

## ローカル5Gによるカメラ映像伝送

浦元 明 清家 翼 高橋祐二\*

Camera video transmission by local5G

URAMOTO Akira, SEIKE Tsubasa and TAKAHASHI Yuuji

ローカル5Gを用いたカメラ映像伝送を行い、通信遅延の評価を実施した。Ping 応答時間を調べたところ、ローカル5Gの通信速度は、有線接続のそれとほぼ同じであった。映像伝送においてローカル5Gは、HDMI出力と比較しても遜色ないスピードでの伝送が可能であった。また、画像のエンコード等による処理時間の方が、データが通信網を移動する時間に比べて大きいのが、ローカル5Gでは視認可能な表示遅延がなく伝送できることが分かった。

キーワード：ローカル5G、映像伝送、エッジAI、伝送遅延

### はじめに

ローカル5Gの超高速・超低遅延・多数同時接続の3つの主要性能を有し、主に建物内や敷地内での利活用について個別に免許される5Gシステムである<sup>1)</sup>。様々な利用用途が検討される中、ローカル5Gの性能を活かす機能として、AI・映像解析等による検知・フィードバックは総務省の令和3年度ローカル5G開発実証においても共通して多く用いられている事が報告されている<sup>2)</sup>。用途展開に期待されるAI・映像解析であるが、一方でAIについては、通信コストの削減や、低遅延処理が可能であることなどからクラウド型のAIからエッジAIで処理を行う用途が広がってきている。そこで、本研究では、カメラで取得した映像をエッジAIによる処理を行い、ローカル5G通信を用いて伝送し、遠隔で表示を行うこととした。

### 実験環境

#### 1. ローカル5Gの通信

本研究において、(株)愛媛CATVが愛媛県産業技術研究所内に整備した基地局をローカル5Gの環境として使用した。ローカル5Gは、Sub-6の周波数帯の電波を利用する通信と、ミリ波の周波数帯の電波を利用する通信の2種類がある。ミリ波を利用した通信実験は、インターネットに接続し、YouTube Liveを利用し行った。Sub-6を利用した通信実験は、図1のように閉域網を利用した通信網を利用し、端末間で行った。

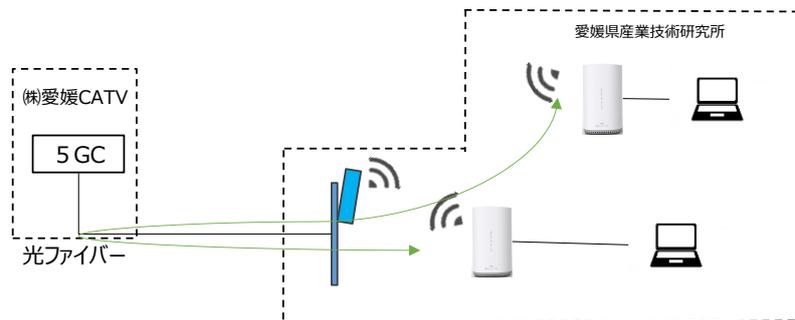


図1 Sub-6を利用したネットワーク閉域網

#### 2. 映像の伝送

AI処理映像の伝送用の端末は、NVIDIA製Jetson Xavierと表1に示すPCを用いた(写真1)。また、映像撮影用にUSBカメラのLogicool製C270n(720p)を接続した。また、比較対象として、HDMI出力可能なカメラPanasonic製DC-G9L及び、表2に示す仕様のエンコーダ/デコーダHYTECINTER製TCS-8500を用いた。

\* 株式会社愛媛CATV

この研究は、「5G活用イノベーション創出事業」の予算で実施した。



写真1 エッジ AI 処理端末

表1 表示用 PC の仕様

CPU	Corei7-97750H
GPU	GeForceRTX2060
RAM	DDR4 2667MHz
Display	FullHD 液晶,144Hz

表2 エンコーダ/デコーダの仕

圧縮方式	H.264、H.265、MJPEG
入力解像度	320 x 240 ~ 3840 x 2160
最大フレームレート	60fps

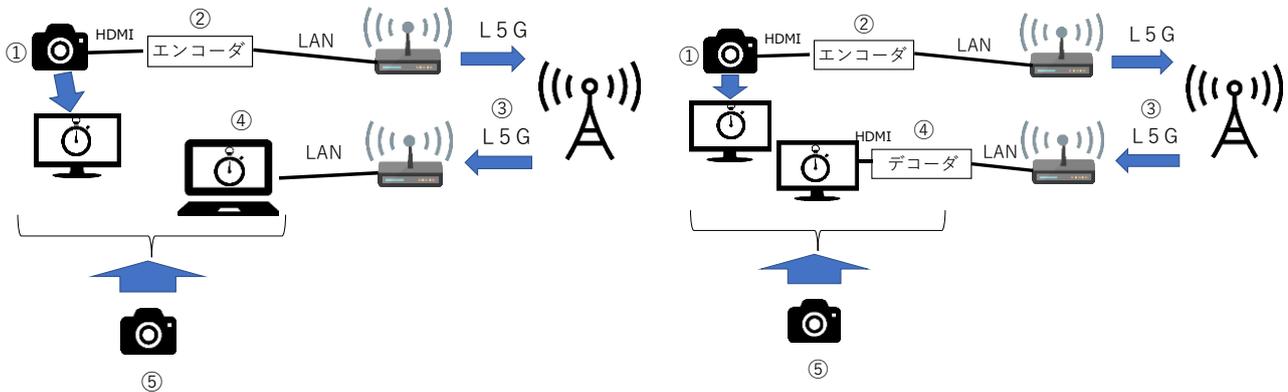
## 実験方法

### 1. ローカル5G通信の評価

通信環境による通信速度の差異を比較するため、端末間での Ping による応答時間、iperf3 による実行速度及びパケットロスについて調査した。Ping による応答時間評価は、ローカル5G、Wi-Fi5 11.ac、有線接続 (Cat7) による比較を実施し、iperf3 では、User Datagram Protocol (UDP) による測定を行った。

### 2. 閉域網を利用した映像伝送

図2に示すように、エンコーダ/デコーダを使用した2種類の映像伝送実験を実施し、カメラに写したストップウォッチの直接的な画像とローカル5G基地局を折り返して戻ってきた画像により時間差を比較した。映像伝送は、UDP を利用する通信である Moving Picture Experts Group-TransportStream(MPEG-TS)で実施した。動画圧縮規格は H.264 とし、フレームレートは 30p とした。カメラ出力での遅延を確認するため、カメラとディスプレイを HDMI ケーブルで接続した場合の表示遅延も計測した。



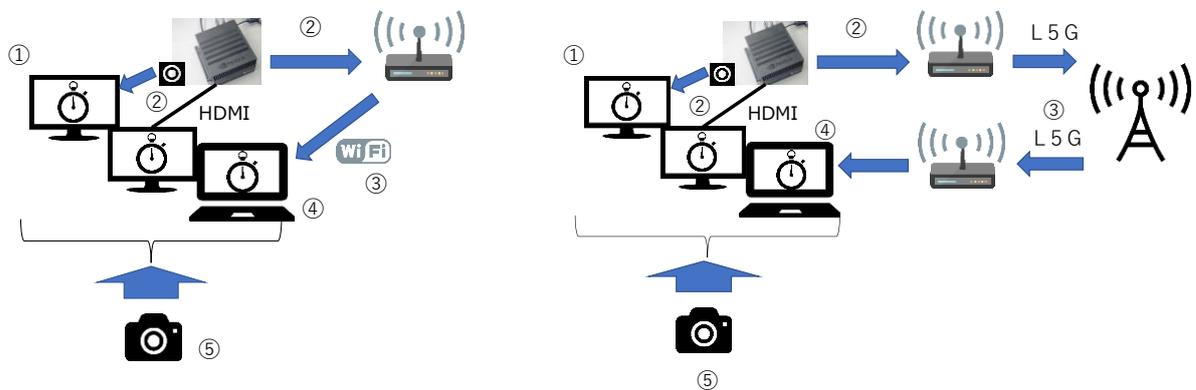
- ① ディスプレイに表示されたストップウォッチ映像をカメラで撮影
- ② 映像をエンコードして配信
- ③ ローカル 5G (L5G) で伝送
- ④ ノート PC のディスプレイに VLC を用いて映像を表示
- ⑤ ①と④を同時にカメラで撮影

- ① ディスプレイに表示されたストップウォッチ映像をカメラで撮影
- ② 映像をエンコードして配信
- ③ ローカル 5G (L5G) で伝送
- ④ デコードしてディスプレイに映像を表示
- ⑤ ①と④を同時にカメラで撮影

図2 エンコーダ/デコーダを使用した映像伝送

### 3. AI 処理画像表示遅延の評価

AI 処理として ObjectDetection を行い、カメラ映像に表示された Bounding Box を含めた映像をローカル 5G 通信で伝送し、ディスプレイに表示した。エッジ AI が処理した映像について、Wi-Fi ルーターを用いた LAN 内通信と、ローカル 5G 通信の遅延差を図 3 に示す手順に従い評価した。



- ① エッジ AI カメラでディスプレイに表示されたストップウォッチ映像を撮影
- ② 映像を GStreamer で RTP での配信及び HDMI 出力しディスプレイに表示
- ③ Wi-Fi で LAN 内の伝送
- ④ ノート PC のディスプレイに GStreamer を用いて映像を表示
- ⑤ ①と②と④を同時にカメラで撮影

- ① エッジ AI カメラでディスプレイに表示されたストップウォッチ映像を撮影
- ② 映像を GStreamer で RTP での配信及び HDMI 出力しディスプレイに表示
- ③ ローカル 5G ネットワークで伝送
- ④ ノート PC のディスプレイに GStreamer を用いて映像を表示
- ⑤ ①と②と④を同時にカメラで撮影

図3 表示遅延の評価方法

## 結果と考察

### 1. ローカル 5G 通信の評価

端末間の応答時間を Ping により 20 回測定し、応答時間の中央値を算出した。結果を図 4 に示す。端末をそれぞれ別ルーターに有線接続し、ルーター間をローカル 5G で通信した際の Ping の中央値は 1.44ms であった。同一端末を用いて、ルーターに Wi-Fi 接続し、LAN 内での Ping 測定を同様に行った結果、応答時間の中央値は 353ms であった。同一ルーターでの Wi-Fi 接続と比較し、ローカル 5G の通信は格段に早い応答時間となった。また、同一ルータ

一に Cat7 の LAN ケーブルを使用して有線接続を行った場合の Ping の中央値は、1.22ms であった。これらの結果から、ローカル5G の折り返し通信は、同一ルーターLAN 内での有線接続による通信と同等の応答時間であることが分かった。

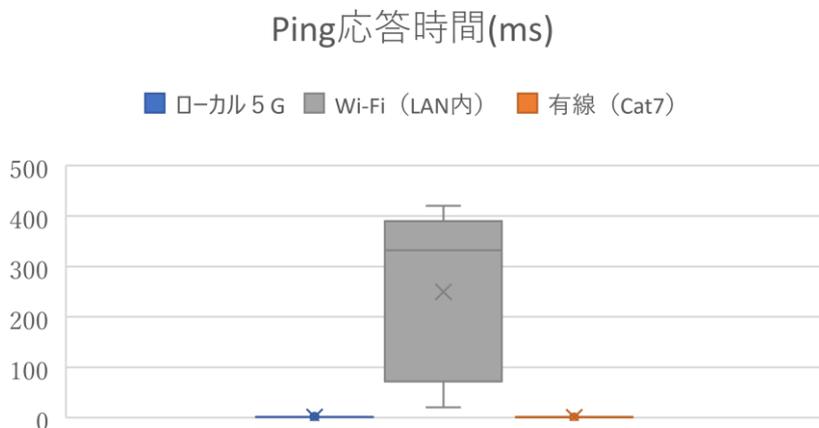


図4 Pingによる応答時間測定結果

次に、端末間での iperf3 を用いた測定結果を図5に示す。

図5の結果から、測定を実施したポイントでは、15Mbit/sec の実行速度では、中央値が 14.35Mbit/sec と要求に近い値で通信が安定し、実行速度の振れ幅も少なく、パケットロス率の中央値も 0.95%と低い値であった。一方、20Mbit/sec での測定では、実行速度の中央値が 17.75Mbit/sec、パケットロス率の中央値が 5.4%となった。この結果から、今回の試験を実施したポイントでの UDP 通信では、15Mbit/sec 以下のデータ通信の方が安定した通信が可能であることが確認できた。

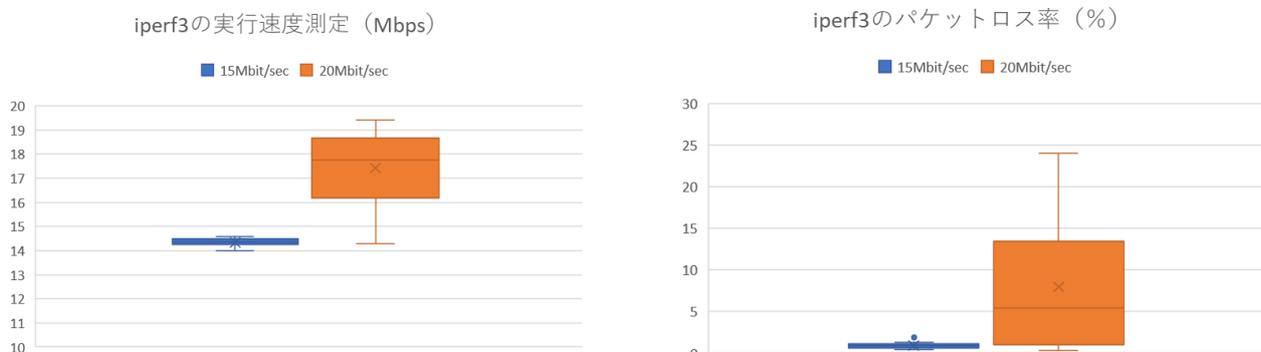


図5 iperf3による測定結果

## 2. 閉域網を利用した映像伝送

エンコーダとデコーダを使用し、ストップウォッチ (SW) 映像の時間差を比較した結果を図6に示す。

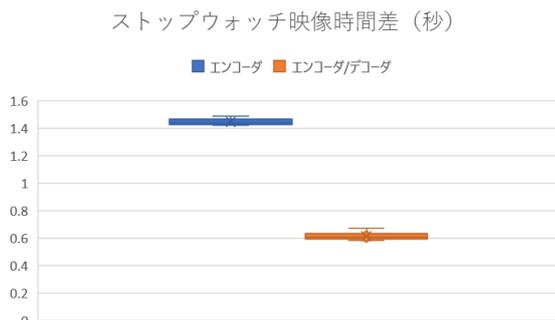


図6 SW映像時間差測定結果

エンコーダと VLC を用いて時間差を比較した結果、中央値は 1.44 秒であった。同様にエンコーダとデコーダを用いて時間差を測定した中央値は 0.604 秒であった。また、カメラとディスプレイをケーブル接続した際の時間差の中央値は 0.2235 秒であった。

### 3. AI 処理画像表示遅延の評価

ObjectDetection を行い、カメラ映像に表示された Bounding Box を含めた映像の伝送を行った。また、同時にストップウォッチ映像の配信も行い、同時に出力映像を表示した。

映像伝送は、GStreamer を利用して H.264 でのエンコードを行った。通信プロトコルは UDP を用いることとし、低遅延・高速通信を重視する Real-time Transport Protocol (RTP) を用いた映像伝送を写真 2 のように行った。



写真 2 RTP 配信を行った様子

写真 2 に示した方法で、ストップウォッチ (SW) 映像と、エッジ AI 端末から直接 HDMI ケーブルを用いて映像出力したストップウォッチのディスプレイ表示との時間差を測定した。また、ストップウォッチ (SW) 映像と、エッジ AI 端末から RTP 配信した映像を Wi-Fi 又はローカル 5G 経由で伝送後、ノート PC のディスプレイに表示されたストップウォッチ映像との時間差についても測定を行った。Wi-Fi とローカル 5G を利用した際の表示結果を図 7 に示す。

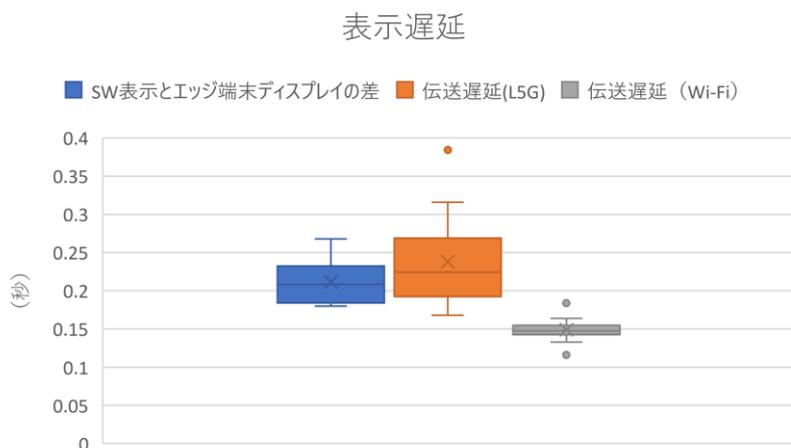


図 7 表示遅延評価結果

図 7 から、中央値を用いた評価では、LAN 内での Wi-Fi 通信で遅延が少ない結果となった。ローカル 5G 通信は、Wi-Fi 通信よりは遅延が発生していたが、HDMI 出力によるディスプレイ表示と比較しても遜色ないスピードであり、低遅延での映像伝送が可能であることが分かった。また、視覚誘発電位の測定において視覚刺激提示に対応した最初の視覚皮質の反応は約 30~40 ミリ秒後であることが報告されている<sup>3)</sup>ことから、視覚皮質の反応より短い時間での遅延となり、L5G を用いた通信においても、視認可能な表示遅延は起こらないという事が確認できた。ロー

カル5G通信において、エンコーダ/デコーダを用いて処理した映像伝送よりもGStreamerを用いて行った映像伝送で約0.4秒表示が短くなったことから、通信遅延に関してはエンコード/デコードに要する時間と比較して影響が少ないことが分かった。

## ま と め

ローカル5Gによるカメラ映像伝送に取り組んだ結果以下の成果を得た。

1. ローカル5Gの折り返し通信は、同一ルーターLAN内での有線接続による通信と同等のPing応答時間であることが分かった。
2. HDMI出力によるディスプレイ表示と比較しても遜色ないスピードで、ローカル5Gによる映像伝送が可能であることが分かった。
3. ローカル5Gを用いた通信でもエッジAI端末からの映像を視認可能な表示遅延がなく伝送することができた。
4. ローカル5Gを用いた映像通信遅延はH.264を利用したエンコード/デコードと比較して少ないことが分かった。

## 文 献

- 1) 令和2年版 情報通信白書, p. 421 (2020).
- 2) 令和3年度ローカル5G開発実証報告書, p173 (2021)
- 3) G. A. Goff, Y. Matsumiya, T. Allison and W. R. Goff: "The scalp topography of human somatosensory and auditory evoked potentials," *Electroen. Clin. Neurophys.*, 42 (1977) 57—76.