

地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた
開発実証に係るモビリティ分野におけるローカル5G等の
技術的条件等に関する調査検討の請負
(自動運転車両の安全確保の仕組みの実現)

成果報告書

令和3年3月31日

一般社団法人 ICT まちづくり共通プラットフォーム推進機構

目次

1. 全体概要	1
1.1 背景・目的	1
1.1.1 背景	1
1.1.2 目的	2
1.2 実施事項及び実証目標	3
1.2.1 実施事項	3
1.2.2 実証目標	4
1.3 実施体制	6
1.3.1 前橋5G社会実装プロジェクト	6
1.3.2 本調査検討の実施体制	8
1.4 実証のスケジュール	9
1.4.1 計画策定時スケジュール	9
1.4.2 実績スケジュール	9
1.5 免許申請の概要	12
1.5.1 開設理由	12
1.5.2 無線特性仕様希望理由	12
1.5.3 システム構成	14
1.5.4 回線設計	14
1.5.5 常置場所及び移動範囲	17
2. 実証地域	18
2.1 実証地域の概要	18
2.1.1 前橋市の概要	18
2.1.2 前橋市の人口動向	19
2.1.3 前橋市の交通状況	22
2.2 実証環境	25
2.2.1 試験路実証環境	25
2.2.2 公道実証環境	29
2.3 地域課題等	33
2.3.1 実証地域の課題	33
2.3.2 地域課題等との対応	38
3. 実証環境	43
3.1 ネットワーク構成	43
3.1.1 ネットワーク構成概要	43
3.1.2 エリアカバレッジ	47
3.1.3 端末概要	49
3.2 システム機能・性能・要件	57
3.2.1 各ソリューションに対する技術的背景と前提知識	57

3.2.2	群馬大学による自動運転実装に向けた取り組み	58
3.2.3	遠隔自動運転に関する整理	59
3.2.4	課題解決ソリューションの要件	62
3.3	実証環境の運用	66
3.4	関連事業	67
3.4.1	前橋版 MaaS 実証実験	67
3.4.2	他地域連携（沼津市）	70
4.	課題解決システムの実証	72
4.1	前提条件	72
4.1.1	地域課題・ニーズ	72
4.1.2	実証に関する留意事項への対応	73
4.2	公道走行実証実験	77
4.3	実証目標	80
4.3.1	遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））	81
4.3.2	路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））	81
4.3.3	路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間））	82
4.4	課題解決システムに関する検証及び評価・分析	82
4.4.1	遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））	82
4.4.2	路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））	85
4.4.3	路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間））	88
4.5	課題解決システムに関する効果検証	99
4.5.1	効果検証の実施概要	99
4.5.2	効果検証の評価・分析項目	102
4.5.3	効果検証の評価・分析方法	105
4.5.4	検証結果	108
4.5.5	考察	115
4.6	課題解決システムに関する機能検証	129
4.6.1	機能検証の実施概要	129
4.6.2	機能検証の評価・分析項目	135
4.6.3	機能検証の評価・分析方法	136
4.6.4	検証結果	137
4.6.5	考察	142
4.7	課題解決システムに関する運用検証	143
4.7.1	運用検証の実施概要	143
4.7.2	運用検証の評価・分析項目	144
4.7.3	運用検証の評価・分析方法	144
4.7.4	検証結果	145

4.7.5 考察	159
4.8 課題解決システムのローカル5G⇔キャリア5G切り替え	161
4.8.1 実施概要	161
4.8.2 検証方法	162
4.8.3 検証項目	162
4.8.4 検証結果	162
4.8.5 考察	164
4.9 課題解決システムの他地域連携（沼津市）	165
4.9.1 実施概要	165
4.9.2 検証方法	167
4.9.3 検証項目	171
4.9.4 検証結果	172
4.9.5 考察	175
4.10 通信制御技術について	175
4.11 まとめ	177
5. ローカル5Gの性能評価の技術実証	179
5.1 前提条件	179
5.1.1 実証地域以外の地域での利用においても有益な成果を得るために、前提条件として留意した点	179
5.1.2 ITU 及び 3GPP における 5G の標準化に関する検討等	180
5.1.3 技術実証の対象とするユースケース	180
5.2 実証目標	180
5.2.1 技術的課題	181
5.2.2 課題に対するアプローチ、検証仮説等	182
5.2.3 技術基準の見直し等に資する新たな知見	182
5.2.4 実施事項	182
5.2.5 測定環境と各測定に共通事項	183
5.3 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等	200
5.3.1 実施概要	200
5.3.2 評価・検証項目	200
5.3.3 評価・検証方法	200
5.3.4 性能評価結果	223
5.3.5 技術的課題の解決方策	261
5.4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等	265
5.4.1 実施概要	265
5.4.2 評価・検証項目	266
5.4.3 評価・検証方法	266
5.4.4 検証結果	266
5.4.5 技術的課題の解決方策	271
5.5 その他ローカル5Gに関する技術実証	271
5.5.1 実施概要	271

5.5.2 評価・検証項目	272
5.5.3 評価・検証方法	272
5.5.4 性能評価結果	278
5.5.5 技術的課題の解決方策	282
5.6 まとめ	283
6. 実装及び横展開に関する検討	284
6.1 前提条件	284
6.1.1 プレーヤの整理	284
6.1.2 ガイドライン等との整合性	285
6.1.3 5G 基地局の整備計画との関係	292
6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定	292
6.2.1 実証終了後の継続利用検討	292
6.2.2 事業モデルの検討	294
6.2.3 実装に向けた計画	296
6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討	299
6.3.1 普及モデル	299
6.3.2 推進対応方策	306
6.3.3 横展開計画	306
6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討	308
6.4.1 5G ソリューションを構成する各種ソフトウェア、ハードウェアの具体的な提供 イメージ、提供スキーム案	308
6.4.2 既存の製品や知的財産を導入する際のパターンやビジネススキーム	309
6.4.3 「5G ソリューション提供センター」の企画・設立展開に資すると思われる要 素、提言	316
6.5 まとめ	317
7. 会合等の開催	318
7.1 前橋5G 社会実装プロジェクト 協議会の実施	318
7.2 スマートモビリティ WG	318
7.3 自動運転バス 公道実証セレモニー	319
8. まとめ	321
9. 参考資料	322

1. 全体概要

1.1 背景・目的

1.1.1 背景

近年、我が国のうち、特に自動車の分担率が高い地方都市では、少子高齢化に伴い、公共交通の衰退による移動手段の減少、公共交通機関における運転手不足や運転手への負担増加が生じており、持続的な公共交通インフラの提供が不可欠となっている。

こうした中、現在、住民への移動手段の確保、運転手への負担軽減を図る観点から、自動運転車両の実用化に向けた取り組みが行われている。自動運転車両の社会実装の実現に向けては、自動運転車両に搭載されたカメラやセンサーから収集した情報や、路車間協調通信により収集した情報等をもとに、自動運転車両側で自律的に判断等を行い、安全に走行できる技術が必要である。

しかしながら、道路形状が複雑であること、さらに道路交通環境が複雑であること等の原因により自動運転車両側が自律的に判断することができず、運転手が判断し走行を補助するケースが生じている。これを解決するためには、運転席に乗車し手動で補助する方法と、遠隔監視・操縦管制の仕組みを用いた方法がある。特に後者の方法が実現できた場合、車両一台ごとに人を配置する必要がなくなり、少子高齢化等による運転手等の人員不足解消等に期待できる。しかし、遠隔監視・操縦管制の仕組みの実現に向けては、遠隔管制室にいる操作者が、自動運転車両を取り巻く周辺の交通状況を詳細に把握する必要があり、膨大なデータ量を通信することが求められている。また、操縦管制を行うにあたっては、遠隔管制室からの指令伝達がリアルタイムで実施される必要があり、これまでの4G/LTEといった通信規格では、それを満たすことが出来なかった。

一方、本調査検討で取り扱う「第5世代移動通信システム(5G)」は、超高速・超低遅延・多数同時接続といった特徴を有しており、経済成長に必要不可欠な「society5.0」を支える基幹インフラとして、様々な産業分野における利活用が検討されている。

総務省では、令和元年6月18日、情報通信審議会から、「新世代モバイル通信システムの技術的条件」のうち、地域の様々な主体が自らの建物や敷地内でスポット的に柔軟にネットワークを構築できる第5世代移動通信システム(ローカル5G)の技術的条件について答申を受け、令和元年12月24日、一部制度化を実施したところである。

5Gの技術的条件等については、今後も、周波数の拡張が予定されており、さらなる技術的条件等の検討を行うため、実際のユースケースの利用環境における性能評価試験や既存無線局との共用可能性に関する試験等を行うことが求められている。

そのため、令和2年度から総務省では、様々な分野におけるローカル5Gのユースケースについて、多種多様なローカル5G基地局の設置・利用環境下でローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討を実施するとともにローカル5G等を活用した課題解決モデルの構築に取り組み、様々な分野でのローカル5G等の活用策と、その導入効果等を明らかにし、ローカル5G等の導入を図ることとしている。

本調査検討の実証フィールドである群馬県前橋市では、過度に自動車に依存した社会基盤であり、公共交通による交通手段分担率の低迷や、公共交通機関における運転手

不足や運転手負担の増加が大きな課題となっていた。その課題解決のため、平成 30 年度に「前橋市地域公共交通網形成計画」を策定し、地域にある複数交通事業者によって形成されるバス路線の再編を検討している。そして、路線の再編に合わせ、将来都心幹線として設定する JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅の区間において、平成 30 年度より自動運転バスの導入等の検討を進めてきた。

自動運転バスの導入は、短期的には自動車社会であるが故に自動車インフラを十分に活かした取り組みとして効率的である一方、長期的には超高齢社会が進行する地方都市において、過度な自動車依存社会の脱却に寄与し、将来的に誰もが安全、便利に使うことができる、効率的で持続可能な交通インフラの提供につながることを期待されている。前橋市においては、従来より自動運転技術の推進を図ってきた土壌があり、ローカル 5G 等活用により、その仕組みの実用化に大きく近づくとともに、まちづくりの一環としても地方都市の新たなモデルとして期待される場所である。

1.1.2 目的

公共交通の衰退による移動手段の減少や、公共交通機関における運転手不足・運転手負担の増加といった社会的課題は、過度な自動車依存社会である前橋市の解決すべき課題と合致し、自動運転の実用化による課題解決、その有効性や普及展開の可能性の検証は、同様の課題をもつ他の地方都市のモデルとなることができる。

本調査検討では、「地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」の一環として、モビリティ分野について、特に地方都市における公共交通の維持等の課題解決に向けて自動運転車両の社会実装に必要な安全確保にローカル 5G 等の導入を促進するため、交通インフラ環境等におけるローカル 5G の電波伝搬特性の解明および課題解決システムによる具体的なアプリケーションを想定した車載端末からの高精細映像伝送等に基づくローカル 5G の性能評価を実施することを目的とする。

具体的なユースケースとして、群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センター (CRANTS) が保有する自動運転走行試験路、および公道において自動運転車両の遠隔監視・操縦管制等による安全確保支援の実証を行う他、キャリア 5G とローカル 5G の円滑な連携等実証を行うことで、その有効性を検証するとともに、ローカル 5G 等の電波伝搬特性や性能評価といった技術的検討を実施する。検証した仕組みが、少子高齢化等による運転手等の人員不足解消等に有効であるか、また地域の持つ課題解決に資するものであるのか、技術面・制度面・運用面から課題の抽出および解決方策を検討し、当該実証モデルの今後の普及展開に向けた検討を行うことを目的としている。

1.2 実施事項及び実証目標

1.2.1 実施事項

1.2.1.1 課題解決システムの実施事項

前橋市では、これまで自動運転車両の社会実装を目指した実証実験を継続的に実施しており、令和元年度には4G/LTEを活用した自動運転車両と遠隔管制室間の遠隔監視予備実験において、①4G/LTEでは車両から遠隔管制室に送信できるデータ量が少なく、遠くの対向車や周辺の交通状況の確認が困難であること、②車両にて死角となる道路やバスターミナル内等の歩車混雑地点では遠隔管制室での周辺状況の確認に時間がかかる、といった課題が抽出されていた。本調査検討では、ローカル5G等導入の促進の目的と合わせ、これまで抽出された課題解決のために、以下の表1.2.1-1に記載する3つのテーマに取り組んでいく。

表 1.2.1-1 実施テーマ

番号	テーマ
①	「自動運転車両と遠隔管制室間の電波利用」に関する実証
②	「路側デバイスと遠隔管制室間の電波利用（路車間協調通信）」に関する実証
③	ローカル5G電波伝搬特性の解明、及び具体的なアプリケーションを想定したローカル5G等の性能評価

表1.2.1-1のテーマにおける課題解決のため、本調査検討においては3つのソリューションを構成し、それらを用いて群馬大学試験路において自動運転車両2台による遠隔監視・操縦管制に関する技術実証を行い、試験路における技術実証で得られた知見を公道に展開し評価することとする。群馬大学試験路における具体的な実施項目、及びソリューションを表1.2.1-2、公道における実施項目、及びソリューションを表1.2.1-3に記す。

表 1.2.1-2 群馬大学試験路での実施事項（ローカル5G+キャリア5G）

実施事項	
● A～Cの3つのソリューション検討	
A	遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間））
B	路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間））
C	路車間協調通信②（5G対応型車両制御直結ソリューション（車両—路側間））
●ローカル5Gとキャリア5Gの連携による遠隔監視業務の継続可能性の検証	
●ソリューションを補完する学習型通信分析制御技術の検証	

表 1.2.1-3 公道での実施事項 (キャリア 5G)

実施事項	
● A～B の 2 つのソリューション検討	
A	遠隔監視・操縦管制 (5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション (車両—遠隔管制室間))
B	路車間協調通信① (5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション (路側—遠隔管制室間))
● ソリューションを補完する学習型通信分析制御技術の検証	

1.2.1.2 技術実証の実施事項

交通インフラ環境に構築したローカル 5G の実施環境において電波伝搬特性の測定を行った。電波伝搬特性の解明においては、実証地域と類似する他の多くの地域で活用可能な、自動運転を行う交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルの導入を行うため、①交通インフラに適した電波伝搬モデルの導入において国際規格に依拠した電波伝搬モデルを基本モデルの候補とするなど、ITU 及び 3GPP における標準化に関する検討状況並びに情報通信審議会通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会におけるローカル 5G に関する検討状況を踏まえて検討を行う、②課題実証のために構築する課題解決システムを用いることで、既存の無線システムに影響を与えないよう検証を行う、といった点に留意して実施した。

詳細については、5.2 項に記載する。

1.2.2 実証目標

1.2.2.1 課題解決システムの実証目標

本調査検討においては、5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション (車両—遠隔管制室間・路側—遠隔管制室間) 及び、5G 対応型車両制御直結ソリューション (車両—路側間) を構築、運用することによって、これまでの予備実験 (令和元年度に実施された、4G/LTE を活用した自動運転車両と遠隔管制室間の遠隔監視実験) で課題抽出された右折時の対向車の挙動把握や、死角となる道路やバスターミナル内等の歩車混雑地点における周辺状況の確認といったユースケースについて検証していく。検証においては、遠隔監視・操作者の疑似指令信号の受電時刻からの比較検証、路側センサー情報取得から車両の停止指示までの時間測定、自動運転走行中の動作検証、公道実証実験中の動作による運用検証等について、表 1.2.2-1 のとおり実証目標を掲げて実施する。

表 1.2.2-1 課題解決システムの実証目標

課題解決システム	実証目標（サービス到達目標）
(A) 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））	自動運転車両走行中に車載カメラ（フル HD×2）及び車載カメラ相当のデータが遠隔管制室まで転送されることを車両2台同時で達成する（車両1台20Mbps相当）。フルHDによる車載カメラのデータを伝送し、他車両挙動識別距離を75mまで拡大すること達成する。
(B) 路車間協調通信 ①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））	自動運転車両走行中に路側カメラ及びセンサー相当のデータが遠隔管制室まで転送されることを自動運転車両2台とカメラ・センサー2セット同時で達成する（2セット10Mbps相当）。 右折時の対向車の情報等を確認し、最大30秒程度の安全確認時間の確保ができることを達成する。
(C) 路車間協調通信 ②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（車両－路側））	路側センサーの情報取得から車両の停止指示までの時間を平均0.4秒以内で達成する。

また、A～Cの各ソリューションの実現目標に関する根拠は以下の表 1.2.2-2 に記載する。

表 1.2.2-2 課題解決システム実証目標の根拠

課題解決システム	根拠
(A) 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））	<p>現状の車載カメラは XGA で車載センサー情報はデータを加工してわずかに送っている状況であり、他車両挙動識別距離は約 50m であった。5G を活用し、車載カメラの情報をフル HD に変更することで、他車両挙動識別距離を 75m まで拡大することを想定する。</p> <p>自動運転車両の現在の速度は約時速 20km であり、他車両挙動識別距離を 75m まで確認することによって、遠隔管制・操作者の判断余裕を約 4.4 秒延長することができるため、より確実な安全確認を行うことができる他、自動運転車両の無駄な減速を抑制することで、円滑な運行に貢献することができる。判断余裕の延長は長くなるほど、自動運転システムの安全確保を支援することにつながる。</p> <p>また前橋市の将来的な自動運転車両の社会実装においては、2 台の自動運転車両を同時走行する予定であり、本調査検討においても 2 台で検証することによって、当該路線の実運用に耐えうるものと証明することができる。</p>

<p>(B) 路車間協調通信① (5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション(路側-遠隔管制室間))</p>	<p>車載カメラの情報に加えて、見通し外の情報(右折時の対向車の情報等)を確認できることで、必ず手前の信号の赤信号を待って、安全確保してから発信せざるを得ない交通環境に対しても、青信号時でも見通し外安全確認が可能となることで、最大30秒(青信号点灯時間)程度の安全確認時間の短縮につながる。また、車両の死角となる位置の車両、及び歩行者の情報を遠隔管制室側で取得することによって、更なる安全確保支援を行うことができる。</p> <p>これは、自動運転システムの安全確保を支援することにつながるとともに、後続車両の渋滞防止につながる他、自動運転車両の無駄な減速を抑制することで、円滑な運行に貢献することができる。</p>
<p>(C) 路車間協調通信② (5G 対応型車両制御直結ソリューション(車両-路側間))</p>	<p>運転手が危険を察知して、ブレーキを踏むまでの時間は一般的に平均0.7~1秒であるため、車両制御直結による時間停止までの時間を平均0.4秒と設定することで、事前に事象を察知し、運転手及び、5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューションの補助として活用可能であると考えられる。</p> <p>また、遠隔管制室で制御する場合は、インターネットによる遅延変動が大きく、車両制御直結の場合は遅延変動が小さいため、余裕を持った制御の実現に貢献できる(緊急停止の回数削減等)。</p>

1.2.2.2 技術実証の実証目標

4.7GHz 帯のフィールド測定により、ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価、ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証、その他ローカル5Gに関する技術実証を目標とする。具体的には、①群馬大学試験路に構築するローカル5G実証環境において、受信電力や映像伝送等を想定した伝送スループットの測定・分析を実施する、②自動運転を行う交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルを導入する、といった内容踏まえてフィールド測定を行い、交通インフラ環境におけるエリア構築に有益な知見を得る。

詳細については、5.2項に記載する。

1.3 実施体制

1.3.1 前橋5G社会実装プロジェクト

本調査検討の実施にあたり、前橋市においては令和元年11月26日に「前橋5G社会実装プロジェクト」を立ち上げた。地域の課題として、交通、救急時医療、教育の3分野において、5Gを利活用することを念頭とした実証実験等を通じて解決に取り組み、その成果を前橋市の街づくりにおいて展開していくことを目指している。具体的に「スマートモビリティ」、「救急時医療の高度化」、「スマートキャンパス」の3つのWGを構成し(図1.3.1-1)、そして各WGにおいて取り組む主要なテーマを、以下表1.3.1-1に記す。



図 1.3.1-1 前橋 5G 社会実装プロジェクト 体制図

表 1.3.1-1 前橋 5G 社会実装プロジェクト 主要な検討テーマ

ワーキンググループ	主要な検討テーマ
スマートモビリティ	5G を活用し地域交通の利便性を高める。自動運転バスの活用や、自家用車以外の多様な交通サービスを需要に応じて円滑に利用できる仕組みを構築する。
救急搬送の高度化	5G を活用し救急搬送患者の情報を関係機関によって共有する。救急車で撮影した患者の患部の動画や検査結果を共有することで、医師・救急隊員の指示や、受け入れ先の病院確認など円滑な治療につなげるための仕組みを構築する。
スマートキャンパス	5G を活用し遠隔授業を通して質の高い教育を提供する。前橋市内の大学間でリアルタイムの遠隔授業の実現を目指す。専門性の高い授業を他の大学において聴講できる高速通信の環境を構築する。

本調査検討においては、前橋 5G 社会実装プロジェクトのうち、スマートモビリティ WG を中心として事業推進を行うこととしている。前橋市では、自動運転バスの実装化に向けた取り組みの他、AI を活用したタクシーの配車や、マイナンバーカードを活用したタクシー補助の取り組み、前橋版 MaaS 実証など、自家用車以外の多様な交通サービスの利用を目指し様々な取り組みを行ってきた。今後は、これまでの取り組みをベースに自動運転技術に 5G を加えることで社会実装を行うとともに、その他交通サービスとの連携を図ることによって、地方都市の根幹的な課題である交通インフラの維持、効率化を目指している。

1.3.2 本調査検討の実施体制

本調査検討においては、「前橋 5G 社会実装プロジェクト」のワーキンググループの一つである、スマートモビリティ分野について、ローカル 5G を活用した遠隔監視・操縦管制の高度化実験を行い社会実装に向けた取り組みを行う。実施体制を図 1.3.2-1、役割を表 1.3.2-1 に記す。

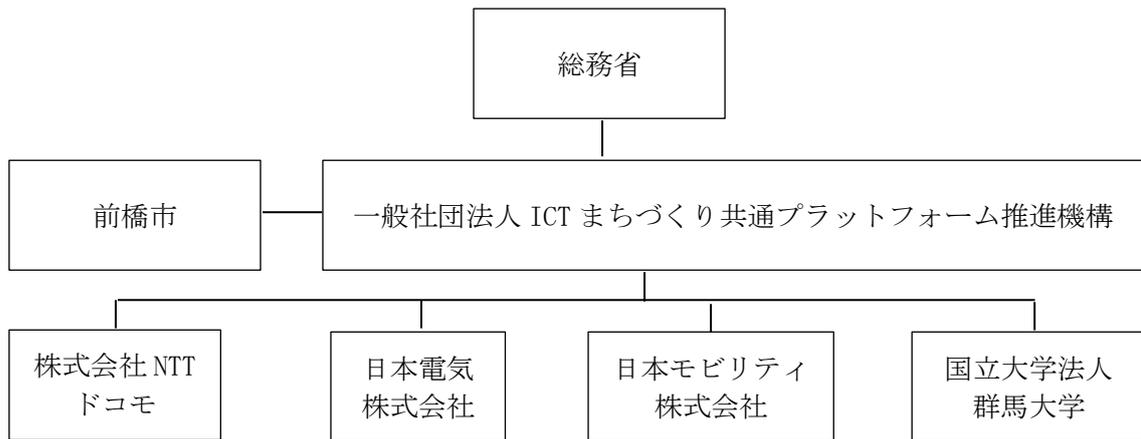


図 1.3.2-1 実施体制図

表 1.3.2-1 実施内容

企業・団体名	実施内容
前橋市	コンソーシアム代表・事務局
一般社団法人 ICT まちづくり共通プラットフォーム推進機構 (TOPIC)	コンソーシアム事務局代理、全体 PM、コンソーシアム運営、報告書取りまとめ
日本電気株式会社 (NEC)	技術 PM、ローカル 5G 基地局の提供、電波試験事務実施 5G 対応型車両制御直結ソリューション開発、学習型通信品質予測技術・学習型メディア送信制御技術の提供、他地域連携 (沼津市)
国立大学法人群馬大学	自動運転連携に関する試験路及び車両の提供、技術分析評価及び実装と横展開に関する検討
日本モビリティ株式会社	5G 環境に対応した自動運転ソリューションの開発
株式会社 NTT ドコモ	可搬型キャリア 5G 基地局の提供

コンソーシアムの代表である前橋市が実証フィールドを提供するとともに、前橋警察署や国土交通省関東運輸局、地域交通事業者である日本中央バス株式会社との調整を実施した。TOPIC は本調査検討事業の請負者として、事業の全体 PM や前橋 5G 社会実装プロジェクトの運営、報告書のとりまとめを行った。ローカル 5G 基地局の整備、

及びその電波試験事務を技術PMであるNECが実施し、その指示等に従いNTTドコモが可搬型キャリア5Gの提供を行った。本調査検討では、5Gを活用することによる自動運転車両の安全確保支援について実証のため、群馬大学発のベンチャーである日本モビリティ株式会社が、5Gに対応したソリューションを開発し、その検証や技術分析・評価のために、群馬大学より自動運転車両や試験路の提供を受け検証を行った。

1.4 実証のスケジュール

1.4.1 計画策定時スケジュール

本調査検討の計画策定当初のスケジュールは、令和2年9月2日付けで本調査検討の請負を開始し、令和3年1月より群馬大学試験路における実証実験、2月より公道実証実験を実施することを見込み策定した。ローカル5G基地局関連については、令和2年9月から10月末にかけて現地サーベイ、ネットワーク設計等進めるとともに、実験局免許の予備免許申請を行い、令和2年11月に予備免許交付をうけ、登録点検作業後、令和2年12月中旬に本免許交付、ローカル5G電波の発射を行うことを予定した。

また、キャリア5G基地局については、令和3年2月に自動運転バスの公道実証実験を行うことを前提とし、令和3年1月末までの電波発射を行うこととした。

本調査検討で用いる各課題解決システムは、これまで開発されたシステムを5G通信に対応する必要があった。令和2年10月から令和3年1月までを改修期間とし、令和2年12月にローカル5Gの電波発射後、公道実証が実施される期間においてシステムの検証を行うこととした。

公道において自動運転走行を行うことや、本調査検討で用いる路車間協調通信のシステム検証のために路側にカメラ、センサーを設置するために、警察等との調整および申請手続きが必要であり、前橋市を中心として9月より随時調整を行うこととした。

1.4.2 実績スケジュール

本調査検討の実績スケジュールを図1.4.2-1、当初計画との差分および、その原因考察を表1.4.2-1に記す。

項目		令和2年			令和3年				
		9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
全体				▼月次報告	▼月次報告	▼月次報告	▼月次報告	▼月次報告	▼最終報告
			警察調整①		バス運行事業者調整、手配		公道実証 2/15~2/28		
					▼ローカル5G 電波発射		▼キャリア5G 電波発射		
5G 基地局 関連		現地サーベイ	NW設計		構築・設定・設置・確認		ローカル5G⇔キャリア5G 切替実証 2/1~2/5		
実験局免許 関連			干渉調整・周波数調整						
			予備免許申請			▼12/18 本免許交付			
			施工、登録点検		本免許申請				
課題解決シ ステム	遠隔監視・操縦管制 (5G対応型遠隔管 制室情報集約ソリュ ーション(車両-遠 隔管制室間))				アプリケーション開発		試験路実証 1/25~2/5		

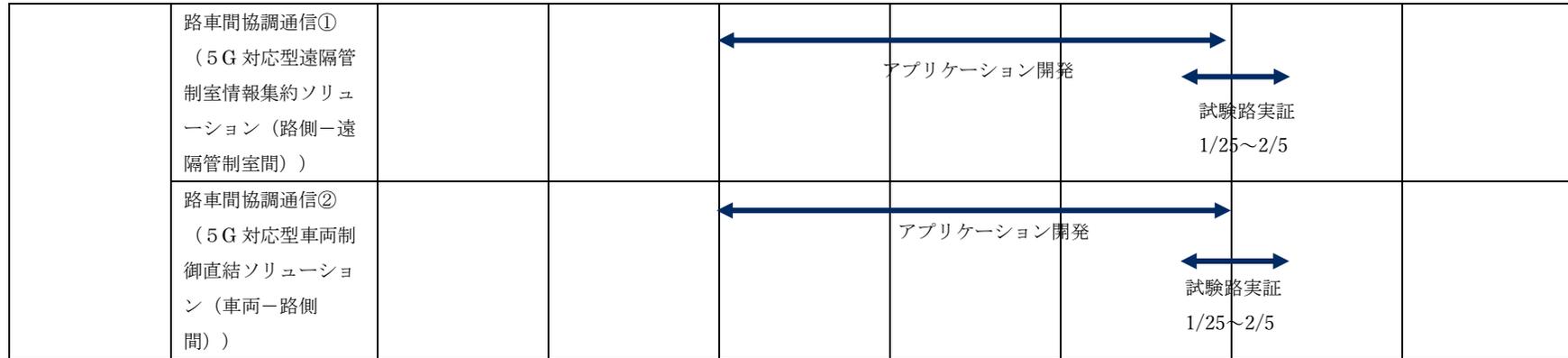


図 1.4.2-1 実績スケジュール

表 1.4.2-1 当初計画との差分

当初計画との差分内容	原因	対処内容
契約行為の遅延	本調査検討の請負後、各社への再委託申請手続きの遅延によって、全体実施スケジュールを約1か月程度の後ろ倒しで実施することとなった。そのため、当初見込んでいた予備免許申請に遅延する可能性が生じた。	全体スケジュールについては、1か月の遅延を修正するため各社対応した。 予備免許申請は、見込まれていた申請後の承認手続きを早めて頂くことを関東総合通信局に打診することで、当初スケジュールへと修正した。
免許申請の遅延	RU で使用する測定器の校正調整に遅延が生じた。	校正調整の遅延によって、本免許取得に遅延が生じた。しかし、免許申請の短縮依頼等の調整の結果、想定遅延を短縮することが出来た。 また、免許申請が遅延したことによる、バス2台による電波伝搬試験等の遅延が生じたが、公道走行実証に遅延の内容、遮蔽物となる車両を別途用意することによって対処した。

1.5 免許申請の概要

1.5.1 開設理由

実験試験局免許の申請においては、以下の2点を目的として申請を実施した。

- ① 道路インフラ環境（路側カメラ、路側センサー等）と5G無線が連携した実証フィールドを群馬大学試験路内（屋外）に構築し、5G無線と道路インフラの協調による自動運転課題解決モデルの検証を行うことが目的である。
- ② 5G無線は、ローカル5Gサブ6GHz帯の屋外利用として4.8～4.9GHzの共用条件が整理されたことから、4.7GHz帯（中心周波数4849.86MHz）を希望し、この周波数帯において屋外伝搬・無線性能評価を行い、道路インフラでの5G無線利用の有効性を検証することが目的である。

1.5.2 無線特性仕様希望理由

無線特性仕様希望理由を、①～③のとおりを示す。

- ① 4.7GHz帯（中心周波数4849.86MHz）を希望する理由
ローカル5Gで今後導入が見込まれる4.7GHz帯での伝搬・伝搬特性取得を行い、道路インフラでの5G利用の有効性などを検証していく必要があると考える。
帯域幅99.72MHzに対応した装置において、1Gbpsを超える伝送実現に向けて実験的検証を実施するため、4.7GHz帯の4849.86MHzを中心周波数として希望する。
- ② 帯域幅99.72MHzを希望する理由
高周波数帯において1Gbpsを超える超高速伝送を早期に実現することを目的に、帯域幅99.72MHzでの伝搬・伝送実験を予定している。本調査検討では、ローカル5Gに割り当てられた99.72MHzを利用した伝搬特性取得のための実験を行い、超高速伝送や低遅延といった性能検証を行う。
- ③ 申請スケジュール
実験試験局免許の申請スケジュールを図1.5.2-1に記す。免許申請は、令和2年10月27日に行い、予備免許取得を11月10日、本免許取得を12月18日に行った。

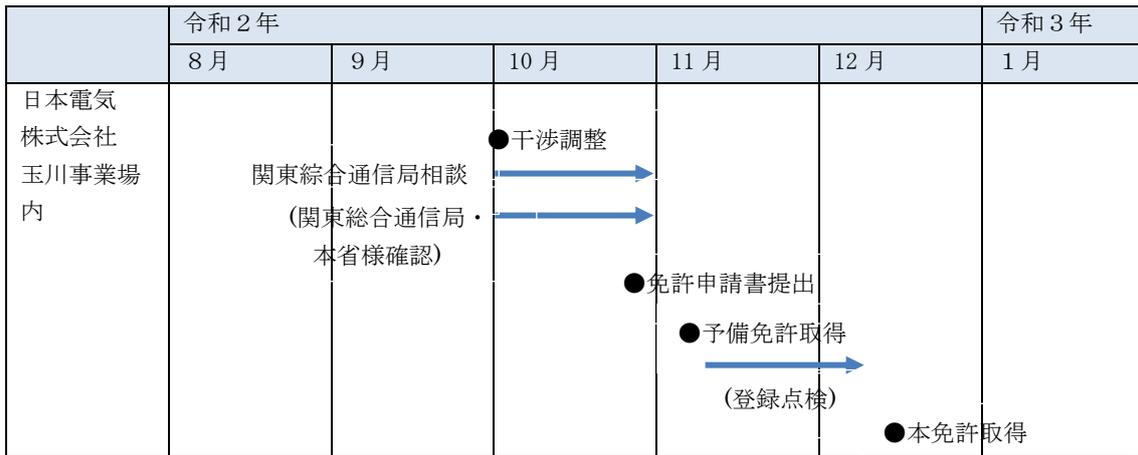


図 1.5.2-1 実験試験局免許申請スケジュール

④ 4.7GHz 帯 干渉対策について

本実験試験局の電波発射までに関連各社と運用調整を実施し問題ないことを確認した上で電波発射を行う。

事業者	調整状況
NTTドコモ様	調整済み【2020/10/8】

図 1.5.2-2 運用調整状況

当該周波数帯を割当てられた開設者を含めて運用調整を実施し、当該無線局の運用に支障のない場合に限り電波を発射する。

運用にあたっては、他の無線局に妨害を与えないように運用を実施する。万が一妨害を与える場合には、無線局の運用を停止する。

1.5.3 システム構成

本調査検討で用いるシステム構成は以下、図 1.5.3-1 に記す。

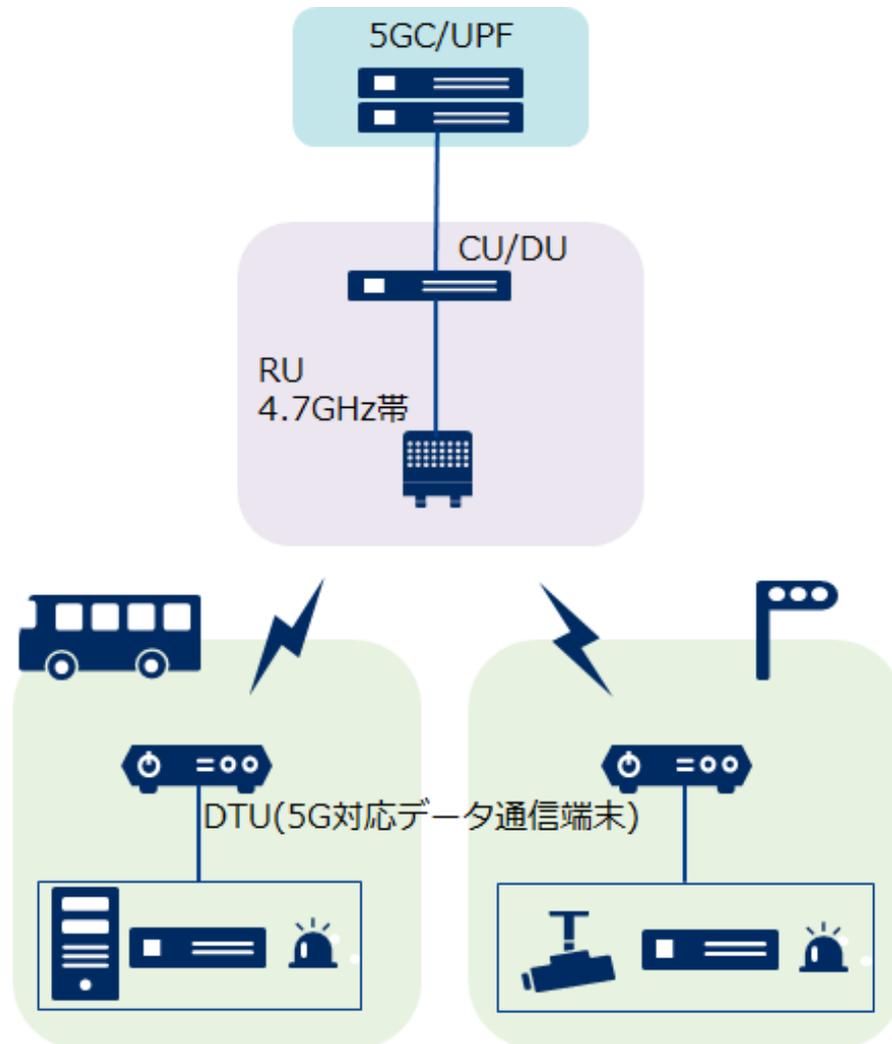


図 1.5.3-1 システム構成概要図

1.5.4 回線設計

回線の設計について、①4.7GHz 基地局相当、②4.7GHz 移動局相当の設計をそれぞれ記す。

① 4.7GHz 基地局相当

送信機から 130m 程度までエリア内における伝搬特性を取得したいと考えている。
群馬大学試験路の一部エリアにて下り回線のセルエッジ確認を行うため

- ② 伝搬特性取得において送信機から 130m 程度までのエリア内における伝搬特性を取得したいと考えている。群馬大学試験路の一部エリアにて距離 130m における伝搬損失及び本件の送受信装置の諸元を表 1.5.4-1 に示す。

伝搬損失の大きい見通し外環境においても上記エリアの伝搬測定を実施するためには、次式より算出すると所要送信電力が 22dBm となるため、1 アンテナ当たりの送信電力として 16dBm(40mW) を希望する。

所要送信電力＝

$$\begin{aligned} & \text{受信機の最低受信感度} + \text{測定のダイナミックレンジ} + \text{受信側の給電線損失} \\ & + \text{受信側のその他損失} - \text{受信アンテナ利得} - \text{受信機によるプロセスゲイン} \\ & + \text{距離 130m における伝搬損失 (見通し外)} - \text{最小送信アンテナ利得} \\ & + \text{送信側の給電線損失} + \text{送信側のその他の損失} \\ & 22 = (-88.9) + 18 + 2 + 0 - 3 - 6 + 108.4 - 12 + 0.5 + 3 \end{aligned}$$

1 アンテナあたりの所要送信電力＝

$$22\text{dBm} (4 \text{ アンテナ}) - 6 \text{ dB} = 16\text{dBm} (40\text{mW})$$

表 1.5.4-1 4.7GHz 基地局相当 回線設計

項目	諸元
受信機の最低受信感度	-88.9dBm
測定のダイナミックレンジ	18dB
距離 130m における伝搬損失	108.4dB (見通し外環境)
送信アンテナ利得	12dBi
受信アンテナ利得	3dBi
受信機によるプロセスゲイン (同相加算利得)	6 dB
受信側の雑音指数	6 dB
送信側の給電線損失	0.5dB
送信側のその他損失	3 dB
受信側の給電線損失	2 dB
受信側のその他損失	0 dB
所要送信電力 (見通し外環境)	+22dBm

③ 4.7GHz 移動局相当

伝搬特性取得において送信機から 130m 程度までのエリア内における伝搬特性を取得したいと考えた。群馬大学試験路の一部エリアにて距離 130m における伝搬損失及び本件の送受信装置の諸元を表 1.5.4-2 に示す。伝搬損失の大きい見通し外環境においても上記エリアの伝搬測定を実施するためには、次式より算出すると所要送信電力が 22.7dBm となるため、1 アンテナ当たりの送信電力として 23.0dBm(200mW) を希望する。

所要送信電力＝

受信機の最低受信感度＋測定のダイナミックレンジ＋受信側の給電線損失
 ＋受信側のその他損失－受信アンテナ利得－受信機によるプロセスゲイン
 ＋距離 130m における伝搬損失－送信アンテナ利得＋送信側の給電線損失
 ＋送信側のその他の損失

$$22.7 = -89.3 + 18 + 0.5 + 3 - 12 - 6 + 109.5 - 3 + 2 + 0$$

1 アンテナあたりの所要送信電力は、

$$22.7\text{dBm} \approx 23.0\text{dBm}(200\text{mW})$$

表 1.5.4-2 4.7GHz 移動局相当 回線設計

項目	諸元
受信機の最低受信感度	-89.3dBm
測定のダイナミックレンジ	18dB
距離 140m における伝搬損失	109.5dB (見通し外環境)
送信アンテナ利得	3 dBi
受信アンテナ利得	12dBi
受信機によるプロセスゲイン (同相加算利得)	6 dBi
受信側の雑音指数	5.6dBi
送信側の給電線損失	2 dB
送信側のその他損失	0 dB
受信側の給電線損失	0.5dB
受信側のその他損失	3 dB
所要送信電力 (見通し外環境)	22.7dBm

1.5.5 常置場所及び移動範囲

以下、①無線設備の常置場所及び、②移動範囲をそれぞれ記す。

- ① 無線設備の常置場所
日本電気株式会社玉川事業場内
(神奈川県川崎市中原区下沼部 1753)
- ② 移動範囲
群馬大学試験路内
(群馬県前橋市荒牧町 4 - 2)
日本電気株式会社玉川事業場内
(神奈川県川崎市中原区下沼部 1753)

本市の地域特性としては、「全国屈指の健康医療環境」、「水」と「緑」の豊かな自然環境、「全国有数の農業生産力」、「薫り高い文化と歴史」などがあげられる。特に本市の「人口 10 万人あたり医師数」は全国平均を大きく上回っており、一次医療としての「かかりつけ医」が充実しているだけでなく、二次医療としての総合病院等も集積している他、高度救命救急センターや重粒子線治療施設など、高度な医療設備と技術を備えた全国屈指の医療環境が整っている。また、市町村別農業産出額でも全国的に高い水準にあり、畜産をはじめ、キュウリやバラなどの生産は、全国トップクラスとなっている。

近年では、本市の赤城地域がチッタスロー国際連盟¹への加盟が認定され、職や農産物の美味しさや品質の高さ、豊かな自然、歴史文化や伝統を守りながら、健康的で幸せに生活できる住みよい街を作ることを目指している。

2.1.2 前橋市の人口動向

本市の人口は、市制施行当時 31,967 人であったが、平成 16 年 12 月 5 日には、大胡町・宮城村・粕川村の 3 町村との合併、平成 21 年 5 月 5 日には富士見村と合併するなど市域の拡大とともに増加し、市制施行 125 周年を迎えた平成 29 年 4 月 30 日において約 34 万人となった。125 年間に約 11 倍の増加を示し、全県人口の約 17%を占めている。現在の人口及び世帯数を以下表 2.1.2-1 に記す。

表 2.1.2-1 前橋市人口 (2021 年 2 月現在)

区分	男	女	計 (人)	世帯数
日本人住民	160,029	167,235	327,264	146,479
外国人住民	3,921	3,668	7,589	5,115
合計	163,950	170,903	334,853	151,594

出所) 前橋市 HP より作成

<https://www.city.maebashi.gunma.jp/soshiki/shimin/shimin/gyomu/4/3344.html> 2021 年 3 月 15 日取得

しかし、本市の人口は、平成 12 年をピークとして減少局面に転じており、中心市街地の空洞化が進行している。また全国的な傾向と同様に本市においても少子高齢化が進行しており、2015 年の高齢化率 (65 歳以上の高齢者人口が総人口に占める割合) は約 28%であった。現状のまま人口減少が進んだ場合、2040 年時点では 280,181 人、2060 年には 220,541 人になると推計されている。年齢 3 区分別人口の推移としても、生産年齢人口 (15 歳～64 歳) は 1995 年以降、年少人口は (0～14 歳) は 1980 年以降減少を

¹ 平成 11 年にイタリア・オルビエート市などから発祥した、地域の食や農産物、生活・歴史文化自然環境を大切にしたい個性・多様性を尊重する新たなまちづくりを目指す運動。イタリアを始めとするヨーロッパを中心に 30 か国が加盟し、日本では、宮城県気仙沼市に次ぎ 2 番目の加盟となった。

続けている一方、老年人口（65歳以上）は増加しており、今後は、各3区分とも横ばい、減少の傾向が推計されている（図2.1.2-1）。

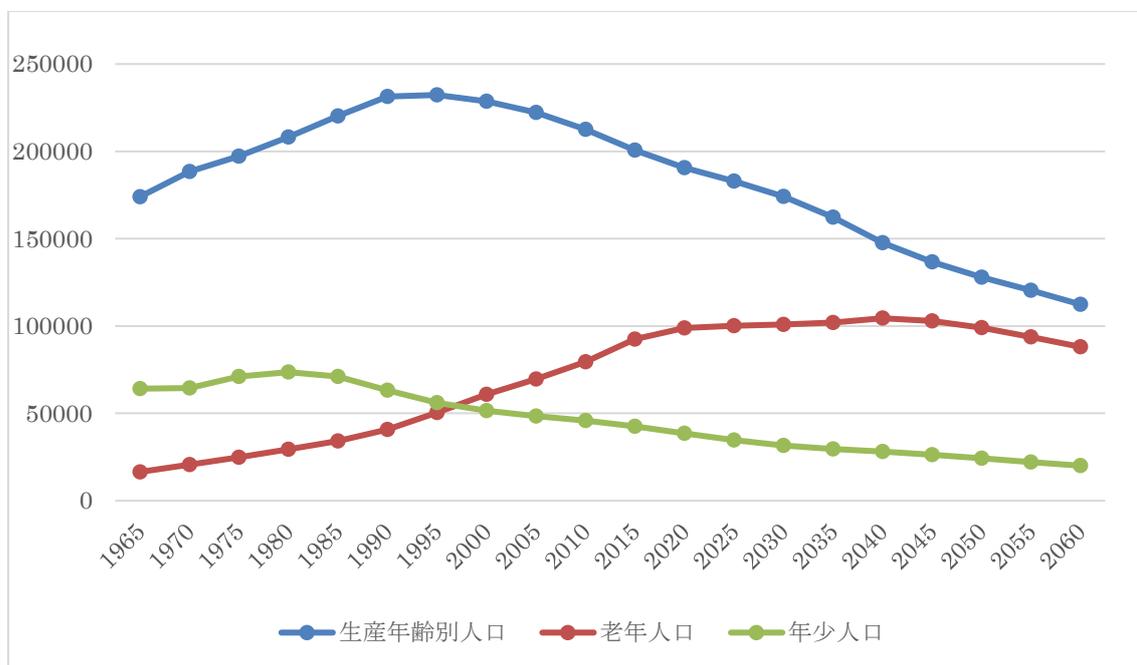


図 2.1.2-1 前橋市の年齢3区分別人口の推移

出所) 前橋市 地域公共交通網形成計画より

地域別の人口概況として、JR前橋駅、JR新前橋駅を中心とした本庁地区や、上毛電鉄大胡駅、上毛電鉄江木駅周辺地域、南橋地区の国道17号沿線などに人口は集中しているが、本市の北側の富士見地区、宮城地区、粕川地区といった場所では、国道・県道沿い以外にも広い範囲で薄い人口が分布している（図2.1.2-2）。

高齢人口もまた、JR前橋駅を中心とした本庁地区、JR両毛線の南側地域、国道17号沿線に集中している。高齢化率においても、本市北側では高齢化率が非常に高い地域が点在し、人口集積の進んだ中心部では新たに開発が進んだ郊外部と比較しても高齢化が進んでいる状況にある。本市の社会保障費は、国と同様に年々増加しており、平成28年度における一般会計決算額に占める割合は35.5%に及び、今後も増加することが見込まれている。

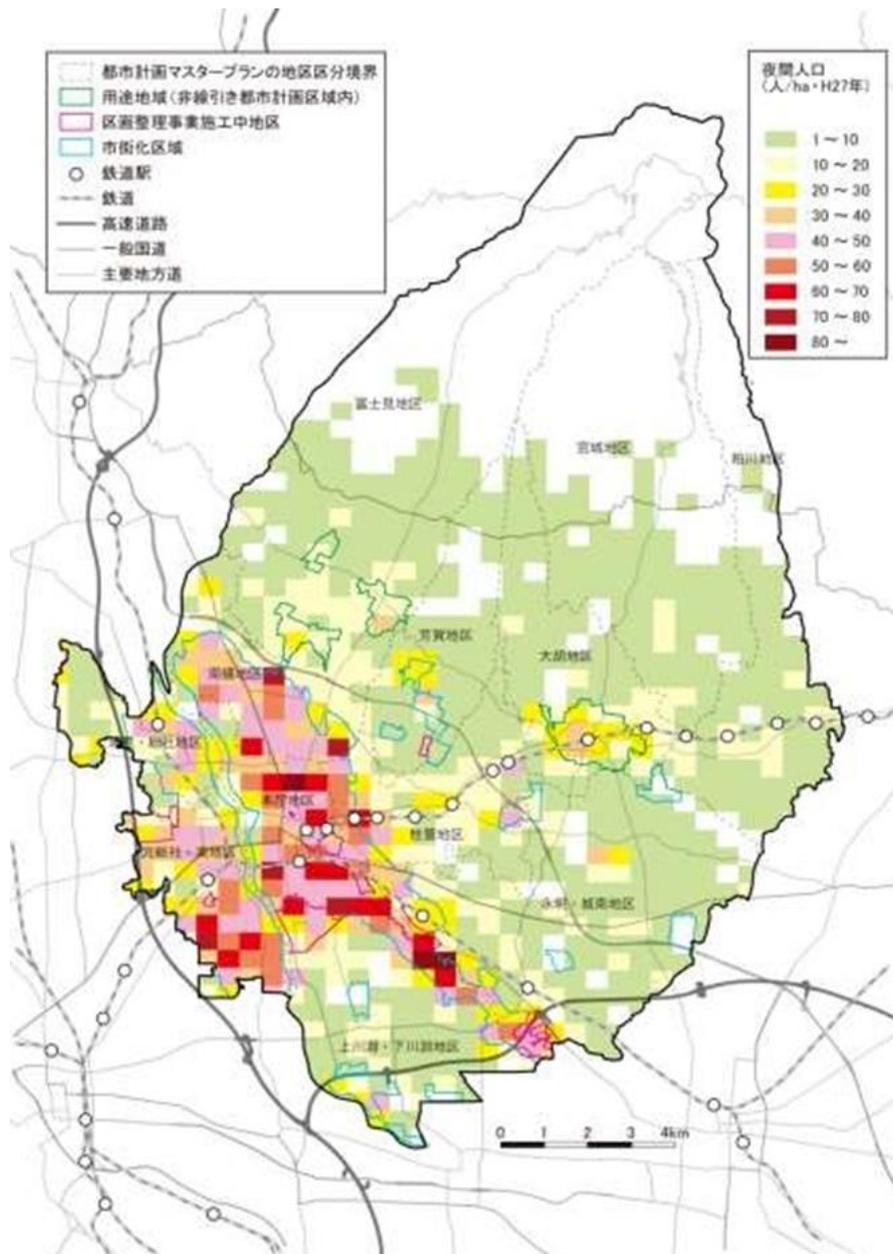


図 2.1.2-2 前橋市における夜間人口の分布状況

出所) 前橋市 地域公共交通網形成計画より

都市化の進展に伴い支所・市民サービスセンター管内における工業、住宅団地の造成が活発に進められ、これらの地域への人口の吸収定着が目立ち、いわゆるドーナツ化現象が認められることから、前橋市の人口分布は新しいパターンに再構築されている。

2.1.3 前橋市の交通状況

2.1.3.1 道路網

立地としては、JR 両毛線が東西に走り、上越線が西部を北上しており、道路網では国道 17 号線と国道 50 号線が市内中央部で交差し、西部地区には関越自動車道、東部から北部にかけて、地域高規格である上武国道、南部地区には北関東横断道路、前橋市と群馬県伊勢崎市を結ぶ駒形バイパスなどが通り、交通網が高い密度で整備され、道路網の一層の充実が図られている。関越自動車道、北関東自動車道の高速道路にはそれぞれインターチェンジが設置され、首都圏をはじめ各方面への道路輸送面での利便性が非常に高いといえる（図 2.1.3-1）。

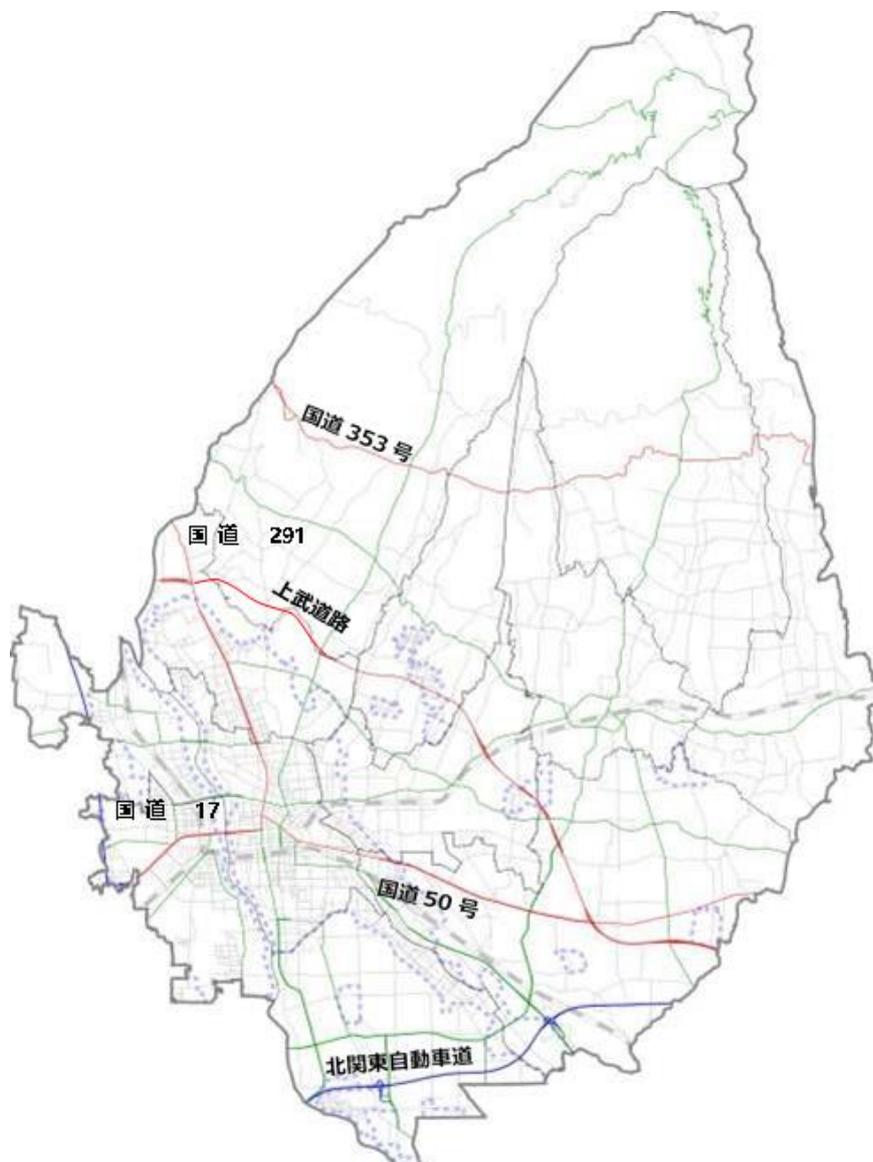


図 2.1.3-1 道路網図

出所) 前橋市 地域公共交通網形成計画より

2.1.3.2 バスの運行状況

前橋市のバス運行状況であるが、前橋駅周辺に交通網は集中し、複数系統が重なる駅前通りの通りは、高頻度で運行されている（図 2.1.3-2）。郊外へは中心部からの放射状のバスネットワークが形成されているが、一部を除いては、系統一本一本の頻度が低く、地域間を結ぶネットワークとしての機能は不十分であることが懸念されている。また、利用が少ない区間においても、中心部の利用に合わせた形で運行を行っている状況から、運行サービスと市民需要が一致しておらず、路線ごとの役割が明確になっていない状況にある。

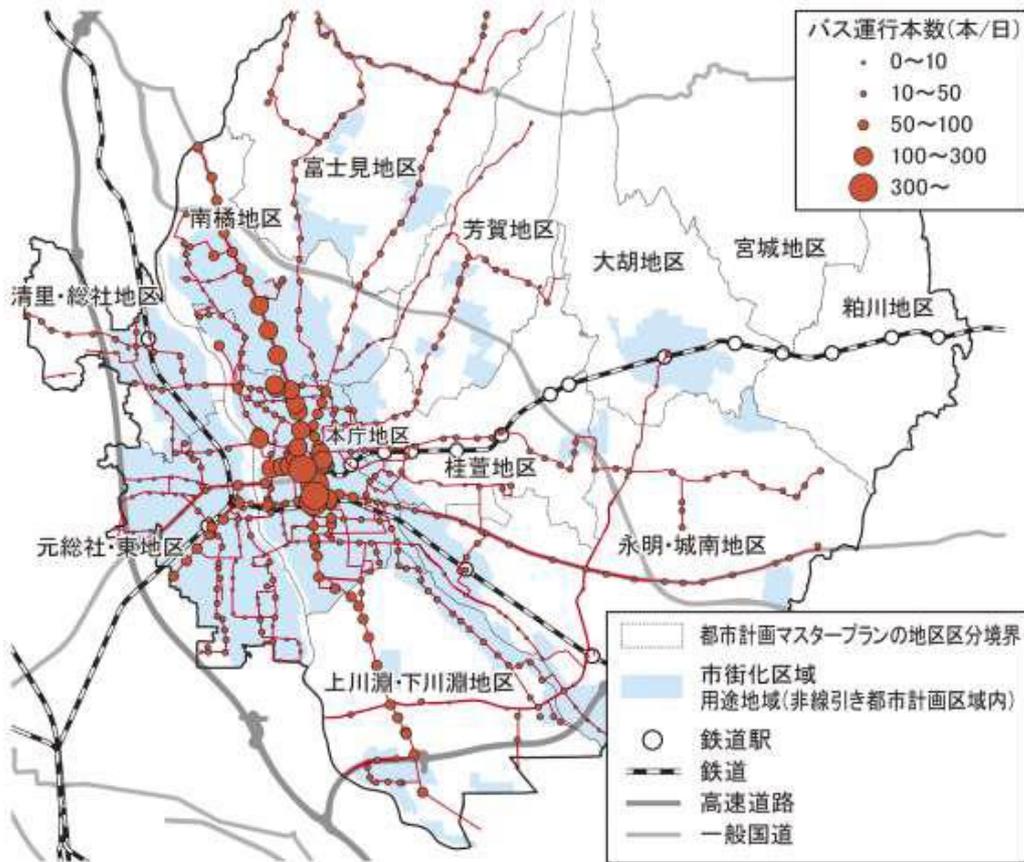


図 2.1.3-2 バス路線網図（バス停別運行本数）

出所) 前橋市 地域公共交通網形成計画より

また、JR 前橋駅や JR 新前橋駅を中心として、中心部を循環するコミュニティバスが運行されている（図 2.1.3-3）。

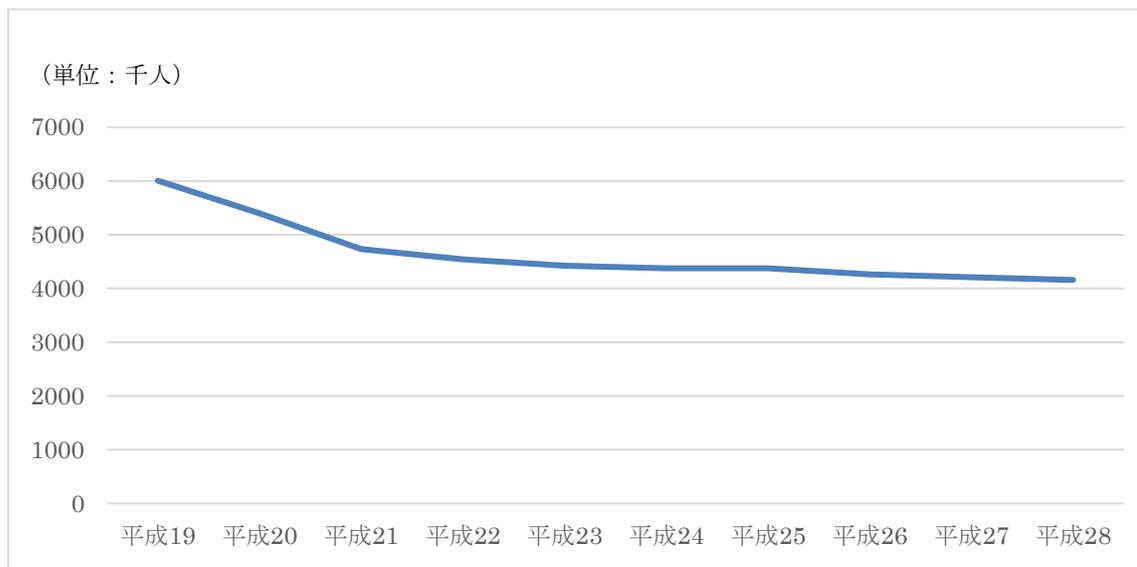


図 2.1.3-4 中・西毛交通圏における年間輸送人員数

出所) 中・西毛交通圏²タクシー準特定地域協議会資料

2.2 実証環境

本調査検討における検証項目として、自動運転分野を前提とした交通インフラ環境におけるローカル5Gの電波伝搬特性の解明、具体的なアプリケーションによるローカル5Gの性能評価の実施、そして実証モデル・普及展開に向けた検証が挙げられる。それぞれ検証を行うにあたり、群馬大学試験路で実証を行い、その検証結果を上毛電鉄中央前橋駅のロータリーにおけるキャリア5Gを活用した公道実証実験で活用することによって、自動運転バスの社会実装に向けた検討を行う。

2.2.1 試験路実証環境

2.2.1.1 施設概要

群馬大学は、文部科学省 平成 28 年度「地域科学技術実証拠点整備事業」において、次世代自動車産業振興に資する産学官金連携イノベーションの拠点形成を目指し、次世代モビリティシステムの社会実装研究と開発及び高度人材育成を目的として、本活動のための施設と設備の整備を行い、平成 28 年 12 月に「次世代モビリティ社会実装研究センター」を設置した (図 2.2.1-1)。

² 群馬県前橋市、伊勢崎市、佐波郡、高崎市、藤岡市、多野郡、富岡市、甘楽郡、安中市



図 2.2.1-1 群馬大学試験路

出所) 群馬大学 次世代モビリティ社会実装研究センターHP

<http://crants.opric.gunma-u.ac.jp/facility/experiment-field/> 2021年3月15日取得

CRANTS では、完全自動運転の実現に特化したシステム構築に必須な関連技術をはじめ、自動運転技術を応用した協調型自動運転技術、実証実験の安全実施に必要な自動運転のヒューマンマシンインタラクション関連技術、物流や旅客輸送などの事業形態に必要な配車・管制システム関連技術、完全自動運転車両の構造設計に関連する走行台車技術など、あらゆるコア技術が総合的に集積している。また、自動運転が必要なユースケースに対して社会実装に対応するために、国内大学最多となる社会実装用自動運転車両を整備している。

また、CRANTS では、長期間且つ市民の乗車を伴う実証実験において国内最大の実績を持っている(表 2.2.1-1)。前橋市においては平成 30 年度より、JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅区間におけるバス路線において、運行領域限定における無人走行を可能とする高度運転自動化に焦点を当てた実装を目指した取り組みを実施している。

表 2.2.1-1 CRANTS 実証実験実績一覧

実施場所	期間	使用車両	車両最大乗車人数(人)
群馬県桐生市	2016/10/15~2021/3/31	プリウス	3
北海道札幌市	2017/10/11~2017/10/13	プリウス	3
兵庫県神戸市北区 筑紫が丘	2017/11/7~2017/12/24	アルファード	3
群馬県富岡市	2018/3/25~2018/4/1	e-com10	15
三重県四日市市	2018/2/18	アルファード	5

笹川西公園内			
広島県福山市 日吉台学区内公道	2018/3/1～2018/3/2	アルファード	6
福岡県福岡市 国際競技場	2018/5/8～2018/5/10	e-com10	15
千葉県幕張	2018/5/23～2018/5/24	アルファード	5
東京都江東区猿江	2018/5/22～2018/6/4	アルファード	5
東京都江東区豊洲	2018/9/14～2018/9/20	アルファード	5
埼玉県浦和美園	2018/9/29	e-com10	15
大分県大分市	2018/10/20～2018/10/28	e-com10	15
東京都三宅島	2018/12/9～2018/12/17	e-com10	15
群馬県前橋市	2018/12/14～2019/3/31	ボンチョ	35
兵庫県神戸市北区 筑紫が丘	2018/12/16～2019/2/1	アルファード	5
神奈川県横須賀市	2019/1/24～2019/1/26	e-com10	15
東京都豊島区池袋	2019/2/8～2019/2/9	e-com10	15
多摩ニュータウン	2019/2/18～2019/2/24	アルファード	5
香川県小豆島	2019/3/18～2019/3/19	アルファード	5
滋賀県大津町葛川	2019/3/6	アルファード	5
滋賀県大津市	2019/3/21	ボンチョ	35
広島県福山市日吉台	2019/3/28～2019/3/29	アルファード	5
愛知県尾張旭市 長久手市	2019/4/8～2019/4/12	ボンチョ	35
津久井浜海岸 三浦海岸	2019/5/11～2019/5/12	e-com10	15
群馬県桐生市	2019/5/25～2019/5/26	ボンチョ、 アルファード	35, 5
三重県桑名市	2019/6/28～2019/6/30	ボンチョ	35
栃木県宇都宮市	2019/8/10～2019/8/13	e-com10	15
埼玉県浦和美園	2019/9/2～2019/9/6	ボンチョ	35
埼玉県熊谷市	2019/9/6～2019/10/9	ボンチョ	35
神奈川県横浜市	2019/9/14～2019/10/4	ブルーリボン	25
大分県大分市	2019/9/14～2019/10/14	e-com10、 ボンチョ	15, 35
北海道札幌市	2019/10/18～2019/10/19	アルファード	5
東京都八丈島	2019/10/28～2019/11/12	e-com10	15
福岡県福岡市	2019/11/9～2019/11/13	ボンチョ	35
ポートメッセなごや	2019/11/22～2019/11/24	ボンチョ	35
群馬県渋川市・前橋市	2019/12/10～2019/12/27	ボンチョ	35
東京都豊島区池袋	2019/12/13～2019/12/14	e-com10	15
静岡県沼津市	2020/1/22～2020/1/31	e-com10	15
群馬県前橋市	2020/1/11～2020/2/29	ボンチョ	35

2.2.1.2 試験路スペック

群馬大学試験路では、可動式の道路要素を備えた約 6,000 m²の自動運転車両専用試験路を有している。試験路外周を1車線走行路で囲い、内側の走行路については信号機や標識、白線を全て稼働することが可能であるため、道路要素を実験目的に適合する道路環境になるよう移動させることで、複数の技術課題に対応する実験を行うことができる（図 2.2.1-2）。

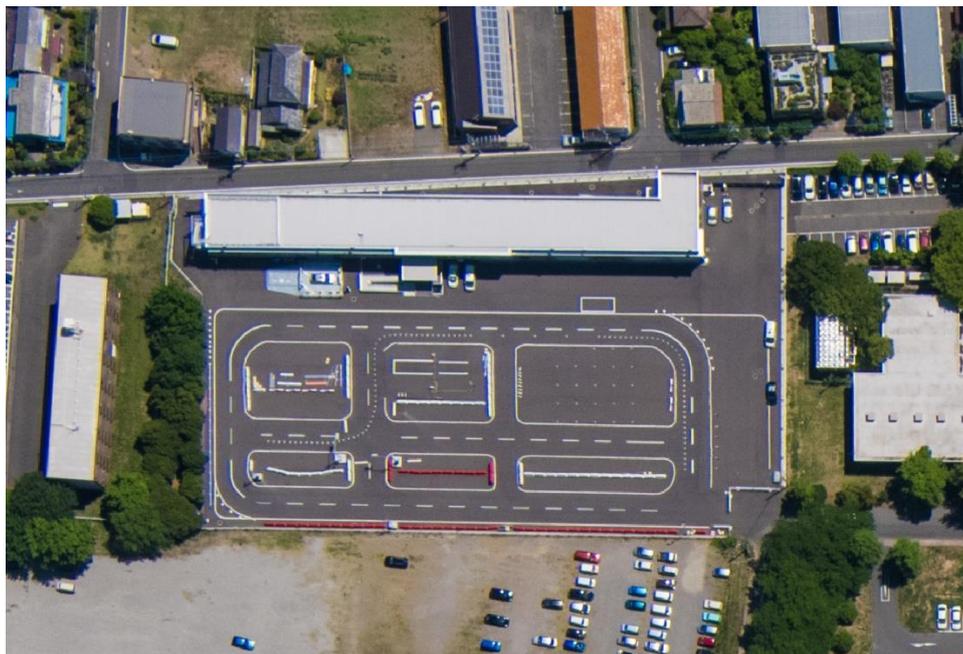


図 2.2.1-2 群馬大学試験路俯瞰図

出所) 群馬大学 次世代モビリティ社会実装研究センターより

2.2.1.3 遠隔管制室スペック

群馬大学試験路が有する遠隔管制室は、実証運用中の車両を監視することで、必要な指示やトラブルなどの対応を遠隔で行うことができる設備であり、自動運転車両を走行させる環境等に応じて自由にカスタマイズができる。室内モニターでは、自動運転車両に設置されたカメラのほか、路側カメラ、路側センサーから取得した情報を表示し、遠隔監視を行うことが可能である（図 2.2.1-3）。



図 2.2.1-3 遠隔管制室

2.2.2 公道実証環境

本調査検討では JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅の約 1 km の区間において、一般乗客を乗せ運賃收受を伴う形での実証実験を実施する。同区間では、過去 2 年間に於いて、自動運転バスの走行実験が実施されてきたため、その実績から地域住民の受容性が高く、その際に解決すべき課題が複数確認されていた。

JR 前橋駅から北側に伸びる通り（図 2.2.2-1）では、道路左右に生える樹木によって GPS が機能しづらく自動運転バスの挙動が不安定となる。

北側には県庁と市役所周辺、JR 前橋駅周辺、前橋市中心市街地を結ぶ五差路交差点（図 2.2.2-2）があり、前橋市の車や人の流れの要所となっている。同区間では変形五差路交差点であるため信号表示が複雑であるとともに、国道 50 号と市道 176 号線を結ぶ道路が交差点内で屈曲しているために安全面に課題が生じている。

県道前橋赤城線（図 2.2.2-3）では、駅前の幹線道路であるため交通量が多く、夜間時間帯における道路左右の路上駐車車両が多いことが問題となっている。

上毛電鉄中央前橋駅の入り口（図 2.2.2-4、図 2.2.2-5）では、駅ロータリーに乗り入れる際に、信号灯ない状態で右折する必要があるとともに、右折対向車のセンシングがしづらいという課題が生じていた。

前橋市の地域公共交通網形成計画に則り、同市においては、同市の中心となる商店街につながるための駅前通りである同区間を、将来的には都心幹線として市内の回遊性を高めるため改善することを検討している。



図 2.2.2-1 けやき並木通り



図 2.2.2-2 五差路交差点



図 2.2.2-3 県道前橋赤城線



図 2.2.2-4 中央前橋駅入り口

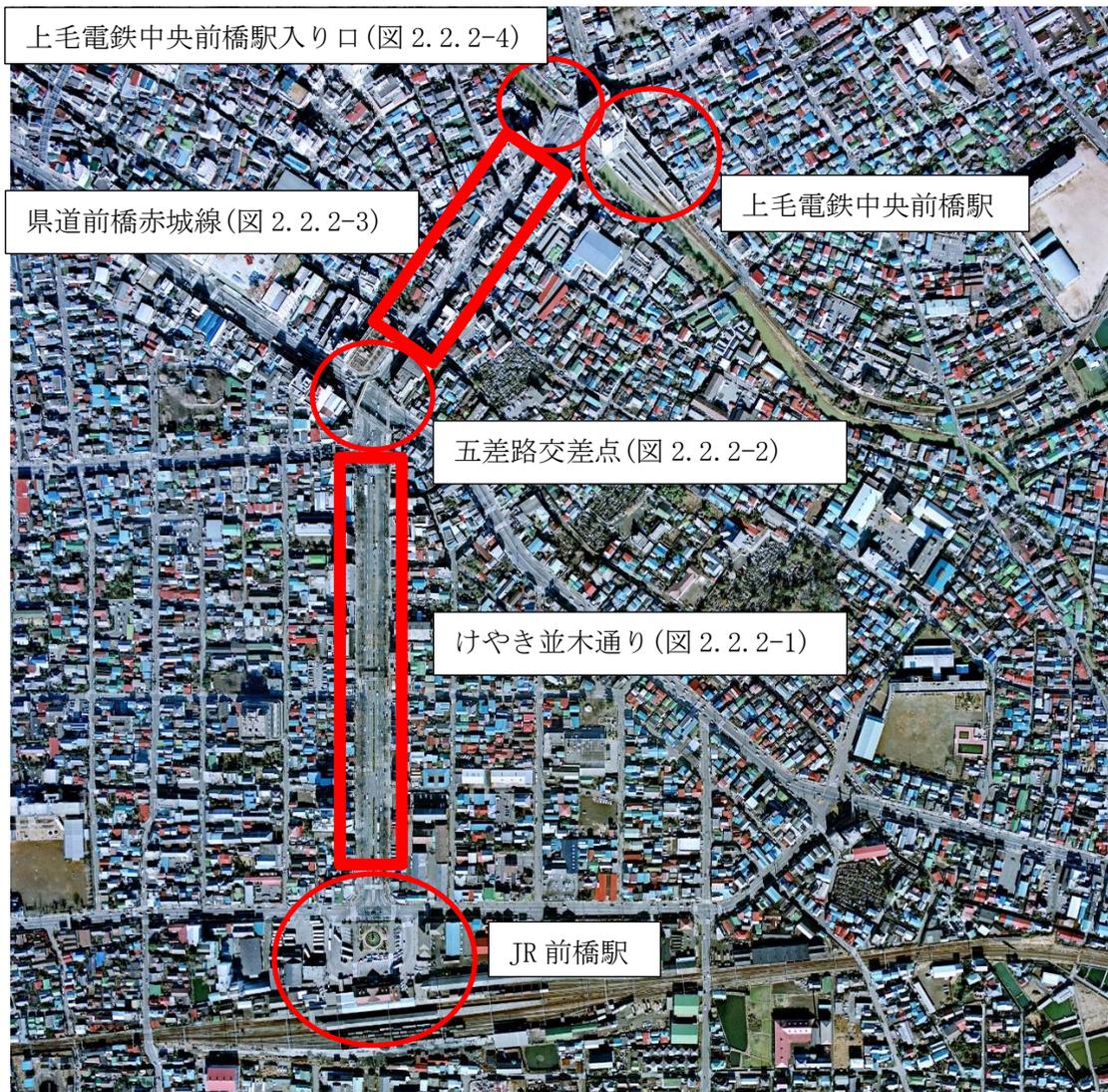


図 2.2.2-5 公道実証全区間

出所) 地図・空中写真閲覧サービス <https://maps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1> 2021年3月15日取得



図 2.2.2-6 上毛電鉄中央前橋駅 俯瞰図

出所) 国土地理院 地図・空中写真閲覧サービス

<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1> 2021年3月15日取得

2.3 地域課題等

2.3.1 実証地域の課題

2.3.1.1 自動車依存の進行

実証地域となる群馬県は一人当たりの自動車保有率が全国一位となっており（表 2.3.1-1）、群馬県前橋市における公共交通による交通手段分担率は自動車が75%を占める一方、バスは僅か0.5%となっている。

平成27年に免許保有者は約24万人で、本市の免許保有者は約70%を超えている。一方、免許保有者に占める高齢者の割合は63.5%と増加している。全体として交通事故件数が減少しているものの、高齢者による加害事故割合は増加することが懸念されている（図 2.3.1-1）。地方都市において、免許非保有者の日常生活は外出率が低く、免許非保有者が外出する際は、誰かの運転する自動車に同乗するなど、送迎も負担とな

っている。今後の少子高齢化社会を見据え、過度な自動車依存社会から脱却し、効率的で継続的な交通インフラを市民に提供することは喫緊の課題となっている。

表 2.3.1-1 都道府県別の自家用乗用車の普及状況（軽自動車を含む）

順位	都道府県	1人あたり台数
1	群馬県	0.684
	前橋市	0.679
2	栃木県	0.664
3	茨城県	0.661
4	富山県	0.657
5	山梨県	0.652

47	東京都	0.230
	全国	0.477

出所) 自動車検査登録情報協会 HP (平成 29 年 3 月末現在)

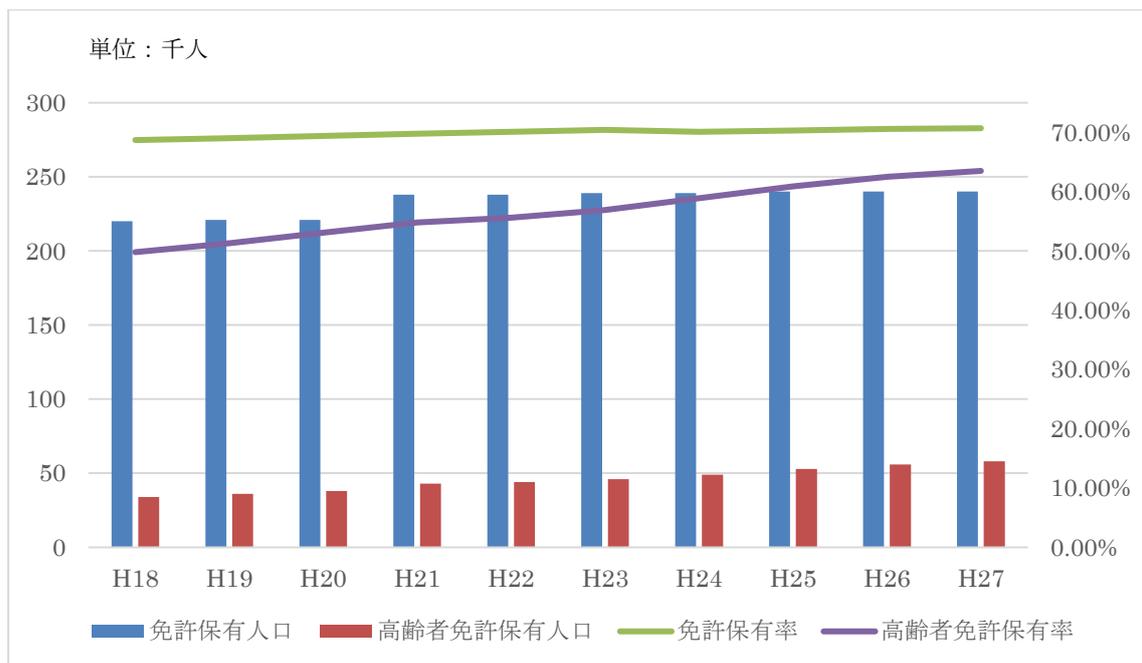


図 2.3.1-1 高齢者の運転免許保有人口の推移

出所) 前橋市 地域公共交通網形成計画より

2.3.1.2 バス路線の運行状況

本市においては、JR 前橋駅を中心とした放射方向にバス路線が運行されており、市内の環状方向の移動にあたっては、中心市街地でバスを乗り継ぐ必要がある（図 2.3.1-2）。また、本市の中心部からの移動についても複数のバス事業者は各系統の行き先・経由先のパターンを設定しており、目的地へ向かうバスが分かりづらいといった課題が生じていた。このような状況から、中心市街地活性化区域におけるバスを利用した回遊が容易でない状況にあると検討されている。

さらに、郊外部と中心部を結ぶ路線においては、利用状況の差が大きい、全区間を通してほぼ同じサービスのレベルで運行しているものがあり、運行において採算性が乏しいことが確認されている。



図 2.3.1-2 路線バスの運行経路状況

出所) 前橋市 地域公共交通網形成計画より

2.3.1.3 中心市街地区域の交通

前橋市においては、中心市街地と官公庁地区、鉄道駅等が離れて立地している。そのため、その地域間の移動は抵抗感が大きく、また、JR 前橋駅と上毛電鉄中央前橋駅、官公庁地区を接続する五差路交差点は形状が複雑である上に、交通量が多く、渋滞が生じる。さらに歩行者は平面横断することができないなど、地域間移動の課題となっている（図 2.3.1-3）。また、JR 前橋駅と上毛電鉄中央前橋駅の区間においては、シャトルバスによって連絡されているが、駅に直接の乗り入れが行われておらず、鉄道網のネットワーク化が図られていない。

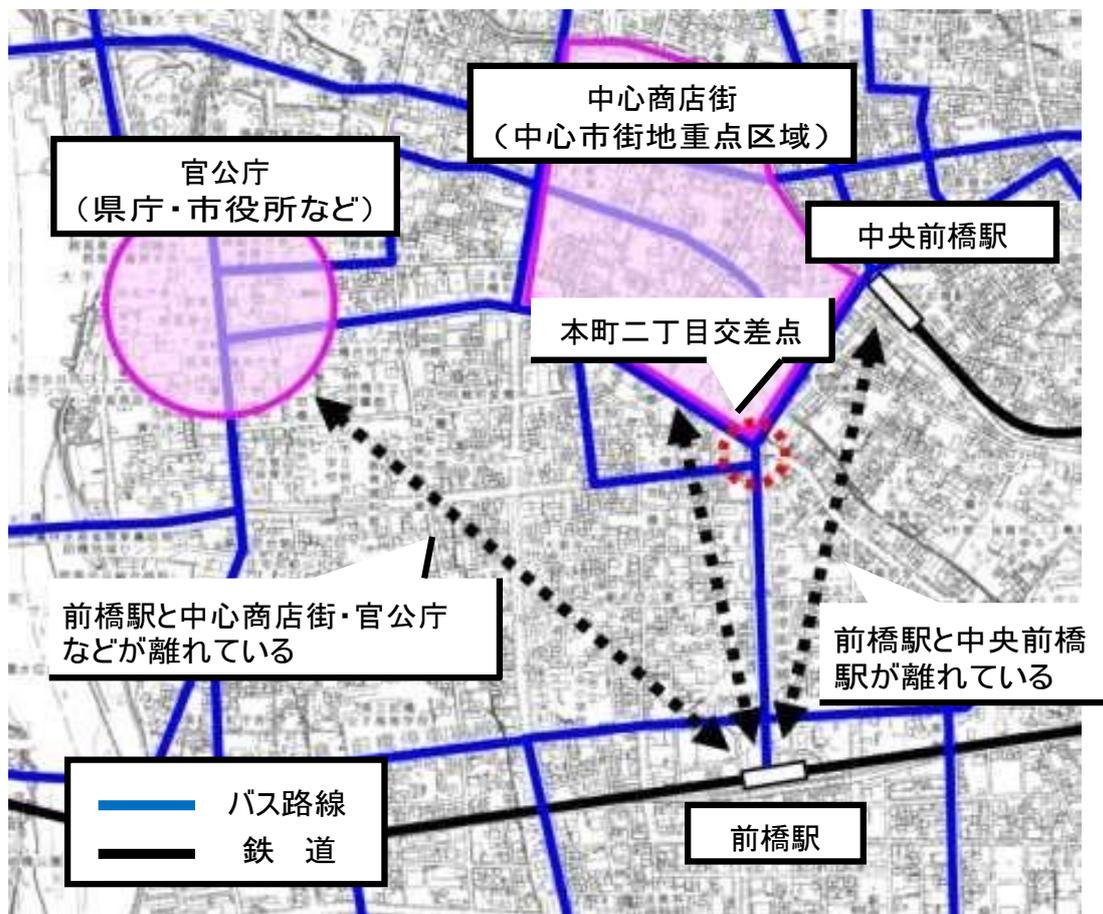


図 2.3.1-3 中心市街地の機能立地状況

出所) 前橋市 地域公共交通網形成計画より

2.3.1.4 公共交通の採算性

前橋市の公共交通（バス）の課題として、郊外部では、前橋駅から放射状にネットワークが形成されているが、本数が少なく、都心幹線となる前橋駅周辺では各方面からの路線が集中し、本数は多いが、ダイヤが分かりづらく非効率（同じ時間に複数のバスが来る）といった点があげられた。さらに、バス利用者数も、年 220 万人で横ばい推移（委託路線数は増加しており、路線あたりの利用者は減少）という現状にある。また、コミュニティバスの追加などサービスの増加により維持のための補助金額が過去 20 年で 3 倍に増加（毎年 3 億円）している（図 2.3.1-4）。将来的な人口の減少により、市税収入の減少が見込まれる中、バス路線の維持が困難になることが予想されている。

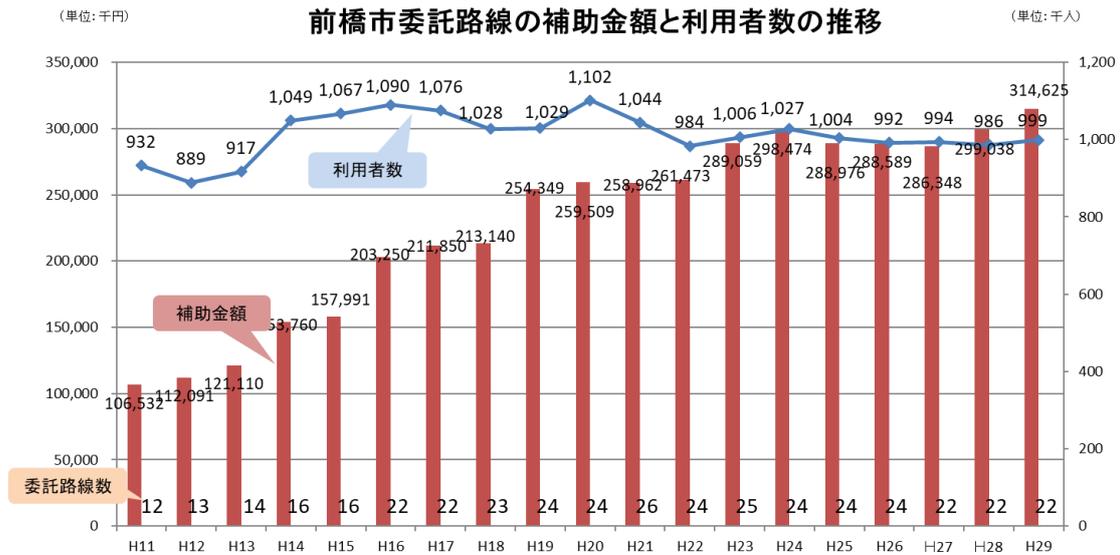


図 2.3.1-4 前橋市委託路線の補助金額と利用者数の推移

出所) 前橋市 地域公共交通網形成計画より

併せて、バス事業における厳しい経営環境、労働時間の長時間化、大型二種免許取得者の減少、高齢化等を背景に、運転者の要員不足が深刻な全国的な問題となっており、本市においても運転者不足を原因としたバス路線の廃線、または減便が想定される現状にある。こうした中、地域の生活交通を支えるバス輸送の維持や安全の確保の観点から、バスの運転者の安定的な確保と育成は喫緊の課題となっており、簡単に増便等で対応できない状況に置かれている (図 2.3.1-5)。

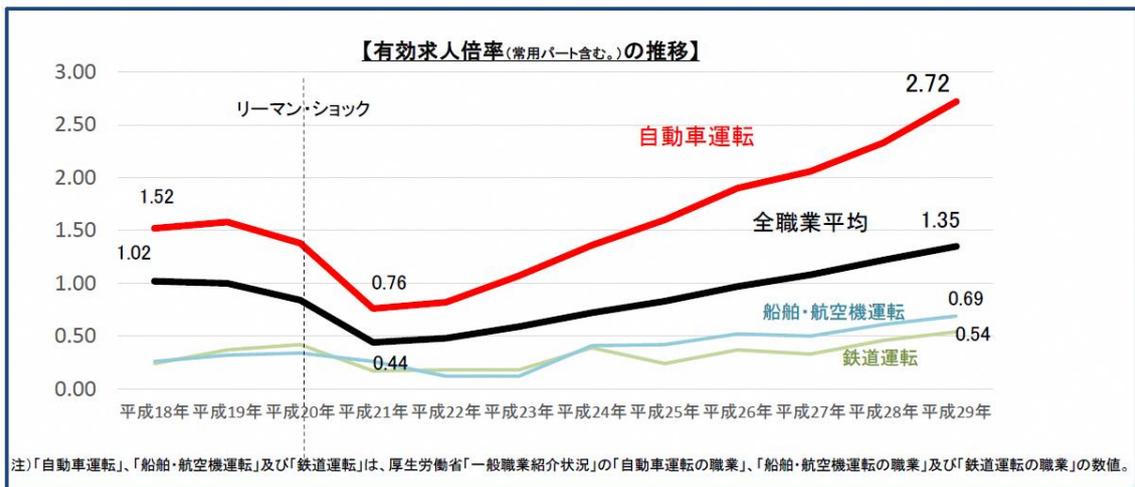


図 2.3.1-5 有効求人倍率の推移 (全国)

出所) 未来投資会議 (第 24 回) モビリティに関する参考資料より

2.3.2 地域課題等との対応

2.3.2.1 前橋市の掲げる課題解決

課題解決のため、前橋市では平成30年3月に「前橋市地域交通網形成計画」（計画期間：平成30年～令和4年度）を策定した。策定に当たっては、「地域公共交通の活性化及び再生に関する法律」に従い、法定協議会として「前橋市地域公共交通再生協議会」を設置した。法改正に従い、今後、「前橋市地域公共交通計画（計画期間：令和3年度～令和7年度）」とする審議を予定している。同計画においては、自動運転技術の導入を含むAIやMaaSといった新たな技術を活用した交通環境の高度化を取り組むべき施策として位置付ける予定である。

本市の交通再編の取り組みの全体像においては、「車社会から公共交通主体の社会への転換」を目指すところとしており、課題として、①路線の維持、公共交通空白域の存在、②非生産的時間（待ち時間）の存在、③わかりづらい他モード交通、乗換え環境の構築を挙げている。これらの課題解決と併せるかたちで、「公共交通利用の環境整備と市民の意識改革（モビリティマネジメント）」を目指し、実現のための必要な視点として、新たな技術の導入（自動運転技術、AI、5G）、他サービスとの連携、まちづくりとの連携、ビッグデータ活用によるサービス見直し等を検討している。

地域公共交通網形成計画の目標として、公共交通の利便性向上により利用者を増加させ、過度な自動車依存からの脱却を図る「バスの利便性向上を中心とした公共交通軸の強化」、回遊性の向上により、人がたくさん歩き、活気にあふれる中心市街地を目指す「公共交通による、まちなかの回遊性の向上」、自動車を運転できない高齢者や学生であっても自由に外出できるまちを目指す「誰もが快適に移動できる公共交通ネットワークの構築」の3つを目標に掲げ、公共交通ネットワーク形成に関する施策の展開イメージを示している（図2.3.2-1）。



図 2.3.2-1 公共交通ネットワーク形成施策展開イメージ

出所) 前橋市 地域公共交通網形成計画より

2.3.2.2 これまでの取り組み

前橋市ではこれまで、地域課題解決のため、ICTを活用した様々な取り組みを行っており、交通分野においては、都心幹線を運行する自動運転バス（緑ナンバー）の社会実験、地域内交通としてのAI配車バスの運行、マイナンバーカードを活用したタクシー料金割引サービス（マイタク）、国土交通省・経済産業省の両省に採択された「スマートモビリティチャレンジ」などを実施してきた。

特に自動運転バス実証については、群馬大学が平成29年にCRANTSを設立すると、平成29年度に前橋市、群馬大学、日本中央バス株式会社と「自動運転実証実験事業の実施に関する協定書」を締結し（令和元年に協定期間を更新）、平成30年度には、全国初となるバスの営業路線で一般乗客から運賃収受を行いながらの実証実験を行った。令和元年度には、運行区間を延伸し、より複雑な路線で実施した（表2.3.2-1）。併せて、自動運転バス2台同時運行による遠隔監視の検証、都心幹線、大型商業施設内における走行可能性・課題の確認、マイナンバーカードを活用した乗客管理、決済手法の検証、MaaSアプリとの連携（バス位置情報の表示）の実証実験を実施した。

本市では自動運転技術等の導入によるバス運転手不足の解消によって地域住民の移動手段を確保するとともに、交通モードの最適化を図り、自家用車に頼らなくても安心して移動できるまちづくりを目指している。人口減少によって市税収入の減少も見込まれる同市では、将来に渡って現行のバス路線を維持することは困難であり、

運転手不足も原因とした減便等が予想されるバス事業では、自動運転導入による運行コストの減少や、運転手の補充に向けて早急に必要であった。

一方、CRANTS では、地域社会に根付く自動運転による移動サービスの創出に向けた研究を続け、実証実験の実績蓄積によって地域を限定とした自動運転車両の社会実装を目指していた。本市の JR 前橋駅と上毛電鉄中央前橋駅間のシャトルバスの自動運転の実装は、両者の目的達成のために重要な路線となっており、本市では、当該路線における自動運転の検証を実施することで、バス路線再編に合わせ、令和 4 年度の都心幹線における自動運転バスの実装を目標としている。

表 2.3.2-1 これまでの自動運転実証の実施内容

年度	実施内容
平成 30 年度	<p>(1) 自動運転レベル 運転手が乗車し、部分運転を自動化するレベル 2 で実施された。</p> <p>(2) 運行管制システム 自動運転車載アプリケーションとのリアルタイム通信によって、車両の状態を把握した。また車両に走行ルートの指示を行った。</p> <p>(3) 遠隔監視 ドア開閉の指示など将来的に遠隔操作を可能とするため、遠隔監視を実施した（ドア、車内客席、運転状況等）。</p> <p>(4) 車内サービス コミュニケーションロボットを設置することによって、乗客の不安感の解消、車内案内を実施した。</p> <p>(5) 社会受容性調査 アンケート調査を実施し、自動運転バスの印象等を調査した。</p>
平成 31 年度	<p>(1) 自動運転レベル 運転手が乗車し、部分運転を自動化するレベル 2 で実施された。</p> <p>(2) 運行管制システム 自動運転車載アプリケーションとのリアルタイム通信によって、車両の状態を把握した。また車両に走行ルートの指示を行った。</p> <p>(3) 遠隔監視 社会実装に向けて複数台を同時に遠隔監視・操作することが求められるため、CRANTS 内から複数車両の遠隔監視・操縦管制を模擬的に実施した。</p> <p>(4) 乗客管理 自動運転バス乗車時に、マイナンバーカードをカードリーダーにタッチすることで、乗客管理の仕組みを検証した。</p> <p>(5) 路車間協調 通行路案内、乗り場案内の設置のほか、自動運転バスとの通信を行う路車協調 LED 表示機を設置し、自動運転バスの位置をバス停の利用者に知らせるシステムを検証した。</p>

自動運転実証実験の実施によって、バス導入に向けては以下、表 2.3.2-2 のとおり課題が整理された。

表 2.3.2-2 自動運転バス導入に向けての課題

項目	内容
より安全な走行技術の実現	自車位置特定のため GPS を補完する技術が必要 ・道路側に磁気マーカーを敷設し、バス側のセンサーが読み取り ・白線の読み取りなど
駅ロータリーの改善	既存乗降場所は状況に応じて、1 バースに複数台停車など
道路工事・駐車車両・緊急車両	工事を事前に把握する仕組み、駐車車両をなくす環境づくり 緊急車両対応など自動運転の技術としては「避ける」技術
遠隔監視・操縦管制	通信画像品質の悪化、指令の遅延
路線バスへの導入に向けた課題	車椅子対応、運賃支払いの確認 導入スキーム 遠隔監視・操作は誰がするのか（コスト）

2.3.2.3 5G 利活用による課題解決

前橋市では「車社会から公共交通主体の社会への転換」に向けて、自動運転技術等の導入を行うことによる、バス運転手不足の解消、地域住民の移動手段を確保、交通モードの最適化、といった地域課題の解決を目指している。交通モードの最適化に向けては、令和3年度よりバス路線の再編や、駅ロータリーの交通環境の改修検討などが実施される予定であり、路線バスへの導入に向けた課題である運賃収受については、本調査検討の同期間で検証された顔認証決済実証等の前橋版 MaaS に関する取り組みによって整理を予定している。

「より安全な走行技術の実現」といった課題においては、駅ロータリー等の歩車混雑地点や、車両の死角となる道路といった箇所における周辺状況確認に時間がかかることが課題とされ、「遠隔監視・操縦管制」においては、平成31年度の自動運転における遠隔監視実験によって、4G/LTE といった通信規格においては車両から遠隔管制室に伝達するデータ量が少なく、詳細な交通環境の把握が難しいことや、遅延が生じることから、遠隔監視・操縦管制の要件を満たすことができないといった課題が生じていた。

リアルタイムでの周辺交通状況の把握、遠隔監視・操縦管制といった課題の解決に向けては、これまでの4G/LTE といった通信規格では難しかった「高速・大容量」及び「低遅延」での通信が要せられる。そこで、本調査検討事業では、これまで検証してきたシステムを5G通信に対応させることにより、5G通信を活用した遠隔監視・操縦管制、及び路車間協調通信といった仕組みによる課題解決システムを実現することを目指した。ローカル5Gを群馬大学試験路に設置することによって、自動運転の実装に向けた検証拠点を設け、将来的に自動運転導入区間にキャリア5Gが敷設された際に事前に検証を行うことが可能となった。また、キャリア5Gについては、令

和5年度末までに全国で約28万局整備を行うとして整備計画の改訂が行われたが、今後の具体的な敷設計画は明らかではなく、当該地域における自動運転の導入に向けては、地域事業者がより柔軟に走行区間において5G通信を利活用可能とするローカル5Gの活用が検討される。

3. 実証環境

3.1 ネットワーク構成

3.1.1 ネットワーク構成概要

本調査検討では、群馬大学試験路においてローカル5G環境及びキャリア5G環境を構築して比較検証及び二系統の通信手段での継続性確認を行い、公道（上毛電鉄中央前橋駅）においてキャリア5G環境を構築することによって公道での検証を実施する。

全体ネットワーク構成図を図3.1.1-1に記す。また、群馬大学試験路のネットワーク詳細図を図3.1.1-2に、公道のネットワーク詳細図を図3.1.1-3に記す。

（1）群馬大学試験路の5G環境

- ① ローカル5G基地局及びキャリア5G基地局を設置する。
- ② 遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））の検証のため、自動運転車両にローカル5G、及びキャリア5Gの各DTUを搭載する。
- ③ 路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））の検証のため、路側にローカル5G、及びキャリア5Gの各DTUを設置する。

（2）公道の5G環境

- ① キャリア5G基地局を設置する。
- ② 遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））の検証のため、車両にキャリア5GのDTUを搭載する。
- ③ 路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））の検証のため、路側にキャリア5GのDTUを設置する。

（3）遠隔管制室のネットワーク環境

遠隔管制室では、ローカル5G通信用に専用ネットワークを構築して、ローカル5G検証時はこのネットワークに接続された機器から遠隔監視・操縦管制を行う。

一方、キャリア5G通信ではインターネット通信を群馬大学ネットワークに接続し、群馬大学ネットワークに接続された機器から遠隔監視・操作を行う。これらの二系統の通信手段の切り替えについては、切り替え装置で行う。

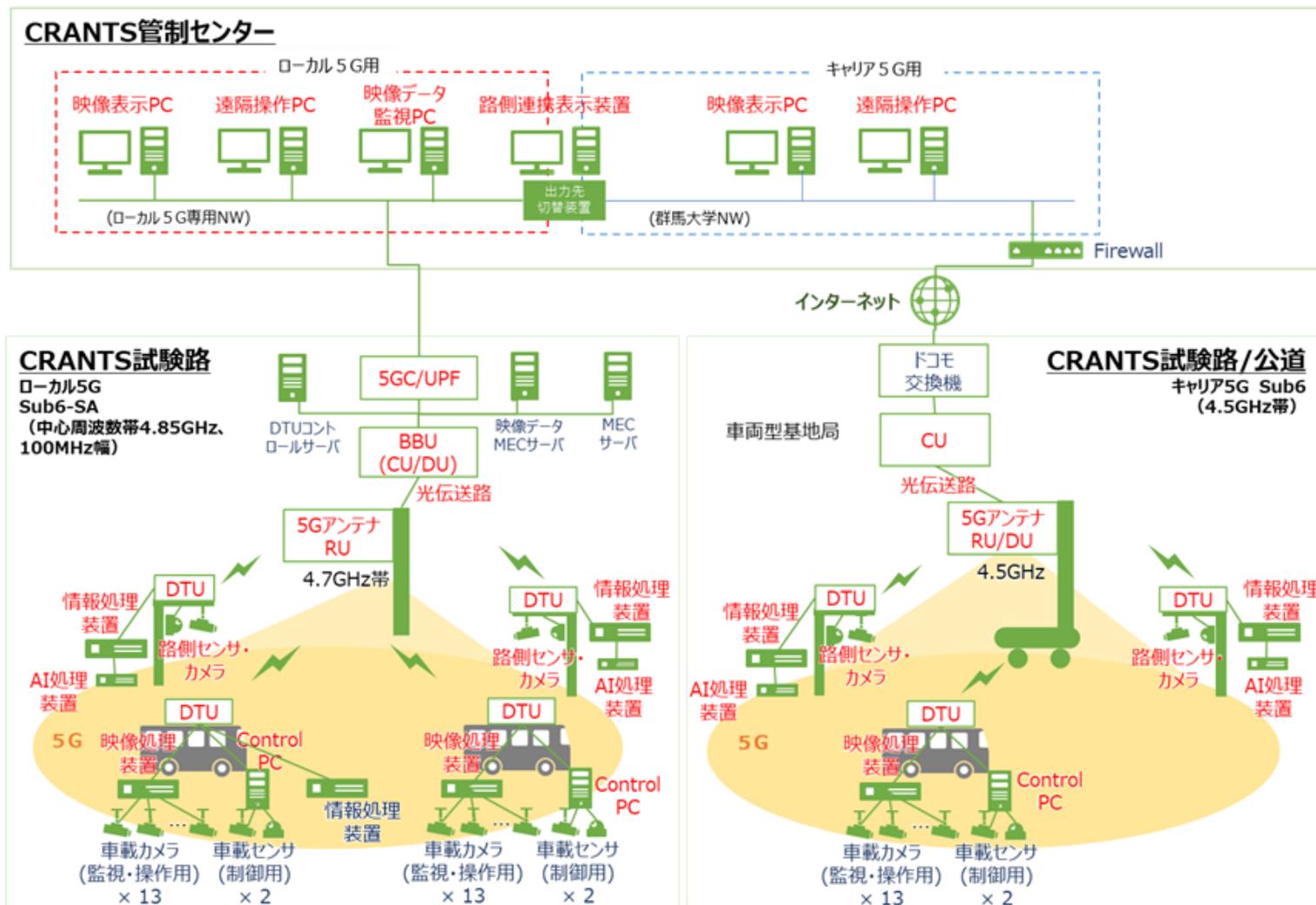


図 3.1.1-1 ネットワーク構成概要図

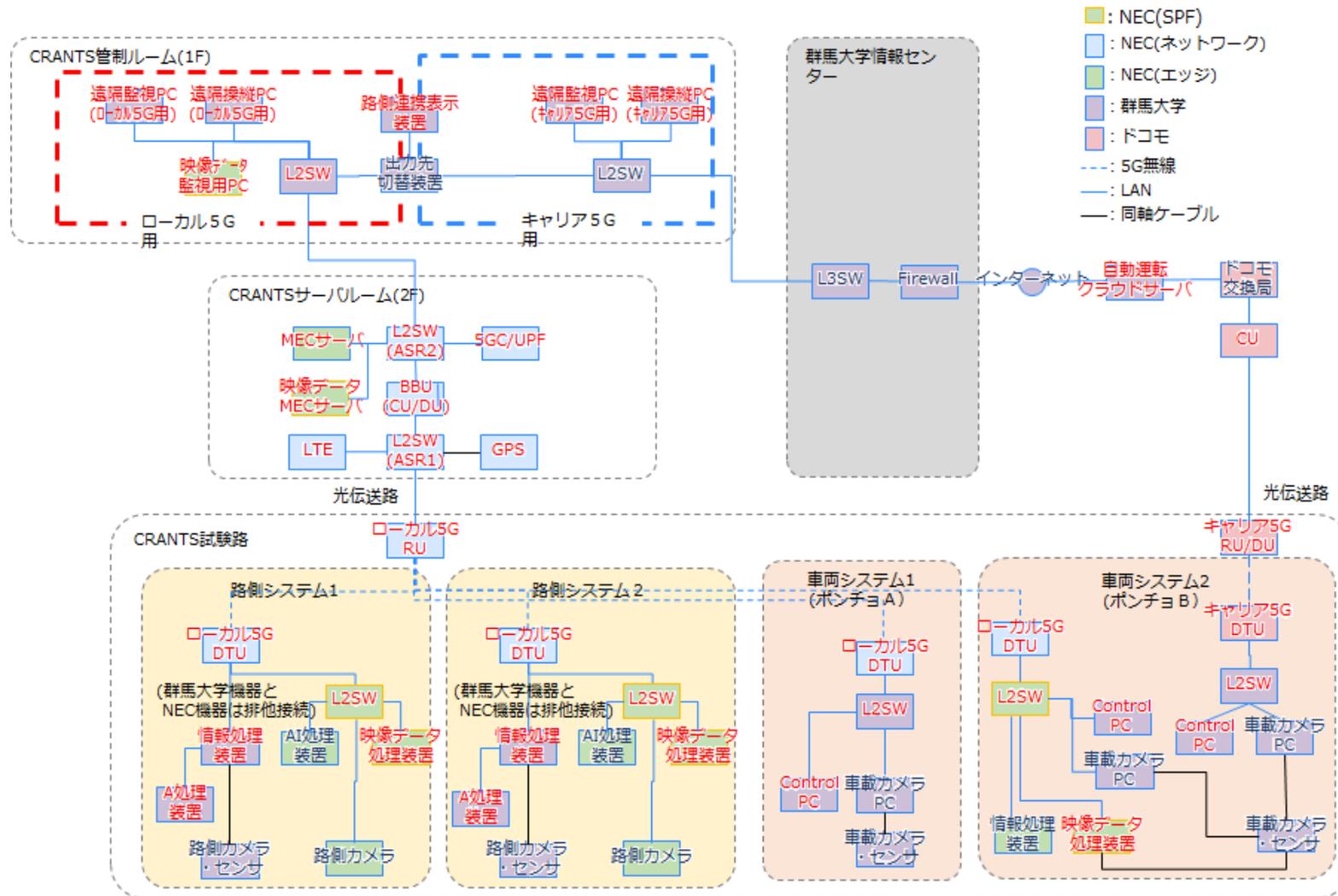


図 3.1.1-2 ネットワーク詳細構成図 (群馬大学試験路)

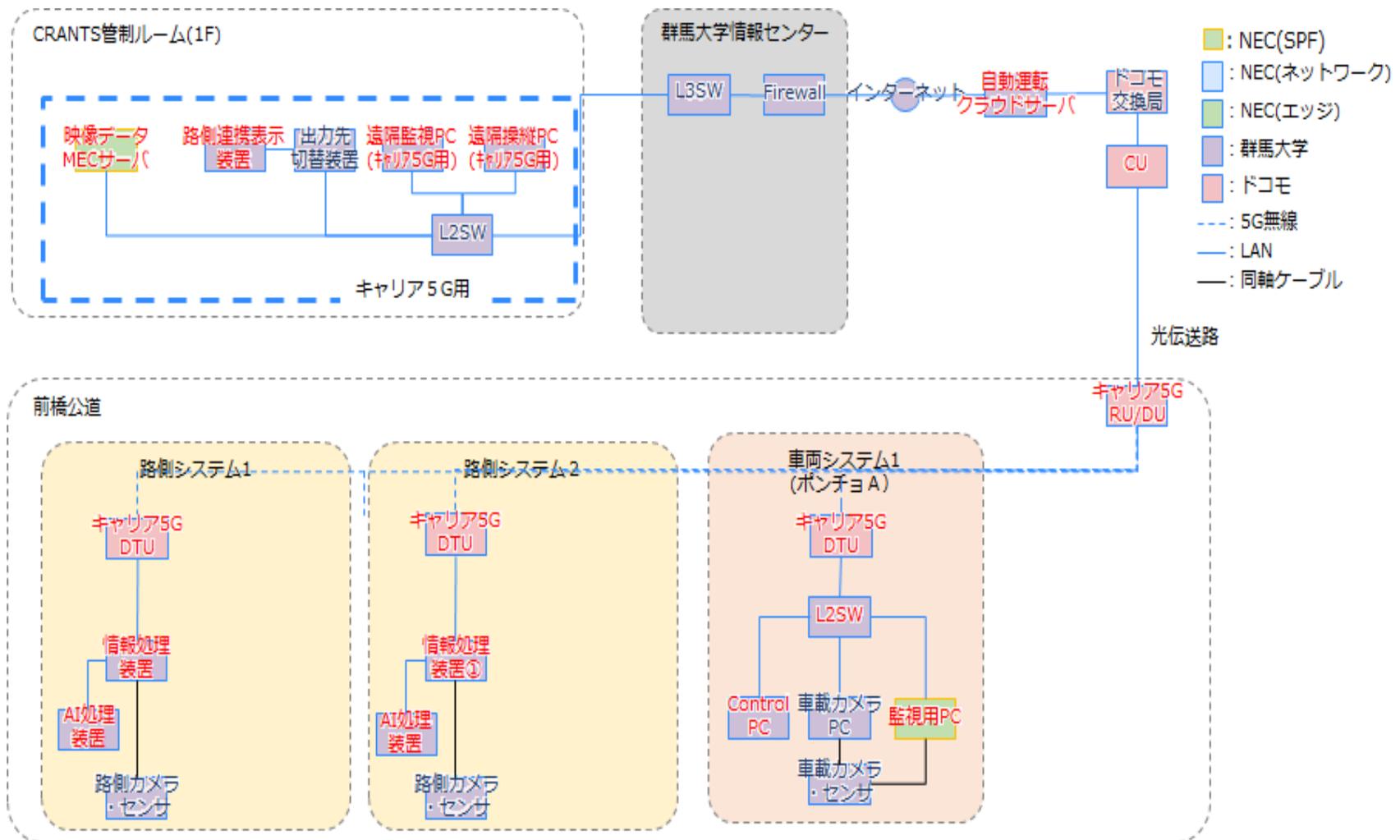


図 3.1.1-3 ネットワーク詳細構成図（公道（上毛電鉄中央前橋駅））

また、ネットワーク構成機器を表 3.1.1-1 に記す。

表 3.1.1-1 ネットワーク構成機器分類

分類	機器	台数	新規	既存	備考
車両システム (2セット)	車載カメラ	26		○	
	車載センサー	4		○	
	映像処理装置	2	○		
	コントロールPC	3	○		
	DTU(ローカル5G用)	2	○		
	DTU(キャリア5G用)	1	○		
	情報処理装置	1		○	日本電気社保有機器 (エッジコンピューテ ィング用)
	レイヤー2スイッチ	1		○	
路側システム (5セット)	センターコンピューティング用(3セット)				
	路側カメラ・センサー	2	○		
	情報処理装置	2	○		
	AI処理装置	2	○		
	エッジコンピューティング用(2セット)				
	路側カメラ	2		○	日本電気社保有機器 (エッジコンピューテ ィング用)
	AI処理装置	1		○	
	DTU(ローカル5G用)	2	○		
	DTU(キャリア5G用)	2	○		
遠隔管制室	映像表示PC	6	○		
	遠隔操作PC	2	○		
	路側連携表示装置	1	○		
	AI処理装置	1	○		
	レイヤー2スイッチ	1		○	
5Gネットワ ーク	ローカル5G機器一式(アンテナ・ 基地局・コア装置・レイヤー2ス イッチ)	1	○		
	キャリア5G機器一式(アンテナ・ 基地局)	2	○		
	MECサーバ	1		○	日本電気社保有機器 (エッジコンピューテ ィング用)

3.1.2 エリアカバレッジ

群馬大学試験路のエリアカバレッジを図 3.1.2-1、公道実証フィールドである上毛電
鉄中央前橋駅周辺のエリアカバレッジを図 3.1.2-2 に記す。

[実証フィールド]
 群馬大学CRANTSセンター
 (荒牧キャンパス内)
 〒371-0044
 群馬県前橋市荒牧町4丁目2



[機器毎 設置場所]
 テストフィールド施設
 ・5G RU, アンテナ



図 3.1.2-1 群馬大学試験路 エリアカバレッジ

[実証フィールド]
 中央前橋駅ロータリー
 〒371-0015
 群馬県前橋市三河町1丁目3



- 路側カメラ, 路側センサ
- 自動運転走行ルート

[機器毎 設置場所]
 中央前橋駅 (上毛電鉄様)
 ※現地サーベイ後確定予定



図 3.1.2-2 上毛電鉄中央前橋駅 エリアカバレッジ

3.1.3 端末概要

3.1.3.1 5G 基地局

ローカル5G、及びキャリア5Gの基地局相当装置諸元を表3.1.3-1、3.1.3-2に記す。

表 3.1.3-1 ローカル5G (CRANTS) 基地局相当装置諸元

項目	実験試験局 (基地局相当) 諸元
変調方式 (1次変調)	QPSK, 16QAM, 64QAM
変調方式	OFDM
複信方式	TDD
帯域幅	99.72MHz (100MHz × 1 CC)
中心周波数	4849.86MHz
送信電力	40mW (+16dBm) × 4 (1局合計 160mW (+22dBm))
最大 EIRP	+24.5dBm (1局合計 +30.5dBm)
アンテナ構成	指向性アンテナ × 4
アンテナ利得	12dBi
アンテナ高	10m
申請希望局数	2局
システム構成	SA 構成

表 3.1.3-2 キャリア5G (CRANTS) 基地局相当装置諸元

項目	実験試験局 (基地局相当) 諸元
変調方式 (1次変調)	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
変調方式	OFDM
複信方式	TDD
帯域幅	99.72MHz (100MHz × 1 cc)
中心周波数	4500MHz ~ 4600MHz
送信電力	4500MHz
最大 EIRP	-(アンテナ一体型のため、EIRP の概念しかありません)
アンテナ構成	45.11dBm
アンテナ利得	指向性アンテナ (アンテナ一体型)
アンテナ高	-(アンテナ一体型のため、EIRP の概念しかありません)
申請希望局数	6m (実証の内容による)
システム構成	NSA 構成

表 3.1.3-3 キャリア 5G (上毛電鉄中央前橋駅) 基地局相当諸元

項目	実験試験局 (基地局相当) 諸元
変調方式 (1次変調)	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
変調方式	OFDM
複信方式	TDD
帯域幅	4500MHz~4600MHz
中心周波数	4500MHz
送信電力	36.61dBm
最大 EIRP	49.11dBm
アンテナ構成	無指向性アンテナ (送信 1 アンテナ, 受信 4 アンテナ)
アンテナ利得	12.5dBi
アンテナ高	11.1/11.3m (実証の内容による)
申請希望局数	1局
システム構成	NSA 構成

3.1.3.2 端末機器の概要

本調査検討で用いる端末の概要を表 3.1.3-4 に記す。

表 3.1.3-4 端末の概要一覧

機器名称	説明	形態/数量
DTU (Data Transmission Unit)	データ転送装置。シリアルポートデータを IP データに変換したり、IP データをシリアルポートデータに変換したりするために特別に使用されるワイヤレスデータ収集デバイスであり、無線通信ネットワークを介して送信される。 ベンダ：Foxconn 製 (ローカル 5G)。	固定 2 台 可搬 2 台
5GC (5 th Generation Core network)	5G 向けコアネットワーク。制御情報を扱う制御プレーンとユーザデータを扱うユーザープレーンで構成される。 ベンダ：NEC 製 (ローカル 5G)。	固定一式
UPF (User Plane Function)	5G 向けコアネットワークにおいてユーザープレーンを処理する機能。主にパケットのゲートウェイ処理、IP アドレスの割当てやパケット転送などを行う。 ベンダ：NEC 製 (ローカル 5G)。	

機器名称	説明	形態/数量
BBU (Base Band Unit)	4G/LTEの無線基地局の構成要素。無線装置から受け取った信号をコアネットワークへ送信、またその逆の処理を行う。5GではCU, DU, RUにその機能が分割されている。CU/DUが一体になった機器などをBBUと記載することもある。 ベンダ：Foxconn製(ローカル5G)。	固定一式
CU (Central Unit)	無線基地局のデータ処理を行う集約基地局。CUが複数のDUを集中制御することで、無線ネットワークの効率的な運用に貢献する。 ベンダ：Foxconn製(ローカル5G)。	
DU (Distributed Unit)	電波の送受信を行うリモート局。 ベンダ：Foxconn製(ローカル5G)。	
RU (Radio Unit)	無線基地局装置の無線子局。 ベンダ：Foxconn製(ローカル5G)。	固定1台
AI処理装置	管制センターにおいては路側からのカメラ・センサー情報をAI処理し、死角情報を補完することで遠隔監視・操作者の安全確認業務を支援する。路側システムにおいては周辺の交通状況を把握し、衝突検知などのインシデントを車両システムに交通状況を伝達する。 ベンダ：Neousys Technology製	固定2台

3.1.3.3 機器の使用写真

5G機器の使用写真について、図3.1.3-1から図3.1.3-10に記す。

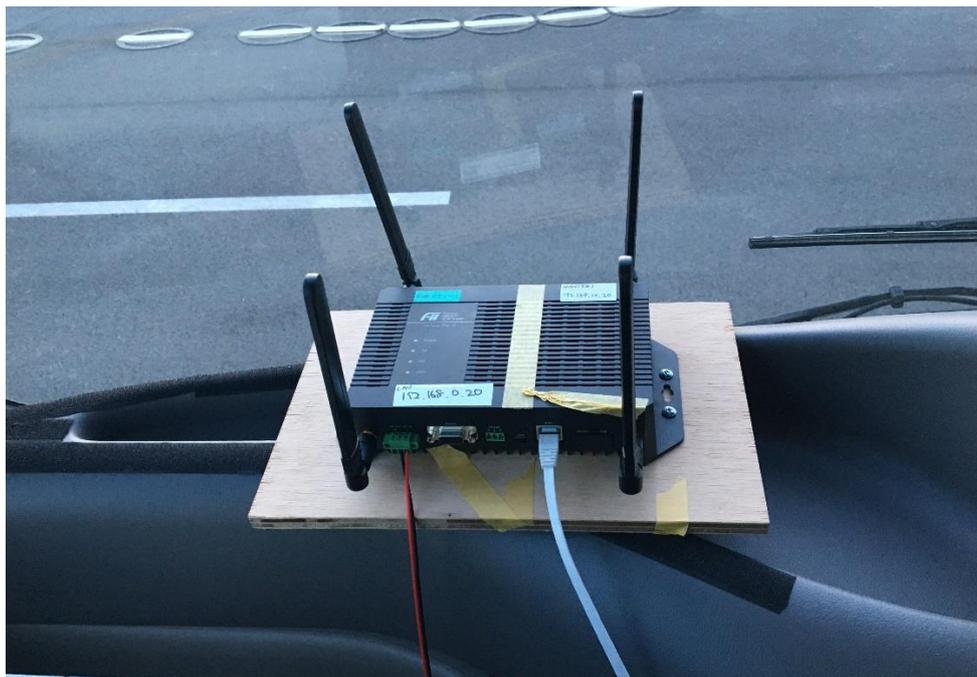


図 3.1.3-1 ローカル 5G DTU(Data Transmission Unit)



図 3.1.3-2 ローカル 5G
5GC(5th Generation Core network)+UPF(User Plane Function)
BBU(Base Band Unit)+CU(Central Unit)+DU(Distributed Unit)

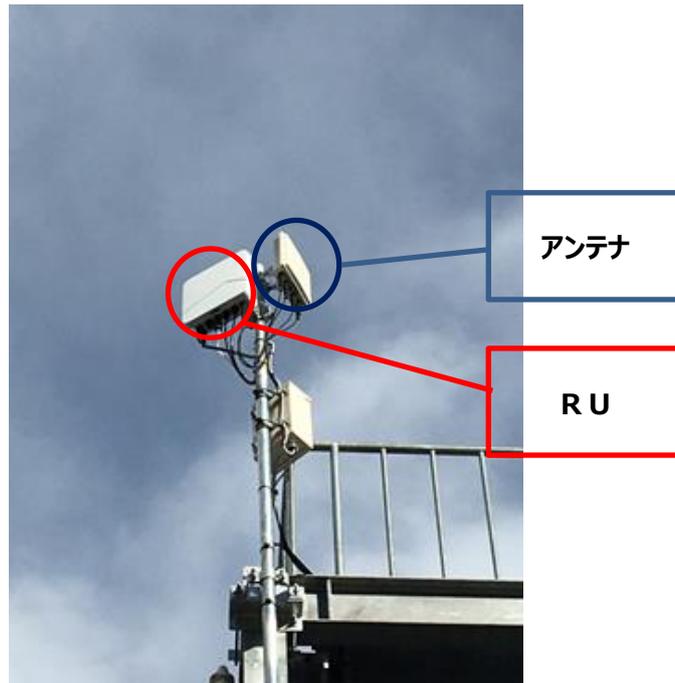


図 3.1.3-3 ローカル 5G RU(Radio Unit)+アンテナ



図 3.1.3-4 NEC AI 処理装置 (MEC サーバ(左)、AI 処理装置(右))

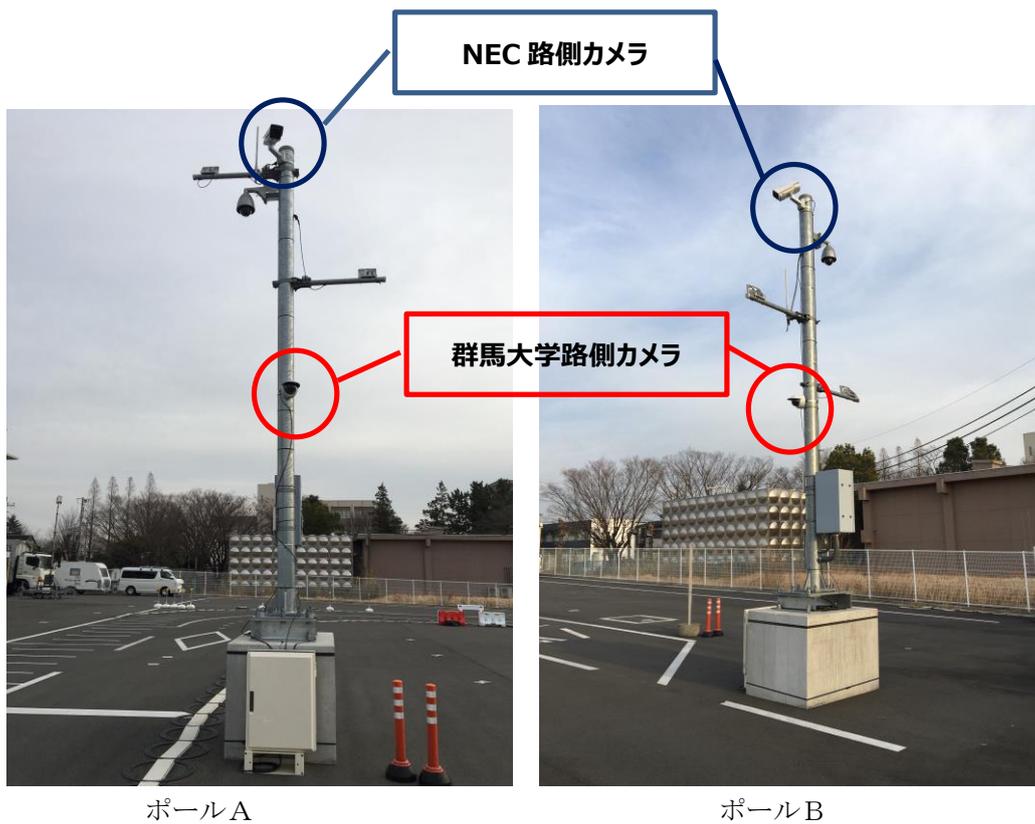


図 3.1.3-5 路側カメラ (ポールA、B)

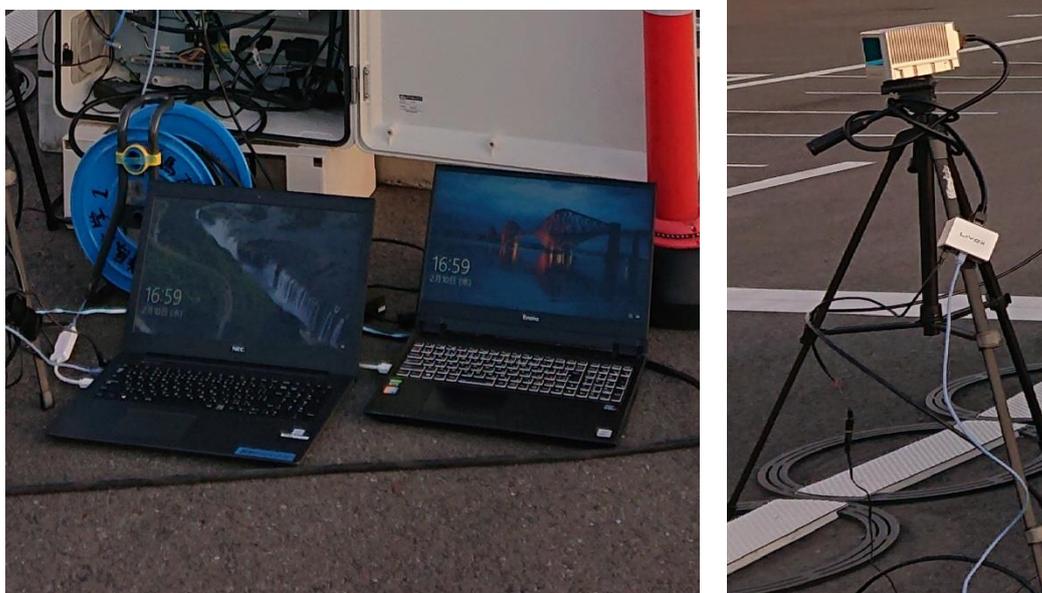


図 3.1.3-6 群馬大学試験路内に設置した AI 処理装置(左)、路側センサー(右)



図 3.1.3-7 CRANTS 遠隔管制室



図 3.1.3-8 CRANTS 内に設置した AI 処理装置



図 3.1.3-9 群馬大学試験路内 キャリア 5G アンテナ(左)、5G 端末(右)

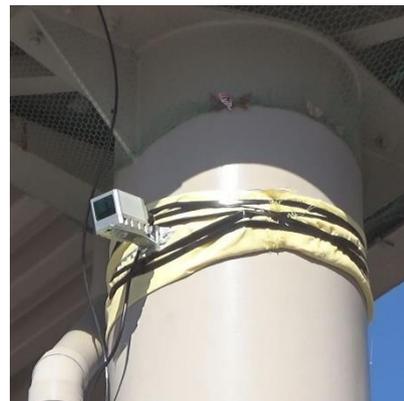


図 3.1.3-10 上毛電鉄中央前橋駅
キャリア 5G アンテナ(左)、路側カメラ(中央)、路側センサー(右)

3.2 システム機能・性能・要件

各システムの機能・性能・要件の説明に際し、事業において各ソリューションに期待される効果について、技術的背景と必要となる前提知識を整理し、各種要件・性能・要件に対する根拠を明らかにする。その後、各ソリューションに対して、機能・性能・要件について説明を行い、主要な要件についてまとめる。

3.2.1 各ソリューションに対する技術的背景と前提知識

本調査検討で検証する3つのソリューションについて、対象とする自動運転バスに対する技術的課題に対して有効であるとする、技術的背景と前提知識について整理し、各ソリューションにおいて構築するシステムの機能・性能・要件を決定するに至った根拠について記す。

現在の自動運転は図 3.2.1-1 のように、大きく二つ流れに沿って研究開発が進められている。一つはカーメーカーを中心としたオーナー・カー（自家用車）へ実装されることを想定した自動運転である。こちらの流れは、これまでの自家用車にも実装されているような運転支援システムを基本として、その機能拡張を段階的に進めていくような技術的アプローチとなり、主に交通事故や交通渋滞の削減、価値向上といった目的で、主に高速道路から初めて徐々に一般道へ拡張していく流れをくむ。

もう一つの流れが、バスやタクシー、トラックといったサービスカーへの実装を想定した自動運転である。こちらの流れは、従来型の運転支援システムの拡張といった考え方から一線を画し、動作環境を限定化することで、早期に無人移動サービスを実現しようとする流れである。特に少子高齢化、過疎化といった社会課題に影響され、地方のサービスカーの運転手のなり手が少子高齢化している現状があり、慢性的な人員不足が課題となっている。また地方部はこれまで自家用車に依存した生活をしていの中で、少子高齢化と過疎化、そして高齢化による運転能力の低下による免許返納等の課題により、自家用車を基盤とした移動手段が急速に崩壊しつつある現状にある。そうした中で、主に地方部の移動手段の維持、拡大を目指す場合、無人移動サービスの確立はその根治につながる解決策として注目をされている。

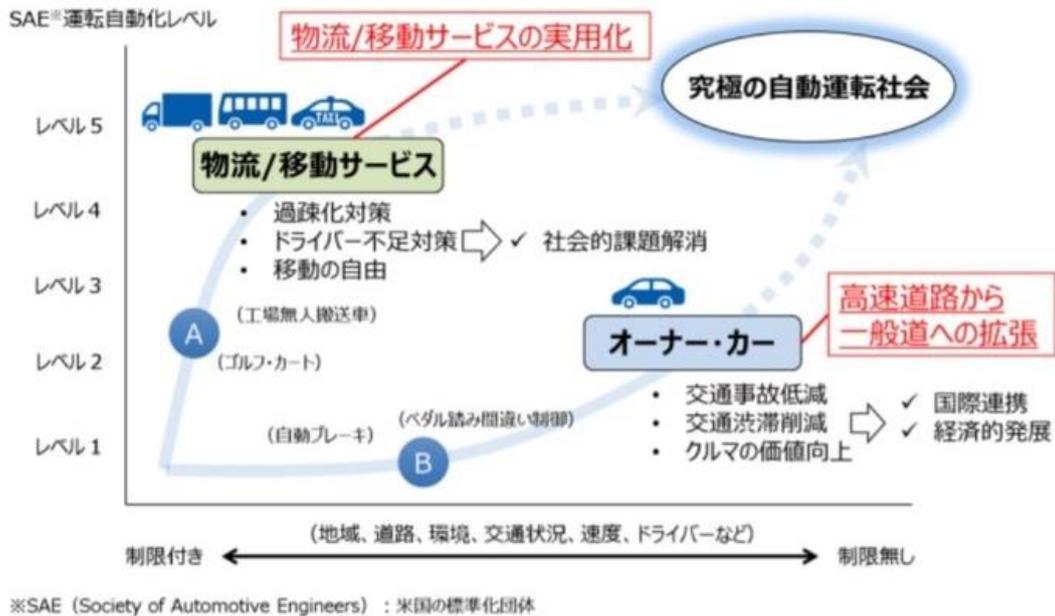


図 3.2.1-1 自動運転の研究開発の流れ

出所) 官民 ITS 構想・ロードマップ 2020 より

3.2.2 群馬大学による自動運転実装に向けた取り組み

本事業の参画者である群馬大学は上記のサービスカーに対する自動運転の実装に早くから注目し、研究活動を進めてきた。CRANTS は、前述のように、様々な社会変革が進む中で、新たな移動手段を実現する上で必要な新たな技術を研究開発し、それを社会実装するまでを担う公的な研究機関として設立された。学内の組織体系においては、学部と独立した産学連携推進機構に属し、学部の垣根を超えて、教職員が集まって研究ができるような組織となっている。また、当該センターの自動運転プロジェクトはさらなる社会実装を進めるべく令和2年7月より日本モビリティ株式会社を設立した。

群馬大学では、サービスカーに対する自動運転の実装により、早期に無人移動サービスを公道にて実現すべく、遠隔型自動運転による遠隔地における遠隔監視・操作者と自動運転システムの連携を前提としたシステム開発に力を入れている。特に一般道では、高速道路に比べて複雑、路上駐車車両の他、工事の実施、歩行者や自転車の存在など様々な交通状況が想定される。こうした状況に対して自動運転システムだけで自律的に判断し安全な運転を行っていくには、センサーのさらなる高性能化とシステムの柔軟性の向上が必要となる。一方で、ある程度の自動運転システムの自律性と、人間によるサポートを受けて柔軟性を向上しつつ、人間は複数台の車両に対応することが物理的に可能な遠隔型自動運転は、早期の実装に対して有効な手段となり得る。

3.2.3 遠隔自動運転に関する整理

遠隔型自動運転は運転席相当の環境となる遠隔監視操作台を遠隔地に設置し、自動運転車両と遠隔監視操作台の間を通信につないだ形を維持して運用する自動運転の運用形態を指す。通常、遠隔型自動運転は図 3.2.3-1 のように、自動運転車両に自動運転に必要なセンサーだけでなく、遠隔から監視を行うことのできる、カメラやマイク、スピーカーなどを車内外に取り付け、遠隔地からの遠隔監視・操作者（運転手）が運転席での運用と同等以上の視聴能力を確保できるようにする。



図 3.2.3-1 遠隔型自動運転システムの概要図

群馬大学では、令和元年度に遠隔型自動運転を想定した車両を開発し、当時の実証実験で、遠隔型自動運転の運用模擬実験を繰り返してきた。令和元年度に実施した前橋市での実証実験においても、CRANTS の一室に、専用の遠隔管制室を設置し、運転手搭乗型の自動運転を実施しながら、模擬的に遠隔管制室にて遠隔監視・操作者が監視して、技術的な課題の抽出を行ってきた。図 3.2.3-2 は令和元年度の前橋市における実証実験の出発式の様子、図 3.2.3-3 は自動運転車両の走行中の様子、図 3.2.3-4 は遠隔管制室の運用模擬実験の様子である。その中で、本事業の課題となる、車両側と遠隔管制室、路側と遠隔管制室の技術向上の必要性を見出した。



図 3.2.3-2 令和元年度前橋市自動運転公道実証実験 運行開始セレモニーの様子



図 3.2.3-3 令和元年度前橋市自動運転公道実証実験 走行中の様子



図 3.2.3-4 令和元年度前橋市自動運転公道実証実験 遠隔管制室運用模擬実験の様子

遠隔管制側から車両を監視する際、複数のカメラの映像を一度に監視しているため、通常の運転より視野は確保されているものの、通信環境によっては、円滑な安全確認を行うに際し、映像が十分に鮮明でない状況があった。例えば、遠くの対向車や歩行者等の挙動に対して、自動運転システムだけでなく遠隔管制室の遠隔監視・操作者から素早く安全確認が行えれば、自動運転システムの判断に対して、遠隔監視・操作者が適切に車両に指示を送り円滑な運行につながる可能性がある。円滑な運行は周囲の交通流の円滑性にも影響を与え、交通流全体の安全性につながることを期待できる。

また、遠隔管制室から車両の監視をより円滑に行うためには、走路上の死角の情報を得られることが望ましいことが分かった。自動運転システムは走行中にあらゆる危険に対して対応ができるように運行する必要がある。そのため、死角が多い環境においては、徐行したり、一時停止したりするなど、運行の円滑性に支障がある可能性がある。そのため、死角がある環境で、運行の円滑性に支障がある箇所については予め路側にカメラやセンサーを取り付けるなどして、死角の情報を遠隔管制室の遠隔監視・操作者が前もって確認ができるようにすることで、円滑な運行につながる可能性がある。前述と同様に、円滑な運行は周囲の交通流の円滑性にも影響を与え、交通流全体の安全性につながることを期待できる。

さらに将来的なソリューションとしては、路側のカメラやセンサーの情報を車両の自動運転の制御に直接活用できれば、遠隔管制室の遠隔監視・操作者の作業削減にもつながることが期待できる。制御に直接活用するためには、通信の安定性の保証等、技術的に難しい課題も存在するが、その技術開発のために実地での動作検証を行い、課題を抽出することは必要である。

こうした上記の課題に対するソリューションとして5Gを活用できれば、いずれも大きな改善が見込まれ、自動運転システムの安全運行に資する技術が確立されるため、本事業においては上記3つのソリューションに焦点を絞って技術開発と評価を行うこととした。

3.2.4 課題解決ソリューションの要件

本調査検討では、前述のように、自動運転バスを無人移動バスサービスとして実用化するために必要な技術的解決策を5Gの通信技術との連携によって実現する可能性を見出すことを目的としている。現在、世界各国において自動運転の技術の研究開発が精力的になされている一方で、様々な技術的な課題に直面している。

その中の一つが、自動運転システムの認知機能である。自動運転システムは主に車載されているレーザーセンサーやミリ波レーダー、カメラといったセンサーを用いることで、車両周辺の状況を認知し、将来を含む危険性に対して判断を行うための情報を集める必要がある。しかしながら、公道での走行を前提とした場合、通信性能について、試験路と公道では環境が異なることについて留意が必要である。

表 3.2.4-1 課題解決ソリューションの要件

課題解決ソリューション		遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両ー遠隔管制室間））	路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側ー遠隔管制室間））	路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（車両ー路側間））
トラヒック条件	アプリケーション	車載カメラ・センサーの情報表示 DL:遠隔監視・操作者から制御情報 UL:車載カメラ映像、車載センサー情報	車載カメラ・センサーの情報表示 DL:遠隔監視・操作者から制御情報 UL:路側カメラ映像、路側センサー情報	AI を活用したリアルタイム判定 DL:交通状況データ UL:交通状況データ
	上位レイヤプロトコル	映像:UDP 制御:TCP	映像:UDP 制御:TCP	空き状況データ:UDP
	アプリケーションレイヤスループット	DL: 5 Mbps UL:40Mbps	DL: 5 Mbps UL:20Mbps	DL:100Kbps UL:100Kbps ※AI 処理にてデータ量削減前提
	DL:UL 比率	1 : 1		
保守要件	安全性	8時間連続	8時間連続	8時間連続
	復旧対応	リセットで復旧できればOK	リセットで復旧できればOK	リセットで復旧できればOK
	冗長性	冗長なし	冗長なし	冗長なし
	保守性	オフライン（手動）で実施	オフライン（手動）で実施	オフライン（手動）で実施

サイバーセキュリティ対策については、ローカル5Gでは下記の図3.2-1に示すとおり、自営網で構築しており、事前に登録した端末のみを接続することによって完全な閉域網とすることで安全性を担保している。また、ローカル5Gを設置してあるボックスは施錠し、SIMの盗難防止対策を実施した。

キャリア5Gの場合は、下図3.2-2に示すとおり、インターネット上のクラウドサービスを経由することで、群馬大学のネットワークポリシーに則って利用し、群馬大学側はfirewallなどで、遠隔管制室と通信できる機器を限定することによって安全性を担保した。

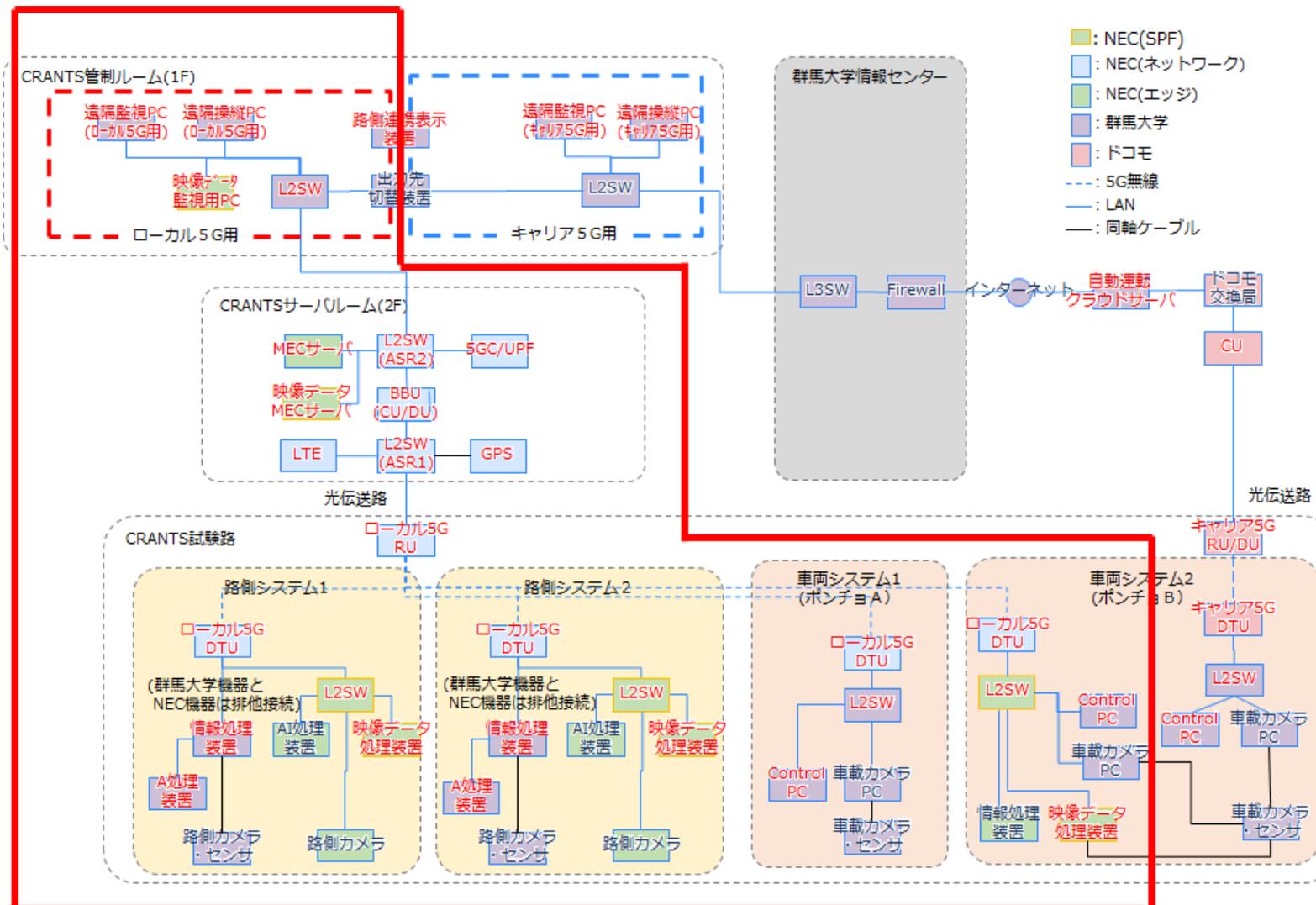


図 3.2.4-1 サイバーセキュリティ対策 (ローカル5G)

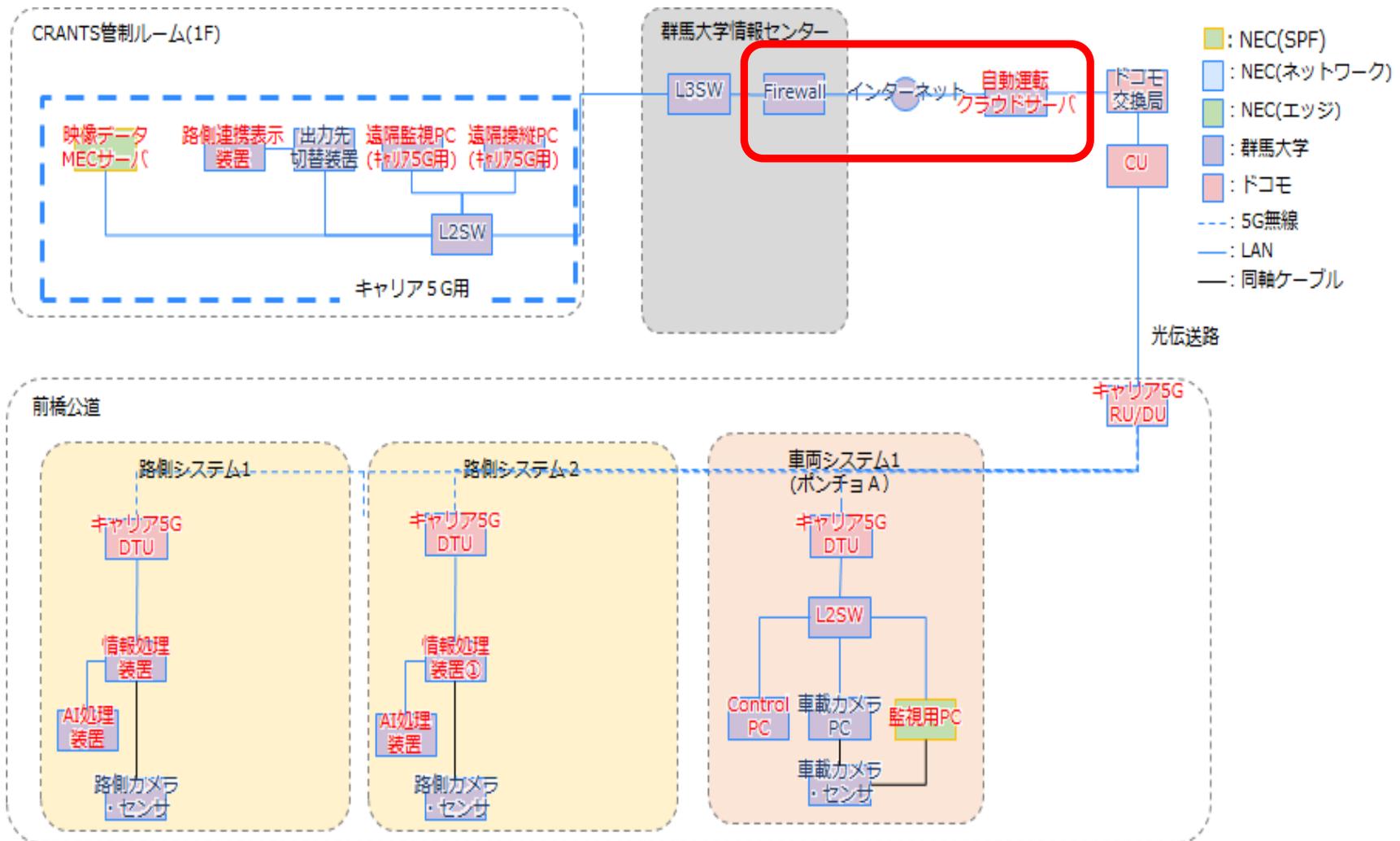


図 3.2.4-2 サイバーセキュリティ対策 (キャリア5G)

3.3 実証環境の運用

公道実証実験の実施においては、地域交通事業者である日本中央バス株式会社の運転手が、自動運転バスに登場し、レベル2相当の自動運転走行を実施した。また遠隔管制室においては、総合警備保障株式会社によって遠隔監視・操縦管制の検証が行われた。検証にあたっては、それぞれ以下、表 3.3-1、図 3.3-1、3.3-2 のとおり事前説明を実施した。

表 3.2.4-1 事前説明の実施日時・内容

日時	対象	内容
令和3年2月11日 令和3年2月13日	日本中央バス株式会社	本番環境におけるシステム運用のリハーサル
令和3年2月1日	総合警備保障株式会社	システムの操作説明とアンケートや実験内容についての説明

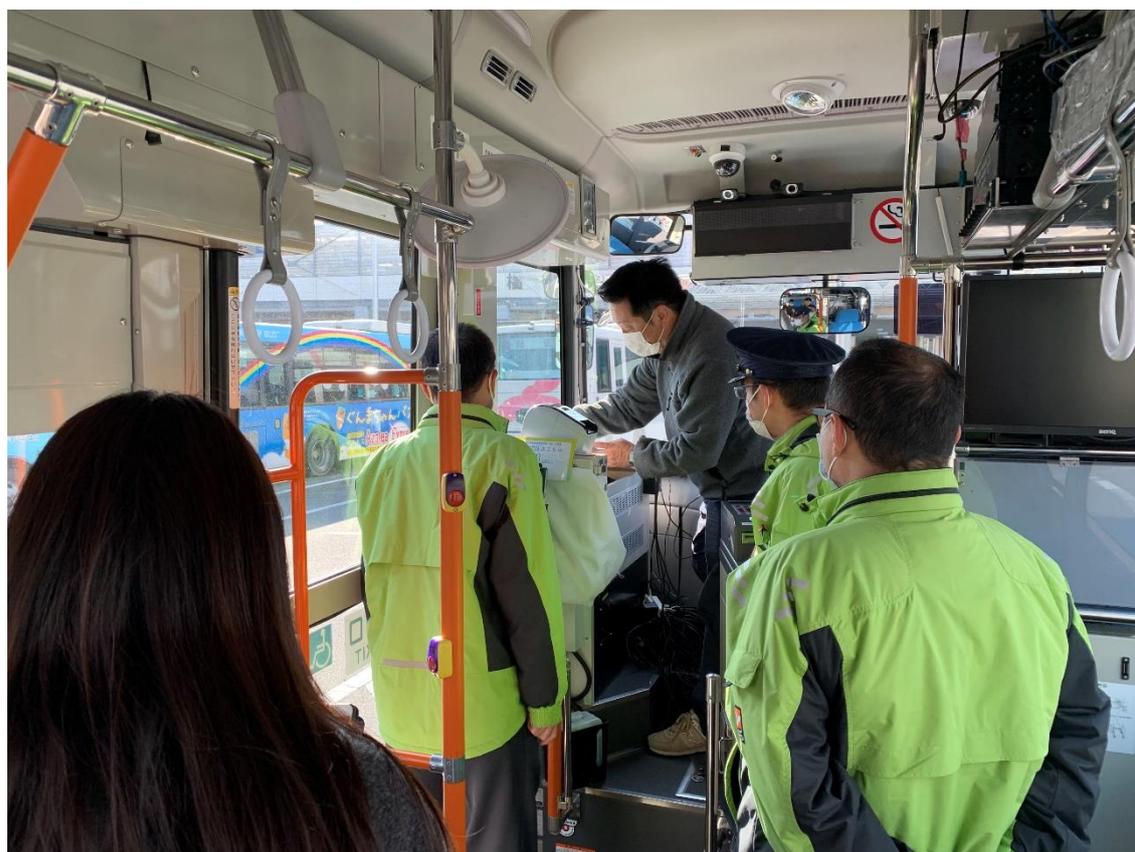


図 3.2.4-1 日本中央バス株式会社 事前説明の様子



図 3.2.4-2 総合警備保障株式会社 事前説明の様子

実証期間中については、公道走行実験を行った、令和3年2月15日から28日の期間において、下記の図3.3-3に示す体制でヘルプデスクの設置を行った。なお、実証期間中における不具合等の問合せについては発生しなかった。

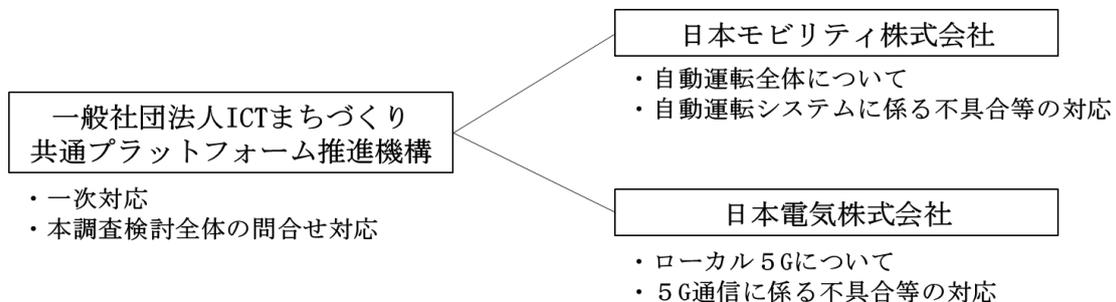


図 3.2.4-3 ヘルプデスク運用体制

3.4 関連事業

3.4.1 前橋版 MaaS 実証実験

本調査検討では、令和3年2月15日から2月28日の期間において、JR前橋駅—上毛電鉄中央前橋駅間のシャトルバス区間において、自動運転バスの公道走行実証を実施した。その際、ローカル5G利活用に関する検証の他、国土交通省「日本版MaaS推進・支援事業」における「前橋版MaaS」の取り組みについて検証を行った。

前橋市では、地域公共交通網形成計画に基づく交通ネットワークの再構築を行い、市

民の移動利便性の向上を目的として、令和元年度に実施された「スマートモビリティチャレンジ」に提案し、国土交通省及び経済産業省の両省より採択を受け、自動運転バスを含む多くの交通モード（鉄道、タクシー、デマンドバス、自転車等）を統合した MaaS アプリの開発を行った。自家用車移動の高い分担率や、交通事業者間の連携不足等を用意とした公共交通の衰退に対して、自動運転バスとオンデマンド型の交通サービス等新しい交通サービスを導入する前橋市では、既存の公共交通機関と連携した一括ルート検索や、決済の実施、さらに仕組みの導入による郊外から中心部への移動をきっかけにした、市内での消費の拡大などを目指して本事業を推進した。本年度においては、マイナンバーカード認証基盤と連携し、利用者属性情報を活用した割引の実施や医療連携等、MaaS 環境構築による更なる利便性の向上を行うことによって、市民の公共交通に対する意識変容や、社会受容性、実運用に向けた実現可能性などを検証することを目的としていた（表 3.4.1-1）。

表 3.4.1-1 日本版 MaaS 推進・支援事業の概要

項目	内容
事業名	国土交通省「日本版 MaaS 推進・支援事業」
目的	地域公共交通利便増進実施計画に基づく等間隔運行及び運賃プール制等の検討も含めた交通再編を実施していく中で、交通モードの一括検索・予約・決済を実施する。マイナンバーカード認証基盤と連携し、利用者属性情報による割引等の運賃施策や医療連携等といった、MaaS 環境の構築による利便性の向上により市民の公共交通に対する意識変容、社会受容性、実運用に向けた実現可能性を検証する。
実施概要	<p>【交通再編を有効化する運賃施策を MaaS 環境下にて実施】</p> <p><市内中心部>定額制チケットを提供。市内中心エリアの回遊性向上及び他産業への波及効果を検証</p> <p><市内郊外部>郊外部から中心部へ複数交通モードの経路検索・予約を一括して実施。また、乗換割引を実施することで、中心部へのアクセス性を向上。利用者の行動変容を検証する。</p>
事業計画	<p>令和2年12月21日から令和3年3月12日までの期間において、以下の目標を立てて、検証を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・マイナンバーカード連携による特殊割引登録者数、利用者数 目標値：登録者数 200 人、利用者数 100 人 ・公共交通の定額制（市中心部）による公共交通の利用回数の変化 目標値：月 2 回以上の利用回数の増加率 30%増 ・乗継割引チケット（郊外部⇒中心部等）による外出行動の変化 目標値：月 2 回以上の中心部への外出行動の増加率 30%増
実施主体	<p><前橋市新モビリティサービス推進協議会></p> <p>構成員：前橋市地域公共交通再生協議会、前橋市、一般社団法人 ICT まちづくり 共通プラットフォーム推進機構、国立大学法人群馬大学、株式会社 NTT データ、株式会社 NTT データ経営研究所、株式会社 NTT ドコモ、株式会社未来シェア、東日本旅客鉄道株式会社高崎支社、各交通事業者等</p>

本調査検討では、前橋版 MaaS の取組みのうち、将来、自動運転バスの無人走行（レベル3）時の顔認証による運賃決済を視野に入れた、顔認証技術の検証を行った（図 3.4.1-1）。JR 前橋駅—上毛電鉄中央前橋駅の同区間において、自動運バスの乗降時に顔認証することを確認するため、本市内外の在住を問わずモニターを募集して検証が行われた（図 3.4.1-2）。実施にあたっては、マイナンバーカード認証基盤と連携し、スマートフォンの専用アプリケーションを用いることで、本人の顔画像を事前登録することが必要であった。

市民アンケートの結果、約 80%（サンプル数：87）の方が、顔認証の利用が容易であるとともに、満足度が高く、及び将来の決済方法として期待できると回答しており、将来の前橋市の自動運転の実装において、利用者の運賃決済の方法の一つとして有効であると確認することが出来た。

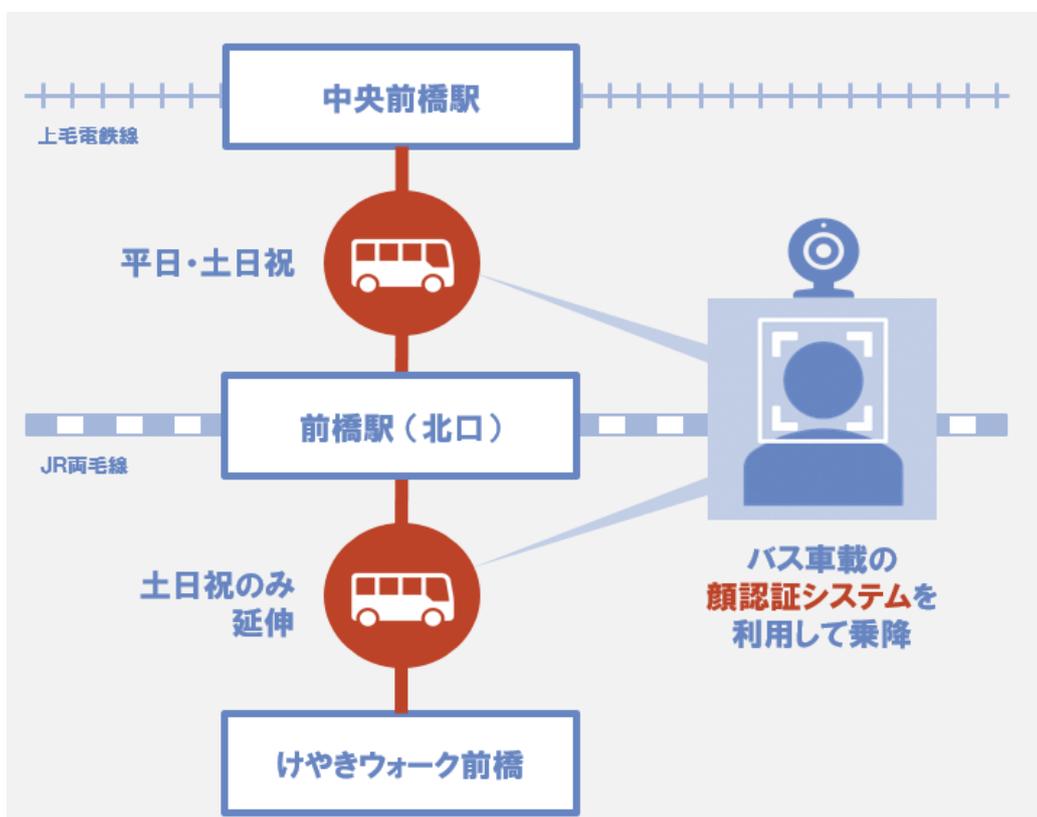


図 3.4.1-1 顔認証実施概要



図 3.4.1-2 顔認証による乗車の様子

3.4.2 他地域連携（沼津市）

本調査検討におけるシステム開発事業者の一つである、日本電気株式会社では、静岡県が主催する「しずおか自動運転 ShowCASE プロジェクト」（表 3.4.2-1）において、令和 2 年度の活動の一つとして静岡県沼津市にて令和 3 年 1 月 13 日から 22 日の期間、JR 沼津駅南口から沼津港まで自動運転バスの実証実験を実施し、5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間、路側－路側間）のユースケースについて検証した。

本調査検討とは異なる事業において、5G 対応型車両制御直結ソリューション（車両－路側間）のユースケース検証を実施し、その結果を前橋市のユースケースに対してフィードバックすることで、自動運転の社会実装に向けたノウハウの蓄積を行うこととした。実証したユースケースを下記に示す（表 3.4.2-2）。詳細については、4.9 課題解決システムの他地域連携（沼津市）にて記載する。

表 3.4.2-1 しずおか自動運転 ShowCASE（沼津市）の概要

項目	内容
事業名	しずおか自動運転 ShowCASE(沼津市)
目的 (※1)	自動走行に対する住民理解の促進に向けた方策を検討すること及び次世代モビリティに対する利用者の評価を把握することを目的に実証実験を行う。

実施概要 (※2)	5Gを活用した道路の動的情報収集
2020年度 検証内容 (※2)	車両、人流の多い交差点では死角となる箇所があり、多くの危険が隠れている。今年度の実験では、大手町交差点において走行時の死角や歩行者・路上駐車等の動的情報をカメラで検知し、5Gを活用して情報を送信することで、自動運転車両のタブレットに交差点情報を表示し、自動走行を支援する。
実施主体	静岡県

出所) (※1) しずおか自動運転 ShowCASE プロジェクト全体計画・事業計画 (2018~2020 年度) より
https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-570/documents/190312_4zenntaikeikaku.pdf 2021年3月26日取得

(※2) 沼津市運行チラシより
https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-570/documents/numadu_tirasi.pdf 2021年3月26日取得

表 3.4.2-2 しずおか自動運転 ShowCASE 実証ユースケース概要

No.	提供価値	実証テーマ	概要	表示画面
1		横断者検知	交差点の横断者状況を車両へ通知 (タブレットへ表示)	車載タブレット
2		路上駐車検知	交差点周辺の路上駐車情報を車両へ通知 (タブレットへ表示)	
3	安心・安全	自動運転車両接近 右左折検知	アーケード内の情報表示板へ自動運転車両の接近と交差点右左折車両の検知を通知する技術実証	情報表示板
4		速度超過検知	交差点周辺※1の速度超過車両※2を検知する技術実証 ※1今回は一部方向のみ (東→西) ※2速度閾値設定	
5	道路維持 管理	道路インシデント 検知	交差点周辺のインシデント (障害物) を車両へ通知 (タブレットへ表示) ※実際に障害物があった際に通知	車載タブレット

4. 課題解決システムの実証

4.1 前提条件

4.1.1 地域課題・ニーズ

将来的な人口減少によるバス路線の維持困難や、バス運転手不足といった前橋市の抱える地域課題に対応するため、本市では平成 30 年度に営業路線バスの実運用環境における、一般客乗车型及び、長期間運行する全国初の自動運転の取組みを実施した。初年度では、公道走行、市民の社会受容性調査を行い、次年度の継続実証においては、2 台同時運行による遠隔監視について検証した。自動運転実装の実現に向けては、複数台を管制室から遠隔監視・操縦管制を行うことで、バス運転手不足に対応し、コストメリットが発生すると考えられるが、その実現に向けては、ロータリー内など歩車混雑地点の交通環境や、死角からの車両等の接近をリアルタイムに把握することで、遠隔監視・操作者の判断時間を十分に延長することが求められていた（表 4.1.1-1（表 2.3.2-2 を再掲））。

本調査検討では、上記の遠隔型自動運転の実現に向けた課題解決のため、5G の「高速・大容量」「低遅延」の特性を生かして、遠隔監視・操縦管制、路車間協調通信の課題解決システムについて検証した。検証にあたっては、①群馬大学試験路におけるローカル 5G の電波伝搬特性を解明し、②路車間協調通信、遠隔監視・操縦管制について群馬大学試験路のローカル 5G 環境下での性能評価、③前橋市においてキャリア 5G を活用することで当該仕組みの一部を検証し、実証モデルをベースに普及展開も視野にいられた検討、といった手順によって行った。

表 4.1.1-1（再掲）自動運転バス導入に向けての課題

項目	内容
より安全な走行技術の実現	自車位置特定のため GPS を補完する技術が必要 ・道路側に磁気マーカーを敷設し、バス側のセンサーが読み取り ・白線の読み取りなど
駅ロータリーの改善	既存乗降場所は状況に応じて、1 バースに複数台停車など
道路工事・駐車車両・緊急車両	工事を事前に把握する仕組み、駐車車両をなくす環境づくり 緊急車両対応など自動運転の技術としては「避ける」技術
遠隔監視・操縦管制	通信画像品質の悪化、指令の遅延
路線バスへの導入に向けた課題	車椅子対応、運賃支払いの確認 導入スキーム 遠隔監視・操作は誰がするのか（コスト）

表 4.1.1-2 本調査検討における課題解決システム

実証アプリケーション	5Gの特性	便益
遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））	高速・大容量	車載カメラの高画質化、センサー情報を遠隔管制室に転送することで遠隔監視・操作者の安全確認に貢献
路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））	高速・大容量	見通し外の情報（死角等）が遠隔管制室に転送することで遠隔監視・操作者の安全確認に貢献
路車間協調通信②（5G対応型車両制御直結ソリューション（車両－路側間））	低遅延	緊急停止等のリアルタイム性が必要な遠隔業務について自動化することで遠隔監視・操作者の負荷を軽減・効率化

4.1.2 実証に関する留意事項への対応

4.1.2.1 ガイドラインへの対応

本調査検討においては、JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅の公道区間において、乗客を乗せた実証実験を実施する。実証実験の実施にあたっては、警察庁の定めた「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン(平成 28 年 5 月)」に則り、実験を行う。本ガイドラインでは、公道実証実験の内容等に即した安全確保措置として、①実施主体は、公道における実証実験の実施前に、実施しようとする公道実証実験の内容を踏まえ、実験施設等において公道において発生し得る様々な条件や事態を想定した走行を十分に行い、実験車両が、自動走行システムを用いて安全に公道を走行可能であることを確認するべきである、②実験施設等における確認を終えてから当分の間は、想定外の事態が比較的生じにくいと考えられる環境で公道実証実験を行い、十分にその安全性が確認されてから、徐々に公道実証実験の環境を変えるなど、公道実証実験については、その内容を踏まえ、安全性を確認しながら段階的に実施されるべきである、③実施主体は、実施しようとする公道の道路交通環境を事前に確認し、公道実証実験の目的や内容及び当該公道の状況に応じて、必要と考えられる場合には、適切な安全確保措置を講ずるべきである、④実施主体は、公道実証実験の関係者（実験車両に乗車する者を含む）間で認識を共有すべき事項（自動走行システムが故障した場合や交通事故が発生した場合等の緊急時における具体的な対応要領や連絡体制等）を书面化し、関係者への周知を図るべきである、といった安全確保措置を定めている。前橋市においては、平成 30 年度の自動運転バス実証実験において、本ガイドラインに基づき、関係者（表 4.1.2-1）に対して実施計画の事前説明を実施した。

表 4.1.2-1 事前説明を行った関係者一覧

群馬県警察本部	東日本旅客鉄道株式会社
前橋警察署	上毛電気鉄道株式会社
国土交通省関東運輸局群馬運輸支局	一般社団法人群馬県バス協会
高崎河川国道事務所	前橋市内自治会
群馬県前橋土木事務所	前橋市議会
前橋商工会議所	

さらに、群馬大学試験路、及び平成 29 年 11 月より公道におけるデータ収集を実施することによって、公道自動運転実証に向けた準備を重ねてきた（表 4.1.2-2）。それぞれの段階でチラシによる市民向けの周知を行い、平成 31 年 2 月 26 日には、市民説明会を実施し、一定程度の社会受容性を確認した。

表 4.1.2-2 公道におけるデータ収集の経緯

時期	実施内容	一般客の乗車
平成 29 年 11 月	実験車両（普通自動車両タイプ）によるデータ収集・システム構築	不可
平成 30 年 6 月	実験車両（路線バス車両タイプ）によるデータ収集。実験用バスによる手動運行を行った。	可
平成 30 年 10 月	実験車両（路線バス車両タイプ）によるシステム構築。走行ルートを低速で走行し、データ収集を行った。	不可
平成 30 年 12 月	実験車両（路線バス車両タイプ）による自動運転運行。通常シャトルバスとして、乗務員が運転席に搭乗する形式で公道実証実験を行った。	可

本ガイドラインで現行法上、運転者となる者が緊急時等に必要な操作を行うことが出来る自動走行システムである場合には、次の表 4.1.2-3 中の条件を満たすことによって、場所や時間にかかわらず、公道における実証実験の実施が可能であることを定めており、本調査検討における実証実験の対応状況を合わせて記す。

表 4.1.2-3 公道実証実験実施の条件

条件	対応
公道実証実験に用いる車両（以下「実験車両」という。）が道路運送車両の保安基準（昭和26年運輸省令第67号）の規定に適合していること（同令第55条第1項に規定する地方運輸局長の認定又は第56条第4項に規定する国土交通大臣の認定を受け、規定の特例を受けているものを含む）。	公道実証実験に用いる車両については、道路運送車両の保安基準を満たすため、同令55条第3項に定める規定する事項を記載した申請書を地方運輸局長に提出し、その認定を受けている。
運転者となる者が実験車両の運転車席に乗車して、常に周囲の道路交通状況や車両の状態を監視（モニター）し、緊急時等には、他人に危害を及ぼさないよう安全を確保するために必要な操作を行うこと。	実験車両には、日本中央バス社の自動運転運転手が乗車し、常に周囲の道路交通状況や車両の状態を監視のもと、緊急時等にあたっては、手動運転に切り替え安全を確保するための必要動作を行うことが出来る状態で実施している。
道路交通法を始めとする関係法令を遵守して走行すること。	道路交通法、その他関係法令を遵守のもと、走行している。

4.1.2.2 テストドライバーの要件

テストドライバーの要件として、以下表 4.1.2-4 に規定される内容を満たす必要がある。CRANTS 及び、自動運転車両の運転手を担当する日本中央バス社では、平成30年度の前橋市自動運転バス実証実験において、実施に向けた準備として、本ガイドラインに基づき、テストドライバー講習を実施することで、8名のテストドライバーを養成した。本調査検討においても、テストドライバーとして要件を満たす運転手によって、運行が実施された。

表 4.1.2-4 テストドライバーの要件

	規定			
1	テストドライバーは、実験車両の種類に応じ、法令に基づき運転に必要とされる運転免許を保有している必要がある。			
2	テストドライバーは、常に道路交通法を始めとする関連法令における運転者についての義務を負い、仮に、交通事故又は交通違反が発生した場合には、テストドライバーが、常に運転者としての責任を負うことを認識する必要がある。			
3	実施主体は実験施設等における確認を終えてから当分の間のテストドライバーについて、次の要件を満たしていることを確認するべきである。 <table border="1" data-bbox="327 1836 1356 2004"> <tr> <td>相当の運転経験を有し、かつ、運転技術が優れていること。</td> </tr> <tr> <td>実験車両の自動走行システムの仕組みや特性を十分に理解していること</td> </tr> <tr> <td>公道実証実験の実施前に、実験施設等において、自ら実験車両の自動走行システムを用いて運転し、緊急時の操作に習熟していること。</td> </tr> </table>	相当の運転経験を有し、かつ、運転技術が優れていること。	実験車両の自動走行システムの仕組みや特性を十分に理解していること	公道実証実験の実施前に、実験施設等において、自ら実験車両の自動走行システムを用いて運転し、緊急時の操作に習熟していること。
相当の運転経験を有し、かつ、運転技術が優れていること。				
実験車両の自動走行システムの仕組みや特性を十分に理解していること				
公道実証実験の実施前に、実験施設等において、自ら実験車両の自動走行システムを用いて運転し、緊急時の操作に習熟していること。				

4	実施主体は、自動走行システムの実用化に向けた検証等のため、(3)の要件を満たさない者をテストドライバーとする場合には、次の措置を講ずるべきである。
	<p>(3)の要件を満たすテストドライバーによる公道実証実験を繰り返し行うことにより、実験車両の自動走行システムが公道において安全に機能することを十分に確認すること。</p> <p>公道実証実験の実施前に、当該システムの仕組みや特性を十分に理解した者からテストドライバーに対し、当該システムの特性、想定される緊急時等における具体的な対応要領等について、十分な説明を行ってこれを理解させるとともに、テストドライバーに加え、テストドライバー以外の当該システムの仕組みや特性を十分に理解した者が実験車両に同乗して緊急時等に必要な操作を補助するなど、十分な安全確保措置を講ずること</p>
5	テストドライバーは、自動走行システムを用いて走行している間、必ずしもハンドル等の操作装置を把持している必要はないが、常に周囲の道路交通状況や車両の状態を監視し、緊急時に直ちに必要な操作を行うことが出来る必要がある。

4.1.2.3 関係機関調整

「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン」では、実施主体が新規性の高い技術を用いた自動走行システムに関する公道実証実験や、大規模な公道実証実験を実施する場合には、その内容等に応じて、実験車両及び自動走行システムの機能、実施場所における交通事故や交通渋滞の状況、道路上の工事の予定、道路環境・道路構造等を踏まえた助言等を受けるため、十分な時間的余裕を持って、実施場所を管轄する警察、道路管理者並びに地方運輸局に対して、公道実証実験の計画を事前に連絡するべきである旨を記している。

そのため、本実証に当たっては、当該ガイドラインの規定に基づき、次の表 4.1.2-5 に記す日程・内容等で関係機関に対し、事前連絡を行った。

表 4.1.2-5 関係者への事前説明

日程	訪問先	説明者	内容
令和2年9月28日	前橋警察署 交通課	前橋市 交通政策課	実証実験の概要 自動運転レベル2の実施 (遠隔型実証実験ではないこと)
令和2年10月21日	群馬県警本部 交通企画課 規制課	担当2名	

前橋警察署、群馬県警本部への事前連絡により、両者から次の意見等が挙げられた。

- ・今回は前回の実証と基本の形は同じで、5Gや道路側のセンサーで、より安全性を向上させる実証と認識した。
- ・キープレフトの原則を遵守願いたい。
- ・日程、運行ダイヤが確定したら共有頂きたい。
- ・道路側センサーについては、道路使用許可が必要になるため、設置するものが確定したら早めにご連絡頂きたい（許可申請の前に予め）。

この後、1月28日に路側へのセンサー、及びカメラ等実証実験検証用の測定機器の設置に関する道路使用許可を申請し、2月11日に許可を受けた。

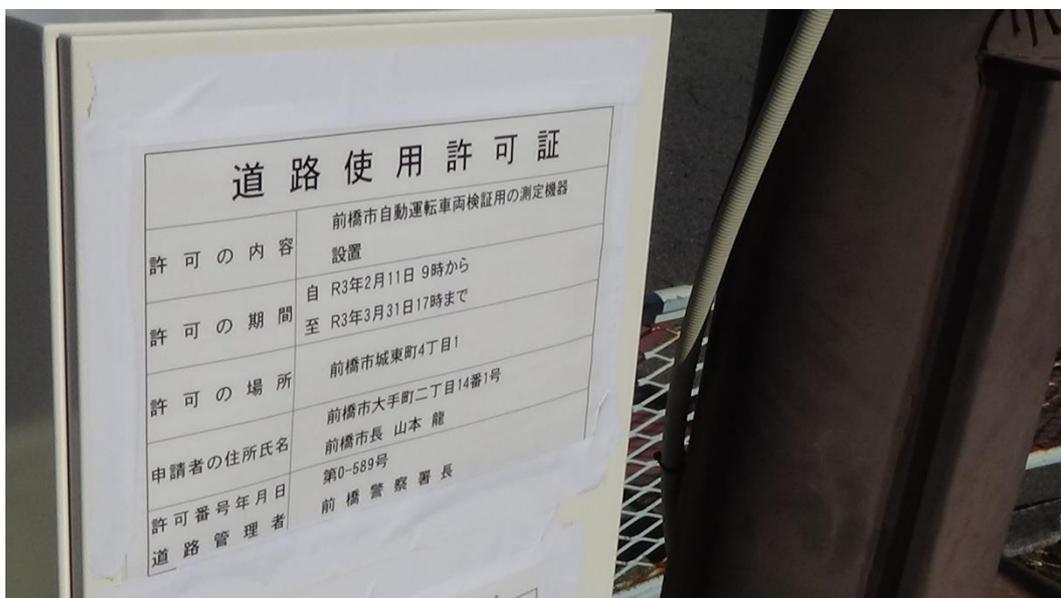


図 4.1.2-1 道路使用許可証

4.2 公道走行実証実験

本調査検討においては、前項で記載した前提条件を踏まえた上で、JR 前橋駅一上毛電鉄中央前橋駅の区間において、地域交通事業者である日本中央バス株式会社が運行するシャトルバスの一部便を自動運転化する実証実験を実施した（図 4.2-1、表 4.2-1）。実証実験においては、約2週間の期間において、運転手搭乗型の自動運転走行について検証し、約1kmの区間を20km/h程度の速度で往復走行を行った。なお、実証期間中である、2月17日（水）、2月18日（木）、2月24日（水）、2月25日（木）の4日間については、実証実験中に想定される自動運転バス調律のため、通常の手動運転のシャトルバスが走行した。



図 4.1.2-1 実証実験走行中の様子

表 4.1.2-1 公道実証実験の概要

項目	内容
運行期間	令和3年2月15日（月曜日）～令和3年2月28日（日曜日） ※水曜日・木曜日を除く全日程
運行区間	JR 前橋駅—上毛電鉄中央前橋駅（約1km） ※土曜日、日曜日、祝日は、前橋市の大型ショッピングモールである「けやきウォーク前橋」まで運行区間を伸ばして運行するが、当該区間は手動運転であった。
乗車運賃	JR 前橋駅—上毛電鉄中央前橋駅：100円（小児 50円） ※関連事業である顔認証乗降のモニターとして乗車した住民は、運賃を無料とした。

実証実験中のダイヤを図 4.2-2、4.2-3 に記す。平日は9時3分から19時17分までの間、1台の自動運転バスが稼働し、休祝日は2台のバスが運行し、そのうち一方が自動運転バスとして稼働した。なお、シャトルバスについては、休祝日において、JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅の区間に加え、JR 前橋駅から市内の大型ショッピングモールである「けやきウォーク前橋」までの区間が延伸されたが、同区間については自動運転の対象区間ではなく、手動運転で運行していた。

自動運転 手動運転

シャトルバス【平日】月曜～金曜日/時刻表					
中央駅→前橋駅行き			中央駅→前橋駅行き		
中央駅	前橋駅	けやきウォーク 前橋	けやきウォーク 前橋	前橋駅	中央駅
7:12	7:20	—	—	7:25	7:33
7:39	7:47	—	—	7:50	7:58
7:59	8:06	—	—	8:12	8:20
8:26	8:34	—	—	8:41	8:49
8:55	9:02	—	—	9:03	9:10
9:12	9:19	—	—	9:26	9:33
9:40	9:47	—	—	9:56	10:03
10:10	10:17	—	—	10:26	10:33
10:40	10:47	—	—	10:56	11:03
11:10	11:17	—	—	11:26	11:33
11:40	11:47	—	—	11:56	12:03
12:10	12:17	—	—	12:26	12:33
12:40	12:47	—	—	12:56	13:03
13:10	13:17	—	—	13:26	13:33
13:40	13:47	—	—	13:56	14:03
14:10	14:17	—	—	14:26	14:33
14:40	14:47	—	—	14:56	15:03
15:10	15:17	—	—	15:26	15:33
15:40	15:47	—	—	15:56	16:03
16:10	16:17	—	—	16:26	16:33
16:40	16:47	—	—	16:56	17:04
17:10	17:18	—	—	17:26	17:34
17:40	17:48	—	—	17:56	18:04
18:10	18:18	—	—	18:26	18:34
18:40	18:48	—	—	18:56	19:03
19:10	19:17	—	—		

図 4.1.2-2 シャトルバス時刻表（平日）

シャトルバス【休日】土曜・日曜・祝日/時刻表					
中央駅→けやきウォーク行き			けやきウォーク→中央駅行き		
中央駅	前橋駅	けやきウォーク 前橋	けやきウォーク 前橋	前橋駅	中央駅
7:12	7:19	—	—	7:25	7:33
7:39	7:46	—	—	7:50	7:58
7:59	8:06	—	—	8:12	8:20
8:26	8:33	—	—	8:41	8:49
8:55	9:02	9:12	—	9:03	9:11
9:12	9:19	9:29	9:17	9:26	9:34
9:40	9:47	9:57	9:47	9:56	10:04
10:10	10:17	10:27	10:17	10:26	10:34
10:40	10:47	10:57	10:47	10:56	11:04
11:10	11:17	11:27	11:17	11:26	11:34
11:40	11:47	11:57	11:47	11:56	12:04
12:10	12:17	12:27	12:17	12:26	12:34
12:40	12:47	12:57	12:47	12:56	13:04
13:10	13:17	13:27	13:17	13:26	13:34
13:40	13:47	13:57	13:47	13:56	14:04
14:10	14:17	14:27	14:17	14:26	14:34
14:40	14:47	14:57	14:47	14:56	15:04
15:10	15:17	15:27	15:17	15:26	15:34
15:40	15:47	15:57	15:47	15:56	16:04
16:10	16:17	16:27	16:17	16:26	16:34
16:40	16:47	16:57	16:47	16:56	17:04
17:10	17:17	17:27	17:17	17:26	17:34
17:40	17:47	17:57	17:47	17:56	18:04
18:10	18:17	18:27	18:17	18:26	18:34
18:40	18:47	18:57	18:47	18:56	19:04
19:10	19:17	19:27			

図 4.1.2-3 シャトルバス時刻表（土日祝日）

4.3 実証目標

本調査検討では、前橋市における遠隔型自動運転バスの社会実装に向けて、ローカル 5G 無線通信システムを用いた 3つのソリューションによる自動運転バスの安全確保を支援する仕組みを確立することを目指した。以下、それぞれのソリューションに関する実証目標を記す。

4.3.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

<実証目標>

遠隔監視・操縦管制の5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューションでは、自動運転車両走行中にフルHDの車載カメラ2台、及び車載センサー相当のデータが遠隔管制室まで2台同時に伝送されることを達成する。他車両挙動識別距離を75mまで拡大することを確認する。

<根拠（初期仮説）>

現状の車載カメラ情報はXGAで伝送しており、車載センサー情報はデータを加工しわずかな情報を伝送している状況である。この情報における、遠隔監視・操作者の他車両挙動識別距離は約50mであり、フルHD程度の情報に変更することで、75mまで拡大できることが予想される。現在の自動運転車両の走行速度は時速20km程度となっており、他車両挙動識別距離の拡大は、遠隔監視・操作者の判断の余裕を約4.4秒延長することが出来ると考えられる。より確実な安全確認を行うことが出来る他、宇都宮線車両の無駄な減速を抑制し円滑な運行に貢献することが出来る。

将来的な前橋における自動運転の実装においては、2台の自動運転バスを同時に走行することを予定しており、本調査検討事業においても、群馬大学試験路内にて2台で検証することによって、JR前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅区間の実運用に耐え得るものができることと証明出来る。

4.3.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））

<実証目標>

路車間協調①の5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューションでは、車両走行中に路側カメラ、及び路側センサー相当のデータが遠隔管制室まで伝送されることを2セット同時に達成する。青信号点灯時間の約30秒程度、安全確保時間が短縮することを確認する。このとき、1セットは約10Mbps相当のデータとなる。

<根拠（初期仮説）>

前項で示した、車載カメラ及びセンサーの大容量データの伝送による他車両挙動識別距離の拡大に加え、車載カメラの見通し外の情報を確認できることで、更なる安全確保支援につながる。自動運転車両の右折先の情報等を取得し伝送することによって、車両手前の信号で赤信号を待ってから安全確認してから発信せざるを得ない環境においても、青信号時に見通し外の安全確認が可能となり円滑な運行に貢献することが出来る。青信号点灯時間の約30秒程度の安全確保時間の短縮につながるため、後続車両の渋滞防止につながるほか、安全確保支援につながることを期待される。

4.3.3 路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間））

<実証目標>

路車間協調通信②の5G対応型車両制御直結ソリューションでは、路側と自動運転車両が直接通信をすることで、路側センサーが情報を取得してから、車両の停止指示までの時間が平均0.4秒以内に実施されることを確認する。

<根拠（初期仮説）>

運転手が運転中に危険を察知してブレーキを踏むまでの時間は一般的に平均0.7秒から1秒以内とされており、車両制御直結による停止指示までの時間が平均0.4秒以内と設定することで、事前に事象を察知し、運転手及び、5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューションの補助として活用可能であると考えられる。また、遠隔管制室で制御する場合はインターネットによる遅延変動が大きく、車両制御直結の場合は遅延変動が小さいため、余裕を持った制御の実現に貢献できると考えられる。

4.4 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

4.4.1 遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

4.4.1.1 実施概要

遠隔監視や操縦管制といった業務について、前橋市及びCRANTSでは令和元年度の自動運転車両の走行実験において、4G/LTEを用いていた。しかし、4G/LTE回線では自動運転車両から遠隔管制室に送信することができるデータ量が小さく、フルHDカメラの情報をXGAへ加工し伝送していた。その結果、解像度が低く、遠隔管制室で確認する動画では、遠方の対向車両の挙動が不鮮明で見えないことや、信号灯含めた周辺の交通状況の確認が困難であること、その他、自動運転車両に設置されたカメラの死角となる交通状況が不明瞭であること等、複数の課題が生じていた。

本調査検討では、5Gの高速通信の特性を活かすことによって、多数のカメラ情報を高画質で遠隔管制室に転送し、遠隔管制室の遠隔監視・操作者の安全確認の効率化を目的とするシステムの実証を行う（図4.4.1-1）。

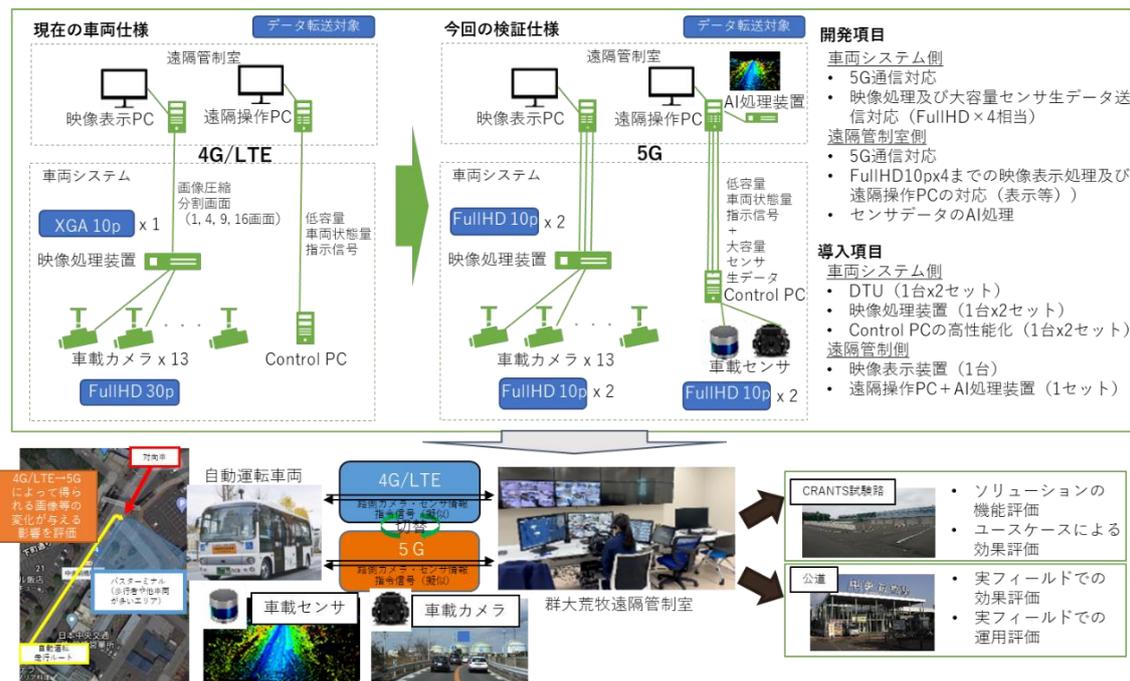


図 4.4.1-1 遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））概要

4.4.1.2 評価・分析項目

本ソリューションの評価・分析項目を、表 4.4.1-1 に記す。評価・分析においては、前年度実証実験における課題解決のため、群馬大学試験路において、対象となるユースケースを再現し、5Gの高速通信の特性を活かすことで、遠隔監視・操作者の判断に影響を与えるか確認する。

表 4.4.1-1 遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））の評価・分析項目

項目	検証場所	評価・分析項目
①	群馬大学試験路	自動運転バス2台を同時に走行させる。5G通信を活用することで、自動運転バスの車載カメラ・センサーの情報が、遠隔管制室へと正しく伝送できていること、遠隔管制室から車両側へ疑似指令信号が送れることを確認する。
②	群馬大学試験路	ローカル5G通信が途絶した場合に、キャリア5Gに通信を切り替えることによって、伝送が継続できることを確認する。
③	群馬大学試験路	自動運転バスから遠隔管制室へ、自動運転バスの車載カメラ・センサーの情報を伝送する。疑似環境において対向車が右折するユースケースを再現し、他車両挙動判別可能距離が最大75mまで拡大することを確認する。

④	群馬大学 試験路	路側から遠隔管制室へ、自動運転バスの車載カメラ・センサーから取得した情報を伝送する。疑似環境において、死角に他車両がある環境を再現し、遠隔監視・操作者の疑似指令信号の指示時間が平均80%まで短縮されることを確認する。
⑤	公道(JR前橋駅 一上毛電鉄中 央前橋駅間)	運転手搭乗型(レベル2)の自動運転走行における実験下で、5G通信を活用した遠隔監視・操作者による運用を疑似的に行い、運用可能であることを確認する。

4.4.1.3 評価・分析方法

遠隔監視・操縦管制(5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション(車両-遠隔管制室間))の評価・分析方法を下記、表4.4.1-2に記す。群馬大学試験路における遠隔管制室への情報伝送を確認し、ユースケース検証について遠隔監視・操作者へのヒアリングを実施する。また、公道における走行実装によって、模擬的に遠隔監視・操縦管制を行うことで、本システムの評価を行う。

表 4.4.1-2 遠隔監視・操縦管制(5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション(車両-遠隔管制室間))の評価・分析方法

項目	検証場所	評価・検証者	評価・分析方法
①	群馬大学 試験路	遠隔監視・ 操作者	5G通信環境において、自動運転車両を走行させ、遠隔管制室への情報伝送を検証する。
②	群馬大学 試験路	遠隔監視・ 操作者	5G通信環境において、自動運転車両を走行させ、遠隔管制室への情報伝送を確認する。
③	群馬大学 試験路	遠隔監視・ 操作者	ユースケースにおける自動運転走行を検証し、遠隔監視・操作者へのヒアリングを実施する。
④	群馬大学 試験路	運転手	遠隔監視・操作者の疑似指令信号の受電時刻について、比較検証を行う。
⑤	公道(JR前橋駅 一上毛電鉄中 央前橋駅間)	遠隔監視・ 操作者	公道実証実験中における動作を確認し、運用検証を行う。

4.4.1.4 既存手法との比較

令和元年度の前橋市公道実証実験では、4G/LTEで遠隔管制室を動作させ、その運用を行ったが、遠方の対向車や歩行者の挙動が見えず、安全状況の確認が遅くなり、円滑な運行に支障が出る可能性が指摘されていた。本事業における5Gを活用したシステムを利用することで、遠方の安全状況の確認が円滑におこなえ、より円滑な運行が可能になることが期待できる。また、円滑な運行の実現は、周囲の交通流の円滑化

にも寄与するため、交通事故等のリスクの削減効果も期待できる。

4.4.1.5 予測される事故などの整理・解決策

本システムで予想される事故としては、オペレータの判断ミスによる自動運転システムへの誤った指令を送ることに起因するものが考えられる。遠隔型自動運転の構造上、オペレータの運用が自動運転システムに優先されるため、誤った指令を送ることによって事故につながる危険性はある。これに対する対応としては、AI 技術等による、判断支援システムの構築のほか、フルプールの精緻化などが考えられる。

4.4.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

4.4.2.1 実施概要

令和元年度に実施された自動運転バスの公道実証実験では、車両に搭載されたカメラを用いて死角となる道路や、バスターミナル内などの歩車混雑地点における信号灯を含む周辺交通状況の確認に際して、4G/LTE を用いているため時間が掛かっていた。

本調査検討においては、今回 5G 通信環境に対応したシステム構成に変更することによって、上毛電鉄中央前橋駅前ロータリーにセンサー、及びカメラを搭載した路側システムを 2 セット配置することで、遠隔管制室の遠隔監視・操作者に周辺状況を通知するシステムの実証を行う（図 4.4.2-1）。



図 4.4.2-1 路車間協調通信① (5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション (路側-遠隔管制室間)) 概要

4.4.2.2 評価・分析項目

5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション (路側-遠隔管制室間) の評価・分析項目を、表 4.4.2-1 に記す。評価・検証においては、令和元年度における実証実験で確認した課題解決のため、群馬大学試験路において、対象となるユースケースを再現し、5G の高速通信の特性を活かすことで、遠隔監視・操作者の判断に影響を与えるか確認する。

表 4.4.2-1 路車間協調通信① (5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション (路側-遠隔管制室間)) の評価・分析項目

項目	検証場所	評価・分析項目
①	群馬大学 試験路	自動運転バスを 5G 通信環境で走行させ、遠隔管制室に対して路側カメラ・センサーの情報が正しく伝送できていることを確認する。
②	群馬大学 試験路	遠隔管制室に対して、路側カメラ・センサーの情報を伝送する。死角に他車両があるユースケースを再現し、その車両の挙動判別可能距離が最大 75m まで拡大することを確認する。
③	群馬大学 試験路	遠隔管制室に対して、路側カメラ・センサーの情報を伝送する。死角に他車両があるユースケースを再現し、遠隔監視・操作者が他車両の挙動を判別してから指令信号を出す時間が、平均 80% まで短縮できることを確認する。

④	公道(JR前橋駅 一上毛電鉄中 央前橋駅間)	公道において、路側カメラ・センサーを設置し、運転手登場型(レベル2)での自動運転走行実証実験を実施する。路側カメラ・センサーを活用することで、自動運転バスからの見通し外情報が75m手前から表示されることを確認する。
⑤	公道(JR前橋駅 一上毛電鉄中 央前橋駅間)	公道において、路側カメラ・センサーを設置し、運転手搭乗型(レベル2)の自動運転走行実証実験を、終日の運行が問題なく実施され、運用可能であることを確認する。

4.4.2.3 評価・分析方法

路車間協調通信①(5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション(路側-遠隔管制室間))の評価・分析方法を下記の表4.4.4-2に記す。

表 4.4.2-2 路車間協調通信①(5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション(路側-遠隔管制室間))の評価・分析方法

項目	検証場所	評価・検証者	評価・分析方法
①	群馬大学 試験路	遠隔監視・ 操作者	5G通信環境において、自動運転車両を走行させ、遠隔管制室への情報伝送を検証する。
②	群馬大学 試験路	遠隔監視・ 操作者	遠隔監視・操作者に対して、ヒアリングを実施する。
③	群馬大学 試験路	遠隔監視・ 操作者	遠隔監視・操作者の疑似指令信号の受電時刻について、比較検証を行う。
④	公道(JR前橋駅 一上毛電鉄中 央前橋駅間)	遠隔監視・ 操作者	遠隔監視・操作者に対して、ヒアリングを実施する。
⑤	公道(JR前橋駅 一上毛電鉄中 央前橋駅間)	遠隔監視・ 操作者	公道実証実験中における動作を確認し、運用検証を行う。

4.4.2.4 既存の手法との比較

令和元年度の前橋市公道実証実験では、車載のカメラのみで遠隔管制室からの監視を行っていたため、死角に存在する対向車や、バスターミナル内の歩行者の挙動が見えず、安全状況の確認が遅くなり、円滑な運行に支障が出る可能性が指摘されていた。ローカル5Gを使用することで映像が鮮明化されることにより、遠隔監視・操作において確認、判断がし易くなり、正確かつ迅速なオペレーションへ貢献することができる。と考える。

4.4.2.5 予測される事故などの整理・解決策

本ソリューションにおいて予想される事故として、本ソリューションのシステムが何らかの原因でダウンした時に、自動運転を継続したことによる、遠隔管制室のオペレータの運用方法の変更等に伴うヒューマンエラーに起因する事故が考えられる。本来本ソリューションは、自動運転システムを補助することを目的としており、本ソリューションのシステムにトラブルが発生したことによってただちに自動運転システムの運行に支障が出るものであるケースは少ない。ただし、極めて有用な情報を提供する本システムからの情報が遮断された状態で、自動運転の運行を継続した場合、オペレータの安全確認のフローなどが変化することによる安全確認不足に起因する事故が生じる可能性がある。これに対しては、運用マニュアル等の整備や訓練などで対応するほか、自動運転システム側でも、本ソリューションのシステムトラブルの状況に応じて制御判断を自動的に変更し、オペレータの負担を増やさない仕組み等の開発が求められる。

4.4.3 路車間協調通信②（5G対応型車両制御直結ソリューション（路側一車両間））

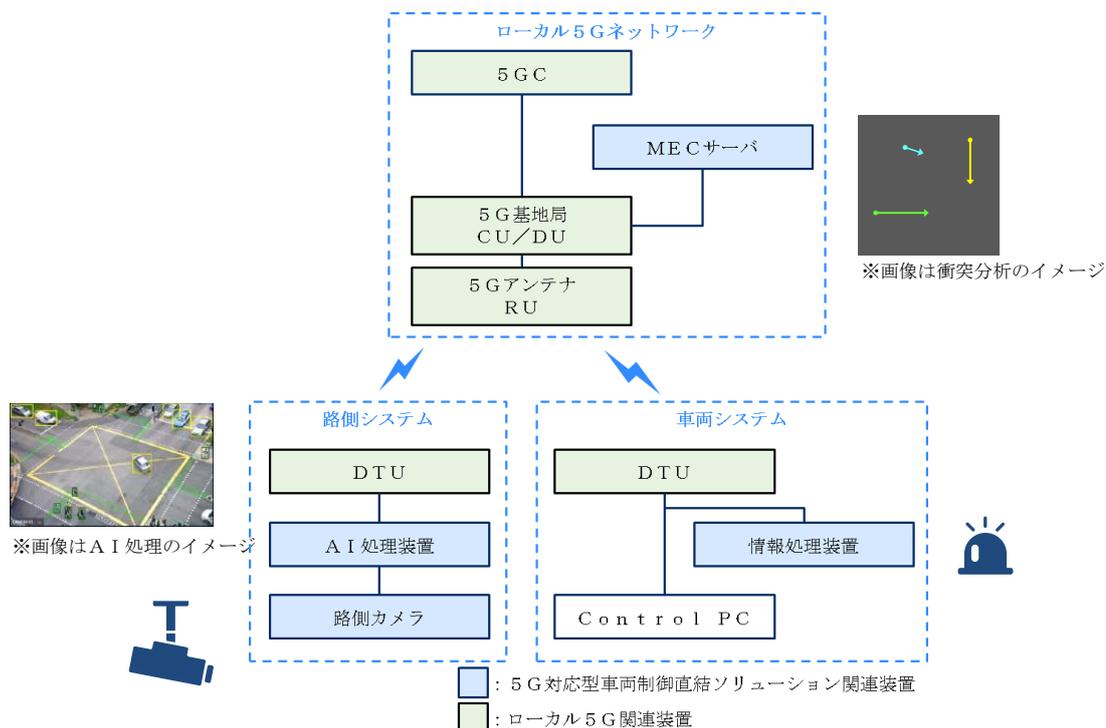
4.4.3.1 実施概要

緊急停止等のリアルタイム性が求められる運行管制の場合、4G/LTE及びインターネットを経由したセンターコンピューティングの遠隔管制では、遅延変動が大きく、リアルタイム性の確保が困難である。

本調査検討では5G及びエッジコンピューティングによる低遅延の特性を活かして、路側システムから取り出した交通情報データを車両制御に直結させることで、緊急停止等のリアルタイム性が求められる運行管制を支援するシステムの検証を行う。

本課題解決システムを導入することによる効果として、事前に危険を察知できるようになるため、自動運転車両が安全に停止できるようになると考える。

図4.4.3-1、表4.4.3-1に本課題解決システムの全体構成を示す。



路側システムにてAI処理を実施して周辺の交通状況を把握し、MECサーバを経由してローカル5Gネットワーク内でデータを折り返して車両システムへ交通状況を伝達する。

図 4.4.3-1 路車間協調通信②（5G対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間）全体構成

表 4.4.3-1 路車間協調通信②（5G対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間）構成物一覧

項目	分類	構成物	台数
1	路側システム	DTU	1台
2		AI処理装置	1台
3		路側カメラ	1台
4	ローカル5Gネットワーク	5GアンテナRU	1台
5		5G基地局CU/DU	1式
6		5GC	1台
7		MECサーバ	1台
8	車両システム	DTU	1台
9		Control PC	1台
10		情報処理装置	1台

4.4.3.2 システム概要

本課題解決システムでは、ローカル5Gネットワーク内に設置したMECサーバへ路側システムが生成した交通状況データをローカル5Gで即時に伝達し、MECサーバ上でデータ分析した結果を同じくローカル5Gで即時に車両システムへ伝達する。

以下、図4.4.3-2に課題解決システムの機能仕様とデータの流れを示す。

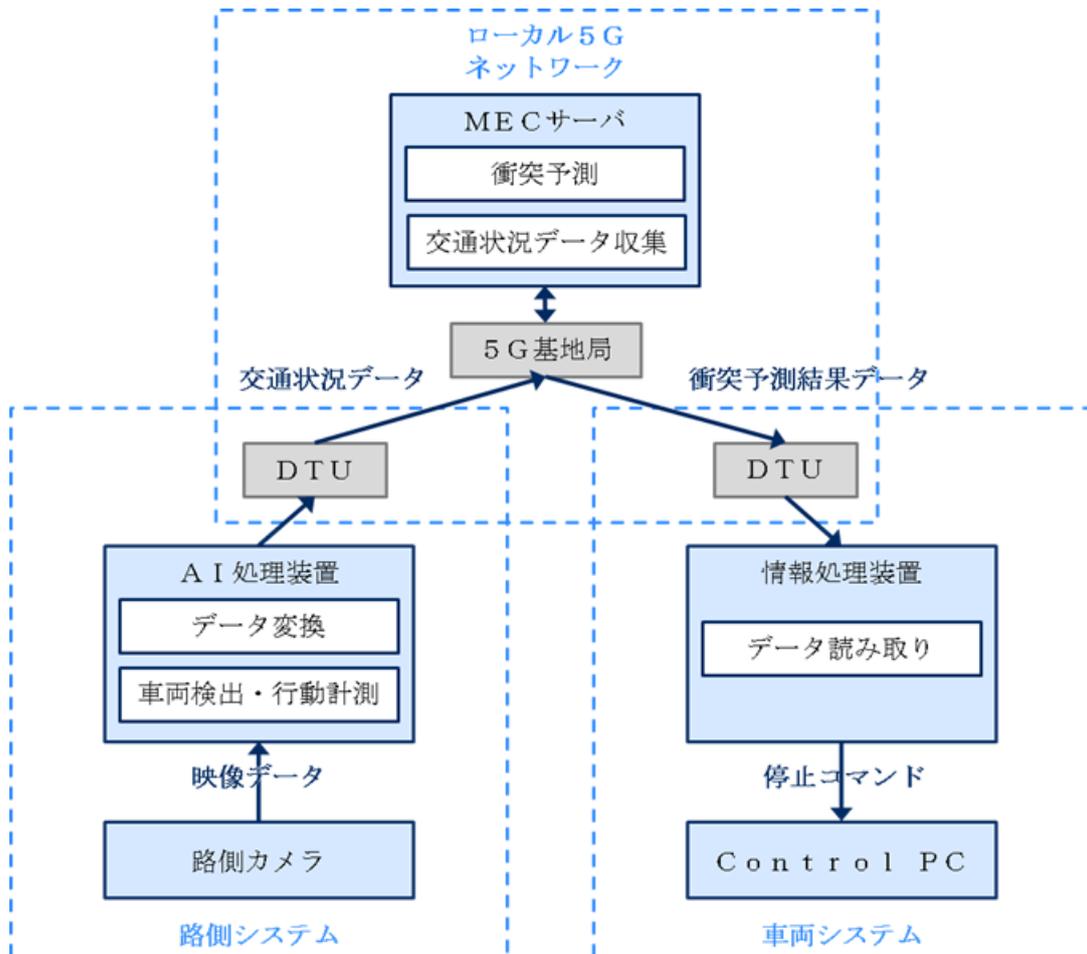


図 4.4.3-2 課題解決システムの機能仕様とデータの流れ

以下、表4.4.3-2に本課題解決システムの構成物の機能と役割を示す。

表 4.4.3-2 課題解決システムの構成物と役割

項目	分類	構成物	機能・役割
1	路側システム	路側カメラ	交差点付近に交差点を俯瞰するように設置し、各方向から交差点に進入する車両を撮影する。
2		AI 処理装置	路側カメラから映像データを取り出し、AI 処理により映像データ内の車両を検出し、各車両の行動（位置・進行方向・速度）を計測してデータ化し、MEC サーバへ送信する。
3	ローカル 5G ネットワーク	MEC サーバ	路側システムから受信した交通状況データを収集・分析して車両同士の衝突を予測する。自動運転車両内に設置した情報処理装置に対して衝突予測結果データを送信する。本処理を繰り返し実行する。
4	車両システム	情報処理装置	MEC サーバから受信した衝突予測結果データを読み取り、衝突の可能性ありの場合に Control PC へ停止コマンドを送信する。
5		Control PC	自動運転車両を制御するための装置であり、自動走行中に停止コマンドを受け付けた際に車両を自動停止する。

4.4.3.3 評価・分析項目

本課題解決システムの構成物の評価・分析項目を表 4.4.3-3 に示す。

表 4.4.3-3 課題解決システムの構成物の評価・分析項目

項目	分類	構成物	評価・分析項目
1	路側システム	DTU	<ul style="list-style-type: none"> 路側システムの AI 処理装置から 5G ネットワーク内の MEC サーバへ UDP 形式のデータを送信できること。
2		AI 処理装置	<ul style="list-style-type: none"> 路側カメラからフレーム単位で映像データを取り出すこと。 AI 処理により映像データ内の車両を検出すること。 AI 処理により各車両の行動(位置・進行方向・速度)を計測すること。 各車両の計測結果を UDP 形式のデータに変換して MEC サーバへ即時に送信すること。
3		路側カメラ	<ul style="list-style-type: none"> 交差点に進入する車両を交差点の 20 メートル手前から捉えられること。 撮影した映像データを AI 処理装置へ継続的に伝送すること。
4	5G ネットワーク	MEC サーバ	<ul style="list-style-type: none"> 路側システムの AI 処理装置から UDP 形式のデータを受信してキューに保存すること。 キューに保存された各車両の計測結果を元に衝突を予測すること。 車両システムの情報処理装置へ衝突予測結果データを即時に送信すること。
5	車両システム	DTU	<ul style="list-style-type: none"> 5G ネットワーク内の MEC サーバから車両システムの情報処理装置へ UDP 形式のデータを受信できること。
6		Control PC	<ul style="list-style-type: none"> 停止コマンドを受け付けた際に車両を即時に自動停止すること。
7		情報処理装置	<ul style="list-style-type: none"> MEC サーバから受信した衝突予測結果データを読み取り、衝突の可能性ありの場合は Control PC へ停止コマンドを送信すること。衝突の可能性なしの場合は Control PC へ異常なしコマンドを送信すること。

本課題解決システム全体の評価・分析項目を表 4.4.3-4 に記す。

表 4.4.3-4 課題解決システム全体の評価・分析項目

項目	評価場所	評価観点	評価・分析項目
1	群馬大学 試験路	AI 処理	<ul style="list-style-type: none"> ・試験路に設置した路側カメラの映像データを用いて AI 処理することにより自動運転車両と手動運転車両を検出できること。 ・試験路内を走行する自動運転車両と手動運転車両の位置・進行方向・速度を計測できること
2		衝突検知	<ul style="list-style-type: none"> ・試験路の交差点手前 20 メートルの範囲地点で自動運転車両と手動運転車両の衝突を予測できること。
3		アプリケーションのエンドツールの処理時間	<ul style="list-style-type: none"> ・路側システムにて路側カメラの映像データを取得してから車両システムの Control PC へ停止コマンドを送信までの時間が平均 0.4 秒以内を達成できること。

4.4.3.4 評価・分析方法

本検証では群馬大学試験路内にて車両同士の衝突を模擬的に実施し、その衝突を本課題解決システムにより予測して、自動運転車両を自動停止するまでを評価・分析する。評価・分析環境の構築手順を表 4.4.3-5、評価・分析の実施概要を図 4.4.3-3、評価・分析の手順を表 4.4.3-6、走行ルートと車両検知範囲を図 4.4.3-4 に示す。

表 4.4.3-5 評価・分析環境の構築手順

項目	評価・分析環境の構築手順
1	群馬大学試験路内に疑似的な交差点を設定する。
2	群馬大学試験路内にローカル 5G 環境（ローカル 5G アンテナと DTU）と路側システムを設置する。
3	群馬大学建屋内に設置したローカル 5G 基地局のデータネットワーク領域に MEC サーバを設置する。
4	自動運転車両内に車両システムを設置する。

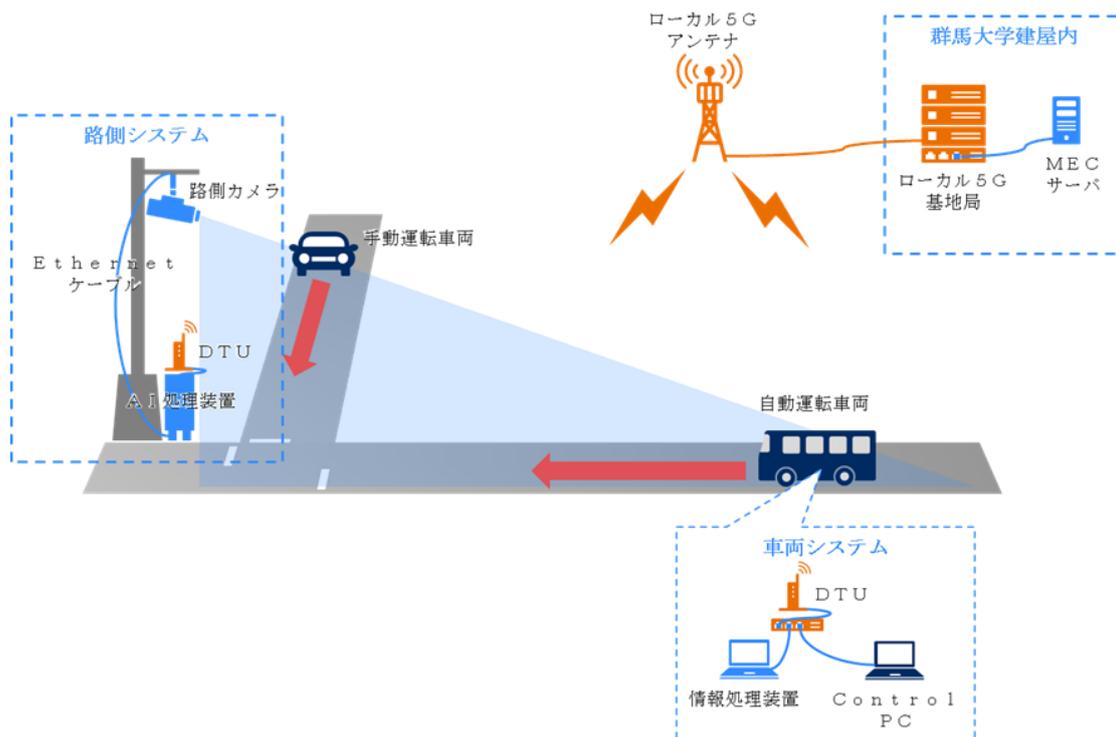


図 4.4.3-3 課題解決システムの評価・検証概要

表 4.4.3-6 課題解決システムの評価・検証手順

項目	評価・検証手順
1	自動運転車両を試験路の外周を時計回りに走行する。走行速度は時速20キロメートル弱とする。
2	自動運転車両の交差点への進入に合わせて、運転手の操作により別の方向から手動運転車両を交差点へ接近させる。走行速度は時速20キロメートル弱とする
3	運転手の操作により手動運転車両を交差点手前で停止する。
4	本課題解決システムの指示に従い自動運転車両を停止する。

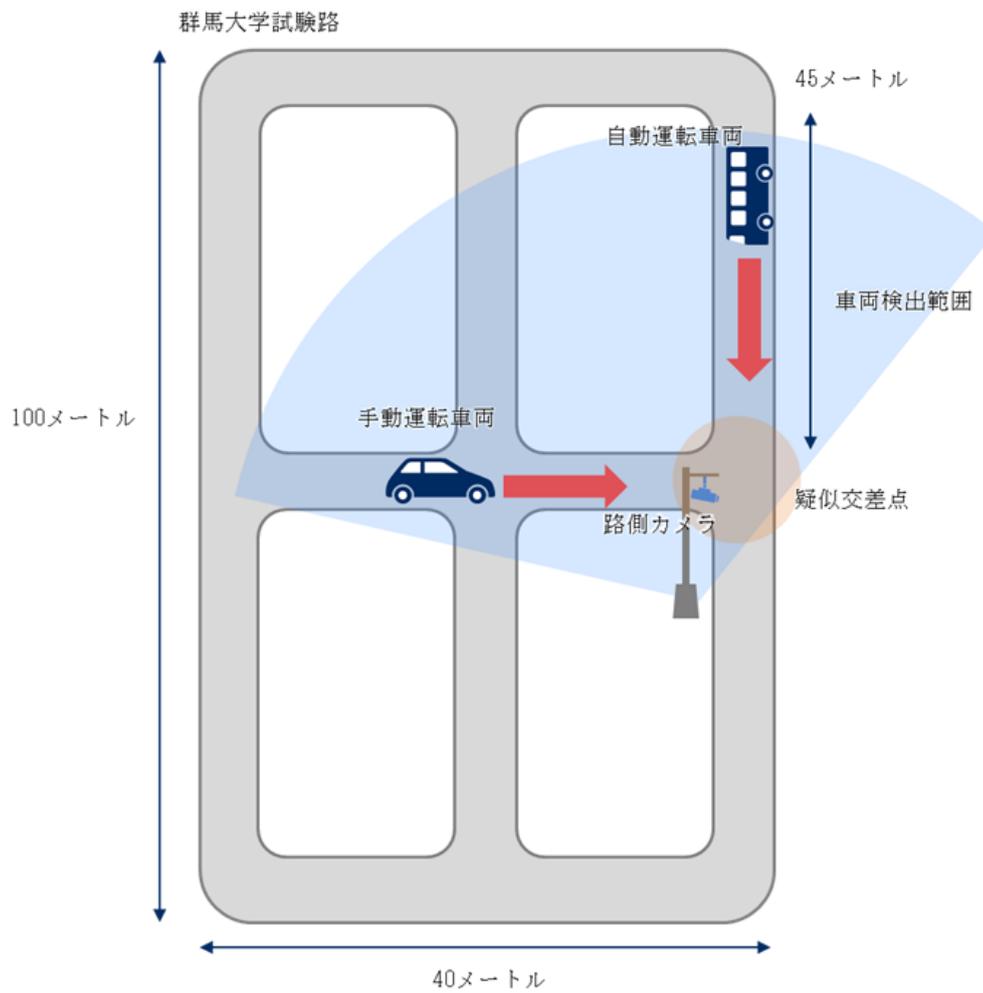


図 4.4.3-4 評価・検証時の走行ルートと車両検知範囲

衝突予測の伝達時間の測定方法は、路側システムによって映像データを取得してから車両システムの Control PC へ停止コマンドを送信までの時間を測定する。対象の区間を、以下、図 4.4.3-5 に示す。

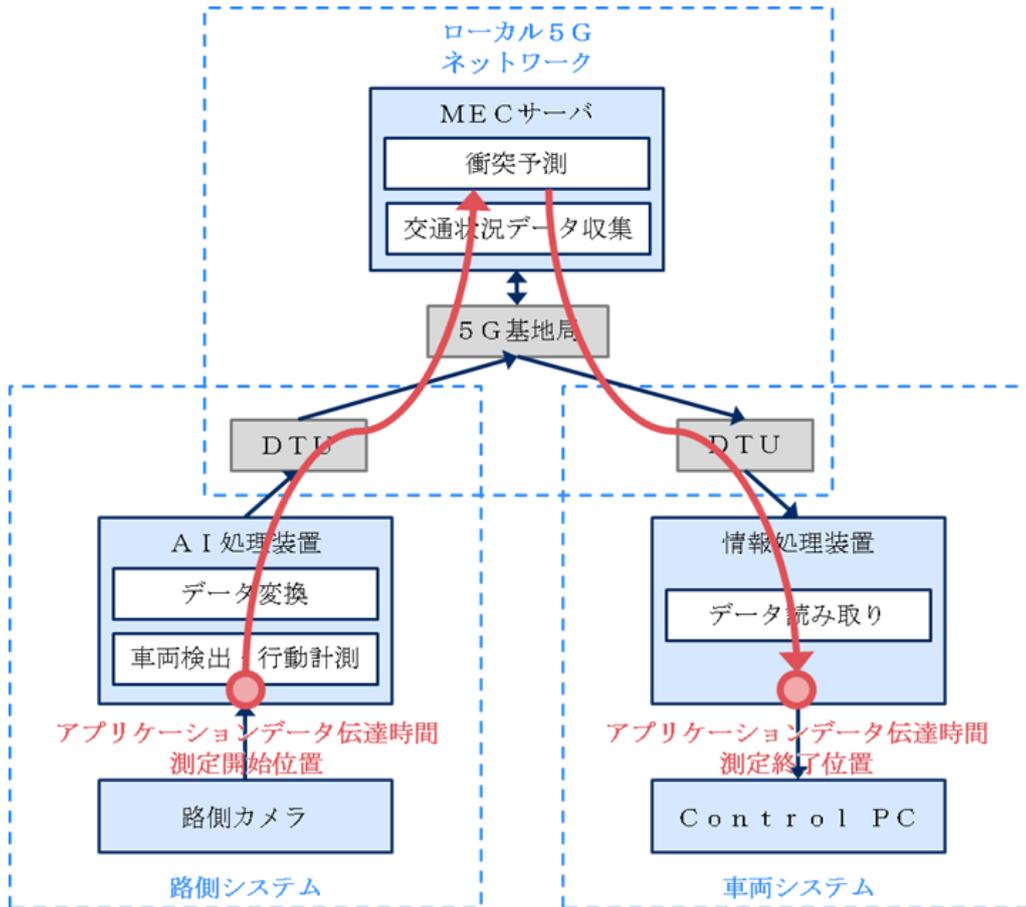


図 4.4.3-5 衝突回避に関するデータの流れと伝達時間の測定区間

本検証ではローカル5Gネットワークと各システムにて個別に処理時間を測定し、その合計時間をアプリケーションのエンドツーエンドの伝達時間として取り扱う。以下、図 4.4.3-6 に各構成物における処理内容と送信データの内容を示し、表 4.4.3-7 に、各構成物における処理時間の測定方法を示す。

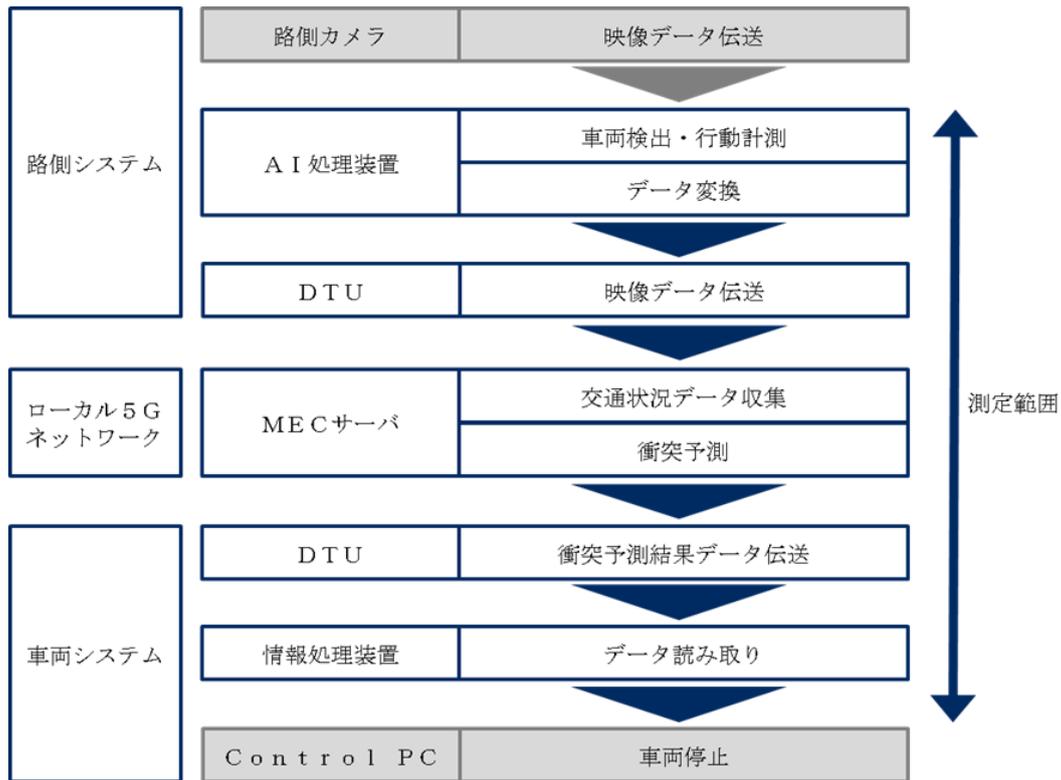


図 4.4.3-6 各構成物における処理内容および送信データ内容

表 4.4.3-7 各構成物における処理時間の測定方法

項目	分類	構成物	測定方法
1	路側システム	路側カメラ	(測定対象外)
2		AI 処理装置	路側カメラの映像データを取り出し、AI 処理を実施してから MEC サーバへ交通状況データの送信を要求するまでの時間を測定する。測定のためにアプリケーション内部にて装置のシステム時刻を用いて開始から終了までの時間を記録する。
3		DTU	AI 処理装置から MEC サーバの IP アドレス宛に PING コマンドを実行し、その応答時間の半分をデータ伝送時間とする。PING コマンドに設定するデータサイズは交通状況データと同じ 724 バイトとする。
4	ローカル 5G ネットワーク	MEC サーバ	交通状況データを受信し、衝突予測を実施してから車両システムの情報処理装置へ衝突予測結果データの送信を要求するまでの時間を測定する。測定のためにアプリケーション内部にて装置のシステム時刻を用いて開始から終了までの時間を記録する。

5	車両システム	DTU	MEC サーバから車両システムの DTU の外部 IP アドレス宛と情報処理装置から DTU の内部 IP アドレス宛（*）に PING コマンドを実行し、その応答時間の半分をデータ伝送時間とする。PING コマンドに設定するデータサイズは交通状況データと同じ 724 バイトとする。 *：MEC サーバから情報処理装置へのデータ送信には DTU のポートフォワーディングの機能を用いてデータを転送しており、PING コマンドではポートを指定して実行できないため、ポートフォワーディングによるデータ転送の前後に分けて測定する。
6		情報処理装置	衝突予測結果データを受信し、データの内容を読み取った後に Control PC へコマンドの送信が完了するまでの時間を測定する。測定のためにアプリケーション内部にて装置のシステム時刻を用いて開始から終了までの時間を記録する。
7		Control PC	(測定対象外)

4.4.3.5 既存の手法との比較

日本では以前から ITS（高度道路交通システム）に取り組んできており、路側一車両間の通信方式としては、ITS Connect、DSRC（Dedicated Short Range Communication）や光ビーコンなどが既実装されている。これらの通信方式では、通信可能距離が短いため車道上に通信端末を設置し、その下を通過する車両と通信する構成になる。また、複数の路側システムから収集したデータを集約して制御する際には、複数の路側システムから近辺の通信回線網まで伝送ケーブルを敷設する必要がある。そのため、例えば ETC のような一定の場所に設置して提供するサービスに適していると考ええる。

一方、ローカル 5G を使用した手法では、5G アンテナと車両に設置した通信端末間で広範囲に通信が可能である。また、路側システムと MEC サーバ間は無線通信であるため敷設する伝送ケーブルを削減できる。そのため、路上に複数の路側システムを設置してリアルタイムに車両へ情報を伝達するサービスに適していると考ええる。例えば今回のような、広範囲に交通状況を監視し、危険を察知した際に車両の位置に関わらず即時にデータを伝達するサービスもその一つに該当すると考える。

4.4.3.6 予測される事故などの整理・解決策

今回の衝突回避のアプリケーションでは、路側システム～MEC サーバ～車両システム間の伝送路においてローカル5Gを使用しているため、データ送信遅延やデータ欠損などの通信関連の問題が発生する可能性がある。また、AI 処理においても交差する車両などの影響で対象物の検知が遅れる可能性がある。

これらの事象が発生した際に顕在化する問題としては、車両への警告通知が遅れたために事故回避が遅れる、もしくは車両側で自律センサーによる緊急ブレーキが作動して乗客が怪我する可能性があると考えられる。

このような問題による影響を低減するために、以下の対策が必要と考える。

- ① 通信の安定性を確保するために、5G アンテナ～通信端末間の電波伝搬効率を上げる。
- ② 車両システムへ安全性に関する情報を事前かつ段階的に通知することにより、通信遅延の影響を低減する。

4.5 課題解決システムに関する効果検証

4.5.1 効果検証の実施概要

4.5.1.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－管制室間））の効果検証を行うために、群馬大学試験路内にて実験を行った。

実験においては、令和2年度の公道実証実験において使用する群馬大学所有の路線バス型自動運転車両に5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューションの車両型システムを搭載した。また同センター内の管制室に、同ソリューションの管制室側システムを設置した。4G/LTE については、ソフトバンク社システムの公衆通信網を使用し、キャリア5G とローカル5G は図 4.5.1-1 のように配置されたアンテナを使用した。

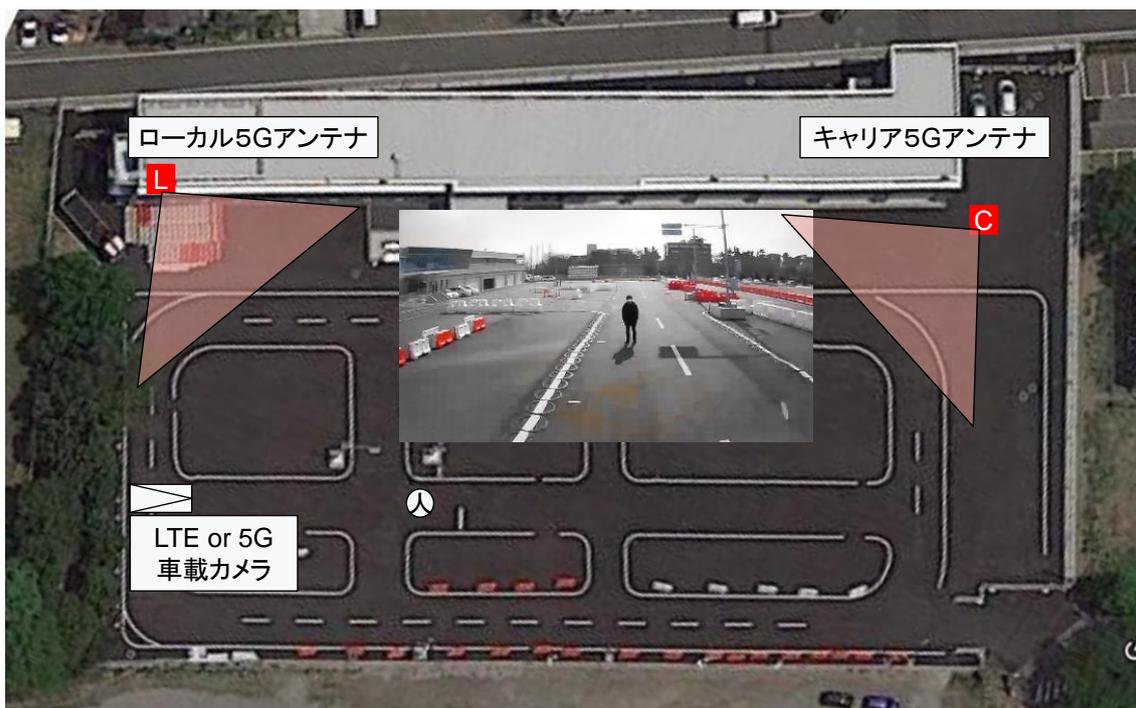


図 4.5.1-1 実験における試験路配置図

4.5.1.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））

5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間）の効果検証を行うために、群馬大学試験路にて、実験を行った。実験では、図 4.5.1-2 に示すような、試験路上に 5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間）として開発した路側デバイスを設置した。路側デバイスはカメラ、レーザーセンサー、AI 処理装置、通信装置などから構成され、ローカル 5G アンテナを介して管制室にカメラ映像やセンサーデータを送信する。走路上には実験車両の走行ルート上で死角となるように壁を設置し、その死角を補う形で路側デバイスを設置した。車両については、令和 2 年度前橋市公道実証実験にて使用する群馬大学所有の路線バス型自動運転車両を用意し、それに 5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューションの車両側システムを搭載した。



図 4.5.1-2 実験で用いた路側デバイス

4.5.1.3 路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間））

本検証では、群馬大学試験路内にて車両同士の衝突を模擬的に実施し、その衝突を本課題解決システムによって予測して、自動運転車両の車両システムへ停止指示を伝達するまでの評価・検証、及び自動運転車両の衝突回避の効果について検証する。

衝突回避の検証方法としては、課題解決システム全体の検証・評価方法と同様に、群馬大学試験路内にて車両同士の衝突を模擬し、本課題解決システムによりその衝突を予測して自動運転車両を自動停止するまでを検証する。

自動運転車両を安全かつ無駄なく停止させるためには、衝突の予測地点に対して、車両が安全に停止できる直前のタイミングで停止指示を伝達する必要がある。そこで、本検証では自動運転車両が停止線から一定範囲内に停止することを目標と設定する。

以下の図 4.5.1-3 の「車両停止範囲」内に自動運転車両が停止することが目標となる。

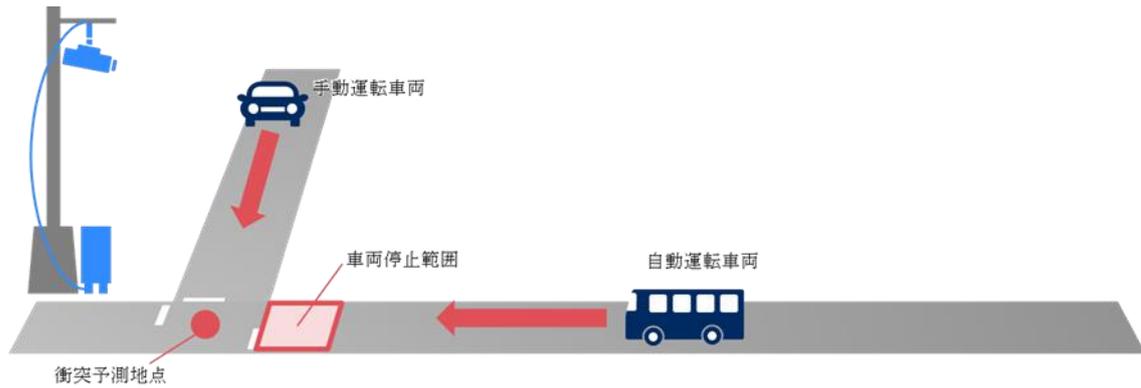


図 4.5.1-3 衝突予測地点と車両停止範囲

4.5.2 効果検証の評価・分析項目

4.5.2.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間））

本実験では、図 4.5.2-1 のように、実験車両を試験路上に配置して停車させた後、実験車両と歩行者に見立てた実験者を向かい合わせに配置する。実験者は体をポンチョに正対させランダムに首から上を左、右、正面のいずれかを向く動作を行う。この動作を、管制側システムを介してオペレータとなる被験者が観察し、その向きを判定して判定距離の識別限界を計測する。図 4.5.2-2 は管制側システムを介して伝送した実験時の映像の一例である。

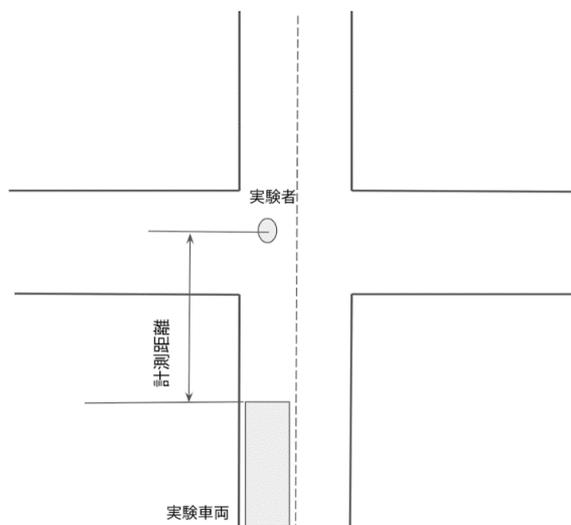


図 4.5.2-1 実験イメージ



図 4.5.2-2 管制側システムを介して伝送した実験時の映像

4.5.2.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））

本実験では、路側デバイスの有無による限界識別距離を測るため、路線バス型自動運転車両から死角位置にいる実験者を、管制側システムを介して認識できる距離を計測する。

4.5.2.3 路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間））

本検証では、交差点の停止線から一定範囲内に停止することを目標とする。車両停止範囲の目標値を設定するためには、あらかじめ自動運転車両の制動距離³のぶれ幅を把握しておく必要がある。以下、図 4.5.2-3 に制動距離の範囲イメージ図を示す。

³ 車両のブレーキを掛けてから停止するまでに移動する距離

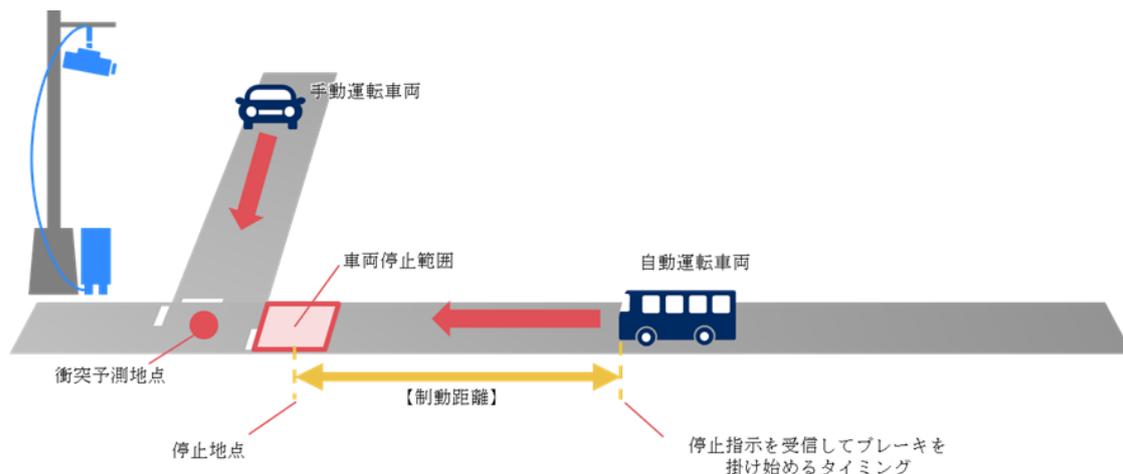


図 4.5.2-3 制動距離の範囲

本検証に使用する自動運転車両には緊急停止モードと安全停止モードの二種類の停止方法があり、本検証では安全に停止できることを目標としているため、安全停止モードによる自動停止を使用することにする。

試験路内にて安全停止モードでの制動距離を測定したところ、時速 20 キロメートル弱の走行速度に対して平均 12 メートル、最大値 13.7 メートル、最小値 10 メートルであり、最大値と最小値の差が 3.7 メートルという結果になった (表 4.5.2-1)。

また、時速 20 キロメートル弱で走行する車両が衝突予測結果の伝達時間である 0.4 秒間に走行する距離は路面による抵抗がない場合に 2.2 メートルであることから、制動距離のぶれ幅にこの値を加算して、車両停止範囲の目標値を停止線から 6 メートルと設定した。

表 4.5.2-1 制動距離の測定データ

回数	制動距離 (メートル)
1回目	13.01
2回目	11.31
3回目	13.02
4回目	11.58
5回目	13.71
6回目	12.06
7回目	12.66
8回目	12.34
9回目	12.17
10回目	12.40
11回目	11.05
12回目	11.48
13回目	12.09
14回目	12.10
15回目	11.53
16回目	12.55
17回目	9.98
18回目	11.59
19回目	10.13
20回目	11.76

上記の結果より、以下の表 4.5.2-2 に示すとおり効果分析の項目を設定した。

表 4.5.2-2 効果分析項目

項目	検証項目	説明
1	安全停止モードにて自動停止すること	同乗している運転手の判断にて停止せずに、安全停止モードで自動停止すること。
2	車両停止範囲内で車両が自動停止すること	車両停止範囲を交差点の停止線から手前6メートルの範囲とする。

4.5.3 効果検証の評価・分析方法

4.5.3.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

本実験では、判定は3回行い2回連続判定に失敗した場合、その距離が識別限界と判断する。ただし、3回目に判定を誤った場合は4回目の試行を行う。その距離が識

別限界でなかった場合には、距離は20mから5mずつ増加させ、同様の判定を識別限界まで繰り返すこととする。

上記の条件で、4G/LTEについては、令和元年度前橋市公道実証実験にて、オペレータが画質や遅延、更新頻度などを総合的に考慮し選択した画面解像度である、XGA(1024x768)にて評価を行い、キャリア5G、ローカル5Gについては、本事業の仕様であるフルHD(1920x1080)にて評価を行った。なお、映像を表示するディスプレイは28インチ型を使用し、オペレータについては個人差による影響を避けるため、特定の被験者に固定して行っている。

4.5.3.2 路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間））

本実験では、まず令和元年度前橋市公道実証実験の際の環境を比較対象として評価するために、路側デバイスによる死角情報を送信せず、実験車両に搭載されたカメラ映像をXGA(1024x768)で4G/LTEにて伝送するのみとする。また、死角の裏には実験者を図4.5.3-1のように立たせ、管制側システムを介して被験者となるオペレータが実験者を認識した時点の壁と車両の距離を計測した。

次に、路側デバイスによって死角情報を送信して、路線バス型自動運転車両に搭載されたカメラ映像とともに先ほどと同様の条件で実験を行った。

なお、4G/LTEについては、ソフトバンク社システムの公衆通信網を使用し、ローカル5Gは図4.5.3-2のように配置されたアンテナを使用した。試験路における実験の様子を図4.5.3-3に示す。

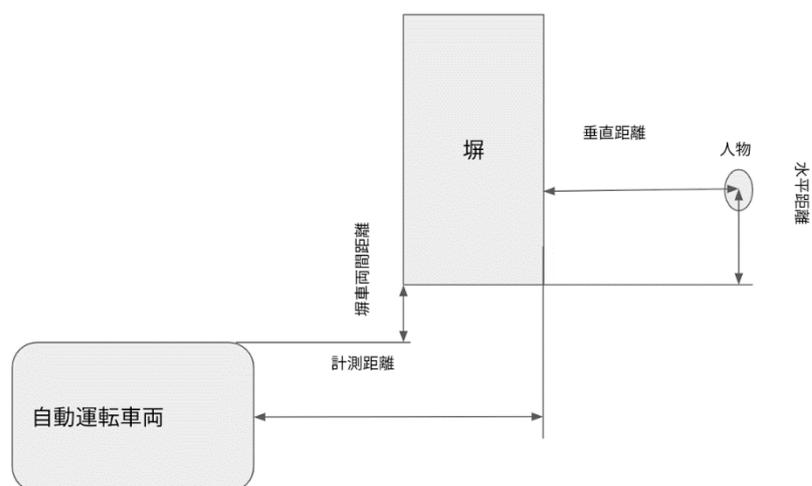


図 4.5.3-1 実験イメージ

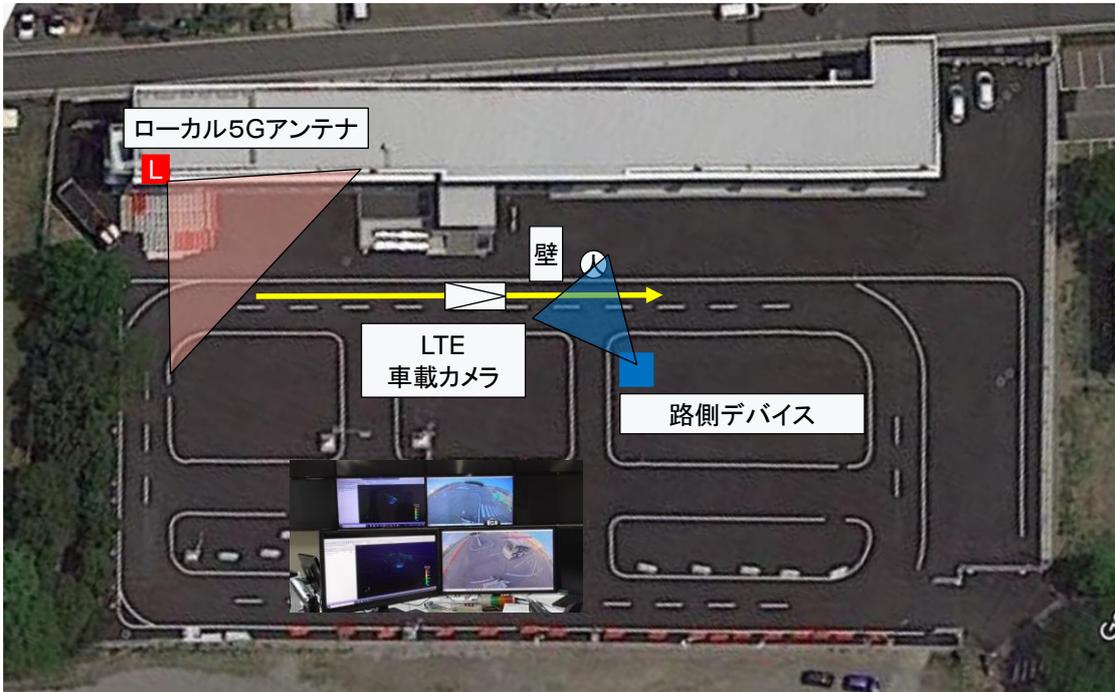


図 4.5.3-2 実験における試験路配置図



図 4.5.3-3 実験の様子（群馬大学試験路）

4.5.3.3 路車間協調通信②（5G対応型車両制御直結ソリューション（路側-車両間））

課題解決システム全体の検証と同様に、本検証では群馬大学試験路内にて車両同士の衝突を模擬し、本課題解決システムによりその衝突を予測して自動運転車両を自動停止するまでを検証する。

以下、表 4.5.3-1 に本課題解決システムの効果検証の手順を示す。

表 4.5.3-1 効果検証の手順

項目	検証項目	検証手順
1	安全停止モードにて自動停止すること	自動停止を開始する際にハザードランプが点灯するため、それを目視でき確認する。
2	車両停止範囲内で車両が自動停止すること	車両が停止した後、メジャーにて停止線から車両のフロントバンパーまでの距離を計測する。

4.5.4 検証結果

4.5.4.1 遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両-遠隔管制室間））

5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両-管制室）の効果検証結果について説明する。前項にて説明した条件の下で実施した実験結果を表 4.5.4-1 に示す。結果を見ると、4G/LTE の場合、45m の時に2度連続誤判定を行っていることが分かる。また、キャリア5G の場合は95m の時に2度連続誤判定をしている。ローカル5G については、50m 以降1度誤判定が現れているが、試験路の実験限界である100m まで2度連続誤判定はなかった。ローカル5G の1度誤判定が起きている理由としては気象条件の変化による影響が考えられるが、その後正答できていることから走行中においてもその影響は軽微であると考えられる。

以上の結果により、4G/LTE の限界識別距離は45m、キャリア5G の限界識別距離は90m、ローカル5G での限界識別距離は100m 以上であることが分かった。

また、疑似指令信号の指示時間については、道路環境や認識すべき物体によってばらつきが大きく評価が困難であるため、限界識別距離の結果から考察を行った。

まず、指示時間の達成目標が4G/LTE に比べて5G が80%以下であることを満たす安全確認の開始可能な距離を求める。まず、静止する障害物に対して自動運転車両が接近し、衝突することを指令により回避することを想定した場合、識別限界から障害物への衝突までの時間を指示時間余裕と定義することができる。ここで、「指示時間余裕」は、安全確認を行うための限界識別距離から自動運転の現状における一般的な運用速度である20km/h であるとする、4G/LTE の指示時間余裕は約8.1秒、キャリア5G の指示時間余裕は約16.2秒、ローカル5G の指示時間余裕約18秒となる。実際には、この指示時間余裕よりも早いタイミングで自動運転車両からオペレータに対して指示要求があるため、指示時間が4G/LTE に比べて5G が80%以下であることを満たす指示開始から衝突までの時間を求める。すると、キャリア5

Gについては約 48 秒、ローカル 5G は約 57 秒となる。これは、それぞれの秒数より前から安全確認を開始した場合、目標を満たさなくなる距離であるが、実態としての安全確認の多くは 10 秒前から開始すれば十分であることが自明であることから、本実験で得られた限界識別距離から求めた疑似指令信号の指示時間の短縮達成目標は満たされているといえることができる。

表 4.5.4-1 実験結果

	計測距離 (m)	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	正解: 1 不正解: 0	4G/LTE 1024*768	111	111	111	111	111	1100										
	キャリア 5G 1920*1080	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	00	
	ローカル 5G 1920*1080	111	111	111	111	111	111	011	111	111	101	111	111	1101	111	101	111	111

4.5.4.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））

5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間）の効果検証結果について説明する。前項にて説明した条件の下で実施した実験結果を表 4.5.4-2 に示す。結果を見ると、路側デバイスは「無し」で、車載カメラのみ、車載カメラの通信方法が 4G/LTE の場合、死角にいる実験者の認識距離 9.4m に対して、路側デバイス有りで、路側デバイスの通信方法がローカル 5G の場合、死角にいる実験者の認識距離は 230m となった。路側デバイス「有り」の実験結果については、通信が接続できていればどこでもその死角の状況が観察できるため、試験路における評価の理論的最大距離（周回路の距離－車長）である。以上の結果により本検証における KPI である識別距離は 75m 以上であることから、目標を達成した。

また、疑似指令信号の指示時間については、道路環境や認識すべき物体によってばらつきが大きく評価が困難であるため、限界識別距離の結果から考察を行った。

まず、指示時間の達成目標が 4G/LTE に比べて 5G が 80%以下であることを満たす安全確認の開始可能な距離を求める。まず、静止する障害物に対して自動運転車両が接近し、衝突することを指令により回避することを想定した場合、識別限界から障害物への衝突までの時間を指示時間余裕と定義することができる。ここで、「指示時間余裕」は、安全確認を行うための限界識別距離から自動運転の現状における一般的な運用速度である 20km/h であるとする、4G/LTE の指示時間余裕は約 1.7 秒、ローカル 5G の指示時間余裕は約 41.4 秒となる。実際には、この指示時間余裕よりも早いタイミングで自動運転車両からオペレータに対して指示要求がある

ため、指示時間が4G/LTEに比べて5Gが80%以下であることを満たす指示開始から衝突までの時間を求める。すると、ローカル5Gは約200秒となる。これは、それぞれの秒数より前から安全確認を開始した場合、目標を満たさなくなる距離であるが、実態としての安全確認の多くは10秒前から開始すれば十分であることが自明であることから、本実験で得られた限界識別距離から求めた疑似指令信号の指示時間の短縮達成目標は満たされているといえることができる。

表 4.5.4-2 識別距離と KPI まとめ

路側 デバイス有無	通信方法	限界識別 距離 (m)	KPI	目標達成
無し	4G/LTE	9.4	-	-
有り	ローカル5G	230	>75	達成

4.5.4.3 路車間協調通信②（5G対応型車両制御直結ソリューション（路側-車両間））

本課題解決システムにて衝突検知を予測して、自動運転車両の車両システムへ停止指示を伝達するまでの評価・検証結果として、表 4.5.4-3 に構成物の検証結果を、表 4.5.4-4 に全体の評価結果を示す。なお、評価は群馬大学試験路において、車両衝突の模擬実験を30回実施することで評価した。

表 4.5.4-3 課題解決システムの構成物の検証結果

項目	分類	構成物	検証結果
1	路側システム	DTU	問題なし
2		AI 処理装置	問題なし
3		路側カメラ	問題なし
4	5G ネットワーク	MEC サーバ	問題なし
5	車両システム	DTU	問題なし
6		Control PC	問題なし
7		情報処理装置	問題なし

表 4.5.4-4 課題解決システム全体の評価結果

項目	評価場所	評価観点	評価結果
1	群馬大学 試験路	AI 処理	<ul style="list-style-type: none"> ・車両検出：30/30 回成功 ・行動測定：30/30 回成功 <p>本評価・検証に使用した試験路と車両において本課題解決システムの AI 処理が正常に動作することを確認できた。</p>
2		衝突予測	<ul style="list-style-type: none"> ・衝突予測：30/30 回成功 <p>本評価・検証に使用した試験路と車両において本課題解決システムの衝突予測機能が正常に動作することを確認できた。</p>
3		アプリケーションの エンドツーエンドの処理 時間	<ul style="list-style-type: none"> ・アプリケーションの処理回数：472 回 ・平均値：288 ミリ秒 ・中央値：287 ミリ秒 ・最大値：320 ミリ秒 ・最小値：261 ミリ秒 <p>目標である平均 0.4 秒以内に伝達できることを確認できた。</p>

アプリケーションのエンドツーエンド処理の流れについては、4.4.3.4 項に記載のとおり。なお、平均 0.4 秒以内の内訳としては、AI 処理装置が平均 227 ミリ秒、上り無線区間（路側システム-MEC サーバ間）が平均 19.35 ミリ秒、下り無線区間（MEC サーバ-車両システム間）が 21.55 ミリ秒、その他 PC 処理が 20.1 ミリ秒となった。無線区間は平均 40.9 ミリ秒で、その他処理時間が、平均 247.1 ミリ秒と処理時間の 79%を占めていた。

表 4.5.4-5 にアプリケーションのエンドツーエンドの処理時間の統計データを示し、図 4.5.4-1 に同データを図示する。また、実際の衝突回避の模擬実験の様子を、図 4.5.4-2 に示す。

表 4.5.4-5 アプリケーションのエンドツーエンドの処理時間の統計データ

回数	平均値	中央値	最小値	最大値	標準偏差
1 回目	296	298	280	313	11
2 回目	296	293	284	320	10
3 回目	282	282	261	298	11
4 回目	281	284	266	295	9
5 回目	291	287	275	317	11
6 回目	285	284	273	298	8
7 回目	287	285	283	294	4
8 回目	282	281	274	293	7
9 回目	293	289	279	310	10
10 回目	291	289	276	311	9
11 回目	286	286	272	304	8
12 回目	289	289	277	302	7
13 回目	285	284	273	305	8
14 回目	280	279	264	300	9
15 回目	286	288	264	299	9
16 回目	281	278	273	300	8
17 回目	286	287	270	301	10
18 回目	289	288	279	308	7
19 回目	288	288	277	299	6
20 回目	284	286	274	295	7
21 回目	284	283	272	302	8
22 回目	289	287	274	304	9
23 回目	291	289	275	313	10
24 回目	295	296	284	309	7
25 回目	288	289	274	308	9
26 回目	290	290	276	308	9
27 回目	289	290	277	302	7
28 回目	287	287	268	304	8
29 回目	291	292	280	307	6
30 回目	294	293	273	315	10
全体	288	287	261	320	10

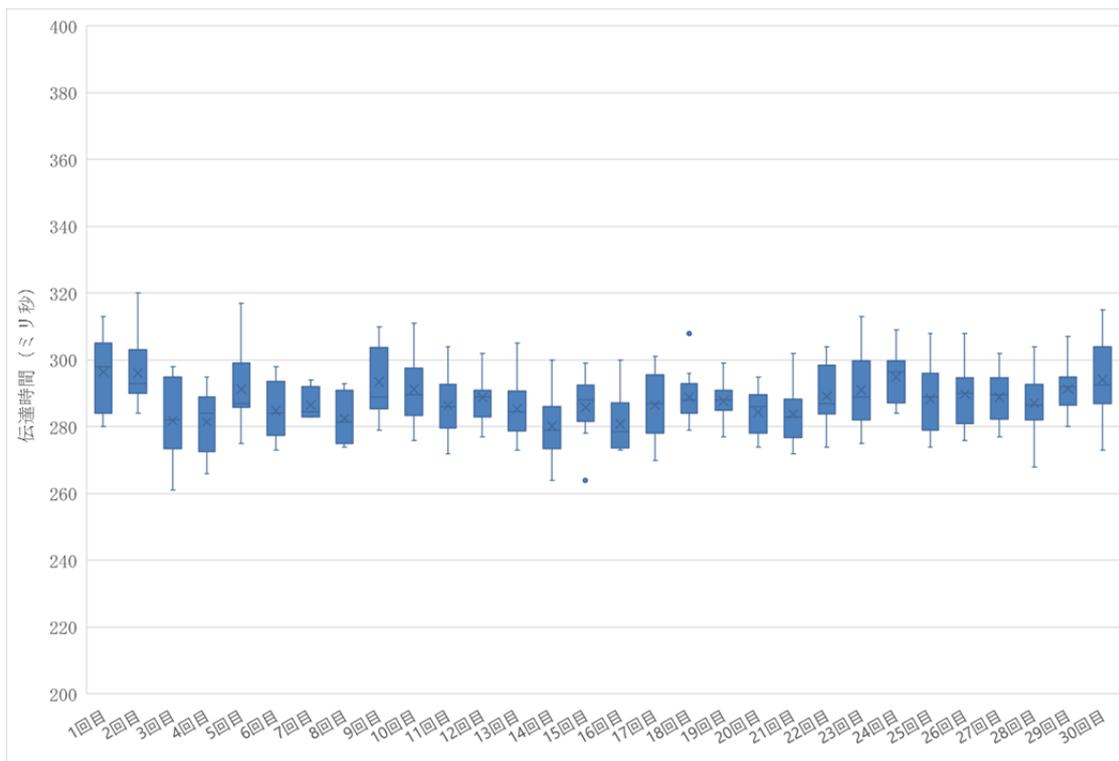


図 4.5.4-1 エンドツーエンドの処理時間の統計データグラフ



図 4.5.4-2 衝突回避模擬実験の様子

衝突回避の評価・検証結果につき、群馬大学試験路において車両衝突検知の模擬を20回実施した結果を、表 4.5.4-6 に示す。また、停止位置測定データの詳細、および停止位置の統計グラフを、それぞれ表 4.5.4-7、図 4.5.4-3 に示す。

表 4.5.4-6 検証結果

項目	検証項目	検証結果
1	安全停止モードにて自動停止すること	20/20回 成功
2	車両停止範囲内で車両が自動停止すること	<p>20/20回 成功</p> <p>結果</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中央値：2.5メートル ・最大値：4.0メートル ・最小値：1.3メートル <p>目標値である6メートル以内に停止することができた。</p>

表 4.5.4-7 停止位置測定データ

回数	停止位置 (メートル)
1回目	1.99
2回目	3.69
3回目	2.98
4回目	3.43
5回目	1.29
6回目	2.94
7回目	2.34
8回目	2.66
9回目	2.84
10回目	1.60
11回目	2.95
12回目	2.52
13回目	1.91
14回目	1.90
15回目	2.47
16回目	1.45
17回目	4.02
18回目	2.41
19回目	3.87
20回目	2.24

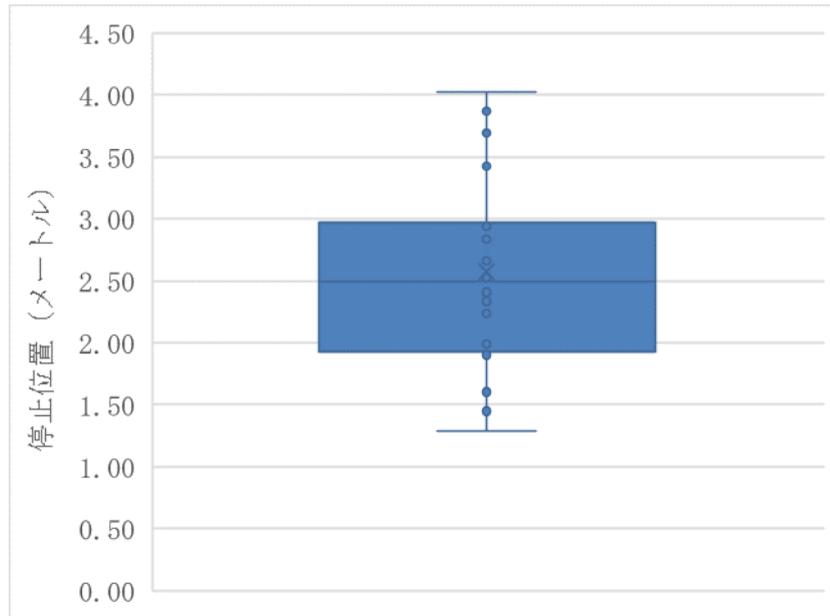


図 4.5.4-3 停止位置統計データ

4.5.5 考察

4.5.5.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間））

本検証においての KPI である限界識別距離は 75m 以上であることから、目標を達成した(表 4.5.5-1)。令和元年度の前橋市公道実証実験では、4G で遠隔管制室を動作させ、その運用を行ったが、遠方の対向車や歩行者の挙動が見えず、安全状況の確認が遅くなり、円滑な運行に支障が出る可能性が指摘されていた。本事業における 5G を活用したシステムを利用することで、遠方の安全状況の確認が円滑におこなえ、より円滑な運行が可能になることが期待できる。また、円滑な運行の実現は、周囲の交通流の円滑化にも寄与するため、交通事故等のリスクの削減効果も期待できる。

本システムで予想される事故としては、オペレータの判断ミスによる自動運転システムへの誤った指令を送ることに起因するものが考えられる。遠隔型自動運転の構造上、オペレータの運用が自動運転システムに優先されるため、誤った指令を送ることによって事故につながる危険性はある。これに対する対応としては、AI 技術等による、判断支援システムの構築のほか、フルプールの精緻化などが考えられる。

遠隔型自動運転による無人移動サービスの実現は、遠隔管制室のオペレータが複数台の車両を運用することを可能にすることによって、バスの運行業務の効率化を目指すものである。また、バスに直接搭乗しないことで、バスの運行ダイヤに拘束されることなく業務シフトが構築でき、結果として、労働時間の削減やコスト削減の両立が可能となる。

表 4.5.5-1 限界識別距離と KPI まとめ

通信方法	限界識別距離(m)	KPI	目標達成
4G/LTE	45	-	-
キャリア 5G	90	>75	達成
ローカル 5G	>100	>75	達成

5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両-管制室）の効果をより多角的に検証するために、追加実験を実施したのでその内容について報告する。

（参考）その他の効果検証（1）

前述の効果検証の結果について、通信手段あるいは画面解像度のどちらが限界識別距離の影響力が強いのか分解する必要があると考え、以下の実験を実施した。

実験条件について、前述の効果検証を継承し、4G/LTE、キャリア 5G、ローカル 5G のすべてで、SVGA (800x600)、XGA (1024x768)、QVGA (1280x960)、フル HD (1920x1080) にて評価を行った。また、現在管制側システムにて標準的に用いている 9 画面分割（上記解像度の映像に 9 つの映像を分割表示する）についても同様に評価を実施した。図 4.5.5-1 に 9 画面分割の映像の一例を示す。なお、20m から評価を開始し、20m の時点で 2 回連続誤判定となった場合、5m ずつ減少させて繰り返し実験を行うものとした。

検証結果を表 4.5.5-2 に示す。また、その結果をまとめたものを表 4.5.5-3 示す。図 4.5.5-2 は 1 画面の際の各解像度における変化を示し、図 4.5.5-3 は 9 画面分割の際の各解像度における変化を示している。これらの結果を見ると、1 画面の場合、通信手段に因らず、低解像度よりも高解像度の方が、限界識別距離が伸長することが分かる。これは、車両が静止状態において静止物体の観察を行う場合、伝送速度が遅い 4G/LTE を用いた場合においても、同等の画面解像度の画像を伝送することが可能なため、限界識別距離には影響がないことを示している、また、車両が静止状態において静止物体の観察を行う場合、限界識別距離は解像度の大きさの影響力が支配的であることを示している。

また、1 画面の場合、低解像度と高解像度の時の限界識別距離のばらつきが異なり、高解像度になるほどそのばらつきが小さくなることを見て取れる。これは、使用している映像圧縮アルゴリズムによる影響により、伝送速度が遅い 4G/LTE においては圧縮率を高くし、伝送速度が速いキャリア 5G、ローカル 5G においては圧縮率を低く送るためであると考え。画面解像度が高くなる場合、いずれの通信手段においても圧縮率を高くして伝送するようになるため、ばらつきが少なくなると考える。

次に 9 画面の結果を見ると、1 画面の場合に比べて限界識別距離が短くなっていることを見て取れる。これは実際の画面解像度が 1/9 になっていることが影響して

いるためである。ただし、高解像度にしても1画面の場合に比べて限界識別距離が伸長していないことが分かる。これは、画面解像度が1/9になっていることのほか、1画面におけるモニターサイズが小さいことにより影響している可能性が考えられる。



図 4.5.5-1 管制側システムを介して伝送した実験時の9画面分割の映像

表 4.5.5-2 実験結果

正解: 1 不正解: 0 1画面	4G/LTE	計測距離(m)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
		解像度 1 800*600		111	111	101	00														
		解像度 2 1024*768		111	111	111	11	111	1101	00											
		解像度 3 1280*960		111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	00		
		解像度 4 1920*1080		111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
	キャリア5G	計測距離(m)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
		解像度 1 800*600		111	111	111	111	111	111	111	0101	00									
		解像度 2 1024*768		111	111	111	111	111	111	111	111	101	00								
		解像度 3 1280*960		111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	101	1101	00			
		解像度 4 1920*1080		111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	00	
	ローカル5G	計測距離(m)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
		解像度 1 800*600		111	111	111	111	111	111	111	11	111	00								
		解像度 2 1024*768		111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	100						
		解像度 3 1280*960		111	111	111	111	111	111	111	111	1101	101	1101	1101	111	101	100			
		解像度 4 1920*1080		111	111	111	111	111	111	011	111	111	101	111	111	1101	111	101	111	111	

正解: 1 不正解: 0 9分割画面	4G/LTE	計測距離 (m)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
		解像度 1 800*600	111	00																	
		解像度 2 1024*768		1101	111	00															
		解像度 3 1280*960		111	111	101	111	00													
		解像度 4 1920*1080		111	111	111	100														
	キャリア 5G	計測距離 (m)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
		解像度 1 800*600		111	11	10	00														
		解像度 2 1024*768		111	111	111	111	00													
		解像度 3 1280*960		111	111	111	00														
		解像度 4 1920*1080		111	111	111	101	111	00												
	ローカル 5G	計測距離 (m)	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	
		解像度 1 800*600		111	111	111	111	101	00												
		解像度 2 1024*768		111	111	111	111	111	011	111	101	100									
		解像度 3 1280*960		111	111	111	111	111	101	00											
		解像度 4 1920*1080		111	111	111	111	101	00												

表 4.5.5-3 限界識別距離 (m) まとめ

		SVGA 800*600	XGA 1024*768	QXGA 1280*960	FullHD 1920*1080
1画面	4G/LTE	30	45	85	100
	キャリア5G	55	60	85	90
	ローカル5G	60	75	90	100
9分割画面	4G/LTE	15	25	35	30
	キャリア5G	30	35	30	40
	ローカル5G	40	55	45	40

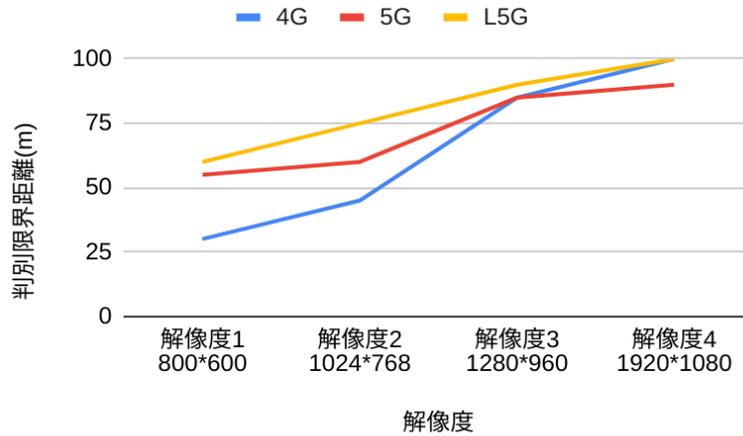


図 4.5.5-2 画面での各通信における識別限界距離

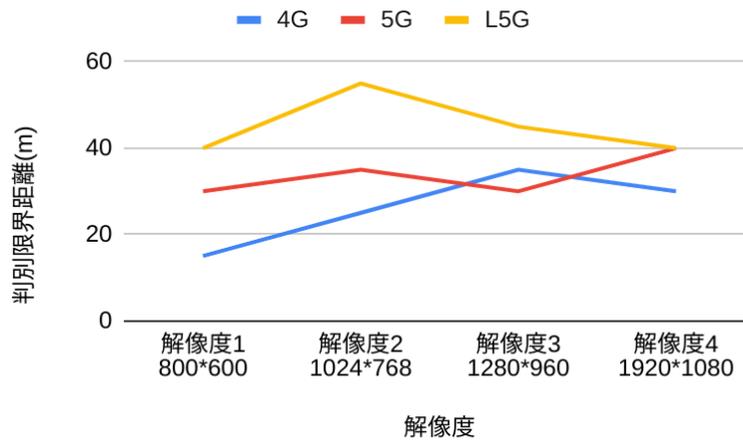


図 4.5.5-3 9分割画面での各通信における識別限界距離

(参考) その他の効果検証(2)

車両が静止状態において動的物体の観察を行う場合の画面解像度と反応速度の関係性について基礎実験を行った。

実験は群馬大学試験路にて行った。実験では、令和2年度前橋市公道実証実験にて使用する群馬大学所有の路線バス型自動運転車両に5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューションの車両側システムを搭載した。また、同センター内の管制室に、同ソリューションの管制室側システムを設置した。4G/LTEについては、ソフトバンク社システムの公衆通信網を使用し、キャリアGとローカル5Gは図4.5.4-4のように配置されたアンテナを使用した。

実験では、図4.5.5-5、図4.5.5-6のように、実験車両を試験路上に配置して停車させた後、実験車両と対向車に見立てた自家用車を向かい合わせに配置する。実験車両と自家用車を以下の図のように交差点に配置する。自家用車は10km/hで走行し、予め定めたパターン(右折、左折、直進のいずれか)で交差点を通過する。この際管制室では、管制室側システムを介して映像を伝送し、予め交差点前に設置した白線が自家用車によって完全に隠れたときを計測開始、3色LEDを利用して右折、左折、直進のいずれであるかをオペレータが操作して示し、正答した時刻を計測終了とする。時間の計測はビデオ撮影によるフレーム画像から行った。映像解像度については、XGA(1024x768)とQXGA(1280*960)について評価を行った。なお、右左折時についてはウィンカーをつけずに走行した。

実験結果を表4.5.5-4に示す。結果は10回試行した結果の平均を示している。結果を見ると、XGA、QXGAのいずれにおいても、また通信手段のいずれにおいても、特筆すべき相関関係は得られなかった。これは、映像の圧縮アルゴリズムが前フレームとの差異を優先的に伝送するため、実験車両が静止している状態で、車両の動きが優先的に伝送されることにより、画像解像度に対する影響が抑えられていると考える。なお、実験においては映像の遅延が考慮されていないため、実際の反応時間とは異なる点は留意したい。

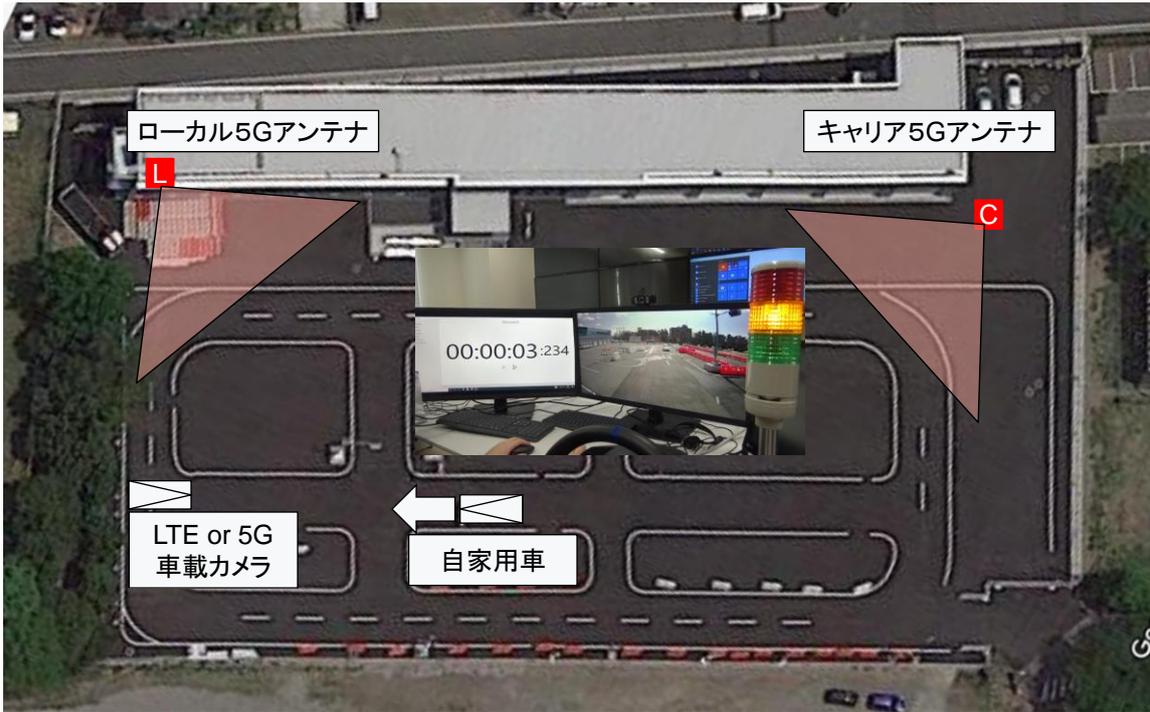


図 4.5.5-4 実験における試験路配置図

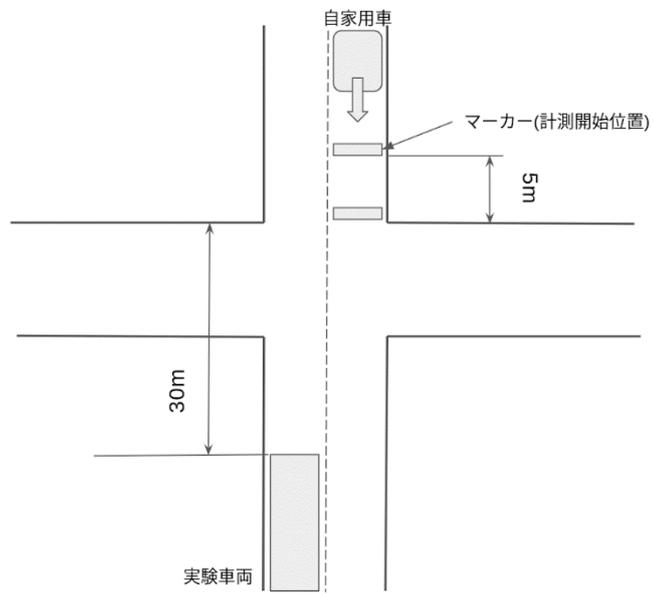


図 4.5.5-5 実験イメージ



図 4.5.5-6 実験の様子（群馬大学試験路）



図 4.5.5-7 実験の様子（遠隔管制室）

表 4.5.5-4 実験結果

			反応速度(sec)
1画面	4G/LTE	XGA 1024*768	2.205
		QXGA 1280*960	2.360
	キャリア5G	XGA 1024*768	2.052
		QXGA 1280*960	2.194
	ローカル5G	XGA 1024*768	2.748
		QXGA 1280*960	2.724
9画面	4G/LTE	XGA 1024*768	1.681
		QXGA 1280*960	2.290
	キャリア5G	XGA 1024*768	1.914
		QXGA 1280*960	2.082
	ローカル5G	XGA 1024*768	2.193
		QXGA 1280*960	2.126

(参考) その他の効果検証 (3)

実験車両を走行している状態での通信手段と限界識別距離の関係性について基礎実験を行った。

実験は群馬大学試験路にて行った。実験では、令和2年度前橋市公道実証実験にて使用する群馬大学所有の路線バス型自動運転車両に5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューションの車両側システムを搭載した。また、同センター内の管制室に、同ソリューションの管制室側システムを設置した。4G/LTEについては、ソフトバンク社システムの公衆通信網を使用し、キャリア5Gとローカル5Gは図4.5.5-8のように配置されたアンテナを使用した。

実験では、図4.5.5-8のように、実験車両が試験路外周を10km/hで時計回りに走行し、直線路の延長線上に図4.5.5-9のようなランドルド環を持った実験補助員が実験車両に向かって提示する。この際管制室では、管制室側システムを介して映像を伝送し、予め1m間隔に設置した白線を目印として、3色LEDを利用して被験者となるオペレータが回答を行う。ランドルド環の向き(左、右、上)を正答した時のランドルド環と車両の距離を計測する。映像解像度については、SVGA(800x600)とXGA(1024x768)について評価を行った。図4.5.5-11に管制室における実験時の映像を示す。

実験結果を表4.5.5-5と図4.5.5-12に示す。4G/LTE、キャリア5G、ローカル5

Gのいずれにおいても SVGA より XGA の方がより遠くからランドルド環を識別できる傾向にあることが分かった。これは、映像解像度が高いほど、自動運転車両が走行中においても周囲の状況が認識しやすい可能性が示唆されている。なお、4G/LTE に比べてキャリア 5G の実験結果が低くなっているが、実験箇所においてキャリア 5G の電波状況が良くないなど、通信環境が良くなかった可能性があると考えている。これについては、さらなる分析が必要である。

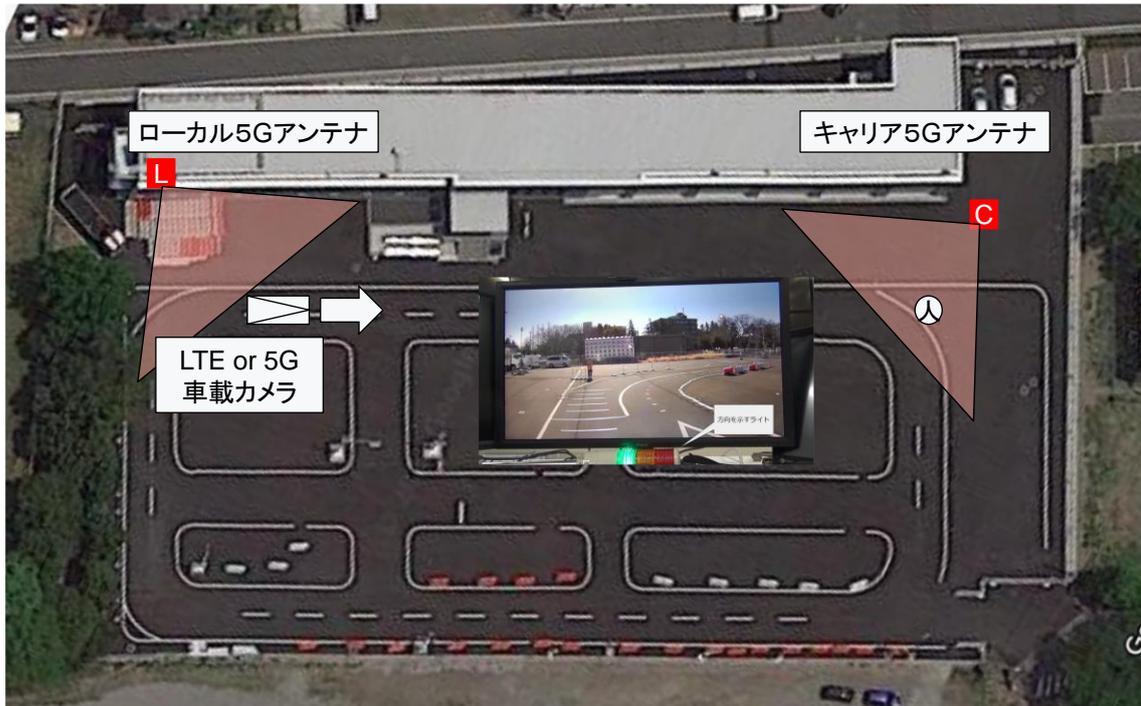


図 4.5.5-8 実験における群馬大学試験路配置図

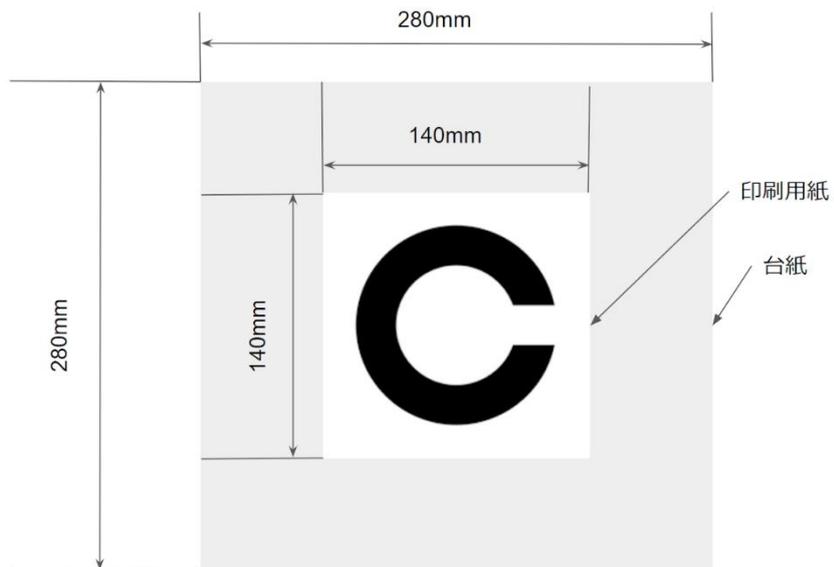


図 4.5.5-9 実験で用いたランドルド環



図 4.5.5-10 管制側システムを介して伝送した実験時の映像



図 4.5.5-11 実験の様子（群馬大学試験路）

表 4.5.5-5 実験結果まとめ

	4G/LTE	キャリア 5G	ローカル 5G
SVGA 800*600	6.2	5.6	7.17
XGA 1028*768	10.0	8.3	10.80

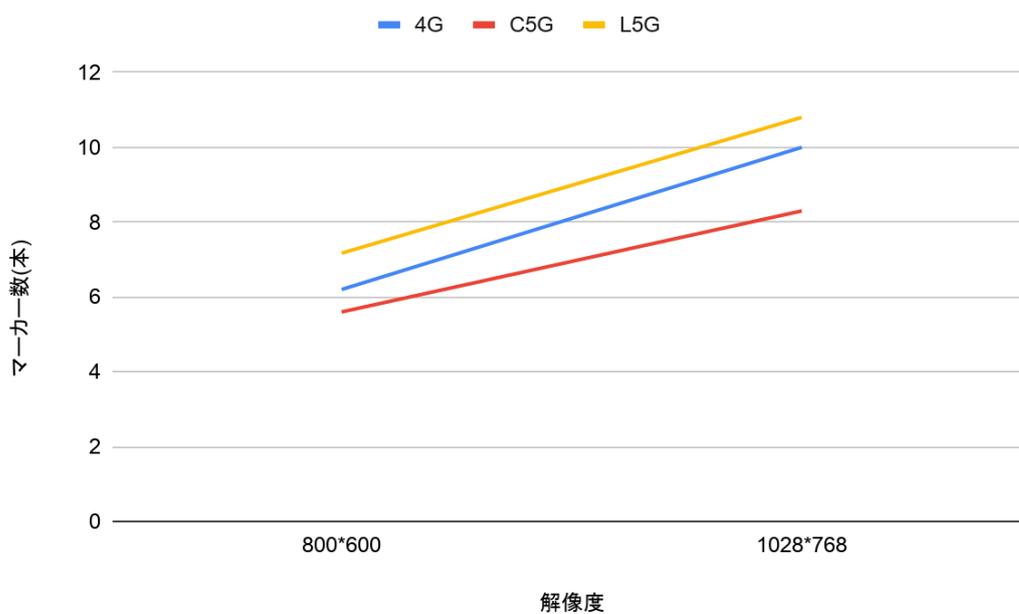


図 4.5.5-12 各通信における識別限界距離

4.5.5.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間））

本検証では、路側デバイス有りの認識距離は試験路の理論的最大距離（周回路の距離-車長）であるが、実際の一般道などの環境においてはローカル5Gの通信エリアや道路形状、遮蔽物などを考慮した路側デバイス配置を行うことが必要であると考ええる。

本ソリューションにおいて予想される事故として、本ソリューションのシステムが何らかの原因でダウンした時に、自動運転を継続したことによる、遠隔管制室のオペレータの運用方法の変更等に伴うヒューマンエラーに起因する事故が考えられる。本来本ソリューションは、自動運転システムを補助することを目的としており、本ソリューションのシステムにトラブルが発生したことによってただちに自動運転システムの運行に支障が出るものであるケースは少ない。ただし、極めて有用な情報を提供する本システムからの情報が遮断された状態で、自動運転の運行を継続した場合、オペレータの安全確認のフローなどが変化することによる安全確認不足に起因する事故が生じる可能性がある。これに対しては、運用マニュアル等の整備や訓練などで対応するほか、自動運転システム側でも、本ソリューションのシステムトラブルの状況に応じて制御判断を自動的に変更し、オペレータの負担を増やさない仕組み等の開発が求められる。

4.5.5.3 路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側—車両間））

衝突検知を予測して自動運転車両の車両システムへ停止指示を伝達するまでの検証では、衝突回避のアプリケーションの実行も含めた課題解決システムのエンドツーエンドの処理時間が平均 0.4 秒以内を達成することを確認できた。運転手が運転中に危険を察知してブレーキを踏むまでの一般的な時間は平均 0.7 秒から 1 秒以内と言われており、目標時間を達成するとともに、この結果から、ローカル5Gネットワーク環境にて本課題解決システムを使用することにより自動運転車両の安全性向上に資する情報の提供が可能であることを実証できたと考える。

なお、平均0.4秒以内の内訳は、AI処理装置（平均227ミリ秒）、上り無線区間（平均19.35ミリ秒）、下り無線区間（平均21.55ミリ秒）、その他PC処理（20.1ミリ秒）とAI処理装置の処理時間が約79%を占めていた。前提とするユースケースにおいては、死角からの他車両接近について事前に事象を察知し、情報を伝送することによる安全確保支援を目指しており、その他5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション等と合わせることで安全確保を行うことが出来る。しかし、さらなる衝突検知の時間短縮には、AI処理装置のアプリケーション処理時間を踏まえた全体システムの最適化が課題となると考えられる。

また、本実験では試験路内の見通しの良い空間で実施しており、一般道への展開に際しては道路付帯物や交差する他の車両の影響で5G通信が遅延もしくは遮断されることが予測されるため、5G通信経路の最適化やアプリケーションによる遅延・遮

断対策等、課題解決システムの更なる改善が必要と考える。

衝突回避の検証では、他車両の接近を事前に自動運転車両に伝達することによって、自動運転車両を交差点手前の一定範囲内に安定して停止できたため、ローカル5G ネットワーク環境にて本課題解決システムを導入することにより自動運転車両を安全に停止するための情報の提供が可能であることを実証できたと考える。

ただし、本実験では自動運転車両が安全停止モードで停止することを前提としたタイミングで停止指示を伝達しており、実際に社会実装する際には急な飛び出しや道路付帯物や交差する他の車両の影響で見通しが悪くなり、AI による車両や歩行者の検出が遅れる可能性もあるため、状況に応じて緊急停止モードによる停止が必要になる場合があると推測される。そのため、課題解決システムから自動運転車両の制御システムへの情報提供時に緊急度を付与する等のアプリケーション側で対策が必要と考える。

4.6 課題解決システムに関する機能検証

4.6.1 機能検証の実施概要

4.6.1.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両-管制室）の機能検証を行うために、群馬大学試験路にて、実験を行った。実験では、図 4.6.1-1 に示すような、令和2年度前橋市公道実証実験にて使用する群馬大学所有の路線バス型自動運転車両（以降実験車両）と同様の車両を2台用意し、それぞれに対して、5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューションの車両側システムを搭載した。また、同センター内の管制室に、同ソリューションの管制室側システムを設置した。車両と管制室の間の通信は、ローカル5Gを使用し、これまでに説明した試験路の配置図と同様の場所にアンテナを設置している。

実験では、本事業の要求仕様に従い、実験車両1台につきフルHD(1920x1080)の映像2つとセンサー情報を1つローカル5Gによって伝送し、かつそれを2台分同時に伝送し、管制側システムのモニターに図 4.6.1-2 のように表示して正常に機能することを確認する。



図 4.6.1-1 実験車両構成図

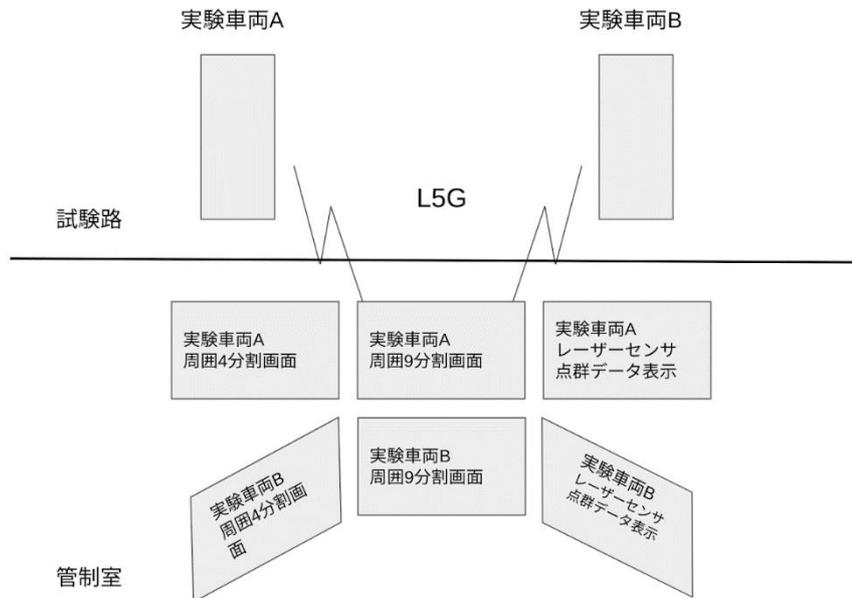


図 4.6.1-2 管制側システムモニター構成イメージ図

4.6.1.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））

5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間）の機能検証を行うために、群馬大学試験路にて、実験を行った。実験では、図 4.6.1-3 に示すように、試験路上に 5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間）として開発した路側デバイスを 2 台設置した。それぞれの路側デバイスについては図 4.6.1-4、図 4.6.1-5 に示す。路側デバイスはカメラ、レーザーセンサー、AI 処理装置、通信装置などから構成され、ローカル 5G アンテナを介して管制室にカメラ映像やセンサーデータを送信する。

実験では、本事業の要求仕様に従い、路側デバイス 1 台につきフル HD (1920x1080) の映像 1 つとセンサー情報 1 つをローカル 5G によって伝送し、かつそれを 2 台分同時に伝送し、管制側システムのモニターに図 4.6.1-6 のように表示して正常に機能することを確認する。

加えて、オペレータの監視業務効率化を行うため、路側デバイスのカメラ映像に対して AI による画像処理を行い、歩行者や車両等について強調表示を行う機能を付加し、正常に機能することを確認する。

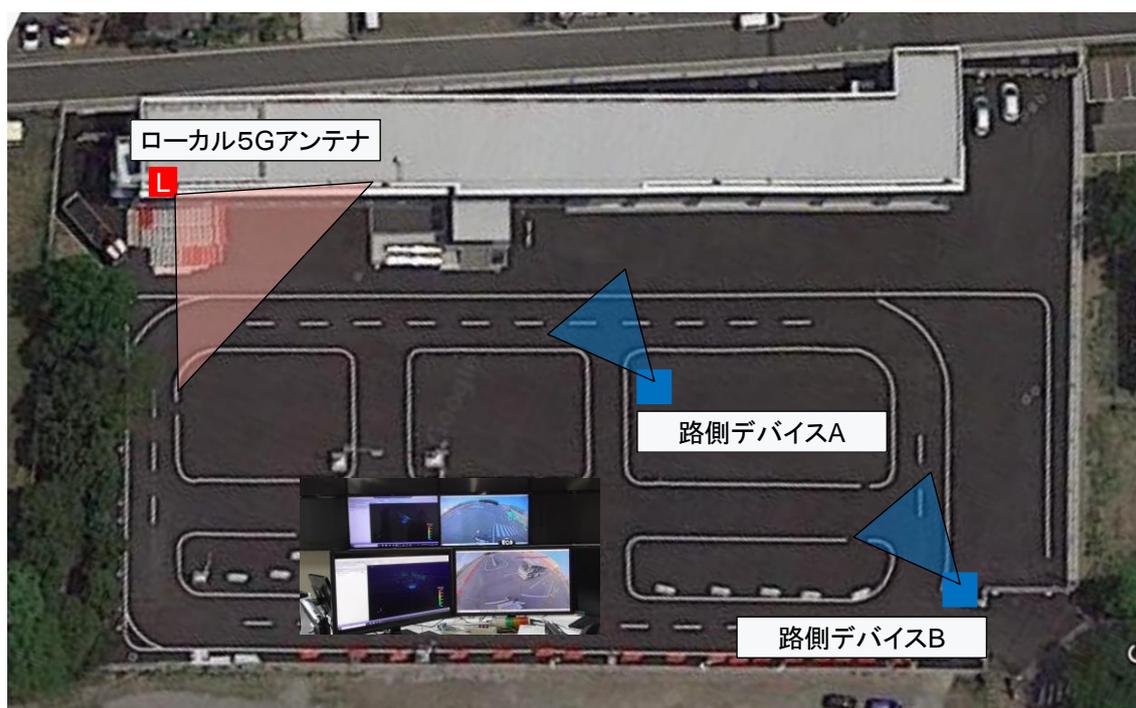


図 4.6.1-3 実験における群馬大学試験路配置図



図 4.6.1-4 試験路に設置した路側デバイス A



図 4.6.1-5 試験路に設置した路側デバイス B

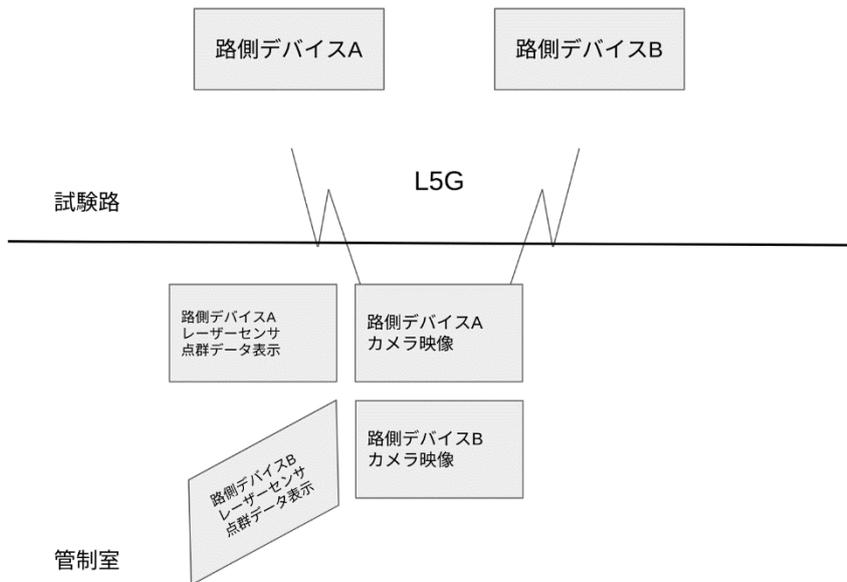


図 4.6.1-6 管制側システムモニター構成イメージ図

4.6.1.3 路車間協調通信②（5G対応型車両制御直結ソリューション（路側-車両間））

自動運転車両の安全性向上に資する情報を提供する上で5G通信のリアルタイム性と安定性が重要である。そのため、本機能検証では5G通信の通信時間と安定性の観点で検証を実施する。

本課題解決システムでは、以下の図4.6.1-7に示す通り、路側システムとMECサーバ間、MECサーバと車両システム間にてローカル5Gによるデータ通信を使用しているため、その区間を検証対象とする。

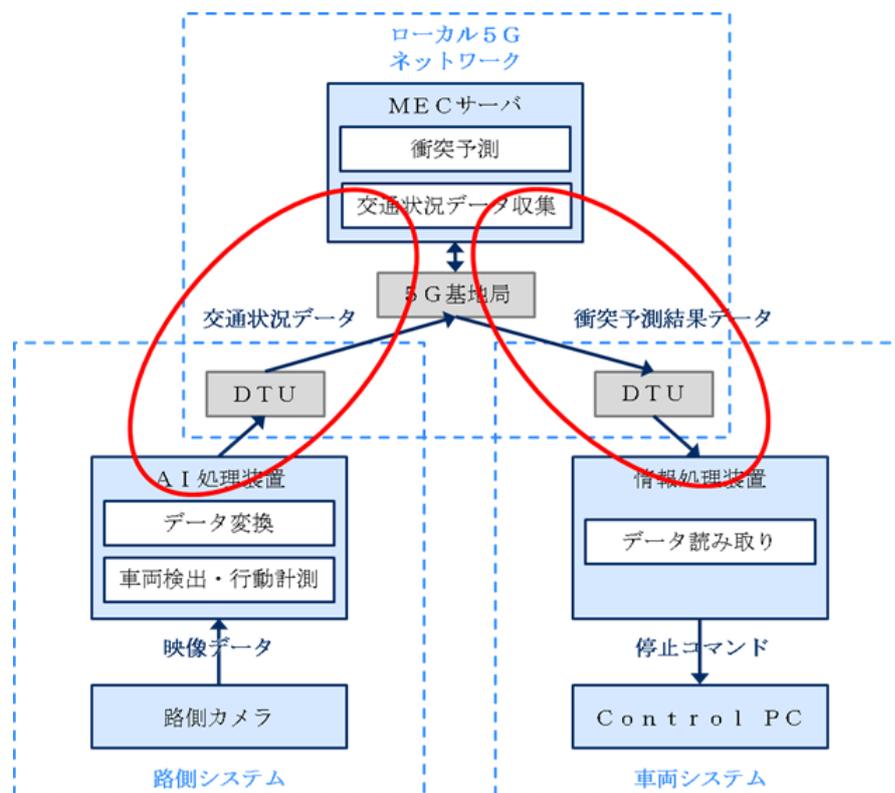


図 4.6.1-7 課題解決システムの構成とローカル5G通信区間

なお、路側システム側のDTUは固定位置に設置するため、固定局としての検証となる。また、車両システム側のDTUは車両内に設置して走行させるため、移動局としての検証となる（図4.6.1-7）。

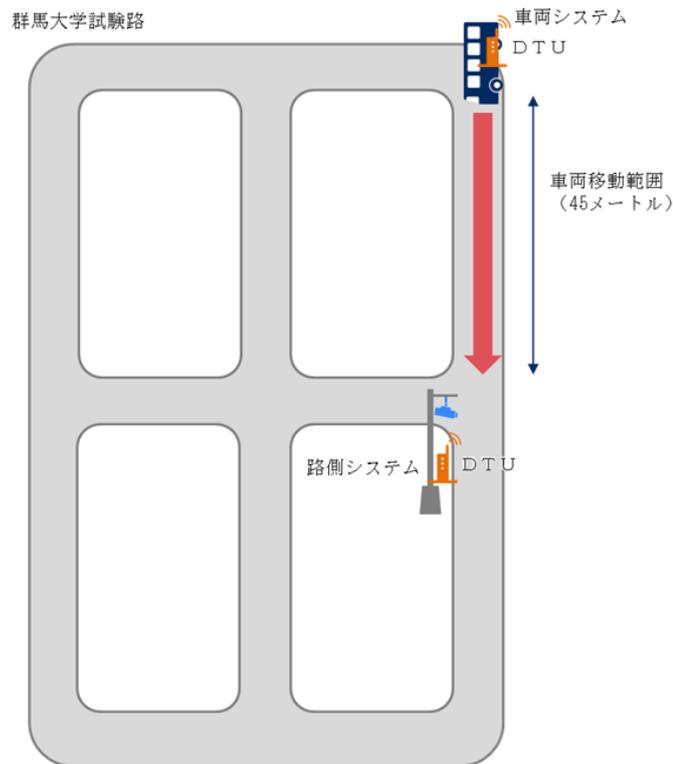


図 4.6.1-8 車両の移動範囲

4.6.2 機能検証の評価・分析項目

4.6.2.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間））

本実験では、群馬大学試験路を走行中の2台の路線バス型自動運転車両からのカメラ映像、センサー情報が管制側システムのモニターに表示して正常に機能することを確認する。

4.6.2.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間））

本実験では、群馬大学試験路の路側デバイス2台からのカメラ映像、センサー情報が管制側システムのモニターに表示して正常に機能すること、及びこのカメラ映像に対するAI画像処理の強調表示が正常に機能することを確認する。

4.6.2.3 路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側—車両間））

群馬大学試験路にて、路側システムと MEC サーバ間、MEC サーバと車両システム間のそれぞれにおける通信時間と安定性を検証する。

以下、表 4.6.2-1 に本機能検証の検証内容を示す。

表 4.6.2-1 機能検証項目

項目	検証項目	検証内容
1	通信時間	路側システムと MEC サーバ間、MEC サーバと車両システム間のそれぞれにおいて通信時間を測定する。
2	安定性	路側システムと MEC サーバ間、MEC サーバと車両システム間のそれぞれにおいて通信時間の振幅、パケット損失率を測定する。

4.6.3 機能検証の評価・分析方法

4.6.3.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間））

本実験では、群馬大学試験路において路線バス型自動運転車両（以降実験車両）を 2 台同時走行し、実験車両 1 台につきフル HD(1920x1080)の 2 種類の映像（カメラ 4 台の映像、カメラ 9 台の映像）とセンサー情報をローカル 5G により管制側システムのモニターに伝送する。

4.6.3.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間））

本実験では、群馬大学試験路において、路側デバイス 1 台につきフル HD(1920x1080)の 1 種類の映像（AI 画像処理の強調表示が付加されたカメラ 1 台の映像）とセンサー情報をローカル 5G により管制側システムのモニターに伝送する。

4.6.3.3 路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側—車両間））

課題解決システム全体の検証と同様に、本検証では群馬大学試験路内にて車両同士の衝突を模擬し、本課題解決システムによりその衝突を予測して自動運転車両を自動停止するまでを検証する。

以下、表 4.6.3-1 に本機能検証の検証方法を示す。

表 4.6.3-1 機能検証方法

項目	検証項目	検証方法
1	通信時間	路側システムと MEC サーバ間、MEC サーバと車両システム間のそれぞれにおいて PING コマンドを用いて通信時間を測定する。
2	安定性	路側システムと MEC サーバ間、MEC サーバと車両システム間のそれぞれにおいて PING コマンドを用いて通信時間を測定し、その結果から通信時間の振幅、パケット損失率を確認する。

PING コマンドを実行する際のパラメータとして、以下、表 4.6.3-2、表 4.6.3-3 のとおり設定する。

表 4.6.3-2 路側システムと MEC サーバ間の PING コマンドパラメータ

項目	パラメータ	検証方法
1	PING コマンド送信元	路側システム内の AI 処理装置 (Windows10) のコマンドプロンプトにて PING コマンドを実行する。
2	データサイズ	本課題解決システムで送信している交通状況データと同じサイズである 724 バイトを使用する。
3	送信先 IP アドレス	MEC サーバに割り振られた IP アドレスを使用する。

表 4.6.3-3 MEC サーバと車両システム間の PING コマンドパラメータ

項目	パラメータ	検証方法
1	PING コマンド送信元	ローカル 5G ネットワーク内の MEC サーバ (Windows10) のコマンドプロンプトにて PING コマンドを実行する。
2	データサイズ	本課題解決システムで送信している衝突予測データと同じサイズである 724 バイトを使用する。
3	送信先 IP アドレス	車内システム側に置かれた DTU の外部 IP アドレスを使用する。

4.6.4 検証結果

4.6.4.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

実験結果について、図 4.6.4-1 に管制側システムモニターに表示されている図を示す。結果を見ると、2 台分の車両の各映像が正しく表示されていることが分かる。これにより、5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間）における要求仕様を達成していることが明らかとなった。



図 4.6.4-1 実験結果

4.6.4.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））

実験結果について、図 4.6.4-2 に管制側システムモニターに表示されている図を示す。また、図 4.6.4-3 に AI による強調表示機能による表示を図に示す。

結果を見ると、2 台分の路側デバイスの各映像が正しく表示されていることが分かる。また、路側デバイスのカメラ映像に対する AI による強調表示機能について正しく機能していることが分かる。これにより、5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間）における要求仕様を達成していることが明らかとなった。



图 4.6.4-2 実験結果



图 4.6.4-3 実験結果 (AI 处理機能)

4.6.4.3 路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間））

固定位置にある路側システムの AI 処理装置から MEC サーバへの通信を表 4.6.4-1 に、および MEC サーバから移動中の自動運転車両内の情報処理装置への 5G 通信時間の結果を表 4.6.4-2 に示す。

表 4.6.4-1 路側システムと MEC サーバ間の検証結果

項目	検証項目	検証結果
1	通信時間	<ul style="list-style-type: none"> ・ PING コマンド実行回数： 2664 回 ・ 応答時間（往復） <ul style="list-style-type: none"> ・ 平均値：38.7 ミリ秒
2	安定性	<ul style="list-style-type: none"> ・ PING コマンド実行回数： 2664 回 ・ 応答時間（往復） <ul style="list-style-type: none"> ・ 中央値：38 ミリ秒 ・ 最大値：67 ミリ秒 ・ 最小値：14 ミリ秒 ・ 標準偏差：11.3 ミリ秒 ・ 最大振幅：53 ミリ秒 ・ パケット損失率：0% <p>DTU を路側システムに固定しているため安定した結果が得られた。</p>

表 4.6.4-2 MEC サーバと車両システム間の検証結果

項目	検証項目	検証結果
1	通信時間	<ul style="list-style-type: none"> ・ PING コマンド実行回数： 2622 回 ・ 応答時間（往復） <ul style="list-style-type: none"> ・ 平均値：43.1 ミリ秒

2	安定性	<ul style="list-style-type: none"> ・ PING コマンド実行回数： 2622 回 ・ 応答時間（往復） <ul style="list-style-type: none"> ・ 中央値：43 ミリ秒 ・ 最大値：260 ミリ秒 ・ 最小値：16 ミリ秒 ・ 標準偏差：13.4 ミリ秒 ・ 最大振幅：244 ミリ秒 ・ パケット損失率：0% <p>車内に DTU を設置しているため路側システム側と比較すると通信時間が少々遅延しているが、中央値で 5 ミリ秒の差異であるため、課題解決システムへの影響は少ないと考える。ただし、移動しながらの測定であるため稀に通信時間の遅延が大きく発生する場合もあった。今回の測定ではパケット損失が発生しなかったが、車両の位置によってはパケット損失が発生する可能性があると考え。</p>
---	-----	--

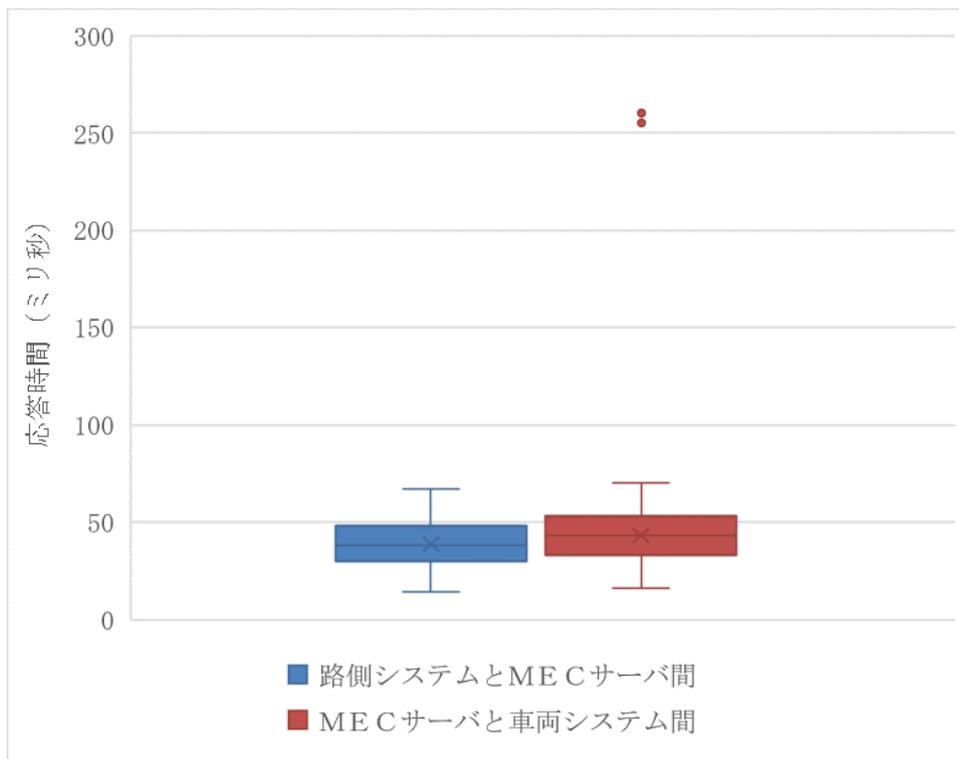


図 4.6.4-4 応答時間の統計グラフ

※MEC サーバと車両システム間では、外れ値が 2 回発生している。

4.6.5 考察

4.6.5.1 遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間））

本実験では、ローカル5G通信を使用して路線バス型自動運転車両の車両側システムから管制室へフルHD(1920x1080)の映像、センサー情報を伝送し、正常に機能する結果を得られた。ローカル5Gを使用することで映像が鮮明化されることにより、遠隔監視・操作において確認、判断がし易くなり、正確かつ迅速なオペレーションへ貢献することができると思う。

今後、5G通信システムと自動運転車両の連携に向けては、5Gの通信エリアとそれ以外の通信エリアにおいての運用可能な機能の整理と機能切り替えの自動化が必要と考える。5Gの通信状況によって、機能のパラメータを自動的に変更したりすることで、常にその環境で最適の監視環境をオペレータに提供できれば、より運行の円滑化につながる可能性がある。また、最終的には通信の品質保証などの制度確立により、きめられた環境下に置いての動作が保証されれば、通信を介して受け取る情報を自動運転制御に直接的に影響する部分にまで反映できるようになる。

4.6.5.2 路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間））

本実験では、ローカル5G通信を使用して路側デバイスから管制室へフルHD(1920x1080)の映像、センサー情報を伝送し、正常に機能する結果を得られた。ローカル5Gを使用することで映像が鮮明化されることにより、遠隔監視・操作において確認、判断がし易くなり、正確かつ迅速なオペレーションへ貢献することができると思う。

今後5G通信システムと本ソリューションの連携に向けては、基本的にはキャリア5Gの通信エリアの拡大とともに、本ソリューションを適用できる地域が増えることとなるので、自動運転の導入を検討する際には、キャリア5Gの通信エリアを調査したうえで、本ソリューションの適用可否と総合的に判断していく仕組みづくりが肝要となる。また、状況によって通信品質が変化する場合に備えて、5Gの通信状況によって、機能のパラメータを自動的に変更したりすることで、常にその環境で最適の監視環境をオペレータに提供できれば、より運行の円滑化につながる可能性がある。また、最終的には通信の品質保証などの制度確立により、きめられた環境下に置いての動作が保証されれば、通信を介して受け取る情報を自動運転制御に直接的に影響する部分にまで反映できるようになる。

4.6.5.3 路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（路側—車両間））

本検証において、路側システムと MEC サーバ間の 5G 通信については DTU を固定で設置しているため低遅延で安定した結果が得られた。MEC サーバと車両システム間の 5G 通信については DTU を車内に設置したため通信時間が少々遅延しているが、路側システム側と比較して大きな差異はないため、結果は良好と考える。

ただし、車両の移動により場所によっては通信遅延が大きくなる場合があり、パケット損失が発生する可能性もあると考える。

先の検証により、ローカル 5G ネットワーク環境にておける本課題解決システムの有効性は確認できているが、無線通信を使用してデータ伝搬する上で通信遅延やパケット損失は避けられない事象であるため、データ伝搬状況を監視しながら使用する等のアプリケーション側で対策が必要と考える。

4.7 課題解決システムに関する運用検証

4.7.1 運用検証の実施概要

4.7.1.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間））

本ソリューションの運用検証では、本ソリューションを搭載した自動運転車両を用いて、前橋市における自動運転の公道実証実験を実施し、その走行ルート上にキャリア 5G の通信エリアを設けることで、本ソリューションの運用検証を行うこととした。遠隔監視室は公道実証実験の実施路線から約 6 km 離れた CRANTS 内管制室に設置し、自動運転車両から伝送される車載カメラやセンサーの映像を投影することで、本ソリューションを用いた疑似的な遠隔監視・操縦管制を行うことで、運用上の課題等を抽出することとした。

4.7.1.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間））

本ソリューションの運用検証では、前橋市での自動運転の公道実証実験の実施路線周辺に本ソリューションの路側カメラやセンサーを設置して、走行ルート上にキャリア 5G の通信エリアを設け、本ソリューションの運用検証を行うこととした。遠隔監視室は公道実証実験の実施路線から約 6 km 離れた CRANTS 内管制室に設置し、公道実証実験の実施路線周辺に設置した道路カメラやセンサーの映像を伝送し、投影することで、本ソリューションを用いた疑似的な遠隔監視・操縦管制を行うことで、運用上の課題等を抽出することとした。

4.7.2 運用検証の評価・分析項目

4.7.2.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

本ソリューションの運用検証においては、実フィールドでの運用評価として、公道（前橋駅－中央前橋駅間）での運転手搭乗型（レベル2）での自動運転実証実験下にて、疑似的に遠隔監視・操作者による運用を行い、運用可能であることを確認するとともに、自治体や交通事業者からもヒアリングを行い、運用上の課題について検討する。

4.7.2.2 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））

本ソリューションの運用検証においては、実フィールドでの運用評価として、公道（前橋駅－中央前橋駅間）での運転手搭乗型（レベル2）での自動運転実証実験下にて、疑似的に遠隔監視・操作者による運用を行い、運用可能であることを確認するとともに、自治体や交通事業者からもヒアリングを行い、運用上の課題について検討する。

4.7.3 運用検証の評価・分析方法

4.7.3.1 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

検証は、群馬大学所有の自動運転車両ポンチョを使用して行う。当該車両には本ソリューションの車両側システムを搭載する。当該車両は実験期間前まで走行ルートを自動運転にて走行できるように調整する。また自動運転走行ルート上の中央前橋駅において、キャリア5Gを設置し、車両に搭載された対応ルータとの5G通信を行えるようにする。また、約6km離れたCRANTSに、本ソリューションの遠隔管制室側を設置し、本番期間中の運行時間にオペレータを配置して、疑似的運用を行い、システムが本番期間中継続して動作していることを確認する。そして、オペレータに対するヒアリングを行い、評価を行う。

4.7.3.2 路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））

検証においては、遠隔監視・操縦管制と同様に自動運転車両ポンチョを使用し、自動運転走行ルート上の上毛電鉄中央前橋駅において、キャリア5Gを設置し、路側に設置された路側カメラ・センサーの情報を、5G通信を介して、約6km離れたCRANTSの遠隔管制室に伝送する。運行時間においてオペレータが、路側カメラ・センサーの情報を確認することで、疑似的運用を行い、システムが本番期間中に継続して動作することを確認するとともに、システムの有用性を、ヒアリング等を実施することで検証する。

4.7.4 検証結果

4.7.4.1 ヒアリングの実施

本調査検討においては、2月中旬から下旬における自動運転の公道走行実験の実施に際して、前橋市、自動運転バスを運転していた日本中央バス株式会社、遠隔監視・操縦管制を行った日本モビリティ株式会社等に対してヒアリングを実施し、自動運転走行に関する意見や導入に向けた意向を確認した。

(1) 自治体へのヒアリング

本調査検討の自治体である前橋市に対して、以下の要領でヒアリングを実施した。

日時：令和3年3月9日（火） / 10:00～12:00
場所：前橋市役所（群馬県前橋市大手町2丁目12番地1）
方法：対面によるヒアリング調査

ヒアリング調査の結果は以下のとおりである。

●将来的な自動運転車両導入の期待

- 2022年度の自動運転の実運用に向けては、運転手なしで、保安員を乗車する形式での運用を検討している。遠隔のオペレータは二種免許を持った方が安全確認をする。
- すべてのシャトルバス便を自動運転とすることは難しいと思われ、再度実証の形式で期間内のうち、数便を自動運転とすることなどを検討している。

- 最終的にはコストメリットが生じる運用を検討している。しかし、過渡期的には、保安員が増え、そこに遠隔で運転手が遠隔監視・操縦管制を行うため、コストが増えてしまう可能性がある。

●自動運転実装に向けての今後

- (1) GPS 不感地帯の問題、ロータリーの改善について調査事業を行う
- (2) 中央前橋駅のロータリー運用改善を行う（バースの変更）
- (3) 運賃決済の検討
- (4) バス路線の再編
- (5) 遠隔管制室の共同運営に関する検討

●共同管制センターについて

- バス事業者で持つか、協議会で持つのかなど整理が出来ていない。
- 前橋市の利用としては、バス事業者の中に遠隔管制室を整備し、6社で共同運営していただくことである。しかし、法的な部分などはまだ確認できておらず、路線運行については、関東運輸局に路線の運行者の届け出などが必要になっている。
- 前橋市の事業として他事業者と共同運営し複数路線を遠隔監視・操縦管制をする場合に、例えば市外路線においても実施してよいのか、その他法的な整理ということも必要になる。
- 遠隔監視・操縦管制を請け負うような別会社が一括管理する方法もあるかもしれない。

●5G利用の課題

- キャリア5Gの敷設計画が不明である。
- エリアカバレッジの問題として、シャトルバス区間内を基地局何本で覆うことが出来るのか。また、アンテナ費用が高いため、イニシャル・ランニングが大きな課題である。

●その他自動運転バス導入の障害

- 前橋市のコスト負担の問題、交通再編による最適化のみが課題になると思われる。
- バス路線再編は来年3月から実施され、最終的にJRの発着時間に接続させる予定である。地域交通事業者へのヒアリング

(2) 地域交通事業者へのヒアリング

地域交通事業者である日本中央バス株式会社に対して、以下の要領でヒアリングを実施した。

日時：令和3年2月26日（火） / 13:30～15:30
場所：日本中央バス株式会社（群馬県前橋市下佐鳥町 455）
方法：対面によるヒアリング調査

ヒアリング調査の結果は以下のとおりである。

●本年度の実証実験の意見

- 運転手曰く、自動運転の精度・安心感は昨年と比較し増していた。
- キャリア 5G の利用については、特段運転に影響があるものではなかった。
- 未だ走行区間における課題は残っている。

●将来的な自動運転車両導入の期待

- 前橋市と協定を結んで取り組んでおり、導入に向けて引き続き検討を続けていきたい。
- 運転手不足は切実な問題であり、その補完が出来ることが望ましい。

●自動運転実装に向けての課題

- (1) 五差路交差点における他車両挙動への対応
- (2) 路上駐車車両への対応
- (3) 車内の安全管理
- (4) バス運転手の行動への適応
- (5) 福祉対応

●運賃收受モデルについて

- 前橋市内バス事業者の賃率をもとに運賃を定めている。自動運転の導入有無によって、運賃が変更となることは基本的にはあり得ない。

●共同管制センターについて

- バス事業者で持つか、協議会で持つのかなど整理が出来ていない。
- 前橋市の事業として他事業者と共同運営し複数路線を遠隔監視・操縦管制

をする場合に、例えば市外路線においても実施してよいのか、その他法的な整理ということも必要になる。

- 遠隔監視・操縦管制を請け負うような別会社が一括管理する方法もあるかもしれない。

●その他自動運転バス導入の障害

- イニシャル、ランニングともに厳しい状態にある。
- 二種運転免許取得者が、遠隔監視・操縦管制の対象者である場合には、結果これまでのバス運転手が実施することとなり、人手不足の問題などは複数監視が出来ない限り解決しないと思われる。

(3) 遠隔監視・操縦管制オペレータへのヒアリング

遠隔監視・操縦管制を行ったオペレータに対して、以下の要領でヒアリングを実施した。

日時：令和3年2月26日（火） / 16:00～17:30

場所：CRANTS 遠隔管制室

方法：対面によるヒアリング調査

ヒアリング調査の結果は以下のとおりである。

●車両側が5Gになったことで、遠隔監視・操作においてどのような変化を感じるか。

- 映像が細かく鮮明に見える。映像が途切れることが少ないため、遠隔監視でも判断がしやすい
- 4G/LTEは映像がカクカクしてしまい車両の動きや信号が変わったタイミングを捉えにくいですが5Gは映像がなめらかで監視しやすい。

●死角の路側センサ（カメラ）が増えたことで、遠隔監視・操作においてどのような変化を感じるか

- 右左折する際、死角になっている部分を路側カメラで移しているため確認しやすい。
- 死角が見えるため、右左折する際安全確認が正確に素早くできる。

● 死角の路側センサ（レーザーセンサ）が増えたことで、遠隔監視・操作においてどのような変化を感じるか

- 右左折する際、映像での判断が難しいときレーザーセンサであれば動きがあるものを捉えられる
- 死角からくる車両の動きがわかるため右折するタイミングの判断がしやすい。

● 死角の路側センサ（カメラ+レーザーセンサ）が増えたことで、遠隔監視・操作においてどのような変化を感じるか

- カメラからの映像では確認しにくい部分を移しているため確認がしやすい。
- カメラ+レーザーセンサがあることで、死角から接近してくる車両等を立体的に確認できるため距離感や動きを捉えやすくなっている。

● 管制システムの改善点は？

- 再接続が手間、1つのキーボードで操作できればいい
- 5Gが不安定(接続がたまに切れる)
- バスの9分割カメラが死角がある。カメラが管制室側から操作できるとより良い
- カメラの設定(露出等)が自動で変わってくれればいい。夕方の太陽光で見にくい時がある
- 4G/LTEだと解像度が低い為信号見にくい
- 路側AIカメラで、動いている車両にバウンディングボックスが出ているとわかりやすいが止まっている車両でに出ている場合後続車両がわからなくなる事がある。送られてくる動画のfpsももう少し早いほうが良い
- lidarの場合も後続車両が見えなくなる
- 右折時レーザーセンサに自車が写っていないため判断しにくい、バス画像と路側画像で時間差があるため判断に迷うときがある
- バスを何台も監視するときには9分割にも巻き込み防止の観点で検出枠があったほうが良い(ただいつも枠があると邪魔なので特定のタイミング(左折時だけなど)で有ることが望ましい)
- 4G/LTE, 5Gだと標識が見えない(細かい数字が見えない)
- 相手車両の譲りの合図(車内)が見えない
- 信号が点滅して見える。このことから比較的時間が短い光(パッシング等)は見にくい
- 車線変更時などで左右カメラの距離感やスピードがわかりにくい(鳥瞰画像などが車線変更時に出てくれると距離感がつかみやすくなるかも)

●全体を通してコメント

良い点

- 資格でも安全確認ができるカメラが取付けられているため確認がしやすかった。
- 資格カメラで確認ができない人影があればレーザーセンサで確認ができるので良いと思った。
- 4G/LTE に比べて5Gのほうが映像が鮮明で見やすい
- 中央前橋駅のロータリーに入る際に、死角を映しているカメラがあるため右折するタイミングが判断しやすかった
- スイッチで路側機器1と路側機器2を入れ替えて表示することができる為判断が素早くできる
- 9分割カメラは一度に様々な方向を見られるので危険を見つけやすい
- 4G/LTE はなめらかで5Gは鮮明で見やすかった
- 路側カメラは人や車に検知枠が出るのでわかりやすい
- レーザーセンサはなめらかに動いていて路側カメラより距離感がわかりやすい

悪い点

- 5Gが映らなくなってしまうことが多かった
- 夜間信号機から距離があると街頭の光が強くてどの光が信号機なのか、信号は何色なのか分かりづらい
- 街頭が当たらないところだと暗い色の服を着ている人が分かりづらい
- 距離があるとウィンカーがわからない(信号待ちをしている前方車両は確認できる)
- 今後何台ものバスを監視する際はバスが時間通り運行しているかわかると良い
- 4G/LTEは画質が荒く、5Gはかくかくしてしまう事が多かった

4.7.4.2 アンケートの実施

公道実証実験に参加する一般乗客を対象として、アンケートを実施した。実施概要は以下に示すとおりである。①から④にてアンケート結果を記す。

日時：令和3年2月15日（火）から2月28日（日）※水曜日、木曜日を除く
/ 9:00～18:00
場所：JR前橋駅（群馬県前橋市表町）/上毛電鉄中央前橋駅（群馬県前橋市三河町）
方法：webアンケート（一部紙でのアンケートも受付）
サンプル数：157（欠損数：15）
調査事項： ①性別
②年代
③バスの利用目的（通常時/自動運転時）
④自動運転バスの乗り心地/安心感
⑤将来の自動運転バスの利用意向

(1) 参加者の属性

アンケート回答者の年代は図4.7.4-1のとおり。10代から70代以上までの各世代について、10名以上が自動運転バスに乗車し、アンケートに回答した。40代男性、50代男性の乗車数が多く確認されていた。

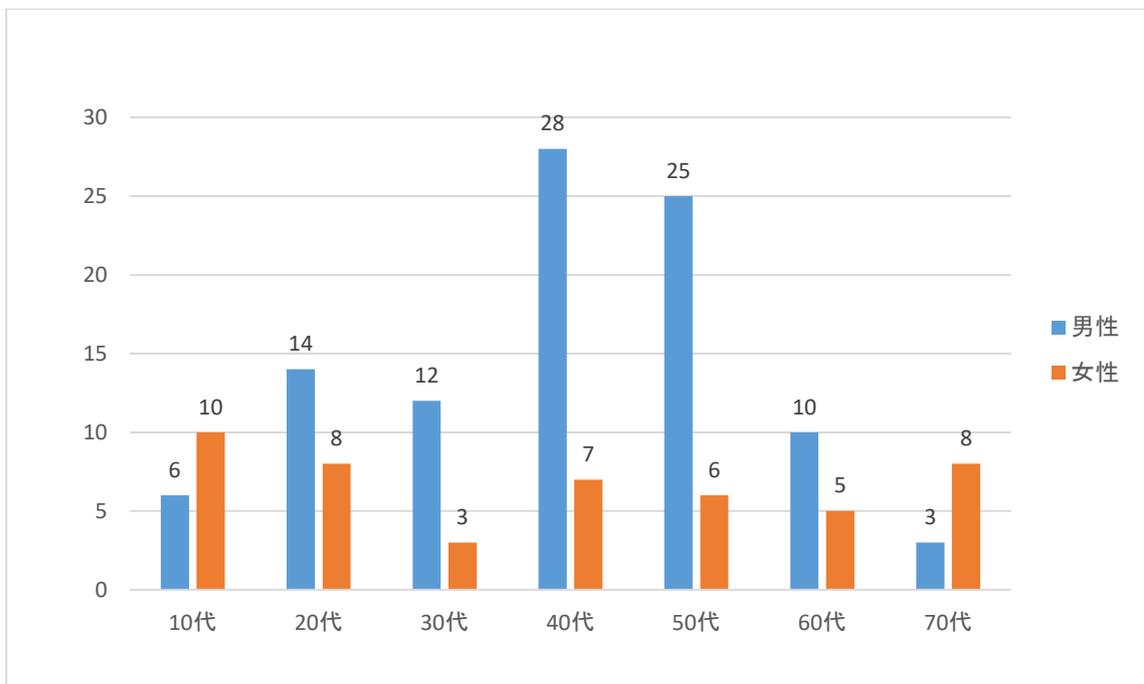


図 4.7.4-4.7.4-1 アンケート回答者の年代別グラフ

自動運転バスの乗車する方の居住場所については、前橋市内が 49%、前橋市外が 51%となり、約半数が前橋市以外の地域からの乗車していた（図 4.7.4-2）。

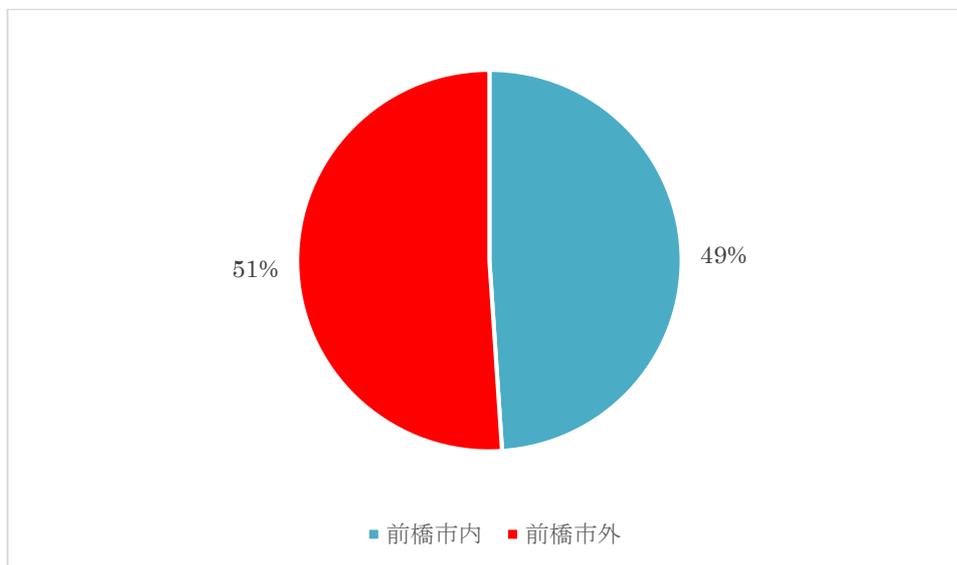


図 4.7.4-2 アンケート回答者の居住場所

また、前橋市外の乗車については、回答数の最も多かった 40 代男性、50 代男性が多く確認された（図 4.7.4-3）。

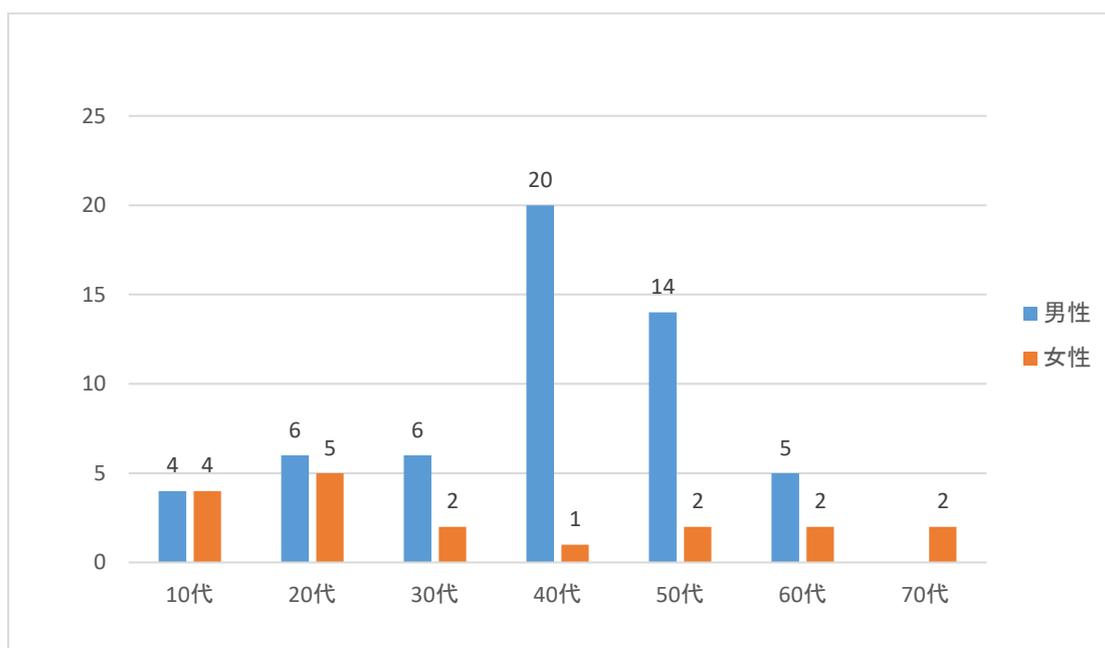


図 4.7.4-3 前橋市外に居住するアンケート回答者の年代別グラフ

普段利用する交通手段については、自家用車と回答する方が全体半数以上となった（表 4.7.4-1）。前橋市内外から問わず自動運転バスに乗りいただいたが、普段利用する交通手段として、前橋市外と比較しても、前橋市内から自動運転バスに乗りした方の普段の交通手段として、自家用車の比重のみが大きいことが確認される（図 4.7.4-4）。また、通常のシャトルバス区間で走行実証実験を実施したが、バスを普段利用している方は全体の 30%程度となり、バスの移動分担率の低さが推測される。

表 4.7.4-1 普段利用する交通手段

回答	度数	割合
徒歩	38	24.2%
自家用車	92	58.6%
バス	47	29.9%
電車	64	40.8%
タクシー	10	6.4%
自転車	27	17.2%
利用しない	0	0%
その他	3	1.9%

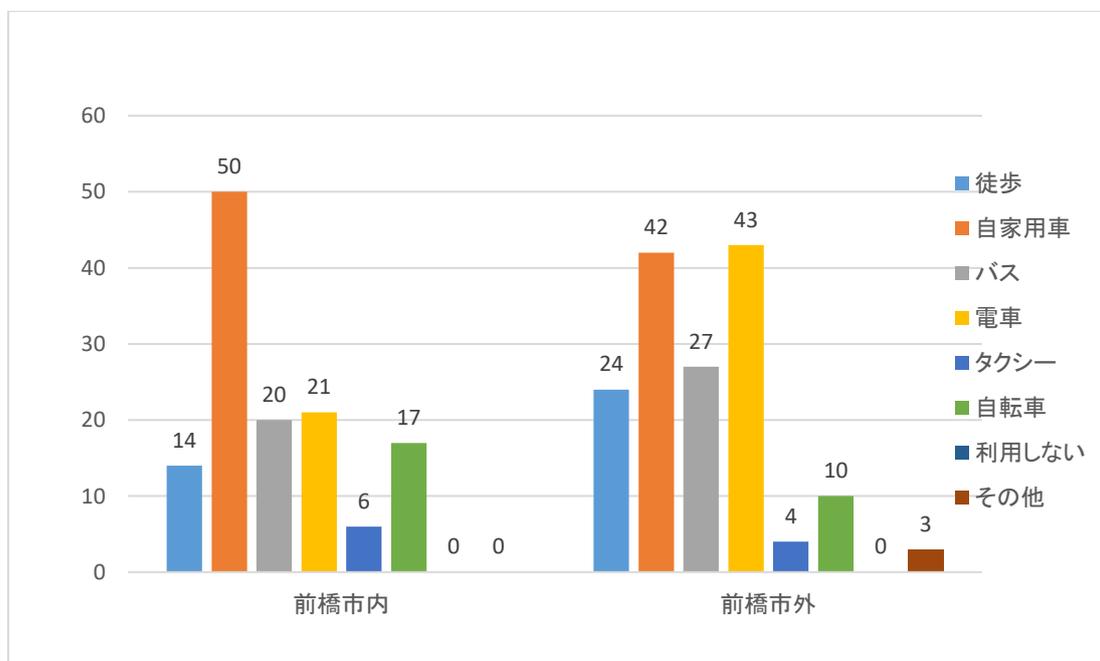


図 4.7.4-4 居住地別の普段利用する交通手段

(2) バスの乗車目的

普段のバスの乗車目的として、「通勤/通学」、「駅に行くため」といった回答が確認される一方、「利用しない」と回答した方が約30%（46名）で最も多かった（表4.7.4-2）。

年代別の利用目的として、20代から60代の各世代ともに「通勤/通学」など、一定数が日常的に利用していることが確認される。しかし、今回最も回答数の多い、40代、50代については、「利用しない」との回答数が最も多かった（図4.7.4-5）。

表 4.7.4-2 バスの乗車目的

回答	度数	割合
通勤/通学	44	28%
レジャー（映画、ショッピング）	28	17.8%
通院	5	3.2%
駅に行くため	45	28.7%
利用しない	46	29.3%
その他	2	1.3%

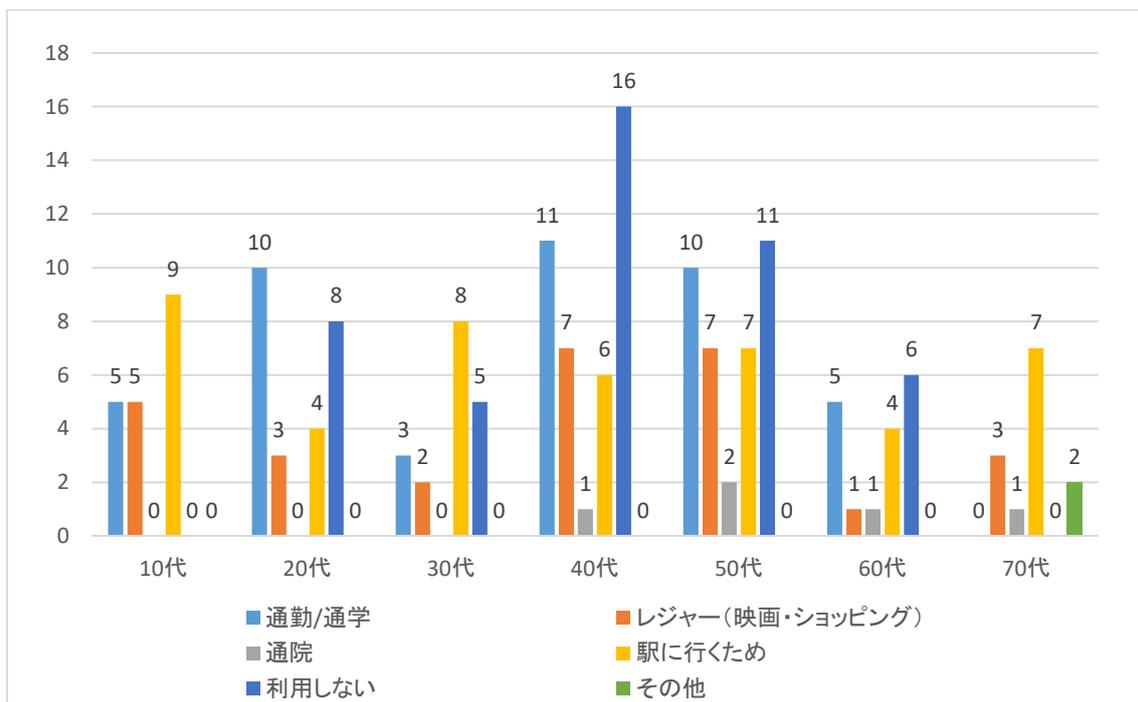


図 4.7.4-5 年代別のバスの乗車目的

自動運転バスの乗車目的としては、約51%の方が「自動運転バスに乗ってみたかったため」と回答し、次いで「駅に行くため」が多かった（表4.7.4-3）。年代別の利用目的では、回答数の多かった40代、50代、次いで20代が「自動運転バス

に乗って見たかったため」と回答しており、前述の普段のバスの利用目的と比較すると、自動運転バスへの乗車を目的として、日常的に利用していない層が乗車していることが推測される（図 4.7.4-6）。

表 4.7.4-3 自動運転バスの乗車目的

回答	度数	割合
通勤/通学	13	8.3%
レジャー（映画、ショッピング）	15	9.6%
通院	3	1.9%
駅に行くため	39	24.8%
自動運転バスに乗って見たかったため	80	51%
その他	10	6.4%

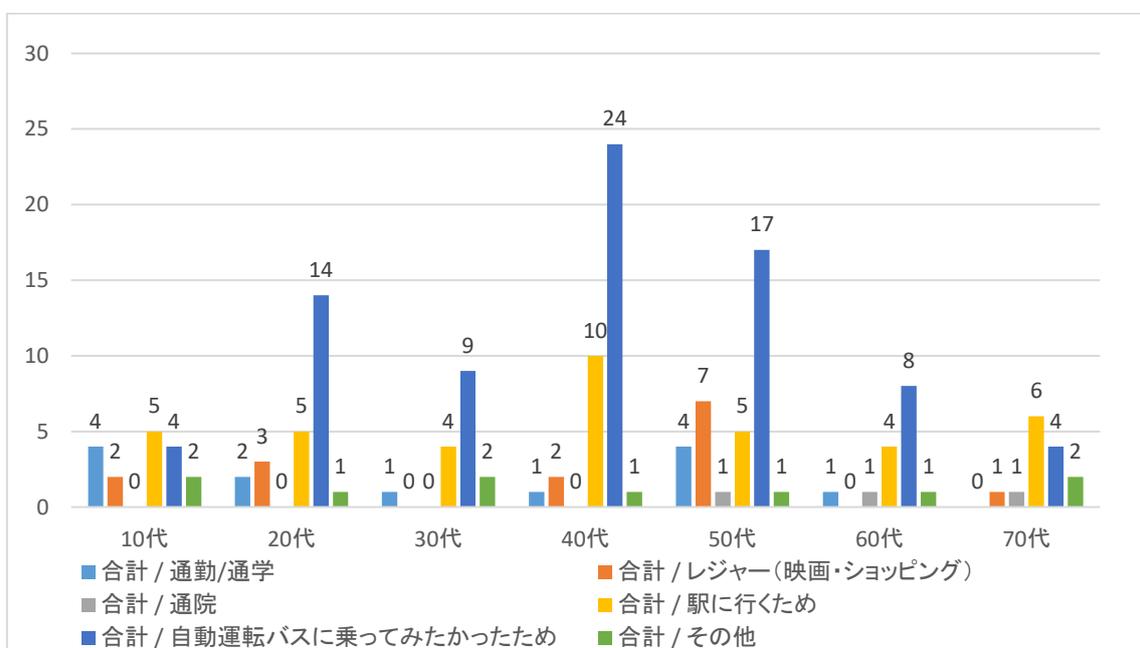


図 4.7.4-6 年代別の自動運転バスの乗車目的

前橋市内・外の利用目的では、市内市外問わず、約同数が「自動運転バスに乗って見たかったため」と回答しており、市外においても自動運転バスの公道走行実証に関心が寄せられていることがわかる。また、前橋市内の回答者が、市外と比較し、「駅に行くため」と回答している方の数が多いことが確認され、当該区間を走行するシャトルバスが、JR 前橋駅と上毛電鉄中央前橋駅を結節し、他駅に移動するための路線として活用されていることがわかる（図 4.7.4-7）。

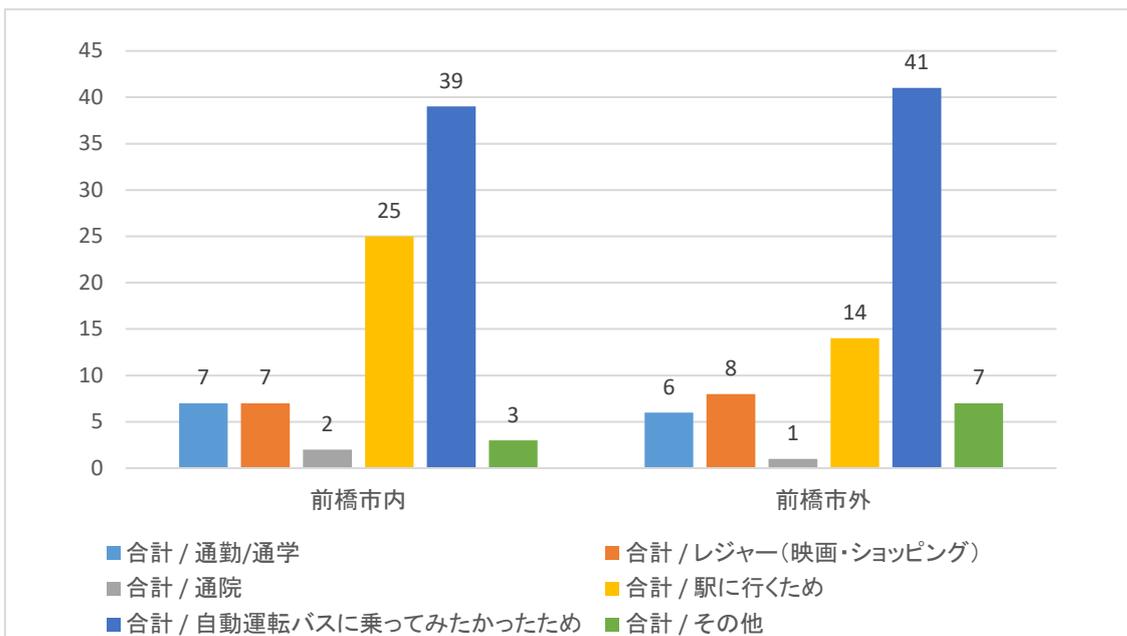


図 4.7.4-7 居住地別の自動運転バスの乗車目的

(3) 自動運転バスの乗り心地・安心感

自動運転バスの乗車し、普段のバスと比較して乗り心地がどうであったかについて、約 73%が、「普段のバスと変わらなかった」と回答しており、多くの方にとって、本調査検討の自動運転の走行について、普段のバス路線と同等のサービスの提供が行われていると確認できた（図 4.7.4-8）。

なお、自由回答として、「普段のバスより遅いのが気になった」、「ブレーキが普段の方が優しい気がする」など、自動運転システムの制動として、改善点が確認される。

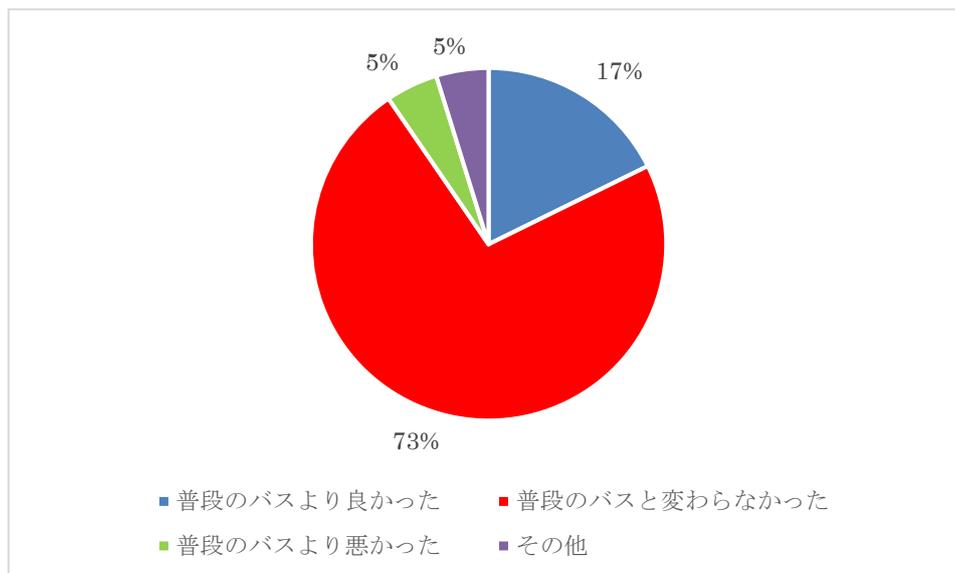


図 4.7.4-8 自動運転バスの乗り心地

自動運転バスの乗車における安心感について確認したが、自動運転の乗り心地と同様に、約70%程度の方が「普段のバスと変わらなかった」と回答していた（図4.7.4-9）。自由回答として「不安がまだ残る」「人が乗っていなかったら安心感は変わったかもしれない」といった回答があり、将来的な遠隔型自動運転の実現においては、運転手のいない自動運転走行が利用者の安心感、不安感にどのように影響を与えるのかを調査する必要があると検討される。



図 4.7.4-9 自動運転バス乗車における安心感

なお、令和元年度の自動運転バスの公道走行実験を実施した際（サンプル数：104）、同様の設問を確認した際には、自動運転バスののち心地については、「普段のバスより良かった」が15%、「普段のバスと変わらなかった」が67%となり、自動運転バスの安心感については、「普段のバスより良かった」が16%、「普段のバスと変わらなかった」が67%であった。昨年度の実証実験と比較し、乗り心地、安心感ともに「普段のバスと変わらない」とする回答数は増加し、JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅の走行区間における市民の社会受容性の向上が確認できる。

(4) 自動運転バスの利用意向

走行区間における、自動運転バスの将来の利用意向については、約 97%が「乗りたいと思う」と回答し、自動運転バスの実装について、期待が寄せられていることが確認できる（図 4.7.4-10）。

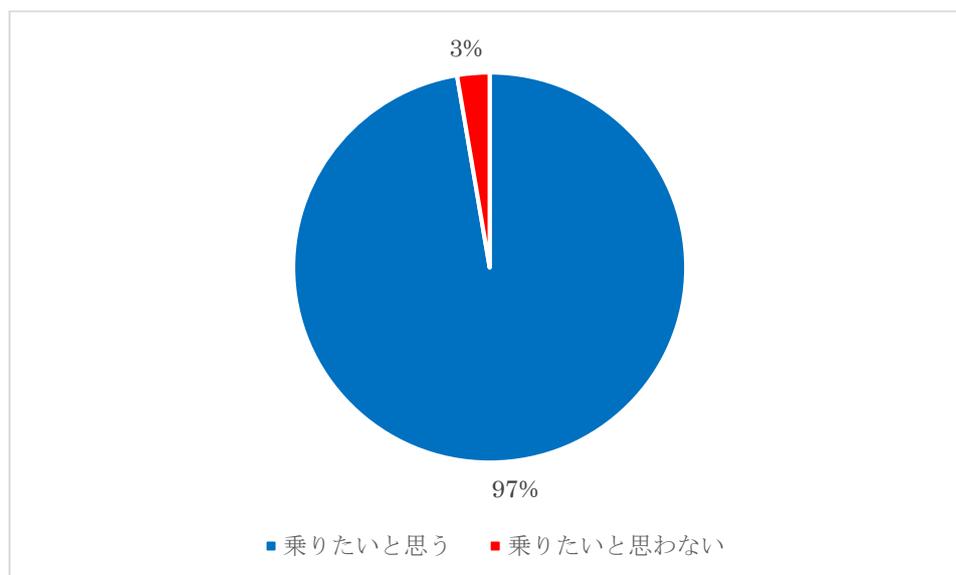


図 4.7.4-10 走行区間における自動運転バスの利用意向

その他、自由回答として以下の回答が得られた。利用者からは運転手が乗っていたため、自動運転の実感がわからなかったとして、運転手のいない自動運転の実現など期待があった。しかし、一方で、加減速や発進・停車、走行速度といった車両の制動について、普段のバス走行と比較し課題と考えられる点があり、今後の遠隔型自動運転による無人移動サービスの実現に向けては、改善が求められると考えられる。

- 早く完全自動運転・レベル4の自動運転が可能になるとよい。
- 運転席裏のモニターはドライバーの手元や周囲8方の確認ができるため安心感がある。
- 停車、発進が雑に思う。ブレーキが急だった。
- 普段のバスより遅いため、急いでいるときはちょっと。

4.7.5 考察

遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間））、及び路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間））の2つの課題解決システムに関して、公道実証実験実施についての考察を示すとともに、自治体、地域交通事業者へのヒアリング、利用者へのアンケート結果を踏まえた考察を示す。

4.7.5.1 遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間））

本検証は、令和3年2月15日（月曜日）～令和3年2月28日（日曜日）の水曜日・木曜日を除く全日程、9時から19時半の間運用され、正常に動作することを確認した。

この結果は、高画質な車載カメラに加え、センサ情報を遠隔管制室に転送することでオペレータの安全確認業務を支援するシステムが公道環境にて運用可能であることを示していると考ええる。今後については、AIによる提示したい情報の補強など、さらなるオペレータの業務効率向上に資するシステムの高度化を進める必要がある。

4.7.5.2 路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間））

本検証は、令和3年2月15日（月曜日）～令和3年2月28日（日曜日）の水曜日・木曜日を除く全日程、9時から19時半の間運用され、正常に動作することを確認した。

この結果は、車両の死角情報を補完することで、オペレータの安全確認業務を支援するシステムが公道環境にて運用可能であることを示していると考ええる。今後については、製品化に向けた耐久性などの評価やフォールトトレラント機構の開発など、さらなる信頼性向上に資するシステムの高度化を進める必要がある。

4.7.5.3 ヒアリング考察

前橋市、及び日本中央バス株式会社へのヒアリングを実施し、両者ともに群馬大学と三者で結んだ「自動運転の～協定」に基づき、自動運転バスの実装に向けて、平成30年度より実証実験を重ねてきた。前橋市の委託路線の維持困難、及び、バス運転手の担い手不足といった課題の解決に向けて、バス車内に保安員を配置し、遠隔監視・操作者が遠隔管制室から作動が必要な際のみ介入する遠隔型自動運転の実現を目指して、今後は引き続き検証を続けていくこととしている。

実現に向けては、自動運転の走行技術向上の一方で、走行時における乗客の安全管理の課題は未解決であった。地域交通事業者として走行中の乗客の安全確保は必要であり、加減速、発進・停車といった制動を通常のバスと近づける他、車内のアナウンス等の車内管理等、検証すべき課題が残る。

また、今後、遠隔型自動運転を実装するにあたっては、現在のガイドラインとして、大型二種運転免許取得者が遠隔監視・操作者として、運行を監視する必要がある、過渡期的には、これまでのバス運転手が、本調査検討のシャトルバス区間で遠隔監視・操縦管制を検証する等、コスト増が見込まれる。共同管制センター等、複数事業者がもつバス路線を遠隔監視・操縦管制を行うことが出来ることによって、コストメリットが生じ、バス運転手の不足といった課題への対応ができることが想定され、引き続き、実装に向けた検証が求められる。

遠隔管制室のオペレータからのヒアリング結果では、遠隔監視・操縦管制（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両ー遠隔管制室間））の5Gでの通信と、4G/LTEでの通信の比較において、明確に5Gの方が監視業務において優位であることが示された。

また、路車間協調通信①（5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側ー遠隔管制室間））については、死角の状況の鮮明な情報により正確に安全確認が行えることが示された。

システムの改善点としては、システムの操作方法や性能の向上について言及があったほか、5Gについてもより安定性が求められることが分かった。今後は本情報を参考に、システムの改善を行うとともに、その他自動運転の機能についても向上することで、全体的なシステムの高度化を図っていく必要がある。

4.7.5.4 アンケート考察

JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅の区間において、一般利用者を対象としたアンケートを実施したが、普段の移動手段や、バスの利用目的より、当該区間のバス利用率の低さや、自家用車の移動分担率の高さを再確認することが出来た。

しかし、本調査検討における自動運転バスの走行実証実験の実施によって、自動運転バスに乗車することを目的として、普段バスを利用しない多くの人が実験に参加したことが確認され、自動運転バスの実装が利用者増に影響を与える可能性があると推測することが出来る。

今後は、加減速、発進・停車といった自動運転の走行技術の向上の他、遠隔型自動運転の走行を検証することによる、運転席に運転手がない場合におけるバス乗車の安心感等を確認するなど、より良い自動運転走行の実現に向けて検証が求められる。

4.8 課題解決システムのローカル5G⇄キャリア5G切り替え

4.8.1 実施概要

群馬大学試験路にローカル5Gとキャリア5Gのネットワーク環境を構築し、車載カメラの受信品質に応じてシームレスに切り替えることで遠隔監視業務が継続できるか検証を行う。受信品質の確認は管制室のオペレータの目視による映像の乱れ確認により行い、遠隔監視・操作業務の継続観点で検証する。

本実験では、令和2年度前橋市公道実証実験にて使用する群馬大学所有の路線バス型自動運転車両（以降実験車両）にローカル5G⇄キャリア5Gの切り替え機能を付加した5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューションの車両側システムを搭載し、また、同センター内の管制室に、ローカル5G⇄キャリア5Gの切り替え機能の実装を付加した同ソリューションの管制室側システムを設置した環境で行う。キャリア5Gとローカル5Gは図4.8.1-1のように配置されたアンテナを使用する。

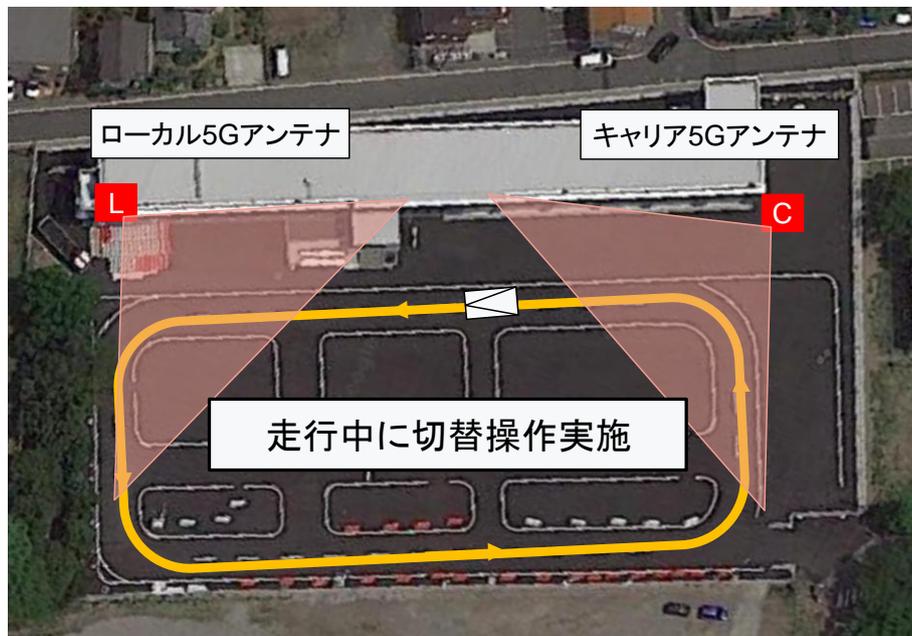


図 4.8.1-1 実験における試験路配置図

4.8.2 検証方法

検証方法としては、実験車両を試験路外周路を周回させ、ローカル5Gの電波強度が良好でない場所において管制室にいるオペレータが、図4.8.2-1の画面切り替え用ボタンを操作することで、ローカル5Gとキャリア5Gのカメラ映像を切り替える。

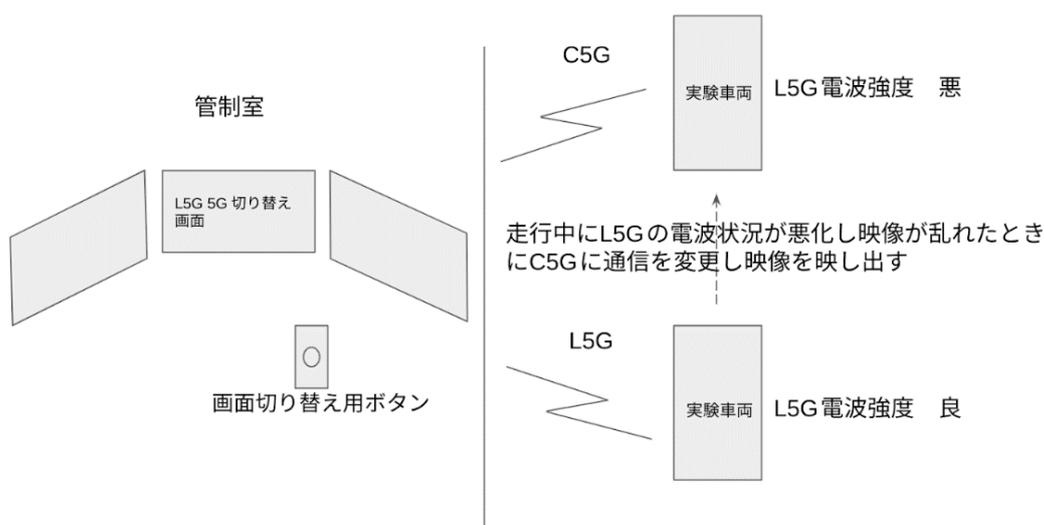


図 4.8.2-1 管制側システムモニター構成イメージ図

4.8.3 検証項目

社会実装時の自動運転の遠隔監視・操縦制御におけるローカル5Gとキャリア5Gの併用を想定して、試験路にてローカル5Gとキャリア5Gのネットワーク環境を同時に構築して、遠隔管制室において車載カメラの受信品質に応じて伝送路を切り替えることで、遠隔監視業務が継続できることを検証する。

4.8.4 検証結果

実験車両が試験路外周路を周回する間にローカル5G⇄キャリア5Gの切り替えは4回行い、切り替え機能が有効であることを確認した。実験結果を図4.8.4-1から図4.8.4-4に示す。結果を見ると、ローカル5G⇄キャリア5Gの映像が正常に切り替わっていることが見て取れる。これにより、本事業における要求仕様であるローカル5G⇄キャリア5Gの切り替え機能の機能が実装され、目標の遠隔監視業務が継続できることを達成していることが明らかとなった。



図 4.8.4-1 実験結果 (切り替え施行1回目ローカル5G⇔キャリア5G)



図 4.8.4-2 実験結果 (切り替え施行2回目キャリア5G⇔ローカル5G)



図 4.8.4-3 実験結果（切り替え施行3回目ローカル5G⇔キャリア5G）



図 4.8.4-4 実験結果（切り替え施行4回目キャリア5G⇔ローカル5G）

4.8.5 考察

今回の検証では、試験路上で同じエリアカバレッジのローカル5Gとキャリア5Gのネットワーク環境を構築し、ローカル5Gとキャリア5Gの切り替え機能により遠隔監視業務の継続性の実証を行った。一般道への社会実装時ではローカル5Gの無線範囲は特定エリアであるため、遠隔監視業務はローカル5Gのエリア外をキャリア5Gに切り替え、ローカル5Gのエリアはローカル5Gに切り替えることを基本とした監視運用が必要と考える。

4.9 課題解決システムの他地域連携（沼津市）

4.9.1 実施概要

静岡県主催の「しずおか ShowCASE プロジェクト」において、5G 対応型車両制御直結ソリューション（車両－路側間）のユースケース検証を実施した。当該事業は、本調査検討とは異なる事業として実施したものであるが、実施した知見等を前橋市にフィードバックすることで自動運転の社会実装に向けた更なるノウハウの蓄積を行うことを目的に事業を実施した（図 4.9.1-1）。

目的として、実証環境が変わっても効果が出せるよう複数地域で実証することを検討しており、沼津市での知見を活かし、完成度を高めるための課題抽出、対応を行うことで、前橋市における自動運転車両の社会実装に向けた知見として役立てることができると考えている。



図 4.9.1-1 他地域（沼津市）の実証概要

以下、表 4.9.1-1 にユースケース検証の内容について示す。

表 4.9.1-1 ユースケース検証内容

項目	検証項目	説明	出力先
1	横断者 検知	自動運転車両の進行方向先の交差点にて、車両で検知できない死角情報を路側カメラにて捉え、リアルタイムで通知することにより安全性向上に資する情報を提供する。 本検証では自動運転の制御システムと連携せず、車内にタブレット PC を設置して運転手および乗客に交通状況を可視化できる形とする。	車載タブレット PC
2	路上駐車 検知	自動運転車両の進行方向先の交差点にて、自動運転車両の走行レーンの阻害となる路上停止車両を路側カメラにて認識し、リアルタイムに通知することにより自動運転車両のレーン変更や走行ルート変更等の行動の効率性向上に資する情報を提供する。 本検証では自動運転の制御システムと連携せず、車内にタブレット PC を設置して運転手および乗客に交通状況を可視化できる形とする。	車載タブレット PC
3	自動運転 車両接近 通知	自動運転車両が進行方向先の交差点に接近することを通知する機能において、通知のリアルタイム性について技術検証を実施する。 本検証では交差点近くの歩道に情報表板を設置して歩行者に交通状況を可視化できる形とする。	情報表示板
4	右左折 検知	対象交差点において、右左折する車両を検知して情報表示板に表示する機能において、表示のリアルタイム性について技術検証を実施する。 本検証では交差点近くの歩道に情報表示板を設置して歩行者に交通状況を可視化できる形とする。	情報表示板
5	速度超過 検知	対象交差点において、進入する車両の速度を計測し、一定速度を超過した車両を検知した際に情報表示板に表示する機能において、表示のリアルタイム性について技術検証を実施する。 本検証では交差点近くの歩道に情報表示板を設置して歩行者に交通状況を可視化できる形とする。	情報表示板
6	路上障害 物検知	自動運転車両の進行方向先の交差点にて、自動運転車両の走行レーンの阻害となる路上障害物を路側カメラにて認識し、リアルタイムに通知することにより自動運転車両のレーン変更や走行ルート変更等の行動の効率性向上に資する情報を提供する。 本検証では自動運転の制御システムと連携せず、車内にタブレット PC を設置して運転手および乗客に交通状況を可視化できる形とする。	車載タブレット PC

4.9.2 検証方法

静岡県庁が主催する「しずおか自動運転 ShowCASE プロジェクト」において、2020年度の活動の一つとして静岡県沼津市にて令和3年1月13日～22日の期間で沼津駅南口から沼津港まで自動運転バスの実証実験を実施する計画があり、そこで5G対応型車両制御直結ソリューション（路側－車両間、路側－路側間）のユースケース検証を実施した。

自動運転バスの走行ルート上で最も交通量が多い大手町交差点を対象として、ローカル5Gネットワーク環境と路側システムを設置した。

以下、図4.9.2-1に設置位置、および図4.9.2-2に設置機器について示す。

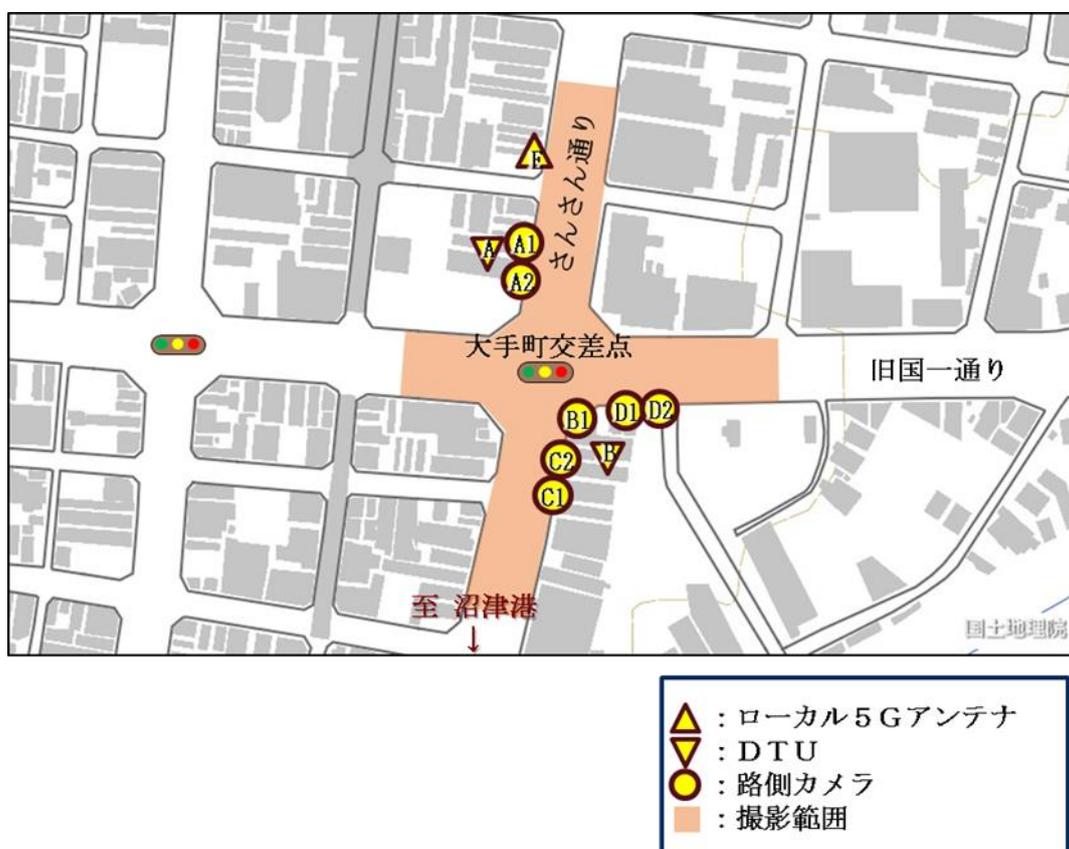


図 4.9.2-1 他地域連携 大手町交差点と設置機器

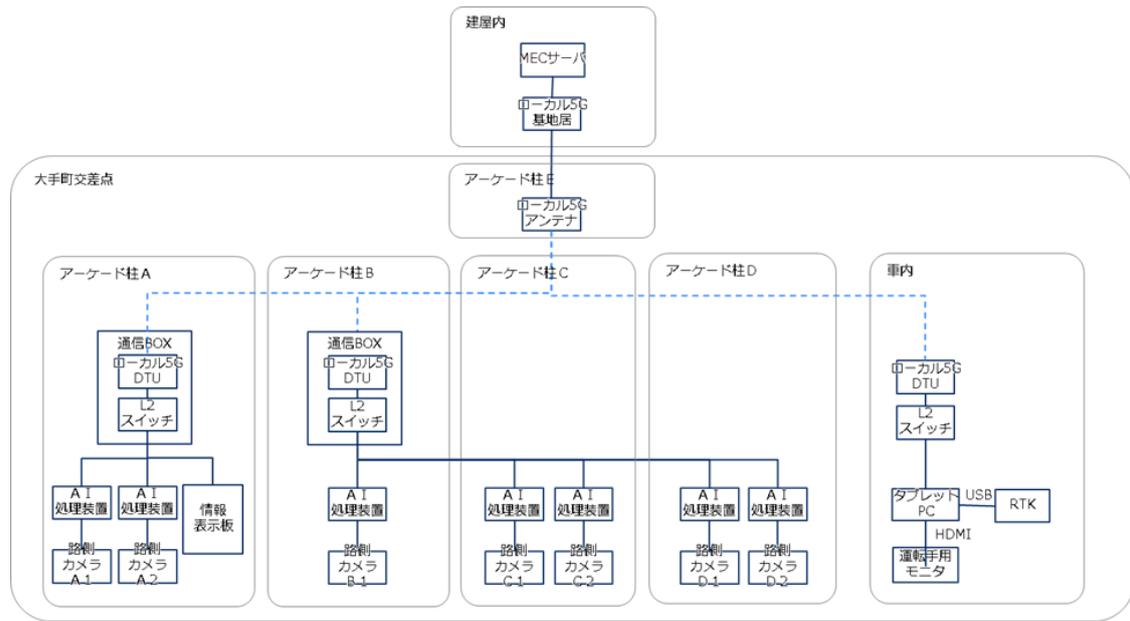


図 4.9.2-2 他地域連携 使用する機器とネットワーク構成図

大手町交差点周辺に DTU を 2 台設置し、そこに路側システム (AI 処理装置および路側カメラ) を 7 組、情報表示板を 1 台接続した (図 4.9.2-3~図 4.9.2-5)。また、自動運転バス内に DTU を 1 台設置し、そこにタブレット PC を 1 台接続した (図 4.9.2-6)。ローカル 5G 基地局に MEC サーバを 1 台接続し、路車間通信環境を構築した。

アーケード柱A

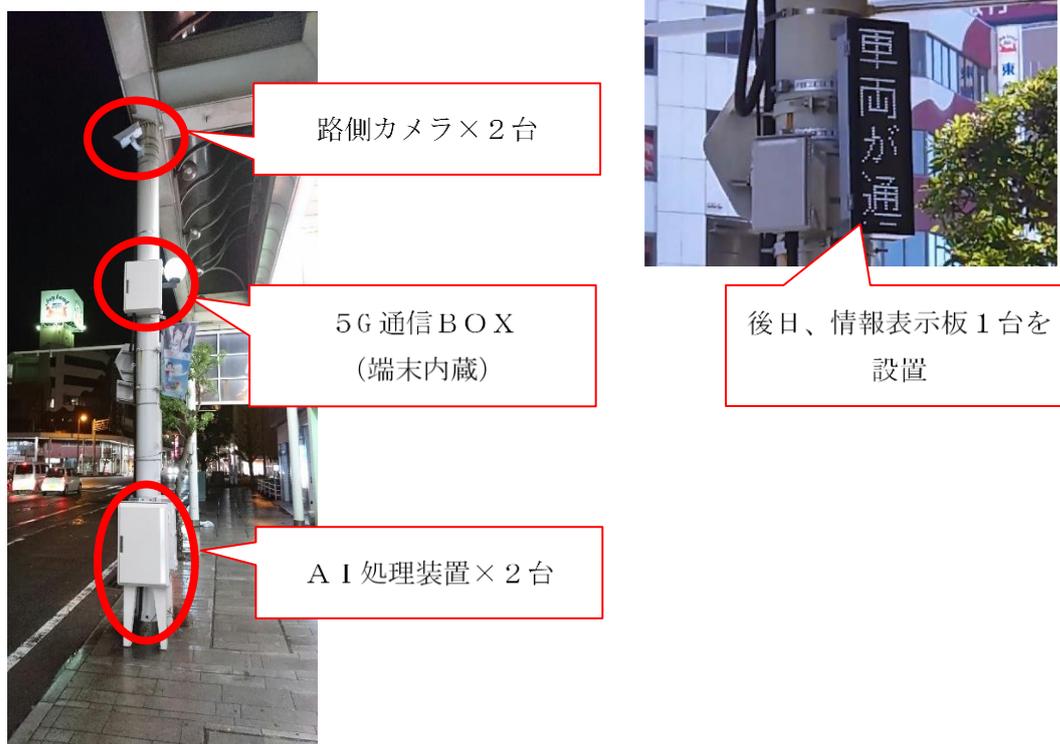


図 4.9.2-3 他地域連携 アーケード柱 A 機器設置状況

アーケード柱B

アーケード柱C

アーケード柱D



図 4.9.2-4 他地域連携 アーケード柱 B~D 機器設置状況

アーケード柱E



図 4.9.2-5 他地域連携 アーケード柱 E 機器設置状況

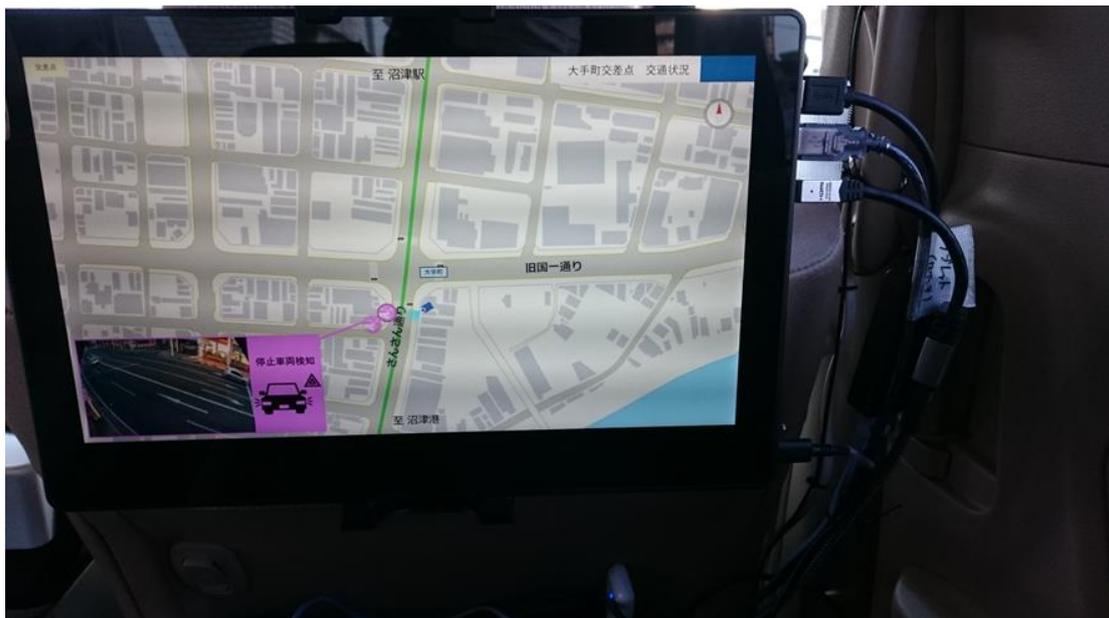


図 4.9.2-6 他地域連携 車載タブレット設置状況



図 4.9.2-7 他地域連携 車載タブレットレイアウト

4.9.3 検証項目

以下、表 4.9.3-1 に検証項目を示す。

表 4.9.3-1 検証項目

項目	分類	検証項目	説明
1	ローカル 5G 通信機能	通信時間	路側システムと MEC サーバ間において通信時間を測定する。 測定には PING コマンドの応答時間を使用する。
2		安定性	路側システムと MEC サーバ間において通信時間の振幅、パケット損失率を測定する。 測定には PING コマンドの応答時間の結果を元に分析する。
3	ユースケース 検証	横断者検知	歩行者への衝突が回避可能なタイミング（停止線の約 20 メートル手前）で、1 秒前の交差点状況を確認できること。
4		路上駐車検知	対象区間の路上駐車・停車状況を事象発生から 1 秒以内に車両へ通知すること。
5		自動運転車両 接近通知	自動運転車両が交差点中心から 40 メートル以内に入った際に、路側の情報表示板へ 1 秒以内に車両接近の情報を通知すること。
6		右左折検知	右左折車両の検知結果を路側の情報表示板へ 1 秒以内に表示すること。
7		速度超過検知	速度超過車両の検知結果を路側の情報表示板へ 1 秒以内に表示すること。
8		路上障害物検 知	対象区間の路上にて障害物を検知してから 1 秒以内に車両へ通知すること。

4.9.4 検証結果

以下、表 4.9.4-1 に検証結果を、図 4.9.4-1 に各路側システムと MEC サーバ間の 5G 通信時間の統計グラフを示す。

表 4.9.4-1 検証結果

項目	分類	検証項目	検証結果
1	ローカル 5G 通信機能	通信時間	<ul style="list-style-type: none"> ・PING コマンド実行回数： 各 AI 処理装置から MEC サーバに対して 300 回、合計 2,100 回実施した。 ・応答時間（往復） ・平均値：45.9 ミリ秒

2		安定性	<ul style="list-style-type: none"> ・PING コマンド実行回数： 各 AI 処理装置から MEC サーバに対して 300 回、合計 2,100 回実施した。 ・応答時間（往復） <ul style="list-style-type: none"> ・中央値：31 ミリ秒 ・最大値：603 ミリ秒 ・最小値：11 ミリ秒 ・標準偏差：59.5 ミリ秒 ・最大振幅：592 ミリ秒 ・パケット損失率：0.005% <p>大幅な遅延やパケット損失が発生した。特にアーケード柱 B 側の DTU において顕著に発生した。これは、5G アンテナとアーケード柱 B の間に交差点があり、大型車両等の通過により電波伝搬効率が低下したものと考えられる。</p>
3	ユースケース 検証	横断者 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・平均値：0.74 秒 <p>目標値を達成した。</p> <p>※路上障害物検知のユースケース検証以外はすべて一つのアプリケーションで同時に検証したため同じ測定結果となっている。</p>
4		路上駐車 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・平均値：0.74 秒 <p>目標値を達成した。</p>
5		自動運転 車両接近 通知	<ul style="list-style-type: none"> ・平均値：0.74 秒 <p>目標値を達成した。</p>
6		右左折 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・平均値：0.74 秒 <p>目標値を達成した。</p>
7		速度超過 検知	<ul style="list-style-type: none"> ・平均値：0.74 秒 <p>目標値を達成した。</p>
8		路上障害 物検知	<ul style="list-style-type: none"> ・平均値：0.61 秒 <p>目標値を達成した。</p> <p>※沼津市における実証期間内では対象範囲において路上障害物が発生しなかったため、日本電気の試験路にて測定を実施した。そのため他のユースケース検証と測定結果が異なっている。</p>

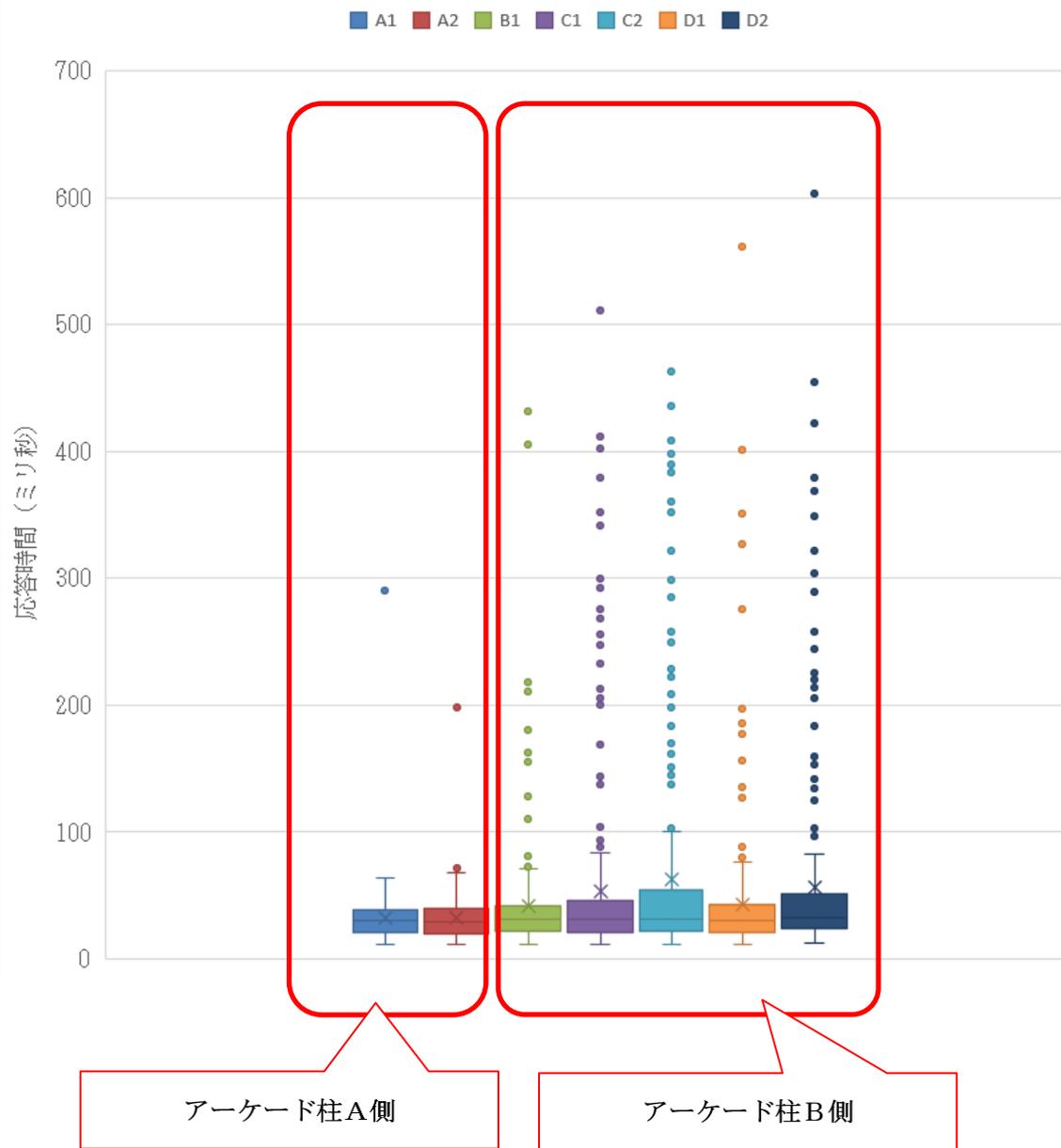


図 4.9.4-1 5G 通信時間の統計グラフ：各路側システムと MEC サーバ間

4.9.5 考察

今回、5G 対応型車両制御直結ソリューションを用いて公道でユースケース検証を実施し、エンドツーエンドでのアプリケーションデータの伝達が目標値である 1 秒以内を達成できたため、本ソリューションが道路交通の安全・安心に資する情報を提供できることを公道で実証できたと考える。

ただし、5G アンテナや端末の設置位置により伝達遅延やパケット損失の発生があるため、社会実装時には 5G アンテナや端末の設置位置について考慮が必要と考える。また、無線通信を使用してデータ伝搬する上で通信遅延やパケット損失は避けられない事象であるため、データ伝搬状況を監視しながら使用する等のアプリケーション側で対策が必要と考える。

4.10 通信制御技術について

将来的に同時接続車両・路側センサー数が増加した際、通信品質が不安定になる恐れがある。我々は独自に①遅延等の通信品質の変動について可視化と予測をする通信分析技術 ②通信品質の変動とカメラ撮影状況に応じて、通信するカメラ毎の優先度や送信画質を自動調整する通信制御技術を開発している。本実証評価では特に②について実証評価を行った。

まず、通信制御技術についての説明を行う。通信品質が変動する無線通信を用いたメディアデータのストリーミングアプリケーションの品質を維持するためには、ストリーミングデータのサイズを圧縮することが重要となる。特に、自動車の運転映像などでは、重要な領域とそうでない領域と明確に分かれる。重要な領域の例としては歩行者や車両、または信号機などが存在する領域である。そのような領域のみを高画質化し、その他の領域（空やビルなどの背景に当たる領域）を低画質化して送信することによって、映像品質を維持しつつ送信映像データ量を大幅に削減することができる（図 4.10-1）。このような重要領域の特定に向け我々は軽量な映像分析技術で物体認識を行う。これに加え、高画質領域についてどれだけの画質で伝送すれば認識が可能であるかを映像分析 AI によって分析することで、できるだけ少ないデータ量で映像を伝送する。

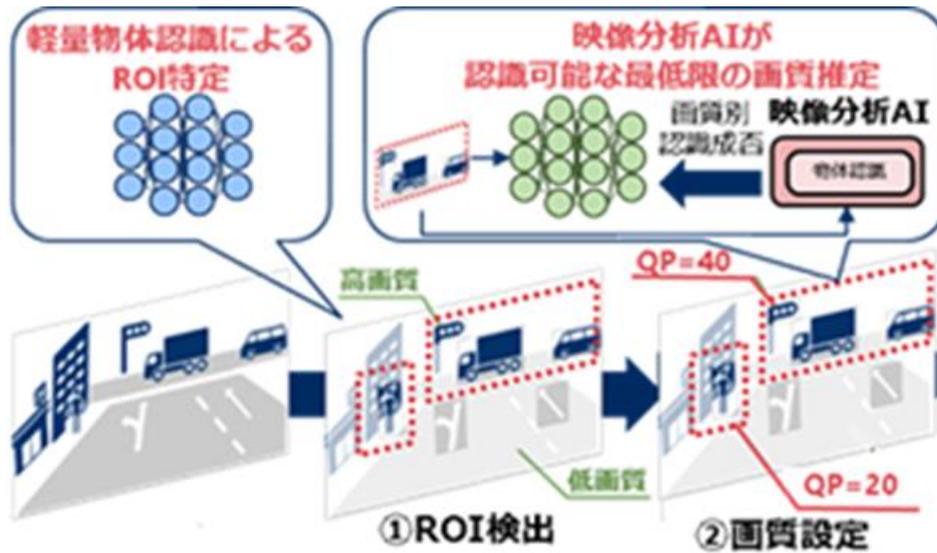


図 4.9.5-1 通信制御技術の概要

本実証実験では、最大約 30km/h で走行する自動運転バスの遠隔監視において本技術を適用し、映像品質を維持したまま送信映像データ量を削減することでアプリケーション品質安定化に貢献可能であることを示す。本実験では前橋駅-中央前橋駅間を走行する自動運転バスの前方車載カメラ映像を 5G 回線経由で CRANTS 内の遠隔管制室へリアルタイムに伝送し、映像品質並びに送信映像データ量を評価した(図 4.10-2)。

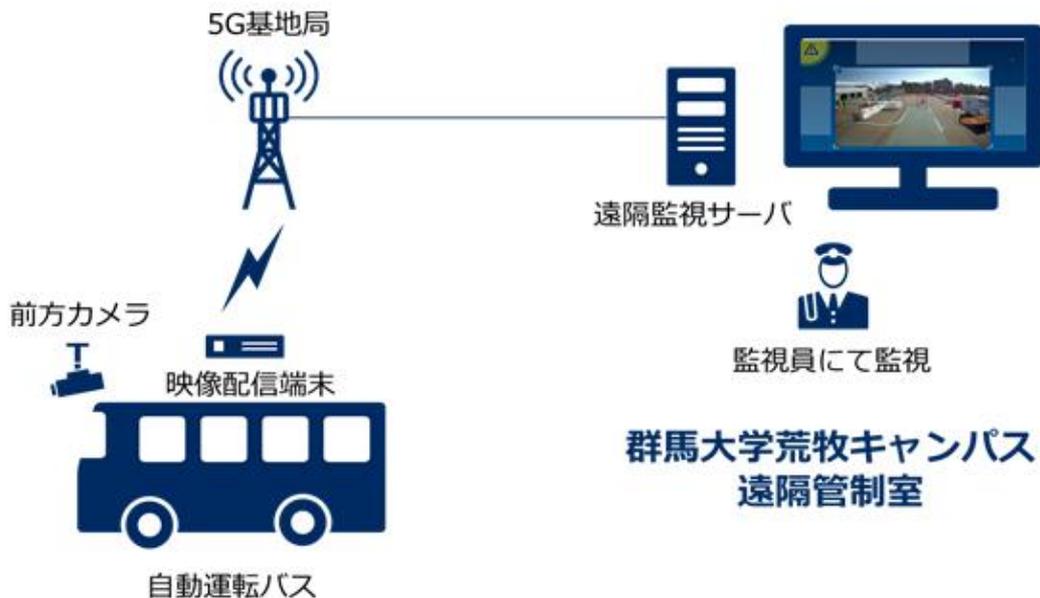


図 4.9.5-2 遠隔管制システム構成図

既存方式を用いて映像伝送を行った場合、約5Mbpsのデータ量が発生してしまうものと考えられる。それに対し、本システムを用いてカメラ映像を重要な領域とそうでない領域とに分割し、重量な領域のみ鮮明化して送信することで監視の品質を維持したまま送信映像データ量を削減することができる。図4.10-3に本制御技術で伝送した映像の例を示す。点線部分が重要領域として高画質に伝送された部分で、それ以外の部分が低画質で送信されている。本システムでは、車両や人が存在する領域を重要領域と判断して高画質に送信することで、監視しやすい映像伝送を実現している。

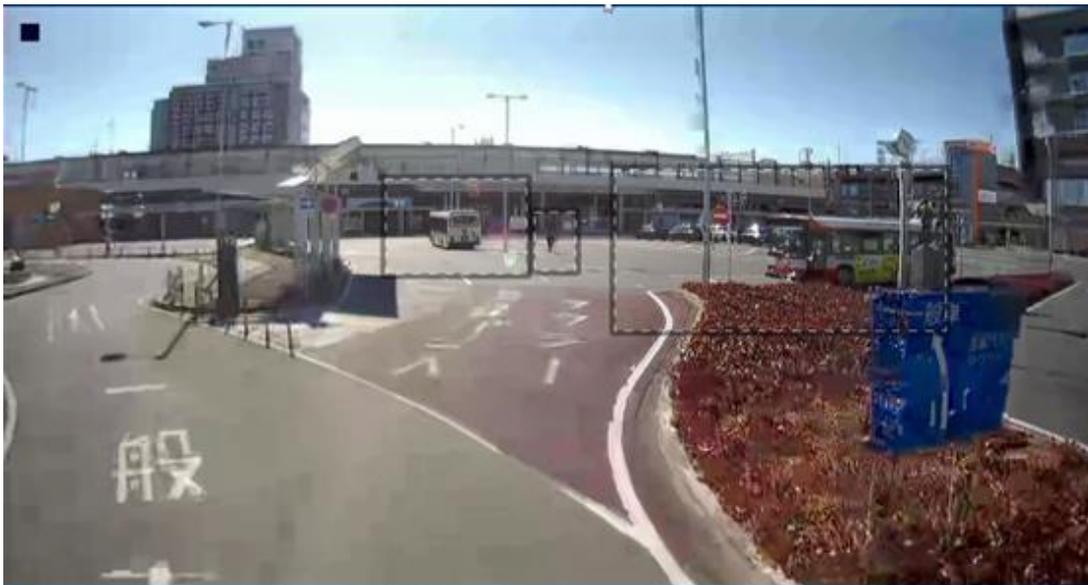


図 4.9.5-3 重点領域のみを鮮明化して送信する通信制御技術（点線部分が重点領域）

また、本遠隔監視映像を監視員によって監視し、画質に対するアンケート調査を行った。アンケート調査の結果、「人や車両、信号機が見やすくなった」などのコメントを得ることができ、監視に必要な映像品質を提供することができていることがわかる。

以上のような実証実験により、将来的に多数接続となることで通信品質が揺らいでしまうような状況であっても、リアルタイムに安定して高品質な映像配信を行い、管制センターによる遠隔制御が可能なことを確認した。

4.11 まとめ

本調査検討では、前橋市における遠隔型自動運転バスの社会実装に向け、5G無線通信システムを用いた3つの課題解決システムによる自動運転バスの安全確保を支援する仕組みを構築し、実証を行った。

(A) 遠隔監視・操縦管制（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間））

ローカル5Gによる大容量の特性を活かして、車両システムから遠隔管制システムへの車載カメラやセンサーのデータを連携することにより、自動運転バスの遠隔型自動運転による円滑な車両運用に効果があることが検証できた。

(B) 路車間協調通信①（5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間））

ローカル5Gによる大容量の特性を活かして、道路側システムから遠隔管制システムへのカメラやセンサーのデータを連携することにより、自動運転バスの遠隔型自動運転による円滑な車両運用に効果があることが検証できた。

(C) 路車間協調通信②（5G 対応型車両制御直結ソリューション（車両－路側間））

ローカル5G及びエッジコンピューティングによる低遅延の特性を活かして、路側システムから車両制御システムへの交通情報データを直結して連携することにより、自動運転バスの緊急停止等のリアルタイム性が求められる運行管制支援に効果があることが検証できた。

以上の結果より、本課題解決システムを導入することにより自動運転車両の安全性向上に資する情報連携ができることがわかった。

一般道での社会実装に向けて今後の対策・改善点としては、道路付帯物や他一般車両による5G通信の遮断・遅延対策などデータ伝搬状況を考慮したアプリケーション側での対策やアンテナ、端末等の機器設置位置の考慮が必要と考える。

上記の課題解決システムを導入することにより自動運転車両の遠隔監視・操縦管制等による安全確保支援に効果があることが検証できたが、今後の社会実装に向けては各課題解決システムの検証で抽出した対策・改善点の対応を進めていく必要があると考える。

5. ローカル5Gの性能評価の技術実証

5.1 前提条件

4. 7GHz帯における電波伝搬特性の解明及び端末からの映像伝送等を想定したローカル5Gの性能評価等を実施した。電波伝搬特性の解明においては、実証地域と類似する他の多くの地域で活用可能で、自動運転を行う交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルの導出を行った。また、技術実証の実施にあたって、以下の点に留意した。

- 交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルの導出において国際規格に依拠した電波伝搬モデルを基本モデルの候補とするなど、ITU及び3GPPにおける5Gの標準化に関する検討状況ならびに情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会におけるローカル5Gに関する検討状況を踏まえて検討を行った。
- 課題実証のために構築する課題解決システムを用いることで、1.5で述べたとおり各キャリアとの干渉調整を行い、既存の無線システムに影響を与えないよう、検証を行った。
- 事前にフィールド測定の実施方法を十分に具体化して必要な測定機材を手配し、測定機材を設置する作業台等を含めて、測定機器類、測定環境等については本コンソーシアムが準備した。

5.1.1 実証地域以外の地域での利用においても有益な成果を得るために、前提条件として留意した点

「自動運転を行う交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルの導出を行うこと。その際、実証地域と類似する他の多くの地域で活用可能な電波伝搬モデルを導出すること」に留意した。

一般的な交通インフラ環境は、乗用車、バス、トラックなどの様々な車両が道路を走行し、それらの車両によって電波が遮られ、基地局と端末間の伝搬損失が時々刻々と変動する。その変動量は、道路の車線の数や通行量により、同時に電波を遮る車両の数が変わることで、道路によって大きく異なると考えられる。

しかし、今回の実証環境は、片側一車線の道路であり、様々な車両が同時に走行する状況が実現できなかった。そのため、そのような環境で伝搬損失の変動を長時間測定し、変動分布を統計的に評価するのではなく、遮蔽物となる車両と受信電力の測定地点の位置関係が明確な状態で伝搬損失を評価することとした。具体的には、電波伝搬特性の測定にあたって、車両内部や車両の高さよりも低い位置の路側の各々の測定地点に対して、電波を遮る位置に遮蔽物となるバスやトラックを配置することにより、遮蔽物となる車両の数が明らかな状態で伝搬損失を評価することで、遮蔽物となる車両の数によって変化する遮蔽損失に関するデータが得られるように工夫した。

5.1.2 ITU 及び 3GPP における 5G の標準化に関する検討等

情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会におけるローカル 5G 検討作業班において、カバーエリア及び調整対象区域の算出法が検討されており、その算出に用いる電波伝搬モデルが定められている。そして、令和 2 年 12 月に制度改正が行われて、対象周波数帯の追加が行われたところであるが、今後、さらに様々な分野でのローカル 5G の利用拡大に向けて、カバーエリア等の算出法の精緻化が期待されているところである。このような状況を鑑み、本技術実証では、カバーエリア算出法の精緻化に資する検討を行った。

具体的には、現在の無線局免許審査基準において定められている電波伝搬モデルでは、基地局アンテナからの距離が 40m 以内では、自由空間損失モデルとなり、40m を超える場所では、拡張秦モデルを組み合わせたモデルとなっている。このモデルを交通インフラ環境におけるカバーエリアの算出に用いる場合、車両が通行できるように建物などの妨害物がない開けた場所となっている道路がカバーエリアとなることから、拡張秦モデルの市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正値は、開放地の値を用いるのが適当と考えられる。

しかし、路側高所と車両の高さよりも低い路側では、道路を走行する車両による遮蔽損失の影響が大きく異なるため、実際には車両による遮蔽損失が大きいためカバーエリアが狭くなるケースにおいて、現在定められている電波伝搬モデルをそのまま適用すると、カバーエリアを過大評価する恐れがある。そのため、このような交通インフラ環境において端末が設置される場所を考慮してカバーエリアをより精緻に算出できることが課題になると想定し、端末設置場所に応じたカバーエリア算出法について検討を行った。

5.1.3 技術実証の対象とするユースケース

秘術実証では以下の 3 つのユースケースを対象として検証を行った。

なお、ユースケースに基づく性能要件の基本的な考え方については、3.2.4 項の、表 3.2.4-1 にて記載のとおりである。

- ・ 5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両—遠隔管制室間）
- ・ 5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側—遠隔管制室間）
- ・ 5G 対応型車両制御直結ソリューション（車両—路側間）

5.2 実証目標

4.7GHz 帯のフィールド測定により、ユースケースに基づくローカル 5G の性能評価、ローカル 5G のエリア構築やシステム構成の検証、その他ローカル 5G に関する技術実証を目標とする。具体的には、以下のようにフィールド測定を行い、交通インフラ環境におけるエリア構築に役立つ知見を得る。

- 群馬大学試験路に構築するローカル5G実証環境において、受信電力や映像伝送等を想定した伝送スループットの測定・分析を実施する。
- 自動運転を行う交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルを導出する。

交通インフラ環境において、4.7GHz帯を用いたローカル5Gの端末の設置自由度を高めるため、端末のアンテナ高が低い場合における車両等による遮蔽損失を定量的に明らかにする。

交通インフラ環境においては、街路灯や電柱等を用いて、高さ3mを超える比較的高い場所に路側システムの端末用アンテナを設置することで、車両等の遮蔽物の影響の軽減が期待できる。しかし、レーダー等、高さ1m程度の比較的低い場所に設置する路側センサーでは、その端末用アンテナを高い場所に設置することが求められると、設置自由度が制限されてしまう。端末用アンテナを比較的低い場所に設置しても所望の通信品質が確保できるエリアを予め把握できれば、路側センサーの設置自由度を高められるが、4.7GHz帯において車両等の遮蔽物の影響をどの程度受けるかは明らかになっていない。このため、車両等による遮蔽損失を定量的に把握することで、端末用アンテナを比較的低い場所に設置できるエリアを予測可能とすることは重要な課題である。

5.2.1 技術的課題

モビリティ分野においてローカル5Gを利用するには、交通インフラ環境におけるローカル5Gエリア構築にて所望エリアで所望通信品質が確保できる必要がある。そして、その利用拡大のためには、エリア構築コスト、作業負荷などの面において、より効率的なエリア構築手法を確立することが課題である。

また、ローカル5Gの無線局免許審査において、申請者が審査基準に従って算出するカバーエリアが実際よりも広くなる場合には、申請者が希望する基地局設置条件での免許取得が難しくなる可能性がある。このため免許取得が必要以上に難しくなることがないように、カバーエリア計算をより精緻に行えるようにすることが課題である。特にモビリティ分野においてローカル5Gの普及を促進するためには、交通インフラ環境におけるカバーエリア算出法の精緻化が課題となる。

特にモビリティ分野においては、5.1.2において説明したように、現在の無線局免許審査基準において定められている電波伝搬モデルを用いてカバーエリアを算出すると、道路における端末設置場所によってカバーエリアを過大評価する恐れがある。そのためにカバーエリアを狭くして無線局免許の申請を行うことが求められて、申請者が希望する基地局設置条件での免許取得が難しくなる可能性がある。そこで、端末設置場所に応じたカバーエリア算出法の精緻化を行うことで、希望する基地局設置条件での免許取得のために、個別にカバーエリアについて調整が必要となるケースが少なくなり、無線局免許の取得に伴う調整のための作業負荷の軽減が期待できる。また、無線局設置後にカバーエリアの実測を行って基地局設置条件を変更するケースが少なくなり、エリア構築コスト増加の抑制も期待できる。

5.2.2 課題に対するアプローチ、検証仮説等

交通インフラ環境におけるローカル5Gのより効率的なエリア構築手法の確立に向けて、以下を実施した。

- 交通インフラ環境に構築したローカル5Gの実証環境において、様々な条件（路側高所、車両内部、隣接する他の車両の有無）で、電波伝搬特性の測定を行った。
- 取得した電波伝搬特性データを用いて、交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルを導出する。その際、様々な条件（路側高所、車両内部、隣接する他の車両の有無）の違いによる電波伝搬損失への影響を定量化した。
- 通信品質と受信電力の関係（受信電力対伝送スループット特性）を求める。
- 様々な条件（路側高所、車両内部、隣接する他の車両の有無）の電波伝搬損失への影響を踏まえて、より効率的なエリア構築手法を提示した。
- さらに、路側において車両による遮蔽の影響が異なる複数の条件で、電波伝搬特性の測定を行い、端末のアンテナ高が低い場合における車両による遮蔽の影響を定量化した。
- 端末のアンテナを低い場所（路側）に設置する場合にエリアを予測する手法を含め、より効率的なエリア構築手法を提示した。

また、カバーエリア算出法の精緻化に向けて、以下を実施した。

- 既存の電波伝搬モデルにおける遮蔽損等を踏まえた新たな係数・補正項に関して、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性・課題を整理した。

5.2.3 技術基準の見直し等に資する新たな知見

交通インフラ環境において、所望エリアで所望通信品質が確保でき、より効率的にエリア構築ができる手法を確立することを目標とした。

また、技術基準の見直し等に資する新たな知見を得るため、ローカル5Gの無線局免許審査基準に記載されているカバーエリア算出法の精緻化について、検討・考察した。具体的には、交通インフラ環境における様々な条件を想定し、既存の電波伝搬モデルにおける遮蔽損等を踏まえた新たな係数・補正項に関して、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性・課題を整理することを目標とした。

5.2.4 実施事項

(1) 調査検討事項（ア）として、

- 交通インフラ環境に構築したローカル5Gの実証環境において電波伝搬特性の測定を行った。

- 通信品質と受信電力の関係（受信電力対伝送するアップット特性）を求めた。

(2) 調査検討事項（イ）として、

- 取得した電波伝搬特性データを用いて、交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルを導出した。その際、様々な条件（路側高所、車両内部、隣接する他の車両の有無）の違いによる電波伝搬損失への影響を定量化した。
- 様々な条件（路側高所、車両内部、隣接する他の車両の有無）の電波伝搬損失への影響を踏まえて、より効率的なエリア構築手法を提示した。
- また、既存の電波伝搬モデルにおける遮蔽損等に応じた新たな係数・補正項に関して、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性・課題を整理した。

(3) 調査検討事項（ウ）として、

- 路側において車両による遮蔽の影響が異なる複数の条件で、電波伝搬特性の測定を行い、端末のアンテナ高が低い場合における車両による遮蔽の影響を定量化した。
- 端末のアンテナを低い場所（路側）に設置する場合にエリアを予測する手法を含め、より効率的なエリア構築手法を提示した。
- また、既存の電波伝搬モデルにおける遮蔽損等に応じた新たな係数・補正項に関して、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性・課題を整理した。

5.2.5 測定環境と各測定に共通事項

5.2.5.1 群馬大学試験路のエリアの紹介

群馬大学試験路の広さを図 5.2.5-1 に示す。

コースは長方形で、長辺方向で約 100m、短辺方向で約 40m である。ローカル 5G 基地局のアンテナは図の左上のアンテナマークの場所に取り付けた（図 5.2.5-1～図 5.2.5-3）。

路側高所 測定地点

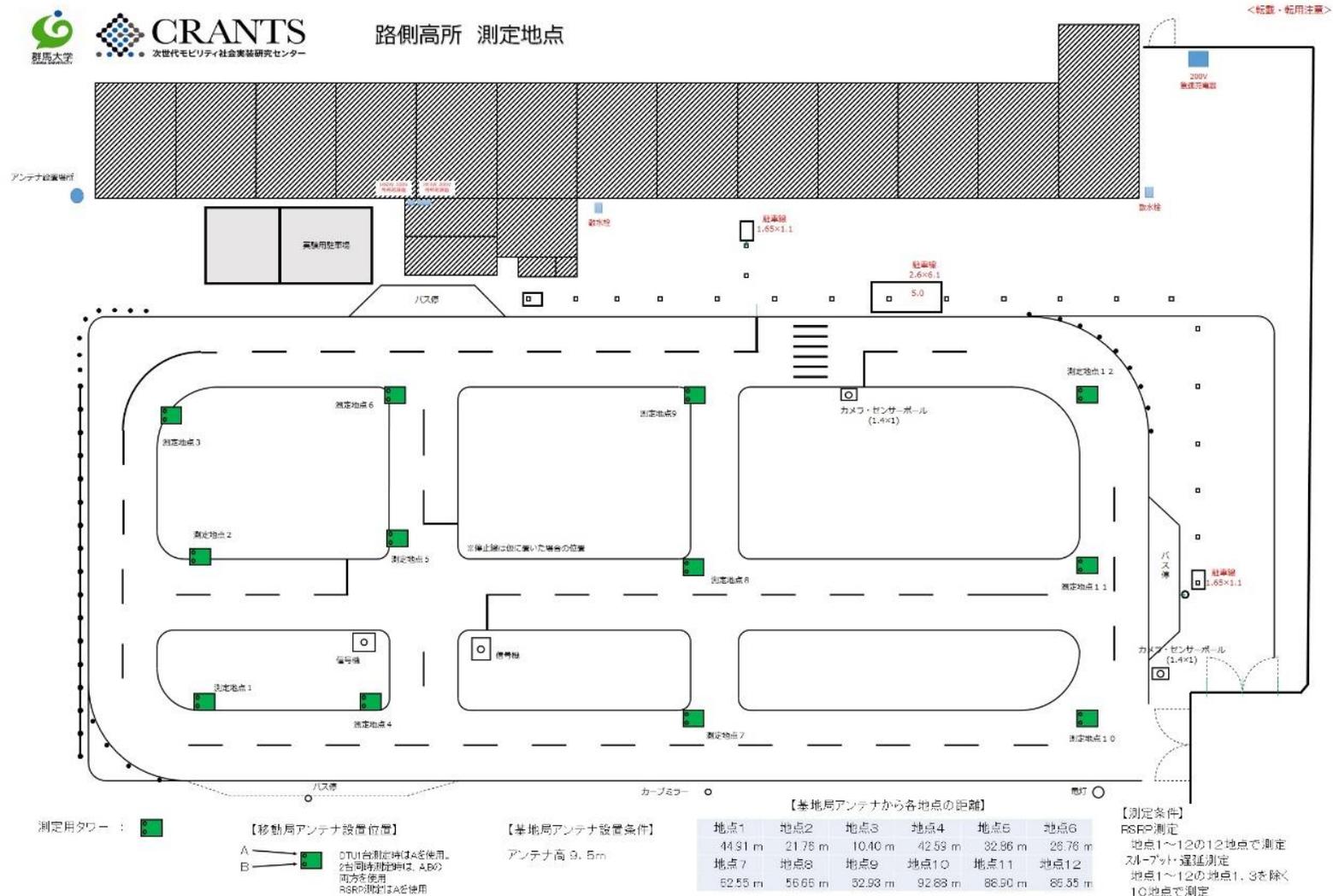


図 5.2.5-1 路側高所

車両内部0/1 測定地点

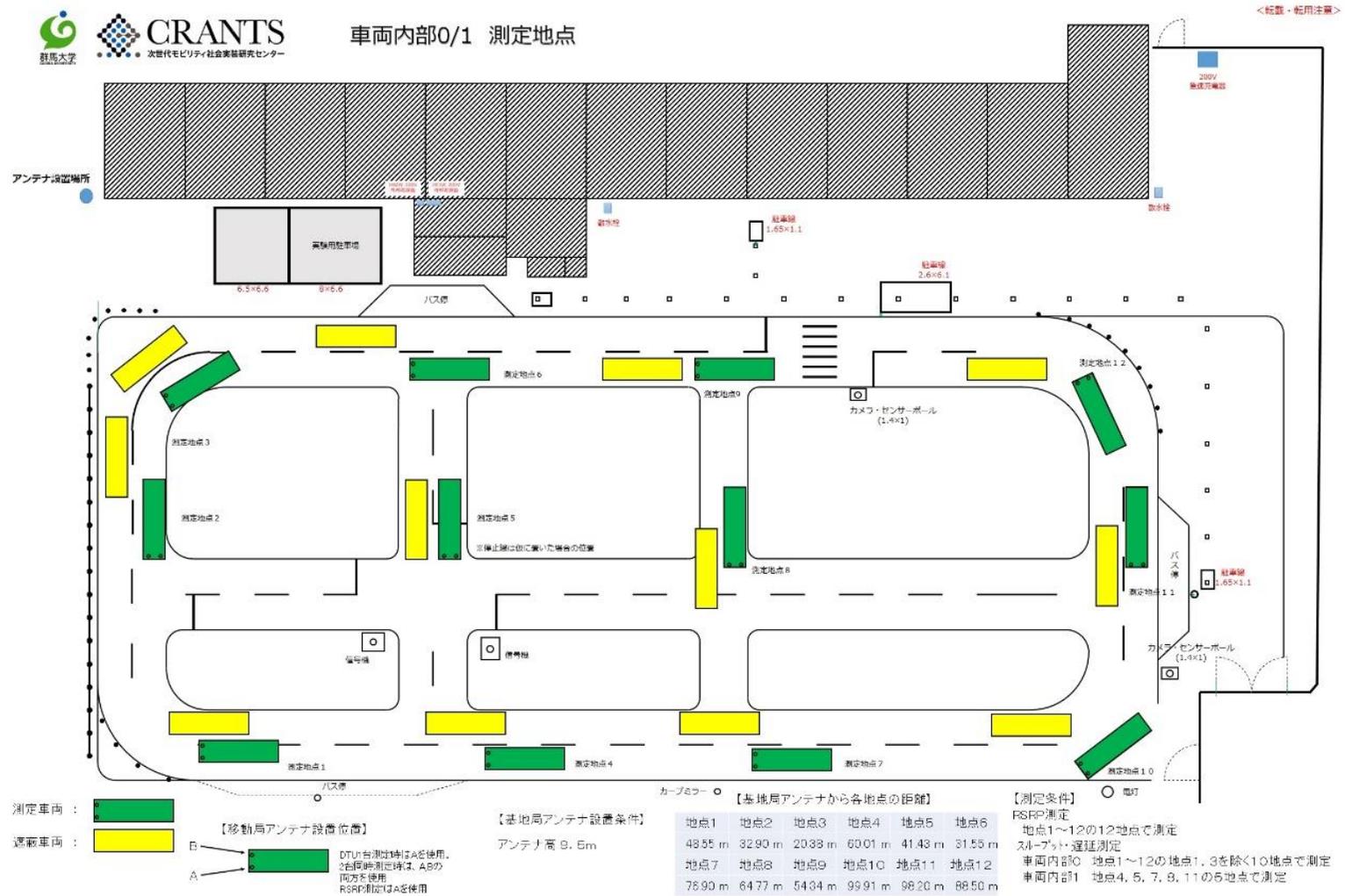


図 5.2.5-2 車両内部 0/1

路側遮蔽0/1/2 測定地点

<転置・転用注意>

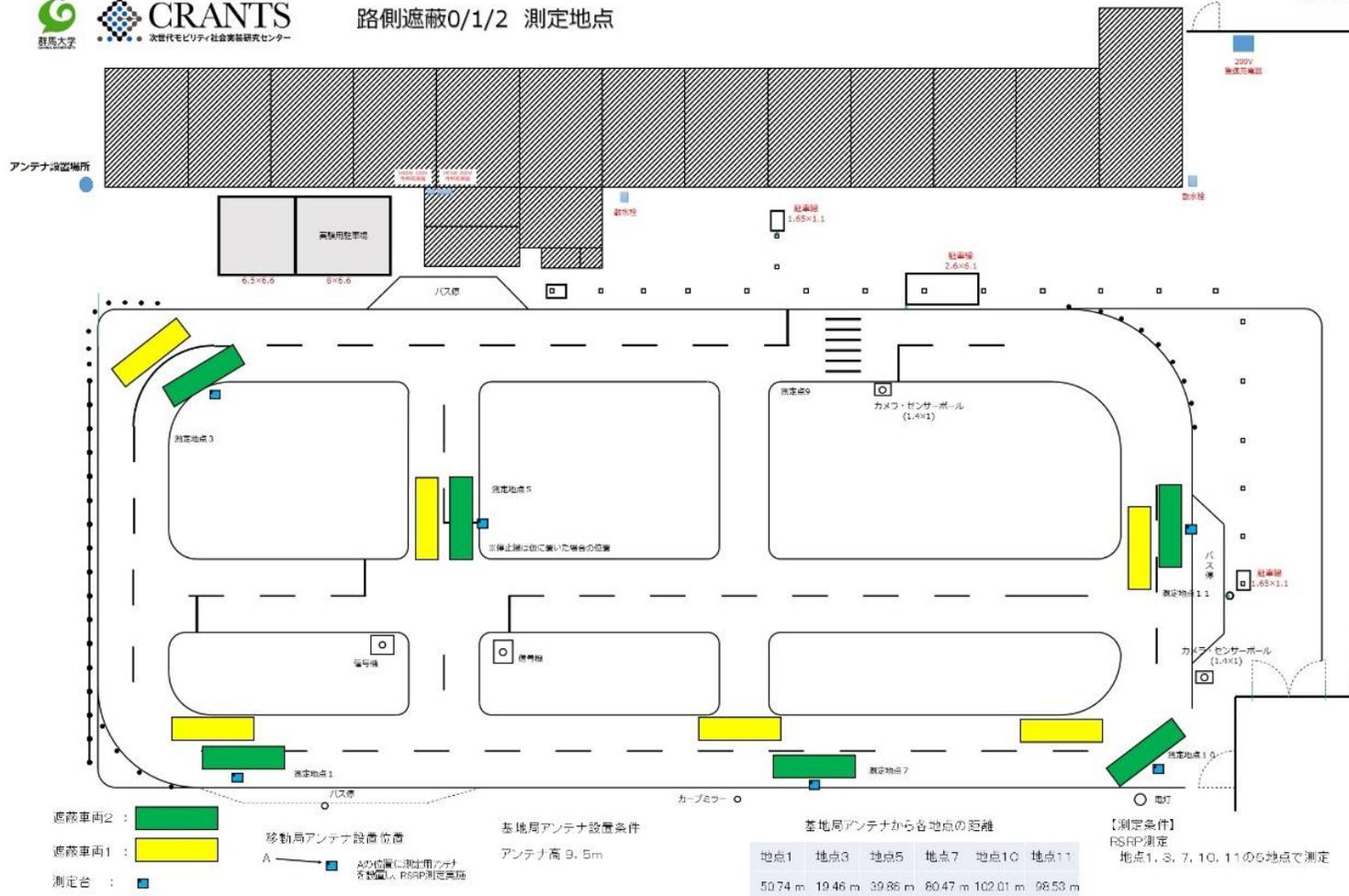


図 5.2.5-3 路側遮蔽 0/1/2



図 5.2.5-4 基地局アンテナ高：9.5m



図 5.2.5-5 送受信機（2 段目）とアンテナ（最上段）

5.2.5.2 測定に使用した車両や路側高所とそれぞれのアンテナの設置位置

測定用車両や路側高所、また他の車両として図 5.2.5-6～図 5.2.5-9 に示す車両等を使用した。

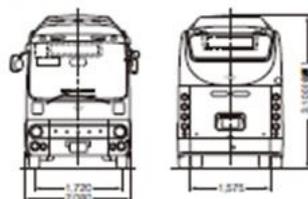


図 5.2.5-6 使用した車両（日野ポンチョ（車両内部 測定用車両））

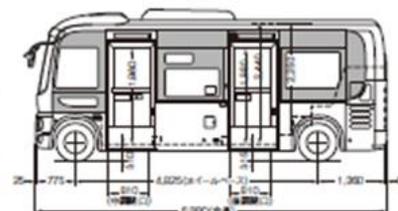
●主要諸元表

排出ガス記号	20G			
	HXSJLCE	HXSJLCE	HXSJHCE	
排出車型	HXSJLCE	HXSJLCE	HXSJHCE	
販売車型	-FWWCAA-CM	-FWWCAD-SM	-FWWCAA-CM	
乗車定員(人) [座席+立席*1+乗務員]*2	36(11+24+1)	33(18+14+1)	29(10+18+1)	
ボデー長	ロングボデー		ショートボデー	
駆動方式	多区間(後部4輪)	多区間(中部4輪)		
前後扉位置・形状	中扉 後扉	スライド扉	スライド扉	
シートレイアウト	スライド扉	—	—	
エンジン総出力(ネット)	132kW(180PS)			
トランスミッション	5速AT			
寸法(mm)	全長	6,990	6,290	
	全幅	2,080		
	全高	3,100		
	ホイールベース	4,825	4,125	
	トレッド	フロント	1,720	1,575
		リヤ	1,575	1,360
	最低地上高	165		
	リヤオーバーハング	1,360		
	標準寸法	長さ	5,600	4,900
		幅	1,930	
重量(kg)	車両重量	5,880	5,850	
	車両総重量	7,840	7,665	
		5,620	7,215	
アブローチアングル/グライチアングル	22.9°/10.0°			
性能	最小回転半径(m)	7.7		
	最高常モード燃費(km/L)*3	6.50		
エンジン	型式	J05E(J5-W)		
	シリンダー本数	直列4気筒		
	使用燃料	軽油(軽油(S-10ppm))		
	燃料供給システム	コモンレール式		
	弁機構	OHC-4/0レブ		
	内径×行程(mm)	112.0×130.0		
	総排気量(L)	5.123		
	圧縮比	17.5		
	総出力(kW(PS)/rpm)(ネット)	132(180)/2,500		
	最大トルク(Nm(kgf·m)/rpm)(ネット)	530(54)/1,500		
電気装置	バッテリー及び数	115E41L×2個+SEB35×2個		
	オルタネーター出力	24V-80A		
動力伝達装置	トランスミッション	5速AT		
	クワッチ	—		
	変速比	第1速/第2速	3.463 / 2.024	
		第3速/第4速	1.476 / 1.000	
		第5速/後退	0.807 / 4.179	
	減速機構	ハイボイドギヤ		
	最終減速比	4.333		
変速機減速比	1.036			
ステアリング	インテグラル式パワーステアリング			
ブレーキ	主ブレーキ	空気油圧複合式 前後2レーディング		
	駐車ブレーキ	機械式後輪制動能力型		
サスペンション	フロント形式	円形スリーブ空気ばね及び半ば円板ばね		
	リヤ	ショックアブソーバー		
燃料タンク容量(L)	100			
タイヤサイズ(フロント/リヤ)	205/80R17.5			

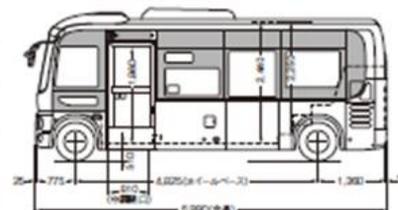
●外観図



ロングボデー・2ドアタイプ



ロングボデー・1ドアタイプ



ショートボデー・1ドアタイプ

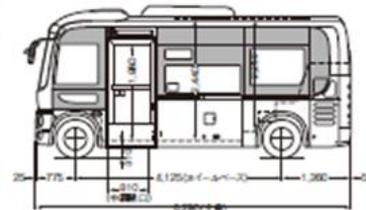


図 5.2.5-7 使用した車両の主要諸元 (日野ポンチョ (車両内部 測定用車両))



図 5.2.5-8 使用した車両等（日野フロンティア（遮蔽車両として使用））



図 5.2.5-9 使用した車両等（ローリングタワー（路側高所測定台））

【測定アンテナの高さ】

路側高所（屋外）での測定では、ローリングタワーを用いて、3.5m のアンテナ高とした。車両内部の測定器は運転席近くのコンソール上とし、その高さは 1.57m となった。



図 5.2.5-10 測定アンテナの高さ（車両）

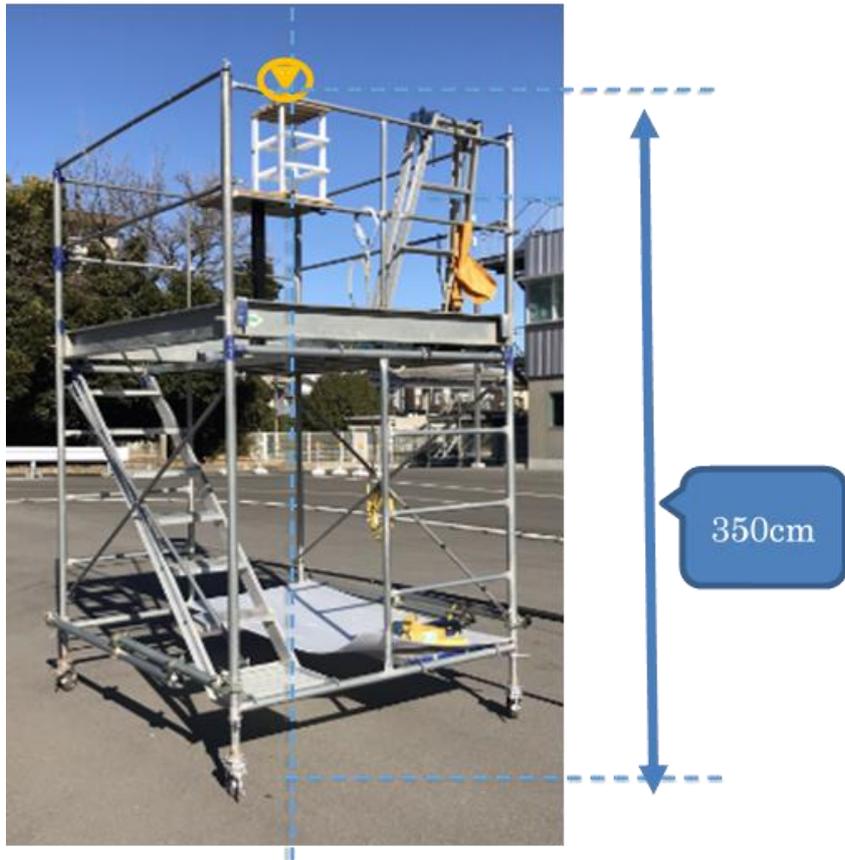


図 5.2.5-11 測定アンテナの高さ（路側高所）

5.2.5.3 基地局アンテナ仕様、RF ケーブル仕様

表 5.2.5-1 に示す仕様のアンテナ、RF ケーブルを使用した。本アンテナは、フロント方向に 12dBi の強い指向性を持っている。4つのビームを放射可能で、垂直面に鋭い指向性がある。放射パターンは図 5.2.5-12 の通りである。

表 5.2.5-1 アンテナ、RF ケーブルの使用

名称	型名	仕様
基地局アンテナ	C107-691873-A	12dBi（公称値）
RF ケーブル	GL200SC06 1m	0.5dB/m

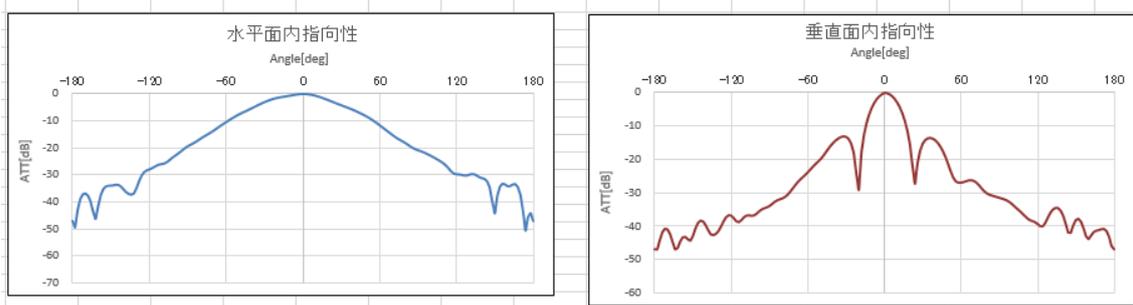


図 5.2.5-12 放射パターン



図 5.2.5-13 アンテナ

5.2.5.4 比較対象とした類似調査のサーベイ結果、比較の視点等

類似の調査結果の検証について、令和元年度のG2「移動時において複数基地局、複数端末の環境下で平均1 Gbps を超える高速通信を可能とする第5世代移動通信システムの技術的条件等に関する調査検討」では、四季の森文化館前駐車場（福井県永平寺町）や鈴鹿サーキットなどの交通インフラ環境における電波伝搬測定結果が報告されていた。そこで、本年度の前橋市における技術実証では、交通インフラ環境等における4.7GHz帯の電波伝搬特性に関する類似の調査結果として、上記調査検討結果を検証し、技術的課題を整理するとともに、その課題の解決方策等について考察した。

具体的には、以下のように技術的課題の整理と解決方策の検討を行った。この解決方策の検討において、本技術実証における取得データを利用したが、測定地点等は既に計画した通りとして追加・変更は行わない。

(1) 技術的課題

- 類似の調査（令和元年度 G2）では、交通インフラ環境においてローカル 5G のエリア構築に利用可能な電波伝搬モデルの導出を行ったが、十分なデータが得られていない。
- 四季の森文化館前駐車場において、除雪車両等から高精細映像を対策本部へ伝送する試験を実施し、最低スループット 30Mbps としたときカバー範囲が「1 局あたり見通し約 100m 程度」であるとしているが、基地局アンテナが 2.7m と低い条件での分析であり、ローカル 5G のエリア構築では、より高いアンテナ高とすることでカバー範囲を広げることが望まれた。また、電界強度測定では、走行距離に対して電界強度のデータを示し、伝搬距離に対する電界強度のデータを示していない。
- 鈴鹿サーキットにおいて、電波伝搬測定を行い、距離 600m までの伝搬損失の測定結果を示し、自由空間損失と比較していたが、ローカル 5G のエリア構築で特に重要な 200m 以内で伝搬損失の変動要因分析に必要な遮蔽物等の情報が十分でない。
- 電波伝搬が車両等の遮蔽物の影響を受け、端末が路側高所にも設置される交通インフラ環境におけるローカル 5G では、遮蔽物の影響を余り受けない路側高所や遮蔽物の影響を受ける車両内部などの様々な端末設置条件で、電波伝搬距離が 200m 以内の電波伝搬データを取得し、エリア設計手法を確立することが課題となった。

(2) 解決方策

- 電波伝搬モデルの導出のためのデータ取得（路側高所や車両内部における測定実施）
- 路側設置端末のアンテナ高が低い場合における車両等の遮蔽物による影響の評価
- 電波伝搬モデルの導出
- 導出した電波伝搬モデルを用いたエリア予測手法の整理

5.2.5.5 気象情報

測定日の天候は表 5.2.5-2 の通りである。

表 5.2.5-2 測定日の天候

日付	曜日	昼(06:00-18:00)	夜(18:00-翌日 06:00)	降水量 (mm)	測定概要等
12月24日	木	晴後一時曇	晴時々曇	0	路側高所、車両内部0 受信電力測定
1月7日	木	晴時々曇	晴時々曇	0	車両内部1、路側遮蔽0/1/2 受信電力測定
2月17日	水	晴後時々雪 一時曇	曇一時雪後晴	0	高所路側、スループット/ 遅延測定
2月26日	金	曇	曇	0	高所路側、スループット/ 遅延測定
3月1日	月	晴後一時曇	曇	0	高所路側、スループット/ 遅延測定
3月2日	火	曇後時々雨	晴一時雨	7	車両内部0/1 スループット/ 遅延

5.2.5.1 実証環境において想定される遮蔽物、反射物の概要

CRANTS 敷地内には高さ 10m 程度のビルがある (図 5.2.5-14)。これは基地局の位置に対して、南側に 90m 程度の長さとなったが、伝搬上送信間の遮蔽物となる位置関係にはない。

また北側に常緑樹の樹木 (図 5.2.5-15) が存在した。これは今回の測定地点では直接の伝搬上の遮蔽物となる位置関係にはない。

表 5.2.5-3 想定される遮蔽物、反射物

名称	素材	補足
建物 (ビル)	鉄筋、コンクリート、ガラス等	
樹木	幹、枝、葉	常緑樹
信号機	鉄柱、コンクリート	
カメラポール	鉄柱、コンクリート	
道路保安バリケード	ポリエチレン樹脂	



図 5.2.5-14 群馬大学試験路



図 5.2.5-15 樹木



図 5.2.5-16 CRANTS のビル (写真右)



図 5.2.5-17 道路保安バリケード

表 5.2.5-4 バリケード詳細

サイズ	H900mm×W610mm×L2200mm
給水口径	Φ85mm
色調	赤色及び白色の2色
空総重量	45Kg
満水時総重量	約400Kg
材質	ポリエチレン樹脂



图 5.2.5-18 信号機



図 5.2.5-19 カメラ用ポール

5.3 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

5.3.1 実施概要

群馬大学試験路に構築するローカル5G実証環境において、受信電力や映像伝送等を想定した伝送スループットの測定・分析を実施した。

5.3.2 評価・検証項目

構築したローカル5Gの実証環境において、課題解決システムを用いて、ローカル5Gの受信電力、伝送スループットや伝送遅延時間等の各種データを取りまとめ、ローカル5Gの性能評価を行い、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行った。

特に、測定した伝送スループットや伝送遅延時間等が、課題解決システムに求められる要求値を実現しない場合、それを解決するために必要な帯域幅及び送信電力等を導出した。

また、交通インフラ環境等における4.7GHz帯の電波伝搬特性に関する類似の調査結果を検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行った。

5.3.3 評価・検証方法

ローカル5G基地局を設置した群馬大学試験路のエリアにおいて、基地局から半径200m以内で、屋外及び車両内部の20カ所程度の測定地点を選定した。屋外の測定地点は、路側システムの装置設置場所を想定し、高さを約3mとした。車両内部の測定地点は、その一部において、他の車両による遮蔽損失の影響を評価するため、近くに他の車両を配置した。

そして、選定した測定地点において、エリアテストなどの測定機材を使用して、受信電力(RSRP: Reference Signal Received Power)の測定を行った。図5.3.3-1に受信電力測定の試験方法を示した。

1. RSRP・(伝搬損失)測定

測定機	モデル	
アンリツ	ML8780A + MU878070A	アンテナZ1911B

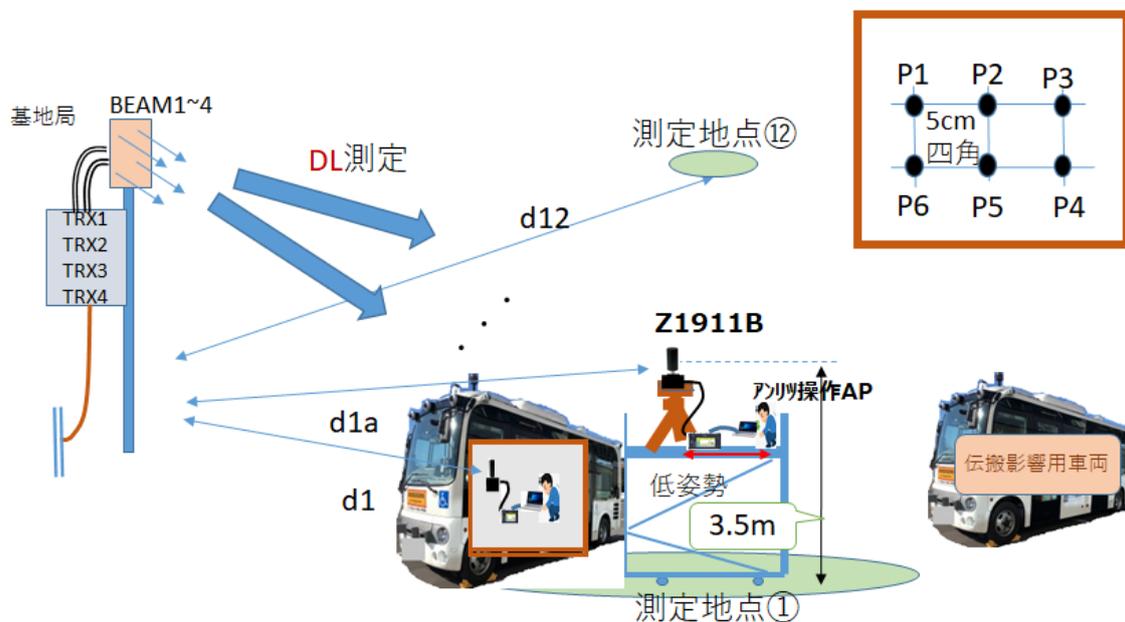


図 5.3.3-1 受信電力測定 試験方法

また、端末 (DTU) (または端末を模擬した試験装置) に接続した PC の測定アプリ等を用いて、伝送スループットの測定を行った。さらに端末に接続した PC で PING (Packet Internet Groper) を用いて、PC とサーバ間の伝送遅延時間の測定も行った。伝送スループットや伝送遅延時間の測定は、複数の端末を同時に利用する条件でも実施した。

図 5.3.3-2 伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (DTU : 1 台接続) 及び図 5.3.3-3 に伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (DTU : 複数接続) の試験方法を示した。

2. TP(スループット)測定 遅延測定

測定機	測定内容 課題実証要求値 (UL)
DTU1とIPERFでTP測定 PING1遅延測定	自動運転を想定したスループット UL20Mbps x1=20MHzのUL
DTU2とIPERFでTP測定 PING2遅延測定	路側システム想定したスループット UL10Mbps x1=10MHzのUL

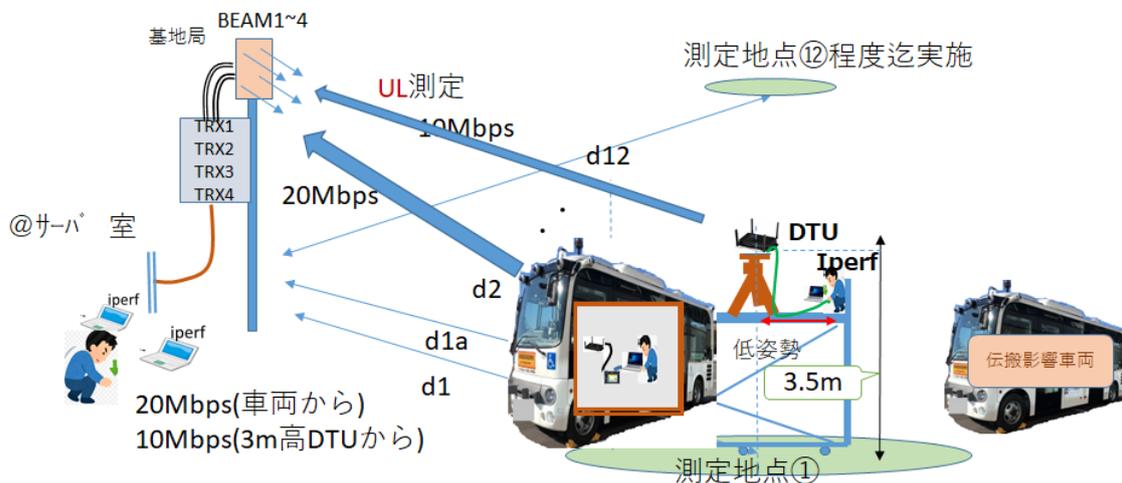


図 5.3.3-2 伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (DTU : 1 台接続)

路側高所 10地点、車両内 5地点程

測定機	測定内容 課題実証要求値 (最大) (UL)
DTUとIPERFでTP測定 PING遅延測定	自動運転を想定したスループット UL20Mbps x2=40MHzのUL 同じ車両内
DTUとIPERFでTP測定 PING遅延	路側システム想定したスループット UL10Mbps x2 =20MHzのUL 同じタワー内

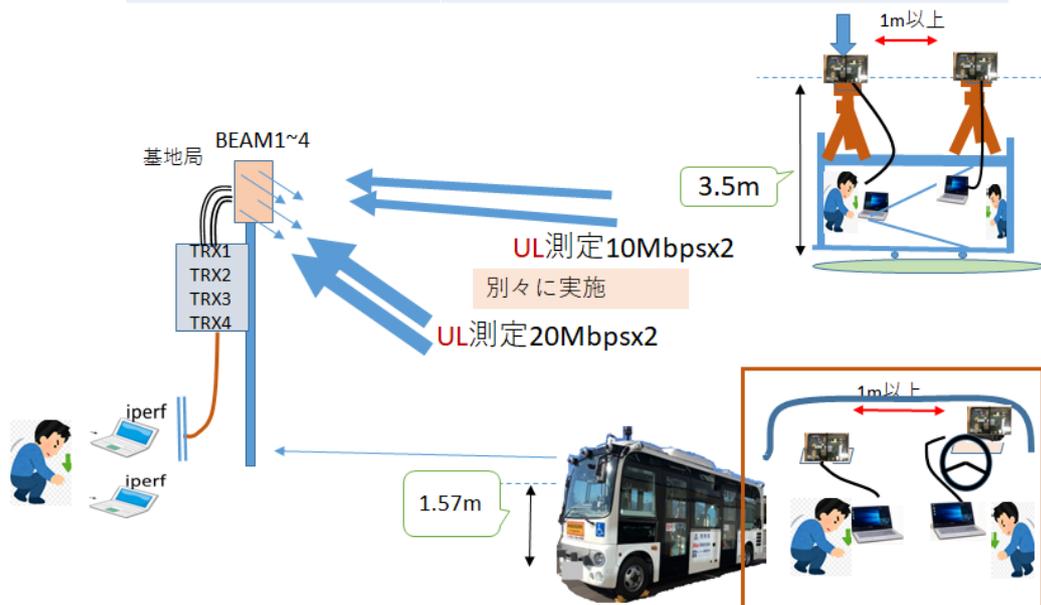


図 5.3.3-3 伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (DTU : 複数接続)

測定データは、屋外及び車両内部ならびに他の車両の配置の有無のそれぞれの条件に分けて伝搬距離対受信電力特性などの形で整理した。そして、条件の違いによる受信電力や伝送スループットの差異分析等を行うことで、技術的課題を整理するとともに、それらの課題の解決方策等について考察を行った。伝送スループットや伝送遅延時間等、課題解決システムに求められる要求値を確認し、測定値が要求値を実現しない場合には、測定データより、同時利用端末数対伝送スループット特性や受信電力対伝送スループット特性を確認し、要求値の実現に必要な帯域幅及び送信電力等を導出した。

効果的・効率的に評価を実施するために、技術実証全体調整事業者と調整の上、作業日程や要員等の制約を考慮して実施内容やスケジュール等を決定した。

交通インフラ環境等における 4.7GHz 帯の電波伝搬特性に関する類似の調査結果を入手して検証し、技術的課題を整理するとともに、その課題の解決方策等について考察を行った。検証に当たっては、本技術実証における取得データを利用した解決方策等の検討を試みた。

また、技術実証全体調整事業者と調整の上、必要に応じて、作業日程や要員等の制約を考慮して可能な範囲で、ローカル 5G の実証環境において、電波伝搬特性を測定し、その結果をとりまとめ、その結果を踏まえた考察を行った。

なお、より具体的な評価方法は、効果性・効率性を高めるため、本技術実証において入手した類似の調査結果の内容に応じて決定した。

補足：

- 屋外（路側システム、高さ約 3m）の測定地点と車両内部の測定地点では、ともに、端末や測定機材のアンテナが静止した状態で、受信電力やスループット等を測定した。
- 上記測定データより、伝搬距離対受信電力特性に加えて、電波伝搬損失特性の評価・考察も行った。
- 伝送スループットと伝送遅延時間の要求値は、以下の通りとし、ともに平均値を評価した。伝送スループットは、端末からの映像伝送等を想定し、UL を評価する。伝送遅延時間の要求値は、課題解決システムの実証においてローカル 5G 部分に配分される伝送遅延時間が明らかになった場合、見直す可能性があった。

伝送スループット (UL) : 40Mbps (車両→遠隔管制室間)
20Mbps (路側→遠隔管制室間)

伝送遅延時間 : 0.4 秒以内 (路側→車両)

上記の測定データに関する技術的課題としては、屋外及び車両内部ならびに他の車両の配置の有無のそれぞれの条件の違いにより、伝搬距離対受信電力特性が異なるため、その条件の違いを考慮したエリア設計を行う必要があることが想定された。また、解決方策としては、測定データより、条件の違いにより異なる遮蔽損失を定量的に求め、その数値を用いたエリア設計を行う手法を整理することが考えられた。

5.3.3.1 対象とするユースケースの主要な計測指標毎の性能要件及び論拠の詳細

- ユースケースごとの性能要件及び論拠は、エラー！参照元が見つかりません。に記載の通りである。
- スループットは、平均値で評価した。平均時間は最短1秒とした。
- 遅延時間も平均値で評価した。
- いずれのソリューションにおいても、映像が途切れることなく常時利用できることが望まれるため、スループットは、安定性を確認することとし、20秒間の時間変動も評価した。
- 遅延時間についても、同様に安定性を確認するため、100m秒間隔で200回の測定を繰り返し、その時間変動を評価した。

5.3.3.2 技術的課題の解決策や更なる課題

(1) 技術的課題の解決策

測定データは、屋外及び車両内部ならびに他の車両の配置の有無のそれぞれの条件に分けて伝搬距離対受信電力特性などの形で整理した。そして、条件の違いによる受信電力や伝送スループットの差異分析等を行うことで、技術的課題を整理するとともに、それらの課題の解決策等について考察を行った。

(2) 更なる技術課題等

更なる技術的課題等については、0にまとめて記載する。

5.3.3.3 ローカル5Gの性能評価検証のための測定実施内容

(1) 受信電力RSRP測定（伝搬損失測定）

RSRPはエリアテスタを使用し、路側高所、車両内部で他の車両の配置が有る場合と無い場合の3種類の測定を実施した。

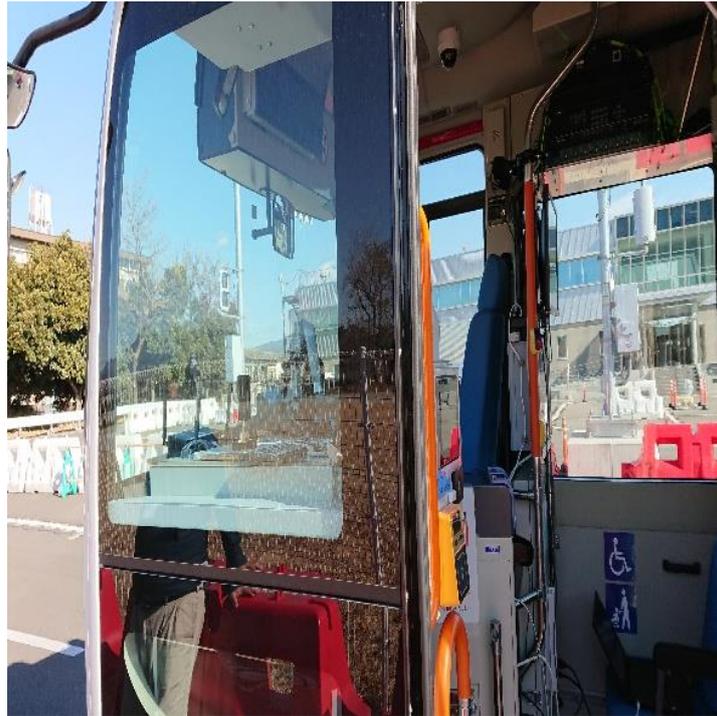


図 5.3.3-4 受信電力測定 車両内による試験方法



図 5.3.3-5 路側高所による試験方法

(2) RSRP の測定機材と測定方法

RSRP の測定に使用した機器材は以下のとおりである。

アンリツ (株) エリアテスタ ML8780A
アンテナ Z-1911B
測定用 RF ケーブル及びアンテナ台座

設定は、アンテナ及びケーブル損を補正し計測した。



図 5.3.3-6 サブ 6GHz 測定ユニット及び測定アンテナ

測定対象 : SSS (Secondary Synchronization Signal)

測定項目 : SS-RSRP

チャンネル帯域幅 : 100MHz

サブ 6 GHz 測定ユニット : MU878070A

測定周波数は SSB 周波数 4804.32MHz

・測定周期、測定サンプル数、測定時間について

測定周期 :

詳細な電波状態を解析したため、アンリツ ML-8780A の測定周期を最短に設定した。本実証システムの無線信号は、PCI = 1、SS 周期 20ms である。アンリツ ML-8780A の設定を本システムの PCI や SS 周期に設定した場合、最短で 40ms 毎のデータが取得可能である。

測定時間と測定サンプル数 :

1 回の測定時間を 20 秒とし、連続した 500 サンプルのデータを得ることとした。1 測定地点での測定時間を 120 秒 (2 分) 以上とし、別に説明した、6 ポイント試験を採用したことで、各ポイントを 20 秒ずつ 6 ポイントとし、合計 120 秒間で 3,000 個の RSRP のサンプルを 1 つの測定地点で取得した。

(3) 定点測定と6ポイント試験

測定はアンテナを静止した状態で実施し、定在波の影響を避けるために測定台の上で1波長に満たない距離5cmずつ移動させ、合計6つのポイントで測定した。

参考に、路側高所測定地点⑥における6ポイント試験の結果を図5.3.3-9～図5.3.3-14示す。

図5.3.3-7は6ポイント試験の最初の1ポイントにアンテナを設置した状態を示す。右回りにポイントを移動し測定を実施した。

測定風景を図5.3.3-15に示す。

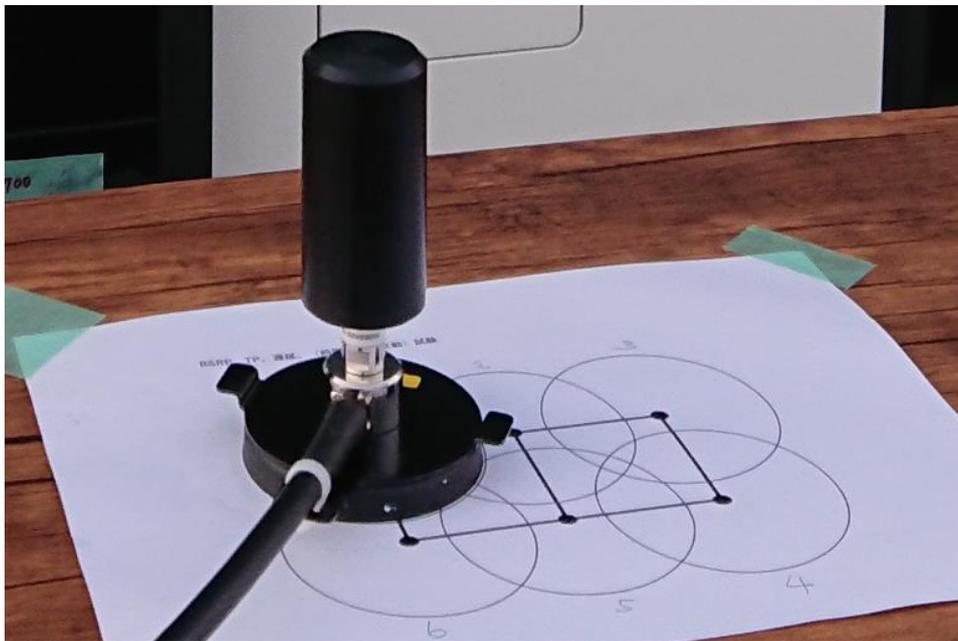


図 5.3.3-7 車載用アンテナ台座と6ポイント試験用台紙 (写真)

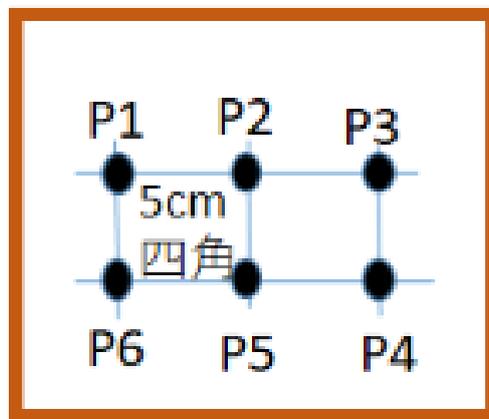


図 5.3.3-8 6ポイント試験 アンテナ設置位置

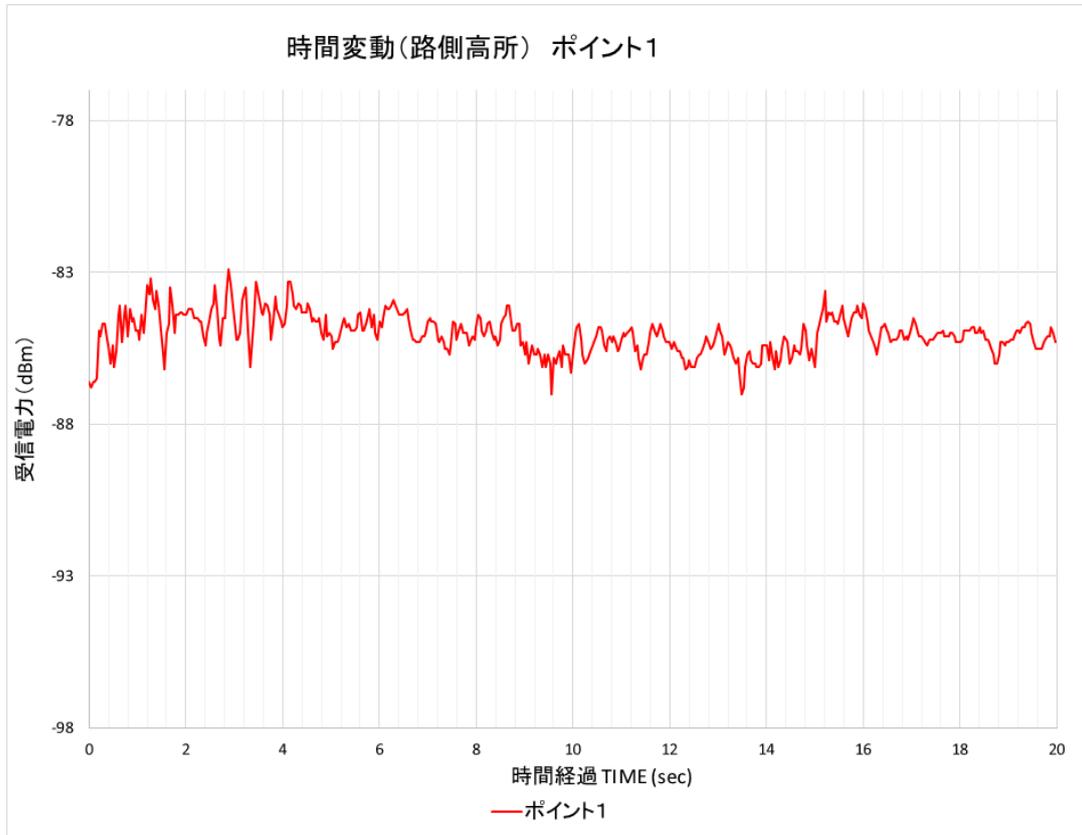


図 5.3.3-9 6ポイント試験 ポイント1測定結果

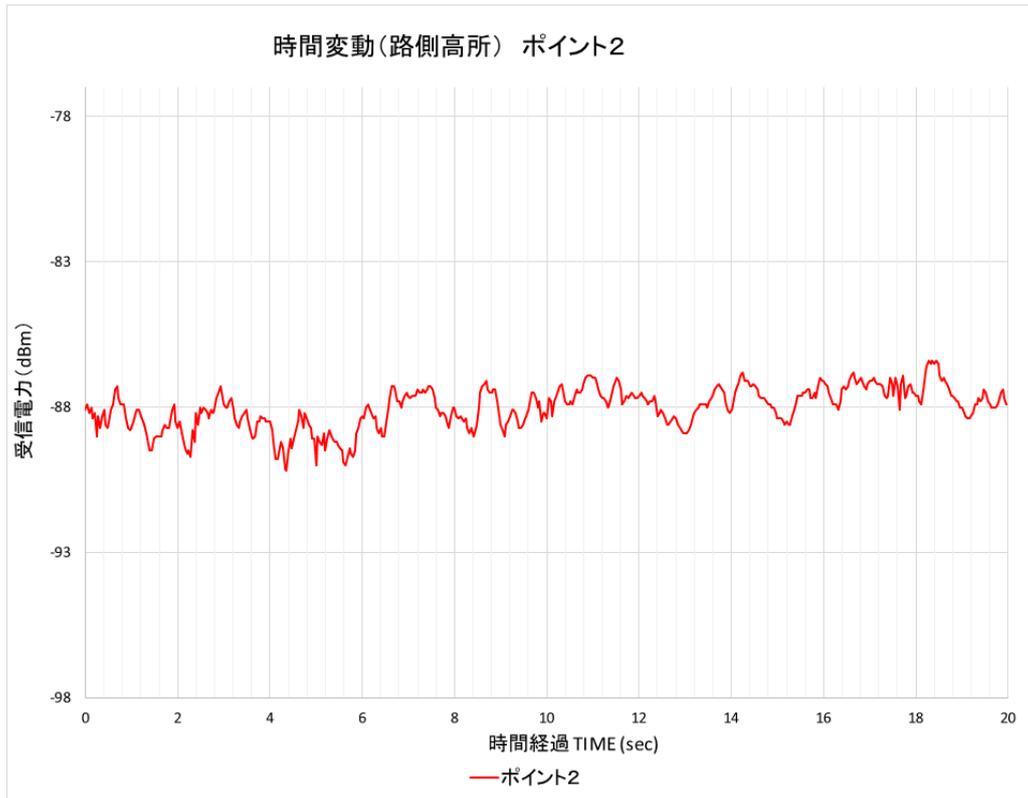


図 5.3.3-10 6 ポイント試験 ポイント2 測定結果

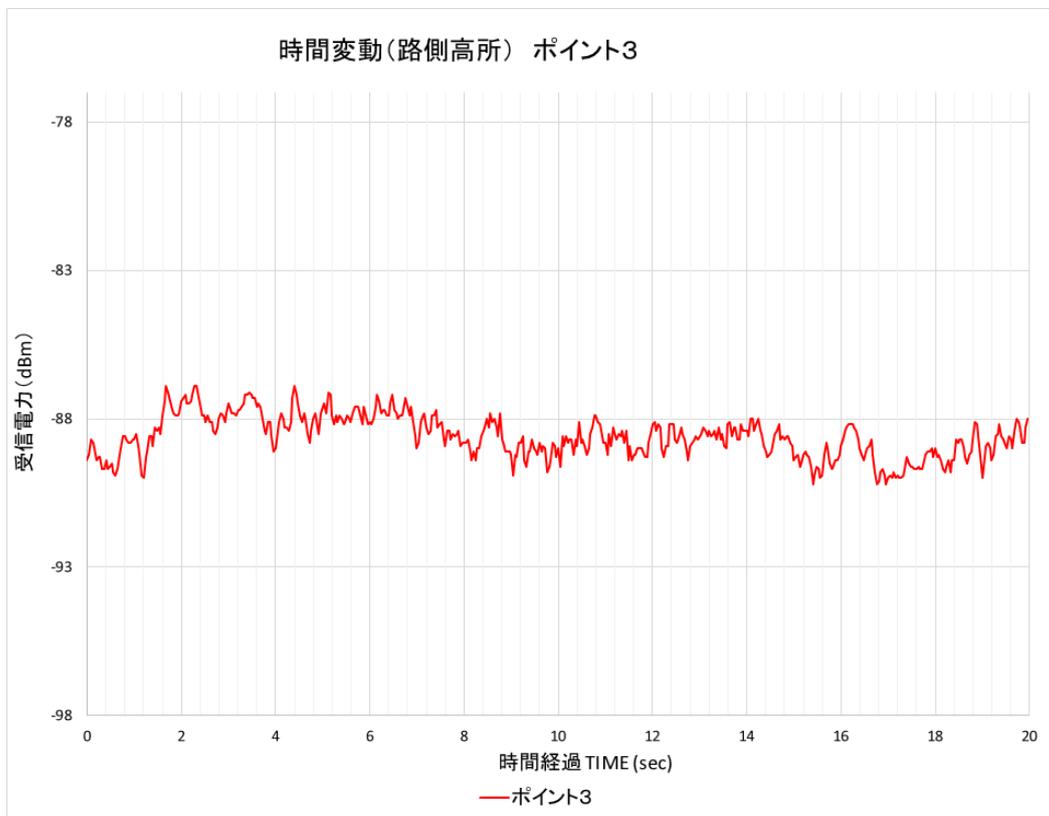


図 5.3.3-11 6 ポイント試験 ポイント3 測定結果



図 5.3.3-12 6 ポイント試験 ポイント4 測定結果

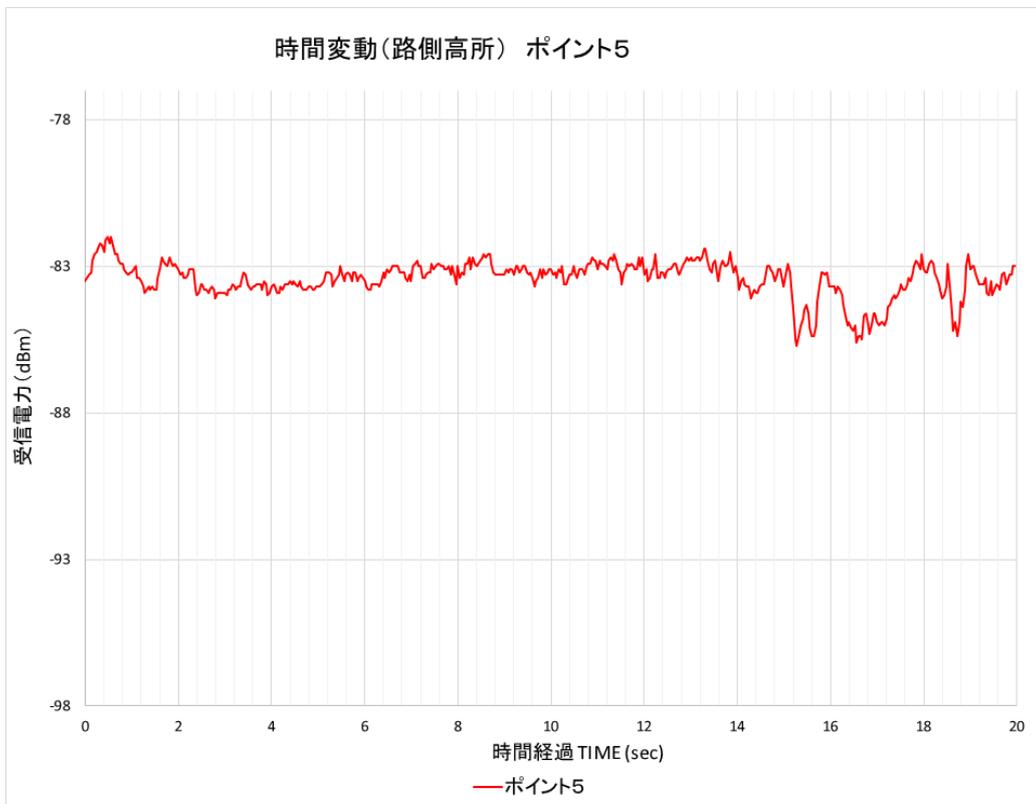


図 5.3.3-13 6 ポイント試験 ポイント5 測定結果

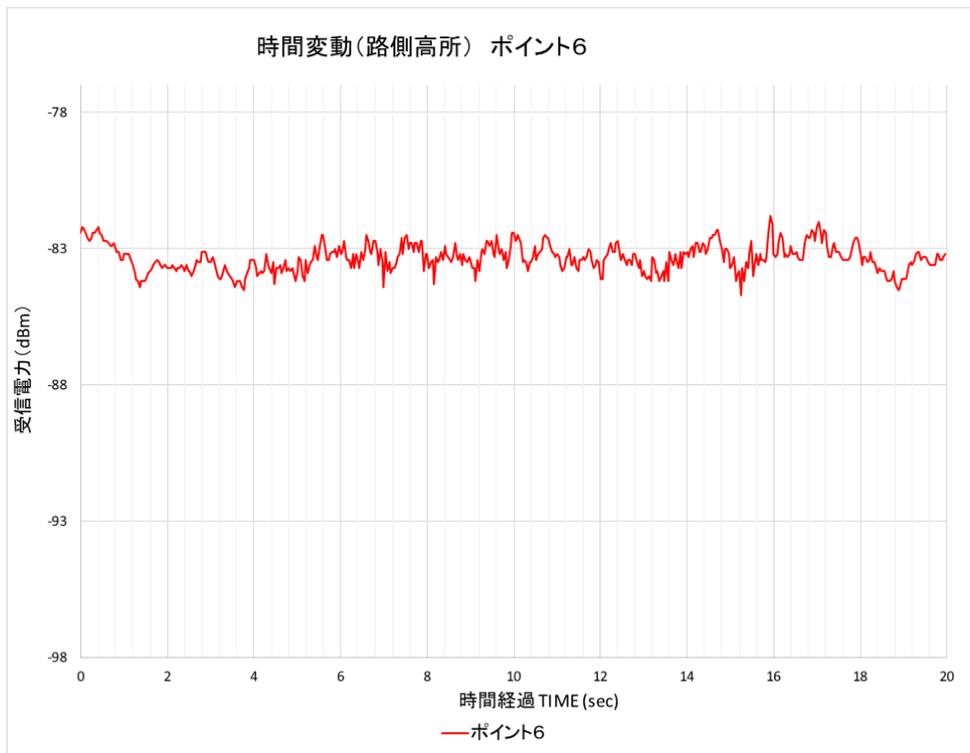


図 5.3.3-14 6ポイント試験 ポイント6測定結果



図 5.3.3-15 6ポイント試験 測定風景

- (4) 伝搬損失 (L dB) の計算について
伝搬損失は以下の式で求める。

$$L=Pt+Gt-Lf+Gr-Pr$$

ここで、各記号の説明を表 5.3.3-1 に示す。

表 5.3.3-1 記号の説明

記号[単位]	説明	補足
L[dB]	伝搬損失	
Pr[dBm]	受信レベル (受信電力) SS-RSRP	
Pt[dBm]	送信電力 (基地局の空中線電力) SS の送信電力	-6.9
Gt[dBi]	送信アンテナ利得	最大 12
Lf[dB]	基地局の給電線損失	0.5
Gr[dBi]	受信アンテナ利得	0

ただし、受信アンテナ利得は、測定器 ML-8780A の設定で、アンテナ利得及び測定ケーブルを補正したため、Gr=0 と記載した。

また、測定人員は測定地点から 3m 以上離れ、伝搬に影響無い様に配慮した。

<アンテナ利得[Gt]の補正>

基地局と受信機のアンテナ位置関係から基地局アンテナの水平角と俯角を計算して、アンテナ特性から各方向の利得を算出し補正を実施した。

- (5) スループット測定及び遅延測定 (同時利用者 1)

路側高所、車両内部、車両内部及び伝搬影響車両ありの 3つの条件での測定を実施した。



図 5.3.3-16 路側高所 伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (DTU：1台接続)



図 5.3.3-17 車両内 伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (DTU：1台接続)

(1) 伝送スループット (TP) 測定機材と方法

DTU+PC 送信 PC 受信 iperf スループットは各 DTU に接続した PC から Iperf での送信、Iperf での受信として測定した。

伝送スループットは、DTU に接続した PC と監視室に設定した PC との間での通信を確立して、上り (UL) 方向での 10Mbps 及び 20Mbps の速度での送信受信を実施してデータを取得した。

図 5.3.3-18 に伝送スループット・遅延測定構成を示した。また、図 5.3.3-19 に DTU と基地局方向の写真を示した。

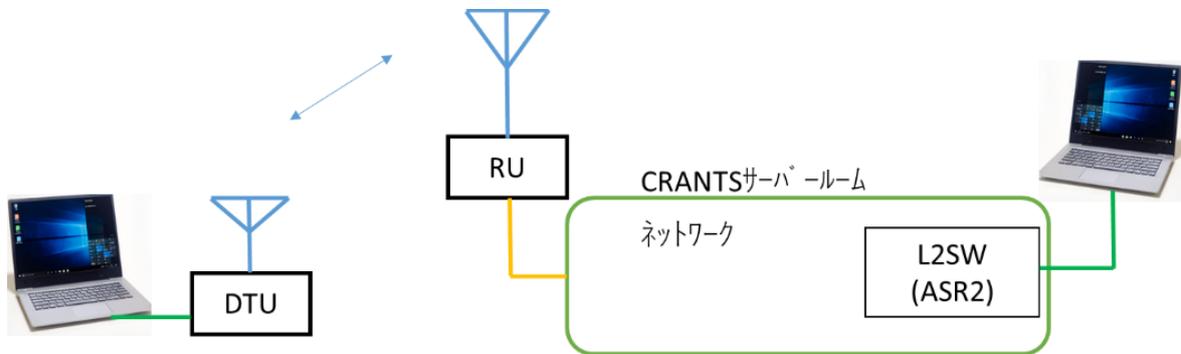


図 5.3.3-20 伝送スループット・遅延測定構成

伝送スループット (UL)	: 40Mbps (車両→遠隔管制室間) 20Mbps (路側→遠隔管制室間)
伝送遅延時間	: 0.4 秒以内 (路側→車両)



図 5.3.3-21 DTU と基地局方向の写真

(2) 伝送遅延測定機材と方法

DTU+PC 送信 PC 受信 EX ping

DTU 車両→サーバ室の PC から DTU に接続した PC に Ping を発呼した。端末に接続した PC で PING (Packet Internet Groper) を発呼した。

(3) スループット測定及び遅延測定 (同時利用者 2)



図 5.3.3-22 車両内部伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (DTU：複数接続)



図 5.3.3-23 路側高所伝送スループット・伝送遅延時間測定方法 (DTU：複数接続)

(4) 測定地点から見た基地局アンテナ方向

参考に、測定地点①及び測定地点⑤、⑥、⑩、⑪から見た、路側高所及び車両内部からの基地局アンテナ見通しを下記に示す。

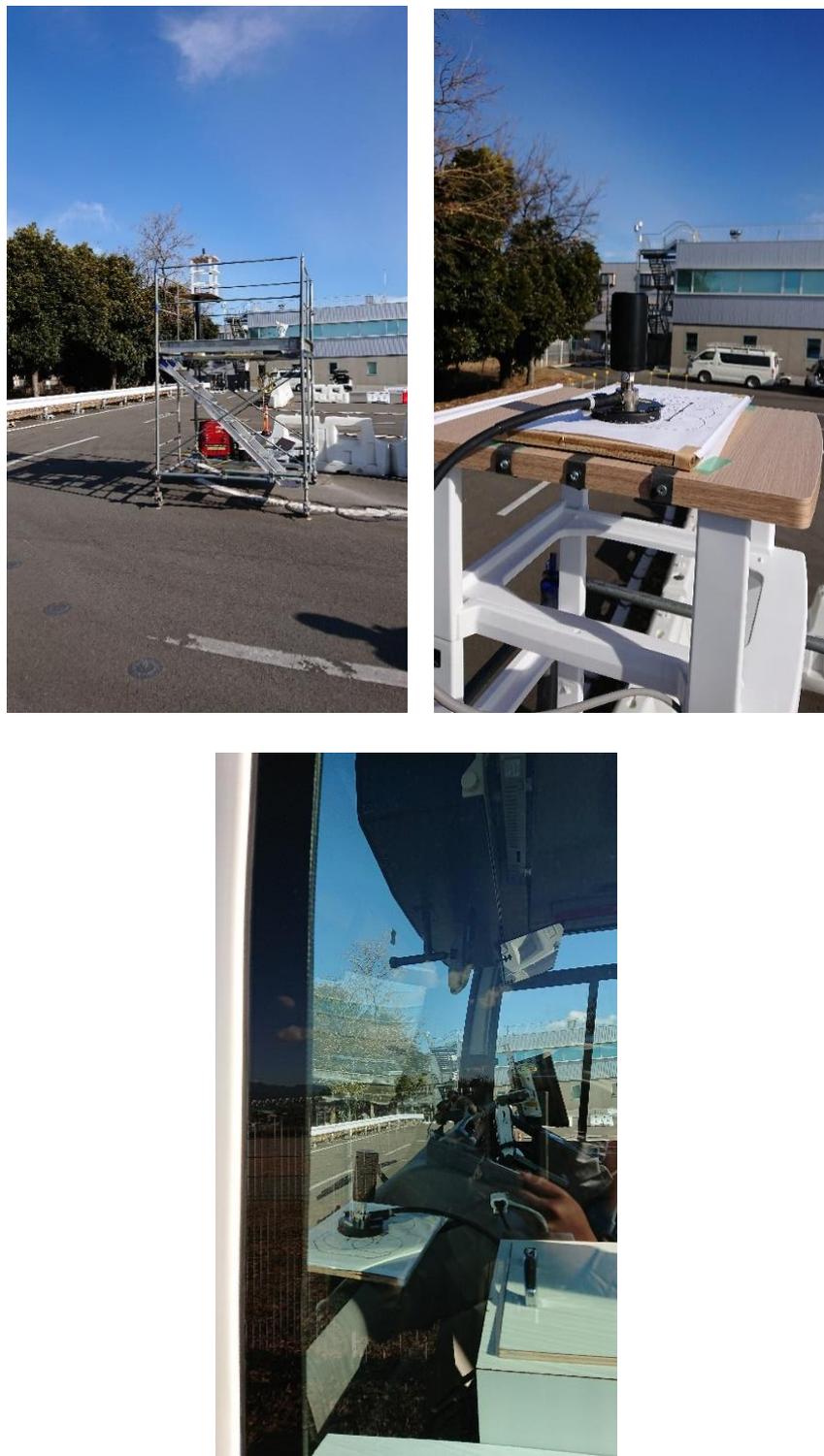


図 5.3.3-24 測定地点①から見た基地局アンテナ方向



図 5.3.3-25 測定地点① 車両内部から見た基地局アンテナ方向



図 5.3.3-26 測定地点⑤ 路側高所から見た基地局アンテナ方向



図 5.3.3-27 測定地点⑤ 車両内部から見た基地局アンテナ方向



図 5.3.3-28 測定地点⑥ 路側高所から見た基地局アンテナ方向



図 5.3.3-29 測定地点⑥ 車両内部から見た基地局アンテナ方向



図 5.3.3-30 測定地点⑩から見た基地局アンテナ

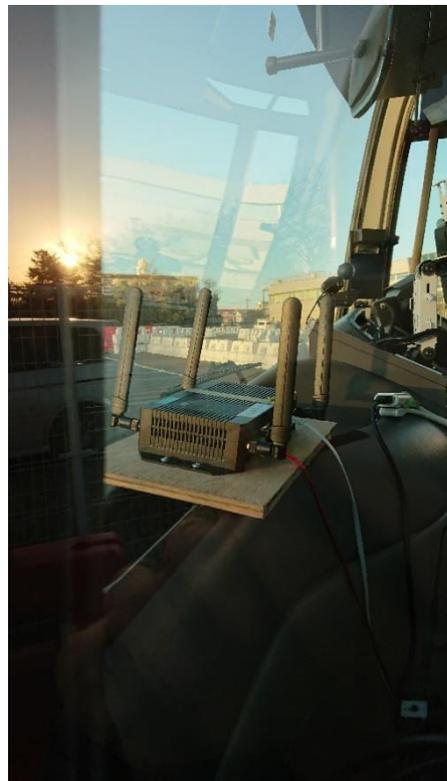


図 5.3.3-31 測定地点⑩ 車両内部から見た基地局アンテナ方向

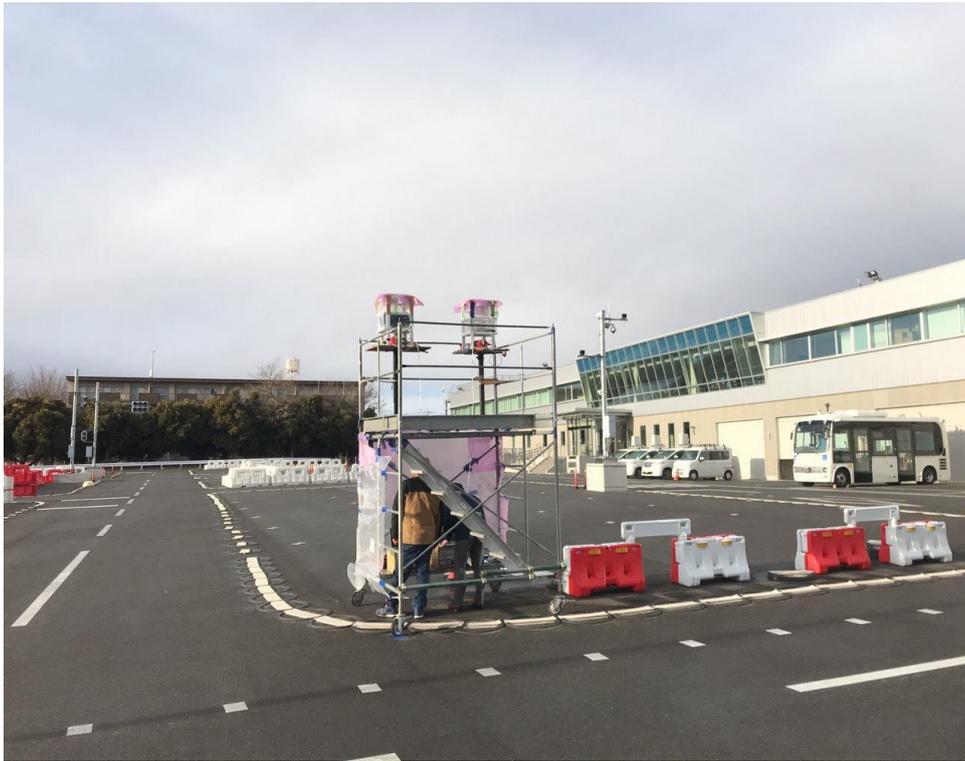


図 5.3.3-32 測定地点①から見た基地局アンテナ方向



図 5.3.3-33 測定地点⑩ 車両内部から見た基地局アンテナ方向

5.3.4 性能評価結果

5.3.4.1 RSRP 及び伝搬損失の分析

(1) 路側高所

図 5.3.4-1～図 5.3.4-6 に路側高所における受信電力の時間変動の例として、路側高所の測定地点⑥及び測定地点⑦、測定地点⑩における測定値を示す。この図では、各測定地点における6ポイントでの測定値を合わせて表示した。

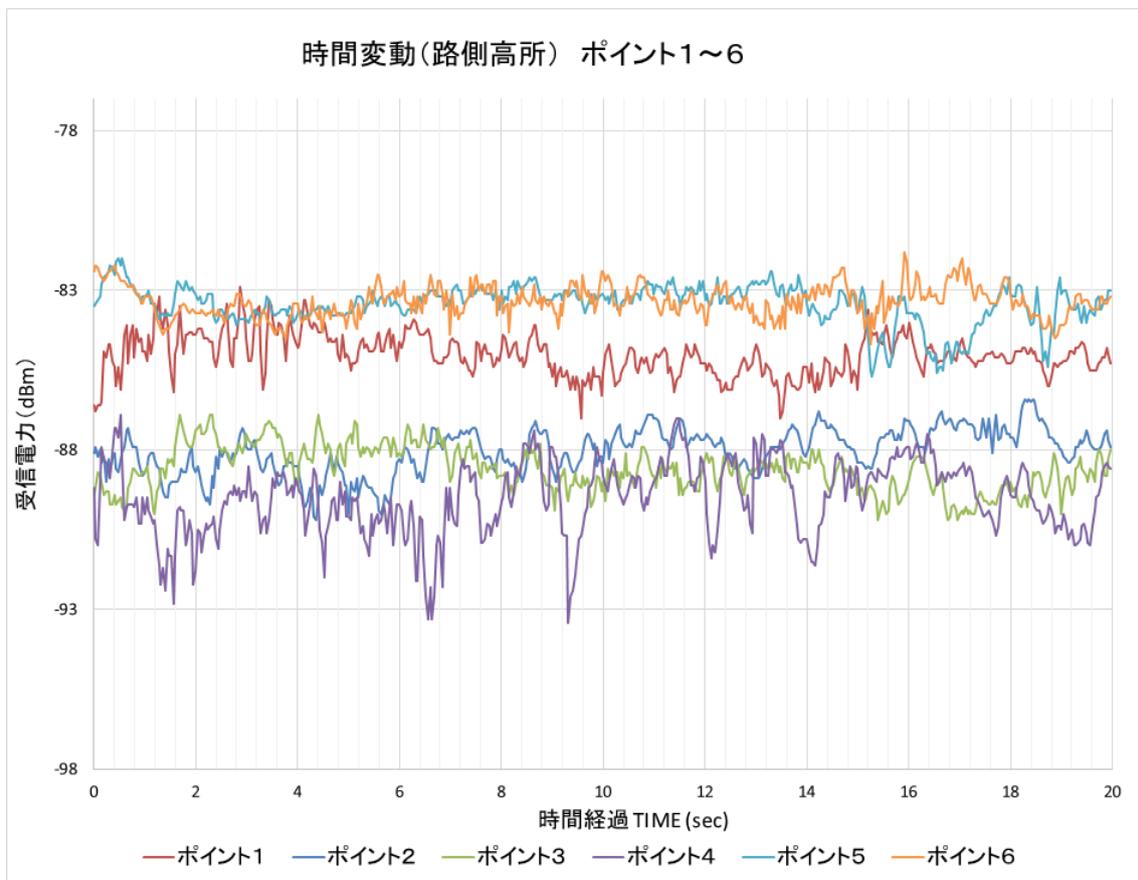


図 5.3.4-1 測定地点⑥ 路側高所における受信電力の時間変動

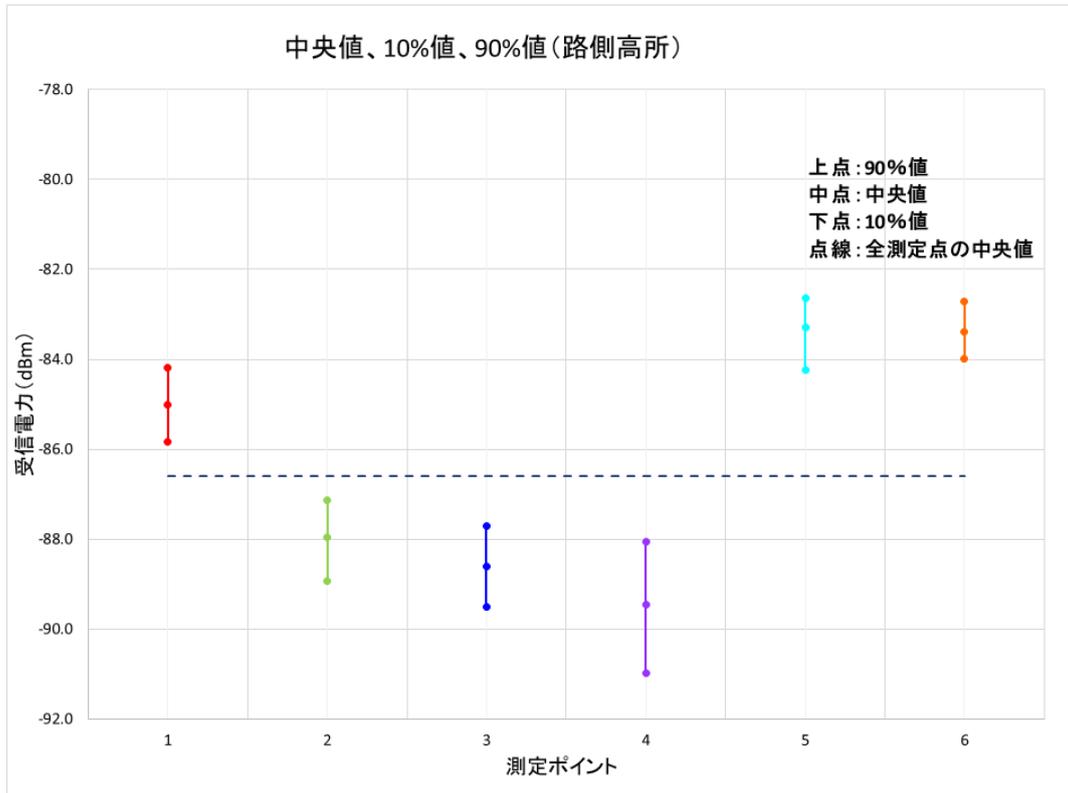


図 5.3.4-2 測定地点⑥ 路側高所における受信電力の中央値

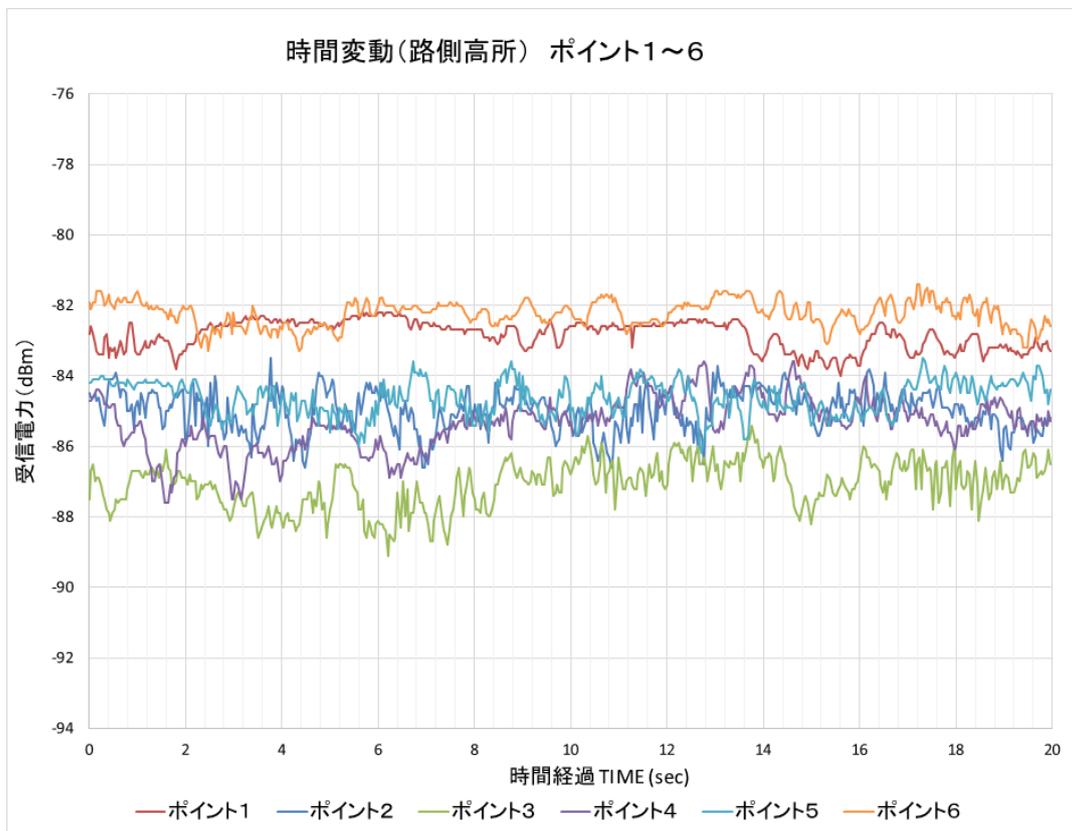


図 5.3.4-3 測定地点⑦ 路側高所における受信電力の時間変動

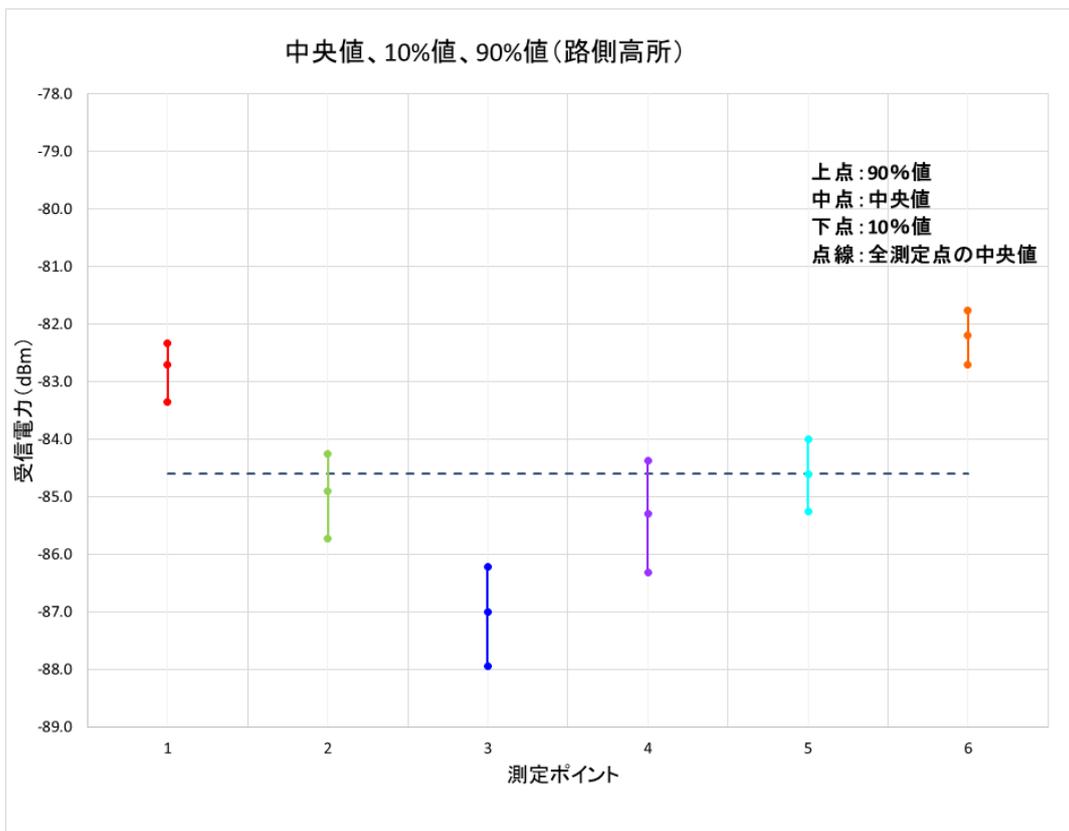


図 5.3.4-4 測定地点⑦ 路側高所における受信電力の中央値

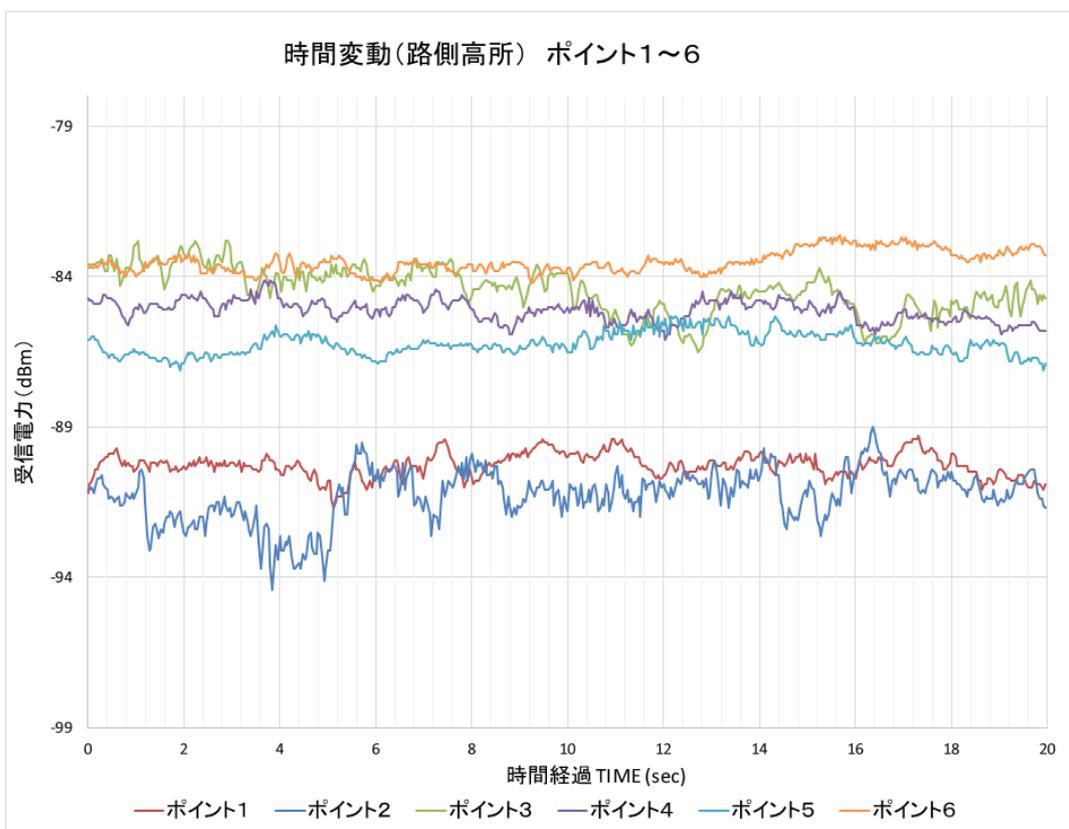


図 5.3.4-5 測定地点⑩ 路側高所における受信電力の時間変動

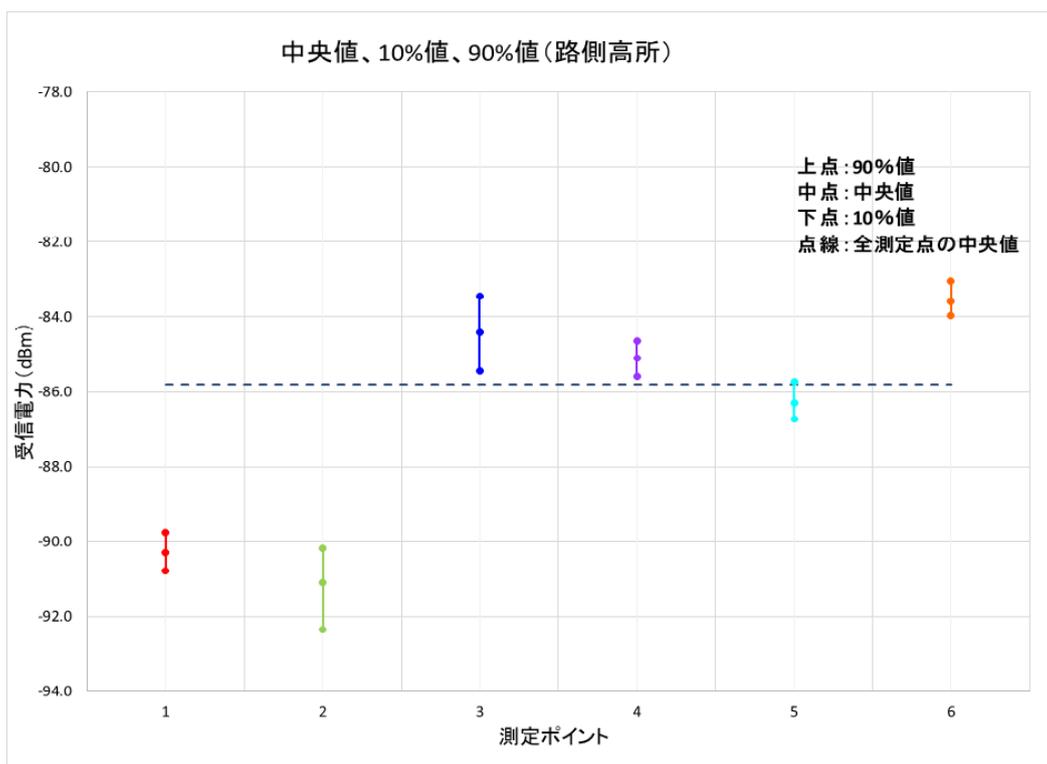


図 5.3.4-6 測定地点⑪ 路側高所における受信電力の中央値

(2) 車両内部

図 5.3.4-7～図 5.3.4-18 に車両内部における受信電力の時間変動の例として、車両内部の測定地点⑥及び測定地点⑦、測定地点⑩における測定値を、遮蔽物となる隣接車両が存在しない場合（車両内部0）と隣接車両が存在する場合（車両内部1）の各々について示す。

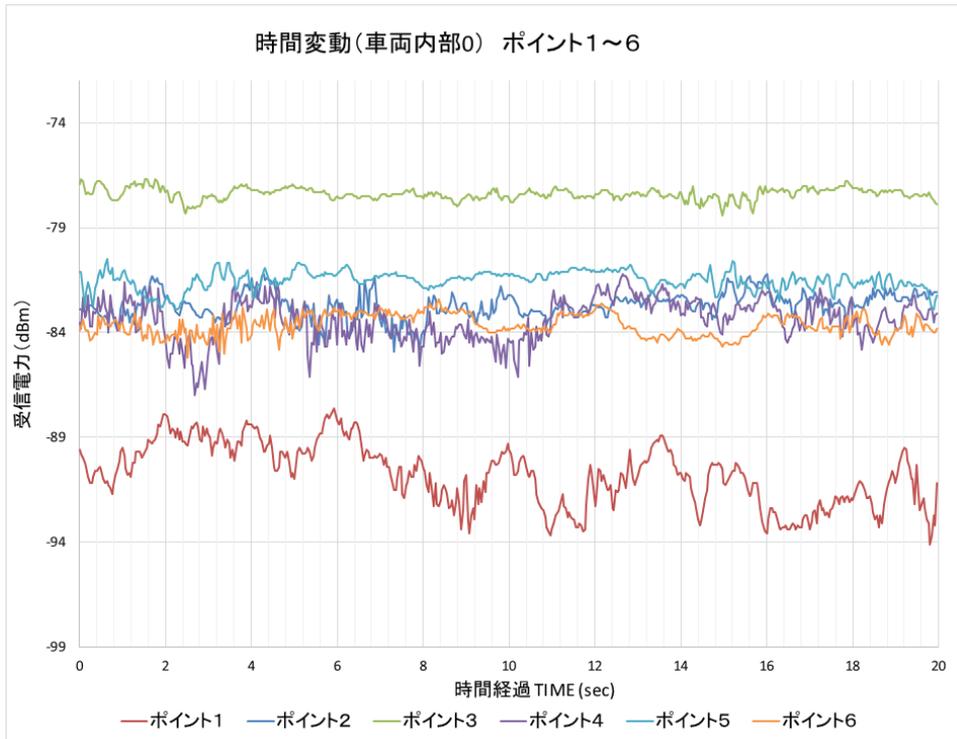


図 5.3.4-7 測定地点⑥ 車両内部0における受信電力の時間変動

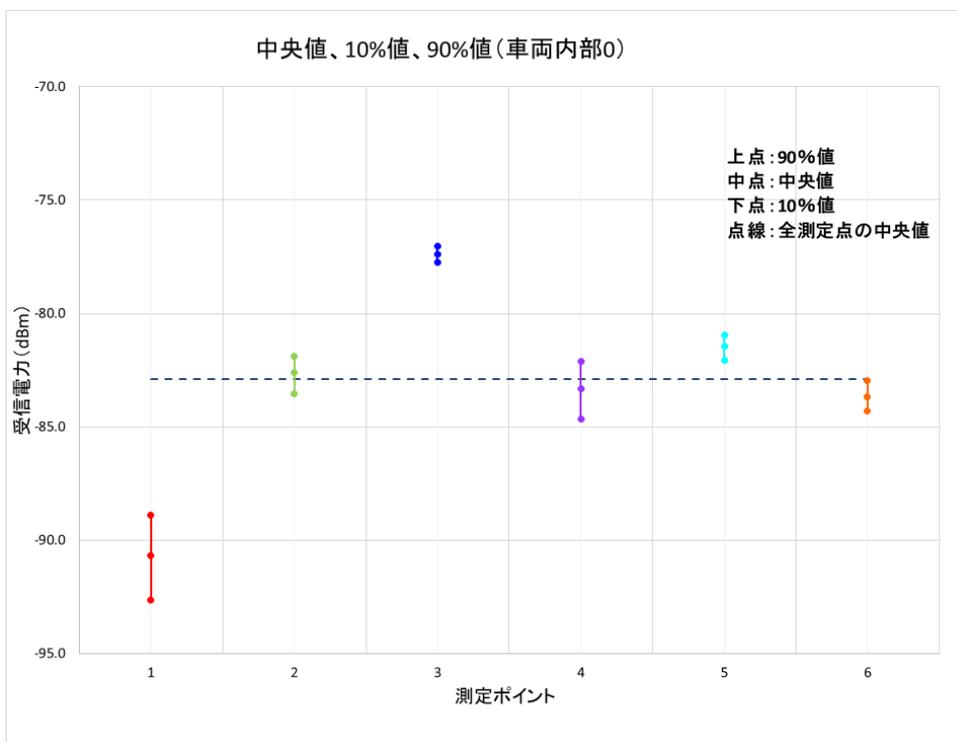


図 5.3.4-8 測定地点⑥ 車両内部0における受信電力の中央値

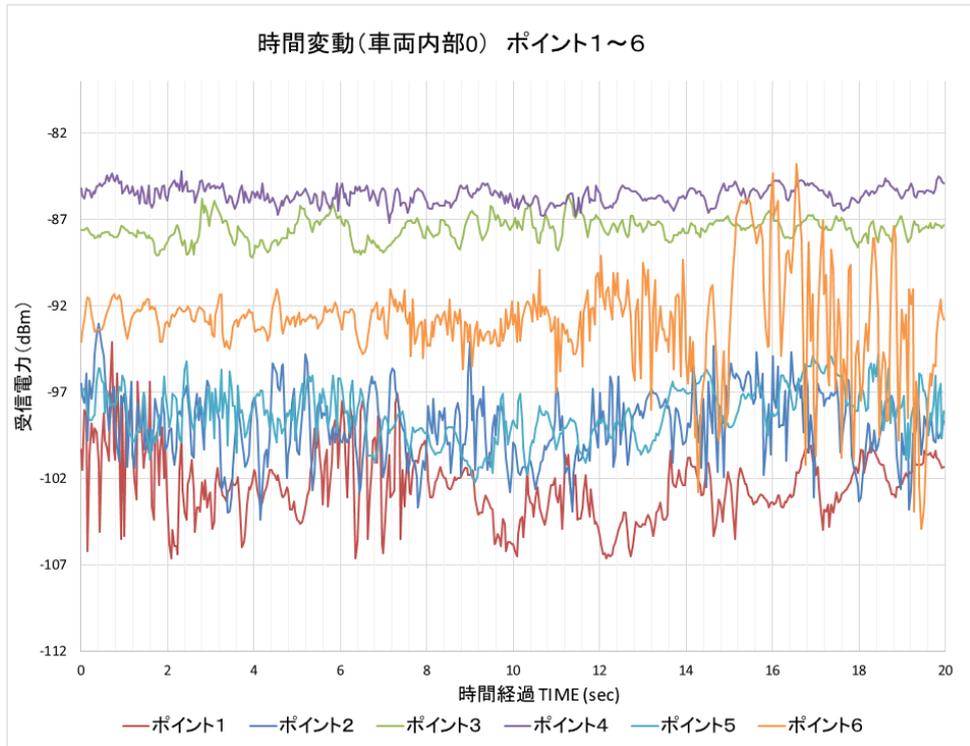


図 5.3.4-9 測定地点⑦ 車両内部0における受信電力の時間変動

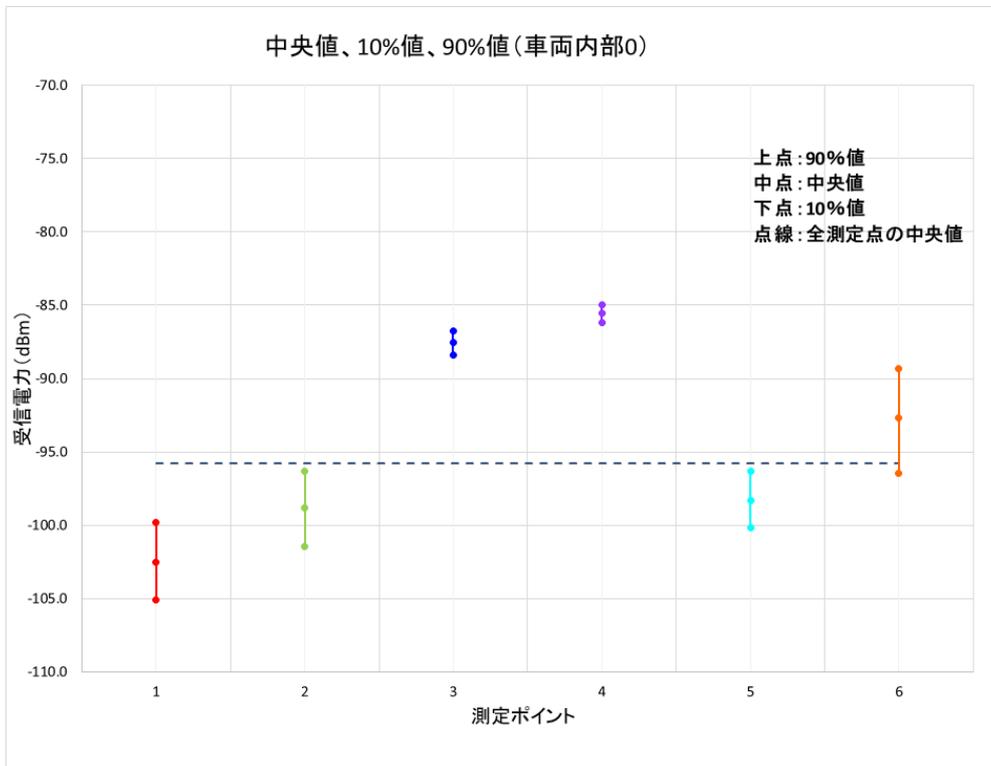


図 5.3.4-10 測定地点⑦ 車両内部0における受信電力の中央値

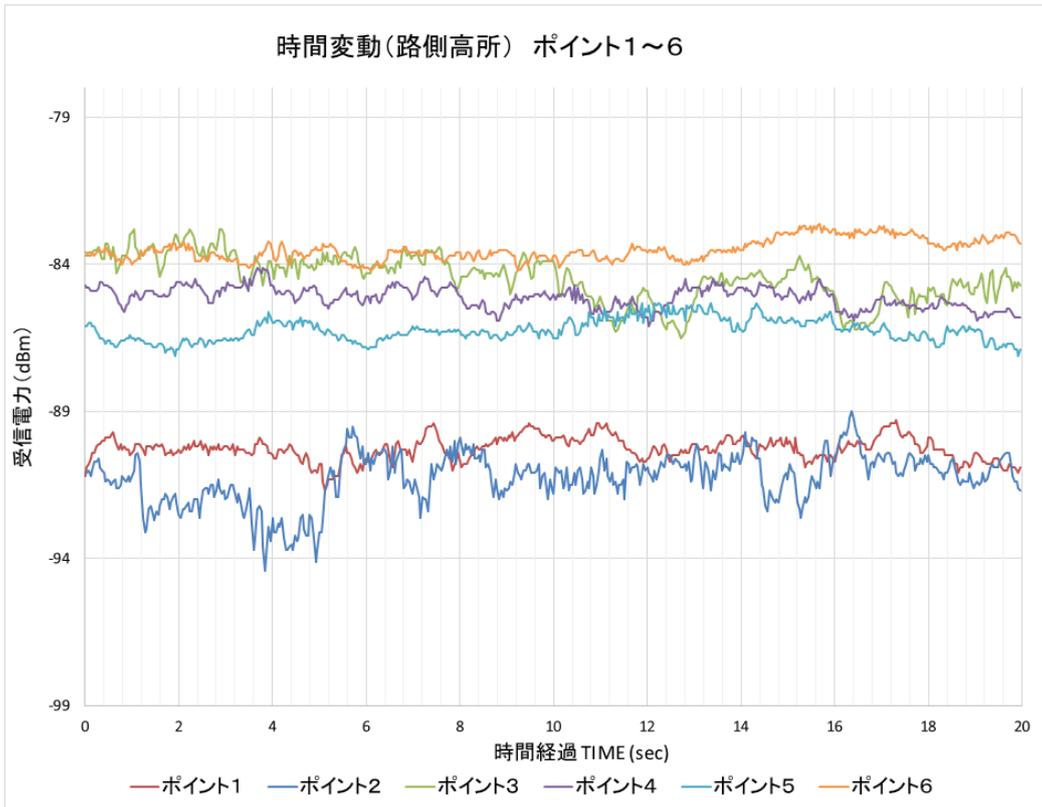


図 5.3.4-11 測定地点⑩ 車両内部0における受信電力の時間変動

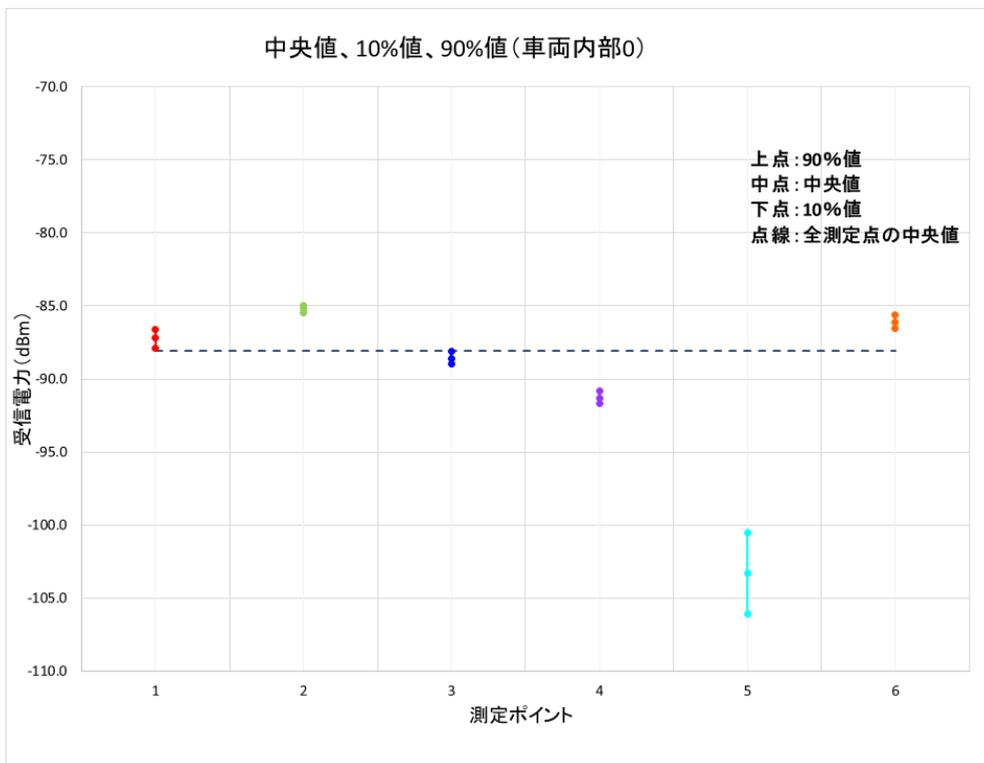


図 5.3.4-12 測定地点⑩ 車両内部0における受信電力の中央値

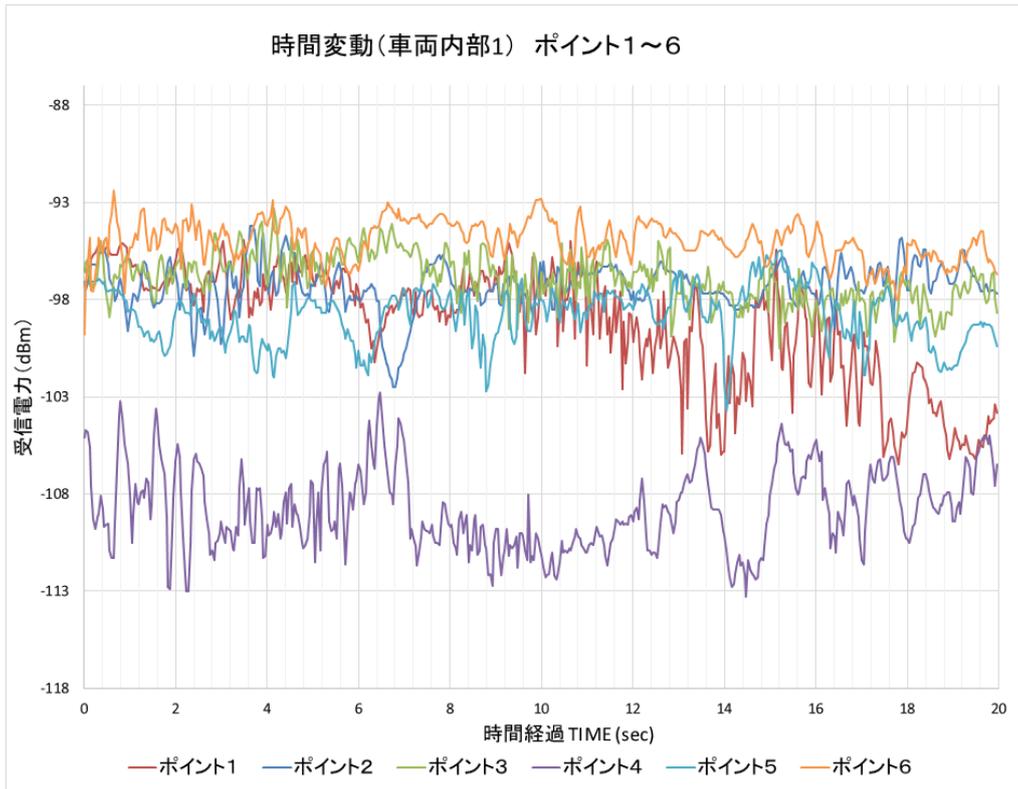


図 5.3.4-13 測定地点⑥ 車両内部1における受信電力の時間変動

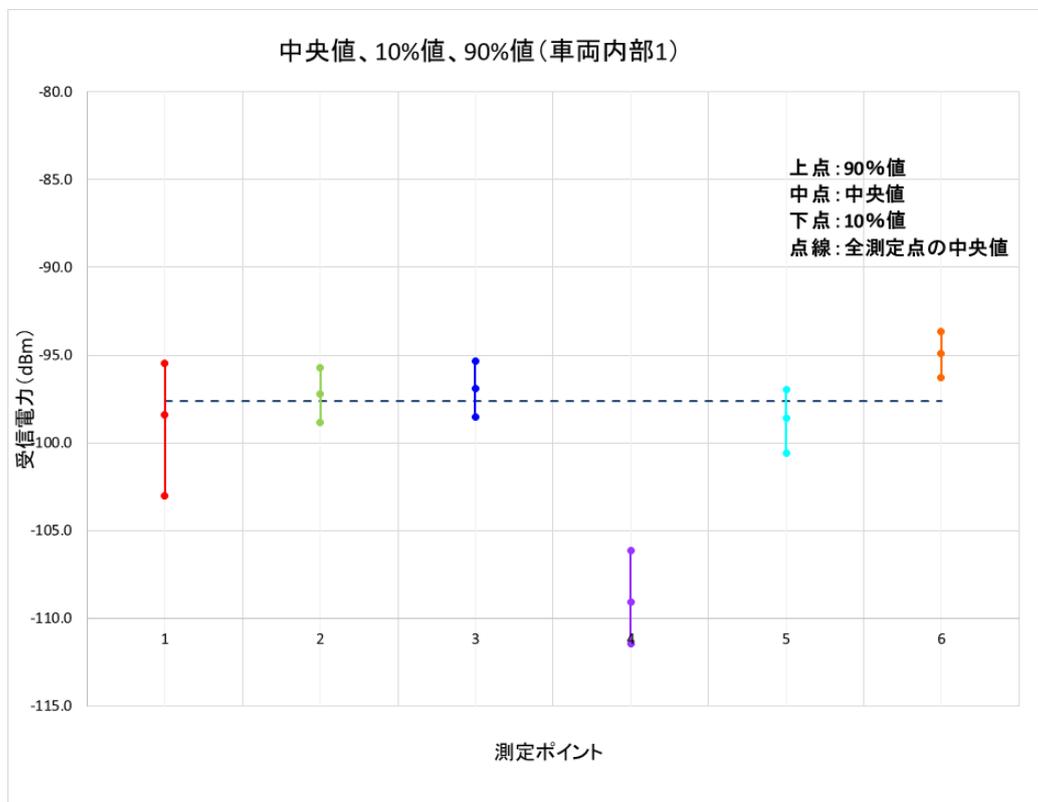


図 5.3.4-14 測定地点⑥ 車両内部1における受信電力の中央値

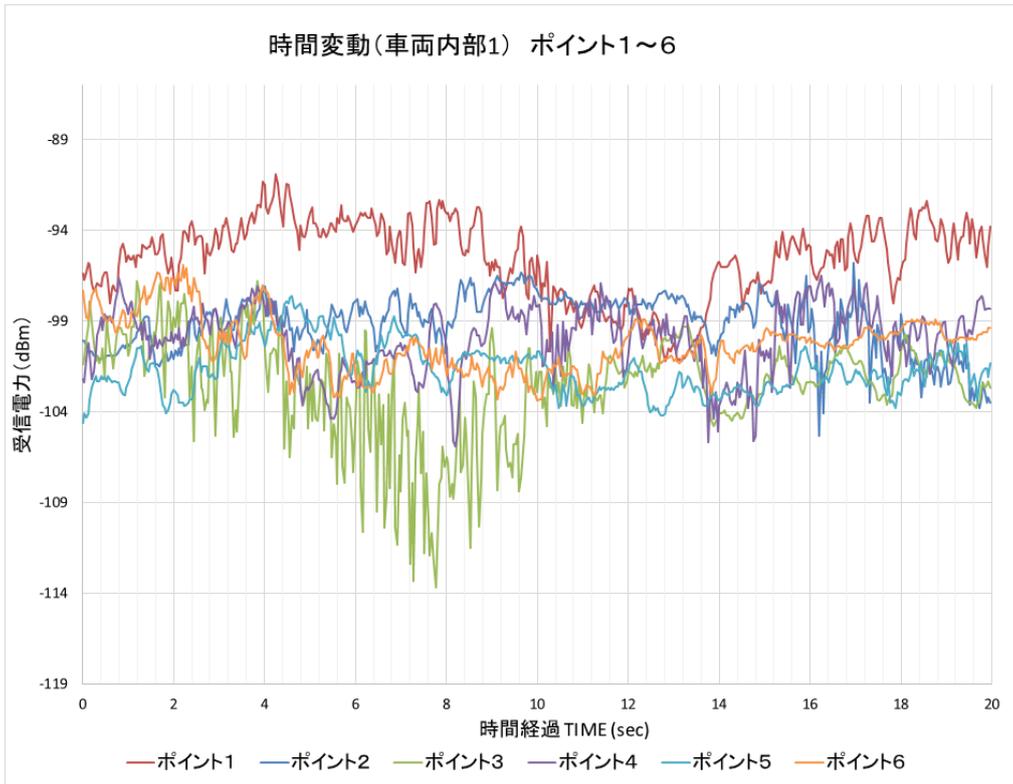


図 5.3.4-15 測定地点⑦ 車両内部1における受信電力の時間変動

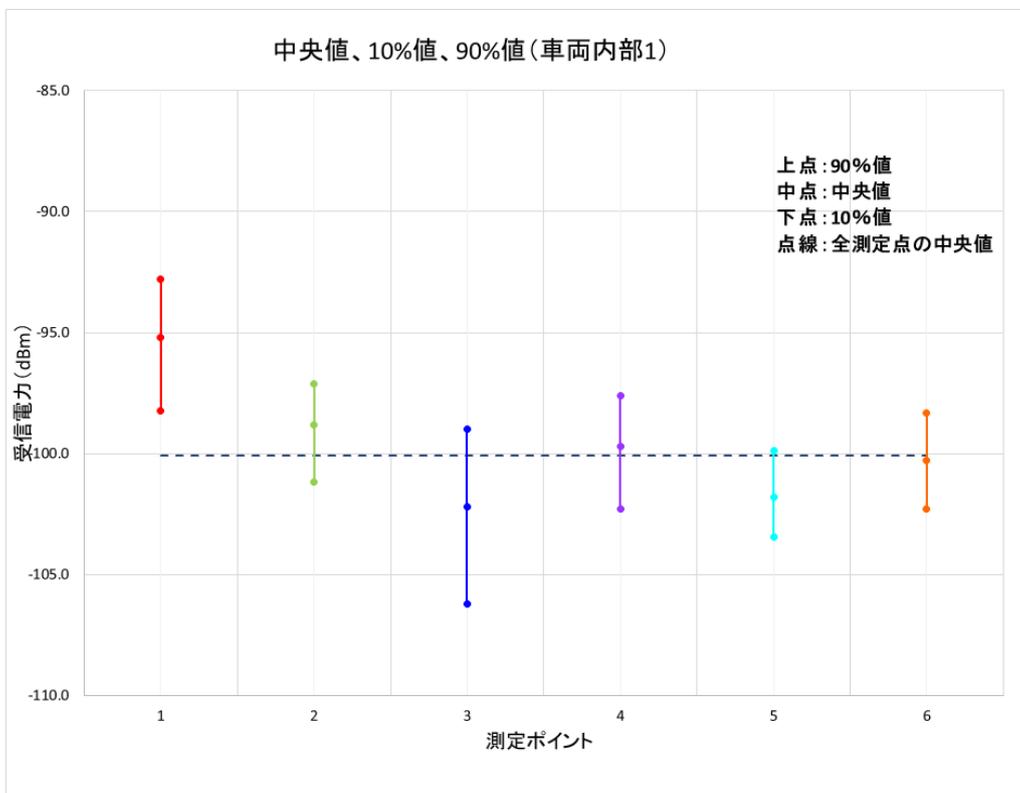


図 5.3.4-16 測定地点⑦ 車両内部1における受信電力の中央値

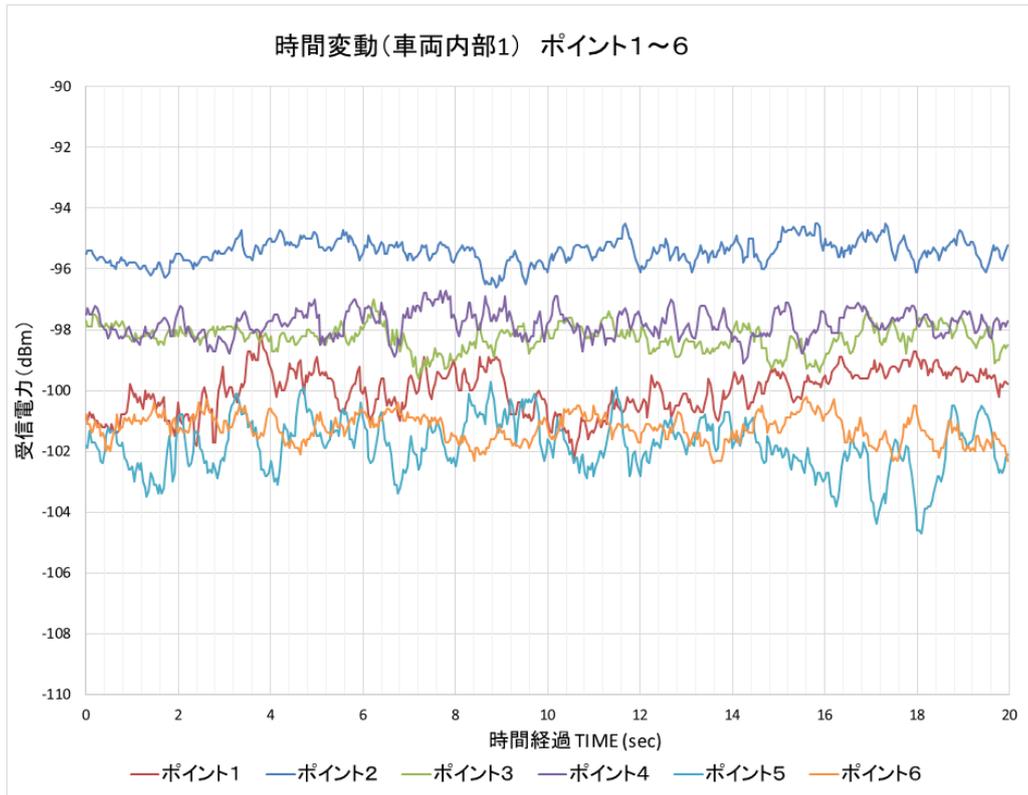


図 5.3.4-17 測定地点⑩ 車両内部 1 における受信電力の時間変動

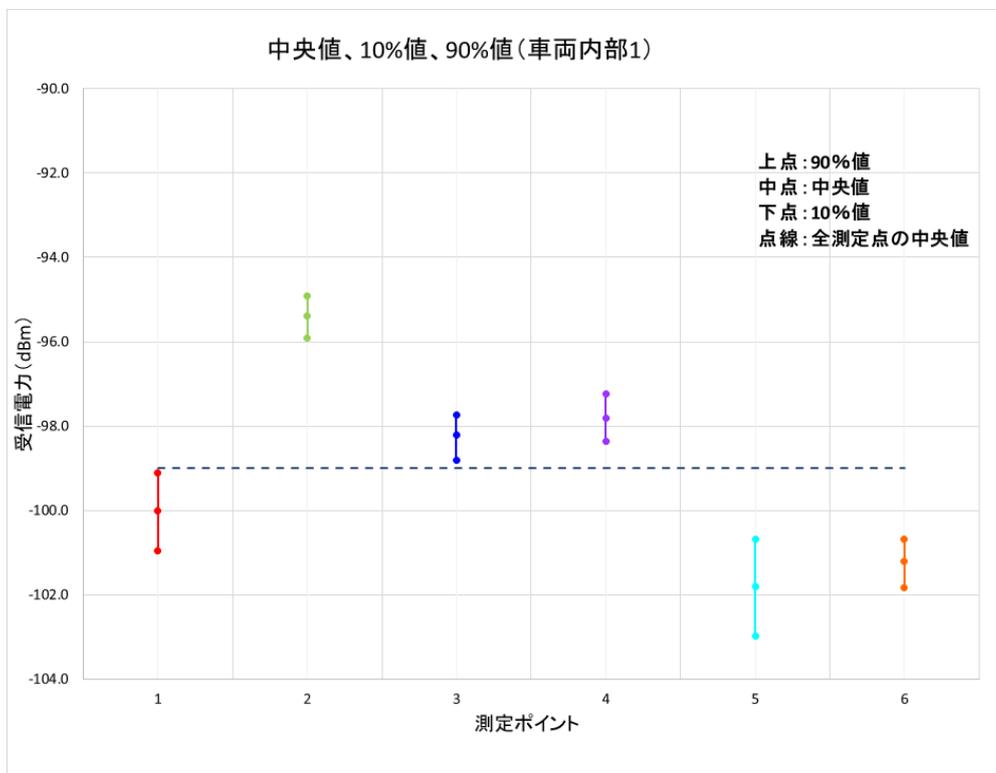


図 5.3.4-18 測定地点⑩ 車両内部 1 における受信電力の中央値

(3) 路側高所+車両内部

図 5.3.4-19 に路側高所及び車両内部における受信電力の距離特性を示す。車両内部における受信電力は、遮蔽物となる隣接車両が存在しない場合（車両内部0）と隣接車両が存在する場合（車両内部1）の各々について示す。

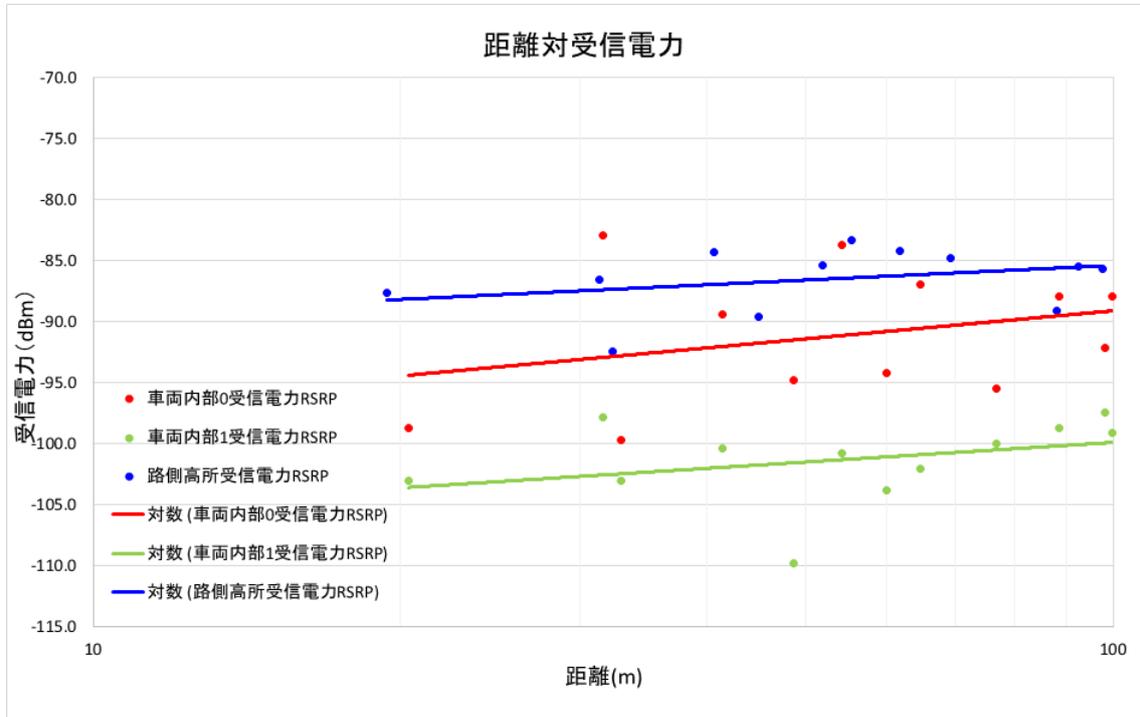


図 5.3.4-19 距離対受信電力

路側高所において測定した受信電力より、各測定地点における基地局アンテナからの水平角及び俯角に応じたアンテナ利得等の補正值を用いて、伝搬損失を計算した。また、路側高所と同様に、車両内部において測定した受信電力より、各測定地点における伝搬損失を計算した。図 5.3.4-20 に、路側高所における伝搬損失、車両内部において遮蔽物となる隣接車両が存在しない場合の伝搬損失（車両内部0）及び車両内部において遮蔽物となる隣接車両が存在する場合の伝搬損失（車両内部1）の距離特性を示す。路側高所、車両内部0、車両内部1の各々について計算された伝搬損失に対して、最小二乗法で求めた近似直線も示した。さらに、比較のため、自由空間損失モデルによる伝搬損失の計算値も示す。

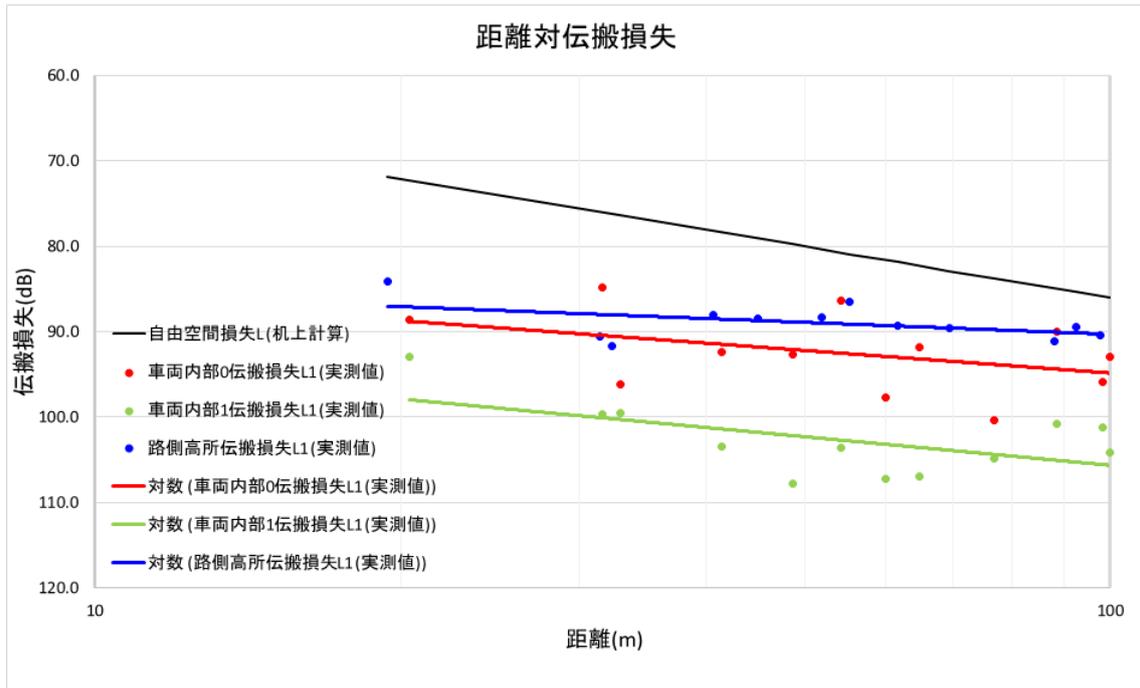


図 5.3.4-20 距離対伝搬損失

5.3.4.2 伝送スループット（上下回線別等）

(1) 路側高所

図 5.3.4-21～図 5.3.4-23 に路側高所において 1 台の DTU で上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、路側高所の測定地点⑥及び測定地点⑦、測定地点⑩における測定値を示す。

図 5.3.4-24 に路側高所において 1 台の DTU で上り送信を行った際の伝送スループットの距離特性を示す。この図より、測定を行った全ての測定地点において、10Mbps の伝送スループットを達成していることが分かる。

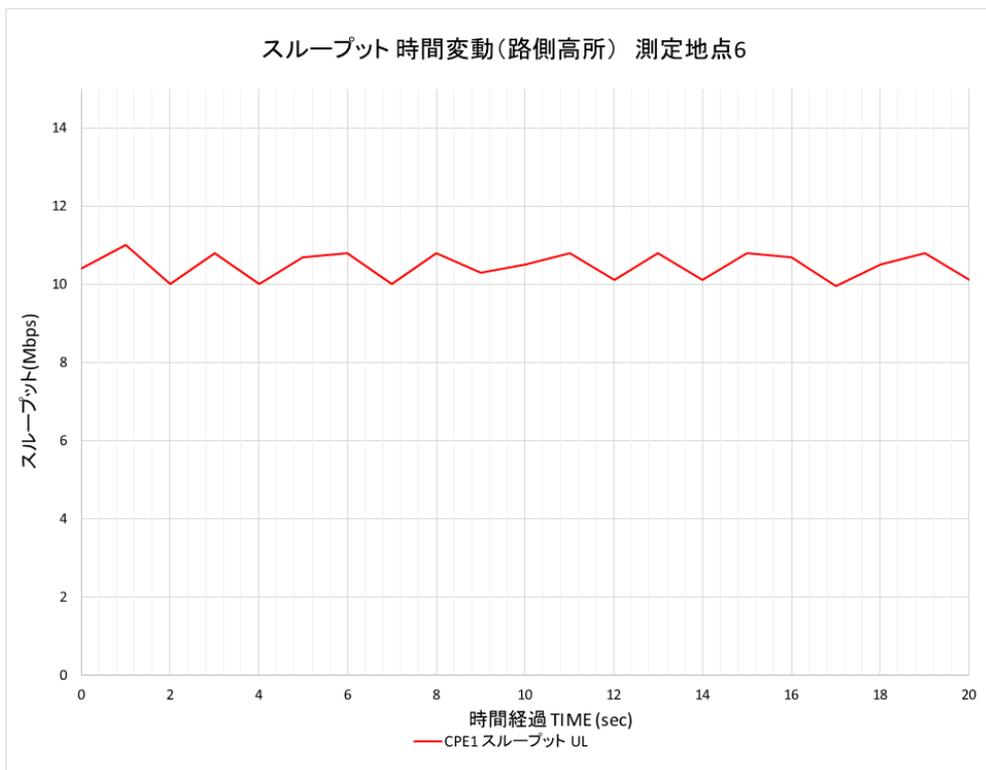


図 5.3.4-21 路側高所 測定地点⑥ スループット時間変動

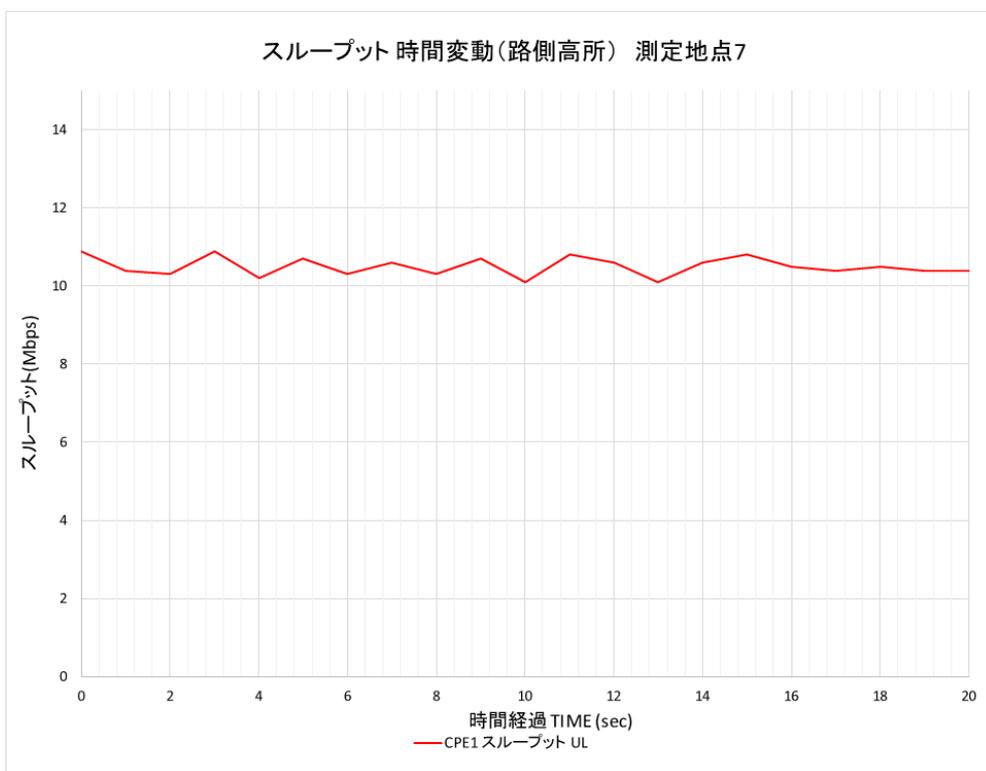


図 5.3.4-22 路側高所 測定地点⑦ スループット時間変動

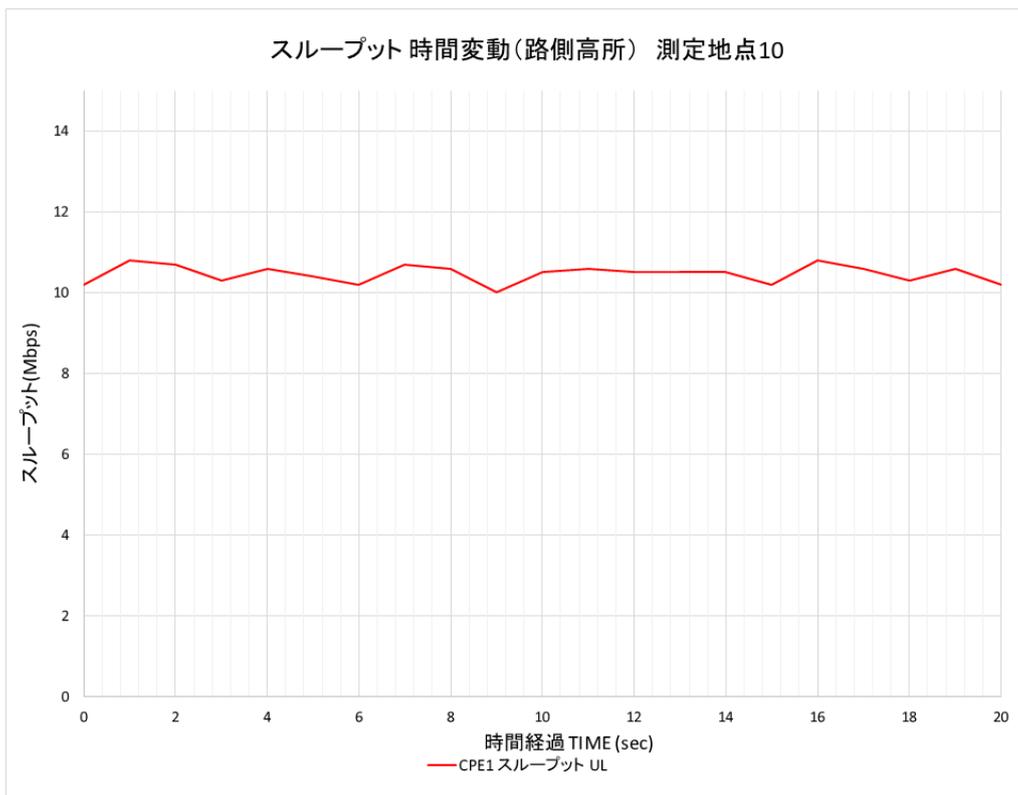


図 5.3.4-23 路側高所 測定地点⑩ スループット時間変動

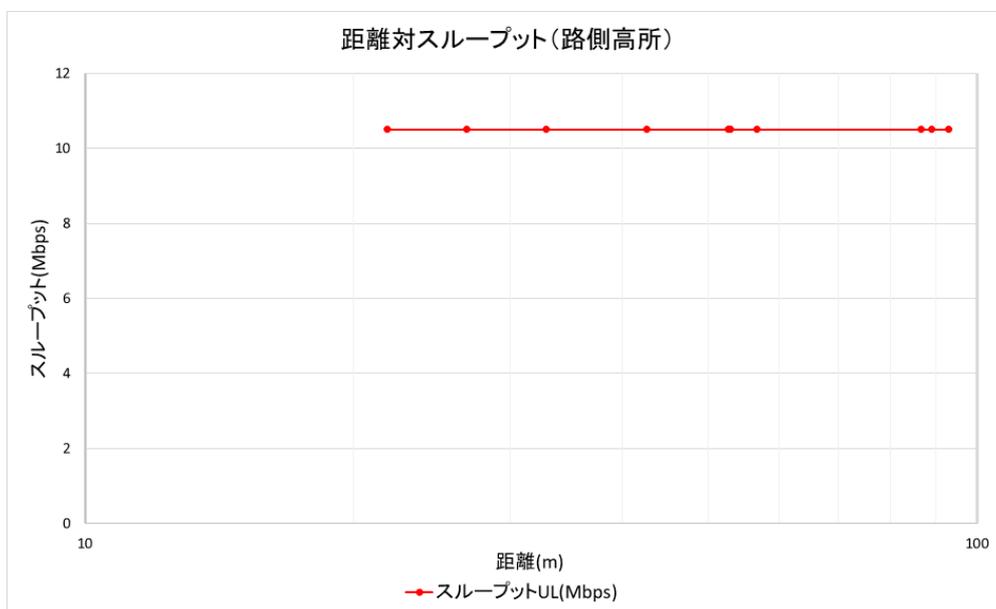


図 5.3.4-24 路側高所 距離対スループット

図 5.3.4-25～図 5.3.4-27 に路側高所において 2 台の DTU で上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、路側高所の測定地点⑥及び測定地点⑦、測定地点⑩における測定値を示す。

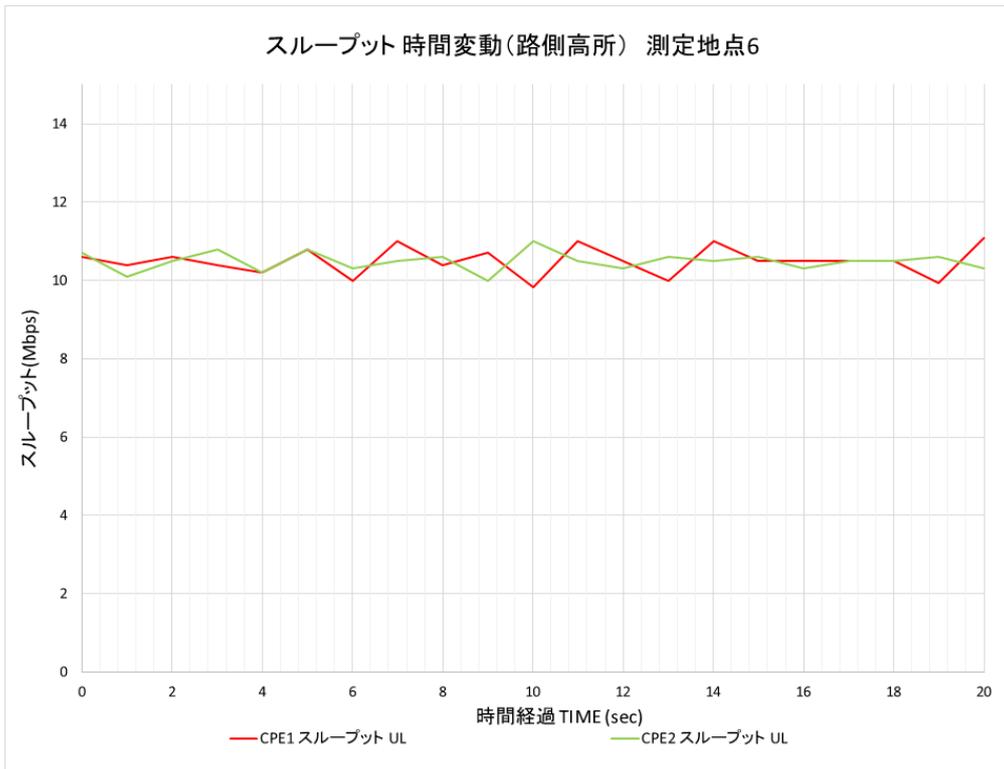


図 5.3.4-25 路側高所 測定地点⑥ スループット時間変動

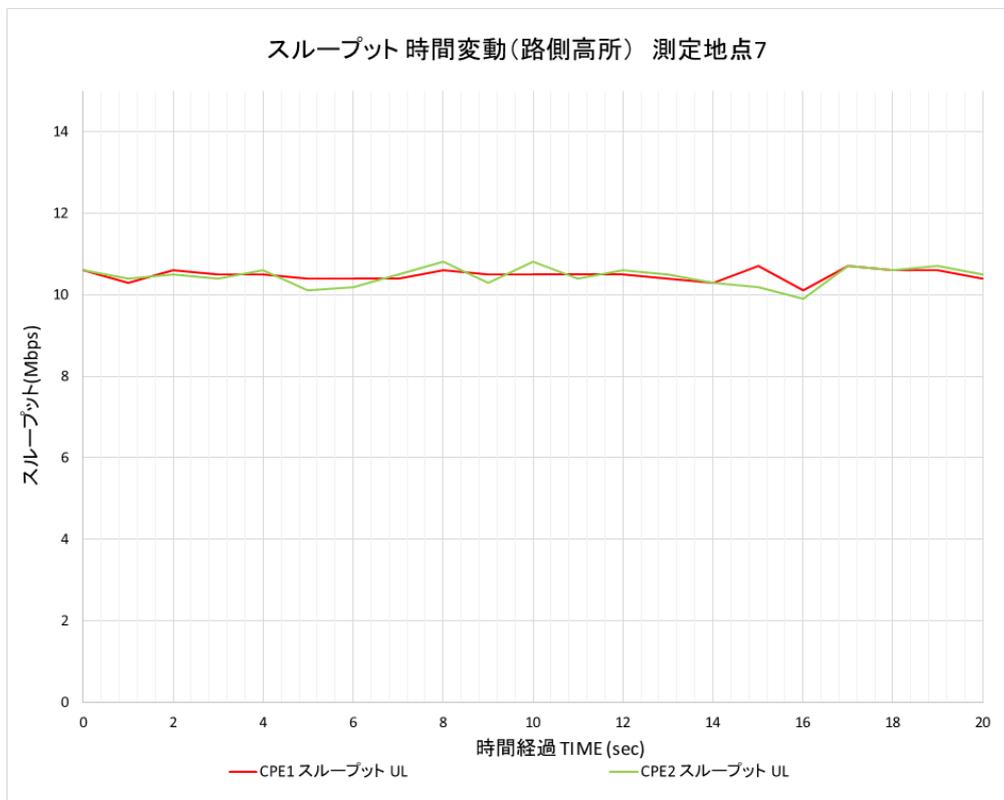


図 5.3.4-26 路側高所 測定地点⑦ スループット時間変動

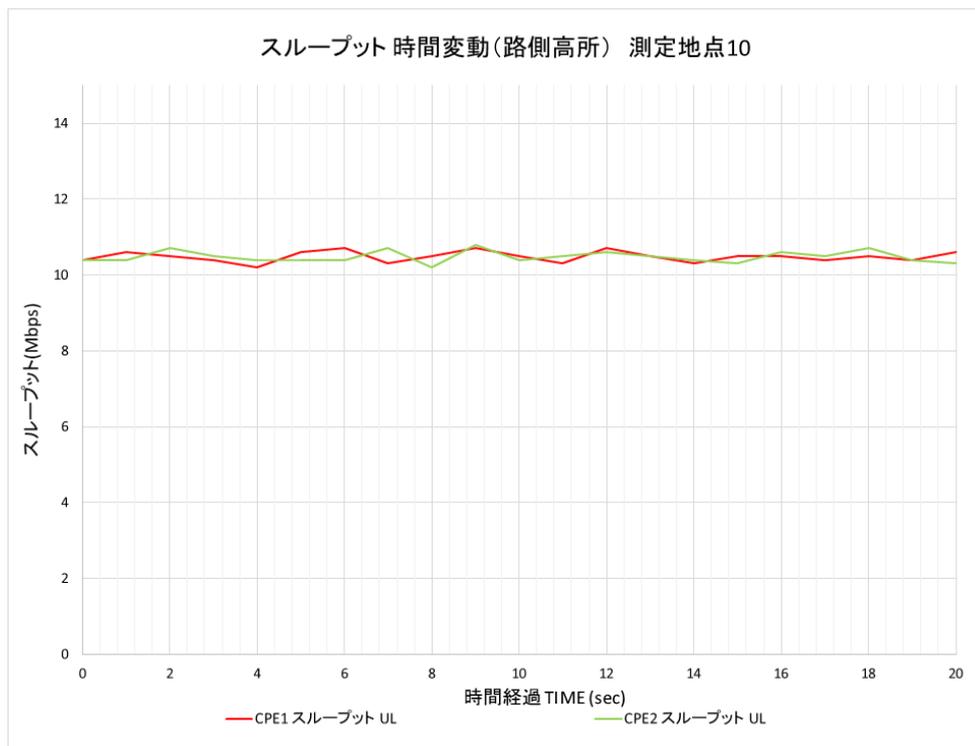


図 5.3.4-27 路側高所 測定地点⑩ スループット時間変動

図 5.3.4-28 に路側高所において 2 台の DTU で上り送信を行った際の 1 台あたりの伝送スループットの距離特性を示す。この図より、測定を行った全ての測定地点において、2 台合計で 20Mbps の伝送スループットを達成していることが分かる。

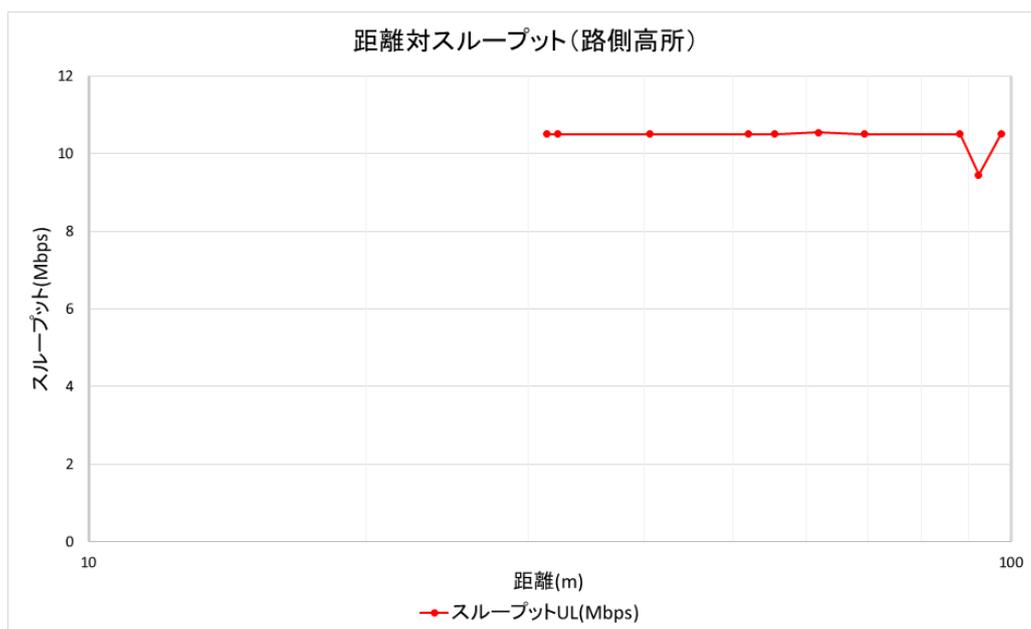


図 5.3.4-28 路側高所 距離対スループット (2 台利用)

(2) 車両内部0

図 5.3.4-29～図 5.3.4-31 に車両内部0において1台のDTUで上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、車両内部0の測定地点⑥及び測定地点⑦、測定地点⑩における測定値を示す。

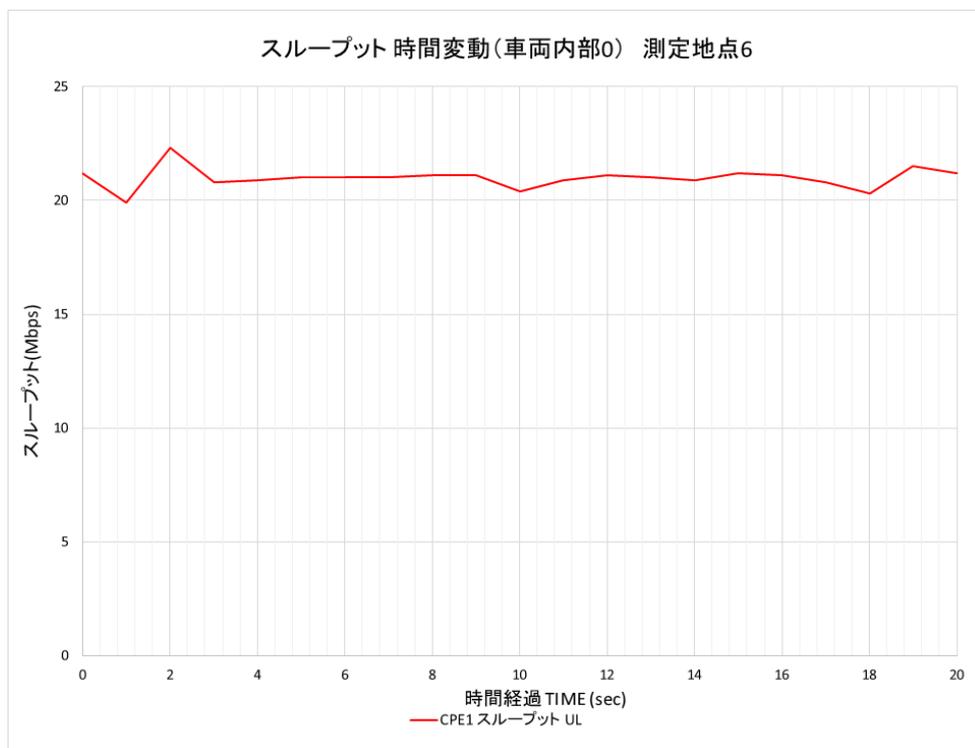


図 5.3.4-29 車両内部0 測定地点⑥ スループット時間変動

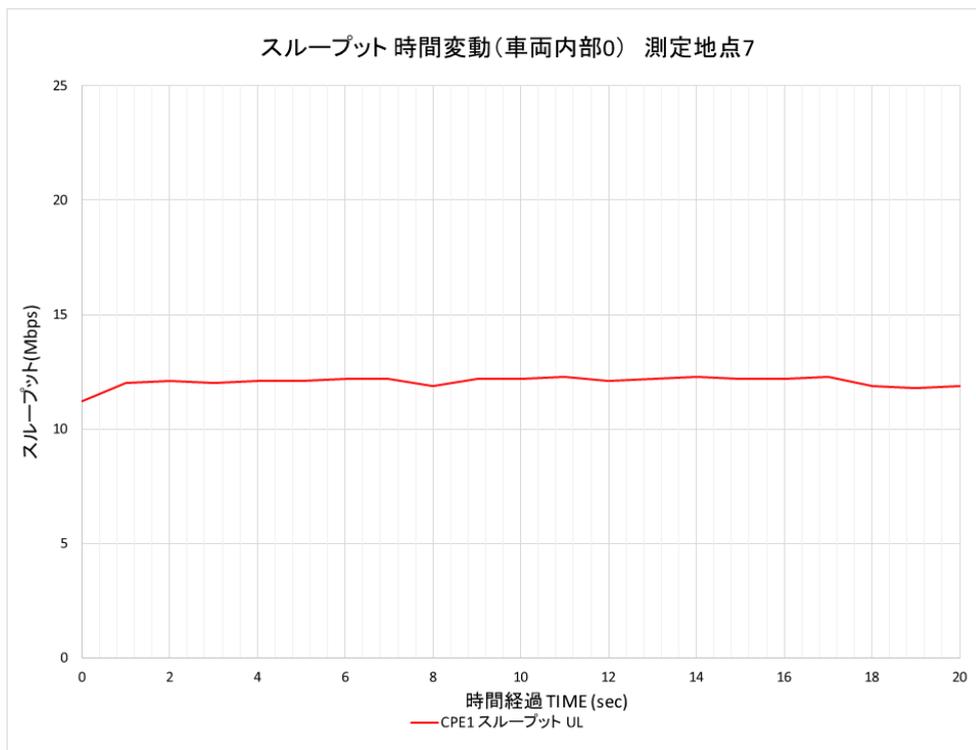


図 5.3.4-30 車両内部0 測定地点⑦ スループット時間変動

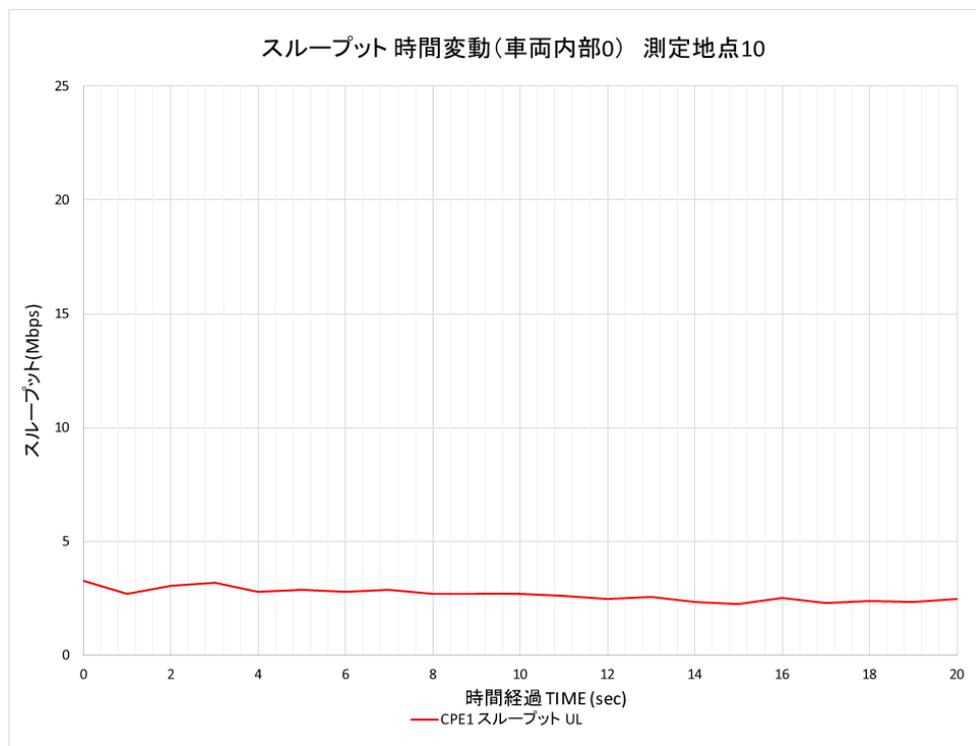


図 5.3.4-31 車両内部0 測定地点⑩ スループット時間変動

図 5.3.4-32 に車両内部0において1台のDTUで上り送信を行った際の伝送スループットの距離特性を示す。

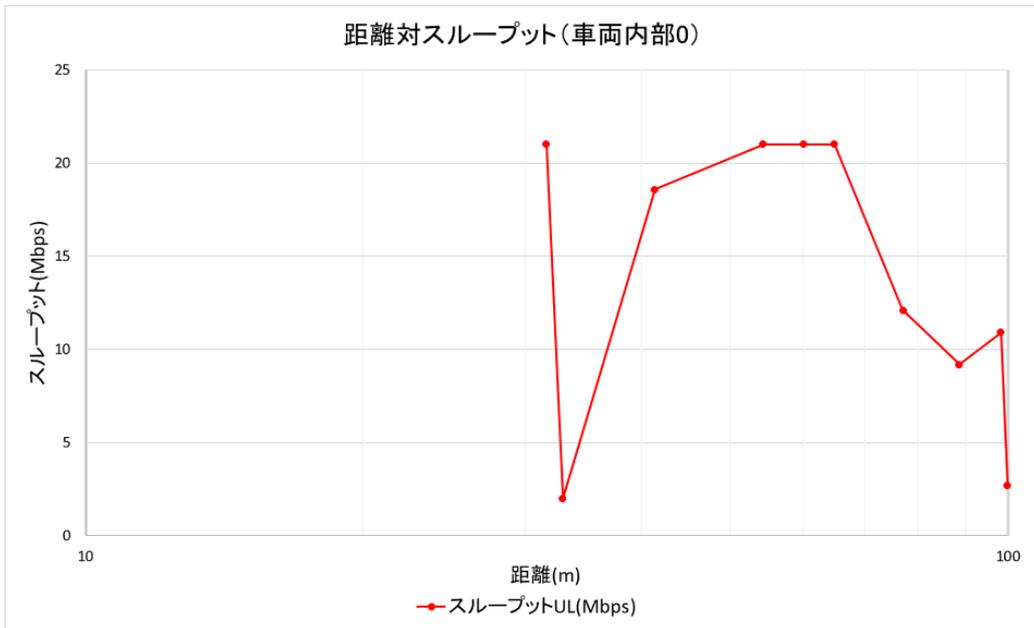


図 5.3.4-32 車両内部0 距離対スループット

図 5.3.4-33～図 5.3.4-35 に車両内部0 において2台のDTU で上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、車両内部0 の測定地点⑥、測定地点⑦及び測定地点⑩における測定値を示す。

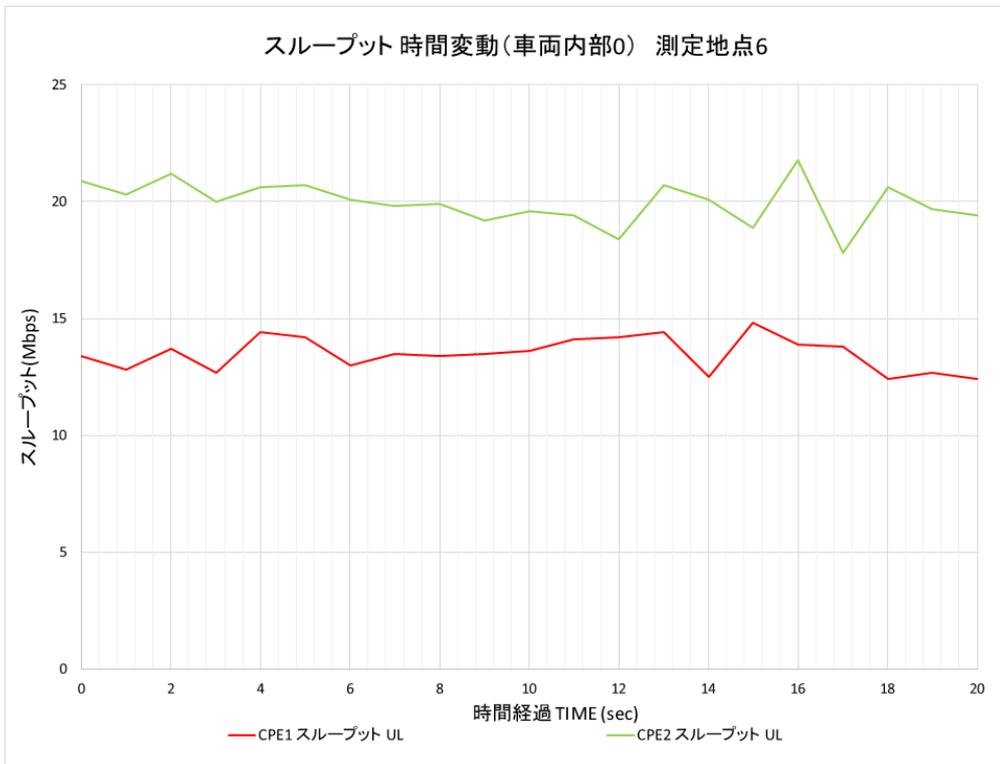


図 5.3.4-33 車両内部0 測定地点⑥ スループット時間変動 (2台利用)

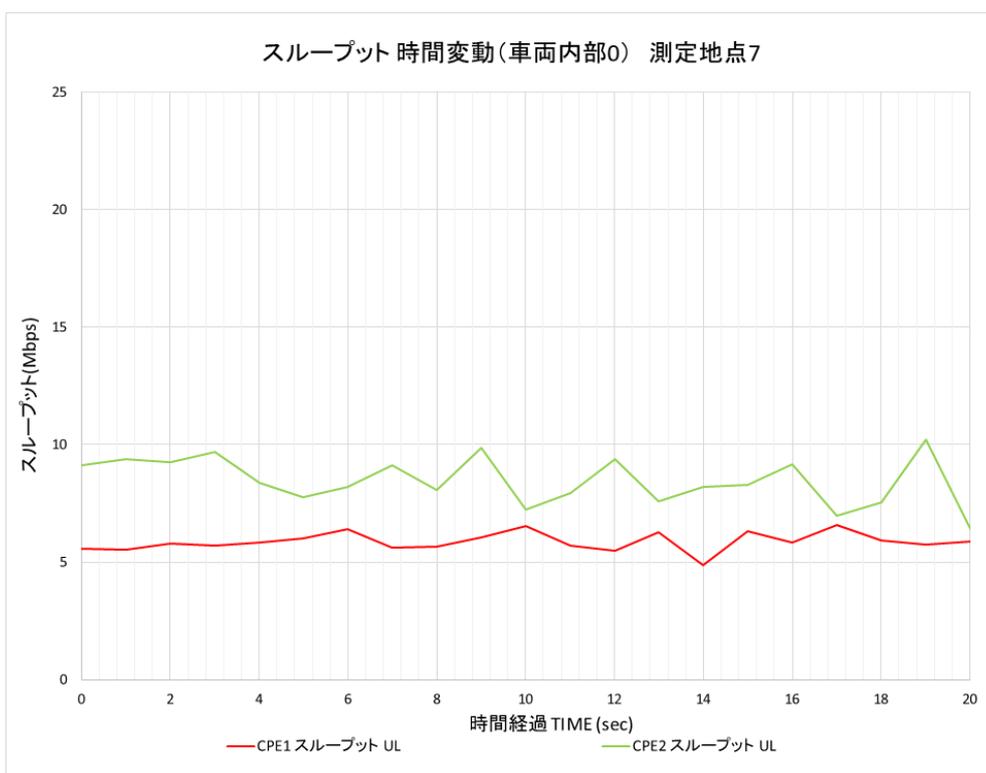


図 5.3.4-34 車両内部0 測定地点⑦ スループット時間変動 (2台利用)

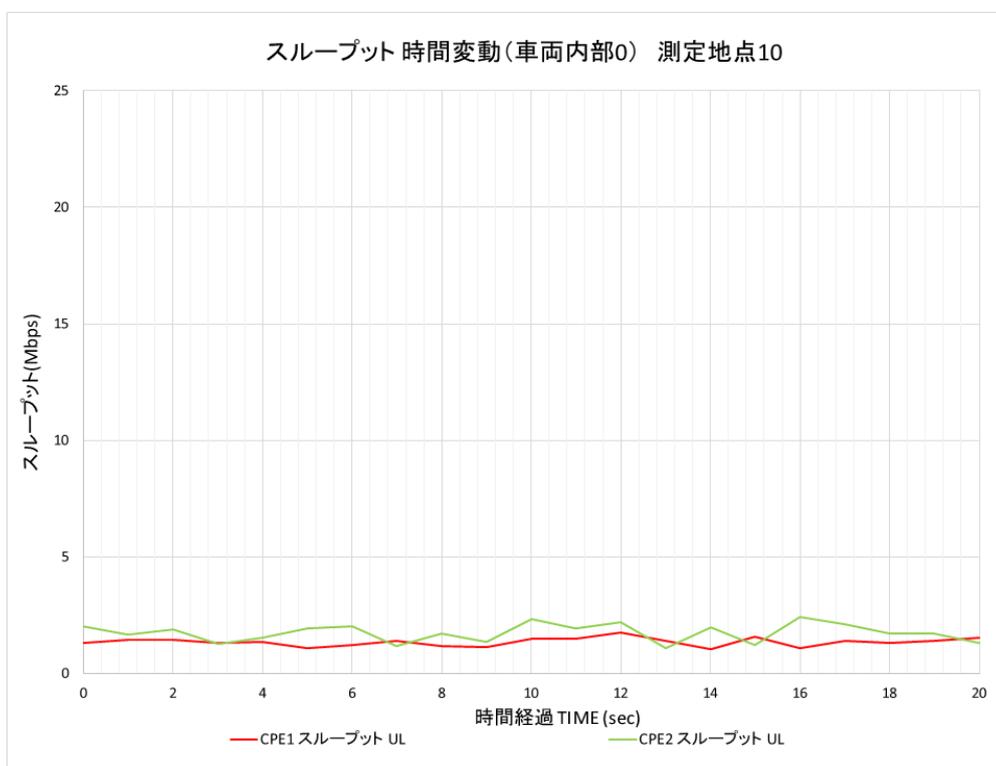


図 5.3.4-35 車両内部0 測定地点⑩ スループット時間変動 (2台利用)

図 5.3.4-36 に車両内部0において2台の DTU で上り送信を行った際の1台あたりの伝送スループットの距離特性を示す。

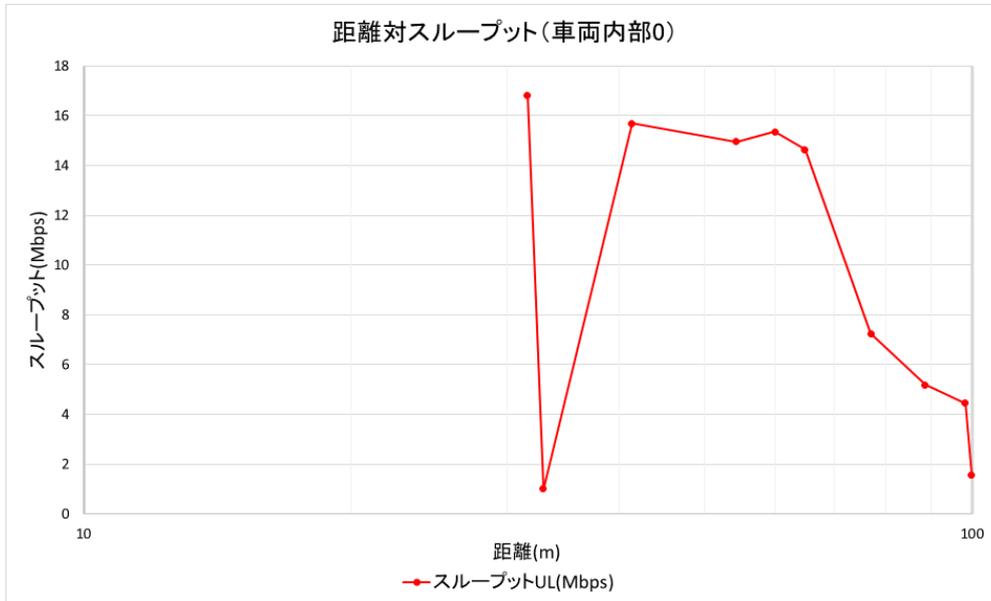


図 5.3.4-36 車両内部0 距離対スループット (2台利用)

(3) 車両内部1

図 5.3.4-37～図 5.3.4-39 に車両内部1において1台の DTU で上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、車両内部1の測定地点⑤、測定地点⑦及び測定地点⑩における測定値を示す。

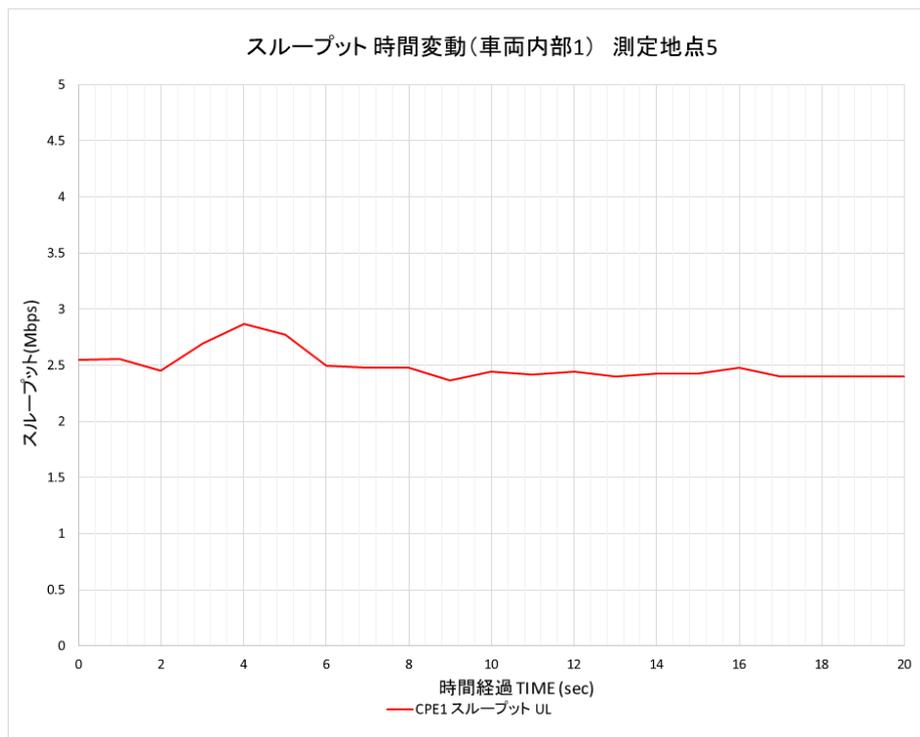


図 5.3.4-37 車両内部1 測定地点⑤ スループット時間変動

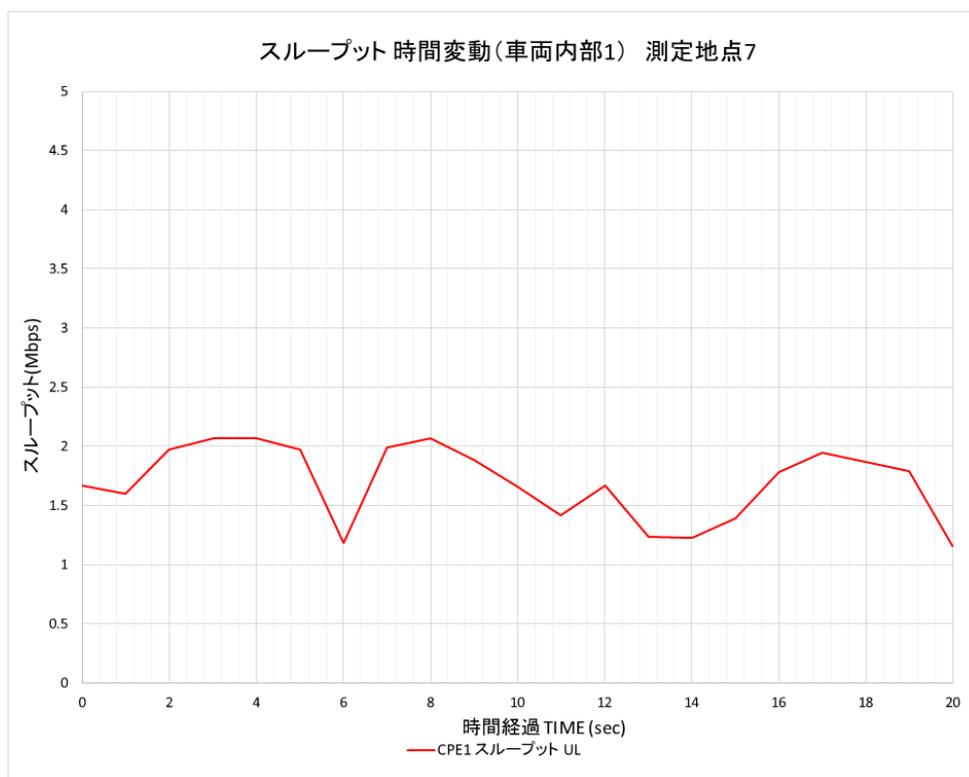


図 5.3.4-38 車両内部1 測定地点⑦ スループット時間変動

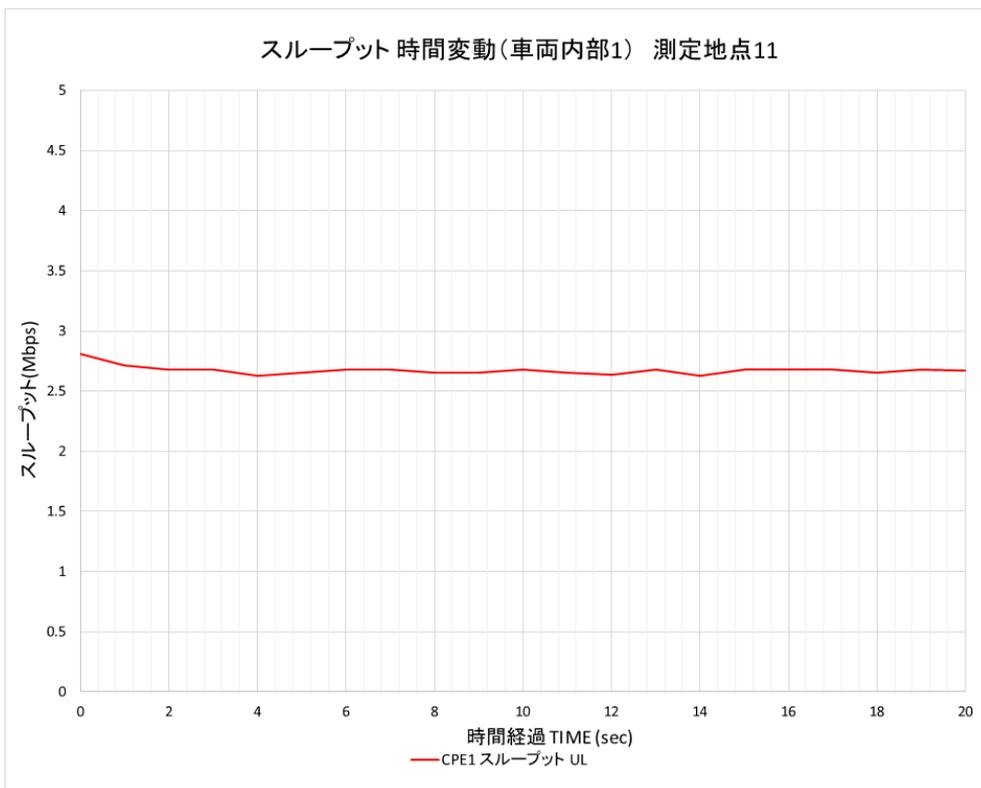


図 5.3.4-39 車両内部 1 測定地点⑪ スループット時間変動

図 5.3.4-40 に車両内部 1 において 1 台の DTU で上り送信を行った際の伝送スループットの距離特性を示す。

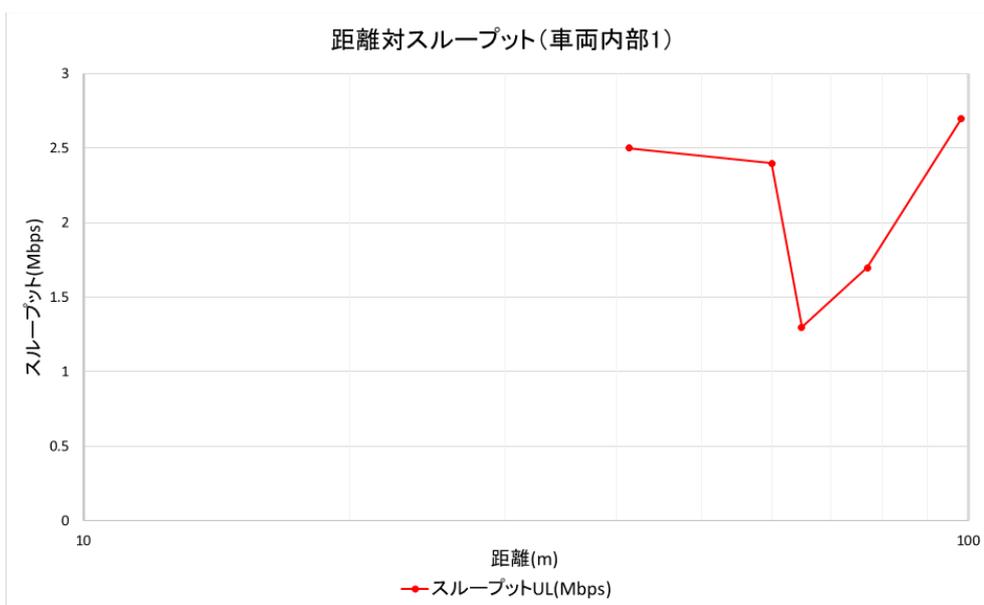


図 5.3.4-40 車両内部 1 距離対スループット

図 5.3.4-41～図 5.3.4-43 に車両内部 1 において 2 台の DTU で上り送信を行った際の伝送スループットの時間変動の例として、車両内部 1 の測定地点⑤、測定地点⑦及び測定地点⑩における測定値を示す。

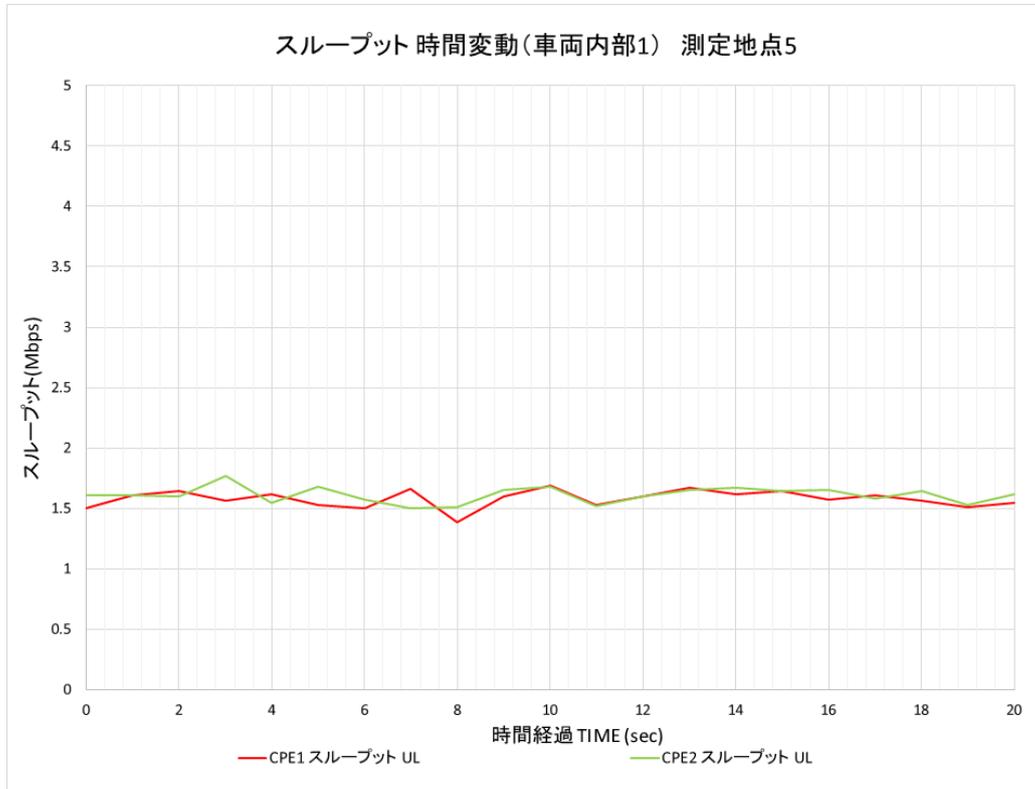


図 5.3.4-41 車両内部 1 測定地点⑤ スループット時間変動 (2 台利用)

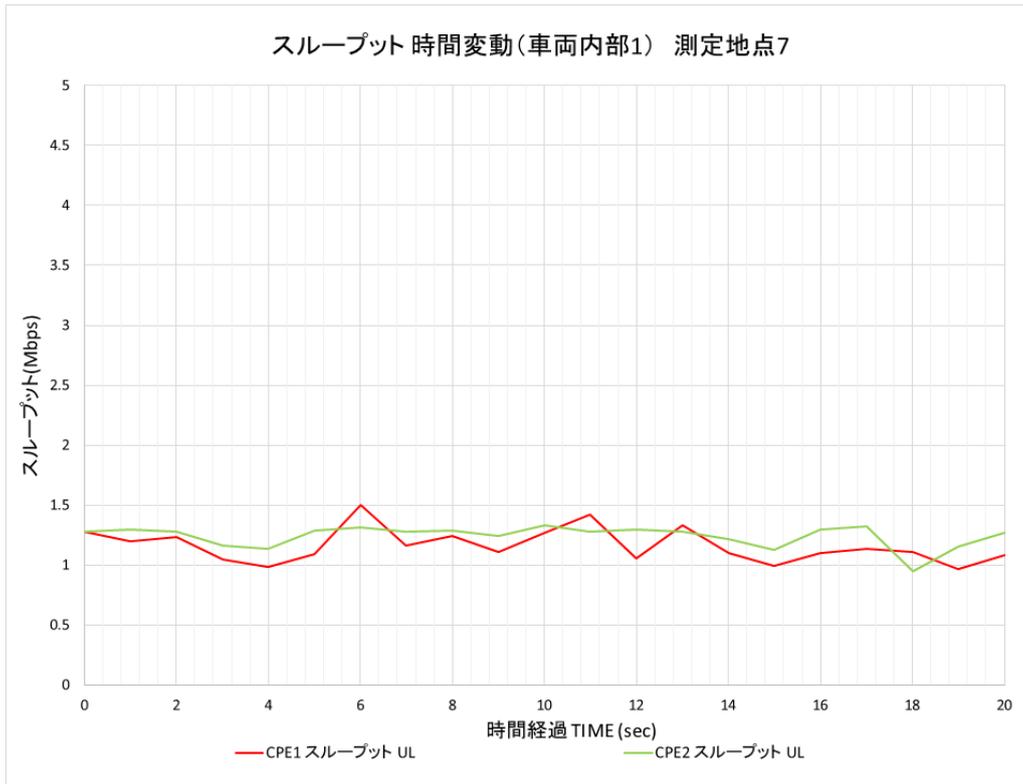


図 5.3.4-42 車両内部1 測定地点⑦ スループット時間変動 (2台利用)

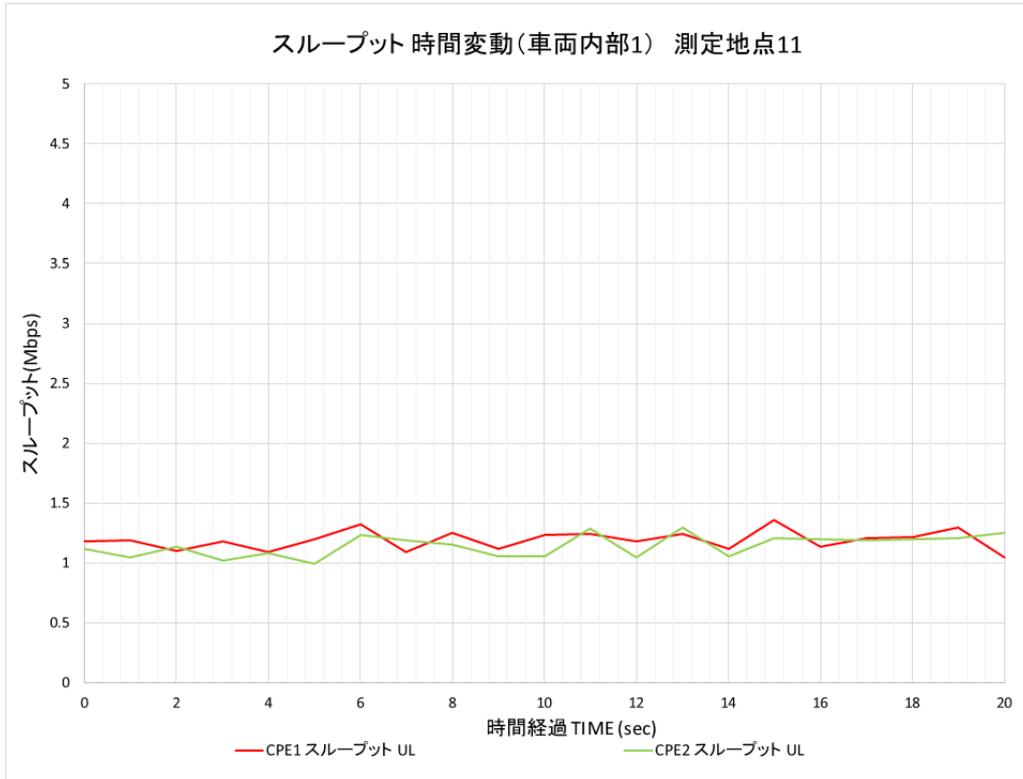


図 5.3.4-43 車両内部1 測定地点⑪ スループット時間変動 (2台利用)

図 5.3.4-44 に車両内部 1 において 2 台の DTU で上り送信を行った際の 1 台あたりの伝送スループットの距離特性を示す。

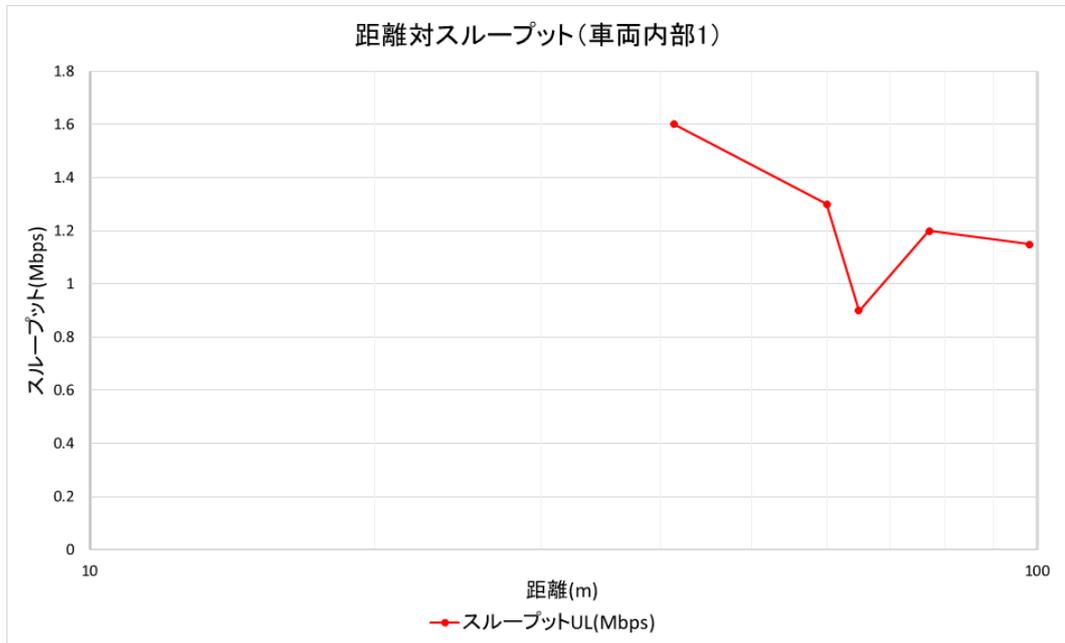


図 5.3.4-44 車両内部 1 距離対スループット (2 台利用)

車両内部では、全ての測定地点において、1 台あたり 20Mbps の送信を行う DTU が 2 台同時に送信を行ったとき、その伝送スループットの合計値が、車両から遠隔管制室への伝送スループットの要求値である 40Mbps に到達しなかった。そこで、要求値の実現に向けた検討に必要な参考データを得るため、受信電力が最も高い車両内部の測定地点⑥付近の路側 (屋外) において、1 台あたり 20Mbps の送信を行う DTU が 2 台同時に送信を行う条件での伝送スループットの測定を追加で実施した。

図 5.3.4-45 にその伝送スループットの時間変動を示す。2 台とも伝送スループットが 20Mbps となり、合計で 40Mbps を達成できた。このように車両への侵入損失の影響を受けない路側では、車両から遠隔管制室への伝送スループットの要求値を達成できた。なお、このとき伝送スループット試験に用いた DTU での RSRP 測定値は、2 台とも -87dBm であった。

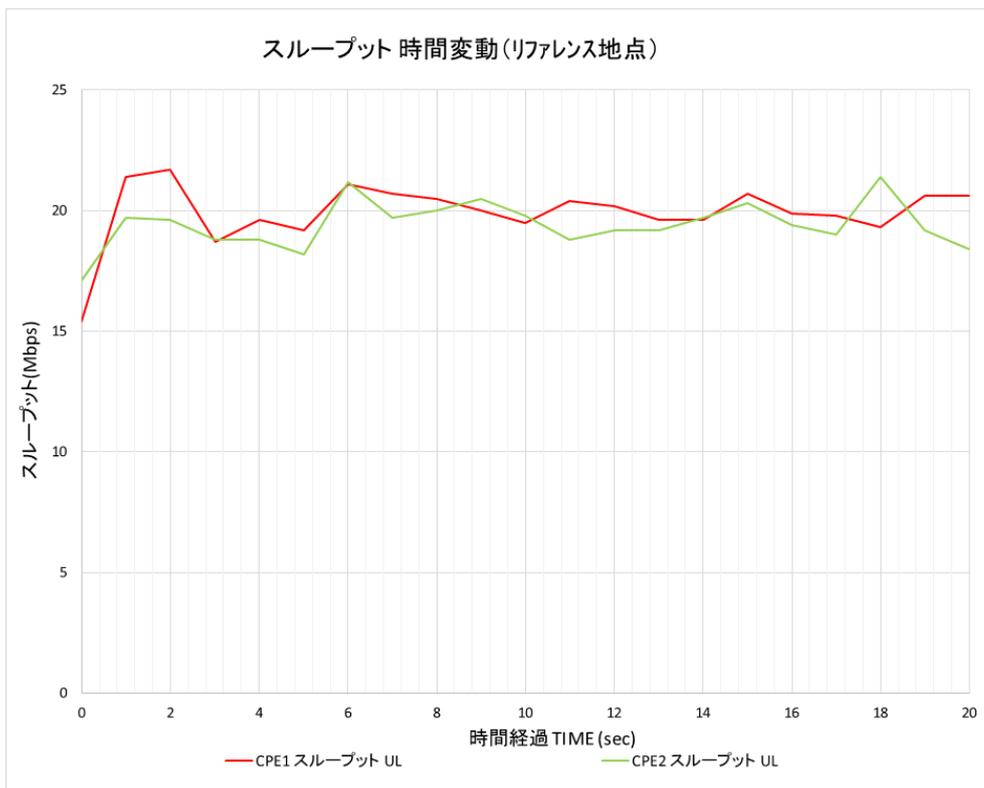


図 5.3.4-45 リファレンス地点 スループット時間変動（2台利用）

5.3.4.3 伝送遅延時間（上下回線別等）

(1) 路側高所

図 5.3.4-46～図 5.3.4-48 に路側高所において1台のDTUで上り送信を行った際の伝送遅延時間の時間変動の例として、路側高所の測定地点⑥及び測定地点⑦、測定地点⑩における測定値を示す。

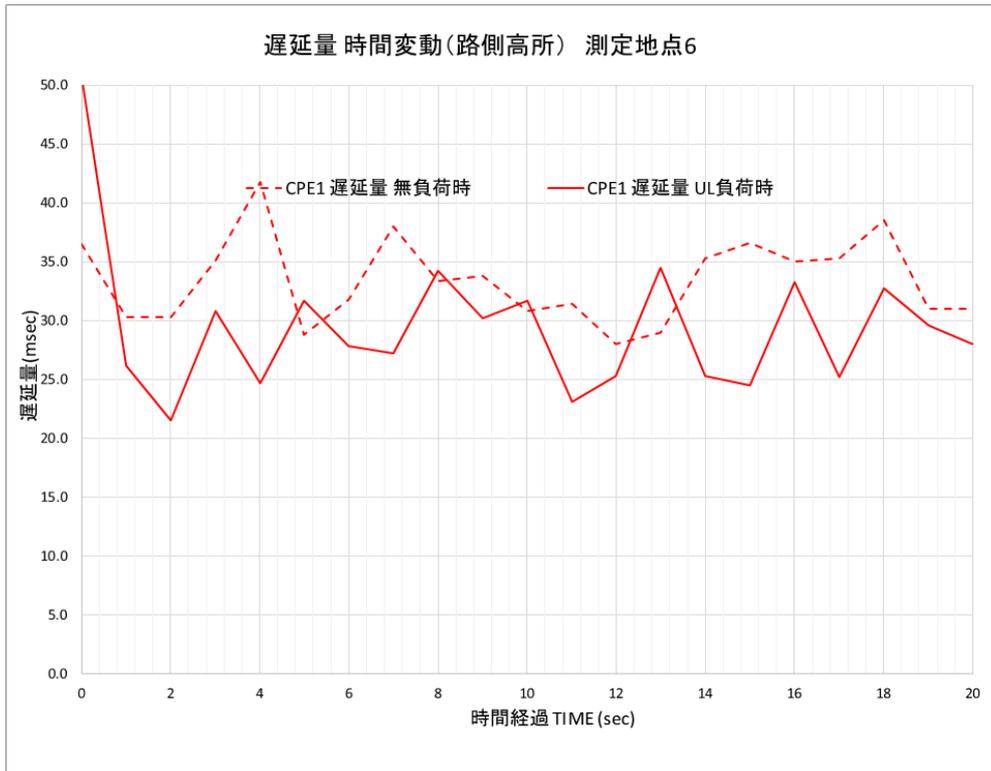


図 5.3.4-46 路側高所 測定地点⑥ 遅延量時間変動

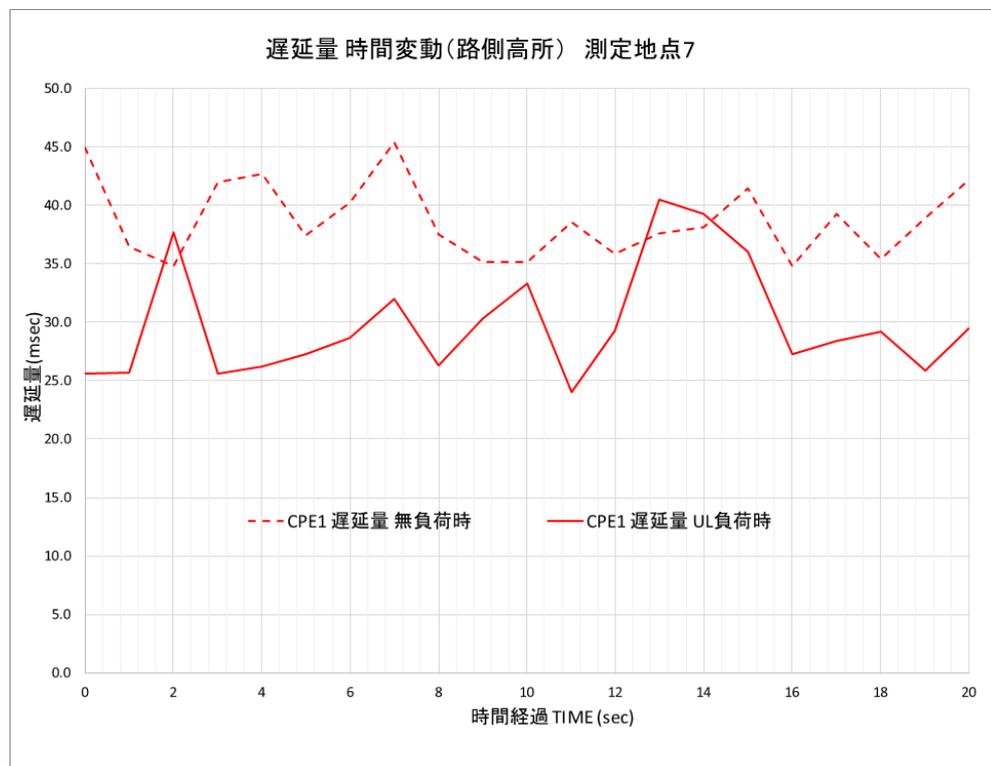


図 5.3.4-47 路側高所 測定地点⑦ 遅延量時間変動

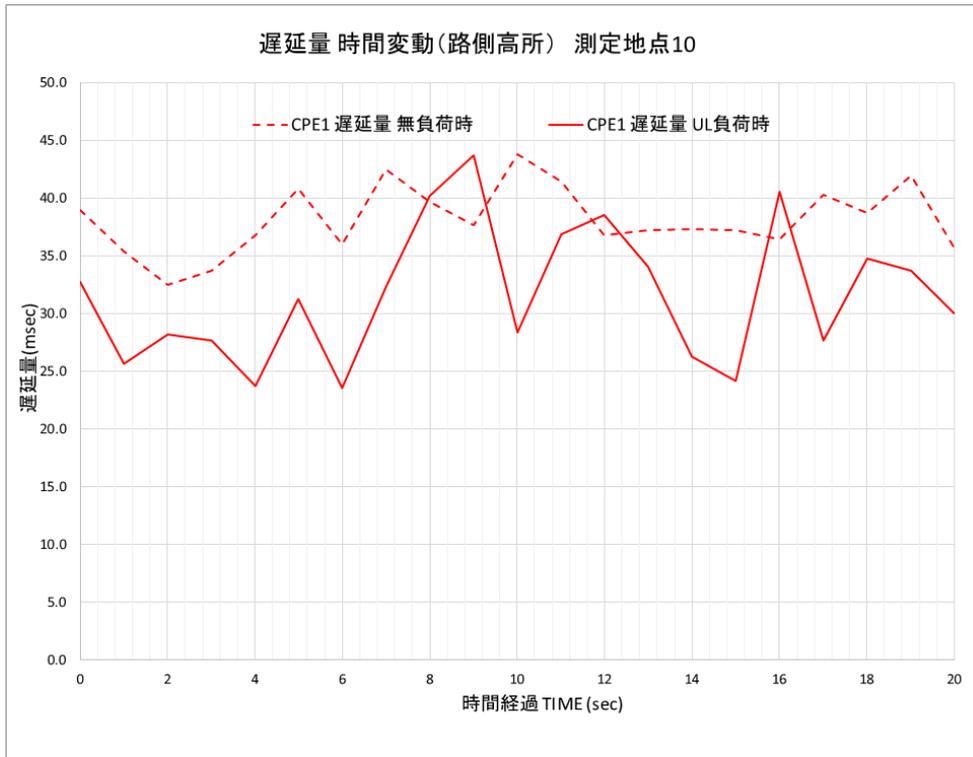


図 5.3.4-48 路側高所 測定地点⑩ 遅延量時間変動

図 5.3.4-49 に路側高所において 1 台の DTU で上り送信を行った際の伝送遅延時間の距離特性を示す。

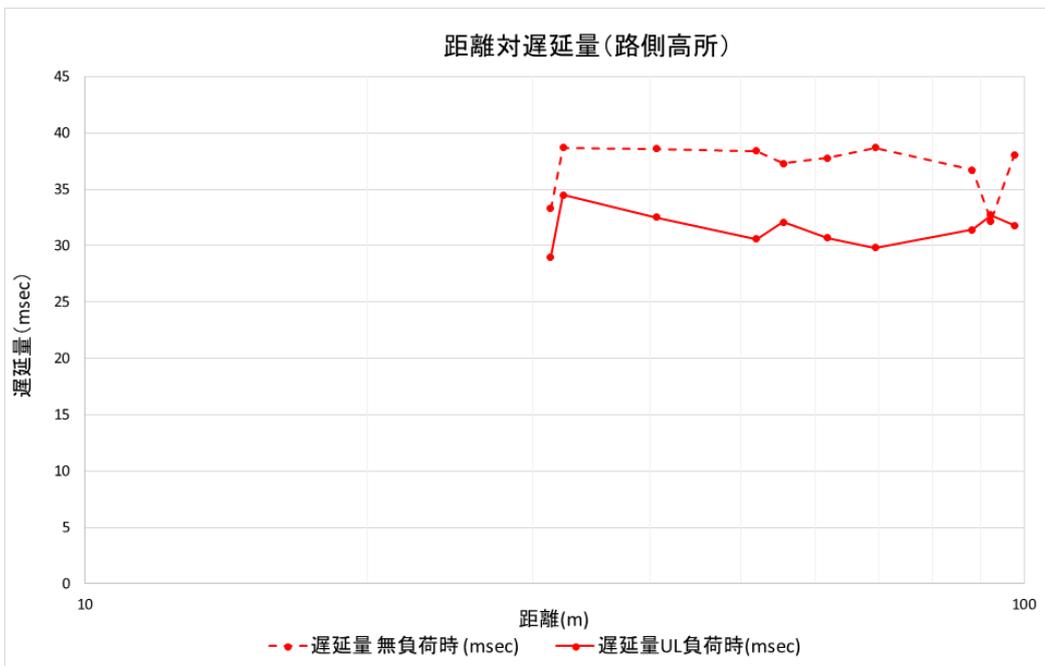


図 5.3.4-49 路側高所 距離対遅延量

路側高所において2台のDTUで上り送信を行っている間にPINGを用いて伝送遅延時間を測定した際の伝送遅延時間の距離特性を図5.3.4.49(a)に示す。

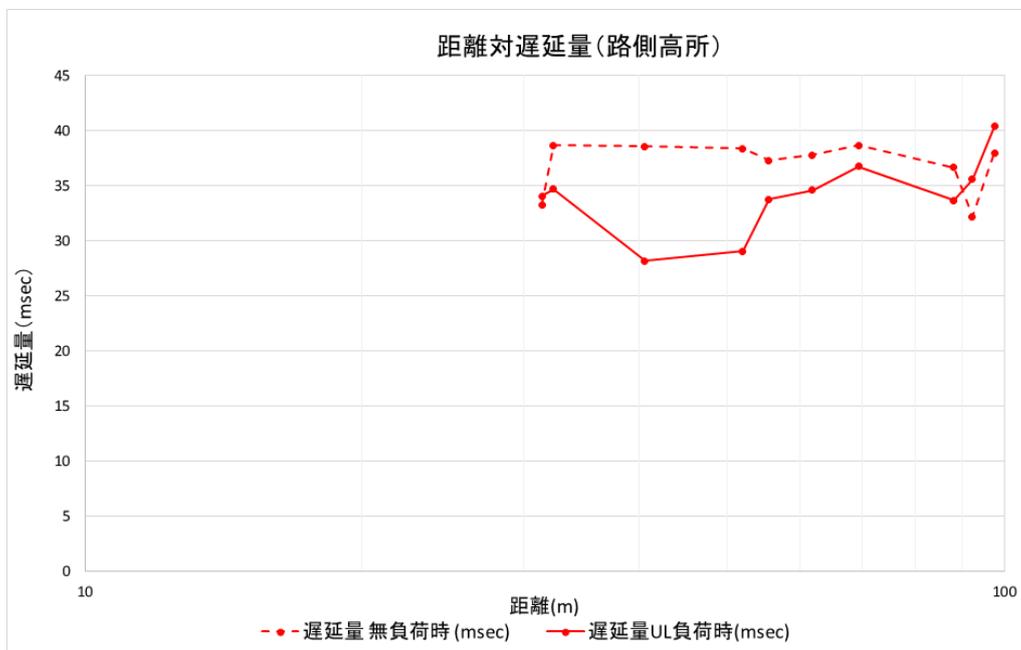


図 5.3.4-49(a) 路側高所 距離対遅延量 (2台利用)

(2) 車両内部

図 5.3.4-50～図 5.3.4-55 に車両内部において1台のDTUで上り送信を行った際の伝送遅延時間の変動例として、車両内部0の測定地点⑥及び測定地点⑦、測定地点⑩、車両内部1における測定地点⑤、測定地点⑦及び測定地点⑪での測定値を示す。(PING 応答が無かったものはグラフ上の表記はない。)

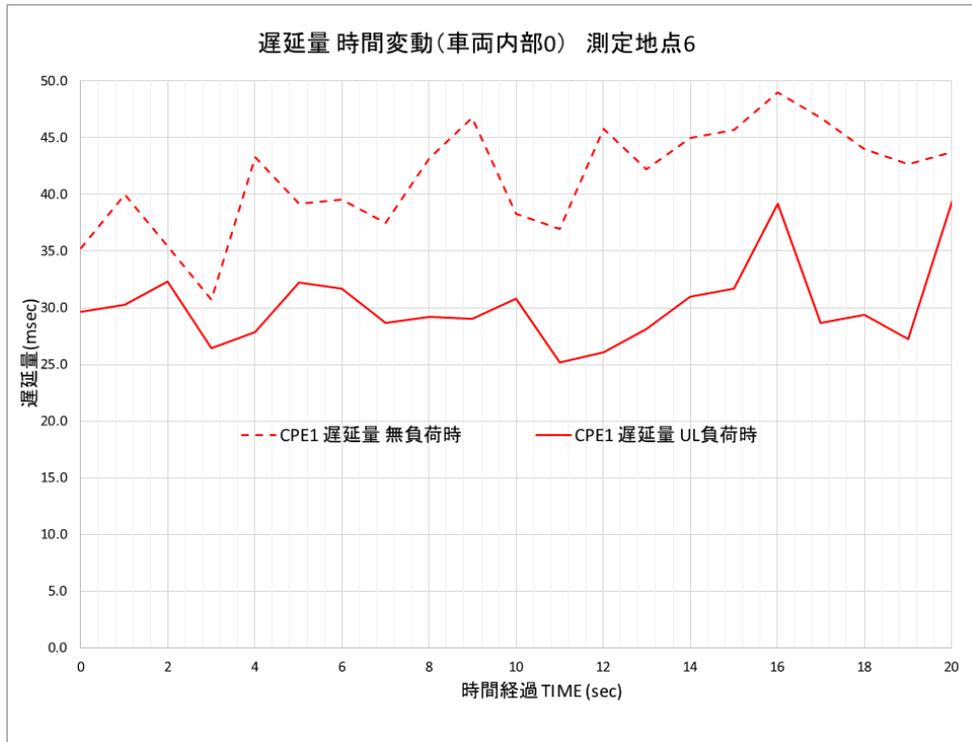


図 5.3.4-50 車両内部0 測定地点⑥ 遅延量時間変動

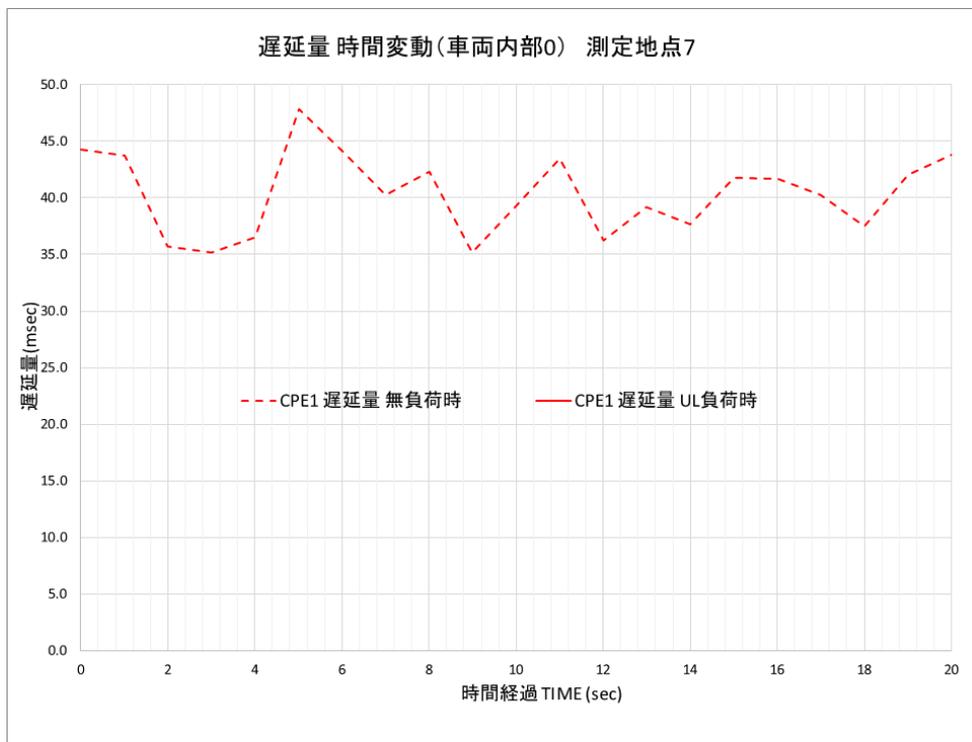


図 5.3.4-51 車両内部0 測定地点⑦ 遅延量時間変動

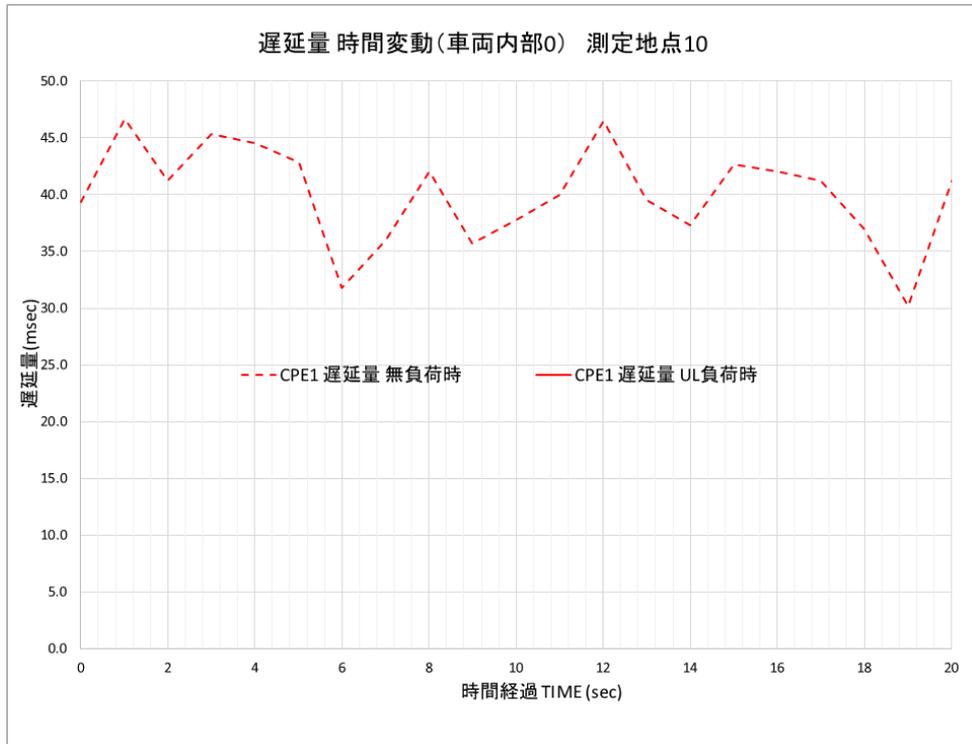


図 5.3.4-52 車両内部0 測定地点⑩ 遅延量時間変動

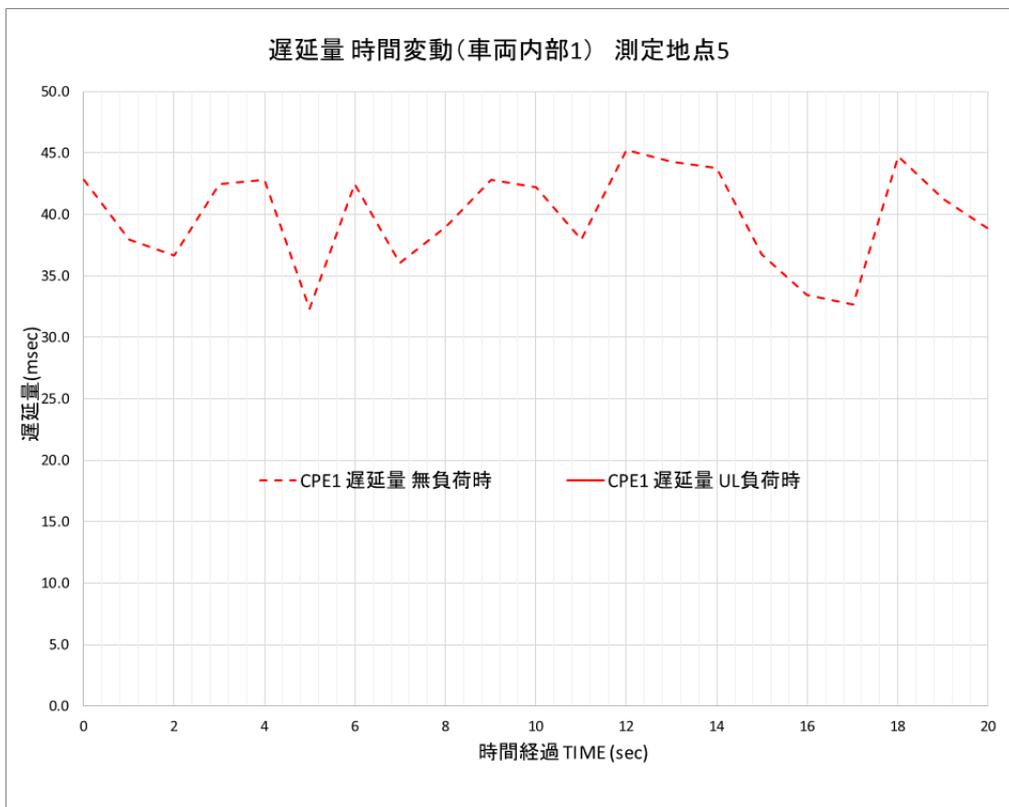


図 5.3.4-53 車両内部1 測定地点⑤ 遅延量時間変動

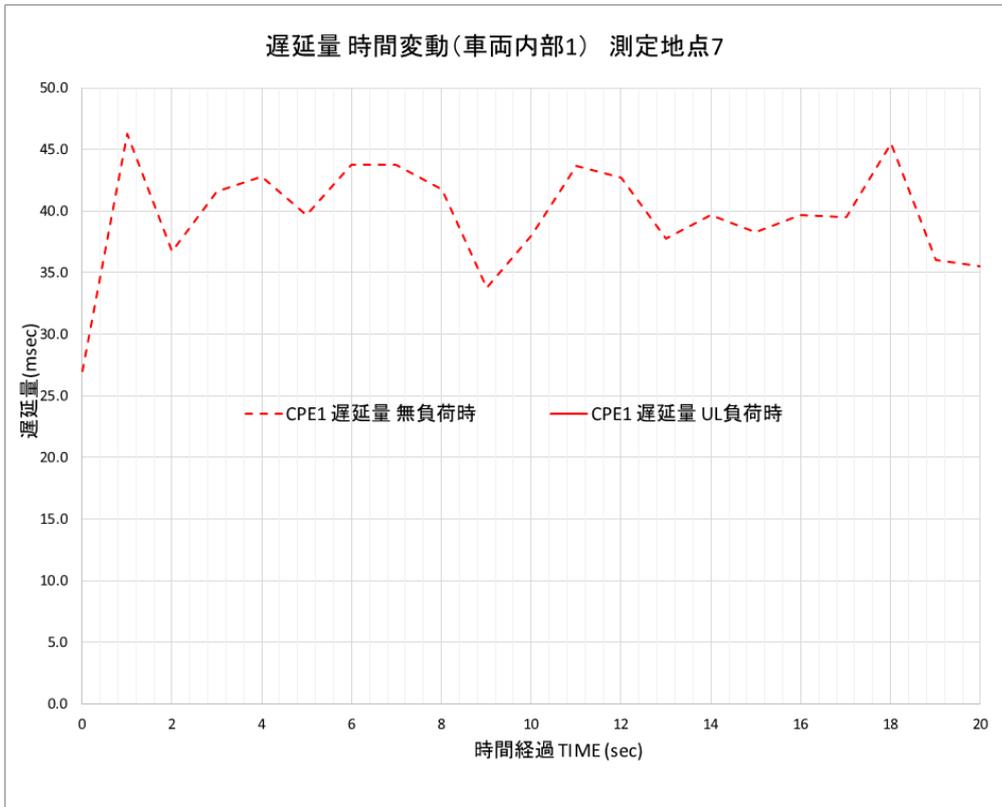


図 5.3.4-54 車両内部1 測定地点⑦ 遅延量時間変動

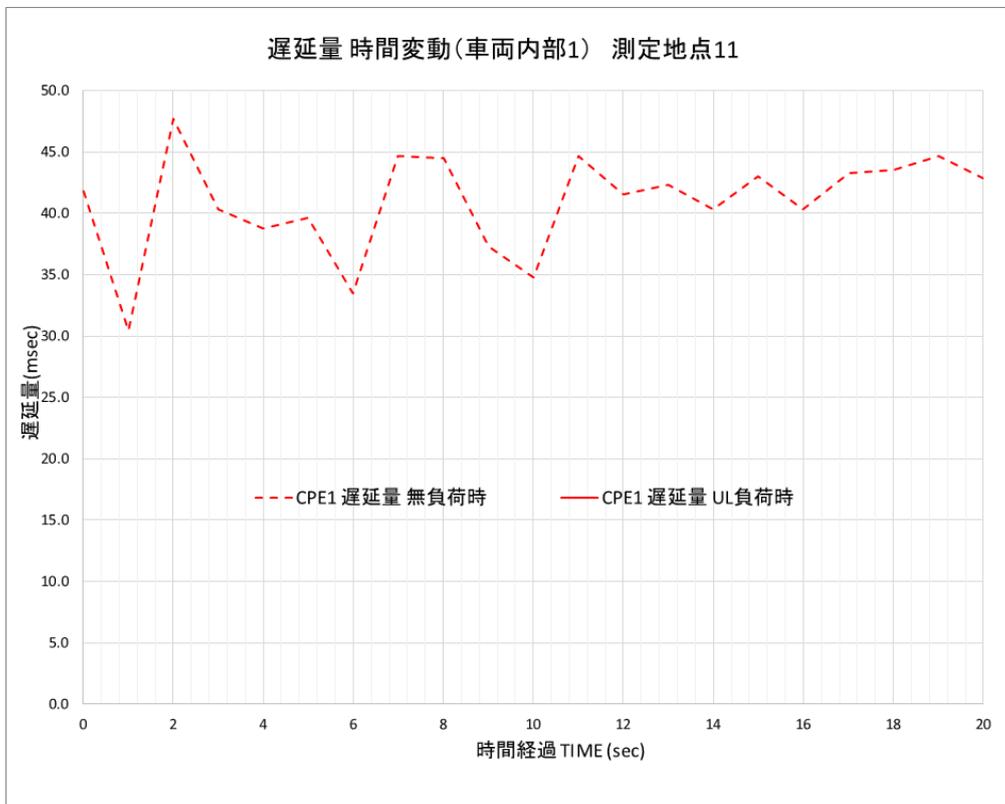


図 5.3.4-55 車両内部1 測定地点⑪ 遅延量時間変動

図 5.3.4-56～図 5.3.4-57 に車両内部（車両内部0及び車両内部1）において1台のDTUで上り送信を行った際の伝送遅延量の距離特性を示す。（PING応答が無かったものはグラフ上の表記はない）

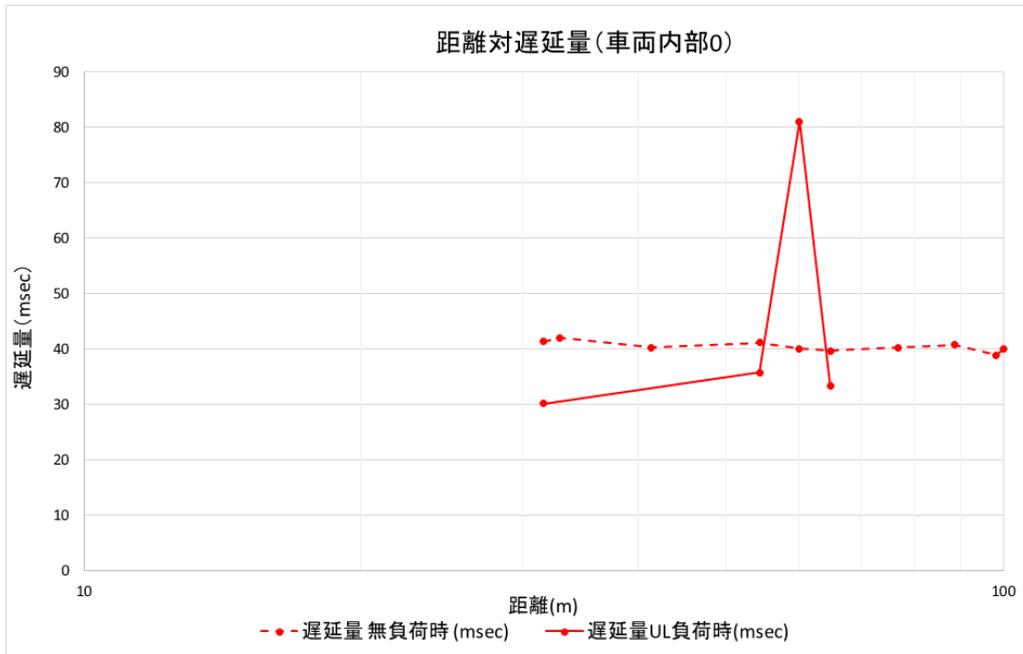


図 5.3.4-56 車両内部0 距離対遅延量

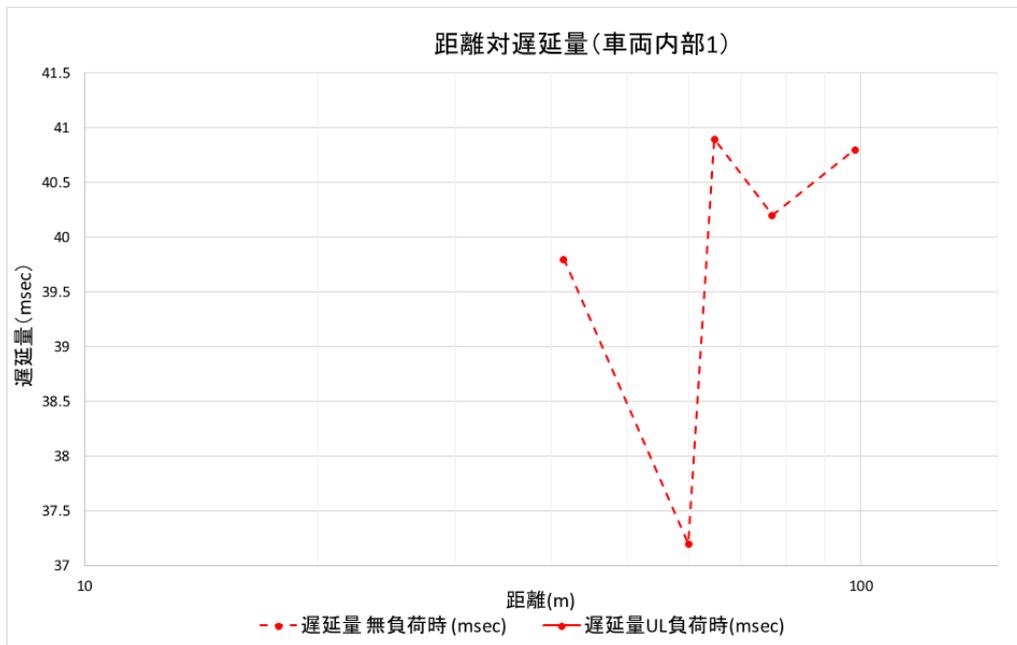


図 5.3.4-57 車両内部1 距離対遅延量

図 5.3.4-58～図 5.3.4-63 に車両内部において 2 台の DTU で上り送信を行った際の伝送遅延時間の変動例として、車両内部 0 の測定地点⑥及び測定地点⑦、測定地点⑩、車両内部 1 における測定地点⑤及び測定地点⑦、測定地点⑪での測定値を示す。(PING 応答が無かったものはグラフ上の表記はない。)

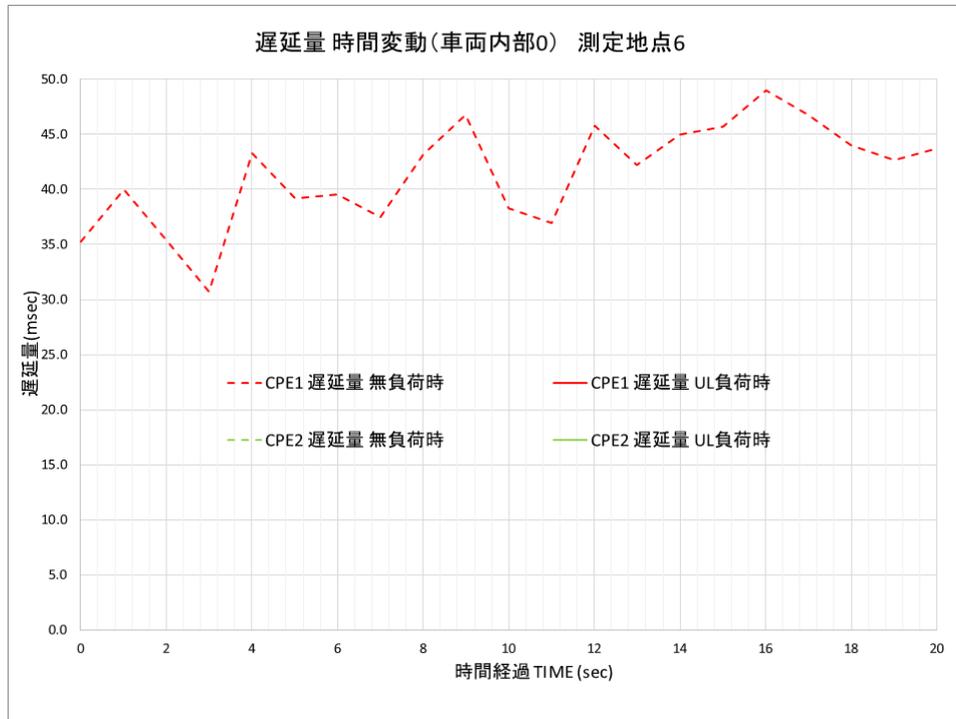


図 5.3.4-58 車両内部 0 測定地点⑥ 遅延量時間変動 (2 台利用)

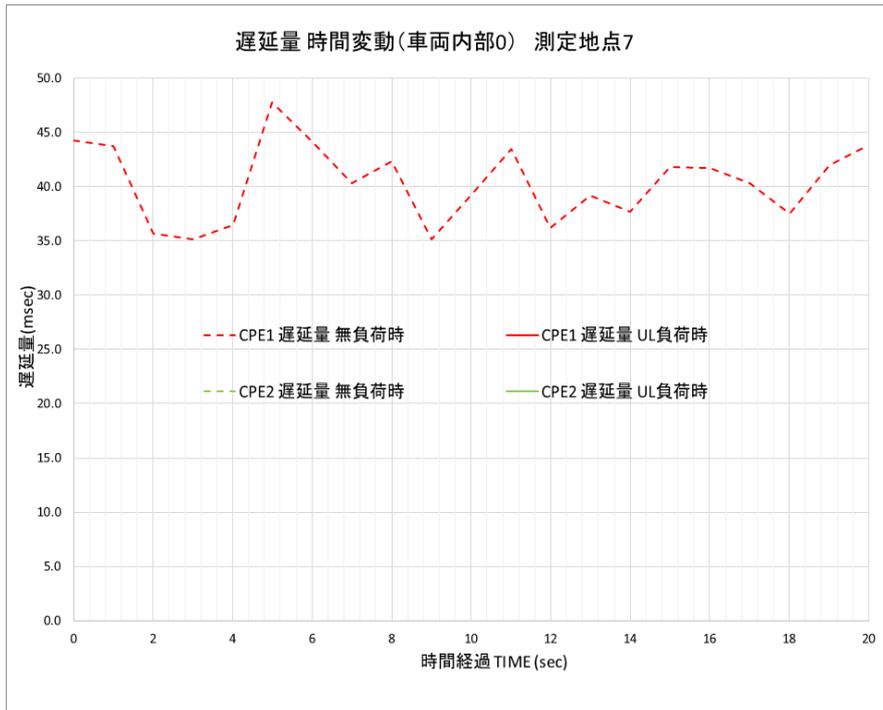


図 5.3.4-59 車両内部0 測定地点⑦ 遅延量時間変動 (2台利用)

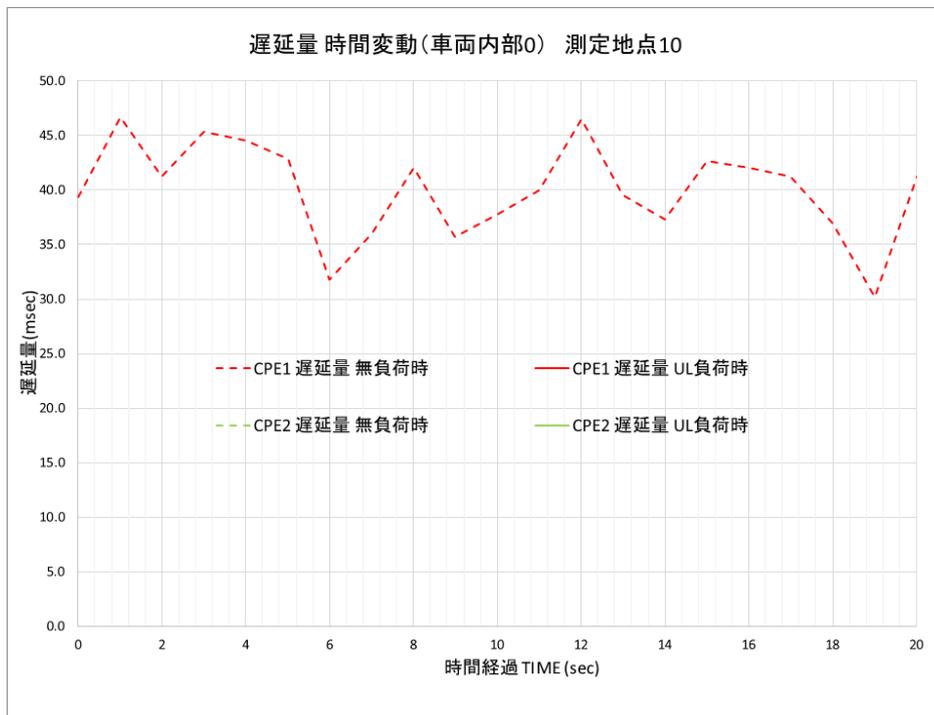


図 5.3.4-60 車両内部0 測定地点⑩ 遅延量時間変動 (2台利用)

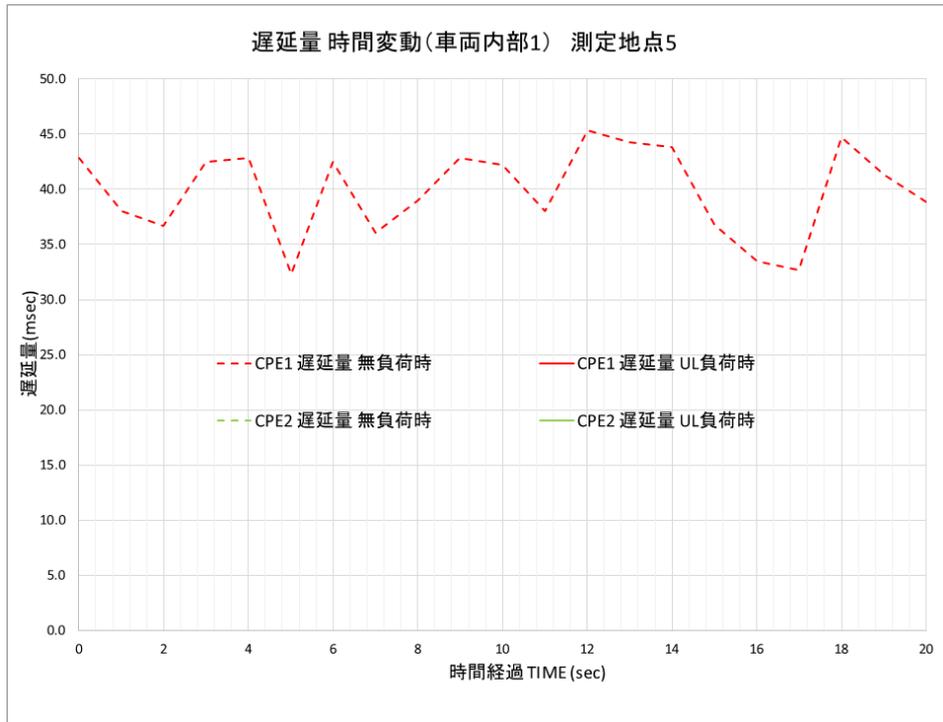


図 5.3.4-61 車両内部1 測定地点⑤ 遅延量時間変動 (2台利用)

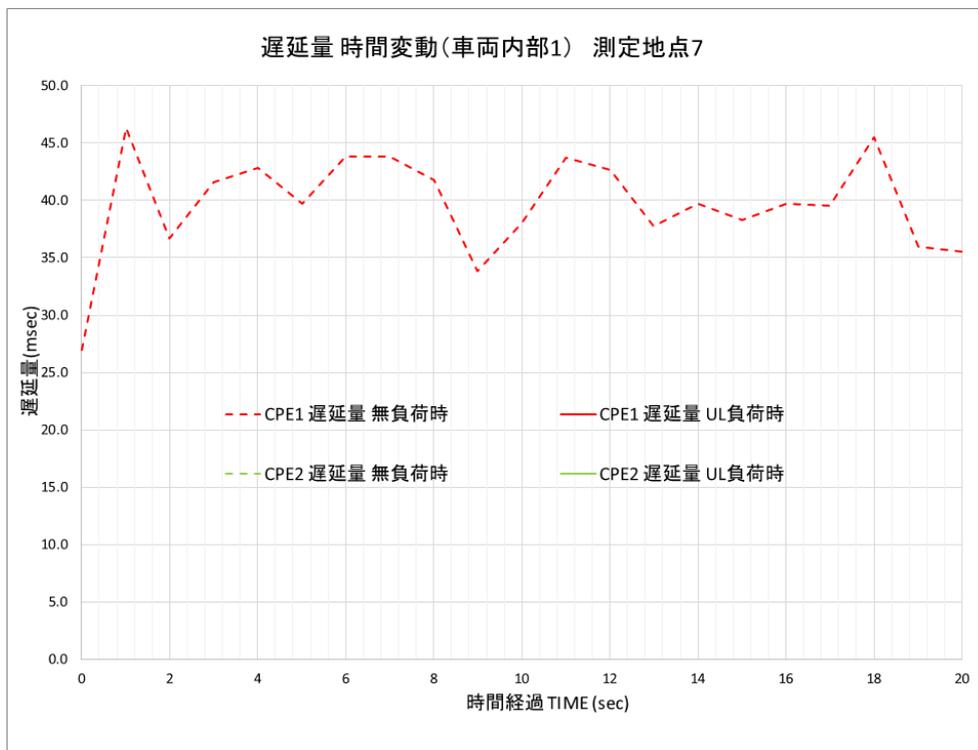


図 5.3.4-62 車両内部1 測定地点⑦ 遅延量時間変動 (2台利用)

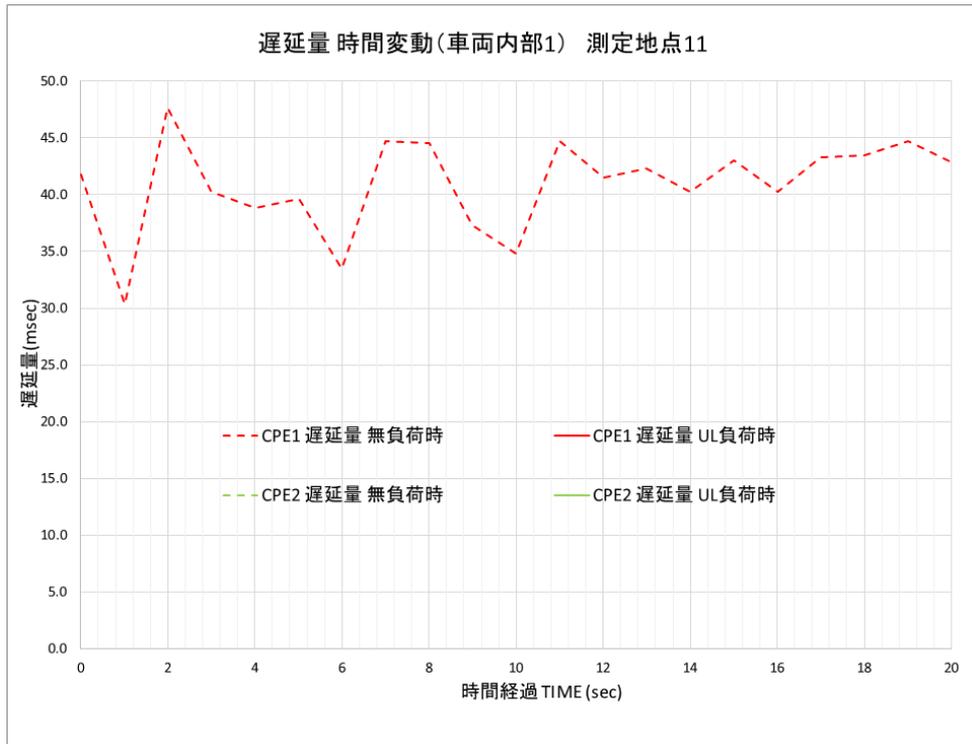


図 5.3.4-63 車両内部1 測定地点⑪ 遅延量時間変動 (2台利用)

図 5.3.4-64～図 5.3.4-65 に車両内部 (車両内部0 及び車両内部1) において2台の DTU で上り送信を行った際の1台あたりの伝送遅延量の距離特性を示す。(PING 応答が無かったものはグラフ上の表記はない。)

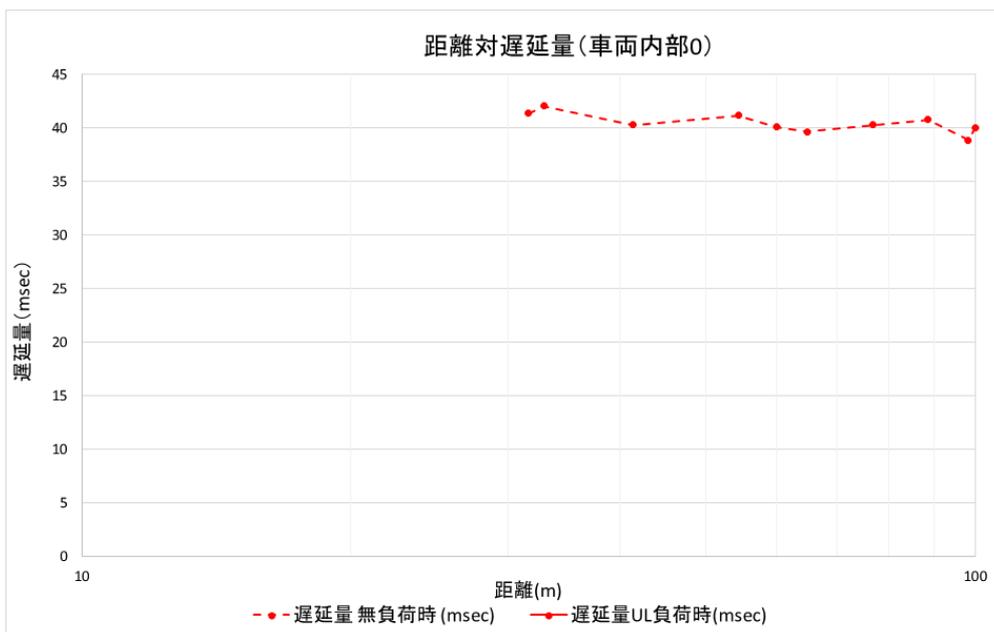


図 5.3.4-64 車両内部0 距離対遅延量 (2台利用)

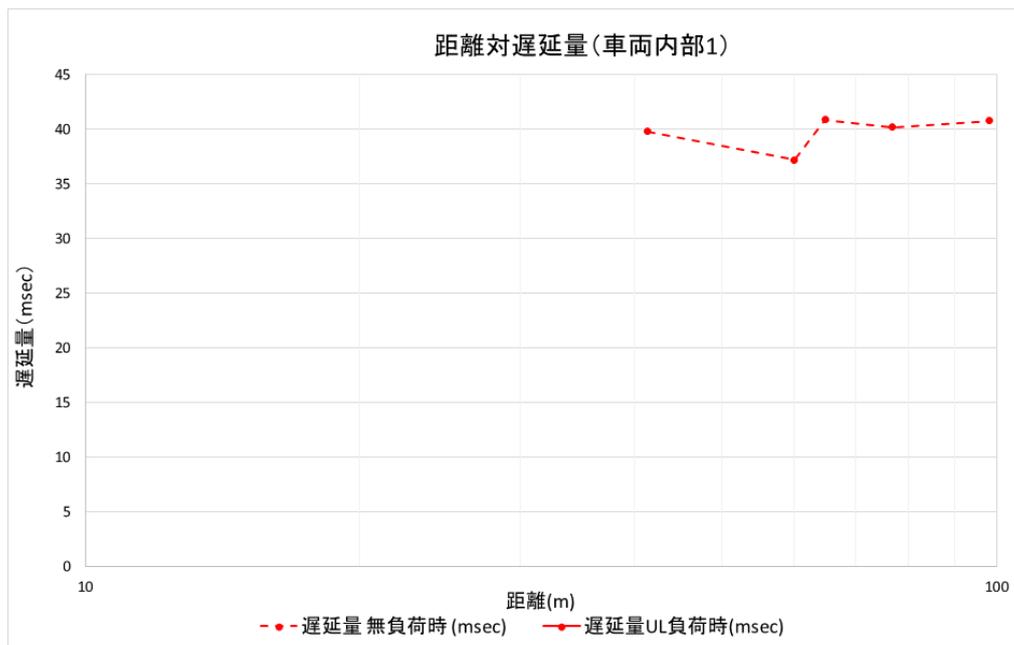


図 5.3.4-65 車両内部1 距離対遅延量 (2台利用)

5.3.5 技術的課題の解決策

(1) 技術的課題の解決策

測定データは、屋外及び車両内部ならびに他の車両の配置の有無のそれぞれの条件に分けて伝搬距離対受信電力特性などの形で整理した。そして、条件の違いによる受信電力や伝送スループットの差異分析等を行うことで、技術的課題を整理するとともに、それらの課題の解決策等について考察を行った。

路側高所、車両内部0及び車両内部1のそれぞれの条件の違いにより、伝搬損失の距離特性が以下のように異なる。

- 路側高所 (青) と車両内部0 (赤) を比較すると、車両内部0の方が、伝搬損失が平均値で3 dB程度大きく、また測定地点によるばらつき (RMSE) が大きい傾向がある。この差は、車両内部への侵入損失があり、その侵入損失が車両の向きによって異なることによるものと考えられる。
- 車両内部0 (赤) と車両内部1 (緑) を比較すると、隣接する車両による遮蔽損失が10dB程度あることが分かる。測定地点によるばらつき大きさには、有意な差が認められない。

このように条件の違いにより伝搬距離対受信電力特性が異なるため、その条件の違いを反映したエリア設計を行えるようにすることが、技術的課題となると考えられる。

その解決策としては、測定した受信電力データより、伝搬損失を計算し、自由空間損失モデル及び審査基準に記載のモデルの各々との比較を行い、条件の違いにより異なる遮蔽損失を定量的に反映した電波伝搬モデルを導出し、導出した電波伝搬モデルを用いた、より効率的なエリア構築手法を整理することが考えられる。

路側高所、車両内部0及び車両内部1のそれぞれの条件の違いにより、伝送スループ

ットの距離特性が以下のように異なる。

- 路側高所においては、全ての測定地点において、路側から遠隔管制室への伝送スループットの要求値である 20Mbps（1 台あたり 10Mbps の送信を行う DTU が 2 台同時に送信）を達成した。
- 車両内部 0、車両内部 1 の各々の測定条件における伝送スループットは、全ての測定地点において、車両から遠隔管制室への伝送スループットの要求値である 40Mbps（1 台あたり 20Mbps の送信を行う DTU が 2 台同時に送信）を満たしていない。

上記のように、車両内部では伝送スループットの要求値である 40Mbps を達成できていないため、その要求値を実現することが課題となる。

車両から遠隔管制室への伝送スループットの要求値を実現するための方策を検討するため、路側高所での取得データも含めて、受信電力対伝送スループット特性を確認した。

図 5.3.5-1 に路側高所、車両内部 0 及び車両内部 1 において 2 台の DTU が同時に送信を行った際の受信電力対伝送スループット特性を示す。また、図 5.3.5-2～図 5.3.5-4 に個々の特性を示す。

ここで示した伝送スループットは、路側高所では 1 台あたり最大 10Mbps の送信を行い、車両内部では 1 台あたり最大 20Mbps の送信を行って測定した、1 台あたりの伝送スループットである。

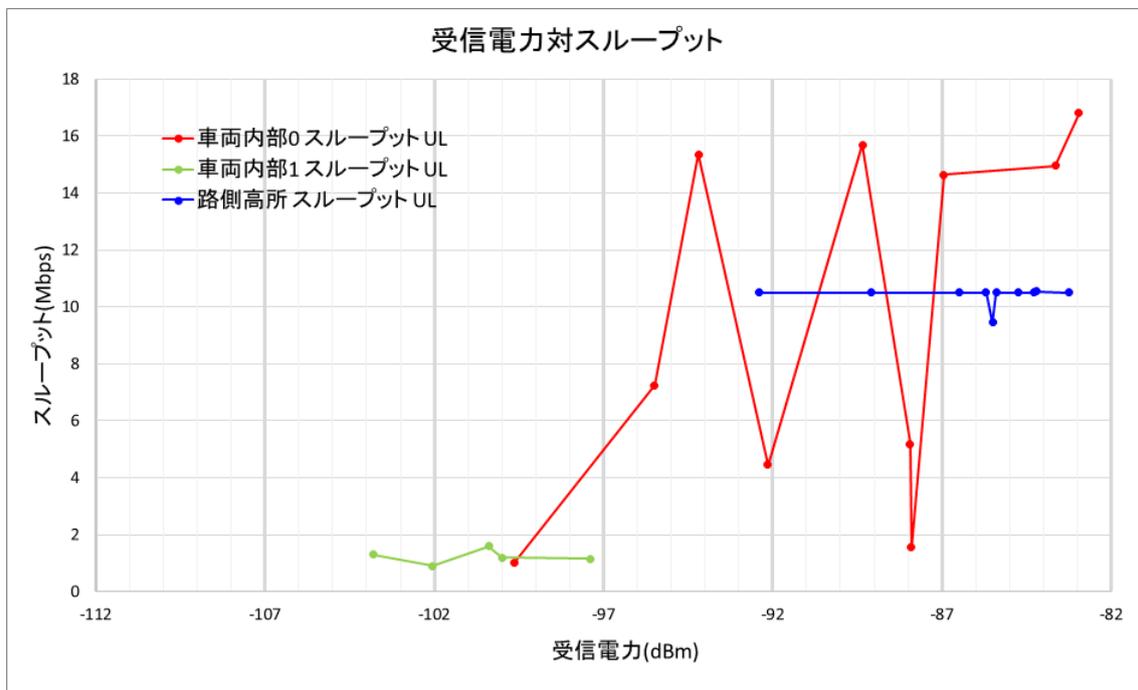


図 5.3.5-1 受信電力対伝送スループット特性

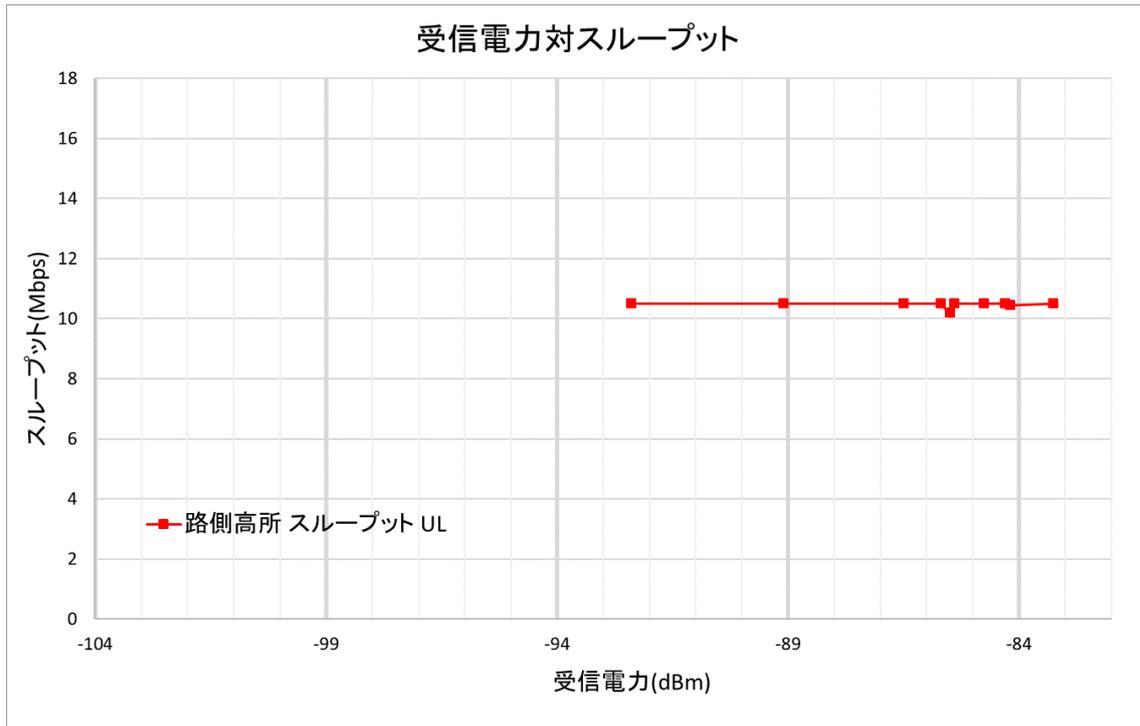


図 5.3.5-2 受信電力対伝送スループット特性 (路側高所)

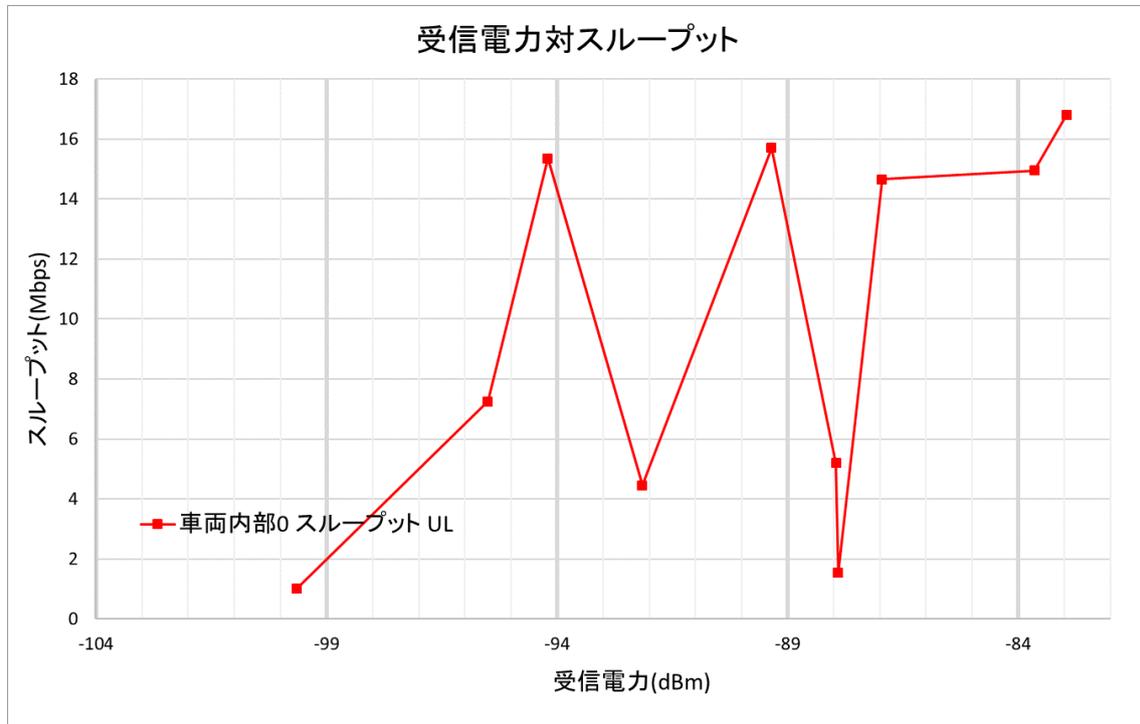


図 5.3.5-3 受信電力対伝送スループット特性 (車両内部0)

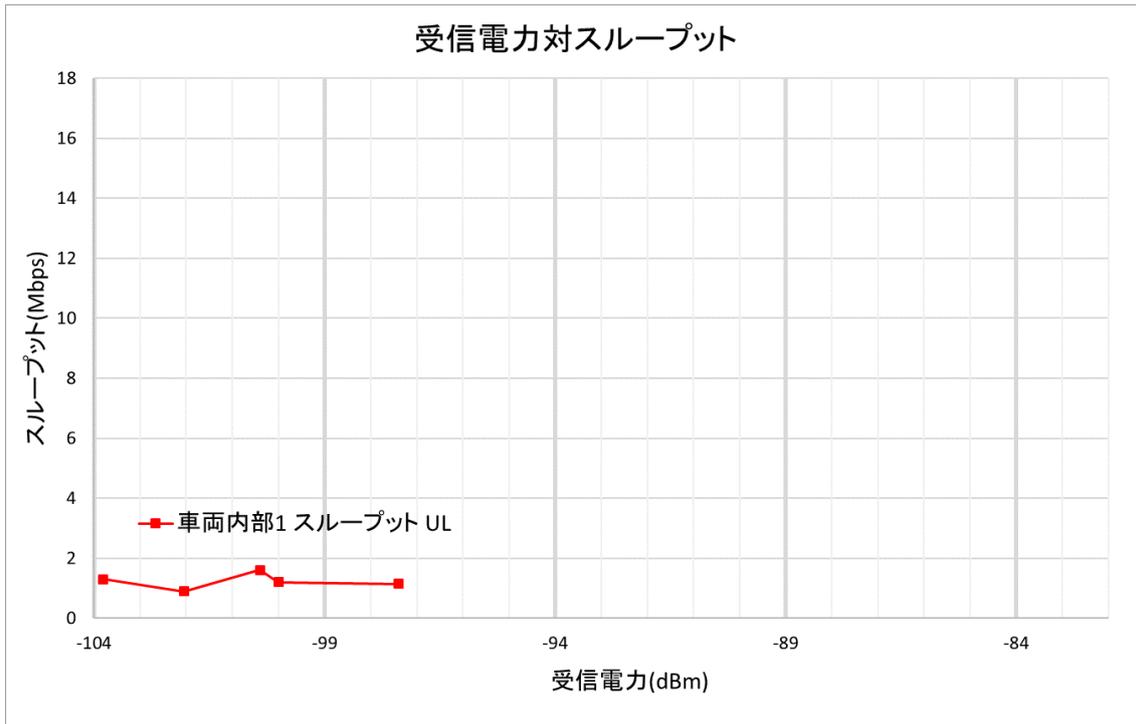


図 5.3.5-4 受信電力対伝送スループット特性 (車両内部 1)

図 5.3.5-1 の受信電力対伝送スループット特性より、以下の傾向が認められる。

- 路側高所では、受信電力が -92dBm 以上の範囲で、1台あたり 10Mbps の一定の伝送スループットが安定して得られた。
- 車両内部0では、受信電力が -83dBm で最も大きい場所でも1台あたり 20Mbps の伝送スループットが得られず、1台あたりの伝送スループットが 10Mbps を超える受信電力は、 -87dBm 以上となった。受信電力が -92dBm から -87dBm のとき、路側高所では安定して1台あたり 10Mbps の伝送スループットが得られるが、車両内部では 10Mbps を下回ることもあり、不安定であった。
- 車両内部1では、受信電力が -97dBm 以下となり、伝送スループットが1台あたり 2Mbps に満たない値となった。

さらに、以上の傾向を、図 5.3.5-1 に示した2台のDTUで合計 40Mbps の伝送スループット達成の結果を合わせると、以下のように考えられる。

- 路側でDTUによるRSRP測定値が -87dBm の場所で合計 40Mbps の伝送スループットが得られた結果より、基地局アンテナから見通し内の場所では、受信電力が -87dBm より大きい場所で、安定した伝送スループットが得られる。
- 車両の侵入損失の影響を受け、基地局アンテナから見通し外となる車両内部では、受信電力が -83dBm であっても、1台あたり 20Mbps の伝送スループットが得られない。

このことから、車両から遠隔管制室への伝送スループットの要求値を実現するためには、以下の方策が考えられる。

- 車両内部では、受信電力が大きい場所でも要求値を満足できないことから、車両に設置する端末のアンテナを車両の屋根等の屋外に設置し、基地局アンテナの見通し内になるようにする。

その上で、受信電力が一定レベル（構築したローカル5Gの実証環境では、-87 dBm）以上となるように基地局アンテナの水平面及び垂直面の指向性の調整を行う。1つの基地局アンテナで所望のエリアをカバーできない場合には、複数の基地局アンテナを設置することも要求値を実現するための方策となる。

（2） 更なる技術課題等

車両から遠隔管制室への伝送スループットの要求値を達成する方策の検討より、車両内部において安定した伝送スループットを得ることが、更なる技術的課題として残った。同等の受信電力であったも、車両内部では、路側高所と同様の安定した伝送スループットが得られなかったことから、車両への侵入損失が伝送スループットを不安定にする要因を分析し、改善策を得ることが望まれる。

5.4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

5.4.1 実施概要

自動運転を行う交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルを導出した。

取得した電波伝搬特性データを用いて、自動運転を行う交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルを導出し、導出した電波伝搬モデルを用いたエリア構築手法を整理した。

5.1.2において、現在の無線局免許審査基準において定められている電波伝搬モデルを交通インフラ環境に適用し、基地局アンテナからの距離が40mを超える場所で、土地分類による補正値を開放地とした拡張モデルを組み合わせると、端末設置場所によってはカバーエリアを過大評価する恐れがあるという課題について説明した。電波伝搬モデルの導出にあたっては、このような課題の解決を試みた。

そして、実証地域と類似する他の多くの地域で活用可能な電波伝搬モデルの導出のため、伝搬損失の測定において、以下のような点で、特殊な電波伝搬環境となることがないように配慮した。

- 一般的な交通信号機の高さを想定して、路側高所での測定を実施した。
- 車両内部での測定において、一般的なバスを利用した。
- 遮蔽物となる車両としては、一般的なバスや大型トラックを利用した。

また、今回の実証では、1つの基地局のみの測定データを取得したため、取得したデータから、既存の電波伝搬モデルに代わる電波伝搬モデルを導くことは、実証地域以外で利用する上で適当でないようにも考えられる。しかし、車両内部において隣接する車両の有無による遮蔽損失の差については、車両の有無以外は同一条件での測定

データであり、定量的に意味があると考えられるため、このような遮蔽損失の差に着目することで、実証地域以外でも同じように効果的な電波伝搬モデルの精緻化が可能と考えられる。そこで、このような方向性で電波伝搬モデルの精緻化の検討を行った。

5.4.2 評価・検証項目

ローカル5Gのエリア構築やシステム構成について検証し、技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等について考察を行った。

特に、調査検討事項（ア）でとりまとめたローカル5Gの受信電力等の各種データを用いて、自動運転を行う交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルの導出を行った。

5.4.3 評価・検証方法

実証地域と類似する他の多くの地域で活用できるように、国際規格に依拠した電波伝搬モデルを基本モデルとして、交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルの導出を行った。

基本モデルは、自由空間損失、拡張坂上式 (Report ITU-R M. 2135)、拡張秦式 (Report ITU-R SM. 2028) 及び IMT-2020 用評価モデル (Report ITU-R M. 2412) を候補として選定した。選定した基本モデルにより計算した受信電力と測定データとの比較を、屋外及び車両内部ならびに他の車両の配置の有無のそれぞれの条件に分けて行った。

そして、その誤差の分析より、車両内部における追加の伝搬損失や他の車両による遮蔽損失を求め、端末の設置場所に応じて補正を行う電波伝搬モデルを導出した。効果的・効率的に検証や電波伝搬モデルの導出を行うために、技術実証全体調整事業者と調整の上、作業日程や要員等の制約を考慮して実施内容やスケジュール等を決めた。

上記の端末の設置場所に応じて補正を行う電波伝搬モデルは、測定データを用いて、以下の3つの場合に関し、基本モデルに対する補正項を求め、端末の利用場所に応じて異なる補正項を加えることにより導出した。

- 屋外に端末がある場合（端末のアンテナ高が約3mの場合）
- 車両内部に端末があり、近くに他の車両が存在しない場合
- 車両内部に端末があり、近くに他の車両が存在する場合

5.4.4 検証結果

取得した電波伝搬特性データを用いて、交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルを導出した。その際、様々な条件（路側高所、車両内部、隣接する他の車両の有無）の違いによる電波伝搬損失への影響を定量化した。

電波伝搬モデルの導出にあたって比較対象とする基本モデルとしては、実証環境における伝搬距離が最大約 100m であり、遮蔽物が少ない伝搬環境であることから、自由空間損失モデルを選定した。

自由空間損失モデルを基本モデルとして、以下のように、路側高所、車両内部 0 及び車両内部 1 の各々の伝搬環境に応じた電波伝搬モデルの伝搬損失計算式を導出した。

- 減衰定数は、自由空間損失モデルと同一とした。
- 路側高所では、伝搬損失が比較的大きいことから、その差分 $Drsh$ を、 $L_{fs} + Drsh$ と測定値の RMSE が最小になるように求めて、伝搬損失に加算した。
- 路側高所の伝搬損失計算式は、 $L_{fs} + Drsh$ とした。
- 車両内部 0、車両内部 1 については、車両内部への侵入損失が加わり、さらに車両内部 1 には、隣接する車両による遮蔽損失が加わり、それ以外には遮蔽物等がないことから、路側高所と同様に車両内部 0 及び車両内部 1 の伝搬損失計算式を求め、それぞれ $L_{fs} + Dv0$ 、 $L_{fs} + Dv1$ とした。
- 測定地点によるばらつきがあり、路側高所、車両内部 0、車両内部 1 の各々に関して RMSE を求めた。この RMSE の値をシャドーイングの標準偏差として扱った。

以上より、以下の電波伝搬モデルを導出した。

$$\begin{aligned}
 L &= L_{fs} + Drsh && \text{：路側高所} \\
 &= L_{fs} + Dv0 && \text{：車両内部 0} \\
 &= L_{fs} + Dv1 && \text{：車両内部 1}
 \end{aligned}$$

表 5.4.4-1 電波伝搬モデルの補正項と RMSE

	補正項 [dB]	RMSE [dB]
路側高所	$Drsh : 8.6$	3.5
車両内部 0	$Dv0 : 11.6$	4.6
車両内部 1	$Dv1 : 21.8$	3.8

路側高所、車両内部 0 及び車両内部 1 の各々について、測定した受信電力から算出した伝搬損失の値とともに、導出した電波伝搬モデル、自由空間損失モデル及び審査基準に採用されている電波伝搬モデル（以下、審査基準モデルと記載）を、図 5.4.4-1～図 5.4.4-3 に示す。また、直線近似モデルも加えて、各々のモデルに対する測定値の RMSE の値を表 5.4.4-2 に示す。審査基準モデルにおいて、市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正值 S は、開放地の 32.5 とした。そのため、評価した 100m 以内の伝搬距離では、審査基準モデルは、自由空間損失モデルとほぼ同一となり、RMSE の値もほぼ同一となった。

表 5.4.4-2 路側高所、車両内部0及び車両内部1のRMSE[dB]

	導出した電波伝搬モデル (再掲)	自由空間損失モデル	審査基準モデル	直線近似モデル
路側高所	3.5	9.3	9.2	1.6
車両内部0	4.6	12.5	12.4	4.0
車両内部1	3.8	22.1	22.0	3.3

導出した電波伝搬モデルのRMSEは、取得した伝搬損失のデータに比べて、最小二乗法で求めた直線近似モデルのRMSEに比べれば大きいですが、自由空間損失モデルや審査基準モデルのRMSEに比べて大幅に小さくなりました。

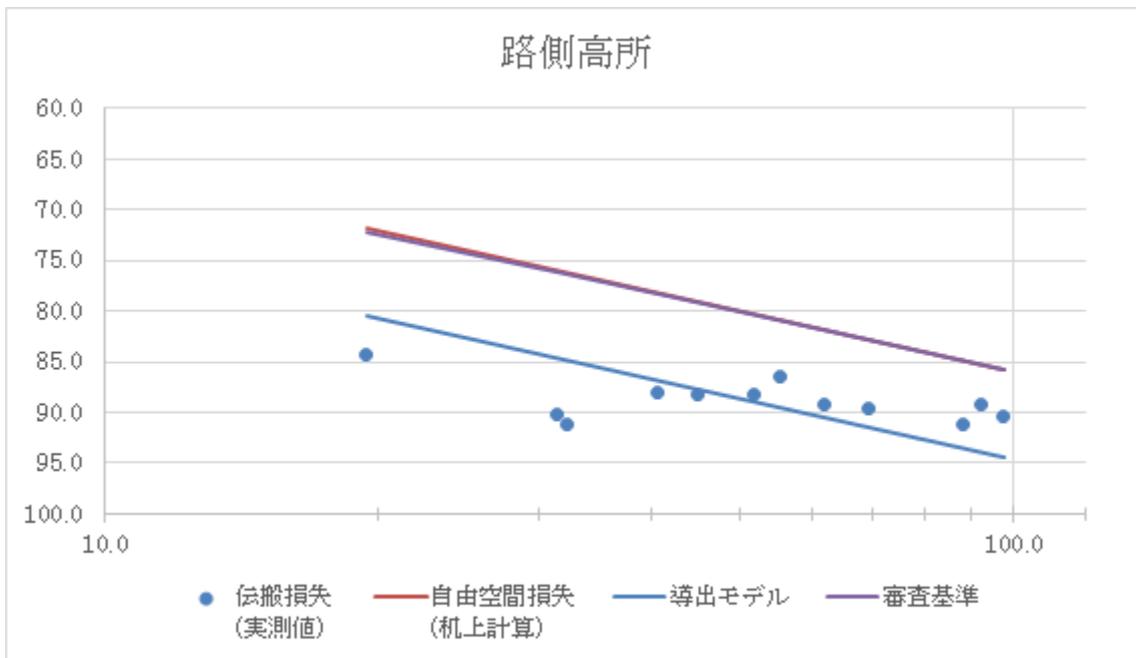


図 5.4.4-1 審査基準モデル (路側高所)

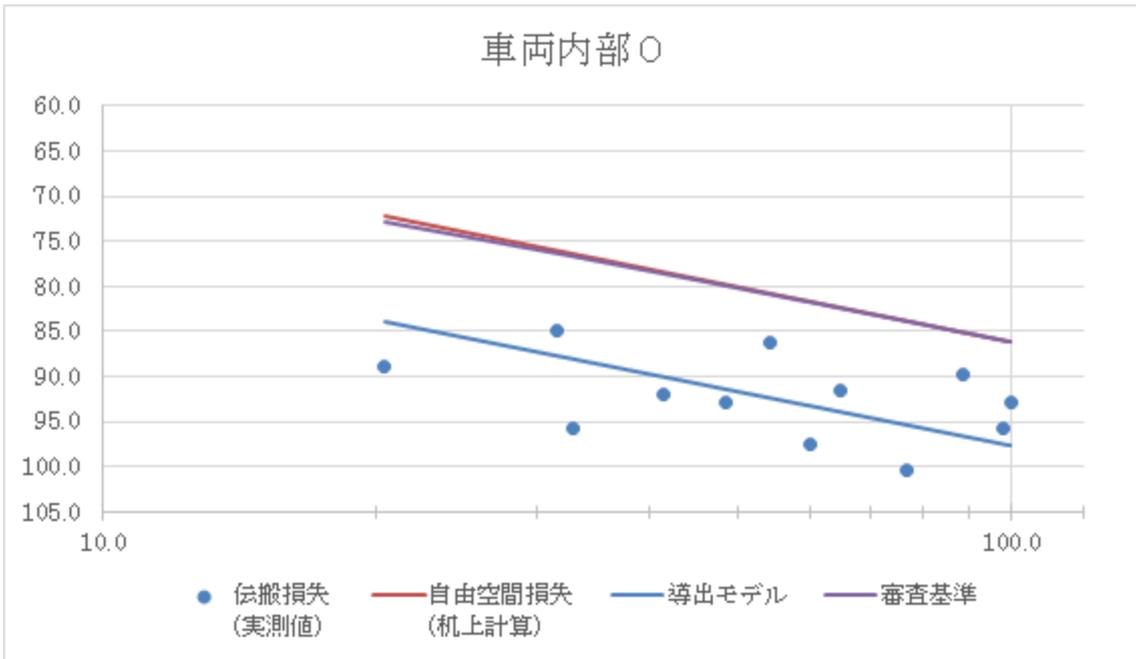


図 5.4.4-2 審査基準モデル (車両内部0)

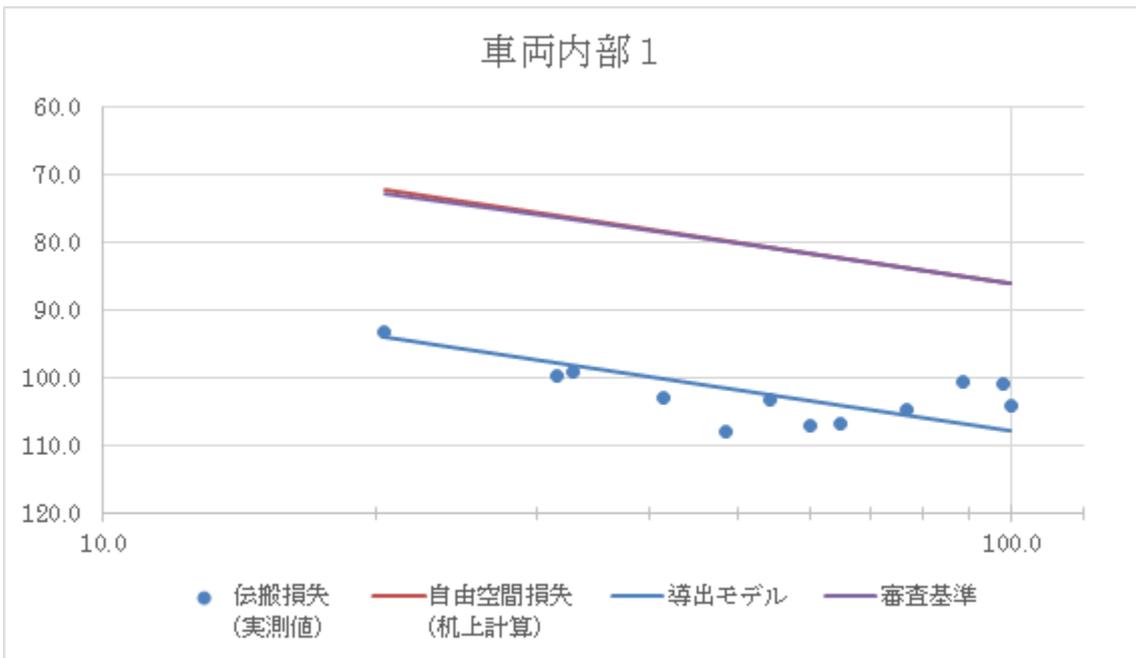


図 5.4.4-3 審査基準モデル (車両内部1)

◆通信品質と受信電力の関係 (受信電力対伝送スループット特性) を求めた。

「5.3 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等」に示した通り。

◆様々な条件（路側高所、車両内部、隣接する他の車両の有無）の電波伝搬損失への影響を踏まえて、より効率的なエリア構築手法を提示した。

エリア構築手法を以下のように整理した。

(1) エリア構築の要件整理を行う

- 端末が通信を行う所望エリア
- 所望の伝送スループット
- 端末を設置する場所（路側高所、車両内部など）
- 隣接する車両による影響の大きさ及び許容度
- エリア境界付近におけるカバー率基準値

(2) エリア構築の制約条件を整理する

- 基地局アンテナの設置場所及び高さの候補を調査・選択する。
- 利用可能な基地局アンテナを調査・選択する。

(3) エリア判定の基準値等を求める

- 受信電力対伝送スループット特性より、所望の受信電力を求めた。
- エリア境界付近におけるカバー率基準値より、対数正規分布のばらつきを想定しシャドーイングマージンを算出した。
- 所望の受信電力に上記シャドーイングマージンを加えた値をエリア判定基準値とした。
- 導出した電波伝搬モデルにおいて適用する伝搬損失計算式を選択した。
 - 車両内部に端末を設置する場合
 - ◇ 他の車両とすれ違う頻度が低いなど、その遮蔽の影響を許容できる場合、車両内部0の伝搬損失計算式を適用
 - ◇ 他の車両による遮蔽の影響を許容できない場合、車両内部1の伝搬損失計算式を適用
 - 路側高所に端末を設置する場合
 - ◇ 路側高所の伝搬損失計算式を適用

(4) 所望エリアのエリア品質評価を行った

- 基地局アンテナの設置場所、高さ、メインビーム方向、チルト角の初期値を定めた。
- 所望エリアを一定面積のセグメントに区切り、選択した計算式を用いてセグメント毎に受信電力を計算した。
- セグメント毎に、受信電力がエリア判定基準値より大きい場合にはエリア内、それ以外はエリア外と判定し、所望エリアの全てのセグメントについて、エリア内またはエリア外の判定を行った。

(5) 所望エリアのエリア品質を最適化した

- 基地局アンテナの設置場所、高さ、メインビーム方向、チルト角の組み合わせを変更して所望エリアのエリア品質評価を繰り返した。
- 所望エリアにおいてエリア内となるセグメント数が最大となる組み合わせを選択した。

「より効率的なエリア構築手法」と言えるポイントは、端末設置場所を考慮することでカバーエリアを適正化できる点である。

また、更なる技術的課題等（技術実証実施にあたって制約となる事項と対応方法について）は、1つの基地局のみの測定データを取得したが、電波伝搬モデルの精緻化のためには、周囲の建物などの電波伝搬環境が異なる、より多くの基地局の測定データを取得して電波伝搬モデルを導くことが残課題となる。

さらに、電波伝搬モデルでは、渋滞（多数の車）、バス内の人、街路樹などの遮蔽損への影響を反映することも残課題となる。

5.4.5 技術的課題の解決方策

無線局免許審査基準においてカバーエリア算出に用いられる既存の電波伝搬モデルは、交通インフラ環境に特有の車両内部への侵入損失、隣接する車両による遮蔽損失の影響、地表高3m程度の路側高所での受信環境などを十分に考慮したものになっていない。

交通インフラ環境において、より精緻なカバーエリアの算出を行うため、車両内部への侵入損失、隣接する車両による遮蔽損失の影響、路側高所での受信環境を、既存の電波伝搬モデルにおいて補正項のオプションとして反映させることが、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性として考えられる。

この補正項については、表 5.4.4-1 の値が得られているが、これらの値は、一つの実証環境で取得したデータにより算出されたものであるため、無線局免許審査基準において用いる電波伝搬モデルに採用するためには、さらに多くの交通インフラ環境においてデータを取得して、統計的信頼度（精度）を高めることが課題になると考えられる。

5.5 その他ローカル5Gに関する技術実証

5.5.1 実施概要

交通インフラ環境において、4.7GHz 帯を用いたローカル5Gの端末の設置自由度を高めるため、端末のアンテナ高が低い場合における車両等による遮蔽損失を定量的に明らかにした。

5.5.2 評価・検証項目

独自に提案する技術的課題として、路側システムにおいて、4.7GHz 帯を用いたローカル5Gの端末(DTU)の設置自由度を高めるため、端末のアンテナ高が低い場合における車両等の遮蔽物による影響を定量的に明らかにした。

5.5.3 評価・検証方法

ローカル5G基地局を設置した群馬大学試験路のエリアにおいて、屋外の測定地点を5カ所程度選定した。測定地点は、路側システムの端末用アンテナを比較的低い場所に設置する場合を想定して選び、その高さは約1mとした。

調査検討事項(ア)と同様の測定機材を使用して受信電力(RSRP)の測定を行い、伝搬距離対受信電力特性を整理した。その際、測定地点の近くに車両が存在しない状態や遮蔽物となるバスを1~2台配置した状態で測定を行い、伝搬距離対受信電力特性は、遮蔽物となるバスの台数に分けて整理した。

そして、車両等による遮蔽損失を定量的に求めるとともに、端末用アンテナを比較的低い場所に設置できるエリアを予測する手法を示す。

(1) 測定環境と各測定に共通の事項

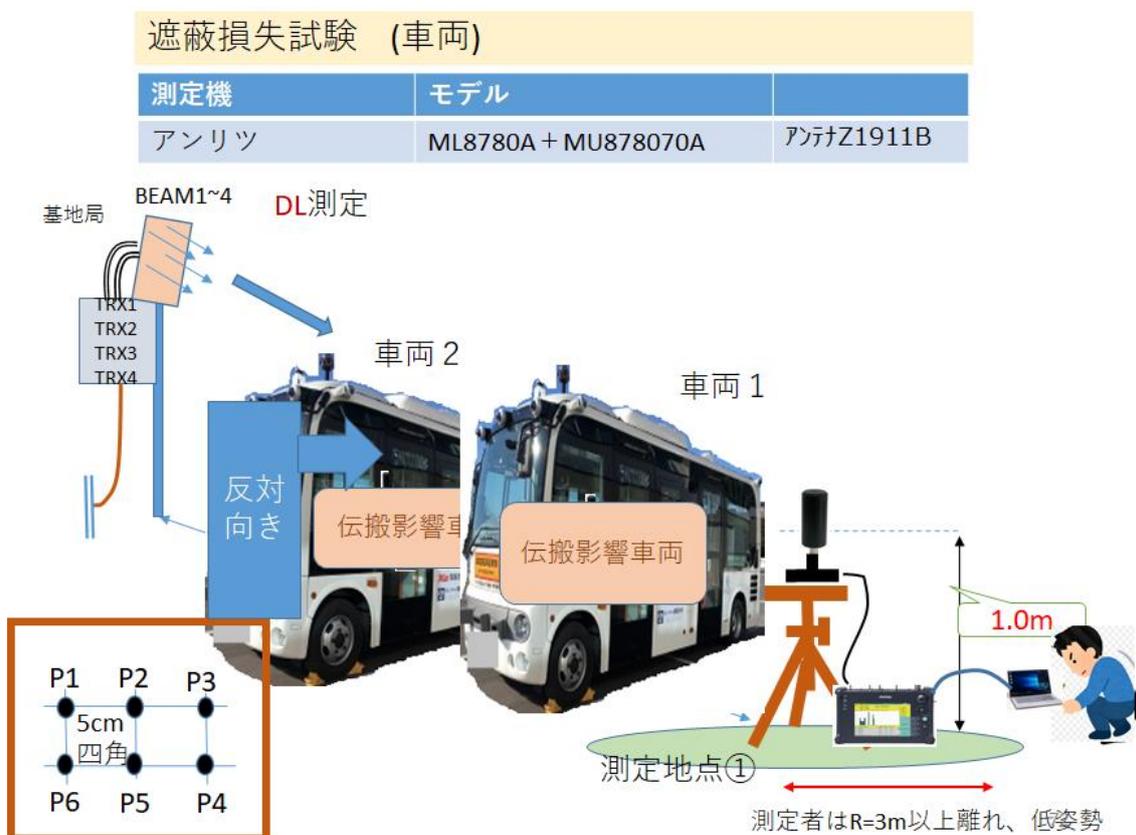


図 5.5.3-1 遮蔽損失測定方法

補足：

測定データを用いて、端末のアンテナ高が低く、近くに車両が存在する場合の基本モデルに対する補正項を求め、その補正項を加えた電波伝搬モデルを導出した。そして、その電波伝搬モデルを用いて、所望のスループットが得られる受信電力が確保できるエリアを予測する手法を示す。

- (1) 測定地点は 5.2.5 に示す。
- (2) 車両 1 は 日野ポンチョを使用
車両 2 は 日野プロフィアを使用
- (3) 測定風景
路側遮蔽 0/1/2 における、測定地点⑦及び測定地点⑩の測定風景を以下に示す。

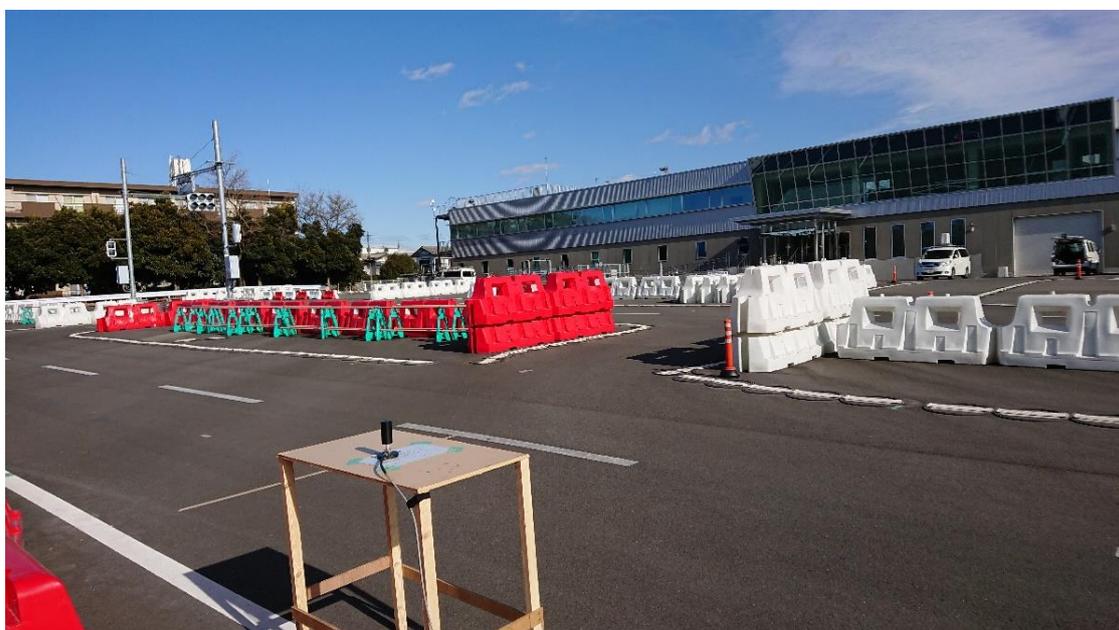


図 5.5.3-2 測定地点⑦ 路側遮蔽 0 測定風景



図 5.5.3-3 測定地点⑦ 路側遮蔽 1 測定風景



図 5.5.3-4 測定地点⑦ 路側遮蔽 1 測定風景



図 5.5.3-5 測定地点⑦ 路側遮蔽 2 測定風景



図 5.5.3-6 測定地点⑦ 路側遮蔽 2 測定風景



図 5.5.3-7 測定地点① 路側遮蔽 0 測定風景



図 5.5.3-8 測定地点① 路側遮蔽 1 測定風景



图 5.5.3-9 测定地点① 路側遮蔽 2 测定風景

5.5.4 性能評価結果

路側において車両による遮蔽の影響が異なる複数の条件で、電波伝搬特性の測定を行い、端末のアンテナ高が低い場合における車両による遮蔽の影響を定量化した。

図 5.5.4-1 に受信電力の測定結果を示す。

図 5.5.4-2 に伝搬損失を計算し、自由空間損失モデルと比較した結果を示す。

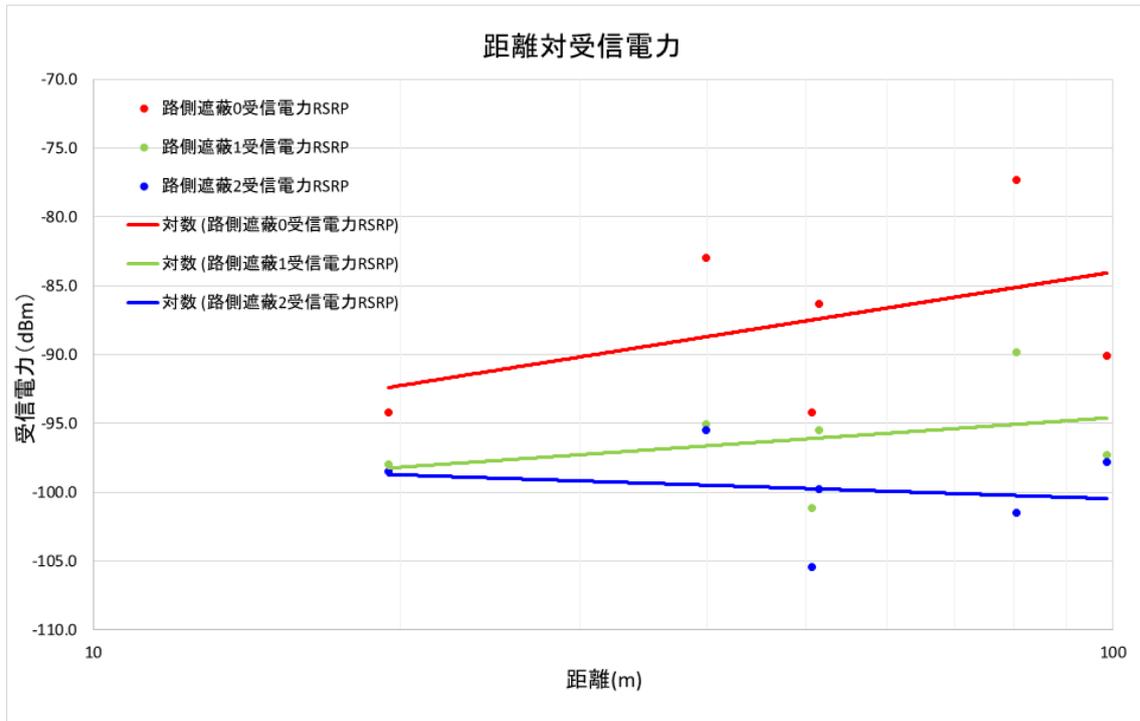


図 5.5.4-1 距離対受信電力

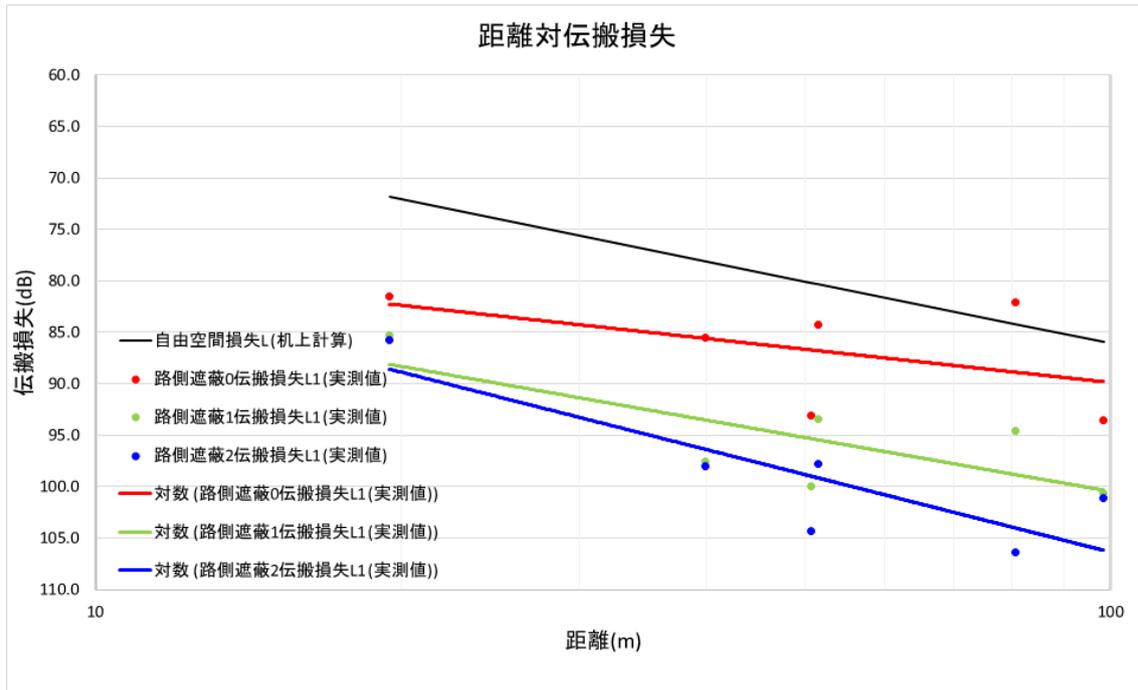


図 5.5.4-2 距離対伝搬損失

端末のアンテナを低い場所(路側)に設置する場合にエリアを予測する手法を含め、より効率的なエリア構築手法を提示するため、先に導出した交通インフラ環境向け電波伝搬モデルを以下のように拡張した。

$$\begin{aligned}
 L &= L_{fs} + Drsh && \text{路側高所} \\
 &= L_{fs} + Dv0 && \text{車両内部 0} \\
 &= L_{fs} + Dv1 && \text{車両内部 1} \\
 &= L_{fs} + Drs0 && \text{路側遮蔽 0} \\
 &= L_{fs} + Drs1 && \text{路側遮蔽 1} \\
 &= L_{fs} + Drs2 && \text{路側遮蔽 2}
 \end{aligned}$$

路側遮蔽 0、1、2 の各々の補正項を求めた。表 5.5.4-1 に求めた補正項と RMSE を示す。

表 5.5.4-1 電波伝搬モデルの補正項と RMSE

	補正項 [dB]	RMSE [dB]
路側遮蔽 0	Drs0 : 6.2	4.3
路側遮蔽 1	Drs1 : 14.8	3.7
路側遮蔽 2	Drs2 : 18.4	4.3

路側遮蔽 0、路側遮蔽 1 及び路側遮蔽 2 の各々について、測定した受信電力から算出した伝搬損失の値とともに、導出した電波伝搬モデル、自由空間損失モデル及び審査基準に採用されている電波伝搬モデルを、図 5.5.4-3～図 5.5.4-5 に示した。ま

た、各々のモデルに対する測定値の RMSE の値を表 5.5.4-2 に示す。ここでは、審査基準モデルにおいて、市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正値 S は、路側遮蔽 0 では開放地の 32.5 とし、路側遮蔽 1 及び路側遮蔽 2 では郊外地の 12.3 とした。

表 5.5.4-2 路側遮蔽 0、路側遮蔽 1 及び路側遮蔽 2 の RMSE [dB]

	導出した電波伝搬モデル (再掲)	自由空間損失モデル	審査基準モデル
路側遮蔽 0	4.3	7.6	7.4
路側遮蔽 1	3.7	15.2	11.2
路側遮蔽 2	4.3	18.9	13.0

導出した電波伝搬モデルの RMSE は、自由空間損失モデルや審査基準モデルの RMSE に比べて大幅に小さくなった。

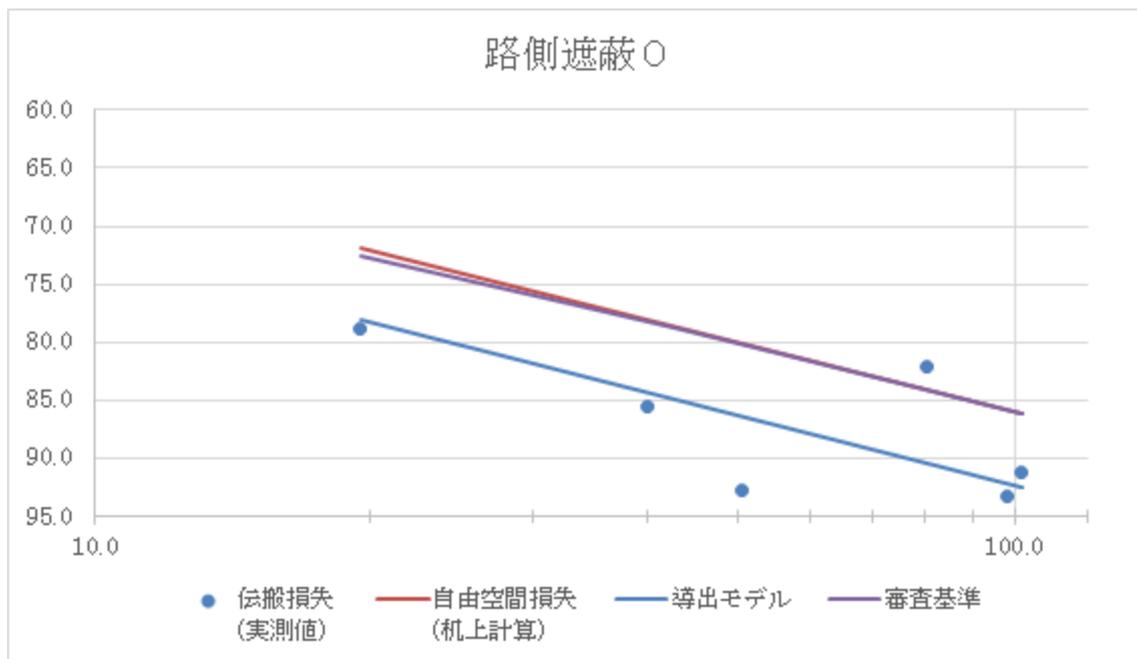


図 5.5.4-3 電波伝搬モデル (路側遮蔽 0)

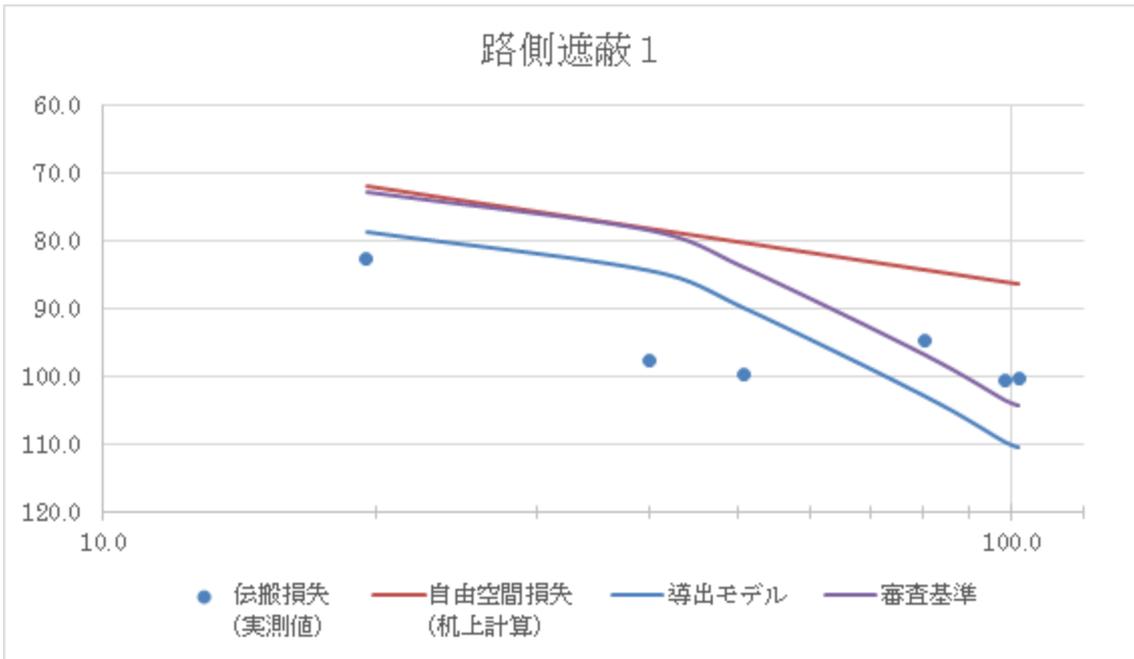


図 5.5.4-4 電波伝搬モデル (路側遮蔽 1)

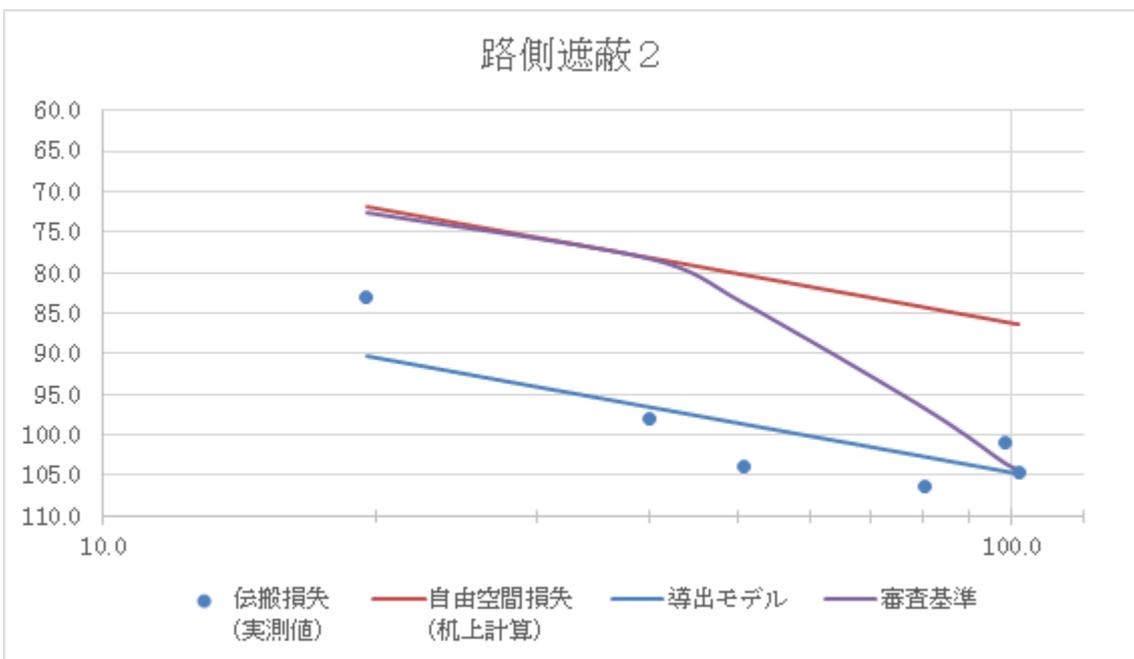


図 5.5.4-5 電波伝搬モデル (路側遮蔽 2)

以下に、拡張した交通インフラ環境向け電波伝搬モデルを用いたエリア構築法を示す。先に説明したエリア構築法とほぼ同様であるため、異なる点を説明する。

- (1) エリア構築の要件整理を行う。
- (2) エリア構築の制約条件を整理する。

(3) エリア判定の基準値等を求める。

- ・ 導出した電波伝搬モデルにおいて適用する伝搬損失計算式を選択する。
 - 車両内部に端末を設置する場合
 - ◇ 他の車両とすれ違う頻度が低いなど、その遮蔽の影響を許容できる場合、車両内部0の伝搬損失計算式を適用
 - ◇ 他の車両による遮蔽の影響を許容できない場合、車両内部1の伝搬損失計算式を適用
 - 路側高所に端末を設置する場合
 - ◇ 路側高所の伝搬損失計算式を適用
 - 路側（1m程度の高さの場所）に端末を設置する場合
 - ◇ 車両が通過する頻度が低いなど、その遮蔽の影響を許容できる場合、路側遮蔽0の伝搬損失計算式を適用
 - ◇ 2台以上の車両が同時に通過することがない場合、路側遮蔽1の伝搬損失計算式を適用
 - ◇ 2台以上の車両が同時に通過することがあり、その遮蔽の影響を許容できない場合、路側遮蔽2の伝搬損失計算式を適用

(4) 所望エリアのエリア品質評価を行う。

(5) 所望エリアのエリア品質を最適化する。

このエリア構築手法では、1m程度の高さの路側に端末を設置するケースも含めて、端末設置場所を考慮することでカバーエリアを適正化できる。

5.5.5 技術的課題の解決方策

カバーエリア算出に用いられる既存の電波伝搬モデルは、車両が近くを通過する1m程度の高さの路側のような交通インフラ環境に特有の受信環境を十分に考慮したものになっていない。

交通インフラ環境において、より精緻なカバーエリアの算出を行うため、高さ1m程度の路側における受信環境を、既存の電波伝搬モデルにおいて補正項のオプションとして反映させることが、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性として考えられる。

この補正項については、表5.5.4-1の値が得られているが、これらの値は、1つの実証環境で取得したデータにより算出されたものであるため、無線局免許審査基準において用いる電波伝搬モデルに採用するためには、さらに多くの交通インフラ環境においてデータを取得して、統計的信頼度(精度)を高めることが課題になると考えられる。

5.6 まとめ

自動運転を行う交通インフラ環境におけるローカル5Gのエリア構築に関する技術的課題を整理した。モビリティ分野においてローカル5Gを利用するには、交通インフラ環境におけるローカル5Gエリア構築にて所望のエリアで所望の通信品質が確保できる必要がある。そして、エリア構築コスト、作業負荷などの面において、より効率的なエリア構築手法を確立することが課題である。

そして、その利用拡大のためには、エリア構築コスト、作業負荷などの面において、より効率的なエリア構築手法を確立することが課題である。その際、交通インフラ環境に特有な様々な条件として、通行する車両の影響を余り受けない路側高所、車両への侵入損失の影響や他の車両の遮蔽損失の影響を受ける車両内部及び通行する車両の高さよりも低い路側などの電波伝搬環境を考慮する必要があると考えられる。

このような技術的課題の解決に向けて、交通インフラ環境に構築したローカル5Gの実証環境において、路側高所等などの様々な条件で電波伝搬特性の測定を行い、取得した電波伝搬特性データを用いて、交通インフラ環境に適した電波伝搬モデルを導出した。電波伝搬モデルの導出にあたっては、自由空間損失モデルを基本モデルとして選定し、路側高所、車両内部などの各々の条件に応じて、自由空間損失に対して補正項を加えた形で伝搬損失計算式を求めた。このようにして条件の違いによる電波伝搬損失への影響を定量化し、補正項の値として、路側高所で3.5dB、車両内部で隣接車両の有無により11.6~21.8dB、車両よりも低い位置の路側で遮蔽物となる車両の台数により6.2~18.4dBなどの値を得た。また、シャドーイングの標準偏差は、条件により異なり3.5dB~4.6dBの値となった。

そして、導出した電波伝搬モデルを用いて、より効率的なエリア構築手法を整理した。エリア構築の手順としては、まず、その要件や制約条件を整理し、エリア判定の基準値を求め、所望のエリアを細分化したセグメント毎にエリア品質評価を行い、所望のエリア全体のエリア品質を最適化することとした。この中で、エリア判定において、路側高所や車両内部などの端末設置場所に応じて伝搬損失計算式とシャドーイングマージンの値を選択して適用することにより、交通インフラ環境におけるカバーエリアの適正化が可能となる。

無線局免許審査基準においてカバーエリア算出に用いられる既存の電波伝搬モデルに関しては、交通インフラ環境において、より精緻なカバーエリアの算出を行うため、隣接する車両による遮蔽損失などの影響を、追加の補正項のオプションとして反映させることが、カバーエリア算出法への反映に向けた方向性として考えられる。

残された課題としては、自由空間損失に対する補正項やシャドーイングの標準偏差に関して、より多くの交通インフラ環境でデータ収集を行い、統計的信頼度を高めることが挙げられる。今回の実証環境における測定データのみであっても、車両内部において隣接する車両の有無による遮蔽損失の差については、車両の有無以外は同一条件での測定データであり、一定の統計的信頼性があると考えられるが、自由空間損失に対する補正項は、実証環境の近くの建物の影響を受けている可能性がある。また、今回の電波伝搬特性の測定では、渋滞時の多数の車両、バス内の乗客、街路樹などの遮蔽損失の影響までは評価できなかったため、これらの影響を定量的に評価することが残された課題になると考えられる。

6. 実装及び横展開に関する検討

6.1 前提条件

6.1.1 プレーヤの整理

本調査検討事業のプレーヤの自動運転実装・横展開に向けた意向、及び導入における制約として表 6.1.1-1 のとおり整理する。実装及び横展開に向けて、前橋市においては令和 4 年度における遠隔型自動運転の実装を目指し、「自動運転実証実験事業の実施に関する協定書」の協定に基づき事業を推進してきた。今後は、本調査検討で活用した 5G 等の利用といった技術的課題解決の他、地域交通環境の改善、及び実装に向けた採算性といった運用における課題解決を合わせ、推進していくことが検討されている。

表 6.1.1-1 プレーヤの意向及び制約

プレーヤ	意向	制約
自治体	令和 4 年度における「遠隔型自動運転」の実装に向けて、引き続き検証を続けていく。 前橋市における JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅の限定領域に自動運転が実装されることによって、前橋モデルとして構築することが出来る。	自動運転の実装に向けては、前橋市が取り組む上毛電鉄中央前橋駅のロータリー整備や、公共交通網の再編といった政策と足並みを揃えて推進されていく。また、自動運転に関する技術課題の他、運用上の課題解決も合わせて実施していく必要がある。
システム開発企業	実装に向けて、自治体や地域交通事業者の指摘を参考にしながら技術開発を継続的に推進するとともに、無人移動バスサービスとしてのサービスプラットフォームを確立していきたい。	随時アップデートされる関連法規やガイドライン等をキャッチアップしながら進める必要がある。 また、課題解決システムの利用に向けては、走行区間における 5G 環境の設置計画の影響を受ける。
地域交通事業者	前橋市、及び群馬大学との協定を結び、自動運転の実装に向けて検証を続けてきた。誰かがファーストペンギンになることが必要であり、これからも実導入に向けて稼働していきたい。	走行区間の課題が未だ多くあり、前橋市が取り組む路上駐車車両対策やロータリー整備の他、走行中の旅客安全管理の問題など一般旅客自動車運送上の義務を果たせることが必要である。 また、費用面の課題はあり、過渡期的なコスト情報の先に、バス路線の採算性の改善、バス運転手の担い手不足といった課題解決を図ることが出来る必要がある。
市民	自動運転バスが公道を走行した場合に、ほとんどの方が「乗車したい」という意向を持っていた（約 93%）	—

6.1.2 ガイドライン等との整合性

6.1.2.1 自動運転レベル

自動運転の実現に向けた取り組みとして、政府では「官民 ITS 構想・ロードマップ 2018」（平成 30 年 6 月）に、令和 2 年をめどに高度自動運転システム（レベル 3）に係る走行環境の整備を図ることを掲げた。官民 ITS 構想においては、「運転自動化レベル」として、SAE⁴の発行した J3016⁵の定義を採用し、以下表 6.1.2-1 のように定めている。

表 6.1.2-1 運転自動化レベルの定義

レベル	概要	操縦の主体
運転者が一部又は全ての動的運転タスクを実行		
レベル 0	運転者が全ての動的運転タスクを実行	運転者
レベル 1	システムが縦方向又は横方向のいずれかの車両運動制御のサブタスクを限定領域 ⁶ において実行	運転者
レベル 2	システムが縦方向及び横方向両方の車両運動制御のサブタスクを限定領域において実行	運転者
自動運転システムが（作動時は）全ての動的運転タスクを実行		
レベル 3	<ul style="list-style-type: none"> システムが全ての動的運転タスクを限定領域において実行 作動継続が困難な場合は、システムの介入要求等に適切に応答 	システム （作動継続が困難な場合は運転者）
レベル 4	システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を限定領域において実行	システム
レベル 5	システムが全ての動的運転タスク及び作動継続が困難な場合への応答を無制限に実行	システム

出所) 官民 ITS 構想・ロードマップ 2020（令和 2 年 7 月 15 日）より作成

自動運転のレベルが表 6.1.2-1 のとおり整備される一方、前橋市が実装を目指す遠隔型自動運転システムについては、自動運転レベルに応じ、以下の表 6.1.2-2 のように定められる。運転手乗車型の自動運転システムとは異なり、遠隔監視・操作者が遠隔において監視・操作する場合には、レベル 2 の自動運転レベルであると判断される。

⁴ 米国自動車技術協会（Society of Automotive Engineers）モビリティ専門家を会員とする米国非営利団体。

⁵ SAE International J3016 “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicle”

⁶ 地理的、道路面、環境的、交通速度上、又は時間的な制約を含む。J3016 では、運転自動化レベルとともに、「限定領域」の範囲が重要な指標になると指摘している。狭い限定領域で自動化されるシステムであれば、技術的な高度性は相対的に低い。

表 6.1.2-2 遠隔型自動運転システムにおける使用者の役割

レベル	使用者の役割
レベル 2	遠隔運転者（遠隔監視・操作者）が遠隔にて、監視・操作する。
レベル 3	遠隔に存在する「動的タスク作動継続が困難な場合への応答準備ができていない使用者が、システムの介入要請時において、監視・操作する。
レベル 4	遠隔に存在する「動作指令者」が、車両が故障した場合などに必要に応じ、操作する。

出所) 官民 ITS 構想・ロードマップ 2020 (令和 2 年 7 月 15 日) より作成

6.1.2.2 改正道路交通法への対応

自動運転の実装に向けては、自動車の自動運転の技術実用化に対応するための規定整備が求められ、警察庁では、自動運転の早期実用化を目指すべく平成 31 年 3 月 8 日付で「道路交通法の一部を改正する法律案」を国会提出し、令和元年 5 月には改正道路交通法、及び改正道路運送車両法が成立した。現在では、運転者が実験車両の運転者席に乗りしない遠隔型自動運転システムの公道実証実験は道路交通法第 77 条の道路使用許可対象行為となり、令和 2 年 4 月には、自動運転レベル 3 の自動運転車両が道路を走行することが可能となった (表 6.1.2-3)。

なお、遠隔型自動運転による移動サービスを提供するにあたっては、比較的単純な走行環境であり、一人で 1 台又は複数台の車両を遠隔監視・操作でき、緊急時又は作動継続が困難な場合に速やかに遠隔監視・操作者又は車両内のサービス提供者が必要な対応を実施できることが求められる。

表 6.1.2-3 自動車の自動運転技術の実用化に対応するための規定の整備内容

整備項目	内容
自動運行装置の定義等に関する規定の整備	<ul style="list-style-type: none"> ・道路運送車両法に規定される自動運行装置を「自動運行装置」として定義 ・同装置を使用して自動車を用いる行為を「運転」に含む旨を規定した。
自動運行装置を使用する運転者の義務に関する規定の整備	<ul style="list-style-type: none"> ・自動運行装置が使用される条件を満たさない場合には、同装置を使用した運転を禁止 ・条件外となった場合に、直ちに適切に対処できる状態であるなどの場合に限り、携帯電話使用等禁止規定の適用を除外した。
作動状態記録装置による記録等に関する規定の整備	<ul style="list-style-type: none"> ・作動状態の確認に必要な情報を記録するための装置による記録及び保存を義務付け ・整備不良車両と認めるときは、警察官が記録の提示を求めることができる旨規定した。

出所) 警察庁 第 198 回国会 (常会) 提出法案 参考資料 より作成

6.1.2.3 自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準

前橋市が将来目指している、遠隔型の自動運転バスの実装化に向けては、「自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準（令和元年9月）」に規定された要件を満たすことが求められる。

本基準では、自動運転技術を用いて自動車を自律的に走行させるシステムで、「緊急時等に備えて自動車から遠隔に存在する監視・操作者が電気通信技術を利用して当該自動車の運転操作を行うことができるものを用いて公道において自動車を走行させる実証実験」、並びに、「手動による運転時は通常のハンドル・ブレーキと異なる特別な装置で操作する自動車を社内に存在する監視・操作者が、公道において手動で走行させ又は自律的に走行させる実証実験」については、いまだ技術的な安全も確立されておらず、「一般交通に著しい影響を及ぼすような通行の形態若しくは方法により道路を使用する行為」に該当することから、その実験を行おうとする者は、道路交通法第77条の道路使用許可を受けなければならないとしており、これら公道実証実験に係る道路使用許可の申請に対する取扱い基準を、以下、表6.1.2-4のとおり設けている。

表 6.1.2-4 許可に係る審査の基準

(1) 実験の趣旨等	
ア	自動運転の実用化に向けた実証実験であること。
イ	実験の管理者及び監視・操作者となる者 ⁷ が実施主体の監督の下にあり、安全を確保するために必要な実施体制に係る資料を警察に提出していること。
ウ	運送事業許可等の他の法令上の許可が必要である場合は、あらかじめ受けている、又は受けられることが確実であると確認できること。
(2) 実施場所・日時	
ア	実験車両の機能 ⁸ 及び実施場所における交通状況に応じて、一般の道路利用者の通行に特段の著しい支障を及ぼす場所及び日時が含まれないこと。
イ	使用する電気通信技術が原則として途絶しない場所であるなど実験車両を安全に走行させるために必要な通信環境を確保できる場所であること。
(3) 安全確保措置	
ア	
(ア)	最高速度は、交通の状況、道路環境等 ⁹ に鑑みて十分な猶予をもって安全に停止できる速度 ¹⁰ とし、当該最高速度が実施計画に盛り込まれていること。
(イ)	実験車両の正面、背面及び側面に自動運転の公道実証実験中である旨が表示されていること。

⁷ 監督・操作者となる者は、複数名を申請することが可能である。ただし、それぞれの監視・操作者が1台又は複数台の実験車両を走行させるいずれの場合であっても、現に走行している各実験車両の監視・操作者はそのうち1名に限定するものとする。なお、監督・操作者の指揮・監督の下に同人を補助する者を置くことを妨げるものではない。

⁸ 遠隔型自動運転システムの公道実証実験においては、遠隔型自動運転システムの機能を含む。

⁹ 遠隔型自動運転システムの公道実証実験においては、通信の応答に要する時間も十分考慮すること

¹⁰ 当該道路の規制速度で走行している通常の自動車の停止距離と同等の距離で停止することができる速度以下となることを想定する。

	(ウ)	急病、停電等の理由により、監視・操作者の監視・操作が困難な状態となり得ることを踏まえた安全対策が盛り込まれた実施計画であること。 例：自動的に実験車両を安全に停止させる、他の監視・操作者となる者が速やかに監視・操作を交代できる体制をとる。
	イ	
	(ア)	交通事故等の場合に、警察官が必要に応じて、実験車両の原動機の停止等ができるよう、原動機の停止方法その他実験車両が交通の障害とならないようにするための措置の方法に係る資料を警察に提出していること。
	(イ)	交通の安全と円滑を図るための緊急の必要が生じた場合であって警察官から求められたときには、実験の関係者が現場に急行することができるよう体制を整備していること。
	(ウ)	遠隔型自動運転システムの不具合等、遠隔操作が困難な状況において、実験車両が安全に停止した後、車両を安全に移動させる方法が盛り込まれた実施計画であること。
	(エ)	通信の応答に要する時間が生じること及び遠隔監視・操作者が把握できる周囲の状況が限定され得ることを踏まえた安全対策が盛り込まれた実施計画であること。 例：大雨や濃霧等の天候不良等、実験車両の周囲等の映像を遠隔監視カメラにより鮮明に撮影することが困難な状況においては走行しない。
(4) 実験車両等の構造等		
	ア	
	(ア)	道路運送車両の保安基準（昭和26年運輸省令第67号）の規定に適合していること。
	(イ)	実験施設等において、実施しようとする公道実証実験において発生し得る条件や事態を想定した走行を行い、実験車両が実証実験を行う公道において安全に走行することが可能なものであることが実施主体により確認されていること。乗客を乗せて走行することを予定しているときには、発生し得る状況を予測するなどして、できる限り急ブレーキにならないなど、乗客の安全にも十分配慮した走行が可能なものであることが実施主体により確認されていること。
	イ	
	(ア)	遠隔監視・操作者が、実験車両の制動機能を的確に操作できるものであること。
	(イ)	申請に係る最高速度で走行した場合においても、遠隔監視・操作者が、映像及び音により、通常の自動車の運転者と同程度に、実験車両の周囲及び走行する方向の状況を把握できるものであること。
	(ウ)	通信の応答に要する時間が、想定される一定の時間を超えた場合には、自動的に実験車両が安全に停止するものであること。
	(エ)	乗客を乗せて走行することを予定しているときには、遠隔監視・操作者が、映像により実験車両内の状況を常に把握することができ、必要に応じて実験車両内にいる者と通話することができるものであること。
(5) 監視・操作者となる者		
	ア	実験車両を安全に監視・操作するための教育・訓練等 ¹¹ を実施主体から受けていること。
	イ	実験車両の種類に応じ、必要な運転免許を受けていること。
	ウ	実験車両を旅客自動車運送事業に係る旅客を運送する目的で走行させようとする場合は、必要な第二種運転免許を受けていること。

¹¹ 監視・操作者への法律上の運転手としての義務及び責任を負うことを認識させる、実験車両を安全・円滑に監視・操作するための知識・技能を習得させるなど。

(6) 遠隔型自動運転システムの公道実証実験において1名の遠隔監視・操作者が複数台の実験車両を走行させる場合の審査の基準	
ア	実施場所において、1名の遠隔監視・操作者が遠隔型自動運転システムを用いて1台の実証実験車両を走行させる公道実証実験が各実験車両について既に実施され、当該実施場所において、当該システム及び各実験車両を用いて安全に公道を走行させることができることが確認されていること ¹² 。
イ	遠隔監視・操作者が、映像及び音により、同時に全ての実験車両の周囲及び走行する方向の状況を把握できるものであること。
ウ	走行中に遠隔監視・操作者が1台の実験車両について遠隔からの捜査を行った場合に、他の実験車両の監視・操作が困難となることを踏まえた安全対策が盛り込まれた実施計画であること。

審査基準として、「(2) 実施場所 イ遠隔型自動運転システムの公道実証実験」に関する事項に規定されるとおり、自動車から遠隔に存在する監視・操作者が電気通信技術を利用して当該自動車の運転操作を行うことができるものを用いて公道において自動車を走行させる公道実証実験の実施においては、「電気通信技術が原則として途絶しない場所であるなど実験車両を安全に走行させるために必要な通信環境を確保できる場所であること」が求められている。

遠隔監視・操縦管制の実施に向けては、5G通信による大容量のデータ通信、及び低遅延による指令信号の伝達が求められるところであり、当該規定を満たすにおいては、JR前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅の区間における、5G通信の安定的な供給が要せされると考えられる。

また、前橋市における遠隔型自動運転が実装された場合においても、バス運転手不足といった課題を解決するためには、複数台の自動運転車両を遠隔監視・操縦管制することが求められる。本道路使用許可基準に則り、今後複数車両の遠隔監視・操縦管制を実施するためには、実施場所において既に遠隔型自動運転の実施され、安全に走行が確認された後、原則として1台ずつ車両を増やしていくことが必要となる(その都度に新たな実験として道路使用許可を行う)。

6.1.2.4 国土交通省ガイドライン

限定地域において無人自動運転移動サービスを導入する旅客自動車運送事業者が安全性及び利便性を確保するための対応すべき事項として、国土交通省では、「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン(令和元年6月)」を定めている。本ガイドラインでは、遠隔監視・操作者の監視等による安全確保措置を行う場合に、レベル4による場合に先んじて公道での無人自動運転移動サービスが実現されることから、遠隔型自動運転を対象として、以下、表6.1.2-5のとおり安全性・利便性の確保のため基本的な考え方を示している。

¹² 同時に監視・操作する実験車両の数を増やす場合は、原則として1台ずつ増やすこととし、都度、新たな実験として道路使用許可申請を行うこと。

表 6.1.2-5 安全性・利便性確保のための基本的な考え方

対象	基本的な考え方
旅客自動車運送事業者	旅客自動車運送事業者は、運転者が車内にいる場合と同等の安全性を確保するため、所要の環境、体制等の整備、確認等について、責任を持って行うことが必要。また、運行に関する状況を適切に把握し、運転者が車内にいる場合と同等の安全性及び利便性を確保するため、責任を持って所要の対応を行うことが必要である。
遠隔監視・操作者	遠隔監視・操作者は、道路運送法の運転者としての義務を負うことを認識したうえで、道路交通法を遵守し、運行の安全の確保に努める必要がある。また、旅客自動車運送事業者は、遠隔監視・操作者が道路運送法の運転者に対する義務を負うことを認識したうえで、遠隔監視・操作者について、第二種運転免許を受けた者に限定する、指導監督を行う等の同法で求められている対応を行う必要がある。
運転者以外の乗務員	非常時等の対応のために必要がある場合は、車掌等の運転者以外の乗務員を車内に配置することも想定される。運転者以外の乗務員は、非常時等において、適切に状況を把握し、運行中に必要となるものについて対応すること等が、その遵守すべき事項となる。

出所) 国土交通省自動車局 令和元年6月「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」より作成

また、旅客自動車運送事業者に対して、以下の対応をすることが必要としている(表 6.1.2-6)。

地域交通事業者へのヒアリングにおいて、遠隔型自動運転の実装について検討する際の課題として、「旅客の安全の確保」があげられた。一般旅客自動車事業者として、通常運行においては旅客の安全性確保は前提条件となっており、自動運転による走行においても同等の安全性の確保をするべきである、という意見があげられている。また、運賃収受、その他非常時の対応等、令和4年度の実装に向けては、車内に運転手がない場合の対応検討が求められる。

表 6.1.2-6 安全性・利便性の確保のために対応すべき事項

対応事項	内容
交通ルールを遵守した運行の安全確保	<ul style="list-style-type: none"> ・車両の特性、運行する路線若しくは、経路又は営業区域の道路及び交通の状況、運行に関して生ずる様々な危険等を確実に把握したうえで、適切なルート・エリアとすることにより運行の安全を確保すること。 ・運転者席と同様の視界をディスプレイ上に映像として表示する等の十分な代替の安全確保措置を講ずること等により運行の安全を確保すること。 ・道路運送法に基づき運転者に対して行うことが求められる指導監督を行うことにより、所要の対応を行うことが必要(車両の特性の把握等)。

旅客の安全の確保	<p>乗降口の扉の開閉について、遠隔地から車室内及び社外の状況を把握できるカメラ等を活用しつつ旅客の状況に注意して扉を開閉する、運転者以外の乗務員により確認を行い扉を開閉する、旅客が自ら安全に扉の開閉を行うことができるようにする等、旅客が乗降するときに運転者が車内にいる場合と同等の安全性を確保することが必要である。</p> <p>遠隔地から車内にアナウンスする装置等を活用すること等により、走行中は旅客を立ち上がらせない、シートベルトが備えられている座席においてはシートベルトの着用を徹底させる等、旅客が乗車中に運転者が車内にいる場合と同等の安全性を確保することが必要である。</p>
点検・整備等による車両の安全の確保	車両の保守管理（点検整備）及びサイバーセキュリティを確保するためのソフトウェアのアップデート等の必要な措置を講じることについても適切に対応できるようにすること。
運行前の点検の実施	運行の安全を確保するために必要な車両、システム等の点検が実施されたことを確認することが必要である。
非常時等の対応、連絡体制の整備	<p>次の①～⑦に示す非常時等の状況において、発生の有無及び発生した場合の旅客の状況、発生した場所を適切に把握すること。</p> <p>①運行を中断したとき、②事故により旅客等が死傷したとき、③旅客が車内において法令の規定、公の秩序、善良の風俗に反する行為をするとき、④天災等により輸送の安全の確保に支障が生ずるおそれがあるとき、⑤車両の重大な故障を発見し、又は重大な事故が発生するおそれがあると認めるとき、⑥安全な運行に支障がある箇所を通過するとき、⑦踏切内で運行不能となったとき</p> <p>遠隔地から情報を把握するために車室内及び車外の状況を把握できるカメラやセンサー、音声通信設備、旅客からの通報装置等を設置することが必要である。また、通信が遮断されるおそれについても、通信ネットワークの冗長性を十分に確保するとともに、万が一遮断された場合においても安全を確保するための対応が行われるようにすること。</p> <p>非常時等の状況を把握した際は、(A) 運転者以外の乗務員を乗車させて対応すること、(B) 運転者以外の乗務員を乗車させず、死傷者のあるときに速やかに現場に急行することができるよう体制を整備する等、遠隔地から適切に対応するための体制を整備して対応すること、のいずれかにより、運転者が車内にいる場合と同等の安全性及び利便性を確保するように対応を行うこと。</p>
事故の記録	事故が発生した際は、自動運転システムの作動状況、車室内及び車外の映像等の事故の状況を把握するために必要な情報について、その他必要とされている事故の記録とともに保管すること。
事故やヒヤリハット事例を踏まえた対応	必要に応じて注意を要する区間を徐行させる等の自動運転システムの設定を行う、自動運転システムを用いた運行を中止したうえで自動車製作者等に改善を求める等の対応が必要である。
運送実施のための体制整備	<p>運送実施のために以下の事項を行うことが必要である。</p> <p>①運行情報の入力、②運行中における車両位置の把握、③回送板の掲出、④早発の禁止、⑤運賃及び料金の払い戻し等</p>
旅客の利便性の確保	<p>旅客のために以下の事項を行うことが必要である。</p> <p>①苦情処理、旅客及び公衆に対する応接等の対応、②高齢者、障害者等に対する介助等の支援</p>
その他、対応すべき事項	運賃及び料金の収受等、対応すべき事項がないか確認し対応することが必要である。

出所) 国土交通省自動車局 令和元年6月「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」より作成

6.1.3 5G 基地局の整備計画との関係

5G 基地局の整備においては、申請者が絶対審査基準に適合していることが求められ、令和2年から令和6年の5年以内に5G 基盤展開率を50%以上とすること、及び2年以内に全都道府県で5G 高度特定基地局の運用を開始することが定められている。さらに、令和2年12月25日付けで公表された「ICT インフラ地域展開マスタープラン3.0」においては、5G 基地局の整備数を令和5年度末までに28万局に拡大するなど早期全国展開を目指すとした。しかし、令和3年3月末現在における前橋市内のキャリア5G 敷設状況は一部のエリア化に留まり、本調査検討の走行区間の5G 基地局の敷設計画は確認できていない。

前橋市の目指す遠隔型自動運転バスの実装に向けては、5G 通信の供給による遠隔監視・操縦管制技術の導入による安全確保支援の仕組みが求められ、キャリア5G によるエリア化と合わせ、ローカル5G 等活用した柔軟な5G ネットワークの構築・運用によって実現することを確認することが出来た。しかし、ローカル5G の活用に向けて、「ローカル5G 導入に関するガイドライン（令和元年12月）」では、ローカル5G の提供において、他者土地利用における移動局の利用が認めないこととしている。例えば、道路等に基地局を設置する場合には、設置場所の土地所有者が実施主体ではない場合に、移動局利用が出来ない課題が生じるため、将来、実装を目指す JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅の区間において、ローカル5G の敷設を行う場合には、自動運転等の分野における利用が難しいことが見込まれる。

また社会実装に向けて、ローカル5G の他事業者が今後当該地域で電波発射済み、もしくは将来的に電波発射を検討している場合に干渉調整区域の調整や非同期運用時のキャリア事業者様との事前調整についても免許申請のプロセスが簡素化されることが望まれる。

今後の事業実施に向けては、公道走行に向けたノウハウの蓄積としてローカル5G 通信を活用し、公道での実装に向けては、JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅におけるシャトルバス区間の5G 基地局整備が必要であると考えられる。

6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

6.2.1 実証終了後の継続利用検討

6.2.1.1 課題解決システムの継続利用

本調査検討において検証した課題解決システムの継続利用の計画について、表6.2.1-1に記す。継続利用に向けては、本調査検討の運用検証でターゲットとした JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅のシャトルバス区間における自動運転車両を活用した無人移動サービスの継続提供を前提として検討を行う。

本調査検討の課題解決システムについては、群馬大学試験路に敷設したローカル5G を活用することによって、継続した研究開発を行う。本年度の公道実証実験にお

いて得られた知見、及び課題等の解決を行うことによって、将来的にシャトルバス区間における自動運転の実装が可能となるよう、ノウハウの蓄積を行うことを計画している。

遠隔監視・操縦管制、及び路車間協調通信に係る、5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューションでは、本年度において5Gを活用したカメラ・センサーの情報を実現した。今後は、本調査検討における知見をもとに、当該システムの構成部品、設計見直し等を行う製品としての最適化など、令和4年度の前橋市実装向け継続検討を行う。また、5G 対応型車両制御直結ソリューションでは、前橋市における実装に向けたシステムの最適化とともに、AI 等の設置や、組み込みの最適化などを令和4年度に向けて実施していくことを検討している。

表 6.2.1-1 課題解決システムの継続利用

年度	令和2年	令和3年	令和4年
5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両ー遠隔管制室間）	・技術的实现可能性の検証 （車両ー遠隔管制室間の車載カメラのフルHDおよびセンサー情報の伝送機能の実現）	・システムの最適化検討 （システム構成部品の再検討、設計見直し等） ・AI等による監視支援機能の開発	・前橋市実装に合わせた導入の最適化検討 （取り付け位置や部品の再検討、設計見直し等） ・採用する映像圧縮技術の再検討
5G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側ー遠隔管制室間）	・技術的实现可能性の検証 （路側ー遠隔管制室間のカメラのフルHDおよびセンサー情報の伝送機能、AIによる情報強調機能の実現）	・システムの最適化検討 （システム構成部品の再検討、設計見直し等） ・AI等による監視支援機能のさらなる開発	・前橋市実装に合わせた導入の最適化検討 （取り付け位置や部品の再検討、設計見直し等） ・採用する映像圧縮技術の再検討
5G 対応型車両制御直結ソリューション（車両ー路側間）	・技術的实现可能性の検証 （車両ー路側間の直接通信による緊急停止等の機能の実現）	・システムの最適化検討 （前橋市実装の走行ルート のAI学習、IF設計見直し等） ・前橋市実装に向けた検討項目整理	・前橋市実装に合わせた導入の最適化検討（アプリケーション、IF開発） ・AI等設置、組み込みの最適化検討

6.2.1.2 ローカル5G 基地局の継続利用

自動運転の実施主体者が5G通信の利用コストや自動運転システムに関する、必要な事業費の支出を見込みつつ、自立可能な事業計画を持っていることが重要となる。

その他、走行区間において、遠隔型自動運転による無人移動サービスを提供するにあたり、対象となる路線が自動運転を導入可能な環境であるかも重要となる。

「ローカル5G導入に関するガイドライン（令和元年12月）」では、他者土地利用におけるローカル5Gの移動局利用を認めておらず、上毛電鉄中央前橋駅周辺におけるローカル5Gの導入に向け課題が生じている。ローカル5Gの構築・運用・維持を行って行くには、実施主体者、土地所有者との協議が必要となってくる。

今後のローカル5Gの運用に向けては、引き続き自動運転の試験路環境において、

ローカル5Gの通信環境を準備、活用することによって、課題解決システムの最適化検討等の検証、5Gの有用性検証、ノウハウを蓄積し、さらには、交通インフラ環境等における電波伝搬特性に応じた研究開発を継続するなど、将来の前橋市の遠隔型自動運転の実装に向けた検証を続けていくことを検討する。

6.2.2 事業モデルの検討

本調査検討の結果を踏まえ、将来的な前橋市における遠隔型自動運転の実装に向けた事業モデルを表6.2-2のとおり整理する。

事業モデルにおいては、前橋市における遠隔型自動運転の実装によって、バス運転手が搭乗しない形での無人移動サービスの提供を行い、地域課題となっていたバス路線の維持困難や、バス運転手不足等の解決を行うことを目指す。

なお、前橋市における無人移動サービスの提供においては、バスの運転手とは別に、車内管理のために保安員を配置し、運行を行うことを想定している。そのため、一つの区間のみでの遠隔監視・操縦管制を実施する場合、対象区間に対して遠隔監視・操作者が一人、また、車内に保安員が一人いる状態となり、コストが増加することが想定されている。過渡期的なコスト増加を見込み、本調査検討において対象とした、JR前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅のシャトルバス区間における遠隔型自動運転の実装した後、市内複数路線において走行する車両についても、合わせて自動運転化、遠隔監視・操縦管制が出来ることで、事業モデルにおけるマネタイズの構築に近づくと考えられる。

表 6.2.2-1 事業モデル

項目	内容
事業内容	<p>地方都市における公共交通の課題として大きなネックになっているバス運転手不足の深刻化、バス路線維持に係る行政負担の増大等を解消することを目的として、遠隔型自動運転による無人移動サービスを提供する。</p> <p>サービス提供区間としては、JR前橋駅－上毛電鉄中央前橋駅の区間とし、その後、諸条件を勘案しつつ自治体の委託路線における運行区間の拡大を検討する。</p>
対象となるユーザ	<p>JR前橋駅－上毛電鉄中央前橋駅区間のバス利用者、その後、市内の複数路線における実現を目指す。</p> <p>(前橋市民、市民外を問わず)</p>
対象ソリューションとサービス	<p>遠隔型自動運転を実現するためのソリューションとして、下記、本調査検討で検証した3つのソリューションを、自動運転システムに合わせサービス提供する。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション(車両－遠隔管制室) ・5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション(路側－遠隔管制室) ・5G対応型車両制御直結ソリューション(車両－路側間) <p>5Gを活用したソリューション提供することで、これまで4G/LTE環境で提供検討された他の遠隔型自動運転サービスと比較し、広範囲での他車両の挙動識別や、走行環境における死角の把握による遠隔監視・操縦管制の実現による、安全性の高いサービス提供が行われることを検討する。</p>

運営体制	<p>運用体制について想定される体制について記載する。</p> <p><体制案 A> 前橋市を代表とする地域協議会形式 運用コストの一部を負担する前橋市、委託路線である当該区間を走行する地域交通事業者、その他交通事業者、自動運転バスシステム提供者等によるコンソーシアム</p> <p><体制案 B> 路線バス運行事業者を主体とした共同運用形式 路線バス事業を提供する各社によって共同運用母体を設立する、あるいは共同出資をする運用母体を創設するという形式で交通事業者が主体となる形式</p> <p>上記のような体制案を議論のベースとし、実現可能且つ持続可能な運用体制の構築を検討していく</p>
マネタイズ	<p>遠隔型自動運転を提供するにあたり、自治体と連動した MaaS 施策、公共交通促進施策などによって利用者の増加による運賃収入の増加を図るほか、一定の期間は自治体の補助金も活用することを想定する。</p> <p>支出の面では、一路線を管理するといった過渡期の状態においては大型二種免許を取得した運転手による遠隔監視・操縦管制に加え、バス車内の保安員の人件費が生じることによりコストの増加が想定される。しかし、複数路線の管理によって、一路線に係る人件費を削減することができる。</p> <p>他方、遠隔型自動運転を提供に係るシステムコスト、及び通信コストが発生するため、将来的には路線を拡大することによって、それらの維持コストを案分することが必要となる。利用者の増加を見込んだ運賃収入と自治体補助による歳入がバス運転手の人件費削減、案分されたシステムコスト等の支出を上回るようなマネタイズを計画する。</p>
経済性、運用管理	<p><経済性></p> <p>遠隔型自動運転による無人移動サービスの提供によって、バス運転手による路線維持管理コスト削減等を前提として経済性を担保することが考えられる。</p> <p>同時に、公共交通利用者の増大や、運行本数の増加などによる利便性の向上により、地域における人流が活性化され、地域経済の活性化効果も見込まれる。</p> <p><運用の管理></p> <p>運用の管理については、無人のバス車内における料金収受、安全管理、事故時の責任分界など、多数の課題が存在するが、自治体の取り組む MaaS と連動することにより、多くの課題が解決できると考える。事故時の責任分界についてはシステムログを分析することによって、車両側の問題であるのか、管制システム側の問題であるのか、遠隔監視者の問題であるのか細部を分析することによって責任の所在を明確化し、保険会社との連携も含めそれに応じた事故の補償を行う。</p>
前提条件	<p>サービスの提供主体が 5G 通信の利用コストや自動運転ソリューションなど、必要な事業費の支出を見込みつつ、自立可能な事業計画を持っていること。</p> <p>その他、走行区間において、遠隔型自動運転による無人移動サービスを提供するにあたり、対象となる路線が自動運転を導入可能な環境であるかも重要となる。また、道路には自動運転バスだけでなく一般の車両も走行していることから、地域における市民の社会受容性も重要となる。</p>

また、無人移動サービスの事業化に向けては、車内の安全管理として、車内防犯監視の仕組みや犯罪等の事象が生じた際の対応策など、運用面での体制を検討していく必

要がある。また、福祉者の車いすでの搭乗などについては、乗車予約システムなどを提供し、介助者の手配ができるなどの運用面での支援のほか、自動運転車両の構造として機械的に介助が行えるシステムの検討などを進める必要がある。

6.2.3 実装に向けた計画

前橋市では、JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅間の自動運転バス実装に向けたロードマップとして、表 6.2.3-1 のとおり整理している。本調査検討では、5G を活用した自動運転技術の高度化を目指し、上毛電鉄中央前橋駅ロータリーへの侵入地点、及びロータリーの歩車混雑地点にカメラ・センサーを設置することによって、遠隔監視・操作者が周辺環境の把握において成果を確認した。社会実装に向けて、以下の(1)～(7)といった内容を整理し、計画が想定される。

(1) 自動運転技術の向上

本調査検討において5Gを活用した安全確保支援の仕組みとして、遠隔監視・操縦管制、及び路車間協調通信に関する課題解決システムの検証を行った。結果として、区間を通して手動介入することなく、自動走行によって運行できることが確認できた。しかしながら、赤信号により前方に一般車両が停止した場合など、手動走行に切り替える場面が生じている。実装に向けては、より乗り心地のよい自動走行を目指し、ハンドルやアクセル、ブレーキの動きの向上をハードウェア、ソフトウェアの両面で進めていくとともに、車内運転席無人での運用を想定し、障害物検知能力の向上とその技術検証を行い、中央前橋駅—前橋駅間の終日手動介入0%を目指す。

また、CRANTS 内で実証したセンサー情報による車両停止機能など制度を向上させる他、GPS 不感地帯等への対処による自動運転車両のふらつき低減や、公道における遠隔管制室からの操作といった検証を行うことによって、遠隔型自動運転の導入に向けた自動運転の更なる安全確保の仕組みの実現を目指す。なお、自動運転技術の向上に向けては、駅や道路等の走行環境の状況によって改善が求められる項目が変更となるため、導入する地域状況と並行し検討することが必要である。

(2) 駅や道路等の走行環境の改善

実装に向けては、技術面整理のほか、走行しやすい環境づくりのためのインフラ側の対応も必要である。前橋市では、令和2年度、本実証と並行して上毛電鉄中央前橋駅ロータリーの運用見直しが検討された。令和3年度においては、実装に向けた詳細計画整理のため、調査事業を実施することで、区間内のGPS不感地帯への対策検討や、路上駐車車両に対する対策が予定され、結果をもとに自動運転システムやインフラの更なる改善検討が実施されることとなる。そして、令和4年度における上毛電鉄中央前橋駅のロータリー運用変更によって、自動運転バスの社会実装への準備が整う。

(3) 法律・ガイドラインへの準拠

前橋市では、2022 年度において遠隔型自動運転の実装を目指している。前述のとおり、「運転者が車内にいる場合と同等の安全性及び利便性を確保」が求められており、実装初期には、車内に保安員を配置することによる実現を検討している。

また、警察庁の示す「自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準」に規定される走行区間における自動運転車両の安全走行のための通信環境の構築等が求められるところであり、本調査検討で活用した課題解決システム等を用いた安全確保に向けては、更なる通信環境の改善、及び安全走行に資するため、走行区間における課題解決を行うことが求められる。

(4) 警察との協議

前橋市においては、平成 30 年以降、自動運転の公道実証実験の都度、地域警察署との協議を実施している。本調査検討においては、遠隔管制室にも参加いただくなど、将来実装を目指す遠隔型自動運転の形を共有しているところである。公道における走行実施に向けては、「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン（平成 28 年 5 月）」、「自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準（令和 2 年 9 月）」に定められるとおり、許可に係る審査を行うに当たっては、速やかに実施場所を所管する警察に相談することが求められている。

また、同使用許可基準では、これまで自動運転車両の走行速度を「時速 25km」と定めていたところ「交通の状況、道路環境等を鑑みて十分な猶予をもって安全に停止できる速度」と改訂した。同規定を満たすためには、一般車両と同等の制動距離による車両停止が求められるが、自動運転システムの技術的側面、及び走行区間の通信環境を加味する必要があるため、今後、警察等との協議を行うことで、走行速度等の基準を明確にすることが必要である。

(5) 5G 基地局敷設の見込み

6.1.3 項に記載したとおり、「ローカル 5G 導入に関するガイドライン（令和元年 12 月）」では、他者土地利用におけるローカル 5G の移動局利用を認めておらず、上毛電鉄中央前橋駅周辺におけるローカル 5G の導入に向け課題が生じている。遠隔型自動運転の導入に向け、5G 通信等活用した遠隔監視・操縦管制、路車間協調といった安全確保支援の仕組みが求められるが、今後のキャリア 5G の敷設計画が課題と考えられる。

(6) 社会受容性

自動運転の導入に向け、前橋市では平成 30 年度より自動運転の公道走行実証実験を継続し、市民説明会の開催等と合わせ、社会受容性の確認を行ってきた。本年度の公道実証においては、前橋市内外から自動運転車両に乗車され、将来の自動運転車両の実装に向けた期待は非常に高かった。自動走行における「発進/停車・加速/減速の問題」及び、「走行速度」等の技術的課題解決を行うことで、社会受容性の更なる向上を図ることが求められる。

また、一般車両、歩行者等との混在化での実装を目指すうえで、自動運転車両の走行について、周囲に知らせる仕組みを確立する等、地域社会に受け入れられるように取り組む必要がある。

(7) 交通事業者調整

地域交通事業者による自動運転実装に向けた意向として、遠隔管制室の共同運営等による複数の自動運転車両の遠隔管制を行うことで、路線維持コストの削減、バス運転手の人材不足の補完があげられる。令和4年度においては、JR 前橋駅から上毛電鉄中央前橋駅区間における保安員乗車型の遠隔型自動運転について検証が行われる予定であり、本調査検討で検証した課題解決システムの利用も含め、サービス提供における課題等の更なる整理が行うことが考えられる。

また、地域公共交通の活性化及び再生に関する法律の改正、さらに、独占禁止法特例法が施行され、前橋市内では令和3年度に同法を活用したバス事業者6社の共同経営による運行最適化が実施される予定である。自動運転バスの遠隔管制について、共同運営の仕組みを活用した複数路線の遠隔監視・操縦管制の実施が考えられ、その場合の交通事業者調整が求められる。

表 6.2.3-1 前橋市 自動運転実装に向けたロードマップ

年度	内容
令和2年度	5Gを活用した自動運転バス実証実験
	上毛電鉄中央前橋駅ロータリー整備計画策定
	拡張整備後の必要機能検討
	現ロータリーでの自動走行対策（運用変更）
令和3年度	実装に向けた課題整理・対策検討のための調査事業実施
	GPS不感地帯の対策検討
	路上駐車車両の対策検討（走行レーンの再検討など）
	調査事業の結果を自動運転システム・インフラに反映
	白線読み取りについて技術検討
	路側へのセンサー設置について検討
	遠隔型自動運転へ向けた車両整備等
バス事業者保有車両の自動運転化、遠隔管制室整備	
令和4年度	遠隔型自動運転（保安員乗車型）の実用
	上毛電鉄中央前橋駅ロータリーの運用変更を実施
	バス事業者の保有車両の自動運転化
	警察協議・車両検査の実施
令和5年度以降	前橋市千代田町の再開発の状況にあわせ、「中央前橋ライン」運行（都心幹線ライン）
	シャトルバス延伸によって、1対nの遠隔型自動運転の検討

なお、前橋市においては、令和4年度における自動運転バスの実装を目指しているが、その後、6.2.3項で整理をしたとおり、事業モデルの構築に向けては、当該仕組みを他路線等に延伸することによる、遠隔監視・操作者による複数車両の遠隔監視・操縦管制が実施されることが求められ、令和5年度以降に整理されていくこととなる。

6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討

6.3.1 普及モデル

ローカル5G等を活用した課題解決システムに関する普及モデルとして、本調査検討の結果を踏まえ、前橋市のモデルを中心として検討する。モデルの構築においては、他地域における再現を目指し、前橋市において活用した自動運転システムの標準的機能・設備の整理、本調査検討におけるステークホルダーの整理を行う。その他、自動運転の実現に向けた制約、導入効果を記載することで、前橋市におけるモデルを一般化し、他地域における導入に際して必要な要素として示す。

6.3.1.1 本調査検討における自動運転システムの標準的機能について

本調査検討で活用し、今後実装・横展開に向けた検討において前提とする自動走行システムは、既存車両に対して後付け可能な装置群で構成されており、「操舵」、「制動」、「駆動」、及び「周辺機器を自動で操作すること」を可能とするものであり、また既存の運転席については、それら全てを人間がオーバーライド可能なように設計してある。また、センサー類は法令の範囲内で設置される。

自動運転システムは、複数のセンサー・演算装置・アクチュエータから構成される。使用する代表的なセンサーとして、LIDAR (Laser Imaging Detection And Ranging) や可視光カメラ、GNSS (Global Navigation Satellite System)、ジャイロセンサーがある。これらのセンサーは、自車の位置情報や信号灯の認識、周辺の障害物の検出に用いる。センサーから得られた情報を基に、演算装置（自動運転コンピュータ）により自車の状態の推定、速度維持するためのアクセル（あるいはブレーキ）の制御量の算出、走行軌道追従のためのハンドルの操舵量の算出等を行う。さらに自動運転コンピュータから算出された制御量に合わせてVCU (Vehicle Control Unit) により、各アクチュエータの電気電子制御を行う。

GPSの精度を高めるため、実施場所エリアにGPS基準局アンテナを設置し、このGPS基準局アンテナからの補正情報を広域通信で受け、衛星からの電波受信環境と広域通信環境が良好な場合、標準誤差2cm程度まで絶対位置測位の精度を高める。



図 6.3.1-1 自動運転車両の標準的設備

また、無人移動サービスとしての導入を前提とするために、本事業で対象とする自動運転車両は遠隔型自動運転に対応する装置群も搭載する必要がある。遠隔監視・操作者が、車両の運転席から運転する場合と同様の環境を得られるように、カメラやマイク、スピーカーを装備する。また、事故の際に備え、自動運転システムの状態がわかるようなログデータや車両内外の様子がわかる映像データ等を記録する。本事業で対象とする自動運転システムは、モードを遷移させると、遠隔からの操作や操縦を受け付ける仕組みを持つ。遠隔からの操作や操縦は、遠隔監視・操作台にて遠隔監視・操作システムを運用する形で行う。

遠隔監視・操作システムは、車両に取り付けられた遠隔監視用のカメラの映像表示やマイクでの集音、スピーカーによる呼びかけができる。また、タッチパネル型モニターにより、自動運転システムが ODD (Operational Design Domain) から外れる時に必要な操作が行える。また、ハンドル型コントローラーを備えており、必要に応じてブレーキ操作などを車両にオーバーライドすることができる。



図 6.3.1-2 遠隔管制室の標準的設備

6.3.1.2 ステークホルダーの整理

本実証におけるステークホルダーの役割と担当者を表 6.3.1-1 に記す。「前橋モデル」では、令和元年 11 月 1 日に前橋市、群馬大学、日本中央バス株式会社の三者で締結した「自動運転実証実験事業の実施に関する協定書」をベースとして、前橋 5 G 社会実装プロジェクトにおけるスマートモビリティ WG の構成員、及び協力者が参画している。

本調査検討の課題解決システムにおける普及モデルについては、表 6.3.1-1 のとおり、実施主体である「自治体」、課題解決システムを構築・導入する「システム開発事業者」、また、課題解決システムの導入に向け前提となる「自動運転システム開発事業者」、「地域交通事業者」といったステークホルダーによってコンソーシアムの形成を行うことが必要となる。

表 6.3.1-1 本調査検討におけるステークホルダー

役割	内容	前橋市の場合の担当者
実施主体	実証フィールドの提供（委託路線のバス運行）、公共機関等関係機関との調整	前橋市
自動運転バス研究・開発	自動運転バスの車両提供及びメンテナンス、技術監修、その他関連する事業	群馬大学・日本モビリティ株式会社
自動運転バス運転免許交付	自動運転バスの免許交付に係る講習及び実習の実施	日本モビリティ株式会社
自動運転バス運行	運行に関する支援及び車両運転者等の提供	日本中央バス株式会社

遠隔管制室 監視	遠隔管制における監視	総合警備保障株式会社
自動運転バス の車載システ ム構築・提供	課題解決システム、その他自動運転バスに かかるシステムの構築	日本モビリティ株式会社 日本電気株式会社 その他ベンダー 等
遠隔管制室シ ステムのシス テム構築・提 供	遠隔管制室における遠隔監視・操縦管制に かかるシステムの構築	日本モビリティ株式会社 その他ベンダー 等
ローカル5G 免許申請及び 基地局の設置	群馬大学試験路内へのローカル5G基地局 の敷設、及び免許申請、電波伝搬試験の実 施	日本電気株式会社

6.3.1.3 自動運転の運転者における制約

普及モデルにおいて対象とする自動運転システムは、遠隔型自動運転を用いた自動運転レベル3を想定しており、走行中、常に当該車両の運転免許を保有する遠隔監視・操作者が遠隔監視・操作台に搭乗し、自動運転車両の要求に応じて必要な操作を直ちに行えるような体制を構築する必要がある。また、車両内にはバス運転手は不在となるが、車内管理のための保安員の配置が必要となると想定される。

遠隔監視・操作者は、実験車両を安全に監視・操作する(緊急時の対応を含む。)ための教育・訓練等を自動運転システムの提供メーカーから受ける必要がある。提供メーカーは走行させる車種と路線に対応した、必要な座学や実技教習を提供する必要がある(表6.3.1-2)。

また、「自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準(令和2年9月)」では、遠隔監視・操作者となる者については、「実験車両を旅客自動車運送事業に係る旅客を運送する目的で走行させようとする場合は、必要な第二種運転免許を受けていること」と定め、導入地域において、遠隔型自動運転による無人移動サービスを提供する場合には、遠隔監視・操作者の第二種運転免許の保有が前提となる。

表 6.3.1-2 想定される運転者の教育・訓練内容

No	内容
①	自動運転車両を安全・円滑に遠隔監視・操縦管制するための知識・技能を習得させる。 ※遠隔型自動運転システムの実証実験においては、通信の応答に要する時間が生じること、及び遠隔監視・操作者が把握できる周囲の状況が限定され得ることを踏まえる。
②	緊急時の対応に係る知識・技能を習得させる。
③	その他、遠隔監視・操作者に必要な知識・技能を習得させる。

6.3.1.4 走行区間について

前橋市では、平成30年より全国初の営業路線での自動運転バスの実証実験を行っており、当初から上毛電鉄中央前橋駅とJR前橋駅を結ぶ約1kmの区間におけるシャトルバスを自動運転化することを目指してきた。

当該路線における自動運転走行では「自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準」に準拠するとともに、地方都市における都心幹線として、通学・通勤や買い物などの利用者が多い区間であることから、自動運転バス導入による利便性・回遊性向上を目的として選定している。また、シャトル運行については、他の路線バスと比較すると、バス停における時間調整の必要等もなく、利用者が不便を被るリスクも低減されると考えられることから、実証実験における営業路線として導入が容易であると想定される。

自動運転の実装に向けて、警察庁では令和元年9月に「自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準」を定め、原則として「時速20km」を実証実験における最高速度と定めている。そして、令和2年9月の改定では、当該最高速度について、「交通の状況、道路環境等を鑑みて十分な猶予をもって安全に停止できる速度」と改訂した。しかし、遠隔型自動運転については遠隔地にある運転席が、車両の運転席と同等の性能を備え、運転手が運用する際にも同等の安全性が担保されることを証明することが求められ、安全に停止できる速度の走行としては、自動運転システムの安定性のもとより、通信の安定性等を加味する必要があることから、警察等の指導等踏まえ慎重な検証が求められる。

上記、前橋市における走行区間の選定過程や、自動運転車両の道路使用許可基準上の最高速度等について、前橋市のモデルでは表6.3.1-3のとおり整理される。実装における導入区間では、比較的距離が短く、シャトルバス等の走行を行う限定領域で行うことが検討される。

表 6.3.1-3 前橋市の走行区間について

項目	内容
走行距離	JR前橋駅と上毛電鉄中央前橋駅を結ぶ、約1km
バス路線の特徴	・都心幹線 ・駅間を結ぶシャトルバス
自動運転の速度	時速約20km（平成30年度から令和2年度までであり、今後は警察等指導を踏まえ検証を行う）

6.3.1.5 導入におけるコスト

課題解決システムを含む遠隔型自動運転システムを導入するにあたって、発生するコストとして想定される内容を、表 6.3.1-3、6.3.1-4 に整理する。

前橋モデルで活用してきた自動運転システムについては、既存車両に対して後付け可能な装置群で構成されており、導入地域の地域交通事業者との協力により、表 6.3.1-5 の費目よりシステム導入を行うことが想定される。

表 6.3.1-4 自動運転システムの導入費目

No	導入コスト
①	路線バス型自動運転キット購入費、及びその架装費
②	路線バス型、遠隔型自動運転対応キット購入費、及びその架装費
③	遠隔監視操作システム購入費、及びその設置費
④	GNSS 基準局キット購入費、及びその設置費
⑤	自動運転導入地域の街づくり計画に係る調査分析費
⑥	自動運転導入地域の街づくりにおける路側設備費、及びその工事費
⑦	自動運転調律費

表 6.3.1-5 自動運転システムの運用費目

No	運用コスト
①	自動運転システム維持費
②	自動運転導入地域の街づくりにおける路側設備の保守費
③	(保険費)
④	(燃料費等車両消耗品費)

なお、本調査検討で検証した課題解決システムの利用による、遠隔型自動運転サービスを提供するに向けては、上記、自動運転システムの導入、運用に合わせ、5G通信を活用することを前提とした機器整備が必要とされる。しかし、導入地域に街づくり計画によって、導入する交通環境等においては個別検証項目が想定され、導入費目として一概に整理することが難しいと考えられる。

表 6.3.1-6 ローカル5G整備費目

No	導入コスト
①	ローカル5G基地局、ローカル5G端末費、サーバ・スイッチ費
②	ネットワーク設計費
③	ネットワーク事前検証費
④	ネットワーク構築費（工事・現調）
⑤	工事部材・機器費等

⑥	ネットワーク運用費（障害対応）
⑦	ローカル5G基地局関連HW/SW保守費

6.3.1.6 導入に係る想定効果等

導入における効果として、本調査検討のフィールドである前橋市を例として検討する。前橋市では現在、自動運転バスに限らず、地域公共交通網形成計画に基づく交通ネットワークの再構築を有効化し、市民の移動利便性の向上を目的とする「前橋版 MaaS」の実証実験も並行して取り組んでいる。

将来の構想として、①自動運転バスとオンデマンド型の交通サービスを導入して、既存の公共交通機関（バスや鉄道、レンタサイクル等）と連携し、一括ルート検索、決済を実現、②郊外から中心部への移動をきっかけに、市内での消費拡大、といった内容を掲げている。

課題解決システム等活用した遠隔型自動運転サービスの導入においては、前橋市の地域課題であった、自家用車移動分担率、バス路線の維持困難、また全国的課題でもあるバス運転手の担い手不足といった問題の解決が期待される。しかし、6.1.3項に記載のとおり、実装当初は運行コスト高が想定され、実導入に向けては次項の課題解決が必要となる。共同管制センター設置による遠隔型自動運転の複数路線走行や、地域公共交通の最適化を行うことによって、将来的な運行コストの低減、及びバス運転手不足への対処、公共交通の移動分担率の向上といったことが期待される。

6.3.1.7 課題と対応策等

前橋市における実施内容を整理し、普及モデルとして展開を行うにあたっては、実際に自動運転を実装することに向けた地域交通事業者の意向や、マネタイズ含めた事業整理が課題として考えられる。

地域交通事業者では全国的にバス運転手の担い手不足といった課題を抱えており、そうした担い手不足によってバス路線の増便は難しく、さらに、自動運転バスの複数台導入、遠隔管制室の設置、といった自動運転の設備整備の費用負担等については、事業者単独による運営を行うことが困難であることが予想される。自動運転バスを取り巻く環境や将来の法改正も含め、現在では導入に向けた判断が難しく、普及モデルの整理に当たって整理したステークホルダーの構築については、課題が生じると考えられる。

また、普及モデルにおける遠隔型自動運転の実現に向け、本調査検討で検証した課題解決システムの導入を行うことを検討する際に、5G基地局の敷設が合わせて求められる。キャリア5Gの敷設計画を加味し、必要に応じてローカル5G基地局の設置を行うことが考えられるが、現在のガイドラインでは、自己土地利用という制限が生じることから、国道、都道府県道など関係各所との調整が課題と想定される。

しかし、自治体として、地域交通の在り方を検討していく上では、遠隔型自動運転の導入、複数の路線バス事業者で遠隔管制室を共有し運営していくといった当該普及モデルの展開によって、地域交通事業者に係るコスト負担の軽減及び自治体の財政負担の適正化にも繋がると考えている。

5G 敷設計画等、引き続き 5G 展開の状況を確認しつつ、地域交通事業者との合意形成を図ることで、普及モデルの展開が期待される。

6.3.2 推進対応方策

自動運転分野における、ローカル 5G の普及展開に向けては、現在、6.1.3 において整理したとおり、ローカル 5G の活用において、「ローカル 5G 導入に関するガイドライン（令和元年 12 月）」では、ローカル 5G の提供において他者土地利用における移動局の利用を認めないこととしている点について、社会実装時に課題が生じると考えられる。本調査検討においては、群馬大学試験路内における、ローカル 5G の活用によって、走行する自動運転バスに対する課題解決システムの検証を行うことができた。今後、自動運転分野においてローカル 5G を活用する場合、自動運転の走行区間において、事業実施者の自己土地利用であることが求められるため、局地的な利用に限られると想定される。

また、自動運転含む、その他分野における 5G ソリューションの社会実装に向けて、ローカル 5G の他事業者が今後当該地域で電波発射済み、もしくは将来的に電波発射を検討している場合に干渉調整区域の調整や非同期運用時のキャリア事業者様との事前調整についても免許申請のプロセスが簡素化されることが望まれる。

自動運転等の社会実装の際には、バス利用者の安全性の確保の観点から、キャリア 5G 等の公衆網利用が適切かどうかについても検証課題は残り、ローカル 5G と組み合わせた安定的な通信環境の構築に向け、ローカル 5G の利用制限、免許申請プロセスの簡素化といった普及施策を望む。

6.3.3 横展開計画

本調査検討で検証したローカル 5G 等を活用した課題解決システムについて、同様の課題を抱える他地域等に展開をすることを想定し、計画を整理する。なお、横展開においては、6.3.1 項で整理した、前橋市の普及モデルを中心として表 6.3.3-1 のとおり検討する。

表 6.3.3-1 横展開計画

項目	内容
横展開の主体	<p>自動運転開発システム事業者、及び課題解決システム開発事業者によって、横展開等を実施することとして検討を行う。</p> <p>※本調査検討では、前橋市を中心とするコンソーシアムによって、課題解決システムを活用した自動運転の取組みを実施したが、自治体が横展開の主体とはなり得ず、今後の前橋市における自動運転の実装後において、研究・開発されたシステム等を、その構築を行った団体によって横展開されることが想定される。</p>
普及展開に向けた取組みの考え方	<p><導入検討地域におけるリレーシヨシップの構築></p> <p>前橋市のモデルにおいては前橋市と群馬大学、及び日本中央バス株式会社における、産学官連携事業として取組みを始めた。前橋市の特色として地域に自動運転バスの研究・開発拠点があるとともに、平成 29 年度から協議を実施してきたことから、路線バス事業者をはじめ、自動運転バスに関連するステークホルダーのリレーシヨシップが構築されている状況にある。横展開においては、ローカル 5G 基地局の敷設の件も含め、自治体と地域のステークホルダーとのコンソーシアムの形成が必要となると考えられる。</p> <p><導入検討地域の走行区間></p> <p>自動運転による無人移動サービスの提供先として、自治体のもつ委託路線、もしくは地域交通事業者のもつ自主路線が想定される。前橋市においては、路線維持の困難、将来の公共交通網再編といった目的に沿い、前橋市の委託路線を対象として実証実験を継続してきた。本調査検討の結果を踏まえ整理した普及モデルにおいては、自主路線ではなく、自治体が財政負担を担う委託路線において、自治体の主導による自動運転バスの導入が想定される場所であり、また、6.3.1.4 項（走行区間における検討）に記載するように、走行区間については、本調査検討で扱うような比較的距離の短い、シャトルバス等区間における展開が望ましい。</p>
実施体制	<p>本調査検討の仕組みを横展開するにあたっては、実施主体である「自治体」、課題解決システムの構築・導入、及びローカル 5G 等通信技術を提供する「システム開発事業者」、また、課題解決システムの導入において前提となる「自動運転システム開発事業者」、「地域交通事業者」といったステークホルダーによってコンソーシアムの形成する必要がある。</p>
事業展開のステップ	<p>本調査検討の課題解決システムを含め、令和 4 年度における前橋市の遠隔型自動運転の社会実装後、実導入における更なる課題の整理等行われることで、横展開に向けたモデルが検討されると想定される。</p> <p>そして、自治体と地域交通事業者とのリレーシヨシップが構築された導入検討地域において、本調査検討における課題解決システムの導入が求められた際に、自動運転システム等を含め展開することが可能となる。</p> <p>なお、前橋市においては、平成 30 年度の公道走行実験の実施にあたり、地域警察との調整、さらに住民説明会を開催することなど、導入に向けては地域の十分な理解を得るなど慎重な取組みが実施された。そのため、導入検討地域における事業実施に向けては、技術面の他、公道走行実施に向けた事前の調整を行うことが求められる。</p>
展開にあたっての課題	<p>横展開にあたっての課題として、一つ目にローカル 5G 基地局の敷設、及び運用が考えられる。6.1.3 項において示したとおり、「ローカル 5G の導入に関するガイドライン」では、他社土地利用における移動局としての利用を認可しておらず、本調査検討の課題解決システムの導入においては、導入地域の走行区間におけるキャリア 5G の敷設計画と大きく関わると考えられる。</p>

6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討

6.4.1 5G ソリューションを構成する各種ソフトウェア、ハードウェアの具体的な提供イメージ、提供スキーム案

5G ソリューションを構成する各種ソフトウェア、ハードウェアの提供イメージを、図 6.4.1-1 に示すアプリ領域、通信制御領域、機器制御領域に分類して考えた。

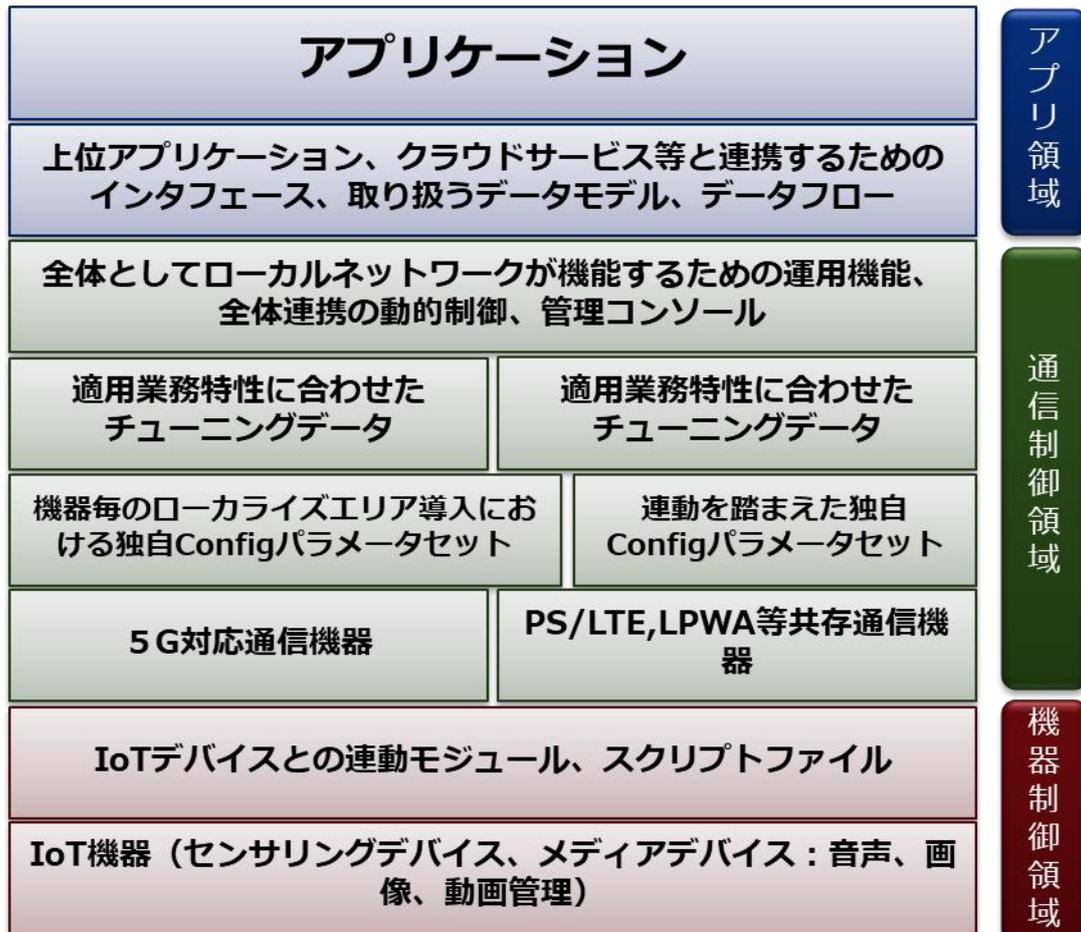


図 6.4.1-1 ローカル5G ソリューション提供イメージ

ローカル5G ソリューションを構成する各種ソフトウェア、ハードウェアの具体的な提供イメージ例を図 6.4.1-2 にローカル5G システムの提供イメージを示す。

ローカル5G システムはコア、CU/DU、RU、アンテナ、端末および光/LAN 回線、スイッチ等の機器から構成される。機器を提供することのほか、各機器の設定、チューニングを行う。

ローカル5G システムは、図 6.4.1-1 の通信制御領域に該当する。

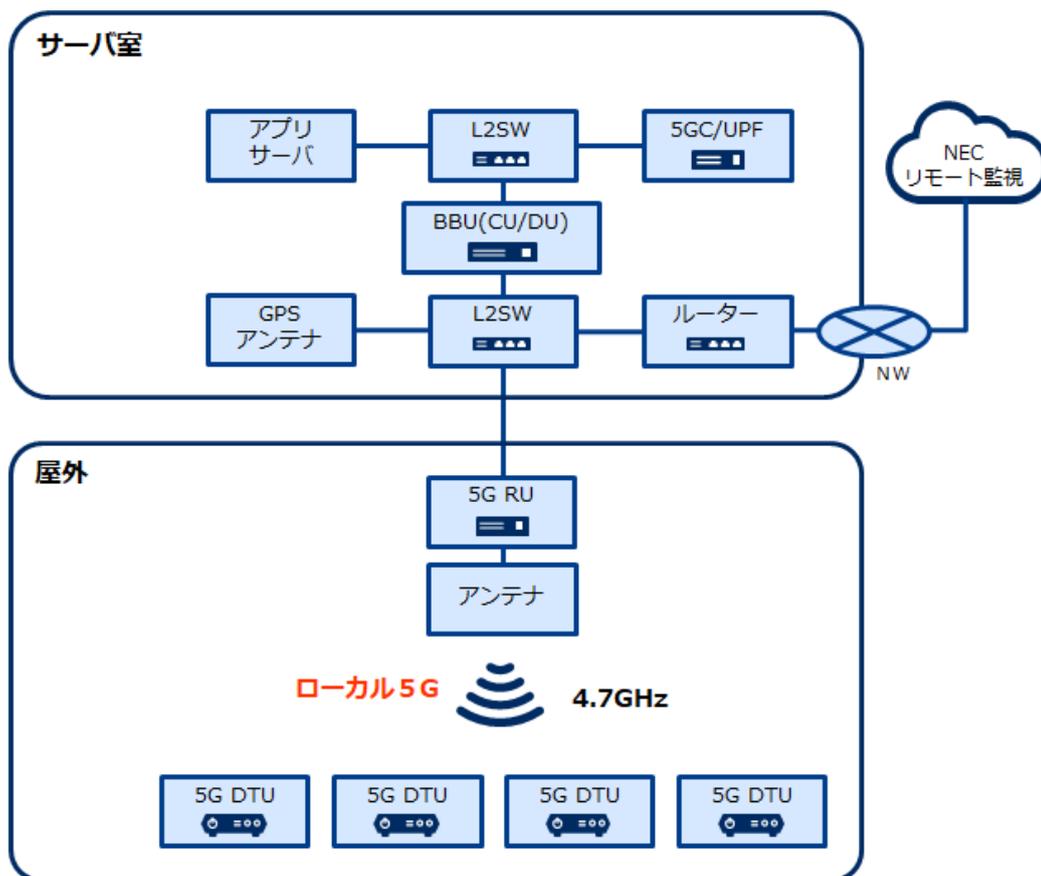


図 6.4.1-2 ローカル5Gシステム構成例

3章で示す本実証実験でのローカル5Gシステムも上記ローカル5Gシステムの一例に該当する。

6.4.2 既存の製品や知的財産を導入する際のパターンやビジネススキーム

6.4.2.1 通信制御領域であるローカル5Gソリューションを導入

前項で記載した提供スキーム案のうち、図 6.4.1-1 内の通信制御領域であるローカル5Gソリューションを導入する際のパターン、ビジネススキームの一例について以下に示す。

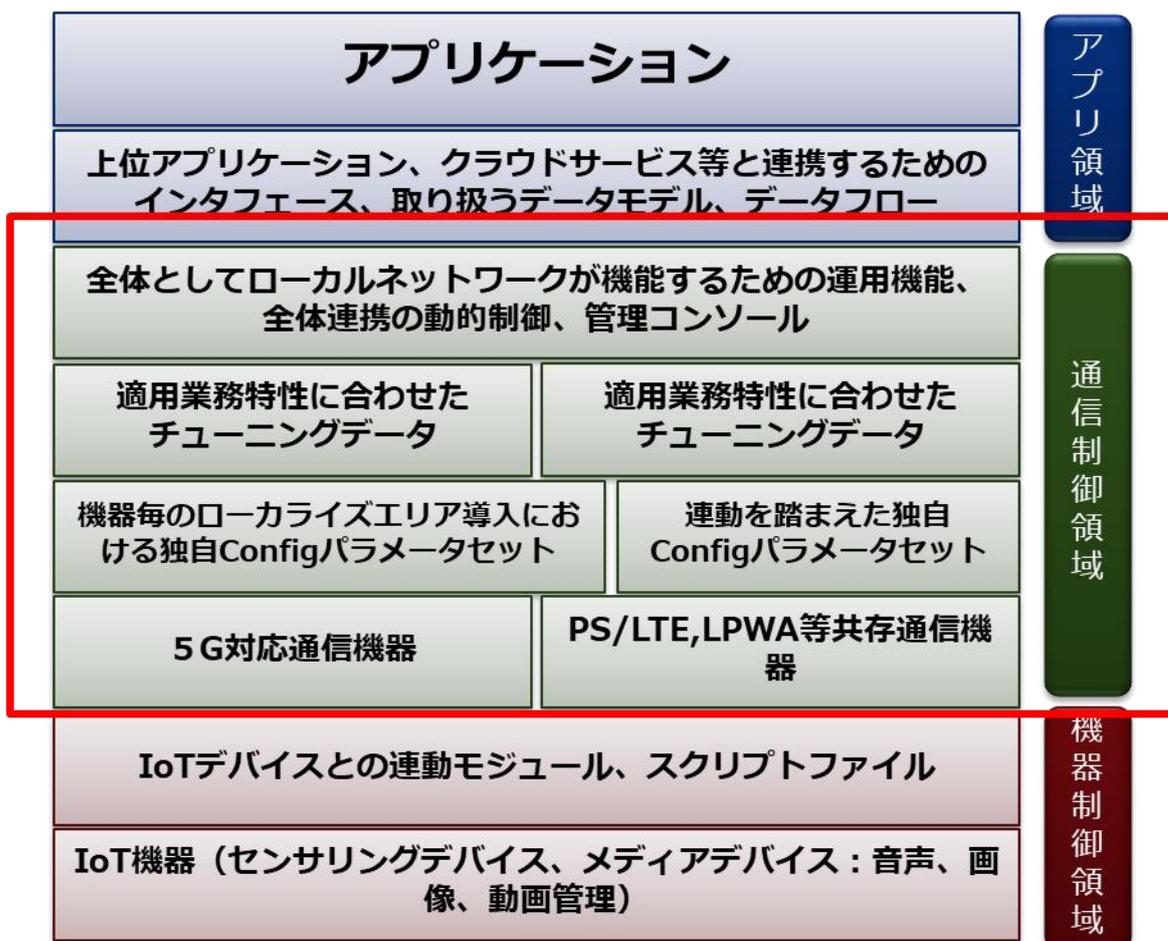


図 6.4.2-1 ローカル5Gソリューション構成

調査・企画段階のコンサルティングから、導入工程の構築や無線免許申請支援、利用者に代わりシステム運用など、ローカル5Gの企画、導入から運用まで広範囲に渡りサービス型で提供が考えられる。フェーズ毎の提供サービス例を図6.4.2-2 ローカル5G提供サービスに示す。

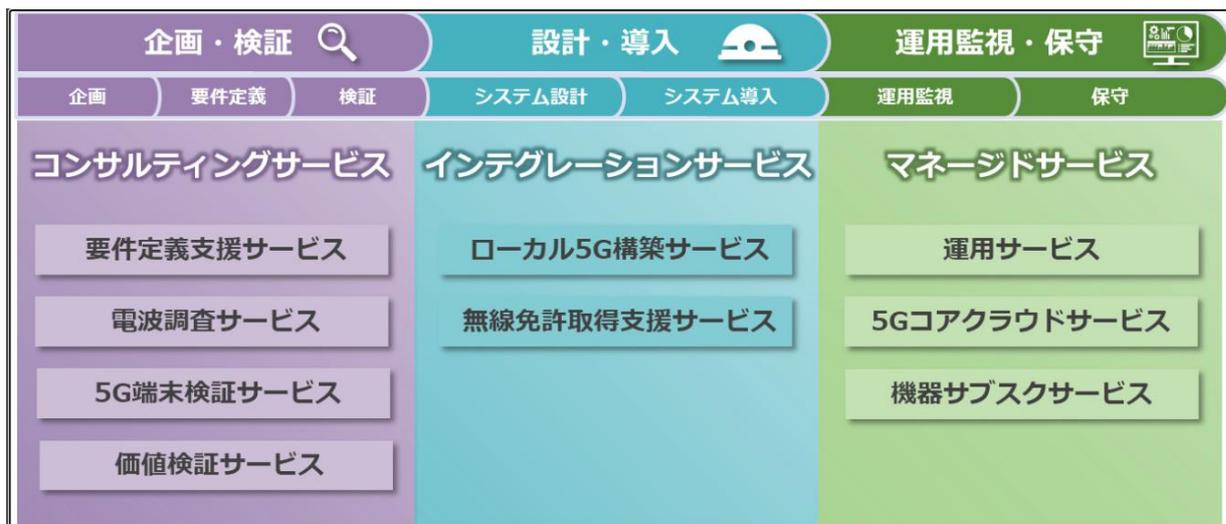


図 6.4.2-2 ローカル 5G 提供サービス例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5G/local5G/service.html>、2021年3月15日取得

各サービスの詳細内容を以下に示す。

1) コンサルティングサービス

ローカル 5G を構築する準備段階に必要な企画・要件定義から電波測定、5G 端末検証、実証実験を提供し、利用者のニーズと現地環境に応じた最適なネットワークサービスと今後の進め方を提案が考えられる。各サービスの内容例を図 6.4.2-3 に示す。

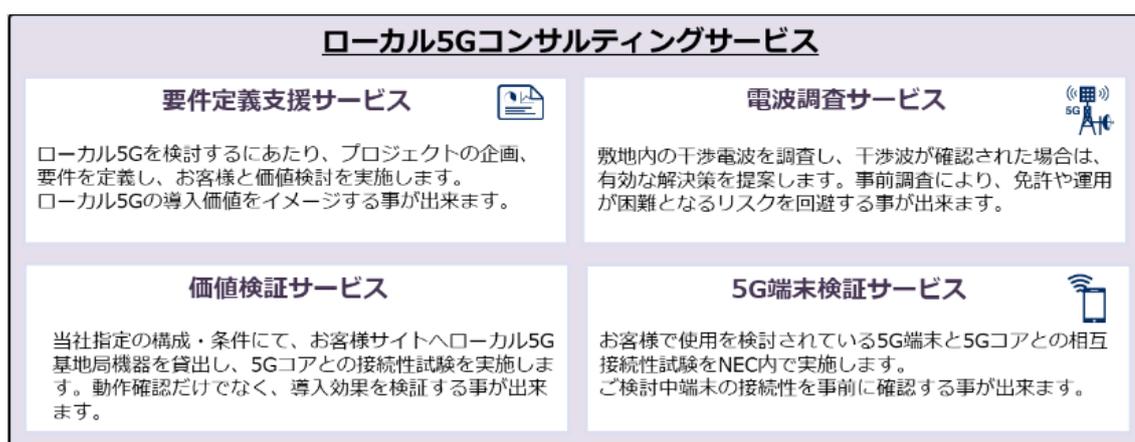


図 6.4.2-3 ローカル 5G コンサルティングサービス内容例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5G/local5G/service.html>、2021年3月15日取得

2) インテグレーションサービス

ネットワークのスペシャリストが無線局免許の取得支援から、ネットワーク構築に至る現地調査、設計、検証を行い、信頼性の高い、安全・安心なネットワークを構築する。5G 基地局のラインナップにサブ6 GHz (4.7GHz) 帯域対応のスタンドアローン型を加え、お客様の最適なネットワーク構築と運用に貢献すると考えられる。各サービスの内容例を図 6.4.2-4、図 6.4.2-5 に示す。

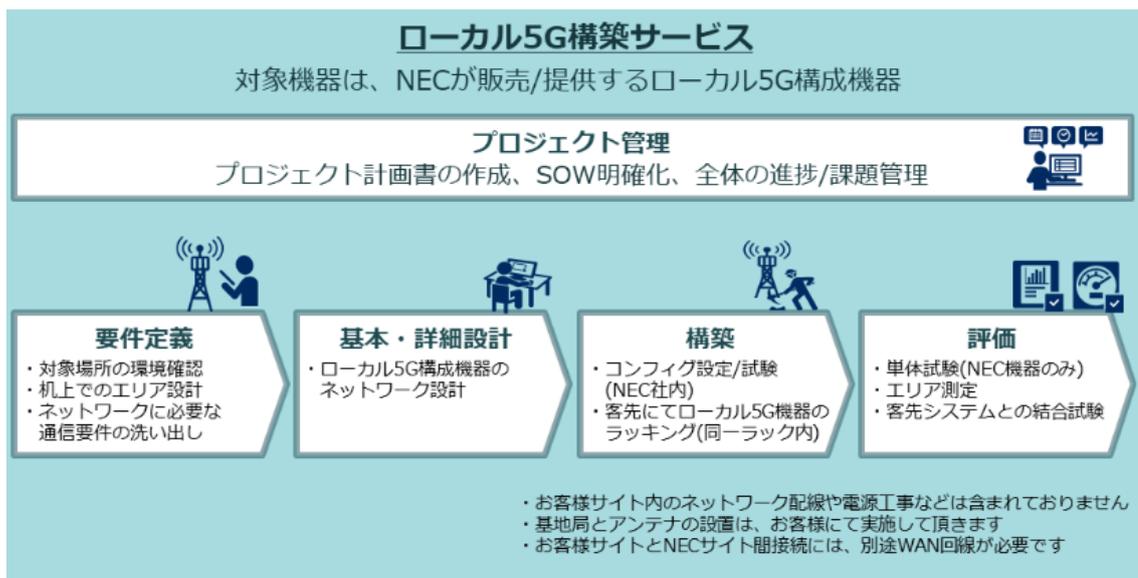


図 6.4.2-4 ローカル5G構築サービス内容例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5G/local5G/service.html>、2021年3月15日取得

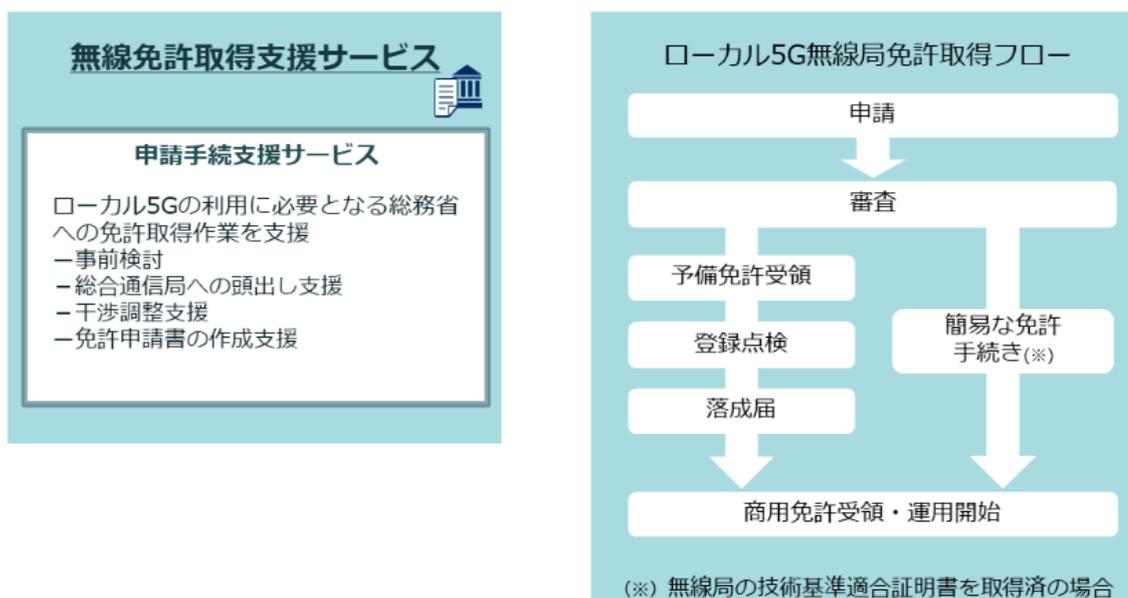


図 6.4.2-5 無線免許取得支援サービス内容例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5G/local5G/service.html>、2021年3月15日取得

3) マネージドサービス

5G ネットワークの常時監視（24 時間 365 日対応）や問い合わせ対応、保守手配・復旧対処といった運用に関する業務をサービス提供する。また、コアネットワーク、基地局といった 5G システムを構成する機器と保守サービスをセットで月額料金で提供するメニューを用意して、初期投資の抑制に貢献すると考えられる。各サービスの内容例を図 6.4.2-6 に示す。



図 6.4.2-6 ローカル 5G マネージドサービス内容例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5G/local5G/service.html>、2021年3月15日取得

利用者のニーズに応じて、エントリーパック、スタンダードパックの2種類の提供を行う。また、5G 基地局機器については、利用者の初期投資を抑えることができるサブスクリプション型サービスの提供が考えられる。メニュー内容例を図 6.4.2-7 に示す。



図 6.4.2-7 マネージドサービスメニュー例

出所) NEC ウェブサイト、<https://jpn.nec.com/nsp/5G/local5G/service.html>、2021年3月15日取得

6.4.2.2 アプリ領域、機器制御領域の導入

前項で記載した提供スキーム案のうち、図 6.4.1-1 内のアプリケーション領域、機器制御領域を導入する際のパターン、ビジネススキームの一例について以下に示す。

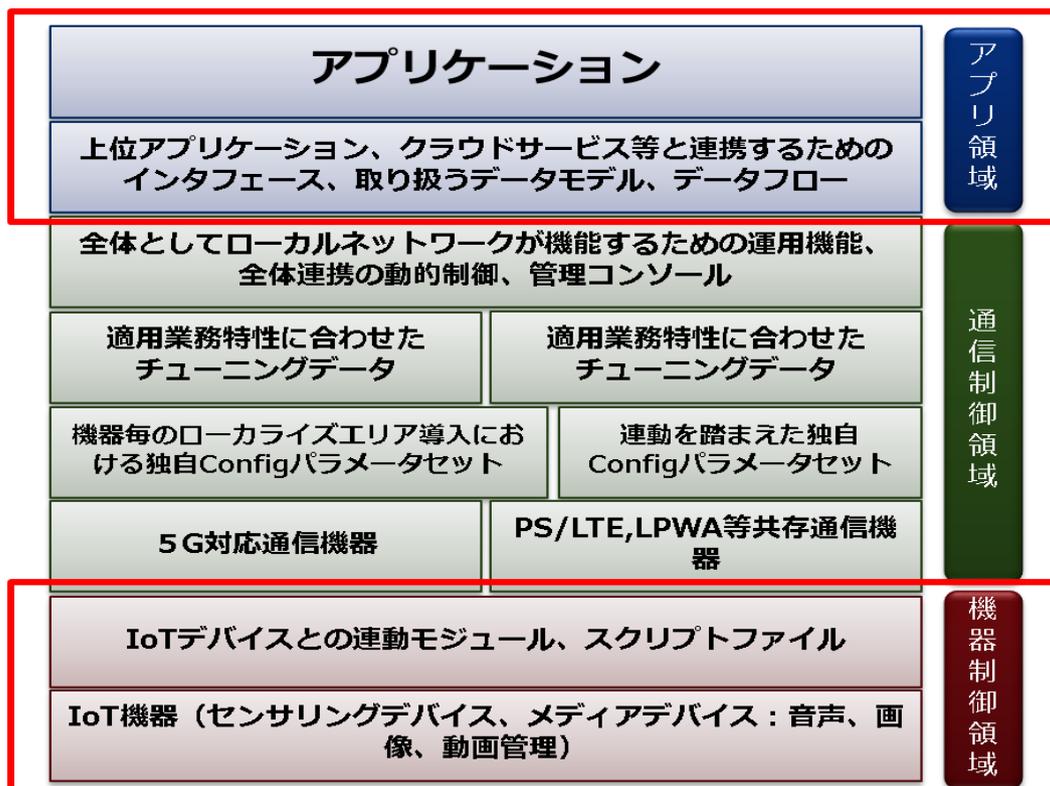


図 6.4.2-1 ローカル5Gソリューション提供イメージ（図 6.4.1-1 再掲）

アプリ領域、機器制御領域の提供例としてとして、表 6.4.2-1 アプリ領域、機器制御領域の提供環境例に示す環境での提供が考えられる。

表 6.4.2-1 アプリ領域、機器制御領域の提供環境例

環境	
クラウド型	クラウドのアプリを使用する
MEC (MobileEdgeComputing)型	近隣地区で共有使用が可能なアプリを使用する
現地型	オンプレミスのアプリを使用する

本調査検討では、一部の機能を除き、現地型の構成で行われた。この場合、初期導入にコストがかかることが課題に挙げられる。

コストの課題対策として、一般的には、クラウドのアプリを利用することが考えられる。しかし、ローカル5Gの性質である「大容量」「低遅延」「多接続」を考慮すると、クラウド型は必ずしも有用ではない。

そのため、MEC型として、クラウドを利用するわけではないが、近隣地域で同じ機能を使う際に共有できる仕組みを提供することが望ましいと考える。

6.4.3 「5G ソリューション提供センター」の企画・設立展開に資すると思われる要素、提言

仕様書に記される、「5G ソリューション提供センター」の目的「Beyond 5G ready」な環境に向け、多様なステークホルダーによるローカル5G 等を活用したユースケースにおいて横展開を促進する取り組み」に沿って、「5G ソリューション提供センター」の企画・設立展開に資すると思われる要素について PMO 及びコンソーシアムで検討を行った。

「共同利用型プラットフォーム機能をユーザー企業・団体や開発主体等が容易に利用できるよう、当該プラットフォームが具備すべきモジュールや機能群、必要とされるインターフェース (API 等)、データ連携仕様(フォーマット等)などに係る仕様案をとりまとめること。」が活動として想定されている

そのため、PMO とディスカッションして示された機能群などの仕様案の他、容易に利用できるような取り組みが必要と考えた。

図 6.4.2-8 共同プラットフォーム機能必要事項に、取りまとめる仕様案と、ローカル5G を活用するプロセスから想定するから考えられる必要事項をあげた。

容易に利用できるために必要な要素は、プロセス標準化、人材育成の提供、人材・会社紹介、技術支援・コンサルタント、各産業が利活用できるような機器毎のユースケース収集・提示、DC の括りとしての導入・IF 収集・提示、規格・検証、設計・導入、運用監視・保守の各プロセスの手順や標準、3GPP や上位アプリケーション、IoT 規格の動向の提供、解説、英訳の提供、ハードウェア/バックボーンネットワークのシェアリングが考えられる。

また、ローカル5G システムは、規格である3GPP の版数により、提供できるネットワーク性能や機能が変わってくるため、各要素において、3GPP 規格版数の明確化をすることも必要であると考えた。

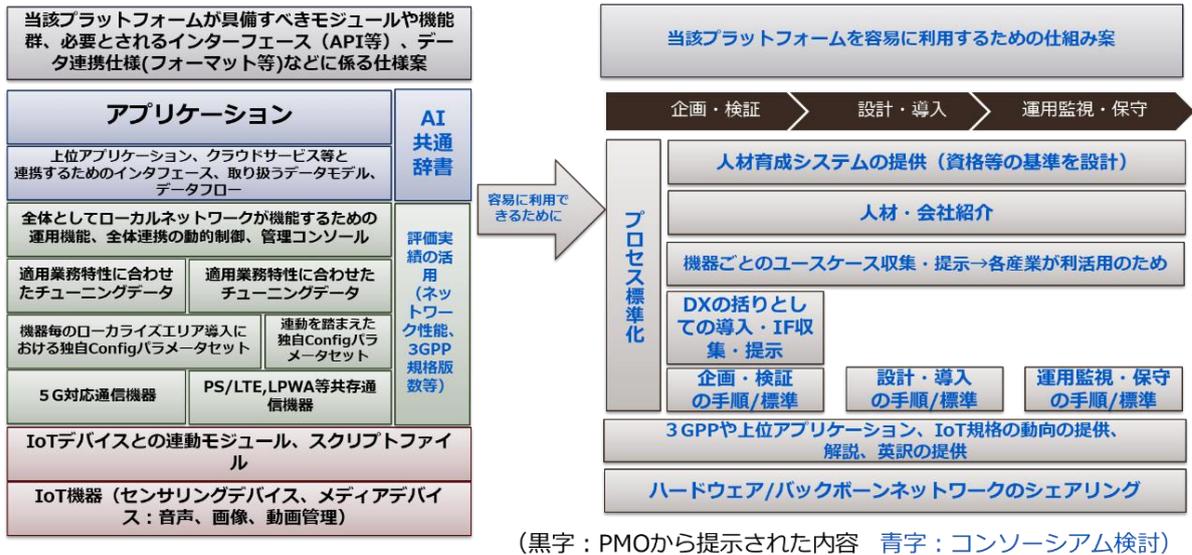


図 6.4.2-8 共同プラットフォーム機能必要事項

6.5 まとめ

実装・横展開に向け、前橋市における遠隔型自動運転の実現、そこから整理される事業モデル、普及モデルについて整理した。現在では、道路交通法の改正によって、公道におけるレベル3相当の自動運転車両の走行が認められた。しかし、遠隔型自動運転の実現に向けては、「自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準」に定められるとおり、通常車両の停止距離と同等の距離で停止が出来る速度以下の走行によって、安定した通信環境における安全走行が確認されること求められ、地域交通事業者の求めるバス運転手不足といった課題解決のためには、安全確保の仕組みが確立した後、一路線ずつ、複数台の遠隔監視・操縦管制を行うことが出来るよう、引き続き検証を行う必要がある。

また、当該仕組みの普及、横展開に向けては、導入する走行区間における地域特性に応じて、自動運転システムのカスタマイズ等が発生するとともに、自動運転車両が走行することについての地域理解や、地域におけるリレーションシップの構築等が求められる。

前橋における複数路線の遠隔監視・操縦管制の仕組みが実現した際に、そのコストメリット含め、導入地域との調整や、コンソーシアムの形成、走行環境に適した自動運転のカスタマイズ等、ノウハウの普及が出来ると思定される。

7. 会合等の開催

7.1 前橋5G社会実装プロジェクト 協議会の実施

本調査検討の実施にあたり前橋市を代表とした「前橋5G社会実装プロジェクト」を構成し、事業全体の検討にあたった（図7.1-1（図1.1.3-1を再掲））。



図 6.4.3-1 前橋5G社会実装プロジェクト

5G通信を活用した地域課題の解決に向けて、令和元年11月より協議会を開催し、令和2年7月、本調査検討の実施にあたり、スマートモビリティWGを中心とした自動運転分野において、ローカル5Gを活用した地域課題解決を図ることを決定した（表7.1-1）。

表 7.1-1 協議会の開催内容

日付	協議内容	開催場所
令和元年11月26日（火）	<ul style="list-style-type: none"> 5Gの概要説明 協議会の今後の運営について 	前橋市役所 11階会議室
令和2年7月29日（水）	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5G事業について 提案内容に関する意見交換 	前橋市役所 11階会議室
令和3年2月9日（火）	<ul style="list-style-type: none"> 本調査検討の経過報告 公道実証実験の実施について オンライン視察会の開催について 	書面開催
令和3年3月19日（金）	<ul style="list-style-type: none"> 成果報告について 次年度の構想について 	前橋市役所 4階庁議室

7.2 スマートモビリティWG

前橋5G社会実装プロジェクトのワーキンググループの一つである、スマートモビリティWGでは、前橋市の自動運転における5Gを利活用した課題解決にむけて協議を行ってきた。ローカル5G、及び自動運転システムの進捗や課題の把握、また前橋市が実施する前橋版MaaS事業との調整等を行った（表7.2-1）。

表 7.2-1 スマートモビリティ WG の開催内容

日付	協議内容	開催場所
令和2年10月12日(月)	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5G 基地局設置に向けた状況確認 課題解決システムの状況確認 公道実証実験の実施について 	オンライン開催
令和2年11月13日(水)	<ul style="list-style-type: none"> ローカル5G 事業について 提案内容に関する意見交換 	CRANTS 2階会議室
令和2年12月10日(火)	<ul style="list-style-type: none"> 自動運転車両の架装について 機器設置に向けた日本中央バスとの調整について 前橋版 MaaS との実証の兼ね合いについて 	CRANTS 2階会議室
令和3年2月2日(火)	<ul style="list-style-type: none"> 公道実証実験について 今年度の報告書について 	オンライン開催

7.3 自動運転バス 公道実証セレモニー

令和3年2月15日から28日までの約2週間にて、自動運転バスの公道走行実証が実施され、その開始に先立ち「自動運転バス実証実験運行開始セレモニー」が執り行われた。自動運転バスの体験とともに、CRANTS の遠隔管制室における実証概要、課題解決システムの説明を行った（図 7.3-1、7.3-2）。

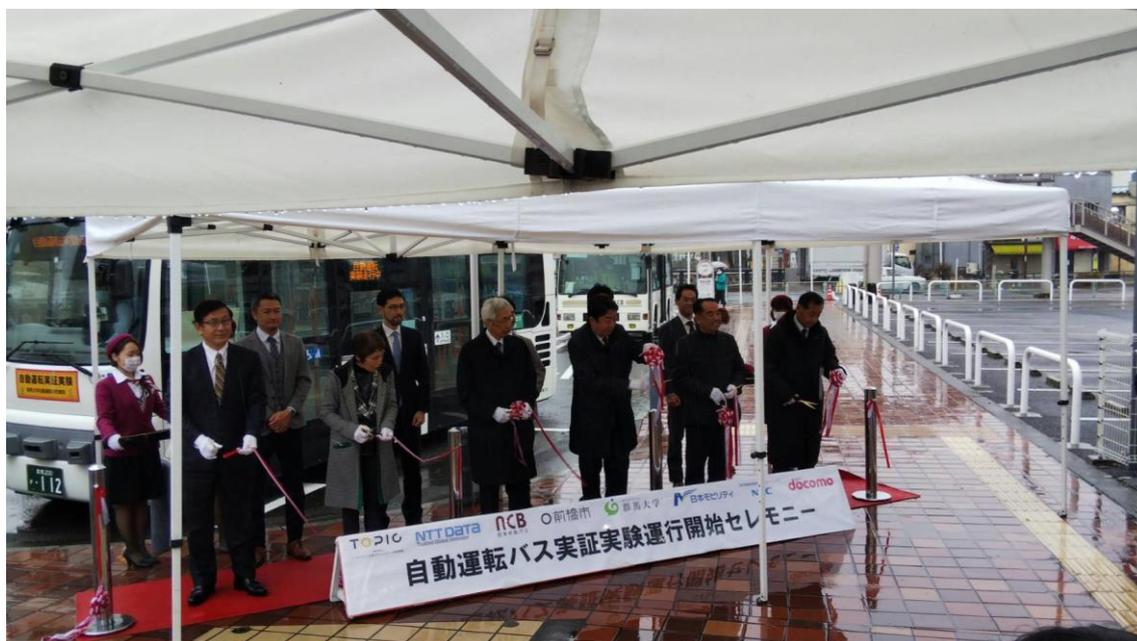


図 6.4.3-1 自動運転バス実証実験運行開始セレモニーの様子



図 6.4.3-2 遠隔管制室視察の様子

8. まとめ

本調査検討では、ローカル5Gを活用することにより、「5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間）」「5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間）」「5G対応型車両制御直結ソリューション（車両－路側間）」の3つの課題解決システムによる自動運転車両の安全確保支援の仕組みの実現に向け、検証を実施した。

5Gの利用によって、「5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間）」では、高精細映像（フルHDを2画面）とレーザーセンサーの情報を伝送することによる、遠隔管制室における歩行者等の識別距離を45mから100mに延伸させることに成功した。また、「5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（路側－遠隔管制室間）」では、高精細映像（フルHDを1画面）とレーザーセンサー情報を伝送するとともに、AIによる画像処理を加えることによって、車載カメラの視点から死角となる位置の交通状況を遠隔管制室において把握することが可能となった。5G対応型車両制御直結ソリューション（車両－路側間）では、エッジコンピューティングを利用した路側センサーからの情報をもとに、車両の停止指示を行うソリューションを開発し、対向車両の検出から0.4秒以内に停止指示信号を伝送することが確認された。それぞれの課題解決システムについては、当初想定した効果を確認することができ、遠隔監視・操作者のヒアリングからは、5G通信を活用した、高精細映像の確認や、レーザーセンサー情報によって、車載カメラから多くの情報を取得できること、また自動運転車両の死角となる箇所、車両右折時における見通し外箇所などから接近する歩車の情報を取得できることで、安全確保を行うことが出来ると確認することが出来た。

今後は、5Gを活用した課題解決システムの実利用による、自動運転バスの実装に向けて検証を続けていくこととなり、その際には、5G基地局の敷設計画が大きく影響することとなる。自動運転における5Gの利用において、キャリア5Gの公衆網を活用する場合には、遅延等の問題が生じる恐れがあり、ネットワークスライシング等の技術が求められる場合がある。一方、ローカル5Gの利用に向けては、他者土地利用の場合には、移動局としての利用が認められていないことから、自動運転バスへの利用については、現状では局地的な利用に留まることが想定される。

しかし、前橋市の抱えるバス路線の維持困難や、バス運転手の不足といった課題の解決に向けては、公共交通網の再編による移動の効率化に加え、遠隔型自動運転の実装が求められている。令和4年度に向け、課題解決システムを含む自動運転技術の向上の他、走行環境の整備など、運用面における課題に対処していくことで、遠隔型自動運転の実装に向けた検証を継続していく。さらに、その後は、複数路線の遠隔監視・操縦管制が行われることで、バス運転手の担い手不足といった様々な課題解決につながるサービス提供ができることを期待する。

9. 参考資料

- (1) 前橋市：「地域公共交通網形成計画（平成 30 年 3 月）」
- (2) 前橋市：「第七次前橋市総合計画」
- (3) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：「官民 ITS 構想・ロードマップ 2020」
- (4) 警察庁：「自動運転の公道実証実験に係る道路使用許可基準（令和 2 年 9 月）」
- (5) 警察庁：「自動走行システムに関する公道実証実験のためのガイドライン（平成 28 年 5 月）」
- (6) 国土交通省自動車局：「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン（令和元年 6 月）」
- (7) 総務省：「令和 2 年度版 情報通信白書」
- (8) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：「自動運転に係る制度整備大綱（平成 30 年 4 月 17 日）」

報道発表

- (1) 令和 3 年 2 月 16 日、「前橋市、自動運転バスの実証実験 顔認証やローカル 5G 活用」、東京新聞 web、<https://www.tokyo-np.co.jp/article/86222>
- (2) 令和 3 年 2 月 16 日、「5G 活用の自動運転バス 前橋市などが国内初の実証実験 22 年度実用化へ、顔認証技術検証も 前橋市と群馬大など」、毎日新聞、<https://mainichi.jp/articles/20210216/k00/00m/040/031000c>
- (3) 令和 3 年 2 月 15 日、「自動運転バスへ「顔パス」乗車、前橋市で実験進む」、日本経済新聞、<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOFB05DRF0V00C21A2000000/>
- (4) 令和 3 年 1 月 28 日、「“顔パス”で乗車 OK 前橋市 5G 利用の自動運転バスが実証実験へ」、上毛新聞、<https://www.jomo-news.co.jp/news/gunma/politics/270067>
- (5) 令和 3 年 1 月 17 日、「NEC や群馬大、2 月に 5G 活用の自動運転バス公道実証 前橋駅～中央前橋駅区間で」、Yahoo! ニュース、<https://news.yahoo.co.jp/articles/8a27344a9a1c1a8921a4ec7f11bb39d9725dc9a0>
- (6) 令和 3 年 1 月 16 日、「2022 年にレベル 4 社会実装へ、前橋で自動運転バスの実証実験 5G 技術を活用」、自動運転 LAB、https://jidounten-lab.com/u_maebashi-5g-autonomous-bus-2022
- (7) 令和 3 年 1 月 13 日、「NEC ら、前橋市で 5G を活用した自動運転バスの公道実証へ」、ZDnetJapan、<https://japan.zdnet.com/article/35164937/>
- (8) 令和 3 年 1 月 8 日、「NEC、自動運転「レベル 4」の公道実証 5G 対応のバス運行」、ITmediaNEWS、<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2101/08/news116.html>
- (9) 令和 3 年 1 月 8 日、「5G 技術活用の自動運転バスの公道実証―群馬県前橋市」、Tech +、<https://news.mynavi.jp/article/20210108-1627617/>
- (10) 令和 2 年 12 月 17 日、「自動運転の実証実験で活用されるデータ通信規格「ローカル 5G」とは？（深掘り！自動運転×データ 第 45 回）」、自動運転 LAB、

https://jidounten-lab.com/u_local5G-45

(11) 令和2年9月23日、「群馬大など自動運転バスの実験加速 前橋で5G活用」、日本経済新聞、<https://www.nikkei.com/article/DGXMZ064142160T20C20A9L60000/>

