

# 行動特性に着目した MR による施設維持管理情報の 閲覧・入力支援システムの拡充

## Improvement of the Support System for View and Input of Facility Operations and Maintenance Information Using MR Focusing on Behavioral Characteristics

○藤田 真衣\*<sup>1</sup>, 大西 康伸\*<sup>2</sup>  
Mai FUJITA \*<sup>1</sup> and Yasunobu ONISHI \*<sup>2</sup>

\*1 熊本大学大学院自然科学教育部 大学院生

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto Univ.

\*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士 (学術)

Associate Prof., Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto Univ., Ph. D.

キーワード：点検; BIM; CAFM; HMD; データベース; ジェスチャー

Keywords: Inspection; BIM; CAFM; HMD; Database; Gesture.

### 1. 研究の背景と目的

施設維持管理に関する情報を、巡回・点検等を行う現場（以下、点検作業現場）で閲覧することは、維持管理業務を効率的・効果的に行う上で重要であると考えられる。本研究グループの森山らの研究<sup>1)</sup>では、Mixed Reality<sup>注1)</sup>（以下、MR）を利用し、特別な操作を必要とせず、巡回・点検行為の中で自然に必要な維持管理情報が閲覧できる手法を提案し、点検作業現場での維持管理情報閲覧システム（以下、MRBIMS）の開発を行った。しかし、データベースと未連携であることや操作性に問題があること、入力機能が未実装であることが課題であった。

そこで次の開発段階として、1) データベースとの連携機能の開発、2) 操作性の改善、3) 入力機能の開発を行うことで実務での利用を目指す。

### 2. MRBIMS の問題点

森山らの研究<sup>1)</sup>において、MRBIMS はプログラムに直接記述した維持管理情報を表示させた閲覧手法評価のためのプロトタイプシステムであり、データベースとの連携が未実装であった。

操作性に関して、実空間と 3D モデルの重畳調整の際、「視覚的に判断しづらい」、「視線カーソルとエアタップ<sup>注2)</sup>を組み合わせた操作が難しい」という問題があった。また閲覧操作では、視線カーソルを当て続けることにより操作を実行する方法を採用していたが、情報を見るだけでも関わらず意図せず別の操作が行われることや、操作が完了するまで時間を要する問題があった。これらは「情報を見る」動作と「機能を実行する」操作が同一であることが要因であると考えられる。

点検作業現場では部材・機器の基本情報（以下、属性

情報）や点検履歴の閲覧だけでなく点検結果の入力が必要であるが、入力機能が未実装であった。

### 3. 開発方針

「データベースとの連携機能の開発」では、本研究室で開発を行っている建築情報マネジメントシステム<sup>2)</sup>（以下、BIMS）の点検作業現場における情報の入出力デバイスとして MRBIMS を位置づけているため、BIMS のデータベースとの連携を行う。

森山らの研究<sup>1)</sup>では、MR デバイスとして Microsoft HoloLens<sup>注3)</sup>（以下、HoloLens1）を使用していたが、本研究では、Microsoft HoloLens2（以下、HoloLens2）を使用する。HoloLens2 は処理速度の向上はもとより、視野角の拡大や左右 10 本の指が認識できることによる直感的な操作が可能となった。また、自己位置推定精度の向上や、空間メッシュに基づく壁、床オブジェクトの自動生成機能<sup>注4)</sup>を実装している。HoloLens2 の機能の向上を踏まえ「操作性の改善」では、実空間と 3D モデルの重畳調整において、空間メッシュに基づく壁、床オブジェクトを用いた自動回転角調整機能を開発する。閲覧操作においては、誤操作の要因であった視線カーソルによる操作実行をなくし、ハンドトラッキング機能の一つであるハンドレイ<sup>注5)</sup>を導入する。

「入力機能の開発」では、可能な限り閲覧機能の操作で提案するものと同じ操作方法を採用する。また、入力のために特別必要な手間をなくし、閲覧行為と入力行為がシームレスにつながるように配慮する。

開発には、MR コンテンツ作成にゲームエンジンである Unity 2018.4（以下、Unity）、BIM ツールにオートデスク社の Revit2019（以下、Revit）を使用する。

#### 4. データベースとの連携

MRBIMS のシステム構成を図 1 に示す。事前準備として、BIMS で利用する BIM モデル<sup>注6)</sup> から MRBIMS が必要とする点検部位、床、天井、部屋のオブジェクト以外を削除した MRBIMS 用 BIM モデルを FBX 形式でエクスポートし、Unity にインポートする (図 1 中 a)。次に、属性情報 DB の部材・機器の位置する階数情報やカテゴリ情報を基に、インポートした MRBIMS 用 BIM モデルのオブジェクトの階層構造や要素 ID を自動整理する事前準備プログラムを Unity 上で実行する (図 1 中 b)。

MRBIMS では、マーカーを用いて実空間と 3D モデルの位置合わせを行う。マーカー認識時に属性情報 DB およびコミュニケーション情報 DB から部材・機器に関する情報を取得し、属性情報パネルおよび関連情報パネル表示時に当該部材・機器に関する情報をパネルに表示する仕様としている (図 1 中 d)。また、処理負荷を軽減するため、取得した情報を基に点検者の位置しない階に属するオブジェクトを削除する。

点検作業現場で入力した点検結果は、不具合がある場合に属性情報 DB、不具合がない場合に点検履歴 DB、不具合につながる気づきの場合にコミュニケーション情報 DB に記録される (図 1 中 e、f)。点検結果を文章により入力する際は、スマートフォンを用いて行う。入力した文章は文字入力 DB に一旦格納され、その後 HoloLens2 上の実施する点検項目を記したパネル (以下、入力パネル) の指定した文字フォームに当該文字が自動入力される (図 1 中 g、h)。

#### 5. 操作性の改善

##### 5.1. マーカーの配置間隔の変更

現状の MR デバイスの自己位置推定の精度では、マーカーにより位置合わせを行った場所から離れるごとに実空間と 3D モデルのずれが大きくなる。MRBIMS では、複数のマーカーを建物内に配置し、ずれが大きくなってきた

場合に近傍のマーカーを読み取り位置合わせを行うことでずれを補正する。利用する MR デバイスの変更に伴う、現実空間のマーカーの配置間隔を検討するため、HoloLens1 と HoloLens2 の自己位置推定の精度を比較した。実験方法として、MR デバイスの自己位置座標を表示するプログラムを実行し、MR デバイスを置いた台車を水平にゆっくり移動させ、実際の移動距離とプログラムで測定した自己位置座標から算出した移動距離 (3 回の平均) を比較した (表 1)。

検証結果から、両 MR デバイスの傾向として、移動距離が大きくなると自己位置推定のずれが大きくなるのが分かる。また、両 MR デバイスを比較すると、全ての距離で HoloLens2 の方が自己位置推定のずれが小さい結果となり、HoloLens2 の自己位置推定の精度の向上が確認できた。HoloLens2 の 5m 地点と 20m 地点の自己位置推定のずれを見ると、5m 移動するごとに 2cm のずれが生じているのが分かる。ずれの許容値を 30cm とした場合、森山らの研究<sup>1)</sup> では約 10m 間隔でマーカーを配置する必要があったが、本研究ではマーカーを 75m 間隔で配置が可能であると考えられる。

##### 5.2. 実空間と 3D モデルの重畳調整手法の改善

実空間と 3D モデルを重畳する位置合わせを行う前に、準備として実空間に配置したマーカーと同じ位置に、マーカーオブジェクトを 3D モデル内に配置する。次に、HoloLens2 が RGB カメラでマーカーを認識することで、それと対応するマーカーオブジェクトが重なるように 3D モデルを重畳する。その際、MR デバイスがマーカーを認識する精度では、3D モデルに回転を伴うずれが生じる。3D モデルの回転を担う三軸の情報を空間メッシュに基づく壁、床オブジェクトから得るには、最低二面のベクトル情報を取得する必要がある。本システムでは、マーカー読み取り後に作成される空間メッシュに基づくオブジェクトをマーカーの配置してある壁、それと直交する床の順にハンドレイで選択することで、オブジェクトのベクトル情報を 3D モデルの回転角に反映し、ずれの調整を行う (図 2)。手動でずれを調整する必要がなくなり、より正確な位置合わせを行うことが可能となる。

表 1 移動開始点を基準とした各地点での MR デバイス内の距離

| 移動開始点からの実際の距離        |           | 5m    | 10m    | 15m    | 20m    |
|----------------------|-----------|-------|--------|--------|--------|
| 移動開始点からの MR デバイス内の距離 | HoloLens1 | 5.14m | 10.25m | 15.39m | 20.50m |
|                      | HoloLens2 | 5.02m | 9.99m  | 14.93m | 19.92m |

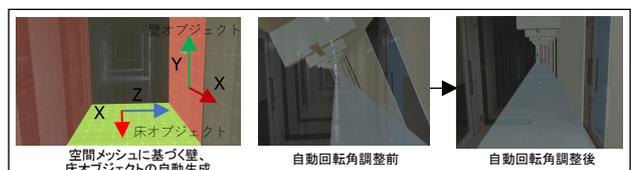


図 2 空間メッシュに基づく壁、床オブジェクトを用いた自動回転角調整機能

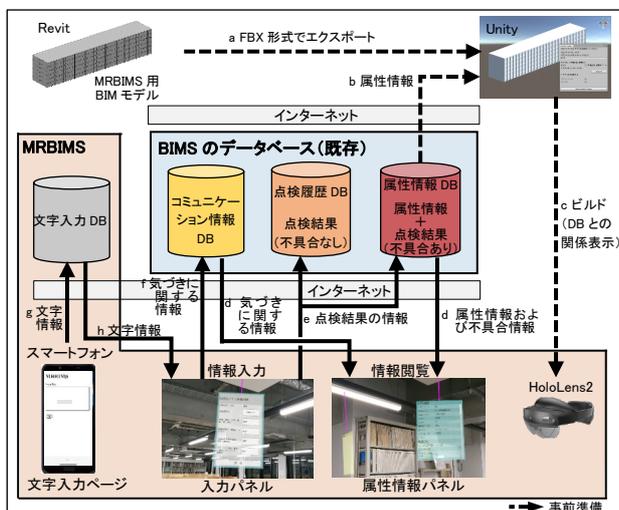


図 1 MRBIMS のシステム構成図

### 5.3. 属性情報パネルの表示有効範囲の変更

MRBIMS では、膨大な数の部材・機器の中から閲覧者の近傍にある部材・機器を把握し、自動的に属性情報パネルを表示する。属性情報パネルを表示させる範囲（以下、表示有効範囲）は対象の建物の天井高、属性情報パネルの高さ、属性情報パネルと部材・機器を結ぶ線の長さ、日本人の目線の高さの平均、MR デバイスの鉛直方向の視野角、人間が対象を認識できる仰角の6つの要素を基に算出する（図3）。森山らの研究<sup>1)</sup>では、HoloLens1の鉛直方向の視野角である 10.85°を用い、表示有効範囲を 2.61m とした。本研究では、HoloLens2 の視野角の拡大に伴い、鉛直方向の視野角である 14.50°を用い、表示有効範囲を 1.94m とした。

### 5.4. 閲覧操作の改善

改善を行ったMRBIMSの5つの閲覧操作を図4に示す。

a) 「属性情報パネルの移動」では、パネルを移動させたい方向に顔を動かす必要があることや、パネルの前後の自由な移動ができない問題があった。改善後は、手の動きに基づいてパネルを3次元的に自由に移動させること

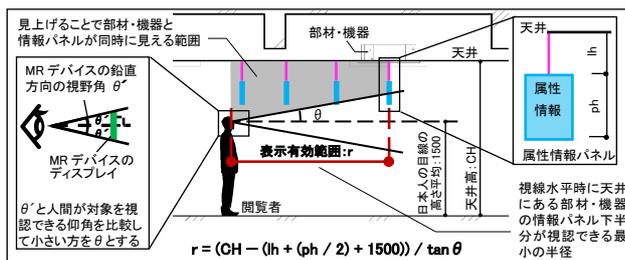


図3 属性情報パネルの表示有効範囲の算出

ができるため、パネルを閲覧しやすい位置に移動させることや、部材・機器の情報を見比べるために複数のパネルを並置することが可能となる。

b)、c)「関連情報パネルの表示」、「関連情報パネルのスライド」では、属性情報を閲覧する際に、関連情報パネルが意図せず表示されたり、関連情報を見る際にパネルがスライドしてしまうことがあった。また、誤操作防止のために設けていた実行開始までの時間が、操作に時間がかかる要因となっていた。改善後は、どこを見ても操作には影響しなくなり、エアタップやタップアンドホールドで任意のタイミングで実行が可能となった。

d)「属性情報パネル内の上下スクロール」では、パネルとの距離が遠くなるほど選択対象が小さくなり視線カーソルが当てにくくなることや、スクロールにより情報が上下移動するにも関わらず常に情報パネルに視線カーソルを当てなければならぬという煩わしさがあった。改善後は、「できるだけ頭を動かさない」といったパネルを注視する行動の必要がなくなり、自由に閲覧しながらのスクロールが可能となった。

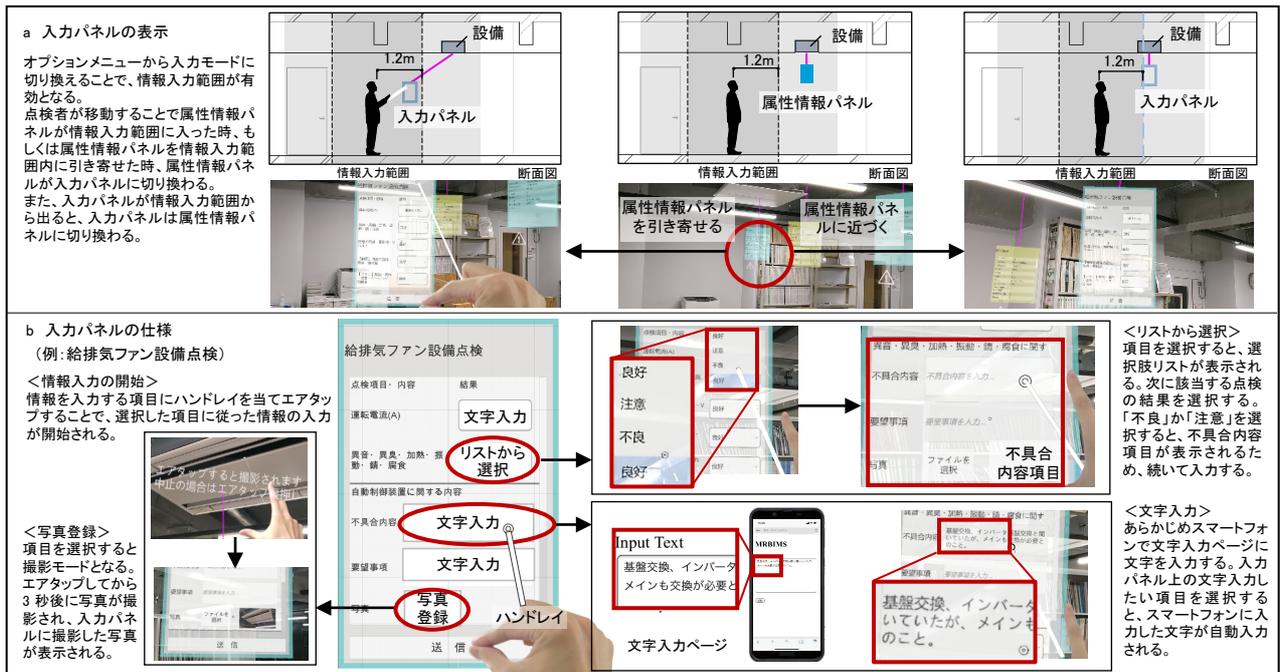
e)「オプションメニューの表示」では、タップアンドホールドが他の操作にも使用されていることから、誤ってメニューが表示される可能性があった。改善後は他の操作と差別化し、視線カーソルと手の平を用いる動作にすることで誤操作を防止する。

### 6. 入力機能の開発

図5に開発した入力機能について示す。入力パネルは、属性情報パネルと同様に実空間にオーバーレイして情報

| 操作                                   | MRBIMS 改善前  | MRBIMS 改善後   | HoloLens2 での様子  |
|--------------------------------------|---|--|---|
| a) 属性情報パネルの移動                        | 属性情報パネルに視線カーソルを当て、エアタップをすることで閲覧者の目前にパネルが表示される。<br>属性情報パネルが目前にある場合、閲覧者の視線の動きに合わせてパネルが自動的に移動する。上記と同様の動作でエアタップをすることで、パネルをその場に固定する。 | 属性情報パネルのタイトル部分にハンドレイを当て、タップアンドホールドした状態でパネルを移動させたい方向に手を動かすことでパネルを手前奥、上下左右に動かす。<br>ハンドレイ | パネルのタイトルにハンドレイを当てる → タップアンドホールドする → 手を手前に動かしてパネルを近づける |
| b) 関連情報（不具合情報、もしくはコミュニケーション情報）パネルの表示 | 関連情報を表示するためのアイコンに一定時間視線カーソルを当て、当該パネルを表示する。  | 関連情報を表示するためのアイコンにハンドレイを当て、エアタップすることで当該パネルを表示する。  | 関連情報パネル表示アイコンにハンドレイを当てる → エアタップすることで、関連情報パネルを表示する     |
| c) 関連情報パネルのスライド                      | 手前に移動させたい関連情報パネルのタイトル部分に一定時間視線カーソルを当てると、関連情報パネルをスライドする。   | 関連情報パネルにハンドレイを当て、タップアンドホールドした状態で手を左右に動かすことで、その方向にパネルをスライドする。                           | 手前のパネルにハンドレイを当てる → タップアンドホールドする → 手を左右に動かしてパネルをスライドする |
| d) 属性情報パネル内の上下スクロール                  | 属性情報パネルに視線カーソルを当て、タップアンドホールドした状態で手を上下に動かすことで、その方向に情報をスクロールする。   | 属性情報パネルにハンドレイを当て、タップアンドホールドした状態で手を上下に動かすことで、その方向に情報をスクロールする。                           | パネルにハンドレイを当て、タップアンドホールドする → 手を上下に動かして、情報をスクロールする      |
| e) オプションメニュー（入力モード、配管表示、重量調整モード）の表示  | 一定時間タップアンドホールドし続けることで、オプションメニューを表示する。   | 一定時間手の平に視線カーソルを当て続けることで、オプションメニューを表示する。  | 手の平に視線カーソルを当てる → 手の前方にオプションメニューを表示する                  |

図4 MRBIMS 改善前後での閲覧操作に関する機能



の入力を行う。なお本研究では、BIMS を運用しているオフィスビルで行われている点検業務および点検項目を参考に入力パネルを作成する<sup>注7)</sup>。

入力パネルを表示するためには、まずオプションメニューから入力モードに切り換える。次に点検者が属性情報パネルに近づいた時、もしくは属性情報パネルを点検者の近傍に引き寄せた時に、自動で属性情報パネルが入力パネルに切り換わる(図 5 中 a)。入力パネルに切り換わる範囲(以下、情報入力範囲)は、点検者を中心とした高さ無制限で半径 1.2m の円柱の内部とする。半径は入力パネルに情報入力が可能かつ点検者と入力パネルができるだけ離れた距離とし、検証の結果この数値を定めた。

入力パネルへの点検結果の入力の際は、ハンドレイとエアタップを組み合わせた操作方法を用いる(図 5 中 b)。HoloLens2 で文字を入力する場合、重畳表示されたソフトウェアキーボードを用いて入力する必要があるが、キーと指の接触判定に問題があり直感的な操作とは言えない。そこで本研究では、文字を入力する方法としてスマートフォンを利用する。グローブをはめていると操作が困難であるが、今後の課題とする。

また、点検者が点検結果を入力しやすい位置に入力パネルを自由に移動できる仕様とする。入力パネルの移動およびスクロール方法は、属性情報パネルと同様とする。

## 7. 研究の成果と展望

本研究では、MRBIMS の問題を解決することを目的とし、データベースとの連携、操作性の改善、入力機能の開発を行った。今後の課題として、閲覧者の身長に基づいて属性情報パネルの表示有効範囲を自動変更する機能

の追加や本研究で改善および開発した機能の評価があげられる。

なお、本研究は科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号 18K04483)の一環として実施した。

## 注釈

- 注1) 複合現実感と訳され、現実のモノと仮想的なモノがリアルタイムで影響しあう空間を構築する技術全般を指す。
- 注2) 人差し指と親指でつまむジェスチャー。
- 注3) センサーや CPU、GPU に加えて、専用に生産された HPU を搭載しているため、単体で機能することができるスタンドアロン形式の MR デバイスである。HoloLens2 では視野角の拡大による没入感の向上や、ホログラムに触れたり動かしたりすることによる直感的な操作が可能である。
- 注4) MR デバイスのカメラやセンサー情報をもとに作成した、複雑な三角形の環境メッシュを、HoloLens2 で利用できる「Scene Understanding SDK」を用いて壁や床などの面形状のオブジェクトとして変換したもの。
- 注5) 手のひらを前方に向けると、レーザーポインタ(ハンドレイ)が表示され、手を握ることで操作実行を行う。
- 注6) 建物オーナーや建物管理者が維持管理業務において必要とする詳細度で点検部位および建築の主要部位をモデリングしたものに、属性情報を付与したモデル。
- 注7) 本研究では点検結果の入力として、日常視視点検と月次点検の一例として給排気ファン設備点検の 2 業務を対象とした入力パネルと、コミュニケーション情報を対象とした入力パネルの 3 種類を作成した。

## 参考文献

- 1) 森山大輝、大西康伸、「行動特性に着目した MR による施設維持管理情報の閲覧に関する研究」、日本建築学会第 43 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(DVD)、pp.140-143、2020.12、オンライン
- 2) 仲間祐貴、大西康伸、位寄和久、「継続的利用と情報共有を可能にする建物維持管理支援のための BIM を活用したウェブシステムの開発」、日本建築学会技術報告集、第 22 巻、第 50 号、pp.359-364、2016.2