

3次元リアルタイム計測を適用した遠隔管理システムの開発（4） ー 5Gクラウド処理モデル試行によるシステム実用化の実証 ー

清水建設（株） 正会員 ○小林 由佳 矢萩 良二
古木 弘 戸栗 智仁
（株）エリジオン 非会員 池垣 憲之介 渡辺 友彦
NTT コミュニケーションズ（株） 非会員 菅野 崇亮 兼子 陽一

1. はじめに

放射性廃棄物の地層処分事業では、廃棄体を定置する作業段階以降、様々な装置に遠隔操作が求められている。具体的には、処分坑道内で廃棄体の搬送・定置、埋め戻しを行う装置は、放射線防護の観点から遠隔操作が必要となる。

本開発では、高精度の3Dスキャナ（以降、静的センサと称す.）とリアルタイム計測が可能な3Dスキャナ（以降、動的センサと称す.）の両者の点群データをシステム上で重ね合わせてリアルタイムに差分表示する機能を開発¹⁾²⁾し、この機能を起点に遠隔管理システムとしての適用範囲拡大に取り組んできた³⁾。今回、開発した各機能の実用化に向けて5Gクラウド処理モデルを用いた無線通信試験を行い、安全・安定な大容量・リアルタイム通信を実証したので紹介する。

2. 遠隔管理システムのコンテンツ

遠隔管理システムは機能の拡充に伴い、品質管理コンテンツと安全管理コンテンツに分けて開発を進めており、本節ではその概略を紹介する。

1) **品質管理コンテンツ** 品質管理コンテンツには、施工管理や検査への対応を目的とした差分表示機能、土量計算機能を格納した。また、静的センサと動的センサの2種類の点群データを自動で重ね合わせることで、動的センサを移動させても整合性のあるスキャンデータを取得すること、など実用化に向けた対応を目的とした重ね合わせ自動化機能、トータルステーション（TS）を用いた動的センサの自己位置推定機能を格納した。

2) **安全管理コンテンツ** 安全管理コンテンツには、坑道など、照度が不足する環境での安全確保を目的に、人影検出機能を格納した。事前に人が写った点群データにラベル付けを行い教師データを作成、AI学習により画像認識精度を高めた。今年度は、Early stopping手法を用いて過学習を防止した結果、物体検出に使用される評価指標AP（Average Precision）値は0.201まで上昇した（改善前のAP値は0.104）。

3. 5G回線を使用したクラウド処理モデルの概要

本遠隔管理システムは、静的センサが有する高精度の点群取得、動的センサが有するリアルタイムの点群取得、といった特長を利用したため、通信に対する負荷が大きくなった。この課題に加えて、原子力関連施設での使用を考慮したセキュアな通信環境であること、クライアント環境（PC性能など）に依存することなく大容量かつ高速な処理を実現すること、無線通信を実現すること、の3つの条件を満足するクラウド処理モデルを構築した（図-1）。

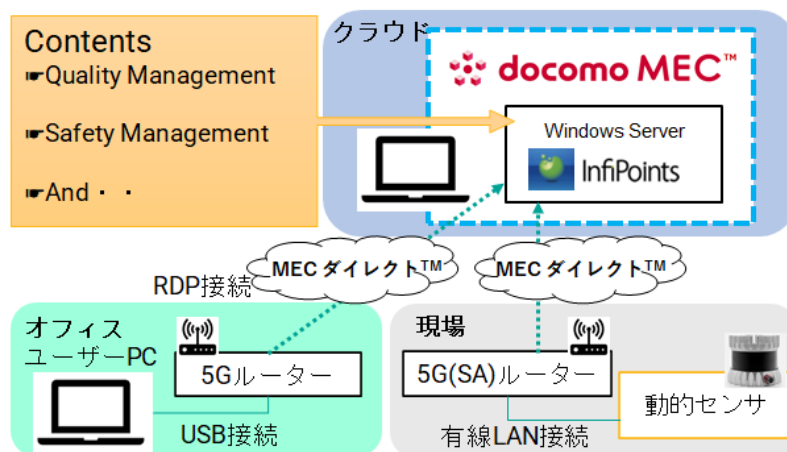


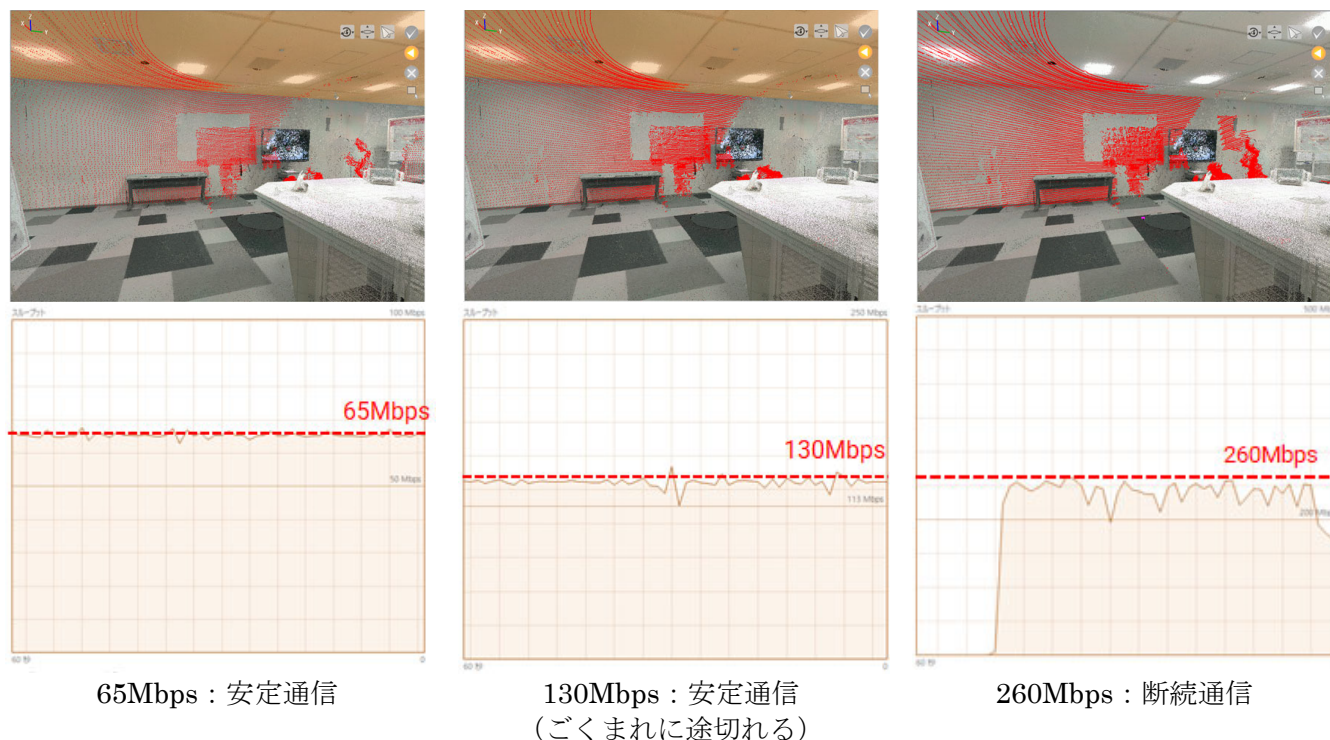
図-1 5G回線を使用したクラウド処理モデルの概要

キーワード 放射性廃棄物、遠隔操作、5G、クラウド処理、LiDAR、3Dスキャナ

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 清水建設（株）土木技術本部バックエンド技術部 Tel：(090)7955-4423

4. 実証試験結果

試験では、「5G 回線を使用したクラウド処理モデル」を用いて各機能の無線通信状態を確認した。通信状態は、動的センサの点群密度に依存するため、低密度から高密度まで3段階の通信量に分けて無線通信試験を行い、通信の安定性で評価した（図-2）。今回使用した動的センサは、最大で260Mbpsの通信量であるが、高密度では通信は安定せず断続的な受信となった。一方、中・低密度（130Mbps・65Mbps）では安定通信が可能であり、無線通信で十分に各機能が利用できることを確認した。



※2022年11月検証時点

図-2 通信状態の評価（各通信量での安定性）

5. 成果のまとめと今後の展開

本開発は、遠隔操作や遠隔による品質管理、安全管理の実現を目指している。今回、各機能の内容については詳述しなかったが、既報³⁾から高度化した機能の一部を紹介する。TSを用いた動的センサの自己位置推定機能は、動的センサに内蔵されているIMU（慣性計測装置）の活用と、TSの自動追尾機能との連携により、動的センサを移動させても整合性のあるスキャンデータを取得可能とした。人影検出機能は、上述の画像認識精度の高度化のほかに、あらかじめ参照点を指定し一定の距離以内に検出される人影についてアラートを出す（色を変える）機能を実装した。

今回、これまで開発してきた各機能の無線通信試験を行い、安全・安定な大容量・リアルタイム通信を実証することができた。今後、5GSA（スタンドアローン）回線がカバーするエリアは拡大することが見込まれる。また、時間当たりの通信量も増大していくことであろう。今後も機能の拡充、高度化を進めるとともに、通信環境の変化に対応した遠隔管理システムの実用化を推進していく。

6. 参考文献

- 1) 矢萩ら：3次元リアルタイム計測を適用した遠隔管理システムの開発（1）遠隔管理システムの全体概要，土木学会第76回年次学術講演会，2021。
- 2) 渡辺ら：3次元リアルタイム計測を適用した遠隔管理システムの開発（2）遠隔管理システムを利用した実証試験，土木学会第76回年次学術講演会，2021。
- 3) 矢萩ら：3次元リアルタイム計測を適用した遠隔管理システムの開発（3）遠隔管理システムの機能拡充，土木学会第77回年次学術講演会，2022。