

令和3年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

ローカル5Gを活用した遠隔型自動運転バス社会実装事業

成果報告書

令和4年3月25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

<b>1. 実証概要</b> .....	<b>1</b>
1.1 背景・目的 .....	1
1.2 実証の概要 .....	2
<b>2. 実証環境の構築</b> .....	<b>4</b>
2.1 実施環境 .....	4
2.1.1 試験路実証環境 .....	4
2.1.2 公道実証環境 .....	5
2.2 ネットワーク・システム構成 .....	7
2.2.1 設置場所・実証環境 .....	7
2.2.2 ネットワーク・システム構成図 .....	10
2.2.3 基地局無線部特性 .....	12
2.2.4 コアネットワーク性能 .....	15
2.2.5 端末の概要 .....	17
2.3 システム機能・性能・要件 .....	18
2.4 免許及び各種許認可 .....	20
2.4.1 無線局免許 .....	20
2.4.2 道路使用許可 .....	22
2.5 その他要件 .....	22
2.6 実証環境の運用 .....	22
<b>3. ローカル5 Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）</b> .....	<b>24</b>
3.1 実証概要 .....	24
3.2 実証環境 .....	25
3.3 実証内容 .....	27
3.3.1 ローカル5 Gの電波伝搬特性等の測定 .....	27
3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化 .....	149
3.4 参考文献 .....	181
<b>4. ローカル5 G活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）</b> .....	<b>182</b>
4.1 実証概要 .....	182
4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標 .....	183
4.2.1 実装シナリオ .....	184
4.2.2 昨年度の課題と継続対策 .....	188
4.2.3 実証目標 .....	189
4.2.4 遠隔型自動運転システムの安全確保の考え方 .....	191
4.3 実証環境 .....	192
4.4 実証内容 .....	194

4.4.1 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証.....	203
4.4.2 ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証.....	246
4.4.3 ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討.....	262
4.4.4 継続利用の見通し・実施計画.....	276
4.4.5 実環境における遠隔型自動運転の1:n運用の実施に向けた課題.....	282
<b>5. 普及啓発活動の実施.....</b>	<b>284</b>
5.1 映像制作への協力.....	284
5.2 実証視察会の実施.....	284
5.3 その他普及啓発活動.....	287
<b>6. 実施体制.....</b>	<b>288</b>
<b>7. スケジュール.....</b>	<b>290</b>

# 1. 実証概要

## 1.1 背景・目的

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、我が国の経済成長に不可欠な society5.0 を支える基幹インフラとして、様々な産業分野での活用が期待されている。このうち、地域の様々な主体が自らの建物や敷地内でスポット的かつ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（以下「ローカル5G」という。）は、令和元年12月24日に制度化、令和2年12月18日周波数帯域が拡充され、農業や製造業、建設現場等様々な分野における課題の解決や新たな価値の創造への活用、ポストコロナにおける「新たな日常」の構築、デジタルトランスフォーメーションの推進にも寄与することが期待されている。

国（総務省）では、5Gの特徴を最大限に享受し、様々な利用環境におけるローカル5Gの活用ニーズを満たせるよう、ローカル5Gのより柔軟な制度の実現及び低廉かつ安心安全なローカル5Gの利活用の実現に向け、令和2年度から、現実の様々な利用場面を想定した多種多様な利用環境下において、電波伝搬等に関する技術的検討を実施するとともに、ローカル5G等を活用したソリューションを創出する「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証（以下「開発実証事業」という。）」に取り組んでいる。また、開発実証事業を通じ、2030年頃に見込まれる「Beyond 5G」の実現に向け、ローカル5G等の産業・公的利用の促進により、Beyond 5G ready な環境づくりに向けた成功のモデルケースを多数創出することも合わせて期待されている。令和2年度開発実証事業では、ローカル5G等を活用したソリューションの創出に資する19件の実証事業が実施され、成果が取りまとめられ、令和3年度の開発実証事業の実施方針とともに公表されたところである。

群馬県前橋市は、過度に自動車に依存した社会であり、公共交通による交通手段分担率の低迷が大きな課題となり、そこから派生する財政負担問題、インフラの老朽化に伴う持続化検討、高齢者における事故増加、経済活動への影響の懸念、環境問題等多くの課題を生んでいる。そこで前橋では人口減少や少子高齢社会に対応した長期的な視点に立った持続可能なまちづくりを推進するため、多様な交通手段を選択することが出来る公共交通ネットワークの再構築を図る「前橋市地域公共交通計画」を策定している。公共交通の問題点の一つとして、中心市街地における公共交通が挙げられており、「公共交通による、まちなかの回遊性の向上」を目標に個別施策が展開されている。官庁エリア、中心市街地、鉄道駅、大型商業施設を接続する都心幹線を設定し、各エリアをつなぐ主たる交通手段として路線バスが想定されているが、その充実のために生じる課題として運転事業者のドライバー不足、運用コストの低減が必須且つ喫緊の課題となっており、複数事業者の共同運行および自動運転バスの導入等がその解決策として掲げられ、自動運転バスについては、令和4年度の社会実装を目標に事業が推進されている。

令和2年度においては、総務省の「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等の技術的条件及び利活用に関する調査検討の請負（自動運転車両の安全確保支援の実現）」の事業において上記課題を解決するためにローカル5Gを利活用した遠隔監視、及び路車間協調通信の課題解決システムについて検証を行い、ローカル5Gを活用した課題解決システムによって高精細映像の確認やレー

ザーセンサー情報によって多くの情報取得を可能とするとともに、自動運転車両の死角、見通し外箇所の歩車情報を取得できることで、安全確保支援に寄与することを確認した。

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解決に向け、公共交通網の再編による移動の効率化に合わせ遠隔型自動運転の実装が求められており、本開発実証事業においては、令和2年度の実証で明らかになった新たな課題の解決に取り組むと共に、ローカル5Gを活用した自動運転バスソリューションについて、着実かつ早期の社会実装を目指して実証に取り組んだ。自動運転バスの社会実装においては当該区間の全走行箇所を5G化することが望ましいとはいえ、自立的な運用モデルを考えた場合には不可能であることから、一般的な直線道路等の通常区間はLTEによる運行を行い、最も複雑な走行環境（変則の五差路、バス、タクシーの乗り入れ、一般車両の乗り入れ、歩行者の横断等、不確実性の高い多数の要素）であり、自動運転走行が困難な上毛電鉄中央前橋駅ロータリー付近についてローカル5G通信利活用による制御を行った。また、自立運用モデルを想定した場合には安全性と並行してコストメリットを高める必要があり、管制官が複数の自動運転車両に対して遠隔監視・操作・操縦を行う（1:n運行）が必須の要件となる。この運行スタイルを社会実装する場合、遠隔管制者の負担を軽減する観点から動画解析、センサーデータ解析等の高度で高速な情報処理技術の活用が必須要件となることから、最も運行の難しい中央前橋駅においてローカル5Gを用いた遠隔監視・操作・操縦を実現することが社会実装上のマストの要件となり、本実証を通じその実現可能性を高めるべく実証を行った。

また、この成果は他の地方都市においても多くの同様の事例が想定されることから、地方都市型ローカル5G自動運転バスソリューションとして横展開に寄与していくものと期待される。

なお、本実証で目指す社会実装のビジョンは「遠隔管制型自動運転バス」であり、国土交通省と経済産業省が実施している「自動走行ビジネス検討会」では次期プロジェクトとして令和4年度目途にエリアと車両を限定し、遠隔監視のみで自動運転サービスの実現を目指すとしており、当プロジェクトは政府の方針に沿った現実的な社会実装のビジョンであると考え。自動走行ビジネス検討会では、競争領域と協調領域を仕分けし、協調領域にはインフラや技術だけでなく、社会受容性や安全性評価も含まれており、本実証においてもそれらの指針、方向性に沿った実証を行うこととしている。また、協調領域の更なる深化・拡大の中では、ODDの類型化、遠隔監視等人の関与の在り方、レベル4サービスを提供する関係者間の役割分担の在り方等が謳われており、本実証の成果がそれら国の推進体制に対し、有益な実証成果を提供できるものと考えている。

本実証で目指す自動運転社会実装の在り方は、オーナーカーの自動運転走行とは目指す世界観が異なっており、バス車両そのものの自律的な安全機構もさることながら、多層的な安全確保対策、輻輳的な通信手段の確保などローカル5Gの優位性を必要とするソリューションであり、且つ無線通信区間を含むエンド to エンドの高速通信を目指すものとして位置づけられる。

## 1.2 実証の概要

令和2年度実証事業では、ローカル5Gの性能等について評価・検証が行われたところ、

通信品質の安定性や周辺技術や機器の性能との連携等、ローカル5Gを活用したソリューションとして更なる向上や改善の必要性が指摘された。また、ローカル5Gの普及展開の観点からは、ユーザ企業等が求める経済性や費用対効果、ビジネスモデルの面においても課題が顕在化しており、実装性を高めるための一層の工夫が求められた。

令和3年度開発実証事業では、令和2年度実証事業において明らかになった課題等を踏まえ、電波伝搬等の詳細なデータの取得やローカル5G等を活用したソリューション創出・実装に向けた実証を行い、今後考えられるローカル5Gの技術基準等の改定の方向性、技術的課題の検討、ローカル5Gを活用した自動運転バスソリューションの自立運用モデルの検証、同モデルの普及・横展開に向けた課題の解決方策等について考察を行った。

前橋市では、令和4年度における上毛電鉄中央前橋駅 - JR 前橋駅間の遠隔型自動運転バスの社会実装を計画し、その後段階的に複数台での検証を経て、最終的に市内での複数台同時運用をすることを検討している。当該区間については、同市において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回遊性を高めるために改善することが必要であるとしている。遠隔型自動運転の実現のために、令和2年度実証では、ローカル5Gを活用した課題解決システムによって、高精細映像やレーザーセンサー情報等、多くの情報を低遅延で伝送することを検証し、自動運転車両の死角や見通し外箇所の歩車情報を確認できることが安全確保支援に寄与することを確認した。ロータリー等の複雑環境において遠隔型自動運転を実装するためには、ローカル5G等を活用することが必要であり、かつキャリア5Gの全国敷設計画が不明であること、共用によって帯域が不安定になることも踏まえ、上毛電鉄中央前橋駅ロータリー環境を、前橋市の自己土地としてローカル5Gエリア化することを検討しており、本実証においても当該エリアをローカル5G化し実証を行った。

実証では、既に令和2年度実証で設置した群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センターの試験路におけるローカル5G基地局も併用し、実装道路を想定した模擬的環境を構築、精緻な技術実証を行った。その後、その成果も踏まえ、実際の公道実証（上毛電鉄中央前橋駅⇄前橋駅間のシャトルバス）を行った。公道実証では中央前橋駅においてローカル5G基地局を新設し、管制官1人に対して2台のバスを運行し、多様なケースを想定した技術実証、課題実証を行った。また自動運転バス走行における社会受容性を高める観点から、公道実証の一部では一般市民の自動運転バスへの乗降も実施した。

また、前橋市では本実証における自動運転バスソリューションの社会実装も含め、自家用車に頼らない多様な交通モードの提供と利便性の高い検索、予約、決済などを推進する観点から前橋版のMaaS環境「MaeMaaS」の推進を図っており、スーパーシティ構想や国交省、経産省のスマートモビリティチャレンジなど社会実装に向けた交通事業の推進を図っている。本実証で運行するローカル5Gを用いた自動運転バスソリューションにおいても、その運行データをMaaS環境にエクスポートし、他の交通モードのデータと合わせトラフィックデータマネージメントの観点から総合的に分析することを本実証外としても将来的に前橋市における総合的な交通政策の一部として想定している。

## 2. 実証環境の構築

本開発実証事業では以下の内容に沿って実証環境を構築した。

本開発実証事業において実証する環境について記述する。

環境は、以下2カ所である。

(1) 試験路実証環境

群馬大学 次世代モビリティ社会実装研究センター（以下、「CRANTS」とする）

(2) 公道実証環境

上毛電鉄 中央前橋駅前

### 2.1 実施環境

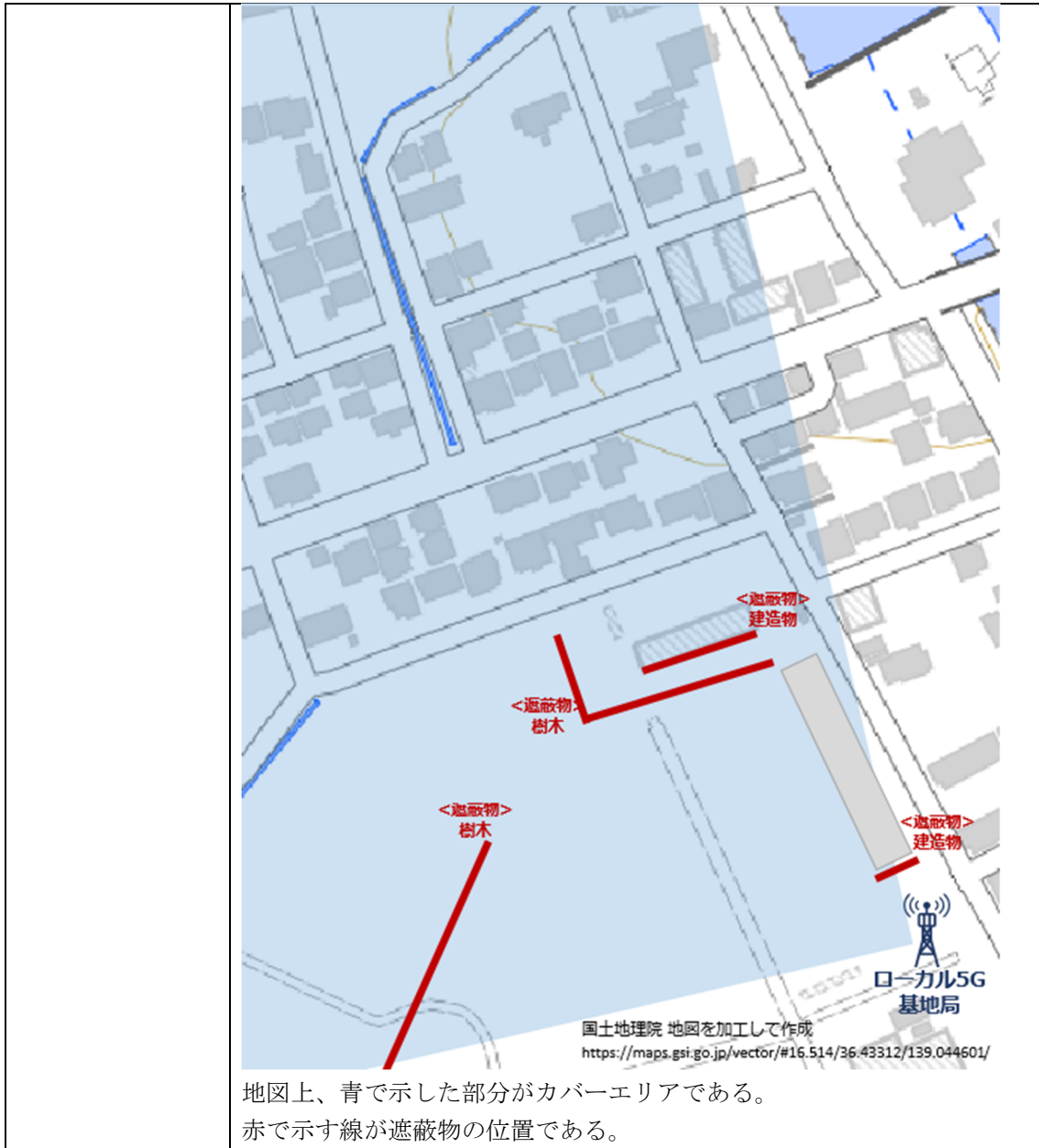
#### 2.1.1 試験路実証環境

試験路実証環境である、CRANTS では、可動式の道路要素を備えた約 6,000 m<sup>2</sup>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、白線をすべ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となるよう移動させることで、本開発実証で確認すべき複数の技術課題に対応する実証実験を実施することが可能である。自動運転に関する社会実装研究が進む研究機関であり、多くの産学連携事業を受け入れる素地があるとともに、全国への普及展開の拠点となり得る。

技術実証の観点から、基地局近隣は開放地と区分できるが、基地局から 100m 程度離れた地点では郊外地として区分できるため、S の補正值の検証が可能である。

表 2-1 試験路実証 実証環境

項目	内容
実施場所	屋外のみ
地形	平地のみ
実証を行う場所	群馬県前橋市荒牧町4丁目2 群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センター（CRANTS） （群馬大学荒牧キャンパス内）



### 2.1.2 公道実証環境

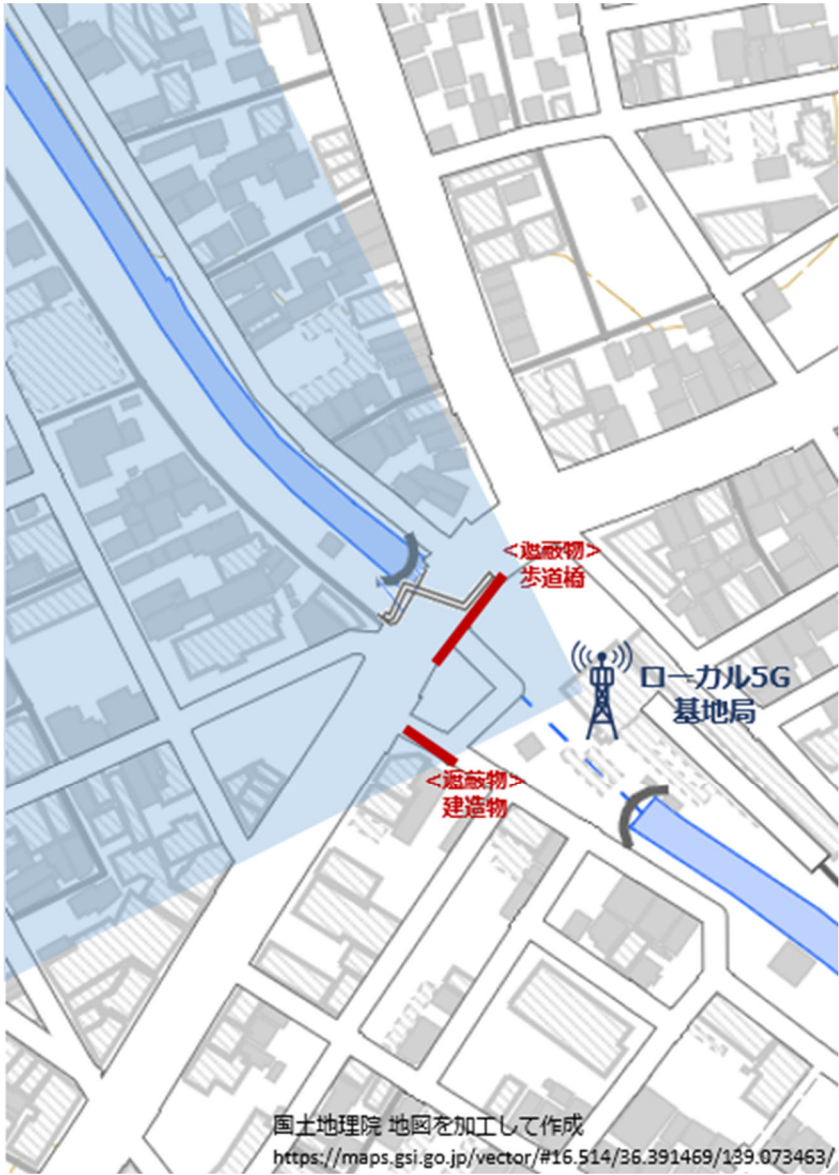
本開発実証事業における公道実証を行う上毛電鉄中央前橋駅から JR 前橋駅のシャトルバス区間は、前橋市の地域公共交通計画に則り、同市の中心となる商店街につながるための駅前通りである区間であり、将来的には都心幹線として市内の回遊性を高めるために改善を検討していた。しかし、バスの運転手不足や人口減少による市税収入減少が見込まれることから、将来にわたって現行のバス路線を維持することが困難であることが予想されることから、遠隔型自動運転技術等導入による運行コストの減少や、運転手不足の補完に向けた対処が必要であった。ローカル5G基地局を設置する上毛電鉄中央前橋駅では、平成30年度より自動運転実装に向けた検証が実施され、これまでの実績から地域住民の受容性が高く、産学官連携の体制が整っているとともに、自動運転バスの営業運行を国内で初めて成功



させるなどの実績を持っている。

技術実証の観点から、上毛電鉄中央前橋駅周辺では基地局近隣は開放地と区分できるが、基地局から数十 m 離れた地点では市街地と区分できる。このため、S の補正値の検証が可能である。さらに、広瀬川が基地局からの直線方向に流れるため、水面の電波伝搬への影響を定量化し、K の補正値の検証が可能である。

表 2-2 公道実証 実証環境

項目	内容
実施場所	屋外のみ
地形	平地、水面
実証を行う場所	群馬県前橋市三河町1丁目3  <p>国土地理院 地図を加工して作成  <a href="https://maps.gsi.go.jp/vector/#16.514/36.391469/139.073463/">https://maps.gsi.go.jp/vector/#16.514/36.391469/139.073463/</a></p> <p>地図上、青で示した部分がカバーエリアである。  赤で示す線が遮へい物の位置である。</p>

## 2.2 ネットワーク・システム構成

### 2.2.1 設置場所・実証環境

実証のためのローカル5G基地局は以下2カ所に設置した。  
なお、設置場所はすべて屋外のため見取り図は省略する。

#### (1) CRANTS

設置場所のネットワーク設備は、以下の通り。

- ・ローカル5G基地局：1局
- ・固定 UE                   ：2台
- ・可搬 UE                   ：2台（実証用の自動運転バスに設置）

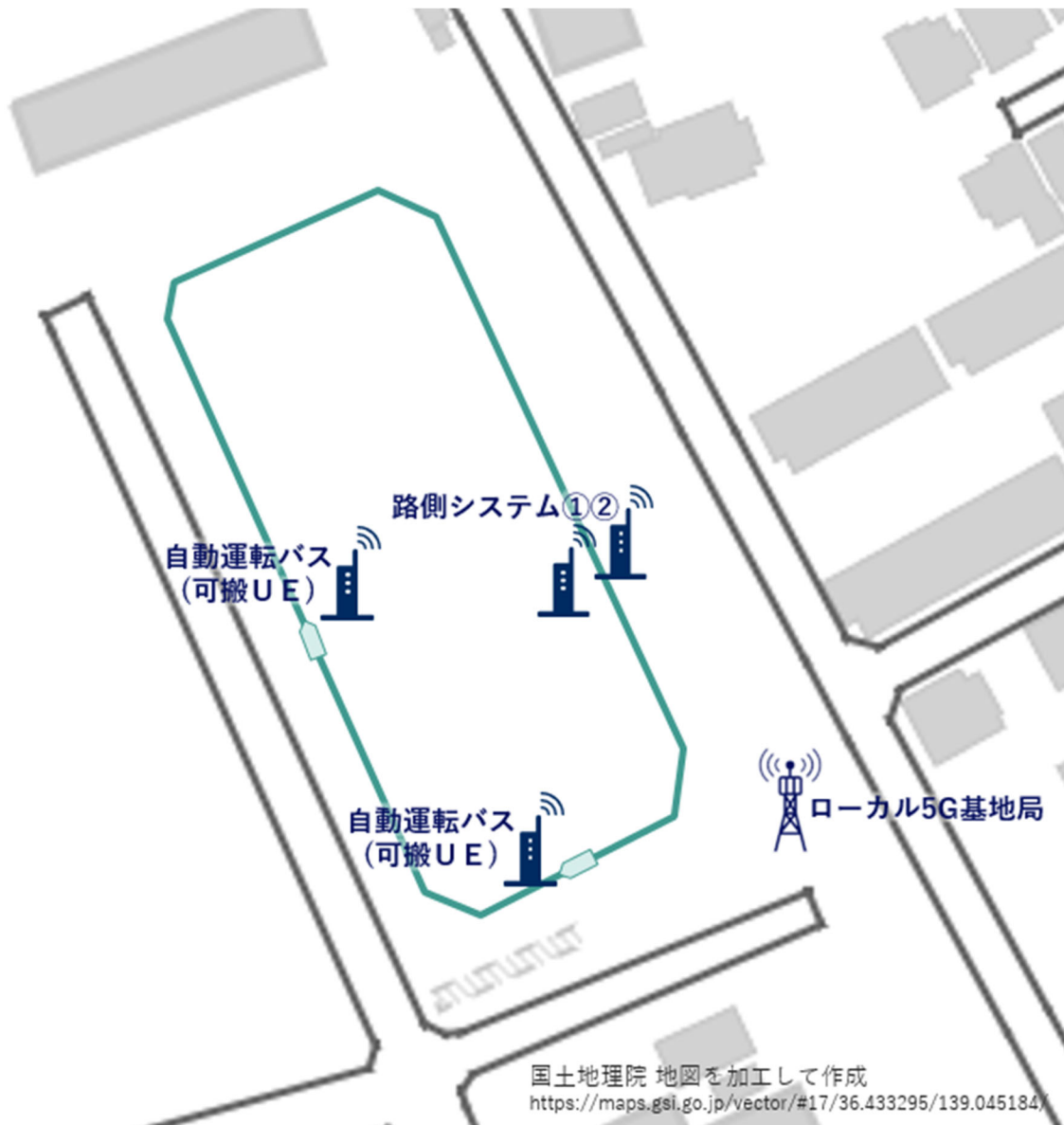


図 2-1 試験路実証 実証環境

(2) 上毛電鉄中央前橋駅前ロータリー

設置場所のネットワーク設備は、以下の通り。

- ・ローカル5G基地局：1局
- ・固定UE：2台
- ・可搬UE：1台（実証用の自動運転バスに設置）



図 2-2 公道実証 実証環境

なお、各々のローカル 5G システム（基地局）の概要は以下の通りである。

表 2-3 ローカル 5G システム (基地局) の概要

試験路実証公道実証	試験路実証	公道実証
製造ベンダ	Foxconn	Foxconn
台数	1 台	1 台
設置場所 (屋内/屋外)	屋外	屋外
同期/準同期	準同期	準同期
UL : DL 比率	1:1	1:1
周波数帯	4.7GHz 帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA	SA
UL 周波数	4.8~4.9GHz	4.8~4.9GHz
DL 周波数		
UL 帯域幅	100MHz	100MHz
DL 帯域幅		
UL 中心周波数	4.85GHz	4.85GHz
DL 中心周波数		
UL 変調方式	64QAM	64QAM
DL 変調方式		
MIMO	2×2MIMO	2×2MIMO

## 2.2.2 ネットワーク・システム構成図

本実証研究では、CRANTS 試験路と上毛電鉄中央前橋駅前の屋外 2 カ所でそれぞれ 4.8-4.9GHz 帯域を利用した SA(Stand Alone)方式のローカル 5 G 基地局を構築した。関連装置 (CU/DU、UPF など)はそれぞれのフィールド付近の建屋に設置し、インターネット回線を通じて CRANTS 管制センターとクラウド 5GC を提供する AWS に接続した。

課題解決システムを提供する自動運転バスや路側システムも同じフィールドで稼働し、ローカル 5 G や LTE 経由で CRANTS 管制センターと接続した。

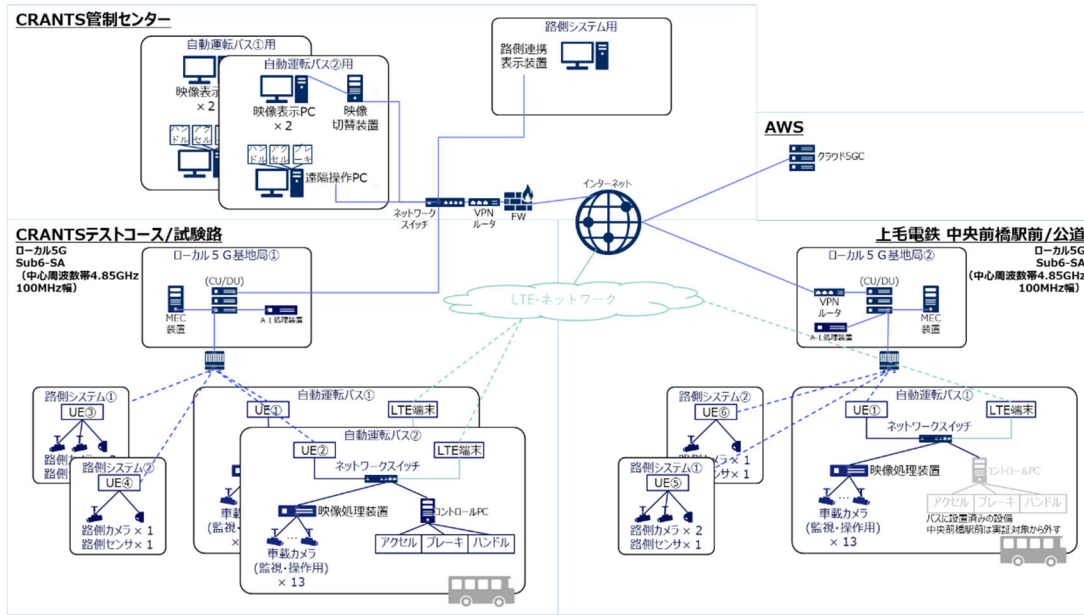


図 2-3 ネットワーク・システム構成図

ローカル 5 G 基地局に接続する課題システムの機器を以下に示す。

なお、性能改善のためローカル 5 G 関連の設備以外の構成は、既存の機器を継続利用している点から効率的な構成と考える。

表 2-4 構成機器一覧

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 (監視・操作用)	26		○	
	映像処理装置	2		○	
	コントロール PC	2		○	
	UE	2	○		
	レイヤー 2 スイッチ	2		○	
路側システム (4セット)	5 G 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) (2セット)				
	路側カメラ	4		○	
	路側センサー	4		○	
	5 G 対応型車両制御直結ソリューション (車両ー路側間) 用 (2セット)				
	路側カメラ	2		○	
遠隔管制室	映像表示 PC	4		○	
	遠隔操作 PC	2		○	
	路側連携表示装置	2		○	
	映像切替装置	1		○	
	レイヤー 2 スイッチ	1		○	
5 G ネットワーク	ローカル 5 G 機器一式 (アンテナ・基地局・コア装置・レイヤー 2 スイッチ)	2	○		
	MEC サーバ	2		○	

### 2.2.3 基地局無線部特性

基地局無線部特性を、以下に示す。

表 2-5 基地局無線部特性

分類	機器
無線局数	2
周波数帯	中央周波数帯 4.85GHz
通信方式	ローカル 5 G (Sub6-SA)
帯域幅	100MHz 幅

ローカル 5 G 環境を構成する機器を、以下に示す。

表 2-6 構成機器一覧

品名	数量	設置形態	調達先	役割	機能
BBU (CU/DU)	2	固定	NEC	5 G 基地局 (集約部/デジタル部)	基地局制御 ベースバンド処理
4.7GHz 帯 5 G RU	2	固定	NEC	5 G 基地局(無線部)	5 G 基地局の無線機能
UE	6	固定 / 可搬	NEC	5 G 対応 通信端末	デバイスの 5 G 通信接続
L3SW	2	固定	NEC	ネットワーク中継機器	5 G システムとサーバの中継
GPS アンテナ (BBU)	2	固定	NEC	GPS 受信アンテナ	同期
GPS アンテナ(RU)	2	固定	NEC	GPS 受信アンテナ	同期
UPF(クラウド 5GC 用)	2	固定	NEC	5 G コアネットワーク	端末のモビリティ管理 データパケット転送

以下、ローカル 5 G 基地局設備の諸元を示す。

表 2-7 BBU(CU/DU) 諸元

諸元/動作条件等	内容	
型番	FHES-5211	
メーカー	Foxconn	
寸法・筐体	87(h) x 446(w) x 711(d) mm (2U)	
質量	約 30kg	
電源	AC100-240V, 50/60Hz	1+1 Redundancy
消費電力	Max.850W	
運用温度	-5℃ ~ 40℃	
CPU	2 x Skylake 6148	2 x 20C
メモリ	128GB (24 RDIMM, up to 768GB)	
HDD/SSD	NVMe/SATA 960GB SSD + Up to 12 HDD driver	
Network	2 x GbE RJ45	

	2 x 10GbE SFP+ or 2 x 25 GbE SFP+	
PCIe Expansion	2 x PCIe 3.0 x 16 FHHL (GPU/FPGA) 2 x PCIe 3.0 x 8 LP (VPU/NIC/QAT)	
I/O	4 x USB3.0 port	
BMC	Y (IPMI2.0, with VGA)	
外観		

表 2-8 4.7GHz 帯 5 GRU 諸元

諸元/動作条件等	内容	
型番	RHON-7901	
メーカー	Foxconn	
寸法	389.6(L) x 389.6(W) x 134.9(H) mm	
質量	12kg 以下	
電源電圧	-48V DC	
消費電力	100W	
運用温度/湿度	-40 °C ~ +55 °C / 5 ~95%	
防塵・防水	IP65	
無線アクセス方式	5 G NR Rel 15	
対応周波数 帯域	4.8 ~ 4.9 GHz (n79)	
送信電力 (空中線電力)	24dBm per port (8 ports)	
アンテナタイプ	Array Antenna ( Dual Polarized Antenna ) ( 8T8R, 4 data streams)	
Interface	1 SFP+/ SFP 28, 1 RJ45 (1Gb), 1 RJ45(10Gb), Micro USB.	
チャンネル帯域幅	100MHz	
外観		

表 2-9 GPS アンテナ(BBU) 諸元

諸元/動作条件等	内容	
型番	L1G1A-STD	
メーカー	GPS Source	
寸法	134(h) x 89(w) x 89(d) mm	
質量	0.27Kg	




アンテナ利得	3dBi 以上	
アンプ利得	30dB 以上	
コネクタ種別	N Female	
運用温度	-54℃ ~ 71℃	
外観		

表 2-10 GPS アンテナ(RU) 諸元

諸元/動作条件等	内容	
型番	5H-HW-GPS-0D02	
メーカー	Foxconn	
寸法	Φ95×129.3(h) mm	
質量	—	
アンテナ利得	3.2dBic(max)	
アンプ利得	38±4dB	
コネクタ種別	N Female	
運用温度	-30℃ ~ 70℃	
外観		

## 2.2.4 コアネットワーク性能

コアネットワーク性能を次に示す。

表 2-11 コアネットワーク性能


項目	内容
1つの5GCで利用可能な拠点数	20
トラフィック転送性能(1UEあたり)	4Gbps, 1Mpps(1UE時の最大値) ※平均パケット長: 512Byteの前提
接続数(1UPFあたり)	10,000
制御信号	NgAPで100TPS
収容加入者数(5GC)	10,000
同時接続数(5GC)	10,000
DNN数(5GC)	50
gNB数	10,000

表 2-12 UPF(クラウド5GC用) 諸元

諸元/動作条件等	内容	
型番	VEP4600 16 core 64GB 960GB SSD VEP4600	
メーカー	DELL	
寸法	43.7(h) x 434.0(w) x 381.0(d) mm (1U)	
質量	約 7.43kg	
電源	AC100-240V, 50/60Hz	1+1 Redundancy
消費電力	Max.311W, Typ.206.5W	
冷却方式	FAN 強制空冷	
運用温度	0°C ~ 45°C	
運用湿度	5 ~ 90%	
Ether ポート	4×GbE RJ45 2×10GbE SFP+	
外観		

表 2-13 L3SW 諸元

諸元/動作条件等	内容	
型番	ASR-920-12SZ-IM B07004-11082	
メーカー	CISCO	
寸法	44(h) x 444.5(w) x 286.54(d) mm (1U)	
質量	約 6kg	
電源	AC100-240V, 50/60Hz	1+1 Redundancy

消費電力	Max.150W, Typ.130W	
冷却方式	FAN 強制空冷	
運用温度	-40°C ~ 70°C @ 高度 300m	
運用湿度	5 ~ 95%RH (結露しないこと)	
Ether ポート	4 x SFP+, 4 x SFP, 8 x RJ45(1Gbps)	
同期	PTP / IEEE1588v2 (G.8275.2 Profile)を使用	GPS アンテナ 接続によりグ ランドマスタ として動作
外観		

## 2.2.5 端末の概要

端末の概要を次に示す。

表 2-14 UE (NEC マクニカ製) 諸元


諸元/動作条件等	内容	
型番	FG900CS	
メーカー	NEC マグナスコミュニケーションズ	
寸法	55(h) x 195(w) x 125(d) mm	
質量	約 0.7kg	
電源電圧	DC12V	
消費電力	最大 26W	
運用温度	0 °C ~ +40 °C	
防塵・防水	—	
対応周波数 帯域	LTE band : 1/3/8/18/19/28/41/42 5 G band : n77、n79	
送信電力 (空中線電力)	上り 2 Layer 時 : 20.0dBm(ANT_0)、 20.0dBm(ANT_2) 上り 1 Layer 時 : 23.0dBm(ANT_2) 合計 : 23.0dBm/移動局	
スループット(※)	UL:0.1Gbps(n79,SA) DL:1.1Gbps(n79,SA)	
外観		

※スループットは、送受信時の技術規格上の最大値であり、実際の通信速度を示すものではない。

ベストエフォート方式による提供となり、実際の通信速度は、通信環境やネットワークの混雑状況に応じて変化する。

表 2-15 UE (APAL 製) 諸元

諸元/動作条件等	内容	
型番	RAKU	
メーカー	APAL	
寸法	23.5(h) x 72(w) x 119(d) mm	
質量	235g	
電源電圧	DC5V	
消費電力	最大 16W (最大)	
運用温度	-10 °C ~ +45 °C	
防塵・防水	—	

対応周波数 帯域	LTE band : B38/B41 5 G band : n79	
スループット	DL : 2.12Gbps (n79,SA) UL : 0.90Gbps (n79,SA)	
外観	 <p>RAKU ユーザーガイドより引用</p>	

### 2.3 システム機能・性能・要件

本開発実証事業において活用するシステムは、3種類の通信を組み合わせて構成した。

#### ① 車両ー遠隔管制室間の通信

システム機能は、以下のとおりである。

- ・ 自動運転バス内外に設置したカメラの映像を遠隔管制室に伝達する
- ・ 自動運転バス内外に設置したセンサーの情報を遠隔管制室に伝達する
- ・ 遠隔管制室からの制御コマンド（ハンドル、アクセル、ブレーキ）を自動運転バスに伝達する。

機能提供に必要な通信性能は、自動運転バス1台あたり以下のとおりである。

UL : 20Mbps（車両→遠隔管制室）

<カメラ映像>

24ビットカラーFHDカメラ4台の映像をH.264圧縮。圧縮率は1/100前後。  
10fpsで送信を仮定。

$$24 \times (1920 \times 1080) \times 4 \div 100 \times 10 \div (1024 \times 1024) = 18.98\text{Mbps}$$

<センサーの情報>

ネットワーク設計時点で、1Mbps程度。

DL : 100kbps（遠隔管制室→車両）

<制御コマンド>

ネットワーク設計時点で、30fpsでコマンドを定期的に送付する。

送付データは300~500バイト程度と想定。

$$30 \times 400 \times 8 = 93\text{kbps} \approx 100\text{kbps}$$

② 路側—遠隔管制室間の通信

システム機能は、以下のとおりである。

- ・ 路側カメラの映像とセンサーの情報を遠隔管制室に伝達する
  - ・ 伝達の途中、路側カメラの映像に対して AI で情報を付加する。
- 遠隔管制室から路側にデータは送信しない

機能提供に必要な通信性能は、路側カメラ 1 台とセンサー 1 台あたり以下のとおりである。

UL : 5Mbps (路側→遠隔管制室)

<カメラ映像>

24 ビットカラーFHD カメラ 1 台の映像を H.264 圧縮。圧縮率は 1/100 前後。10fps で送信を仮定。

$$24 \times (1920 \times 1080) \times 1 \div 100 \times 10 \div (1024 \times 1024) = 4.74 \text{Mbps}$$

DL : なし (UL 方向のみ)

実証環境①「CRANTS 試験路」でのシステム要件を以下に示す。

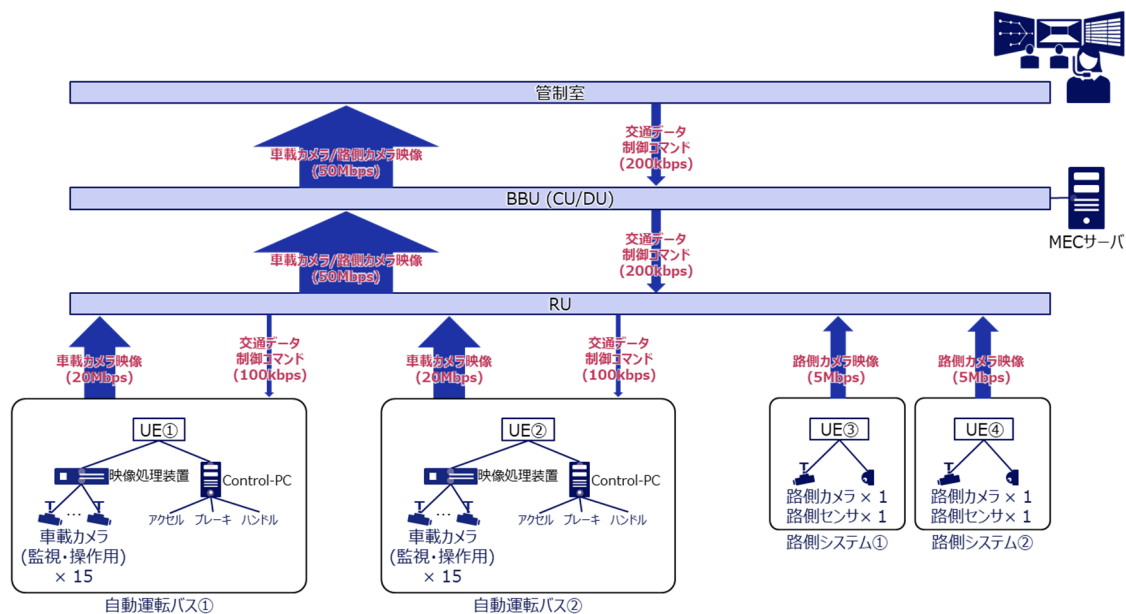


図 2-4 実証環境①「CRANTS 試験路」でのシステム要件

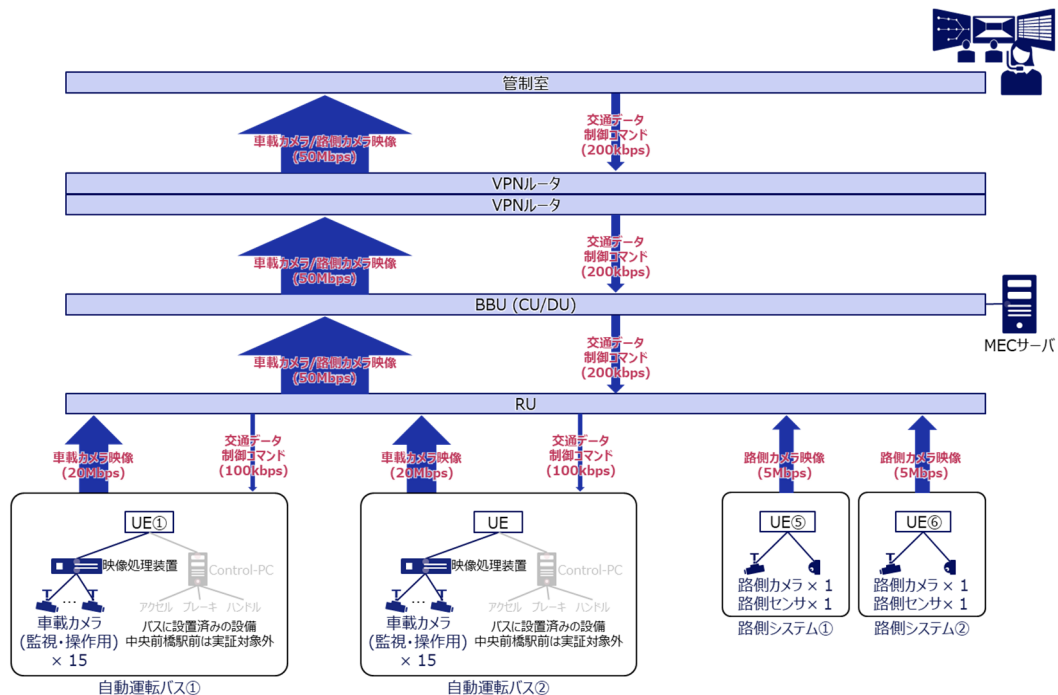


図 2-5 実証環境②「上毛電鉄 中央前橋駅前」でのシステム要件

## 2.4 免許及び各種許認可

### 2.4.1 無線局免許

#### 2.4.1.1 開設理由

実験試験局免許の申請において以下の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CRANTS試験路内（屋外）と上毛電鉄中央前橋駅に構築し、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 無線周波数4.85GHz帯にて、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。

#### 2.4.1.2 無線特性使用希望理由

無線特性使用希望理由を以下に示す。

- ① 4.85GHz帯を希望する理由  
ローカル5Gで今後導入が見込まれる4.85GHzでの電波・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。

#### 2.4.1.3 申請スケジュール

免許申請を以下の表 2-16 の日程で実施した。

- ①免許申請 : 令和3年11月29日
- ②本免許取得 : 令和3年12月10日

	令和3年				令和4年	
	9	10	11	12	1	2
日本電気株式会社 玉川事業場内			(干渉調整) ☆ 総通様ご相談 → (総通本省様確認) ★ 免許申請書提出	★ 免許取得		

表 2-16 申請スケジュール

#### 2.4.1.4 干渉調整

干渉調整の関係各社を表 2-17 に示す。

表 2-17 干渉調整の関係各社

事業者	調整状況
株式会社 NTT ドコモ様	調整完了 (令和3年11月)

※本実証場所にて、干渉調整が必要なキャリア5G事業者はNTTドコモ様以外いないため、NTTドコモ様とのみ干渉調整を行った。

本実験試験局の電波発射までに上記関係各社と、以下の調整項目について運用調整を行い、問題がないことを確認した上で電波発射を行った。

- ・申請する基地局の設置場所、移動範囲、電波発射期間
- ・無線局工事設計 (周波数帯、占有帯域幅・方式、アンテナ利得など)
- ・同期条件
- ・カバーエリア
- ・アンテナパターン



## 2.4.2 道路使用許可

公道での電波測定や実証実験機器の設置において、所定の警察署へ道路許可申請を行い、実証実験を進めることとする。

## 2.5 その他要件

本調査研究で設置・使用するローカル5G関連の機器は、経済産業省「認定開発供給計画（ローカル5G）」により、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和2年法律第37号）に基づく開発供給計画認定を受けていることを確認した。

表 2-18 開発供給計画認定

認定開発供給事業者名	株式会社グレープ・ワン フォックスコン・ジャパン株式会社
開発供給計画認定番号	2021 開 1 総経第 0003 号-1
認定日	令和3年5月13日

当該機器は、実証開始前に日本電気株式会社のラボ内で構築した環境にて事前検証を行った。なお、ローカル5G基地局と外部のネットワーク間は、VPNを確立することでセキュアな環境を実現している。

また、サプライチェーンリスクに対応するため、日本・台湾・米国のサプライヤー製品でシステムを構成した。

表 2-19 ローカル5G機器サプライヤー

機器	製造者（国名）
UPF	日本電気株式会社（日本）
CU	Foxconn（台湾）
DU	Foxconn（台湾）
RU	Foxconn（台湾）
UE	日本電気株式会社（日本）、APAL（台湾）
L3SW	Cisco（米国）

本調査研究において、CRANTS 管制センターと中央前橋駅間の通信はインターネットを経由する。このインターネット経由の通信は、VPN ルータを介してデータを暗号化することでセキュリティを担保している。

## 2.6 実証環境の運用

実証試験の運用にあたり、役割分担と責任の所在は以下の通りとする。

ローカル5G基地局の運用：日本電気株式会社

課題実証：日本モビリティ株式会社

技術実証：日本電気株式会社

試験路の提供、車両提供：群馬大学

公道実証のフィールド提供：前橋市 / 上毛電気鉄道株式会社

### 3. ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

#### 3.1 実証概要

本実証では CRANTS 試験路および上毛電鉄中央前橋駅周辺に構築するローカル5G実証環境において、以下について実施した。

- ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定  
CRANTS 試験路および上毛電鉄中央前橋駅周辺に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。
- 電波伝搬モデルの精緻化  
電波法関係審査基準（平成13年総務省訓令第67号）が規定するエリア算出法（以下、「エリア算出法」という。）に基づく基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域と実測値の比較検証、現実の利用環境に近い電波伝搬モデル（算出式、パラメータ）の検討を行った。

表 3-1 技術実証の概要

項目			該当 (○、×)	
技術実証の 実施環境	周波数帯	4.7GHz 帯	○	
		28GHz 帯	×	
		キャリア5Gの周波数帯	×	
	屋内外	屋内	×	
		屋外	○	
		半屋内	×	
	周辺環境	都市部	○	
		郊外	○	
		開放地	×	
		その他	×	
	テーマ別 実証	I.電波伝搬モデルの 精緻化	Kの精緻化	○
			Sの精緻化	○
Rの精緻化			×	
その他の精緻化			×	
II.電波反射板による エリア構築の柔軟化		実施の有無	×	
III.準同期 TDD の追 加パターンの開発		TDD2の検討	×	
		TDD3の検討	×	
		TDD2、3以外のパターンの検討	×	
		追加パターンを具備した実機での検証	×	
IV.その他のテーマ		実施の有無	×	

### 3.2 実証環境

本実証では、CRANTS 試験路および上毛電鉄中央前橋駅周辺を実証環境とした。それぞれの環境における地図および航空写真を図 3-1 から図 3-4 に示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-1 CRANTS 試験路 地図



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-2 CRANTS 試験路 航空写真



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-3 上毛電鉄中央前橋駅周辺 地図



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-4 上毛電鉄中央前橋駅周辺 航空写真

### 3.3 実証内容

#### 3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

##### 3.3.1.1 実証目標

ローカル5G(4.7GHz帯)でフィールド測定を実施し、下記のようなユースケースに基づくローカル5Gの性能評価を行うことでローカル5Gのエリア設計に有用な知見を得ることを目標とした。

- ・ CRANTS試験路および上毛電鉄中央前橋駅周辺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。
- ・ 伝送スループットと伝送遅延の所要性能は以下とした。

ULの伝送スループット : 20Mbps(1台あたり)  
DLの伝送スループット : 100kbps(1台あたり)  
往復伝送遅延 : 43ミリ秒

- ・ ULの伝送スループットについては課題実証にてFHD画質の映像を伝送するために必要な伝送スループットであり、DLについては大容量のデータ伝送を行わないため制御コマンドなどが伝送可能な伝送スループットとした。伝送遅延については、本ユースケースを想定した令和2年度の実証実験の実測値相当であり、ユースケースの運用にあたり支障が無かったことから今年度も本伝送遅延時間を所要性能とした。

##### 3.3.1.2 評価・検証項目

構築した実証環境において、受信電力、伝送スループットや伝送遅延時間等のデータを測定した。具体的には下記の検証を行った。

- ・ エリア算出法に基づき、基地局ごとにカバーエリア及び調整対象区域の図を作成した。
- ・ それぞれのエリア端における実際の受信電力を測定した。
- ・ 当該算出式のカバーエリア及び調整対象区域の閾値と異なっていたため、それぞれの閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離を確認した。
- ・ カバーエリア内の20以上の測定点において、受信電力及び伝送性能(アップリンク(以下、UL)/ダウンリンク(以下、DL)別の伝送スループット、伝送遅延等)を測定した。
- ・ 測定の結果、ローカル5Gを用いたソリューションの所要性能を実現できない場合、実測データに基づき必要なローカル5Gを構築する方策(必要な帯域幅及び送信電力等)を導出する。

### 3.3.1.3 評価・検証方法

- 受信電力値(RSRP)

エリアテスタなどの測定機材を用いて RSRP(Reference Signal Received Power)を測定した。受信電力は基地局からおおよそ同距離の地点においてもマルチパスの影響で値が変動するため、5 cm(受信周波数の1波長以下)の短区間を合計6点移動させ、各点で測定結果を取得した。測定結果としては RSRP 測定値から 100MHz 帯域受信電力に換算し報告を行う。

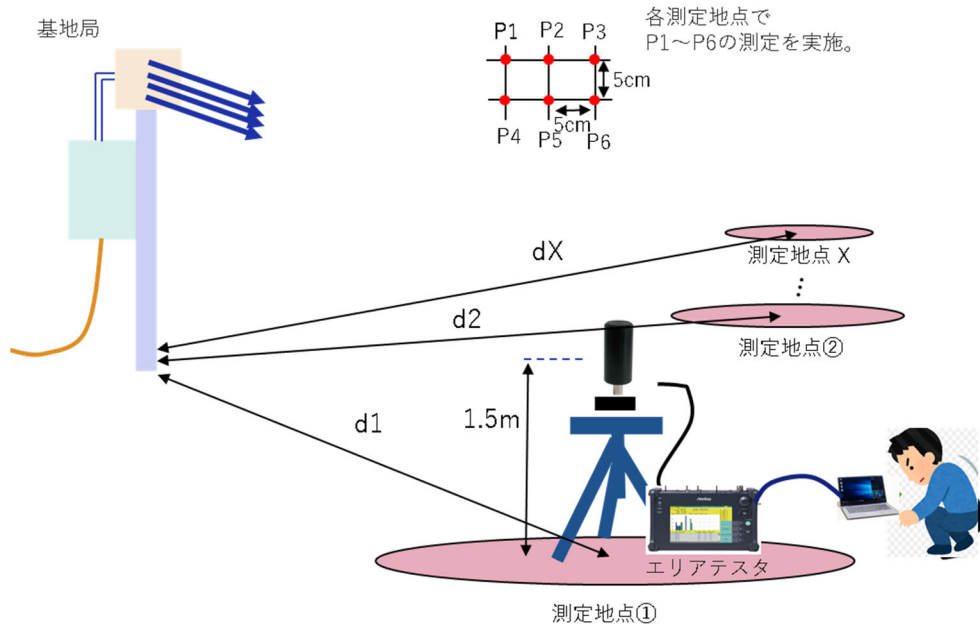


図 3-5 受信電力(RSRP)測定方法

- 受信電力値(RSRP) 閾値地点の探索

エリア算出法で定められたエリア端で RSRP の測定を行った際、エリア算出法で定められた閾値と、実際の測定結果に乖離があったため、閾値地点の探索を行った。

エリア端の測定結果が閾値よりも高い場合は、エリア端の測定点から基地局に対し遠くなるように移動を行い、エリアテストの値を確認し閾値地点の値が測定できる地点の探索を行った。

同様にエリア端の測定結果が閾値よりも低い場合は、エリア端の測定点から基地局に対し近くなるように移動を行い、エリアテストの値を確認し閾値地点の値が測定できる地点の探索を行った。

その後、探索した閾値地点で図 3-5 のように 6 点の測定を行い、閾値と差異が少ないことを確認した。
- 伝送スループット

端末に接続したパソコンの測定アプリを使用し測定を行った。UL の測定では端末側 PC 内の測定アプリ (iperf) で送信を行い、基地側 PC 側 PC 内の測定アプリ (iperf) で受信した測定データを得た。DL の測定では基地側 PC 内の測定アプリ (iperf) で送信を行い、端末側 PC 内の測定アプリ (iperf) で受信した測定データを得た。いずれも 40Mbps のデータ送信を 20 秒間行い、測定データを得た。

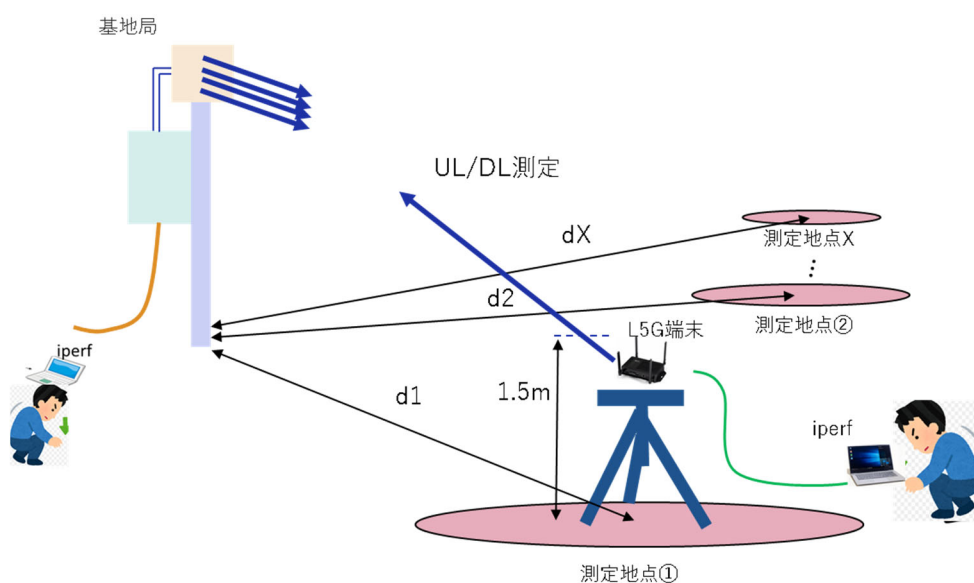


図 3-6 スループット測定方法



- ・ 伝送遅延

端末に接続したパソコンの測定アプリを使用し測定を行った。

無線区間単独の遅延時間測定は困難であるため、可能な限り有線区間の遅延時間を減算することで、無線区間の遅延時間に等しい時間を導出した。なお、測定方法は以下の手順で行った。

- ・ 基地側 PC(PC1)から端末側 PC(PC2)へ ping を送信。
- ・ このとき、NW-SW(ネットワークスイッチ)のポートミラーリング機能(NW-SW で送受するパケットのコピーを特定の物理ポートへ転送する機能)を使用し、PC3 で ping コマンドのパケットキャプチャを実施。
- ・ キャプチャを行う ping コマンドは PC1 から PC2 へ向かうリクエストパケット (icmp echo request)と、PC2 から PC1 へ向かう応答パケット (icmp echo reply)パケットの 2 種類とした。
- ・ また、PC2 においてもリクエストパケットと応答パケットのキャプチャをした。
- ・ PC3 におけるリクエストパケットから応答パケットまでの所要時間(遅延時間 A)と PC2 におけるリクエストパケットから応答パケットまでの所要時間(遅延時間 B)を各パケットの受信時刻から計算した。
- ・ 遅延時間 A から遅延時間 B を減算した時間を無線区間の遅延時間として導出した。

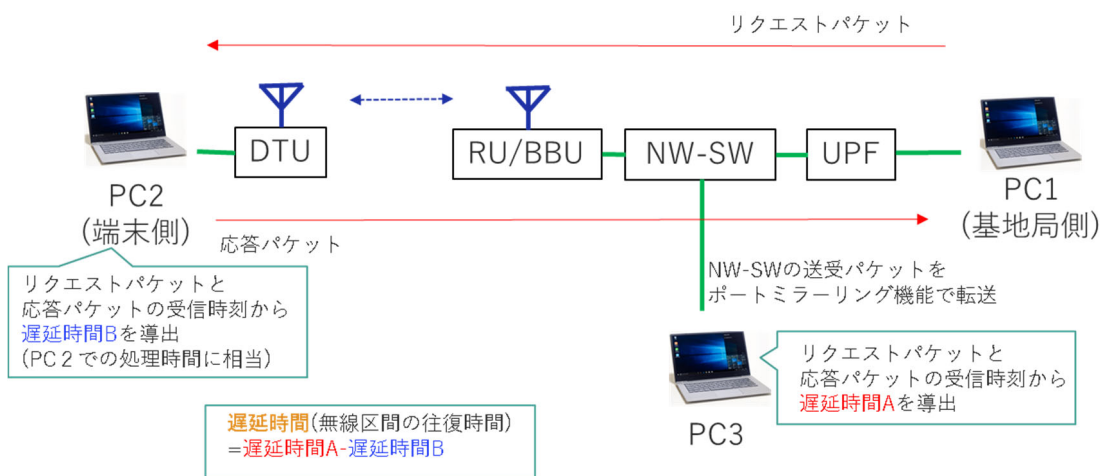


図 3-7 伝送遅延 測定方法

### 3.3.1.4 実証結果及び考察

(1) エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域の図  
CRANTS 試験路および上毛電鉄中央前橋駅周辺を実証環境とし、主にエリア算出法に基づいたカバーエリアおよび調整対象区域にて実証を行った。

エリア算出法の計算に使用するパラメータを表 3-2 に示す。

エリア算出法では市街地、郊外地及び開放地に対して補正值 S を用いるが、実証を行う 2 つの環境(CRANTS 試験路および上毛電鉄中央前橋駅周辺)では、基地局周辺では見通しの良い場所ではあるが、基地局から離れた場所では伝搬損失を生じさせる遮へい物が存在する。このため、樹木や家屋が多い CRANTS 試験路では「郊外地」、2 階建て以上の建造物が多い上毛電鉄中央前橋駅周辺では「市街地」と分類しエリア算出を行った。

表 3-2 エリア算出法での計算に使用したパラメータ

項目	値	備考
Pt[dBm]	CRANTS 試験路 : 24 中央前橋駅周辺 : 20	送信電力
Gt[dBi]	12	送信アンテナ利得
Lf[dB]	3.5	基地局の給電損失
f[MHz]	4849.86	使用周波数
Hb(m)	CRANTS 試験路 : 7 中前橋駅周辺:10	基地局の地上高
R	0	建物侵入損(基地局を屋内に設置する場合)
$\alpha$	1	距離 20km 以下の場合は 1
a(Hm)	0	移動局高の補正
b(Hb)	0	基地局高の補正
K	0	地形による補正值
S	CRANTS 試験路 : 12.3 中央前橋駅周辺 : 0	市街地、郊外地および開放地に対して行う補正

また、エリア算出法では無線設備の区分によりカバーエリア及び調整対象区域の受信電力閾値が表 3-3 のように定められている。

表 3-3 各分類の閾値

分類	閾値(100MHz システム)
カバーエリア	-84.6dBm
調整対象区域	-91.0dBm

上記表 3-2 および表 3-3 に記載した条件によるエリア算出法による距離と受信電力の関係を図 3-8 に示す。また、各環境の閾値における基地局までの距離を表 3-4 に示す。

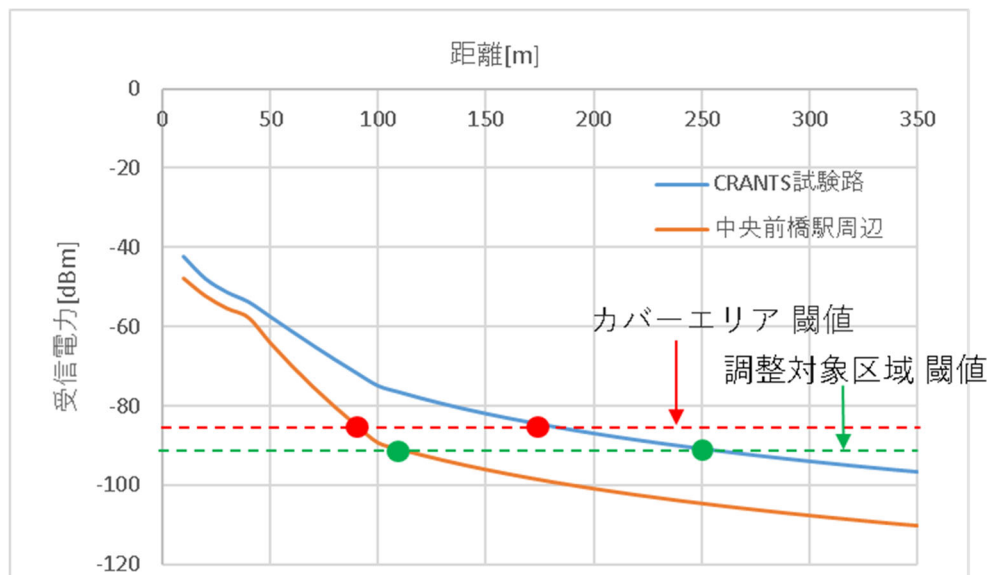


図 3-8 エリア算出法による各環境での受信電力

表 3-4 各環境の閾値までの距離

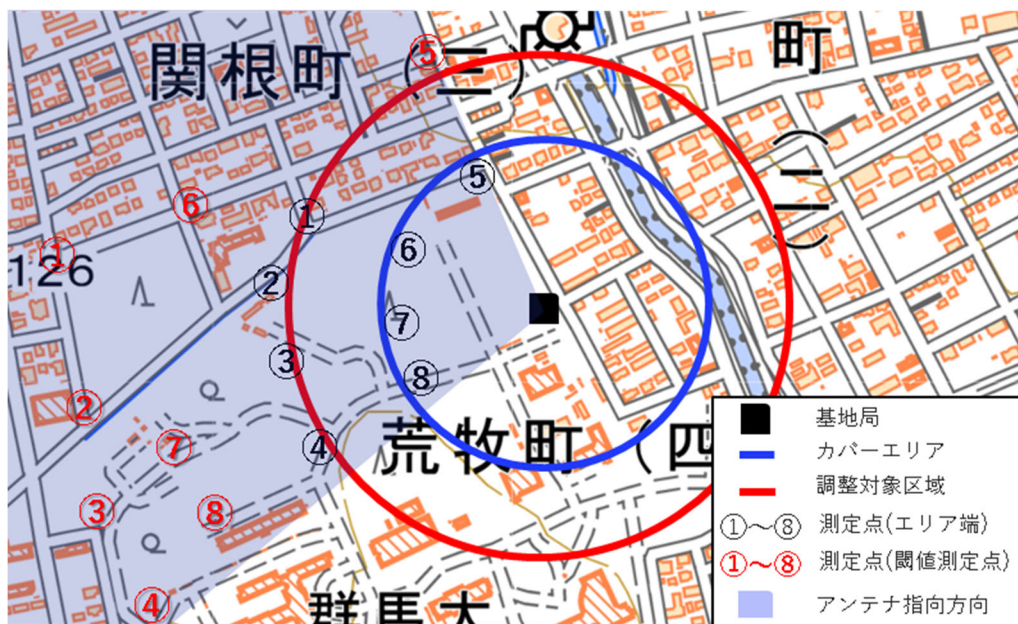
実証環境	分類	基地局からの距離
CRANTS 試験路	カバーエリア	170m
	調整対象区域	250m
上毛電鉄 中央前橋駅周辺	カバーエリア	85m
	調整対象区域	105m

(2)エリア端の受信電力、閾値が確認できた地点の図

[CRANTS 試験路]

CRANTS 試験路におけるエリア端の受信電力および閾値が確認できた地点を図 3-9 に示す。また、各測定点から基地局までの距離および見通し状況を表 3-5 に示す。

別に測定を行う市街地環境の上毛電鉄中央前橋駅周辺との差別化として、CRANTS 試験路では住宅街を避けた方向を主としてエリア端および閾値の測定を行った。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-9 エリア算出法で算出したエリアと実際の閾値が確認できた地点 (CRANTS 試験路)

表 3-5 測定点の概要

※見通しの凡例 ○:見通し ×:非見通し

測定点	分類	基地局までの距離[m]	エリア端見通し状況	閾値が確認できた距離[m]	閾値点見通し状況
①	調整対象区域	231	○	430	×
②		234	×	403	×
③		229	×	401	×
④		228	○	391	×
⑤	カバーエリア	146	×	256	×
⑥		144	○	329	×
⑦		147	○	368	×
⑧		144	○	338	×

各測定点の受信電力 時間変動、および受信電力 正規化後の値を図 3-10 から図 3-41 に示す。

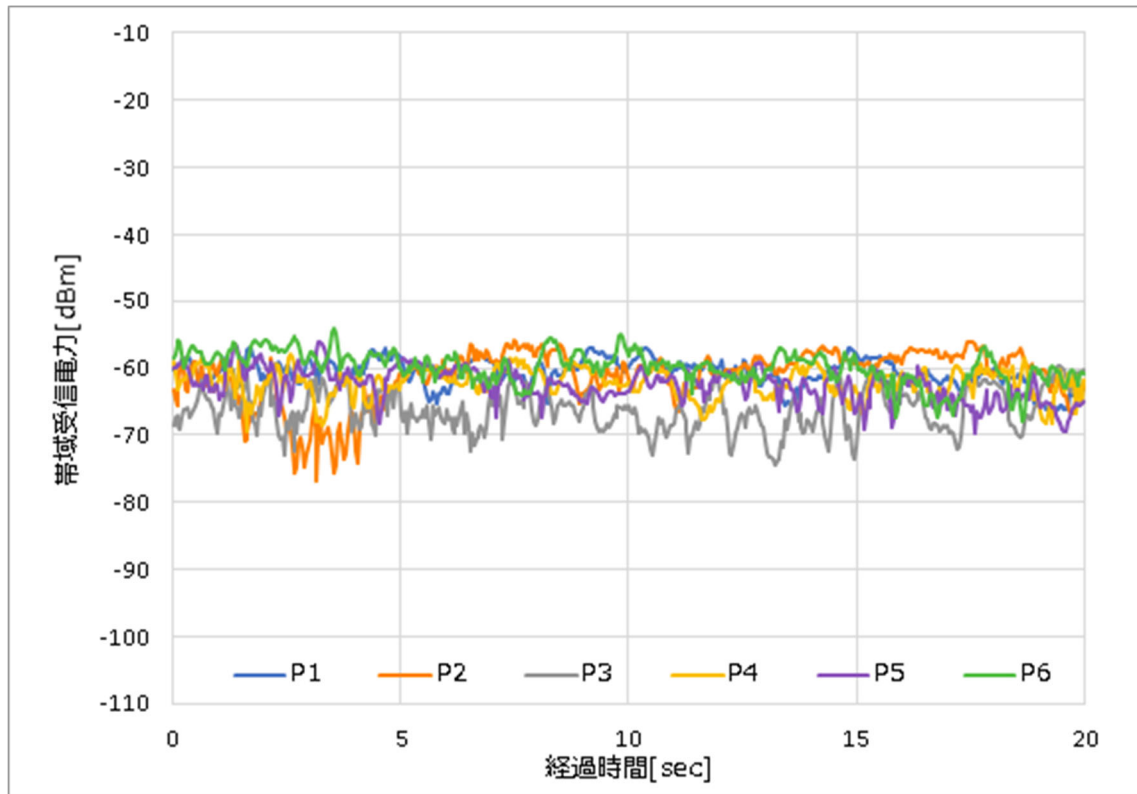


図 3-10 測定点① 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

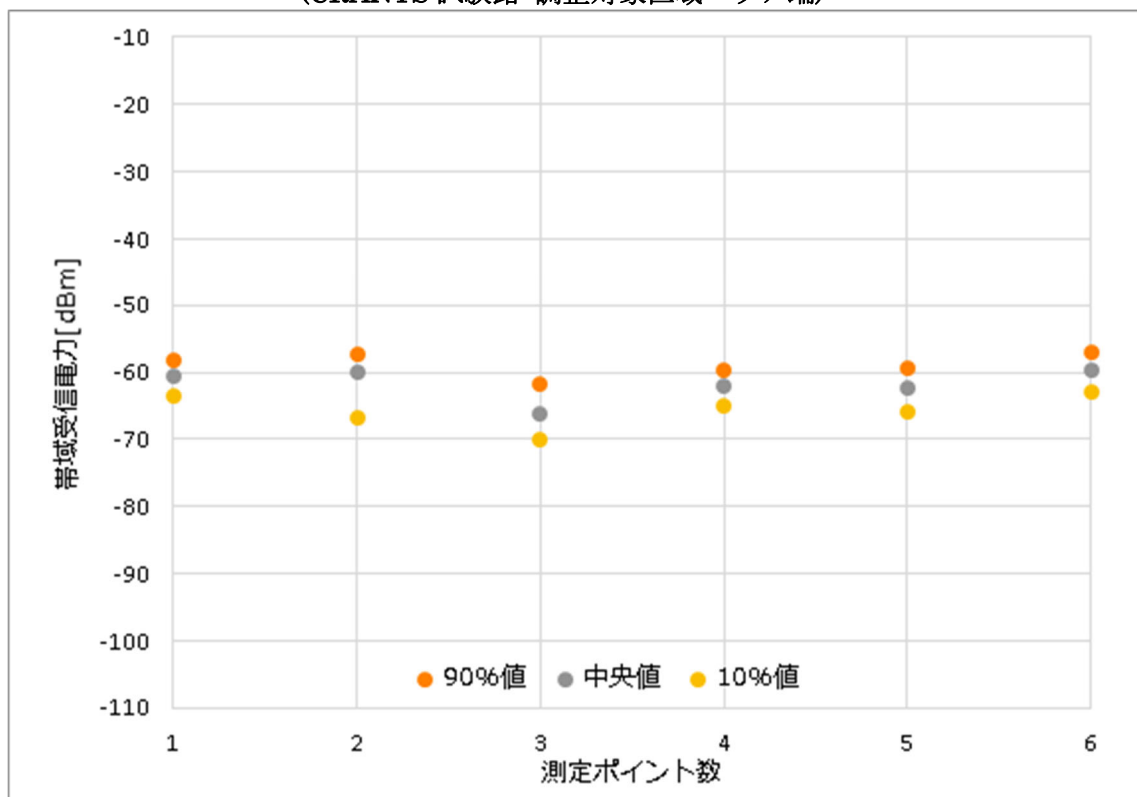


図 3-11 測定点① 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

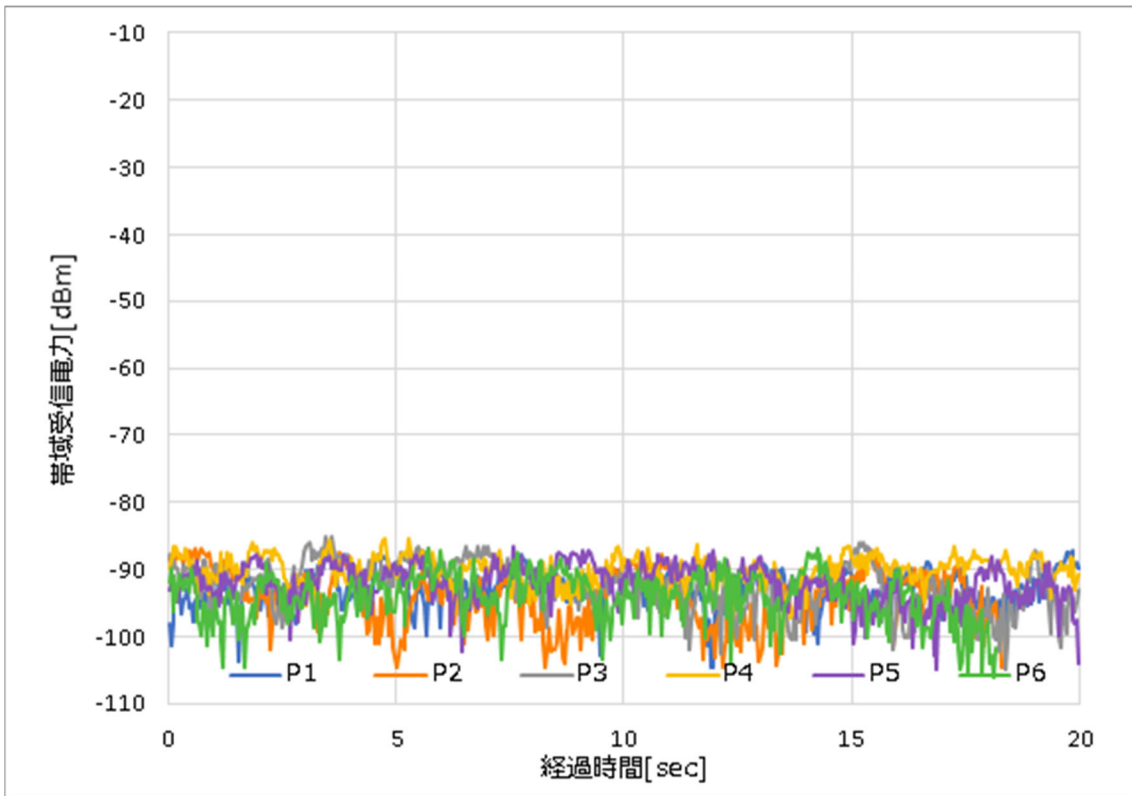


図 3-12 測定点① 閾値確認点 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

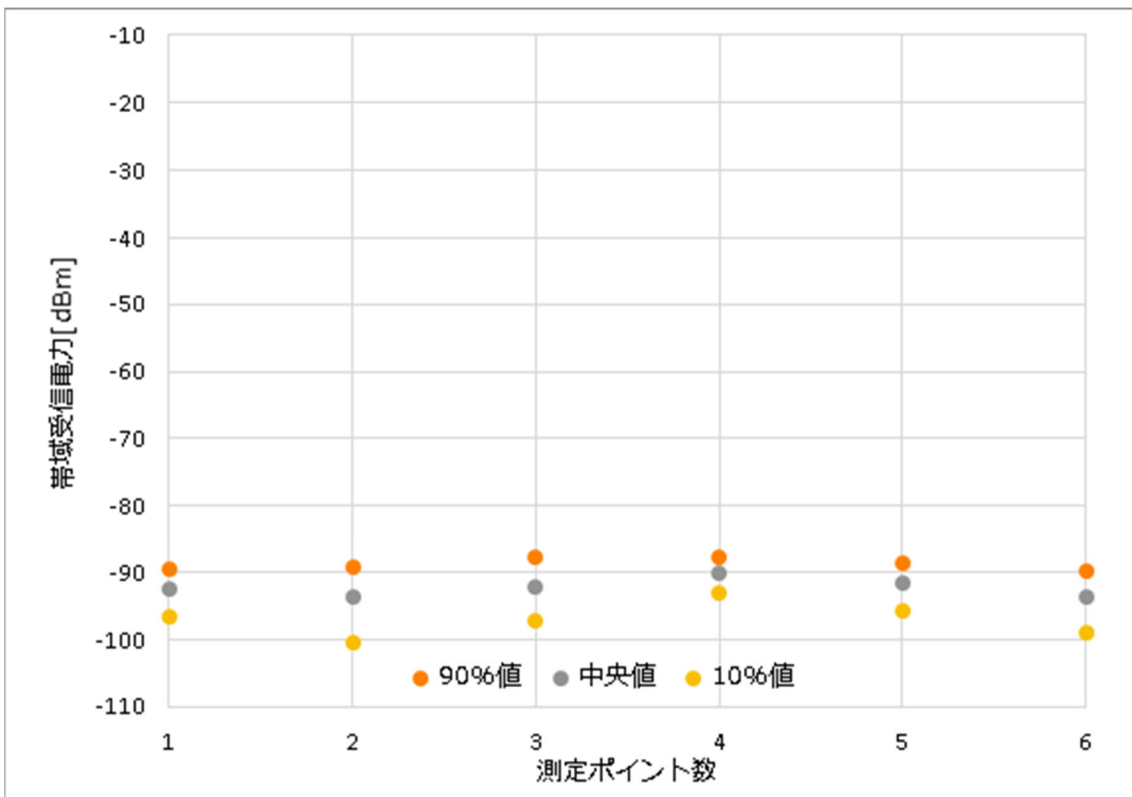


図 3-13 測定点① 閾値確認点 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

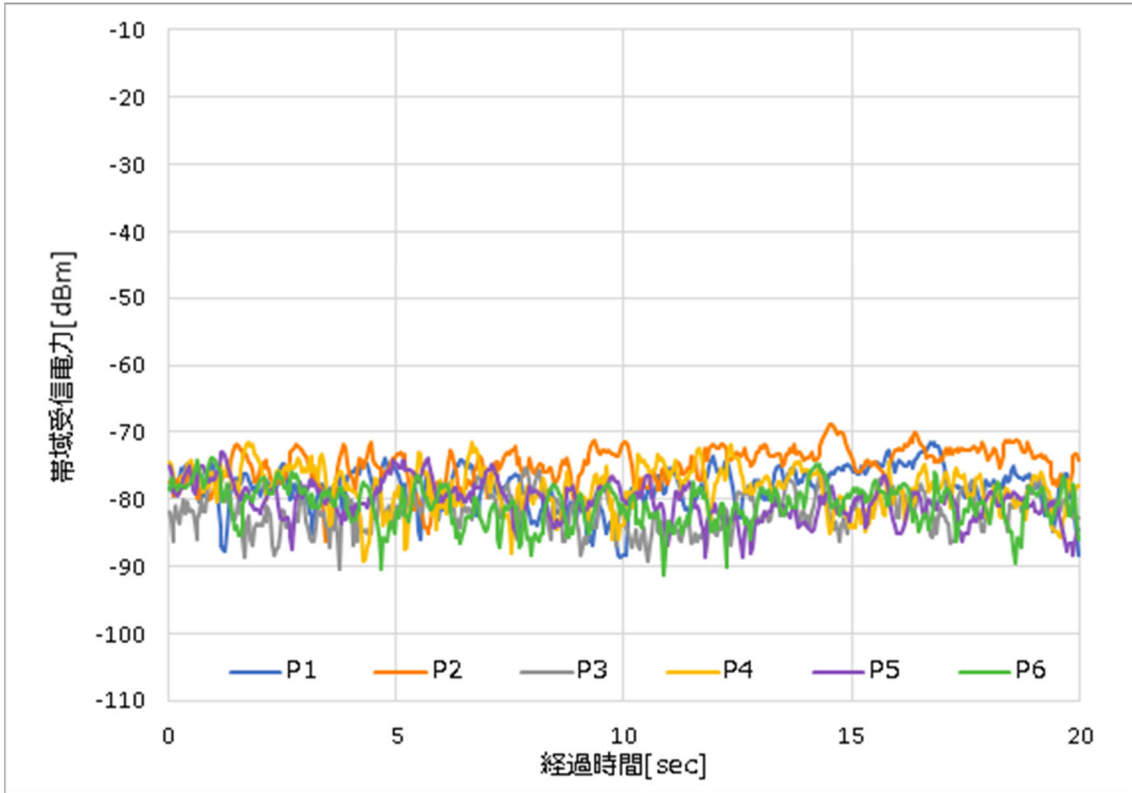


図 3-14 測定点② 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

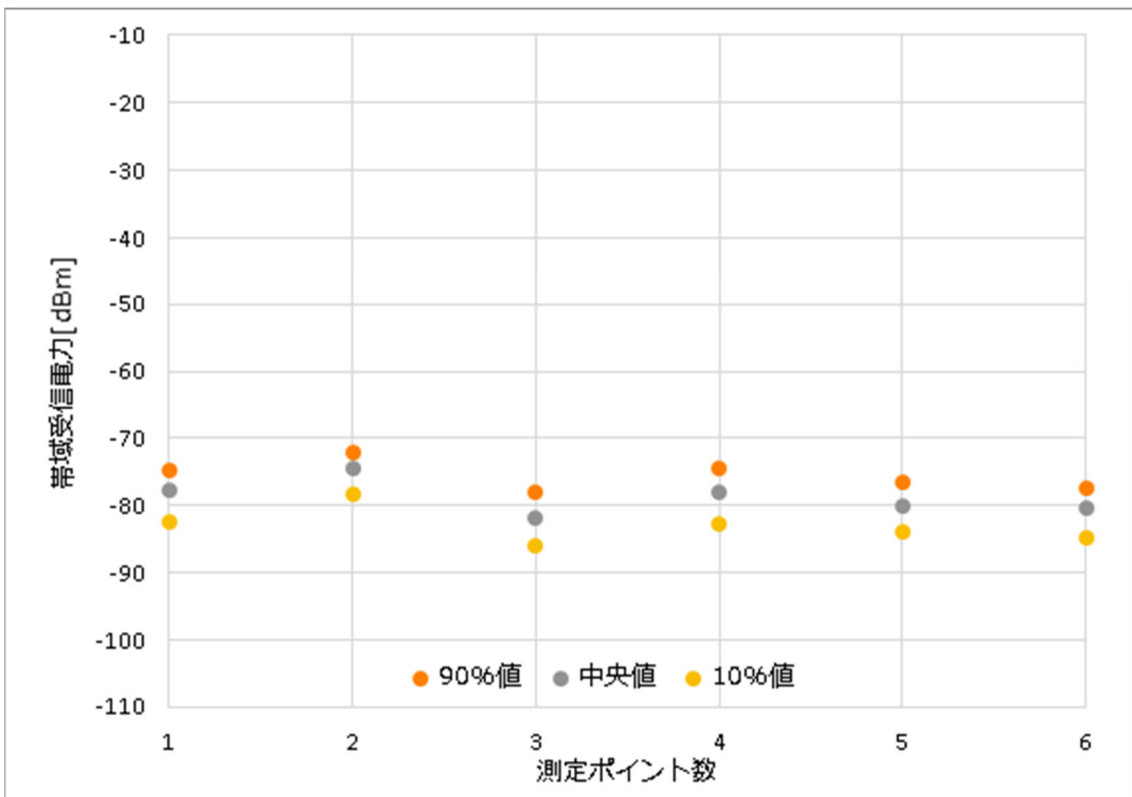


図 3-15 測定点② 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

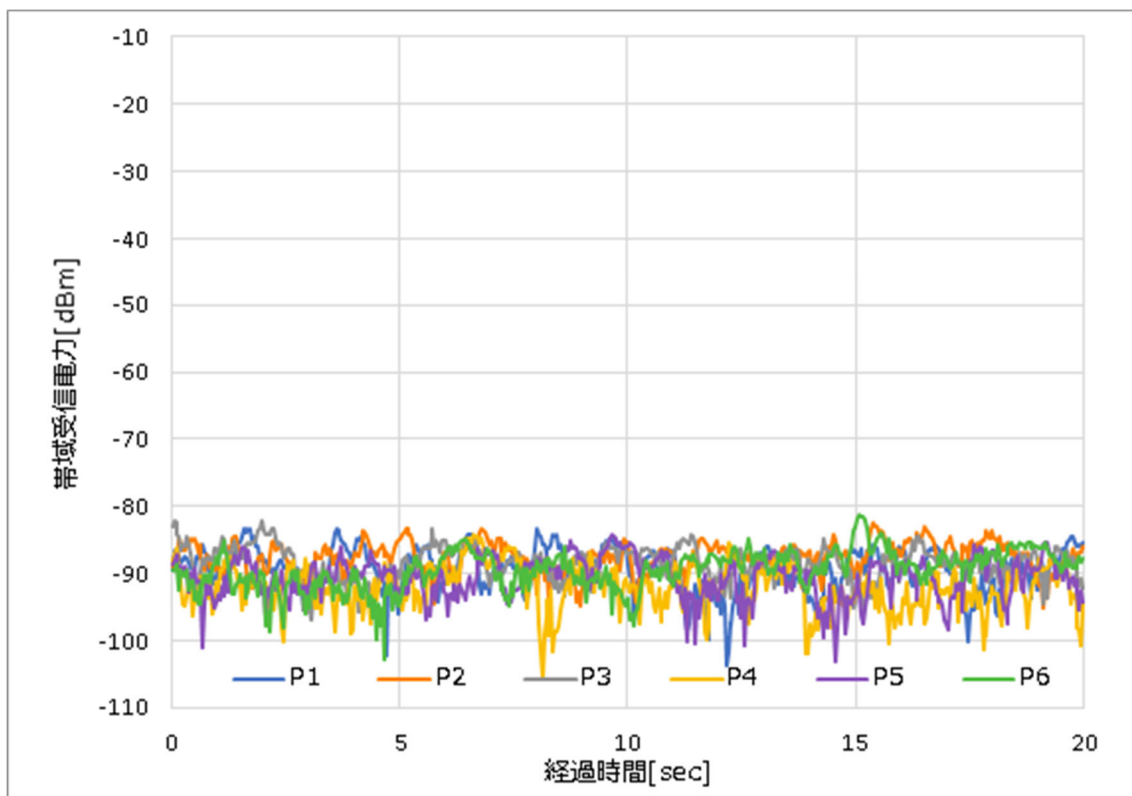


図 3-16 測定点② 閾値確認点 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

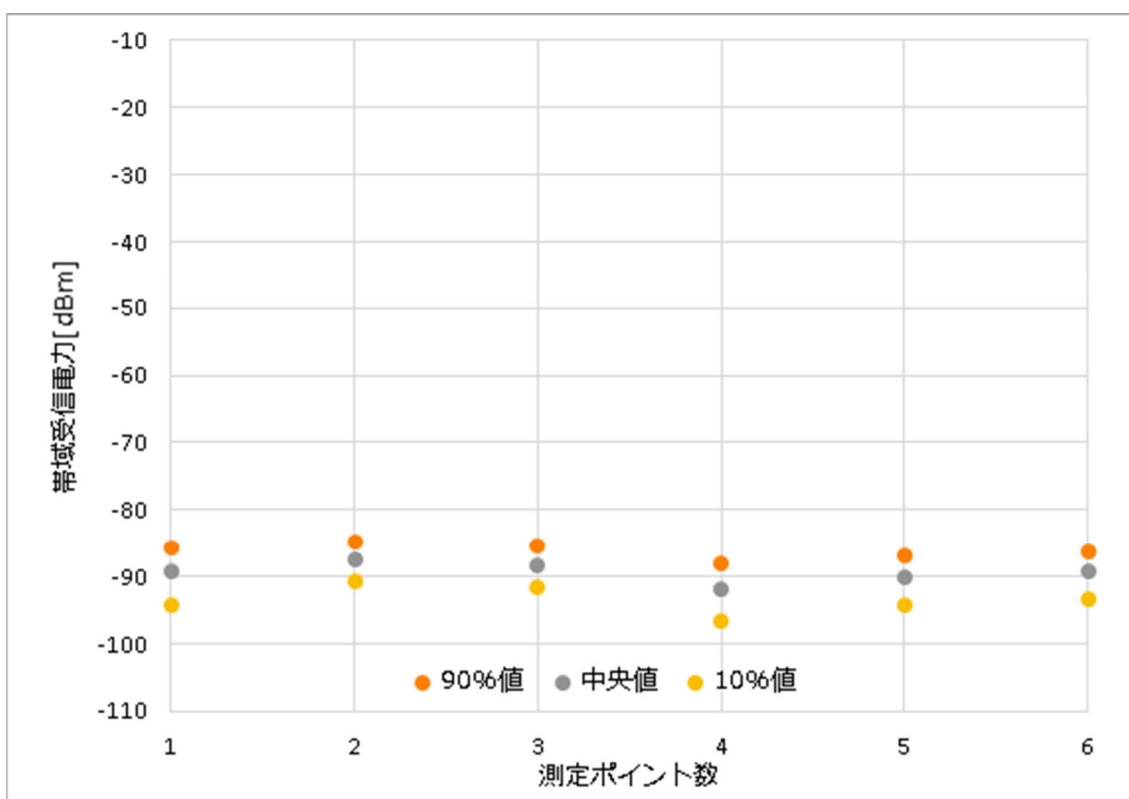


図 3-17 測定点② 閾値確認点 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)



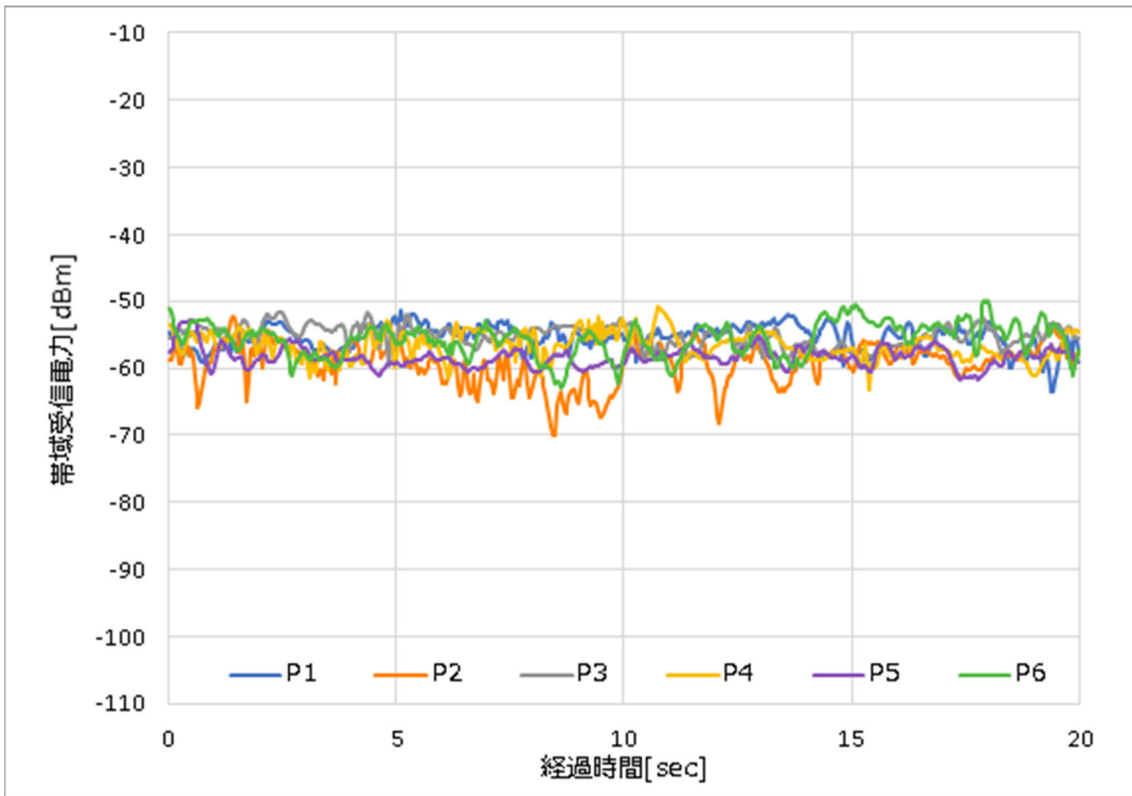


図 3-18 測定点③ 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

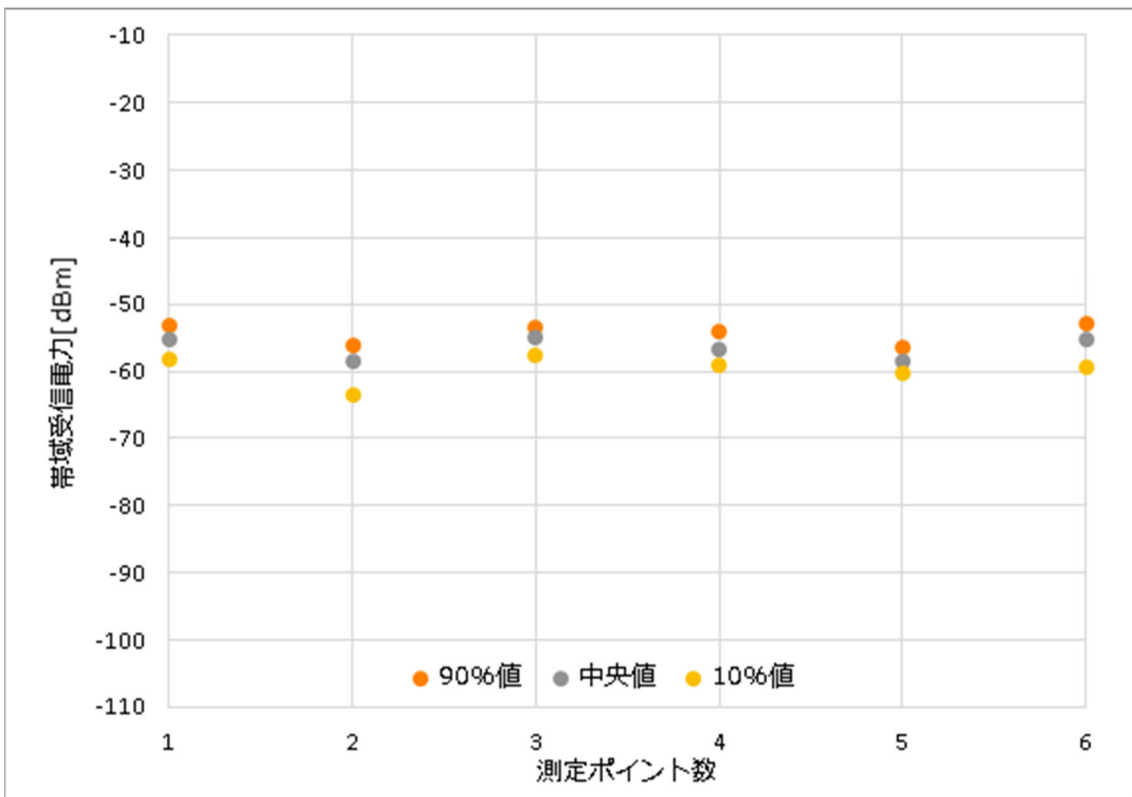


図 3-19 測定点③ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

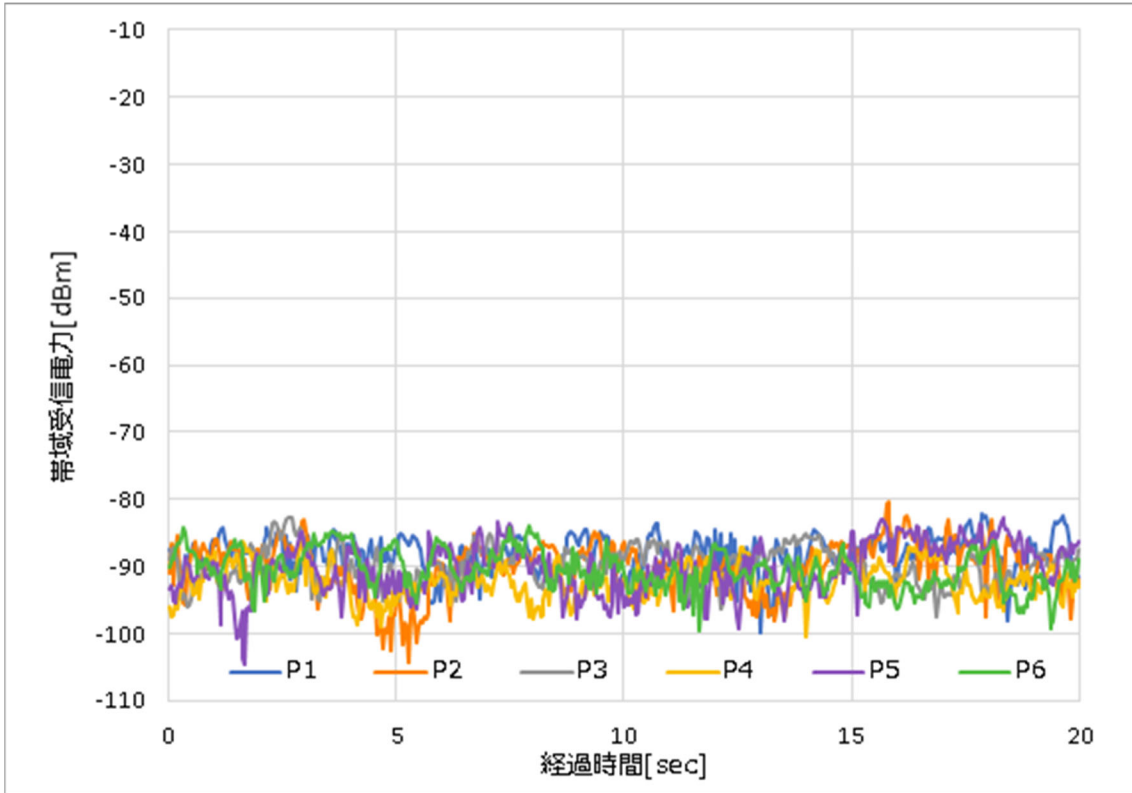


図 3-20 測定点③ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

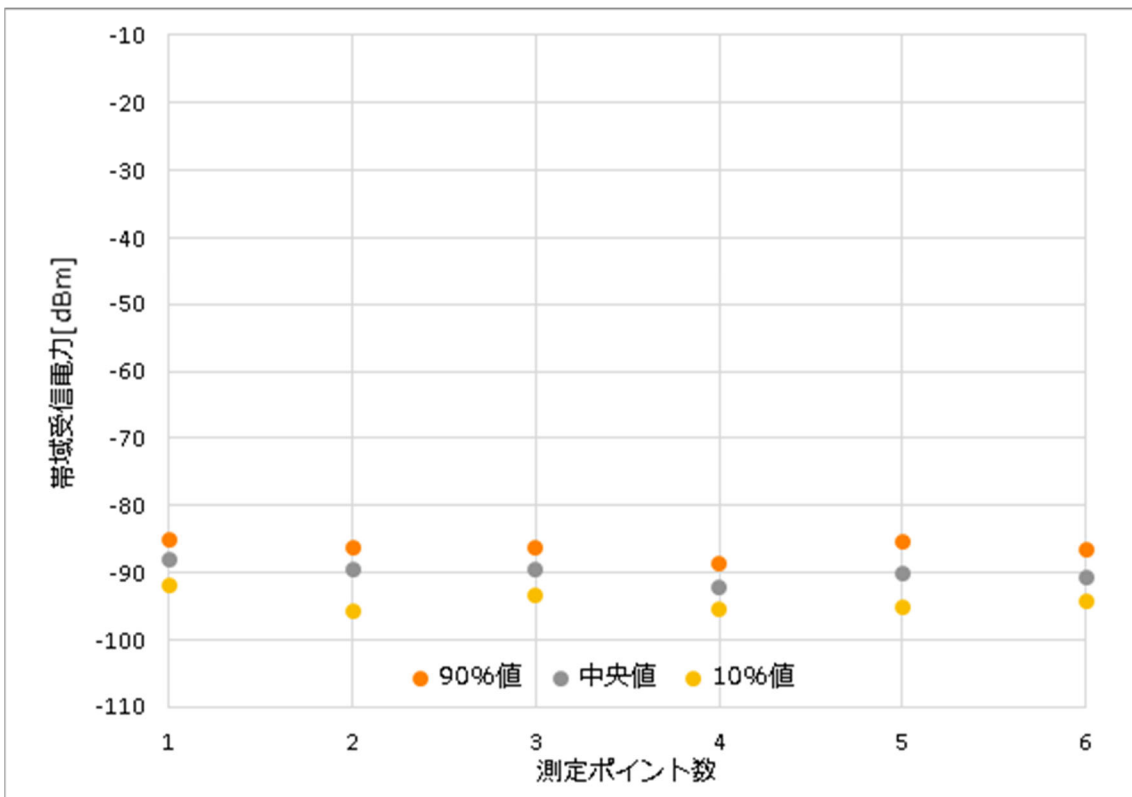


図 3-21 測定点③ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

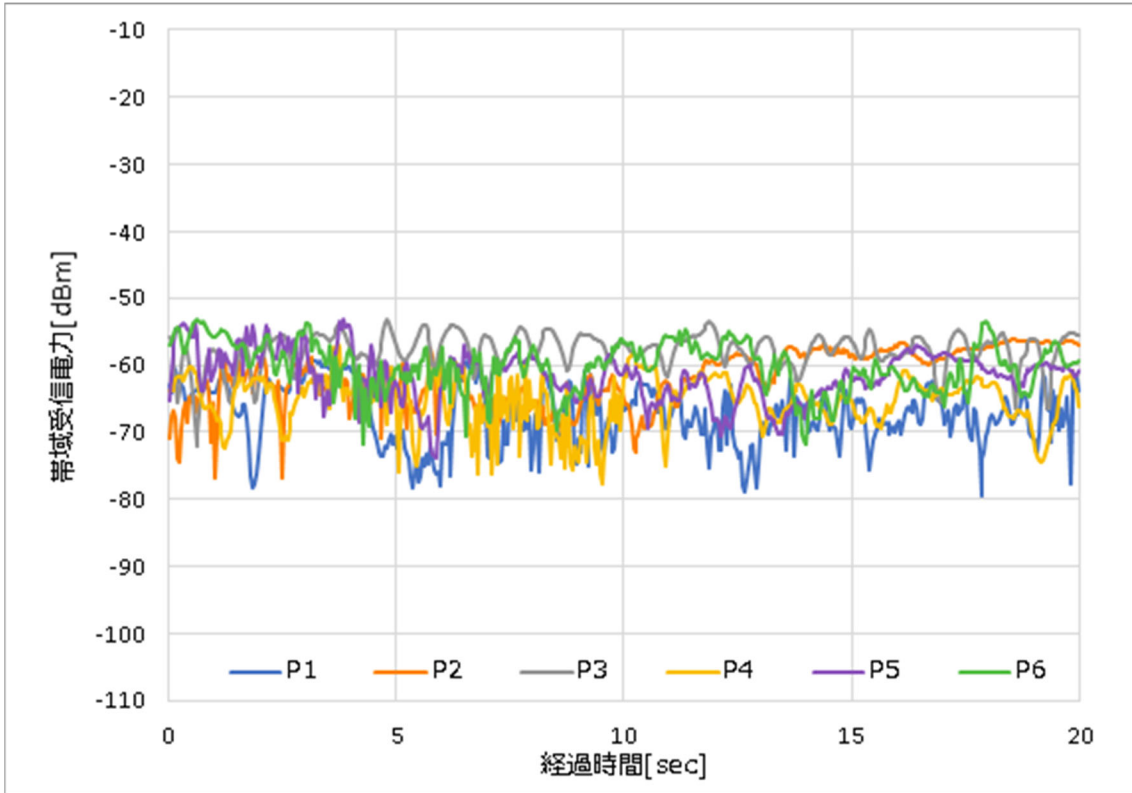


図 3-22 測定点④ 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

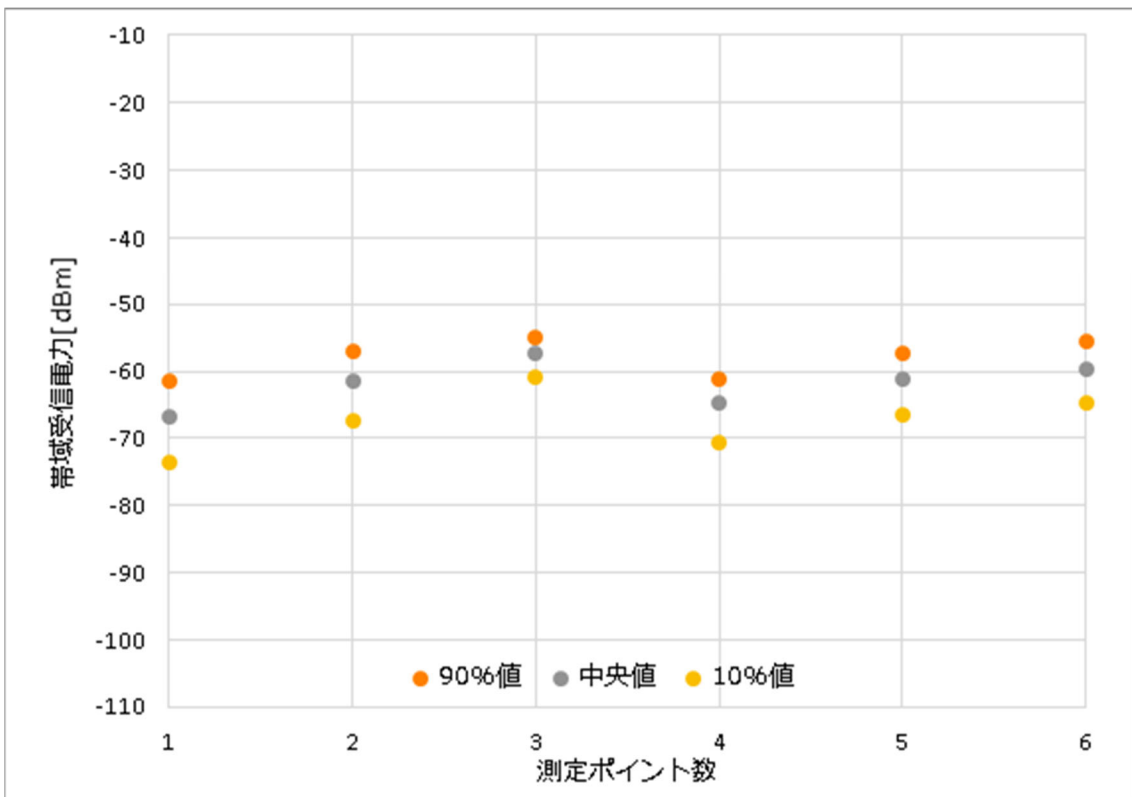


図 3-23 測定点④ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

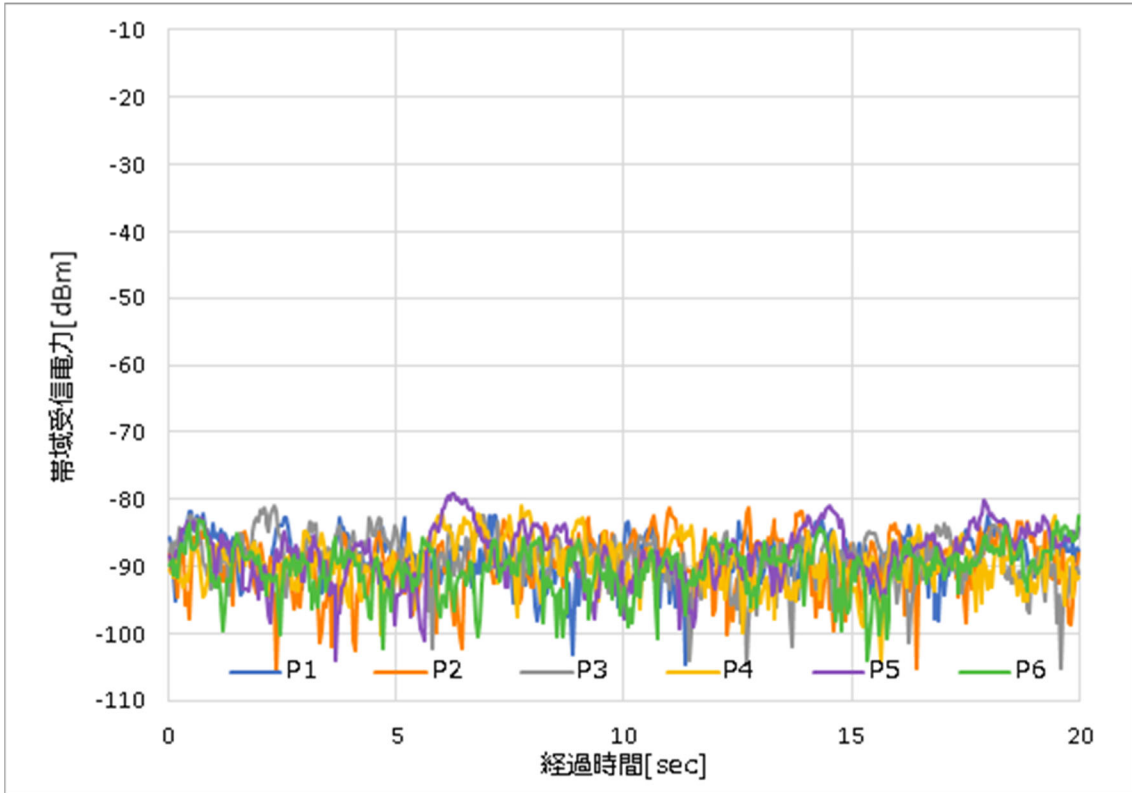


図 3-24 測定点④ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

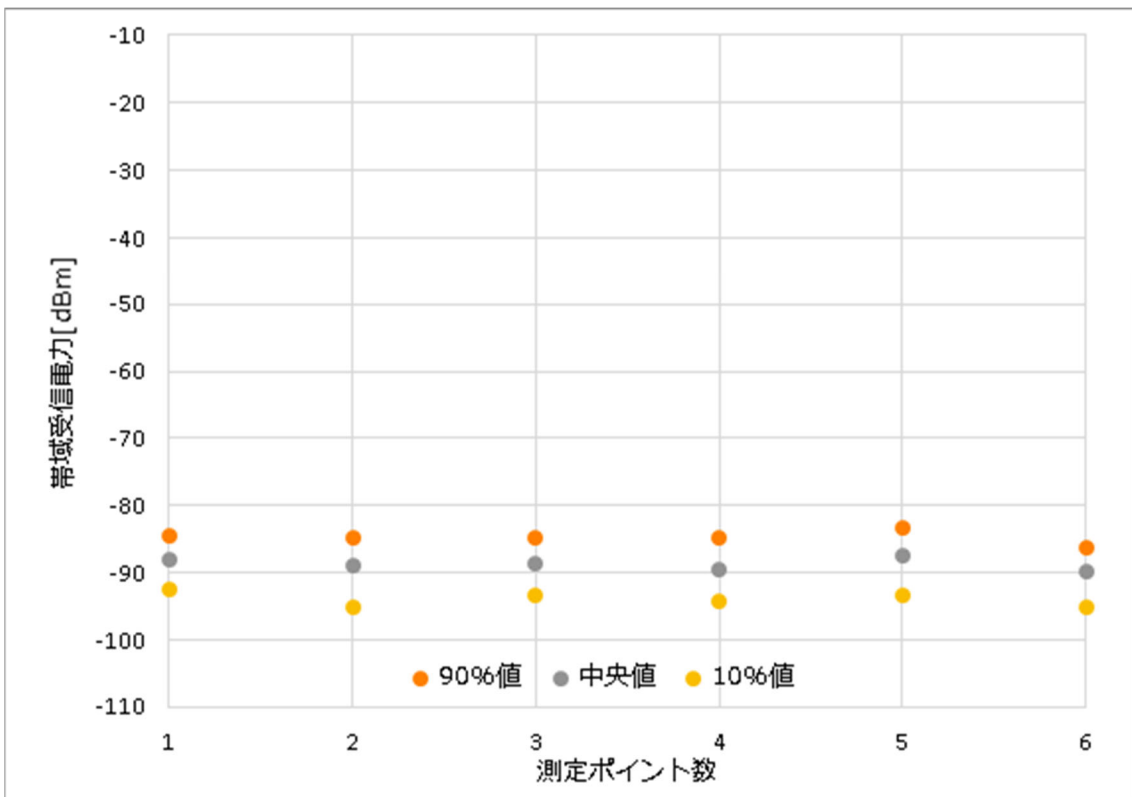


図 3-25 測定点④ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 調整対象区域エリア端)

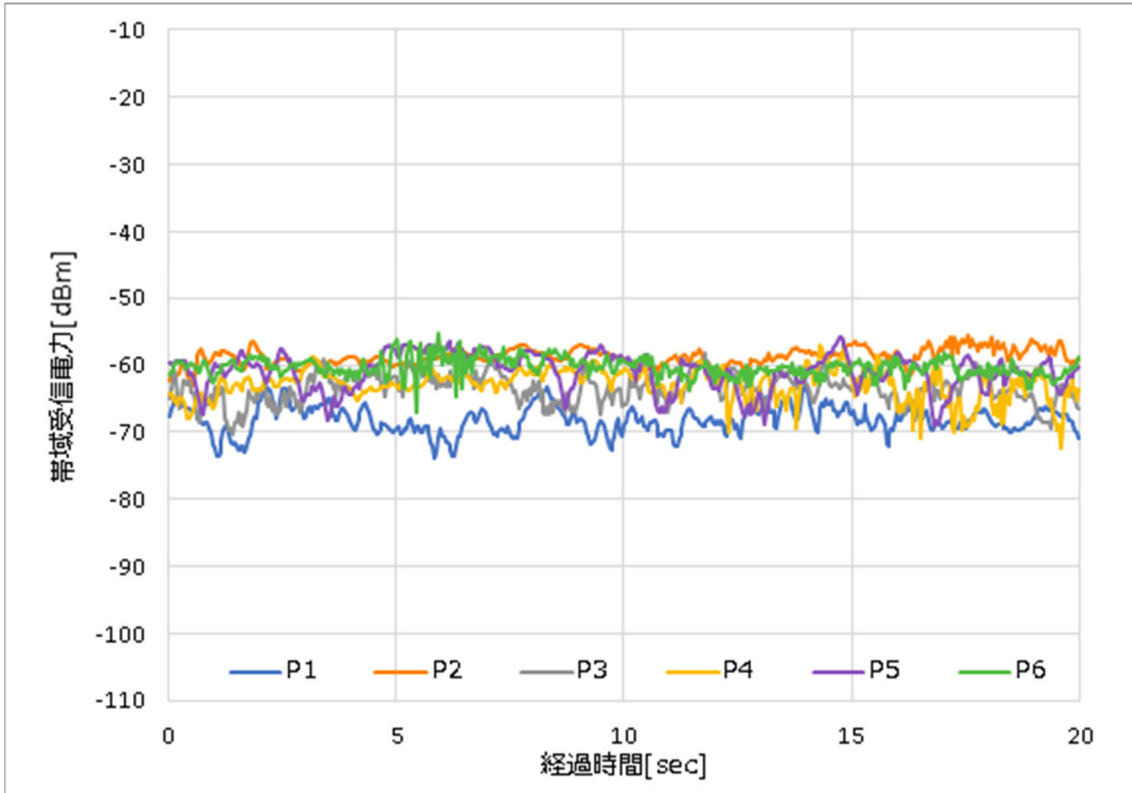


図 3-26 測定点⑤ 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

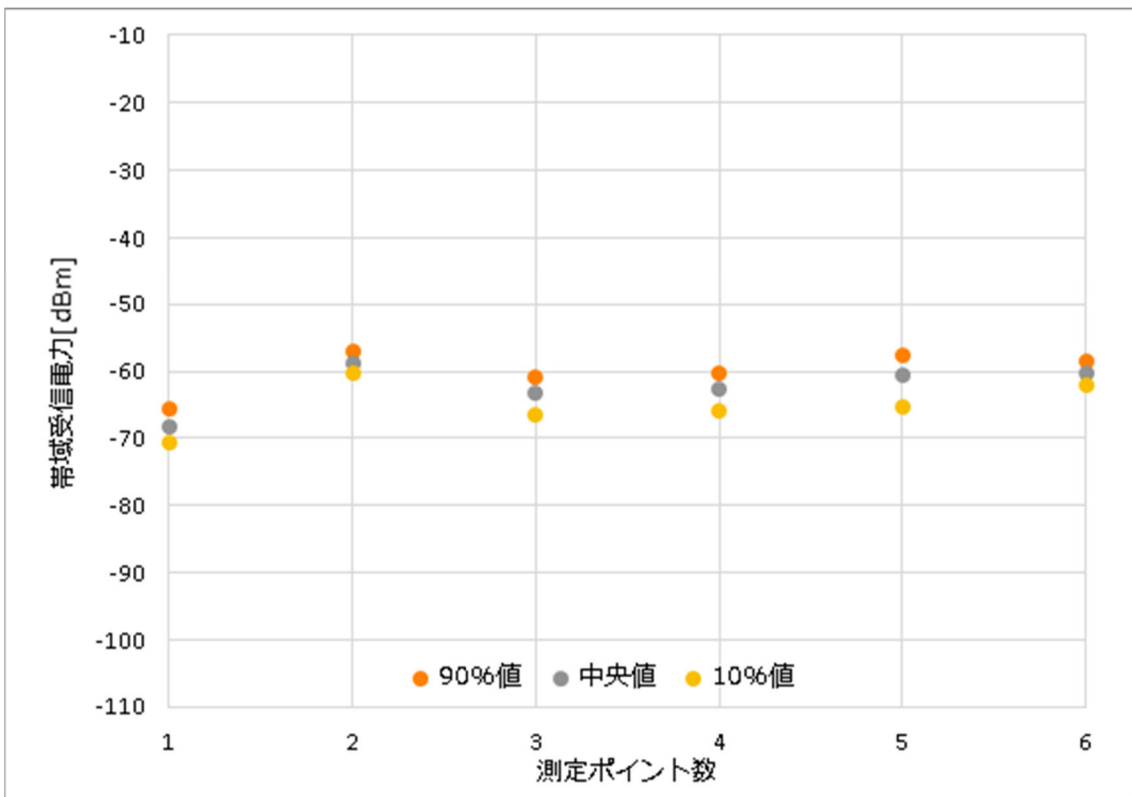


図 3-27 測定点⑤ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

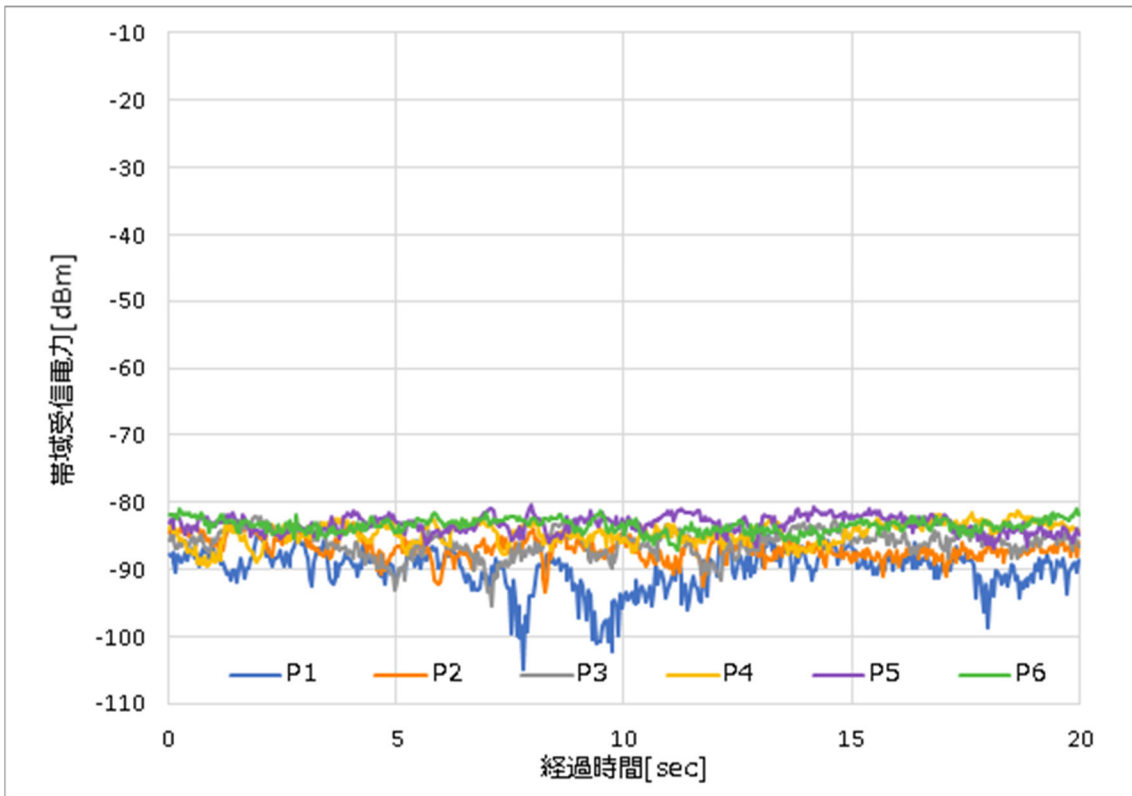


図 3-28 測定点⑤ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

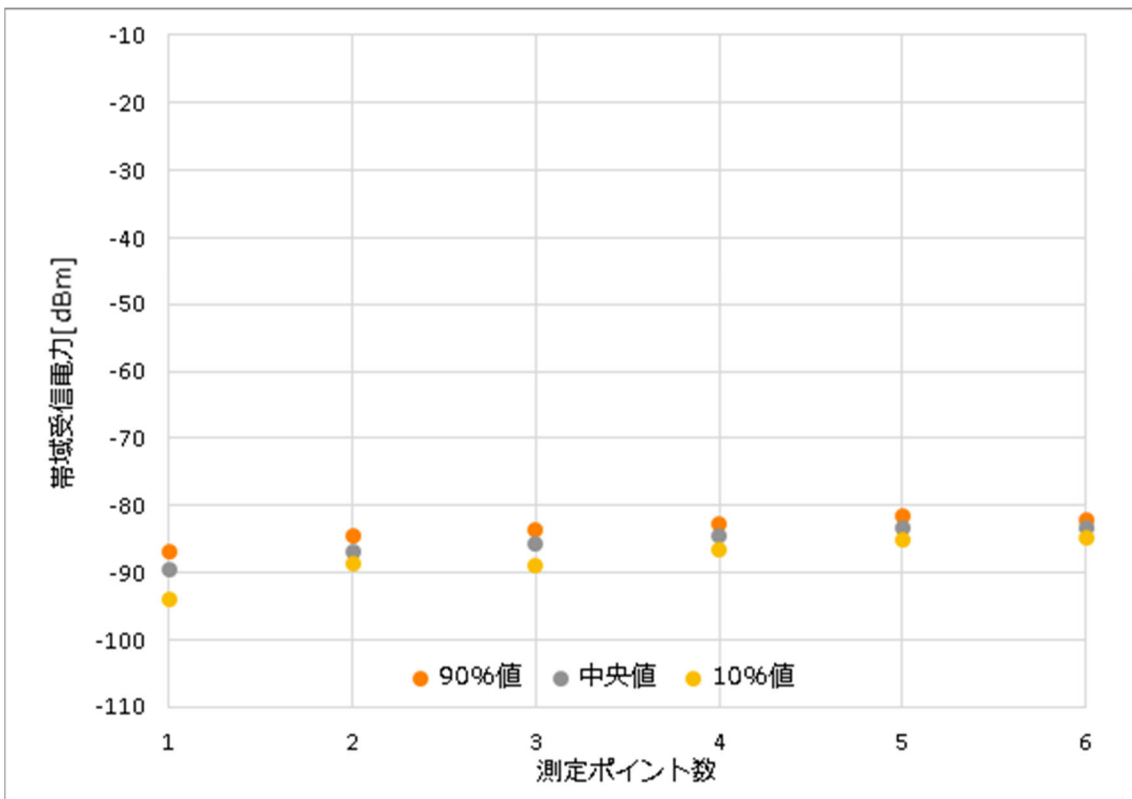


図 3-29 測定点⑤ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

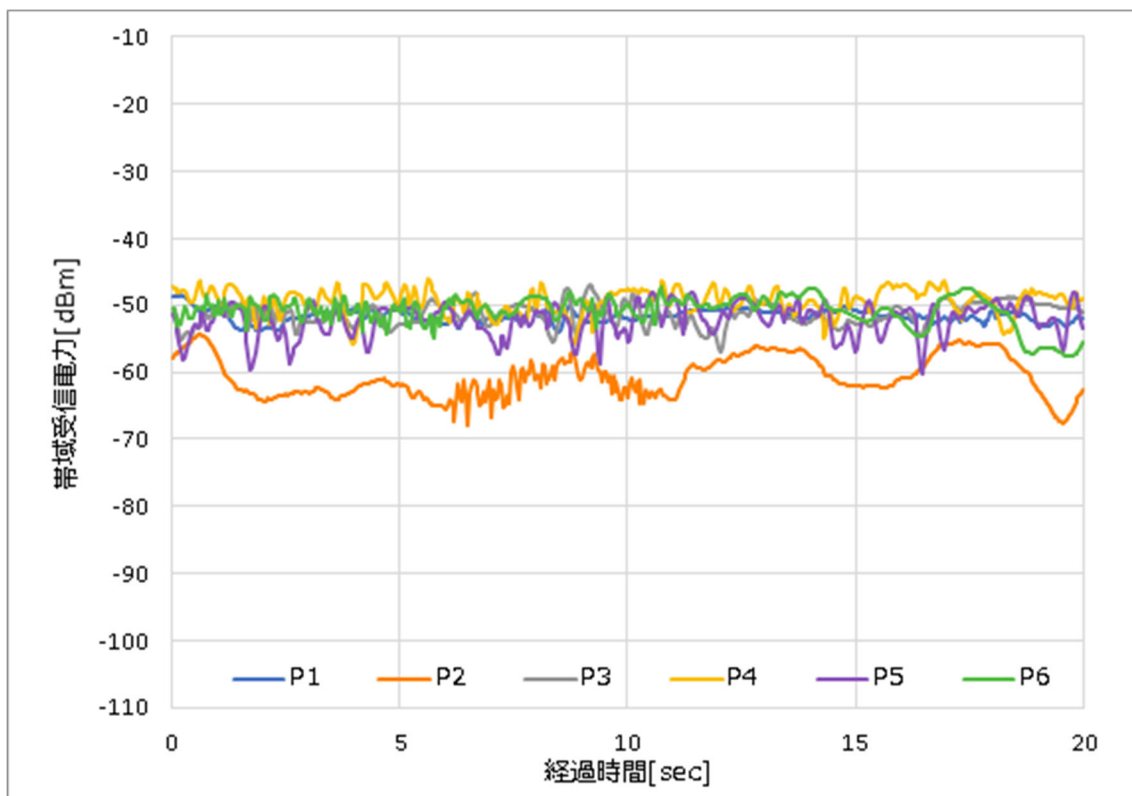


図 3-30 測定点⑥ 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

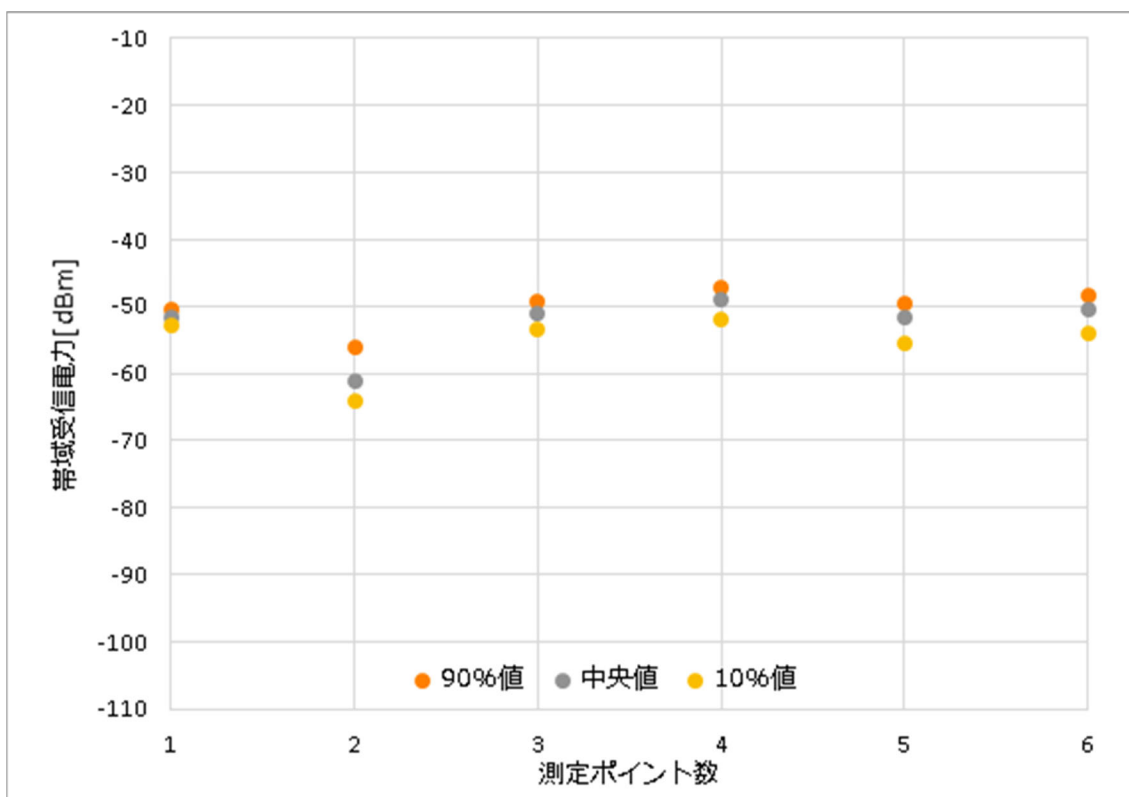


図 3-31 測定点⑥ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

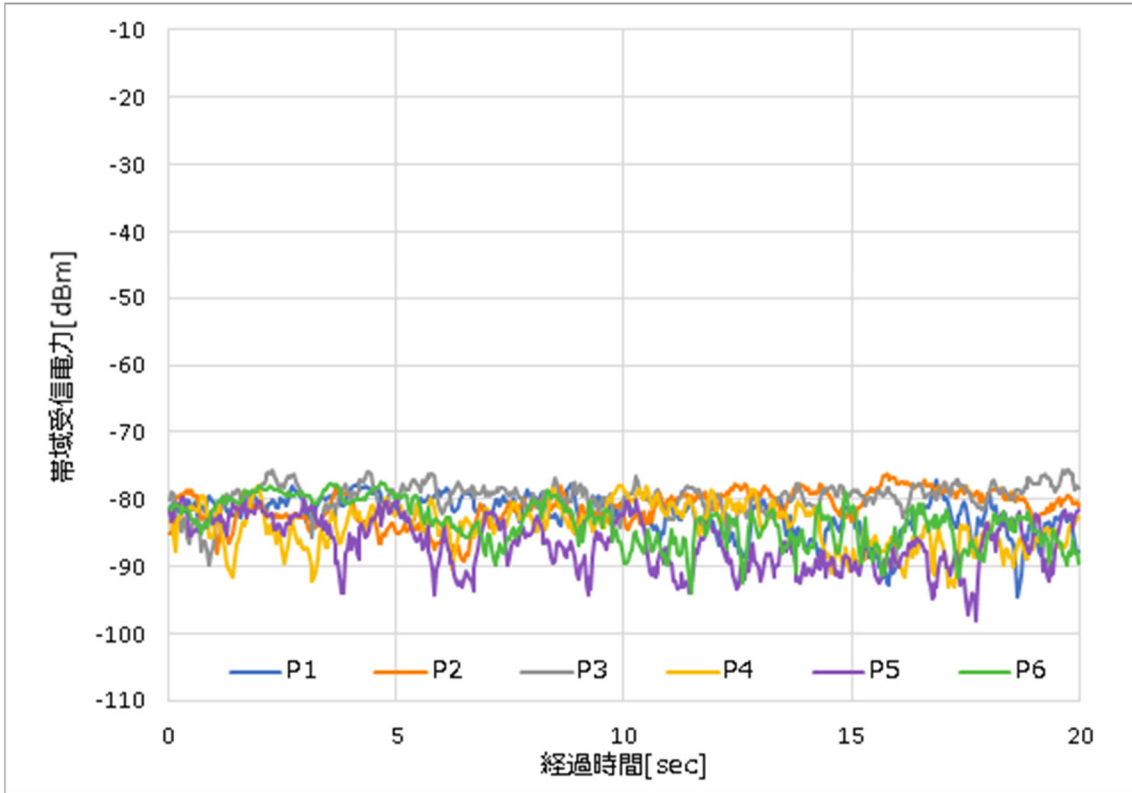


図 3-32 測定点⑥ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

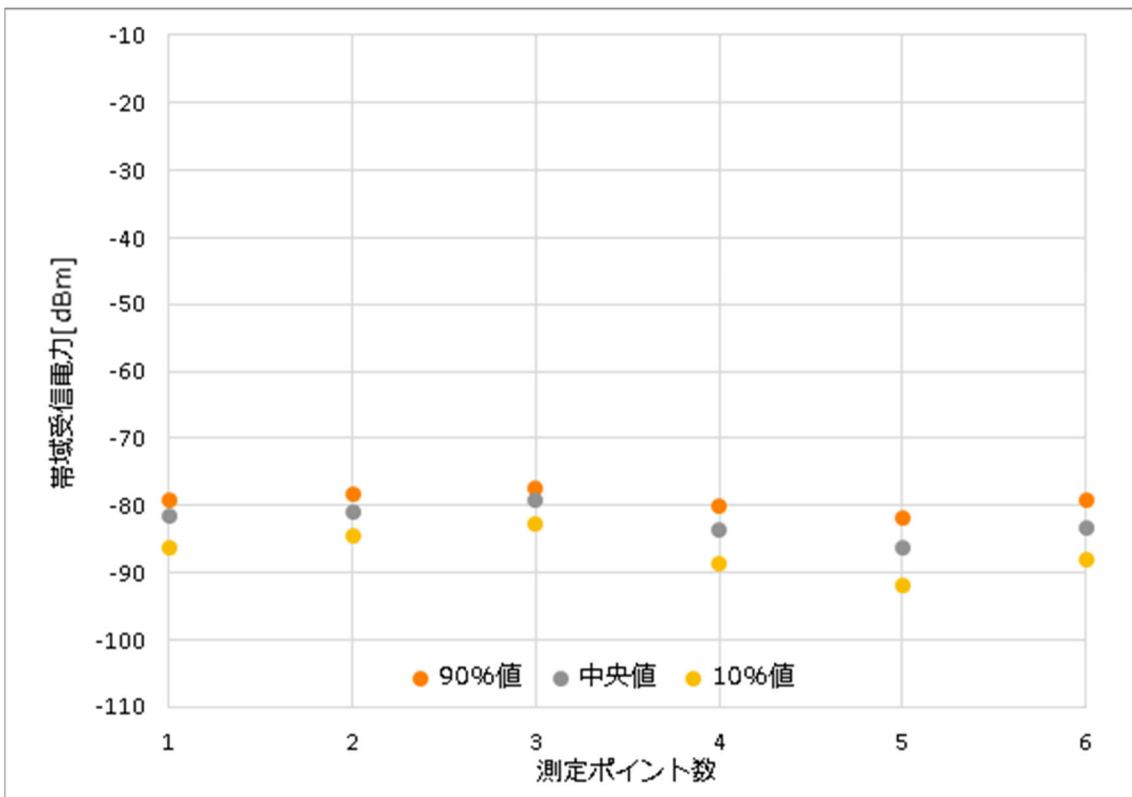


図 3-33 測定点⑥ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)



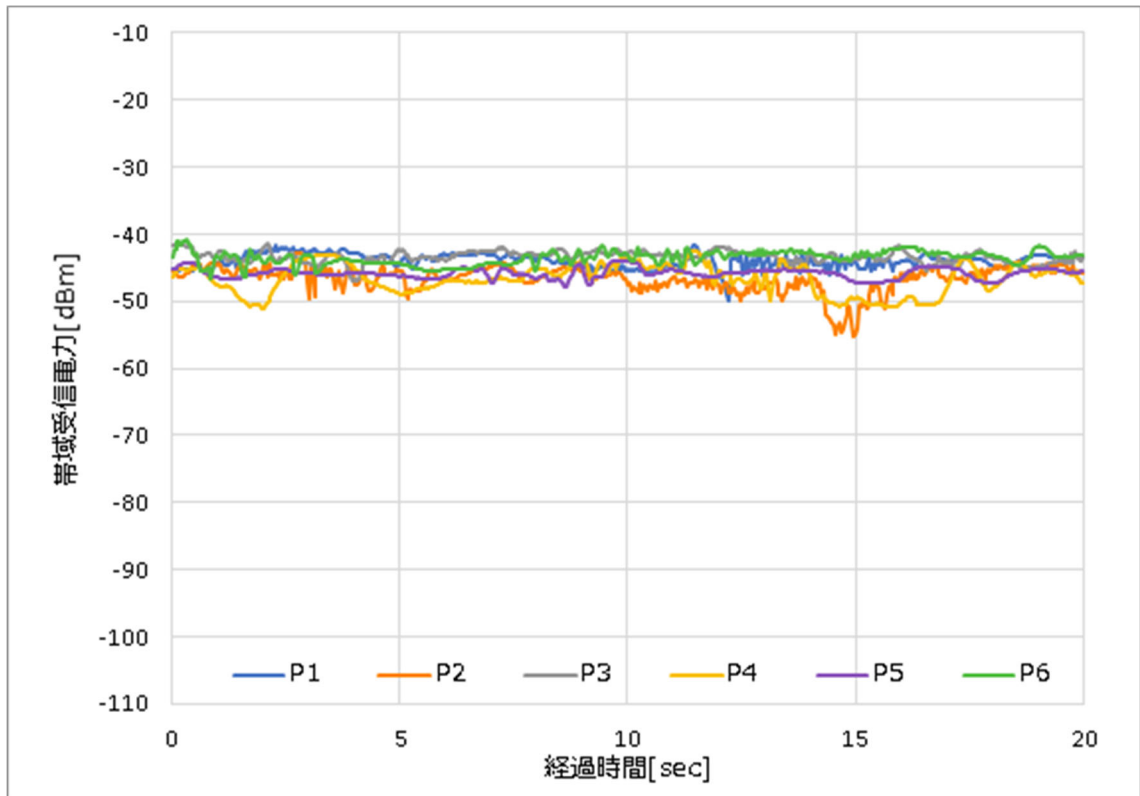


図 3-34 測定点⑦ 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

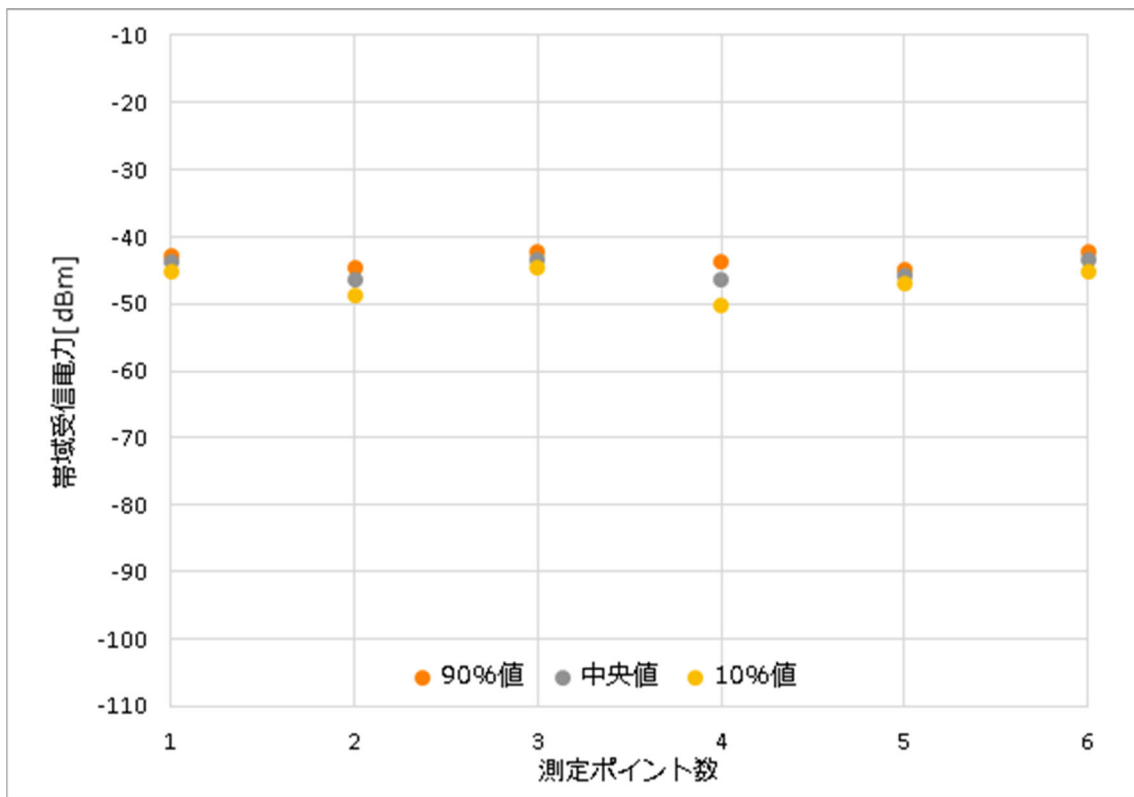


図 3-35 測定点⑦ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

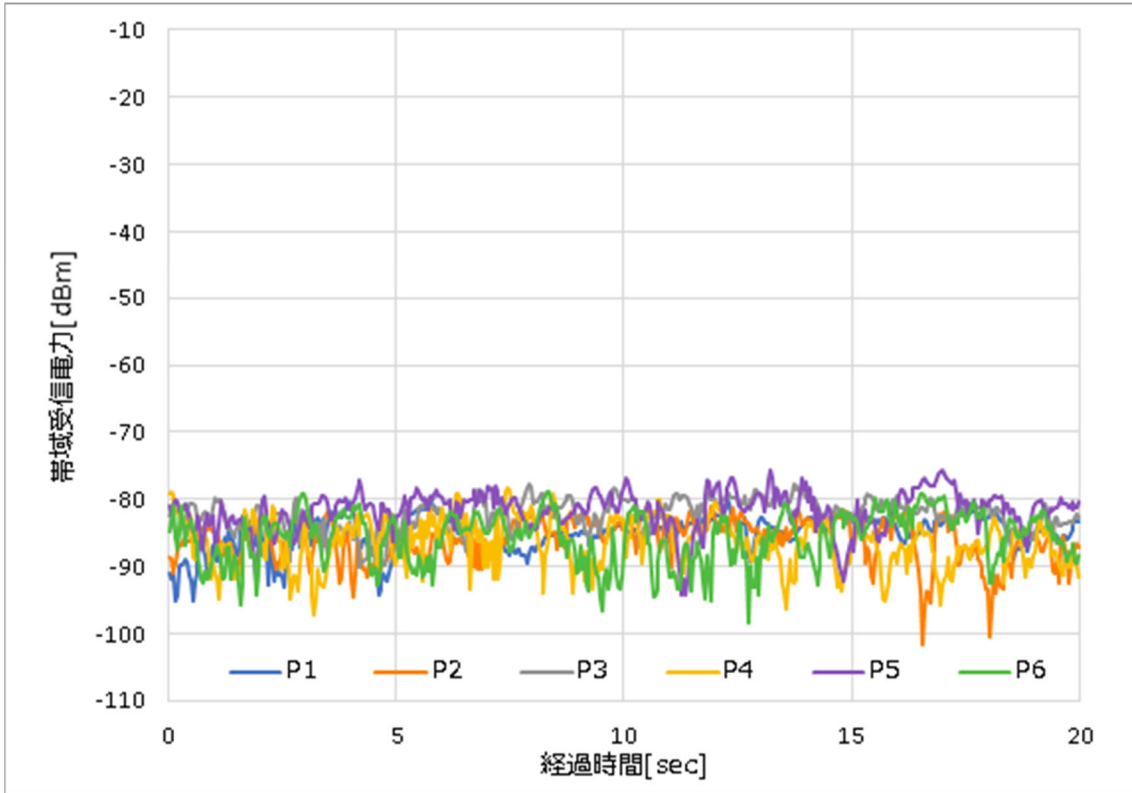


図 3-36 測定点⑦ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

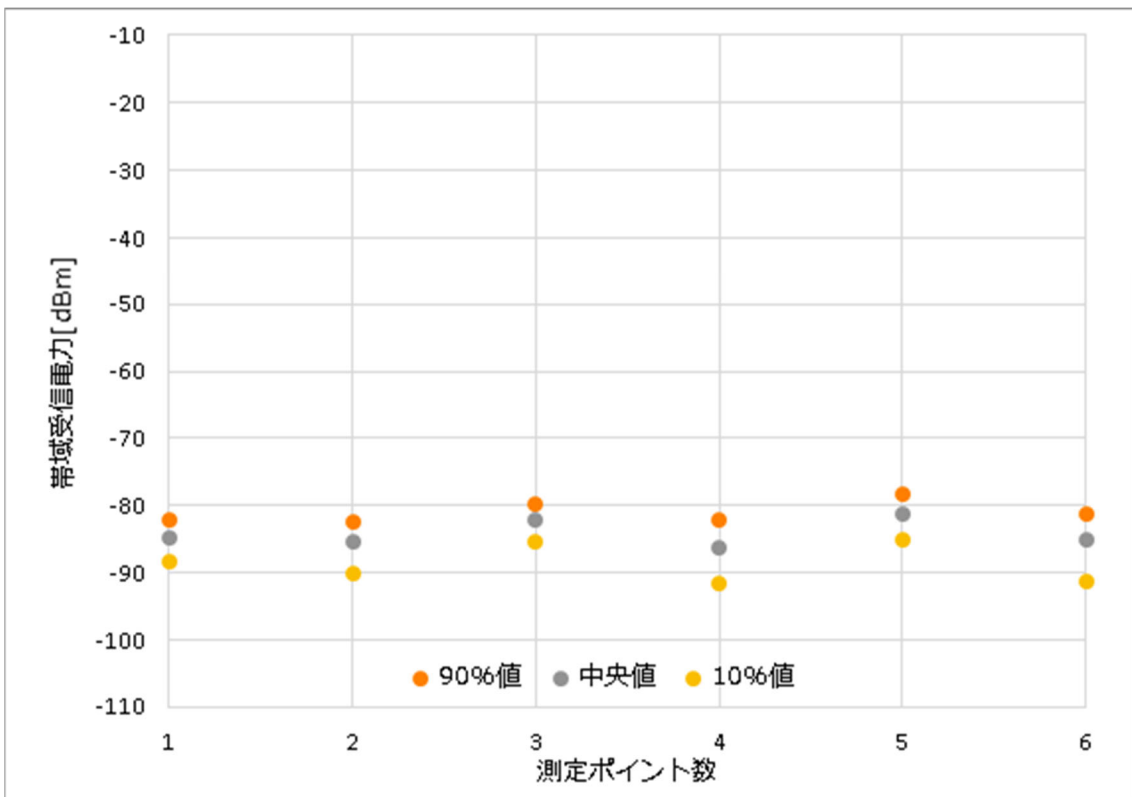


図 3-37 測定点⑦ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

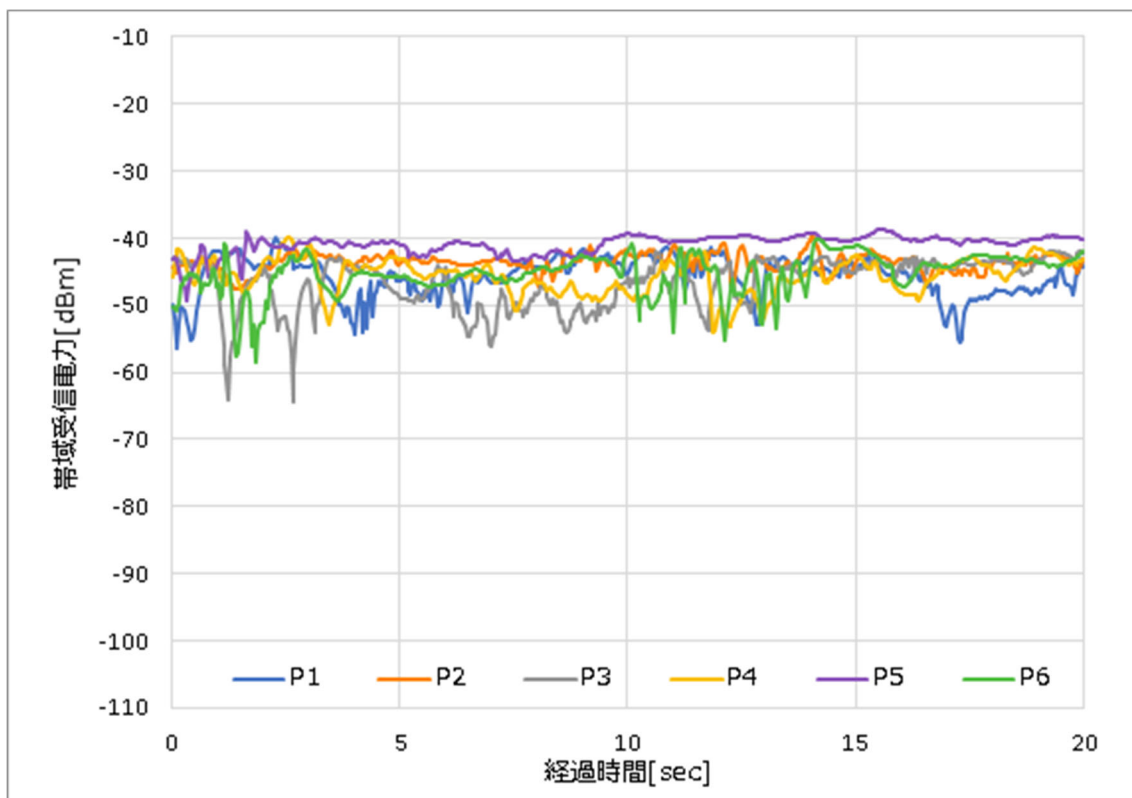


図 3-38 測定点⑧ 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

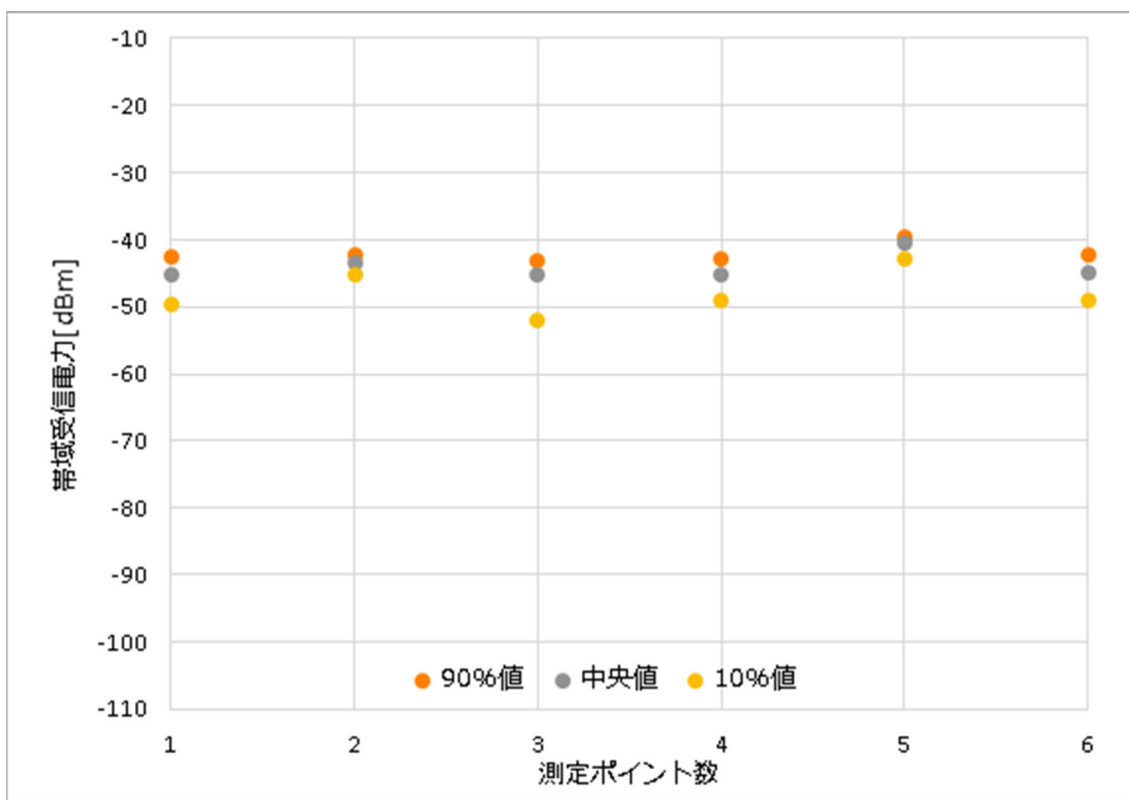


図 3-39 測定点⑧ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

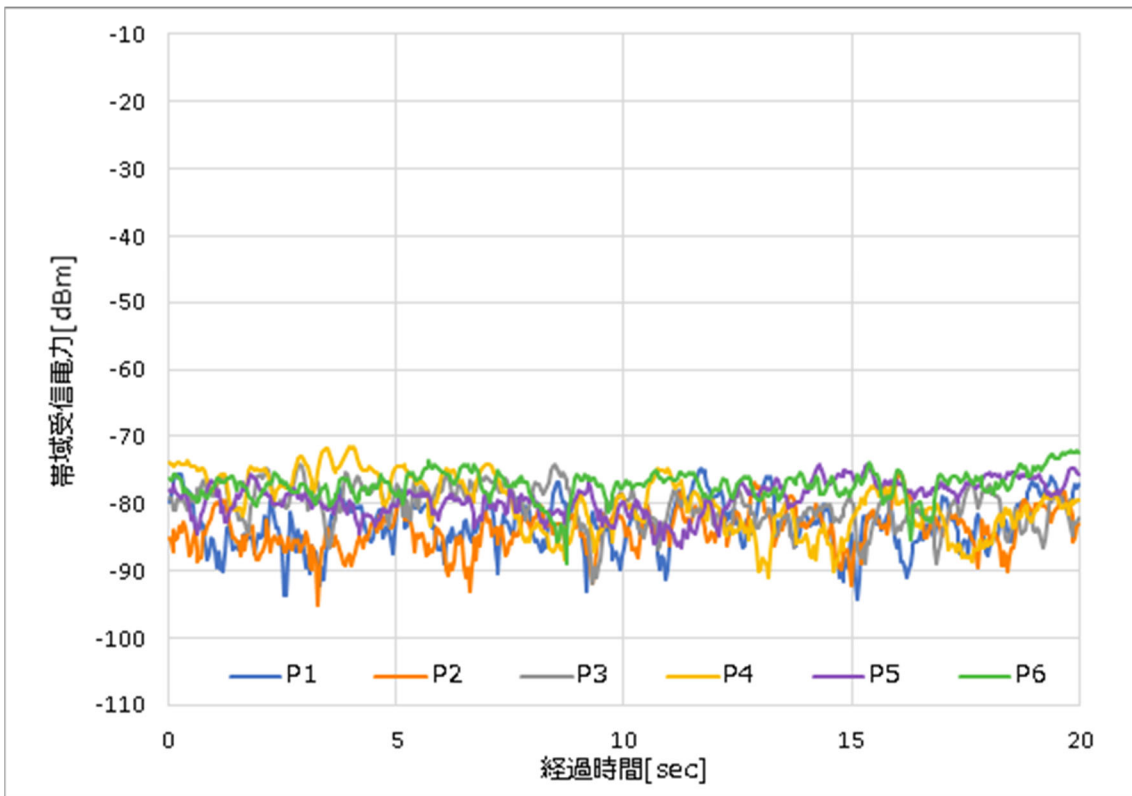


図 3-40 測定点⑧ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

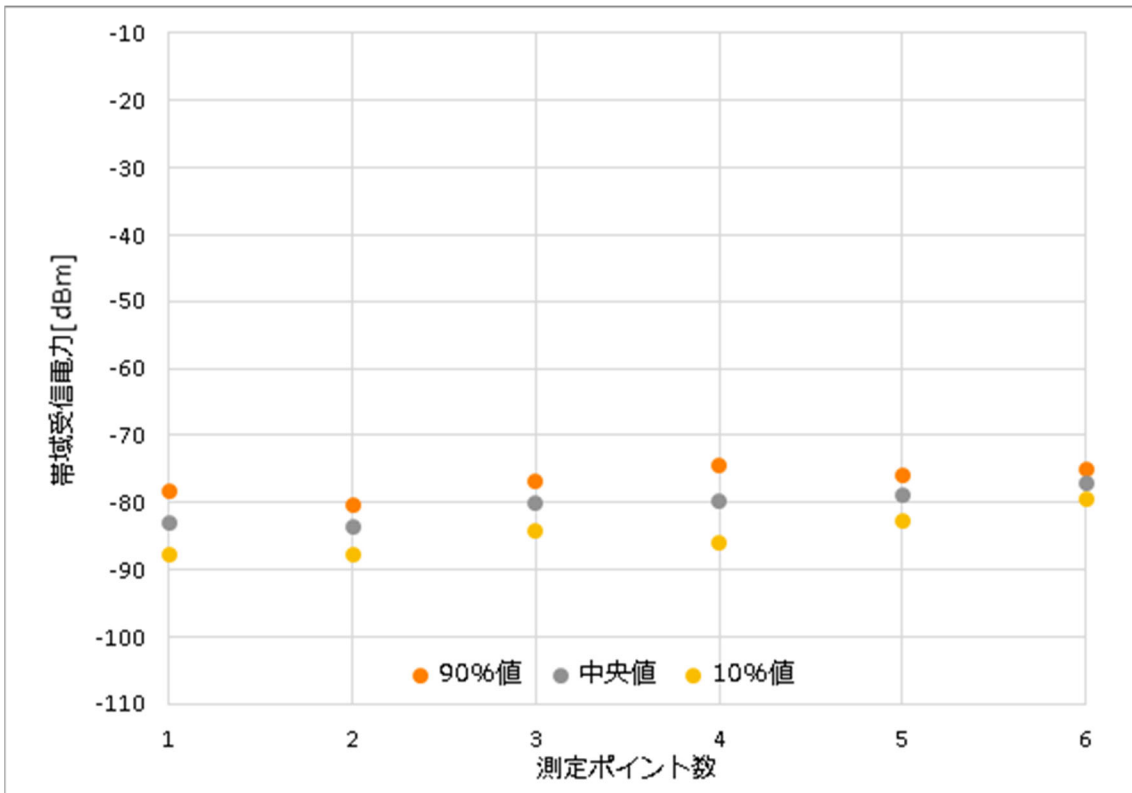


図 3-41 測定点⑧ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア端)

[上毛電鉄中央前橋駅周辺]

上毛電鉄中央前橋駅周辺におけるエリア端の受信電力および閾値が確認できた地点を図 3-42 に示す。また、各測定点から基地局までの距離および見通し状況を表 3-9 に示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-42 エリア算出法で算出したエリアと実際の閾値が確認できた地点  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺)

表 3-6 測定点の概要

※見通しの凡例 ○:見通し ×:非見通し

測定点	分類	基地局までの 距離[m]	エリア端 見通し状況	閾値が 確認できた距離[m]	閾値点 見通し状況
①	調整対象区域	107	○	362	×
②		105	○	284	×
③		113	×	332	×
④		108	×	130	×
⑤	カバーエリア	88	○	323	×
⑥		89	○	220	×
⑦		93	○	292	×
⑧		84	×	93	×

各測定点の受信電力 時間変動、および受信電力 正規化後の値を図 3-43 から図 3-74 に示す。

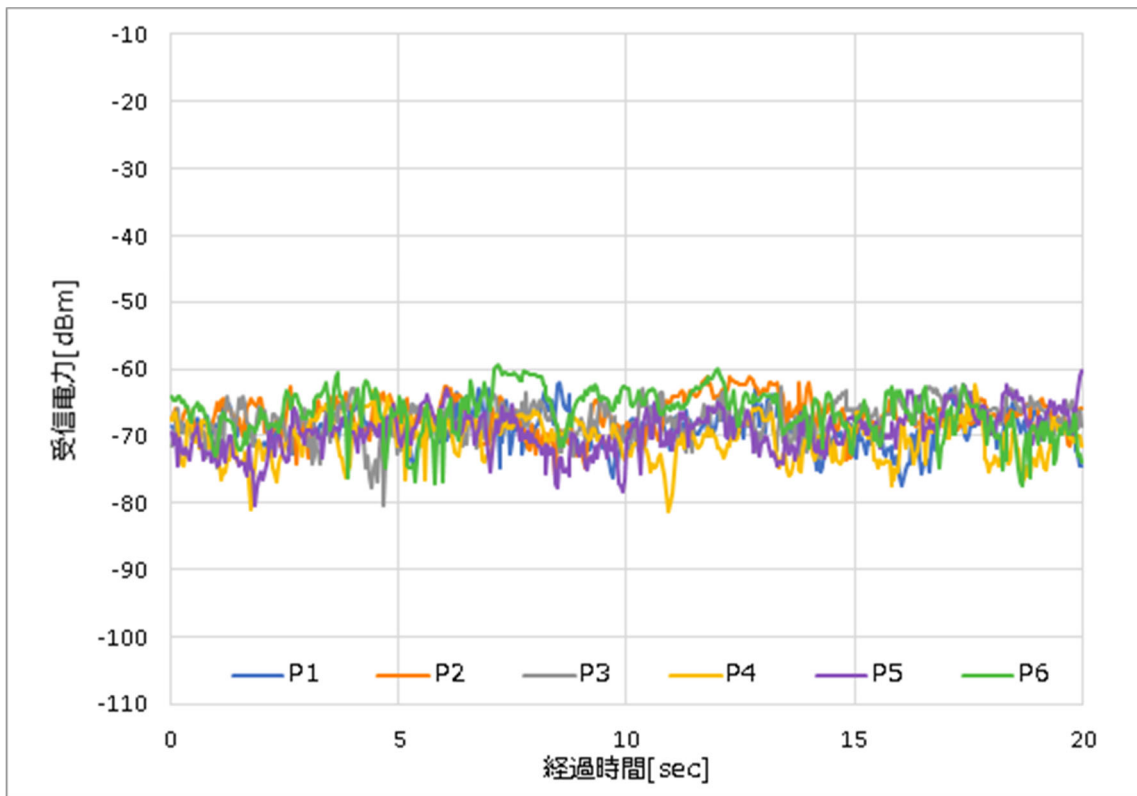


図 3-43 測定点① 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

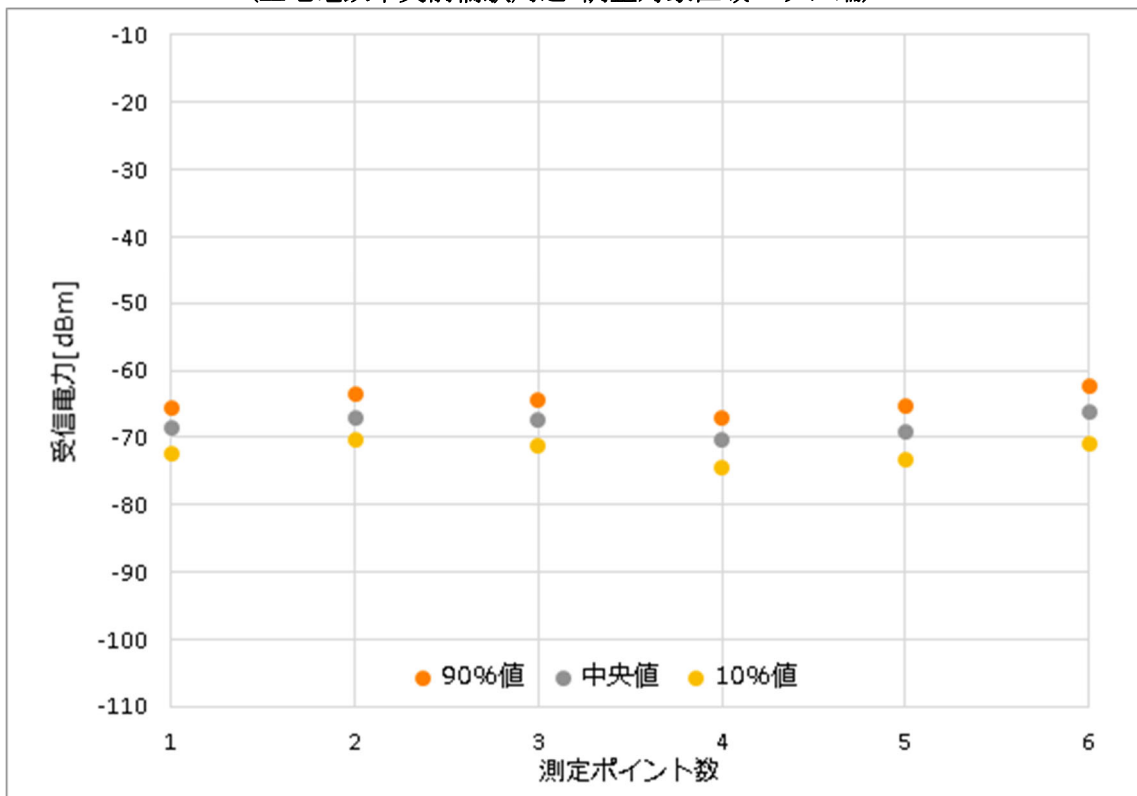


図 3-44 測定点① 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

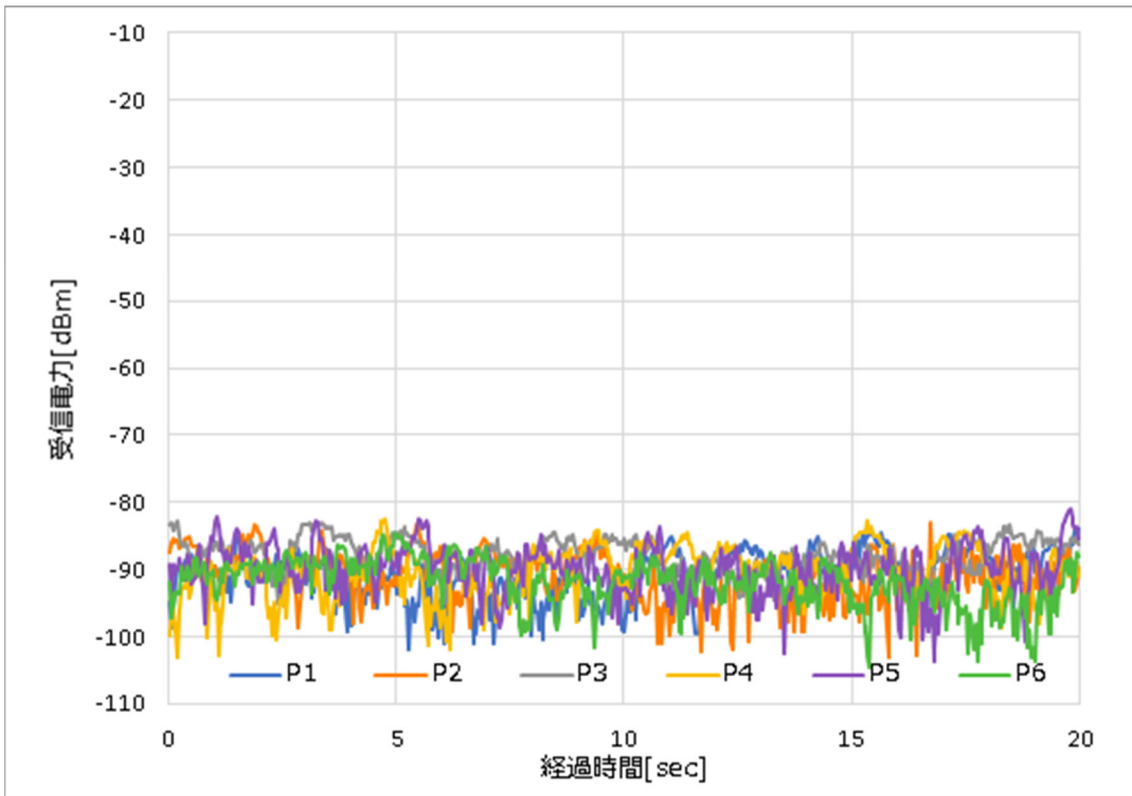


図 3-45 測定点① 閾値確認点 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

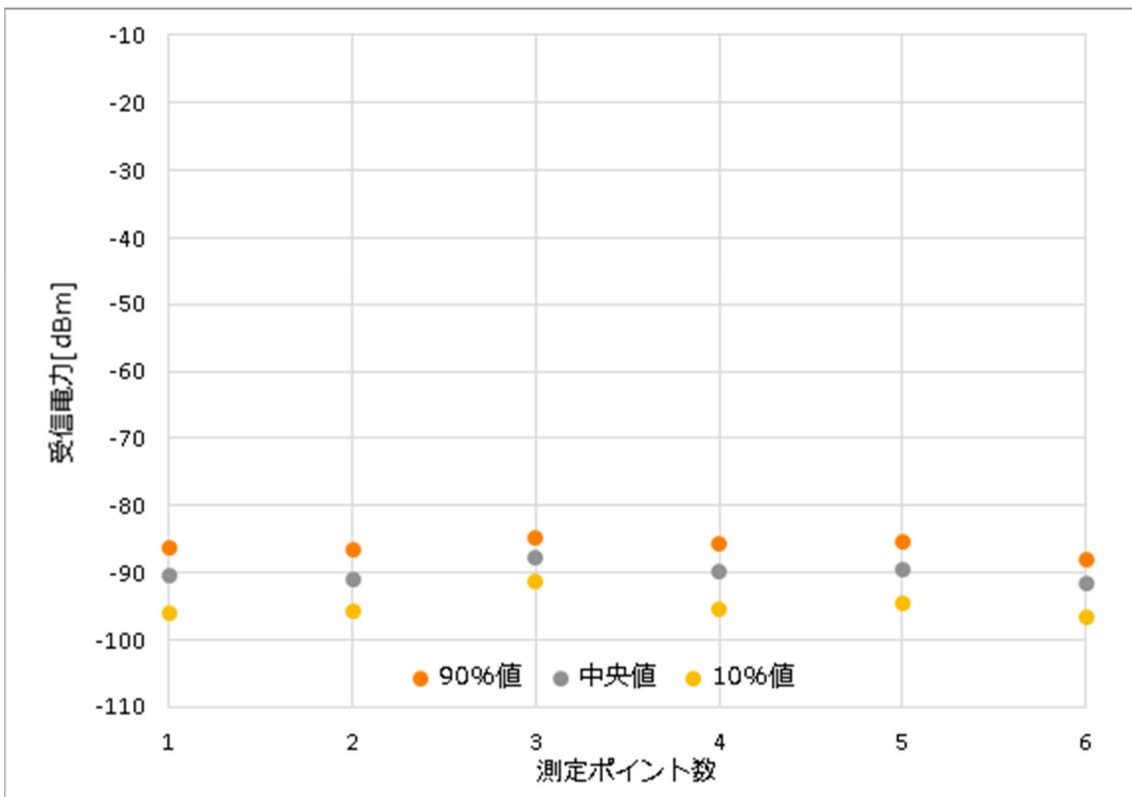


図 3-46 測定点① 閾値確認点 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)



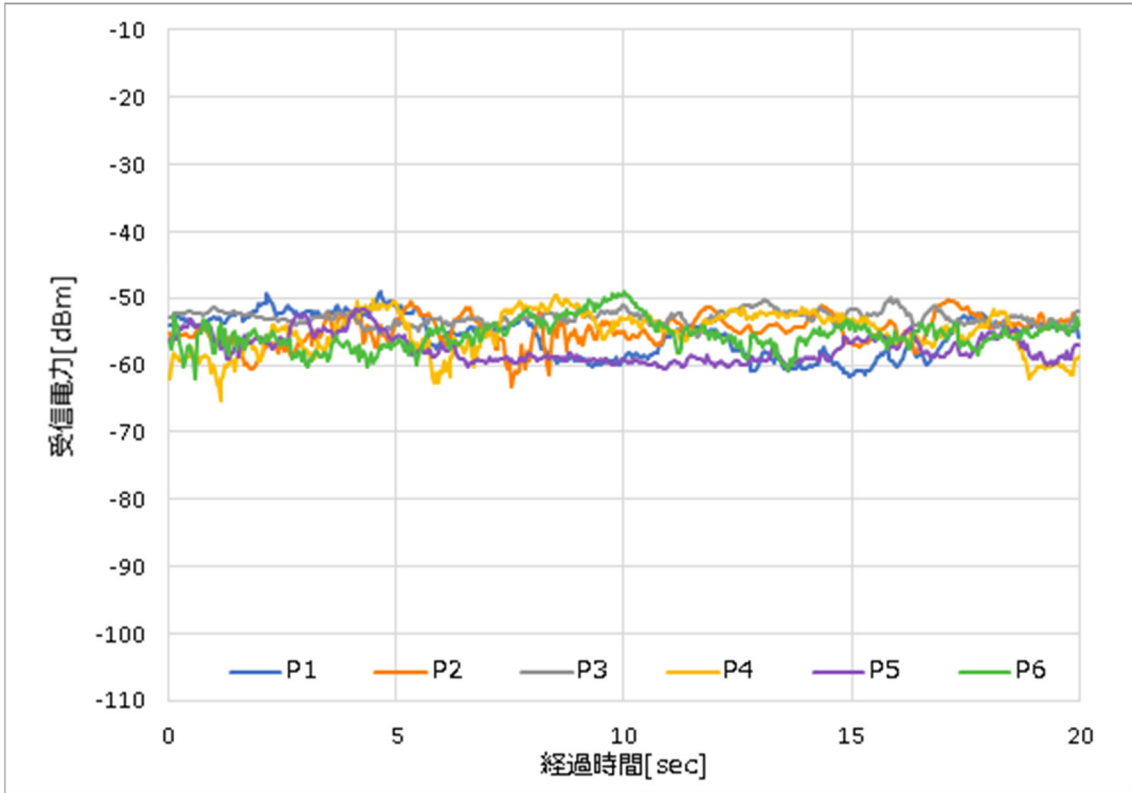


図 3-47 測定点② 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

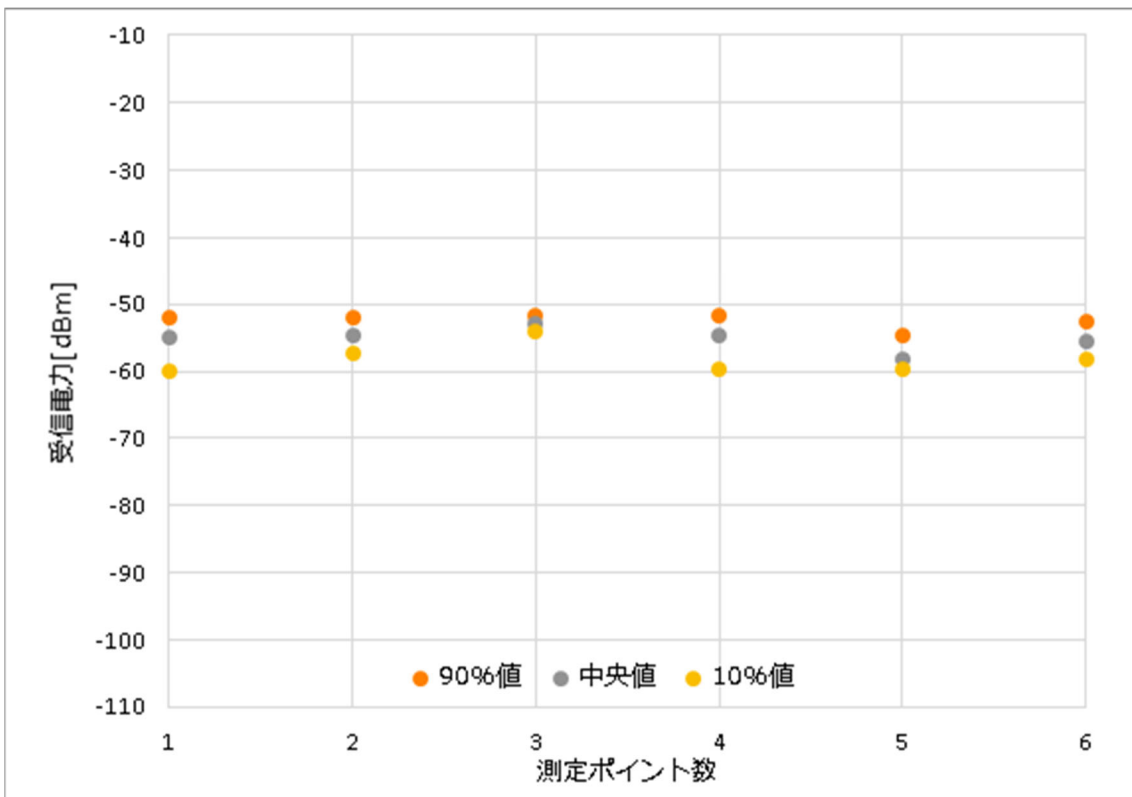


図 3-48 測定点② 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

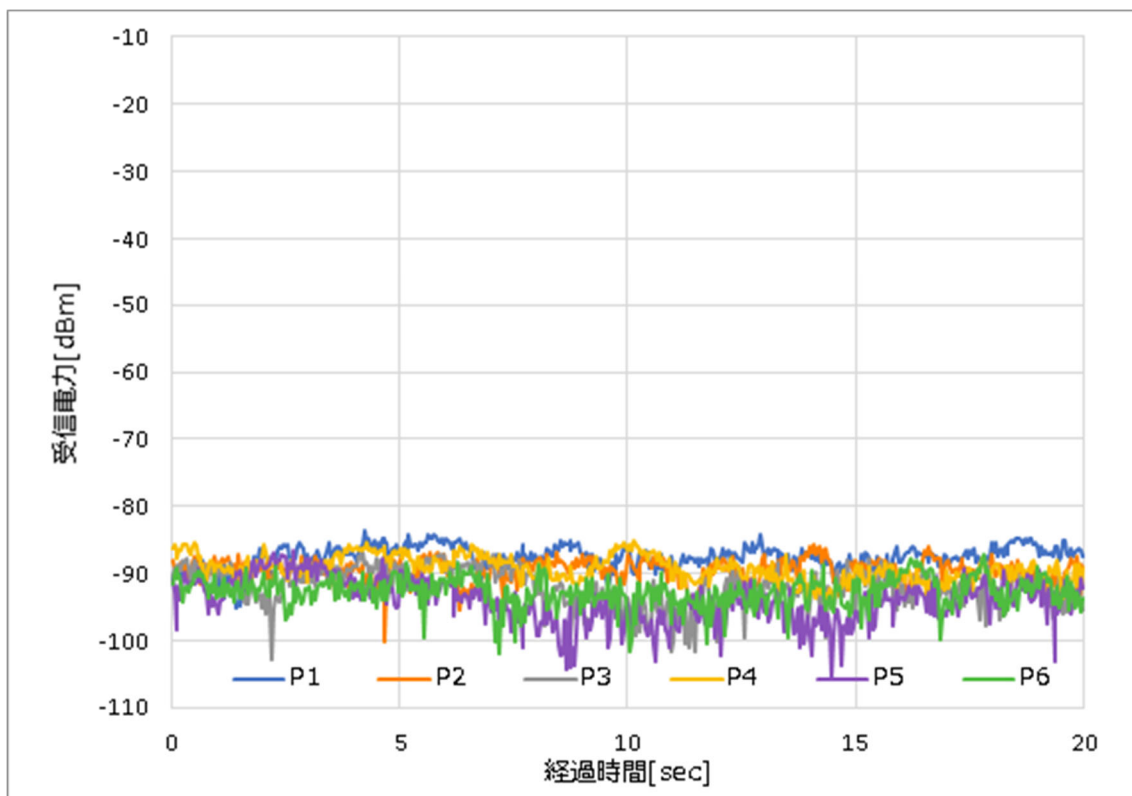


図 3-49 測定点② 閾値確認点 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

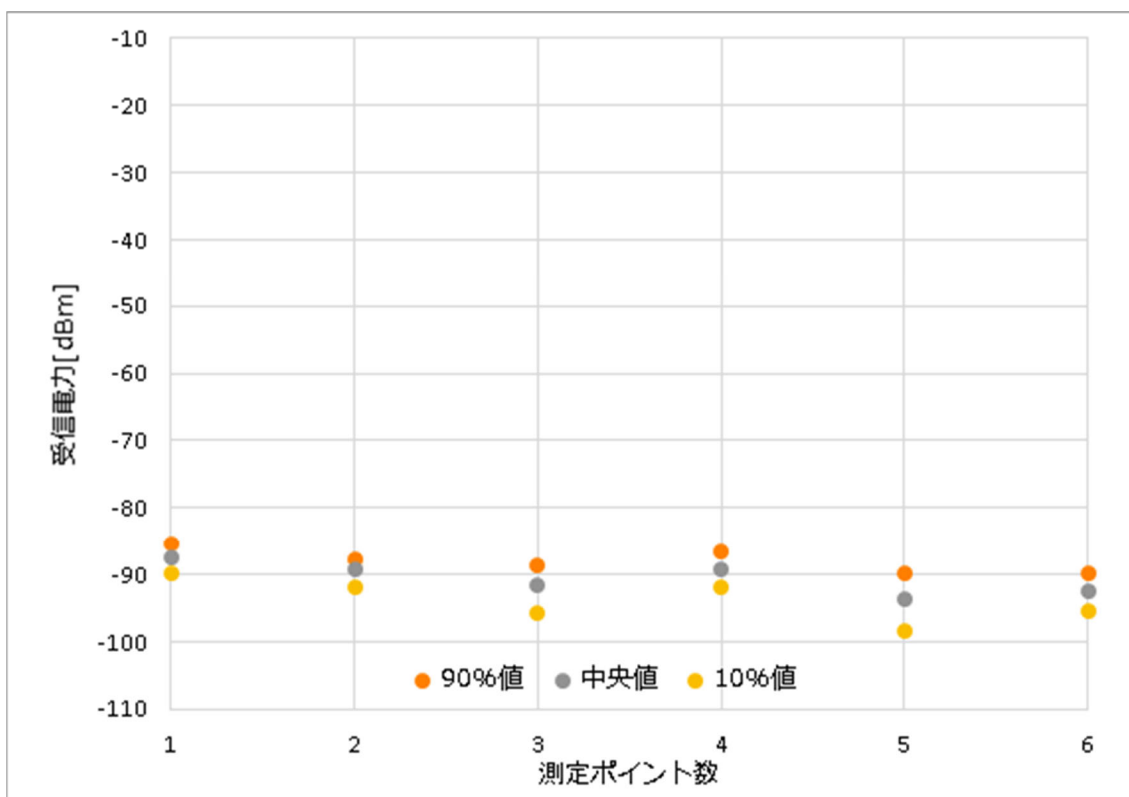


図 3-50 測定点② 閾値確認点 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

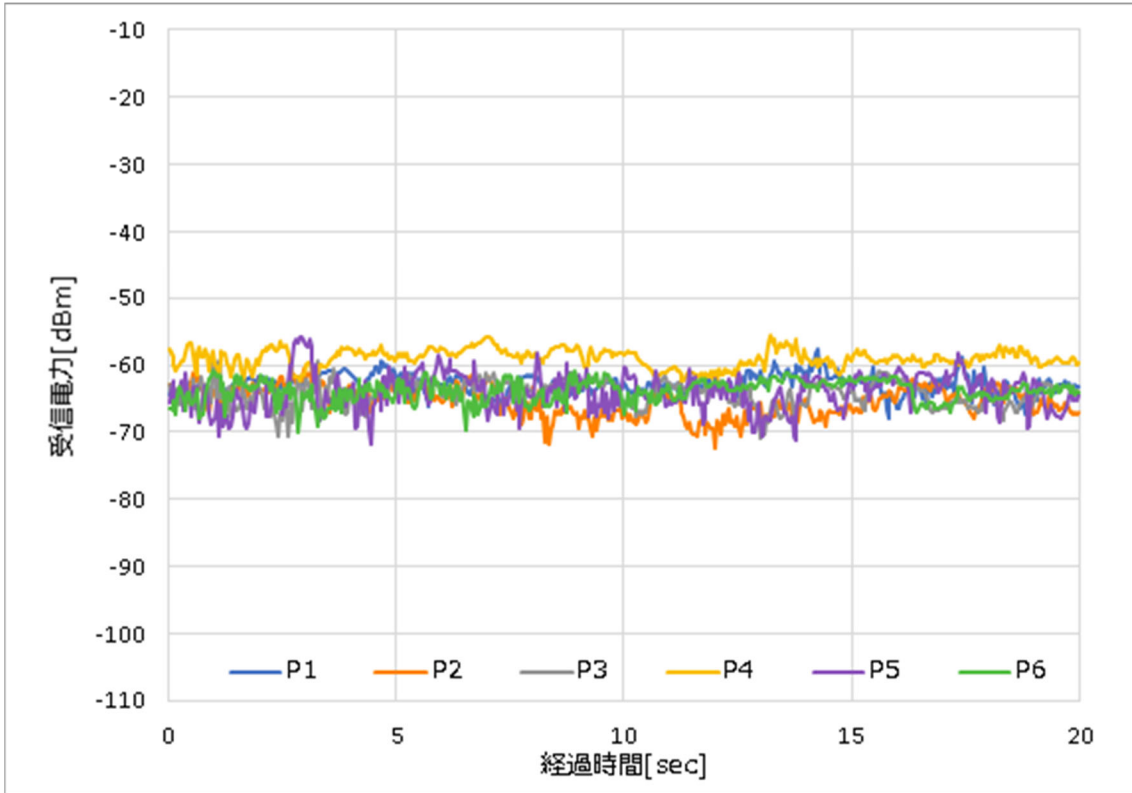


図 3-51 測定点③ 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

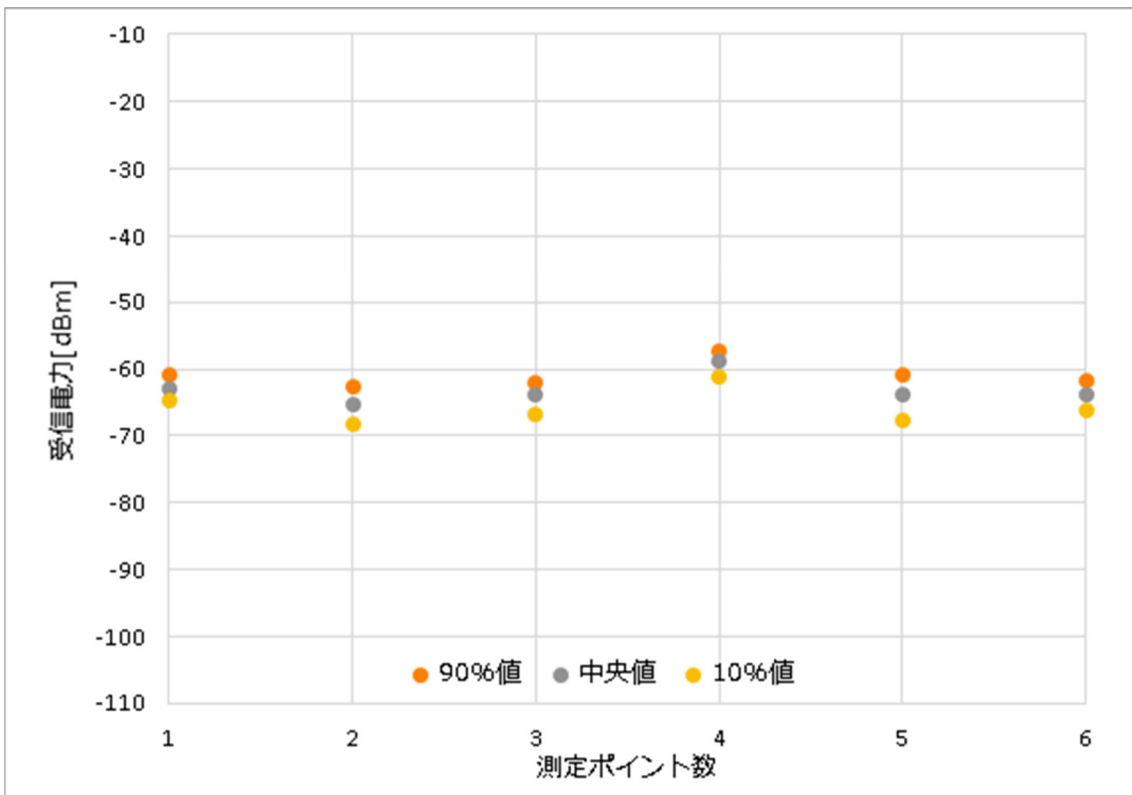


図 3-52 測定点③ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

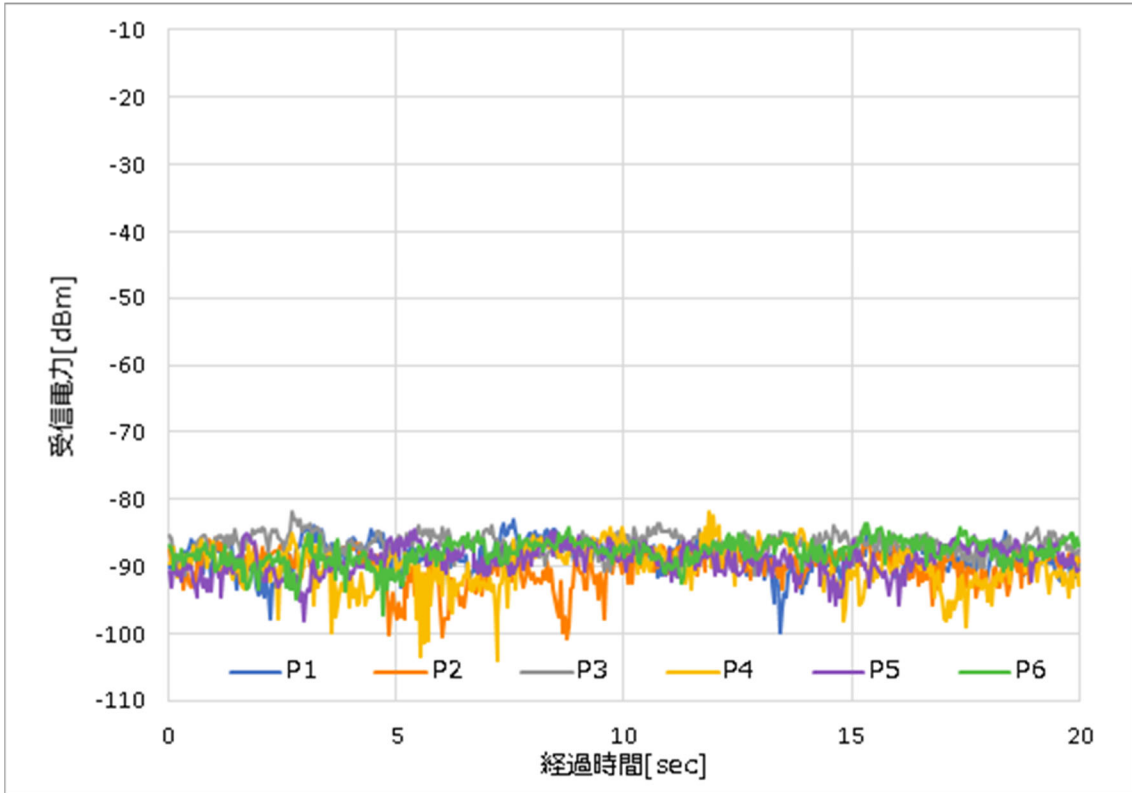


図 3-53 測定点③ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

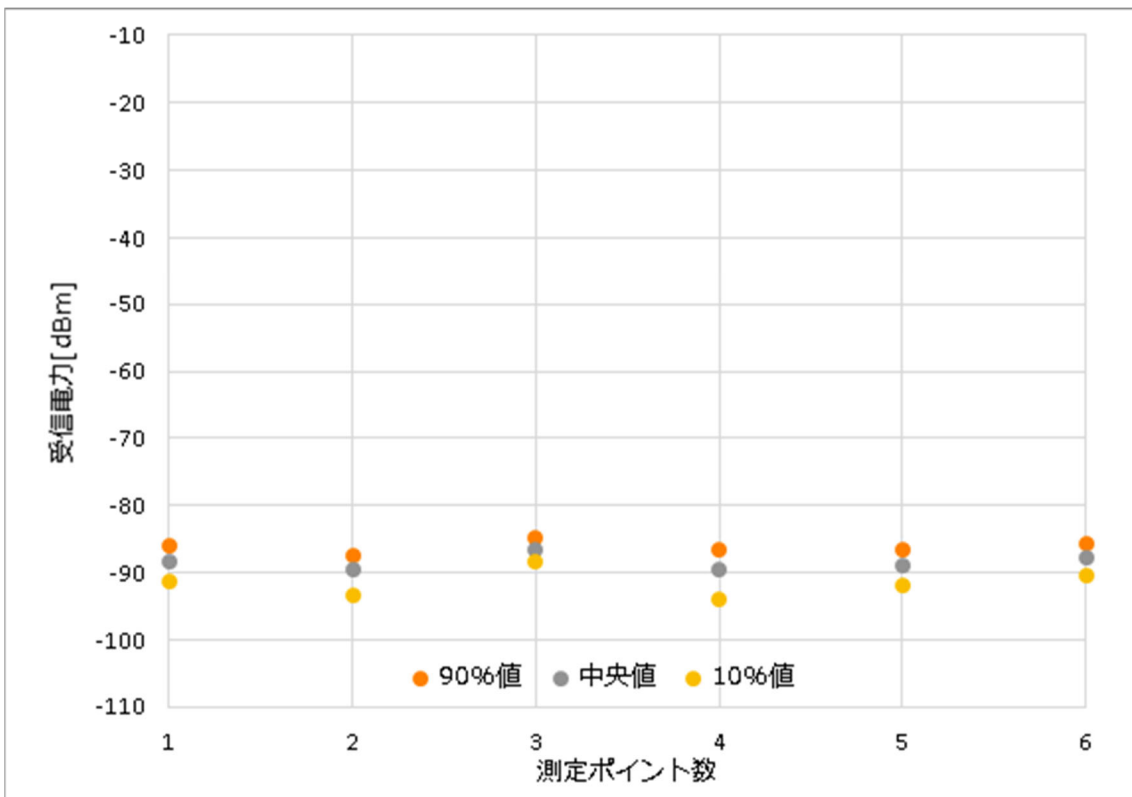


図 3-54 測定点③ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

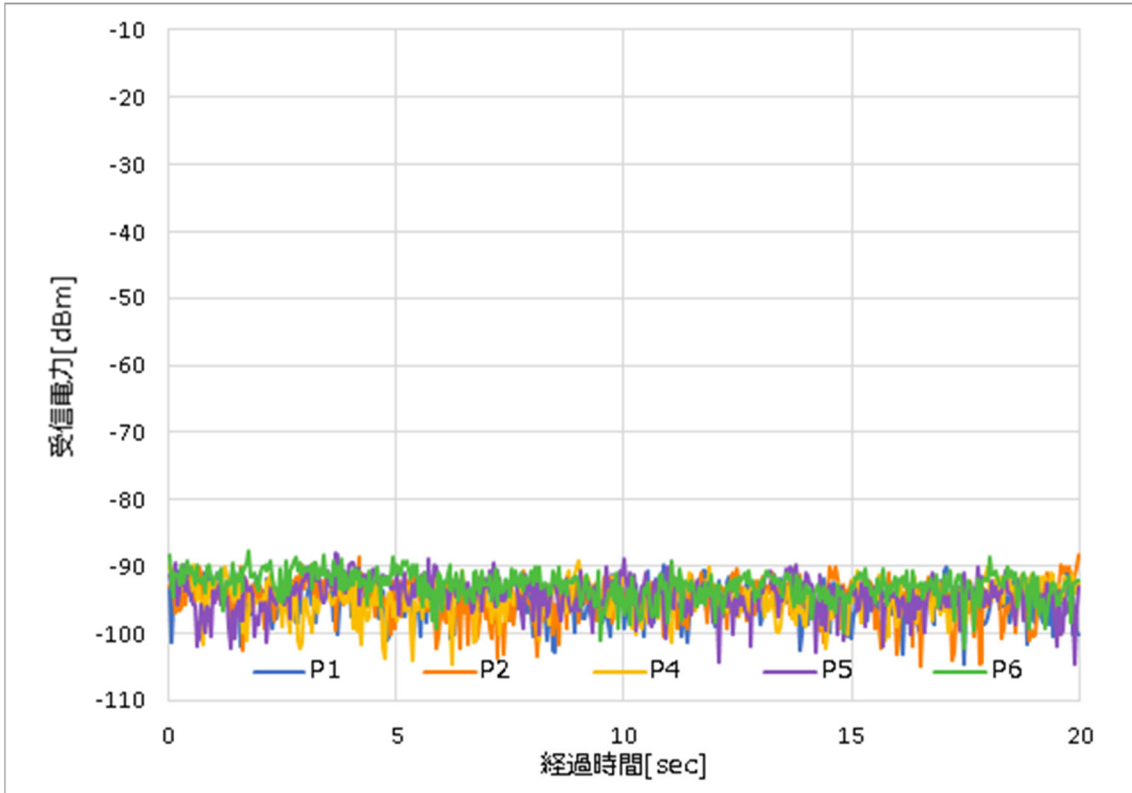


図 3-55 測定点④ 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

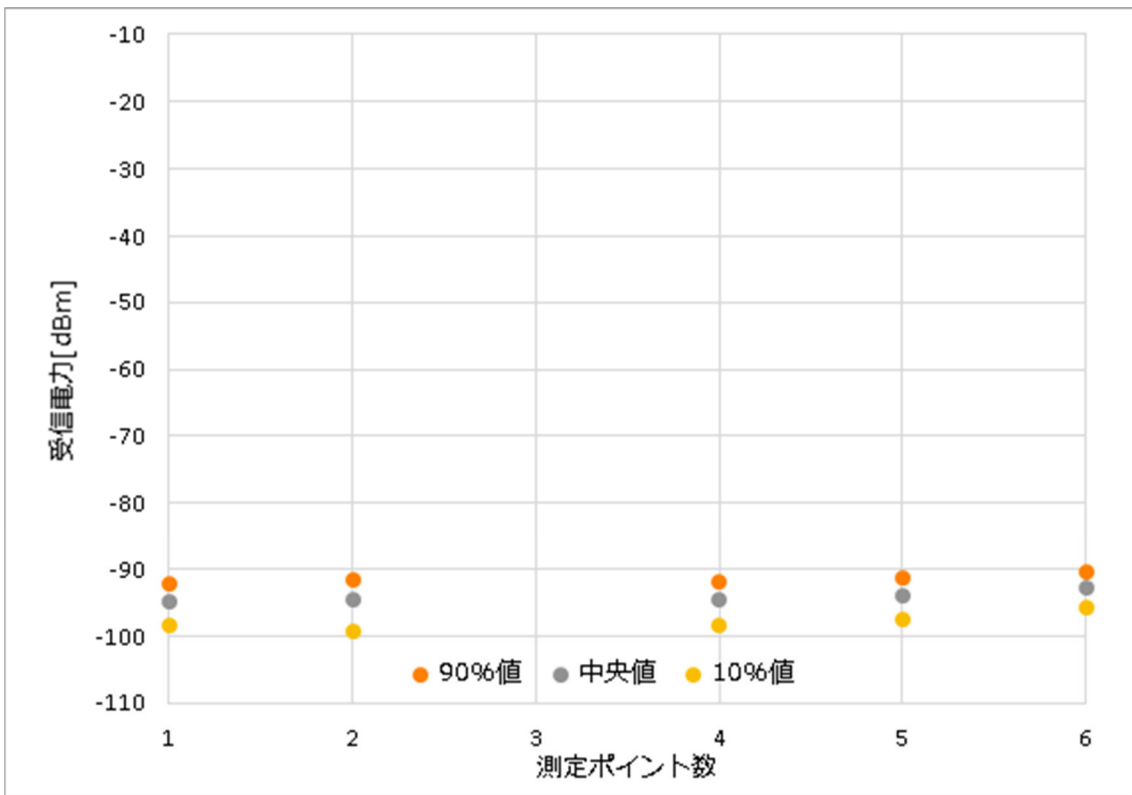


図 3-56 測定点④ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

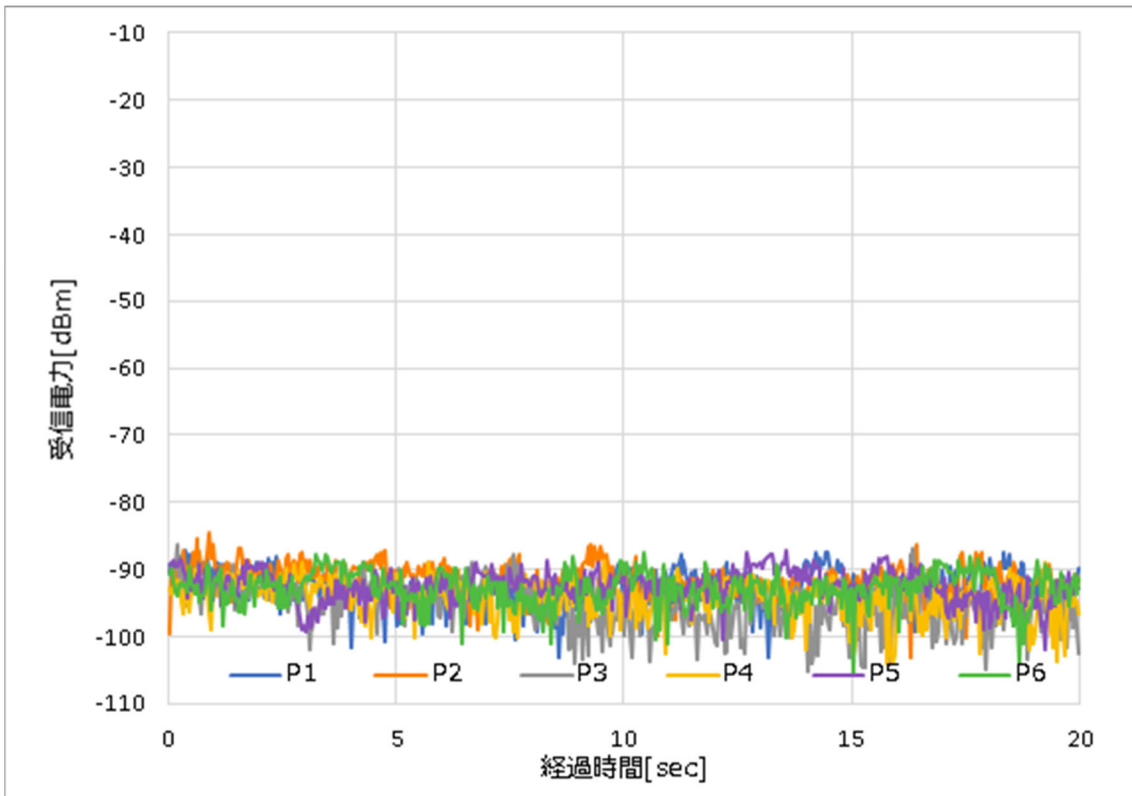


図 3-57 測定点④ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

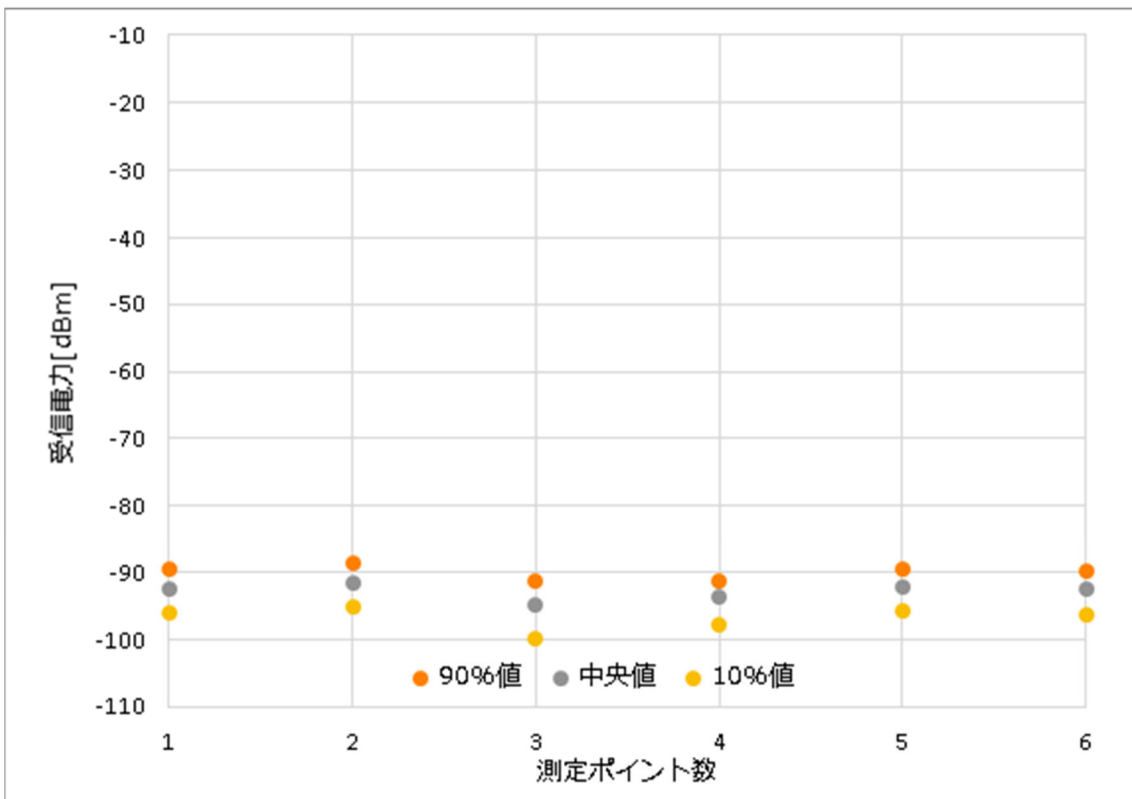


図 3-58 測定点④ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 調整対象区域エリア端)

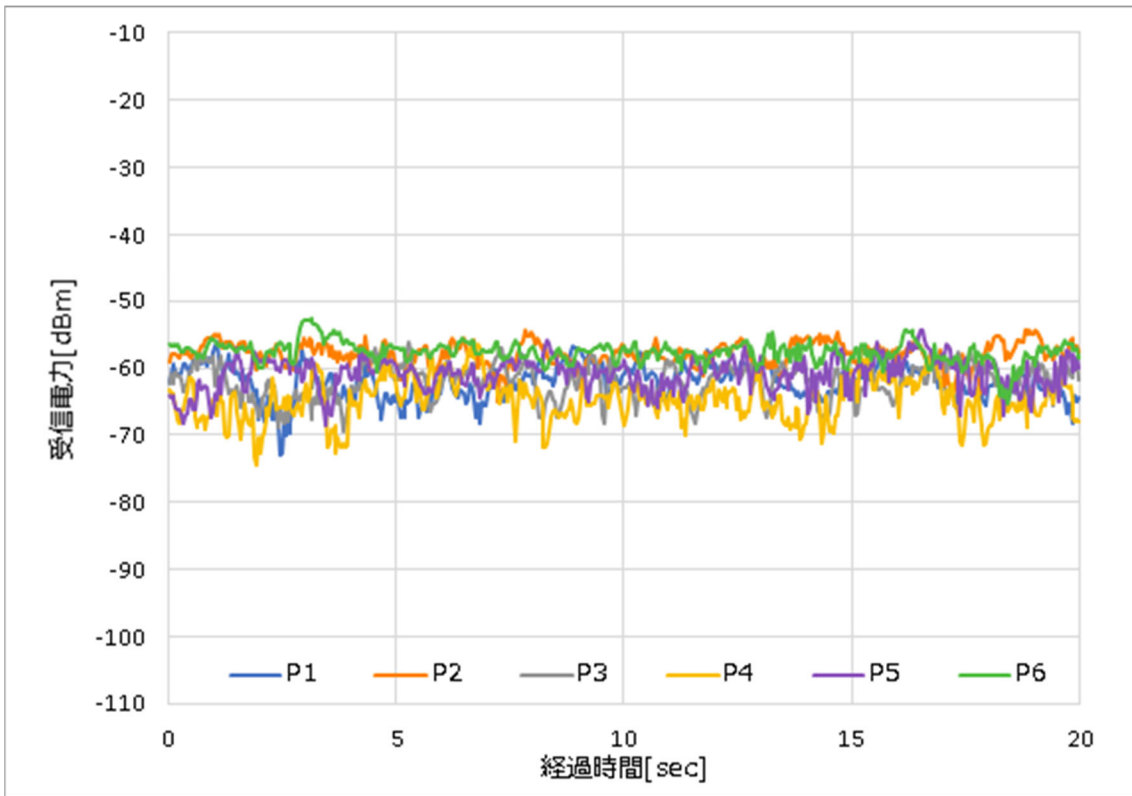


図 3-59 測定点⑤ 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

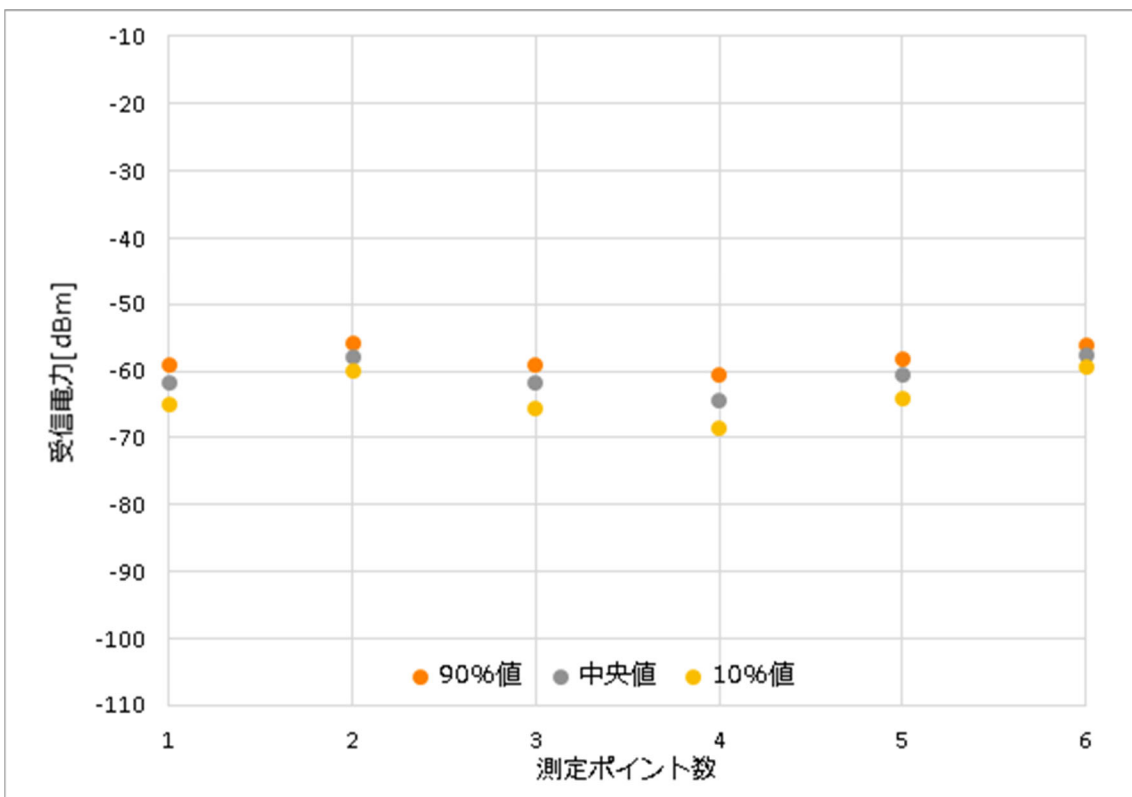


図 3-60 測定点⑤ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

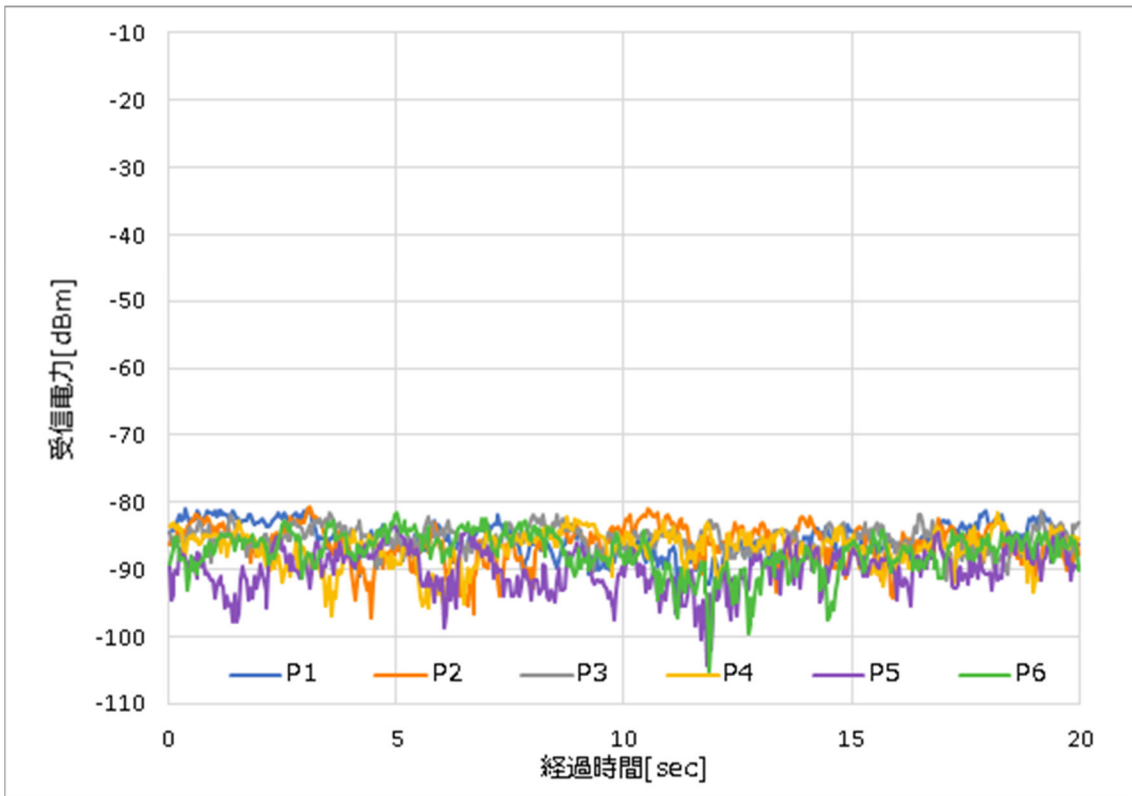


図 3-61 測定点⑤ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

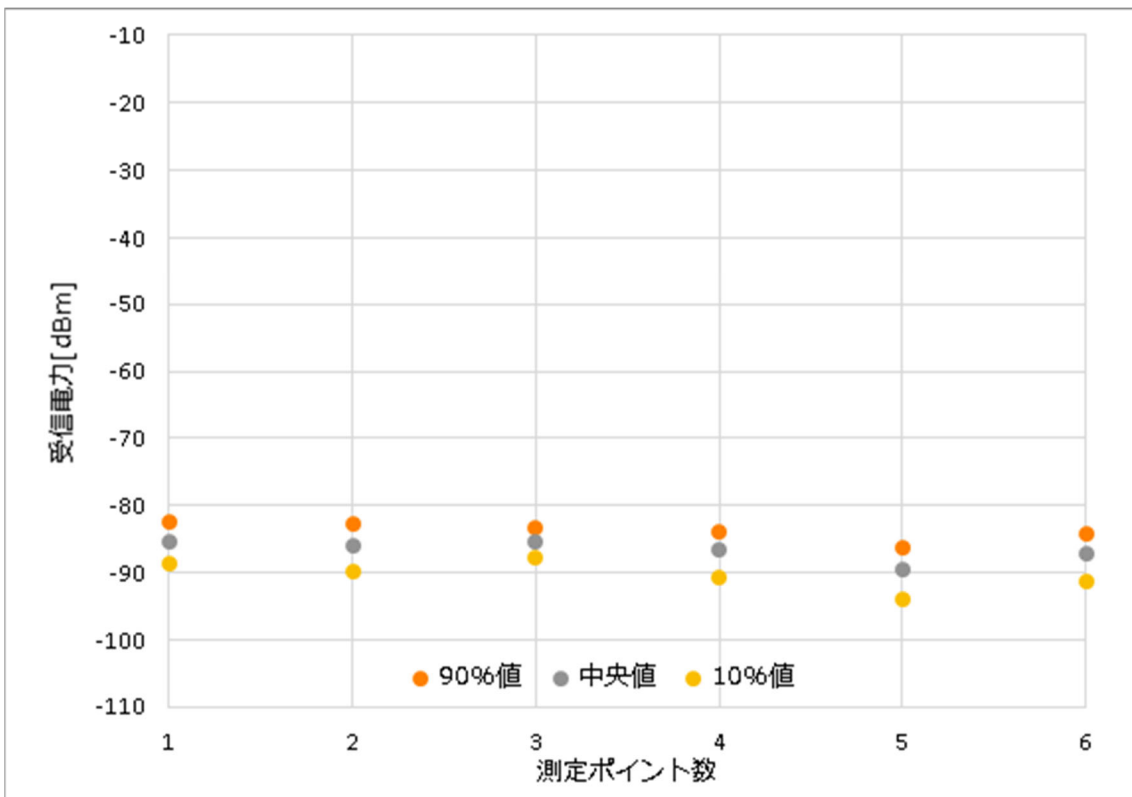


図 3-62 測定点⑤ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)



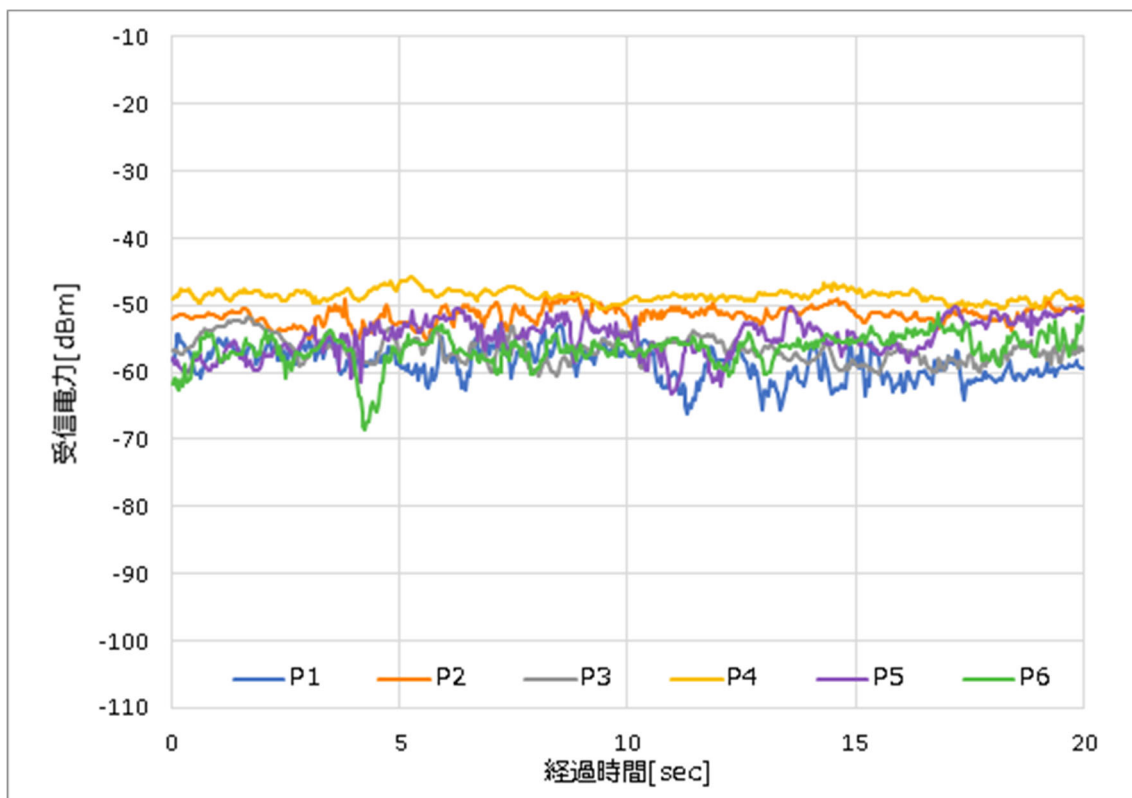


図 3-63 測定点⑥ 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

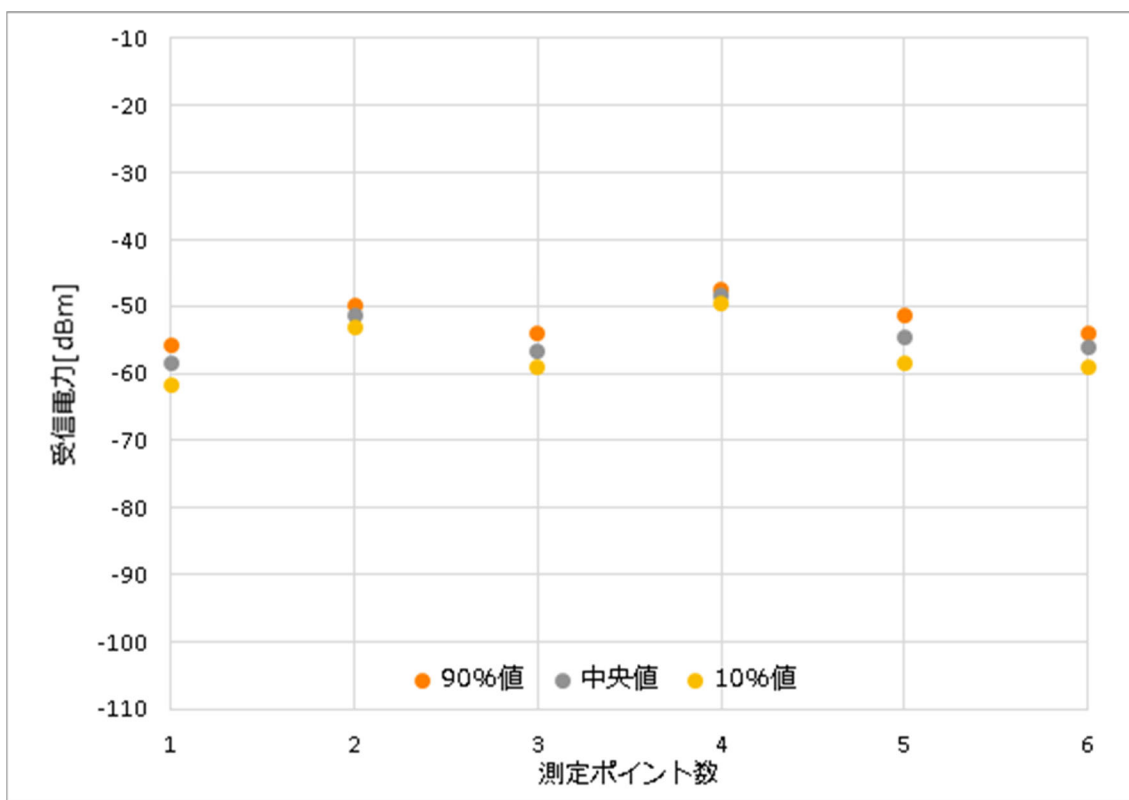


図 3-64 測定点⑥ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

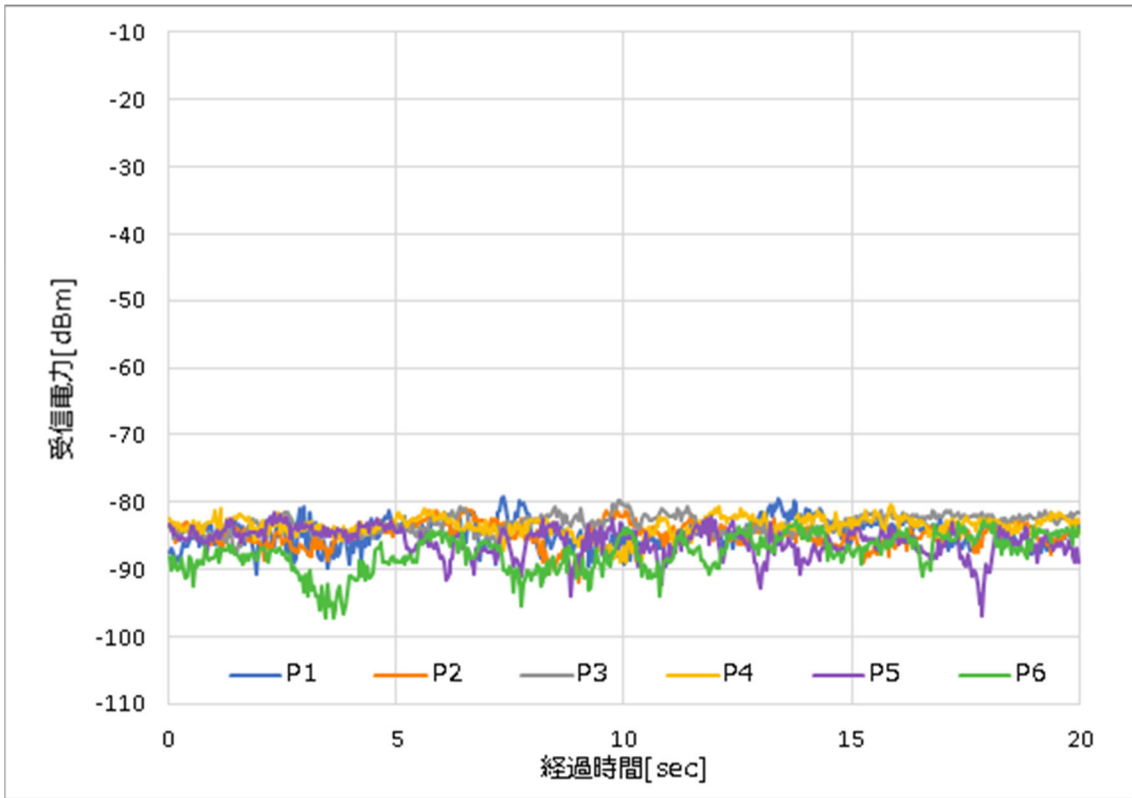


図 3-65 測定点⑥ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

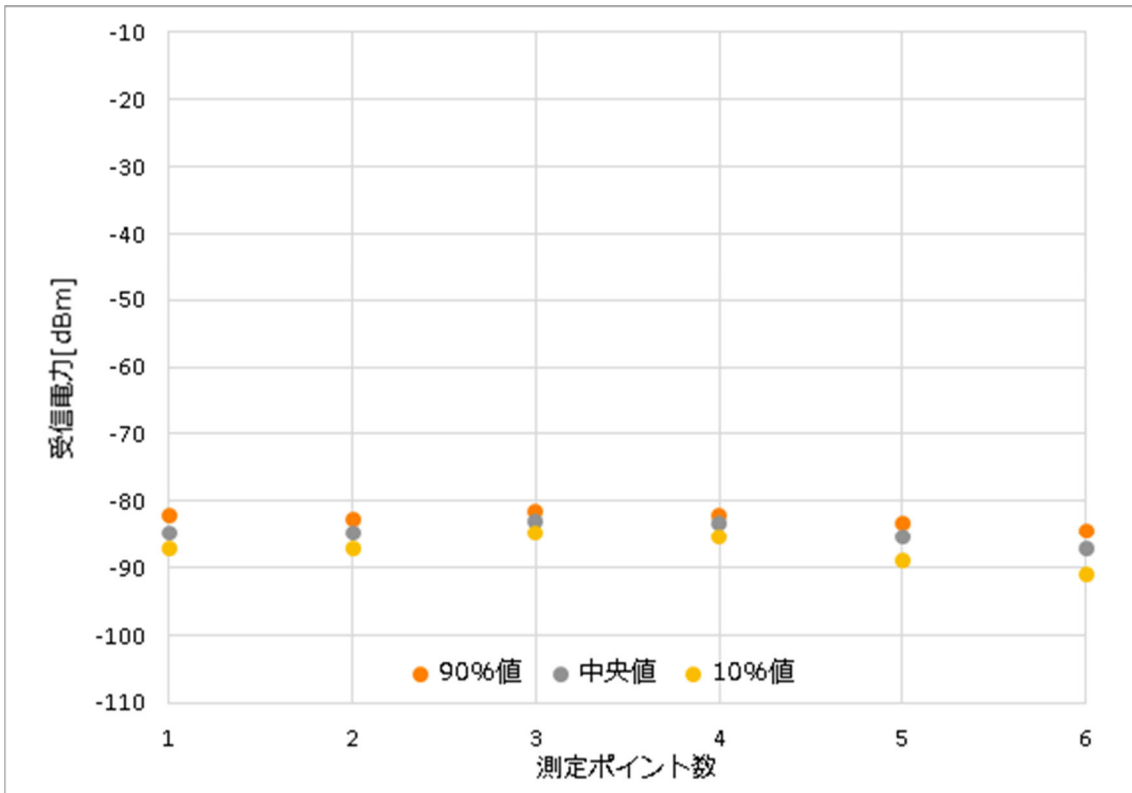


図 3-66 測定点⑥ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

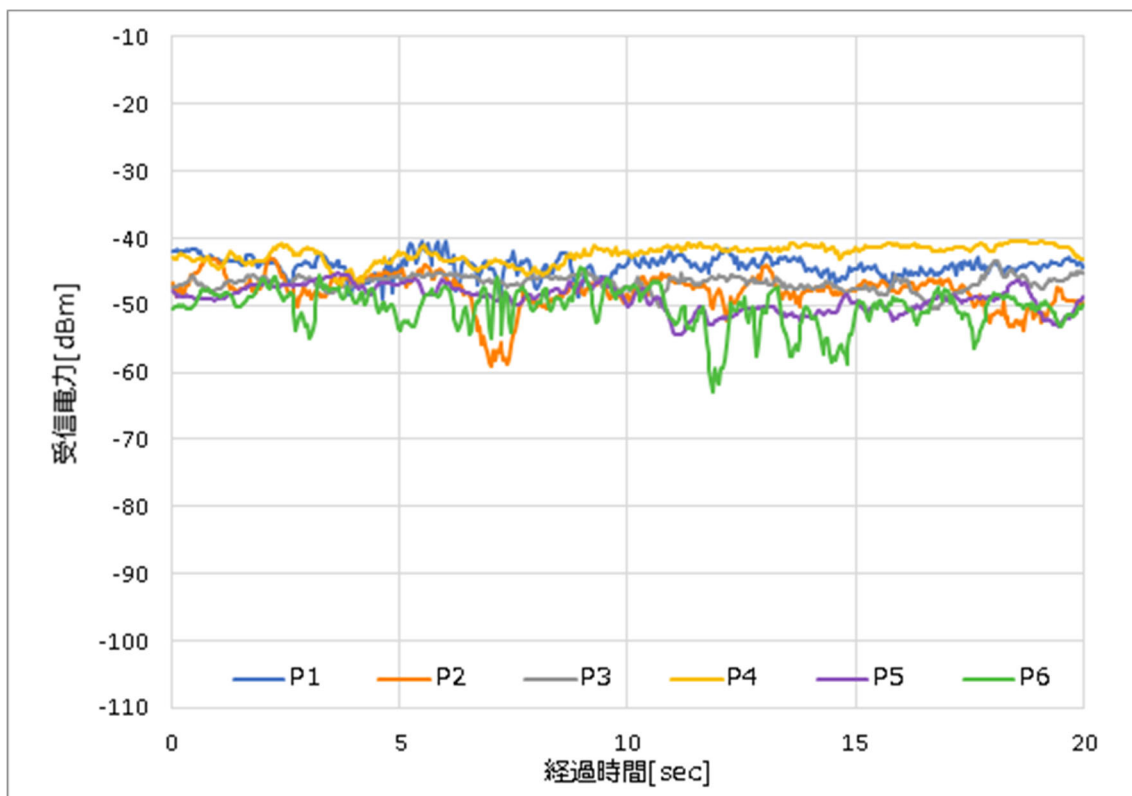


図 3-67 測定点⑦ 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

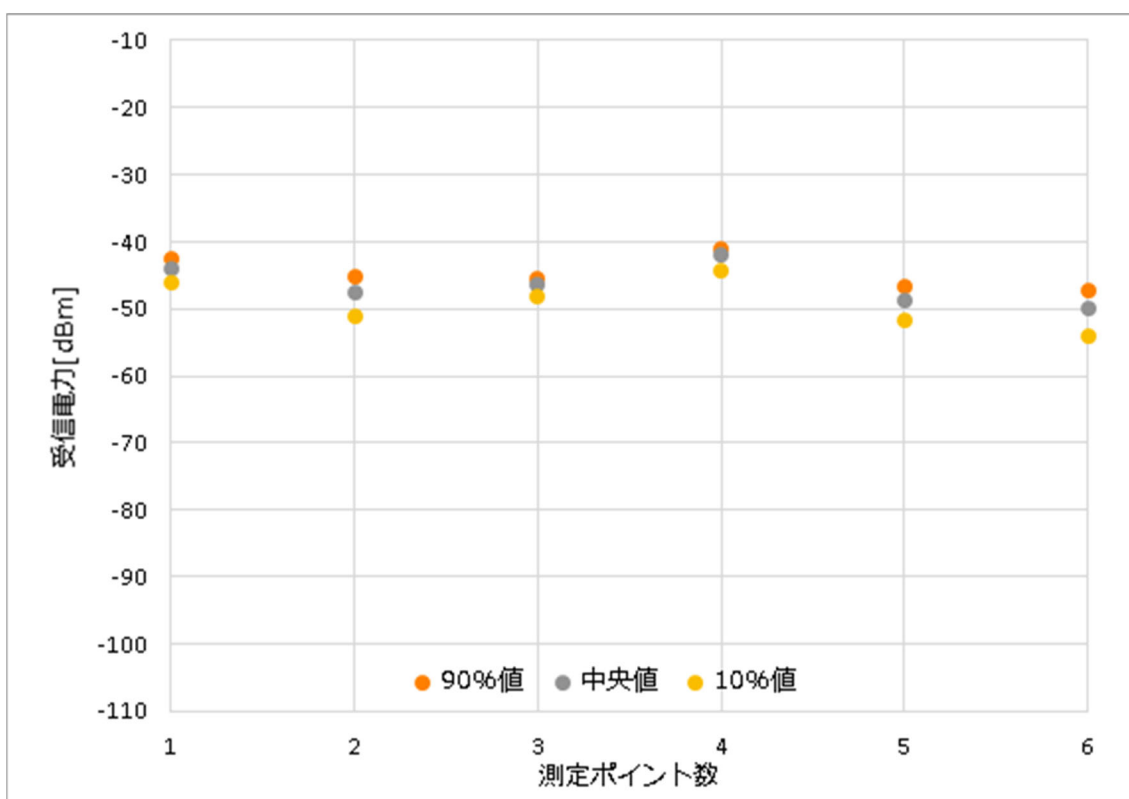


図 3-68 測定点⑦ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

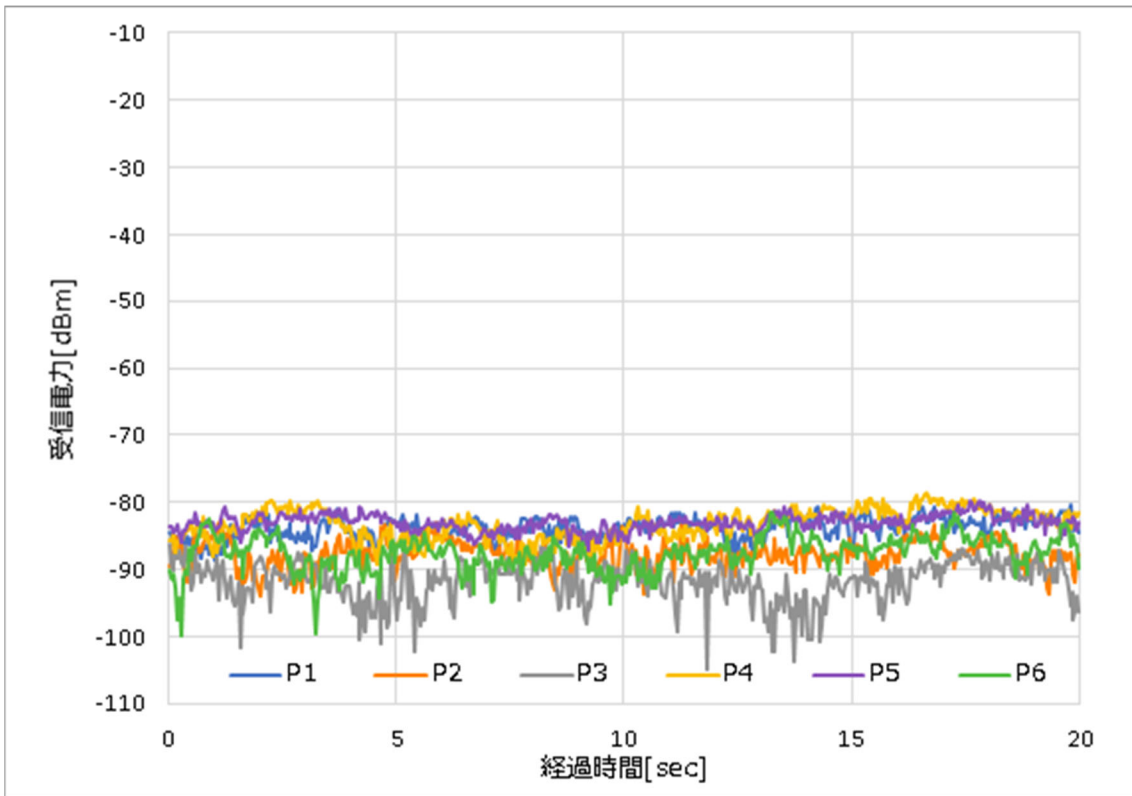


図 3-69 測定点⑦ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

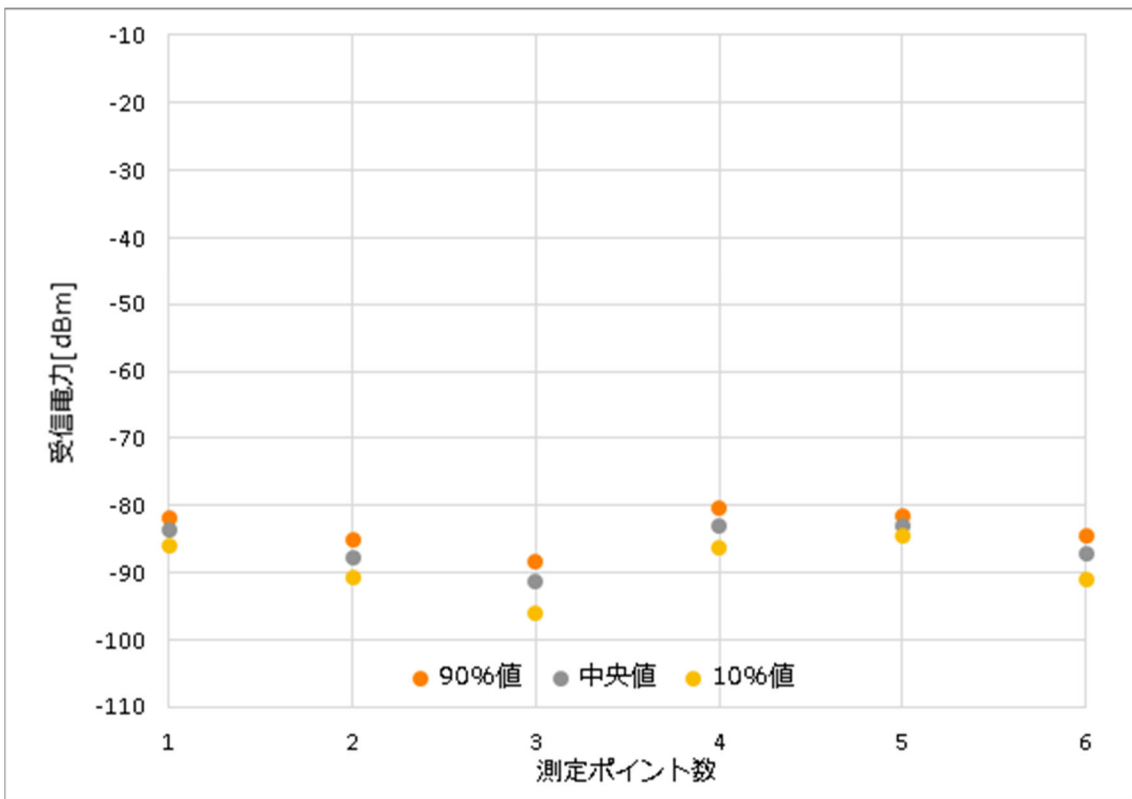


図 3-70 測定点⑦ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

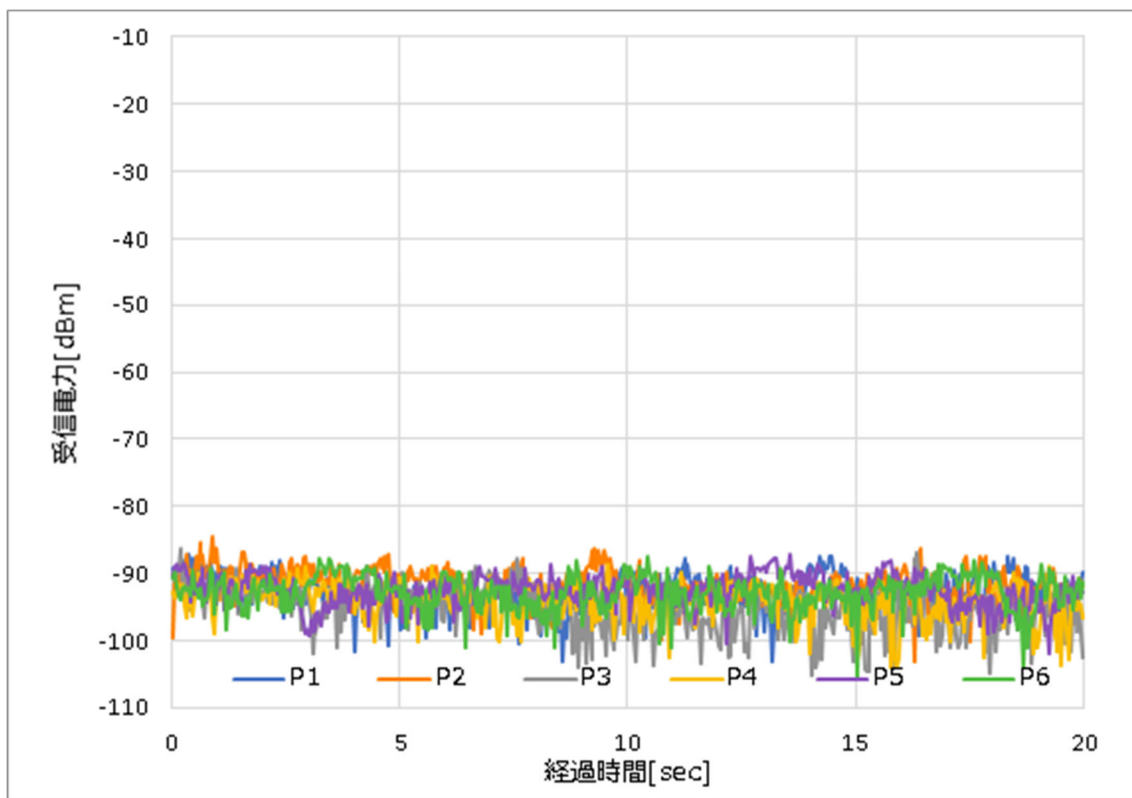


図 3-71 測定点⑧ 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

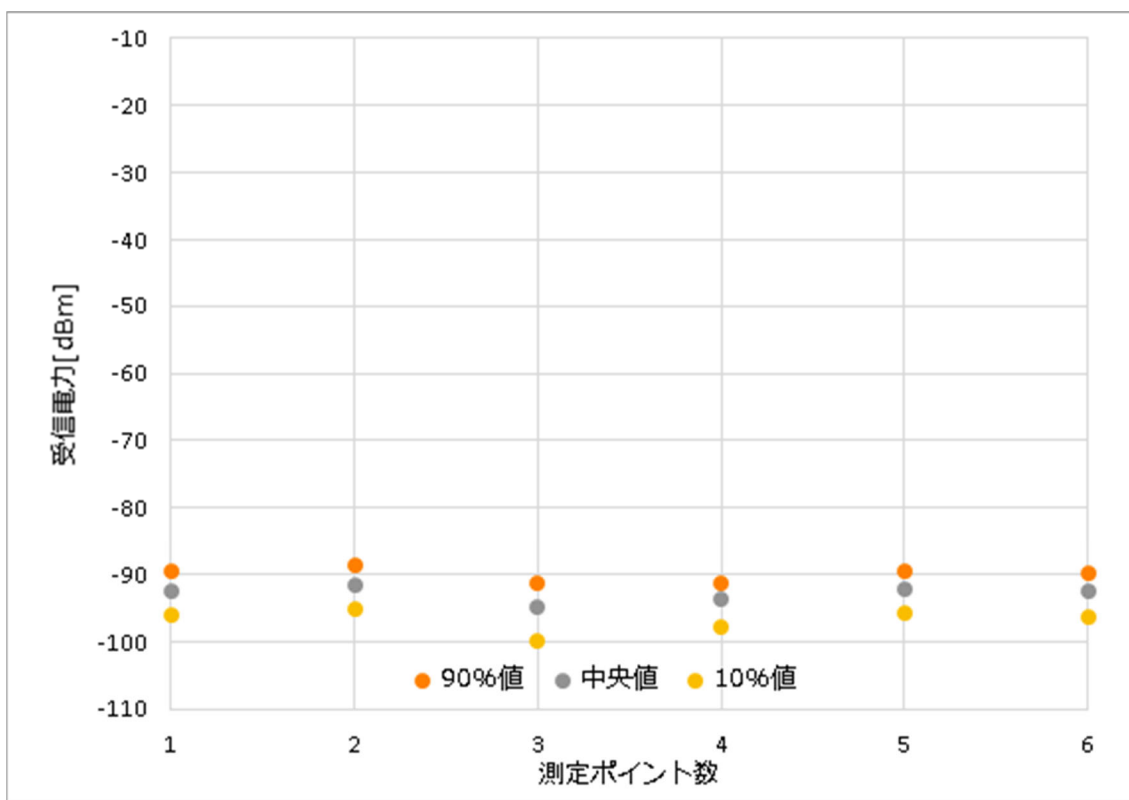


図 3-72 測定点⑧ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

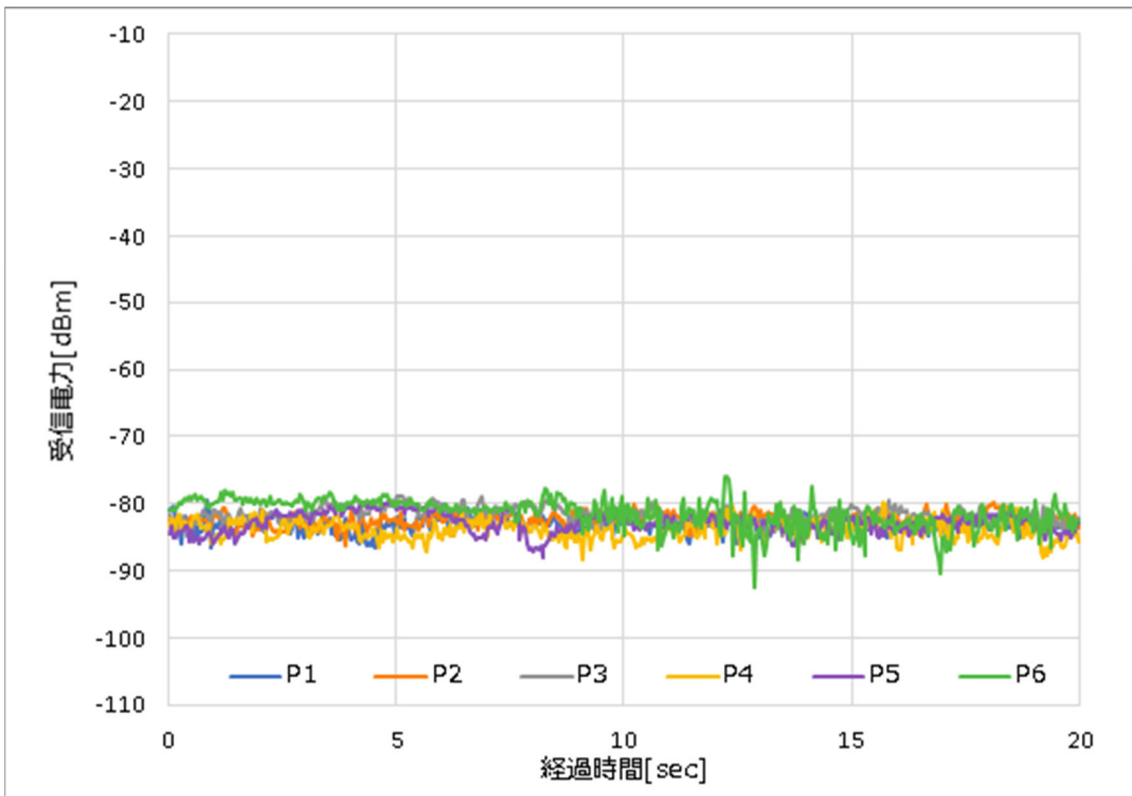


図 3-73 測定点⑧ 閾値確認点 受信電力時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

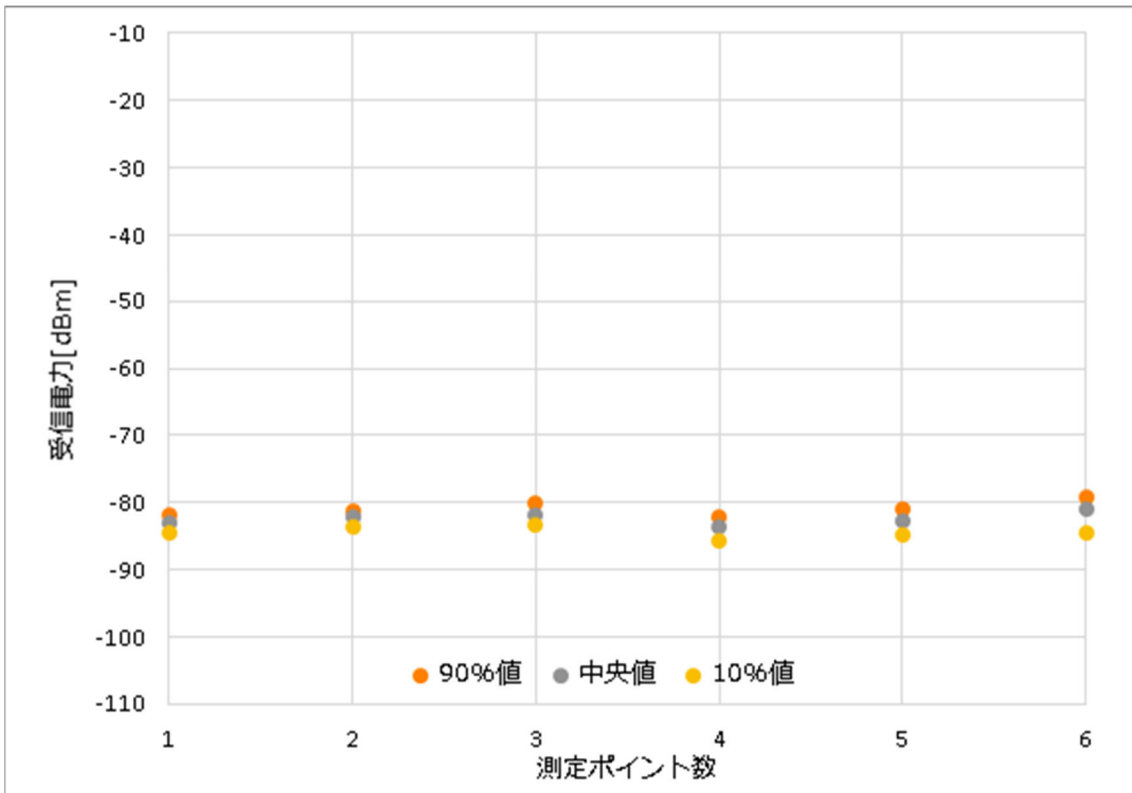


図 3-74 測定点⑧ 閾値確認点 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア端)

(3)カバーエリア内の受信電力および伝送スループット、遅延時間の実測値  
[CRANTS 試験路]

CRANTS 試験路でカバーエリア内の受信電力および伝送スループット、遅延時間を測定した。測定点を図 3-75 および表 3-7 に示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-75 カバーエリア内測定地点(CRANTS 試験路)

表 3-7 測定点の概要(CRANTS 試験路)

※見通しの凡例 ○:見通し ×:非見通し

測定点	基地局までの距離	見通し状況
①	145.62	×
②	143.51	○
③	146.85	○
④	144.38	○
⑤	37.87	○
⑥	102.34	○
⑦	79.23	○
⑧	67.50	○

測定点①～⑧の測定結果概要を表 3-8 に、測定結果を図 3-77 から図 3-116 に示す。なお、各測定点では複数サンプルの結果を取得しているため代表値としては中央値を採用している。

スループット DL および遅延時間では全測定点で所要性能を満たしていることを確認した。なお、スループット UL では測定点①のみ所要性能を満たせていない。これは図 3-76 に示すように基地局が見通し外となり受信電力値も他の測定点より 10dB 以上低くなっているためである。このようにカバーエリア内においても遮へい物が存在する場合、部分的に

所要性能を満たせない地点が存在することを確認した。

表 3-8 測定結果概要(CRANTS 試験路)

測定点	受信電力[dBm]	スループット UL[Mbps]	スループット DL[Mbps]	遅延時間 [msec]
所要性能	—	20 以上	0.1 以上	43.0 以下
①	-61.67	2.04	39.95	28.6
②	-51.47	24.85	40.1	30.9
③	-44.87	36.15	40.0	32.6
④	-44.17	34.3	40.05	30.7
⑤	-42.77	36	40.0	30.1
⑥	-44.37	37.75	40.1	32.4
⑦	-41.07	37.35	40.05	29.1
⑧	-38.37	34.0	40.0	33.5



図 3-76 測定点① 見通し状態



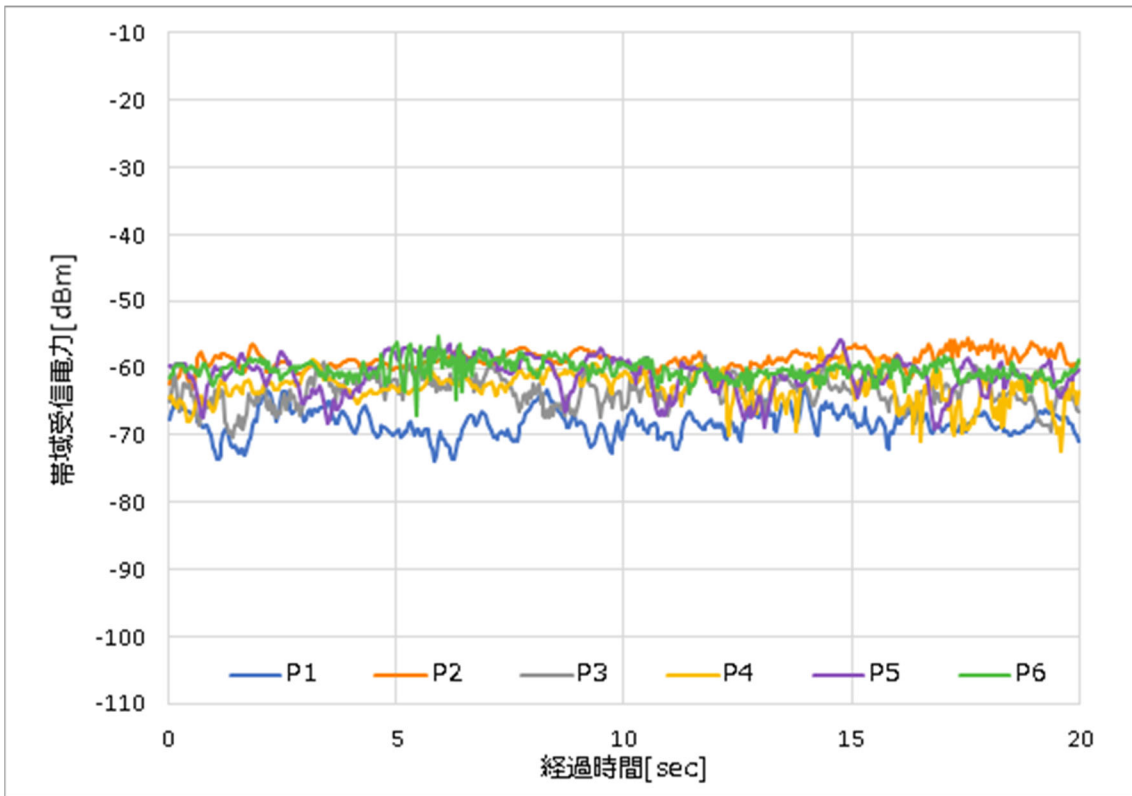


図 3-77 測定点① 受信電力 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

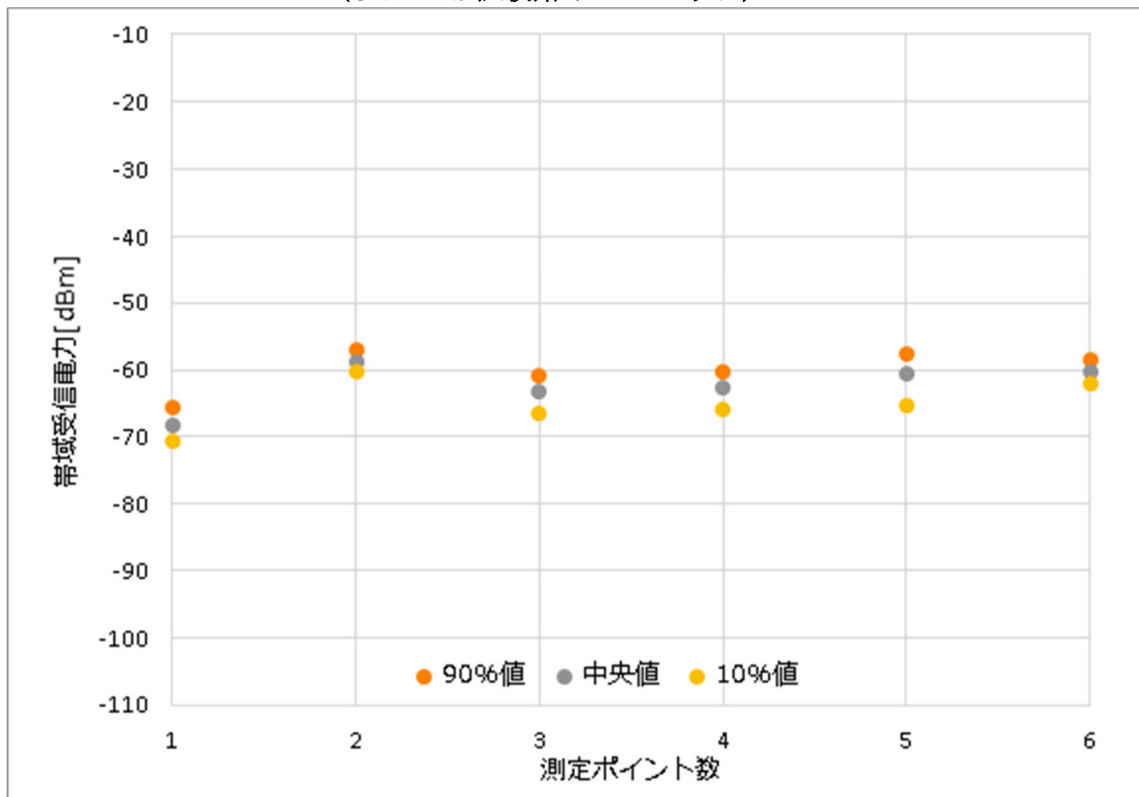


図 3-78 測定点① 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

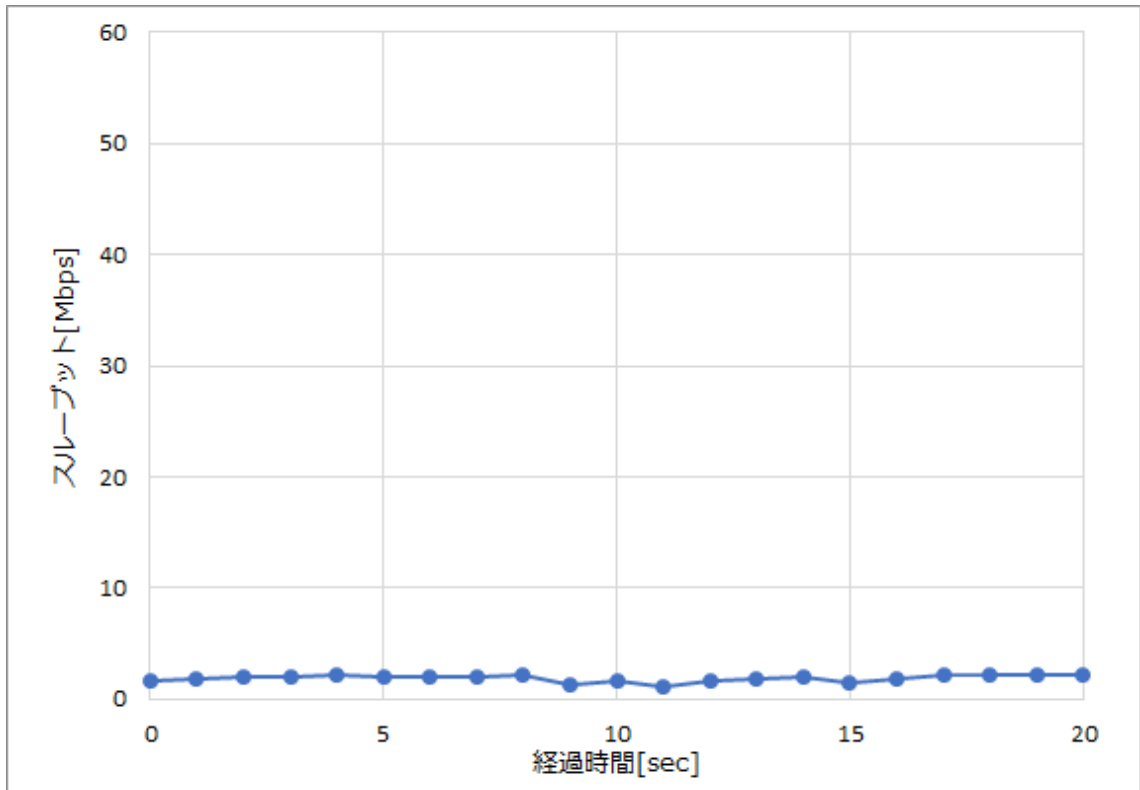


図 3-79 測定点① スループット UL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

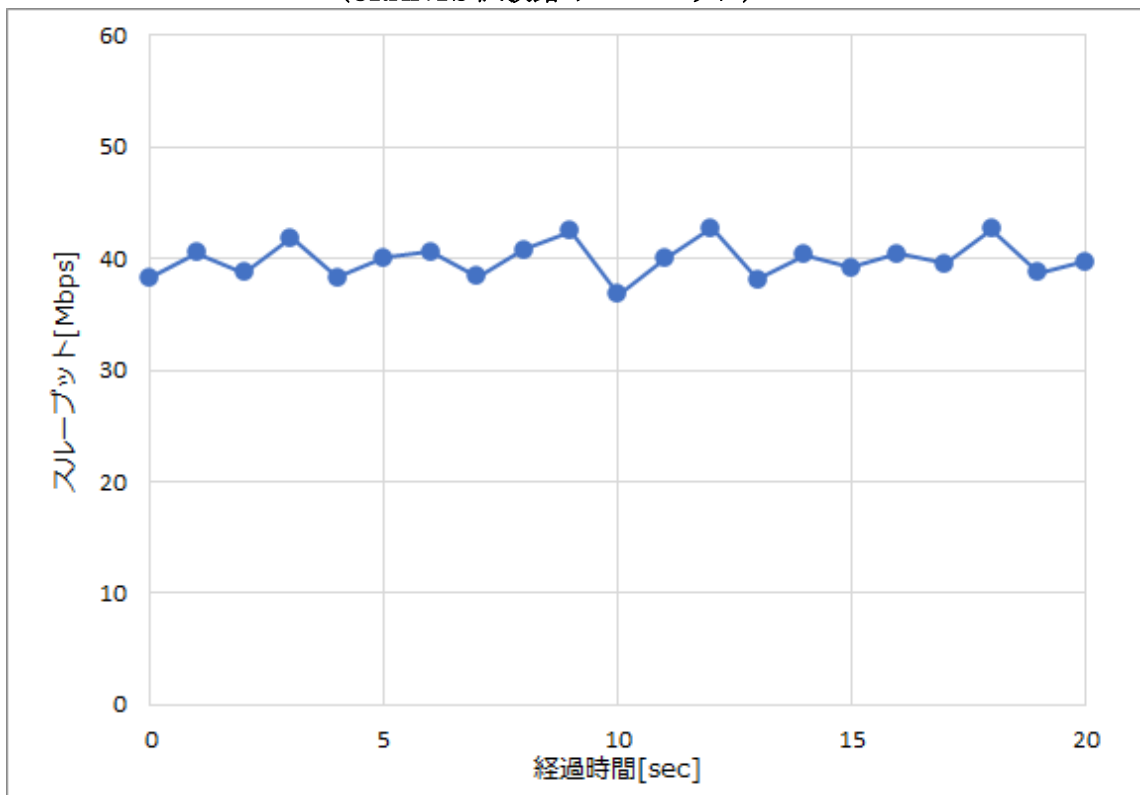


図 3-80 測定点① スループット DL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

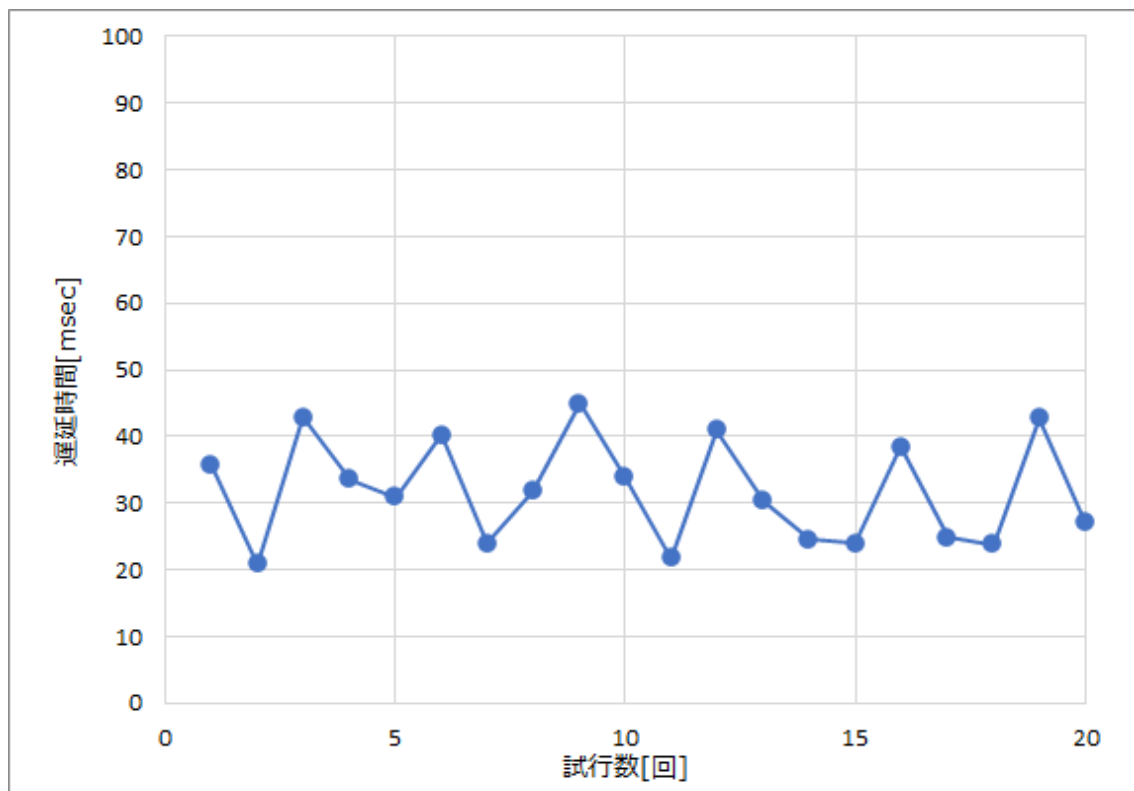


図 3-81 測定点① 遅延時間  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

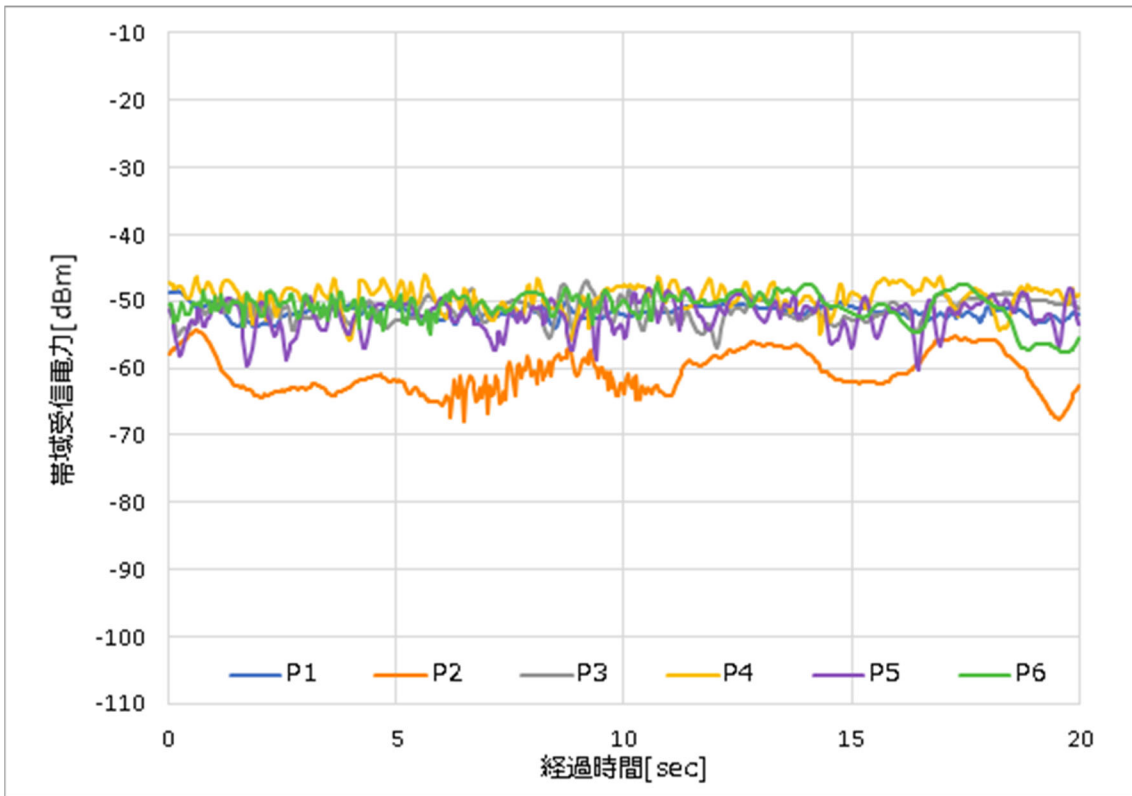


図 3-82 測定点② 受信電力 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

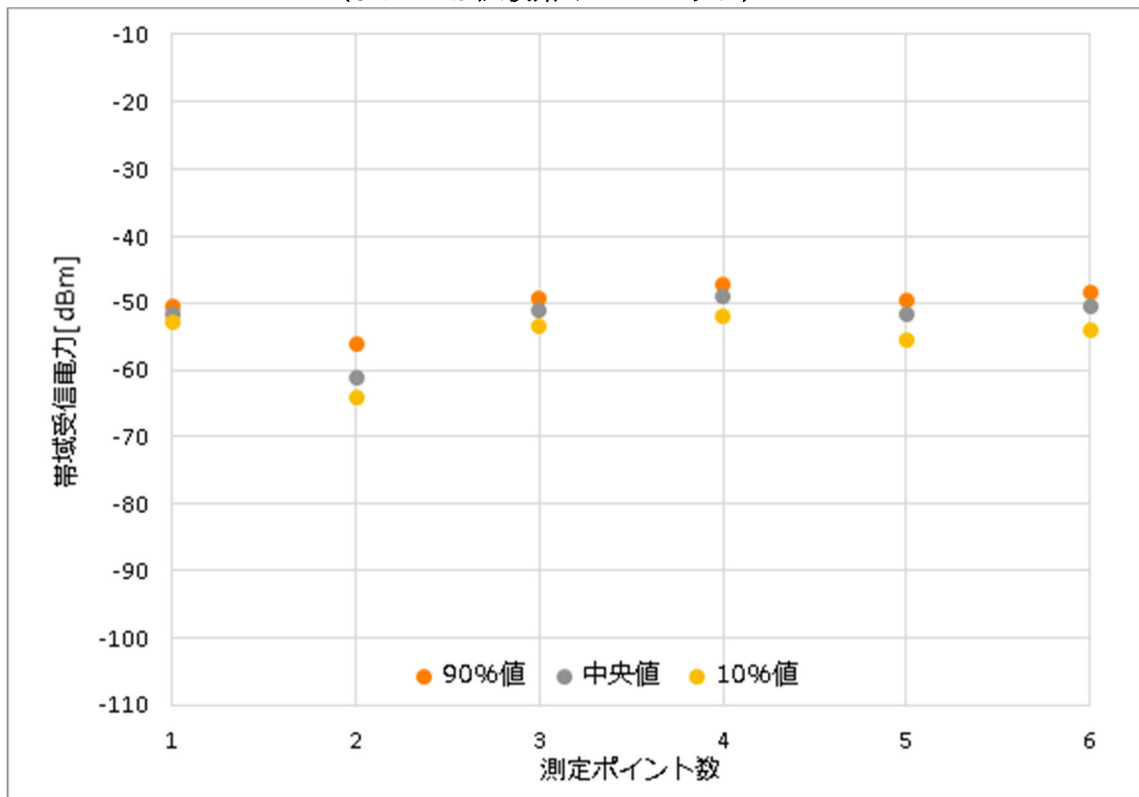


図 3-83 測定点② 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

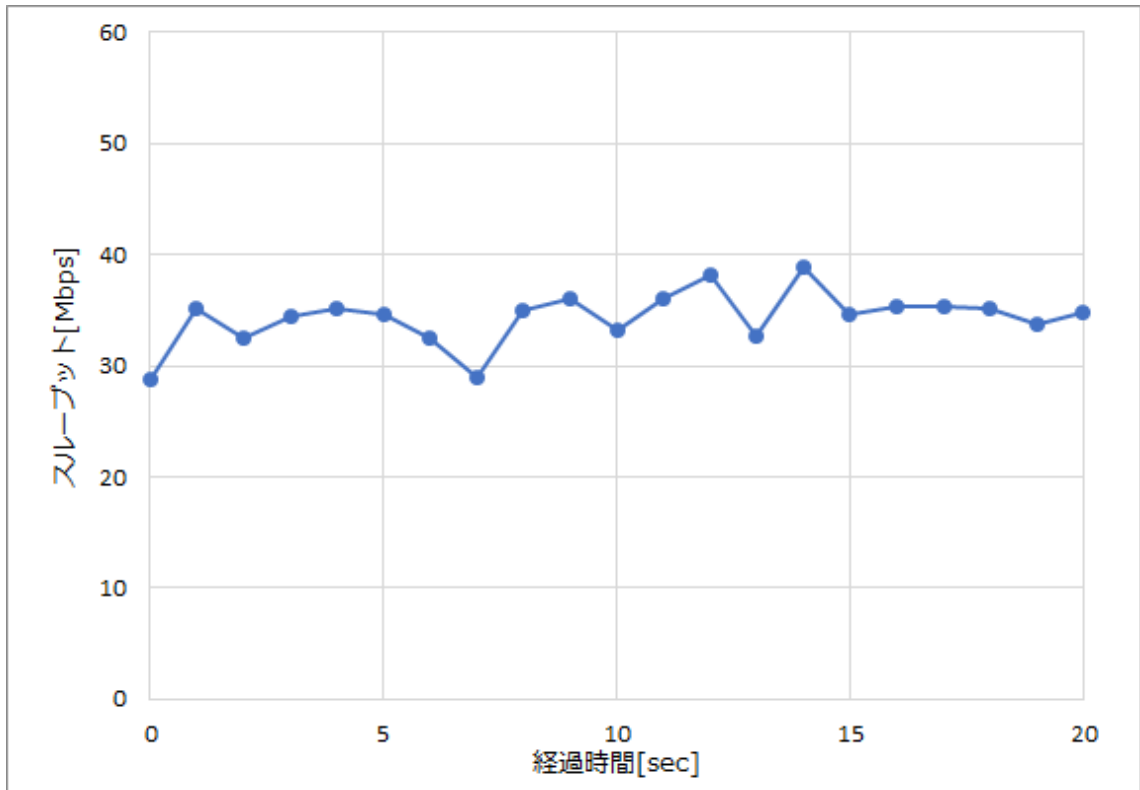


図 3-84 測定点② スループット UL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

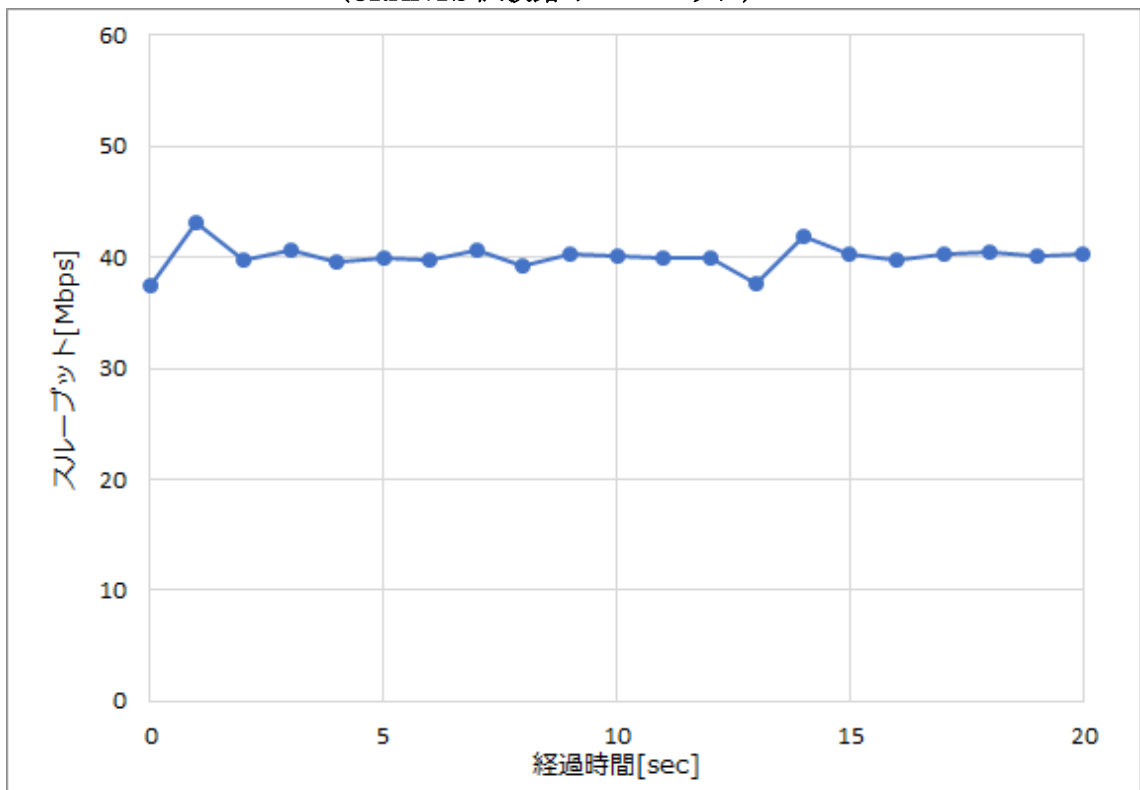


図 3-85 測定点② スループット DL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

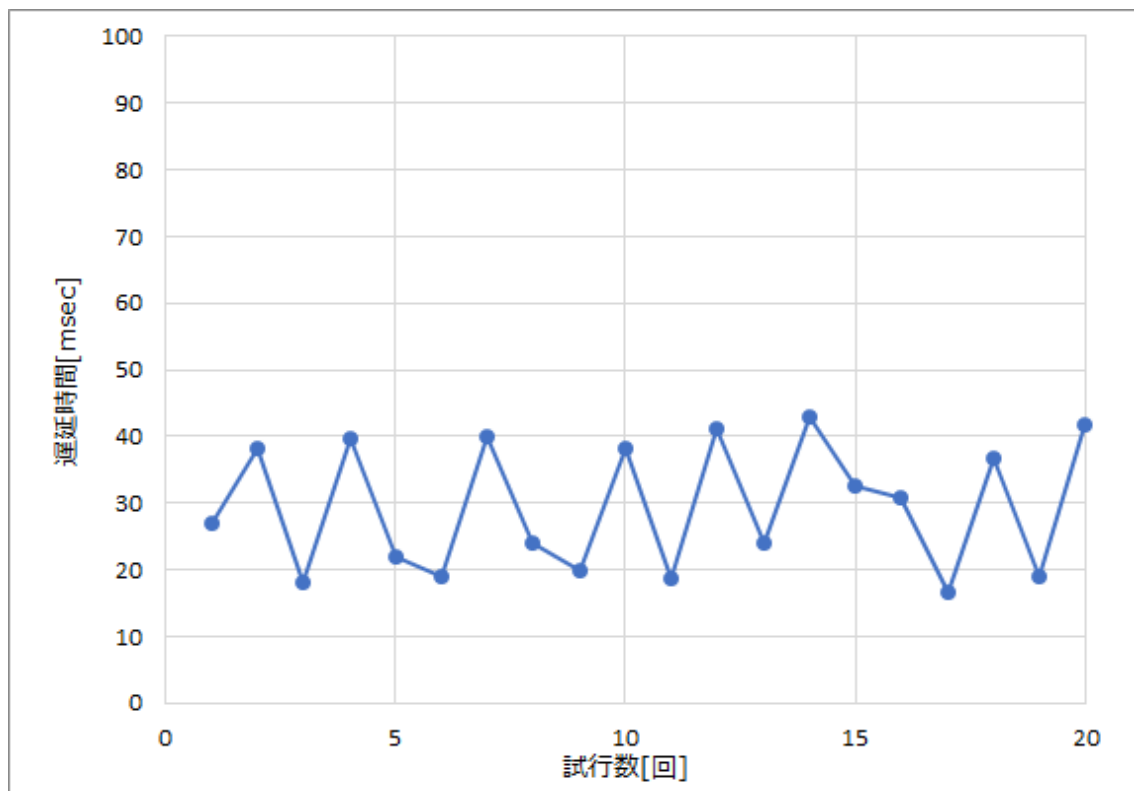


図 3-86 測定点② 遅延時間  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

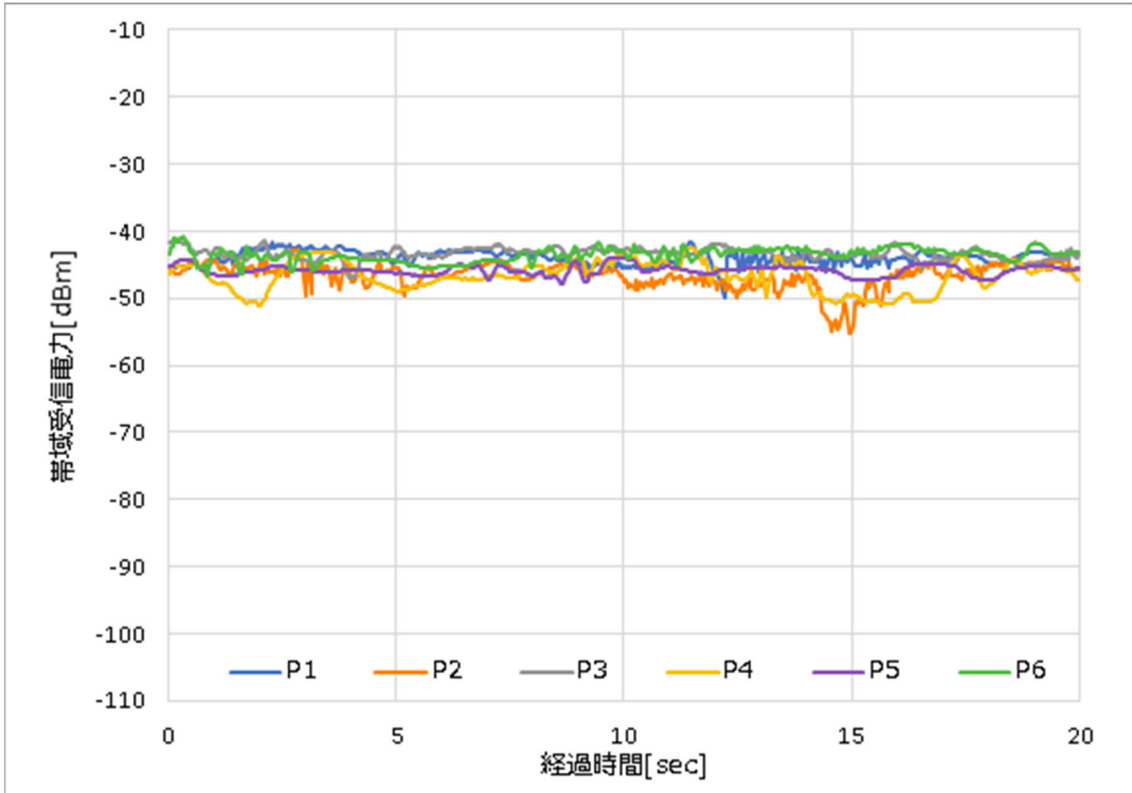


図 3-87 測定点③ 受信電力 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

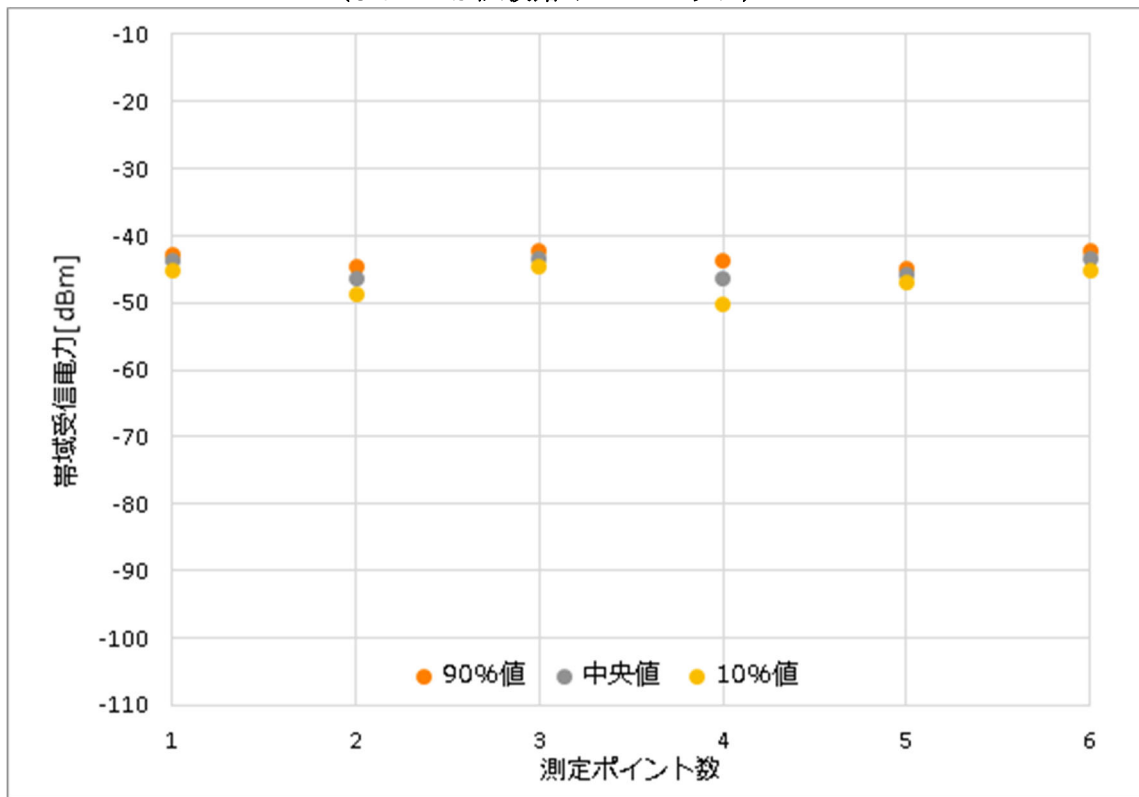


図 3-88 測定点③ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

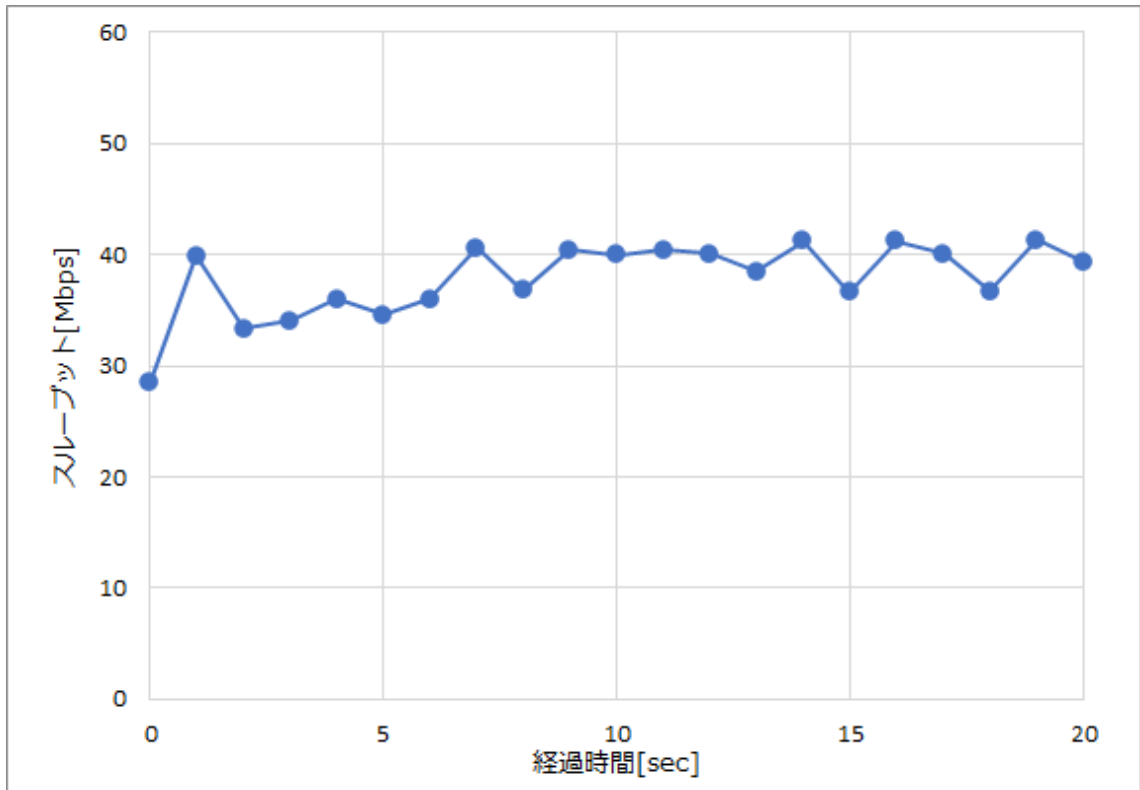


図 3-89 測定点③ スループット UL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

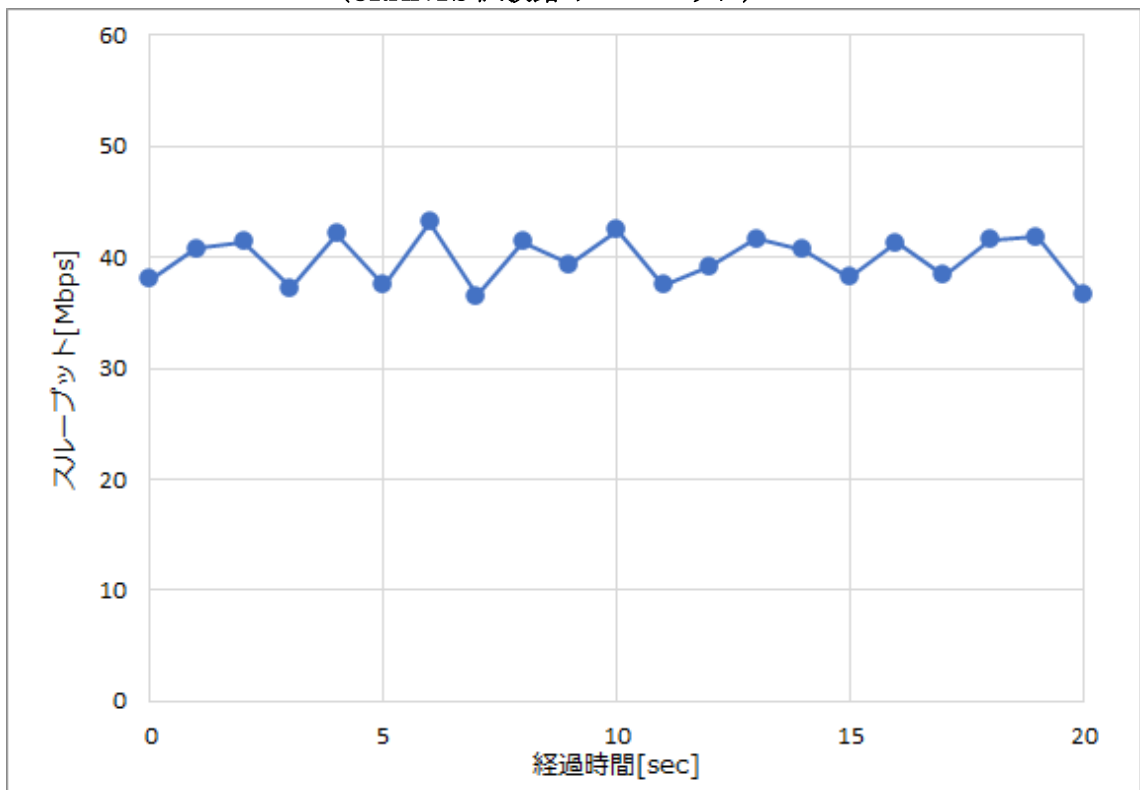


図 3-90 測定点③ スループット DL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)



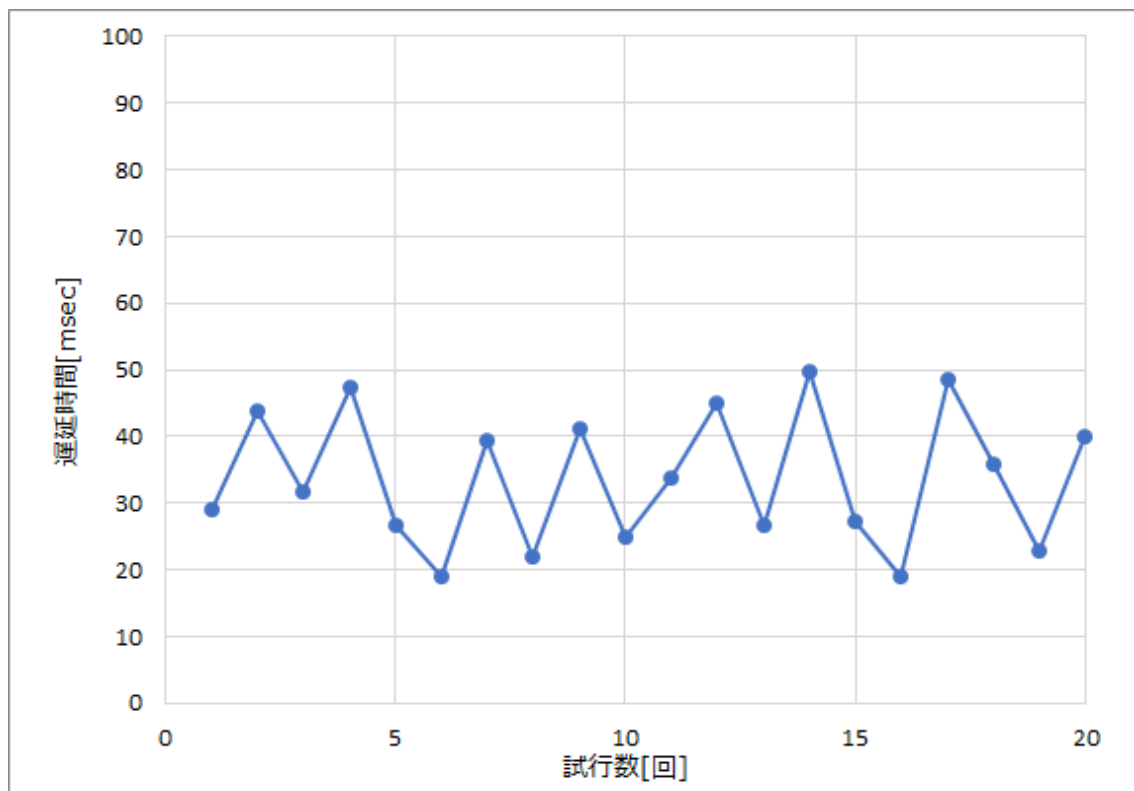


図 3-91 測定点③ 遅延時間  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

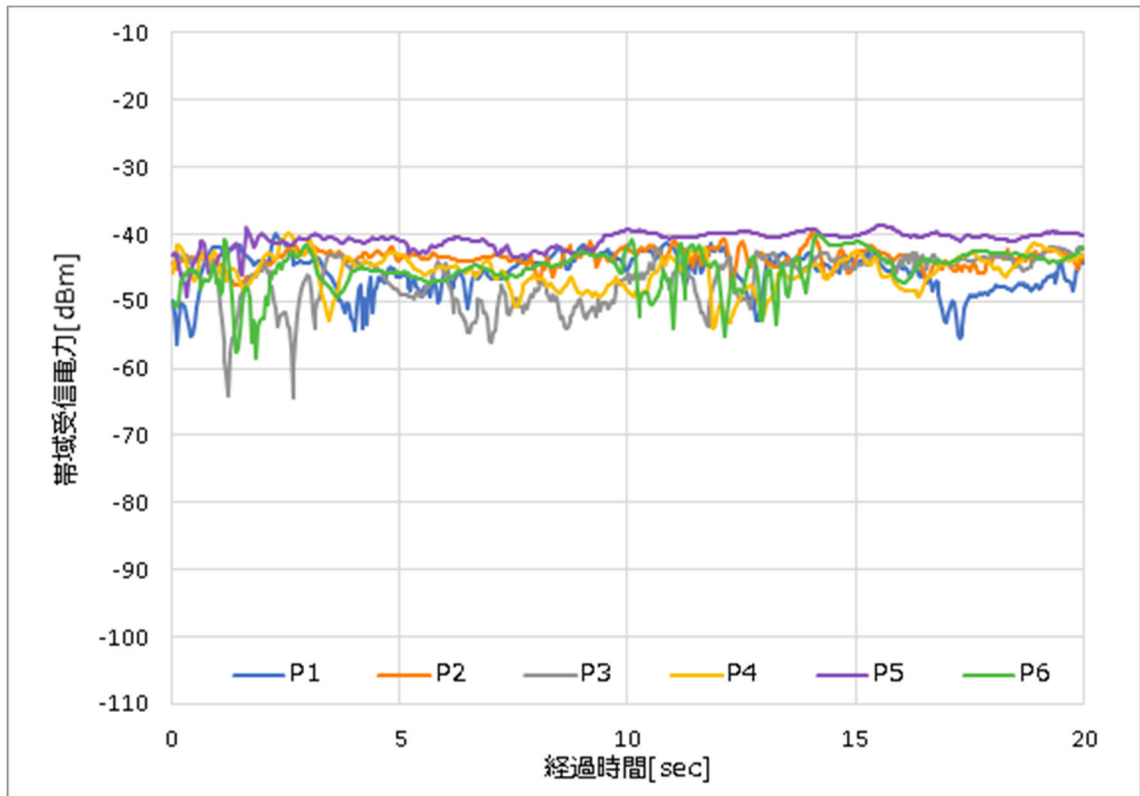


図 3-92 測定点④ 受信電力 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

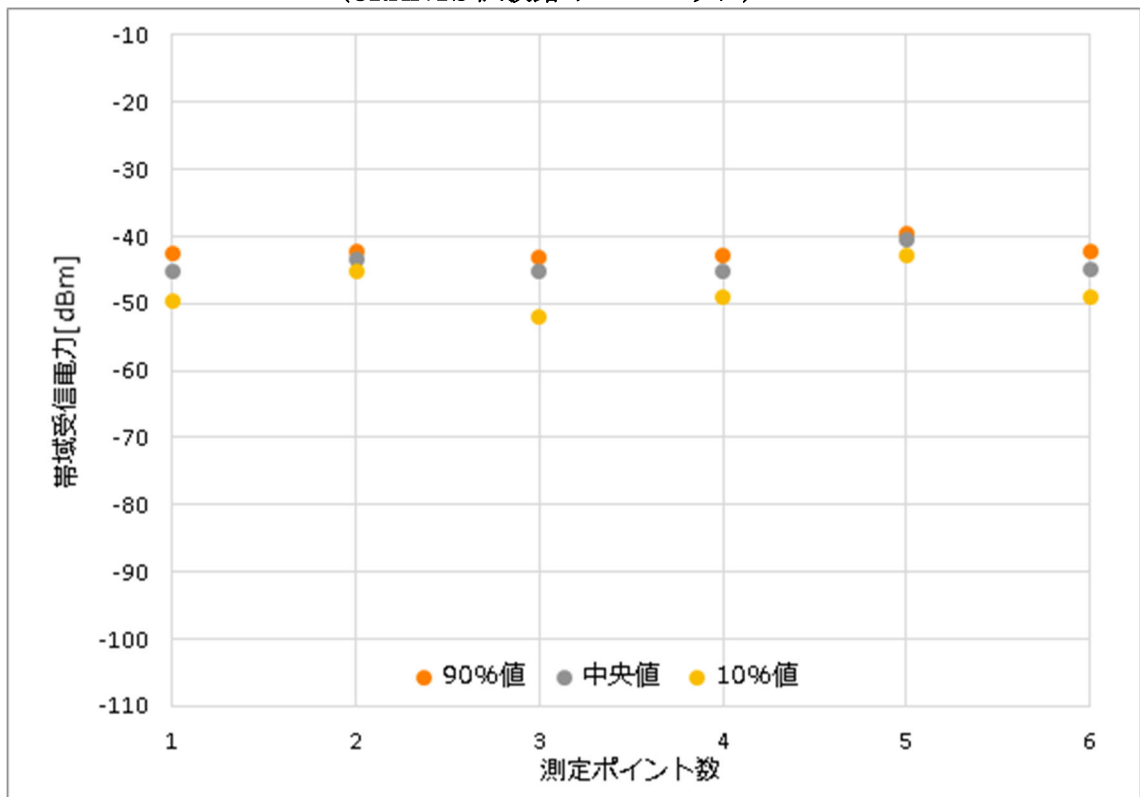


図 3-93 測定点④ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

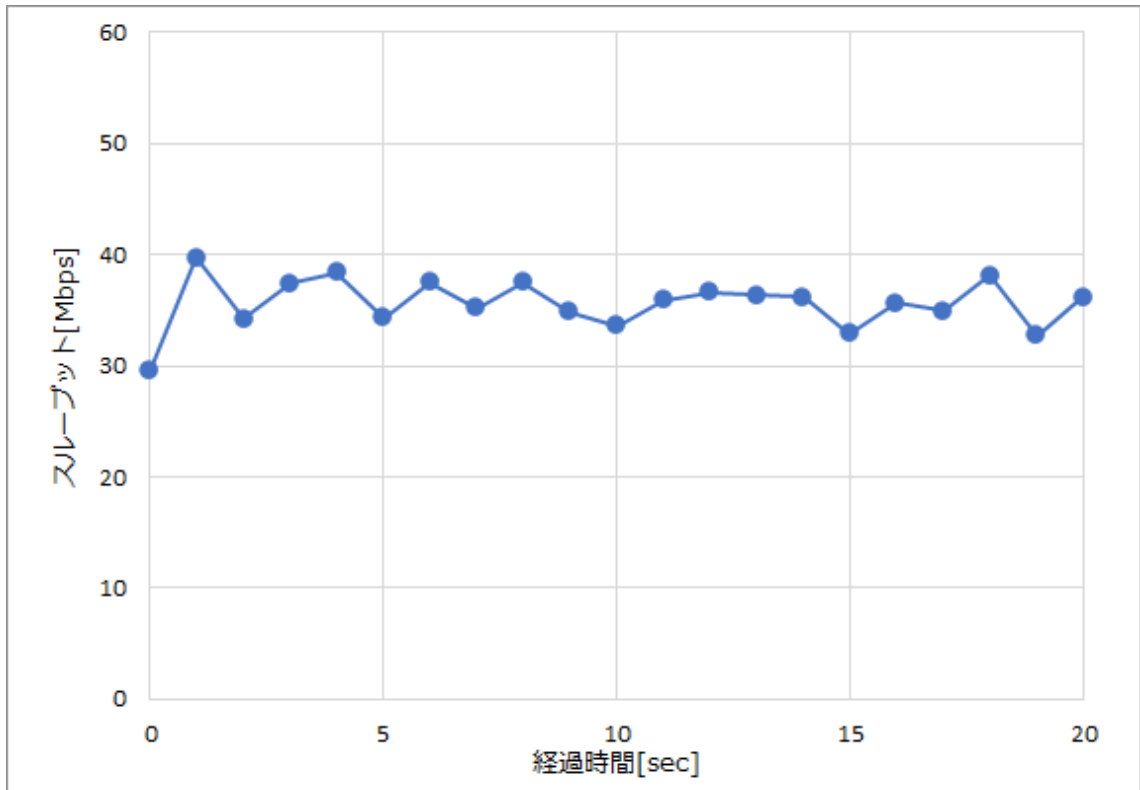


図 3-94 測定点④ スループット UL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

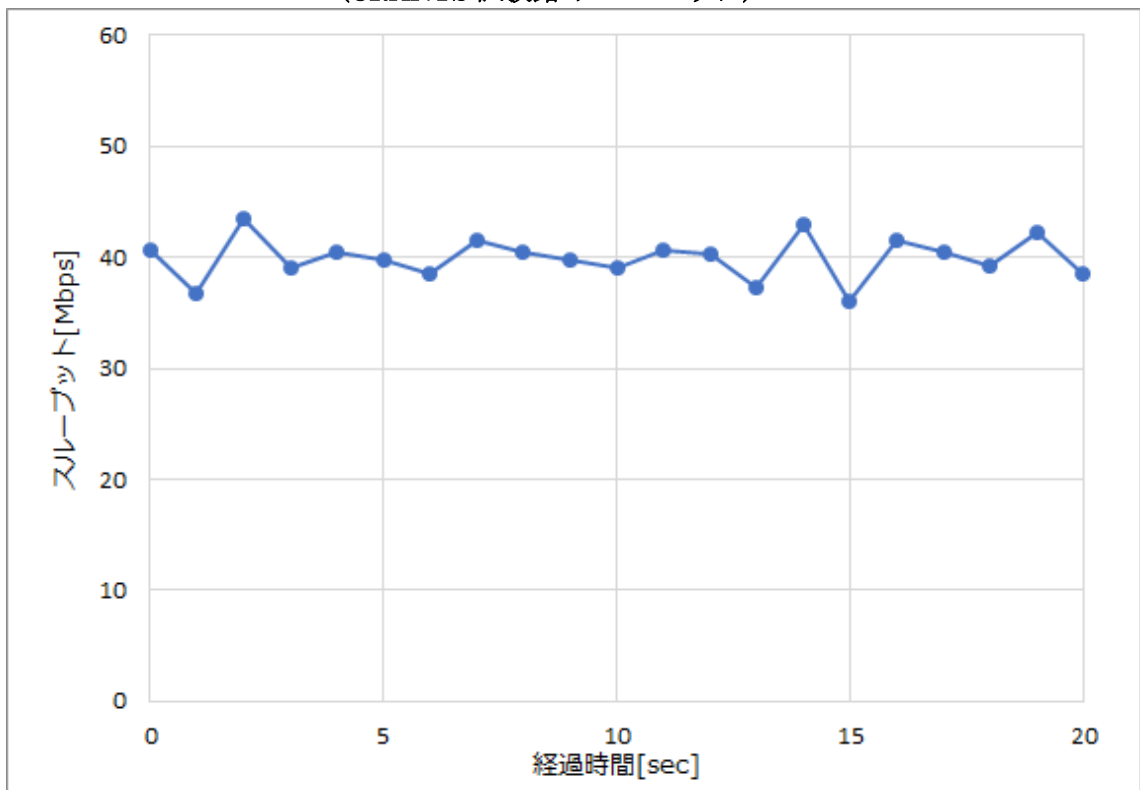


図 3-95 測定点④ スループット DL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

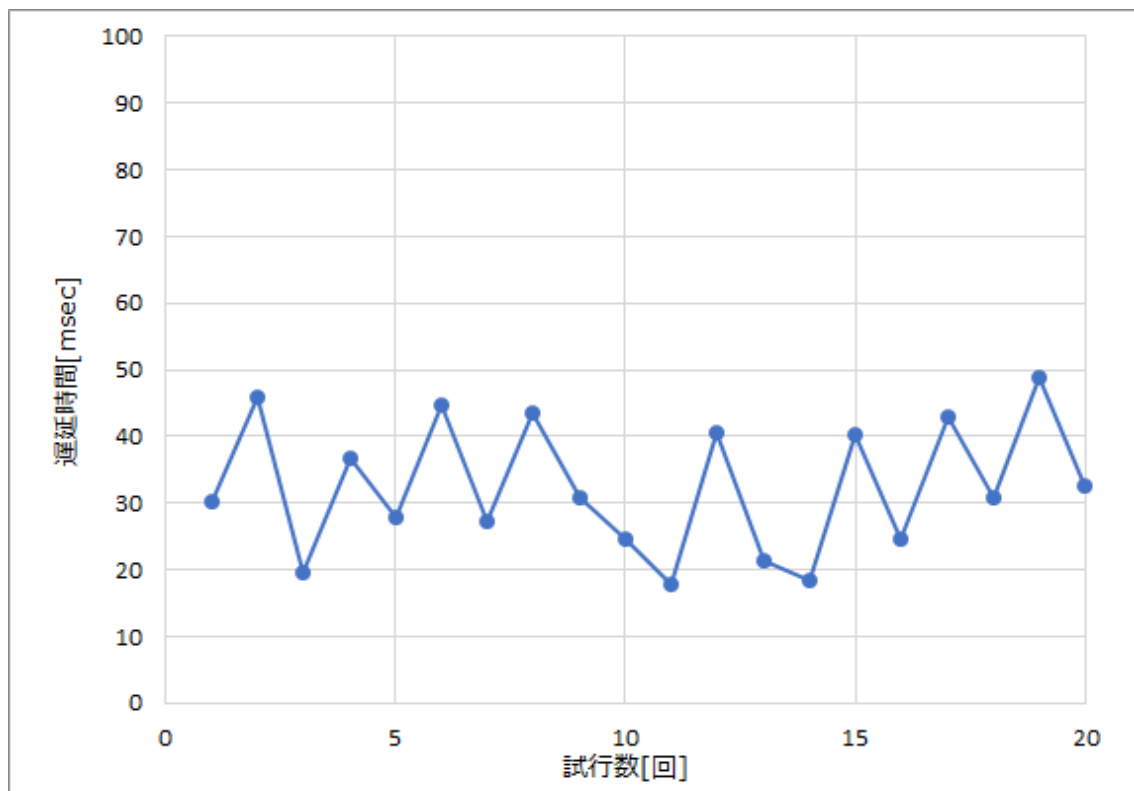


図 3-96 測定点④ 遅延時間  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

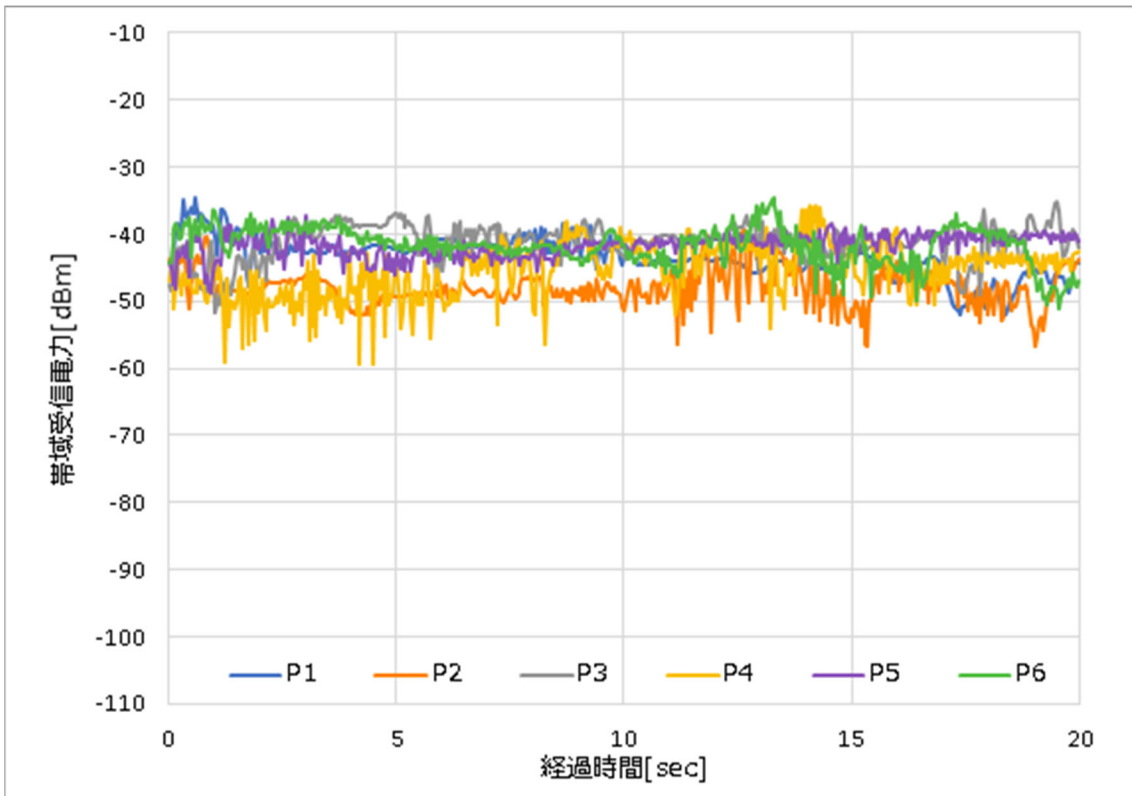


図 3-97 測定点⑤ 受信電力 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

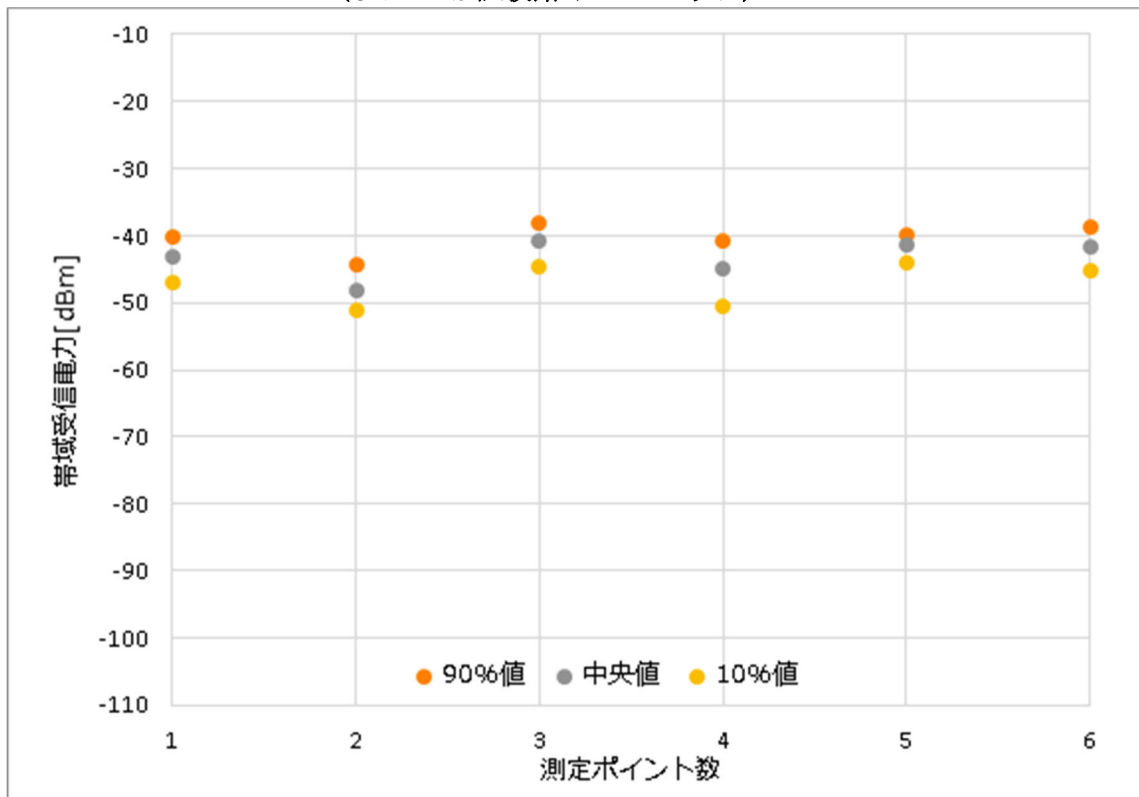


図 3-98 測定点⑤ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

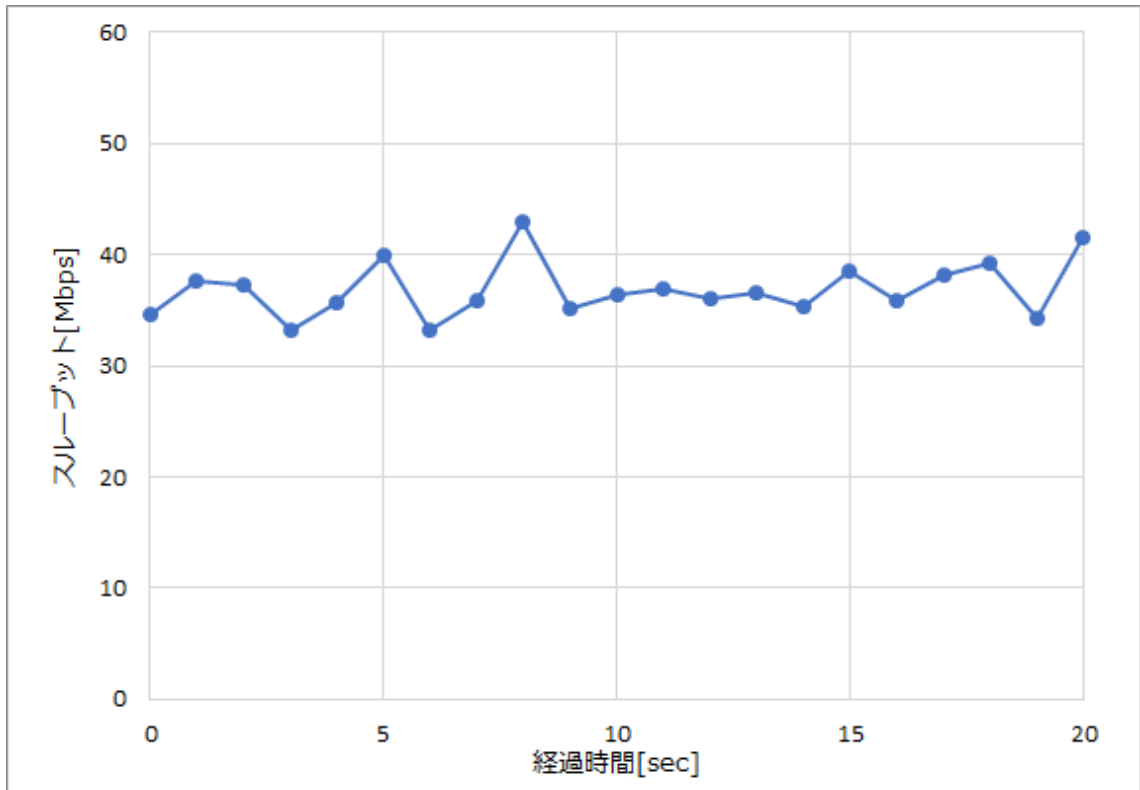


図 3-99 測定点⑤ スループット UL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

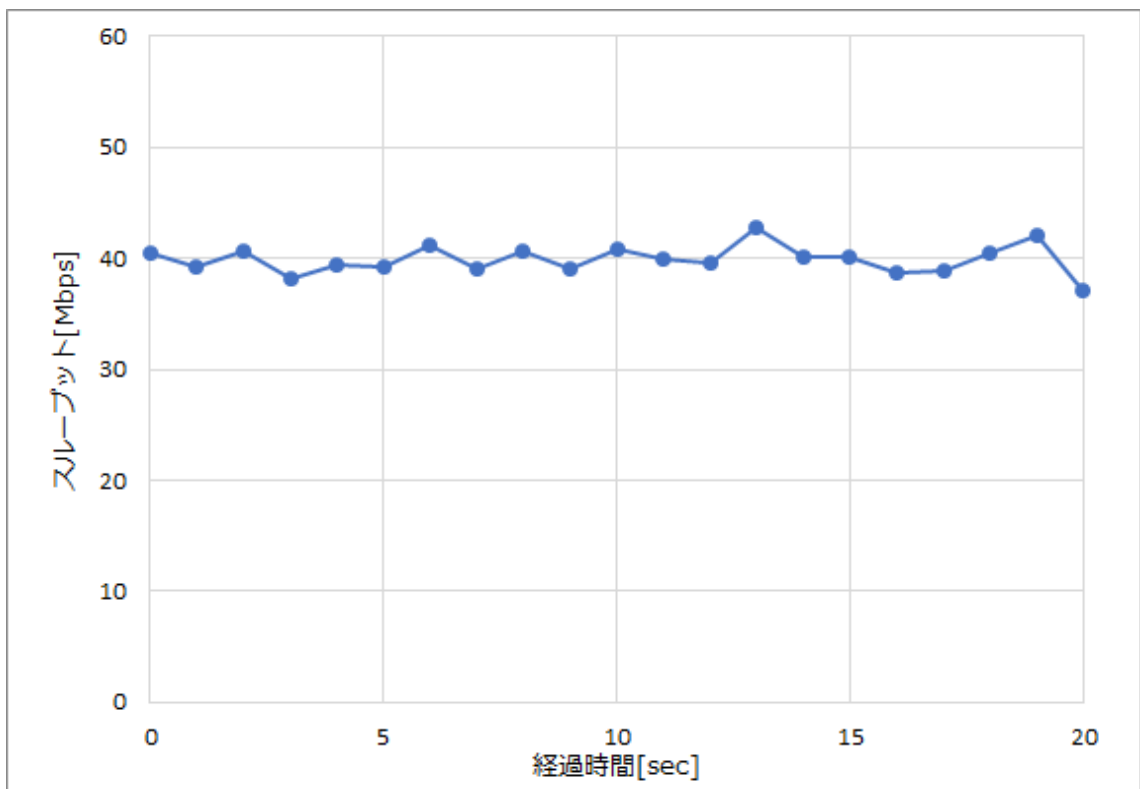


図 3-100 測定点⑤ スループット DL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

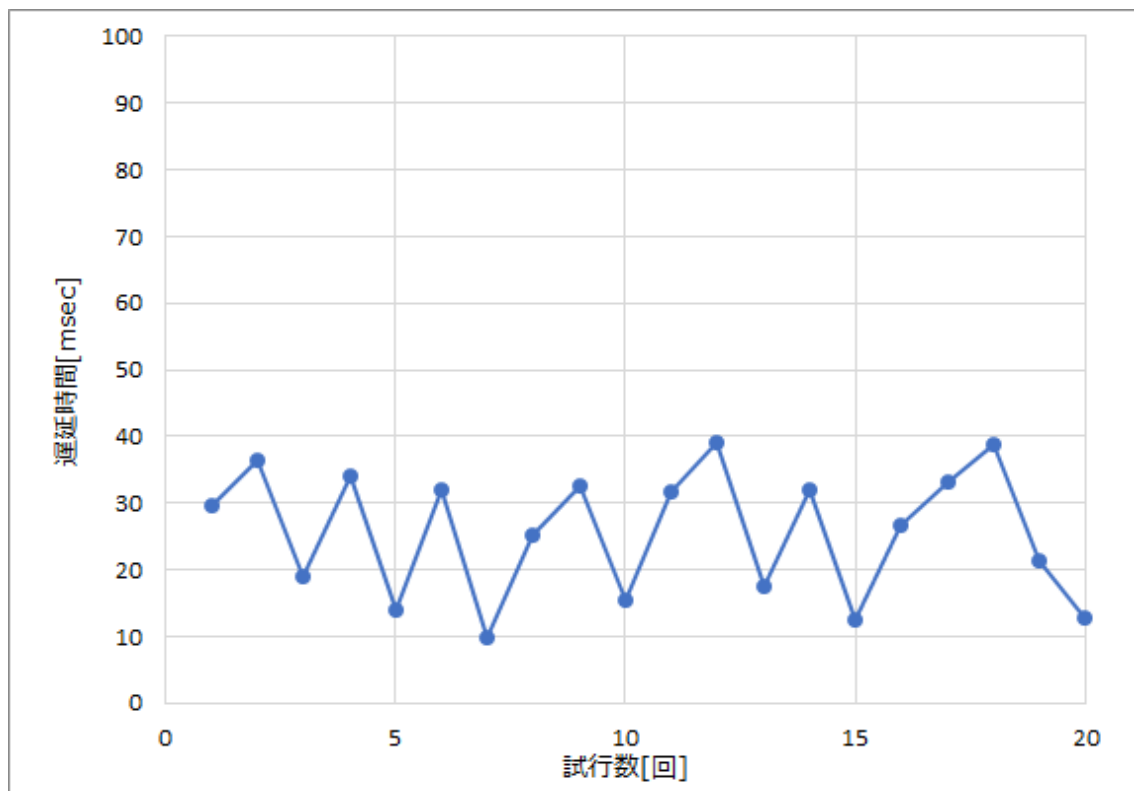


図 3-101 測定点⑤ 遅延時間  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

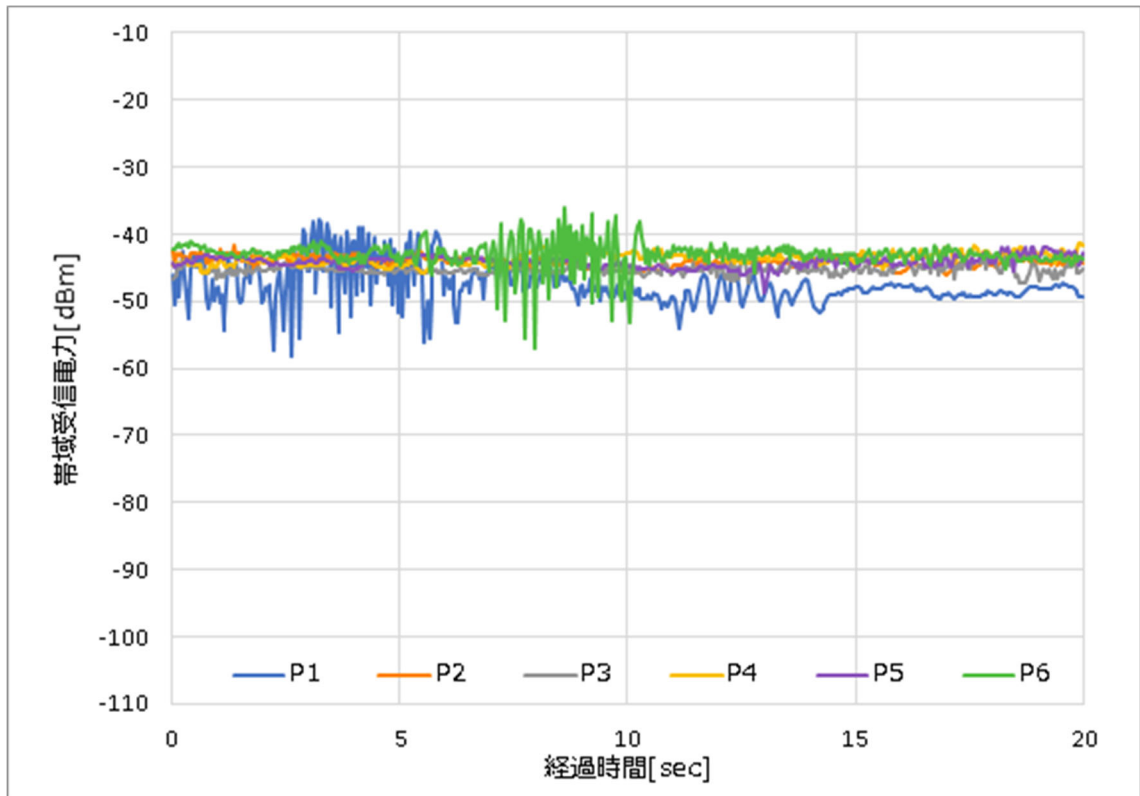


図 3-102 測定点⑥ 受信電力 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

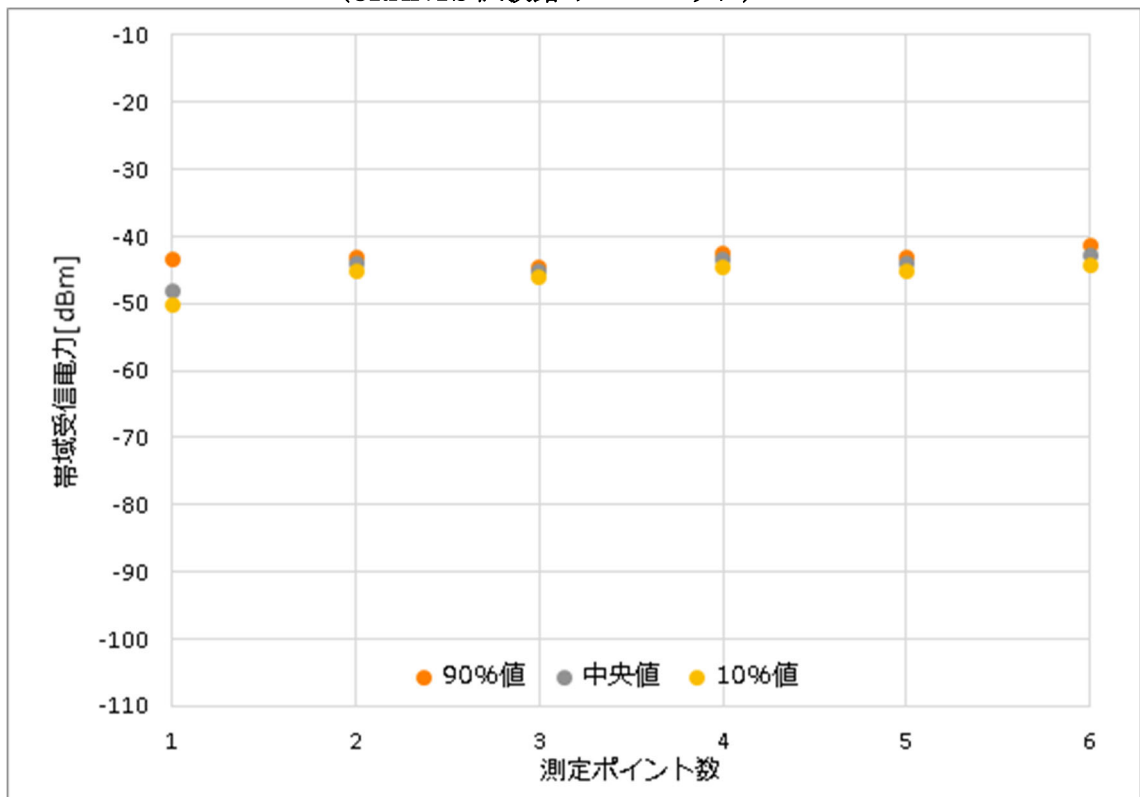


図 3-103 測定点⑥ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)



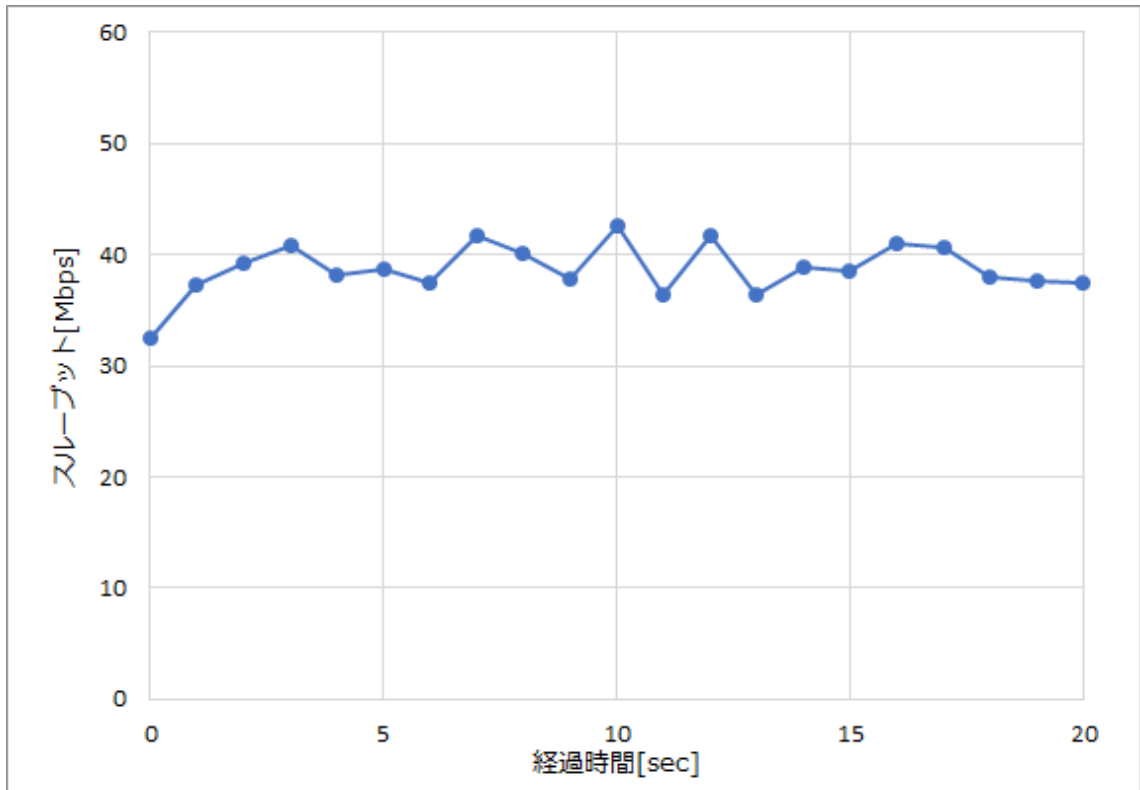


図 3-104 測定点⑥ スループット UL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

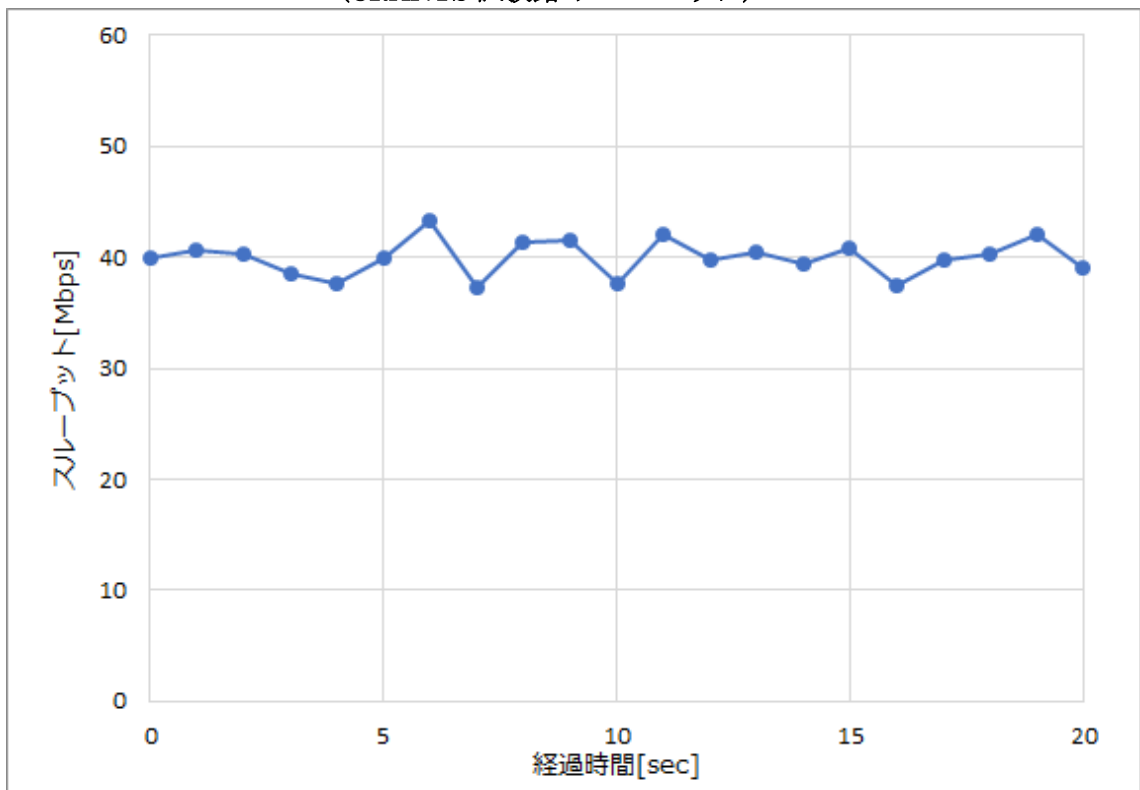


図 3-105 測定点⑥ スループット DL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

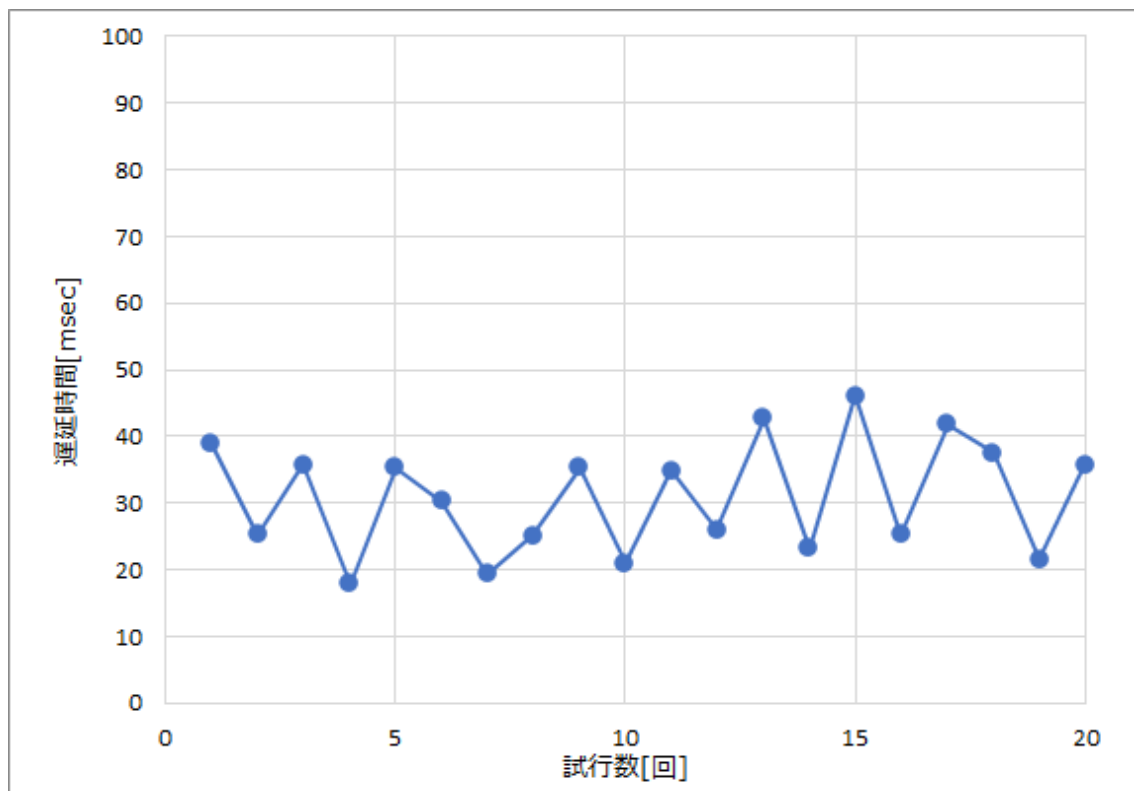


図 3-106 測定点⑥ 遅延時間  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

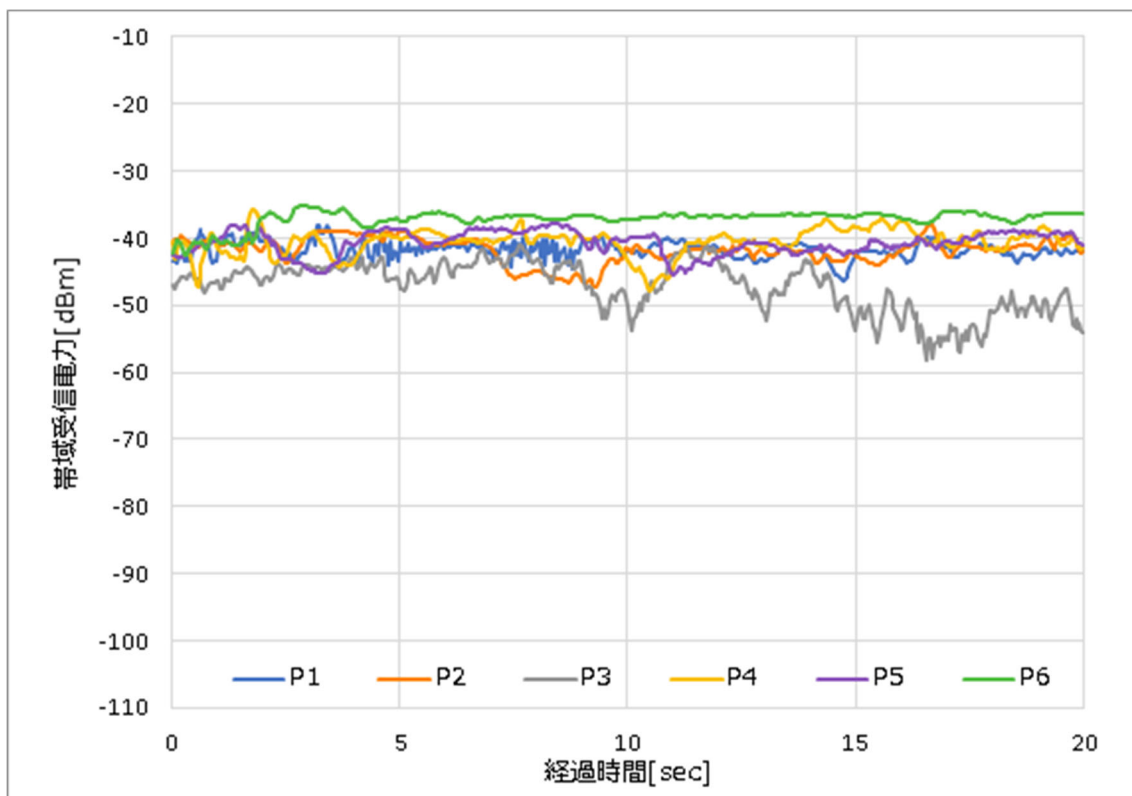


図 3-107 測定点⑦ 受信電力 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

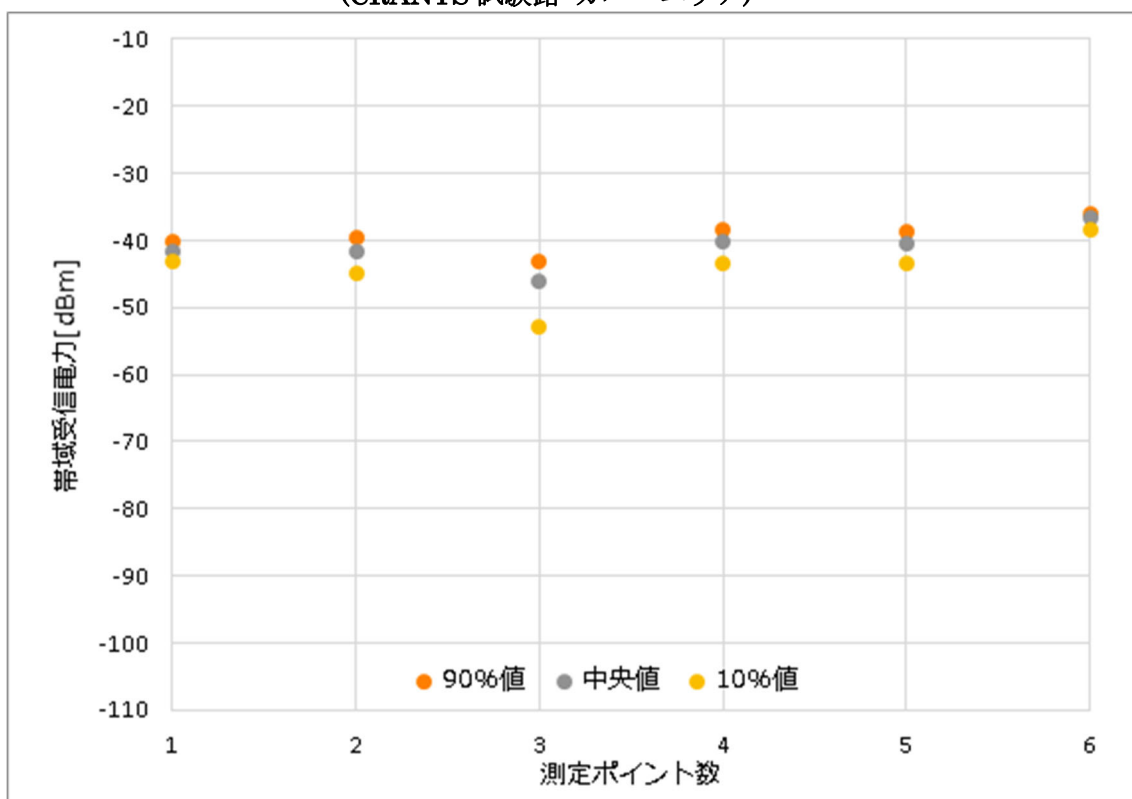


図 3-108 測定点⑦ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

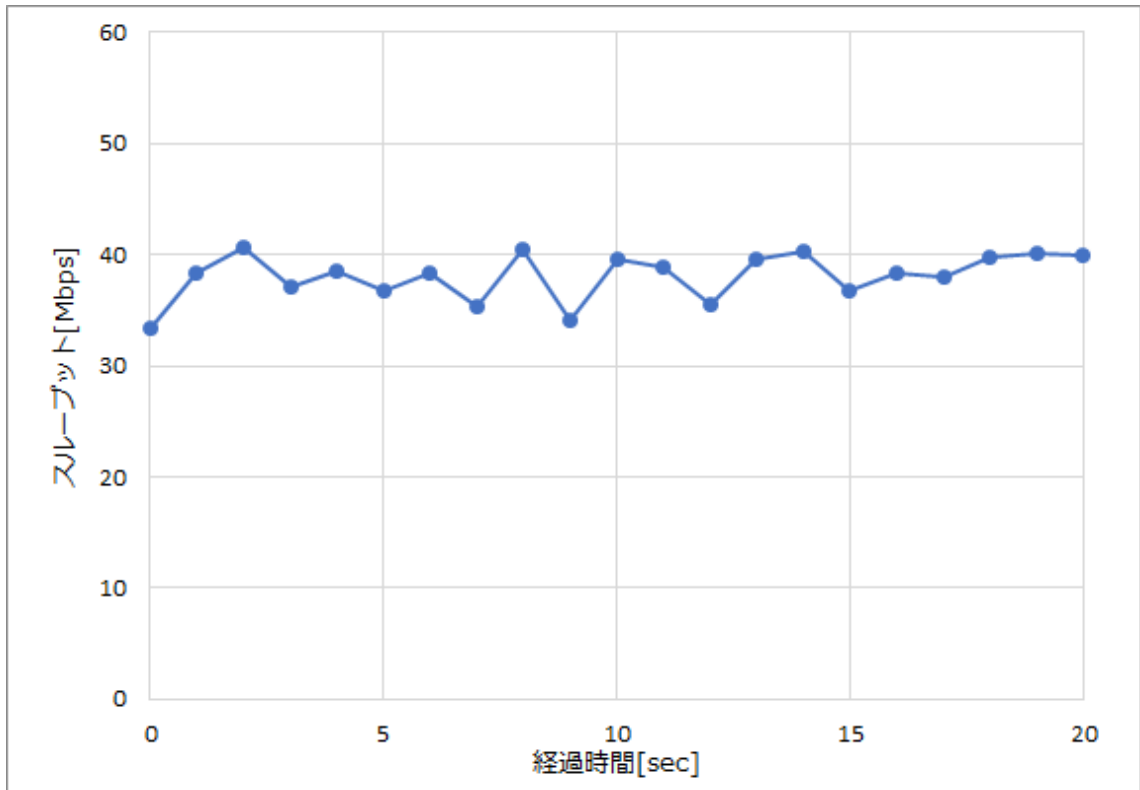


図 3-109 測定点⑦ スループット UL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

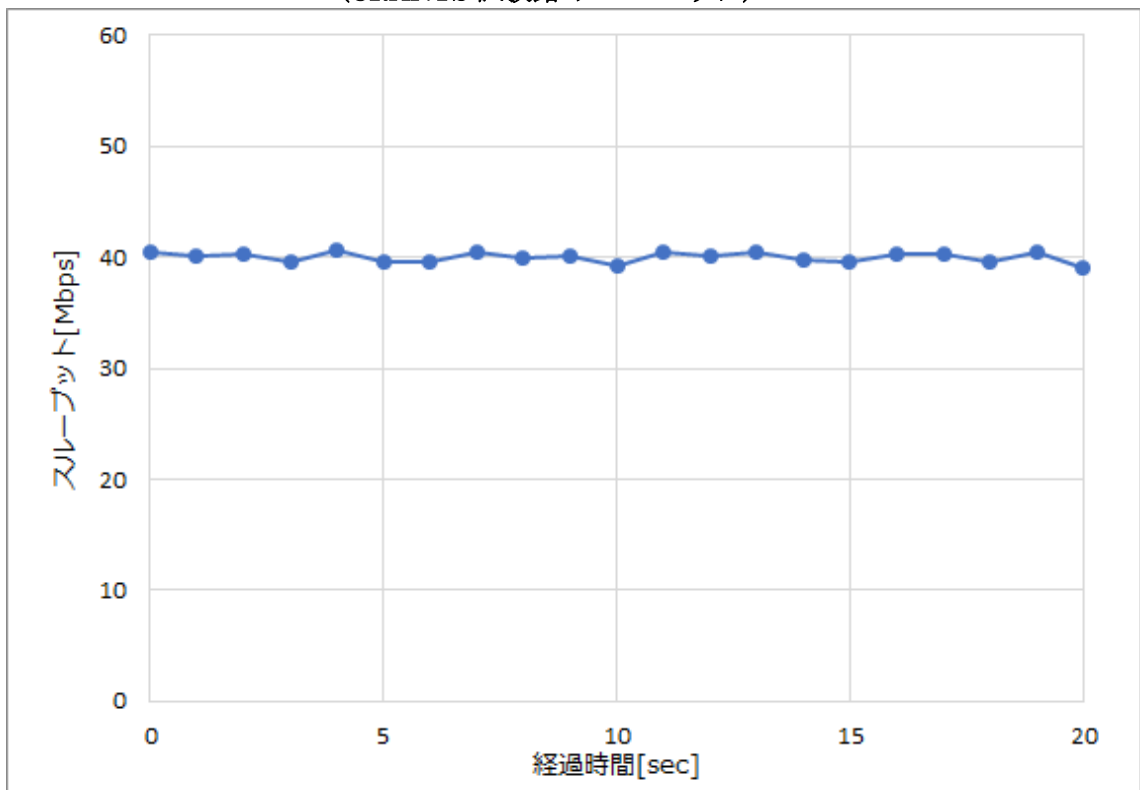


図 3-110 測定点⑦ スループット DL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

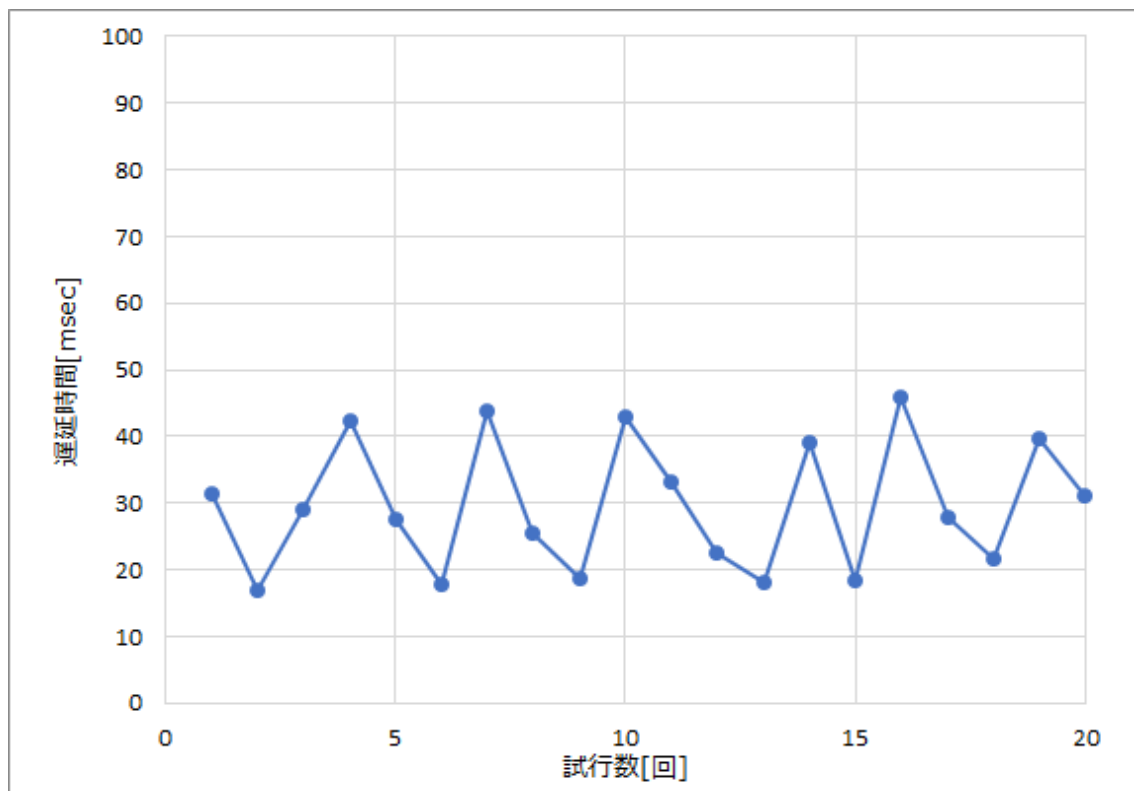


図 3-111 測定点⑦ 遅延時間  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

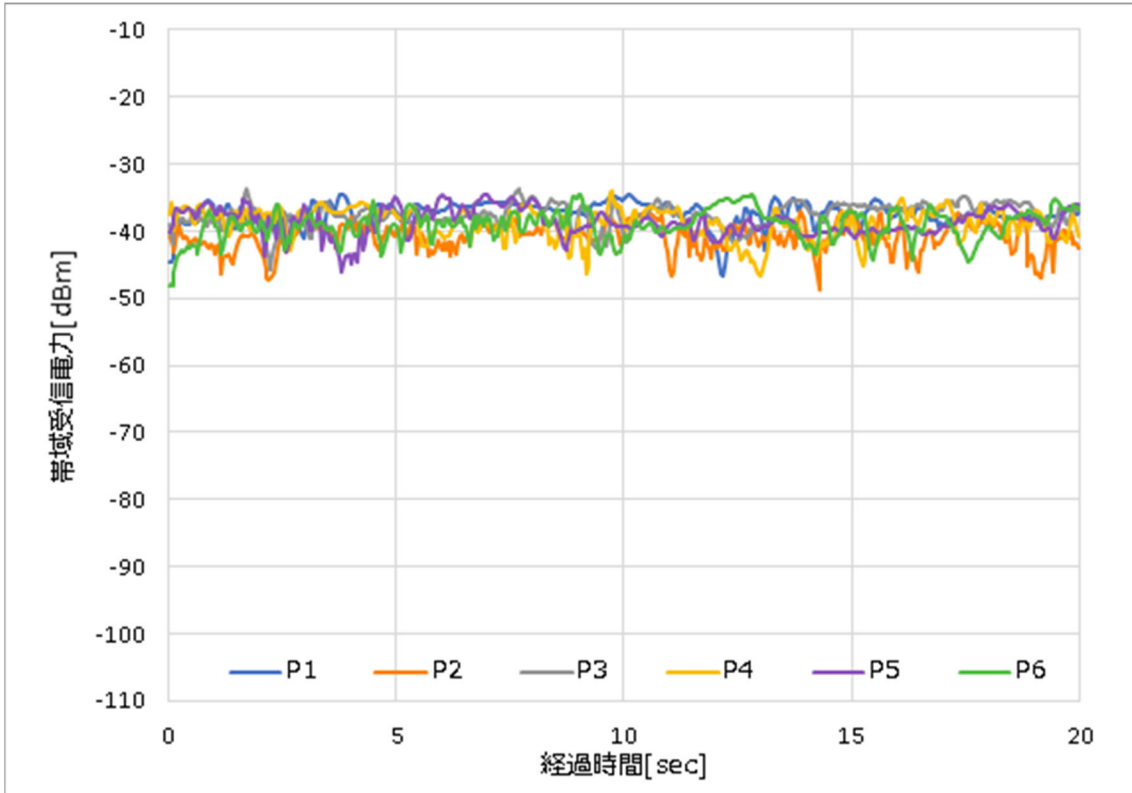


図 3-112 測定点⑧ 受信電力 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

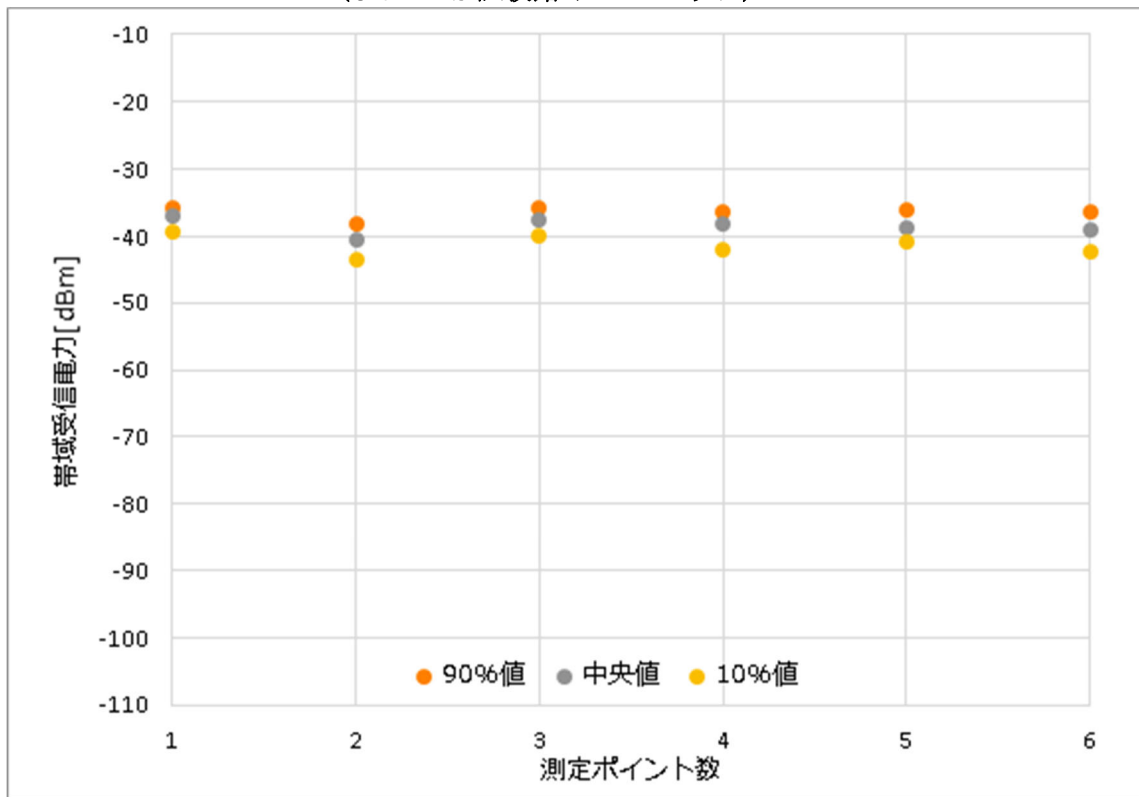


図 3-113 測定点⑧ 受信電力 正規化  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

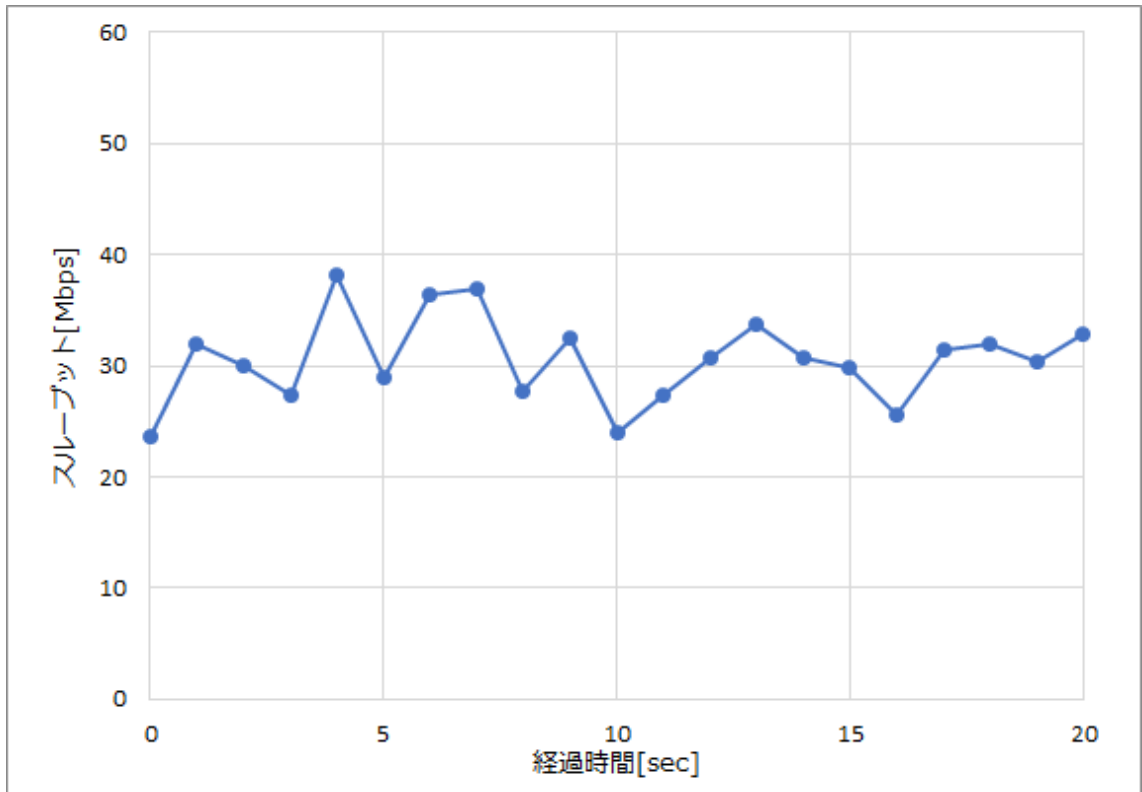


図 3-114 測定点⑧ スループット UL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

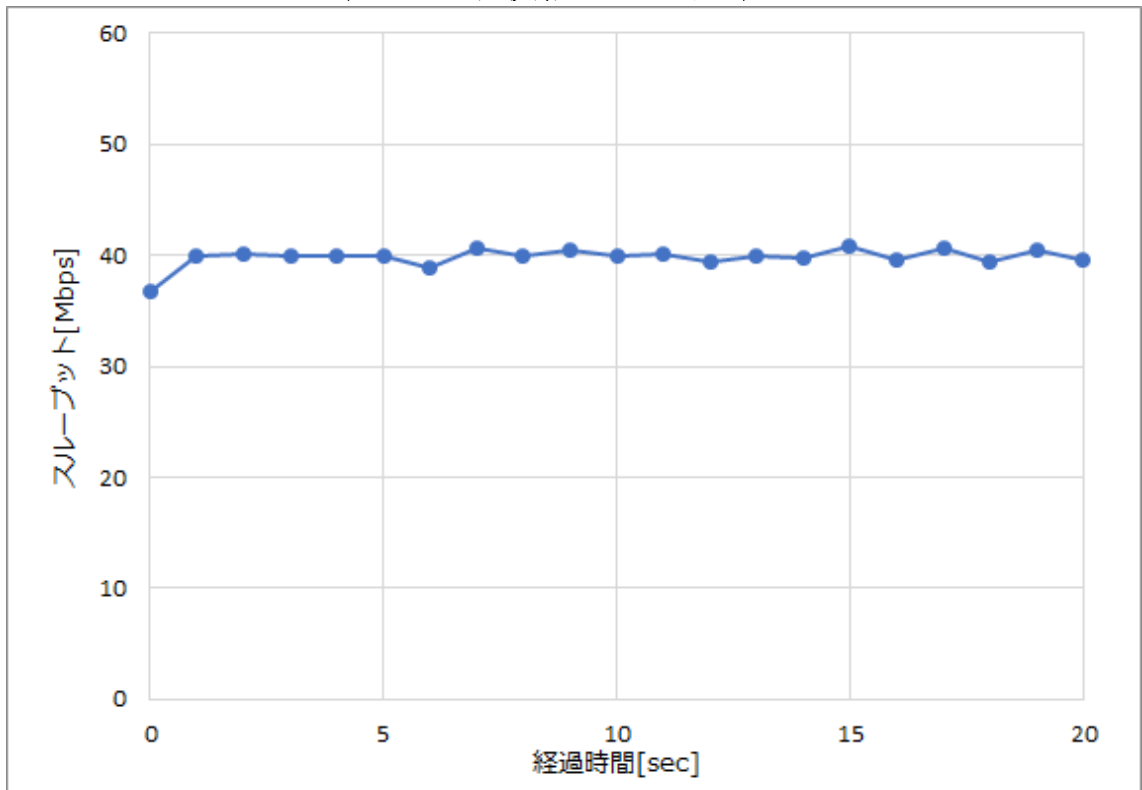


図 3-115 測定点⑧ スループット DL 時間変動  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)

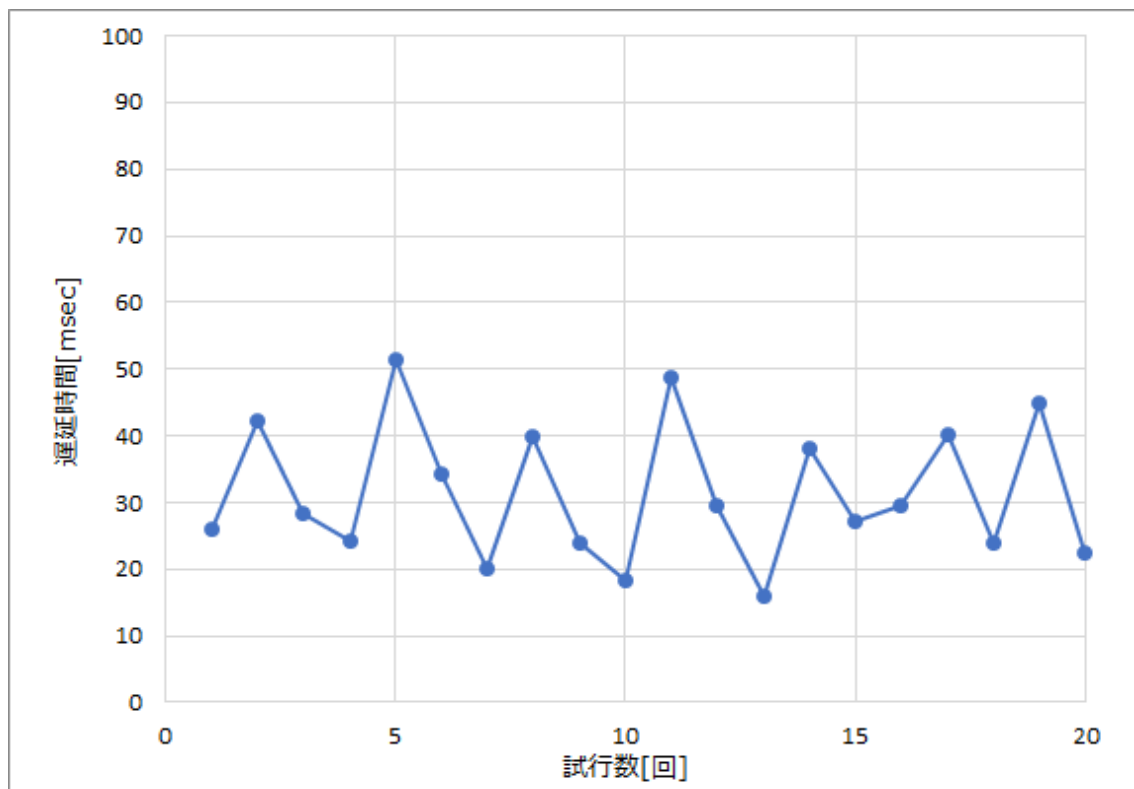


図 3-116 測定点③ 遅延時間  
(CRANTS 試験路 カバーエリア)



【上毛電鉄中央前橋駅周辺】

上毛電鉄中央前橋駅周辺でカバーエリア内の受信電力および伝送スループット、遅延時間を測定した。測定点を図 3-117 および表 3-9 に示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-117 カバーエリア内測定地点(上毛電鉄中央前橋駅周辺)

表 3-9 測定点の概要(上毛電鉄中央前橋駅周辺)

※見通しの凡例 ○:見通し ×:非見通し

測定点	基地局までの距離	見通し状況
①	83.45853	○
②	87.6355	○
③	80.53872	○
④	89.70451	○
⑤	93.88775	○
⑥	71.3062	○
⑦	69.45834	○
⑧	72.11851	○
⑨	71.3545	○
⑩	36.18459	○
⑪	61.54909	○

⑫	47.69062	○
⑬	84.71614	○
⑭	100.3616	○
⑮	51.56511	○
⑯	76.80855	×
⑰	23.57585	×
⑱	76.16802	×
⑲	84.01256	×
⑳	102.2458	×

各測定点の測定結果概要を表 3-10 に、各測定結果を図 3-118～図 3-205 に示す。スループット DL および遅延時間では測定が可能だった全測定点で所要性能を満たしていることを確認した。なお、測定点⑯⑱⑲⑳では通信の疎通が行えずスループットおよび遅延時間が測定できていない。これはアンテナ指向方向外のため、受信電力が著しく低い測定点であったためであり、L5G のシステムを構築するためにはアンテナの指向方向に受信端末を設置する必要があることを改めて確認した。

表 3-10 測定結果概要(上毛電鉄中央前橋駅周辺)

※低：低受信電力により測定不能

測定点	受信電力[dBm]	スループット UL[Mbps]	スループット DL[Mbps]	遅延時間 [msec]
所要性能	—	20 以上	0.1 以上	43.0 以下
①	-56.67	39.9	40	26.0
②	-60.37	39.9	40.1	26.6
③	-53.87	39.65	40	27.4
④	-54.97	39.8	40.1	25.4
⑤	-46.67	39.9	40	32.7
⑥	-46.27	39.5	40	22.6
⑦	-52.07	39.8	40	24.4
⑧	-46.47	39.8	40	22.3
⑨	-47.47	39.45	40.1	24.6
⑩	-44.17	39.9	40	25.2
⑪	-48.67	39.7	40	22.9
⑫	-56.47	40	40	25.4
⑬	-63.27	39.8	40	29.2
⑭	-60.07	39.55	40	34.2
⑮	-64.97	39.9	40	30.8
⑯	-78.67	低	低	低
⑰	-55.87	39.85	40	25.7
⑱	-67.47	低	低	低
⑲	-92.77	低	低	低
⑳	-78.57	低	低	低

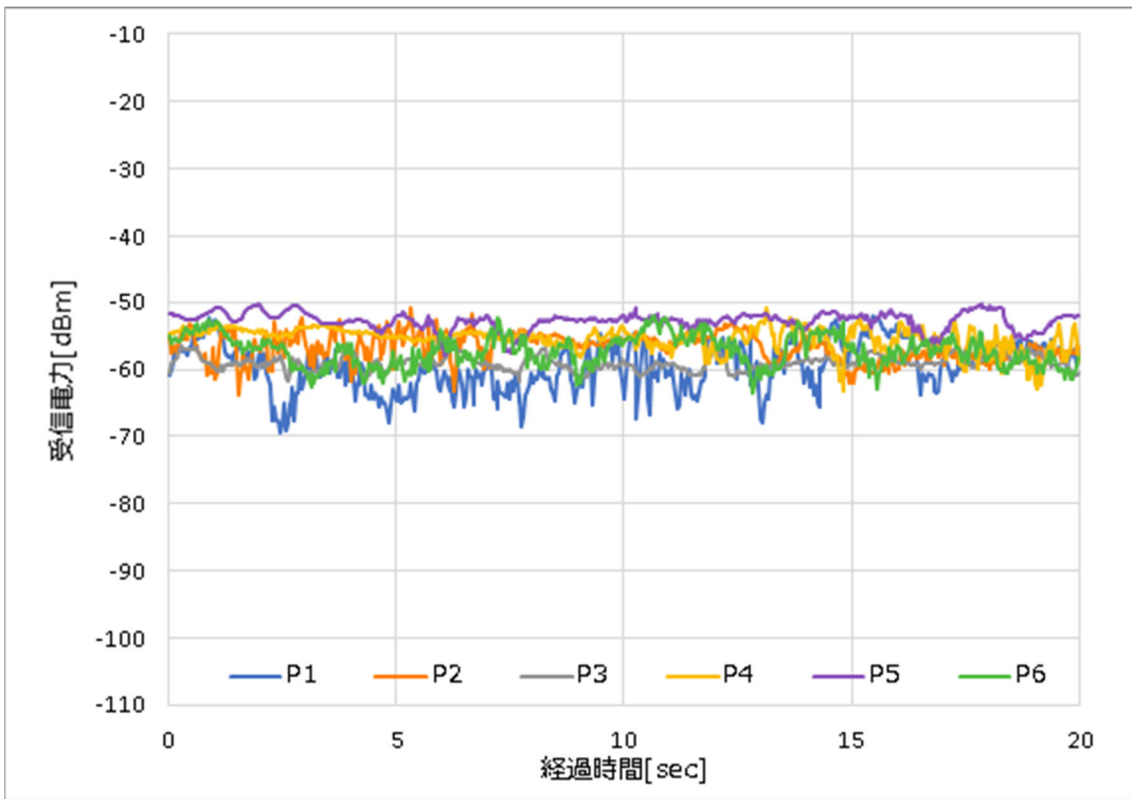


図 3-118 測定点① 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

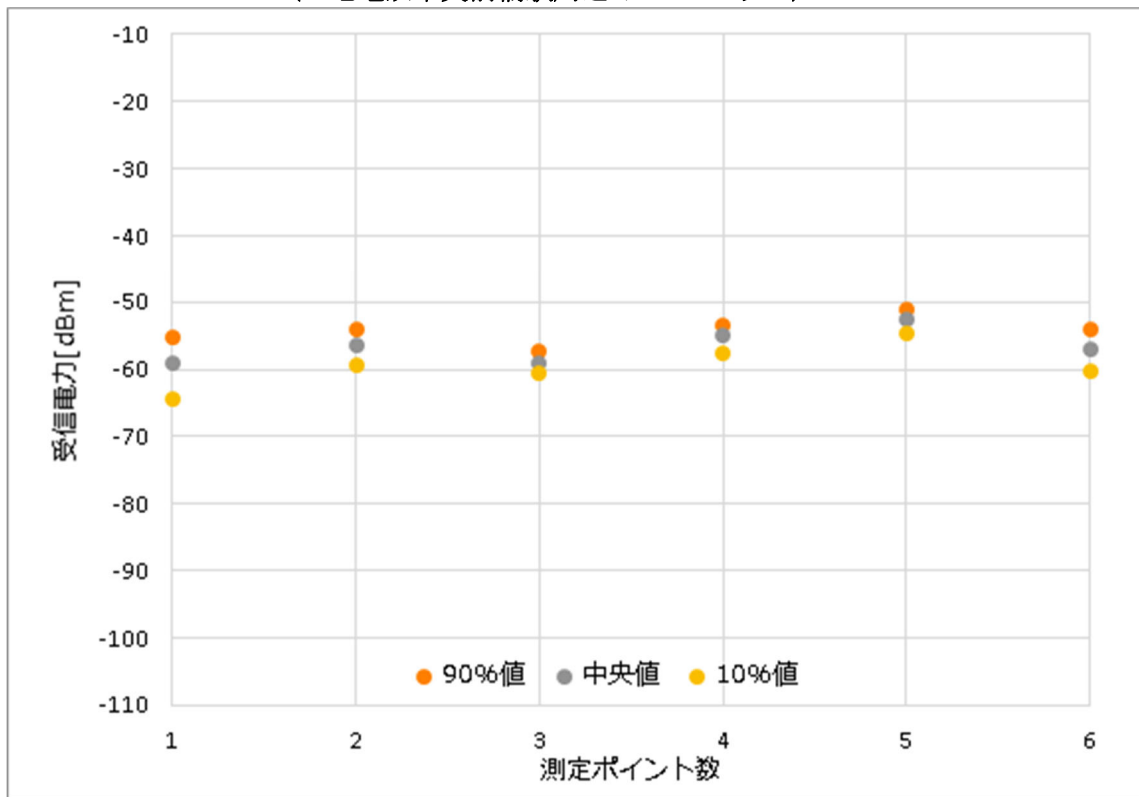


図 3-119 測定点① 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

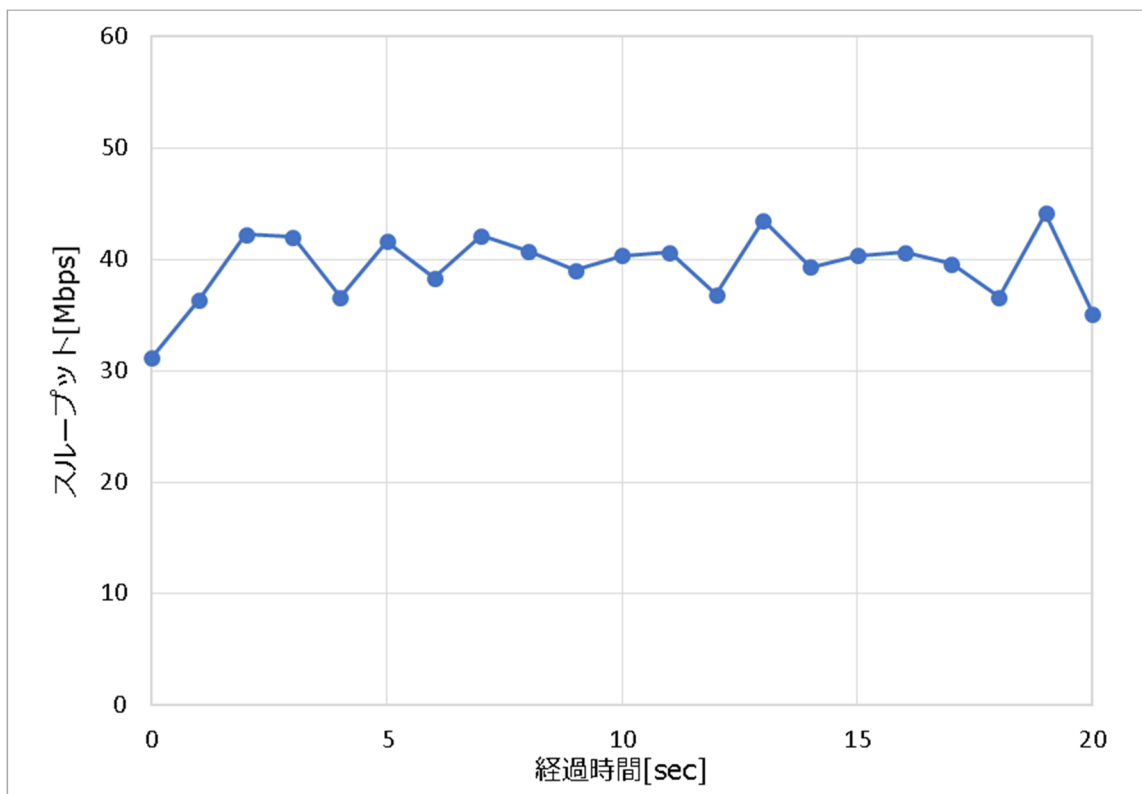


図 3-120 測定点① スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

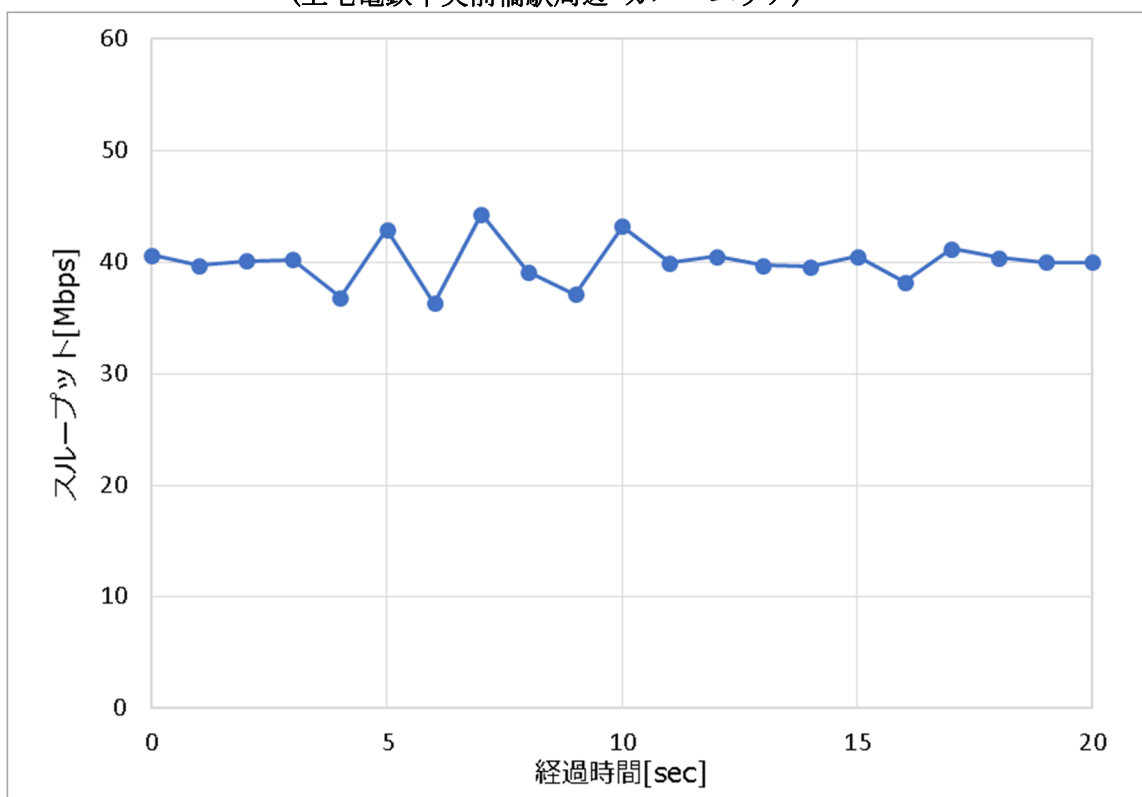


図 3-121 測定点① スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

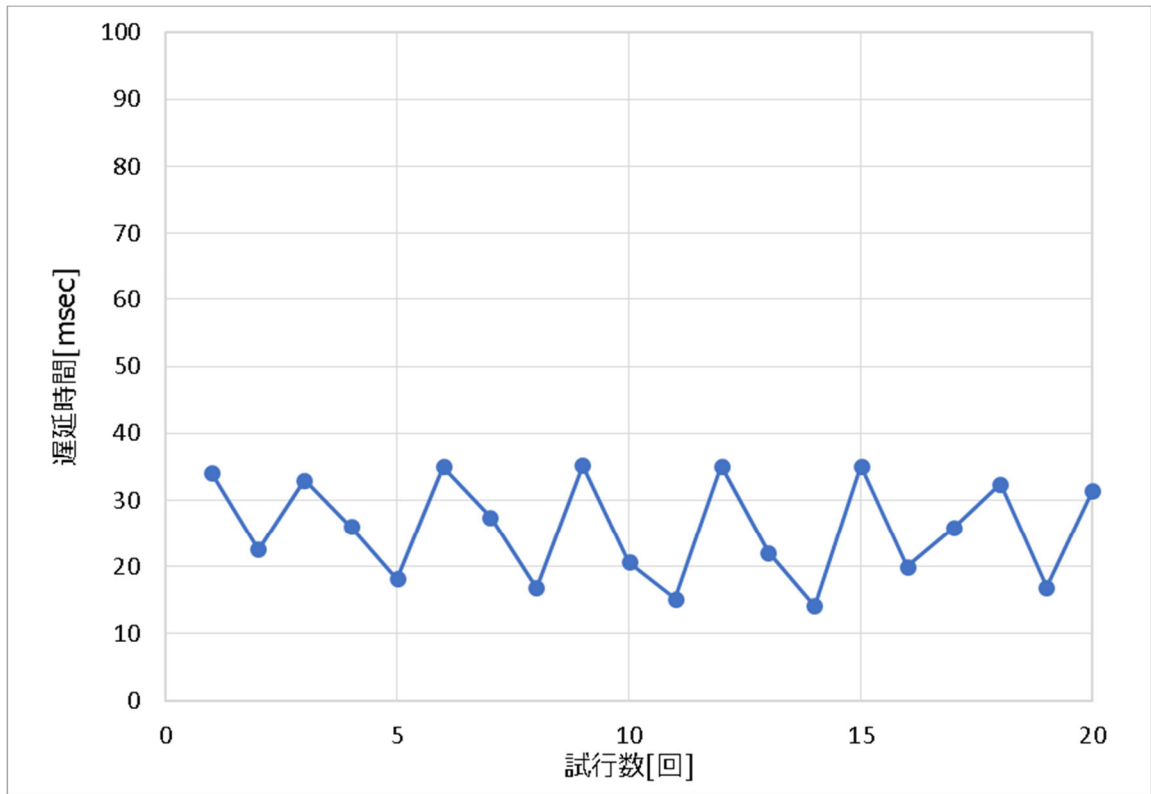


図 3-122 測定点① 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

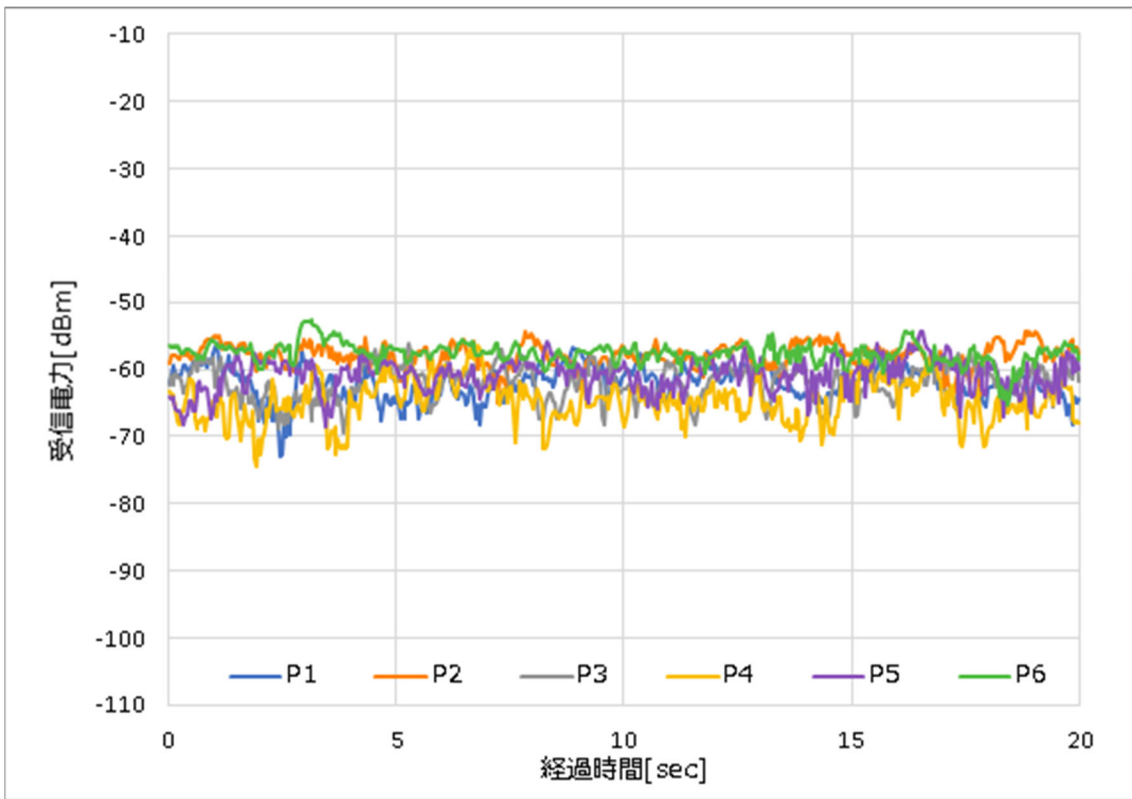


図 3-123 測定点② 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

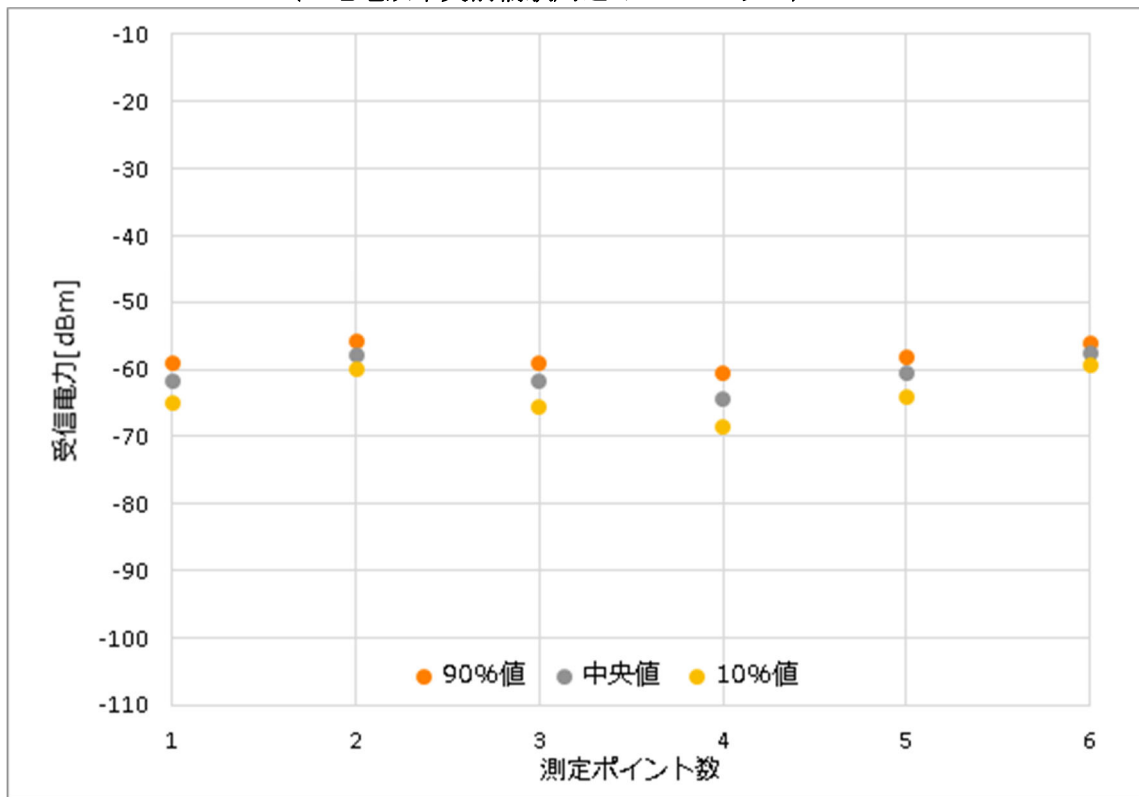


図 3-124 測定点② 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

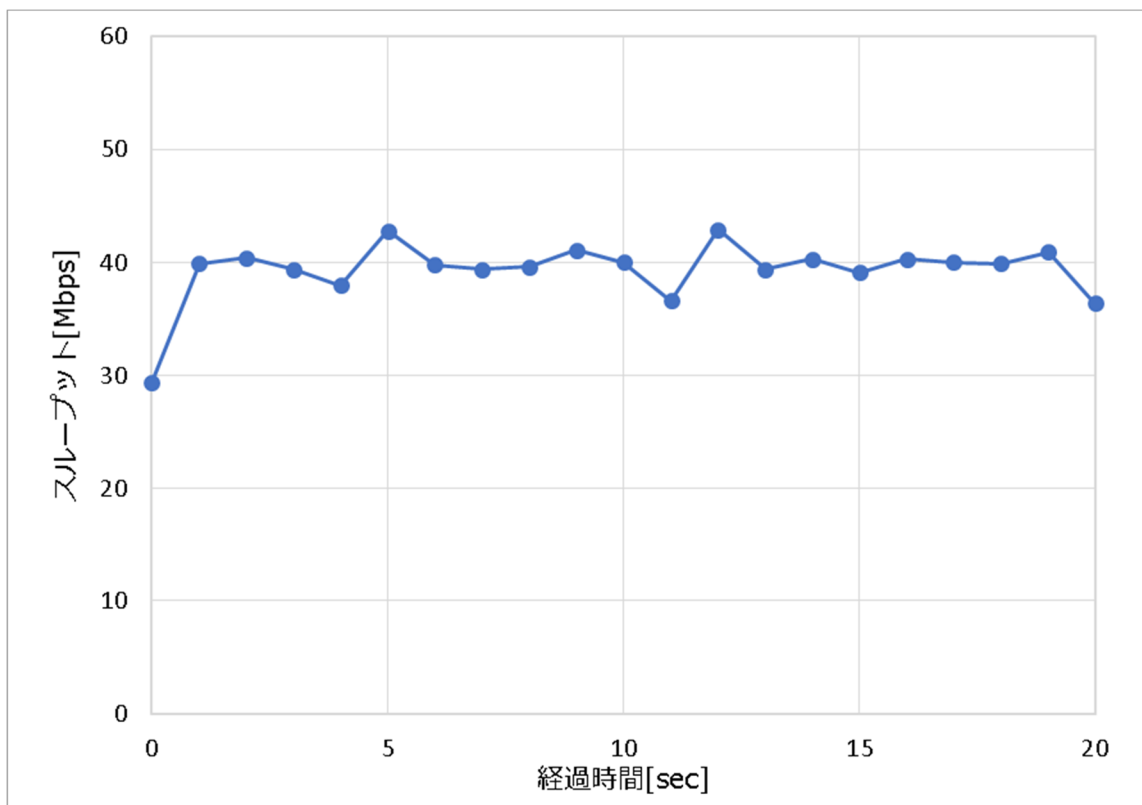


図 3-125 測定点② スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

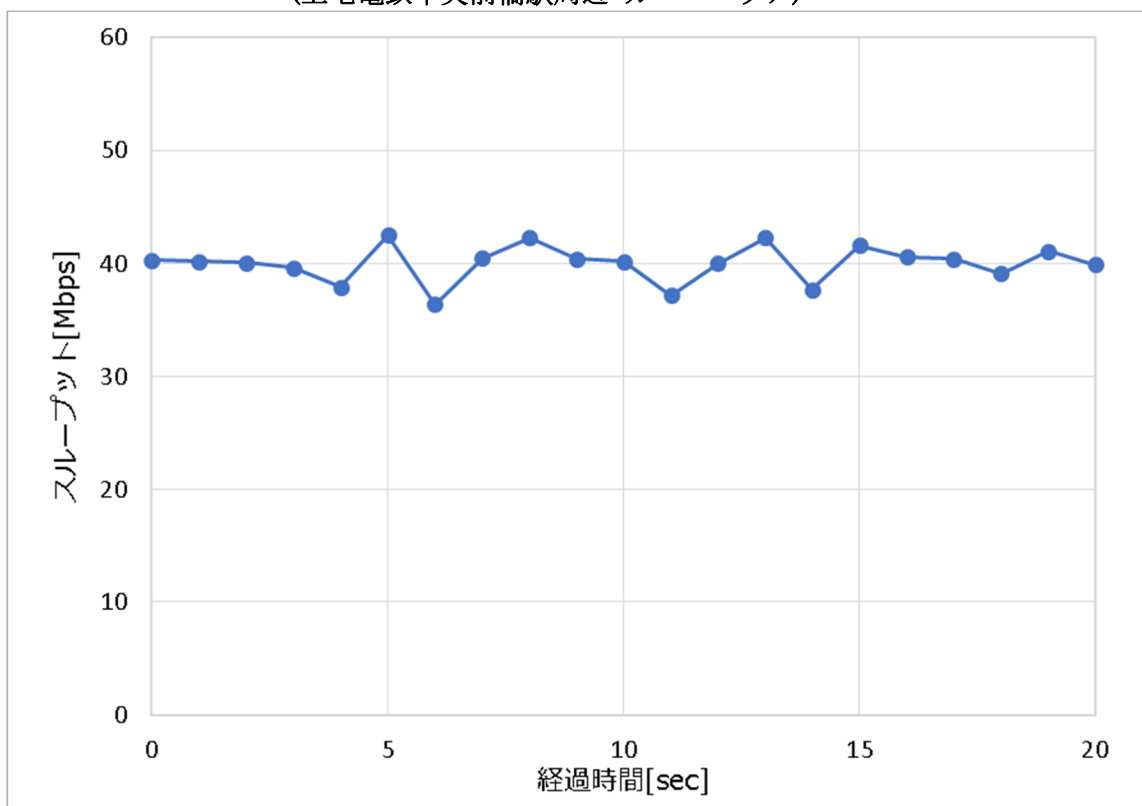


図 3-126 測定点② スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

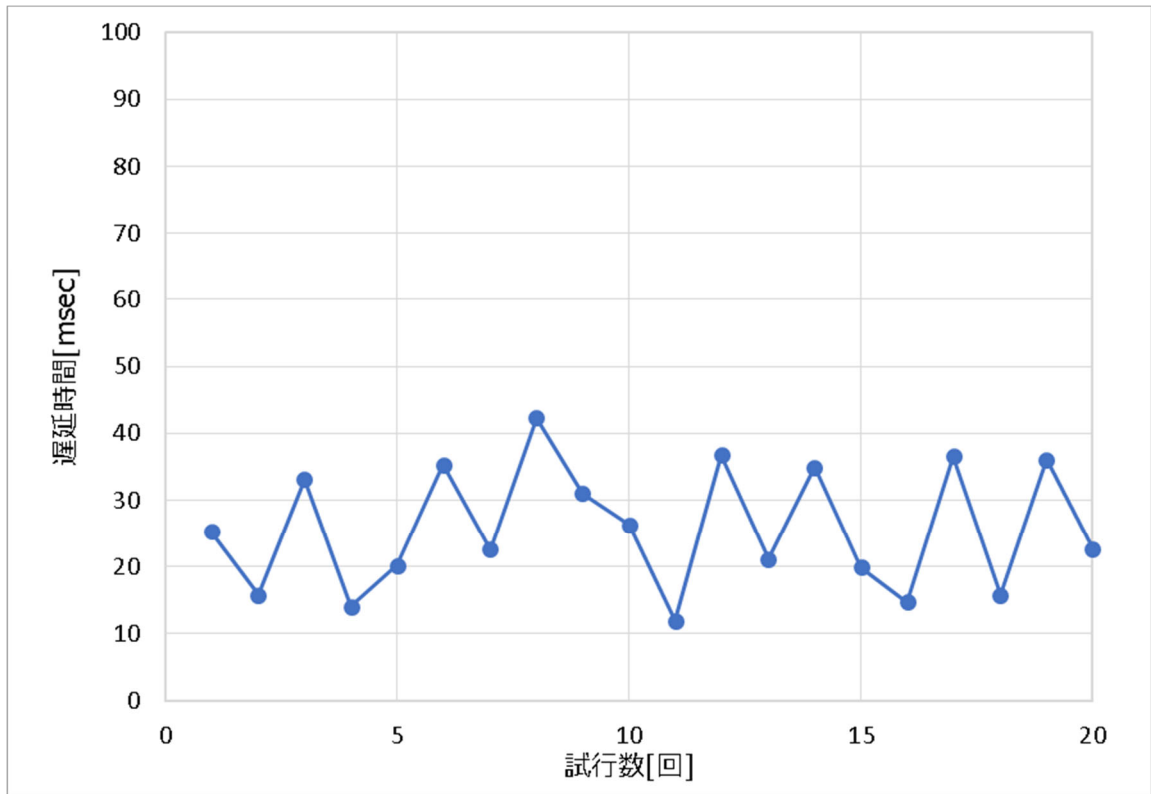


図 3-127 測定点② 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)



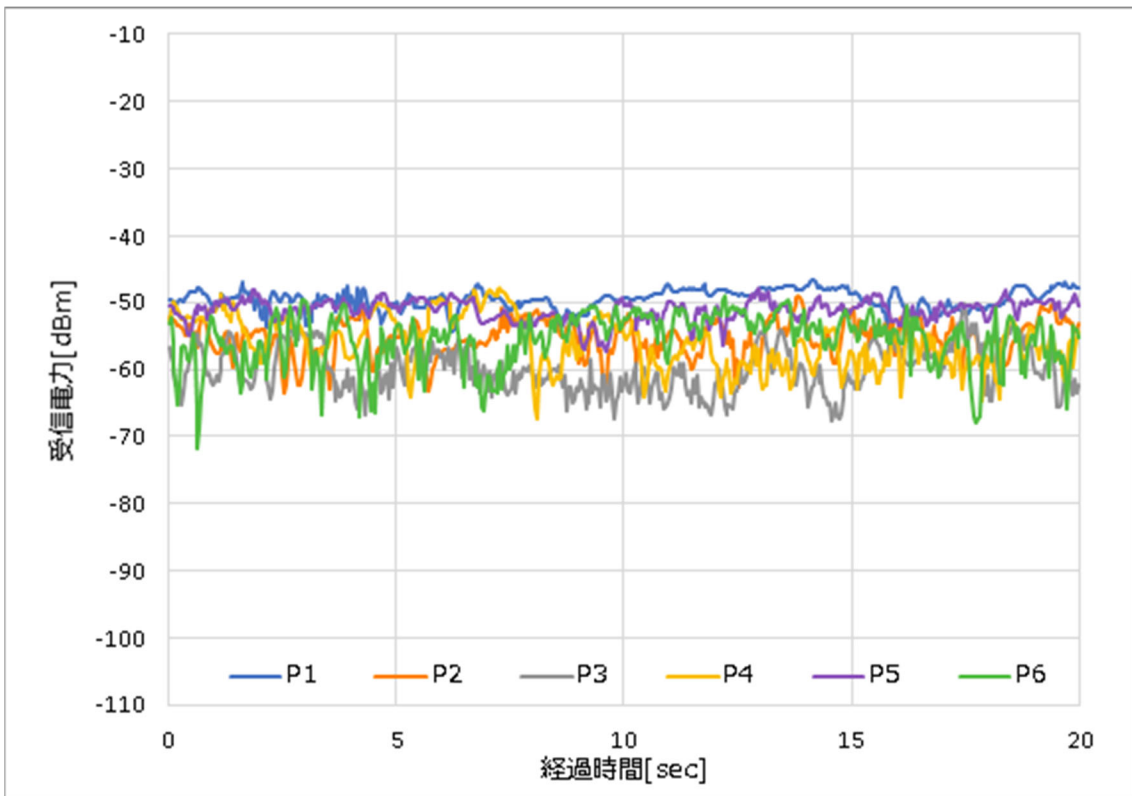


図 3-128 測定点③ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

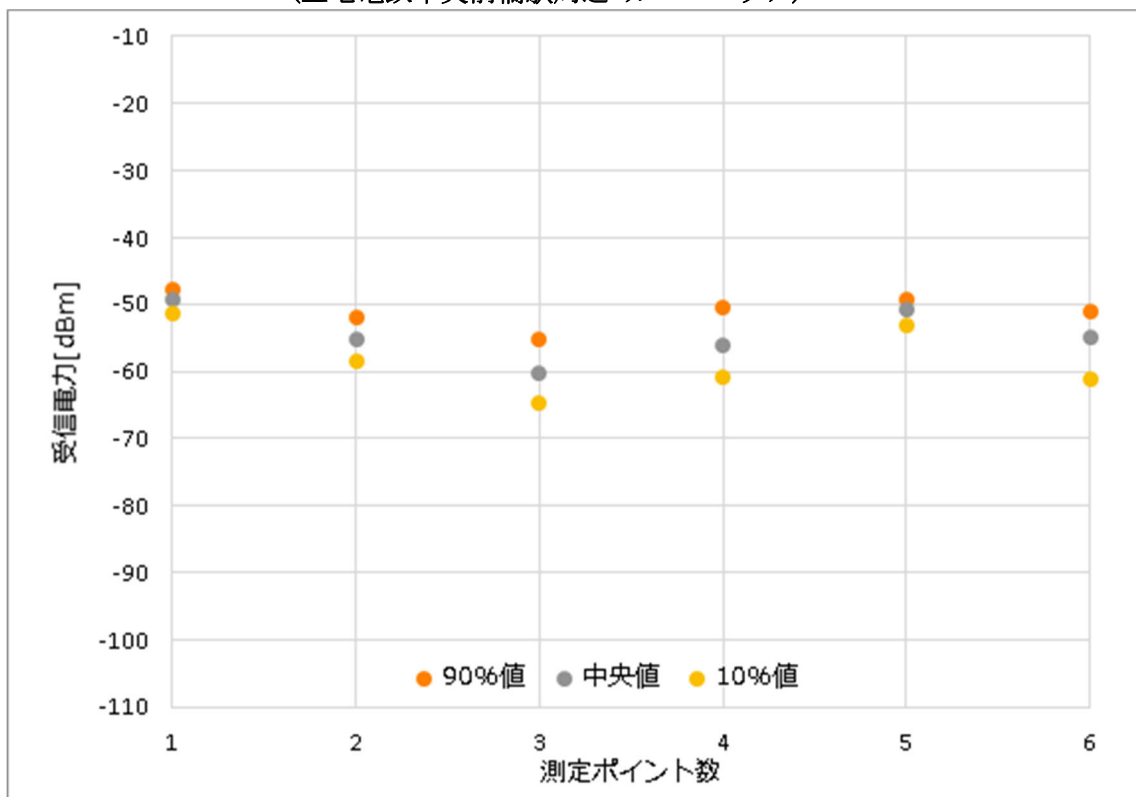


図 3-129 測定点③ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

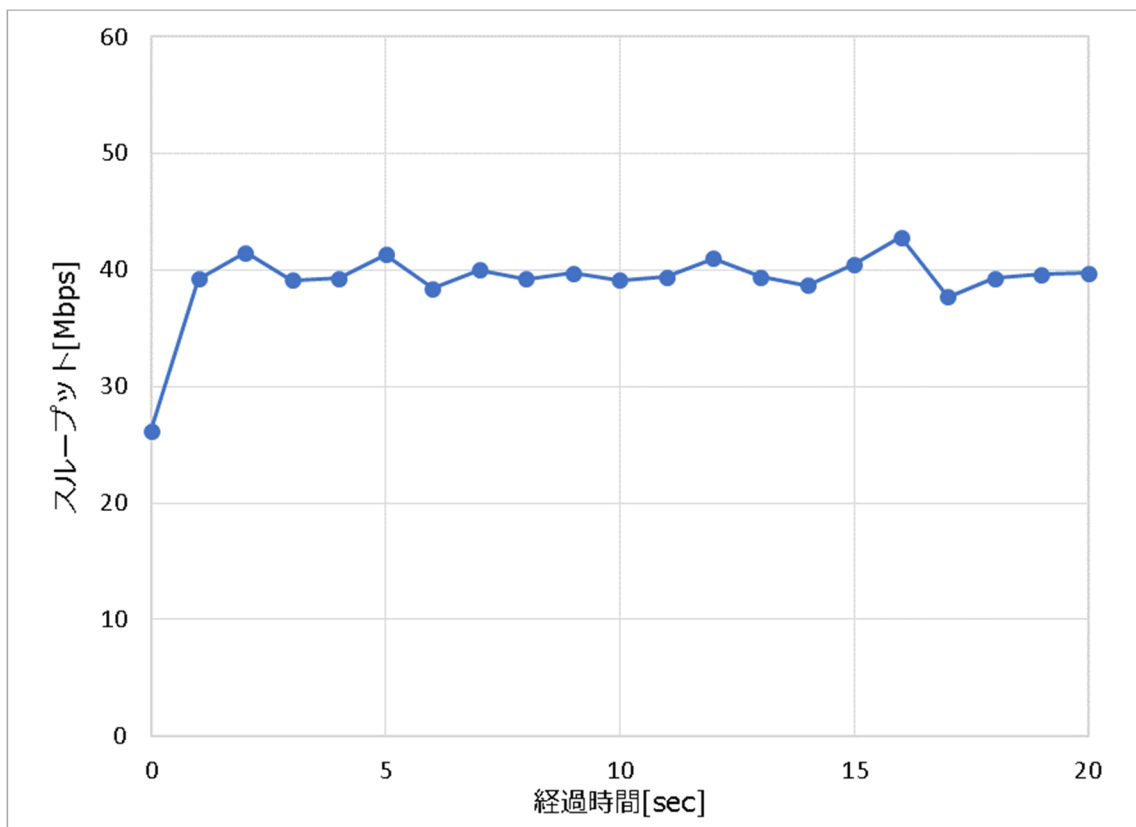


図 3-130 測定点③ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

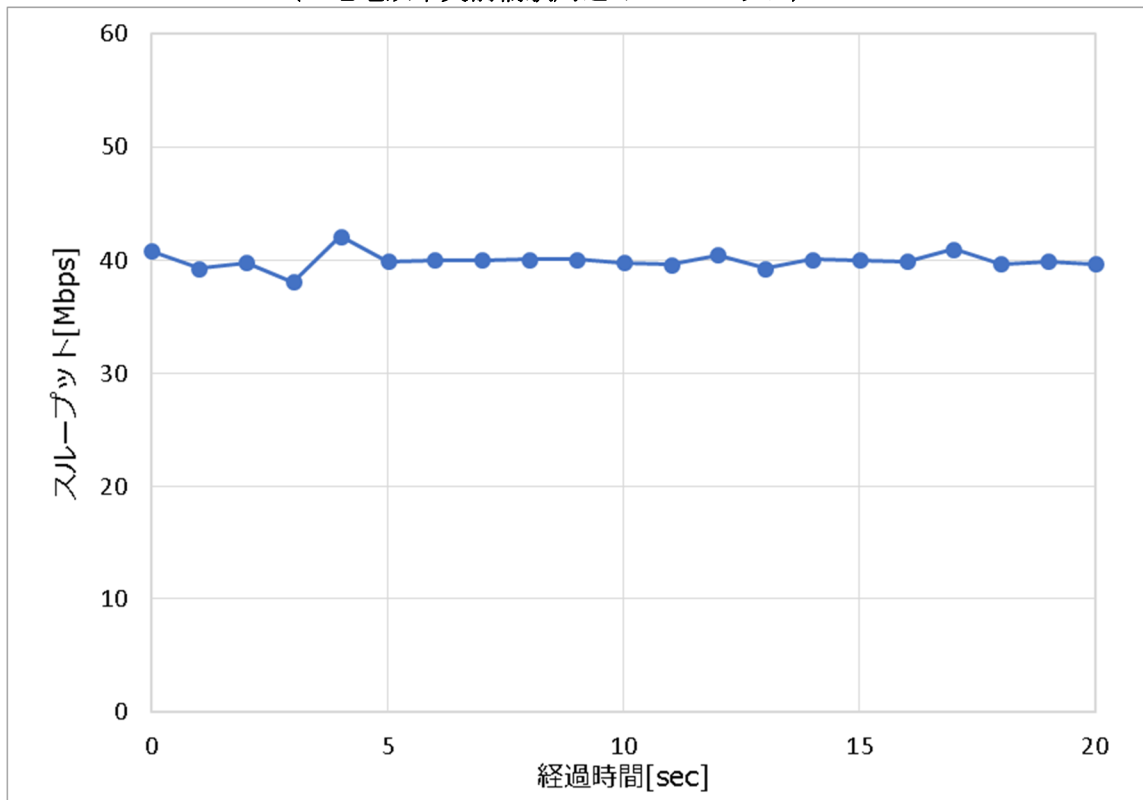


図 3-131 測定点③ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

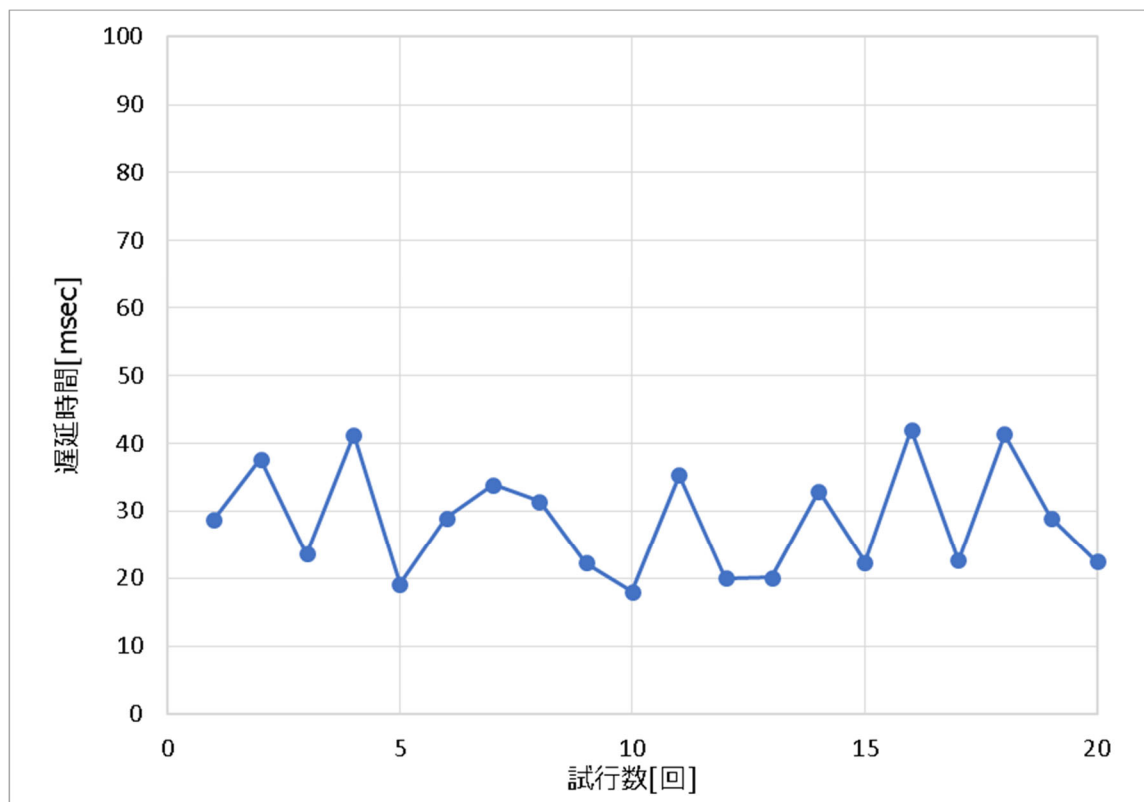


図 3-132 測定点③ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

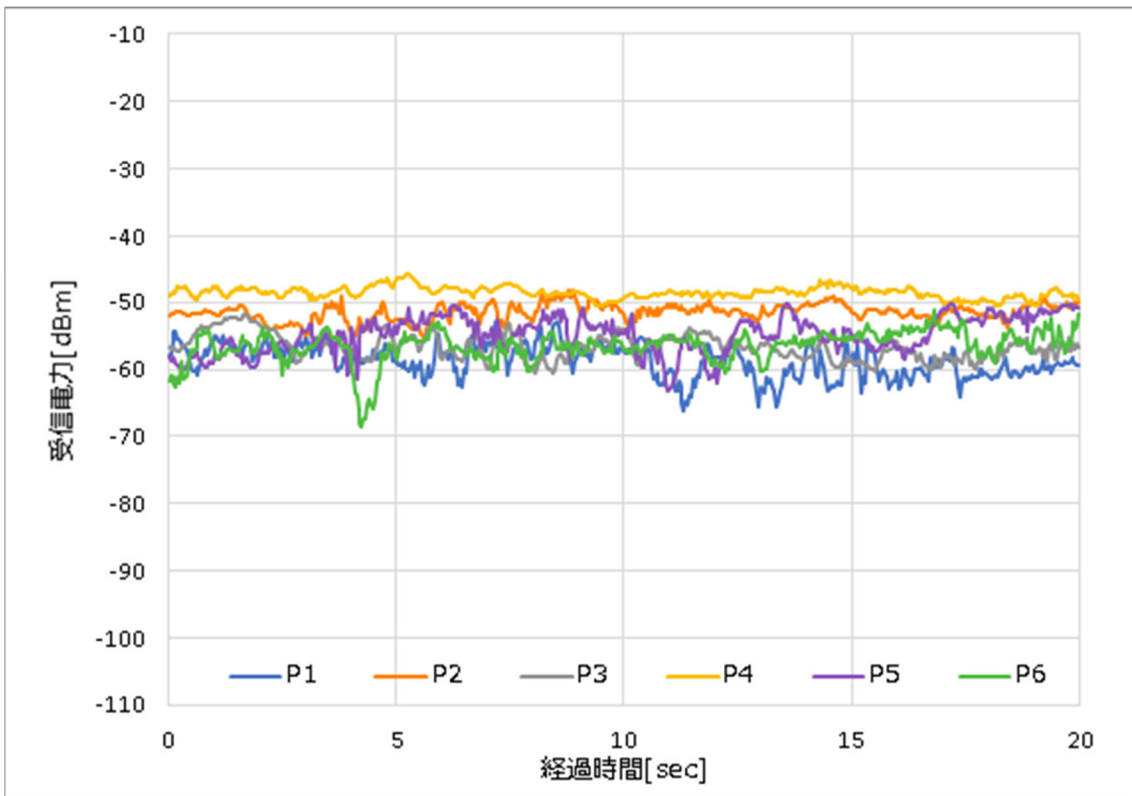


図 3-133 測定点④ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

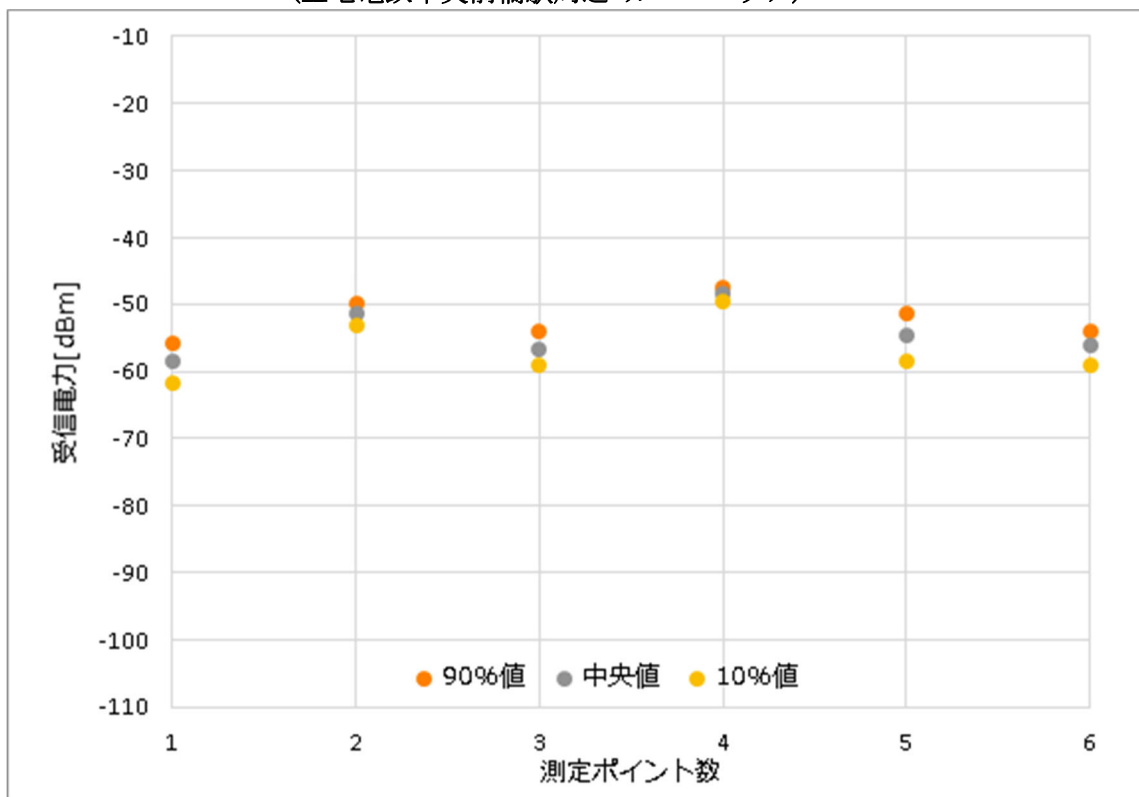


図 3-134 測定点④ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

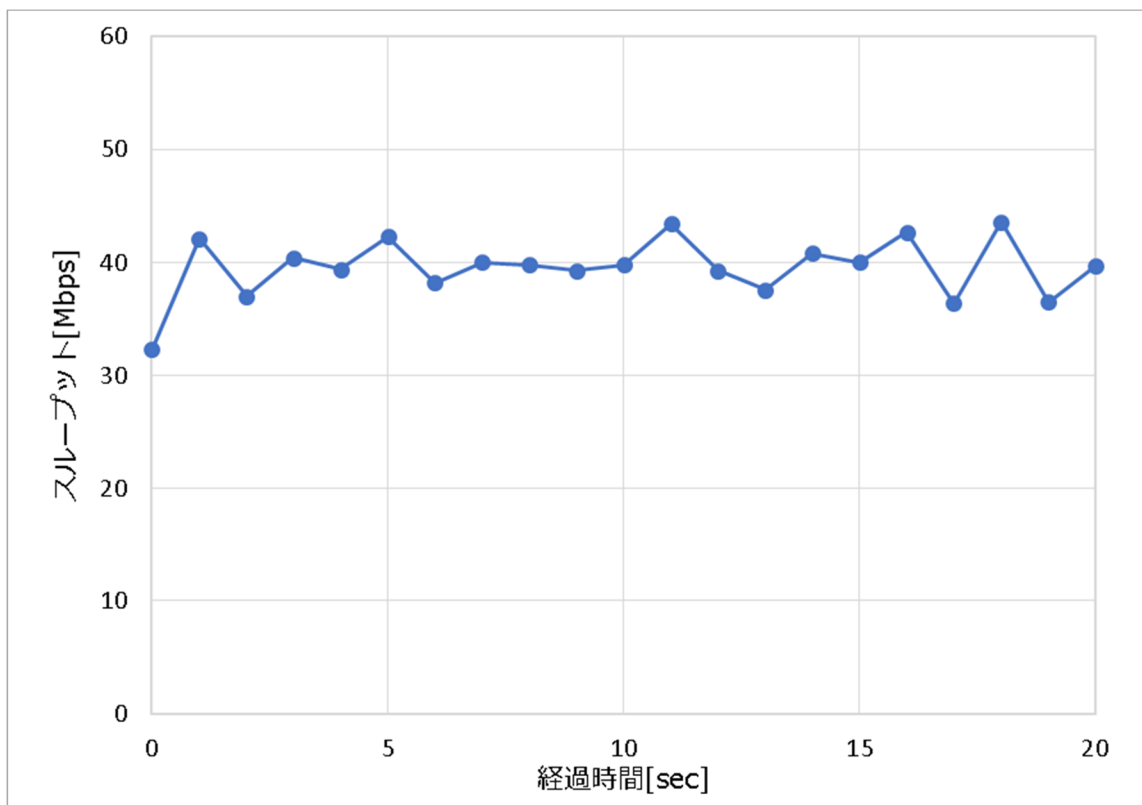


図 3-135 測定点④ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

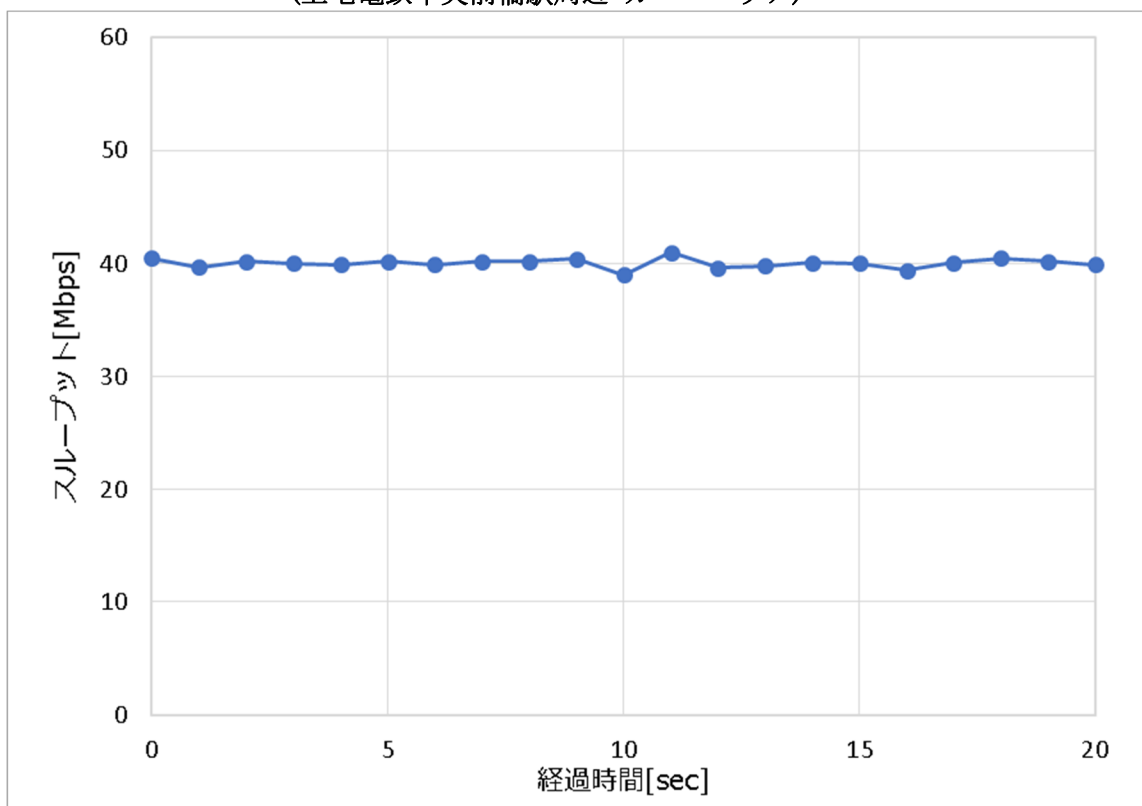


図 3-136 測定点④ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

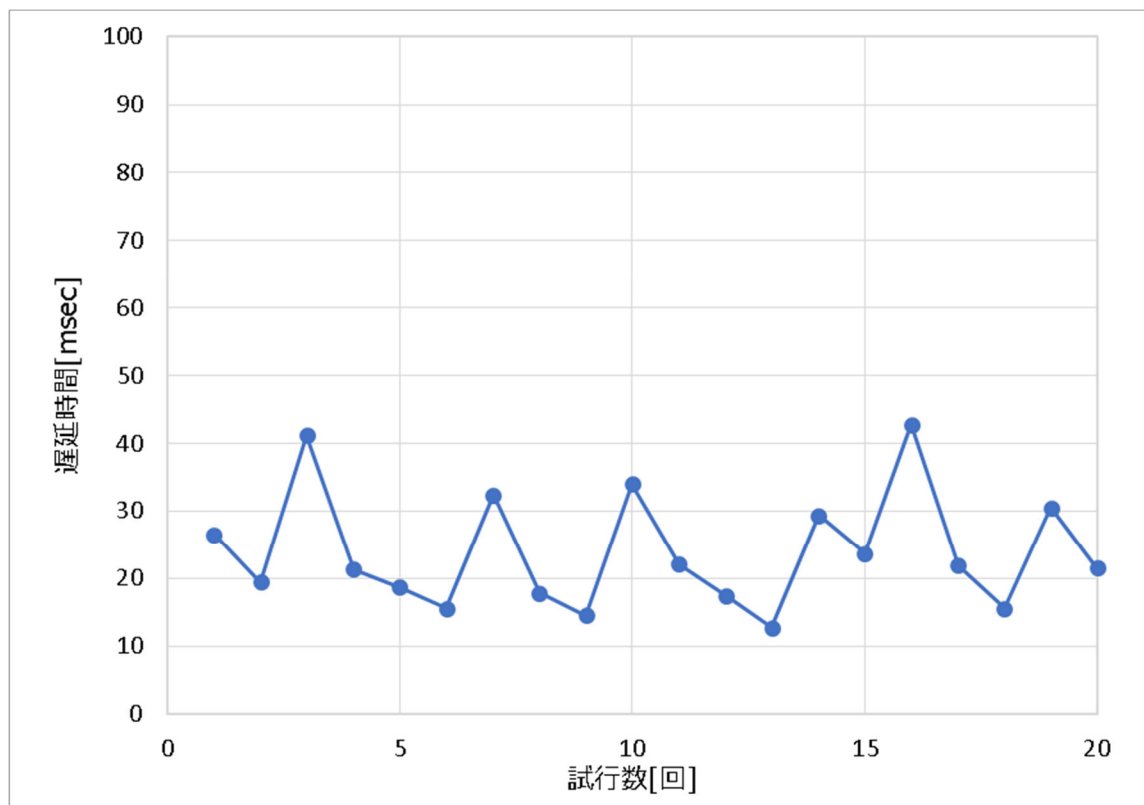


図 3-137 測定点④ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

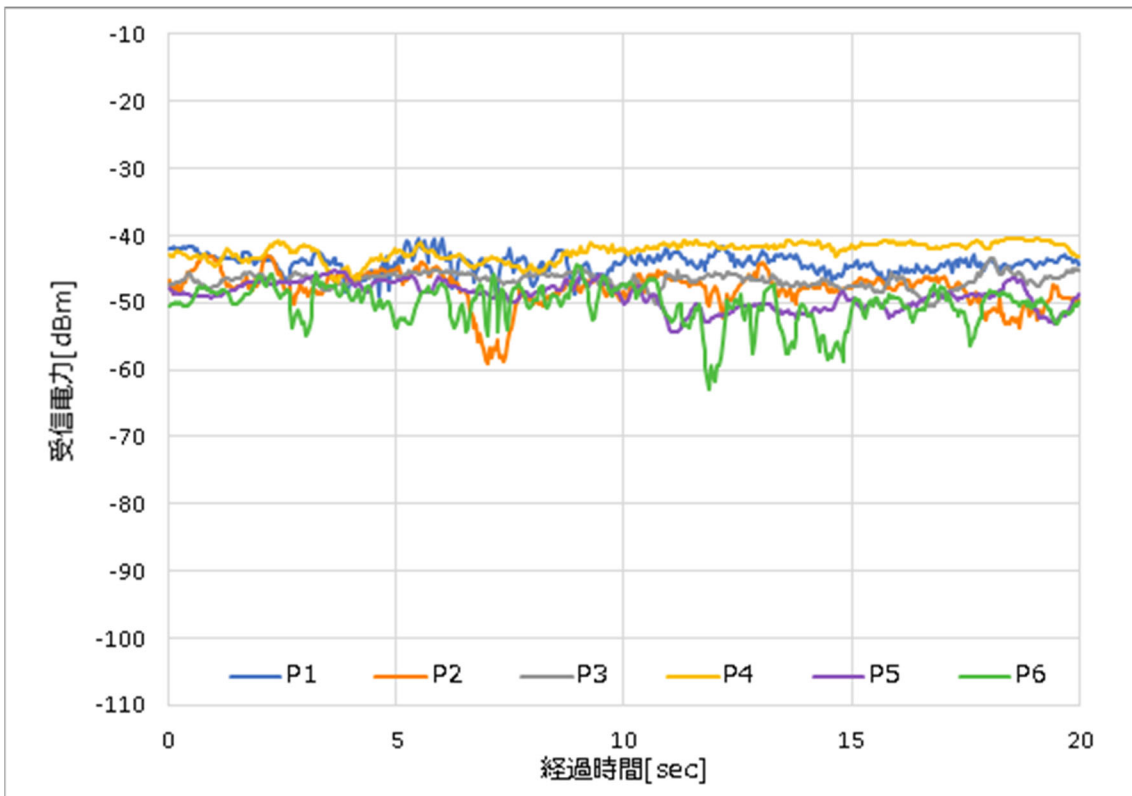


図 3-138 測定点⑤ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

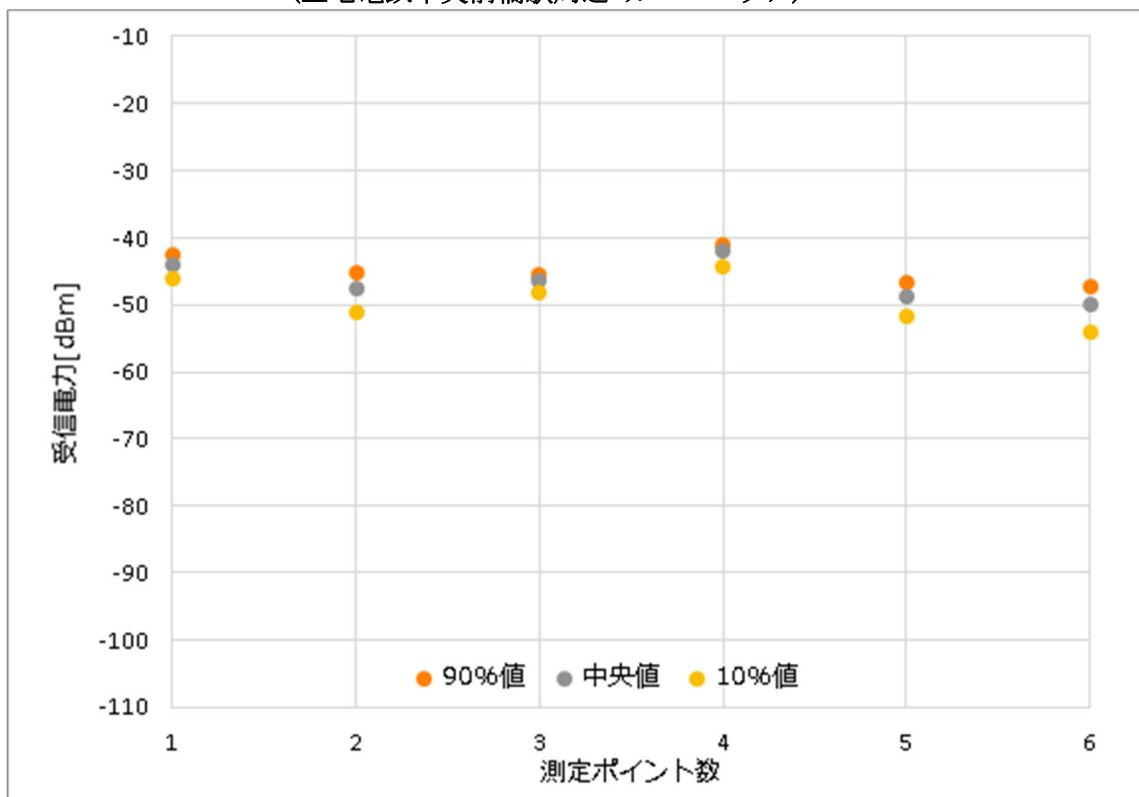


図 3-139 測定点⑤ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

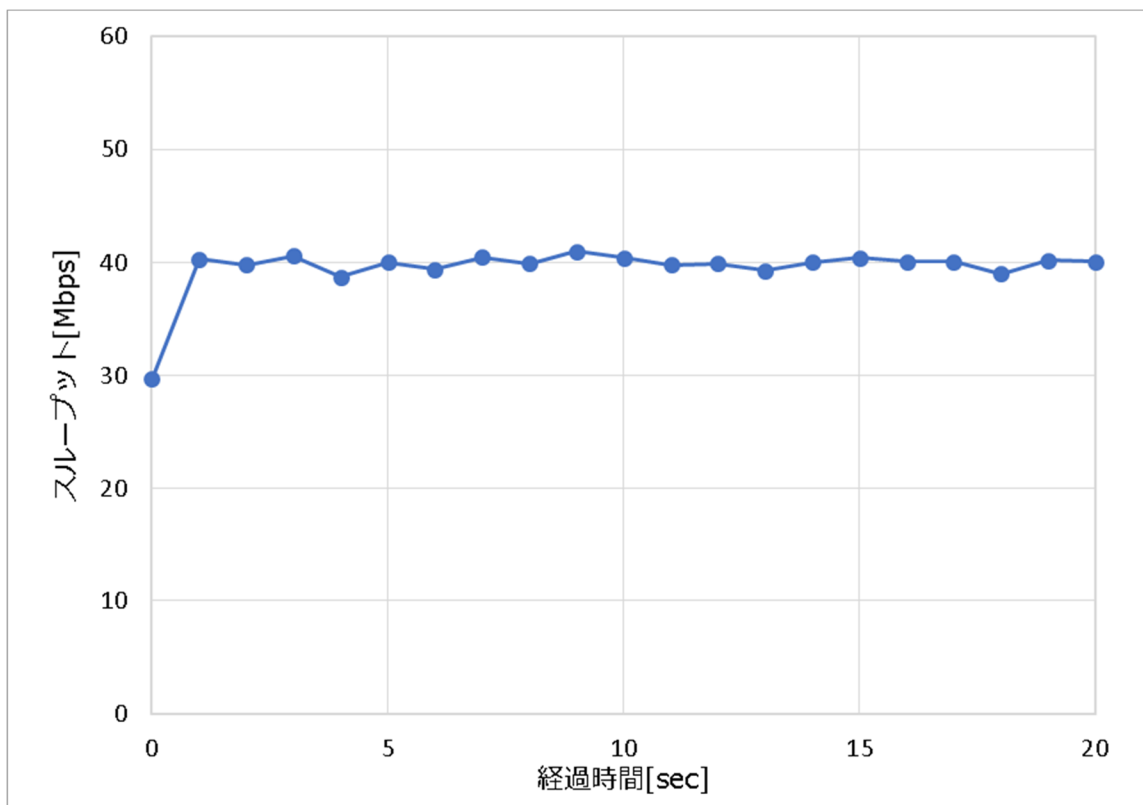


図 3-140 測定点⑤ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

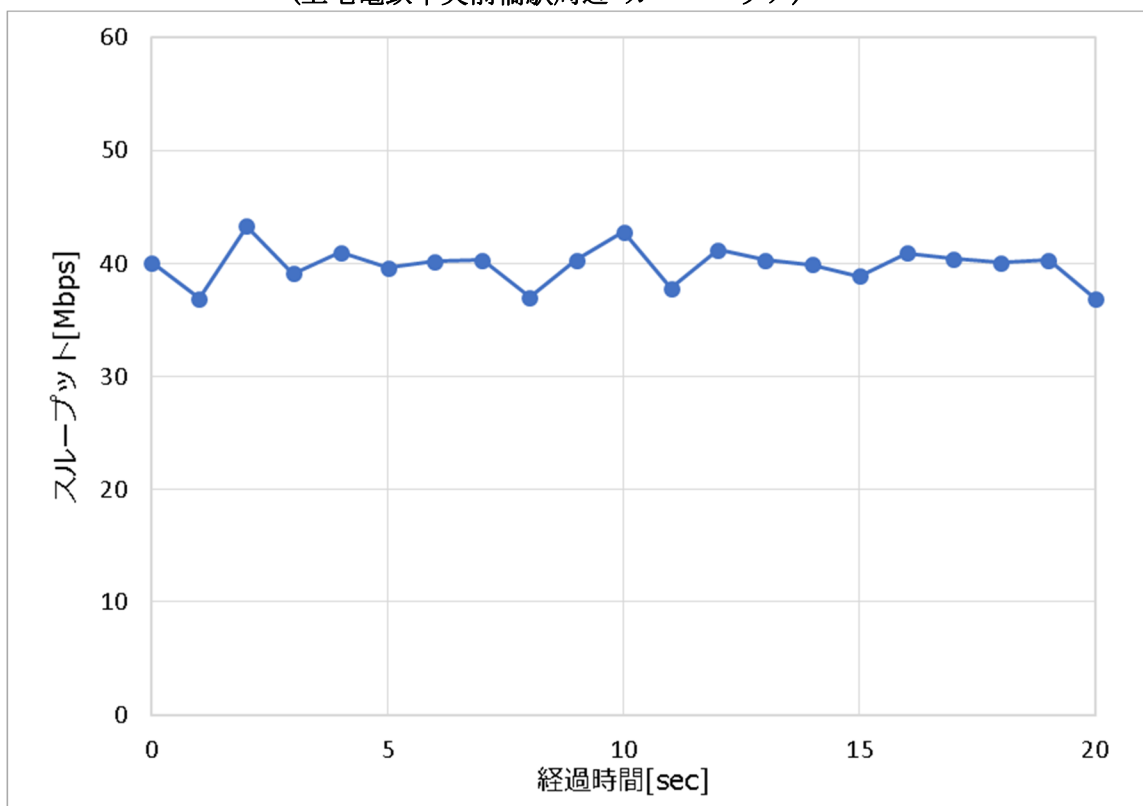


図 3-141 測定点⑤ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)



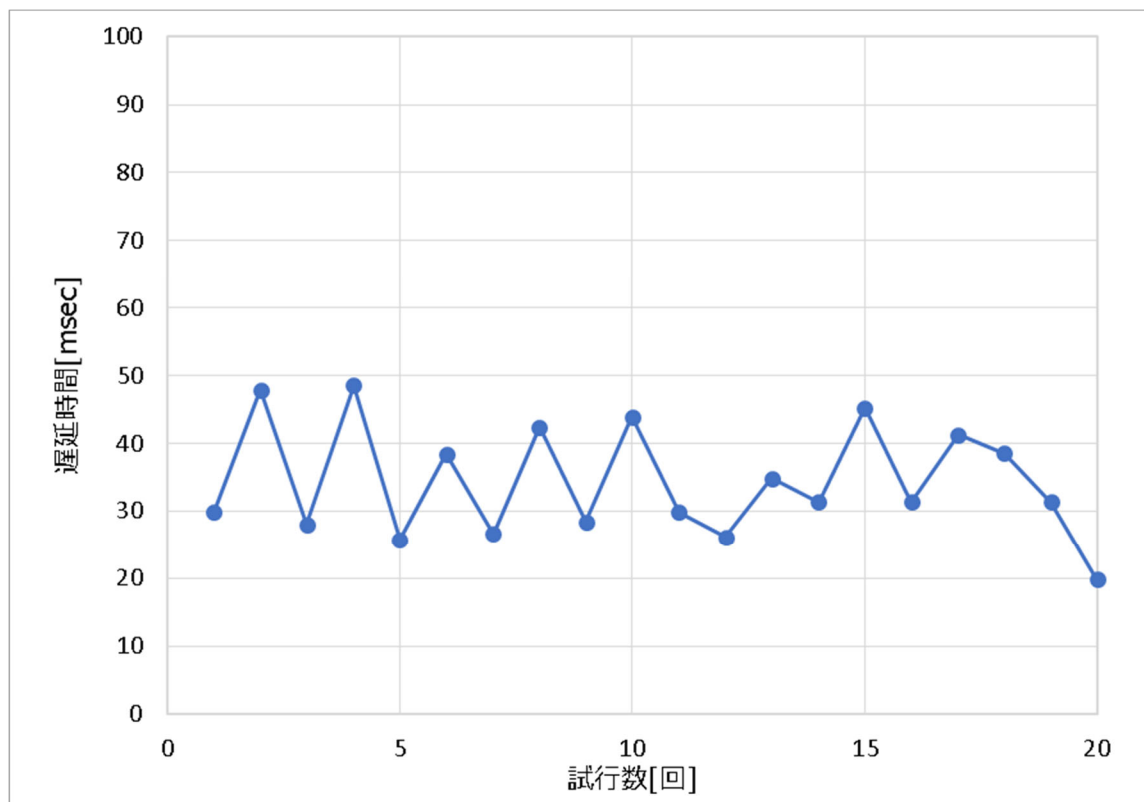


図 3-142 測定点⑤ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

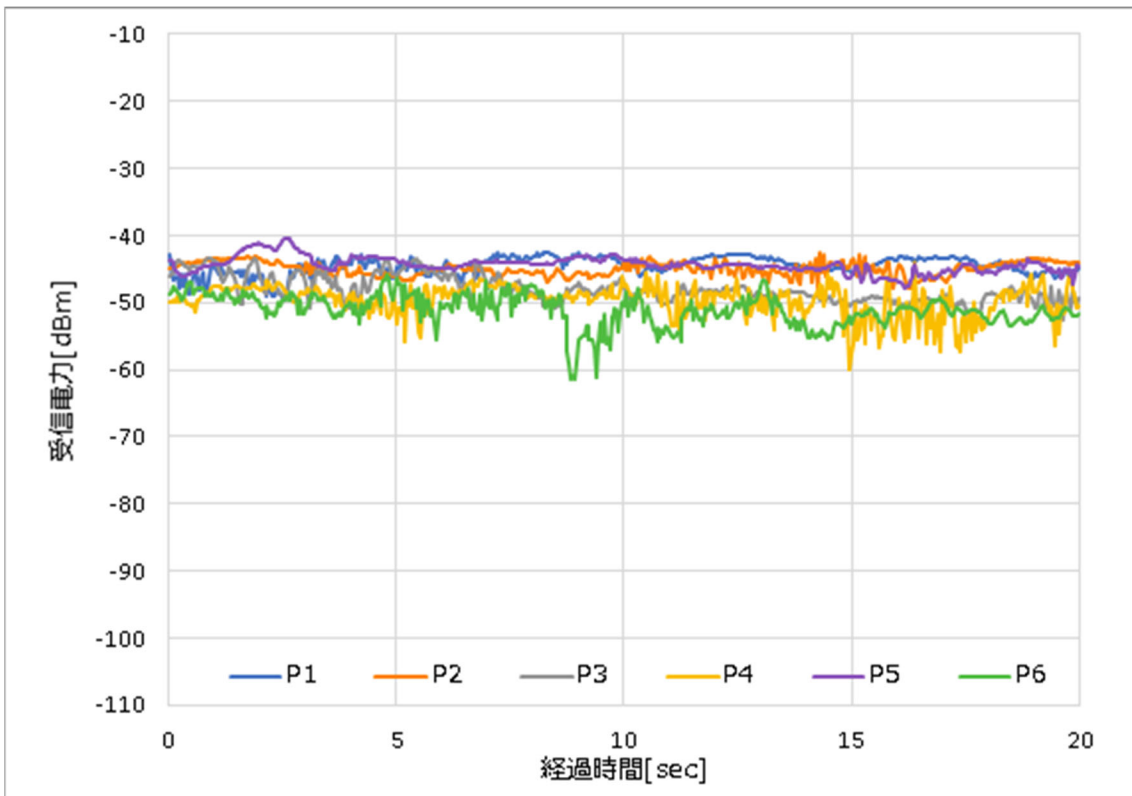


図 3-143 測定点⑥ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

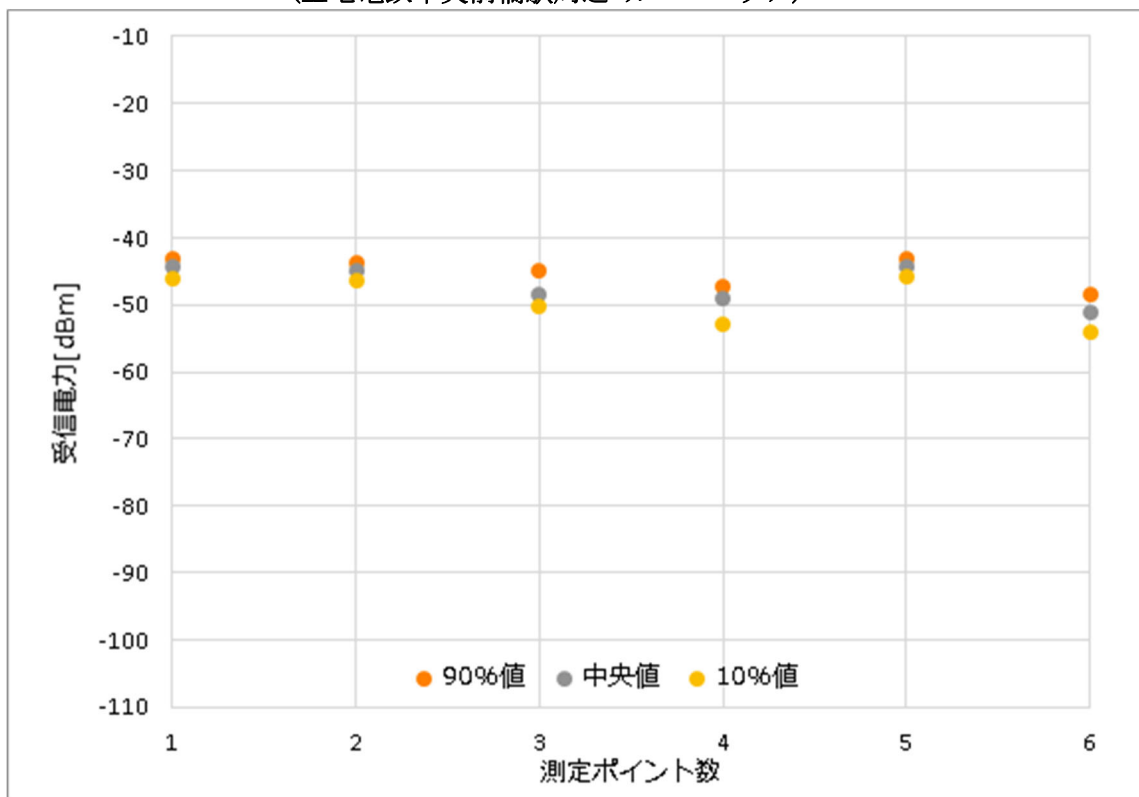


図 3-144 測定点⑥ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

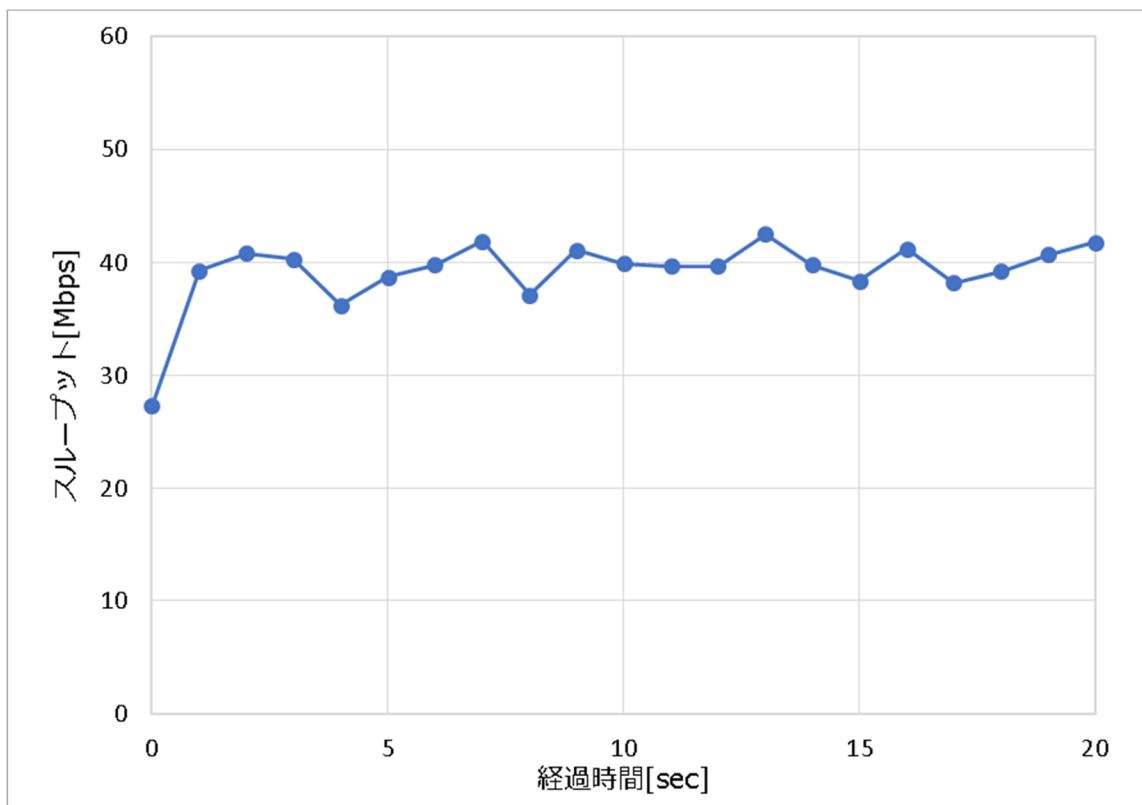


図 3-145 測定点⑥ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

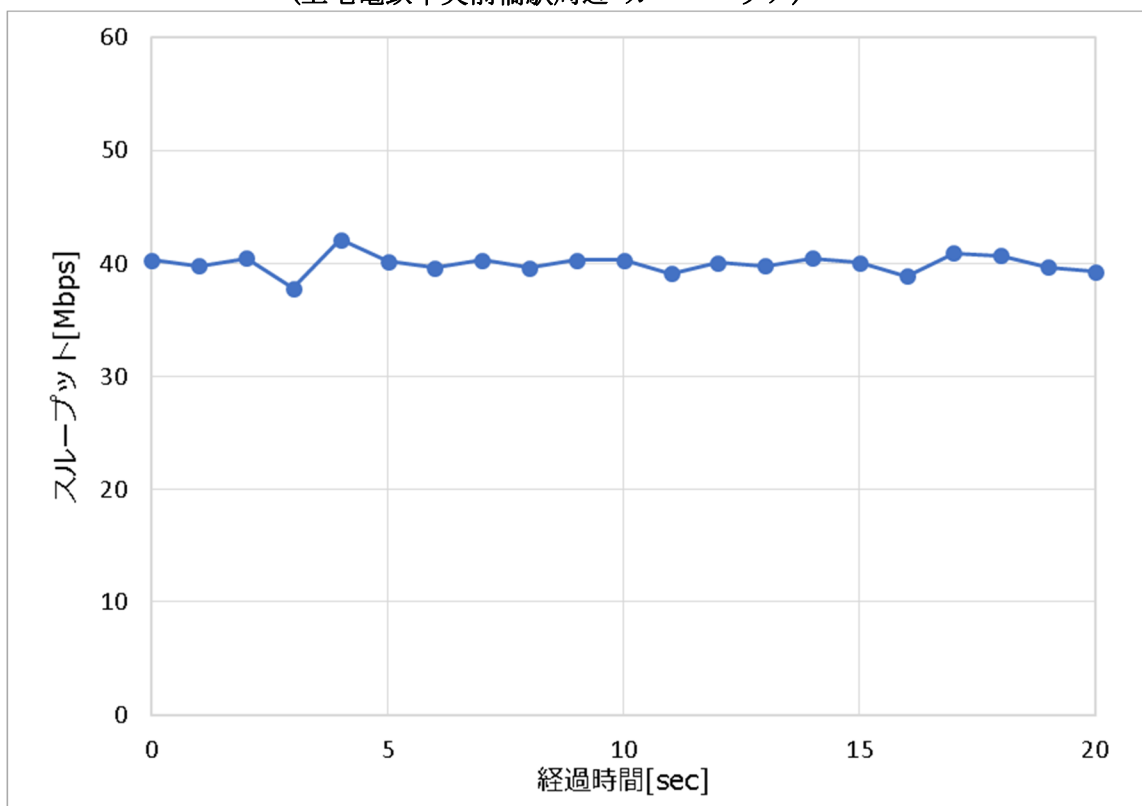


図 3-146 測定点⑥ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

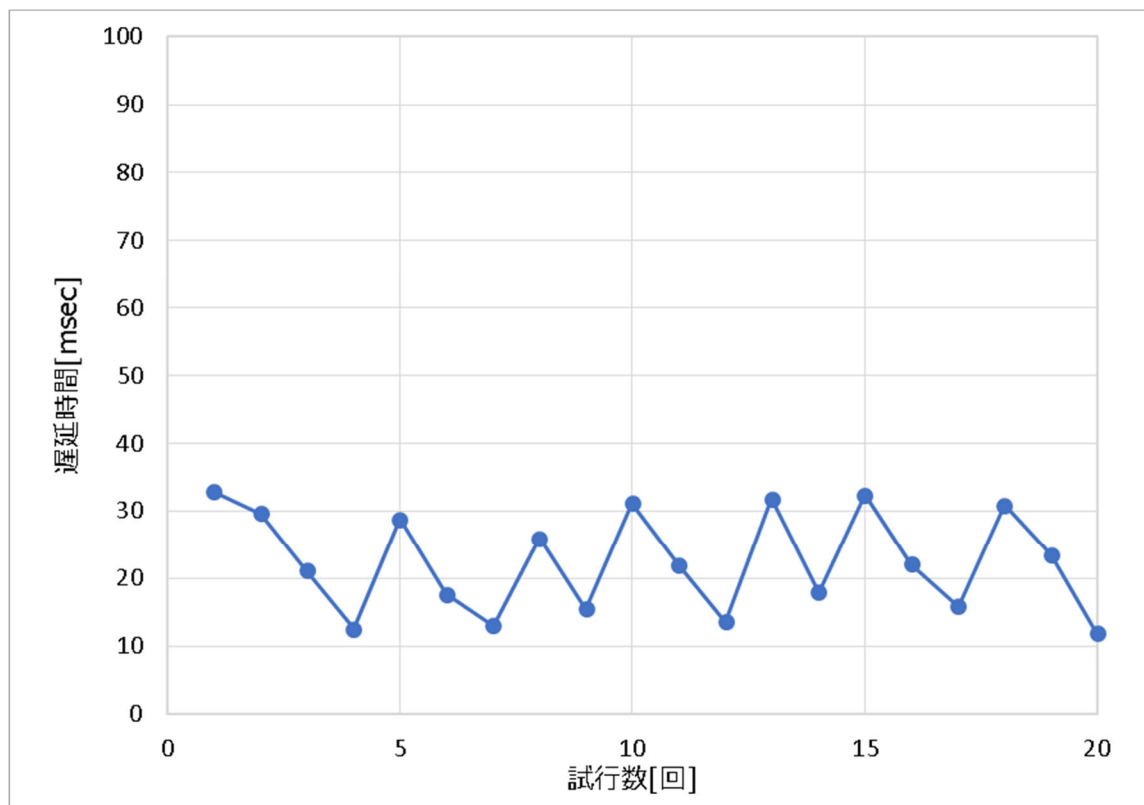


図 3-147 測定点⑥ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

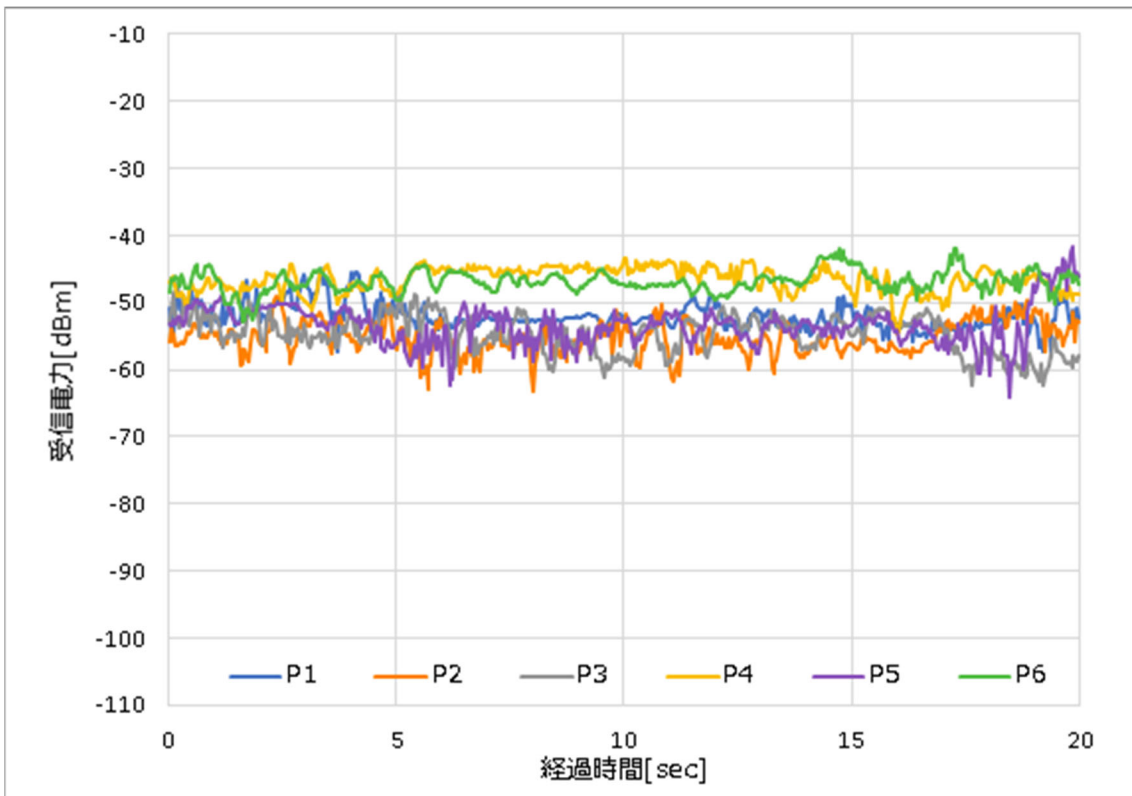


図 3-148 測定点⑦ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

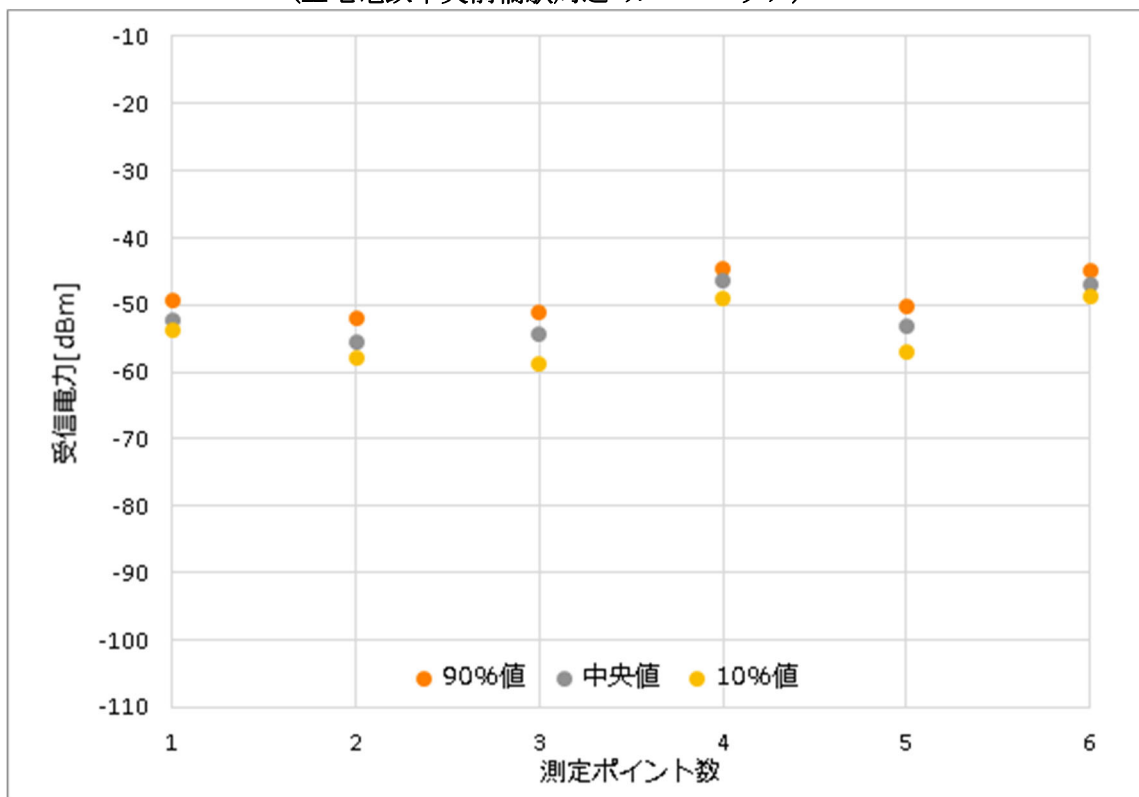


図 3-149 測定点⑦ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

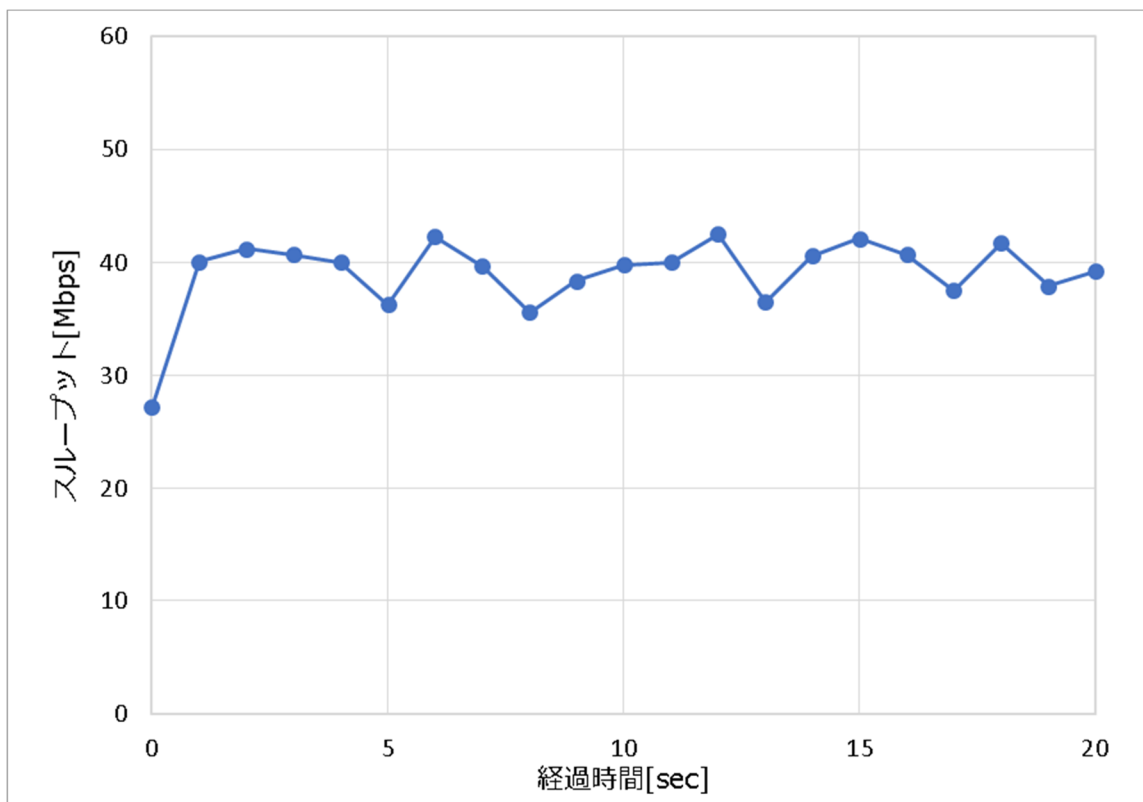


図 3-150 測定点⑦ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

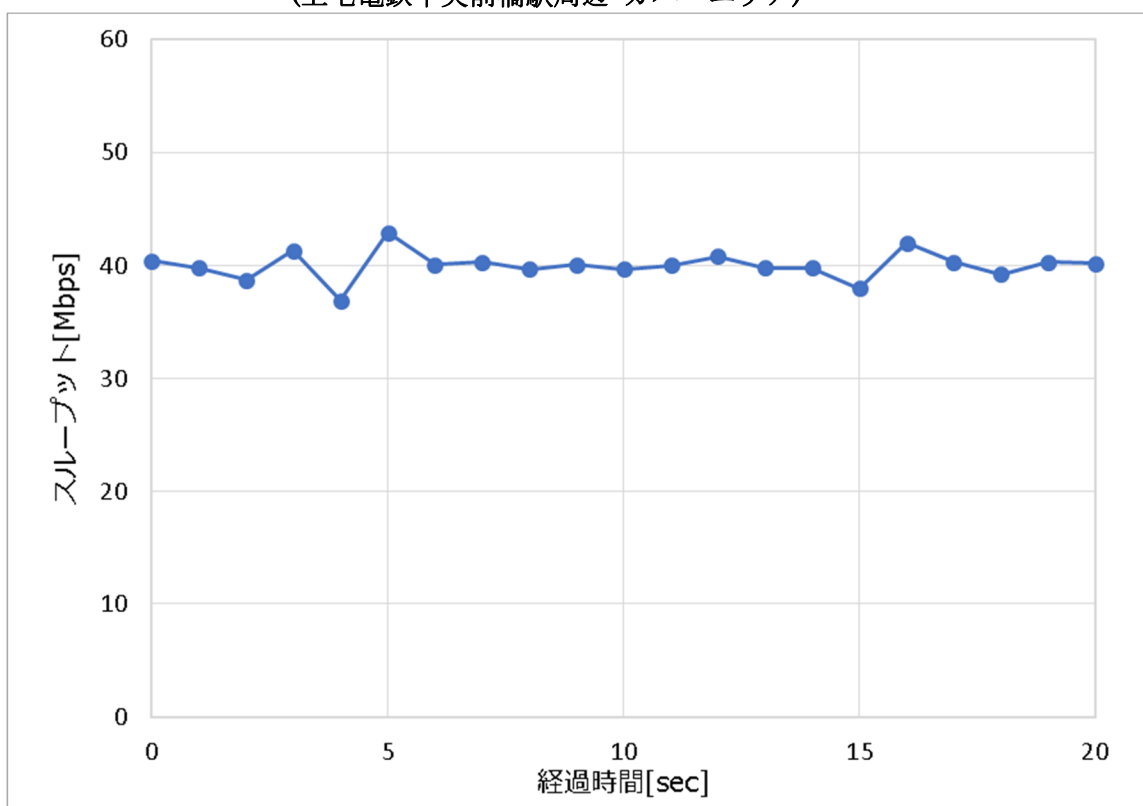


図 3-151 測定点⑦ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

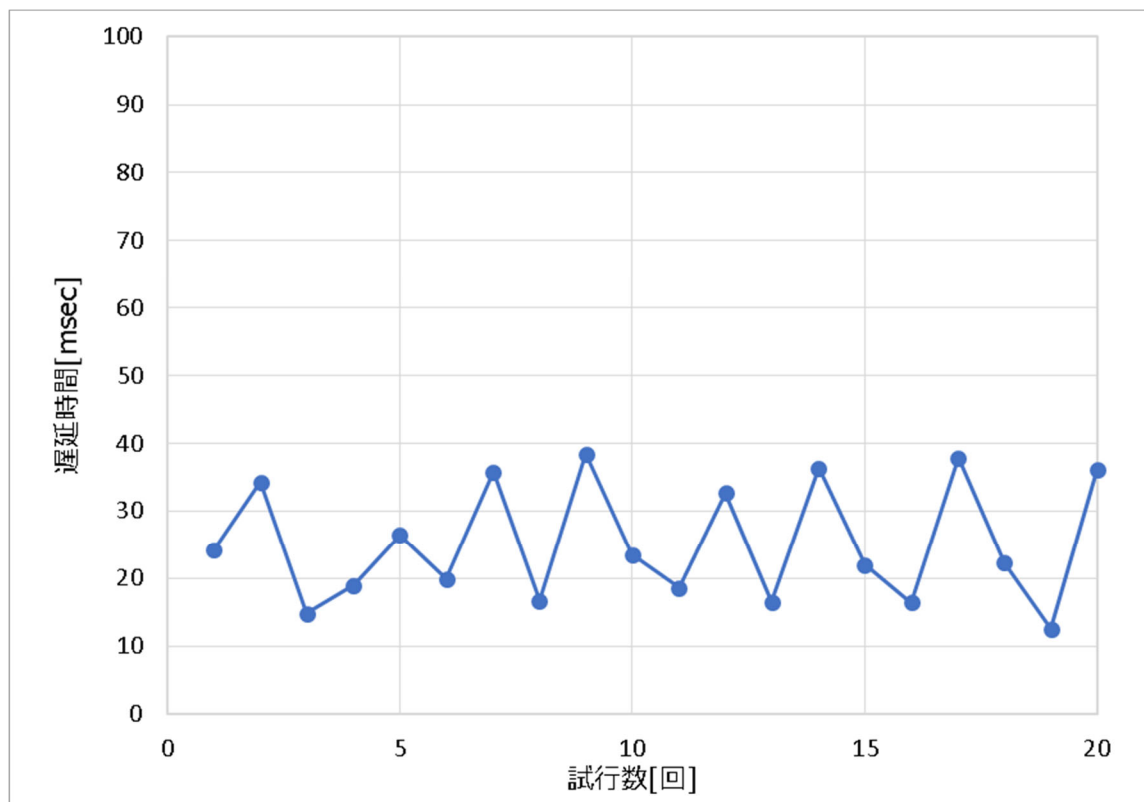


図 3-152 測定点⑦ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

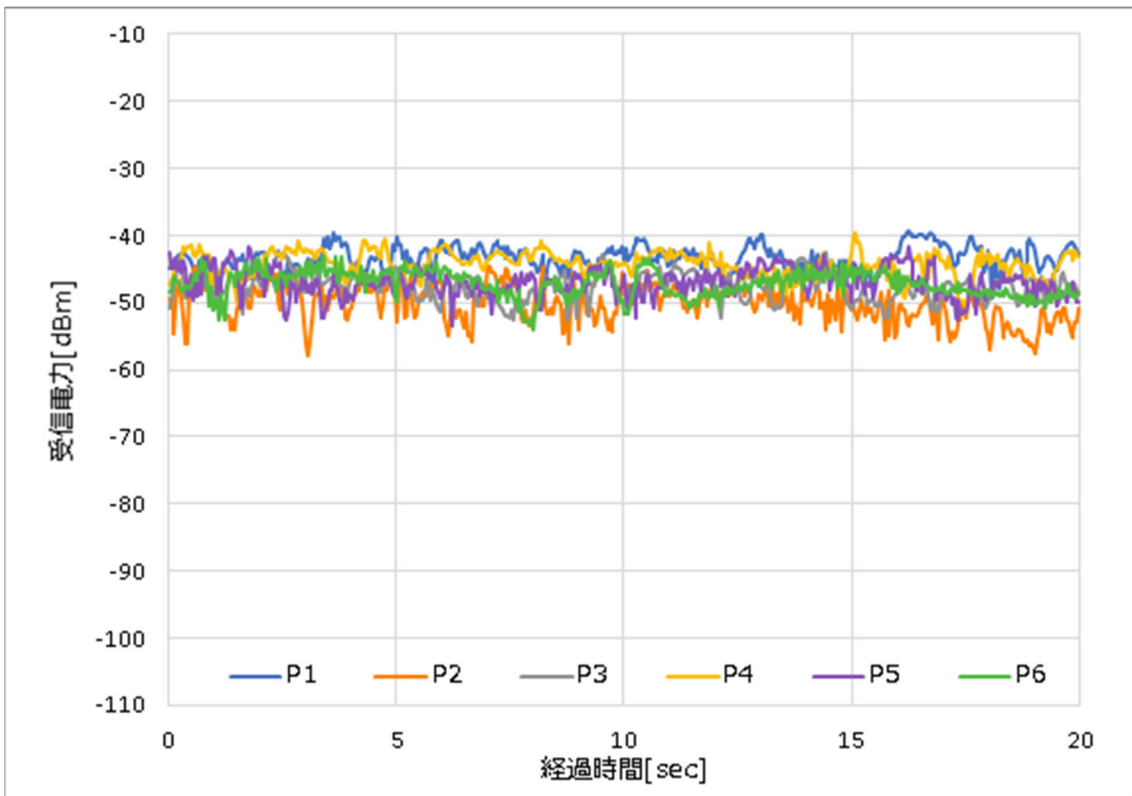


図 3-153 測定点⑧ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

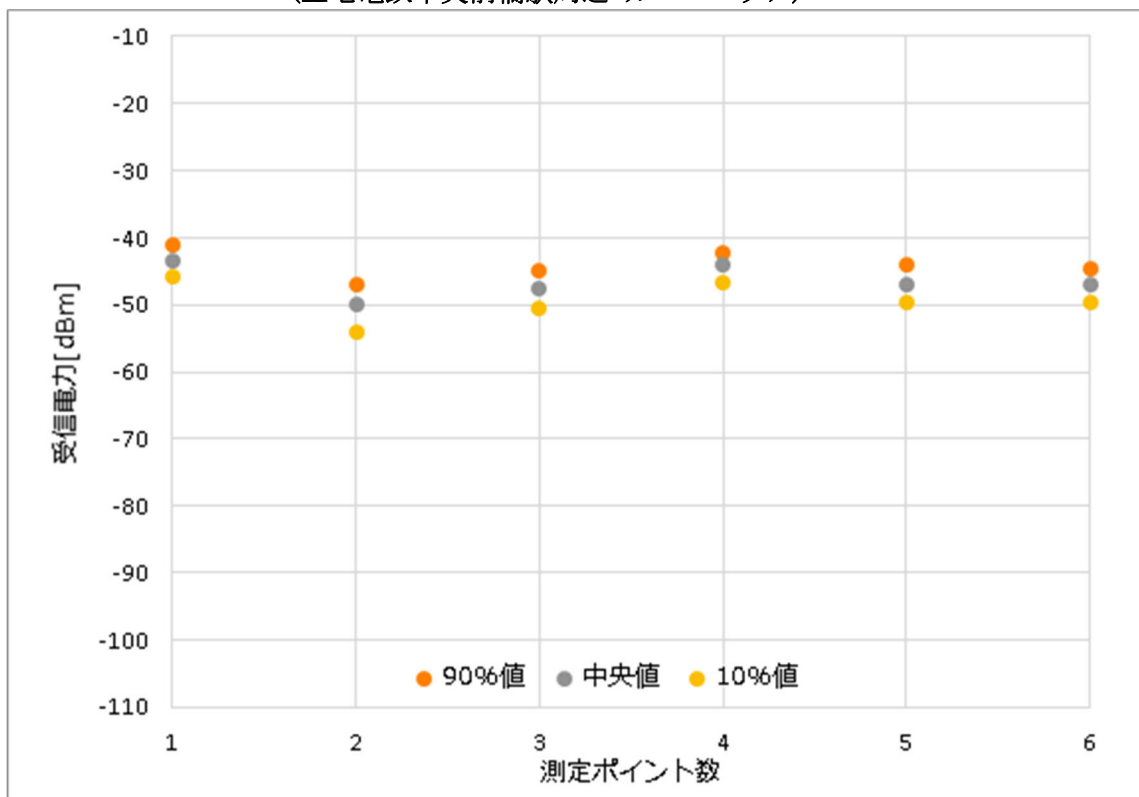


図 3-154 測定点⑧ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)



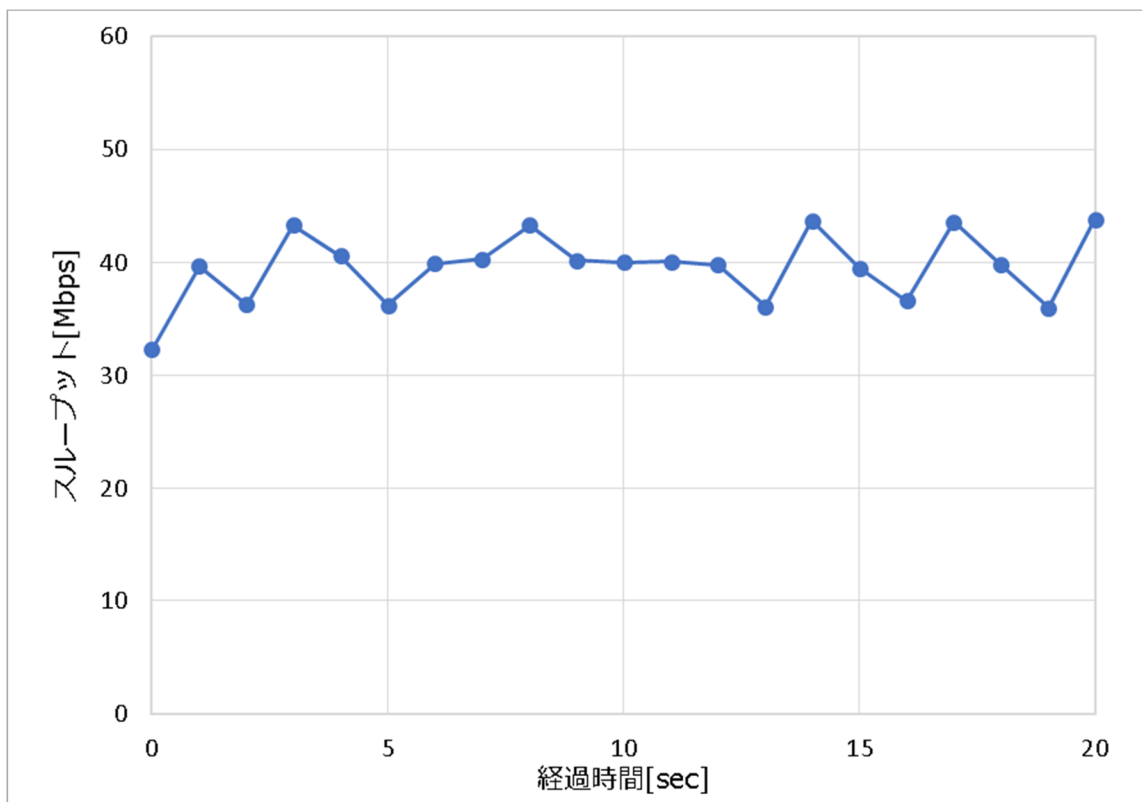


図 3-155 測定点⑧ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

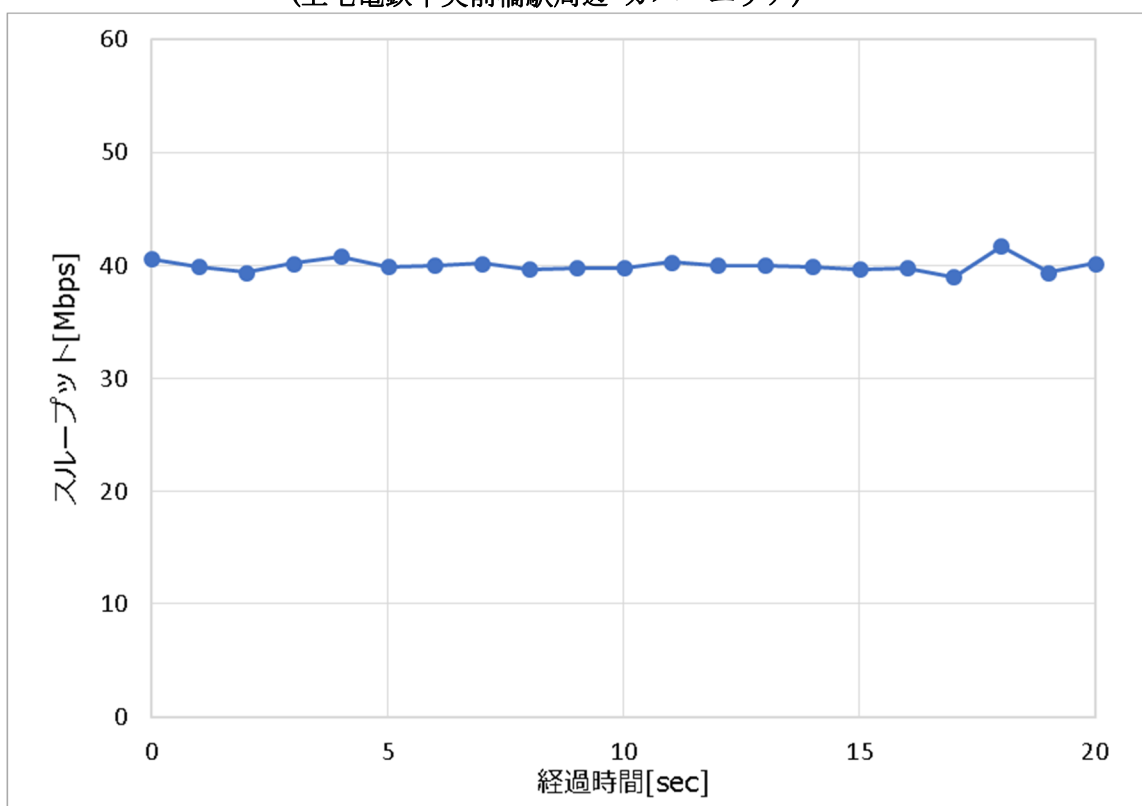


図 3-156 測定点⑧ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

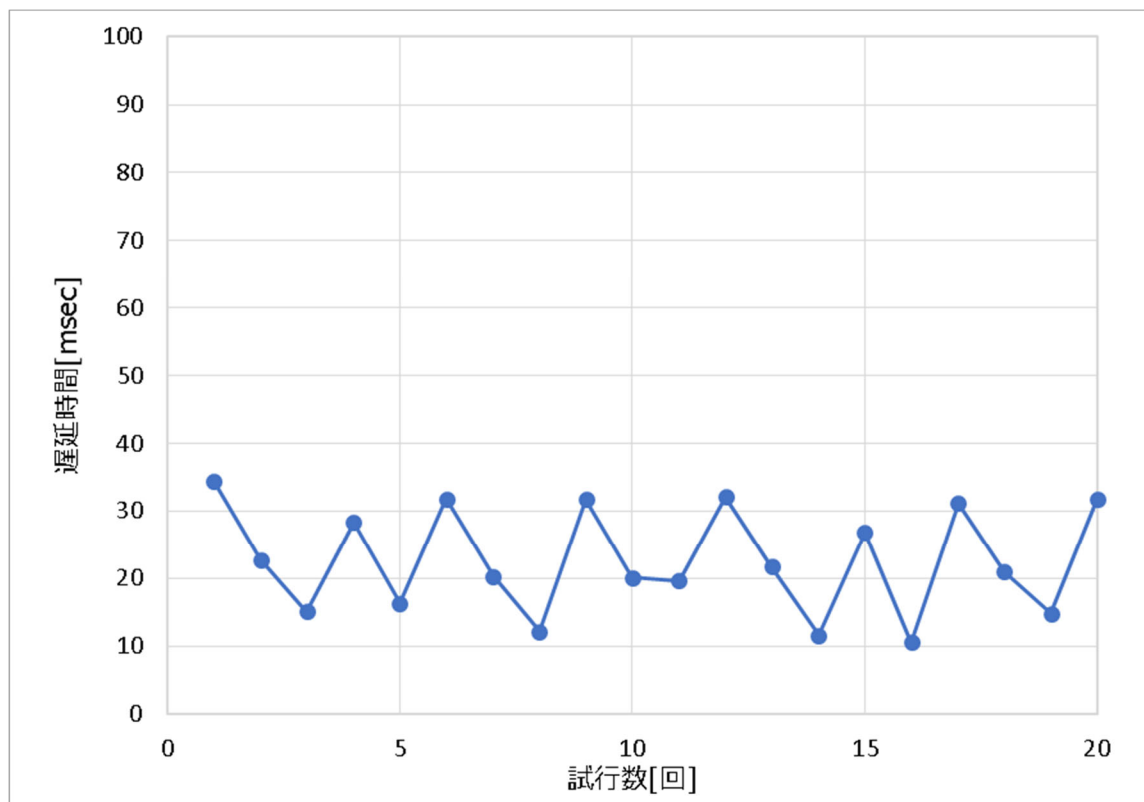


図 3-157 測定点⑧ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

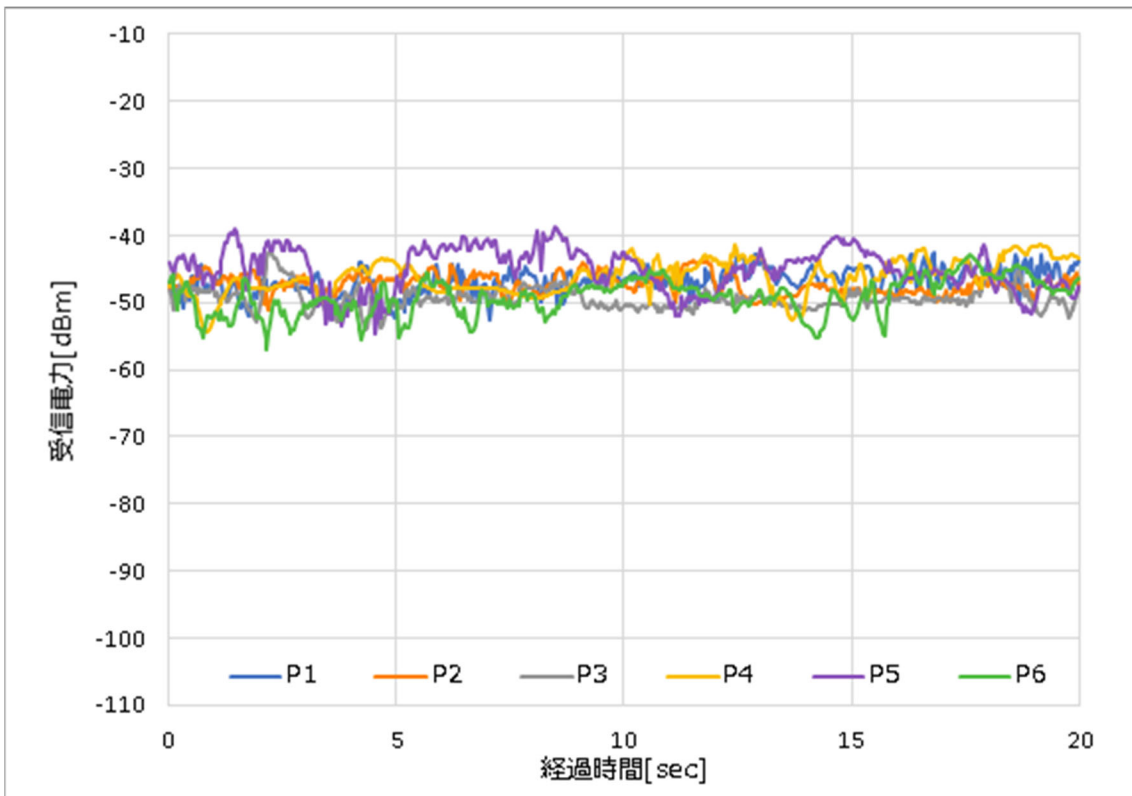


図 3-158 測定点⑨ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

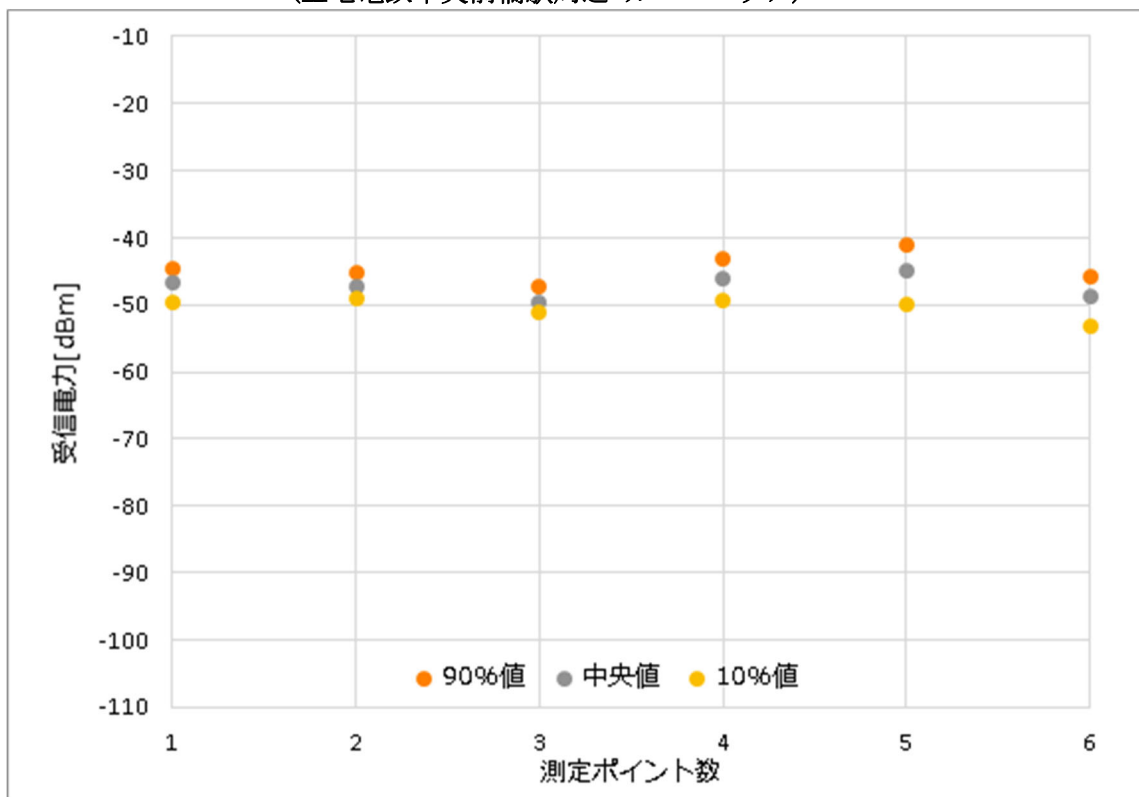


図 3-159 測定点⑨ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

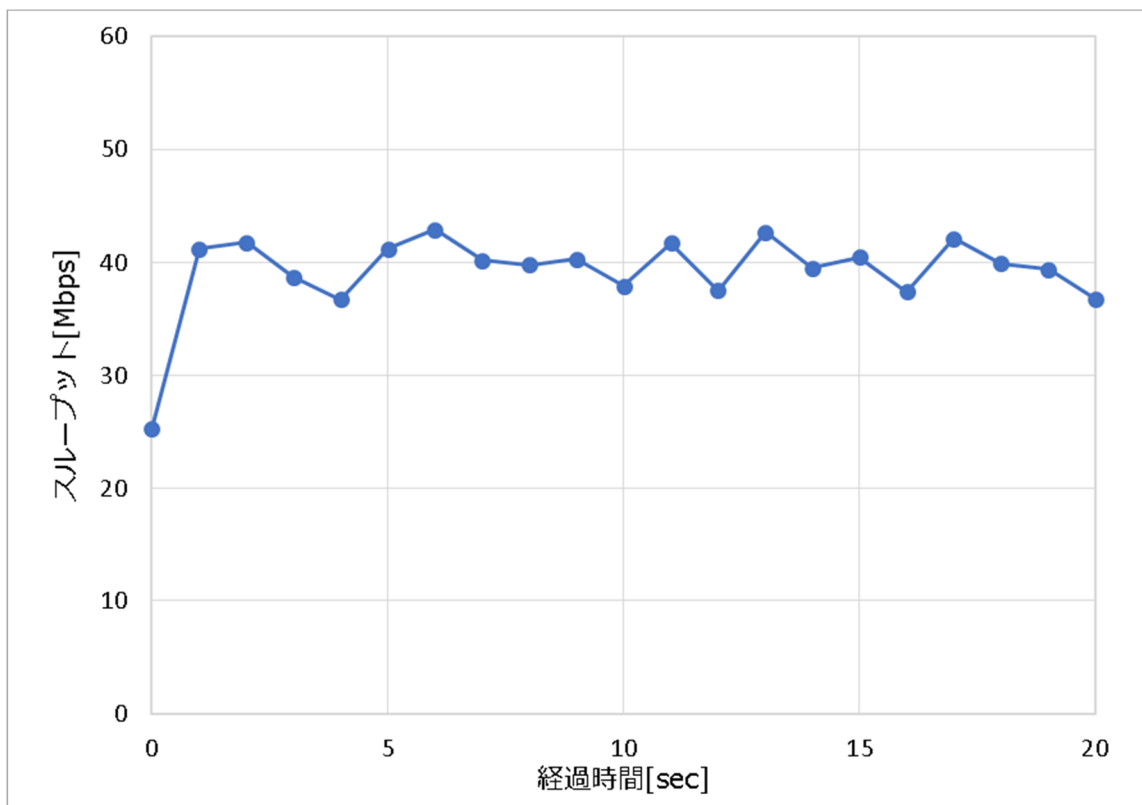


図 3-160 測定点⑨ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

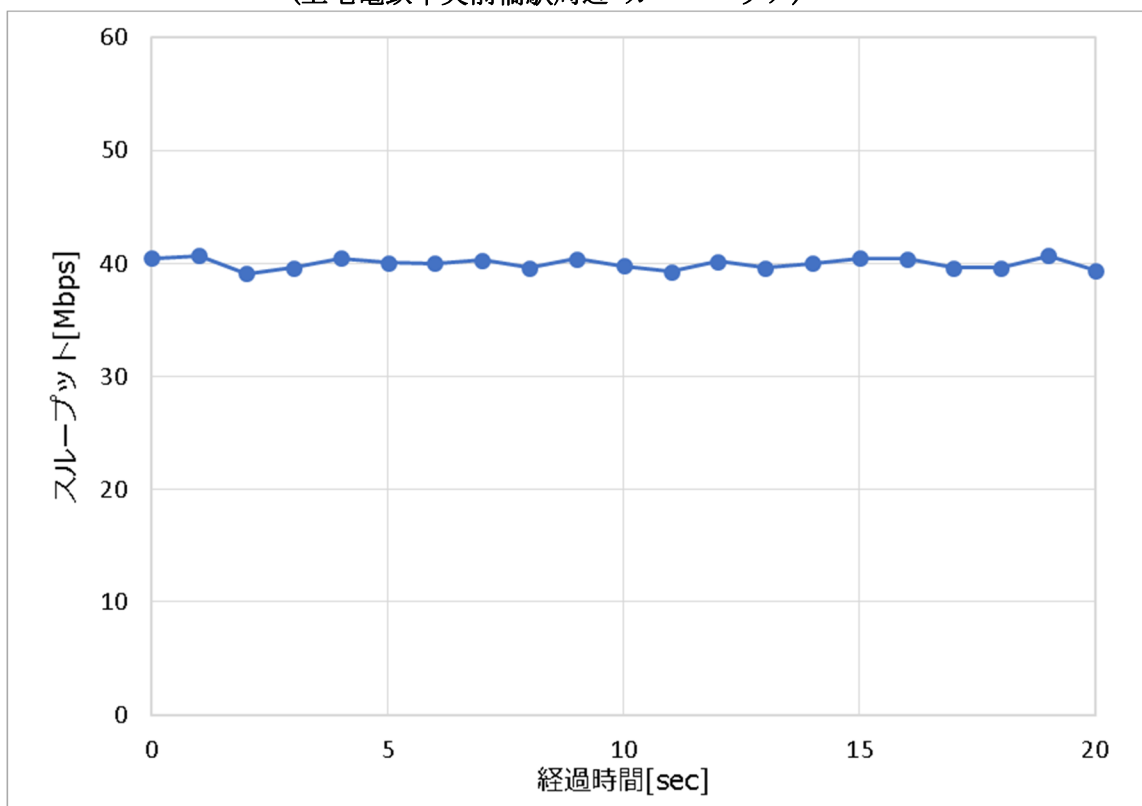


図 3-161 測定点⑨ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

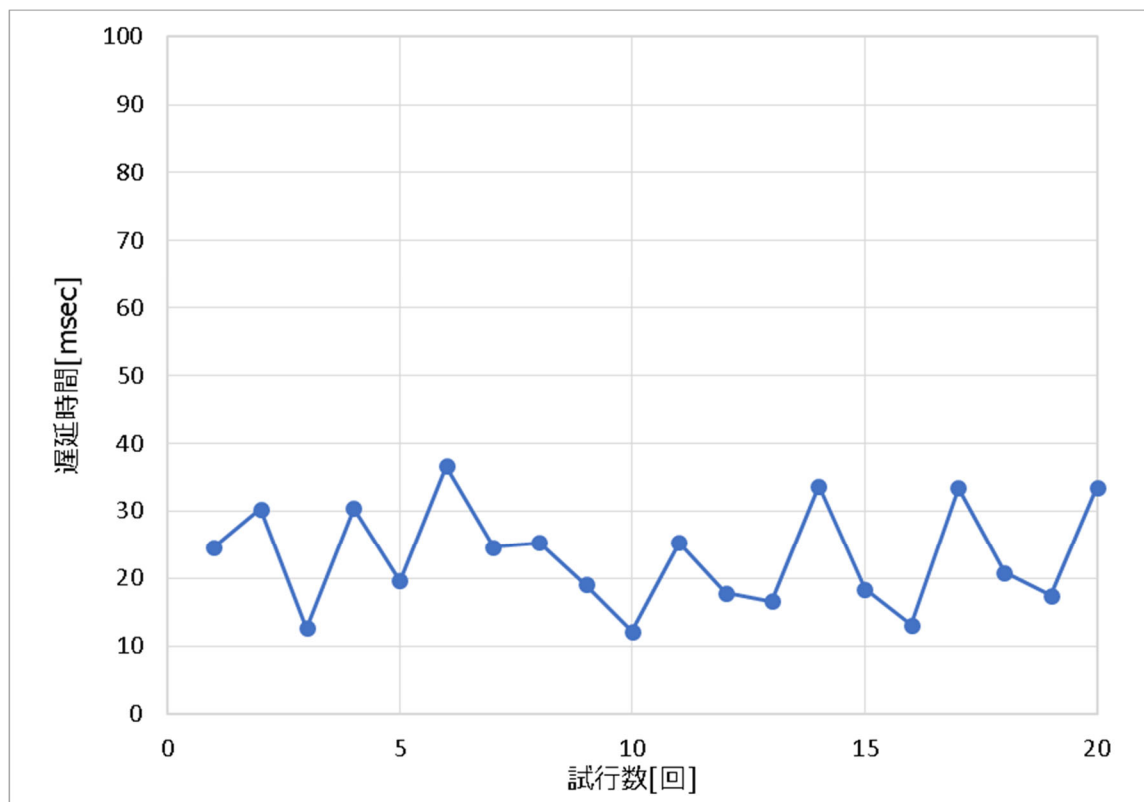


図 3-162 測定点⑨ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

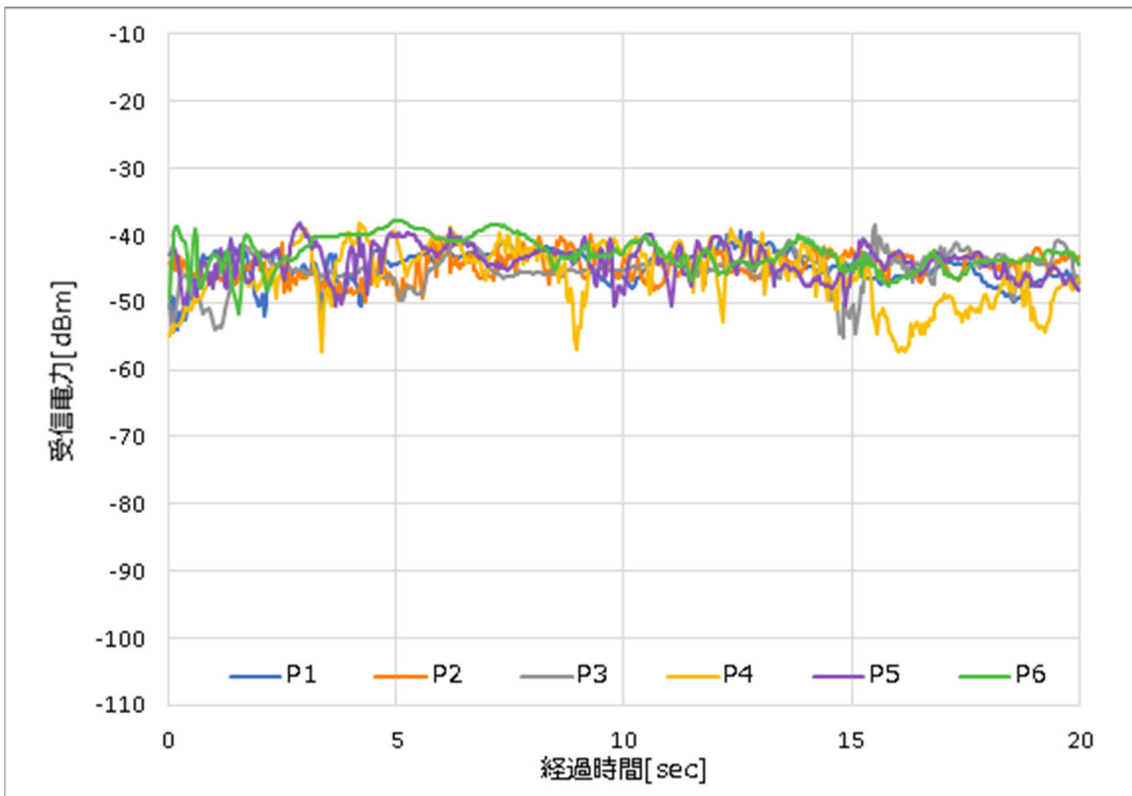


図 3-163 測定点⑩ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

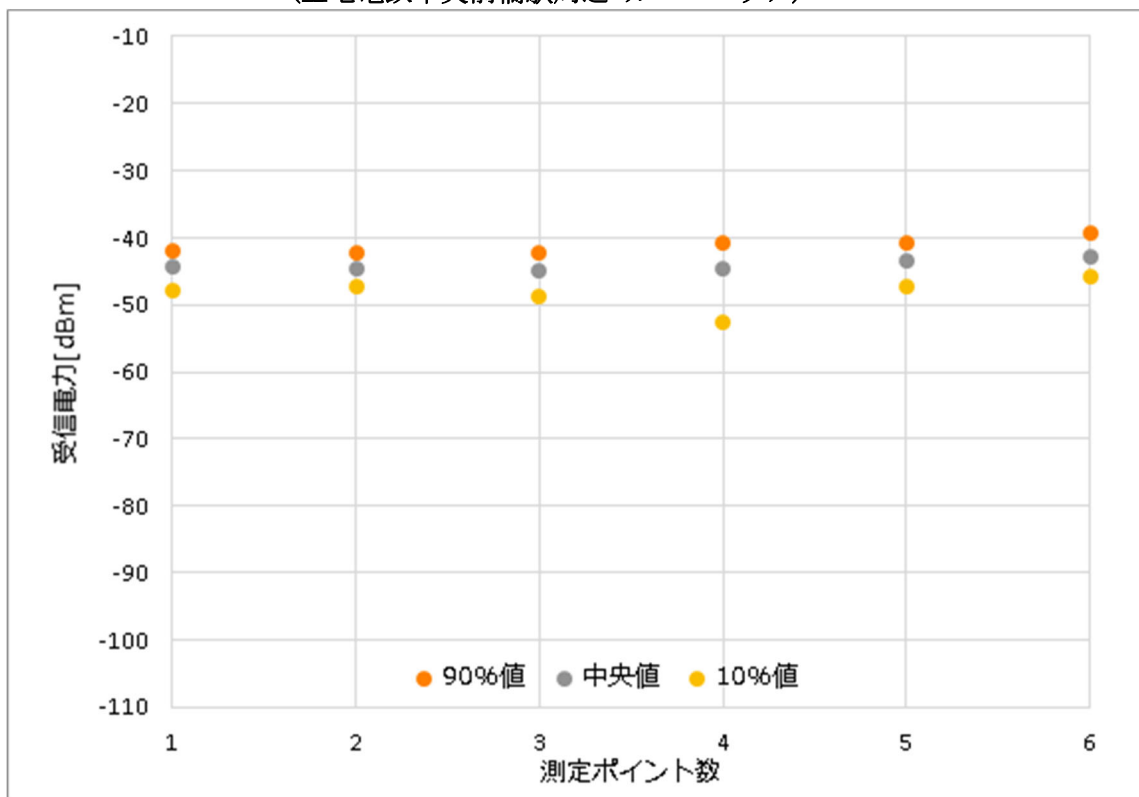


図 3-164 測定点⑩ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

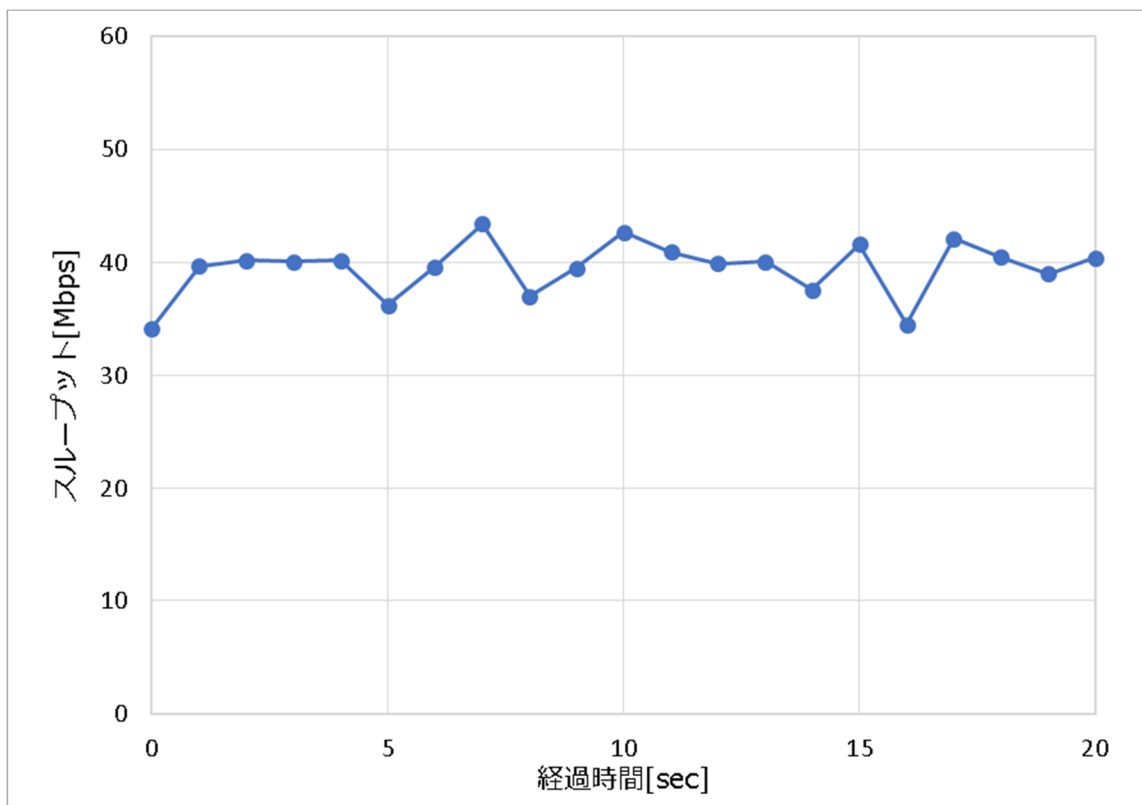


図 3-165 測定点⑩ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

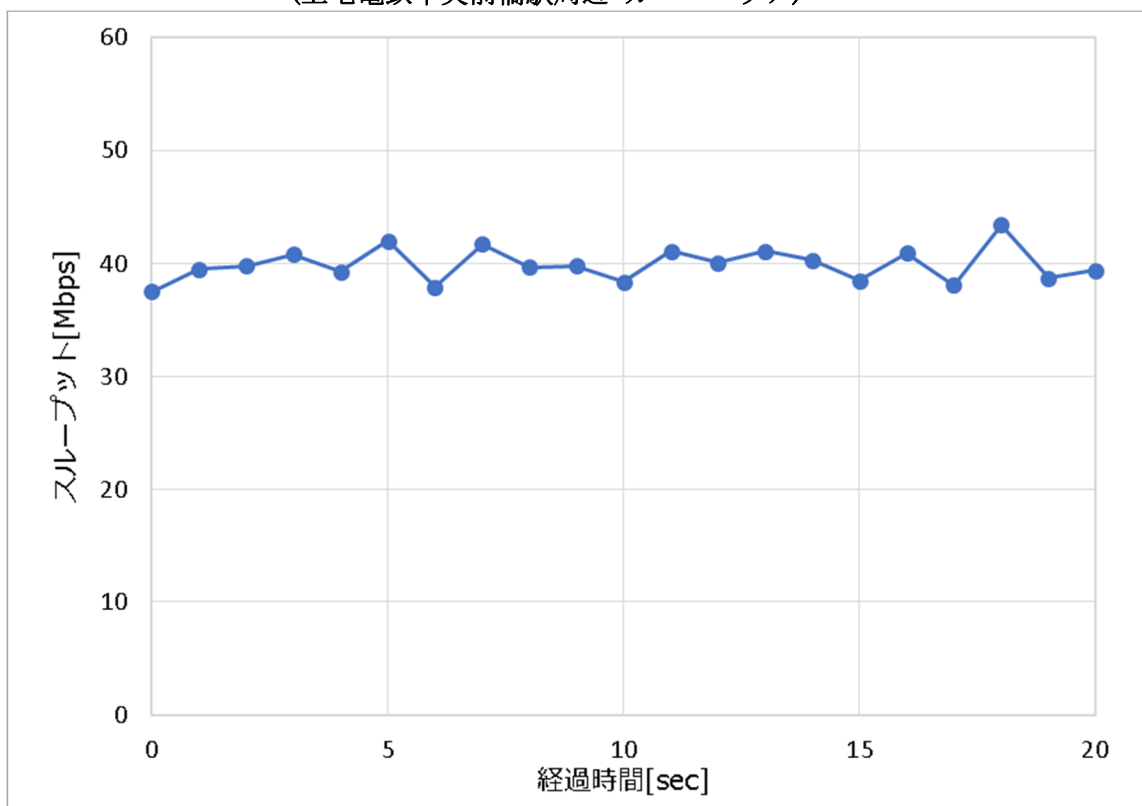


図 3-166 測定点⑩ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

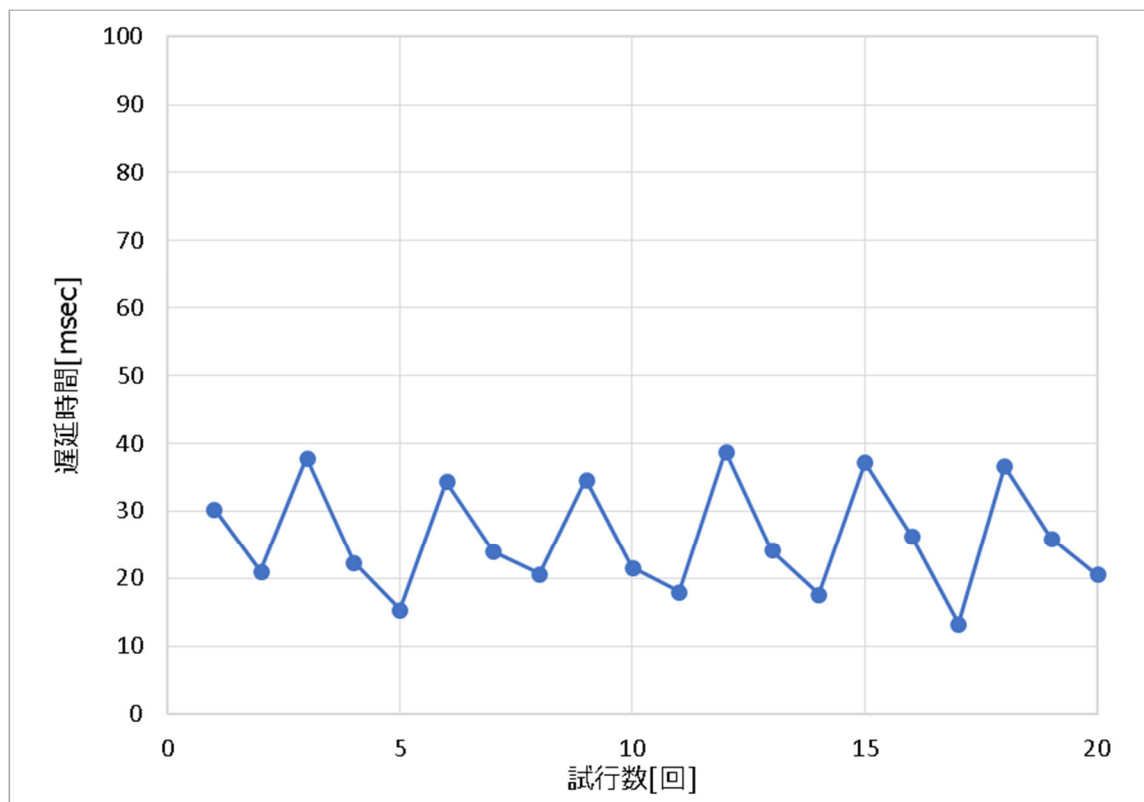


図 3-167 測定点⑩ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)



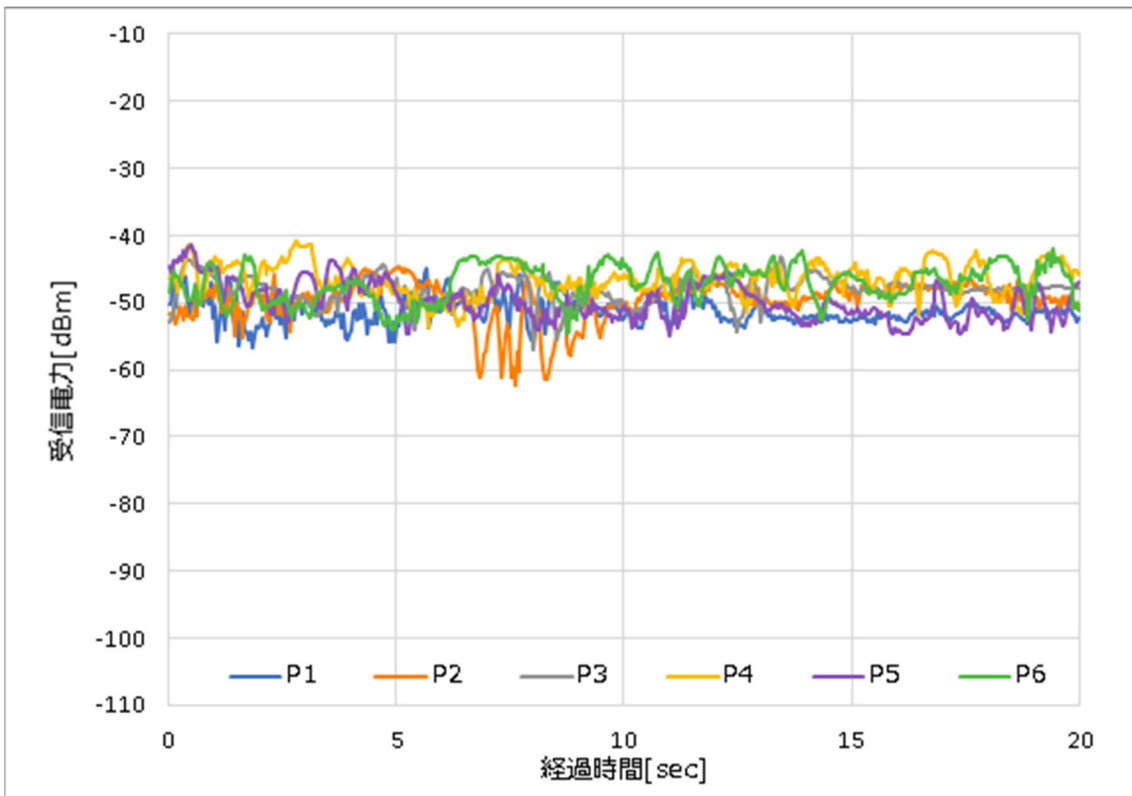


図 3-168 測定点① 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

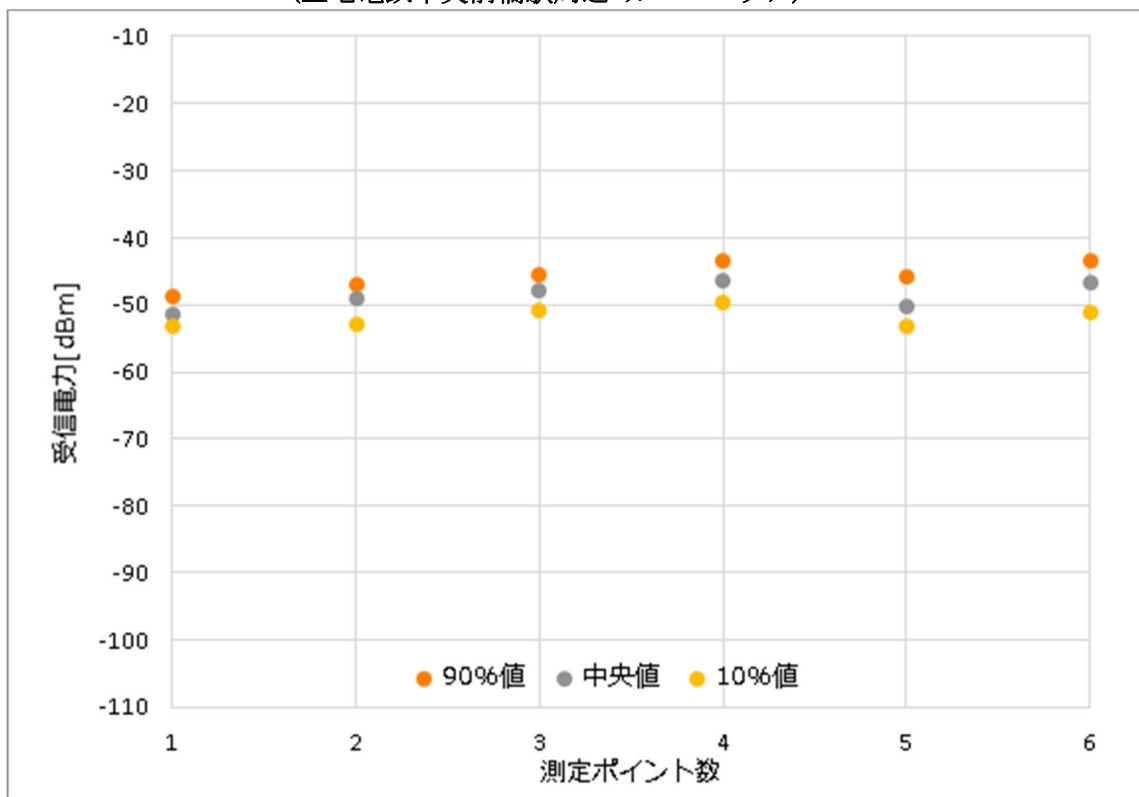


図 3-169 測定点① 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

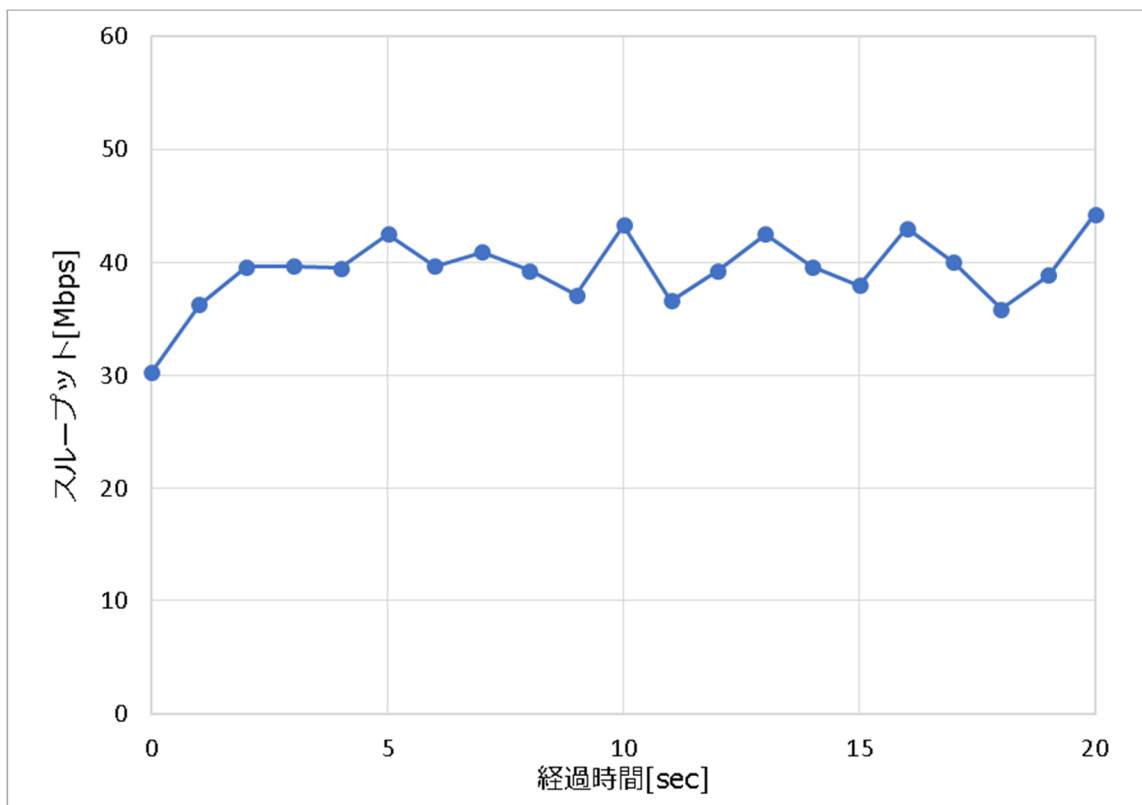


図 3-170 測定点⑪ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

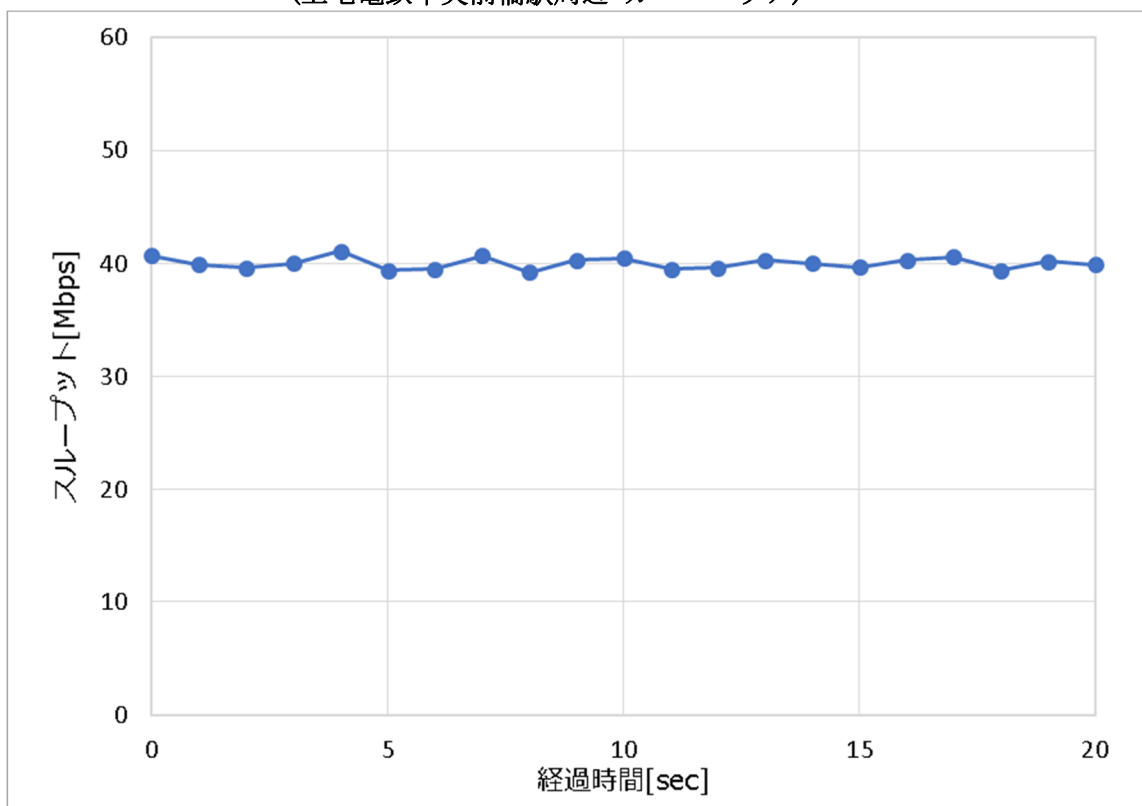


図 3-171 測定点⑪ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

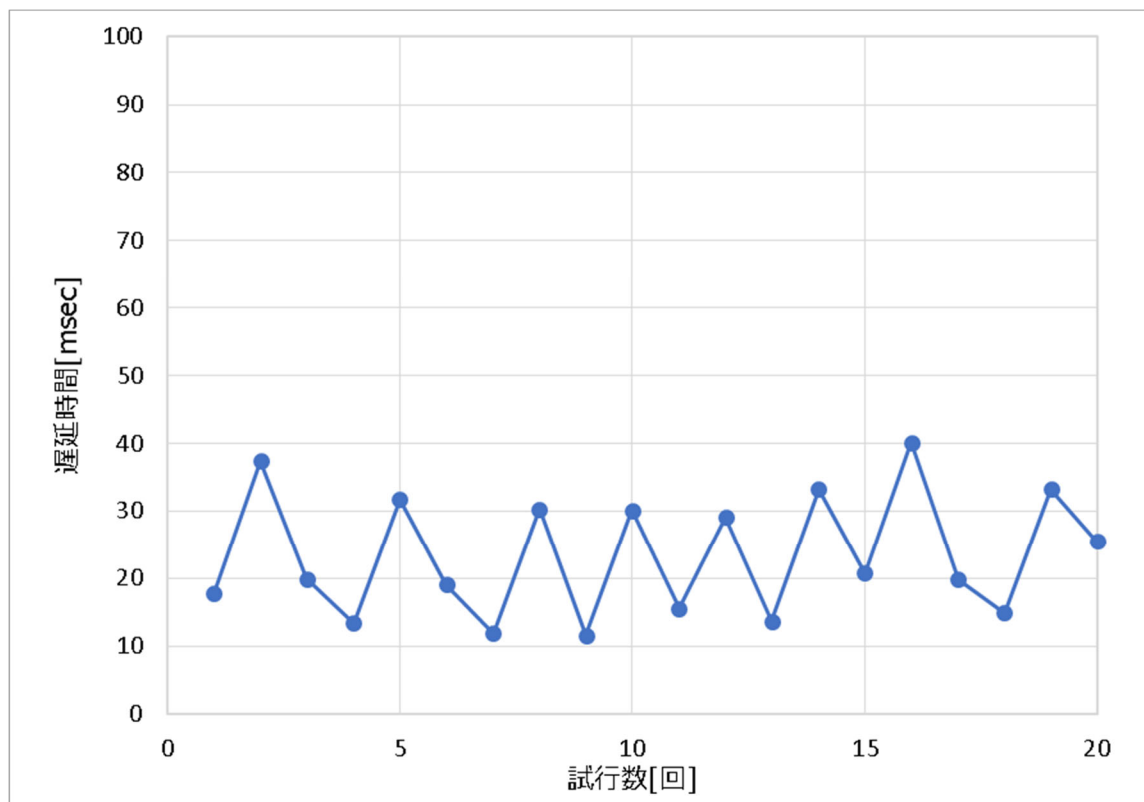


図 3-172 測定点⑪ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

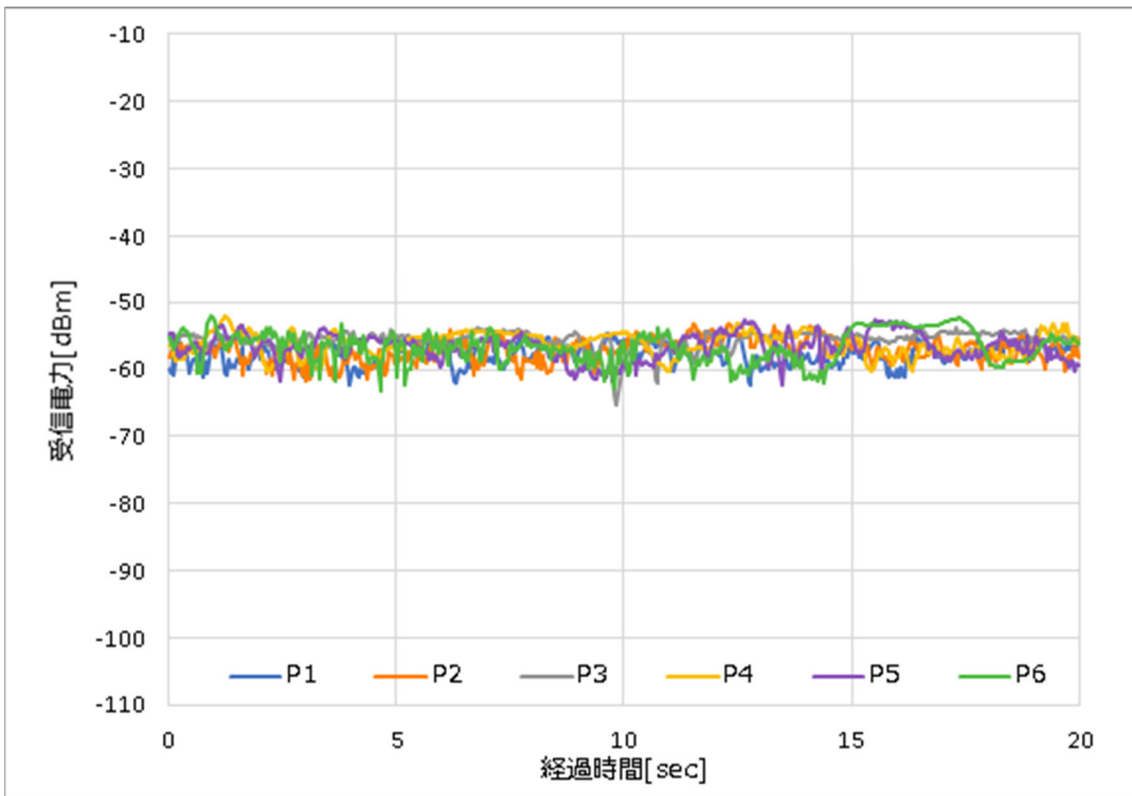


図 3-173 測定点⑫ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

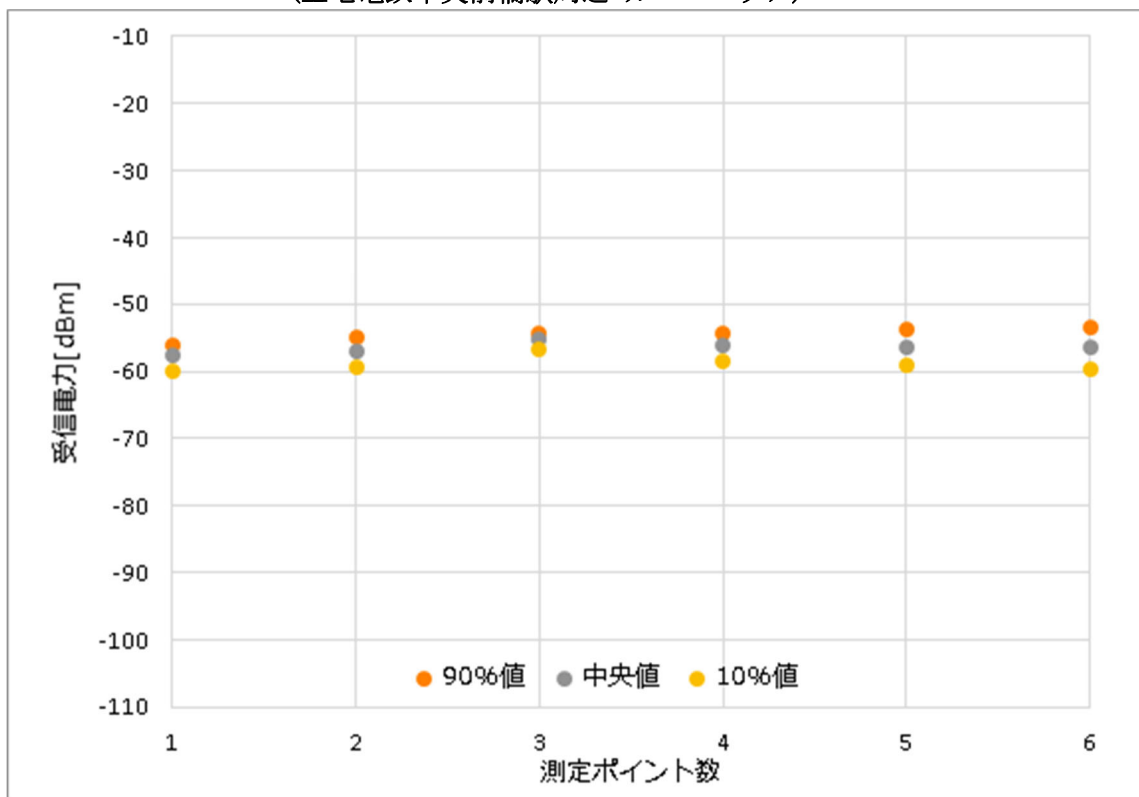


図 3-174 測定点⑫ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

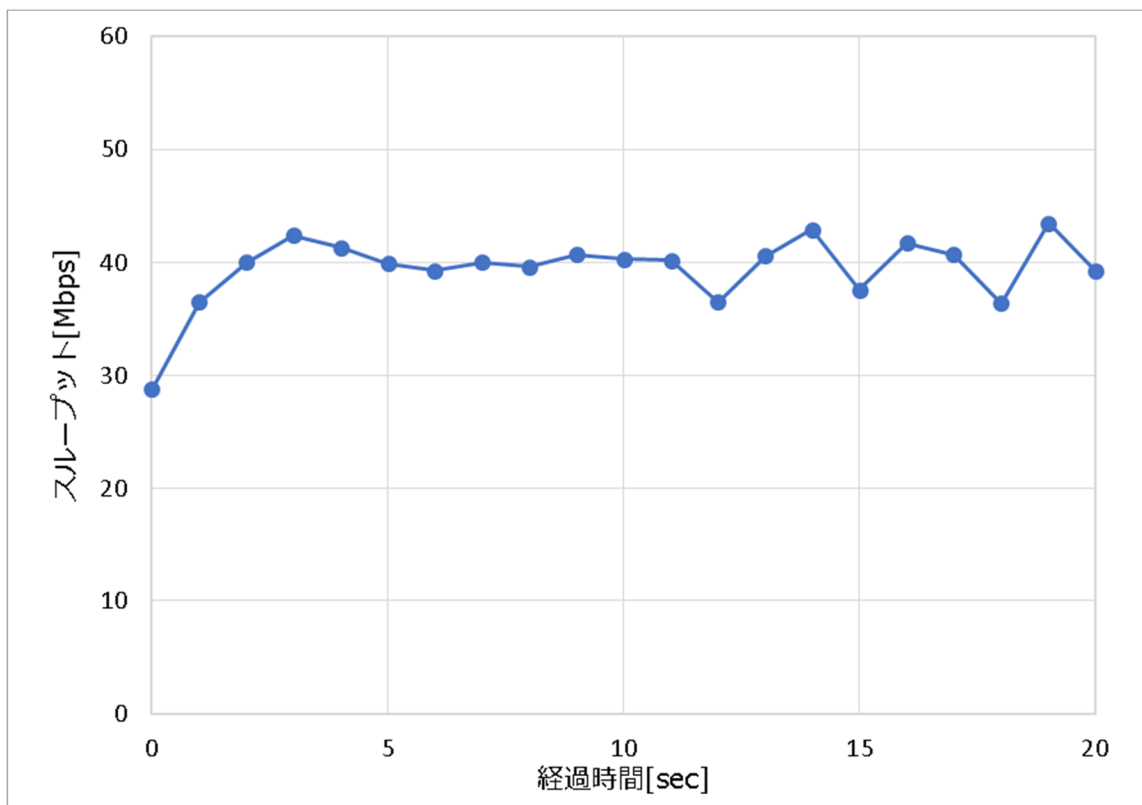


図 3-175 測定点⑫ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

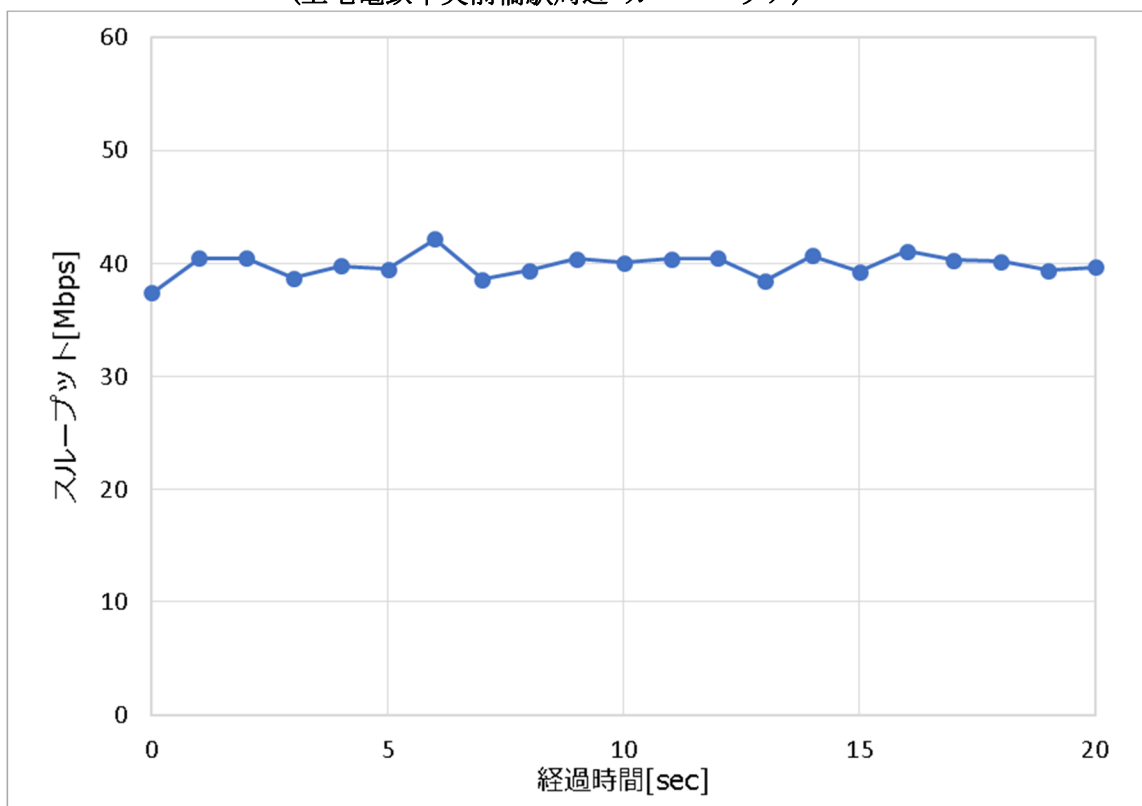


図 3-176 測定点⑫ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

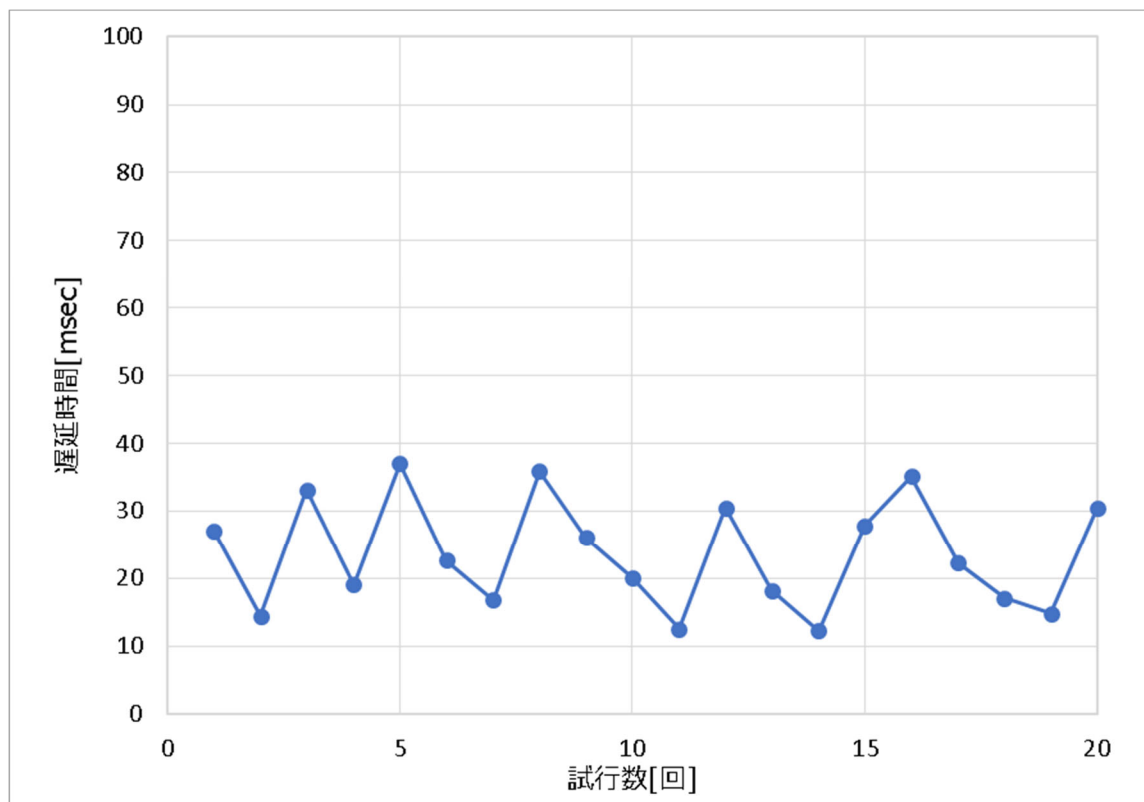


図 3-177 測定点⑫ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

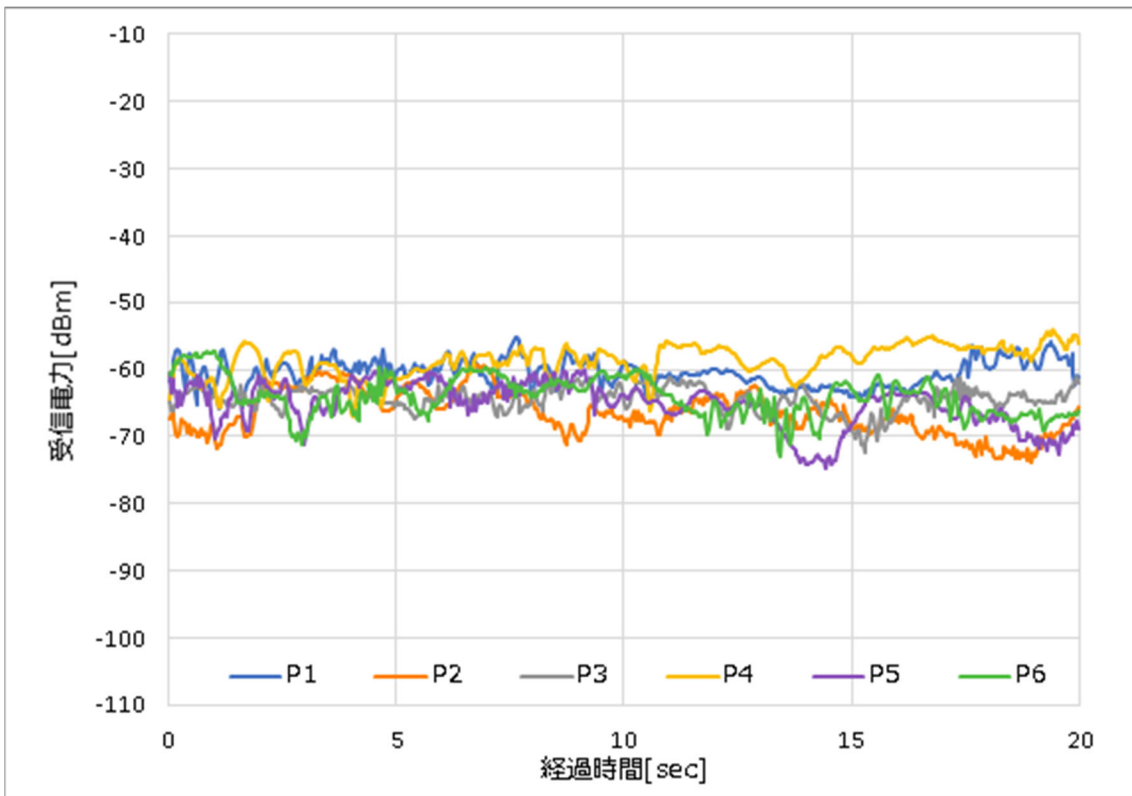


図 3-178 測定点⑬ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

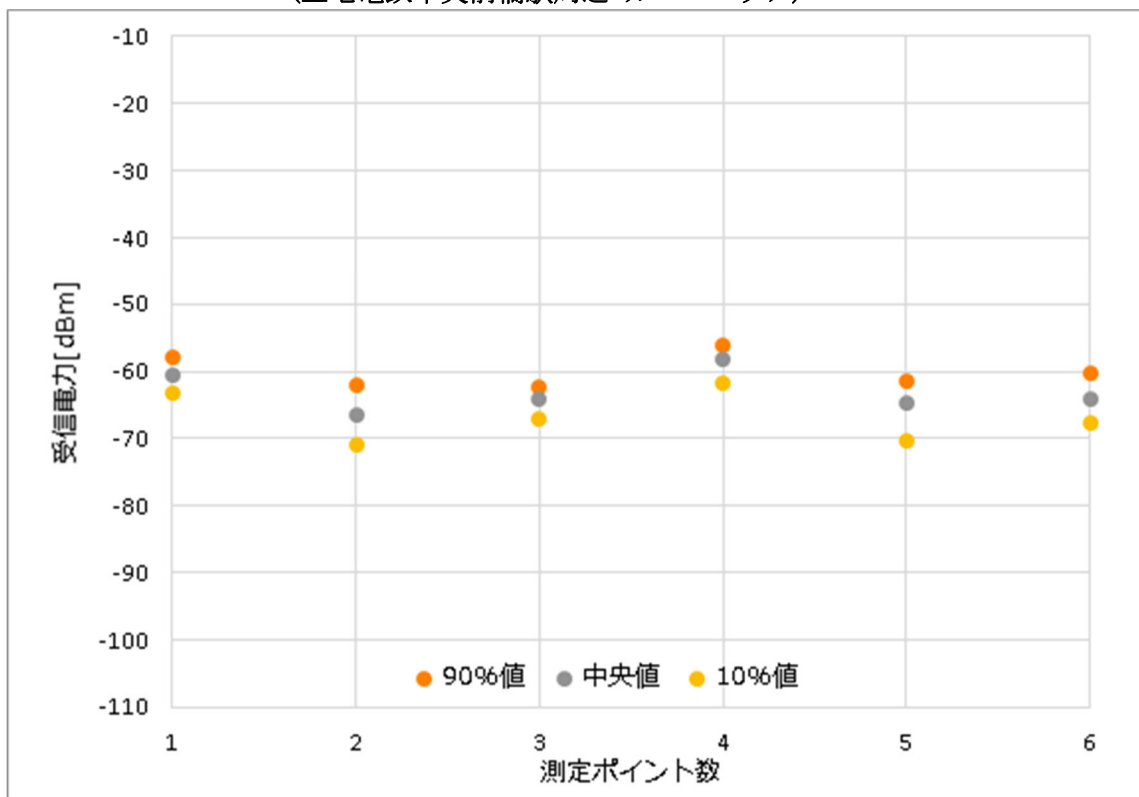


図 3-179 測定点⑬ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

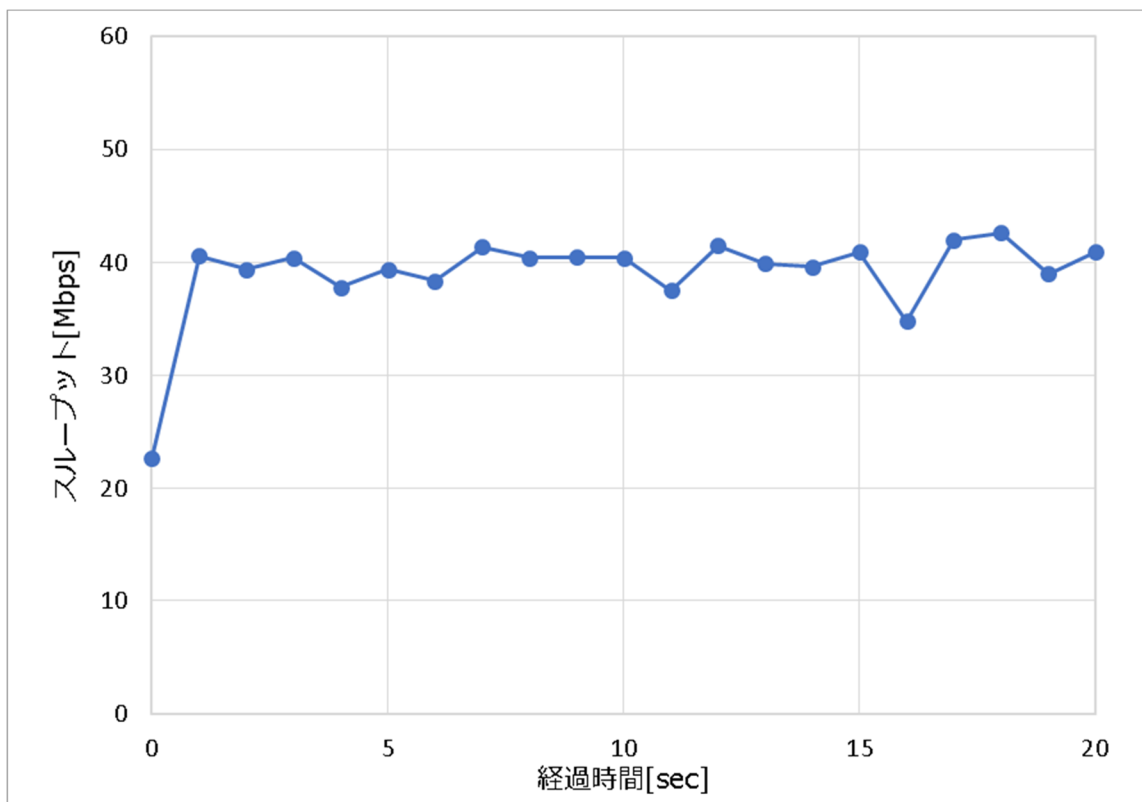


図 3-180 測定点⑬ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

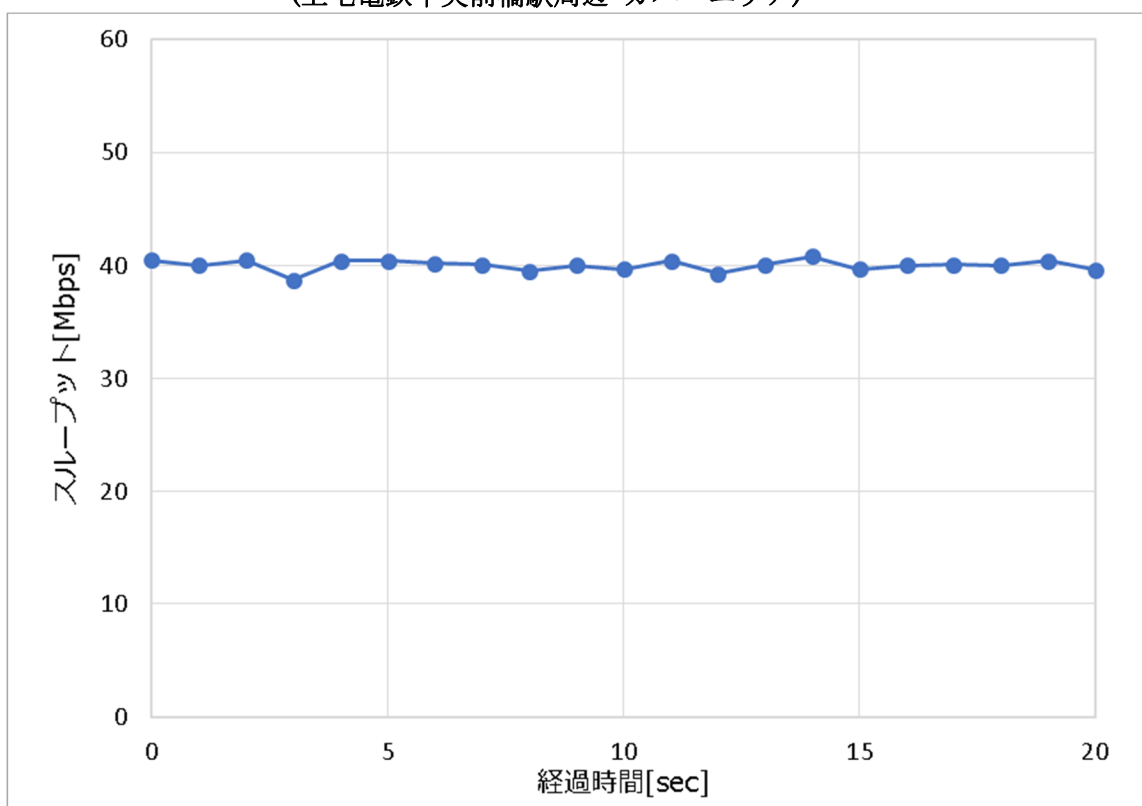


図 3-181 測定点⑬ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)



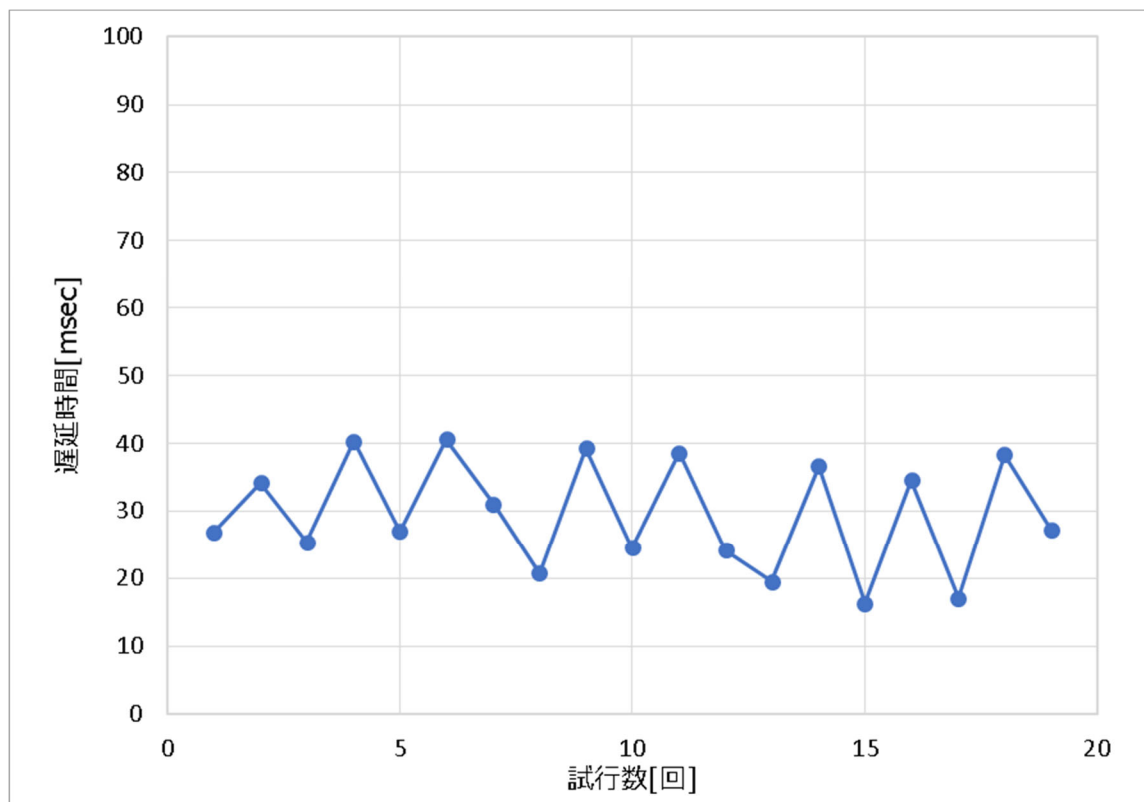


図 3-182 測定点⑬ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

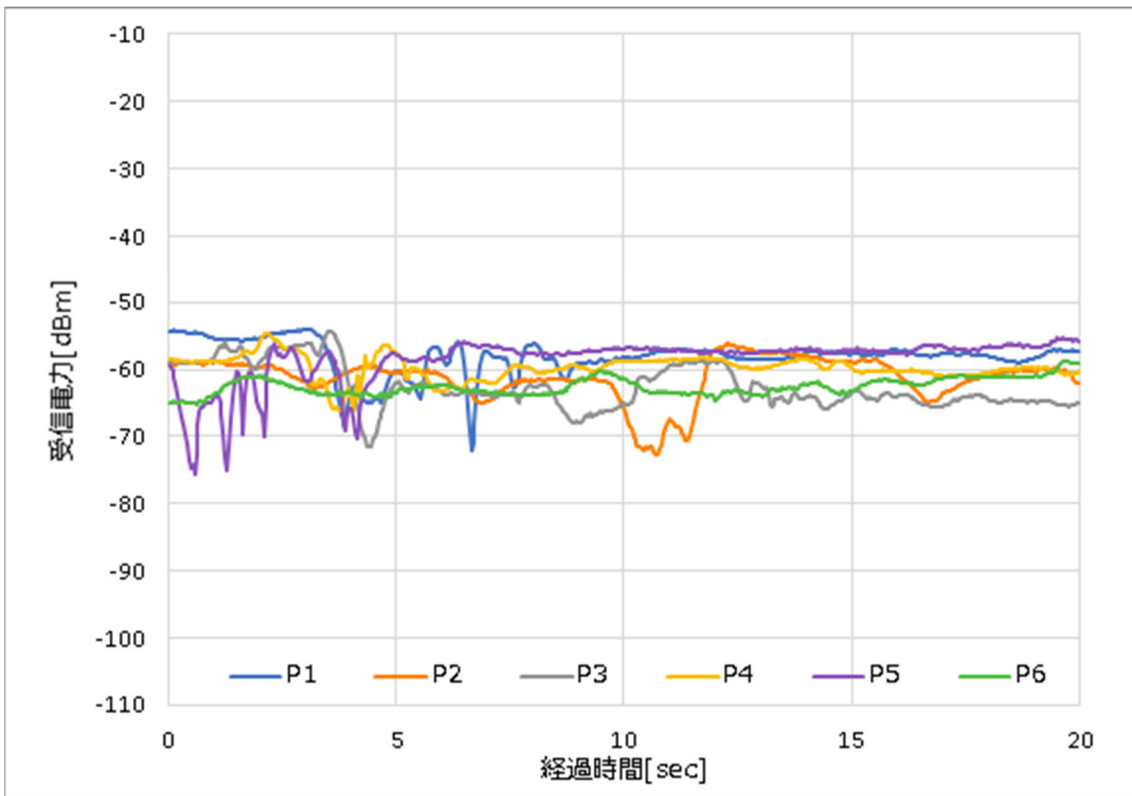


図 3-183 測定点⑭ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

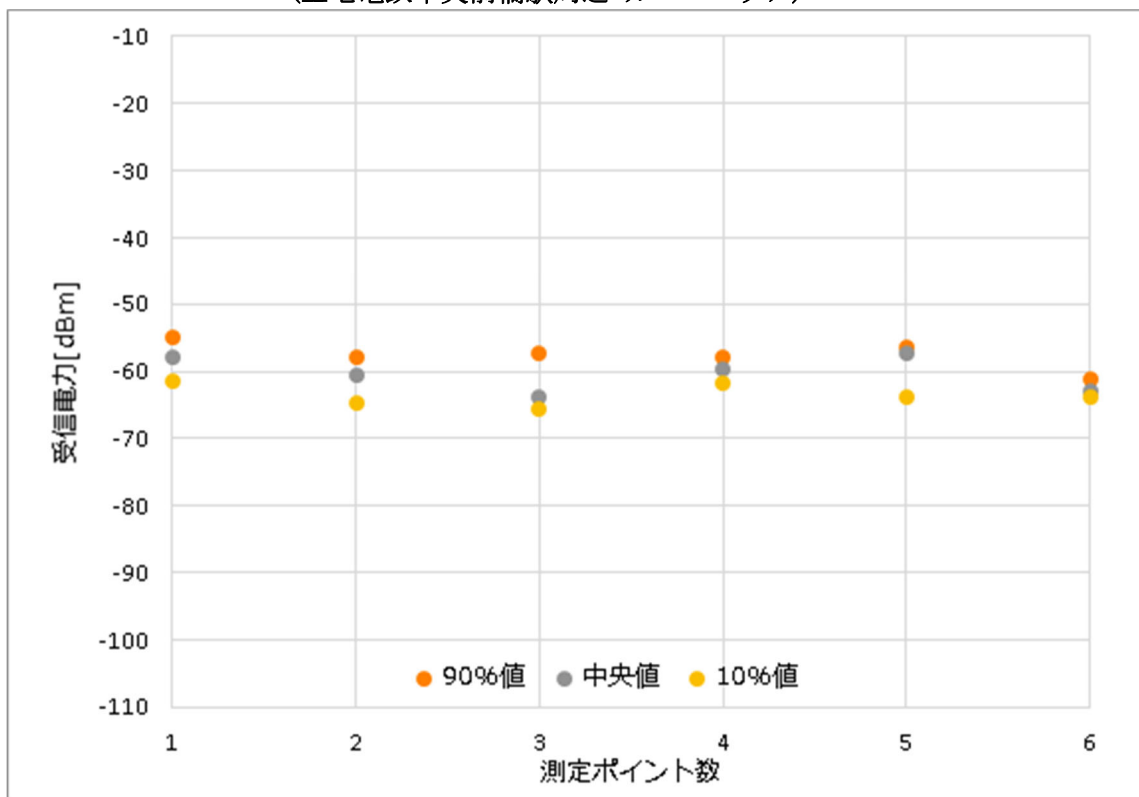


図 3-184 測定点⑭ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

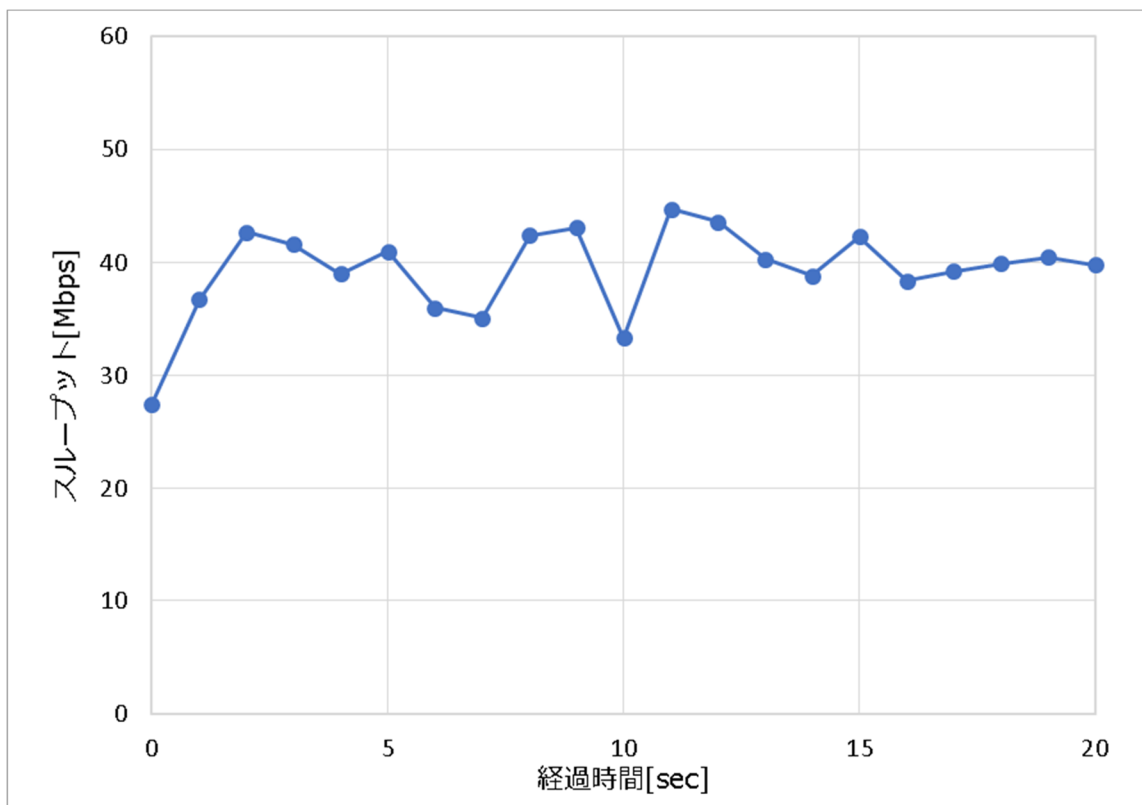


図 3-185 測定点⑭ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

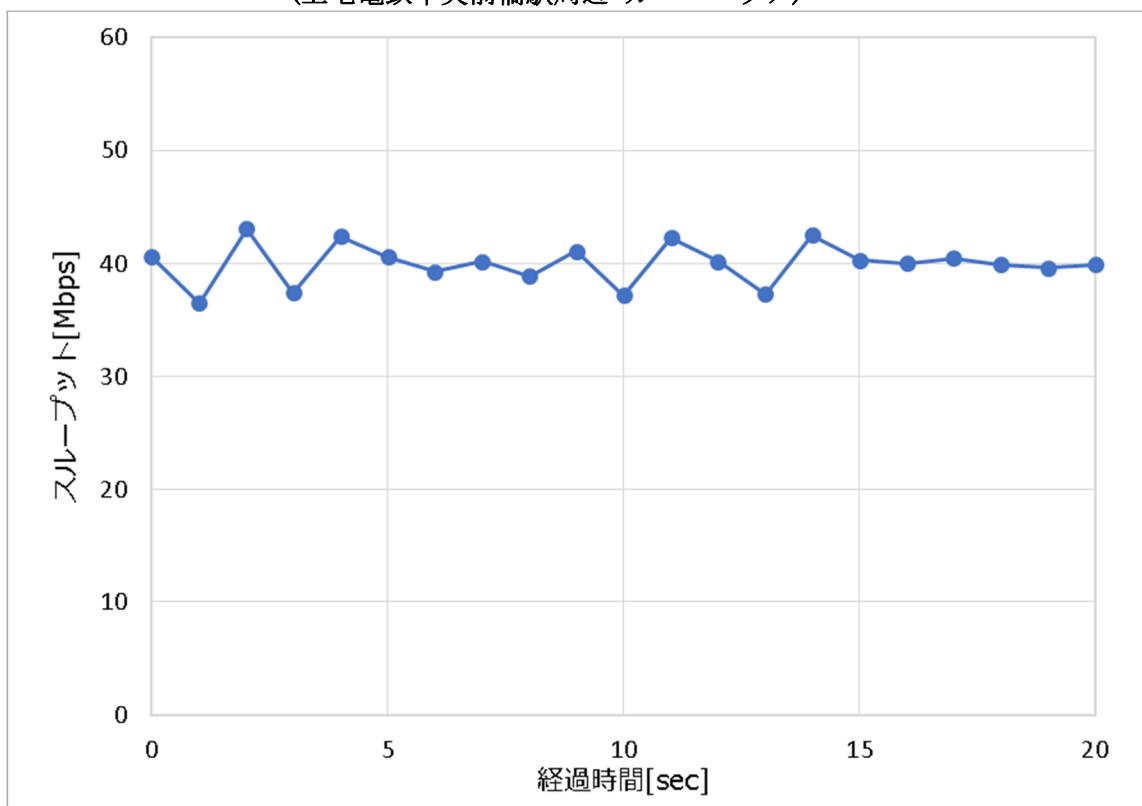


図 3-186 測定点⑭ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

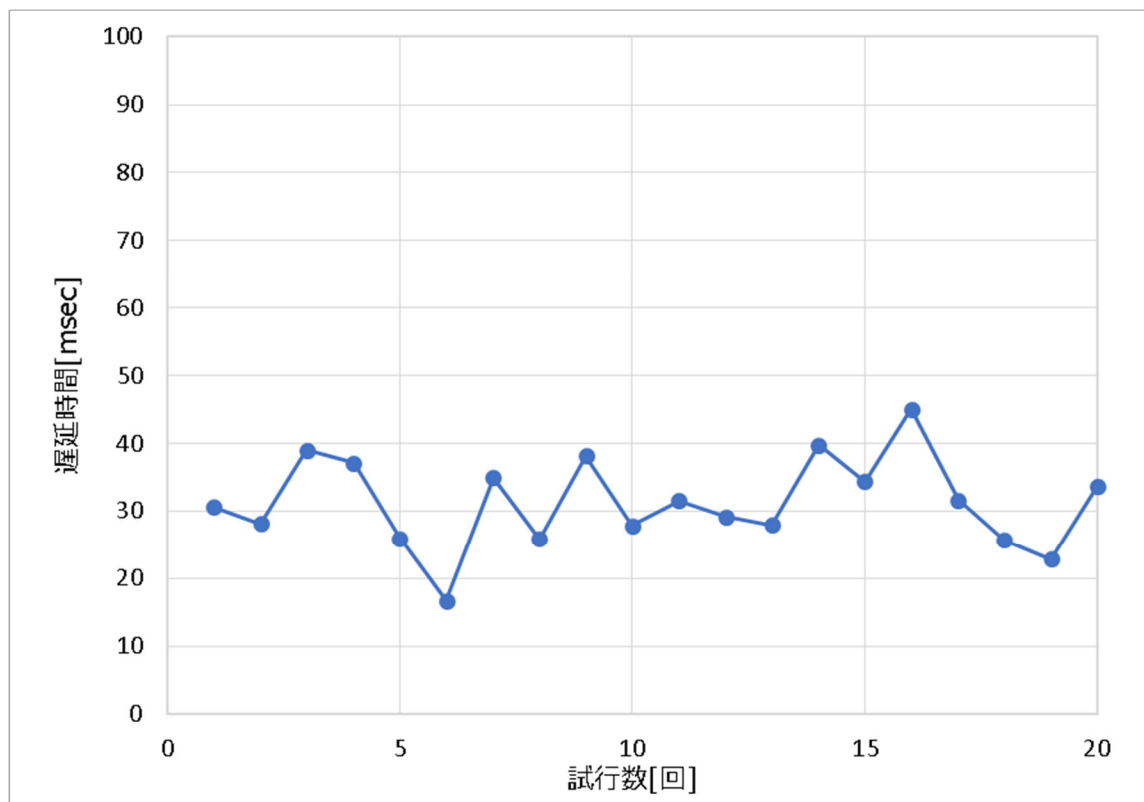


図 3-187 測定点⑭ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

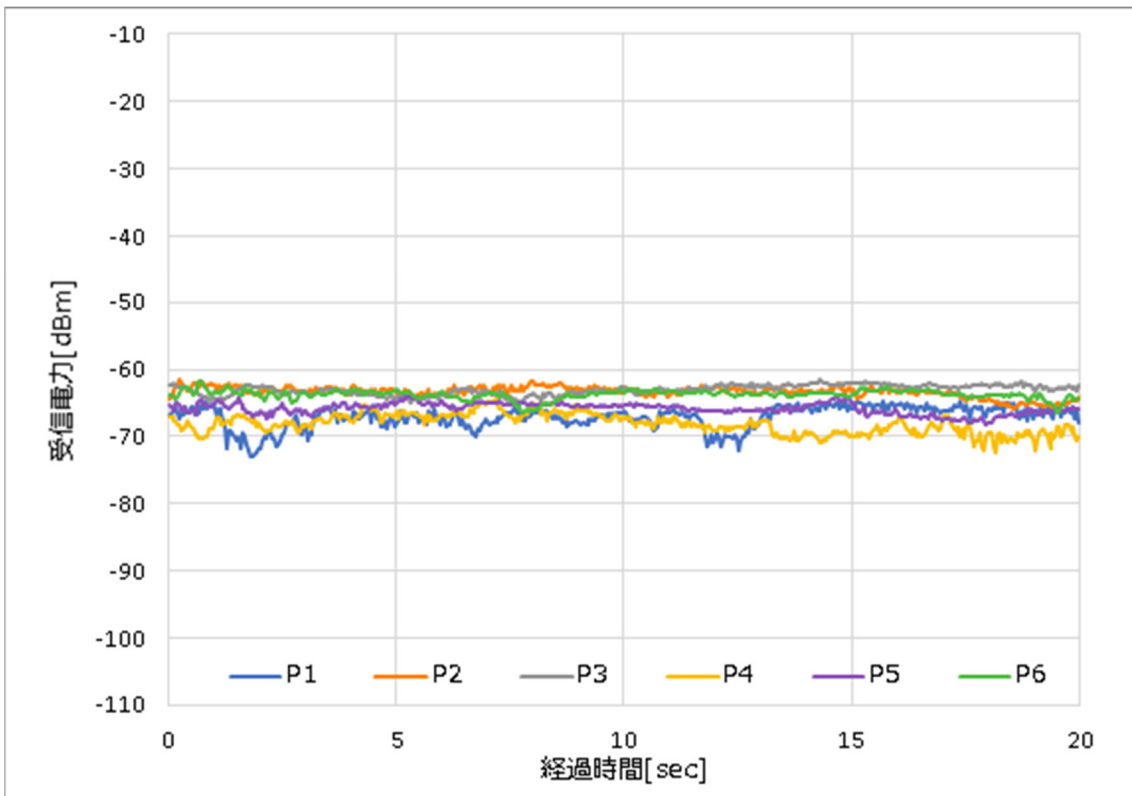


図 3-188 測定点⑮ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

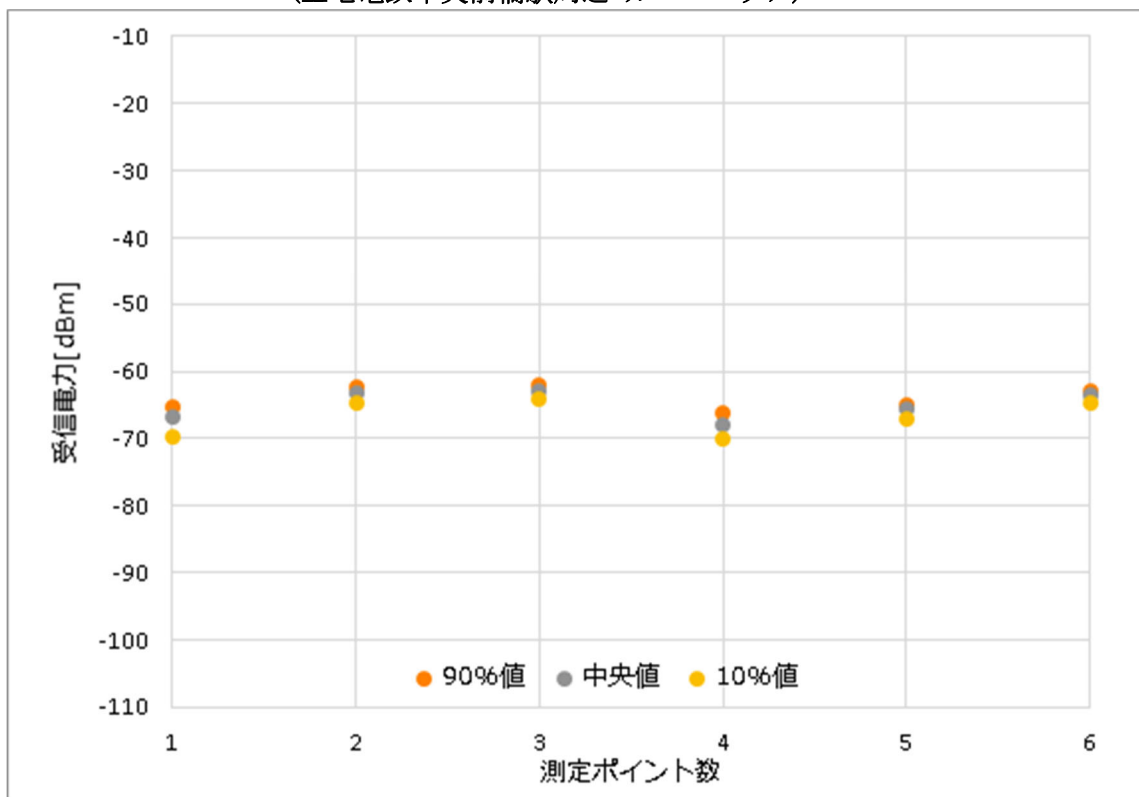


図 3-189 測定点⑮ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

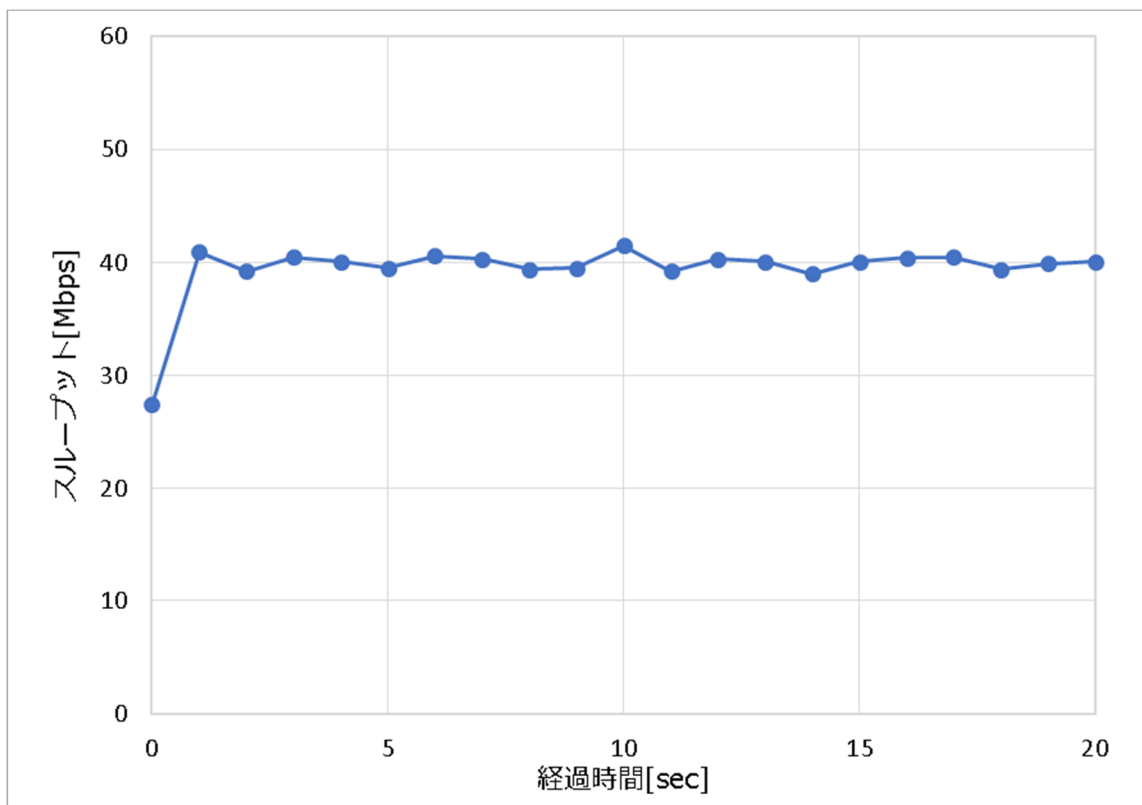


図 3-190 測定点⑮ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

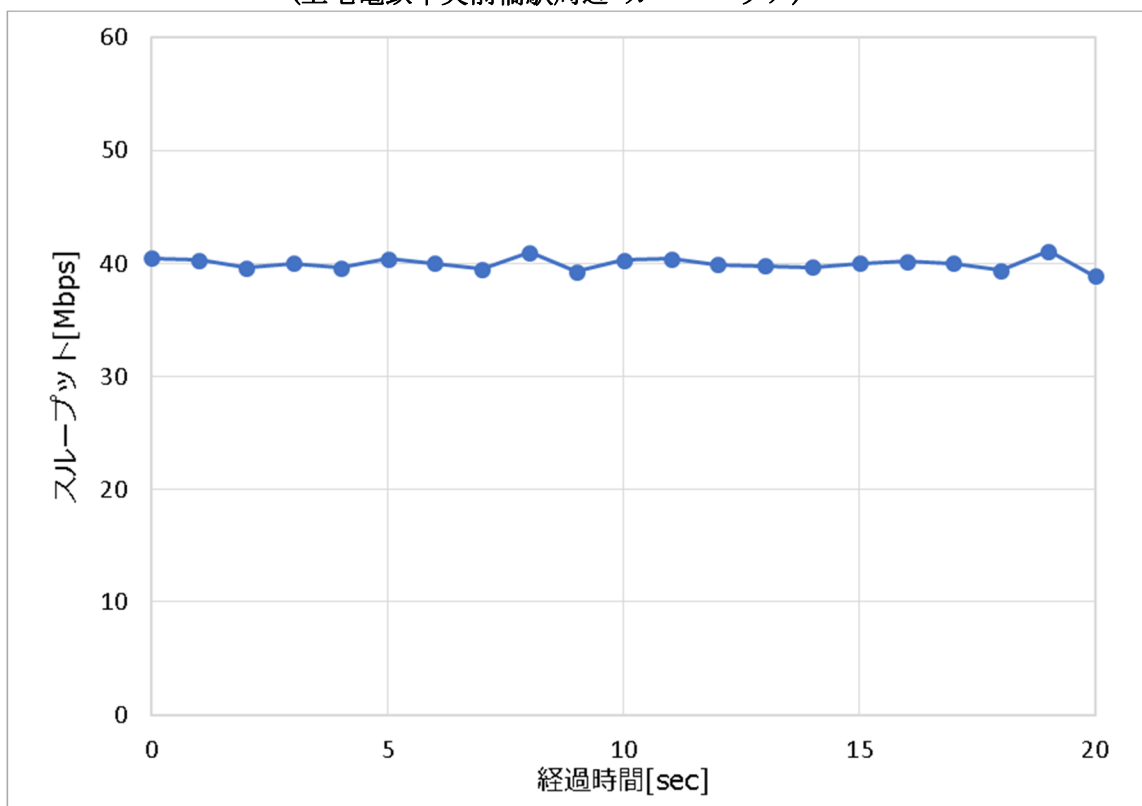


図 3-191 測定点⑮ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

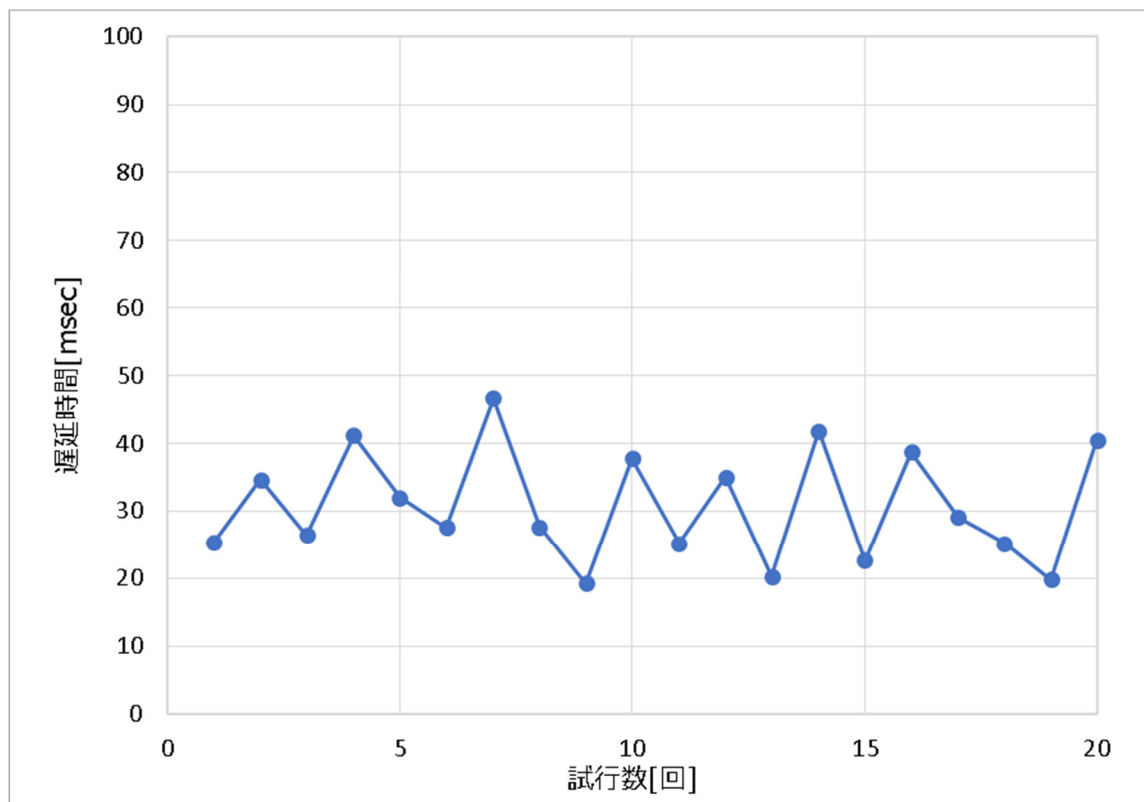


図 3-192 測定点⑮ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

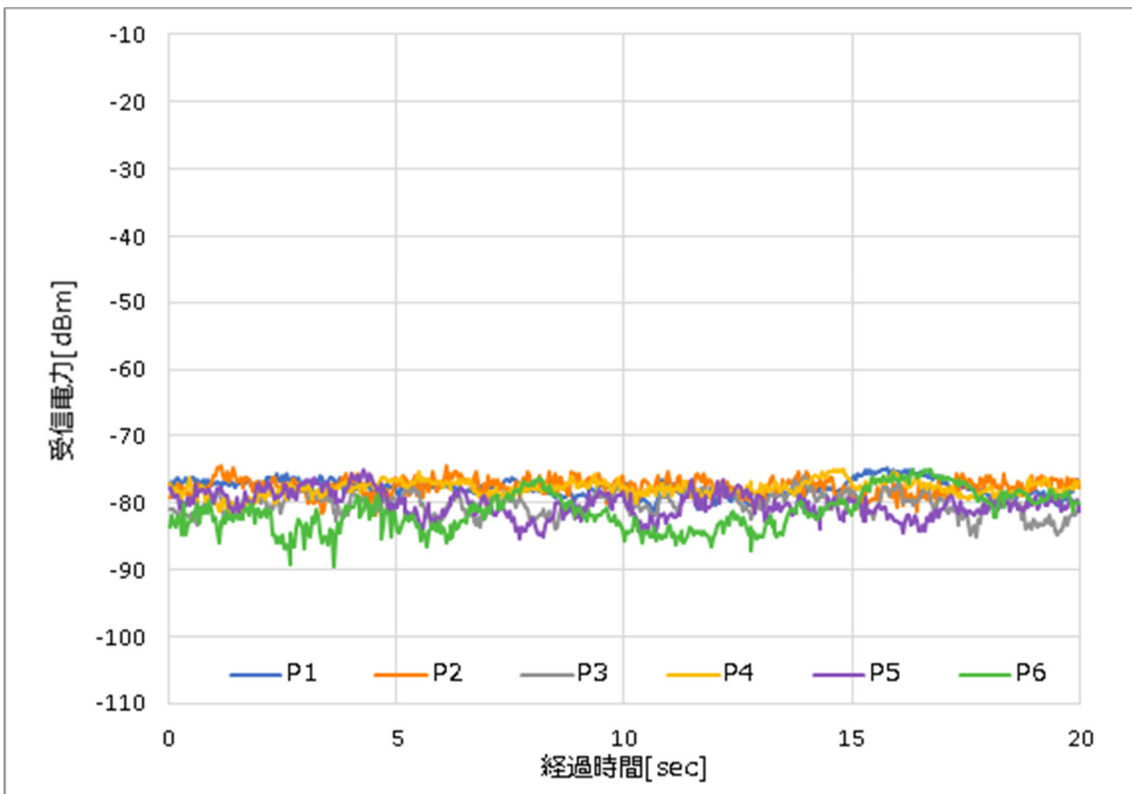


図 3-193 測定点⑩ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

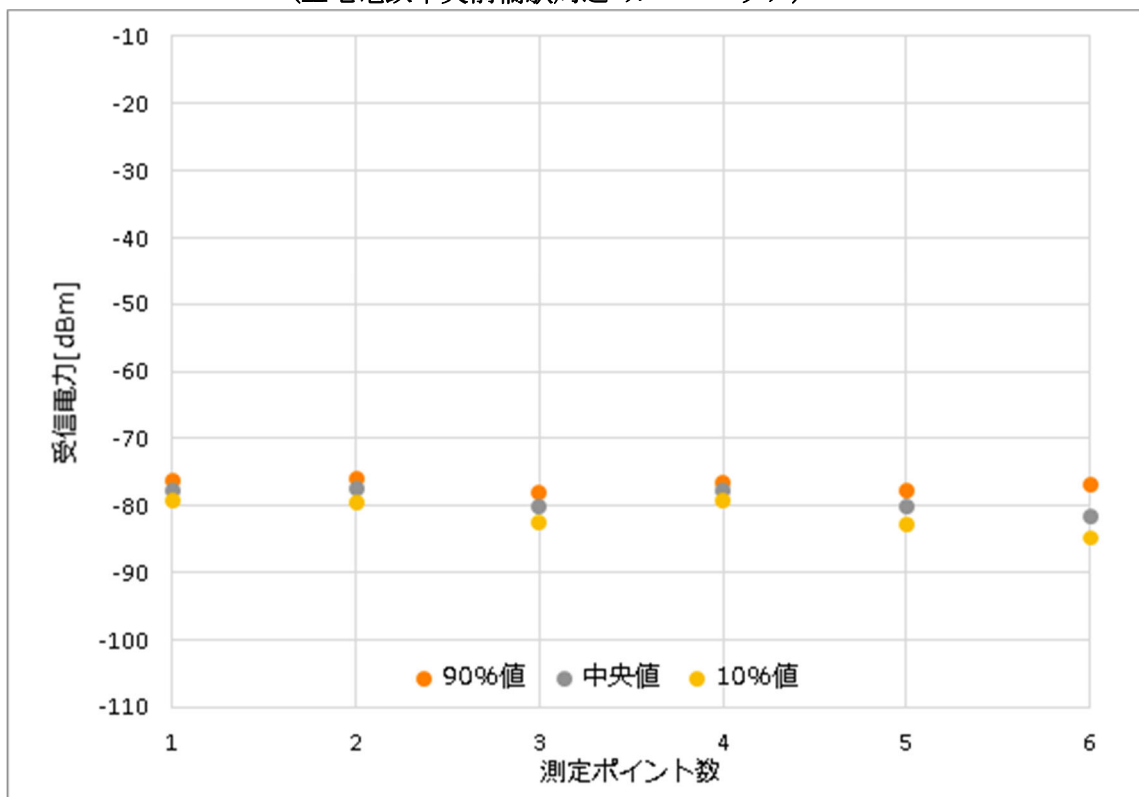


図 3-194 測定点⑩ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)



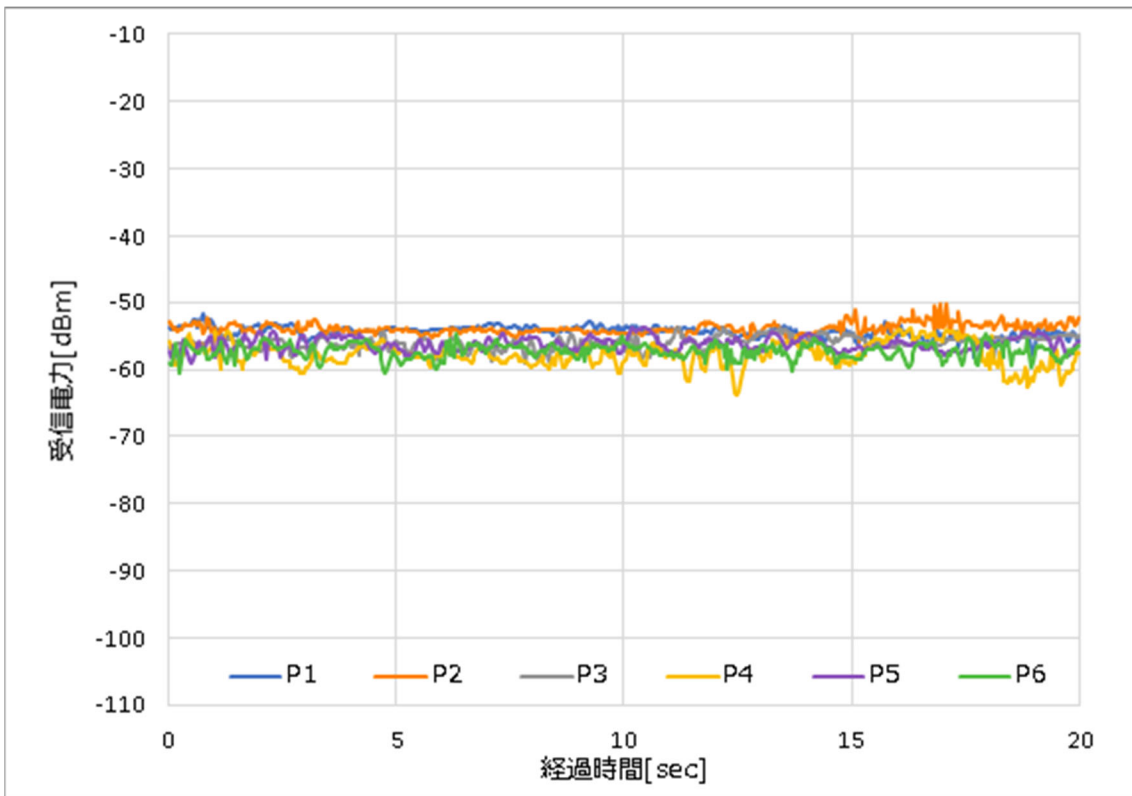


図 3-195 測定点⑱ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

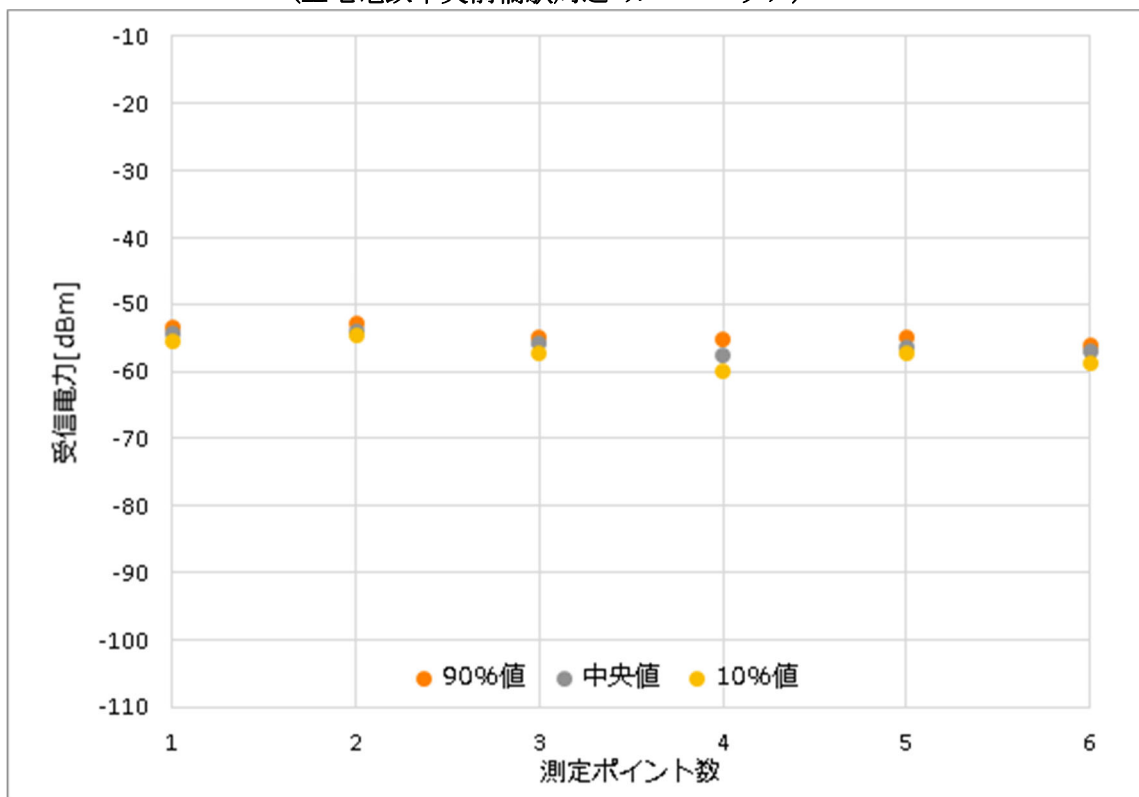


図 3-196 測定点⑱ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

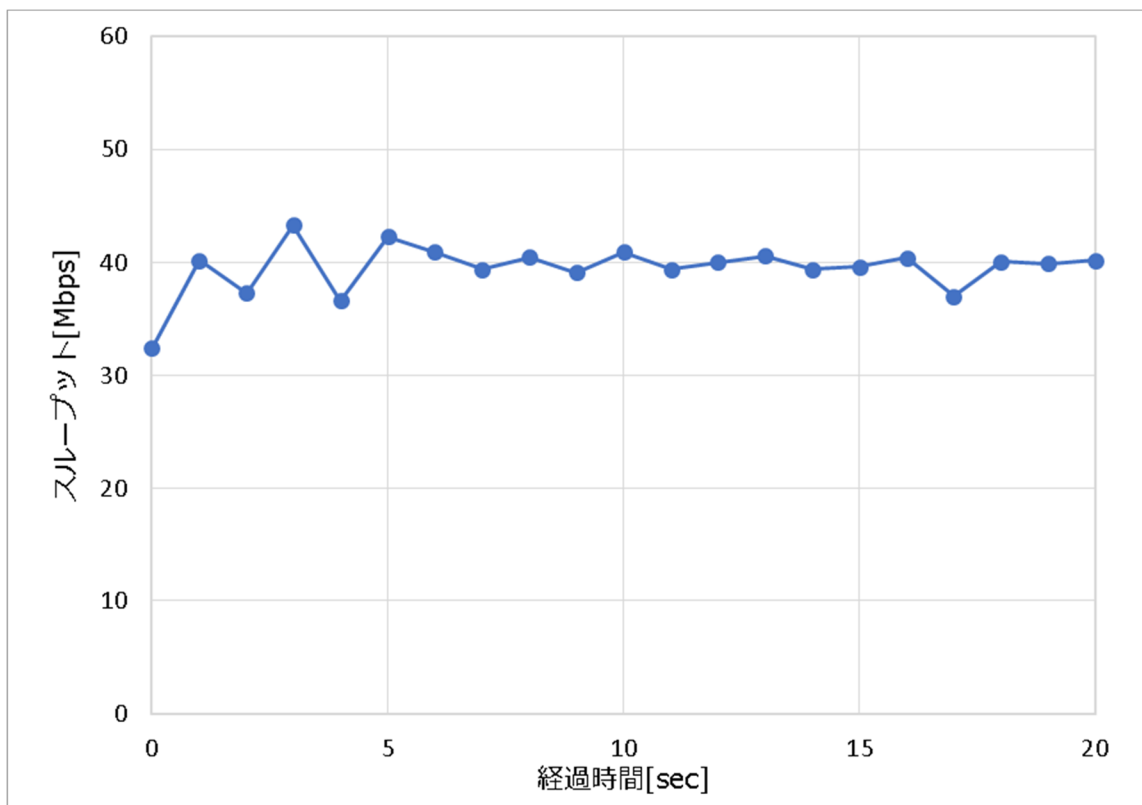


図 3-197 測定点⑰ スループット UL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

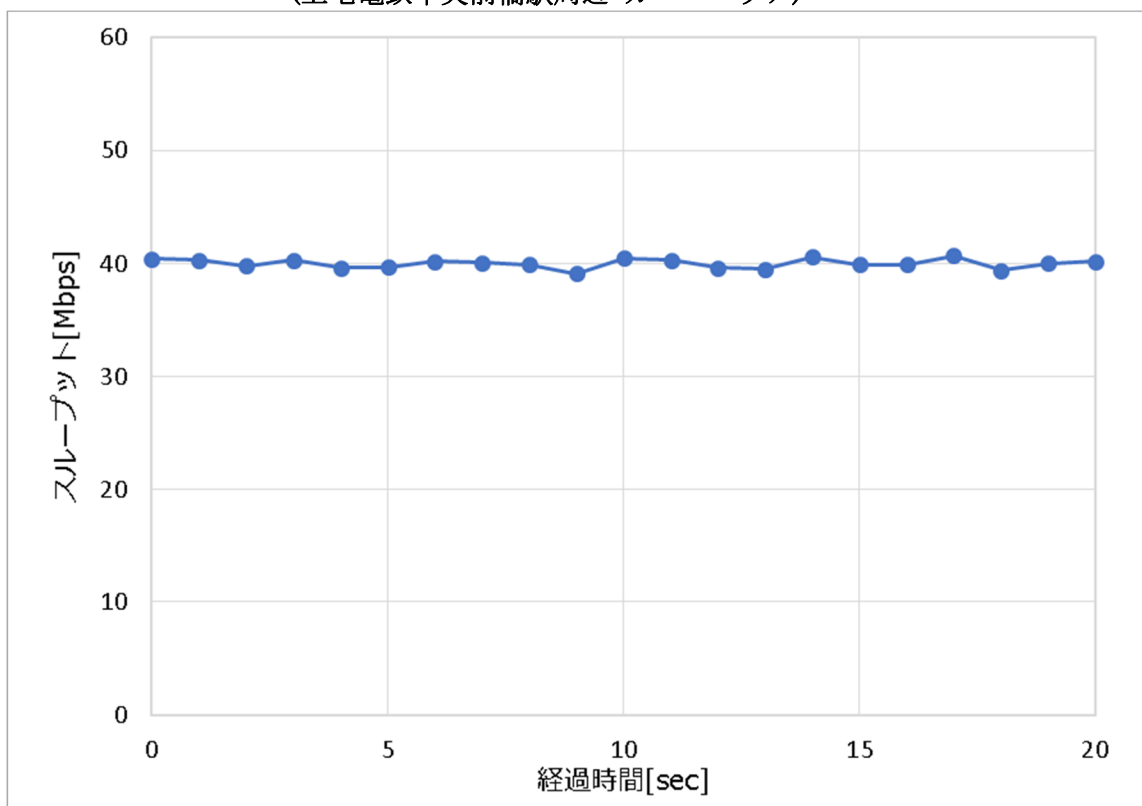


図 3-198 測定点⑰ スループット DL 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

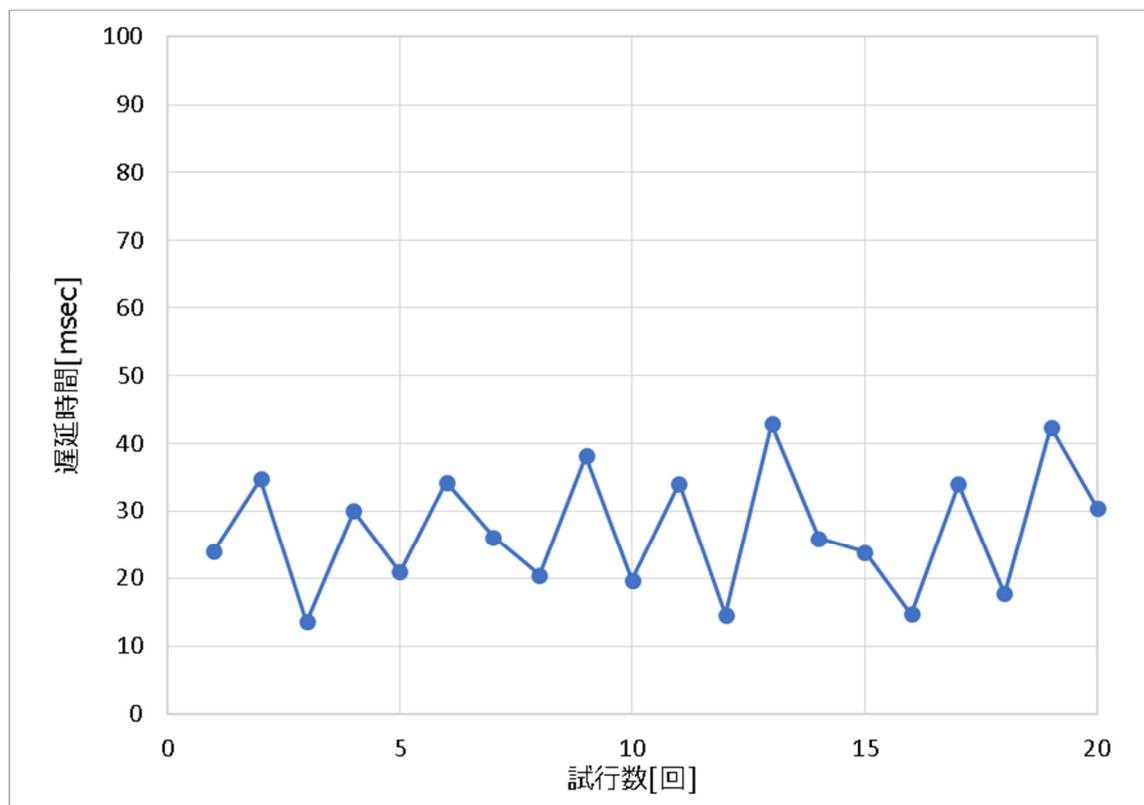


図 3-199 測定点⑰ 遅延時間  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

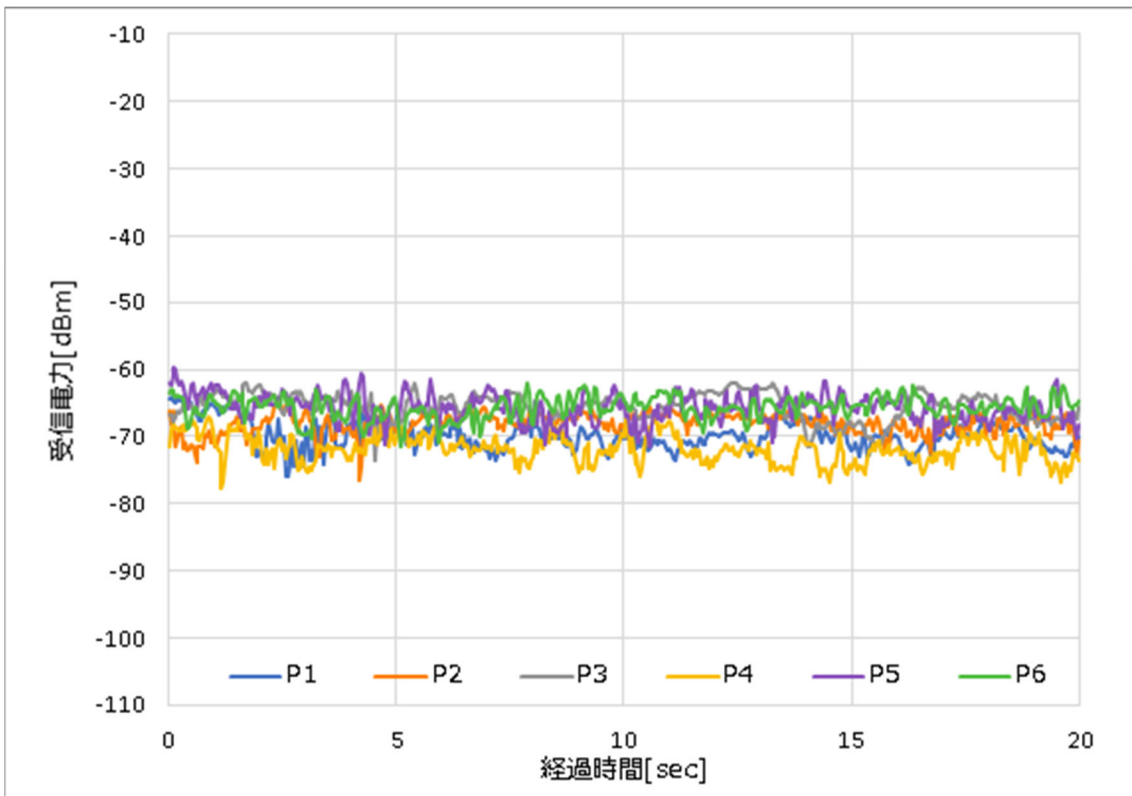


図 3-200 測定点⑩ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

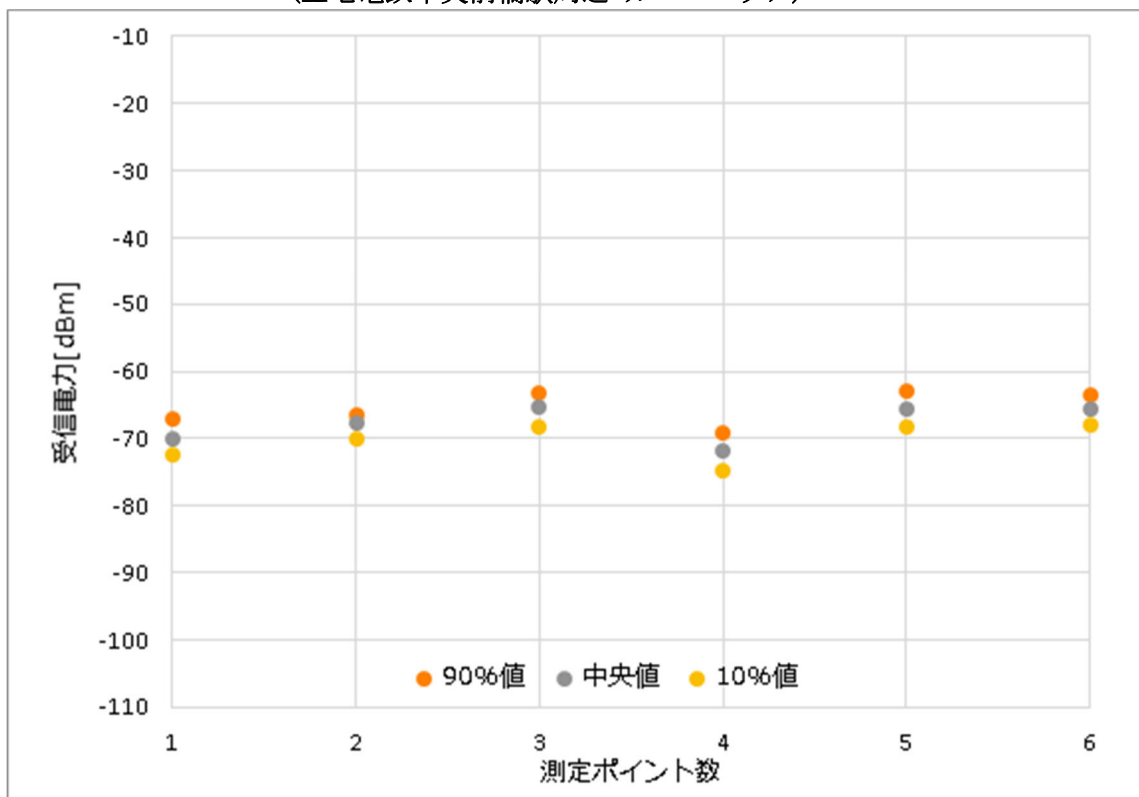


図 3-201 測定点⑩ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

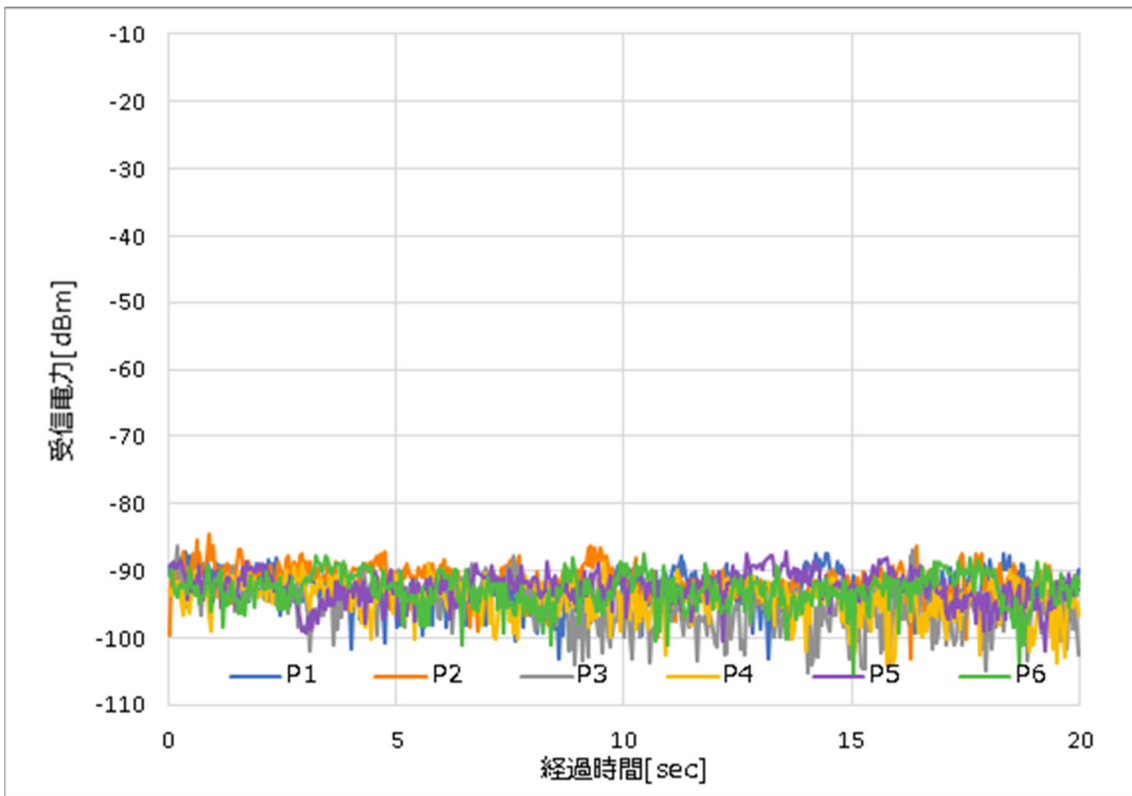


図 3-202 測定点⑱ 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

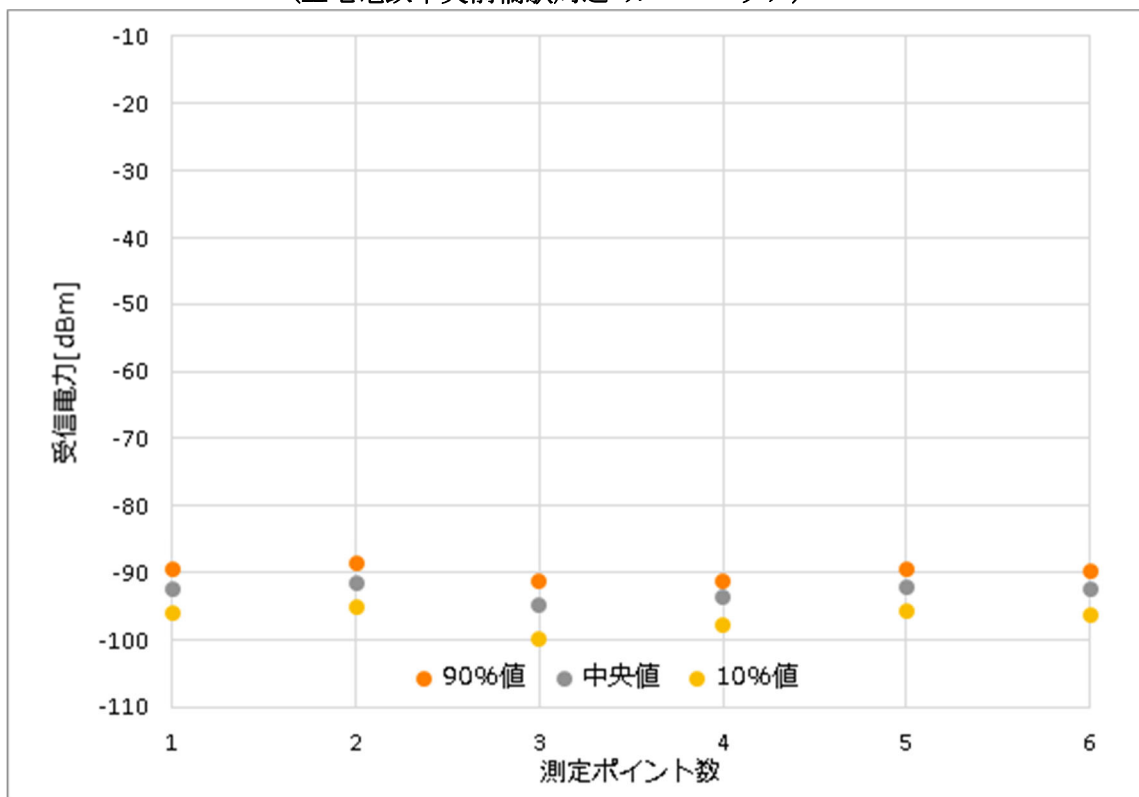


図 3-203 測定点⑱ 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

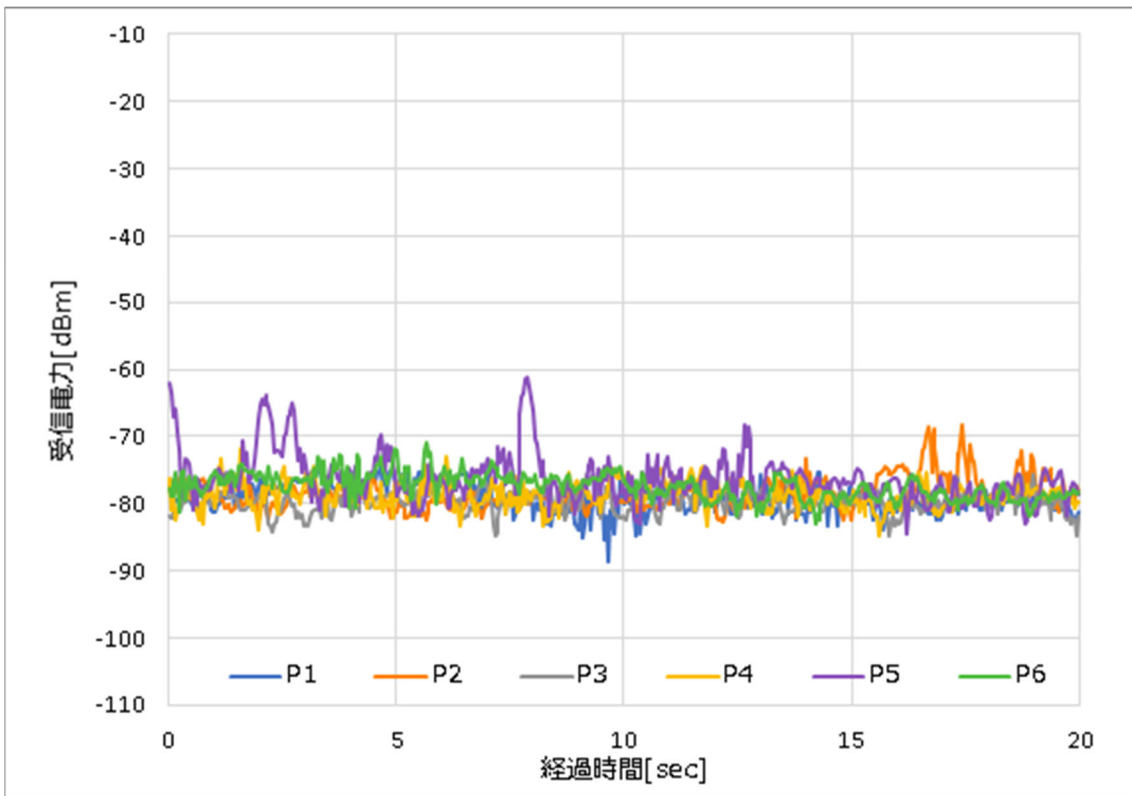


図 3-204 測定点② 受信電力 時間変動  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

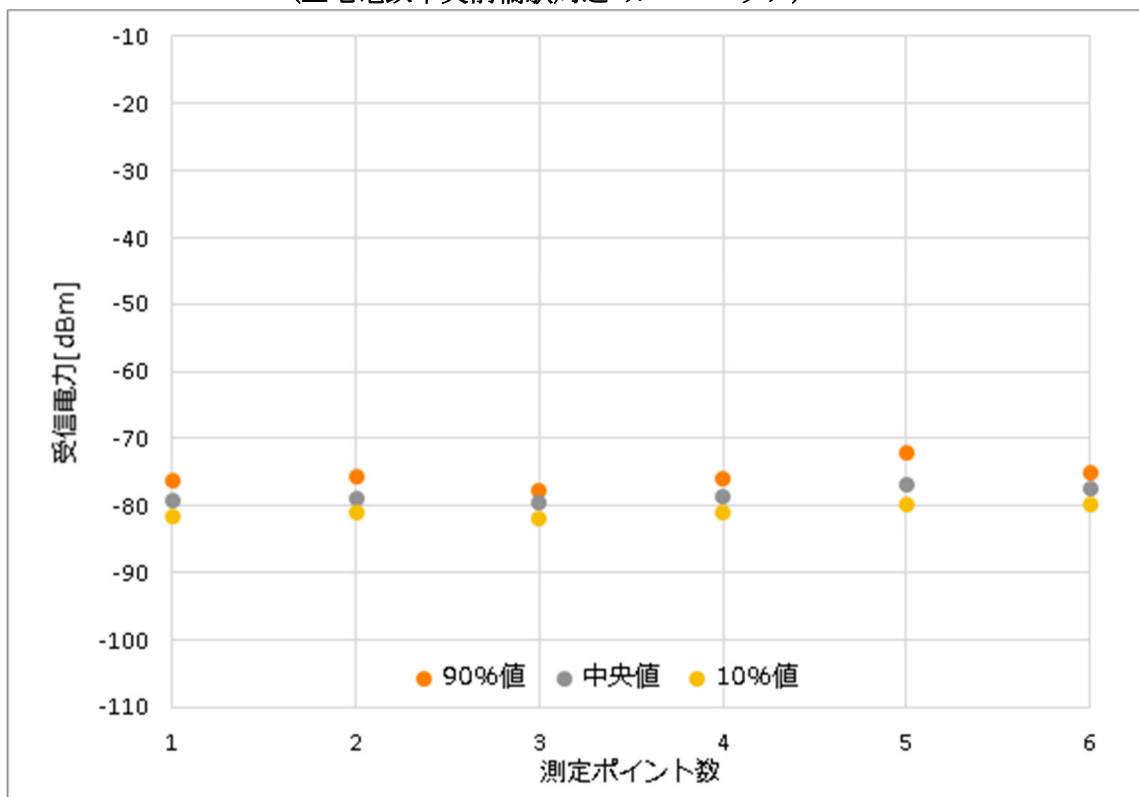


図 3-205 測定点② 受信電力 正規化  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺 カバーエリア)

(4)試験機器一覧及び諸元

試験に使用した機器を表 3-11 に示す。

表 3-11 使用機器

機器名	測定項目
アンリツ (株) エリアテスタ ML8780A	RSRP 測定
アンテナ Z-1911B	
測定用 RF ケーブル及びアンテナ台座	
Sub6GHz 測定ユニット MU878070A	
Compal 社製 Raku+	遅延およびスループット測定

### 3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化

#### 3.3.2.1 実証の目的・目標

##### (1) 背景となる技術的課題と実証目的

ローカル5Gシステムのエリア構築では、エリア算出法によりカバーエリアおよび調整対象区域を算出するが、電波伝搬に大きな影響を及ぼすパラメータ値の値によってはカバーエリアおよび調整対象区域を過大または過小に評価する可能性がある。

特に本実証のユースケースのように、伝搬経路上に水面が存在する場合は、水面が存在しない場合と比較し、電波がより遠くまで伝搬される(カバーエリアが広がる)ことが想定される。

また、基地局からの方位によって遮へい物の割合が異なる環境の場合、方位によってカバーエリアが変動することが想定される。

このため、エリア算出法で算出したカバーエリアおよび調整対象区域と現実の電波環境に乖離があり、本来必要な干渉調整が行われないことにより、良好な電波環境の確保が阻害される恐れがあることから、電波伝搬モデルの精緻化が必要である。

また、効率的に基地局を設置してサービスエリアの構築を行うためにも、電波伝搬モデルの精緻化が必要である。

このようにユースケースにおける伝搬モデルを精緻化することで、干渉・必要な送信電力等今後のエリア設計を容易とすることを目的とした。

##### (2) 実証目標

本実証のユースケースでは屋外に基地局を設置していることから、審査基準の電波伝搬モデルにおいては、パラメータ **K** および **S** を精緻化することを実証目標とした。

##### [Kの実証]

上毛電鉄中央前橋駅周辺に位置する水面を使用し、水面に近接した地点と水面が近接していない地点の損失量の変動を検証し、水面の電波伝搬への影響を定量化する。

##### [Sの実証]

伝搬経路中における遮へい物の割合による損失量の変動を検証する。上毛電鉄中央前橋

駅周辺と CRANTS 周辺では伝搬経路中の建造物等遮へい物の割合が異なることを利用し、遮へい物の電波伝搬への影響を定量化する。



### 3.3.2.2 実証仮説

#### [K の実証仮説]

水面において電波は大地に吸収されず反射をするため、路面に比べ伝搬距離が伸びることが想定される。このため、水面に近接した場所と水面に近接していない場所において受信電力を測定した結果では、水面に近接した場所の方が、伝搬距離が伸びることで想定される。

このため、カバーエリア内または調整対象区域に水面が存在する場合、カバーエリア内または調整対象区域のエリアを過少に算出してしまう可能性がある。この水面の影響による受信電力の変動を検証する。

K の具体的な値としては  $K=6$  を仮説とする。これは、下記 2 点直接波と水面を反射した反射波が同相で合成され受信した場合に受信電力が最大 6dB 向上するためである。

#### [S の実証仮説]

ユースケースにおいては、基地局周辺は見通しの良いエリアであるものの、基地局から数 10m 離れると建造物など遮へいが存在する場合がある。

ここでエリア算出法に定められている S の分類「開放地」「郊外地」「市街地」の定義と補正值を表 3-12 に示す。

表 3-12 補正值 S の定義

分類	補正值	定義
市街地	S=0.0	都市の中心部であって、2 階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など
郊外地	S=12.3	樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など陸上移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域
開放地	S=32.5	電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300~400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など

#### ・ CRANTS 試験路

基地局近隣(100~200m)は遮へい物が無く開放地と区分できるが、基地局から 100m~200m 程度離れた地点から樹木や家屋等があり郊外地と区分できる。

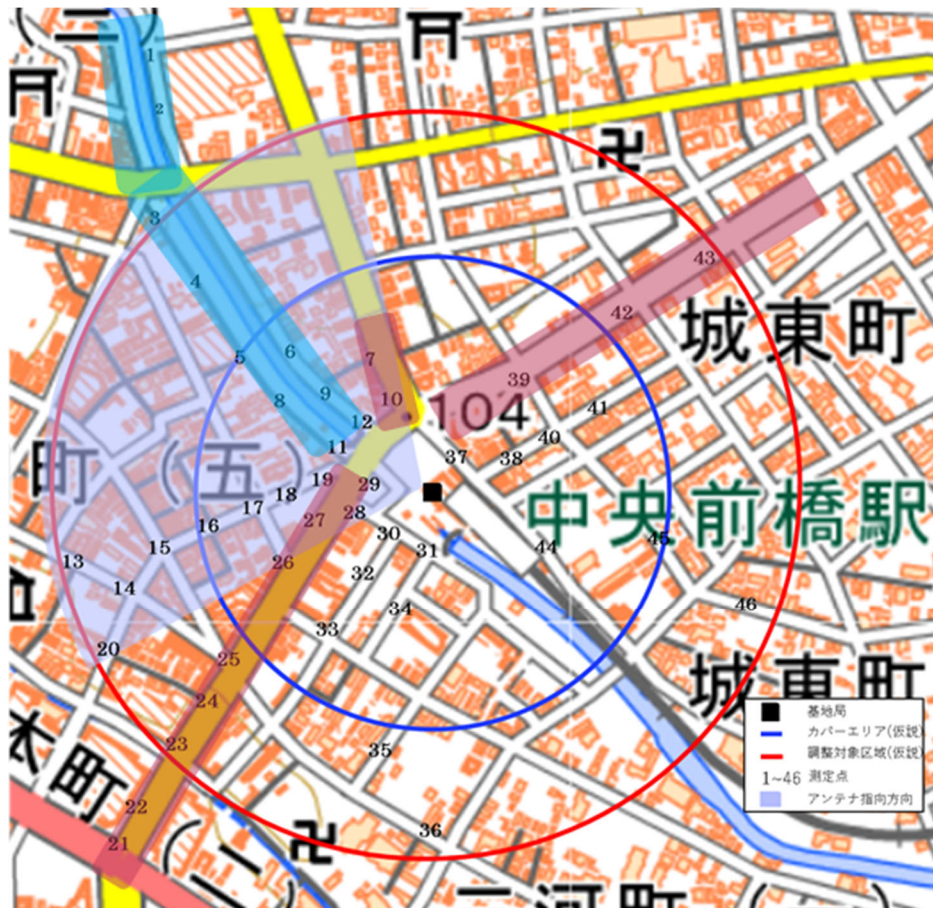
このように CRANTS 試験路では開放地(S=32.5)と郊外地(S=12.3)が混在するが、いずれの分類を行ってもエリア端近隣は郊外地となるため、郊外地(S=12.3)を仮説とする。

#### ・ 上毛電鉄中央前橋駅周辺

水路(基地局から北西方向)や幅の広い道路(概ね 20m 程度、基地局から南西および北東方向)と、2 階建て以上の建造物が密集しているエリアが混在しており、一律の S 値では分類ができない実証環境となる。

このため、水路や幅の広い道路は郊外地(S=12.3)、その他の建造物が密集しているエリアは市街地(S=0.0)とエリアを分けた分類を仮説とする。上毛電鉄中央前橋駅周辺での分類イメージを図 3-206 に示す。

大通り沿い
  水路周辺  
 その他は建造物密集エリア



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-206 上毛電鉄中央前橋駅周辺の分類

[精緻化の分類]

上記で仮説とした K と S の補正値を踏まえ、各分類を下記に示す。

表 3-13 各分類の補正値

分類	実証環境	補正値 K	補正値 S
1	CRANTS 試験路	0	12.3
	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (大通り沿い)		
2	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (水路周辺)	6	12.3
3	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (建造物密集エリア)	0	0

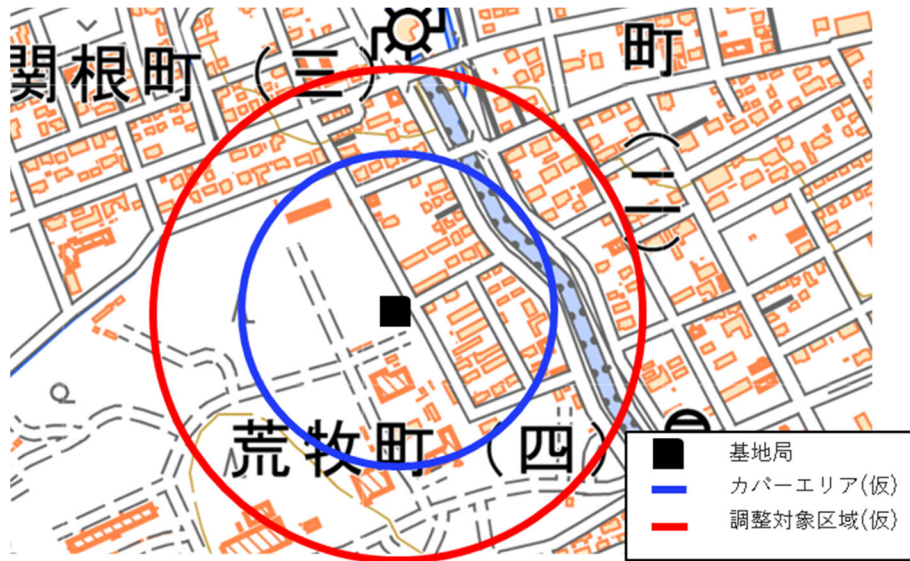
[補正値仮説後の調整対象区域とカバーエリア]

上述した仮説補正値を使用し、カバーエリアおよび調整対象区域の基地局からの距離を導出した。これを表 3-14 に示す。

表 3-14 各分類の閾値までの距離(仮説)

分類	実証環境	補正値 K	補正値 S	分類	基地局からの距離
1	CRANTS 試験路	0	12.3	カバーエリア	170m
				調整対象区域	250m
	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (大通り沿い)			カバーエリア	150m
				調整対象区域	230m
2	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (水路周辺)	6	12.3	カバーエリア	190m
				調整対象区域	270m
3	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (建造物密集エリア)	0	0	カバーエリア	85m
				調整対象区域	105m

また、仮説補正値を使用したカバーエリアおよび調整対象区域を以下に示す。なお、本実証では干渉調整のためのエリア算出法の精緻化が目的であるため、各実証環境で最もカバーエリアおよび調整対象区域が広がる場合(CRANTS 試験路は分類 1、上毛電鉄中央前橋駅周辺は分類 2)のエリアを示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-207 仮説補正值を使用したカバーエリアおよび調整対象区域  
CRANTS 試験路(仮説補正值  $S=12.3$ )



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-208 仮説補正值を使用したカバーエリアおよび調整対象区域  
上毛電鉄中央前橋駅周辺(仮説補正值  $K=6$ ,  $S=12.3$ )

### 3.3.2.3 評価・検証項目

- ・ 目標設定  
精緻化の対象とするエリア算出法のパラメータを明確化する。
- ・ エリア設計  
精緻化の対象パラメータの値について、実証環境の環境条件に基づき精緻化の仮説を立てる。仮説に基づきパラメータの値を修正した算出式を用いて、カバーエリア及び調整対象区域を作図する。
- ・ 測定  
エリア設計で作図したカバーエリアおよび調整対象区域内において、基地局からの距離が異なる 20 以上の地点で測定する。  
また、エリア設計に用いた算出式のカバーエリア及び調整対象区域のエリア端をそれぞれ 4 点測定し、閾値と異なっている場合は、それぞれの閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離を確認する。
- ・ 分析／考察  
エリア設計の作図と実測データを比較し、その差分の要因を分析する。差分の考察に基づきパラメータを精緻化する。精緻化後のパラメータを用いた屋外のカバーエリア及び調整対象区域を作図し、実測に近い結果が得られていることを示す。

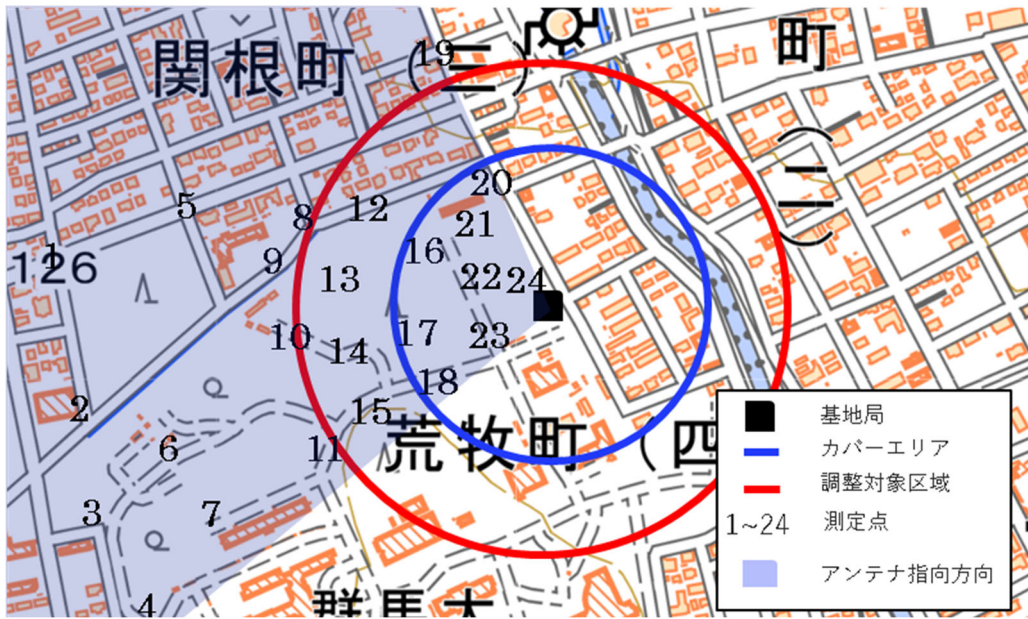
### 3.3.2.4 評価・検証方法

[想定する測定点とその数]

CRANTS 試験路および上毛電鉄中央前橋駅周辺で想定する測定点とその数を下記に示す。

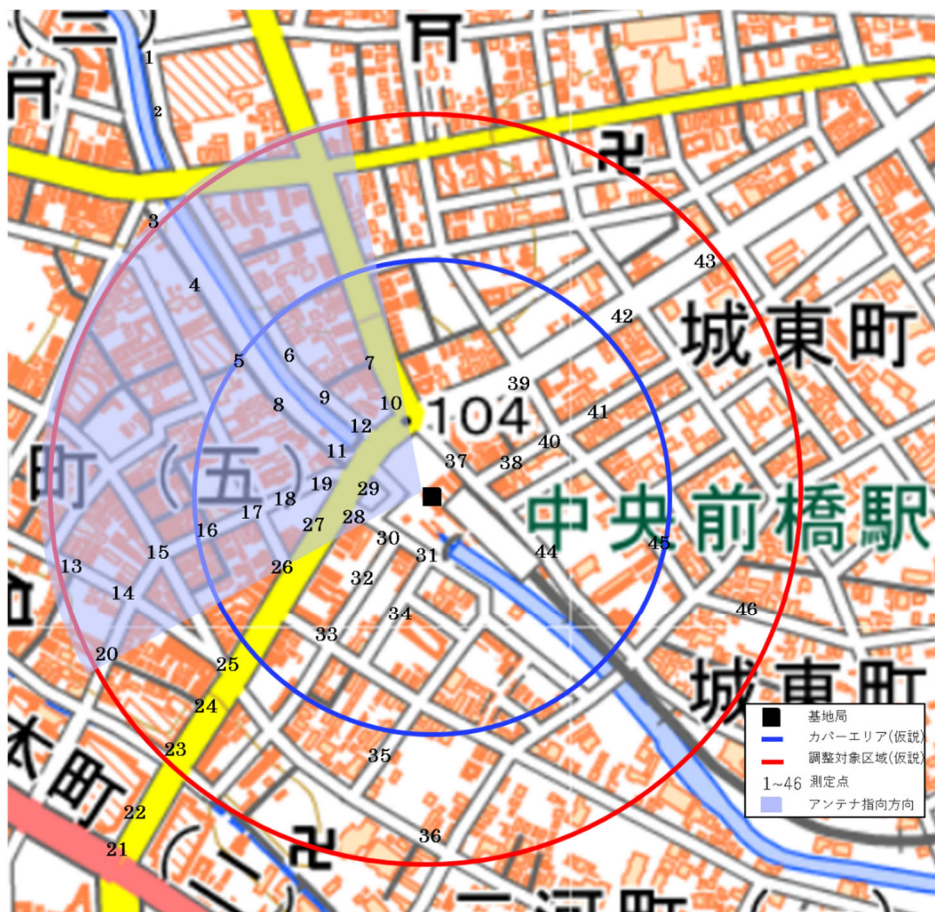
なお、CRANTS 試験路のアンテナ指向方向外は、上毛電鉄中央前橋駅周辺と同様に建造物が多く、両環境のアンテナ指向方向外の受信電力はともに低いことが想定される。このことから、上毛電鉄中央前橋駅周辺で全方位の測定を行い、CRANTS 試験路では上毛電鉄中央前橋駅周辺で取得できない郊外環境のデータのみを取得することとした。

CRANTS 試験路は郊外環境と想定しているため、市街地環境となるアンテナ指向方向外の測定は実施しないこととした。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-209 CRANTS 試験路 測定地点



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-210 上毛電鉄中央前橋駅周辺 測定地点

#### [測定の進め方]

測定機材を用いて **SS-RSRP** を測定する。受信電力は基地局からおおよそ同距離の地点においてもマルチパスの影響で値が変動するため、5 cm(受信周波数の1波長以下)の短区間を合計6点移動させ、各点で測定結果を取得する。

また、**RSRP** の瞬時値で分析を行うと時間的なフェージングの影響を受け正しい分析ができないため、20秒程度連続して測定を行い正規化(極値を除くため上下10%を除いたデータの中央値を導出)を実施後、各測定点の代表値を求める。

なお、測定周期としては40ms 毎(25 データ/秒)にデータを取得することで1測定点において6点×25 データ×20秒=3000 サンプルを取得する。

測定結果の妥当性を確認するため、エリア算出法で計算した理論値に加え、伝搬シミュレータによるシミュレーションを測定の事前に行い、測定結果との差異を検証し、差異が大きい場合など必要に応じて再測定を行う。

#### [測定結果を用いた精緻化の方法]

各測定点の代表値と、基地局から測定点までの距離を用いて近似曲線を求める。求めた近似曲線と類似するエリア算出法のパラメータ(**K** および **S** 値)を導出し、精緻化を実施する。

#### [精緻化における効果の評価の進め方]

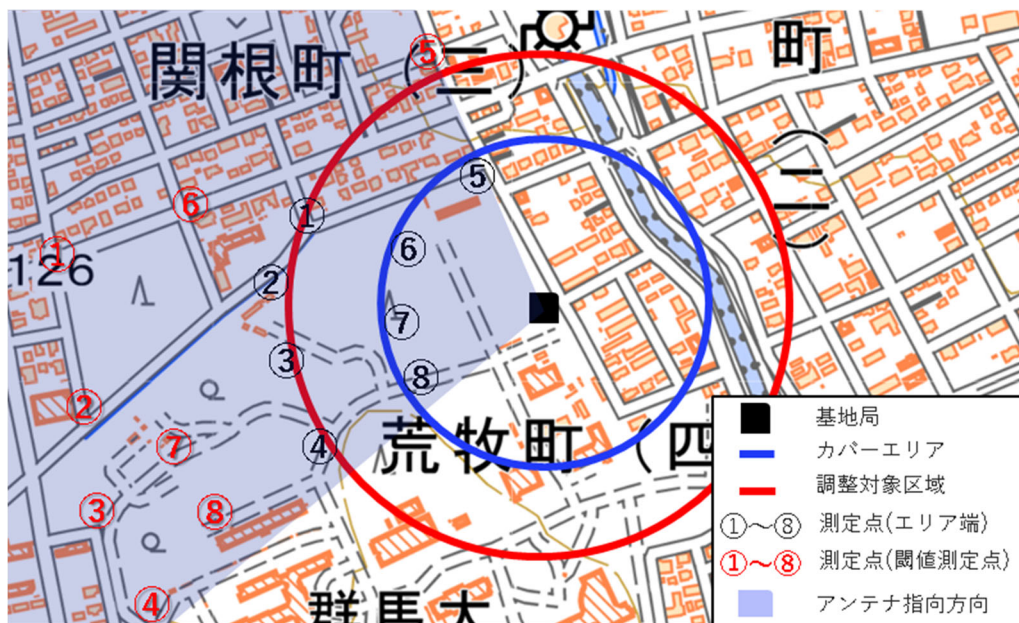
**CRANTS** 試験路や上毛電鉄中央前橋駅周辺など同一の試験環境内においても、電波伝搬経路の環境が異なることで、測定結果の傾向が大きく異なることが想定される。そこで各測定地点の周囲環境や電波伝搬経路上の環境を考察し、様々なパターン分けを行うことで、各測定地点における考察を進める。

### 3.3.2.5 実証結果及び考察

#### (1) 仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域と実際の閾値が測定した地点

実証仮説に基づいた **CRANTS** 試験路および上毛電鉄中央前橋駅周辺のカバーエリアおよび調整対象区域の図と、実際の閾値が測定された地点を下記に示す。

また、各測定点の基地局までの距離や見通し状況を表 3-15 に、各測定点の実測値詳細を表 3-16 に示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-211 エリア算出法で算出したエリアと実際の閾値が確認できた地点 (CRANTS 試験路)



表 3-15 CRANTS エリア端の測定点概要

※見通しの凡例 ○:見通し ×:非見通し

測定点	分類	基地局までの 距離[m]	エリア端 見通し状況	閾値が 確認できた距離[m]	閾値点 見通し状況
①	調整対象区域	231	○	430	×
②		234	×	403	×
③		229	×	401	×
④		228	○	391	×
⑤	カバーエリア	146	×	256	×
⑥		144	○	329	×
⑦		147	○	368	×
⑧		144	○	338	×

表 3-16 CRANTS エリア端の受信電力値

測定点		実測値[dBm]			
		中央値	標準偏差	上位 10%値	下位 10%値
1	エリア端	-61.47	3.43	-58.17	-66.87
	閾値が確認できた点	-92.07	3.50	-88.47	-97.37
2	エリア端	-78.97	3.72	-74.07	-83.97
	閾値が確認できた点	-89.27	3.26	-85.87	-93.97
3	エリア端	-56.67	2.61	-53.67	-59.87
	閾値が確認できた点	-90.07	3.31	-85.97	-94.57
4	エリア端	-61.77	4.87	-56.47	-68.97
	閾値が確認できた点	-88.87	3.79	-84.57	-94.07
5	エリア端	-61.67	3.64	-58.27	-68.17
	閾値が確認できた点	-85.07	2.98	-82.57	-89.57
6	エリア端	-51.47	4.23	-48.77	-60.17
	閾値が確認できた点	-82.27	3.73	-78.57	-88.27
7	エリア端	-44.87	1.98	-42.87	-47.37
	閾値が確認できた点	-84.07	3.57	-80.27	-89.47
8	エリア端	-44.17	3.23	-40.67	-49.07
	閾値が確認できた点	-80.27	3.87	-75.87	-85.87



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-212 エリア算出法で算出したエリアと実際の閾値が確認できた地点  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺)

・ 表 3-17 上毛電鉄中央前橋駅周辺エリア端の測定点概要

・ ※見通しの凡例 ○:見通し ×:非見通し

測定点	分類	基地局までの 距離[m]	エリア端 見通し状況	閾値が 確認できた距離[m]	閾値点 見通し状況
①	調整対象区域	107	○	362	×
②		105	○	284	×
③		112	×	332	×
④		108	×	130	×
⑤	カバーエリア	87	○	323	×
⑥		89	○	220	×
⑦		93	○	292	×
⑧		84	×	93	×

・ 表 3-18 上毛電鉄中央前橋駅周辺エリア端の受信電力

測定点		実測値[dBm]			
		中央値	標準偏差	上位 10%値	下位 10%値
1	エリア端	-68.17	3.23	-64.27	-72.67
	閾値が確認できた点	-89.87	3.70	-85.87	-95.27
2	エリア端	-54.82	2.72	-51.97	-59.27
	閾値が確認できた点	-90.37	3.23	-87.07	-95.17
3	エリア端	-63.37	2.80	-59.07	-66.77
	閾値が確認できた点	-88.37	2.62	-85.77	-92.07
4	エリア端	-94.07	2.70	-91.27	-98.17
	閾値が確認できた点	-92.77	2.98	-89.77	-97.07
5	エリア端	-60.37	3.41	-56.87	-65.57
	閾値が確認できた点	-86.47	3.09	-83.47	-91.07
6	エリア端	-54.97	3.98	-48.77	-59.37
	閾値が確認できた点	-84.57	2.43	-82.27	-88.27
7	エリア端	-46.67	3.41	-42.07	-51.07
	閾値が確認できた点	-85.47	3.86	-81.87	-91.37
8	エリア端	-92.77	2.98	-89.77	-97.07
	閾値が確認できた点	-82.57	1.68	-80.37	-84.67

## (2) 受信電力の距離特性

本項からは電波伝搬モデルの精緻化に向け各実証環境をグループ化し分類し検証を行う。

表 3-19 分類ごとの仮説補正值

分類	実証環境	補正值 K	補正值 S
1-1	CRANTS 試験路	—	12.3
1-2	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (大通り沿い)		
2	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (水路周辺)	6	12.3
3	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (建造物密集エリア)	—	0

### 1) 分類 1-1 CRANTS 試験路(仮説補正值 K=0、S=12.3)

#### [実証結果]

分類 1-1 の測定点を下記に、受信電力の距離特性を図 3-214 に示す。

本実証の基地局アンテナは有指向性であるため、受信電力の距離特性では、正確な電波伝搬特性を検証することができない。

このため、各測定点の受信電力からアンテナの指向性を考慮し、下記式にて伝搬損失 L を求めた。求めた伝搬損失 L の距離特性を図 3-215 に示す。

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

L:各測定点の伝搬損失

Pr:帯域受信電力

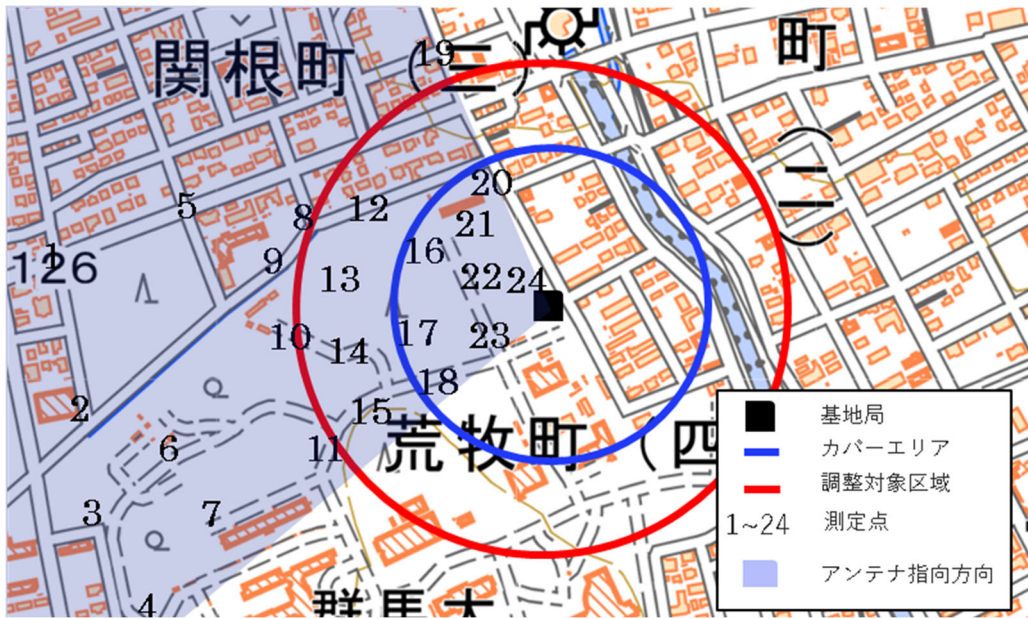
Pt:送信電力

Gt:送信アンテナ利得

Lf:送信系の損失

Gr:受信アンテナ利得

図 3-215 に示すように、CRANTS 試験路で仮説を立てたエリア算出法の分類「郊外 (S=12.3)」より伝搬損失が少なく、特に距離 240m 以下の測定点では「開放地 S=32.5」より伝搬損失が少ない結果となった。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-213 分類 1 測定点(CRANTS 試験路 S=12.3)

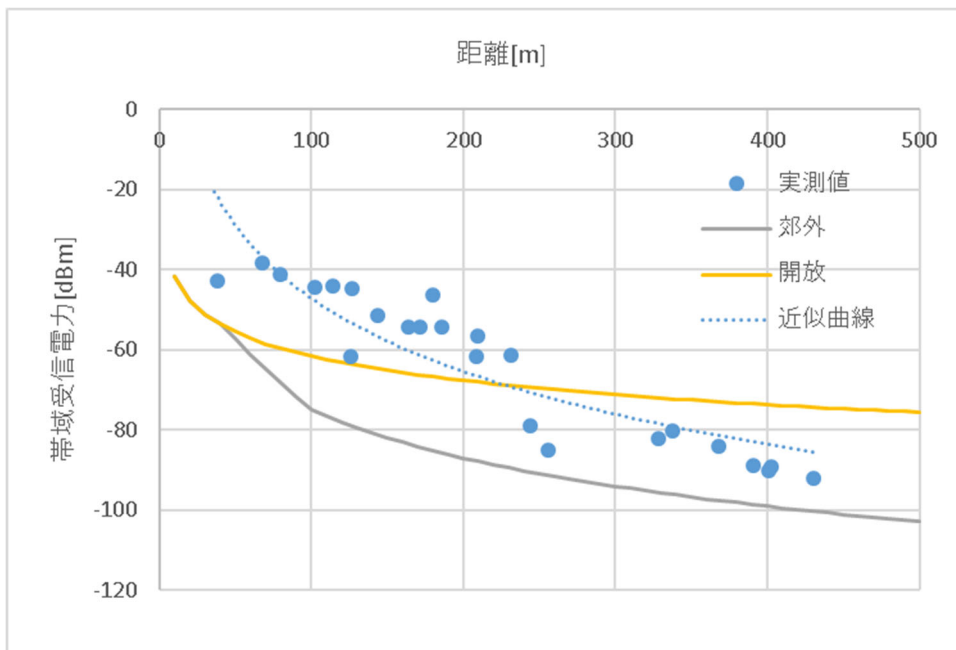
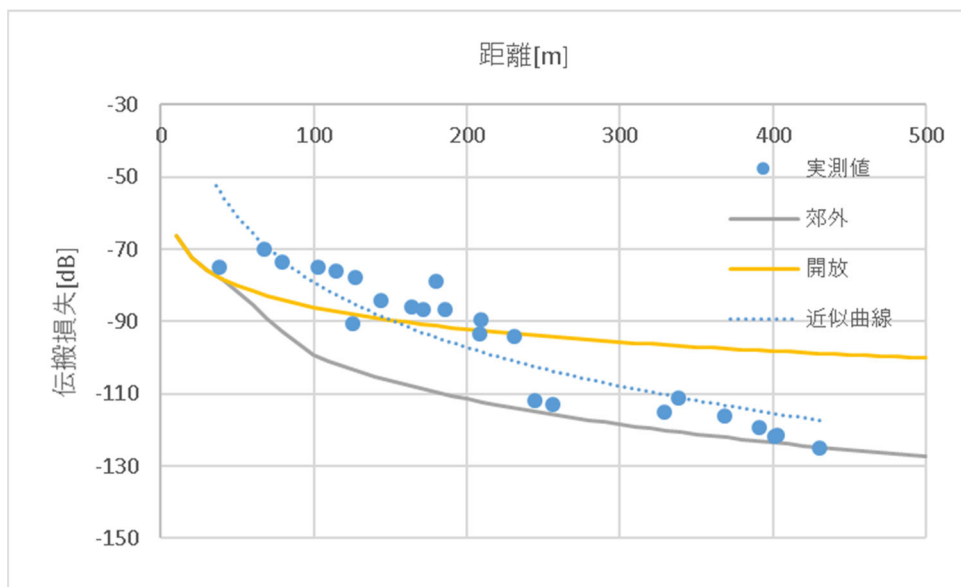


図 3-214 CRANTS 試験路 受信電力の距離特性



・ 図 3-215 CRANTS 試験路 伝搬損失の距離特性

[考察]

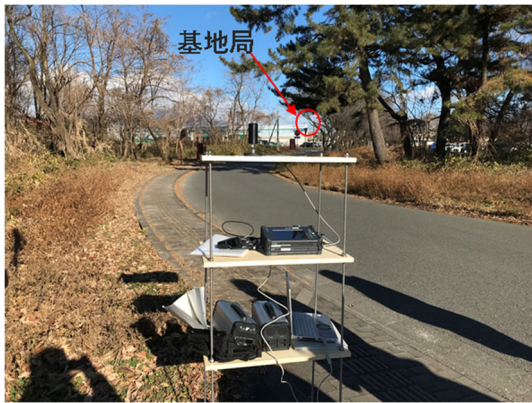
図 3-215 から伝搬損失として、距離 240m 未満と 240m 以上の測定点によって電波伝搬損失の傾向が異なることがわかる。

・ 240m 未満の測定点について

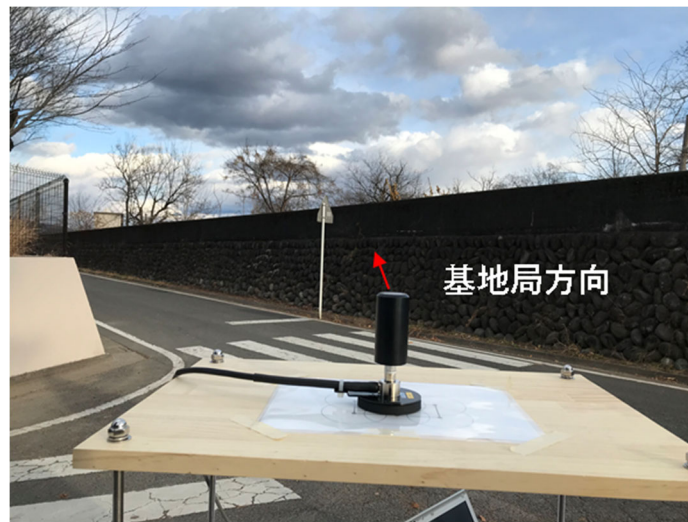
下記図 3-216～図 3-217 に基地局から 240m 未満の測定点から見た基地局方向の写真を示す。ほとんどの測定点では図 3-216 のように基地局が完全に見通し状態なり、他の測定点でも図 3-217 のように基地局と測定点の間に樹木が位置するも、樹木の隙間から基地局が確認できる位置関係となる。樹木の隙間は L5G で使用する電波の波長(約 63mm)より広い間隔であるため、少ない損失で電波伝搬を行うことができる。このため、基地局から 240m 未満の測定点では開放地に近い電波伝搬特性となる。



・ 図 3-216 CRANTS 試験路 測定点からの見通し(完全見通し)



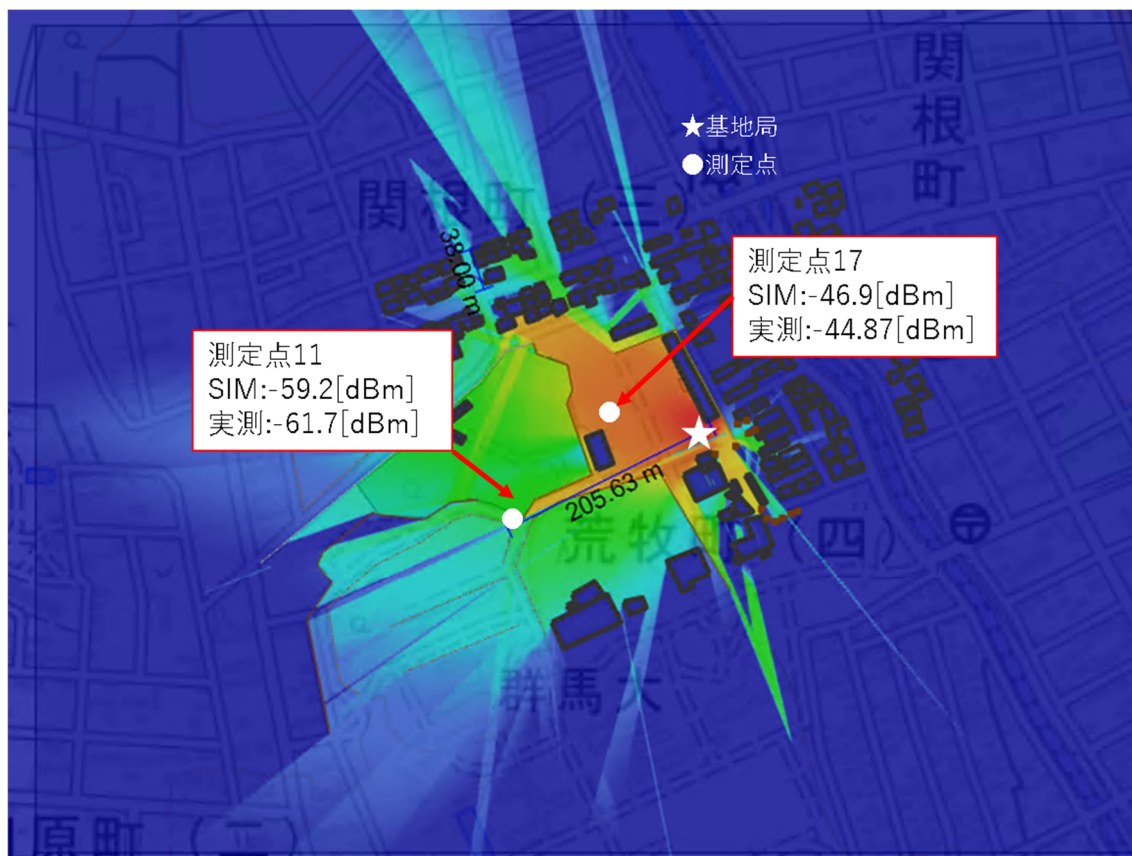
・ 図 3-217 CRANTS 試験路 測定点からの見通し(ほぼ見通し)



・ 図 3-218 CRANTS 試験路 測定点からの見通し(遮へいあり)

※なお 230m 未満の地点で開放地より受信電力が少ない測定点が存在するが、図 3-219 に示すレイトレース法でシミュレーションした結果図 3-214 と比較し、実測値とシミュレーション値の誤差が数 dB と、よく一致している結果であるため測定としては正しく実施できていることを確認している。

エリア算出法とレイトレース法の差異については【追加考察】に後述する。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-219 レイトレース法による電波伝搬シミュレーション  
(CRANTS 試験路)

・ 240m 以上の測定点について

240m 以上の測定点では図 3-218 に示すように基地局と測定点の間に遮へい物が位置している。このため、240 未満の測定点より伝搬損失が大きくなっていると考察できる。

また、基地局から 240m 未満では開放地に近い伝搬損失の傾向であるため、240m 以上の地点でも郊外の伝搬損失より伝搬損失が少ない傾向であると考察する。

さらに、開放と郊外の間となる S 値(S=22.4)では図 3-220 のような伝搬損失となり近似曲線と近い損失傾向となった。干渉回避というエリア算出法の目的を考慮すると、カバーエリアおよび調整対象区域は広めに考える必要があるため、CRANTS 試験路のような部分的に開放地相当の環境があるものの樹木や家屋が散在するエリアは、既存の分類では「開放地」、より実測値に近い分類としては開放と郊外の間となる S 値(S=22.4)になると考察する。

別の観点として、図 3-220 において 240m を境として開放地の伝搬損失から郊外のそれへと大きく遷移していることが分かる。基地局から離れる際に、開放地から郊外地という S 値が下がる方向であれば、1 方向に同じ S 値を当てはめるのではなく、測定地点の周辺環境から S 値を定めても近い値が得られる可能性があるかと考察する。



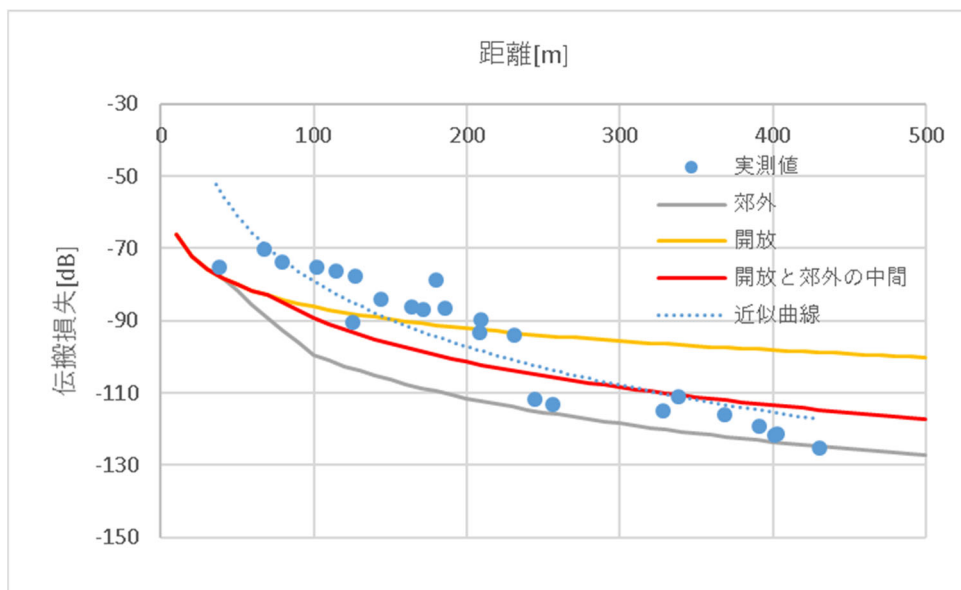


図 3-220 CRANTS 試験路 伝搬損失 エリア算出法との比較

2) 分類 1-2 上毛電鉄中央前橋駅周辺 大通り沿い(仮説補正值  $K=0$ 、 $S=12.3$ )

[実証結果]

分類 1-2 の測定点を図 3-221 に、分類 1-1 と同様の手順で求めた伝搬損失  $L$  の距離特性を図 3-222 に示す。

図 3-222 に示すように、実測結果の近似曲線はエリア算出法の分類「郊外( $S=12.3$ )」より伝搬損失が少なく、特に距離 110m 以下の測定点では伝搬損失が少ない結果となった。また、距離が 110m 以上の測定点では郊外の補正值に近い伝搬損失となっている。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-221 分類 1-2 測定点

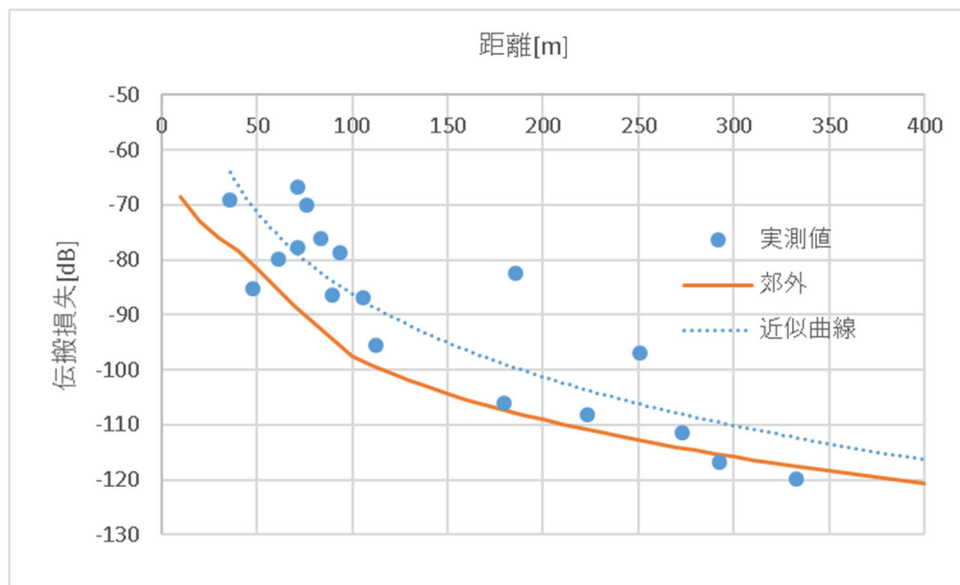


図 3-222 分類 1-2 伝搬損失の距離特性

[考察]

図 3-222 から距離 110m 未満では伝搬損失が少なく、距離が 110m 以上の測定点では郊外の補正值に近い伝搬損失となっている。

・ 110m 未満の測定点について

下記図 3-223 に基地局から 110m 未満の測定点から見た基地局方向の写真を示す。このように基地局が見通し状態なり郊外地より伝搬損失の少ない結果となったと考察する。

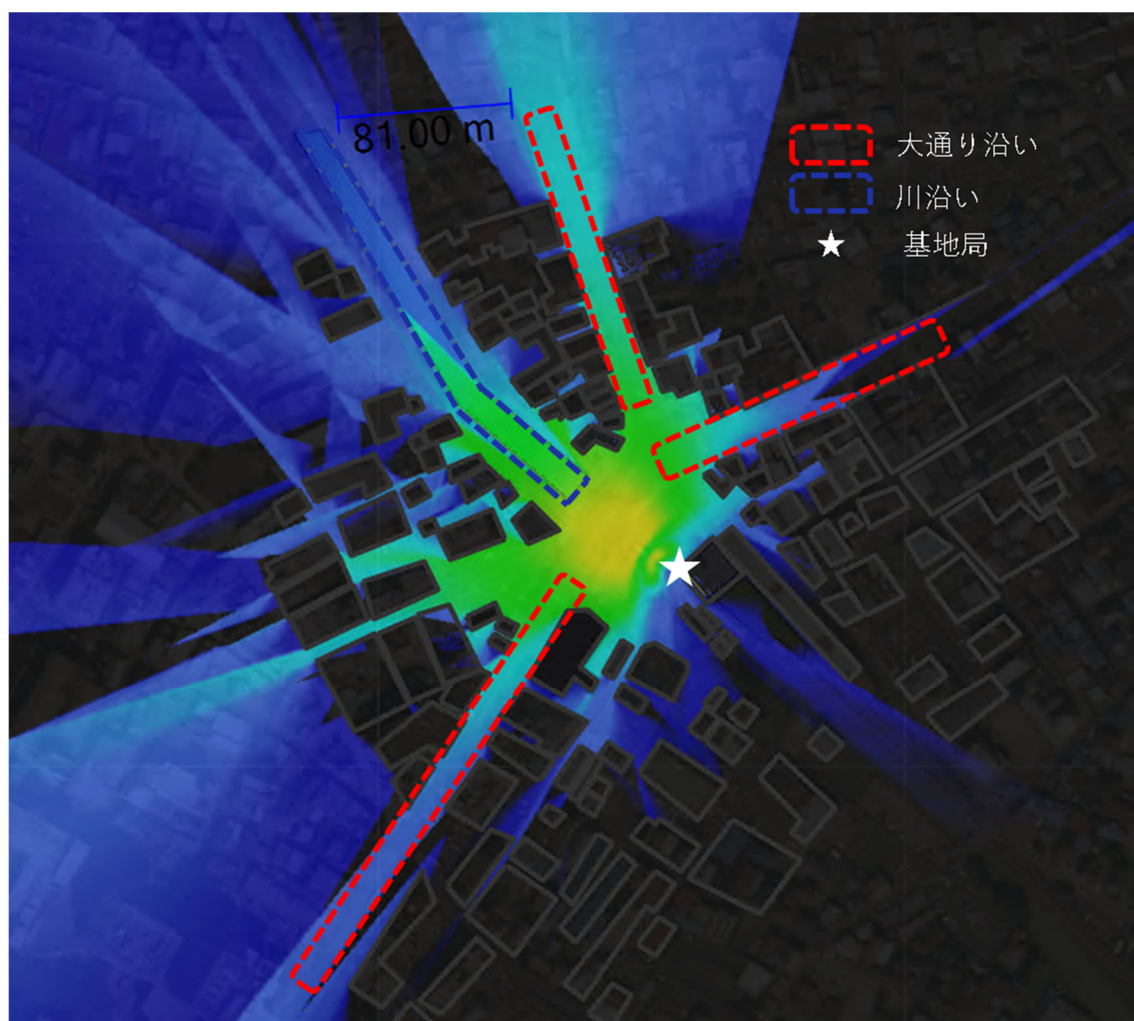
・ 110m 以上の測定点について

レイトレース法による電波伝搬シミュレーションの結果を図 3-224 に示す。このように基地局から放射された電波は建造物により大きく減衰し、建造物が無い方向へは伝搬距離が伸びていることがわかる。これはローカル 5G の使用周波数は直進性が強く、回折が少ない特性が顕著に表れていると考察する。

以上のことから道路幅の広い(概ね 20m)道路が存在する場合は、市街地相当のエリア(周囲に 2 階以上の建物が密集しているエリア)でも伝搬距離が伸びるため、郊外地の補正值を使用することが必要であると考察する。



図 3-223 分類 1-2 基地局までの見通し



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-224 レイトレース法による電波伝搬シミュレーション  
(上毛電鉄中央前橋駅周辺)

### 3) 分類 2 上毛電鉄中央前橋駅周辺 水路周辺(仮説補正值 $K=6$ 、 $S=12.3$ )

#### [実証結果]

分類 2 の測定点を図 3-225 に、分類 1-1 と同様の手順で求めた伝搬損失  $L$  の距離特性を図 3-226 に示す。図のように、基地局から水路沿い方向に 350m ほど測定を行った。

図 3-226 に示すように、実測結果の近似曲線はエリア算出法の分類「郊外( $S=12.3$ )、 $K=6$ 」に類似する結果となった。

#### [考察]

図 3-226 の実測結果のみに着目すると水路沿いの道路では  $K=6$  の補正值を使用することが実測結果に合致しているといえる。

ここで考慮が必要な事項として、分類 1-2 の実測結果近似曲線とエリア算出法(補正值  $S=12.3$ )の伝搬損失が異なることが挙げられる。図 3-227 に示すように分類 1-2(図中で「大通り沿い」と表記)の近似曲線と分類 2(図中で「水路沿い」と表記)では近似曲線に明確な差を確認することはできなかった。

この要因として考えられるのが水路の深さと形状であると考えられる。今回測定を行った水路は深さ 2m 以上であり、一般的な市街地では通常の水で溢れない深さにすること考慮すれば、通常の水面は見通し外になると考えられる。さらに今回の水路は 150m 付近から曲がっていく形状ため、測定点において水面が見通し外となるが多かったからである。一方、図 3-226 をよく見ると、測定点 6、7 の水路が曲がり始めた地点だけは実測値が高くなっており、この 2 地点は構造的に基地局から直線上に水面の反射波の影響があったと考えられる。水路全体を考えた時に、基地局から直線方向に水面がある場所はその影響があり、そうでなければ影響しないことが確認できた。

このため、本実証環境(図 3-228)のような幅 10m に満たない狭い水路の沿道では、多くの地点で水面が見通し外になるため、水路による影響は軽微であると考察する。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-225 分類 2 測定点

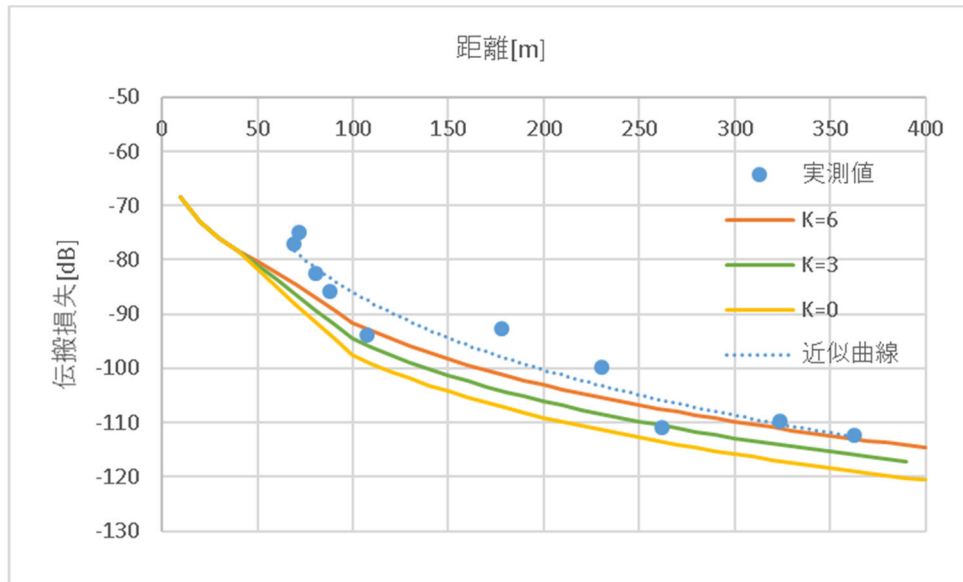


図 3-226 分類 2 伝搬損失の距離特性

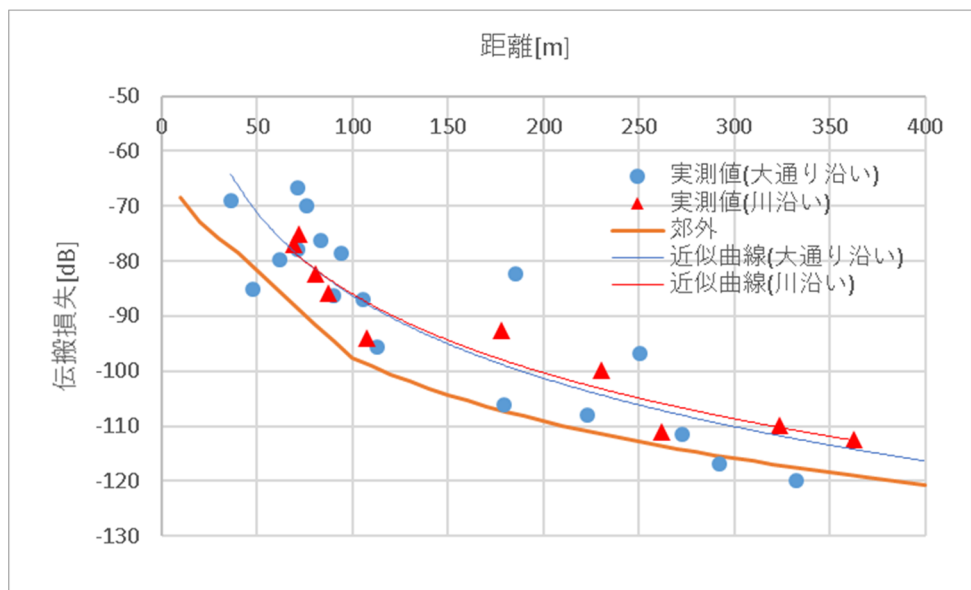


図 3-227 分類 2 水路沿いと大通り沿い伝搬損失の差



図 3-228 水路沿いの測定点イメージ

4) 分類 3 上毛電鉄中央前橋駅周辺 建造物密集エリア(仮説補正值  $K=0$ 、 $S=0$ )

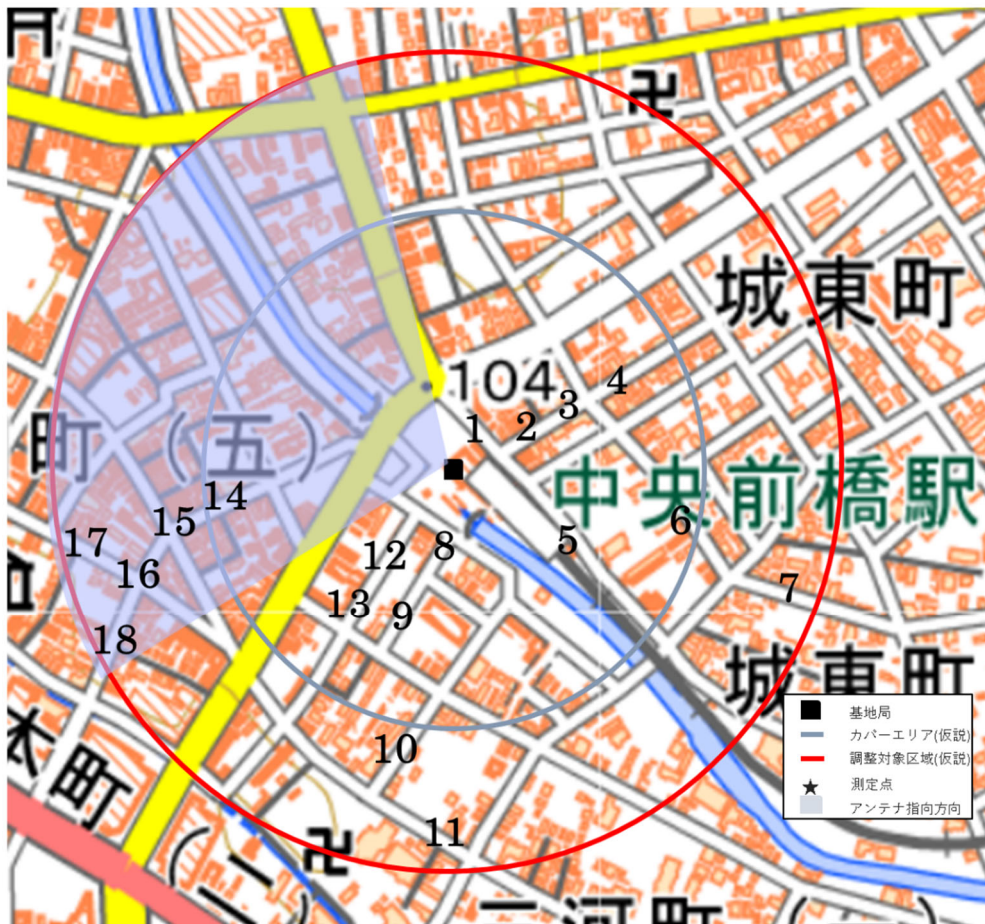
[実証結果]

分類 3 の測定点を図 3-229 に、分類 1-1 と同様の手順で求めた伝搬損失  $L$  の距離特性を図 3-230 に示す。

図 3-230 に示すように、分類 3 の測定点ではエリア算出法の式と比較し、実測値が大きく前後する結果となり、全体的に伝搬損失が少ない傾向であった分類 1~2 までと傾向が異なる結果となった。

[考察]

分類 3 では、他の分類に比べ近似曲線と実際の測定値の差異が大きいことから、バラツキが大きいと言える。これは、市街地のように建造物や細い道が複雑に入り組んだ環境では、単純に距離と伝搬損失の関係が成り立たず、近似曲線と実際の測定値に差異が生じたと考察している。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-229 分類 3 測定点



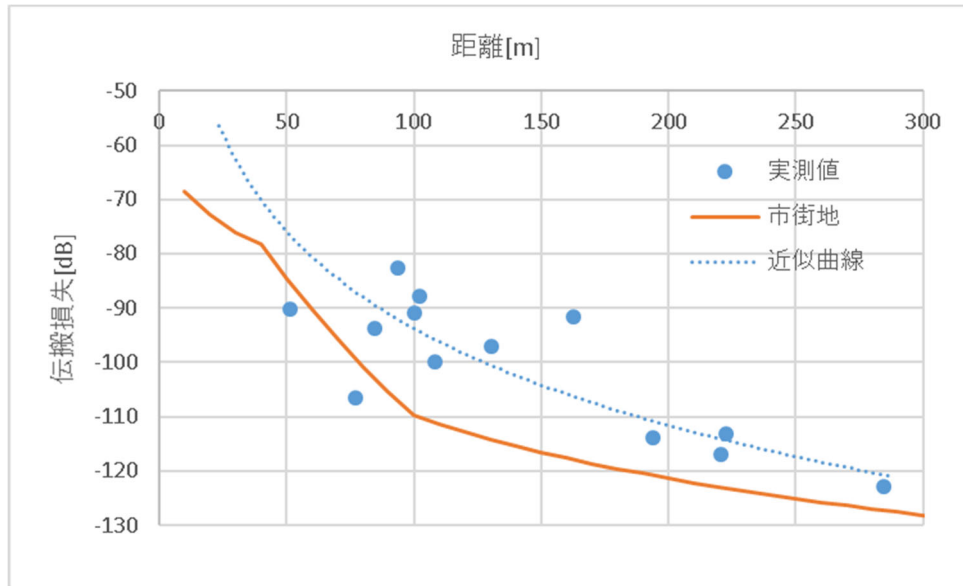


図 3-230 分類 3 伝搬損失の距離特性

5) まとめ

上記の考察を踏まえ、本実証環境での測定から導出した各補正值について報告を行う。

[補正值 K について]

- ・分類 2(上毛電鉄中央前橋駅 水路周辺)にて K 値の検証を行った。
- ・検証では分類 2 と道路幅や樹木の密集度が類似している分類 1-2(上毛電鉄中央前橋駅大通り沿い)の伝搬損失を比較した。
- ・水路が位置する場合、その水路の幅が 10m 未満の場合(本実証環境)は水面が見通し外となるため、水路による影響は軽微であり、K 値による補正は不要(K=0)と考える。

[補正值 S について]

- ・各分類の検証結果より下記 S 値の条件を提案する。

表 3-20 提案する S 値の条件

分類	条件	S 値
1-1 (CRANTS 試験路)	部分的に開放地相当の環境があるものの樹木や家屋が散在するエリア	「開放地」(S=32.5)
		※新たに S 値を導出する場合 開放と郊外の間補正值
1-2.上毛電鉄中央前橋駅周辺 大通り沿い 2.上毛電鉄中央前橋駅周辺 水路周辺	従来「市街地」と分類していた 2 階以上の建物が密集するエリアだが、幅の広い道路が直線状に存在するエリア	「郊外地」(S=12.3)

上記補正值 K と補正值 S の検証を踏まえ、各分類での精緻化後の補正值を下記表 3-21 に示す。

表 3-21 精緻化後の補正值

※赤字が仮説との差異が生じた項目

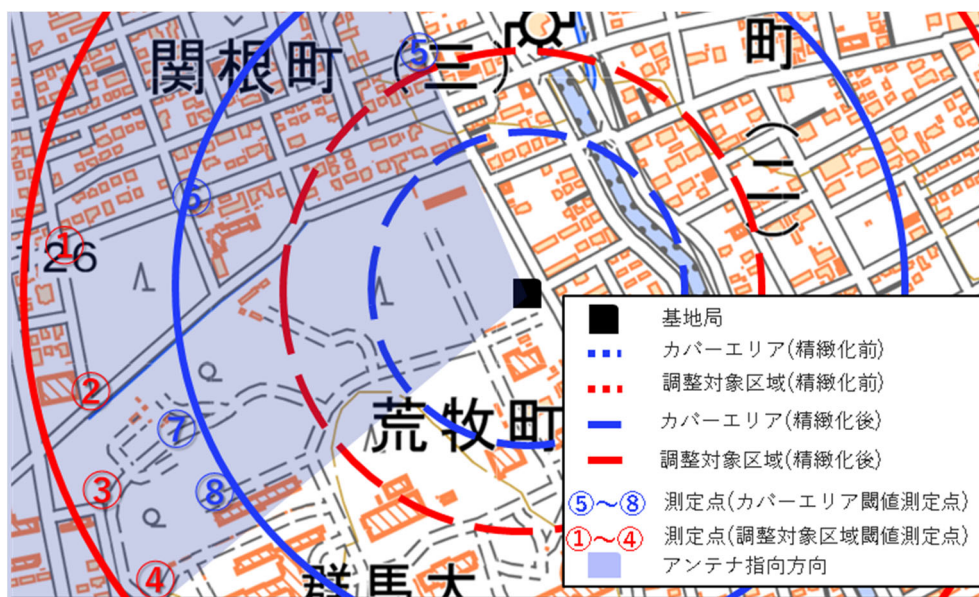
分類	実証環境	補正值 K	補正值 S	補正值 K	補正值 S
		仮説		精緻化後	
1	CRANTS 試験路	—	12.3	—	「32.5」または 「開放と郊外の間 補正值(新たに S 値を 導出する場合)」
	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (大通り沿い)				12.3
2	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (水路周辺)	6	12.3	0	12.3
3	上毛電鉄中央前橋駅周辺 (建造物密集エリア)	—	0	—	0

表 3-21 の補正值を用い、カバーエリアおよび調整対象区域を作図した。

CRANTS 試験路では測定値により近い値として S 値を「開放と郊外の間補正值 (S=22.4)」とした、これを図 3-231 に示す。

上毛電鉄中央前橋駅周辺では 3 分類した中で最も伝搬距離が長くなる K=0、S=12.3 を補正值とした。これを図 3-232 に示す。

図 3-231 および図 3-232 に示すよう、精緻化を行ったことで作図したエリア端と実際に閾値を測定した地点が、精緻化前と比較し近くなったことを確認した。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-231 精緻化後のカバーエリア(CRANTS 試験路)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-232 精緻化後のカバーエリア(上毛電鉄中央前橋駅周辺)

なお、上記のようにS値を補正した場合においても、全体的に伝搬損失が上振れしており、補正しきれなかったため、次項にて原因検証・考察を追加で行った。

## 1) 追加考察

1)~4)で示したように、本実証環境ではエリア算出用の値より少ない伝搬損失が実測されており、本項では参考として当該内容について追加考察を行う。

エリア算出法では受信電力を下記式で定義されているが、式中の「-8」の項は参考文献[1]から人体損失の項であると考えられる。参考文献[1]では受信アンテナを測定者が手で持った状態で測定を行っており、様々な測定方法で人体損失値の妥当性を検証しているが、本実証では受信アンテナは台車の上に固定しており、測定における人体損失は生じていない。

$$Pr = Pt + Gt - Lf + Gr - L - 8$$

L:各測定点の伝搬損失

Pr:帯域受信電力

Pt:送信電力

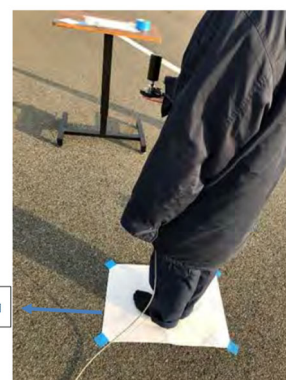
Gt:送信アンテナ利得

Lf:送信系の損失

Gr:受信アンテナ利得



本実証の測定系



参考文献での測定系

図 3-233 測定系による人体損失の有無

このため、各考察で求めた伝搬損失値に対し、人体損失相当の 8dB の損失を除いた値を求め直し、再度図 3-234~図 3-237 に各分類の伝搬損失の距離特性を示す。いずれの分類においても、近似曲線とエリア算出法の値が近くなっている。

同様に人体損失相当の 8dB の損失を除いた場合のカバーエリアおよび調整対象区域を作図した。これを図 3-238 および図 3-239 に示す。CRANTS 試験路では「郊外地(S=12.3)」、上毛電鉄中央前橋駅周辺では 3 分類した中で最も伝搬距離が長くなる K=0、S=12.3 を補正値とした。

精緻化を行ったことで作図したエリア端と実際に閾値を測定した地点が、精緻化前と比較し近くなったことを確認した。

ローカル 5G が使われる用途では、IoT を中心とした人体損失が生じない環境での利用が増えていくと考えられる。このため、ローカル 5G におけるエリア算出法においては、

人体損失の項は想定するシステムにより調整する必要があると考察する。具体的には柱等に固定された端末を使用する場合は、人体損失の項を0としエリア算出することが必要と考える。

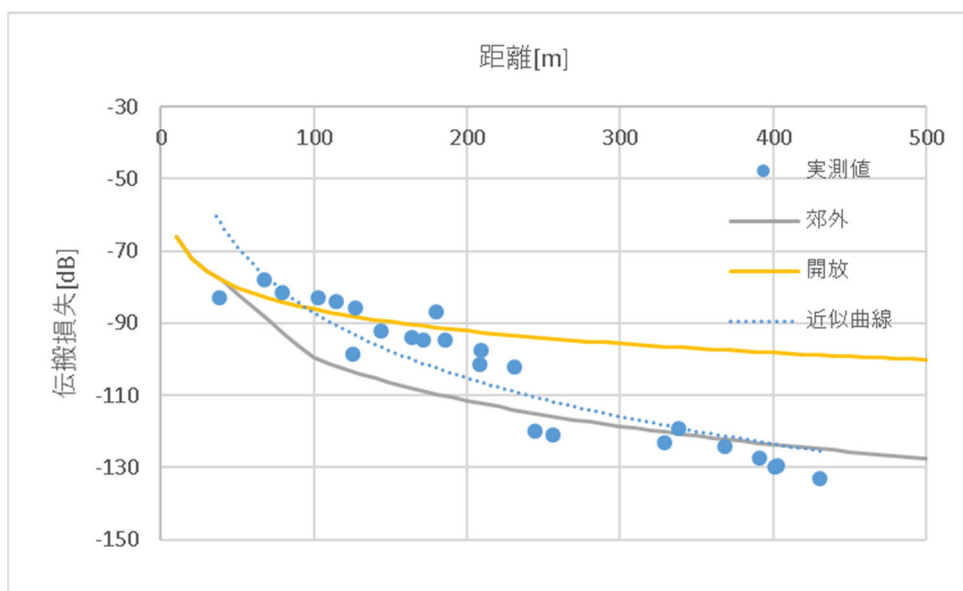


図 3-234 人体損失項を除いた伝搬損失の距離特性  
分類 1-1CRANTS 試験路

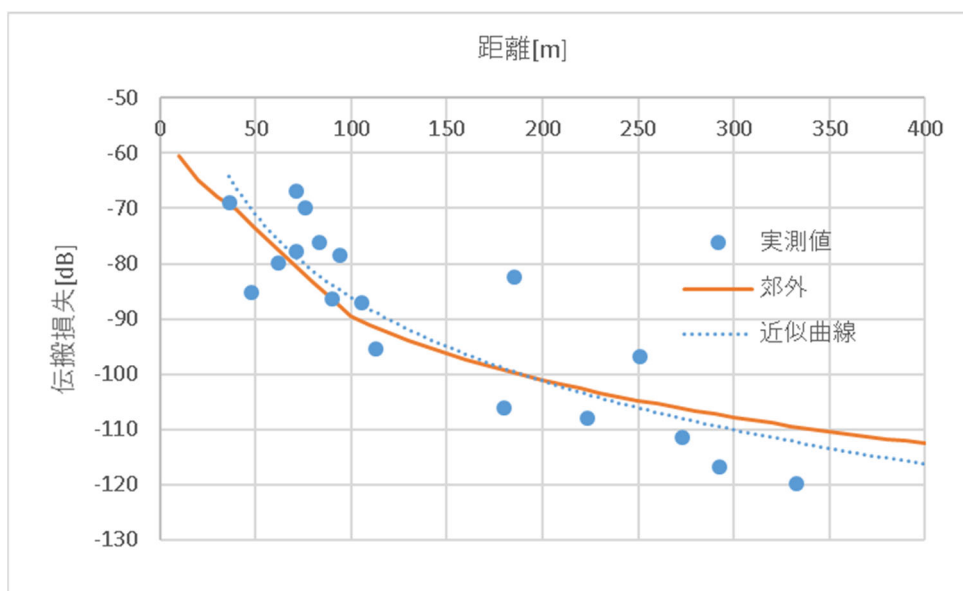


図 3-235 人体損失項を除いた伝搬損失の距離特性  
分類 1-2 上毛電鉄中央前橋駅周辺 大通り沿い

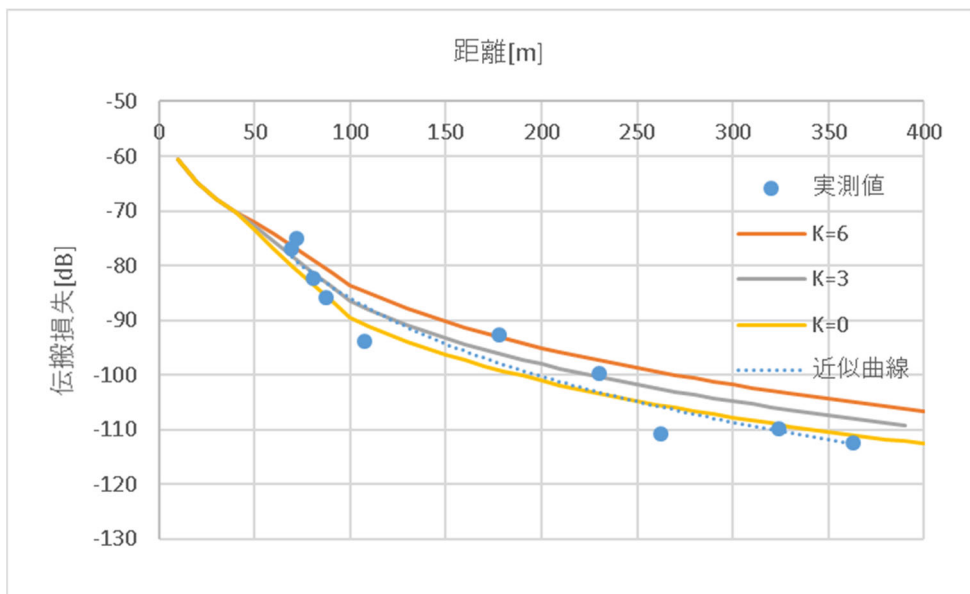


図 3-236 人体損失項を除いた伝搬損失の距離特性  
分類 2 上毛電鉄中央前橋駅周辺 水路沿い

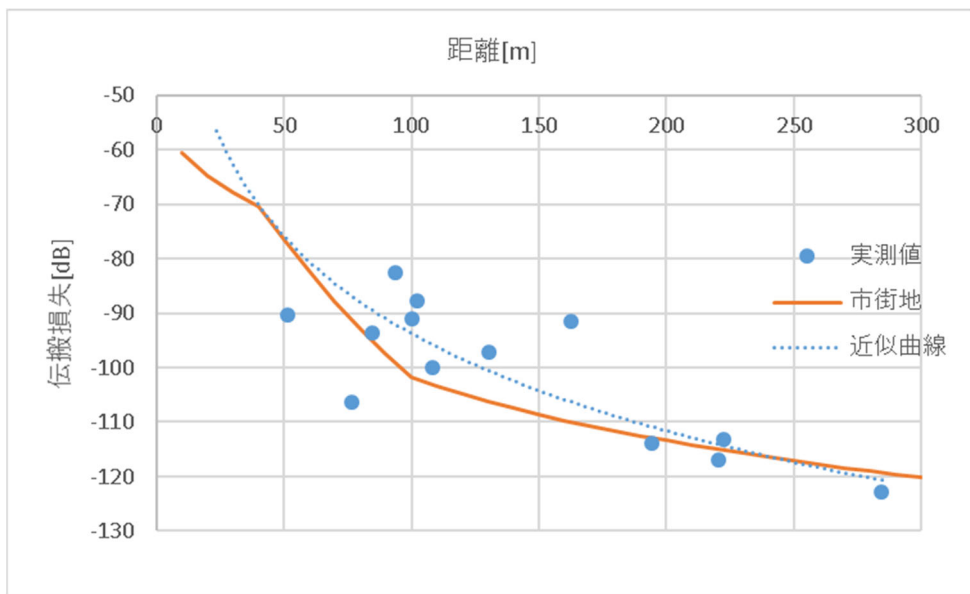
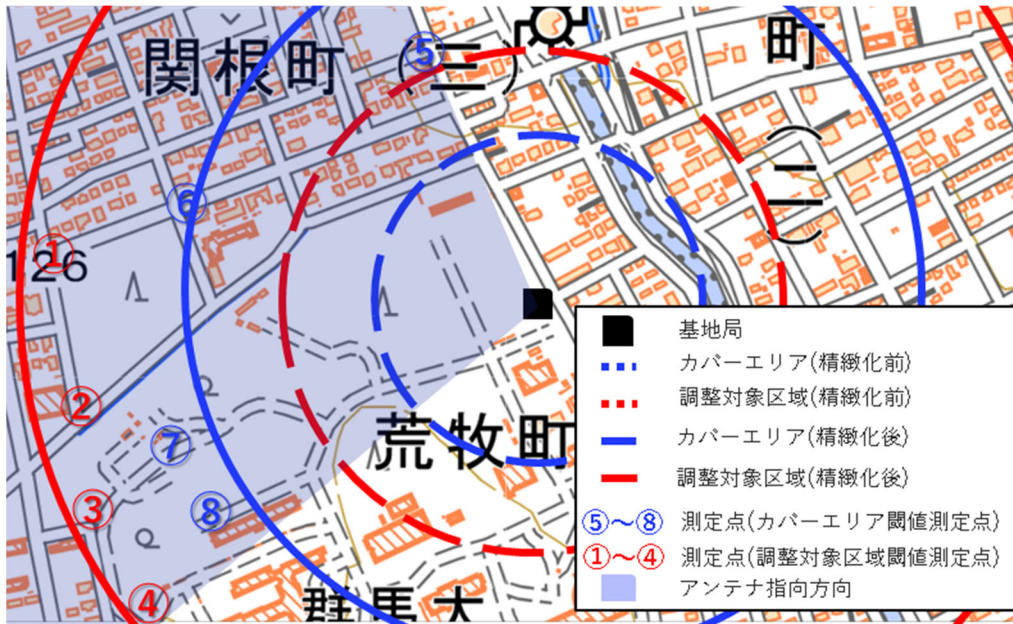


図 3-237 人体損失項を除いた伝搬損失の距離特性  
分類 3 上毛電鉄中央前橋駅周辺 建造物密集エリア



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-238 精緻化後(人体損失項を除外)のカバーエリア(CRANTS 試験路)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3-239 精緻化後(人体損失項を除外)のカバーエリア(上毛電鉄中央前橋駅周辺)

### 3.4 参考文献

[1]日本電気株式会社, 地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた 開発実証に係る観光・文化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 (MR 技術を活用した新たな観光体験の実現), サイト管理者:総務省,

URL[https://go5g.go.jp/sitemanager/wp-content/uploads/2021/05/%E4%BB%A4%E5%92%8C%EF%BC%92%E5%B9%B4%E5%BA%A6L5G%E9%96%8B%E7%99%BA%E5%AE%9F%E8%A8%BC%E6%88%90%E6%9E%9C%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8\\_No13\\_%EF%BC%AD%EF%BC%B2%E6%8A%80%E8%A1%93%E3%82%92%E6%B4%BB%E7%94%A8%E3%81%97%E3%81%9F%E8%A6%B3%E5%85%89%E4%BD%93%E9%A8%93%E3%81%AE%E5%AE%9F%E7%8F%BE.pdf](https://go5g.go.jp/sitemanager/wp-content/uploads/2021/05/%E4%BB%A4%E5%92%8C%EF%BC%92%E5%B9%B4%E5%BA%A6L5G%E9%96%8B%E7%99%BA%E5%AE%9F%E8%A8%BC%E6%88%90%E6%9E%9C%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%9B%B8_No13_%EF%BC%AD%EF%BC%B2%E6%8A%80%E8%A1%93%E3%82%92%E6%B4%BB%E7%94%A8%E3%81%97%E3%81%9F%E8%A6%B3%E5%85%89%E4%BD%93%E9%A8%93%E3%81%AE%E5%AE%9F%E7%8F%BE.pdf), 令和3年3月発行。”



## 4. ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

### 4.1 実証概要

本開発実証では、前橋市における令和4年度の上毛電鉄中央前橋駅 - JR 前橋駅間の自動運転バスの社会実装を目指し、走行環境が特に複雑である上毛電鉄中央前橋駅ロータリーをローカル5Gエリア化することで、自動運転バスの「複数台運用」、及び「遠隔監視・操作・操縦」を実現する。

ローカル5G活用モデルを実現するにあたり、既存の遠隔型自動運転のシステムに対して、ローカル5Gを活用した下記のソリューションを追加した。

表 4-1 ソリューションの概要

ソリューション (データ経路)	ソリューションの概要
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)	5Gの大容量通信の特性を活かして、情報密度の高い車載カメラの映像およびセンサー情報を遠隔管制室に伝送することで、遠隔監視・操作者の安全確認業務を支援する。
2 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の大容量通信の特性を活かして、路側にセンサーやカメラを設置してAI処理して遠隔管制室に伝送することで、車両の死角情報を補完し、遠隔監視・操作者の安全確認業務を支援する。

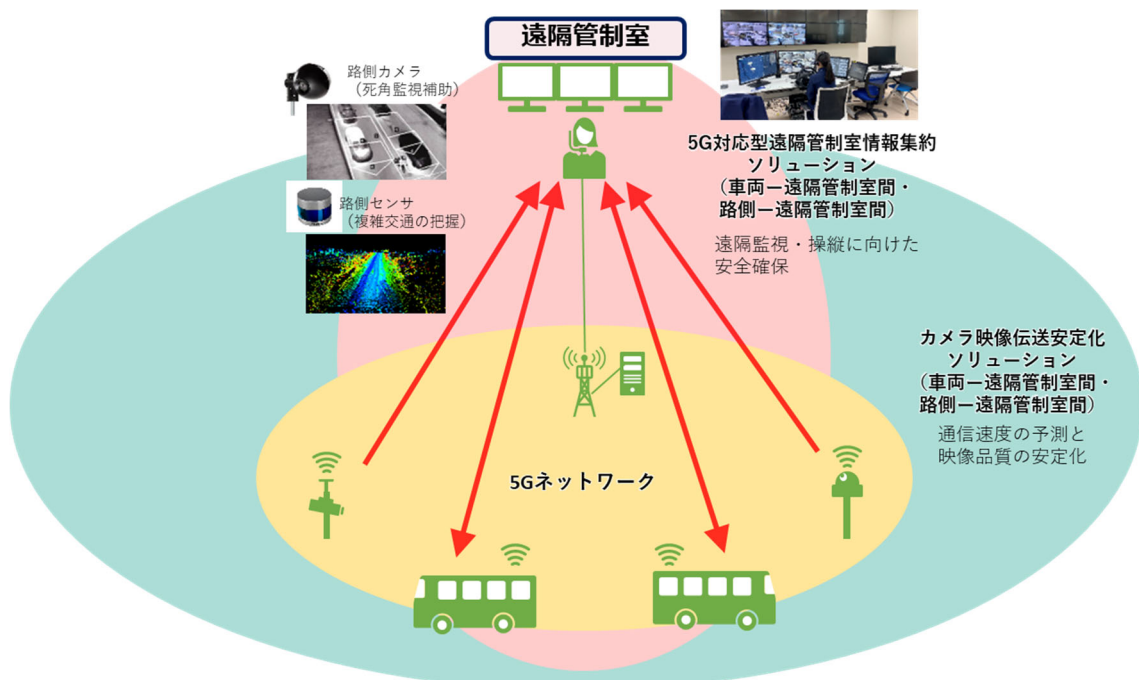


図 4-1 各種ソリューションのイメージ図

## 4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

実証地域となる群馬県前橋市では、公共交通による交通手段分担率では自動車が75%を占める一方、バスの分担率はわずか0.5%となっている。過度な自動車依存であるとともに、本市の免許保有率は約70%を超え、免許保有者に占める高齢者の割合も63.5%程度であり、高齢者による加害事故割合の増加などが懸念されている。

また、公共交通の課題として、郊外部では、JR前橋駅から放射上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、ダイヤがわかりづらく非効率であるといった点がある。更に、その利用者も年220万人程度で横ばい推移となっている。しかし、本市による委託路線数の増加や、コミュニティバスの追加等のサービス拡張が図られており、維持のための補助金額は過去20年で3倍に増加し、毎年3億円ほどとなっている。将来的な人口減少による市税収入減少が見込まれる中、現在のバス路線の維持が困難になることが予想されている。

あわせて、バス事業者は厳しい経営環境、労働時間の長時間化、大型二種免許取得者の減少、担い手の高齢化等を背景として、運転者の不足は全国的な問題となっている。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ている現状であり、地域の生活交通を支えるバス輸送の維持や、バス運転者の安定的な確保・育成は喫緊の課題となっている。

前橋市では持続可能な公共交通インフラの提供による地域課題の解決を目指し、その実現のために、令和4年度における遠隔型自動運転の社会実装を掲げている。

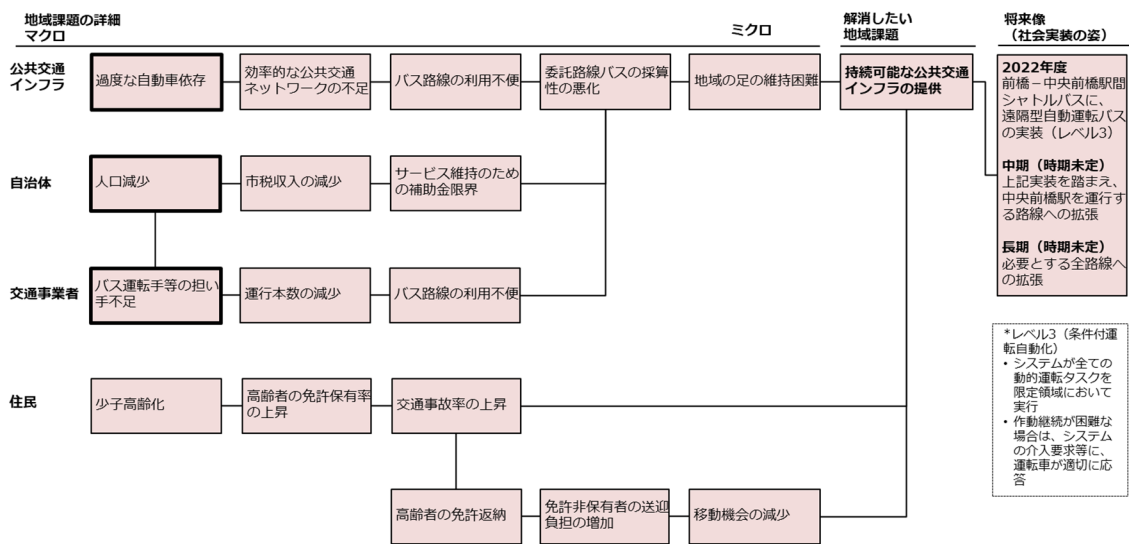


図 4-2 Why tree

#### 4.2.1 実装シナリオ

地域課題の解決に向け、前橋市では遠隔型自動運転バスの社会実装による地域住民の移動手段の確保、運転手不足の補完を目指しており、2022年度中の実装に向けて、上毛電鉄中央前橋駅 - JR 前橋駅のシャトルバス区間では、平成 30 年度より一般乗客を乗せ運賃収受が伴う形での走行検証と改善を重ねてきた。

上毛電鉄中央前橋駅の付近の遠隔型自動運転オペレーションを図 4-3、また、走行検証によって得られた複数の自動運転バス導入における課題を、表 4-2 に示す。課題のうち、遠隔監視・操縦管制の実施に向けては、LTE の通信規格では車両から遠隔管制室に伝送され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、遅延が生じるため実利用の要件を満たすことが出来ないといった課題が生じていた。そのため令和 2 年度においては 5 G を活用して自動運転バス 1 台に対し遠隔監視・操縦管制、路車間協調通信といった基本となるソリューション開発を行った。今年度においては、より現実的な社会実装の姿を見据え複数台のバスを監視するために必要なソリューションの開発を行った。

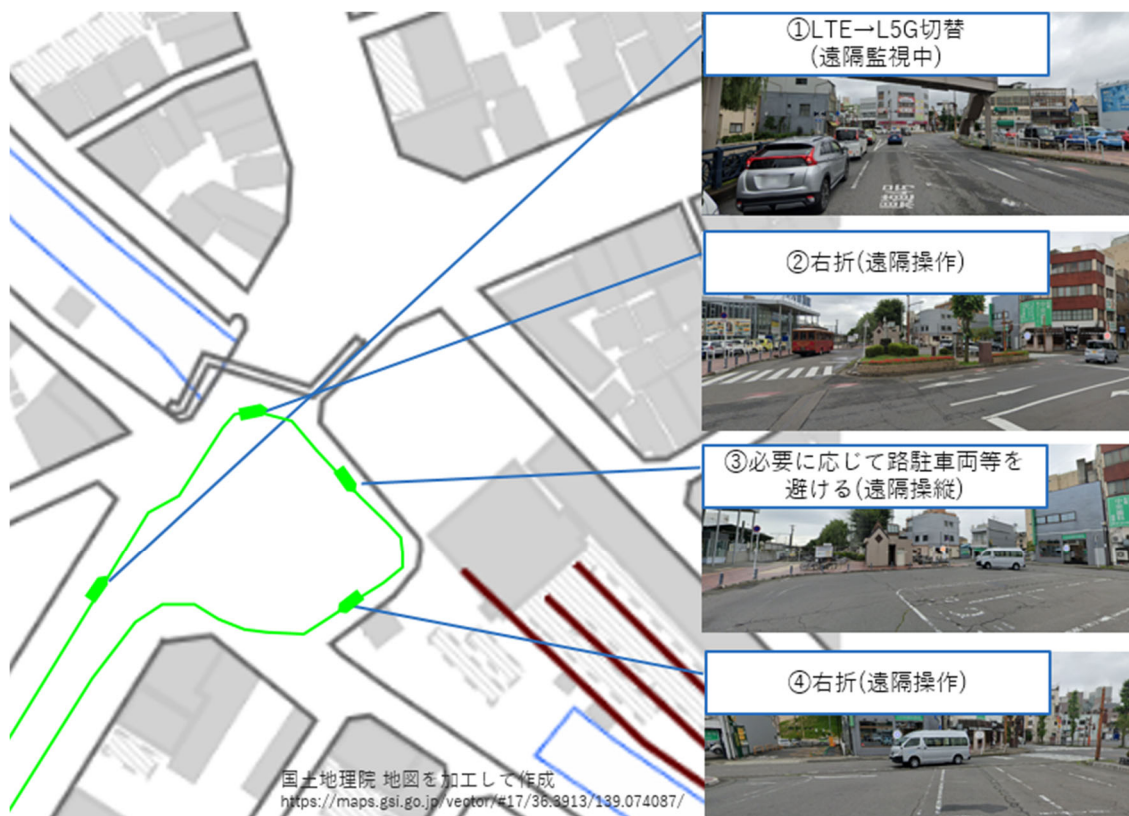


図 4-3 上毛電鉄中央前橋駅周辺の遠隔型自動運転オペレーション

表 4-2 自動運転バス導入における課題

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）

交通状況が複雑な上毛電鉄中央前橋駅のロータリー環境で遠隔型自動運転を実装するにあたっては、図 4-4 のような関係性が検討される。

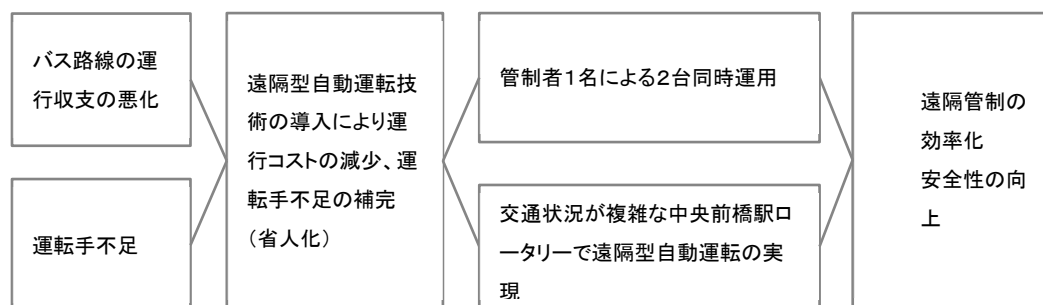


図 4-4 地域課題解決のためのソリューション課題

本課題を解決するにあたり、監視映像の高精度化や拡充、路側システムとの連携による安全性の向上が必要であり、以下の特徴を持つローカル 5 G の活用が必要であると考えられる。

- ・大容量通信
- ・低遅延通信
- ・専用回線化
- ・広い電波伝搬範囲
- ・エッジコンピューティング (MEC)

以上の背景課題、地域課題解決のためのソリューションが抱える課題等を整理し、図 4-5 に社会実装に向けた課題とローカル 5 G を活用した対策の関係を示す。あわせて、活用するローカル 5 G の特性も併記する。

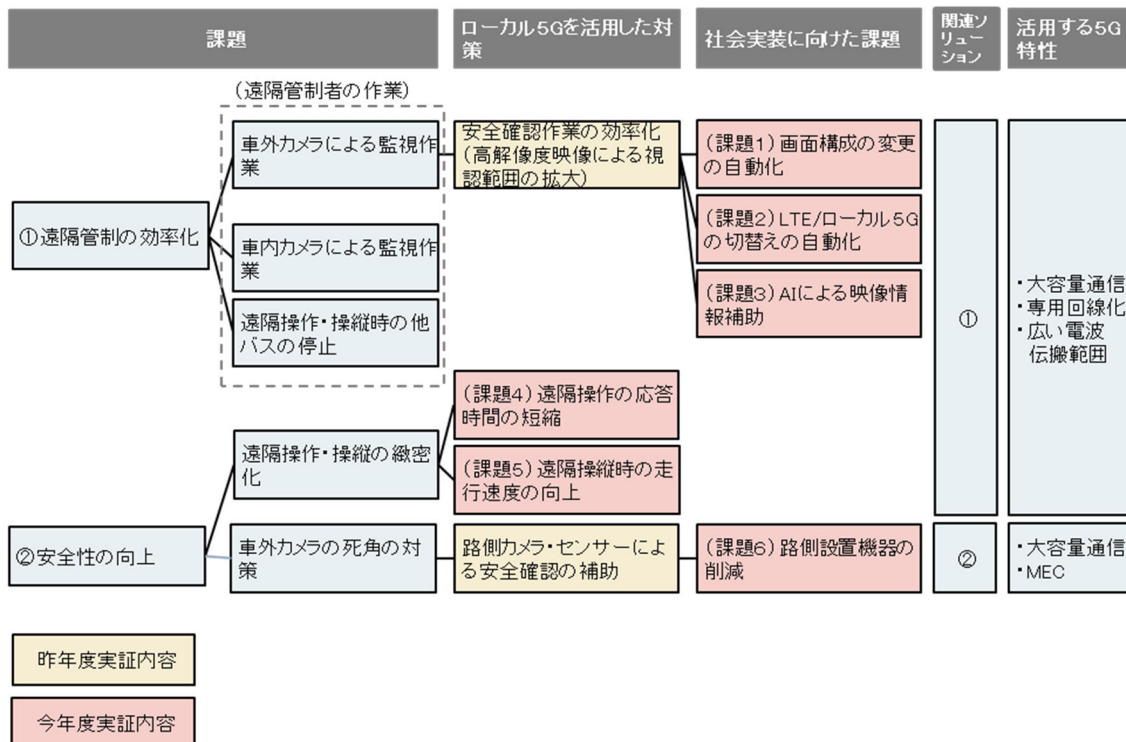


図 4-5 issue tree

上記の課題の対策を検証するにあたり、実際に上毛電鉄中央前橋駅にローカル 5 G を設置し、実装に即した検証の実施やソリューションを実現するためのシステムの構築を推進する。

下記にローカル 5 G を活用した遠隔型自動運転の社会実装までの方向性及びこれまでの実績も踏まえた検討事項ごとのステップを示す。

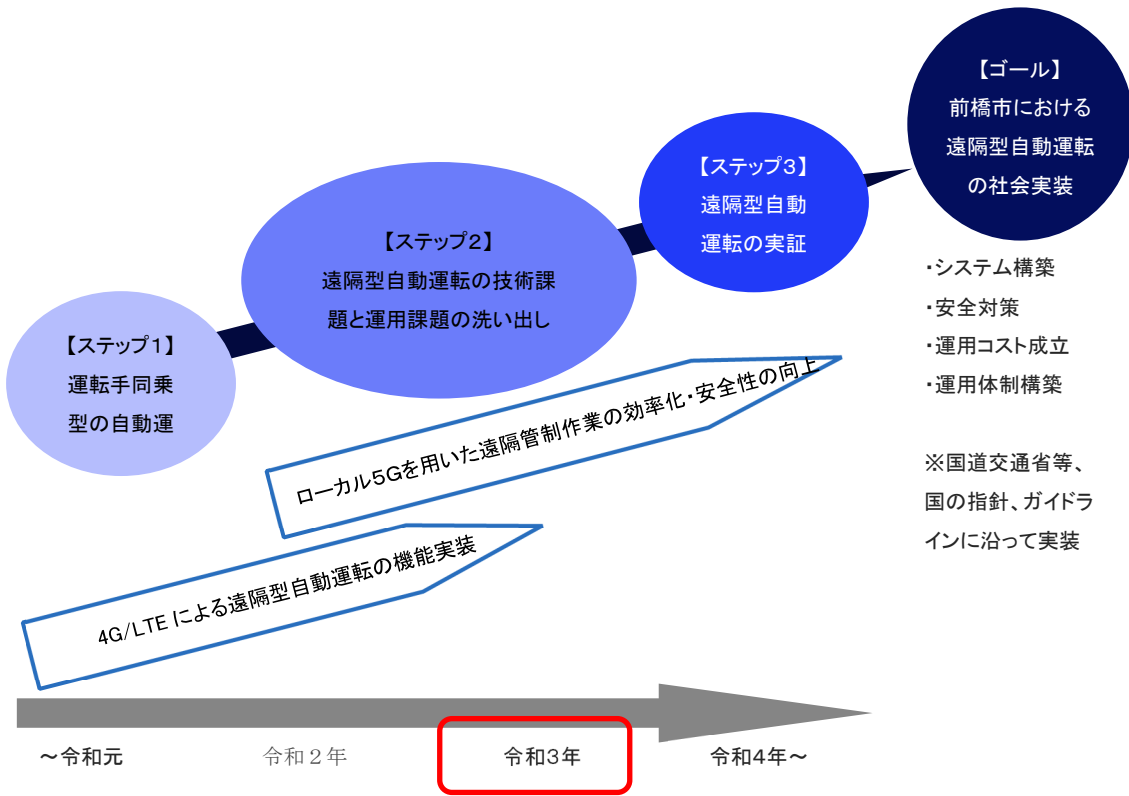


図 4-6 社会実装に向けたステップ

	H 3 2	R 1	R 2	R 3	R 4 ~
	技術実証 (市民乗車、通常路線)	技術実証 (市民乗車、通常路線、複数台運行)	実証事業 (L5Gによる安全性向上)	実証事業 (L5Gによる安全性向上と複数台運行)	社会実装
自動運転技術	L2緑ナンバーでの運行に対応した技術開発	2台同時運行対応ならびに遠隔型想定運用(LTE)	5G対応型ソリューション開発 (主に1台)	5G対応型ソリューション開発(複数台)	L3緑ナンバーに向けた技術開発と各種手続き
ODDへの対応 (道路条件、地理条件、環境条件、その他条件)	L2運用。L3以上運用で想定されるODDの見極めのための実験。長期間運用実験(3か月強)	L2運用。複数台運用時の想定されるODDの見極めのための実験	L2運用。5G利用によるODDに対する影響の見極めのための実験	L2運用。複数台運用時の5G利用によるODDに対する影響の見極めのための実験	前年度までの見極めを基にL3運用のためのODD定義と設定手続き
ステークホルダー調整	所轄警察、道路管理者、住民説明会の実施。前橋市と日本中央バス、群馬大学で協定締結	H32に加え、路線延伸(中央前橋-前橋駅-ケヤキウォーク)所轄警察、道路管理者、施設管理者との協議	H32に加え、路側物を実験期間設置に伴う所轄警察、道路管理者との協議	R2に加え、路側物の長期間設置に伴う所轄警察、道路管理者との協議	L3運用に伴う、所轄警察、道路管理者との調整。地域交通会議での協議
社会受容	地域市民が自動運転バスを移動手段として利用	地域市民のニーズに応じた延伸に自動運転バスが対応	新技術検証と一般市民乗車実施	新技術検証と一般市民乗車実施	運転席無人での自動運転バスを移動手段として利用いただく
国の方針等を踏まえた安全性対策	L2運用のための各ガイドラインに沿った安全対策の実施	遠隔型自動運転を想定した各ガイドラインに沿った安全対策の実施	L3運用を見据えた安全対策の検討	L3運用を見据えた安全対策の検討	L3運用のための各法律、ガイドラインに沿った安全対策の実施
ハード面の改修	L2用自動運転バスの構築	L2用自動運転バスを2台導入および遠隔型自動運転対応	5G対応機器の搭載	5G対応機器の改修及び道路環境の改善検討	L3認証の取得に必要な機器の搭載及び道路環境の改善

表 4-3 社会実装に向けた検討項目ごとの整理

#### 4.2.2 昨年度の課題と継続対策

令和2年度は試験路内にローカル5Gを設置して技術的な検証を実施したが、試験路脇に存在する植樹の影響により電波伝搬品質が低下してカメラの映像の伝送が不安定となる問題を検出した。そこで今年度の実証実験としては、社会実装を推進するためにローカル5Gの設置場所である中央前橋駅に実際にローカル5G基地局および遠隔型自動運転システム環境を構築して自動運転バスの「複数台運用」、及び「遠隔監視・操作・操縦」の実現性の検証を方針とする。あわせて、民間投資により開発した「カメラ映像伝送安定化ソリューション」の提供ソフトウェアを用いて、ローカル5Gの通信が不安定な状況においても安定的にデータ伝送を可能とする技術の検証を前述の通り構築した環境を活用し、民間投資により実施した。

また、遠隔型自動運転の安全性の向上において、カメラ映像の伝送およびその映像をAI解析する際に発生する遅延時間の短縮が非常に重要であり、カメラ映像伝送低遅延化ソリューションとして、カメラ映像の伝送およびAI解析の最適化の手法を検証する。

下記にソリューションと実証実験の場所の関係について示す。

表 4-4 ソリューションと実証実験場所の関係性

ソリューション (データ経路)	ローカル5Gを使用した実証実験の場所	
	令和2年度	令和3年度
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)	試験路	試験路および中央前橋駅 (1:2運行)
2 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)	試験路	試験路および中央前橋駅 (1:2運行)
3 カメラ映像伝送安定化ソリューション (車両-遠隔管制室間)	—	中央前橋駅 (1:2運行)

#### 4.2.3 実証目標

下記、表 4-5 に本ソリューションを適用することにより実現したいシステムの目標値を示す。

表 4-5 ソリューションによる目標値

ソリューション (データ経路)	目標値	理由
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)	1. 遠隔監視の画面構成を状況に応じて自動で切り替えることにより、遠隔管制業務における安全確認時間が30%以上低減すること。	遠隔管制業務を複数台同時に実施するにあたり、自動運転車両が安全確認ポイントに到達した際に、他の自動運転車両を減速もしくは停止させることなく継続して走行させるためには安全確認時間の低減が必要であるため。(低減できればできるほど良いが、現在の技術によって実現できる現実的な目標値を設定した)



	<p>2. LTE とローカル 5 G のネットワークを自動で切り替えることにより、切替ポイントにおける映像途絶割合が 0%を達成すること。</p>	<p>遠隔管制業務において、LTE とローカル 5 G でネットワークを切り替えに時間が掛かるとその間に安全確認ができなくなるため。</p>
	<p>3. AI による映像情報補助機能により遠隔オペレーターの業務負荷が軽減されること。</p>	<p>遠隔管制業務を複数台同時に実施するにあたり、遠隔オペレーターの業務負荷を軽減する必要があるため。 遠隔管制業務の補助機能であるため定性的に評価する。</p>
	<p>4. ローカル 5 G を用いた遠隔操作の指令に対して車両が反応するまでの時間が 0.2 秒以内を達成すること。</p>	<p>遠隔操縦作業において安全面の観点から緻密性が必要となるため。(目標値はゼロに近いほど良いが、実験路線の制限速度 40km/h と自動運転の目標速度 20km/h 前後の差異から、人間が制限速度で走行する際制動距離より自動運転の制動距離が十分小さくなる反応時間として現実的な値を設定した)</p>
	<p>5. ローカル 5 G を用いた遠隔操縦において車両の平均速度が LTE に比して 20%増大すること。</p>	<p>遠隔操縦が必要なシーンが発生した際にも、短時間で作業を完了させることにより運行ダイヤへの影響を低減するため。走行速度は遠隔オペレーターの操縦能力に依存するため LTE との比較で検証する。(目標値は増大量が大きいほど良いが、過去の研究により想定される画質や遅延などが、車両の速度増大に影響される結果をもとに、現実的な値を設定した)</p>

<p>2 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>カメラからの映像データの取得、ローカル5Gを用いた映像データの伝送とAIによる視認補助情報付加の合計時間が平均2秒以内を達成すること。</p>	<p>本ソリューションは遠隔監視者が安全確認の補助として最短で30m先の移動体を確認する用途であり、中央前橋駅における法定速度が40km/hであるため2秒前の状況を確認できれば目的を満たす。</p>
<p>3 カメラ映像伝送安定化 ソリューション (車両-遠隔管制室 間)</p>	<p>ローカル5Gネットワークの通信品質が低下した際にも安定的に映像データを伝送して遠隔監視の業務を継続できること。</p>	<p>遠隔型自動運転システムにおいてカメラ映像を取得できることが前提となっており、通信品質が低下しても映像データを継続して伝送できることが安全確保の観点からも重要であるため。 通信品質に応じて映像の圧縮率を変更する技術であるため、遠隔オペレーターの視点から定性的に評価する。</p>

#### 4.2.4 遠隔型自動運転システムの安全確保の考え方

当コンソーシアムで目指す、遠隔型自動運転システムの安全確保の考え方について説明する。現時点で実現できる安全対策の手法として下記が存在する。

- ・ 遠隔管制者による車外カメラと路側カメラを使用した監視、停止指示
- ・ エッジコンピューティング(MEC)を用いて路側カメラの映像解析による情報を車両制御システムに直接伝達して停止を判断する。
- ・ 車載センサーを用いた自律制御による停止

下記に示すように、それぞれの手法に利点・欠点があるため、補完しあいながら安全性を高める必要がある。

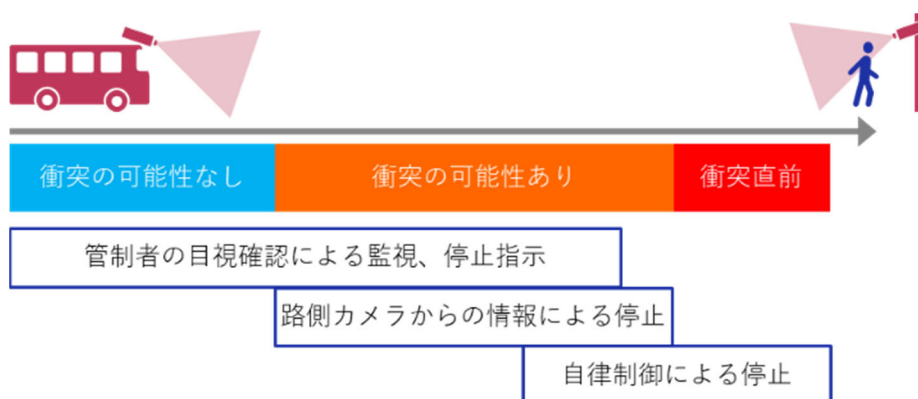
表 4-6 安全確保に関する利点・欠点

	情報源	利点	欠点
管制者	車載カメラ・センサー 路側カメラ・センサー	・ 様々な状況に臨機応変に対応可能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ カメラ映像による状況把握のため大容量通信が必要</li> <li>・ 属人性が強い</li> <li>・ 即時性が低い</li> </ul>

MEC	路側カメラ・センサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>カメラを適切に配置することにより車両の死角領域を捉えられる</li> <li>即時性が高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>予測可能な状況しか対応できない</li> <li>低遅延通信が必要</li> </ul>
自律制御	車載センサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>即時性が高い</li> <li>通信が不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>車載センサーから死角領域がある</li> <li>緊急停止の場合、バスの乗客に危険がおよぶ可能性がある</li> </ul>

ここで MEC による安全対策については自律制御と同等の即時性が求められるため、ローカル 5 G の特性である低遅延通信とネットワークエッジにおけるコンピューティングを活かしつつ、更にカメラの映像解析に掛かる時間を短縮する必要がある。

図 4-7 衝突までの時間に対する安全対策のイメージ



### 4.3 実証環境

実証する自動運転バスの走行経路とソリューションが利用するカメラの設置位置、撮影範囲を示す。

< 試験路環境 >

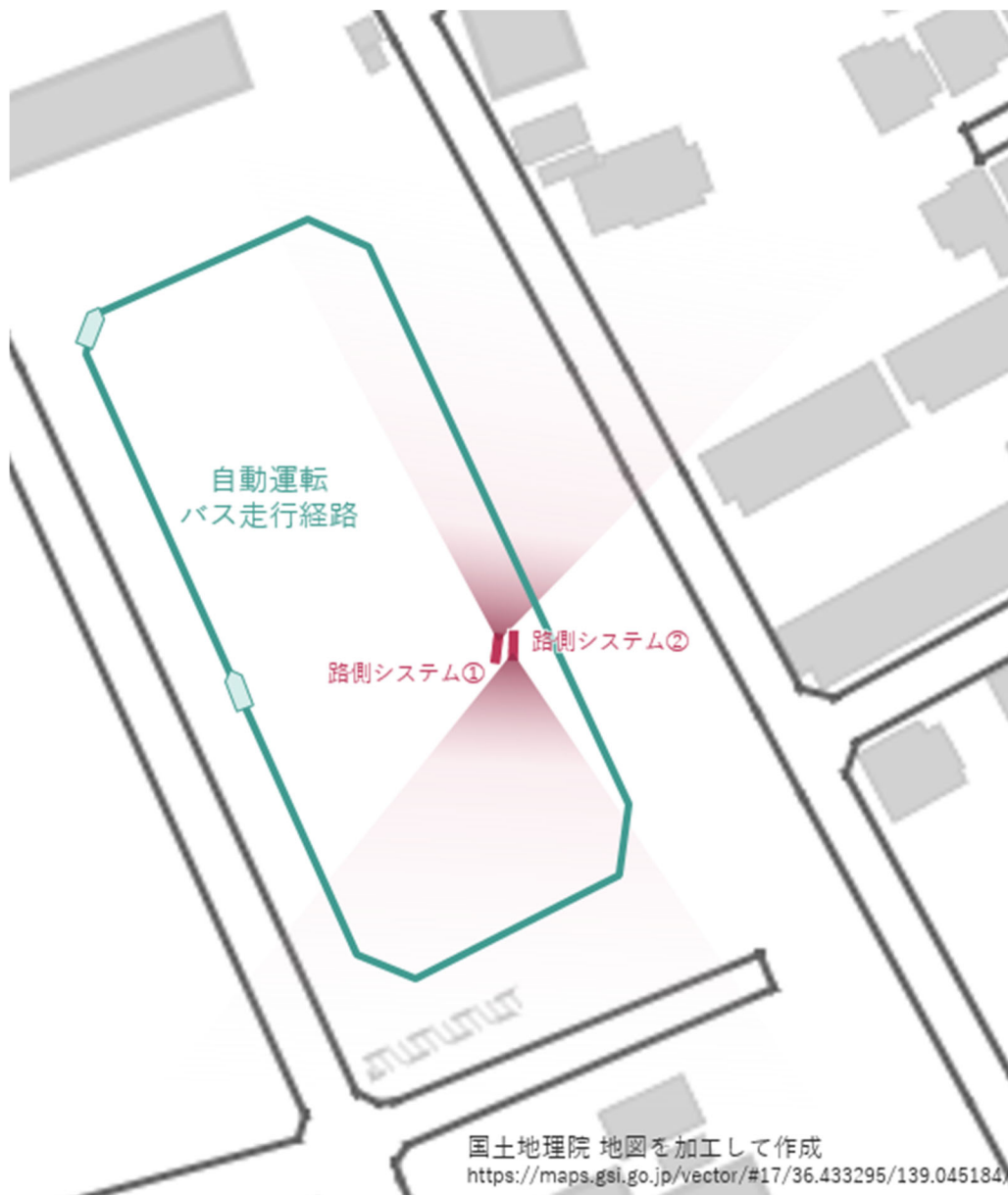


図 4-8 カメラの設置位置と撮影範囲（試験路）

<公道実証環境>

実証する自動運転バスの走行経路とソリューションが利用するカメラの設置位置、撮影範囲を示す。



図 4-9 カメラの設置位置と撮影範囲（公道）

#### 4.4 実証内容

本開発実証事業について、4.2 で整理した課題、及び対応するソリューションを表 4-7 に記す。

表 4-7 課題と対応するソリューション

No	ソリューション	課題番号	内容	実証分類
①	5 G 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)	1	画面構成の変更の自動化	基本実証
		2	LTE/ローカル 5 G の切替えの自動化	
		3	AI による映像情報補助	
		4	遠隔操作の応答時間の短縮	
		5	遠隔操縦時の走行速度の向上	
②	5 G 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)	6	路側設置機器の削減	基本実証
③	カメラ映像伝送安定化ソリューション (車両－遠隔管制室間)	7	通信速度の予測と映像品質の安定化	民間投資による独自の実証

1. 5 G 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)  
(課題)

令和2年度に実施したプロジェクトの遠隔管制センターから車両情報集約を担う5 G 対応型遠隔管制室情報集約ソリューション (車両－遠隔管制間) にて、遠隔型自動運転に必要な複数の車載カメラに対して、プリセットされたいくつかの画面分割パターンを遠隔管制室にて切り替え可能にする機能を検証した。また、複数回線 (例えば LTE/ローカル 5 G) で伝送された映像を切り替えるため、遠隔管制室に映像の切り替えを行う装置を取り付け、必要に応じてオペレーターが切り替える機能も検証した。

この環境で実験を実施した結果、次のような課題が明らかとなった。

1. プリセットされた映像構成が、遠隔から監視するシーンに対して必ずしも最適ではなく、車両の運行の安全を確認するのに無駄な時間を生じている。
2. 通信回線の切り替えが手動であるため、LTE とローカル 5G の切り替え時に必ず操作が生じ、無駄な時間を生じている。
3. 常に映像すべてを注視していることは容易ではなく、危険が予見される情報を補助してくれるような機能がほしい

上記の課題は、いずれも遠隔型自動運転における1人のオペレーターの限界運用車両台数を少なくしてしまうため、技術的に解決することで、安全性や効率性の向上、運用コストの削減につながることを期待できる。

また、遠隔型自動運転では、自動運転車両を遠隔オペレーターが監視するだけでなく、必要に応じて自動運転システムに対して操作や操縦を行う機能を有する必要がある。ここで、操作については、何かしらの車両の運動に対して、タッチパネルのスイッチ操作

などでまとめて指示が行えるものを指し、操縦については、ハンドルアクセルブレーキなど、通常の車両に対してドライバーが入力を加える方法と同様に行えるものを指す。通常は自動運転で走行するが、自動運転システムが必要に応じて遠隔オペレーターのサポートを受けることができる構造とすることで、柔軟性の高い運用を可能とするのが遠隔型自動運転の特徴である。現在、公道にて遠隔で操作や操縦を行う場合、遠隔オペレーターがドライバーとしての役割を担うことと、操作や操縦を安全に行うことができることの審査を警察庁で実施されることがガイドラインに定められていることから、令和2年度に実施したプロジェクトでは評価対象から外していた。

#### (解決手法)

そこで、「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）」の課題実証では、これらを技術的に解決する以下の機能を実現し、その評価を実施する。

【課題1】 遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能の開発

【課題2】 LTE/ローカル5G対応自動映像切替機能の開発

【課題3】 AIによる映像情報補助機能の開発

【課題4, 5】 5G対応型遠隔操作・操縦機能

#### 【課題1】 遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能の開発

##### (解決手法1)

遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能は、これまでプリセットされた画面構成を遠隔オペレーターが手動で適宜切り替えを指示していた構造を見直し、自動運転システム側から、現在の状況を判断し、必要な画面構成を自動で組み立て、映像構築装置に指示するシステムを実現する。また、映像構築装置は、映像を自動運転システムの指示に合わせて柔軟に組み立て可能な機能を実現する。

##### (実現目標1)

必要な画面構成を自動で組み立て、映像構築装置に指示するシステムと、映像を自動運転システムの指示に合わせて柔軟に組み立て可能な機能を実現する映像構築装置についてその機能が有効であることを評価する。また、LTEを用いた場合とローカル5Gを用いた場合で比較して安全確認時間が30%以上の低減効果があることを評価する。また、これらの機能を公道にて自動運転で運用し、1日の運行において100%稼働を達成する。

#### 【課題2】 LTE/ローカル5G対応の自動映像切替装置の開発

##### (解決手法2)

LTE/ローカル5G対応自動映像切替装置は、これまで、LTEとローカル5Gの通信回線それぞれで送られてきた映像を通信の状態によって遠隔オペレーターが適宜手動で切り替えを行っていた構造を見直し、車両の位置情報などから、LTE、ローカ

ル5 Gそれぞれの現在の通信状態を推定し、自動で映像を切り替えるシステムを実現する。

(実現目標 2)

車両の位置情報などから、LTE、ローカル5 Gそれぞれの現在の通信状態を推定し、自動で映像を切り替えるシステムの機能が有効であることを評価する。試験路を複数回走行し、映像を切り替えることで映像の途絶割合 0%を達成する。また、この機能を公道にて自動運転で運用し、1日の運行において100%稼働を達成する。

### [課題 3] AIによる映像情報補助機能の開発

(解決手法 3)

AIによる映像情報補助機能は、これまでは車載カメラの映像を映像構築装置によって定義・切替え・組み立てを行ったものをそのまま遠隔管制室の映像表示装置に表示させていたが、映像構築装置にAIを組み込むことで、歩行者や対向車など、各走行シーンで危険となり得る障害物に対して強調表示を行う。

(実現目標 3)

歩行者や対向車など、各走行シーンで危険となり得る障害物に対して強調表示をする機能が有効であることを評価する。試験路におけるオペレーターへのヒアリング調査で強調表示がオペレーターの負荷軽減となっていることを評価する。また、この機能を公道にて自動運転で運用し、1日の運行において100%稼働を達成する。

### [課題 4, 5] 5 G対応型遠隔操作・操縦機能

(解決手法 4, 5)

5 G対応型遠隔操作・操縦機能は、遠隔型自動運転に必要な、遠隔操作、操縦に対してローカル5 Gを適用するものである。ローカル5 Gを使用することで、駅ロータリー周辺の混雑エリアでの遠隔操作・操縦において、キャリア網のような突発的な輻輳の影響を受けにくくなる。また、より低遅延に車両に対して遠隔オペレーターの操作や操縦を伝達することで、より円滑で安全な運行につながることを期待できる。公道での実験は警察庁のガイドラインに従い審査が必要となるため、今年度については試験路での課題評価を行うこととする。

(実現目標 4, 5)

ローカル5 Gを介して遠隔管制室から車両に必要な遠隔操作・操縦を行い、機能が有効であることを評価する。また、試験路を走行して遠隔操作を行い、車両が反応するまでの時間を0.2秒以内、遠隔操縦を行った際の平均速度がLTEに比して20%増大することを評価する。(参照：表 4-5 ソリューションによる目標値)

(実証システム)

本課題実証における実証システムは、下図の赤色で示す部分が新規機能となる。

映像構築装置はこれまではプリセットされた分割画面しか表示することができなかった



が、新たな装置では、外部からの指示により任意のカメラ選択と分割画面を構築できるようにした。また、これまでは遠隔管制室からプリセットされた分割画面の表示指示を行っていたが、今回は、自動運転システムより得られる位置情報などから、最適となるカメラ選択と分割画面を判断し、映像構築装置に指示できるようにした。

また、遠隔管制室の映像表示においては、これまではLTEとローカル5Gの映像の切り替えを手動にて行っていたが、今回は、自動運転システムから得られる位置情報などから、自動的に最適な映像に切り替える機能を実装した。

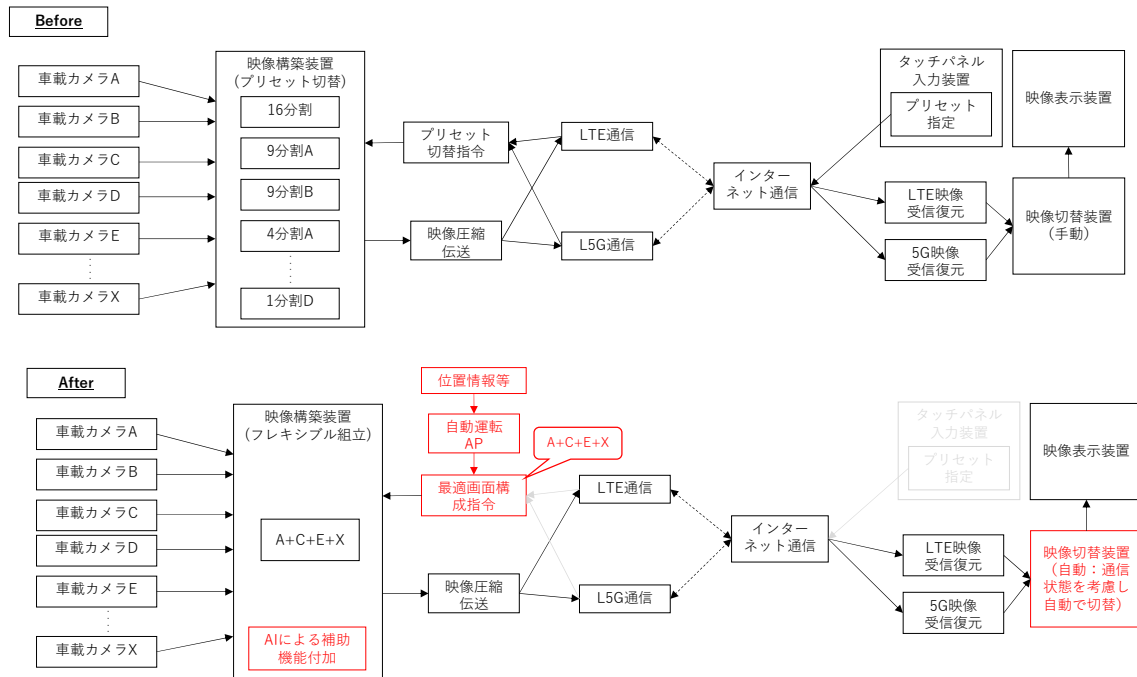


図 4-10 ソリューション詳細

(汎用性・拡張性)

本件で開発する機能は、自動運転のみならず、現行（手動運転）での路線バスの運行の支援ツールとしての活用も期待できる。監視機能については、近年ではワンマン運行によりドライバーに負荷が集中している状況にある中で、本事業で開発する機能を搭載すれば、遠隔からドライバーのサポートが行えるため、より質の高いサービスに繋げることが期待できる。

2 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）

【課題6】 MEC活用による路側設置機器の削減

本ソリューションを社会実装するにあたり、路側にカメラ・センサ、通信端末や情報処理装置等の機器を設置することになり、その際に特に情報処理層等の機器は設置スペースの確保や環境条件への対応等の課題が発生する。そのため、路側に設置する機器は必要最低限に留める必要がある。

(解決手法)

路側に設置する機器のうち、重量がありポール等の道路付帯物への取り付けも困難な情報処理装置を対象に、それらの機器をローカル5Gのエッジコンピューティング機能を活用して基地局と同じ室内に設置することにより、機器の設置スペースの極小化、機器の環境条件の緩和、機器の運用保守の容易性の向上を図る。具体的には、昨年度の実証実験の環境において路側に設置していた以下の装置について、ローカル5Gのサーバ室への移設を行った。

- ・ 情報処理装置
- ・ AI 処理装置

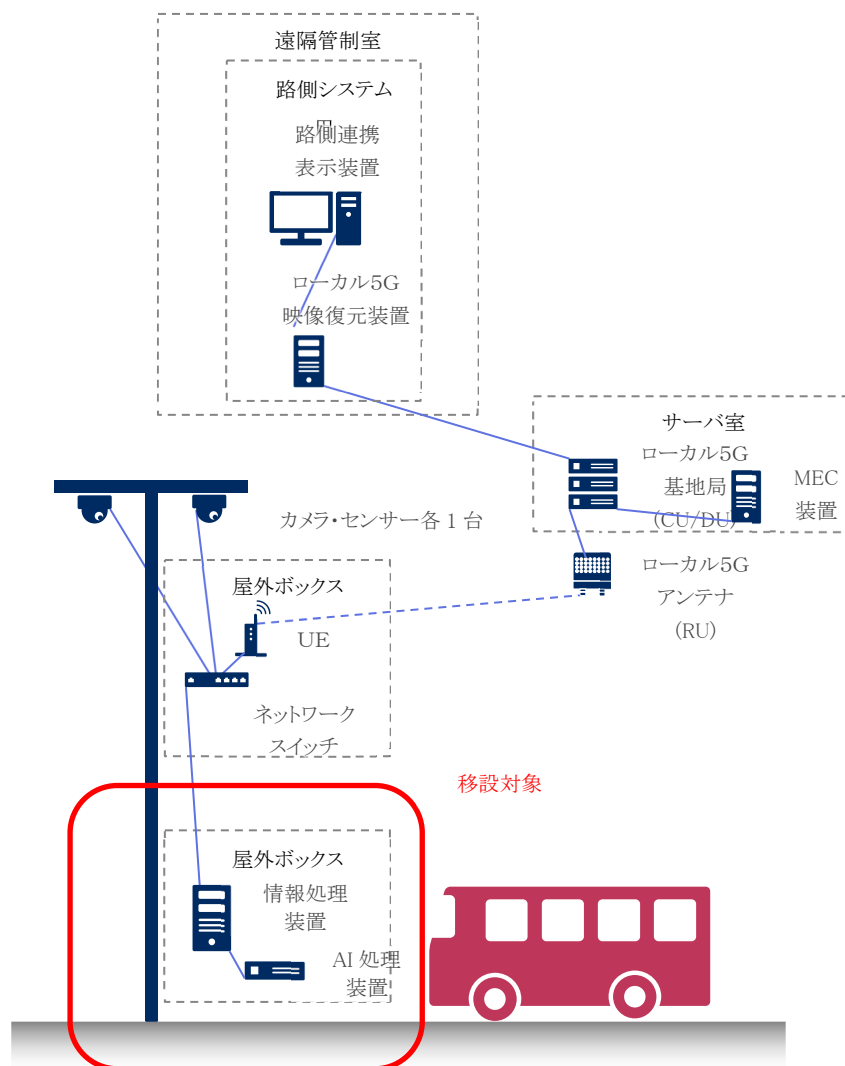


図 4-11 変更前のシステム構成

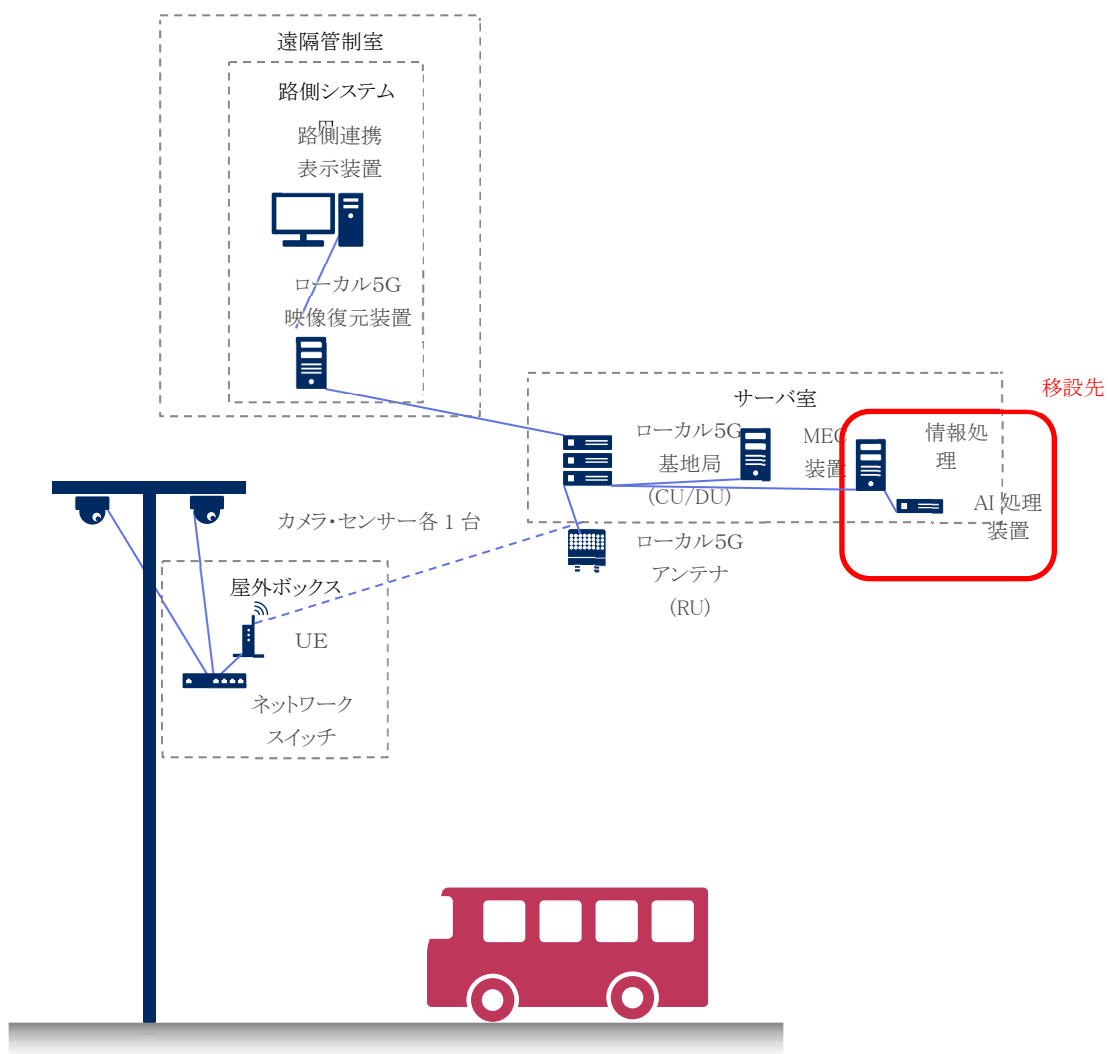


図 4-12 変更後のシステム構成

(実証目標)

情報処理装置およびAI処理装置をローカル5Gのエッジコンピューティング領域に移設した状態で、遠隔監視の業務で使用する際の目標となる遅延時間2秒以内を達成すること。

(汎用性・拡張性)

このシステム構成は遠隔型自動運転に限らず有効であり、例えば工場等におけるロボット等の運用において敷地内に固定カメラ等を設置する際に同様の課題が発生するため、本検証で得られた知見は他の用途でも活用できると考える。

### 3 カメラ映像伝送安定化ソリューション

【課題7】 通信速度の予測と映像品質の安定化

(実証内容)

大容量・低遅延といったローカル5Gを用いて高画質なカメラ映像を伝送することに

より、遠隔管制室からの安定かつ高効率な遠隔監視・安全確認業務が期待できる。一方で、ローカル5Gを用いてカメラ映像を伝送する用途において、社会実装時には道路付帯物(建物等)が遮へいとなりスループットの低下等が発生する可能性があるため、通信速度を予測し、予測結果に応じて映像データの圧縮率を動的に変更する通信制御技術を適用することにより、映像データの伝送の安定性を検証する。大容量・低遅延といったローカル5Gの特性と本技術を組み合わせることで、ローカル5Gのネットワークを効率よく活用することができ、遠隔管制室からの遠隔監視・安全確認業務をより安定かつ高効率にすることが期待できる。

<通信制御技術の説明>

・通信速度予測

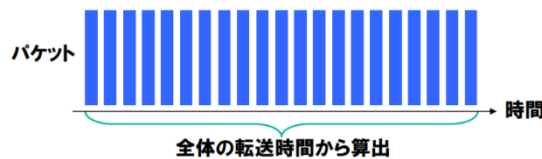
データの送信元から独自の測定用のパケットを一定間隔で送信し、受信側でそのパケットの受信間隔を監視して、通信遅延を推定する。

【通信速度の監視方法】

独自の構造を持つ極少量のパケット列を瞬時に送受信することで、わずかな通信負荷で短時間に通信速度を推定する。

既存方式

- 大きなデータサイズの通信を行い、何秒で受信が完了したかで通信速度を計算する



本技術

- パケットの受信間隔の変化を検出し、その時のパケットサイズから通信速度を推定する



【通信速度の予測方法】

通信速度の監視用のパケットを受信するまでの間隔や遅延したパケットのサイズから通信速度を算出して推定値とする。

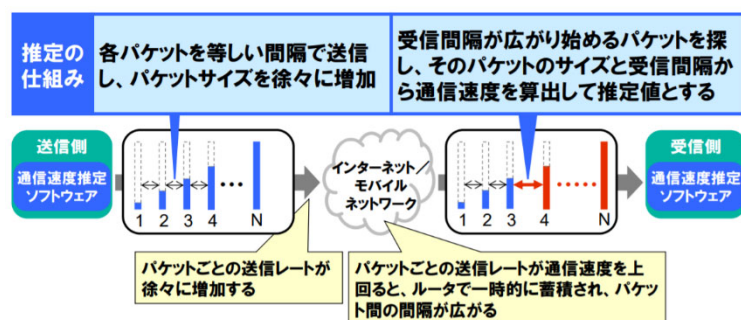
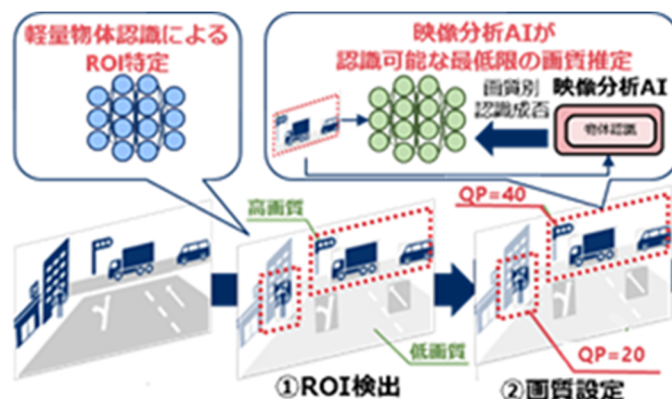


図 4-13 通信速度の監視と予測の方法

## 映像データの動的圧縮

カメラ映像の中で重要な領域と重要でない領域を区別し、重要な領域のみ高画質を維持し、その他領域（空やビルなどの背景等）を低画質化して送信することにより、映像品質を維持しつつ送信する映像データ量を大幅に削減する。



<処理の流れ>

1. 映像送信装置にて軽量の物体認識により遠隔管制に重要となる領域(ROI)を特定する。
2. 特定した重要領域に対してのみ高画質を設定し、それ以外は低画質に設定して映像データを送信する。

図 4-14 映像データの動的圧縮の処理概要



図 4-15 本技術を適用した遠隔型自動運転システム構成

令和2年度の実証実験において、本技術を適用することで遠隔監視の業務に必要な映像品質を確保しながら映像データを大幅に圧縮できることを確認している。

令和3年度の実証実験においては、上記の「通信速度予測」と「映像データの動的圧縮」の技術を組み合わせることにより、スループットの低下等が発生する状況においても通信速度の予測結果に適応して映像データを動的に圧縮することで、ローカル5Gのネットワークを効率良く利用でき、安定して遠隔監視の業務を継続できることを検証する。

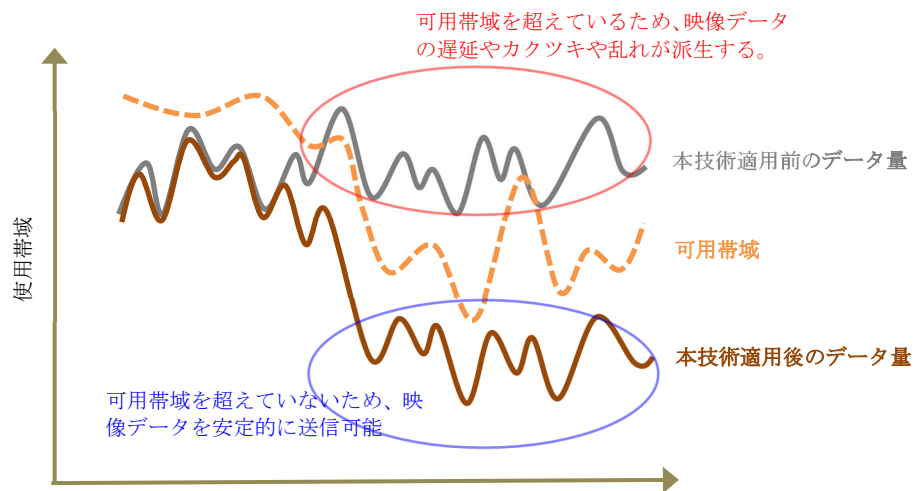


図 4-16 本実証の効果イメージ

(必要性)

中央前橋駅に設置したローカル 5 G アンテナと車両に搭載した UE 間で道路付帯物(街路樹等)や交差する車両が遮へいとなりスループットの低下等が発生する可能性がある。この状況において、本技術を用いて利用可能な通信帯域を予測して動的に映像データを圧縮することにより、映像データの伝送の安定性および信頼性の向上が可能となる。遠隔型自動運転の業務において、遠隔監視者が車両カメラを用いて現地の状況を安定的に継続して監視することが重要であり、本技術は遠隔型自動運転システムを社会実装する上で必須となると考える。

#### 4.4.1 ローカル 5 G を用いたソリューションの有効性等に関する検証

##### 4.4.1.1 効果検証

###### (1) 評価・検証項目

###### 1 5 G 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)

###### [課題 1] 遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能

- モデルケースにおける安全確認時間の定量評価

右折での安全確認をモデルケースとして、遠隔オペレーターの安全確認時間が、LTE を用いた場合とローカル 5 G を用いた場合で比較して 30% 以上の低減効果があるか、評価する。

- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価

実際に遠隔監視について運用をする中で、遠隔オペレーターの安全確認等に対

して、LTE を用いた場合とローカル 5 G を用いた場合で比較してどのような改善効果があるか、あるいは技術的課題について遠隔オペレーターへのアンケートによって抽出する。

[課題 2] LTE/ローカル 5 G 対応自動映像切替機能

- モデルケースにおける映像途絶割合の定量評価  
LTE とローカル 5 G の切替ポイントを有する走行軌道において繰り返し切替えを行うことで、映像途絶割合 0% を達成できるか、評価する。
  
- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
実際に遠隔監視について運用をする中で、安全確認等に対して、LTE を用いた場合とローカル 5 G を用いた場合で比較してどのような改善効果があるか、あるいは技術的課題についてアンケートによって抽出する。

[課題 3] AI による映像情報補助機能の開発

- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
実際に遠隔監視について運用をする中で、安全確認等に対して、LTE を用いた場合とローカル 5 G を用いた場合で比較してどのような改善効果があるか、あるいは技術的課題についてアンケートによって抽出する。

[課題 4] 遠隔操作機能

- ローカル 5 G での遠隔操作応答時間の定量評価  
バス停での発進時などをモデルケースとして、発進操作に対する応答時間が、200ms 以内となることを評価する。
  
- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
実際に遠隔操作を実施し、操作応答に対して、LTE とローカル 5 G でどのような変化があるか、あるいは技術的課題についてアンケートによって抽出する。

[課題 5] 遠隔操縦機能

- LTE とローカル 5 G での操縦時の車両運動に対する定量評価  
遠隔操縦機能を有効にし、予め設定したコースを走行する際の車両の走行軌道や速度などが、LTE とローカル 5 G で遠隔操縦を行った際の平均速度が 20% 増大することを、評価する。
  
- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
実際に遠隔操縦を実施し、操作応答等に対して、LTE とローカル 5 G でどのような変化があるか、あるいは技術的課題についてアンケートによって抽出する。

## 2 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）

### 〔課題6〕 MEC活用による路側設置機器の削減

- カメラ映像の伝送時間の定量評価

路側に設置した機器をMEC領域に移設した環境において、カメラ撮影から遠隔管制室への映像伝送およびAIによる視認補助の情報付加の合計時間が目標値である2秒以内を達成するか検証する。

目標値を達成できない場合に原因箇所を特定できるように、各機器の遅延時間とローカル5Gでのデータ伝送時間を測定する。

## 3 カメラ映像伝送安定化ソリューション

### 〔課題7〕 通信速度の予測と映像品質の安定化

- カメラ映像伝送の安定性の定性評価

中央前橋駅のロータリー内からロータリー外への走行時に建物による遮へいが発生することにより通信速度が変動する場合においても管制業務を継続できるか検証する。

§

## (2) 評価・検証方法

## 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）

### 〔課題1〕 遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能

- モデルケースにおける安全確認時間の定量評価

適応型映像構築機能をいくつかの小機能に分割し、それぞれの処理時間を計測する。また、昨年度の検証において得られたLTEおよびローカル5Gの安全確認視認距離から、効果評価に必要なモデルケースを含むシナリオに合わせて安全確認時間を導出する。導出したLTEおよびローカル5Gの安全確認時間を比較することで評価を行う。

- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価

試験路での効果評価実験あるいは公道での実証実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、回答させる。

### 〔課題2〕 LTE/ローカル5G対応自動映像切替機能

- モデルケースにおける映像途絶割合の定量評価

試験路において効果評価に必要なLTE/ローカル5Gの切替ポイントを含む自動運転の周回走行コースを用意し、1台の自動運転車両を用いて、遠隔オペレーターに手動切り替えを実施した際と、本課題実証で開発する機能を使って自動で



切り替えをした際の映像途絶が生じた回数等を評価項目として比較評価を行う。

- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
試験路での効果評価実験あるいは公道での実証実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、回答させる。

#### [課題3] AIによる映像情報補助機能

- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
試験路での効果評価実験あるいは公道での実証実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、回答させる。

#### [課題4] 遠隔操作機能

- **LTE** とローカル5Gでの遠隔操作応答時間の定量評価  
試験路において自動運転の走行コースを用意し、1台の自動運転車両を用いて、遠隔オペレーターが操作した時刻と車両が応答する時刻記録し、**LTE** とローカル5Gどのような差が生まれるか、評価する。
- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
試験路での効果評価実験あるいは公道での実証実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、回答させる。

#### [課題5] 遠隔操縦機能

- **LTE** とローカル5Gでの操縦時の車両運動に対する定量評価  
試験路においてパイロンなどを立てた遠隔操縦用の走行コースを用意し、1台の自動運転車両を用いて、遠隔オペレーターが操縦した時の走行軌道や速度を記録し、**LTE** とローカル5Gどのような差が生まれるか、評価する。
- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
試験路での効果評価実験あるいは公道での実証実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、回答させる。

## 2 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）

#### [課題6] MEC活用による路側設置機器の削減

- カメラ映像の伝送時間の定量評価
  - ・ 路側カメラで撮影した時刻と遠隔管制室で表示した時刻を記録し、その間の経過時間を計測する。
  - ・ PING等のツールを用いて、ローカル5G端末から遠隔管制室までのパケッ

ト伝送に掛かる遅延時間と遅延変化を計測する。

- ・ ログの追加等により各機器の処理時間を個別に計測する。

### 3 カメラ映像伝送安定化ソリューション

#### 【課題7】 通信速度の予測と映像品質の安定化

##### ▶ カメラ映像伝送の安定性の定性評価

カメラ映像伝送を安定的に行うことができているかを確認するために、自動運転バスに設置したカメラからローカル5Gを経由して映像配信を行い、映像受信装置にて通信速度と映像品質の変化を計測する。この際、遮へいによるローカル5Gの通信品質が変動しやすいと考えられる中央前橋駅のロータリー内からロータリー外への走行を繰り返す。

具体的には、通信速度として映像送信装置と映像受信装置間の通信スループットを計測した。通信スループット計測に当たっては計測用データを映像送信装置から送信し、映像受信装置にて受信できた計測用データの単位時間当たりのデータ量の時系列値を通信スループットとした。また、映像品質の変化については映像受信装置において受信した映像ビットレートを計測した。映像ビットレートは映像受信装置のログから取得した。また、本測定のための自動運転バス走行経路は図4-17のようにした。図4-17の走行経路においては、ローカル5G基地局と自動運転バスの間に建物の遮へいが発生し、電波環境が悪化していくものと考えられる。



図 4-17 自動運転バスの走行経路

### (3) 実証結果及び考察

#### 【課題 1】 遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能

##### ➤ モデルケースにおける安全確認時間の定量評価

本事業における適応型信号映像構築機能の効果評価を行うため、モデルケースにおける安全確認時間の定量評価を行う。具体的には、適応型映像構築機能を以下の小機能に分割し、それぞれの処理時間を計測する。

- ・ 車載カメラからの生映像を取り込み～適応型映像構築機能による組立映像の出力までの時間

- ・ LTE もしくはローカル 5G の通信時間

また、昨年度の検証において得られた LTE およびローカル 5G の安全確認視認距離は以下の結果である。

- ・ LTE : 45m

- ・ ローカル 5G : 100m

ここで、モデルケースとして中央前橋駅での右折を想定し、右折前で安全確認をして遠隔オペレーターが安全を確認するまでの時間を、LTE とローカル 5G を比較する。

- ・ 車載カメラからの生映像を取り込み～適応型映像構築機能による組立映像の出力までの時間

上記について評価をするために、自動運転車両を公道実証実験が行われる前橋一中央前橋駅間で走行させ、計 10 か所にて上記の時間を計測する。計測には、下の図のように、車載カメラに写るように設置したミリ秒までわかるパソコンのストップウォッチ機能を用い、ストップウォッチ直接と組立映像を同時に撮影することで、処理時間を求めた。



図 4-18 評価方法イメージ図

実験の結果は以下の通りとなった。

**表 4-8 実験結果（組立映像の出力までの時間）**

平均値	151 ミリ秒
標準偏差	11 ミリ秒
最大値	140 ミリ秒
最小値	157 ミリ秒

・LTE もしくはローカル 5G の通信時間

上記について評価をするために、LTE については、公道実証実験が行われる前橋—中央前橋駅間、ローカル 5G についてはローカル 5G の通信範囲である道路路上にて、ICMP (Internet Control Message Protocol) の echo コマンドを用いて、計 10 か所にて上記の時間を計測する。

実験の結果は以下の通りとなった。

**表 4-9 実験結果（LTE もしくはローカル 5G の通信時間）**

	LTE	ローカル 5G
平均値	54 ミリ秒	26 ミリ秒
標準偏差	4 ミリ秒	6 ミリ秒
最大値	59 ミリ秒	33 ミリ秒
最小値	47 ミリ秒	21 ミリ秒

効果評価に必要なモデルケースを含むシナリオに合わせて安全確認時間を導出する。導出した LTE およびローカル 5G の安全確認時間を比較することで評価を行う。

ここでは前橋駅から中央前橋駅に向かう際の中央前橋駅ターミナルに進入する手前の右折を想定する。まず、あらかじめ自動運転車両の運転手からヒアリングして設定した、右折停止線に対する安全確認判断開始位置は、約 80m 手前である。当該区間車両平均速度が 15km/h で走行していた場合、令和 2 年度に得られた遠隔オペレーターの安全確認視認距離と車両平均速度から、ローカル 5G の場合、安全確認判断開始位置(約 80m)に対して、安全を確認できる位置(約 100m)と、安全確認ができる位置に進入している一方で、LTE の場合、安全確認判断開始位置(約 80m)に対して、安全を確認できる位置(約 45m)と、残り 35m、すなわち 15km/h で走行している場合約 8.4 秒走行しないと安全確認を実質的に開始できないこととなる。加えて、遠隔オペレーターが画像から安全確認を行い、タッチパネルを操作するまでの時間を 1.5 秒とすると、遠隔オペレーターの安全

確認時間はそれぞれ以下ようになる。

・LTE :  $8.4 + 0.151 + 0.054 + 1.5 \approx 10.1$  秒

・ローカル5G :  $0 + 0.151 + 0.054 + 1.5 = 1.7$  秒

結果、LTEに比較し、ローカル5Gは約83%改善し、目標を達成できることが明らかとなった。ただし、本結果はあくまで想定した場所における計算結果であり、想定ケースの車両平均速度や安全判断開始位置の設定において結果は大きく変化することに注意されたい。

➤ 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価と考察

試験路での効果評価実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、以下のような意見を得た。下図がヒアリングの様子である。

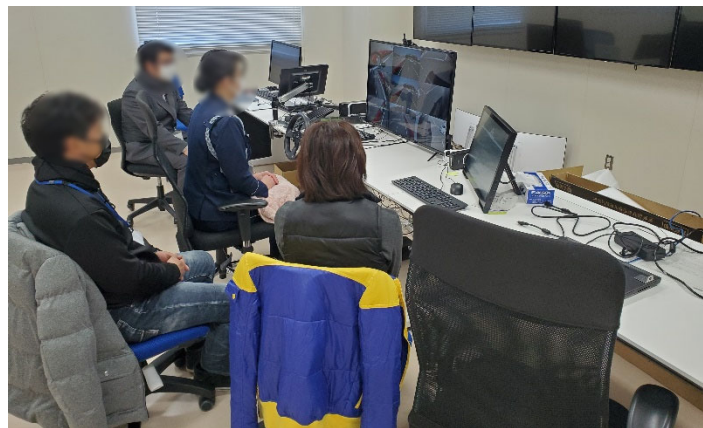


図 4-19 ヒアリングの様子

・自動で画面を切り替えが行われることで、必要なシーンで必要な情報のみを取り込めるようになることは、効率的な監視業務において有用である。

・構成の異なる画面切替が頻繁に行われると、見たい画面（カメラ映像）がどこに行ったか見失う可能性があるため、適度な切り替え頻度を見極める必要がある。

・確認し易さに重点を置くと、シチュエーションに合わせた画面構成に随時、手動で切り替えられる機能もあることが好ましい。なにかアクションがあった場合に、適した画面構成に自分の意志で構成を変化させたほうが見やすくなる。

上記のヒアリング結果から、今回は自動で切り替えることに特化して、自動での切り替え機能を実装し、手動での切り替え機能は無効にして評価を行っていたが、必要に応じて手動でも切り替えたいというニーズがあることから、実装においては自動・手動のいずれも実施できるような構造にすることが課題となった。

【課題2】 LTE/ローカル5G対応自動映像切替機能

➤ モデルケースにおける映像途絶割合の定量評価

試験路において効果評価に必要な LTE/ローカル 5 G の切替ポイントを含む自動運転の周回走行コースを用意し、1 台の自動運転車両を用いて、遠隔オペレーターに手動切り替えを実施した際と、本課題実証で開発する機能を使って自動で切り替えをした際の映像途絶が生じた回数等を評価項目として比較評価を行った。具体的には、下の図のように、ローカル 5 G 区間と LTE 区間をあらかじめ設定し、手動の場合は、LTE 区間からローカル 5 G 区間、ローカル 5 G 区間から LTE 区間に移動するとき、タッチパネルにて手動で画面の切り替えを行う。自動の場合は、システムが自動で切り替えを行う。実験は手動、自動でそれぞれ周回路 30 周をして、失敗した回数を比較する。

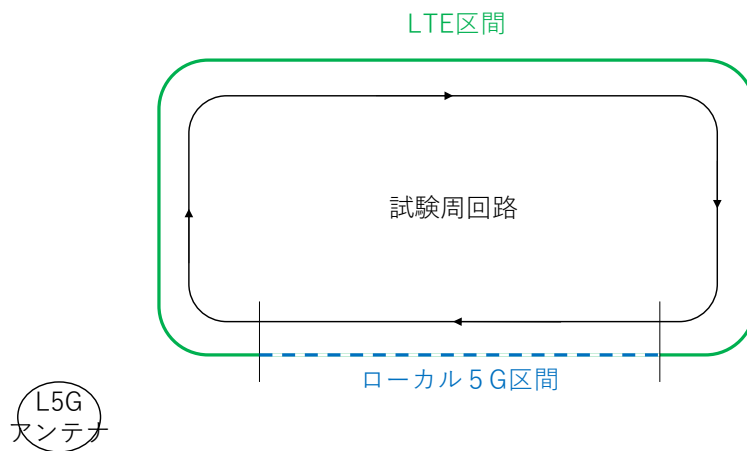


図 4-20 評価実験の実験コース

実験の結果は以下の通りとなった。

表 4-10 実験結果（手動と自動の切替比較）

	手動切替	自動切替
失敗回数	3回	0回

結果を見ると、手動は 3 回の切り替え失敗が起きている。これはタッチパネルのボタンの押し間違いによるもので、その点自動切替は 0 回と確実に切り替えられることがわかる。今回試験路内の単純走行であったため、公道で実施した場合、手動での切り替え失敗はさらに増えるものと予想される。切り替え失敗は、LTE ⇒ ローカル 5 G 切替の場合は、失敗すると、安全確認距離が十分とれず、円滑な運行に支障をきたす可能性がある。ローカル 5 G ⇒ LTE 切替は、失敗すると、最悪の場合ローカル 5 G の通信圏外となり、監視が行えない状態になってしまう可能性がある。そのため、自動での切り替えが有効であることが証明された。なお、今回の実験においては、手動、自動のどちらの切替でも映像途絶は 0 回であった。

- ▶ 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
試験路での効果評価実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、以下のような意見を得た。
  - ・それぞれの通信手段で切り替える必要があるシーンで、手動で切り替えるのは危険なため、自動で実施されることは重要。
  - ・手動で切り替えると意識が切り替えることに向いてしまい、安全確認能力が落ちる感じがした。
  - ・高精細な映像になると、個人的には情報量が多くなった感覚があり、逆に目写りをして安全確認能力が下がる気がした。映像が高精細であればよいわけではなく、必要な時に必要な解像度で示す必要もあるのでは？

上記のヒアリング結果から、LTE とローカル5G の自動切り替え機能は有効であることが分かった。一方で、情報量が多くなった感覚があり、逆に目写りをして安全確認能力が下がる気がするという意見もあることから、解像度と運行における遠隔オペレーターの負担との関係性を評価する必要があることが課題として挙げられた。

### [課題3] AI による映像情報補助機能

- ▶ 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
試験路での効果評価実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、以下のような意見を得た。下図がヒアリングの様子である。
  - ・強調機能があることにより、対象の注視を行いやすくなる。
  - ・昼間にも障害物の発見に寄与するが、夜間では周囲が見にくくなる中で強調機能が働くことにより、効果が増す。
  - ・自転車に乗った人が、自転車と人としてそれぞれ検知されて、2重に重なって見にくい。
  - ・誤検知への対処が課題。

上記のヒアリング結果から、AI による強調表示機能は、車載の遠隔カメラにおいても有効であることが分かった。特に夜間での効果を実感する声があったことは、AI による強調表示の有効性を示すほか、車載の遠隔カメラの夜間対応機能の検討が必要なことも明らかとなった。また、現在強調表示について、誤検知が生じる場合があるため、AI 機能の高性能化も求められる。

### [課題4] 遠隔操作機能

➤ **LTE とローカル 5 G での遠隔操作応答時間の定量評価**

本事業における LTE とローカル 5 G での遠隔操作応答時間の定量評価を行うため、モデルケースにおける遠隔操作応答時間の定量評価を行う。具体的には、遠隔操作機能を以下の小機能に分割し、それぞれの処理時間を計測する。

- ・タッチパネルを操作してから、通信パケットを送信処理するまでの時間
- ・LTE もしくはローカル 5 G の通信時間
- ・通信パケットを受信してから自動運転システムに反映するまでの時間

ここで、モデルケースとしてバス停からの発車を想定し、安全確認をして遠隔オペレーターが安全確認（発進）ボタンを押下し、車両が発進する状態に自動運転システムが遷移するまでの時間を、LTE とローカル 5 G を比較する。

- ・映像受け取りから遠隔管制室内の映像表示装置に表示するまでの時間
- 上記について評価をするために、タッチパネルのボタン操作イベント発生から通信パケットを送信処理するまでの時間を計 10 回、計測した。実験の結果は以下の通りとなった。

**表 4-11 実験結果（映像表示装置での表示までの時間）**

平均値	5 ミリ秒
標準偏差	5 ミリ秒
最小値	5 ミリ秒
最大値	5 ミリ秒

上記は自動運転システムの制御周期によるものである。なお計測の分解能は 1 ミリ秒となっているため、すべての値が 5 ミリ秒であった。

- ・LTE もしくはローカル 5 G の通信時間
- 前述の実験で求めた通信時間を用いる。実験の結果は以下の通りである。

**表 4-12 実験結果（LTE もしくはローカル 5 G の通信時間）**

	LTE	ローカル 5G
平均値	54 ミリ秒	26 ミリ秒
標準偏差	4 ミリ秒	6 ミリ秒
最大値	59 ミリ秒	33 ミリ秒
最小値	47 ミリ秒	21 ミリ秒

- ・通信パケットを受信してから自動運転システムに反映するまでの時間
- 上記について評価をするために、通信パケットの受信イベントから自動運転システムに反映するまでの時間を計 10 回計測した。実験の結果は以下の通りとな



った。

表 4-13 実験結果（自動運転システムに反映するまでの時間）

平均値	<1 ミリ秒
標準偏差	<1 ミリ秒
最大値	<1 ミリ秒
最小値	<1 ミリ秒

上記は自動運転システムの同じ制御周期で処理することによる結果である。なお計測の分解能は1ミリ秒となっているため、結果は0ミリ秒であったが、1ミリ秒未満であると考ええる。

上記の結果から、遠隔操作応答時間は

- ・LTE：約 54 ミリ秒
- ・ローカル5G：約 26 ミリ秒

となり、目標である0.2秒以内を達成できることが明らかとなった。

- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
試験路での効果評価実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、以下のような意見を得た。

- ・操作自体にLTEとローカル5Gであまり違いを感じなかった。

上記のヒアリング結果から、特に操作に対しての意見は多くなく、体感的には、LTEやローカル5Gの違いは生まれなかったことが分かった。一方で、1:n運行に対する評価を行うためには、現在の評価環境や手法では、有意な評価が行えないため、より複雑な実地あるいは実地に近い環境での、運用評価を行う必要があることも、評価側として課題と感じた。

#### 【課題5】 遠隔操縦機能

- LTEとローカル5Gでの操縦時の車両運動に対する定量評価  
試験路の直線路において、下の図のように、20m間隔で3か所にパイロンを置き、横方向3mのスラロームの走行コースを用意して、1台の自動運転車両を用いて、遠隔オペレーターが遠隔操縦を行う。この時、遠隔操縦した時の走行軌道や速度を記録し、LTEとローカル5Gどのような差が生まれるか、評価する。走行はLTEおよびローカル5Gそれぞれ5回ずつ行った。



図 4-21 走行コースイメージ図

以下にそれぞれの 5 回分の走行軌跡を示す。

結果を見ると、LTE のほうがローカル 5G に比べ若干各走行の軌跡のばらつきが大きく、かつ LTE のほうが左右にふらつきながら走行しているのに対して、ローカル 5G のほうが直線的に走行していることが見て取れる。これは車両と障害物との距離感覚がローカル 5G のほうが優れていた効果であることが示唆される。

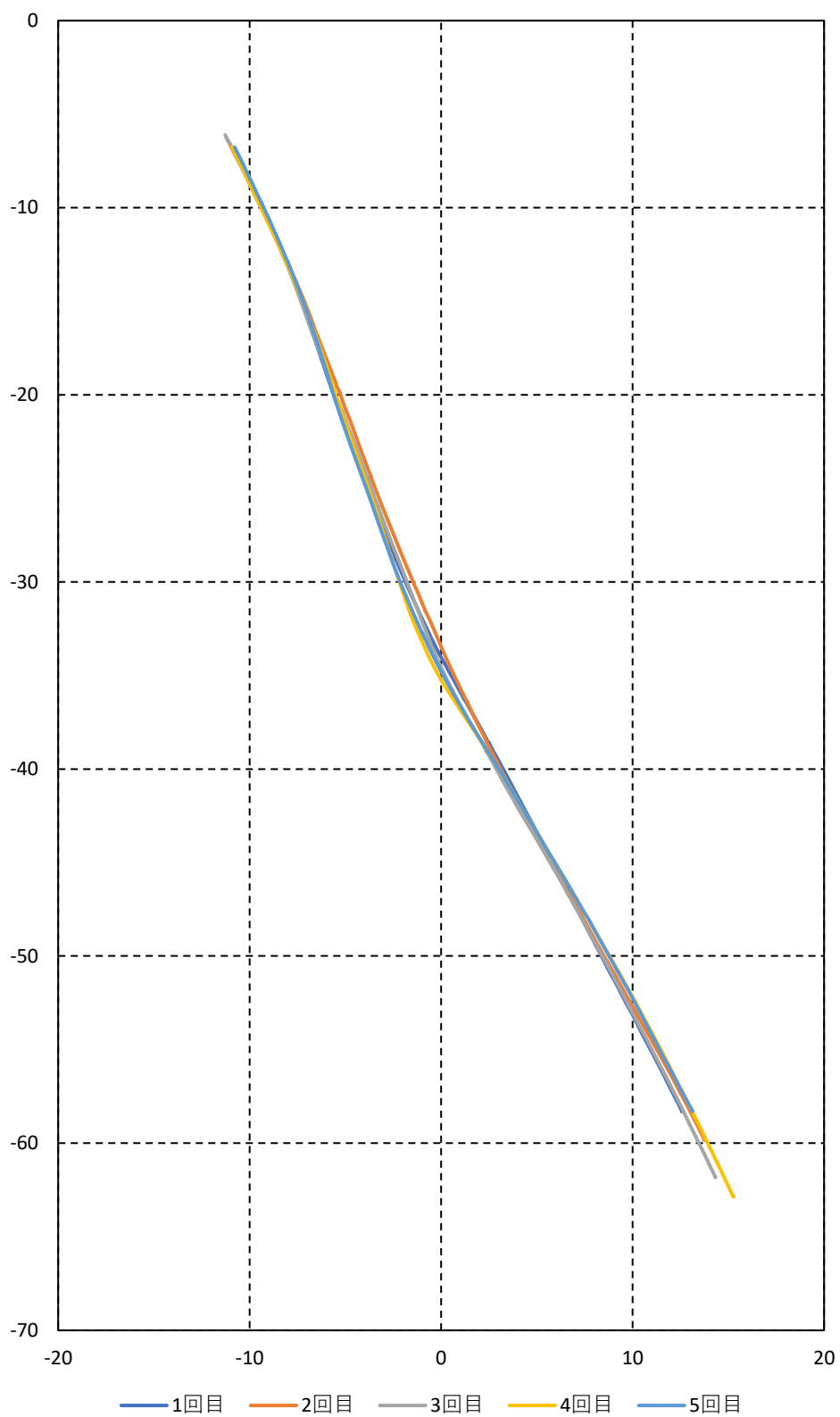


図 4-22 実験結果（走行軌跡、LTE）（縦軸 Y[m], 横軸 X[m]）

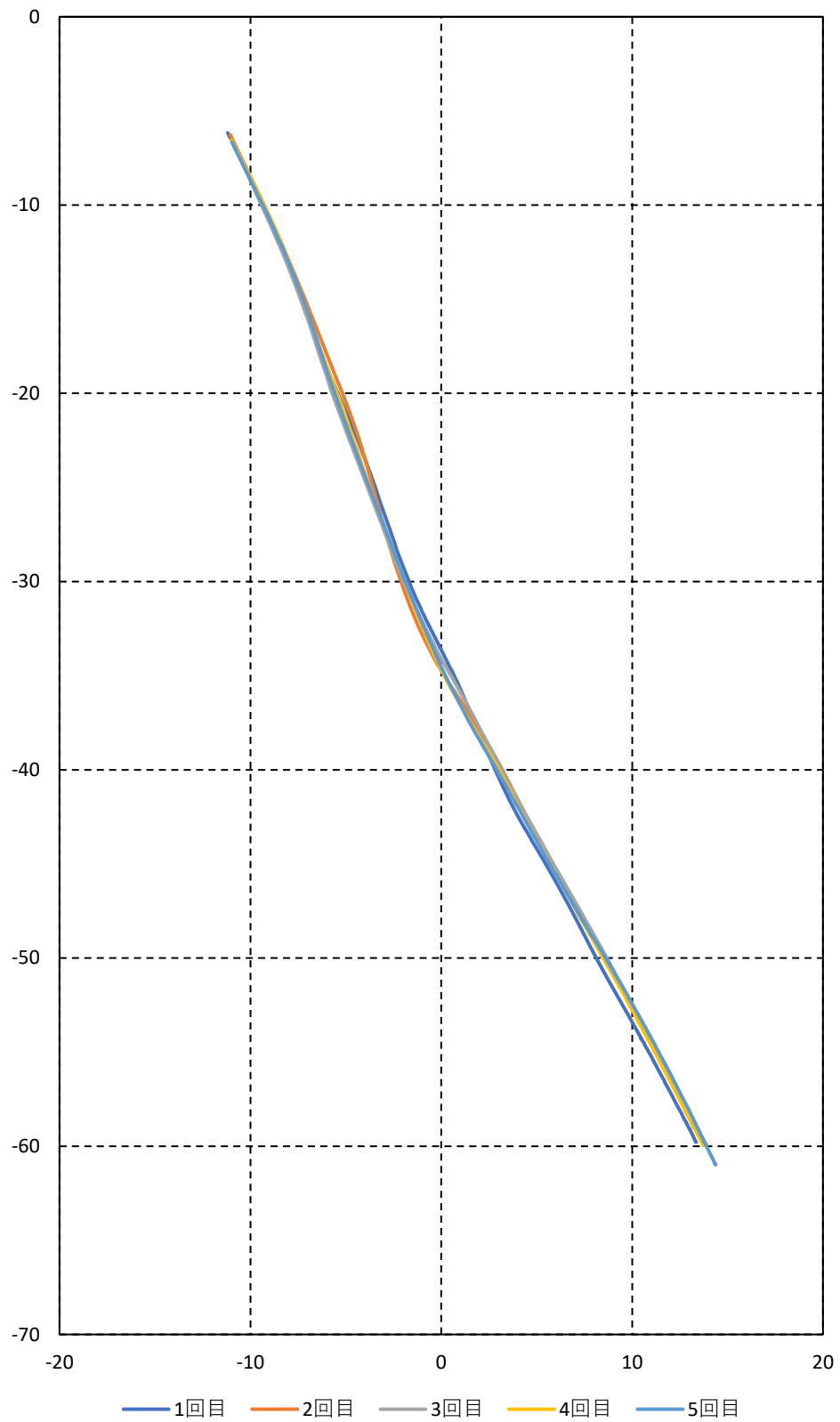


図 4-23 実験結果 (走行軌跡、ローカル 5G) (縦軸 Y[m], 横軸 X[m])

結果を見ると、LTE に比べてローカル 5G の挙動のほうが、ふらつきが少な

いことが見て取れる。次にそれぞれの 5 回分の平均速度、最高速度、最低速度を示す。

表 4-14 実験結果 (走行速度)

	LTE	ローカル 5G
平均値	5.7km/h	8.8km/h
最大値	8.9km/h	9.9km/h
停車回数平均	3.2 回	0.2 回

結果を見ると、ローカル 5G のほうが平均速度が 54%高いことがわかり、目標である 20%以上の向上を達成した。また、LTE は弊社回数平均が 3.2 回と、繰り返し停止することがあったことがわかる。

代表的なそれぞれの速度ログを以下に示す。

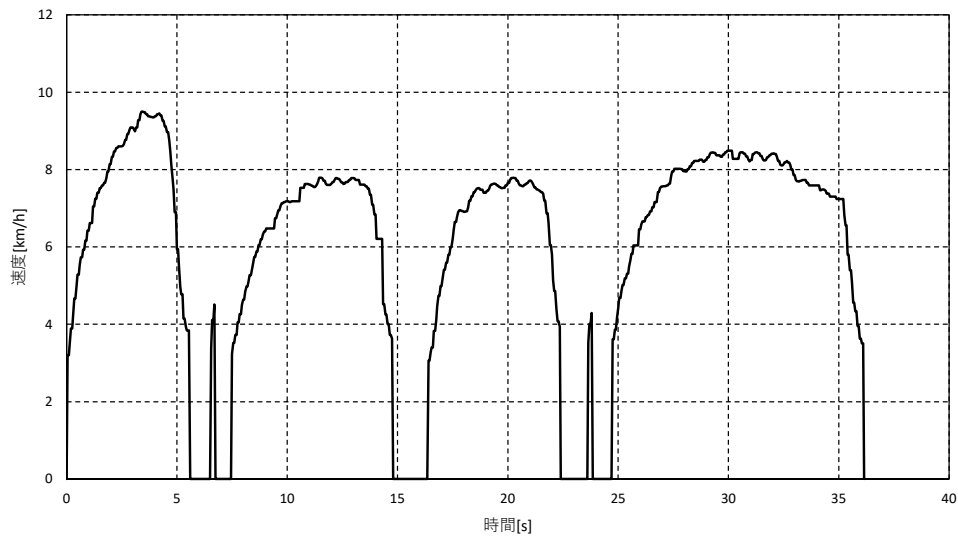


図 4-24 実験結果 (速度ログ、LTE)

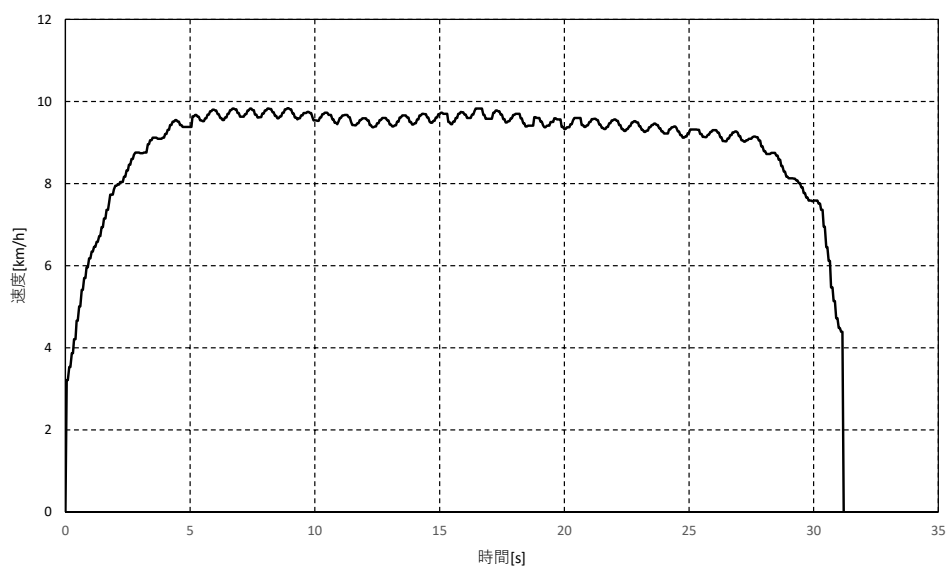


図 4-25 実験結果（速度ログ、ローカル 5G）

結果を見るとローカル 5G では停車なく円滑に走行できているが、LTE のほうが多く停車しながら走行をしていることがわかった。この結果により、ローカル 5G は LTE に比べて遠隔操縦に有用性が高い可能性が示唆された。

- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
試験路での効果評価実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、以下のような意見を得た。下図がヒアリングの様子である。

- ・操縦自体には LTE とローカル 5G であまり違いを感じなかった。
- ・操縦に対しては映像の性能のほうが影響が大きい。（L5G に比べ LTE は遠くの障害物がぼやけていて、よけられるか心配になる）
- ・操縦と監視では適切なカメラの向きが異なる（遠くよりも車両周りをよく見たい）

上記のヒアリング結果から、特に操縦に対して、体感的には、LTE やローカル 5G の違いは生まれなかったことが分かった。違いが大きくない中でも、「操縦に対しては映像の性能のほうが影響が大きい」「操縦と監視では適切なカメラの向きが異なる」といった意見が聞かれた。操縦と監視の場合で、適切なカメラの向きが異なることから、今回は、カメラの向きをそれぞれで設定しなおしたが、自動でカメラの向きを変更するか、画像処理によってその機能を代替するような技術の開発が求められることが明らかとなった。

## 2 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）

[課題6] MEC 活用による路側設置機器の削減

➤ カメラ映像の伝送時間の定量評価

本事業における LTE とローカル 5 G での路側設置機器の映像伝送時間の定量評価を行う。具体的には、路側設置機器の映像伝送機能を以下の小機能に分割し、それぞれの処理時間を計測する。

- ・路側カメラからの生映像を取り込み～AI 補助表示機能による映像の出力までの時間

- ・LTE もしくはローカル 5 G の通信時間

上記の時間の積算を、路側設置機器の映像伝送時間として、LTE とローカル 5 G を比較する。

- ・AI 補助表示機能による映像の出力までの時間

上記について評価をするために、中央前橋駅に設置された路側カメラを用い、下の図のように、路側カメラに写るように設置したミリ秒までわかるパソコンのストップウォッチ機能を用い、ストップウォッチ直接と路側映像を同時に撮影し、バスのパッシングのタイミングから、処理時間を求めた。

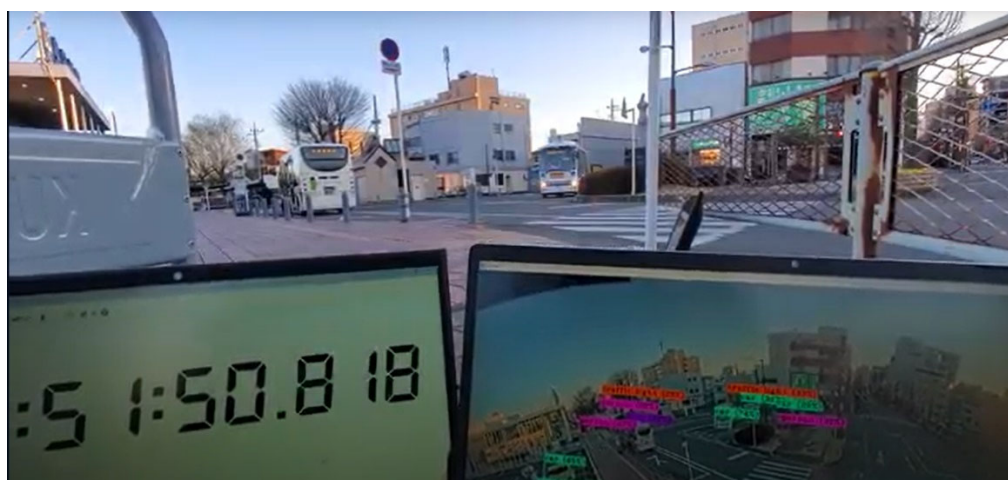


図 4-26 評価方法イメージ図

実験の結果は以下の通りとなった。

表 4-15 実験結果 (AI 補助表示機能による映像の出力までの時間)

平均値	733 ミリ秒
標準偏差	71 ミリ秒
最大値	858 ミリ秒
最小値	632 ミリ秒

上記は自動運転システムの制御周期によるものである。なお計測の分解能は1ミリ秒となっているため、すべての値が5ミリ秒であった。

- ・LTE もしくはローカル5G の通信時間  
前述の実験で求めた通信時間を用いる。実験の結果は以下の通りである。

**表 4-16 実験結果 (LTE もしくはローカル5G の通信時間)**

	LTE	ローカル5G
平均値	54 ミリ秒	26 ミリ秒
標準偏差	4 ミリ秒	6 ミリ秒
最大値	59 ミリ秒	33 ミリ秒
最小値	47 ミリ秒	21 ミリ秒

上記の結果の平均値を積算すると、以下のような結果になる。

- ・LTE : 0.787 秒
- ・ローカル5G : 0.759 秒

上記の結果により、当初の目標であるAIによる視認補助の情報付加の合計時間が目標値である2秒以内をLTE、ローカル5Gともに達成した。

- 遠隔オペレーターに対するアンケートによる感応評価  
試験路での効果評価実験において、被験者となる遠隔オペレーターにヒアリングを行い、以下のような意見を得た。下図がヒアリングの様子である。

- ・死角の情報があらかじめ手に入るので便利。
- ・強調機能があることにより、必要な情報がすぐにわかりやすい。
- ・夜間はより強調表示の効果が増す。
- ・不必要な部分の強調表示は無効にする機能が欲しい。

以上の結果から、本ソリューションの有効性が明らかになった一方で、不必要な部分での強調表示を無効にする機能の開発が課題として挙げられた。

### 3 カメラ映像伝送安定化ソリューション

#### [課題7] 通信速度の予測と映像品質の安定化

- カメラ映像伝送の安定性の定性評価
  - ・ロータリー付近で移動を行った際の通信速度(通信スループット)を計測した結果を図4-27に示す。横軸にローカル5Gネットワークにて通信端末が在圏し、通信が開始されてからの時刻を示す。縦軸には当該時刻における通信スループットを示す。本計測結果から、移動に伴ってローカル5Gネットワークの通信スループットが大き



く変動していることがわかる。その変動幅は通信スループットの変動は5~24Mbpsの範囲で変動となっている。特に、ローカル5Gネットワークとの接続時開始時と、接続終了間際においては通信スループットが低下していることがわかる。これは、それぞれの状況に置いて移動に伴う電波受信環境の悪化によるものと考えられる。

- ・ さらに、映像品質の変化として配信ビットレートを計測した結果も図 4-27 に示す。横軸にローカル5G ネットワークにて通信端末が在圏し、通信が開始されてからの時刻を示す。縦軸には当該時刻における映像ビットレートを示す。映像ビットレートは、4.4 節の<通信制御技術の説明>にて説明した、通信速度予測および映像データの動的圧縮技術によって制御された値である。これらの技術によって通信速度に合わせて映像データを圧縮し、映像ビットレートを制御することで、移動によるローカル5G ネットワークの通信速度変動によって発生する映像の乱れ等を回避する。本計測結果から、移動に伴って映像ビットレートを制御していることがわかる。さらにこの計測結果から、これらの技術によってローカル5G ネットワークの通信速度(通信スループット)の変動に合わせて映像ビットレートを制御することができていることがわかる。特に、接続時開始時と、接続終了間際において発生している通信速度の低下に合わせて映像ビットレートを下げることによって映像の乱れを回避しようとしていることがわかる。
- ・ 加えて、映像乱れの発生回数も図 4-27 に示す。横軸にローカル5G ネットワークにて通信端末が在圏し、通信が開始されてからの時刻を示す。また、縦軸には当該時刻における配信映像の乱れが発生した回数を示す。本計測結果から、配信映像の乱れが発生していないことがわかる。ローカル5G ネットワークの通信速度に合わせて映像配信ビットレートを制御することにより配信映像の乱れ発生を回避することができていることがわかる。

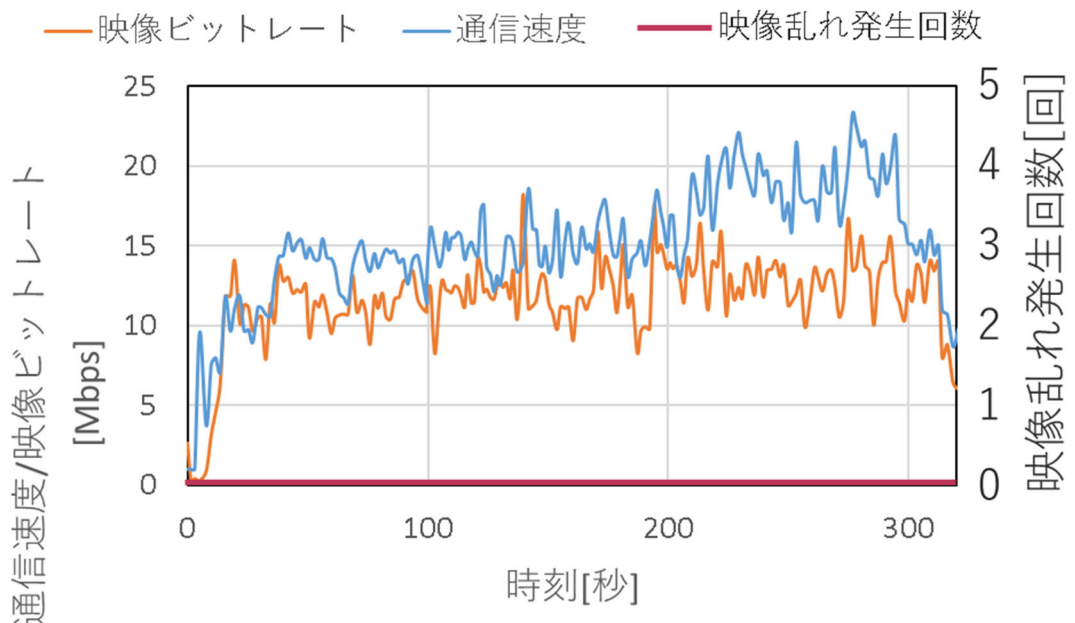


図 4-27. ロータリー付近におけるローカル5G 通信スループットの変動、映像ビットレートの変動、ならびに、映像乱れの発生回数

#### 4.4.1.2 機能検証

##### (1) 評価・検証項目

#### 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）

##### [課題1] 遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能

➤ 位置情報に基づく最適映像構成指令機能

遠隔型自動運転の際に、遠隔オペレーターに安全確認等で必要な映像を位置情報等に基づいて自動で選択し、映像構成装置に対して指令を行う機能が有効であることを評価する。

➤ フレキシブル映像組み立て機能

位置情報に基づく最適映像構成指令機能からの指令に対して、複数の車載カメラの映像を指令通りに組み立てる機能が有効であることを評価する。

##### [課題2] LTE、ローカル5G対応自動映像切替機能

➤ 位置情報に基づく映像切替機能

自動運転システムから伝送される位置情報等に基づき、LTEとローカル5Gそれぞれで伝送された映像を自動で切り替える機能が有効であることを評価する。

##### [課題3] AIによる映像情報補助機能

➤ 車載カメラに映る歩行者などの強調表示機能

複数の車載カメラの映像に対して、AI機能を実装し、歩行者等が映像に含まれる際にその部分を強調表示する機能が有効であることを確認する。

##### [課題4] 遠隔操作機能

➤ 遠隔型自動運転に必要な一連の遠隔操作機能

遠隔オペレーターが、遠隔管制室のタッチパネルにて、自動運転車両の発進指示や扉開閉指示などを送信し、指示した通りに動作する機能が有効であることを評価する。

##### [課題5] 遠隔操縦機能

➤ ハンドルアクセルブレーキに対する遠隔操縦機能

遠隔オペレーターが、遠隔管制室に設置された、ハンドルアクセルブレーキの操作コントローラを操縦することで、操縦に合わせて、自動運転車両のハンドルアクセルブレーキが制御できる機能が有効であることを評価する

## 2. 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）

### 【課題6】 MEC活用による路側設置機器の削減

- カメラ映像の伝送・転送機能  
機器移設後の環境において下記の機能を評価する。
  - ・ MECに配置した機器にてカメラ映像の受信  
遠隔管制室へのカメラ映像の転送。

## 3. カメラ映像伝送安定化ソリューション

### 【課題7】 通信速度の予測と映像品質の安定化

- 映像品質安定化機能  
4.4.1.1節で示した技術を実装した以下2点の機能を有する映像品質安定化機能についての機能検証を行う。
  - ・ カメラ映像伝送を受信したうえで通信速度を予測する機能
  - ・ 予測した通信速度に応じて映像品質を調整する機能

## (2) 評価・検証方法

## 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）

### 【課題1】 遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能

- 位置情報に基づく最適映像構成指令機能  
試験路において機能評価に必要な自動運転のモデルコースを構築し、その中で機能を1台の自動運転車両を用いて、動作させることで評価する。
- フレキシブル映像組み立て機能  
試験路において機能評価に必要な自動運転のモデルコースを構築し、その中で機能を1台の自動運転車両を用いて、動作させることで評価する。

### 【課題2】 LTE/ローカル5G対応自動映像切替機能

- 位置情報に基づく映像切替機能  
試験路において機能評価に必要な、LTE/ローカル5Gの切替ポイントを含む自動運転の周回走行コースを用意し、その中で機能を1台の自動運転車両を用いて、動作させることで評価する。

### 【課題3】 AIによる映像情報補助機能

- 車載カメラに映る歩行者などの強調表示機能  
試験路において機能評価に必要な自動運転のモデルコースを構築し、疑似的に歩行者等を配置した中で機能を1台の自動運転車両を用いて、動作させることで評価する。

#### 【課題4】 遠隔操作機能

- 遠隔型自動運転に必要な一連の遠隔操作機能  
試験路において機能評価に必要な自動運転のモデルコースを構築し、その中で機能を1台の自動運転車両を用いて、動作させることで評価する。

#### 【課題5】 遠隔操縦機能

- ハンドルアクセルブレーキに対する遠隔操縦機能  
試験路において機能を1台の自動運転車両を用いて、動作させることで評価する。

### 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）

#### 【課題6】 MEC活用による路側設置機器の削減

- カメラ映像の伝送・転送機能  
試験路において実装を想定した路側システムの環境を構築し、カメラ映像がサーバ室の情報処理装置と遠隔管制室の路側連携表示装置のそれぞれで表示できることを確認する。  
また、その映像にカクツキや乱れが生じないことを確認する。

### 3 カメラ映像伝送安定化ソリューション

#### 【課題7】 通信速度の予測と映像品質の安定化

- 映像品質安定化機能

遠隔管制室の車両カメラ表示装置で表示できることを、画像添付により確認する。また、映像受信装置にて映像品質の変化を計測する。映像品質としてカクツキや乱れの発生回数、ならびに、映像データの受信タイミングを時系列表示することで確認する。また、遠隔監視の業務ができる旨を目視で確認する。この際、遮へいによるローカル5Gネットワークの通信品質が変動しやすいと考えられる中央前橋駅のロータリー内からロータリー外への走行を繰り返した。

具体的には、映像のカクツキや乱れの発生回数は目視によって確認を行った。また、映像データの受信タイミングの時系列値については、映像受信装置にて映像データを受信した間隔を測定した。さらに、本測定のための自動運転バス走行経路は図4-17のようにした。図4-17の走行経路においては、ローカル5G基地局と自動運転バスの中に建物の遮へいが発生し、電波環境が悪化していくものと考えられる。

### (3) 実証結果及び考察

#### 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）

【課題 1】 遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能

➤ 位置情報に基づく最適映像構成指令機能

本事業における適応型映像構築機能においては、以下の図のようなシステム構成で群馬大学自動運転バス車両 2 台に対して最適映像構成指令機能を実装した。自動運転車両には車内・車外に取り付けられた計 12 台のカメラ（と正面カメラ 1 台の AI 処理画像を含む 13 画像）があり、その映像を映像構築装置に取り込む。また同時に、自動運転 AP が自動運転を行う際に用いる高精度な位置情報等から、その区間において最適な画面構成の指令を構築し、映像構築装置に指示を自動的に出す機能を実装した。

➤ フレキシブル映像組み立て機能

また、映像構築装置は、自動運転 AP から送られた最適画面構成指令に基づき、任意の画面構成に切り替えることができる機能を実装した。

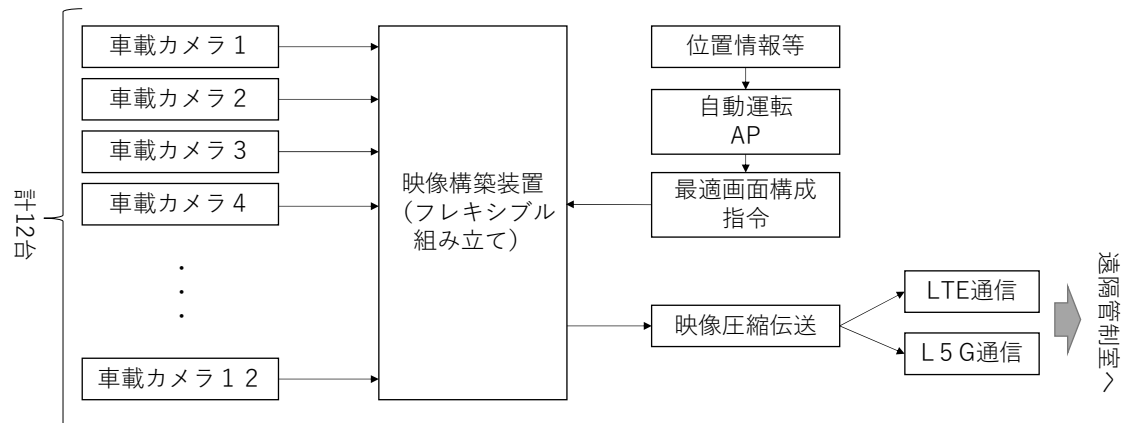


図 4-28 遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能周辺のシステム構成図

本機能検証においては、事前に以下の図のようにドライバーや遠隔オペレーターからヒアリングを行い、群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センターの試験路の外周路にて自動運転で走行した際に、各区間で必要な画面構成を設定し、動作が可能であるかを評価した。



図 4-29 ドライバーと遠隔オペレーターへのヒアリングの様子

ヒアリングの結果、具体的な走行路上における画面切り替えは以下のとおりとなった。

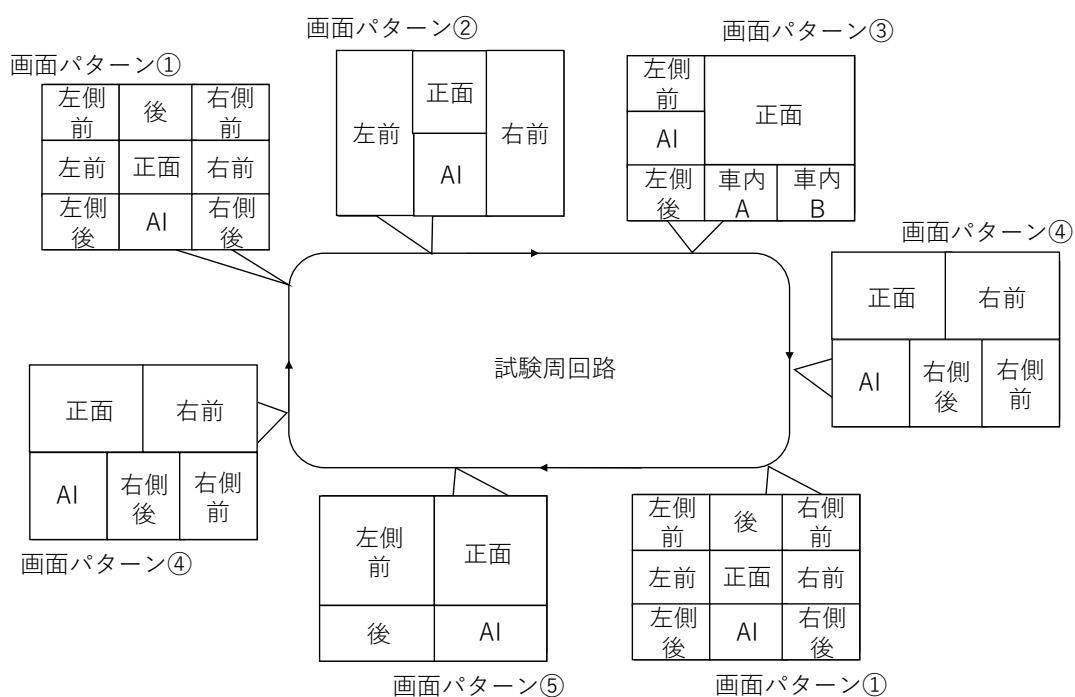


図 4-30 試験路における適応型映像構築機能の切り替えパターン

実際に画面を切り替えた様子を以下の図に示す。

下の図を見ると、ドライバーや遠隔オペレーターからのヒアリングを基に設定した画面構成を実際に遠隔管制室に表示ができており、事前に設定した実証目標の達成を実現できていることがわかった。



図 4-31 機能検証時の様子（画面パターン①）



図 4-32 機能検証時の様子（画面パターン②）



図 4-33 機能検証時の様子（画面パターン③）

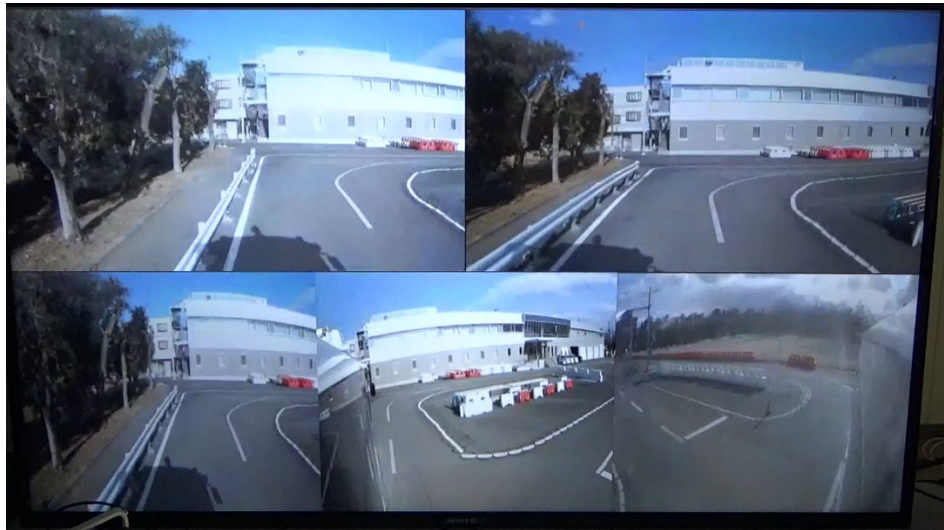


図 4-34 機能検証時の様子（画面パターン④）



図 4-35 機能検証時の様子（画面パターン⑤）

[課題 2] LTE、ローカル 5 G 対応自動映像切替機能

➤ 位置情報に基づく映像切替機能

本事業における適応型映像構築機能においては、以下の図のようなシステム構成で群馬大学自動運転バス車両 2 台に対して位置情報に基づく LTE とローカル 5 G の映像切り替え機能を実装した。前述した遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能において、自動運転車両には車内・車外に取り付けられた計 12 台のカメラ（と正面カメラ 1 台の AI 処理画像を含む 13 画像）があり、その映像を映像構築装置に取り込み、組み立てられた映像を、LTE およびローカル 5 G



回線に同時に送信し、遠隔管制室に伝送する。遠隔管制側は、LTE およびローカル5Gそれぞれで受信した映像を復元し、自動映像切替装置に入力する。自動映像切替装置は、自動運転APがAPが自動運転を行う際に用いる高精度な位置情報等から、その区間において最適な回線を自動で選択し、映像を切り替えて映像表示装置に出力する。

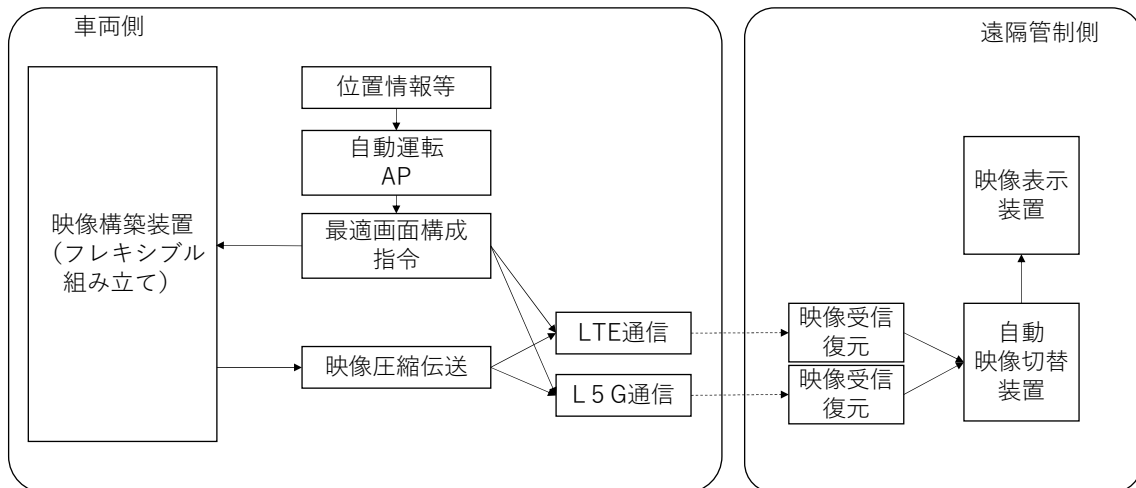


図 4-36 LTE、ローカル5G対応自動映像切替機能周辺のシステム構成図

本機能検証においては、群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センターの試験路の外周路にて自動運転で走行し、LTE およびローカル5Gの回線の選択区間を設定し、動作が可能であるかを評価した。

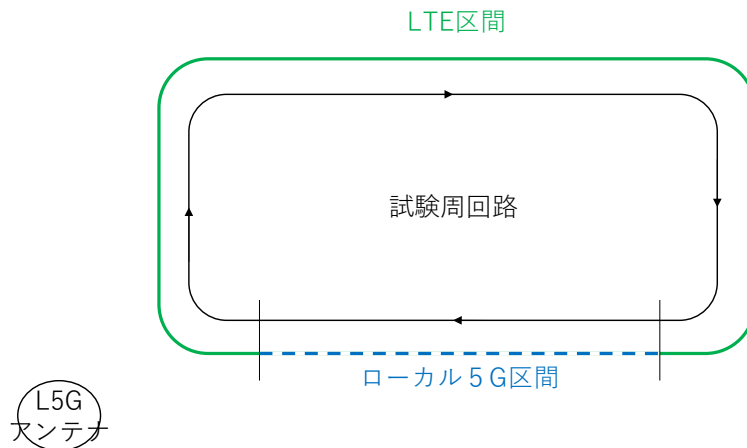


図 4-37 試験路におけるLTE、ローカル5Gの切り替えパターン

実際にLTE、ローカル5Gの画面を切り替えた様子を以下の図に示す。下の図を見ると、設定した区間において画面を実際に遠隔管制室に表示ができ、事前に設定した実証目標の達成を実現できていることがわかった。



図 4-38 機能検証時の様子（ローカル5G⇒LTE自動切替）

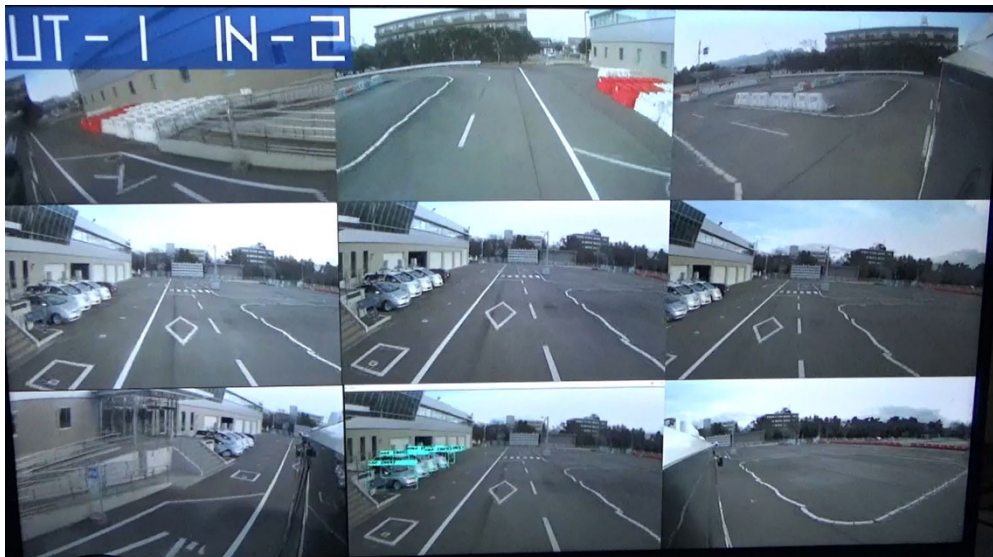


図 4-39 機能検証時の様子（LTEローカル⇒5G自動切替）

【課題3】 AIによる映像情報補助機能

➤ 車載カメラに映る歩行者などの強調表示機能

本事業におけるAIによる映像情報補助機能においては、以下の図のようなシステム構成で群馬大学自動運転バス車両2台に対して機能を実装した。前述した遠隔型自動運転のための適応型映像構築機能において、自動運転車両には車内・車外に取り付けられた計12台のカメラがあり、このうち正面カメラ1台に対して、AI処理による障害物強調表示を含む映像を作成し、計13映像から組み合わせることができるようにした。強調表示を行う主な物体については、自家用車、バス、トラック、バイク、自転車、歩行者が含まれる。

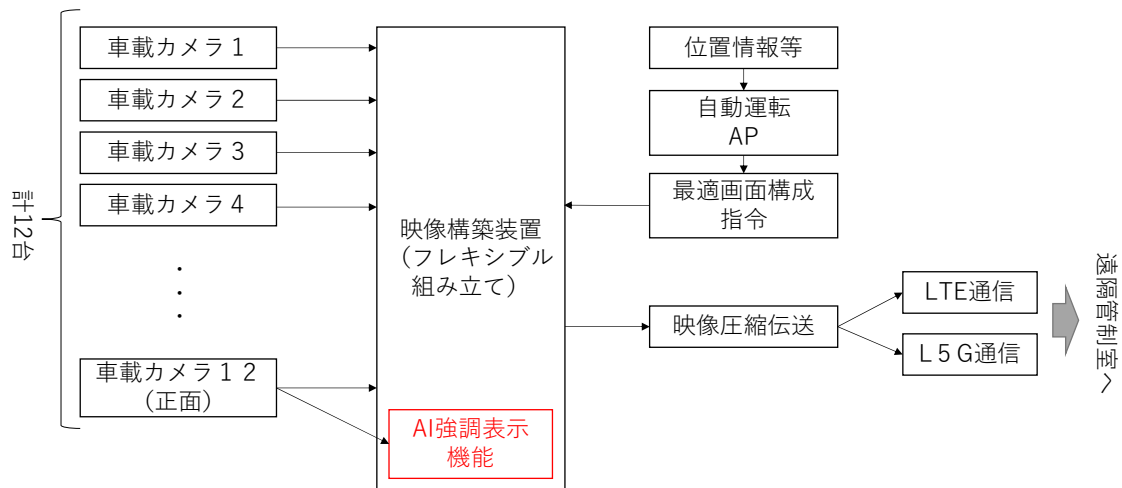


図 4-40 AIによる映像情報補助機能

本機能検証においては、群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センターの試験路の外周路にて自動運転で走行し、実験スタッフにより自転車で横断歩道を通させることで、必要な強調表示の動作が可能であるかを評価した。下の図は実験の様子である。



図 4-41 AIによる映像情報補助機能の機能検証の様子（風景）

実際に遠隔管制室の映像表示装置にAIによる映像情報補助機能を用いた映像を投影した様子を以下の図に示す。

下の図を見ると、人と、自転車、遠方の車両を、目立った遅延もなく、強調表示できていることが見て取れる。これにより事前に設定した実証目標の達成を実現できていることがわかった。



図 4-42 AIによる映像情報補助機能の機能検証の様子（遠隔管制室画面）  
（上：AI処理後の映像、下 AI処理前（無処理）の映像）

#### 【課題4】 遠隔操作機能

##### ➤ 遠隔型自動運転に必要な一連の遠隔操作機能

本事業における遠隔型自動運転に必要な一連の遠隔操作機能として、以下の図のようなシステム構成で群馬大学自動運転バス車両2台を1つの遠隔操作操縦装置で遠隔操作が機能を実装した。遠隔操作操縦装置は、自動運転車両とLTEもしくはローカル5Gにて指令を伝送し、自動運転に関する発進操作、車内外マイク・スピーカ切り替え、扉開閉、前照灯点灯、方向指示灯点灯指示などが、タッチパネルにて操作ができる。また、2台の自動運転車両を1つの遠隔操作操縦装置にて操作できるように、切り替えスイッチがある他、車両の自動運転機能から操作を要求する通知を自動で送ることができる。

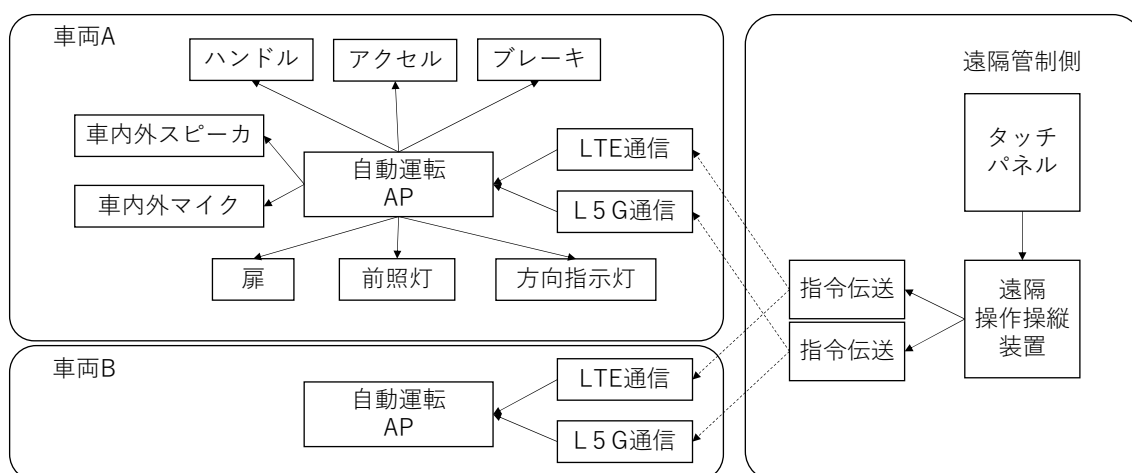


図 4-43 遠隔型自動運転に必要な一連の遠隔操作機能のシステム構成図

以下の図は、検証を行う際の遠隔管制室の様子と、車両の様子、タッチパネルの様子を示す。これにより、遠隔オペレーターが、遠隔管制室のタッチパネルにて、自動運転車両の発進指示や扉開閉指示などを送信し、指示した通りに動作する機能が有効であることを確認し、事前に設定した実証目標の達成を実現できていることがわかった。



図 4-44 機能検証の様子（遠隔管制室）



図 4-45 機能検証の様子（車両）

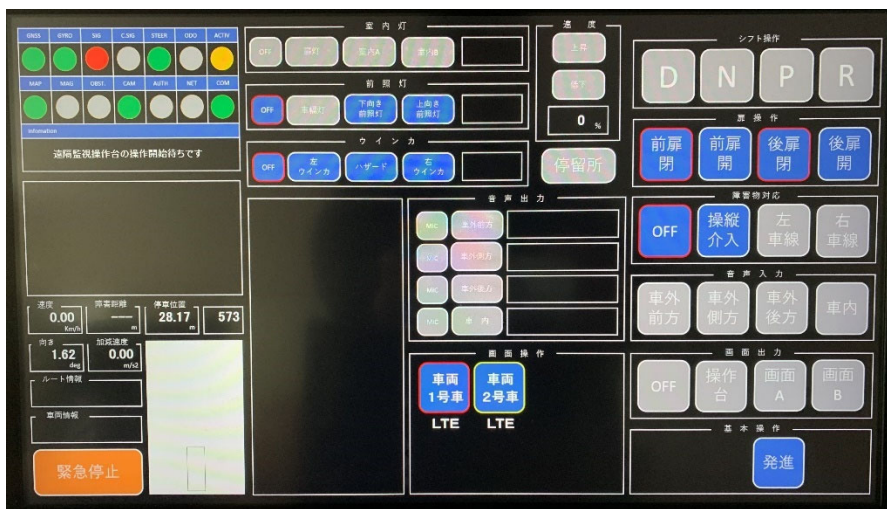


図 4-46 機能検証の様子（タッチパネル）

【課題 5】 遠隔操縦機能

- ▶ ハンドルアクセルブレーキに対する遠隔操縦機能

本事業における遠隔操縦機能として、以下の図のようなシステム構成で群馬大学自動運転バス車両 2 台を 1 つの遠隔操作操縦装置で遠隔操縦が機能を実装した。遠隔操作操縦装置は、自動運転車両と LTE もしくはローカル 5G にて指令を伝送し、遠隔から、ハンドル（およびペダル）コントローラーにて、遠隔操縦を行うことができる。

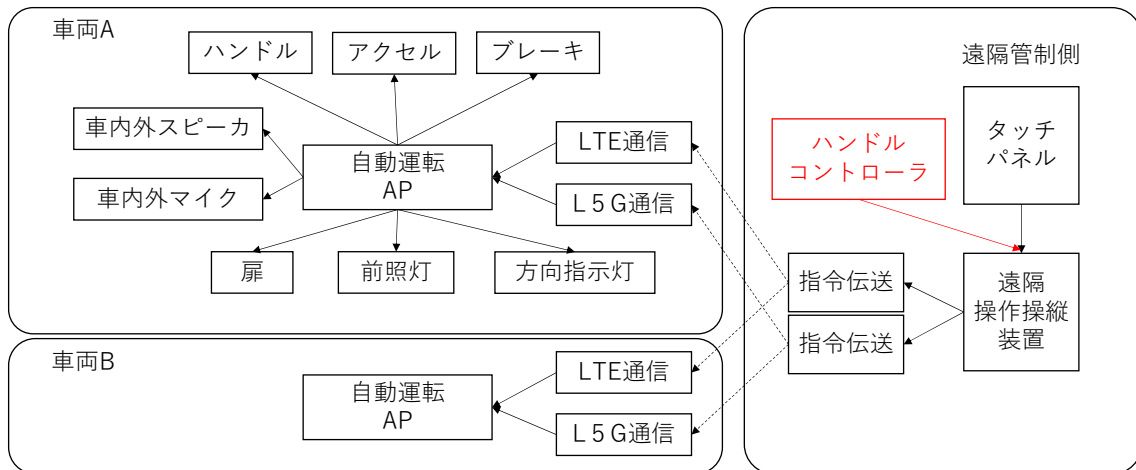


図 4-47 遠隔操縦機能のシステム構成図

以下の図は、検証を行う際の遠隔管制室の様子と、車両の様子を示す。これにより、遠隔オペレーターが、遠隔管制室のハンドルコントローラにて、自動運転車両の遠隔操縦指令を送信し、操縦に合わせて、自動運転車両のハンドルアクセルブレーキが制御できる機能が有効であることを確認し、事前に設定した実証目標の達成を実現できていることがわかった。



図 4-48 機能検証の様子（遠隔管制室）



図 4-49 機能検証の様子（車両）

## 2 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）

### 【課題6】 MEC活用による路側設置機器の削減

本事業における MEC 活用による路側設置機器の削減として、以下の図のようなシステム構成で路側設置機器をカメラ・センサとローカル5Gの UE、それらの電源のみの最小限の構成として、サーバー室側に AI 処理装置を置くことによって、路側機器を削減することができる。AI 処理装置は比較的電力を消費しやすく、精密機械でもあることから、路側でなくサーバー室で管理することで、路側機器の削減だけでなく、システム全体としての耐久性の向上も期待できる。AI 処理装置で障害物候補の強調表示を行った後は、遠隔管制室の映像表示装置にその映像を投影する。



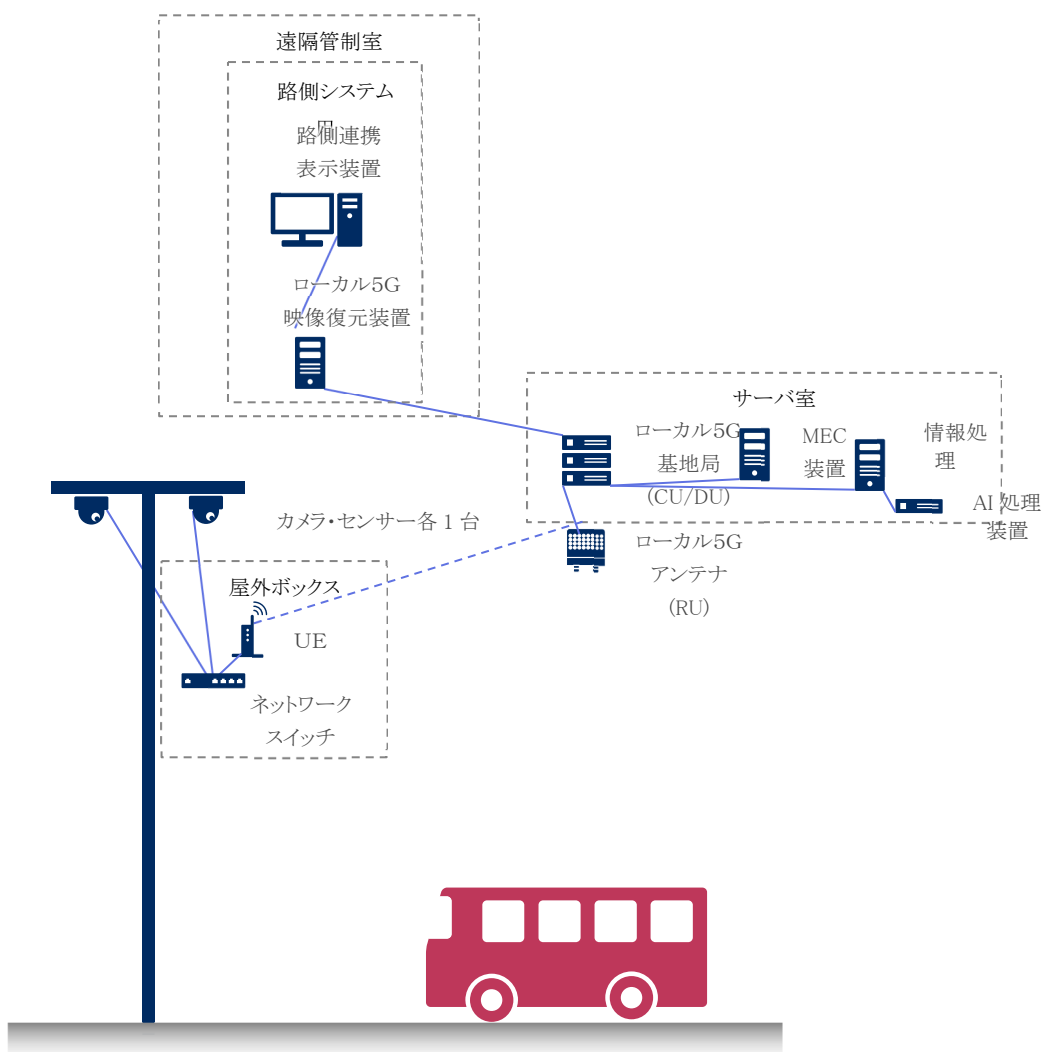


図 4-50 MEC 活用による路側設置機器の削減に関するシステム構成図

以下の図は、群馬大学次世代モビリティ社会実装研究センター試験路にて、路側カメラを取り付けた様子と、サーバー室での認識映像の様子、また、その映像により遠隔管制室にて、車両、歩行者、自転車の強調表示が行えている様子を示す。また、表示については、運用に支障あるカクツキや乱れは起こらなかった。これにより、MEC 活用による路側設置機器の削減と、必要な機能の有効性を証明し、事前に設定した実証目標の達成を実現できていることがわかった。



図 4-51 試験路における路側連携機器の取り付けの様子



図 4-52 サーバー室における伝送された映像の様子

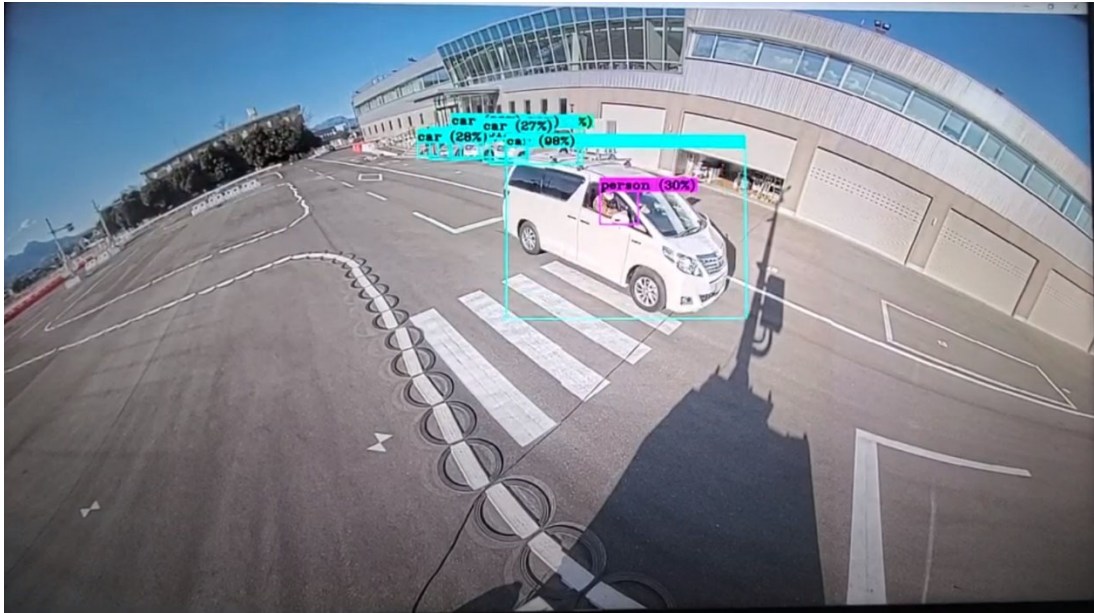


図 4-53 機能検証の様子（車両検知）

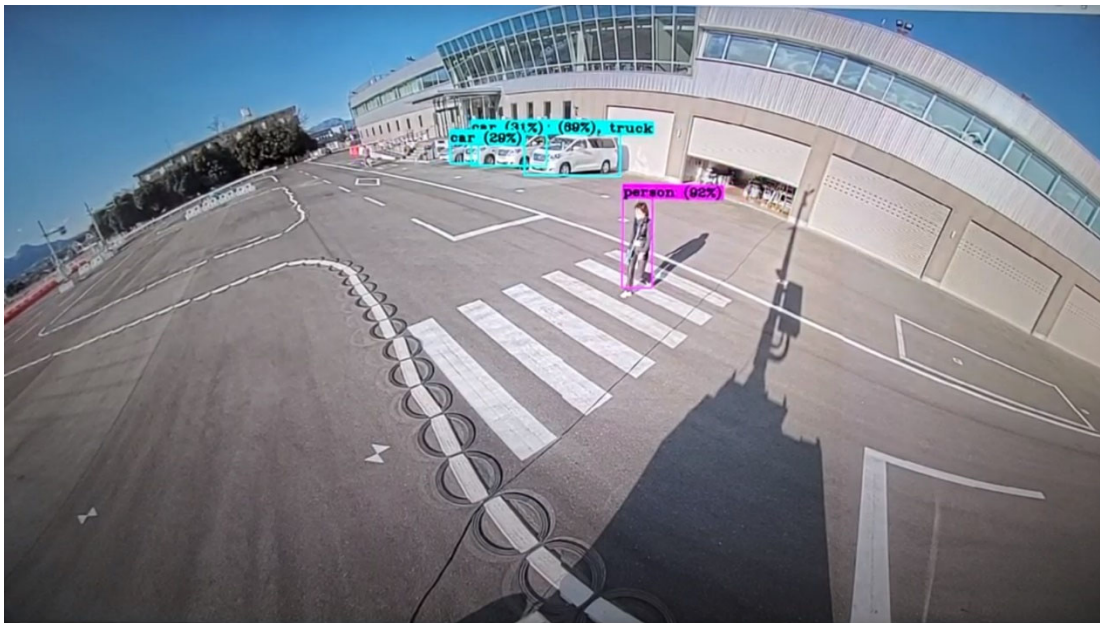


図 4-54 機能検証の様子（歩行者検知）

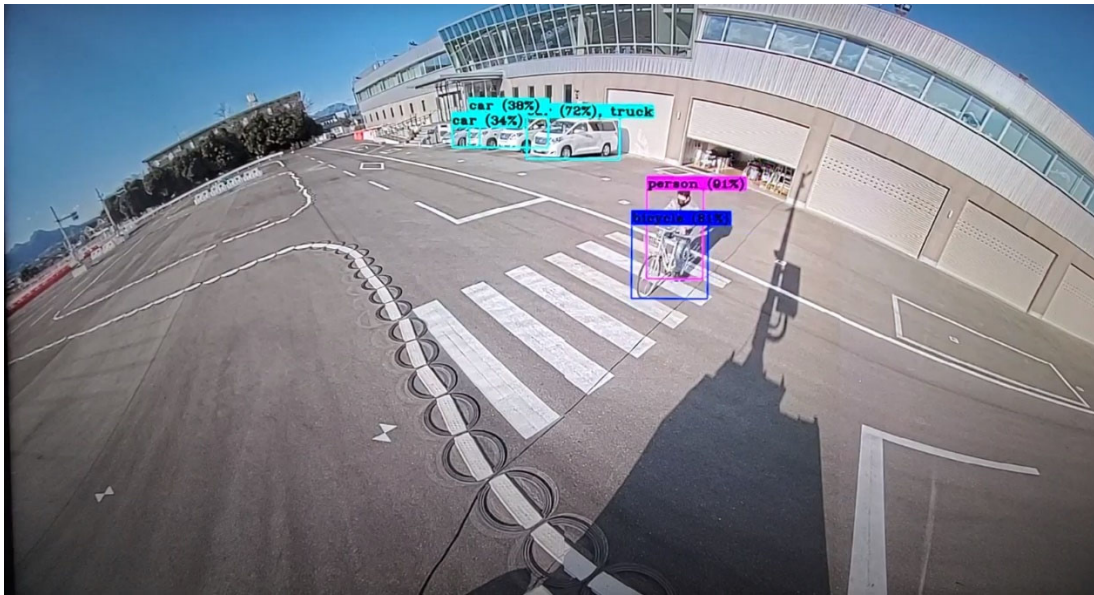


図 4-55 機能検証の様子（自転車検知）

### 3. カメラ映像伝送安定化ソリューション

#### 【課題 7】 通信速度の予測と映像品質の安定化

##### ➤ 映像品質安定化機能

遠隔管制室の車両カメラ映像表示装置にて映像を表示している様子を図 4-56 に示す。2 台の自動運転バスを監視しており、車両②（右側に表示）がローカル 5G ネットワークの圏内を走行している。なお、車両カメラ映像表示装置では、AI を活用した映像分析技術により遠隔管制室における監視作業を支援する機能を備えている。具体的には、映像中の「人」「車」「自転車」「バイク」「信号」「標識」などの物体の検出、検出した物体までの距離推定、走行レーン検出、路面標示認識を組み合わせ、例えば、走行レーン上の歩行者や停車車両（路上駐車）を認識した場合など、注意や介入が必要な場合にオペレーターにアラートを発報する。また、監視画面は、すべての車両を一覧表示する「統合監視画面」と、注意が必要な車両を拡大表示する「詳細監視画面」から構成され、詳細監視画面に表示する車両を自動的に切り替える構成にしている。



図 4-56 遠隔管制室の車両カメラ映像表示装置にて映像を表示している様子  
(右側の車両②がローカル5Gに接続)

また、遠隔管制室にて表示された映像のカクツキや乱れの発生した回数を計測した結果を図 4-57 に示す。4.4.1.1 節に示したように、カメラ映像伝送を受信したうえで通信速度を予測する機能、および、予測した通信速度に応じて映像品質を調整する機能により、映像のカクツキや乱れを回避することができていることがわかる。

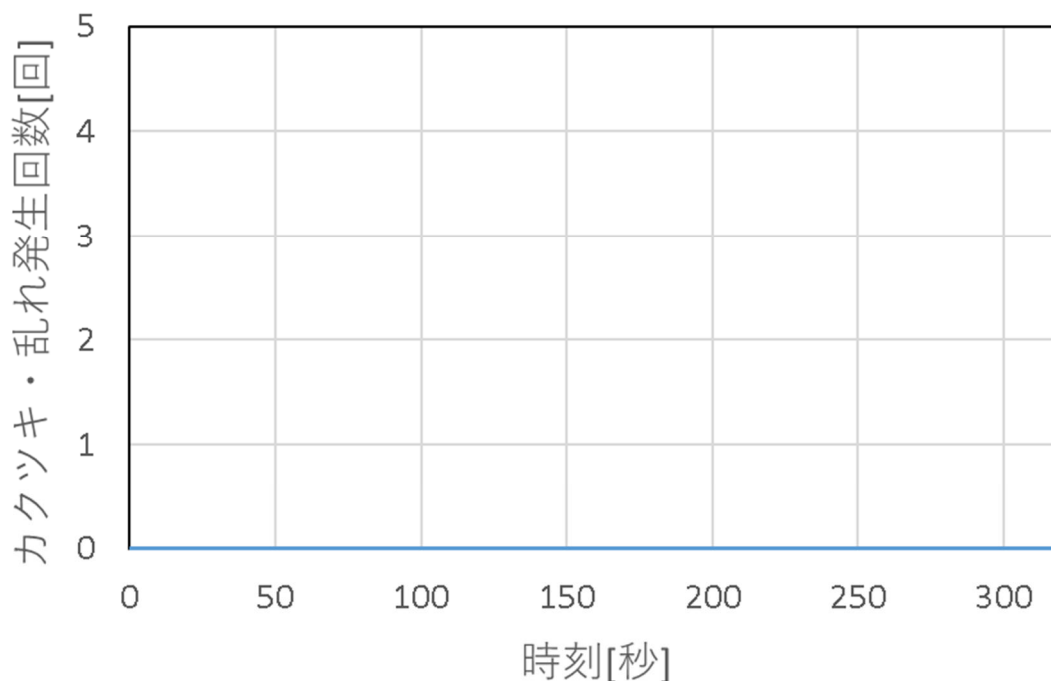


図 4-57 遠隔管制室にて表示された映像のカクツキや乱れの発生した回数

最後に、遠隔管制室の車両カメラ映像表示装置への映像データ到着間隔を図 4-58 に示す。さらに図 4-58 には、映像データの到着が期待される理想的な到着間隔（映像データは平均 18.8FPS で送信しているため 53.1ms）も同様に示す。フレーム到着間隔のジッタ値を 5ms

以内に抑えることができていることがわかる（図 4-58 にて黄緑線表示）。

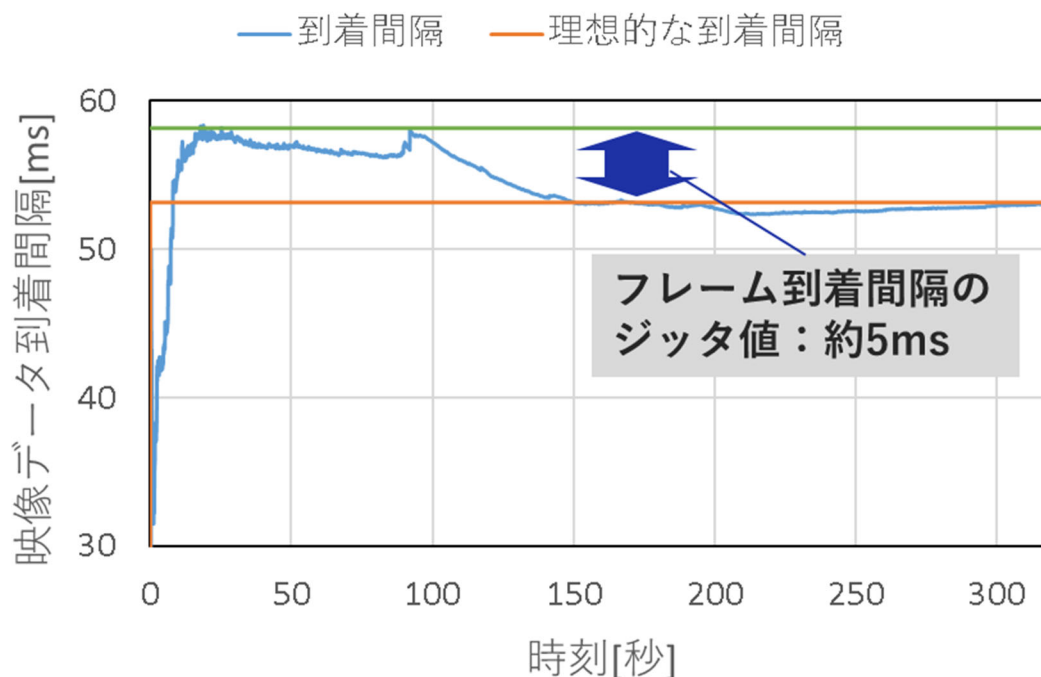


図 4-58 遠隔管制室の車両カメラ映像表示装置への映像データ到着間隔

フレーム到着間隔のジッタ値 5ms について考察を行う。リアルタイム映像配信では、映像送信装置から送信された映像フレームは映像受信装置のバッファに格納され、あらかじめ決められた表示タイミングで映像表示装置にて表示される。この際の表示タイミングは、理想的な到着タイミングに一定のバッファ時間（映像配信システムの設定パラメータ）を加えた値で決定される。到着フレーム間隔のジッタがこのパラメータを上回ると、映像表示においてカクツキが発生する。バッファ時間を大きくすれば映像表示のカクツキが減少する一方、表示までの時間が大きくなる。遠隔管制のようなユースケースでは即座の管制判断が必要となることから、表示までの時間を大きくすることはできない。参考までに、目標とする 40km/h の走行において、バッファ時間によって発生する操作誤差を 10cm 以内にするためには、バッファ時間を 9ms 以内に設定する必要がある。本実証では到着フレーム間隔のジッタを 5ms 以内に抑えバッファ時間を 9ms とすることができ、遠隔管制においても即座の管制判断を行いつつ、映像のカクツキを回避することができる。そのため図 4-57 にて示したように、カクツキが発生しなかったものと考えられる。

#### 4.4.1.3 運用検証

運用検証にあたっては、令和4年2月から3月にかけて CRANTS 試験路における技術・課題に関する検証を行った。また、令和4年2月には、上毛電鉄中央前橋駅 - JR 前橋駅のシャトルバス区間において、住民が搭乗する形で公道実証実験を実施する。なお、運用検証については、本開発実証事業で開発した各ソリューションを統合しローカル5Gモデルとして実運用した際の保守や運用を想定し検証を行う。しかし、公道における検証に際しては、警察庁のガイドラインや一般車両等の交通混乱を防ぐため、一部の検証については実施しない。

##### (1) 評価・検証項目

- ・試験路における総合動作評価

本プロジェクトの課題実証にて開発した各機能群を統合し、効果検証、機能検証の結果を踏まえながら、2台の自動運転バスを同時に用いて、総合的に運用を行い評価する。

- ・公道における総合運用評価（遠隔操作・操縦を除く）

試験路における総合動作評価を行った機能群に対して、公道における総合運用を行う。具体的には、1月5日から1月17日の期間に数日程度、統合した各ソリューションをすべて動作させた状態で問題なく動作することを評価する。また、1月25日から2月4日の期間に一般市民が搭乗できる形（営業用ナンバー）にて当該路線のバス運行事業者、運行のもとで1台の自動運転バスを運用し、通常の運行での動作が問題ないことを評価する。

なお、遠隔操作・操縦については、警察庁のガイドラインに基づき、今年度は公道では動作させることができないため、評価対象から除くものとする。

また、路側カメラの情報を用いた自動停止の検証については、一般車両の交通混乱を招く恐れがあるため、実施しない方針とする。

##### (2) 評価・検証方法

- ・試験路における総合動作評価

試験路にて総合動作評価を行うためのモデルコースを構築し、自動運転車両2台にて同時運用して動作させることで評価する。

- ・公道における総合運用評価（遠隔操作・操縦を除く）

公道にて走行ルートを構築し、自動運転車両2台にて同時運用して動作させるこ

とで評価する。

### (3) 実証結果及び考察

#### (4) 試験路における総合動作評価

本事業において開発したソリューションのうち、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）を用い、自動運転車両を試験路にて2台同時に運用した（遠隔操縦機能を除く）。実験の様子を以下に示す。



図 4-59 実験の様子

実験においては、2台に対して画面を切り替えながら、必要な操作を車両に送り、運用を行い、特に問題なく動作することが分かった。

#### (5) 公道における総合運用評価（遠隔操作・操縦を除く）

実験においては、1日間実際のバスの運行の時間に合わせて車両を運用することにより、動作の安定性を確認した。

以下に実験の様子を示す。



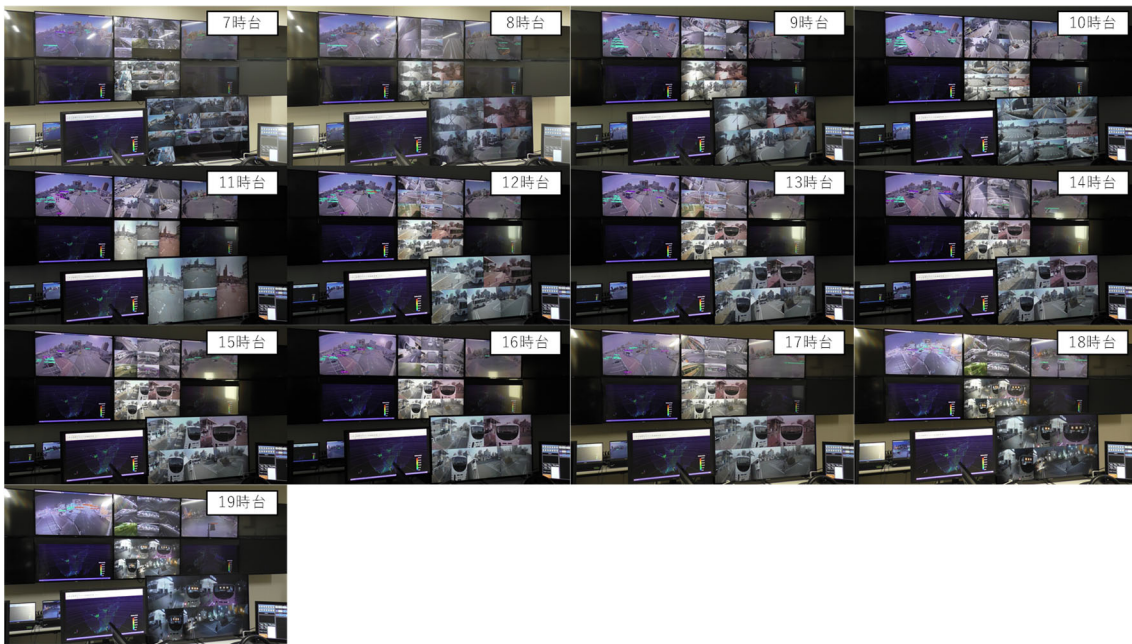


図 4-60 実験の様子

実験の結果により、1日間の動作について、問題なく走行できることが分かった。

一方で、システムの立ち上げ時において、運用可能状態にスタンバイするまでの工程が複雑化し、時間の増加（1時間ほど必要）が課題となった。本格的に自動運転システムを運行事業者に管理してもらうためには、運用時のみならず立ち上げプロセスなどの簡略化や自動化を進めることが課題として挙げられる。

#### 4.4.2 ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証

##### 4.4.2.1 ローカル5G活用モデルの構築・検証

ローカル5Gを用いたソリューションの実装に向け、持続的に導入・運用を行うため、以下の観点より整理し、必要なヒアリング調査を行った。

表 4-17 ローカル5G活用モデルの検証

項目	内容
----	----

<p>想定される具体的な主体及びターゲット</p>	<p>前提として、群馬県前橋市にある上毛電鉄中央前橋駅 - JR 前橋駅のシャトルバス区間における遠隔型自動運転バスにおいてローカル5G活用を行うことを想定。</p> <p>バスの運転手不足や高齢化の課題からバス事業の継続のために当該路線を運航する日本中央バスが運行の主体になると考えている。また、当該路線の運航を委託しているのは前橋市であり、公共交通の観点から前橋市も運用のための支援を行う。</p>
<p>対象となるシステム</p>	<p>当該路線における自動運転バスの運行には本件の実証を踏まえ、大きく下記の4点のシステムが必要と考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自動運転システムを備えたバス車両</li> <li>・路側システム（カメラ、センサ、データ処理装置）</li> <li>・遠隔管制システム</li> <li>・ローカル5Gシステム</li> </ul> <p>これらシステムを一体的に運用する必要がある、日本中央バスにおいては既にバス車両は用意済みの状況である。</p>
<p>詳細の前提条件</p>	<p>導入検討地域である上毛電鉄中央前橋駅ロータリーは、遠隔型自動運転を行うにあたって歩車混雑地点であることから、リアルタイムな周辺状況の確認が求められる。本実証を通じた運用検証の結果として、必要なシステムを揃えることによって実運用が可能であることが確認された。</p> <p>また、実装に向けてはローカル5Gを用いた自動運転ソリューションだけでなく、下記の事項についても対応することが求められることが分かった</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・警察庁・国土交通省等が示す安全基準への準拠</li> <li>・無人の車内における料金収受の仕組み</li> <li>・車椅子等の障がい者への対応</li> <li>・車内の安全保全</li> <li>・事故時の責任分界</li> </ul> <p>なお、ローカル5Gについて他者土地での移動局通信の制約に関して、総務省のガイドラインが令和2年に一部改訂されており、中央前橋駅（前橋市様の自己土地）に基地局を設置し、県道に電波が放射されて移動通信に活用しても問題ないように解釈される。ただし、導入にあたっては仔細な協議が必要と考える。</p>

標準モデル	<p>遠隔型自動運転バスの導入のための標準モデルとして、下記の要件が必要となることが整理された。</p> <p>&lt;システム面&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自動運転システムを備えたバス車両</li> <li>・路側システム（カメラ、センサ、データ処理装置）</li> <li>・遠隔管制システム</li> <li>・ローカル5Gシステム（LTEも併用可能性あり）</li> </ul> <p>&lt;運用面&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バスの運行主体</li> <li>・遠隔管制室の用意</li> <li>・遠隔管制者の用意</li> </ul>
体制・事業スキームのモデル	<p>ローカル5G利活用に関わる免許人については、実証においてはローカル5G基地局を提供する日本電気が申請したが、今後、実導入にあたっては下記の2通りが想定される。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・L5G基地局の運用主体となるバス会社、あるいは自治体が免許人になる</li> <li>・L5G基地局を設置する民間事業者が商用免許を取得し、運用主体に対し利用契約を行う</li> </ul> <p>ネットワーク・システム構築・運用等については専門的なノウハウが必要となるため、民間事業者への委託が必要となる。</p>
導入効果	<p>導入効果の多面的な検討については「4.4.3 継続利用の見通し」にて記載。</p>

課題と対応策	<p>&lt;技術面の課題と対応策&gt; (運用検証の結果を踏まえて記載)</p> <p>&lt;運用面の課題と対応策&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ローカル5Gを活用することで運行の安全性が高まることは確認されたが、他方でローカル5Gの運用に対する各種コストが必要となる。実証を通じて1:2の運行の可能性が高まったことで、コスト効率についても一定の目途を立てることができた。</li> <li>・ローカル5Gの運用における他者土地での移動局通信についての課題があったが、令和2年の総務省ガイドラインの改訂により、中央前橋駅(前橋市様の自己土地)に基地局を設置し、県道に電波が放射されて移動通信に活用しても問題ないように解釈される。ただし、導入にあたっては仔細な協議が必要と考える。</li> <li>・無人の車内であることからその社内の安全性対策、料金収受が課題として考えられるが、遠隔監視による対応や、Ma a S施策と連動したキャッシュレス決済などでその課題を解決したいと考える。</li> <li>・障がい者への対応という点では、自動で昇降できるような装置がない限り、サポートすることが難しい。そのため、当面は補助員のような人員を配備する必要があるか、今後の実用化に向けた検討の中では協議が必要となる。ただし、補助員を配置するとその分のコストが発生するので、その点の注意が必要である。</li> <li>・事故時の責任分界については、車両の運行ログを詳細分析することで、車両の問題なのか、自動運行システムの問題なのか、遠隔管制者の問題なのか、その点を明確に切り分ける必要があり、その分界に基づいて責任の所在を明らかにすることが必要となる。</li> </ul>
--------	--

表 4-18 ヒアリングの実施

ヒアリング対象者	内容	時期
----------	----	----

<p>前橋市</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動運転バスの社会実装における運用主体としての計画及び実装可能性について ⇒前橋市では2022年度自動運転バスの一部社会実装を目指している。今後事業者が自動運転バスを保有する予定であるため、長期間の実証実験を実施しつつ、必要なインフラ整備を整え、実装化に繋げていきたいと考えている。過去4カ年にわたる自動運転バスの実証実験を経て、手動運転に切り替える回数も少なくなっており、実装可能性は高いものと考えている。</li> <li>・安全性の評価について（L5Gの評価も含む） ⇒L5Gを使用した自動運転バスと遠隔管制室との通信に加え、路側にもL5G通信によるカメラやセンサーを設置したことで安全性はより向上するものと考えている。公共交通として安全性の確保は絶対条件である。遠隔型自動運転バスの実装を目指すために、通信の安定性や停電対策などについても検討する必要がある。</li> <li>・市民の社会受容性について ⇒これまで自動運転バスの実証実験をする際、広報誌や地元自治会への回覧文書等で適宜周知してきたことにより、市民は抵抗なく自動運転バスを利用していると感じる。2018年度に実施したアンケート調査や市民説明会においても、自動運転バスは好評であり、実装に関してもスムーズな導入ができるものと考えている。</li> <li>・費用体効果について ⇒自動運転バス導入における人件費等の削減と自動運転バスのシステム保守費用やL5Gのインシヤルコスト及びランニングコスト等を比較し、1:n運行におけるコストメリットがある程度明確化できれば、他の事業者や他の地域への横展開も含めてより実現可能性が高いと考える。自動運転化した路線だけでなく、ドライバーを自動運転が難しい路線に回すことで運行回数も増加でき、地域の移動手段の充実に繋がる。</li> </ul>	<p>2022年3月</p>
------------	--	----------------

<p>日本モビリティ</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全性の評価について（L 5 Gの評価も含む）</li> </ul> <p>⇒本実証における機能を実装することにより、遠隔型自動運転に必要な管制室での遠隔オペレーター業務において、より安全を確保しやすい機能の実現が確認できた。ローカル5Gについて実環境で使用したことで、ローカル5Gの特徴がよく理解できたように思う。当初はローカル5Gの特徴とされる大容量低遅延が自動運転に寄与する部分と認識していたが、理想的な性能を得るためには自動運転システムと、ネットワークで十分な設計のすり合わせといったノウハウのさらなる蓄積が重要であると感じた。また、外部に影響されない安定した通信が実現できることのほうが安全性の観点で有効であった。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・社会実装可能性について</li> </ul> <p>⇒社会実装においては、ローカル5Gの導入・維持コストとパフォーマンスのさらなる向上が望まれる。自動運転の場合、車両からのアップリンクが重要になる点において、よりアップリンクに特化したネットワーク性能が実現できることが望ましい。また、自動運転バスのサービスの運用に特化して設置するには、車両1台あたりにかかるコストが高い印象なので、自家用車等へのサービスを拡充し、コスト分散をすることが望まれる。ただし、それによってローカル5Gの特徴が失われてしまっは本末転倒なので、十分な通信の制御・管理を行う必要があると考える。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・昨年度課題への対応と新たな課題がないか</li> </ul> <p>⇒昨年度課題に対して、ソリューションの高度化により課題の解消を図ることができた。一方で、自動運転バスの運用の特性上、ローカル5G圏外と圏内の行き来が生じるため、行き来での接続時の通信安定性を高める必要性を感じた。また、本格的な実装においては、自動運転システムの法的な手続きを進める必要があり、今後の課題としてはその手続き通過にかかる検証等（ローカル5Gに限らず全般的な）が必要となる。</p>	<p>2022年3月</p>
----------------	---	----------------

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 1 : n 運行の可能性について ⇒今年度のソリューションの高度化によって、遠隔オペレーターの作業量は減少させる効果を得られ、より 1:n 運行の可能性はより高まったように感じている。今後は、自動運転システムを 1:n 運行するための法的な手続きを進めるにあたり、必要な検証をさらに積み重ねる必要がある。</li> <li>・ 他地域展開の可能性について ⇒今年度実施したソリューションは、他地域に横展開可能なものであるため、成果を広く公表し、横展開の可能性を探っていきたい。</li> </ul>	
上毛電気鉄道株式会社 (中央前橋駅の管理者)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ L 5 G 基地局の設置について ⇒基地局の設置に関しては、アンテナの重量の問題もなく、且つ形状に関してもさほど外観に影響を与えないことから、実運用としての設置にも問題はない。その他の機器類については実証では待合室に設置したが、実用の段階では別の場所を検討する必要がある。また、電力については別途、単独で用意する必要がある。</li> <li>・ 実運用に向けた評価、課題について ⇒電車で使う無線機器類にも影響はなく、電波の干渉についても問題はなかった。電車の運行事業者として、バスとの結節は重要なので、利用者の増加が電車利用との相乗効果になることに期待。</li> </ul>	2022 年 3 月

<p>日本中央バス</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・バス運行事業者から見た安全性の評価について ⇒実証では主に遠隔管制における安全性向上がポイントであったように思うので、バスドライバーが画像を見るわけではなく、運行に関してはなにか大きな変化を感じるということにはなかった。他方で遠隔管制の安全性が向上するということは今後自動運転バスを運行するバス会社としては期待するところ。</li> <li>・他地域展開の可能性について ⇒今回は前橋駅⇄中央前橋駅とのシャトルバスにおいて1:2の運行を行ったが、今後、対象路線を増やしたり、その他の路線に広げたりすることができれば、遠隔管制の効率は上がるのでコスト効率は良くなる。他方で自動運転そのものの対応がどこまで汎用的にできるかは技術的な課題もあるのではと推測する。</li> <li>・実用への課題 ⇒実運用となると、事故時の対応の方法、障がい者への対応、車内の安全性確保、料金收受などの課題のクリアが必要になる。</li> <li>・MaaSとの連携 前橋市の取り組むMaaSとの連携では、個別の事業者で運用しても価値はなく、連携した取り組みが必要で、その中でデータの流通、料金分配などの仕組みも検討する必要があると考えられ、この自動運転バスもその一つになるのではと考える。</li> </ul>	<p>2022年3月</p>
---------------	---	----------------

#### 4.4.2.1-①ユーザニーズやコスト等を踏まえた経済性の検討

ドライバー不足、高齢化の問題から自動運転バスの導入については自治体、バス運行会社のニーズが高く、前橋市においては対象区間のシャトルバスを運行する日本中央バスがその主体となることが想定されている。

その中で、実際のシャトルバス路線を自動運転化することを前提にコストモデルの試算を行った。

<運行モデルの仮説検証>

※以下、具体的な数値については一般公開不可

1. XXXXXXXXXX



• [REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
• [REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
• [REDACTED]  
• [REDACTED]  
• [REDACTED]  
[REDACTED]

[REDACTED]  
• [REDACTED]  
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED] [REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

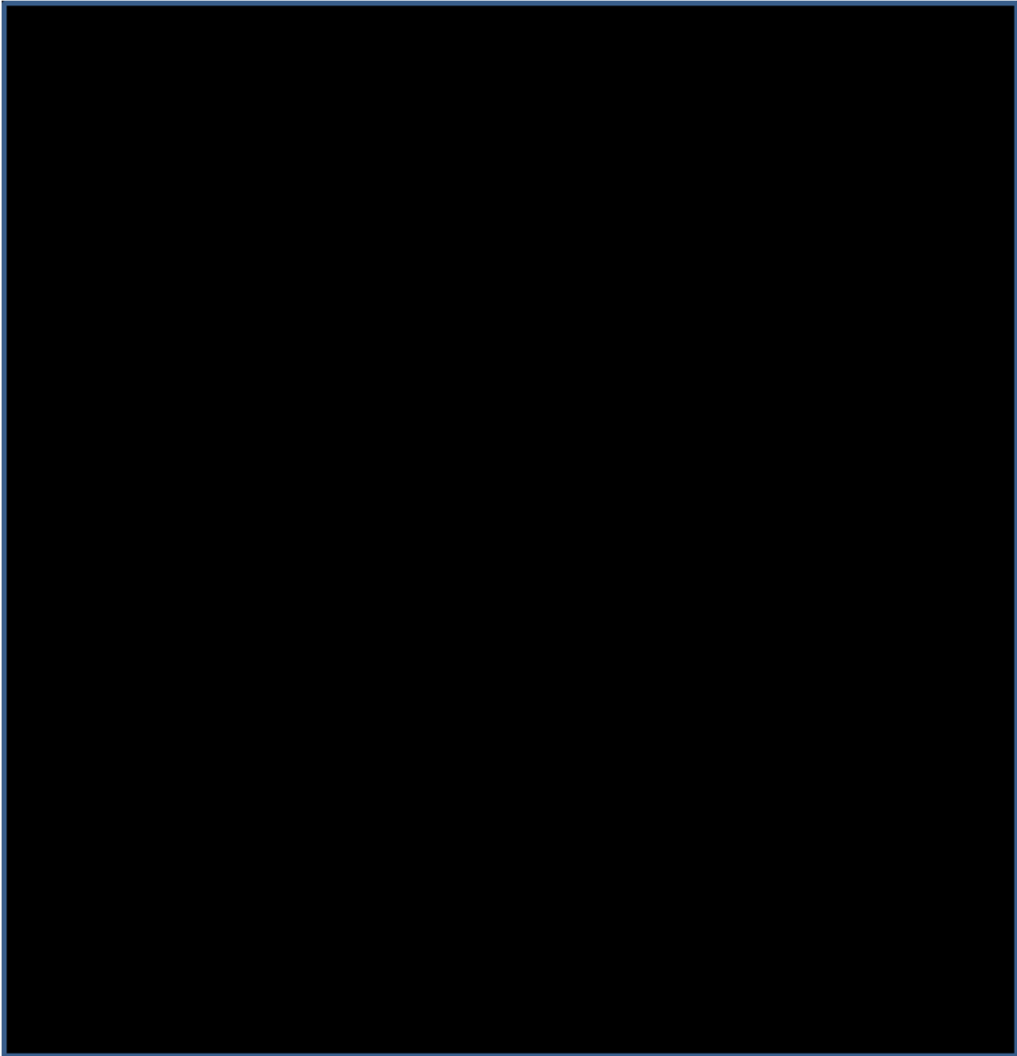
[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]



4.4.2.1-②運用・管理等に関わる仕組みや方法の検討

運用検証の結果を踏まえた遠隔管制型自動運転の運用・管理に関する課題を下記に整理する。

実環境における遠隔型自動運転の 1:n 運用の実施

今年度、試験路にて 1:n 運用の実施を行ったが、単純な周回路での実施であったため、機能的に動作することはわかったものの、実際に運用した際に起こることが予測される、「安全確認の輻輳」の可能性やそれに対する対応策についてさらなる検証を行う必要がある。今年度公道にて 1:n 運用を行ったものの、自動運転レベル 2 での運用で、実質的には遠隔オペレーターではなく、車両に搭乗する運転手が安全確認の最終判断を行っていたため、上記の

課題に対して十分な知見を得ることができなかった。今後は実際に 1:n 運用を実地において行える環境の獲得と、それに向けた技術開発、法的な手続きの通過を目指したい。

#### システムの複雑化による立ち上げプロセスの簡略化

今年度で開発したソリューションを含め、自動運転システムの高度化により、運用時の自動化は進められており、作業者の作業量の削減は図られているものの、システムの立ち上げ時において、運用可能状態にスタンバイするまでの工程が複雑化し、時間の増加が課題となっている。本格的に自動運転システムを運行事業者に管理してもらうためには、運用時のみならず立ち上げプロセスなどの簡略化や自動化を進めたい。

#### ローカル 5G と LTE のハンドオーバーの高度化

今年度で開発したソリューションでは、ローカル 5G と LTE のハンドオーバーは自動運転システムと遠隔管制システムの連携により実現した。これにより機能的には実現ができたが、アプリケーション側の複雑化の要因となっている。今後自動運転バスのようなユースケースをはじめ、ローカル 5G の圏内外の行き来が前提となるシステムへの導入を促進するためには、アプリケーション層より下位の層で、ハンドオーバーの機能が実装されることが望ましい。

#### 4.4.2.1-③社会実装時の運用の仕組み検討

ローカル 5G 活用モデルとして実装する場合の運用・管理等の仕組みについて下図のような運用体制、管理の仕組みを想定している。

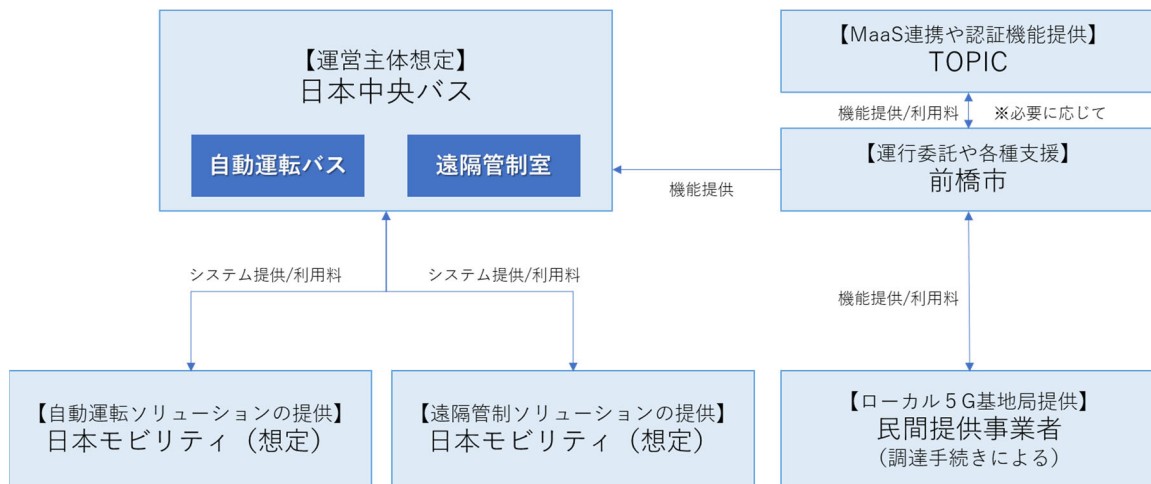


図 4-64 運用・管理等の仕組み

#### 4.4.2.1-④ビジネスモデルの検討

現時点で想定されるビジネスモデルは下図の通りとなる。

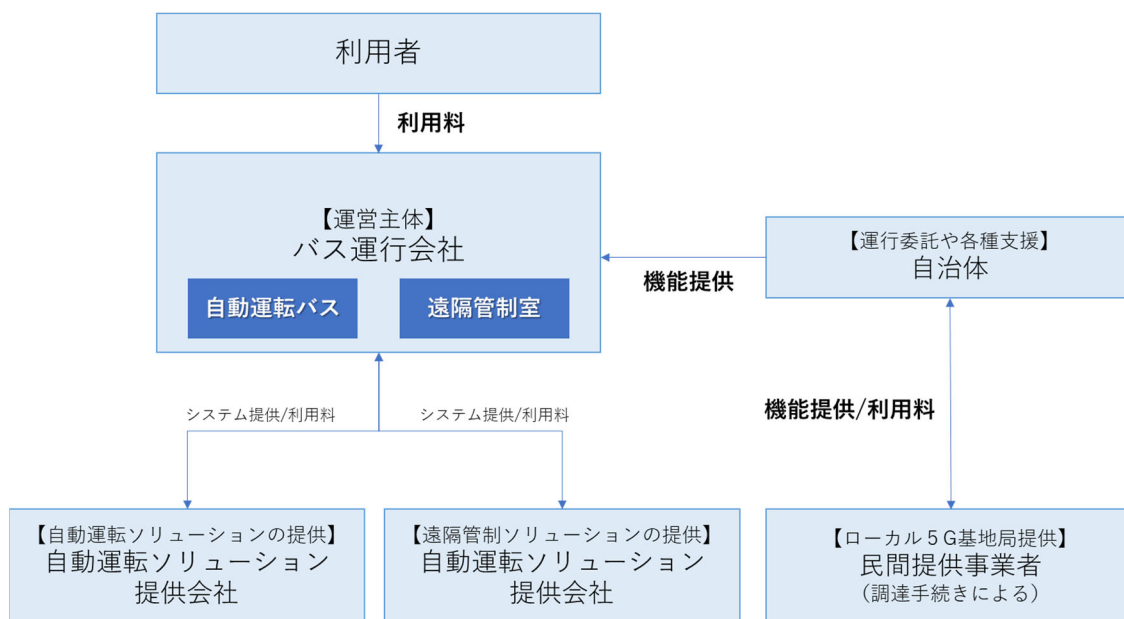


図 4-65 ビジネスモデル

このモデルを成立させるには、対象路線、対象バスを増加させることで自動運転コストの効率化を図ると共に、本数の増加等による利便性を向上させ、利用者からの利用料をより増加させる取り組みが必要である他、ローカル5G基地局に対しても自動運転バスでの利用のみならず、広く自動運転モビリティの民間参入やMaaSでの活用、道路保全、スマートシティ活用等、多層的な利用を目指す必要があり、前橋市においては既に「MaaS」として多層的な活用を想定した交通政策ビジョンを検討中である。



図 4-66 前橋市の目指す MaaS イメージ

#### 4.4.2.2 普及展開方策の検討

普及展開方策では遠隔型自動運転に関するローカル 5 G 活用モデルの普及展開加速に向け、同様の課題を抱える他のユーザ企業や他分野への普及するための方策として、本開発実証事業の検証事項を実証地域固有の要因等を除いたモデルとして整理する。

表 4-20 普及展開方策の検討

項目	内容
----	----

<p>ローカル 5 G を含む通信インフラの機能性や拡張性</p>	<p>ローカル 5 G の通信インフラについては実証を通じ多数の高詳細画像を送信し、多面モニターに表示しても問題ないだけの通信性能を有していると確認された。さらに、通信容量からすればより多くのデータ送信が可能であるだけのポテンシャルを有しており、自動運転バスのみならず、その他の自動運転モビリティや小型モビリティにその通信を提供すること可能であると考え。前橋市においては MaaS 施策の中で、「道路インフラの高度化」を検討しており、ローカル 5 G はまさに各種自動運転モビリティや既存交通環境の安全性の向上等に対して、インフラの一つとしての提供しうるだけの拡張性を有していると考え。そうした拡張性はコストモデルとしても有益な観点になると考える。</p> <p>また、自動運転バスという極めて安全性が重視される対象においては、ベストエフォートではなく、通信の安定が重要であり、ローカル 5 G の機能性が十分に発揮される分野であり、普及展開においても重要な観点と考える。他方、ローカル 5 G 同様の通信インフラである無線 LAN の運用も検討したが、免許が不要なため利用端末があふれている現状である。</p> <p>具体的には以下のような用途で広く活用されていることから安定性に課題があると考えている。</p> <p>2.4GHz 帯：テザリングや公衆無線 LAN など</p> <p>5GHz 帯：衛星通信と共用のため、干渉の懸念</p> <p>この点からもローカル 5 G の優位性は高いと考察する。</p>
<p>規模や管理形態等の異なる条件での活用可能性</p>	<p>前橋市のような地方都市（30万人規模）において自治体が管理することを前提にモデルに考えると、サービスの利用者数とサービス提供のコストのバランスがとれるかどうかの下限のラインであると考え。従って、前橋市以上の規模の都市であれば、活用可能性が高まり、より小規模な自治体となると運用コスト次第ではあるが、それを持続可能なモデルで活用することは難しくなると考える。</p>

最適なネットワーク等のエリア構築	実証を通じて、中央前橋駅の右折侵入時において、その手前から早い段階においてLTEからローカル5G通信のエリアとなり、車両からの画像が送信されることが有益であることが課題実証から明らかになっているが、他者土地における移動体通信の課題が解決されれば、そのことも可能になると考える。普及展開においてもそのガイドラインがクリアされることでより利用の幅が広がるものとする。
システム構成等のポイント	課題実証を通じて路側のカメラ、センサー情報をMEC処理し遠隔管制側に提供するシステム構成としたが、ローカル5Gの大容量通信の特性が十分に生きる結果となった。今後の普及展開においても必要に応じてMEC処理は有効なポイントになると考える。
想定されるビジネスモデル	バスの運行会社、自治体、自動運転システムの提供会社、ローカル5G基地局の提供会社等が関連する中で、前橋のようなモデルは一つのビジネスモデルになり得ると考える。(詳細は「4.4.3 継続利用の見通し」にて記載)

普及展開や社会実装を見据えた際に、プロジェクトを推進している前橋市とその他の地域において、どんな違いがあるか整理をする。

表 4-21 前橋市と他地域の比較

項目	前橋市の独自環境	標準化（横展開）可能項目
自動運転技術	自動運転システムのコア技術、パラメータ調整、3Dマップデータや軌道情報作成を行うが、前橋市特有の道路環境（五差路、狭い車線、片道3車線道路、ケヤキ並木の通過等）への対応が必要である	自動運転システムのコア技術、パラメータ調整、3Dマップデータや軌道情報作成のプロセスは横展開可能。ただし、地域特有の道路環境へのチューニングは必要
ODD への対応 (道路条件、地理条件、環境条件、その他条件)	上記環境を含む市街地におけるODD設定を行う	ODD設定のための手続きノウハウは横展開が可能



ステークホルダー調整	ステークホルダー（自治体、警察、道路管理者、交通事業者、自動運転ソリューション提供会社）が自動運転導入に前向きであり、取り決めがスムーズである	ステークホルダーが自動運転導入に前向きになっていただくためのプロセスが必要
社会受容	地域住民が他地域より交通課題により困難を感じており、自動運転導入に前向き且つ複数年の実証を経て一定の受容環境が構築できている	地域住民をはじめ社会受容を高めていくためのプロセスがあると良い
国の方針等を踏まえた安全性対策	国の示す安全基準を踏まえつつ、それだけでなく、街づくりを含めた安全確保の検討を進めている	国の安全基準は全国画一だが、街づくりを含めたプロセスがあると良い
道路環境等の要件	前橋市にて実装する区間（前橋駅—中央前橋駅間）においてL5Gを活用する中央前橋駅は、平地環境であり、高いビルや大きな街路樹などはない道路環境。また、気象環境としても降雪や降雨が非常に多いという地域ではない。 ただし、駅前ローターという複雑な道路環境において自動運転バスを運行するために、道路形状の改修は必要であり、主催者、ステークホルダーが積極的に検証し、改善するための姿勢がある点が前橋の環境であると言える。	平地環境であり、高いビルや大きな街路樹などはない道路環境及び豪雨豪雪地域でないという環境であればそのまま横展開も可能。 ただし、最終的にはその地域の道路環境、気候特性等を考慮し、個別の調整は必要となることから、各ステークホルダーが実導入に前向きであるかどうか非常に重要となる。

#### 4.4.3 ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

ローカル5Gを用いたソリューションの有効性、実装性に関する検証結果を踏まえ、ローカル5G活用モデルの実現や実装に関わる課題について検討を行った。検討に当たっては、実証目標と実証結果について以下表 4-22 の観点から比較し、それぞれ解決策もしくは解決

するための条件等について整理した。また解決策の検討に当たっては、ローカル5G活用モデルの普及展開の観点より、課題の前提条件等を提示し整理する。

表 4-22 実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討方針

項目	内容
----	----

<p>技術的課題</p>	<p>① 本実証で検証した内容</p> <p>本実証での検証としては、自動運転の1対n運行を実現するために重要となる技術的課題である、主に遠隔管制室の運行作業負担の軽減と効率化のために、5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間および路側－遠隔管制室間）を検証した。</p> <p>② その結果判明した課題</p> <p>5G対応型遠隔管制室情報集約ソリューション（車両－遠隔管制室間および路側－遠隔管制室間）の技術については、遠隔管制室の運行作業負担の軽減効果が得られることを示した一方で、遠隔型自動運転バスに搭載されたUEについて、在圏/圏外間の移動や電界強度の変化による通信速度の変動といった環境下での動作が求められることが明らかとなった。</p> <p>また、社会実装では路側カメラの設置数や遠隔型自動運転バスの運行数の増加が見込まれる。今回の実証環境を前提とした通信帯域の設計では社会実装時に通信容量の不足が懸念される。</p> <p>③ 判明した課題に対する解決策</p> <p>ローカル5Gの社会実装に向けて、次のような特徴を持つ機器構成の選定が課題解決には必要となる。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 在圏時の接続時間が短い機器</li> <li>・ 電界強度の変化に応じた通信速度の連動性が良い機器</li> </ul> <p>また、社会実装時に通信容量不足の懸念に対しては、ローカル5Gのカスタマイズ性を活かして、最大スループット、基地局数、準同期TDDの最適化を進めることが重要となる。</p> <p>④ 解決策の実施にあたり必要な検証項目</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 課題解決用UEの在圏時の接続時間</li> <li>・ 課題解決用UEの電界強度の変化に応じた通信速度の連動性</li> <li>・ 最大スループット、基地局数、準同期TDDの最適解</li> </ul>
--------------	--

導入効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 本実証で検証した内容</li> <li>② その結果判明した課題</li> <li>③ 判明した課題に対する解決策</li> <li>④ 解決策の実施にあたり必要な検証項目</li> </ul> <p>ローカル5Gを用いた遠隔型自動運転バスの導入により、従来の有人運転バスと比較し、安全性の向上や運行本数の倍増に加え、コストとしても1:2の運行で有人運転とほぼ同等となるということが確認された。今後1:nの運行をすることでさらなる経済的な効果が期待される。</p>
------	---

機能・運用に関する課題	<p>① 本実証で検証した内容</p> <p>今年度は、自動運転の 1:n 運用を想定した実証実験を試験路にて実施し、課題の抽出を行った。また、今年度公道にて 1:n 運用を行ったものの、法的手続きの関係上、自動運転レベル 2 での運用で、実質的には遠隔オペレーターではなく、車両に搭乗する運転手が安全確認の最終判断を行う形で実施した。</p> <p>② その結果判明した課題</p> <p>試験路での評価では、構成上単純な周回路での実施であったため、機能的に動作することはわかった一方で、実際に運用した際に起こることが予測される、「安全確認の輻輳」の可能性やそれに対する対応策についてさらなる検証を行う必要があることが判明した。</p> <p>公道での評価では、実質的には遠隔オペレーターではなく、車両に搭乗する運転手が安全確認の最終判断を行っていたため、自動運転の 1:n 運用を想定した検証として、十分な知見を得ることができなかった。今後は実際に 1:n 運用を実地において行える環境の獲得と、それに向けた技術開発、法的な手続きの通過を目指す必要がある。</p> <p>また、今年度で開発したソリューションを含め、自動運転システムの高度化により、運用時の自動化は進められており、作業者の作業量の削減は図られているものの、システムの立ち上げ時において、運用可能状態にスタンバイするまでの工程が複雑化し、時間の増加が課題となることが分かった。</p> <p>③ 判明した課題に対する解決策</p> <p>「安全確認の輻輳」の課題については、さらなる作業者の作業効率性を高める開発のほかに、n:m 運用（複数のオペレーターが複数の自動運転車両を運用する）構造を検討し、作業分担最適化によって問題を解決していくことが考えられる。</p> <p>また、本格的に自動運転システムを運行事業者に管理してもらうためには、運用時のみならず立ち上げプロセスなどの簡略化や自動化を進める必要がある。</p> <p>④ 解決策の実施にあたり必要な検証項目</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実地における安全確認の輻輳頻度や輻輳予測モデル</li> <li>・n:m 運用構造による、作業分担最適化の実現可能性の</li> </ul>
-------------	--

	<p>評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・システム立ち上げプロセスなどの簡略化や自動化の効果評価</li> </ul>
制度的課題	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 本実証で検証した内容</li> <li>② その結果判明した課題</li> <li>③ 判明した課題に対する解決策</li> <li>④ 解決策の実施にあたり必要な検証項目</li> </ol> <p>自動運転の走行にあたって、国土交通省、及び警察庁の示すガイドラインへの適応が必要である。その際には道路環境の整備、例えば乱横断を防ぐためのガードレールの設置や植栽の整備、信号のない横断歩道への対応など、非常に厳しい条件が求められる。前橋市においてはこれら課題について整理し、県や国土交通省ともその整備について議論を進めている。</p> <p>また社会実装のための商用免許による運用を考えたとき、ローカル5Gのガイドラインで他者土地での無線局は固定通信に限定されていたことから、自動運転バスの経路上での影響を心配していたが、令和2年に総務省のガイドラインが改訂されたことで、制度的な課題が解決されたと考える。ただし、実運用においては仔細な確認は必要であると考えます。</p>
普及方策に関わる課題	<ol style="list-style-type: none"> <li>① 本実証で検証した内容</li> <li>② その結果判明した課題</li> <li>③ 判明した課題に対する解決策</li> <li>④ 解決策の実施にあたり必要な検証項目</li> </ol> <p>ローカル5G活用モデルの普及にあたっては、まずは中央前橋駅のような自己土地におけるローカル5G必要環境が必須となり、普及展開においてもその条件のクリアが必要となる。その点では前橋市のように自治体の関与が重要であり、自治体の意向次第で市有地における普及展開は可能になると考える。</p>

#### 4.4.3-① 制度的な課題への対応整理

継続利用にあたっては、国交省や警察庁等のガイドラインへの準拠が必要となり、下記にその整理を示す。

●ガイドライン等との整合性

◇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、SAE<sup>1</sup>の発行した J3016<sup>2</sup>の定義を採用し、以下表 4-23 のように定めている。

表 4-23 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 <sup>3</sup> 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	・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 4-23 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 4-24 のように定

<sup>1</sup> 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。

<sup>2</sup> SAE International J3016 “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicle”

<sup>3</sup> 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。

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。

表 4-24 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

#### ◇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込ま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4-25)。

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 4-25 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"> <li>・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</li> <li>・同装置を使用して自動車をを用いる行為を「運転」に含む旨を規定した。</li> </ul>
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"> <li>・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</li> <li>・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。</li> </ul>



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"> <li>・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</li> <li>・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。</li> </ul>
-------------------------	--

出所) 警察庁 第198回国会(常会) 提出法案 参考資料 より作成

#### ◇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4-26のとおり設けている。

表 4-26 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 <sup>4</sup> 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 <sup>5</sup> 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	

<sup>4</sup> 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。

<sup>5</sup> 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。

	(7)	最高速度は、交通の状況、道路環境等 <sup>6</sup> に鑑みて十分な猶予をもって安全に停止できる速度 <sup>7</sup> とし、当該最高速度が実施計画に盛り込まれていること。
	(4)	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。
	(9)	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	(7)	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。
	(4)	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。
	(9)	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に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。
	(5)	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	(7)	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。
	(4)	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る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	(7)	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。
	(4)	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。
	(9)	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。
	(5)	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 <sup>8</sup> 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。	

<sup>6</sup> 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

<sup>7</sup> 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。

<sup>8</sup> 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。

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。
(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 <sup>9</sup> 。
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)。

## ●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4-27のとおり安全性・利便性の確保のため基本的

<sup>9</sup> 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。

な考え方を示している。

表 4-27 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 4-28)。

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べきである、という意見があげられている。また、運賃收受、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。

旅客の安全の確保については、技術的には、車内の状況をモニタリングし、例えば車内転倒などの緊急時には車両を停車させる、あるいはその状態を遠隔管制室に発報するなどの仕組みを開発するほか、運用面では、黎明期においては保安員を車内に常駐させるなどで対応するとともに、将来的には、遠隔管制室から、現地等と連携して、いち早く現場に急行する仕組みを整えるなどして、対応をしていく。料金收受等についても技術と運用の両面で段階的に高度化を進める。

表 4-28 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"> <li>・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。</li> <li>・<u>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。</u></li> <li>・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）。</li> </ul>
旅客の安全の確保	<p><u>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。</u></p> <p><u>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。</u></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	旅客のために以下の事項を行うことが必要である。 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
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

このほか、各章で示した関係者ヒアリングの中で、以下の課題があげられた。

- ・自動運転精度の向上
- ・遠隔操作における共同体の検討
- ・事故時対応、障害者の乗降対応
- ・車内の安全確保、料金収受方法
- ・L5G通信の安定性向上、導入維持コストとパフォーマンス向上、停電対策

#### 4.4.4 継続利用の見通し・実施計画

ローカル5Gの実装シナリオについて、表 4-29 の観点を踏まえ整理した。

表 4-29 社会実装に向けた検討項目ごとの整理

	H32	R1	R2	R3	R4～
	技術実証 (市民乗車、通常路線)	技術実証 (市民乗車、通常路線、複数台運行)	実証事業 (L5Gによる安全性向上)	実証事業 (L5Gによる安全性向上と複数台運行)	社会実装
自動運転技術	L2緑ナンバーでの運行に対応した技術開発	2台同時運行対応ならびに遠隔型想定運用(LTE)	5G対応型ソリューション開発 (主に1台)	5G対応型ソリューション開発(複数台)	L3緑ナンバーに向けた技術開発と各種手続き
ODDへの対応 (道路条件、地理条件、環境条件、その他条件)	L2運用。L3以上運用で想定されるODDの見極めのための実験。長期間運用実験(3か月強)	L2運用。複数台運用時の想定されるODDの見極めのための実験	L2運用。5G利用によるODDに対する影響の見極めのための実験	L2運用。複数台運用時の5G利用によるODDに対する影響の見極めのための実験	前年度までの見極めを基にL3運用のためのODD定義と設定手続き
ステークホルダー調整	所轄警察、道路管理者、住民説明会の実施。前橋市と日本中央バス、群馬大学で協定締結	H32に加え、路線延伸(中央前橋一前橋駅-ケヤキウォーク)所轄警察、道路管理者、施設管理者との協議	H32に加え、路側物を実験期間設置に伴う所轄警察、道路管理者との協議	R2に加え、路側物の長期間設置に伴う所轄警察、道路管理者との協議	L3運用に伴う、所轄警察、道路管理者との調整。地域交通会議での協議
社会受容	地域市民が自動運転バスを移動手段として利用	地域市民のニーズに応じた延伸に自動運転バスが対応	新技術検証と一般市民乗車実施	新技術検証と一般市民乗車実施	運転席無人での自動運転バスを移動手段として利用いただく
国の方針等を踏まえた安全性対策	L2運用のための各ガイドラインに沿った安全対策の実施	遠隔型自動運転を想定した各ガイドラインに沿った安全対策の実施	L3運用を見据えた安全対策の検討	L3運用を見据えた安全対策の検討	L3運用のための各法律、ガイドラインに沿った安全対策の実施
ハード面の改修	L2用自動運転バスの構築	L2用自動運転バスを2台導入および遠隔型自動運転対応	5G対応機器の搭載	5G対応機器の改修及び道路環境の改善検討	L3認証の取得に必要な機器の搭載及び道路環境の改善

#### <自動運転技術>

本実証を通じ、市街地での自動運転の実装の過程で重要となる、遠隔型自動運転を実現するためのローカル5Gに対応する遠隔監視、操作、操縦のソリューションを開発することができた。令和4年度以降は自動運転率を限りなく100%するための方策として、自動運転システムの自己位置推定技術、障害物検知回避技術のさらなる高度化による、道路環境、個通環境への対応をはじめ、道路インフラ側との連携による自動運転走行難易度の減少を意図した、路側機器等の設置などを行い、その効果を実証していくことを想定している。

#### <ODDへの対応>

自動運転の1:n運行を実現するためには、ODD(Operational Design Domain: 運行設計領域)の定義と認証を、当該路線で取得していく必要がある。そのためには交通環境が複雑化する箇所を整理し、必要な整備を行うことで、ODD認証に対する敷居を下げる取り組みを行うとともに、自動運転システムの網羅的な性能試験を実施していくことを想定している。

<ステークホルダー調整>

当面の運用主体は現在のシャトルバスを運行している日本中央バスが主体になると想定しており、下記のようなステークホルダーとそれぞれの役割を想定している。

表 4-30 ステークホルダーの整理

プレイヤー	役割
日本中央バス（運行主体想定）	自動運転バスの所有、運行、遠隔監視の運用
日本モビリティ	自動運転バスソリューション、遠隔監視ソリューションの提供（主体からの委託）
前橋市 TOPIC	シャトルバス路線運行の委託、自動運転導入に関する補助、道路環境整備 （道路環境整備は群馬県、群馬県警、国土交通省等と連携） MaaS等の交通政策との連携 必要に応じて市民認証基盤の提供
L 5 G 提供事業者	L 5 G 基地局の設置と提供（利用料として）
上毛電気鉄道	中央前橋駅におけるL 5 G 基地局設置の場所提供

また、それぞれの機器の所有権や関係者間の契約の在り方について下表に整理する。

表 4-31 機器の所有権や関係者間の契約の在り方

設備、機器等	所有者	契約の在り方等
自動運転用バス	日本中央バス	購入済み
自動運転用機材の装備	日本中央バス	日本モビリティに委託
遠隔管制室	日本中央バス	社内に用意
遠隔管制機材の設置	日本中央バス	日本モビリティに委託
自動運転システム	日本中央バス	日本モビリティと契約
遠隔管制システム	日本中央バス	日本モビリティと契約
L5G 基地局	前橋市→日本中央バスで利用	民間事業者に委託を想定
（必要に応じて） MaaS 連携	前橋市→日本中央バスで利用	他の交通施策でも活用する基盤を TOPIC より提供予定

実証実験を踏まえたコンソーシアム外のプレイヤーのご意見としては下記の通りであり、今後の実装に向けてL 5 G関連のみならず、自動運転の運行に関わる課題についても検討していく。



表 4-32 ヒアリング内容の要約

<p>日本中央バス</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●自動運転用のバスは既に購入済み、今後機器の取り付けを行う予定</li> <li>●遠隔管制室は日本中央バスの中に設置するイメージで場所などは検討中</li> <li>●ドライバーから見ると運行に変化はないが、ローカル5Gによって遠隔管制の精度が高まり、安全性が高まることに期待</li> <li>●自動運転そのものの精度の向上もまだ必要である</li> <li>●遠隔管制室の共同運営も将来的には考える必要があるが、日本中央バスが主体ということだけでなく、バス協等の共同的な母体でないと難しいのではないかと</li> <li>●実運用となると、事故時の対応の方法、障がい者への対応、車内の安全性確保、料金收受などの課題のクリアが必要になる</li> <li>●前橋市の取り組む MaaS との連携では、個別の事業者で運用しても価値はなく、連携した取り組みが必要で、その中でデータの流通、料金分配などの仕組みも検討する必要があると考える</li> </ul>
<p>上毛電気鉄道</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●コロナ禍を経てなかなか利用者が戻らない中で、前橋駅と中央前橋駅をつなぐシャトルバスの自動運転化によって、路線が維持されたり、運行本数が増えたり、することで利便性が増進し、利用者増えることに期待する。</li> <li>●ローカル5Gのアンテナは駅舎の屋上に設置させていただいたが、あまり重要のあるものでもなく、景観を損なうものでもないので、設置には問題ない。その他の装置については今回は待合室の一角に設置したが、実用時には設置場所を検討する必要があるが、特に大きな問題はない。</li> <li>●電力供給については、駅では特殊な鉄道仕様の電気を引いている関係から、独自に引いてくる必要がある。実証でもそのようにしたので、実用でも問題ないはず。</li> <li>●電車でも赤外線やその他無線電波を使っているが、特に電波干渉などもなく、問題はなかった。</li> <li>●前橋市の進める MaaS との関連では、自動運転バスの運行と合わせ、決済やデータ活用など課題があるので、今後も継続的に検討していきたい。</li> </ul>

表 4-33 費用分担の在り方

費用分担については、設備・機器の所有者と合わせて下表のように整理する。

設備、機器等	所有者	費用の負担	予定年度
自動運転用バス	日本中央バス	購入済み 前橋市の補助により 令和3年度中に購入 済み	令和3年度
自動運転用機材の 装備	日本中央バス	前橋市の補助等を活 用し日本モビリティ に委託予定	令和4年度
遠隔管制室	日本中央バス	自社負担	令和4年度
遠隔管制機材の設 置	日本中央バス	前橋市の補助等を活 用し日本モビリティ に委託予定	令和4年度
自動運転システム	日本中央バス	前橋市の補助等を活 用し日本モビリティ と契約予定	令和4年度
遠隔管制システム	日本中央バス	前橋市の補助等を活 用し日本モビリティ と契約予定	令和4年度
L5G 基地局	前橋市→日本中央バ スで利用	前橋市予算にて民間 事業者へ委託を想定 (調達プロセスを経 る)	令和4年度以降
(必要に応じて) MaaS 連携	(必要に応じて) 前橋市→日本中央バ スで利用	(必要に応じて) 前橋市予算にて、他 の交通施策でも活用 する基盤を TOPIC より提供予定	令和5年度以降

これらステークホルダーに対し、前橋市としては下記の検討体制の中で行うことを想定している。

- 前橋5G社会実装プロジェクト モビリティWG
  - ・・・5Gを活用したプロジェクトについて検討する協議会
- 前橋新モビリティサービス推進協議会
  - ・・・MaeMaaSを中心とした交通政策を検討する協議会
- 前橋市地域公共交通会議
  - ・・・交通事業者が参画する会議で、公共交通の運行に関する事項を調整する会議
- 前橋市地域公共交通再生協議会

- ・・・交通事業者、警察、道路管理者、住民代表等が参加し、バスを中心とした公共交通ネットワークの再編を協議する協議会

これら協議会や会議体の中でより実装に向けた具体的な検討を行う必要がある。また、必要に応じて新たな会議体の設置も検討する。

#### <社会受容性>

実証では公道実証において、緑ナンバーを取得し、一般市民が乗車できる期間を設けた。

- ・令和4年 2月21日～27日（24日、25日はメンテナンス日）

過去の継続的な取り組みも含め前橋市民における受容性は十分であるとする。

#### <国の方針を踏まえた安全対策>

4.4.3に示した通り、改正道路交通法や道路使用許可基準、国交省ガイドラインに対応した安全対策を実施していく。

#### <ハード面の改修>

ODDの整理を踏まえ、前橋市では具体的なハード面の改修も計画している。

- ・既存白線の引き直し（R3年度群馬県にて実施済み）
- ・歩行者の乱横断を防止するための横断防止柵設置、中央分離帯における植栽の調整
- ・自動運転バス走行レーンの明示（路面のカラーリング）
- ・信号機なし横断歩道におけるカメラ、センサーの設置
- ・駅ロータリー内における自動運転バス専用バース化（R3年度バス事業者にて一部実施済み）

上記のこれまでの検討経緯と今年度実証を踏まえ、令和4年度以降の運転席無人の自動運転バス実装に向けた計画及びイニシャルコストの見通しについて、下記の表に整理する。

表 4-34 令和4年度以降の取り組みについて

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度以降
自動運転実装フェーズ	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1路線のインフラ整備</li> <li>遠隔管制室整備(日本中央バス)</li> <li>長期の実証実験(搭乗型レベル2)</li> <li>一部路線で遠隔型自動運転の実施(遠隔型レベル3)</li> <li>第1路線における一部社会実装</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1路線のインフラ整備</li> <li>第1路線における(一部または全部路線の)遠隔型自動運転(レベル2)での一定期間の定期運行実施</li> <li>第1路線における(一部または全部路線の)遠隔型自動運転(レベル3)での実証実験</li> <li>第2路線の走行難易度調査、実証実験(搭乗型レベル2)及びインフラ整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1路線での遠隔型レベル3での2台同時運行(1:2運行開始)</li> <li>第2路線における自動運転実装</li> <li>第3路線における実証実験及びインフラ整備</li> <li>遠隔管制室の共同運営</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第3路線における自動運転実装(1:3運行の開始)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2025年度までの成果を踏まえてさらなる拡張を検討</li> </ul>
自動運転技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>自律的運行機能の強化</li> <li>実導入用の自動運転バスの用意と遠隔管制室の用意</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レベル3認定取得対応(試験等実施)</li> <li>前橋駅～中央前橋駅間ODD対応</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔管制室の共同運営対応</li> <li>第2路線ODD対応</li> <li>バスサービスとの運動強化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第3路線ODD対応</li> <li>バスサービスとの運動強化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>レベル4認定取得対応</li> <li>バスサービスとの運動強化</li> </ul>
ODDへの対応(道路条件、地理条件、環境条件、その他条件)	<ul style="list-style-type: none"> <li>前橋駅～中央前橋駅間をレベル3区間とし、条件設定検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第2路線の条件設定検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第2路線の1:n運用に合わせた条件再設定検討</li> <li>第3路線の条件設定検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>前橋駅～中央前橋駅間をレベル4区間とし、条件設定検討</li> </ul>	
L5Gの運用	L5G基地局の仕様、コスト等の継続検討と市において導入費用補正予算対応(国の補助金検討)。	自動運転バス車内の無人化に伴うL5G基地局の設置(予定)。市で当初予算対応(国の補助金検討)。	路線拡大に伴う基地局追加検討。共同経営における費用負担分散。	他の交通モードを含めたL5Gの横展開を検討。更なる費用負担の分散化。	他の交通モードを含めたL5Gの横展開を検討。更なる費用負担の分散化。
ステークホルダー調整	<ul style="list-style-type: none"> <li>バス運行会社との調整(バスの購入と遠隔管制室の設置)</li> <li>所轄警察、道路管理者との調整</li> <li>地域公共交通会議での協議</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バス運行会社の運行状況確認と対策</li> <li>新規のバス運行会社調整</li> <li>遠隔管制の共有化検討</li> </ul> <p>課題:コストメリットを生み出すには、複数事業者の自動運転バスを1人の遠隔管制者が管理する必要がある</p> <p>解決策:共同経営の中で遠隔管制室共有化の仕組みづくり</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔管制の共有化</li> <li>協議会設置及び開催</li> </ul> <p>課題:車イス乗客の対応</p> <p>解決策:事前予約による対応</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>共同運行モデルの検討</li> <li>協議会開催</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2025年度までの成果を踏まえて調整</li> </ul>
社会受容	<ul style="list-style-type: none"> <li>初期は補助員によるサポートを想定</li> <li>車内保全、料金収受、事故時の責任分界モデルの検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>車内保全の仕組みの実装</li> <li>MaaS施策と連動した料金収受モデルの導入</li> <li>事故時の対応実装</li> </ul> <p>課題:道路運送法における運転手の責務や運賃収受の取り扱い</p> <p>解決策:顔認証による決済技術の導入や警備会社との契約を検討(緊急時対応)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高齢者、障がい者への対応</li> <li>第1路線、第2路線におけるバス車内完全無人化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第3路線におけるバス車内完全無人化</li> <li>街中再開発に合わせた自動運転バス導入検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>自動運転導入におけるノウハウの共有</li> <li>→他市での自動運転バス導入へ</li> </ul>
国の方針等を踏まえた安全性対策	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔操作の公道実証実施</li> <li>第1路線での道路使用許可</li> <li>自動運転車両検査(警察、運輸支局)</li> </ul> <p>課題:レベル3における許可申請手順が不透明</p> <p>解決策:手続きノウハウの共有</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第2路線導入車両検査(警察、運輸支局)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第2路線での道路使用許可</li> <li>第3路線導入車両検査(警察、運輸支局)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第3路線での道路使用許可</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後の拡張を想定したレベル4実装に向けた許可申請等調査検討</li> </ul>
ハード面の改修	<ul style="list-style-type: none"> <li>一部道路の白線整備やガードレール、植栽の整備</li> <li>L5G基地局の設置検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第1路線におけるインフラ整備実施(乱横断防止用横断防止柵設置、自動運転走行レーン表示)</li> </ul> <p>課題:整備費用</p> <p>解決策:カメラ・センサー等ICTを使った乱横断対策技術、自動運転技術そのものの高度化</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第2路線でのインフラ整備検討、実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第3路線でのインフラ整備検討、実施</li> <li>第2路線における残整備実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2025年度までの成果を踏まえて拡張検討</li> <li>第3路線における残整備実施</li> </ul>
<コストモデル>					
インフラ側整備		11,000千円	10,000千円	10,000千円	
L5G基地局		未定	-	-	
車両自動化		15,000千円	15,000千円	15,000千円	
遠隔管制室整備		2,000千円	-	-	
イニシャル合計		26,000千円	25,000千円	25,000千円	
<財源の想定>					
国土交通省補助		13,000千円	12,500千円	12,500千円	
前橋市負担		13,000千円	12,500千円	12,500千円	

※前橋負担には企業版ふるさと寄付金等を充当

※ランニングコストは別掲 ( )

また、4.4.3に記載したローカル5G実装に向けた課題及び対応策に対しての実行計画を下表に整理する。

表 4-35 社会実装に向けた実行計画案

	令和4年度	令和5年度
技術的課題	機器構成の検討 (L5G基地局設置)	(L5G基地局設置)
機能・運用	公道における1対1運用の実施	公道における1対2運用の実施と課題確認、対応
制度的課題	(自動運転バス運行の課題) ・道路使用許可 ・インフラ整備によるODD認証 ※L5G実装上の課題はR2ガイドライン改訂により解消	(自動運転バス運行の課題) ・遠隔オペレーターの養成(二種免許ありドライバー以外)
普及方策に関わる課題	・L5G必要範囲の特定(道路管理者協議) ・前橋市によるL5G導入意思決定	

#### 4.4.5 実環境における遠隔型自動運転の1:n運用の実施に向けた課題

前節で述べたローカル5Gの実装シナリオに基づき、将来自走していくために目指すべき最初のステップとして、自動運転車両の1:2(オペレータ1名:自動運転車両2台)運用を行う際に必要な課題を視点として整理する。

##### <環境の獲得>

自動運転技術については、現状一般的にも、人間の運転と同等以上の能力を持つ技術は存在せず、走行する路線の走行難易度に大きく左右される。例えば、歩者分離が進んでいない路線においては安全性確保のために、車両を徐行運転するなどの運用上の工夫をしたり、道路側にセンサを取り付けて死角をなくしたり、予見情報を得られるようにしたり、そもそも歩行者と自動運転車両が混在しないようにガードレールなどで環境を整えたりする必要がある。裏を返せば、走行難易度を低い路線を見つけるあるいは作り出すといった環境の獲得が重要となる。前橋市においては、環境の獲得の一環として、これまで繰り返し候補路線での実証実験を実施しての地域の受容性の向上に加え、走行路線の走行難易度の調査とそれに伴うソリューションの整理などを実施している。

また、環境の獲得における最終的なゴールとしては、自動運転システムとともに、その環境に対してレベル3以上、かつ遠隔型自動運転の認可を行政から獲得することと同義となる。そのための実績を積み十分な課題の洗い出しを行い、それに対する対応策を整えることが今後の課題である。

#### <技術の開発>

前述の環境の獲得とともに自動運転システムおよびその周辺技術の高度化開発が課題となる。1:2以上の遠隔型自動運転で本格的な運用するためには、以下の技術を整える必要がある。

- ・レベル3以上の認可を取得可能な自動運転システム
- ・遠隔型自動運転の認可を取得可能な遠隔管制システム
- ・自動運転システムおよび遠隔管制システムを補助する路側協調システム
- ・利用者に向けたサービスとして提供するための周辺技術（料金收受等）

いずれの分野でもすでにある程度の開発が進んでいるものの、最終的なゴールとしては、認可取得となるため、これに向けたブラッシュアップが課題となる。

令和4年度以降の前橋市での取り組みとしては、自動運転率を限りなく100%するための方策として、自動運転システムの自己位置推定技術、障害物検知回避技術のさらなる高度化による、当該路線への対応をはじめ、道路インフラ側との連携による自動運転走行難易度の減少を意図した、路側機器等の設置などを行い、その効果を実証していくことを想定している。

#### <法的な手続き>

自動運転の1:n運行を実現するためには、ODD(Operational Design Domain：運行設計領域)の定義と認可（すなわちレベル3あるいは4の認可）と遠隔型自動運転の認可を、当該路線で取得していくことが課題として挙げられる。そのためには交通環境が複雑化する箇所を整理し、必要な整備を行うことで、ODD認可に対する敷居を下げる取り組みを行うとともに、自動運転システムの網羅的な性能試験を実施していくことを想定している。

## 5. 普及啓発活動の実施

### 5.1 映像制作への協力

当コンソーシアムでは、ローカル5G普及啓発の観点より、調査研究請負事業者の実施する映像制作への協力を行った。具体的には下記の5つのシーンを必須とし、その他記録できる動画を記録し、データ提出を行った。

- ・ 駅前ロータリーや試験路の風景
  - ・ センサ、カメラでの監視
  - ・ 遠隔管制室でのチェック
  - ・ 自動運転バスの走行シーン
  - ・ 実施者のコメント動画
- 
- ・ その他道路へのカメラ取付シーンや技術実証の様子

### 5.2 実証視察会の実施

当コンソーシアムでは、ローカル5Gの導入等に関心のある企業、地方公共団体、及び関係省庁等に対する普及啓発として、実証視察会を実施した。

当初、前橋市にお越しいただき、自動運転バスに乗車と遠隔管制室をご覧いただくことを想定していたが、群馬県における新型コロナウイルスに対する「まん延防止等重点措置」が適用され、首都圏を含む関東近郊においても同様の措置が適用されていたことから、オンラインでの実施に切り替えて実施した。

< 次第 >

① ご挨拶

前橋市 副市長 大野誠司

② 紹介動画

③ 実証概要の説明 TOPIC

④ 技術実証の説明 日本電気株式会社

⑤ 課題実証の説明 群馬大学及び日本モビリティ

※遠隔管制室の説明の中で遠隔管制室をご案内

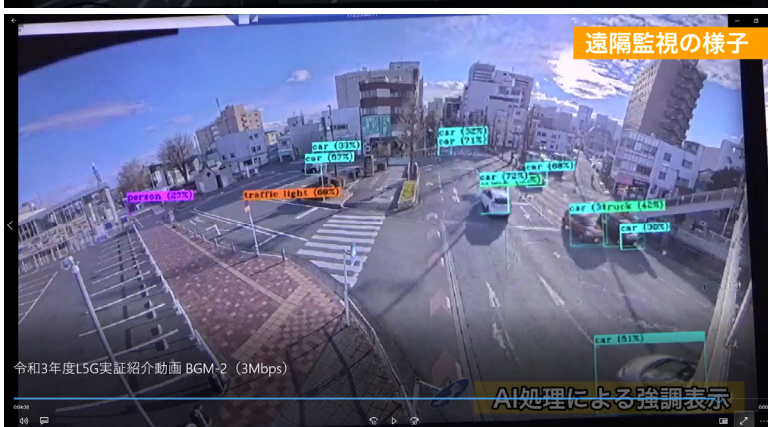
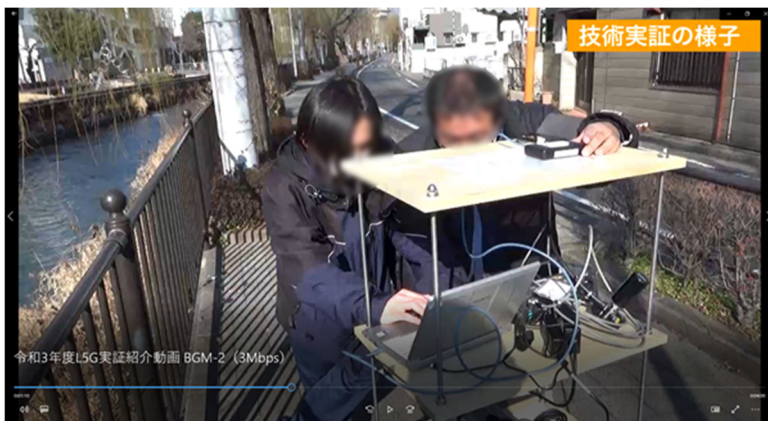
⑥ 質疑応答

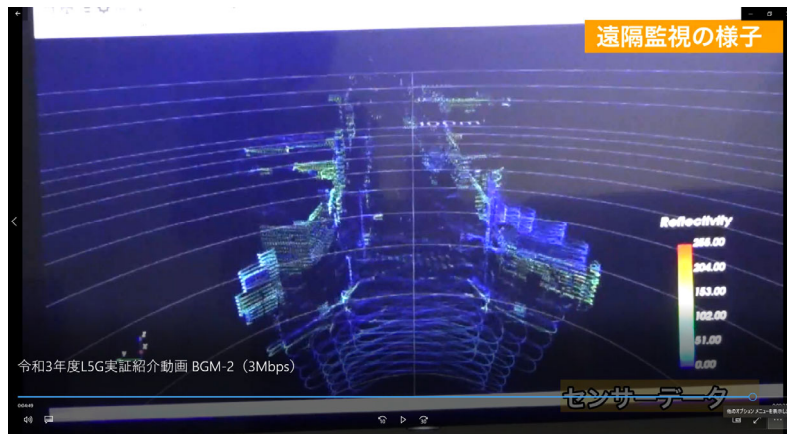
< 動画 >

リアルな視察が不可能となったことから、少しでも実証事業全体のイメージをつかんでいただくために、紹介動画を制作し放映した。









### 5.3 その他普及啓発活動

#### ○前橋市における記者発表

- ・2021年0901日上毛新聞掲載

#### ○前橋市広報への記載

- ・公道実証における市民の乗車可能日程（2/21、22、23、26、27）について前橋市広報での掲載

#### ○コンソーシアムでのプレスリリース

- ・2/14 プレスリリース「群馬県前橋市でローカル 5G を活用した複数台遠隔監視による自動運転バスの公道実証を実施」を行い、日本経済新聞、日経クロステック/日経コンピュータ、ZDNet Japan、時事ドットコム、モーターファンの各紙が掲載。

## 6. 実施体制

本開発実証事業は、令和元年11月26日に発足したコンソーシアムである「前橋5G社会実装プロジェクト」によって推進していく。当コンソーシアムでは、「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」の三分野における5Gの利活用について検討することを掲げ、前橋市を中心とした産学官連携によって推進された。

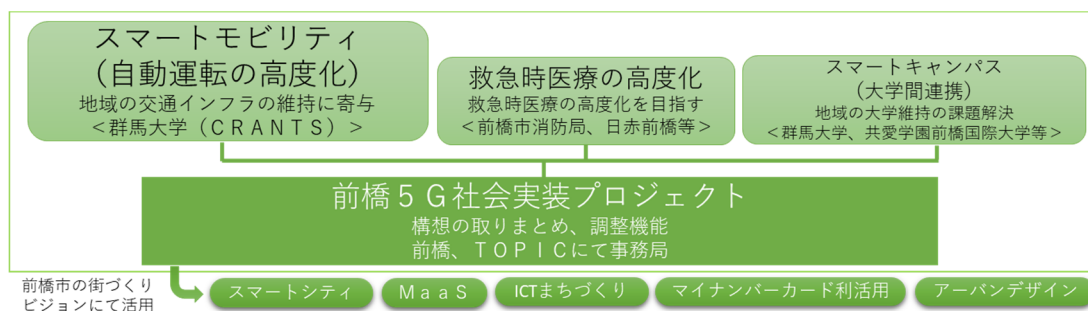


図 6-1 前橋5G社会実装プロジェクト

本開発実証事業は、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、前橋警察署や地域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。また、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（以下、「TOPIC」とする）が調査研究請負事業者より請負い、実証全体統括や報告書とりまとめを行った。技術実証担当者は日本電気株式会社が担い、ローカル5G基地局の整備、その電波伝搬試験事務を行った。遠隔型自動運転に関する開発・評価、実証実験等の実施を日本モビリティ株式会社が実施し、国立大学法人群馬大学が評価分析や横展開に関する考察を行った。以下、図 6-2 に実証体制図、表 6-1 に実証における役割分担を記す。

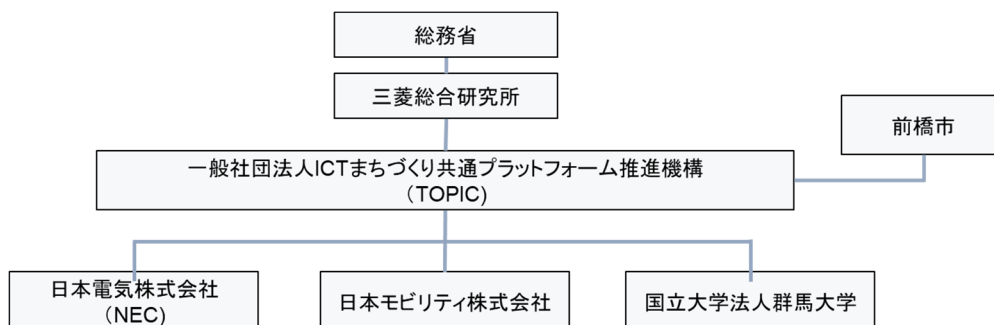


図 6-2 実証体制図

表 6-1 役割分担

団体名	役割
前橋市	実証フィールド、地域協議会の代表機関
一般社団法人 ICT まちづくり	実証全体統括、成果報告会の実施、

共通プラットフォーム推進機構	成果報告書のとりまとめ
日本電気株式会社	技術実証担当者、技術 PM、ローカル 5 G 基地局の提供、電波試験事務実施
日本モビリティ株式会社	課題検証における自動運転関連ソリューションの開発と評価実験・実証実験の実施
国立大学法人群馬大学	課題検証における分析結果の評価、考察および成果物の横展開に関する検討

本開発実証事業のプロジェクトマネージャー、技術実証担当、会計処理担当等を表 6-2 に示す。代表機関である TOPIC は、令和 2 年度の「地域課題解決型ローカル 5 G 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 5 G 等の技術的条件及び利活用に関する調査検討の請負（自動運転車両の安全確保支援の仕組みの実現）」においてプロジェクト統括を行った実績を有しており、本開発実証事業においてもプロジェクトの進捗管理等に必要な経験、また体制をもって事業遂行することが出来た。また、技術実証担当である NEC についても、同様に令和 2 年度実証における技術 PM として参画し、電波伝搬試験等を行った実績を有することから、本開発実証事業における技術的検討に対して十分な履行能力を発揮した。

表 6-2 実証管理体制

役割	団体名	肩書・氏名
プロジェクトマネージャー	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	別紙担当者
技術実証担当	日本電気株式会社	別紙担当者
課題実証担当	日本モビリティ株式会社	別紙担当者
会計処理担当	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	別紙担当者

## 7. スケジュール

本開発実証事業のスケジュールを示す。

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
全体	■ 提案書提出		■ 契約	→ 週次報告・月次報告						■ 最終成果報告会
実証環境の構築					■ 免許申請	→ 登録点検 ■ 登録点検結果通知書提出	■ 本免許発行 ■ 試験路基地局	■ 中央前橋駅基地局		
ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討						→ 試験路実証	→ 公道実証			
ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討				→ 設計・実装			→ 試験路実証	→ 公道実証	→ 一般乗車	

