

ローカル5G無線局による5G実証システム構築と技術実証

Construction of 5G Demonstration System by Local 5G Radio Station and Proof of Technology

勝 又 貞 行 寺 田 賢 司 井 上 健 次
Sadayuki Katsumata Kenji Terada Kenji Inoue

要 旨

当社は、ローカル5Gシステムの市場展開に先駆け、ローカル5Gの電波伝搬特性、通信特性の把握、および顧客やパートナー企業に対する5Gによる超高速伝送などのデモンストレーションを目的として、当社施設内のデモフロアに5Gシステムを構築し、伝送特性を始めとする技術検証を実施した。デモフロアには、リアルタイム4K映像伝送システムを構築し、5Gの超高速伝送と超低遅延の体感を可能とした。さらに、ローカル5Gシステムと様々なアプリケーションを接続するためのインターフェースを用意し、顧客やパートナー企業と共同で、ローカル5Gを使った実証実験を可能とした。既に20を超える自治体、大学、企業などがデモフロアへ見学に訪れ、このうちの1社と共同で実証実験を実施済みである。

Abstract

Prior to the market deployment of the local 5G system, JRC constructed a local 5G system on the demonstration floor in its facility, to verify the local 5G radio wave propagation characteristics and communication performance. Also, a real-time 4K video transmission system was constructed with the local 5G system, which provides the experience of 5G's benefits such as ultra-high-speed transmission and ultra-low latency to potential customers and partner companies. Furthermore, an interface for connecting various applications with the local 5G system has been provided in collaboration with customers and partner companies were made possible. More than 20 municipal governments, universities, and companies have visited the facility as of now and a demonstration experiment has already been conducted in collaboration with one of these companies.

1. まえがき

当社は、1915年の創立以来、無線技術を応用した多種多様な通信機器を社会に提供している。近年は、AIやIoTなどの最先端のデジタル化技術により「人」「モノ」「コト」が様々な通信技術でつながるようになり、人々の暮らしやビジネス環境が大きく変わりつつある。このような背景を受け、当社は最先端の無線通信技術とコンピュータテクノロジーを駆使した先進的なサービスやソリューションの提供により、社会的課題の解決と顧客価値の創造を図り、人々の安全・安心および環境保全に貢献するために、第5世代移动通信技術（以下5G：Fifth Generation）の開発と製品化に取り組んでいる。5G時代が幕を開けた2019年、国内では世界に先駆けてプライベートネットワーク用途を目的としたローカル5Gに周波数が割り当てられた。当社は業界内でいち早く、信越総合通信局管内初のローカル5G実証試験局免許（2020年12月）を取得し、実用局免許（2021年6月）に移行して当社長野事業所内の「先端技術センター」にローカル5G実証デモフロアを開設した。

本稿では、5Gに対する当社の技術的取り組み、当社が構築した5Gデモシステムの概要、および技術検証の概要とその結果について述べる。

2. 5Gに対する当社の技術的取り組み

5Gは有線と無線を組み合わせ、双方の長所を生かすことにより、様々なアプリケーションの要求条件を高度に満たすソリューションを具現化する新たな無線通信技術であり、その通信速度は従来の無線通信技術であるLTEの10倍から100倍にも達する。ローカル5Gの制度化により、国内の産業界においては有線で構築されていたネットワークをローカル5Gに置き換える、あるいは有線ネットワークが敷設できない場所にローカル5Gを用いて有線と同等性能のネットワークを構築するなど数多くの実証実験が開始され、ローカル5Gによる新たな価値提供とDX（デジタルトランスフォーメーション）の推進に多くの企業が注力している。

当社は、企業や政府機関向けのプライベートネットワーク（防災、災害救助活動、警察、消防、海上警備、国境監視、空港、鉱山、ダム、発電所など）に特化したプライベートLTEシステムを海外市場で展開している。一方、国内においては世界に先駆けてプライベートネットワーク用途のローカル5Gに周波数が割り当てられたことから、当社は国内で先行して概念実証を重ね、技術開発および事業開発を推進し、2023年にローカル5Gシステムの製品化、また2025年までに海外向けプライベート5Gシステムの製品化を進め、新規顧客の獲得および既存顧客のプライベートLTEネットワークの5Gへの拡張、または転換を進める方針である。図1に国内外におけるLTE/5Gのマーケットを示す。



5Gの応用が見込まれる分野 ※WISP: Wireless Internet Service Provider PS: Public Safety(警察、消防などを含む)

図1 国内外において5Gの応用が見込まれる分野 (左図) と市場実績 (右図)

Fig.1 Industries worldwide where 5G applications are expected (left) and market performance (right)

3. 5G実証システムの構築

(1) システム構築の目的

当社は国内のローカル5G向けに割り当てられた周波数帯のうち、4.7 GHz帯 (4.6~4.9 GHz) に対応したローカル5G無線局を長野事業所内の「先端技術センター」に開設し、5G実証システムを構築した。本システムを構築した目的は、ローカル5Gの電波伝搬特性と通信特性の把握、顧客やパートナー企業に対する5Gによる高精細映像伝送などのデモンストレーションを通じた新しい顧客価値の発掘、および顧客やパートナー企業との共同での実証実験による5G技術開発と新規事業開発の推進である。

(2) システムの構成および特長

当社長野事業所に開設した5G実証システム構成を図2に示す。

5Gシステムは、「5Gコアネットワークサーバ」「5G基地局」および「5G端末」により構成される。5Gコアネットワークサーバは、スタンドアロンモード (LTEとの連携を必要とせず、5Gが単独で動作するモード) に対応し、5Gが有する全ての機能を発揮する装置である。5G基地局は、5G信号処理サーバと無線部で構成される。5Gコアネットワークは、端末に装着されたSIMカードを5G回線を通じて認証し、認証が成功した端末のみに5Gデータ伝送を許可する。以上の機能は、当社製のプライベートLTEシステムと同様、全て当社

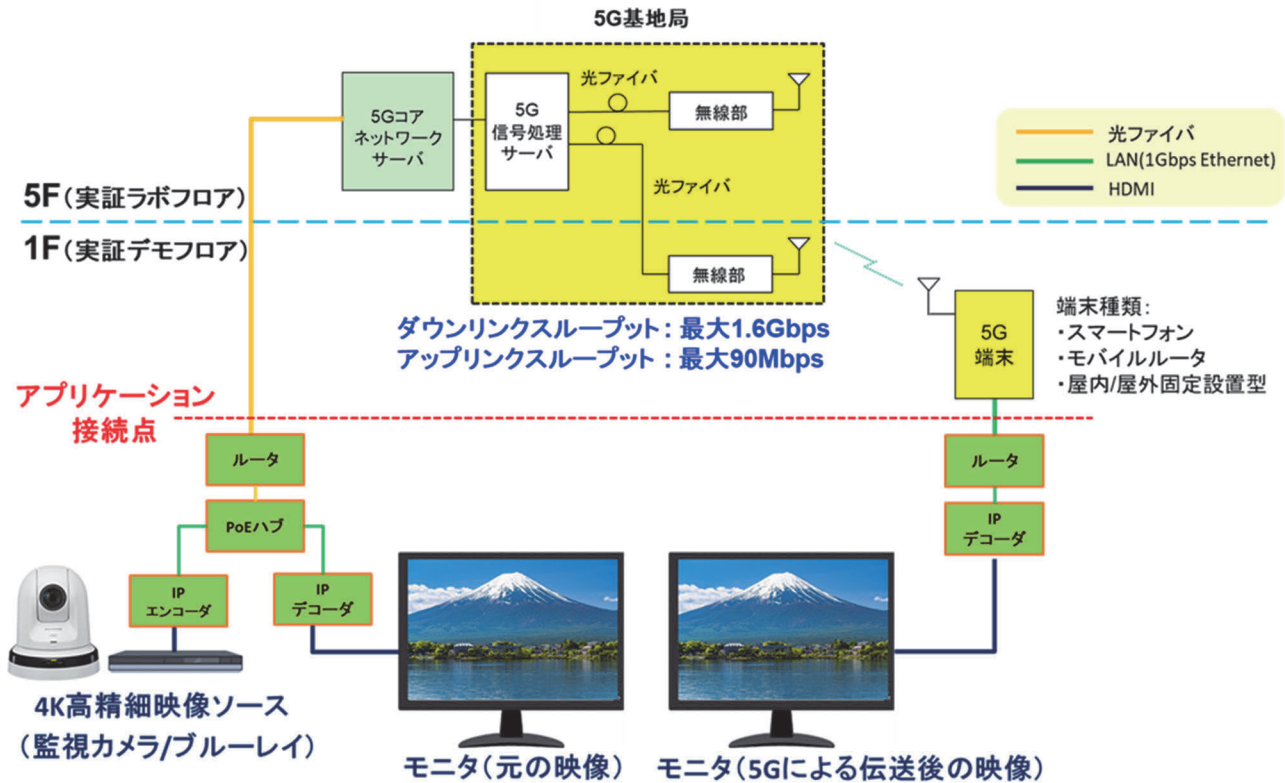


図2 当社長野事業所に開設した5G実証システムの構成

Fig.2 5G demonstration system configuration in JRC Nagano Plant

においてソフトウェア化し、汎用サーバプラットフォーム上で動作可能としている。5G基地局の5G信号処理サーバは「コア網インタフェースプロトコル処理」と「5G無線インタフェースプロトコル処理」を実行する。前者は5Gコアネットワークとの通信を、また後者は5G端末との通信をそれぞれ司る。5G通信プロトコルの物理層であるレイヤ1, MAC (Media Access Control), RLC (Radio Link Control)およびPDPC(Packet Data Convergence Protocol)で構成されるレイヤ2, SDAP (Service Data Adaption)およびRRC (Radio Resource Management) で構成されるレイヤ3の一連の処理はソフトウェアにより実行され、CPUに負荷がかかる一部機能はCPU処理をオフロードするためのFPGAカードで実行される(レイヤ1に含まれるLDPC符号の復号処理など)。5G端末の形態はスマートフォン、モバイルルータ、屋内屋外固定設置型であり、様々なユースケースに対応する。

5Gシステムにおけるダウンリンク(以下DL)とアップリンク(以下UL)の通信時間比率(フレーム同期パターン)はDL 7 : UL 2に対応する。将来はULの伝送時間比率をより高め、4:4, 3:5, 2:6にも対応する予定である。5Gシステムの諸元を表1に示す。

表1 5Gシステムの諸元
Table 1 5G system specifications

使用周波数帯	4.8~4.9 GHz
定格送信出力	250 mW×4
アンテナ利得	3 dBi
周波数帯域幅	100 MHz
送受信アンテナ数	4
DLレイヤ数	4
ULレイヤ数	1
サブキャリア間隔	30 kHz
DL変調方式	QPSK/16QAM/64QAM/256QAM
UL変調方式	QPSK/16QAM/64QAM

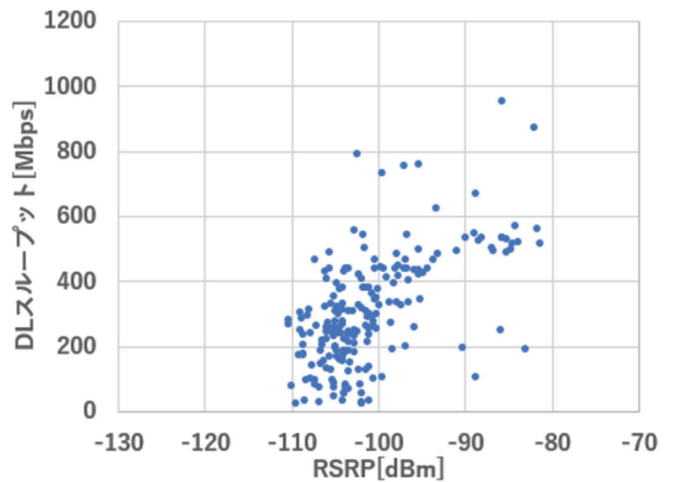
デモフロアには5G実証システムとのアプリケーション接続点を設け、5G通信環境下における様々なアプリケーションの動作の体験を可能とする。アプリケーションの一例として、5Gの伝送速度の高さと伝送遅延の小ささの体感を可能とするリアルタイム4K映像伝送装置を構築した。本装置は、4Kカメラや4Kブルーレイ再生機のHDMI映像信号をIPエンコードしたうえで5Gコアネットワークへ伝送し、5G基地局装置における信号処理を経て4.8 GHz帯の無線信号により送信する。5G端末が受信したIPパケットはHDMI信号へデコードされ、生成された映像をディスプレイに表示する。また同時に5G伝送前の映像(HDMI信号へデコードされ、生成された映像)を隣接するディスプレイに表示し、5Gの伝送前後を2画面で比較して遅延の小ささを直感的に体感することが可能である。

4. 技術検証の概要および結果

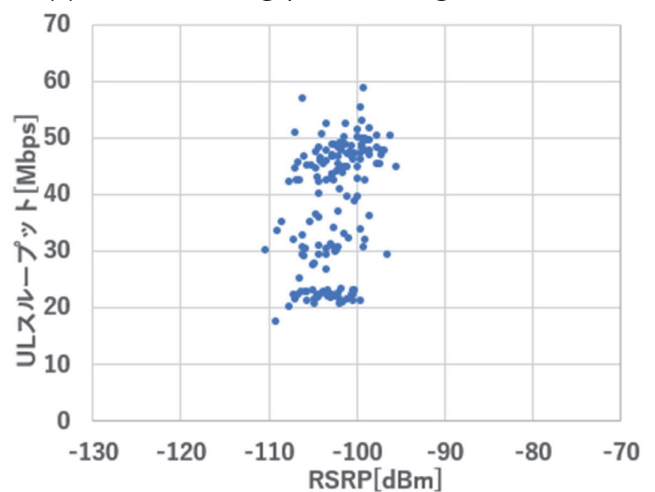
4.1 伝送特性の評価

先端技術センターに開設したデモシステムにおける伝送

特性の結果を図3に示す。RSRPは30 kHz幅の参照信号の受信電力であり、5Gの通信品質の確認、適応変調、送信電力制御などに用いられる指標である。基地局のアンテナ高を4.5 m, 端末(スマートフォン)のアンテナ高を1 mとし、端末を持ち歩きながらDLおよびULの各々のスループットを観測した。DLについては4レイヤの理論上の最大スループットが約1.6 Gbpsであるのに対し、実測値において最大1 Gbpsを観測した。理論値と実測値の差が生じる理由として、測定場所に応じたMIMOチャネル容量の変動が挙げられ、この影響により、同一RSRPにおいてもスループットの変動が観測される。またULについては1レイヤの理論上の最大スループットが約90 Mbpsであるのに対し、実測値において最大60 Mbpsを観測した。1レイヤ構成のULについて、同一のRSRPではスループットが安定することが理想的であるが、実測値において変動が大きいことが示されており、DLおよびULの適応変調制御に改善の余地があることを示している。伝送特性(RSRPに対するDLおよびULのスループット特性)の観測結果を図3に示す。



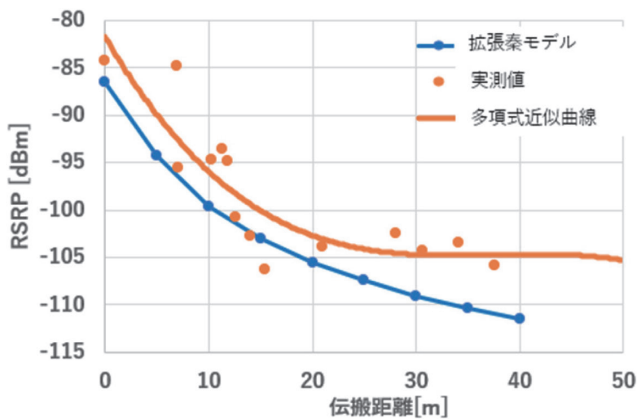
(a) RSRPに対するDLのスループット実測値
(a) Downlink throughput results against RSRP



(b) RSRPに対するULのスループット実測値
(b) Uplink Throughput results against RSRP

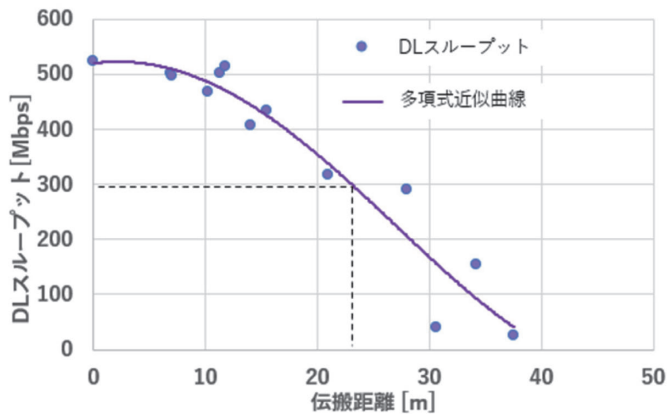
図3 伝送特性(RSRPに対するスループット特性)の観測結果
Fig.3 Observation results of transmission characteristics (throughput characteristics against RSRP)

電波伝搬距離の変化に対するRSRPの変化を図4(a)に示す。実測値と拡張秦モデル⁽¹⁾による計算値を比較し、実測値が示す伝搬距離が妥当であることを確認した。評価の結果、実測値の多項式近似曲線は拡張秦モデルによる計算値より5 dB高いが、距離に応じた傾向はおおむね相似している。電波伝搬距離の変化に対するDLスループットのカーブを図4(b)に示す。本データは、アプリケーションに応じた所要スループットを満たすための基地局と端末との間の距離を決定する指標となる。一例として、後述するリアルタイム4K映像伝送においては約300 MbpsのDLスループットが必要とされるが、この場合は送受信点間の距離を23 m以内とする必要があると判断できる。



(a) 電波伝搬距離に対するRSRPの変化

(a) RSRP results against radio wave propagation distance



(b) 電波伝搬距離に対するスループットの変化

(b) Throughput results against radio wave propagation distance

図4 電波伝搬距離の変化に対する伝送特性の観測結果
Fig.4 Observation results of transmission characteristics against radio wave propagation distance

4.2 リアルタイム4K映像による伝送評価

ローカル5Gシステムにおけるダウンリンク遅延時間の実測値は6.7~22.6 msであり、カメラの前で人物が動いた際の映像の表示遅延がほとんど感じられず、4K映像が滑らかに流れていることを体感できる。現時点では、システムの送受信点間における総合的な遅延(エンドトゥエンド遅延)は23.7~39.6 ms + a である。システムを構成する各機器における遅延時間を表2に示す。エンドトゥエンド遅延時間の内訳は、「ローカル5Gシステムにおけるダウンリンクの遅延時間の実測値」(6.7~22.6 ms)および「エンコード/デコードにおける遅延時間」(17 ms)の和が前述の値(23.7~39.6 ms)となり、これに加わる「4Kカメラの遅延」および「ディスプレイ表示遅延」の和を a としている。映像をスムーズに再生するためには、5G伝送区間のPERを0.1%以内に抑える必要があるが、伝送遅延時間やパケットエラーに影響するパラメータを見極め、映像品質に応じた柔軟なパラメータ設定によりPERの抑制が可能である。デモシステムを用いたリアルタイム4K映像による伝送の様子を図5に示す。

表2 5Gシステムと4K映像伝送システムにおける遅延時間の内訳

Table 2 Latency breakdown in 5G system with 4K video transmission system

システムを構成する機器	遅延時間	備考
4K カメラ	数 ms	仕様：4K / FPS 24 Hz
エンコード/デコード	17 ms ⁽²⁾	・ 機器：NMX-ENC-N2412A/NMX-DEC-N2422A ・ エンコード方式：Motion JPEG ・ 所要PER：0.1%
5Gシステム	6.7~22.6 ms	・ 300 Mbps映像伝送時 ・ 遅延ばらつきは最大3回のHARQ再送のため
ディスプレイ	約250 ms	



図5 デモシステムを用いたリアルタイム4K映像による伝送の様子 (左：5G伝送前 / 右：5G伝送後)

Fig.5 View of the real-time 4K video transmission using the demonstration system (left: before 5G transmission / right: after 5G transmission)

5. デモフロアにおけるローカル5Gの実証

建造物管理支援への活用を想定した「建物内自動巡回点検」の実験を、デモフロアに設置したローカル5G実証システムとi-Con Walker（株式会社イクシスの自律走行型ロボット）を組み合わせて実施した。本実験は、i-Con Walkerの背面部に5G端末を搭載してデモフロア内を自律走行させ、i-Con Walkerが自動で取得したフロアの点群データファイルを、ローカル5G実証システムにより無線でアップロードするものである。実証実験におけるi-Con Walkerの自律走行ルートを図6に示す。図中において走行ルートは①⇒②⇒③⇒④である。またi-Con Walkerが各地点にある時のファイルのアップロード速度を図7に示す。各地点において、ファイルの転送速度が従来のプライベートLTE（自営等BWA）を

大きく上回ることを確認した。地点③におけるファイル転送速度の低下は、i-Con Walkerの向きにより5G端末と5G基地局との間で見通しが確保できなくなったことによるものと推測される。一方、5G基地局との間で見通しが完全に確保できている地点④にi-Con Walkerがある時は、ファイル転送速度が特に安定していることが示されている。以上の実証結果から、5Gによる高速かつ安定した通信を実現するためには、5G端末と5G基地局との間の見通しを完全に確保できるよう5G端末の配置に工夫が必要であることを確認した。本実験により、建造物管理支援として、BIM/CIMと連動した遠隔地における施工状況の確認、点検維持管理の迅速化、遠隔地における点検業務の効率化、およびAIを用いた自動点検業務などのシーンにおいてローカル5Gの活用が期待できることを実証した。

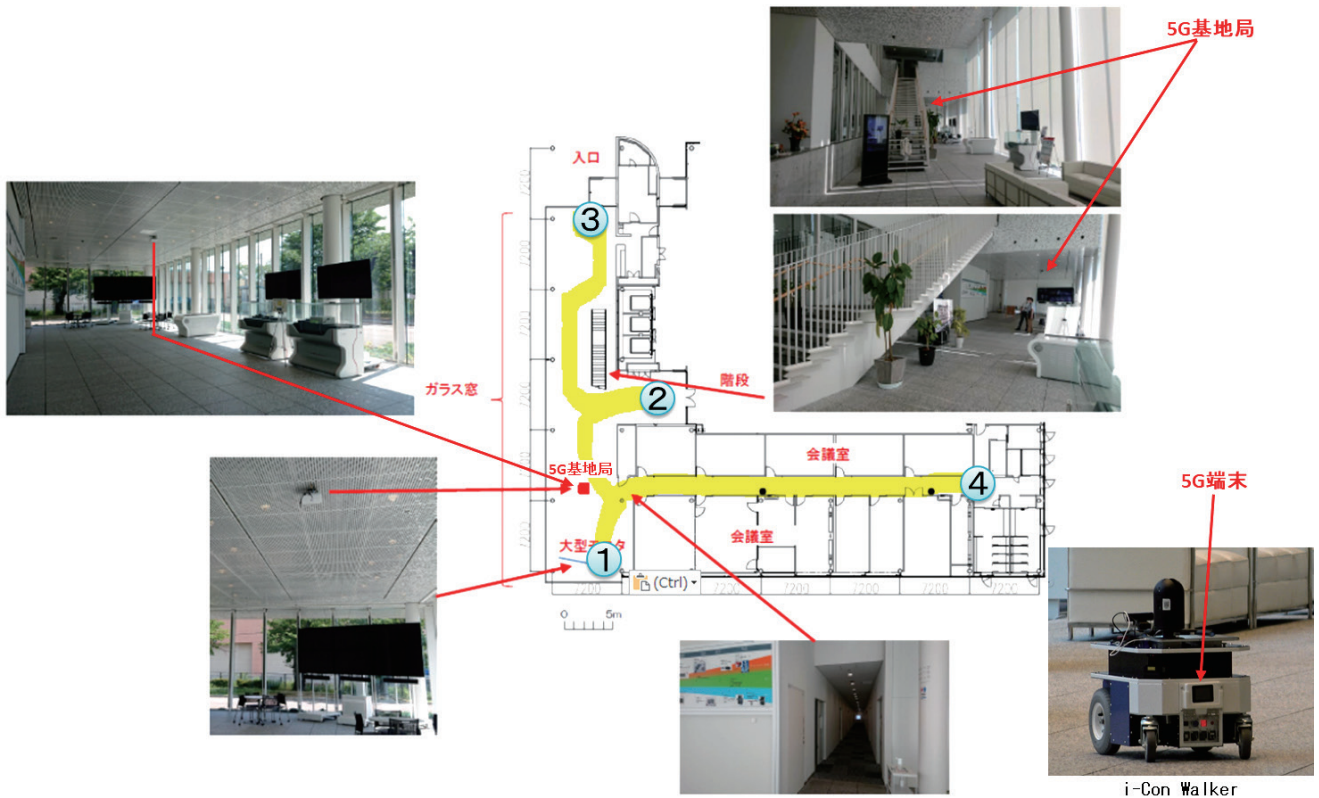


図6 ローカル5G実証実験におけるi-Con Walkerの自律走行ルート (①⇒②⇒③⇒④)

Fig.6 Autonomous traveling route of i-Con Walker in local 5G demonstration experiment (①⇒②⇒③⇒④)

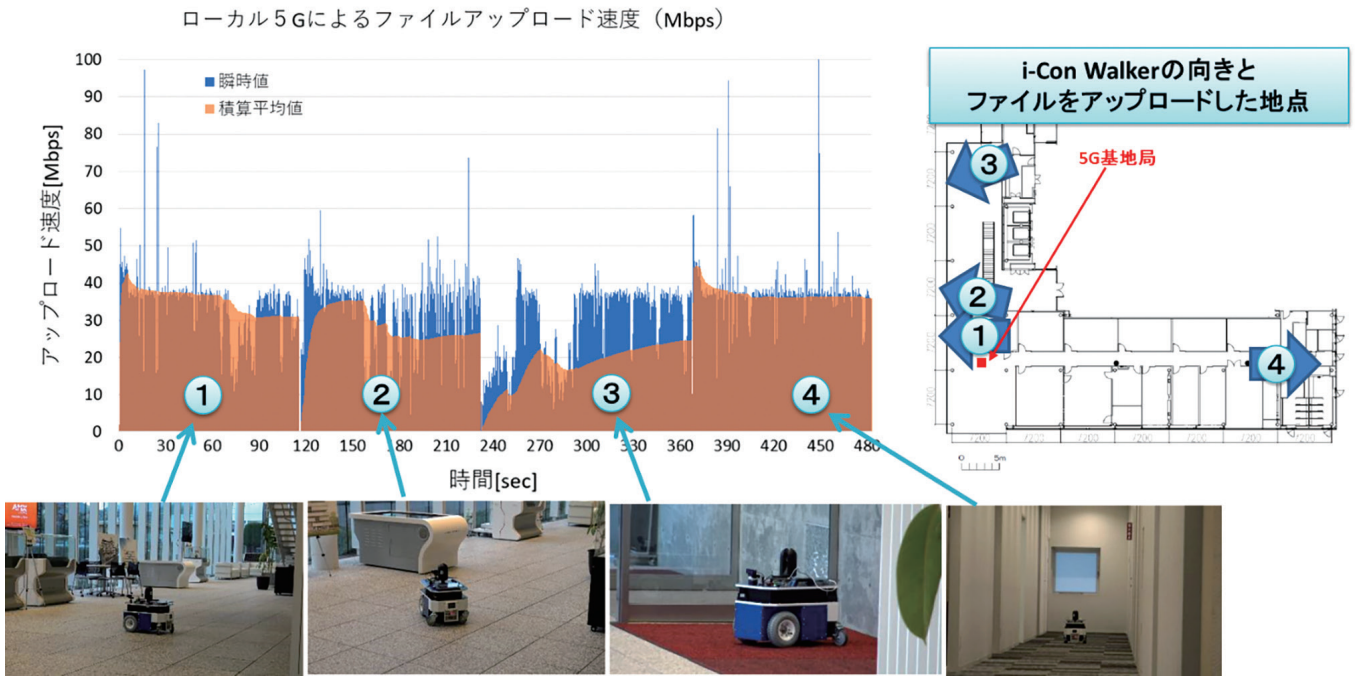


図7 ローカル5Gによるファイル転送速度の測定結果
Fig.7 File transfer speed results over local 5G

6. あとがき

当社は、長野事業所内の「先端技術センター」をローカル5G実証デモフロアとしてリアルタイム4K映像伝送システムを構築し、5Gの超高速伝送と超低遅延の体感を可能とした。また、映像伝送システムの構築過程において、5Gによる映像伝送に必要とされる無線通信品質およびこれを具現化するうえで必要とされるパラメータの設定内容を把握した。本稿で紹介したシステムと同一の5Gシステムが、日清紡ブレーキ株式会社のテストコースにおいて業務改善実証を目的として一局⁽³⁾、および糸島サイエンス・ヴィレッジの実証試験場において最先端の研究開発を支える通信プラットフォームとしての目的で一局設置されている⁽⁴⁾。今後、様々なユースケースに対する概念実証を重ね、通信インフラ分野におけるDX（デジタルトランスフォーメーション）推進の一助を担い、社会的課題の解決と新たな顧客価値の創出を実現してゆく。

さらに、当社の強みである防災分野における積極的な活用や、今後の拡大が期待される様々な産業分野における遠隔監視、遠隔操作、各種自動化および情報サービスなどに向けて、ローカル5Gの長所を体験できるデモンストレーションの機会提供を進め、5Gの導入に係る協議を既に開始している自治体、ケーブルテレビ事業者、教育機関および地域企業などのビジネスパートナーとの更なる協業・協創を加速してゆく。

参考文献

- (1) 第5世代モバイル推進フォーラム, “ローカル5G免許申請支援マニュアル”, https://5gmf.jp/wp/wp-content/uploads/2021/04/local-5g-manual2_02.pdf
- (2) https://amxjp.net/pdf/product/nmx-enc-n2412a_5.pdf
- (3) <https://www.jrc.co.jp/jp/about/news/2022/0711-1.html>
- (4) <https://www.city.itoshima.lg.jp/s045/20211102131241.html>

用語一覧

5G : fifth Generation (第5世代移動体通信規格)
 LTE : Long Term Evolution (第3.9~第4世代移動体通信規格)
 LDPC : Low Density Parity Check (低密度パリティ検査符号)
 FPGA : Field Programmable Gate Array
 QPSK : Quadrature Phase Shift Keying (四位相偏波変調)
 QAM : Quadrature Amplitude Modulation (直交振幅変調)
 MIMO : Multi-Input-Multi-Output (マルチアンテナ技術の一つ)
 DL : Downlink (基地局から端末へ向けて送信される通信経路)
 UL : Uplink (端末から基地局へ向けて送信される通信経路)
 RSRP : Reference Signal Received Power(基準信号受信電力)
 BIM/CIM (BIM : Building Information Modeling/CIM : Construction Information Modeling/Management) :
 建設事業の品質および生産性の向上を目的として、建設事業の計画、調査および設計の段階から3次元モデルを導入し、以降の施行および維持管理の段階と連携させること
 糸島サイエンス・ヴィレッジ : 福岡県糸島市に地域内外の研究者や民間事業者、学生、さらには地元住民等が交流する知的創造・研究交流拠点(一般社団法人SVI推進協議会が中心となり、新技術の実用化・事業化などを目的として各種実証試験を行い、企業や研究所の立地促進を目指す)