

土木工事における遠隔立ち会いシステムの検討

新井 智之 石田 純平*1
小島 秋*2 平野 勝識

概 要

映像・音声の配信を用いて、工事現場に行かなくても立ち会い検査等を実施する遠隔臨場技術のニーズが建設業の省力化、業務の非接触化、脱炭素化などの理由で増えてきている。こうした需要を受け、土木工事現場へ導入するために必要なシステム構築や適用効果、また課題について実働の現場試行を通して検討した。

その結果、2種類のカメラ機器を使い分けることで、ほとんどハンズフリーで無理なく運用できるシステムを構築できた。このシステムは社内で標準的に使われているweb会議システムに組み込み、特別なソフトウェアをインストールすることなく、通常のweb会議の感覚で実施することが可能である。実際の導入現場を例に導入効果を概算したところ、1現場あたり、1年間で約245時間の時間削減効果と、2.2tの二酸化炭素削減効果があるとわかった。

Study of Remote Observation System in Civil Engineering Works

Abstract

There is an increasing need for remote presence technology that can be used to conduct on-site inspections without having to go to the construction site using video and audio distribution. In response to this demand, we have studied the necessary system construction, application effects, and challenges related to introducing the system to civil engineering construction sites through actual field trials.

As a result, we were able to construct a system that can be operated almost hands-free by using two different types of camera equipment. This system can be integrated into a company's standard web conferencing system, and can be conducted as if it were a regular web conference, without the need to install any special software. Using an actual installation site as an example, we estimated the effect of introduction of the system to be a time saving of approximately 245 hours and a carbon dioxide reduction of 2.2 tons per year per site.

キーワード:	遠隔臨場、映像配信、無線通信、立ち会い検査
--------	-----------------------

*1土木本部 防災技術部 *2東日本支社 土木統括部

§1. 背景

建設技能者人口は年々減少傾向にあり、日本建設業連合会では2025年までには目標の技術者305万人分の内、不足する35万人分を省力化の技術によって補うという目標を掲げている¹⁾。そのため、建設業界の業務効率化は急務である。また、COVID-19が世界的に流行したことで、テレワークや時差出勤といった三密を回避して、非接触で業務を遂行するという社会的な需要も高まっている。さらに、2015年に採択されたパリ協定に代表されるように、カーボンニュートラルを目指して二酸化炭素排出量を抑えることが、国内のみならず全世界一体となって取り組むべき喫緊の課題であるとされている。

遠隔臨場はこれらすべての側面で効果的であり、近年導入が進められている技術である²⁾。遠隔臨場は工事現場の映像・音声を双方向通信によって配信する技術である。このため、従来は工事発注者が工事現場まで車等で移動して行っていた立ち会い業務を、現場に直接向かわずに実施できるようになる。フジタでは、先に説明した背景も踏まえ、早期に遠隔臨場システムを土木工事現場へ導入する必要があると考えた。そこで、本稿では遠隔臨場システムを構築するために、最適な機器の組み合わせの選定や現状の遠隔臨場の技術的な課題について検討を行った結果について報告する。



図1 現場検証

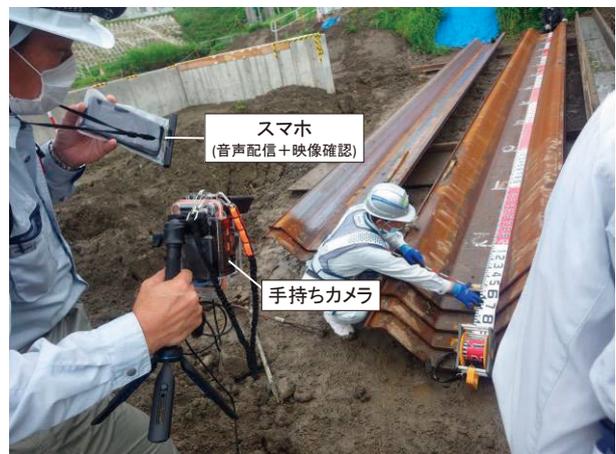


図2 カメラ機器

§2. システム概要

2.1 構成要素について

遠隔臨場に使用される機器は、一般的に4つの要素で構成される。映像・音声を撮影する「カメラ機器」、映像・音声を配信する「通信装置」、映像・音声をweb上やローカル上に配信し、各地点をつなぐための「ソフトウェア」、そして、最後に「閲覧用の機器」である。これらの要素を組み合わせ、機器システムを構築する。各要素は別の要素との組み合わせの可否の仕様があり、システムの全体像を想像しながら各要素を選定する必要がある。例えば、カメラ機器によっては特定のソフトウェアに対応しておらず、映像を送れない場合などが挙げられる。また、選定する機器によってはカメラ機器と通信装置が一体となっているものや、カメラ機器と閲覧用の機器が同一となっているもの、地点によって別々の通信手法を採用する場合などがある。また、自撮り棒やイヤホン等、別途、補助的な周辺機器を活用する場合もある(例えば、藤原ほか2021³⁾)。

2.2 プロトタイプシステム

工事現場での早期の適用に向けて、プロトタイプシス



図3 事務所側閲覧PC



図4 プロトタイプシステムの構成

テムを構築し、すぐに現場で検証を行った(図1)。プロトタイプ
のシステムではカメラ機器:手持ちカメラ+映像確認用スマ
ホ(図2)、通信装置:Wi-Fiルーター(現場側、(図1))、ソフト
ウェア:VMS、閲覧用機器:PC(図3) という構成で検討した。

全体システム構成を図4に示す。現場での試行の結果、
バッテリーが必要なため装置が大型化することや、手持ち
のカメラでは両手がふさがってしまい作業性が低下するこ
と、また、VMSシステムでは映像・音声を同一回線で送信す
ると音声が悪く、別の回線を利用して送信すると、片方の
通信状況が悪化した際に送信がとぎれとぎれになりやす
いなどの課題があると判明した。

2.3改良システム

そこで装置システムを一から見直し、改良を行うことにし
た。選定の基準として、ハンズフリーで運用できるものと
した。立ち会い中には検尺ロッドやコンベックスなど、別
の工具を手を持って作業することも多いためである。また、
導入費用や社内での慣れの観点も踏まえ、ソフトウェアを
社内で一般的に使用されているweb会議システムで使用
できるものを優先する。こうした条件の下でカメラ機器を
選定した。

市場には多くのカメラ機器が出回っているが、この中か
らスマートグラス及び小型カメラに目星をつけ、さらに、
そのうちの4社製品に絞って比較検討を行った(表1)。そ
れぞれの機器ではヘルメットや胸ポケットにカメラを固
定する機構が備わっており、全ての機器でハンズフリー
を実現できる。ただし、C社の小型カメラはスマホと接
続して外部カメラとして

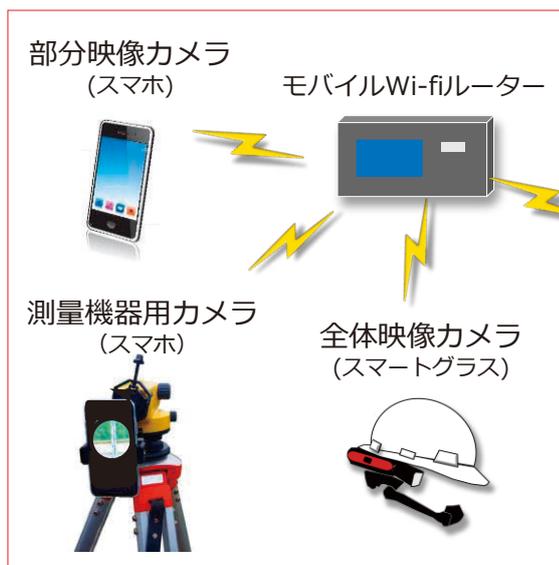
表1 カメラ機器の比較

	A社	B社	C社	D社
種別	スマート グラス	スマート グラス	小型カメラ	小型カメラ
動画解像度	1080P	1080P	1080p	720p
フレーム レート (fps)	30	24	30	30
コスト	高	中	高	低
社内会議シ ステムとの 相性	○	×	△	×
ハンズフリー	ヘルメット	ヘルメット	ヘルメット, 胸	胸
備考	音声操作	—	手振れ補正が 優秀	タイムライン 機能
総合評価	◎(採用)	×	○	×



図5 スマートグラス

現場



クラウドサーバー



発注者事務所



施工者事務所

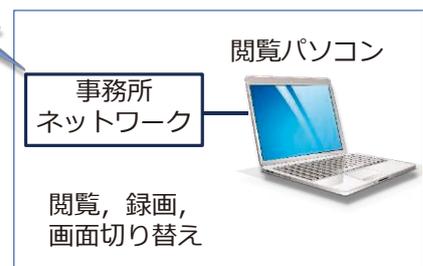


図6 フジタ遠隔臨場システム



図7 測量機器への取り付け

使用する必要があり、カメラ-スマホ間にケーブルがあるため、若干の使用感に課題があった。また、会議システムの相性を考えると、B社とD社のものはシステムに対応していなかったり、自社開発のシステムのみに対応していたりするため、社内会議システムに組み込むことができなかった。これらのことから、A社のスマートグラスを採用した(図5)。また、C社のカメラは手振れ補正が優秀であり、社内会議システムにも対応していることから、A社スマートグラスの映像酔いなどが課題となった際に代案として提案できる体制とした。

A社スマートグラスはカメラ、マイク、イヤホン、バッテリー機能を併せ持つAndroidOS搭載の端末である。Wifi通信を使うことで、無線によりインターネットに接続することができる。また、撮影用のカメラのほかに小型のディスプレイを搭載している。このディスプレイを効き目の前方付近に配置することで自身が配信している映像を確認することが可能だ。また、目の直近にあるため、小型でも、7インチのタブレットと同等のサイズ感で閲覧することが可能である。防塵・防水性能はIP66を有しており、屋外の工事現場でも利用できる。本スマートグラスの最大の特徴は音声操作である。この機能によって両手がふさがった状態でもスマートグラスの操作ができ、完全にハンズフリーに運用が可能となっている。

最終的なシステム構成を図6に示す。本システムは国土交通省の遠隔臨場の試行要領(案)の基準を満たしている⁴⁾。スマートグラスはヘルメットに固定してしまうため、取り外して手に持つことはできない。そのため、足元の撮影や、近接した撮影には向いていない。そこで、接写等を行う際はスマホを併用することにした。ここではスマートグラスを「全体映像カメラ」、スマホを「部分映像カメラ」と便宜的に呼称している。また、測量結果を確認する際にもスマホをレベル機器に取り付けることで実施できる(図7)。また、通信機器は容量制限のないキャリアのモバイルWi-Fiルーターを基本活用し、通信環境によって別のキャリアへの切り替えや、別途通

信環境を構築する。

§3. 生産性向上と脱炭素への貢献

遠隔臨場システムを採用した際に、どの程度の生産性向上の効果や、CO₂削減効果があるのか、実際に導入した現場を例に概算した。

3.1 生産性向上効果

システムを導入した高速道路の4車線化工事の現場では概ね毎日の現場立ち会いがある。また、現場から発注者事務所まで往復で約1時間要することから、平日のみで計算すると、1年で約245時間の削減効果が見込まれる。

遠隔臨場は発注者立ち会い以外にも社内パトロールや技術指導などの活用も期待される。そのため、少なくとも今回概算した以上の生産性向上の効果があると考えられる。

3.2 導入時のCO₂削減効果

3.1と同じ4車線化工事の現場では、施工箇所と発注者事務所は片道約15km離れている。環境省が作成した温室効果ガス排出量を算定するマニュアル⁵⁾を用いて、普通車で移動した場合のCO₂排出量を計算すると、1回で約9kgの削減になるとわかった。先と同じく、平日は毎日立ち会いがあるものとして、計算すると1年間で約2.2tの削減効果が見込まれる。なお、自動車移動の際のCO₂排出量は燃料の使用量から計算するが、これは国土交通省の自動車燃料消費量統計⁶⁾を使用して算定した。

§4. 課題

4.1 検査書類の作成

一般的な社内の会議で使用されるweb会議システムには検査書類を同時に作成する機能は備わっていない。建設業に特化した遠隔臨場ソフトウェアにはこのような機能があるが、社内で試用しているweb会議システムの機能を全て有しているわけではない。両方のソフトを導入するにはコスト面や運用の煩雑さ等の課題がある。よって、検査書類を共有する際は、別途、より価格の安い検査書類共有専用のソフトを会議システムと同時に立ち上げて利用するなどの運用が考えられる。将来的にはこれらのソフトが一元化された方が望ましい。

4.2 通信環境の改善

(1)通信環境改善手法について

土木工事では携帯通信網のあまり整備されていない山奥などで施工することも多い。こうした場所で通信網を整備

する場合、光回線を引いてWi-Fi網を構築する必要がある。広大な造成現場ではアクセスポイント(AP)の数が増えることや、AP間に通信ケーブルを利用するため運用・保守に課題が残る。また、AP間にケーブルを使用しないタイプのルーターもあるが、ポップさせる毎に通信速度が大幅に低下する等の課題がある。一方で、プライベートLTEや4.9GHz帯、5.7GHz帯等の無線を利用するという方法もある。これらは比較的自由に通信環境を構築できるというメリットもあるが、総務省への申請に少なくとも2か月以上を要し、またコストも高いという課題が残る。

(2)マルチキャリアルーター

現場内に新たに通信網を構築しない手法として、複数SIMを使って、通信を改善するルーター(図8)を使う方法がある。このルーターは別々のキャリアのSIMカードやモバイルWi-Fiルーターを組み合わせることで通信速度を向上させたり、一方の回線が切断されても接続を維持しつづけていたりする機能が備わっているものである。

このルーターの性能を評価するために、キャリア2社のSIMカードと、モバイルWi-Fiルーターの2.5GHzならびに5GHzを使い、通信速度の検証を行った。各回線と全ての回線をマルチキャリアルーターで統合したケースについてそれぞれ100回ずつ測定を実施した。まず単独の回線について比較した結果を図9に示す。回線はアンテナとの距離や、その瞬間の接続台数等によって数値にばらつきがあると考えられるため、各値を100回平均値で除算して、データの平均が1となるように正規化した数値を用いた。その結果、まず、通信会社ごとのばらつきには差がないとわかった。A社とB社を比較すると下り回線速度の標準偏差はそれぞれ0.28と0.24、また、上り回線速度の標準偏差は共に0.14と大差ない。一方、モバイルWi-Fiルーターを用いると周波数帯に依らずばらつきが大きくなることが確認できた。例えば、5GHzの場合、標準偏差は下り回線速度で0.71、上り回線速度で0.45である。また、下り回線速度と上り回線速度を比較すると、どの方式であっても上り回線速度の方がばらつきは小さい。

次に4回線を統合するとどの程度の通信速度が変化したかを図9に示す。こちらの場合には値の大きさを比較するため、正規化はしていない。単一のSIMカードを使用した場合と比較すると、上下共に通信速度が改善することが確認できた。特に下り回線の速度は大幅な向上が見込まれる。劣悪な通信環境ではこのようなルーターの活用が期待できる。また、事前に様々な回線の通信状況を確認しておき、その中の最大の2回線を組み合わせることで、ルーターの機能をさらに効果的にすることができる。特に下り回線についてはその効果が顕著であった(図11)。もともとの回線の最



図8 マルチキャリアルーター

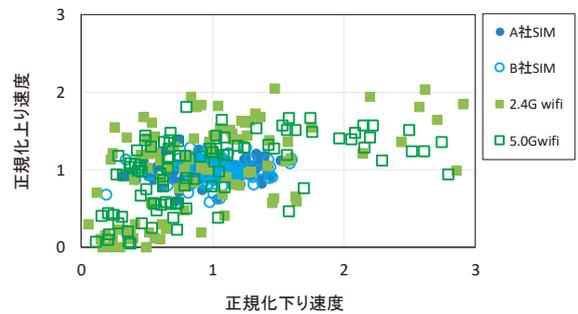


図9 単独回線の比較

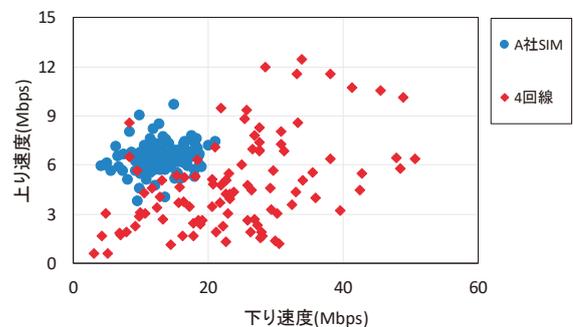


図10 マルチキャリアルーターの効果

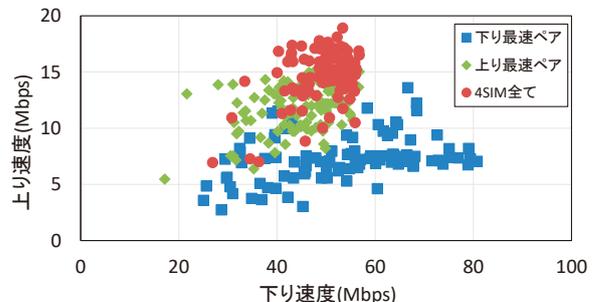


図11 回線数による速度改善

大の下り速度は30Mbps程度だったのに対して、下り速度の速かった2回線を選択すると最大80Mbpsまで通信速度を増強することができた。また、上りの通信速度も単一の回線を利用するよりは改善されたが、4回線すべてを合わせた場合と同等程度であった。

§5. まとめ

本報告では遠隔臨場技術の土木工事現場への早期運用に向けて、運用するシステムや、導入効果、課題について検討を行った。要点は以下の通りである。

(1)汎用のweb会議システムに対応した、基本ハンズフリーのスマートグラスとスマホを組み合わせたシステムを構築した

(2)導入時の効果は1現場あたり、年間約245時間の時間削減効果と約2.2tのCO₂削減効果が見込まれる

今後は帳票作成や、通信環境の構築等を踏まえたシステムの高度化を検討し、より現場の使いやすいシステムにしつつ、現場への普及・活用に尽力したい。

参 考 文 献

- 1) 一般社団法人日本建設業連合会:再生と進化に向けて-建設業の長期ビジョン-,2015.3
- 2) 日経コンストラクション2020/09/14号:ズームアップ 法面:「往復3時間」の無駄を省く遠隔臨場:松山自動車道法面補強工事(愛媛県),pp. 8-13,2020
- 3) 藤原達也、佐藤昌宏、柳瀬ひろし、建山和由:非接触な遠隔安全パトロールによる現場安全の向上,JSCE 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会、第VI部門47,2021.9
- 4) 国土交通省 大臣官房技術調査課:建設現場の遠隔臨場に関する試行要領(案),2021.3
- 5) 環 境 省 大臣官房 環境計画課:地方公共団体実行計画(事務事業編)策定・実施マニュアル(算定手法編)Ver1.1,2021.3
- 6) 国土交通省:自動車燃料消費量統計年報令和元年度(2019年度)分,2020.7

ひとこと



新井 智之

国土交通省では2022年度より直轄工事での遠隔臨場の原則適用を目指している。こうした状況も見据えて、少しでも多くの導入実績を増やし、スムーズな運用ができる体制を整えていきたい。