

産学連携による 5G を活用した重機の遠隔操縦システムに関する検討

埴田 翔

金沢工業大学（石川県野々市市）、㈱ヨシカワ（石川県金沢市）、㈱NTT コミュニケーションズ（東京都千代田区）による産学連携での 5G を活用した重機の遠隔操縦システムに関する共同研究成果について報告する。

本研究では、5G（第5世代移動通信システム）/LTE（Long Term Evolution）若しくは LAN において構成したメッシュ Wi-Fi 網を用いて、重機全周囲の高画質な映像情報並びに重機の操縦信号を低遅延に伝送することにより、重機の遠隔操縦に際して、直接的な目視の併用を要さずに、操縦を行うことができる遠隔操縦システムを構築した。また、実証実験により構築した遠隔操縦システムの有効性等を確認した。
キーワード：重機、遠隔操縦、5G（第5世代移動通信システム）、自由視点俯瞰映像

1. はじめに

日本の国土は約7割が山地・丘陵地で占められており、山間地での降雨が河川に集中することで、融雪、梅雨や台風や、近年ではゲリラ降雨等の大雨により、洪水や土砂災害等がたびたび発生している。また、土砂災害を防ぐために、砂防ダム等の建設・メンテナンス等が行われているが、そのような現場では、地盤が不安定であり、有人での作業に危険が伴う場合や危険度が高く有人での作業が制限されているのが現状である。

また、建築業界では、担い手の確保、生産性向上が大きな課題となっており、国土交通省においても、それらの課題の解決を目指し、ICT（Information and Communication Technology）を建設現場に導入することによって、生産性の向上、建設現場の魅力向上を目指す取組として、国土交通省は、i-Construction を推進している。

建機レンタルの㈱ヨシカワは、砂防ダム等で利用される重機レンタルにおいて、無人施工重機にカメラを設置して、直接的な目視を伴いながら、数百メートル程度離れた遠隔地から安全に作業ができるヨシカワ独自の遠隔重機ソリューション（以降、従来システムという）を提供している。

しかしながら、従来システムにおいては、重機の周囲の状況等をカメラ映像のみでは詳細に把握することが難しく、直接的な目視を併用する必要がある、直接的な目視を伴わない遠隔操縦は難しい状況であった。

また、従来システムでは、直接的な目視を併用するため、距離が離れば離れるほど、目視による重機の周囲の状況を把握することが難しくなり、遠隔操縦できる距離や範囲の制約や作業効率の低下が課題となっていた。

2. 目的

本研究においては、安全かつ効率的に重機と遠隔操縦するオペレータとの距離に関係なく、遠隔からの重機での作業を実現するために、直接的な目視を必要としなくとも重機を遠隔操縦することができるシステムの構築を目標としている。具体的には、5G（第5世代移動通信システム）並びに LAN（Local Area Network）内に構築したメッシュ Wi-Fi による高速・大容量通信環境により、重機全周囲（360度）の高画質な映像情報並びに重機の操作信号を低遅延に伝送することにより、遠隔地にいるオペレータが操作する重機の周辺状況を詳細に把握することを可能とする。これにより、重機オペレータが、遠隔地から重機を直接的に目視できない状況において、遠隔地から重機を一定の生産性を維持しつつ操縦できるシステムを構築する。また、金沢工業大学白山麓キャンパスの実験用フィールドを活用し、オペレータが重機を直接目視出来ない状況においても、本研究において構築したシステムにより、重機を遠隔操縦することができることを実証実験により明らかにする。

3. 遠隔操縦システムの構成について

本研究においては、リモコン操作による無人施工対応の重機（日立建機 キャリアダンプ積載量 11.0 t）に、「重機全周囲の高画質な映像情報を取得できる映像システム」並びに「映像を低遅延で伝送する映像伝送装置」を搭載することにより、遠隔操縦するオペレータが、重機を直接的に目視出来ない状況においても、ディスプレイに表示される映像情報により遠隔作業を可能とする遠隔操縦システムを実現している。

重機オペレータが直接的な目視なしで、遠隔地の重機の状況を詳細に把握するために、重機全周囲（360度）の高画質な映像情報をディスプレイに表示する必要がある。

重機の周囲状況を全周囲にわたり高画質に取得するための映像システムには、種々の検討を踏まえて、沖電気工業㈱のリアルタイムリモートモニタリングシステム（以下、本モニタリングシステムと称する）を選定した。

また、オペレータが遠隔地から重機を円滑に操縦するためには、映像並びに操作遅延が少ないことが求められる。映像並びに操作信号を低遅延で伝送するための伝送システムには、種々の検討を踏まえて、㈱ソリトンシステムズのシステムを選定した。

この伝送システムについては、重機側に送信機（以下、送信機と称する）を、遠隔操縦する場所に映像等を受信するワークステーション（以下、受信サーバーと称する）を設置している。本映像伝送システムを利用することにより、低遅延かつ高画質での映像転送を実現している。

本研究において、構築した重機を遠隔操縦するシス

テムを図-1に示す。図-1には、重機側並びに遠隔操縦側のシステムの構成をそれぞれ示している。

重機側については、無人施工対応重機に外部フレームを設置し、前後左右の4つの方向にカメラを設置おり、キャビン内には本モニタリングシステム並びに送信機側を設置している。4つのカメラは、重機キャビン内に設置している本モニタリングシステムに接続されている。4つのカメラ映像は本モニタリングシステムにより合成され、自由視点での俯瞰映像を生成することができる。

本モニタリングシステムで合成された映像は、送信機に入力され、モバイルルーター等（5G/LTEもしくはWi-Fi）を通じて、遠隔操縦側に伝送される。重機の操縦用の信号は、MOXA社のシリアルデバイスサーバーにより、シリアル通信をイーサネット変換し、送信機からモバイルルーター等を通じて、遠隔操縦側と操縦信号の通信が行われる。

遠隔操縦側は、受信サーバー並びにディスプレイ、重機操作リモコン等で構成されている。重機側からの映像はIP通信を介して受信サーバーにより受信され、ディスプレイに表示される。重機操作リモコンからの操作信号は、MOXA社のシリアルデバイスサーバーにより、シリアル通信をイーサネット変換し、受信サーバーからモバイルルーター等を通じて、重機側との操縦信号の通信が行われる。

4. 実験フィールド構築・実証実験

実機重機を用いた実証実験は、金沢工業大学白山麓キャンパスの地方創生研究所／イノベーションハブ（石川県白山市）の実験用フィールドにて実施した。

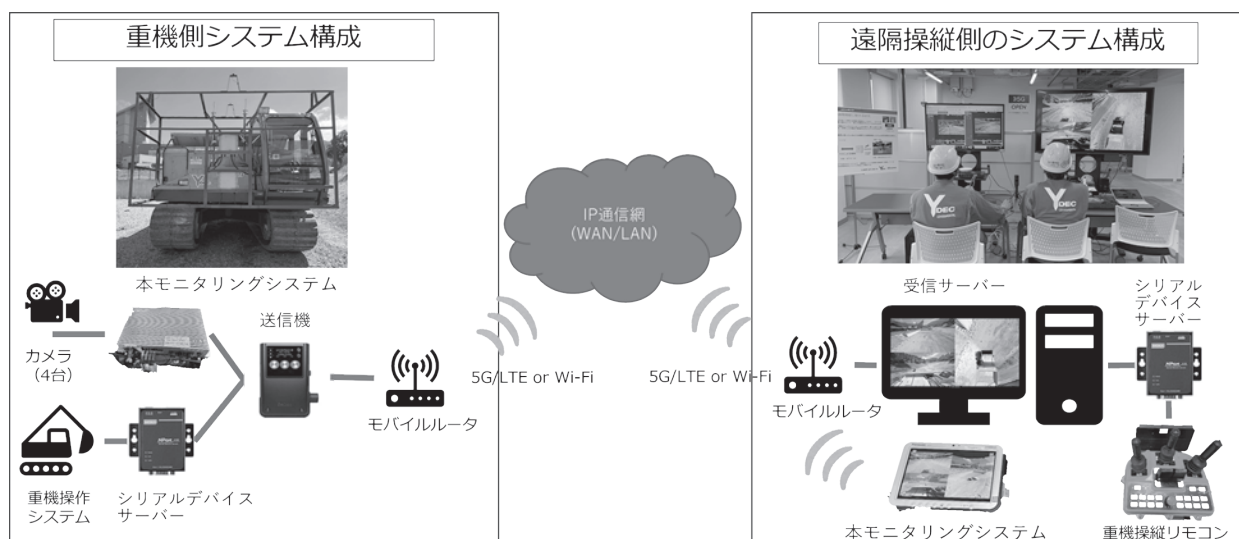


図-1 構築した遠隔操縦システムの構成（重機側および重機オペレータ側）

実証実験用のフィールドには、通信環境として(株)NTTドコモの5G/LTE通信網並びに実際の工事現場等での利用を想定し、無線によるエリア拡張容易性を考慮し、PicoCELA(株)のメッシュWi-Fiによる無線LAN網が構築した。本研究においては、白山麓キャンパスの実験フィールドにロードコーンを配置し、図一2のような試走コース(約200m)を構築している。

本研究では、構築したシステムの有効性を検討するために、図一2のように構築した試走コースを遠隔操縦により、所定のコース通りに、ロードコーン等を倒さずに適切に走行できることを確認する。

重機の遠隔操縦が必要となるような砂防等の現場においては、通信キャリア等の電波が届かない場合も想定されるため、5G/LTEだけではなくLAN(Local Area Network)内で構築したメッシュWi-Fiによる無線LANを用いた遠隔操縦についても検証を行った。

また、遠隔操縦における操作性を評価するために、オペレータが間近で状況を把握しながら操縦した場合と、オペレータが遠隔地から本遠隔操縦システムを用いて遠隔操縦し、所定のコースの走破時間を測定し比較した。

5. 実証実験の結果

図一3に重機オペレータが遠隔地から本遠隔操縦システムを用いて重機を操縦する際の様子を示す。ディスプレイに表示される映像は3分割で示しており、左上は重機の前方方向の映像、左下は重機の後方を写した映像、右側は重機周辺の俯瞰映像となっている。重機オペレータは、前方後方だけでなく、周囲の

状況を把握しながら操縦することができるため、ディスプレイの映像だけでも、所定のコースを円滑かつ適切に走行できることを確認した。

また、5G/LTE及びLANで構築したWi-Fi網と通信環境を変更して遠隔操縦した場合についても検討を行った。5G/LTEについては、(株)NTTドコモの5G/LTEキャリア通信網を用いた。

実証実験においては、5G/LTEを用いた場合とLANで構築したWi-Fi環境の場合を比較したが、操作性に関する大きな差異はなかった。しかしながら、一般的な5G/LTE等のキャリア通信網は、ベストエフォート方式であり、回線利用者数や電波状況によって通信品質が大きく異なる。そのため、遠隔操縦を実施する日時・場所によっては、5G/LTEとLAN環境でのWi-Fiを比較した場合は差異が生じる可能性があると考えられる。

特に、山間部等において、5G/LTE等のキャリア通信網の電波を安定的に受信することが難しい場合は、LANで構成したWi-Fi網で運用することで、構築したWi-Fi網で通信可能な範囲内という制約は受けるものの安定した遠隔操縦ができると考えられる。

5G/LTEによる遠隔操縦に関しては、キャリア通信網の範囲内で通信状態が安定していれば、LANでの運用と比較して、広域で遠隔操縦を行うことができる。キャリア通信網での運用に際して、通信状況が不安定な場合は、5G/LTE回線を複数束ねて利用するマルチリンクを用いることで、一定の安定化を図ることができると考えられる。

本遠隔操縦システムでは、5G/LTEもしくはWi-Fiを介して、映像伝送(Full HD(1,920×1,080 pixel))



図一2 実験フィールド(走行ルート, 白山麓キャンパス実験フィールド)



前後並びに周囲を確認できる



コースを走行する重機（遠隔からの探縦）



遠隔から探縦するオペレータ

図一 3 構築した重機の遠隔探縦システムを用いた実証実験

並びに重機の操縦信号を伝送しているが、使用している通信帯域は3～5 Mbps程度であった。

図一2に示す所定のコースを「通常操縦を想定して重機を近くで目視しながら操縦した場合」と「構築した遠隔操縦システムで直接的な目視なしで操縦した場合」の走破時間を計測・比較を実施した。

通常操縦の場合を想定して重機を近くで目視しながら（重機の状態を詳細に把握できる状態）操縦した場合は、3～4分で所定のコースを完走することが可能であった。

本研究により構築した遠隔操縦システムで直接的な目視なしで操縦した場合は、初期は操作感や画面の見方等に関して不慣れなため、9分程度の時間を要したが、3回程度コースを走行し、構築した遠隔操縦システムによるディスプレイ画面の情報のみでの重機の状態把握や操作に慣れることにより、4～5分程度でコー

スを完走することができるようになることが確認できた。

また、バックホウ（日立建機 ミニ油圧ショベル）においても、図一4に示すように、構築した同遠隔操縦システムを用いて遠隔操作が行えることを確認している。

6. おわりに

5G（第5世代移動通信システム）／LTE若しくはLANにおいて構成したメッシュWi-Fi網を用いて、重機全周囲の高画質な映像情報並びに重機の操縦信号を低遅延に伝送することにより、重機周囲の状況を詳細に把握することを可能にし、オペレータが遠隔地から重機を操縦できるシステムを構築した。また、実証実験により、直接的な目視を伴わないディスプレイ画



対象としたバックホウ



遠隔からの操縦画面

図一 4 バックホウにおける遠隔操縦に関する検討

面だけの情報で遠隔操縦を行えることを確認した。遠隔操縦システムでの画面表示並びに操作に慣れることで、間近で目視しながら操縦した場合と同程度の時間で、所定のコースを走破できることを確認した。

構築した遠隔操縦システムを用いることにより、直接的な目視が不要となることから、5G/LTE等の通信環境下であれば、オペレータは操縦場所に依存せず、重機を操縦することができると考えられる。また、遠隔操縦システムを利用し始めた初期段階では、生産性は低いですが、遠隔操縦による操作に慣れることにより、通常の操縦方法と同等の生産性を実現できると考えられる。

したがって、重機の遠隔操縦システムが、より発展すれば、重機オペレータは働く場所の制約を受けなくなり、労働環境や働き方を大きく変革することができる可能性があると考えられる。

本研究においては、主にキャリアによる実験を主として行ったが、バックホウにおいても、構築した遠隔操縦システムにより、遠隔地から操縦できることを確認している。しかしながら、バックホウについて想定

されるバケット操作等に関する詳細な検討は、本研究においては実施できていない。バケット操作等や操作に際して最適なカメラの位置等については、更なる検討をする必要があり今後の課題としたい。

J C M A

《参考文献》

- ・国土交通省 i-Construction : <https://www.mlit.go.jp/tec/i-construction/index.html> (access 2023.7.20)
- ・沖電気工業(株) リアルタイムリモートモニタリングシステム「フライングビュー」: <https://www.oki.com/jp/flyingview/> (access 2023.7.20)
- ・Soliton Smart-telecaster Zao-X : https://www.soliton.co.jp/products/category/product/video/smart-telecaster_zao-x/ (access 2023.7.20)
- ・PicoCELA PCWL-0410 : <https://picocela.com/products/pcwl-0410.html> (access 2023.7.20)

【筆者紹介】

埴田 翔 (はにだ しょう)
 (学)金沢工業大学
 産学連携局研究支援推進部連携推進課
 兼 法人本部法人部企画委員会室
 主幹・URA 博士 (情報科学)

