

建設現場の管理業務へのロボット導入

コミュニケーションロボット活用による労働生産性の向上

坂本 寛人*1・関口 孝浩*2・檜原 悠*1・小原 孝之*1・上田 康浩*1

Introduction of a robot for construction site management

Improvement in labor productivity with utilizing a communication robot

Hiroto SAKAMOTO, Takahiro SEKIGUCHI, Yu KASHIHARA, Takayuki OBARA, Yasuhiro UEDA

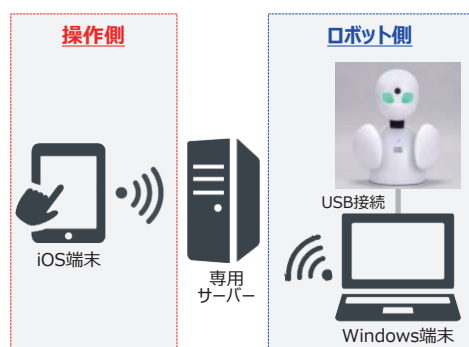


図-1 OriHime 構成図

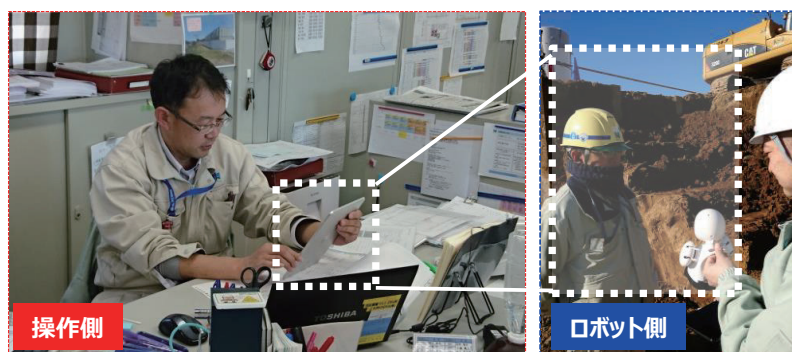


図-2 実証実験の様子

研究の目的

社会全体の傾向として、ノウハウや経験を豊富に持つ熟練技術者の減少・高齢化が進んでおり、特に建設業においてその傾向が顕著である。これに対し、近年はICTやロボット技術の発展がめざましく、国土交通省の先導により、さらに高度なロボット技術を現場施工に導入する取り組みが行われている。しかし、建設施工現場の管理においては、未だに技術者が現場現地に実際に赴いて直接状況を把握し、判断、調整、指示を行っているのが現状であり、作業現場の管理を効率化できていない。そこで、本報では、人型分身コミュニケーションロボット OriHime を現場管理業務に導入した実証実験を行い、遠隔現場管理が現場管理効率に及ぼす効果を実測した。

技術の説明

図-1にOriHimeの構成図を示す。OriHimeは使用者が自分の分身として使用できるように設計・製造されており、頭部に内蔵されているカメラを使用してリアルタイムな映像を確認出来、腹部に内蔵されているマイクとスピーカーにより音声によるコミュニケーションをとることが可能である。ロボット自体には通信機能が備わっておらず、ネットワーク環境に置かれたWindows端末に接続することで、映像や音声を遠隔操作側に配信することが出来る。操作側は、ネットワークに接続したiOS端末により、首や手を自在に動かすことが出来る。用意されているエモーションコマンドを使用すると、首や手の動作のみで感情を表現することも可能となっている。単なるwebカメラと携帯電話の利用によるコミュニケーションとは異なり、OriHimeを通して、現場管理者が実際に現場現地にいてコミュニケーションや判断、指示をしているかのような臨場感や緊張感、安心感を現地の関係者に与えることができる。これは、OriHimeを見れば見るほど本人に見えてくるといいう、OriHimeのデザイン上の特長であり、あたかも本人と現地で直接コミュニケーションをとっているかのように思わせる効果がある。

主な結論

実証実験を行った結果、音声と映像に加え、エモーションコマンドによるジェスチャーを交えることで、熟練管理者による現場状況の遠隔確認や、朝礼・昼礼や打合せへの遠隔参加が可能であると実証した。また、多くの職員や職人がロボットに興味を示し、従来とは異なるコミュニケーションツールと成り得る可能性が示唆された。一方、音質や画質が時折不鮮明となったことから、質の高いコミュニケーションをとるためには、現場の通信インフラを整備する必要があることが分かった。また、現場管理業務をさらに効率化するためには、通信性能向上に加え、防塵・防水機能の追加や、物理量を測定するセンサーの取り付け、自律走行機能の追加が必要であることが分かった。

*1 本店 技術戦略室

*2 関東支店 取手MKT作業所

建設現場の管理業務へのロボット導入

坂 本 寛 人^{*1} 関 口 孝 浩^{*2}
 慥 原 悠^{*1} 小 原 孝 之^{*1}
 上 田 康 浩^{*1}

要 旨

熟練技術者の減少・高齢化が社会問題となっており、特に建設業においてその傾向が顕著である。これに対し、近年はICTやロボット技術の発展がめざましく、国土交通省の先導により、高度なロボット技術を現場施工に導入する取り組みが行われている。しかし、建設施工現場の管理においては、未だに技術者が現場現地に実際に赴いて直接状況を把握し、判断、調整、指示を行っているのが現状であり、現場管理業務の効率化は進んでいない。そこで本報では、人型分身コミュニケーションロボットOriHimeを建設現場に導入し、ロボットを活用した遠隔現場管理による熟練管理者の現場管理業務効率化の実証を試みた。

実証実験を行った結果、現場管理業務への適用効果に加え、ロボットを用いることで朝礼・昼礼や打合せへの遠隔参加が可能であることを確認した。ただし、現場管理業務のさらなる効率化を実現する課題として、あらゆる現場環境に対応するための通信性能の向上や、防塵・防水機能の追加、現場の物理環境情報を取得するセンサーの取り付け、自律走行機能の追加などが必要であることが分かった。

キーワード 土木・建築施工／労働生産性／コミュニケーションロボット

目 次

- | | |
|-------------------------|-----------|
| 1. はじめに | 5. 実証実験結果 |
| 2. 本研究の概要 | 6. まとめ |
| 3. コミュニケーションロボットOriHime | 7. おわりに |
| 4. 実証実験概要 | |

INTRODUCTION OF A ROBOT FOR CONSTRUCTION SITE MANAGEMENT

Hiroto SAKAMOTO Takahiro SEKIGUCHI
Yu KASHIHARA Takayuki OBARA
Yasuhiro UEDA

Synopsis:

Decrease and aging of engineers who have much technique and experience are the social issues, particularly in construction industry. In contrast, the recent developments of ICT and robotic technologies are remarkable, and so Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism leads introduction of advanced robotic technologies for construction. However, efficiency of the construction site management is currently low because the managers head for their sites to confirm the situation, make a decision and adjustment and take some instructions on-site. In this report, we introduced humanoid communication robot “OriHime” for construction site management to demonstrate that remote management with the robot improve the site management efficiency.

The results showed that remote site management improved the efficiency and the manager communicated in assembly and meeting at remote location. Furthermore, we found that several functions to cope with site environment, to measure physical quantities and to run autonomously are needed to realize more efficient management.

* 1 本店 技術戦略室

* 2 関東支店 取手 MKT 作業所

1. はじめに

社会全体の傾向として、ノウハウや経験を豊富に持つ熟練技術者が減少してきており、特に建設業においてその傾向が顕著である。国土交通省・厚生労働省の発表¹⁾によると、建設業就業者の約34%が55歳以上であると報告されており、これは、熟練技術者が月日を経るに従って引退していき、年々減少することを意味する。現場施工の問題を未然に防いだり、トラブルを解決したりするのは、あくまでもノウハウや経験を豊富に持つ熟練技術者である。熟練技術者の高齢化・減少は現場管理効率の低減に大きく影響を与えるため、熟練技術者ひとりあたりの現場管理効率の向上が求められる。これに対し、近年はICTやロボット技術の発展がめざましく、国土交通省の先導²⁾により、高度なロボット技術を現場施工に導入する取り組みが行われている。しかし、建設施工現場の管理においては、未だに技術者が現場現地に実際に赴いて直接状況を把握し、判断、調整、指示を行っているのが現状である。そこで、本報では、人型分身コミュニケーションロボット OriHime を建設現場に導入することで、熟練管理者の遠隔現場管理による、現場管理業務効率化の実証を試みた。

2. 本研究の概要

2.1 本研究の課題

現状、熟練管理者は、建設現場の様々な場所で生じる問題に対し、現地に赴くことで問題の状況把握や作業員とのコミュニケーションを図っている。これは、建設現場での問題対応において、「三現主義（現場・現物・現実）」が重要視されているためである。しかし、現場によっては、複数地点で発生する問題に対応するために直接現地に赴くには長時間の移動が必要となり、これは現場管理効率向上のネックとなっている。

2.2 課題の解決方法

本報では、前項で述べた課題に対し、コミュニケーションロボットの活用により、現場管理効率の向上を試みる。図-1 に、ロボット導入前後の現場管理業務の概念図を示す。ロボット導入前においては、複数現場において問題が発生した際、熟練管理者が各現場に赴くために多くの移動時間が必要となる。これに対し、ロボット導入後においては、それぞれの現場にコミュニケーションロボットが常置されており、現場で問題が発生した際は、ロボットを通じて現場の状況把握や現地作業員とのコミュニケーションを図ることが出来るため、移動時間が削減される。図-2 に、ロボット導入前後の現場管理業務時間の比較を示す。ロボット導入前においては、現場で起きた問題に対応するにあたり現地に向かう必要があるため、管理時間と移動時間が必要となる。一方で、ロボット導入後においては、現場現地に向かわずに問題対応が可能のため、移動時間が発生しない。しかし、ロボット

を通じて問題に対応するため、現地での対応に比べ、現場の状況や作業員の様子を把握するための情報が制限され、管理時間が長くなることが考えられる。ただし、ロボットがヒト型であることを活用することで、熟練管理者があたかも現地にいるかのような臨場感や緊張感、安心感を現地の関係者に与えられるため、よりリアルなコミュニケーションを図ることが出来ると考えられる。以上より、ロボットを導入すると、ロボット導入前に比べて管理時間は多少長くなるが、移動時間が削減されるため、全体として管理効率は向上すると考えられる。

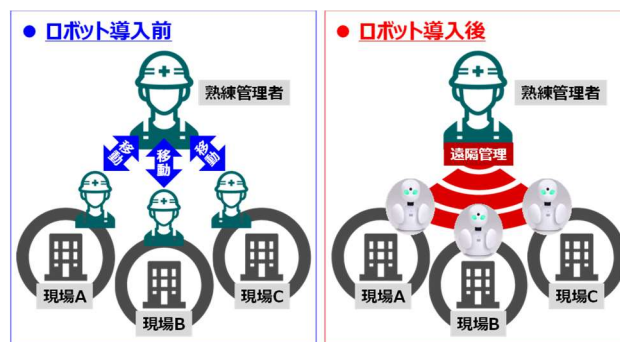


図-1 ロボット導入前後の現場管理業務の概念図

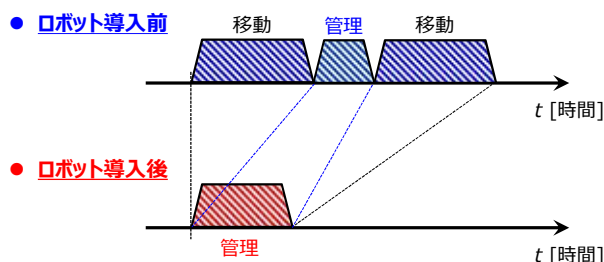


図-2 ロボット導入前後の現場管理業務時間の比較

2.3 実証方法

以上を踏まえ、本報では、建設現場にコミュニケーションロボットを導入し、ロボットが業務効率に与える効果を実測する実証実験を実施した。また、ロボット導入による追加効果の確認や、現場導入に必要な機能の検討を行った。

3. コミュニケーションロボットの概要

本研究ではコミュニケーションロボット OriHime（以降、単に OriHime と呼ぶ）を導入した。OriHime は、株式会社オリイ研究所にて開発されたヒト型分身コミュニケーションロボットであり、操作者が自分の分身として使用できるように設計、製造されている。頭部に内蔵されているカメラにより、操作者が遠隔地にてリアルタイムな映像を確認出来、腹部に内蔵されているマイクとスピーカーにより音声によるコミュニケーションも可能である。また、首や手を自在に動かすことが出来、用意されてい

るエモーションコマンドによる動きのみで感情を表現することも可能となっている。図-3 に OriHime の構成図を示す。OriHime の操作者は、ネットワークに接続した iOS 端末を使用することで、カメラと首・手の操作をすることが出来る。ロボット側の OriHime 自体にはネットワーク通信機能が備わっていないため、ネットワークに接続した Windows 端末への USB 接続が必要である。操作側の iOS 端末とロボット側の Windows 端末は、専用サーバーを介した通信を行うことで、遠隔コミュニケーションを図ることが可能となる。図-4 に操作画面を示す。操作側は、タブレットの向きの変更、または、スワイプ操作により首を自由に動かすことが出来る。また、画面下部の白丸部分をスワイプすることで、両手を自由に動かすことが出来る。音声に加え、画面右側のエモーションコマンドを活用することで、操作者の感情を表現することが出来る。写真-1 にロボット側のイメージを示す。USB 接続された Windows 端末の画面上には、OriHime のカメラ映像が表示されるため、操作側が見ている映像を共有することが出来る。OriHime の首は可動域が限られており、カメラ画角外の映像を共有するためには、操作側とロボット側とがコミュニケーションを図ることで、ロボット側がカメラ方向を調整する必要がある。

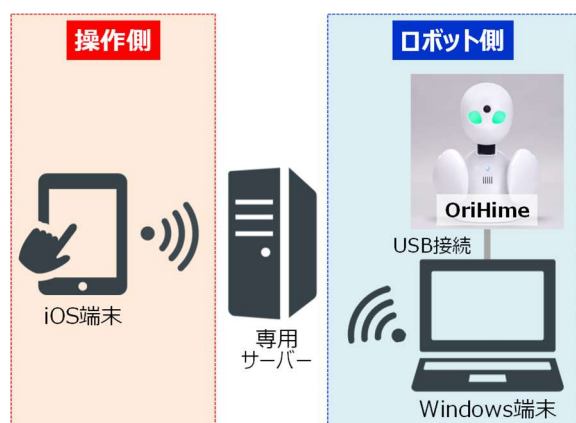


図-3 OriHime の構成図



図-4 操作画面



写真-1 ロボット側のイメージ

4. 実証実験

4.1 実験の目的

建設現場の管理業務にコミュニケーションロボットを導入し、熟練管理者による遠隔現場管理業務を試みた。これにより、ロボットが現場管理業務の効率に及ぼす効果を実測することを、本実験の目的とした。

4.2 実験概要

実験は、2017 年 2 月 13 日～15 日に、当社の取手 MKT 作業所にて行った。図-5 に、OriHime を用いた遠隔現場



図-5 OriHime を用いた遠隔現場管理業務のフロー

管理業務のフローを示す。まず、現場管理地点に現場担当職員（ロボット側）が OriHime を持っていき、OriHime のカメラやマイクを通じて、熟練管理者（操作側）に対して現場の状況を説明する（①）。続いて、熟練管理者（操作側）が現場の様子を遠隔で確認するとともに、OriHime を通じて現場職員・作業員（ロボット側）の顔や表情を遠隔で確認し、それらに基づき、現場状況に関するコミュニケーションを図る（②）。そして、現場状況を把握した熟練管理者（操作側）が判断を下し、現地の職員・作業員（ロボット側）に指示を出す（③）。以上のフローにより、OriHime の現場導入が現場管理業務に与える効果を実測した。

4.3 検証項目

本実験では、OriHime を導入した実証実験を行うにあたり、まず、現場環境における OriHime の技術的成立性を検証した。OriHime の技術的成立性に関する検証項目として、①通信性能、②音質、③画質の 3 項目を挙げた。以上の検証を行った上で、現場管理業務に OriHime を導入し、その効果を実測した。

5. 実証実験結果

5.1 通信性能

図-6 に、現場現地にて行った通信スピードテストの結果を示す。OriHime 接続端末や iOS 端末がネットワークに接続するためのモバイル Wi-Fi についてテストを行った結果、OriHime の使用要件（アップロード帯域 4.8 Mbps 以上）を満たす数値が得られた。



図-6 通信スピードテスト結果

5.2 音質

写真-2 に、掘削作業場付近での音声通話の様子を示す。通話を試みた結果、操作者との通話は可能だったが、現場騒音の影響により、OriHime 本体スピーカーに耳を近づけなければ聞き取りが困難であった。そこで、OriHime 本体にイヤホンを接続し、聞き取りを試みたところ、騒音環境下での聞き取りが可能となったが、複数人とのコミュニケーションが取れなくなり、現場管理地点の人々に対して、操作者の言葉を口頭で伝えなければいけなくなってしまった。対策として、指向性マイク付 Bluetooth イヤホンをロボット側の職員に導入することで、複数人への音声発信を可能とすることが挙げられる。



写真-2 掘削作業場付近での音声通話

5.3 画質

写真-3 に示すように、掘削時に発生した汚泥を、管理者が遠隔地から確認することを試みた。汚泥から数メートル離れたところから確認を行った結果、色の確認は出来たが、粘度や臭気の確認は出来なかった。ある程度鮮明な映像が表示されることもあったが、不定期で画面様にブロックノイズが生じ、不鮮明な映像が生じる時間の方が長かった。これは、OriHime のシステム構成において、ロボット側と操作側ともに光回線接続がなされたルータを使用する前提で製造されており、本実験で用いた Wi-Fi ルーター（docomo LTE 回線を使用）の通信帯域が若干足りなかったことが原因だと考えられる。



写真-3 OriHime による汚泥の確認

5.4 現場管理業務への OriHime 導入

写真-4 に示すように、遠隔現場管理業務として、現場で稼働する重機の供給電源電圧値の読み取りを試みた。OriHime のカメラを電圧値表示画面に近づけることで、遠隔操作者が iPad 表示映像から電圧値を読み取ることが可能であると確認した。また、写真-5、に示すように OriHime を職人の休憩所に設置し、そこから現場状況を確認することを試みた結果、重機や人間の場所を把握することは出来た。しかし、写真-6 に示すように、遠隔地にて現場状況を確認した結果、OriHime と現場との距離が離

れていたことや、ブロックノイズの影響により、現場の作業内容の詳細を確認することは困難だった。

5.5 その他の効果

写真-7 に示すように、OriHime を用いて、操作側の職員が朝礼・昼礼や各種打合せに遠隔から参加することを試みた。朝礼・昼礼の作業前に行う危険予知活動の様子を確認することが出来、また、エモーションコマンドを活用することでラジオ体操に挑戦した結果、多くの職員・職人が興味を示した。打合せへの遠隔参加では、映像により様子を確認するだけでなく、音声により双方がコミュニケーションを取ることが出来た。



写真-4 供給電源電圧値の読み取り



写真-5 OriHime による現場状況の確認



写真-6 現場の遠隔確認の様子



写真-7 OriHime による打合せへの参加

5.6 OriHime 導入に関する感想のヒアリング

表-1 に OriHime の現場導入実証実験に関する感想のヒアリング結果を示す。ヒアリングは現場職員 7 名を対象に行った。画質や音質は通信環境に依るところが大きく、現場内の場所によってはコミュニケーションが取りづらくなるというコメントがあった。屋内に比べ、屋外で OriHime を活用する際に画質や音質が劣化する傾向にあったため、現場内にて高速 WiFi 環境を整備するなどして、良好な通信環境を設けることが、鮮明な映像や音声を取得するための対策として挙げられる。また、現場でコミュニケーションを取るためには、騒音環境下でも音声を聞き取ることが出来るような、ノイズキャンセル機能や指向性マイクが付けられたヘッドセットが必要である。現場職員からは、ロボット側がハンズフリーとなればよいという要望があった。今回導入したロボットは据置型であったため、管理地点の移動の際にはロボットを持ち運ばなければならず、また、ロボットの据置場所が無い箇所では現場職員がロボットを手を持っていないけりなかつた。水平方向の移動や、カメラ高さの調節が操作可能となれば、現場職員がハンズフリーとなる。

表-1 導入した感想のヒアリング結果

項目	コメント
映像機能	・映像はもっと鮮明にならないのか ・手ブレ防止機能が欲しい
音声機能	・音声でのやりとりがスムーズではない ・操作者がどの人とコミュニケーションを取りたいのかが分からない ・音声が小さいため、現場では聞き取りにくい
操作性	・OriHimeは静態させて、操作者が首を動かした方がよい
通信安定度	・通信がもっとスムーズになってほしい
その他	・起動してから使用可能になるまでの時間が長い ・現場に持っていきやすい形がよい ・両手がふさがらない方がよい ・キャタピラ等での移動が可能になるとよい

5.7 労働生産性向上への効果

表-2 に本実験による現場管理業務における労働生産性向上への効果を示す。これは、現場管理者ひとりあたりの労働生産性を対象としている。導入後の現場管理時間と現場管理効率の値は、実証実験の実測結果と現場職員へのヒアリング結果に基づいたものであり、導入前の値を 1 としたときのものである。ロボット導入により、管理者が事務所と現場を往来する移動時間を削減することができたため、現場管理時間が 3 倍となった。しかし、画質や音質の影響により、現場管理効率は 0.5 倍と半減した。以上より、ロボットを導入することで生産量は 1.5 倍となり、現場管理者ひとりあたりの労働生産性は 1.5 倍となった。以上より、OriHime の導入が建設現場管理業務への適用効果があることが示された。

表-2 現場管理業務における労働生産性向上への効果

	導入前	導入後
現場管理時間 [時間]	1	3
現場管理効率 [-]	1	0.5
生産量 ^{※1} [時間]	1	1.5
労働生産性向上率 ^{※2} [-]	1.5	

※1 現場管理時間に現場管理効率を乗じたもの

※2 導入前と導入後の生産量の比

6. まとめ

コミュニケーションロボットを建設工事現場に導入することは、今回初めての取り組みであり、懸念される事項は様々あった。しかし、実証実験を行った結果、建設現場管理業務への適用効果があることが示された。音声と映像に加え、人型を活用したジェスチャー機能を交えることで、熟練管理者による遠隔現場管理業務や現場の遠隔確認、朝礼・昼礼や打合せでの遠隔コミュニケーションが可能であることを確認した。また、多くの職員や

職人がロボットに興味を示し、従来とは異なるコミュニケーションツールと成り得る可能性が示唆された。一方で、通信環境の影響により映像が不鮮明であったため遠方の状況確認は困難であったことや、騒音環境下においては限られた音声コミュニケーションのみが可能であったことにより、管理時間における管理効率は低減してしまった。これらに対応するためには、通信性能の向上や通信環境の整備、指向性マイク付 Bluetooth イヤホンの導入が必要である。また、映像や音声に加え、現場の物理環境情報を取得するためには、それぞれの物理量を測定可能なセンサーを取り付ける必要がある。本実験では、ロボットが動作可能な環境を考慮し、晴天かつ無粉塵な環境を選定して実験を実施したが、実際の建設現場では雨天や粉塵の影響が想定される。あらゆる現場環境に対応するためには、防塵性や防水性といった機能を追加する必要がある。また、ロボットの自律走行を可能とすれば、ロボットによる無人現場管理が可能となり、建設業における安全性や生産性に関する課題に対して、大きく寄与すると考えられる。

7. おわりに

本実証実験は、経済産業省のロボット導入実証事業助成を受け、実施した。また、株式会社 CAMI & Co. がロボット Sier として参画し、共同で実施した。

参考文献

- 1) 国土交通省・厚生労働省：建設業の人材確保・育成に向けて、2015 年
- 2) 建設ロボット技術に関する懇談会（国土交通省）：建設ロボット技術の開発・活用に向けて ～災害・老朽化に立ち向かい、建設現場を変える力～、2013 年 4 月