

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

【端末システム試作事業】

移動ロボット等での利活用を想定した
エンコーダ一体型ルータ端末の試作

成果報告書

令和5年3月

パナソニック コネクト株式会社

目次

1.	実証概要	1
1.1	背景・目的.....	1
1.2	実証の概要	2
2.	実証環境の構築.....	4
2.1	対象周波数帯	4
2.2	試験装置及び試験環境	4
2.3	端末システムの機能・性能・要件	13
2.4	免許及び各種認可	17
2.5	その他.....	19
3.	ローカル5G活用モデルに即した端末システムを用いたローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)	20
3.1	実証概要	20
3.2	実証環境	20
3.3	実証事項	26
3.3.1	実証の目的・目標.....	26
3.3.2	評価・検証項目	26
3.3.3	評価・検証方法.....	27
3.3.4	実証結果及び考察.....	35
4.	ローカル 5G 活用モデルに即した端末システムの検討(課題実証)	51
4.1	実証概要	51
4.1.1	背景となる課題.....	51
4.1.2	試作した端末システム	59
4.1.3	実証内容の新規性・妥当性.....	63
4.1.4	実証目標.....	66
4.2	実証環境	74
4.3	実施事項	84
4.3.1	端末システムの試作及び検証.....	84
4.3.2	端末システムの実装性に関する検証.....	228
4.3.3	端末システムの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討	243
4.3.4	端末システムの実装・普及展開	255

5.	普及啓発活動の実施	275
5.1	映像制作	275
5.2	端末システム発表会の実施.....	277
5.3	その他普及啓発活動	283
6.	実施体制	287
6.1	実施体制の全体像	287
6.2	実施体制内の役割	288
6.3	実施体制に係る要件への対応.....	289
7.	スケジュール	290
	添付資料.....	291

1. 実証概要

1.1 背景・目的

1) 背景

地方部では、経営難と運転手不足による路線バスの廃止により高齢者の移動手段が縮退し、日常の買い物にも行けず孤立してしまう懸念が増大している。また、農業の担い手の減少傾向が止まらず1経営体あたりの耕地面積は増加しておりスマート農業の実装は喫緊の課題である。

物流業界では、コロナ禍以降 EC 取引が増え物流量も爆発的に増加してきており、ドライバー不足とドライバーの労働環境は正という二律背反の課題も顕著になってきている。

このような課題を解決するために産学官が一体となり、遠隔操縦型、遠隔監視型の自動運転支援技術を活用した移動走行ロボットによる巡回バスサービス、パーソナルモビリティ、スマート農業、スマート配送サービス等の実用化に向けた研究開発や実証実験を加速している。

遠隔操縦、遠隔監視による安全担保のためには、移動走行ロボットの周囲の状況（最低4箇所：前後左右）を常にリアルタイムでモニタリングする必要がある。また少人数の遠隔監視操作者で多数の自律移動ロボットを同時に稼働させるためには、5Gの特徴の一つである低遅延とローカル5Gの特徴である準同期は無くしてはならないものである。

2) 現状

現段階で実施されている様々な実証実験は、市販の5Gルータ、カメラ、エンコーダ/デコーダを車体に設置している。平坦な道路で限られた時間しか走行しない実験の場合は、市販機器を組み合わせた構成でも問題ないが、気象環境、道路条件等に左右されず日本全国いつでも・どこでも走行できる真の社会実装（実用化）のためには、耐振動、耐温度、長時間連続運用、長期保証等業務車両の運行に耐えうる5G端末が必要となる。また、既存の車両は設置スペースや配線ルートに制約があり、高精細映像伝送用途の場合はエンコーダ機能と5G通信機能を一体化することも有効な手法である。

3) 目的

これらの要件を満たす5G端末は市販されていないため、本事業において、デコボコ道の走行、雨・風、夏・冬問わず走行する遠隔操縦型・遠隔操作型バスやトラクター、パーソナルモビリティ、配送ロボット等での利用を可能とする映像伝送機能を具備した5G端末を試作開発し、ラボでの性能検証、テストベッドでの電波伝搬性能の検証、実フィールドでの走行実証、及びマーケティング分析を行い真の社会実装までの道程を導出するのが目的である。

1.2 実証の概要

地方の定住化促進（住民の移動手段の確保及び農業のスマート化）と物流危機の課題解決に向けて移動ロボットの社会実装加速を後押しするために、高精細映像を滑らか且つ低遅延で伝送を可能とするローカル 5G 端末を開発し、以下の実証を実施した。

1) 技術実証

試作端末の伝送性能等を検証するために、環境要因を極力排除した当社ラボ環境でスループット測定及び伝送遅延時間測定を実施した。

その後、試作端末をテストベッドに持ち込み、フィールドでのスループット測定、受信電力測定及び伝送遅延時間測定を実施した。

環境要因を極力排除したラボ環境での測定値と、テストベッドのフィールドでの測定値を比較検証し、試作端末の伝送性能を明確化した。

2) 課題実証

試作した端末システムのイメージを次図に示す。

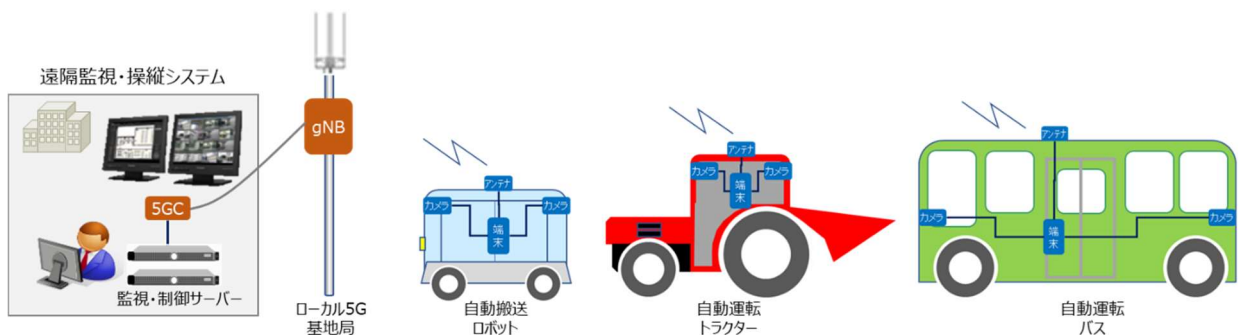


図 1.2.1 試作した端末システムのイメージ

試作端末は自動搬送ロボット (AGV)、自動運転トラクター、自動運転バス等を実装され、これらのロボットや車両をリアルタイムで遠隔監視・制御するという運用になるため、これらのシステム及びサービスの社会実装に資する実証を実施した。

ア) ラボでの実証

当社ラボにおいて、試作端末が要件と技術目標を満たしているかを検証した。必要な測定器を当社にて用意し、シールドルーム、恒温槽、振動試験機等を用いて、無線性能検証、放熱特性の検証、振動試験、映像伝送制御機能試験、連続稼働試験等を実施した。

試験終了後に検証試験結果について分析・考察をし、改善が必要な場合は、レビュー・検討を行い、対策を講じた上で再検証を実施した。

イ) フィールド（三郷町 FSS35）での実証

実際に使用する環境、利用シーンを想定したフィールド実証を行った。フィールド実証は令和3年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証の「スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI画像認識による見守りの高度化」で三郷町に構築されたローカル5Gネットワーク環境下で実施した。

フィールド実証では、自動搬送ロボット等の実装を踏まえ、試験用の遠隔操作ロボットを用意し、試作端末にカメラ2台を接続する形態で実証を行った。また自動運転トラクターや自動運転バス等の実装を見据えた試験用車両も用意し、試作端末にカメラ4台を接続した形態での、実証も行った。さらにローカル5Gからキャリア網への切替試験も実施した。

実証結果から、改善策が必要か否かを検証し、必要な場合はその内容について有識者の評価も踏まえ考察した。

ウ) 端末システムの実装に関する検討

端末システムの実装性についての専門家・有識者の助言・意見及び今回の実証データの結果から、本実証終了後も実装に向けて引き続き検証を行うために必要なカメラ性能、アンテナの実装方法、ローカル5Gとキャリア5G切替アルゴリズムの高度化等について、横展開可能な市場も踏まえ検証内容及び検証方法等の検討を実施した。

端末システムの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討について、ビジネスモデルキャンパスを用いつつ課題やさらなる検討事項を抽出した。

端末システムの実装計画について、新たな法整備（または法改正）を伴う事業領域と法整備（または法改正）済みの事業領域を含め整理し、事業領域毎のビジネスモデルキャンパスと実装計画を作成した。

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

4.6GHz 帯（4.6GHz～4.9GHz）に対応したローカル 5G 端末（SA 方式）

2.2 試験装置及び試験環境

(1) ラボでの試験

ラボ（当社の佐江戸（横浜）事業場）のシールドルーム（次図）内で無線性能試験、動作確認試験及び測定等を実施した。



図 2.2.1 パナソニック佐江戸（横浜）事業場のシールドルーム

ローカル 5G 接続性確認やスループット等については、シールドルームで基地局シミュレータ及び当社所有のローカル 5G 基地局及びコア装置を用いて評価を行った。



図 2.2.2 基地局シミュレータ



図 2.2.3 ローカル 5G 基地局及びコア装置

試作端末の温度サイクル動作試験、高温放置・低温放置、高温動作・低温動作、高温高湿動作試験、温度上昇試験などの温度にかかる試験は、当社が保有する恒温槽、データロガー（熱電対）を用いて実施した。

試作端末の耐振動性能試験は、当社が保有する振動試験機を用いて実施した。



図 2.2.4 恒温槽



図 2.2.5 データロガー



図 2.2.6 振動試験機

映像伝送動作検証として、無線の影響を受けず再現性の高い有線環境にて事前確認を実施後に無線環境にて評価するため、試作端末に対して以下の2パターンの検証を実施した。

- i) ネットワークエミュレータを用いた検証（有線環境評価）
- ii) ローカル 5G 環境を用いた検証（無線環境評価）

映像の伝送レート、映像伝送の遅延時間、フレーム欠落、映像伝送後のノイズ等を指標として評価を実施した。



図 2.2.7 ネットワークエミュレータ

(2) フィールド試験

技術実証のフィールド試験は、試作端末をテストベッドに持ち込み実施した。テストベッドで試作端末と通信する基地局（通信の相手方）は、B5G 基地局よこすか1（4849.98MHz）とした。テストベッドの基地局及びセンター装置設置場所を次図に示す。



※国土地理院の航空写真を使用

図 2.2.8 テストベッドで通信する基地局、コア設置場所（通信の相手方）

テストベッドの基地局及びセンター装置を以下に示す。



図 2.2.9 テストベッドの基地局



図 2.2.10 テストベッドのセンター装置（コア装置等）

テストベッドのローカル 5G ネットワーク構成を次図に示す。

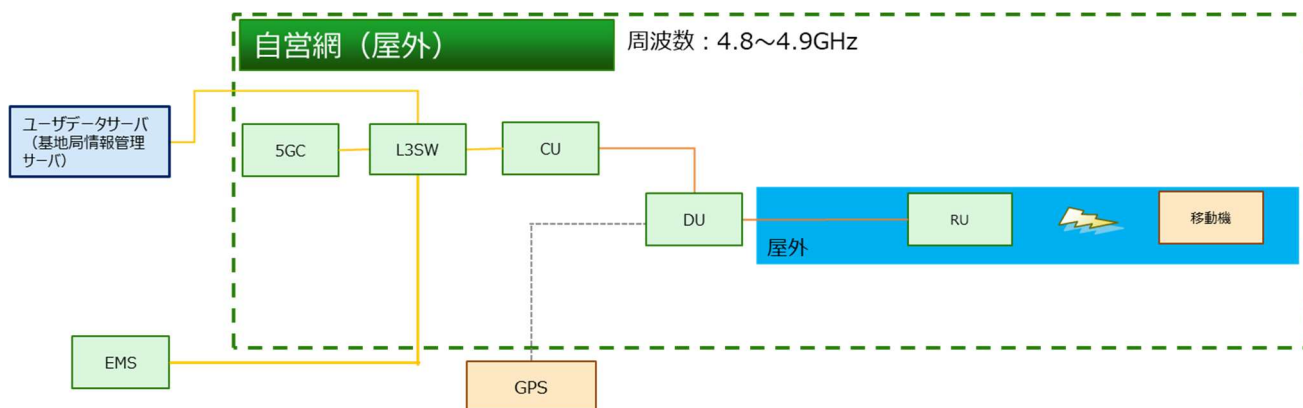


図 2.2.11 テストベッドのローカル 5G ネットワーク構成

課題実証のフィールド試験は、令和3年度課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証の「スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI 画像認識による見守りの高度化」で三郷町に構築されたローカル 5G ネットワーク環境下で行った。フィールド試験を行った三郷町の FSS35 キャンパスの基地局及びセンター装置設置場所を次図に示す。



※国土地理院の航空写真を使用

図 2.2.12 FSS35 キャンパスの基地局及びセンター装置設置場所

FSS35 キャンパスの基地局及びセンター装置を以下に示す。



図 2.2.13 FSS35 キャンパスの基地局

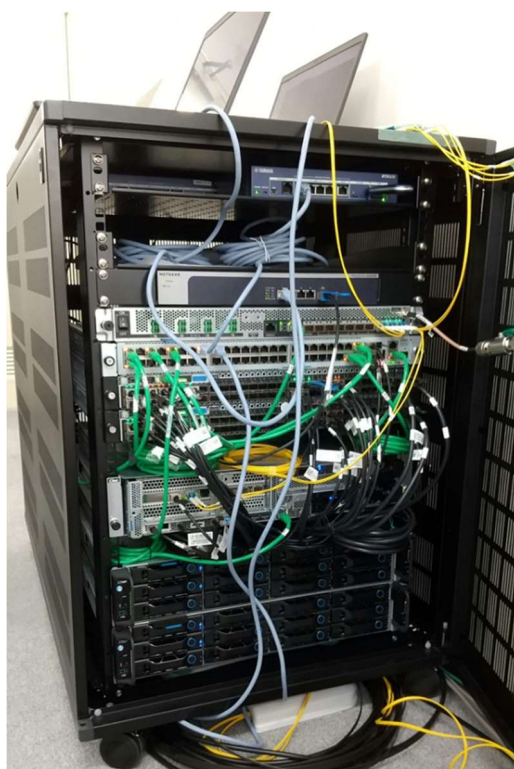


図 2.2.14 FSS35 キャンパスのセンター装置 (コア装置等)

FSS35 キャンパスのローカル 5G ネットワーク構成を次図に示す。

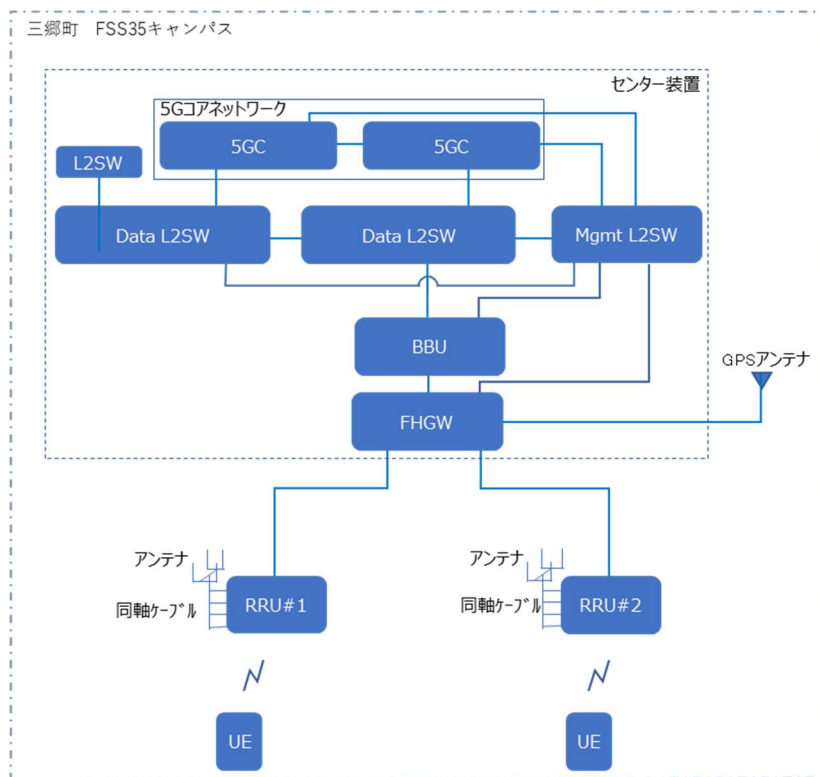


図 2.2.15 FSS35 キャンパスのローカル 5G ネットワーク構成

2.3 端末システムの機能・性能・要件

試作端末システムは、遠隔操縦型、遠隔監視型の自動運転支援技術を活用した移動走行ロボットによる巡回バスサービス、スマート農業、スマート配送サービス等の社会実装を加速するものであり、以下の要件を満たす必要が有る。

1) ローカル 5G 上り帯域の拡充について (準同期対応、上り MIMO 対応)

遠隔操作や遠隔監視のための映像伝送には上り帯域が重要であり、特にローカル 5G の特徴である準同期パターンに対応することで、より安定した映像伝送が可能になる。

また、映像伝送として上り帯域を十分確保する必要があるため、2x2 MIMO に対応する必要もある。

使用周波数帯は、4.6GHz 帯 (4.6GHz~4.9GHz) とした。

2) カメラ映像入力インタフェース

遠隔操作や遠隔監視による安全確保のためには、周囲情報として複数カメラ映像の伝送が必要で、搬送ロボットなどの移動体は、前後左右の 4 台で 360 度視野を確保して安全性を高める必要がある。

また、端末からカメラの位置までは数 m であれば USB カメラで可能だが、それ以上の距離となることもあり、且つ高精細な大容量映像データを伝送することから、高速且つ長距離伝送が可能なギガビットマルチメディアシリアルリンク (GMSL) 等のカメラインタフェースを有する必要がある。

一方、遠隔操作に必要な映像解像度としてフル HD (解像度 1920×1080 ピクセル)、フレームレート 30fps [frame per second] での伝送を満たすことで良好な映像の認識を可能とした。

3) 映像伝送制御機能

遠隔操作や遠隔監視を行う際には極力映像が途切れないことが重要である。

その解決策の一つとして、ローカル 5G の伝送帯域に応じて映像送信を制御する機能をエンコーダ、デコーダに適用した。

4) 車載を想定した耐振動性

移動走行ロボット・搬送ロボット、スマート農業で使用するトラクター等は常に平坦で綺麗に塗装された道路を走行するわけではないため、デコボコ道などの悪走行環境を考慮した耐振動性、耐衝撃性能を具備した端末が必要になる。

試作する端末は、車載振動に対応する JIS C 60068-2-6 に準拠した。

5) 小型化・省配線化

既存の車両は設置できるスペース、配線を通すルートに制約があるため、可能な限り構成機器をシンプルにする必要がある。また高精細映像伝送用途としてはエンコーダ/デコーダ機能と 5G 通信機能が必要となる。

試作する端末は、エンコーダ/デコーダ機能と 5G 通信機能を一体型し、小型化、省配線化を行った。

6) 使用温度範囲の拡張・熱対策

市販の端末は、連続通信時に、部品の発熱により、送信帯域の制限や機能停止をしてしまう場合があり、実用化には、連続稼働するための熱対策を行い、使用温度範囲を拡張する必要がある。また、一体化・小型化することで更なる発熱が起こるため、その対応も必要になる。

試作する端末は一体化・小型化した上で動作温度：-10 度～50 度とした。

7) 広範囲な DC 電源入力電圧および電圧ドロップ対応

過去のバス搭載機器の当社経験より、車載やトラクターのバッテリー接続を考慮した 12V/24V の広範囲な入力電圧とエンジン始動時等の電圧ドロップを考慮し、9V までの瞬時低下電圧ドロップにも対応する端末が必要になる。

試作する端末は DC12/24V 対応とし、瞬時電圧ドロップ 9V まで対応とした。

8) ローカル 5G と移動通信事業者 5G（以下、全国 5G）との切替制御

本端末は、ローカル 5G の 4.6GHz 帯 (4.6GHz～4.9GHz) 対応に加えて、全国 5G 網及び LTE 網の周波数帯域にも対応し、ローカル 5G と全国 5G (LTE) の切替を可能な端末とした。

ローカル 5G の受信電波環境が劣化した場合、自動搬送が停止し復旧しない可能性があるため、ローカル 5G と全国 5G (LTE) を切替ながら通信できるように Dual SIM スロットを具備し、電波環境に応じて切り替えが可能な端末とする必要がある。

具体的な利用シーンとしては、移動走行ロボットがローカル 5G エリア内のみを巡回している場合でも、ローカル 5G エリアの端では受信電波が弱くなり、自動搬送ロボットが停止したままとなる可能性もあるため、ローカル 5G から全国 5G (LTE) にソフトウェアで切り替えることで、現場に人が駆けつけることなく、自動搬送が再開されるメリットがある。

また、ローカル 5G を用いた農業トラクターの自動運転では、圃場がローカル 5G エリアであっても、農業トラクターの保管場所（駐車場所）がローカル 5G エリア外であったり、農業トラクターの保管場所から圃場までの移動中にローカル 5G 電波が弱く自動運転できない場合が想定され、ローカル 5G と全国 5G (LTE) の切替が可能となることによるメリットが大きいと想定している。

試作する端末は、ローカル 5G での運用過程でエリア外となった時に全国 5G (LTE) への切り替えを行うことで、運用を止めないことを優先して開発した。

9) アンテナの拡張性

本端末のアンテナインタフェースは SMA コネクタを具備し、外付けアンテナを取り付ける構造とした。端末本体は移動走行ロボットや車両内に設置し、アンテナは移動走行ロボット等の受信感度の良い位置に設置できるように外付けとしているが、屋内アンテナに加え、移動走行ロボット等の屋外移動や車両のガラス面への貼付け等を考慮し、屋外使用を想定した IP56 の防水防塵性能を満たす屋外アンテナ及び車体に張り付け可能なフィルムアンテナの複数種類のアンテナを用意した。

10) 映像解析 AI アプリ搭載可能なソフトインタフェースについて

今後の拡張性を考慮して、デコーダ側で受信した映像を用いて、人物確認、物体確認 AI アプリ搭載可能なソフトインタフェースを具備することで、今後、様々な映像解析アプリケーションの実装も含めた展開を可能にした。

次表に仕様一覧を示す。

表 2.3.1 仕様一覧

項目		仕様	備考
5G 仕様		3GPP Re1. 15 対応	
ローカル 5G 適用バンド		n79 (4. 6GHz~4. 9GHz)	
全国キャリア 適用バンド	5G	n77/78(3. 7GHz), n79(4. 5GHz)	
	4G	B1(2. 0GHz), B3(1. 7GHz), B8(900M), B18(800MH), B19(800M), B21(1. 5GHz), B42(3. 5GHz), B41(2. 5GHz)	
MIMO (n79)		5G(sub6) n79 DL : 4x4MIMO UL : 2x2 MIMO	
送信出力		23dBm (0. 2W)	
アンテナ		外部 : 1) 屋内無指向性アンテナ 対応周波数 : 4G/5G(Sub6) 2) 屋外無指向性アンテナ 対応周波数 : 4G/5G(Sub6) 3) フィルムアンテナ 対応周波数 : 4G/5G(Sub6)	
基地局同期パターン		同期 TDD、準同期 TDD1	
CODEC		圧縮符号化方式 : H. 264/H265 解像度 : SD/HD/Full HD SD : 720×480 HD : 1280×720 FHD : 1920×1080 フレームレート : 30/60fps	帯域に追従した CODEC パラメータのリアルタイム可変制御
データ用外部 IF		GbE(1000Base-TX)×2、USB3. 0×3、USB2. 0×1	
映像用外部 IF (入力)		4 カメラ入力 GMSL インタフェース (Full HD ~30fps/カメラ) or 2 カメラ入力 USB インタフェース (Full HD ~30fps/カメラ) ※(1 カメラ時は Full HD ~60fps)	エンコーダ装置

項目	仕様	備考
映像用外部 IF (出力)	HDMI2.0 (出力)	デコーダ装置
電源	DC12/24V 瞬時電圧ドロップ 9V まで対応	
装置サイズ/質量	180(W) x 150(D) x 50(H) mm 以下 突起物 除く 1600g 以下	

次表に環境仕様一覧を示す。

表 2.3.2 環境仕様一覧

動作保証温度	-10 ~ +50 °C
動作保証湿度	5 % ~ 95% non-condensing
保存保証温度	-40 ~ +70 °C
保存保証湿度	5 % ~ 95% non-condensing
耐振動性能	JIS C 60068-2-6 (車載振動に対応)

適用法規

本端末は以下の法令に遵守した。

- ・電波法 : 無線モジュールにて工事設計認証(アンテナ追加)を取得した。
- ・電気通信事業法 : 無線モジュールにて設計認証を取得済み。
端末設備等規則第 34 条の 10 については、商用実装時に設計認証を取得予定。
- ・電気用品安全法 : AC アダプタ等該当品を調達する際は適合品であることを確認した。

2.4 免許及び各種認可

試作端末はアンテナ追加のための技術基準適合証明等(工事設計認証)を取得した。

課題実証のフィールド試験を行う三郷町の FSS35 キャンパスでは、昨年度に続きローカル 5G のさらなる利活用検証を行うための実験試験局を総務省近畿総合通信局に申請し取得済みのため、この実験試験局の基地局の通信の相手方として本端末を申請した。

テストベッドで行う技術実証に関しては、課題実証で申請する実験試験局(端末)の移動先としてテストベッド(YRP 地区)を記載し、通信の相手方として国立研究開発法人 情報通信研究機構所属の基地局とした。

取得した端末の無線局免許の内容を以下に示す。

表 2.4.1 取得した端末の無線局免許の内容

	陸上移動局（相当）
免許人	パナソニック コネクト株式会社
無線局の種別	実験試験局
免許の番号	近実5064号~近実5069号
免許の年月日	令和4年12月20日
識別信号	さんごうちょう L 5 G いどうきよくじっけん 7 ~ 1 2
電波の型式、周波数 及び空中線電力	99M9D1A 99M9D1B 99M9D1C 99M9D1D 99M9D1F 99M9D1X 99M9D7W 99M9G1A 99M9G1B 99M9G1C 99M9G1D 99M9G1F 99M9G1X 99M9G7W 4849.98MHz 200mW

通信の相手方の基地局の無線局免許の内容を以下に示す。

表 2.4.2 通信の相手方（基地局）の無線局免許（三郷町）の内容

	基地局（相当）
免許人	パナソニック コネクト株式会社
無線局の種別	実験試験局
免許の番号	近実4977号
免許の年月日	令和4年8月26日
識別信号	さんごうちょう L 5 G きちきよくじっけん
電波の型式、周波数 及び空中線電力	99M9X7W 4849.98MHz 1W

表 2.4.3 通信の相手方（基地局）の無線局免許（テストベッド）の内容

	基地局（相当）
免許人	国立研究開発法人情報通信研究機構
無線局の種別	実験試験局
免許の番号	関実第49277号
免許の年月日	令和4年7月12日
識別信号	N I C Tよこすか B 5 Gきちじゅけんよこすか 1
電波の型式、周波数 及び空中線電力	99M9X7W 4849.98MHz 309mW

2.5 その他

- ア 今後の技術発展を柔軟に取り込めるよう、国際規格である 3GPP Rel.15 に準拠し、普及段階において機能拡張が可能な設計とした。
- イ 当社は ISMS 認証を取得しており、情報セキュリティが十分に確保されるように適正に管理している。また当社は電気通信事業者として届け出をしており、電気通信事業者番号 (PLMN) 及び国際電気通信チャージカード発行者番号 (IIN) の指定も受けており、電気通信事業者としての情報管理体制も保持している。当社の情報セキュリティ等の管理体制のもと、本実証で導入する装置について、「IT 調達に係る国等の物品等または役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」（関係省庁；令和 3 年 7 月一部改正）等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じた。
- ウ クラウドサービスの利用や外部のネットワークへの接続する場合は、VPN で接続するなどセキュリティが適切に確保される対策を講じた。
- オ 横展開が容易に実現可能となる仕組みを検討した。
※具体的な横展開の方法については第 4 章にて記載

3. ローカル5G活用モデルに即した端末システムを用いたローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

試作端末の伝送性能等を検証するために、当社ラボ環境でスループット及び伝送遅延時間測定を実施した。またテストベッドにて、スループット、受信電力（RSRP）及び伝送遅延時間測定を実施した。

3.2 実証環境

環境要因を極力排除した端末の伝送性能の測定は、当社ラボのシールドルーム内で有線接続にて行った。本測定は試作端末、ネットワーク遅延測定装置、測定用PCと当社が所有するローカル5G基地局、コア装置、減衰器（ステップアッテナ）、同軸ケーブルを用いて行った。

測定に使用したシールドルーム、ローカル5G基地局及びコア装置、ネットワーク遅延測定装置を次図に示す。



図 3.2.1 パナソニック佐江戸（横浜）事業場のシールドルーム



図 3.2.2 ローカル 5G 基地局及びコア装置



図 3.2.3 ネットワーク遅延測定装置

テストベッドでの技術実証に関しては、試作する端末とテストベッドの gNB 及びコアとは接続性確認がとれていなかったため、事前に試作端末をテストベッドに持ち込みテストベッドの gNB 及びコアとの接続性試験をテストベッド内センターにて有線接続にて実施した。合わせて RSRP が弱い地点から強い地点を把握するために、エリアテストにてエリア調査を実施した。

接続性試験の風景を次図に示す。

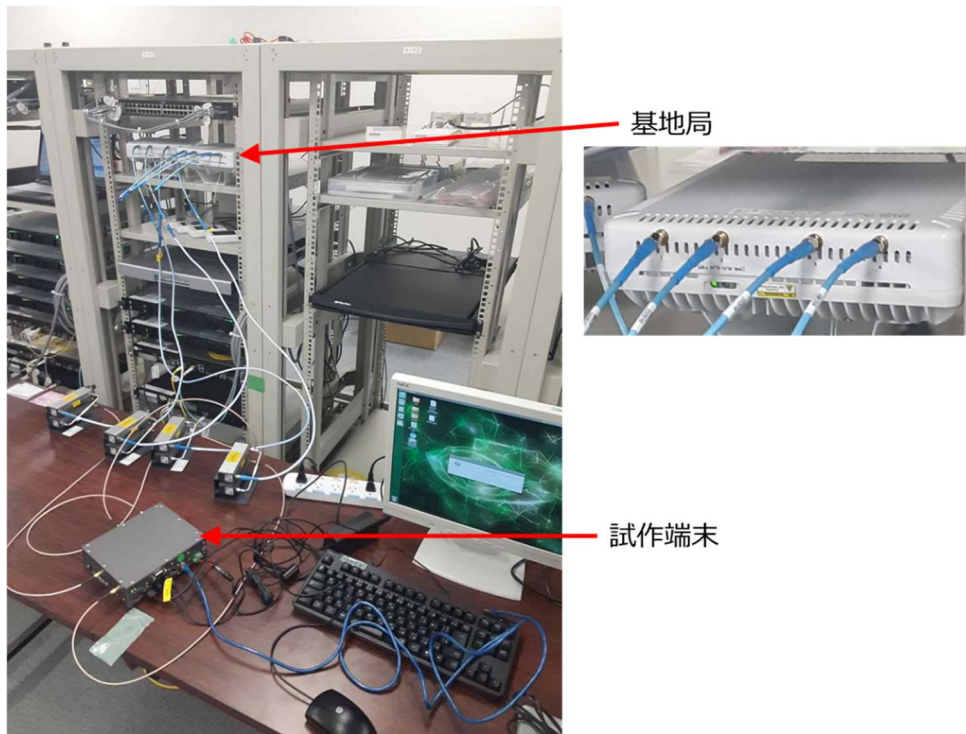


図 3.2.4 接続性試験の風景

エリア調査を実施したエリアテストを次図に示す。



図 3.2.5 エリアテスト

エリア調査の風景を次図に示す。



図 3.2.6 エリア調査の風景（基地局近傍）



図 3.2.7 エリア調査の風景（基地局遠方）

事前検証により、試作端末とテストベッドの gNB 及びコアとの接続性確認ができ、RSRP が弱い地点から強い地点を把握できたため、試作端末の通信の相手方となる基地局を確定した。テストベッドのセンター装置（コア装置等）及び基地局の設置場所を次図に示す。



※国土地理院の航空写真を使用

図 3.2.8 テストベッドで通信する基地局、センター装置設置場所（通信の相手方）

テストベッドのセンター装置及び基地局を次図に示す。

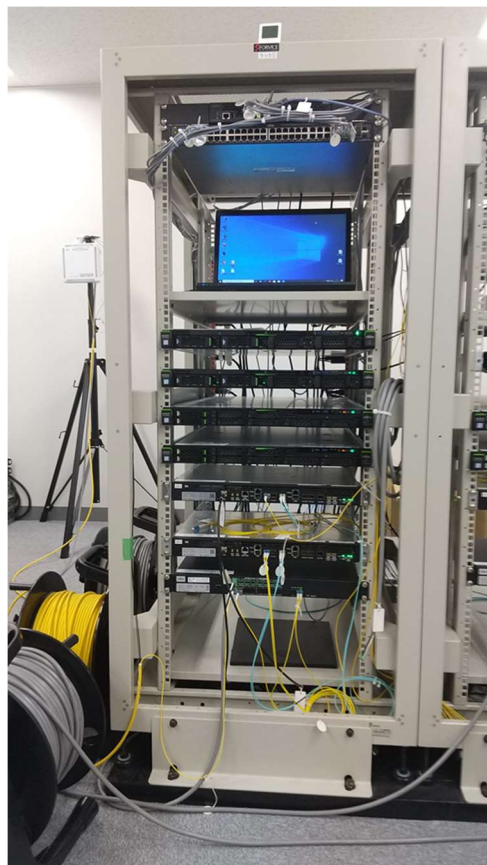


図 3.2.9 テストベッドのセンター装置



図 3.2.10 テストベッドの基地局

基地局諸元：

- (1) 電波の型式 : 99M9X7W
- (2) 周波数 : 中心周波数 4849.98MHz
- (3) 送信出力 : 0.309W (24.9dBm)
- (4) アンテナ利得 : 14.3 dBi (アクティブフェイズドアレイアンテナ)

技術実証の試験構成図を次図に示す。

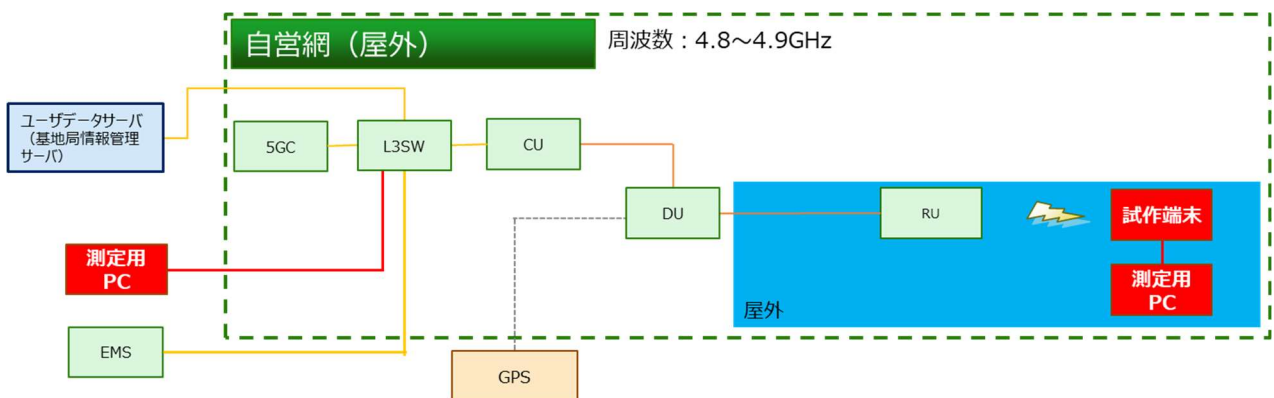


図 3.2.11 技術実証の試験構成

3.3 実証事項

3.3.1 実証の目的・目標

試作端末の利用シーンは自動搬送車 (AGV) や自動運転車両の前後左右に 4 台のカメラを取り付けて高精細映像を送信することである。映像品質が Full HD の場合、この映像送信には UL 帯域として 20~25Mbps 程度が必要なため、受信電力(RSRP) $-110\text{dBm}^{\ast 1}$ 以内のエリアで準同期 TDD パターン 1 にて UL のスループット 30Mbps $^{\ast 2}$ 以上を目標とした。

※1 当社の過去の検証で、安定的に通信を行うことができる下限の受信電力 (RSRP) が -110dBm であったことから、この値を基準とした。

※2 必要な UL 帯域の 20~25Mbps に対して、移動中の電波強度の揺らぎ等環境によるスループットの低下も考慮し、30Mbps 以上を目標とした。

また利用シーンを踏まえ、映像エンコーダと映像デコーダ間の遅延目標時間は 150ms 以下としたが、このうちローカル 5G ネットワークが占める伝送遅延時間を明らかにするための測定を行った。

3.3.2 評価・検証項目

(1) ラボでの評価・検証

ラボで評価・検証する項目は以下のとおり。

- ・ DL スループット
- ・ UL スループット
- ・ 伝送遅延時間

(2) テストベッドでの評価・検証

テストベッドで評価・検証する項目は以下のとおり。

- ・ DL スループット
- ・ UL スループット
- ・ 受信電力 (RSRP)
- ・ 伝送遅延時間

なお基地局による性能差も考えられるため、課題実証のフィールドである三郷町の FSS35 キャンパスの基地局でも同様の評価・検証を行った。

3.3.3 評価・検証方法

(1) ラボでの評価・検証

環境要因を極力排除した端末の伝送性能を測定は、当社ラボのシールドルーム内で有線接続にてスループット測定及び伝送遅延時間測定を実施した。

当社所有の検証用基地局でのスループット測定系を次図に示す。



図 3.3.1 検証用基地局でのスループット測定系

コアに接続した PC と端末に接続した PC 間で iperf にて DL 及び UL のスループットを測定した。測定はステップアッテネータにて受信電力 (RSRP) を変化させ、各 RSRP での DL 及び UL のスループットを測定した。なおスループットの測定はテストベッドの環境が同期 TDD パターンのみのため同期 TDD パターン及び運用において上り帯域を重視することが考えられるため準同期 TDD パターン 1 の両方にて実施した。

検証用基地局でのスループット測定の風景を次図に示す。

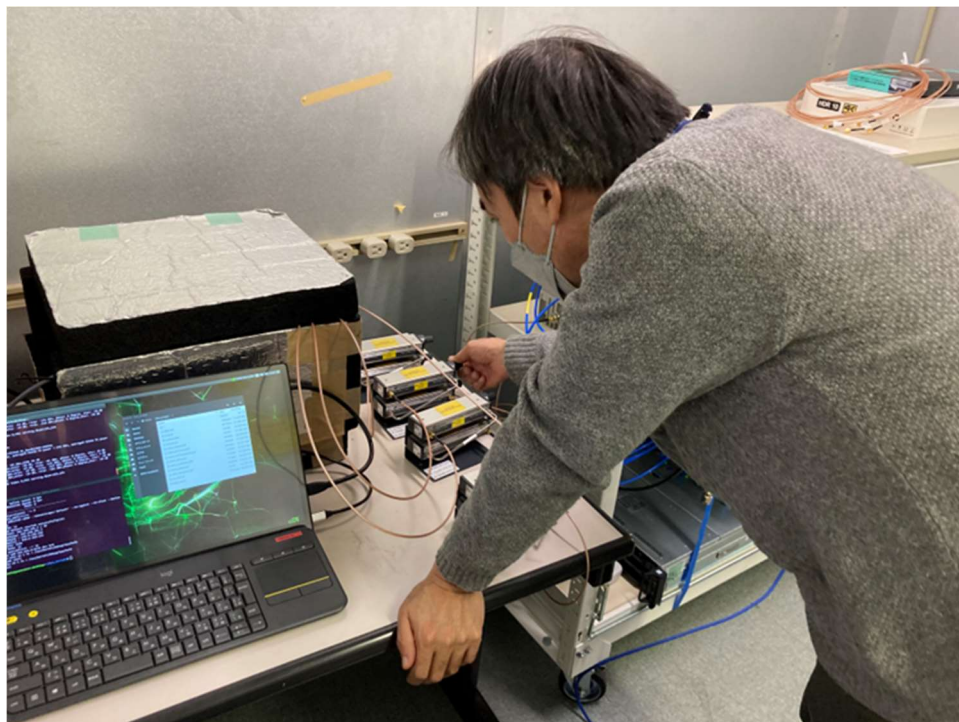


図 3.3.2 検証用基地局でのスループット測定風景

基地局シミュレータでのスループット測定系を次図に示す。

当社所有の検証用基地局を用いたネットワーク遅延測定装置間での伝送遅延時間測定系を次図に示す。

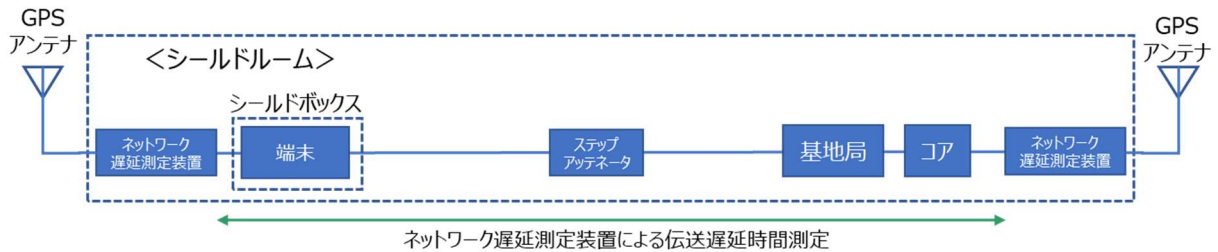


図 3.3.3 検証用基地局を用いたネットワーク遅延測定装置間での伝送遅延時間測定系

コアに接続したネットワーク遅延測定装置と端末に接続したネットワーク遅延測定装置間で伝送遅延時間を測定した。

検証用基地局を用いたネットワーク遅延測定装置間での伝送遅延時間測定風景を次図に示す。



図 3.3.4 検証用基地局を用いたネットワーク遅延測定装置間での伝送遅延時間測定風景

当社所有の検証用基地局を用いた Ping での伝送遅延時間測定系を次図に示す。

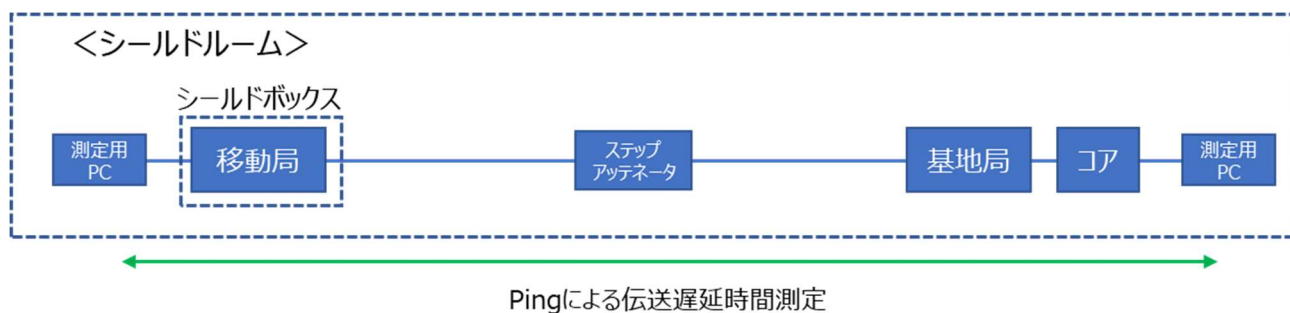


図 3.3.5 検証用基地局を用いた Ping での伝送遅延時間測定系

コアに接続した PC と端末に接続した PC 間で Ping による伝送遅延時間を測定した。検証用基地局を用いた Ping での伝送遅延時間測定風景を次図に示す。



図 3.3.6 検証用基地局を用いた Ping での伝送遅延時間測定風景

(2) テストベッドでの評価・検証

試作端末をテストベッドに持ち込み測定を行った。テストベッドではスループット測定、伝送遅延時間測定及び受信電力（RSRP）測定を実施した。

スループット、伝送遅延時間測定系を次図に示す。

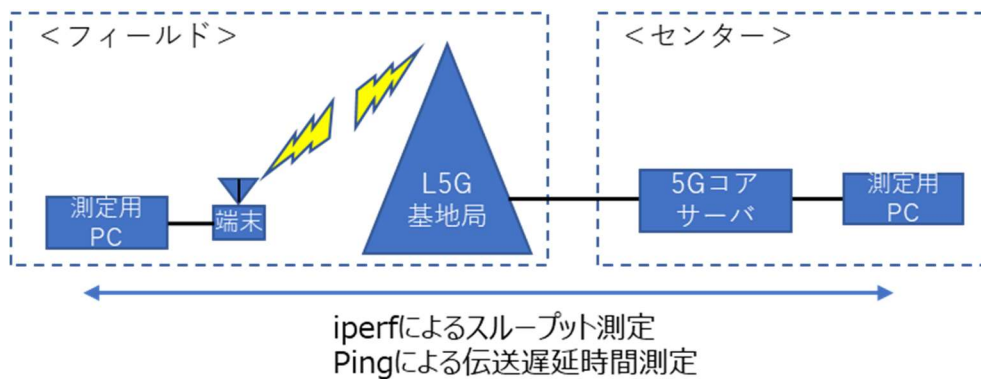


図 3.3.7 テストベッドでのスループット、伝送遅延時間測定系

試作端末をローカル 5G 基地局に接続しスループットを測定した。カバーエリア内の 20 測定点で、5G コアサーバに接続した測定用 PC と端末に接続した測定用 PC 間で iperf にて DL 及び UL のスループット測定を実施した。なおスループットの測定は、テストベッドの環境が同期 TDD パターンのみため同期 TDD パターンにて実施した。またスループット測定点と同一のカバーエリア内の 20 測定点で伝送遅延時間の測定を実施した。

また基地局による性能差も考慮し、三郷町の FSS35 キャンパスでも 10 地点において同様の評価・検証を行った。

受信電力（RSRP）測定系を次図に示す。

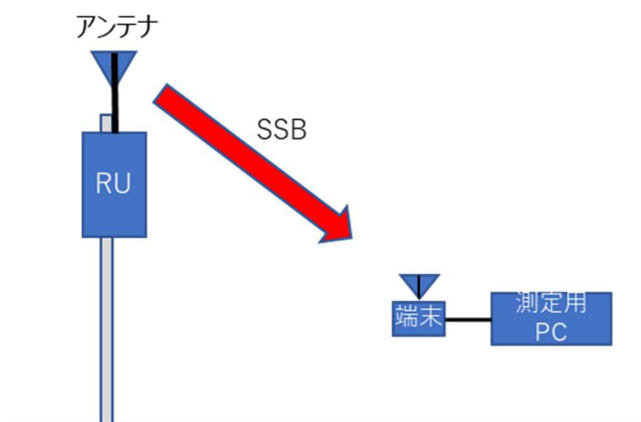


図 3.3.8 受信電力（RSRP）測定系

受信電力（RSRP）の測定は、試作端末に測定用 PC を接続し基地局から送信される SSB の電力を測定した。測定点はスループットの測定と同一地点の 20 測定点で実施した。

なお 20 測定点は、測定前にエリアテスタで事前に調査し、RSRP が弱い地点から強い地点までデータが取得できるよう選定した。

また三郷町の FSS35 キャンパスでも 10 測定点において同様の測定を行った。

テストベッドのセンター側及びフィールド側での測定風景を次図に示す。



図 3.3.9 測定風景（テストベッド：センター側）



図 3.3.10 測定風景 (テストベッド：フィールド側)

測定した 20 測定点を以下に示す。



※国土地理院の航空写真を使用

図 3.3.11 測定点 (テストベッド)

FSS35 キャンパスのセンター側及びフィールド側での測定風景を次図に示す。



図 3.3.12 測定風景 (FSS35 キャンパス : センター側)



図 3.3.13 測定風景 (FSS35 キャンパス : フィールド側)

測定した 10 測定点を以下に示す。



※国土地理院の航空写真を使用

図 3.3.14 測定点 (FSS35 キャンパス)

3.3.4 実証結果及び考察

(1) 実証結果

① ラボでの評価・検証

検証用基地局での同期 TDD パターンにおける DL スループットの測定結果を次表及び次図に示す。

表 3.3.1 検証用基地局での同期 TDD における DL スループット測定結果

RSRP[dBm]	Min[Mbps]	Max[Mbps]	Ave[Mbps]
-70	940	956	948
-71	942	956	948
-72	943	955	948
-73	937	956	945
-74	938	956	947
-75	936	955	946
-76	931	954	947
-77	935	953	946
-78	926	954	944
-79	924	946	936
-80	893	951	930
-81	881	944	920
-82	866	944	920
-83	823	946	905
-84	858	927	908
-85	854	919	902
-86	862	938	902
-87	854	946	894
-88	890	934	896
-89	685	941	890
-90	826	955	879
-91	808	892	875
-92	819	889	872
-93	786	873	853
-94	787	856	841
-95	694	869	795
-96	733	819	781
-97	661	768	738
-98	652	712	687
-99	607	672	666
-100	514	606	571
-101	511	561	554
-102	382	547	526
-103	471	505	495
-104	473	482	478
-105	420	436	428
-106	361	374	369
-107	313	335	324
-108	260	288	277
-109	204	226	213
-110	173	206	189
-111	162	166	165
-112	132	152	143
-113	80.8	117	108
-114	81.8	111	90.5
-115	46.7	86.9	70.3
-116	19.5	65.3	56.1
-117	26.1	55.5	48.2
-118	39	58.7	47.9
-119	26.6	37.5	33.4
-120	25.6	29.1	27.1
-121	13.5	17.8	15.3
-122	11.8	15.1	13.3
-123	8.6	9.9	9.03
-124	6.22	8.84	8.02
-125	圏外		

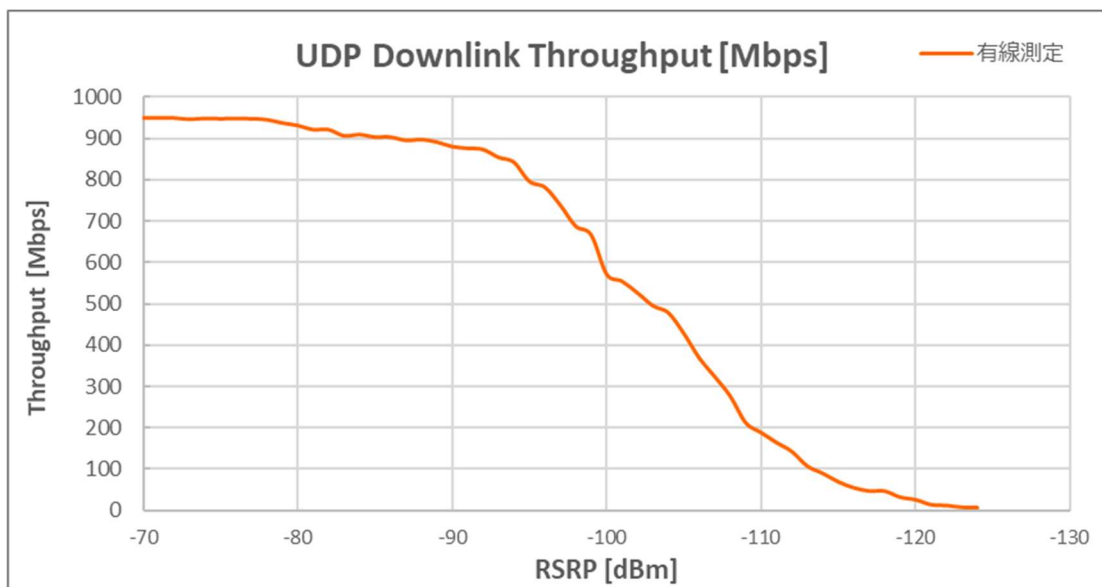


図 3.3.15 検証用基地局での同期 TDD における DL スループット (平均) 測定結果

検証用基地局での同期 TDD パターンにおける DL スループットの平均値は、RSRP : -70dBm にて 948Mbps、RSRP : -80dBm にて 930Mbps、RSRP : -90dBm にて 879Mbps、RSRP : -100dBm にて 571Mbps、RSRP : -110dBm にて 189Mbps という結果であった。

なお、DL スループットが RSRP が-77dBm 以上のとき約 950Mbps で頭打ちとなっているのは、コア側に接続した測定用 PC の LAN インタフェースが 1000Base-T イーサネットであるためである。

検証用基地局での同期 TDD パターンにおける UL スループットの測定結果を次表及び次図に示す。

表 3.3.2 検証用基地局での同期 TDD における UL スループット測定結果

RSRP[dBm]	Min[Mbps]	Max[Mbps]	Ave[Mbps]
-70	187	206	201
-71	198	209	201
-72	172	203	196
-73	186	200	192
-74	161	210	195
-75	182	204	199
-76	188	207	195
-77	161	209	197
-78	189	202	195
-79	186	201	193
-80	182	201	194
-81	175	198	193
-82	177	201	195
-83	183	201	194
-84	174	205	193
-85	179	198	191
-86	182	187	185
-87	175	194	185
-88	177	188	184
-89	174	178	176
-90	165	172	168
-91	140	155	149
-92	122	149	141
-93	117	147	136
-94	121	149	135
-95	128	140	136
-96	127	131	129
-97	110	144	129
-98	113	140	124
-99	93.5	121	111
-100	105	115	112
-101	104	117	108
-102	99.6	109	104
-103	89	102	96.7
-104	83.1	90.8	86.1
-105	74.5	80.4	78.3
-106	68.4	76	72
-107	61.5	72.3	65.3
-108	51.4	70.7	61.5
-109	50.7	62.6	59.5
-110	42.6	52.2	47.7
-111	37.5	43.8	41.5
-112	30.5	37	35.6
-113	27.6	33.3	30.6
-114	11.6	27.8	23.5
-115	8.15	20	16.5
-116	0.823	15.8	13.6
-117	11.1	12.9	11.9
-118	8.84	11.6	9.7
-119	7.13	8.81	8.03
-120	3.15	3.27	3.2
-121	3.18	3.87	3.65
-122	1.98	2.69	2.46
-123	1.32	1.89	1.61
-124	0.141	1.25	0.87
-125	圏外		

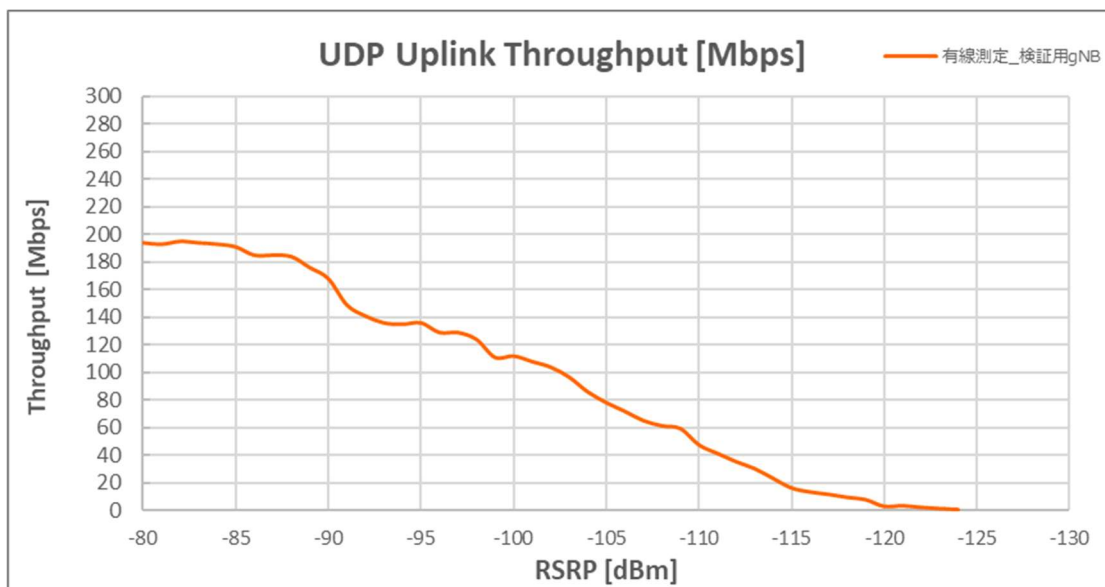


図 3.3.16 検証用基地局での同期 TDD における UL スループット（平均）測定結果

検証用基地局での同期 TDD パターンにおける UL スループットの平均値は、RSRP : -70dBm にて 201Mbps、RSRP : -80dBm にて 194Mbps、RSRP : -90dBm にて 168Mbps、RSRP : -100dBm にて 112Mbps、RSRP : -110dBm にて 47.7Mbps という結果であった。

検証用基地局での準同期 TDD パターン 1 における DL スループットの測定結果を次表及び次図に示す。

表 3.3.3 検証用基地局での準同期 TDD 1 における DL スループット測定結果

RSRP[dBm]	Min[Mbps]	Max[Mbps]	Ave[Mbps]
-70	939	956	949
-71	941	956	947
-72	897	955	947
-73	938	956	948
-74	935	956	947
-75	897	955	947
-76	939	956	947
-77	931	954	943
-78	941	952	942
-79	937	954	944
-80	949	955	954
-81	948	956	953
-82	914	956	945
-83	895	955	942
-84	898	955	939
-85	692	955	940
-86	836	910	880
-87	813	874	856
-88	779	838	827
-89	764	834	797
-90	737	775	766
-91	653	744	726
-92	666	719	712
-93	663	708	689
-94	634	688	676
-95	586	635	607
-96	495	607	565
-97	498	548	520
-98	474	519	500
-99	448	485	470
-100	402	442	417
-101	377	402	389
-102	331	362	351
-103	315	343	334
-104	315	324	319
-105	277	289	285
-106	231	260	244
-107	208	221	216
-108	173	182	177
-109	138	148	142
-110	114	146	130
-111	112	123	119
-112	97.5	107	105
-113	65.9	82.7	77.6
-114	66.4	77.9	71.2
-115	35.6	60.2	49.1
-116	16.6	59.7	40.2
-117	13.7	37.3	31.6
-118	20.8	33.4	27.3
-119	14.7	24.7	20.9
-120	14.3	20	16.5
-121	11	14.8	12.8
-122	6.07	10.2	8.87
-123	5.26	6.28	6.15
-124	1.88	6.15	4.98
-125	圏外		

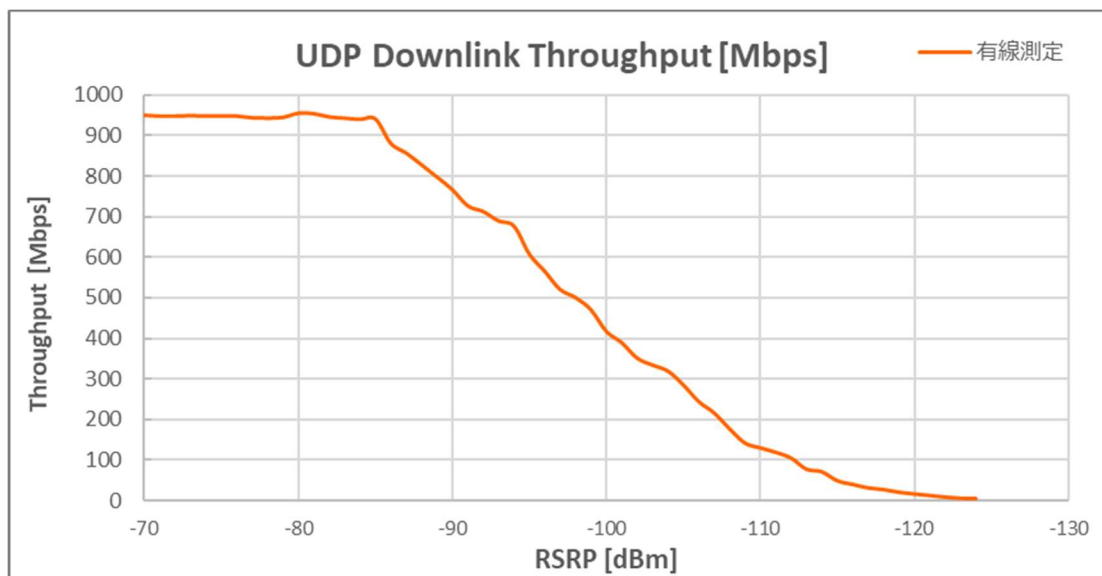


図 3.3.17 検証用基地局での準同期 TDD 1 における DL スループット（平均）測定結果

検証用基地局での準同期 TDD パターン 1 における DL スループットの平均値は、RSRP : -70dBm にて 949Mbps、RSRP : -80dBm にて 954Mbps、RSRP : -90dBm にて 766Mbps、RSRP : -100dBm にて 417Mbps、RSRP : -110dBm にて 130Mbps という結果であった。

なお、DL スループットが RSRP が -85dBm 以上のとき約 950Mbps で頭打ちとなっているのは、コア側に接続した測定用 PC の LAN インタフェースが 1000Base-T イーサネットであるためである。

検証用基地局での準同期 TDD パターン 1 における UL スループットの測定結果を次表及び次図に示す。

表 3.3.4 検証用基地局での準同期 TDD 1 における UL スループット測定結果

RSRP[dBm]	Min[Mbps]	Max[Mbps]	Ave[Mbps]
-70	339	427	395
-71	280	432	395
-72	218	427	401
-73	219	430	395
-74	218	432	399
-75	218	424	381
-76	217	420	384
-77	228	416	388
-78	263	413	380
-79	277	415	383
-80	338	402	379
-81	346	395	383
-82	304	393	374
-83	331	393	370
-84	346	383	366
-85	339	378	361
-86	332	374	358
-87	320	360	343
-88	314	361	337
-89	297	350	327
-90	292	338	318
-91	285	320	301
-92	267	304	286
-93	251	280	267
-94	243	281	261
-95	217	276	258
-96	233	273	250
-97	227	246	237
-98	194	242	219
-99	206	225	212
-100	191	209	196
-101	178	201	187
-102	175	203	185
-103	166	188	178
-104	151	176	160
-105	145	156	151
-106	125	141	130
-107	124	137	127
-108	106	119	111
-109	87.8	112	101
-110	81.1	96.6	88.7
-111	63	78.5	71
-112	59.9	62.2	61.1
-113	48.5	61.8	55.3
-114	30.5	47.5	41.3
-115	6.06	36.1	28.7
-116	1.89	31.1	25.2
-117	21.6	24.7	23
-118	16.9	19.4	18
-119	10.4	16.8	11.2
-120	8.81	10.7	10.3
-121	6.44	10.2	7.51
-122	4.14	5.55	5.12
-123	2.48	4.67	3.16
-124	0.682	2.55	1.96
-125	圏外		

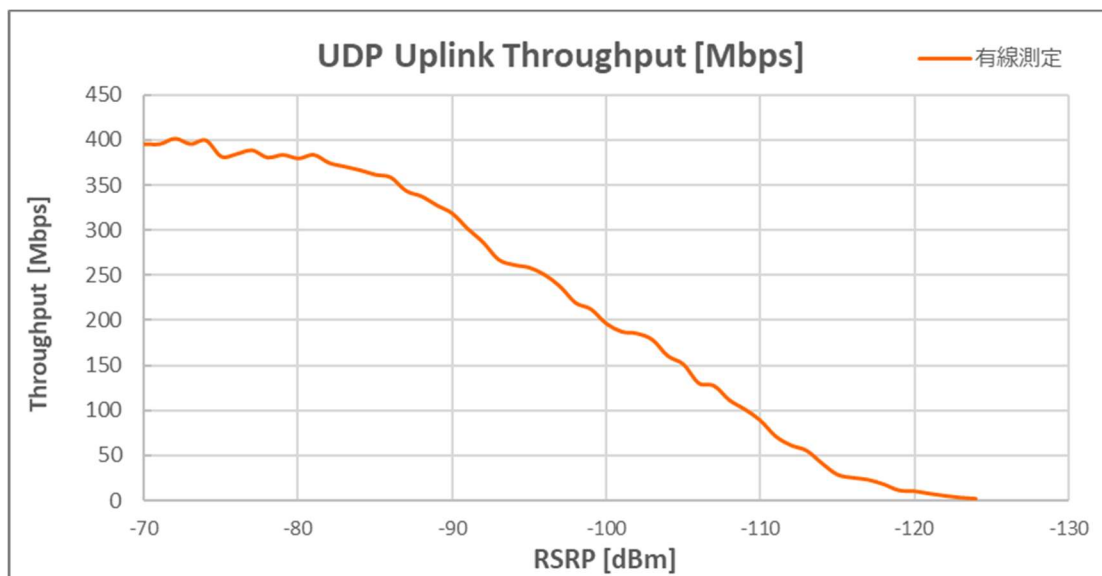


図 3.3.18 検証用基地局での準同期 TDD 1 における UL スループット（平均）測定結果

検証用基地局での準同期 TDD パターン 1 における UL スループットの平均値は、RSRP : -70dBm にて 395Mbps、RSRP : -80dBm にて 379Mbps、RSRP : -90dBm にて 318Mbps、RSRP : -100dBm にて 196Mbps、RSRP : -110dBm にて 88.7Mbps という結果であった。

伝送遅延時間測定結果を次表に示す。

表 3.3.5 伝送遅延時間測定結果

同期パターン	RSRP	UL/DL	伝送遅延時間(ms)					
			ネットワーク遅延測定装置			PING		
			Min	Max	Average	Min	Max	Average
同期TDD	-80dBm	UL	4.19	25.10	9.36			
		DL	4.45	20.80	8.97			
		UL+DL	8.64	45.90	18.33	15.85	43.31	20.67
	-90dBm	UL	4.12	24.70	9.29			
		DL	4.55	21.00	8.68			
		UL+DL	8.67	45.70	17.97	15.45	35.37	20.00
	-100dBm	UL	4.05	25.60	9.86			
		DL	4.60	12.90	8.39			
		UL+DL	8.65	38.50	18.25	15.50	35.31	19.96
	-110dBm	UL	4.44	71.00	9.25			
		DL	4.53	13.10	8.40			
		UL+DL	8.97	84.10	17.65	15.68	34.72	20.36
-120dBm	UL	4.48	81.20	11.10				
	DL	4.78	83.30	8.63				
	UL+DL	9.26	164.50	19.73	15.75	35.90	20.23	
準同期TDD	-80dBm	UL	4.05	23.50	11.30			
		DL	4.83	20.70	8.83			
		UL+DL	8.88	44.20	20.13	14.22	30.88	18.33
	-90dBm	UL	4.31	25.80	11.30			
		DL	4.41	92.40	9.84			
		UL+DL	8.72	118.20	21.14	14.41	36.45	18.29
	-100dBm	UL	4.01	27.80	11.50			
		DL	4.65	95.30	9.03			
		UL+DL	8.66	123.10	20.53	14.21	30.86	17.61
	-110dBm	UL	4.48	28.70	11.50			
		DL	4.72	104.00	10.30			
		UL+DL	9.20	132.70	21.80	14.43	30.95	18.32
-120dBm	UL	4.48	46.60	12.00				
	DL	4.71	95.70	8.90				
	UL+DL	9.19	142.30	20.90	15.65	34.18	19.50	

UL、DL 片方向の伝送遅延時間は、おおよそ 10ms 程度であった。UL+DL では、その約倍の 20ms 程度であった。なお同期パターン（同期 TDD、準同期 TDD1）及び RSRP による差はみられなかった。

② テストベッドでの評価・検証

テストベッドでの RSRP、スループット、伝送遅延時間測定の結果を次表に示す。

表 3.3.6 RSRP、スループット、伝送遅延時間測定結果

測定点	基地局からの距離(m)	0:LOS 1:NLOS	RSRP(dBm) ※1	スループット(Mbps)※1		伝送遅延時間 (ms)※1
				DL	UL	
①	138	0	-90.5	283.7	65.2	34
②	75	0	-84.0	365.2	73.7	31
③	41	0	-79.9	370.0	73.1	29
④	54	0	-77.6	470.9	104.0	29
⑤	66	0	-76.6	509.0	66.5	30
⑥	36	0	-100.9	173.5	50.1	28
⑦	38	0	-97.6	204.7	54.6	27
⑧	51	0	-104.2	130.9	14.0	37
⑨	73	0	-80.8	280.2	70.0	38
⑩	92	0	-89.5	258.4	65.9	28
⑪	146	0	-91.1	233.1	65.6	29
⑫	192	0	-105.1	102.3	11.3	33
⑬	201	1	-108.3	81.4	2.6	31
⑭	214	0	-101.1	168.8	47.2	29
⑮	296	0	-106.2	96.9	16.4	36
⑯	337	0	-102.1	99.2	16.6	37
⑰	376	1	-108.4	50.8	3.0	30
⑱	429	1	-108.6	64.7	2.6	34
⑲	467	1	-111.4	58.5	2.3	37
⑳	525	1	-117.8	21.8	0.8	126

※1 各測定点で実測した全データの平均値

FSS35 キャンパスでの RSRP、スループット、伝送遅延時間測定の結果を次表に示す。

表 3.3.7 RSRP、スループット、伝送遅延時間測定結果

測定点	基地局からの距離(m)	0:LOS 1:NLOS	RSRP(dBm) ※1	スループット(Mbps)※1		伝送遅延時間 (ms)※1
				DL	UL	
①	127	0	-100.6	272.9	57.8	24
②	42	0	-89.3	324.7	67.1	26
③	54	0	-86.5	389.2	82.0	24
④	92	0	-95.6	367.5	74.4	27
⑤	93	1	-107.1	288.0	67.7	31
⑥	105	1	-112.5	102.8	28.8	24
⑦	182	1	-116.6	193.9	29.3	19
⑧	190	1	-120.4	49.0	12.8	20
⑨	325	1	-117.9	145.4	19.8	19
⑩	383	1	-108.0	198.2	51.7	37

※1 各測定点で実測した全データの平均値

テストベッドの測定結果は、FSS35 の測定結果より、相対的にスループットが低く、伝送遅延時間も長い結果となった。特にテストベッドでは RSRP : -108dBm 程度となると、UL スループットが 3Mbps 程度となったが、FSS35 では RSRP : -108dBm 程度では、UL スループットは 50Mbps 程度となり、大きな差がみられた。

(2) 考察

同期 TDD パターンにおけるラボでの有線測定のスループット測定値と、テストベッド及び FSS35 キャンパスのフィールドにて実測したスループット測定値の DL の比較を次図に示す。

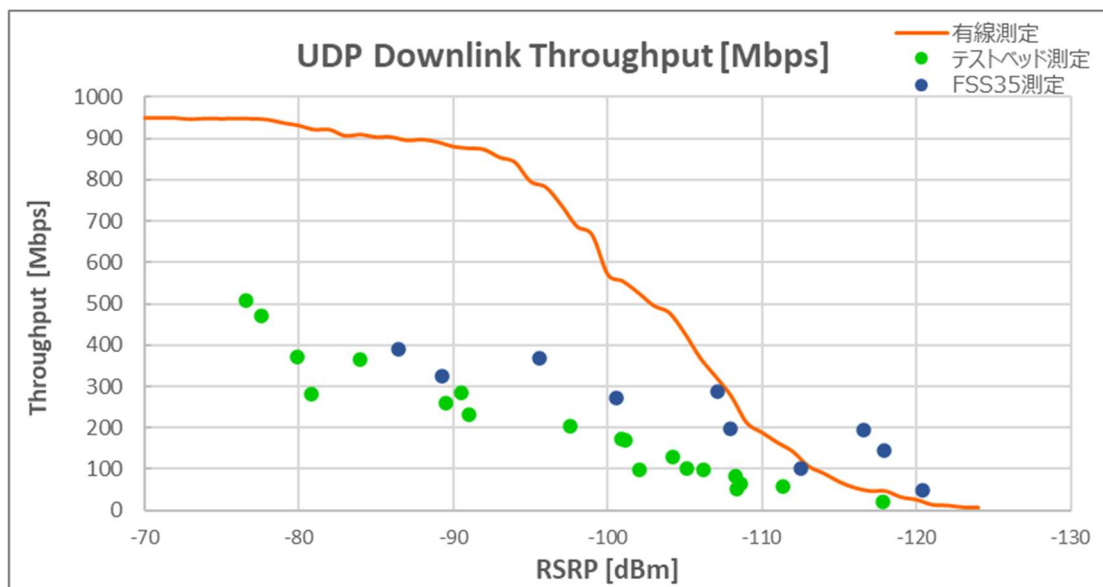


図 3.3.19 有線接続とフィールドでのスループットと RSRP (同期 TDD : DL)

DLの有線接続での結果とフィールドでの結果を比較すると、RSRP：-100dBm以上の強電界ではフィールドのほうがおおよそ半分程度のスループットとなった。これは、有線接続の強電界では、全て4レイヤで動作していたが、フィールドでは、2レイヤ動作が大半であったこと、またフィールドでは、電界強度が刻々と変わるため、MCSも有線接続の時のMCSより低めであったためと考えられる。

RSRP：-110dBm前後では、有線接続とFSS35のフィールドでのスループットは近似する結果となった。

またRSRP：-115dBm以下の弱電界ではラボの有線接続よりFSS35のフィールドでのスループットのほうが良い結果となった。ラボとFSS35の基地局は同一ベンダーであるが、ラボよりもFSS35の基地局の方が機種が新しく、パラメータ設定も含め弱電界での特性が改善されているためと考えられる。

テストベッドでの測定結果とFSS35での測定結果を比較すると、RSRP：-95dBm以下程度の電界ではテストベッドのフィールドよりFSS35のフィールドでのスループットのほうが良い結果となった。これはRSRP：-95dBm以下程度においては、FSS35の方がテストベッドより高いMCSが設定される傾向があったため、パラメータ設定も含め基地局側の性能差によるものと考えられる。

同期 TDD パターンにおけるラボでの有線測定のスループット測定値と、テストベッド及びFSS35 キャンパスのフィールドにて実測したスループット測定値の UL の比較を次図に示す。

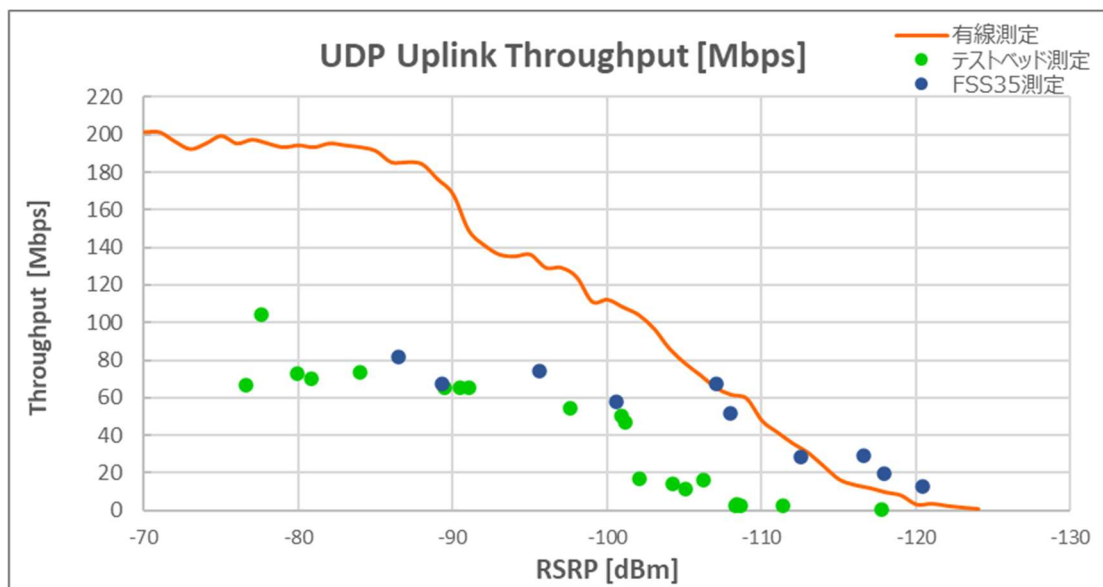


図 3.3.20 有線接続とフィールドでのスループットと RSRP (同期 TDD : UL)

ULの有線接続での結果とフィールドでの結果を比較すると、RSRP：-100dBm以上の強電界ではフィールドのほうがおおよそ半分程度のスループットとなった。これは、有線接続の強電界では、全て2レイヤで動作していたが、フィールドでは、1レイヤ動作もあったこと、またフィールドでは、電界強度が刻々と変わるため、MCSも有線接続の時のMCSより低めであったためと考えられる。

RSRP：-110dBm前後では、ラボの有線接続とFSS35のフィールドでのスループットは近似する結果となった。

またRSRP：-115dBm以下の弱電界ではラボの有線接続よりFSS35のフィールドでのスループットのほうが良い結果となった。ラボとFSS35の基地局は同一ベンダーであるが、ラボよりもFSS35の基地局の方が機種が新しく、パラメータ設定も含め弱電界での特性が改善されているためと考えられる。

テストベッドでの測定結果とFSS35での測定結果を比較すると、RSRP：-100dBm以下程度の電界ではテストベッドよりFSS35でのスループットのほうが良い結果となった。これはRSRP：-100dBm以下程度において、FSS35の方がテストベッドより高いMCSが設定される傾向があったためと基地局の受信感度がFSS35の方が良いためと想定され、パラメータ設定も含め基地局側の性能差によるものと考えられる。

受信電力(RSRP)-110dBm 以内のエリアで準同期 TDD パターン 1 にて UL のスループット 30Mbps 以上の目標値に対しては、ラボでの同期 TDD パターン 1 による測定で、RSRP : -110dBm にて 47.7Mbps、FSS35 で RSRP : -108.0dBm にて 51.7Mbps、RSRP : -110dBm 以下となる RSRP : -112.5dBm にて 28.8Mbps であった。準同期 TDD パターン 1 では、UL スロット数が同期 TDD パターンの 2 倍となり、スループットも約 2 倍となると考えられるため、今回の同期 TDD パターンでの測定結果値を 2 倍した場合は、ラボで RSRP : -110dBm にて 95.4Mbps、FSS35 で RSRP : -108.0dBm にて 103.4Mbps、RSRP : -110dBm 以下となる RSRP : -112.5dBm にて 57.6Mbps となり、性能としては目標値を十分上回る結果となった。

同期 TDD パターンにて測定したラボの有線測定での伝送遅延時間測定値 (Ping) と、テストベッド及び FSS35 キャンパスのフィールドにて実測した伝送遅延時間測定値 (Ping) の比較を次表に示す。

表 3.3.8 有線接続とフィールドでの Ping 伝送遅延時間 (平均)

伝送遅延時間 (ms)		
ラボ	フィールド	
	テストベッド	FSS35
20.2	36.7	25.1

ラボの有線測定での伝送遅延時間測定値 (Ping) と、テストベッドでの伝送遅延時間を比較した場合、テストベッドでの伝送遅延時間が 16ms 以上長い結果となった。

同期 TDD パターンにて測定したラボの有線測定での伝送遅延時間測定値 (Ping) と、テストベッド及び FSS35 キャンパスのフィールドにて実測した伝送遅延時間測定値 (Ping) のグラフを次図に示す。

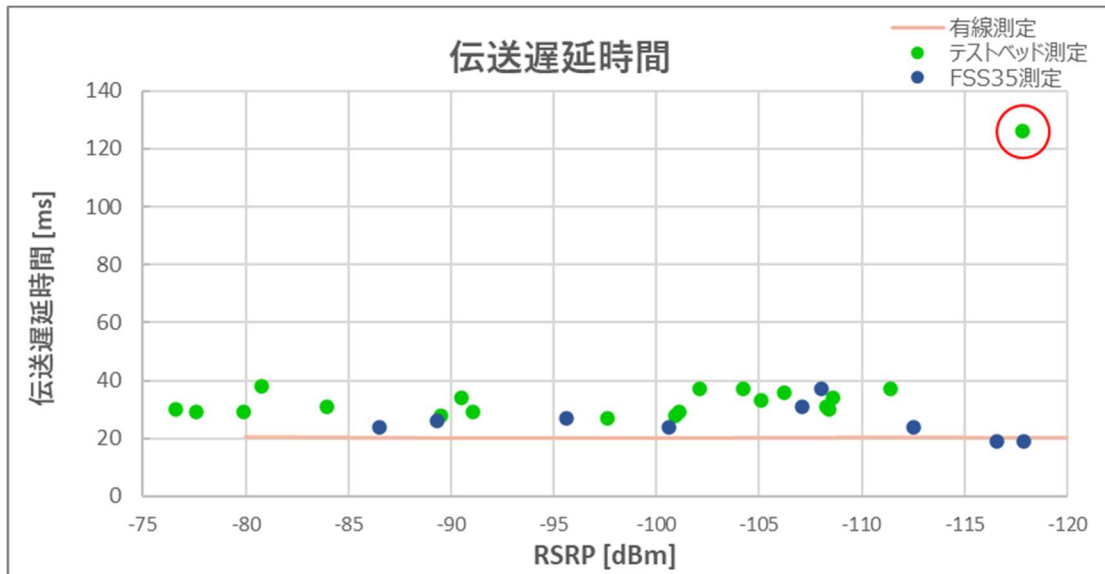


図 3.3.21 有線接続とフィールドでの Ping 伝送遅延時間 (平均)

テストベッドでは図中に赤丸をつけている弱電界の RSRP : -117.8dBm 地点で伝送遅延時間が長くなっている。この RSRP 値がテストベッドの基地局の受信感度限度値あたりと想定され、再送等が発生しているため、テストベッドでの伝送遅延時間 (平均) が伸びたと考えられる。なお、この RSRP : -117.8dBm 地点を除いた場合は、テストベッドでの伝送遅延時間 (平均) は 31.9ms となり、FSS35 キャンパスとの差は 7ms 程度と小さくなる。

ラボの有線測定での伝送遅延時間測定値 (Ping) と、フィールド測定 (テストベッドの RSRP : -117.8dBm 地点を除く) での伝送遅延時間を比較した場合、フィールドでの測定の方が電界が不安定であることもあり、若干伝送遅延時間が長くなったが、ラボの有線測定、フィールドでの測定結果ともに RSRP による大きな差はみられない結果となった。Ping は DL+UL の遅延時間のため、映像伝送の遅延時間を考えた UL の遅延時間はこの半分程度の遅延時間となるため、UL のローカル 5G ネットワーク部分の伝送遅延時間は 10~15ms 程度になると考えられる。利活用シーンを想定し、エンコーダ/デコーダ間の映像伝送遅延時間は 150ms 以下を目標としたが、4.1.3 章に記載のとおり、FullHD×4 映像に相当する 4K 映像でのローカル 5G ネットワークを介さない有線接続での映像遅延時間は 70ms 程度のため、ローカル 5G ネットワーク部分の伝送遅延時間の 10~15ms 程度は十分許容範囲と考えられる。

4. ローカル 5G 活用モデルに即した端末システムの検討（課題実証）

4.1 実証概要

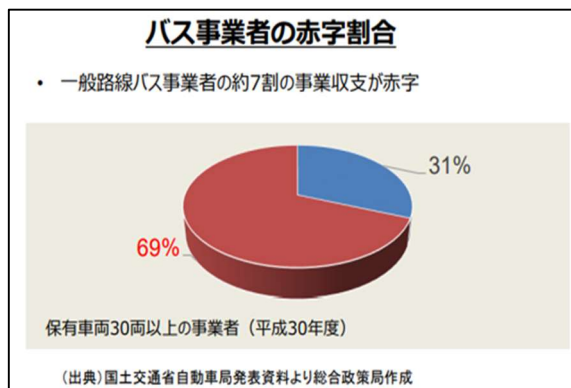
4.1.1 背景となる課題

(1) 解決を目指す社会課題

【地方部の定住化を阻害している社会課題】

① 社会課題 1：経営難による路線バスの廃止、それに伴う高齢者の孤立懸念

地方部は鉄道も JR 路線のみの自治体が圧倒的に多く、住民の日常の移動手段は路線バスだが、路線バス事業の約 7 割は赤字であり廃止される路線が後を絶たず、住民の移動手段が途絶え孤立する高齢世帯も増加してくる。



路線バスの廃止路線キロの推移

年度	廃止路線キロ
2007年度	1,832
2008年度	1,911
2009年度	1,856
2010年度	1,720
2011年度	842
2012年度	902
2013年度	1,143
2014年度	1,590
2015年度	1,312
2016年度	883
計	13,991

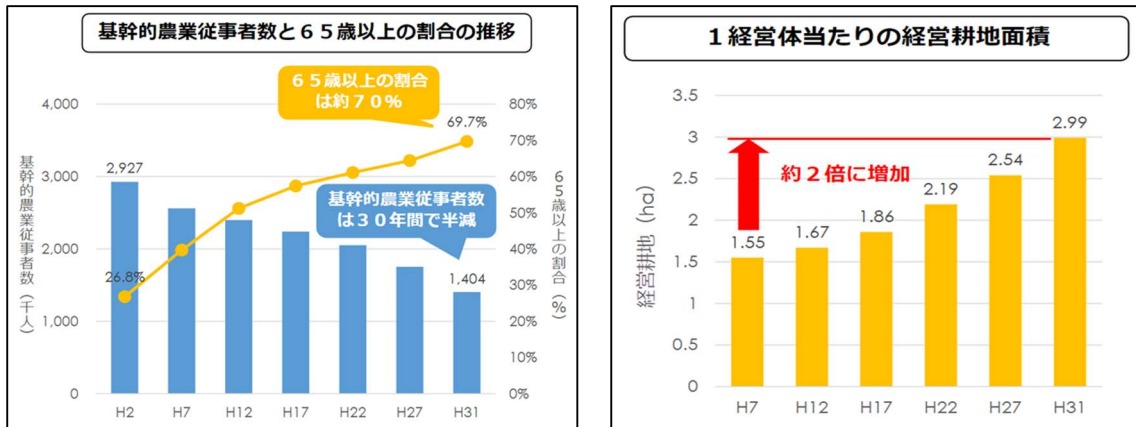
※高速バス・定期観光バスを除く、代替・変更がない完全廃止のもの

出典：国土交通省（地域交通をめぐる現状と課題）

図 4.1.1 路線バス事業者の状況

② 社会課題 2：農業従事者数の低下と高齢化、それに伴う 1 経営当たりの耕地面積の増大

基幹的農業従事者数は 30 年間で半減しており、65 歳以上の高齢化率も約 7 割であり、今後も傾向は止まらないと予測されている。一方、1 経営体あたりの経営耕地面積は 25 年で約 2 倍になっており、農業従事者への負担も増大傾向にある。



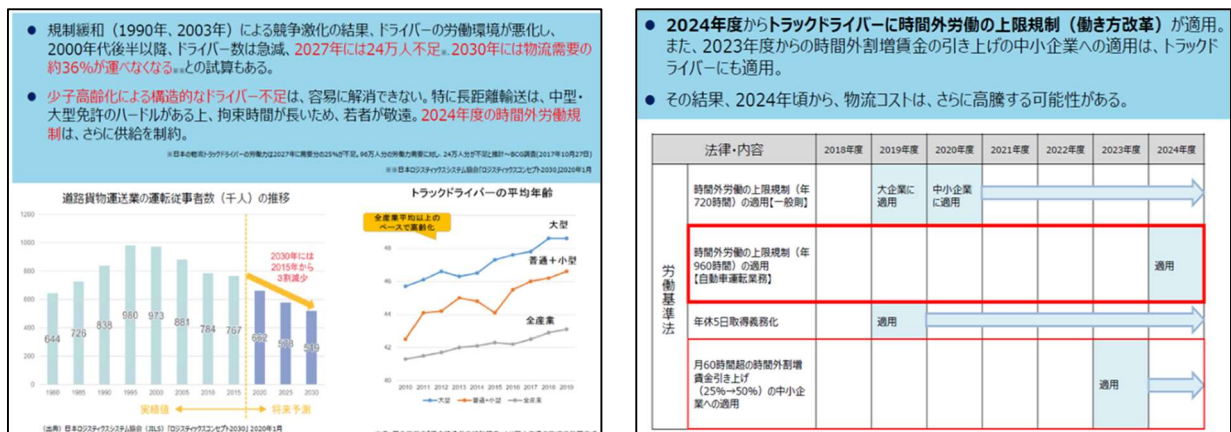
出典：農林水産省「農林業センサス」「農業構造動態調査」

図 4.1.2 農業従事者の状況

【物流業界が抱える社会課題】

③ 社会課題3：深刻なドライバー不足と労働環境悪化

コロナ禍以降、これまで以上に EC による物流量が大幅に増加しているにも関わらずドライバーの高齢化と減少も止まらず現行ドライバーの労働時間が増す一方である。そうした中、2024年度よりドライバーの労働時間の上限が設定されることにより、ドライバー不足は益々深刻な問題になってくる。



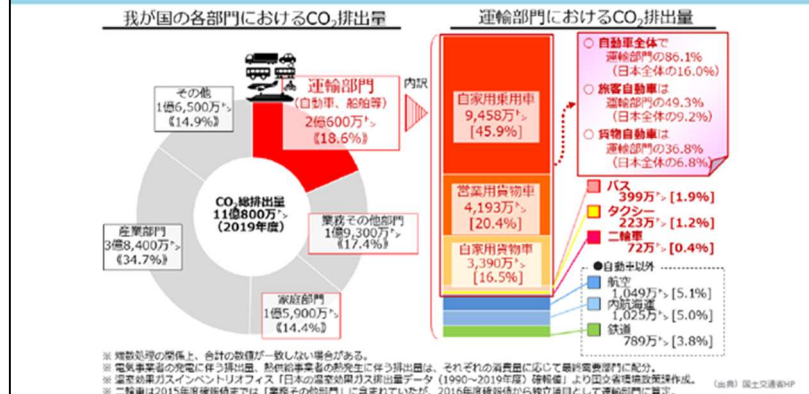
出典：経済産業省（物流危機とフィジカルインターネット）

図 4.1.3 トラックドライバーの状況

④ 社会課題4：CO2削減と非接触サービスの拡充

世界中で2050年カーボンニュートラルに向けた目標値設定と実現に向けた取組が加速しているが、物流分野は我が国のCO2排出に占める割合が高く（20%弱）、物流分野でのCO2削減に向けた取組は極めて重要な位置付けとなる。

- 2050年カーボンニュートラルの実現（2030年度、温室効果ガスの2013年度比46%削減）に向けて、**省エネや脱炭素エネルギーの利用**がますます強く要請される。
- 日本のCO2排出量（約11億800万トン）のうち、**貨物自動車のCO2排出量は約6.8%（約7,600万トン）**を占め、**営業用だけで140万台の車両**がある。
- カーボンニュートラルの強い要請は、今後、物流の供給制約となっていく可能性がある。



出典：経済産業省（物流危機とフィジカルインターネット）

図 4.1.4 CO₂ 排出量の状況

加えて、コロナ感染再発防止も必要であり非接触サービス実現も求められてきている。

(2) 社会課題解決に向けた取組状況

① 取組1：自動運転バス

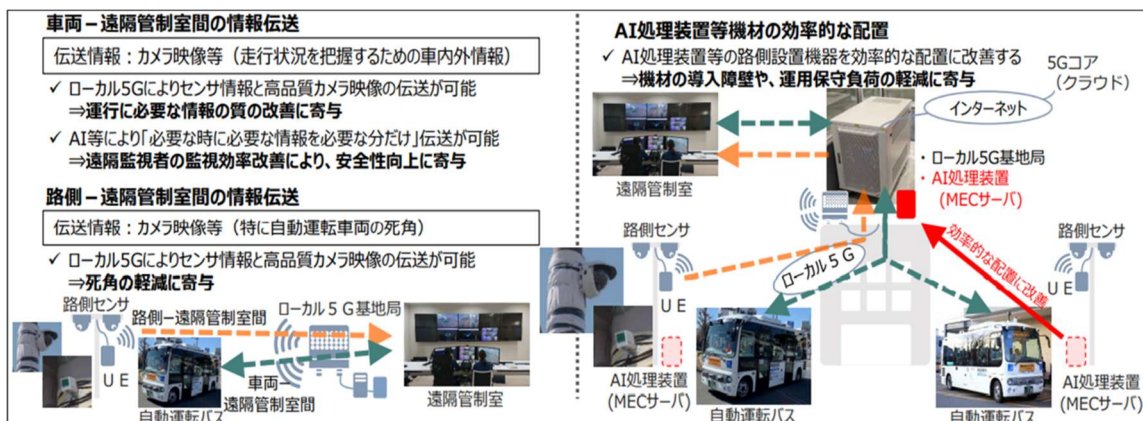
バスの自動運転に関しては、様々な地域で多様な形状の車体を利用した実証実験が実施されている。

バスタイプ車両	（車種）エルガミオ・ボンチョ・リエッセ等	カート・グリーンスローモビリティ車両	（車種）e-com10・NAVYA ARMA・ランドカー	カートタイプ車両（公道走行不可）	（車種）Robot Shuttle・Milee
これまでの実証実験実績	滋賀県大津市、神奈川県横浜市、大津市シャトルバス、名鉄バス実証実験、前橋市シャトルバスでの運行（公道での有償旅客輸送実証実験）、沖縄県那城市、北海道広尾郡	これまでの実証実験実績	大津市シャトルバス、名鉄バス実証実験、前橋市シャトルバスでの運行（公道での有償旅客輸送実証実験）、はままつフラワーパーク、Spring-S、東京丸の内、北海道土佐町、東京大学柏キャンパス、東京都立芝公園、磐田市、石川県、国プロジェクト等	これまでの実証実験実績	慶徳農業大学湖南緑沢キャンパス、橋本市（公道）、大分市（公道の歩道）、横浜市金沢動物園、九州大学伊都キャンパス、秋田県仙北市、千葉市・イオンモール都賀新都市、堂知町長久手市「堂・地球博記念公園」、豊橋総合動植物公園
乗車定員	約30～50名	乗車定員	約4～16名	乗車定員	約4～12名
自動運転時の速度	最高速度 40～50km/h	自動運転時の速度	最高速度約20km/h	自動運転時の速度	最高速度 19～40km/h
走行空間の特徴	公道	走行空間の特徴	公道	走行空間の特徴	公道走行不可

出典：国土交通省（基幹的なバスにおける自動運転導入に関する検討 中間とりまとめ）

図 4.1.5 自動運転路線バス実証実験の状況

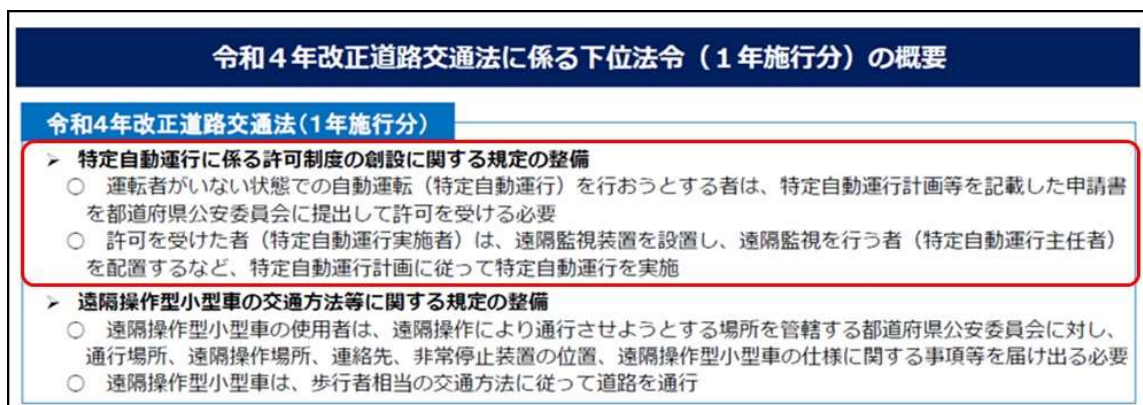
現状では、運転手が同乗しており車が停まった後の再出発等の操作は運転手が行っている。地方部のバス運営の課題は採算性であり、今の状態では、バスの維持管理費と運転手人件費に加えシステム費用が上乘せされるので、更に採算性は悪化する。そのため、一人の運転手で複数台のバスを遠隔から操作する技術の研究開発も進められており、前橋市では 5G を活用した実証実験が実施されている。



出典：総務省（令和3年度「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」実証事業 成果概要）

図 4.1.6 前橋市の実験システムイメージ

そういった中、道路交通法の改正により、2023年4月より限定地域において遠隔監視操縦型の自動運転車両の運用が可能となることで、今後、事業化を見据えた実証実験も加速するものと期待できる。



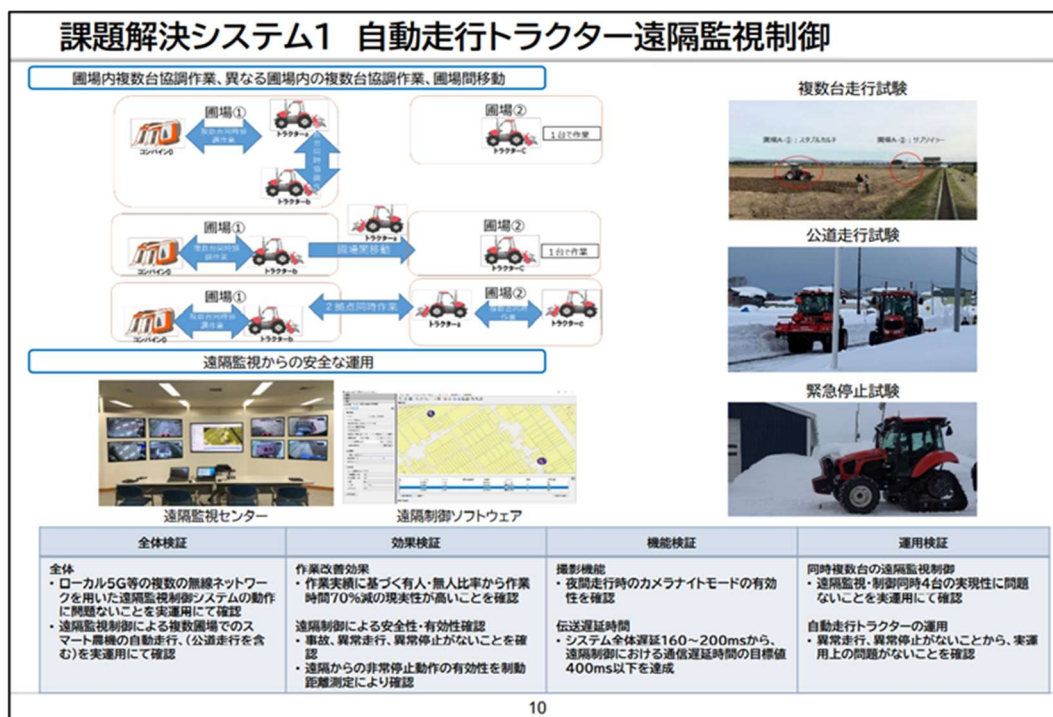
出典：警察庁

図 4.1.7 改正道路交通法に係る下位法令概要

② 取組2：省人化と対応耕地面積拡大を目指した自動運転トラクターの実証

農業トラクターの自動運転領域は、クボタが2016年にオートステアリング（自動操舵）機能を備えたトラクターを発売したのを皮切りにヤンマー等他社も参入し、田植え機やコンバインにまで拡充している。また、2022年の対象技術見本市「CES 2022」では、農機世界最大手のディア・アンド・カンパニーが自動運転トラクターの生産準備が整ったことを表明した。今後、当該市場の拡大が大いに期待されている。

しかしながら現行の運用は近接監視型であり、近くに監視者がいる状態での圃場での自動走行である。これでは、前述のバス同様に自動運転トラクター毎に監視者が必要であり、作業の省人化・効率化には寄与できるが1経営体あたりの耕地面積拡大には課題が残る。そのため、クボタは「今後は、搭乗や近接監視を必要としない遠隔監視のみの自動運転農機実現に向け技術開発を続けていく方針だ。」（自動運転LAB記事より）と表明しており、また、北海道大学を中心に岩見沢市内において5Gを活用した遠隔操縦・監視型での運用確立を目指した実証実験も開始されている。



出典：農業分野の課題解決に向けたローカル5G等の技術的条件及び利活用に関する調査検討 報告書

図 4.1.8 自動運転トラクターの実証実験

③ 取組3：物流課題解決のための自動配送ロボット

物流におけるドライバー不足対策として、高速道路での隊列走行とラストワンマイルの自動配送の研究開発が加速している。特に、ラストワンマイル自動配送においては、2023年4月より公道において自動配送ロボットの近接監視者を不要とし遠隔操作者のみでの運行が可能となる。この運用は、ロボットの周囲状況を遠隔操作者がリアルタイムに把握することが前提となるため、ロボットに搭載されたカメラの映像を遅延なくモニタリングできる環境が必要になる。

令和4年改正道路交通法に係る下位法令（1年施行分）の概要

令和4年改正道路交通法（1年施行分）

- ▶ **特定自動運行に係る許可制度の創設に関する規定の整備**
 - 運転者がいない状態での自動運転（特定自動運行）を行おうとする者は、特定自動運行計画等を記載した申請書を都道府県公安委員会に提出して許可を受ける必要
 - 許可を受けた者（特定自動運行実施者）は、遠隔監視装置を設置し、遠隔監視を行う者（特定自動運行主任者）を配置するなど、特定自動運行計画に従って特定自動運行を実施
- ▶ **遠隔操作型小型車の交通方法等に関する規定の整備**
 - 遠隔操作型小型車の使用者は、遠隔操作により通行させようとする場所を管轄する都道府県公安委員会に対し、通行場所、遠隔操作場所、連絡先、非常停止装置の位置、遠隔操作型小型車の仕様に関する事項等を届け出る必要
 - 遠隔操作型小型車は、歩行者相当の交通方法に従って道路を通行

■ 道路交通法施行規則の一部改正

【遠隔操作型小型車の交通方法等に関する規定の整備関係】

- ▶ 遠隔操作型小型車及び移動用小型車の基準を次のとおり定めるもの【第1条の4及び第1条の6関係】

車体の大きさ	車体の構造
長さ：120センチメートル以下	原動機として、電動機を用いること
幅：70センチメートル以下	6キロメートル毎時を超える速度を出すことができないこと
高さ：120センチメートル以下（※）	歩行者に危害を及ぼすおそれがある鋭利な突出部がないこと

※ 遠隔操作型小型車については、センサー、カメラその他の通行時の周囲の状況を検知するための装置及びヘッドサポートを除いた部分の高さ
 ※ 移動用小型車については、ヘッドサポートを除いた部分の高さ

出典：警察庁

図 4.1.9 自動配送ロボットに関する改正道路交通法下位法令概要ほか

(3) 遠隔操縦・遠隔監視のための車載端末

当社は 20 年以上に渡りパトロールカーや路線バスの運行管理システム、防災行政含め業務用車両に搭載する移動無線システム等の事業を手掛けている。



図 4.1.10 当社の業務用車載システム例（左：警察 右：バス）

当社の経験では、日本全国津々浦々、様々な走行環境下でも長期に安定した通信を担保する車載端末に求められる要件は以下のとおりである。

- ・ 温度：-10度～50度
- ・ 振動：車載振動に対応する JIS C 60068-2-6 を満たすこと
- ・ 省配線：既存の車両は設置スペースと配線ルートが限定されるため一体型が望ましい

一方、自動運転バス、自動運転トラクターの実証実験は市販の機器を使用しており、概ね下図のような構成である。

安全確認用カメラ 1 台につき 1 台のエンコーダを接続、複数のエンコーダを制御 PC で制御、制御 PC の情報を 5G 端末で伝送する構成である。

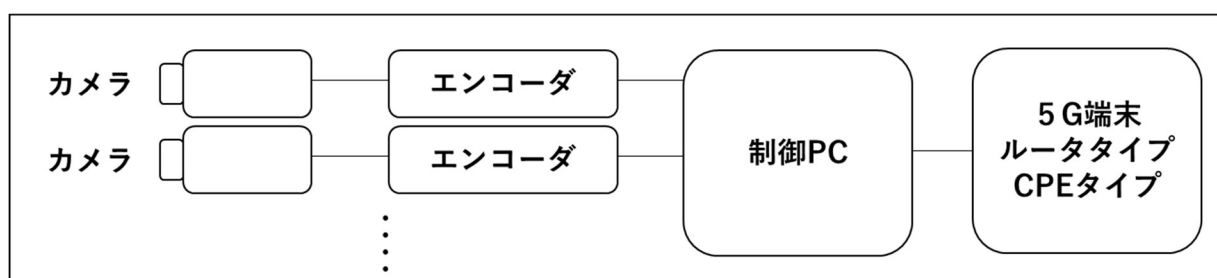


図 4.1.11 現行の実証実験の端末構成

前述の要件と照らし合わせた場合、温度、振動、省配線、全てにおいて市販機器は対応できていない。また、最低 4 方向（前後左右）の高精細映像を常に低遅延で伝送する必要がある、自己土地と他者土地、公道の間を行き来する、という移動ロボット特有の形態を考慮すると、以下の要件も必須となる可能性がある。

- ・ 準同期対応
- ・ 異なる通信網往来に対応した映像/音声情報の QoS 制御

特にトラクター等農機ロボットは、車体の安全のみでなく作業機構部のモニタリングと制御も必要になるため、より多くの映像情報とセンサ情報の低遅延伝送が求められる。そこで本事業で、これらの要件を満足する端末を開発し、前述の社会課題解決のための様々な取組の社会実装を加速させる所存である。

以上をまとめたチャートは下図のとおり。

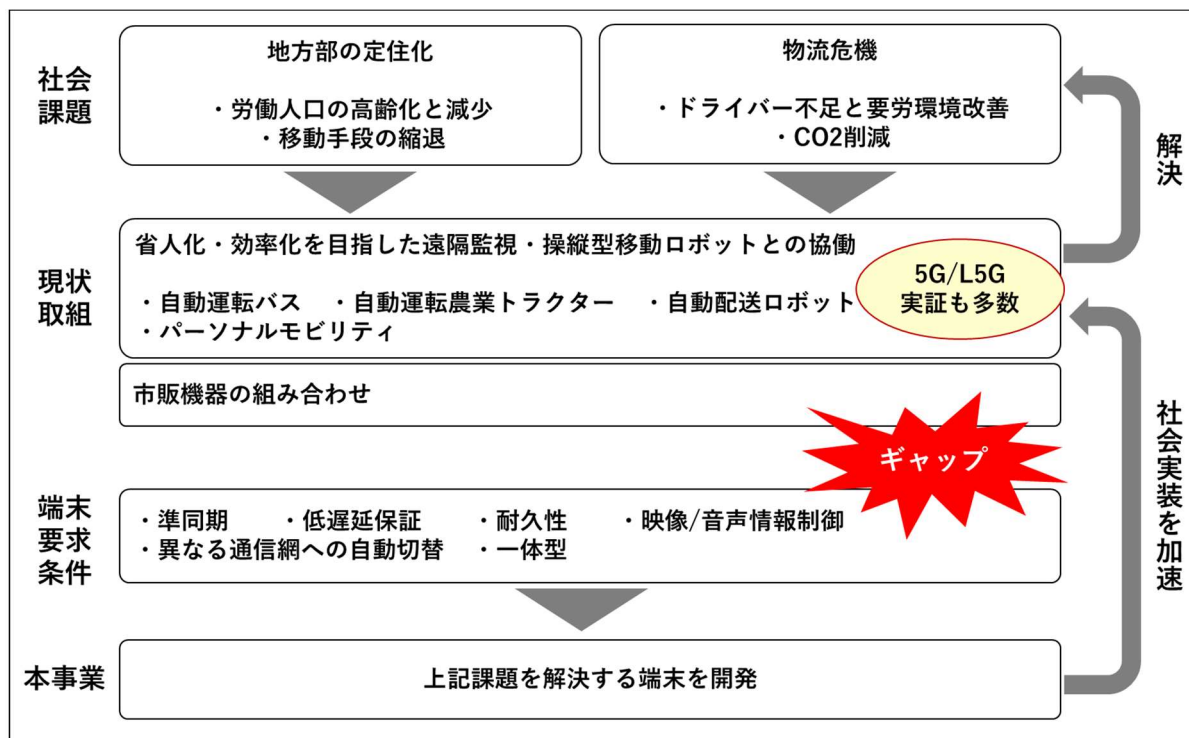


図 4.1.12 社会実装を加速させるためのチャート

4.1.2 試作した端末システム

(1) ユースケース及び端末システム

前章に記述したとおり、自動運転技術やロボットの社会実装を目指した研究開発や実証実験が加速しているが、社会実装の実現には利用者（事業者）の採算性確保が条件となる。その採算性確保のためには、近接監視を不要とする遠隔監視操縦がマストで、加えて、一人のオペレータが同時に運用する 1:N の運用が理想である。

本事業では、

- ・遠隔監視操縦で 1:N の運用が期待されている。
- ・遠隔監視操縦での実運用に向けた環境が整備されつつある、または、整備される見込みがある。の観点から最初の事業ターゲットを選定した。

そのターゲットは以下のとおり。

- ・自動運転農業ロボット
- ・自動運転巡回バス
- ・ロボット配送
- ・パーソナルモビリティ※

※当初、本事業では、車いす相当の大きさで、且つ、時速 6km 以下で歩道を走行するヒトを運ぶロボットを対象とした。

○ 一定の大きさ以下の電動モビリティは、最高速度に応じて以下の3類型に分ける

① 歩道通行車(6 km/h以下)

- ・ 電動車椅子相当の大きさ（長さ120cm×幅70cm×高さ120cm）
- ・ 歩道・路側帯を通行（歩行者扱い）
- ・ 立ち乗り・座り乗りで区別しない



6 km/h以下 歩道 路側帯

出典：パーソナルモビリティの安全な利用の推進の在り方について（警察庁資料）より抜粋

図 4.1.13 本事業で対象とするヒトを運ぶロボット（例）

しかしながら、公道走行の遠隔監視型パーソナルモビリティは、安全基準等を業界団体が策定することが条件となるが、本事業の期間内で、安全基準等の策定を明言する業界団体が不在のため、以降の調査検討等の記述から除外することとした。

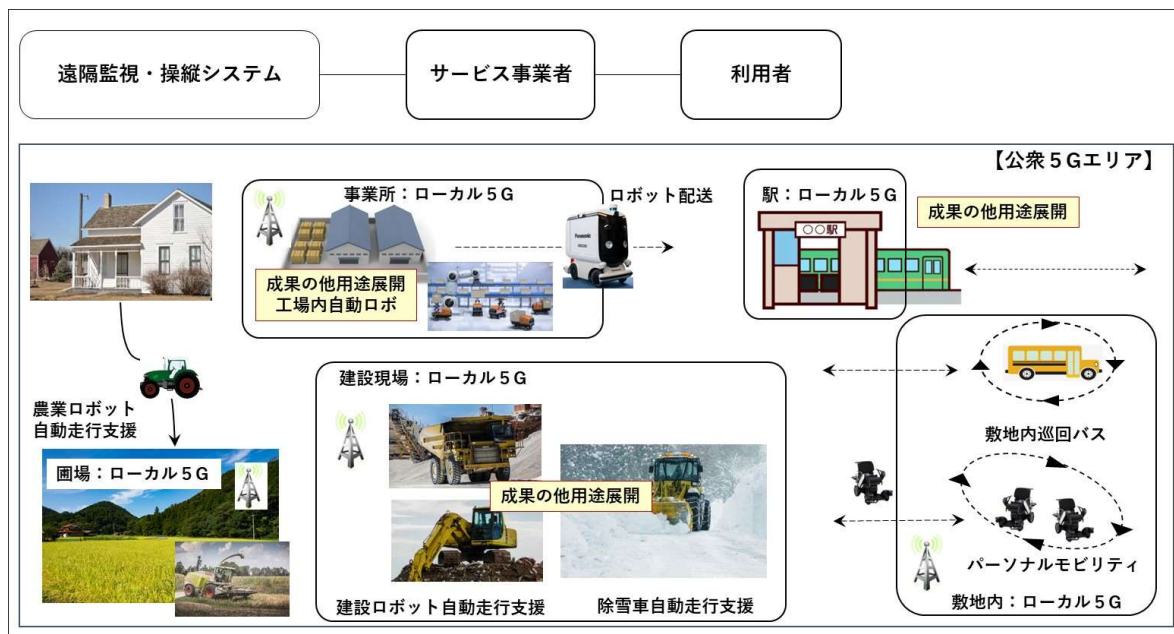


図 4.1.14 ユースケースイメージ

また、本事業での成果は、将来的には、以下の分野にも展開できると想定している。

- ・省人化/無人化工場やプラントのロボット制御
- ・建設現場、建設機器の自動運転
- ・除雪車の自動運転
- ・列車の安全運転のための映像伝送

現状の実証取組では、車体の周囲の映像情報を伝送する際に、市販のエンコーダと 5G 端末を組み合わせ実施しているが、本事業では、エンコーダと 5G 通信機能を一体型構造とした。

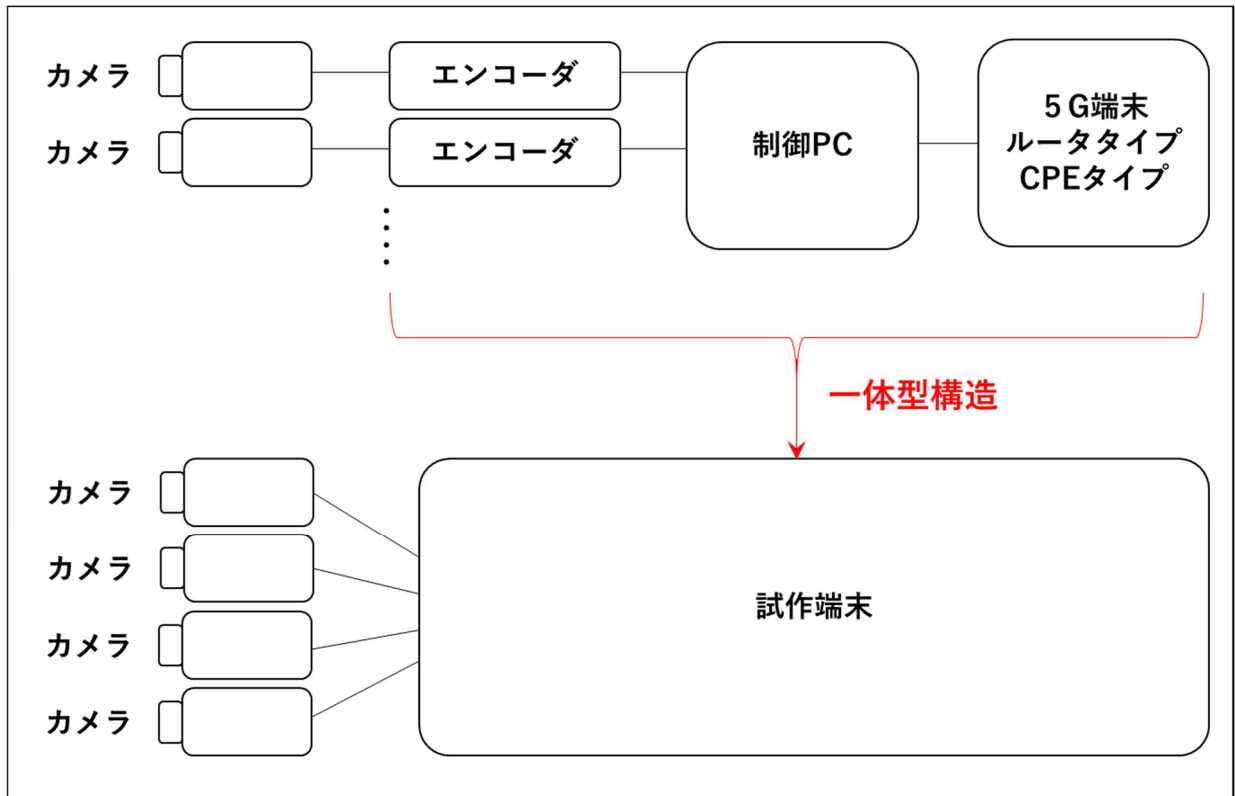


図 4.1.15 端末システム構成比較イメージ

(2) 試作した端末システムの必然性・必要性

4.1.1にも記述したとおり、日本全国津々浦々、様々な走行環境下でも長期に安定した通信を担保する車載端末に求められる要件は以下のとおり。

- ・温度 : -10度～50度
- ・振動 : 車載振動に対応する JIS C 60068-2-6 を満たすこと
- ・省配線 : 既存の車両は設置スペースと配線ルートが限定されるため一体型が望ましい

市販の映像エンコーダおよび5G端末は、ほとんどが温度保証も0℃～40℃程度であり、振動対策は施されていない。加えて、エンコーダ機能付き5G端末も存在していない。

令和2年度の実証で使用した装置は市販品だが、エンコーダの温度保証は0℃～40℃で振動対策は施されていない。また5G端末は屋外仕様のため、温度保証は-10℃～50℃だが、車載搭載を想定した耐振性を備えていない。

そのため、本事業において上記の要件を満足する端末システムを新たに開発した。

加えて、先述のユースケースイメージで示したとおり、最低4方向の高精細映像を常に低遅延で伝送する必要がある、自己土地と他者土地、公道の間を行き来する、という移動ロボットの運行形態を考慮すると、以下の要件も必須となる。そのため、

- ・準同期対応
- ・異なる通信網往来に対応したQoS制御

の機能も具備した。

準同期対応、異なる通信網往来に対応した QoS 制御そのものは対応できている端末もあるが、温度保証、振動対策までを施し、映像エンコーダ機能までを一体型にした形状で準同期と QoS 制御を網羅している端末は存在しない。

これらの要件を含め、遠隔監視・操縦型の自動運転ロボットの社会実装を促すために必要な要件と対処内容をロジックツリーにまとめると以下ようになる。なお、ロジックツリーには、本事業範囲の内容のみでなく、商品化のために必要な要件等も記述している。

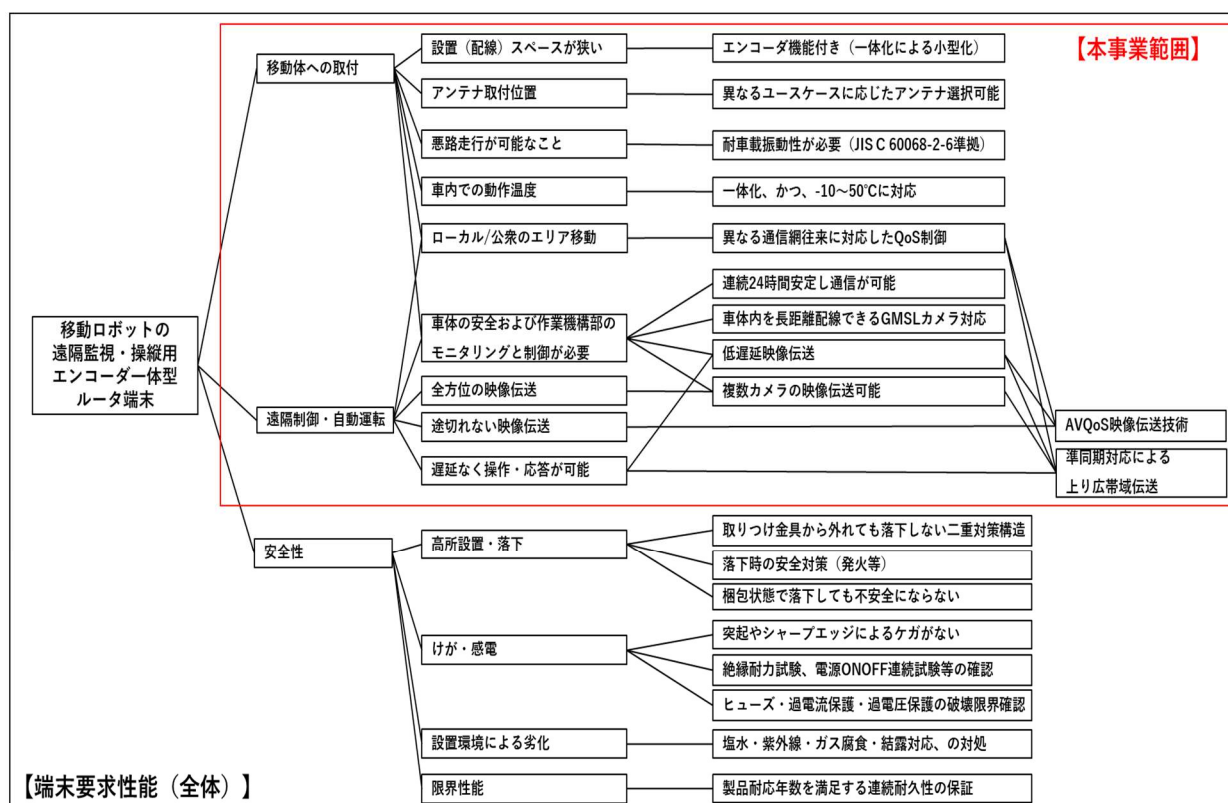


図 4.1.16 端末要件ロジックツリー

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 技術的新規性

当社の経験より、日本全国津々浦々、様々な走行環境下でも長期に安定した通信を担保する車載端末に求められる要件を全て満足する 5G 端末は日本初の特長である。

その特徴は以下のとおり。

- ・省配線 : 既存の車両は設置スペースと配線ルートが限定されるため一体型
- ・温度 : -10 度～50 度
- ・振動 : 車載振動に対応する JIS C 60068-2-6 を満たすこと
- ・準同期対応
- ・異なる通信網往来に対応した QoS 制御
- ・ローカル 5G から公衆網への切替

① 小型化・省配線化

過年度の実証実験では、5G CPE、映像エンコーダ、装置に電源を供給するバッテリー等を移動体（ロボットや車両）に一時的に仮設し、それぞれの装置をケーブルで接続し検証したが、移動ロボットや自動搬送機（AGV）、農業トラクターなど実際の移動体内に常設する場合は、極力小さく且つ省配線化する必要があるため、映像エンコーダ/デコーダ機能と 5G 通信機能を一体化した。また電源は、車載やトラクターのバッテリー接続を考慮した 12V/24V の広範囲な入力電圧に対応した。

② 温度特性

一体化することで小型化したのが、狭い筐体内で多数の発熱部品が動作することより、熱対策が必要になり、効率的に放熱する技術の実装が必要になる。一体化での小型化に伴う高密度筐体内の発熱部品熱対策と高温環境下での無線モジュール安定動作を実現するため、基板両面からの熱伝導、および空冷を組み合わせた最適放熱技術を搭載した。

③ 耐振動特性

移動ロボットや自動搬送機（AGV）、農業トラクターなど実際の移動車体内に設置には、耐振動性能も高い要求を満たす必要がある。そのため、車載無線端末実績に裏付けされた装置固定構造および内部デバイスに耐振技術を搭載した。

④ 準同期対応

遠隔監視者・操縦者は鮮明な映像情報を必要とし、1 台の車両に最低 4 方向の映像が必須となっている。上り側情報を円滑に伝送するために準同期対応した。

⑤ 異なる通信網往来に対応した QoS 制御

過年度の実証実験においては、移動ロボットや自動搬送機（AGV）、農業トラクターなど周囲の映像を複数台のカメラにて映像伝送した場合、上り伝送帯域のネットワークによる帯域揺らぎや帯域急変によってデータの輻輳などが発生し、パケットロス・映像のカクツキ・映像の停止が発生した。このような映像の乱れが発生した場合は遠隔監視や操作にも影響が生じるため、極力発生しないようにする必要がある。今回試作した端末は、当社独自の帯域推定技術と可変レートコーデック制御により、ローカル 5G の大容量の帯域や LTE 等の帯域にも追従し途切れない映像伝送を実現する技術を搭載した。

⑥ ローカル 5G から公衆網への切替

ローカル 5G エリアにて運用されている移動ロボットや自動搬送機（AGV）、農業トラクターなどが、ローカル 5G エリア外や電波環境が劣化した際に運用が停止しないように、ローカル 5G と全国公衆網との切替を実現する新技術を搭載した。

(2) 過年度実証事業との関連性

当社は、地域産業の根幹である農業の持続性の確保に向け、生産性向上や収益性向上、稼働負担減少による営農環境を改善するために、自動トラクター等のロボット技術や AI 技術を活用した「スマート農業」の社会実装を早急に実現することを目標とした、令和 2 年度の「農業分野の課題解決（自動トラクター等の農機の遠隔監視制御による自動運転等の実現）に向けたローカル 5G 等の技術的条件及び利活用に関する調査検討」、また地方において、若者が減っていく中で、交通手段の確保としての自動運転、見守りのための AI ロボット等の移動体を活用して、高齢者や児童の安心安全なまちづくりを進めることを目標とした、令和 3 年度の「スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI 画像認識による見守りの高度化」に参画し、実証・検証を行ってきた。

これらの実証では、自動トラクターや自動運転車両等の移動体から高精細映像をローカル 5G でセンター側に伝送し、映像による監視、AI 画像処理を行うことができる、というローカル 5G の有用性を確認できた。

しかしながら実証に使用したローカル 5G 端末やエンコーダ装置は、本来は固定して使用するものであるため、仮設での一時的な実証は可能だが、長時間にわたる実証では振動等により装置の一次的な停止が発生する事象も見受けられた。またカメラ映像を送信するために、エンコーダ装置、ローカル 5G 端末及びその間のネットワーク機器や各装置間の多くの配線が必要で、さらに全ての装置が車両から供給可能な電源の DC12/24V に対応していないため別にバッテリーを設置する必要がある等、設置に広いスペースを要した。

令和 2 年度の実証での自動運転トラクターへの装置実装の様子、及び令和 3 年度の実証での車両への装置実装の様子を次図に示す。



図 4.1.17 令和 2 年度の実証での自動運転トラクターへの装置実装の様子



図 4.1.18 令和 3 年度の実証での車両への装置実装の様子

これらの利活用実証モデルを本運用に移行するためには、移動体に常時設置した場合でも、その振動や温度に耐えうる性能が求められる。加えて移動体に設置できるスペースは限られるため、小型化及び省配線化が求められる。また移動体からの映像伝送は、安全な遠隔運転や操作のためにも、低遅延且つ途切れない映像伝送が求められる。このような移動体への実装に必要な耐振動性、耐温度性、小型化・省配線化が施され、低遅延で途切れない映像を送ることができるローカル 5G 端末は現状存在していない。

当社では、ローカル 5G 対応の屋外 CPE の開発・製品化実績やバスに設置可能な Wi-Fi 装置の開発・製品化実績がある。また NEXCO 様におけるパトロールカーや特殊車両等に搭載する車載機の開発・提供を 20 年に渡り行ってきており、車載における振動や熱等の環境条件の把握とそれに対しての機器設計についてのノウハウも蓄積しており、本実証ではそのナレッジを反映させ、これらの課題解決に資するローカル 5G 端末の開発を行った。

さらにパナソニックグループでは、遠隔監視・操作型自動配送ロボットの藤沢 SST での実証実験、2025 年大阪・関西万博を見据えた自動配送ロボット実証実験、自動配送ロボットのつくば市での実証実験、ロボット型電動車いすの各地での実証実験等数多くの実証を重ねており、自動配送ロボットのリーディングカンパニーとして、他社に先駆けた有料サービスも実施している。また、安全基準検討の主査を務めており、配送ロボットの遠隔監視操縦に必要な要件を熟知している。これらで得られたノウハウ・課題を踏まえ、本端末システム試作の実証に取り組んだ。

4.1.4 実証目標

以下の技術目標、実証目標を踏まえ端末システムを開発した。

(1) 技術目標

a. 令和4年度実証の目標

本実証における目標を以下に示す。

- ・従来の2つの機器を一体化し、**約50%筐体容積削減**※
(※令和2年度の実証にて使用したエンコーダ装置とローカル5G端末を合わせた容積からの削減目標値)
- ・連続**24時間**安定し通信が可能であること
- ・映像エンコーダと映像デコーダ間の遅延時間が**150ms以下**※であること。
(※環境影響を排除した有線接続で、カメラ映像はフルHD30Pでの測定における目標値)
- ・耐振動性：JIS C 60068-2-6に準拠
- ・電波法に関連した工事設計認証(アンテナ追加)を無線モジュールにて取得

移動ロボットや自動搬送機(AGV)、農業トラクターなどに搭載することを想定したローカル5G端末として、既存の車両へ設置できるスペース、配線を通すルートに制約があるため、可能な限り構成機器をシンプルにする必要がある。また高精細映像伝送用途としてはエンコーダ/デコーダ機能と5G通信機能が必要なため、これらの機能を一体化することで、設置性の向上を図った。その際の具体的小型化の設計目標として、耐温度特性の改善、耐振動特性の改善も含め、従来から**約50%筐体容積削減**を目標とした。

耐振動性能としては、車載時の振動に耐えうる規格として「JIS C 60068-2-6」を満たすことを目標とした。

移動ロボットや自動搬送機(AGV)、農業トラクターなどに搭載することを想定した場合、安定したサービス・運用のためには、機器周囲のカメラ映像を途切れることなく通信する必要があるため、当社独自の映像伝送技術を駆使し**連続24時間安定し通信が可能**であることを目標とした。

移動ロボットや自動搬送機(AGV)、農業トラクターなどの自動運転や遠隔制御には、低遅延での映像を受信し制御する必要がある。伝送する映像の解像度は、フルHD以下で十分に人や物体の認識ができるとの検証結果もあるため、4カメラの上り映像送信は、フルHD30Pでの実証・実装を条件に検討した。

人の映像制御に関する応答時間が180ms~200ms(視覚光刺激の応答時間)との研究結果*1もあるため、それ以内の低遅延化を目標とし、技術目標としては、映像エンコーダと映像デコーダ間の遅延時間を150ms以下であることとした。

b. 実装時（実現したい姿）の目標

本実証結果および社会実装に向けて求められる要件を踏まえて、

- ・ 追加機能の有無（カメラ台数、映像解像度の高精細化等）
カメラ台数の追加（4台⇒6台）、FHD60pfs 対応
（ただし、GPU/CPU性能を上げる必要があり、価格・市場性との検証が必要）
- ・ 想定するユースケースにおける機能の絞り込みによる更なる小型化
- ・ ローカル 5G と公衆網の高速切替（Dual SIM Dual Standby の実装性検証）

など、最適化を図る。

技術的検証項目詳細は、4.3.2（1）に記述する。

なお商用実装時には電気通信事業法に関連した端末設備等規則第 34 条の 10 についても設計認証を取得する予定である。

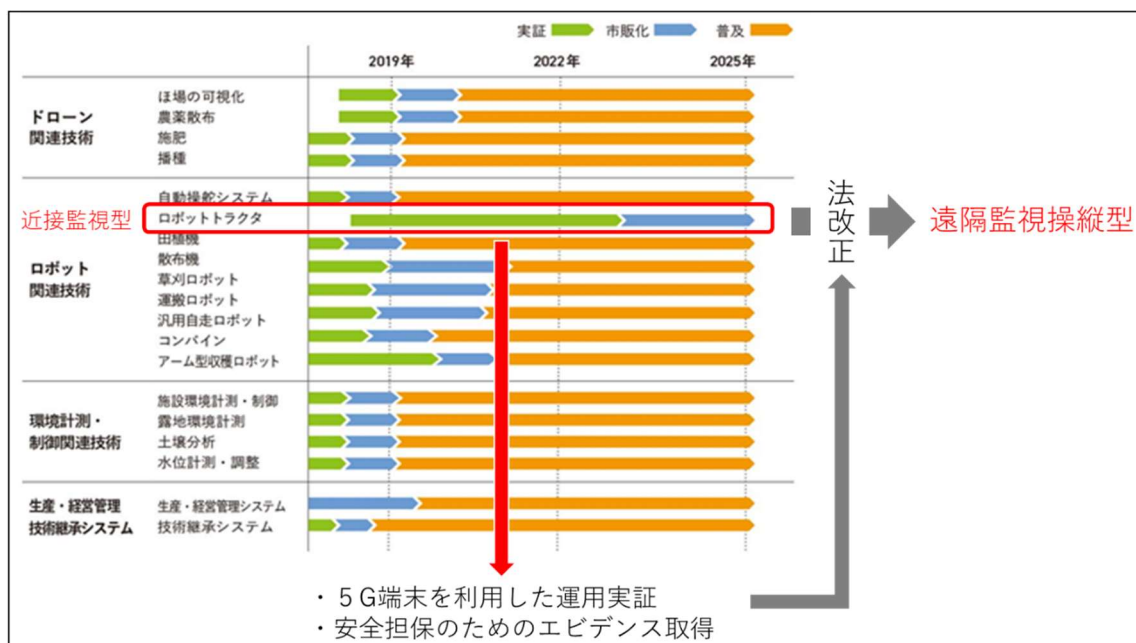
*1：反応時間研究の歴史と現状（著者 大山 正）人間工学 Vol.21, No.2('85)

(2) 実装目標

①自動運転ロボットの市場環境と端末/ローカル 5G 環境構築需要の予測

1) 農業ロボット

自動運転農業ロボット（本事業ではトラクターを想定）事業者が掲げるロードマップに本事業の成果展開を追記したロードマップは下図のとおり。

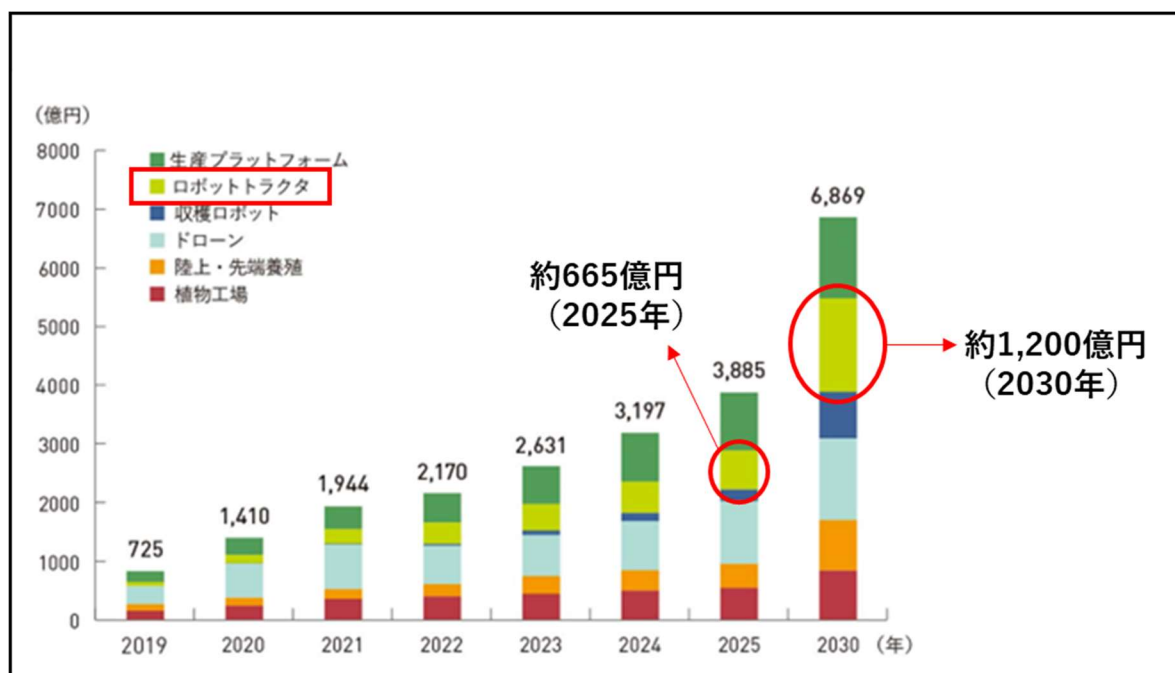


マイナビ農業出典資料を引用

図 4.1.19 自動運転農業ロボットロードマップ（本事業の成果展開追記）

2024 年頃から現行法下の近接監視操縦型の本格的な市販販売が開始される見込みである。現段階において、遠隔監視操縦型のガイドライン策定期間は未定であるが、社会受容性が高いこと、既に幾つもの実証が実施されており実用化レベルに近いこと、などから 2025 年から 2026 年頃にかけて策定され、それ以降に遠隔監視操縦型の市場が急拡大すると予測している。

事業規模としては、下図の予測を基に算出。自動運転トラクターは、2025 年頃に約 665 億円、2030 年には約 1,200 億円になると予測されており、2025 年は近接監視操縦型であり、遠隔監視操縦は実験段階であるが、2030 年は遠隔監視操縦型になると予測。



出典：マイナビ農業

図 4.1.20 スマート農業国内市場規模推移と予測

現在の自動運転トラクターは1台当たり1,500万円以上の価格であるため、2025年は年間当たり約4,400台、2030年は年間当たり8,000台の市場となる。

この市場予測に対して、以下の考えで端末とローカル5G環境構築の需要を予測した。

- ・現行の近接監視型トラクターの価格が約1,500万円程度であることから、遠隔監視操縦型も1台当たり約1,500万円として、市場台数規模を算出。

- ・2024年頃より近接監視型の本格的な販売が始まるが、本端末がターゲットとする遠隔監視操縦型は安全ガイドライン策定前のため実証実験段階である。そのため、2024年度、2025年度の市場規模はゼロ。(ただし、実証実験は除く)。

- ・安全ガイドライン策定を機に、2026年度から実需が開始すると予測。

- ・遠隔監視型は全くの新規利用者や現行の手動操縦型からの更新需要も考えられるが、既に1経営体あたりの作付面積の増大等の課題を抱えている農業従事者は自動操舵型に進化させるまたは既に進化させているため、今後の遠隔監視型は自動操舵型の更新需要に支えられると想定している。

そこで、これまでの自動操舵型の推移から今後を予測した。これまでの自動操舵型の推移は下図のとおり。

区分	年度	H20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	R1	2	3	累計
GNSS ガイダンス システム (経路誘導装置)	全国	110	380	510	630	910	890	1,080	2,010	2,070	2,910	3,140	3,420	6,070	4,140	28,270
	北海道	100	350	480	580	830	780	980	1,250	1,650	2,200	2,330	2,520	4,300	2,360	20,710
	シェア	91	92	94	92	91	88	91	62	80	76	74	74	71	57	73
自動操舵 システム	全国	0	10	20	90	140	190	510	760	1,310	1,770	1,900	2,410	5,250	3,630	17,990
	北海道	0	10	20	80	130	170	480	730	1,220	1,590	1,690	1,990	3,730	1,990	13,830
	シェア	-	100	100	89	93	89	94	96	93	90	89	83	71	55	77

注1:GNSSガイダンスシステムと自動操舵システムがセットの場合は、両方にカウントする。
注2:1桁目をラウンド(四捨五入)している。

北海道農政課技術普及課調べ

出展：北海道農政部

図 4.1.21 自動操舵型システムの出荷台数推移

北海道は日本の農地面積の 1/4 を占めており、1 農業経営体あたりの経営耕地面積も他県の 10 倍強で、自動操舵システム導入実績も全国の 8 割弱を占めている。また、遠隔監視操縦型の実証実験も北海道での実施事例が多いため、今後の需要予測も自動操舵システムの北海道実績を用いることとした。遠隔監視操縦型の初期需要を自動操舵システムの初期導入分（北海道での平成 21 年度から平成 24 年度導入分）と定めると約 250 台となる。安全ガイドライン策定を 2025 年から 2026 年と想定した場合、遠隔監視操縦型の実導入スタートは 2026 年度。前述のスマート農業国内市場規模推移データから 2026 年度の出荷台数は約 5,000 台と予測しており、250 台は 2026 年度の出荷台数のうちの 5% を占める。2027 年度の更新需要ターゲットを平成 25 年度から平成 26 年度北海道での自動操舵システムとすると 630 台（≒約 600 台）となり、2027 年度の出荷台数を約 6,000 台と予測しているため、2027 年度の出荷台数のうちの約 10% を占めることになる。以降、2028 年度は自動操舵システムの更新需要に加え新規購入や手動運転からの更新が加算されると期待しており、2030 年度は出荷台数のうちの約 30% が遠隔監視操縦型になると予測した。

- ・圃場等ローカル 5G 環境の構築需要は、2024 年度と 2025 年度はゼロ（ただし、実証実験は除く）。安全ガイドライン策定を機に、拡大していき 2026 年度以降は遠隔監視操縦型ロボット台数の 10% の箇所数でローカル 5G 環境構築需要が発生すると予測。

2) 自動運転バス

国は 2025 年に全国普及を目指している。

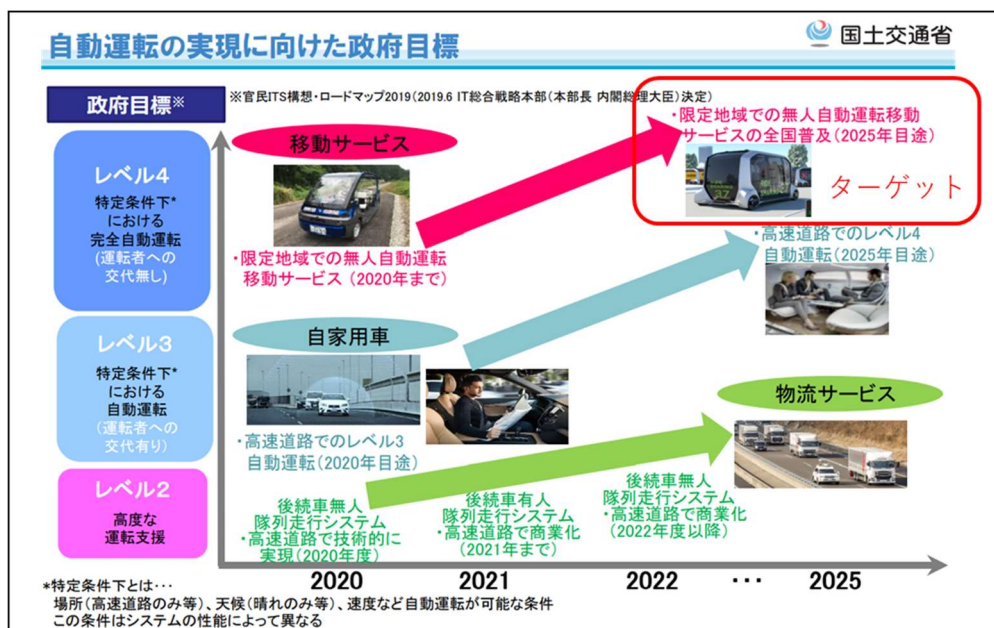


図 4.1.22 自動運転の実現に向けた政府目標

そういった中、2023年4月より、遠隔監視者が周囲と車内の状況をリアルタイムにモニタリングし、且つ、車内と通話できる状態を維持する運用ができる事業者は、都道府県公安委員会の認可を取得することで、遠隔監視操縦型の自動運転サービスが可能となる。

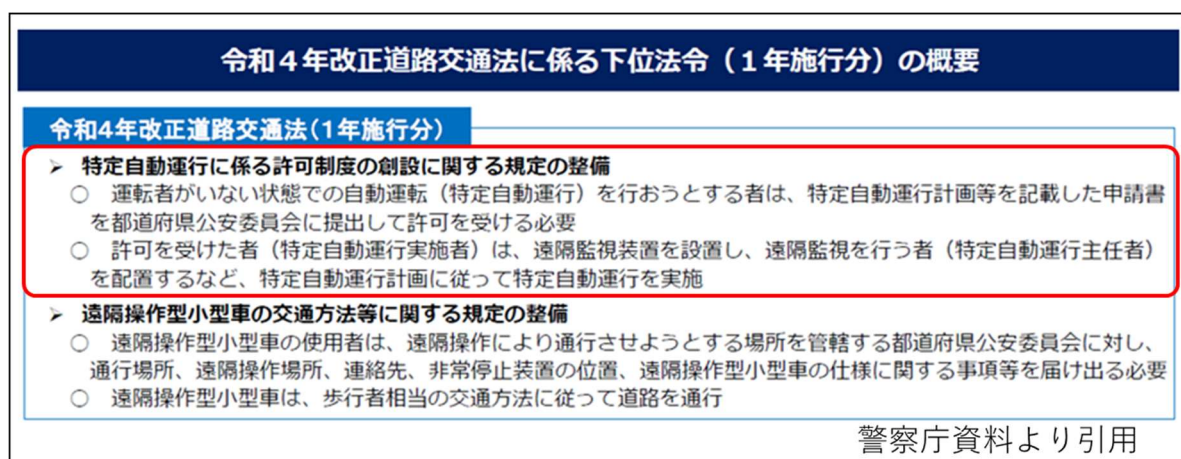


図 4.1.23 改正道路交通法に係る自動運転分野の下位法令

その遠隔監視操縦型の自動運転サービスの恩恵を最も受けるのが地方部であると考えられる。医療・福祉サービスなど実証実験もなされており、廃止されたバス路線の復活に加え、複数の目的を共有する地域 MaaS 型サービスも生まれてくると予測する。



図 4.1.24 医療 MaaS 実証 (例)

このようなサービスは、大都市では CO2 削減、医療施設数や交通手段に限界がある都市では住民の well-being 向上など、運転手の過剰労働抑制や運転手不足という従来のバス運行事業者の課題解決のみでなく全ての自治体において効果が発揮できると考えられるため、将来的には全自治体 (約 1,700) で展開されるサービスになると期待できる。

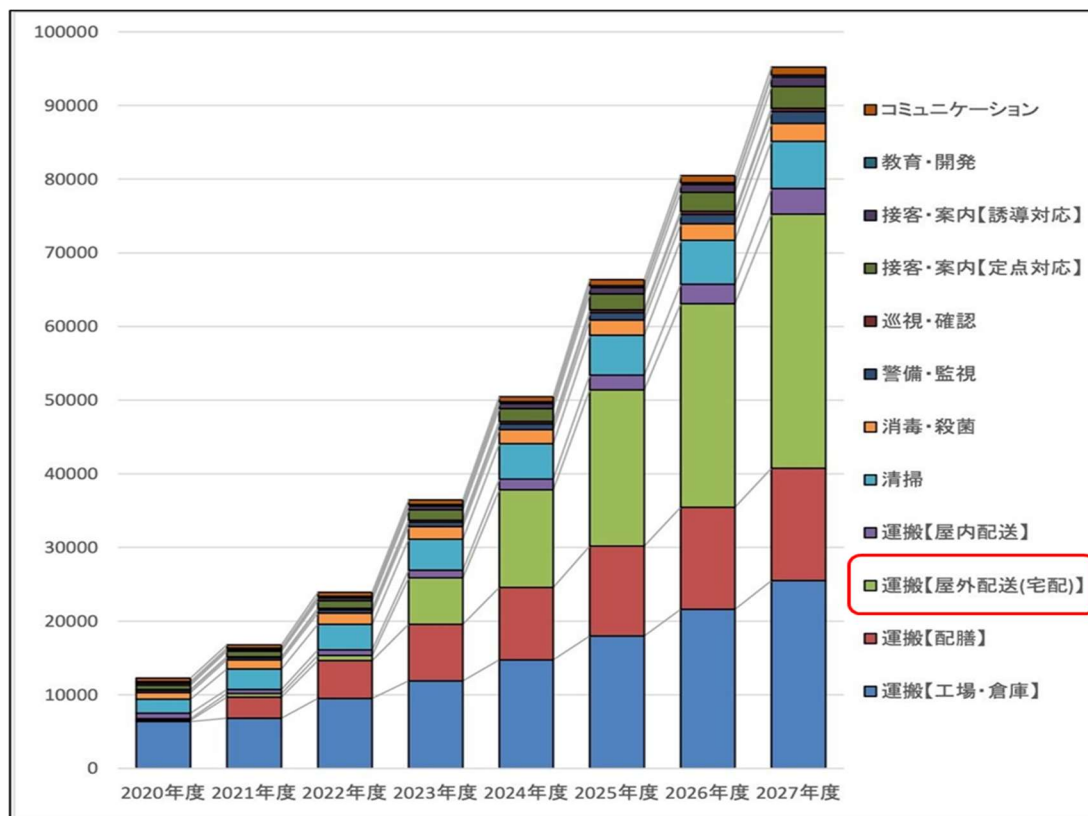
車両も数億円かかる大型バスではなく中型 (4-5 人乗り) で 5,000 万程度であり、遠隔監視技術と遠隔監視者のスキルが向上すると数台の同時運用も可能になり大幅な運行コスト削減にも繋がるため、赤字の解消や補助金抑制も可能になると予測する。

この市場予測に対して、以下の考えで端末とローカル 5G 環境構築の需要を予測した。

- ・ 2024 年度は 20 台程度という調査レポートもあり、現段階では、その数字を採用。
- ・ 政府が「2025 年度に限定地域走行の全国普及」という目標を掲げているため、2025 年度に 50 台の自動運転バスが走行すると予測。
- ・ 2026 年度は各地域で複数台の運用拡大を見込み、100 台と予測。
- ・ 拡大期に突入し、2027 年度に 500 台、2030 年度には 1,000 台の自動運転バスが走行していると予測。
- ・ 地方部の中山間地域等の公衆網のエリア外、もしくは公衆網の電界強度が弱い場所もあるため、自動運転バス走行地域の 10%にローカル 5G 構築箇所が発生すると予測。

3) ロボット配送

屋外宅配ロボットは 2027 年度にはサービスロボットソリューション市場構成比の 36.3% (≒ 約 340 億円) を占めると予測されている。



出典：デロイトトーマツミック経済研究所

図 4.1.25 サービスロボットソリューション市場展望【法人向け編】

そういった中、2023年4月より、遠隔監視者がロボットの周囲の状況をリアルタイムにモニタリングし安全確認を常に行う運用で、事業者は都道府県公安委員会に届け出ること、近接監視者を不要とする自動配送ロボットの運用が可能となる。

令和4年改正道路交通法に係る下位法令（1年施行分）の概要

令和4年改正道路交通法（1年施行分）

- 特定自動運行に係る許可制度の創設に関する規定の整備
 - 運転者がいない状態での自動運転（特定自動運行）を行おうとする者は、特定自動運行計画等を記載した申請書を都道府県公安委員会に提出して許可を受ける必要
 - 許可を受けた者（特定自動運行実施者）は、遠隔監視装置を設置し、遠隔監視を行う者（特定自動運行主任者）を配置するなど、特定自動運行計画に従って特定自動運行を実施
- 遠隔操作型小型車の交通方法等に関する規定の整備
 - 遠隔操作型小型車の使用者は、遠隔操作により通行させようとする場所を管轄する都道府県公安委員会に対し、通行場所、遠隔操作場所、連絡先、非常停止装置の位置、遠隔操作型小型車の仕様に関する事項等を届け出る必要
 - 遠隔操作型小型車は、歩行者相当の交通方法に従って道路を通行

警察庁資料より引用

図 4.1.26 改正道路交通法に係る自動運転分野の下位法令

この市場に関しては、以下のとおり、需要予測が困難であった。

・前述の市場規模予測データはサービス全体での動向であり、ロボットや遠隔システムのみでなく配送サービス料等も含まれた数字である。

・現段階においては、ロボット配送事業のビジネスモデルが確立されていないため実証実験の域を出ておらず、2023年4月より公道走行が可能になるが、一気に本格的な配送サービスが立ち上がるのではなく、当面は事業を見据えた実証実験が加速すると予測する。

・そのため、現段階においては配送ロボット提供企業の動向予測を本端末の市場予測とすることが適当。

・経産省公表資料によると、代表的な国内ロボット提供企業は7社。しかしながら、自動配送ロボットの需要予測が公表されていない。

これらをまとめると端末およびローカル5Gエリア構築の需要予測は次図のとおり。

遠隔監視操縦型トラクターも自動運転バスも2026年度頃から拡大期を迎えると予測しており、2023年度から2024年度にかけて実機・実地での検証とサービス試行を行い、2025年度から2026年度にかけて量産設計・開発を行うマイルストーンとする。

事業分野			2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2030年度	
遠隔監視操縦型 トラクター	マイルストーン		開発実証	LSG提供+試行			ガイドライン改訂 量産設計	拡大展開		
	市場規模予測	端末	台数(台)	-	-	-	-	250	600	3,200
		L5G環境構築	箇所数(式)	-	-	-	-	25	60	320
自動運転バス	マイルストーン		開発実証	LSG提供+試行			量産設計	拡大展開		
	市場規模予測	端末	台数(台)	-	-	20	50	100	500	1,000
		L5G環境構築	箇所数(式)	-	-	2	5	10	50	100

図 4.1.27 端末とローカル5Gインフラ構築の需要予測

②当社事業規模の算出

・上記で算出した遠隔監視操縦型のロボットのうち、本事業で試作する端末の性能をフルに必要とするロボットは全体の半数と予測しており、これを当社の端末事業の事業規模としている。

・ローカル5G環境構築に関しては、当社もローカル5Gのインフラ機器を保有しているが、先行する他社と比較すると実績は希薄である。しかしながら本端末を保有することで当社のローカル5Gインフラ構築の事業も加速できると考えており、全体需要の10%のシェアを確保することを目標としている。

これらをまとめると次図のような実装目標となる。

事業分野			2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2030年度	
遠隔監視操縦型 トラクター	マイルストーン		開発実証	LSG提供+試行			ガイドライン改訂 量産設計	拡大展開		
	市場規模予測	端末	台数(台)	-	-	-	-	125	300	1,600
		L5G環境構築	箇所数(式)	-	-	-	-	3	6	32
自動運転バス	マイルストーン		開発実証	LSG提供+試行			量産設計	拡大展開		
	市場規模予測	端末	台数(台)	-	-	10	25	50	250	500
		L5G環境構築	箇所数(式)	-	-	0	1	1	5	10

図 4.1.28 事業化マイルストーンおよび実装目標

【実証目標】

上記実装目標を完成させるために、本年度（令和4年度）は、スマート農業、自動運転バスの事業分野毎に、事業化のための環境条件を明確化することを実証目標と設定した。

具体的には以下のとおり。

- ・実際の自動運転ロボットの遠隔監視操縦に要求される端末性能と試作端末性能とのギャップ
- ・5G 端末事業時の営業先（コンタクトルート）
- ・5G 端末のターゲット価格
- ・5G 端末事業化までに更に必要となる活動

4.2 実証環境

ア) ラボでの実証

端末の動作・性能検証を行う以下の項目に対しては、当社内の試験装置やシールドルームを使用した。

- ・ローカル 5G 接続性確認やスループットについては、当社のシールドルーム内にて基局シミュレータとの接続評価を行った。



図 4.2.1 パナソニック佐江戸（横浜）事業場のシールドルーム



図 4.2.2 基地局シミュレータ

- ・ 試作端末の温度サイクル動作試験、高温放置・低温放置、高温動作・低温動作、温度上昇試験などの温度にかかる試験は、当社が保有する恒温槽、データロガー（熱電対）を用いて実施した。
- ・ 試作端末の耐振動性能試験は、当社が保有する振動試験機を用いて実施した。
- ・ 試作端末のインパルスノイズ試験は、当社が保有するインパルスノイズ試験機を用いて実施した。
- ・ 試作端末の雷サージ試験は、当社が保有する雷サージ試験機を用いて実施した。
- ・ 試作端末の静電気試験は、当社が保有する静電気試験機を用いて実施した。



図 4.2.3 恒温槽



図 4.2.4 データロガー



図 4.2.5 振動試験機

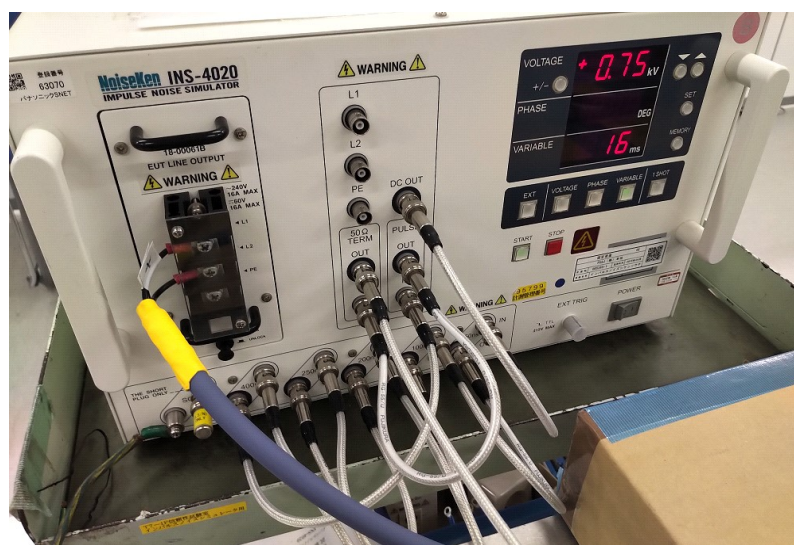


図 4.2.6 インパルスノイズ試験機



図 4.2.7 雷サージ試験機



図 4.2.8 静電気試験機

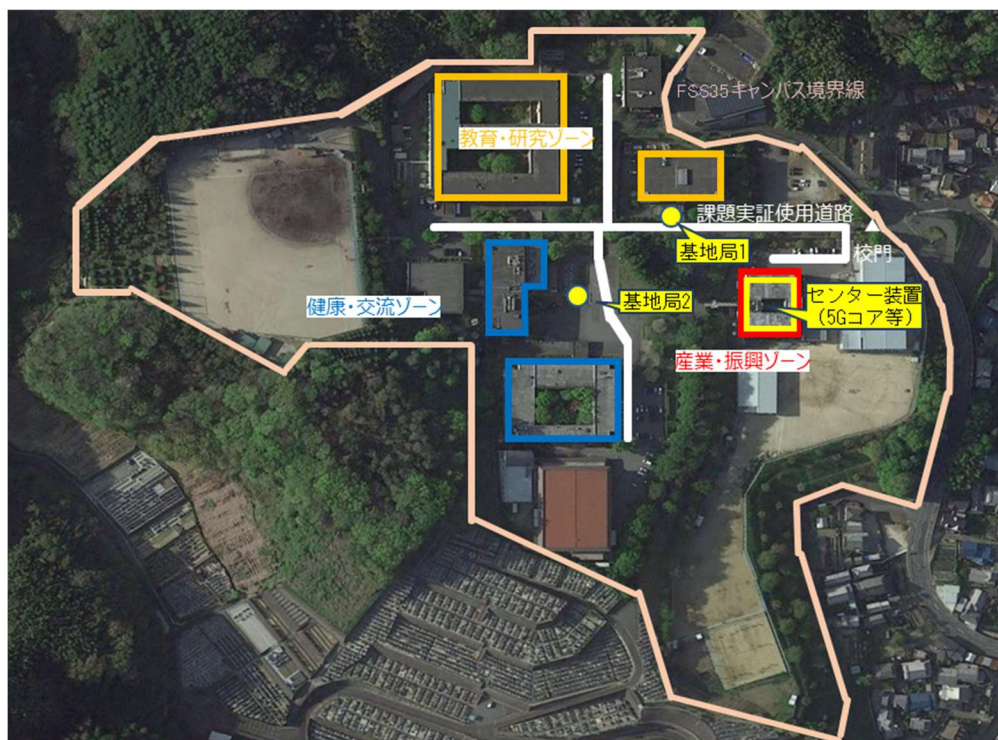
- ・映像伝送動作検証は試作端末に対して、無線の影響を受けず再現性の高い有線環境にて事前確認を実施後に無線環境にて評価するため、以下の 2 パターンの検証を実施した。
 - i) ネットワークエミュレータを用いた検証（有線環境評価）
 - ii) ローカル 5G 環境（基地局シミュレータ）を用いた検証（無線環境評価）無線環境評価は当社のシールドルーム内で実施した。



図 4.2.9 ネットワークエミュレータ

イ) フィールド（三郷町 FSS35 キャンパス）での実証

実際使用する環境、利用シーンを想定した実証を三郷町の FSS35 キャンパスのフィールドにて行った。フィールド試験を行う三郷町の FSS35 キャンパスの基地局及びセンター装置設置場所を次図に示す。



※国土地理院の航空写真を使用

図 4.2.10 FSS35 キャンパスの基地局及びセンター装置設置場所

実証は、FSS35 キャンパス内の道路及び未舗装のグラウンドを使用して行った。

FSS35 キャンパスの基地局及びセンター装置を以下に示す。



図 4.2.11 FSS35 キャンパスの基地局

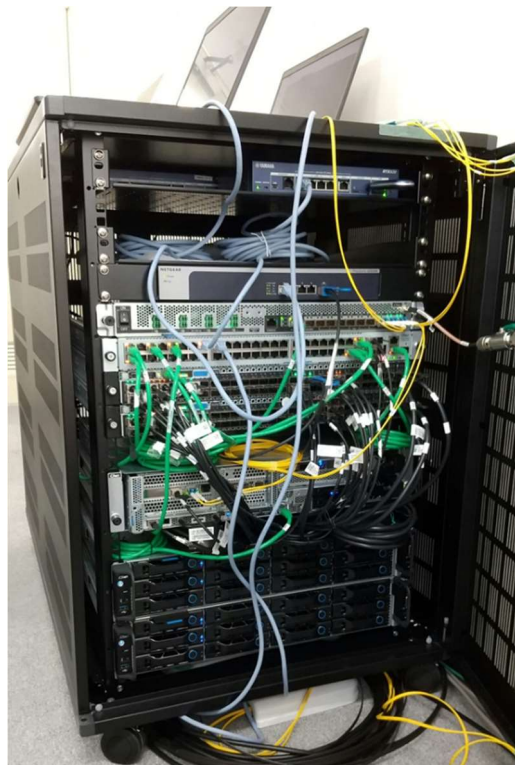


図 4.2.12 FSS35 キャンパスのセンター装置 (コア装置等)

実証の構成を次図に示す。

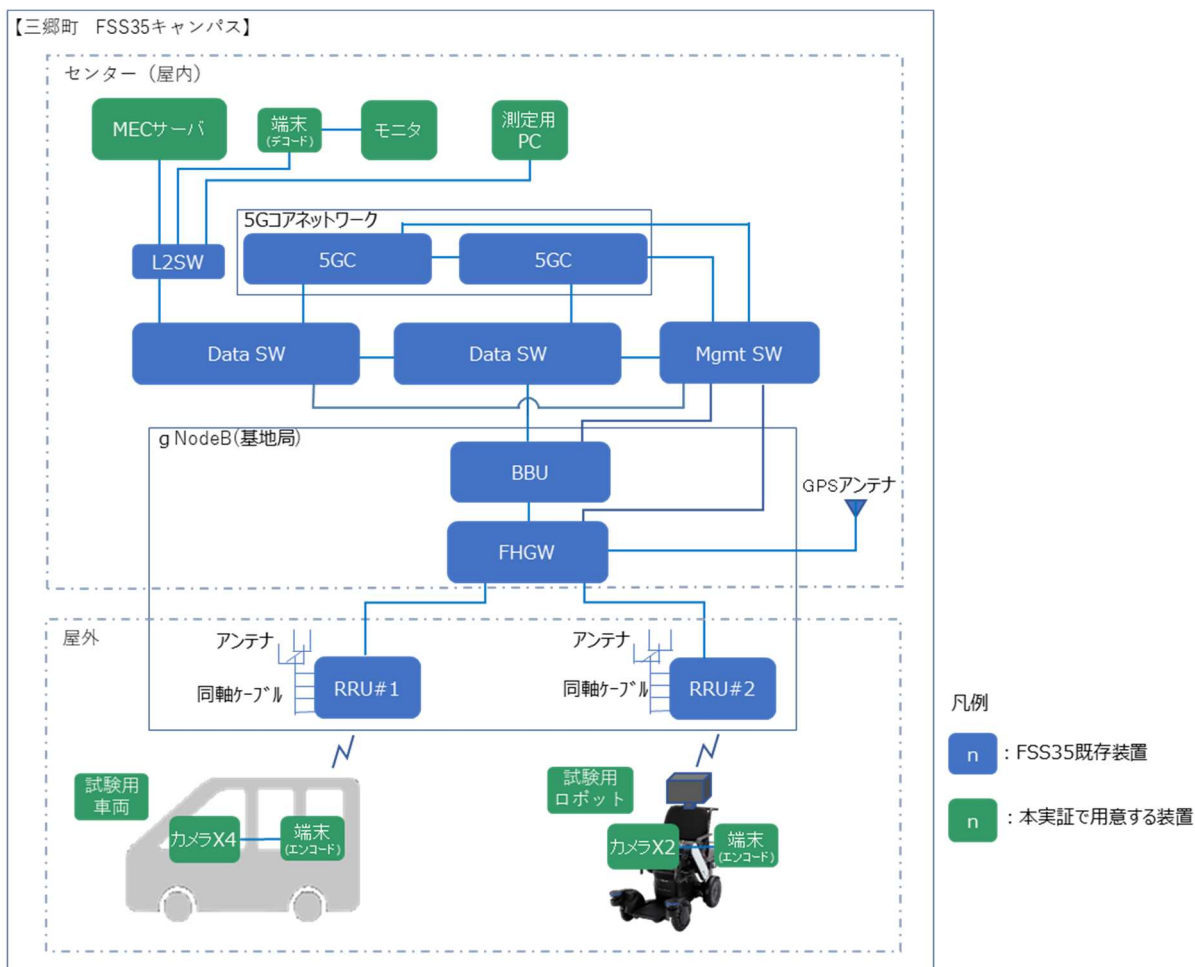


図 4.2.13 FSS35 キャンパスのローカル 5G ネットワーク構成

MEC サーバ、端末（デコード用）及びモニタをセンター側に設置した。遠隔監視・操縦には前後左右の安全確認のための視野確保が必要となる。試験用の遠隔操作ロボットとして用意する車いす型ロボットでは、2 台のカメラにて、視野確保が可能のため、試作端末にカメラ 2 台を接続し実証を行った。またトラクターや自動運転バス等の実装を見据えた試験用車両では、通常の運転手が安全確認をする手法（前方目視確認、後方バックミラー、左右サイドミラー）を遠隔操縦者が引き継ぐためには車両に 4 台のカメラが必要になるため、試作端末にカメラ 4 台を接続し実証を行った。さらにローカル 5G とキャリア網との切替試験も実施した。今回の検証は、センター装置の映像デコーダを小型デコーダと 1 : N の構成を考慮し小型デコーダより性能の高い PC の 2 通りで検証を行った。

フィールドでの検証のため、用意した遠隔操作ロボット（車いす型）、車両、センター装置を次図に示す。



図 4.2.14 遠隔操作ロボット（車いす型）



図 4.2.15 車両

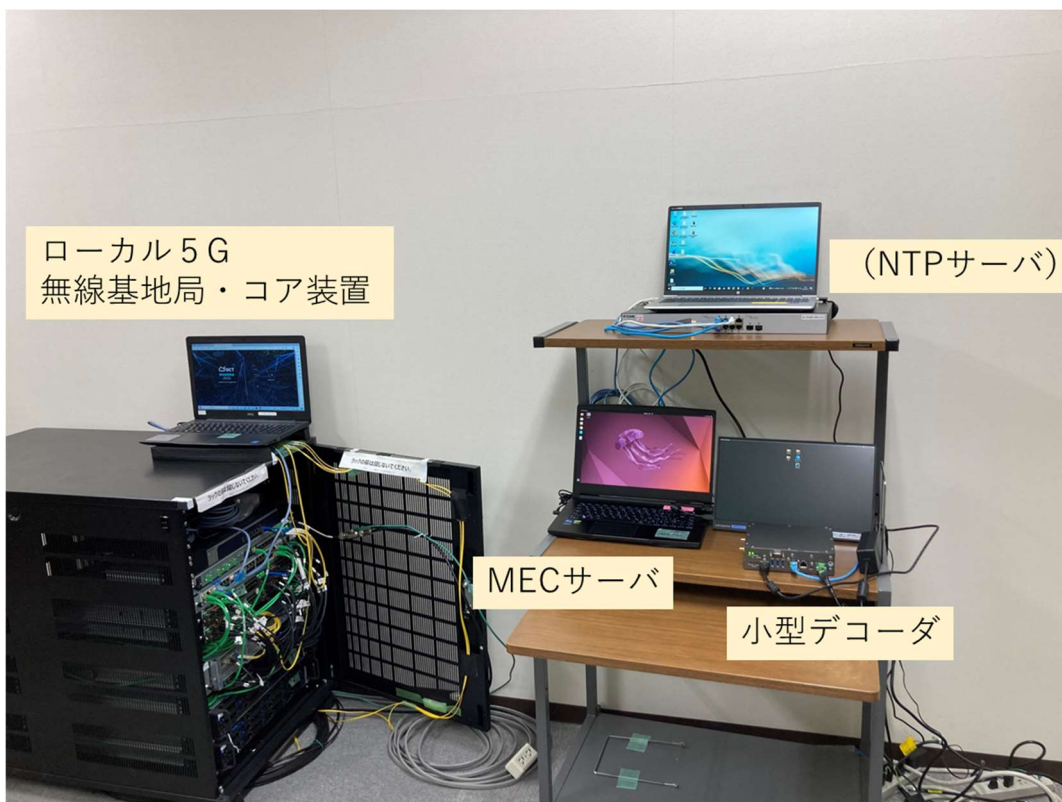


図 4.2.16 センター装置1 (デコーダ種別 小型デコーダ)

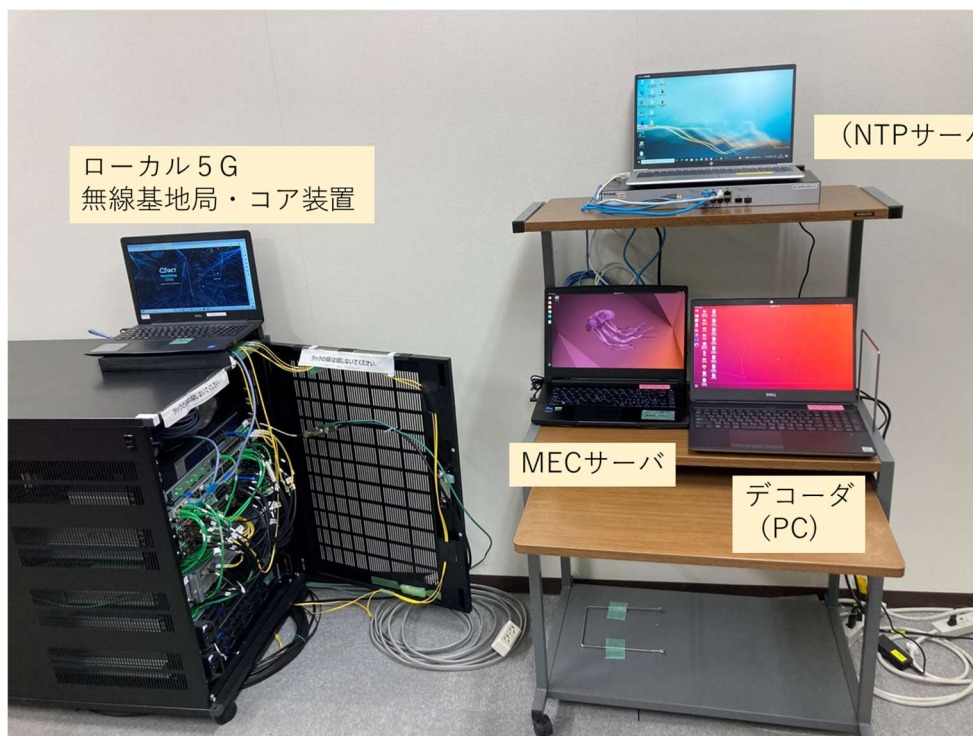


図 4.2.17 センター装置2 (デコーダ種別 PC)

4.3 実施事項

4.3.1 端末システムの試作及び検証

1) 試作内容

本開発における端末システムは、遠隔操縦型、遠隔監視型の自動運転支援技術を活用した移動走行ロボットによる巡回バスサービス、スマート農業、スマート配送サービス等への実装を予定している。本実装に必要な端末の具体的な試作開発内容を以下に示す。

ア) ローカル 5G システムの中での端末構成

ローカル 5G システムの中での本試作ローカル 5G 端末の構成を以下の図に示す。

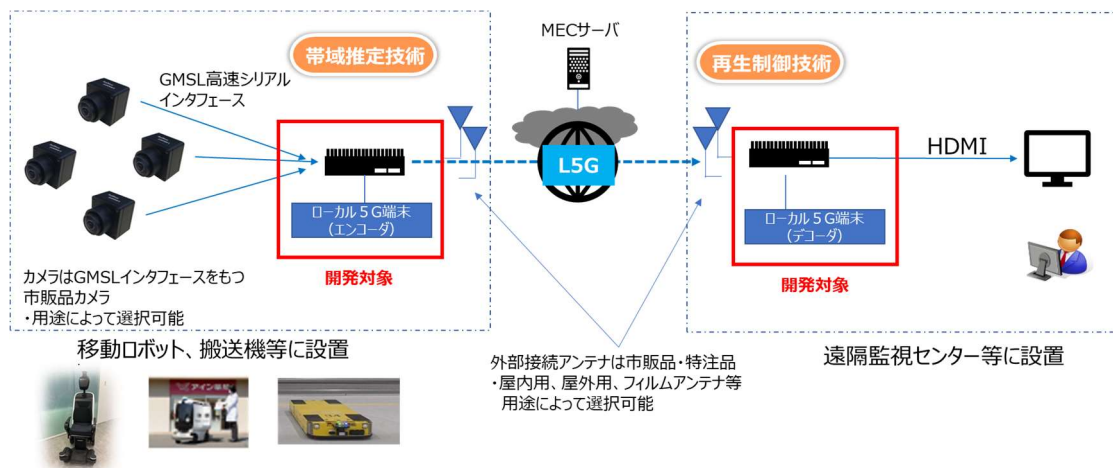


図 4.3.1 ローカル 5G システム中の端末構成

移動ロボットや搬送機等に設置するエンコード側端末と遠隔にて監視制御する側に設置するデコーダ側端末間で映像伝送を行うシステムになる。

エンコーダ側端末とデコーダ側端末は、ハードウェアは同一でソフトウェアの操作モードを変更することでエンコーダまたはデコーダ機能を実現している。

センター側のデコーダ側端末は、コア経由でスイッチに接続する場合は GbE(1000Base-TX) で接続する。なおセンター側のデコーダ側端末もローカル 5G による無線接続が可能な構成としている。

本試作開発は、図 4.3.1 の赤枠の「ローカル 5G 端末 (エンコーダ)」、「ローカル 5G 端末 (デコーダ)」とそのソフトウェアが対象になる。

また、試作する端末はローカル 5G と全国 5G (LTE) とともに接続可能であり、ローカル 5G ネットワークだけでなく、全国 5G (LTE) ネットワークでも通信可能である。

イ) 試作内容について

試作内容について、機能ブロック毎に説明する。

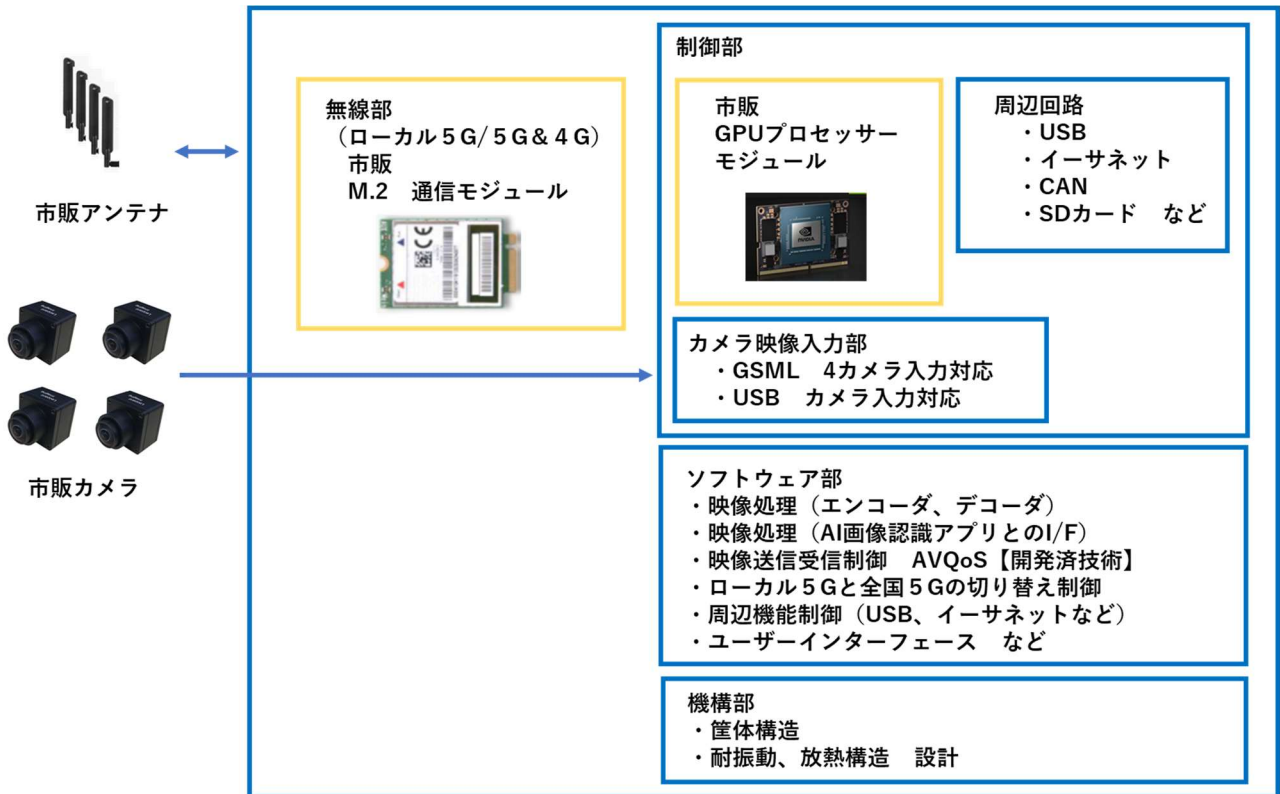


図 4.3.2 ローカル 5G 端末の機能ブロック図

① 無線部

ローカル 5G および全国 5G (LTE) 網との接続が可能な無線モジュール (標準的規格の M.2 インタフェースモジュール) を内蔵し、通信用アンテナは、利用する移動ロボットや搬送ロボット、農業トラクターに応じて最適な場所に設置できるよう外付けできる構造とした。

無線部の構造は、筐体内の輻射やノイズ、アンテナ間のアイソレーションを考慮した設計試作を行った。

無線モジュールは、上り帯域を有効に活用できるローカル 5G の準同期 (次図) に準拠した。

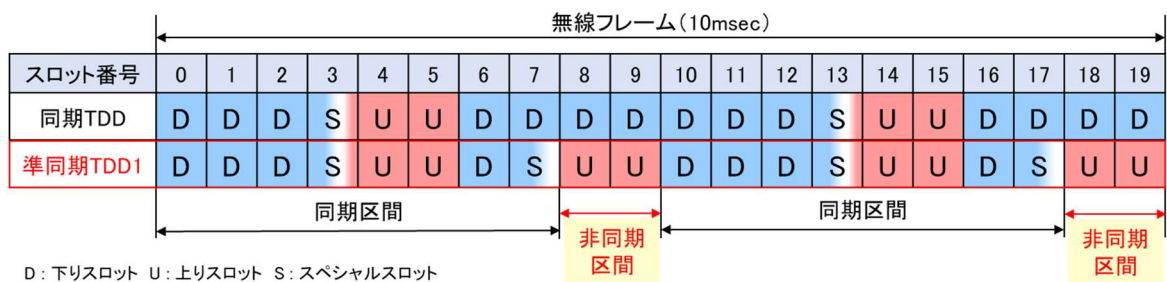


図 4.3.3 準同期 TDD パターン 1

また Sub6 帯域の上り 2x2 MIMO に対応する無線モジュールを選定した。

ローカル 5G および全国 5G (LTE) 網との接続を可能にするため、2 つの SIM スロットを具備し、ソフトウェアにて切替制御できるよう開発した。具体的には、市販の無線モジュールによってサポートされているデュアル SIM 方式が DSSS(Dual SIM Single Standby)であったため、ローカル 5G からキャリア網への切替契機としては接続中ローカル 5G の電波の強度がカバーエリア内と判断する RSRP 内であればローカル 5G と通信を維持し、ローカル 5G の電波の強度がカバーエリア外と判断する RSRP となった場合には公衆網に自動切替を行うこととした。キャリア網からローカル 5G への切替契機としては端末位置情報を監視しローカル 5G カバーエリア内に入ったことを判断する方法とした。

外付けアンテナは、ユースケースに応じて選択できるように、屋内無指向性アンテナ、屋外無指向性アンテナ、フィルムアンテナを準備した。また準備したアンテナを工事設計認証取得済みの無線モジュールのアンテナリストに追加するための工事設計認証変更を実施した。

② 制御部

市販のカメラ映像を処理可能なプロセッサ (GPU : Graphics Processing Unit) を搭載した GPU モジュールは複数種類があり、「低負荷用モジュール」や「高性能モジュール」等がある。今回の試作では、それぞれ GPU モジュールのピン互換性を考慮し、複数の GPU モジュールの中から選択・実装可能なプラットフォーム基板を試作した。なお今回試作する端末は、移動走行ロボットによる巡回バスサービス、スマート農業、スマート配送を考慮し、4 カメラの映像が処理できる「高性能 GPU モジュール」を搭載した。

また、4 カメラ映像を入力処理するためのカメラ映像用インタフェース基板を試作した。カメラ映像は遠隔操作や遠隔監視による安全確保のため、周囲情報として複数カメラ映像が伝送できることが必要で、搬送ロボットなどの移動体としては、前後左右の 4 台にて、360 度の視野を確保して安全性を高める必要がある。移動ロボットによっては、端末からカメラの位置までは数 m 以上の距離となる可能性があることに加え高精細映像が必要となることも踏まえて、カメラインタフェースは高速且つ比較的長距離の伝送が可能なギガビットマルチメディアシリアルリンク (GMSL) とした。他のカメラインタフェースに関しては、USB も候補としてあったが、

- ・カメラとローカル 5G 端末とのケーブル距離が USB3.0/3.1 で 3m 以内
- ・USB コネクタの振動による抜け防止

が課題となるとの観点からも GMSL カメラインタフェースを選択した。ただし、移動・振動の考慮が不要な利用シーンへの拡張性も考慮し、USB カメラも接続できるようにカメラ用 USB のポートも 3 ポート具備した。

端末の外部インタフェースとして、上記以外に、ギガビットイーサネット、自動搬送機の制御用 CAN インタフェースなど具備し、ユースケースに左右されず多様な用途に適応できるよう開発した。

本端末の電源部は、車載やトラクターのバッテリー接続を考慮した 12V/24V の広範囲な入力電圧に対応し、過去のバス搭載機器の当社経験からエンジン始動時等の電圧ドロップを考慮し、9V までの瞬時低下電圧ドロップにも対応するように試作した。

上記①、②を満たす試作ハードウェア構成を次図に示す。

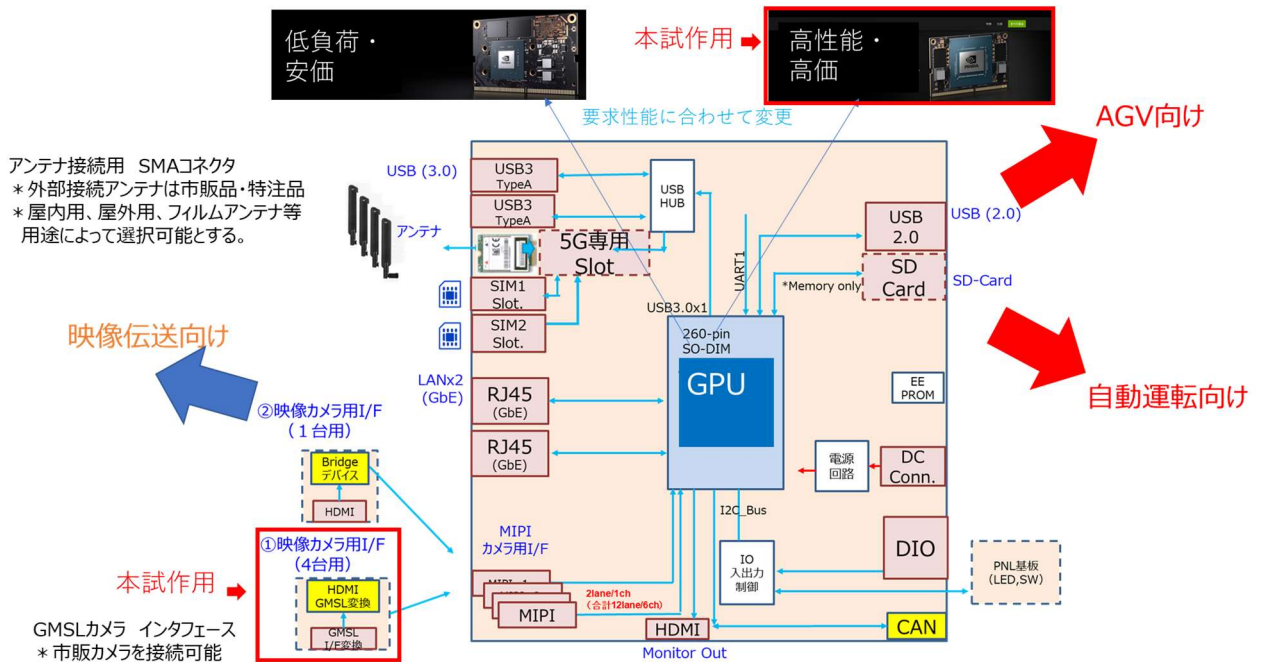


図 4.3.4 試作ハードウェア構成図

拡張性を持たせるために選択可能な部位については、本試作では赤字で記載している

- ・ GPU モジュール：「高性能 GPU モジュール」
- ・ カメラ映像入力：映像カメラ用インタフェース (I/F) は、カメラ 4 台用を選択して開発を行った。

③ ソフトウェア部

<カメラ映像処理機能>

カメラ映像処理については、4つの映像を統合しエンコード・デコードする機能を開発した。入力インタフェースごとのカメラ映像の解像度、フレームレートの最大処理性能を以下に示す。

表 4.3.1 カメラ映像処理性能

入力 I/F	最大画像解像度	フレームレート
1) GMSL カメラ ×4 台	~Full HD (1920×1080 ピクセル)	30fps
2) USB カメラ ×2 台	~Full HD (1920×1080 ピクセル)	30fps

<AV-QoS 機能>

AV-QoS とは、ネットワーク帯域により、伝送する映像・音声の解像度等を自動制御すること。当社独自の帯域推定技術の変速レートコーデック (解像度・圧縮率) による途切れない滑らかな映像を伝送する機能 (「AV-QoS 技術」として、開発済み) を今回試作する端末ハード・ソフトおよび MEC サーバに合わせてインプリした。

<ローカル 5G と全国 5G (LTE) との切替制御>

ローカル 5G と全国 5G (LTE) との切替制御について、2 つの SIM スロットに装着された SIM をソフトウェアで切替制御を行う開発を行った。

<その他>

周辺機能 (汎用的な USB、イーサネット、CAN など) の制御、設定等を考慮したユーザーインターフェースの開発を行った。

また今後の拡張性を考慮し、映像解析 AI アプリ搭載可能なソフトインタフェースについても検討し具備した。このソフトインタフェースを具備することで、デコーダ側で受信した映像を用いて、人物確認や物体確認 AI アプリ等が搭載可能となり、今後、様々な映像解析アプリケーションの実装も含めた展開も可能になる。ただし今回の試作はソフトインタフェースの検討のみとし、人物確認や物体確認 AI アプリは開発の対象外とした。

<開発済ソフトウェア、使用 OSS について>

当社独自の映像伝送技術については、当社知財方針により、ブラックボックス技術として搭載した。

OSS (オープンソースソフトウェア) については、添付資料に示す。

④ 機構部

移動ロボットや自動搬送機 (AGV)、農業トラクターなど実際の移動体内への設置を実現するため、車載無線端末実績に裏付けされた装置固定構造および内部デバイス耐振技術を搭載した筐体の試作を行った。試作機構造を次図に示す。

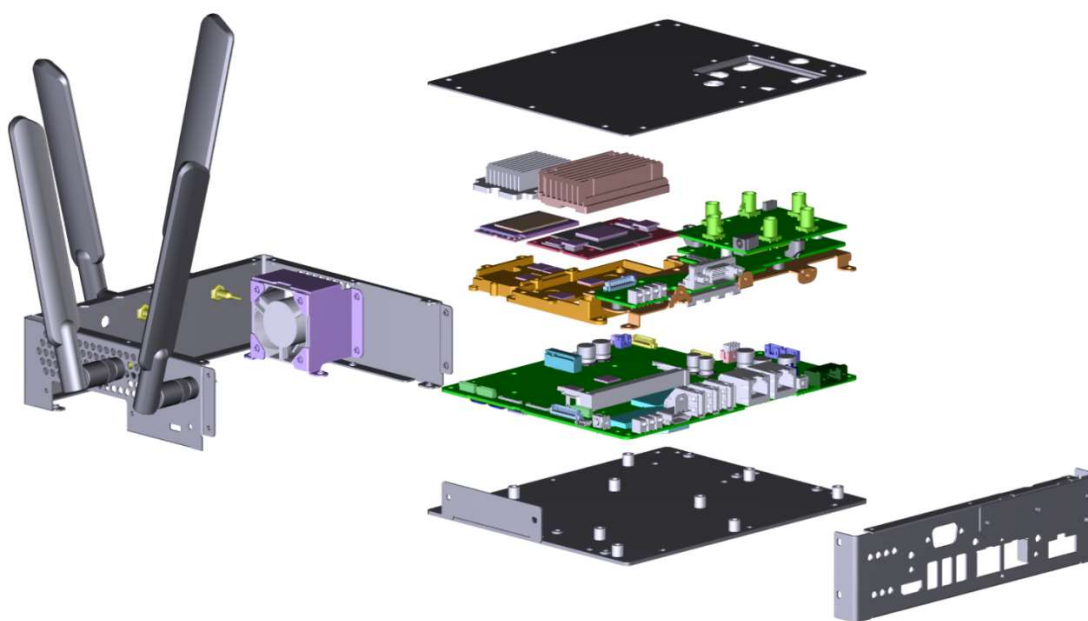


図 4.3.5 試作機構造図

また、ローカル 5G 端末と映像エンコーダ・デコーダとの一体化に伴う高密度筐体内の発熱部品熱対策と高温環境下での無線モジュール安定動作を実現するため、基板両面からの熱伝導、および空冷を組み合わせた最適放熱技術を駆使し、筐体の試作を行った。放熱構造を次図に示す。

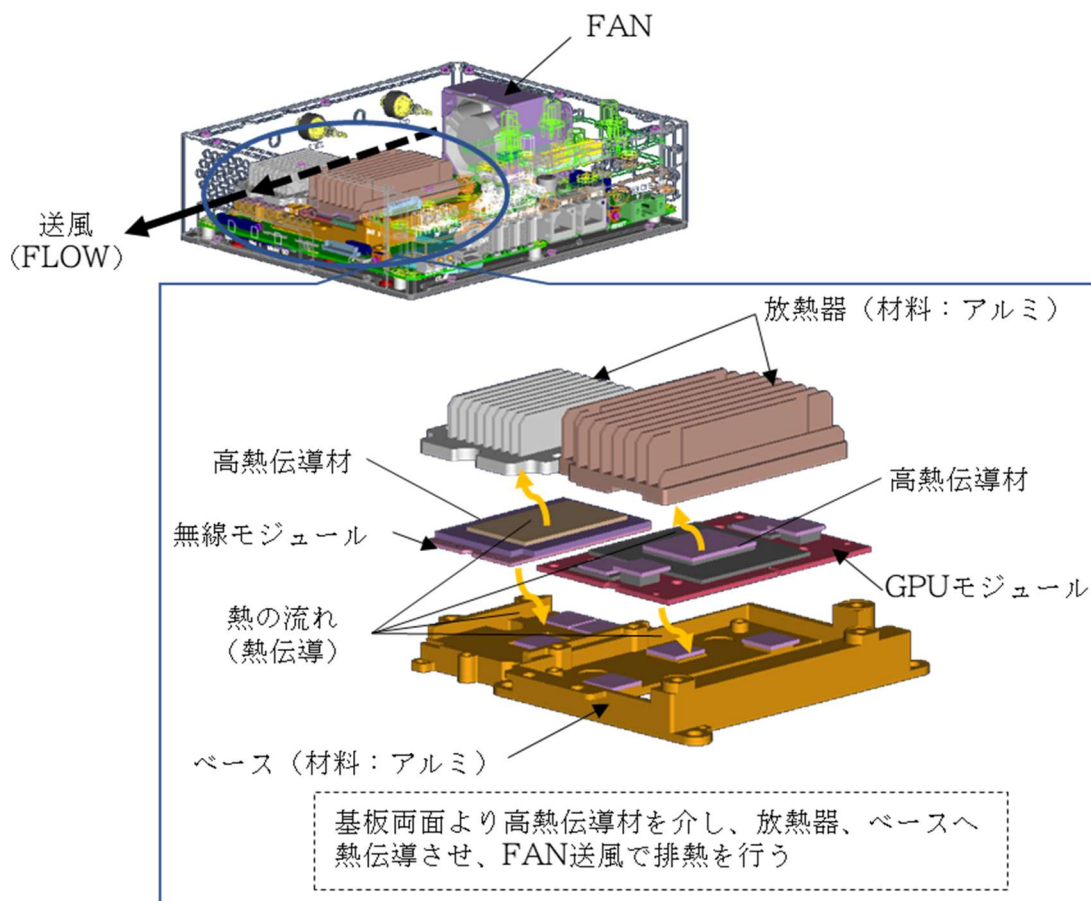


図 4.3.6 放熱構造図

上記の最適化により、従来の 2 つの機器を一体化し、筐体容積削減（約 50%）と連続 24 時間安定し通信が可能であることを実現した。

ウ) 仕様一覧表

仕様一覧を次表に示す。

表 4.3.2 仕様一覧

項目		仕様	備考
5G 仕様		3GPP Rel. 15 対応	
ローカル 5G 適用バンド		n79 (4.6GHz~4.9GHz)	
全国キャリア 適用バンド	5G	n77/78(3.7GHz), n79(4.5GHz)	
	4G	B1(2.0GHz), B3(1.7GHz), B8(900M), B18(800MH), B19(800M), B21(1.5GHz), B42(3.5GHz), B41(2.5GHz)	
MIMO (n79)		5G(sub6) n79 DL : 4x4MIMO UL : 2x2 MIMO	
送信出力		23dBm (0.2W)	
アンテナ		外部 : 1) 屋内無指向性アンテナ 対応周波数 : 4G/5G(Sub6) 2) 屋外無指向性アンテナ 対応周波数 : 4G/5G(Sub6) 3) フィルムアンテナ 対応周波数 : 4G/5G(Sub6)	
基地局同期パターン		同期 TDD、準同期 TDD1	
CODEC		圧縮符号化方式 : H.264/H265 解像度 : SD/HD/Full HD SD : 720×480 HD : 1280×720 FHD : 1920×1080 フレームレート : 30/60fps	帯域に追従した CODEC パラメータのリアルタイム可変制御
データ用外部 IF		GbE(1000Base-TX)×2、USB3.0×3、USB2.0×1	
映像用外部 IF (入力)		4 カメラ入力 GMSL インタフェース (Full HD ~30fps/カメラ) or 2 カメラ入力 USB インタフェース (Full HD ~30fps/カメラ) ※(1 カメラ時は Full HD ~60fps)	エンコーダ装置
映像用外部 IF (出力)		HDMI2.0 (出力)	デコーダ装置

項目	仕様	備考
電源	DC12/24V 瞬時電圧ドロップ 9V まで対応	
装置サイズ/質量	180 (W) x 150 (D) x 50 (H) mm 以下 突起物除く 1600g 以下	

次表に環境仕様一覧を示す。

表 4.3.3 環境仕様一覧

動作保証温度	-10 ~ +50 °C
動作保証湿度	5 % ~ 95% non-condensing
保存保証温度	-40 ~ +70 °C
保存保証湿度	5 % ~ 95% non-condensing
耐振動性能	JIS C 60068-2-6 (車載振動に対応)

適用法規

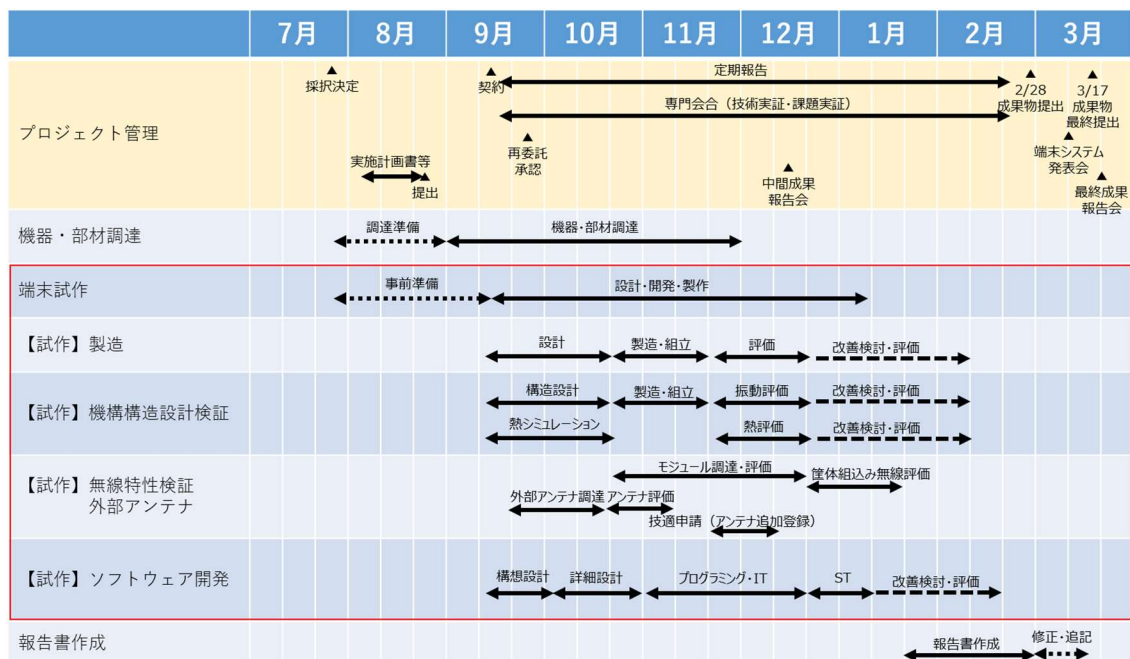
本端末は以下の法令に遵守した。

- ・電波法 : 無線モジュールにて工事設計認証(アンテナ追加)を取得した。
- ・電気通信事業法 : 無線モジュールにて設計認証を取得済み。
端末設備等規則第 34 条の 10 については、商用実装時に設計認証を取得予定。
- ・電気用品安全法 : AC アダプタ等該当品を調達する際は適合品であることを確認した。

エ) 試作スケジュール

試作スケジュールについて次表に示す。

表 4.3.4 試作スケジュール



制御部基板設計と熱対策シミュレーションを同時並行で進め、筐体・内部基板を組立実施後に無線特性の確認を実施した。

外部アンテナについては、実験試験局免許申請までに、電波法に基づく工事設計認証取得済みの無線モジュールの使用アンテナリストに追加する工事設計認証を実施した。

ソフトウェア検証環境として、試作端末の完成後に結合評価（IT）を実施した実装した。サプライチェーンリスクの対策として一部市販評価ボードを用いて検証を行うなどリスク対策を行った。

オ) 成果物納品

本試作開発における試作品 1 式としての納品物、及びその中で権利を有する第三者が存在する者とその権利保有者については以下のとおり。

表 4.3.5 試作品納品物一覧

No	納品物	数量	第三者 権利保有物	第三者 権利保有者
1	ローカル 5G 端末試作品 (エンコーダ)	1	1) 内蔵 M.2 無線モジュール 2) 内蔵 GPU モジュール	1) M.2 無線モジュール製造ベンダー 2) GPU モジュール製造ベンダー
2	ローカル 5G 端末試作品 (デコーダ)	1	1) 内蔵 M.2 通信モジュール 2) 内蔵 GPU モジュール	1) M.2 通信モジュール製造ベンダー 2) GPU モジュール製造ベンダー
3	ローカル 5G 端末試作品 および MEC サーバのソフトウェア	1	1) 映像伝送制御ソフト (エンコーダ端末、デコーダ端末、MEC サーバに実装) 2) OSS : 添付資料 参照 3) GPU Software Design Kit	1) パナソニック 2) OSS : 添付資料 参照 3) GPU ベンダー
4	外部アンテナ(屋内)	8	市販品アンテナ	市販品アンテナ製造ベンダー
5	外部カメラ	4	市販品カメラ	市販品カメラ製造ベンダー

2) 検証項目

ア) ラボでの実証

当社内の試作評価環境・ラボ環境では以下の検証を行った。

① 無線性能検証、無線接続性検証、無線スループット検証

工事設計認証取得済みの市販無線モジュールの無線性能は問題ないことを前提に、試作する端末筐体を実装することによる性能劣化がないことをローカル 5G および全国 5G (LTE) の複数の無線周波数にて検証した。検証は当社シールドルーム内で基地局シミュレータを用いて下記の検証を実施した。

- ✓ 無線送信特性（無線モジュール筐体組込み時の送信電力）
- ✓ 無線受信特性（無線モジュール筐体組込み時の受信感度）
- ✓ 準同期接続ができることの確認
- ✓ 無線接続状態での最大スループット（無線要因を極力排除し、有線同軸ケーブルにて基地局シミュレータと接続した状態での iperf による上り・下りスループットを準同期パターンにて確認）

② サイズ、質量の測定

目標としたサイズ、質量となっているか測定を行った。

③ 放熱特性の検証

下記の検査を実施した。検査は試作機を通電状態で実施した。

- ✓ 温度上昇試験（熱シミュレーション及び放熱設計確認。使用部品の保証温度以下であることの確認）
- ✓ 高温動作・低温動作試験（動作温度の確認）
- ✓ 高温放置・低温放置試験（保存温度の確認）
- ✓ 高温高湿動作試験
- ✓ 温度サイクル動作試験

④ 振動試験（JIS C 60068-2-6 準拠）

当社内の振動試験環境を用い、JIS 規格である JIS C 60068-2-6 を満たすことを検証した。検査は試作機を通電状態で実施した。また振動周波数、掃引時間、加速度などをパラメータとして、実際に端末を取り付ける車両の振動を模擬し前後・左右・上下の X : Y : Z 3 軸方向に対し、車載機器で実績のある加速度 4G でそれぞれ振動試験を実施した。

また移動ロボットは悪路の走行も想定されるため、振動試験の補足測定として、車両に振動計を設置し、雪道及び舗装されていない土地での走行を行い、振動測定を実施した。

⑤ 映像伝送制御機能試験

下記の検査を実施した。

- ✓ 映像伝送遅延量(glass to glass, ENC-DEC)
- ✓ 映像伝送スループット
- ✓ フレーム欠落率
- ✓ 映像伝送後のノイズ(SSIM を指標として使用)

端末検証環境の再現性を担保するため、ネットワークエミュレータを用いた有線環境で試作端末の機能検証および性能検証を行った。具体的には、実網での無線変動状況を模擬したシナリオを作成しネットワークエミュレータに設定することで、スループットの上下動やネットワーク伝送遅延といった環境要因の変動を再現し、ローカル 5G 環境を模擬した。

無線環境での評価は、基地局シミュレータを使って、試作端末の無線通信機能を経由した機能検証を行った。評価系としては、アップリンクのみ無線、アップリンクダウンリンクとも無線の 2 種類を使って評価を行った。

⑥ 連続 24 時間安定し通信が可能であることの検証

当社シールドルーム内の基地局シミュレータを用いて、実際に映像を流して連続 24 時間の安定通信を確認した。

⑦ 消費電力の検証

当社シールドルーム内の基地局シミュレータを用いて、実際に映像を流して各動作モードでの消費電力の確認を実施した。

⑧ 電源電圧増減における動作の検証

電源変動に対する耐性の確認を実施した。

⑨ インパルスノイズ試験(外来ノイズ耐性の確認)

外来ノイズ耐性の確認のため、通信線のインパルスノイズ耐性試験を実施した。

⑩ 通信線(LA N)の雷サージ試験(外来ノイズ耐性の確認)

外来ノイズ耐性の確認のため、通信線の雷サージ耐性試験を実施した。

⑪ 静電気試験(外来ノイズ耐性の確認)

外来ノイズ耐性の確認のため、静電気耐性試験を実施した。

イ) フィールド（三郷町 FSS35 キャンパス）での実証

フィールド（三郷町 FSS35 キャンパス）では以下の検証を行った。

① 遠隔操作ロボットに端末を設置した低遅延映像伝送検証

遠隔操作により移動する試験用ロボットの前後 2 台のカメラ映像を試作端末からセンターのデコード用端末に送信し、測定用 PC での測定及びモニタ映像の確認により、映像品質、映像の途切れが無いか及び映像伝送遅延時間の検証を行った。

映像品質として、無線の可用帯域に対して実際に伝送できた映像帯域の値を送信側端末のログで確認した。また受信した伝送後映像に対して有識者の目視による確認を行い当該目的に資する映像品質であるかの主観評価を行った。

映像伝送遅延時間については、システム時刻同期を確立する NTP サーバをローカル 5G システム内に立ち上げ、送信側端末、受信側端末のシステム時刻の同期を確立した上で、端末間で伝送する映像フレームのタイムスタンプ差分から確認した。

② 車両に端末を設置した低遅延映像伝送検証

試験用車両の前後左右 4 台のカメラ映像を試作端末からセンターのデコード用端末に送信し、測定用 PC での測定及びモニタ映像の確認により、映像品質、映像の途切れが無いか及び映像伝送遅延時間の検証を行った。

映像品質として、無線の可用帯域に対して実際に伝送できた映像帯域の値を送信側端末のログで確認した。また受信した伝送後映像に対して有識者の目視による確認を行い当該目的に資する映像品質であるかの主観評価を行った。

映像伝送遅延時間については、システム時刻同期を確立する NTP サーバをローカル 5G システム内に立ち上げ、送信側端末、受信側端末のシステム時刻の同期を確立した上で、端末間で伝送する映像フレームのタイムスタンプ差分から確認した。

③ 遠隔操作ロボット・車両での映像伝送における映像途切れに関する検証

上記①②の実証における映像途切れについては、受信した伝送後映像を録画し目視により瞬断回数を確認した。確認者の主観によるばらつきを無くするため録画映像を複数人で確認して平均を取った。またエンコード端末・デコード端末で取得するログよりパケットロス等を確認し映像途切れの要因を確認した。

④ ローカル 5G からキャリア 5G への切替検証

エンコード端末からデコード端末へ映像伝送を行っている状態で、エンコード端末がローカル 5G から公衆網、公衆網からローカル 5G に切り替わった際の映像遮断時間を検証した。同時にエンコード端末から Ping 送信先 PC へ疎通確認のための Ping を流し続け、ローカル 5G から公衆網に切り替わった際および公衆網からローカル 5G に切り替わった際の疎通遮断時間を検証した。

※公衆網が 5G エリアでなかったため、ローカル 5G からキャリア 4G との切替試験を実施。

3) 検証方法

ア) ラボでの実証

当社内の試作評価環境・ラボ環境での検証方法を以下に示す。

① 無線性能検証、無線接続性検証、無線スループット検証

工事設計認証取得済みの市販無線モジュールの無線性能は問題ないことを前提に、試作する端末筐体の実装することによる性能劣化がないことをローカル 5G および全国 5G (LTE) の複数の無線周波数にて検証した。検証は当社シールドルーム内で基地局シミュレータを用いて下記の検証を実施した。

- ✓ 無線送信特性 (無線モジュール筐体組み込み時の送信電力)
- ✓ 無線受信特性 (無線モジュール筐体組み込み時の受信感度)
- ✓ 準同期接続ができることの確認
- ✓ 無線接続状態での最大スループット (無線要因を極力排除し、有線同軸ケーブルにて基地局シミュレータと接続した状態での iperf による上り・下りスループットを準同期パターンにて確認)

スループット測定系を次図に示す。

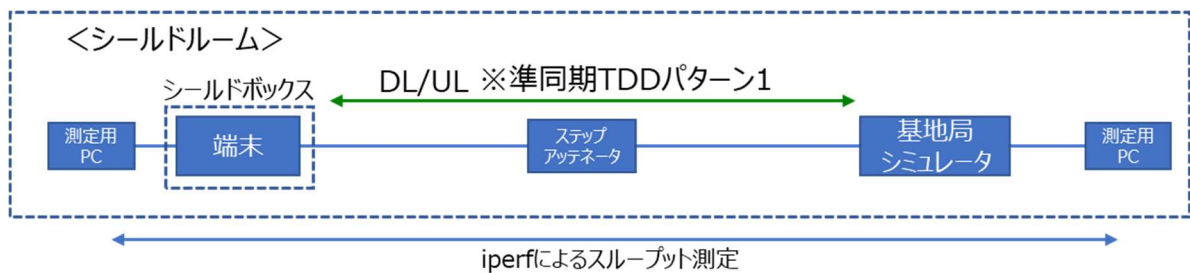


図 4.3.7 スループット測定系

無線接続性検証、無線性能検証風景を以下に示す。

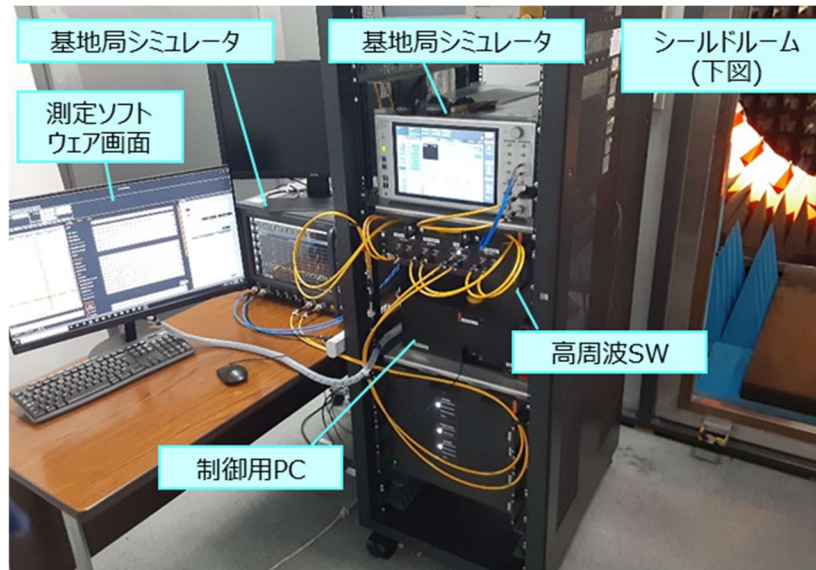


図 4.3.8 無線接続性検証風景

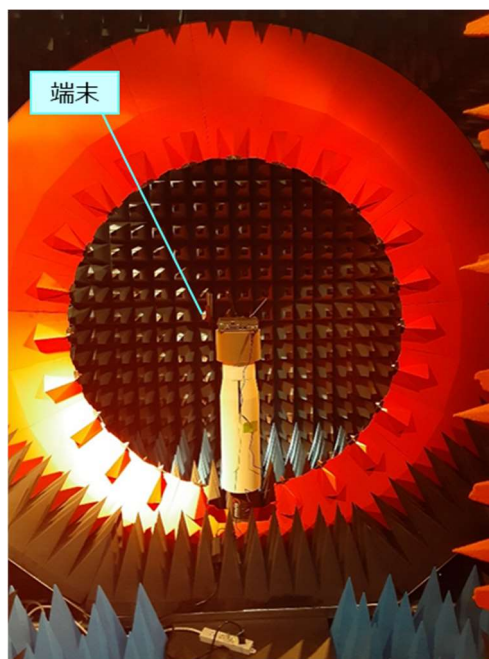


図 4.3.9 無線性能検証風景

② サイズ、質量の検証

目標としたサイズ、質量となっているか測定を行った。

サイズ、質量の検証風景を以下に示す。

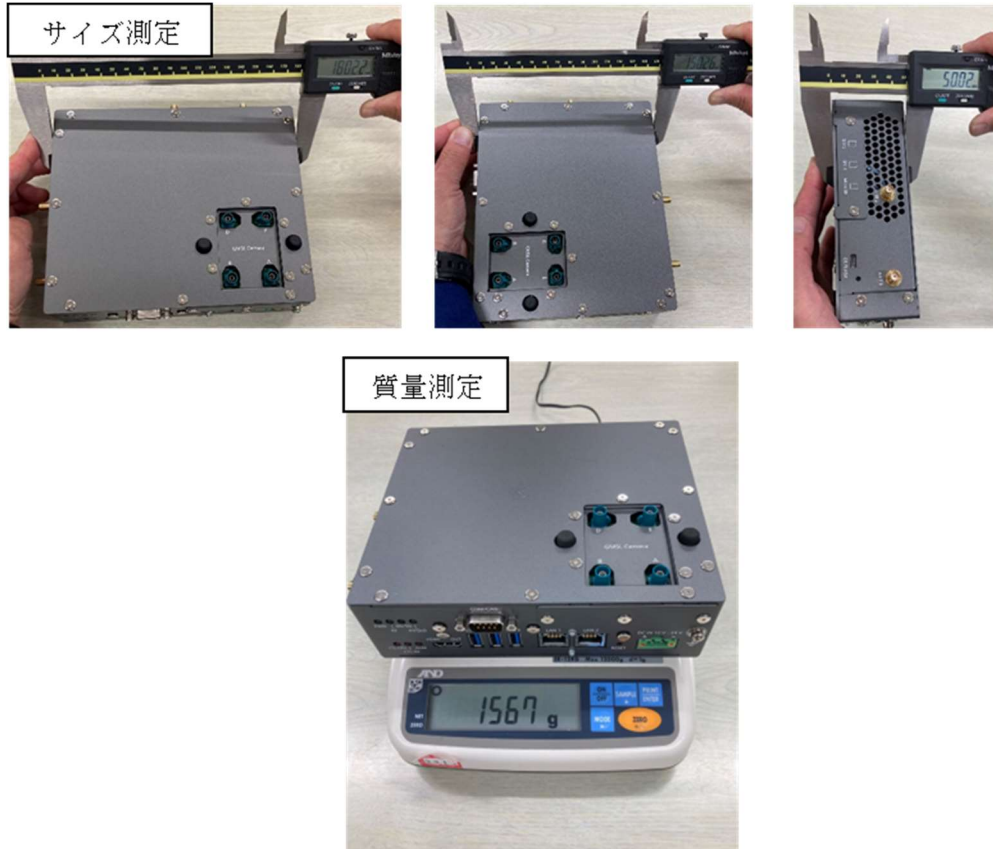


図 4.3.10 サイズ、質量の検証風景

③ 放熱特性の検証

下記の検査を実施した。

- ✓ 温度上昇試験（熱シミュレーション及び放熱設計確認。使用部品の機能制限温度以下であることを確認）

熱シミュレーションは、発熱量の高い主要モジュール 2 個（無線モジュール、GPU モジュール）に対して自然空冷での可否、自然空冷で不可の場合は、強制空冷による可否を確認した。また、温度上昇試験は、実使用上の最大消費電力状態にて温度が飽和状態になるまで動作させ、各部品の温度が機能制限温度内であることを確認した。

※機能制限温度：主要モジュール 2 点にはそれぞれ、温度上昇に対し規定温度に達すると機能に制限を掛け、上昇を抑制する機能

- ✓ 高温動作・低温動作試験（動作温度の確認）
- ✓ 高温放置・低温放置試験（保存温度の確認）
- ✓ 高温高湿動作試験
- ✓ 温度サイクル動作試験

●実測定の温度上昇試験系を次図に示す。



図 4.3.11 温度上昇試験系

検査は試作機を通電状態で実施した。
温度上昇試験風景を以下に示す。

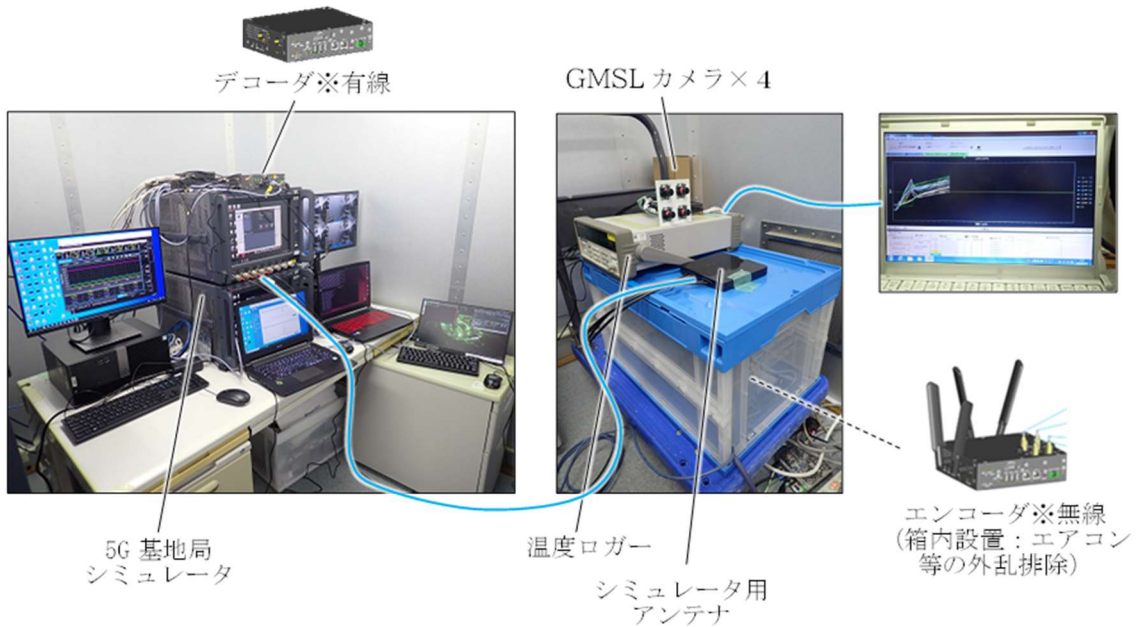


図 4.3.12 温度上昇試験風景

温度上昇試験の判定は、各 부품の保証温度、機能制限温度にて判定しており、特に判定温度が低い以下の2つのモジュールの判定基準を以下に示す。

表 4.3.6 各 부품の判定温度条件

発熱体	判定温度(機能制限温度)
無線モジュール	84℃
GPU モジュール	90.5℃

●高温動作・低温動作試験系を次図に示す。



図 4.3.13 高温動作・低温動作試験系

検査は高温動作・低温動作・高温高湿動作・温度サイクル動作試験は試作機を通電状態で、高温放置・低温放置試験は試作機を無通電状態で実施した。

高温動作・低温動作試験（動作温度の確認）は恒温槽に非通電状態の試作端末を、高温動作試験は 55 °C、低温動作試験は-15 °Cで 1 時間以上放置する。電源を ON にして、立ち上がり状況を確認した。

通電状態の試作端末に対して、高温動作試験は 55 °C、低温動作試験は-15 °Cで 2 時間以上の連続動作中に下記動作確認方法の内容を満足することを確認した。

試験設備

品名： 恒温槽

品番： KHYV-40HP

高温動作・低温動作試験風景を以下に示す。

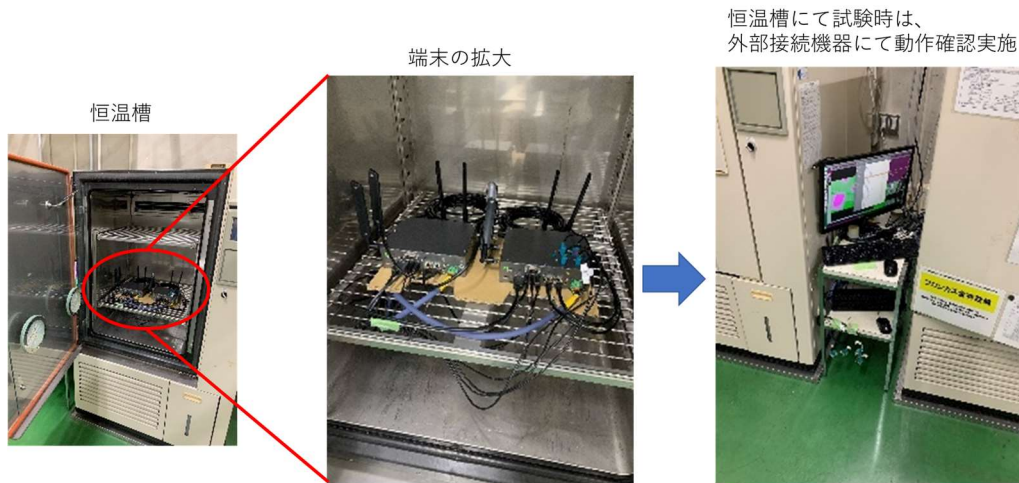


図 4.3.14 高温動作・低温動作試験風景



図 4.3.15 動作確認の様子

試験後の正常性を確認するため、次表の各インタフェース機能の動作確認を行った。

表 4.3.7 動作確認方法

無線モジュール	AT コマンドの応答があること
GMSL カメラ	動画を表示できること(エンコーダに接続した4台のカメラ)
USB ポート	USB 機器が動作すること
HDMI 出力	HDMI ディスプレイにデスクトップ画面が表示されること
LAN ポート	通信できること(Ping パケット送受信)
RS232 ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
CAN ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
microSD カード	カードにファイルを書き込みできること
CPU・GPU	スクリプトを実行し、負荷をかけ、動作し続けること

●高温放置・低温放置試験系を次図に示す。



図 4.3.16 高温放置・低温放置試験系

高温放置・低温放置試験（保存温度の確認）は、恒温槽に非通電状態の試作端末を、高温放置試験は 65 °C 93%RH、低温放置試験は-25 °Cで 8 時間以上放置した。

試験終了後、2 時間以上常温（常湿）に放置してから下記の動作確認方法の内容を満足することを確認した。

試験設備

品名： 恒温槽

品番： KHYV-40HP



図 4.3.17 高温放置・低温放置試験の様子

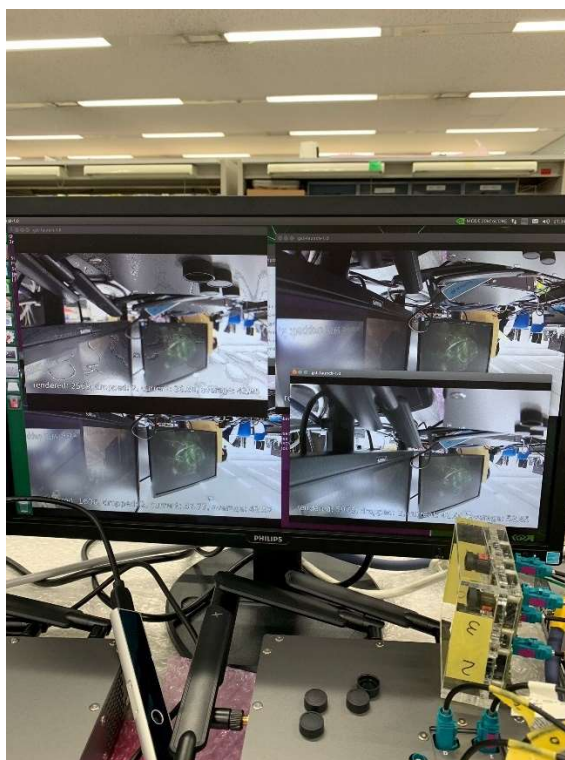


図 4.3.18 動作確認の様子

試験後の正常性を確認するため、下表の各インタフェース機能の動作確認を行った。

表 4.3.8 動作確認方法

無線モジュール	AT コマンドの応答があること
GMSL カメラ	動画を表示できること(エンコーダに接続した 4 台のカメラ)
USB ポート	USB 機器が動作すること
HDMI 出力	HDMI ディスプレイにデスクトップ画面が表示されること
LAN ポート	通信できること (Ping パケット送受信)
RS232 ポート	通信できること (テキストデータの送信・受信)
CPU・GPU	スクリプトを実行し、負荷をかけ、動作し続けること

●高温高湿動作試験系を次図に示す。



図 4.3.19 高温高湿動作試験系

高温高湿動作試験は、恒温槽に非通電状態の試作端末を、55 °C 93%RH で 1 時間以上放置する。電源を ON にして、立ち上がり状況を確認した。

通電状態の試作端末に対して、2 時間以上の連続動作中に下記動作確認方法の内容を満足することを確認した。

試験設備

品名： 恒温槽

品番： KHYV-40HP



図 4.3.20 高温高湿動作試験の様子



図 4.3.21 動作確認の様子

試験後の正常性を確認するため、下表の各インターフェース機能の動作確認を行った。

表 4.3.9 動作確認方法

無線モジュール	AT コマンドの応答があること
GMSL カメラ	動画を表示できること(エンコーダに接続した 4 台のカメラ)
USB ポート	USB 機器が動作すること
HDMI 出力	HDMI ディスプレイにデスクトップ画面が表示されること
LAN ポート	通信できること(Ping パケット送受信)
microSD カード	カードにファイルを書き込みできること
CPU・GPU	スクリプトを実行し、負荷をかけ、動作し続けること

●温度サイクル試験系を次図に示す。



図 4.3.22 温度サイクル試験系

温度サイクル動作試験は、恒温槽に試作端末を設置した。

通電状態の試作端末に対して、1サイクルを高温 55℃で2時間以上、低温-15℃で2時間以上とし、3サイクル連続行い、連続動作中に下記動作確認方法の内容を満足することを確認した。

試験設備

品名： 恒温槽

品番： KHYV-40HP



図 4.3.23 温度サイクル動作試験の様子



図 4.3.24 動作確認の様子

試験後の正常性を確認するため、下表の各インターフェース機能の動作確認を行った。

表 4.3.10 動作確認方法

無線モジュール	AT コマンドの応答があること
GMSL カメラ	動画を表示できること(エンコーダに接続した 4 台のカメラ)
USB ポート	USB 機器が動作すること
HDMI 出力	HDMI ディスプレイにデスクトップ画面が表示されること
LAN ポート	通信できること(Ping パケット送受信)
microSD カード	カードにファイルを書き込みできること
CPU・GPU	スクリプトを実行し、負荷をかけ、動作し続けること

④ 振動試験 (JIS C 60068-2-6 準拠)

当社内の振動試験環境を用い、輸送中または使用中に調和形の振動を受ける部品、機器及びその他の製品に適用する試験方法を規定する規格である JIS C 60068-2-6 を満たすことを検証した。振動試験機を次図に示す。



図 4.3.25 振動試験機

検査は試作機を無通電状態で実施した。また振動周波数、掃引時間、加速度などをパラメータとして、実際に端末を取り付ける車両の振動を模擬し前後・左右・上下の X : Y : Z 3 軸方向に対し、車載機器で実績のある加速度 4G でそれぞれ振動試験を実施した。

試作前に下記条件で、簡易モデルでの事前検証を実施した。

表 4.3.11 振動試験条件

掃引方式	対数掃引
振動数	10 Hz～200 Hz
加速度	39.2 m/s ² (4G)
掃引時間	15 分 (往復)
加振方向及び回数	上下 : 16 回、前後 : 8 回、左右 : 8 回
判定基準	<ul style="list-style-type: none">・故障がなく、製品規格を満足すること。・構造 (内部、外観) に異常がないこと。



図 4.3.26 簡易モデル

試験後の正常性を確認するため、下表の各インタフェース機能の動作確認を行った。

表 4.3.12 動作確認方法

	項目	
機能 性能	HDMI	モニタへの出力確認
	USB1	キーボード or マウスで動作確認
	USB2	キーボード or マウスで動作確認
	USB3	キーボード or マウスで動作確認
	LAN1	PC と接続し Ping 確認
	LAN2	PC と接続し Ping 確認
	電源	電源接続し起動確認
	COM/CAN	接続コマンドで確認
	microUSB	PC と接続し稼働確認
	SIM1	実網接続確認
	SIM2	実網接続確認
	アンテナ	実網接続確認
	microSD	挿入し稼働確認
	GMSL カメラ A	カメラ接続し起動確認
	GMSL カメラ B	カメラ接続し起動確認
	GMSL カメラ D	カメラ接続し起動確認
	GMSL カメラ E	カメラ接続し起動確認
	FAN	装置起動後の動作確認
	LED	点灯確認
	無線性能	基地局シミュレータで確認
構造	分解確認	
	ねじ緩み	
	簡易モデルでの不具合箇所確認	

簡易モデルでの事前検証後、改善し試作機での振動試験を実施した。
振動試験風景を以下に示す。



図 4.3.27 振動試験風景

また移動ロボットは悪路の走行も想定されるため、振動試験の補足測定として、車両に振動計を設置し、雪道及び舗装されていない土地での走行を行い、振動測定を実施した。振動測定に使用した振動計及び3軸センサを次図に示す。

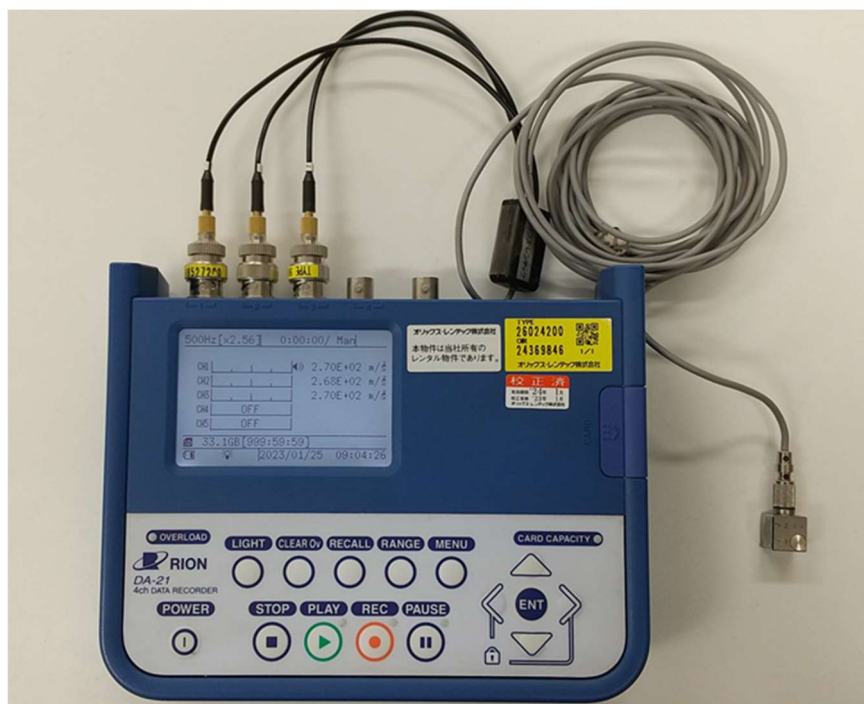


図 4.3.28 振動計及び3軸センサ

振動計及び3軸センサを車両に設置した様子を次図に示す。



図 4.3.29 振動計及び3軸センサを車両に設置した様子

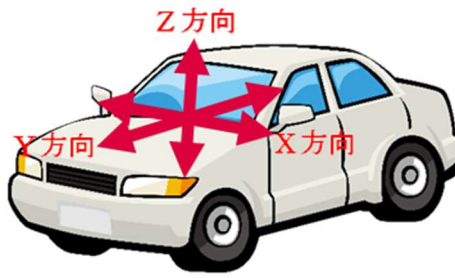


図 4.3.30 車両取付時の3軸センサ X, Y, Z 方向

雪道での走行での振動測定風景を以下に示す。



図 4.3.31 雪道の走行での振動測定風景

舗装されていない土地の走行での振動測定風景を以下に示す。



図 4.3.32 舗装されていない土地の走行での振動測定風景

⑤ 映像伝送制御機能試験

i) ネットワークエミュレータを用いた検証（有線環境評価）

次図にネットワークエミュレータを用いた検証系を示す。



図 4.3.33 ネットワークエミュレータを用いた検証系

端末検証環境の再現性を担保するため、ネットワークエミュレータを用いた有線環境で試作端末の機能検証および性能検証を行った。具体的には、実網での無線変動状況を模擬したシナリオを作成しネットワークエミュレータに設定することで、スループットの上下動やネットワーク伝送遅延といった環境要因の変動を再現し、ローカル 5G 環境を模擬した。

ネットワークエミュレータには有線 LAN 経由で L2 スイッチを介して試作端末(送信機能/受信機能それぞれ)を接続した。試作端末(送信機能)には USB 経由で映像ソース送出機を接続した。映像ソース送出機を使うことで、送出機内に保存した録画映像を毎回同じデータとして発生させることが可能になり、評価条件のばらつきを抑制した。試作端末(受信機能)には HDMI 経由でモニタ兼映像録画機を接続した。伝送後の映像を録画し映像ソース送出機の保存映像と比較することで、映像の乱れ(カクツキ、止まり、ブロックノイズ等)を確認した。

ネットワークエミュレータと試作端末間に設置する L2 スイッチにはパケットモニタリングを行うための PC ツールを接続しパケット by パケットのログ確認を実施した。

ネットワークエミュレータを用いた検証環境では、映像の伝送レート、映像伝送の遅延時間、フレーム欠落、映像伝送後のノイズを指標として評価を行った。

ネットワークエミュレータを用いた検証風景を以下に示す。



図 4.3.34 ネットワークエミュレータを用いた検証風景

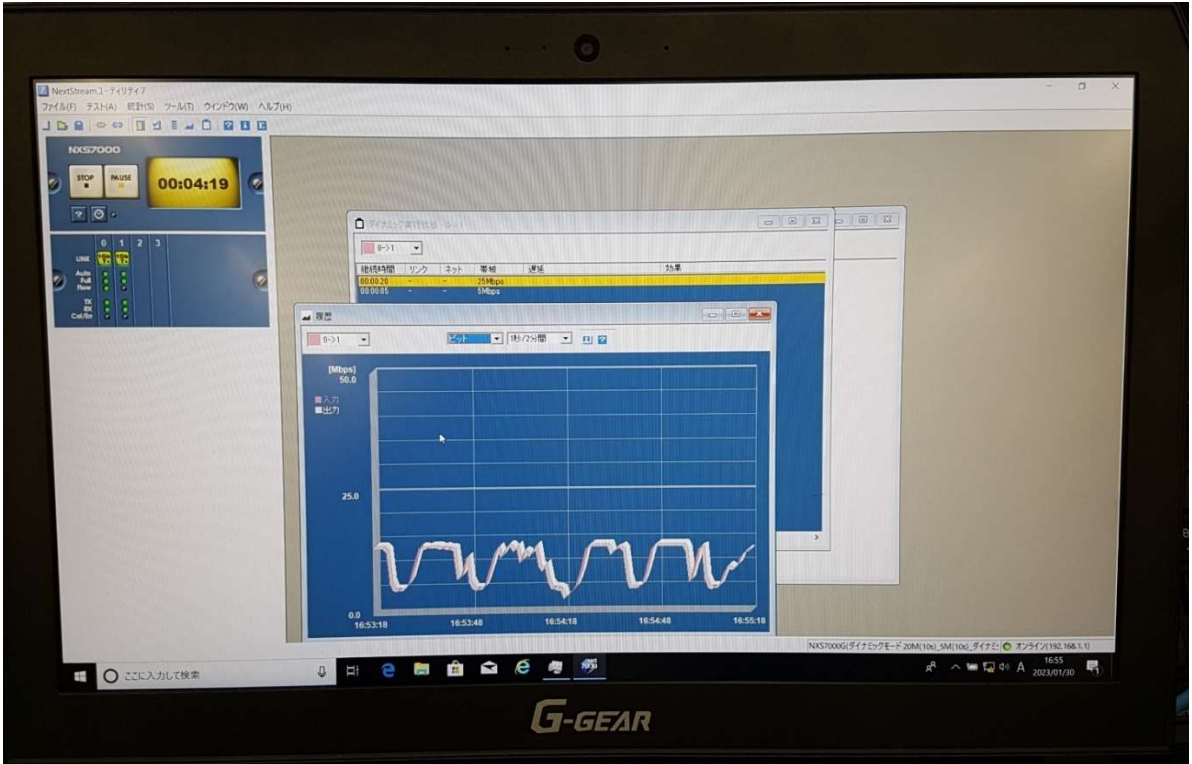


図 4.3.35 ネットワークエミュレータによる環境変動を再現する様子

ii) ローカル 5G 環境を用いた検証 (無線環境評価)

次図にローカル 5G 環境を用いた検証環境を示す。

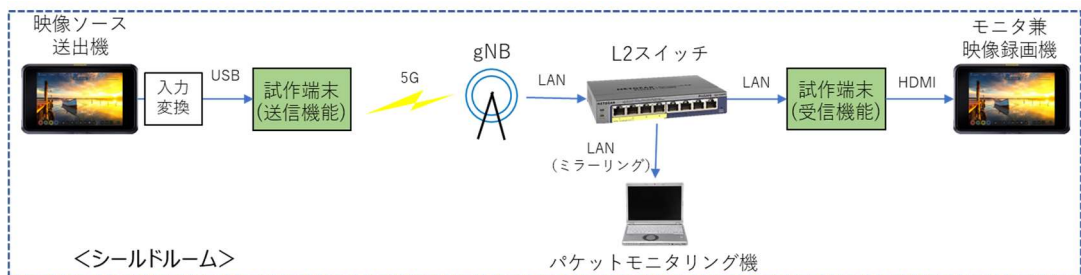


図 4.3.36 ローカル 5G 環境を用いた検証環境 (アップリンクのみ無線)

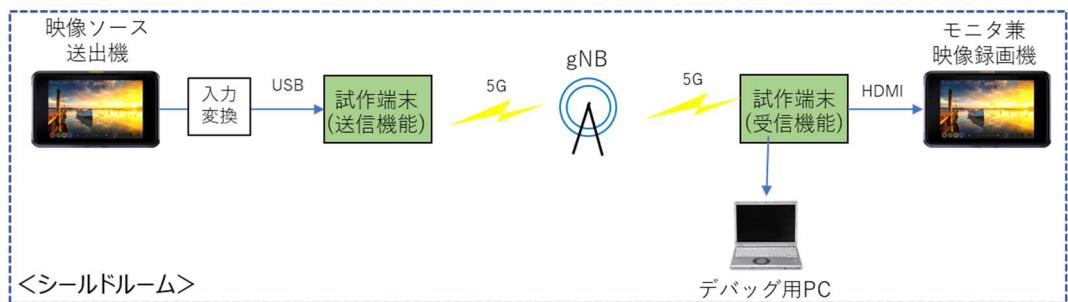


図 4.3.37 ローカル 5G 環境を用いた検証環境 (アップリンクダウンリンクとも無線)

無線環境での評価は、基地局シミュレータを使って、試作端末の無線通信機能を経由した機能検証を行った。評価系としては、アップリンクのみ無線、アップリンクダウンリンクとも無線の2種類を使って評価を行った。

アップリンクのみ無線の環境では、試作端末(送信機能)にローカル 5G 用 SIM を挿入して 5G 機能を有効にした。また USB 経由で映像ソース送出機を接続した。映像ソース送出機を使うことで、送出機内に保存した録画映像を毎回同じデータとして発生させることが可能になり、評価条件のばらつきを抑制した。試作端末(受信機能)には HDMI 経由でモニタ兼映像録画機を接続した。伝送後の映像を録画し映像ソース送出機の保存映像と比較することで、映像の乱れ(カクツキ、止まり、ブロックノイズ等)を確認した。試作端末(受信機能)側は gNB と L2 スイッチ - Ethernet 経由で有線接続し、配置した L2 スイッチにはパケットモニタリングを行うための PC ツールを接続しパケット by パケットのログ確認を実施した。アップリンクのみ無線の検証環境では、客観評価として、映像の伝送レート、映像伝送の遅延時間、フレーム欠落、映像伝送後のノイズを指標として評価を行った。

アップリンクダウンリンクとも無線の環境では、試作端末(送信機能・受信機能)共にローカル 5G 用 SIM を挿入して 5G 機能を有効にし、gNB とローカル 5G で無線接続した。試作端末(送信機能)には USB 経由で映像ソース送出機を接続した。試作端末(受信機能)には HDMI 経由でモニタ兼映像録画機を接続した。アップリンクダウンリンクとも無線の検証環境では、客観評価として、映像の伝送レート、映像伝送の遅延時間を指標として評価を行った。

映像伝送制御機能の評価項目について、以下の方法で検証した。

- ✓ 映像伝送遅延量(glass to glass, ENC-DEC)
glass to glass の遅延量については、送信元映像にカウンタータイマー値を表示し、伝送前の映像画面(A)と伝送後の映像画面(B)とを合わせて静止画撮影することで A のタイマー値 T(A)から B のタイマー値 T(B)を引くことで確認した。複数回の試行を実施し平均値にて遅延量を表した。
ENC (エンコーダ) -DEC (デコーダ) の遅延量については、映像のフレーム毎に付与されているタイムスタンプを送信側・受信側で比較しその差分値で確認した。一定枚数のフレームに対する遅延を確認し平均値にて遅延量を表した。
- ✓ 映像伝送スループット
試作端末の送信機能側で送出している映像の伝送レートをログにて確認した。
- ✓ フレーム欠落率
試作端末の受信機能側で受信できなかったフレームをログにて確認した。
- ✓ 映像伝送後のノイズ(SSIM* を指標として使用)
伝送前の映像と伝送後の映像から同一フレーム番号の映像を画像として抽出し、SSIM を計測するソフトウェアツールにより確認した。ソフトウェアツールはフリーツールである ffmpeg を使用した。

* SSIM: (structural similarity) 画質を評価する客観評価指標

ローカル 5G 環境を用いた検証（無線環境評価）風景を以下に示す。



図 4.3.38 ローカル 5G 環境を用いた検証環境 (Uplink のみ無線)



図 4.3.39 ローカル 5G 環境を用いた検証（無線環境評価）風景①



図 4.3.40 ローカル 5G 環境を用いた検証（無線環境評価）風景②

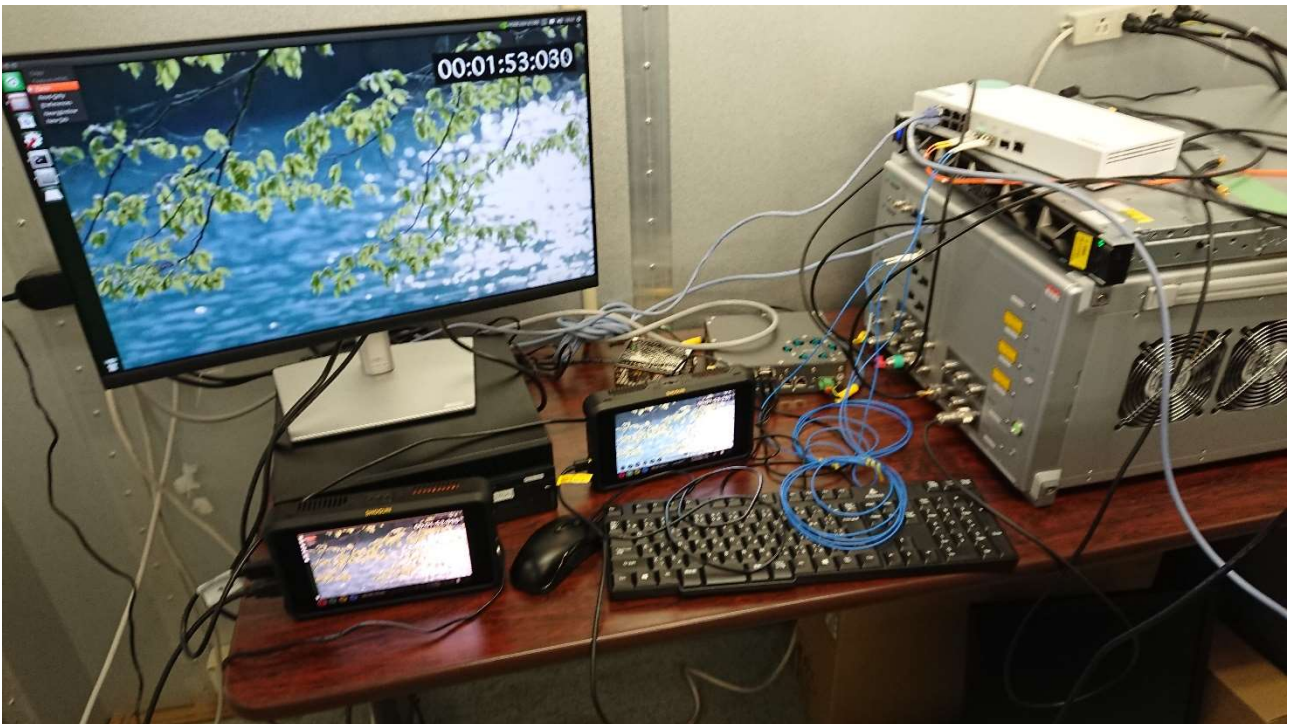


図 4.3.41 ローカル 5G 環境を用いた検証（無線環境評価）風景③

⑥ 連続 24 時間安定し通信が可能であることの検証

当社シールドルーム内の基地局シミュレータを用いて、実際に映像を流して、次図の測定環境にて連続 24 時間の安定通信を確認した。検証結果は無線レイヤのログ及び映像レイヤのログから、24 時間途切れることなく映像伝送が実施できたことを確認した。

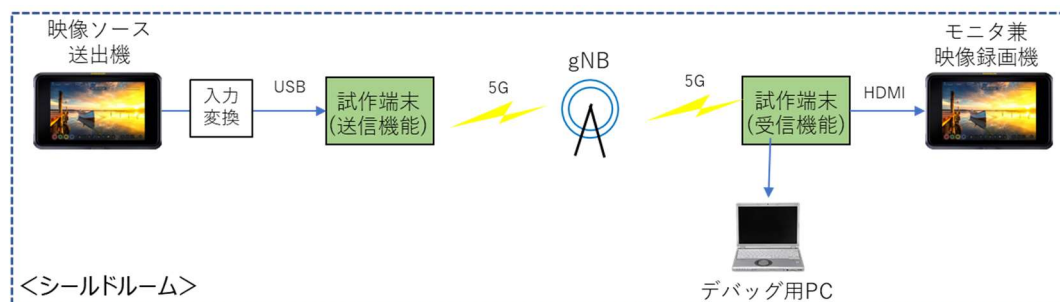


図 4.3.42 ローカル 5G 環境を用いた検証環境（アップリンクダウンリンクとも無線）

連続 24 時間動作試験風景を以下に示す。



図 4.3.43 連続 24 時間動作試験風景

⑦ 消費電力の検証

当社シールドルーム内の基地局シミュレータを用いて、実際に映像を流して

- ・カメラ種別を GMSL カメラ 4 台接続と USB カメラ 2 台接続
- ・ GMSL カメラ 4 台接続時の回線の接続を 5G とした場合、LAN 接続とした場合
(最大消費電力に関して、5G 接続時と LAN 接続時の差分を確認するため)
の各動作モードでの消費電力の確認を実施した。

電源装置より試作端末へ各電源電圧(24V/12V/9V)を供給し、消費電力(W)、消費電流(A)、を実測する。測定構成を次表に示す。

表 4.3.13 測定構成一覧

構成	試作端末	接続回線	カメラ種別、接続数
①	エンコーダ	5G	GMSL × 4
②	エンコーダ	5G	USB × 2
③	エンコーダ	LAN	GMSL × 4
④	デコーダ	5G	

試験設備

品名： 基地局シミュレータ (5G ワイヤレス・テスト・プラットフォーム)

品番： E7515B

試験設備の基地局シミュレータ、電源装置を下図に示す。



図 4.3.44 試験設備 (電源装置、5G テスター)

消費電力の検証風景を以下に示す。

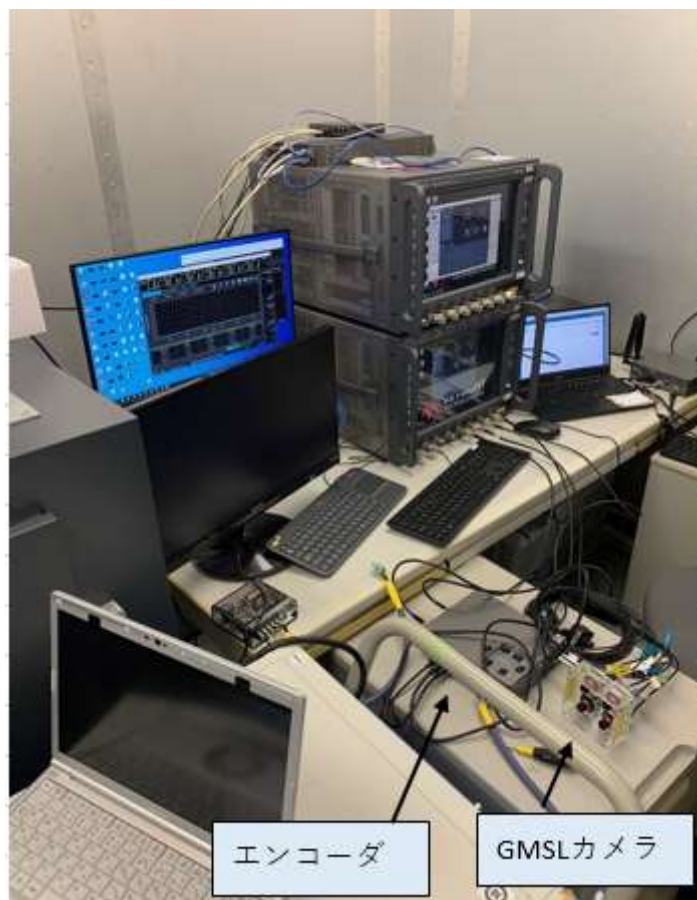


図 4.3.45 消費電力測定の様子(GMSLカメラ4台接続時)

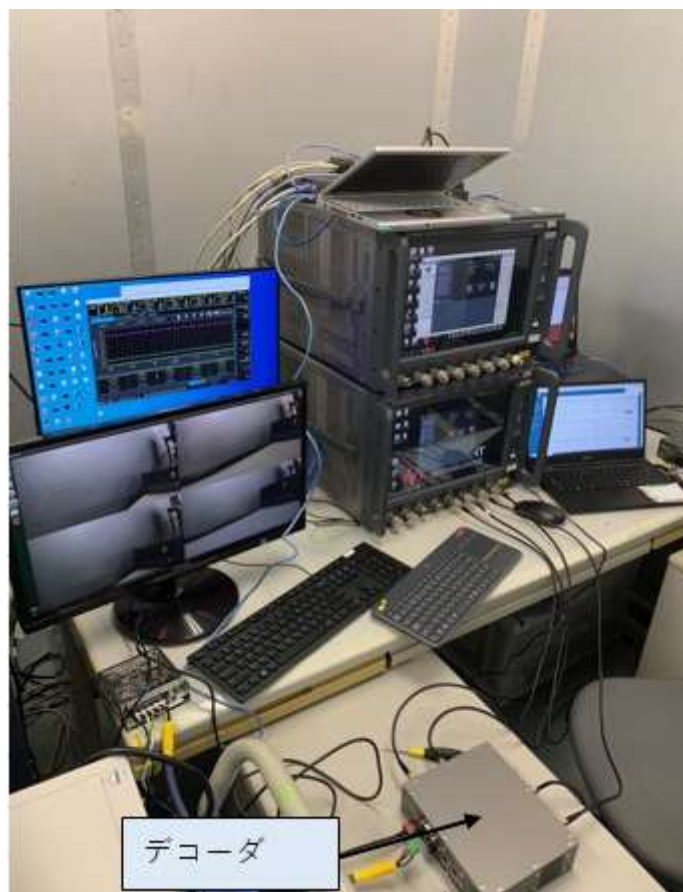


図 4.3.46 消費電力測定の様子(デコーダ)

⑧ 電源電圧増減における動作の検証

電源変動に対する耐性の確認を実施した。

定格電圧の±10%で通電後、試作端末の動作が安定してから各機能動作を確認した。

電源電圧増減試験の試験系を次図に示す。

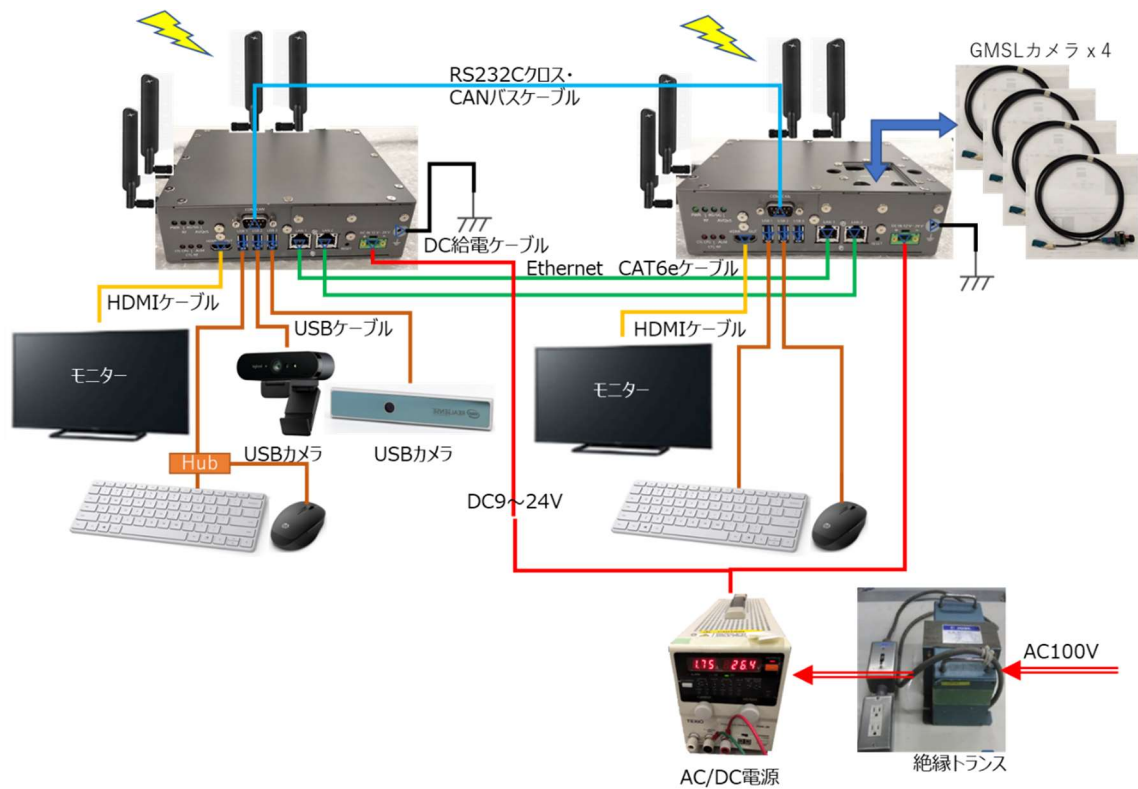


図 4.3.47 電源電圧増減試験系

電源電圧増減試験の検証風景を以下に示す。



図 4.3.48 電源電圧増減試験の検証風景

試験後の正常性を確認するため、下表の各インタフェース機能の動作確認を行った。

表 4.3.14 動作確認方法

無線モジュール	セルラー通信できること(動画ストリーミング表示) AT コマンドの応答があること
GMSL カメラ	動画を表示できること(エンコーダに接続した 4 台のカメラ)
USB ポート	USB 機器が動作すること
HDMI 出力	HDMI ディスプレイにデスクトップ画面が表示されること
LAN ポート	通信できること(Ping パケット送受信)
RS232 ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
CAN ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
microSD カード	カードにファイルを書き込みできること
CPU・GPU	スクリプトを実行し、負荷をかけ、動作し続けること

⑨ インパルスノイズ試験(外来ノイズ耐性の確認)

外来ノイズ耐性の確認のため、通信線のインパルスノイズ耐性試験を実施した。

インパルスノイズ試験機の「PULSE OUT」と結合クランプを、同軸ケーブルで接続。試作端末と、本試験の対象となる信号線を接続した。

結合クランプに、本試験の対象となる信号線を通す。通電状態の試作端末に対して、インパルスノイズ試験機から下の条件によるインパルスノイズを印加した。

通信線の試験対象は、シリアル RS232-C 通信線とイーサ (LAN) 通信線とした。

イーサは 2 ポートあるため、LAN1 と LAN2 の接続を交換し、LAN1/LAN2 それぞれで試験実施した。

パルス幅： 50 ns、1000 ns

パルスの繰り返し周期： 16 ms

試験電圧： 0.75 kV

極性： 正、負

試験時間： 各動作モードに対して 10 分

試験の試験系について、シリアル RS232-C 通信線の試験系を次図に示す。

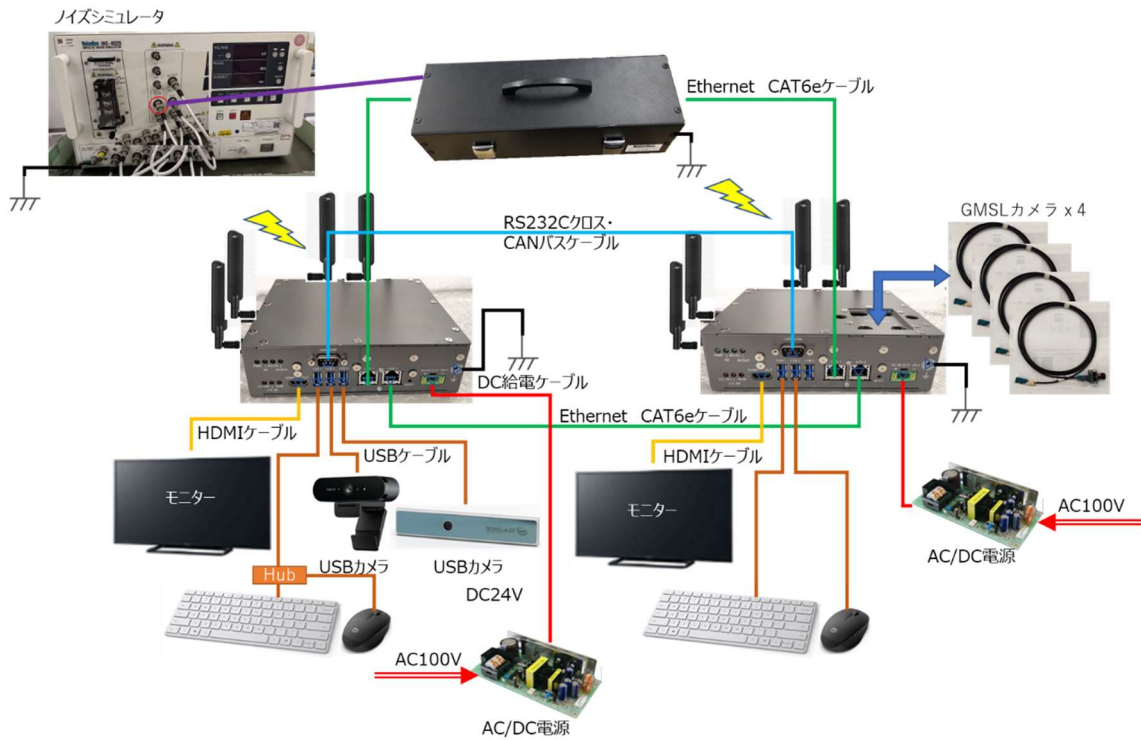


図 4.3.49 シリアル RS-232C 通信線の試験系

イーサ (LAN) 通信線の試験系を次図に示す。

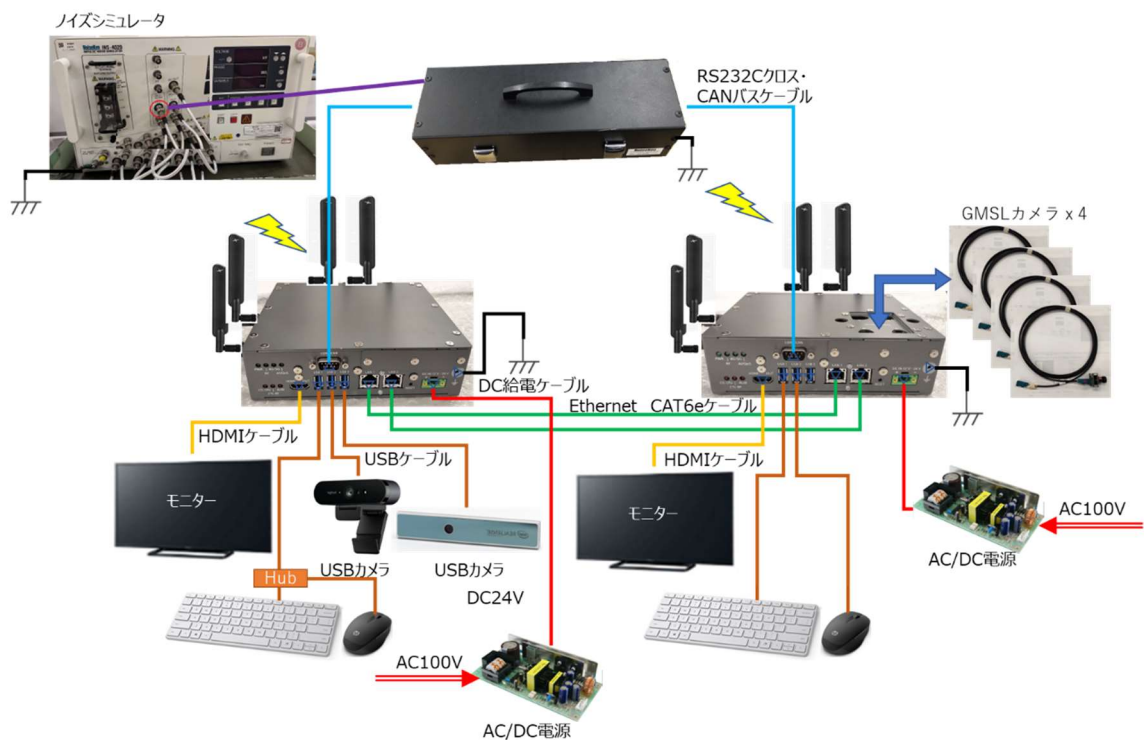


図 4.3.50 イーサ (LAN) 通信線の試験系

通信線のインパルスノイズ耐性試験の検証風景を以下に示す。



図 4.3.51 通信線のインパルスノイズ耐性試験の検証風景

試験後の正常性を確認するため、下表の各インタフェース機能の動作確認を行った。

表 4.3.15 動作確認方法

無線モジュール	セルラー通信できること(動画ストリーミング表示) AT コマンドの応答があること
GMSL カメラ	動画を表示できること(エンコーダに接続した 4 台のカメラ)
USB ポート	USB 機器が動作すること
HDMI 出力	HDMI ディスプレイにデスクトップ画面が表示されること
LAN ポート	通信できること(Ping パケット送受信)
RS232 ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
CAN ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
microSD カード	カードにファイルを書き込みできること
CPU・GPU	スクリプトを実行し、負荷をかけ、動作し続けること

⑩ 通信線(LAN)の雷サージ試験(外来ノイズ耐性の確認)

外来ノイズ耐性の確認のため、通信線の雷サージ耐性試験を実施した。

絶縁トランスを介した試験端末用 AC 電源と雷サージ試験装置および試験端末をそれぞれ接続し、通電状態の試験端末に対して、雷サージ試験装置から以下の条件による雷サージを印加して、試験中および試験終了後の各機能動作を確認した。

印加モード：	コモンモード（線路-筐体接地間）
雷サージ波形：	テレコムサージ波形（10/700 μ s）
試験レベル 1：	0.5kV
試験レベル 2：	1kV
試験レベル 3：	2kV
印加位相：	非同期
極性及び印加回数：	正，負 5 回ずつ
印加間隔：	50 秒

サージ試験の試験系を次図に示す。

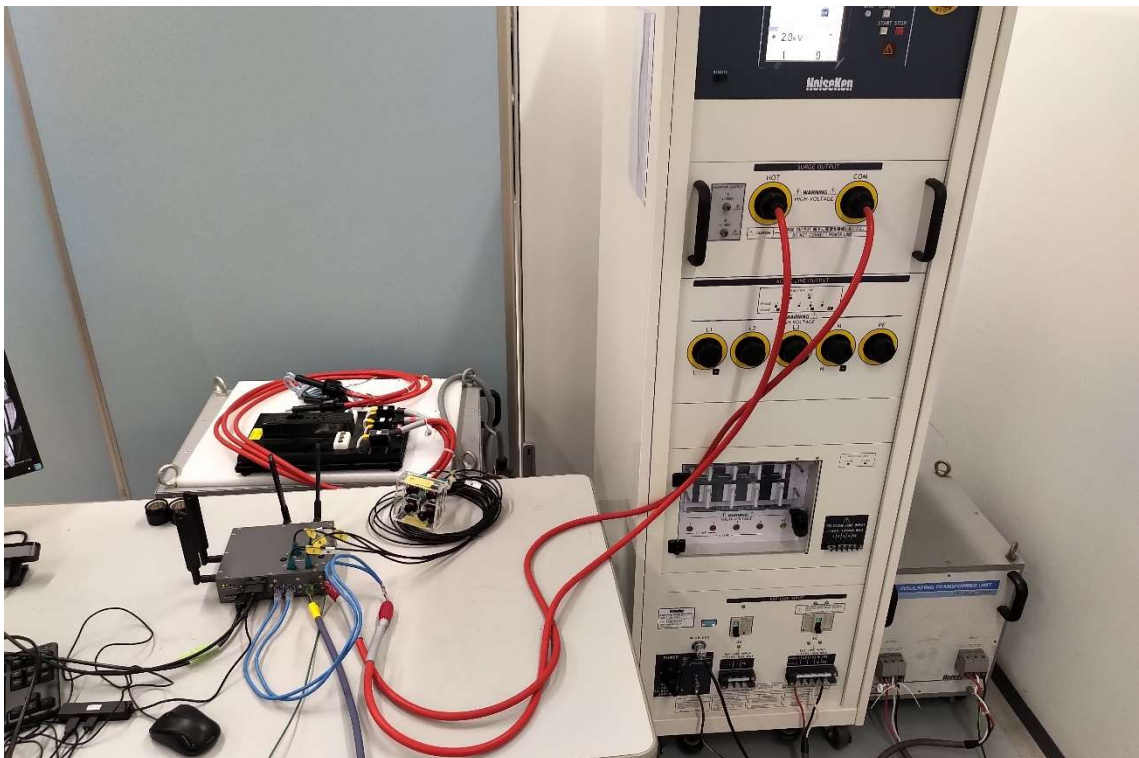


図 4.3.52 サージ試験 試験系

サージ試験の検証風景を以下に示す。

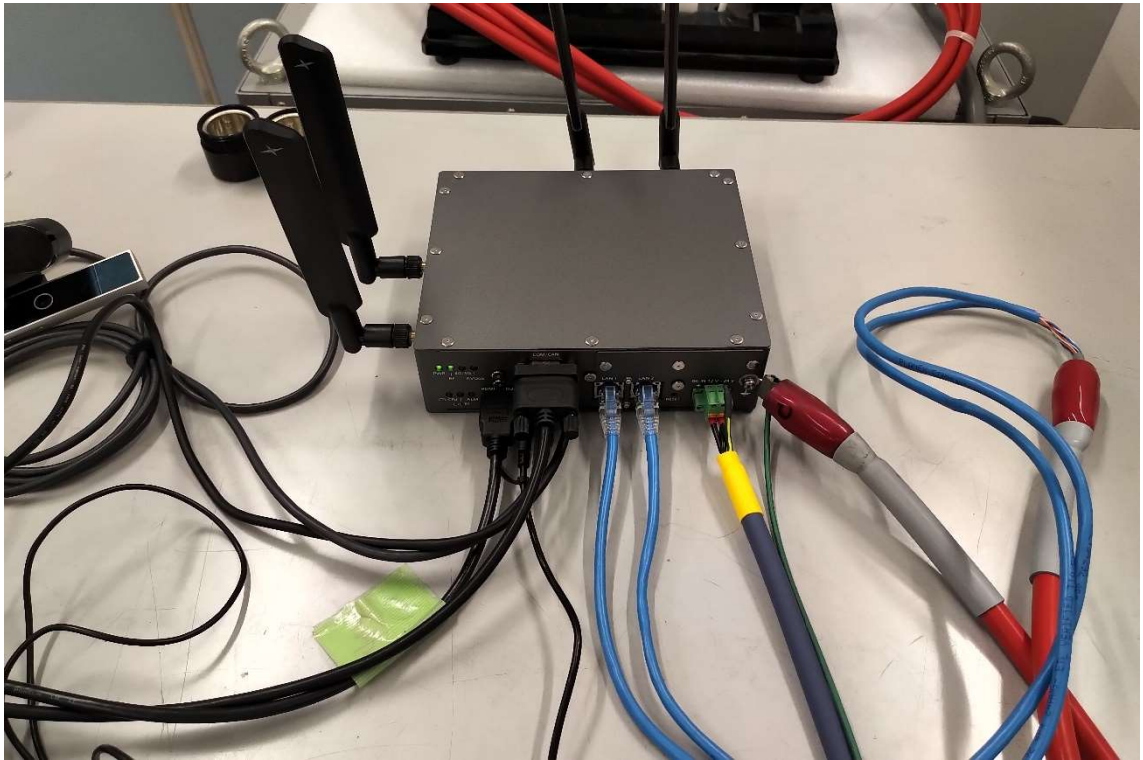


図 4.3.53 サージ試験の検証風景

試験後の正常性を確認するため、下表の各インタフェース機能の動作確認を行った。

表 4.3.16 動作確認方法

無線モジュール	セルラー通信できること(動画ストリーミング表示) AT コマンドの応答があること
GMSL カメラ	動画を表示できること(エンコーダに接続した4台のカメラ)
USB ポート	USB 機器が動作すること
HDMI 出力	HDMI ディスプレイにデスクトップ画面が表示されること
LAN ポート	通信できること(Ping パケット送受信)
RS232 ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
CAN ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
microSD カード	カードにファイルを書き込みできること
CPU・GPU	スクリプトを実行し、負荷をかけ、動作し続けること

⑪ 静電気試験(外来ノイズ耐性の確認)

外来ノイズ耐性の確認のため、静電気耐性試験として、接触放電試験と気中放電試験を実施した。

●接触放電試験

試験装置の放電電極を試験端末に接触させて印加した。先端が円錐型の放電チップを使用して、導電性の部分に対して行った。

通常使用においてユーザーが触れる部分に対して、レベル1~4の試験電圧で実施した。

通電状態の試作端末に対して、各50回(正、負各25回)の静電気を印加して、試験中及び試験終了後の各機能動作を確認した

エネルギー蓄積容量： 150 pF(±10%)

放電抵抗： 330 Ω(±10%)

充電抵抗： 53 MΩ(±10%)

試験レベル1： 2 kV

試験レベル2： 4 kV

試験レベル3： 6 kV

試験レベル4： 8 kV

極性： 正、負

放電モード： 単発、放電間隔は1秒以上

●気中放電試験

試験装置の放電電極を試験端末に素早く近づけて印加した。先端が丸型の放電チップを使用して、非導電性の部分や開口部に対して行った。

通常使用において、ユーザーが触れる部分に対して、レベル1~4の試験電圧で実施した。

通電状態の試作端末に対して、各50回(正、負各25回)の静電気を印加して、試験中及び試験終了後の各機能動作を確認した。

エネルギー蓄積容量： 150 pF(±10%)

放電抵抗： 330 Ω(±10%)

充電抵抗： 53 MΩ(±10%)

試験レベル1： 2 kV

試験レベル2： 4 kV

試験レベル3： 8 kV

試験レベル4： 15 kV

極性： 正、負

放電モード： 単発、放電間隔は1秒以上

静電気試験の試験系を次図に示す。

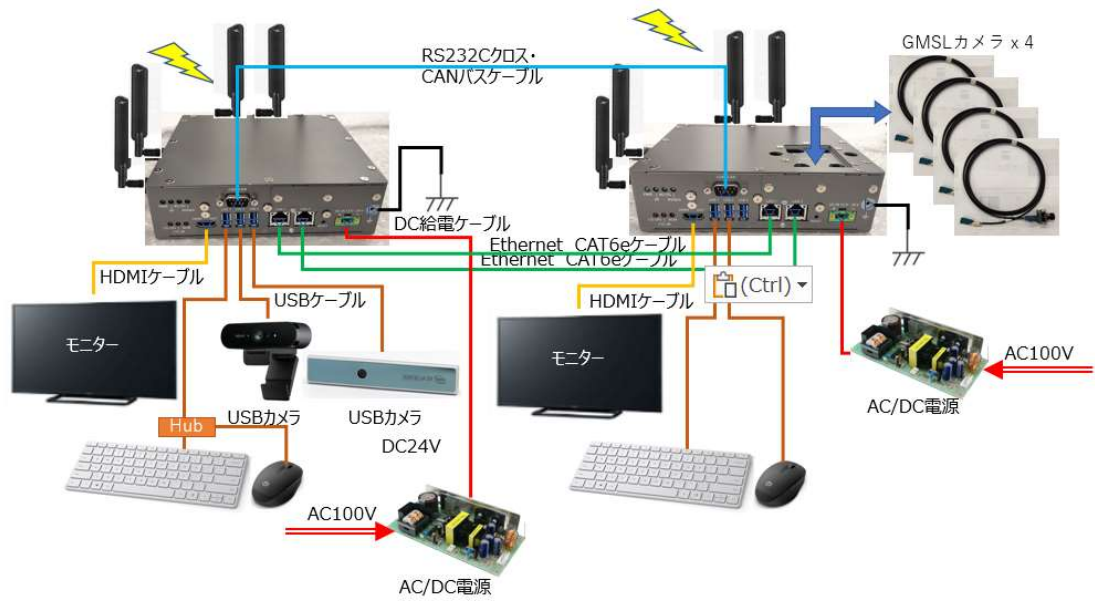


図 4.3.54 静電気試験系

静電気試験の検証風景を以下に示す。



図 4.3.55 静電気試験の検証風景

試験後の正常性を確認するため、下表の各インタフェース機能の動作確認を行った。

表 4.3.17 動作確認方法

無線モジュール	セルラー通信できること(動画ストリーミング表示) AT コマンドの応答があること
GMSL カメラ	動画を表示できること(エンコーダに接続した 4 台のカメラ)
USB ポート	USB 機器が動作すること
HDMI 出力	HDMI ディスプレイにデスクトップ画面が表示されること
LAN ポート	通信できること(Ping パケット送受信)
RS232 ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
CAN ポート	通信できること(テキストデータの送信・受信)
microSD カード	カードにファイルを書き込みできること
CPU・GPU	スクリプトを実行し、負荷をかけ、動作し続けること

イ) フィールド（三郷町 FSS35 キャンパス）での実証

フィールドでの検証のため、移動体として遠隔操作ロボット（車いす型）、車両を用意し、センサー装置にて監視・検証・評価を行った。

遠隔操作ロボット（車いす型）に設置した端末、アンテナ、カメラを次図に示す。



図 4.3.56 遠隔操作ロボット（車いす型）に設置した端末



図 4.3.57 遠隔操作ロボット（車いす型）に設置したアンテナ



図 4.3.58 遠隔操作ロボット（車いす型）に設置したカメラ

車両に設置した端末、アンテナ、カメラを次図に示す。

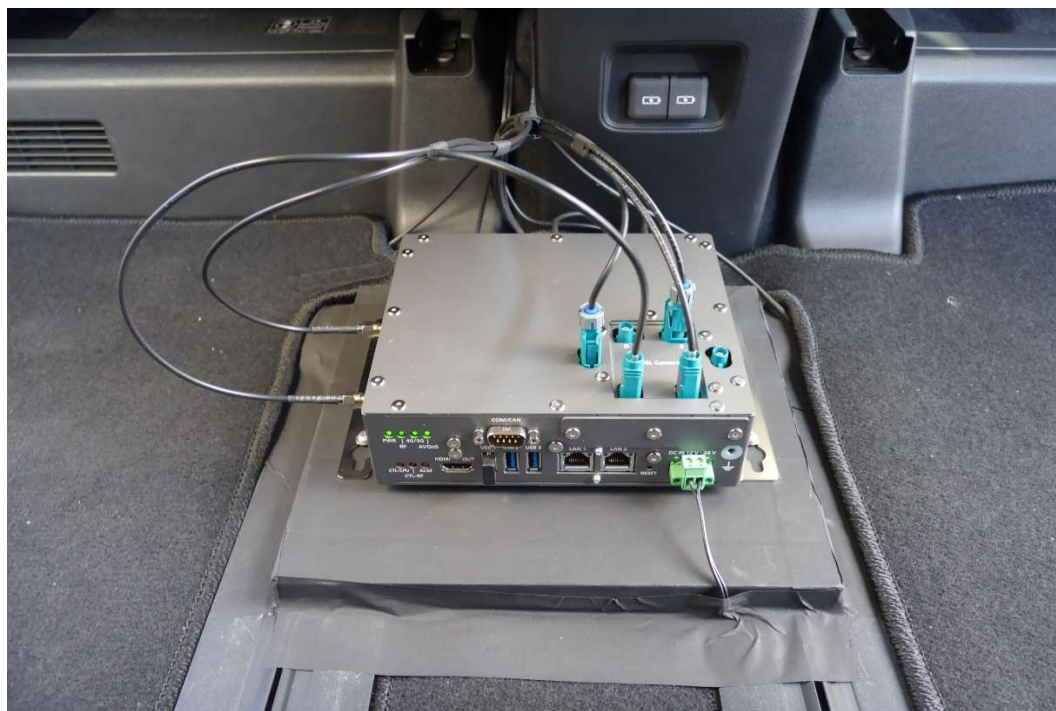


図 4.3.59 車両に設置した端末



図 4.3.60 車両に設置したアンテナ



図 4.3.61 車両に設置したカメラ

① 遠隔操作ロボットに端末を設置した低遅延映像伝送検証

遠隔操作ロボットに端末を設置した低遅延映像伝送検証の方法及び構成を次図に示す。

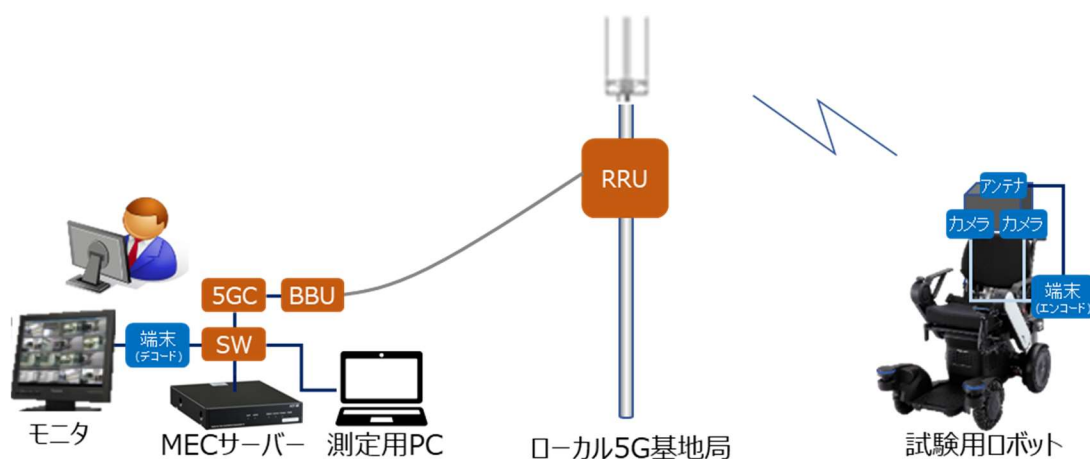


図 4.3.62 遠隔操作ロボットでの検証方法

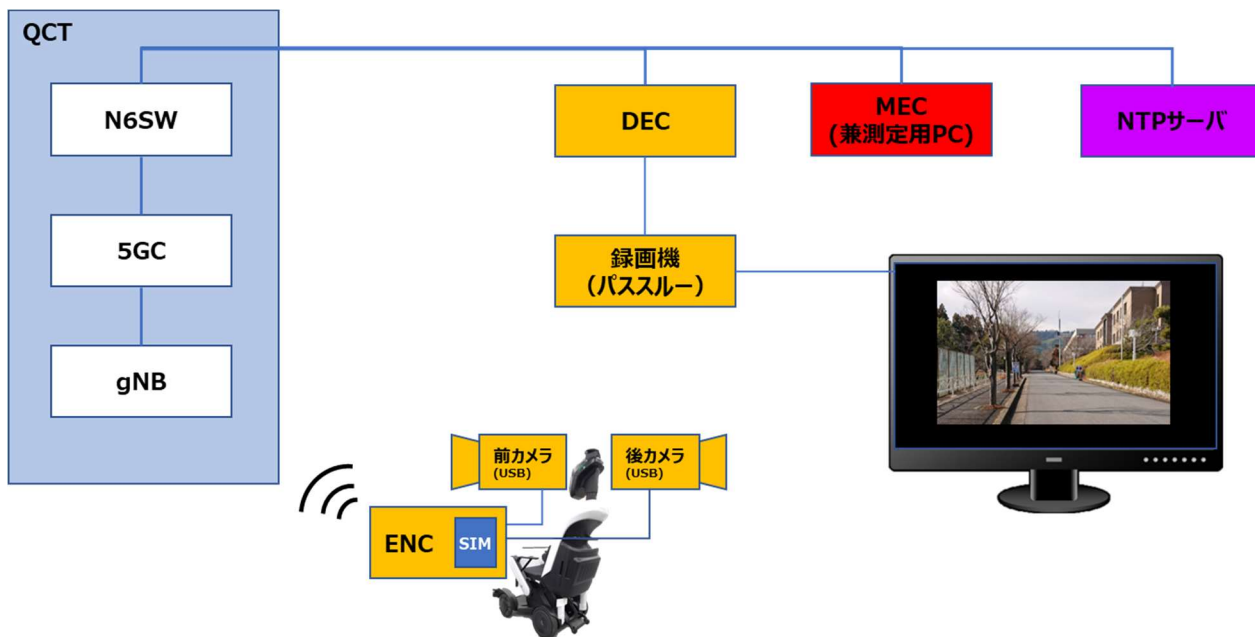


図 4.3.63 遠隔操作ロボットでの検証構成

センター側のスイッチには映像装置の状態管理用の MEC サーバ、測定用 PC、デコード用端末、時刻同期用の NTP サーバを接続した。

遠隔操作により移動する試験用ロボットの前後 2 台のカメラ映像を試作端末からセンターのデコード用端末に送信し、測定用 PC での測定及びモニタ映像の確認により、映像品質、映像の途切れが無い及び映像伝送遅延時間の検証を行った。

映像品質として、無線の可用帯域に対して実際に伝送できた映像帯域の値を送信側端末のログで確認した。また受信した伝送後映像に対して有識者の目視による確認を行い当該目的に資する映像品質であるかの主観評価を行った。

映像伝送遅延時間については、システム時刻同期を確立する NTP サーバをローカル 5 G システム内に立ち上げ、送信側端末、受信側端末のシステム時刻の同期を確立した上で、端末間で伝送する映像フレームのタイムスタンプ差分から確認した。

遠隔操作ロボットにて実施した低遅延映像伝送検証のパターンを次表に示す。

表 4.3.18 遠隔操作ロボットにて実施した低遅延映像伝送検証のパターン

ターゲットレート	AV-QoS 制御_ON	AV-QoS 制御_OFF	備考
20Mbps	走行速度 約 3km/h	走行速度 約 3km/h	デコーダは PC
12Mbps	走行速度 約 3km/h	走行速度 約 3km/h	デコーダは小型端末

今回の検証では、弊社独自技術の映像伝送制御 AV-QoS 制御を ON 設定、OFF 設定での差分評価と映像のターゲットレート設定に差分の評価を行った。また、遠隔操作ロボットによる走行速度は、約 3km/h にて評価を行った。

遠隔操作ロボットにて実施した低遅延映像伝送検証風景を次図に示す。



図 4.3.64 遠隔操作ロボットにて実施した低遅延映像伝送検証風景

② 車両に端末を設置した低遅延映像伝送検証

車両に端末を設置した低遅延映像伝送検証の方法及び構成を次図に示す。

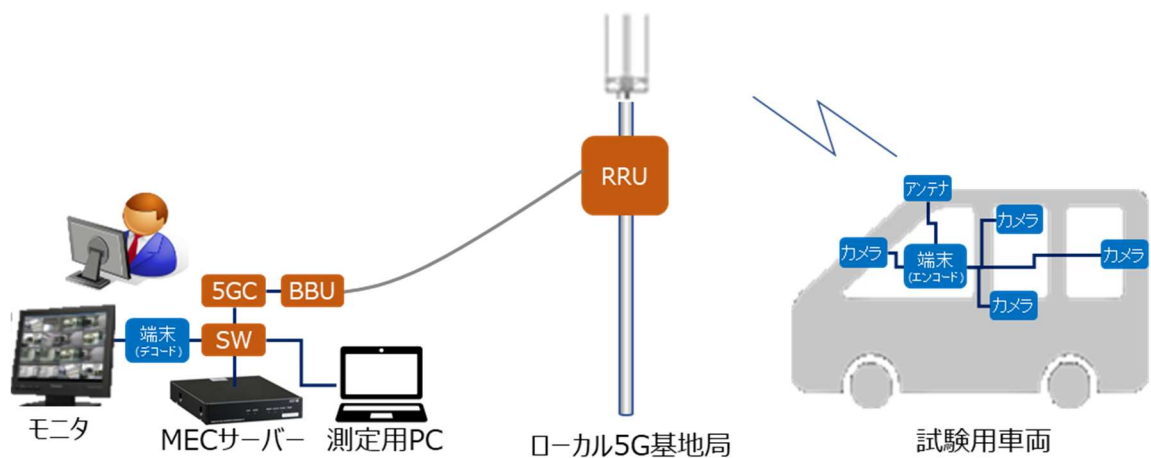


図 4.3.65 車両での検証方法

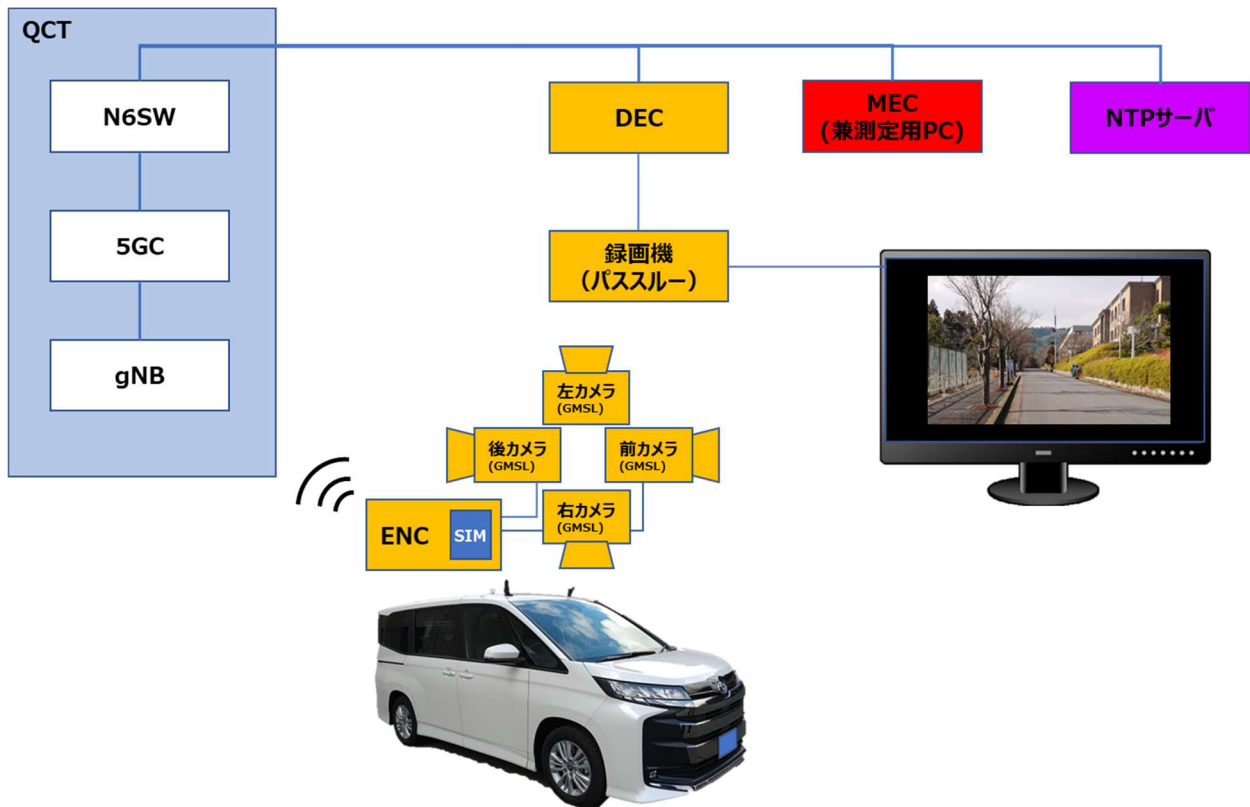


図 4.3.66 車両での検証構成

センター側のスイッチには映像装置の状態管理用の MEC サーバ、測定用 PC、デコード用端末、時刻同期用の NTP サーバを接続した。

試験用車両の前後左右 4 台のカメラ映像を試作端末からセンターのデコード用端末に送信し、測定用 PC での測定及びモニタ映像の確認により、映像品質、映像の途切れが無い及び映像伝送遅延時間の検証を行った。

映像品質として、無線の可用帯域に対して実際に伝送できた映像帯域の値を送信側端末のログで確認した。

映像伝送遅延時間については、システム時刻同期を確立する NTP サーバをローカル 5 G システム内に立ち上げ、送信側端末、受信側端末のシステム時刻の同期を確立した上で、端末間で伝送する映像フレームのタイムスタンプ差分から確認した。

車両にて実施した低遅延映像伝送検証のパターンを次表に示す。

表 4.3.19 車両にて実施した低遅延映像伝送検証のパターン

ターゲットレート	AV-QoS 制御	走行速度	備考
20Mbps	ON	5 km/h	入力映像：1080p30 カメラ×4 デコーダ：PC
		15 km/h	
	OFF	25 km/h	
		35 km/h	
12Mbps	ON	5 km/h	入力映像：1080p30 カメラ×4 デコーダ：小型端末
	OFF	35 km/h	

今回の検証では、1080p30 画質の GMSL カメラを 4 つ搭載した車両からの映像を伝送するため、20Mbps をターゲットレートとして調整した映像伝送評価を主軸に評価を行った。一方、今後ローカル 5G と公衆網を切り替える動作の検証を予定しており、公衆網の上り回線のスループットを想定して 12Mbps をターゲットレートとして調整した映像伝送評価も合わせて行っている。また、評価ポイントとして、弊社独自技術の映像伝送制御 AV-QoS 制御を ON 設定、OFF 設定での差分評価と、試験用車両の移動速度変化による影響を検証した。試験用車両の走行速度は、約 5km/h，15km/h，約 25km/h，約 35km/h と異なる移動速度における無線環境の変化やカメラ映像の変化に対する評価を行った。なお、ターゲットレートが 12Mbps の評価において、走行速度の展開を上端下端のみと絞った理由については結果分析の際に後述する。

車両にて実施した低遅延映像伝送検証風景を次図に示す。



図 4.3.67 車両にて実施した低遅延映像伝送検証風景

③ 遠隔操作ロボット・車両での映像伝送における映像途切れに関する検証

①②の実証における映像途切れについては、受信した伝送後映像を録画し目視により瞬断回数を確認した。確認者の主観によるばらつきを無くすため録画映像を複数人で確認して平均を取った。またエンコード端末・デコード端末で取得するログよりパケットロス等を確認し映像途切れの要因を確認した。

④ ローカル 5G からキャリア 5G への切替検証

ローカル 5G から公衆網への切替検証の方法及び構成を次図に示す。

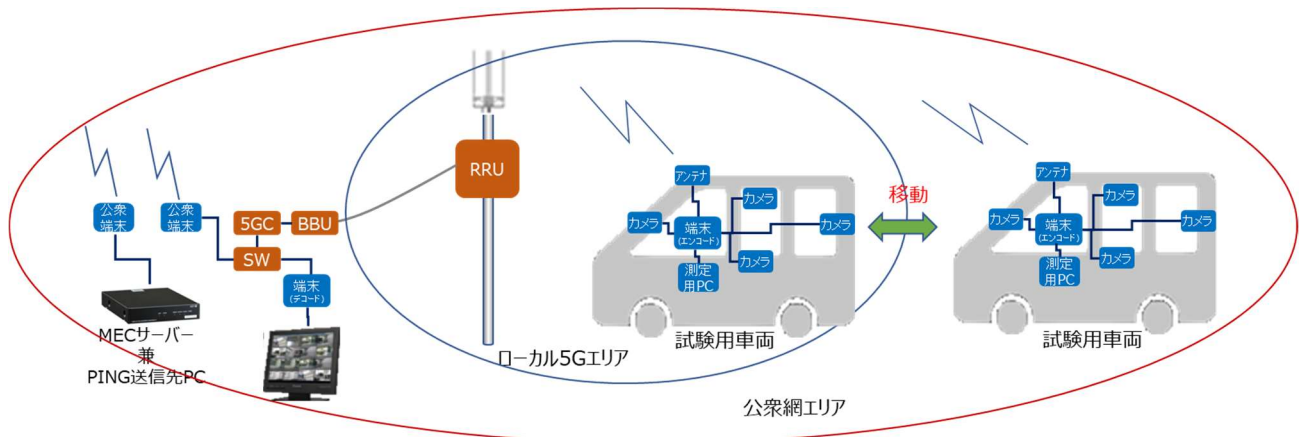


図 4.3.68 ローカル 5G から公衆網への切替検証の方法

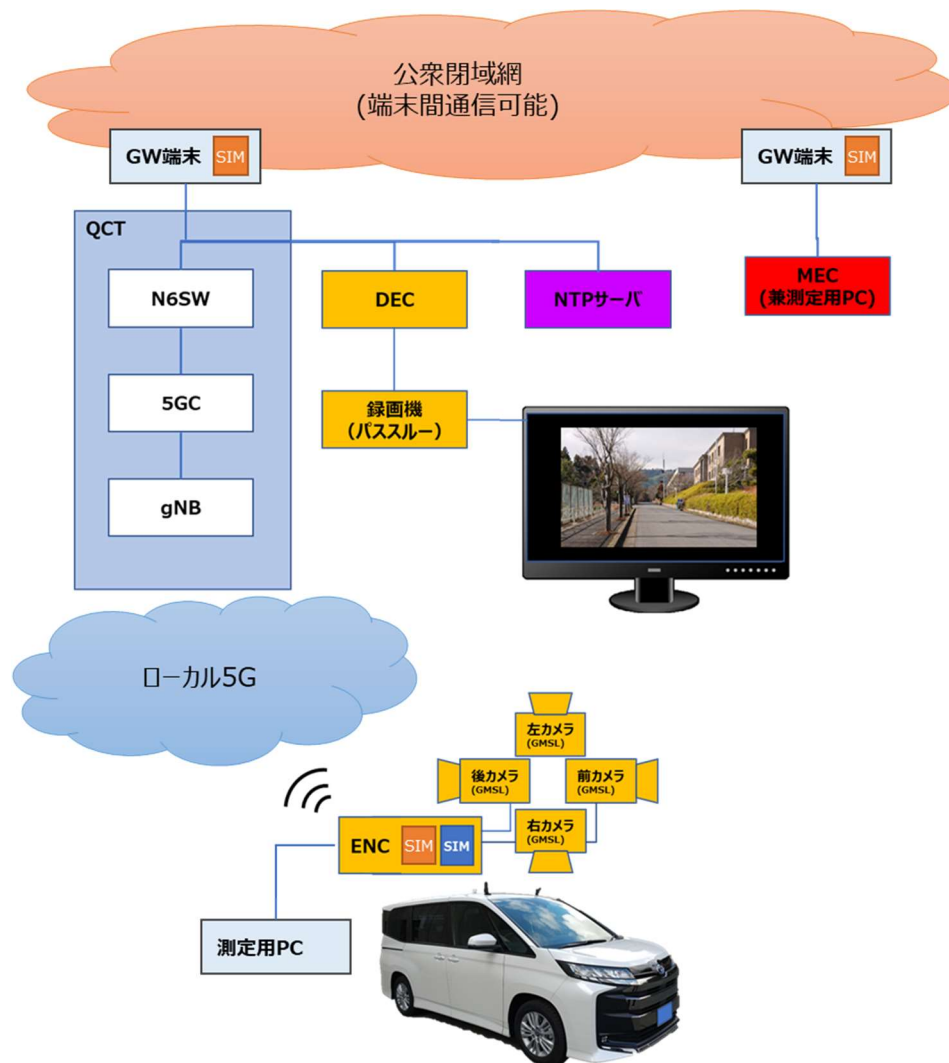


図 4.3.69 ローカル 5G から公衆網への切替検証構成

商用運用時には、ローカル 5G と公衆網の接続には光などの高速回線で公衆網の上位装置と直接接続することを想定し、MEC サーバは公衆網側のクラウドに設置することを想定しているが、本実証においては当該構成を模擬する構成として、公衆網としては端末間通信が可能な閉域サービス網を採用し、ローカル 5G ネットワークと公衆網との接続には公衆網の SIM を挿入したモバイルゲートウェイを使用した。また、Ping 送信先兼映像導通用の MEC サーバも別系のモバイルゲートウェイ経由で公衆網側に配置した。

ローカル 5G からキャリア網への切替契機としては接続中ローカル 5G の電波の強度がカバーエリア内と判断する RSRP 内であればローカル 5G と通信を維持し、ローカル 5G の電波の強度がカバーエリア外と判断する RSRP となった場合には公衆網に自動切替を行うこととした。本検証においては、RSRP=-120dBm とした。

キャリア網からローカル 5G への切替契機としては端末位置情報を監視しローカル 5G カバーエリア内に入ったことを判断する方法とした。本検証においては、基地局 1 のアンテナから 100m 以内とした。

検証方法としては、エンコード端末からデコード端末へ映像伝送を行っている状態で、エンコード端末がローカル 5G から公衆網、公衆網からローカル 5G に切り替わった際の映像遮断時間を検証した。同時にエンコード端末から Ping 送信先 PC へ疎通確認のための Ping を流し続け、ローカル 5G から公衆網に切り替わった際および公衆網からローカル 5G に切り替わった際の疎通遮断時間を検証した。

ローカル 5G から公衆網への切替検証のパターンを次表に示す。

表 4.3.20 ローカル 5G から公衆網への切替検証のパターン

大項目	中項目	備考
Ping 断時間	ローカル 5G→公衆網	Ping 間隔：1 秒
	公衆網→ローカル 5G	
映像断時間	ローカル 5G→公衆網	デコーダ：PC
	公衆網→ローカル 5G	映像：FHD30p カメラ数：4 AV-QoS：ON

ローカル 5G から公衆網への切替検証コースを次図に示す。本コースを時速約 15km の速度で走行した。



図 4.3.70 ローカル 5G から公衆網への切替検証コース

ローカル 5G から公衆網への切替検証を次図に示す。



図 4.3.71 ローカル 5G から公衆網への切替検証風景 1 (ローカル 5G 圏内)



図 4.3.72 ローカル 5G から公衆網への切替検証風景 2 (ローカル 5G の弱電界ポイント)



図 4.3.73 ローカル 5G から公衆網への切替検証風景 3 (公衆網へ切替後ポイント)

4) 検証結果及び考察

ア) ラボでの実証

当社内の試作評価環境・ラボ環境での検証結果・考察を以下に示す。

① 無線性能検証、無線接続性検証、無線スループット検証

無線性能検証結果を次表に示す。

- ✓ 無線送信特性（無線モジュール筐体組み込み時の送信電力）
OTA（Over the Air）測定システム*1による測定のTRP（全球面放射電力）を測定した結果を示す。
- ✓ 無線受信特性（無線モジュール筐体組み込み時の受信感度）
OTA（Over the Air）測定システム*1による測定のTIS（全球面放射受信感度）を測定した結果を示す。

表 4.3.21 OTAによるTRPおよびTIS測定結果

条件	RAT	Band	BW	Ch	Item	Target Spec [dBm]	デコーダ [dBm]	エンコーダ [dBm]	判定
Free Space	LTE	B19	10	M	TRP	17.5	20.8	20.1	○
					TIS	-91.5	-99.4	-94.7	○
		B3	10	M	TRP	18.5	22.6	22.7	○
					TIS	-95	-101.2	-97.5	○
		B1	10	M	TRP	18.5	22.4	22.3	○
					TIS	-93.75	-102.2	-98.3	○
	NR	n79	100	4.84997 [GHz]	TRP	15	19.5	19.0	○
					TIS	-81.5	-91.2	-92.1	○

OTA（Over the Air）測定システム*1による測定によりTRP（全球面放射電力）およびTIS（全球面放射受信感度）を測定し、Target Specを満足することが確認した。

今回の試作端末は、ローカル5Gの100MHz帯域以外に、公衆網との接続するため、主要バンドの工事設計認証取得している無線モジュールを採用している。電波法の工事設計認証及びキャリア Iot 認証取得していることから、比較的よく使用するバンドの一部を選定して機器に組込んだ際の無線性能を評価し、問題ないことを確認した。

エンコーダ一体型ルータ以外に、GMSL カメラインタフェースをのぞいたものを小型デコーダとして使用可能なため、両方の測定を行った。エンコーダの方がGMSL カメラインタフェースの影響があるものの、両方とも問題ないことを確認した。

*1 OTA (Over the Air) 測定システムは、無線機器の無線性能を正しく評価を行う際に、有線接続ではなく無線接続状態で無線性能を測定するシステムを示す。通常電波暗室を用いて TRP (Total Radiated Power)・・・全球面放射電力 ⇒ 送信特性の試験
TIS (Total Isotropic Sensitivity)・・・全球面放射受信感度 ⇒ 受信特性の試験
にて、送受両方の無線性能を評価する。

無線接続性検証結果を次表に示す。

表 4.3.22 無線接続性検証結果

TDDパターン	n77/n78		n77			n79	n79(ローカル5G)		
	3.6~3.7GHz	3.7~3.8GHz	3.8~3.9GHz	3.9~4.0GHz	4.0~4.1GHz	4.5~4.6GHz	4.6~4.7GHz	4.7~4.8GHz	4.8~4.9GHz
同期TDD	接続可	接続可	接続可	接続可	接続可	接続可	接続可	接続可	接続可
準同期TDD	—	—	—	—	—	—	接続可	接続可	接続可

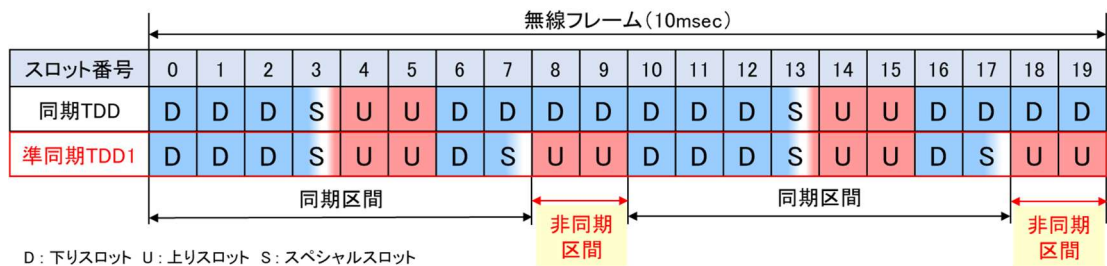


図 4.3.74 Sub6 帯ローカル5GのTDDパターン

Sub6 帯の各バンドについて、基地局シミュレータを用いて、同期 TDD パターン、及び準同期 TDD パターン 1 での接続性を検証した。

全てのバンドで同期 TDD パターンでの接続が、ローカル 5G バンドで、同期 TDD パターンに加え 準同期 TDD パターン 1 での接続が可能であることが確認できた。

同期 TDD パターンにおける DL スループットの測定結果を次表及び次図に示す。

表 4.3.23 基地局シミュレータでの同期 TDD における DL スループット測定結果

RSRP[dBm]	MAC Throughput [Mbps]	UDP Throughput		
		Min[Mbps]	Max[Mbps]	Ave[Mbps]
-80	1560	928	929	929
-81	1560	928	930	929
-82	1560	928	932	929
-83	1560	928	930	929
-84	1560	928	929	929
-85	1560	928	929	928
-86	1560	928	933	929
-87	1560	928	929	929
-88	1560	928	930	928
-89	1560	928	935	929
-90	1560	924	934	929
-91	1490	916	930	928
-92	1440	916	930	928
-93	1370	917	932	928
-94	1360	914	933	929
-95	1300	927	930	929
-96	1290	908	936	927
-97	1230	928	929	929
-98	1220	927	931	929
-99	1160	917	937	929
-100	1110	913	934	928
-101	1050	916	930	928
-102	993	926	934	929
-103	944	918	920	919
-104	874	850	854	851
-105	804	782	783	783
-106	755	735	736	735
-107	686	667	668	668
-108	626	609	610	610
-109	566	551	552	552
-110	532	517	518	517
-111	526	507	512	510
-112	448	436	437	437
-113	401	390	391	391
-114	400	389	390	389
-115	307	299	299	299
-116	242	236	236	236
-117	242	235	236	236
-118	241	233	235	234
-119	183	178	178	178
-120	124	121	121	121
-121	124	121	121	121
-122	78.3	76.2	76.2	76.2
-123	48.7	47.3	47.3	47.3
-124	48.7	47.3	47.3	47.3
-125	31	23.7	25.6	24.2
-126	24.4	23.6	24.7	23.6
-127	23.4	23.1	23.3	23.2
-128	圏外			
-129				
-130				

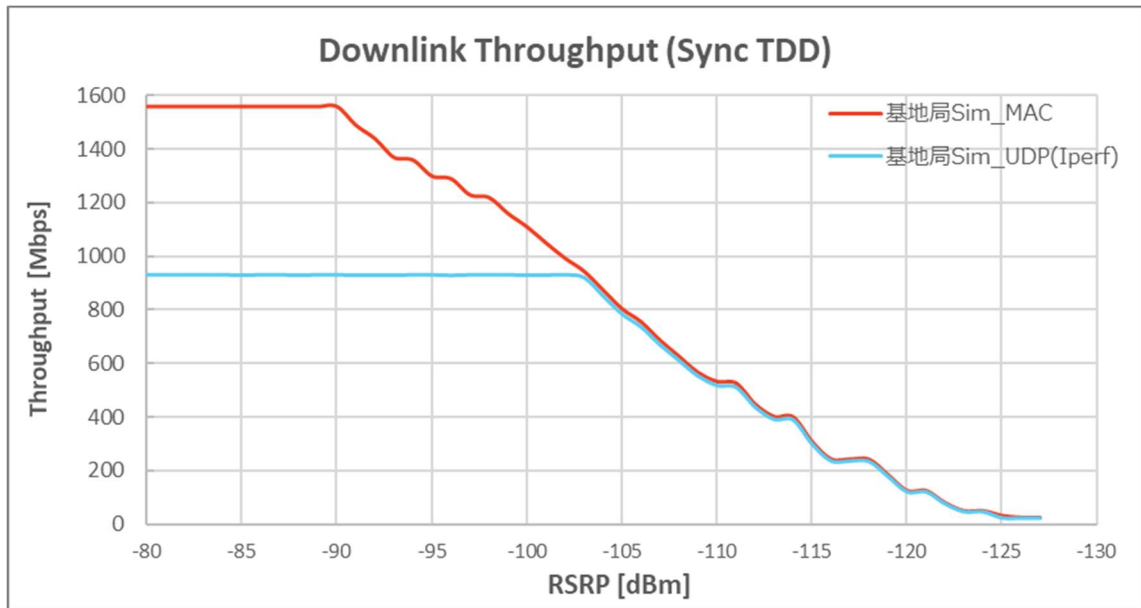


図 4.3.75 基地局シミュレータでの同期 TDD における DL スループット (平均) 測定結果

基地局シミュレータとの有線接続において、同期 TDD パターンにおける UDP の DL スループットの平均値は、RSRP -102dBm 以上では約 930Mbps、RSRP -110dBm にて 517Mbps、RSRP -120dBm にて 121Mbps という結果であった。

RSRP -103dBm 以上のとき UDP スループットが MAC スループットより低く、約 930Mbps で頭打ちとなっているのは、端末の LAN 側インタフェースとして 1000Base-T イーサネットを使用しているためであり、RSRP -102dBm 以下の UDP スループットは、MAC スループットに準じた値となっている。

なお、基地局シミュレータで、MIMO を 4 レイヤ、また、MCS を各 RSRP 値において、MAC ブロック誤り率が数%内に収まる値に固定設定して測定を実施したため、スループットの変化が非連続的になりグラフが階段状となっている。

同期 TDD パターンにおける UL スループットの測定結果を次表及び次図に示す。

表 4.3.24 基地局シミュレータでの同期 TDD における UL スループット測定結果

RSRP[dBm]	MAC Throughput [Mbps]	UDP Throughput		
		Min[Mbps]	Max[Mbps]	Ave[Mbps]
-80	270	254	263	261
-81	270	256	263	262
-82	270	258	263	261
-83	270	258	263	262
-84	270	249	263	261
-85	270	258	263	261
-86	270	254	263	261
-87	270	254	263	261
-88	270	244	263	260
-89	270	253	263	261
-90	270	254	263	261
-91	270	253	263	260
-92	270	237	263	257
-93	269	222	263	254
-94	256	234	250	245
-95	256	216	250	239
-96	245	210	230	224
-97	245	200	243	221
-98	222	211	216	216
-99	220	212	215	214
-100	211	195	206	205
-101	186	165	183	178
-102	183	170	179	178
-103	183	173	179	178
-104	183	174	179	178
-105	183	174	179	177
-106	178	151	179	168
-107	173	168	169	168
-108	173	169	169	168
-109	173	164	169	168
-110	173	162	170	168
-111	141	135	138	138
-112	107	101	106	105
-113	91.9	89.2	89.7	89.4
-114	91.9	89.2	89.7	89.4
-115	91.9	89.2	89.7	89.4
-116	91.8	88.9	89.7	89.4
-117	91.8	89.1	89.6	89.4
-118	91.3	86.6	91.7	88.7
-119	69	66.2	67.5	67.1
-120	60.1	57.6	59.1	58.4
-121	42.5	41.2	41.4	41.3
-122	42.5	41.3	41.3	41.3
-123	42.5	41.2	41.4	41.3
-124	42.4	41.2	41.5	41.3
-125	21.6	20.2	21.1	20.9
-126	13.6	12.6	13.3	13.2
-127	2.18	1.51	2	1.7
-128	圏外			
-129				
-130				

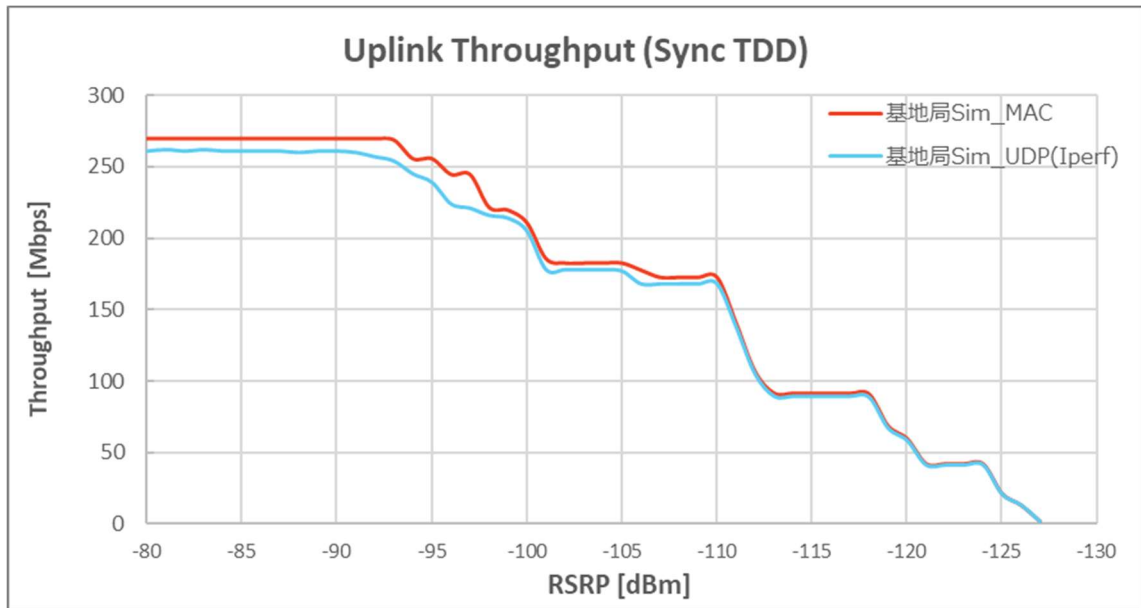


図 4.3.76 基地局シミュレータでの同期 TDD における UL スループット(平均)測定結果

基地局シミュレータとの有線接続において、同期 TDD パターンにおける UDP の UL スループットの平均値は、RSRP -91dBm 以上では約 260Mbps、RSRP -100dBm にて 205Mbps、RSRP -110dBm にて 168Mbps、RSRP -120dBm にて 58.4Mbps という結果であり、フィールドでの目標としている RSRP -110dBm 以内のエリアで 30Mbps 以上に対して十分に余裕のあるスループットが確保できている。

また、UDP スループットは、MAC スループットに準じた値となっている。

なお、基地局シミュレータで、MIMO を 2 レイヤ、また、MCS を各 RSRP 値において、MAC ブロック誤り率が数%内に収まる値に固定設定して測定を実施したため、スループットの変化が非連続的となりグラフが階段状となっている。

準同期 TDD パターン 1 における DL スループットの測定結果を次表及び次図に示す。

表 4.3.25 基地局シミュレータでの準同期 TDD1 における DL スループット測定結果

RSRP[dBm]	MAC Throughput [Mbps]	UDP Throughput		
		Min[Mbps]	Max[Mbps]	Ave[Mbps]
-80	1040	933	937	934
-81	1040	922	939	932
-82	1040	914	942	931
-83	1040	904	937	933
-84	1040	921	939	935
-85	1040	922	942	938
-86	1040	923	931	931
-87	1040	923	936	933
-88	1040	926	940	934
-89	1040	926	939	935
-90	1040	926	940	934
-91	1000	920	951	933
-92	996	926	938	934
-93	956	914	941	933
-94	919	882	899	896
-95	873	842	851	850
-96	826	801	805	805
-97	779	758	759	758
-98	777	755	758	756
-99	746	723	729	726
-100	701	675	680	678
-101	670	652	653	652
-102	668	647	650	648
-103	651	618	619	619
-104	588	572	573	572
-105	543	528	529	528
-106	507	493	494	493
-107	462	450	450	450
-108	422	411	412	411
-109	381	367	372	371
-110	359	349	350	349
-111	348	337	339	338
-112	322	304	314	312
-113	270	259	264	262
-114	264	250	258	255
-115	231	219	224	223
-116	199	193	195	194
-117	163	159	159	159
-118	160	153	153	153
-119	123	120	120	120
-120	118	115	116	115
-121	83.7	81.4	81.4	81.4
-122	80.5	78.3	78.7	78.4
-123	52.8	51.3	51.4	51.3
-124	32.8	31.9	31.9	31.9
-125	32.6	31.9	31.9	31.9
-126	16.3	15.9	15.9	15.9
-127	15.9	15.2	15.6	15.5
-128	圏外			
-129				
-130				

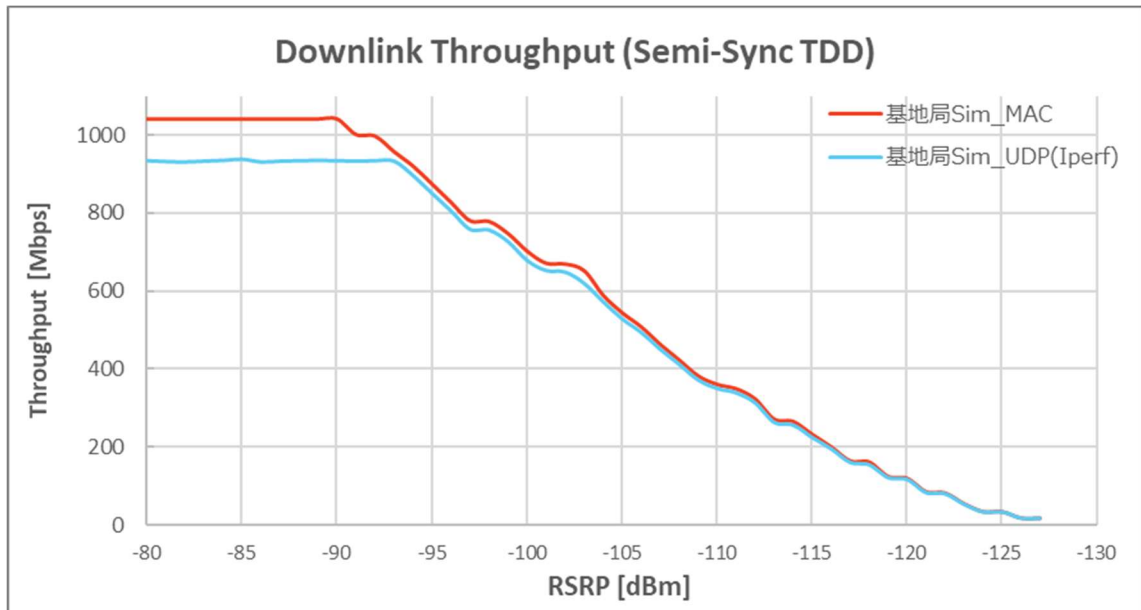


図 4.3.77 基地局シミュレータでの準同期 TDD1 における DL スループット(平均)測定結果

基地局シミュレータとの有線接続において、準同期 TDD パターン 1 における UDP の DL スループットの平均値は、RSRP -93dBm 以上では約 930Mbps、RSRP -100dBm にて 678Mbps、RSRP -110dBm にて 349Mbps、RSRP -120dBm にて 115Mbps という結果であった。

RSRP -92dBm 以上のとき UDP スループットが MAC スループットより低く、約 930Mbps で頭打ちとなっているのは、端末の LAN 側インタフェースとして 1000Base-T イーサネットを使用しているためであり、RSRP -93dBm 以下の UDP スループットは、MAC スループットに準じた値となっている。

なお、基地局シミュレータで、MIMO を 4 レイヤ、また、MCS を各 RSRP 値において、MAC ブロック誤り率が数%内に収まる値に固定設定して測定を実施したため、スループットの変化が非連続的となりグラフが階段状となっている。

準同期 TDD パターン 1 における UL スループットの測定結果を次表及び次図に示す。

表 4.3.26 基地局シミュレータでの準同期 TDD1 における UL スループット測定結果

RSRP[dBm]	MAC Throughput [Mbps]	UDP Throughput		
		Min[Mbps]	Max[Mbps]	Ave[Mbps]
-80	525	500	512	506
-81	525	494	512	505
-82	525	476	512	506
-83	524	490	512	501
-84	524	488	512	507
-85	524	485	511	504
-86	524	491	512	508
-87	524	494	512	507
-88	524	475	512	506
-89	524	485	512	505
-90	524	478	512	503
-91	524	497	512	506
-92	524	496	512	506
-93	522	491	510	504
-94	518	464	505	493
-95	494	388	486	439
-96	431	419	421	420
-97	431	418	421	418
-98	428	399	419	415
-99	410	383	401	394
-100	371	358	362	360
-101	356	326	348	345
-102	356	317	348	341
-103	356	316	348	340
-104	356	313	348	339
-105	356	315	350	335
-106	337	328	328	328
-107	337	328	328	328
-108	337	327	328	328
-109	337	317	328	327
-110	336	301	328	322
-111	275	244	269	263
-112	211	195	207	201
-113	179	174	174	174
-114	179	174	174	174
-115	179	174	174	174
-116	179	174	174	174
-117	179	173	174	174
-118	178	167	174	172
-119	134	128	131	131
-120	116	103	113	109
-121	82.6	80.3	80.5	80.4
-122	82.6	80.3	80.5	80.4
-123	82.6	80.3	80.5	80.4
-124	82.6	80.3	80.5	80.4
-125	82.6	80.1	80.4	80.3
-126	26.5	25.4	25.8	25.7
-127	4.31	2.87	3.46	3.1
-128	圏外			
-129				
-130				

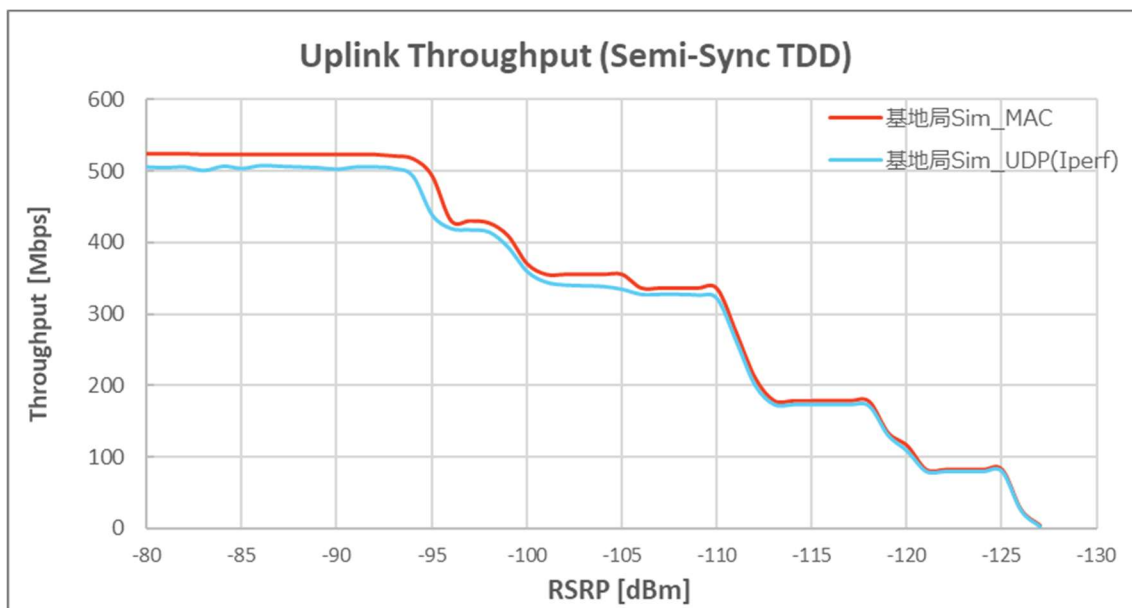


図 4.3.78 基地局シミュレータでの準同期 TDD1 における UL スループット(平均)測定結果

基地局シミュレータとの有線接続において、準同期 TDD パターン 1 における UDP の UL スループットの平均値は、RSRP -93dBm 以上では約 500Mbps、RSRP -100dBm にて 360Mbps、RSRP -110dBm にて 322Mbps、RSRP -120dBm にて 109Mbps という結果であり、フィールドでの目標としている RSRP -110dBm 以内のエリアで 30Mbps 以上に対して十分に余裕のあるスループットが確保できている。

また、UDP スループットは、MAC スループットに準じた値となっている。

なお、基地局シミュレータで、MIMO を 2 レイヤ、また、MCS を各 RSRP 値において、MAC ブロック誤り率が数%内に収まる値に固定設定して測定を実施したため、スループットの変化が非連続的となりグラフが階段状となっている。

② サイズ、質量の検証

サイズ、質量の検証結果を次表に示す。

表 4.3.27 サイズ、質量の検証結果

	目標仕様	実証結果	合否
サイズ	190 (W) x150 (D) x67 (H) mm 以下 突起物除く	180 (W) x150 (D) x50 (H) mm 以下 突起物除く	合格
質量	2000g 以下	1600g 以下	合格

設計を進める中で熱シミュレーションにより放熱構造の最適化と信頼性、操作性、組立性を考慮した上で、電気部品の選定、基板の 3 次元的なレイアウトにより無駄を排除し、且つセンターフレーム構造の採用で剛性を保持し、部品間クリアランスの極小化により小型・質量低減を実現した。

③ 放熱特性の検証

●温度上昇試験（熱シミュレーション及び放熱設計確認）

試作に際し、熱シミュレーションを実施。次図に結果（25℃環境）を示す。

・初期熱シミュレーション

下記条件で、初期モデルでの熱シミュレーションを実施した結果を次表に示す。（温度範囲上限50℃環境）判定は主要モジュール（無線モジュール、GPUモジュール）が各機能制限温度以下であるかで行った。

※機能制限温度：主要モジュール2点にはそれぞれ、温度上昇に対し規定温度に達すると機能に制限を掛け、上昇を抑制する機能

表 4.3.28 熱シミュレーション条件

発熱体	判定温度(機能制限温度)
無線モジュール	84℃
GPUモジュール	90.5℃

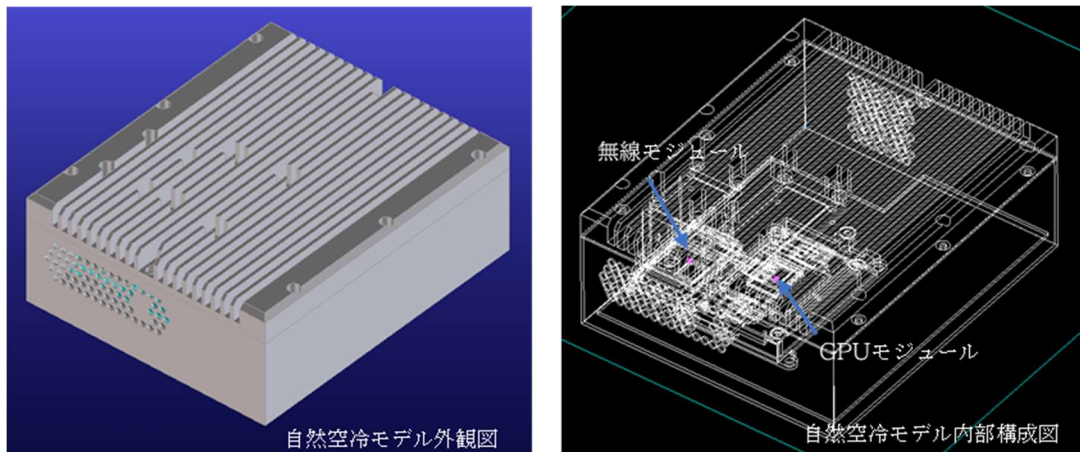


図 4.3.79 熱シミュレーションモデル

表 4.3.29 熱シミュレーション結果（自然空冷）

発熱体	判定温度(機能制限温度)	解析値(25℃環境)	50℃換算値	結果
無線モジュール	84℃	56.9℃	81.9℃	○
GPUモジュール	90.5℃	67.9℃	92.9℃	×

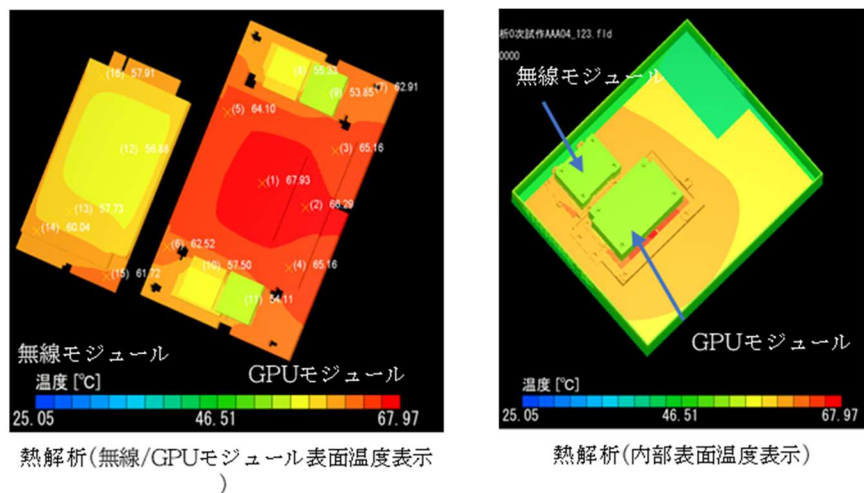


図 4.3.80 熱シミュレーション結果（自然空冷）

上記結果より、本装置の仕様である温度範囲上限 50°C 環境において、GPU モジュールの発熱が判定温度を超える結果となった。これは機能制限（CPU クロック制限）がかかる温度である。よって、自然空冷での実現は困難と判断し強制空冷での検討を進めた。

・強制空冷での熱シミュレーション

下記条件で、強制空冷での熱シミュレーションを実施した結果を下表に示す
シミュレーションに用いる FAN の風量の条件と熱シミュレーションのモデルを以下に示す。

表 4.3.30 熱シミュレーション条件

採用するモジュール、発熱量は変更なし

FAN	サイズ	風量
軸流 FAN	40 x 40 x 28	0.218 m ³ /min

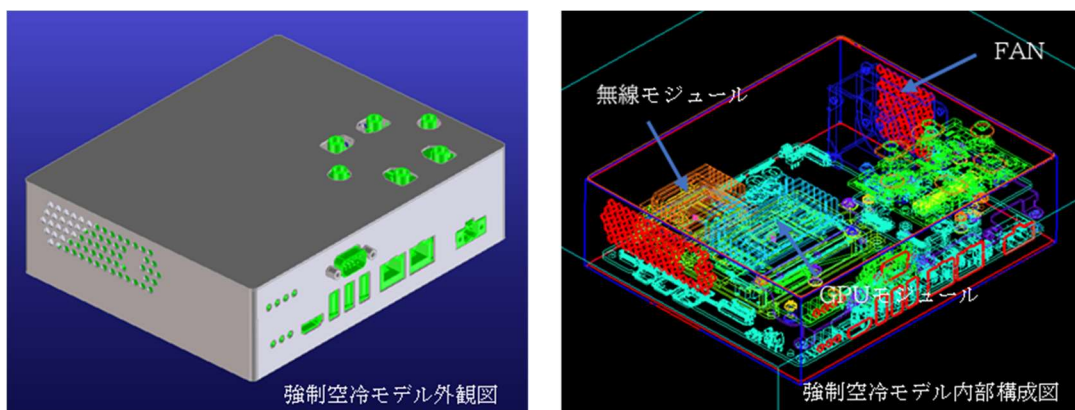
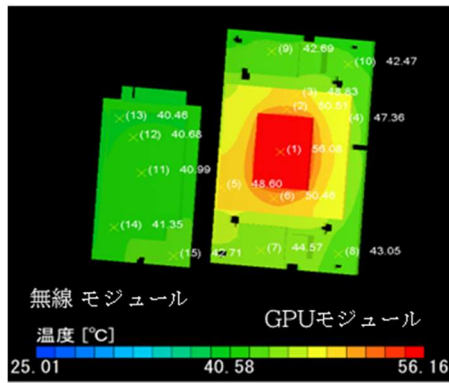


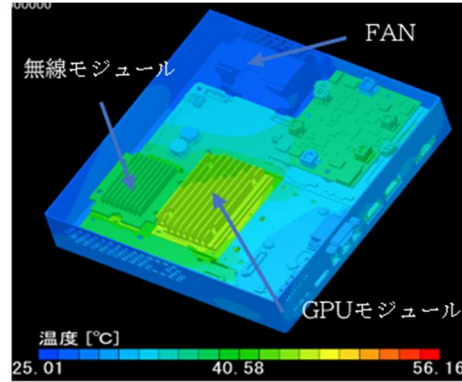
図 4.3.81 熱シミュレーションモデル

表 4.3.31 熱シミュレーション結果

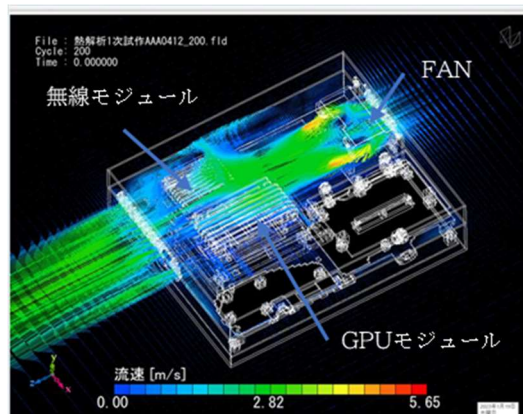
発熱体	判定温度(機能制限温度)	解析値(25℃環境)	50℃換算値	結果
無線モジュール	84℃	41℃	66℃	○
GPU モジュール	90.5℃	56.1℃	81.1℃	○



熱解析(無線/GPUモジュール表面温度表示)



熱解析(内部表面温度表示)



熱解析(流速表示)

図 4.3.82 熱シミュレーション結果

上記結果より、本装置の仕様である温度範囲上限 50℃環境において、無線モジュールと GPU モジュールが判定温度を満足し、50℃環境での動作保証温度仕様を満足することを確認した。続いて試作機による温度上昇試験（実測）を実施した。

・ 試作機での検証

温度上昇試験の結果を次表に示す。(試験時、周囲温度の最大 30.4℃)

表 4.3.32 温度上昇試験結果

発熱体	判定温度(機能制限温度)	実測値(30.4℃環境)	50℃換算値	合否
無線モジュール	84℃	49℃	68.6℃	合格
GPU モジュール	90.5℃	62.5℃	82.1℃	合格

上記結果より、本装置の仕様である温度範囲上限 50℃環境において、無線モジュールと GPU モジュールが判定温度を満たすと共に、温度マージンを確保し、動作保証温度仕様を満足することを確認した。

●高温動作・低温動作試験（動作温度の確認）

高温動作・低温動作試験（動作温度の確認）結果を次表に示す。

表 4.3.33 高温動作・低温動作試験結果

試験項目	試験条件	合否	備考
高温動作	55℃	合格	—
低温動作	-15℃	合格	—

試験中～試験終了後の故障がなく、各機能が正常な動作を継続することおよび動作温度を確認した。

●高温放置・低温放置試験（保存温度の確認）

高温放置・低温放置試験（保存温度の確認）結果を次表に示す。

表 4.3.34 高温放置・低温放置試験結果

試験項目	試験条件	合否	備考
高温放置	65℃	合格	—
低温放置	-25℃	合格	—

試験中～試験終了後の故障がなく、各機能が正常な動作を継続すること及び保存温度を確認できた。

●高温高湿動作試験高温高湿動作試験結果を次表に示す。

表 4.3.35 高温高湿動作試験結果

試験項目	試験条件	合否	備考
高温高湿度動作	55℃ 93%RH	合格	—

試験中～試験終了後の故障がなく、各機能が正常な動作を継続すること及び高温高湿環境における動作を確認できた。

●温度サイクル動作試験

温度サイクル動作試験結果を次表に示す。

表 4.3.36 温度サイクル動作試験結果

試験項目	試験条件	合否	備考
温度サイクル試験	55 °C /-15°C	合格	—

試験中～試験終了後の故障がなく、各機能が正常な動作を継続すること及び温度変化に対する信頼性を確認した。

④ 振動試験 (JIS C 60068-2-6 準拠)

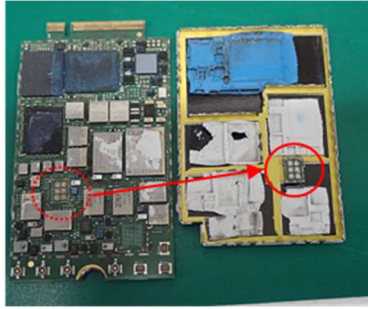
・簡易モデルでの事前検証

簡易モデルの振動試験 (JIS C 60068-2-6 準拠) 結果を次表に示す。

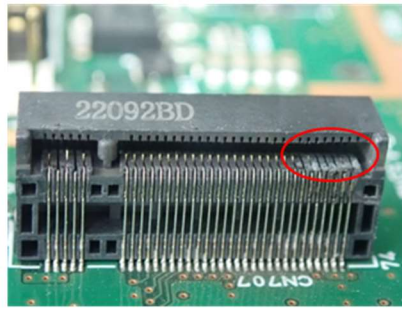
表 4.3.37 簡易モデルでの振動試験 (JIS C 60068-2-6 準拠) 結果

試験項目	試験条件	合否	備考
振動試験	JIS C 60068-2-6	不合格	加速度 4G

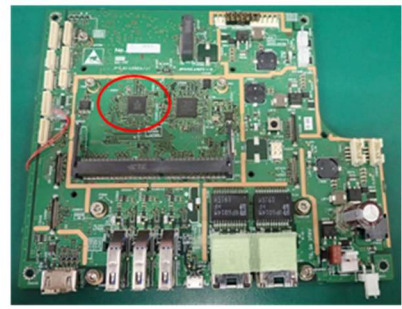
	結果	不具合内容
性能	無線モジュール通信断	実装部品剥離 (無線モジュール側) 接点部破損 (コネクタ側)
	USB 接続したマウス、キーボード動作せず	USB-HUB IC 故障
	PCIe-LAN 認識せず	PCIe Bridge または PCIe LAN 故障
構造	アルミ電解コンデンサ破損	プリント基板接続部剥離
	FAN ケーブル断線	ケーブル断線
	HDMI コネクタ、RJ45 コネクタ破損	コネクタハウジング金属部破断



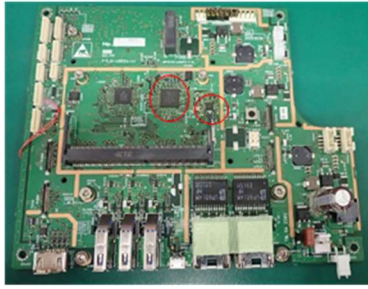
実装部品剥離



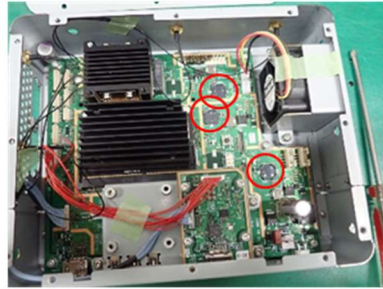
接点部破損



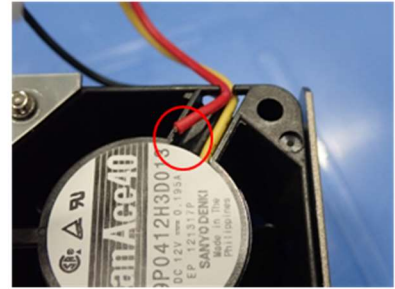
USB-HUB IC故障



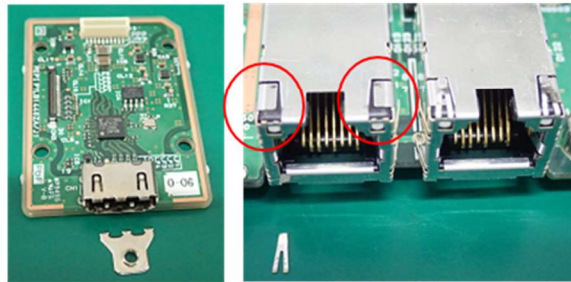
PCIe BridgeまたはPCIe LAN故障



プリント基板接続部剥離



ケーブル破断



コネクタハウジング金属部破断

図 4.3.83 簡易モデルでの振動試験（JIS C 60068-2-6 準拠）結果

上記結果より、簡易モデルでは、本装置の仕様である耐振動性能 JIS C 60068-2-6 を満足できない結果となった。結果に対し、脆弱部への補強や部品固定箇所の見直し等、以下の耐振動対策を施した試作機の検討を進めた。

(ア) 無線モジュール通信断

- ・無線モジュール下部に台座を設け、無線モジュール全体を支持
- ・無線モジュールの放熱器の固定方法を見直し、無線モジュールへの負荷を低減
- ・プリント基板の固定方法を見直し、プリント基板の剛性を増加

(イ) USB 接続マウス、キーボード動作せず

- ・プリント基板の固定方法を見直し、プリント基板の剛性を増加させ IC への負荷を低減

(ウ) PCIe-LAN 認識せず

- ・プリント基板の固定方法を見直し、プリント基板の剛性を増加させ IC への負荷を低減

(エ) アルミ電解コンデンサ破損

- ・電解コンデンサと基板をシリコン接着剤で固定

(オ) FAN ケーブル断線

- ・ケーブルをテープ固定

(カ) HDMI コネクタ、RJ45 コネクタ破損

- ・プリント基板の固定方法を見直し、プリント基板の剛性を増加させコネクタへの負荷を低減

・試作機での検証

試験条件は変更なし

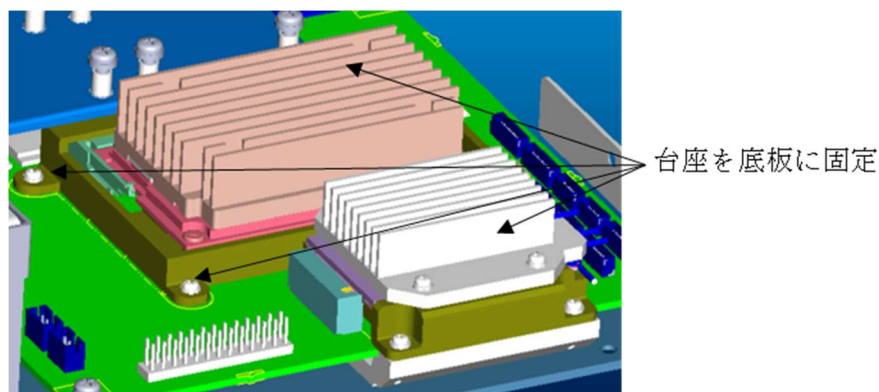


図 4.3.84 対策構造図

対策後の振動試験（JIS C 60068-2-6 準拠）結果を次表に示す。

表 4.3.38 振動試験 (JIS C 60068-2-6 準拠) 結果

試験項目	試験条件	可否	備考
振動試験	JIS C 60068-2-6	合格	加速度 4G

	項目	結果	
性能	HDMI	モニタへの出力確認	異常なし
	USB1	キーボード or マウスで動作確認	異常なし
	USB2	キーボード or マウスで動作確認	異常なし
	USB3	キーボード or マウスで動作確認	異常なし
	LAN1	PC と接続し Ping 確認	異常なし
	LAN2	PC と接続し Ping 確認	異常なし
	電源	電源接続し起動確認	異常なし
	COM/CAN	接続コマンドで確認	異常なし
	microUSB	PC と接続し稼働確認	異常なし
	SIM1	実網接続確認	異常なし
	SIM2	実網接続確認	異常なし
	アンテナ	実網接続確認	異常なし
	microSD	挿入し稼働確認	異常なし
	GMSL カメラ A	カメラ接続し起動確認	異常なし
	GMSL カメラ B	カメラ接続し起動確認	異常なし
	GMSL カメラ D	カメラ接続し起動確認	異常なし
	GMSL カメラ E	カメラ接続し起動確認	異常なし
	FAN	装置起動後の動作確認	異常なし
	LED	点灯確認	異常なし
	無線性能	基地局シミュレータで確認	異常なし
構造	分解確認		異常なし
	ねじ緩み		異常なし
	簡易モデルでの不具合箇所確認		異常なし

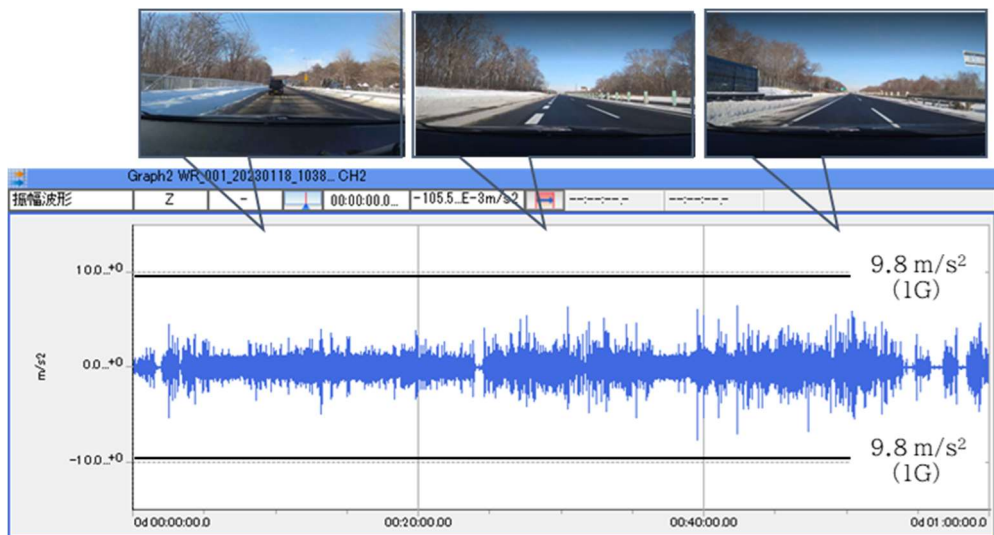
上記結果より、本装置の仕様である耐振動性能 JIS C 60068-2-6 を満足することを確認した。

また移動ロボットは悪路の走行も想定されるため、振動試験の補足測定として、車両に振動計を設置し、雪道及び舗装されていない土地での走行を行い、振動測定を実施した結果を次表に示す。各画像は走行開始からの時系列に並べており、車両の進行方向の路面状態を示す。なお、測定時の平均走行速度は、高速道路 80 km/h、一般道 50 km/h で実施した。

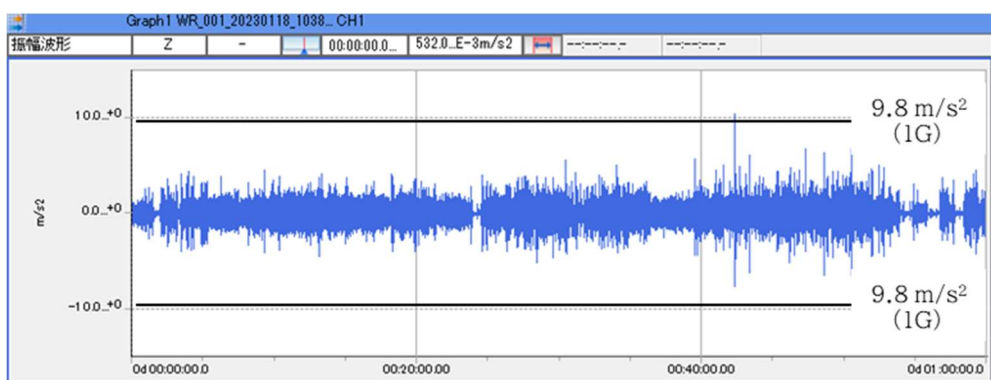
表 4.3.39 雪道の走行での振動測定結果

	X 方向	Y 方向	Z 方向
最大加速度	1.10G	1.06G	1.16G

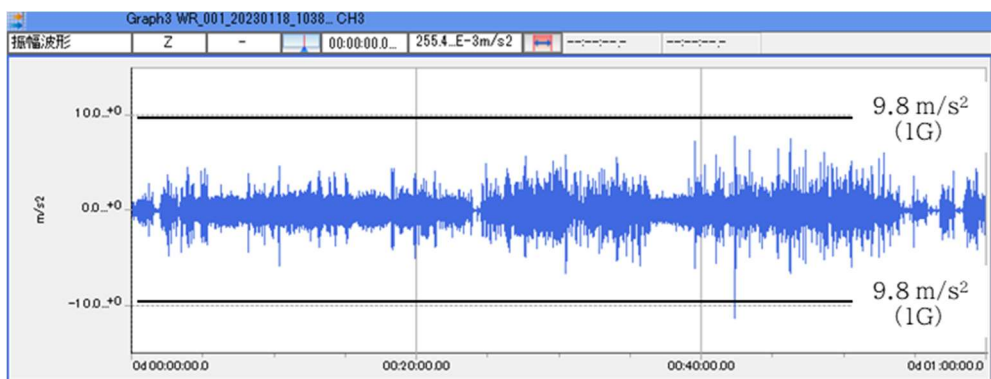
- (1) 測定地：新千歳空港～高速道路経由～岩見沢市街地
 [除雪された高速道路、少し雪が残る幹線道路]
 測定時間：60min. (波形が小さい箇所は停止状態)



X 方向 (車の進行方向を正面とした時) の振動測定結果



Y 方向 (車の進行方向を正面とした時) の振動測定結果



Z 方向 (車の進行方向を正面とした時) の振動測定結果

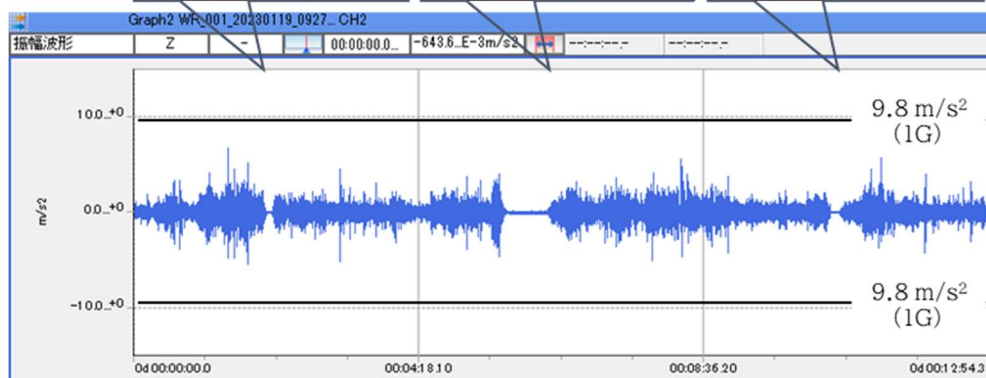
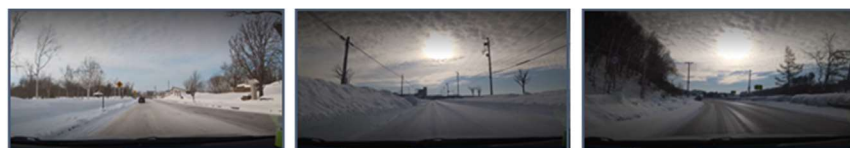
除雪された高速道路から少し雪が残る幹線道路の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

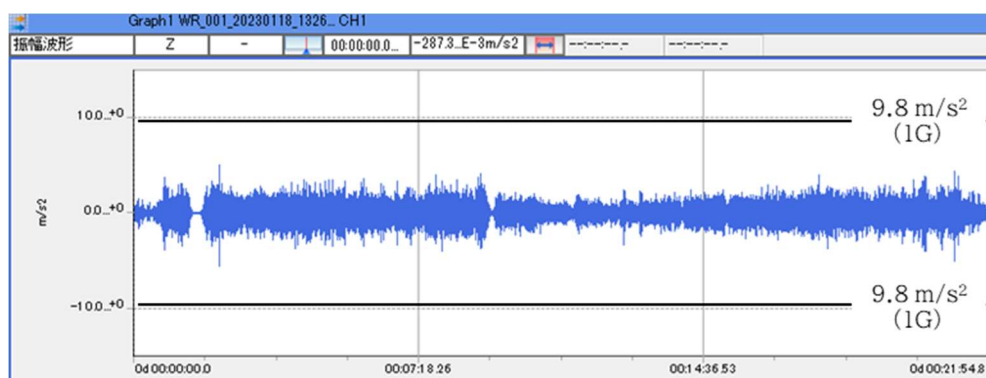
(2) 測定地：岩見沢市北村支所～岩見沢市月形方面～岩見沢市北村支所

[新雪の積もった幹線道路、新雪の積もった一般道]

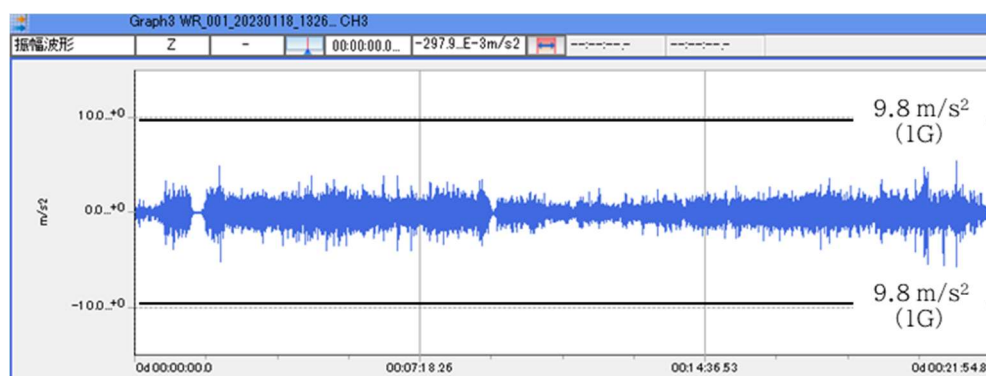
測定時間：22min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

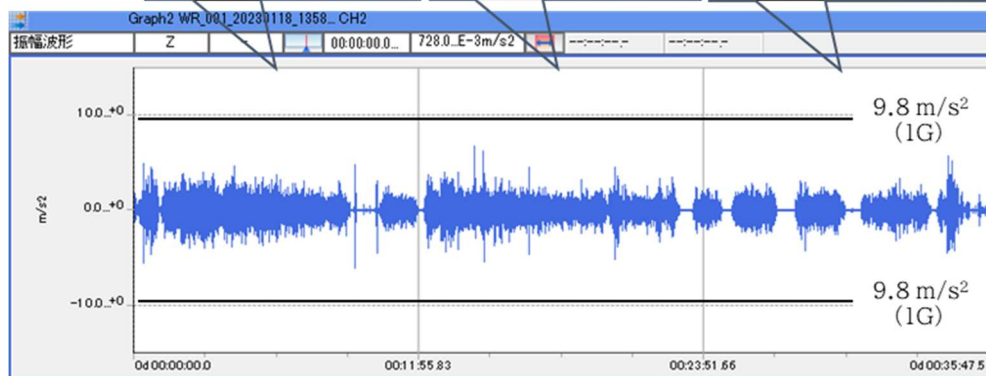
新雪の積もった幹線道路から新雪の積もった一般道の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

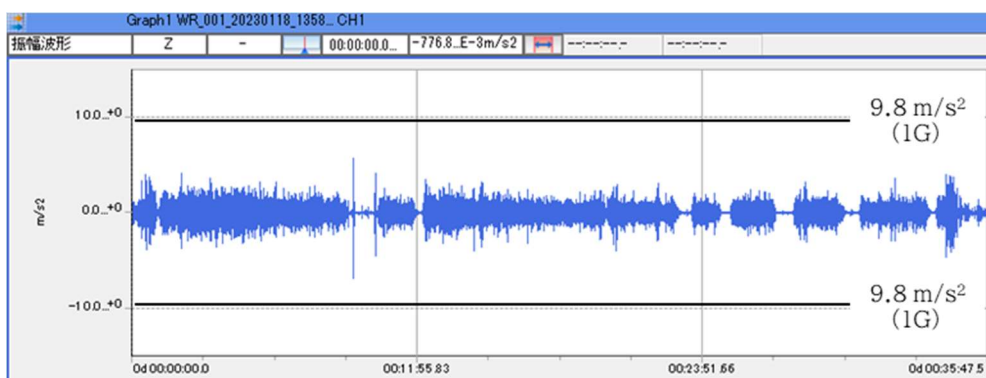
(3) 測定地：岩見沢市北村支所～美唄～国道12号～岩見沢市役所

[新雪の積もった幹線道路、新雪の積もった一般道、少し雪が残る幹線道路]

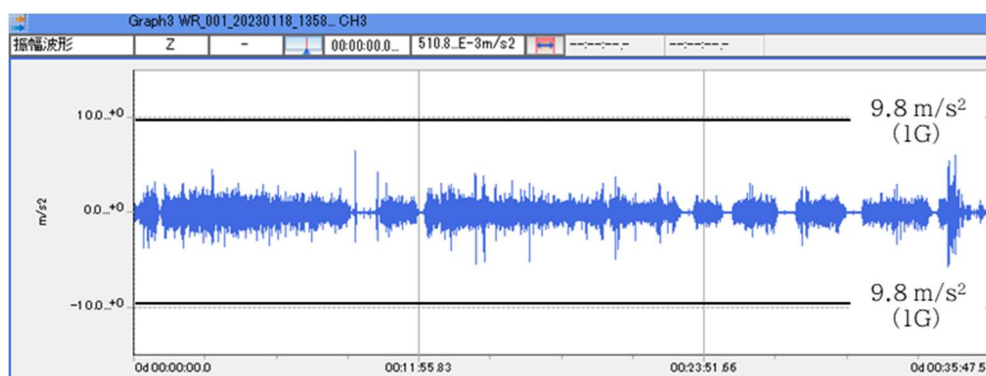
測定時間：36min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

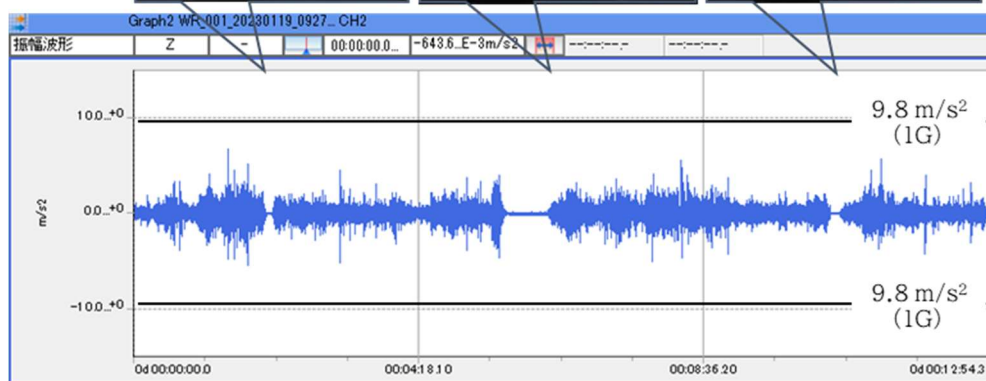
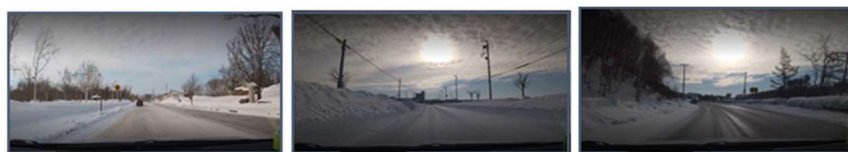
新雪の積もった幹線道路から新雪の積もった一般道、少し雪が残る幹線道路の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

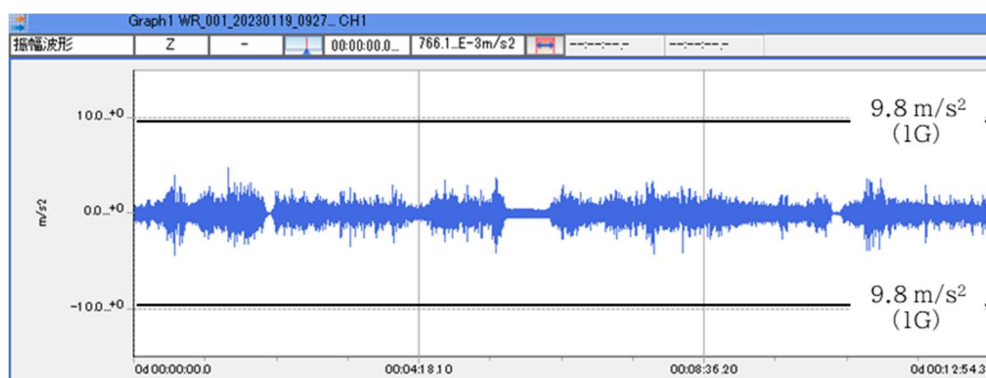
(4) 測定地：岩見沢市役所～岩見沢市栗沢農産物直売所

[前日の積雪が踏み固まった幹線道路、前日の積雪が踏み固まった一般道]

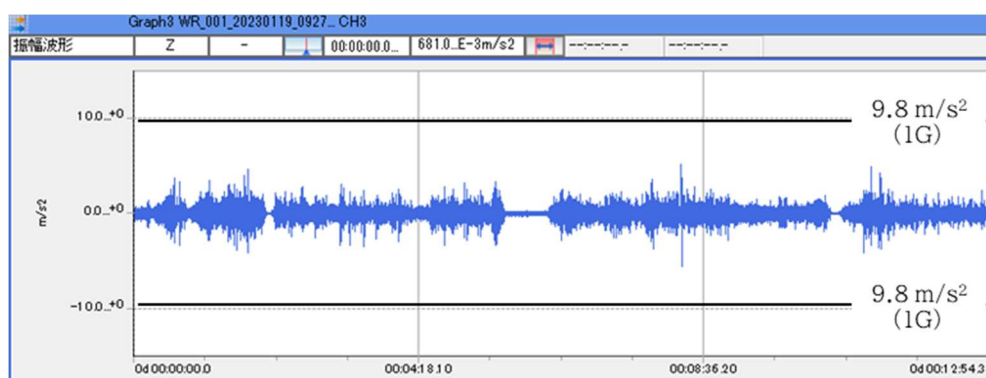
測定時間：13min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



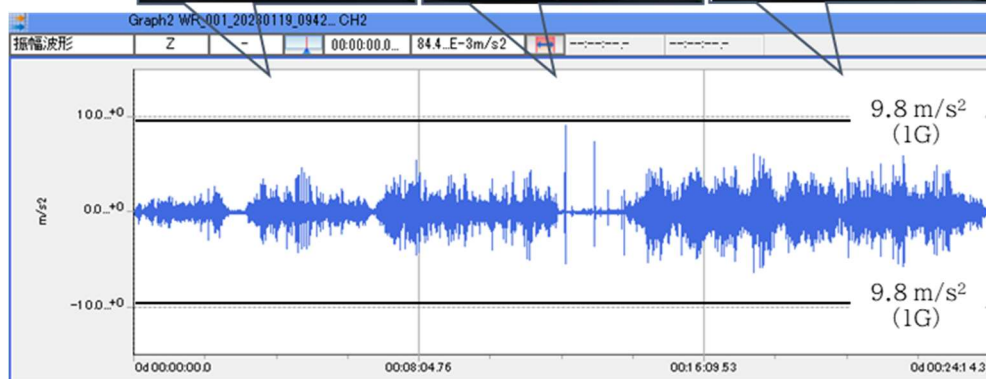
Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

前日の積雪が踏み固まった幹線道路から前日の積雪が踏み固まった一般道の走行での加速度を測定した。

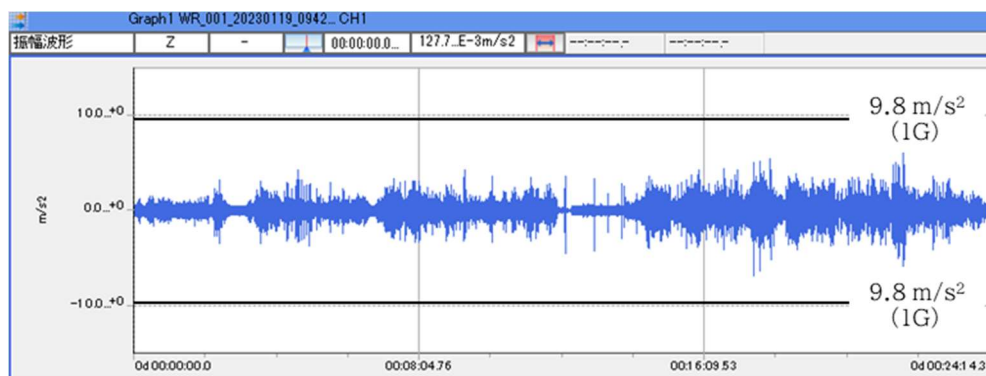
測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

(5) 測定地：岩見沢市栗沢農産物直売所～岩見沢市毛陽交流センター
 [ほぼ除雪された幹線道路、少し雪が残る幹線道路]

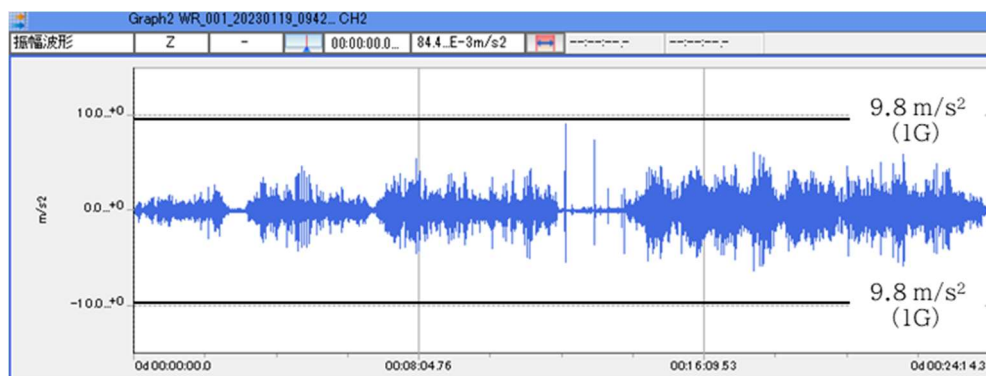
測定時間：24min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

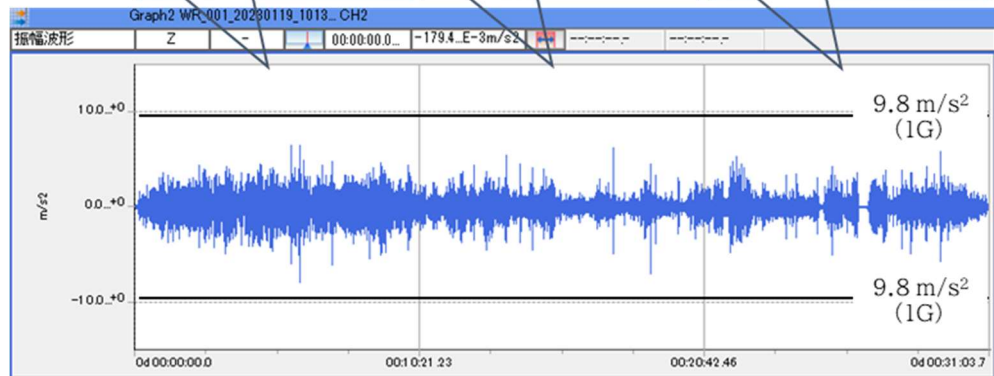
ほぼ除雪された幹線道路から少し雪が残る幹線道路の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

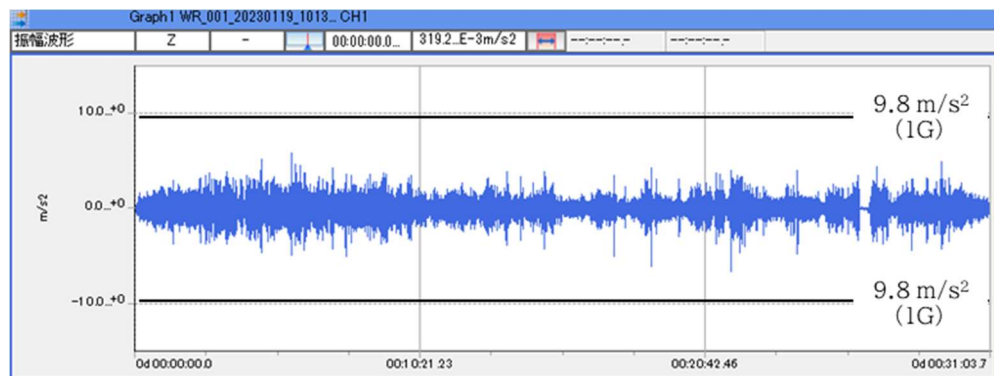
(6) 測定地：岩見沢市毛陽交流センター～道の駅 三笠

[雪が残る幹線道路、除雪された幹線道路、少し雪が残る幹線道路]

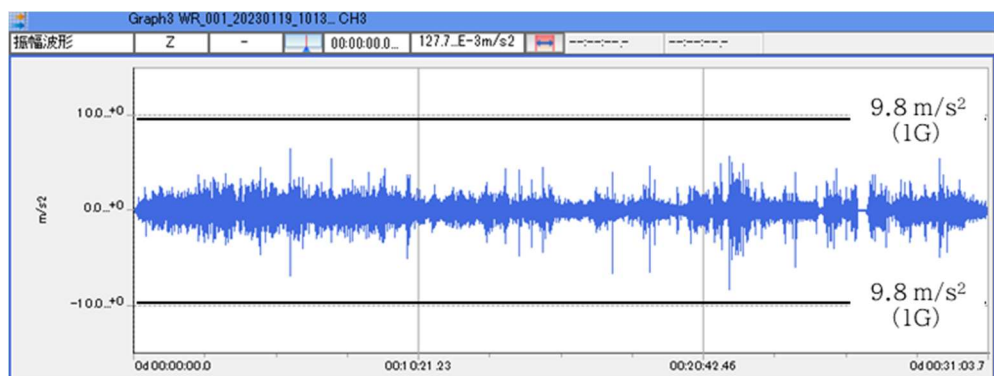
測定時間：31min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

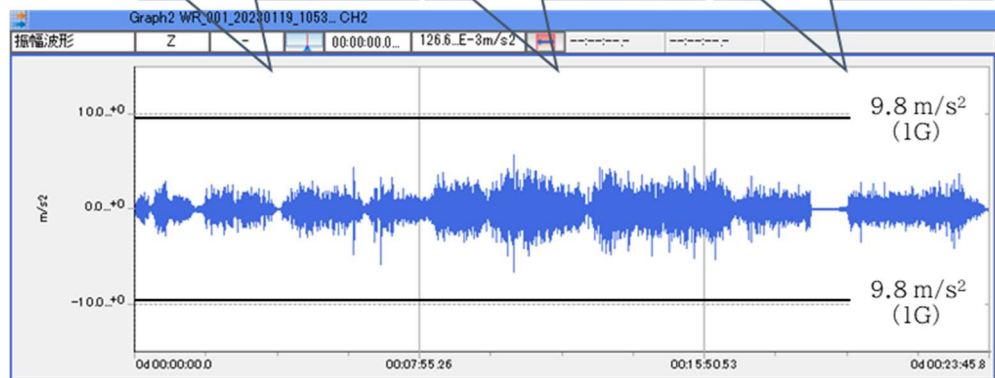
雪が残る幹線道路から除雪された幹線道路、少し雪が残る幹線道路の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

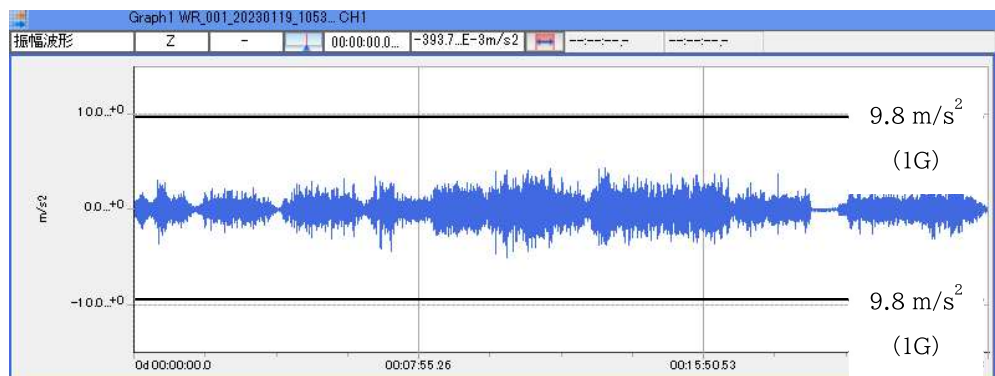
(7) 測定地：道の駅 三笠～岩見沢市北村温泉

[雪が残る幹線道路]

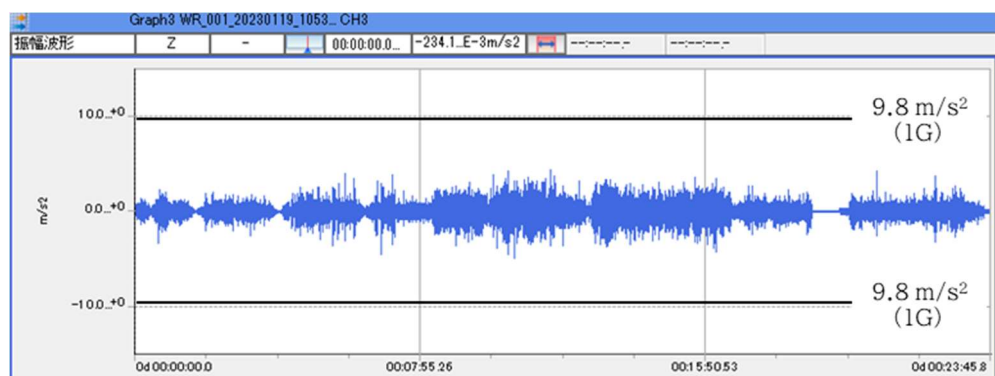
測定時間：24min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

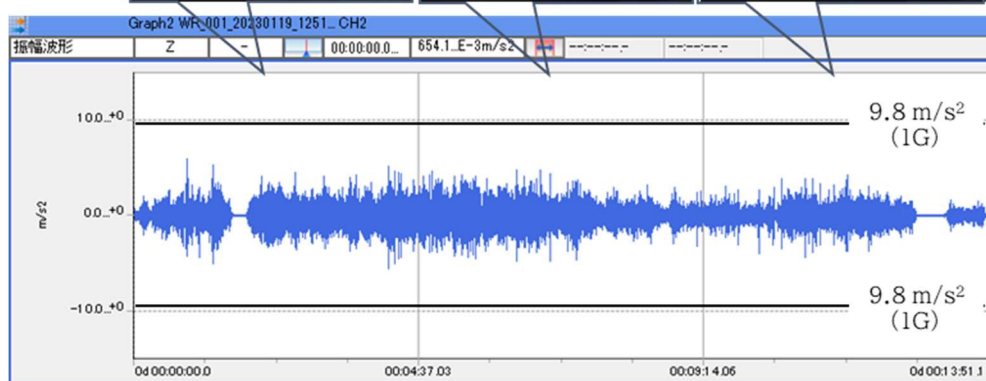
雪が残る幹線道路の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

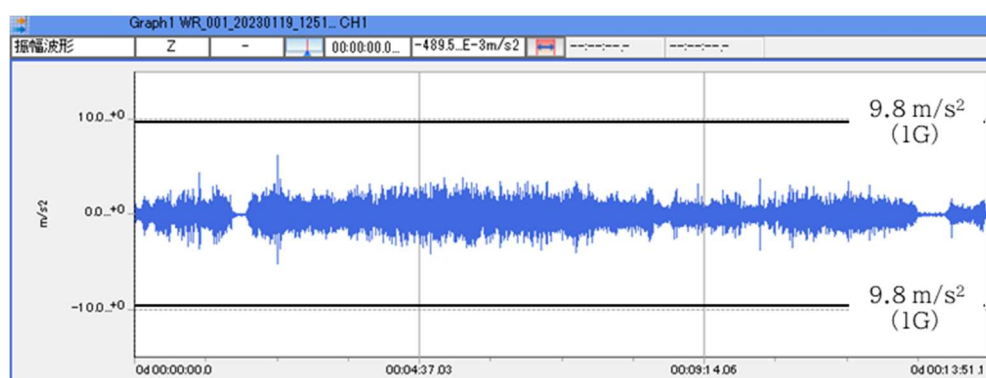
(8) 測定地：岩見沢市北村温泉～月形温泉

[雪が残る幹線道路]

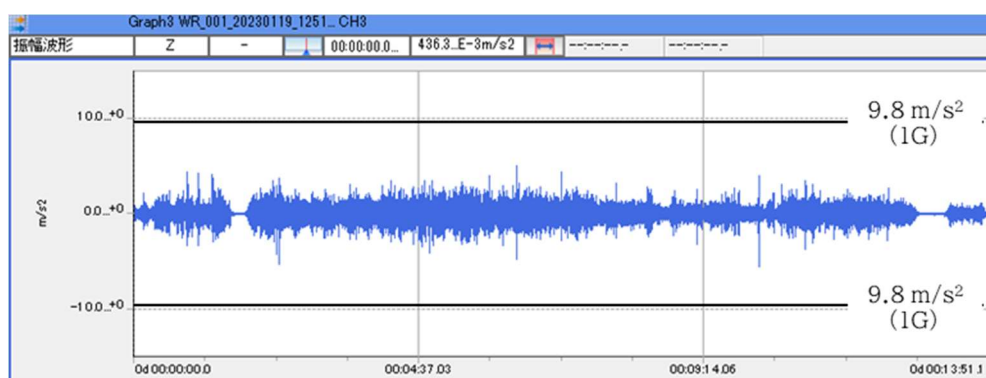
測定時間：14min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

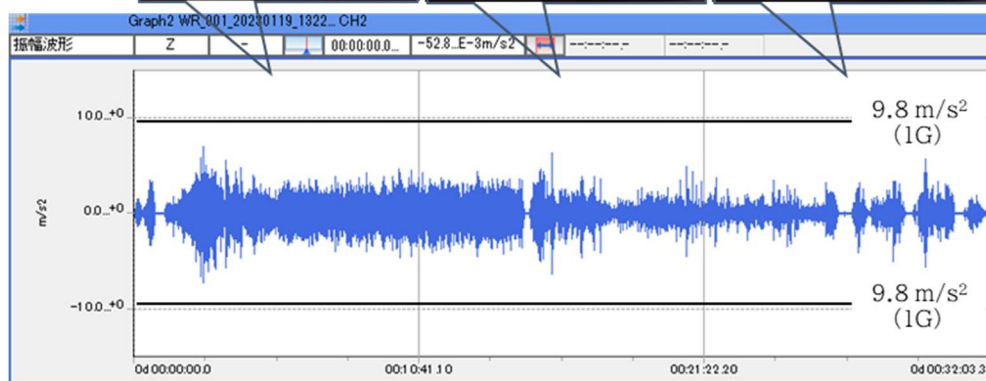
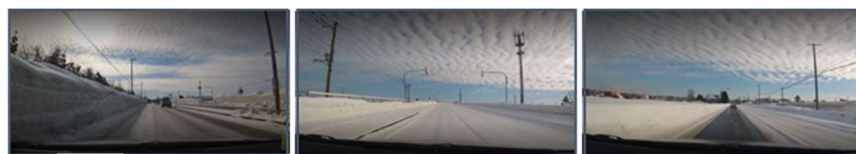
雪が残る幹線道路の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

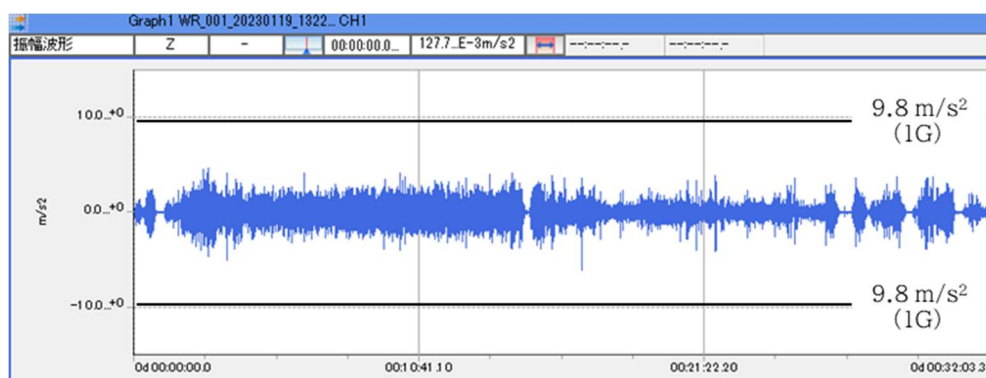
(9) 測定地：月形温泉～岩見沢駅ロータリー

[雪が残る幹線道路、除雪された幹線道路]

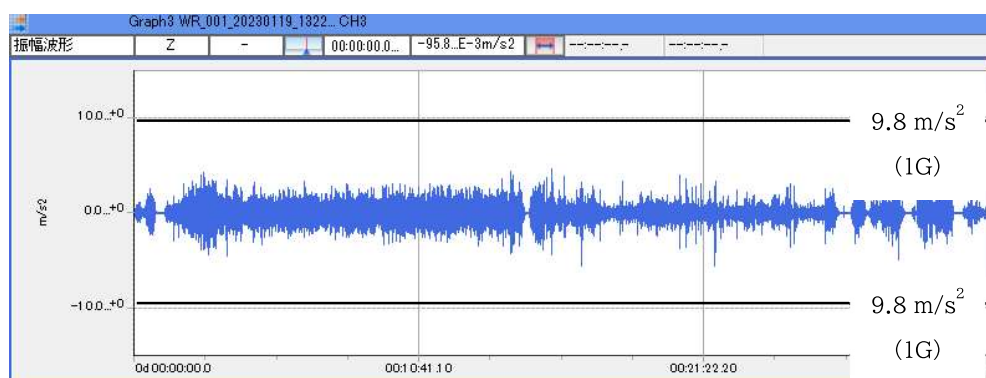
測定時間：32min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

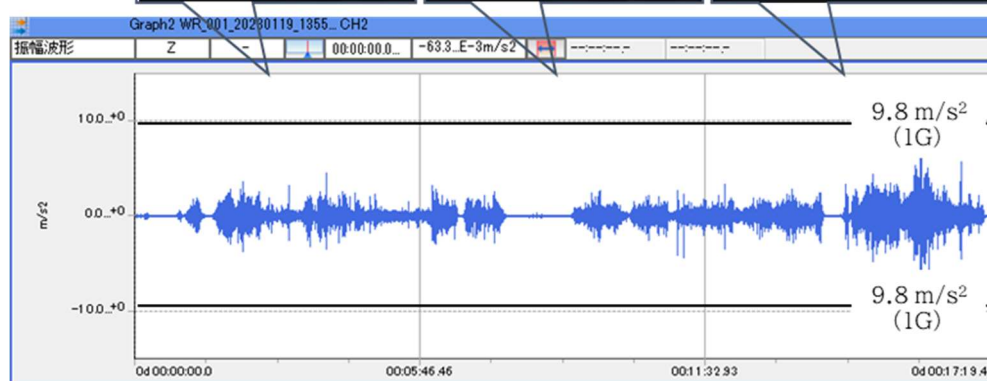
雪が残る幹線道路から除雪された幹線道路の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

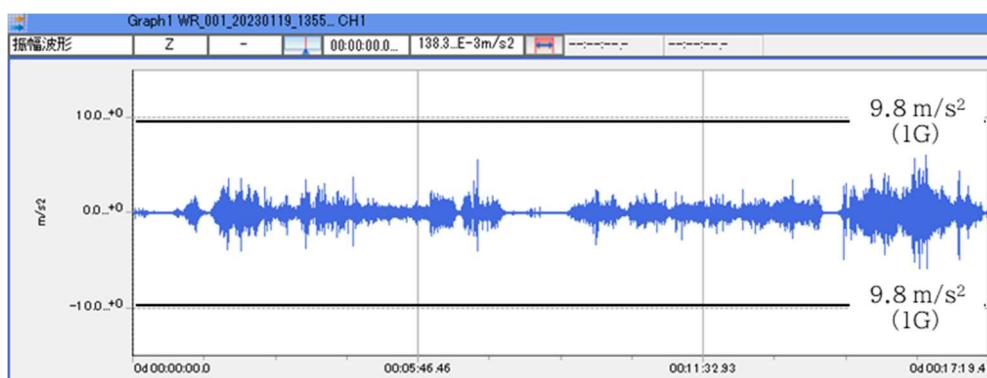
(10) 測定地：岩見沢駅ロータリー～岩見沢市御茶の水地区

[少し雪が残る幹線道路、雪が残る一般道]

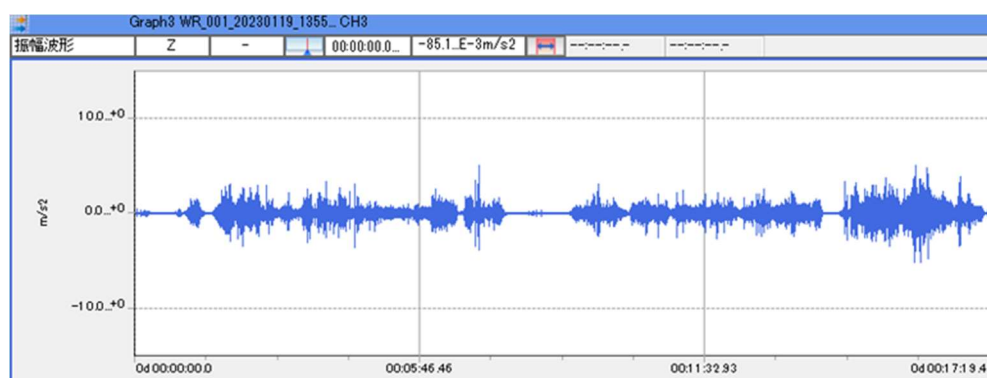
測定時間：17min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

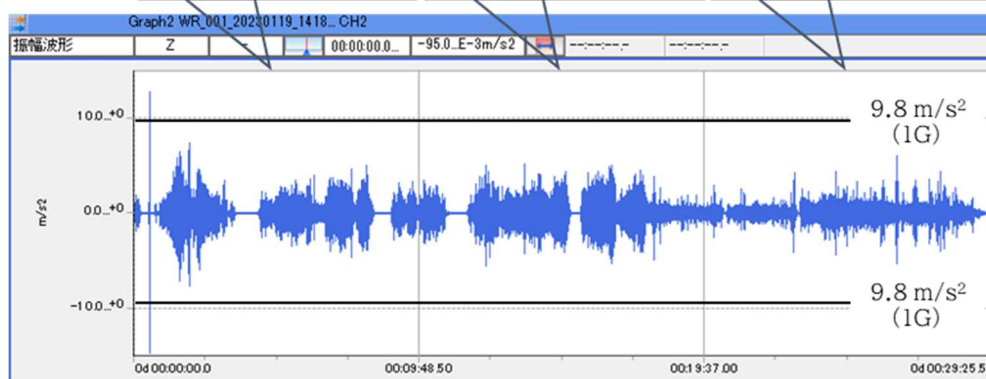


Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

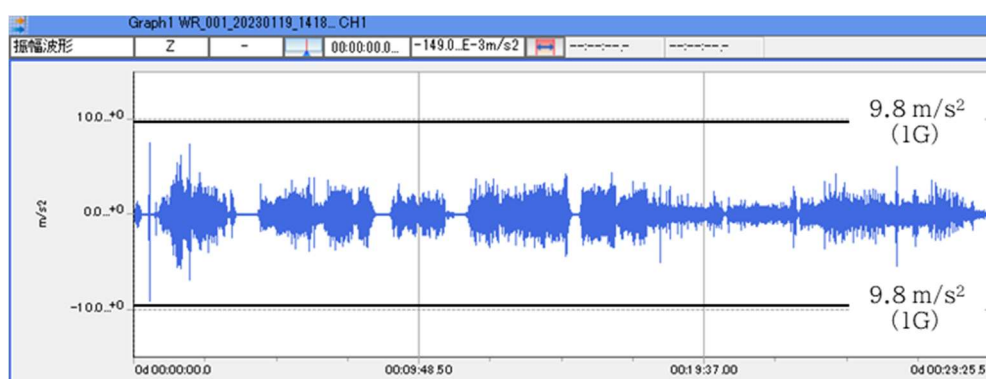
少し雪が残る幹線道路から雪が残る一般道の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

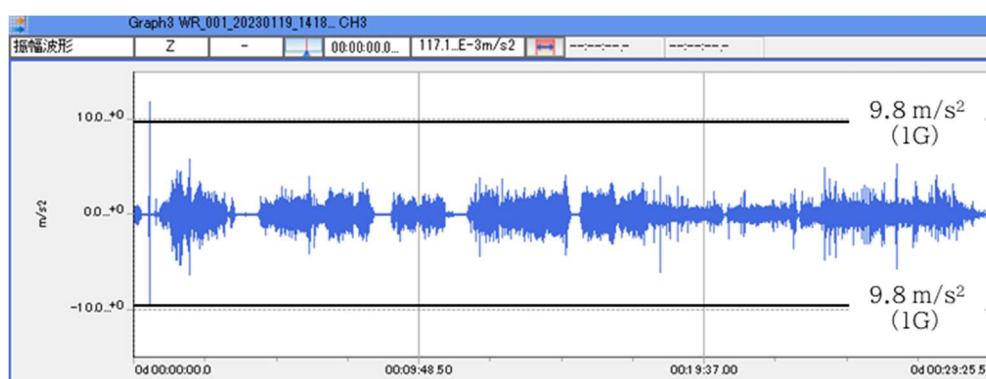
- (11) 測定地：岩見沢市御茶の水地区～野幌PA
 [雪が残る一般道、雪が残る幹線道路]
 測定時間：29min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

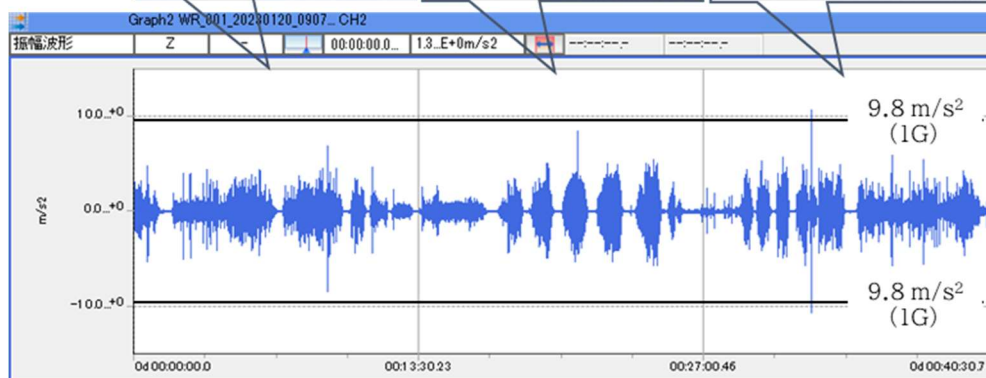
雪が残る一般道から雪が残る幹線道路の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

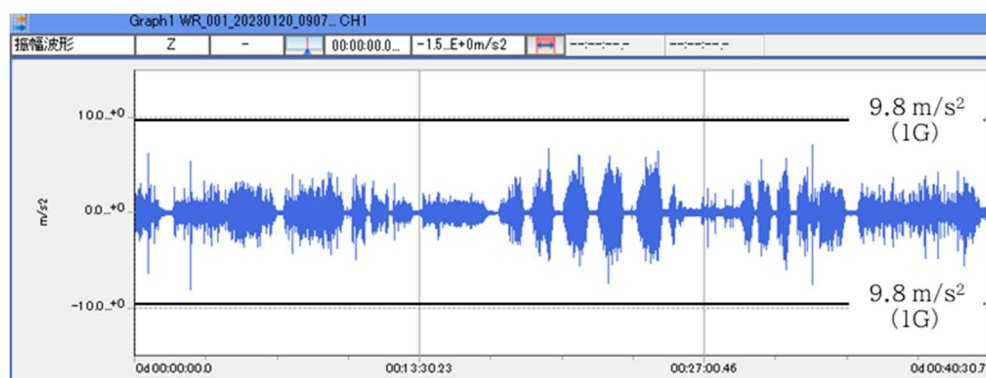
(12) 測定地：札幌～新千歳空港

[雪が残る幹線道路、雪が残りシャーベット状になった幹線道路]

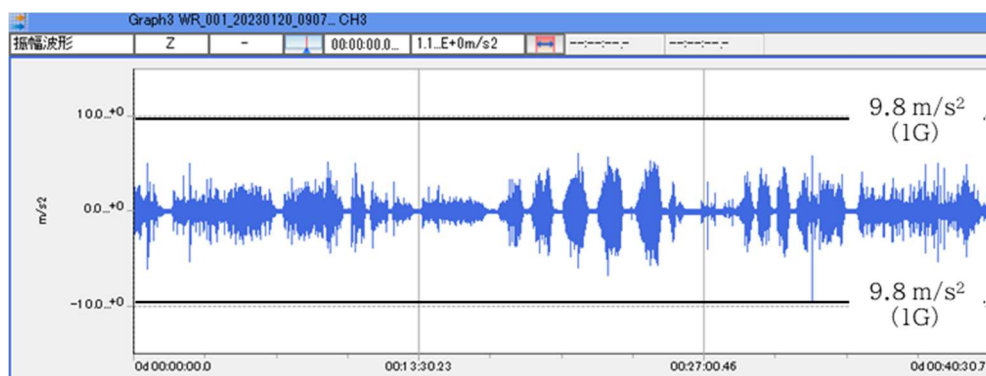
測定時間：41min.



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



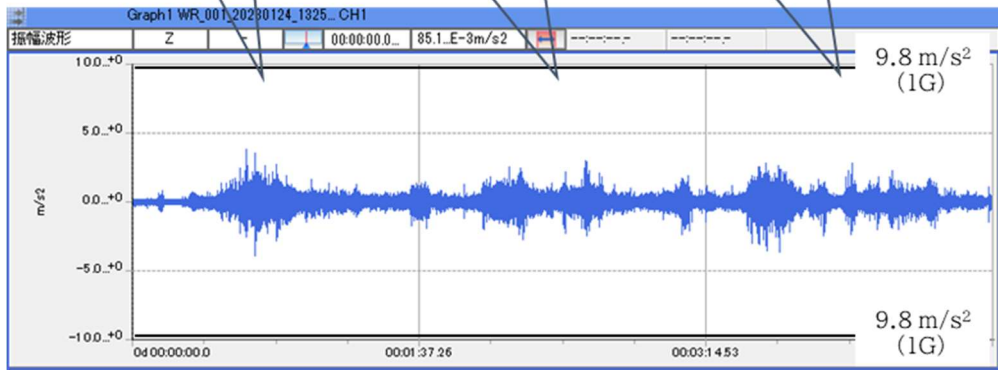
Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

雪が残る幹線道路から雪が残りシャーベット状になった幹線道路の走行での加速度を測定した。測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

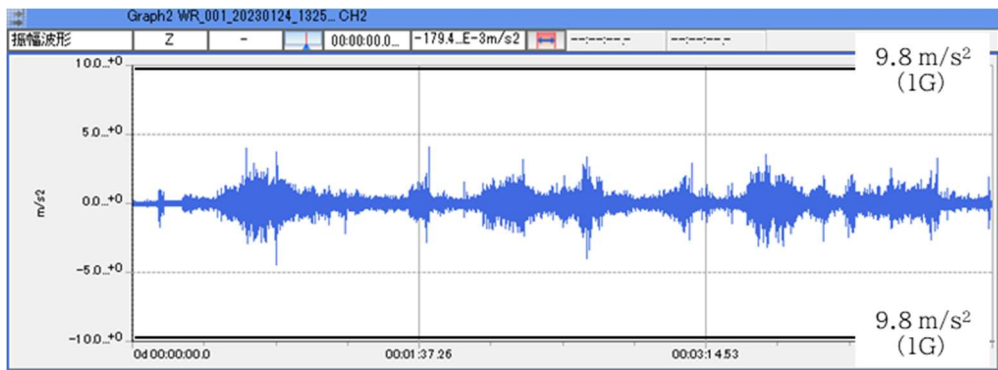
表 4.3.40 舗装されていない土地の走行での振動測定結果

	X 方向	Y 方向	Z 方向
最大加速度	0.4G	0.46G	0.76G

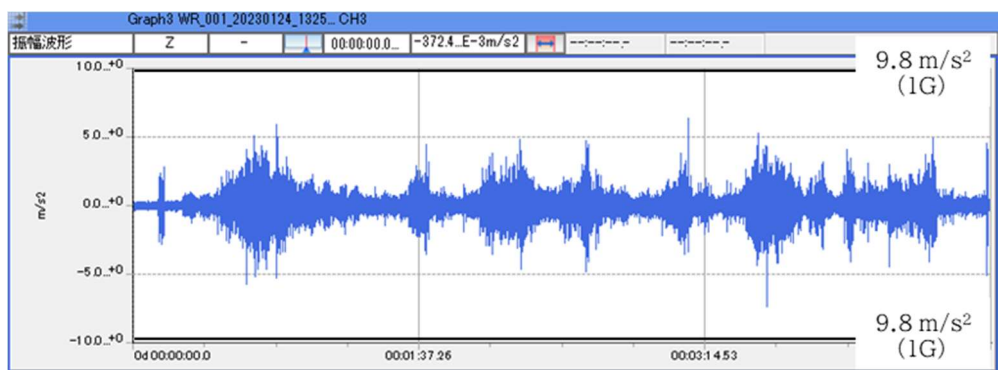
(13) 測定地：三郷町 FSS35 キャンパス内



X方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Y方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果



Z方向（車の進行方向を正面とした時）の振動測定結果

舗装されていない土地の走行での加速度を測定した。

測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

振動が激しいとされる、積雪道路および舗装されていない土地の走行での振動測定により、最大加速度値を測定した。

表 4.3.39、表 4.3.40 の結果に対して、振動試験の規格 JIS C 60068-2-6 且つ車載機器で指標とする最大加速度 39.2 m/s^2 (4G) は、十分にマージンを考慮した加速度にて検証をしており、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

⑤ 映像伝送制御機能試験

映像伝送制御機能試験では、端末の基礎性能を検証するための再現性が担保可能なネットワークエミュレータを用いた有線環境での評価と、より実環境に近い状態での性能を検証するための無線環境での評価を実施した。

本節では下記の構成で評価結果を示す。(i)の有線環境における評価結果から、基礎性能として遅延性能の目標値を達成できること、及び帯域変動が起こる環境において AV-QoS が有効であり必要機能であることなどを述べる。(ii)の無線環境の評価からは、(i)で確認した基礎動作性能が無線インタフェースを介した場合にどのような挙動となるかを述べ、別途実施するフィールド評価に向けた考察を行う。

- (i) **ネットワークエミュレータを用いた有線環境での評価**
 - (i)-a. 帯域一定シナリオでの評価結果
 - 映像伝送遅延量(ENC-DEC)
 - 映像伝送スループット
 - 映像伝送遅延量(glass to glass)
 - (i)-b. 帯域変動シナリオにおける評価結果（含、AV-QoS=ON/OFF 比較）
 - 映像伝送遅延量(ENC-DEC), スループット特性
 - 映像伝送遅延量(glass to glass)
 - (i)-c. フレーム欠落率に関する評価結果
 - (i)-d. 映像伝送後のノイズに関する評価結果

- (ii) **無線環境での評価**
 - (ii)-a. 映像伝送遅延量(ENC-DEC, glass to glass)
 - (ii)-b. 映像伝送スループット
 - (ii)-c. フレーム欠落率に関する評価結果
 - (ii)-d. 映像伝送後のノイズ

以下でそれぞれの結果と考察を示す。

(i) ネットワークエミュレータを用いた有線環境での評価

ネットワークエミュレータを用いた検証（有線環境評価）結果を次表に示す。今回の評価では、定常状態での端末性能を評価するための帯域一定シナリオと、ネットワークエミュレータを用いて無線環境の変動を模擬する帯域変動シナリオを適用して評価を行った。模擬した。その模擬評価シナリオを下記に示す。



図 4.3.85 評価シナリオ(帯域一定)

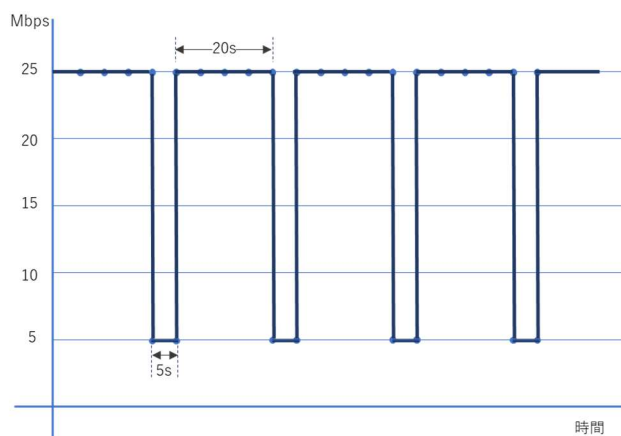


図 4.3.86 評価シナリオ(帯域変動)

帯域一定シナリオでは、スループットを 25Mbps 固定で設定して評価を行った。帯域変動シナリオでは、5Mbps→25Mbps→5Mbps→25Mbps と交互にスループットを切り替えて動作する設定とした。各スループット設定において 5Mbps 時は 5 秒間、20Mbps 設定時には 20 秒間帯域を確保する動作を切り替えて帯域急落・急上昇時の端末性能を確認した。

(i)-a: 帯域一定シナリオにおける評価結果

■映像伝送遅延量(ENC-DEC)

ネットワークエミュレータを用いた評価環境における映像伝送遅延量の評価を行った。映像伝送遅延量(ENC-DEC)は、エンコーダ/デコーダがそれぞれ出力するログを使い、映像フレームのエンコード開始～映像フレームのデコード完了までの時刻差から算出した。映像伝送遅延量の評価パターンと評価結果を以下に示す。

表 4.3.41 映像伝送遅延量(ENC-DEC)の評価パターンと平均遅延時間

解像度	フレームレート	Target Rate	平均遅延 [ms]
4K (2160p)	30fps	12 Mbps	46.4
		20 Mbps	66.7

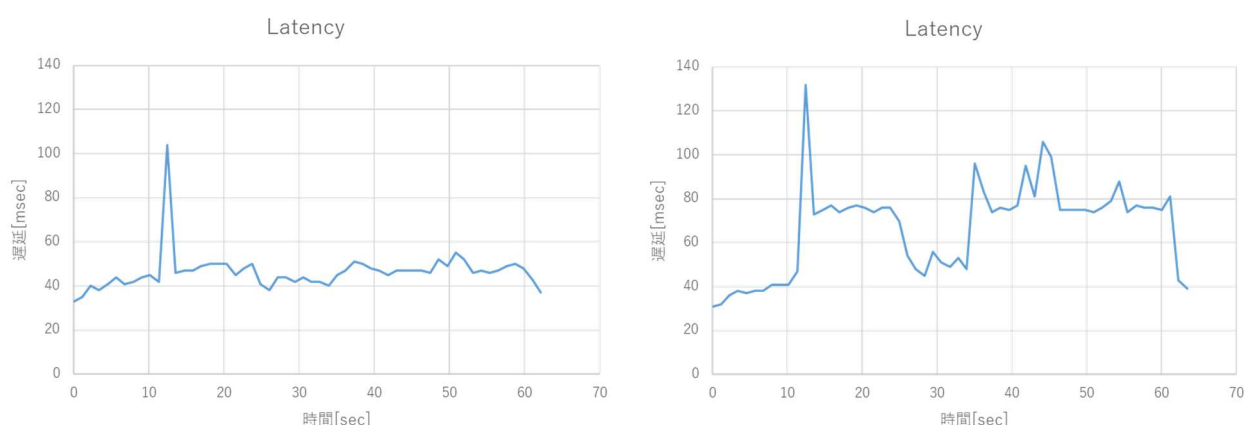


図 4.3.87 ネットワークエミュレータ(帯域一定シナリオ)を用いた映像伝送遅延量(ENC-DEC)の検証結果
(4K/30fps/Target Rate=左 : 12Mbps, 右 : 20Mbps)

4K30fps の映像データを伝送した場合のエンコーダ-デコーダ間の遅延は、ターゲットレート 12Mbps の場合 46.4ms(平均値), 104ms(最大値)、ターゲットレート 20Mbps の場合 66.7ms(平均値), 132ms(最大値)であった。帯域が安定して確保できる環境においては、20Mbps のターゲットレートでも十分に目標値を達成することができている。また、ターゲットレートを上げることでより 4K 画質を扱うことが可能になり鮮明な映像を伝送することができるが、遅延量は増大することが確認された。これは映像処理時における処理負荷が大きくなるためと推察される。

■映像伝送スループット

ネットワークエミュレータを用いた評価環境における映像伝送スループットの検証結果を下図に示す。

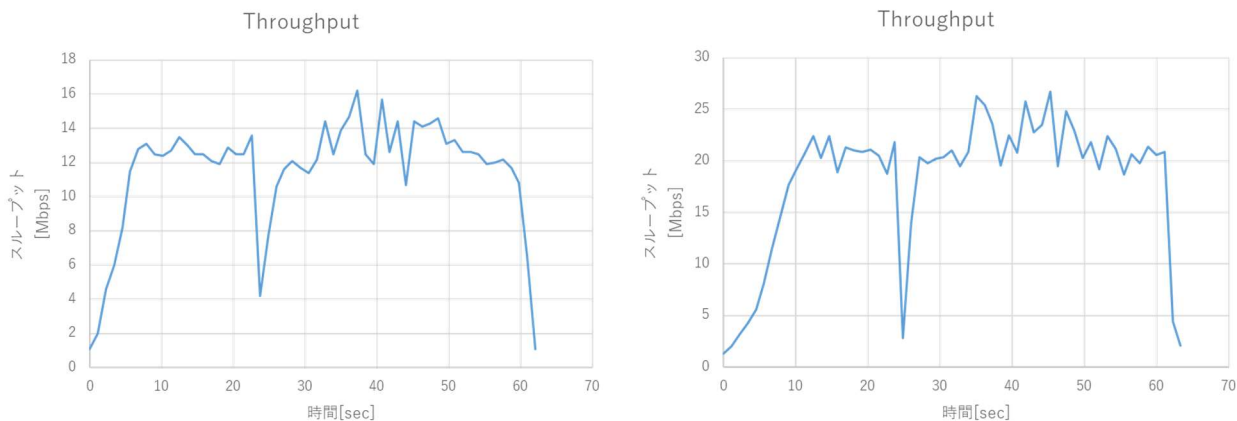


図 4.3.88 ネットワークエミュレータ(帯域一定シナリオ)を用いた映像伝送スループットの検証結果(4K/30fps/Target Rate=左 : 12Mbps, 右 : 20Mbps)

4K30fps の映像データを伝送した場合の映像スループットについて、ターゲットレート 12Mbps の場合、平均 11.5Mbps, ターゲットレート 20Mbps の場合、平均 18.1Mbps であった。映像データの実送出量がターゲットレートを上回ると、システム設計上の可用帯域を超えてデータあふれが発生する可能性が高まり、映像伝送遅延や映像の乱れにつながる。今回の評価では映像ソースのシーンによって発生符号量に変動が出るものの、ターゲットレートを上回ることなく且つ 9 割超の精度で出力レート制御を行うことができていることを確認した。

■映像伝送遅延量(glass to glass)

映像伝送遅延量(glass to glass)の評価は、送出する映像ソースとして 1ms 単位のタイムスタンプを埋め込んだ映像データを使い、伝送後の映像データもモニタに表示させ、表示されるタイムスタンプ値の差分を遅延量として抽出した。映像伝送遅延量(glass to glass)の測定風景を下図に示す。



図 4.3.89 映像伝送遅延量(glass to glass)の測定風景

映像伝送遅延量(glass to glass)の評価結果を下図に示す。

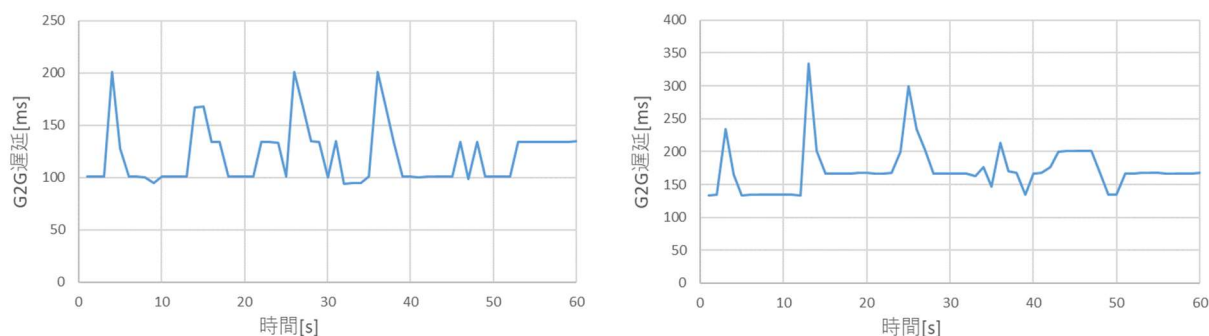


図 4.3.90 ネットワークエミュレータ(帯域一定シナリオ)を用いた映像伝送遅延量(glass to glass)の検証結果
(4K/30fps/Target Rate= 左 : 12Mbps, 右 : 20Mbps)

表 4.3.42 ネットワークエミュレータ(帯域一定シナリオ)を用いた映像伝送遅延量(glass to glass)の検証結果

解像度	フレームレート	Target Rate	Glass to Glass遅延
4K (2160p)	30fps	12 Mbps	120.9ms
		20 Mbps	172.3ms

glass to glass 遅延について各評価における結果は上表のとおりとなった。ENC-DEC 遅延の結果と比較すると概ね 70~100ms 程度追加遅延が生じていることが確認される。評価に用いているモニター性能や実証において採用するカメラの性能など測定値としての遅延量が変化する要因はあるが、今後のフィールド実証で確認される遅延量の一つの目安として本値が目安となる。

(i)-b. 帯域変動シナリオにおける評価結果

■映像伝送遅延量(ENC-DEC), スループット特性

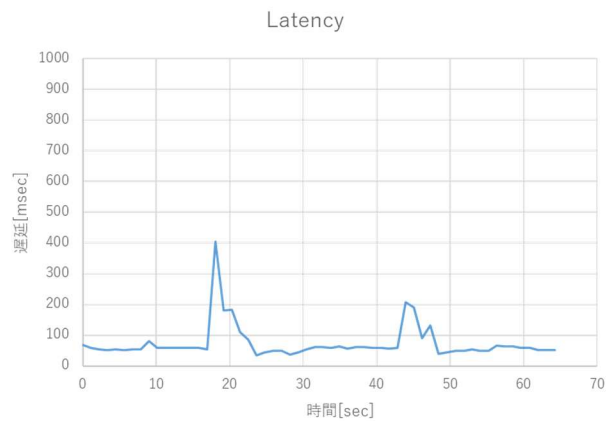
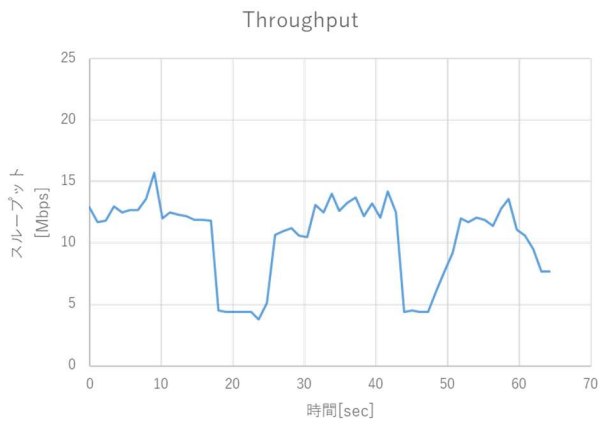
ネットワークエミュレータを用いて帯域変動を加えた評価環境における評価を行った。評価パターンと ENC-DEC 間遅延の値を以下に示す。

表 4.3.43 映像伝送遅延量(ENC-DEC)の評価パターンと ENC-DEC 遅延

解像度	フレームレート	Target Rate	AV-QoS	ENC-DEC 遅延
4K (2160p)	30fps	12 Mbps	ON	73.6ms
			OFF	594.6ms
		20 Mbps	ON	123.6ms
			OFF	2955 ms

以下に各評価パターンにおける評価結果を示す。

【AV-QoS : ON】



【AV-QoS : OFF】

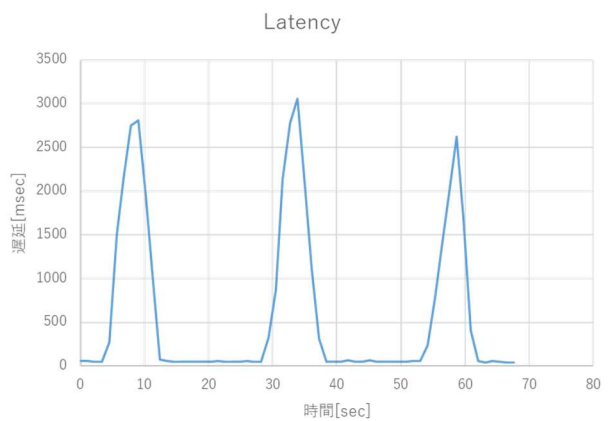
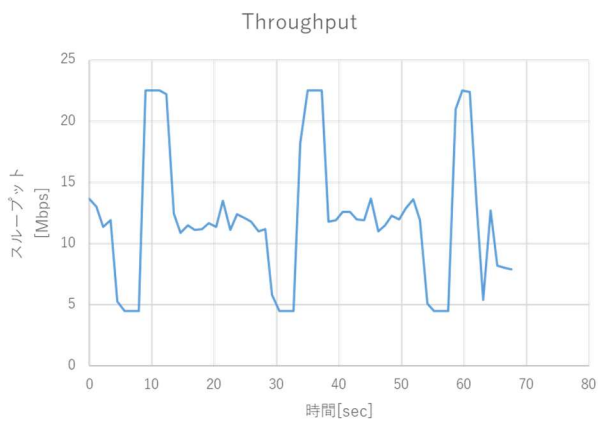
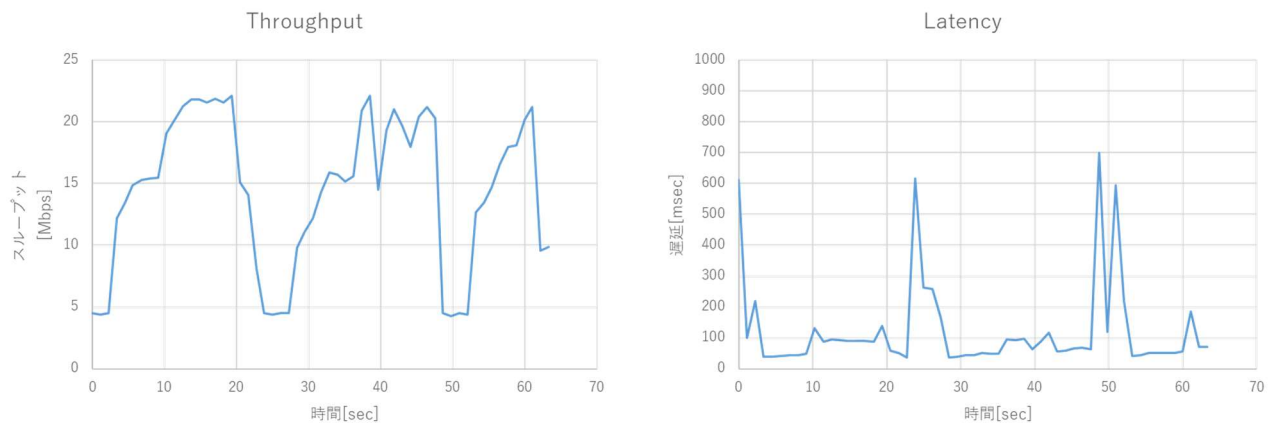


図 4.3.91 ネットワークエミュレータ(帯域変動シナリオ)を用いた検証結果
(4K/30fps/Target Rate=12Mbps)

【AV-QoS : ON】



【AV-QoS : OFF】

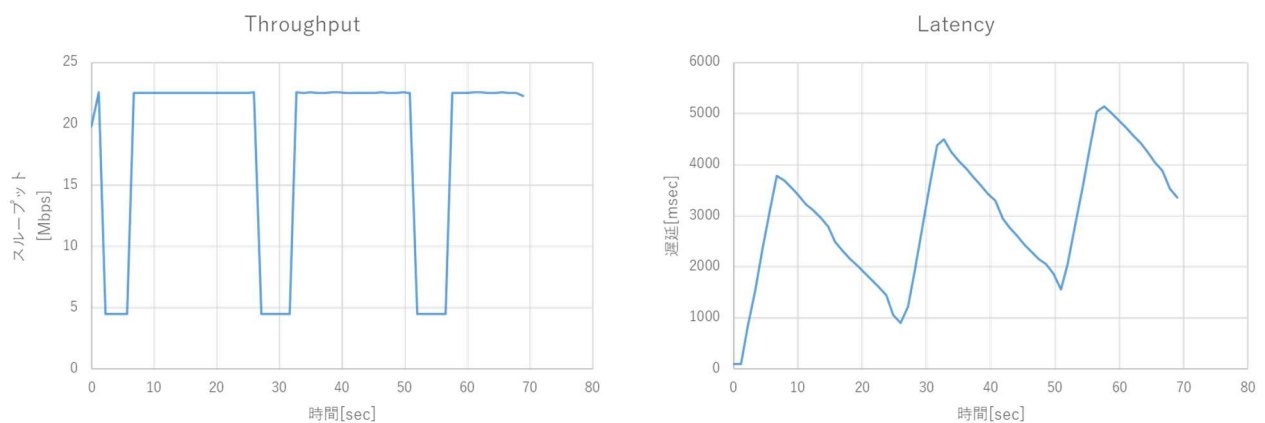


図 4.3.92 ネットワークエミュレータ (帯域変動シナリオ)を用いた検証結果
(4K/30fps/Target Rate=20Mbps)

帯域変動時におけるスループットと ENC-DEC 間遅延に関する分析する。

本評価での着目点は、帯域変動時における映像の連続性を担保する AV-QoS 機能の処理性能を確認することである。4K/30fps/Target Rate=12Mbps 時において、AV-QoS 機能を ON にした時の平均スループットは 10.4Mbps、平均遅延は 73.8ms、AV-QoS 機能を OFF にした時の平均スループットは 12.1Mbps、平均遅延は 594ms であった。4K/30fps/Target Rate=20Mbps 時の AV-QoS 機能を ON にした時の平均スループットは 14.5Mbps、平均遅延は 123.6ms、AV-QoS 機能を OFF にした時の平均スループットは 18.4Mbps、平均遅延は 2955ms であった。

AV-QoS 機能を ON した場合、ターゲットレートに向けて映像レートを上げていき、帯域急落の局面では可用帯域が減少したことを感知してエンコーダが送出する映像レートを下げることで映像データあふれを抑制し、発生遅延量も局所的な増加の後速やかに定常状態に戻る動作を確認した。また、ターゲットレートが 12Mbps と 20Mbps の場合を比較してみると、ターゲットレートが 20Mbps の場合に、実際の映像レートが 15Mbps を超える出力を行った際に遅延量が増加している様子が確認された。これは、AV-QoS が持つ解像度切替機能が 15Mbps を境に働き、処理負荷が高くなっていることが起因している。

AV-QoS 機能を OFF にした場合、エンコーダは一定レートで映像を送出してしまうため、可用帯域 > 送信レート である局面においては映像伝送がスムーズに行われるが、可用帯域 < 送信レート の局面に入るとデータあふれが発生し遅延が増加することとなる。増加した遅延は再び 可用帯域 > 送信レート の局面に入ると徐々に解消されていくが、解消しきれない場合には 4K/30fps/Target Rate=20Mbps 時の AV-QoS OFF の条件下における評価データからわかるように、遅延が蓄積されていくこととなる。本結果から、AV-QoS 機能によって可用帯域の変動を予測し映像送信レートを調整することで、過度なデータあふれを発生させないように制御し遅延の発生を抑制できることを確認した。

■映像伝送遅延量(glass to glass) (左 : AV-QoS=ON, 右 : AV-QoS=OFF)

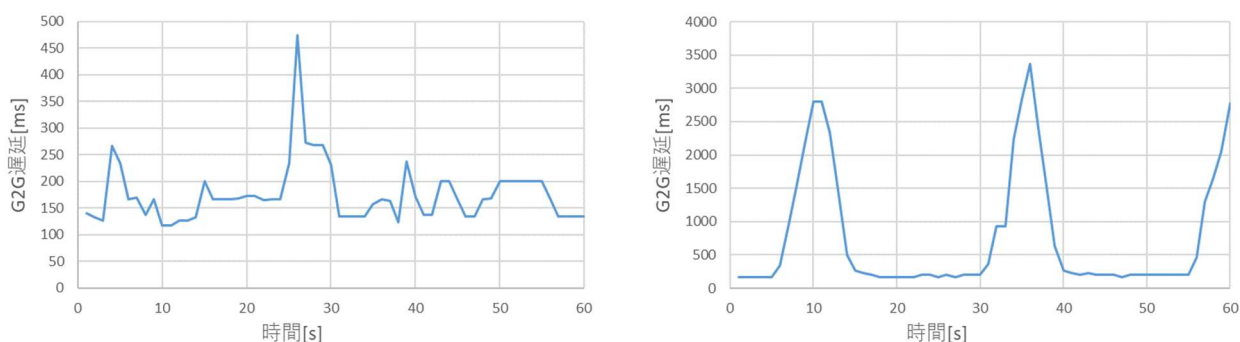


図 4.3.93 ネットワークエミュレータ(帯域変動シナリオ)を用いた映像伝送遅延量(glass to glass)の検証結果(4K/30fps/Target Rate=12Mbps)

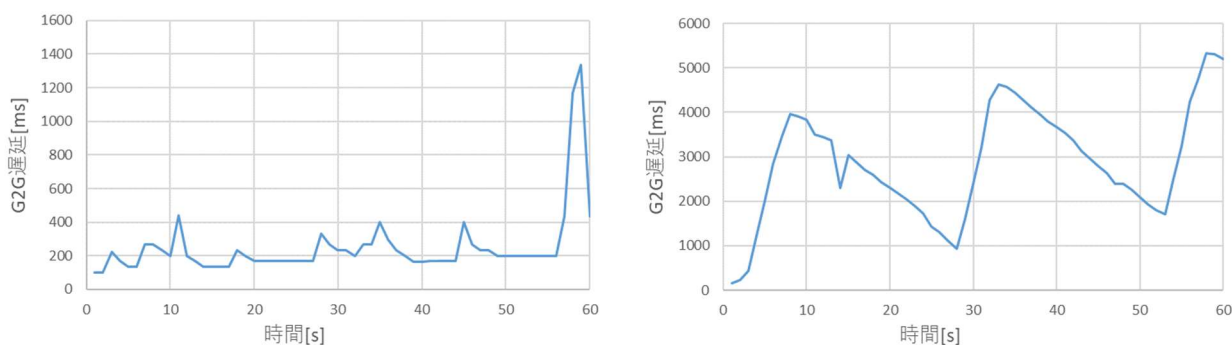


図 4.3.94 ネットワークエミュレータ(帯域変動シナリオ)を用いた映像伝送遅延量(glass to glass)の検証結果(4K/30fps/Target Rate=20Mbps)

表 4.3.44 ネットワークエミュレータ(帯域変動シナリオ)を用いた映像伝送遅延量(glass to glass)の検証結果まとめ

解像度	フレームレート	AV-QoS	Target Rate	Glass to Glass遅延
4K (2160p)	30fps	OFF	12 Mbps	761.2ms
			20 Mbps	2861ms
		ON	12 Mbps	175.6ms
			20 Mbps	250.0ms

帯域変動シナリオを用いた評価における映像伝送遅延量(glass to glass)は上表のとおりとなった。ENC-DEC 遅延の結果と同様の傾向が確認され、AV-QoS : ON 時は、帯域急落時に局所的に遅延が大きくなるが速やかに解消されるのに対し、AV-QoS : OFF 時の動作については帯域急落時に送信しきれなかった遅延の蓄積が解消されず平均遅延量も増加動向を辿ることを確認した。Target Rate が 20Mbps のときに glass to glass 遅延が 200ms を若干超えているが、今回のような急激な帯域変動が想定される公衆網等帯域変動環境での運用では設定レートを下げることとも鑑みた運用を行うことも考慮する必要があることを知見として得た。

(i)-c フレーム欠落率に関する評価結果

ネットワークエミュレータを用いた評価環境におけるフレーム欠落率の検証結果を下図に示す。

表 4.3.45 ネットワークエミュレータ(帯域一定シナリオ)を用いたフレーム欠落率の検証結果

解像度	フレームレート	Target Rate	フレーム欠落率
4K (2160p)	30fps	12 Mbps	0 %
		20 Mbps	0 %

表 4.3.46 ネットワークエミュレータ(帯域変動シナリオ)を用いたフレーム欠落率の検証結果

解像度	フレームレート	Target Rate	AV-QoS	フレーム欠落率
4K (2160p)	30fps	12Mbps	ON	0 %
			OFF	0 %
4K (2160p)	30fps	20Mbps	ON	0 %
			OFF	0 %

フレーム欠落率に対する考察を行う。

今回の有線環境における評価では、帯域変動の有無、AV-QoS 機能の ON/OFF に依らずフレーム欠落は確認されなかった。AV-QoS 機能を OFF にした場合、前章にて述べた遅延量の検証結果と合わせてみると、フレーム欠落が発生しないことによって遅延量が極大化していることが分かる。また蓄積したフレームが処理しきれずに溜まっていくことで、遅延量も蓄積していく様子が確認されていることから、リアルタイム性が必要なユースケースにおいて映像伝送を行う場合には、物理的な伝送レートと映像の伝送レートの調整、蓄積したフレームの処理（意図的な廃棄を含む）等をユースケースの要求条件に合わせて総合的に判断する必要がある。

(i)-d 映像伝送後のノイズに関する評価結果

ネットワークエミュレータを用いた評価環境における映像伝送後のノイズの検証結果を次図に示す。

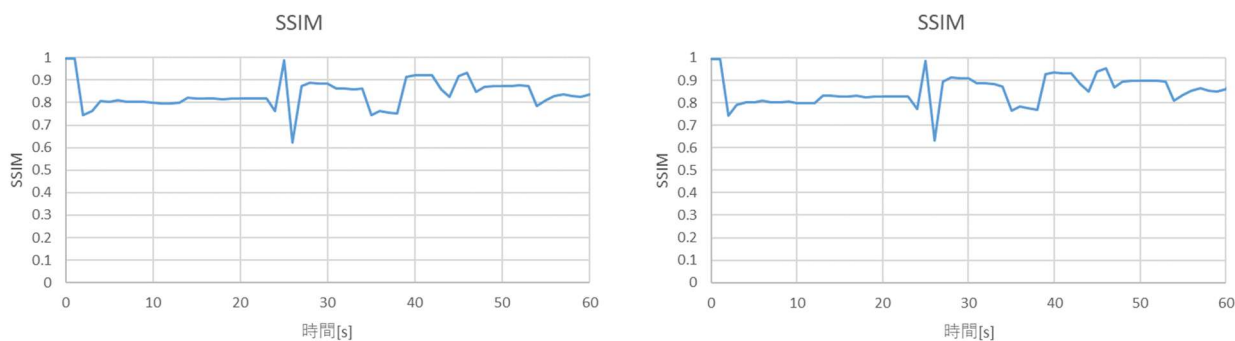


図 4.3.95 ネットワークエミュレータ(帯域一定シナリオ)を用いた映像伝送後のノイズの検証結果(4K/30fps/Target Rate= 左 : 12Mbps, 右 : 20Mbps)

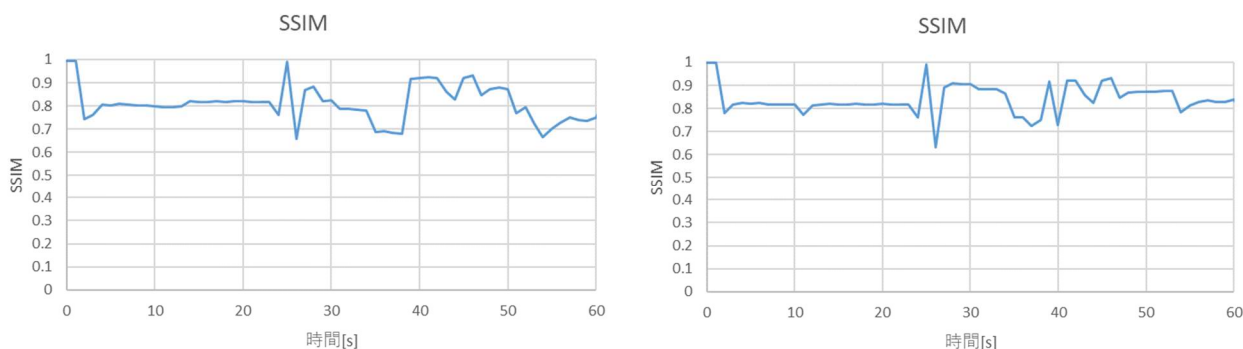


図 4.3.96 ネットワークエミュレータ(帯域変動シナリオ)を用いた映像伝送後のノイズの検証結果(4K/30fps/Target Rate=12Mbps)
(左 : AV-QoS=ON, 右 AV-QoS=OFF)

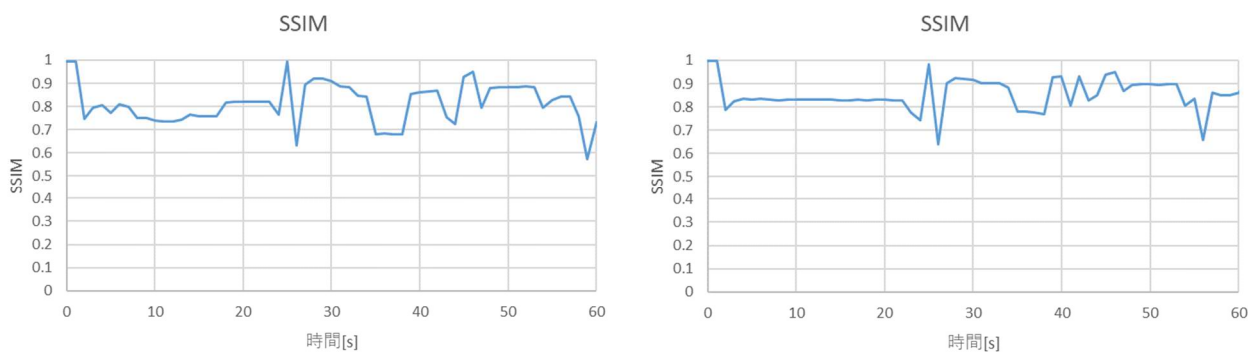


図 4.3.97 ネットワークエミュレータ(帯域変動シナリオ)を用いた映像伝送後のノイズの検証結果(4K/30fps/Target Rate=20Mbps)
(左: AV-QoS=ON, 右 AV-QoS=OFF)

表 4.3.47 ネットワークエミュレータ(帯域変動シナリオ)を用いた映像伝送後のノイズの検証結果まとめ

映像画質	ターゲットレート	帯域変動	AV-QoS	SSIM
4K30fps	12Mbps	なし	ON	0.838
4K30fps	20Mbps	なし	ON	0.855
4K30fps	12Mbps	あり	ON	0.811
			OFF	0.837
4K30fps	20Mbps	あり	ON	0.812
			OFF	0.855

映像伝送後のノイズについて、SSIM を指標として確認した。帯域変動がない場合、ターゲットレートが 12Mbps のとき SSIM は 0.838, ターゲットレートが 20Mbps のとき SSIM は 0.855 であった。また帯域変動がある場合、AV-QoS 機能を OFF にした場合の方が SSIM の値が大きく画質が良いと判定された。これは、SSIM が遅延量を考慮せず同一フレームに対する類似度を評価するものであることが起因していると考えられる。

一般に SSIM が 0.9 を超えると肉眼で識別するのが困難と言われておりその基準には満たなかったが、映像の連続性とリアルタイム性を重視した映像処理をしているため画質の劣化に繋がっている可能性がある。また、実際に目視する画面サイズによっても識別できるノイズレベルは変わってくることから、今後は画質の観点においてはリアルタイム性や実利用環境との関係性も合わせた最適化、及び評価軸の検討が必要であると考えられる。

(ii)無線環境での評価

無線環境における評価結果を下記に示す。無線環境評価では、再現性のある意図的な帯域変動を発生させることが困難なため、AV-QoS 機能 ON/OFF の比較評価を公平な形で実施することが難しい。よって、無線環境評価では AV-QoS 機能を ON にした条件下での評価を行った。

(ii)-a. 映像伝送遅延量(ENC-DEC, glass to glass)

無線評価環境における映像伝送遅延量(ENC-DEC)の検証結果を下図に示す。

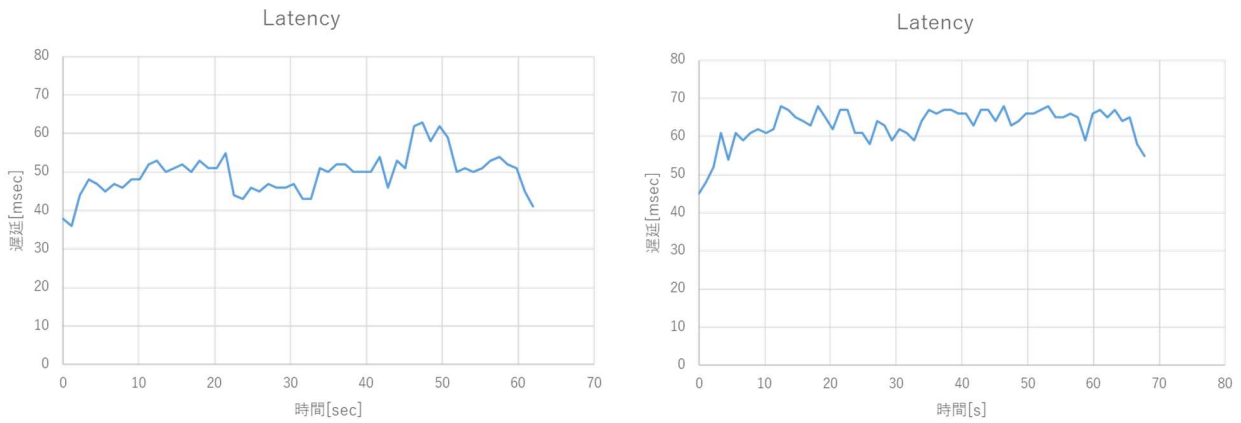


図 4.3.98 無線評価環境(左 : UL のみ, 右 : UL/DL 共)における映像伝送遅延量の検証結果(ENC-DEC) (4K/30fps/12Mbps)

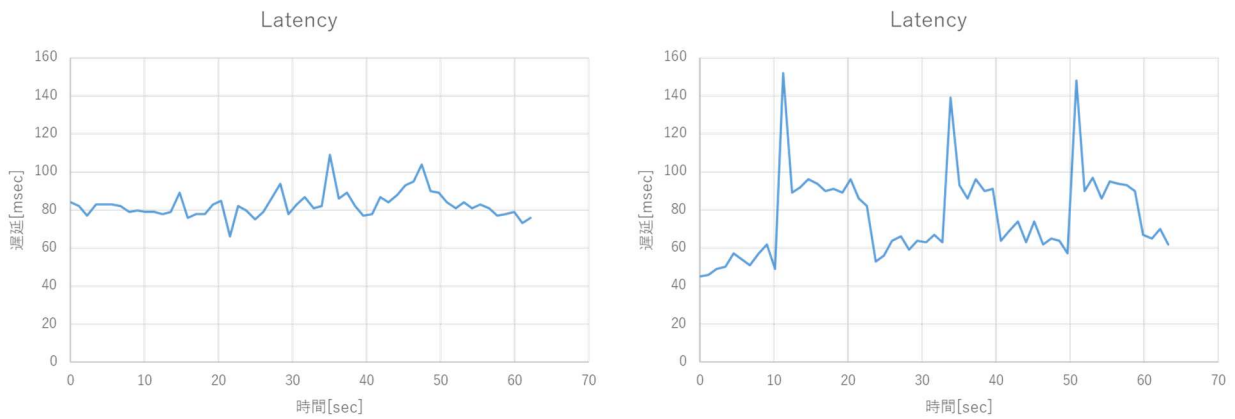


図 4.3.99 無線評価環境(左 : UL のみ, 右 : UL/DL 共)における映像伝送遅延量の検証結果(ENC-DEC) (4K/30fps/20Mbps)

表 4.3.48 無線評価環境での映像伝送遅延量の検証結果(ENC-DEC)

解像度	フレームレート	Target Rate	無線環境	ENC-DEC遅延
4K (2160p)	30fps	12 Mbps	ULのみ	49.6ms
			UL/DL共	63.0ms
		20 Mbps	ULのみ	82.8ms
			UL/DL共	76.8ms

4K/30fps/Target Rate=12Mbps の時の ENC-DEC 間遅延は、アップリンクのみ無線環境において平均 49.6ms、アップリンク/ダウンリンク共無線環境において平均 63ms であった。4K/30fps/Target Rate=20Mbps の時の ENC-DEC 間遅延は、アップリンクのみ無線環境において平均 82.8ms、アップリンク/ダウンリンク共無線環境において平均 76.8ms であった。Target Rate=20Mbps 時の無線環境差分による遅延量の優劣は想定とは逆転しているもののその差分は小さく、どちらの通信環境においても目標値である ENC-DEC 間遅延 150ms を満足することを確認した。

次に、無線評価環境における映像伝送遅延量(glass to glass)の検証結果を下図に示す。

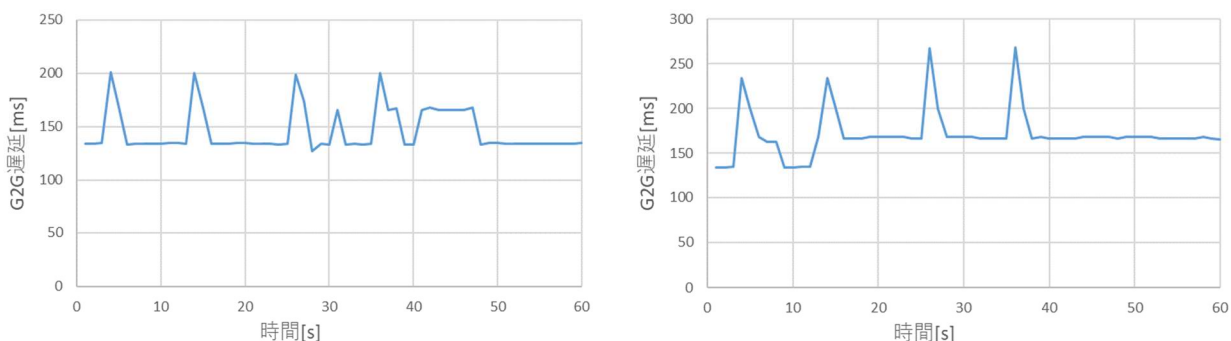


図 4.3.100 無線評価環境(左 : UL のみ, 右 : UL/DL 共)における映像伝送遅延量の検証結果(glass to glass) (4K/30fps/12Mbps)

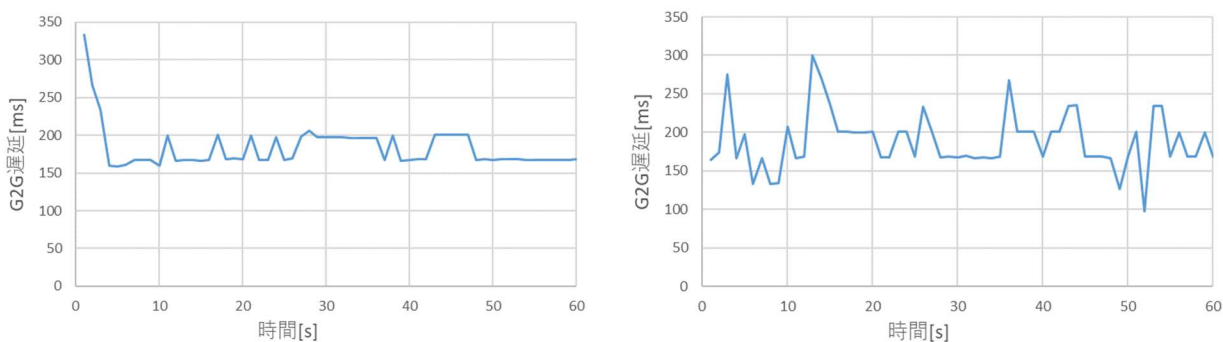


図 4.3.101 無線評価環境(左 : UL のみ, 右 : UL/DL 共)における映像伝送遅延量の検証結果(glass to glass) (FHD/30fps/20Mbps)

表 4.3.49 無線評価環境における映像伝送遅延量の検証結果まとめ(glass to glass)

<アップリンクのみ無線環境>

解像度	フレームレート	Target Rate	Glass to Glass遅延
4K (2160p)	30fps	12 Mbps	145.5ms
		20 Mbps	182.9ms

<アップリンク/ダウンリンク共無線環境>

解像度	フレームレート	Target Rate	Glass to Glass遅延
4K (2160p)	30fps	12 Mbps	171.2ms
		20 Mbps	188.1ms

無線環境における評価での glass to glass 遅延量については上表の結果を得た。別章のフレームロス検討でも述べるが、今回採用している無線基地局シミュレータ上での無線レイヤの BLER が 0 となっておりロスが発生していないことから、無線レイヤ・映像レイヤとも再送制御などが発生していないと類推されるため、結果として有線環境での評価結果と比較して同等の結果が得られていると言える。

(ii)-b. 映像伝送スループット

無線評価環境における映像伝送スループットの検証結果を下図に示す。

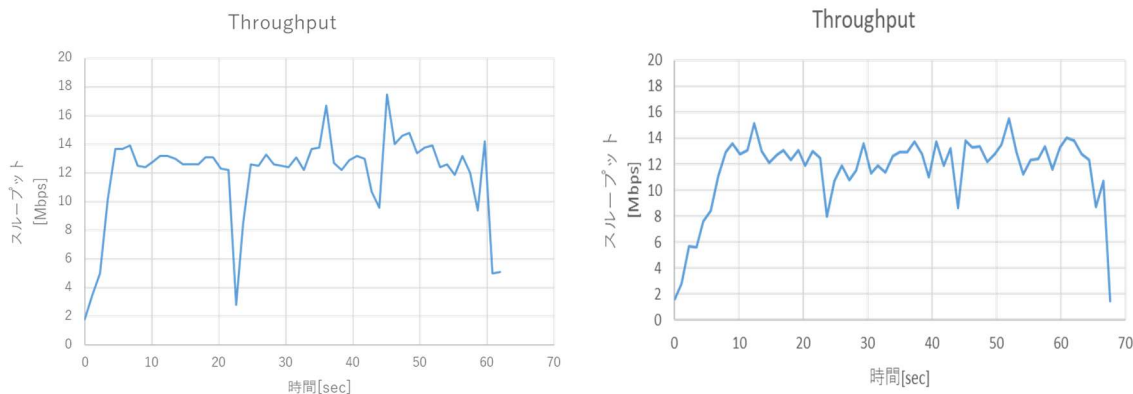


図 4.3.102 無線評価環境(左 : UL のみ, 右 : UL/DL 共)における映像伝送スループットの検証結果(4K/30fps/12Mbps)

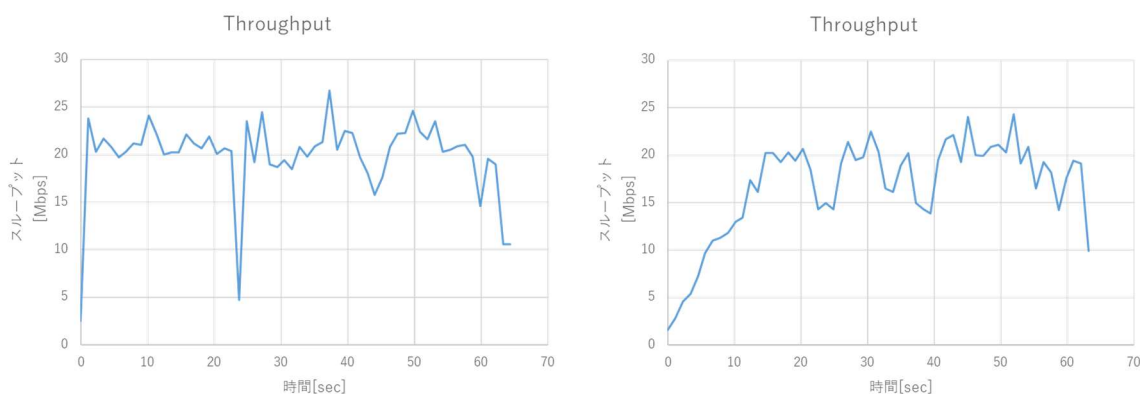


図 4.3.103 無線評価環境(左 : UL のみ, 右 : UL/DL 共)における映像伝送スループットの検証結果(4K/30fps/20Mbps)

4K/30fps/Target Rate=12Mbps の時のスループットは、アップリンクのみ無線環境において平均 11.9Mbps、アップリンク/ダウンリンク共無線環境において平均 11.5Mbps であった。4K/30fps/Target Rate=20Mbps の時のスループットは、アップリンクのみ無線環境において平均 19.9Mbps、アップリンク/ダウンリンク共無線環境において平均 16.7Mbps であった。

映像伝送レートは、映像ソースのシーンの際による発生符号量の違いによる変動はあるが、いずれの条件下においてもターゲットレートに近い映像伝送レートで制御できていることを確認した。

(ii)-3 フレーム欠落率

無線評価環境におけるフレーム欠落率の検証結果を次表に示す。

表 4.3.50 無線評価環境(アップリンクのみ)におけるフレーム欠落率の検証結果

解像度	フレームレート	Target Rate	フレーム欠落率
4K (2160p)	30fps	12 Mbps	0 %
		20 Mbps	0 %

表 4.3.51 無線評価環境(アップリンク/ダウンリンク共)におけるフレーム欠落率の検証結果

解像度	フレームレート	Target Rate	フレーム欠落率
4K (2160p)	30fps	12 Mbps	0 %
		20 Mbps	0 %

【フレーム欠落率に対する分析・考察】

無線環境における映像伝送中にフレーム欠落について評価を行った結果は上表のとおりとなった。いずれの場合でもフレーム欠落は確認されなかった。本事象の確認のため基地局シミュレータ上で無線レイヤにおける BLER の変化も確認したところ、BLER=0 となっており、無線レイヤでエラーフリーとなっているためアプリケーションのレイヤまで影響が及ばなかったことが本結果に繋がっている。

(ii)-4 映像伝送後のノイズ

無線評価環境における映像伝送後のノイズの検証結果を次図に示す。

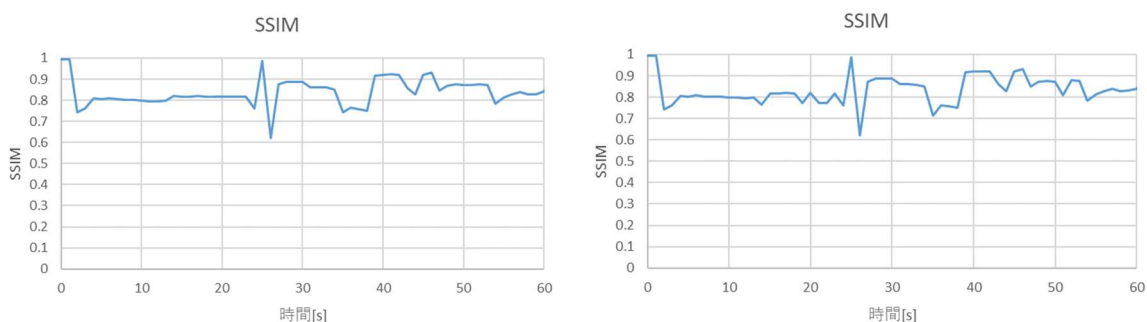


図 4.3.104 無線評価環境(左 : UL のみ, 右 : UL/DL 共)における映像伝送後のノイズの検証結果(4K/30fps/12Mbps)

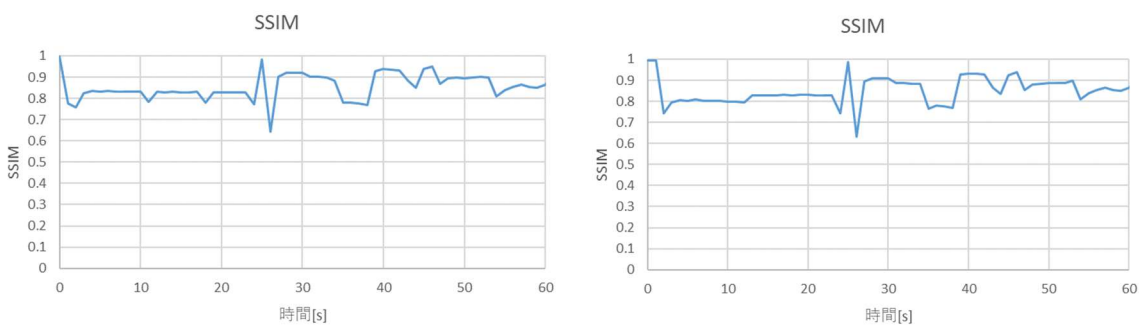


図 4.3.105 無線評価環境(左 : UL のみ, 右 : UL/DL 共)における映像伝送後のノイズの検証結果(4K/30fps/20Mbps)

表 4.3.52 無線評価環境(左：ULのみ，右：UL/DL共)における
映像伝送後のノイズの検証結果まとめ

映像画質	ターゲットレート	無線環境	SSIM
4K30fps	12Mbps AV-QoS：ON	ULのみ	0.839
		UL/DL共	0.835
4K30fps	20Mbps AV-QoS：ON	ULのみ	0.857
		UL/DL共	0.852

映像伝送後のノイズについて、SSIMを指標として確認した。ターゲットレートが12MbpsのときSSIMは0.835～0.839となり、ターゲットレートが20MbpsのときSSIMは0.852～0.857であった。一般にSSIMが0.9を超えると肉眼で識別するのが困難と言われておりその基準には満たなかったが、映像の連続性とリアルタイム性を重視した映像処理をしているため画質の劣化に繋がっている可能性がある。また、実際に目視する画面サイズによっても識別できるノイズレベルは変わってくることから、今後は画質の観点においてはリアルタイム性や実利用環境との関係性も合わせた評価軸の検討が必要であると考えます。

<まとめ>

エンコーダ～デコーダ間の映像伝送遅延時間目標150ms以下に対して、有線接続環境、および、基地局シミュレータでの無線評価環境において、どちらの通信環境においても目標値であるENC-DEC間遅延150msを満足することを確認した。合わせて実運用を考慮したglass to glass間での遅延時間※1を測定した結果、人の映像制御に関する応答時間が180ms～200ms（視覚光刺激の応答時間）との研究結果からglass to glass間での遅延時間が、この程度の範囲に収まるかを確認できた。

*1 映像がカメラのレンズに入ってから表示装置のモニタに映し出されるまでにかかる時間

表 4.3.53 有線接続環境での映像遅延時間結果

解像度	レート	Target Rate	スループット	ENC-DEC 遅延 (<150ms)	Glass to Glass 遅延	フレーム欠損率
4K (2160p)	30fps	12Mbps	平均11.5Mbps	46.4ms	120.9ms	0%
		20Mbps	平均18.1Mbps	66.7ms	172.3ms	0%

表 4.3.54 基地局シミュレータ無線環境での映像遅延時間結果

解像度	レート	Target Rate	無線環境	ENC-DEC 遅延 (<150ms)	Glass to Glass 遅延	フレーム欠損率
4K (2160p)	30fps	12Mbps	ULのみ	49.6ms	145.5ms	0%
			UL/DL共	63ms	171.2ms	0%
	20Mbps	ULのみ	82.8ms	182.9ms	0%	
		UL/DL共	76.8ms	188.1ms	0%	

⑥ 連続 24 時間安定し通信が可能であることの検証

連続 24 時間動作試験結果を次表に示す。無線断回数、映像断回数はそれぞれ端末から取得するログで確認を行った。

表 4.3.55 連続 24 時間動作試験結果

実施時間	無線断回数	映像断回数	評価結果
2022/02/15 13:32:00～ 2022/02/16 13:32:00	0回	0回	OK

端末から取得したログから、無線断回数：0 回、映像断回数：0 回であることを確認し、評価終了時点で映像が流れていることを目視確認し、24 時間安定して通信が可能であることを確認した。

⑦ 消費電力の検証

消費電力の測定結果を次表に示す

表 4.3.56 消費電力測定結果

構成	試作端末	電源電圧 (V)						HDMI 接続
		24 (V)		12 (V)		9 (V)		
		W	A	W	A	W	A	
①	エンコーダ	29.9	1.25	27.5	2.28	27.2	3.01	有り
		29.5	1.23	27.1	2.25	26.8	2.98	無し
②	エンコーダ	24.3	1.01	22.5	1.88	22.0	2.43	無し
③	エンコーダ	26.4	1.10	25.3	2.10	24.9	2.76	無し
④	デコーダ	18.0	0.75	15.2	1.26	15.0	1.68	無し

表 4.3.57 測定構成一覧(再掲)

構成	試作端末	接続回線	カメラ種別、接続数	HDMI 接続
①	エンコーダ	5G	GMSL × 4	有り/無し
②	エンコーダ	5G	USB × 2	無し
③	エンコーダ	LAN	GMSL × 4	無し
④	デコーダ	5G		無し

・考察

入力電圧 24V のときに 29.9 W となり、最も高い消費電力であることを確認した。これは、入力電圧が高い方が、内部で使用する電圧との電圧差が大きくなり、電源効率が悪くなるためである。

24 V の入力電圧のとき、GMSL カメラのある構成①はカメラのない構成の④と比較し 11.5 W の消費電力増加となった。GMSL カメラの消費電力が 9.7 W(typ)~12.6 W(max)であるため、期待通りの結果となった。

USB カメラを使った構成の②は、カメラのない構成④と比較し、6.3 W の消費電力増加となった。USB カメラが使用する消費電力がおよそ 7 W(max)であるため、期待通りの結果となった。

5G 回線を使用しない構成③は、カメラのない構成④と比較し、8.4 W の消費電力増加となった。無線モジュールが使用する消費電力が 9.8 W(max)であるため、期待通りの結果となった。

HDMI ディスプレイを使わない場合は、表示機能が動作しなくなったため 0.4 W 消費電力が下がった。

今回のターゲットとしている移動体・車両では、

小型ロボット・乗用車=12V バッテリー

大型車、バス =24V バッテリー

であり、両方の電圧で実測し、GMSL カメラを 4 台接続した状態で約 30W であることを確認した。

⑧ 電源電圧増減における動作の検証

電源電圧増減試験結果を次表に示す。

表 4.3.58 電源電圧増減試験結果

試験電圧	DC24V			DC12V			DC9V		
電源電圧[V]	+10%	0%	-10%	+10%	0%	-10%	+10%	0%	-10%
受信側動作	○	○	○	○	○	○	○	○	○
送信側動作	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○：不安全事故の発生なきこと及び正常動作を確認

不安全事故の発生なきこと及び正常動作の確認、各定格電圧の±10%の電源電圧変動にて、動作することを確認した。

⑨ インパルスノイズ試験(外来ノイズ耐性の確認)

通信線シリアル RS-232 のインパルスノイズ試験結果を次表に示す。

表 4.3.59 インパルスノイズ試験結果

<通信線 (RS-232C) > 印加電圧 : ±0.75kV

パルス幅 (ns)	50ns		1000ns	
極 性	+	-	+	-
結 果	○	○	○	○

○:正常動作を継続

通信線イーサ (LAN) のインパルスノイズ試験結果を次表に示す。

表 4.3.60 インパルスノイズ試験結果

<通信線 (LAN1) > 印加電圧 : ±0.75kV

パルス幅 (ns)	50ns		1000ns	
極 性	+	-	+	-
結 果	○	○	○	○

○:正常動作を継続

<通信線 (LAN2) > 印加電圧 : ±0.75kV

パルス幅 (ns)	50ns		1000ns	
極 性	+	-	+	-
結 果	○	○	○	○

○:正常動作を継続

試験中～試験終了後の故障がなく、各機能が正常な動作を継続すること及びノイズ耐性を確認した。

⑩ 通信線(LAN)の雷サージ試験(外来ノイズ耐性の確認)

通信線イーサ (LAN) ポートの雷サージ試験結果を次表に示す。

表 4.3.61 エンコーダの雷サージ試験結果

コモンモード (線路-筐体接地間) の試験結果

試験電圧	0.5kV (試験レベル 1)		1kV (試験レベル 2)		2kV (試験レベル 3)	
極性	+	-	+	-	+	-
印加位相 [°]	(非同期)	(非同期)	(非同期)	(非同期)	(非同期)	(非同期)
結果	○	○	○	○	○	○

表 4.3.62 デコーダの雷サージ試験結果

コモンモード (線路-筐体接地間) の試験結果

試験電圧	0.5kV (試験レベル 1)		1kV (試験レベル 2)		2kV (試験レベル 3)	
極性	+	-	+	-	+	-
印加位相 [°]	(非同期)	(非同期)	(非同期)	(非同期)	(非同期)	(非同期)
結果	○	○	○	○	○	○

試験中～試験終了後、故障がなく正常動作することを確認した。ノイズ耐性を確認した。

⑪ 静電気試験(外来ノイズ耐性の確認)

静電気試験結果を次表に示す。

表 4.3.63 エンコーダの静電気試験(接触放電)結果

印可電圧	2kV		4kV		6kV		8kV	
	正	負	正	負	正	負	正	負
筐体天面右前ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面左前ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面右奥ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面左奥ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面右奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面中央奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面中アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

表 4.3.64 エンコーダの静電気試験(気中放電)結果

印可電圧	2kV		4kV		8kV		15kV	
	正	負	正	負	正	負	正	負
筐体天面右前ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面左前ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面右奥ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面左奥ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面右奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面中央奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面中アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面右奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面中央奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面中アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
LAN1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
LAN2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

表 4.3.65 デコーダの静電気試験(接触放電)結果

印可電圧	2kV		4kV		6kV		8kV	
	正	負	正	負	正	負	正	負
筐体天面右前ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面左前ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面右奥ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面左奥ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面右奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面中央奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面中アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

表 4.3.66 デコーダの静電気試験(気中放電)結果

印可電圧	2kV		4kV		8kV		15kV	
	正	負	正	負	正	負	正	負
筐体天面右前ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面左前ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面右奥ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
筐体天面左奥ビス	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面右奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面中央奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面中アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面右奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
後面中央奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面中アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
左側面奥アンテナ	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
LAN1	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
LAN2	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

試験中～試験終了後、故障がなく正常動作することを確認した。ノイズ耐性を確認できた。

イ) フィールド (三郷町 FSS35 キャンパス) での実証

フィールド (三郷町 FSS35 キャンパス) での検証結果・考察を以下に示す。本節では下記の構成で評価結果を報告する。

① 遠隔操作ロボットに端末を設置した低遅延映像伝送検証結果

- スループット・遅延量の評価から FullHD 画質のカメラ 2 台の伝送においては今回の開発端末の目標性能が達成できていることの確認

② 車両に端末を設置した低遅延映像伝送検証結果

- スループット・遅延量の評価から、今回のローカル 5G 環境が安定して帯域を確保できていること、及び当該環境における FullHD 画質のカメラ 4 台の映像伝送に対してはパラメータ調整に課題があることを検出

車両に端末を設置した低遅延映像伝送の追加検証の結果

- 上記で検出した課題を踏まえ、パラメータを最適に調整した形で再評価し、技術目標を十分に達成できることを確認
- glass to glass 条件を適用した場合においても人間が映像制御に対して応答可能な時間(180ms~200ms)を満足することを確認

③ 遠隔操作ロボット・車両での映像伝送における映像途切れに関する検証結果

- ①②の実証における映像途切れについて複数人による目視確認を行い、その結果から環境要因等との関係を考察

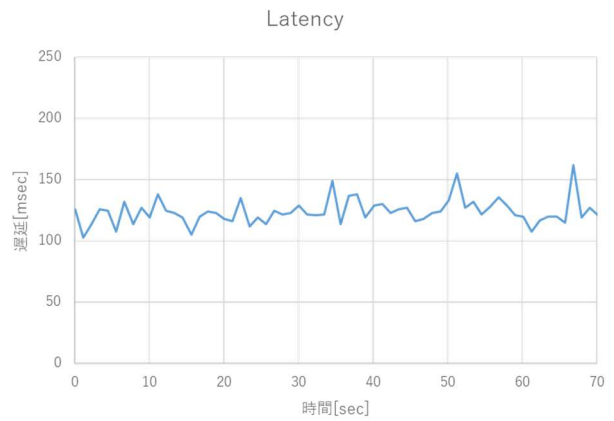
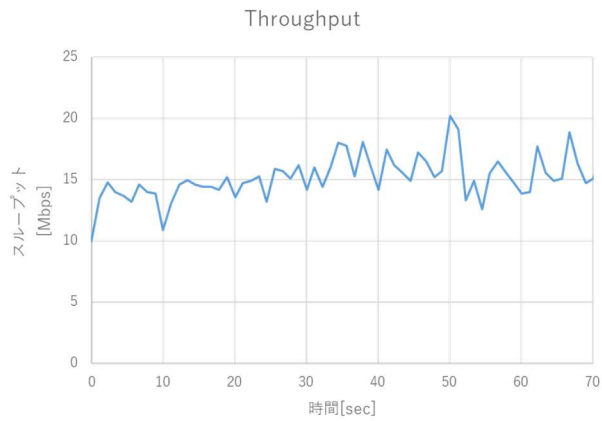
④ ローカル 5G からキャリア 5G への切替検証の結果

ローカル 5G からキャリア 5G への切替時の Ping/映像断時間を確認する。

① 遠隔操作ロボット端末を設置した低遅延映像伝送検証結果

下記に、遠隔操作ロボットに端末を設置した環境における低遅延映像伝送評価結果(スループット・ENC-DEC 間遅延量)を示す。

[AV-QoS:ON]



[AV-QoS:OFF]

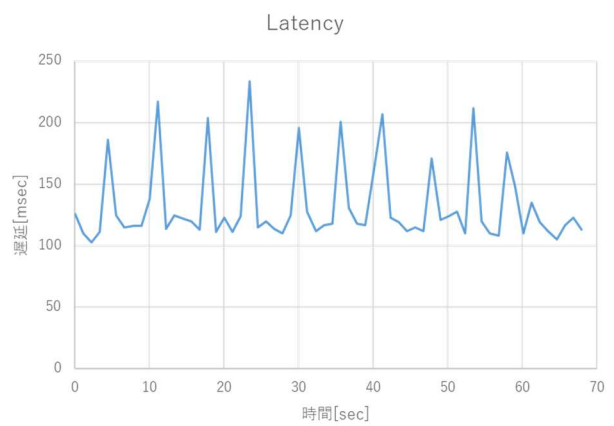
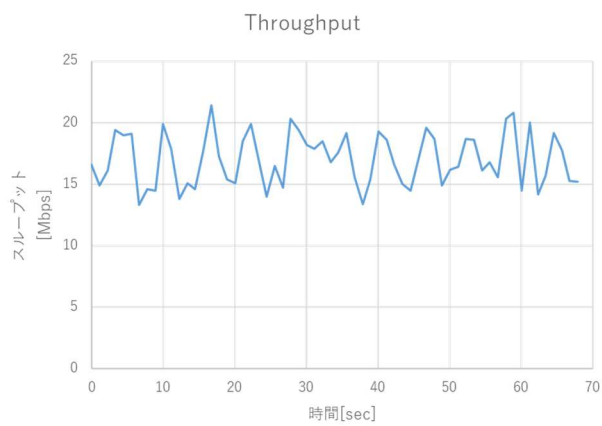
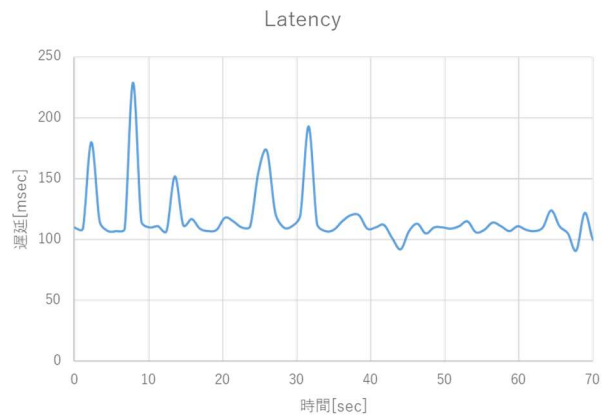
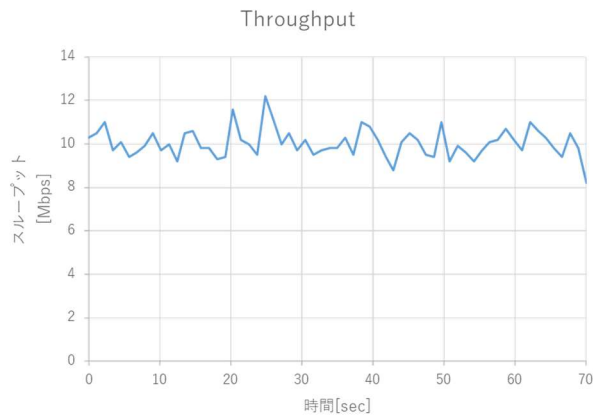


図 4.3.106 遠隔操作ロボットにて実施した低遅延映像伝送検証結果
(FHD×2/30fps/20Mbps)

[AV-QoS:ON]



[AV-QoS:OFF]

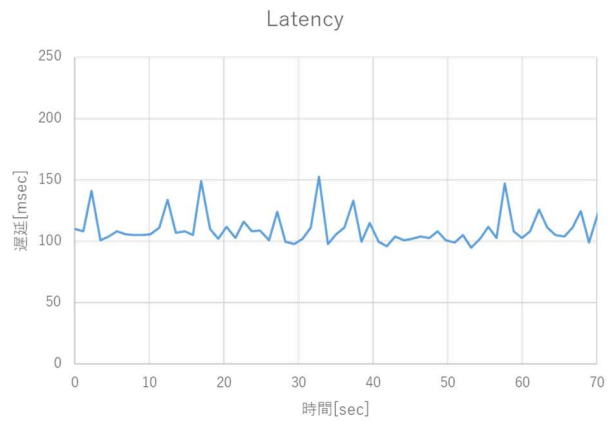
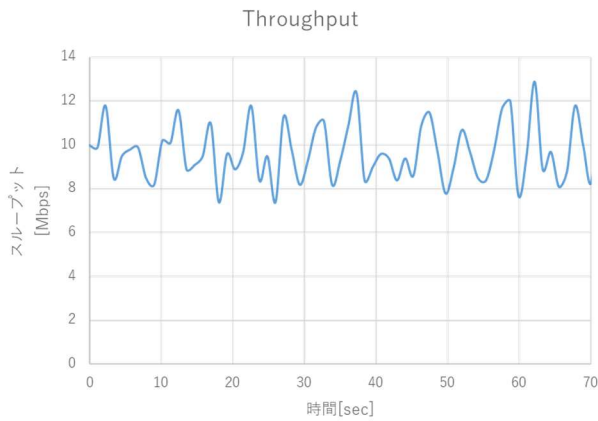


図 4.3.107 遠隔操作ロボットにて実施した低遅延映像伝送検証結果 (FHD×2/30fps/12Mbps)

表 4.3.67 遠隔操作ロボットにて実施した低遅延映像伝送検証結果

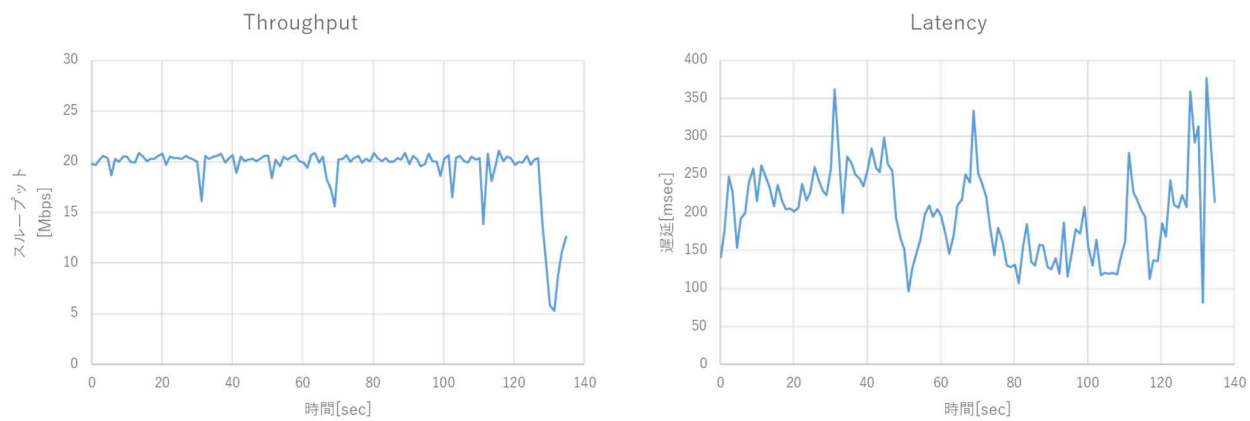
	ターゲットレート	AV-QoS	平均スループット	平均遅延
FHD×2カメラ 30fps	20Mbps	ON	15.2Mbps	124.8ms
		OFF	17.0Mbps	132.2ms
	12Mbps	ON	9.6Mbps	112.5ms
		OFF	9.7Mbps	110.2ms

遠隔操作ロボットにて実施した低遅延映像伝送検証では、スループット・遅延の評価結果が AV-QoS 機能の ON/OFF 差分に依らず同等の性能を達成することを確認した。このことから、ローカル 5G の無線レイヤでの伝送レートはターゲットレートを目標値とした映像伝送レートに対して十分に確保されていることが推察される。また各グラフの振舞いから、エンコーダが定期的に大きなデータ量を送出していることが推察される。平均遅延量としては目標値である 150ms 以下を達成しているが定期的に 150ms を超えるケースが散見されるため映像伝送に必要なパラメータ設定を確認したところ、GOP(Group of Picture)中の I-Frame(ビデオストリームの中で最も多くのビットを使用するフレーム)の出現頻度が高く設定されていることが分かった。伝送路品質が悪い場合は I-Frame を頻繁に挿入しフレーム欠損が起こっても直ぐに復帰できるような環境設定を行うが、今回のローカル 5G 環境は十分に伝送路品質が確保されておりフレーム欠損も発生しづらい環境であると言えるので、I-Frame の挿入頻度を抑制し発生符号量を平滑化することで、より安定した低遅延映像伝送ができると思われる。本結果を踏まえて車両に端末を設置した低遅延映像伝送検証を実施した。

② 車両に端末を設置した低遅延映像伝送検証

車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果を次表に示す。

[AV-QoS:ON]



[AV-QoS:OFF]

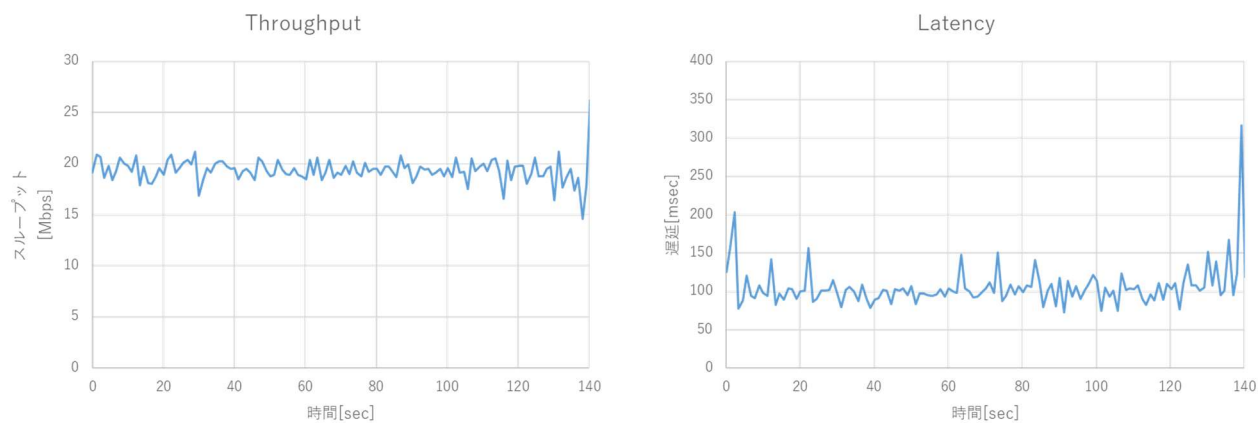
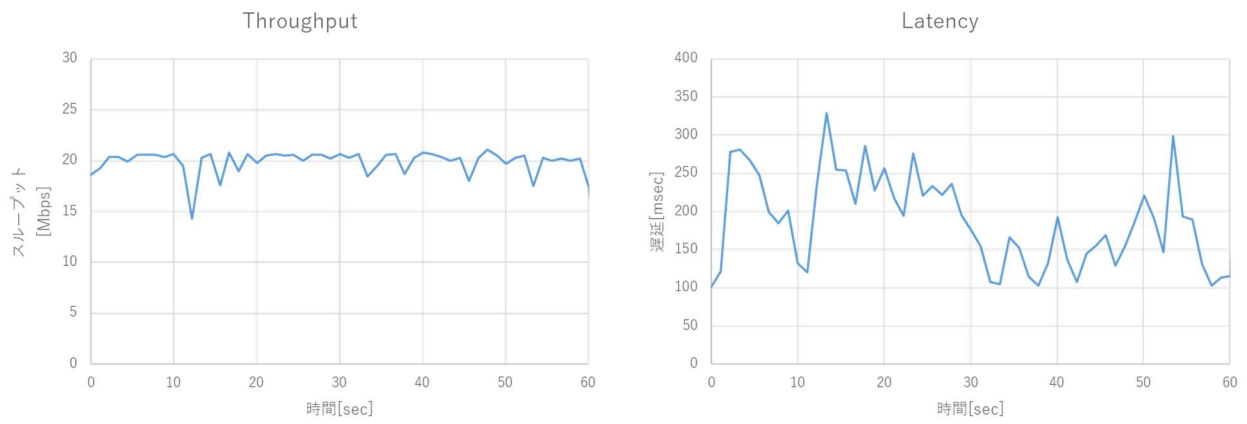


図 4.3.108 車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果
(FHD×4 /30fps /20Mbps /5km/h)

[AV-QoS:ON]



[AV-QoS:OFF]

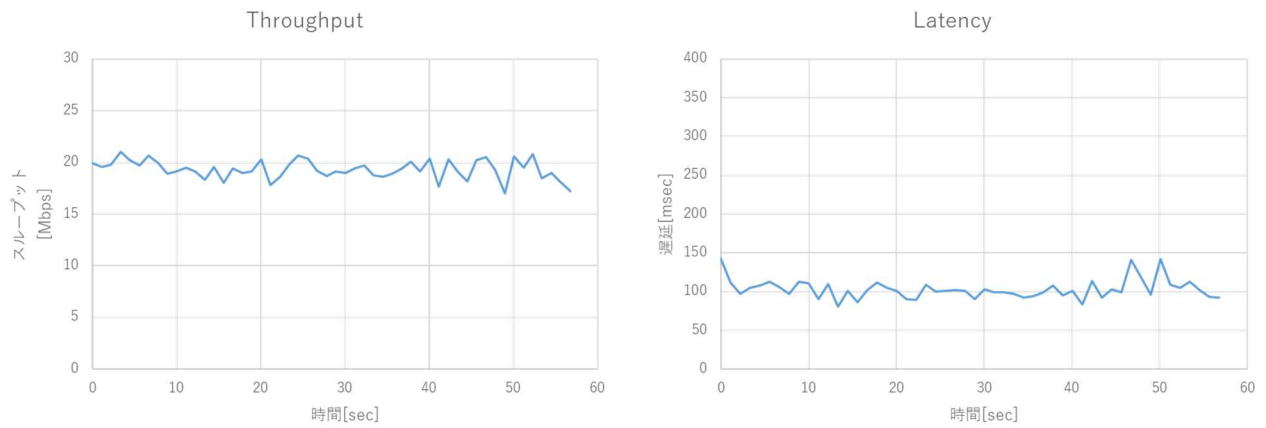
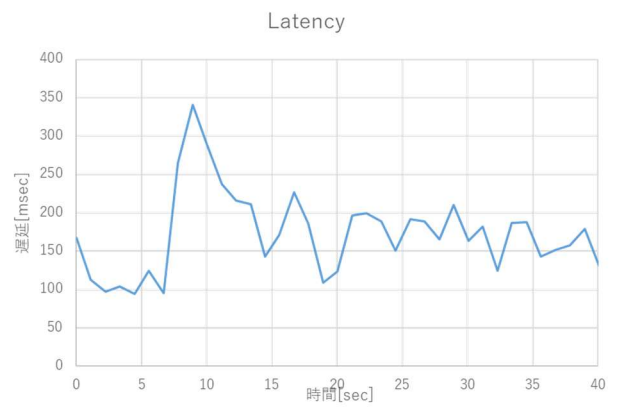
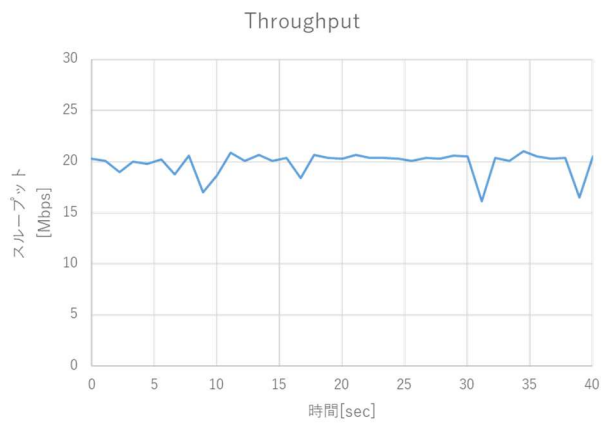


図 4.3.109 車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果
(FHD×4 /30fps /20Mbps /15km/h)

[AV-QoS:ON]



[AV-QoS:OFF]

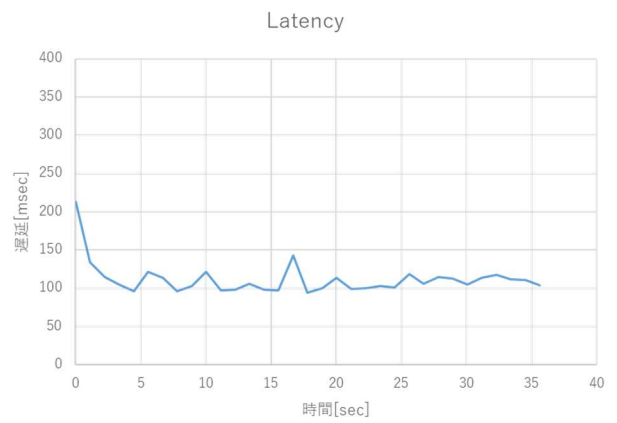
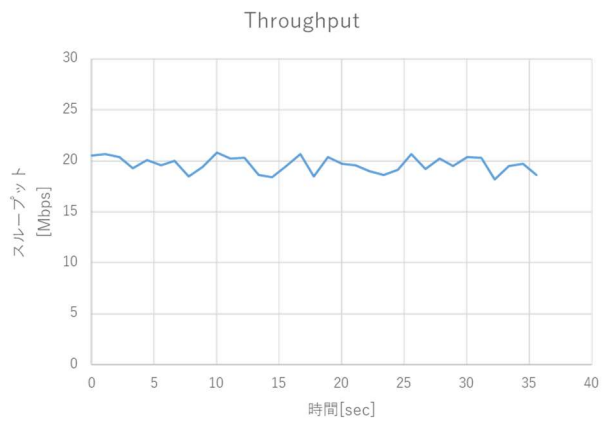
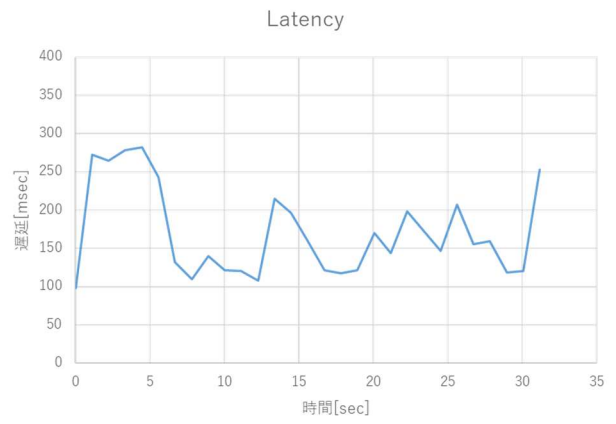
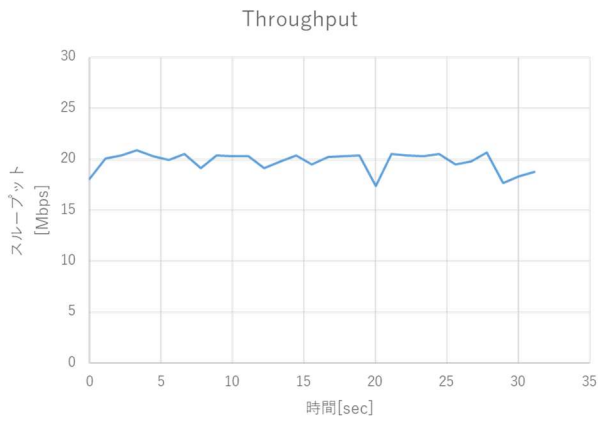


図 4.3.110 車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果
(FHD×4 /30fps /20Mbps /25km/h)

[AV-QoS:ON]



[AV-QoS:OFF]

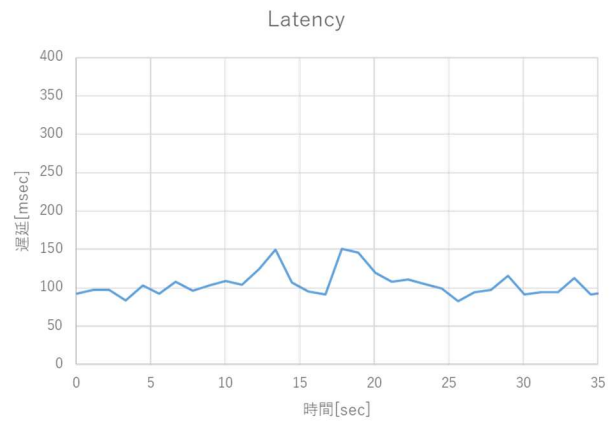
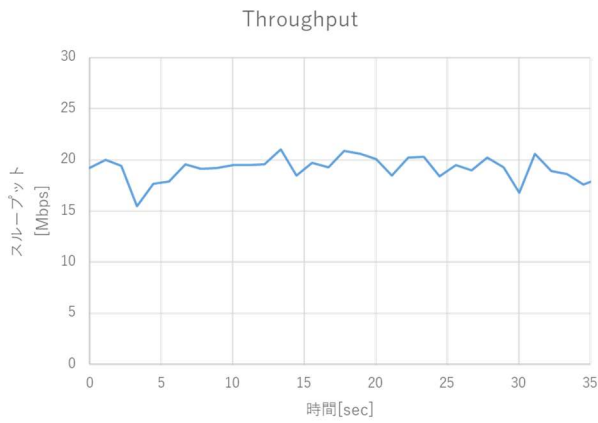
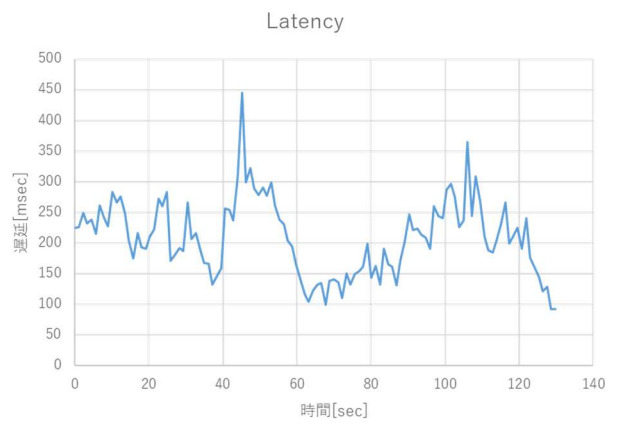
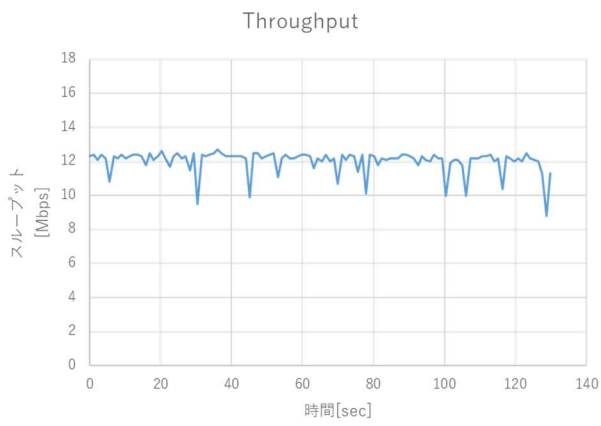


図 4.3.111 車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果
(FHD×4 /30fps /20Mbps /35km/h)

[AV-QoS:ON]



[AV-QoS:OFF]

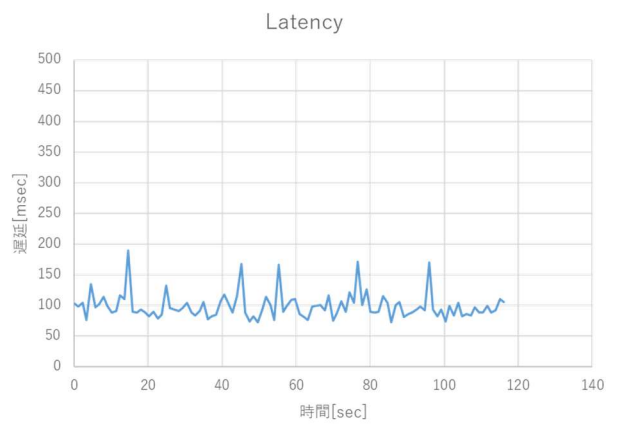
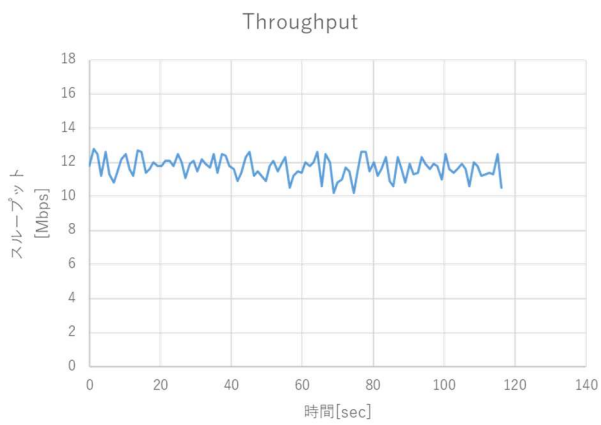
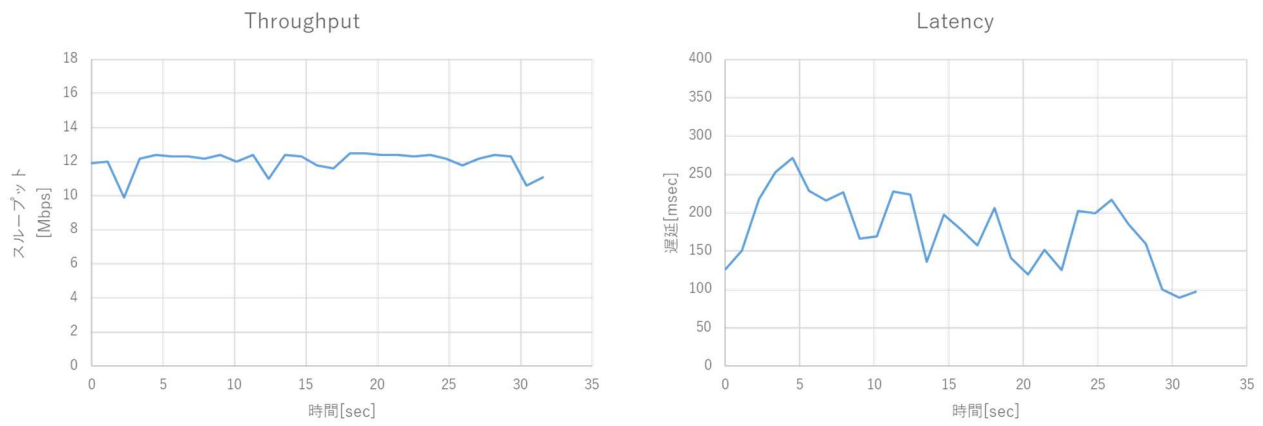


図 4.3.112 車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果
(FHD×4 /30fps /12Mbps /5km/h)

[AV-QoS:ON]



[AV-QoS:OFF]

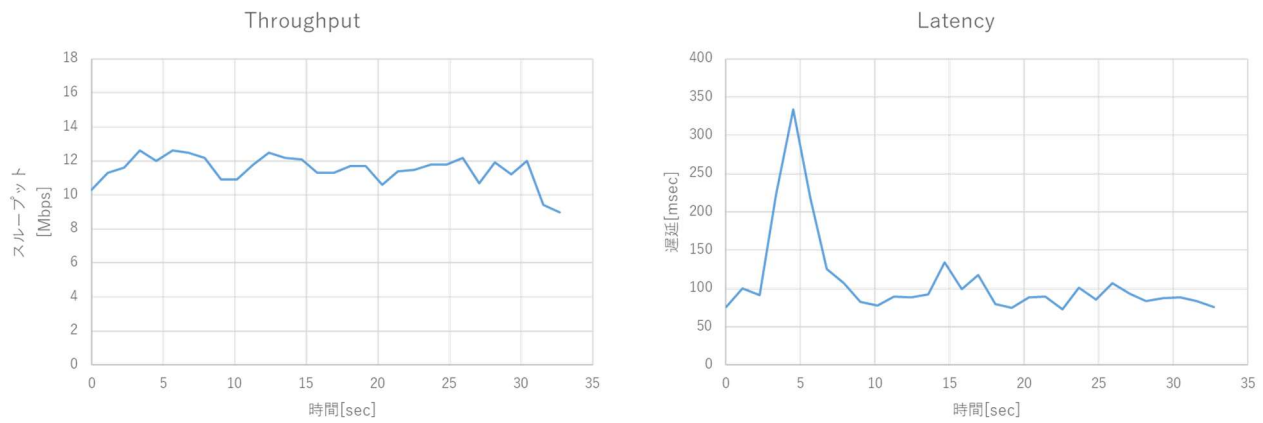


図 4.3.113 車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果
(FHD×4 /30fps /12Mbps /35km/h)

表 4.3.68 車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果まとめ

解像度	ターゲットレート	AV-QoS	車両速度	平均スループット	平均遅延
FHDカメラ×4 30fps	20 Mbps	ON	5km/h	19.4Mbps	200.5ms
			15km/h	19.6Mbps	195.6ms
			25km/h	19.9Mbps	169.7ms
			35km/h	19.7Mbps	170.9ms
		OFF	5km/h	19.4Mbps	105.6ms
			15km/h	19.3Mbps	103.2ms
			25km/h	19.6Mbps	111.7ms
			35km/h	19.2Mbps	105.1ms
	12 Mbps	ON	5km/h	12.0Mbps	209.3ms
			35km/h	12.0Mbps	177.4ms
OFF	5km/h	11.7Mbps	99.0ms		
	35km/h	11.6Mbps	110.0ms		

今回の測定では Full-HD 画質の GMSL カメラを 4 つ搭載した車両からの映像を伝送するため、20Mbps をターゲットレートとして調整した映像伝送評価を主軸に評価を行った。一方、今後ローカル 5G と公衆網を切り替える動作の検証を予定しており、公衆網の上り回線のスループットを想定して 12Mbps をターゲットレートとして調整した映像伝送評価も合わせて行っている。

測定したポイントでは、ローカル 5G の無線状態が、RSRP が -100dBm ~ -110dBm で安定した地点で評価しており、遅延のジッタは生じているものの無線レベルのスループットが確保されていたため、映像伝送レートは安定してターゲットレートに近い値で出力を制御できていることを確認した。

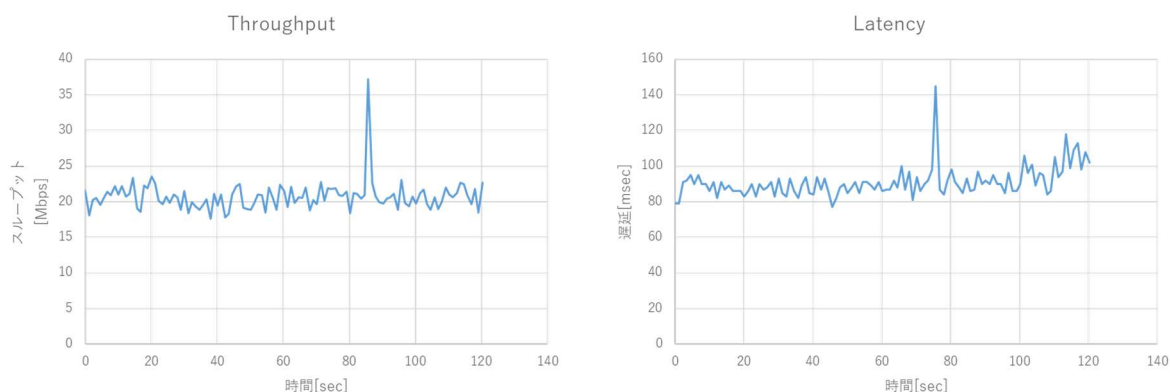
車両速度の差異に依る性能差分についても評価を行った。結果としてはスループット・遅延とも速度差異による性能差分は粗無く、安定して映像伝送できていることを確認した。

遅延量については、AV-QoS 機能の ON/OFF の差異による遅延発生状況が遠隔制御ロボットの評価時とは異なる結果が得られた。具体的には、AV-QoS 機能を OFF にした場合は 100~110ms で遅延量が安定していたのに対して AV-QoS 機能を ON にした場合は 150ms を大きく超過し 200ms 前後の遅延となるケースも発生した。本事象について映像処理観点のログを確認して解析をしたところ、実網で使うことを想定して設定した遅延の揺らぎの影響を吸収するためのジッタバッファの中に映像フレームが滞留していることが確認された。本実証のローカル 5G 環境においては、伝送路品質が十分に確保されているため過大なバッファ設定は不要と考えられるため、遅延の揺らぎを吸収するバッファの設定を最適化することで本事象の解決が図れることを期待しバッファ設定の最適化を行ったパラメータ設定で再評価を行った。その結果を以下に示す。

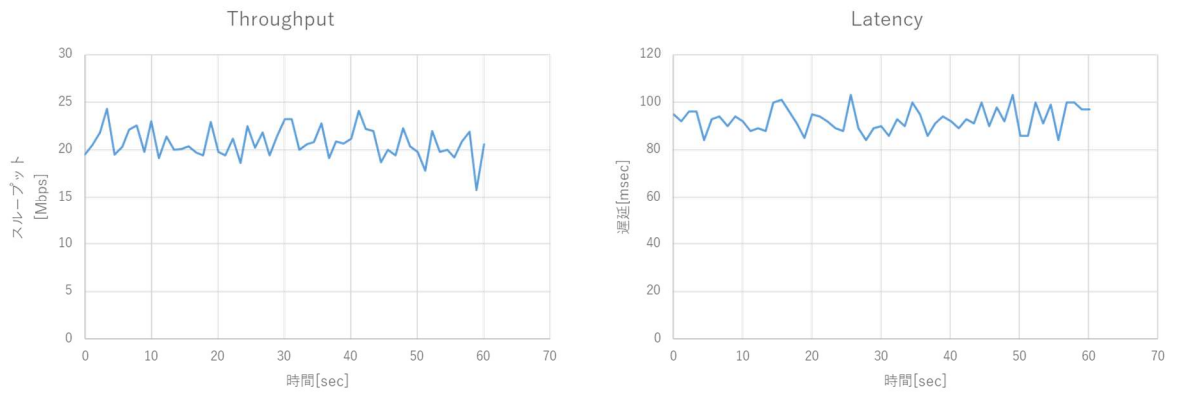
【車両に端末を設置した低遅延映像伝送の追加検証結果】

[AV-QoS:ON]

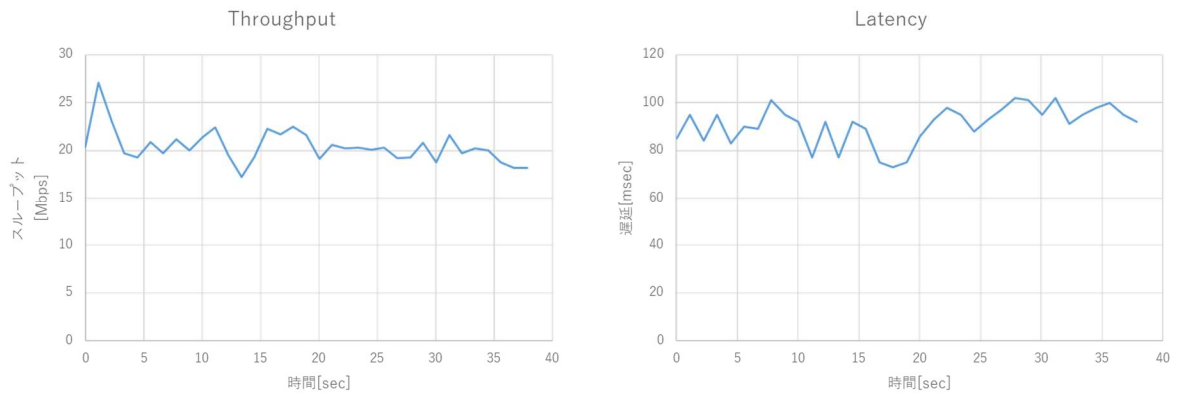
<車両速度 : 5km/h>



<車両速度：15km/h>



<車両速度：25km/h>



<車両速度：35km/h>

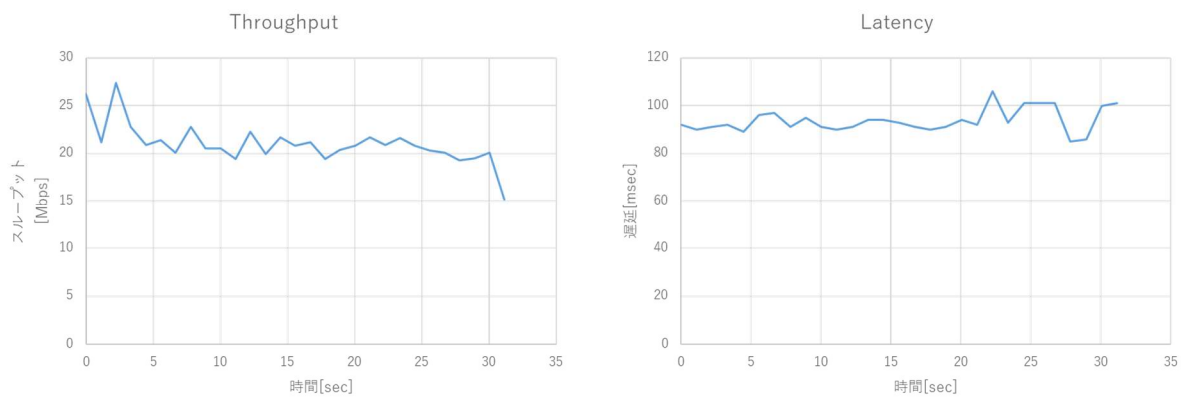


図 4.3.114 遅延の揺らぎを吸収するバッファ設定を最適化した環境で
車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果
(FHD×4 /30fps /20Mbps)

表 4.3.69 遅延の揺らぎを吸収するバッファ設定を最適化した環境で
車両にて実施した低遅延映像伝送検証結果まとめ

カメラ解像度	ターゲットレート	AV-QoS	車両速度	平均スループット	平均遅延
FHDカメラ×4 30fps	20Mbps	ON	5 km/h	20.7Mbps	90.9ms
			15 km/h	20.7Mbps	92.7ms
			25 km/h	20.4Mbps	90.9ms
			35 km/h	21.0Mbps	93.7ms

遅延の揺らぎを吸収するバッファ設定を最適化した結果、遅延量は平均 90.9～93.7ms の評価結果が得られ、目標値である ENC-DEC 間遅延 150ms の要求条件をフィールド実証においても達成できることを確認した。また、ラボで得られた結果から glass to glass 環境条件との遅延差分は 70～100ms であったので、glass to glass 条件でも 200ms を切る事が推察され、前述した「人の映像制御に関する応答時間に関する研究結果」で報告されている人間が反応可能な 180～200ms の遅延量と照らし合わせても、実利用に資する性能が達成できたといえる。

③ 遠隔操作ロボット・車両での映像伝送における映像途切れに関する検証結果

遠隔操作ロボット・車両での映像伝送における映像途切れに関する検証結果を次表に示す。

表 4.3.70 遠隔操作ロボットでの映像伝送における映像途切れ評価結果

カメラ	フレームレート	ターゲットレート	AV-QoS	途切れ回数(平均)
Full-HD ×2カメラ	30fps	20Mbps	ON	1.6 回
			OFF	1.8 回
Full-HD ×2カメラ	30fps	12Mbps	ON	0 回
			OFF	0.1 回

表 4.3.71 車両での映像伝送における映像途切れ評価結果

カメラ解像度	フレームレート	ターゲットレート	AV-QoS	途切れ回数(平均)
Full-HD ×4カメラ	30fps	20Mbps	ON	2.5 回
			OFF	1.9 回
Full-HD ×4カメラ	30fps	12Mbps	ON	0.4 回
			OFF	0.2 回

遠隔操作ロボット・車両それぞれにおいて、走行中映像の伝送結果を録画し、複数人で確認を行った。各試行において AV-QoS 機能の ON/OFF での差はほとんど見られなかったが、これは遅延性能の検証の際に述べたとおり、AV-QoS の機能が有効に発揮されないくらいローカル 5G の環境が十分に可用帯域を確保できていたためである。

一方、車両試験でターゲットレートを 20Mbps に設定した評価結果では、AV-QoS 機能を ON にした場合に、ほとんどの被験者がカクツキを多く視認していた。これは無線環境が安定しているためターゲットレートの 20Mbps 近くまで映像レートを上げることができたため、AV-QoS 機能が持つ解像度切替の閾値を跨ぐ動作が起こっていると考えられる。頻繁な解像度変更は利用者に違和感を与える要因ともなりうるため、通信環境条件に適した閾値調整も重要であることを確認した。

④ ローカル 5G からキャリア 5G への切替検証

ローカル 5G からキャリア 5G への切替検証結果を次表に示す。

表 4.3.72 ローカル 5G からキャリア 5G への切替検証結果

試行番号	Ping 断時間[秒]		映像断時間[秒]		Ping 復帰から映像復帰までの時間[秒]	
	ローカル 5G→公衆網	公衆網→ ローカル 5G	ローカル 5G→公衆網	公衆網→ ローカル 5G	ローカル 5G→公衆網	公衆網→ ローカル 5G
1	39.481	20.449	63.049	54.116	23.568	33.667
2	44.242	20.443	60.600	55.198	16.358	34.755
3	39.618	19.393	55.561	59.008	15.943	39.615
4	38.733	19.395	55.823	54.205	17.090	34.810
5	38.953	18.427	59.489	55.823	20.536	37.396
6	12.001	20.470	54.205	59.489	42.204	39.019
7	38.562	27.670	59.657	55.377	21.095	27.707
8	39.984	19.397	59.972	55.529	19.988	36.132
9	38.575	26.606	55.829	54.385	17.254	27.779
10	38.728	19.415	62.241	29.453	23.513	10.038
平均	36.888	21.167	58.643	53.258	21.755	32.092

まず本実証におけるローカル 5G からキャリア網への切替契機の RSRP=-120dBm 未満およびキャリア網からローカル 5G への切替契機の基地局 1 のアンテナから 100m 以内という設定値については図 4.3.70 記載の所望の切替ポイントにおいてほぼ安定的にネットワークを切り替えることができ、切替アルゴリズムおよびソフトウェア実装内容の妥当性を確認した。

次に Ping 断時間においては、現状では実装上 SIM を切り替える際に切替先の SIM が通電し有効な状態になるのに約 5 秒所要しているため、今後 DSDS(Dual SIM Dual Standby)とすることで改善が期待される。また、ローカル 5G から公衆網への切替の際の方が長くなっているが、この原因としては、公衆網の SIM に切替後、まず 3G セルに接続し 3G での RRC 接続開放後に LTE セルにセルリセクションしているためと考えられる。この原因としては、使用している無線モジュールの対応 RAT(Radio Access Technology)および公衆網の SIM の優先 RAT 設定などに依存するため、これらを調整することで改善の余地があると考えられる。

映像断時間については、現状では、Ping 断時間には依存せず、すなわち Ping が復旧した時点から速やかに映像が復旧するようにはならず、ほぼ Ping が不通となってから固定的に 55 秒～60 秒後(1 回のみ 30 秒後)に映像が復旧している。これは映像アプリケーションにおけるセッション監視方法(周期やタイマー設定)によるものと考えられ、こちらについても今後の調整による改善の余地があるものと考えられる。

4.3.2 端末システムの実装性に関する検証

試作する端末は、移動走行ロボットによる巡回バスサービス、スマート農業、スマート配送に実装を想定した端末であり、これらへの本実装にあたっては、専門家・有識者の助言・意見をヒアリングして、将来の遠隔監視制御センターでの運用も踏まえた更なる改善が必要になる。

また横展開を考慮した場合に必要な映像品質やインタフェース等の端末に求められる条件についてさらなる検討を実施する必要がある。

1) 検証項目

端末システムの実装性に関して、実装を想定している各ユースケース（移動走行ロボットによる巡回バスサービス、スマート農業、スマート配送）における端末としての性能・必要条件を満たすか、映像を伝送するシステムとしての必要機能を満たすのかを検証するため、次表に示す項目についてそれぞれ検証を行った。

表 4.3.73 端末システムの実装性に関する検証項目

No.	検証項目	目的	理由・目的	具体的検証項目・視点
1	ユースケース毎のカメラ性能・映像品質の検証	端末としての性能・必要要件の検証	①設置する移動体の移動速度による要求されるカメラ性能・映像品質の確認 ②画像認識する際の映像品質の確認 ③映像品質と使用するデータ帯域とのトレードオフの見極め	①車載設置カメラで移動速度とカメラ映像品質の確認 ②①の映像での物体識別の可否 ③ローカル5G、公衆網におけるカメラ映像品質毎の映像データ量と無線通信時の使用可能帯域についての検証
2	端末としての耐振動条件、温度条件、インタフェース		・移動体に設置した際の振動に対する要件の確認 ・設置ケースでの動作温度、保存温度要件の確認	トラクター・自動運転バス・移動ロボット（車いす型など）の各ユースケースでの要件の確認
3	端末や外部アンテナの設置（実装）方法の検証		試作端末の設置性の確認	・設置場所での端末サイズ ・端末と外部アンテナとの配線・設置性
4	ユースケース毎の端末に求められるその他条件の検証		現在想定している機能や外部インタフェースが必要十分かの確認	トラクター・自動運転バス・移動ロボット（車いす型など）の各ユースケースでの要件の確認
5	ローカル5Gと全国5G（LTE）との切替制御	映像伝送するシステムとしての必要機能の検証	各ユースケースでの切替機能の必要性とその要件の確認	・トラクター・自動運転バス・移動ロボット（車いす型など）の各ユースケースでの要件の確認 ・切替時の方式、切替手順の確認
6	遠隔監視制御センターでの運用	（端末以外のシステムとしての検証）	・映像エンコーダ端末に対して、遠隔監視制御センターに必要な映像デコーダ設置要件の確認 ・遠隔制御システムやサービス全体の構成に必要なエンコーダ端末の要件の確認	・複数端末を制御するためのデコーダやネットワークに必要なとされる要件の検証 ・監視センターでの自動運転に必要な情報や制御内容 ・映像伝送以外の将来サービスの想定

まずは、端末としての性能・必要要件として検証した項目を示す。

(1) 本運用において求められるユースケース毎のカメラ性能・映像品質の検証

設置する移動体の移動速度によって要求されるカメラ性能や映像品質が異なるため、実証において要件を満たすか、また、ローカル 5G にて無線通信する際の映像品質とデータ帯域の検証。

(2) 想定している耐振動条件、温度条件、インタフェースで運用が可能か検証

想定している端末の設置環境や動作環境において、耐振動条件、温度条件（動作温度、保存温度）、必要とされるインタフェースについての端末に求められる条件について検証。

(3) 端末や外部アンテナの自動走行ロボット等への設置（実装）方法の検証

本端末では、映像エンコード機能と無線通信機能を一体化することで小型化・設置性の向上を図ったが、実際の移動体に設置する際の設置方法や外部アンテナ・外部カメラとの配線・設置性などを検証。

(4) ユースケース毎の端末に求められるその他条件の検証

現在想定している機能や外部インタフェースにおいて、過不足・追加の要望が無いか検証。

次に映像を伝送するシステムとしての必要機能を満たすのかを検証した項目を示す。

(5) 本運用を踏まえたローカル 5G と全国 5G (LTE) との切替制御に関する検証

各ユースケースでの切替機能の必要性とその要件を検証。

(6) 将来の遠隔監視制御センターでの運用も踏まえシステム・サービス全体に関する検証

端末としての要件で映像エンコーダとしての要件を確認した。そのエンコーダ端末に対して、遠隔監視制御センターに必要な映像デコーダ設置要件やネットワークに必要とされる要件を検証。今回はローカル 5G 閉域網のみならず、全国 5G (LTE) 公衆網での運用を視野にそれぞれのネットワークにて必要な要件を検証。

2) 検証方法

今回の実証結果を専門家・有識者に確認頂き助言・意見をヒアリングすること及び今回の実証データの結果から検証を行った。

実装を想定している各ユースケース（移動走行ロボットによる巡回バスサービス、スマート農業、スマート配送）において、ヒアリング先は、事業モデルを検討している自治体、運航運用会社、自動運転実証およびサービス運用会社、通信事業者、自動運転トラクターの自動運転制御を研究・実証する教育機関、パナソニック内でロボット配送などの遠隔操作・自律運転の開発部門へのヒアリングを行った。

端末としての性能・必要要件として検証した項目の検証方法を以下に示す。

(1) 本運用において求められるユースケース毎のカメラ性能・映像品質の検証

パナソニック内でのロボット配送、車いすの遠隔操作・自律運転実証において実績にある部門に確認し、移動体の映像としてはフル HD 30fps での検証で解像度としては問題ないと判断し、今回の課題実証にて 4 カメラ映像伝送する際の移動速度として 5km/h、15km/h、25km/h、35km/h にて、本試作端末にて画質、物体識別可否の検証を行った。また、その際のローカル 5G 無線通信使用可能帯域に対する映像データ量について検証した。

(2) 想定している耐振動条件、温度条件、インタフェースで運用が可能か検証

トラクター・自動運転バス・移動ロボット（車いす型など）の各ユースケースで想定している移動体に設置した際の振動に対する要件、各設置場所での動作温度、保存温度要件の検証、必要とするインタフェースの検証を自動運転実証およびサービス運用会社、通信事業者、自動運転トラクターの自動運転制御を研究・実証する教育機関、社内・有識者にヒアリングして検証した。

(3) 端末や外部アンテナの自動走行ロボット等への設置（実装）方法の検証

トラクター・自動運転バス・移動ロボット（車いす型など）の各ユースケースで想定している移動体に設置する際の設置場所での端末サイズ、端末と外部アンテナとの実配線する際の設置性について本課題検証の車両・ロボットへの実際の配置配線による設置方法・外部アンテナのケーブル長の検証、取付方法の検証、社内の有識者へのヒアリングにより、端末・アンテナの設置（実装）方法の端末に求められる条件について検証した。

(4) ユースケース毎の端末に求められるその他条件の検証

専門家・有識者（事業モデルを検討している自治体、運航運用会社、自動運転実証およびサービス運用会社、通信事業者、自動運転トラクターの自動運転制御を研究・実証する教育機関、パナソニック内でロボット配送などの遠隔操作・自律運転の開発部門）へのヒアリングや市場調査によりユースケース毎の端末に求められる条件について、追加の可否など検証した。

次に映像を伝送するシステムとしての必要機能を満たすのかを検証した項目の検証方法を以下に示す。

(5) 本運用を踏まえたローカル 5G と全国 5G（LTE）との切替制御に関する検証

トラクター・自動運転バス・移動ロボット（車いす型など）の各ユースケースで想定している移動体において、複数ネットワークの切替が必要かを有識者にヒアリングして検証した。また、課題実証では、ローカル 5G での運用を基本としつつ、エリア外でも運用可能なシステムを想定して、無線状態（受信電界強度）によって、指定する閾値の受信電界強度でローカル 5G から全国 5G（LTE）への切替による断時間を Ping 送信切断時間を用いて検証した。

(6) 将来の遠隔監視制御センターでの運用も踏まえシステム・サービス全体に関する検証

映像伝送するシステムとして、エンコーダ端末以外の検証として、映像エンコーダ端末に対して、遠隔監視制御センターに必要な映像デコーダ設置要件の検証として、複数端末を制御する必要性、ネットワークに必要とされる要件の検証を運用会社や社内有識者へのヒアリングにて検証した。

遠隔制御システムやサービス全体の構成に必要なエンコーダ端末の要件の確認として、監視センターでの自動運転に必要な情報や制御内容をパナソニック内でロボット配送などの遠隔操作・自律運転の開発部門にヒアリング、また将来サービスでの必要とされる要件を検証した。

3) 検証結果及び考察

(1) 本運用において求められるユースケース毎のカメラ性能・映像品質の検証結果

弊社の遠隔自動運転システムについて開発・試作実証しているチームにヒアリングしたところ、自動配送ロボットは、舗装状態が良い道路を低速（時速 6km 以下）で走行することから、障害物等の認識に必要な画像解像度としては、フル HD (1920×1080p)、30fps (frame per second) があれば、遠隔自動運転には問題ないレベルであるとのことから、今回の実証ターゲットを策定した。

実際の検証でも問題ないが、LTE 回線を使用する場合などモバイル網の上り帯域が十分確保できない場合や変動が大きい場合は、映像が途切れるような場合があったので、フレーム数を落とす（例えば 15fps とする）ような変更を実施したこともあるとのこと。その場合、フル HD で数 Mbps の写体の確認が困難なケースも有るため、より高画質で安定した映像伝送が必要である。

遠隔運転制御では、映像の解像度とともに、途切れないことが非常に重要になり、映像が途切れた際は安全制御として遠隔操作を停止しているとのことである。

今回の課題実証にて 4 カメラ映像伝送する際の移動速度として 5km/h、15km/h、25km/h、35km/h にて、本試作端末にて画質や物体識別可否について検証したが、各車両速度で画質の乱れや物体識別が不可になるような現象は発生しなかった。各社両側での遅延時間も同等であり、低速での自動運転であれば、カメラ性能としての十分であることが確認できた。

今回のカメラでは、高速化も見越したローリングシャッターに対応したカメラを採用したことから移動速度に対しても十分な性能であると考えられる。

課題実証で使用したローカル 5G 環境では、「**図 3.3.20 有線接続とフィールドでのスループットと RSRP (同期 TDD : UL)**」に示すように準同期 TDD パターン 1 では、FSS35 で RSRP-108.0dBm にて 103.4Mbps、RSRP : -110dBm 以下となる RSRP : -112.5dBm にて 57.6Mbps となり、4 カメラ映像伝送でも十分な無線帯域を有しており、画質も十分であった。

自動運転トラクターの自動運転制御を研究・実証する教育機関のヒアリング結果として、後方作業状況を確認するカメラ画質はフル HD で十分かの確認が必要。また、自動運転では夜間作業のニーズが高く、街灯がなく前方ライトでの視認性の確認が必要とのこと。

今回の実証で夜間のライト走行の映像を取得したので再度ヒアリングを予定。

<さらなる検証課題・仮説>

高精細映像 4K の必要性については、遠隔運転制御のみであれば、フル HD で十分であるが、AI を用いた人物・障害物検出などのアプリケーションを搭載する場合は、高精度映像が必要になるユースケースが出てくるが、4K の場合はフル HD の 4 倍のデータ量となるため、モバイルの場合の上り帯域が十分でない場合は、データ量とのトレードオフになる。

ローカル 5G 網内のみでの遠隔運転の場合は、準同期などにより、十分な帯域が確保されている場合は、AI を用いたサービスの拡充の可能性はある。

「HD」(High Definition)	: 画素数は 1280×720	92 万 1600 画素
「FHD」(Full High Defintion)	: 画素数は 1920×1080	207 万 3600 画素
「4K」	: 画素数は 3840×2160	829 万 4400 画素。

FHD の約 4 倍に相当する解像度。

(2) 想定している耐振動条件、温度条件、インタフェースで運用が可能か検証結果

トラクターの圃場作業時や自動運転バスの車載機器としては、舗装状態が悪い走路もあり、センサが障害物を検知した際の急ブレーキのエネルギー量も多く、車載振動試験として、耐振動性 JIS C 60068-2-6 を満たす必要がある。自動運転トラクターの自動運転制御を研究・実証する教育機関のヒアリング結果より、雪国の圧雪した道路でデコボコになった路面では、大きな振動になるとことで実際に検証した結果、測定データの最大加速度は、車載機器で指標とする最大加速度 4G を超過することなく、且つ JIS C 60068-2-6 での検証により、移動ロボット・自動運転バス等の移動体の実装するにあたり、十分な性能を有すると考えられる。

温度条件としては、屋内仕様の標準的な温度範囲 0℃～40℃に対して、-10℃～50℃への拡張を行っているが、実際の車載時の環境については、ヒアリングによって明らかにしていく。実証コンソーシアムで検証された会社へのヒアリングでは、夏も昼間の休憩時（エアコン断時）には運転席付近は 80℃近い、また、冬期の夜間待機時は -20℃になるケースもあるとのことであり、端末の設置場所によって 50℃以上とした場合、冷却方法の変更やデバイス自体を温度範囲が更に広い部品を採用する必要がある、デバイスが適用しない場合やコストアップする場合は想定され課題がある。

インタフェースの端末に求められる条件について

- ・カメラインタフェース

トラクターや自動運転バスといった車載を考慮して、コネクタ部のロック機構が強固であり、また、配線長が長くすることが可能な GMSL (Gigabit Multimedia Serial Link (ギガビットマルチメディアシリアルリンク)) カメラを採用している。ケーブル長は 15m にも対応している。

カメラインタフェース個数については、前後左右の 4 カメラが必要と想定して試作したが、ヒアリングにてトラクターは、圃場間農道走行時はカメラ 4 台 (前後左右)、圃場作業時は 5 台 (農作機器含む) が理想とのことで、カメラ追加の検討が必要になる。現状のエンコーダ性能については、小型化もターゲットとしており、5 台のカメラ映像の処理については、困難と判断しており、その必要性和コストについての検討が必要になる。

実証実験の車両取付では、端末を後部座席足元中央に配置した際は、左右のカメラに対しては 3m のケーブル、前後のカメラに対しては 3m では不足し、15m のケーブルを使用した。車両のサイズによるが、今回の検証結果では 15m のケーブル対応は必須である。

一方で、安価なカメラで構成したいという要望も有り、USB カメラにも対応した。USB インタフェースは、3 m までの距離しか配線できない制約はあるものの、標準的な規格でありエンコーダとしては、カメラインタフェース以外にも USB インタフェースを活用した外部機器を接続できるメリットもある。実証で使用した車いすにおいては、背面下部に設置した端末から 3m ケーブルで接続可能であったので、小型自動ロボットでは、USB カメラの使用も有用である。ただし、USB ではコネクタ接続ロック機能が無いため、耐振動性に難点がある。数 km/h とした低速且つ舗装路面の凹凸が少ない場合でのユースケースでは使用可能である。

- ・LAN インタフェース

ローカル 5G や公衆網無線を使用しない場合、特に、デコーダ装置としては、LAN を使用するが、その他にもエンコーダ端末としては、センター側からの機器制御で使用する可能性がある。

(3) 端末や外部アンテナの自動走行ロボット等への設置 (実装) 方法の検証結果

本試作では、従来のエンコーダ装置とローカル 5G/5G 端末を一体化することで、体積 50% 削減を実現し、機器設置の容易性が増したと想定しているが、実際のユーザーヒアリングによって検証していく。

また、ローカル 5G/5G に接続するための無線インタフェースとして外付けアンテナを選択できるように同軸コネクタを具備している。無線性能を考慮して、下り 4MIMO、上り 2MIMO に対応できるように 4 ポートを具備し、装置小型化を考慮して SMA コネクタとしている。

外付けアンテナとしては、屋内アンテナ、屋外アンテナ、フィルムアンテナと 3 種類のアンテナを選別できるようにしており、ユースケースによって選択できるメリットがあると考えており実際のユースケースにてその使い勝手について事業者等ヒアリングをしていく予定。想定としては、トラクター等の屋外使用には屋外アンテナ、搬送ロボットなどは屋内アンテナもしくはフィルムアンテナを想定している。それぞれのアンテナの設置や偏波面については、実機・ユースケースでの検証が必要である。

設置するスペースについては、

- ・外部アンテナとの同軸ケーブル接続、GMSL カメラとの接続時のケーブルの曲げ半径
- ・FAN の吸排気口部のスペース確保

などの考慮が必要になる。

十分な曲げ半径を確保する場合は、外部アンテナの同軸ケーブルで約 50mm、GMSL カメラの場合は約 80mm 程度必要であるが、例えば同軸ケーブルの場合はライトアングルコネクタを用いるなどの工夫も可能である。また、本体下部には、取付金具などのスペースも必要になる。

以上より実装スペースとしては、

280(W) x 270(D) x 150(H) mm 程度（ケーブル配線考慮）

が必要になる。下表にまとめて示す。

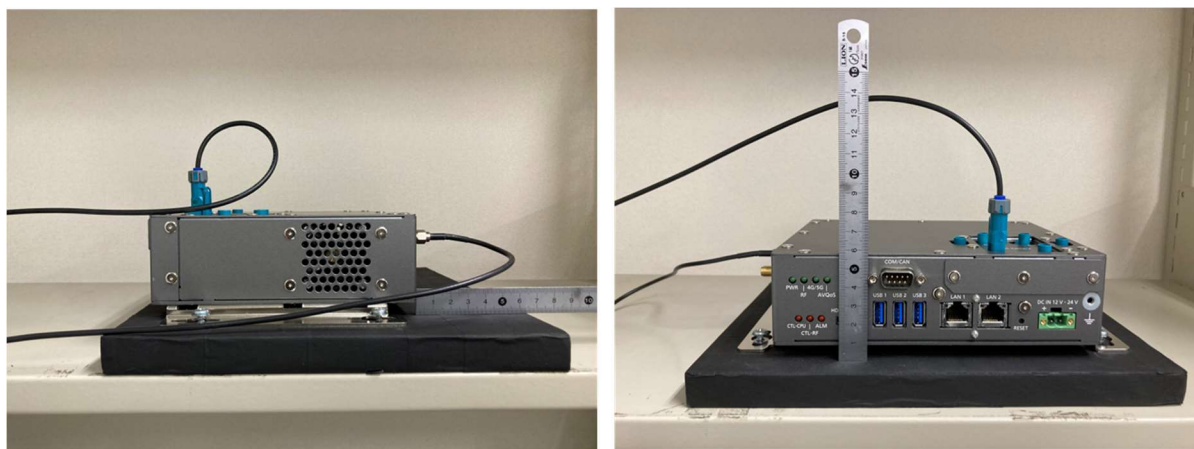


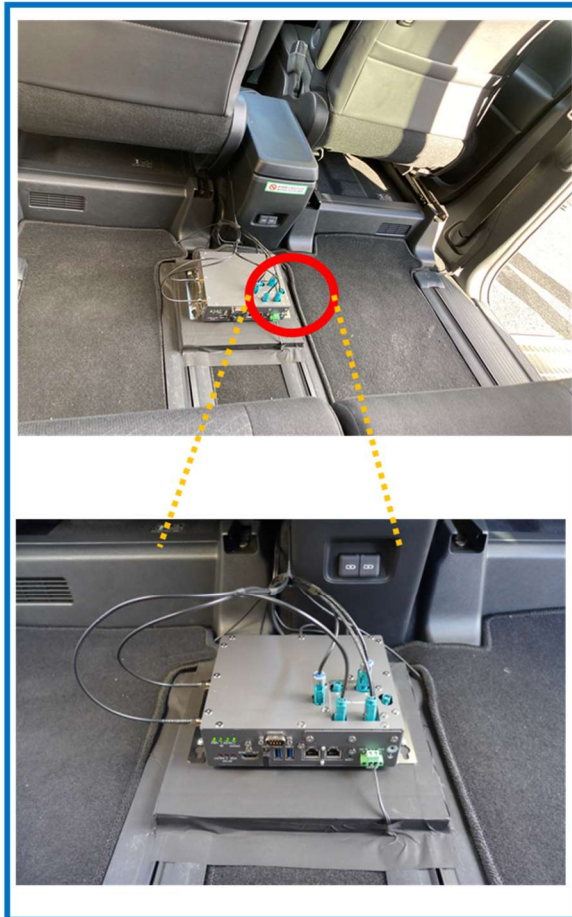
図 4.3.115 ケーブル装着時のケーブル曲げ半径スペースについて

表 4.3.74 本体設置スペース検証のまとめ

	本体サイズ	実装スペース	考慮すべき点
W (幅)	180 [mm]	280 [mm]	・同軸ケーブル曲げ半径 ・FAN吸排気スペース
D (奥行)	150 [mm]	270 [mm]	・同軸ケーブル曲げ半径 ・電源コネクタ等前面ケーブル配線
H (高さ)	50 [mm]	150 [mm]	・GMSLケーブル曲げ半径 ・下面取付空間 (放熱・取付金具等)

実際に車両に設置検証した際の図を以下に示す。

後部座席中央



最後部座席下



図 4.3.116 車両設置検証（後部座席中央、最後部座席下）

助手席 縦置き



運転席 座席下



図 4.3.117 車両設置検証 (助手席、運転席の座席下)

後部座席中央、最後部座席下、助手席、運転席の座席下のそれぞれでの設置をイメージしているが、それぞれ車両への固定方法を実際に使用する車両で検討する必要がある。

今回の課題実証の車両取付では、端末を後部座席足元中央に配置した際は、屋外用アンテナを車両の上に 4 アンテナを配置したが、アンテナケーブル長 3m として、強力なマグネットと取付金具により車体上に容易に設置が可能であった。

また、自律走行車いすでは、端末を車いす後方下部に設置、背もたれ上部にフィルムアンテナを配置したが、アンテナケーブルは細くケーブル Loss が大きいため、1.5m として接続した。また、小型同軸コネクタを使用したため、端末本体とは SMA コネクタへの変換器が必要になり、振動に耐えるためのキャップにて対応している。フィルムアンテナは、可動性があり、筐体の曲面にも貼れるため、設置性が高い。

<さらなる検証課題・仮説>

外付けアンテナのバリエーションとして別のアンテナを追加する際は、電波法のアンテナ追加工事設計認証が必要になる。工事設計認証には数カ月の期間と、工事設計認証費用が別途必要になるため、ユースケースによって追加するアンテナを判断する際には、複数のユースケースでできるだけ共通で使用できるアンテナとなるよう検討が必要である。

(4) ユースケース毎の端末に求められるその他条件の検証結果

・音声インターフェースについて

自動運転トラクター検証機関、社内のロボット配送開発の有識者のヒアリングにて、遠隔運転する際に、作業音による正常性確認のためや、エンコーダを実装している機器からの作業音などを聞いて周囲の状況を判断することもあることから、音声インターフェースが必要。USB マイクで対応できないかなど、既存のインターフェースでの動作検証を今後検討する。

・CAN インターフェースについて

自動運転トラクター検証機関、社内のロボット配送開発の有識者のヒアリングにて、トラクターや自動運転バス、遠隔制御ロボットなどの機器を遠隔制御するためのインターフェースとしては、CAN インターフェースが必要となる。現状は、試作端末から端子のみを取り出せるようにしていることから、CAN インターフェース信号から機器を制御するハード・ソフトは、アプリケーションごとに開発する必要がある。

また、カメラ映像伝送については、

1) 屋内外を走行するようなユースケースでも、安定した映像伝送が可能なこと

2) 特定のエリアに複数のモビリティが走行する場合でも、安定した映像伝送が可能なことが求められる。2) については、ローカル 5G の検証用基地局 準同期パターンの上り帯域では、RSRP: -100dBm にて 196Mbps であり、1 エンコーダ端末当たりのターゲットスループットを 20Mbps とした場合は、当該移動体のみであれば、10 台までの接続が可能である。

(5) 本運用を踏まえたローカル 5G と全国 5G (LTE) との切替制御に関する検証結果

本実証における構成として、短期間ではあるが、不特定多数の人の映像を送信する可能性があり、セキュリティ面から閉域サービス網を選択しており、その上で以下の考慮をした。

・公衆網としては端末間通信が可能な閉域サービス網を採用

(公衆網では、端末間通信が不可の場合があるので要注意)

・ローカル 5G ネットワークと公衆網との接続には公衆網の SIM を挿入したモバイルゲートウェイを使用。

・Ping 送信先兼映像導通用の MEC サーバも別系のモバイルゲートウェイ経由で公衆網側に配置した。これは、公衆網に接続した際にも MEC サーバに接続できるようにするためである。

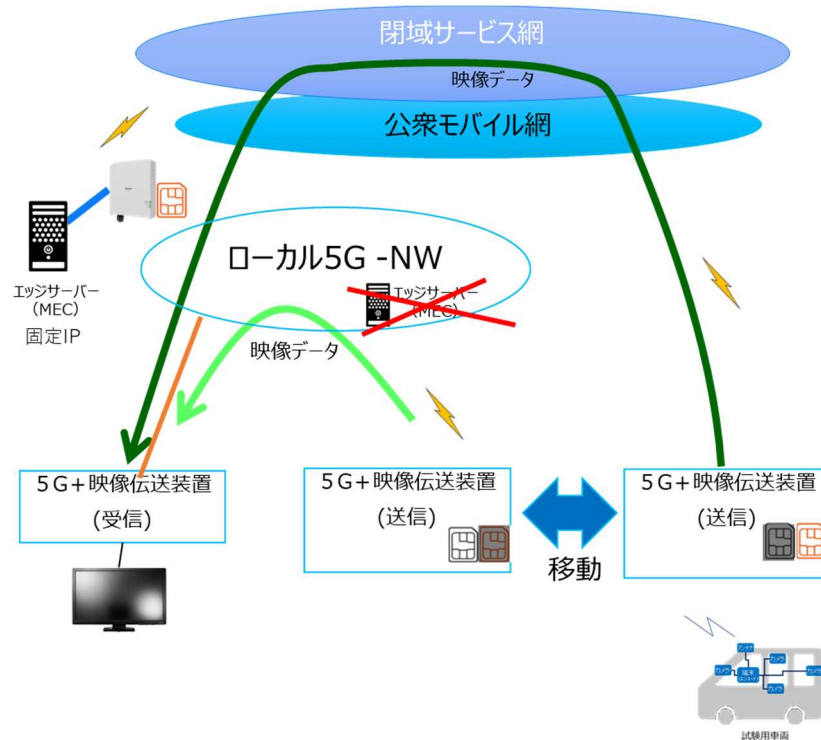


図 4.3.118 ローカル 5G と全国 5G (LTE) との切替例

ローカル 5G 網から公衆網への切替は、受信電波の強度 RSRP の値を閾値として指定閾値以下であれば、公衆網の SIM に切り替えるようにしたが、切替時間は Ping で 36 秒、映像で 59 秒必要となっている。現状では、挿入されている 2 つの SIM は、どちらか一方の SIM しか Active ではないため、切り替わった瞬間に、端末接続シーケンスが開始され時間がかかっている。

今後の chip 状況で、最新のデバイスには、DSDS(Dual SIM Dual Standby)機能の実装は可能と聞いており、今後のリリースにより、切替時間の短縮可能と考えている。

また、映像復旧について、結果考察のページに記載しているように、映像アプリケーションにおけるセッション監視方法(周期やタイマー設定)により今後の調整による改善の余地があるものと考えられる。

将来の運用システム例としては、ローカル 5G と公衆網の接続には光などの高速回線で公衆網の上位装置と直接接続することを想定し、MEC サーバは公衆網側のクラウドに設置することを想定している。

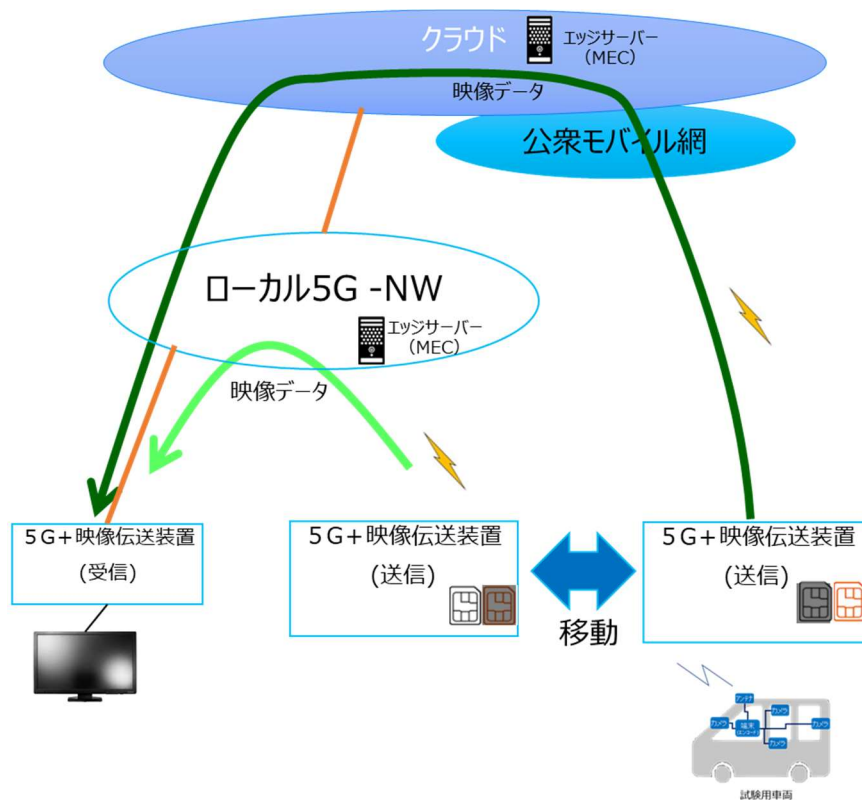


図 4.3.119 将来のシステムでの切替例

(6) 将来の遠隔監視制御センターでの運用も踏まえシステム・サービス全体に関する検証結果

今回のローカル 5G から公衆網への切替検証で使用したような閉域網 (VPN) サービスを利用し、MEC サーバを閉域網内と接続したサービス形態は、セキュリティ観点からは一つの例になると想定するが、アプリケーションによって、クラウド上のサーバでモビリティの車両管理、位置管理、サーバ上に各モビリティから収集したセンサ(AI 検出結果含む)データ類を基にした高次のデータ分析などにより各ユーザーによってシステムやサービスの高度化が要望される。

その例として、パナソニックグループ内で検討・PoC 検証している遠隔監視制御システムについて以下に記載する。

■システム構成

遠隔監視制御システムは、自律走行車いす・自動運転車・自動搬送ロボのような(遠隔監視・制御の対象となる)モビリティ、遠隔地から遠隔監視制御を実現するための遠隔監視制御 PC、モビリティおよび遠隔監視制御 PC を管理し、ユーザーに対して遠隔監視制御サービスを提供するクラウド上のサーバ群から構成されている。

各モビリティには、遠隔監視制御 BOX、ローカル 5G/5G/LTE ルータ、および複数台のカメラが搭載され、カメラ映像を遠隔監視制御 BOX にて、カメラの映像音声を符号化(H.264/Opus)し、ルータ経由で、クラウド上のサーバに対して送信する。クラウド上のサーバは、受信した映像音声を、遠隔管制制御 PC に対して再送信すると同時に、クラウド上のストレージに蓄積する。ストレージに蓄積された映像音声は、何らかのトラブルが発生した際の検証等に用いる想定である。遠隔監視制御 PC では、クラウド上のサーバから再送信された映像音声を受信表示することで、モビリティ周辺の状況を確認する。各モビリティは自動運転の継続が困難な状況になると、クラウド経由で遠隔監視制御 PC に対して、遠隔操作を要求する。遠隔操作が要求されると、遠隔オペレータ(遠隔監視制御 PC の操作者)が遠隔操作作用パッドを用いて、モビリティのカメラ映像を確認しながら、遠隔操作を行う。自動運転の継続が可能な状況になると、遠隔操作を終了、自動運転へと切り換える。また、遠隔監視制御 PC でモビリティの周辺状況を確認中に、危険な事象などに気づいた場合には、遠隔監視制御 PC からモビリティの自動運転を中断させ、遠隔操作状態に変更することも可能である。モビリティの遠隔制御は、遠隔監視制御 PC より制御コマンド(アクセル・ブレーキ・ハンドル情報など)を送出、クラウドを経由して、操作対象のモビリティに到達させることで実現する。遠隔監視制御 BOX、5G/LTE ルータの一体化には、遠隔制御機能をエンコーダ一体型ルータ端末にて機能実現する必要があり、今後の各ユースケースでどのような制御を行うかによって異なるため、外部 BOX とすることにより汎用性を高めている。

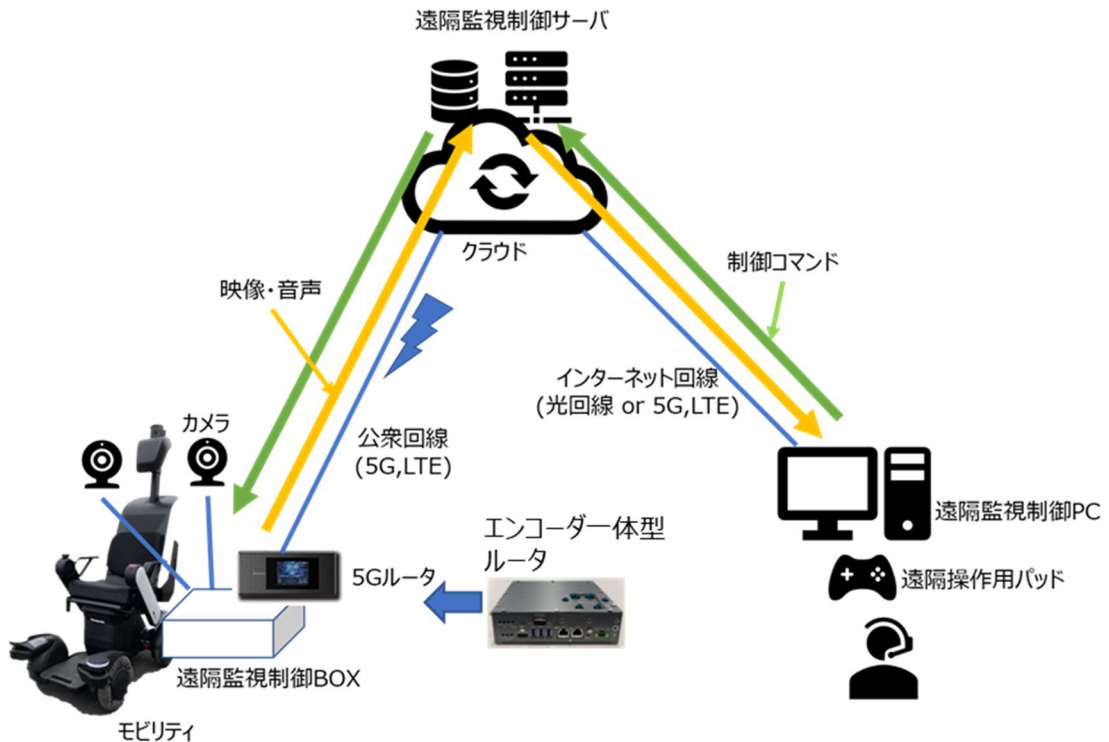


図 4.3.120 遠隔監視制御システム例

・クラウドに関して

クラウド運用における料金やセキュリティ面での注意事項

セキュリティ面では十分な対策を実施し、必要に応じて第三者機関による検証を実施することを検討する。考えられる主要なリスクとしては、情報の漏洩(例えば、カメラ映像は事故時の検証等に用いるため一定期間クラウド上のストレージに記録されており、映像情報が漏洩するリスク)、不正侵入(遠隔監視制御システムに不正侵入、外部からモビリティを遠隔制御されるリスク)、などである。

モビリティの遠隔監視制御のため、クラウドとの通信回線(上り)は、公衆回線を前提とした場合、通信料金も課題となる。モビリティの周辺環境の監視が可能な映像音声を送送するためのデータ量を見積もり、必要なSIM容量の確保が必要である。例えば、5Mbpsで1日8時間で30日間の映像監視を必要とするユースケースであれば、500GB以上の容量が必要となる。

料金に関しては各クラウドサービスやSIMの契約形態によって異なり、ユースケースによって選択する必要がある。

- ・モビリティとクラウドとの接続に関して

接続プロトコル：映像音声の伝送規格 WebRTC(<https://www.w3.org/TR/webrtc/>)を独自に拡張した方式を用いている。

固定 IP の必要性：遠隔監視制御 BOX とクラウド上のサーバが連携動作することで、各モビリティへの固定 IP の付与は不要となっている。

- ・遠隔監視制御 PC とクラウドとの接続に関して

接続プロトコル：映像音声の伝送規格 WebRTC(<https://www.w3.org/TR/webrtc/>)を独自に拡張した方式を用いている。

固定 IP の必要性：遠隔監視制御 PC とクラウド上のサーバが連携動作することで、遠隔監視制御 PC への固定 IP の付与は不要となっている。

一方で、ローカル 5G エリア内でのサービスに特化した場合は、セキュリティ面では、外部に接続することが無い（もしくは最低限に制限が可能）ため、非常に安全な運用が可能になる点やローカル 5G の特徴である準同期 TDD による上り帯域の増加によって大容量・低遅延での映像伝送が可能となり、遠隔監視制御システムに適していると考えられる。MEC サーバや AI 画像処理に必要なサーバもクラウドではなく、監視センター側に設置することができ、クラウド運用費用は不要になる。デメリットとしては、ローカル 5G エリア内のみという点であり、ローカル 5G と他の公衆網を使用する際は、公衆網も接続可能なクラウドや閉域網サービスを利用する必要がある。

- ・遠隔制御について

実際に動いている遠隔自律ロボット・車両の状態を把握するための音声や作業部の映像を詳細に確認できるようなカメラ台数や音声マイクの設置が必要になる。

また、遠隔で制御する際は、走行コースがわかるようなガイドラインを映像で示すようなマン・マシンインタフェースを充実させたり、センサにて障害物を検出、停止するなどの様々な安全対策も必要になる。

4.3.3 端末システムの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討

(1) 端末システムの課題仮説

前節の 4.1.4 で設定した実証目標毎に課題を設定した。

具体的には以下のとおり。

①実証1：実サービスで要求される端末性能と試作端末性能とのギャップ

関係機関公表資料と事業者へのヒアリング調査より、試作端末の機能・性能のうち、分野毎に「必須要件（明らかに満たさなければならない）」と「有るに越したことはない。無くても運用できる場合も多い」の評価が分かれることが判明した。

ただし、あくまでも、現段階の実証実験実績からの評価であり、遠隔監視操縦型移動ロボットサービスの浸透度と技術・サービスの成熟度向上に伴い、全性能の必然性は高まっていくものと予測する。

調査結果の詳細は以下のとおり。

・耐振動性 JIS C 60068-2-6

自動配送ロボットは、舗装状態が良い道路を低速（時速 6km 以下）で走行し、1 回当たりは数分から数十分の走行も多く、耐振動性は市販端末の性能でも適合可となる場合もある。

トラクターと自動運転バスは、圃場や舗装状態が悪い走路も走行するため当該性能が必要。

・耐温度 -10 度～50 度

自動配送ロボットは、今の実証実験では 1 回当たりの配送距離も走行時間も短く、耐温度性は市販端末の性能でも適合可となる場合も多い。

自動運転バスとトラクターは、四季を問わず屋外で数時間走行であるため、当該性能は必要。

・公衆網/ローカル網の切替

車道は公衆網が充実しているため、バスや側道走行の自動配送ロボットに関しては、不感地帯があれば当該機能は必要。逆に、不感地帯が無ければ不要となる。

一方、圃場は公衆網エリア外の場合も多く、後述の準同期運用の期待も高いため、当該機能は必要。ただし、公衆網とローカル網の切替に要する時間がかかりすぎると実運用に耐えられない。

・準同期

トラクターは、圃場間農道走行時はカメラ 4 台（前後左右）、圃場作業時はカメラ 2 台であるが、圃場は公衆網エリア外の場合も多くローカル網の需要も有り、準同期への期待もある。

自動運転バスは公衆網エリアの走行が多く、公衆網エリアとローカル網エリアでの運用条件に差異は無いため、公衆網エリアでは使えない当該機能は不要。

自動配送ロボットはカメラ 4 台（前後左右）だが、時速 6km 以下の走行であるため、数 msec 程度のシビアな遅延は要求されない。また、公衆網エリアの走行が多く、公衆網エリアとローカル網エリアでの運用条件に差異は無いため、公衆網エリアでは使えない当該機能は不要。

・一体型筐体 190(W)×150(D)×67(H)mm

トラクター、自動運転バス、自動配送ロボットともに、エンコーダが必要になるため、エンコーダと 5G 無線間の遅延や、配線の煩雑さ、設置スペースの制約等の課題解決に資する一体型筐体は効果有り。

・連続 24 時間映像伝送

バスは 1 回の充電でエアコン等無しで連続 9 時間走行が限界。エアコンを入れた場合は、4-5 時間程度。

自動配送ロボットは 1 回当たりの配送距離も走行時間も短く、1 回の充電で 4 時間程度の走行が限界。

・AV-QoS 制御

通信エリアの品質が刻一刻と変化する公衆網エリアでは効果が期待できる。ローカル網エリアは端末収容数や通信頻度等の通信品質を予め見積もれるため、公衆エリアよりは安定した通信品質を保てるが、障害物（車や人）などにより通信品質が劣化する場所もあるため、当該機能は必要。

分野別に、機能・性能の有無をまとめると以下のとおり。

当面(事業スタート時点)			
試作端末 機能・性能	トラクター等農業ロボット	自動運転バス	自動配送ロボット
耐振動性 JIS C 60068-2-6	必須 (○)	必須 (○)	あれば良い程度 (△)
耐温度 -10度~50度	必須 (○)	必須 (○)	あれば良い程度 (△)
公衆網/ローカル網 切替	必須 (○)	あれば良い程度 (△)	あれば良い程度 (△)
準同期	必須 (○)	不要 (×)	不要 (×)
一体型筐体 190(W)×150(D)×67(H)mm	必須 (○)	必須 (○)	必須 (○)
連続24時間映像伝送	過剰 (△)	過剰 (△) 4-5時間程度	過剰 (×) MAX4時間
AV-QoS制御	必須 (○)	必須 (○)	必須 (○)

図 4.3.121 分野別端性能要求レベル

(課題 1 : 技術) 機能・性能レベルの是非と不足有無の明確化

これまでの当社の事業実績は車内に設置する運用であり、トラクターは屋外と同様の設置環境と想定され、以下の課題を設定した。

- ・耐振動性 JIS C 60068-2-6
装置本体の耐振動性に対して、他に考慮すべき事項があるか。
- ・耐温度 -10 度～50 度
真夏と真冬の屋外環境でも問題ないか。
- ・公衆網/ローカル網の切替
切替に要する時間が実運用に耐えられるか。
- ・その他、考慮すべき事項があるか。

また、トラクター、自動運転バス共通の課題として、

- ・AV-QoS 制御
映像品質を落とした際に映像が粗くなるが、遠隔監視に耐えうる映像品質を維持できるか。

②5G 端末事業時の営業先（コンタクトルート）

本端末の事業は大きく 4 つの事業モデルがある。

- ・ 端末提供：5G 端末（+カメラ）のみを提供。販売またはリース契約。
- ・ 回線サービス：5G ネットワーク利用料契約。端末は利用料原価の一部。
- ・ ネットワーク運用サービス：5G ネットワークの運用監視までを提供。
- ・ 自動運転活用サービス：人やモノを運ぶソリューションまでを提供。

事業レイヤ	事業モデル			
	端末提供	回線サービス	ネットワーク運用サービス	自動運転活用サービス
運用サービス			●※2	●※3
遠隔監視操縦				●
クラウド			●	●
公衆 5G/ローカル 5G		●※1	●	●
5G端末	●	●	●	●
カメラ	●	●	●	●
移動ロボット				●

※1：公衆MVNO提供、ローカル 5G環境提供を含む
 ※2：ネットワーク運用監視
 ※3：自動運転ロボットを活用したサービス事業（地方部向けMaaSほか）

図 4.3.122 事業レイヤと事業モデル相関

また、事業モデル毎に提供先も複数候補がある。主な関係機関は、ロボットメーカー、通信事業者、遠隔監視操縦者、サービス利用者である。

- ・ ロボットメーカー：自動運転ロボット、遠隔システムの技術提供事業者、後付け遠隔監視操縦パッケージ提供事業者
- ・ 通信事業者：公衆携帯事業者、ローカル 5G 電気通信事業者（他者土地へのローカル 5G 提供事業者）
- ・ 遠隔監視操縦者：地方の大学などマルチメーカー対応遠隔監視システム提供者。ロボットメーカーの場合もある。
- ・ サービス利用者：バス事業者や医療 MaaS 等の委託元（自治体等）

事業モデル	提供先（事業者構造）			
	ロボットメーカー	通信事業者	遠隔監視事業者	サービス利用者
自動運転活用サービス				●
ネットワーク運用サービス			●	●
回線サービス			●	●
端末提供サービス	●	●		

図 4.3.123 事業モデル毎の提供先候補

(課題 2 : ビジネスモデル) 供給パスルートと供給形態

- ・提供ルートや事業モデルが複数あり、どのモデルから対応すべき（ニーズが高いモデルは何か）かが定まらない。
- ・当社の営業体制では多様なコンタクト先を網羅することができない

③5G 端末のターゲット価格

分野別に要求性能が異なるということは、端末コストも異なってくる。事業開始時において、試作端末の基本性能 7 項目（耐振動性、耐温度、公衆網/ローカル網切替、準同期、一体型筐体、24 時間連続映像伝送、AV-QoS 制御）の各々の価格を均一とした場合の価格差は下図のとおり。

各性能の個別価格を N 円とすると、各々の場合の総コストは、試作端末=7N 円、トラクター等農業ロボット向け=6N 円、自動運転バス向け=4N 円、自動配送ロボット向け=2N 円となる。

ただし、下図は各々の価格を均一とした場合の概念図であり、実態は、各機能の個別価格は異なる。

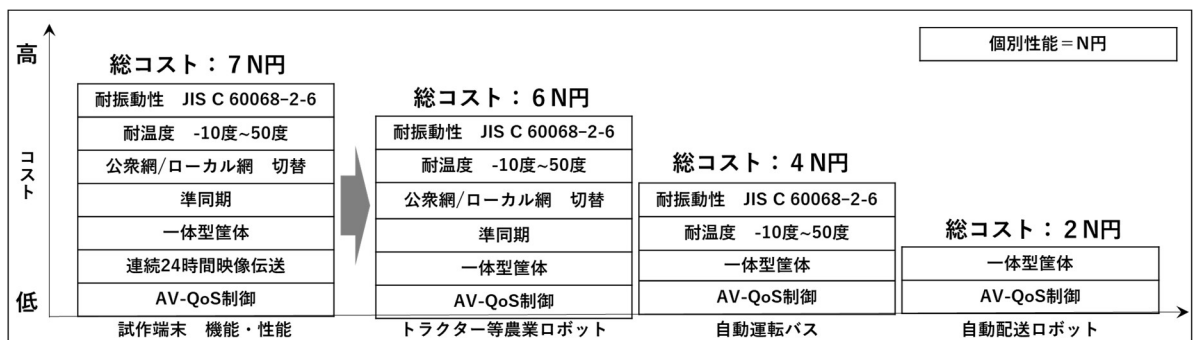


図 4.3.124 分野別の端末性能・価格比較イメージ

各性能が個別のユニット化されている構造の場合は、全分野共通の「一体型」と「AV-QoS 制御」を基本性能とし、分野毎にユニットをオプション追加していく手法が取れる。

その場合は、トラクター等農業ロボットは基本商品に加え 4 つのオプションを追加、自動運転バスは、基本商品に加え 2 つのオプションを追加、自動配送ロボットは基本商品のみを提供する形態となる。このユニット構成のメリットは、ユースケースと運用条件に合わせ、ユニットの組み合わせで柔軟に対応できることである。

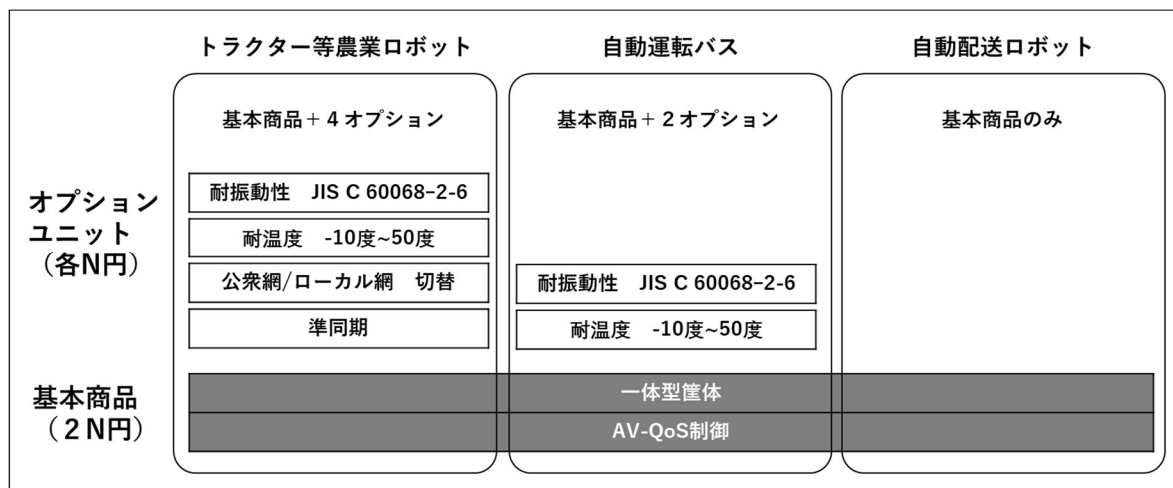


図 4.3.125 分野別商品ユニット構成イメージ

一方、各性能を個別オプションとする場合は、オプション毎にソフトとハード部品の組み合わせが異なってくるため、各オプション別の再設計コスト予測を行い、量産化できる事業規模を確保できるかが課題となる。

また、上記検討では分かりやすく説明するために、各性能の有無のみで検討したが、連続伝送時間については一考する必要がある。現行の市販端末で数時間程度の連続映像伝送を行えば、端末が熱を帯び性能も落ちてくることは過年度実証でも立証されている。1回当たりの運用では確かに24時間連続で映像伝送する場面は極めて少ないが、12時間連続保証、10時間連続保証と連続伝送保証時間を短くしてもコスト差は無いに等しい。そのため、市販端末では不安定な挙動になるユースケースでも安定した映像伝送を行うという考え方にすると、実は、24時間連続映像伝送の性能も必須要件と言える。そのため、性能要求レベルとしては前述のとおり24時間連続運用という場面は少ないが、市販端末ではできない「数時間以上の安定した連続映像伝送」という面では必須要件になると考えることが妥当であると判断した。

当面(事業スタート時点)の見直し版			
試作端末 機能・性能	トラクター等農業ロボット	自動運転バス	自動配送ロボット
耐振動性 JIS C 60068-2-6	必須 (○)	必須 (○)	あれば良い程度 (△)
耐温度 -10度~50度	必須 (○)	必須 (○)	あれば良い程度 (△)
公衆網/ローカル網 切替	必須 (○)	あれば良い程度 (△)	あれば良い程度 (△)
準同期	必須 (○)	不要 (×)	不要 (×)
一体型筐体 190(W)×150(D)×67(H)mm	必須 (○)	必須 (○)	必須 (○)
連続24時間映像伝送	必須 (○)	必須 (○)	必須 (○)
AV-QoS制御	必須 (○)	必須 (○)	必須 (○)

図 4.3.126 分野別端性能要求レベル見直し版

(課題 3：価格) 分野毎に差を付けるか、フルスペックで全ての用途に対応する方針とするか
④5G 端末事業化までに更に必要となる活動

遠隔監視操縦型トラクターの安全ガイドライン策定に向けた活動の必要性を認識しているが、技術が運用に耐えうる事が条件となる。そのため、上記に設定した課題の解決方法の中で、追加で実施すべき事項を明らかにする。

(課題 4：今後に必要な活動)：事業化までに必要な活動の明確化

(2) 端末システムの課題に対する解決策の検討方法

①実証 1：実サービスで要求される端末性能と試作端末性能とのギャップ

(課題 1：技術) 機能・性能レベルの是非と不足有無の明確化

事業者や有識者に対してヒアリング調査を実施した。

調査結果は以下のとおり。

・耐振動性 JIS C 60068-2-6

岩見沢市で実施された過年度の実証実験では、アンテナやカメラ等の取付端子が振動で折れた事象が発生したとのこと。実運用のためには、端末本体の振動試験のみでなく、カメラやアンテナを取り付けた状態での検証が必要。

・耐温度 -10 度～50 度

過年度の実証では、夏場の圃場での休憩時（エンジン断時）のキャビネット内温度は 80 度程度まで上昇、冬期の夜間での停車時のキャビネット内温度は -20 度程度にまで低下する環境である。現状、-10 度～50 度までを保証する業務用市販端末を使用しているが壊れたことは無いとのことだが、お墨付とはならない。

・公衆網/ローカル網の切替

現段階では、公衆網とローカル網の切替に約 1 分を要する。走行路に異常（落下物や障害物等）があるとトラクターやバスは自動的に停止するため事故は防止できるが、再スタートには遠隔からの確認が必要になるため、網の切替の間にトラクターやバスが停止すると、網が切り替わるまでの間は、その場に停まりっぱなしとなる。圃場の場合は、1 分程度の停止は許容されるかもしれないが、圃場間の農道や公道で 1 分間の停止は他の車両の妨げになる。現段階においては、自動配送ロボットの公道走行における運用を参考にすると、予め安全な場所を設定しておき、圃場以外の農道や公道において網の切替で通信が途絶える際は、その安全な場所まで走行し停止するという運用になると想定している。

・その他

トラクターの自動運転は夜間作業のニーズも高いとのこと。圃場は街路灯が無いいためトラクターのライトのみの照度で遠隔監視に耐えうる映像品質が必要となる。現段階では、フル HD 相当のカメラを前提に端末を開発しているが、カメラのスペックを向上させる必要がある場合は、装置のコア部品も変わるため、価格にも影響してくる。

加えて、圃場での作業時は、防塵・防水対策が必須とのこと。ただし、装置本体で対応するのではなく取付カバー等での対応も可とのこと。

自動運転トラクターと自動運転バスの共通課題に対する調査結果は以下のとおり。

- ・ AV-QoS 制御

過去に岩見沢市内で実施された自動運転トラクター実証実験では、通信環境の変動に合わせて映像品質を可変する取組を行ったが、通信環境変動に合わせて映像品質制御の頻度が多くなり過ぎると映像が止まる等の事象も発生したとのこと。当該機能は、実際のサービス現場毎の通信環境品質に依存するため、一概に評価はできず、実地・実機検討により判断することになる。

- ・ 遠隔監視システムとのチューニング

遠隔監視側では一人のオペレータが複数台のカメラを同時にモニタリングするが、単純に車載カメラの映像を再現するだけでなく、遠隔監視 UI との統合が必要になる。

以上の結果から、実サービスで要求される端末性能と試作端末性能とのギャップ明確化と不足有無明確化のために、今後に必要な実地・実機検証する項目は以下のとおり。

トラクターやバスに端末のみでなく、カメラとアンテナも含めて実装し、走行試験により、

- ・ アンテナ取付端子等の破損もなく装置本体の異常もなく耐振動性が実運用に耐えうるか
- ・ 真夏の昼間や真冬の夜間等の最も厳しい環境下でも正常に稼働するか
- ・ 夜間作業時に、当社が選定しているカメラの画質で問題ないか
- ・ 他社の映像/音声情報制御技術が有効でなかった既実証場所で、当社の AV-QoS 制御技術が有効か否か
- ・ 当社の端末システムが既存の遠隔監視システムの UI（カメラ画像モニタリング分割画面やアラーム通知タイミング等）に適合できるか、改造の必要性があるか否か

一方、一体型（省スペース、簡単取付）、放熱対策、映像伝送と自動運転コントロール信号を 1 台の端末で実現できることについて、高い評価を頂いた。

②5G 端末事業時の営業先（コンタクトルート）

（課題 2：ビジネスモデル） 供給パスルートと供給形態

複数の事業者ヒアリング調査を実施したが、特にトラクターは遠隔監視操縦型に必要な安全ガイドラインも未策定であり、現段階では、トラクターもバスも技術検証を主目的とする取組である。そのため、自動運転技術提供企業も利用者となる事業者も、事業スキームと事業体制の検討・検証はこれからであり、現段階においては、遠隔監視操縦者に対して当該端末システムを提供していくモデルを前提に、次年度の実証事業等に参画し、上記の技術的課題、下記の価格検討とともに検証していき、同時に、プロモーション活動に必要なステークホルダーを明らかにしていく。

トラクターの遠隔監視操縦に関しては、現在も岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアムと共に検討中である。自動運転バスについては、奈良県三郷町、アイサンテクノロジー、奈良交通に対して、参画検討提案を継続していく。

また、北海道、奈良の共通課題として、自動運転のサービスを展開したい場所や地域の中で、公衆携帯網が未整備の場所が多いことも判明した。例えば、国道沿いは公衆携帯網が充実しているが県道、市道になると公衆網が未整備な場所がまだまだある。遠隔監視型のサービスは通信網が必須であり、公衆網未整備地域に対するインフラ構築が必要になる。ローカル 5G、自営 BWA は自己土地または同意を得た他者土地のみに構築できるシステムであり、県道、市道沿いの構築には不向きである。そのため、地域 BWA を活用した通信網の環境整備や衛星活用を検討していく必要もある。この点については、実証地域、事業地域の自治体や公衆携帯事業者等との協議が必要になるため、当社が参画する実証実験の地域から実証事業者と共に協議していく。また、通信網整備については、総務省のインフラ整備補助事業等の活用も予想されるため、地方総合通信局や自治体とも相談していく。

また、より多くの事業者に貢献するために、国や自治体、関連業界団体へのプロモーションを強化する必要がある。以下のプロモーション体制構築を次年度活動とする。

- ・北海道総合通信局、近畿総合通信局等、総合通信局が持つ管轄地域自治体網を活用した自治体への啓蒙活動の在り方（作法、タイミング等）のアドバイスを頂き、当社にて実施していく。

- ・自治体の横連携網を活用した啓蒙活動と地元地域関連業界団体への啓蒙活動のために、岩見沢市や三郷町と相談しながら、他自治体および地元関連企業を巻き込める訴求材料を作成し啓蒙活動を展開していく。

- ・関連民間企業を束ねる業界団体への啓蒙活動のために、実証実験に参加する民間企業（ロボットメーカーやサービス事業者等）と共に、関連業界団体への訴求材料を作成し啓蒙活動を展開していく。

- ・なお、プロモーションは、用途を限定せず幅広く訴求していく。

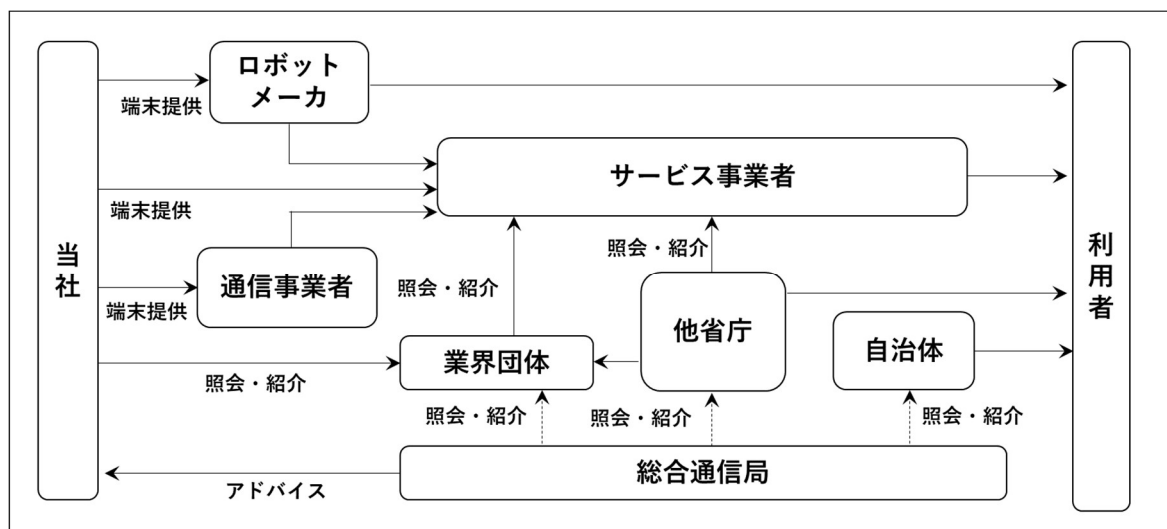


図 4.3.127 プロモーション体制イメージ

③5G 端末のターゲット価格

(課題 3 : 価格) 分野毎に差を付けるか、フルスペックで全ての用途に対応する方針とするか
 現行の市販機器構成時の価格と比較して大幅に低廉化する目標をたてた。

・自動運手バス

基本構成はトラクターと同様だがローカル 5G 端末が無い場合が多く、約 80 万円。

※ただし、バス車両の大きさにより、構成と価格が異なる。ここでは、カメラ 2 台の場合。

・本端末：映像エンコード機能+PC 機能+5G ルータ機能+他機能=幾らで売れるか

ただし、カメラ台数を増やす、カメラの画質を上げる場合は、映像処理用 GPU/CPU の性能を向上させる必要があり、大幅なコストアップ、追加開発費が必要になる。

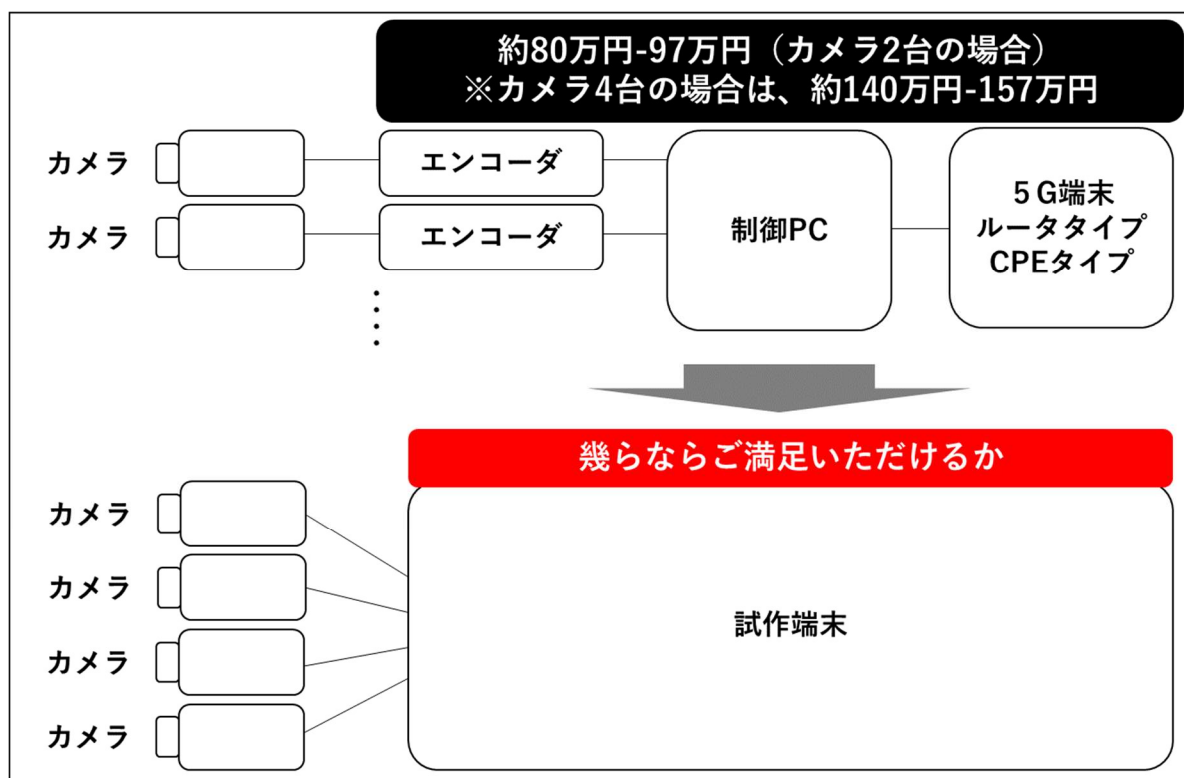


図 4.3.128 現行市販品と端末の構成比較

一方、試作端末は下図のとおり現行市販品では実現できない性能・機能を実装している。

試作端末 機能・性能	市販端末	試作端末
耐振動性 JIS C 60068-2-6	×	○
耐温度 -10度~50度	×	○
公衆網/ローカル網 接続	2台必要	1台
準同期	○	○
一体型筐体 190(W)×150(D)×67(H)mm	×	○
連続24時間映像伝送	×	○
AV-QoS制御	×	○

図 4.3.129 市販端末と試作端末の機能・性能比較

この点についても、現行の実証実験事業者等と意見交換を実施した。次年度の実機・実地検証と同時に価格についても検証していくが、検証スタート時の設定は以下のとおり。

- ・機能性能の価値向上

現行の市販端末の課題である、「遅延が大きい」「複数の筐体のため設置スペースの制約が出てくる」「長時間の連続映像伝送が困難」「カメラ1台につき1台のエンコーダが必要」「自動運転制御は別系統」を解決。

- ・価格の価値向上

現行の業務用市販端末を用いてカメラ2台構成の場合のシステム価格に対して、大幅にコストダウンした価格を設定。まずは、この価格をターゲット価格と設定し、事業者とともに実証検証していく。

機能性能と価格の付加価値イメージは下図のとおり。

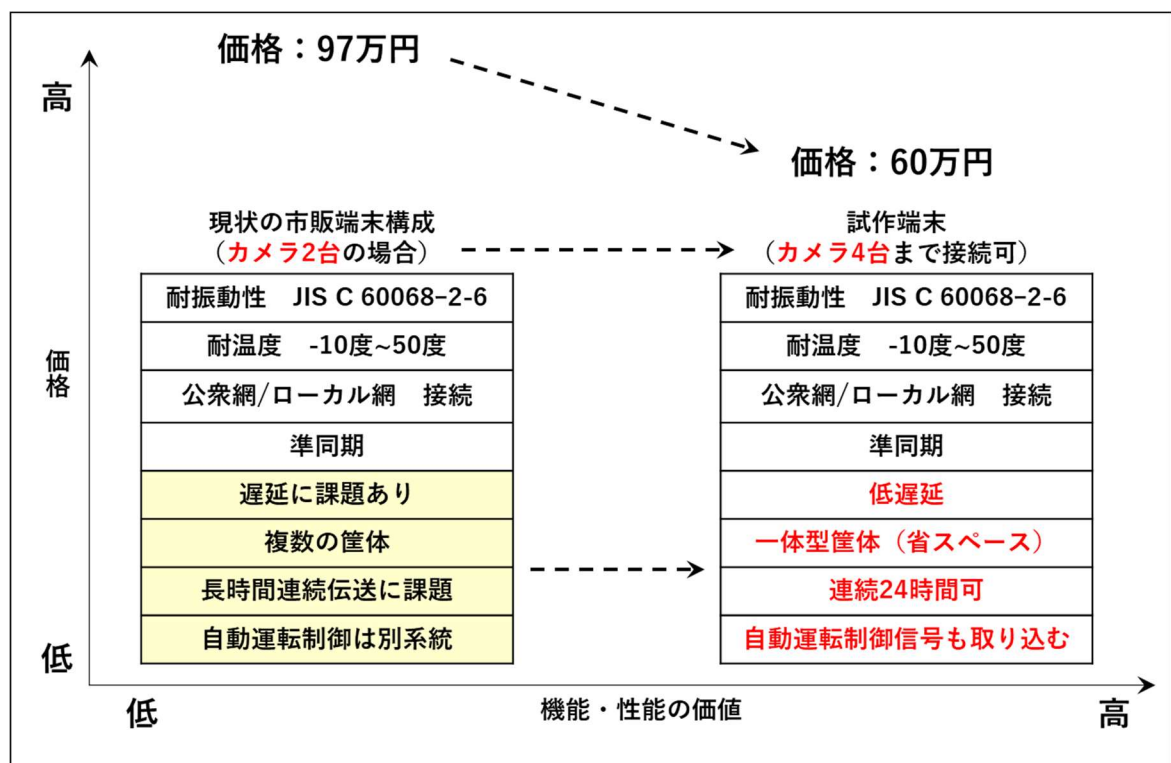


図 4.3.130 試作端末の付加価値・金額比較イメージ

また、自動運転トラクターも自動運転バスも大きな差異が無い場合、価格差を設けず同じ機能性能で同じ価格とする結論を出した。

④5G 端末事業化までに更に必要となる活動（課題4：今後に必要な活動）

上記の調査検討結果より、今後に必要な活動内容をまとめると以下のとおり。

（課題1：技術）機能・性能レベルの是非と不足有無の明確化

- ・耐振動性 JIS C 60068-2-6

装置本体に加えアンテナやカメラ等の取付端子の破損がないかの実機・実地検証

- ・耐温度 -10度～50度

夏場の圃場での休憩時（エンジン断時）と冬期の夜間での停車時も含む実機・実地検証

- ・公衆網/ローカル網の切替

新たな無線モジュール等の調査の継続

- ・夜間の視認性

夜間の圃場での遠隔監視側の映像確認のための実機・実地検証

- ・防塵防水対応

装置本体のファンレス対応とトラクターへの取付方法の検討、および実機・実地検証

- ・AV-QoS制御

圃場作業（トラクター）、公道走行（自動運転バス）時の映像品質を可変した場合に、安全確認に耐えうる映像品質を確保できるか、また、過年度実証で他社の当該機能の効果が無かった場所で当社の機能が効果を発揮するか否かの実機・実地検証

- ・遠隔監視システムとのチューニング

既存の遠隔監視システムとの接続と操作性確認のための実機・実地検証

（課題2：ビジネスモデル）供給パスルートと供給形態

- ・先行する実証モデルでの供給ルートと供給形態の検証

関係機関との推進スキーム形成、実機・実地検証を実施できる体制の構築、および検証実施

- ・通信網未整備地域へのインフラ構築の在り方の検討

この課題は民間のみでは解決できないため、総務省および地方総合通信局に相談していく。

- ・プロモーションルートの確定

より多くの関係機関に対してプロモーションを実施していくにあたり、当社の営業ルートでは限界があり、他の機関の協力を仰ぐ必要がある。また、個別の事業者毎に営業していくことも重要だが、業界や地域毎に標準的なモデルを確定することで、事業シナリオや事業モデルの検討精度が向上する。そのため、個々のユーザーへの提案活動を開始しつつ、総務省および地方総合通信局、農水省や国交省等、関係省庁のアドバイスも頂きながら、地方自治体や地元機関（ホクレン等）へのアプローチ先を明確化し具体的な活動を開始する。

（課題3：価格）分野毎に差を付けるか、フルスペックで全ての用途に対応する方針とするか

端末1台当たりの価格を60万円と仮定。次年度以降に、北海道と奈良で関係機関と連携した実証スキームを形成し、上記の課題1の実機・実地検証と課題2の供給ルートの検証に加え、実証モデルでの価格検討をスキーム全体で検証していく。

（課題4：今後に必要な活動）：事業化までに必要な活動の明確化

これまでの検証結果を踏まえ、課題と検証結果、および今後の対応策をまとめると下図のとおりになる。

カテゴリー	課題	検証結果（ヒアリング調査結果含む）	今後の対応策
技術	（耐振動性 JIS C 60068-2-6） 装置本体の耐振動性以外に考慮すべき事項があるか。	過年度の実証で、アンテナやカメラ等の取付端子が振動で折れた事象もある	装置本体に加えアンテナやカメラ等の取付端子の破損がないかの実機・実地検証
	（耐温度 -10度～50度） 真夏と真冬の屋外環境でも問題ないか。	夏場のエンジン断時のキャビネット内温度は80度程度まで上昇、冬期の夜間での停車時のキャビネット内温度は-20度程度にまで低下	夏場の圃場での休憩時（エンジン断時）と冬期の夜間での停車時も含む実機・実地検証
	（公衆網/ローカル網の切替） 切替に要する時間が実運用に耐えられるか。	現段階では、公衆網とローカル網の切替に約1分を要する	新たな通信モジュール等の調査の継続
	（AV-QoS制御） 遠隔監視に耐えうる映像品質を維持できるか。	通信環境変動に合わせた映像品質制御の頻度が多くなり過ぎると映像が止まる等の事象も発生したが、現場の通信環境ごとに異なる	過年度実証現場、今後の事業ターゲット現場で実機・実地検証
	その他、考慮すべき事項があるか。	・トラクターの自動運転は夜間作業のニーズも高い また、防塵対策は必須 ・遠隔監視システムとのチューニングも必要になる可能性がある	・夜間の視認性検証 ・装置本体のファンレス対応とトラクターへの取付方法の検討 ・既存の遠隔監視システムとの接続と操作性確認のための実機・実地検証
ビジネスモデル	提供ルートや事業モデルが複数あり、どのモデルから対応すべきかが定まらない。	特にトラクターは遠隔監視操縦型に必要な安全ガイドラインも未策定であり、トラクターもバスもスキームと事業体制の検討・検証もこれから	遠隔監視操縦者に対して当該端末システムを提供していくモデルを前提に、次年度の実証事業等に参画
	当社の営業体制では多様なコンタクト先を網羅することが出来ない	業界や自治体の横連携網を上手く利用すべき、また、遠隔監視操縦に必須な通信ネットワーク未整備地域も多い	総務省、農水省、国土省等関係省庁のアドバイスも頂きながら、地方自治体や業界団体等へのアプローチ
価格	幾らで設定すれば良いか	市販機器を利用したカメラ2台構成は、約97万円	市販機器と比較し大幅に性能を向上させ、かつ、低廉化した価格（60万円）で検証を実施
今後に必要な活動	事業化までに必要となる活動は何か	上記のとおり	上記のとおり
		トラクターは遠隔監視操縦型の農水省の定める安全ガイドライン策定が必要となる	ガイドライン検討のために技術データを積極的に提供していく

図 4.3.131 課題と検証結果および今後の対応策

4.3.4 端末システムの実装・普及展開

(1) 実装・普及展開シナリオ

① 自動運転農業ロボット

1) 現状の事業環境

農水省が定める農業トラクターやコンバイン機の自動運転の安全ガイドラインは、圃場やその周辺で使用者が近接監視できる場合に限り運用が可能となっており、この運用形態は使用者の肉体的負担軽減と作業効率化に大きく貢献できる。しかしながら、更なる生産性向上のためには、近接監視を不要とし遠隔で一人の監視・操縦者が複数の機械を同時に運用することが望まれており、今後、遠隔監視操縦型の安全ガイドライン策定が期待されている。

現状

安全性確保ガイドラインの対象

ほ場内やほ場周辺からの監視下での無人状態での自動走行

- 農機は、ロボット技術によって、無人状態で自動走行（ハンドル操作、発進・停止、作業機制御を自動化）
- 使用者は、自動走行する農機をほ場内やほ場周辺から常時監視し、危険の判断、非常時の操作を実施
- 接近検知による自動停止装置の装備等によってリスクを低減（具体的な安全装備は製造業者がリスクアセスメント等に基づき選定）



同一ほ場内の有人機に搭乗して監視
(有人-無人協調システム)



ほ場周辺からの監視

遠隔監視下での無人状態での自動走行

- 農機は、ロボット技術によって、無人状態で、常時全ての操作を実施
- 基本的に農機が周囲を監視して、非常時の停止操作を実施（使用者はモニター等で遠隔監視）

ロボット農機は周囲の構造物や障害物等を認識し、危険を感知した際には緊急停止し、監視者に通知する。

ロボット農機の自動走行に適した形状・強度の進入退出路や農道を確保し、走行の安全性を確保する。

圃場や周辺状況を遠隔なく確認できる遠隔システム・遠隔を確保し、農機等は遠隔地から監視。

ほ場間での移動を含む遠隔監視による無人自動走行システム（研究段階）

ターゲット

出典：農水省（農業機械の自動走行に関する安全確保ガイドライン）

図 4.3.132 農業トラクターやコンバイン機等の自動運転の安全ガイドライン

2) 2023 年度のアプローチ

農水省の定める安全ガイドラインの改訂が実施されるまでは、実証実験を繰り返し、安全確保のために必要となる技術の知見習得と成熟度向上、および事業スキーム参画を目指す。今の圃場での自動運転を始めとするスマート農業実装をリードしてきた北海道大学と岩見沢市、ローカル5Gを利用するスマート農業をリードしてきておりトラクター自動運転実証の豊富な実績を有する NTT 東日本をはじめとする岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアムが実施する実証研究に本端末を3台提供（目標）し、実運用評価を頂き、性能の過不足を明確化する。具体的な評価依頼内容は以下のとおり。

・技術面

トラクターへの装着方法や耐振動性、遠隔監視の安定性、既存システムとの接続性、実機・実地での実用性評価を依頼する。

なお本実証での有識者へのヒアリングにて、既に必須の課題として明らかになっている、トラクターの周囲の状況を判断するために必要な音声の伝送、圃場での作業時に必須となる防塵・防水対策などを検討し、対応した上で評価を頂くこととする。

・ビジネスモデル面

端末システムの価格と供給ルート、供給方法等についての共同検討を依頼する。

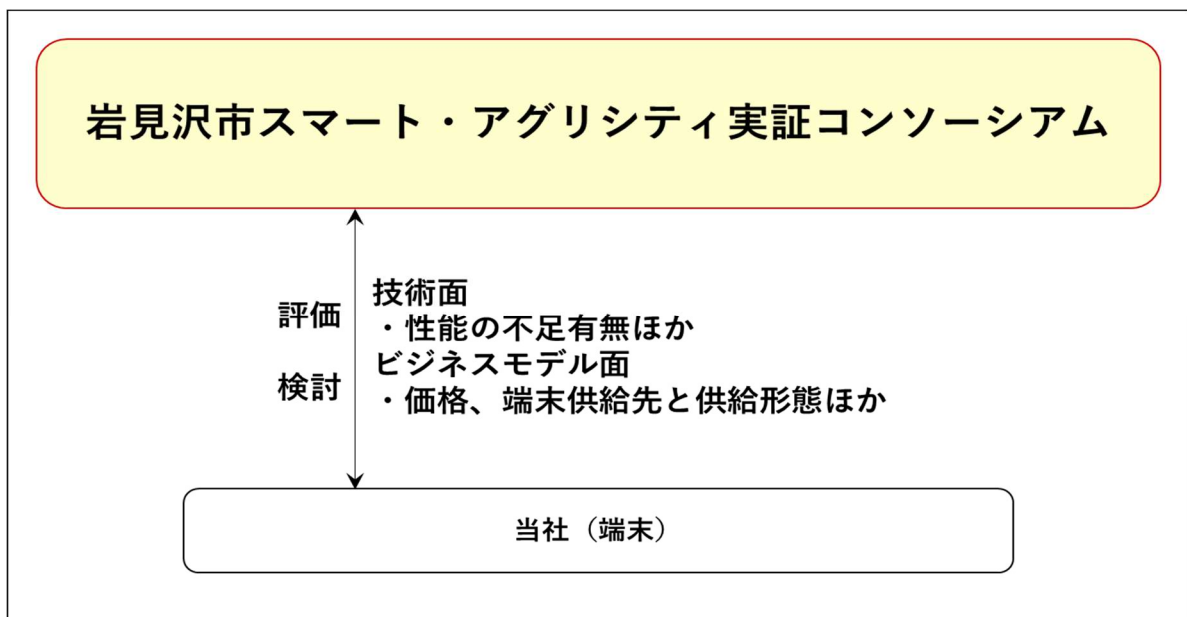


図 4.3.133 2023 年度の遠隔監視型トラクター実証体制（予定）

・通信網の充実施策検討

北海道総合通信局が主催する農業 ICT/IoT 懇談会での商用通信事業者や自治体、関係省庁との議論に参加し、具体的な施策立案に貢献する。合わせて、他の地域への同様の施策提案を促すロビー活動を実施する。

3) 2024 年度のアプローチ

- ・事業者の実証実験に有償提供。4 台の提供を目標とする。
- ・量産設計方針の確定

2023 年度の評価結果と後段の自動運転バス評価結果、およびプロモーション活動で得た新たな知見や情報を基に、改良点の明確化と量産時の設計を施す。

- ・端末価格の決定とビジネスモデル検討

事業開始時の端末供給形態とルート、提供価格を確定する。合わせて、インフラ未整備地域へのインフラ構築事業も含めたソリューション事業の検討を開始する。

- ・遠隔監視操縦型ガイドライン策定に関する動向把握と技術データ取得協力

岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアムの関係機関と共に、農水省が定める安全ガイドライン改訂のための技術データを積極的に提供し、改訂を促す。

4) 2025 年度のアプローチ

- ・事業者の実証実験に有償提供。10 台の提供を目標とする。
- ・遠隔監視操縦型ガイドライン策定動向モニタリング

圃場での遠隔監視操縦、圃場間の自動走行のための安全ガイドラインの検討動向を常にウォッチし、岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアムの関係機関と共に必要な追加データの取得や検討を実施する。

- ・事業拡大戦略策定

安全ガイドライン策定を機に市場が拡大期に移行する前提で、より多くの顧客との商談機会創出のために関係機関の協力を仰ぎつつ、当社の営業戦略、プロモーション戦略を見直す。

- ・量産設計

市場拡大期にタイムリーに商品を提供できるよう、量産設計・開発に着手する。

5) 2026 年度以降

- ・量産機を含む事業拡大

遠隔監視操縦の運用に必須な端末を武器に市場での立ち位置を確保し、端末供給のみならず、MVNO としての通信サービス事業、インフラ構築事業等、事業を拡大していく。

② 自動運転バス

1) 市場環境

2023年4月より、遠隔監視者が周囲と車内の状況をリアルタイムにモニタリングし、且つ、車内と通話できる状態を維持する運用で、事業者は都道府県公安委員会の認可を取得し、自動運転サービスが可能となる。

令和4年改正道路交通法に係る下位法令（1年施行分）の概要	
令和4年改正道路交通法（1年施行分）	
➤ 特定自動運行に係る許可制度の創設に関する規定の整備	
○ 運転者がいない状態での自動運転（特定自動運行）を行おうとする者は、特定自動運行計画等を記載した申請書を都道府県公安委員会に提出して許可を受ける必要	
○ 許可を受けた者（特定自動運行実施者）は、遠隔監視装置を設置し、遠隔監視を行う者（特定自動運行主任者）を配置するなど、特定自動運行計画に従って特定自動運行を実施	
➤ 遠隔操作型小型車の交通方法等に関する規定の整備	
○ 遠隔操作型小型車の使用者は、遠隔操作により通行させようとする場所を管轄する都道府県公安委員会に対し、通行場所、遠隔操作場所、連絡先、非常停止装置の位置、遠隔操作型小型車の仕様に関する事項等を届け出る必要	
○ 遠隔操作型小型車は、歩行者相当の交通方法に従って道路を通行	

警察庁資料より引用

図 4.3.134 改正道路交通法に係る自動運転分野の下位法令

2) 2023 年度のアプローチ

改正道交法の施行により、自動運転サービスの実証実験がこれまで以上に加速する。特に、事業面での検証に重きをおいた実証になると想定する。自動運転バスは、運行事業者により車両の大きさと遠隔監視システムも異なる。現段階では、昨年度と今年度の課題実証のサポート頂いた三郷町フィールドでの実証実験を検討されているアイサンテクノロジー（株）と岩見沢市で医療 MaaS の実証を実施した（株）マクニカにアプローチしており、そのどちらかの自動運転車両への搭載と実証提案を継続する。

現段階で想定する評価依頼内容は以下のとおり。

・技術面

バスへの装着方法や耐振動性、遠隔監視画像品質の確認、既存システムとの接続性等、実機・実地での実用性評価を依頼する。

なお本実証での有識者へのヒアリングにて、既に必須の課題として明らかになっている、バスの周囲の状況を判断するために必要な音声の伝送などの対策を検討し、対応した上で評価を頂くこととする。

・ビジネスモデル面

端末システムの価格と供給ルート、供給方法等についての共同検討を依頼する。

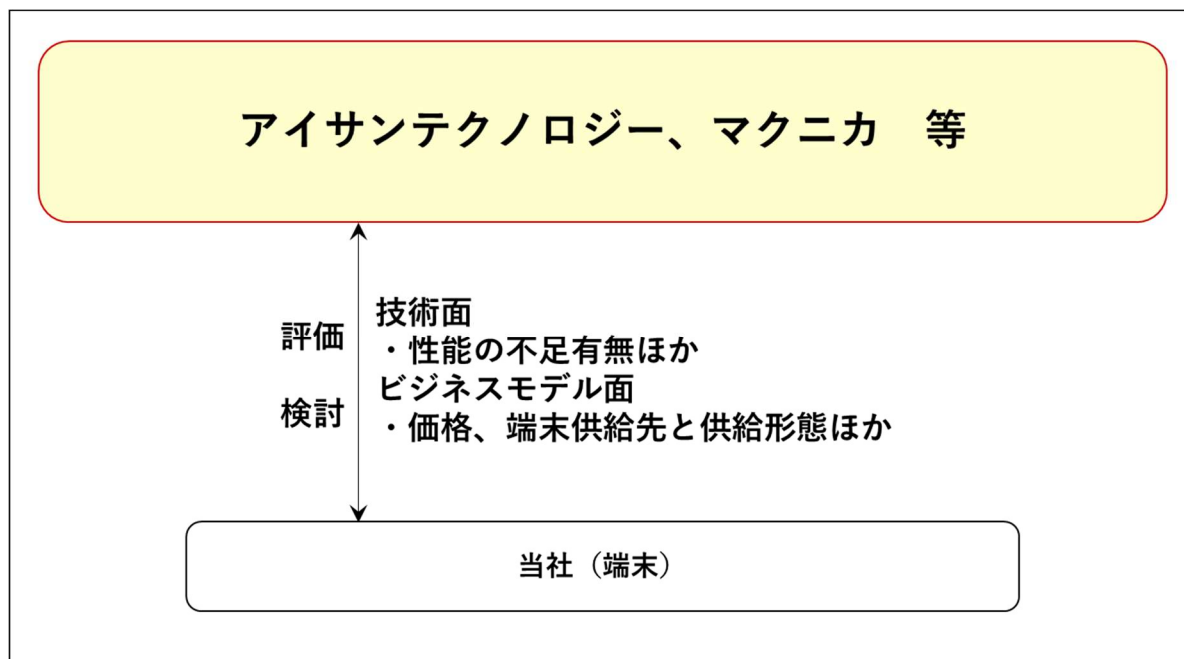


図 4.3.135 2023 年度の自動運転バス実証体制（目論見）

・通信網の充実施策検討

実証事業者に対して、北海道総合通信局で検討された結果を紹介しつつ、近畿総合通信局とも意見交換を行い、商用携帯サービス網未整備地域での通信網構築（または衛星利用）について、具体的なスキーム検討を実施する。

3) 2024 年度以降のアプローチ

- ・実証実験と商用を含め 10 台の有償提供を目標とする。
- ・量産設計方針の確定

2023 年度の評価結果と前段の自動運転トラクター評価結果、およびプロモーション活動で得た新たな知見や情報を基に、改良点の明確化と量産時の設計を施す。

- ・端末価格の決定とビジネスモデル検討

事業開始時の端末供給形態とルート、提供価格を確定する。合わせて、インフラ未整備地域へのインフラ構築事業も含めたソリューション事業の検討を開始する。

4) 2025 年度のアプローチ

- ・実証実験と商用を含め 25 台の有償提供を目標とする。
- ・事業拡大戦略策定

市場が拡大期に移行する前提で、より多くの顧客との商談機会創出のために関係機関の協力を仰ぎつつ、予約受付確認のための顔認証との連携等、当社の営業戦略、プロモーション戦略を見直す。

- ・量産設計

市場拡大期にタイムリーに商品を提供できるよう、量産設計・開発に着手する。

5) 2026 年度以降

- ・量産機を含む事業拡大

遠隔監視操縦の運用に必須な端末を武器に市場での立ち位置を確保し、端末供給のみならず、MVNO としての通信サービス事業、インフラ構築事業等、自治体向け MaaS 事業（医療 MaaS, 教育 MaaS 等）などを拡大展開していく。

③ 自動配送ロボット

1) 市場環境

2023年4月より、遠隔監視者がロボットの周囲の状況をリアルタイムにモニタリングし安全確認を常に行う運用で、事業者は都道府県公安委員会に届け出ること、近接監視者を不要とする自動配送ロボットの運用が可能となる。

令和4年改正道路交通法に係る下位法令（1年施行分）の概要	
令和4年改正道路交通法（1年施行分）	
➤ 特定自動運行に係る許可制度の創設に関する規定の整備	
○ 運転者がいない状態での自動運転（特定自動運行）を行おうとする者は、特定自動運行計画等を記載した申請書を都道府県公安委員会に提出して許可を受ける必要	
○ 許可を受けた者（特定自動運行実施者）は、遠隔監視装置を設置し、遠隔監視を行う者（特定自動運行主任者）を配置するなど、特定自動運行計画に従って特定自動運行を実施	
➤ 遠隔操作型小型車の交通方法等に関する規定の整備	
○ 遠隔操作型小型車の使用者は、遠隔操作により通行させようとする場所を管轄する都道府県公安委員会に対し、通行場所、遠隔操作場所、連絡先、非常停止装置の位置、遠隔操作型小型車の仕様に関する事項等を届け出る必要	
○ 遠隔操作型小型車は、歩行者相当の交通方法に従って道路を通行	

警察庁資料より引用

図 4.3.136 改正道路交通法に係る自動運転分野の下位法令

2) 2023年度のアプローチ

改正道交法の施行により、自動配送ロボットの本格的なサービス開始に加え、実証実験もこれまで以上に加速する。現段階において国内で唯一、近接監視者を不要とする遠隔監視操縦型の実証を実施しており、豊富な知見を有するパナソニックホールディングス（株）に端末を提供し、耐温度性、耐振動性、遠隔監視システムとの接続等、実機・実地での実用性評価を依頼し、性能の過不足を確認する。

なお本実証での有識者へのヒアリングにて、既に必須の課題として明らかになっている、自動配送ロボットの周囲の状況を判断するために必要な音声の伝送などの対策を検討し、対応した上で評価を頂くこととする。

3) 2024年度以降のアプローチ

- ・ 端末価格の決定とビジネスモデル検討

事業開始時の端末供給形態とルート、提供価格を確定する。

また、量産設計の検討に必要な事象が発生した場合は、量産設計方針に反映する。

4) 2025年度以降

- ・ 市場動向に合わせた事業戦略策定

ロボット配送市場の傾向が見えた段階で具体的な事業戦略を策定していく。

(2) 実装計画

1) 実装計画の作成方法

実装計画の策定手順と検討体制は以下のとおり。

①自動運転農業ロボット

(作成手順)

- ・ 実施計画時の最新動向調査
- ↓
- ・ 過年度の実証と現状についてヒアリング
- ↓
- ・ 試作端末の目的や想定意義等の紹介、および受容性についてヒアリング
- ↓
- ・ 遠隔監視操縦型のガイドライン策定期等への予測ヒアリング
- ↓
- ・ 実装計画仮作成
- ↓
- ・ 試作端末の技術実証結果を基に機能・性能について評価ヒアリング
- ↓
- ・ 現状の実証システムの仕様と価格、試作端末の想定価格及び提供ルートに関するヒアリング
- ↓
- ・ 実装計画見直し

(実施体制)

- ・ 調査相手先
北海道大学、東日本電信電話（株）、岩見沢市、（株）スマートリンク北海道
- ・ 調査内容
端末需要性、過年度実証の課題、現状の取組、今後の予定と予測、端末実用化に向けた協力関係構築
- ・ 参考文献等
農研機構レポート（圃場間走行）、北海道農業 ICT/IoT 懇談会資料、その他

②自動運転バス

(作成手順)

- ・ 実施計画時の最新動向調査
- ↓
- ・ 2023年4月より限定地域でのレベル4自動運転が認められることが正式に決定
- ↓
- ・ 改正道路交通法下の下位法令等の確認と端末に求められる性能等を明確化
- ↓
- ・ 地域 MaaS（医療）のための技術実証への参加、および受容性について自治体ヒアリング
- ↓
- ・ 実装計画仮作成
- ↓
- ・ 路線バス廃止地域での今後の実証予定等について自治体ヒアリング
- ↓
- ・ 実証実施予定の事業者と意見交換、および次年度の協力について協議
- ↓
- ・ 実装計画見直し

(実施体制)

- ・ 調査相手先
(株) マクニカ、岩見沢市、三郷町、奈良交通 (株)、アイサンテクノロジー (株)
- ・ 調査内容
端末需要性、現状の取組、今後の予定と予測、端末実用化に向けた協力関係協議構築
- ・ 参考文献等
改正道路交通法に関連する資料

③自動配送ロボット

(作成手順)

- ・実施計画時の最新動向把握

↓

- ・2023年4月より遠隔監視操縦での公道走行が認められることが正式に決定

↓

- ・改正道路交通法下の下位法令等の確認と端末に求められる性能等を明確化

↓

- ・社内グループ企業（パナソニックホールディングス（株））へヒアリング

(実施体制)

- ・調査相手先

パナソニックホールディングス（株）

- ・調査内容

端末需要性、現状の取組

- ・参考文献等

改正道路交通法に関連する資料

上記の工程を得て作成した実装計画は以下のとおり。

①自動運転農業ロボット

1) マイルストーン

<2023 年度－2024 年度>

試作端末の実物・実地検証を実施。同時に、他のメーカ、自治体との意見交換やヒアリング調査を継続し、ビジネスモデルキャンパスを完成させると同時に端末の量産設計方針を確定。加えて、必要に応じてローカル 5G 環境を提供。

また、北海道総合通信局が主催する農業 ICT/IoT 懇談会のメンバとして、農機メーカ、自治体、通信事業者、ホクレン等農業機関、省庁等との検討を重ね、遠隔監視操縦型運用に必須な通信インフラの拡充施策を立案する。

更に、岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアムと共に令和 5 年度の地域デジタル基盤活用推進事業/実証事業に応募する予定。

<2025 年度－2026 年度>

遠隔監視操縦型のガイドライン策定の動向をモニタリングしつつ、量産設計開始。

加えて、事業拡大のための戦略を策定。

<2027 年度－>

遠隔監視操縦型の運用が可能になることで、端末事業、ローカル 5G ネットワーク整備事業、MVNO 事業等の本格展開を開始。

2) 実装計画

市場台数や当社シェアについては、4.1.4 (2) 実装目標のままとする。

端末価格については前述のとおり 1 台当たり 60 万円、遠隔監視側のデコーダ端末を 40 万円、インフラ構築価格については、コア×1、gNB×1、その他付帯工事等を含め 1,500 万円/箇所とする。(当社実績より)

②自動運転バス

1) マイルストーン

<2023 年度－2024 年度>

試作端末の実物・実地検証を実施。同時に、他のメーカ、自治体との意見交換やヒアリング調査を継続し、ビジネスモデルキャンパスを完成させると同時に端末の量産設計方針を確定。加えて、必要に応じてローカル 5G 環境を提供。

<2025 年度－2026 年度>

量産設計開始。

事業拡大のための戦略策定

<2027 年度－>

遠隔監視操縦型の運用が可能になることで、端末事業、インフラ構築事業、MVNO 事業、MaaS 事業等の本格展開を開始。

2) 実装計画

市場台数や当社シェアについては、4.1.4 (2) 実装目標のままとする。

端末価格については前述のとおり 1 台当たり 60 万円、車載端末と対になる遠隔監視側のデコーダ端末を 40 万円、インフラ構築価格については、地域 BWA を前提に、コア×1、eNB×1、その他付帯工事等を含め 1,500 万円/箇所とする。(当社実績より)

③自動配送ロボット

1) マイルストーン

<2023 年度>

試作端末の実物・実地検証を実施。

2) 実装計画

現段階では端末需要数を予測することができないため、検討から除外する。

これらをまとめると端末およびローカル 5G エリア構築の需要予測は次図のとおり。

ただし、端末は MVNO 事業として回線サービスの一環としての提供も考えられるが、市場台数に変化は無いため、台数ベースで算出する。

事業分野			2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2030年度	
遠隔監視操縦型 トラクター	マイルストーン		開発実証	L5G提供+試行			ガイドライン改訂 量産設計	拡大展開		
	市場規模予測	端末 (車載側+遠隔側)	台数(台)	-	-	-	-	250	600	3,200
		金額(千円)	-	-	-	-	-	250,000	600,000	3,200,000
		L5G環境構築	箇所数(式)	-	-	-	-	25	60	320
		金額(千円)	-	-	-	-	-	375,000	900,000	4,800,000
自動運転バス	マイルストーン		開発実証	L5G提供+試行			量産設計	拡大展開		
	市場規模予測	端末 (車載側+遠隔側)	台数(台)	-	-	20	50	100	500	1,000
		金額(千円)	-	-	20,000	50,000	100,000	500,000	1,000,000	
		L5G環境構築	箇所数(式)	-	-	2	5	10	50	100
		金額(千円)	-	-	30,000	75,000	150,000	750,000	1,500,000	

図 4.3.137 端末とローカル 5G インフラ構築の需要予測

当社事業としては前述のとおり、

- ・2024 年度より、事業者の実証実験に有償で端末を提供していく。
- ・実証実験期ではなく事業者の実事業時の端末シェアは 50%、インフラ構築シェアは 10%を目標とする。

以上を踏まえた当社の事業予測は以下のとおり。

事業分野			2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度	2027年度	2030年度	
遠隔監視操縦型 トラクター	マイルストーン		開発実証	L5G提供+試行			ガイドライン改訂 量産設計	拡大展開		
	当社事業	端末事業 (車載側+遠隔側)	販売額(千円)	-	3(サンプル提供)	4(実稼用として提供) 4,000	10(実稼用として提供) 10,000	125 台	300 台	1,600,000
		L5Gインフラ事業	販売額(千円)	-	-	既設L5Gエリアで試行 0	既設L5Gエリアで試行 0	3 箇所	6 箇所	480,000
		小計	販売額(千円)	-	0	4,000	10,000	170,000	390,000	2,080,000
		合計	販売額(千円)	-	0	4,000	10,000	170,000	390,000	2,080,000
自動運転バス	マイルストーン		試作実証	L5G提供+試行			量産設計	拡大展開		
	当社事業	端末事業 (車載側+遠隔側)	販売額(千円)	-	2(サンプル提供)	10 台 10,000	25 台 25,000	50 台	250 台	500,000
		L5Gインフラ事業	販売額(千円)	-	-	公衆エリアで試行 0 箇所	0 箇所	1 箇所	5 箇所	150,000
		小計	販売額(千円)	-	0	10,000	25,000	65,000	325,000	650,000
		合計	販売額(千円)	-	0	10,000	25,000	65,000	325,000	650,000
計	端末事業 (車載側+遠隔側)	販売額(千円)	-	5(サンプル提供)	14 台 14,000	35 台 35,000	175 台	550 台	2,100,000	
	L5Gインフラ事業	販売額(千円)	-	-	0 箇所	0 箇所	4 箇所	11 箇所	630,000	
	合計	販売額(千円)	-	0	14,000	35,000	235,000	715,000	2,730,000	

図 4.3.138 当社の端末/ローカル 5G インフラ構築事業規模予測

【今後の期待等】

- ・インフラ構築需要の増加

自動運転には通信網が必須であるが、地方部で需要のある地域では、公衆携帯サービスエリア外である場所が想像以上に多いことも判明している。圃場については認識していたが、県道、市道沿いでも公衆携帯網の不感地域が多いことを改めて認識した。現段階の実装計画では、端末需要の10%程度をインフラ需要にしているが、地方部でのサービス需要が高まるにつれ、インフラ需要も大幅に向上するものとする。ただし、自動運転トラクターや自動運転バスのためだけのインフラ整備は採算性に課題があるため、他のサービスを組み合わせることで展開していくことが必須であり、地方総合通信局や自治体、住民との共同検討が必要と考える。

- ・自動運転ロボットを活用したサービス事業の創出

当社は、2025年大阪・関西万博会場内外の輸送におけるレベル4を見据えた自動運転車両を核とした次世代の交通管制システムの提供を目指した実証実験を大阪メトロなどとの10社共同で、大阪・舞洲にて実施した実績を有する。

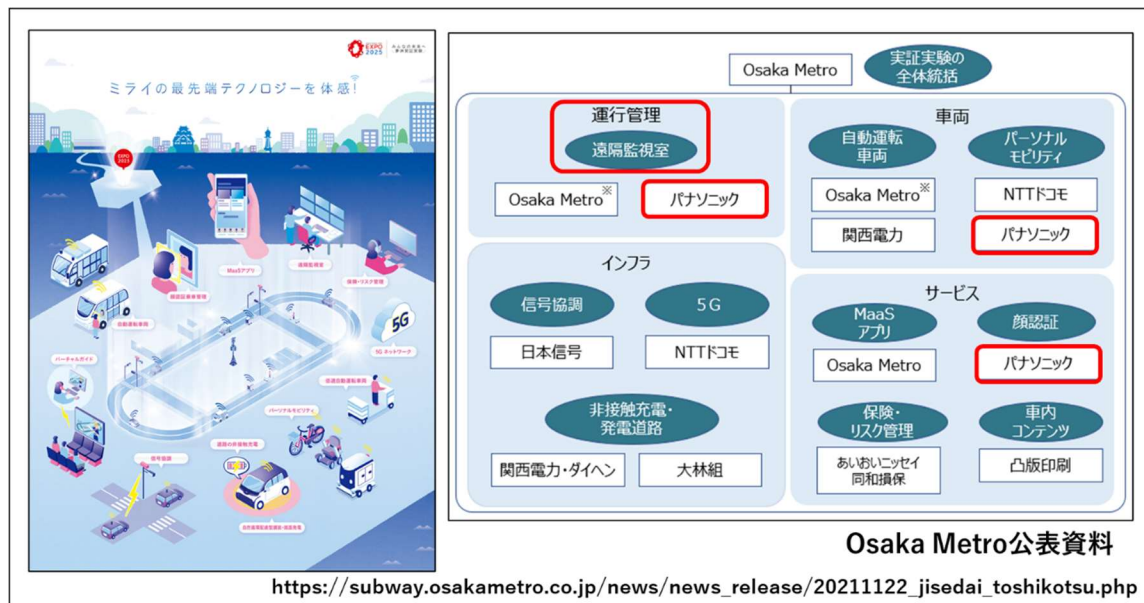


図 4.3.139 大阪での実証実験における当社の役割

当社は遠隔管制室、パーソナルモビリティ、顔認証の実験に参画。舞洲にある実験会場では、ドコモの5G通信環境の高速・大容量・低遅延なデータ通信により、遠隔管制室から遠隔監視者一人で、低速自動運転モビリティやパーソナルモビリティなど様々なタイプのモビリティの運行状況を、一つのシステムで一元的に管理した。パーソナルモビリティでは、当社の自動搬送ロボットを用いた荷物の受け取りや車いす型モビリティの追従走行などのデモを行っている。また、MaaSアプリに顔写真を登録すると、顔認証による自動運転車両に乗車するアプリを提供した。

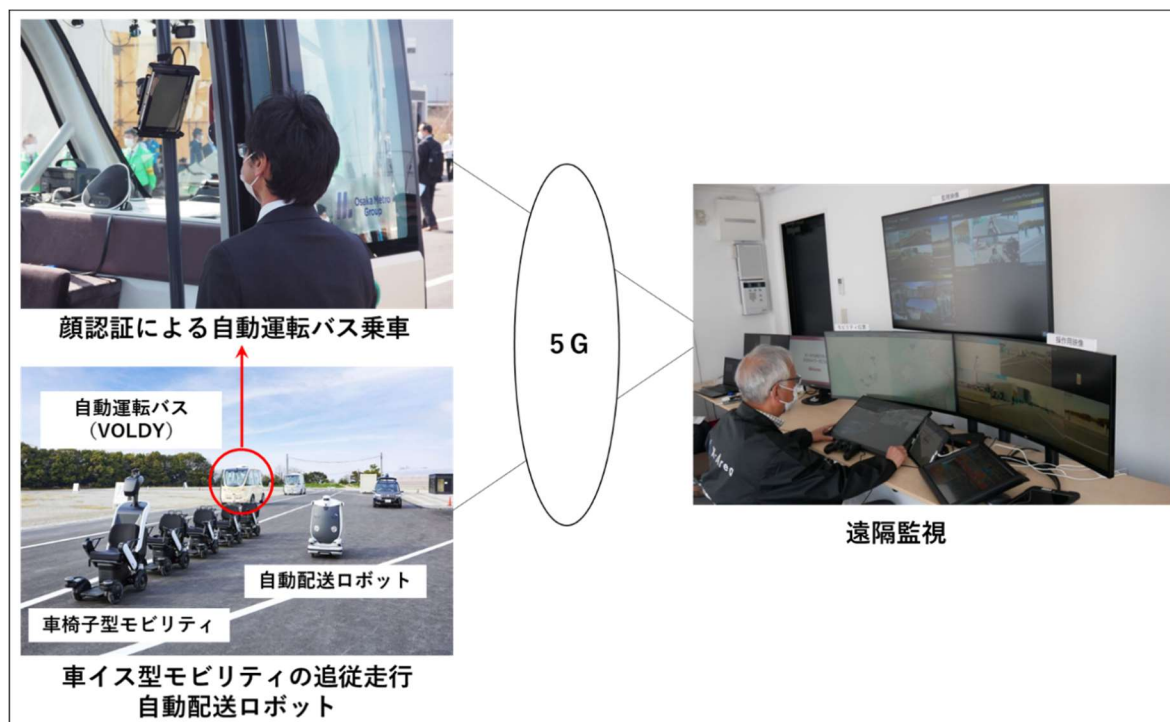


図 4.3.140 当社の実証実験概要

将来、自動運転バスの遠隔監視操縦を支える端末システムをコアに、BWA や sXGP 等公衆携帯サービスと同じ方式のインフラ構築を強化し、当社が得意とする顔認証等のセンシング技術を組み合わせ、自治体等の関係機関と一緒に事業主体者としてサービス事業を展開することも目標としている。

また、平時のみでなく有事の際の状況確認や荷物運搬等、防災分野での利用も検討していく予定である。

・他分野への展開

本端末は自動運転車両への搭載のみならず、様々な用途にも展開できる。低遅延高精細映像伝送は、エネルギープラントや道路・鉄道等の社会インフラ事業者などのインフラ維持管理業務の効率化や高度化にも貢献できると考えており、具体的なユースケースと効果指標算出のためのヒアリング活動も開始していく。

2) 実装計画の要約

実装計画要約シート

端 03 代表機関名	パナソニック コネクト株式会社		分野				
実証件名	移動ロボット等での利活用を想定した エンコーダー体型ルータ端末の試作						
実施体制							
	令和4年度 (2022)	令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)	
実装計画	自動運転農業ロボット	開発実証	試作端末による実地実証 プロモーション・量産化検討	量産端末開発	拡大展開		
	自動運転バス	開発実証	試作端末による実地実証 プロモーション・量産化検討	量産端末開発	拡大展開		
	他分野・用途展開		市場調査・量産化検討		拡大展開		
	ローカル 5G システム		実地検証・接続検証	システム導入・機能拡張開発			
収支計画(千円)	(1)ユーザーから得る対価		0	16,800	42,000	310,000	941,000
	(2)補助金・交付金			0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))		0	16,800	42,000	310,000	941,000
	(4)ネットワーク設置費		0	0	0	108,000	297,000
	(5)ネットワーク運用費		0	0	0	0	10,800
	(6)ソリューション購入費		0	15,228	14,758	54,950	172,700
	(7)ソリューション開発費		0	0	0	40,800	112,200
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))		0	1,572	14,758	203,750	592,700
	(9)収支((3)-(8))		0	1,572	27,242	106,250	348,300
収入、支出の算定根拠 (1)実装計画の端末とインフラ構築に加え、カメラ等端末周辺機器と現地インストール等費用を付加 (4)圃場や市道等、遠隔監視に必須な通信インフラ(ローカル 5G や BWA 等)の整備(価格は当社実績) (5)ローカル 5G や BWA 等インフラ機器の保守運用費(当社実績より) (6)サービスアプリ用サーバ機器類 (7)サービスアプリ開発費および顧客用サーバ機器類							
実装	どのようにして(手段、取組方法、アウトカム)				いつまでに		

を確実にするための取組	提供コスト低減	製品コスト低減のために、量産設計検討時に部材低廉化、製造工程削減等の対処を施す。	2025 年度
	ソリューション追加開発	1:N 運用時の遠隔側エンコードシステム開発 クラウド型低遅延処理技術の開発	2026 年度 2028 年度
	顧客開拓	個別の顧客獲得活動に加え、国や自治体のアドバイスを得ながら、平準化や横展開加速のための自治体や関連業界団体等への訴求活動を実施。	2025 年度
	運用面の改善	事業者の採算性確保に貢献するための 1:1 運用から 1:1 クラウド型運用、1:多クラウド型運用への進化、	2028 年度
	ルールメイキングへの貢献	農水省が定める遠隔監視操縦型の安全ガイドライン策定に資する技術データ取得と提供	2024 年度
計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など) 外部への支出を伴うソリューション購入費や開発費、ネットワーク設置費等の原価見直しと内容精査による低廉化、及び自社開発費で補う。			

a. 実施体制

- ・ 端末システムの商品化に向けたシステム設計、企画は事業部門
パナソニック コネクト（株）現場ソリューションカンパニー 現場ネットワーク事業本部
- ・ 商品開発、製造、品質管理、保守
パナソニック コネクト（株）現場ソリューションカンパニー 開発・モノづくり統括部
- ・ 販売
パナソニック コネクト（株）現場ソリューションカンパニー 営業部門が担当する。
- ・ 国や業界団体等への啓蒙活動、商品化のための研究開発等
グループ内の他部門との連携

b. 実装計画（実施事項）

<2023年度－2024年度>

- ・営業部門

お客様候補へのヒアリングや意見交換を実施し、需要予測の精度を向上させる。

- ・現場ネットワーク事業本部

お客様候補へのヒアリングや意見交換を実施し、需要予測の精度を向上させる。加えて、実証スキーム形成のための企画、提案を実施する。また、国や業界団体等への啓蒙活動に対するグループ内関連部門との協業体制を構築する。

令和5年度の地域デジタル基盤活用推進事業/実証事業に、岩見沢市スマート・アグリシティ実証コンソーシアムと共に応募し、実証検証を加速する。

- ・開発・モノづくり統括部

実機・実地検証の実施と評価・改善検討、および量産設計の方針を確定する。

<2025年度－2026年度>

- ・営業部門

顧客とのプロジェクトや案件の形成と契約成約までの営業活動を実施する。加えて、横展開のための業界ロビーイング活動も実施する。

- ・現場ネットワーク事業本部

事業拡大のための事業企画（事業戦略、技術戦略、営業戦略等の策定と具体的な戦術の検討）とソリューション開発を実施する。

- ・開発・モノづくり統括部

量産開発、品質確認、保守マニュアル作成等、お客様に提供する商品と提供後のフォロー体制を確定する。

<2027年度－>

- ・営業部門

顧客とのプロジェクトや案件の形成と契約成約までの営業活動の拡大、および横展開のための営業活動を実施する。

- ・現場ネットワーク事業本部

納入先の使い勝手や改善点、要望等を取りまとめ、顧客満足度向上のための改善計画を立案する。また、事業の進捗を見つつ、戦術の変更や追加サービスの開発を実施する。

- ・開発・モノづくり統括部

納入先での使われ方を分析し、顧客要望も踏まえつつ、技術進化動向も踏まえた次期端末システムの検討を開始する。

c. 収支計画

・ 2023 年度

試作端末の実機・実地検証のため自社予算で対応することを基本とする。また、評価頂く機関が国の実証事業等への参画を目指す場合は、当社も積極的に提案活動を行う。現段階では、令和5年度の地域デジタル基盤活用推進事業/実証事業に応募する予定である。

・ 2024 年度－2026 年度

量産前の端末システムの提供を開始する。前述のとおり、端末システムの利益に加え、他の周辺機器や現地インストール等エンジニアリング費用の粗利で、プラス収支になる見込み。

・ 2027 年度

端末システムの台数が増えるのみでなく利益率も高くなり、加えてインフラ構築の需要も増え、収支が安定してくる。

d. 実装を確実にするための取組

ア) 提供コスト低減

実機・実地検証結果と多分野へのロビー活動により取得した情報と知見を踏まえ、部品コスト低減、製造工程削減、より多くの分野で利用できるようにするための共通プラットフォーム化等の対処を施す。

イ) ソリューション追加開発

遠隔監視側とのシステム接続において、クラウドを経由した遠隔監視操縦の要望も強く、車載端末ークラウド間、クラウドー遠隔システム側の2段階に跨る低遅延保証の開発が必要となる。また、採算性確保のためには1:多運用が必要となるが一度に運行する車両が増えるとカメラの台数も増えてくるため、遠隔側のエンコード処理の性能を高める開発（現行の1:1運用から1:多運用に進化させるためのソフト開発）を想定している。

ウ) 顧客開拓

北海道総合通信局が主催する農業 ICT/IoT 懇談会において、遠隔監視操縦型の農業ロボットの社会実装を確実に加速するための検討が開始されているが、当社グループに所属する有識者が、商用携帯サービス網未整備地域への通信インフラ整備の進め方を検討する作業班の副主査を努める。この作業班は、複数の農機メーカー、ホクレン等農業関係団体、通信事業者、自治体、関係省庁（農水省、開発局）が参加しており、商用携帯未整備地域の把握、自治体の考え方や整備スキーム形成の課題、農機メーカーの提供するソリューション実現のための条件、通信事業者のインフラ整備条件、国の様々な支援制度等、社会実装を構成する様々な要素が詰まっている。当社は、全ての関係機関と人脈を形成でき、実態と実情および真の課題を把握でき、全参加機関と共に汗をかき最善策の検討を重ね、総合通信局と共に目指す姿の実現に向けての国の制度やスキームの有効活用指南と改正提案検討を行うことができる立場を有効に活用し、直接の顧客のみならず、あらゆる側面支援の機関との協力関係を構築し、事業環境整備を推進していく。

その上で、当社内関連部門は、以下の取組を実施する。

- ・当社顧客及びパートナー企業への販売拡大、マーケティングのため、毎年開催される現場ソリューションカンパニーが主催する勉強会、ウェビナー、展示会への出展の活用を検討する。これらの活動を通じて、エンドユーザーのみではなく、ソリューションパートナー、販売パートナーとの協業による販路拡大も図る。

- ・先にローカル 5G 導入した顧客及び導入予定の顧客に対しては、現場課題に対する無線ネットワークを活用した業務 DX の共創協議を推進する。

- ・外部関係機関（自治体、業界団体等）への啓蒙活動を通じて、より多くの顧客候補へ情報が行き渡る体制を構築し、接点強化を図る。

エ) 運用面の改善

端末システムを、事業者のロボットサービスエリアに柔軟性を持たせるためのクラウド型運用、事業者の採算性を確保するための 1:多運用に進化させ、より多くの自動運転ロボットの社会実装を促す。

オ) ルールメイキングへの貢献

農水省が定める遠隔監視操縦型のガイドライン検討のための技術データ等を北海道大学や岩見沢市と共に積極的に協力する。ただし、今の段階では時期は明確ではない。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）

外部への支出を伴うソリューション購入費や開発費、ネットワーク設置費等の原価見直しと内容精査による低廉化、及び自社開発費で補う。

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

受領した「ローカル 5G 撮影依頼書」等に基づき、映像制作を実施した。映像撮影の風景を次図に示す。



図 5.1.1 映像撮影①



図 5.1.2 映像撮影②



图 5.1.3 映像撮影③



图 5.1.4 映像撮影④

5.2 端末システム発表会の実施

端末システムに関心のある企業や団体等に、試作した端末システムの概要・特徴、性能試験の結果、フィールド実証内容・結果、及び今後の対策等を説明し、本実証成果を広く訴求することを目的とした端末システム発表会を実施した。

端末システム発表会は2023年3月10日15:00~16:00にMicrosoft Teamsを利用したウェビナーにて実施し、47名の方に参加頂いた。実施した端末システム発表会実施内容を次表に示す。

表 5.2.1 端末システム発表会実施内容

項目	内容	
実証概要説明	実証の背景、目的、試作端末の概要についての説明	パワーポイントで説明
端末の説明	試作端末、アンテナ及びカメラの説明	実物をカメラに映して説明
端末性能試験結果の説明	耐振動性、映像低遅延伝送、AVQoS機能等の説明	パワーポイント及び動画での説明
フィールド実証内容説明	三郷町での実証内容説明及び実証動画の投影	パワーポイント及び動画での説明
評価結果と今後の説明	カテゴリ毎に設けた課題と評価結果及び今後の対策の説明	パワーポイントで説明
質疑応答	参加者からの質問に対する回答	

端末システム発表会の画面を次図に示す。



図 5.2.1 端末システム発表会 (Teams 画面：資料投影)



図 5.2.2 端末システム発表会 (Teams 画面：端末実機投影)



図 5.2.3 端末システム発表会 (Teams 画面：動画投影)

また、社会実装に関するヒアリング等にご協力頂いた有識者等に、試作端末の実装性及び動作を確認頂くことを目的とした現地視察会を実施した。

現地視察会は、2023年2月8日～10日の3日間に分けて行い、以下の方に視察頂いた。

- 2月8日 三郷町 様
- 2月9日 ヒアリング調査協力企業 様
総務省近畿総合通信局 様
- 2月10日 関係省庁 様
奈良県 様

現地視察会実施内容を次表に示す。

表 5.2.2 現地視察会実施内容

場所	項目	内容
フィールド側	実証概要説明	配布資料より、本実証PJの全体概要及び三郷町フィールドでの実証内容説明
	車椅子型ロボット車両への実装説明	車椅子型ロボット及び車両に取り付けた試作端末、アンテナ、カメラの実装確認
	車椅子型ロボット遠隔操作	車椅子型ロボットを遠隔操作し、無人にて移動する様子の確認
センター側	装置説明	端末システムを構成する各装置の説明 AV_QoS機能の説明
	車椅子型ロボット映像監視・操作	車椅子ロボットからの2カメラ映像伝送確認 緊急停止時の遠隔操作確認
	車両映像監視	車両からの4カメラ映像伝送確認
	市販装置との映像比較	市販装置での映像伝送と開発したエンコーダ一体型端末での映像伝送との比較確認
	質疑応答	視察者からの質問に対する回答

現地視察会の様子を次図に示す。



図 5.2.4 視察会 2月8日 (フィールド側)

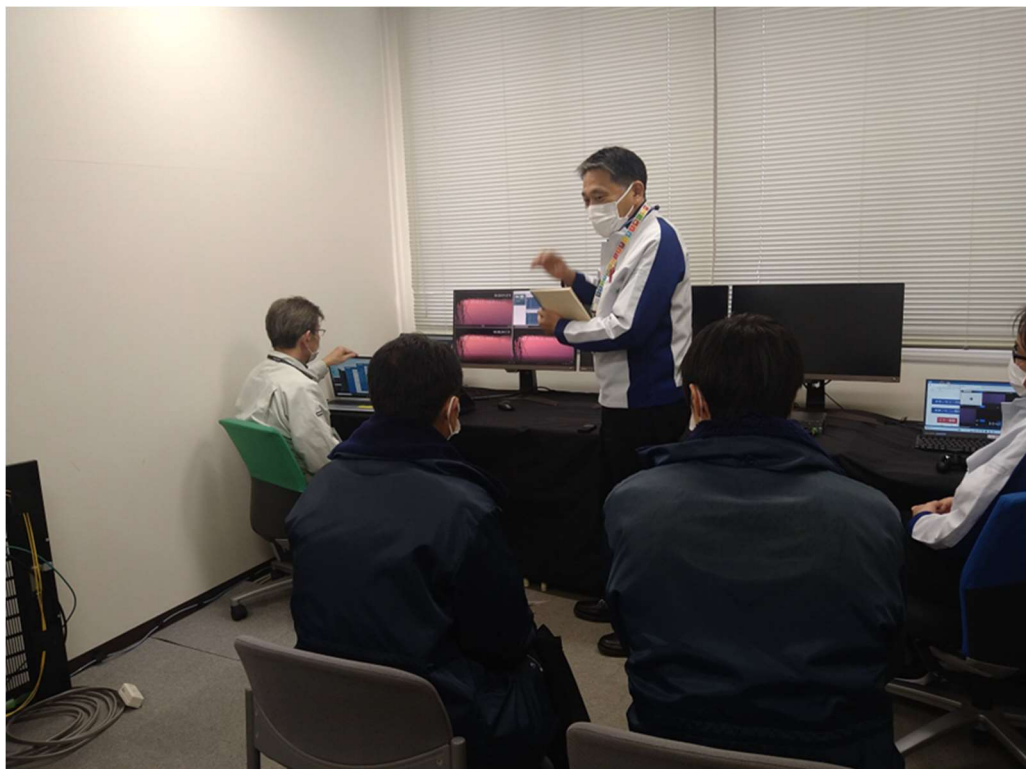


図 5.2.5 視察会 2月8日 (センター側)



図 5.2.6 視察会 2月9日 (フィールド側)



図 5.2.7 視察会 2月9日 (センター側)



図 5.2.8 視察会 2月10日 (フィールド側)



図 5.2.9 視察会 2月10日 (センター側)

5.3 その他普及啓発活動

内容について、予め三菱総合研究所様を通じて総務省様の承認を得た上で、展示会等で普及啓蒙を実施した。

- ・ InterBEE 2022 への出展

2022年11月16日～18日に開催された InterBEE 2022 において当社の「高精細映像伝送システム(AV-QoS)」 展示ブースにて試作開発した端末のコンセプト展示(静態展示)を行った。



図 5.3.1 展示ブース



図 5.3.2 端末展示

・首都高様向け展示会への出展

2023年1月27日に首都高様向け（首都高本社で実施）当社ソリューションの展示会において試作開発した端末のコンセプト展示（静態展示）を行った。



図 5.3.3 端末展示



図 5.3.4 説明の様子

・北海道総合通信局主催「ICT利活用による地域活性化セミナーin帯広」での展示
2023年2月28日に北海道総合通信局主催「ICT利活用による地域活性化セミナーin帯広」
において試作開発した端末のコンセプト展示（静態展示）を行った。



図 5.3.5 セミナー会場の様子



図 5.3.6 展示ブース

・ Network Connect Lab での展示

2021年6月に開設された、当社のローカル5Gなど現場マルチネットワークを検証できる共創ラボ「Network Connect Lab」(神奈川県横浜市の佐江戸事業場内)において、試作開発した端末のコンセプト展示(静態展示)を行った。

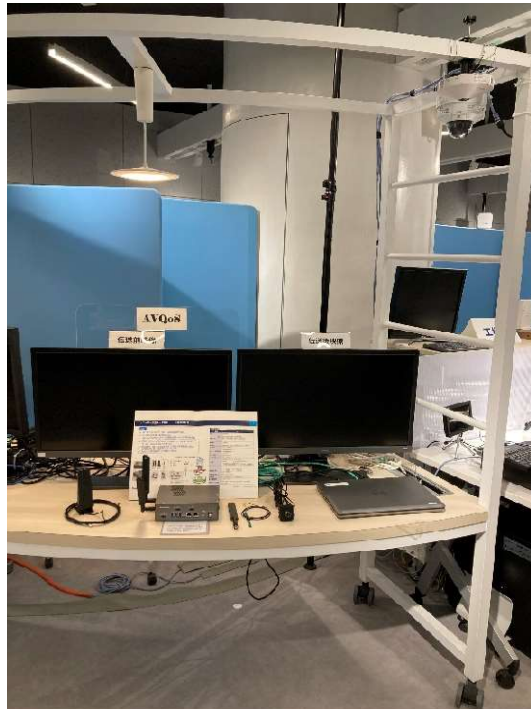


図 5.3.7 展示全体



図 5.3.8 端末展示

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

実施体制の全体について、次図に示す。

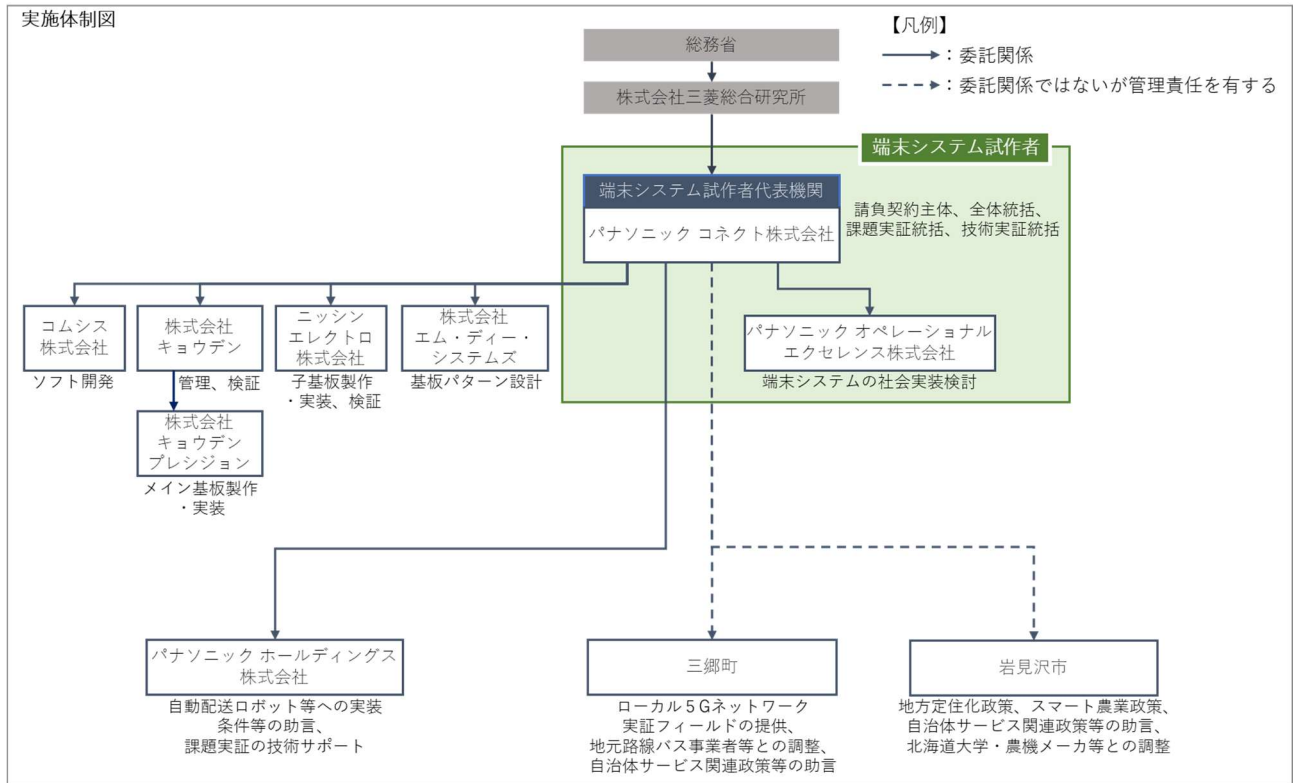


図 6.1.1 実施体制図

6.2 実施体制内の役割

実施体制内の役割を次表に示す。

表 6.2.1 実施体制内の役割

体制	機関名	主な役割
端末システム 試作者	パナソニック コネクト株式会社	端末システム試作者代表機関として、請負契約主体、全体統括、課題実証統括、技術実証統括を担う
	パナソニック オペレーショナルエ クセレンス株式会社	課題実証の端末システムの社会実装のための調査・検討を担う
委託先	パナソニック ホールディングス株 式会社	移動ロボットの有識者として自動配送ロボット等への実装条件等の助言及び課題実証の技術サポート
	コムシス株式会社	端末ソフトの開発
	株式会社キョウデン	端末メイン基板の製作・部品実装管理、検証
	株式会社キョウデン プレシジョン	端末メイン基板の製作・部品実装
	ニッシンエレクトロ 株式会社	端末子基板の製作・部品実装、検証
	株 式 会 社 エ ム ・ デ ィ ー ・ シ ス テ ム ズ	端末基板のパターン設計
協力機関	三郷町	ローカル 5G ネットワーク（令和 3 年度実証にて構築）実証フィールドの提供、地元路線バス事業者等との調整及び自治体サービス関連政策等の助言
	岩見沢市	地方定住化政策、スマート農業政策及び自治体サービス関連政策等の助言、北海道大学・納期メーカー等との調整

6.3 実施体制に係る要件への対応

情報管理責任者等の必要な責任者を選任および配置し、履行体制を構築することにより「公募要領別紙2 実施体制に係る要件」の内容全てについて遵守致した。

また再委託等を行うに当たっては、情報セキュリティ対策、個人情報の管理に必要な措置及び情報保全のための履行体制及びその他必要な措置を契約に基づき再委託等先に実施及び構築させた。

7. スケジュール

全体スケジュール（実績）を次表に示す。

表 7.1.1 全体スケジュール（実績）

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
プロジェクト管理	採択決定	実施計画書等提出	契約	再委託承認	中間成果報告会	定期報告	2/28 成果物提出	3/17 成果物最終提出	端末システム発表会	最終成果報告会
技適取得 実験試験局免許申請				技適取得	事前調整等申請	取得				
機器・部材調達		調達準備	機器・部材調達							
端末試作		事前準備	設計・開発・製作							
実証環境の構築					三郷町フィールド ラボ実証環境構築	事前動作確認				
【技術実証】 社内（ラボ）実証 （実証・測定・とりまとめ）						ラボ実証・測定	測定データとりまとめ			
【技術実証】 テストベッド実証 （実証・測定・とりまとめ）					gNB、コア事前接続性検証 フィールド調査	テストベッド実証・測定	測定データとりまとめ			
【課題実証】 社内（ラボ）実証 （実証・測定・とりまとめ）						ラボ実証・測定	測定データとりまとめ			
【課題実証】 フィールド実証 （実証・測定・とりまとめ）							フィールド実証・測定	測定データとりまとめ	現地試作会	
【課題実証】 実装性に関する 調査・検討				調査・検討						
報告書作成								報告書作成	修正・追記	

添付資料

本試作開発にて使用した OSS（オープンソースソフトウェア）について、以下に示す。

エンコーダ端末／デコーダ端末

コンポーネント名	ライセンス
nginx	BSD-2-Clause
uwsgi	GNU GPL v2.0
config	BSD
Flask	BSD-3-Clause
Flask-Login	MIT
Flask-Migrate	MIT
Flask-SocketIO	MIT
Flask-SQLAlchemy	BSD-3-Clause
Flask-WTF	BSD-3-Clause
gevent-websocket	Apache Version 2.0
simplepam	MIT
timeout_decorator	MIT
Werkzeug	BSD-3-Clause
WTForms	BSD-3-Clause
jquery	MIT
socket.io-client	MIT
nlohmann-json	MIT
ntpdate	MIT
ntpd	NTP
jq	MIT
CudaConverter	MIT
DeckLinkSDK	Blackmagic Design
boost	BSL-1.0
openssl	BSD-3-Clause
opus	BSD-3-Clause
re	BSD-3-Clause
rew	BSD-3-Clause
srtp	BSD-3-Clause
stbl	BSD-3-Clause
picojson	BSD-3-Clause
usrstcp	BSD-like*

コンポーネント名	ライセンス
NvidiaVideoCodecSDK	nVIDIA*
Jetpack SDK	nVIDIA*

MEC サーバ

コンポーネント名	ライセンス
nginx	BSD-2-Clause
uwsgi	GNU GPL v2.0
config	BSD
Flask	BSD-3-Clause
Flask-Login	MIT
Flask-Migrate	MIT
Flask-SocketIO	MIT
Flask-SQLAlchemy	BSD-3-Clause
Flask-WTF	BSD-3-Clause
gevent-websocket	Apache Version 2.0
simplepam	MIT
timeout_decorator	MIT
Werkzeug	BSD-3-Clause
WTForms	BSD-3-Clause
jquery	MIT
socket.io-client	MIT
ntpd	NTP
boost	BSL-1.0
openssl	BSD-3-Clause
re	BSD-3-Clause
rew	BSD-3-Clause
srtplib	BSD-3-Clause
stbl	BSD-3-Clause
picojson	BSD-3-Clause
usrsetp	BSD-like*