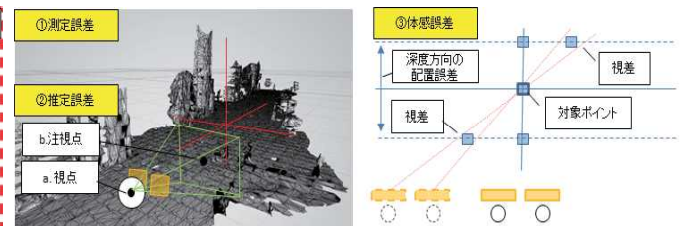


図 6 HoloLens による MR の誤差要因

2.1.3 HoloLens の誤差を減らす運用

「測定誤差」を減らすためには、測定モデルの変化を減らすことが有効である。具体的には、作業するエリアの測定モデルを事前に作っておく（移動に伴う新規の測定モデル生成を減らす）、HoloLens の前を歩かないなどカメラに写る移動物体を減らす、等を意識する。

「推定誤差」を減らすためには、自己位置推定に必要な情報が十分に得られる環境とすることが有効である。

具体的には①一定レベル以上の明るさを確保する②環境認識カメラに写る現場に十分な特徴点がある環境とする③装着者の周辺 3～5m の範囲に常に何らかの対象物が存在するよう移動する（深度センサーの信号が連続的に得られる）④デバイスをゆっくり動かす（急な動作をしない=ジャイロによる加速度）、等を意識する。

「体感誤差」を減らすには、モデル配置を正確に行うことが重要である。モデル配置や立体視は「測定誤差」「推定誤差」の影響を受けるため、運用として、対象物と正対することにより視差の影響を除外することも有効である。

2.1.4 TS との連携による精度向上

HoloLens と TS を連携可能としたシステムである GyroEye Holo TS+※2（以下 TS+）は TS から計測される 2 つの基準ポイントをもとに、後方交会方式（位置を定めようとする点に測量機器を置き、3 点以上の既知点を視準して位置を定める方法）でモデル配置と自己位置の把握を行う仕組みである。すなわち、MR の仕組みのうち、②自己位置推定 a. 視点、③モデル配置、⑤アプリケーションによる調整を TS の精度で実施することができる。

よって「測定誤差」「推定誤差（視点）」を TS の性能に依拠した形で安定させることができる。

一方で、MR 表示そのものは引き続き HoloLens の自己位置推定により行われるため、② a. 視点（デバイスの位置）とプリズム位置のキャリブレーションによる視点と注視点のズレが新たな誤差要因として発生する（図 7）。

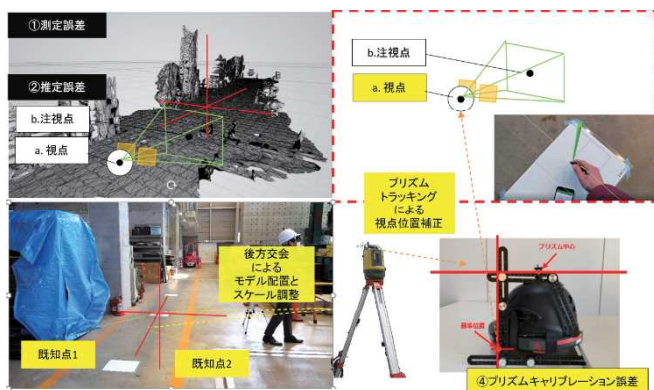


図 7 GyroEye Holo TS+ の仕組み

2.2 精度向上のための運用方法

HoloLens の優れた空間認識、自己位置推定機能により、手軽に図面や 3D モデルを現実空間に実寸投影可能となった。しかし、MR の精度については、HoloLens が MR を実現する仕組みの各ステップに誤差要因があり、施工管理で MR を活用するためには、用途に応じた精度・精度安定性を得られるような HoloLens の運用が求められる。

TS+では精度や精度の安定性を TS に依拠することで、既に普及している測量技術に基づく信頼性のある MR 活用を目指している。

精度の構成要素毎に、精度・精度安定性を向上させる運用方法をまとめると表 2 のとおりである。

表 2 精度・精度安定性向上の為の運用方法

	HoloLens	TS+
測定誤差	・事前に十分に空間認識する	・基準ポイントを正確に認識する
推定誤差	・適切な明るさおよび十分な特徴点を確保する ・カメラに映る移動物を減らす ・3～5m の範囲の対象物を連続して認識する ・デバイスをゆっくり動かす	・プリズムをロストしないよう移動する
体感誤差	・スケール位置調整を十分に行う ・測点と正対する	・基準ポイントを正確に認識する ・プリズムキャリブレーションを十分に行う

施工管理の生産性向上を進めるうえでは、MR の精度および精度安定性を向上する運用方法の整備を進め、運用コストと得られる精度・MR による生産性向上のバランスをとることが重要である。

3. 精度検証方法

本章では、精度検証に当たり機材の特性等から考慮すべき事項等を記す。

3.1 精度検証の目的

建築現場における MR の活用において、フィールドでの MR 機材による各種条件の違いによる寸法計測精度の比較、評価を行い、活用シーンを検討するための基礎資料を作成することを目的とする。

3.2 検証概要

- ・ 検証フィールド：茨城県つくば市にある当社技術研究所内の屋外（構内道路上）と屋内（構造実験棟内）にそれぞれ延長 30m の直線上に 5m ピッチで計測ポイントを設定した（図 8, 9 写真 4）。
- ・ 計測ポイント：正確を期すため、光波測量により墨出しを行い、それぞれのポイントのレベル差を計測した。このレベル計測は、モデル配置時に基準点が水平面に対して傾きが出ないようにすることと、TS 使用時のプリズム高さの調整の際に使用するためのものである。

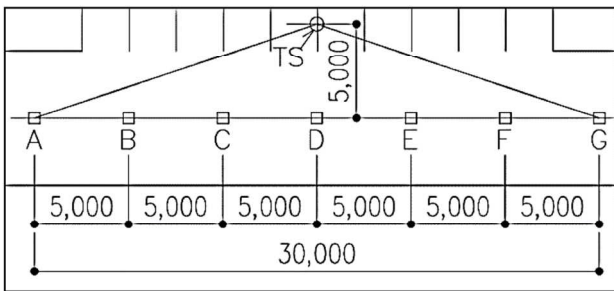


図 8 計測ポイントの平面図（屋外）

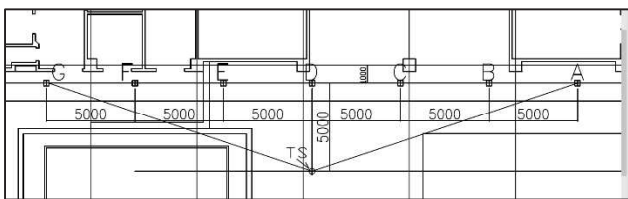


図 9 計測ポイントの平面図（屋内）



写真 4 検証フィールド状況（左：屋外 右：屋内）

- ・ 計測用紙：計測時にポイントを用紙にプロットする際には、正解ポイントが推測できないように、記録用紙で覆う工夫をした。（図 10、写真 5）

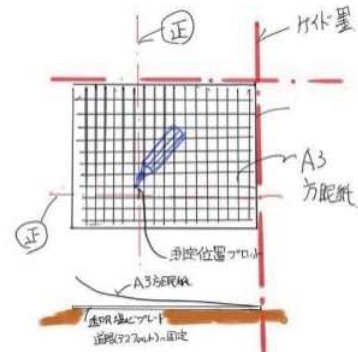


図 10 計測記録イメージ

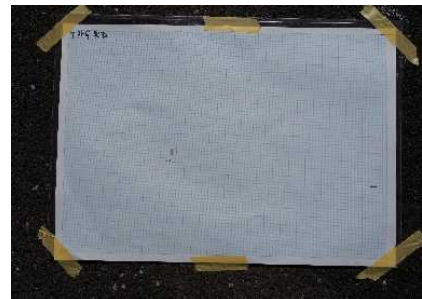


写真 5 計測用紙

- ・ 計測時の姿勢：地表面に対する墨出しポイントの確認では、HoloLens の注視点やカメラの角度の体感誤差が影響することから、精度検証においてはカメラの角度による誤差を減らすために、地表面に対して行う墨出しポイントを垂直上より視認してマーキングする方法をとった（写真 6）。このために、計測用モデルデータの計測ポイントには垂直のラインモデルを配置して、ラインの上下が重なるよう視点位置を移動する際のガイドとした（写真 7）。



写真 6 計測時の姿勢

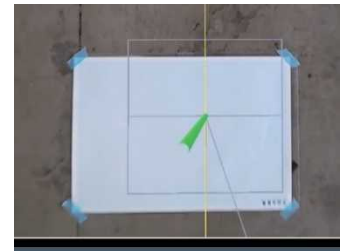


写真 7 計測ポイント投影画像

- ・ 空間測定：十分な周辺環境の空間測定の有無が、精度に影響を与えることが想定されることから、パラメータとした。

最初に空間認識を十分に行わないでアプリケーションを立ち上げた場合（空間測定なし）と、検証フィールド

を空間測定しながら往復（1回の計測当たり総延長約165mを移動）後に立ち上げた場合（空間測定あり）を比較した。下の図は、屋内検証場所における事前の空間測定を行わない場合と行った時の測定モデルのデータ量の差を示したものである。（図11）

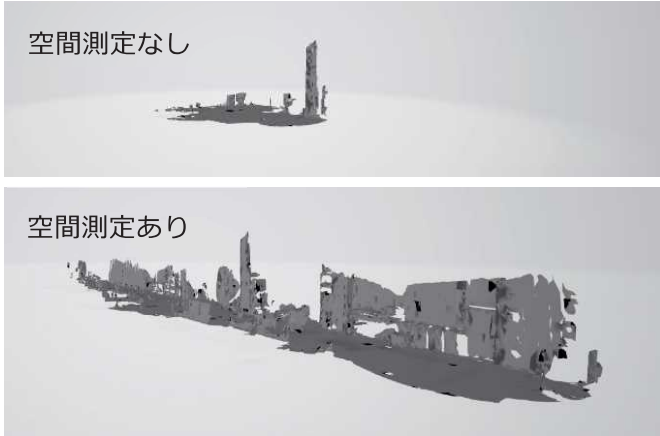


図11 空間測定比較（上：なし 下：あり）

また、周辺環境の照度についても、精度に影響を受けることが想定されることから、それぞれの計測開始時に照度計により計測を行った。

- ・ハードウェアとソフトウェア：今回の検証では3タイプの検証を行った。以下に実験に用いたハードウェアとソフトウェアの組み合わせを示す。（表3）

表3 使用機材仕様一覧

	ハードウェア	ソフトウェア
TYPE1	HoloLens(第一世代)	GyroEye Holo ^{※2}
TYPE2	HoloLens 2	GyroEye Holo ^{※2}
TYPE3	HoloLens 2 TS(TOPCON LN-150)	GyroEye Holo TS+ ^{※2}

なお、屋外での検証時には、直射日光下での視認性低下を防止するため、サンバイザーを装着した(写真8)。また、TS 連携についてはプリズムをヘルメット直上に取り付けた(写真9)。

- ・基準点：TYPE1,TYPE2については基点マーカー（写真10）を、TYPE3については、基準ポイントを2点設けた。なお、GyroEye Holo TS+については、ヘルメット上のプリズム位置と HoloLens の位置関係を補正したうえで、基準点上で移す操作を行う必要がある(写真11,12)。



写真8 専用サンバイザー



写真9 プリズム付きヘルメット

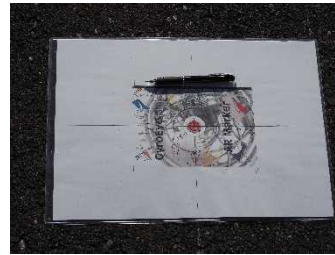


写真10 基点マーカー



写真11 TS(TOPCON LN-150)



写真12 TSプリズム設定状況

- ・投影用コンテンツ：それぞれのタイプの HoloLens 内のスクリーン上に投影するモデルについては、専用ソフトを用いて CAD データを MR 用データにコンバートし、そのデータをそれぞれの機材にインプットし、計測を行った。

3.3 計測時の調整事項

本章では、精度計測の概要と計測前の事前調整、計測時の留意事項について述べた。計測に当たっては、事前の空間測定と合わせ、投影モデルと現実の墨出しポイントのズレが生じないように調整を行うことが重要であり、今回の計測では、以下の3つの調整を行っている。

- ①モデル配置位置調整：モデルの基準点と現実の基準点が合っているか確認し、位置調整を行う。
- ②スケール調整：基準点とそこから5m位置のポイントの距離が合うように調整する。
- ③角度調整：モデルと現実のポイントのラインを照合して、角度のズレが生じている場合に調整を行う。

本章の報告に基づいた検証の結果は次章で述べる。

4. 精度検証結果と考察

本章では、前章の精度検証方法に基づいて 2021 年 2 月に行った検証の結果報告とその考察を行う。

検証時の状況は、写真 13、表 4 のような状況で行った。

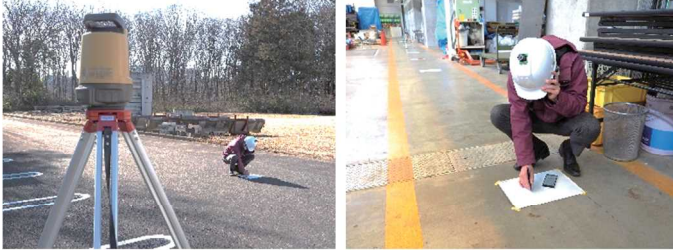


写真 13 精度検証状況 (左：屋外 右：屋内)

表 4 検証時の周辺環境

	天候	気温 (°C)	照度 (lx)
屋外	晴れ	11.4~14.5	41,300~61,400
屋内	—	9.5~12.2	203~1,020

4.1 計測結果と考察

計測は表 3 の TYPE1~TYPE3 の 3 タイプをそれぞれ屋外・屋内、空間測定の有無の組み合わせにより実施した。計測は各タイプで 3 回ずつ行い、計測ポイントを記録用紙にプロットした。以下に計測した計測ポイントと正解ポイントとの距離について分析を行う。

4.2 結果

計測者の移動に伴う精度安定性を比較するため、ここでは 3 回の計測結果の平均を絶対値で示す。(図 12~15)。尚、縦軸は正解ポイントからの距離を、横軸は測定ポイントを示す。



図 12 屋外 空間測定なし

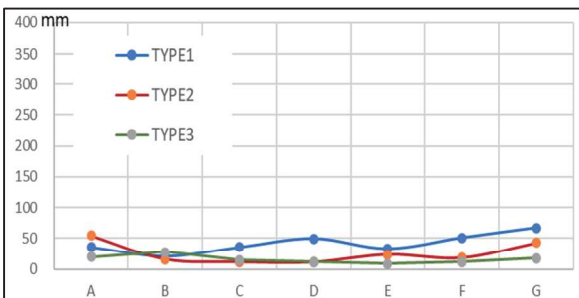


図 13 屋外 空間測定あり

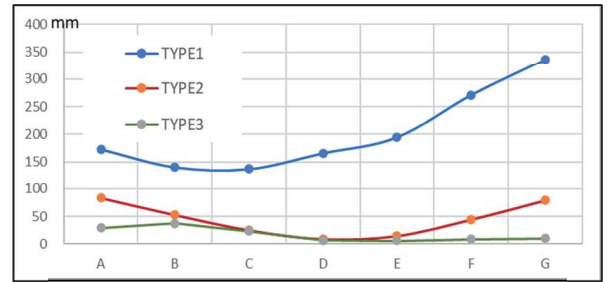


図 14 屋内 空間測定なし

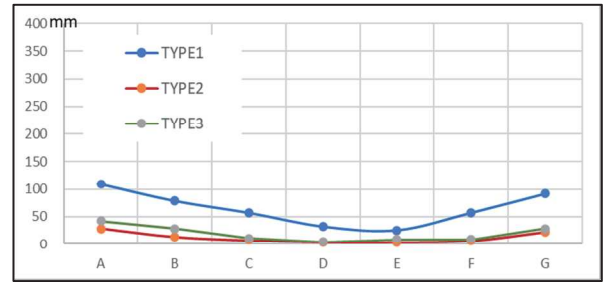


図 15 屋内 空間測定あり

4.3 考察①

- ・TYPE1：累積移動距離が長くなり、基準点から距離が離れるほど精度誤差が大きくなる傾向がある。屋外においては、空間認識が適正に行われず、自己位置を見失う現象（トラッキングロスト）が生じた（図 12）。
- ・TYPE2：原点付近は精度が高く、原点からの距離が離れるほど精度誤差が大きくなる傾向があるが、TYPE1 に比べて大幅に精度が向上している。測定精度は屋内のほうが、屋外よりも良い値を示した。
- ・TYPE3：モデル配置を TS に依拠しているため、原点・軸のズレ・スケール誤差についてもこれによる。屋内外、空間測定の有無による差はほぼみられない。HoloLens2 単体よりも精度・安定性向上がみられる。ヘルメットに TS のプリズムを装着するため計測時に TS との連携状況に注意をする必要がある。

4.4 考察②

先の実験結果を受けて、さらに HoloLens (第一世代) 単体の TYPE1 と HoloLens2 単体の TYPE2 を比較することで、両者の性能比較を試みる。両者の特性を詳細に論じるため、正解ポイントと測定ポイントの距離を X 方向・Y 方向に分け、それぞれ空間測定の有無についてのグラフを示す。縦軸の 0 がそれぞれの正解ポイントの位置とする。尚、比較は測定のばらつきの小さい屋内について行う。

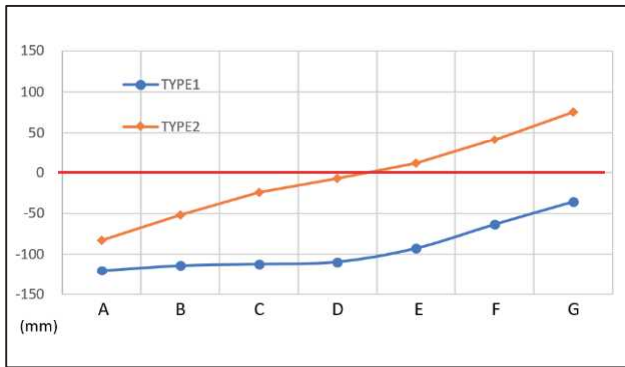


図 16 屋内 空間測定なし X方向

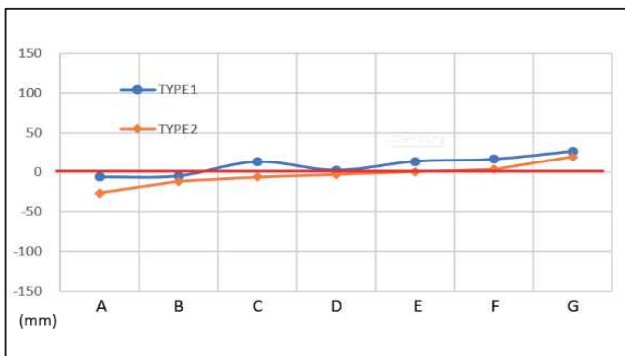


図 17 屋内 空間測定あり X方向

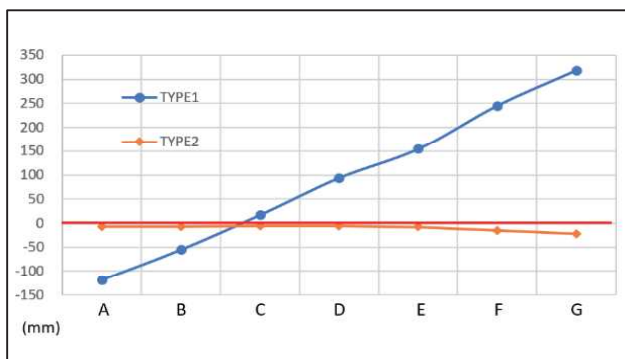


図 18 屋内 空間測定なし Y方向

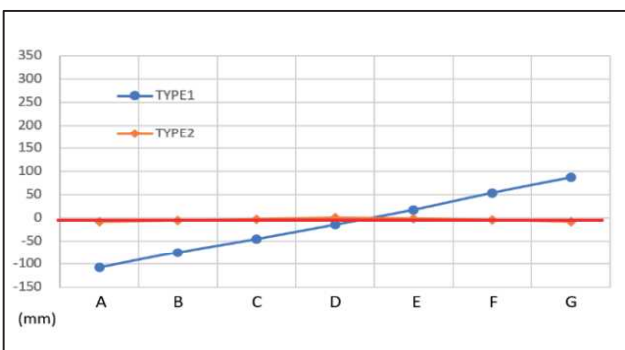


図 19 屋内 空間測定あり Y方向

図 16～19 において次のことが読み取れる。

- ・TYPE1 と TYPE2 の測定結果は X・Y 方向とも TYPE2 の方が小さい値を示す傾向がある。

・X 方向の測定結果において、空間測定ありでは TYPE1、TYPE2 とも測定値は最大でも 30mm 前後の誤差に収まった。

・Y 方向の測定結果において、TYPE2 では空間測定ありなしとも移動距離が長くなっても誤差は小さい数値を示した。TYPE1 では、基点から離れると誤差が大きくなった。しかし、十分な空間測定を行うことで誤差が空間測定を行わない場合の約 40%程度に押さえられている。上記の結果から、TYPE1、TYPE2 とも十分な空間測定を行うことで精度の向上効果が得られ、TYPE2 は TYPE1 に比べ測定精度が高い値を示すことがわかる。

4.5 計測結果の全体的傾向

本章では、建築分野で MR が利用される環境を想定したフィールドでの精度誤差の検証結果と考察を報告した。絶対値としての精度は TS と連携した TYPE3 が空間測定のありなし、移動距離の長さに関わらず最も安定して高い精度を示した。また、HoloLens2 単体を用いた TYPE2 であっても事前の空間測定を行えば測定値は 30mm 前後の誤差に納まることが分かった。

今回の検証結果から HoloLens を用いた位置情報が求められる状況での利用に当たり、MR デバイス自体のスペックによる影響が大きい、十分な空間測定等の事前の精度を高める準備を行うことにより寸法精度誤差が数 cm 程度以内での利用が可能であることが確認できた。

今後、TS を用いない MR デバイス単体での実案件での試行を経て、生産性向上のための一つのツールとして活用の促進を図っていく。

5. Mixed Reality の活用事例と今後の展開

現在大阪市内で建設中の研究施設において、前章までの検討を受けて複合現実：MR の現場実証に取り組んでいる。

当施設は、2021 年 11 月に供用開始予定で、建設にあたっては ICT を積極的に取り入れることで施工の高度化と生産性の向上に取り組んでいる。

〔建物概要〕

構造規模：S 造 4 階建て

建築面積：1,743.61 m² 延床面積：4,793.57 m²

工 期：2020 年 7 月～2021 年 10 月

上記現場における MR (HoloLens) の主な利用事例について、以下に紹介する。

5.1 位置確認検証

位置確認検証では、床デッキスラブに打ち込む設備用インサート金具位置の確認および、杭芯確認検証を実施した。インサート位置については、今回の検証結果から HoloLens 単体でも必要十分な精度が確認できたことから、HoloLens 単体での位置設定での検証を実施した(写真 14,15)。なお、これと別に行った検証では、従来の方法に比べ作業時間を約 10%に短縮する効果があることを確認している。



写真 14 インサート位置確認状況



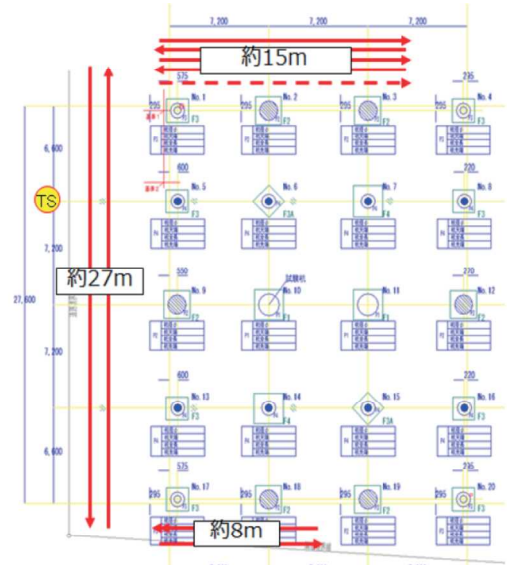
写真 15 マーカー設置状況

杭芯確認検証では、計測範囲の広い屋外での検証であることから、最も精度に対する信頼性の高い HoloLens2 と TS の連携による方法を用いた。検証内容概要・実施状況・結果を図 20、表 5、写真 16 に示す。

検証は 2 回実施し、計測者はそれぞれ延べ 100m 以上を移動している。2 回の実測値について、基準点 1 での後方交会によるモデル配置精度の影響を除外した平均誤差②では、誤差が概ね 1.5cm 以内となることが確認できた。また、2 回目の基準点 1 での 3 回の実測値の差は 0.5cm 以内に収まっている。これらのことから、後方交会によるモデル配置を適切に行うことで、精度の高い MR 運用が可能となることが検証できた。



写真 16 杭芯確認検証 実施状況



検証現場図:赤い矢印は検証経路
点線矢印は右表SEQ19~21(1回目のみ)

図 20 杭伏図及び検証内容概要

表 5 杭芯確認検証結果

SE	No	HoloLens2		XR10 (cm)	
		X	Y	X	Y
1	基準1	-4.5	-2.5	-0.5	-1.5
5	1	-6.0	-3.0	-3.5	-1.0
6	2	-4.5	-1.0	0.0	-0.5
7	3	-5.5	-1.5	-1.5	-0.5
8	基準1	-3.5	-3.5	-1.0	-1.0
9	1	-5.5	-2.0	-2.5	0.5
10	2	-3.5	-0.5	-1.5	0.0
11	3	-5.5	-1.5	-2.5	-0.5
12	基準2	-1.5	-2.0		
13	5	0.5	-2.5	-1.5	-2.5
14	13	1.5	-0.5	1.0	0.0
15	18	3.0	-2.0	3.5	-4.0
16	13	2.0	1.0	1.0	-2.0
17	5	-3.5	1.0	-1.0	-1.0
18	基準1	-3.5	-4.0	-0.5	-1.0
19	1	-5.5	-2.0		
20	2	-3.5	-1.0		
21	3	-6.0	-2.5		
平均誤差①		3.79	1.85	1.62	1.12
平均誤差②		2.35	1.24	1.42	1.08

平均誤差①:実測値の絶対値を平均
平均誤差②:実測値-基準1(SEQ1)の絶対値を平均

5.2 ビジュアル(可視化)による検討

ビジュアルによる検討は、主に関係者へのプレゼンテーションや工事関係者間の確認等への利用が有効である。今までパソコンの画面上で表現されていたバーチャルデータを HoloLens で投影することにより、現実空間において 1/1 の原寸大モデルや縮小した模型サイズでの確認が容易にできる(写真 17)。また、デジタルデータの特性を活かし、同一の 3D データを複数の拠点で MR 投影し、遠隔地同士の検討にも対応が可能である。

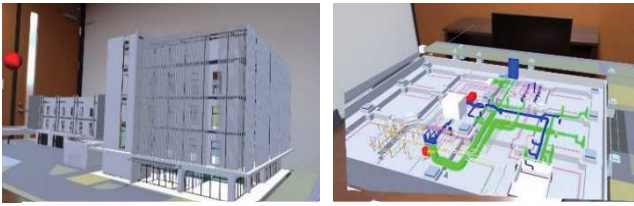


写真17 机上に映し出した3Dモデル

5.3 4D シミュレーション検証

属性情報に工事区分と日時情報を付加した BIM データを IFC データへと変換し、HoloLens へ取り込むことで、4D シミュレーションを可能とした。

従来は工事区分のデータを用意し、読み直し作業を行っていたが、BIM データに属性情報として付加することで、単一のモデルデータで 4D シミュレーションが可能となった。日時の切り替えには、スライダーを利用することにより、操作を容易にしている。



写真18, 図21 4D シミュレーション検証の実施状況

また、日時属性の設定には、GLOOBE Architect^{※3} から IFC データへ変換し、GyroEye Holo による読み込みを利用している。

4D シミュレーションは、今後関係者での施工手順の確認や検討、社員教育等への活用が期待される。そのために、読み込み容量の拡充やレンダリング機能によるリアリティの向上、ネットワーク環境を活用した遠隔運用により、MR の特性を活かした 4D シミュレーションの検討を進めている。

5.4 帳票連携検証

遠隔支援による帳票連携の検証では、基礎躯体出来形計測を実施した。事務所内にいる指示役が HoloLens から送られてくる位置情報をもとに、遠隔から検査箇所を指示する。現場では検査員が指示に従い電子メジャーによる計測

を行う。計測値は、帳票へと自動で入力される(写真19)。なお、今回は WEB 経由の音声は現場内の工事音やノイズによる影響を受けなかったが、現場の環境にもよるが安定した通信環境の確保が今後の課題である。



写真19 帳票連携検証状況

6. 将来展望

現在、維持管理 (FM) への活用を検討している。これは建物管理者が HoloLens を装着し、ディスプレイに投影される各種施設データを確認しながら、現地の確認状況を入力し BIM モデルと連携した管理を目指すものである。

今後は HoloLens や周辺機器の進化により、なお一層の精度向上に期待している。また、5G による通信環境の向上により、データの受け渡し時間のロスが減り、タイムリーにデータの更新が可能となることで、リアルタイムでの情報確認や遠隔地での利活用が増え、移動による時間の削減や労働環境の改善などの効果が期待される。

7. まとめ

今回建築分野での MR (HoloLens) を活用した施工管理について、現在の状況と技術的要素および、精度検証結果を示し施工現場への適用の可能性を確認した。今回明らかになった精度検証等の結果は、MR が建設生産現場での生産性向上に寄与する可能性が高い技術であることを示しており、今後の施工管理での MR を適用する際の資料となることを期待する。

参考文献

- 1) 波多野純、藤原光弥、黒坂文生ほか「建築分野における Mixed Reality (HoloLens) を活用した施工管理 (その1~5)」AIJ 大会 2021.9

※1 Microsoft HoloLens はマイクロソフト社の登録商標

※2 Gyro Eye Holo はインフォマティクス社の登録商標

※3 GLOOBE は福井コンピュータアーキテクト社の登録商標