

14. 遠隔臨場における通信環境可視化アプリケーションの検証

株式会社フジタ

○ 新井 智之

平野 勝識

株式会社キッズウェイ

田代 善久

1. 開発背景

近年、建設業界では労働者の減少や、時間外労働の上限規制への対応といった課題があり、生産性向上を推進する必要に迫られている¹⁾。

そうした中で、遠隔臨場による立会が盛んに行われている。遠隔臨場とは『動画撮影用のカメラ（ウェアラブルカメラ等）によって取得した映像及び音声を利用し、遠隔地から Web 会議システム等を介して「段階確認」、「材料確認」と「立会」を行うこと²⁾』である。工事現場への移動時間や、待ち時間の削減といった時間に関する効率化の効果が期待されている。

2020 年度より、国交省で試行要領が発行され、試行が開始された。2020 年では直轄工事で 760 件の試行がなされたと報告されており、2021 年度には 2700 件の実施が報告されている³⁾。そして、2022 年度は「全ての工事で原則適用」となった。このように、3 年間で盛んに実施されるようになってきており、工事現場では既に「当たり前」に行われる取り組みになりつつある状況が伺える。

また、遠隔臨場を実施するためのソフトウェアやカメラも様々な観点で開発されており、利用者が目的に合わせて自由に選ぶことができる状況になっている。一方で、これらのソフトウェア・端末においては無線通信を利用する製品が多く、推奨の環境が指定されているものの、環境の構築については使用者にゆだねられているケースが多い。通信環境の構築には電波利用に関する総務省への申請期間が必要である場合や、機器そのもののコストが高い場合もある。

こうした理由によって、工事現場の無線通信環境を事前に把握することは非常に重要である。そこで、通信環境を事前に検討できるように、通信環境可視化のアプリケーションを新たに開発した。本稿ではアプリケーションを概観し映像配信における通信環境の評価方法に関する検討を行う。

2. 遠隔臨場アプリケーション

通信環境可視化アプリケーションの検討にあたり、遠隔臨場アプリ CONNET を利用した。このア

プリは株式会社キッズウェイ、ダイワハウスグループ、フジタで共同開発した独自の遠隔臨場アプリケーションである。社内で標準的に運用しているため、最初に行う検証には最適と考えて選定した。CONNET は webRTC を利用した遅延の少ない映像配信を行えるのが特徴のシステムである。また、日常利用版と遠隔臨場版の 2 つの映像配信機能を備えている。遠隔臨場版では最大で画像サイズ 1920×1080 の FHD、フレームレート 30fps で配信でき、国交省の実施要領の基準²⁾を満たしている。また、通信状況等に応じて配信の画像サイズやフレームレートを手動で下げることが可能で、例えば、フレームレートをあえて下げることで、送信する映像の劣化を防ぎ、きれいな映像を送るなどの操作が可能である。

遠隔臨場版 CONNET での機器システムの一例を図 1 に示す。現場側ではスマートフォンの映像を配信する。この際、ポケット Wi-Fi ルーター等を用いて無線通信を用いるのが一般的である。また、手振れ防止のためにスタビライザーや、音声を聞き取りやすくするために、骨伝導イヤホンマイクやノイズキャンセル機能付き無線イヤホン等を用いても良い。また、配信を実施する工事現場側では、現場事務所で職員が一人参加し、ディレクターとして映像配信のカメラ切り替え等を行う。このようにすることで、工事現場側では立ち合いに必要な作業と撮影のみに専念することができ、スムーズに立会を実施できる。また、発注者側では配信中は特に操作を行うことなしに状況確認に集中することが可能となる。

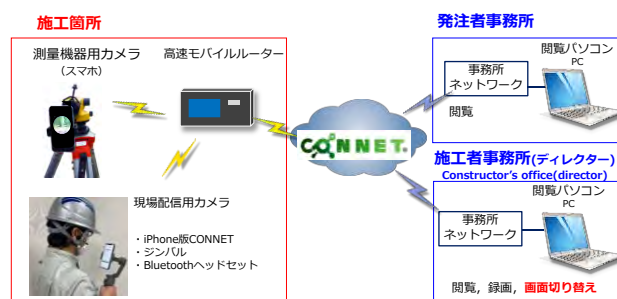


図 1. 遠隔臨場版 CONNET のシステム図

通常版 CONNET では送信可能な画像サイズやフレームレートは遠隔臨場版よりも低く設定されている。これはより幅広い通信環境でも手軽に映像配信が行えることを意図している。今回はより良い映像配信を行うための通信環境の可視化を検討したため、基本的には遠隔臨場版の CONNET を用いて検討を行った。CONNET はこの他にもチャット機能、歩数記録機能といった多様な機能を有しており、遠隔コミュニケーションを一元化して行うことができる。

3. 通信可視化ソフト

次に通信環境を可視化する手法について述べる。遠隔臨場の実施に先立って可視化の作業を行う。また、可能であれば、施工の進捗に応じて複数回測定する方が望ましい。作業は大別して測定と可視化の 2 つに分けられる。それぞれについて説明する。

3.1 測定の方法

まず、データを取得する段階である測定作業について述べる。測定では通信状況に関する情報と位置情報を取得する。通信状況に関する情報には RSRP, RSSI, SINR, ジッター, 遅延など、様々な指標が存在する。本検証では単純化のため、遠隔臨場アプリケーションで一般的な基準値が公表されているスループットを検討に用いた。スループットは実際に利用する遠隔臨場ソフトを用いて配信を実施しながら専用のルーターで値を取得する方法と、一般的なインターネット回線のスピードテストを取得する簡便な方法の 2 種類がある。また、位置情報についても、GPS で取得する方法と、地図上で大まかな位置を記録しておき記載する手法の 2 種類がある。さらに、測定時には徒歩で測定する場合と、自動車などに搭載して測定する場合の 2 種類がある。なお、本技術は現状 GPS のデータや地図情報を用いるため、屋外の利用に限られる。

3.2 可視化の方法

次に測定したデータを可視化する手法について述べる。可視化には独自ソフト遠隔臨場快適マップを用いている。このソフトはモバイルテクノ社のエアモニタを実行エンジンとしており、遠隔臨場向けに独自のインターフェースを構築したものである。取得したスループットと位置情報を一つの CSV ファイルにまとめ、CSV ファイルを読み込むことでソフトウェアに取り込むことが可能である。読み込んだデータは、あらかじめ決定しておいた基準値とグリッドの分割数に基づいて Google 社製「Google map」上に表示される。基準値は使用する配信ソフト、相手先の人数、目標とする画像サイ

ズとフレームレート毎に設定しておく必要がある。基準値に関する検討については後述する。

3.3 適用事例

実際に可視化を実施した事例を示す。今回は CONNET を 1 人に対して、FHD, 30FPS で配信することを想定し、2 種類のキャリアのモバイル Wi-Fi ルーターでの比較を行った。また、調査方法はスピードテストを利用した。

基準値はメーカーで推奨している 3Mbps を良好の基準とし、以下 1Mbps 毎に階層分けをした。

まず、キャリア A の結果を図 2 に示す。キャリア A ではほぼ調査領域の全域が良好であった。南側の橋の部分でやや低い値の場所も確認できた。



図 2. キャリア A での調査結果

続いて、キャリア B の結果を図 3 に示す。キャリア B では調査領域の中央付近では良好な値を示していたが、やや、スループットが低い領域も確認された。特に、北西側では大幅に低い値となっていた。



図 3. キャリア B での調査結果

今回の調査領域で遠隔臨場を実施する場合は、キャリア A を推奨し、やむなくキャリア B を採用する場合は、北西側では立ち合いを避けるか Wi-Fi ルーター等を別途設置して、通信環境を強化する必要があると考えられる。

4. 測定指標の検討

映像配信の場合、撮影した映像がそのままデータとして配信されるわけではなく、コーデックを用いてデータを圧縮し、容量を小さくしてから送信される。そのため、撮影対象や映像の動きによって送られるデータの容量等が変化すると考えられる。そこで、様々な映像を用いて、CONNET でのくらの通信容量で良好な配信ができるかの測定指標の検討を行った。なお、CONNET のコーデックは VP8 である。

4.1 検討手法

今回の検討手法を図 4 に示す。webRTC の接続では、端末同士が接続するまでには、様々なサーバーを介する必要があるが、一度接続した後は P2P のような接続となる。そこで、同じエリア内での同一ネットワーク内で映像配信を行えば、インターネットの混雑具合に左右されずに、通信速度を良好に制御できると考えた。

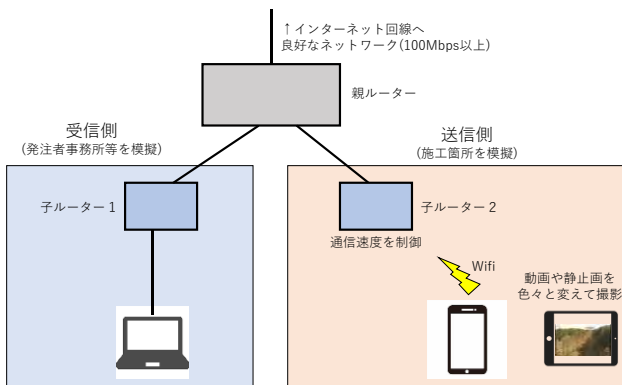


図 4. 検証手法

「親ルーター」をインターネットと接続し、その下に2台の「子ルーター」をぶら下げる。それぞれに子ルーターに対して、受信側の役割をする PC と送信側の役割をするスマホを接続している。スマホ側で iPad の映像を撮影して PC へと配信した。PC 側では webRTC の内部情報を参照し、画像サイズやフレームレート、受信したデータ量等を確認した。スマホ側は遠隔臨場実施時には実際に立ち合いを行って映像を配信する施工箇所を模擬している。一方で、PC 側は遠隔臨場の映像を受信して閲覧する発注者事務所等を模擬している。

iPad では複数の映像と画像を用意した。映像は NHK クリエイティブ・ライブラリーの映像を3秒

のショート動画に編集し、ループ再生を行った。映像は3種類用意した。経験的に動画の動きが大きくなると変化が激しくなり、劣化しやすくなると考えられるため、動きの大きい動画、中程度の動画、小さい動画として選定した。ただし、動画の圧縮にはフレーム内、フレーム間の圧縮や、DCT 等の様々な技術が盛り込まれており^{例えば4)}、フレーム内を分割した際に一致する部分の存在や、キーフレームと他のフレームの一致するブロックの存在、輝度などが複雑にかかわってきており、一概に動きだけで劣化の程度は議論できないことに留意が必要である。

次に通信の制御について述べる。バック回線の通信速度は 150Mbps 程度の良好な回線となっている。送受信側共に「子ルーター」が通信速度を制限できる機能を有しており、通信速度を下げることで、目標の通信速度に調整する。主に送信側の通信速度を制御した。速度の誤差は通信速度テストで確認したところ概ね1割程度であった。

4.2 結果

検証の結果について述べる。まず、iPad をスマホの画角にギリギリまで入るまで近づけて検証を行った。iPad とスマホ間の距離は約 8cm である。この場合、動画・静止画に関わらず、上りの通信速度が 100Mbps 以上であっても画像サイズ 1440×810 px の 30fps の送信となってしまうことが判明した。また、iPad とスマホ間の距離が近いことが原因とも考えられたため、iPad を 27 インチモニターに変更して検証を行った。この場合でも、モニターが画角に入る距離感だと、同様に通信速度が 100Mbps 以上であっても、960×540 px の 30fps の送信となってしまうことが確認できた。

次に、iPad とスマホ間の距離を 20cm に離して、送信側の通信速度を変えながら CONNET で映像配信を行った。この場合、10Mbps までは FHD、30fps での配信が行えたが、8Mbps だと画像サイズが、1440×810 に低下し、5Mbps だと、960×540 px に低下した。

さらに、iPad とスマホ間の距離を離して、30cm にまで変更した。この場合は、どのような、動画・画像であっても、通信速度を 0.25Mbps まで変更しても FHD 30fps を維持し続けた。

これらの検証から、モニター画像を利用して映像配信を行う手法は、通常に撮影したものと区別した方が良く考えられる。

また、遠隔臨場アプリケーションが内部で実際に送信しているデータ量は、スピードテスト等で得られ環境のスループット値よりも低い値となることが確認できた。よって、環境に応じて実際にどの程度のデータ量が送信されているかの関係性を掴むことが重要であると考えられる。

4.3 画面共有機能による動画の配信

遠隔臨場版 CONNET の場合、PC では画面共有機能を備えている。そこで、撮影側をスマホから PC に変更して、画面共有機能によって映像を配信して、検討を行った。この場合、通信に制限をかけていない状態でも、フレームレートが極端に低下してしまった。よって、CONNET の場合、画面共有機能と通常のカメラ映像の配信機能は区別して考えた方がよい。

4.4 他のアプリケーションとの比較

iPad とスマホ間の距離を 20cm にした状態で、他社製の遠隔臨場アプリケーションによる配信を行った。この会議ソフトの場合は、FHD の画像サイズでの配信を謳っているにも関わらず、通信速度制限がない状態でも、1280×720 px の画像サイズとなってしまった。また、受信側ブラウザでの window サイズを小さくすると、それに合わせて送信される画像のサイズも小さくなることが確認できた。通信速度を低下させていくと、1Mbps を下回った段階で、画像サイズは 1280×720 px に維持したまま、フレームレートが不安定な値となった。CONNET では、画像サイズが低下するような挙動があったことから、遠隔臨場アプリケーションによって、映像配信の負荷を低減させる工夫や、通信速度に応じた挙動が大きく異なることが判明した。このことから、用途に応じて適切なアプリケーションを選定することが重要であるといえる。

5. 結論

本稿では遠隔臨場実施において、工事現場での無線環境の重要性について確認し、通信環境を可視化する取り組みについて紹介した。また可視化にあたり、評価指標を構築することが重要であることから、評価指標についての検討を行った。その結果以下の知見を得た。

- ・屋外の通信環境をスループットによってクラス分けできることを確認した。可視化することによって、キャリアの選定や、無線通信の増強箇所などを効率的に選定することが可能である。
- ・通信速度に応じでどの程度の画像サイズ、フレームレートの映像が配信できるかを検証した。その結果、iPad を用いた映像配信手法では、モニターの映像内の占有率によって送る事のできるデータ量が大幅に変化してしまい、測定することが難しいことが分かった
- ・2社の遠隔臨場アプリケーションを比較した結果、通信速度が低下した際の挙動に差が見られ

た。カタログスペックだけでなく、詳細な仕様を把握して、用途や目的に応じて適切なアプリケーションを選定することが重要である。

今後は通信環境可視化アプリケーションの適用事例を増やしていきたい。様々な現場で適用することによって、データを蓄積するとともに、施工の進捗に応じた変化や経時変化等も把握していきたい。また、引き続き評価指標についての検討も行っていきたい。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本建設業連合会：生産性向上推進要綱、2016
- 2) 国土交通省 大臣官房技術調査課：建設現場における遠隔臨場に関する実施要領(案)、2023
- 3) 国土交通省：i-Construction、インフラ分野のDXの推進について、2022
- 4) 社団法人 電波産業会 デジタル放送システム開発部会・CS デジタル放送高度化作業班・映像符号化方式作業班：情報源符号化部 H.264 | MPEG-4 AVC 規格の概要、2006