

論文・報告

アバターロボットを使用した現場計測

～外環空港線洗地川橋（下り）上部工事における現場実証試験～

Field Measurement using an Avatar Robot

池田 俊雄 *1
IKEDA Toshio寺口 智 *2
TERAGUCHI Satoshi三原 千明 *3
MIHARA Chiaki嶋田 輝夫 *4
SHIMADA Teruo菅原 健太 *5
SUGAWARA Kenta藤野 大地 *6
FUJINO Daichi

アバターロボットは、遠隔操作者が事務所にいながら建設現場の品質・出来形管理データの取得や現場職員との協働作業を可能にするシステムで、店社職員や在宅勤務者が現場と協業するテレワークを主体とした「新しい働き方」の確立を目指している。アバターロボットの建設現場での可用性を確認するために、実際の足場上での傾斜や段差、足場特有の振動環境下での検証、遠隔操作による標高測量および塗装膜厚測定を行い、システム全体の有効性の検証試験を行った。

キーワード：テレワーク,アバター,ロボット,洗地川橋

1. はじめに

建設業界では、就労者の高齢化や若年層の入職者不足による将来的な就業者数の減少が見込まれており、生産性の向上が喫緊の課題である。

アバターロボットは、操作者が事務所にいながら建設現場の品質・出来形管理データの取得や現場職員との協働作業を可能にするシステムで、新型コロナウイルス等の感染症リスクに曝される現代において、店社職員や在宅勤務者が現場と協業するテレワークを主体とした「新しい働き方」の確立を目指している。

アバターロボットの建設現場での可用性を確認するために、実際の橋梁建設現場の足場上での傾斜や段差、足場特有の振動環境下での検証、遠隔操作による標高測量および塗装膜厚測定を行い、システム全体の有効性の検証試験を行ったので紹介する。

2. システム構成

アバターロボット（表1、写真1）は、マニピュレータ（ロボットアーム）で測定ツールを操作する機能や周辺、測定箇所の映像を取得する機能、測定箇所に移動する機能に加え、これらの映像データや制御信号および測定データを通信する機能を搭載している。本試験では、産業用ロボットの「NEXTAGE（カワダロボティクス社製）」と電動車椅子の「WHILL Model CR（ウィル社製）」を一体化したアバターロボットを製作した。

表1 アバターロボット仕様

外形寸法	約 W650×D990×H1 393mm
質量	約 94kg
関節軸数	15 軸（片腕 6 軸、腰 1 軸、首 2 軸）
可搬質量	定格 2.5kg（片腕） 最大 3.0kg（片腕）
カメラ	頭部カメラ×2（USB3.0） 手先カメラ×2（USB3.0） 俯瞰用カメラ×1（IPカメラ）
バッテリー	DC24V リチウムイオン
走行距離	16km
最高速度	6km/h
段差乗越	5 cm
登坂力	10 度
最小回転半径	760mm
タイヤ	オムニホイール（フロント） ノンパンクタイヤ（リア）
安全装置	非常停止スイッチ レーザスキャナ×2
エンドエフェクタ	塗装膜厚プローブ用 測量プリズム用
ソフトウェア	ROS パッケージ 遠隔操作アプリ
操作デバイス	GamePad 力覚インターフェース Touch USB

*1 川田工業株式会社橋梁事業部橋梁企画部開発室 担当課長

*2 川田工業株式会社橋梁事業部工務部大阪工務部大阪工事課 工事長

*3 川田工業株式会社橋梁事業部工務部大阪工務課

*4 カワダロボティクス株式会社技術部設計課 技師

*5 カワダロボティクス株式会社生産管理部生産管理課

*6 川田工業株式会社橋梁事業部橋梁企画部開発室

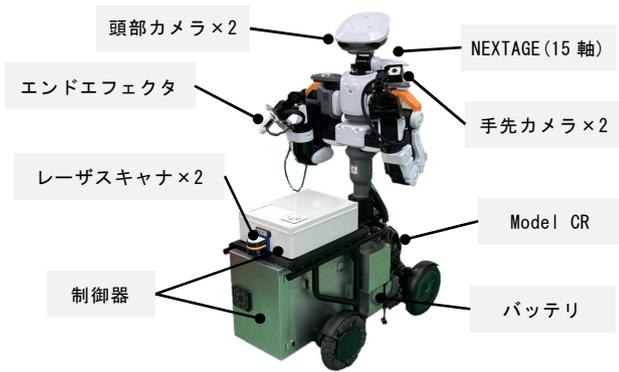


写真1 アバターロボット

ロボットの手先（エンドエフェクタ）部分には、測定用の2種類のエンドエフェクタを製作した。

(1) 塗装膜厚プローブ用エンドエフェクタ

塗装膜厚プローブ用エンドエフェクタ(写真2)には、映像を見ながら塗装膜厚プローブを検査する壁面に押し当てられるように手先カメラと3個の距離センサと感圧センサを搭載した。遠隔操作者は、それらのセンサ情報で力覚インターフェースを介して塗装膜厚測定を行う。

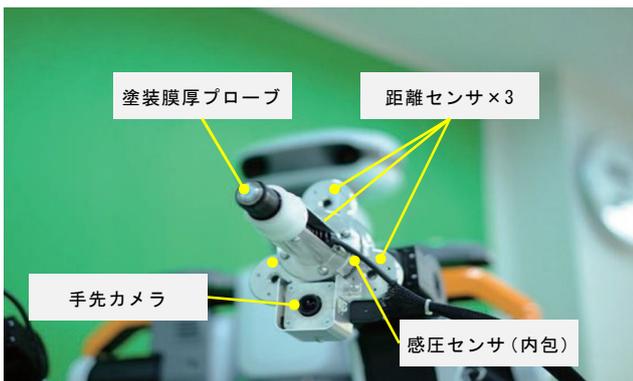


写真2 塗装膜厚プローブ用エンドエフェクタ

(2) 測量プリズム用エンドエフェクタ

トータルステーション(TS)を用いた測量では、TSから照射されたレーザ光を測量点に置いたプリズムで反射させ、反射光の位相差や時間差情報と、TS内の角度エンコーダの情報から測量点の3次元座標を取得する。このため測量の現場では、測量点に反射プリズムを搭載した水準器付きのポールを鉛直に設置し、プリズム高さを正確に把握することが求められる。

アバターロボット用の測量プリズム用エンドエフェクタ(写真3)は、ジンバル(スタビライザー)を介してプリズムとレーザ距離計を把持する構造(レーザ式プリズム)とした。ジンバルによりレーザ距離計が鉛直に保たれ、プリズムの高さを正確に測定できることから、ポールを排すること(ポール式プリズム)ができた(図1)。操作者は、レーザ距離計のポインタが測量点に照射されるように、手先カメラ映像で確認しつつコントローラで測定位置合わせを行う。その後、自

動追尾トータルステーションで測量することで常に安定した精度で測定できる。

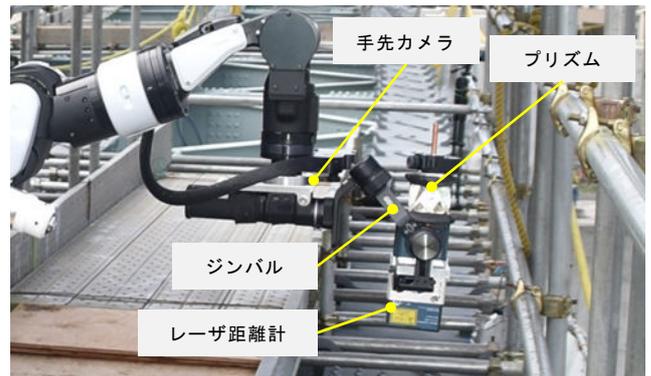


写真3 測量プリズム用エンドエフェクタ

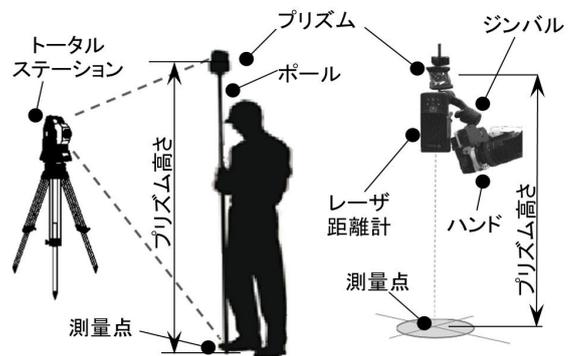


図1 ポール式プリズムとレーザ式プリズム

(3) 遠隔操作デバイス

遠隔操作側のデバイス(写真4)は、アバターロボットのカメラ映像が確認できるモニター、操作用のコントローラ、ロボットハンドを操作するための力覚インターフェースを使用している。力覚インターフェースでの操作は、エンドエフェクタを測定面に正対したのち、アバターロボットの手先位置指令を測定面方向のみに拘束し、手先移動を行う。測定面に近づいていることを遠隔操作者に知覚させるために、距離センサの距離情報に基づく仮想反力を力覚インターフェースにフィードバックする。

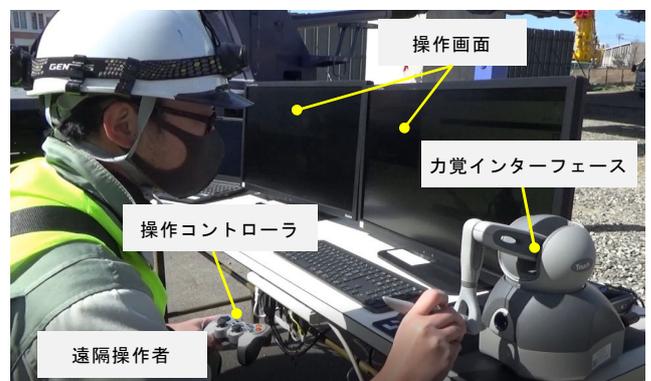


写真4 遠隔操作側のデバイス

(4) ソフトウェア

アバターロボット制御用に ROS (Robot Operating System)を採用し、アバターロボットを遠隔操作するプログラムを開発し、操作制御信号の通信方式として WebSocket プロトコルでカメラ映像を、WebSocket プロトコルと WebRTC(Web Real-Time Communication)プロトコルで遠隔側の操作 PC と 4G 回線で通信を行った。

3. 現場検証試験

アバターロボットを現場で活用する場合の技術的な課題を抽出することを目的に、「令和元-2年度 外環空港線洗地川橋(下り)上部工事」(国土交通省四国地方整備局 松山河川国道事務所)の架設現場で検証試験を行った。

(1) 試験項目

- A. 足場通路での移動性能試験
- B. 足場通路での標高測量試験
- C. 吊足場での塗装膜厚測定試験
- D. 高所作業車での動作試験

(2) 試験用足場通路

本試験にあたっては、アバターロボットの重量、試験者の重量、衝撃荷重を検討し足場通路の強度計算を行い、幅 960mm、長さ 12 000mm の足場通路を増設(図 2, 3, 写真 5)して試験を実施した。

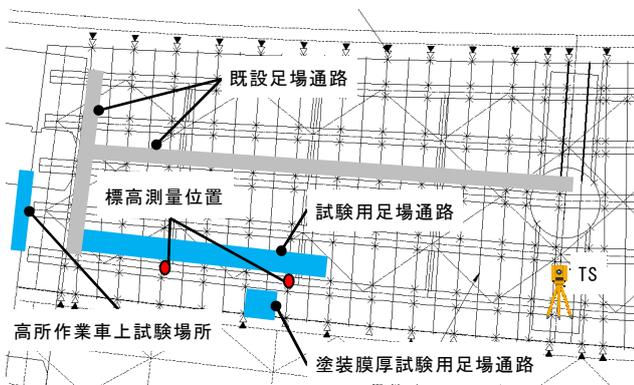


図 2 試験用足場通路(平面図)

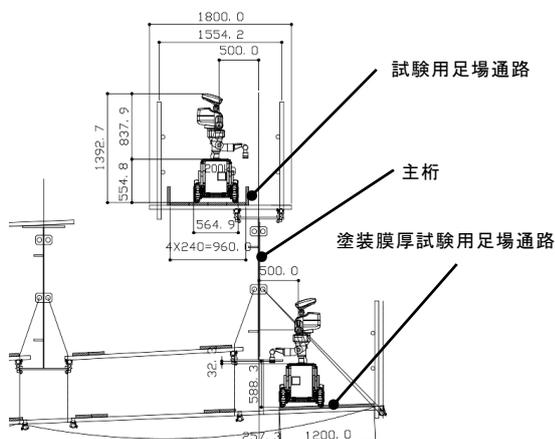


図 3 試験用足場通路(断面図)

(3) 移動性能

移動性能試験は、アスファルト舗装上と足場通路上のそれぞれで実施した。試験結果を表 2 に示す。

表 2 段差乗り越え性能試験結果

場所	性能
アスファルト舗装上	50mm 段差でも走行可能
鋼製足場板上	40mm 段差でスリップ発生
鋼製足場板+合板	40mm 段差でも走行可能

鋼製足場板上では、路面摩擦が低いため、駆動輪に滑りが発生し、段差を乗り越えられなかったが、合板上では問題なく段差を乗り越えることができた。前輪にはオムニホイールを採用しており、回転半径が小さいため足場のような狭い場所での移動は有効であった。

一般的に現場内には、幅の狭い足場や傾斜、段差を乗り越える箇所が多数存在する。今後は今回使用したタイヤ型の移動体に限らず、移動体として、クローラー型や可搬重量の大きいドローンなどの選択肢が考えられる。



写真 5 移動性能試験

(4) 測定作業の所要時間

測定を現場作業員が行った場合とアバターロボットを遠隔操作して行った場合との所要時間比を表 3 に示す。アバターロボットを遠隔操作した作業の方が 2 倍~5 倍と多くの時間がかかっている。操作者が確認できる映像には時間的な遅延が生じており、そのために映像を介した動作確認を極めて慎重に行う必要があり、映像情報だけを頼りに遠隔操作する手法では、測定開始までに時間がかかる。アバターロボットに自律機能や操作の補助機能を備える必要がある。

表 3 作業時間比較

測定内容	所要時間比
塗装膜厚測定(5点)	450%
標高測量(2点)	260%

(5) 操作性

操作性を確認するため、鋼橋の現場塗装部の品質管理として行われる塗膜厚測定作業(写真 6, 7)を遠隔操作により行った。塗膜厚測定作業は、ロボットから転送されたカメラ映像を見ながら検査部位に遠隔操作で塗膜

厚プローブを押し当てるものである。また、標高測量では、測量点にレーザ距離計のポインタを照射して位置合わせを行った（写真 8）。



写真 6 塗装膜厚測定



写真 7 アバターロボット視点の塗装膜厚測定映像



写真 8 アバターロボット視点の標高測量映像

頭部カメラの映像で大まかな位置合わせを行い、その後、手先カメラで精細な位置合わせを行った。前述のようにカメラから得られる映像だけで操作するには、距離感や位置感がわかりにくいために位置合わせに時間がかかる。また、足場上や高所作業車上（写真 9）では作業員の歩行や機器類の運転、風の影響等で頻繁に振動が発生しており、これらの振動が操作性に影響を与える。

現場での検証試験では、映像の遅延が発生したため、操作性に問題が発生したが、カメラ映像の通信方式を WebRTC プロトコルに変更することで遅延を最小にすることができ操作性が向上した。

塗装膜厚測定において力覚インターフェースデバイスで操作者に接触距離を伝達する方法は、有効であった。



写真 9 高所作業車上での動作試験

4. 課題

本検証を踏まえ、いくつかの課題が明らかになった。アバターロボットによるテレワークを実用化するためには、他分野の技術開発や社会情勢の変化と歩調を合わせながら、課題を解決してゆく必要がある。

(1) 通信インフラの普及

遠隔地にいる操作者が、現場の臨場感を把握するためには、多くのカメラと高速・大容量な通信環境が不可欠であり、通信インフラの高速化と歩調を合わせて推進することでより現実的なものとなる。

(2) 操作性の充実

現場からの映像だけでは、対象物までの距離や大きさの把握が難しく、距離情報や中心位置表示など操作者への現場情報の見える化が必要である。また今後は、現場の映像や音声を解析し自律制御を行うなどの操作支援機能を充実させていく必要がある。

(3) ロボット志向の現場環境

建設現場特有の環境でヒトとロボットが共存して働くには、アバターロボットの安全技術の高度化だけでなくアバターロボットの移動や作業に適した周囲環境の整備が必要である。また、測定するツールは、人が直接操作する前提で作られているためシステム統合するために個々につなげる必要があり IoT を加速するにはデータ取得の API の整備が必要である。

5. まとめ

本検証で、アバターロボットを使用して現場作業をテレワークで行う要素技術の評価ができた。今後は、得られた知見をもとに、建設工事の品質向上と生産性向上、さらに維持管理への活用などに向けた新技術開発を進めていく予定である。

謝辞

本稿の実証試験は、「令和元-2年度 外環空港線洗地川橋（下り）上部工事」の鋼桁架設現場にて試行させていただきました。国土交通省 四国地方整備局 松山河川国道事務所の監督官ならびに関係者の皆さまにこの場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 安孫子, 水川, 池田, 畠中, 枝元, 五十棲: ヒューマノイドロボットを用いた橋梁建設時の遠隔検査システムの提案, 第 21 回計測自動制御学会 SI 部門, 3G2-01, 2020.
- 2) 畠中, 池田, 藤野, 五十棲, 安孫子: 橋梁建設現場用アバター検査システム, 橋梁と基礎, 建設図書, 2021.8.
- 3) 畠中, 五十棲, 安孫子, 水川: 建設現場用「アバターシステム」の開発と将来展望, 日本ロボット工業会, 機関誌「ロボット」, 261号, 2021.