

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：17401
 研究種目：基盤研究(C)（一般）
 研究期間：2018～2020
 課題番号：18K04483
 研究課題名（和文）MRを用いた建物維持管理情報と現実空間の融合的閲覧システムの開発と実践的評価

 研究課題名（英文）Development of a superimposition browsing system on a real space for building operations and maintenance information using MR and its practical evaluation

 研究代表者
 大西 康伸（ONISHI, Yasunobu）

 熊本大学・大学院先端科学研究部（工）・准教授

 研究者番号：20381006
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：建物の部材・機器の維持管理に関する情報を点検業務中に両手を塞ぐことなく円滑に閲覧することを目指し、Mixed Reality（以下、MR）を用いた維持管理情報の閲覧システムを開発した。無線LAN経由でデータベースに接続されたHMD型MRデバイスを装着し、特別な操作をすることなく情報を知りたい部材・機器に接近するだけで、情報が表示されたパネルが現実空間に次々と重畳される仕様とした。また、点検結果の入力機能もあわせて開発した。評価の結果、次々と情報が表示されるという開発システムの仕様は概ね支持された。一方で、MRデバイスの処理能力不足による重畳のズレや情報入力のにじらが課題としてあげられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義
 維持管理の現場でも人材不足は懸念されており、少人数かつ経験が浅くても円滑で効果的な維持管理業務が遂行できる環境を提供する必要がある。一方、これまでの研究により構築されつつある建物維持管理にまつわる様々な種類のクラウドデータが、実は現場で十分に活用されづらい環境にある。今後の良好な建物ストックを形成する上で大きな問題であり、解決が急務である。本研究の成果は、クラウド化された建物維持管理にまつわる様々な情報を維持管理現場で円滑に利活用することを支援し、上述した問題を解決することに寄与する。

研究成果の概要（英文）：We have developed an operations & maintenance (O&M) information browsing system using Mixed Reality (MR) with the aim of smoothly browsing without blocking both hands during a building inspection work. Wearing HMD-type MR device connected to a database via wireless LAN, a panel displaying information is superimposed on a real space one after another just by approaching building equipment or components without any special operation. We also developed an input function for inspection results. As a result of the evaluation, the concept and specifications of the developed system that O&M information is displayed automatically was generally supported. On the other hand, some problems such as superimposition misalignments due to insufficient processing capacity of MR devices and difficulty in inputting information became clear.

研究分野：建築計画、情報システム技術

キーワード：ファシリティマネジメント MR、AR、VR BIM HMD データベース 点検 ジェスチャ 行動特性

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

建物の維持管理（維持保全及び管理運用）コストは建物生涯コストの7割を占めるとも言われている。新規建設市場が縮小する中、円滑で計画的な維持保全業務の遂行による建物の良好な状態の維持や長寿命化、加えて建物運用における省エネルギー化によるランニングコストの縮小はその重要性を増している。また、建物利用者の多様な要求にも対応する必要があり、高度な総合的マネジメントが求められる。

近年、それらの要求に応えるため、従来帳簿として分散的に記録されていた建物基本情報や部材・機器の維持管理情報（以下、部材・機器情報）を、BIMを用いて三次元デジタルモデルと関連づけて、クラウドを用いて一元的にデータベース管理するシステムの開発が進展している。また、タブレットやIoTを用いて建物の今の情報を容易にデータベース化する試みも散見され始めた。しかし、そのようなクラウド上でデータベース化された部材・機器情報を維持管理の現場（以下、現場）で参照するためには、現在のところタブレットを使用することが主流であり、以下の問題がある。

- a) 現場では、点検口を開ける、タラップを昇降するなど、両手もしくは片手を使用することが多い。しかし、タブレットを使用した場合、両手がふさがるため維持管理業務との「ながら」作業が難しく、維持管理作業の効率が落ちる。
- b) 現場でタブレットを操作することは煩雑であり、維持管理業務の妨げとなる。特に三次元デジタルモデルの操作は煩雑で、該当箇所の三次元デジタルモデルを容易に閲覧することができない。
- c) 現場において、タブレットに表示された情報が、目の前のどの部位・機器と対応するのか分かりづらい。

維持管理分野においても人材不足は懸念されており、少人数で経験が浅くても円滑で効果的な維持管理業務が遂行できる環境を提供する必要がある。そのためにも、前述した問題を解決する必要性は高まっている。

以上に示すとおり、これまで様々な研究的試行の末、ようやく構築されつつある建物維持管理にまつわる様々な種類のクラウドデータが、実は現場で活用されづらい環境にある。これは今後の良好な建物ストックを形成する上で大きな問題であり、解決が急務である。

2. 研究の目的

本研究では、近年製品化されつつあるシースルー型のHead Mounted Display（以下、HMD）を用いて、クラウド化された建物維持管理にまつわる様々な情報を、維持管理従事者が現場において肉眼で見る視覚的情報に重ねて閲覧するシステムを開発することを目的とする。これは、Mixed Reality（MR、複合現実）と呼ばれ、近年医療やプロダクト、建設などの様々な分野での利活用が期待されている。また、本研究で開発するシステムを実在する建物にて試験的に運用することで、実践的環境における評価を行う。

3. 研究の方法

本研究で開発するMRシステムの開発方針として、既往研究で開発済みであるBIMやデータベース、IoTを活用した維持管理情報マネジメントシステム（以下、BIMS）と連携させることとする。開発の段階は全部で三段階とする。第一段階では、HMDとVRを用いて模擬的にMRを利用する状況を再現し（以下、VRBIMS）、現場での部材・機器情報の表示や入力に関するユーザインタフェース（以下、UI）の基本方針を検討する。第二段階では、第一段階で検討したUIを実装した現場での部材・機器情報の閲覧に特化したMRシステム（以下、MRBIMS）を開発する。第三段階では、第二段階で開発したMRシステムを改良し、現場において無線LANを介したデータベースへのアクセスと部材・機器情報の入力が可能なシステムへと拡充する。評価は、各段階での開発終了時に維持管理者を対象に実在する建物で実施することとした。

なお、本研究で対象とする情報は、前述した部材・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つとした。部材・機器情報は本研究室で開発を行っているBIMSを参考に、部材・機器の型番や性能等の基本情報（以下、属性情報）、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）が含まれるものとした。それぞれパネル上に情報を集約し、表示した。

4. 研究成果

(1) VRBIMSは、HMDとVRを用いて模擬的にMRを利用する状況を再現し、現場での部材・機器情報の閲覧手法を提案するために開発したUI提案のプロトタイプシステムである（図1）。本研究で使用するHMDとしてHTC VIVE PROを、モーションキャプチャ機器としてLeap Motionを使用した。また、VRコンテンツ作成に関する情報が多く、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Unityを使用し、BIMソフトとしてRevitを使用した。開発方針として、まず、「パネルを用いた部材・機器情報の三次元空間内での一体的な表示」を採用した。これにより、

部材や機器とその情報の対応関係が把握しやすくなる。また、新旧や重要、重要でないといった部材・機器情報の属性値に従って奥行きを利用した序列の表現が可能となる。2 つ目に、「建築モデルの閲覧方法であるアイレベルモードと俯瞰モードを閲覧者が自由に行き来できる機能」を採用した。アイレベルモードは、MR を用いた現場での部材・機器情報の閲覧を再現している。一方で俯瞰モードを開発することで、アイレベルモードの長所短所を把握することができる。最後に、モーションキャプチャを導入して「キャプチャされた手によるジェスチャを主とした操作」を採用した。これにより、自身の手を入力手段とした直感的な操作が可能となった。なお、VRBIMS はその目的から、データベースとの接続は行わなかった。

VRBIMS の UI を検証する目的で、熊本大学施設部職員 6 名による BIMS との比較実験を行った。評価の結果、VRBIMS の方が「部材・機器の位置が分かりやすい」、「複数の情報パネルが比較しやすい」、「操作が直感的である」ことが明らかになった。VRBIMS の立体視および三次元空間の奥行きを使った部材・機器情報の表現およびトラッキングされた手による建築モデルの操作が効果的であったと言え、提案した UI がおおそ支持される結果となった。また、HMD の自由な視点移動による情報パネルの閲覧や、アイレベルモードでの手が表示されることで部材・機器の高さや位置を把握が効果的であったと言え、MR を用いた閲覧システムの長所が事前に確認できたと言える。また、俯瞰モードは建築モデル内の情報パネルの一覧性が高いという特徴が明らかとなった。

(2) MRBIMS は、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部材・機器情報を閲覧することのできる、HMD 方式の MR デバイスを利用したシステムである。本研究で使用する HMD 方式の MR デバイスとして Microsoft HoloLens2 を使用した。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 Unity を使用し、BIM ソフトとして Revit を使用した。なお MRBIMS では、VRBIMS で未開発であったデータベース (BIMS のデータベース) との連携機能および入力機能を開発した (図 2)。



図 1 VRBIMS の概要

パネルを対応する部材・機器にオーバーレイすることで、部材・機器とパネルを現場で同時に閲覧することが可能となる。このとき、現場で自動的に部材・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た(図3)。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、表示が可能となった。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った。

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た。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した。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属性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した。閲覧者の視線が水平時に天井機器に関する属性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した。(図4)。これにより、閲覧者に見上げを自然に促すことができ、属性情報パネルと実際の部材・機器の同時閲覧につながる。本ケーススタディーでは、CH=2500、ph=500、lh=250、 $\theta=14.5$ (HoloLens2の鉛直方向の視野角)であるため図4の式(1)より、表示有効範囲rを1.94mとした。

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、視線による操作がある。本研究では、ハンドジェスチャによる操作を導入し、主にハンドトラッキング機能の一つであるハンドレイにより各種操作を実行することとした。MRBIMSの閲覧操作を図5に示す。

図5①「属性情報パネルの移動」では、手の動きに基づいて属性情報パネルを3次的に自由に移動させることができるため、属性情報パネルを閲覧しやすい位置に移動させることや、部材・機器情報を見比べるために複数の属性情報パネルを並置することができる。図5②③「不具合情報パネル(またはコミュニケーション情報パネル)の表示」、「同パネルのスライド」では、エアタップやタップアンドホールドで容易に実行が可能である。図5④「属性情報パネル内の上下スクロール」では、閲覧の邪魔にならないスクロールが可能である。図5⑤「オプションメニューの表示」では、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した。

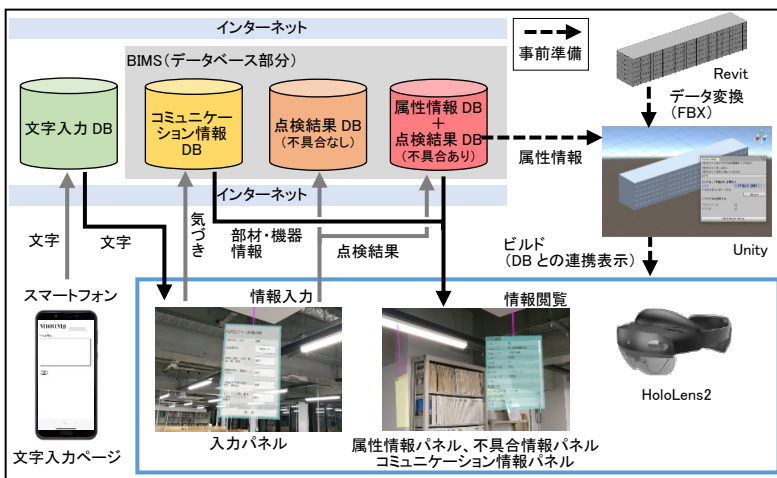


図2 MRBIMSとBIMS(データベース部分)のシステム構成図

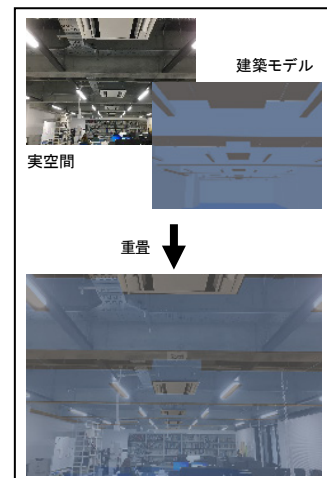


図3 実空間と建築モデルの重畳

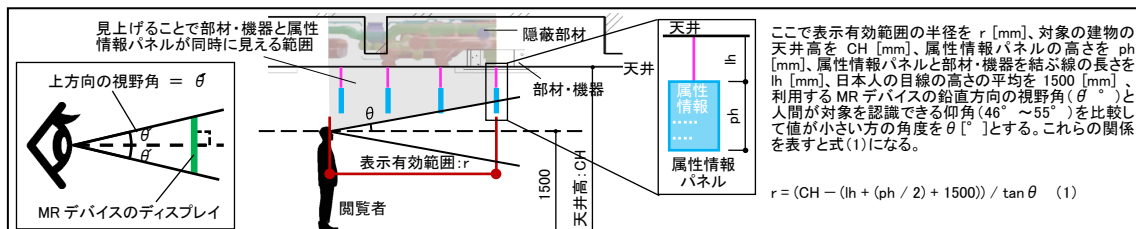


図4 行動特性に着目した閲覧手法の提案

(3) MRBIMSの入力機能の開発方針として、可能な限り閲覧で提案したものと同一操作方法を採用した。また、入力のために特別な手間をなくし、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した。図6に開発した入力機能について示す。作業現場で点検結果の情報を入力するにあたり、実施する点検項目を記したパネル(以下、入力パネル)を、閲覧に関するパネルと同様に実空間にオーバーレイして情報の入力を行う。入力パネルを表示するために、あらかじめ前報で説明したオプションメニューから「入力モード」に切り換える。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。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て、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、閲覧と同様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た。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、文字を入力する方法としてスマートフォンを利用した。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した。入力パネルの移動およびスクロールの方法は、閲覧時の属性情報パネルと同様とする。

(4) 本研究では、人間の行動特性に着目した MR を利用した部材・機器情報の閲覧・入力手法を提案し、それを実装するプロトタイプシステムの開発を行った。結果、UI の存在そのものを感じさせない閲覧が可能になったと考える。課題としては、開発システムのユーザビリティに関する評価を何度か行ったもの、実践的な評価を行うことができなかった。今後はシステムの完成度を向上させ、現場での評価が必要である。

操作		HoloLens2 での様子
① 属性情報パネルの移動	<p>手前奥 上下左右</p> <p>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。</p>	<p>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 → 手を手前に動かし、パネルを近づける</p>
② 不具合情報パネル（またはコミュニケーション情報パネル）の表示	<p>属性情報パネル下部のアイコンにハンドレイを当て、エアタップすることで対応するパネルを表示する。</p>	<p>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、対応するパネルを表示する</p>
③ 不具合情報パネル（またはコミュニケーション情報パネル）のスライド	<p>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、その方向にパネルをスライドする。</p>	<p>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、パネルをスライドする</p>
④ 属性情報パネルの上下スクロール	<p>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。</p>	<p>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、情報をスクロールする</p>
⑤ 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	<p>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。</p>	<p>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</p>

図 5 MRBIMS の閲覧操作の仕様

<写真登録>
項目を選択すると撮影モードとなる。エアタップしてから3秒後に写真が撮られ、入力パネルに撮影した写真が表示される。

<情報入力の開始>
情報を入力する項目にハンドレイを当ててエアタップすることで、選択した項目に従った情報の入力開始される。

<リスト選択>
項目を選択すると、選択肢リストが表示される。次に該当する点検の結果を選択する。「不良」か「注意」を選択すると、不具合内容項目が表示されるため、続けて入力する。

<文字入力>
あらかじめスマートフォンで文字入力ページに文字を入力する。入力パネル上の文字入力したい項目を選択すると、スマートフォンに入力した文字が自動入力される。

図 6 MRBIMS の入力パネルの仕様(例: 給排気ファン設備点検)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 松村貴輝、大西康伸、宮崎祐輝	4. 巻 第58号
2. 論文標題 VR とモーションキャプチャを利用した施設維持管理情報の閲覧支援に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会研究報告九州支部（DVD）	6. 最初と最後の頁 pp.29-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松村貴輝、大西康伸	4. 巻
2. 論文標題 VR とモーションキャプチャを利用した施設維持管理情報の閲覧手法に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集（DVD）	6. 最初と最後の頁 pp.5-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 仲間祐貴、大西康伸	4. 巻
2. 論文標題 MRを活用した施設維持管理情報の閲覧支援に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集（DVD）	6. 最初と最後の頁 pp.7-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 仲間祐貴、大西康伸	4. 巻
2. 論文標題 MRを活用した施設維持管理情報の閲覧支援に関する技術的検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会第42回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集（DVD）	6. 最初と最後の頁 pp.220-223
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松村貴輝、大西康伸	4. 巻
2. 論文標題 VRとモーションキャプチャを利用した施設維持管理情報閲覧手法の提案	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本建築学会第42回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (DVD)	6. 最初と最後の頁 pp.230-235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森山大輝、大西康伸、藤田真衣	4. 巻 第59号
2. 論文標題 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の提案 MRを利用した施設維持管理支援システムに関する研究 その1	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会研究報告九州支部 (DVD)	6. 最初と最後の頁 pp.61-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤田真衣、大西康伸、森山大輝	4. 巻 第59号
2. 論文標題 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支援システムの開発とその評価 MRを利用した施設維持管理支援システムに関する研究 その2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会研究報告九州支部 (DVD)	6. 最初と最後の頁 pp.65-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森山大輝、大西康伸、藤田真衣	4. 巻
2. 論文標題 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の提案 MRを利用した施設維持管理支援システムに関する研究 その1	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (DVD)	6. 最初と最後の頁 pp.217-218
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤田真衣、大西康伸、森山大輝	4. 巻
2. 論文標題 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支援システムの開発とその評価 MRを利用した施設維持管理支援システムに関する研究 その2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (DVD)	6. 最初と最後の頁 pp.219-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森山大輝、大西康伸	4. 巻
2. 論文標題 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	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 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)	6. 最初と最後の頁 pp.140-143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤田真衣、大西康伸、森山大輝	4. 巻
2. 論文標題 行動特性に着目したMRを利用した維持管理情報の閲覧支援システムの改良 MRを利用した施設維持管理支援システムに関する研究 その3	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (DVD)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 森山大輝、大西康伸、藤田真衣	4. 巻
2. 論文標題 行動特性に着目したMRを利用した点検結果の入力支援システムの開発 MRを利用した施設維持管理支援システムに関する研究 その4	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会大会学術講演梗概集 (DVD)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------