

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

Study on the display method of facility operations and maintenance information using MR focusing on behavioral characteristics

○森山 大輝*¹, 大西 康伸*²
Hiroki Moriyama*¹ and Yasunobu Onishi*²

*1 熊本大学大学院 自然科学教育部 博士前期課程
Graduate Student, GSST, Kumamoto University

*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士 (学術)

Associate Professor, Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, Ph. D.

キーワード : MR; CAFM; BIM; 設備配管; 点検; 修繕更新

Keywords: MR; CAFM; BIM; Plumbing; Inspection; Repair and update.

1. 研究の背景と目的

施設維持管理に関する情報を維持管理業務での巡回・点検等を行う現場 (以下、現場) で閲覧することは、現場での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。また情報を閲覧する媒体は様々あり、従来の書類や図面を使った情報閲覧に加えて、近年では維持管理に情報技術を活用した Computer Aided Facility Management (CAFM) に入力された情報をノートパソコンやタブレット等のデジタルデバイスを利用して閲覧する機会は少なくない。しかし情報を閲覧する媒体の特徴によって、検索が容易なものや携帯性が高いものがある一方で、実際の部材・機器と維持管理情報を同時に閲覧できないものや両手をふさいでしまうものなど、それぞれ一長一短がある。そのため、これらの問題を解決できる施設維持管理情報の閲覧手法の提案が期待されている。近年、Augmented Reality^{注1)} (以下、AR) や Mixed Reality^{注2)} (以下、MR) の技術の進展が著しい。その中でヘッドマウントディスプレイ (以下、HMD) 方式の MR デバイスでは、立体視を伴いながら目前に広がる現実空間や実在する物体にデジタル情報を重ね合わせてシースルーで同時に閲覧することができるという特徴がある。これによって、実際の部材・機器と維持管理情報の同時閲覧ができない問題や、両手をふさいでしまう問題を解決できる。加えて、現実空間に 3D モデルをリアルタイムに重畳することが、現場での維持管理情報の検索に利用できる可能性があると考えられる。

そこで本研究では、HMD 方式の MR デバイスを利用して、維持管理者が特別な操作を必要とせず、巡回・点検の行為の中で自然に必要な施設維持管理情報を閲覧する手法の提案を行う。加えて、提案した閲覧手法を評価するためのプロトタイプシステムとして、MR を利用した施設維持管理情報閲覧システム (以下、MRBIMS) の開発を行う。

2. 既往研究

現場での維持管理情報の閲覧手法に関する既往研究として、施設維持管理情報と 3D モデルを連携表示するシステムの開発を試みた佐藤らの研究¹⁾や土木における維持管理業務に AR を活用して維持管理情報を表示する窪田らの研究²⁾がある。これらの研究では現場で情報を閲覧するために、あらかじめ設定した場所から手動操作で現場まで移動する必要や情報を表示する度にマーカーを読み取る必要がある。また、経年毎に色付けを行った機械設備および配管モデルを HMD 方式の MR デバイスを用いて現場で原寸大表示して閲覧する T.Kima らの研究³⁾がある。維持管理業務に HMD 方式の MR デバイスを利用した研究として参考となるが、配管等の表示やモデルの選択には 3 次元空間に表示したパネルを操作する必要がある。これらは現場での情報閲覧の際に特別な動作を必要としないことを目的とした本研究とは異なる。

3. 現場での維持管理情報閲覧の問題点

施設維持管理情報を参照する手法は表 1 に示す 5 つに分類できると考えられ、それぞれの手法の特徴によって利点や問題点がある。

書類・図面の場合、現場に持ち込むことができる一方、多くの施設維持管理情報が蓄積されるほど必要な情報の検索が困難になり、持ち運ぶことも負担になる。PC の場合、施設維持管理情報の検索が容易である一方、現場での情報閲覧に対応していない。そのため近年では、現場での情報閲覧に対応するためにタブレットや AR の利用が用いられつつある。しかしタブレットを現場で利用する場合、維持管理者の両手をふさいでしまい業務の妨げとなる可能性がある。また、施設維持管理情報を検索する際は検索キーの手入力や、QR コード等の読み込みが必要となる。

表 1 現場での施設維持管理情報の検索、閲覧

	書類・図面	PC	タブレット	AR	MR
情報の検索	×	△	△	○	○
現場での部材・機器と情報の同時閲覧	△	×	△	○	○
携帯性	×	×	○	○	○
両手をふさがらない閲覧	×	×	×	×	○
表示する情報量	○	△	△	△	○

○：適する △：一部適する ×：適さない

4. MRを利用した施設維持管理情報の閲覧手法の提案

4.1. MRを利用した現場での施設維持管理情報の閲覧

HMD方式のMRデバイスを利用することで、施設維持管理情報を記したパネル（以下、情報パネル）を対応する部材・機器にオーバーレイすることができる。これにより、両者を現場で同時に閲覧することが可能となる。

4.2. 表示する施設維持管理情報

本研究で表示する情報は、部材・機器の維持管理情報（以下、部材・機器情報）と通常視認できない隠蔽部の部材・機器（以下、隠蔽部材）の2つを対象とする。部材・機器情報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（以下、BIMS⁴⁾）を参考に、型番や性能等の基本情報（以下、属性情報）、部材・機器の不具合内容等の情報（以下、不具合情報）、日々の点検の「気づき」情報を共有するための情報（以下、コミュニケーション情報）を対象とし、それぞれ情報パネルに表示する。このとき、現場で部材・機器情報を表示するために、実空間に原寸大表示した建物モデルを非表示で重畳させる（図1）。これにより実際の部材・機器と部材・機器モデルの対応付けを行うことができ、各部材・機器モデルがもつ要素IDから関連する部材・機器情報の検索、表示が可能となる。隠蔽部材は天井裏やPS・EPS等に存在するダクトや配管等を対象とし、これらの隠蔽部材モデルを実空間にオーバーレイして閲覧を行う。

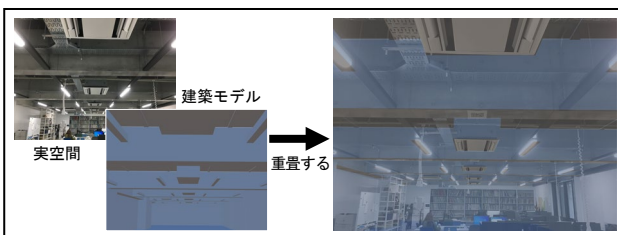


図 1 実空間と建築モデルの重畳

4.3. 行動特性に着目した施設維持管理情報の閲覧手法

閲覧者が点検を行う際、部材・機器に近づくという行動特性に着目して、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HMD方式のMRデバイスが把握して自動的に部材・機器情報を表示させる。部材・機器情報や隠蔽部材を表示させる範囲（以下、表示有効範囲）は閲覧者を中心とした高さ無制限の円柱の内部とする。このとき設定する表示有効範囲は、コンピュータが表示する情報パネルと実際の部材・機器を見上げることで同時に

閲覧できる範囲とする。閲覧者の視線が水平時に天井機器に関する情報パネルの下半分が視認できる最小の距離を表示有効範囲の半径とする（図2①）。これにより、閲覧者に見上げを自然に促すことができ、情報パネルと実際の部材・機器の同時閲覧につながる。

ここで表示有効範囲の半径を r [mm]、対象の建物の天井高を CH [mm]、情報パネルの高さを ph [mm]、情報パネルと部材・機器を結ぶ線の長さを lh [mm]、日本人における目線の高さの平均を 1500 [mm]⁵⁾、利用するMRデバイスの鉛直方向の視野角 (θ') と人間が対象を認識できる仰角 ($46^\circ \sim 55^\circ$)⁵⁾ を比較して値が小さい方の角度を θ [°] とする。これらの関係を表すと式(1)になる。

$$r = (CH - (lh + (ph / 2) + 1500)) / \tan\theta \quad (1)$$

またMRでは、一般的にコントローラーを用いた操作や音声、ジェスチャー、視線による操作がある。本研究では、人は注視したい対象に視線を向けるという行動特性に着目して、必要に応じて視線による操作を用いる。この場合、選択する対象に視線を一定時間当て続けることで選択を行うこととする（図2②）。ただし操作を視線のみで行うことが難しい場合は、視線とジェスチャーを組み合わせた操作によって閲覧を行うこととする。

5. 開発システムの概要

5.1. 開発方針

提案した閲覧手法の評価を行うために、プロトタイプシステムとしてMRBIMSの開発を行う。MRBIMSはBIMSの閲覧手法の1つとして位置づける。なお、本研究で開発するMRBIMSはインターフェースの評価を目的としているため、データベースとの連携機能は実装の対象外とする。またケーススタディとして、大学の研究室の入る建物を対象とする（地上6階、建築面積約1600 m²、延床面積約9800 m²、研究室天井高2500mm）。

5.2. 開発環境

本研究で使用するHMD方式のMRデバイスとしてMicrosoft HoloLens^{注3)}（以下、HoloLens）を使用する。また、MRコンテンツの作成に対応した、コンピュータ処理の負荷が少ないゲームエンジンであるUnity2018.4（以下、Unity）を使用する。また、BIMツールとしてRevit2019（以下、Revit）を使用する。

5.3. 建築モデルの構築

MRBIMSでは個々のオブジェクト名と要素IDを保持した状態で書き出されるFBX形式を利用して、建築モデルをUnityにインポートする。また、各部材・機器がどの部屋に属するのかが取得するために、建築モデルで各部屋をマス^{注4)}で囲う。これにより、マスと各部材・機器モデルの当たり判定から、各部材・機器の属する部屋の識別を行う。

5.4. MRを利用した施設維持管理情報閲覧システムの開発

図3に開発したMRBIMSの操作画面を示す。MRBIMS

では行動特性に着目した表現手法として、以下に示す3つの機能を開発した。「1. 閲覧者の近傍にある情報パネルの表示」では、閲覧者が近づいた部材・機器の属性情報パネルを表示する(図3③)。またケーススタディでは、CH=2500、ph=360、lh=320、 $\theta=10.85$ (HoloLensの鉛直方向の視野角)であるため式(1)より、表示有効範囲rを2.61mとする。「2. 閲覧者の近傍にある隠蔽部材の表示」では、属性情報パネルの表示有効範囲と同様に、閲覧者から2.61mの範囲内の配管モデルを表示する(図3④)。「3. 視線によるインターフェースの操作」では、対象にカーソルを1.5秒間当てて選択を行う(図3③)。

5.5. 実空間と建築モデルの重畳

HoloLensでは、環境認識カメラが取得した周囲の映像を解析し、かつ慣性計測装置(IMU)が三次元の角速度と加速度を検出して、同時進行的に自己位置を推定する。しかし、現状のHoloLensの自己位置推定の精度では、実空間と建築モデルの位置合わせを行った場所から離れるごとに実空間と建築モデルのずれが大きくなる。そこでずれを解消するために複数のマーカーを約10m間隔で建物内に配置し、これらのマーカーの位置と同じ位置になるようにUnityで建築モデルにマーカーオブジェクトを配置する(図4)。閲覧者は近傍の

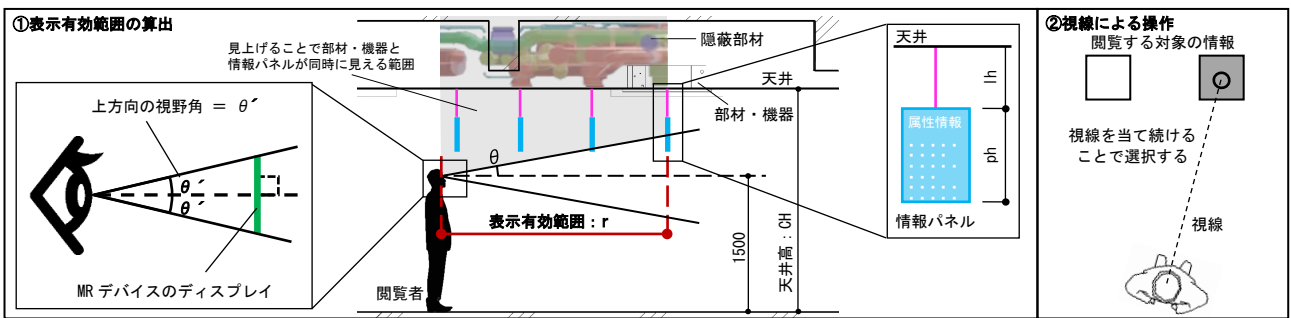


図2 行動特性に着目した閲覧手法の提案

① 施設維持管理情報

<p>不具合情報 01</p> <p>プロジェクト名: 竣工E01 発注E01: 2018/08/03 完了E01: 2018/08/04 不具合内容01: 空調設備の不具合 発生場所01: 1500円 点検履歴 PDF 閲覧可能</p>	<p>不具合情報パネル</p> <p>属性情報パネルの左下にあるアイコンを選択することで、部材・機器の不具合情報を記した情報パネルを表示する。</p>	<p>属性情報パネル</p> <p>部材・機器の属性情報を記したパネルであり、閲覧者が近くことで表示する。属性情報パネルと部材・機器は対応関係を示すために線で結ぶ。</p>	<p>コミュニケーション 01</p> <p>2019/09/22 16:50 5階505研究室空調機工事 5階505研究室空調機運転制御サーバー交換作業のデータ入力が完了しました。 (担当者: 管理課)</p>	<p>コミュニケーション情報パネル</p> <p>属性情報パネルの右下にあるアイコンを選択することで、コミュニケーション情報を記した情報パネルを表示する。</p>
--	--	---	---	--

② 情報パネルの寸法

属性情報パネル: 320x250
不具合情報パネル: 320x250
コミュニケーション情報パネル: 320x250

正面から見た場合(幅、高さ) 左上から見た場合(奥行き)

立体的な情報表現

立体視を利用して、奥行を使った情報パネルの表示をする。

③ 部材・機器情報閲覧モード

属性情報パネルの表示

閲覧者が部材・機器の2.7m以内に近づくことで、属性情報パネルが表示される。

情報のズームイン・ズームアウト

情報の拡大・縮小表示を閲覧者が情報に近づく・遠ざかることで行う。

視線ゲージ

視線による選択が行われていることを示す。1.5秒かけて溜まる。

未読情報の通知

未読情報は、表示有効範囲によらず、部屋のどこにいても対象の部材・機器モデルがハイライトされ、属性情報パネルが表示される。

新規情報の通知

入力・編集されてから1か月以内の情報は対応するアイコンとパネルを紫色にハイライト表示することで通知する。

④ 隠蔽部材閲覧モード

横管と縦管の接合部の閲覧

天井裏の横配管とPS・EPS等に存在する壁裏の縦配管の接合部を閲覧できる仕様とする。

グリッド表示機能

配管モデルの奥行きや高さ関係の把握を支援するために天井と壁に450x450mm間隔のグリッドを表示する。

トリミング機能

配管が部屋の内側もしくは外側のどちらにあるのか把握するために、部屋内にある配管モデルだけを表示する。

⑤ 位置補正モード

マーカー

実際の建物と建築モデルを重畳するため、50x50mmのマーカーを複数建物内に約10m間隔で設置する。

回転調整オブジェクト

矢印にカーソルを当てエアタップ⁵⁾することで建物のモデルを矢印の方向に回転させ、位置補正を行う。

⑥ オプションパネル

オプションパネル

モードの切り替えを行うオブジェクト。エアタップ⁵⁾を1秒間続けることで表示する。

図3 MRBIMSの操作画面

マーカーを HoloLens の RGB カメラで読み取ることで、画像処理を行い、対応するマーカーオブジェクトと建築モデルの座標を参照して位置合わせを行い、建築モデルを重畳する。しかし、現状の HoloLens の画像処理の精度では建築モデルを重畳する際に回転を伴うずれが生じるため、回転調整オブジェクトを用いてずれの解消を行う (図 3 ⑤)。

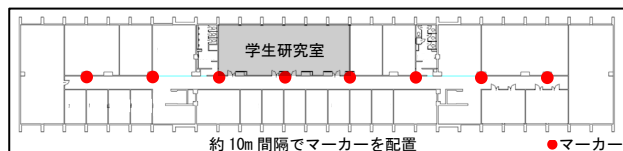


図 4 ケーススタディでのマーカーの設置箇所 (平面図)

6. 評価実験の概要と結果

「1.建築モデルの位置調整」、「2.施設維持管理情報の閲覧性およびシステムの操作性」、「3.通知機能」を検証する目的で、熊本大学施設部職員 6 名による評価実験を行った。その後、5 段階評価アンケートおよび評価理由のヒアリングを行った。実験概要を表 2 に、評価実験のアンケート結果を図 5 に示す。また、アンケート・ヒアリング結果から考察を行う。

Q.1 から Q.9 までのアンケート結果を概観すると、近傍にある部材・機器情報および隠蔽部材を表示するという方針は概ね支持された。

Q.1、Q.2 から、情報の表示や選択までの時間はやや遅いという回答が目立った。これは HoloLens の処理負荷の精度からプログラムの設定以上に描画が遅延したことなどが考えられる。Q.3 から、実空間と建物モデルの角度のずれを解消するための操作は、半分の被験者がずれが解消されたかどうか分かりにくいと回答した。これは実空間と建築モデルの重ね合わせが行われたかどうか視覚的に判断しにくいことや、手動のエアタップ^{注 5)}による操作が難しいことが原因であると考えられる。Q.4、Q.5、Q.6、Q.7 から、情報パネルや配管モデルの仕様は概ね分かりやすいという結果となった。このことから、情報パネルの複数表示や色分け、配管モデルの立体視やグリッド機能、トリミング機能は効果的であったと考えられる。Q.8、Q.9 から、未読情報や新規情報の探しやすさでは半分以上の被験者が探しやすいと回答したが、同時にどちらにもやや探しにくいという回答も得られた。これは、未読情報と新規情報の二つの通知を同時に行ったことで、被験者の混乱を招いてしまったことが原因であると考えられる。

表 2 実験概要

項目	内容
実施日、時刻 (天気)	2019 年 11/25、10:30~11:30 (晴れ)、11/26、10:00~14:30 (曇り)、11/27、13:00~13:30 (曇り)
実施対象室、規模 (面積)	学生研究室、8000mm×21600mm (173 m ²)
利用機材	Microsoft HoloLens
被験者	熊本大学施設部職員 6 名 (30 代~60 代)

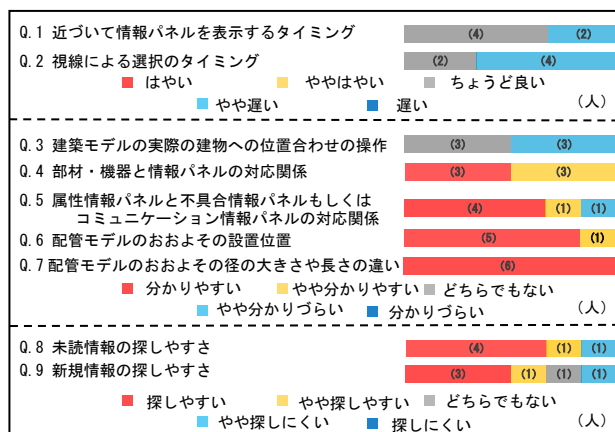


図 5 アンケートの結果

7. 研究の成果と展望

本研究では、行動特性に着目した MR を利用した施設維持管理情報の閲覧手法を提案し、それを実装するプロトタイプシステムの開発とその評価を行った。展望として、入力機能の実装やデータベースとの連携、MR デバイスの自己位置推定の性能や視野角の精度の向上が挙げられる。

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) 拡張現実感と訳され、コンピュータが生成したデジタル情報の一部を現実環境に反映 (拡張) させる技術全般、またそうした技術により拡張された現実環境自体を指す。
 注2) 複合現実感と訳され、現実空間と仮想空間を混合し、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3) Microsoft 社が開発している HMD 方式のウェアラブルコンピュータ。センサーや CPU、GPU 等により、単体で機能することができるスタンドアロン形式である。HoloLens のディスプレイの鉛直方向の視野角は、対角線の視野角 (34°)、およびアスペクト比 (16 : 9) から算出する。
 注4) Revit で使用される部屋の容積を示すボリュームモデル。
 注5) 人差し指と親指をつまむような動作。

【参考文献】

- 佐藤康弘、末田隆敏、坂本成弘、藤井俊二、嘉納成男、「BIM と CAFM の連携システムの開発 - その 3 タブレット端末を使った BIM の提示 -」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.39-40、2013. 8
- 窪田諭、中村吉孝、「AR マーカーと QR コードを用いた道路点検支援システムの開発と評価」、土木学会論文集 F3 (土木情報学)、第 71 巻、第 2 号、pp.42-49、2015
- Taehoon Kima, Jaewon Jeonga, Yedam Kima, Hyeongmo Gua, Seunghak Woob, Seungyeon Chooa, 「A Basic Study on Methodology of Maintenance Management Using MR」、36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2019)、pp.360-368、2019. 5
- 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
- 日本建築学会、「第 2 版 コンパクト建築設計資料集成 (住居)」、2007. 1、丸善出版株式会社