

## MR 技術による現場施工支援技術の構築と適用事例の紹介

## クレーン作業における電波干渉回避

山口 福太郎\*1・檜原 悠\*2・小原 孝之\*1・小林 信裕\*1・丸山 勇祐\*1・並木 昭人\*3

## Development of on-site Construction Support Technology by MR Technology and Introduction of an Application Example

Fukutaro YAMAGUCHI, Yu KASHIHARA, Takayuki OBRA, Nobuhiro KOBAYASHI, Yusuke MARUYAMA, Akihito NAMIKI

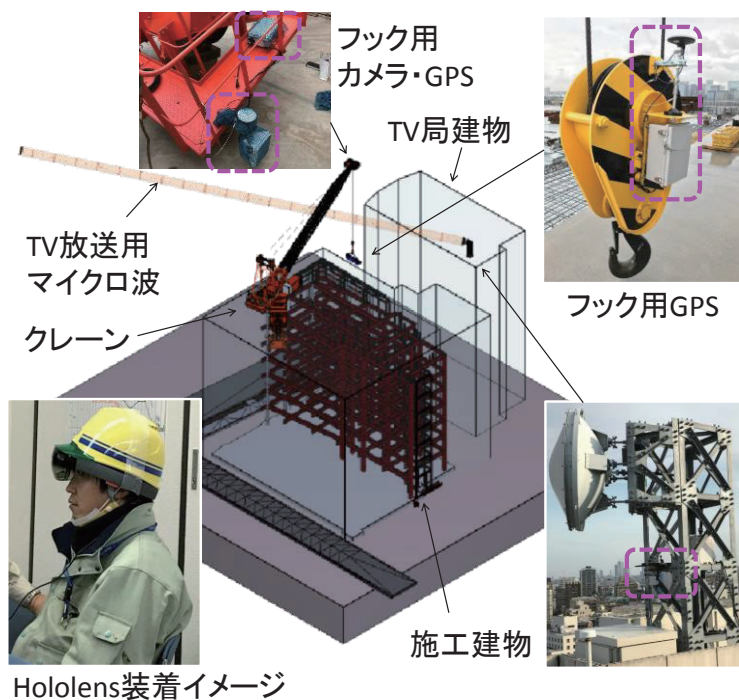


図-1 技術概要

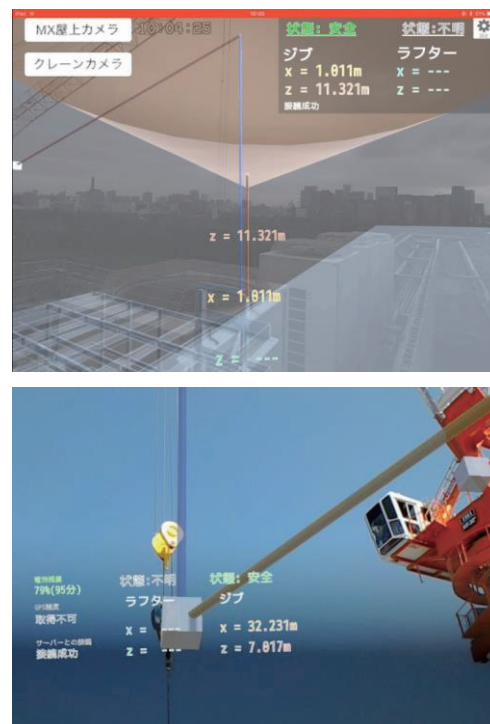


図-2 スマートデバイス画面

## 研究の目的

近年、AR・MR・VR等の現実には存在しないものを可視化するリアリティ技術は、様々な分野で利用されるようになってきている。これらのリアリティ技術は、建設業界においても利用されつつあり、センサー計測値や図面・BIMの仮想情報を施工現場で表示するシステムの開発が進められている。本報告では、実施工現場のクレーン作業において隣接建物から発せられるマイクロ波の電波干渉を防ぐシステムにMR技術を活用した事例を紹介する。

## 技術の説明

建設現場に隣接する放送局のアンテナから発せられるマイクロ波にクレーンブームや吊荷の干渉を回避するシステムを、MR技術を活用して開発した。クレーンの各部に設置された衛生測位端末の位置情報をもとに、クレーンとマイクロ波の離隔距離をリアルタイムに計算し、離隔距離に応じて警告する。また、作業者が視覚的に離隔距離を認識できるよう、施工建物とクレーン、マイクロ波の3D-CADから構成されるBIMをスマートデバイス（タブレット端末、スマートグラス等）上に実寸大でMR表示し、マイクロ波とクレーンの離隔距離を可視化する。

## 主な結論

- MR技術と高精度測位技術を現場施工に適用し、クレーン作業における危険回避や施工の合理化に役立てた。
- 開発システムについて、市街地でのGNSS測位精度・スマートデバイス使用性等の課題を抽出した。

\*1 本店 技術研究所  
\*3 東京建築支店

\*2 本店 土木設計部

# MR技術による現場施工支援技術の構築と適用事例の紹介

## クレーン作業における電波干渉回避システム

山 口 福太郎<sup>\*1</sup>梶 原 悠<sup>\*2</sup>小 原 孝 之<sup>\*1</sup>小 林 信 裕<sup>\*1</sup>丸 山 勇 祐<sup>\*1</sup>並 木 昭 人<sup>\*3</sup>

### 要 旨

近年、AR・MR・VR等の現実には存在しないものを可視化するリアリティ技術は、様々な分野で利用されるようになってきている。建設業界においても、これらのリアリティ技術が利用され始められており、施工現場で簡単に図面（仮想空間）と実施工状態（現実空間）を組み合わせで可視化することに用いられたりしている。本報告では、MR技術を用いて実施工現場のクレーン工事において隣接建物から発せられるマイクロ波の電波干渉を防ぐシステムを開発し適用した事例を紹介する。

開発したシステムでは、クレーンの各部に設置された衛星測位端末の位置情報をもとに、クレーンとマイクロ波の離隔距離をリアルタイムに計算し、離隔距離に応じて警告する。また、作業者が視覚的に離隔距離を認識できるよう、施工建物とクレーン、マイクロ波の3D-CADから構成されるBIMをスマートデバイス（タブレット端末、スマートグラス等）上に実寸大でMR表示し、マイクロ波とクレーンの離隔距離を可視化する。

MR技術と高精度測位技術を活用したシステムを現場の施工に活用し、危険回避や施工の合理化に役立てるとともに、衛星測位端末を障害物の多い都市部で用いる場合測位精度低下、スマートデバイスの屋外利用等の課題を抽出した。

キーワード MR技術／高精度RTK-GNSS／クレーン工事／電波干渉／スマートデバイス

### 目 次

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1. はじめに          | 4. 電波干渉回避システムの課題 |
| 2. 適用現場とマイクロ波の概要 | 5. まとめ           |
| 3. 電波干渉回避システムの概要 |                  |

### DEVELOPMENT OF ON-SITE CONSTRUCTION SUPPORT TECHNOLOGY BY MR TECHNOLOGY AND INTRODUCTION OF AN APPLICATION EXAMPLE

**Fukutaro YAMAGUCHI**  
**Takayuki OBARA**  
**Yusuke MARUYAMA**

**Yu KASHIHARA**  
**Nobuhiro KOBAYASHI**  
**Akihito NAMIKI**

#### Synopsis:

Recently, reality technology (AR, MR, VR, etc.) to visualize virtual objects in real space, has come to be used in construction industry. We developed a system to prevent construction crane from interfering with the microwave emitted from the antenna of the broadcasting station adjacent to the construction site utilizing MR (Mixed Reality) technology. In the developed system, based on the position information by GNSS terminal installed in each part of the crane, the separation distance between the crane and the microwave is calculated in real time, and the invisible microwave image is superimposed on the real image with the separation distance. In this report, we introduce installation of this system to a real construction site with crane work.

\* 1 本店 技術研究所

\* 2 本店 土木設計部

\* 3 東京建築支店

## 1. はじめに

近年、AR・MR・VRに代表される現実には存在しないものを可視化するリアリティ技術が、ゲーム等のエンターテインメント分野だけでなく製造業や物流業など様々な分野で利用されるようになってきている。

AR (Augmented Reality) は「拡張現実」と呼ばれ、現実空間の一部にデジタル情報を付与することで、仮想情報を現実空間に反映（拡張）する技術である。VR (Virtual Reality) は「仮想現実」と呼ばれ、現実空間を模擬して作られたデジタルの仮想空間の中で仮想的に実在を疑似体験できる技術である。MR (Mixed Reality) は「複合現実」と呼ばれ、ARとVRの両方を組み合わせた技術とされている。MRの最大の特徴は、深度センサーやカメラ等により認識した現実空間にある物体の位置情報をもとに、現実空間と仮想空間の相互の位置関係を考慮したうえで仮想情報を現実空間上に表示できることであり、ARより適切に情報を可視化することが可能である。

これらのリアリティ技術は、建設業界においても利用されつつあり、センサーの計測値や図面、BIMといった仮想情報を施工現場で表示するシステムの開発が各社で進められている<sup>2)</sup>。

本報告では、実施工現場のクレーン作業において隣接建物から発せられるマイクロ波の電波干渉を防ぐシステムにMR技術を活用した事例を紹介する。

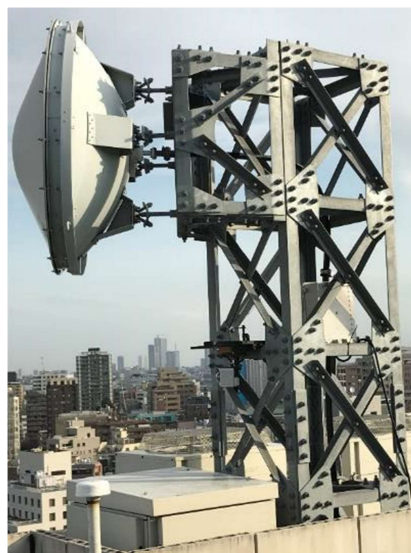


写真-2 マイクロ波を出す放送局アンテナ

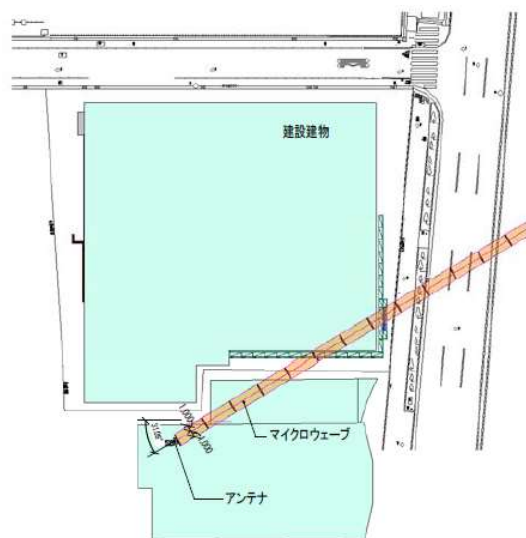


図-1 計画建物とマイクロ波の位置関係（平面図）

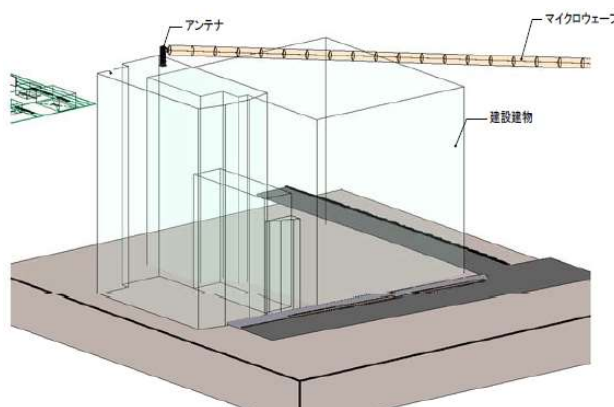


図-2 計画建物とマイクロ波の位置関係（3D）



写真-1 システム導入現場の新築建物外観

## 2. 適用現場とマイクロ波の概要

クレーン作業におけるマイクロ波への電波干渉を回避するシステム（以下、本システム）を導入した現場の概要と、マイクロ波と電波障害を起こす可能性のあるクレーンとの関係について説明する。

写真-1に本システムを導入した計画建物の現状の外観写真を示す。計画建物は、東京都内に建設されるS造7階建ての事務所ビルであり、放送局に隣接している。放送局の屋上には放送用アンテナ（写真-2）が設置されており、東京スカイツリーに向かってマイクロ波が発信されている。

計画建物とマイクロ波の位置関係を図-1と図-2に示す。マイクロ波の通信範囲はアンテナ中心から半径1mであり、この範囲内にクレーン先端や吊り荷、ケーブルが侵入す

ると放送障害を生じさせる可能性がある。よって、マイクロ波に接近する作業（以下、近接作業）時にはクレーン等の資機材がマイクロ波の通信範囲に侵入しないようにこれらの離隔距離を管理する必要がある。マイクロ波に最も接近する作業は、ラフタークレーン、および、タワークレーンを用いて施工部材を据え付け位置まで移動させる作業であり、この時、マイクロ波の中心から約 2m まで資機材が接近する。図-3 にラフタークレーンによる施工作業時、また、図-4 にタワークレーンによる施工作業時の位置関係を示す。

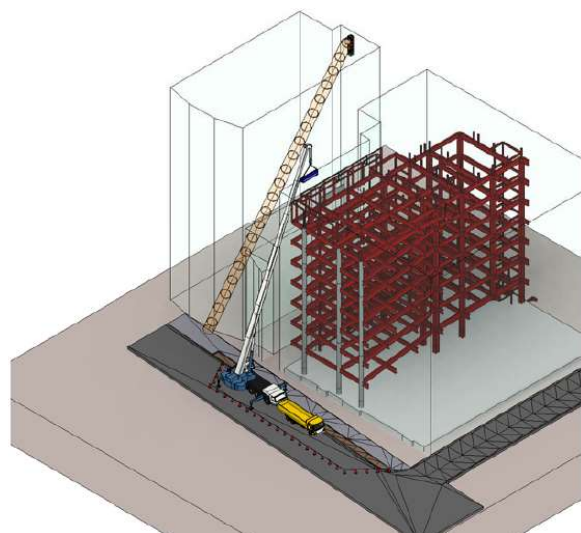


図-3 ラフタークレーンとの位置関係（前面道路配置）

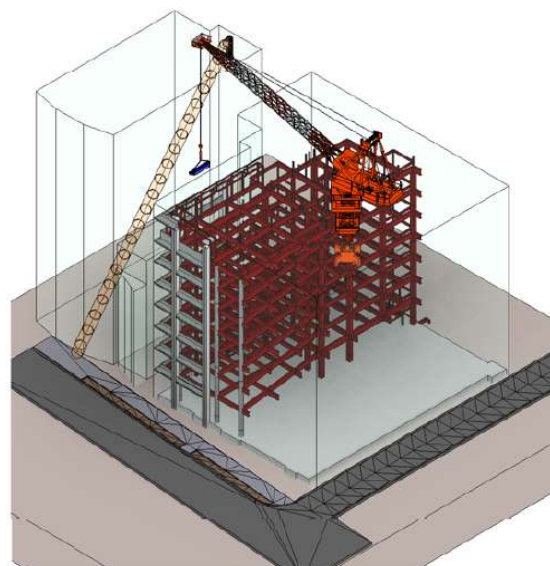


図-4 タワークレーンとの位置関係

### 3. 電波干渉回避システムの概要

クレーン作業におけるマイクロ波への電波干渉を回避することを目的に開発、実施現場へ導入した本システムの概要を図-5 に示す。

本システムでは、マイクロ波の通信範囲（1m）に注意範囲（1m）を加えた半径 2m の円筒で目視できないマイクロ波を BIM 上に再現するとともに、実空間におけるクレーン各部の位置情報を高精度 RTK-GNSS（Realtime

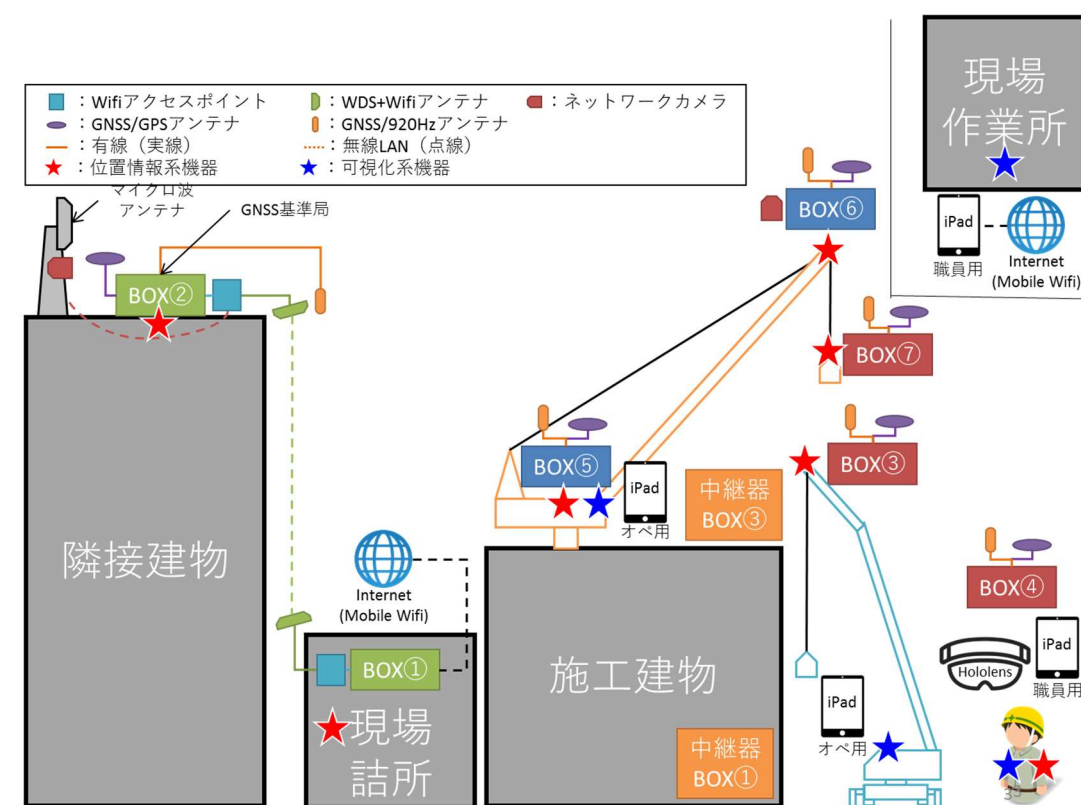


図-5 クレーンによる電波干渉回避システムの概要

Kinematic - Global Navigation Satellite System：リアルタイムキネマティック全球測位衛星システム）<sup>3)</sup> から求め、これらの情報を組み合わせることで資機材とマイクロ波との離隔距離を算定する。この情報をもとに監視者やクレーンオペレータに警報を発砲するとともにスマートグラスやタブレット端末上に離隔距離や位置関係を MR 表示する。

RTK-GNSS は、基準局と移動局から構成され、基準局と移動局の相対的な位置座標を取得することができる。本システムでは、放送局屋上（図-5 中 Box②）に基準局を設置し、ラフタークレーン先端（Box③）、タワークレーンの基部（Box⑤）・頂部（Box⑥）・フック（Box⑦）、および、監視者（Box④）に移動局 5 台を設置した。各 GNSS 機器から出力される測位情報を現場内に構築した本システム専用の無線 LAN により現場内サーバ（Box①）に集約して個々の相対座標を求め、これを BIM 空間座標に変換して資機材とマイクロ波との離隔距離を計算する。なお、監視者の移動局（Box④）は、スマートグラスを装着した現場職員の位置情報の取得を目的としたものであり、現場内を移動しながらマイクロ波との離隔距離を監視することができる。写真-3 にタワークレーンフック部の移動局（Box⑦）の設置例を示す。



写真-3 タワークレーンフック部分の GNSS

GNSS の測位情報と BIM から計算されたクレーンとマイクロ波の離隔距離の情報は、現場職員およびクレーンオペレータに配布したスマートグラスやタブレット端末でリアルタイムに確認することができる。また、近接作業時に離隔距離が閾値（マイクロ波の中心から 2m）以内となった場合には、アラーム音と画面の点滅により端末使用者に注意を促す。



写真-4 iPad 表示画面（定点カメラ）



写真-5 iPad 表示画面（クレーンカメラ）

タブレット端末は Apple 社製 iPad pro を用いており、離隔距離の数値の他にマイクロ波送信用アンテナ付近に設置した定点カメラとタワークレーン先端に下向に設置したクレーンカメラの各映像に BIM やクレーン各部の位置、離隔距離の情報を重ね合わせた情報を MR 表示する。写真-4 に定点カメラ、写真-5 にクレーンカメラの MR 表示例を示す。これら 2 つの MR 表示は画面左上のボタンで切り替えることができ、タブレット端末を利用する現場職員およびクレーンオペレータは、マイクロ波とクレーンの位置関係を視覚的に確認しながら施工作業を進めることができる。また、上記の MR 表示は、インターネットから現場内サーバに VPN 接続されたタブレット端末からも確認することができ、計画敷地から離れた現場事務所や本支店から施工作業を監視することもできる。

スマートグラスは Microsoft 社製の Hololens<sup>1)</sup> を用いており、装着した現場職員の視野にマイクロ波や施工建物の BIM やクレーン各部の位置、離隔距離の情報を重ねて MR 表示する。写真-6 に Hololens、写真-7 に Hololens の装着例を示す。Hololens は、シースルースクリーンに仮想情報を投影して現実空間と重ね合わせる“シースルー型”、デバイス内部に周囲の空間情報を取得する環境セ

センサーを内蔵する“インサイドアウト方式”，Windows10を搭載する“PC 一体型”のスマートグラスに分類される。また，1つの深度センサー，4つの環境認識カメラ，ジャイロ等から構成される環境センサーにより現実空間を3D スキャンし，リアルタイムに自己位置の推定と環境地図を作成する Visual-SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術を搭載する。基本的な操作は，無線接続されたコントローラやキーボードの他に，頭の向きと手先のジェスチャーの組合せ，または，音声だけでも可能であり，ハンズフリーでの運用も可能である。さらに，Hololens が参加するネットワークを通して遠隔のパソコン等の画面上に装着者が見ている MR 空間を共有表示することもできる。このように Hololens は，デバイス単独で非常に高度な処理を実行できることから，本システムのような建設現場に要求される利用者の位置や目視方向に制限のない MR 表示やハンズフリー操作といった要求を容易に実現できる。



写真-6 Microsoft Hololens



写真-7 Hololens 装着イメージ

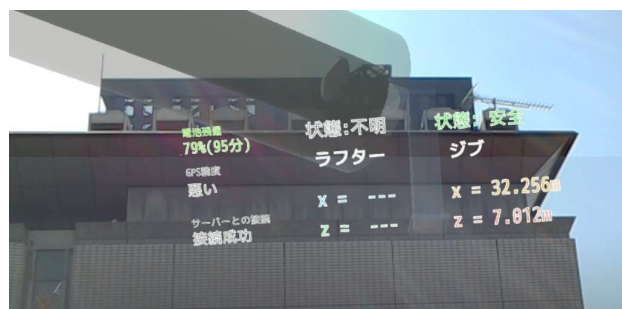


写真-8 Hololens 装着者の MR 表示例  
(マイクロ波の可視化)

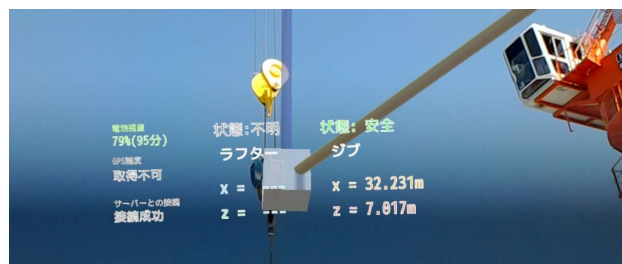


写真-9 Hololens 装着者の MR 表示例  
(離隔距離の可視化)

#### 4. 電波干渉回避システムの課題

今回，本システムを実施工現場へ適用することにより BIM やスマートデバイスを利用した MR 技術を建設工事に活用できることが確認できた。その反面，適用していく中で現場特有の適用課題がいくつか抽出された。

確認された課題の中で最も大きな課題は，都市部の建設現場では GNSS による測位精度の確保が困難であり，離隔距離計算の誤差や MR 表示にズレが生じてしまうことである。図-7 にある1日の施工時間帯（8～17 時）におけるタワークレーンの先端とフック部の GNSS の測位精度の発生割合を示す。GNSS の測位精度は，Autonomous（単独測位），Float，Fixed で表現され，Autonomous は数 m 以上，Float は 20cm～数 m，Fixed は数 cm の測位誤差を含む状態を表す<sup>4)</sup>。図から明らかに，Float の割合が多くを占め，Fixed は少ない結果となった。GNSS は人工衛星から送信される時間情報のズレから地球上の位置を特定する都合上，高精度測位には天球の広い範囲から十分な個数の人工衛星の電波を各 GNSS 機器がダイレクトに受信する必要がある。しかし，今回の計画敷地は都市部に位置し周囲を高層建物が取り囲んでいることから，人工衛星の個数は複数ではあったが限られた範囲の電波しか受信できなかった可能性が高い。また，GNSS 移動局の周辺に電波を反射する高層建物や建設資材（鉄骨，デッキプレート等）があり，GNSS 移動局が反射波を受信するマルチパスが発生し易い環境と言える。このように現状の都市部の建設現場は GNSS による高精度測位には非常に厳しい環境であり，Float から Fixed に移行し難い環境であったと考えられる。本システ

ムのように GNSS 測位を利用する場合、現状では上記課題の回避は難しいが、今後整備が予定されている準天頂衛星システムに期待するとともに、他の測位技術との組み合わせが必要である。

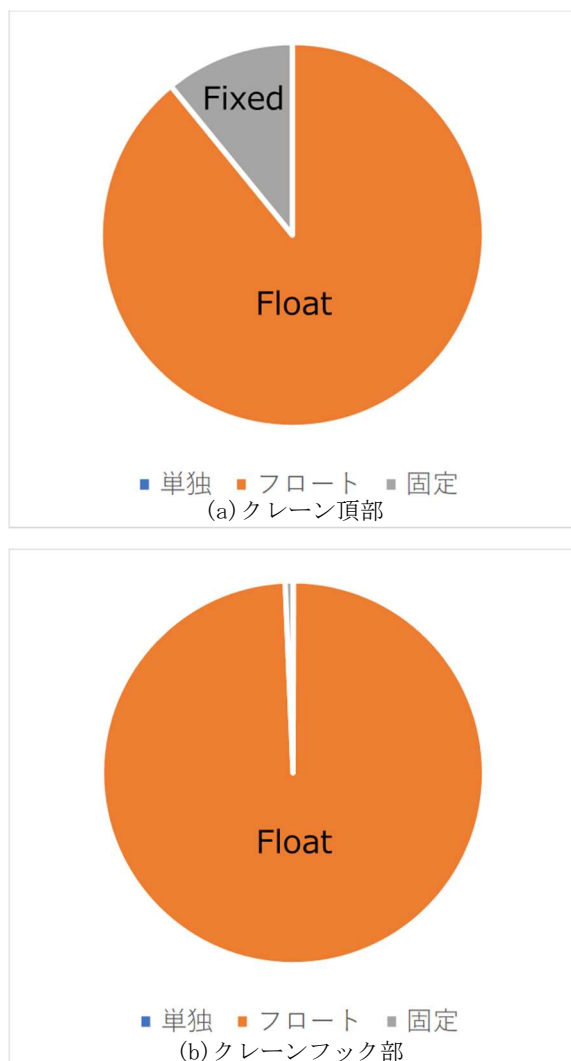


図-6 GNSS の状態

またその他に確認された課題は、スマートグラスとして採用した Hololens のハード的な性能に関するものである。Hololens は、高度処理をコンパクトな Hololens 単独で実現可能であるものの、日射が直接当たる環境下や周囲が 30℃を超えるような環境下では熱暴走して動作を停止してしまう場合があった。また防塵防水には対応しておらず雨天時にはほとんど使用できない状況であった。

さらに、ヘルメットとの同時装着が想定されておらず、同時装着には Hplolens の固定バンドやヘルメットの顎紐の装着方法を工夫しつつ時間をかけての装着が必要であった。これは Hololens がある程度整った室内環境下での使用を想定して作られた製品であり屋外使用は想定されていないためではあるが、昨今、製造業向けのソリューションも急速に増加傾向であることから、上記のような環境に対応した新製品の発売に期待したい。

その他に苦労した点として、施工建物の上空や建物の隙間を 3 次元的に空中移動するクレーンに対し、水平方向、垂直方向ともにくまなく広がる無線 LAN 環境を整備する必要があったことが挙げられる。今回の導入では、複数のアクセスポイント、中継器を設置した上で、適宜指向性アンテナを使用することで解決を図ったが、実施工現場において無線 LAN 環境を構築する際には事前に十分な検討、対策が必要である。

## 5. まとめ

タブレット端末やスマートグラスといったスマートデバイス上に、カメラや GNSS 等で取得した現実空間の情報と BIM や計測値等の仮想情報とを重ねて表示する MR 技術を用いて、実際には目視できないマイクロ波を可視化してクレーンによる電波干渉を回避する、施工作业支援システムを開発した。また、これを実施工現場へ適用し、MR 技術が建設現場に適用可能な技術であることを確認するとともに、実使用環境下における課題を抽出した。その結果、市街地の建設現場では GNSS の測位精度の確保が困難であり他の測位システムと組み合わせる必要があること、スマートデバイスにはハード的なスペックが要求されること等の課題が抽出された。

## 参考文献

- 1) 法人向け Microsoft HoloLens Japan：導入事例，<https://www.microsoft.com/ja-jp/business/hololens/>
- 2) 矢吹信喜：VR, MR, AR の基礎と建設分野への適用について，JACIC 情報，Vol. 26, No. 3, pp. 5-16, 2011.
- 3) マゼランシステムズジャパン：高精度 GNSS RTK ソリューション，<http://www.magellan.jp/item/index1.html>
- 4) 近津文博，空間情報工学概論，日本測量協会，pp.91-93, 2005.8.