

31. メッシュ Wi-Fi による映像の伝送に関する実証実験

安藤ハザマ

○ 紫垣 萌
藤本 直也
武石 学

1. はじめに

近年の光学・通信技術の普及に伴い、高解像度な映像を取得する 4K カメラや、広範囲で安定した無線通信環境を構築するメッシュ Wi-Fi 等の通信機器の入手が容易になってきている。

このこともあり、建設現場の施工管理において、定点カメラで施工状況をモニタリングし現場事務所等の遠隔地から現場の様子を確認する事例が増加している。また、現場におけるカメラおよび通信機器のさらなる活用例として、4K 定点カメラ映像を用いて現場の進捗管理を効率的に行うシステム¹⁾も開発されている。

そこで著者らは、定点カメラ映像およびメッシュ Wi-Fi を建設現場へ導入する際の留意点を整理するため、当社技術研究所内に現場を模擬した無線通信環境を構築し、4K カメラ映像を伝送する際の伝送距離や、伝送するデータ量等が映像の閲覧性に与える影響を確認した。

2. システムの概要

構築した通信環境とカメラの配置を図-1 に示す。実験場所の技術研究所は敷地面積約 70,000 m²、鉄筋コンクリート造の施設 8 棟と約 19,000 m²の屋外実験ヤードを有するものである。本実験では約 40m～200m 離れた 5 棟に定点カメラと無線アクセスポイント (AP) を設置することで、3 棟の屋内実験場および屋外ヤードの映像を取得し、現場事務所を模擬した敷地南端の棟 (以下 A 棟) にて一括で記録・閲覧できる環境を構築した。なお、映像の記録には NAS (ネットワーク HDD) を用い、閲覧には IP ビデオ監視システムを用いて別の Wi-Fi ネットワークからの閲覧を可能とした。

3. カメラの選定

3.1 カメラの配置

敷地中央に位置する棟 (以下 B 棟) および敷地北端の棟 (以下 F 棟) には屋外ヤードまでの距離が最大で 100m 近くあることから 4K 解像度の映像

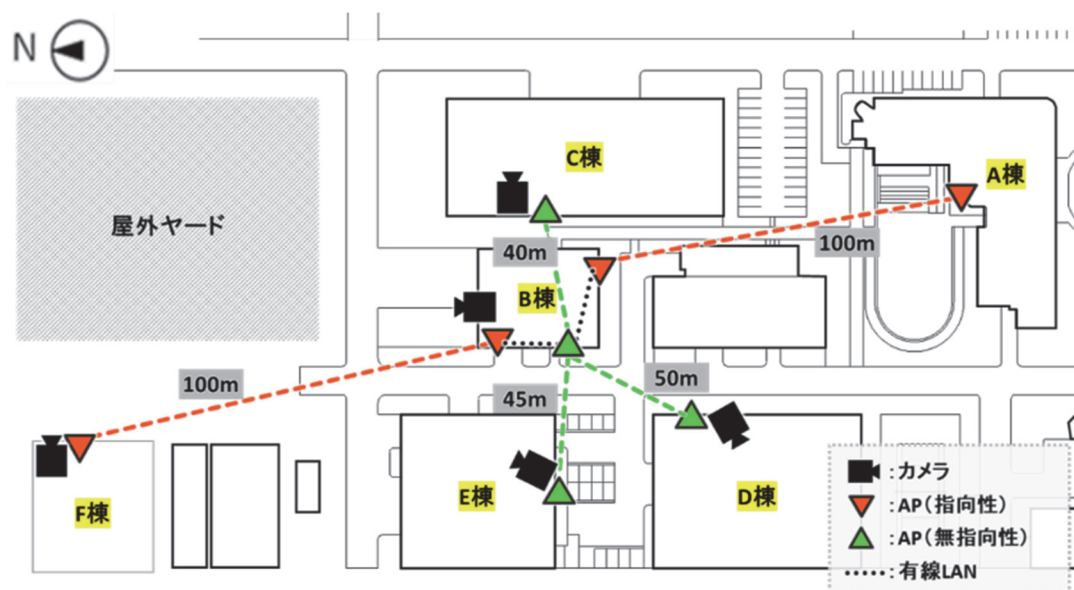


図-1 構築した通信環境とカメラの配置

が取得可能なカメラを設置し、屋外ヤードを 2 方向から撮影することとした。屋内の映像を取得する 3 棟（以下 C, D, E 棟）には、2K 解像度の映像を取得するカメラを設置した。使用したカメラの諸元を表-1 に、設置状況を写真-1 に示す。

3.2 映像の質と使用するデータ量

カメラから伝送される映像のデータ量は、映像の質に伴って増減する²⁾。映像の質に関わるパラメータは複数あり²⁾、本実験では解像度、フレームレート、ビットレートに着目した。

解像度は、画像を表現する画素の密度の値である。イメージを図-2 に示す。ある画像を表現するために用いる画素数が多いほど、より精細な表現が可能になる。そのため、解像度が高いほど映像の質は高く、使用するデータ量は多くなる。

フレームレートは、映像 1 秒間あたりの画像の枚数の値である。ある動きを表現するために用いる画像の枚数が多いほど、動きの滑らかな映像となり、使用するデータ量は多くなる。

ビットレートは 1 秒間あたりのデータ通信量の値である。通信するデータ量が多いほど、精細さや滑らかさを維持したまま映像を伝送することができる。すなわち同じカメラから伝送された映像でも、ビットレートの大きなものの方が映像の質は良いといえる。4K カメラにおけるビットレートに伴う画質の変化を図-3 に示す。

以上のことから、本実験では 5 台のカメラのビットレートおよびフレームレートの値と、それを伝送した際の閲覧可否を確認することとした。

4. ネットワークの構築

4.1 Wi-Fi アンテナについて

本実験では 5 台分のカメラ映像を伝送する無線通信環境を構築した。各 AP には伝送距離に合わせ、指向性と無指向性の 2 種類の無線通信アンテナを有する AP を用いた。指向性アンテナは電波を送受する方向が限定されるが、より遠くまで電波が届く。無指向性アンテナは伝送距離が指向性アンテナに劣るが、より広範囲の電波を送受できる。

図-1 より、E 棟から A 棟までの伝送距離が最大



2Mbps



4Mbps



8Mbps

図-3 ビットレートによる画質の変化

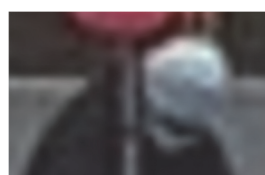
約 200m と遠いため、指向性アンテナを有する AP を用いて B 棟を中継し伝送することとした。また C, D, E 棟で取得した映像は無指向性アンテナを有する AP を用いてメッシュ Wi-Fi で B 棟に集約し、E 棟の映像と合わせて無指向性アンテナで A 棟へ伝送することとした。

表-1 カメラの諸元

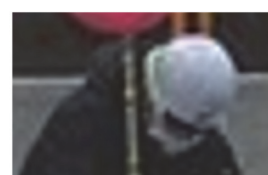
カメラ① JVC VN-U178WPR	
圧縮方式	H.264, Motion JPEG
解像度	3840×2160～320×240
フレームレート	最高30fps
カメラ② AXIS P3245-LV	
圧縮方式	H.264, H.265, Motion JPEG
解像度	1920×1080～160×90
フレームレート	(WDRオン) 25/30フレーム/秒 (WDRオフ) 50/60フレーム/秒



写真-1 カメラ設置状況(左:E棟, 右:F棟)



2K解像度



4K解像度

図-2 解像度による画質の変化

4.2 メッシュ Wi-Fi について

メッシュ Wi-Fi とは、複数の AP どうしが網目状に接続され、任意の AP から AP へ情報を伝送できる技術で構成された Wi-Fi 環境である。メッシュ Wi-Fi では電波の中継が容易になるため、コンクリート壁等の障害物を迂回して接続できる等、通信網を簡便に構築できる。

本実験でメッシュ Wi-Fi を用いた B, C, D, E 棟の離隔は最大約 50m となっており、D 棟の AP は窓ガラスを隔てた屋内に設置した。メッシュ Wi-Fi のアンテナ設置状況を写真-2 に示す。

4.3 屋内での映像閲覧環境の整備

集約された映像は、A 棟内の 2 部屋で閲覧できるようにした。いずれの部屋も、AP のアンテナの設置場所とは廊下や壁、扉を隔てた別室であり、うち 1 部屋は階層も異なる。なお、A 棟 AP のアンテナは屋内に設置しており、遮光フィルムを貼付した窓ガラスを隔てて通信を行っていた。

4.4 Wi-Fi のチャンネル設定について

各区間で設定した Wi-Fi のチャンネルを表-2 に示す。A 棟 B 棟間の Wi-Fi 通信はすべての画像データが集約されるため、2.4GHz 帯よりも通信容量が大きい 5GHz 帯のチャンネル³⁾を設定した。また B, C, D, E 棟のメッシュ Wi-Fi についても 5GHz 帯のチャンネルを設定した。

表-2 各区間のチャンネル設定

区間	チャンネル
AB	104,108
BC	116
BD	116
BE	116
BF	11



写真-2
アンテナ設置状況
(B 棟)

合がある」を○、「移動物体の映像が頻繁に不連続となる」を△とした 3 段階で評価した。

5.2 実験結果と考察

(1) 伝送するデータ量と映像の閲覧可否

映像の閲覧状況の実験結果を表-3 に示す。目標ビットレートが 8Mbps を超えると、4K カメラで移動物体の映像が一瞬不連続となる現象が発生した。一方で、フレームレートが 1fps であれば、目標ビットレートが 8Mbps を超えても問題なく閲覧できる結果となった。また、目標ビットレートが 12Mbps に達すると、4K カメラでは移動物体の映像が頻繁に不連続となり、2K カメラでは一瞬不連続となる現象が発生した。カメラに設定した合計のビットレートに対し、実測したビットレートの合計の関係を図-4 に示す。設定したビットレートに比例して実測のビットレートが増加していない理由は、2K カメラが設定した値までビットレートを上げきれていないことが原因であると考えられる。

表-3 実験結果

カメラ設定		観測結果				
フレームレート (fps)	目標ビットレート (Mbps)	4Kカメラ		2Kカメラ		
		B棟	F棟	C棟	D棟	E棟
1	1	◎	◎	◎	◎	◎
	8	◎	◎	◎	◎	◎
10	1	◎	◎	◎	◎	◎
	8	○	○	◎	◎	◎
24	1	◎	◎	◎	◎	◎
	2	◎	◎	◎	◎	◎
	4	◎	◎	◎	◎	◎
	8	○	○	◎	◎	◎
	12	△	△	◎	○	○

◎：良好に閲覧できる

○：移動物体の映像が一瞬不連続となる場合がある

△：移動物体の映像が頻繁に不連続となる

5. 映像伝送の実証実験と現場導入時の留意点

5.1 実験概要

伝送するデータ量と映像の閲覧性との関係を確認するため、屋外に設置した B, F 棟の 4K カメラのビットレート設定値を段階的に変化させた。あわせて、全カメラのフレームレート設定値を段階的に変化させ、その映像を伝送した際の A 棟での閲覧状況及び実際に流れる映像のビットレートを確認した。なお、画像圧縮方式は圧縮率が高い H.264 方式²⁾とし、ビットレート固定モード⁴⁾で実験を行った。

閲覧可否の評価は A 棟内に設けた AP に接続したタブレット端末を用いて行い、「良好に閲覧できる」を◎、「移動物体の映像が一瞬不連続となる場

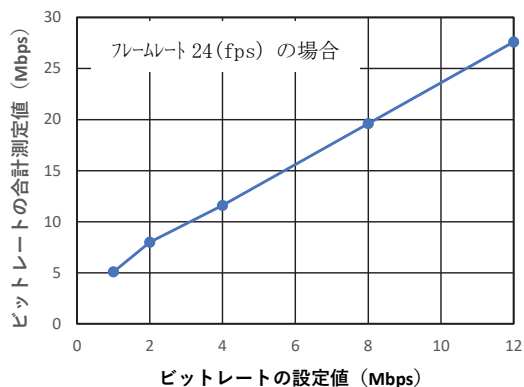


図-4 合計ビットレート設定値と測定結果

(2) 映像の質と建設現場への活用法

1fps であれば、カメラ 5 台分の精細な映像を事務所から一括で閲覧できることが分かった。現場の施工状況を 1fps でとらえた場合、その映像からは建機や作業員の数や位置、動静、移動方向、移動速度等を読み取ることができる。現場のこのような様子を遠隔で確認可能になることで、現場に出向くことなく複数の作業状況を一括して確認でき、進捗管理の効率化につながると考える。また、職員と建機の接近等が確認できることから、作業員の安全管理をより効率的かつ網羅的に行えると考える。

一方 10fps や 24fps の滑らかな映像からは、建機の詳細な動きや作業員の手の作業内容等を読み取ることが可能になる。このような映像が取得できれば、職員が目視で映像を確認するにとどまらず、熟練者の手の動きを AI 等を用いてデータ化し、初心者への教材とする等、より幅広く活用することが可能と考える。ただし実験結果より、今回構築したシステムではカメラのビットレート設定が 8Mbps を超えると映像に乱れが生じることが分かったため、設置するカメラの台数を減らす等の工夫が必要である。

(3) 屋内での映像閲覧環境の整備

本実験で整備した A 棟屋内での映像閲覧環境のモデルを図-5 に示す。アンテナから各部屋に設けた AP の間に中継機を 1 機設置し、映像伝送の安定化を図った。その結果、アンテナと設置階層の異なる部屋においても映像の受信を確認できた。

このことから、現場事務所のある場所で受信した映像を、離れた自席や別室の会議室、協力業者の控室等至るところで閲覧可能となり、より自由度の高い施工管理が可能になると考える。

5.3 実用上の留意点

(1) 近隣との干渉

近隣の施設から電波が発されている場合、その影響で現場の映像伝送が乱れることが考えられるため、事前に調査を行い使用するチャンネルをずらす必要がある。本実験では周囲に無線通信を行う高層建築があったものの、実験に影響の及ぶものではないことを確認していたため、干渉は起きていない。

(2) 気象レーダとの干渉

5GHz 帯の Wi-Fi は気象レーダ波を検知した場合、他のチャンネルへ変更を行う DFS (dynamic frequency selection) 機能⁵⁾の搭載が義務付けられており、画像に影響を受ける場合があるが、本実験場所と同じつくば市内にある気象レーダは、本実験で使用した Wi-Fi の周波数とは異なることを総務省のホームページ⁶⁾にて確認したため、干渉は起きていない。

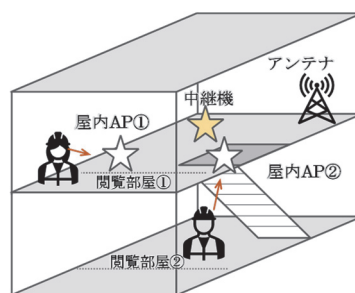


図-5 屋内での映像閲覧環境

6. まとめ

現場への実装を想定して構築した無線通信環境にて、カメラ映像の伝送データ量と閲覧性の関係を確認し、定点カメラおよびメッシュ Wi-Fi を建設現場へ導入する際の留意点を整理した。

今後は本実験の結果から、実際の現場で無線通信環境の構築および運用を試行し、安定した映像伝送のための条件をより詳細に把握したい。また映像を用いた安全・品質管理をより普及させるため、より鮮明な映像を安定して送受信できる強固な通信設備や電波干渉に強い無線環境の構築方法等の開発を期待したい。

謝辞：本実験を行うにあたり、日本マルチメディア・イクイップメントの花坂様には多大なるご協力を賜りました。この場をお借りし、深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 早川健太郎ほか：4K定点カメラ映像による工事進捗管理システムの開発および試行結果（その1）、土木学会年次学術講演会、VI-990、2020。
- 2) 富士通株式会社：画像圧縮技術、<https://www.fujitsu.com/jp/about/research/techguide/list/image-compression/>、2016.(2022-04-18)
- 3) 一般財団法人日本ネットワークインフォメーションセンター：無線LANの基礎と最新動向、<https://www.nic.ad.jp/ja/newsletter/No61/0800.html>、2015.(2022-04-11)
- 4) Axis Communications：IPビデオのビットレート制御、2021.https://www.axis.com/files/sales/white_paper_bitrate_control_for_ip_video_ja_2109.pdf.(2022-06-13)
- 5) 河村聡ほか：802.11高速無線LAN教科書、株式会社インプレスR&D、2008。
- 6) 総務省：無線局等情報検索、<https://www.tele.soumu.go.jp/musen/SearchServlet?pageID=1>.(2022-04-14)