

# 長距離遠隔施工を目的とした通信規格変換アルゴリズムの確立

井上 洸也\*

Koya Inoue

齋藤 貴之\*\*

Takayuki Saito

## 1. はじめに

生産年齢人口の減少に伴う担い手不足や、地球温暖化による災害の激甚化・頻発化という課題に対して、建設業界では2024年4月、国土交通省が「i-Construction 2.0」を策定した。「建設現場のオートメーション化」が主テーマとして掲げられ、前述した課題に向けた取り組みの指針が示されている。

その中で「遠隔施工技術の推進」<sup>1)</sup>が挙げられており、従来は災害復旧工事での活用が多い遠隔施工を、将来的な省人化・自動施工に向けたステップとして、通常工事へ普及拡大することが求められている。

本稿では、遠隔施工導入に向けた通信技術が抱える課題と解決手法の提唱、さらに現場実証の結果を報告する。

## 2. 建設機械の遠隔操縦システム

遠隔施工が可能な建設機械は各所より販売されている。建機メーカー純正の遠隔操作機能を備えているものだけでなく、通常の機械に遠隔操縦用のロボットや装置を搭載したタイプも利用されている。

遠隔施工システムを搭載している重機には、コントローラ仕様とコックピット仕様が用意されている商品が多い(写真-1, 2)。前者は対象の重機を目視できる位置から操縦者が遠隔操作する。一方で後者は操作室を設けて、室内からモニターを介して遠隔操作する。現場の環境、施工の用途に応じてどちらかを選択するが、それぞれ課題が挙げられる。前者は目視範囲での利用が前提であり、通信距離が比較的短い専用のアンテナがコントローラに内蔵され、長距離の遠隔操作や室内からの遠隔操作に対応するのが難しい。後者は外部アンテナやインターネットを介した通信を採用している場合が多く、通信距離の課題は解決されるが、コントローラ仕様と比較すると、操作室などの設備が大がかりとなり、コスト面で大きく劣る。また複数台を遠隔操縦する場合、操作室に施工台数分のコックピットが必要となり、設置スペースなどコスト面以外にも導入に向けた障壁が高い。

\* 土木事業本部機材部機電課

\*\* 土木事業本部機材部

今回は簡易な設備による遠隔施工を実現するため、コントローラ仕様の遠隔操作システムを採用し、より幅広い条件で使用できるシステムを構築した。



写真-1 コントローラを使用した遠隔操作の例  
(アクティブロボ SAM / コーワテック)



写真-2 コックピットによる遠隔操作の例  
(Tunnel RemOS / 西松建設)

## 3. 特定小電力無線方式による通信の特徴と課題

コントローラ仕様の遠隔操作システムは、特定小電力無線を用いた通信方式が主流である。メーカーや商品によって周波数が異なるが、429 MHz 帯、920 MHz 帯、2.4 GHz 帯を利用しているシステムが多い。

特定小電力無線は、周波数や空中線電力等の条件を満たせば資格や免許が不要で利用できるため、トランシーバーなどの無線機器に広く利用されている。

利用する周波数によって異なるが、オペレータの目視範囲から遠隔で施工する分には十分な通信性能を持っている一方で、送信側と受信側間に障害物があると、通信が途切れてしまう問題がしばしば発生する。そのため室内から操作する場合や、操作場所から施工エリアが見えないほど遠距離である場合は利用できないといった課題がある。

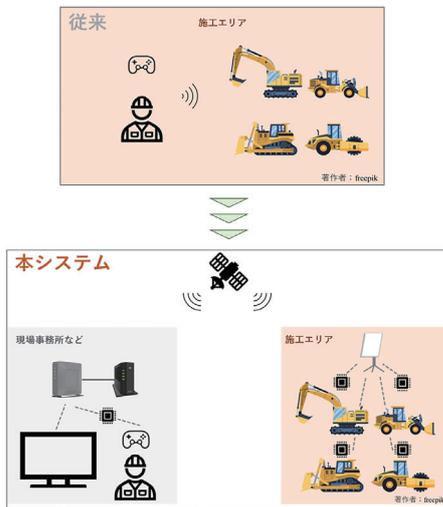
## 4. システムの概要

前述の通りコントローラ仕様の遠隔操作システムでは、建設機械のオペレータが目視できる範囲でなければ遠隔操作ができなかった。そこで今回は、発信される操作信号の通信規格を変換する装置を新たに開発することで、操作コントローラと重機の両方をインターネット通信環境下に置くシステムを構築した。これにより距離に関係

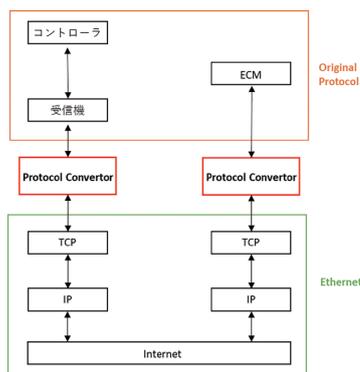
なく遠隔地の重機を操縦できる遠隔施工を実現する(図一)。

開発した装置は、マイクロコントローラ(マイコン)を搭載しており、通信規格の変換のほか、通信障害による誤操作防止機能及び通信負荷の軽減機能を備えている。

図一2に示すように、コントローラから発信された操作信号はEthernetに変換されインターネット通信が可能となり、TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)を利用したパケット通信によって伝送される。遠隔操縦する重機には無線LANアンテナ等を搭載してインターネットに接続、コントローラから発信された操作信号を受信する。受信した信号は重機側に搭載したマイコンによって元の規格に再変換され、ECU(Electronic Control Unit)等に伝送される。また重機が複数台にわたる場合には、重機側の装置からコントローラ側の装置のIPアドレスを指定することでコントローラを特定し、対象の重機に対して遠隔操縦を指令できる。



図一 インターネットを利用した遠隔施工



図一2 通信システム系統図

5. 長距離遠隔施工の試行

本システムは、弊社で施工中の現場の協力の下、実証を行った。施工現場内にある機械を、約5km離れた現場事務所からインターネットを利用し遠隔で操作した(写真一3)。機械はCaterpillar社の遠隔操作システム

「CAT® Command」が搭載された油圧ショベル(0.8m級)を使用した。現場事務所のコントローラ(写真一4左)から発信された信号は、重機から取り外されて事務所内に配置した受信機(写真一4右)へ送られ、受信機から本システム内のマイコンにて信号が変換され、インターネット上へ送信される。今回は、事務所側は光通信、施工現場側にはStarlink(低軌道衛星通信)によるインターネット通信が整備されており、それを利用して重機と通信する形とした。重機は走行・旋回・作業の全てを遠隔で動作することを確認できた。本実証は、カメラ映像による遠隔操作の経験があるオペレータによる実証を行っており、従来の遠隔操作と比べて大きな遅延を感じることなく操作できることを確認した。



写真一3 現場事務所から長距離遠隔操縦の様子



写真一4 送信機(コントローラ)および受信機

6. まとめ

遠距離からのカメラ映像を用いた遠隔施工を行うには、従来は大掛かりな設備投資が必要となるが、今回の結果から低コストおよび簡易な設備で行えることを実証できた。本システムの導入を検討することで、遠隔施工導入時のコストや通信環境による制限が緩和されると考えている。従来は人の立ち入れない災害復旧現場など、限定された場面でしか使用機会の無かった遠隔施工について、本検証結果を受けて導入の障壁が一つ取り除かれ、通常施工においても選択肢の一つとなることを期待する。

今回はシステム構築と正常な通信・動作を確認したが、今後は実施工への適用、および施工効率の向上へ向けたシステムの研鑽を継続していく所存である。

末筆ながら、本開発および実証にご協力いただいた関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

1) 国土交通省, 2024, 「i-Construction 2.0 ~建設現場のオートメーション化~」, (2025-01-09 参照), <https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf>,