

## MR品質管理システム「holonica®」の適用事例と重ね合わせ精度の検証

中村 允哉 中林 拓馬  
池田 雄一

**Application Example of Quality Management System “holonica®”  
Utilizing Mixed Reality and Verification of Superposition Accuracy**

Masaya Nakamura Takuma Nakabayashi

Yuichi Ikeda

**Abstract**

The authors have developed a system "holonica®" which streamlines quality management work by utilizing mixed reality (MR). In this paper, we summarize the use cases of MR visualization on job sites. We compared the overlay accuracy using glass-type and tablet-type devices. The results showed that the glass-type devices accurately performed “holonica” than the tablet-type devices regardless of the environment and conditions. However, the overlay accuracy was lower for the high-performance tablet-type device when users moved, shaking the device left and right. Through on-site application and verification experiments, various effects, such as improved productivity, were obtained. However, issues related to overlay accuracy were identified; thus, we plan to improve these in the future.

**概要**

建築工事における品質管理の基本は、設計図書通りに施工がなされているか確認することである。筆者らはMR（複合現実：Mixed Reality）を活用し、それらの確認作業を容易に行える品質管理システム「holonica®」を開発した。本論文では、システムの機能の一つであるビューモードを用いた活用事例についてまとめた。また、MRデバイスの重ね合わせ精度がシステムの利便性に大きな影響を及ぼすことから、異なる端末でシステムを用いた際の重ね合わせ精度の比較を行った。実験の結果、メガネ型端末では運用条件を問わず実用的な精度でMRを実施できた。一方、高性能タブレット端末では、端末を左右に動かしながら移動するケースにおいてMRモデルのずれ量が大きくなった。現場適用や検証実験を通じ、生産性向上をはじめ様々な効果が得られたものの、重ね合わせ精度に関する課題が得られたことから、今後はこれらを改善していく予定である。

**1. はじめに**

建築工事における品質管理は、工事が設計図書通りに行われているか、あるいは記載内容の是非も含めて施工箇所を確認することが基本的事項である。従来では、膨大な設計図書の中から参照する箇所を選び出し、現実の施工箇所と照らし合わせて正誤を判断するため、確認業務には多大な時間を要していた。

近年、施工管理にもBIM (Building Information Modeling) の導入が進められている。BIMデータをタブレット端末等で閲覧し、現実の施工箇所と比較するには、3Dモデルから目的の箇所を見つけ出す必要があるが、端末上での操作性等を加味すると実用的ではない。このような課題に対し、必要な情報を選択し、施工箇所と照らし合わせて確認するというプロセスを簡略化できれば、より高効率な品質管理が可能になる<sup>1)</sup>。

こうした背景から、BIMデータを施工物に重ね合わせることができるMR（複合現実：Mixed Reality）を活用した品質管理システム「holonica®」（以下、本システム）

を開発した<sup>2)</sup>。本システムは、開発過程における試行や現場適用により生じたニーズに対応するため、いくつかの機能を追加した。本論文では、この追加機能を用いた工事での利活用事例、および、異なる端末の重ね合わせ精度の検証結果について報告する。

**2. システム概要**

システムの概要をFig. 1に示す。本システムは、①MRを行う上での初期位置設定および測位誤差補正用のマーカー（以下、位置補正マーカー）、②BIMデータをMR用のデータ形式（MRモデル）へ変換する機能などを有するWebアプリケーション（以下、変換用Webアプリ）、③タブレット端末上でMRによる重ね合わせや検査を行うためのアプリケーション（以下、クライアントアプリ）、④検査記録などの管理機能を有するWebアプリケーション（以下、管理用Webアプリ）、の4点で構成する。本システムでは、これらの要素により現場での確認業務の効率化を促進し、かつ、その情報を迅速に記録・展開すること

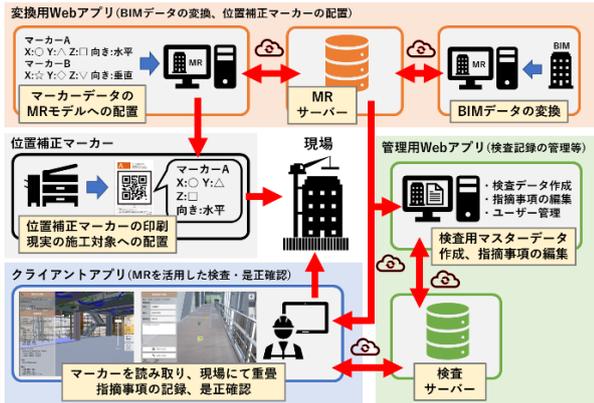


Fig. 1 システムの概要  
System Overview

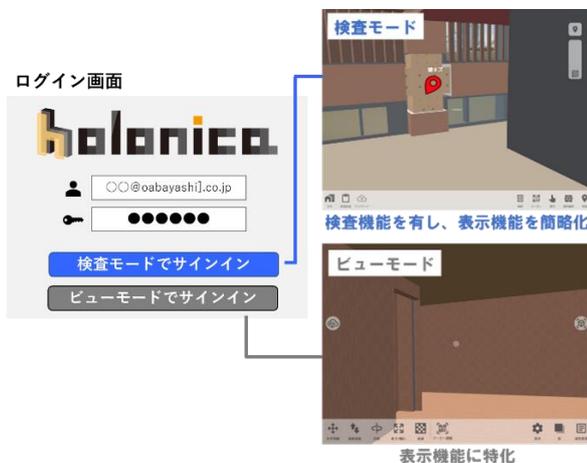


Fig. 2 モード選択  
Mode Select

を目的としている。

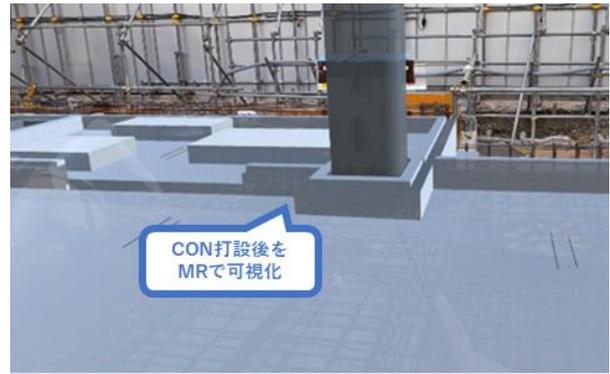
なお、本システムの開発と試行を繰り返す中で、現実とMRモデルを重ね合わせる機能そのものに対するニーズも高いことがわかった。そこで、検査機能を除いてMRの重ね合わせに特化したモード(以下、ビューモード)を実装し、アプリのログイン時に利用目的に合わせたモードを選択する形式とした(Fig. 2)。

### 3. システムの適用事例

本システムのビューモードを用い、様々な工事に対してMRを適用した。本章では、適用目的別に4つの事例について報告する。

#### 3.1 各工程での施工前確認

3.1.1 目的 躯体工事や仕上げ工事の着手前の確認にMRを適用した例をPhoto 1に示す。この事例では、各工程の施工前(例えば、コンクリートの打設前や建具工事開始前)の工事現場(現実空間)に対し、施工後のMRモデルを重ね合わせ、立ち上がりや埋設配管、開口などの配置の確認を行うことで、図面の誤認や施工ミスによる



コンクリート打設前の確認



建具取付け前の確認

Photo 1 MRを活用した施工前確認  
Confirmation before Construction using MR

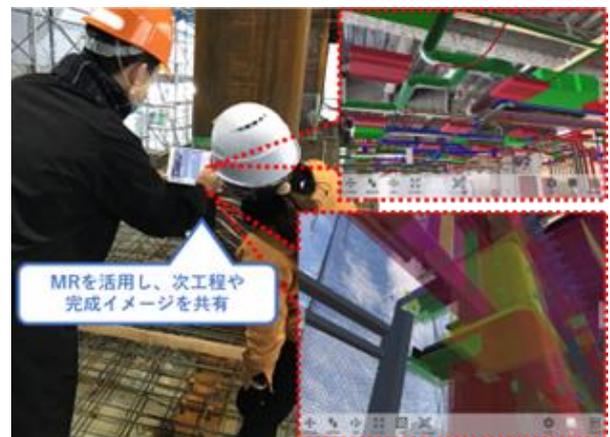


Photo 2 MRを活用した合意形成  
Consensus Building using MR

手戻りの防止を図った。また、外装の接続金物の取付け位置や、鉄骨の貫通孔に対する設備配管の収まりなどについてもMRを適用し、施工確認や設計監理者および作業員との合意形成を目的として用いた(Photo 2)。

3.1.2 適用結果 施工確認に本システムを利用した結果、目視で3次元の収まりが明確にわかるため、特に若年の職員から評価が高かった。一方、躯体工事の段階では、位置補正マーカを配置するための平面が少ないといった課題が上がった。

### 3.2 鉄骨製作・製品検査への適用

**3.2.1 目的** 従来、鉄骨の製品検査では、製作図面をはじめとした多量な情報を基に製作された鉄骨部材の形状・サイズ、各種ピースの位置・個数などの適否を判断していた。ここに本システムを導入し、適否に対する視覚的な理解を促すことで検査の迅速化を図った。また、鉄骨のファブリーケータが製作工程中の墨出し作業や自主検査にも適用することで、BIMデータを作成・運用することの有用性を認識させ、社外への活用範囲の拡大を図った。

**3.2.2 適用結果** 鉄骨製品検査への適用状況をPhoto 3に示す。製作工程や立会製品検査にて適用した結果、経験の浅い職員でも正確に取付け部材がわかる点について高評価を得た。一方、対象の鉄骨部材を至近距離で見るという利用環境上、現実空間とMRモデルのずれが発生しやすく、マーカーによる位置補正を行う頻度が高かった。また、利用したBIMソフトウェアの機能から、横倒しになった柱部材を模擬できず、MRを実施するまでに通常よりも多くの時間を要した(Fig. 3)。今後、BIMソフトウェアの機能やアプリへの習熟度によらず早く運用できるようにする必要がある。

### 3.3 墨出し作業への適用

**3.3.1 目的** 従来の墨出し作業では、図面と現実空間を頭の中で重ね合わせ、基準となる親墨から目的の箇所までの位置関係を算出し、子墨を出していた。墨出し作業は間違いが許されないため、経験や技能が必要であった。また、杭工事や土工事の段階では、作業床が不整であり、かつ基準点が少ないことから、目的の座標点を測量するにはトータルステーション等の測量機器を使用することが多い。通常の墨出し作業において、測量機器を使用する場合、専門の測量工による2名1組での作業が一般的である。ところが、測量工を手配する場合、その作業量の多少によらず1日2名分の工数と測量機器の使用料が掛かってしまう。したがって、その都度必要なタイミングで測量工を手配するのではなく、コストを抑えるため、1日分の作業量を確保してからまとめて手配することが多かった。

上記の課題から、特に測量工が常駐しないタイミングにおける墨出し・測量に関するニーズは非常に高かった。そこで、墨出し作業の内、測量の手段としてMRを適用した。その目的は、作業を1名で行い省人化・省力化すること、および、測量工なしで誰もが正確に作業を行うことである。

**3.3.2 適用方法** 本適用では、①掘削工事における汚染土管理の10mグリッドの四隅の点の墨出し、②杭頭補強筋および基礎配筋の墨出し、③天井インサートの墨出し、の3つについてMRを活用した。それぞれの運用方法をFig. 4に示す。同図に示す通り、汚染土グリッドの墨出しでは、10mのグリッド図を深さ1m毎にBIMで作成し、設計図書を参考に汚染土の有無を着色した。それを現実



Photo 3 鉄骨製品検査への適用事例  
Application Example of Steel Frame Product Inspection

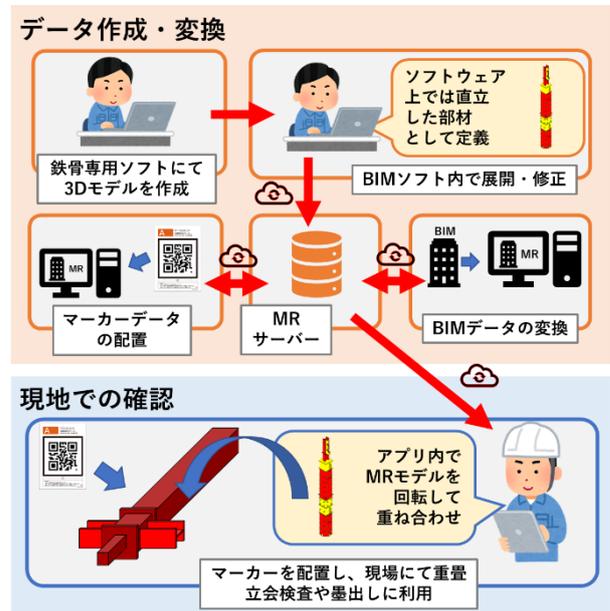


Fig. 3 鉄骨製品検査時のMR実施手順  
MR Implementation Procedure for  
Steel Frame Product Inspection

の施工箇所と重ね合わせ、グリッドの四隅のポイントをマーキングしたのち、汚染土と健全な土との境界線を墨出しした。杭頭補強筋等の墨出しでは、施工誤差を含む実際の杭芯位置に合わせて配筋の納まりを検討した



Fig. 4 MRを活用した墨出しの運用方法  
Marking Operation Method using MR

BIMデータを、現実の施工箇所と重ね合わせ、杭頭補強筋や基礎配筋の位置を墨出しした。また、天井インサート工事では、あらかじめ検討した天井インサートの位置を入力したBIMデータを現実の施工箇所と重ね合わせ、そのままインサート工事を行った。なお、いずれも両手を使う作業であるため、メガネ型ウェアラブル端末(以下、メガネ型端末：Microsoft社製HoloLens2)を用いた。

**3.3.3 適用結果** MRを活用した墨出し作業の状況をPhoto 4に示す。同写真に示すように、従来では2名1組で行っていた墨出し作業は、MRを活用したことによって1名で容易に作業することが可能となった。また、作業が単純化（表示された映像に従いマーキングするのみ）したことで測量工の手配が不要となり、省人化に寄与した。さらに、Photo 5のように、天井インサート工事では、墨出しせずにMRで重ね合わせた映像を元に直接施工した。運用次第では、更なる生産性向上効果が期待できる。

一方、現実とMRモデルを重ね合わせた際には多少の誤差（移動を伴う場合はより多くの誤差）が生じることから、高い精度が要求される墨出し作業への適用は不向きである。また、土工事の場合には、MRモデルを重ね合わせる対象物が少ないため、MRモデルが正しく現実と重なっているかを確認する方法がなく、マーキングした墨の位置精度を判断しづらいといった課題が得られた。

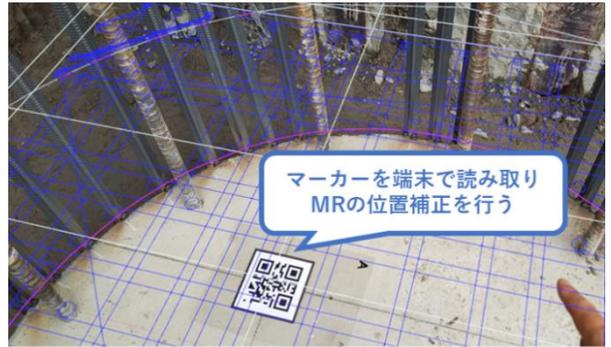
### 3.4 発注者見学会への適用

**3.4.1 目的** ここでは、着工時点の現場に完成時点のBIMデータを重ね合わせた。本事例の目的は、建物の完成イメージを発注者と共有し、発注者側の気づき（外観が想定と異なるため、設計を変更したいなど）を促し、施工時の課題点となり得る事項を早期に解消することである。

**3.4.2 適用結果** 適用の結果、利用者全員が手軽に



墨出し状況



端末での映像

Photo 4 MRを活用した杭頭補強筋等の墨出し事例  
An Example of Marking Out Pile Head Reinforcements using MR



施工状況



端末での映像

Photo 5 MRを活用した天井インサートの施工事例  
Construction Example of Ceiling Insert using MR

MRを利用できた。また、周辺環境と合わせて完成した建物をイメージできる点で発注者から高い評価を受けた。この適用方法を確立することで、発注者の完成建物への関心を高め、設計・施工者との合意形成が促進される効果が期待できる。一方、MRモデルと現実空間との前後（奥行）の配置関係が実際と異なることがあり、その場合、現実感にやや乏しいという意見があった。また、描画されるMRモデルのテクスチャーの品質が低いといった意見があった。しかし、MRモデルのテクスチャーは、BIMデータの品質以上にはならず、テクスチャーの品質を向上させると端末の処理能力に影響を与えるため、品質レベルの設定は利用者の意見と端末の処理能力のバランスを見て調整する必要がある。

#### 4. 各MRデバイスの重ね合わせ精度検証実験

##### 4.1 実験目的

前章では、各工事の様々な用途に対してMRを適用してきた。その結果、多くの事例において高評価を得たが、重ね合わせ精度や位置補正方法に関する課題が見つかった。これらの課題は、システムの改善によって対応する内容と、MRを実行する端末（以下、MRデバイス）の選定によって対応する内容とに分けられる。後者のMRデバイスの選定については、近年、タブレット端末の性能が飛躍的に向上し、MRの重ね合わせ精度を十分に維持できる機種が増えた。そこで、複数のMRデバイス（メガネ型端末/タブレット端末）を使用して、屋外・屋内における重ね合わせ精度を検証する実験を行った。本実験の目的は、MRデバイスの重ね合わせ精度を定量的に把握し、今後の現場適用において、様々な使用環境に合ったMRデバイスを選択するためのバックデータとすることである。

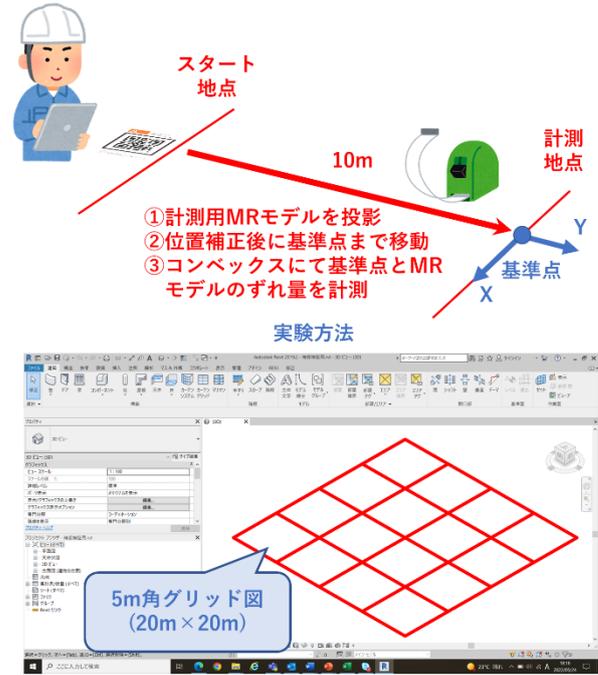
##### 4.2 実験方法

実験概要をFig. 5、実験エリアをPhoto 6に示す。同図に示す通り、本実験ではマーカーを設置した箇所をスタート地点として、マーカーによる位置補正を行った後、あらかじめ定めた距離（10m）を移動し、基準点からのMRモデルのずれ量を計測した。

実験は大林組技術研究所の本館で行った。被験者は、それぞれMRデバイスを動かさずに移動するケース（首振り無し）と、左右に振りながら移動するケース（首振り有り）にてシステムを利用し、屋内外でそれぞれMRモデルのずれ量を比較した。

重ね合わせるMRモデルは5mピッチのグリッド図とし、移動先の基準点はマーカーの中央部からの実測によりマーキングした。また、実験は各MRデバイスおよび首振りの有無について5回ずつ行い、それぞれX（左右）方向とY（進行）方向についてずれ量を計測した。

本実験で使用したMRデバイスをTable 1に示す。同表に示す通り、大林組社内で一般利用されているタブレッ



計測用MRモデル

Fig. 5 実験概要

Outline of the Experiment



屋内実験箇所



屋外実験箇所

Photo 6 実験エリア

Experiment Area

ト端末（以下、一般機：Apple社製iPad mini）、赤外線センサー（LiDAR）を備えた高性能なタブレット端末（以下、高性能タブレット端末：Apple社製iPad Pro）、および、メガネ型端末の3種類を使用した。

##### 4.3 実験結果

実験結果をTable 2示す。なお、同表のずれ量は、X方

向では右側を+, Y方向では奥側を+とした。

一般機の結果は、Y方向へのずれ量が大きく、屋内と屋外でずれ量に大幅な差異が生じた。また、首振りの有無について比較すると、首振り無しのケースでは+側へずれが生じたが、首振り有りのケースでは-側へずれが生じた。この結果から、一般機は屋内外の差異や運用条件による影響が大きく、高精度にMRを実施するためには、マーカーによる位置補正の間隔をより短くした方が良いことがわかった。

高性能タブレット端末の結果は、首振り無しのケースにおいて、一般機に対してずれ量が小さくなった。また、屋内外を問わず概ね同程度のずれ量を示しており、高性能タブレット端末に搭載された赤外線センサーによりMRの重ね合わせ精度が向上したことがわかる。一方、首振り有りのケースでは、一般機と同様にY方向一側へのずれ量が大きくなった。この結果から、一般機を含めたタブレット端末は、メガネ型端末と比較して使用者の挙動に対する追従性が低く、重ね合わせ精度が低下しやすいことがわかった。

メガネ型端末の結果は、いずれのケースにおいてもずれ量が少なく、実用的な精度でMRを実施できることがわかった。

今後、現場適用の際は屋内外の差異や運用条件を加味し、これらの結果を元に最適なMRデバイスを推奨する。また、タブレット端末を利用する際には、MRの重ね合わせ精度が低下しにくい運用を検討していく。

### 5. まとめ

本論文ではMRを活用した品質管理システム「holonica」の内、追加機能の一つであるビューモードを用いて工事現場での様々なシーンへ適用した事例をまとめた。これらの適用結果から、MRデバイスの重ね合わせ精度がシステムの利便性に大きな影響を及ぼすことがわかった。そこで、3種類のMRデバイスによる重ね合わせ精度を検証し、その結果についても言及した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 様々な工事にてMRを適用した結果、躯体工事や鉄骨製品検査での利用例では品質の向上効果、墨出しでの利用例では省力化効果、着工時に現地で完成建物を体験する利用例では発注者との合意形成の促進効果がそれぞれ得られた。
- 2) 屋内外や使用者の挙動をパラメータとしてMRデバイスの重ね合わせ精度を検証した結果、メガネ型端末では屋内外の差異や運用条件を問わず高い精度でMRを実施できた。一方、高性能タブレット端末では、端末を進行方向に向けたまま移動するケースにおいて高い精度を示したものの、端末を左右に動かしながら移動するケースでは、MRモデルのずれ量が大きくなった。

現場適用や検証実験を通じ、重ね合わせ精度や位置補正方法に関する課題が得られたことから、今後はこれらを改善していく予定である。

Table 1 MRデバイスの比較  
Comparison of MR Devices

	タブレット端末 ※一般機 Apple社製iPad mini	高性能 タブレット端末 Apple社製iPad Pro	メガネ型端末 Microsoft社製 HoloLens2
外見			
センシング能力	△ 単眼カメラ+IMU	○ 単眼カメラ+IMU +赤外線センサー (LiDAR)	◎ 複眼カメラ+IMU +赤外線センサー
重ね合わせ時の没入感	△	△	◎
映像の見やすさ	○	○	△ 直射日光下で映像 が見づらい
バッテリー	○	○	△
価格	◎	○	△
操作の容易性	◎	◎	△
備考	運用時は両手がふさがる		運用時は ハンズフリー

※タブレット端末との違いを赤字で記載

Table 2 実験結果

端末	環境	首振り	1回目 (mm)		2回目 (mm)		3回目 (mm)		4回目 (mm)		5回目 (mm)		ずれ量の 平均値 (mm)	
			X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
タブレット	屋内	無	54	1187	120	1357	15	2073	117	2029	78	1504	77	1630
		有	6	-631	-113	-309	47	0	368	-13	314	-557	124	-302
	屋外	無	-36	974	28	880	58	784	-28	1077	-12	831	2	909
		有	187	-1741	280	-1087	166	-1040	180	-1175	-194	-1286	124	-1266
高性能タブレット	屋内	無	66	-61	85	-143	78	-108	68	-13	79	-53	75	-76
		有	138	-629	264	-978	83	-582	121	-831	172	-1071	156	-818
	屋外	無	-5	-130	-14	-154	0	-80	-3	-182	-11	-166	-7	-142
		有	65	-661	78	-809	-6	-592	68	-749	3	-723	42	-707
メガネ型	屋内	無	71	-61	53	-100	100	-110	90	-118	70	-120	77	-102
		有	80	-96	31	-95	68	-105	25	-101	80	-99	57	-99
	屋外	無	-51	-24	-31	-4	30	-11	-31	-21	-73	-26	-31	-17
		有	-20	-21	-26	-33	-29	-51	-40	-52	-39	-43	-31	-40

### 参考文献

- 1) 西澤秀喜：携帯端末を利用する施工実習用教材群の開発と評価，日本建築学会環境系論文集，Vol. 82，No. 740，pp. 905-913，2017.10
- 2) 中村允哉，他2名：MRを活用した品質管理システム「holonica」の開発，大林組技術研究所報，No. 85，2021