令和４年度　課題解決型ローカル５Ｇ等の実現に向けた開発実証

【特殊環境実証事業】

ローカル５Ｇを活用した都市内高速道路での大規模災害発生時における通信手段の確保と迅速な被害状況把握の実現

成果報告書

令和５年３月

首都高速道路株式会社

目次

1. 実証概要 1

1.1 背景・目的 1
1.1.1 首都高速の概要 1
1.1.2 首都高速におけるローカル 5G 導入検討の背景 5
1.2 実証の概要 8

2. 実証環境の構築 10

2.1 対象周波数帯 10
2.2 実施環境 10
2.2.1 実施場所 10
2.2.2 実施場所選定の考え方 11
2.2.3 実施場所の詳細 12
2.3 ネットワーク・システム構成 16
2.3.1 区間①及び区間②システム構成機器 19
2.3.2 区間③及び区間④システム構成機器 29
2.3.3 最も効率的なシステムであることの説明 40
2.4 システム機能・性能・要件 41
2.5 免許及び各種認可 42
2.5.1 無線局免許 42
2.5.2 立入協議 42
2.6 その他 43
2.6.1 実証システムの拡張性等 43
2.6.2 実証システムの安全性確保のための対策 43

3. 特殊な環境におけるローカル５Ｇの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証） 47

3.1 実証概要 47
3.2 実証環境 48
3.2.1 首都高速の構造的特徴及び線形的特徴 48
3.2.2 本実証区間における自己土地、業務区域の位置付け 48
3.2.3 区間①～直線区間、sub6 帯 49
3.2.4 区間②～曲線区間、sub6 帯 55
3.2.5 区間③～曲線区間、sub6 帯及びミリ波帯 66
3.2.6 区間④～曲線区間、sub6 帯及びミリ波帯 71
3.3 実証事項 77

3.3.1 線状の空間における電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化 77
3.3.2 線状の空間におけるエリア化の改善・柔軟性向上 144

4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証） 210

4.1 実証概要 210
4.1.1 背景となる課題 210
4.1.2 本実証におけるローカル 5G 活用モデル 216
4.1.3 実証内容の新規性・妥当性 225
4.1.4 実証目標 227
4.2 実証環境 229
4.3 実施事項 230
4.3.1 ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証 230
4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証 307
4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討347
4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開 350

5. 普及啓発活動の実施 372

5.1 映像制作 372
5.2 実証視察会の実施 373
5.3 その他普及啓発活動 374
5.3.1 展示会等での情報発信 374
5.3.2 他分野アドバイザーとの意見交換会の実施 379
5.3.3 高速道路事業者との連携 381
5.3.4 ローカル 5G カタログサイトとの連携 382

6. 実施体制 383

6.1 実施体制の全体像 383
6.2 実施体制内の役割 383

7. スケジュール 385

1. 実証概要

1.1 背景・目的

1.1.1 首都高速の概要

首都高速道路株式会社は、首都高速の新設、改築、維持、修繕その他の管理を効率的に行うこと等により、道路交通の円滑化を図り、もって国民経済の健全な発展と国民生活の向上に寄与することをその事業目的としている。首都高速は、1950 年代後半から 1960 年代にかけての高度成長に伴う急速なモータリゼーションの進展により道路事情が悪化する中、道路交通が著しく輻輳し、自動車の能率的な運行に支障のあった東京都区部やその周辺地域から整備が始まった。また、1964 年の東京オリンピックに向け、羽田空港、競技施設、選手村を結ぶ道路を整備することが至上命題となり、建設コストや工期を最小限とするため、河川や運河、街路等の公共用地を可能な限り利用するよう計画された。その後、徐々に道路ネットワークを構築し、現在では、首都圏の 1 都 3 県で約 330km の道路網を運用している。首都高速の道路網を図 1-1 に示す。

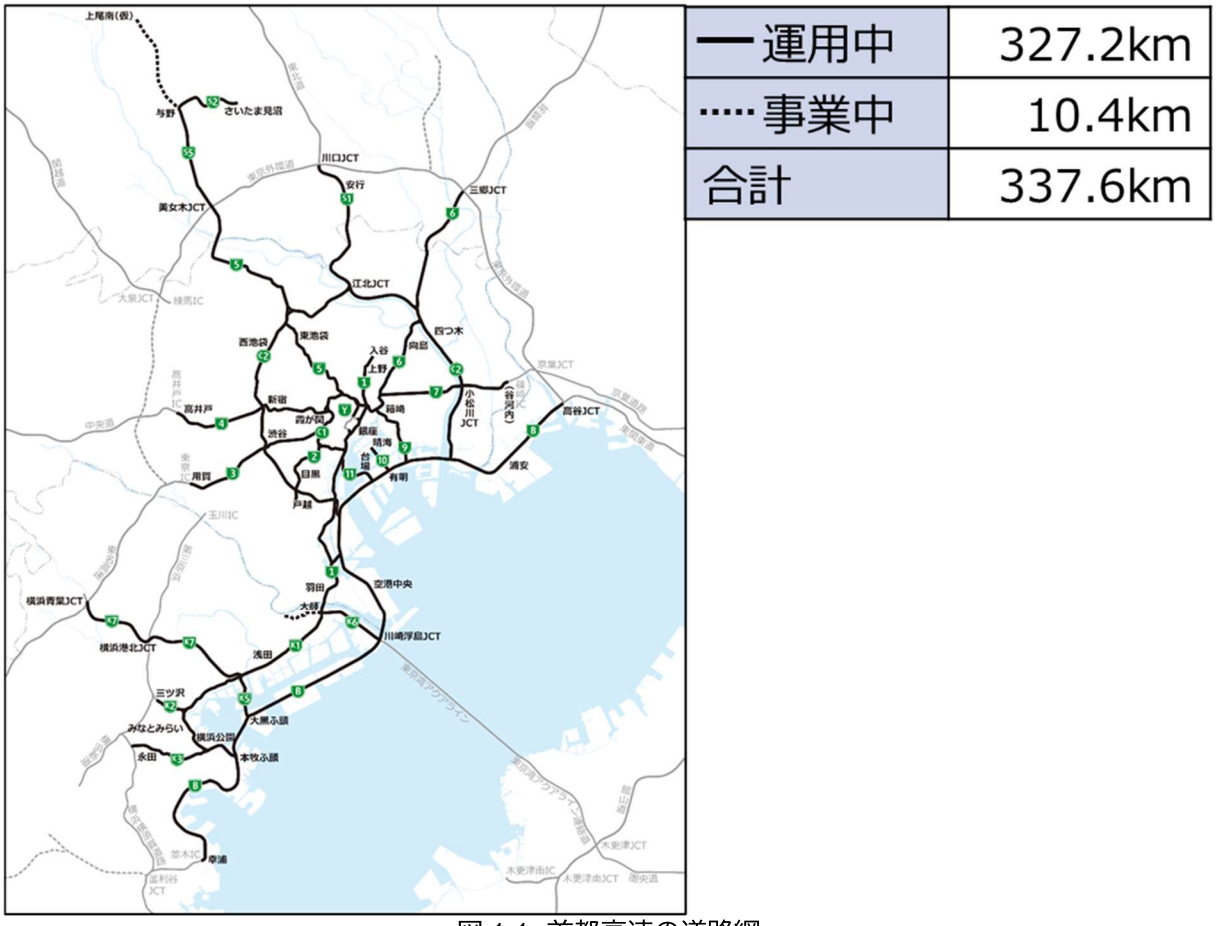


図 1-1 首都高速の道路網

近年では、開通から 50 年以上経過した路線が首都高速全体の 3 割に達する等、道路の高齢化が進んでいる。首都高速の開通からの道路経過年数比率を図 1-2 に示す。

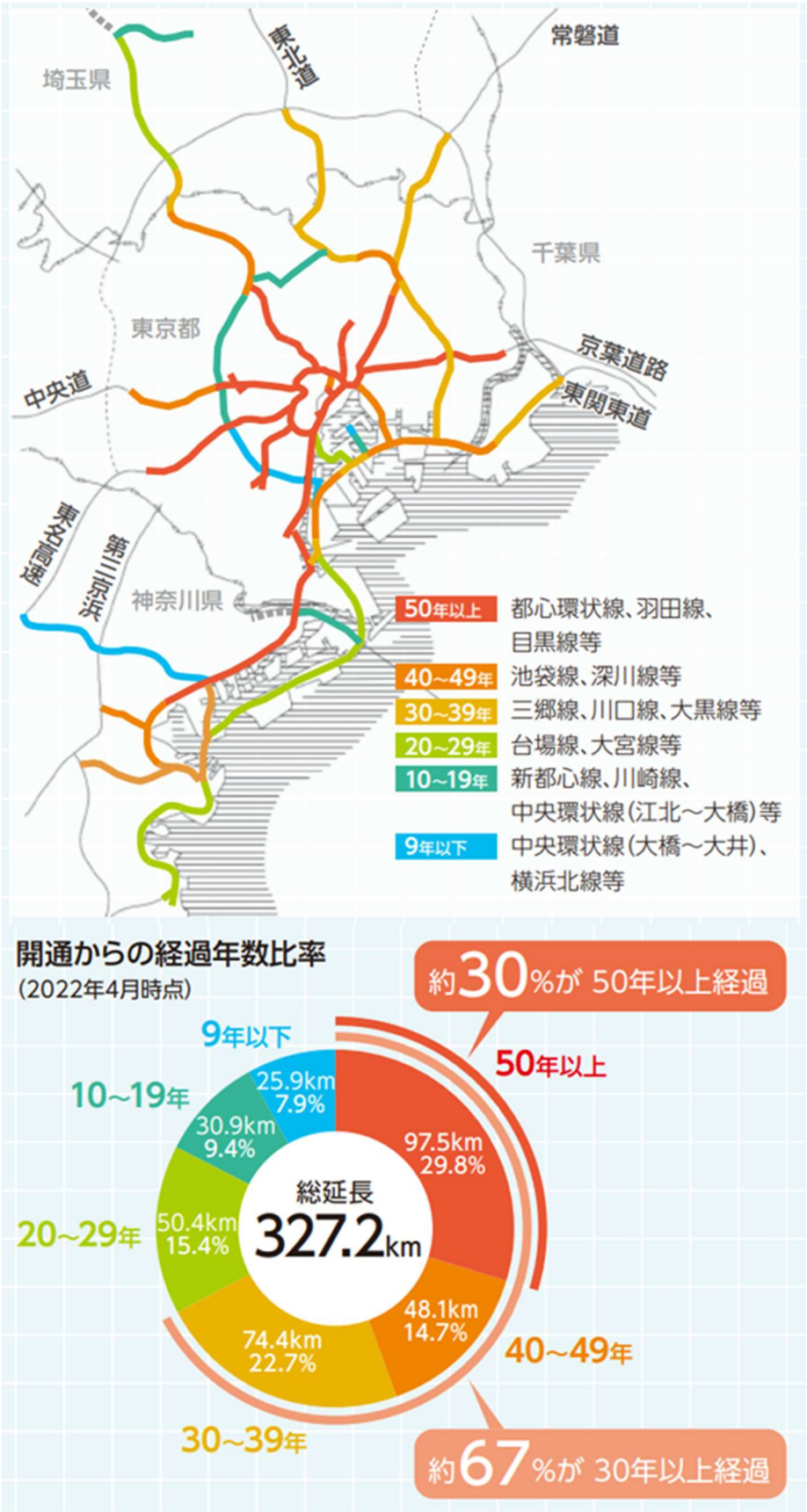


図 1-2 首都高速の開通からの経過年数比率

首都高速は、市街化区域に後施工で道路網を構築したことから、高架部やトンネルといった道路構造物で構成される割合が都道や高速自動車国道と比較して著しく高い。これらの道路構造物では、土工と比較してきめ細やかな維持管理が必要である。図 1-3 に他道路との道路構造別比率の比較を示す。

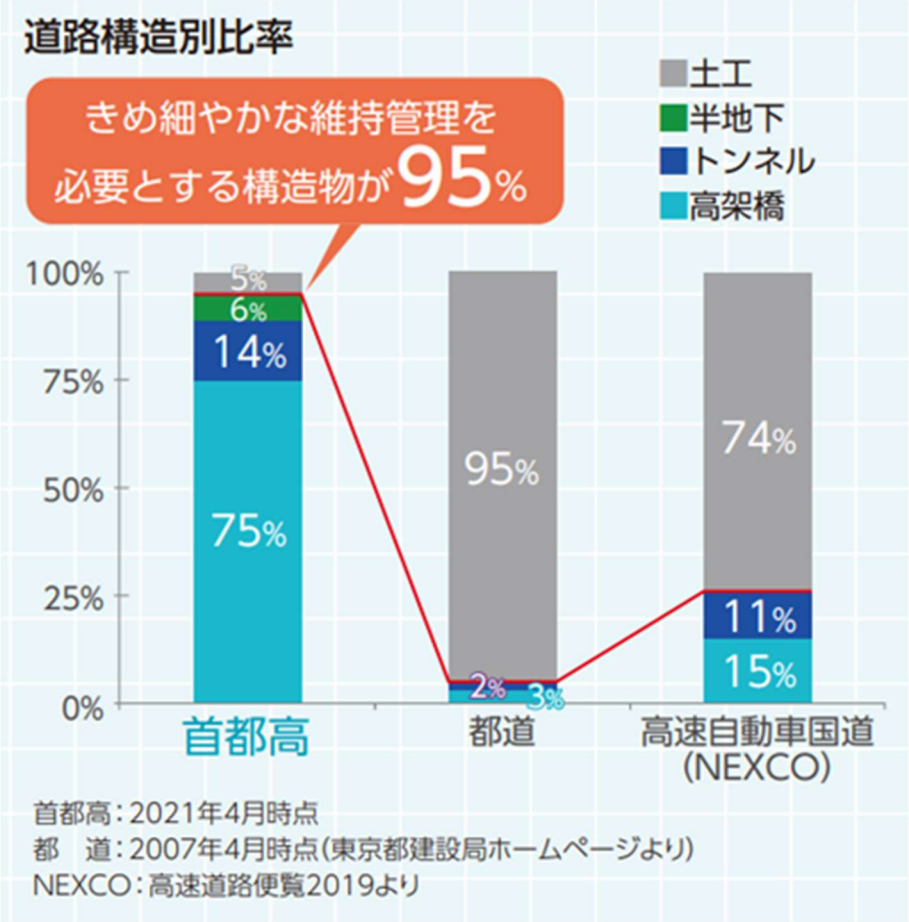


図 1-3 首都高速と他道路の道路構造別比率の比較

首都高速の 1 日の交通量は 102 万台（2022 年 12 月全日平均）である。また、大型車の交通量が都道の約 5 倍となっており、高齢化、道路構造物の状況とあいまって過酷な使用状況にさらされている。図 1-4 に他道路との大型車交通量の比較を示す。

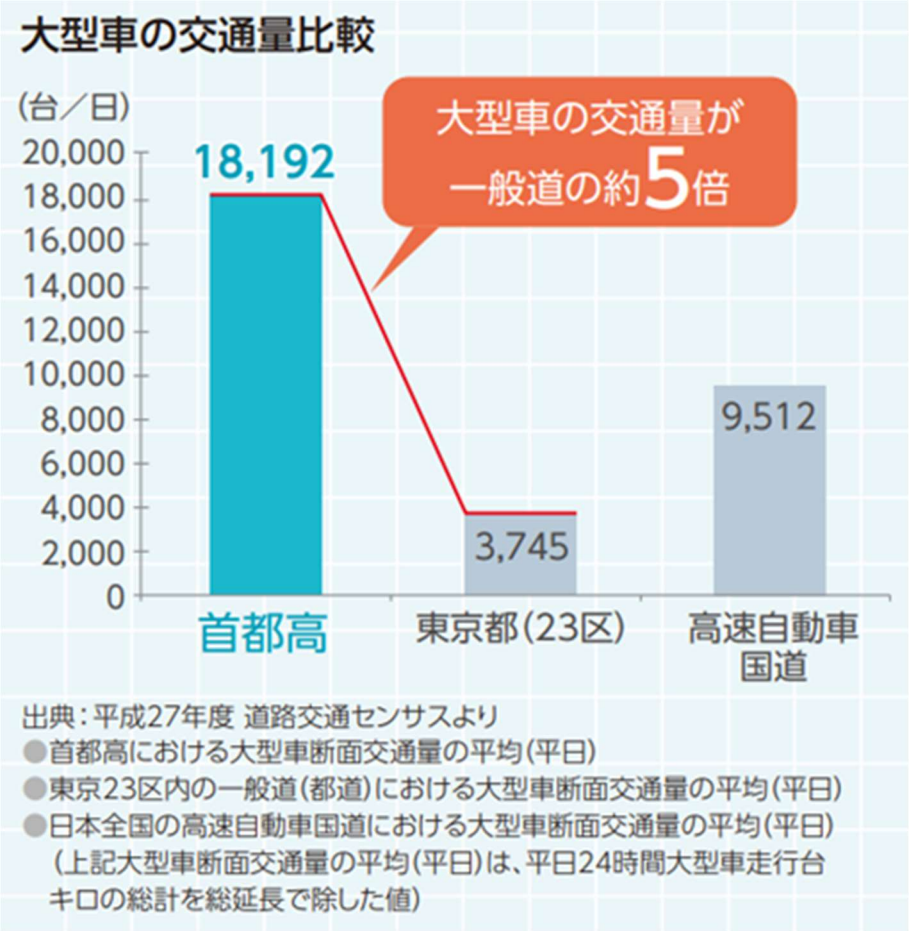


図 1-4　首都高速と他道路の大型車の交通量比較

首都圏の重交通量を支えるため、交通運用も重要な要素である。事故、故障車、落下物は道路交通の支障となるばかりか、2 次被害の可能性があるため、迅速に把握、対処することが必要である。2021 年度の首都高速上の事故は約 8,000 件、故障車は約 9,000 件、落下物は約 23,000 件であり、およそ 13 分に 1 回の割合で対処が必要な事象が発生していることになる。

首都高速では、高齢化の進む過酷な道路環境において、適切な道路維持管理を遂行するため、パトロール等の日常点検、接近点検等の定期点検、非常時対応等を実施している。図 1-5 に首都高速の点検・維持管理を示す。



図 1-5　首都高速の点検･維持管理

1.1.2　首都高速におけるローカル 5G 導入検討の背景

首都高速は、首都直下地震等の大規模災害時には、自衛隊をはじめ消防、救急等の緊急車両の通行のため関係機関と連携し道路啓開を実施する必要がある。道路啓開とは、1 車線でも通れるよう、早急に最低限の瓦礫や散乱物を処理し、簡易な段差修正により救援ルートを開けることを言う。図 1-6 に示すとおり、道路啓開候補路線として、各方向に首都高速の各路線が指定されていることがわかる。

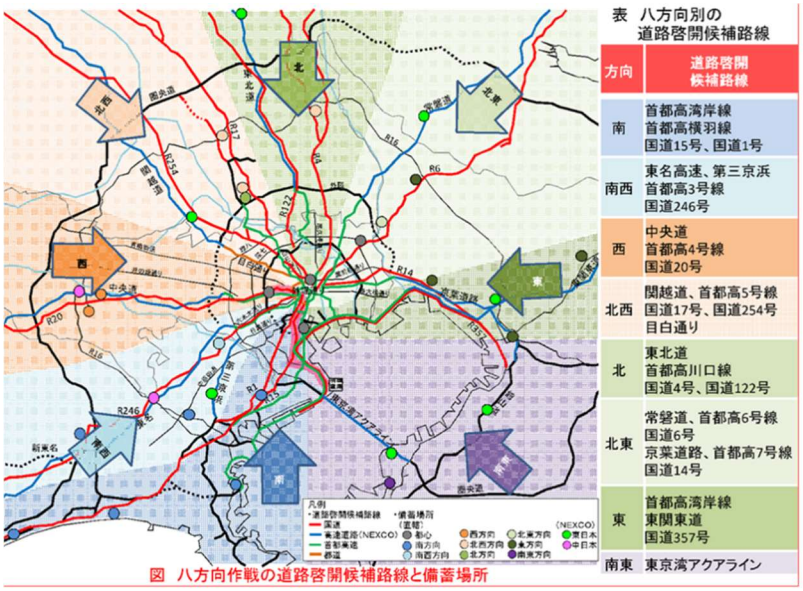


表　八方向別の道路啓開候補路線

方向	道路啓開候補路線
南	首都高湾岸線 首都高横羽線 国道15号、国道1号
南西	東名高速、第三京浜 首都高3号線 国道246号
西	中央道 首都高4号線 国道20号
北西	関越道、首都高5号線 国道17号、国道254号 目白通り
北	東北道 首都高川口線 国道4号、国道122号
北東	常磐道、首都高6号線 国道6号 京葉道路、首都高7号線 国道14号
東	首都高湾岸線 東関東道 国道357号
南東	東京湾アクアライン



出典：国土交通省　関東地方整備局　首都直下地震道路啓開計画

図 1-6　首都直下地震道路啓開計画(八方向作戦)

首都高速では、災害対策と平常時の道路事業の運営のため、400MHz 帯狭帯域デジタル通信

方式を用いて、道路パトロールカーと管制室間で音声通話ができるよう自営無線網を構築、運用している。この自営無線網は、1 チャネルの周波数帯域幅が 5.8kHz であるため、音声通話以外の用途には適しておらず、画像や映像等のデータ通信は困難である。現在、首都高速で運用しているパトロールカーからの画像や映像の送信にあたっては、解像度を落としたうえで通信キャリア回線を用いている。

大規模災害発生時、迅速に道路啓開を行うためには、現地被災状況の映像や画像、現地に設置したセンサ等から送信されるデータにより、現地の被害状況を把握することが必要不可欠である。一方、大規模災害時には、通信キャリアの回線に大幅な発信規制や接続規制がかけられてしまうため、通信キャリア回線を用いた通信が困難になってしまう。このため、通信キャリア回線を用いたアプリケーションの多くが使用できなくなる可能性が高い。道路管理者として、大規模災害時の道路啓開に迅速に対応するためには、災害時に輻輳しない無線通信網を構築し、安定した通信インフラを確保することが急務となっている。

このような状況の中、首都高速では新たな自営無線通信網の構築を目指し、2017 年度から 2019 年度にかけて 5GHz 帯無線アクセスシステム（無線 LAN）に関する民間共同研究を行った。無線 LAN は、無線局免許が不要であり、比較的安価に導入可能であるという利点がある。一方、電波の出力の制約上、広い無線通信エリアを取れないため多数のアクセスポイントが必要になることや、多くの利用者がいるため電波干渉が多くなり安定的に利用できない等の欠点がある。無線 LAN のフィールド試験においては、同一周波数帯による干渉波、道路物附属や道路の高低差による電波遮蔽により、安定的な通信性能を確保することができなかった。

無線 LAN の民間共同研究が終了した 2019 年度にローカル 5G が制度化され、自営無線網構築の選択の幅が広がることとなった。首都高速では、5G の特長と自営無線としての独立性、安定性、柔軟性を合わせ持ち、自営で整備可能なローカル 5G の導入を目指すこととした。

ローカル 5G の制度上、郊外で広い土地を保有している事業者以外は、他者土地への電波漏洩をコントロールしながらローカル 5G の無線通信エリアを構成する必要がある。首都高速がローカル 5G による自営無線通信網を構築する場合、首都高速の管理範囲内でローカル 5G をエリア化することが求められ、路線に沿った線状の無線通信エリアを構築する必要がある。このような無線通信エリアは、通信キャリアでは検討されるケースと真逆の考え方であり汎用的な解決方法はなく、実証実験等を繰り返しながら検証を行う必要がある。

首都高速上にローカル 5G の整備を実現できる場合、現時点で想定しているユースケースは図 1-7（災害時）及び図 1-8（通常時）に示すとおりである。

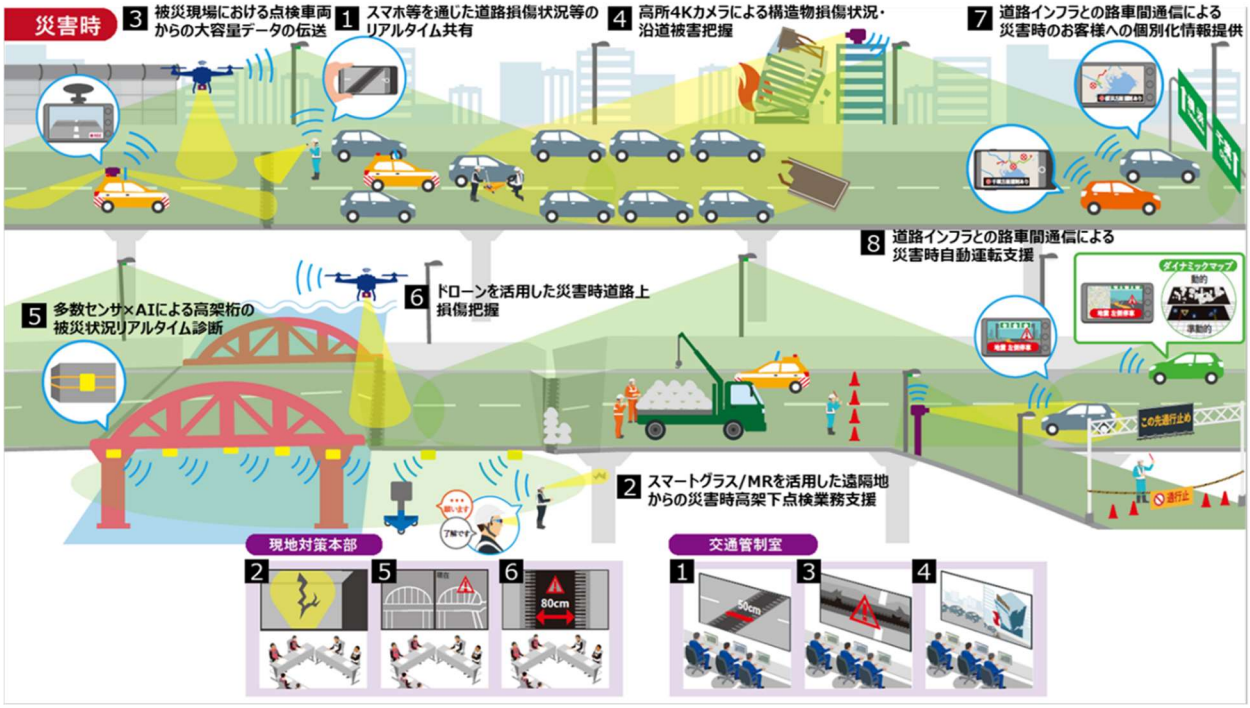


図 1-7　首都高速の災害時のローカル 5G ユースケース

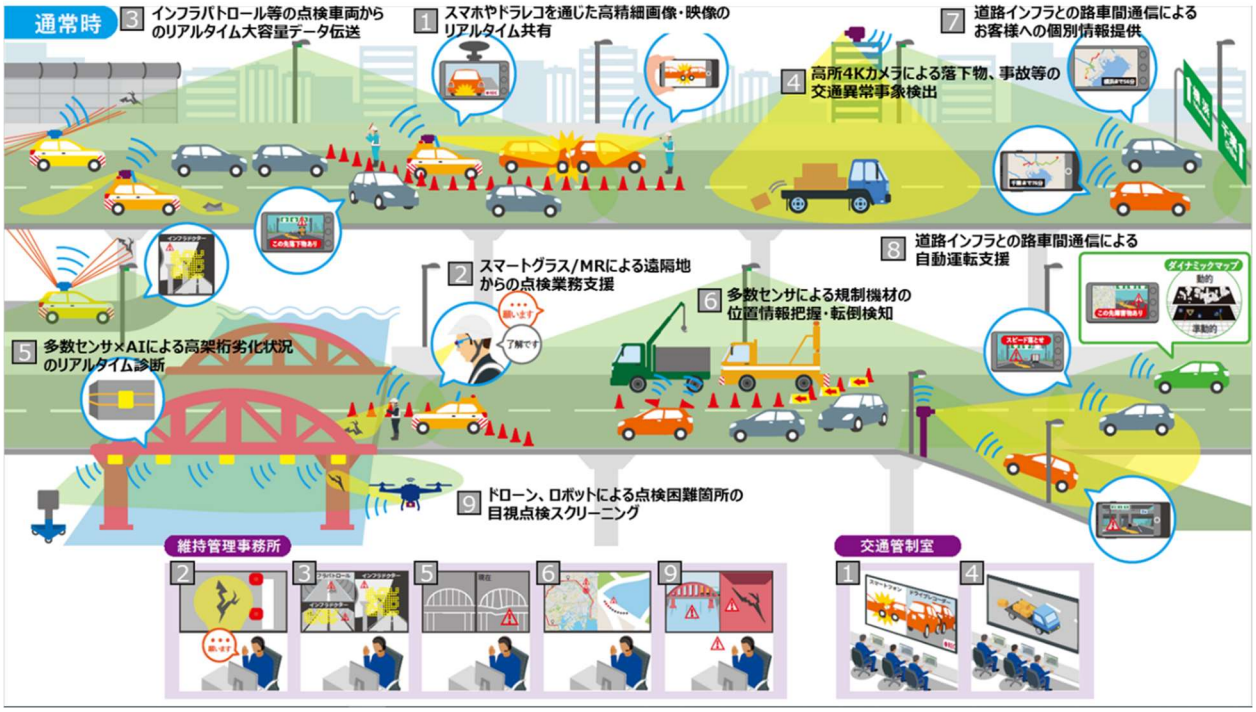


図 1-8　首都高速の通常時のローカル 5G ユースケース

首都高速の運用、維持管理を行うにあたり最も重要なのは迅速な現地情報の把握である。災害発生地点の道路が通行可能なのか、対応に必要な資機材は何でどの程度必要か等を、対策本部や交通管制室で判断できる現地情報が必要である。図 1-7 及び図 1-8 に示すとおり、現地情報として映像・画像が正確な判断を行ううえで最も有効であり、かつ使用頻度が高い。

従って、本実証における課題実証内容として、ローカル 5G を用いた映像・画像の送信を実施することとした。過年度の実証内容との類似点を踏まえたうえで、都市内の線状エリア上で安定して使用できるかについて実証を実施した。

また、線状の無線通信エリア構築は、自エリアの効率的な構成と電波漏洩や与干渉の抑制の微妙なバランスを取ることが必要である。線状エリアを構築する事業者は、工場等で構築する事業者より、ローカル 5G 展開後の運用段階において多数の隣接事業者を抱えることになる。ローカル 5G の整備が進んでくると、隣接事業者から線状エリア事業者への被干渉、線状エリア事業者から隣接事業者への与干渉が問題となるケースが多数発生し、また、その状況が日々変化することが想定される。手軽にスクリーニング測定を実施し異常箇所を把握できることは、線状エリア事業者にとって必須の技術であり、高速道路以外の線状エリア事業者への横展開も大変意義深いと考える。このため、本実証における課題実証内容の 1 つとして、線状エリアを長期間にわたり維持管理していくための技術についても実証を実施した。

さらに、本実証で得られた線状エリアを構成する各手法について、測定結果やコスト分析を実施し、線状の無線通信エリアを構成するための汎用的な構築手法を整理した。

1.2 実証の概要

本実証では、都市内の高架道路上における実証実験等を通じた線状の無線通信エリア構築に向けた課題の抽出や実現性の検証を目的として、技術実証及び課題実証を実施した。

技術実証では、以下の 2 点を実証目標として取り組んだ。

- 都市内高速道路における道路形状に合わせた複数の線状通信エリア構築方法の確立
- シミュレーションと実測の差異分析及び分析結果のシミュレーションへの適用による効率的な線状通信エリア設計手法の確立

具体的には、図 1-9 に示すとおり、道路形状により線状エリアを構成する実現案を仮説として、道路内に線状エリアを構成し、かつ道路外への電波漏洩を最小限とする方法を検証した。

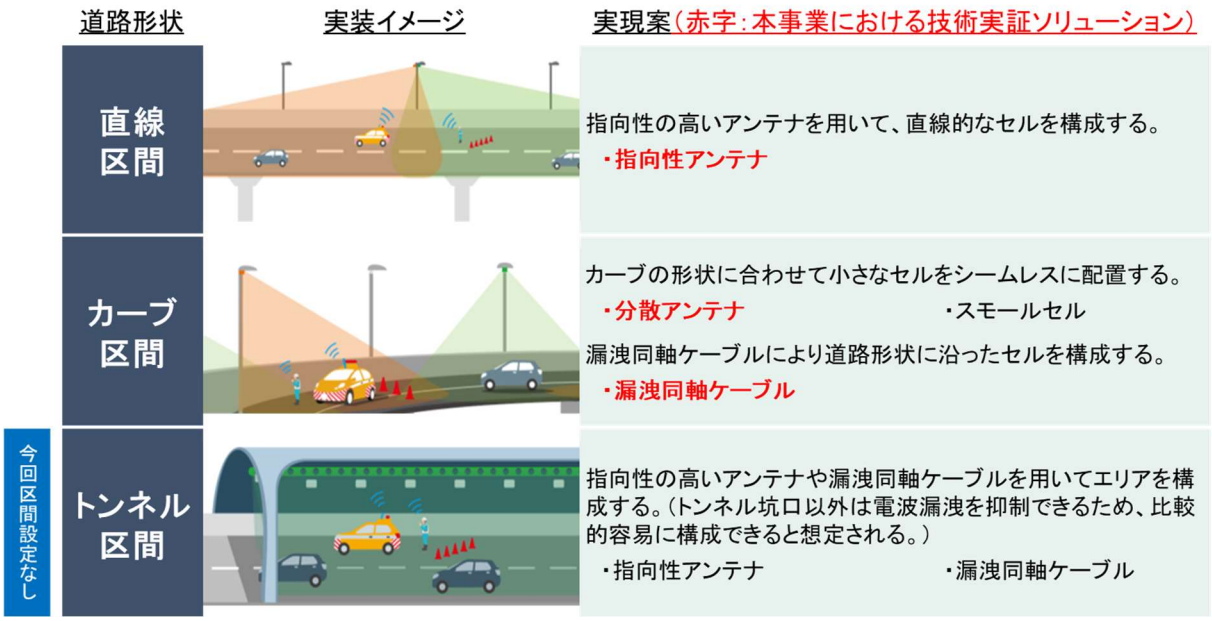


図 1-9　道路形状別の線状エリア構成コンセプト

課題実証では、首都高速のローカル 5G 導入目的が「大規模災害時にも輻輳しない安定した通信インフラの確保」であることを念頭に、以下の 3 つのソリューションの実証に取り組んだ。

- 「高精細画像・映像のリアルタイム共有」「スマートグラスによる遠隔地からの点検支援業務」
- 「首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）」
- 「線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor」

「高精細画像・映像のリアルタイム共有」、「スマートグラスによる遠隔地からの点検支援業務」及び「首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）」については、過年度の実証内容との類似点を踏まえたうえで、都市内の線状エリア上で安定して使用できるかを中心に実証を実施した。「線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor」については、線状エリアを長期間にわたり維持管理していくための技術であり、効率性や持続可能性を確保できるかを中心に実証を実施した。

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

4.8-4.9GHz 及び 28.2-28.45GHz

2.2 実施環境

2.2.1 実施場所

（1） 実施場所

屋外

（2） 地形

平地

（3） 実施場所の地図

首都高 5 号池袋線の西台付近から笹目橋付近にかけて区間①～区間④の 4 つの区間を設定し、実証を実施した。図 2-1 に実施場所の地図を示す。



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 2-1 実施場所地図（東京都板橋区 首都高 5 号池袋線 西台付近～笹目橋付近）

2.2.2　　実施場所選定の考え方

本実証の実施環境は、線状エリア構築における汎用性の確保と技術的検討を深化させやすくするという以下の 4 つの観点で選定した。図 2-1 に示す場所は、これら 4 つをいずれも満たすことから、本実証の実施場所として妥当であった。

（1） 道路構造

・　首都高速の全長の約 3/4 を占める高架構造区間であること。

首都高速の道路構造は、高架部 74.8%、トンネル部 14.5%、半地下部 5.8%、土工部 4.9%となっている。本実証では、首都高速の道路構造の約 3/4 を占め、かつ技術実証テーマに基づき、アンテナが周囲の街路等より高所にあるという位置関係から、電波漏洩や与干渉が大きいと想定される高架部を対象とする。首都高速の道路構造構成を図 2-2 に示す。本実証実施場所は、地上高約 15～30ｍの高架部である。

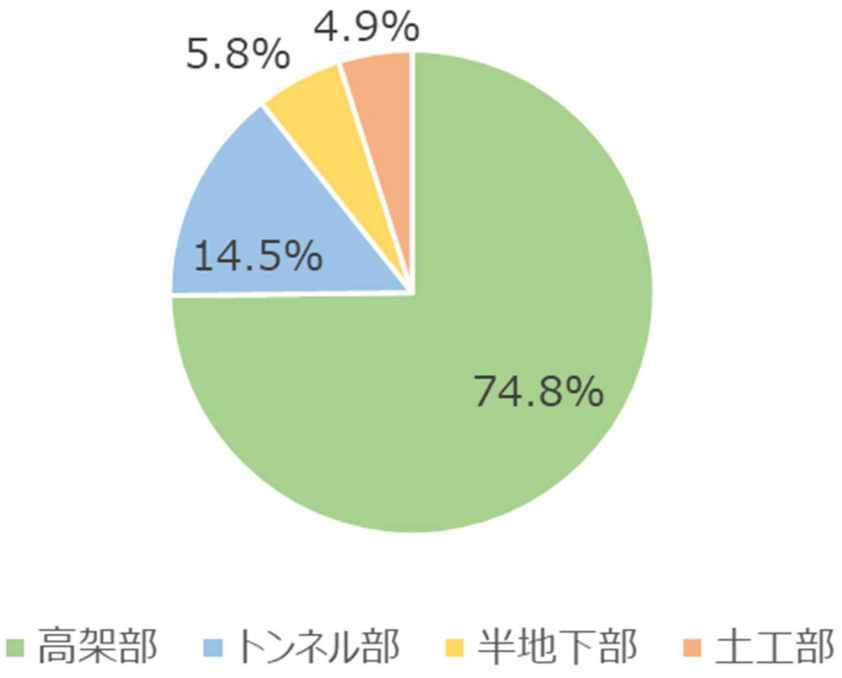


図 2-2　首都高速の道路構造構成

（2） 道路形状

・　線状エリアの要素である直線区間と曲線区間を含むこと。
・　直線区間は狭指向性アンテナのカバレッジを確認可能な 1km 以上を確保できること。
・　曲線区間はエリア検討が困難となる、本線としてはきついカーブ（R150m 程度）であること。

本実証実施場所は、区間①と区間③が直線区間、区間②と区間④が曲線区間である。

（3） 道路附属物の影響

・　電波伝搬に大きな影響を持つ遮音壁の有無等、異なる条件で測定結果を比較できること。

首都高速の道路附属物の例を図 2-3 に示す。本実証実施場所は、遮音壁、コンクリート高欄、標識、ガードレール等、電波伝搬に影響があると想定される道路附属物が多数設置されている。これらの道路附属物がどのように電波伝搬に影響を及ぼすのか、本実証で測定、分析を実施した。

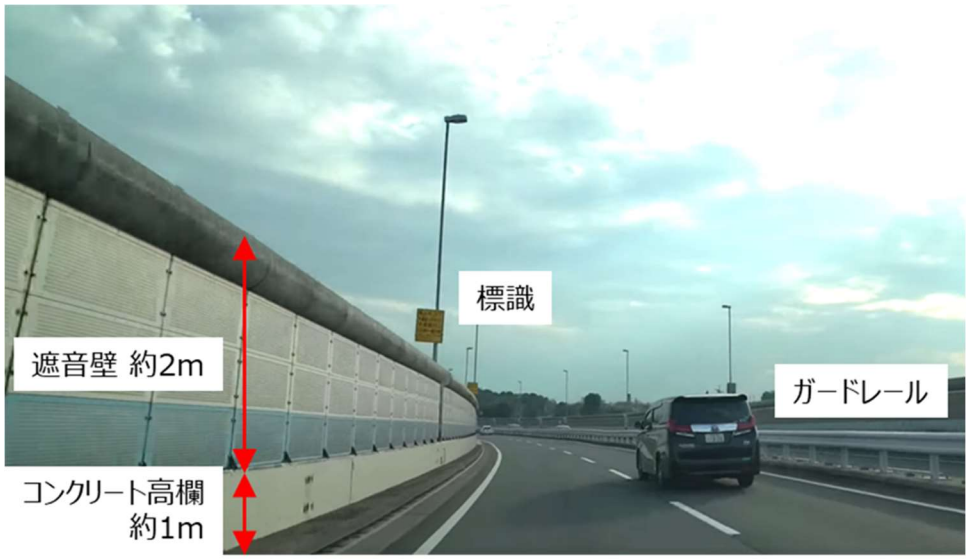


図 2-3 首都高速の道路附属物の例

（4） 作業性

・　直線区間、曲線区間は隣接し、実証環境の構築や測定を効率的に実施できること。

図 2-1 に示す実施場所は、河川敷や公園の占める割合が多い道路周辺環境であるため、様々な地点で測定しやすく、電波漏洩の分布を正確に把握しやすい。

2.2.3 実施場所の詳細

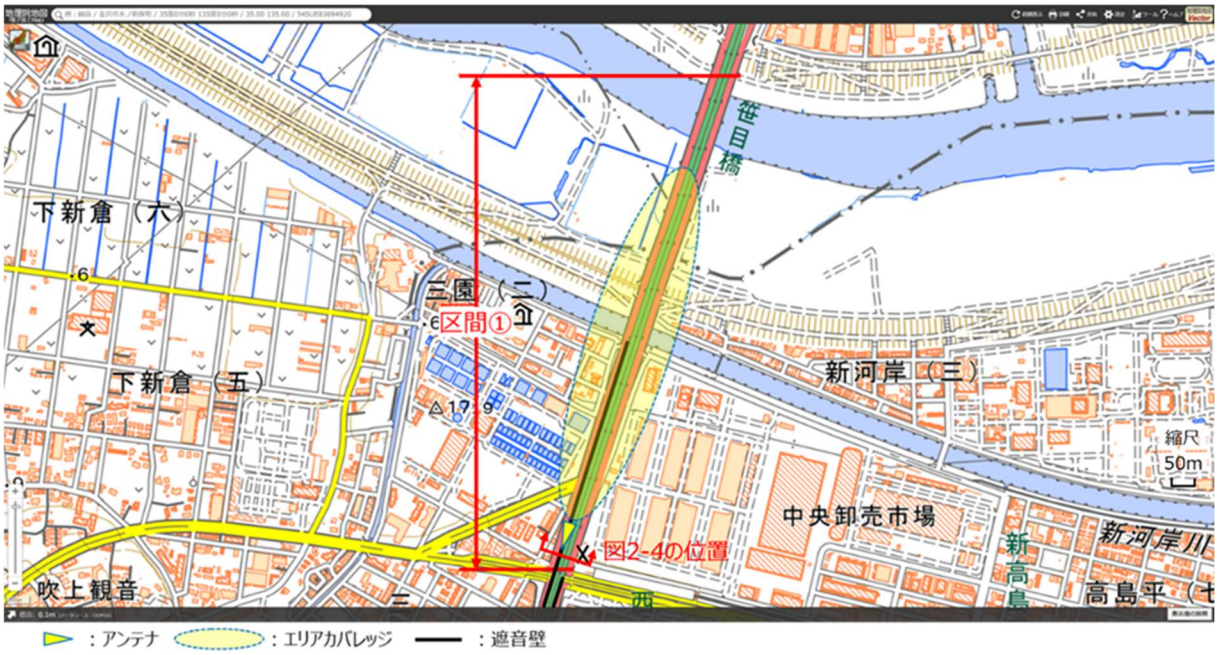
（1） 区間①（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　笹目橋付近）

区間①は高架構造の直線区間である。遮音壁、フェンス、逆 L 型柱、標識、ガードレール等の道路附属物が設置されている。区間①では、sub6 帯の狭指向性アンテナを設置し、実証を実施した。

区間①の実施場所付近の様子と、アンテナ概略位置、想定エリアカバレッジ、遮音壁の位置を付加した実施場所付近の地図を図 2-4 及び図 2-5 に示す。



図 2-4　区間①実施場所付近の様子（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　笹目橋付近）



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 2-5　区間①実施場所付近地図（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　笹目橋付近）

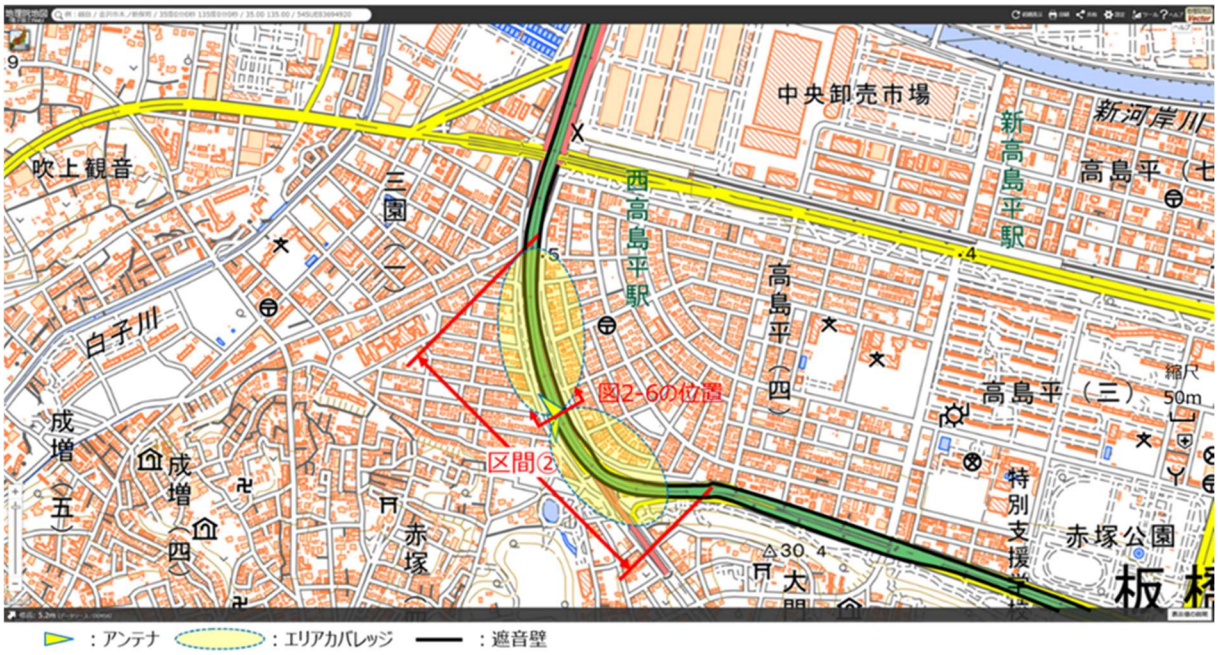
（2） 区間②（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　西高島平付近）

区間②は高架構造の曲線区間である。遮音壁、標識、ガードレール等の道路附属物が設置されている。区間②では、sub6 帯の狭指向性アンテナ及び sub6 帯の漏洩同時ケーブルを設置し、実証を実施した。

区間②の実施場所付近の様子と、アンテナ概略位置、想定エリアカバレッジ、遮音壁の位置を付加した実施場所付近の地図を図 2-6 及び図 2-7 に示す。



図 2-6　区間②実施場所付近の様子（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　西高島平付近）



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 2-7　区間②実施場所付近地図（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　西高島平付近）

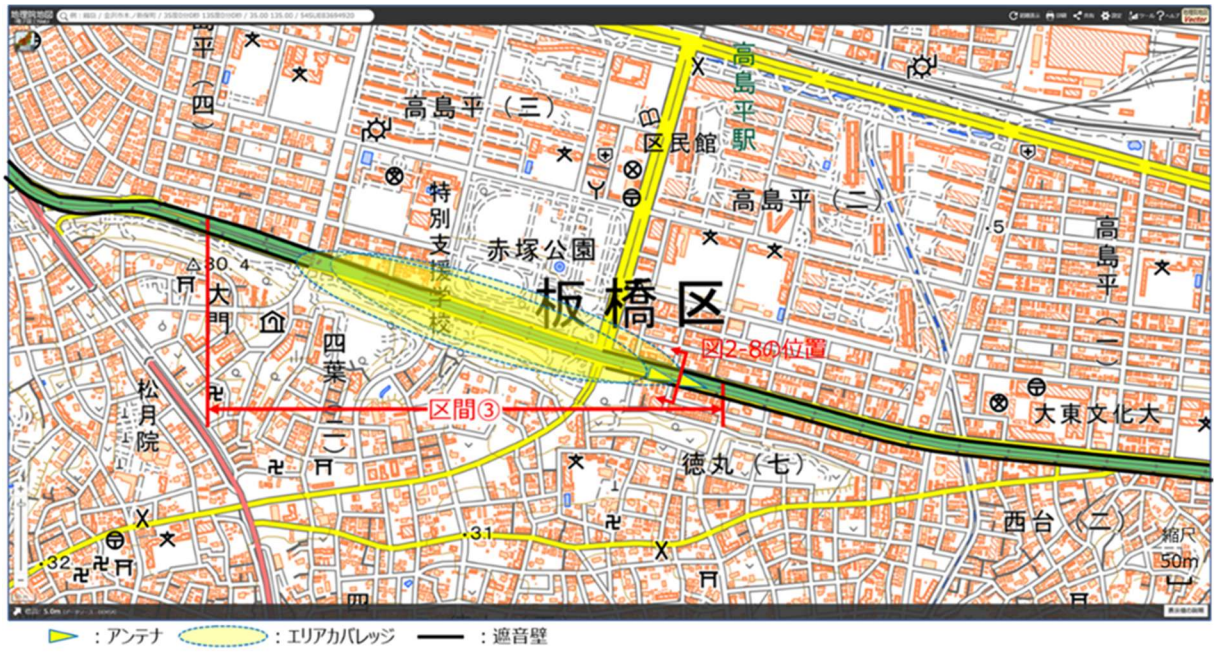
（3） 区間③（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　高島平付近）

区間③は高架構造の直線区間である。遮音壁、ガードレール等の道路附属物が設置されている。区間③では、sub6 帯の狭指向性アンテナ及びミリ波帯のビームフォーミングアンテナを設置し、実証を実施した。

区間③の実施場所付近の様子と、アンテナ概略位置、想定エリアカバレッジ、遮音壁の位置を付加した実施場所付近の地図を図 2-8 及び図 2-9 に示す。



図 2-8　区間③実施場所付近の様子（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　高島平付近）



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 2-9　区間③実施場所付近地図（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　高島平付近）

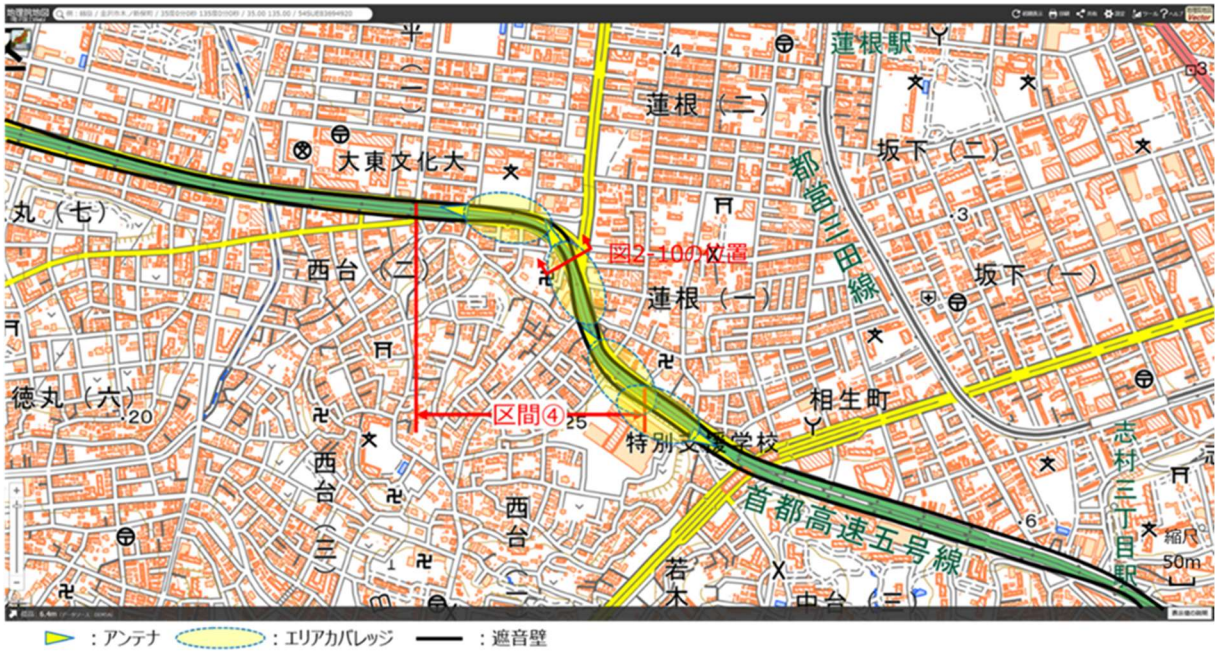
（4） 区間④（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　西台付近）

区間④は高架構造の曲線区間である。遮音壁、ゼブラ板、ガードレール等の道路附属物が設置されている。区間④では、sub6 帯の分散アンテナシステム（DAS）及びミリ波帯のビームフォーミングアンテナを設置し、実証を実施した。

区間④の実施場所付近の様子と、アンテナ概略位置、想定エリアカバレッジ、遮音壁の位置を付加した実施場所付近の地図を図 2-10 及び図 2-11 に示す。



図 2-10　区間④実施場所付近の様子（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　西台付近）



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 2-11　区間④実施場所付近地図（東京都板橋区　首都高 5 号池袋線　西台付近）

2.3　ネットワーク・システム構成

本実証のローカル 5G システムでは、sub6 帯及びミリ波帯の SA 方式を採用した。

都市内でローカル 5G の整備が進んだ場合、隣接する他者土地との電波干渉協議が多く生じることが想定されるため、sub6 帯とミリ波帯の両方のシステムを選択肢として持てるよう実証を実施した。また、NSA 方式の場合、アンカーとなる通信キャリア回線が必要である。アンカー

については、免許申請時に地域 BWA との干渉調整が必要であり、また、災害時に通信キャリアの回線が途絶した場合に使用できなくなることが想定される。これらの状況は、今回の検証にはふさわしくないと判断し、SA 方式を採用した。なお、ミリ波 SA 方式の端末が市販されていないため、本実証では、ミリ波については報知情報の電界強度測定までとした。ミリ波 SA 方式の端末を必要とするスループットの測定やソリューションの実証は今後の対応とする。

これらの要件に対応できるローカル 5G システムを個別に整備するとシステム規模が大きくなりすぎるため、実証用に sub6 帯とミリ波帯の試験電波送信に対応できるミニマムな構成が可能で、かつ、課題実証でのローカル 5G 端末を介したアプリケーション利用に対応した 5G コア装置の追加設置等の拡張性を考慮したシステム構成とした。

技術実証として、線状の無線通信エリア構築に資する技術として、直線区間（区間①、区間③）では sub6 帯の狭指向性アンテナ、ミリ波帯のビームフォーミングアンテナ、曲線区間（区間②、区間④）では sub6 帯の狭指向性アンテナ、DAS、漏洩同軸ケーブル及びミリ波帯のビームフォーミングアンテナを使用し、これらの効果の検証を実施した。

課題実証として、災害現場のリアルタイム映像共有を目指した小型 4K カメラ端末による大容量映像伝送、現場作業の遠隔支援を目指したスマートグラスシステム、軽いデータ量で現地状況を把握可能な 360°カメラビューシステムを構築した。また、線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor の実証を実施した。

表 2-1 に実施内容、表 2-2 にローカル 5G 基地局の総括表を示す。なお、本実証で構成したシステムの詳細は、次項以降に示すとおりである。

表 2-1 各区間における技術実証、課題実証の実施内容

区間	道路構造 道路形状	技術実証	課題実証
区間①	高架部 直線区間	【テーマⅠ】 ・狭指向性アンテナ（sub6）	・360° カメラビューシステム ・5G WaveDoctor
区間②	高架部 曲線区間	【テーマⅡ】 ・狭指向性アンテナ（sub6） ・漏洩同軸ケーブル（sub6）	・360° カメラビューシステム ・5G WaveDoctor
区間③	高架部 直線区間	【テーマⅠ】【テーマⅡ】 ・狭指向性アンテナ（sub6） ・ビームフォーミングアンテナ（ミリ波）	・小型 4K カメラによる大容量映像伝送 ・スマートグラスシステム ・5G WaveDoctor
区間④	高架部 曲線区間	【テーマⅡ】 ・DAS（sub6） ・ビームフォーミングアンテナ（ミリ波）	・小型 4K カメラによる大容量映像伝送 ・スマートグラスシステム ・5G WaveDoctor

表 2-2 ローカル 5G 基地局の総括表

	区間①	区間②		区間③	
	基地局相当 1	基地局相当 2	基地局相当 3	基地局相当 11	基地局相当 13
製造ベンダー	日本無線	日本無線	日本無線	ノキア	ノキア
台数	1	1	1	1	1
設置場所	屋外	屋外	屋外	屋外	屋外
同期方式	同期	同期	同期	同期	同期
UL:DL 比率	1:4	1:4	1:4	1:4	1:4
周波数帯	4.7GHz 帯	4.7GHz 帯	4.7GHz 帯	28GHz 帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA	SA	SA	SA	SA
UL 周波数	4.8～4.9GHz	4.8～4.9GHz	4.8～4.9GHz	28.2～28.3GHz	4.8～4.9GHz
DL 周波数					
UL 帯域幅	100MHz	100MHz	100MHz	100MHz	100MHz
DL 帯域幅					
UL 中心周波数	4.85GHz	4.85GHz	4.85GHz	28.25GHz	4.85GHz
DL 中心周波数					
UL 変調方式	64QAM	64QAM	64QAM	256QAM	64QAM
DL 変調方式	256QAM	256QAM	256QAM		256QAM
MIMO	4×4MIMO	4×4MIMO	4×4MIMO	2×2MIMO	4×4MIMO

	区間④				
	基地局相当 12	基地局相当 14	基地局相当 15	基地局相当 16	基地局相当 17
製造ベンダー	ノキア	東芝インフラ	東芝インフラ	東芝インフラ	東芝インフラ
台数	1	1	1	1	1
設置場所	屋外	屋外	屋外	屋外	屋外
同期方式	同期	同期	同期	同期	同期
UL:DL 比率	1:4	1:4	1:4	1:4	1:4
周波数帯	28GHz 帯	4.7GHz 帯	4.7GHz 帯	4.7GHz 帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA	SA	SA	SA	SA
UL 周波数	28.2～28.3GHz	4.8～4.9GHz	4.8～4.9GHz	4.8～4.9GHz	4.8～4.9GHz
DL 周波数					
UL 帯域幅	100MHz	100MHz	100MHz	100MHz	100MHz
DL 帯域幅					
UL 中心周波数	28.25GHz	4.85GHz	4.85GHz	4.85GHz	4.85GHz
DL 中心周波数					
UL 変調方式	256QAM	64QAM	64QAM	64QAM	64QAM
DL 変調方式		256QAM	256QAM	256QAM	256QAM
MIMO	2×2MIMO	4×4MIMO	4×4MIMO	4×4MIMO	4×4MIMO

2.3.1　区間①及び区間②システム構成機器

（1） 全体構成

区間①及び区間②のシステム構成は図 2-12、構成する各機器の詳細は表 2-3 に示すとおりである。

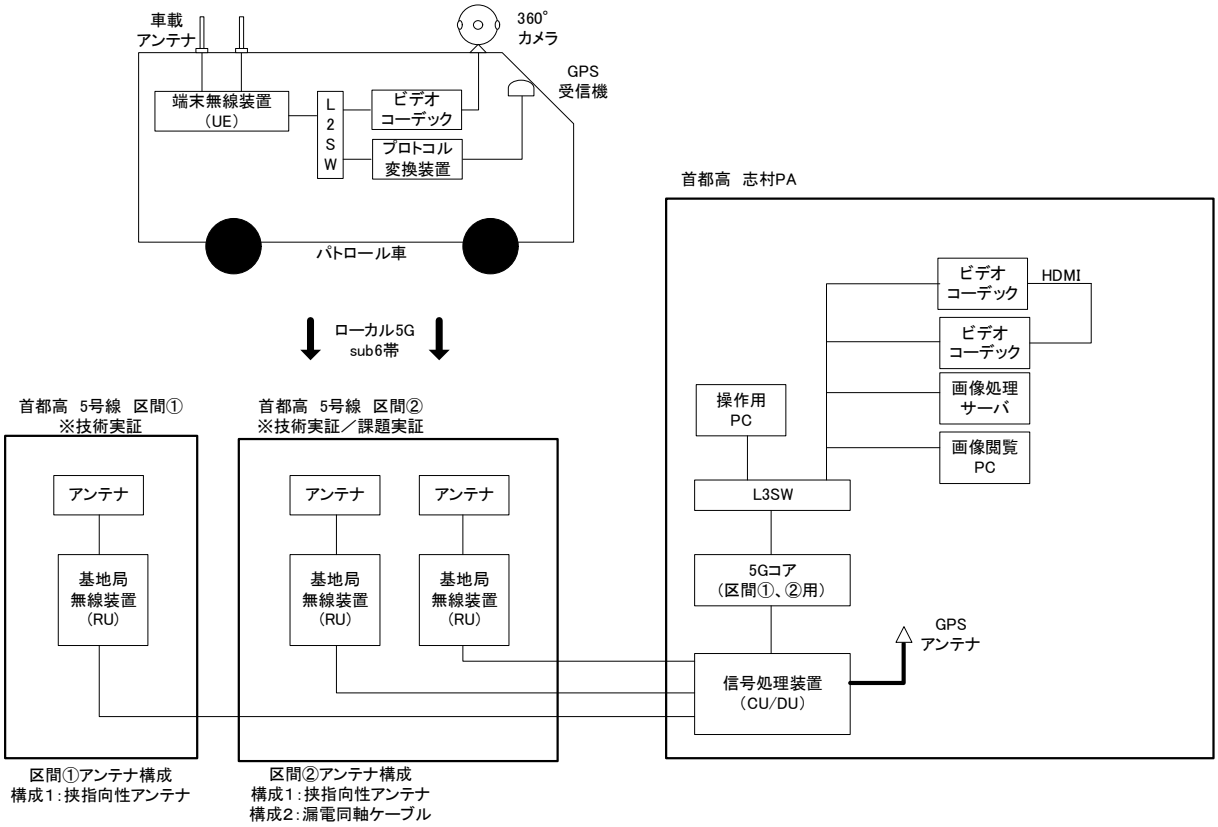


図 2-12　全体システム構成図（区間①、区間②）

表 2-3　構成機器（区間①、区間②）

5G コア	機器の役割	sub6 帯ローカル 5G システム用のコア装置
	数量	1 台
	設置形態	ラックマウント　固定
	製造者	日本無線

ローカル 5G 基地局 （sub6 帯）	機器の役割	信号処理装置（CU/DU）と sub6 帯対応基地局無線装置の組合せで構成される sub6 帯の信号を発生し、5G による無線通信が可能となる
	数量	3 式

	設置形態	信号処理装置　ラックマウント固定 基地局無線装置　ポールマウント固定
	製造者	日本無線

狭指向性アンテナ	機器の役割	指向角 5° の狭ビーム状に sub6 帯の電波を放射する平面アンテナ
	数量	区間①:2 台 区間②:2 台
	設置形態	区間①:旋回台に据置固定 区間②:ポールマウント固定
	製造者	日本無線

漏洩同軸ケーブル	機器の役割	同軸ケーブルを加工し sub6 帯の電波を漏洩させることにより、アンテナとして機能するケーブル
	数量	150m ケーブル　4 本
	設置形態	道路設備に取付固定
	製造者	フジクラ・ダイヤケーブル

端末無線装置	機器の役割	ビデオコーデックや PC を接続して、ローカル 5G 無線でデータを伝送できる 5G 端末
	数量	2 式
	設置形態	可搬
	製造者	IDY

車載アンテナ	機器の役割	車内に設置した端末無線装置用の車載アンテナ ローカル 5G 基地局からの電波の受信感度を上げるため、車外のルーフに取り付ける
	数量	8 式(端末無線機 2 台分)
	設置形態	可搬
	製造者	Mars antennas

360° カメラ	機器の役割	パトロール車の周囲の環境を 360° の全天球カメラ映像として撮影データをリアルタイムスティッチング処理して LAN ポートから出力する
	数量	1 式

	設置形態	可搬
	製造者	Insta360

GPS 受信機	機器の役割	パトロール車の位置情報を取得して、シリアルポートから出力する
	数量	1 式
	設置形態	可搬
	製造者	サンテックス

プロトコル 変換装置	機器の役割	GPS 受信機からの位置情報を受信して LAN ポートから出力する
	数量	1 式
	設置形態	可搬
	製造者	日本無線

ビデオコーデック	機器の役割	360° カメラからのストリームデータを H.264／H.265 方式にエンコード／デコードし、ローカル 5G 無線で伝送できる装置 画像処理サーバにストリームデータを渡す前処理として Motion JPEG フォーマットに変換する
	数量	3 式
	設置形態	可搬
	製造者	ハイテクインター

画像処理サーバ	機器の役割	360° カメラからの映像を受信し、静止画処理、蓄積保存、管理を行う 画像閲覧 PC からの要求により、当該箇所の静止画を提供する
	数量	1 台
	設置形態	PC 屋内据置固定
	製造者	セイコーエプソン

画像閲覧 PC	機器の役割	閲覧したい箇所を指定し、画像処理サーバから提供された当該箇所の画像を表示する。
	数量	1 台

	設置形態	PC 屋内据置固定
	製造者	エプソン

（2） 各機器詳細

1） 5G コア

5G コアは、回線認証、端末ごとの回線制御、端末装置の位置管理、ハンドオーバー制御、外部 IP ネットワーク接続機能等を有する。5G コアの機器仕様を表 2-4 に示す。

表 2-4 5G コア機器仕様

項目	仕様
最大接続基地局数	30 基地局
最大同時接続数	500 デバイス
最大スループット	20Gbps（上り・下り合計）
電源	AC100V～240V 750W PSU×2
動作温度範囲	10℃～35℃
外形寸法	480mm×44mm×740mm 程度（突起部を含まず）
重量	約 22kg

2） 信号処理装置

信号処理装置は、5G の CU（Central Unit）と DU（Distributed Unit）の機能を有し、無線変復調処理及び無線リソース制御等を行う。基地局無線装置を光ファイバケーブルにより、10Gbps イーサネット接続し、ローカル 5G 基地局として動作する。信号処理装置の仕様を表 2-5 に示す。

表 2-5 信号処理装置機器仕様

項目	仕様
最大基地局接続数	8 基地局　※1 セル化時
対応周波数幅	100MHz 幅
同期/準同期	同期
UL:DL 比	1:4
SA/NSA	SA
適応変調	DL:QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM UL:QPSK, 16QAM, 64QAM
MIMO	4×4MIMO, 2×2MIMO
同期方式	GPS
電源	AC100V～240V　1300W PSU×1
動作温度範囲	10℃～35℃
外形寸法	437mm×84mm×735mm 程度(突起部を含まず)
重量	約 20kg

3)　基地局無線装置

基地局無線装置は、sub6 帯の電波で 5G 端末と無線通信を行う。信号処理装置と光ファイバケーブルにより接続し、ローカル 5G 基地局として動作する。基地局無線装置の仕様を表 2-6 に示す。

表 2-6 基地局無線装置機器仕様

項目	仕様
無線周波数	N79 4800MHz～4900MHz
周波数幅	100MHz 幅
アンテナ数	4(4T4R、2T2R 対応)
最大送信電力	+24dBm/アンテナ
最大消費電力	100W
動作温度範囲	-10～55℃
外形寸法	W 384mm×H 444mm×D 211mm 程度(突起部を含まず)

項目	仕様
重量	約 17kg(取付金具は除く)

4)　狭指向性アンテナ

sub6 帯に対応した指向角 5°の指向性アンテナ。アンテナレドーム中に水平偏波、垂直偏波に対応するアンテナ素子を各 1 素子内蔵している。同軸ケーブルを用いて、基地局無線装置のアンテナ端子に接続して 5G 無線通信を行う。狭指向性アンテナの仕様を表 2-7 に示す。

表 2-7　狭指向性アンテナ機器仕様

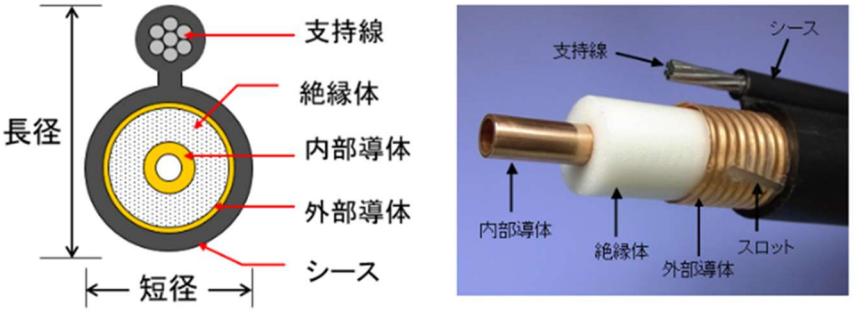
項目	仕様
周波数	4800MHz～4900MHz
アンテナゲイン	27dBi ±0.5dB
偏波面	水平／垂直(45°設置)
半値角	E 面:5° ±0.5° H 面:5° ±0.5°
入力電力	最大 10W
入力インピーダンス	50Ω
レドーム寸法	W 600mm×H 600mm×D 30mm 程度
重量	約 4.7kg
耐風圧	50 m/s(最大瞬間風速)

5)　漏洩同軸ケーブル

sub6 帯に対応した漏洩同軸ケーブル。アプローチケーブルを用いて、基地局無線装置のアンテナ端子に接続する。漏洩同軸ケーブル周囲で漏洩電波による小さな無線エリアを構築することができる。漏洩同軸ケーブルの仕様を表 2-8 に示す。

表 2-8　漏洩同軸ケーブル機器仕様

項目	仕様
周波数	4600MHz～4900MHz
偏波	垂直偏波
ケーブルサイズ	20D
減衰量	0.2dB/m
結合損失	60dB

項目	仕様
入力インピーダンス	50Ω
短径×長径	28mm×40mm
概算重量	0.7kg/m （固定金具を含まず）
イメージ	

基地局無線装置は、外部アンテナ接続用のポートを有し、設置環境に適したアンテナを最大 4 台接続し、受信環境が良好な場合、4×4MIMO モードの通信をすることができる。

本実証では、区間①の直線区間で狭指向性アンテナを、区間②のカーブ区間で狭指向性アンテナ、及び漏洩同軸ケーブルを基地局無線装置に接続して検証を実施した。なお、狭指向性とするために大型化した狭指向性アンテナの設置スペースを抑えるためと、漏洩同軸ケーブルの設置工事軽減のため、ローカル 5G 基地局は 2×2MIMO モードで動作させることとした。

6） 端末無線装置

端末無線装置は、ローカル 5G 無線局と無線通信する機能を有し、端末無線装置にイーサネット接続した IP 機器をローカル 5G モバイルネットワークに収容する。端末無線装置に実装している SIM カードに記録されている電子情報により、回線認証やデータの暗号化を行うことができ、安全にモバイルネットワークへ接続することができる。端末無線装置の仕様を表 2-9 に示す。

表 2-9 端末無線装置機器仕様

項目	性能値
製品名	iR730B-001
対応バンド	5G:sub6 n79
対応モード	SA
アンテナ	外部アンテナポート×4 TRX:1 RX:3
無線送信出力	最大 200mW

項目	性能値
インターフェース	10/100/1000BASE-T×2
SIM カードスロット	nano SIM×1
電源	AC100V～240V（AC アダプタ） 最大 16W
動作温度範囲	10℃～60℃
外形寸法	W 125mm×H 25mm×D 78mm 程度（突起部を含まず）
重量	約 380g
技術基準適合証明	取得済み ※後述の車載用**アンテナを含む**
イメージ	

7） 車載アンテナ

端末無線装置用の屋外用外部アンテナは、実験車両に取り付けて使用する。車載アンテナの仕様を表 2-10 に示す。

表 2-10 車載アンテナ機器仕様

項目	性能値
製品名	MA-VMB-5MRDI
周波数	4.5GHz～6.5GHz
アンテナゲイン	3dBi
指向性	無指向
偏波面	垂直偏波
入力インピーダンス	50Ω
入力電力	最大 5W
動作温度範囲	-40℃～65℃
レドーム寸法	L 169mm×W 85mm×H 88mm 程度（突起部を含まず）
重量	約 350g

項目	性能値
イメージ	

8） 360°カメラ、画像処理サーバ、画像閲覧 PC

課題実証「首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー構築）」用機器の仕様を表 2-11 に示す。

表 2-11 首都高ハイウェイビューNowON 機器仕様

項目		仕様
360° カメラ	レンズ	6× F2.4 魚眼レンズ
	ホワイトバランス	自動、手動
	露出モード	自動、手動、レンズ別の調整
	ISO 感度範囲	100～6400
	映像フォーマット	【リアルタイムスティッチング】 ・3D 3840×3840:30fps ・2D 3840×1920:30fps
	写真フォーマット	【リアルタイムスティッチング】 ・3D 7680×7680 ・2D 7680×3840
	静止画形式	JPEG / DNG
	インターフェース	LAN、HDMI
	GPS	内蔵モジュール
	機体素材	アルミニウム合金
	サイズ	Φ143mm
	重量	1,550g
	電源	DC12V 5A(アダプタ) AC100V～240V（AC アダプタ）最大 10W

項目		仕様
ビデオコーデック	圧縮方式	H.264、H.265、MJPEG
	解像度	320×240 ～ 3840×2160
	ビデオ入力	HDMI
	ビデオ出力	HDMI
	データレート	32kbps～50Mbps（H.264/H.265 使用時）
	ネットワーク	10/100/1000BASE-T（RJ-45）×1
	外形寸法（W×H×D）	134mm×33mm×125mm（突起部を含まず）
	電源	DC12V
画像処理PC	CPU	Intel Core i7-12700K 12 コア　3.6GHz
	メモリ	32GB
	HDD	OS 用：512GB、データ用：1TB SSD
	光学ドライブ	DVD-ROM
	ネットワーク	1000BASE-T
	電源	AC100V
	OS	Windows 10 Pro 64bit
	形状	タワー型
	外形寸法（W×H×D）	98mm×357mm×395.5mm（突起部を含まず）
画像閲覧PC	CPU	Intel　Core i5-12600K 3.7GHz
	メモリ	8GB
	GPU	CPU 内蔵 3D グラフィックス
	HDD	1TB
	光学ドライブ	DVD-ROM ドライブ
	ネットワーク	10/100/1000BASE-T ×1
	電源	AC100V
	OS	Windows 10 Pro 64bit

項目		仕様
	外形寸法(W×H×D)	98mm×357mm×395.5mm(突起部を含まず)
GPS 受信機	受信周波数	1575.42MHz、1602MHz
	プロトコル	NMEA、UBX バイナリ
	インターフェース	RS-232、TTL、USB
	標準出力	GGA、RMC、GSV、GSA、VTG、GLL
	外形寸法(W×H×D)	48m×15mm×58.5mm
	重量	214g
プロトコル変換装置	対応プロトコル	IPv4、TCP、UDP

2.3.2 区間③及び区間④システム構成機器

(1) 全体構成

区間③及び区間④のシステム構成は図 2-13、構成する各機器の詳細は表 2-12 に示すとおりである。なお、ミリ波については、SA 方式に対応した端末を入手できないため、本実証では端末との接続は行っていない。

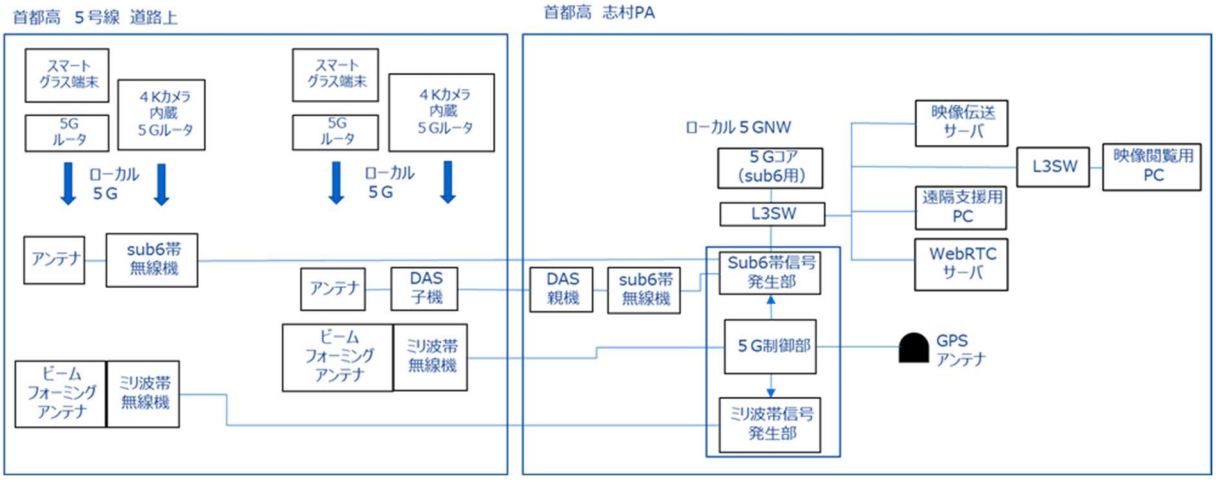


図 2-13 全体システム構成図(区間③、区間④)

表 2-12 構成機器(区間③、区間④)

5G コア	機器の役割	sub6 帯ローカル5G システム用のコア装置
	数量	1 式(サーバ 2 台構成)

	設置形態	ラックマウント 固定
	製造者	ノキアソリューションズ＆ネットワークス

ローカル5G 基地局 （ミリ波帯）	機器の役割	ノキア社製ミリ波帯信号発生部(BBU)とミリ波帯無線機（RRH）の組合せで構成される 28GHz 帯の信号発生し、無線信号を送信する
	数量	2 式
	同期/準同期	同期
	UL:DL 比率	1:4
	SA/NSA	SA ※ただし、現時点でミリ波 SA 対応の端末が市場では入手できないため、測定は測定機による受信電力（RSRP）測定となる
	周波数帯	28.2～28.3GHz 帯
	周波数帯域幅	100MHz
	変調方式	UL 256QAM, DL 256QAM
	MIMO	2×2MIMO
	設置形態	固定
	製造者	ノキアソリューションズ＆ネットワークス

ローカル5G 基地局 （sub6 帯）	機器の役割	ノキア製 sub6 帯信号発生部(BBU)と sub6 波帯無線機（RRH）の 組合せで構成される 4.8GHz 帯の信号発生し、無線通信が可能となる
	数量	2 式
	同期/準同期	同期
	UL:DL 比率	1:4
	SA/NSA	SA
	周波数帯	4.8～4.9GHz 帯
	周波数帯域幅	100MHz
	変調方式	UL 64QAM, DL 256QAM
	MIMO	4×4MIMO

	設置形態	固定
	製造者	ノキアソリューションズ＆ネットワークス

指向性アンテナ （ミリ波帯）	機器の役割	無線基地局内蔵型の 2T2R アンテナ 1x192 AE 素子で、水平方向 12 度、垂直方向 10 度のビームフォーミング可能
	数量	区間③:1 式 区間④:1 式
	設置形態	区間③:ミリ波帯基地局無線機に内蔵 区間④:ミリ波帯基地局無線機に内蔵
	製造者	ノキアソリューションズ＆ネットワークス

指向性アンテナ （sub6 帯）	機器の役割	水平方向 15±5 度、垂直方向 65±10 度、アンテナゲイン 13.5±1dBi の平面アンテナ 遮蔽板を取り付けることで、より狭指向性のアンテナとして検証を実施
	数量	区間③:1 式 区間④:なし
	設置形態	区間③:屋外ポールに設置固定 区間④:なし
	製造者	ノキアソリューションズ＆ネットワークス

分散型アンテナ システム （DAS）	機器の役割	sub6 帯ローカル 5G 基地局と接続し、基地局の無線信号を光ケーブルにより分散するシステム装置 DAS 親機と DAS 子機の組合せで構成される
	数量	DAS 親機:1 式 DAS 子機:4 式
	設置形態	DAS 親機　ラックマウント固定 DAS 子機　屋外ポール設置型筐体固定
	製造者	東芝インフラシステムズ

指向性アンテナ （sub6 帯・DAS 用）	機器の役割	水平方向 30±5 度、垂直方向 30±5 度、アンテナゲイン 13.5dBi の平面アンテナ
	数量	区間③:なし 区間④:8 式（DAS 子機 1 式につきアンテナ 2 式を使用）
	設置形態	区間③:なし 区間④:屋外ポールに設置固定
	製造者	日本電業工作

4K カメラ内蔵 5G ルータ (4K 映像伝送)	機器の役割	高精細の 4K 映像を H.264／H.265 方式にエンコードし、ローカル5G 無線で伝送できる端末
	数量	3 式
	設置形態	可搬
	製造者	FCNT

5G ルータ (データ伝送)	機器の役割	スマートグラスや PC を接続して、ローカル5G 無線でデータ伝送できる端末
	数量	3 式
	設置形態	可搬
	製造者	Palcom

大容量 映像伝送 システム	機器の役割	ローカル5G システムと接続し、ローカル5G を介して伝送される映像をリアルタイムに PC 配信し、かつファイル記録保存し、ファイル呼出しに応じて映像再生を可能とする
	数量	映像伝送サーバ:1 式 設定用モニタ、キーボード:1 式(スマートグラスシステムと共用) 閲覧用 PC:2 式(1 式はスマートグラスシステムと共用)
	設置形態	サーバ据置固定
	製造者	東芝インフラシステムズ

スマートグラス システム	機器の役割	複数の現場作業者を 1 名の熟練指導員が遠隔で指導すると共に、現場作業員が大容量データをスマートグラス端末にダウンロードして現場へ持ち出しすることで、現場の過去の点検データやマニュアルをハンズフリーで参照できる
	数量	WebRTC サーバ:1 式 スマートグラス端末:3 式 遠隔支援 PC:1 式(上記大容量映像システムと共用)
	設置形態	サーバ据置固定 スマートグラス設備　屋外装着
	製造者	東芝システムテクノロジー

(2) 各機器詳細

1) コア装置

5G コア装置の CMU（Compact Mobility Unit）の仕様を表 2-13 に示す。

表 2-13　コア装置機器仕様

項目	性能値
機種名	CMU（Compact Mobility Unit）
最大接続基地局数	500 基地局
最大同時接続数	100,000 デバイス
最大スループット	45Gbps（上り・下り合計）
電源	AC100V～240V
動作温度範囲	10℃～35℃
外形寸法	434.6×42.8×826.2mm（1 台あたり）
重量	約 16kg（1 台あたり）

ノキアのローカル 5G 製品は、利用者による運用管理ができる現地自律型のオンプレミスのシステムと、遠隔の運用管理サービスが適用できるクラウド型のマネージドサービスの 2 つシステムがある。詳細を図 2-14 に示す。

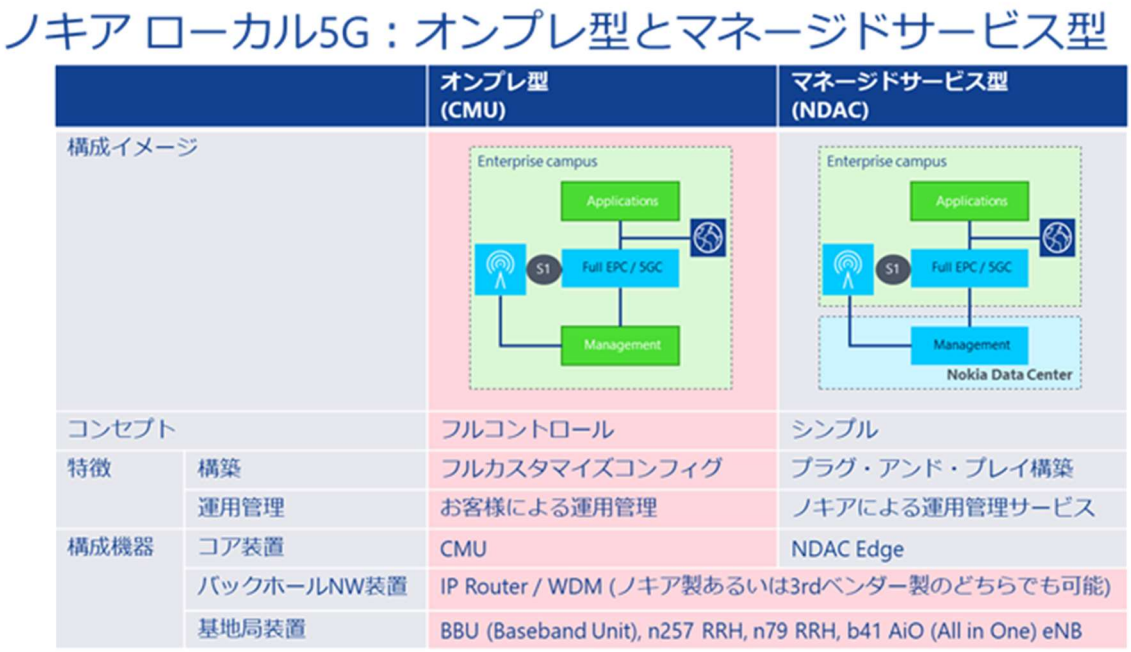


図 2-14　ノキアのローカル 5G 構成イメージ

オンプレミスは、利用者によるネットワークや無線出力等の設定変更が可能なフルカスタマイズに対応できる特長がある。他方、マネージドサービスは、利用者の希望するネットワークや無線出力等の設定内容をあらかじめ提示し、ノキアがインストール・セットアップを行う。無線機器を現地で取り付け、インターネットを介してノキアのクラウド上の管理環境に接続することで、現地での細かな設定なしに簡単にシステム稼働させることができる特長がある。このローカル

5G システムは、いずれの構成でも、コンパクトな 5G コア装置で SA、冗長性、マルチベンダー基地局接続、3GPP の今後のリリースにアップデートができる。

今回採用するオンプレミスで使用する 5G コア装置となる CMU は、冗長構成とすることが可能で、最大 10km 離れた場所に CMU を配置することができるため、異なる場所に CMU を配置することで、突発的に発生する災害や停電に対しての耐性を高めることができる。詳細を図 2-15 に示す。



図 2-15 ノキアの CMU を冗長構成とした場合のイメージ

本実証では、実証用に必要最低限のシステムとするため、整備する CMU はシステム冗長構成ではあるが、地理的冗長までは含まない構成とした。

2） ローカル 5G 無線機

ローカル 5G 無線機（RRH）の仕様を図 2-16 に示す。

ローカル5G向け無線機

型名	AWEUA	AWHTA
タイプ	5G RRH	5G RRH
外観イメージ		
寸法 (WxHxD)(mm)	270 x 325 x 115	245 x 295 x 110
重量 (Kg)	10	11
周波数 (MHz)	n257, 26,500–29,500	n79, 4,600-4,900
帯域幅 (MHz)	OBW: 800 Carrier: 50, 100, 200, 400	OBW: 200 Carrier: 20, 40, 60, 80, 100
最大出力	EIRP 55dBm	20W per Tx (4 Tx Path)
最大消費電力 (W)	250	285

図 2-16　ローカル 5G 無線機仕様

a.　ミリ波帯の RRH

ミリ波帯の RRH は、2×2MIMO を 2 出力、最大 EIRP55dBm まで出力の調整が可能である。本実証では、線状の高速道路上のエリア化に有効なミリ波帯で 2×2MIMO 対応のアンテナとして、無線機と一体型で水平幅 12°のビーム幅で電波送出可能な製品を使用した。

ミリ波帯は、伝送距離による減衰が大きいことから、電波が遠くまで届きにくい性質があるが、本実証で使用する無線機一体型アンテナは、総務省が許容する最大出力での電波送出が可能であり、ミリ波帯としては直線で最大距離のカバレッジを構築できる。また、アンテナは、電波を細く絞り、特定の方向に向けて集中的に発射する技術であるビームフォーミングに対応したものである。送信側からは、受信する端末の距離や方向を判別して電波を受信側に向けて届けることができ、受信側にとってより確かな信号を受けることができるようになる。同時に送信できるビーム数は最大 32 あり、受信端末によって送信するビームを変えることができることから、本技術を使用することで、同一周波数を使用する端末同士が近接していても、通信同士の干渉を避けることができるため、道路上のエリアで複数の端末を使用するときに通信の安定性を向上させることができる。

b. sub6 帯の RRH

sub6 帯の RRH は、4×4MIMO に対応し、最大 80W まで出力の調整が可能である。本実証では、線状の高速道路上のエリア化に有効なアンテナとして、水平・垂直のビーム幅を狭くすることができる狭指向性アンテナを使用することにより、道路外への電波漏洩を抑制する。直線区間の場合には、カバレッジを広く取れることから、無指向性のアンテナを使用する場合に比べて、道路上に設置する無線機の数を削減することができる。

3） 指向性アンテナ（ミリ波帯）

本実証ではノキア製のミリ波帯無線機 RRH に内蔵されたビームフォーミング機能を備えたアンテナを利用する。本アンテナは、2T2R 構成で、1x192 AE 素子で構成された Dual polarized arrays アンテナである。アンテナカバレッジとしては、水平方向が±45 度、垂直方向が±15 度である。本カバレッジ範囲内で、水平方向 12 度、垂直方向 10 度のビームフォーミングを実現している。図 2-17 に、ミリ波帯無線機 RRH と内蔵アンテナの仕様を示す。



AWEUA, mmWave Radio 5G n257 28GHz

Specification[1]	Details
5G Band/Frequency	n257, 26500–29500 MHz n261, 27500 – 28350 MHz
Number of TRX	2T2R
RF Output Power	EIRP 55 dBm(Max), 44dBm(Min) Tx power 1.26 W per Tx(Max), 63 mW per Tx(Min)
RF Bandwidth	OBW: 800MHz; IBW: 1400MHz[2]
Carriers	Up to eight 100MHz 5G NR carriers
Carrier Bandwidth	50, 100, 200 & 400MHz
Physical Size[1]	Dimensions: 325(h) x 270(w)x 115 (d) mm Volume: 10 L, Weight: 10 kg (with integrated antenna)
Synchronization	Via AS 88U or ASOD
Fronthaul Port	Two SFP28 (10/25Gbps,eCPRI)
Ext Module Port	2 Extension Module Ports
Antenna	Configuration: Integrated 2Tx/2Rx, 1x192 AE w/ Dual polarized 8x12 arrays Horizontal Coverage Angle: +/-45° Vertical Coverage Angle: +/-15° Horizontal BW: 12°, Vertical BW: 10°
Max Antenna gain	23 dBi
Operating Temp	-40°C to +55°C
Input Power	90 – 265 VAC
Power Consumption	250 W (Max), 210 W (Typ) RU only

[1] Physical size and weight is subject to change during development phase
[2] IBW number is preliminary. Exact IBW support is under analysis
All specs are subject to change

5G Airscale mmWave Radio Benefits

- Small form factor, passively cooled with integrated antenna array
- Extension antenna panel provides additional deployment flexibilities
- Multiple synchronization options
- Connectivity to DU (via eCPRI)
- + Ext Module Provides 180° coverage

Main Radio Module
(Ant/Radio)

NOKIA

図 2-17 ミリ波帯 RRH 及び内蔵アンテナ仕様

4） 指向性アンテナ（sub6 帯）

本実証ではノキア製の sub6 帯アンテナを利用する。本アンテナは、4T4R 構成での X-polarized directional アンテナである。本アンテナはノキア製の sub6 帯無線機 RRH に直接取り付ける構造での設置が可能である。本実証では水平方向の指向性をより狭くするための方策として、本アンテナを 90 度回転させて横向きに設置して利用する。横向きの設置により、水平方向が 15±5 度、垂直方向が 65±10 度の指向性を実現する。図 2-18 に本 sub6 帯指向性アンテナの仕様を示す。

AirScale Micro Remote Radio Head

AAHO AirScale mRRH Dir Ant 3.3-5.0GHz.

Specification	Details
LTE access	UL/DL: 3300 – 5000 MHz – 4X20W Antenna
Antenna Configuration	X-polarized directional antenna
Antenna Gain	13.5 ± 1 dBi
Horizontal Beam Width	65 ± 10°
Vertical Beam Width	15 ± 5°
Physical size (HxWxD) Weight	345 x 270 x 25 mm(max) < 1.5kg
Antenna ports, nominal impedance	50 ohm
Return Loss	> 14 dB
Isolation between ports	> 25 dB
Interfaces	4 port, Nex10 straight male connectors with cable
Operating Temp.	-40° to +55° C
IP Grade	IP65

Click to add text

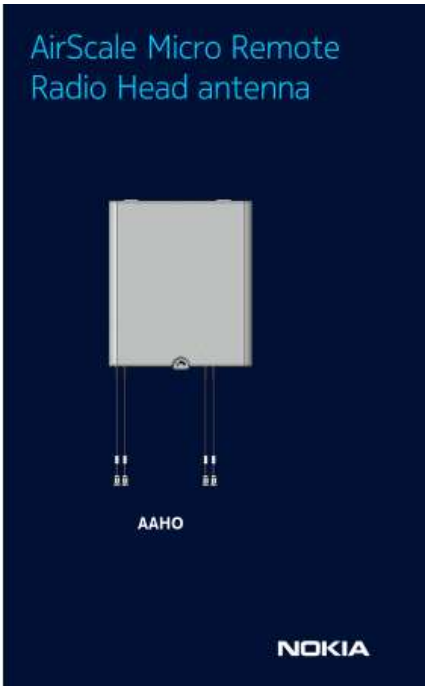


図 2-18　sub6 帯指向性アンテナ仕様

本実証では上記アンテナの上下左右に遮蔽構造物（遮蔽板）を設置可能とするすることで、さらに狭指向性アンテナ性能を実現し、所要干渉抑制量に対する技術検証を行った。遮蔽板はアンテナ放射面以外を金属で囲み、内部にはアンテナパターンを安定されるために電波吸収材を貼付している。正面に開けたスロット幅にて、できるだけ路外への漏洩電力が少なくなるようにしている。遮蔽板の形状について、図 2-19 に示す。

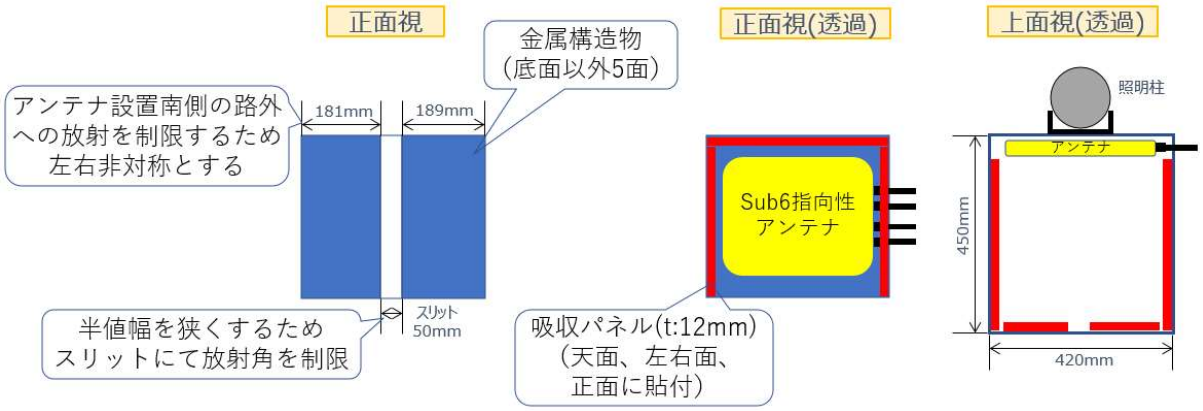


図 2-19　sub6 帯アンテナ用　遮蔽板形状

5）　分散アンテナシステム（DAS）

DAS とは、基地局からの無線信号を光信号に変換し、光ケーブルを介して分散配置する子機によって無線信号を送出することで、通信できるエリアを拡張可能なシステムである。本実証で用いる東芝インフラシステムズ社の DAS は、基地局の RF ポートと DAS 親機（DAS_MU）の RF 入力ポート（4T4R）とを接続し、DAS 親機と DAS 子機間は光ケーブルでスター型に接続

され、DAS 親機 1 台に対し DAS 子機は最大 128 台まで接続することが可能である。また、DAS 子機のアンテナポートは 4×4MIMO（4T4R）に対応している。ローカル 5G 用 DAS の機器イメージを図 2-20 に示す。

	親機（MU）	中継機（HU）	子機（RU）
無線周波数	N79 4800MHz～4900MHz		
周波数幅	100MHz幅		
アンテナ	4Tx / 4Rx		
最大送信電力	30dBm/アンテナ		
動作温度範囲	0℃ to 40℃		
寸法	430×380×87.5mm （取付金具、突起部を除く）	430×300×87.5mm （取付金具、突起部を除く）	305 x 385 x 105mm （取付金具、突起部を除く）
設置条件	19インチラック 強制空冷	19インチラック 強制空冷	水平or壁掛け 自然空冷
質量	10kg以下	9kg以下	12kg以下
外観		今回実証においては未使用 	

図 2-20 ローカル 5G 用 DAS の機器イメージ

DAS は、子機からの送信出力や接続するアンテナの指向特性を適切に設定し、複数の子機を分散配置することで、棚や壁等による室内電波遮蔽への対策や、線状エリアでの他者土地への電波漏洩の防止対策に資する、細やかな無線エリア構築を実現する。

DAS システムでは、同一親機配下の子機は同一セルとなるため、子機間での無線干渉が発生せず、線状のエリアであっても、無線出力を抑えた DAS 子機と指向性アンテナを複数利用することで、容易にエリア設計が可能である。また、DAS システムでは、同一セルの電波を複数アンテナに分配することから、端末が DAS 子機間を跨ぐ際にハンドオーバーが発生しないため、エリア内での安定した通信環境を実現できる。さらに、DAS は、基地局の無線機 1 台と親機を接続し、その基地局無線機の性能を複数の子機によってそのまま分散することから、基地局無線機の数を最小にしてローカル 5G 無線エリアを構築することができるため、システム導入のイニシャルコストを抑制すると共に、基地局無線機の利用数に応じたソフトウェアライセンス費用といったランニングコストを抑制することも期待できる。

DAS 子機と同軸ケーブルで接続するアンテナの仕様を表 2-14 に示す。sub6 帯に対応した指向角 30°の平面アンテナを使用する。

表 2-14 平面アンテナ機器仕様

項目	仕様
周波数	4500MHz～5000MHz
アンテナゲイン	13.5dBi
偏波面	±45° 偏波

項目	仕様
半値角	水平面 30° ±5°、垂直面 30° ±5°
耐電力	各端子 120W 以上
入力インピーダンス	50Ω
外形寸法	150mm×150mm×56mm 程度(突起物を除く)
重量	600g 以下(アンテナ本体)

6) 端末

本実証システムで使用する 4K カメラ内蔵 5G ルータ、データ伝送用 5G ルータの仕様をそれぞれ表 2-15、表 2-16 に示す。

表 2-15 4K カメラ内蔵 5G ルータ

項目	性能値
型名	SAWC01011
サイズ	約 186mm×99mm×38mm
重量	約 600g
ディスプレイ	約 6.7 インチ WQHD+、有機 EL
OS	Android 11
CPU	Snapdragon 865
RAM／ROM	8GB／12GB
リアカメラ	4,800 万画素(79° ／f1.7) 1600 万画素(117° ／f2.2) 800 万画素(30° ／f2.4／光学 3 倍)
フロントカメラ	3,200 万画素
5G	公衆:n78、n79／ローカル 5G:n79(4.6～4.9GHz)
Wi-Fi	IEEE802.11 a/b/g/n/ac/ax
SIM	nanoSIM×1
バッテリー／電源	4,070mAh／USB Type-C による外部給電
防水／防塵	IP65

項目	性能値
動作温度範囲	-30℃～60℃
外部インターフェース	Type-C（データ通信用）×2、Type-C（充電専用）×1、microSD×1
その他機能	センサ（加速度／地磁気／GPS／マイク）、死活監視、自律再起動

表 2-16 データ伝送用 5G ルータ

項目	性能値
製品名	RAKU+
バンド	5G：sub6 n79
サイズ	119mm×72mm×23.5mm
表示	2.4 インチタッチパネル付き
重量	228g
無線	デュアルバンド Wi-Fi（16 端末接続）、MIMO、802.11 a/b/g/n/ac/ax
インターフェース	USB3.1 Gen2、Type C、Nano-SIM、RJ45
バッテリー	5300mAh（typ）
技術基準適合証明	CCC、CE、GCF、TELEC 取得済み
イメージ	

2.3.3 最も効率的なシステムであることの説明

本実証で構築したシステムは、以下により最も効率的なシステムである。

（1） 利用シーンからのシステム構成

首都高速では、大規模災害時にも輻輳しない安定した自営無線通信網を求めており、インターネット等の外部ネットワークとの接続を必要としないシステムであることが望ましいため、オンプレミス型による実証が最適である。

（2） 道路形状によるアンテナ方式設定

本実証では、道路形状に合わせ直線区間と曲線区間を抽出し、それぞれに最適なアンテナ方式の整理を行った。本実証システムでは、狭指向性アンテナ、ミリ波ビームフォーミング、DAS、漏洩同軸ケーブル等、線状の無線通信エリアを構成可能である有力な要素を全て検証可能なシステム構成であり、最も効率的である。

（3） 干渉協議を考慮した選択肢の用意

都市内高速道路では、隣接エリアの他者が既に同じ帯域を利用し、電波干渉により道路上で利用できない場合がある。その際、異なる帯域を利用してエリア構築する代替の選択肢が必要となる。本実証では、sub6 帯とミリ波帯の両方を道路形状ごとに検証し、状況に応じたシステムの選択肢を用意できるかを実証可能なシステム構成であり、最も効率的である。

2.4 システム機能・性能・要件

本実証において、最も高い性能を要求する課題実証で要求性能を整理する。本実証で使用する 4K カメラ内蔵 5G ルータでは、フレームレート 30fps の 4K 映像を H.264 で圧縮した場合、中品質であれば 25Mbps 程度に抑えることが可能である。表 2-17 に FCNT 社のビットレート参考値を示す。なお、表に記載のビットレートは、映像データのペイロードの帯域を示す。

表 2-17 FCNT 社製製品のビットレート参考値

画像サイズ	フレームレート	コーデック	ビットレート 高品質	ビットレート 中品質	ビットレート 低品質
3840×2160 4K	30 fps	H.264	44 Mbps	25 Mbps	12 Mbps
1920×1080 フル HD	30 fps	H.264	11 Mbps	6 Mbps	3 Mbps
1280×720 HD	30 fps	H.264	5 Mbps	3 Mbps	1 Mbps
2736×2736 半天球用	30 fps	H.264	39 Mbps	22 Mbps	11 Mbps
1920×1920 半天球用	30 fps	H.264	19 Mbps	11 Mbps	6 Mbps

また、災害現場に向かう作業員が各現場の作業マニュアルや過去点検データをスマートグラスへダウンロードする際、作業性の確保から 10MB 程度のドキュメントを 10 秒程度でダウンロードできる速度が求められるから、8Mbps 程度以上を確保できることが望ましい。

4K 映像のアップロード、スマートグラスは、1 つの基地局で 500m 程度のカバレッジを想定すると、各 2 台程度は同時運用できることが望ましい。

これらより、要求性能として以下を想定する。ただし、災害時に高速道路上に発生する段差や

目開き等を確認できない等、映像品質に問題がある場合は、本実証を通じて見直す可能性がある。

- 機能要件：　4K 映像伝送が可能であること
  大容量ファイルのダウンロードが可能であること
- 性能要件：　エリア端で 25Mbps 以上のアップリンク通信が可能であること
  エリア端で 8Mbps 以上のダウンリンク通信が可能であること

2.5　免許及び各種認可

2.5.1　無線局免許

本実証において、無線局免許申請は表 2-18 に示すとおり実施した。

表 2-18 無線局免許申請一覧

種別	区間	申請内容	対応
基地局相当	区間①	実験試験局 1 局	首都高共同研究で申請、本実証では流用
	区間②	実験試験局 2 局	首都高共同研究で申請、本実証では漏洩同軸ケーブル追加に伴う工事設計書の変更(空中線追加)の申請
	区間③	実験試験局 2 局	首都高共同研究で申請、本実証では流用
	区間④	実験試験局 5 局	首都高共同研究で申請、本実証では流用 うち 4 局では、登録点検を実施
移動局相当	区間①～②	実験試験局 7 局	首都高共同研究で申請、本実証では流用
	区間③～④	実験試験局 6 局	本実証で申請

本実証を実施するにあたり、別途、首都高速で実施しているローカル 5G 共同研究で取得した実験試験局の流用及び変更申請を実施した。実施場所における免許申請にあたり、当該地域を管轄する関東総合通信局と事前協議を実施したところ、以下の干渉調整が必要な免許人が判明したため、電波干渉協議を実施した。

① 株式会社 NTT ドコモ
② 日本電信電話株式会社　NTT アクセスサービスシステム研究所
③ ソニーワイヤレスコミュニケーションズ株式会社

2.5.2　立入協議

(1) 荒川河川敷

区間①において電界強度等の測定を実施するにあたり、荒川河川敷に立ち入る必要があるため、荒川下流事務所に事前協議を実施した。事前協議の結果、電界強度等の測定時の立入は一時占用にはあたらないこととなったが、河川敷の一時使用に伴う実験計画書及び一時使用届を提出した。

（2） 東京都立赤塚公園

区間③において電界強度等の測定を実施するにあたり、東京都立赤塚公園に立ち入る必要があるため、東京都東部公園緑地事務所に事前相談の上、赤塚公園サービスセンターに事前協議を実施した。事前協議の結果、電界強度等の測定時の立入は一時占用にはあたらないこととなったが、公園の用途外使用に伴う実験計画書及び作業届を提出した。

2.6 その他

本実証システムは、次に示す理由から、本実証システムに求められる要件を全て満たしている。

2.6.1 実証システムの拡張性等

本実証で採用するローカル 5G システムは国際規格 3GPP に準拠している。

本実証で採用する一部機器の供給元であるノキア社は、国際規格 3GPP 策定のボードメンバーとして標準化活動に参画していることから、国際規格への対応が容易かつ迅速である。また、整備するローカル 5G システムは、今後の機能拡張に対応できるようにオプションの装置やソフトウェアの追加が容易なものとなっている。また、ノキア社は、特定高度情報通信技術開発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た実績を有している。

日本無線で用意したローカル 5G システムは、自社長野事業所を始め、ローカル 5G の実用局として複数の実績を有している。5G コア、信号処理装置の機能を汎用サーバ上のソフトウェアで実装しており、将来の機能拡張に対応することが可能である。

2.6.2 実証システムの安全性確保のための対策

本実証システムは、サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策について「IT 調達に係る国等の物品等または役務の調達方針及び調達手続きに関する申合せ」（関係省庁令和 3 年 7 月一部改正）や開発供給計画で定められた各種ガイドラインに留意している。

（1） 特定高度情報通信技術活用システム

本実証システムは、開発を伴わない機器・ソフトウェアを利用するが、利用する装置やソフトウェアについて、現地設置前に各メーカーの有するラボラトリーや工場において各システムの動作確認や性能確認を行った。

なお、日本無線は長野事業所、ノキアは自社の事業所（六本木、川崎）、東芝インフラシステムズは府中事業所にローカル 5G ラボラトリー環境を有している。これらローカル 5G ラボラトリー環境を活用し、本実証システムで調達する大容量映像伝送システム、スマートグラスシステム、360°カメラビューシステムの動作確認を現地設置前に実施した。また、ベンダー間の相互接続性（例えばノキア 5G システムと東芝インフラシステムズ DAS システム間）については事

前にラボラトリー環境で検証を行うことで、現地フィールド試験環境では技術実証、課題実証に注力して行えるようにした。

調達に関しては、必要な性能を考慮しつつ極力汎用品を使って構成した。

セキュリティ対策として、本実証を行う首都高速 5 号池袋線及び志村分室でのシステム構成として首都高速の自営光ファイバ網や自営 IP ネットワークを活用するため、外部と接続しない閉域ネットワークのシステムとした。ただし、自営 IP ネットワークに接続するにあたりセキュリティを確保するため、VPN ルータを活用し、本実験システムと首都高速の自営 IP ネットワークとを論理的に分離する構成とした。

実験期間中の不具合発生に備え、実証開始前に実証参加者に対してメーカーによるシステムの操作説明を行った。また、導入するシステムについてのヘルプデスクや障害問合せ窓口の設置、非常時の連絡体制を構築し、実証期間中に実証参加者等からの問合せに迅速に対応できるようにした。さらに、実証期間中の実証環境に係る不具合や問合せ等は記録することとした。

（2） その他の実証システム

本実証で導入した機器の用途や関連企業について表 2-19 に示す。いずれも、「IT 調達に係る国等の物品等または役務の調達方針及び調達手続きに関する申合せ」（関係省庁令和 3 年 7 月一部改正）や開発供給計画で定められた各種ガイドライン、ローカル 5G 導入ガイドラインに記載の「サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策」に留意の上、選定している。また、現地設置前にコンソーシアム各社の有するラボラトリーや工場において、動作確認や性能確認を実施している。

表 2-19 本実証で導入した機器の用途、関連企業

機器名称、型番	本実証での用途	製造企業	販売企業	技術提供企業
エリアテスタ ML8780A	検証データ計測、解析用設備 課題実証（5G WaveDoctor）、受信電力等測定に使用	アンリツ	テクノレント	－
ネットワークマスタ MT1000A	検証データ計測、解析用設備 受信電力等測定に使用	アンリツ	テクノレント	－
フィールドマスタプロ MS2090A	検証データ計測、解析用設備 受信電力等測定に使用	アンリツ	テクノレント	－
無線装置（RU） NTG-1010	基地局 ローカル 5G 実証環境構築に使用	日本無線	日本無線	Baicells
信号処理装置（BBU） R2000WF	基地局 ローカル 5G 実証環境構築に使用	Intel	Baicells Japan	Baicells
コア装置（5GC） PowerEdge R640	コア設備 ローカル 5G 実証環境構築に使用	DELL	システナ	日本無線
端末無線装置（UE） iR730B-01	端末 ローカル 5G 実証環境構築、受信電力等測定に使用	IDY	システナ	IDY
L3 スイッチ M4300-28G	伝送路設備 ローカル 5G 実証環境構築に使用	NetGEAR	日本電計	NetGEAR

機器名称、型番	本実証での用途	製造企業	販売企業	技術提供企業
L2 スイッチ SWX2322P-16MT	伝送路設備 ローカル 5G 実証環境構築に使用	ヤマハ	日本電計	ヤマハ
狭指向性アンテナ NAY-1011	基地局 ローカル 5G 実証環境構築に使用	日本無線	日本無線	日本無線
漏洩同軸ケーブル EM-LCX20D-S6H6F	基地局 ローカル 5G 実証環境構築に使用	フジクラ・ダイヤケーブル	三共電気	フジクラ・ダイヤケーブル
360° カメラ Insta360 Pro2	端末 課題実証（360° カメラビュー）に使用	Insta360	日本電計	Insta360
ビデオコーデック TCS-8500	端末 課題実証（360° カメラビュー）に使用	ハイテクインター	日本電計	ハイテクインター
GPS レシーバ GU-168-RS232C	端末 課題実証（360° カメラビュー）に使用	サンノゼ	サンテックス	サンテックス
EDID エミュレータ DDC-03UHD-A	端末 課題実証（360° カメラビュー）に使用	アイ・ディ・ケイ	日本電計	日本電計
プロトコル変換装置 NDC-1187A	端末 課題実証（360° カメラビュー）に使用	日本無線	日本無線	日本無線
画像処理サーバ Endeavor MR5000	データ処理設備 課題実証（360° カメラビュー）に使用	セイコーエプソン	サンテレホン	サンテレホン
画像閲覧 PC Endeavor MR8300	検証データ計測・解析用設備 課題実証（360° カメラビュー）に使用	セイコーエプソン	日本電計	セイコーエプソン
大容量映像伝送設備 Precision 3660 Tower	データ処理設備 課題実証（高精細映像・画像のリアルタイム共有）に使用	DELL	IT プロダクツ	―
Web RTC サーバ XPS デスクトップ	データ処理設備 課題実証（スマートグラス）に使用	DELL	東芝システムテクノロジー	東芝システムテクノロジー
スマートグラス EQSURV Navigator	端末 課題実証（スマートグラス）に使用	東芝システムテクノロジー	東芝システムテクノロジー	東芝システムテクノロジー
閲覧用 PC Surface Pro	検証データ計測・解析用設備 課題実証（スマートグラス）に使用	Microsoft	東芝システムテクノロジー	東芝システムテクノロジー
5G ルータ RAKU+	端末 課題実証（スマートグラス）に使用	Compal	IT プロダクツ	―
4K スマホ型カメラ AW01	端末 課題実証（高精細映像・画像のリアルタイム共有）に使用	FCNT	IT プロダクツ	―
映像表示用 PC dynabook G83/HU	端末 課題実証（高精細映像・画像のリアルタイム共有）に使用	Dynabook	IT プロダクツ	―
測定用 PC LATITUDE 3520	検証データ計測・解析用設備 受信電力等測定用に使用	DELL	オリックス・レンテック	―
分散アンテナシステム（DAS） ART4801P	基地局 ローカル 5G 実証環境構築に使用	東芝インフラシステムズ	東芝インフラシステムズ	東芝インフラシステムズ
コア装置（5GC）	コア設備	ノキアソリュー	ノキアソリュー	ノキアソリュー

機器名称、型番	本実証での用途	製造企業	販売企業	技術提供企業
CMU	ローカル 5G 実証環境構築に使用	ションズ＆ネットワークス	ションズ＆ネットワークス	ションズ＆ネットワークス
L3 スイッチ 7250 IXR-e	伝送路設備 ローカル 5G 実証環境構築に使用	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス
信号処理装置(BBU) AirScale BBU	基地局 ローカル 5G 実証環境構築に使用	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス
無線装置(RU) AWHTA	基地局 ローカル 5G 実証環境構築に使用	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス
無線装置(RU) AWEUA	基地局 ローカル 5G 実証環境構築に使用	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス
狭指向性アンテナ AAHO	基地局 ローカル 5G 実証環境構築に使用	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス	ノキアソリューションズ＆ネットワークス

3. 特殊な環境におけるローカル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

都市内高速道路は、構造的特徴、線形的特徴及び周辺環境により、ローカル 5G のエリア構成条件が特に厳しい。都市内高速道路でローカル 5G の整備を行うにあたり、現時点では、線状の無線通信エリアを構成する汎用的なソリューションが無いため、実験により試行錯誤を繰り返す必要がある。また、1 台のアンテナで広範囲のカバレッジを得ようとすると、路面の高さ変化や道路附属物による電波伝搬への影響が考えられ、厳密な置局設計が必要となる。さらに、隣接土地との十分な離隔が取れないため、通信エリア同士の干渉は避けられたとしても、調整対象区域同士の干渉は避けられない状況である。

これらの課題に取り組むため、技術実証では以下の 2 点を実証目標として取り組んだ。

- 都市内高速道路において、道路形状に合わせた複数の線状の通信エリア構築方法の確立
- シミュレーションと実測の差異分析及び分析結果のシミュレーションへの適用による効率的な線状の通信エリア設計手法の確立

実証目標を達成するため、道路形状に合わせ直線区間と曲線区間を抽出し、それぞれ異なるアプローチで取り組むこととした。直線区間は、狭指向性アンテナにより、道路外への電波漏洩の最小化と広いカバレッジ確保の両立を目標とした。曲線区間は、分散アンテナシステム（DAS）等による小さなエリアの連続化、漏洩同軸ケーブルによる道路に沿ったエリア構築により、道路外への電波漏洩の最小化を目標とした。なお、実証に使用するローカル 5G のアンテナや漏洩同軸ケーブル及び無線機等の道路への設置については、実際の運用を鑑み建築限界等を考慮して設計を実施した。

本実証において、図 3-1 に示すとおり技術実証テーマⅠ「線状の空間における電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化」を直線区間である区間①及び区間③、技術実証テーマⅡ「線状の空間におけるエリア化の改善・柔軟性向上」を曲線区間である区間②及び区間④、一部は直線区間である区間③で実施した。

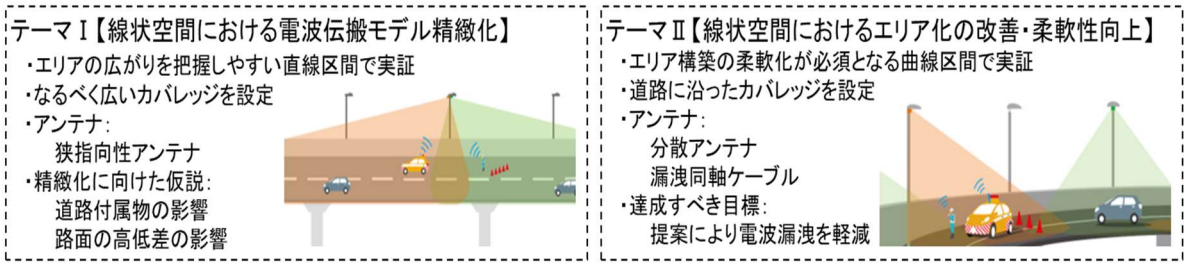


図 3-1 技術実証テーマの取り組み方針

3.2 実証環境

3.2.1 首都高速の構造的特徴及び線形的特徴

首都高速は、全長 327.2km のおよそ 3/4 にあたる 245.0km が高架構造である。高架構造区間は、立体交差等により路面の高さ変化が激しい。また、図 2-3 に示すとおり本線上には遮音壁、ガードレール、標識等の電波伝搬に与える影響が大きな道路附属物が多数設置されている。

首都高速は、その建設経緯から道路や河川に沿って作られた区間が多く、曲線区間等の複雑な線形の箇所が多い。また、狭小なスペースで道路構造物を構成しており、ビルやマンション、工場等が近接している箇所が多い。図 3-2 に首都高速の特徴的な線形の箇所を示す。

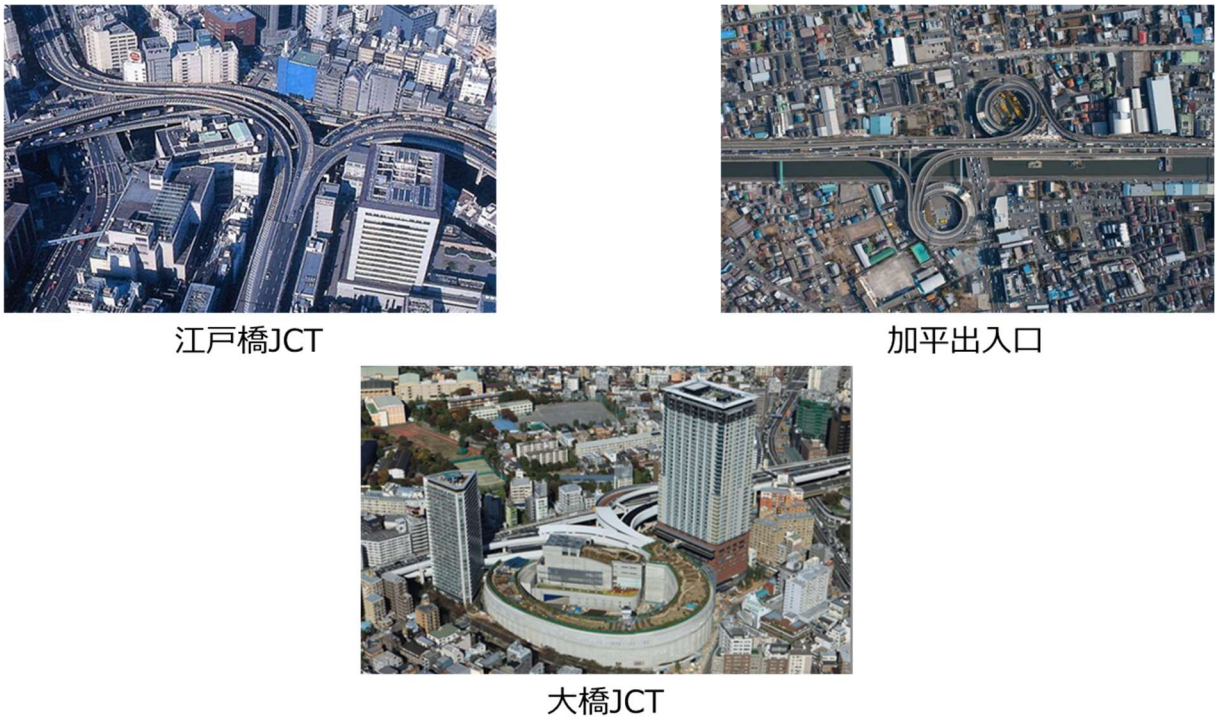
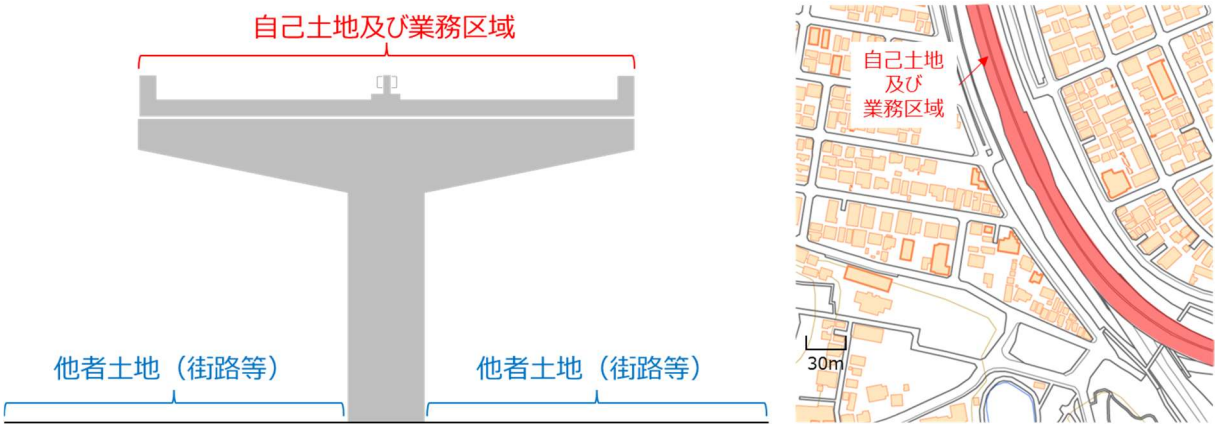


図 3-2 首都高速の特徴的な線形の箇所

これらの構造的特徴、線形的特徴は、電波伝搬の検討のみならず、ローカル 5G の導入検討を困難なものにしているが、本実証を通して汎用的なソリューションを得たうえで、首都高速へのローカル 5G 導入のみならず、線状の無線通信エリアを構成するための汎用的な構築手法を整理した。

3.2.2 本実証区間における自己土地、業務区域の位置付け

本実証区間における首都高速の自己土地及び業務区域を図 3-3 に示す。



出典：右図は国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 3-3 本実証における自己土地及び業務区域

本実証区間では、首都高速の高架下は国道または都道であるため、他者土地となる。なお、高架下でのユースケースは検討しているものの、本実証では高架上の高速道路本線を業務区域としている。

3.2.3 区間①～直線区間、sub6 帯

区間①では、sub6 帯の狭指向性アンテナによる試験用電波を利用した技術実証を実施した。1km 以上の直線区間を活かし、技術実証テーマⅠに対応したシミュレーションや測定を実施した。

区間①は、下り車線（西側）の道路端に路面から高さ 3mの金属製遮音壁、上り車線（東側）の道路端にメッシュフェンスがある。新河岸川以北は、下り車線の道路端の遮音壁は設置されていない。区間①では、狭指向性アンテナを下り線非常駐車帯から道路に沿って北北東の方向に向け実証を行う。狭指向性アンテナは指向角 5°となり設置時のわずかなアンテナ方位の差でカバーエリアが大きく変化する。そのため、ここでは施工後にアンテナの指向方向を簡易に変更できるよう旋回台を設け、実証開始前に指向方向を変化させたときの道路上の受信電力を測定し、道路上のカバー範囲が広くなるようアンテナ方位角を調整した。また、遮音壁等の道路附属物による電波の遮蔽効果を検証するため、2 つのアンテナを異なる高さに設置した。

区間①の実証環境を図 3-4、アンテナ設置場所と周辺環境を図 3-5、アンテナ設置状況を図 3-6、アンテナ設置場所付近の垂直断面を図 3-7、シミュレーション実施前の通信エリアと想定測定ポイントを図 3-8、シミュレーション実施後に選定した高速道路上、荒川河川敷の測定ポイントを図 3-9、道路外の測定ポイントを図 3-10、無線局のアンテナ位置を表 3-1、空中線系統図を図 3-11 に示す。測定ポイントは、算出法による計算結果をもとに仮説エリア図を作成し、高速道路上、道路外合わせて 49 点を選定した。



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 3-4　区間①の実証環境

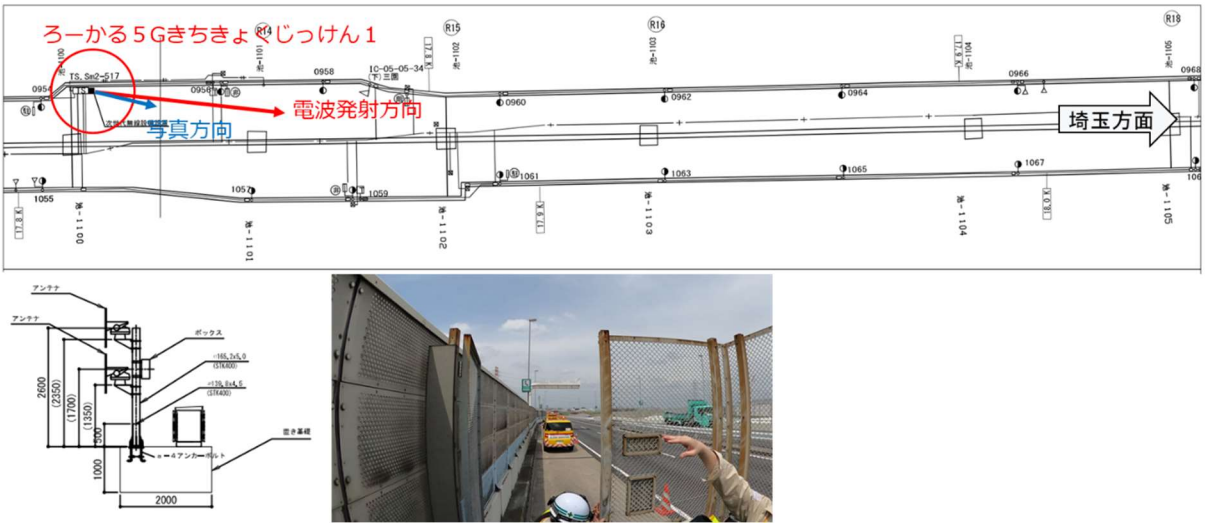


図 3-5　区間①のアンテナ設置場所と周辺環境

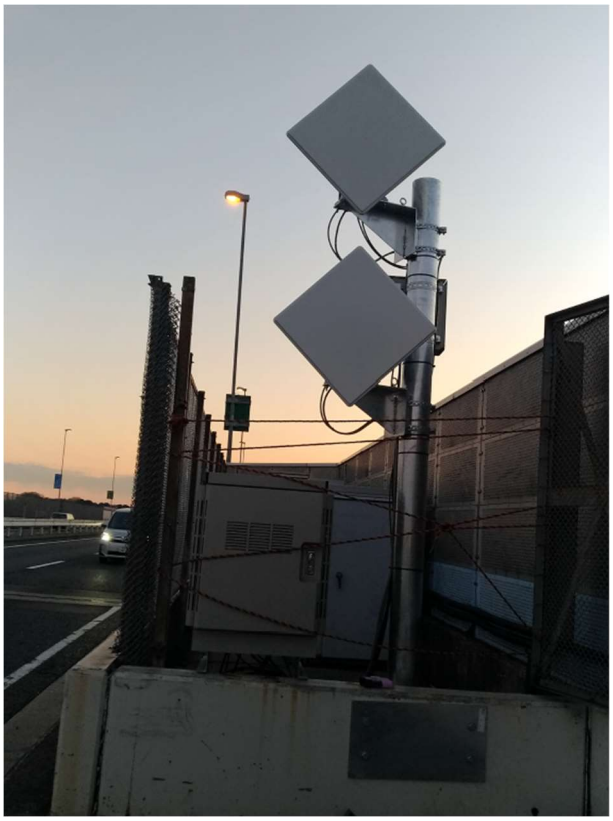


図 3-6　区間①のアンテナ設置状況

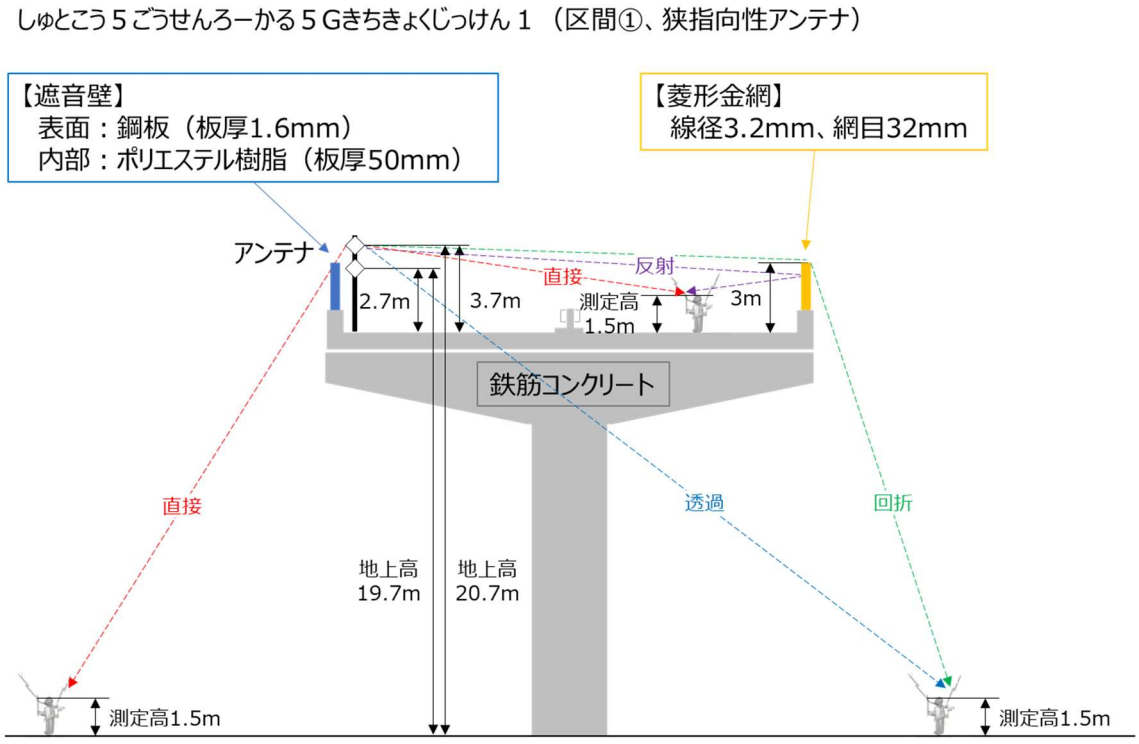
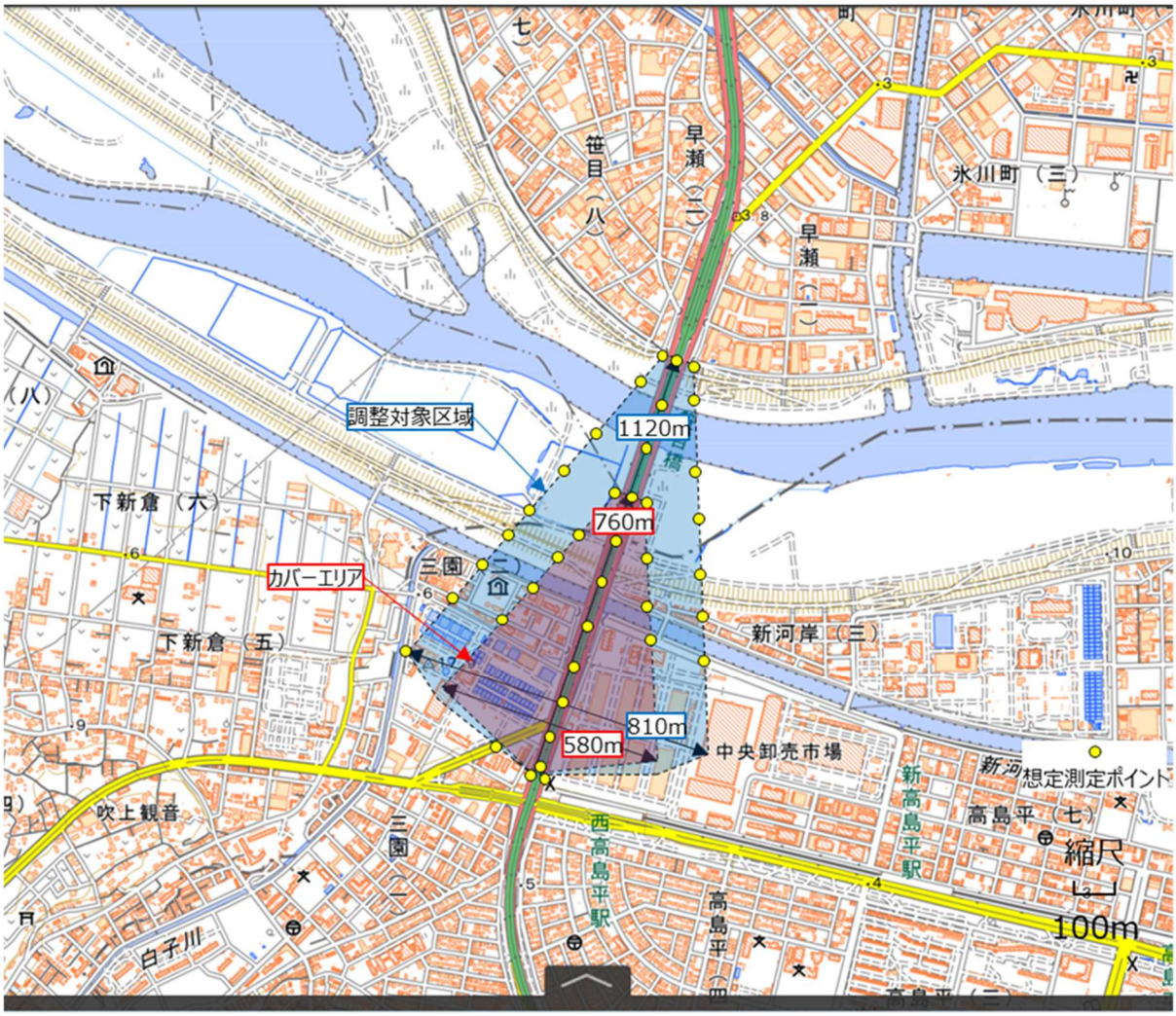
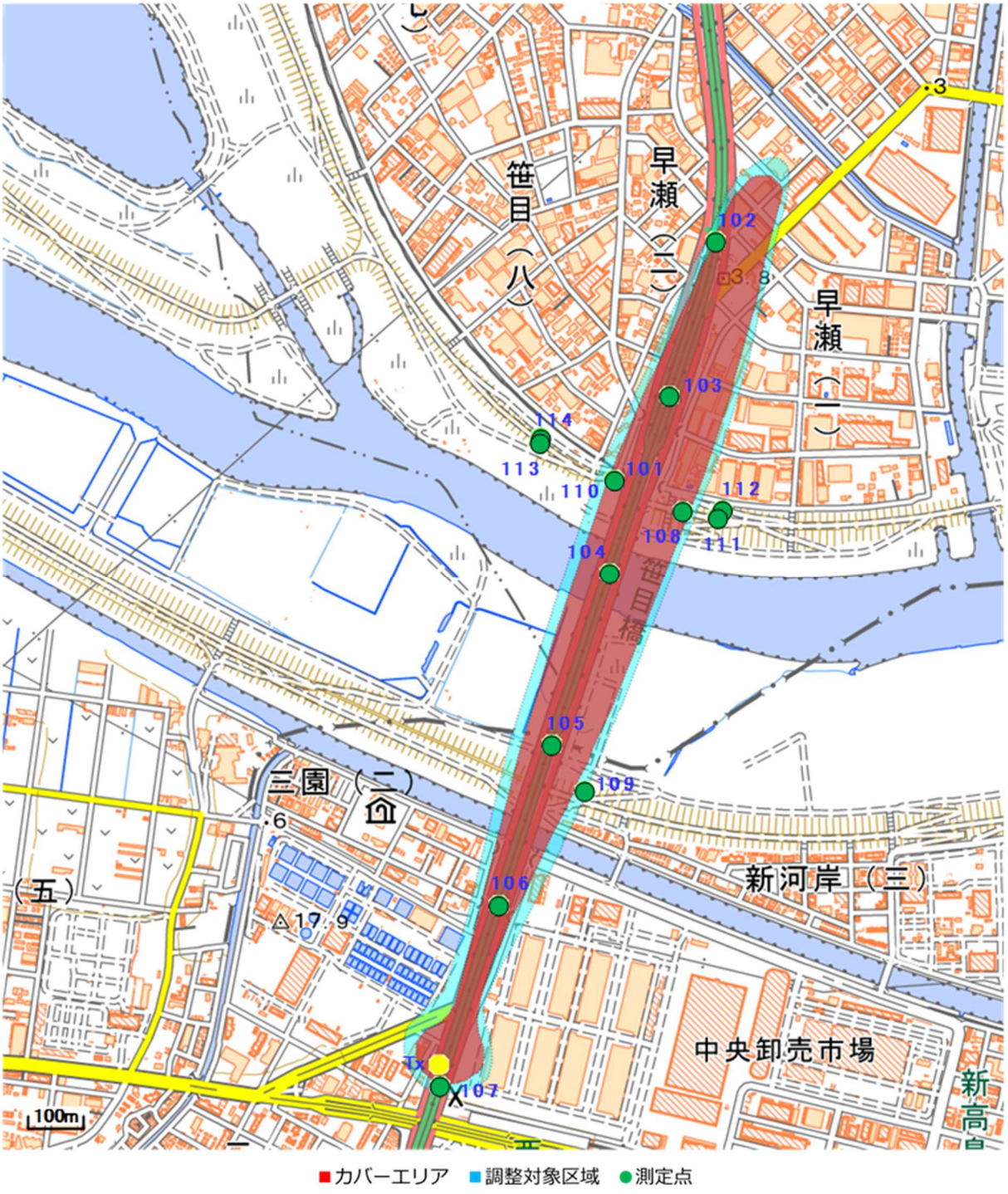


図 3-7　区間①のアンテナ設置場所付近の垂直断面



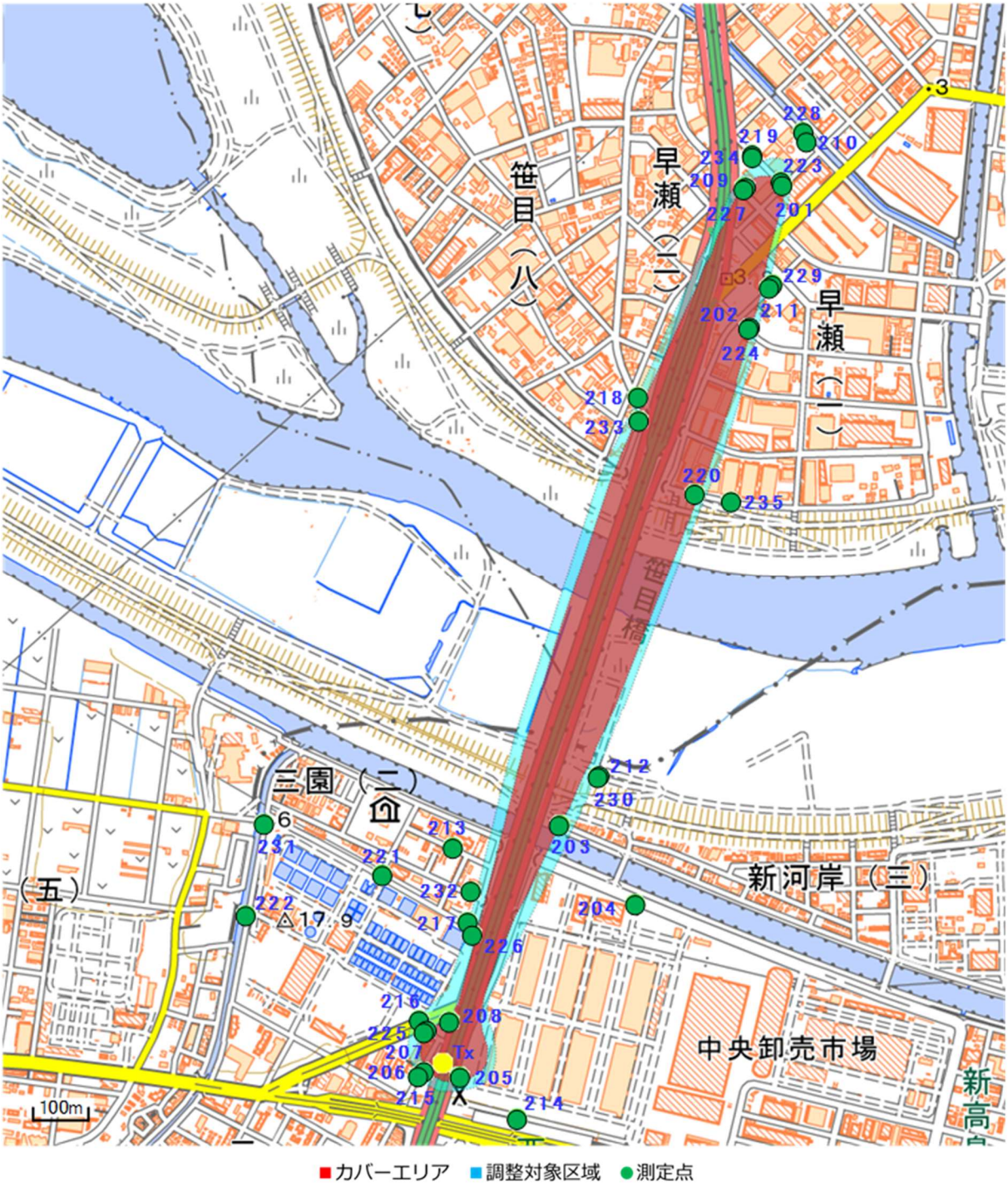
出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 3-8　区間①の通信エリアと想定測定ポイント（本実証実施前；道路附属物未考慮）



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-9　区間①の通信エリアと道路上・河川敷の測定ポイント（シミュレーション後）



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-10　区間①の通信エリアと道路外の測定ポイント（シミュレーション後）

表 3-1　無線局のアンテナ位置（区間①）

呼出名称	種類	緯度	経度	地上高	海抜高	指向方向
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 1	sub6 帯 狭指向性アンテナ	35.47.34	139.38.38	20.7m	25.7m	16～21°
	sub6 帯 狭指向性アンテナ	35.47.34	139.38.38	19.7m	24.7m	16～21°

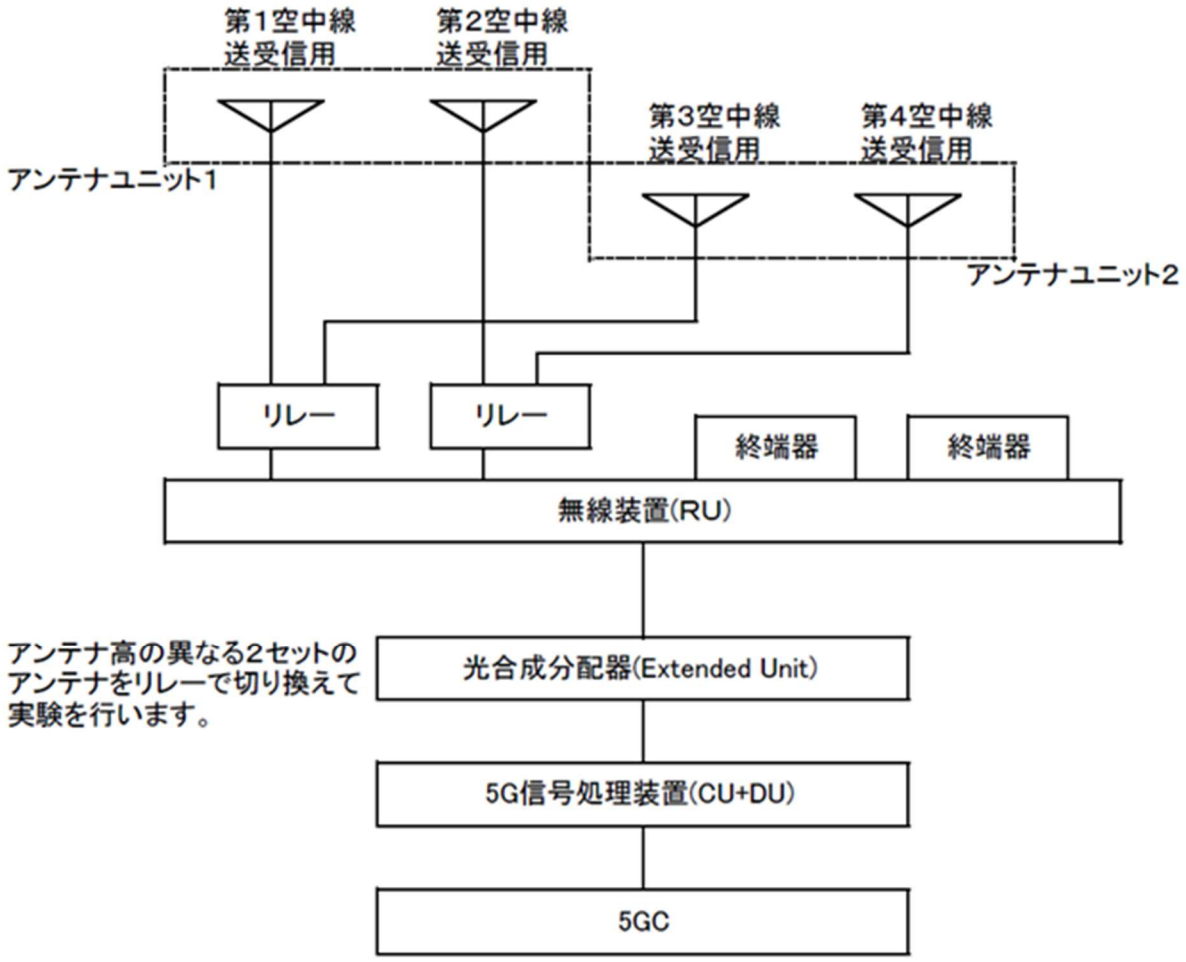


図 3-11　区間①の空中線系統図

図 3-12 に送信点付近の高速道路の断面図を示す。区間①の送信点付近は高架構造であり、道路面は鉄筋コンクリートの構造体で支えられる構造をとなっている。支持部は最大高 2m 程の厚さとなるが、内部は中空となっており、コンクリート部の厚さは 0.5m 程となる。区間①では、高架下への電波漏洩を検証するため、アンテナ直下の高架下において、12 点の測定ポイントを設定した。

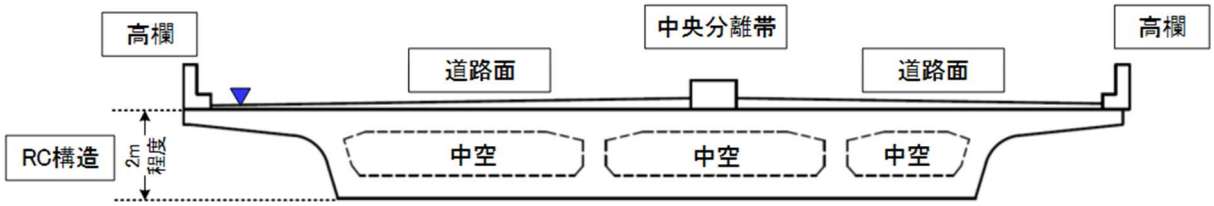


図 3-12　区間①送信点付近の高速道路断面構造

3.2.4　区間②～曲線区間、sub6 帯

区間②では、sub6 帯の狭指向性アンテナ及び漏洩同軸ケーブルによる試験用電波を利用した技術実証を実施した。曲線区間を活かし、技術実証テーマⅡに対応したシミュレーションや測定を実施した。

区間②は、区間全体にわたり上下線の道路端に路面から高さ 3m の金属製遮音壁がある。区間②では、柔軟化手法適用前として狭指向性アンテナの実証、柔軟化手法適用後として漏洩同軸ケーブルの実証を実施した。

狭指向性アンテナは、下り線非常駐車帯及び上り線非常駐車帯の照明柱に設置し、方位を道路に沿ってそれぞれ北北西の方向、南南東の方向へ向け、2 台の無線機で曲線区間をカバーした。漏洩同軸ケーブルは、下り線の遮音壁に埼玉方向へ向けて長さ 150m を 2 本、上り線の遮音壁に東京方向へ向けて長さ 150m を 2 本設置した。上下線の遮音壁に据付した 2 本の漏洩同軸ケーブルは道路面からの高さ 1975mm の位置と高さ 2325mm の位置に専用の固定具を用い、車線方向に漏洩電波が強く放射されるよう設置した。金属製の遮音壁とケーブルとの離隔は電波の放射特性に影響が出ないよう、首都高速における建築限界基準を考慮しつつ 52mm 程度確保して据付を行った。また、上下線の 2 台の無線機間で不感地帯を発生させないよう、各無線機から 20m の 10D アプローチケーブルで一旦反対方向に伸ばしてから、漏洩同軸ケーブルに接続し直す構成とし、漏洩同軸ケーブルによるエリアを重複させるよう設置した。ここでは、狭指向性アンテナと漏洩同軸ケーブルの 2 種類のアンテナを切り替え、柔軟化手法適用前として狭指向性アンテナの場合の実証を、柔軟化手法適用後として漏洩同軸ケーブルの場合の実証を行った。

区間②の実証環境を図 3-13、アンテナ設置場所と周辺環境を図 3-14、漏洩同軸ケーブルの敷設図を図 3-15～図 3-17、アンテナや漏洩同軸ケーブルの設置状況を図 3-18、アンテナ設置場所付近の垂直断面を図 3-19 及び図 3-20、シミュレーション実施前の通信エリアと想定測定ポイントを図 3-21、シミュレーション実施後に選定した狭指向性アンテナの高速道路上及び道路外の測定ポイントを図 3-22 及び図 3-23、漏洩同軸ケーブルの高速道路上及び道路外の測定ポイントを図 3-24 及び図 3-25、無線局のアンテナ位置を表 3-2、空中線系統図を図 3-26 に示す。測定ポイントは、道路附属物を考慮したシミュレーション結果をもとに仮説エリア図を作成し、高速道路上、道路外合わせて狭指向性アンテナで 44 点、漏洩同軸ケーブルで 26 点選定した。



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 3-13　区間②の実証環境

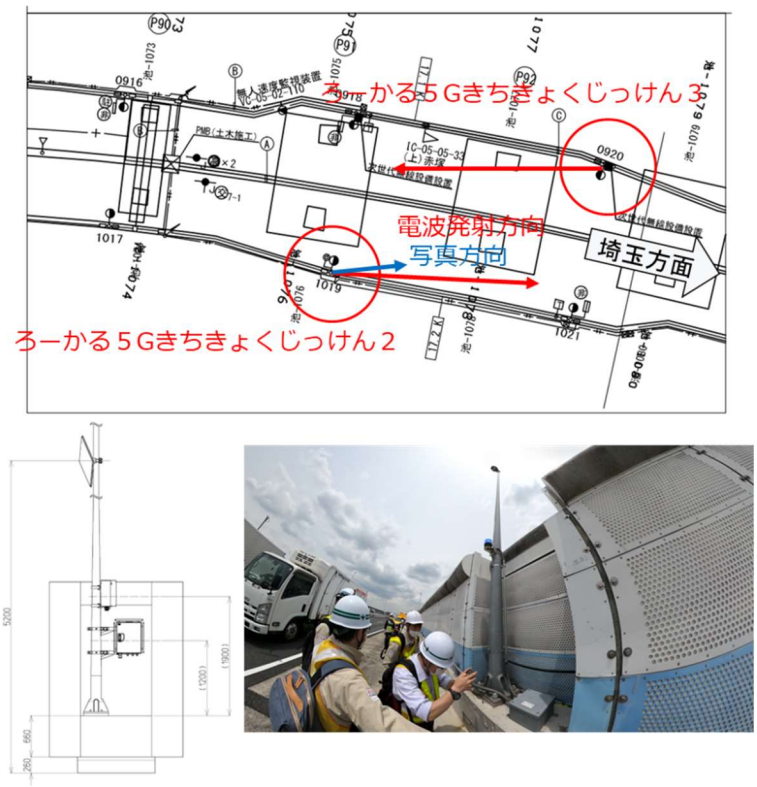


図 3-14　区間②のアンテナ設置場所と周辺環境



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-15　区間②の漏洩同軸ケーブル敷設上面図

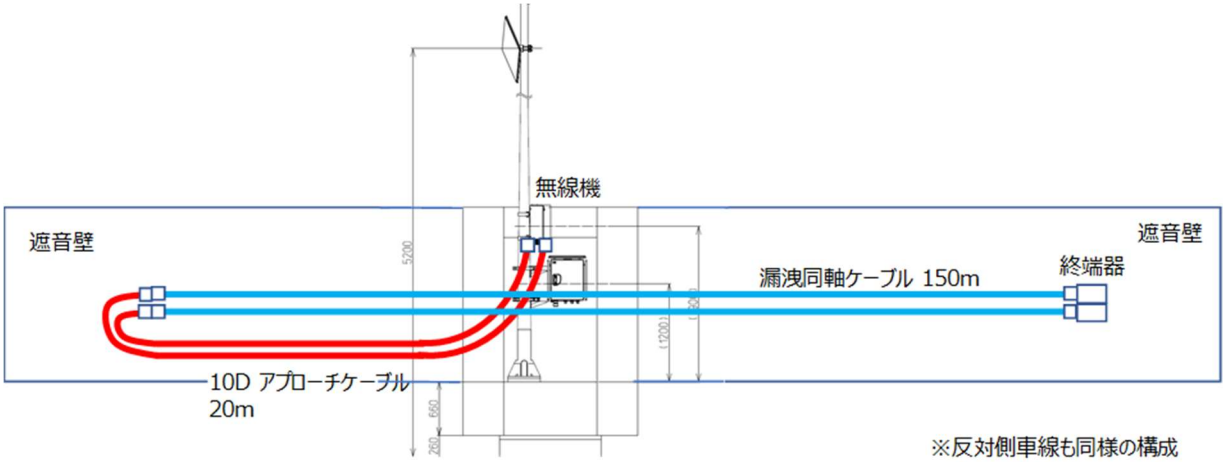


図 3-16　区間②の漏洩同軸ケーブル敷設側面図

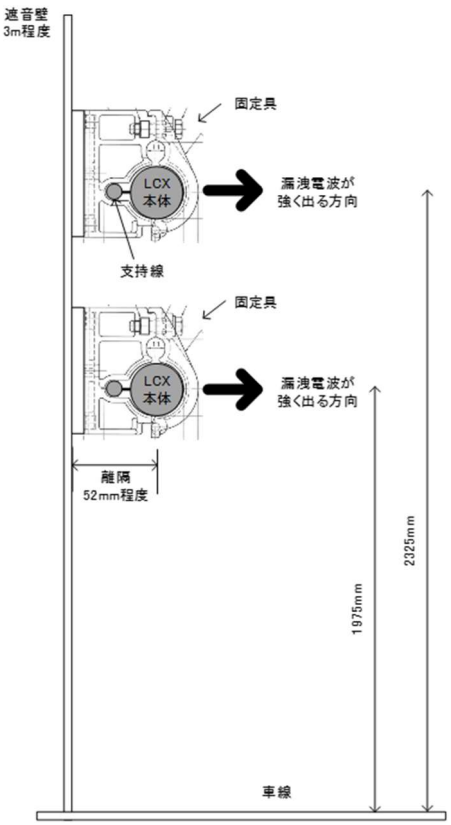


図 3-17　区間②の漏洩同軸ケーブル敷設断面図

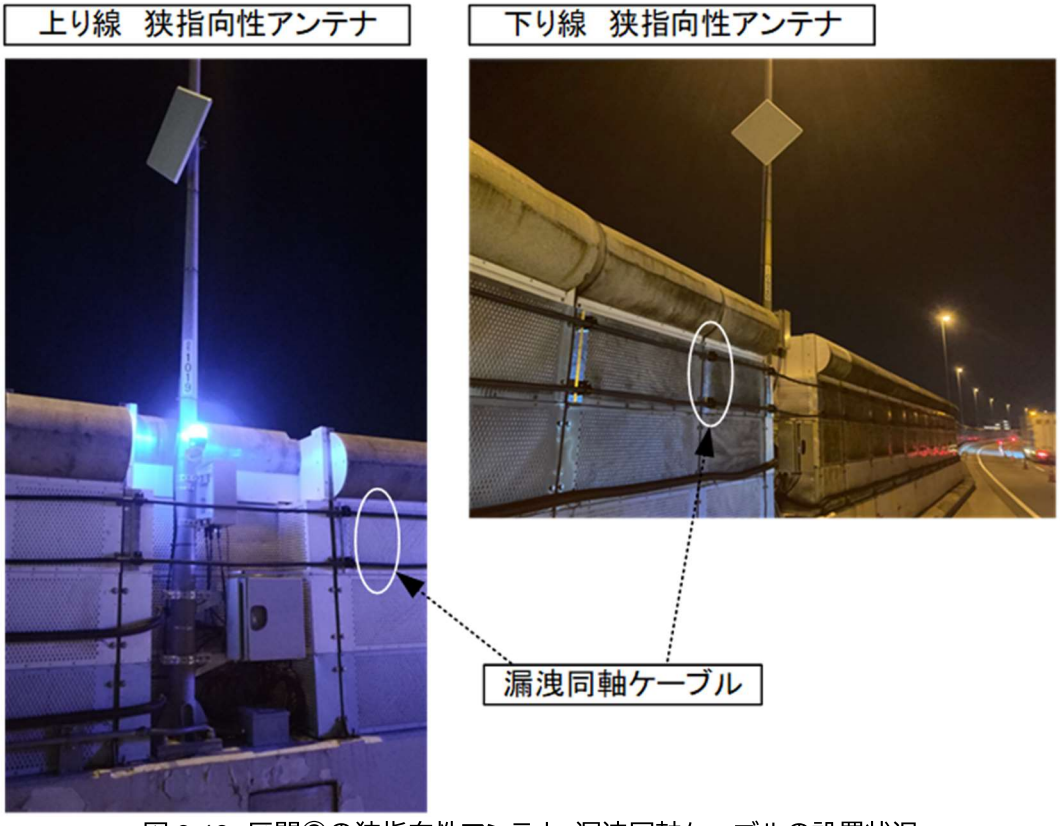


図 3-18　区間②の狭指向性アンテナ、漏洩同軸ケーブルの設置状況

しゅとこう５ごうせんろーかる５Ｇきちきょくじっけん２　（区間②、狭指向性アンテナ）

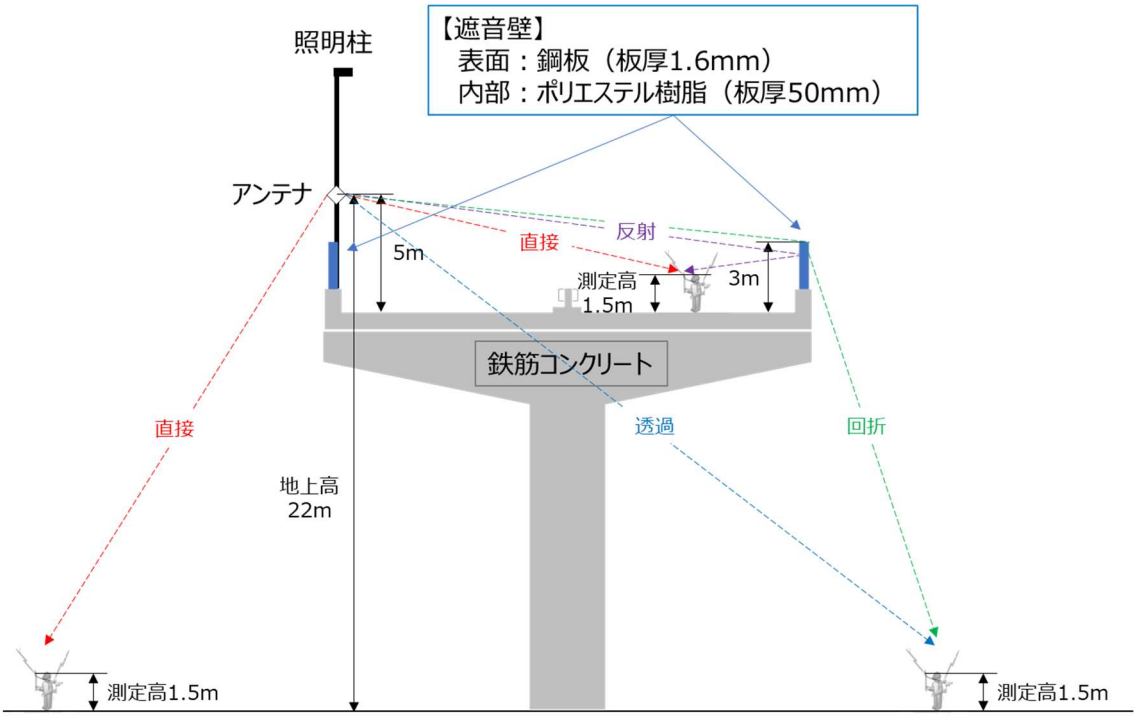


図 3-19　区間②のアンテナ設置場所付近の垂直断面（狭指向性アンテナ）

しゅとこう５ごうせんろーかる５Ｇきちきょくじっけん２　（区間②、漏洩同軸ケーブル）

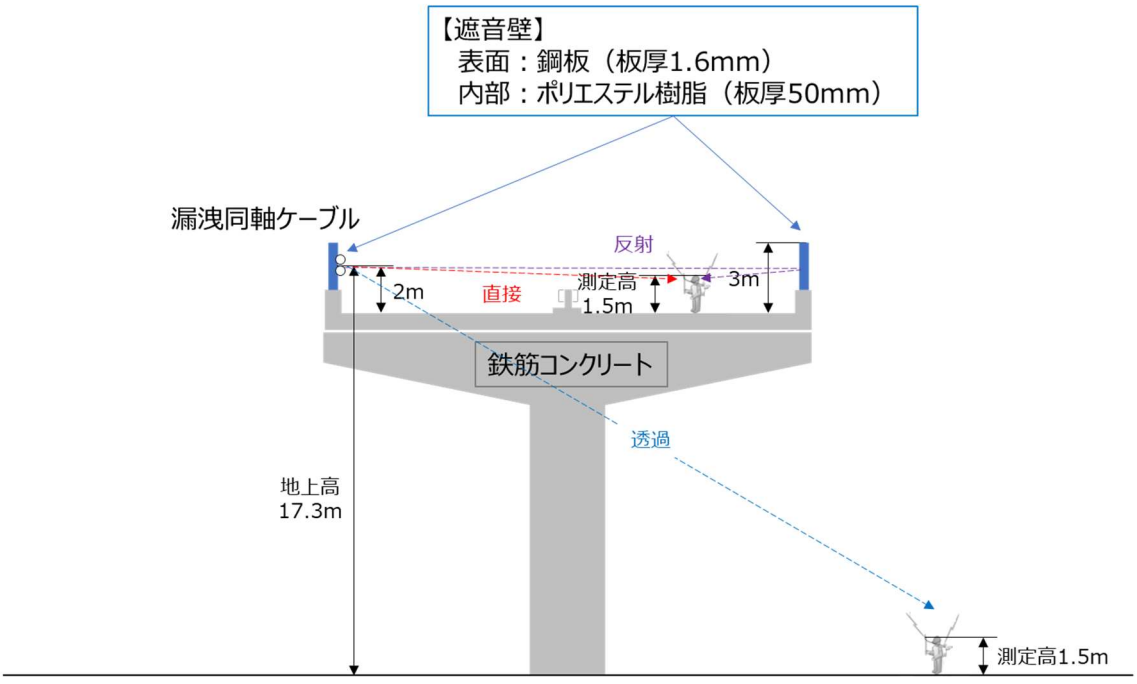
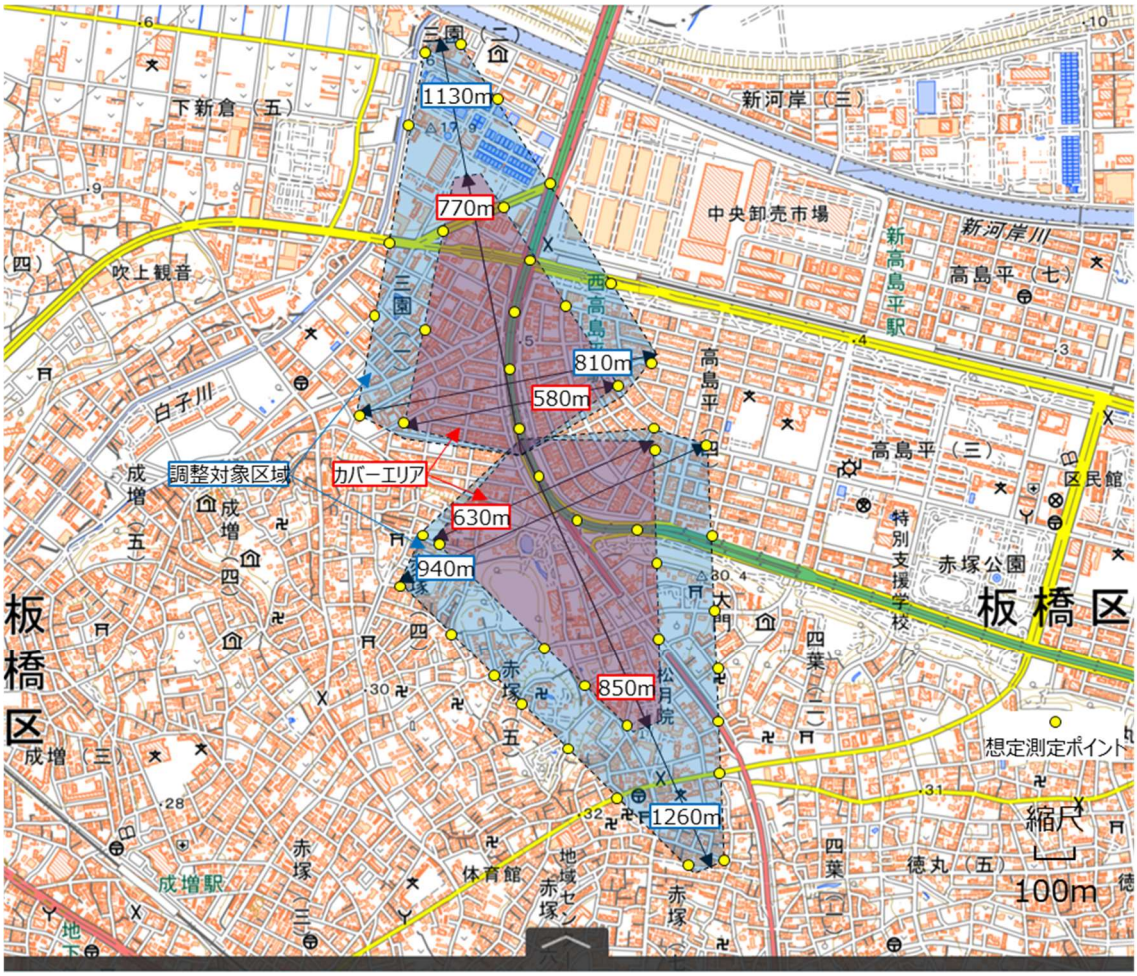
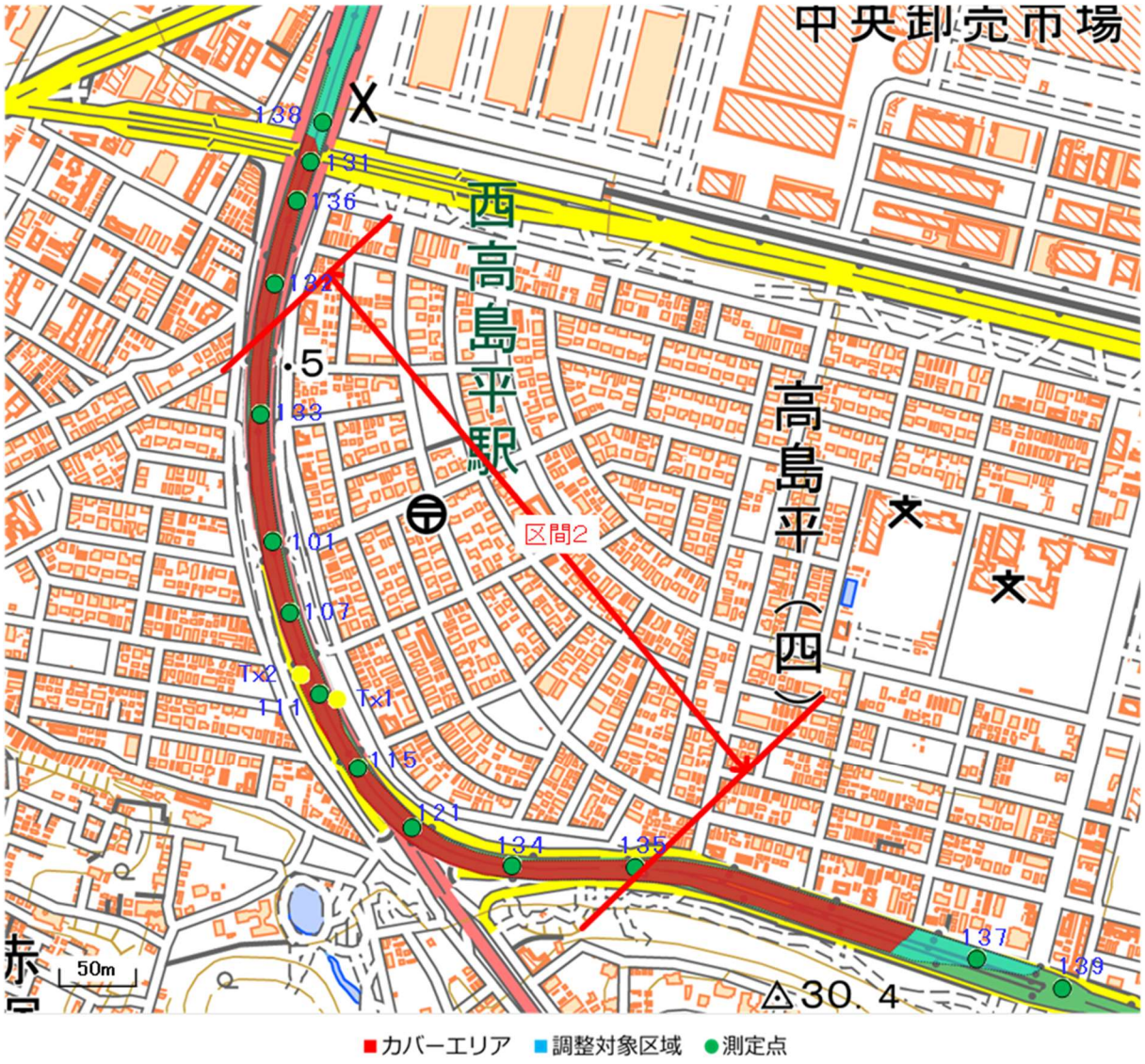


図 3-20　区間②のアンテナ設置場所付近の垂直断面（漏洩同軸ケーブル）



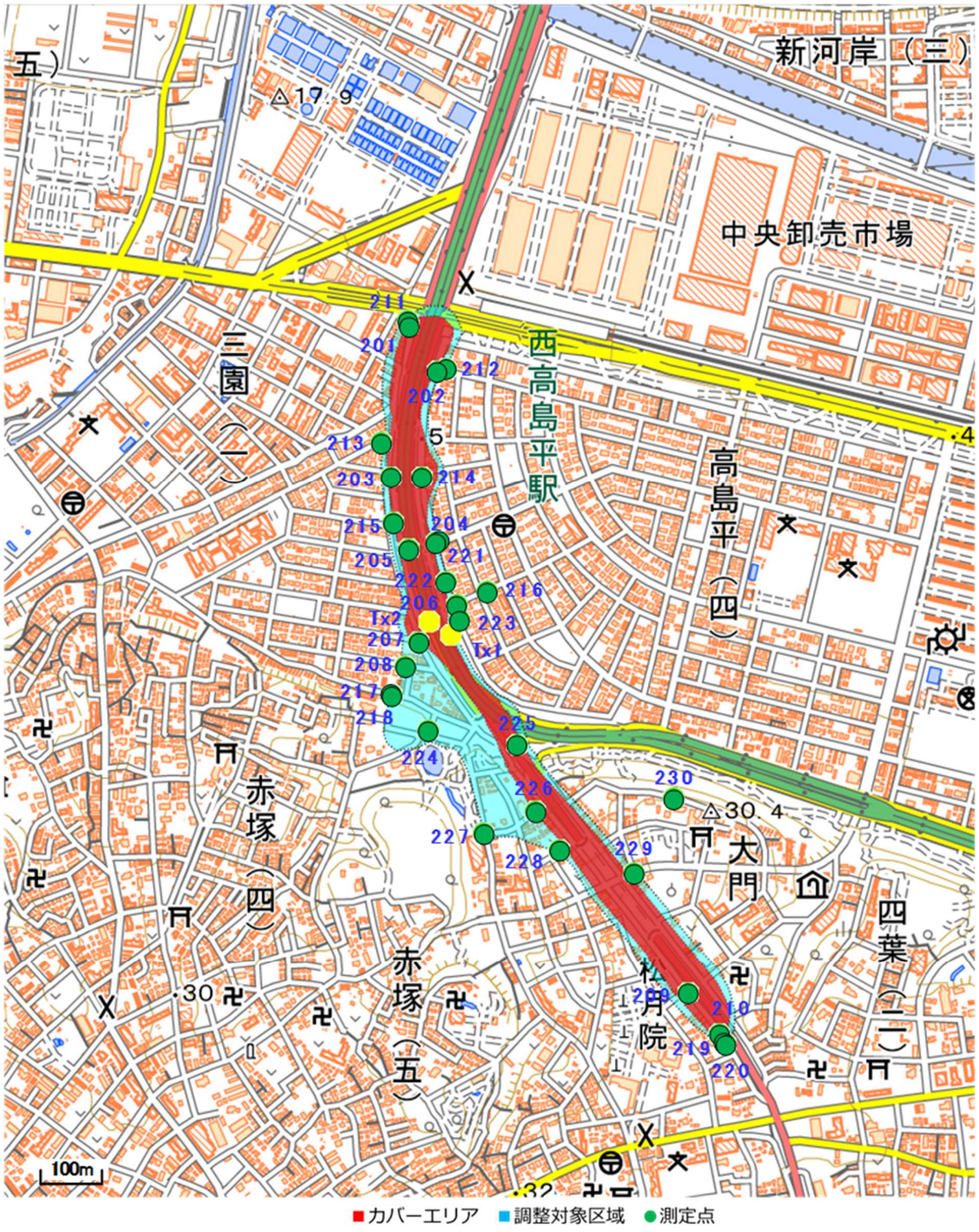
出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 3-21　区間②の通信エリアと想定測定ポイント（本実証実施前；道路附属物未考慮）



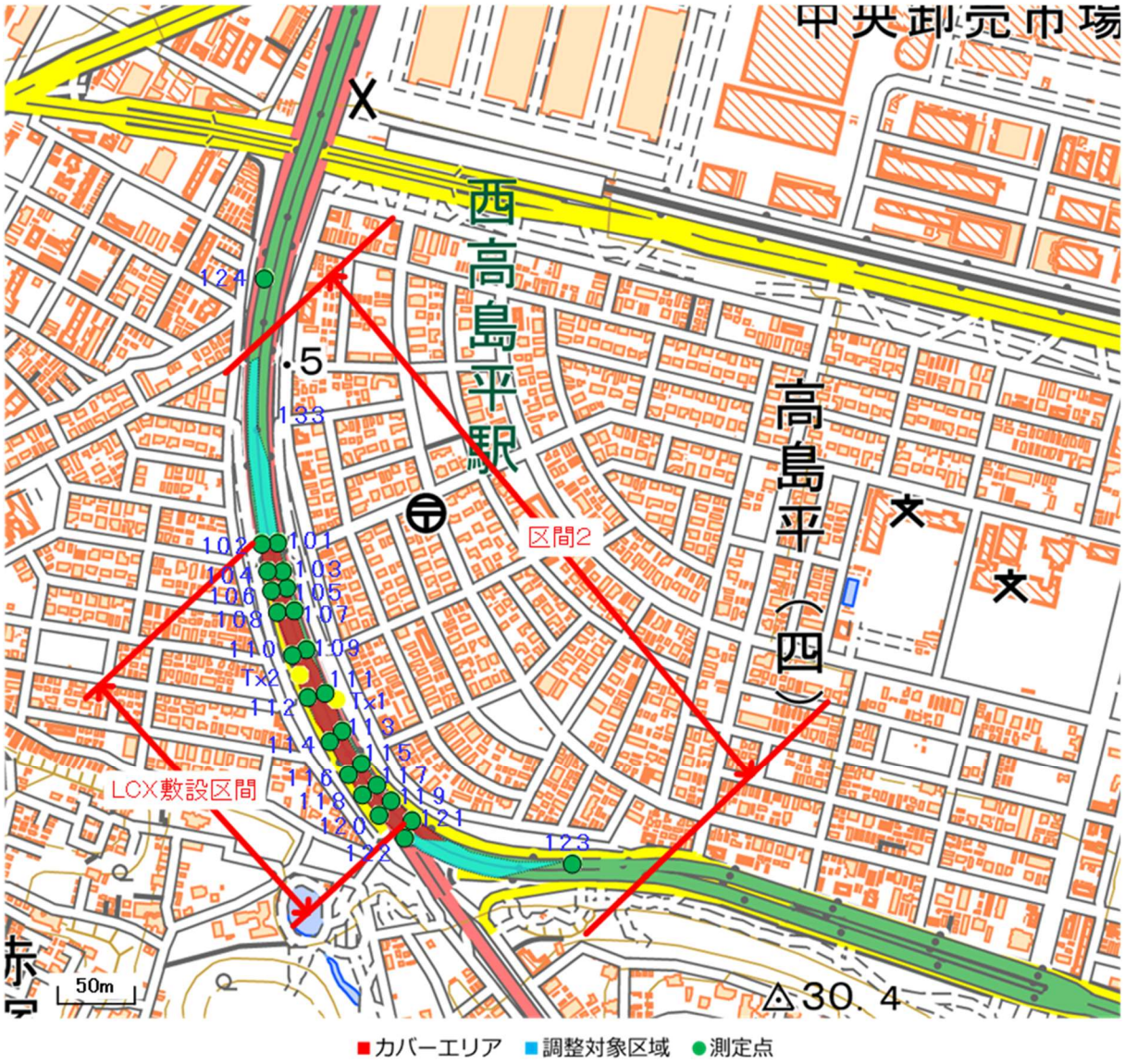
出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-22　区間②の狭指向性アンテナの通信エリアと高速道路上の測定ポイント（シミュレーション後）



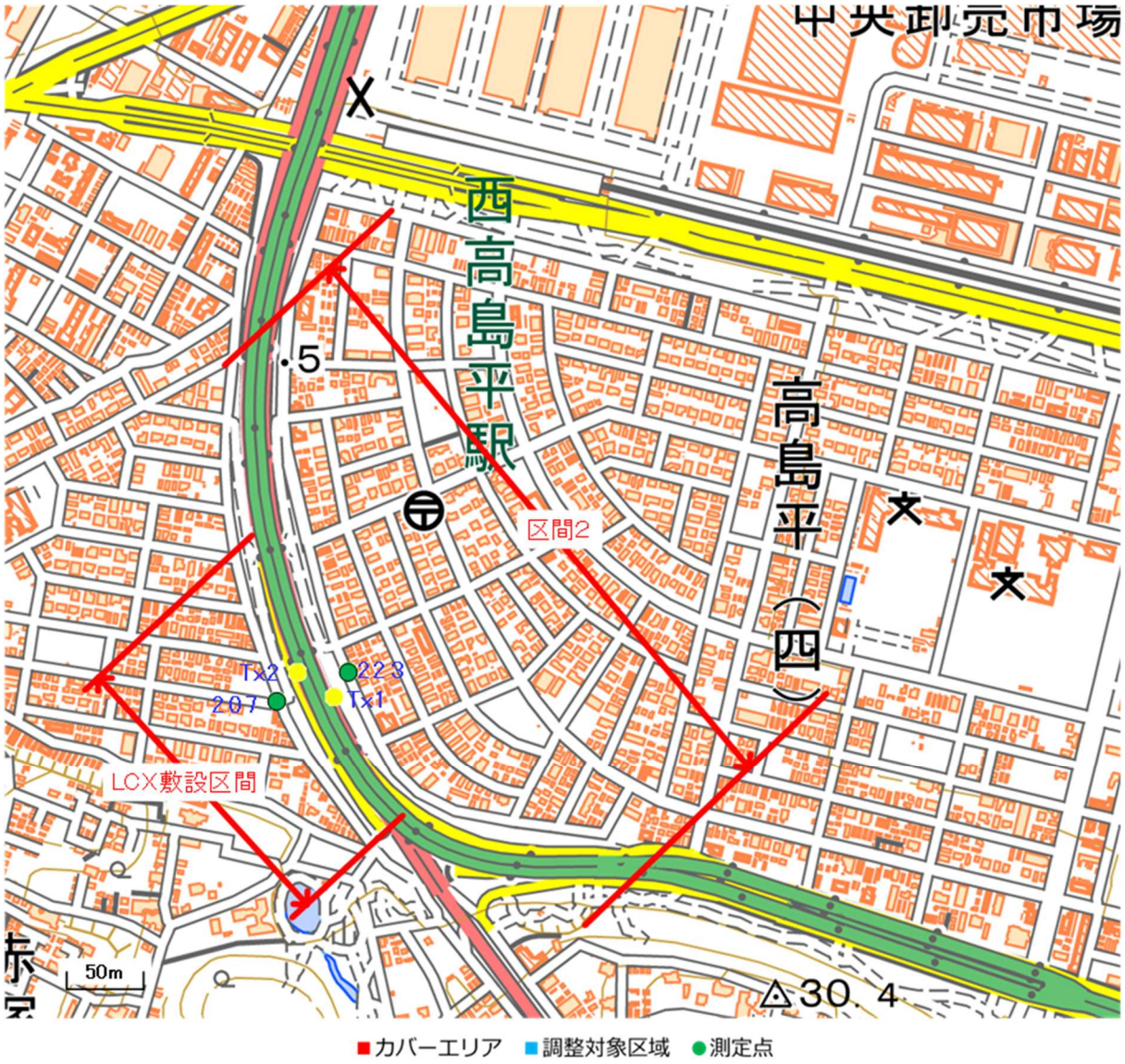
出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-23　区間②の狭指向性アンテナの通信エリアと道路外の測定ポイント（シミュレーション後）



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-24　区間②の漏洩同軸ケーブルの通信エリアと高速道路上の測定ポイント（シミュレーション後）



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-25　区間②の漏洩同軸ケーブルの通信エリアと道路外の測定ポイント(シミュレーション後)

表 3-2　無線局のアンテナ位置(区間②)

呼出名称	種類	緯度	経度	地上高	海抜高	指向方向
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 2	sub6 帯 狭指向性アンテナ	35.47.13	139.38.37	22m	27.1m	347°
	sub6 帯 漏洩同軸ケーブル	35.47.13～ 35.47.11	139.38.37～ 139.38.40	17.4m 17.1m	22.5m 22.2m	－
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 3	sub6 帯 狭指向性アンテナ	35.47.14	139.38.37	22.4m	27.8m	148°
	sub6 帯 漏洩同軸ケーブル	35.47.14～ 35.47.18	139.38.37～ 139.38.36	17.4m 17.1m	22.8m 22.5m	－

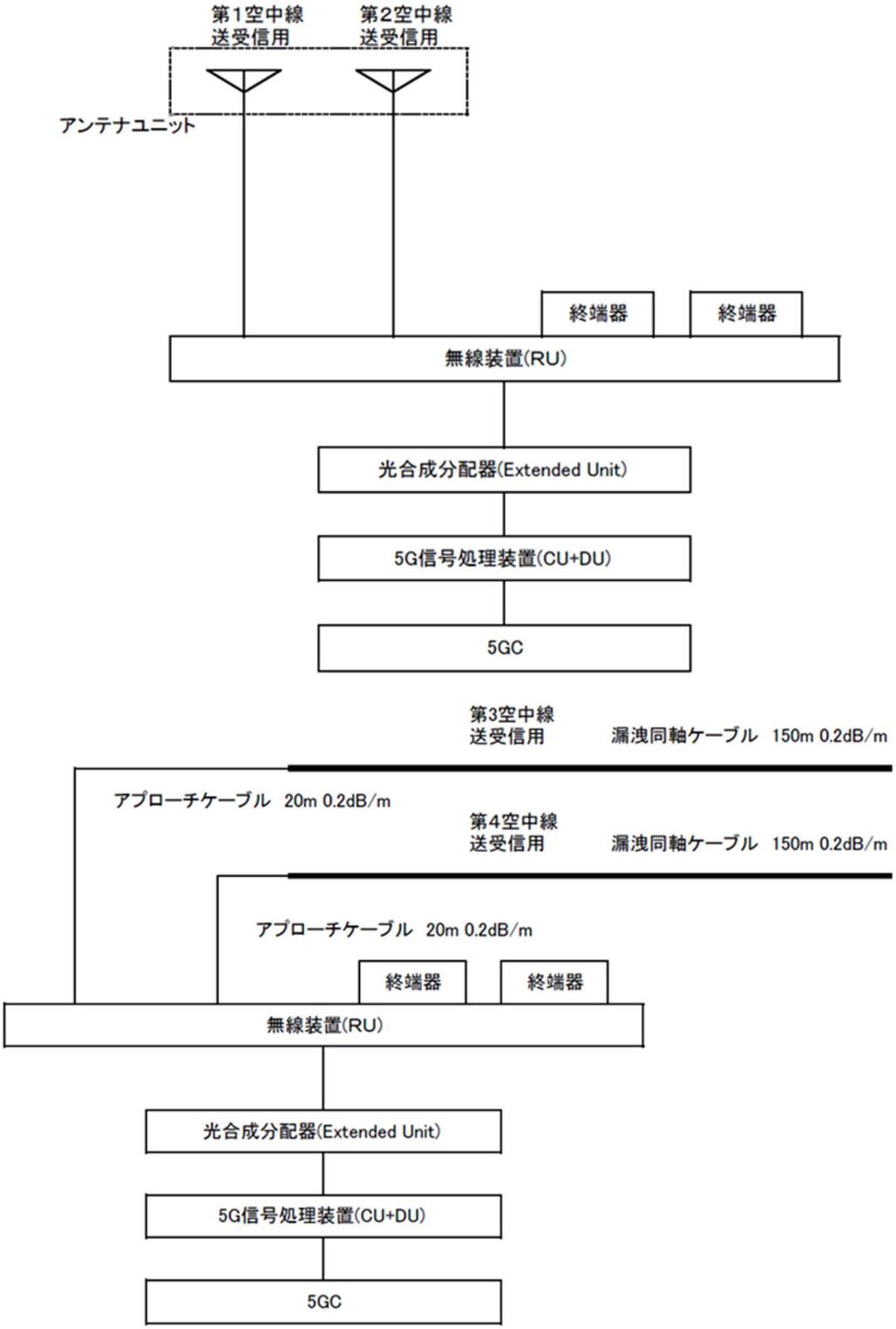


図 3-26 区間②の空中線系統図(きちきょくじっけん 2、きちきょくじっけん 3 共通)

3.2.5 区間③～曲線区間、sub6 帯及びミリ波帯

区間③では、sub6 帯の狭指向性アンテナとミリ波帯のビームフォーミングアンテナによる試験用電波を利用した技術実証を実施した。1km 以上の直線区間を活かし、技術実証テーマⅠに

対応したシミュレーションや測定を実施した。合わせて、sub6 帯について狭指向性アンテナを利用した技術実証テーマⅡに対応したシミュレーションや測定も実施した。

区間③の東側区間は、下り車線（南側）の道路端に路面から高さ 3m の金属製遮音壁、上り車線（北側）の道路端に路面から高さ 3m のポリカーボネート製遮音壁がある。区間③の西側区間の都立赤坂公園に隣接する区間では、上下線の道路端に路面から高さ 1.5m の金属製遮音壁がある。区間③では、ビームフォーミングアンテナ及び狭指向性アンテナを下り線本線から道路に沿って西北西の方向へ向け実証を実施した。

区間③の実証環境を図 3-27、アンテナ設置場所と周辺環境を図 3-28、アンテナ設置状況を図 3-29 及び図 3-30、アンテナ設置場所付近の垂直断面を図 3-31、シミュレーション実施前の通信エリアと想定測定ポイントを図 3-32、シミュレーション実施後の通信エリアと選定した測定ポイントを図 3-33 及び図 3-34、無線局のアンテナ位置を表 3-3 に示す。道路附属物を考慮したシミュレーション結果をもとにカバーエリア、調整対象区域の境界付近の街路及び東京都立赤塚公園内、高速道路本線上及び本線に隣接する街路上に設定した。



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 3-27 区間③の実証環境

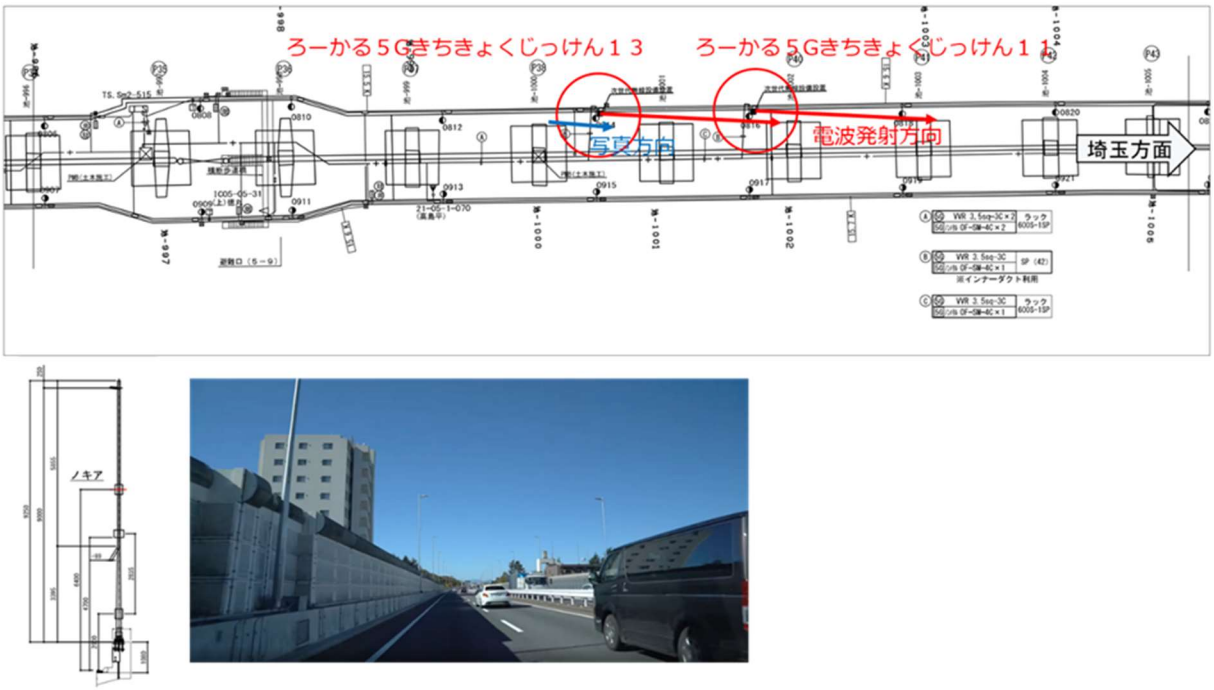


図 3-28　区間③のアンテナ設置場所と周辺環境

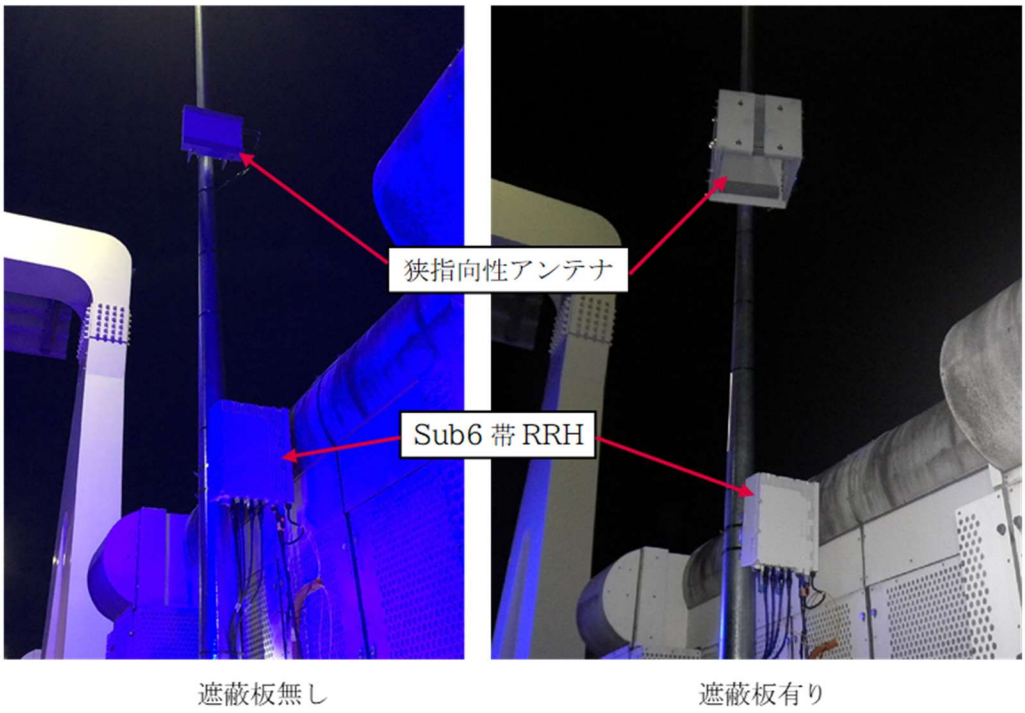


図 3-29　区間③の sub6 帯 RRH と狭指向性アンテナの設置状況

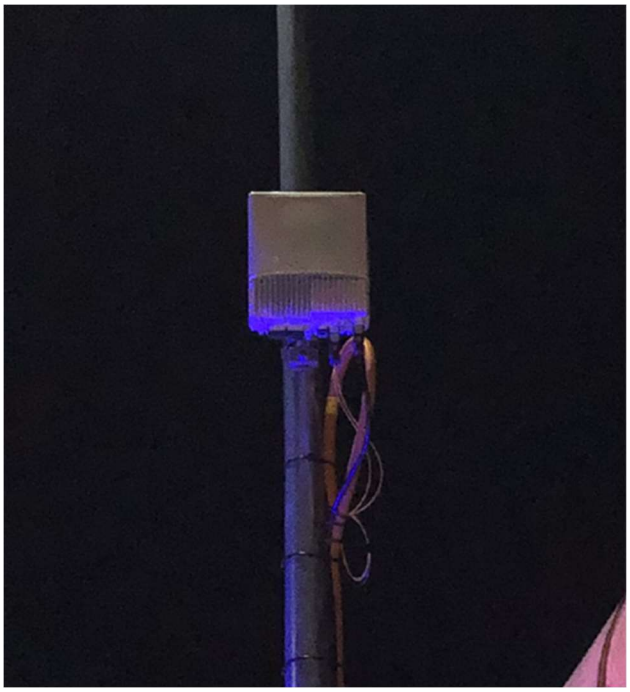


図 3-30　区間③のミリ波帯 RRH の設置状況

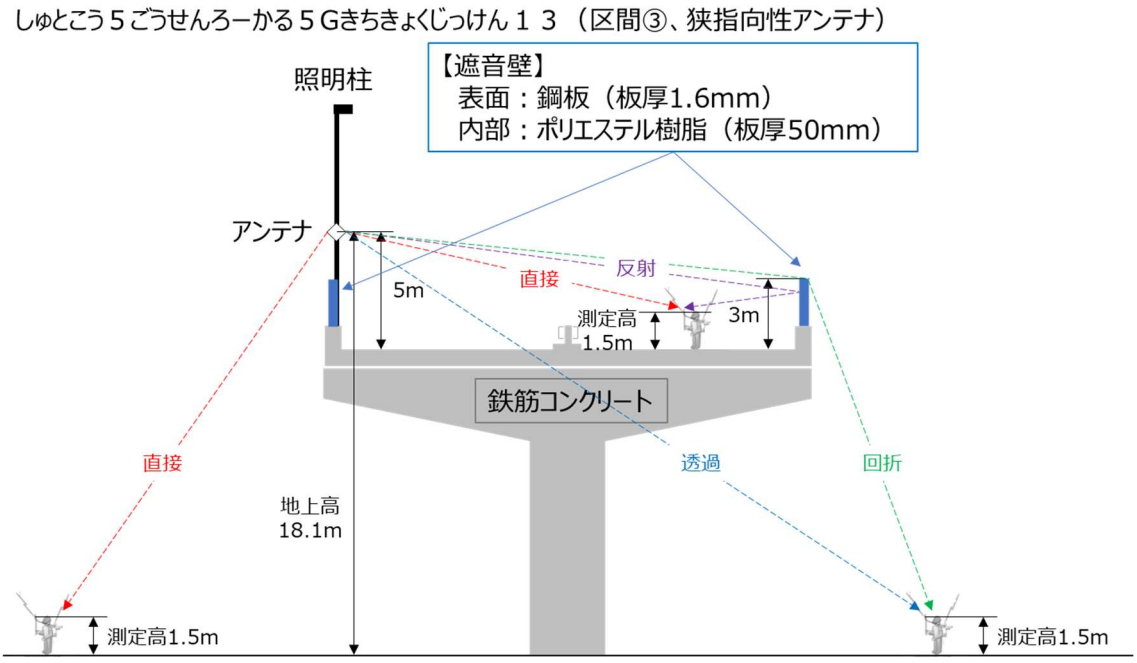
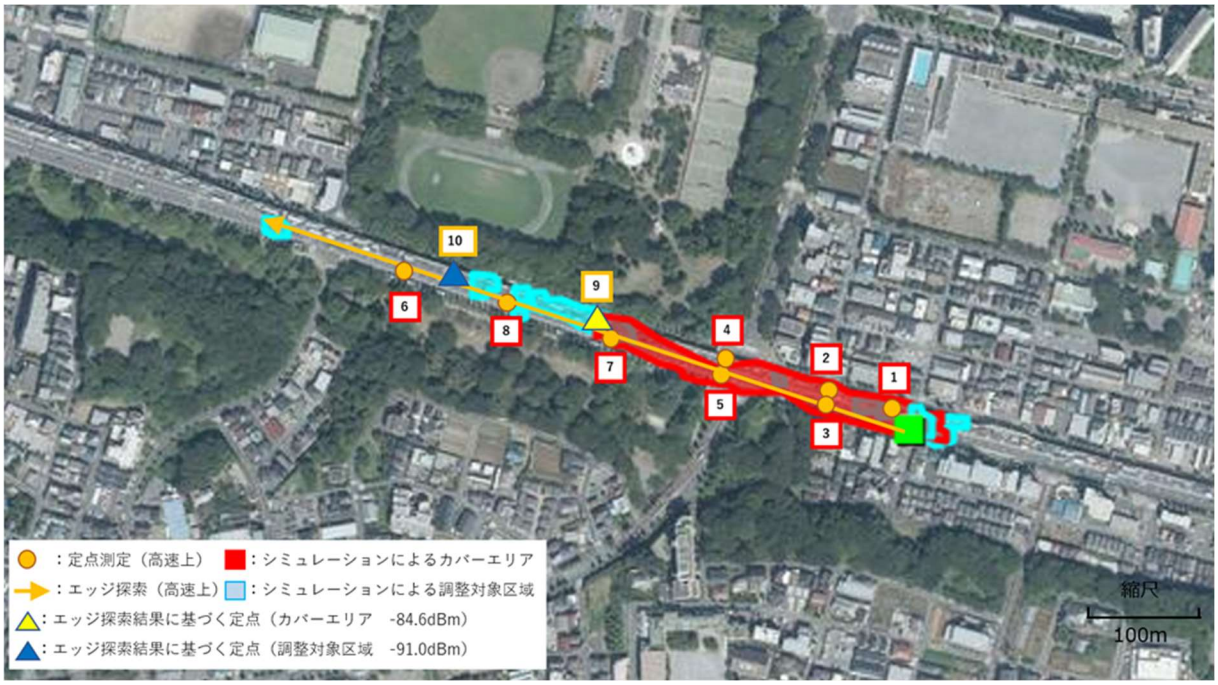


図 3-31　区間③のアンテナ設置場所付近の垂直断面



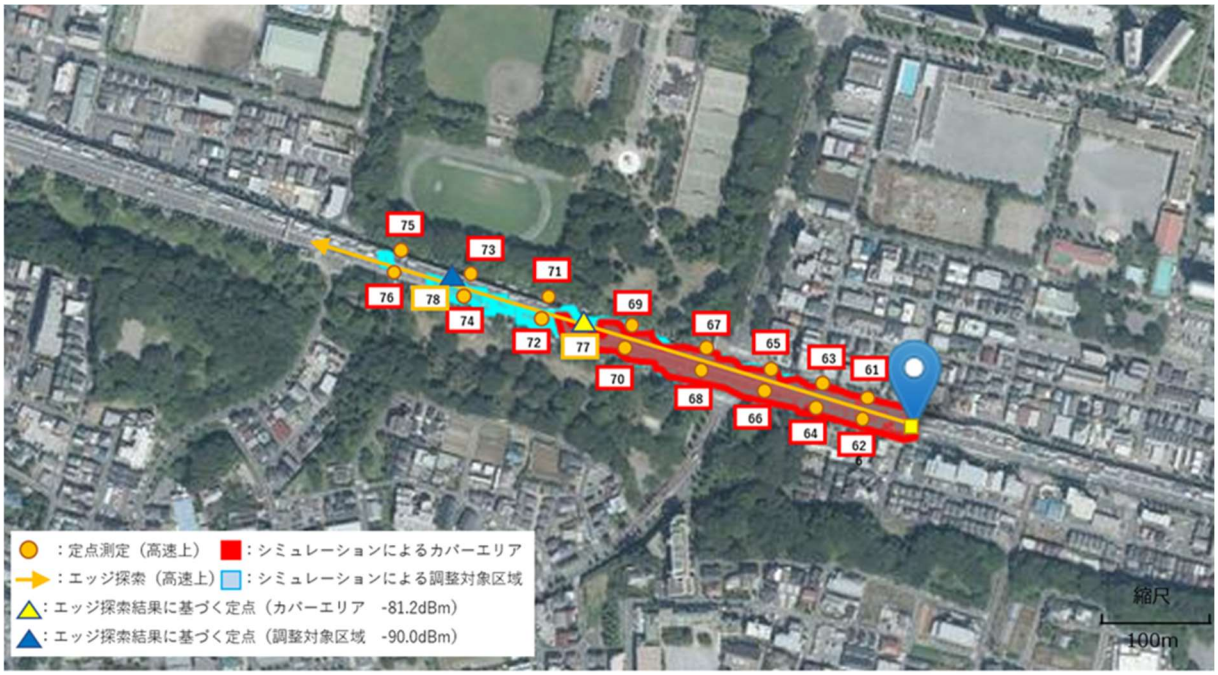
出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-32　区間③の通信エリアと想定測定ポイント（道路附属物未考慮）



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-33　区間③の sub6 帯の通信エリアと測定ポイント（シミュレーション後）



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ＆ネットワークス合同会社にて加工

図 3-34　区間③のミリ波帯の通信エリアと測定ポイント（シミュレーション後）

表 3-3　無線局のアンテナ位置（区間③）

呼出名称	種類	緯度	経度	地上高	海抜高	指向方向
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 11	ミリ波帯 ビームフォーミング アンテナ	35.46.58	139.39.33	18.1m	22.6m	280°
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 13	sub6 帯 狭指向性アンテナ	35.46.58	139.39.35	18.1m	22.6m	280°

3.2.6　区間④～曲線区間、sub6 帯及びミリ波帯

区間④では、sub6 帯の DAS とミリ波帯のビームフォーミングアンテナによる試験用電波を利用した技術実証を実施した。曲線区間を活かし、技術実証テーマⅡに対応したシミュレーションや測定を実施した。

区間④は、区間全体にわたり上下線の道路端に路面から高さ 3mの金属製遮音壁がある。区間④では、ビームフォーミングアンテナを下り線本線から道路に沿って北東の方向へ向け、さらに DAS 子機 4 台を道路に沿って設置し実証を実施した。ビームフォーミングアンテナにより遮音壁の反射を考慮した曲線区間のカバレッジや DAS の有効性の実証を実施した。

区間④の実証環境を図 3-35、アンテナ設置場所と周辺環境を図 3-36、アンテナ設置状況を図 3-37、アンテナ設置場所付近の垂直断面を図 3-38、シミュレーション実施前の通信エリアと想定測定ポイントを図 3-39、シミュレーション実施後の通信エリアと選定した測定ポイントを図 3-40 及び図 3-41、無線局のアンテナ位置を表 3-4、空中線系統図を図 3-42 に示す。道路附属物を考慮したシミュレーション結果をもとにカバーエリア、調整対象区域の境界付近の街路、高速道路本線上及び本線に隣接する街路上に設定した。区間全体に遮音壁があることから、

電波伝搬エリアは当初想定した図 3-39 より大幅に縮小し、図 3-40 及び図 3-41 に示すとおりとなった。



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 3-35 区間④の実証環境

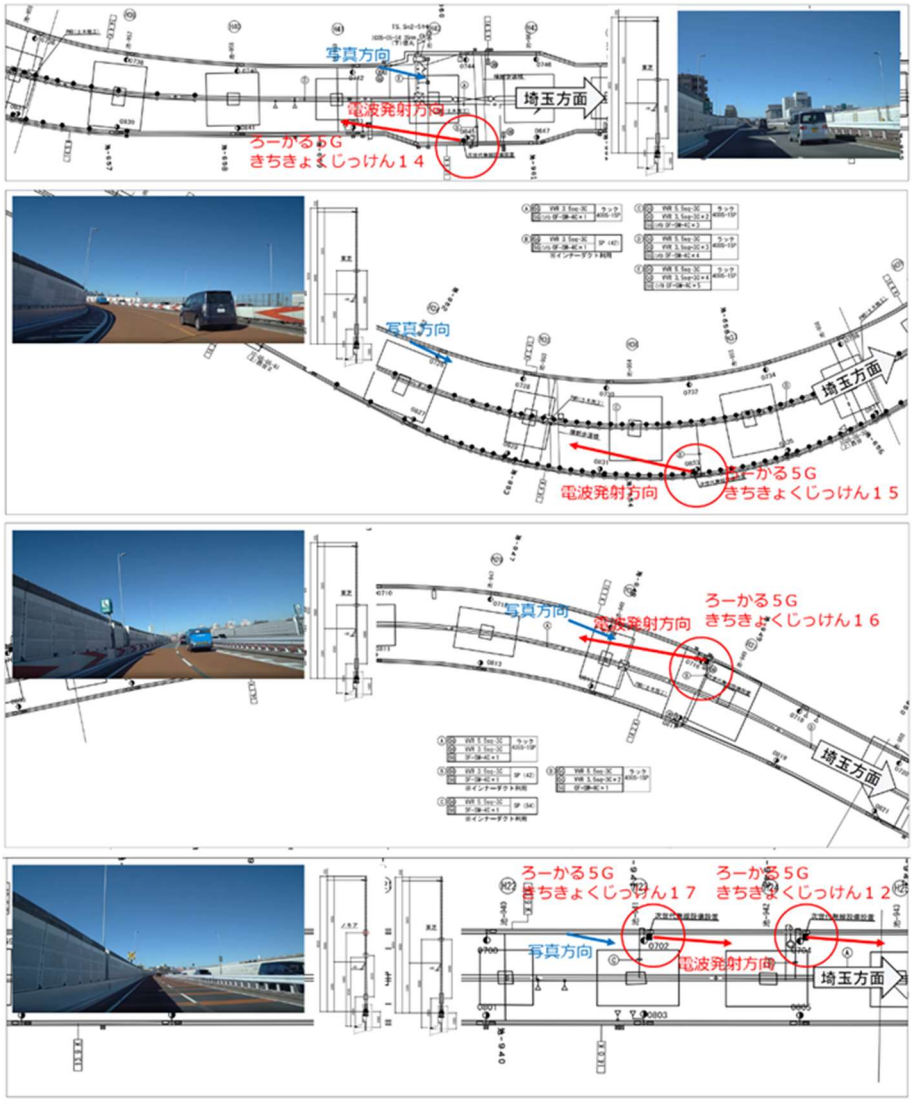


図 3-36　区間④のアンテナ設置場所と周辺環境

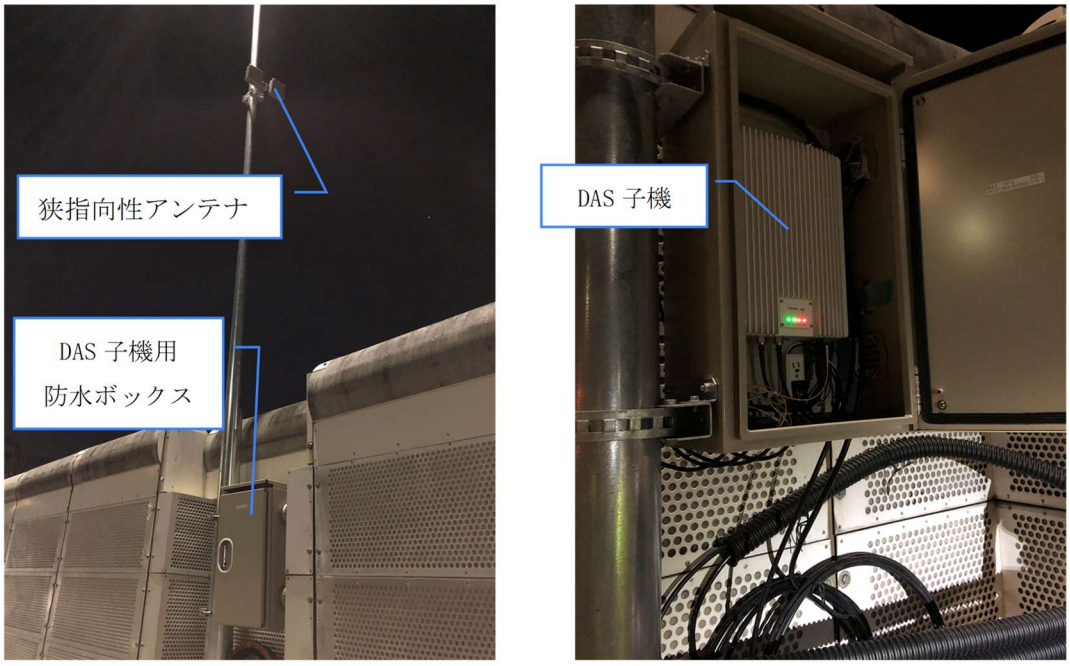


図 3-37　区間④の DAS 子機、アンテナの設置状況

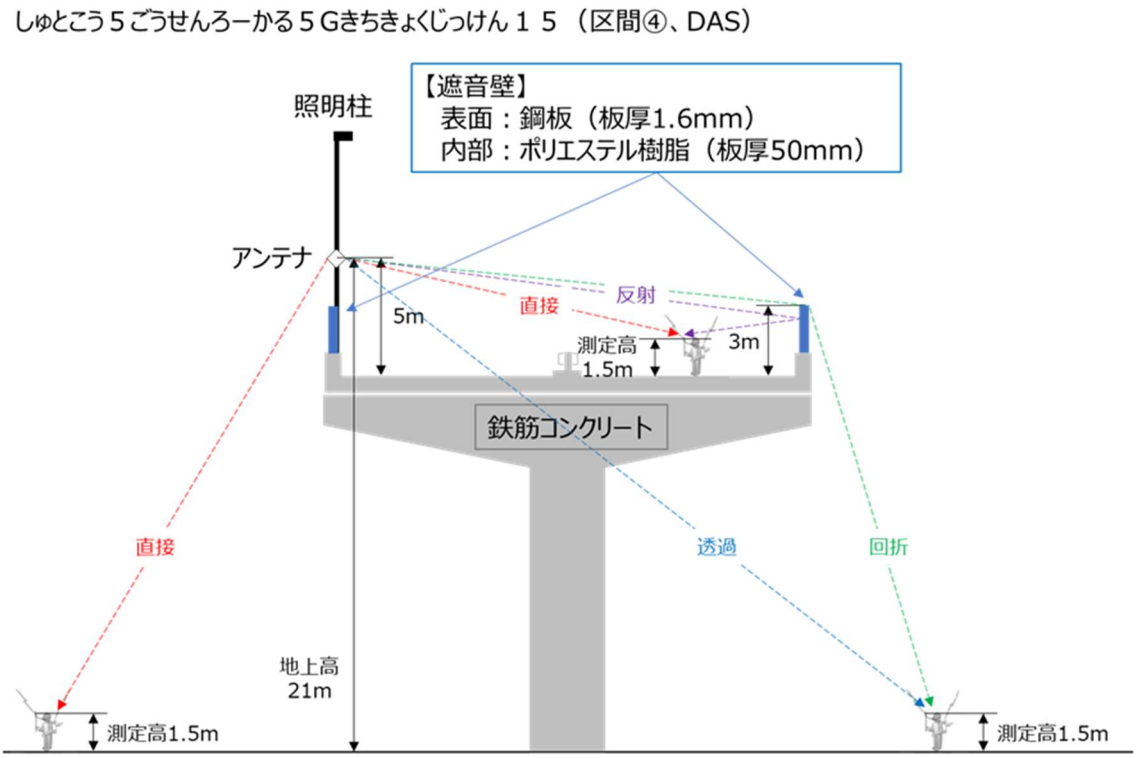
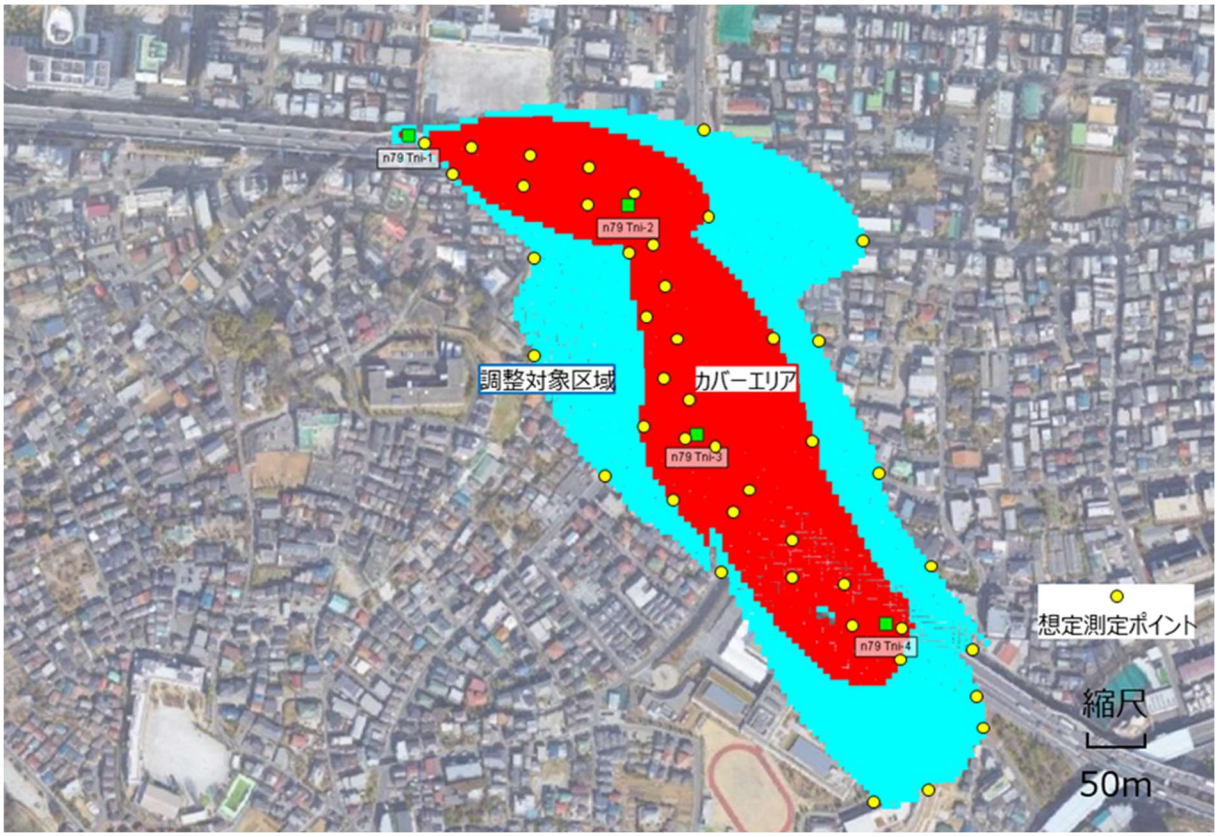


図 3-38　区間④のアンテナ設置場所付近の垂直断面



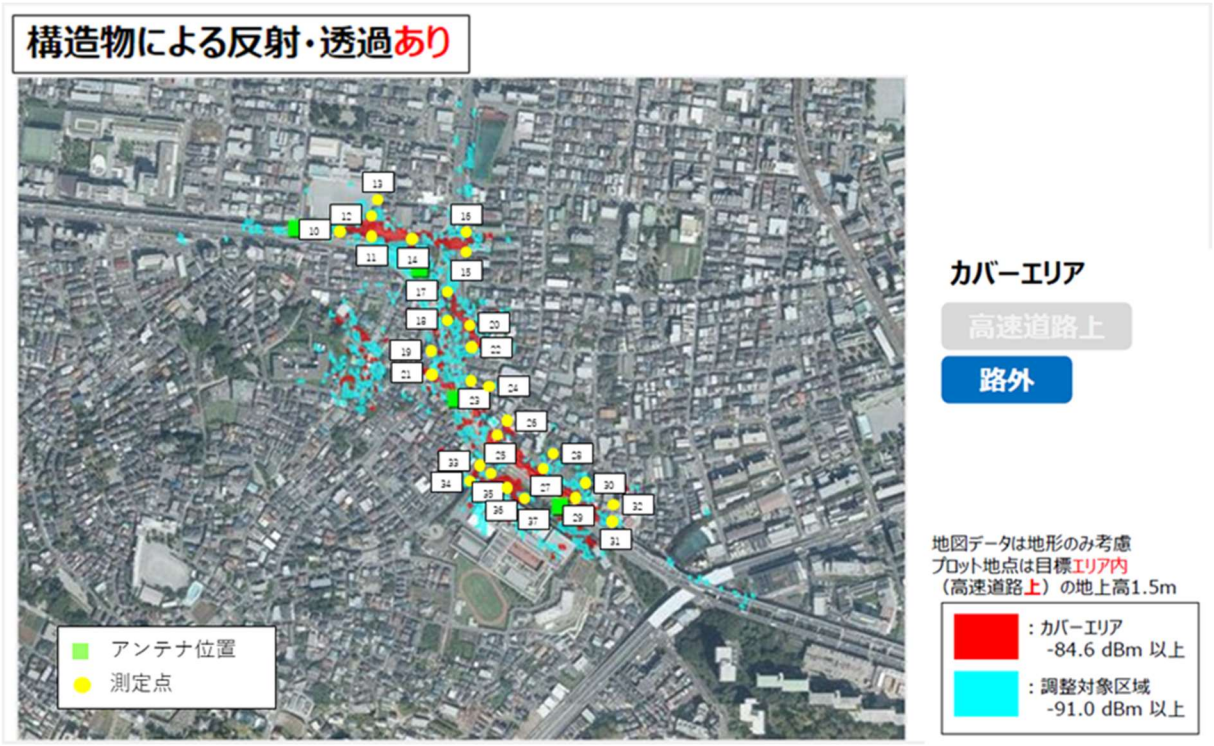
出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-39　区間④の通信エリアと想定測定ポイント（道路附属物未考慮）



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-40　区間④の sub6 帯の通信エリアと測定ポイント（シミュレーション後）（高速道路上）



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-41　区間④の sub6 帯の通信エリアと測定ポイント（シミュレーション後）（道路外）

表 3-4　無線局のアンテナ位置（区間④）

呼出名称	種類	緯度	経度	地上高	海抜高	指向方向
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 12	ミリ波帯 ビームフォーミング アンテナ	35.46.39	139.40.30	30.6m	35.5m	280°
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 14	sub6 帯 DAS	35.46.52	139.40.16	20.4m	26m	105°
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 15	sub6 帯 DAS	35.46.51	139.40.22	21m	27m	150°
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 16	sub6 帯 DAS	35.46.44	139.40.25	23.6m	30m	140°
しゅとこう 5 ごうせんろーかる 5G きちきょくじっけん 17	sub6 帯 DAS	35.46.40	139.40.31	30.6m	37m	313°

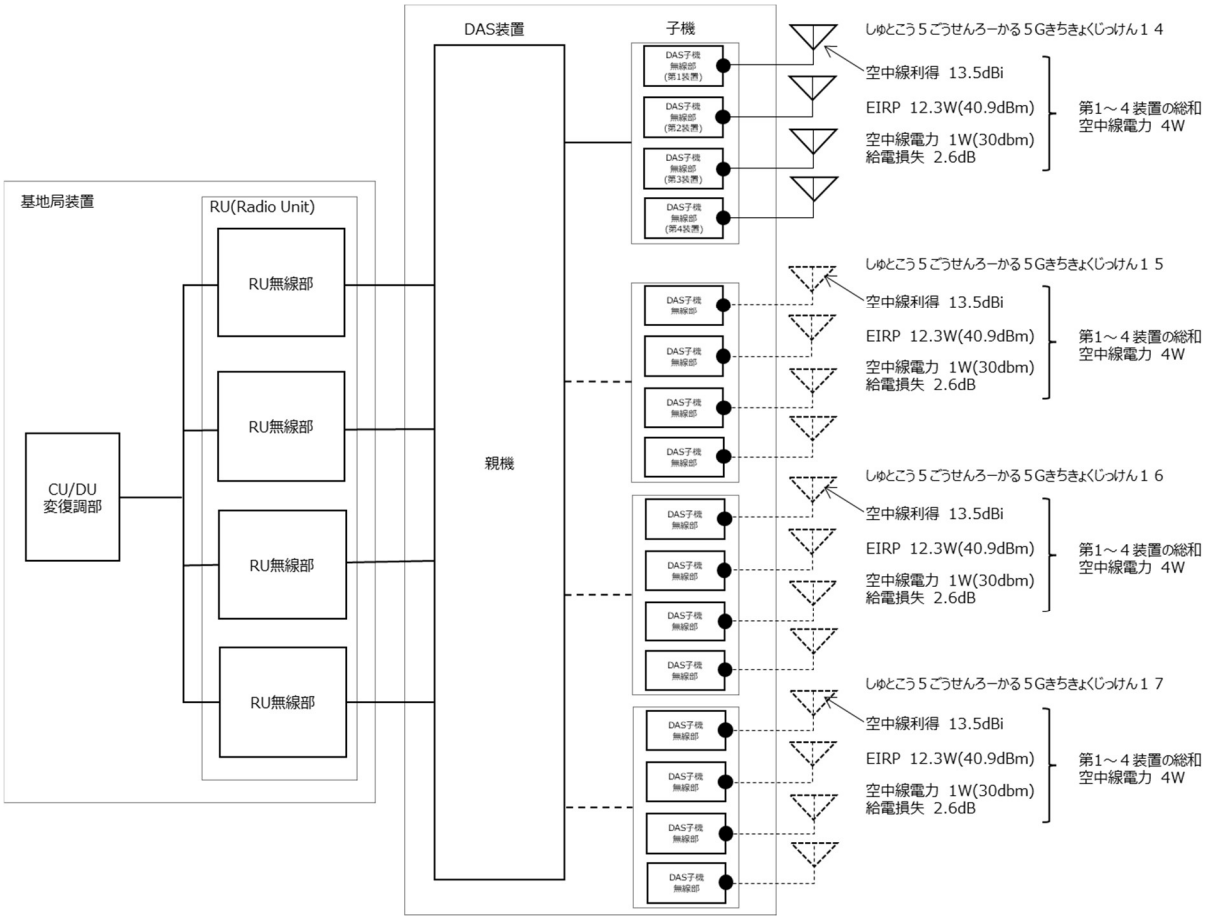


図 3-42 区間④の空中線系統図(きちきょくじっけん 14～17)

3.3 実証事項

3.3.1 線状の空間における電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

首都高速の道路構造は、高架部、土工部、半地下部、トンネル部と多様であり、道路形状も直線区間、曲線区間、JCT やランプ部等の立体交差区間等、複雑な構成となっている。また、道路上には遮音壁、ガードレール、標識等の電波伝搬に与える影響が大きな道路附属物が多数設置されている。さらに、線状という高速道路の形状的な特異性、都市内に位置することから隣接土地との十分な離隔が取れず隣接する他ローカル 5G 事業者との干渉回避が困難、高速道路の大部分が高架であり無線基地局アンテナ高があることから地上への電波漏洩が避けにくい、等の課題も存在する。

より正確なカバーエリアや干渉調整区域を導くには、このような複雑な線状の構造、障害物、

周囲環境も考慮した電波伝搬モデルの確立、精緻化が不可欠である。また、高速道路以外の線状エリアへローカル 5G を展開していくためにも、線状エリアを前提とした効率的なエリア算出方法が必要である。

本技術実証では、線状の都市高速道路の環境に即した電波伝搬モデルの精緻化を目的として、直線区間である区間①及び区間③を対象に、高速道路上の電波伝搬、高速道路上基地局から道路外への輻射の 2 つのパターンについて検討を実施する。

a. 高速道路上の電波伝搬

- フェージング、干渉、反射の影響と、現在の算出法との差異の確認
- 高速道路上の電波伝搬における新たなパラメータの検討

b. 高速道路上基地局から道路外への輻射

- 道路面、河川敷、市街地における精緻化パラメータの検討
- 遮音壁の影響有無による 2 つの異なる条件下における精緻化パラメータへの影響の検討
- 道路面を透過する高架下におけるパラメータの検討

2） 実証目標

本技術実証では、首都高速の運用・維持管理業務や緊急時の現場支援業務に求められる大容量映像送信等の利用を前提に、sub6 帯とミリ波帯のローカル 5G の実測データも踏まえて、電波伝搬モデルパラメータの精緻化を行うことを目標とする。具体的には、線状エリアで有効となるパラメータとして、公募要領別紙 1＜目標設定＞に記載の R 値、あるいは新たなパラメータの検討、実測データとの照合によるシミュレーション精緻化を行い、提言することを目標とする。

なお、公募要領別紙Ⅰ＜目標設定＞の「表Ⅰ-1 精緻化の対象パラメータと精緻化の方向性、実施環境の要件」によると、パラメータ R を適用する要件は、基地局設置場所が屋内であると記載されているが、屋外設置であっても基地局周辺に遮蔽物がある場合は、遮蔽物を透過する電波について、R を考慮して検討することとした。

区間①においては、道路上、あるいは道路外への電波漏洩及び高架下への電波の透過を考慮し、精緻化対象パラメータを S 値及び R 値について精緻化を行うものとする。

パラメータ S は、道路上においては、測定時における大型の道路付帯設備による電波伝搬への影響を検討し、道路外においては、輻射された電波の伝送路上の環境による影響を検討するために導入する。パラメータ R は、高架道路の直下の地上エリアにおいて検討を行うものとする。

本技術実証の対象となる直線区間である区間①、区間③は、1 台のアンテナで広いカバレッジを得ようとしており、路面の高さ変化に伴う遮蔽や受信点の高さ変化があるため、電界強度やスループットに影響があると想定される。当該区間の 3 次元点群データから作成した 3 次元モデルデータによる精緻化の有効性についても合わせて検証する。

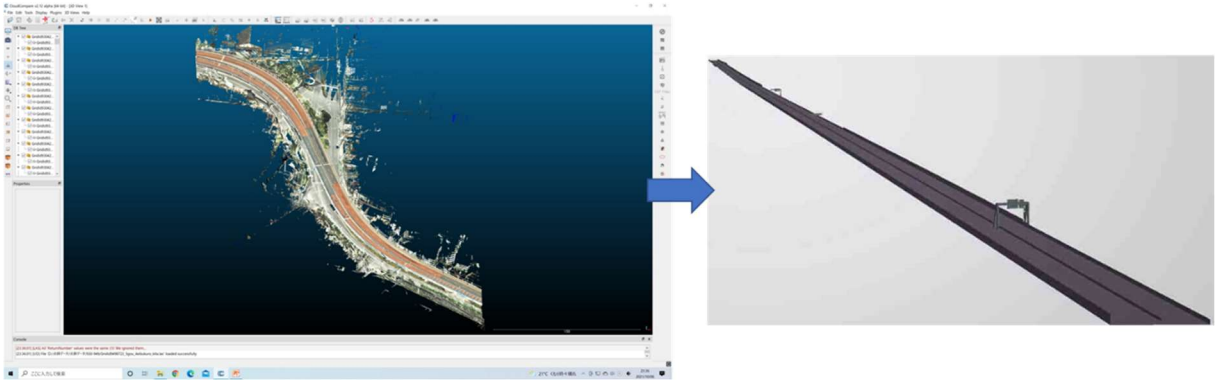


図 3-43　3 次元点群データから作成した 3 次元モデル

3）　過年度技術実証からの発展性・新規性

本技術実証は、以下の点で過年度技術実証にはない新規性を有している。

- sub6 帯システムでの狭指向性アンテナ及びミリ波帯システムでのビームフォーミングアンテナの適用により、エリア外への電波漏洩を低減し、線状のカバーエリアを構築する。
- 道路附属物を含めて高速道路の構造体を 3 次元モデル化し、路面の高さ変化や道路附属物の影響を踏まえたシミュレーションによる精緻化の検討

（2）　実証仮説

1）　区間①における実証仮説

a.　精緻化の仮説

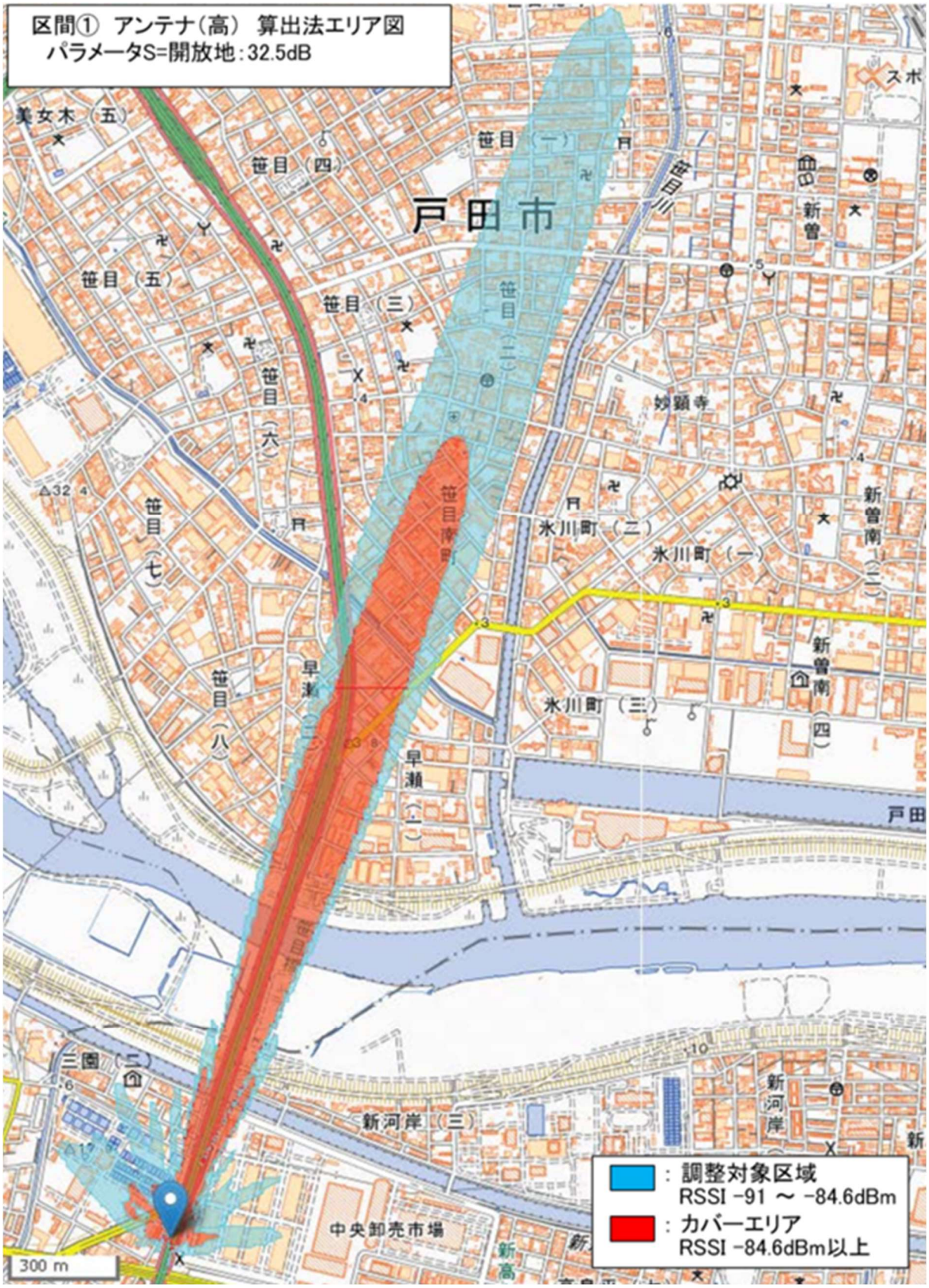
区間①においては、表 3-5 に示すように、電波伝搬路の環境条件に従い、パラメータ S に異なる値を定義し、仮説値を設定した。

表 3-5　区間①パラメータ S による実証仮説

環境条件	仮説パラメータ	想定伝搬路モデル	パラメータ値
高速道路上／河川敷	S	開放地	32.5dB
周辺市街地	S	郊外地	12.3dB

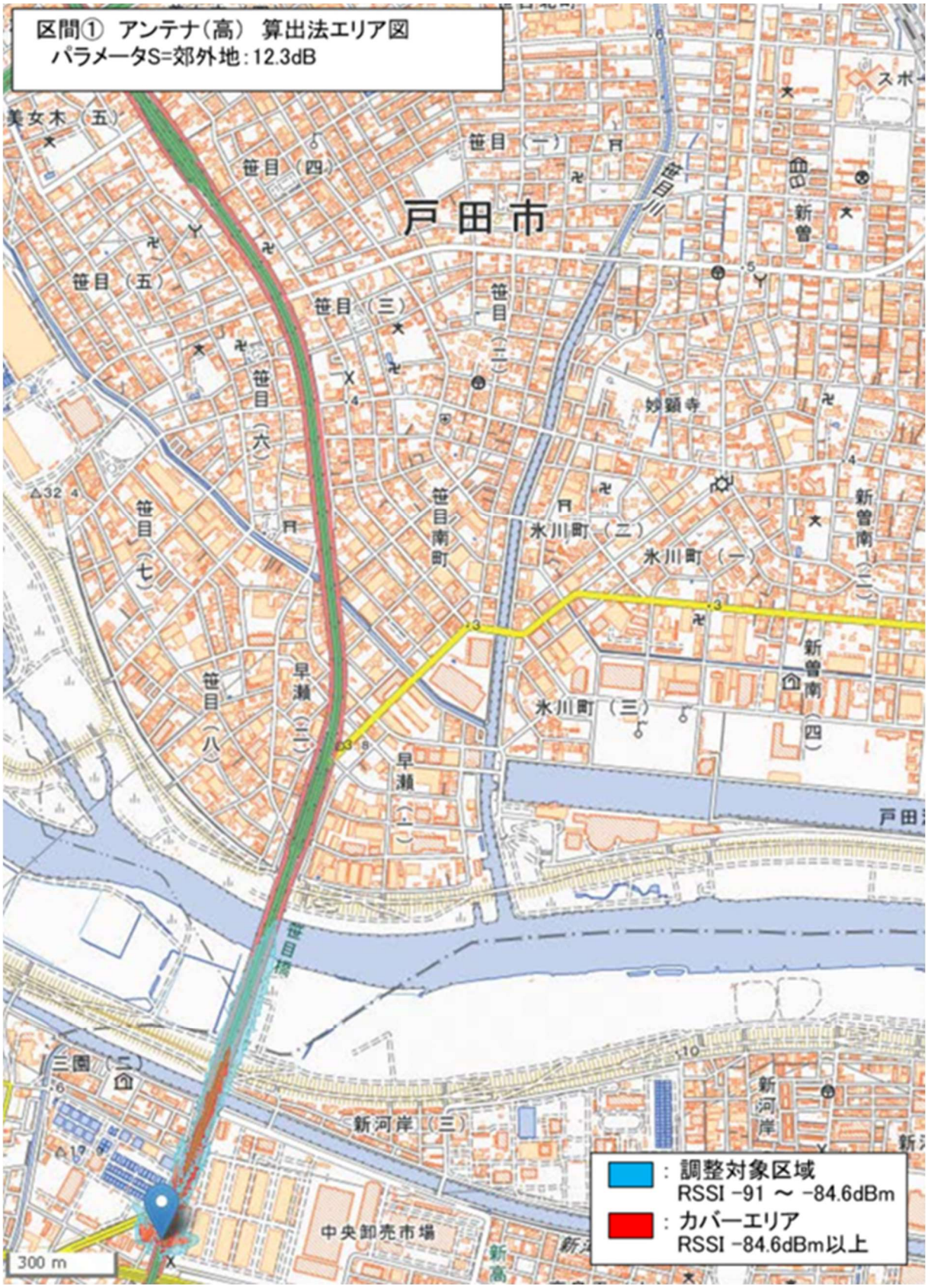
区間①において、表 3-5 に示す環境条件のうち、高速道路上、河川敷におけるカバーエリア、調整対象区域を知るために、パラメータ S を 32.5dB（開放地）とした場合の算出法エリア図を図 3-44 に示す。同様に、表 3-5 の周辺市街地におけるカバーエリア、調整対象区域を知るために、パラメータ S を 12.3dB（周辺市街地）とした場合の算出法エリア図を図 3-45 に示す。

区間①の仮説エリア図を作成するために、道路上や河川敷上のエリアは図 3-44 の結果を参照し、送信点周辺の市街地エリアにおいては、図 3-45 の結果を用いて作図した。また、道路北側から道路外へ漏洩する電波については、漏洩部が市街地となるため、カバーエリアとして漏れた電波は、開放地と郊外地の S 値の差分：20.2dB の減衰を伴って減衰するとの仮説を行った。結果の仮説エリア図を図 3-46 に示す。



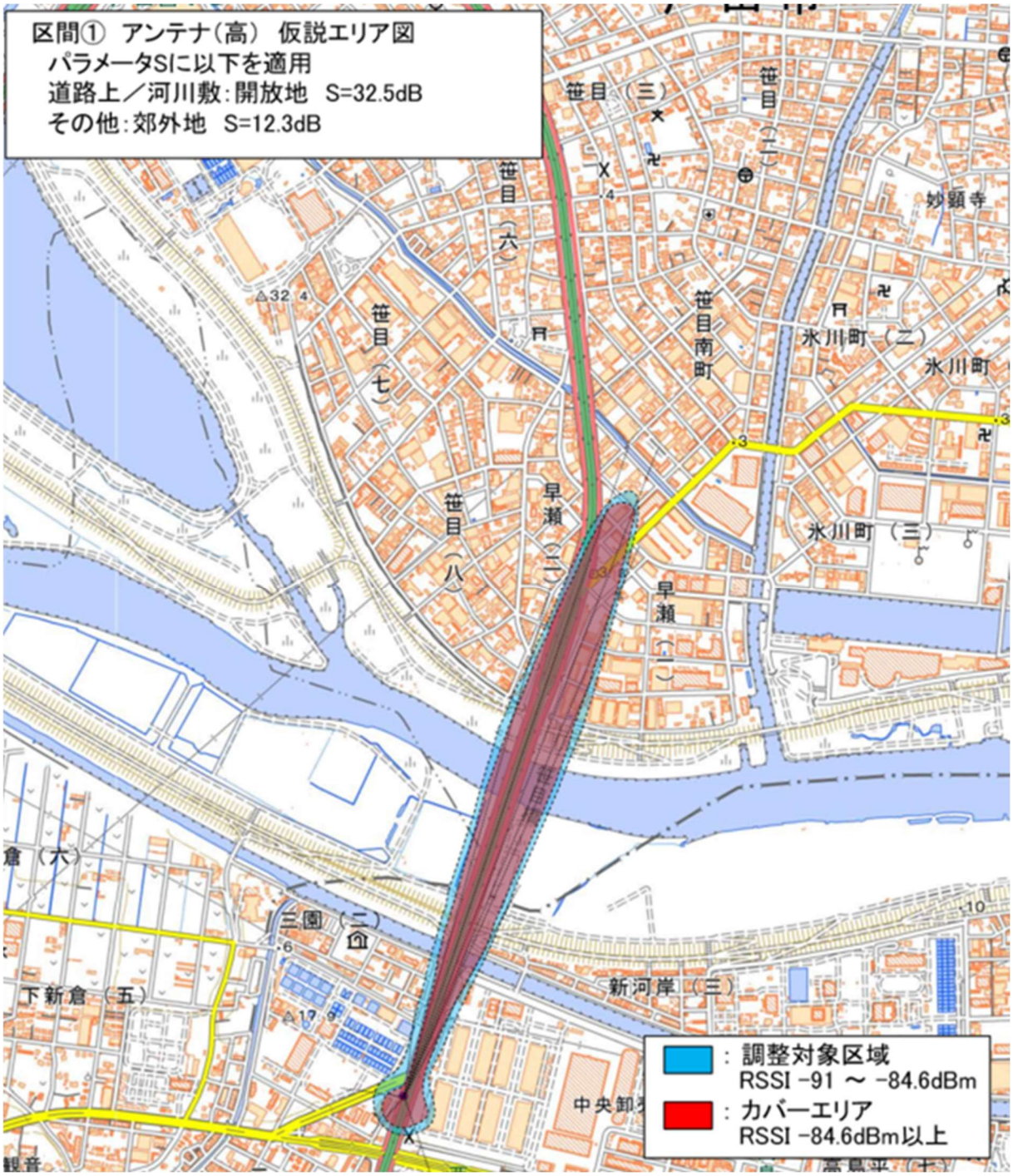
出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-44 区間①開放地モデル適用時の算出法エリア図



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-45 区間①郊外地モデル適用時の算出法エリア図



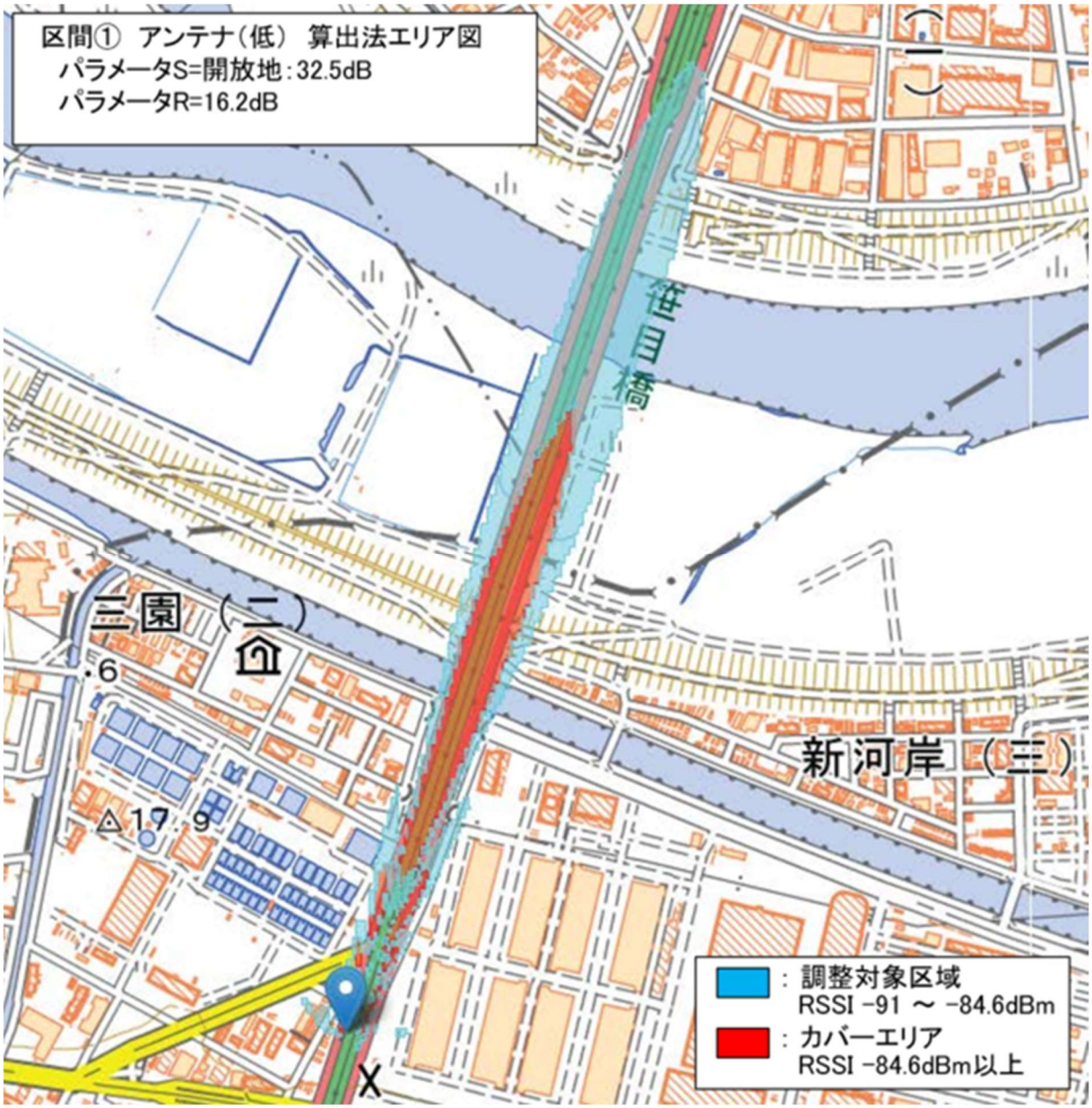
出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-46 区間①仮説エリア図

区間①の送信点から道路面を透過し高架下の地表に到達する透過波についてパラメータ R を用いて精緻化を行う。高速道路の構造体は鉄筋コンクリートで構成される。透過損失を考慮するため、パラメータ R は 16.2dB※とした。

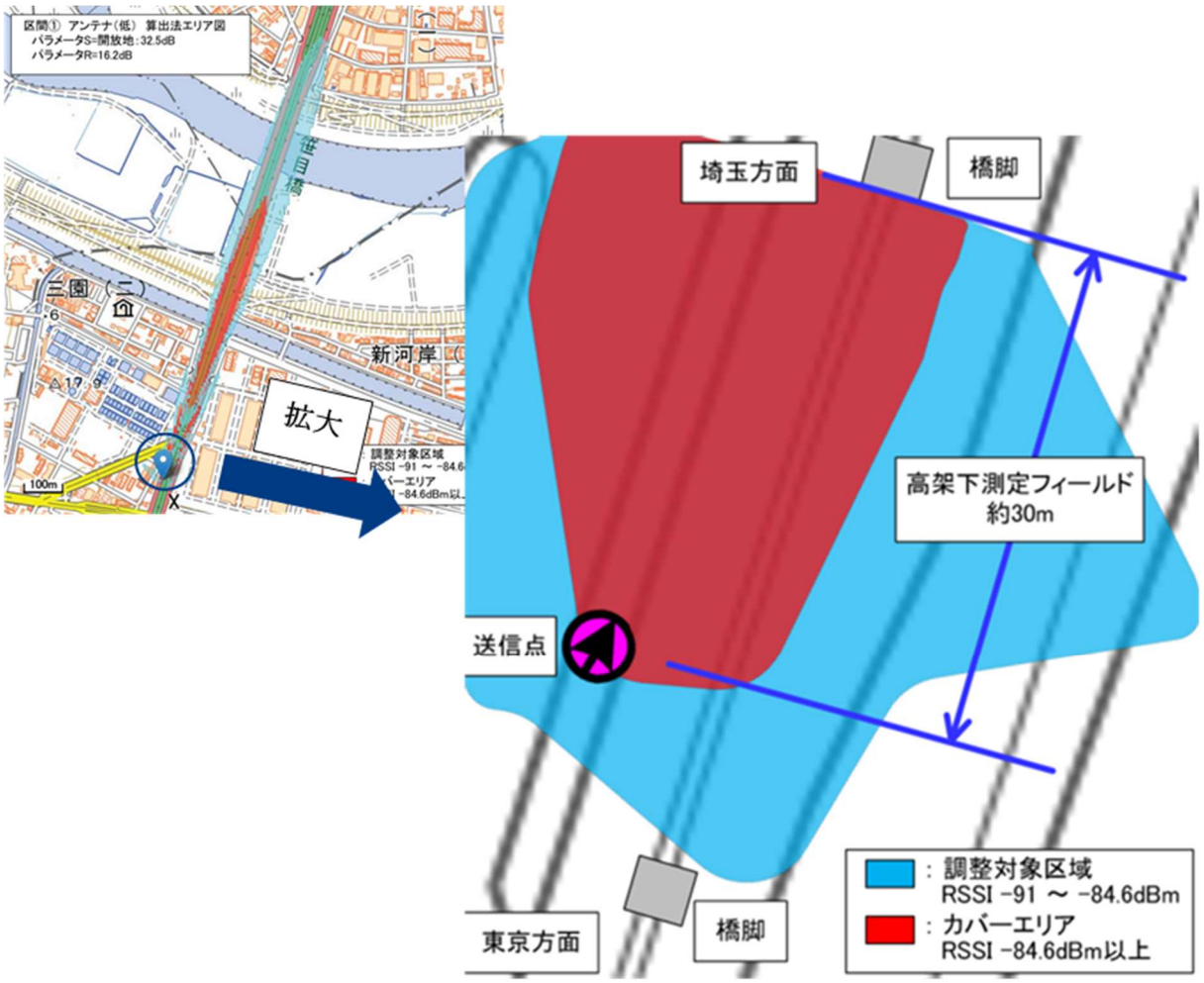
※電波法関係審査基準（平成 13 年 1 月 6 日総務省訓令第 67 号）＜抜粋＞に記載の R の値を参照

区間①の高架下における算出法エリア図を図 3-47 に示す。パラメータ S を開放地、パラメータ R を 16.2dB に設定している。実際には、送信点から離れるに従い道路面への入射角が浅くなり、鉄筋コンクリートを透過する際の透過長が長くなるのと、透過後に地上の受信点に到達するまでに数段の橋脚が障害物として存在するため、本実証では高架下の測定フィールドを送信点位置から送信方向 30m 程に位置する橋脚手前までとし、道路面の透過に伴う損失について検証を行うこととした。図 3-47 の結果より測定フィールド上の仮説エリアを作図した。図 3-48 に仮説エリア図を示す。



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-47 区間①高架下仮説エリア図



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-48　区間①高架下測定フィールドと仮説エリア図

b. 目標設定

パラメータ R、及び伝送路の環境に従って設定した 2 種の S の仮説値について精緻化を行う。仮説エリア図をもとに設定した測定点のおける実測値と仮説値との差異分析を精緻化パラメータごとに実施し、線状エリアのおける算出式の精度を上げることを目標とする。

c. 実証環境の環境条件

区間①は 1km 以上の直線区間である。下り車線（西側）の道路端に路面から高さ 3mの金属製遮音壁、上り車線（東側）の道路端にメッシュフェンスがある。新河岸川以北は、下り車線の道路端の遮音壁は設置されていない。本区間では高速道路が新河岸川、荒川を南北方向に横断しており見通しも良いため、電波が漏洩した場合、遠方まで電波が伝搬してしまうことが懸念される。電波の漏洩を抑えるため、本区間では指向角 5°の狭指向性アンテナを設置し実験を実施した。また、2 つのアンテナを異なる高さに設置し、遮音壁によるアンテナのサイドローブ成分の漏洩についての低減効果の検証を行った。

区間①は区間全体にわたり高架構造となっており、道路面は鉄筋コンクリートの構造体で支え

られる構造を取る。道路面を透過したローカル 5G 電波が高架下に達することが想定されるため、高架下における電波の漏洩状況を検証することとした。



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

図 3-49 区間①実証環境詳細

2） 区間③における実証仮説

a. 精緻化の仮説

区間③における精緻化対象パラメータは、S と R について検証を行った。

ア）パラメータ S

本実証実施環境から、当該パラメータ精緻化においては、下記のいずれの精緻化も適用可能な状況であった。

- 高速道路の直線区間における完全見通しの場合の S の補正
- 道路両側に遮音壁のある半ドーム型で、基地局と端末の見通しがある場合の特殊地形 K の補正

そのうえで、S と K のどちらのパラメータの精緻化の方が適切なのか検討したところ、以下のとおりそれぞれの精緻化によって適用できる環境が違うことがわかった。

＜補正値 K＞

- 半ドーム型の形状をした送受信点間の損失という限られた環境に適用

＜パラメータ S＞

- 補正値 K よりも送信点と受信点の見通しがきく環境に適用
- 左右に開けた環境で、透過損失や反射係数の異なる構造物が連続的に存在するような環境に適用

上記から、パラメータ S の方が補正値 K を精緻化対象とした場合より、高速道路上だけでな

く、道路の両側に建物がありその道路に沿ってエリアを構築したいような場合等において、汎用的に使える補正値になるという結論に至り、パラメータ S を精緻化対象として検証を実施することとした。

高速道路上に設置される基地局からの電波伝搬の特徴として、高速道路上と道路外では伝搬の性質が以下のとおり大きく異なる。

＜高速道路外の伝搬＞

・ 現在の 3 種類のパラメータ S によって「市街地」「郊外地」「開放地」を適用できる

＜高速道路上の伝搬＞

・ 希望カバーエリアである高速道路上は、区間③のような直線区間の場合には移動におけるフェージング、遮音壁による反射等の考慮は必要だが、基地局と端末間に情報板やその他構造物がほぼ無く、自由空間伝搬損失に近似するエリアを形成すると予想できる

このことから、パラメータ S で一番損失が少ない「開放地」よりもさらに伝搬すると推察される。従って、高速道路上の直線区間を考慮した電波伝搬モデルの精緻化検討のために必要なパラメータ S を検証するにあたり、「開放地」の場合の S 値（32.5dB）よりも自由空間伝搬損失の値に近づくと予想し、S 値の補正値として S1 値を以下のとおり予測した。

まず、総務省式によって求められる伝搬損失を表 3-6 に示す。区間③において検証可能な直線区間が 1,200m 以下であるため、対象の伝搬ロスも 1,200m まで算出した。算出に使用したパラメータを表 3-7 に示す。

表 3-6 総務省式と自由区間伝搬損失、その差分

距離 dxy (m)	総務省式① (dB)	自由空間伝搬② (dB)	差分①-② (dB)
100	80.96	86.16	3.80
200	100.56	92.18	8.38
300	106.76	95.70	11.06
400	111.16	98.20	12.96
500	114.58	100.14	14.44
600	117.37	101.73	15.64
700	119.73	103.06	16.67
800	121.77	104.22	17.55
900	123.57	105.25	18.32
1000	125.18	106.16	19.02
1100	126.64	106.99	19.65
1200	127.97	107.75	20.22

表 3-7 区間③シミュレーション用パラメータ

記号	パラメータ名	値	備考
Pt	送信電力	36.0dBm	
Gt	送信アンテナ利得	13.5dBi	
Gr	受信アンテナ利得	2dBi	
Lft	送信給電線損失	2.6dB	
f	周波数	4849.98MHz	
ht	基地局空中線高	4.7m	

記号	パラメータ名	値	備考
hr	受信局空中線高	1.5m	
α	遠距離に対して考慮する係数	1	
a(Hm)	陸上移動局高に対して考慮する補正項	0.057	中小都市
b(Hm)	基地局高に対して考慮する補正項	-16.1005	
R	透過損失	0.0	
K	地形の影響等の補正値	0.0	
S	市街地、郊外地及び開放地に対して考慮する補正項	32.5dB	区間③では開放地を適用

次に、当該環境の伝搬損失を自由空間伝搬損失とみなして以下のとおり計算した。周波数 f（MHz）の送信機から距離 d（m）点での電波の伝搬損失量 Loss（dB）は、フリスの伝達公式より以下の式を用いて伝搬損失を計算した。

- Loss (dB) = 20log(4πd/λ)
- λ = c (m/s)/f (MHz) = (3 × 108)/(f × 106)

総務省式の伝搬損失と自由空間伝搬損失、その差分を表 3-6 に示す。この差分が今回の S 値の補正値 S1 となるので、(0 dB＜S1＜20.22dB) と仮説を設定し検証を行った。

イ）パラメータ R

総務省式の sub6 帯のパラメータ R 及びミリ波帯の室内における建物侵入損 R は、どちらも具体的損失値が既知であれば、その値を代入する方式となっている。

別項で述べられている柔軟化使用や自己土地使用前提のローカル５G の法制度を鑑みると、今後は高速道路上のみをエリア化する方策が鋭意選択され、基地局の設置は屋外にはなるが、道路外に対して直接波が届かないように設計されていくことが想定される。このような伝搬環境に適応する計算式は、屋内に置かれた基地局の電波が建物の通過損失を受けた後に屋外に漏洩・伝搬するようなインドアモデルが近似すると考えられる。この場合、ミリ波においての総務省式としては、現行の屋外・見通し外の計算式ではなく、屋内の R 損失を加えた式が実態に見合うものとなると想定される。従って、本実証においては、このような見地から R について検証することとした。

本実証に使用する高速道路上の基地局から道路外への伝搬における特性としては、高速道路の両側を覆うように施工されている遮音壁による減衰と、高速道路の路面による減衰が考えられ、総務省式においては透過損失のパラメータ R として計算されると考えられる。高速道路外の地上 1.5mの高さの受信点に対しては、道路面やそれを支持する鉄筋コンクリート等の構造物は、空間損失や道路面に対して俯角をもって放射するため、当該構造物をローカル 5G の周波数が調整対象区域の受信レベル以上で透過するとは考えにくい。しかし、遮音壁においては、その材質や厚さによって、十分道路外に調整対象区域の受信レベル以上で透過すると考えられる。従って、当該検証環境においては、高速道路上の遮音壁を総務省式のパラメータ R の成分として取り扱い、検証することとした。

この R の成分を作り出す高速道路の遮音壁には、その目的によって多数のバリエーションが

あり、また技術革新と共に高性能化しているため、全てをある 1 つの損失係数として表現することは難しい。また、高速道路上の基地局という特殊環境下においては、遮音壁の透過損失が少なければ少ないほど道路外へ電波が漏洩するので、高速道路上での基地局設置において重要な観点となりうる。このため、区間③において遮音壁の材質の中では透過損失が一番少ないと想定されるポリカーボネートの材質の遮音壁が北側に設置されており、この透過損失を検証することによって遮音壁を電波が透過する場合の道路外への漏洩の最大値について検証することとした。

精緻化対象パラメータ R 値の仮説値を算出するにあたって、sub6 帯はノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて過去に測定したプラスティック系素材（12mm 厚特殊アクリル板）の透過損失データ（表 3-9）を参考にした。ミリ波周波数帯においては同素材の透過損失を示すデータを文献から適用できなかったため、ITU-R P.2109-1 のデータを使って、同じように透過率が高く、誘電率・誘電損率が判明している特定のガラス素材の透過損失（図 3-50）から算出した。この結果から、sub6 帯システムにおいては 0＜R＜2.0、ミリ波帯システムにおいては 0＜R＜3.98 と仮説を設定し検証を行った。（表 3-8 参照）

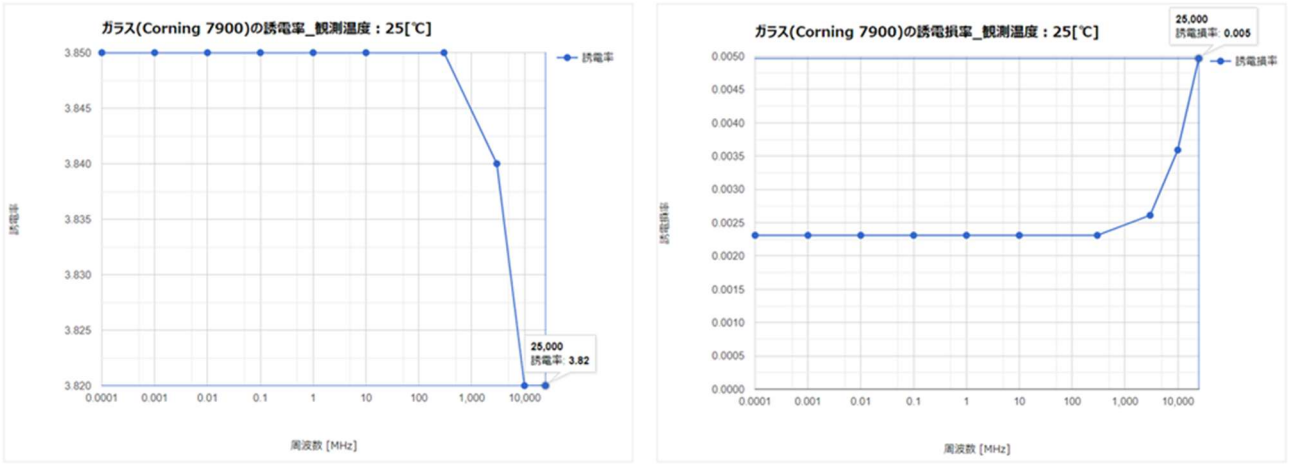
表 3-8　パラメータ R 推定の算出根拠

	誘電率	誘電損率	仮説 R 値	説明
sub6 帯	―	―	2.00	12mm 厚特殊アクリル板の実測データを使用
ミリ波帯	3.82	0.005	3.98	ITU-R.P.2109-1 のデータを使用(図 3-50 参照)

表 3-9　パラメータ R 推定に用いた実測データ(sub6)

入射角 θ	4.5GHz 帯透過損率
0	0.33dB
15	0.71dB
30	0.88dB
45	1.09dB
60	2.00dB

出典：ノキア暗室での実測データ



出典：誘電率・透磁率データベース（https://permittivity.jp/index.html）

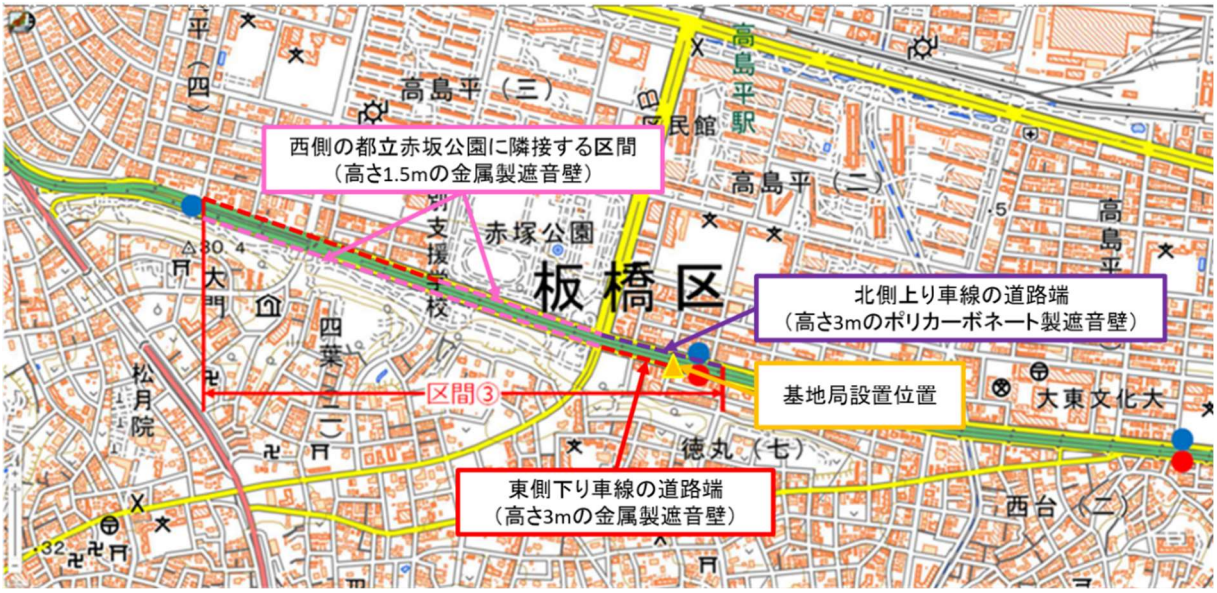
図 3-50　パラメータ R 推定に用いた誘電率と誘電損失(ミリ波)

b. 実証環境の環境条件

区間③は 1km 以上の直線区間であり、遮音壁は下記の 3 種類が設置されている。

- 高さ 3.0m の金属製遮音壁：区間内東側下り車線脇：(図 3-52 参照)
- 高さ 1.5m の金属製遮音壁：区間内西側上り下り車線脇：(図 3-53 参照)
- 高さ 3.0m のポリカーボネート製遮音壁：区間内東側上り車線脇：(図 3-54 参照)

これらの配置状況をまとめた図を図 3-51 に示す。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-51 区間③実証環境詳細

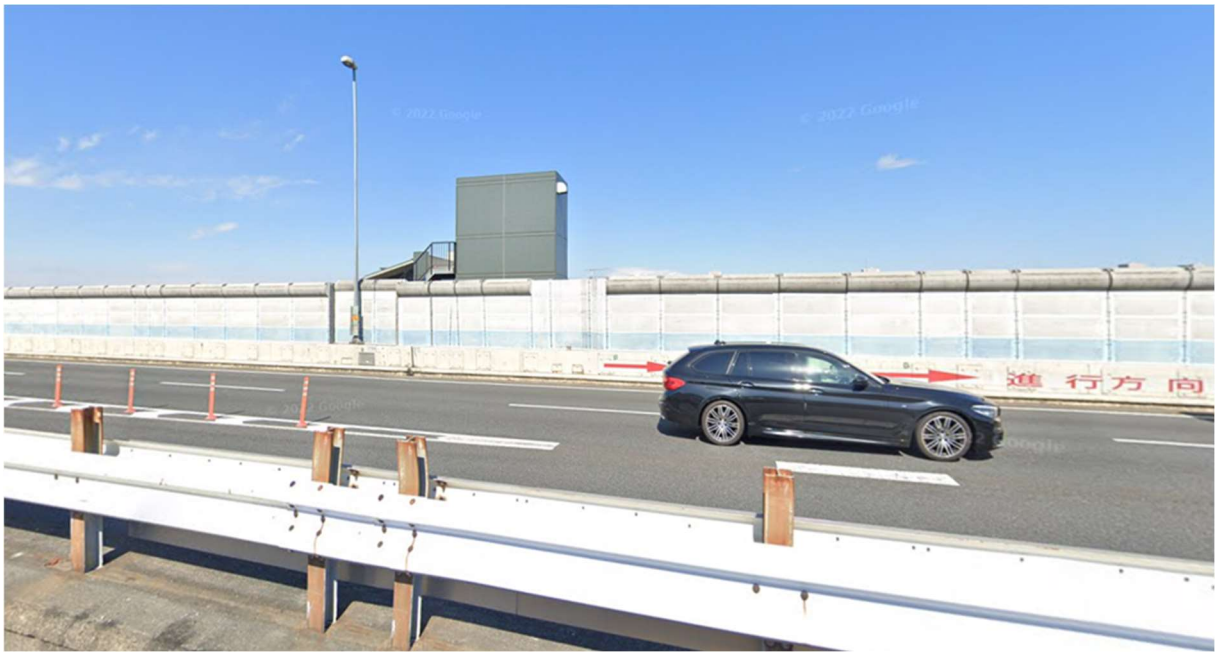


図 3-52　区間③東側区間下り車線の道路端(高さ 3m の金属製遮音壁)



図 3-53　区間③西側区間の都立赤坂公園に隣接する区間（高さ 1.5m の金属製遮音壁）



図 3-54　区間③北側上り車線の道路端（高さ 3m のポリカーボネート製遮音壁）

また、sub6 帯及びミリ波帯のアンテナは、図 3-55 で示すように、高速道路の南側の遮音壁のほぼ垂直延長線上の照明柱に道路面より 4.7ｍの高さに設置した。アンテナの設置場所は図 3-56 に示す。

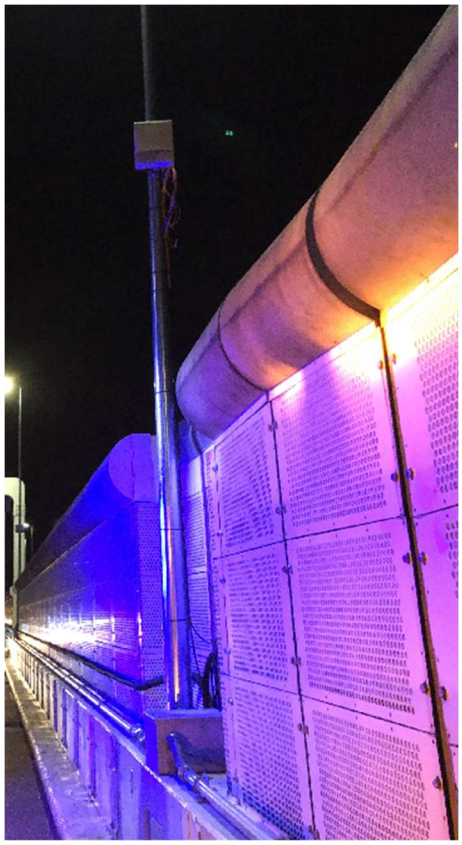


図 3-55　区間③無線機設置環境(道路南側遮音壁のほぼ垂直延長線上に設置)

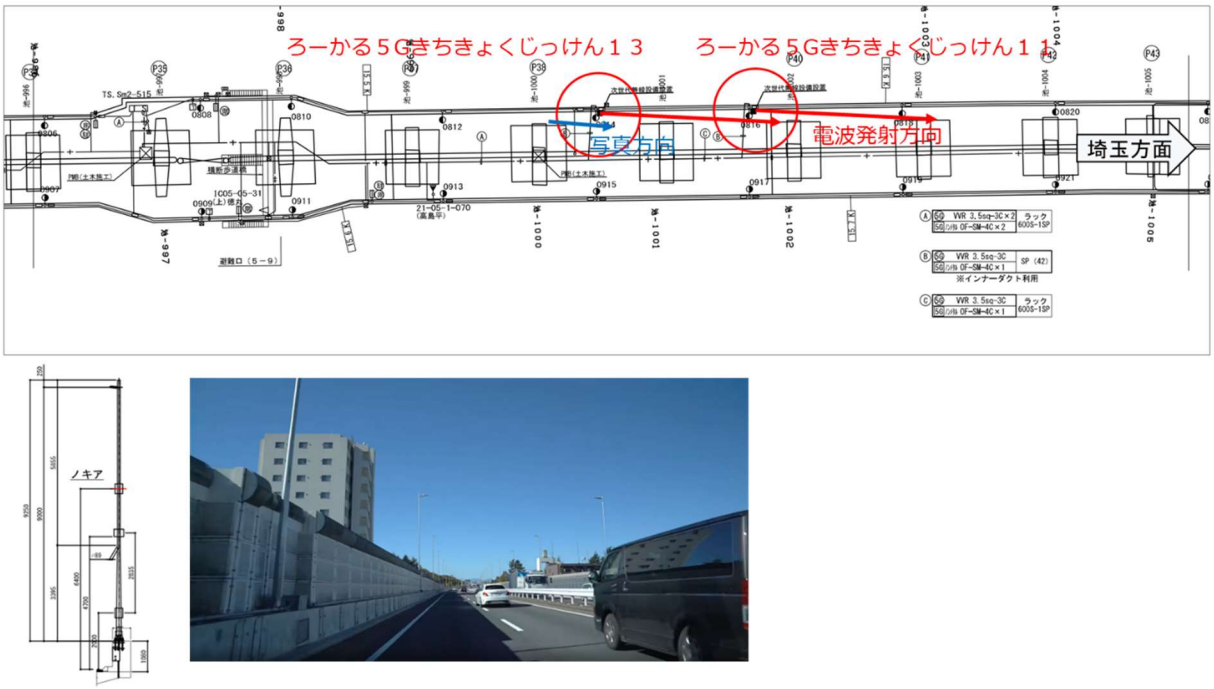


図 3-56　区間③アンテナの設置場所

sub6 帯及びミリ波帯のアンテナの向きは、表 3-10 に示すとおりであり、高速道路上に対して有用なカバーエリアを構築できるように設定した。区間③で用いたアンテナパターンを図

3-57、図 3-58 に示す。

表 3-10　sub6 とミリ波のアンテナの向き

アンテナ	水平方向	垂直方向
sub6 帯	TN-280 度	-10 度（機械チルト 10 度）
ミリ波帯	TN-280 度	-10 度（機械チルト 10 度）

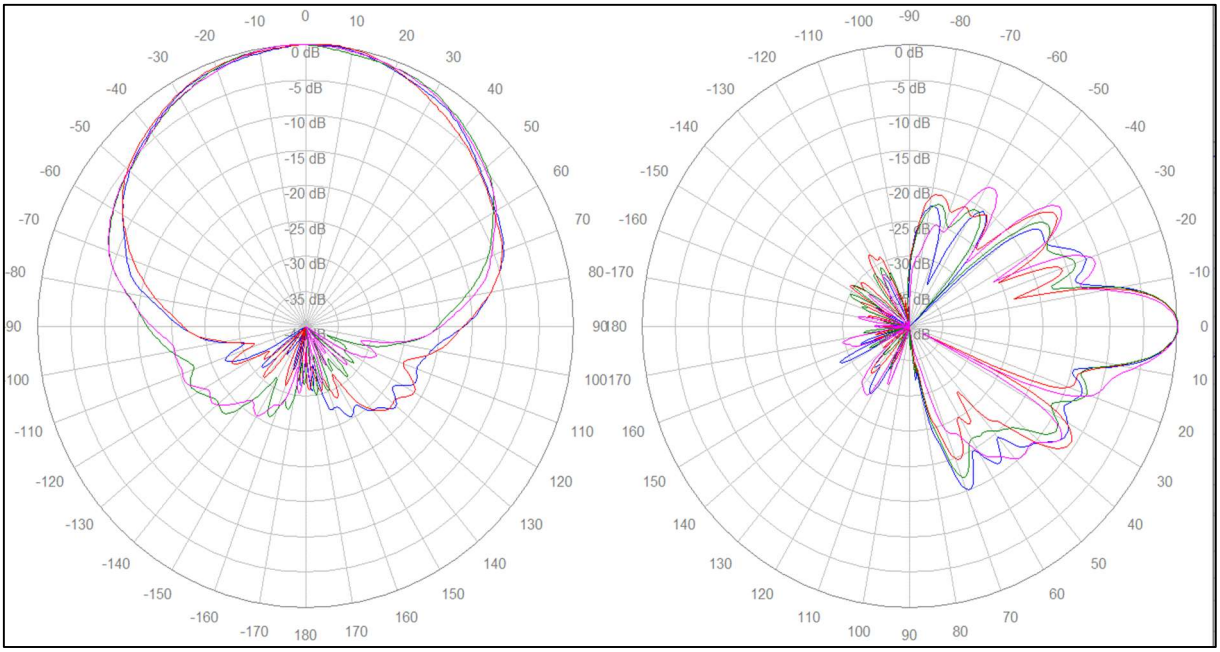


図 3-57　アンテナパターン（区間③sub6 帯）

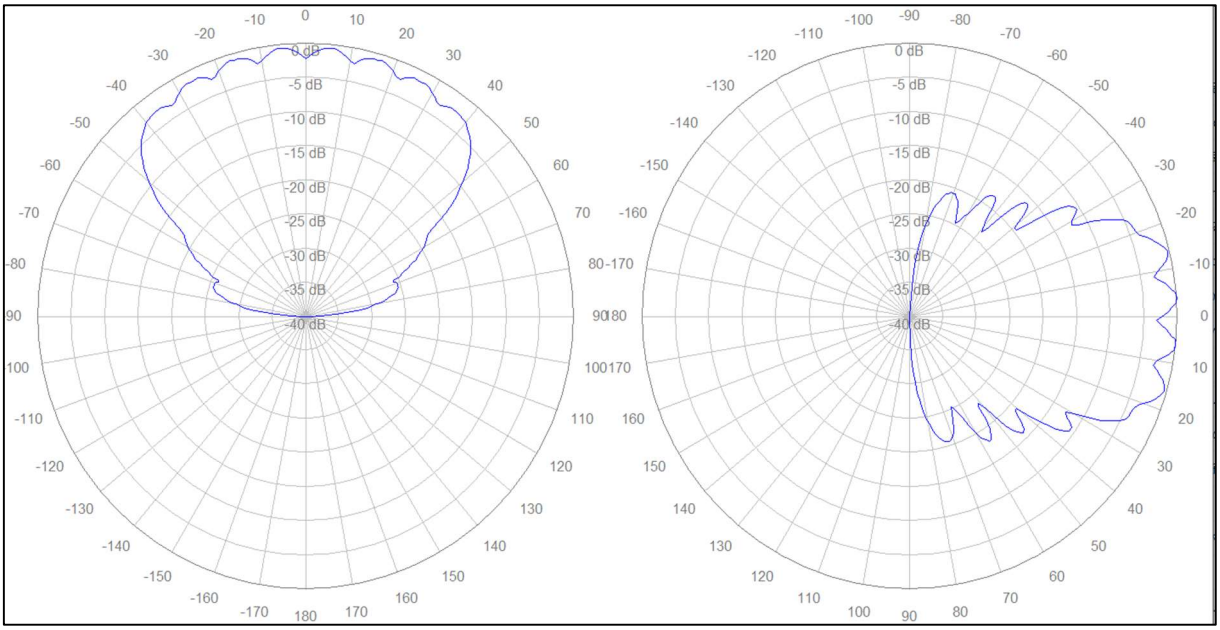


図 3-58　アンテナパターン（区間③ミリ波帯）

（3） 評価・検証項目

1） 区間①評価・検証項目

区間①では、仮説エリア図をもとに測定ポイントを定め、各測定ポイントにおいて受信レベル（RSRP）を測定し、以下の評価・検証を実施した。

- 道路上の電波伝搬について適用したパラメータ S の仮説値（32.5dB）の妥当性の検証
- 河川敷へ漏洩した電波の伝搬について適用したパラメータ S の仮説値（32.5dB）の妥当性の検証
- 市街地へ漏洩した電波の伝搬について適用したパラメータ S の仮説値（12.3dB）の妥当性の検証
- 高速道路構造体を透過して高架下エリアに到達する透過波について適用したパラメータ R の仮説値（16.2dB）の妥当性の検証
- 遮音壁の遮蔽効果の検証

2） 区間③評価・検証項目

区間③では、仮説エリア図をもとに測定ポイントを定め、各測定ポイントにおいて受信レベル（RSRP）を測定し、以下の評価・検証を実施した。

- 道路上の電波伝搬について適用したパラメータ S 値の補正値とした S1 の仮説値（0 dB ＜S1＜25.38 dB）の妥当性の検証
- 車線（北側）の道路端に路面から高さ 3m のポリカーボネート製遮音壁について適用したパラメータ R の仮説値（sub6 で 2.0、ミリ波で 3.98）の妥当性の検証

（4） 評価・検証方法

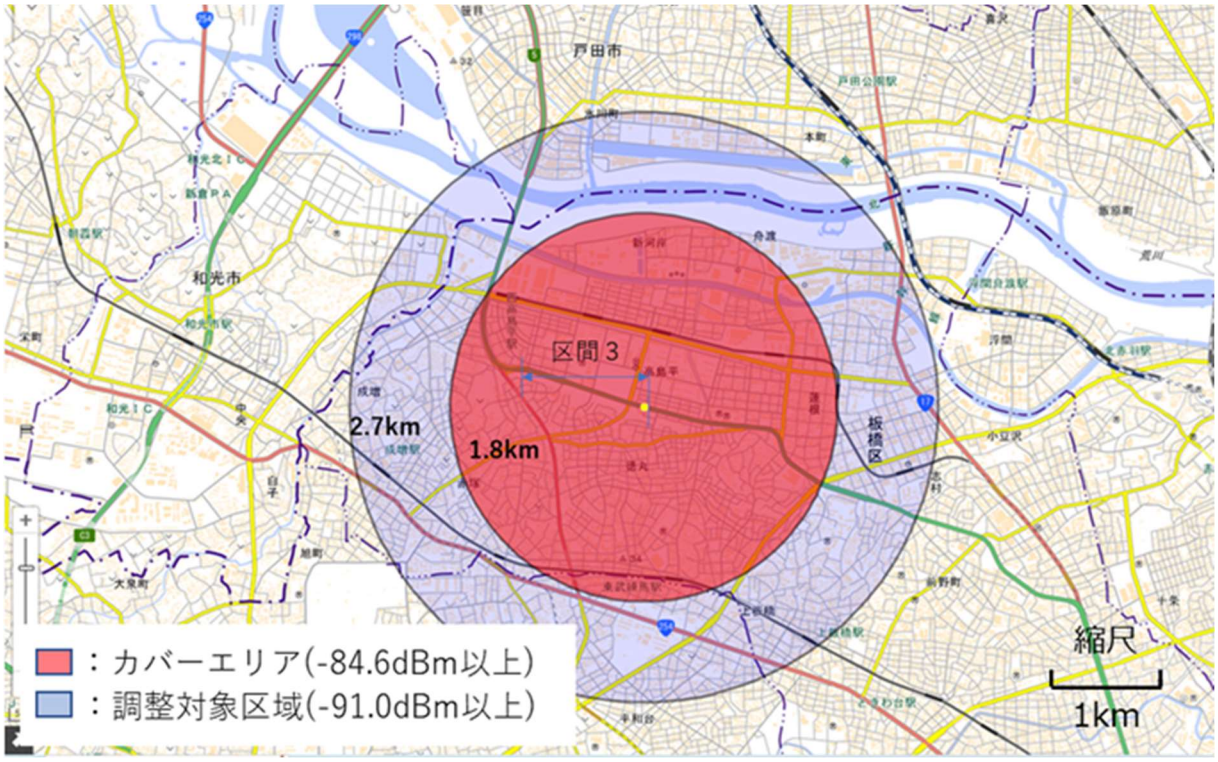
1） 区間①評価・検証方法

仮説エリア図のカバーエリア及び調整対象区域の境界に対し重点的に測定点を設け、精緻化パラメータの種別ごとに測定点を分類する。また、各測定点における実測値と仮説した精緻化パラメータを反映した算出式により得られる受信電力値との差分を取り、差分値が最小となるようパラメータの見直しを行う。精緻化後のパラメータ値により再度受信電力を計算し再び実測値との差分をとり、検証を行う。

2） 区間③評価・検証方法

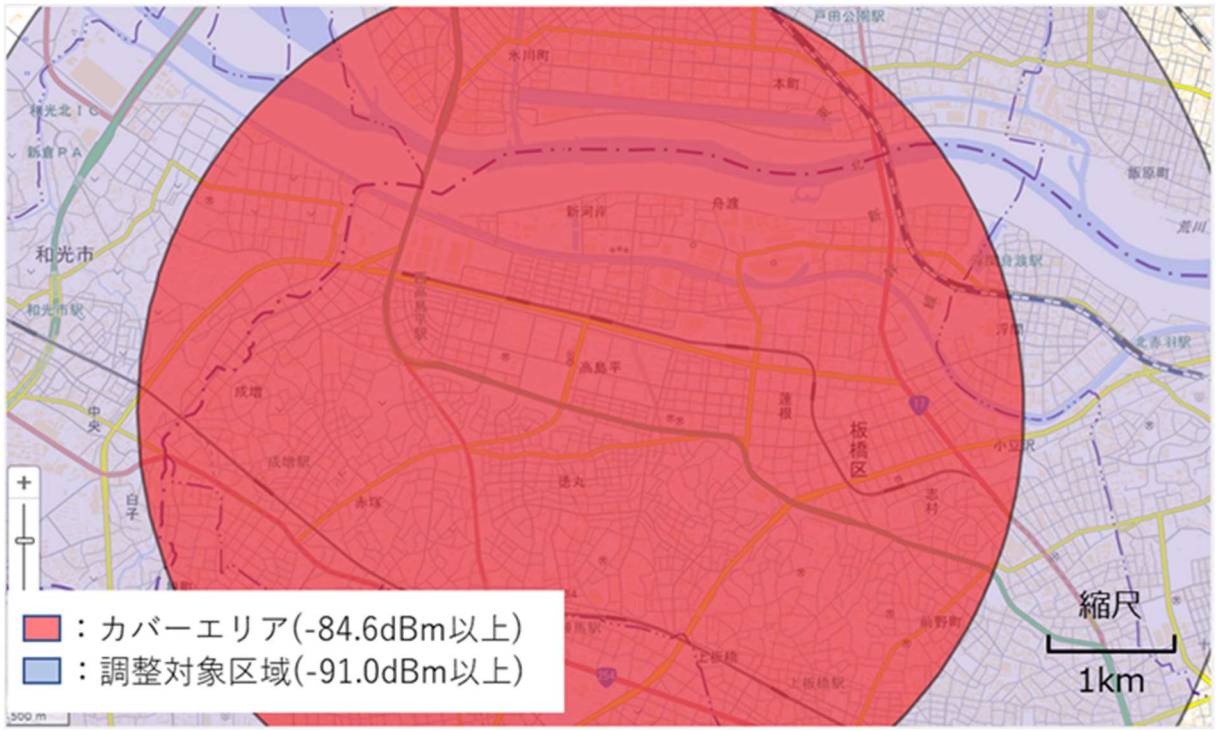
a. パラメータ S（sub6 帯）

測定ポイントを机上選定するために、総務省式による算出エリア図を図 3-59 に、仮説パラメータ S1＝20.55 を入れて総務省式にて計算した仮説エリア図を図 3-60 に示す。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-59　算出エリア図(sub6 帯)　S1＝0(開放地 32.5 のみ)



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-60　仮説エリア図(sub6 帯)　S1＝20.22(S:開放地)

パラメータ S の検証においては、高速道路上における直線区間の補正値として設定しているため、区間③の西側のカーブ手前までを測定範囲とする。また、パラメータ S を補正する際の

条件として、送受信点間の距離 d が 40m 未満の場合、40m 以上 100m 未満の場合、100m 以上の場合と規定されているため、当該条件に合う基地局から 100m 以上という測定ポイントの条件を加味する。

移動測定における測定点は 20m 単位でデータを集計し、測定実施後に測定点を割り当てる。20m 区間における測定データが一定数（90 以上）に満たない場合は、測定を複数回に分けて実施し、データを合算することで測定データの精度を向上させることとする。現地測定で得られた電力値をもとに、下記の差分を算出することで検証を行う。

- 総務省式で得られる現地測定点での受信電力想定値（使用パラメータは、仮説の項で使用したものとする）
- 現地測定で得られた受信電力値（本実証で使用する帯域幅（99.86MHz）に割り戻した RSRP 値を使用する）

b. パラメータ R（sub6 帯／ミリ波帯）

本来、素材の透過損失は図 3-61 のように電波暗室で信号発生器等を使用して測定する方法が一般的で正確であるが、当該遮音壁及びその他の代替の遮音壁も、一時取外し等により同品を調達することができないため、現地で OTA 測定を実施する。

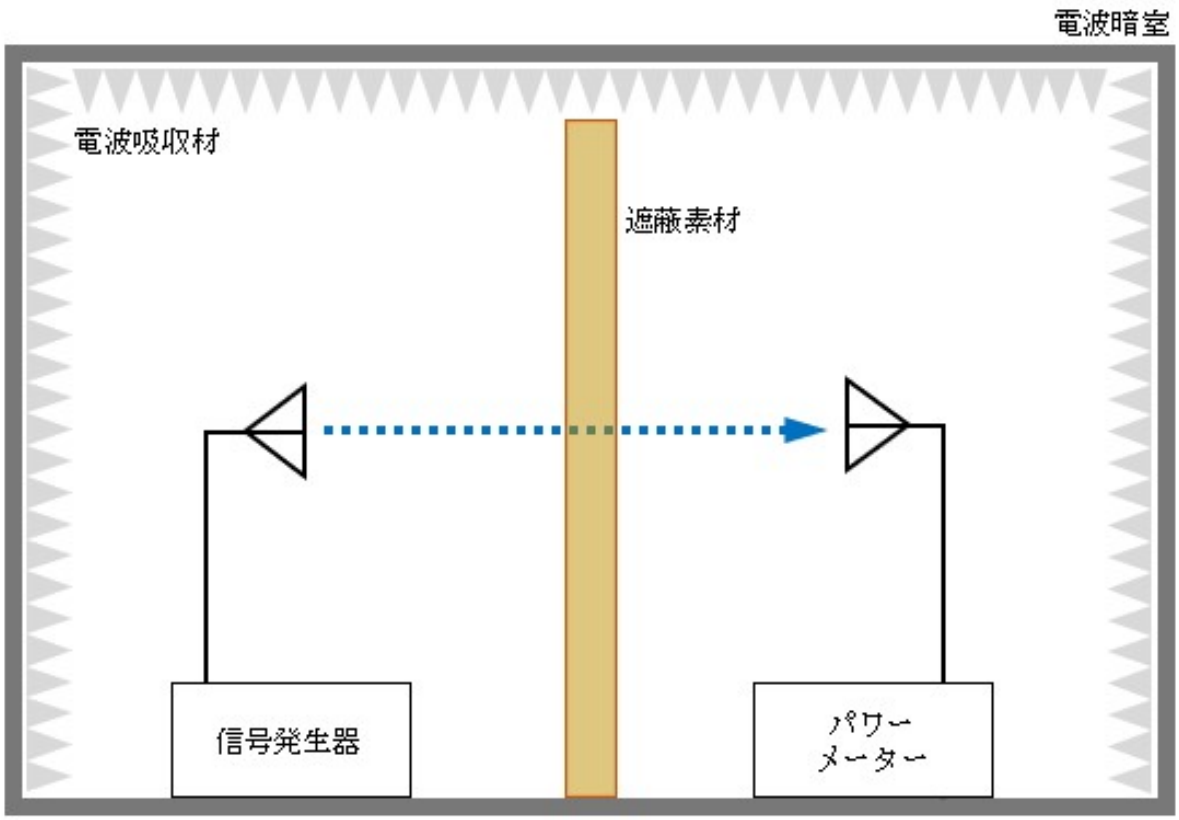


図 3-61 電波暗室を使った透過損失測定の例

パラメータ R の検証においては、図 3-62 で示すように送信点と受信点との間に、空間損失を除くパラメータ R 以外の成分が含まれない伝搬経路にて測定を行うことが理想である。

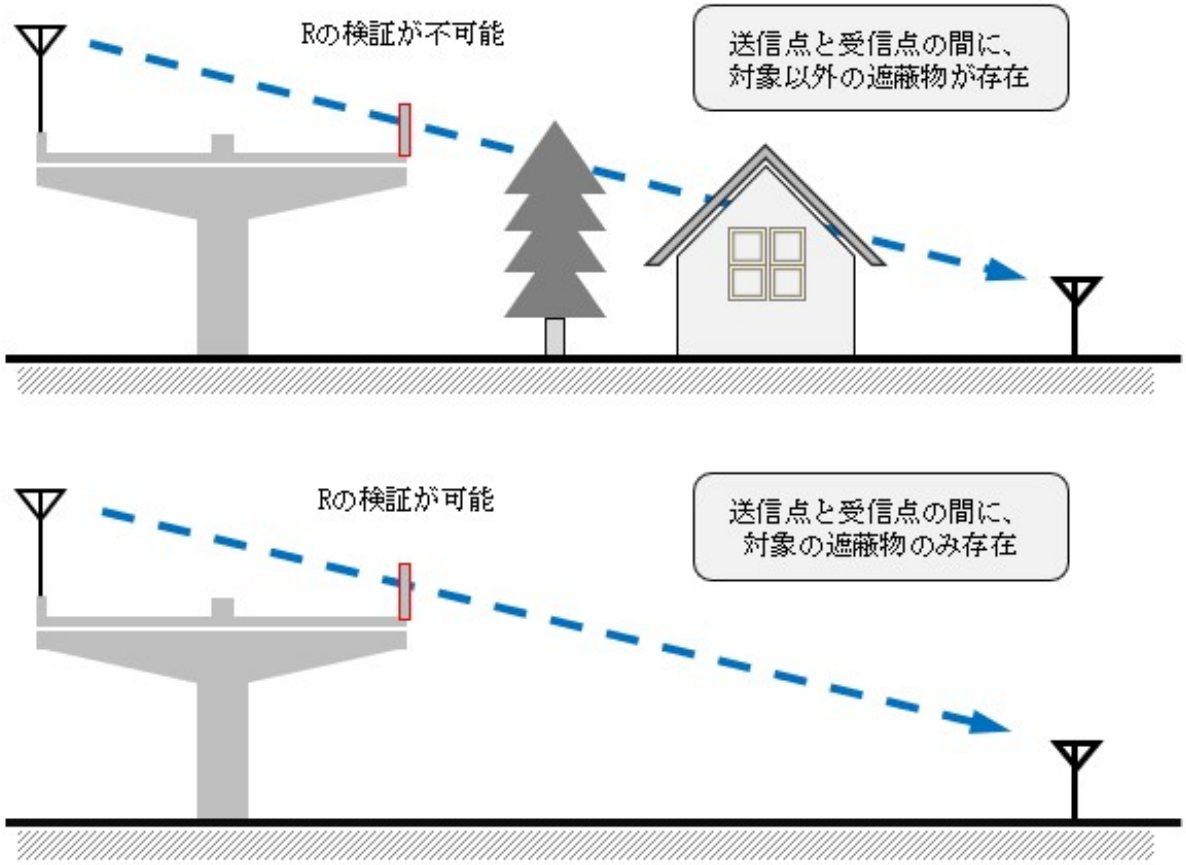
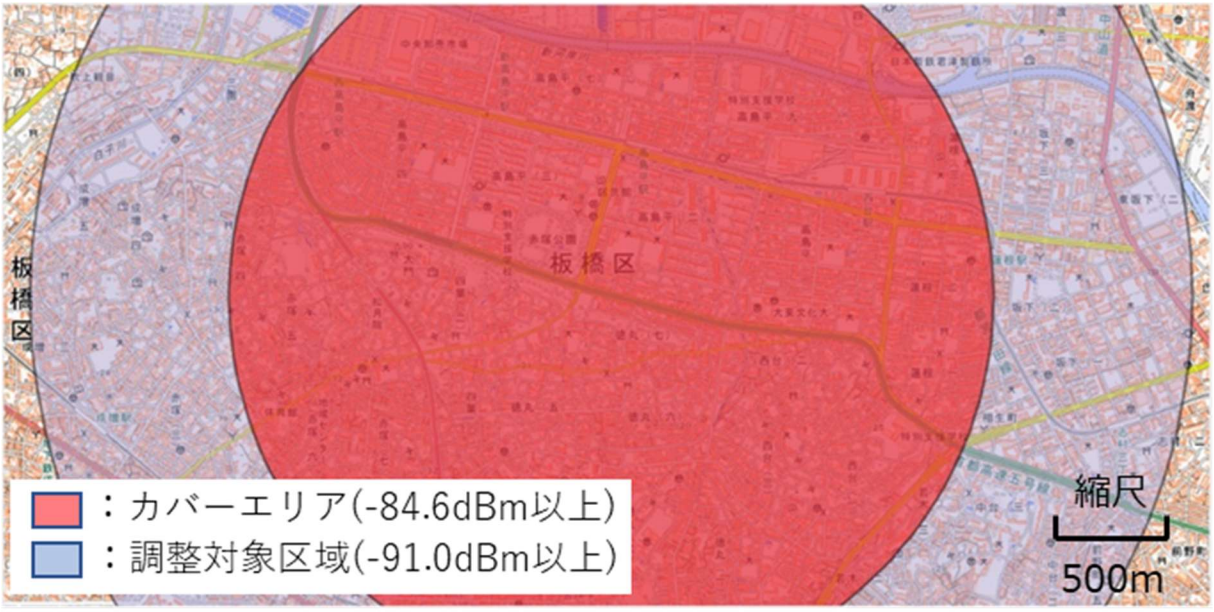


図 3-62 送信点、受信点間の電波伝搬経路

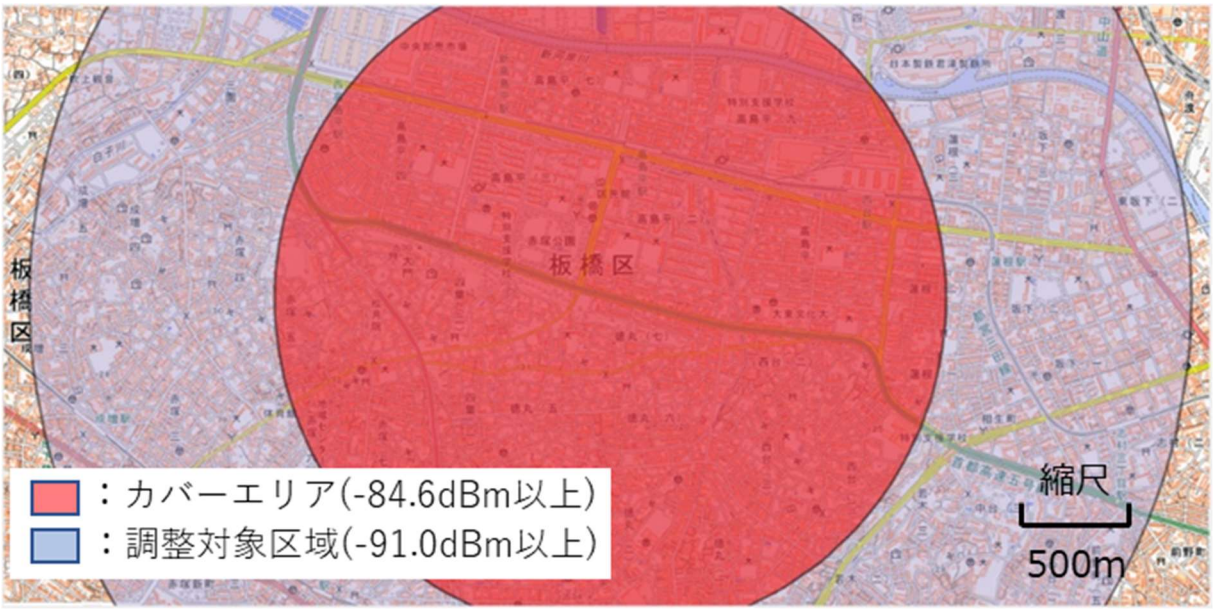
この経路は今回の設置環境上、アンテナのカバーエリア方向から外れた方向にあり、放射電力から空間損失とパラメータ R 成分を計算する際には、受信点方向のアンテナパターンによるアンテナ利得の計算も必要となる。上記による送信点及び受信点の関係性から、以下の考え方に基づき測定ポイントを選定する。

sub6 帯の測定点を選定するために、総務省式及び表 3-8 に示したパラメータ R の仮説値を入れた総務省式を計算し、シミュレーションを実施した。(図 3-63、図 3-64 参照)



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

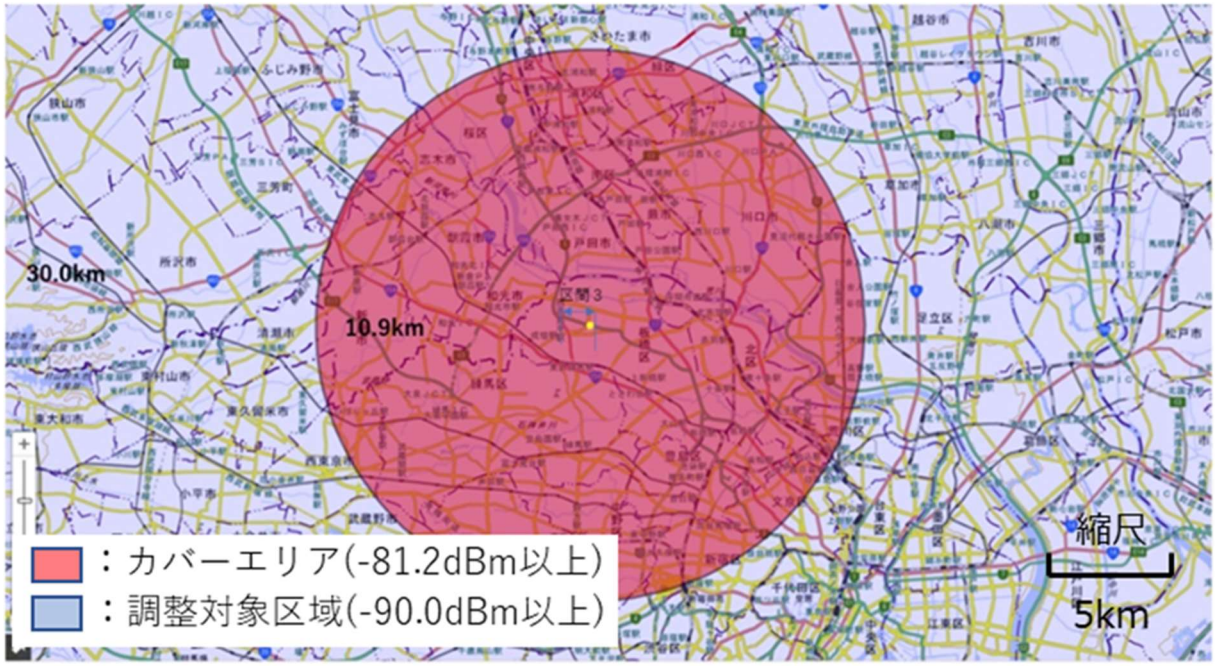
図 3-63 算出エリア図(sub6 帯) R=0.0 S=32.5(開放地) 道路外



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

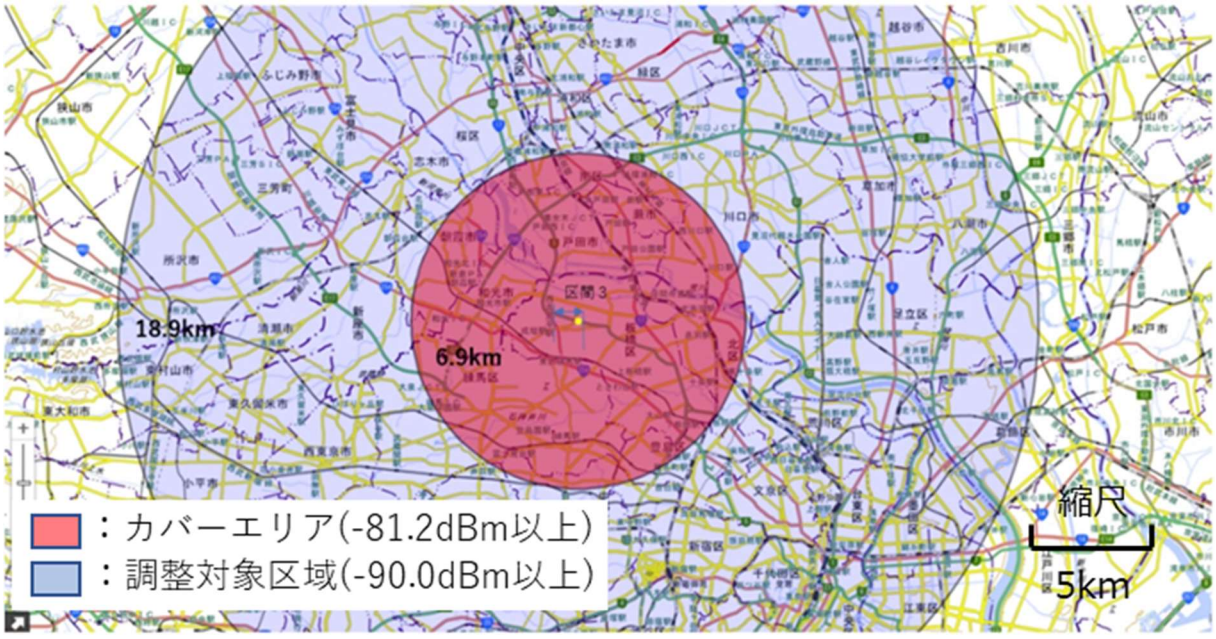
図 3-64 仮説エリア図(sub6 帯) R＝2.0 S=32.5(開放地) 道路外

ミリ波帯については、屋内設置の場合の建物侵入損 R に推定パラメータを代入した場合と、屋外の場合に適応する伝搬式（周辺の建物高 hr＝6 を使用）の両パターンでシミュレーションを行った。(図 3-65～図 3-66 参照)



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-65　算出エリア図(ミリ波帯)　R＝0.0　道路外



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

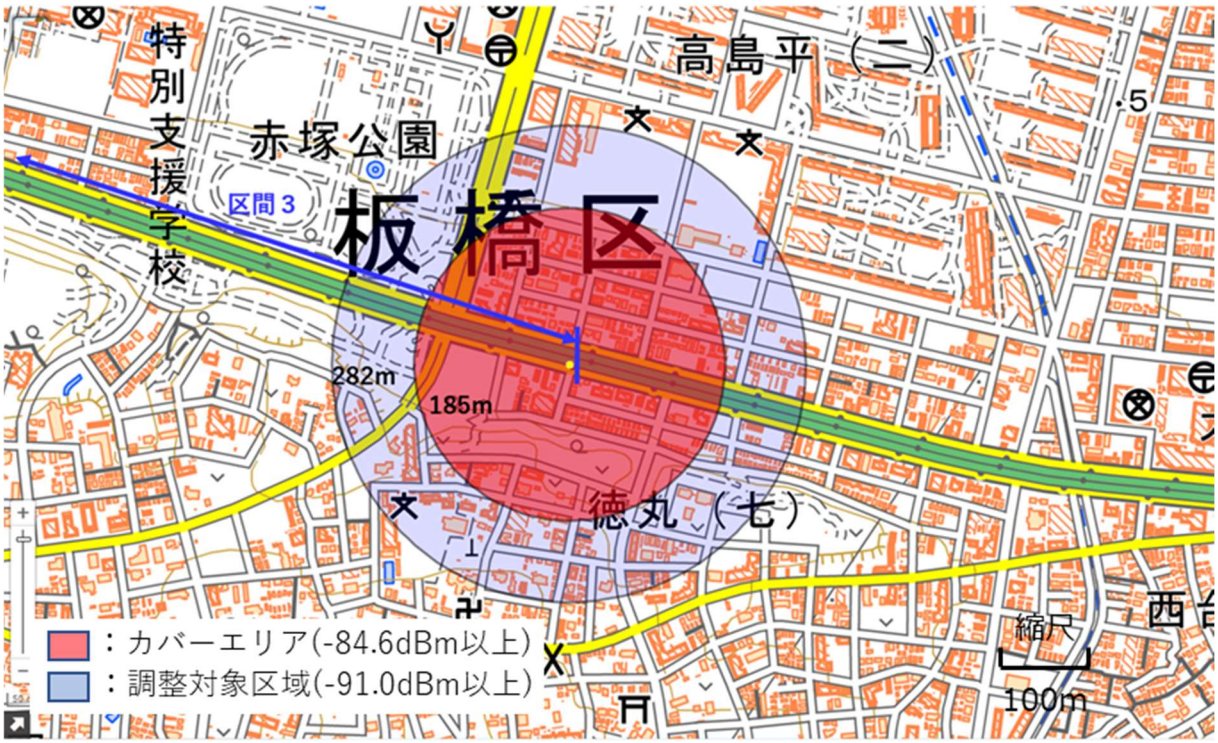
図 3-66　仮説エリア図(ミリ波帯)　R＝3.98　道路外

算出エリア図においては、カバーエリアである道路上の条件によってパラメータが規定されるため、道路外の複雑な建物がある環境における電波伝搬は一様に表現されない。従って、高速道路上と高速道路外においては、別のパラメータを使用する必要がある。高速道路上と道路外で使用するパラメータを表 3-11 に示す。

表 3-11　道路上と道路外で使用するパラメータ

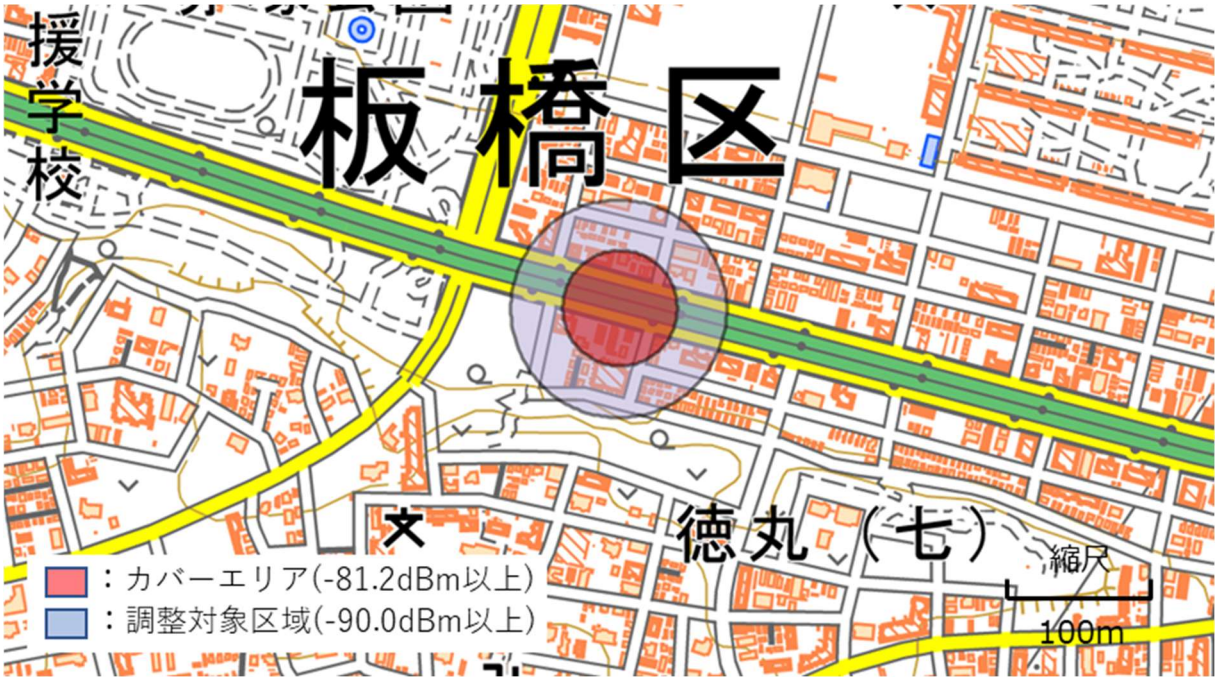
周波数帯	環境	適用パラメータ
sub6 帯	高速道路上	現規格では S=32.5(開放地)
sub6 帯	道路外	S=0(市街地)
ミリ波帯	高速道路上	自由空間伝搬損失を適用
ミリ波帯	道路外	周囲環境 br や送受信点の高さ情報

従って、算出エリア図では当該実証のための測定ポイントを勘案するのには、精度が粗いものと考えられる。そこで、道路外は高速道路上とは異なるパラメータを使用し、もう少し実態近似すると思われるシミュレーションを実施し、シミュレーション結果に基づく仮説エリア図を作成する。仮説エリア図を図 3-67 及び図 3-68 に示す。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-67　仮説エリア図(sub6 帯)　R=2.0　S=0(市街地)　道路外



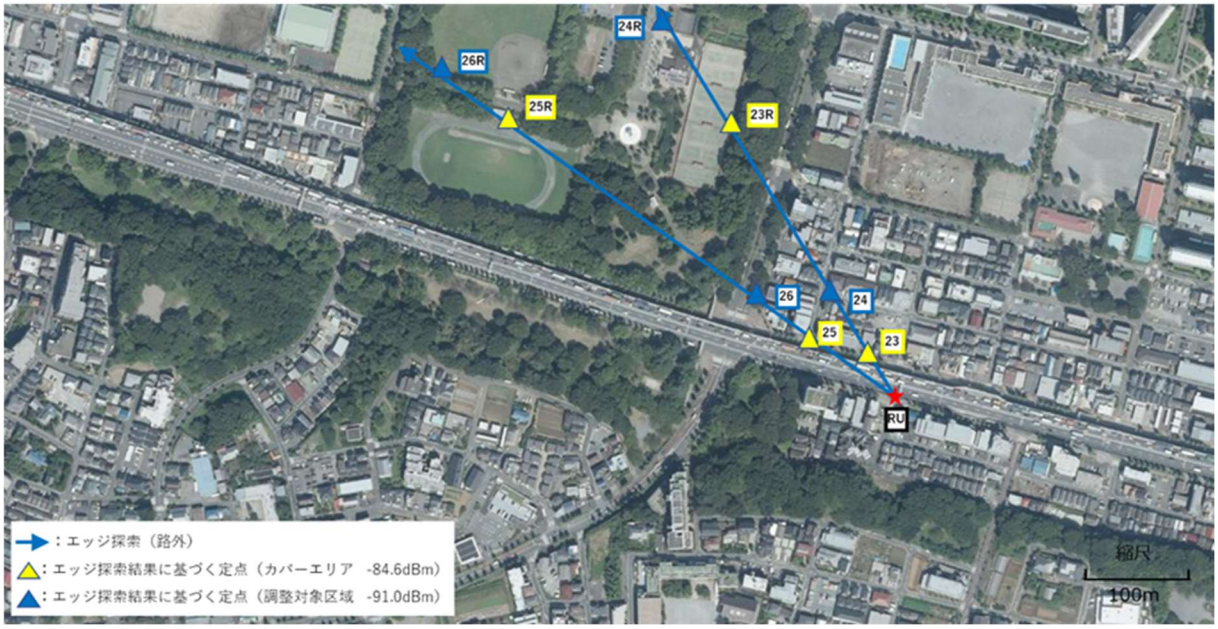
出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-68　仮説エリア図(ミリ波帯) hr =6　道路外

この結果より、以下の手順で測定ポイントを抽出することとする。

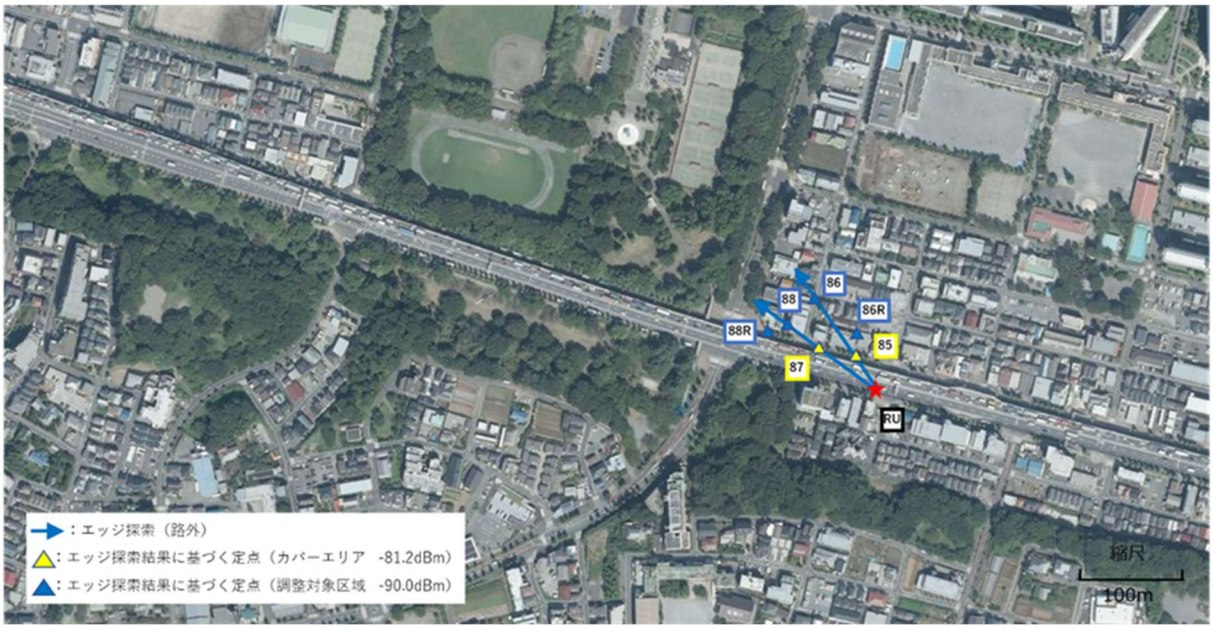
- 手順 1：測定のための基地局の伝搬状況が分かるようなカバーエリア全体を把握できるようなポイントを選定及び測定（図 3-69、図 3-70 参照）
- 手順 2：手順 1 の結果より、送信アンテナと受信アンテナの間にパラメータ R 成分となる遮音壁のみが存在するような測定ポイントを机上で選定及び測定（図 3-71、図 3-72 参照）
- 手順 3：手順 2 の現地測定において、当該実証に適する測定ポイントの抽出する

上記による測定ポイントを図 3-69～図 3-72 に示す。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-69 全体を把握するための測定ポイントの机上選定（sub6 帯）



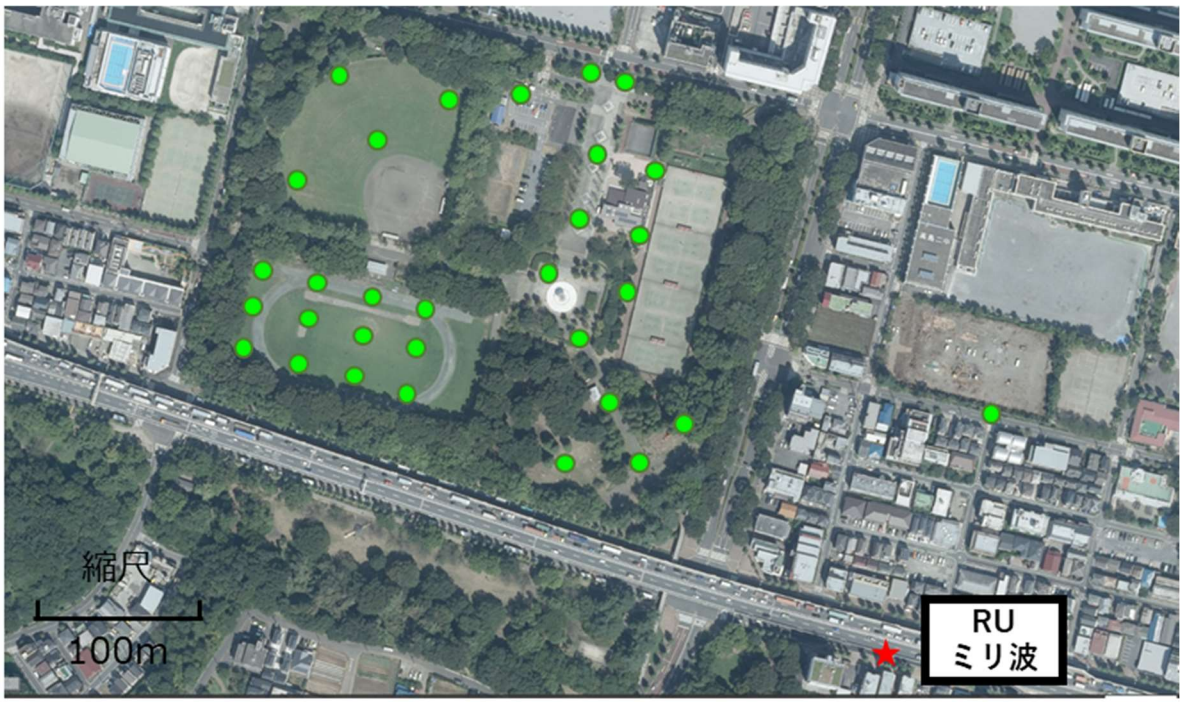
出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-70 全体を把握するための測定ポイントの机上選定（ミリ波帯）



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-71　送受信間に遮音壁のみ存在する測定ポイントの机上選定（sub6 帯）



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-72　送受信間に遮音壁のみ存在する測定ポイントの机上選定（ミリ波帯）

パラメータ R の損失を算出するにあたっては、できる限り正確な実数を求める必要があり、変数で表されるようなパラメータが無い計算式で算出する必要がある。このため、自由空間伝搬

損失を用いて導出を行う。パラメータ R を対象とした測定点は、送信点（基地局）と受信点（測定機）の間にはポリカーボネート製遮音壁しかないため、（送信電力）-（受信電力）＝自由空間伝搬損失 L+パラメータ R（ポリカーボネート製遮音壁）と設定し、測定及び検証のための計算を行う。

c. 測定の方法

パラメータ S 及び R に対する現地測定方法は、以下に準拠して行う。

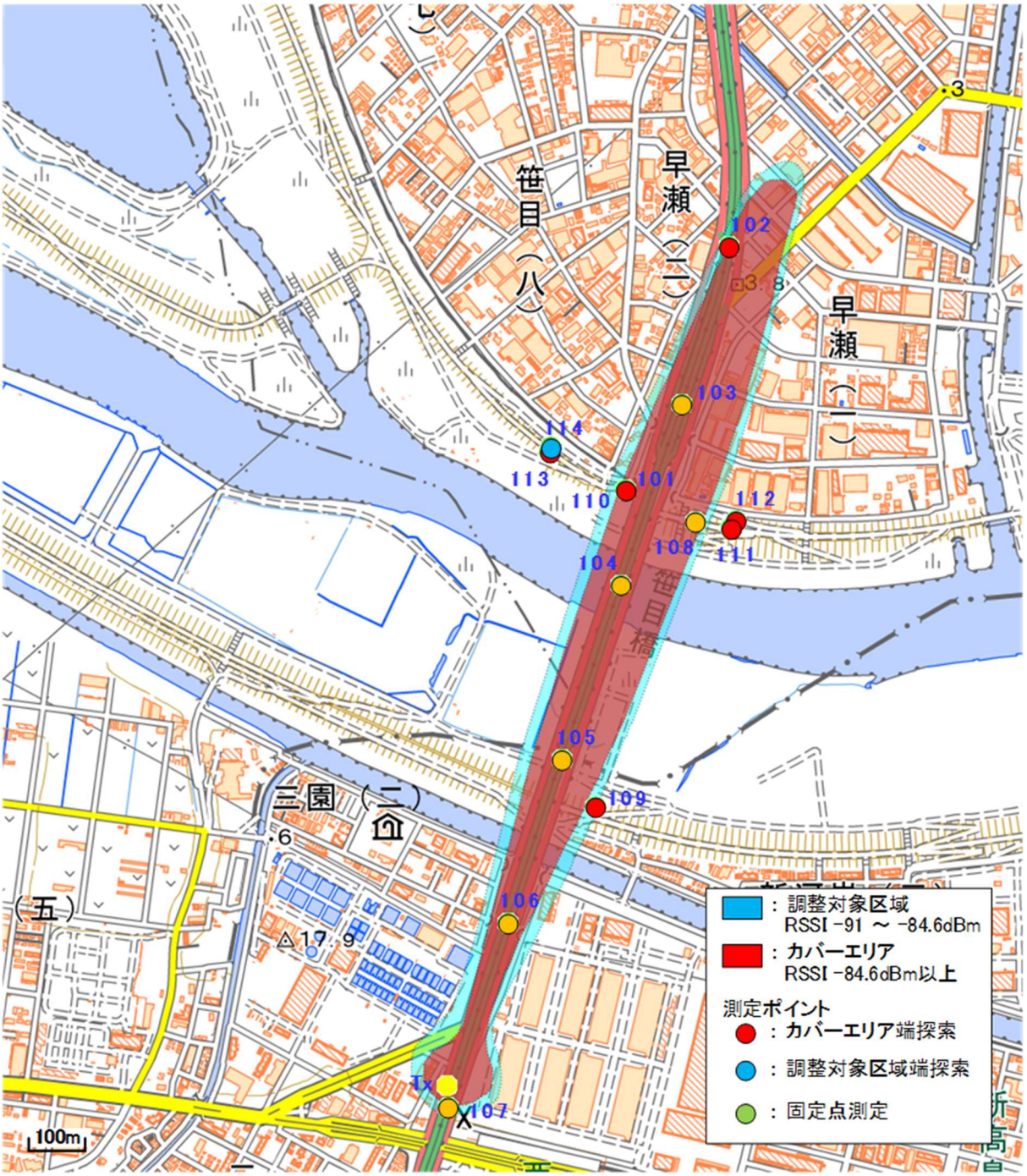
- 受信電力として、SS-RSRP を測定する。
- 定在波の影響を避けるため、測定点ごとに、10λ（λ は波長）の範囲で測定位置を動かしながら測定を実施する。
- 1000 サンプルの中央値を代表値として採用する。ただし、平均、標準偏差、上位 10%値、下位 10%も算出する。
- 測定機のアンテナが指向性を持つ場合、あるいは実際の利用において端末のアンテナが指向性を持つ場合は、それを考慮した測定（アンテナの水平・垂直方向の角度を変化させた測定）を行う。
- 測定時に端末相当の測定機のアンテナと人体が離れている等測定環境・方法によっては、受信電力を算出するためのエリア算出法の人体吸収損失は 0 とする。

（5） 実証結果及び考察

1） 区間①実証結果・考察

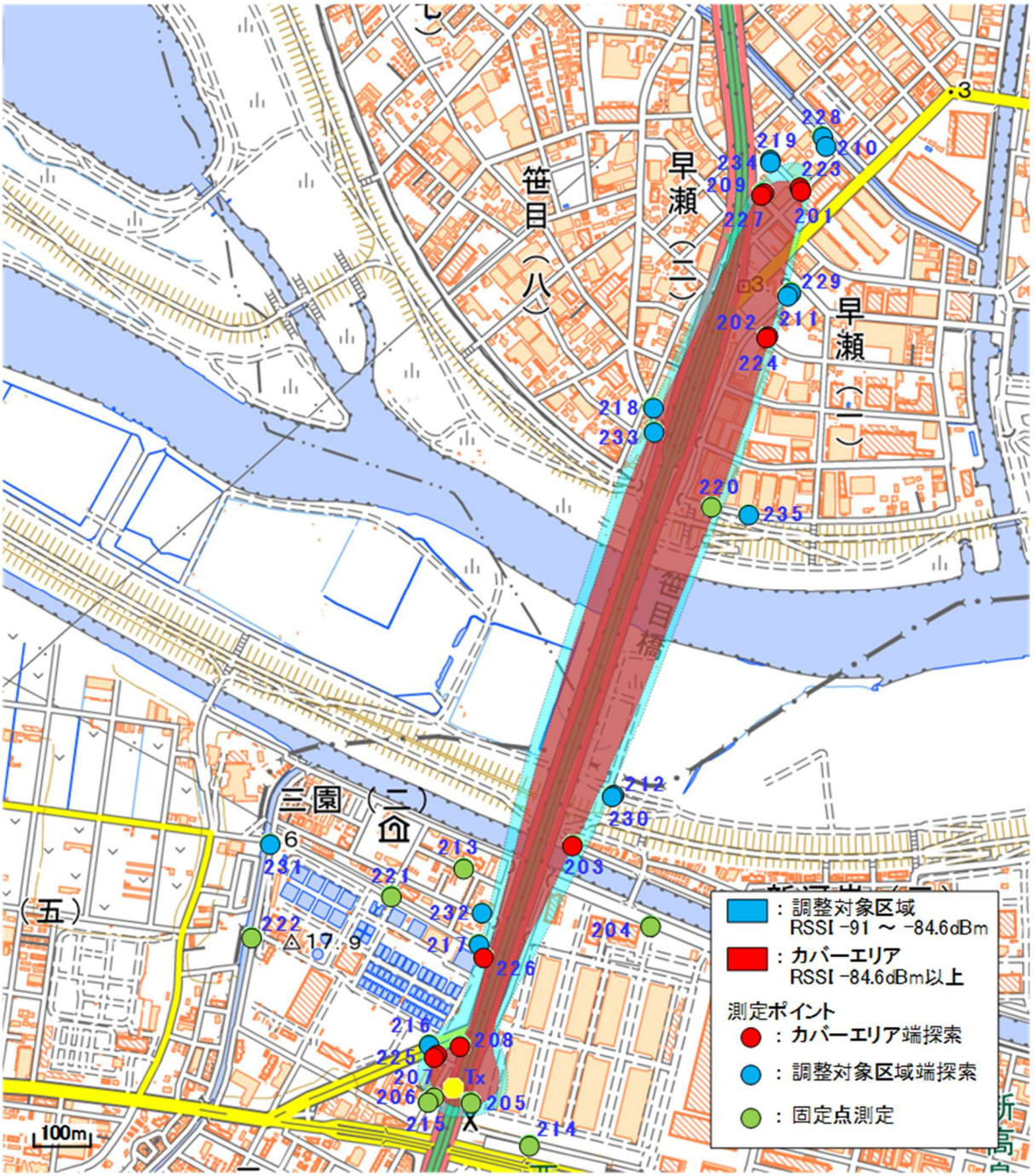
a. 実証フィールド、測定点

区間①においては、図 3-46 で示した仮説エリアのカバーエリア、干渉調整エリアの境界線になると想定されるポイントを重点に、測定点を選定した。高速道路上、河川敷エリアの精緻化パラメータ S の仮説値（開放地：32.5dB）を検証するために、図 3-73 に示す 14 ポイントを選定した。また、市街地エリアに対する精緻化パラメータ S の仮説値（郊外地：12.3dB）の妥当性を検証するために、図 3-74 に示す 35 ポイントを選定した。



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-73　区間① 測定点（高速道路上及び河川敷）



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-74　区間① 測定点（道路外）

仮説エリア図では、アンテナ付近の電波漏洩はほとんど見込まれていないが、アンテナが高架上のしかも遮音壁より高い設置されていること、アンテナ周辺は建物の密度が高くなくアンテナのサイドローブ成分が数百 m 程度にわたり漏洩する可能性があることを考慮し、アンテナ周辺においても測定ポイントを設け、精緻化パラメータの妥当性を評価・検証した。

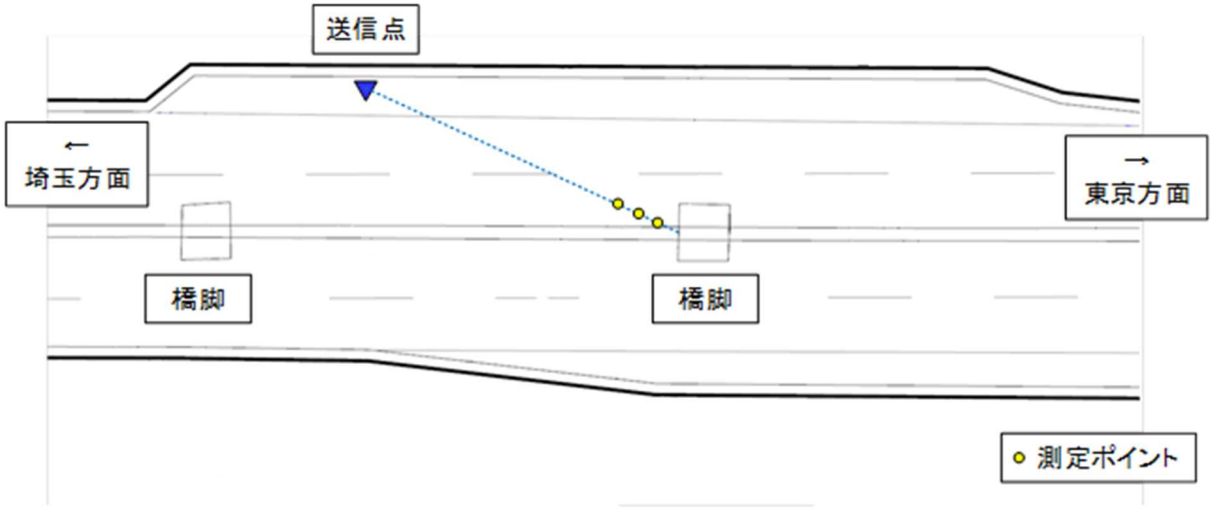


図 3-75　区間①送信点付近の上面図

高架下においては、周囲の建物からの反射波等の受信を回避するため、アンテナを遮音壁より 30cm 低い位置に設置して実験を実施した。測定ポイントの選定にあたっては、道路面からの透過損失について、精緻化パラメータ R を用いて検証するため、図 3-75 に示すようにアンテナ位置から橋脚方向に引いた放射線上に測定点を配置した。また、各測定点において高さ方向に一定間隔で測定点を配置し、合計 12 ポイントを設定した。図 3-76 に測定点の位置を示す。

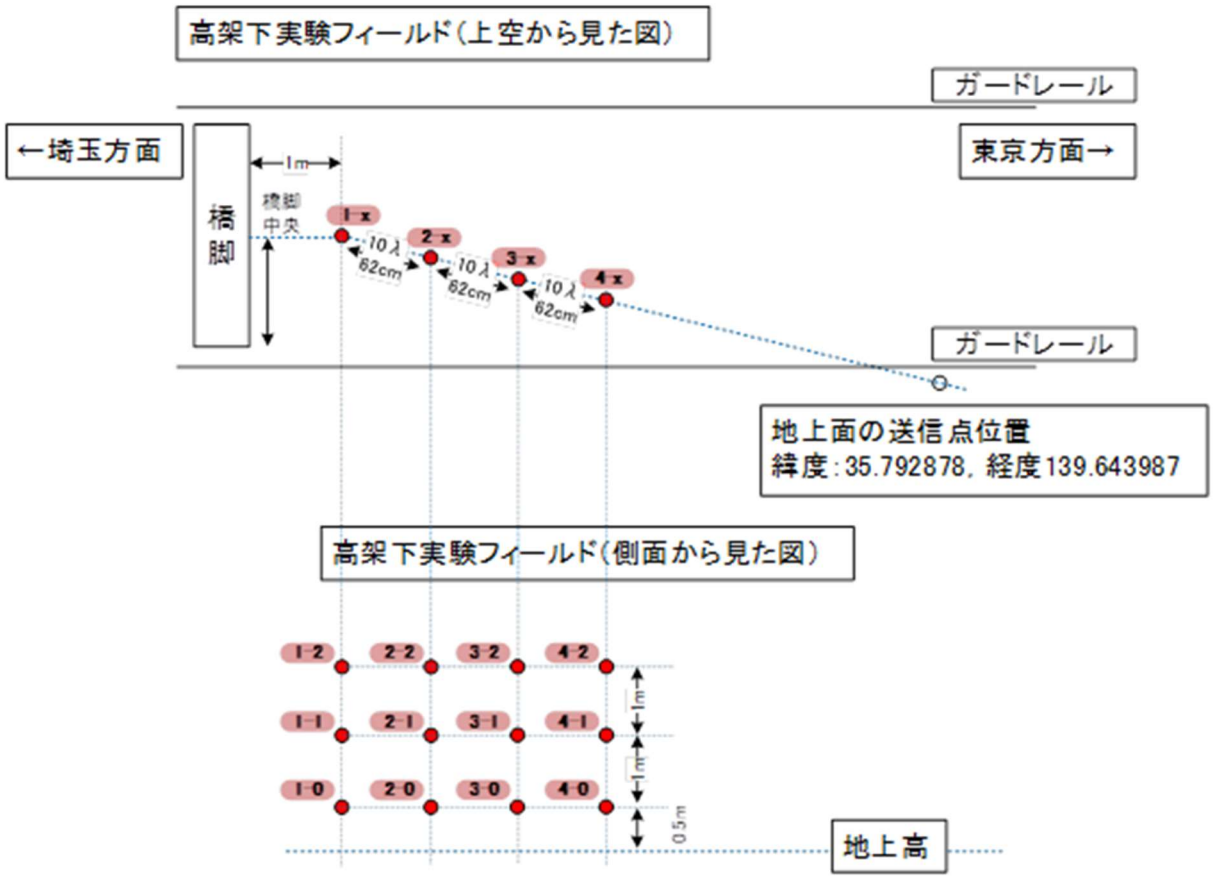


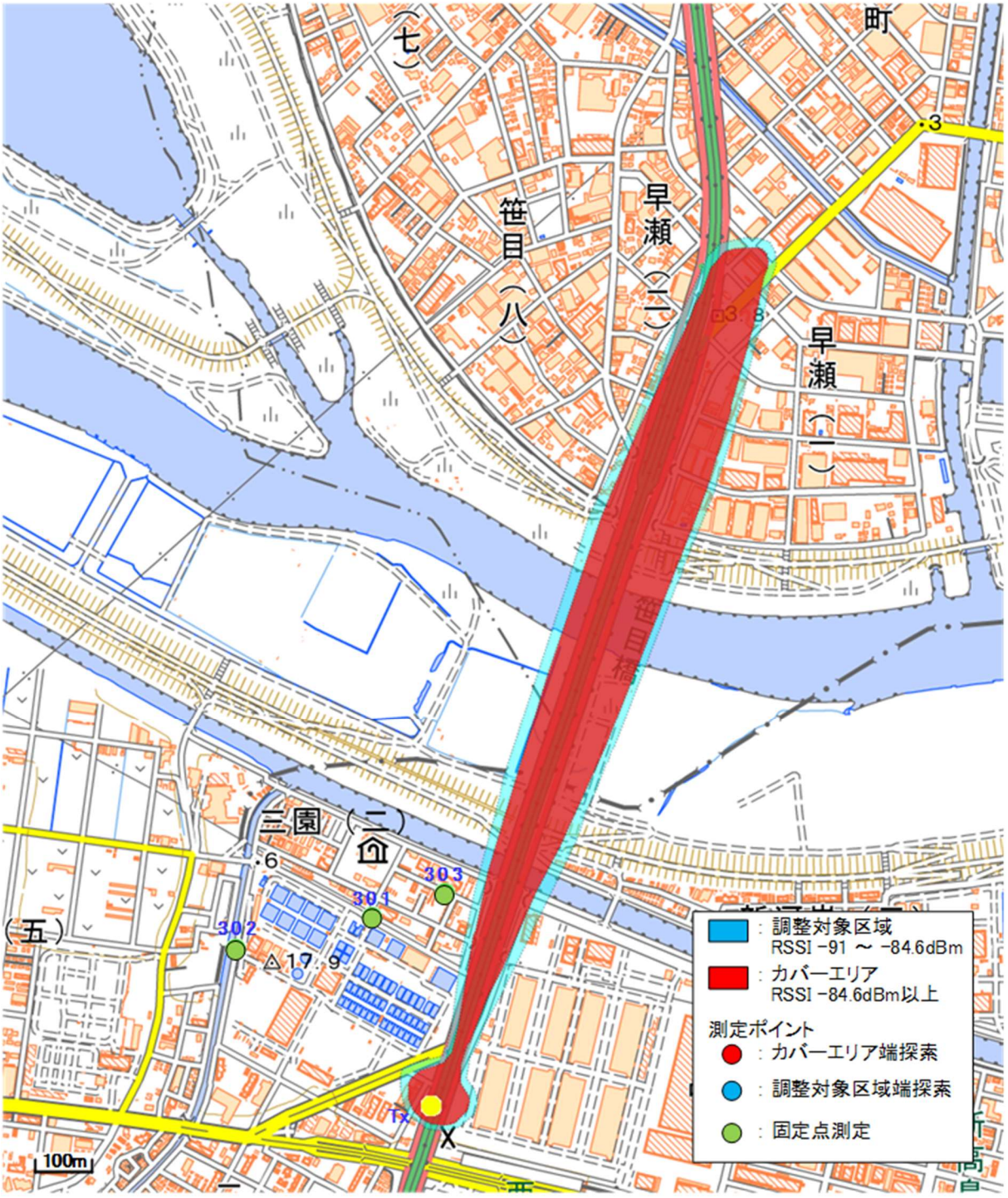
図 3-76　区間①高架下 測定ポイント

本実証で検討する精緻化パラメータに対する測定点の内訳は表 3-12 に示すとおりである。

表 3-12 区間①精緻化パラメータと対象測定点

環境条件	仮説パラメータ／仮説値	対象測定点
高速道路上	S 32.5dB(開放地)	図 3-73 No.102-107
河川敷	S 32.5dB(開放地)	図 3-73 No.101、108-114
周辺市街地	S 12.3dB(郊外地)	図 3-74 No.201-235
高架下	R 16.2dB(コンクリート)	図 3-76 No.1-0, 1-1, 1-2, 2-0, 2-1, 2-2, 3-0, 3-1, 3-2, 4-0, 4-1, 4-2

送信アンテナの西側に設置される高さ 3m 程の遮音壁による電波の遮蔽効果を検証するために、遮音壁高より-30cm の位置にアンテナを設置した状態で、図 3-77 に示す測定点で受信レベルの測定を行い、遮音壁高より 70cm 高い位置にアンテナを設置した場合と同じ測定点（図 3-74 の測定点 No.213、221、222）で取得した測定と比較を行った。



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-77　区間① 測定ポイント（遮音壁の効果検証）

区間①のアンテナの遮音壁対する設置状況を図 3-78 に示す。

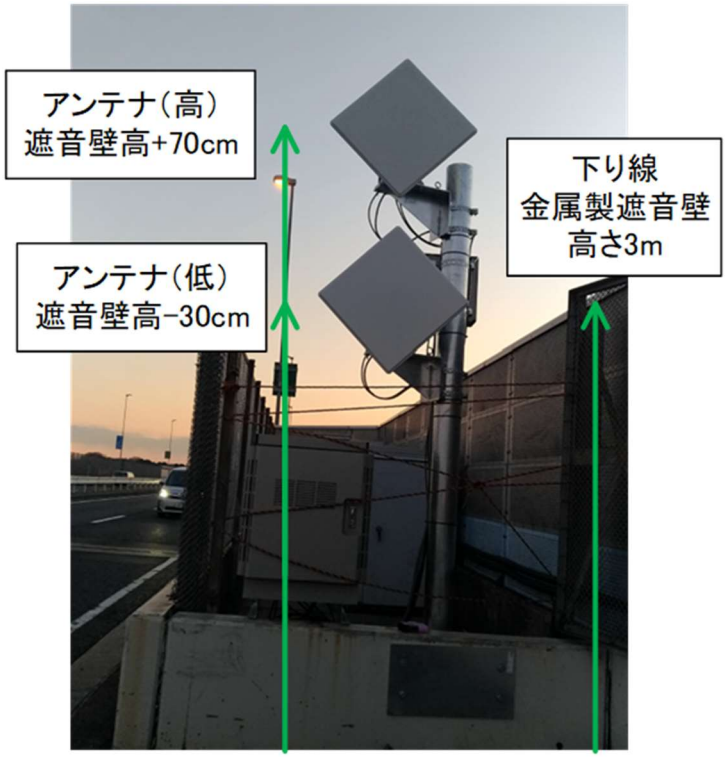


図 3-78　区間①下り線遮音壁に対するアンテナの設置状況

b. 受信電力の測定によるカバーエリア、調整対象区域の検証

図 3-73、図 3-74 に示す測定点で、区間①周辺の受信電力を測定した。実測においては、仮説値のカバーエリア端、調整対象区域端の測定に加え、実際のカバーエリア端、調整対象区域端の特定も行った。測定点の情報を表 3-13、表 3-14 に示す。

表 3-13　区間①測定点（高速道路上及び河川敷）の測定点情報

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)	備考
101	1046.93	1046.9	5.0	20.7	11.6	1.5	0	2023/01/31	高速外河川敷：カバーエリア端探索
102	1490.32	1490.3	5.0	20.7	16.6	1.5	0	2023/01/30	高速内：固定点測定
103	1212.55	1212.5	5.0	20.7	13.1	1.5	0	2023/01/30	高速内：固定点測定
104	892.20	892.2	5.0	20.7	15.4	1.5	0	2023/01/30	高速内：固定点測定
105	582.04	582.0	5.0	20.7	15.1	1.5	0	2023/01/30	高速内：固定点測定
106	292.19	292.0	5.0	20.7	14.3	1.5	0	2023/01/30	高速内：固定点測定
107	36.64	36.5	5.0	20.7	21.5	1.5	0	2023/01/30	高速内：固定点測定
108	1038.15	1038.1	5.0	20.7	11.7	1.5	0	2023/01/31	高速外河川敷：固定点測定
109	530.87	530.6	5.0	20.7	8.6	1.5	1	2023/01/31	高速外河川敷：カバーエリア端探索
110	1047.18	1047.1	5.0	20.7	11.5	1.5	0	2023/01/31	高速外河川敷：カバーエリア端探索
111	1054.02	1053.9	5.0	20.7	11.6	1.5	0	2023/01/31	高速外河川敷：カバーエリア端探索
112	1069.04	1068.9	5.0	20.7	6.9	1.5	1	2023/01/31	高速外河川敷：カバーエリア端探索
113	1082.12	1082.1	5.0	20.7	12.1	1.5	0	2023/01/31	高速外河川敷：カバーエリア端探索
114	1088.43	1088.3	5.0	20.7	10.3	1.5	1	2023/01/31	高速外河川敷：調整エリア端探索

表 3-14　区間①測定点(道路外)の測定点情報

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)	備考
201	1617.81	1617.6	5.0	20.7	1.1	1.5	1	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
202	1368.77	1368.6	5.0	20.7	1.6	1.5	1	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
203	456.58	456.2	5.0	20.7	4.4	1.5	1	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
204	429.03	428.5	5.0	20.7	3.1	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定
205	43.04	37.7	5.0	20.7	3.5	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定
206	41.76	36.1	5.0	20.7	3.3	1.5	0	2023/01/31	高速外：固定点測定
207	67.40	63.9	5.0	20.7	2.8	1.5	1	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
208	75.85	72.8	5.0	20.7	3.1	1.5	0	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
209	1592.68	1592.5	5.0	20.7	1.7	1.5	1	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
210	1704.52	1704.4	5.0	20.7	1.4	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
211	1445.60	1445.4	5.0	20.7	1.5	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
212	560.65	560.2	5.0	20.7	2.6	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
213	370.59	370.0	5.0	20.7	3.8	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定
214	159.79	158.4	5.0	20.7	3.3	1.5	0	2023/01/31	高速外：固定点測定
215	51.83	47.4	5.0	20.7	3.3	1.5	0	2023/01/31	高速外：固定点測定
216	86.29	83.6	5.0	20.7	2.9	1.5	0	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
217	247.36	246.5	5.0	20.7	4.0	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
218	1192.61	1192.4	5.0	20.7	1.8	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
219	1650.05	1649.9	5.0	20.7	1.4	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
220	1071.15	1070.9	5.0	20.7	2.8	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定
221	341.20	340.5	5.0	20.7	3.0	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定
222	423.71	423.2	5.0	20.7	2.8	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定
223	1623.94	1623.8	5.0	20.7	1.4	1.5	1	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
224	1368.97	1368.8	5.0	20.7	1.6	1.5	1	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
225	66.78	63.3	5.0	20.7	2.8	1.5	1	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
226	228.24	227.4	5.0	20.7	4.4	1.5	0	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
227	1591.63	1591.5	5.0	20.7	1.7	1.5	1	2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索
228	1716.75	1716.6	5.0	20.7	1.5	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
229	1453.87	1453.7	5.0	20.7	1.5	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
230	560.52	560.1	5.0	20.7	2.6	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
231	514.06	513.7	5.0	20.7	4.1	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
232	298.87	298.1	5.0	20.7	3.3	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
233	1155.47	1155.3	5.0	20.7	2.5	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
234	1648.49	1648.3	5.0	20.7	1.4	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索
235	1085.73	1085.5	5.0	20.7	3.1	1.5	1	2023/01/31	高速外：調整エリア端探索

図 3-73、図 3-74 に示すカバーエリア端と調整対象区域端で実測した受信電力値、エリア算出式で得た受信電力値とを比較した。結果を表 3-15 及び表 3-16 に示す。

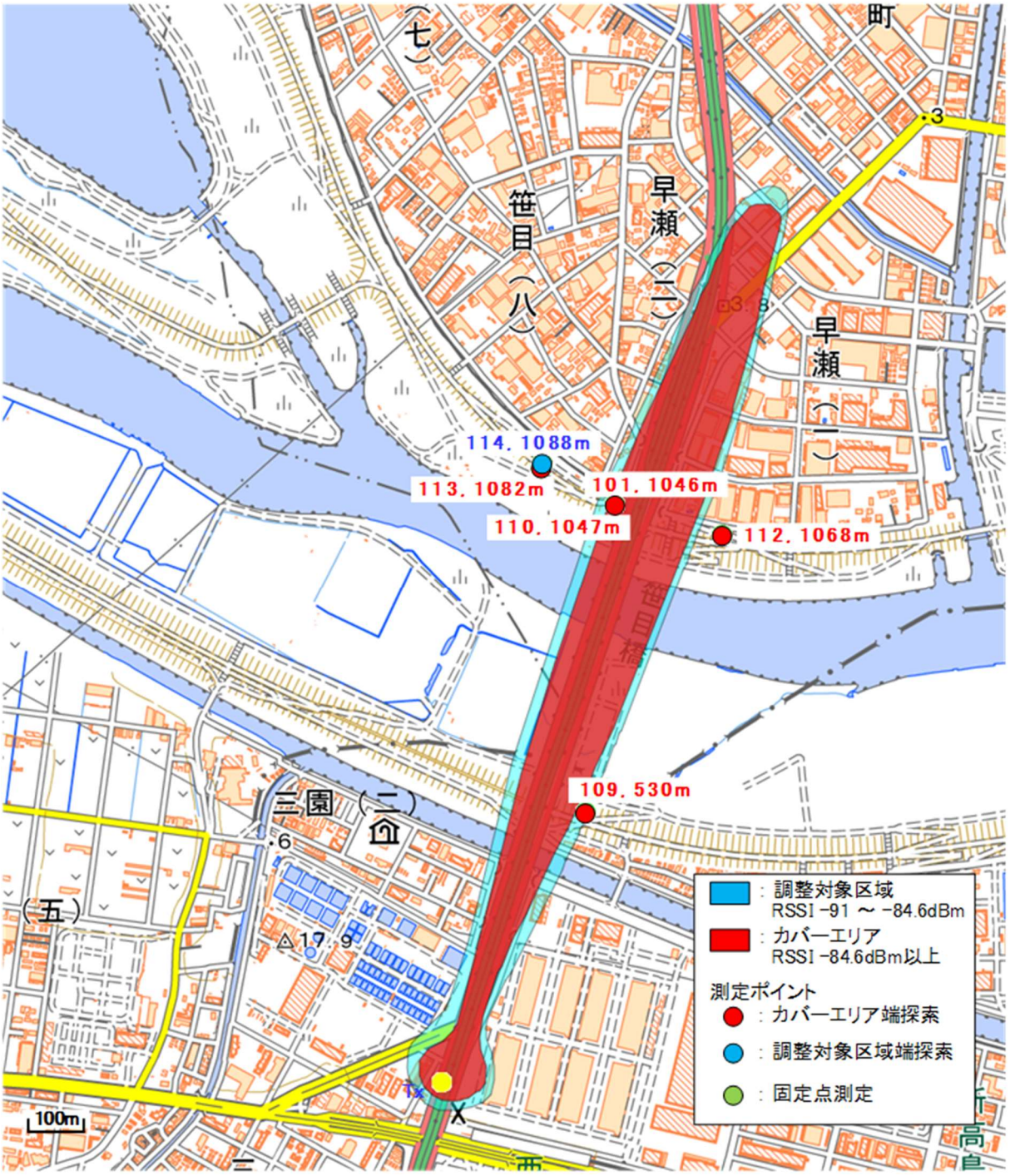
表 3-15　エリア算出式と実測値の受信電力の比較(区間①高速道路上及び河川敷)

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
101	-108.3	-117.4	-117.6	4.5	-111.6	-123.8
102	-108.6	-105.4	-105.7	3.0	-102.2	-109.7
103	-105.3	-113.5	-113.9	3.3	-110.0	-118.4
104	-100.5	-100.1	-100.2	2.6	-96.9	-103.6
105	-94.0	-97.3	-98.1	4.8	-92.7	-104.7
106	-86.4	-87.4	-87.7	4.3	-82.4	-93.4
107	-125.1	-93.1	-92.1	5.3	-84.0	-97.8
108	-109.4	-92.4	-93.0	2.6	-90.4	-96.2
109	-120.0	-119.7	-119.8	1.7	-117.8	-122.0
110	-108.4	-118.1	-118.2	4.1	-113.2	-123.7
111	-128.7	-95.6	-95.8	2.0	-93.6	-98.4
112	-131.5	-119.4	-119.2	3.0	-115.2	-123.2
113	-133.6	-119.5	-120.0	4.4	-114.8	-126.1
114	-134.0	-126.2	-126.7	3.5	-123.1	-131.3

表 3-16　エリア算出式と実測値の受信電力の比較（区間①道路外）

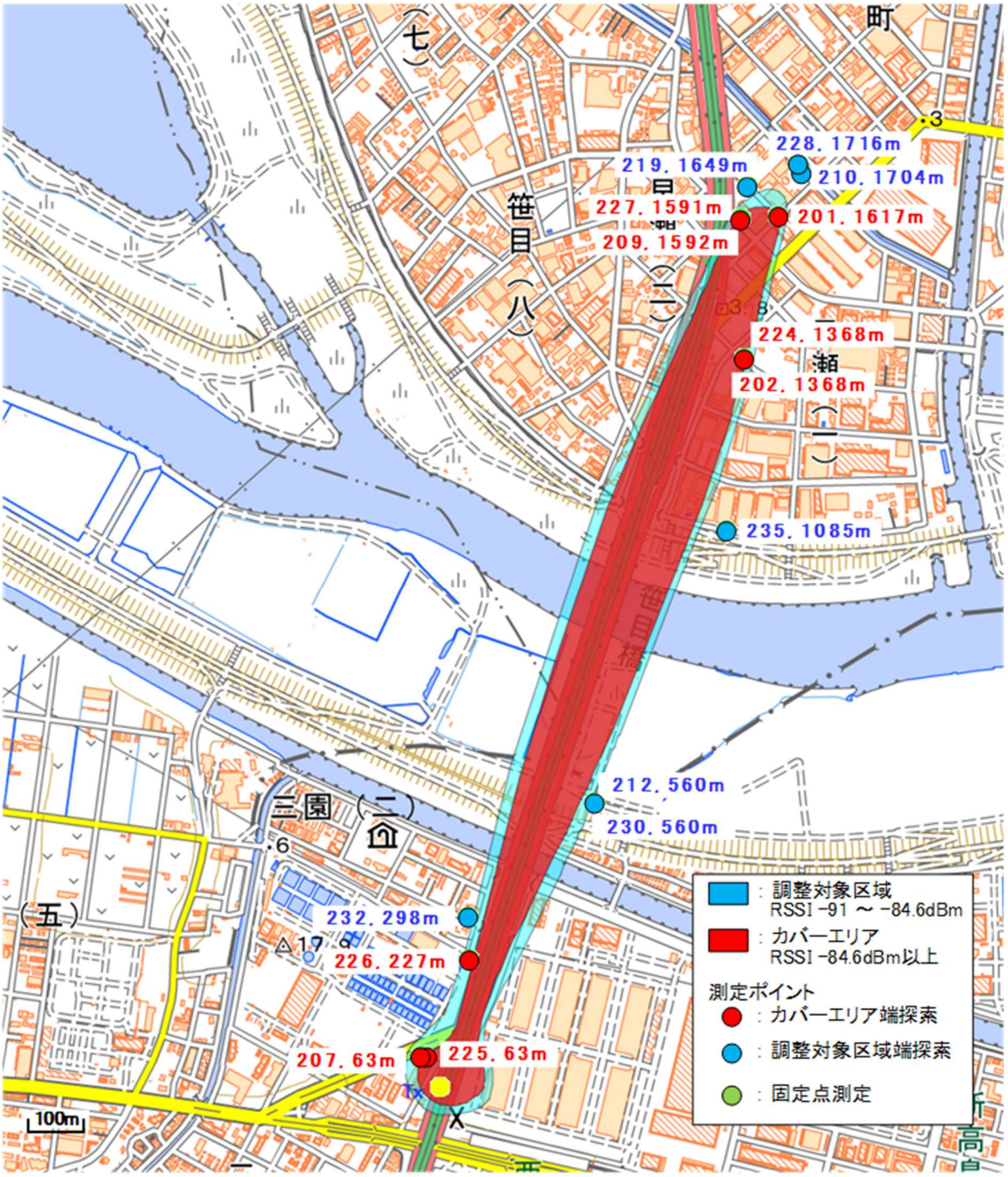
測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
201	-130.3	-119.4	-119.9	2.5	-117.0	-123.6
202	-130.1	-121.0	-121.1	1.9	-118.7	-123.6
203	-136.6	-101.6	-102.3	3.4	-98.9	-107.0
204	-149.8	-122.0	-122.0	3.3	-117.8	-126.3
205	-118.6	-120.0	-120.1	2.3	-117.4	-122.8
206	-122.9	-128.9	-129.1	3.5	-124.9	-133.6
207	-110.0	-118.8	-118.9	3.3	-114.4	-123.2
208	-115.2	-114.9	-115.2	3.3	-111.1	-119.5
209	-129.8	-119.1	-119.2	3.2	-115.2	-123.4
210	-131.3	-124.5	-124.7	2.1	-122.2	-127.5
211	-131.5	-121.5	-121.5	2.8	-118.0	-125.0
212	-137.4	-126.5	-127.3	3.7	-123.3	-132.6
213	-137.7	-129.4	-129.8	3.7	-125.4	-134.9
214	-139.8	-124.7	-124.9	3.2	-121.1	-128.8
215	-126.1	-125.0	-125.4	2.9	-122.1	-129.3
216	-115.8	-106.4	-107.2	4.8	-101.7	-113.7
217	-124.6	-121.5	-121.5	2.5	-118.4	-124.7
218	-131.4	測定不可(-143dBm以下)				
219	-130.5	-123.6	-123.7	2.2	-121.0	-126.5
220	-129.9	-123.2	-123.2	3.0	-119.3	-126.8
221	-136.9	-131.2	-131.5	3.9	-127.3	-136.4
222	-141.6	測定不可(-143dBm以下)				
223	-130.3	-119.3	-119.6	2.7	-116.4	-123.3
224	-130.1	-120.7	-120.7	1.3	-119.2	-122.3
225	-111.3	-118.1	-118.1	3.1	-114.1	-122.0
226	-114.5	-117.1	-116.7	3.2	-113.1	-120.2
227	-129.8	-118.7	-118.7	2.6	-115.2	-121.9
228	-131.2	-125.6	-125.8	2.7	-122.5	-129.3
229	-132.1	-120.4	-120.6	2.1	-118.1	-123.4
230	-137.4	-128.6	-128.8	2.9	-125.3	-132.3
231	-144.7	-133.6	-133.9	3.7	-129.5	-139.3
232	-130.4	-126.3	-126.6	3.2	-122.8	-130.9
233	-129.0	-134.3	-134.7	3.0	-131.2	-138.8
234	-130.5	-125.1	-125.4	2.9	-122.2	-128.7
235	-156.9	-124.1	-124.2	3.3	-120.1	-128.3

探索により得たカバーエリア端、調整対象区域端に該当する測定点を地図上にプロットし、基地局からの距離を追記した。 図 3-79 に高速道路上及び河川敷の場合について、図 3-80 に道路外の場合について示す。



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-79　区間①（高速道路上及び河川敷）カバーエリア端、調整対象区域端と基地局からの 2 次元距離



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-80　区間①(道路外)カバーエリア端、調整対象区域端と基地局からの 2 次元距離

図 3-79 より、アンテナメインローブ方向から少し外れた位置の河川敷のエリアにおいてカバーエリア端、調整対象区域端が存在することを確認した。また、河川敷のエリアでは受信電力の変動が比較的大きいことを確認した。これは、河川敷周辺は起伏が激しく、基地局との見通し関係が変化するためだと考えている。高速道路上及び河川敷のエリアにおける精緻化前の算出式と実測値との RMSE は 14.84 であった。

図 3-80 より、荒川の南側、北側のそれぞれにカバーエリア端、調整対象区域端の測定点があることが確認された。これは、荒川の北側の測定点に関してはメインローブ等の指向性の強い電波が伝搬し、反射や回折によって測定点まで到達したと考えられる。また、荒川の南側の測定点に関しては、アンテナのメインローブからは大きく外れた、指向性の強くない方向から射出された電波が道路外へ漏れたことにより電波が測定点まで到達したと考えられる。道路外のエリアにおける精緻化前の算出式と実測値との RMSE は 12.46 であった。

表 3-17 精緻化条件と精緻化前の S 値、実測値との RMSE の結果

No.	箇所 影響要因	条件	S [dB]	精緻化前の実測値との RMSE[dB]
1	区間① 高速道路上及び河川敷 開放地	基地局から沿線に沿って建物が存在しないエリア	32.5	14.84
2	区間① 道路外 郊外地	主に 2 階建て程度の家屋が密集するエリア	12.3	12.46

続いて、パラメータ R の精緻化のため高架下に設定した測定点を図 3-81、測定点情報を表 3-18 に示す。各測定点にける受信電界の実測値とエリア算出式で得た受信電界値とを比較した。結果を表 3-19 に示す。

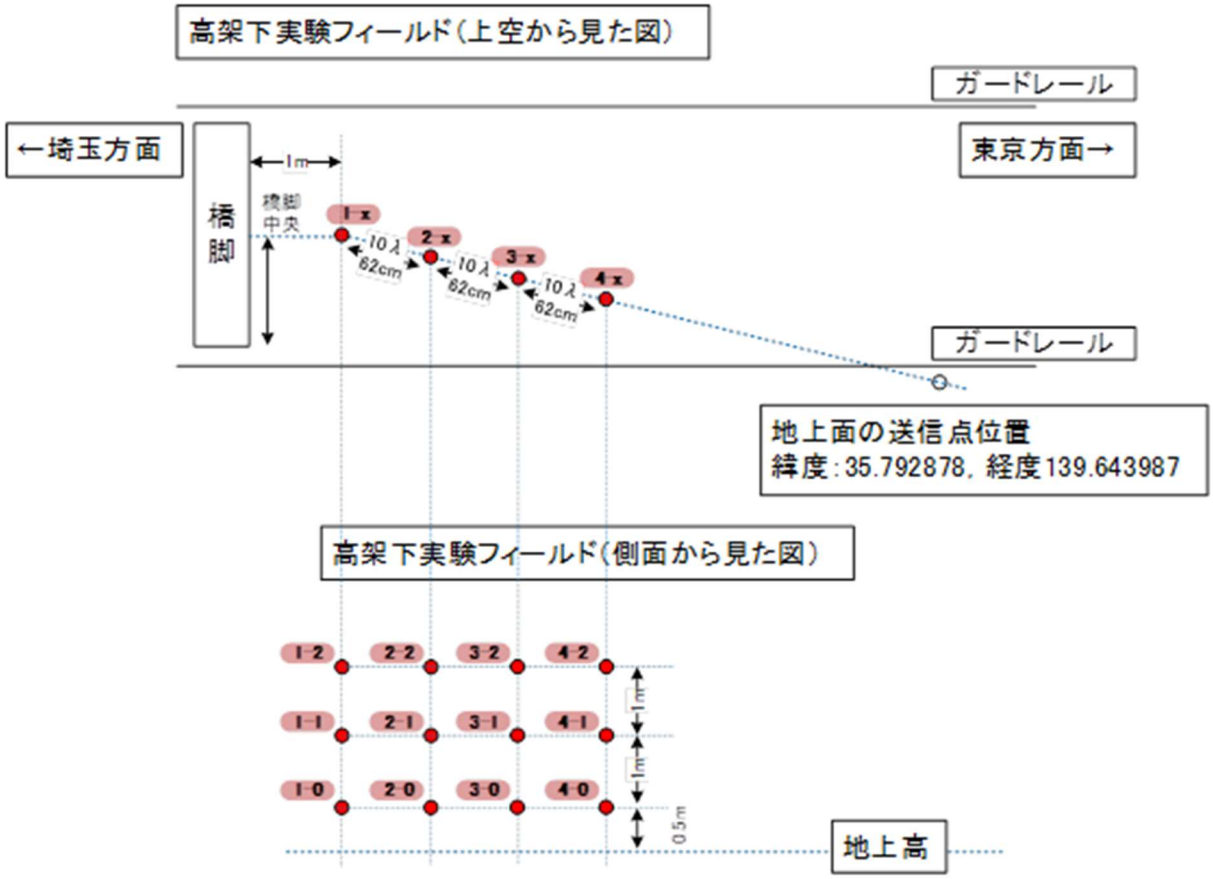


図 3-81　区間①測定点（高速高架下）（再掲）

表 3-18　区間①測定点（高架下）の測定点情報

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	測定点標高 [m]	端末（測定器）アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)	備考
1-0	28.39	20.9	5.0	19.7	5.0	0.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
2-0	27.82	20.1	5.0	19.7	5.0	0.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
3-0	27.37	19.5	5.0	19.7	5.0	0.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
4-0	26.98	18.9	5.0	19.7	5.0	0.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
1-1	27.72	20.9	5.0	19.7	5.0	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
2-1	27.14	20.1	5.0	19.7	5.0	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
3-1	26.68	19.5	5.0	19.7	5.0	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
4-1	26.28	18.9	5.0	19.7	5.0	1.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
1-2	27.07	20.9	5.0	19.7	5.0	2.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
2-2	26.48	20.1	5.0	19.7	5.0	2.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
3-2	26.00	19.5	5.0	19.7	5.0	2.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下
4-2	25.59	18.9	5.0	19.7	5.0	2.5	1	2023/01/31	高速外：固定点測定:高架下

表 3-19 エリア算出式と実測値の受信電力の比較(区間①高架下)

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
1-0	-119.3	-131.1	-131.3	2.7	-127.8	-134.8
2-0	-119.3	-129.3	-129.9	3.3	-126.2	-134.3
3-0	-119.5	-129.5	-129.7	2.9	-126.1	-133.3
4-0	-120.3	-129.6	-129.8	3.2	-126.0	-134.0
1-1	-120.3	-124.2	-124.6	2.2	-122.1	-127.4
2-1	-119.2	-124.3	-124.7	2.4	-121.9	-128.0
3-1	-118.8	-126.0	-126.4	3.0	-123.2	-129.9
4-1	-118.6	-125.9	-126.3	2.3	-123.9	-129.1
1-2	-122.6	-123.2	-123.3	2.6	-120.1	-126.5
2-2	-120.7	-123.6	-124.0	2.7	-121.1	-127.8
3-2	-119.5	-125.5	-126.1	2.8	-123.2	-130.1
4-2	-118.8	-126.1	-126.4	2.7	-123.2	-130.0

表 3-19 より、測定点全体を通して算出式の受信電力推定結果よりも実測値が低い結果となった。これにより、精緻化パラメータ R が仮説値として採用した 16.2 より大きい値であることが見込まれることが分かる。今回の実証におけるコンクリートは、高速道路の高架であり、図 3-82 に示したように一部中空構造があるものの、住宅等に用いられるコンクリートよりは厚みがあるため、精緻化パラメータ R の値は仮説値よりも大きくなることが見込まれる。

表 3-20 精緻化条件と精緻化前の R 値、実測値との RMSE の結果

No.	箇所 影響要因	条件	R [dB]の仮説値	精緻化前の実測値との RMSE[dB]
3	区間① 高架下	基地局付近の高架下(図 3-81)	16.2	7.53

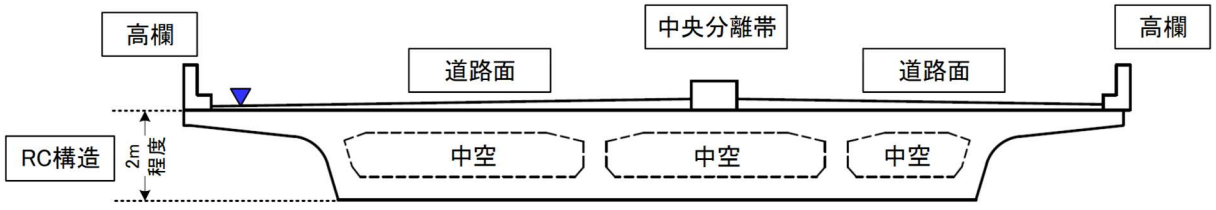


図 3-82 区間①送信点付近の高速道路断面構造(再掲)

遮音壁による漏洩電波の抑制効果を検証するために、高さの異なるアンテナからの実測値を表 3-21 で比較検証を行った。アンテナの西側に位置する遮音壁の高さより+70cm のアンテナ高を有するアンテナ(以後、「アンテナ(高)」と呼称)と、-30cm のアンテナ高を有するアンテナ(以後、「アンテナ(低)」と呼称)とから、アンテナ系を切り替えて電波を発射し、地上の同じ測定点で受信電界値を測定した。2 台のアンテナの方位とチルト角は同一とした。

狭指向性アンテナのサイドローブ成分は数百 m 程度にわたり漏洩すると想定していたが、設

定した測定点での測定値は微弱なレベルとなったため、遮音壁の漏洩抑制効果を検証するに至らなかった。アンテナ周辺の西側エリアは東京都水道局の土地となっているため、見通しが良好な評価に適した測定点を確保することができなかった。

表 3-21 遮音壁に対するアンテナ高の違いよる実測値の受信電力の比較(区間①道路外)

測定点ID	アンテナ高（遮音壁高+70cm）受信電力 [dBm]	アンテナ高（遮音壁高-30cm）受信電力 [dBm]	遮音壁による改善値 [dB]	備考
	中央値	中央値	中央値	
301		-134.8	-2.1	アンテナ低　高速外：固定点測定
221	-136.9			アンテナ高　高速外：固定点測定
302		測定不可(-143dBm以下)	1.4以上	アンテナ低　高速外：固定点測定
222	-141.6			アンテナ高　高速外：固定点測定
303		-134.2	-3.5	アンテナ低　高速外：固定点測定
213	-137.7			アンテナ高　高速外：固定点測定

c. 電波伝搬モデルの精緻化

区間①の「高速道路上及び河川敷」「道路外」それぞれにおいて、精緻化パラメータは S を対象としている。精緻化は、図 3-73、図 3-74 ごとに実施している。

精緻化に用いた式を式(3-1)、式(3-2)に示す。S 値の精緻化にあたり、式(3-1)により、各測定点 i の実測の伝搬損失 Lmes.(i)と、精緻化パラメータ S の値に依存する算出式の伝搬損失 Lpred.(i, S)から計算できる E が最小となる S 値を Microsoft Excel のソルバー機能により求めている。なお、式(3-2)は実測値の伝搬損失における式であり、Pr は受信電力、Pt は給電線損失を考慮した送信電力、Gt は送信アンテナ利得、Gr は受信アンテナ利得である。

$$E = \sum_i \{L_{pred.}(i, S) - L_{mes.}\}^2 \quad (3\text{-}1)$$

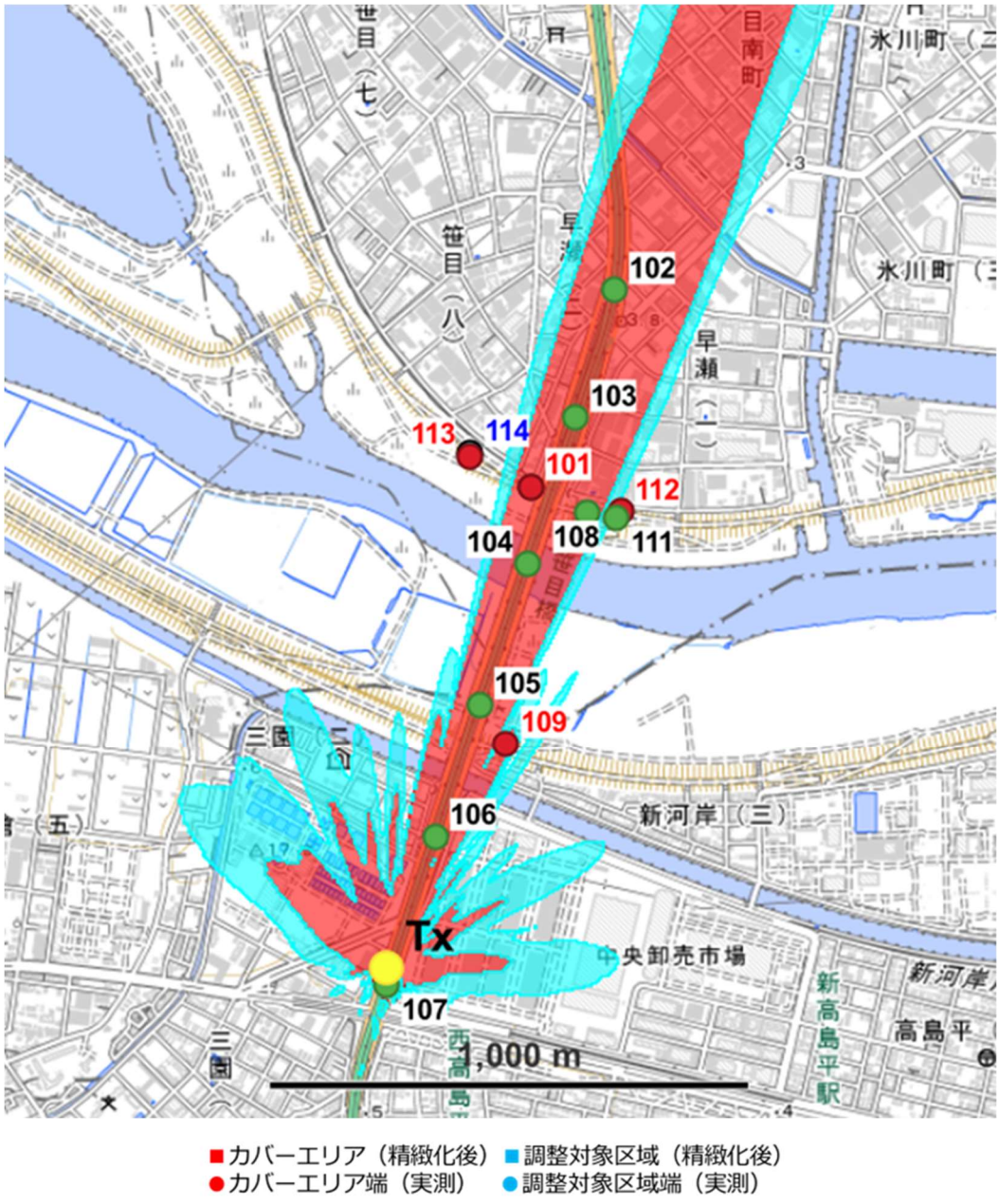
$$L_{mes.} = -(P_r - G_t - G_r - P_t) \quad (3\text{-}2)$$

精緻化の結果、推定した S の値と、精緻化前後の伝搬損失実測値との RMSE を表 3-22 に示す。また、精緻化後の S 値を用いたカバーエリア及び調整対象区域のエリアと、実測により探索したカバーエリア端、調整対象区域端の結果を図 3-83 及び図 3-84 に示す。精緻化後の S 値を用いたエリア算出式と実測値の伝搬損失の比較を行った結果を図 3-85 及び図 3-86 に示す。

表 3-22 精緻化条件と精緻化前後の S 値、実測値との RMSE の結果

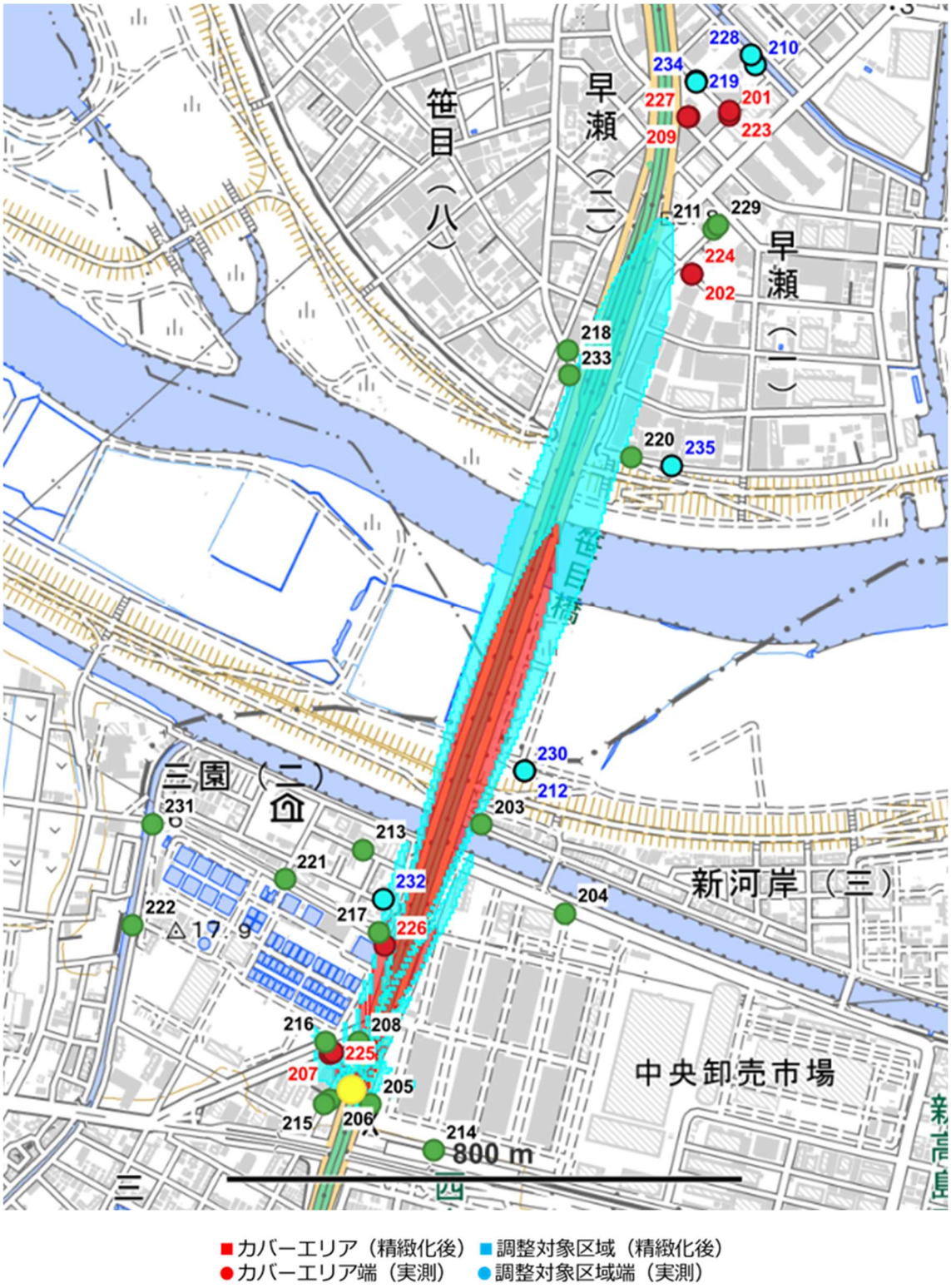
測定	箇所 影響要因	条件	精緻化後の S [dB]	精緻化前の実測値との RMSE[dB]	精緻化後の実測値との RMSE[dB]
1	区間① 高速道路上及び河川敷 開放地	建物や障害物等が存在せず、開けたエリア	仮説値: 32.5 精緻化後: 39.03	14.84	13.97

測定	箇所 影響要因	条件	精緻化後の S [dB]	精緻化前の 実測値との RMSE[dB]	精緻化後の 実測値との RMSE[dB]
2	区間① 道路外 郊外地	移動局近傍に建物、障害物はあるが密集はしていないエリア	仮説値: 12.3 精緻化後: 22.07	12.46	8.69



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-83 精緻化後のカバーエリア、調整対象区域（区間①高速道路上及び河川敷）



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-84　精緻化後のカバーエリア、調整対象区域（区間①道路外）

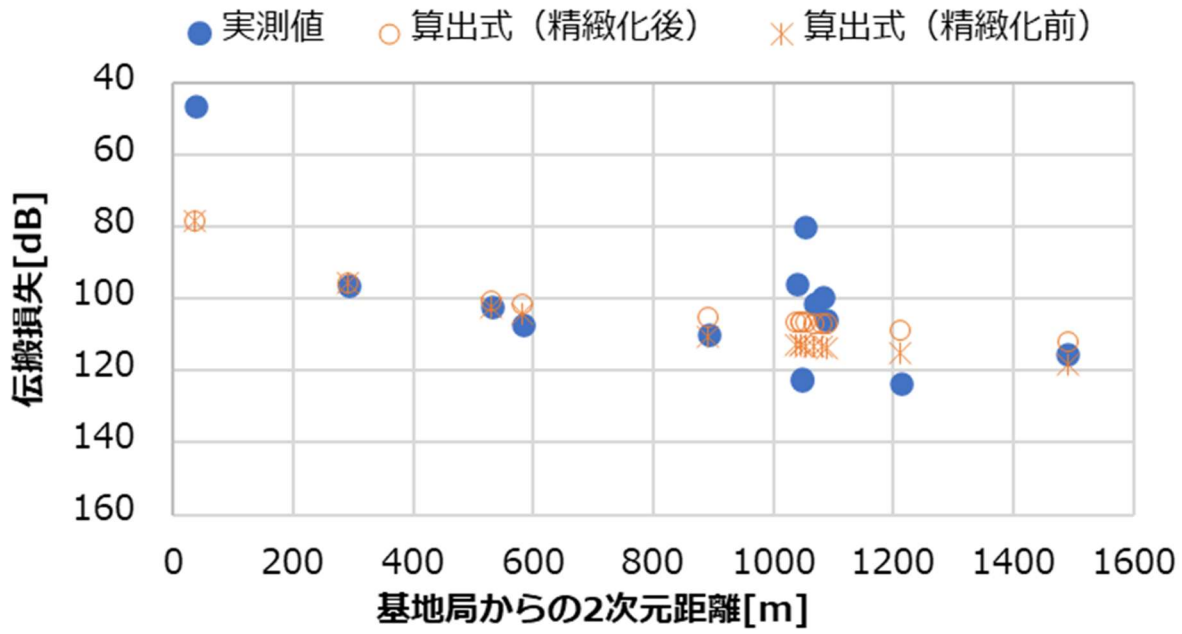


図 3-85　精緻化前後の伝送損失の比較（区間①高速道路上及び河川敷）

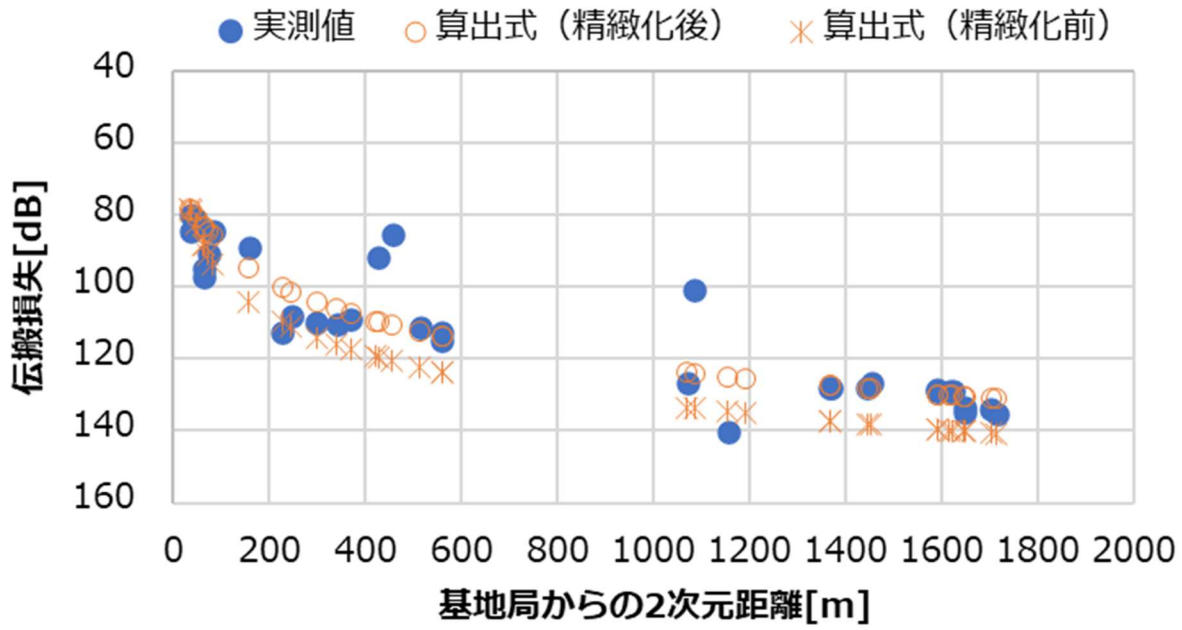


図 3-86　精緻化前後の伝送損失の比較（区間①道路外）

図 3-85 より、河川敷付近の測定点及びアンテナ後方の測定点（ID107）がグラフから外れ値となっていることを確認した。狭指向性アンテナ後方の測定点は、送信アンテナ利得が非常に低くなるため、S の精緻化を実施する際にアンテナ前方の測定点と傾向が大きく異なり、エリア算出式に対して外れ値となりやすいと考える。河川敷付近の測定点は基地局から 1,000 m 以上の

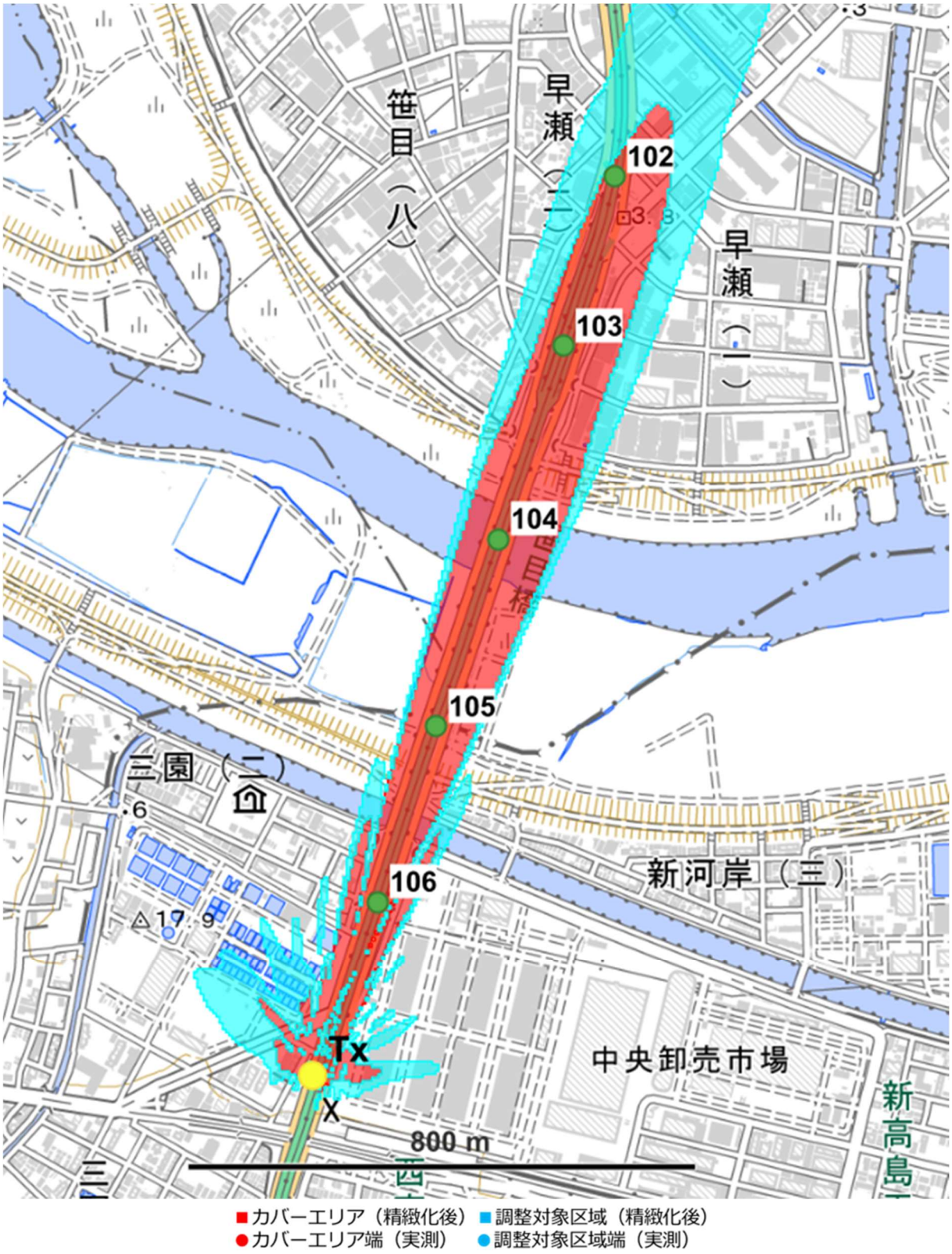
距離があるため、アンテナ方位がわずかにずれるだけでアンテナのメインローブから外れる可能性がある。また、河川敷付近は起伏が比較的激しく、測定点によって高さが異なる。エリア算出式の伝搬損失計算は、シミュレーション上の 3 次元的な位置関係から送信アンテナ利得を導出し、その値を考慮した計算をしているが、実態の送信アンテナ利得と乖離している可能性も考えられる。これにより、算出された伝搬損失の値にバラつきが生まれたと考えている。

また、図 3-86 より実測値の伝搬損失とエリア算出式の伝搬損失の傾向がよく一致していることを確認した。このときの RMSE 値は 8.69 となり、概ね精度良く精緻化できていることを確認した。

以上の考察を鑑み、高速道路上及び河川敷のエリアの測定点において、高速道路上のアンテナのメインローブ方向のみの 5 点（ID：102～106）を用いて精緻化を試み、環境ごとに分けて精緻化することでより精度の高い受信電力推定を目指すこととした。

表 3-23 区間①(高速道路上及び河川敷)のアンテナメインローブ方向のみの測定点における精緻化後の S 値と精緻化前後の実測値との RMSE

測定	箇所 影響要因	条件	精緻化後の S [dB]	精緻化前の実測値との RMSE[dB]	精緻化後の実測値との RMSE[dB]
1’	区間① 高速道路上及び河川敷 開放地	建物や障害物等が存在せず、開けたエリア （アンテナメインローブ方向の測定点のみで精緻化）	30.34	4.22	3.84



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-87　精緻化後のカバーエリア、調整対象区域（区間①高速道路上、アンテナ前方の測定点のみ）

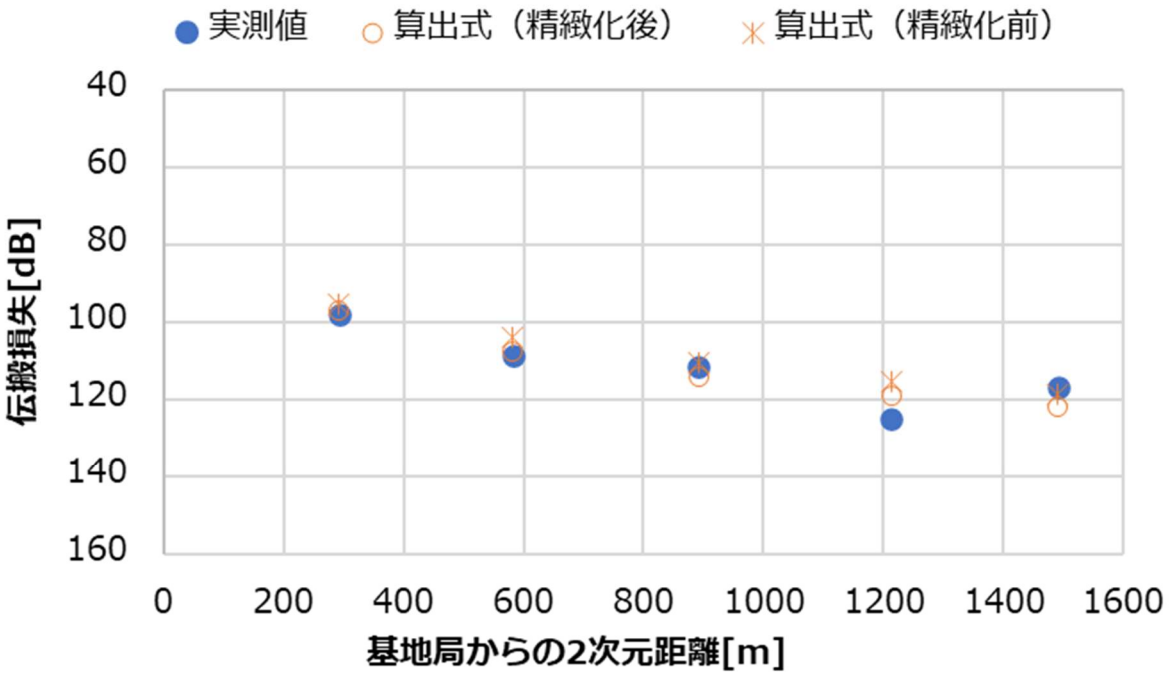


図 3-88 精緻化前後の伝搬損失の比較（区間①道路外）

図 3-88 より、高速道路上の測定点においては、実測値と精緻化後の算出式の結果が非常によく一致し、RMSE が 3.84 となったため、エリア算出式で推定可能であることを示した。以上より、今回実証した線状の開放地の環境、かつ狭指向性アンテナにおいては、アンテナのメインローブ方向に関しては非常に精度良く精緻化できることを示した。

続いて、区間①の高架下の箇所において精緻化パラメータ R の精緻化を行った結果について記述する。

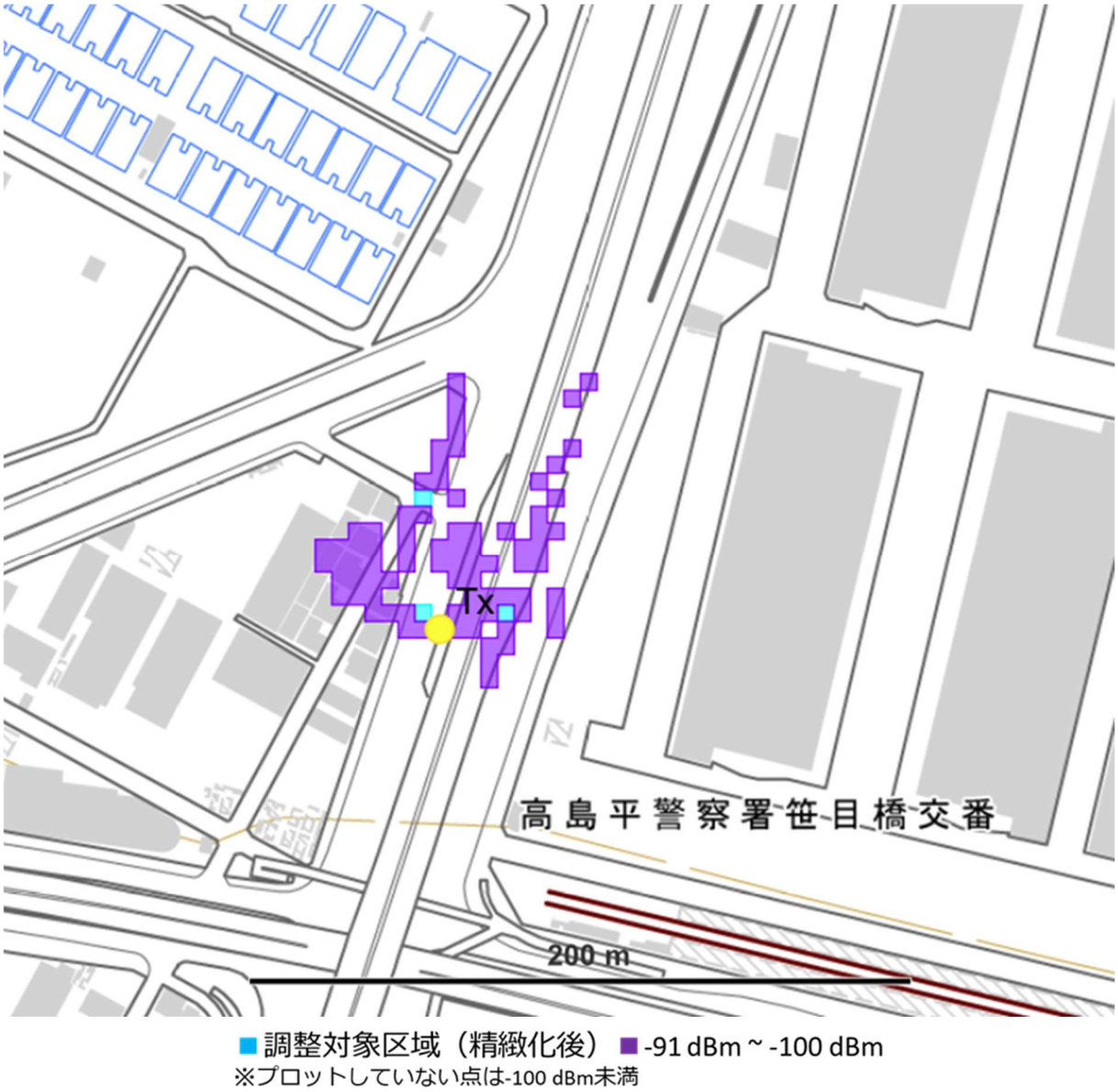
R 値の精緻化に用いた式を式(3-3)、式(3-4)に示す。R 値の精緻化にあたり、式(3-3)により、各測定点 i の実測の伝搬損失 Lmes.(i)と、精緻化パラメータ S の値に依存する算出式の伝搬損失 Lpred.(i, S)から計算できる E が最小となる S 値を Microsoft Excel のソルバー機能により求めている。なお、式(3-4)は実測値の伝搬損失における式であり、Pr は受信電力、Pt は給電線損失を考慮した送信電力、Gt は送信アンテナ利得、Gr は受信アンテナ利得である。

$$E = \sum_i \{L_{pred.}(i, R) - L_{mes.}\}^2 \quad (3\text{-}3)$$

$$L_{mes.} = -(P_r - G_t - G_r - P_t) \quad (3\text{-}4)$$

表 3-24　区間①高速高架下の測定点における R の精緻化結果と精緻化前後の RMSE の比較

測定	箇所 影響要因	条件	精緻化後の R [dB]	精緻化前の 実測値との RMSE[dB]	精緻化後の 実測値との RMSE[dB]
1	区間①	基地局付近の高架下 （図 3-81）	22.98	7.53	3.13



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-89　精緻化後のカバーエリア、調整対象区域（区間①高速高架下）

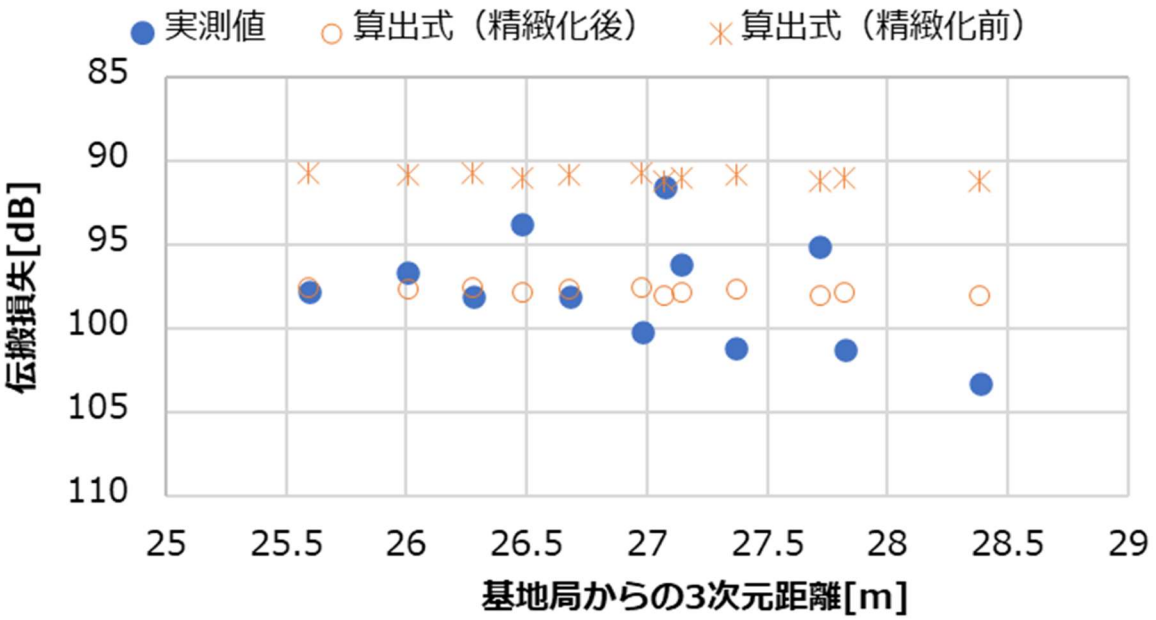


図 3-90　精緻化前後の伝搬損失の比較（区間①高速高架下）

R の精緻化の結果、精緻化後の R の値は 22.98 となり、仮説値であった 16.2 より大きな値となった。表 3-24 から、精緻化後の算出式の実測値との RMSE は 3.13 となり、高速道路の高架のような厚みのあるコンクリートに対する精緻化パラメータを特定できれば非常によく受信電力を推定できることがわかった。

図 3-90 は、基地局からの 3 次元距離に対する伝搬損失を実測値、精緻化前後のエリア算出式それぞれをプロットした図である。図 3-90 では、実測した距離範囲が短かったため、距離に応じた受信電力の減衰特性は確認できなかったが。精緻化後のエリア算出式の結果が実測値に近くなることは確認できた。

d. レイトレースシミュレーションによるカバーエリア、調整対象区域の推定

カバーエリア、調整対象区域のより精緻な推定のため、区間①においてレイトレースシミュレーションによる受信電力推定を実施した。区間①の狭指向性アンテナにおけるレイトレースシミュレーションの諸元を表 3-25 に示す。

なお、今回のレイトレースシミュレーションにおいて使用した建物モデルは東京都 23 区にのみ提供されている PLATEAU のオープンデータである。よって、図 3-91 のように、東京都板橋区部分のみ建物モデルを配置しており、隣接する埼玉県和光市、埼玉県戸田市においては建物モデルを設置していない。また、高速道路の 3D モデルは、道路面及び遮音壁部分はモデル化しているものの、高速道路高架の橋脚等、高速道路周辺のオブジェクトをモデル化していない。以上より、モデルが存在しない部分に関してはレイトレースシミュレーションを実施した際に、実測値と乖離が大きくなる可能性がある。

表 3-25 レイトレースシミュレーションの諸元(区間①、狭指向性アンテナ)

項目	内容
周波数	4,850MHz
送信電力	24dBm(給電線損失 1.5dB)
送信アンテナ	狭指向性アンテナ (最大利得 27dBi)
受信アンテナ	無指向性アンテナ (最大利得 0dBi)
受信点配置	5m 間隔でグリッド状に配置
建物モデル	国土交通省 PLATEAU(東京都 23 区) Shape 形式
地形モデル	国土地理院基盤地図情報数値標高モデル 10m メッシュ dted 形式
反射(R)、透過(T)、回折(D)の最大回数	R3T0D1(高速道路上) R3T1D1(道路外)
受信点配置	5m 間隔でグリッド状に配置
受信点高さ	高速道路上:高速道路面の高さから、高さ 1.5m 道路外;地上高さから、高さ 1.5m

表 3-25 の諸元において設定したレイトレースシミュレーションのモデルを図 3-91、図 3-92 に示す。

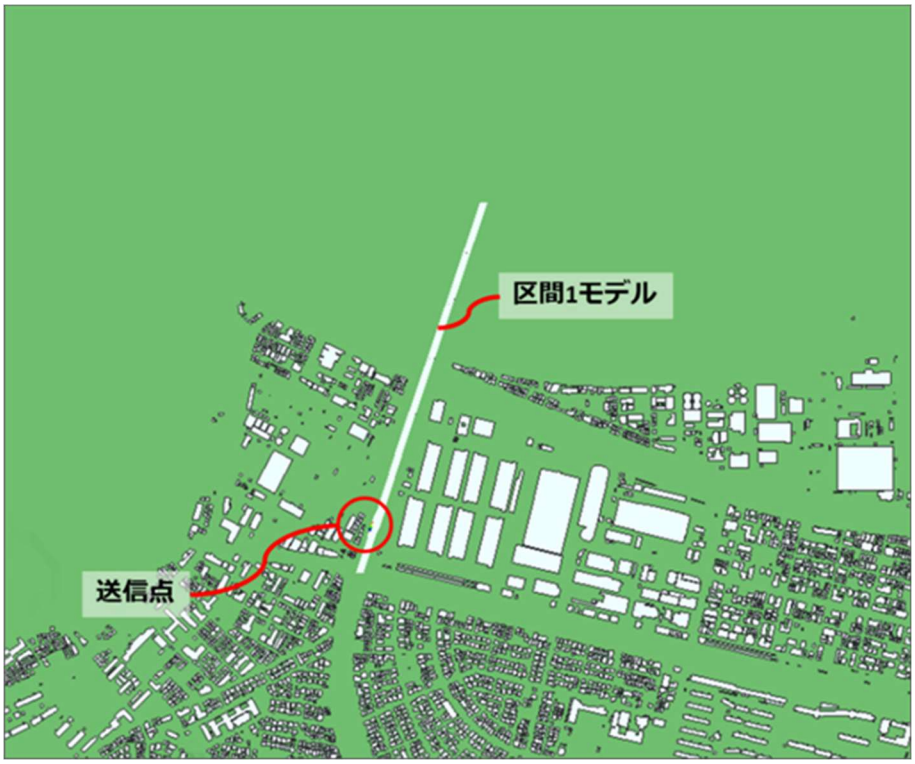


図 3-91　区間①レイトレースシミュレーションモデル

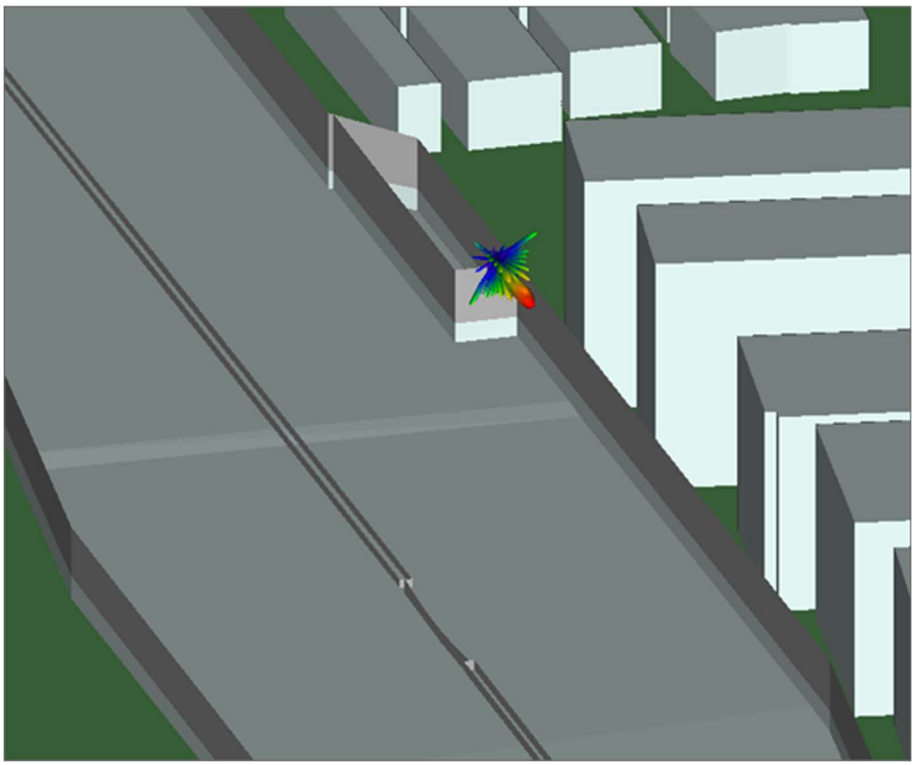


図 3-92　区間①レイトレースシミュレーションモデル（基地局部分拡大）

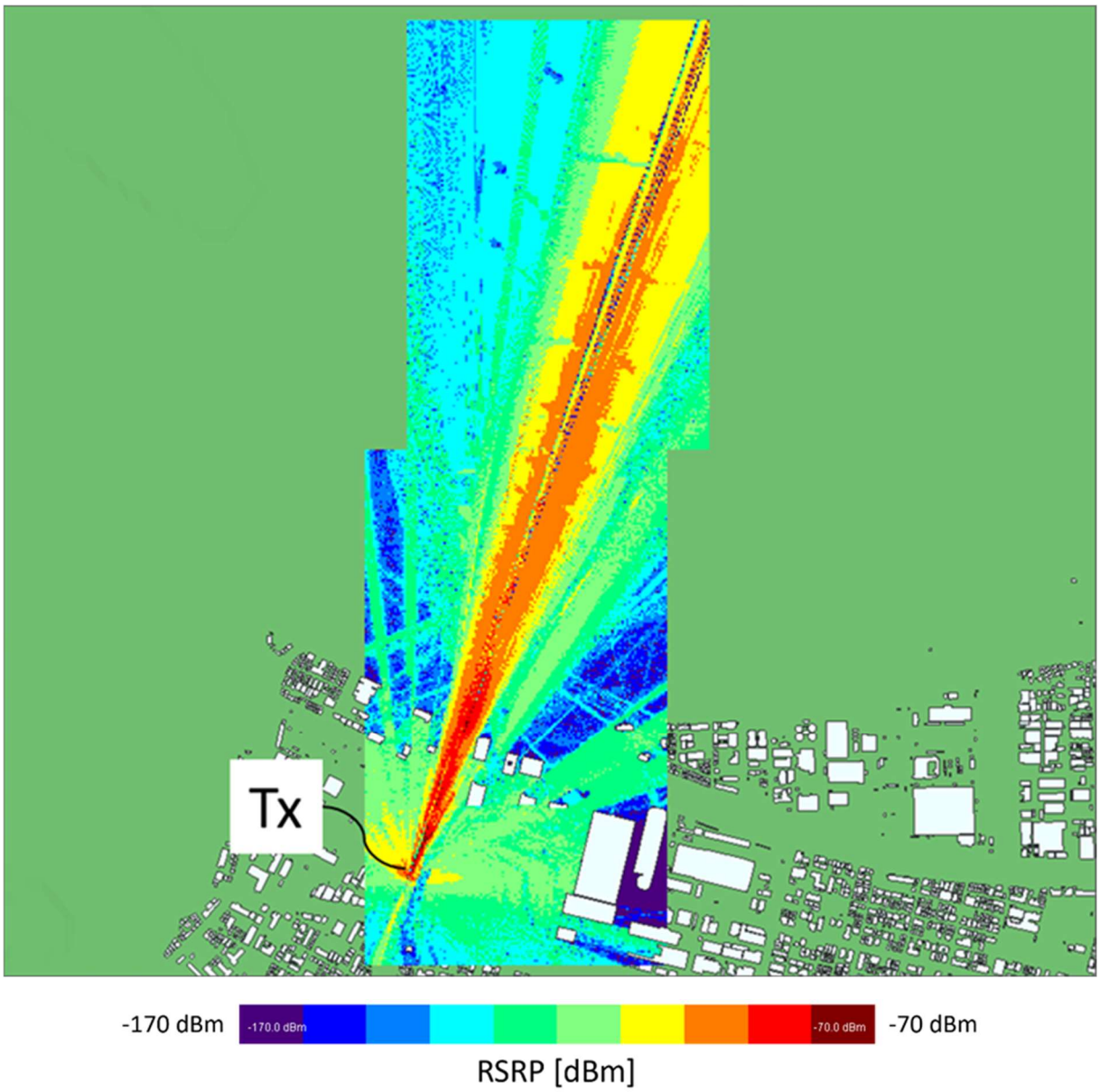


図 3-93　区間①レイトレースシミュレーション結果（高速道路上及び河川敷）

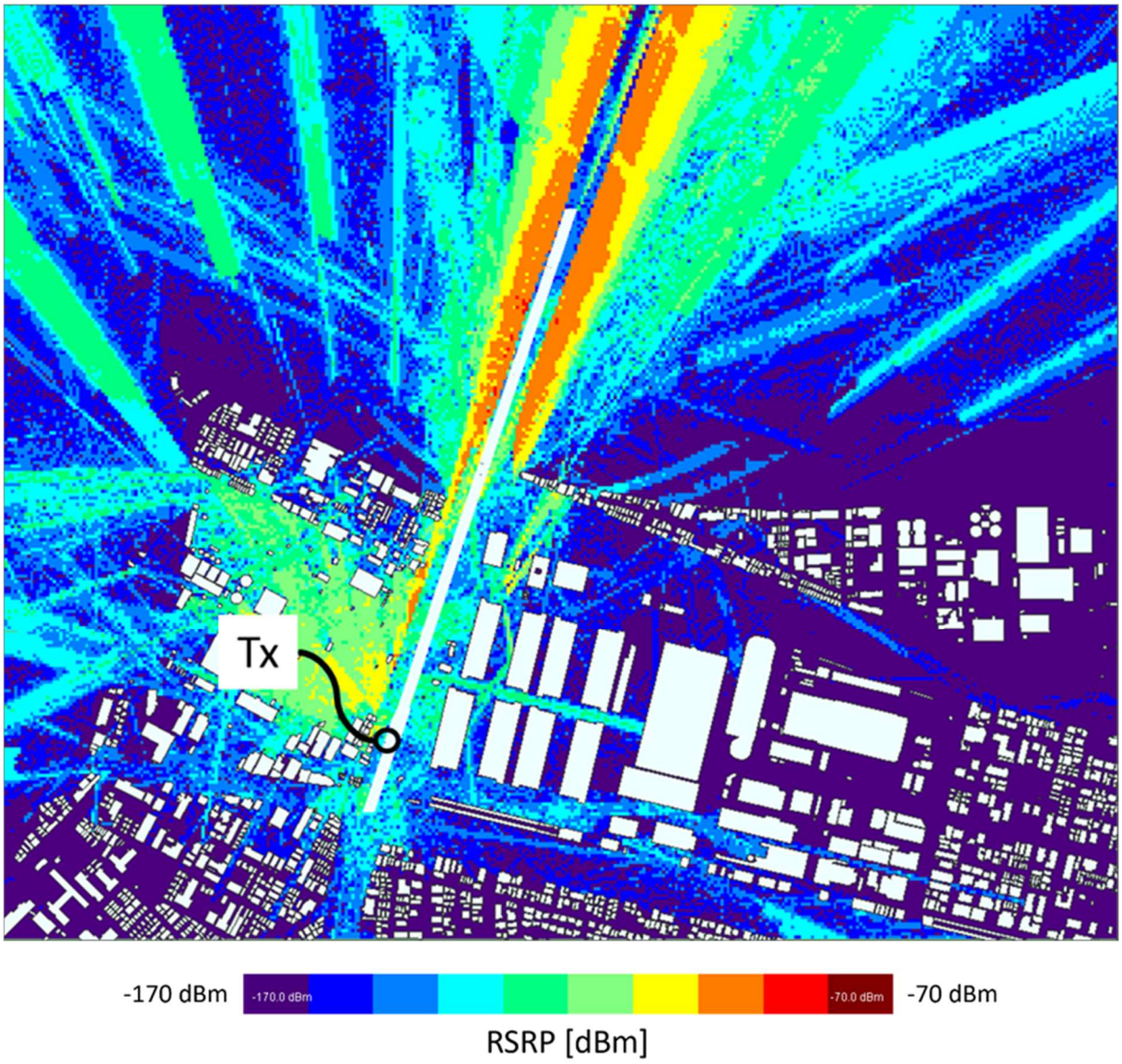


図 3-94　区間①レイトレースシミュレーション結果（道路外）

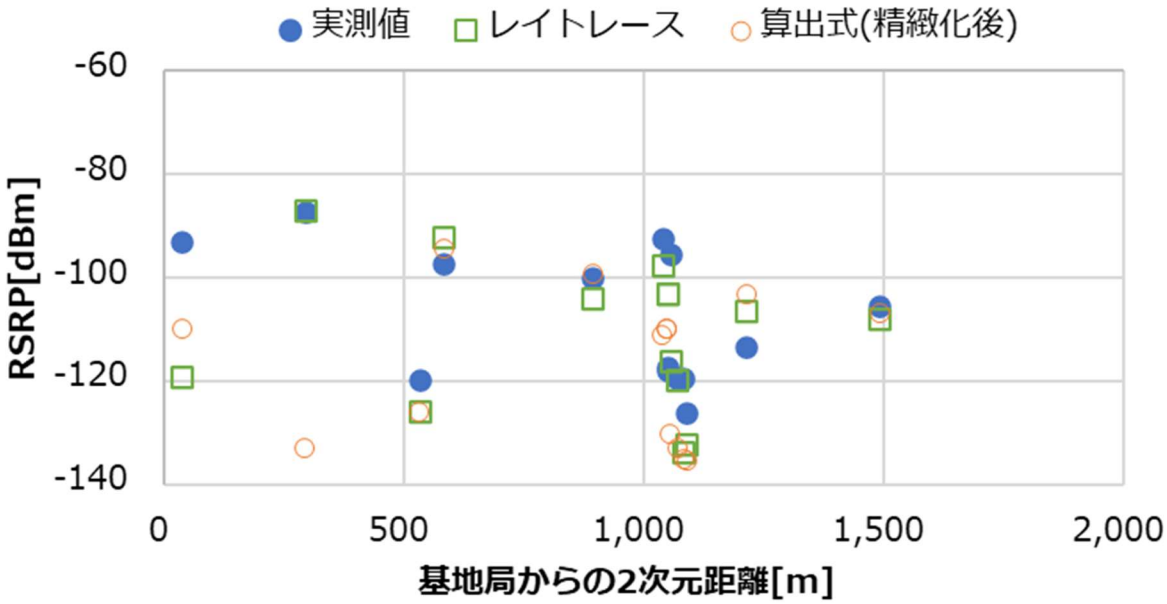


図 3-95　区間①（高速道路上及び河川敷）レイトレース、精緻化後の算出式、実測値の比較

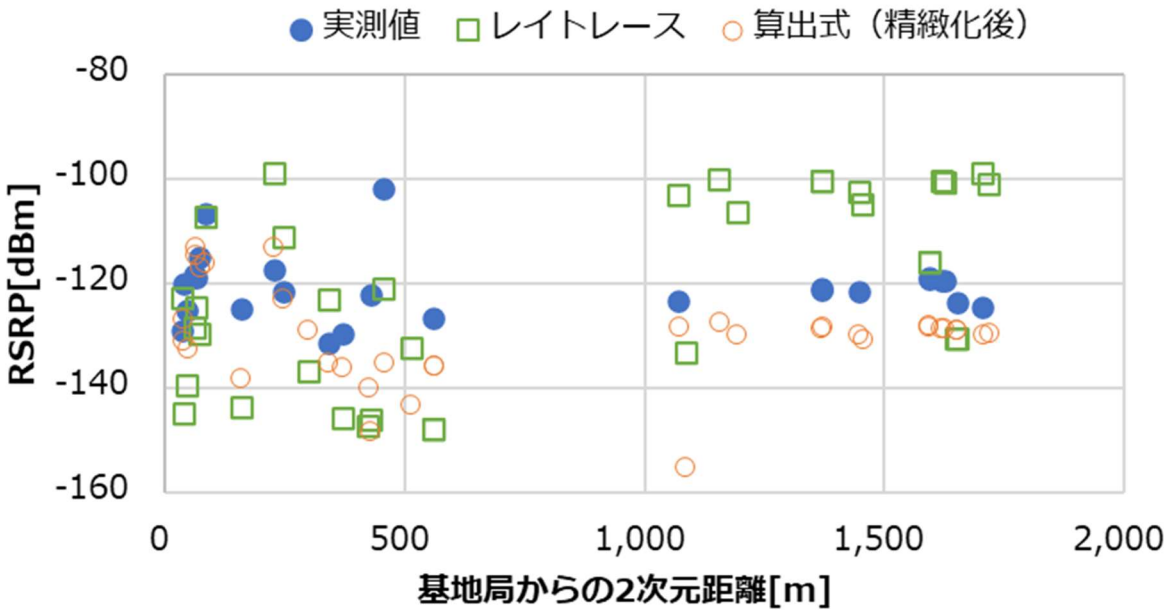


図 3-96　区間①（道路外）レイトレース、精緻化後の算出式、実測値の比較

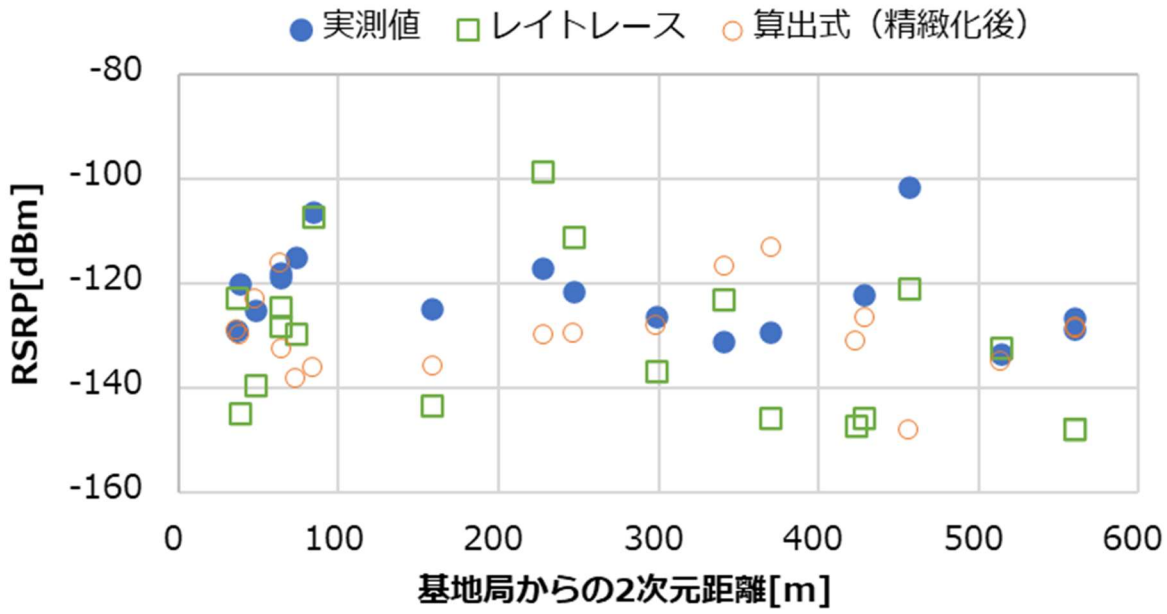


図 3-97　区間①（道路外、基地局からの 2 次元距離 600m 以内）の
レイトレース、精緻化後の算出式、実測値の比較

表 3-26　区間①の測定点におけるレイトレース結果と算出式（精緻化後）の実測値との RMSE

No.	箇所・影響要因	レイトレース結果と 実測値との RMSE[dB]	精緻化後の算出式と 実測値との RMSE[dB]
1	区間①、高速道路上・河川敷	11.77	13.97
2	区間①、道路外	16.90	8.69
2’	区間①、道路外 基地局からの 2 次元距離 600 m 以内	15.30	-

図 3-95 より、高速道路上及び河川敷の測定点においては、レイトレースシミュレーションが精緻化後の算出式より精度良く受信電力を推定できていることを確認した。一方、道路外の測定点においては、精緻化後の算出式の方が高精度に推定できていることを確認した。これは上述のとおり、埼玉県和光市、戸田市に建物モデルが存在しないことが要因だと考えている。このことは、図 3-96 における基地局からの 2 次元距離が 1000m 以上の測定点の実測値と、レイトレースシミュレーションの差分を見ればレイトレースの結果が実測値を大きく上回っていることから明らかである。

図 3-97 のように、基地局からの 2 次元距離が 600m 以内の地点において実測値とレイトレースシミュレーションの比較を実施した。この際の実測値とレイトレースシミュレーションの RMSE は 15.30 となり、区間①の道路外の全ての測定点と比較したときに比べ RMSE はやや

改善したが、精緻化後の算出式に比べやや精度が落ちる結果となった。これは、高速道路高架の橋脚等、高速道路周辺の形状が複雑であり、建物モデルと高速道路道路部分のみのモデル化ではモデル化しきれていないことが原因だと考えている。

e. 今後の課題

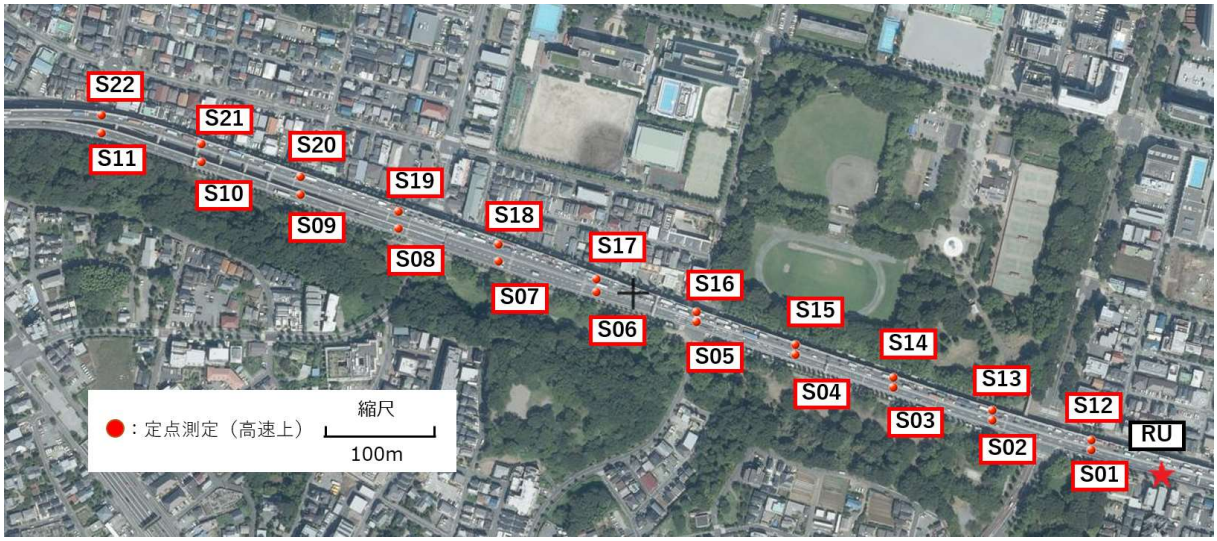
狭指向性アンテナのメインローブ方向の測定点での S による精緻化では、精緻化後、算出式の演算値と実測値とがほぼ一致することを示したが、メインローブから外れた測定点を入れた場合に予測精度が低下することがわかった。このことは、アンテナの狭指向特性によりメインローブ端において、アンテナ面からのずれに対しアンテナゲインが急激に変動するため、算出式による高精度の電波伝搬シミュレーションを行うには、アンテナ設置時の正確な方向調整が必須となることを示している。従って、本実証で使用したような狭指向特性を有するアンテナの設置では、ポイントツーポイント無線システムと同レベルの精度での方向調整が必要となり、ポイントツーマルチポイント無線システムであるローカル 5G に適した施工方法の確立が、狭指向性アンテナを扱う際の課題となる。

2） 区間③実証結果・考察

a. 実証フィールド、測定点

ア）sub6 帯パラメータ S

当該パラメータ精緻化のための現地測定点について、移動測定の測定結果から割り当てられた測定ポイントを図 3-98 に示す。また、測定ポイントの物理的距離に関する情報を表 3-27、測定ポイントから送信アンテナへの見通し写真を図 3-99 に示す。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-98 移動測定による割り当てられた測定点(sub6 帯)

表 3-27　sub6 パラメータ S 向け各測定点における物理的距離

測定点ID	基地局との3D距離[m]	基地局との水平距離[m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	測定点標高[m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日
S01	104.72	104.7	10.9	4.7	11.9	1.5	0	2023/01/30
S02	204.72	204.7	10.9	4.7	11.0	1.5	0	2023/01/30
S03	304.71	304.7	10.9	4.7	11.5	1.5	0	2023/01/30
S04	404.70	404.7	10.9	4.7	12.6	1.5	0	2023/01/30
S05	504.70	504.7	10.9	4.7	13.4	1.5	0	2023/01/30
S06	604.70	604.7	10.9	4.7	12.5	1.5	0	2023/01/30
S07	704.70	704.7	10.9	4.7	12.9	1.5	0	2023/01/30
S08	804.70	804.7	10.9	4.7	13.7	1.5	0	2023/01/30
S09	904.70	904.7	10.9	4.7	13.9	1.5	0	2023/01/30
S10	1004.70	1004.7	10.9	4.7	14.6	1.5	0	2023/01/30
S11	1104.70	1104.7	10.9	4.7	12.0	1.5	0	2023/01/30
S12	104.74	104.7	10.9	4.7	11.2	1.5	0	2023/01/30
S13	204.75	204.7	10.9	4.7	9.4	1.5	0	2023/01/30
S14	304.72	304.7	10.9	4.7	10.5	1.5	0	2023/01/30
S15	404.71	404.7	10.9	4.7	10.8	1.5	0	2023/01/30
S16	504.70	504.7	10.9	4.7	12.0	1.5	0	2023/01/30
S17	604.70	604.7	10.9	4.7	12.0	1.5	0	2023/01/30
S18	704.70	704.7	10.9	4.7	13.7	1.5	0	2023/01/30
S19	804.70	804.7	10.9	4.7	14.5	1.5	0	2023/01/30
S20	904.70	904.7	10.9	4.7	15.1	1.5	0	2023/01/30
S21	1004.70	1004.7	10.9	4.7	14.7	1.5	0	2023/01/30
S22	1104.70	1104.7	10.9	4.7	15.9	1.5	0	2023/01/30



図 3-99　受信点から送信点への見通しの様子（測定点 ID：S01）

イ）sub6 帯パラメータ R

当該パラメータ精緻化のための現地測定点について、机上での抽出した測定ポイントを現地で確認したところ、検証方法にて考察した測定環境に耐えうるポイントは以下の図 3-100 のとお

りとなった。これらのポイントは当初検討していなかったが、現地で電力値の調査をしながら抽出した測定ポイントとなる。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-100　現地での電力の調査後の測定点(sub6 帯)

上記の測定ポイント以外については、送受信アンテナ間に検証対象となるポリカーボネート製遮音壁以外の透過損失影響物（建物、木等の遮蔽）が存在するため、対象外とした。状況写真を図 3-101 に示す。



図 3-101　送信アンテナが見通し外の例

次に、検証に使用した測定ポイントから送信アンテナへの見通し写真(代表)を図 3-102 に示す。また、測定ポイントの物理的距離に関する情報を表 3-28 に示す。



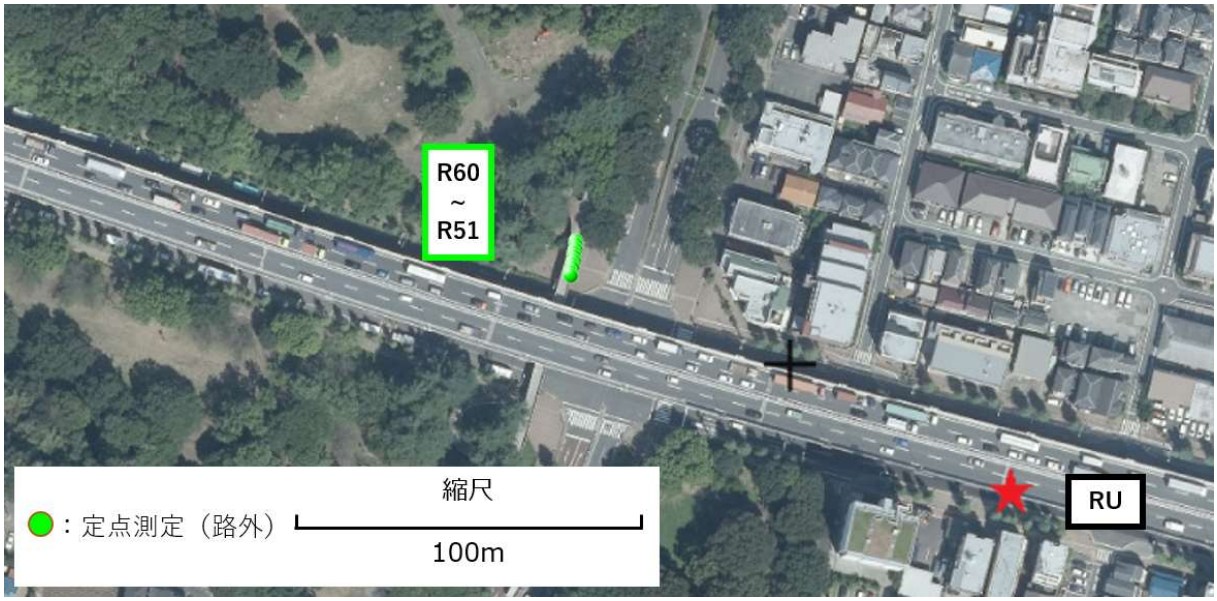
図 3-102　受信点から送信点への見通しの様子（測定点 ID：R06）

表 3-28　sub6 帯パラメータ R 向け各測定点における物理的距離

測定点ID	基地局との3D距離[m]	基地局との水平距離[m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	測定点標高[m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日
R01	112.41	*112.0*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*
R02	116.99	*116.6*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*
R03	121.58	*121.2*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*
R04	126.17	*125.8*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*
R05	130.75	*130.4*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*
R06	135.34	*135.0*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*
R07	139.93	*139.6*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*
R08	144.52	*144.2*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*
R09	149.11	*148.8*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*
R10	153.70	*153.4*	*10.9*	*4.7*	*4.5*	*1.5*	1	*2023/01/30*

ウ） ミリ波帯パラメータ R

当該パラメータ精緻化のための現地における測定について、机上での抽出した測定ポイントを現地で確認したところ、検証方法にて考察した測定環境に耐えうるポイントは以下の図 3-103 のとおりとなった。これらのポイントは当初検討していなかったが、現地で電力値の調査をしながら抽出した測定ポイントとなる。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-103　現地での電力の調査後の測定点(ミリ波)

上記の測定ポイント以外については、sub6 帯と同様、送受信アンテナ間に検証対象となるポリカーボネート製遮音壁以外の透過損失影響物（建物、木等の遮蔽）が存在するため、対象外とした。状況写真を図 3-104 に示す。



図 3-104　送信アンテナが見通し外の例

測定ポイントから送信アンテナへの見通し写真を図 3-105 に示す。また、測定ポイントの物理的距離に関する情報を表 3-29 に示す。



図 3-105　受信点から送信点への見通しの様子(測定点 ID:R51)

表 3-29　ミリ波帯パラメータ R 向け各測定点における物理的距離

測定点ID	基地局との3D距離[m]	基地局との水平距離[m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	測定点標高[m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日
R51	151.17	151.0	10.9	4.7	6.9	1.5	1	2023/02/07
R52	151.17	151.0	10.9	4.7	6.9	1.5	1	2023/02/07
R53	151.27	151.1	10.9	4.7	6.9	1.5	1	2023/02/07
R54	151.27	151.1	10.9	4.7	6.9	1.5	1	2023/02/07
R55	151.27	151.1	10.9	4.7	6.9	1.5	1	2023/02/07
R56	151.37	151.2	10.9	4.7	6.9	1.5	1	2023/02/07
R57	151.37	151.2	10.9	4.7	6.9	1.5	1	2023/02/07
R58	151.37	151.2	10.9	4.7	6.9	1.5	1	2023/02/07
R59	151.37	151.2	10.9	4.7	6.9	1.5	1	2023/02/07
R60	151.48	151.3	10.9	4.7	6.8	1.5	1	2023/02/07

b. 測定結果

sub6 帯パラメータ S の測定結果を表 3-30、sub6 帯パラメータ R の測定結果を表 3-31、ミリ波帯パラメータ R の測定結果を表 3-32 に示す。

表 3-30　パラメータ S 測定結果(sub6 帯)

測定点ID	実測値 [dBm]				
	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
S01	-79.0	-79.6	4.25	-73.8	-87.6
S02	-82.2	-81.9	5.03	-73.8	-89.4
S03	-88.4	-88.5	4.50	-82.2	-96.8
S04	-90.6	-90.1	5.13	-78.9	-98.0
S05	-94.0	-94.4	2.15	-91.0	-98.8
S06	-95.9	-96.6	3.89	-91.1	-104.4
S07	-95.8	-96.1	4.81	-89.2	-107.1
S08	-101.3	-101.3	4.53	-92.9	-108.2
S09	-104.2	-106.9	6.00	-99.9	-117.2
S10	-107.2	-107.4	2.27	-104.0	-112.0
S11	-108.0	-106.9	5.26	-94.3	-114.1
S12	-77.9	-78.3	4.85	-70.6	-88.6
S13	-81.5	-82.0	2.52	-78.9	-87.3
S14	-88.4	-88.5	4.50	-82.2	-96.8
S15	-92.2	-92.1	3.25	-86.7	-98.0
S16	-92.8	-93.1	4.26	-85.5	-100.6
S17	-101.8	-104.3	5.51	-99.2	-113.2
S18	-91.3	-91.8	3.68	-87.3	-98.8
S19	-99.0	-99.0	2.56	-95.3	-103.4
S20	-101.3	-101.3	6.40	-92.2	-112.8
S21	-104.9	-104.8	5.10	-96.6	-113.2
S22	-105.2	-105.5	5.41	-96.4	-117.2

表 3-31　パラメータ R 測定結果(sub6 帯)

測定点ID	実測値 [dBm]				
	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
R01	-105.8	-105.9	2.01	-103.2	-108.5
R02	-106.0	-106.0	2.32	-103.1	-109.3
R03	-106.4	-106.3	2.06	-103.6	-109.1
R04	-106.9	-106.7	2.10	-103.8	-109.4
R05	-107.3	-107.1	2.29	-104.0	-110.2
R06	-107.5	-107.3	2.21	-104.2	-110.2
R07	-107.7	-107.5	2.21	-104.4	-110.5
R08	-108.3	-108.1	2.04	-105.2	-110.8
R09	-108.2	-108.0	2.06	-105.1	-110.8
R10	-108.6	-108.4	2.13	-105.3	-111.1

表 3-32　パラメータ R 測定結果(ミリ波帯)

測定点ID	実測値 [dBm]				
	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
R51	-111.7	-111.8	1.67	-108.8	-114.5
R52	-112.0	-112.5	1.90	-108.8	-115.1
R53	-111.5	-112.1	2.01	-108.8	-116.0
R54	-111.7	-112.5	2.31	-109.7	-116.0
R55	-113.5	-113.3	1.16	-110.6	-115.0
R56	-112.4	-112.6	2.27	-108.8	-116.0
R57	-113.2	-112.6	2.27	-108.9	-115.9
R58	-112.7	-112.7	1.92	-108.9	-116.0
R59	-113.1	-112.4	2.06	-108.8	-115.0
R60	-113.5	-112.7	2.32	-108.8	-116.0

c. パラメータ推定結果

測定結果をもとに、既出のパラメータ算出式で求めた計算値は以下のとおりである。

sub6 帯パラメータ S の各測定ポイントの計算結果を表 3-33 に示す。測定結果から算出した結果は-0.07～14.46 の範囲となり、複数ポイントの平均値からパラメータ S1＝8.13 となる。

表 3-33　パラメータ S の計算結果(sub6 帯)

測定ID	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11
総務省式から算出された伝搬損失[dB]	90.73	93.93	100.13	102.33	105.73	107.52	107.53	115.85	112.93	118.85	119.67
測定結果から算出された伝搬損失 [dB]	90.66	100.92	107.00	111.34	114.72	117.49	119.83	121.86	123.65	125.25	126.70
上記差分（＝S成分）	-0.07	6.99	6.87	9.01	8.99	9.97	12.30	6.01	10.72	6.40	7.03
測定ID	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22
総務省式から算出された伝搬損失[dB]	89.58	93.24	100.12	103.93	104.48	103.03	113.43	112.92	110.63	116.50	116.84
測定結果から算出された伝搬損失 [dB]	90.66	100.92	107.00	111.34	114.72	117.49	119.83	121.86	123.65	125.25	126.70
上記差分（＝S成分）	1.08	7.68	6.88	7.41	10.24	14.46	6.40	8.94	13.02	8.75	9.86

sub6 帯パラメータ R の各測定ポイントの計算結果を表 3-34 に示す。計算結果を平均化し、測定結果から算出された結果は、R＝1.96 となる。

表 3-34　パラメータ R の算出結果(sub6)

測定ID	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10
測定結果から算出された伝搬損失 [dB]	89.23	89.36	89.70	90.16	90.70	90.82	91.06	91.42	91.40	91.80
自由空間伝搬損失から算出された伝搬損失[dB]	87.18	87.53	87.86	88.18	88.49	88.79	89.08	89.36	89.63	89.90
上記差分（＝R成分）	2.06	1.84	1.84	1.98	2.21	2.03	1.98	2.06	1.76	1.90

ミリ波帯パラメータ R の各測定ポイントの計算結果を表 3-35 に示す。測定機の受信空中線利得は 20dBi であるが、測定時にオフセットし測定結果（実測値）は受信空中線利得が相殺された値を取り扱っている。計算結果を平均化し、測定結果から算出された結果は、R＝5.51 となる。

表 3-35　パラメータ R の算出結果(ミリ波)

測定ID	R51	R52	R53	R54	R55	R56	R57	R58	R59	R60
測定結果から算出された伝搬損失 [dB]	109.94	110.21	109.66	109.77	111.50	110.39	111.18	110.67	111.06	111.42
自由空間伝搬損失から算出された伝搬損失[dB]	105.06	105.06	105.07	105.07	105.07	105.07	105.07	105.07	105.07	105.08
上記差分（＝R成分）	4.88	5.15	4.59	4.70	6.43	5.32	6.11	5.60	5.99	6.34

d. 精緻化エリア図

sub6 帯の測定によって算出したパラメータ S1 を加味した精緻化エリア図を図 3-106 に示す。

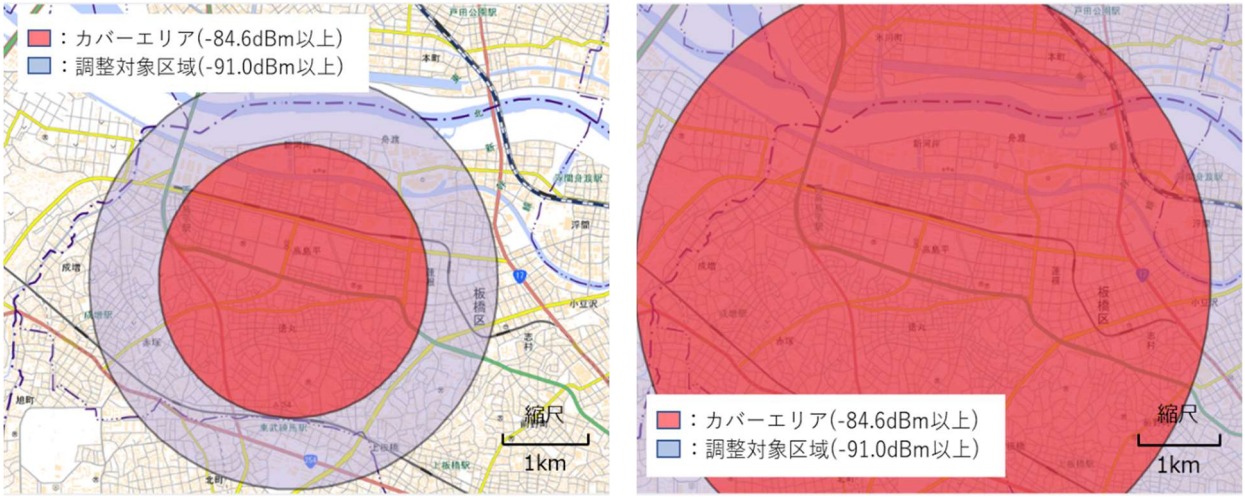


図 3-106　精緻化エリア図(S1＝8.13)(左)と仮説エリア図(S1＝20.22)(右)

sub6 帯の測定によって算出したパラメータ R を加味した精緻化エリア図を図 3-107 に示す。

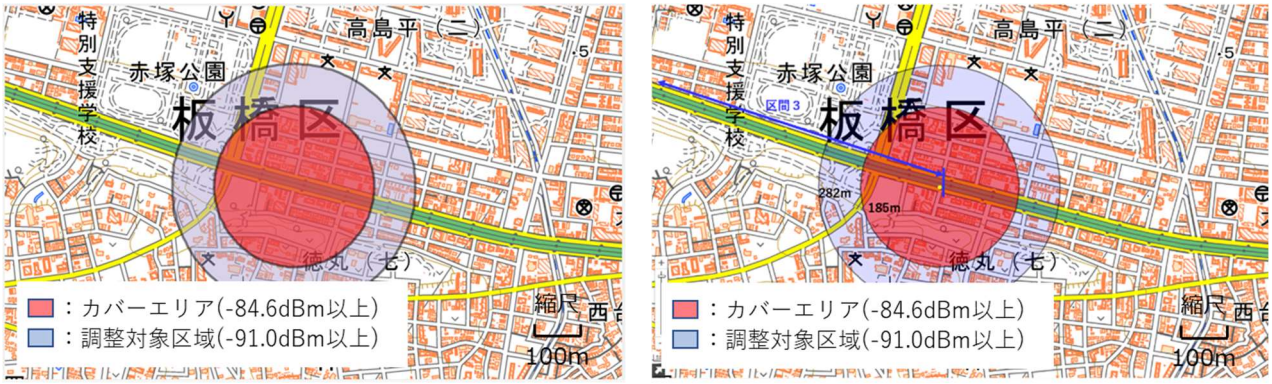


図 3-107　精緻化エリア図(R=1.96)(左)と仮説エリア図(R=2.0)(右)(sub6 帯)

ミリ波帯の測定によって算出したパラメータ R を加味した精緻化エリア図を図 3-108 に示す。なお、受信空中線利得は、審査基準の指定どおり 20dBi としてカバーエリア及び調整対象区域を算出した。

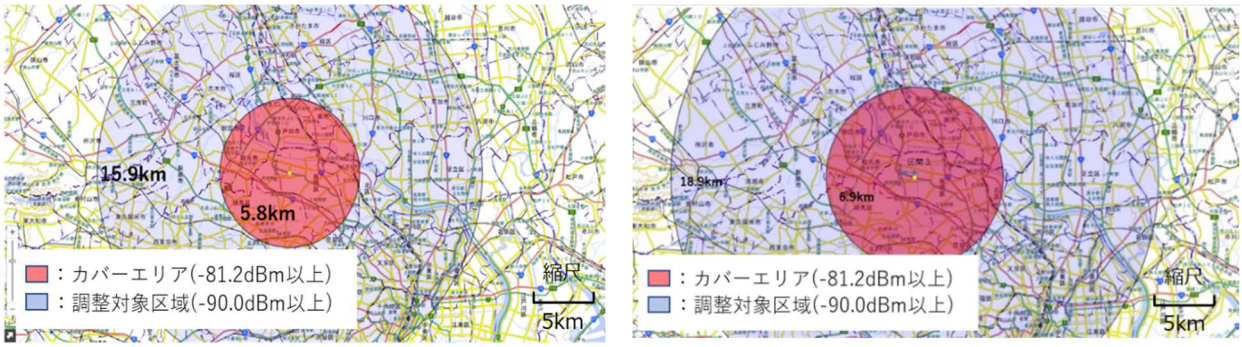


図 3-108　精緻化エリア図(R=5.51)(左)と仮説エリア図(R=3.98)(右)(ミリ波帯)

e. 仮説エリア図と精緻化エリア図の比較と差分の考察

仮説エリア図と精緻化エリア図の差分について以下のとおり考察する。

ア）sub6 パラメータ S

当該パラメータの仮説値 S1 は 0 dB＜S1＜20.22dB であり、実測により得られた値は-0.07～14.46 の範囲で、平均すると 8.13 となった。これらの数値のうち、何を定量的なパラメータとして使用できるか、以下のとおり考察した。総務省式（S＝32.5（開放））と自由空間伝搬損失及び実測で得られた伝搬損失の値と、総務省式（S＝32.5（開放地））と自由空間伝搬損失及び取得した損失値と総務省式の差分を平均化した値を図 3-109 に示す。

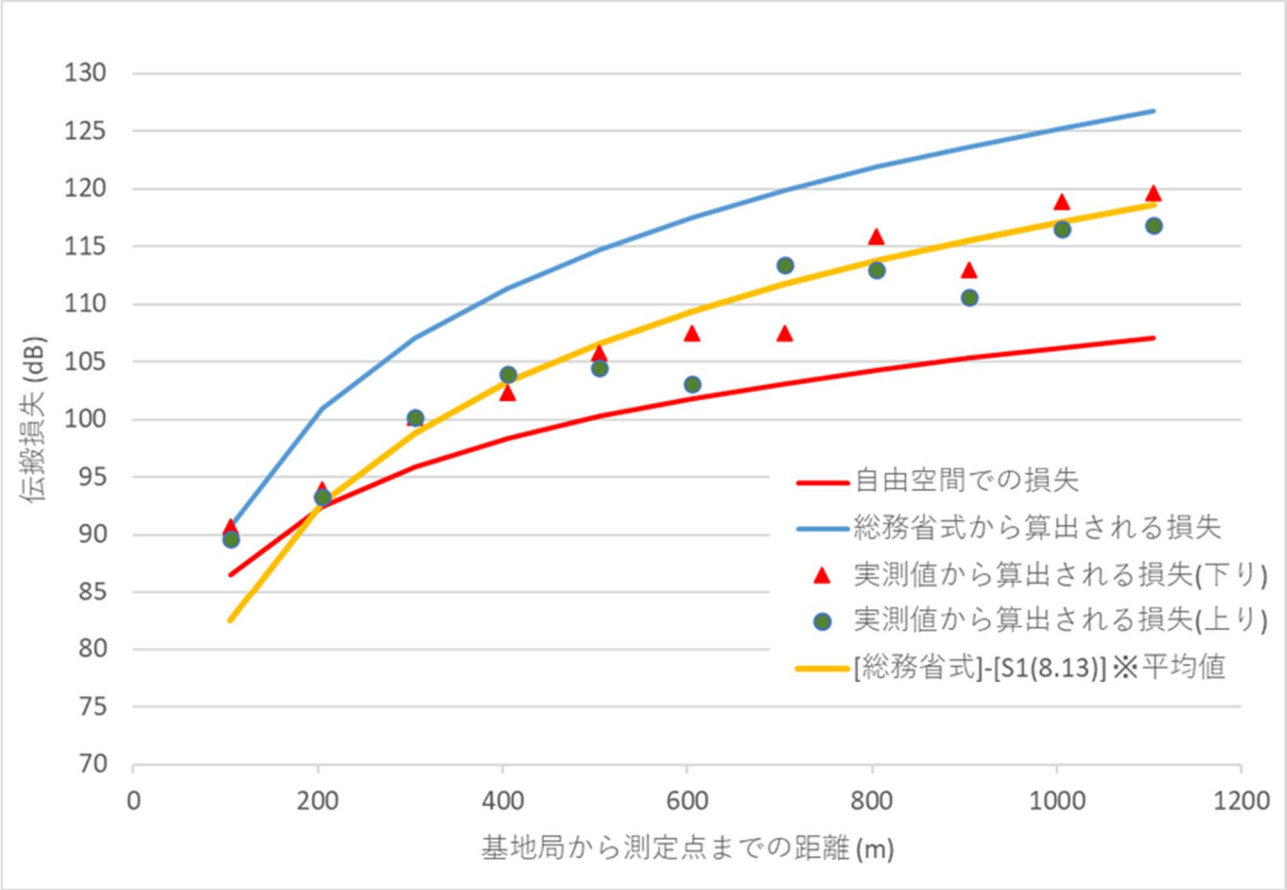


図 3-109 実測値と総務省式、自由空間伝搬損失及び S1 補正後の比較

上図より、仮説のとおり既存の総務省式よりも自由空間伝搬損失に近い値であることがわかった。

総務省式の差分を平均化した値をグラフ化すると、実測データに近似するような開放地のみ加味した総務省式と自由空間伝搬損失との差異にほぼ全ての距離で整合する結果となった。この結果から開放地 S パラメータを補足するパラメータ S1 として、8.13dB が既存式よりも実態に近似する値であり妥当であると考えた。

本検証においては、自由空間伝搬損失による計算した値に近似し、それを阻害する要素としては、高速道路両側の遮音壁等の構造物による反射・マルチパス及び移動測定をした際のフェージ

ングの影響と位置付けていた。従って、今回の差分においては、この阻害要素で十分説明できる範囲であり、仮説値を実測によって裏付ける結果となったと考える。

イ）sub6 帯パラメータ R

当該パラメータの仮説値は 0<R<2.0、実測により得られた値は 1.96 であった。

仮説値は、ポリカーボネート素材のデータが無く、ガラスや厚みの違う別素材の透過損失の値を流用しているため、仮説値設定のエビデンスとしては精度の良くないものとなっていた。実際の遮音壁は、当該素材が単一に設置されているのではなく、高速道路への設置という環境により、幾層の金属の枠組合せの中に当該素材が埋め込まれているため、純粋な素材のみの想定透過損失よりも R 成分が大きくなっていると思われる。

これらを踏まえたうえで、ポリカーボネート単一素材の透過損失ではなく、本来の目的である、当該素材を使用した遮音壁という「構造物全体」における透過損失として、このデータの有効性に対する考察を行った。本検証においては、ある物質の透過損失を測定するという命題と同義であったが、それを阻害する要素としては、別項で述べたとおり理想的環境である電波暗室とは異なる環境下での測定になるので、マルチパスの影響（①）や、対象 R 成分以外の遮蔽を受ける可能性（②）があると推察される。

前者①の要素については、指向性のあるアンテナを使用し、R 成分が存在する方向以外からのマルチパスの除去を試みた。後者②の要素については、3 段階の測定ステップを踏むことにより、できる限りの排除を行った。従って、これらの阻害要素の影響を限りなく小さくしたものであると考え、今回の対象素材である「ポリカーボネート製遮音壁」の R 成分について、測定より得られた当該値は信頼性のある結果だと考える。

ウ）ミリ波帯パラメータ R

当該パラメータの仮説値は 3.98、実測により得られた値は 5.51 であった。

仮説値は、当該 R 素材のデータが無く、ガラスや厚みの違う別素材の透過損失の値を流用しているため、実測結果との差分よりも以下の点について重きを置いて考察した。

本検証においては、ある素材の透過損失を測定するという命題と同義であったが、それを阻害する要素としては、別項で述べたとおり理想的環境である電波暗室とは異なる環境下での測定になるので、マルチパスの影響（①）や、対象 R 素材以外の遮蔽を受ける可能性（②）があると推察される。

前者①の要素については、指向性のあるアンテナを使用し、R 成分が存在する方向以外からのマルチパスの除去を試みた。後者②の要素については、3 段階の測定ステップを踏むことにより、できる限りの排除を行った。従って、この阻害要素の影響を限りなく小さくしたものであると考え、今回対象素材の R 成分について、測定より得られた当該値は高い信頼性のある結果だと考える。

現在の審査基準上は、R は基地局屋内設置の場合のみ考慮することになっているが、屋外設置であっても基地局周辺に遮蔽物がある場合は、R を考慮することを提案する。

f. 今後の課題

sub6 帯パラメータ S について、実測データに基づく距離と損失等の値の相関性検出において、当該検証環境が根本的に係数を算出できる程度の相関が導き出せない環境であるのか、測定数及び測定精度の向上等によって相関関係を導き出せるデータを取得できうるのかは、今後の検討課題である。

3.3.2 線状の空間におけるエリア化の改善・柔軟性向上

（1） 実証の目的・目標

1） 背景となる技術的課題と実証目的

首都高速の道路構造は、高架部、土工部、半地下部、トンネル部と多様であり、道路形状も直線区間、曲線区間、JCT やランプ部等の立体交差区間等、複雑な構成となっている。また、道路上には遮音壁、ガードレール、標識等の電波伝搬に与える影響が大きな道路附属物が多数設置されている。さらに、都市内に位置することから、隣接土地との十分な離隔が取れない。特に、曲線区間においては、狭指向性アンテナを用いると他者土地への電波漏洩が大きくなることが懸念される。

本技術実証では、曲線区間の連続的な無線通信エリア構築を目標として、曲線区間である区間②及び区間④を対象として、DAS、漏洩同軸ケーブル、ミリ波ビームフォーミングを活用したエリア柔軟化手法による実現可能性を実証した。

表 3-36 柔軟化手法一覧

柔軟化手法	実証区間	技術的な特徴･利点
狭指向性アンテナ （柔軟化手法との比較用）	区間②	直線区間では、基地局数を最小限に抑えることができるが、曲線区間においては、複数の無線機を用いてエリア構築する必要がある。この場合、送信出力やアンテナチルトを調整する等、道路外への電波漏洩対策が別途必要である。
漏洩同軸ケーブル	区間②	漏洩同軸ケーブルからの電波によりケーブル近傍でカバーエリアを構築するため、複雑な形状の道路において、道路に沿ってケーブルを敷設すれば、道路外への電波漏洩を抑制しながら線状エリア上で効率的にエリア構築することが可能である。ただし、性能維持をするために、ケーブルの固定を数 m おきにする必要があり、施工的な負担が大きい。
遮蔽板	区間③	遮蔽構造物の有無により、直線区間の道路外への所要干渉抑制量への効果を検証する。
DAS	区間④	1 つの基地局の電波を複数の子機へ分散することができ、小さなエリアを複数構築することで柔軟なエリア構築が可能である。曲線区間において他者土地への電波伝搬を抑えながらカ

柔軟化手法	実証区間	技術的な特徴・利点
		バーが可能である。構成上、複数子機を分散して設置するが、高速道路上は、無線機やアンテナの設置可能スペースが限定的となるため、実用化時にはそれを前提とした無線セル設計や工事設計が必要と想定する。親機子機間を光ファイバで接続するが、今後の普及に向けては、光ファイバの効率的な使用もポイントと考える。
ミリ波ビームフォーミング	区間④	ビームフォーミングは特定エリアにのみ電波を発射したい線状エリアのエリア化の改善策として有効な手段であり検証項目として選択する。 ただし、現状ではミリ波 SA 方式に対応可能な端末が入手できないため、測定は測定機による受信電力測定のみ実施する。

ミリ波ビームフォーミングは、複数のアンテナ素子から送信される電波の位相と振幅を変更することで、発射された各電波を強め合う、あるいは打ち消し合うように制御することができる。このような操作により特定の領域に方位角を変更できることから、ビームフォーミングは特定エリアにのみ電波を発射したい線状エリアのエリア化の改善策として有効な手段と 1 つと考えられ、検証項目の 1 つとして選択した。また、NSA/SA 方式の選択について、NSA 方式の場合、アンカーとなる通信キャリア回線が必要である。アンカーについては、免許申請時に地域 BWA との干渉調整が必要であり、また、災害時に通信キャリアの回線が途絶した場合に使用できなくなることが想定される。これらの状況は、今回の検証にはふさわしくないと判断し、SA 方式を採用した。ただし、現状ではミリ波 SA 方式に対応可能な端末が市場では入手できないため、測定は測定機による受信電力測定のみになる。このため、本検証ではビームフォーミングに関する測定や効果の確認は行わない。

ミリ波ビームフォーミングを今後実用化していく際の課題は、ローカル 5G ミリ波 SA 方式に対応した端末の市場での普及である。市場予測として、ミリ波 SA 方式に対応したチップセットの各種端末チップベンダからの市場リリースも今後数年で行われるという見込みもあるが、本件の実用化には端末の市場投入が不可欠である。

2) 実証目標

本技術実証では、首都高速の運用・維持管理業務や緊急時の現場支援業務に求められる大容量映像送信等の利用を前提に、エリア柔軟化手法による曲線区間に沿った連続的な無線通信エリアの構築を目標とする。道路に沿って敷設する漏洩同軸ケーブル（LCX）及び複数の DAS 子機により、基地局のみでエリア化した場合と比較して道路上の不感地帯の解消と他者土地への電波漏洩の軽減を目標とする。また、短区間の移動でハンドオーバーを頻繁に行わないよう、狭指向性アンテナや漏洩同軸ケーブル、DAS を用いて、なるべく少ない基地局数で曲線区間のカバレッジを実現する。

なお、DAS による小さなエリア構築、漏洩同軸ケーブルによる道路形状に沿ったエリア構築

は、道路付帯設備等があっても柔軟に敷設することが可能であり、障害物による影響の軽減や不感地帯の解消対策として期待できる。

区間②では、柔軟化手法適用前として狭指向性アンテナによるエリア構築を行い、柔軟化手法適用後として漏洩同軸ケーブルによるエリア構築を実施する。本実証における漏洩同軸ケーブルによる改善は、ケーブルの設置上の制約から通信エリアの不感地帯の解消ではなく、道路外への漏洩電波の低減となる。このため、漏洩同軸ケーブル適用時、最も強い電界強度となる無線機周辺の道路外への電波漏洩電力が調整対象区域のレベルに達しない程度に低減されること、道路上に構成した通信エリアにおいて走行車両に搭載した移動局で上りスループット 10Mbps 以上を満たすエリア構築を実証目標とする。

区間③及び区間④では、高精細映像・画像のリアルタイム共有及びスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援をユースケースとして想定し、目標とするサービスレベルを上りスループットで 25Mbps 以上、下りスループットで 8Mbps 以上、伝送遅延で約 300ms 以内とした。

3） 過年度技術実証からの発展性・新規性

本技術実証は、以下の点で過年度技術実証にはない新規性がある。

- 様々なアンテナによる道路形状に合わせた線状エリアの構成や、エリア外への電波漏洩を最小化しようとする検討過程
- 道路附属物を含めて 3 次元モデル化し、路面の高さ変化や道路附属物の影響を踏まえたシミュレーションによる精緻化の検討

（2） 実証仮説

1） 狭指向性アンテナ（区間②柔軟化手法適用前）

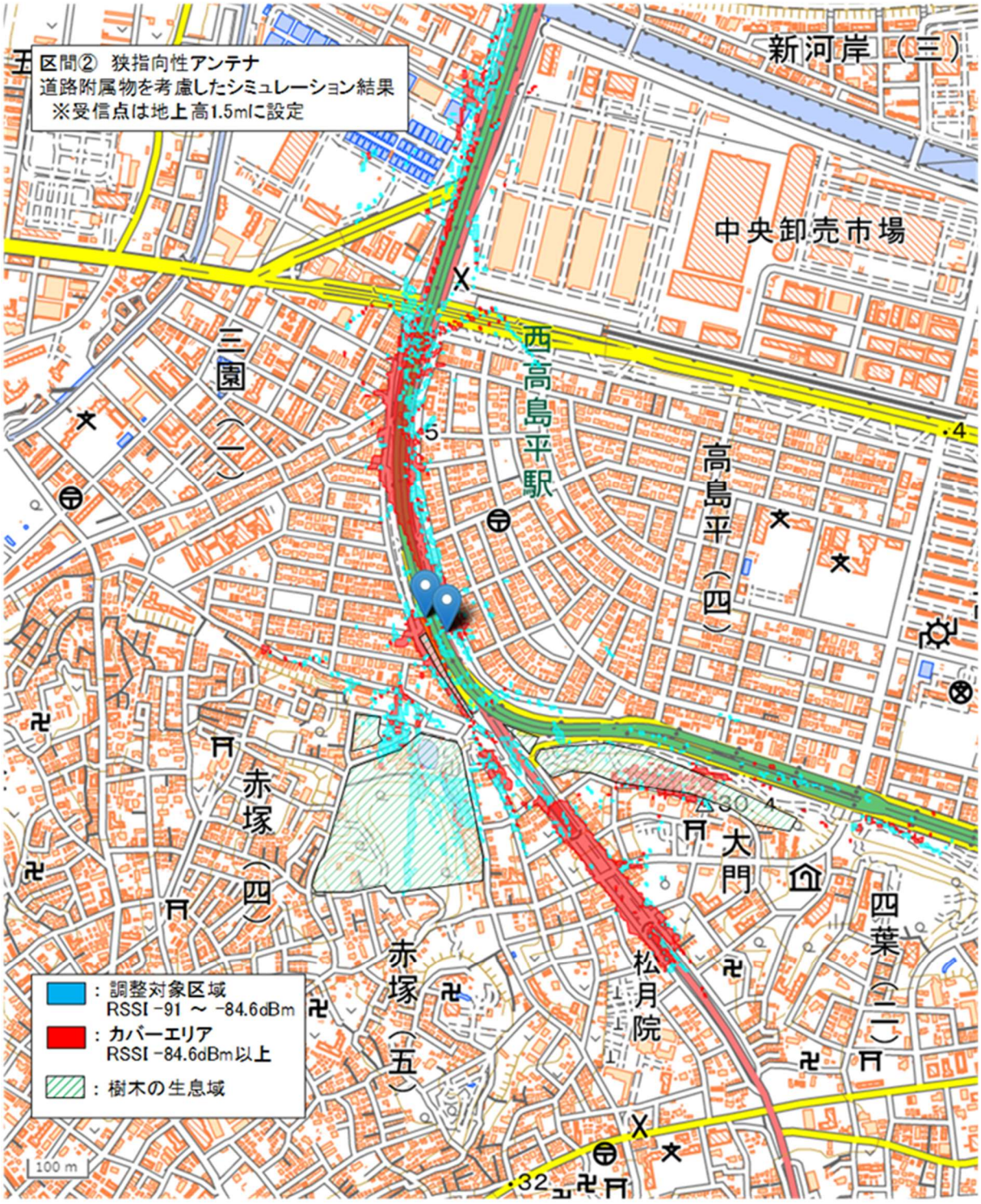
区間②において、狭指向性アンテナでエリア構築した際の道路附属物の影響を踏まえたシミュレーションを実施した。道路外への電波漏洩の仮説設定をするため、受信点を地上高 1.5m に設定した場合の結果を図 3-110 に示す。また、高速道路上のカバーエリア範囲の仮説設定をするため、受信点を道路面から 1.5m に設定した場合の結果を図 3-111 に示す。

エリア南部で電波の漏れが大きくなっているが、実環境では図で示す位置に樹木があり、それによる減衰で電波の漏れは抑えられると推測した。ただし、アンテナの方位と同じ方向に高速道路に接している国道 17 号においては、特に減衰要因がなく、国道に沿って大きく電波漏洩する結果となった。同国道への漏洩電波が途中でレベルが落ちているのは、首都高 5 号線から分岐後、東京方面へ向かう方向に道路が登っており、レベルが高くなる地点で高速道路本線と同程度の高さになるためと考えられる。

図 3-111 から、高速道路上ではカーブにより送信アンテナから見通し外となるエリアを含め、区間②全域でカバーエリアを構成できていることが分かる。

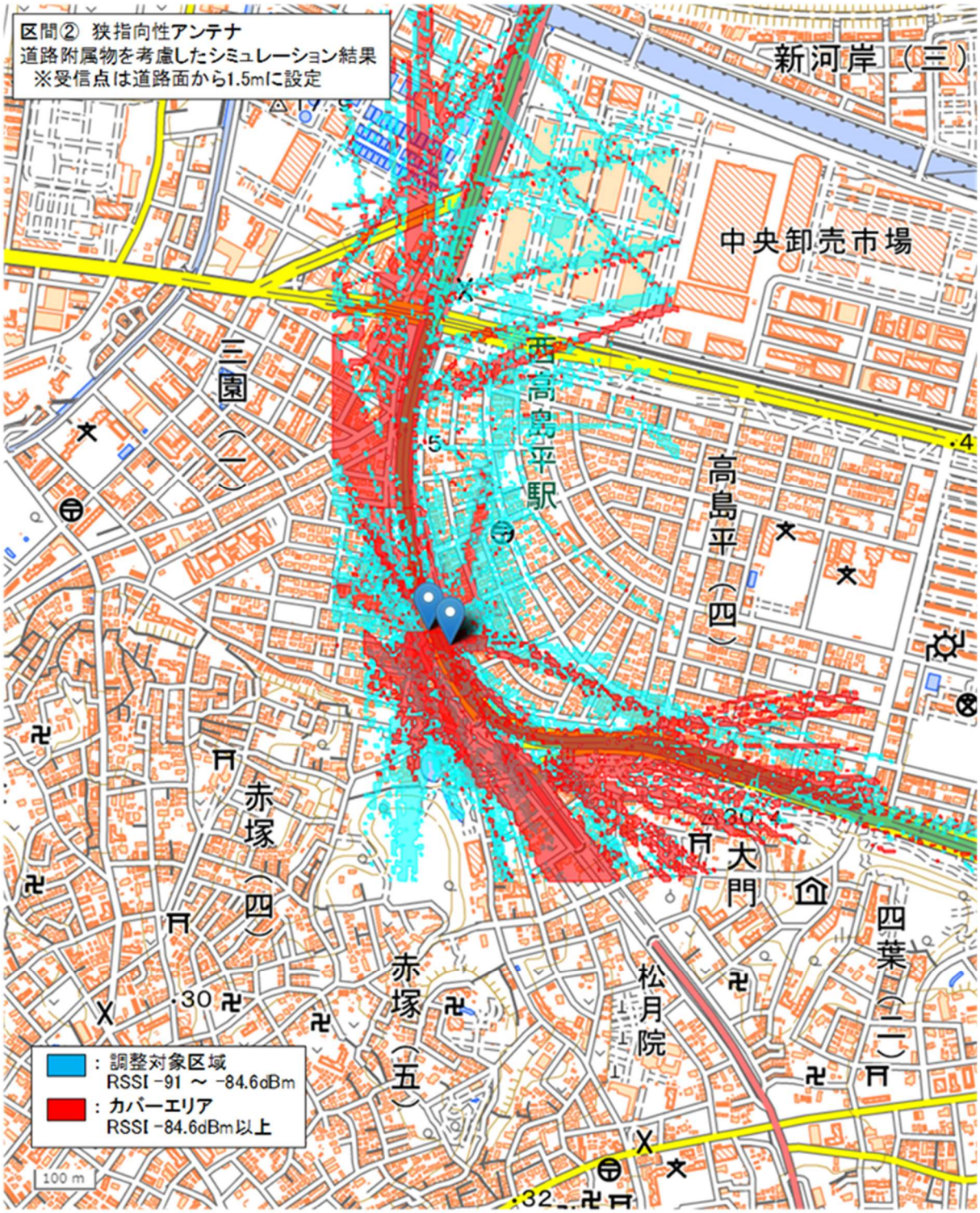
図 3-110 をもとに樹木の影響を考慮し、図 3-112 に示す仮説エリア図を作成した。本仮説エリア図から測定ポイントを設定し、屈曲した道路に狭指向性アンテナを導入する際の問題点を明

確化する。



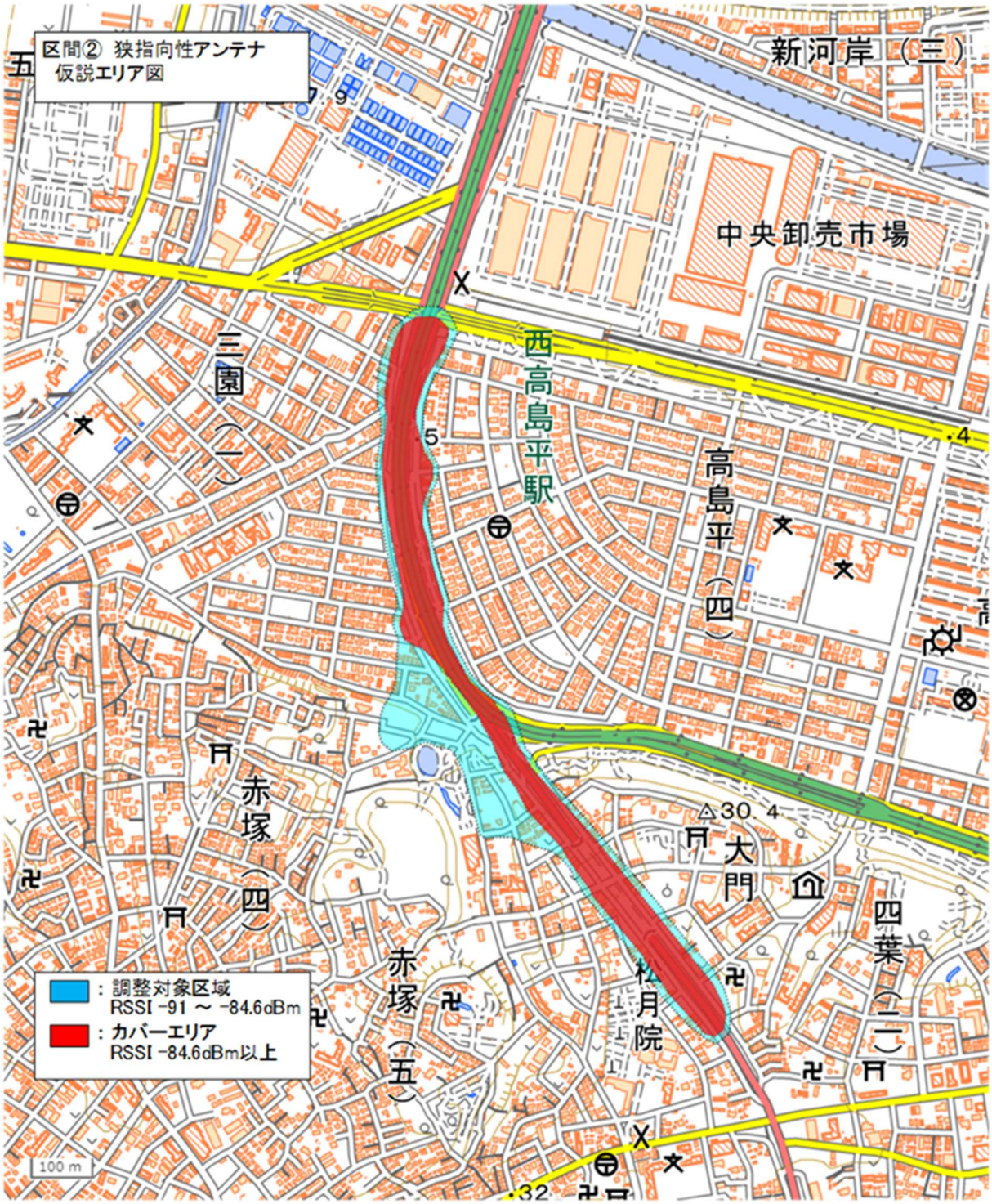
出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-110 区間②狭指向性アンテナ適用時のシミュレーション結果（道路外）（受信点：地上高 1.5m）



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-111　区間②狭指向性アンテナ適用時のシミュレーション結果（高速道路上）（受信点：道路高 1.5m）



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-112 区間②狭指向性アンテナ適用時の仮説エリア図

2） 漏洩同軸ケーブル

区間②における柔軟化手法として漏洩同軸ケーブルを適用した場合の道路附属物の影響を踏まえたシミュレーションを実施したが、地表面に達する漏洩電力は調整対象区域のレベルに達しなかった。本実証では、漏洩電力が最大となる無線機周辺で道路外における受信レベルを測定し、

電波漏洩の有無について検証する。

漏洩同軸ケーブル適用時の高速道路上のカバーエリア範囲の仮説設定をするため、受信点を道路面から 1.5m に設定した場合のシミュレーション結果を図 3-113 に示す。区間②全域には及ばないものの、漏洩同軸ケーブル敷設区間でカバーエリアが構築されることが分かる。

漏洩同軸ケーブルの設置高は道路面から 2m 程であり、ケーブル設置側と反対側の車線での通信において、中央分離帯部のガードレールの影響が懸念されたが、図 3-113 に示した道路附属物の影響を踏まえたシミュレーション結果からは、特に目立った影響は認められなかった。

本検証で、上下両車線で測定ポイントを設定し、ガードレールの影響の有無や、漏洩同軸ケーブルを道路上へ導入した際の基本的な振る舞いを検証すると同時に、シミュレーション結果との差異分析を行い、漏洩同軸ケーブルにおけるシミュレーション手法について検討する。



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-113 区間②漏洩同軸ケーブル適用時のシミュレーション結果

3） 遮蔽板

狭指向性アンテナについて、所要干渉抑制量に対してどれだけ効果があるか技術検証を行うた

めに、アンテナビーム幅を物理的に遮蔽する構造物を用意し、本構造物の有無による効果の有無や、効果の度合いを検証した。具体的には、図 3-114 のようなアンテナ自体を囲う遮蔽板を作成し、その有無による道路外への電波漏洩への影響を検証した。

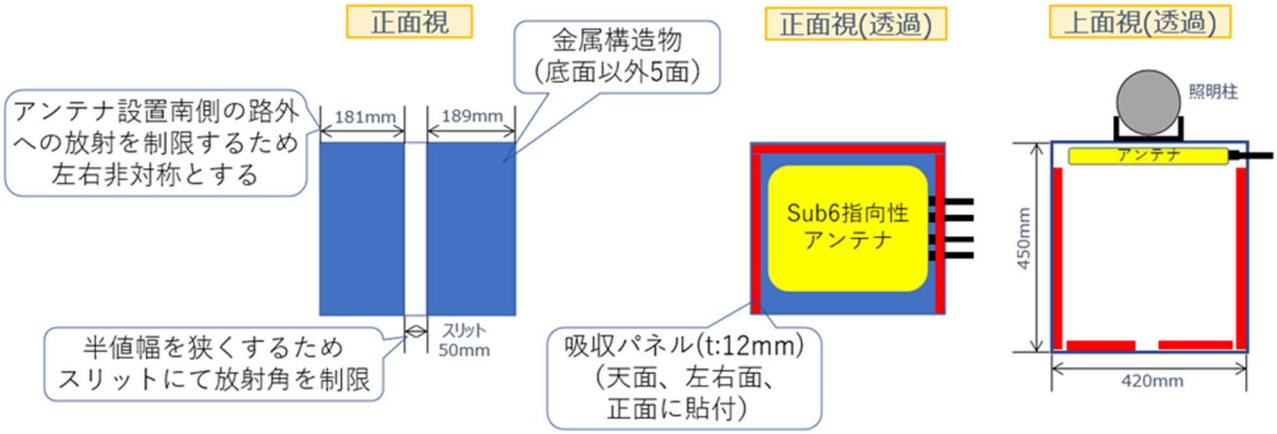
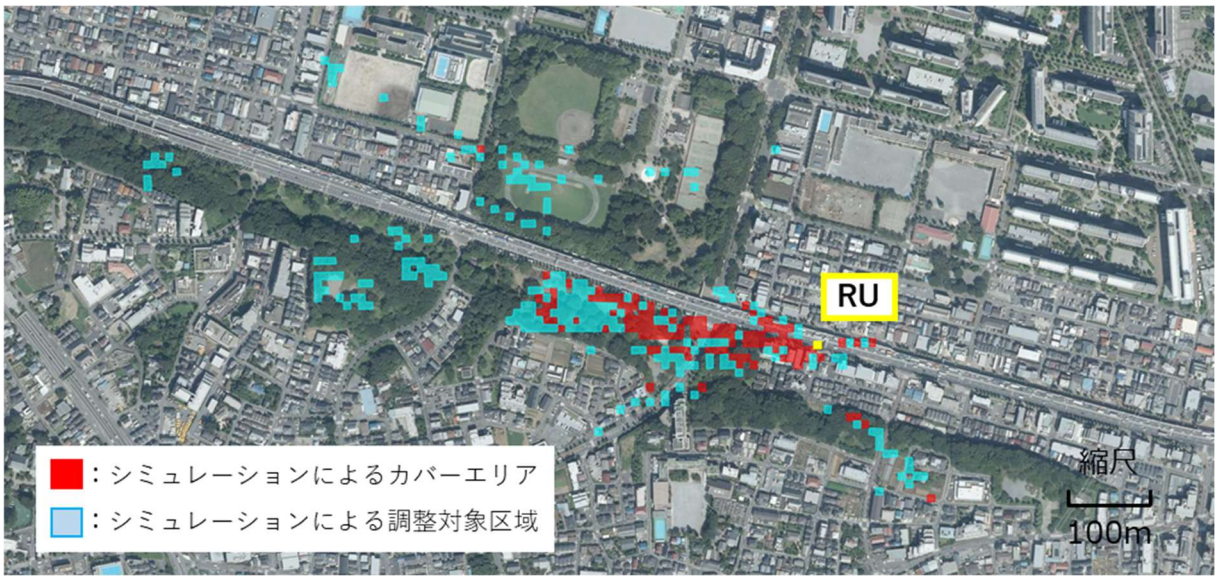


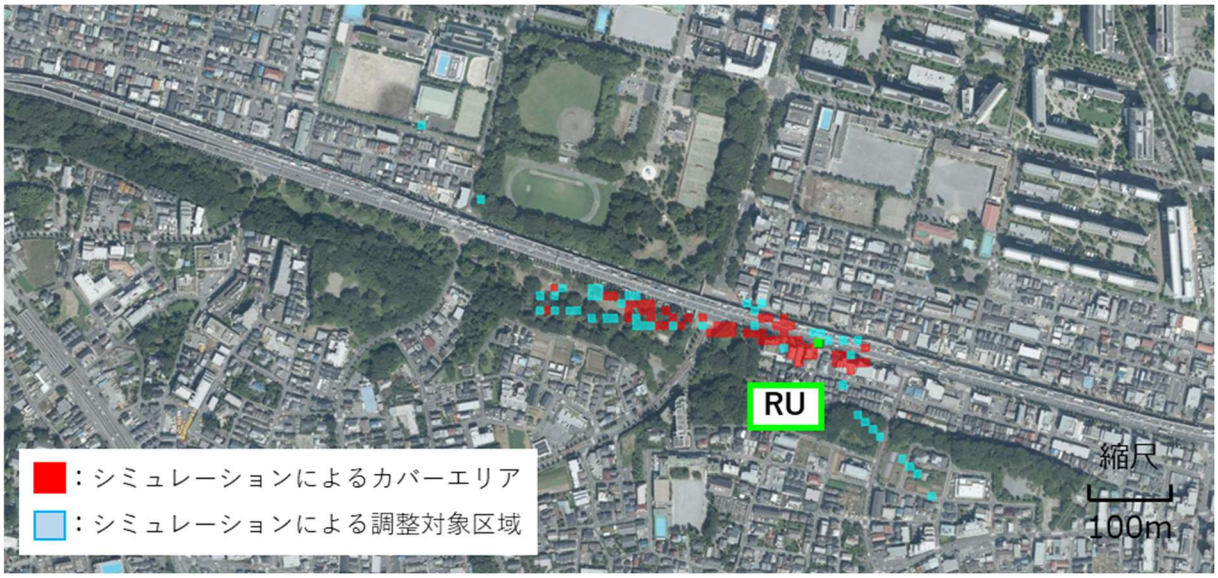
図 3-114 アンテナ遮蔽構造物のイメージ図

まず、道路外における遮蔽板を使用しない場合、遮蔽板を使用した場合のシミュレーション結果を図 3-115、図 3-116 に示す。シミュレーションは建物、構造物による反射、透過を考慮した結果となっている。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-115 シミュレーション結果(道路外/遮蔽板なし)

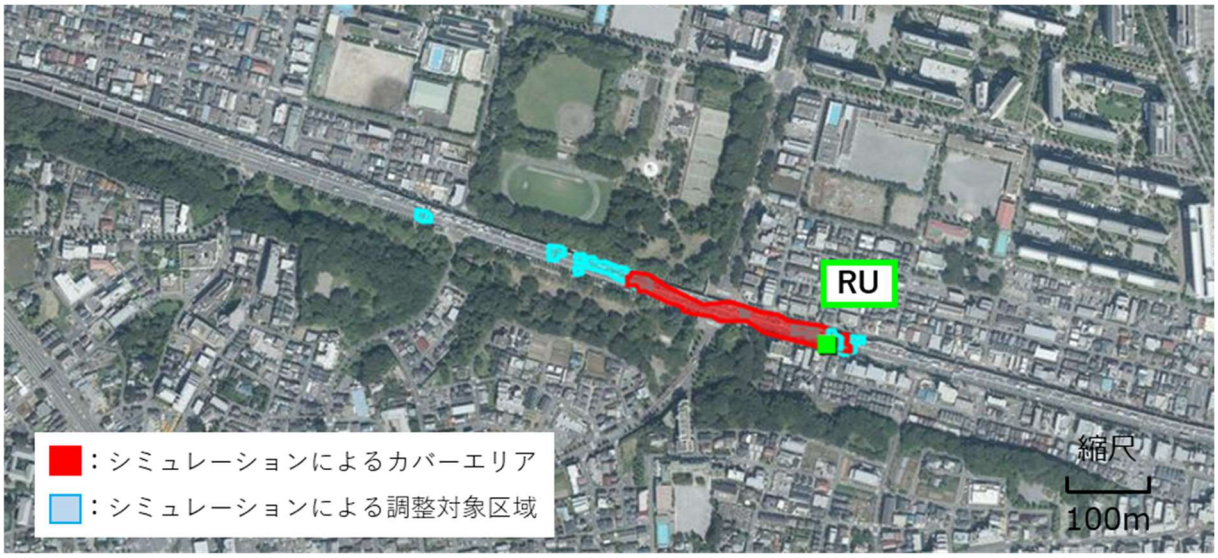


出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-116　シミュレーション結果（道路外/遮蔽板あり）

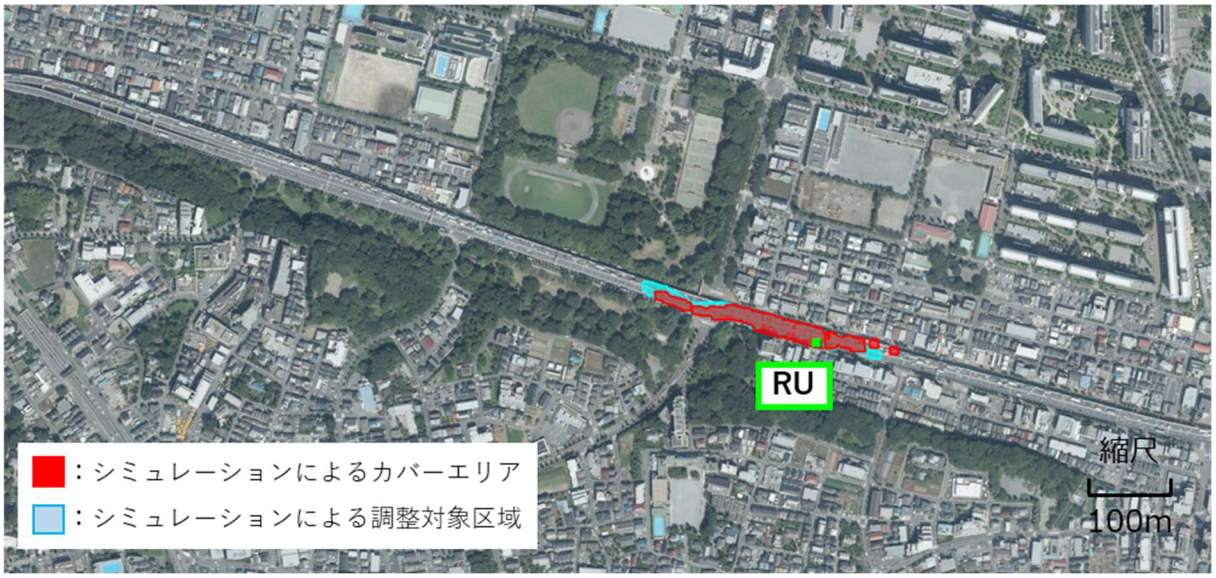
この結果から、遮蔽板を使用することで道路外への漏洩電力を減らすことができ、干渉抑制量を抑えることができることが期待できる。

次に、高速道路上における、遮蔽板を使用しない場合、使用した場合のシミュレーション結果を図 3-117、図 3-118 に示す。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-117　シミュレーション結果（高速道路上/遮蔽板なし）



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-118 シミュレーション結果(高速道路上/遮蔽板あり)

上記から、遮蔽板の有無によらず、ほぼ同等のカバーエリアが確保できることが期待できる。

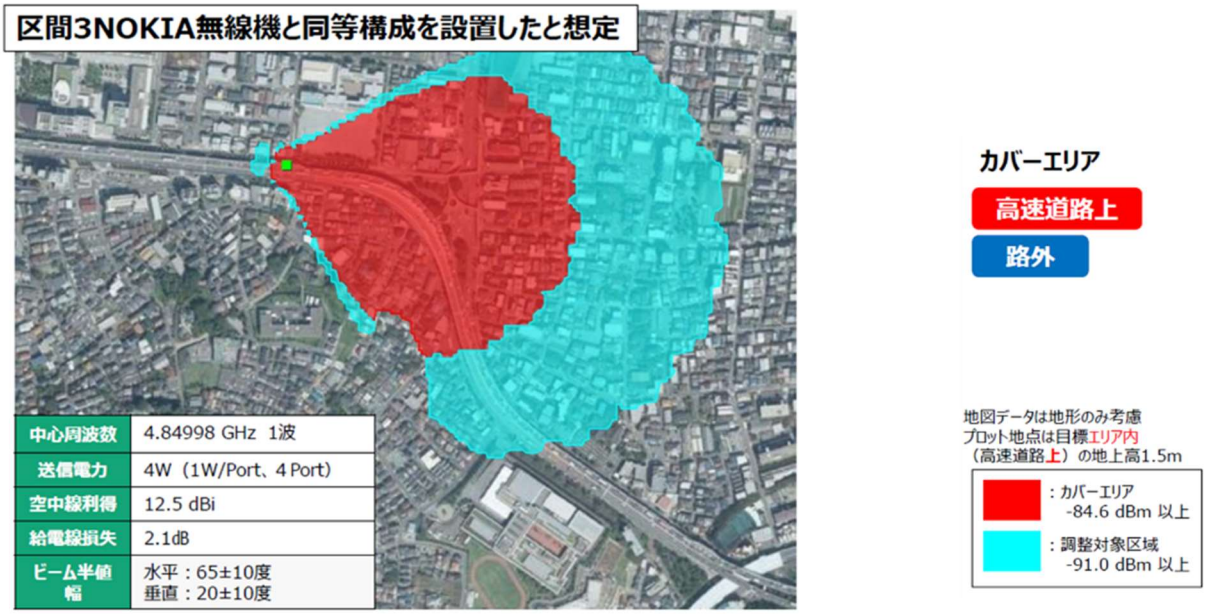
4) DAS

本技術実証の仮説設定に際し、柔軟化手法の 1 つである DAS を用いた簡易電波シミュレーションを実施した。簡易シミュレーションの条件を表 3-37 に示す。

表 3-37 簡易シミュレーションの条件(DAS)

シミュレーションツール	Wireless InSite(Remcom 製)
入力パラメータ	S:市街地(0)相当に補正
構造物考慮の有無	無
アンテナパターン	ノキア製 AAHO 日本電業工作社製 GP00092
電波伝搬算出方法	拡張秦式をベースにしたレイトレース

まず、区間④に対して、DAS を用いない基地局のみでエリア化した場合の簡易シミュレーション結果を図 3-119 に示す。高速道路上の線状エリアに対して、他者土地への電波漏洩が相当見られることが分かる。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-119 区間④について基地局のみでエリア化した場合の簡易シミュレーション結果
（構造物による反射、透過なし）

次に、4 台の DAS 子機を用いエリア化した場合の簡易シミュレーション結果を図 3-120 に示す。DAS を用いることで曲線区間をエリア化すると共に道路外への電波漏洩の抑制を確認できる。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-120 区間④について DAS を用いてエリア化した場合の簡易シミュレーション結果
（構造物による反射、透過なし）

簡易シミュレーション結果により、約 600m の曲線区間を 4 台の DAS 子機でカバーでき、かつ、道路外への電波漏洩について、DAS を用いない基地局のみの構成に対して抑えられることが期待できる。加えて、DAS 子機間の干渉が生じないこと、DAS 子機間のハンドオーバーが

発生しないことから、曲線区間の柔軟化手法として有効であることを検証した。

5） ミリ波ビームフォーミング

ローカル 5G においてミリ波帯は sub6 帯と比べ、以下のメリット、デメリットがある。

- メリット： 割り当て周波数帯域が広い
  長距離飛ばないことから、敷地外への電波の漏洩リスクが低い
- デメリット： 直進性が強く建物等の障害物の影響を受けやすい
  通信範囲が狭い

いずれの性能も、今回の首都高速のような線状の帯域にとってはメリットとなる点が多い。

実際のところ、ミリ波帯で数百 m のエリアを形成しようとすると、アンテナパターンを絞り、高利得アンテナが必要となる。その場合エリアが狭くなり、高速道路のような移動局が線状に高速移動をする場合、アンテナのエリアからすぐに外れてしまう。これを解決するために、アクティブビームフォーミングアンテナを採用し、移動体が移動しても、移動体を追従し接続を維持できるようなアンテナが必要となる。

また、道路外が他者土地となるため、自己土地利用が必要となるローカル 5G では、道路外への漏洩電力を極力減らす必要がある。その点でもアクティブビームフォーミングアンテナを採用することで、道路外への漏洩電力を極力減らすことが可能となる。

現状ではミリ波 SA 方式に対応可能な端末が市場では入手できないため、移動局を追従するようなアクティブビームフォーミングの動作確認ができない。よって、本検証では、ビームフォーミングの有無による柔軟化の比較をシミュレーションによって実施する。

（3） 評価・検証項目

各区間において、柔軟化手法ごとに実施するエリア設計シミュレーションより得られる業務区域内の受信電力値、及び他者土地への漏洩電波の受信電力値を実測値と比較する。実測地点は、シミュレーション結果に基づき、各区間において高速上または道路外にて 30 地点以上を選定する。高速上の実測地点においては、受信電力値、SIR、UL/DL スループット、伝送遅延及び伝送遅延プロファイルを測定し、道路外の実測地点においては受信電力値の測定を行う。

1） 区間②（狭指向性アンテナ、漏洩同軸ケーブル）

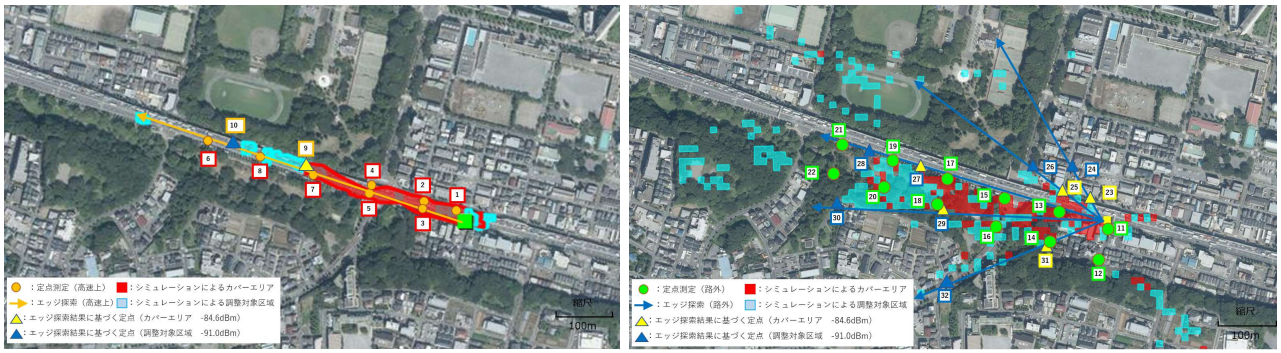
区間②では柔軟化手法適用前として狭指向性アンテナを適用する。柔軟化手法として、より柔軟なエリア構築が見込める漏洩同軸ケーブルを適用し、各アンテナ環境で取得した実測値を比較し、以下のポイントで検証を行う。

- 業務区域の広さと回線品質
- 道路外への電波漏洩の程度

2） 区間③（遮蔽板、ミリ波ビームフォーミング）

アンテナ遮蔽板による検証では、利用するアンテナの水平方向ビーム幅をより狭くすることで、

高速道路のような線状のカバーエリアをより効率的に、かつ道路外への電波の漏れを抑制することが可能か、受信電力、通信品質、伝送性能等の視点からシミュレーション及びフィールドでの実測の両方で確認する。遮蔽による効果が確認できた場合には、実用化に向けて遮蔽構造物利用に相当する狭小ビーム角度のアンテナの検討・導入を行う。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-121 区間③の通信エリアと想定測定ポイント（道路附属物未考慮）

3)　区間④（DAS、ミリ波ビームフォーミング）

柔軟化手法適用前の基地局のみの構成と、柔軟化手法適用後の DAS の場合について、道路附属物の影響を踏まえたシミュレーション結果をもとに高速道路上及び高速道路外にて 30 地点以上の測定点を選定し、道路上の実測点においては、受信電力値、SIR、UL/DL スループット、伝送遅延、PCI（Physical Cell ID）を測定し、高速道路外の実測地点においては受信電力値の測定を行う。

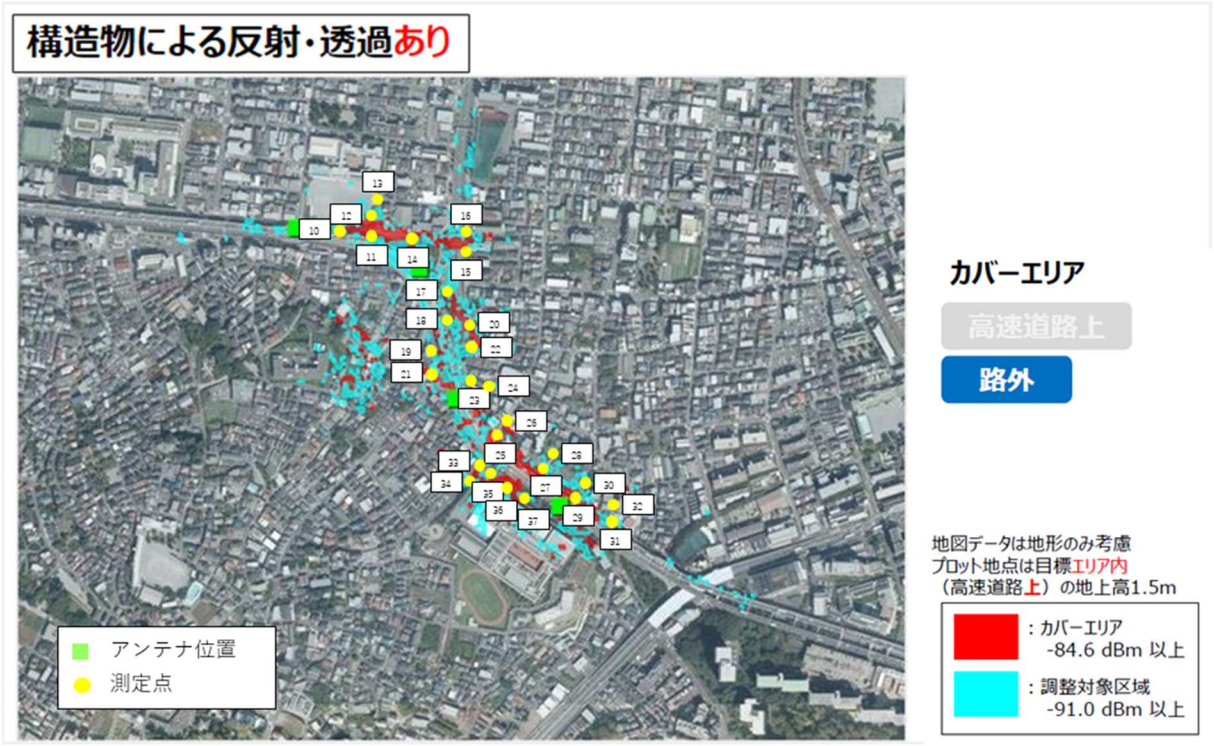
区間④に DAS を適用した際の高速道路上及び高速道路外の測定点を図 3-122 及び図 3-123 に示す。

高速道路上では受信電力の他、スループットや遅延量等の通信品質についての測定も行う。DAS 環境下において、課題実証を見据えた通信品質を維持できるサービス範囲の広さについて検証する。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-122　区間④DAS 適用時の高速道路上の測定点



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-123　区間④DAS 適用時の道路外の測定点

（4） 評価・検証方法

本技術実証における柔軟化手法に用いる機器等の諸元は、2.3.1 及び 2.3.2 に記載のとおりである。

高速道路の 3D モデルデータを用いた精密シミュレーションでは、遮音壁や情報板等の道路付帯設備における反射、透過、回折等の物理現象を加味した電波伝搬シミュレーションを行い、カバーエリア、調整対象区域相当を作図する。シミュレーション結果から得た漏洩電波の強さや方向の情報により測定点を補正し、実測の効率化を図る。実測地点はシミュレーション結果より各区間において高速上または道路外にて 30 地点以上を選定する。シミュレーション結果と実測値に乖離がある場合は、実測においてカバーエリア及び調整対象区域の閾値が観測される地点を確認し、結果をシミュレーション結果にフィードバックする。狭指向性アンテナを適用した場合と、より道路形状に合わせたエリア構築を期待できる漏洩同軸ケーブルを適用した場合とで、道路上での業務区域の広さやスループット、道路外への電波漏洩の観点で実測結果を比較し、柔軟化手法の比較分析を行う。精密シミュレーション結果と測定データを比較し、その要因を分析する。分析を踏まえ漏洩同軸ケーブルを導入する際のシミュレーション方法について見直しを行いエリア設計手法のモデル化をする。

測定においては、sub6 帯及びミリ波帯に対応した可搬型の測定装置を用いる。測定項目としては表 3-38 に示すように、受信電力（RSRP）、通信品質（SIR）及び伝送性能（UL/DL 別のスループット、伝送遅延、伝送遅延プロファイル）を測定する。

表 3-38 測定項目一覧表

測定項目	使用機器	測定機メーカー	測定箇所	測定誤差
受信電力(RSRP)	ML8780A	アンリツ	高速上、道路外	±4.7dB (sub6) ±5.0dB (ミリ波)
通信品質(SIR)	ML8780A	アンリツ	高速上	±3.5dB (sub6) ±5.0dB (ミリ波)
UL/DL 別 スループット	MT1000A	アンリツ	高速上※1	
伝送遅延	MT1000A	アンリツ	高速上※1	－
伝送遅延 プロファイル※2	ML8780A	アンリツ	高速上	－

※1　測定区間は高速上の各測定点の端末-基地局（志村通信棟）間の測定を行う。

※2　ML8780A の遅延分解能力(48nsec)の範囲で必要箇所の測定を行う。

測定点については GPS アンテナを併用することにより、測定場所の詳細位置を把握し、測定データの整理を効率化する。GPS アンテナについては「docomo IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス」を利用し測位補正を行うことにより水平方向の測定誤差を数センチ程度まで低減し測定が可能になる。 また、測定高さについては測定用スケールにて確認したうえで一律で地上高 1.5m にて測定を行う。

なお、高速道路上での測定が必要な場合は、別途、保安規制を行ったうえで測定を実施する。

また、実験設備への被干渉対策として、実証対象の高速道路区間において、事前に測定系に干渉する可能性のある他のローカル 5G 基地局等の有無を確認してから測定を実施する。

狭指向性アンテナの場合、業務区域（区間②全域）での受信電力及びスループット値の測定を実施する。漏洩同軸ケーブルの場合、ケーブル敷設長約 300m の区間での受信電力及びスループット値を測定し、狭指向性アンテナの結果との比較検証を行う。

スループット値は課題実証アプリケーションの要求するスループット値を満足することを検証する。また、柔軟化手法ごとに、エリア設計シミュレーションの結果と、実測値（受信電力、スループット値）との比較検証を行う。また、スループット値の測定と合わせて図 3-124 の区間（現地測定点側（MT1000）～無線装置サーバ側（MT1000）の伝送遅延についても測定を行う。スループット値及び伝送遅延の測定方法としては、基地局に測定機（MT1000）を接続し、測定地点の端末に測定機（MT1000）と GPS 信号にて時間同期させ、測定信号を送受信し、DL/UL 別のスループット値及び伝送遅延の測定を行う。さらに、伝送遅延プロファイルについても高速上の測定点において必要箇所で測定を行う。

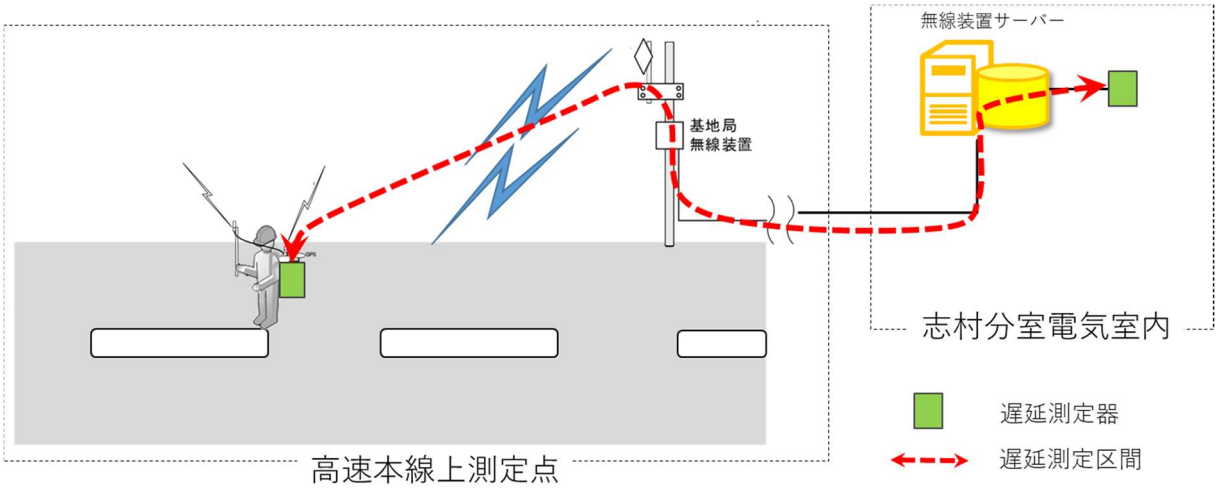


図 3-124 伝送遅延測定区間

（5） 実証結果及び考察

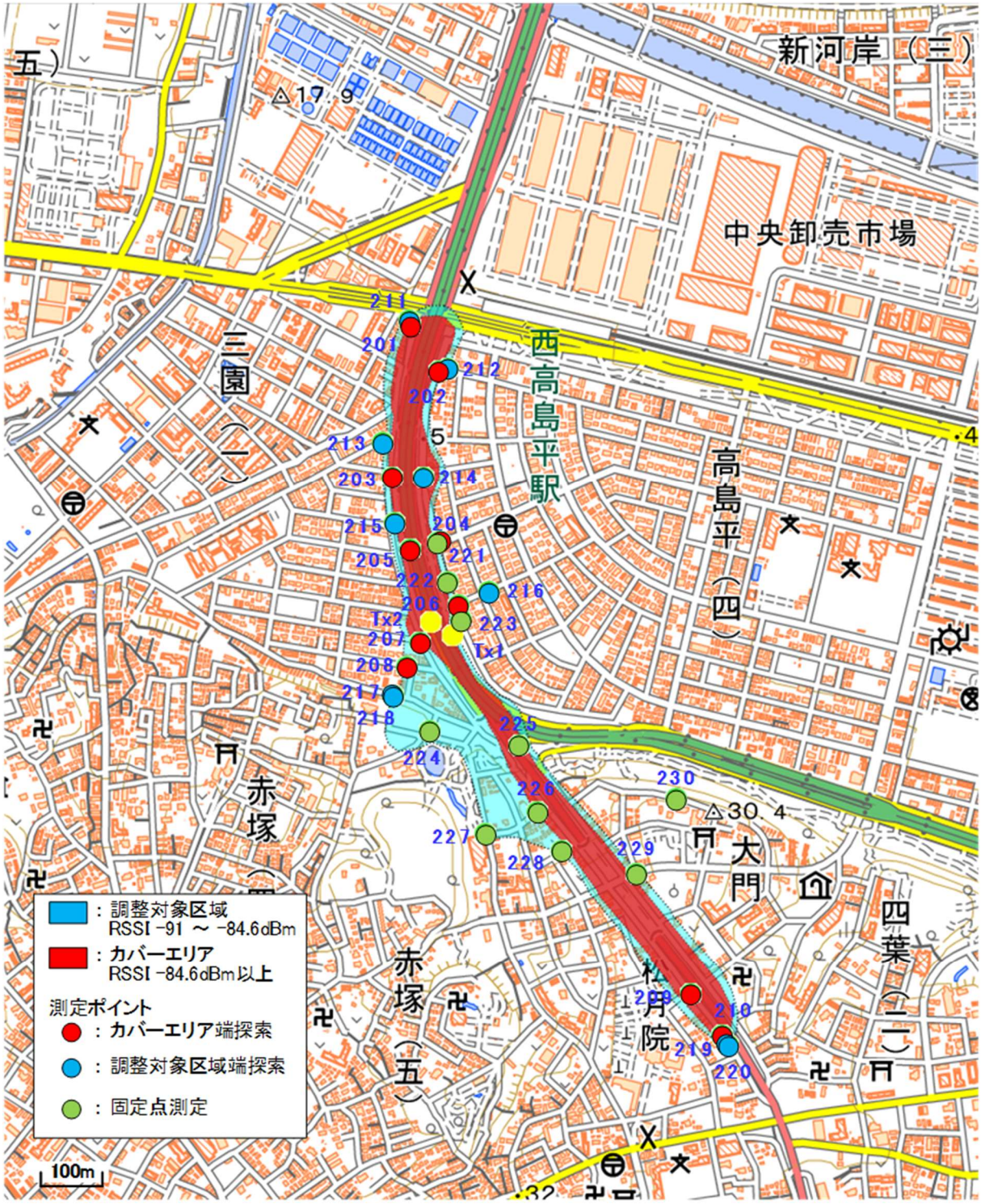
技術実証テーマⅡ線状の空間におけるエリア化の改善・柔軟性向上として、以下の区間、無線周波数帯、エリア化改善施策について、シミュレーション及びフィールド測定試験を行い、その改善効果の確認を行った。

- 区間②～曲線区間、sub6 帯狭指向性アンテナ及び漏洩同軸ケーブル
- 区間③～直線区間、sub6 帯狭指向性アンテナ
- 区間④～曲線区間、sub6 帯 DAS
- 区間④～直線区間、ミリ波帯ビームフォーミング

1） 各手法の実証結果、考察

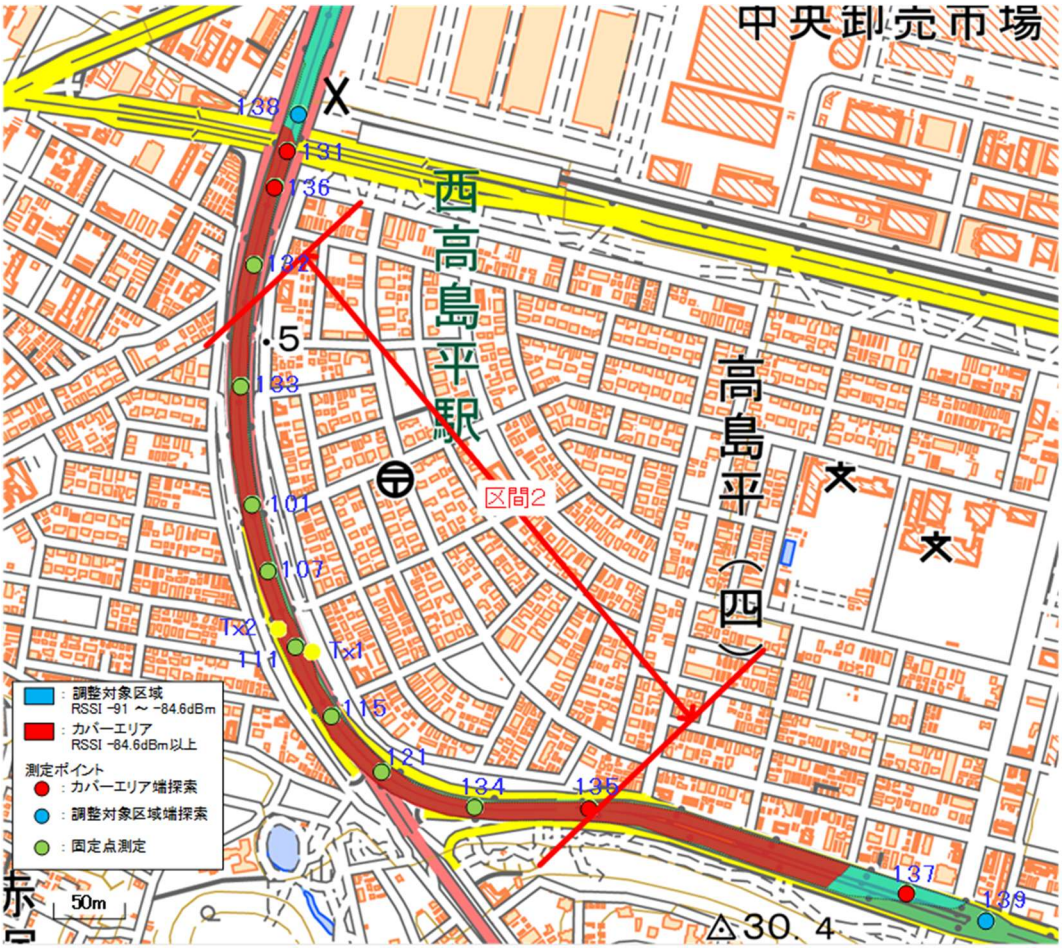
a. 区間②～曲線区間、sub6 帯狭指向性アンテナ及び漏洩同軸ケーブル

区間②において、柔軟化手法適用前として検証を行った狭指向性アンテナの場合の測定点として、図 3-125 に示す道路外 30 ポイントを、図 3-126 に示す高速道路上 14 ポイントを選定した。柔軟化手法として適用する漏洩同軸ケーブル環境においては、図 3-127 に示す道路外 2 ポイントを、図 3-128 に示す高速道路上 24 ポイントを選定した。



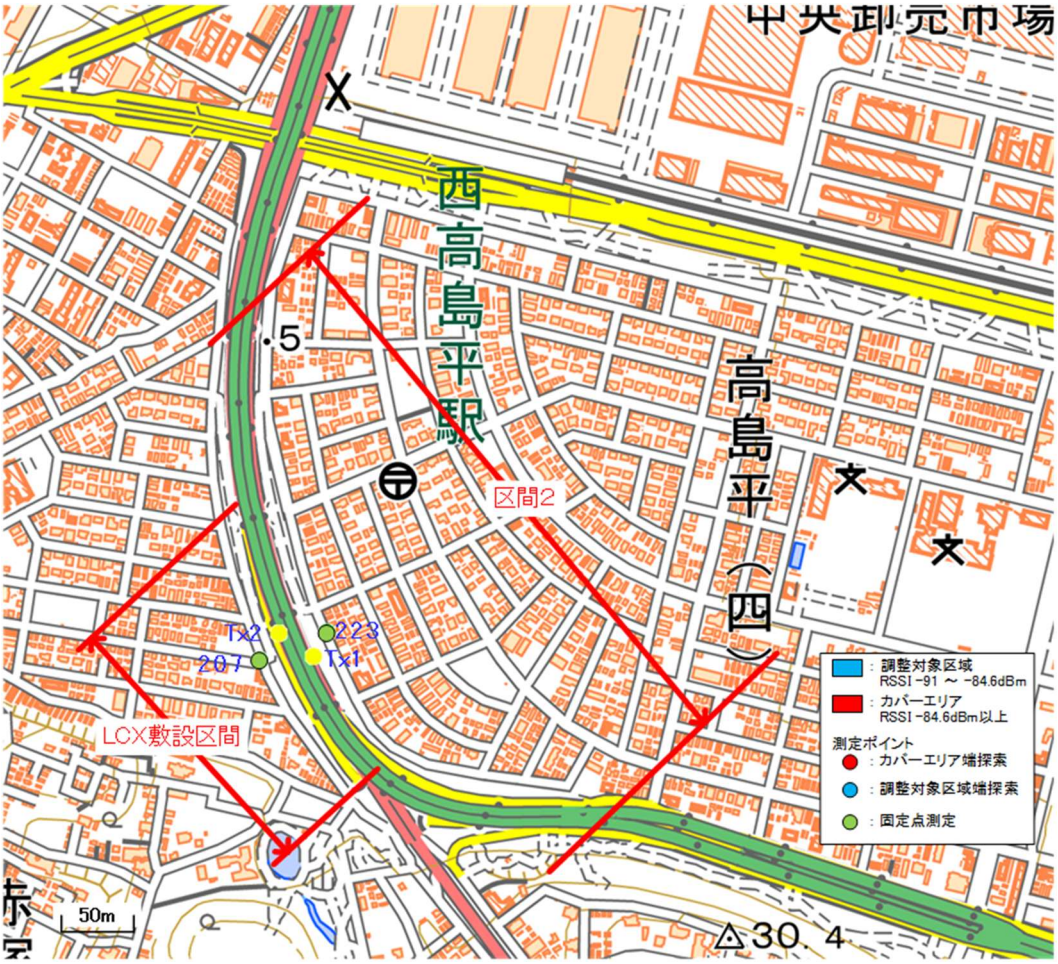
出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-125　区間②狭指向性アンテナ適用時の道路外の測定点



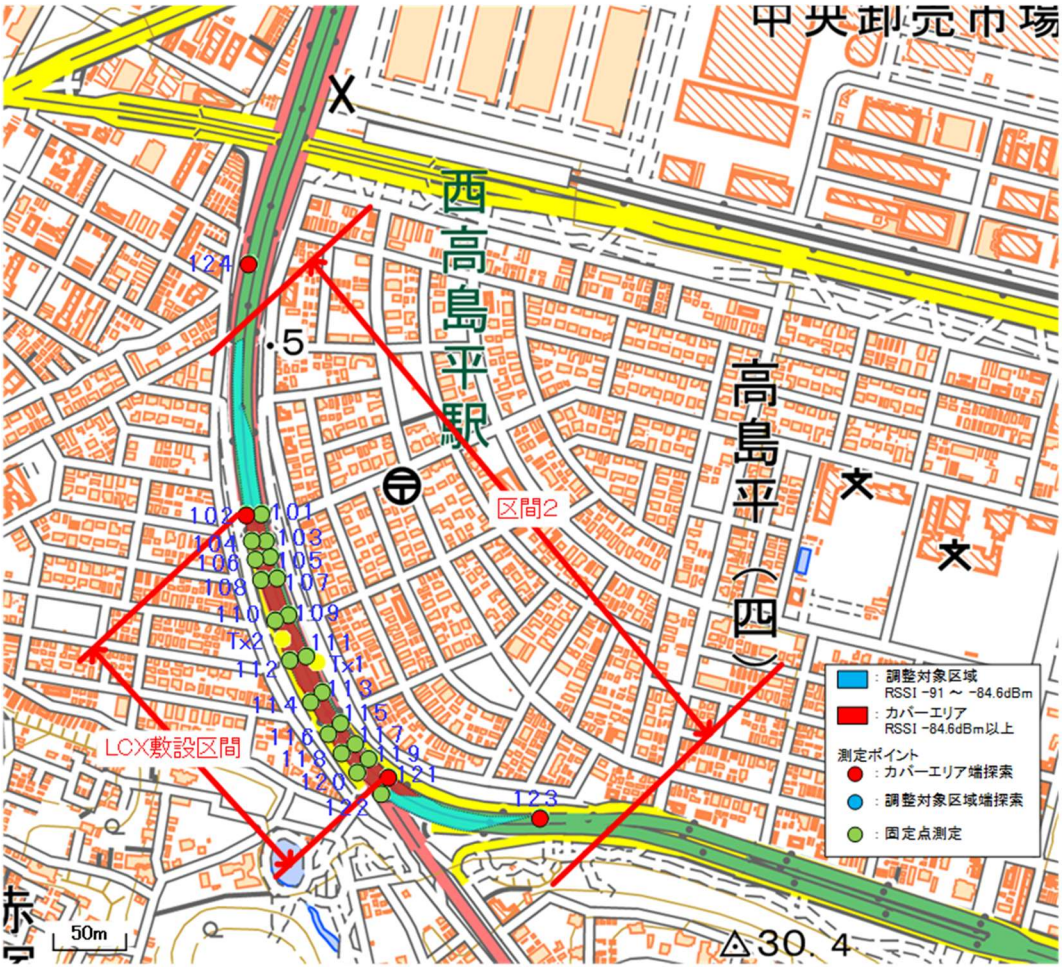
出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-126　区間②狭指向性アンテナ適用時の高速道路上の測定点



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-127　区間②漏洩同軸ケーブル適用時の道路外の測定点



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 3-128　区間②漏洩同軸ケーブル適用時の高速道路上の測定点

図 3-125 に示した区間②に狭指向性アンテナを設置した場合の道路外おける測定点の情報を表 3-39 に示す。図 3-127 に示した漏洩同軸ケーブルを設置した場合の道路外のおける測定点の情報を表 3-40 に示す。図 3-126、図 3-128 に示した狭指向性アンテナ、及び漏洩同軸ケーブルを設置した場合の高速道路上における測定点の情報を表 3-41 に示す。

表 3-39　区間②測定点（狭指向性アンテナ道路外）の測定点情報

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 黄：下り線基地局からの距離 緑：上り線基地局からの距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)	備考
201	507.5	507.0	5.1	22.0	3.9	1.5	1	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
202	431.6	431.0	5.1	22.0	3.2	1.5	1	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
203	275.9	275.0	5.1	22.0	3.9	1.5	1	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
204	160.4	159.0	5.1	22.0	4.6	1.5	1	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
205	157.7	157.0	5.1	22.0	10.4	1.5	1	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
206	62.0	58.0	5.1	22.0	3.8	1.5	1	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
207	37.8	31.0	5.4	22.4	4.7	1.5	0	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
208	78.0	75.0	5.4	22.4	4.8	1.5	1	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
209	727.0	727.0	5.4	22.4	30.1	1.5	1	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
210	811.0	811.0	5.4	22.4	29.7	1.5	1	2023/02/01	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
211	516.5	516.0	5.1	22.0	3.7	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
212	435.6	435.0	5.1	22.0	3.2	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
213	332.7	332.0	5.1	22.0	3.8	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
214	264.9	264.0	5.1	22.0	3.6	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
215	206.8	206.0	5.1	22.0	7.4	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
216	103.3	101.0	5.1	22.0	3.9	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
217	126.5	125.0	5.4	22.4	6.9	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
218	126.5	125.0	5.4	22.4	6.9	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
219	827.0	827.0	5.4	22.4	29.5	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
220	827.0	827.0	5.4	22.4	29.5	1.5	1	2023/02/01	高速外：調整エリア端探索:狭指向
221	159.4	158.0	5.1	22.0	4.5	1.5	0	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向
222	95.5	93.0	5.1	22.0	4.0	1.5	0	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向
223	44.7	39.0	5.1	22.0	3.8	1.5	0	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向
224	171.0	170.0	5.4	22.4	8.1	1.5	1	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向
225	244.4	244.0	5.4	22.4	12.2	1.5	1	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向
226	348.1	348.0	5.4	22.4	18.1	1.5	1	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向
227	347.4	347.0	5.4	22.4	10.2	1.5	1	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向
228	420.0	420.0	5.4	22.4	22.0	1.5	1	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向
229	522.0	522.0	5.4	22.4	25.8	1.5	1	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向
230	487.0	487.0	5.4	22.4	27.1	1.5	1	2023/02/01	高速外：固定点測定:狭指向

表 3-40　区間②測定点（漏洩同軸ケーブル道路外）の測定点情報

測定点ID	LCX有り、なし（0＝なし、1＝あり）	アンテナとの3D距離 [m]	アンテナと端末（測定器）との水平距離 [m]	LCXケーブル長 黄：下り線LCXの長さ 緑：上り線LCXの長さ d1[m]	測定点法線距離 黄：下り線LCXからの距離 緑：上り線LCXからの距離 d2[m]	RUアンテナ地点標高 [m]	RUアンテナ地上高 [m]	LCX布設地点標高 [m]	LCX布設地上高 [m]	測定点標高 [m]	端末（測定器）アンテナ地上高 [m]	LOS アンテナ−端末 (0:LOS 1:NLOS)	LOS LCX−端末 (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)	備考
207	1			0.0	26.0			5.5	17.2	4.5	1.5		1	2023/02/04	高速外；固定ポイント1:LCX
223	1			0.0	25.1			5.1	17.3	3.9	1.5		1	2023/02/04	高速外；固定ポイント2:LCX

表 3-41　区間②測定点（狭指向性アンテナ／漏洩同軸ケーブル高速上）の測定点情報

測定点ID	LCX有り、なし（0＝なし、1＝あり）	基地局との3D距離 [m]	基地局との端末（測定器）との水平距離 黄：下り線アンテナからの距離 緑：上り線アンテナからの距離 [m]	LCXケーブル長 黄：下り線LCXの長さ 緑：上り線LCXの長さ d1[m]	測定点法線距離 黄：下り線LCXからの距離 緑：上り線LCXからの距離 d2[m]	RUアンテナ地点標高 [m]	RUアンテナ地上高 [m]	LCX布設地点標高 [m]	LCX布設地上高 [m]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS アンテナ−端末 (0:LOS 1:NLOS)	LOS LCX−端末 (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)	備考
101	1			150.0	14.2			4.3	17.8	19.6	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
101	0	166.1	166.0			5.1	22.0			19.8	1.5	1		2023/01/30	高速外：固定点測定:狭指向
102	1			150.0	2.4			4.3	17.8	19.9	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速：カバーエリア探索LCX
103	1			120.0	14.9			4.5	17.7	19.6	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
104	1			120.0	2.3			4.5	17.7	20	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
105	1			100.0	14.3			4.6	17.5	19.6	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
106	1			100.0	2.1			4.6	17.5	19.9	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
107	1			80.0	15.1			4.8	17.4	19.8	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
107	0	104.2	104.0			5.1	22.0			19.9	1.5	0		2023/01/30	高速外：固定点測定:狭指向
108	1			80.0	2.1			4.8	17.4	20	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
109	1			40.0	16.3			5.1	17.4	20	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
110	1			40.0	2.3			5.1	17.4	20.3	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
111	1			0.0	4.8			5.1	17.3	20.2	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
111	0	21.7	21.0			5.1	22.0			20.3	1.5	0		2023/01/30	高速外：固定点測定:狭指向
112	1			0.0	5.6			5.5	17.2	20.5	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
113	1			40.0	15.3			5.4	17.2	20.4	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
114	1			40.0	2.8			5.4	17.2	20.7	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
115	1			80.0	15.8			6.3	16.7	20.8	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
115	0	95.1	95.0			5.4	22.3			20.9	1.5	0		2023/01/30	高速外：固定点測定:狭指向
116	1			80.0	2.7			6.3	16.7	21	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
117	1			100.0	17.2			7.0	15.8	20.6	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
118	1			100.0	2.8			7.0	15.8	21.1	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
119	1			120.0	18.3			8.5	15.0	21.3	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速LCX
120	1			120.0	2.5			8.5	15.0	20.6	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
121	1			150.0	17.9			9.5	13.3	20.6	1.5		0	2023/02/05	高速外：上り方 車速：カバーエリア探索LCX
121	0	170.1	170.0			5.4	22.3			21.3	1.5	0		2023/01/31	高速外：固定点測定:狭指向
122	1			150.0	2.9			9.5	13.3	21.3	1.5		0	2023/02/01	高速外：下り方 車速LCX
123	1									20.3	1.5		1	2023/02/05	高速外：上り方 車速：カバーエリア探索LCX
124	1									22.3	1.5		1	2023/02/01	高速外：下り方 車速：カバーエリア探索LCX
131	0	525.0	525.0			5.1	22.0			22.2	1.5	1		2023/01/30	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
132	0	410.0	410.0			5.1	22.0			22.2	1.5	1		2023/01/30	高速外：固定点測定:狭指向
133	0	289.0	289.0			5.1	22.0			20.7	1.5	1		2023/01/30	高速外：固定点測定:狭指向
134	0	265.1	265.0			5.4	22.3			20.7	1.5	1		2023/01/31	高速外：固定点測定:狭指向
135	0	362.1	362.0			5.4	22.3			20.1	1.5	1		2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
136	0	482.0	482.0			5.1	22.0			22.4	1.5	1		2023/01/30	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
137	0	702.0	702.0			5.4	22.3			18.4	1.5	1		2023/01/31	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
138	0	554.2	554.0			5.1	22.0			11.9	1.5	0		2023/01/30	高速外：調整エリア端探索:狭指向
139	0	789.0	789.0			5.4	22.3			18.1	1.5	1		2023/01/31	高速外：調整エリア端探索:狭指向

ア） 他者土地への電波漏洩軽減

柔軟化手法適用前の狭指向性アンテナの場合について、道路外の各測定点における他者土地への電波漏洩低減量の測定結果を表 3-42 に示す。

表 3-42 区間②柔軟化手法適用前の他者土地への電波漏洩量

測定点ID	算出式による受信電力 [dBm]	LCXなし_実測値 [dBm] 中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	備考
201		測定不可-140dBm以下					高速外：カバーエリア端探索:狭指向
202		測定不可-140dBm以下					高速外：カバーエリア端探索:狭指向
203		測定不可-140dBm以下					高速外：カバーエリア端探索:狭指向
204		-119.3	-120.2	3.9348526	-116.1	-125.8	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
205		-120.3	-121.3	3.6405906	-117.6	-126.2	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
206		-120.2	-120.5	3.2096229	-116.9	-124.7	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
207		-113.1	-114.0	4.1545397	-109.2	-120.0	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
208		-119.2	-120.0	4.8254079	-114.5	-126.5	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
209		-119.3	-119.5	4.7551466	-113.5	-126.2	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
210		-124.1	-124.4	3.0885103	-121.1	-128.2	高速外：カバーエリア端探索:狭指向
211		測定不可-140dBm以下					高速外：調整エリア端探索:狭指向
212		測定不可-140dBm以下					高速外：調整エリア端探索:狭指向
213		測定不可-140dBm以下					高速外：調整エリア端探索:狭指向
214		-125.9	-126.1	3.5817986	-121.5	-130.8	高速外：調整エリア端探索:狭指向
215		-127.9	-128.8	3.6811914	-125.2	-134.0	高速外：調整エリア端探索:狭指向
216		-125.4	-126.0	3.9570526	-121.8	-131.1	高速外：調整エリア端探索:狭指向
217		-127.6	-128.1	3.5236165	-124.1	-132.6	高速外：調整エリア端探索:狭指向
218		-128.0	-128.5	4.1727528	-123.6	-134.2	高速外：調整エリア端探索:狭指向
219		-124.5	-124.3	2.9030659	-120.1	-127.7	高速外：調整エリア端探索:狭指向
220		-125.2	-125.3	2.7702823	-121.5	-128.5	高速外：調整エリア端探索:狭指向
221		-115.9	-117.9	4.7522393	-113.6	-125.3	高速外：固定点測定:狭指向
222		-113.1	-114.1	3.6780671	-110.5	-118.8	高速外：固定点測定:狭指向
223		-123.6	-123.8	3.6174162	-119.3	-128.4	高速外：固定点測定:狭指向
224		-132.5	-132.8	3.5733262	-128.6	-137.5	高速外：固定点測定:狭指向
225		-119.1	-119.4	2.4315401	-116.6	-122.8	高速外：固定点測定:狭指向
226		-134.5	-134.5	3.5221214	-129.8	-139.4	高速外：固定点測定:狭指向
227		-134.9	-135.5	3.5312887	-132.8	-138.9	高速外：固定点測定:狭指向
228		-131.1	-131.6	3.8420130	-126.9	-136.8	高速外：固定点測定:狭指向
229		-121.1	-121.4	3.7090150	-117.1	-126.4	高速外：固定点測定:狭指向
230		測定不可-140dBm以下					高速外：固定点測定:狭指向

ほぼ仮説エリア図通りの結果となり、仮説どおり国道 17 号上で強い電波漏洩が発生した。その他の地点では、高架下の隣接した道路への漏洩が認められたものの、住宅地のため漏洩電波はすぐに減衰する結果となった。

表 3-43 に漏洩同軸ケーブルの場合の道路外での受信電界値と、同じ位置で測定した狭指向性アンテナの場合の受信電界値、及び柔軟化による改善値を示す。

漏洩同軸ケーブルの漏洩電力が最も強くなる給電点付近、高速道路の西側 ID207、東側 ID223 で測定を実施した。両測定点で調整対象区域に満たない受信電界値が測定されると仮説を立てていたが、西側の測定点で調整対象区域となる受信電界値が計測された。東側では仮説どおりの結果となった。

区間②はカーブ形状となっており、道路をバンクさせるため西側から東側へ向かって道路が傾斜し東側の道路面の高さが西側よりも低くなっている。西側、東側の高さ 3m 程の遮音壁に設置される漏洩同軸ケーブルはいずれも遮音壁より低い道路面からの高さ 2m 程の位置に固定されており、測定点から漏洩同軸ケーブルへの見通しは取れないため、直接波や遮音壁を越えた回折波が到達していることは考えづらく、想定できていないパスで反射波が到達していると考えられる。

同測定位置のおける位置狭指向性アンテナ環境における受信電界値は、西側、東側とも漏洩同

軸ケーブルでの測定値を上回っており、柔軟化手法により 8dB～20dB 程度改善されたことがわかった。

表 3-43 区間②他者土地への電波漏洩低減量

測定点ID	電波漏洩軽減方策なし_実測値 [dBm]	電波漏洩軽減方策あり_実測値 [dBm]	電波漏洩軽減方策あり_改善値 [dB]
	中央値	中央値	中央値
207	-113.1	-121.2	8.1
223	-123.6	測定不可(-143dBm以下)	19.4

イ） カバーエリア内性能

狭指向性アンテナ環境、及び漏洩同軸ケーブル環境下のおける高速道路上での受信電界値を表 3-44 に、SIR 測定結果を表 3-45 に示す。

表 3-44 に示した受信電力値の測定結果から、狭指向性アンテナの場合は、区間②全域にわたって、カバーエリアが構成されていることがわかる。区間②の東京方面の道路は下り線に設置される狭指向性アンテナでカバーされるが、区間②南端の測定点 ID134，135 は道路がカーブしており、見通しが遮られる測定点となっているが、-100dBm(RSRP)程度の受信電界値を得られており、遮音壁による反射波が到達していると推定される。

漏洩同軸ケーブルでは、用意したケーブル長が 150m だったため、区間全域をカバーすることはできていないが、ケーブル敷設区間で反対車線での測定点で-85dBm～-100dBm(RSRP)程度の受信電界値をうることができた。

表 3-45 に示した SIR の測定結果から、狭指向性アンテナ、漏洩同軸ケーブルのアンテナの種別に関わらずカバーエリアとして見込まれる区間においては、SIR:20dB 前後の値となっており、通信品質上の場合は生じないことが分かる。

表 3-44　区間②狭指向性アンテナ／漏洩同軸アンテナ高速上　受信電界値測定結果

測定点ID	LCXなし:端末（測定器）の受信電力　実測値 [dBm]			LCXあり：端末（測定器）の受信電力　実測値 [dBm]			備考
	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	
101				-102.4	-102.8	4.2095860	高速内：上り左車線:*LCX*
101	-101.3	-102.2	4.4176780				高速内：固定点測定:狭指向
102				-102.8	-103.2	3.2611419	高速内：下り左車線：カバーエリア探索:*LCX*
103				-97.5	-98.5	4.4288458	高速内：上り左車線:*LCX*
104				-94.4	-94.9	4.1333208	高速内：下り左車線:*LCX*
105				-95.4	-96.1	3.9457929	高速内：上り左車線:*LCX*
106				-95.5	-95.9	3.5654503	高速内：下り左車線:*LCX*
107				-95.5	-96.1	3.7757161	高速内：上り左車線:*LCX*
107	-99.0	-99.0	5.1194516				高速内：固定点測定:狭指向
108				-90.8	-91.0	2.9252812	高速内：下り左車線:*LCX*
109				-89.8	-89.9	4.3526639	高速内：上り左車線:*LCX*
110				-81.3	-81.8	3.9492810	高速内：下り左車線:*LCX*
111				-89.1	-89.3	3.0347672	高速内：上り左車線:*LCX*
111	-95.9	-96.4	4.0704139				高速内：固定点測定:狭指向
112				-85.3	-85.5	3.9112346	高速内：下り左車線:*LCX*
113				-84.4	-84.5	3.6005122	高速内：上り左車線:*LCX*
114				-88.8	-88.9	3.9763359	高速内：下り左車線:*LCX*
115				-89.8	-90.5	4.6070310	高速内：上り左車線:*LCX*
115	-79.0	-79.5	2.9447596				高速内：固定点測定:狭指向
116				-94.2	-94.2	3.9926305	高速内：下り左車線:*LCX*
117				-93.4	-94.1	3.9628966	高速内：上り左車線:*LCX*
118				-94.3	-94.7	3.4885463	高速内：下り左車線:*LCX*
119				-97.3	-97.9	3.9378702	高速内：上り左車線:*LCX*
120				-96.2	-96.7	4.4536792	高速内：下り左車線:*LCX*
121				-101.9	-102.4	4.5605797	高速内：上り左車線:*LCX*
121	-84.5	-85.5	4.5925303				高速内：固定点測定:狭指向
122				-102.5	-102.6	5.4152872	高速内：下り左車線:*LCX*
123				-119.0	-119.3	4.2975622	高速内：上り左車線：カバーエリア探索:*LCX*
124				-117.0	-117.2	3.2463163	高速内：下り左車線：カバーエリア探索:*LCX*
131	-127.1	-127.2	4.4695126				高速内：カバーエリア端探索:狭指向
132	-113.1	-113.9	4.4945509				高速内：固定点測定:狭指向
133	-105.3	-106.3	4.6119312				高速内：固定点測定:狭指向
134	-93.6	-93.9	4.1249989				高速内：固定点測定:狭指向
135	-103.1	-103.2	6.2545641				高速内：カバーエリア端探索:狭指向
136	-121.2	-121.9	4.3185750				高速内：カバーエリア端探索:狭指向
137	-122.1	-122.4	5.1975760				高速内：カバーエリア端探索:狭指向
138	-126.9	-127.4	3.9690752				高速内：調整エリア端探索:狭指向
139	-124.3	-124.8	5.3474247				高速内：調整エリア端探索:狭指向

表 3-45 区間②狭指向性アンテナ／漏洩同軸アンテナ高速上 SIR 測定結果

測定点ID	LCXあり、なし（0=なし、1=あり）	SIR/SINR 実測値 [dB]			備考
		中央値	平均値	標準偏差	
101	1	17.7	17.3	2.6431024	高速内：上り左車線:LCX
101	0	17.2	16.4	3.3903823	高速内：固定点測定:狭指向
102	1	17.3	16.9	2.5188069	高速内：下り左車線：カバーエリア探索:LCX
103	1	19.5	19.0	2.5778094	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
104	1	19.9	19.7	1.9373678	高速内：上り左車線：カバーエリア探索:LCX
105	1	20.0	19.8	1.9407261	高速内：下り左車線:LCX
106	1	19.5	19.3	2.0996865	高速内：上り左車線:LCX
107	1	19.2	18.8	2.3582591	高速内：下り左車線:LCX
107	0	17.3	16.8	3.0988493	高速内：固定点測定:狭指向
108	1	20.6	20.5	1.5231183	高速内：上り左車線:LCX
109	1	20.0	19.8	1.9587421	高速内：下り左車線:LCX
110	1	20.9	20.8	1.5731215	高速内：上り左車線:LCX
111	1	20.2	20.1	1.6493911	高速内：下り左車線:LCX
111	0	18.1	17.4	3.3095759	高速内：固定点測定:狭指向
112	1	20.8	20.7	1.6336047	高速内：上り左車線:LCX
113	1	20.6	20.5	1.5918883	高速内：下り左車線:LCX
114	1	20.3	20.2	1.7583983	高速内：上り左車線:LCX
115	1	20.3	20.1	1.8369418	高速内：下り左車線:LCX
115	0	21.4	21.4	1.2828443	高速内：固定点測定:狭指向
116	1	19.2	18.8	2.4677918	高速内：上り左車線:LCX
117	1	20.3	20.0	2.0369034	高速内：下り左車線:LCX
118	1	19.7	19.4	1.9299612	高速内：上り左車線:LCX
119	1	19.8	19.5	2.2269390	高速内：下り左車線:LCX
120	1	19.7	19.4	2.1695825	高速内：上り左車線:LCX
121	1	18.3	17.6	2.9889571	高速内：下り左車線:LCX
121	0	21.4	21.2	1.5892863	高速内：固定点測定:狭指向
122	1	17.9	17.3	3.2752491	高速内：上り左車線:LCX
131	0	-3.2	-3.2	4.2622422	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
132	0	10.1	9.3	4.3869569	高速内：固定点測定:狭指向
133	0	15.8	14.8	3.8372244	高速内：固定点測定:狭指向
134	0	20.2	20.0	1.8453670	高速内：固定点測定:狭指向
135	0	17.6	16.8	3.9383475	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
136	0	2.4	1.8	4.3590154	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
137	0	1.8	1.5	5.2371833	高速内：カバーエリア端探索:狭指向

狭指向性アンテナ環境及び漏洩同軸ケーブル環境下のおける高速道路上での UL スループット結果を表 3-46 に、DL スループット結果を表 3-47 に示す。

スループットの目標値（UL スループット：10Mbps，DL スループット：50Mbps）を測定機に設定し、測定を実施した。

UL スループットについては、表 3-46 に示した結果から狭指向性アンテナの場合は、区間②全域にわたって目標スループットで動作していることがわかる。見通し外の測定点 ID134，135 においても 10Mbps での動作を確認することができた。ただし、2 台の無線機に最も近い ID111 の測定値において、平均値が 10Mbps を下回る結果となった。

漏洩同軸ケーブルでは、ケーブル敷設区間の南端部のケーブル末端部の反対車線側（ID122）でわずかに UL スループット性能が低下したものの、ケーブル敷設区間全域にわたり目標スルー

プットで動作することがわかった。

DL スループットについては、表 3-47 に示した結果から狭指向性アンテナの場合は、UL スループットと同様、区間の中央付近の比較的受信レベルが高い ID115 で性能の劣化が確認された。その他の測定点では目標スループットでの動作を確認することがきた。

上下線に設置されている狭指向性アンテナはアンテナ近辺で互いのメインローブを交差させるように電波を発射しており、無線機と距離的に近い ID111，115 において、電波の干渉等、通信に悪影響を及ぼしている可能性がある。

漏洩同軸ケーブルでは、スループットが一定の値とならなかった。ID 番号が奇数の測定点は上り線左車線での測定（測定日 2023 年 2 月 5 日）、ID 番号が偶数の測定点は下り線左車線での測定（測定日 2023 年 2 月 4 日）となる。

上り線での測定の場合、ID109、113 でのスループットが劣化している。その他の測定点では目標スループットで動作することが確認できた。

下り線での測定の場合、ケーブル敷設区間全域にわたり、DL スループット 47Mbps となっており、目標スループットにわずかに届かない結果となったものの、測定点によらず定量的に性能が劣化しており、当日同時に取得したシステムログによると DL 伝送の際、再送が発生していることは確認できたが、原因の究明には至らなかった。

表 3-46　区間②狭指向性アンテナ／漏洩同軸アンテナ高速上　UL スループット測定結果

測定点ID	LCXあり、なし（0=なし、1=あり）	UL伝送スループット　実測値 [Mbps] 目標UL伝送スループット　10Mbps			備考
		中央値	平均値	標準偏差	
101	1	10.02	10.01	0.09	高速内：上り左車線:LCX
101	0	10.02	10.02	0.22	高速内：固定点測定:狭指向
102	1	10.02	10.02	0.03	高速内：下り左車線：カバーエリア探索:LCX
103	1	10.03	10.03	0.02	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
104	1	10.02	10.03	0.02	高速内：上り左車線：カバーエリア探索:LCX
105	1	10.02	10.03	0.73	高速内：下り左車線:LCX
106	1	10.03	10.03	0.02	高速内：上り左車線:LCX
107	1	10.02	10.03	0.03	高速内：下り左車線:LCX
107	0	10.03	10.10	1.30	高速内：固定点測定:狭指向
108	1	10.03	10.03	0.02	高速内：上り左車線:LCX
109	1	10.02	10.03	0.02	高速内：下り左車線:LCX
110	1	10.03	10.03	0.02	高速内：上り左車線:LCX
111	1	10.02	10.03	0.02	高速内：下り左車線:LCX
111	0	10.03	9.81	3.20	高速内：固定点測定:狭指向
112	1	10.03	10.03	0.02	高速内：上り左車線:LCX
113	1	10.03	10.03	0.02	高速内：下り左車線:LCX
114	1	10.02	10.03	0.02	高速内：上り左車線:LCX
115	1	10.03	10.03	0.02	高速内：下り左車線:LCX
115	0	10.02	10.15	0.71	高速内：固定点測定:狭指向
116	1	10.03	10.03	0.02	高速内：上り左車線:LCX
117	1	10.03	10.03	0.02	高速内：下り左車線:LCX
118	1	10.02	10.02	0.40	高速内：上り左車線:LCX
119	1	10.03	10.03	0.02	高速内：下り左車線:LCX
120	1	10.02	10.03	0.02	高速内：上り左車線:LCX
121	1	10.03	10.03	0.03	高速内：下り左車線:LCX
121	0	10.03	10.03	0.02	高速内：固定点測定:狭指向
122	1	9.77	9.64	1.14	高速内：上り左車線:LCX
131	0	----	----	----	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
132	0	3.68	4.15	3.83	高速内：固定点測定:狭指向
133	0	10.03	10.01	1.31	高速内：固定点測定:狭指向
134	0	10.02	10.03	0.02	高速内：固定点測定:狭指向
135	0	10.02	9.97	1.15	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
136	0	----	----	----	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
137	0	----	----	----	高速内：カバーエリア端探索:狭指向

表 3-47　区間②狭指向性アンテナ／漏洩同軸アンテナ高速上　DL スループット測定結果

測定点ID	LCXあり、なし（0=なし、1=あり）	DL伝送スループット　実測値 [Mbps] 目標DL伝送スループット　50Mbps			備考
		中央値	平均値	標準偏差	
101	1	50.03	50.03	0.01	高速内：上り左車線:LCX
101	0	50.03	49.82	1.60	高速内：固定点測定:狭指向
102	1	47.72	47.74	0.27	高速内：下り左車線：カバーエリア探索:LCX
103	1	50.03	50.03	0.02	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
104	1	47.61	47.61	0.28	高速内：上り左車線：カバーエリア探索:LCX
105	1	50.03	50.02	0.71	高速内：下り左車線:LCX
106	1	47.53	47.51	0.31	高速内：上り左車線:LCX
107	1	50.03	50.03	0.03	高速内：下り左車線:LCX
107	0	50.04	49.64	11.17	高速内：固定点測定:狭指向
108	1	47.64	47.42	1.63	高速内：上り左車線:LCX
109	1	8.91	13.83	13.28	高速内：下り左車線:LCX
110	1	47.86	47.86	0.29	高速内：上り左車線:LCX
111	1	50.03	50.03	5.11	高速内：下り左車線:LCX
111	0	50.03	50.03	1.84	高速内：固定点測定:狭指向
112	1	47.60	44.95	18.31	高速内：上り左車線:LCX
113	1	12.42	16.01	11.74	高速内：下り左車線:LCX
114	1	47.67	47.69	0.27	高速内：上り左車線:LCX
115	1	50.03	50.03	0.02	高速内：下り左車線:LCX
115	0	15.74	27.39	23.33	高速内：固定点測定:狭指向
116	1	47.44	47.45	0.35	高速内：上り左車線:LCX
117	1	50.03	50.03	0.01	高速内：下り左車線:LCX
118	1	47.47	47.26	2.17	高速内：上り左車線:LCX
119	1	50.03	50.03	0.01	高速内：下り左車線:LCX
120	1	47.99	47.95	0.29	高速内：上り左車線:LCX
121	1	50.03	50.03	0.03	高速内：下り左車線:LCX
121	0	50.03	50.03	0.02	高速内：固定点測定:狭指向
122	1	47.53	47.46	0.39	高速内：上り左車線:LCX
131	0	----	----	----	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
132	0	36.12	31.36	16.25	高速内：固定点測定:狭指向
133	0	50.03	50.03	0.02	高速内：固定点測定:狭指向
134	0	50.03	50.03	0.04	高速内：固定点測定:狭指向
135	0	50.03	50.03	0.02	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
136	0	----	----	----	高速内：カバーエリア端探索:狭指向
137	0	----	0.43	3.17	高速内：カバーエリア端探索:狭指向

ウ）狭指向性アンテナのレイトレースシミュレーションの実施

区間②における狭指向性アンテナレイトレースの諸元を表 3-48 に示す。また、レイトレースシミュレーションのモデルを図 3-129～図 3-131 に示す。

表 3-48　狭指向性アンテナレイトレースの諸元（区間②）

項目	内容
周波数	4,850 MHz
送信電力	15 dBm（給電線損失 2.0 dB）

送信アンテナ	狭指向性アンテナ （最大利得 27 dBi）
受信アンテナ	無指向性アンテナ （最大利得 0 dBi）
受信点配置	5 m 間隔でグリッド状に配置
建物モデル	国土交通省 PLATEAU（東京都 23 区） Shape 形式
地形モデル	国土地理院基盤地図情報数値標高モデル 10 m メッシュ dted 形式
反射（R）、透過（T）、回折（D）の最大回数	R3T0D1（高速道路上） R3T1D1（道路外）
受信点配置	5 m 間隔でグリッド状に配置
受信点高さ	高速道路上：高速道路面の高さから、高さ 1.5 m 道路外；地上高さから、高さ 1.5 m

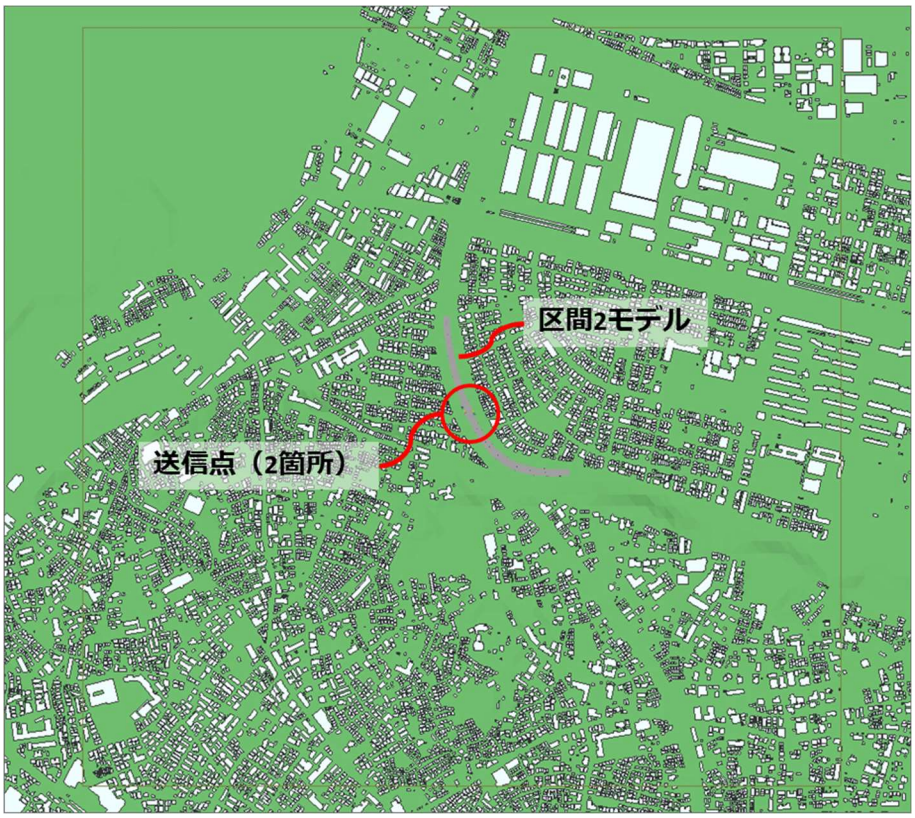


図 3-129　区間②レイトレースシミュレーションモデル

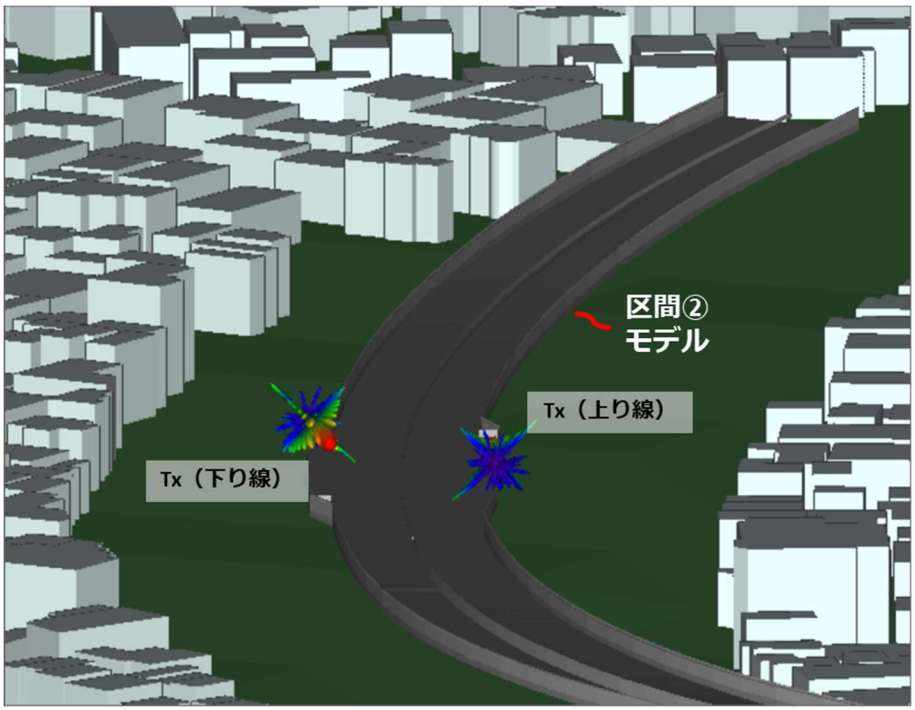


図 3-130　区間②レイトレースシミュレーションモデル（基地局部分拡大 1）

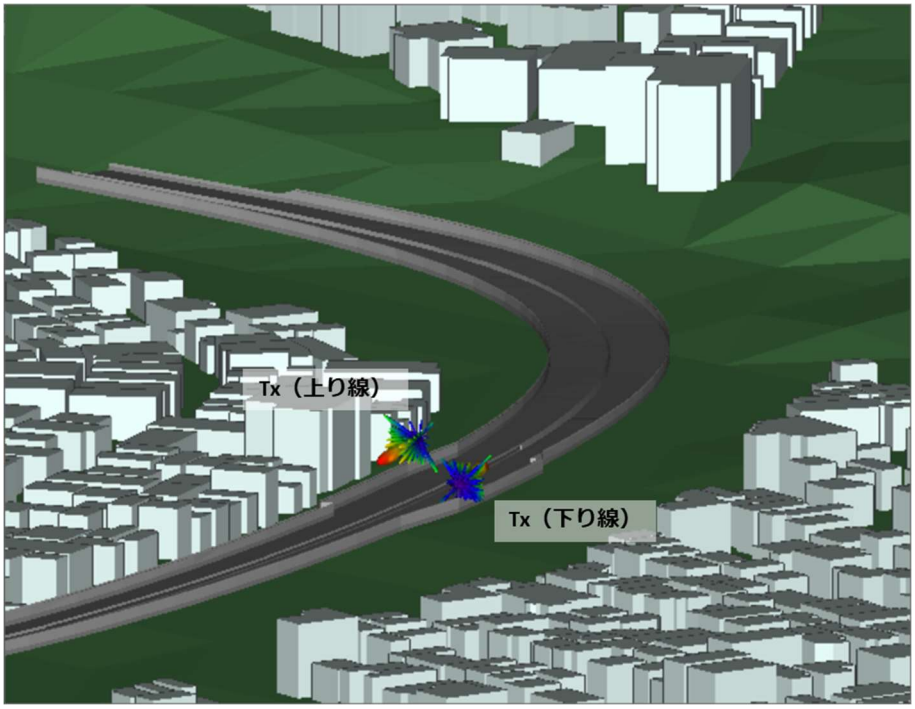


図 3-131　区間②レイトレースシミュレーションモデル（基地局部分拡大 2）

区間②の狭指向性アンテナレイトレース結果と実測値との比較を RMSE により評価した。受信電力結果のカラーマップを高速道路上、道路外においてそれぞれ図 3-132、図 3-133 に示す。基地局からの 2 次元距離に対する受信電力を実測値と比較した結果を図 3-134、図 3-135 に示す。また、高速道路上、道路外それぞれにおいて RMSE を示した表を表 3-49 に示す。

表 3-49 より、区間②においては、高速道路上、道路外の両方において RMSE が 10 を下回り、受信電力を非常に良く推定できていることがわかる。特に、図 3-134 においては、基地局からの 2 次元距離に対する受信電力の傾向が実測、シミュレーションともに非常に合致しており、受信電力の傾向も良く捉えられている。図 3-135 においては、高速道路上の結果程ではないが受信電力の傾向を良く掴めており、RMSE が 10 を下回る結果となった。区間①のレイトレースシミュレーションとのシミュレーション環境の大きな違いとして、区間②周辺は東京都板橋区に位置し、3D 建物モデルの欠損が少なかったことが挙げられる。これにより、レイトレースの精度が高くなったと考えられる。このことは、レイトレースシミュレーションによってエリア推定を精度良く実施するならば、建物モデルの調達が必要であることを示唆していると考える。

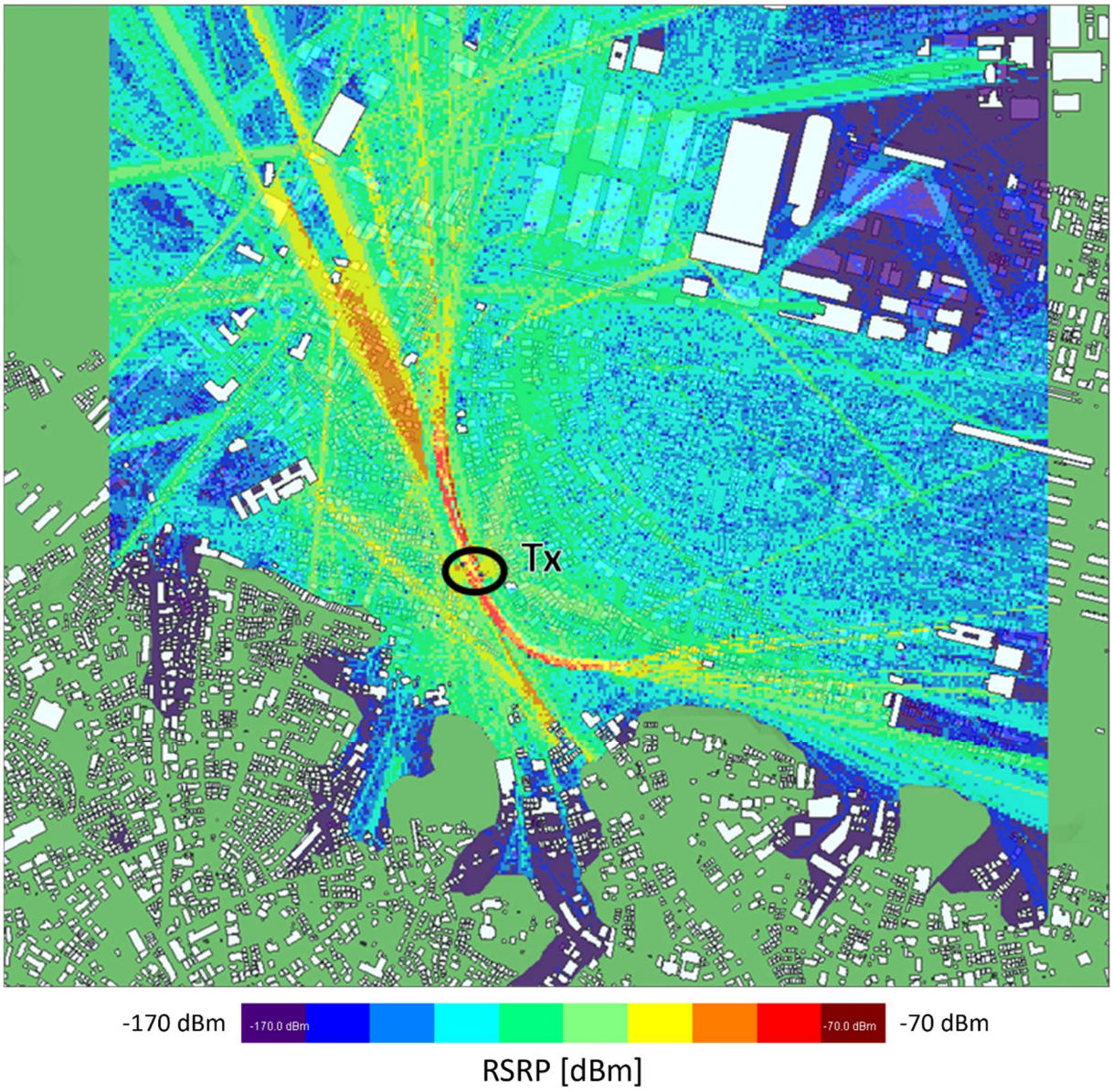


図 3-132 区間②高速道路上レイトレースシミュレーション結果

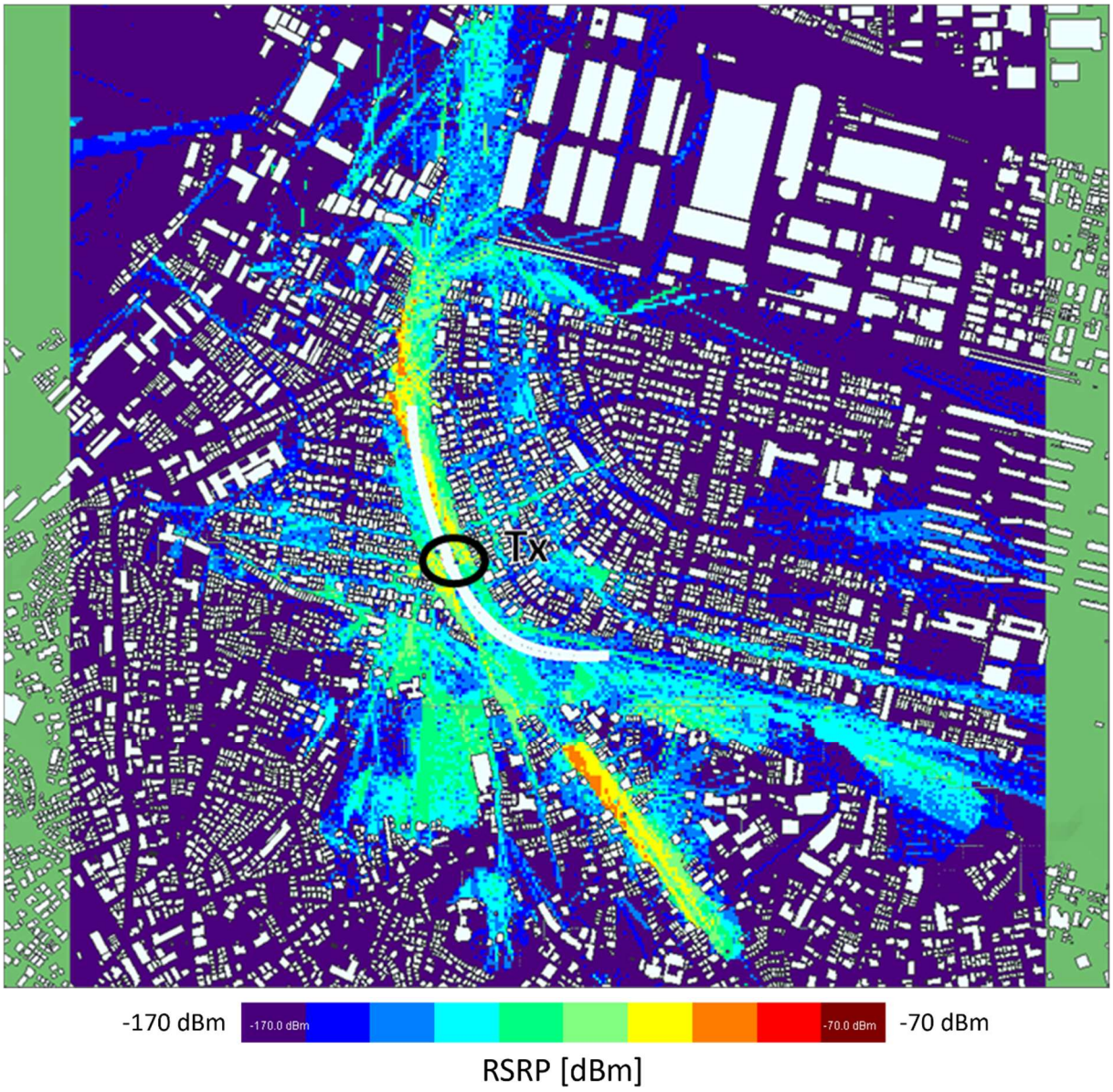


図 3-133　区間②道路外レイトレースシミュレーション結果（カラーマップ）

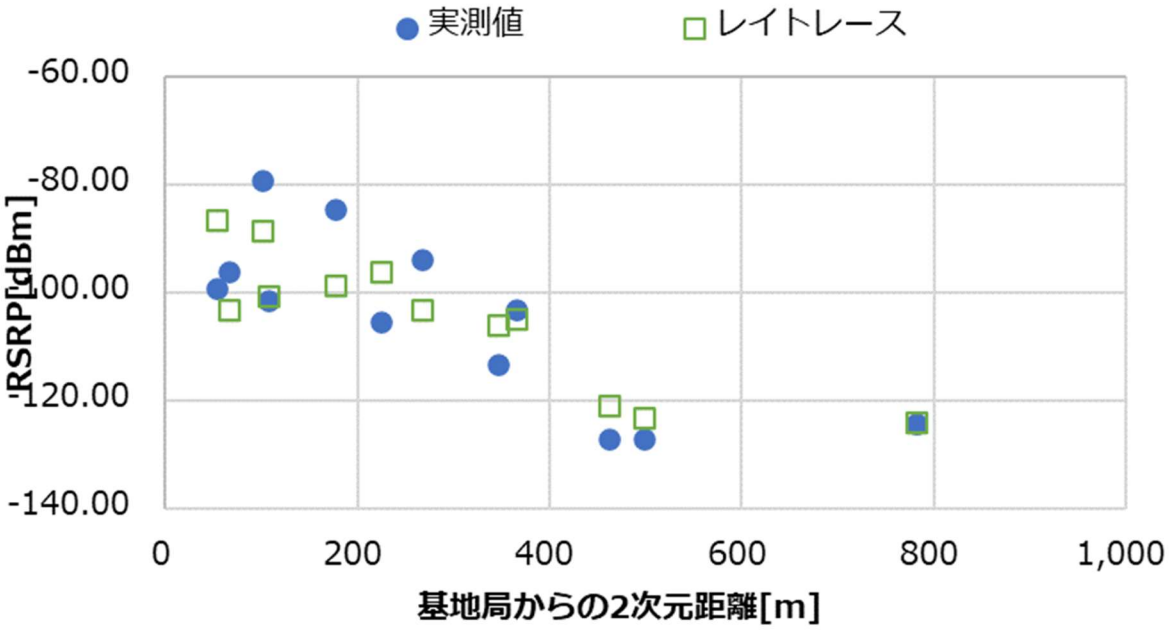


図 3-134　区間②狭指向性アンテナレイトレース結果と実測値との比較（高速道路上）

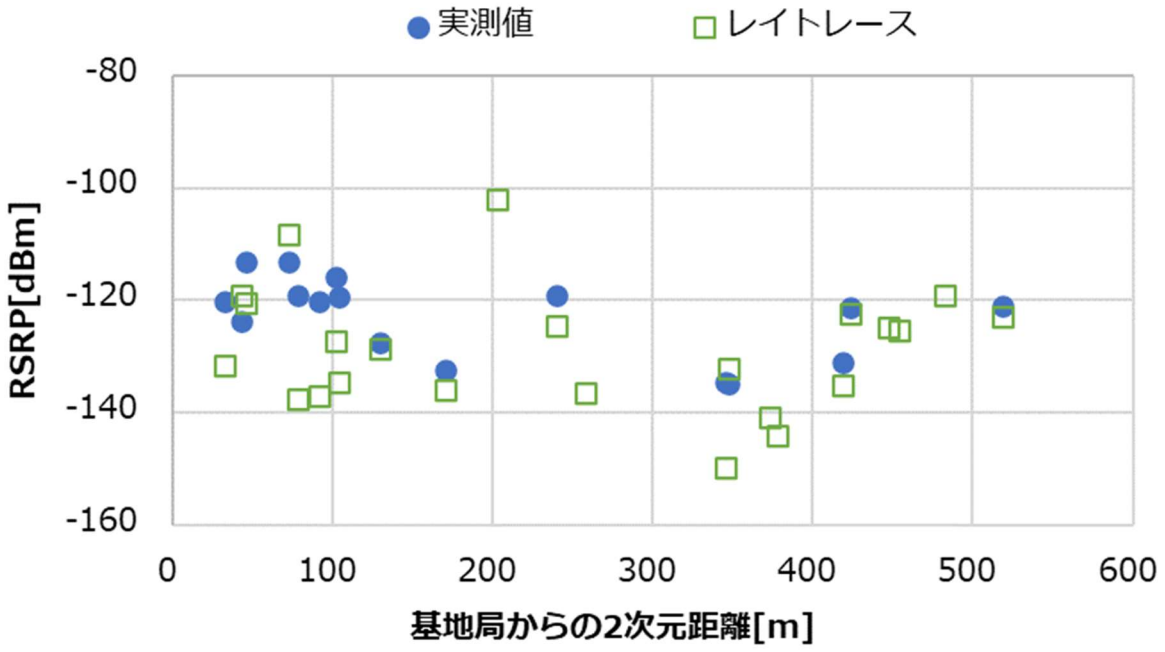


図 3-135　区間②狭指向性アンテナレイトレース結果と実測値との比較（道路外）

表 3-49　区間②狭指向性アンテナレイトレース結果と実測値との RMSE

No.	箇所	実測値との RMSE[dB]
1	区間②・高速道路上	8.04
2	区間②・道路外	9.08

エ）漏洩同軸ケーブルのレイトレースシミュレーションの実施

漏洩同軸ケーブルを用いたローカル 5G システムのカバーエリア、調整対象区域を推定するために、漏洩同軸ケーブルにおいてもレイトレースシミュレーションを実施した。漏洩同軸ケーブルレイトレースシミュレーションの概念について図 3-136 に示す。また、レイトレースシミュレーションの諸元を表 3-50 に示す。今回の実証における漏洩同軸ケーブルのレイトレースシミュレーションは、漏洩同軸ケーブルに沿って送信点を 1 m おきに配置している。隣接している送信点は、漏洩同軸ケーブルの伝送損失である 0.2 dB/m の値を用いて送信電力を減衰させ、複数の送信点の合計値が漏洩同軸ケーブルへ給電する電力と等しくなるように各送信点の送信電力を設定している。また、最終的な結果は、各受信点において、各送信点からの結果を、位相を考慮せず合算することで導出している。なお、各送信点には、メーカーより受領した 1 m 単位の漏洩同軸ケーブルのアンテナパターン情報を入力してレイトレースシミュレーションを実施している。

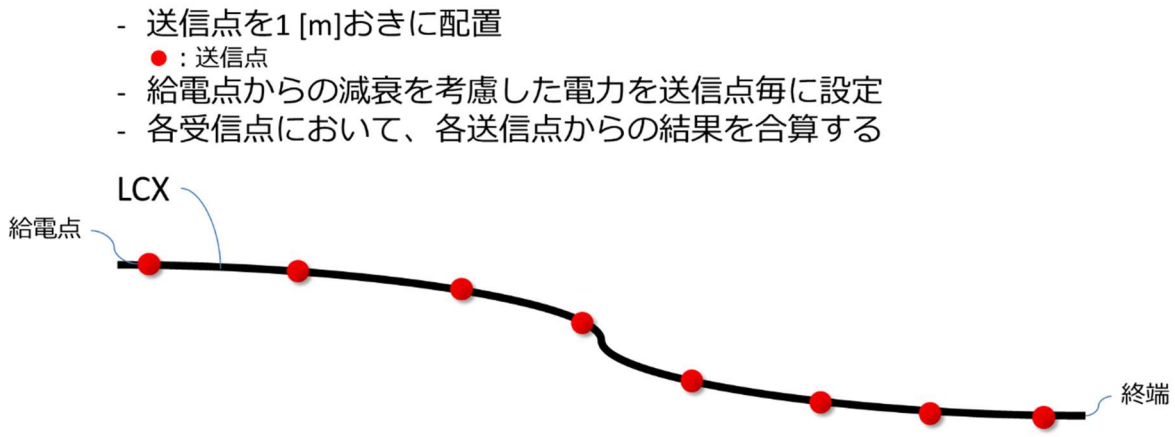


図 3-136 漏洩同軸ケーブルレイトレースシミュレーションの概念図

表 3-50 区間②漏洩同軸ケーブルのレイトレースシミュレーション諸元

項目	内容
周波数	4,850 MHz
偏波	垂直偏波
送信電力	24 dBm（アプローチケーブル損失 6 dB）
送信アンテナ	漏洩同軸ケーブル （最大利得-6.39 dBi）
受信アンテナ	無指向性アンテナ （最大利得 0 dBi）
受信点配置	5 m 間隔でグリッド状に配置
建物モデル、地形モデル	AW3D テレコムデータセット

項目	内容
	建物データ:Shape 形式 地形データ:GeoTiff 形式
反射(R)、透過(T)、回折(D)の最大回数	R3T0D1(高速道路上)
受信点配置	5 m 間隔でグリッド状に配置
受信点高さ	高速道路上:高速道路面の高さから、高さ 1.5 m

区間②の漏洩同軸ケーブルレイトレースのモデルを図 3-137、図 3-138 に示す。また、漏洩同軸ケーブルのレイトレースシミュレーションによる受信電力マップを図 3-139 に示す。

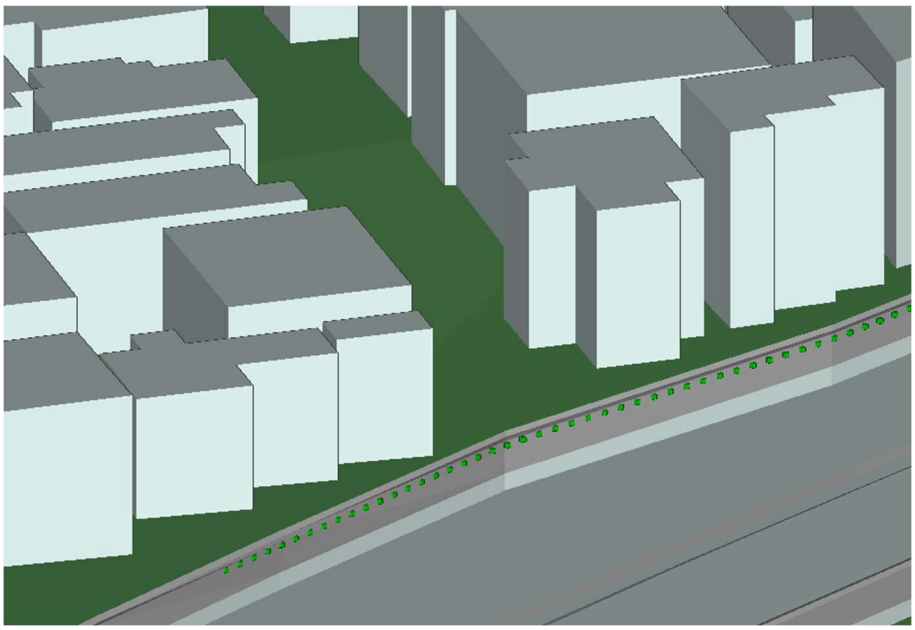


図 3-137　区間②漏洩同軸ケーブルレイトレースモデル(下り線漏洩同軸ケーブル部分拡大)

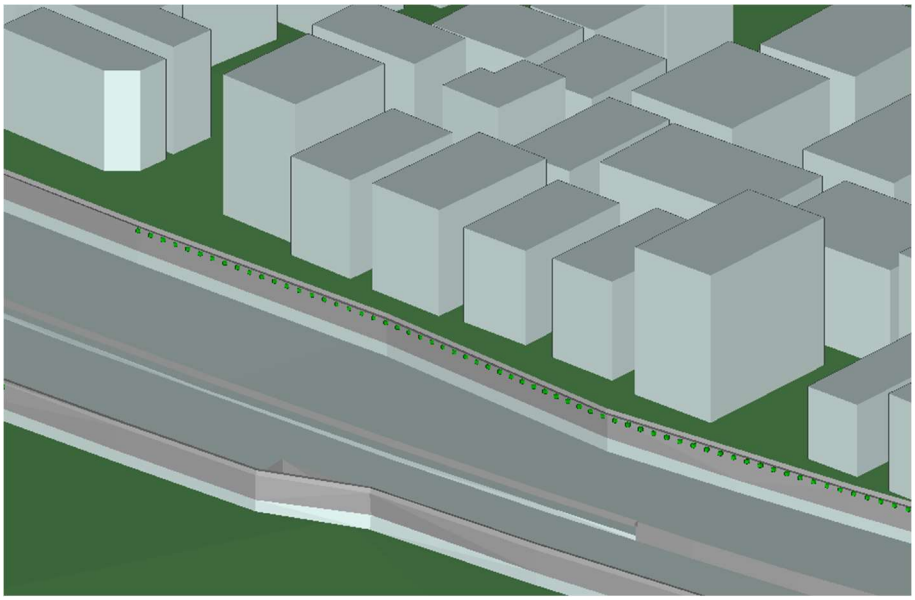


図 3-138　区間②漏洩同軸ケーブルレイトレースモデル（上り線漏洩同軸ケーブル部分拡大）

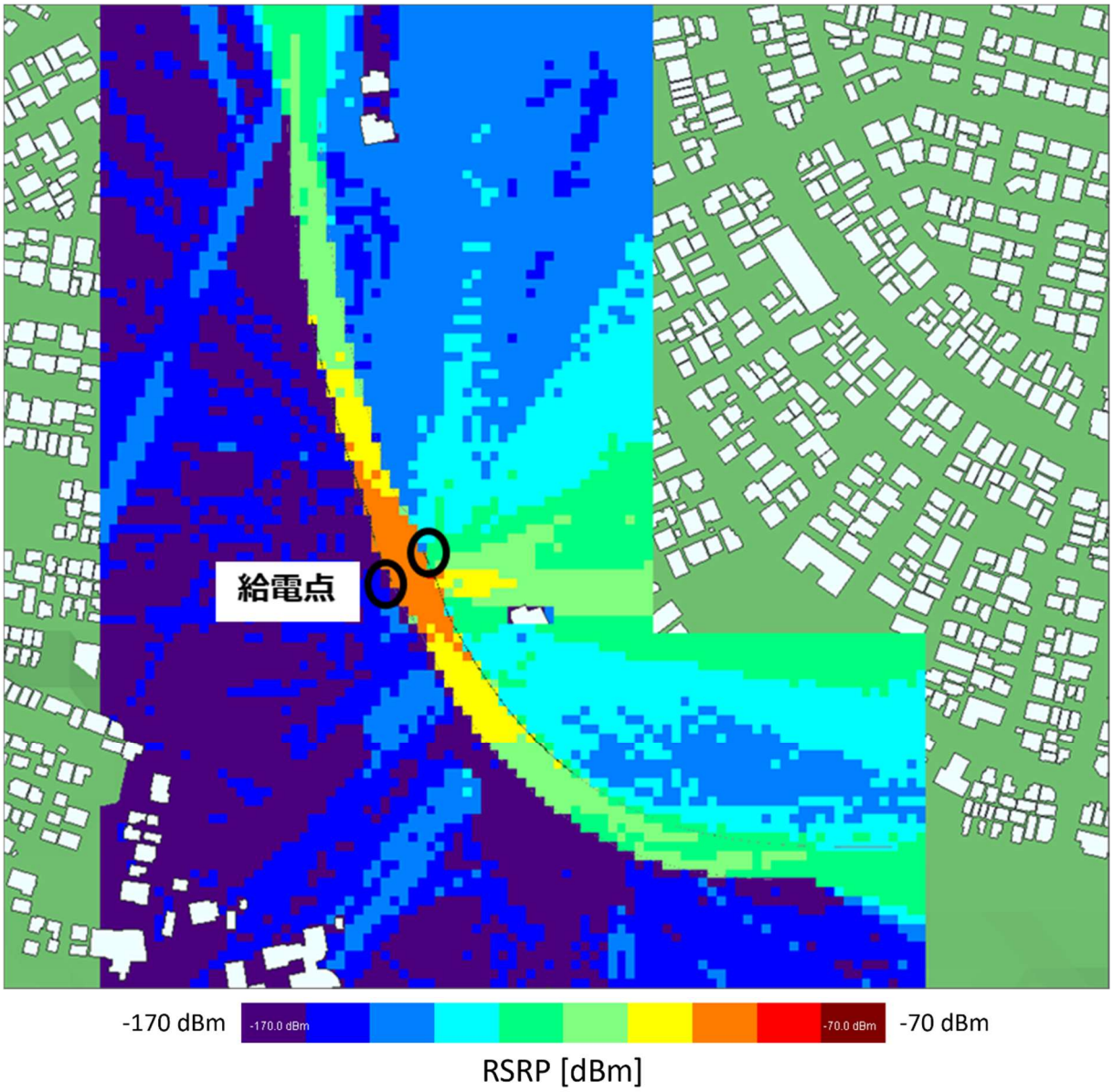


図 3-139　区間②漏洩同軸ケーブルレイトレース結果

漏洩同軸ケーブルのレイトレースシミュレーションの結果と実測値を比較した結果を図 3-140 に示す。実測値との RMSE を表 3-51 に示す。図 3-140 から、実測値とレイトレースシミュレーションの傾向は非常に良く合致していることが見て取れる一方、レイトレースシミュレーションの結果が実測値より全体的に受信電力が低くなる結果となった。この理由としては、アプローチケーブル、漏洩同軸ケーブルの挿入損失やコネクタ損失がカタログ地を下回っていた等であると考えている。傾向は一致しているため、送信電力、またはケーブル損失等の諸元を実態に合わせれば、実測と良く一致する結果になると考えられる。実測とレイトレース差分比較において、図 3-140 では大きな外れ値は見られないことから、RMSE は 10.93 となり、受信電力の傾向が掴めていることが確認された。

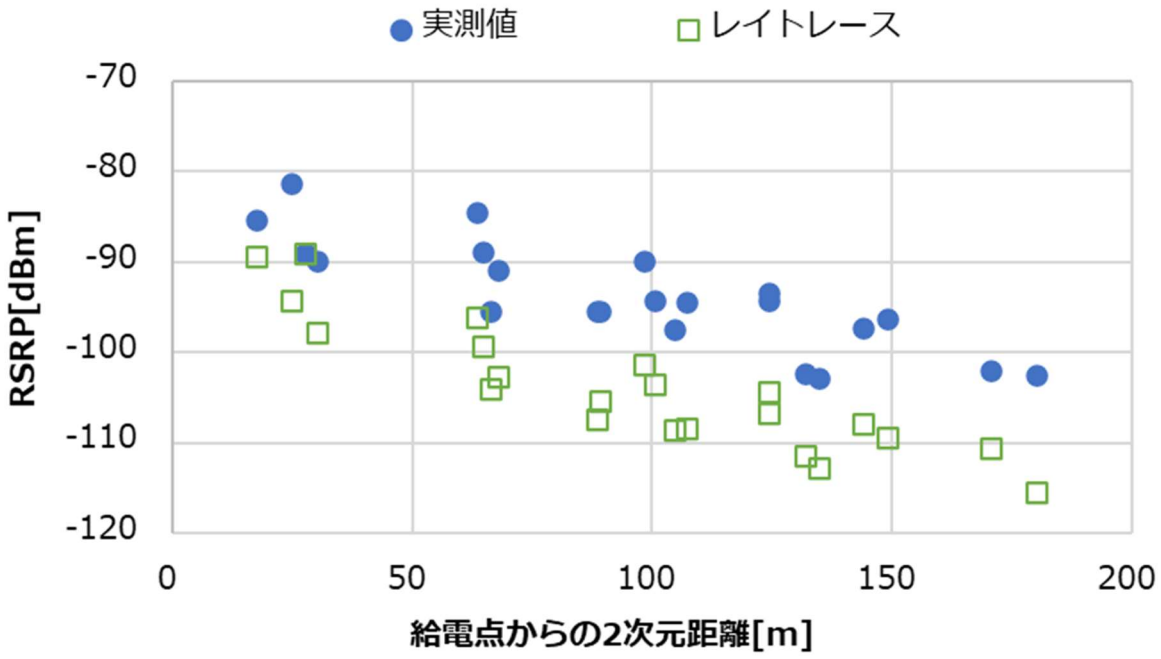


図 3-140　区間②漏洩同軸ケーブルレイトレース結果と実測値との比較

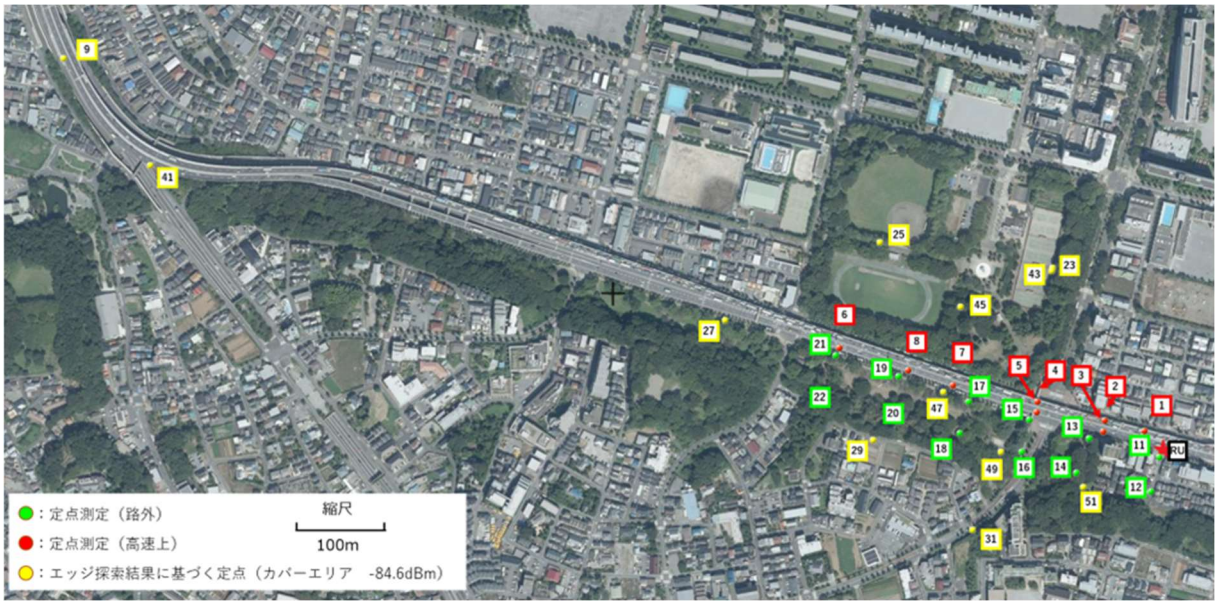
表 3-51　区間②漏洩同軸ケーブルレイトレースシミュレーションの実測値との RMSE

No.	箇所	実測値との RMSE[dB]
1	区間②・高速道路上	10.93

b. 区間③～直線区間、sub6 帯狭指向性アンテナ

区間③の sub6 帯のエリア化の柔軟性向上検討にあたり共通測定ポイントとして、シミュレーションによる想定カバーエリアから、高速道路上に 8 点、道路外に 12 点を設定した。また、テーマⅠにて測定したカバーエリアのエッジ端の測定ポイント（12 点）についても、本検証に使用した。

今回測定したフィールド測定点ポイント、合計 32 点を図 3-141 に示す。また、各測定点における物理的距離を表 3-52 に示す。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-141　区間③における柔軟化検討用測定ポイント

表 3-52　区間③における柔軟化検討用測定ポイントの物理的距離

測定点ID	基地局との3D距離 [m]	基地局との水平距離 [m]	基地局アンテナ地点標高 [m]	基地局アンテナ地上高 [m]	測定点標高 [m]	端末(測定器)アンテナ地上高 [m]	LOS 基地局−端末 (0:LOS 1:NLOS)	測定日 (yyyy/mm/dd)	備考
1	30.63	29.4	6.0	15.7	14.4	15.9	0	2023/01/26	Sub6：高速道路上：固定点測定
2	81.12	80.7	6.0	15.7	14.4	15.9	0	2023/01/26	Sub6：高速道路上：固定点測定
3	81.45	80.5	6.0	15.7	16.4	17.9	0	2023/02/01	Sub6：高速道路上：固定点測定
4	171.24	170.9	6.0	15.7	15.2	16.7	0	2023/01/26	Sub6：高速道路上：固定点測定
5	173.17	172.8	6.0	15.7	15.7	17.2	0	2023/02/01	Sub6：高速道路上：固定点測定
6	442.31	442.2	6.0	15.7	15.4	16.9	0	2023/02/01	Sub6：高速道路上：固定点測定
7	281.48	281.2	6.0	15.7	16.1	17.6	0	2023/02/01	Sub6：高速道路上：固定点測定
8	344.54	344.4	6.0	15.7	4.6	6.1	0	2023/02/01	Sub6：高速道路上：固定点測定
11	14.29	11.7	6.0	15.7	6.0	7.5	0	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
12	55.84	54.7	6.0	15.7	4.4	5.9	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
13	96.34	96.0	6.0	15.7	6.3	7.8	0	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
14	109.53	109.2	6.0	15.7	6.0	7.5	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
15	179.60	179.5	6.0	15.7	7.4	8.9	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
16	182.55	182.4	6.0	15.7	5.9	7.4	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
17	259.59	259.5	6.0	15.7	7.6	9.1	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
18	268.18	268.1	6.0	15.7	5.9	7.4	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
19	353.91	353.9	6.0	15.7	7.5	9.0	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
20	358.02	357.8	6.0	15.7	4.4	5.9	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
21	442.08	441.9	6.0	15.7	3.1	4.6	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
22	452.44	452.3	6.0	15.7	4.4	5.9	1	2023/01/27	Sub6：路外：固定点測定
9	1513.92	1513.8	6.0	15.7	20.6	22.1	1	2023/02/02	Sub6：遮蔽版無し：高速道路上：カバーエリア端探索測定
23	274.76	274.5	6.0	15.7	4.0	5.5	1	2023/01/27	Sub6：遮蔽版無し：路外：カバーエリア端探索測定
25	454.34	454.2	6.0	15.7	4.1	5.6	1	2023/01/27	Sub6：遮蔽版無し：路外：カバーエリア端探索測定
27	592.22	592.2	6.0	15.7	7.0	8.5	1	2023/01/27	Sub6：遮蔽版無し：路外：カバーエリア端探索測定
29	376.85	376.0	6.0	15.7	23.1	24.6	1	2023/01/27	Sub6：遮蔽版無し：路外：カバーエリア端探索測定
31	267.53	267.5	6.0	15.7	12.3	13.8	1	2023/01/27	Sub6：遮蔽版無し：路外：カバーエリア端探索測定
41	1087.69	1087.5	6.1	15.6	21.2	22.7	1	2023/02/05	Sub6：遮蔽版有り：高速道路上：カバーエリア端探索測定
43	428.68	428.5	6.1	15.6	3.9	5.4	1	2023/02/05	Sub6：遮蔽版有り：路外：カバーエリア端探索測定
45	340.77	340.6	6.1	15.6	4.3	5.8	1	2023/02/05	Sub6：遮蔽版有り：路外：カバーエリア端探索測定
47	228.12	228.0	6.1	15.6	5.8	7.3	1	2023/02/05	Sub6：遮蔽版有り：路外：カバーエリア端探索測定
49	200.53	200.4	6.1	15.6	7.1	8.6	1	2023/02/05	Sub6：遮蔽版有り：路外：カバーエリア端探索測定
51	267.65	267.6	6.1	15.6	7.2	8.7	1	2023/02/05	Sub6：遮蔽版有り：路外：カバーエリア端探索測定

ア）他者土地への電波漏洩軽減

各ポイントにおける、他者土地への電波漏洩低減量の測定結果を表 3-53 に示す。

表 3-53 他者土地への電波漏洩低減量

測定点	電波漏洩軽減方策なし_実測値 [dBm]			電波漏洩軽減方策あり_実測値 [dBm]			改善値 [dB]			
ID	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	目標値	中央値	平均値	標準偏差
11	-85.8	-86.4	5.0	-90.0	-90.9	5.2	10.0	4.2	4.5	-0.2
12	-92.8	-93.4	4.1	-99.1	-99.5	3.4		6.3	6.1	0.7
13	-91.9	-91.9	3.2	-94.3	-95.1	4.9		2.4	3.2	-1.8
14	-105.8	-105.9	2.9	-114.9	-115.1	3.9		9.2	9.2	-1.0
15	-88.2	-89.3	3.8	-97.5	-98.6	3.9		9.3	9.3	0.0
16	-111.2	-111.1	2.9	-114.1	-114.4	2.1		2.9	3.3	0.8
17	-101.8	-102.8	4.1	-112.2	-112.6	3.4		10.4	9.8	0.7
18	-114.9	-115.0	3.3	-121.7	-122.1	3.0		6.8	7.1	0.4
19	-114.2	-114.5	2.9	-124.3	-124.5	3.5		10.1	10.0	-0.6
20	-110.8	-111.3	3.1	-121.8	-122.1	3.7		11.0	10.8	-0.6
21	-116.0	-116.1	2.6	-129.2	-129.6	3.6		13.2	13.5	-1.0
22	-120.6	-120.8	3.0	-130.9	-131.4	3.4		10.3	10.5	-0.4
9	-118.4	-118.3	3.8							
23	-117.6	-117.9	3.1							
25	-120.0	-120.5	3.1							
27	-119.7	-120.2	2.9							
29	-121.7	-121.9	3.3							
31	-121.7	-121.7	3.4							
41				-119.7	-119.9	4.8				
43				-117.7	-117.8	3.3				
45				-118.6	-118.9	2.4				
47				-119.6	-119.7	2.5				
49				-118.7	-118.6	2.5				
51				-119.5	-119.8	3.2				

全測定点にて、遮蔽板あり（電波漏洩軽減方策あり）の方が漏洩電力が下がっていることが確認できる。

測定点 ID の小さいアンテナとの距離が近いほど、低減量が小さくなるように見られる。これは、今回設置した遮蔽板の底面部が開放構造であり(図 3-114 参照)、またアンテナは高速道路上に設置されているため、各測定点 ID の測定ポイントはアンテナから 5～10m 低い場所となっている。この構造上の関係からアンテナに近い測定点ほど遮蔽板ありアンテナの底面からの直接波の影響が大きく、低減量が想定より低かったと想定される。

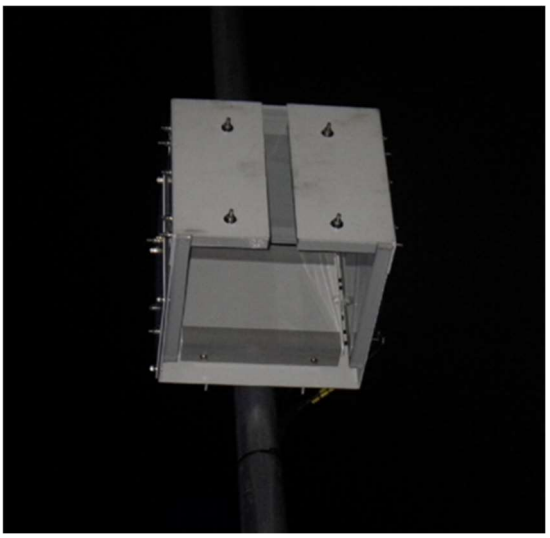
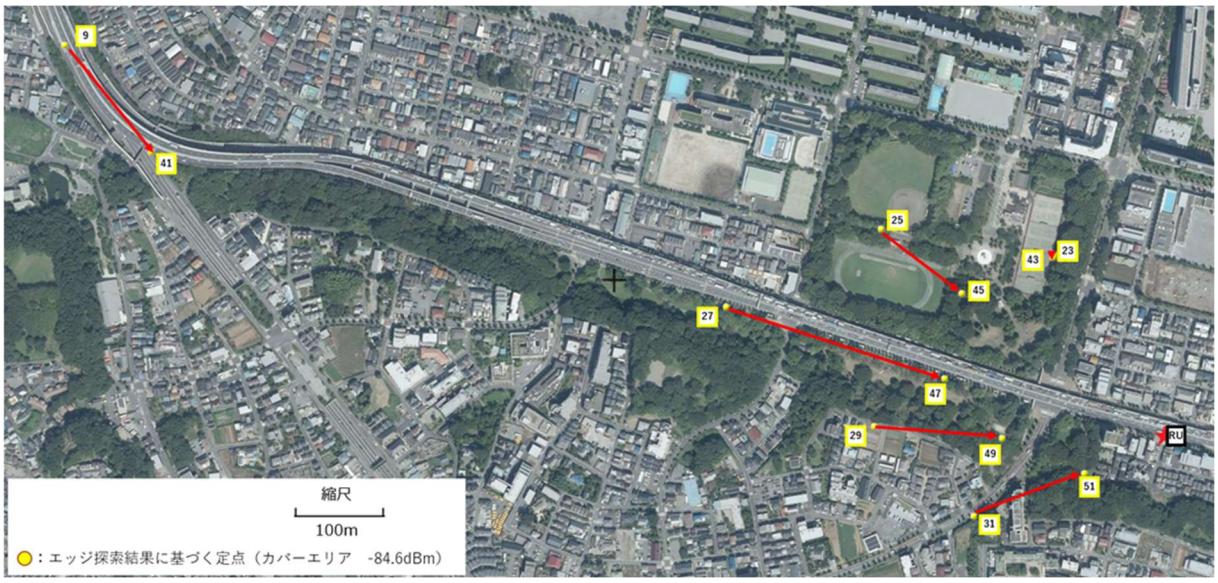


図 3-142 遮蔽板ありの sub6 帯狭指向性アンテナ

また道路外のカバーエリア境界点についても、遮蔽板設置後は全ての点でアンテナに近づいていることから、遮蔽板設置によりエリアが縮退していることがわかった。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-143　遮蔽板によるカバーエリアの縮退

本結果から、遮蔽板設置による他者土地への電波漏洩電力は明らかに低減していると言える。

イ） カバーエリア内性能

各ポイントにおける、カバーエリア内受信電力、SIR 性能の測定結果を表 3-54 に示す。

表 3-54　カバーエリア内受信電力、SIR 性能の測定結果

測定点	電波漏洩軽減方策なし_実測値 [dBm]			電波漏洩軽減方策あり_実測値 [dBm]			改善値 [dB]		
ID	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
1	-75.9	-76.1	3.9	-77.5	-78.5	4.3	1.6	2.4	-0.5
2	-60.9	-62.2	4.4	-78.5	-79.2	5.8	17.6	17.0	-1.5
3	-67.1	-67.6	3.2	-75.5	-75.2	2.8	8.4	7.6	0.4
4	-72.3	-73.5	5.2	-86.8	-88.1	4.9	14.5	14.6	0.4
5	-72.2	-72.4	2.6	-83.9	-84.0	2.5	11.7	11.6	0.1
6	-83.9	-84.6	4.6	-90.9	-91.3	2.6	7.0	6.7	2.0
7	-74.4	-74.4	1.9	-87.1	-87.1	2.7	12.7	12.6	-0.8
8	-84.7	-85.1	5.5	-96.2	-96.9	4.1	11.5	11.8	1.4
測定点	SIR/SINR　遮蔽板無 [dB]			SIR/SINR 遮蔽板有 [dB]			変動値 [dB]		
ID	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
1	19.0	18.7	2.1	21.3	21.2	1.5	2.4	2.5	-0.6
2	21.4	21.3	1.3	21.3	21.1	1.9	-0.1	-0.3	0.6
3	20.6	20.5	1.4	21.1	21.0	1.2	0.5	0.6	-0.2
4	20.7	20.5	1.9	20.0	19.4	2.9	-0.7	-1.2	1.0
5	19.8	19.3	2.5	20.5	20.5	1.4	0.7	1.1	-1.1
6	19.4	18.7	2.9	20.2	20.1	1.5	0.8	1.4	-1.4
7	20.2	20.2	1.5	19.4	19.2	2.0	-0.8	-0.9	0.6
8	18.1	17.3	3.2	17.9	17.4	2.9	-0.2	0.0	-0.3

受信電力については、遮蔽板ありの方が全般的に下がっている。これは今回の遮蔽板がアンテナ前面に細いスリット構造の遮蔽板が設置されており、遮蔽板を設置することでアンテナからの

総送信電力量が下がっていると想定される。そのため、各測定ポイントにおいて、受信電力が下がっている。

しかし、SIR はほぼ低下が見られない。その結果から、樹脂電力量は低減しているが、各測定点における電波品質は劣化していないと言える。

各ポイントにおける、スループット性能の測定結果を表 3-55 に示す。

スループット測定は、先に述べたように課題実証アプリケーションの要求するスループット値を満足することを検証している。今回検証に使用したスループット値は、25Mbps(UL)、8Mbps(DL)である。

表 3-55 カバーエリア内のスループット性能の測定結果

測定点ID	スループット目標値[Mbps](課題実証を踏まえた必要スループット値	UL伝送スループット 遮蔽板無 [Mbps]			UL伝送スループット 遮蔽板有 [Mbps]			変動値 [Mbps]		
		中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
1	25.0	25.0	25.0	1.6	25.0	25.0	0.7	0.0	0.0	-0.9
2		25.0	25.0	1.0	25.0	25.0	0.8	0.0	0.0	-0.3
3		25.0	25.0	0.7	25.0	25.0	0.7	0.0	0.0	0.0
4		25.0	25.0	0.8	25.0	25.0	0.7	0.0	0.0	-0.2
5		25.0	25.0	0.8	25.0	25.0	0.1	0.0	0.0	-0.7
6		25.0	25.0	0.4	25.0	24.6	4.4	0.0	-0.5	4.0
7		25.0	25.0	0.2	25.0	25.0	0.1	0.0	0.0	-0.1
8		25.0	25.0	0.1	22.8	23.0	2.9	-2.2	-2.0	2.8
測定点ID	スループット目標値[Mbps](課題実証を踏まえた必要スループット値	DL伝送スループット 遮蔽板無 [Mbps]			DL伝送スループット 遮蔽板有 [Mbps]			変動値 [Mbps]		
		中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
1	8.0	8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0

上記測定結果から、測定点 ID8 の UL 以外は劣化が見られない。

測定点 ID8 の UL については、受信電力測定からも-84.7dBm→-96.2dBm(中央値)と劣化している。電波法関連審査基準のカバーエリア受信電力から、カバーエリアの所望受信電力を下回っていることから、本 ID にて十分なスループットを確保するだけの受信電力が足りていなかったと想定される。

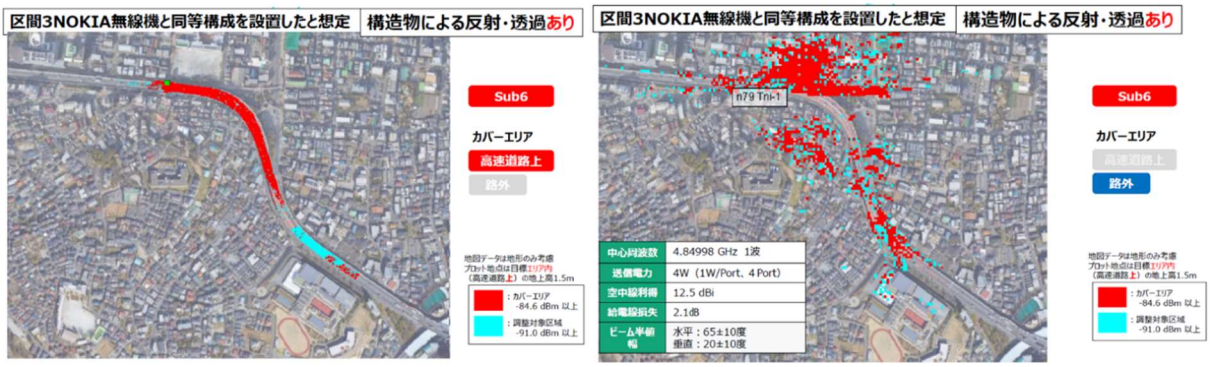
上記結果から、遮蔽板を使用することでアンテナからの送信電力量は低減するが、十分な受信電力、十分な通信品質が確保できれば、スループットには影響ないことがわかった。

c. 区間④～曲線区間、sub6 帯 DAS

ア）他者土地への電波漏洩軽減

簡易シミュレーションでは、構造物による反射・透過を考慮していないため、遮音壁等、道路構造物による道路外への電波漏洩の影響を確認するため、精密シミュレーションを実施した。

図 3-144 は、区間④に対して、DAS を用いず基地局のみでエリア化した場合の精密シミュレーション結果である。高速道路上の線状エリアに対して、簡易シミュレーション同様、他者土地への電波漏洩が相当見られる。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-144　区間④について基地局のみでエリア化した場合の精密シミュレーション結果
（構造物による反射・透過あり）

次に、4 台の DAS 子機を区間④に設置し、エリア化した場合の精密シミュレーション結果を図 3-145 に示す。簡易シミュレーション同様、DAS を用いることで高速道路上のエリア化と道路外への電波漏洩の抑制を確認できる。一方、一部の特定箇所において電波漏洩が確認される。これは、高速道路上の高低差や遮音壁の設置条件等の影響が想定される。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-145　区間④について DAS を用いエリア化した場合の精密シミュレーション結果
（構造物による反射・透過あり）

イ）カバーエリア内性能

上記シミュレーション結果をもとに、区間④に対して DAS を 4 台設置し、高速道路上及び道路外にて 30 地点以上の測定点を選定し、道路上の測定点においては受信電力値、SIR、UL／DL スループット、伝送遅延、PCI（Physical Cell ID）、道路外の測定点においては受信電力値の測定を実施した。

図 3-146 に区間④の DAS 適用時の高速道路上の測定点を再掲する。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-146　区間④DAS 適用時の高速道路上の測定点（再掲）

高速道路上の各測定点における受信電力の測定結果を表 3-56 に示す。この結果より、高速道路上の全ての測定点において十分な受信電力が得られていることが分かる。

表 3-56　区間④受信電力の測定結果（高速道路上）

測定点ID	実測値 [dBm]		
	中央値	平均値	標準偏差
1	-85.1	-85.0	3.02
2	-78.8	-79.2	3.38
3	-76.5	-76.8	3.77
4	-77.1	-77.2	3.00
5	-74.1	-74.5	2.95
6	-68.8	-68.9	2.97
7	-65.7	-66.9	5.23
8	-71.5	-71.8	3.23
9	-77.3	-77.3	2.30

図 3-147 に高速道路上の受信電力に関して、DAS あり/なしの比較を示す。なお DAS なし

については、シミュレーション値である。DAS なしに比べ、DAS ありは受信電力が高くなっており、DAS を用いることで高速道路上の不感地帯が解消されていることが分かる。

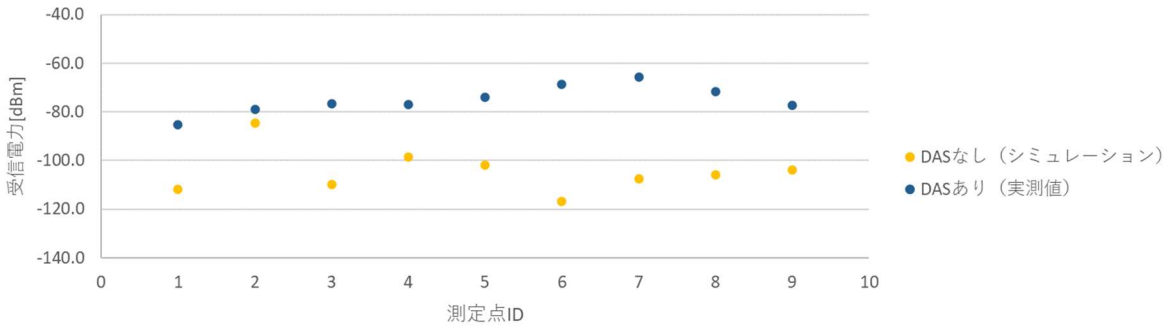


図 3-147　受信電力　DAS あり/なしの比較

表 3-57 に高速道路上の各測定点における SIR と UL/DL スループットの測定結果を示す。SIR の測定結果では、DAS 子機のアンテナが向かい合わせになっており、2 か所のアンテナ間の中央付近である測定点 ID7 に着目すると、SIR は中央値で 20.0dB であり、他の測定地点においてもセル間干渉により SIR が著しく劣化している箇所はなく、DAS 子機間で干渉が生じていないことが分かる。また、全ての測定点において、高精細映像・画像のリアルタイム共有及びスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援で必要とされる、UL スループット 25Mbps、DL スループット 8Mbps を確認した。さらに、各測定点の PCI（Physical Cell ID）は全て 500 となっていることから、同一セルで線状エリアを構築しており、ハンドオーバーが生じないエリアであることが分かる。

表 3-57　区間④SIR、UL／DL スループット測定結果（高速道路上）

測定点ID	SIR/SINR 実測値 [dB]			UL伝送スループット 実測値 [Mbps]			DL伝送スループット 実測値 [Mbps]			PCI
	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	
1	12.3	12.0	3.38	25.00	25.01	0.41	8.02	8.02	0.01	500
2	11.6	11.6	4.06	25.00	24.98	0.80	8.01	8.01	0.03	500
3	14.9	14.4	3.54	25.02	25.01	0.32	8.02	8.02	0.01	500
4	17.4	17.1	2.39	25.01	25.01	0.12	8.01	8.01	0.02	500
5	17.5	17.3	2.30	25.00	25.01	0.49	8.02	8.02	0.01	500
6	16.0	15.8	2.31	25.00	25.01	0.12	8.01	8.01	0.01	500
7	20.0	19.6	2.29	25.00	25.01	0.14	8.02	8.02	0.01	500
8	16.5	16.3	2.77	25.02	25.01	0.90	8.01	8.01	0.01	500
9	14.0	12.9	3.39	25.00	25.01	0.18	8.01	8.01	0.01	500

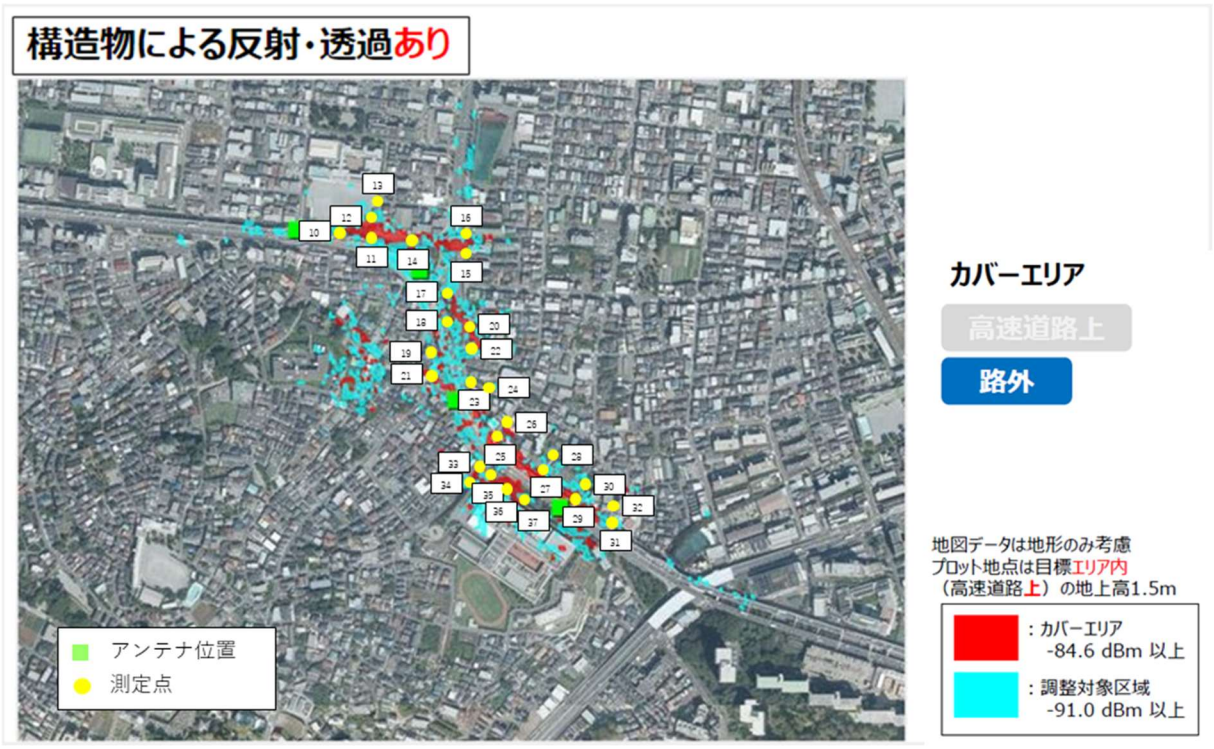
表 3-58 に高速道路上の各測定点における伝送遅延の測定結果を示す。測定結果から全ての測定ポイントにおいて、UL の伝送遅延は中央値で 20ms 以下、DL の伝送遅延は中央値で 12ms と以下の結果が得られ、スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援で要求される往復での伝送遅延の要求である 300ms に対して十分満足していることがわかった。

表 3-58　伝送遅延の測定結果(高速道路上)

測定点ID	UL伝送遅延＊　実測値 [msec]			DL伝送遅延＊　実測値 [msec]		
	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
1	17.07	20.91	12.53	7.53	7.53	0.08
2	14.21	20.92	27.14	11.67	11.67	0.06
3	13.48	15.07	5.43	7.51	7.51	0.09
4	14.32	14.43	0.52	11.68	11.68	0.07
5	13.14	15.77	5.56	7.79	7.77	0.10
6	13.78	14.42	3.02	7.16	7.16	0.06
7	14.85	14.97	0.80	7.58	7.57	0.10
8	13.92	18.48	7.08	11.12	11.25	0.27
9	14.51	14.78	1.32	7.58	7.57	0.10

ウ）シミュレーションと実測の差異分析

図 3-148 に区間④の DAS 適用時の高速道路外の測定ポイントを再掲する。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-148　区間④DAS 適用時の道路外の測定点(再掲)

表 3-59 に高速道路外の各測定点における受信電力の実測値とシミュレーション値の差分を示す。全ての測定点で、シミュレーション値に対して、実測値が高い値となっており、カーブ区間から広く電波漏洩が確認される。実測値において電波漏洩が広く見られる要因としては、高架道路上の照明柱に設置されたアンテナから送信された無線信号が遮音壁を越えて高速道路外へ漏洩したものと考えられる。加えて、今回のシミュレーションでは地域が都市部であることから、シ

ミュレーション条件として市街地相当を設定した。これにより、伝搬損失が大きく見積もられ、実測値に対して低いシミュレーション値になったと考えられる。

表 3-59 受信電力の実測値とシミュレーション値(市街地相当)の差分

測定点ID	実測値 [dBm]			シミュレーション値 [dBm]	実測とシミュレーションの差分[dB]
	中央値	平均値	標準偏差		
10	-74.6	-74.8	1.81	–	–
11	-74.9	-75.0	2.68	-124.71	49.81
12	-94.1	-94.3	2.62	-113.00	18.90
13	-95.3	-95.5	3.86	-115.31	20.01
14	-78.5	-78.6	3.27	-115.72	37.22
15	-92.3	-92.2	3.22	-142.31	50.01
16	-96.9	-97.0	2.17	-151.45	54.55
17	-93.2	-93.2	2.30	-110.74	17.54
18	-92.2	-92.4	2.00	–	–
19	-94.5	-94.6	2.63	-119.60	25.10
20	-98.7	-98.4	4.31	-114.34	15.64
21	-91.3	-91.4	1.90	-126.41	35.11
22	-103.7	-103.6	2.36	–	–
23	-102.9	-102.9	1.55	-122.90	20.00
24	-100.2	-100.4	2.31	–	–
25	-91.0	-91.2	2.17	-124.76	33.76
26	-92.8	-92.4	3.66	–	–
27	-91.8	-92.2	2.86	-115.88	24.08
28	-104.0	-103.6	2.83	–	–
29	-92.2	-92.3	2.02	-118.21	26.01
30	-104.0	-104.3	2.18	–	–
31	-91.1	-91.8	3.64	–	–
32	-111.9	-111.8	1.91	–	–
33	-83.5	-83.9	3.90	–	–
34	-100.6	-100.7	2.18	–	–
35	-78.0	-78.0	2.18	–	–
36	-81.8	-81.7	3.19	-110.45	28.70
37	-81.8	-82.1	2.83	-109.44	27.64

区間④では、高架道路上の照明柱にアンテナを設置している。このため、遮音壁を越える条件において電波の到来方向に概ね障害物がないものと仮定し、シミュレーション条件を開放地相当に設定し、再度シミュレーションを実施した。その結果を図 3-149 に示す。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-149　区間④における DAS によりエリア化した場合の精密シミュレーション結果
（構造物による反射・透過あり、開放地相当）

また、表 3-60 にシミュレーション条件を開放地相当に設定した場合のシミュレーション値と実測値の差分を示す。この結果から、シミュレーション条件を開放地相当に設定することで、より実測値に近い結果が得られた。

表 3-60　受信電力の実測値とシミュレーション値（開放地相当）の差分

測定点ID	実測値 [dBm]			シミュレーション値 [dBm]	実測とシミュレーションの差分[dB]
	中央値	平均値	標準偏差		
10	-74.6	-74.8	1.81	-94.25	19.7
11	-74.9	-75.0	2.68	-102.10	27.2
12	-94.1	-94.3	2.62	-96.67	2.6
13	-95.3	-95.5	3.86	-115.59	20.3
14	-78.5	-78.6	3.27	-104.76	26.3
15	-92.3	-92.2	3.22	-109.06	16.8
16	-96.9	-97.0	2.17	-107.71	10.8
17	-93.2	-93.2	2.30	-96.82	3.6
18	-92.2	-92.4	2.00	-115.75	23.6
19	-94.5	-94.6	2.63	-112.91	18.4
20	-98.7	-98.4	4.31	-113.62	14.9
21	-91.3	-91.4	1.90	-98.03	6.7
22	-103.7	-103.6	2.36	-111.06	7.4
23	-102.9	-102.9	1.55	-142.38	39.5
24	-100.2	-100.4	2.31	-114.49	14.3
25	-91.0	-91.2	2.17	-88.98	-2.0
26	-92.8	-92.4	3.66	–	–
27	-91.8	-92.2	2.86	-116.85	25.1
28	-104.0	-103.6	2.83	-123.76	19.8
29	-92.2	-92.3	2.02	-119.74	27.5
30	-104.0	-104.3	2.18	-114.93	10.9
31	-91.1	-91.8	3.64	-101.14	10.0
32	-111.9	-111.8	1.91	-142.76	30.9
33	-83.5	-83.9	3.90	-99.32	15.8
34	-100.6	-100.7	2.18	-115.06	14.5
35	-78.0	-78.0	2.18	-90.11	12.1
36	-81.8	-81.7	3.19	-92.47	10.7
37	-81.8	-82.1	2.83	-100.35	18.5

加えて、区間④に対して本実証事業で開発した 5G WaveDoctor による電波測定の走行測定結果を参考として図 3-150 に示す。図 3-149 のシミュレーション結果と比較すると電波漏洩の状況が近似していることが分かる。

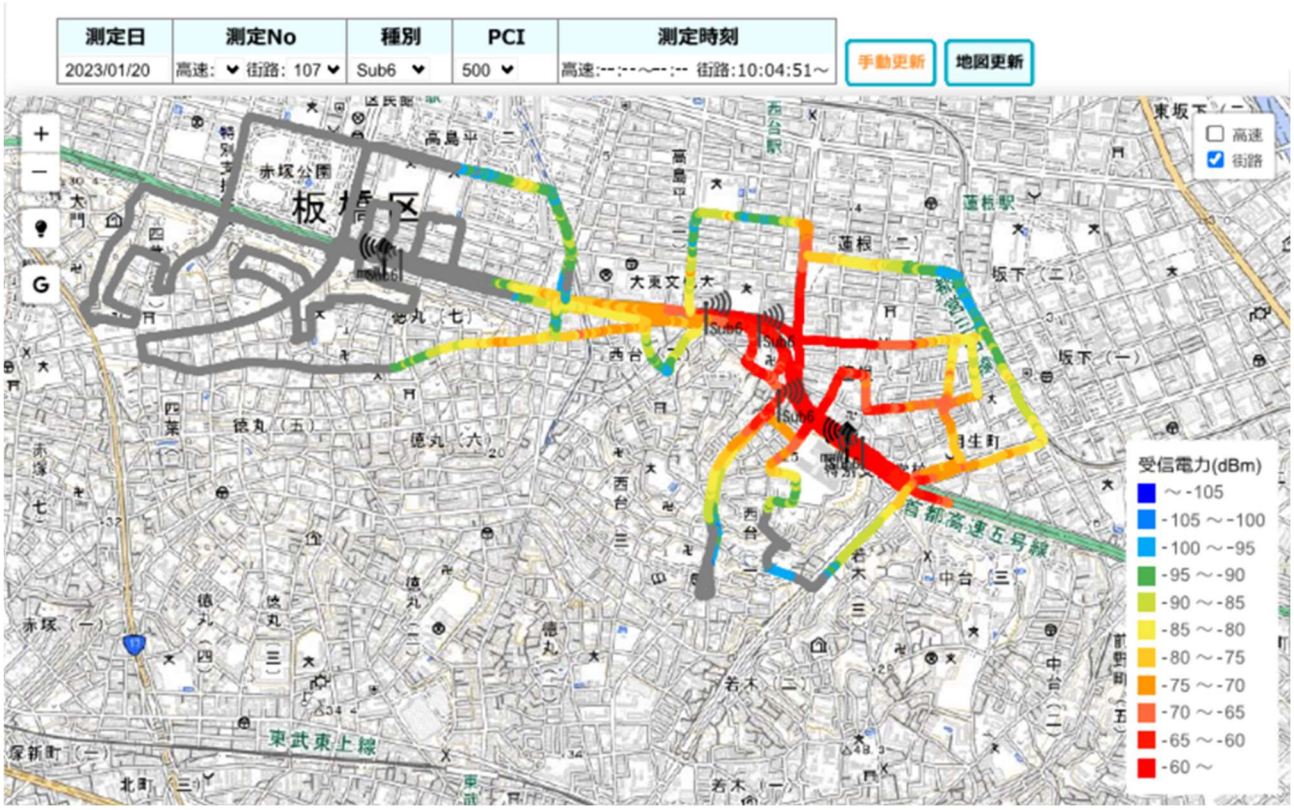


図 3-150　本実証事業で開発した 5G WaveDoctor による測定結果（区間④、道路外）

他者土地への電波漏洩に関しては、シミュレーションにより、基地局のみでエリア化した場合に対して、DAS を用いることで高速道路上のカバーエリア確保と道路外への電波漏洩抑制が図れることを確認した。

カバーエリア内の性能については、高速道路上の全ての測定点において、十分な受信電力が得られ、目標とするサービスレベルである上りスループットで 25Mbps 以上、下りスループットで 8Mbps 以上、伝送遅延で約 300ms を満足した。加えて、SIR の測定結果から DAS 子機間の干渉が生じないこと、PCI の測定結果から DAS 子機間のハンドオーバーが発生しないことが確かめられ、安定した通信環境であることを確認した。

一方、道路外においては、当初のシミュレーション結果に対して、実測値が高い値となり、カーブ区間から広く電波漏洩が確認されたが、シミュレーション条件を適切に設定することで、実測に近似する条件が確認できた。

高速道路外への電波漏洩をより軽減するためには、DAS 子機の送信出力を抑えることやアンテナチルト角を調整することで、カバーエリア内の通信品質を保ちつつ、電波漏洩を軽減することが可能となるため、線状における曲線区間の柔軟化手法として有効であると考える。

エ）カバーエリア設計手法のモデル化

表 3-61 に線状エリアに DAS を適用した場合のエリア設計手法を示す。アンテナについては、線状エリアの形状を考慮し、狭指向性アンテナを第一候補として検討する。

表 3-61 エリア設計手法

①業務区域、カバーエリア、調整対象区域、エリア品質を確認する
②シミュレーション等を活用し、設置場所、アンテナ高、アンテナの種類、アンテナの指向方向、送信出力、チルトを決定する ・設置場所、アンテナ高については、事業者特有の制約(建築限界等)に配慮する ・アンテナの種類については、線状エリアをカバーするために指向性アンテナを選定する ※対象エリアによってアンテナ種類を変更する場合あり ・線状エリアの形状(直線、カーブ)を考慮し、アンテナの指向方向を決定する ・カバーエリアの受信電力及び他者土地への漏洩を確認し、パラメータ※を調整する ※設置場所、アンテナ高、アンテナの種類、アンテナの指向方向、送信出力、チルト
③実環境においてカバーエリア及び環境調整区域の受信電力、SIR/SINR 値、スループットを測定する
④シミュレーション値と実測値の差異分析を行い、パラメータ(設置場所、アンテナ高、アンテナの種類、アンテナの指向方向、送信出力、チルト)を見直す

オ) DAS が有効な設置条件、ユースケース

表 3-62 に DAS が有効な設置条件、ユースケースを示す。DAS は 1 つの基地局の電波を複数の子機へ分散することができ、複数の DAS 子機を設置することで例えば道路や鉄道、河川等線状エリアを柔軟に構築可能である。加えて、本実証でも確認できたように、DAS 子機間ではハンドオーバーが発生せず、高速道路上の全ての測定点で SIR も良好であることから、安定した通信が可能であり、例えば、道路上を移動する高精細映像の伝送等に特に有効な手段である。

表 3-62 DAS が有効な設置条件、ユースケース

容易に広いエリアを作りたい場合 ・1 つの基地局からの無線信号を分配し、複数の DAS 子機を線状に連続的に設置 例:道路、鉄道、河川、トンネル、オフィス、商業施設、空港等
広いカバーエリア内で安定した通信を行いたい場合 ・DAS 子機間のハンドオーバーが発生しない ・DAS 子機間でのセル間干渉が発生しない ・複数アンテナにより、障害物に対する影響が少ない(走行車両や道路構造物等) 例:道路を移動する車載カメラの映像伝送、スマートグラスによる遠隔支援等

以上、区間④において DAS を設置した場合の実証結果及び考察を述べた。他者土地への電波漏洩に関しては、シミュレーションにより、基地局のみでエリア化した場合に対して、DAS を用いることで高速道路上のエリア化と道路外への電波漏洩の抑制が図れることを確認した。カバーエリア内の性能については、高速道路上の全ての測定点において、十分な受信電力が得られ、目標とするサービスレベルである上りスループットで 25Mbps、下りスループットで 8Mbps、伝送遅延で約 300ms を満足した。加えて、SIR の測定結果から DAS 子機間の干渉が生じないこと、PCI の測定結果から DAS 子機間のハンドオーバーが発生しないことが確かめられ、安定した通信環境であることを確認した。

一方、高速道路外においては、当初のシミュレーション結果に対して、実測値が高い値となり、カーブ区間から広く電波漏洩が確認されたが、シミュレーション条件を適切に設定することで、実測に近似する条件が確認できた。高速道路外への電波漏洩をより軽減するためには、アンテナ高を低くすることが対策として考えられるが、高速道路上に設置する設備の建築限界の条件から

アンテナ高を低くすることは困難である。従って、DAS 子機の送信出力を抑えることやアンテナチルト角を調整する手段が有効であると考える。DAS は子機ごとに出力を設定することが可能であり、細かなエリア設計ができることから、カバーエリア内の通信品質を保ちつつ、電波漏洩を軽減することが可能であり、広く安定したエリアの構築手法として非常に有効である。

d. 区間④～カーブ区間、ミリ波帯ビームフォーミング

ア） 柔軟化前

ノキア製ミリ波無線機(AWEUA)は、ビームフォーミングにて 1 ビームを形成し、全部で 32 ビームを使用し、様々なアンテナパターンを形成できるようになっている。

本無線機が送信できる一般的な使用目的の場合のアンテナパターンを図 3-151 及び図 3-152 に示す。

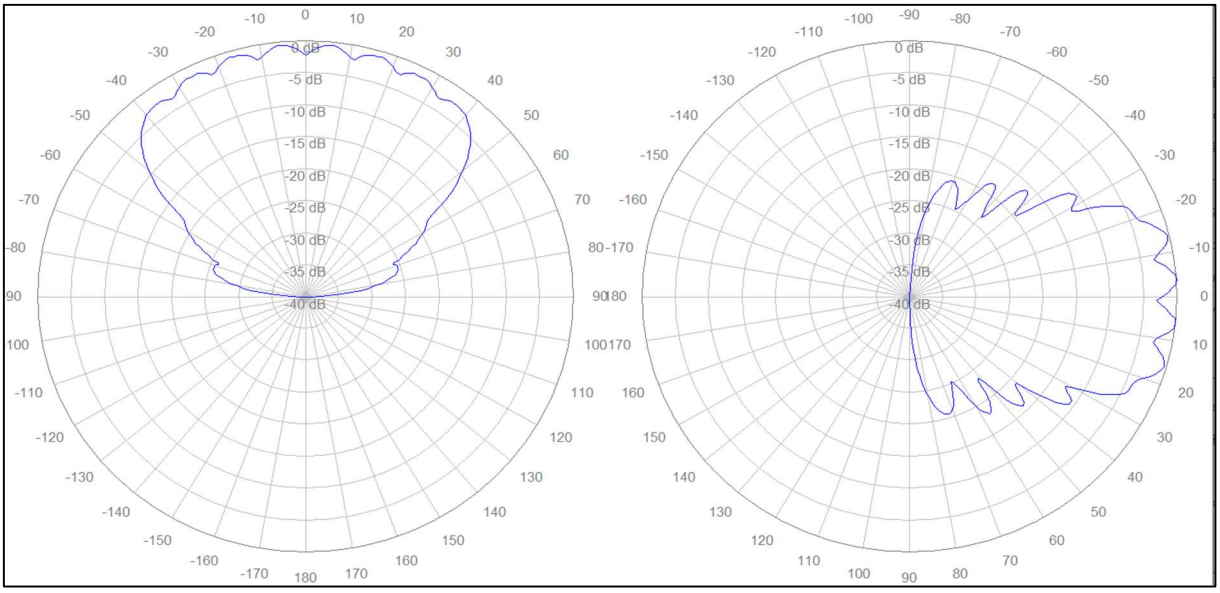


図 3-151 AWEUA の送信アンテナパターン(水平、垂直)

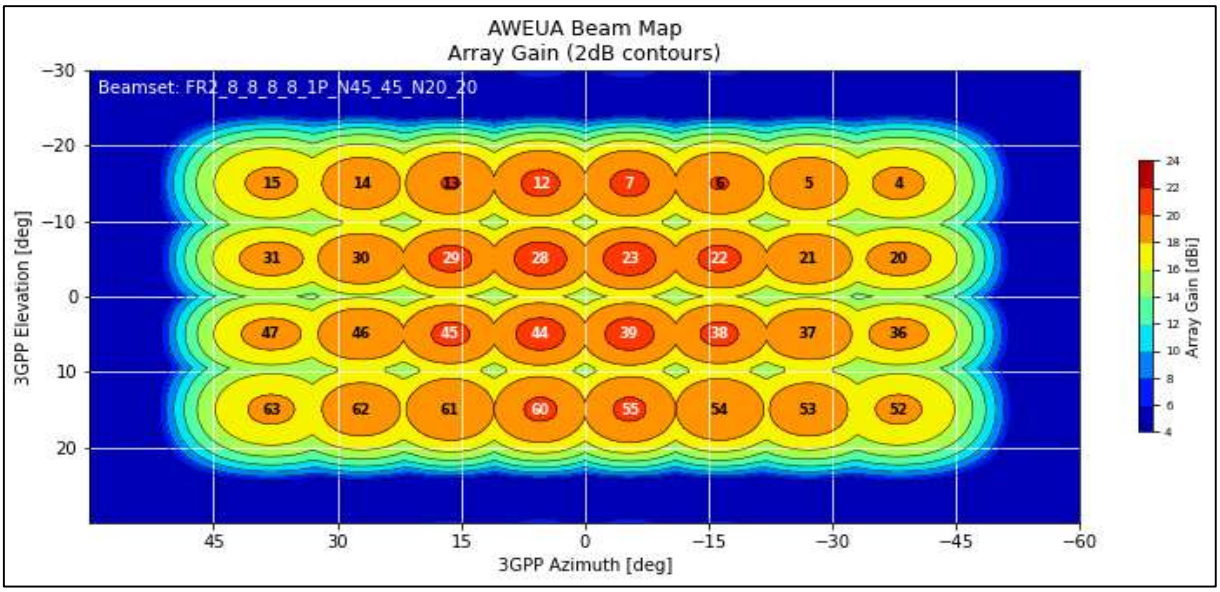
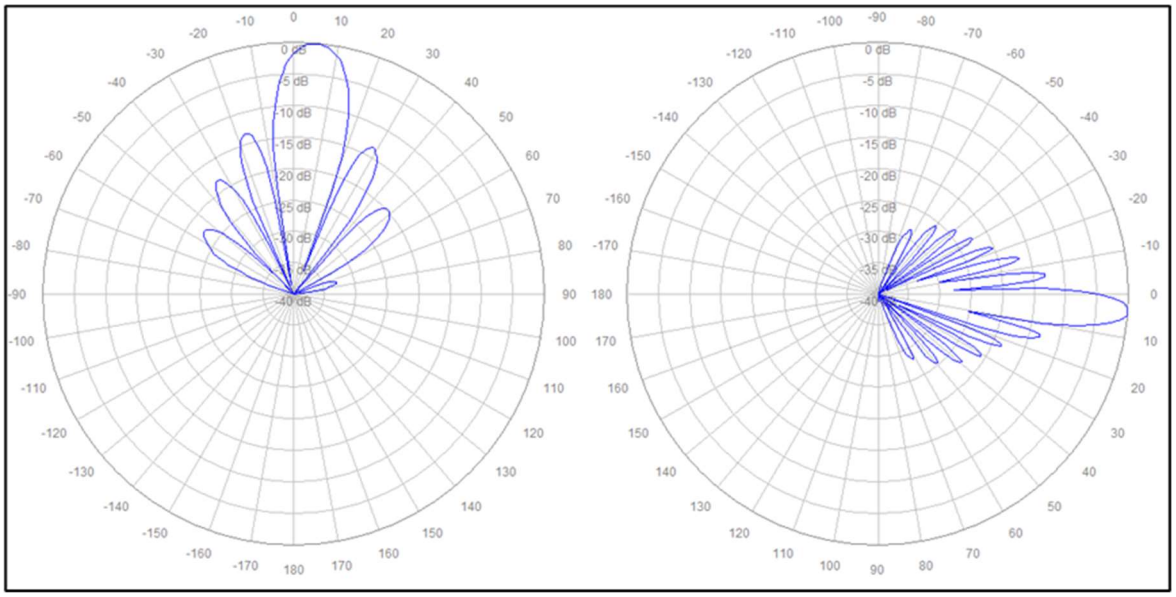


図 3-152　AWEUA の送信アンテナパターン(ビームごとのパターン)

本無線機ができるだけ広域なエリア形成を目的としているため、本アンテナパターンも水平面 90°、垂直面 40°のエリアが形成され、線状エリアからは道路外のエリアへの漏洩電力が想定される。

イ）柔軟化後

前項の 32 ビームの中から 1 ビームのみを送信した場合のアンテナパターンを図 3-153 に示す。このビームはシミュレーションでは使用できるが、本製品でこのビームのみを送信することはできない。



利得：23.9dB

半値角：13.5°　(水平)、6°　(垂直)

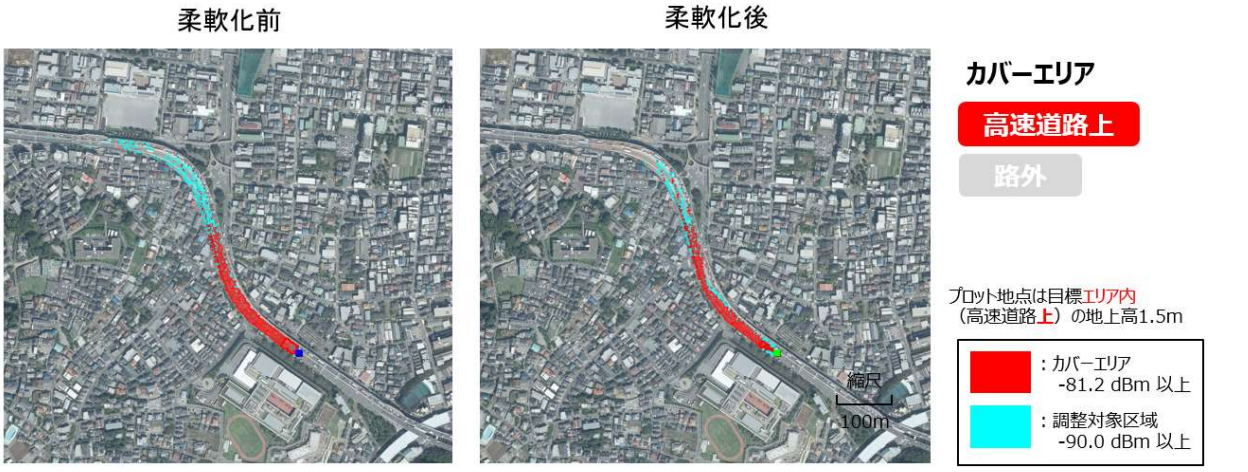
図 3-153　AWEUA の 1 ビームのみのアンテナパターン(水平、垂直)

この両アンテナパターンにおける、高速道路上のシミュレーション結果を図 3-154、路上のシミュレーション結果を図 3-155 に示す。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-154　区間④における 32 ビーム（柔軟化前）と 1 ビーム（柔軟化後）の精密シミュレーション結果（構造物による反射、透過あり）（道路外）

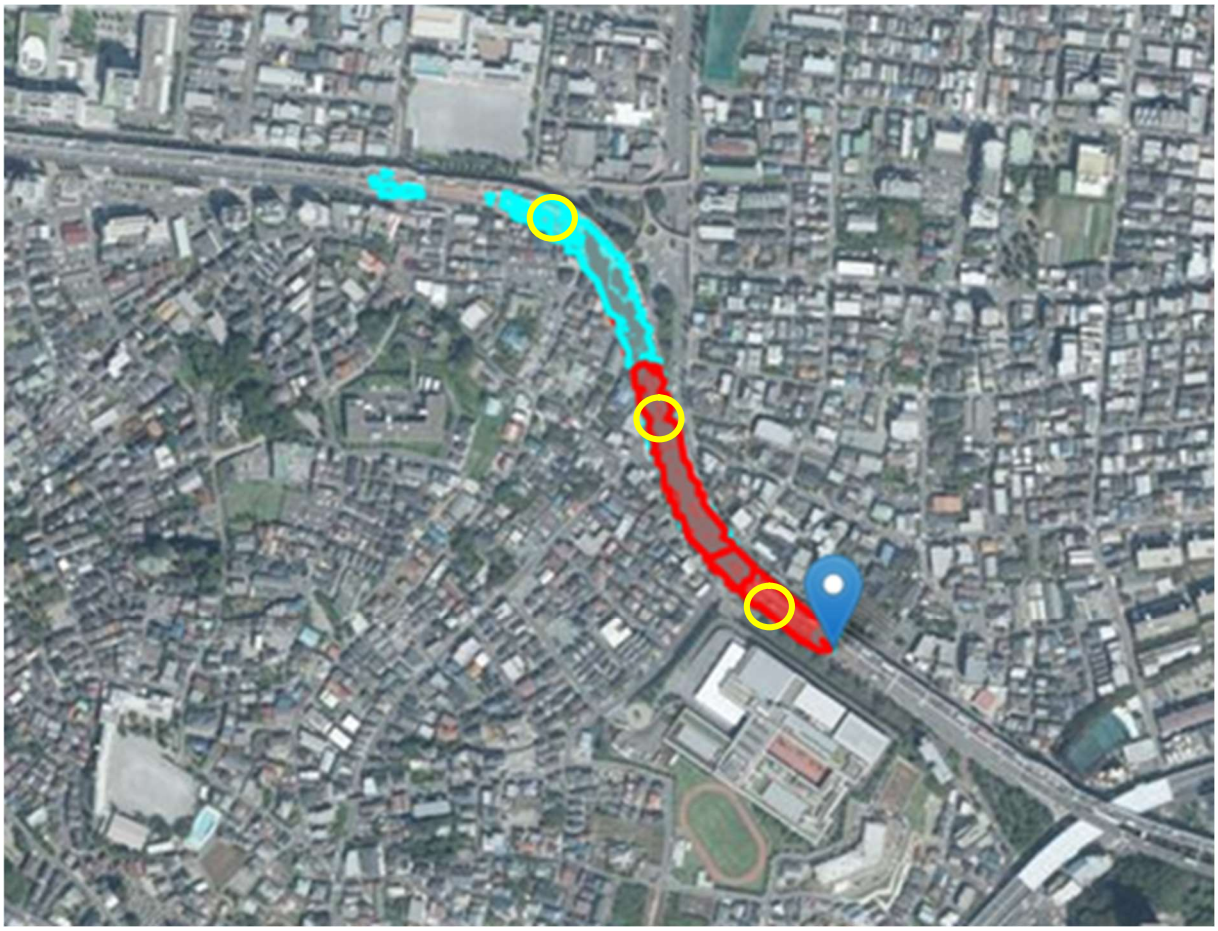


出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-155　区間④における 32 ビーム（柔軟化前）と 1 ビーム（柔軟化後）の精密シミュレーション結果（構造物による反射、透過あり）（高速道路上）

32 ビームの柔軟化前と 1 ビームのみの柔軟化後を比べると、道路外への漏洩電力が大幅に低減されていることが分かる。同時に、カバーエリアに関してはほぼ同等のエリアが形成されている。このことから、ビームフォーミングにて狭指向性アンテナを形成できれば、調整対象区域を大幅に低減することが可能となり、エリア形成の柔軟化に大きな効果が期待できる。

次に、この 1 ビームを無線機から近距離、中距離、遠距離に向けて送信した場合のシミュレーションを実施し、アクティブビームフォーミングによるエリア形成の柔軟化を検証する。



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-156 シミュレーション検証を行う近距離、中距離、遠距離地点

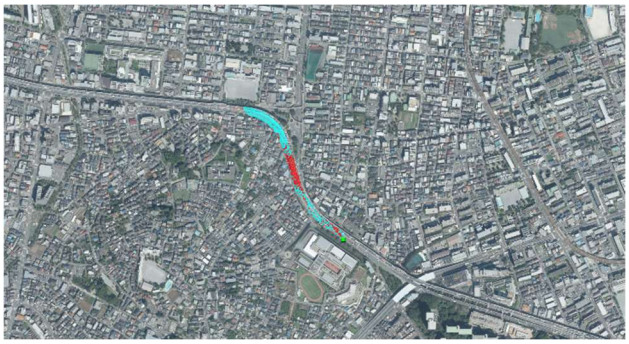
無線機から近距離、中距離、遠距離をエリアと想定した場合のシミュレーション結果を図 3-157 及び図 3-158 に示す。



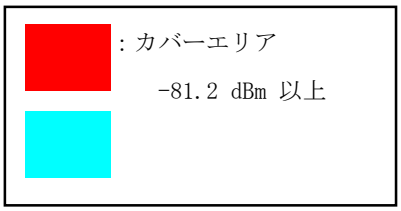
近距離



中距離



遠距離



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

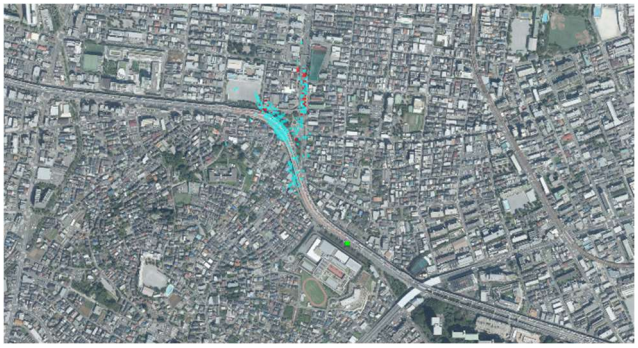
図 3-157　狭小ビームによるエリア(近距離、中距離、遠距離)(高速道路上)



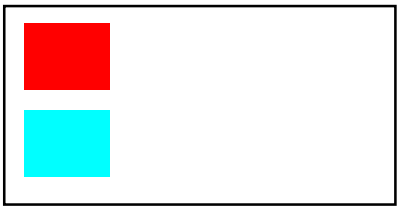
近距離



中距離



遠距離



出典：国土地理院地図をノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社にて加工

図 3-158　狭小ビームによるエリア(近距離、中距離、遠距離)(道路外)

この結果から、狭小ビームを近距離に向けた場合、近距離対象エリア近傍がカバーエリアとなっており、中距離、遠距離とビームを移動させることで、カバーエリアも移動していることが分かる。

この比較結果から、アンテナのビームパターンがアクティブビームフォーミングにより動作することにより、直線のみならず、曲線の線状エリアでもエリア形成が可能であることが分かる。同時に、道路外に関しては、いずれの場合でも漏洩電力が低く、自己土地利用のローカル 5G に対して、ビームフォーミングを利用することで、エリア形成が非常に柔軟にできることが分かる。

2) 各手法の比較

本実証で実施した各手法について、カバレッジあたりの導入コスト算出、構築時の施工性や維持管理性を評価し、比較した結果を表 3-63 及び表 3-64 に示す。

表 3-63 提案手法の比較(1/2)

評価項目	従来手法 狭指向性アンテナ	提案手法 1 漏洩同軸ケーブル(LCX)	提案手法 2 狭指向性アンテナ＋遮蔽板
1 基地局あたりの 道路に沿った カバレッジの広さ (m)	500m 以上／1 基地局	100m／1 基地局	500m 以上／1 基地局
カバレッジあたりの 概算整備コスト (円／100m) RU+アンテナのみ コア・BBU 等は含まず	約 60 万円／100m カバレッジは 500m として算出 狭指向性アンテナは本実証で開発したものを使用	約 600 万円／100m 漏洩同軸ケーブルは 150m の 2 本を使用	約 50 万円／100m カバレッジは 500m として算出 狭指向性アンテナは汎用品を使用
耐用年数(年)	10 年程度	基地局 10 年程度 ケーブル 20 年程度	10 年程度
標準設置時の 電波漏洩の程度 (5 段階)	3:標準的 狭指向性により直線区間の電波漏洩を抑制できる。	5:電波漏洩は少ない LCX によるエリア構成が 4 車線区間にマッチしており、電波漏洩は最小限に抑えられる。	4:電波漏洩はやや少ない 遮蔽板により狭指向性を確保しつつ、サイドローブの電波漏洩を抑制できる。
設置の容易性 (5 段階)	3:標準的 アンテナ設置角度に留意する必要があるが、補助工具により比較的容易に角度設定可能である。	1:困難 多数の金物により LCX を支持する必要があり、設置に手間がかかる。	2:やや困難 遮蔽板を後付けする場合、位置決めに留意する必要がある。工場で組み付ける等の工夫が必要である。
維持管理の容易性 (5 段階)	3:標準的 構造安全性の確認は必要であるが、確認すべき箇所は少ない。	1:困難 LCX 支持点が多く、確認箇所が多数のため、維持管理に手間がかかる。	2:やや困難 遮蔽板を後付けする場合、遮蔽板のずれ等に留意する必要がある。
交通事故等リスク (5 段階)	3:標準的 照明柱へ設置する場合、車両の衝突リスクは高くない。門型柱に設置する等、工夫次第ではリスクをさらに低減できる。	1:リスク高 車両の衝突リスクの高い遮音壁やガードレール付近に設置するため、事故等により使用できなくなる可能性が高い。	3:標準的 狭指向性アンテナと同様。
高架・直線区間 への適用性 (3 段階)	2:標準的 1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れるため、直線区間の標準的な位置付けである。	1:適していない 直線区間に設置する場合、コスト、設置容易性、維持管理容易性、交通事故等リスクに課題がある。	3:適している 狭指向性アンテナと同様、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。狭指向性アンテナのみより、さらに狭い区間でも適性がある。
高架・カーブ区間	1:適していない	3:適している	1:適していない

評価項目	従来手法 狭指向性アンテナ	提案手法 1 漏洩同軸ケーブル(LCX)	提案手法 2 狭指向性アンテナ＋遮蔽板
への適用性 (3 段階)	カーブ区間では、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。	カーブ形状に合わせたエリア構成が可能であり、かつ電波漏洩を最小限に抑えられる。	カーブ区間では、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。
土工・直線区間 への適用性 (3 段階)	2:標準的 1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れるため、直線区間の標準的な位置付けである。	1:適していない 直線区間に設置する場合、コスト、設置容易性、維持管理容易性、交通事故等リスクに課題がある。	3:適している 狭指向性アンテナと同様、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。狭指向性アンテナのみより、さらに狭い区間でも適性がある。
土工・カーブ区間 への適用性 (3 段階)	1:適していない カーブ区間では、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。	3:適している カーブ形状に合わせたエリア構成が可能であり、かつ電波漏洩を最小限に抑えられる。	1:適していない カーブ区間では、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。
半地下・直線区間 への適用性 (3 段階)	3:適している 1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。また、半地下構造では、道路外への電波漏洩を抑制できる。	1:適していない 直線区間に設置する場合、コスト、設置容易性、維持管理容易性、交通事故等リスクに課題がある。	2:標準的 狭指向性アンテナと同様、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。半地下構造では、遮蔽板が無くても電波漏洩を抑制できる。
半地下・カーブ区間 への適用性 (3 段階)	2:標準的 高架構造、土工部よりも道路外への電波漏洩を抑制できる。カーブ形状により、狭指向性アンテナが優位となる可能性がある。	3:適している カーブ形状に合わせたエリア構成が可能であり、かつ電波漏洩を最小限に抑えられる。	2:標準的 高架構造、土工部よりも道路外への電波漏洩を抑制できる。カーブ形状により、狭指向性アンテナが優位となる可能性がある。
トンネル区間 への適用性 (3 段階)	3:適している 1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。また、トンネル構造では、道路外への電波漏洩を抑制できる。	2:標準的 LCX の設置位置を工夫することにより、交通事故リスクを低減できる。狭指向性アンテナでは坑口からの電波漏洩が発生してしまう延長 200m 程度までの短いトンネルでは、LCX の適性は高い。	2:標準的 狭指向性アンテナと同様、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。トンネル構造では、遮蔽板が無くても電波漏洩を抑制できる。
ダブルデッキ区間 への適用性 (3 段階)	2:標準的(直線区間) 直線区間では、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れるが、道路幅が狭いことによる電波漏洩が大きくなるため、出力調整等の工夫が必要である。	3:適している LCX の設置位置を工夫することにより、交通事故リスクを低減できる。道路形状に合わせたエリア構成が可能であり、かつ電波漏洩を最小限に抑えられる。	3:適している(直線区間) 直線区間では、狭指向性アンテナと同様、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。狭指向性アンテナのみより、さらに狭い区間でも適性がある。
ジャンクション部 への適用性 (3 段階)	1:適していない ジャンクション部をまとめてカバーエリアとする場合、無指向性アンテナが適している。構成道路を個別にカバーエリアとする場合、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。	2:標準的 構成道路を個別にカバーエリアとする場合、道路形状に合わせたエリア構成が可能であり、かつ電波漏洩を最小限に抑えられる。	1:適していない ジャンクション部をまとめてカバーエリアとする場合、無指向性アンテナが適している。構成道路を個別にカバーエリアとする場合、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。
出入口ランプ への適用性 (3 段階)	2:標準的(直線区間) 直線区間では、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れるが、道路幅が狭いことによる電波漏洩が大きくなるため、出力調整等の工夫が必	3:適している 道路幅に合わせたエリア構成が可能であり、かつ電波漏洩を最小限に抑えられる。	3:適している(直線区間) 直線区間では、狭指向性アンテナと同様、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。狭指向性アンテナのみより、さらに狭い区間でも適性

評価項目	従来手法 狭指向性アンテナ	提案手法 1 漏洩同軸ケーブル(LCX)	提案手法 2 狭指向性アンテナ＋遮蔽板
	要である。		がある。
総括	直線区間を最も効率的にカバーすることができ、広いカバレッジを確保できる。 首都高速では一部路線を除き、直線区間が多くはないため、適用数は限られてしまう。	カーブ区間、出入口ランプ等、高低差変化も含めた道路形状への適用性は随一である。 高架区間や土工区間では、LCX を高所に支持する設備がなく、高所設置が困難であることから、交通事故リスクを避けられない他、通行車両の遮蔽により通信が安定しないケースがある。 性能上、1 基地局あたりのカバレッジを大きくできないため、運用上では DAS と組合せる等、セルサイズを大きくする必要がある。	直線区間を最も効率的にカバーすることができ、広いカバレッジを確保できる。 遮蔽板により、狭指向性アンテナよりもさらに狭い道路への適用性があると考えられる。 遮蔽板の個別設計は必要であるが、使い方によっては汎用の狭指向性アンテナを用いることも可能であり、費用対効果は高い。

表 3-64 提案手法の比較(2/2)

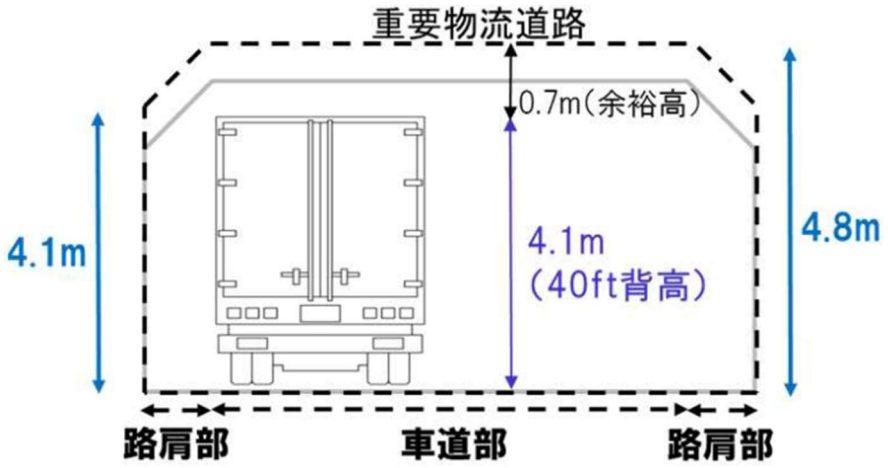
評価項目	従来手法 狭指向性アンテナ	提案手法 3 分散アンテナシステム(DAS)	提案手法 4 ミリ波ビームフォーミング
1 基地局あたりの道路に沿ったカバレッジの広さ(m)	500m 以上／1 基地局	125m／1 基地局 (本実証では 500m／4 基地局)	200m／1 基地局
カバレッジあたりの概算整備コスト(円／100m) RU+アンテナのみ コア・BBU 等は含まず	約 60 万円／100m カバレッジは 500m として算出 狭指向性アンテナは本実証で開発したものを使用	約 80 万円／100m RRH1 台＋DAS 親機 1 台＋DAS 子機 20 台で 3,000m をカバーすると想定し、100m あたりのコストを算出	約 200 万円／100m カバレッジは 200m として算出
耐用年数(年)	10 年程度	10 年程度	10 年程度
標準設置時の電波漏洩の程度(5 段階)	3:標準的 狭指向性により直線区間の電波漏洩を抑制できる。	4:電波漏洩はやや少ない DAS 子機の配置を工夫することにより、道路形状によらず電波漏洩を抑制できる。	3:標準的 アクティブビームフォーミングにより電波漏洩を抑制できる。
設置の容易性(5 段階)	3:標準的 アンテナ設置角度に留意する必要があるが、補助工具により比較的容易に角度設定可能である。	2:やや困難 DAS 子機を複数箇所に設置する必要がある他、光ケーブルによる親機から各子機間の接続が必要である。	4:やや容易 アクティブビームフォーミングによりビーム方向を制御可能なため、アンテナ設置角度にあまり留意する必要はない。
維持管理の容易性(5 段階)	3:標準的 構造安全性の確認は必要であるが、確認すべき箇所は少ない。	2:やや困難 DAS 子機の設置数分の構造安全性の確認は必要である。また、装置構成が複雑なため、維持管理にやや手間がかかる。	3:標準的 構造安全性の確認は必要であるが、確認すべき箇所は少ない。
交通事故等リスク(5 段階)	3:標準的 照明柱へ設置する場合、車両の衝突リスクは高くない。門型柱に設置する等、工夫次第ではリスクをさらに低減できる。	3:標準的 狭指向性アンテナと同様。	3:標準的 狭指向性アンテナと同様。
高架・直線区間への適用性(3 段階)	2:標準的 1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れるため、直線区間の標準的な位置	2:標準的 DAS 子機に用いるアンテナによるが、狭指向性アンテナを用いる場合は、大きなカバレッジ	2:標準的 sub6 帯の狭指向性アンテナほど大きなカバレッジは取れないが、都心部の電波干渉回避対

評価項目	従来手法 狭指向性アンテナ	提案手法 3 分散アンテナシステム(DAS)	提案手法 4 ミリ波ビームフォーミング
	付けである。	が取れる。	策の中心となりうる。
高架・カーブ区間 への適用性 (3 段階)	1:適していない カーブ区間では、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。	3:適している DAS 子機に用いるアンテナによるが、小セルアンテナを用いる場合は、道路形状に柔軟に対応できる。	2:標準的 出力調整とアクティブビームフォーミングにより、カーブ区間においても一定の適性はある。
土工・直線区間 への適用性 (3 段階)	2:標準的 1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れるため、直線区間の標準的な位置付けである。	2:標準的 DAS 子機に用いるアンテナによるが、狭指向性アンテナを用いる場合は、大きなカバレッジが取れる。	2:標準的 sub6 帯の狭指向性アンテナほど大きなカバレッジは取れないが、都心部の電波干渉回避対策の中心となりうる。
土工・カーブ区間 への適用性 (3 段階)	1:適していない カーブ区間では、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。	3:適している DAS 子機に用いるアンテナによるが、小セルアンテナを用いる場合は、道路形状に柔軟に対応できる。	2:標準的 出力調整とアクティブビームフォーミングにより、カーブ区間においても一定の適性はある。
半地下・直線区間 への適用性 (3 段階)	3:適している 1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。また、半地下構造では、道路外への電波漏洩を抑制できる。	2:標準的 DAS 子機に用いるアンテナによるが、狭指向性アンテナを用いる場合は、大きなカバレッジが取れる。	2:標準的 sub6 帯の狭指向性アンテナほど大きなカバレッジは取れないが、都心部の電波干渉回避対策の中心となりうる。
半地下・カーブ区間 への適用性 (3 段階)	2:標準的 高架構造、土工部よりも道路外への電波漏洩を抑制できる。カーブ形状により、狭指向性アンテナが優位となる可能性がある。	3:適している DAS 子機に用いるアンテナによるが、小セルアンテナを用いる場合は、道路形状に柔軟に対応できる。	2:標準的 出力調整とアクティブビームフォーミングにより、カーブ区間においても一定の適性はある。
トンネル区間 への適用性 (3 段階)	3:適している 1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れる。また、トンネル構造では、道路外への電波漏洩を抑制できる。	2:標準的 DAS 子機に用いるアンテナによるが、狭指向性アンテナを用いる場合は、大きなカバレッジが取れる。	2:標準的 電波干渉回避が不要なトンネル区間では、効率性においてsub6 帯の狭指向性アンテナに劣る。
ダブルデッキ区間 への適用性 (3 段階)	2:標準的(直線区間) 直線区間では、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れるが、道路幅が狭いことによる電波漏洩が大きくなるため、出力調整等の工夫が必要である。	2:標準的 DAS 子機に用いるアンテナによるが、狭指向性アンテナを用いる場合は、大きなカバレッジが取れる。道路幅が狭いことによる電波漏洩が大きくなるため、小セルアンテナを用いる等の工夫が必要である。	2:標準的 sub6 帯の狭指向性アンテナほど大きなカバレッジは取れないが、都心部の電波干渉回避対策の中心となりうる。
ジャンクション部 への適用性 (3 段階)	1:適していない ジャンクション部をまとめてカバーエリアとする場合、無指向性アンテナが適している。構成道路を個別にカバーエリアとする場合、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。	2:標準的 ジャンクション部をまとめてカバーエリアとする場合、無指向性アンテナが適している。構成道路を個別にカバーエリアとする場合、DAS によりセルサイズを大きくして一体運用する等の工夫が可能である。	1:適していない ジャンクション部をまとめてカバーエリアとする場合、無指向性アンテナが適している。構成道路を個別にカバーエリアとする場合、直進方向の道路外への電波漏洩が大きくなるため、適していない。
出入口ランプ への適用性 (3 段階)	2:標準的(直線区間) 直線区間では、1 台の基地局で高速道路上に大きなカバレッジが取れるが、道路幅が狭いことによる電波漏洩が大きくなるため、出力調整等の工夫が必	2:標準的 DAS 子機に用いるアンテナによるが、狭指向性アンテナを用いる場合は、大きなカバレッジが取れる。道路幅が狭いことによる電波漏洩が大きくなるた	2:標準的 出力調整とアクティブビームフォーミングにより、道路幅が狭い区間においても一定の適性はある。

評価項目	従来手法 狭指向性アンテナ	提案手法 3 分散アンテナシステム(DAS)	提案手法 4 ミリ波ビームフォーミング
	要である。	め、小セルアンテナを用いる等の工夫が必要である。	
総括	直線区間を最も効率的にカバーすることができ、広いカバレッジを確保できる。 首都高速では一部路線を除き、直線区間が多くはないため、適用数は限られてしまう。	カーブ区間を効率的にカバーできる他、アンテナの工夫により様々な道路形状に適用可能である。 高速走行時にハンドオーバーを行う場合、小セルでは切替処理が間に合わない場合があるが、DAS によりセルサイズを大きくして円滑な切替を行う等の運用も可能である。	効率的なカバーエリア構成では、sub6 帯のアンテナが有利であるが、都心部の電波干渉回避対策として有効に機能すると考えられる。 幅広い帯域を活かした高速大容量通信が可能であり、スポット整備に活用できる。

3)　実証区間以外への道路形状と置局の考え方

高速道路上に道路附属物等を設置する場合、道路構造令に規定される建築限界の外側に設置する必要がある。高速道路にローカル 5G 基地局やアンテナを設置する場合、建築限界を侵さないよう留意する必要がある。重要物流道路における建築限界を図に示す。



出典：道路構造令の解説と運用（道路構造企画小委員会）

図 3-159　重要物流道路の建築限界

土工区間の例を図 3-160 に示す。高架区間と異なり、隣接事業者への与干渉、隣接事業者からの被干渉が同程度想定される。ローカル 5G 置局の考え方は、高架区間と同様と想定される。



図 3-160　土工区間の例（首都高速湾岸線　東扇島付近）

半地下区間の例を図 3-161 に示す。隣接事業者との境界が接近しており、隣接敷地や建物からの被干渉が想定される。両側にコンクリート製の壁があり、幅方向への電波漏洩は抑制できると考えられるため、柔軟なローカル 5G 置局が可能であると想定される。建築限界には留意する必要がある。



図 3-161　半地下区間の例（首都高速神奈川 1 号横羽線　みなとみらい付近）

ダブルデッキ部の例を図 3-162 に示す。2 車線道路が上下に重なった構造となっているため、本実証区間より幅方向が狭い。ダブルデッキ上層の直線部では、本実証で用いたアンテナよりさ

らに鋭い指向性を持つアンテナが必要になると考えられる。ダブルデッキ下層では、狭指向性アンテナや漏洩同軸ケーブルの適性が高いと考えられる。なお、ダブルデッキ下層では、道路外への電波漏洩の程度により、不要反射波対策を合わせて検討する必要がある。ダブルデッキ下層における ETC 不要反射波対策の例を図 3-163 に示す。



図 3-162　ダブルデッキ部の例(首都高速中央環状線　滝野川付近)

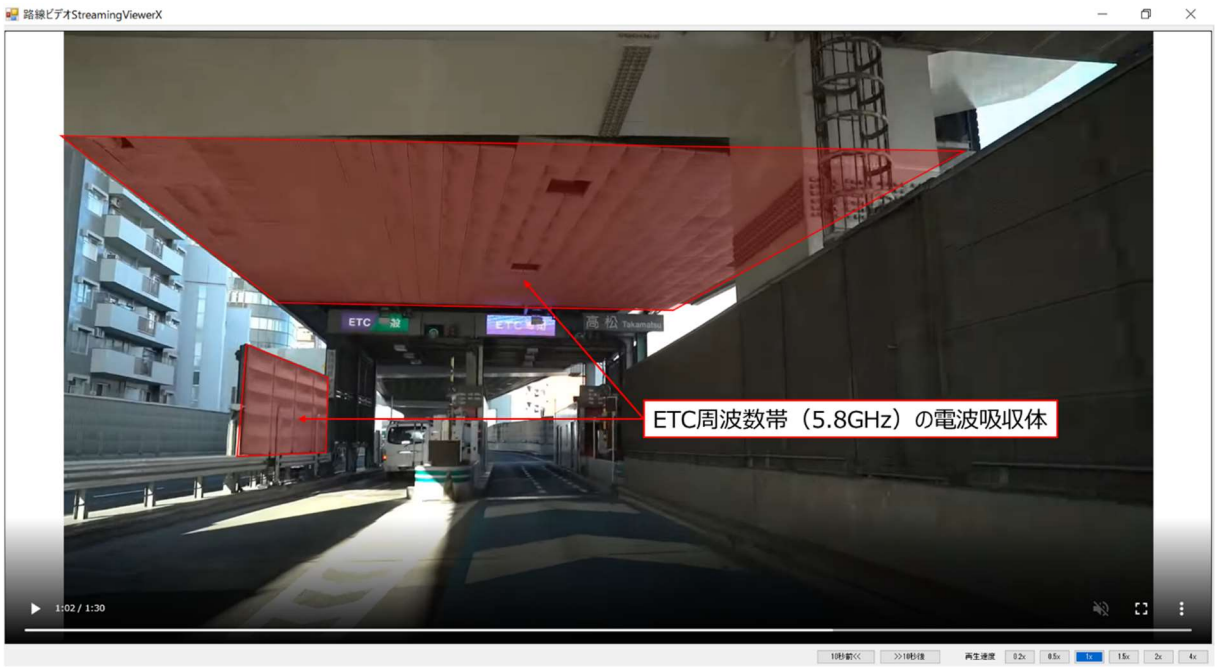


図 3-163　ダブルデッキ下層の ETC 不要反射波対策の例(首都高速中央環状線　高松料金所)

出入口ランプの例を図 3-164 に示す。出入口ランプは 1 車線区間が多く、鋭いカーブや起伏の激しい道路で構成されるため、柔軟な道路形状に対応できる漏洩同軸ケーブルの適性が高いと

考えられる。



図 3-164　出入口ランプの例(首都高速 4 号新宿線　外苑出口)

4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）

4.1 実証概要

4.1.1 背景となる課題

（1） 課題概要

首都高速は、首都圏での大規模災害発生時の緊急車両通行のための緊急輸送路として、早期の道路啓開を実施する必要があり、迅速な現場状況収集による確実な被害状況の把握が必要不可欠である。しかし、大規模災害時には通信キャリア回線に大幅な発信規制や接続規制がかけられてしまうこと、現在の災害時に備えた自営無線回線は音声通話のみとなっていること等から、大規模災害時にも輻輳せず、安定して災害現場のリアルタイム映像を伝送できる無線回線・システムを整備することが急務となっている。

また、労働人口の減少により、災害時に現場へ急行し的確な修補箇所の選別、補修計画の立案が可能なメンテナンス技術者の確保が困難となっている。さらには、技術者の高齢化及び退職により、熟練技術者の減少も生じていることから、災害時に現場派遣する技術者への技術サポートや指導する熟練技術者の不足が課題となっている。

さらに、都市内高速道路においてローカル 5G を導入するためには、道路形状に合わせた線状エリア上での無線網の構築に加えて、線状エリア外への漏洩電波の影響を最小化することが求められる。しかしながら、電波環境は様々な要因により変化するため、線状エリア構築後の維持管理として、実測による日常的な電波環境の確認が必須となる。従来の可搬型測定機を使用した測定方法では、広範囲にわたる線状エリア内外の実測には多大な時間を要するため、維持管理に必要な受信電力データを短時間で効率的に行うための手法の確立が求められている。

図 4-1 に課題に関するイシューツリーを示す。

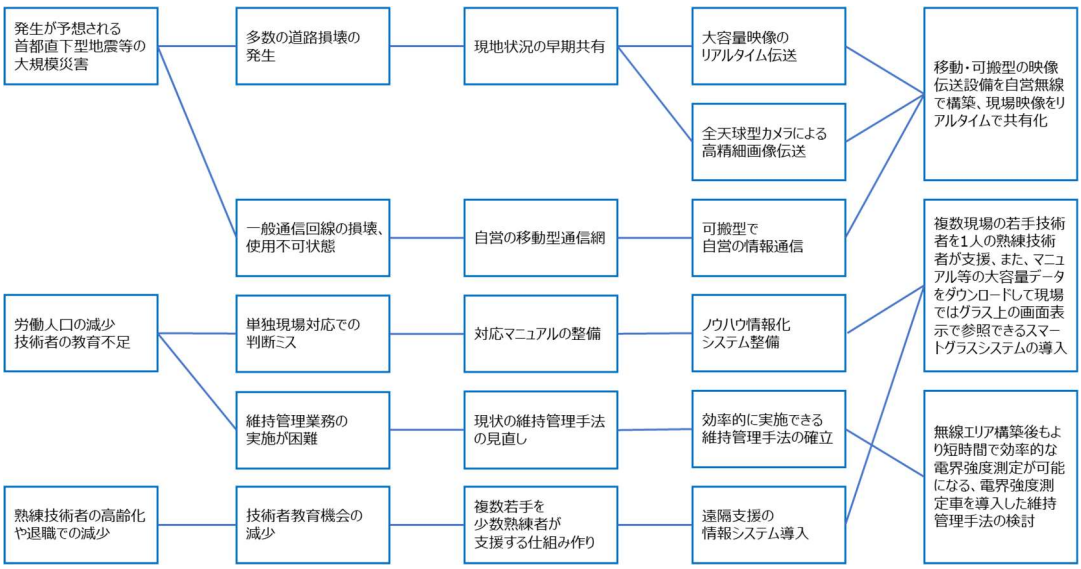


図 4-1 イシューツリー

（2） 首都高速の業務における課題の抽出

1） 災害時の業務

首都高速の各路線は、交通管理者から緊急交通路として指定されており、大規模災害発生時においても早期の交通開放が求められている。大地震発生時に被害を受けても、災害対策業務を実施し緊急交通路としての機能を確保するため、首都高速では地震発生時の BCP を策定している。また、交通パトロール、維持補修等の緊急待機は 24 時間 365 日の体制で実施している他、現地作業員の参集場所の多様化、道路啓開優先路線の設定、災害対応訓練の実施等、円滑に態勢移行を行い、発災時に現場へ急行できる対応を行っている。

大規模地震発生を想定した BCP における災害対策業務のうち重要事項を表 4-1 に示す。なお、表中の下線は、ローカル 5G 整備により、迅速化や効率化の可能性があるものを示す。

表 4-1 災害対策業務のうち重要事項

目標	概要	実施体制の確立	緊急交通路の確保等	その他
1 時間以内	本部体制の構築	・本部長の参集 ・初期参集要員の参集開始 ・災害対策本部の設置 ・社員参集状況の把握 ・事務所の緊急点検	・交通特別パトロール開始 ・高架下点検開始 ・地震情報（津波を含む）収集 ・現地情報収集	・関係機関への情報提供（第 1 報） ・報道対応「FAX 速報」 ・ホームページで緊急情報発信
3 時間以内	状況の把握	・体制の確立	・交通特別パトロール完了 ・高架下点検完了 （優先路線、約 101km） ・応急復旧工事開始 ・料金所、システムの状況把握 ・建設中路線の状況把握 ・お客様及び被災者対応	・報道対応「記者発表」（4 時間以内） ・社員・家族の安否確認
12 時間以内	道路上の障害物等の除去		・緊急交通路としての交通開放計画策定・協議 ・本線上の放置車両の応急措置 ・障害物除去及び 2 次被害防止の応急措置	・緊急通行車両の通行に関する対応
24 時間以内	最低限の緊急交通路確保（路面段差解消等）		・最低限の緊急交通路確保 ・全線の応急復旧計画策定	・社員・家族の安否確認の完了
3 日以内	本復旧計画の策定		・復旧点検	

目標	概要	実施体制の確立	緊急交通路の確保等	その他
			・本復旧計画策定	
7 日以内	本復旧工事の実施に向けた協議等		・復旧工事の実施 ・交通開放に向けた関係機関との協議	

※3 時間以内に交通特別パトロール及び優先路線の高架下点検を完了させることは、首都高速道路株式会社としての目標

交通特別パトロール、高架下点検及び現地情報収集において、キャリア回線が使用できない場面では、自営無線網による音声通話により現場と対策本部間で情報交換を実施している。ローカル 5G により災害時の通信インフラが確保できれば、現場と対策本部間で映像や画像を用いた情報交換を行うことができ、現地情報の把握の迅速化が期待できる。これにより、関係機関や報道への情報提供の迅速化や早期の現地対応が可能となり、より早期に災害復旧させることが期待できる。

2) 平常時の運用、維持管理業務

平常時においても、道路構造物、道路附属物の緊急補修対応待機や、交通パトロール、交通事故対応待機は 24 時間 365 日の体制で実施している。

道路保全においては、首都高速のうち、建設から 50 年以上経過した路線が全体の約 3 割、30 年以上経過した路線が 7 割近くに達しており、道路の高齢化が進んでいる。また、1 日あたりの交通量は約 100 万台、大型車の交通量は東京 23 区の一般道路の約 5 倍となっており、過酷な使用状況にさらされている。このような中で、道路構造物や道路附属物の損傷件数は年間で 3 万件にも及び、保全関係業務は首都圏の大動脈を守るための極めて重要な位置付けとなっている。首都高速では、維持管理業務の高度化や効率化のため、インフラドクター（定期点検（接近点検）の高度化、効率化）やインフラパトロール（巡回点検の高度化、効率化）を開発し、日々の保全関係業務に活用している。

交通管理においては、2021 年度の交通事故は約 8,000 件、車両故障は約 9,000 件、落下物処理は約 23,000 件発生しており、およそ 13 分に 1 件の割合で交通異常事象が発生している。交通異常事象の現場では、ドライバーの安全確保、後続車への 2 次被害防止と共に、交通障害物の迅速な除去が必要である。

保全関係業務の概要を表 4-2、交通関係業務の概要を表 4-3 に示す。なお、表中の下線は、ローカル 5G 整備により、迅速化や効率化の可能性があるものを示す。

表 4-2 保全関係業務

種別	業務区分	具体的な業務項目	概要等
点検	計画	・点検履歴データ収集・解析 ・計測データ収集・解析 ・点検計画の立案	・点検履歴やセンサ等の計測データを収集、解析を実施し、法定点検等の予定を考慮した年間の点検計画の立案を行う。

	点検実施	・定期点検(接近点検) ・巡回点検 ・機能点検 ・徒歩点検 ・路面清掃 ・緊急点検	・点検計画等に基づき、定期点検、巡回点検、機能点検、徒歩点検、路面清掃を実施する。点検結果はランク付けし、写真と共に点検履歴データとして蓄積する。 ・点検の結果、異常等が発見された場合は、異常箇所の写真を含む報告書を作成し、維持管理事務所等へ周知する。必要に応じて 24 時間 365 日の待機班にて緊急点検を実施する。
修繕	計画	・点検履歴データ収集・解析 ・修繕計画の立案 ・事業化	・過去の点検結果ランクや設置後経過年数から修繕計画を立案し、修繕の事業化を行う。
	設計	・設計、現場調査 ・図面・仕様作成 ・発注等手続き	・現場調査等を踏まえて、修繕の実施仕様、工法を決定し、工事発注手続きを実施する。
	実施	・工事管理 ・施工協議 ・安全管理 ・品質出来形管理	・工事の進捗状況管理、関連機関等への施工協議、安全管理、品質出来形管理を実施する。

表 4-3 交通関係業務

種別	業務区分	具体的な業務項目	概要等
交通管制	収集	・交通データ収集 ・交通異常事象検出	・高速上に約 300m ごとに設置した車両感知器により、交通量や平均速度を収集する。 ・24 時間体制で実施する交通パトロール、CCTV、非常電話や道路緊急ダイヤルによる通報等から、交通異常事象を検出する。 ・一部区間に設置している交通異常事象検出システムにより自動検出する。
	処理・判断	・パトロールカー指示 ・交通異常事象のシステムへの入力	・交通異常事象を検出した場合、交通管制室より検出現場に最寄りのパトロールカーに対し、現場急行の指示を出す。

種別	業務区分	具体的な業務項目	概要等
		・他機関との情報共有	・交通管制システムに交通異常事象の情報を入力する。 ・必要に応じて、警察、消防、NEXCO 等と情報共有を行う。
	提供	・交通情報提供 ・交通異常事象情報提供	・収集した速度データ等をもとに、交通情報を自動作成し、情報板、VICS、PA、アプリケーション等で提供する。また、交通異常事象としてシステム入力された情報も情報板等を通じて提供する。
交通管理	取締	・過積載・車限令取締	・料金所において、過積載や車両制限令の取締を実施する。違反車両に対しては、高速道路 6 会社で協調して、大口・多頻度割引の停止等の措置が適用されることがある。
	交通事故	・交通規制 ・交通事故処理 ・落下物処理	・交通事故現場では、ドライバーの安全確保、後続車への 2 次被害防止のため、必要に応じて交通規制を実施する。 ・事故車両の状況等により、レッカー車の要請等を行い、交通障害の原因となっている事故車両の迅速な除去を行う。 ・道路附属物等への接触等が確認された場合は、合わせて緊急点検を実施する場合がある。

保全関係業務、交通関係業務において、ローカル 5G により現地映像や画像を共有できれば、現地からのより正確な情報伝達、維持管理事務所や交通管制室での適切な判断、指示の迅速化により、早期の現場着手、情報提供に寄与することが期待できる。

（3） 首都高速へローカル 5G を展開した際の裨益効果

ローカル 5G の裨益効果として期待できるものを表 4-4 に示す。削減効果が金額として算出可能なものについては、想定される削減効果を併記する。

表 4-4 ローカル 5G の裨益効果（災害時、通常時、将来）

場面	主な効果
災害時	・大規模災害時にも輻輳しない安定した通信インフラの確保 大規模災害時にも映像・画像の送受信が可能となり、情報提供や対応の迅速化に寄与

場面	主な効果	
	迅速な現地点検開始	スマートグラス等を活用することにより、 ・少人数での早期点検開始による被災状況把握・対応の迅速化 ・点検履歴等の現地ダウンロードによる作業効率化・正確性向上 ・少人数での現場作業による危険作業削減・安全性確保 が期待できる。
	正確な現地情報の伝達	通常時と同様の現地映像・画像の対策本部や管制室との情報共有により、 ・正確かつ迅速な状況把握による道路啓開・規制解除等の迅速化 ・被災現場での危険を伴う目視確認回数削減による作業員の被災リスク低減 ・お客様へ提供する避難経路等の交通情報の精度向上 が期待できる。
	的確な判断	通常時と同様の現地映像・画像の対策本部や管制室との情報共有により、 ・画像・映像での状況把握による対策本部や管制室内の判断・指示の迅速化 ・判断・指示の迅速化による現地応援対応、応急復旧、被災者対応の迅速化 が期待できる。
	迅速な情報提供	上記により、関係機関やお客様に迅速かつ正確な情報提供が期待できる。
通常時	・通常時業務の高度化、効率化 無線通信による映像・画像等の大容量伝送活用により業務の高度化、効率化に寄与	
	点検業務	スマートグラス等を活用することにより、 ・熟練点検員の業務効率化（複数点検への同時指示、移動削減等） ・点検員の危険作業からの解放・ワークライフバランス向上 ・経験の浅い若手点検員の業務効率向上（デバイスうえでの図面参照等） が期待できる。 【熟練点検員の業務効率化による削減効果：0.3 億円／年（6 班、年間作業日数 50 日、単価 50,000 円／日、3 か所同時並行作業の場合）】 360° カメラビュー等の多頻度に取得する画像等により、 ・点検業務の一部（外観目視点検）削減、巡回点検の削減 ・損傷等の早期発見 ・広範囲の異常箇所スクリーニングによる点検重点箇所の絞り込み が期待できる。 【点検業務の一部削減による削減効果：0.1 億円／年（6 班、年間作業日数 50 日、単価 30,000 円／日の場合）】
	交通異常事象検出	高精細な現地映像・画像の管制室との情報共有により、 ・正確な状況把握による管制室内の判断や指示の迅速化、精度向上 ・判断・指示の迅速化による現地応援対応、応急復旧の迅速化 ・交通事故処理時間の短縮 ・お客様へ提供する交通情報の精度向上 が期待できる。 360° カメラビュー等の多頻度に取得する画像等により、 ・交通パトロール頻度の削減 ・作業員の危険作業からの解放・ワークライフバランス向上 が期待できる。

場面	主な効果	
		【交通パトロール頻度削減による削減効果:1.2 億円／年(30 台、1 台につき 1 日の走行距離 400km→200km、車両損料 20 円／km、燃費 34 円／km の場合)】
	路側設備のワイヤレス化	非常電話、情報板等の路側設備のワイヤレス化により、 ・通信ケーブル、光ケーブルの削減 ・ケーブル削減に伴う配線路削減(小規模化) が期待できる。 【路側設備のワイヤレス化による削減効果:0.8 億円／年(非常電話 2,400 か所・情報板 600 か所、材工共ケーブル単価 2,000 円／m、1 端末のケーブル長 200m、設備更新期間 15 年の場合)】
将来	・新たなサービスの提供 路車間通信を活用した新たなサービス提供によるサービスレベル向上に寄与	
	自動運転、協調運転支援	自動運転、協調運転の道路側基盤として整備、活用することにより、 ・自動運転社会に向けたインフラ整備による社会的責務の遂行 ・危険情報提供／注意喚起による交通事故防止・安全性向上 ・路面清掃車等の隊列走行による業務負担削減 が期待できる。
	お客様への個別情報提供	お客様車両の現在地、目的地情報等の路車間通信により、 ・お客様個別の交通情報等の提供により、道路ネットワーク全体最適化による渋滞緩和や定時性の向上 ・渋滞末尾情報や合流支援情報等の安全運転支援情報の即時提供による交通事故防止や安全性向上 ・多様化するニーズへの対応によるお客様満足度、企業価値の向上 が期待できる。

4.1.2 本実証におけるローカル 5G 活用モデル

(1) ローカル 5G を用いたソリューション

首都高速におけるローカル 5G 導入後のソリューションとして、次の 3 つを提案、実証した。

1) 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

首都高速の画像・映像共有における運用・維持管理上の課題は、以下のとおりである。

- 高速道路上の現場からの状況共有には、管理用無線（音声）や大規模災害時に輻輳リスクがある通信キャリア回線による簡易画像・映像しかない。
- 交通管制室や災害対策室では、限られた情報での状況把握・判断を強いられている。そのため、事故処置の遅延や誤判断による 2 次災害リスクを抱えている。
- 現場からの大容量映像データを、そのまま既存のネットワークに配信すると、他システムへの影響・負荷が大きい。

・　既存の CCTV カメラでは死角があり、現場の状況を全てカバーすることはできない。
・　既存の CCTV カメラでは、高架区間の段差・目開きや土工区間の路面ひび割れ等を把握できるだけの十分な解像度がない。

以上の課題を踏まえたうえで、想定するユースケースを挙げる。

・　現場に急行した現地作業員が持つカメラから、高精細映像を交通管制室等へ伝送することで、的確な現場状況をリアルタイムに共有可能とする。
・　交通管制室内のオペレータや災害対策室の司令は、従来の音声だけでなく高精細映像により、的確な状況判断、関係者への連絡・指示、迅速な情報提供等が可能となる。
・　現地作業員の応援対応者もリアルタイム配信や記録映像により、現場状況を確認した後、現場に急行することが可能となる。

本ユースケースで期待される効果としては以下のことが挙げられる。

・　交通管制室や災害対策室における現場状況把握の質の向上と、これに伴う判断、情報提供・指示の迅速化、精度向上。
・　情報の円滑な伝達による事故処理対応の迅速化、適切な車線規制／規制解除により交通渋滞等への影響の低減。

本ユースケースのイメージを図 4-2 に示す。図 4-2 に記載されている「記録」は、事故現場動画の大容量録画データであり、通信室から交通管制室間のネットワーク負荷を考慮し、通信室の大容量映像伝送設備に一時蓄積する構成とする。

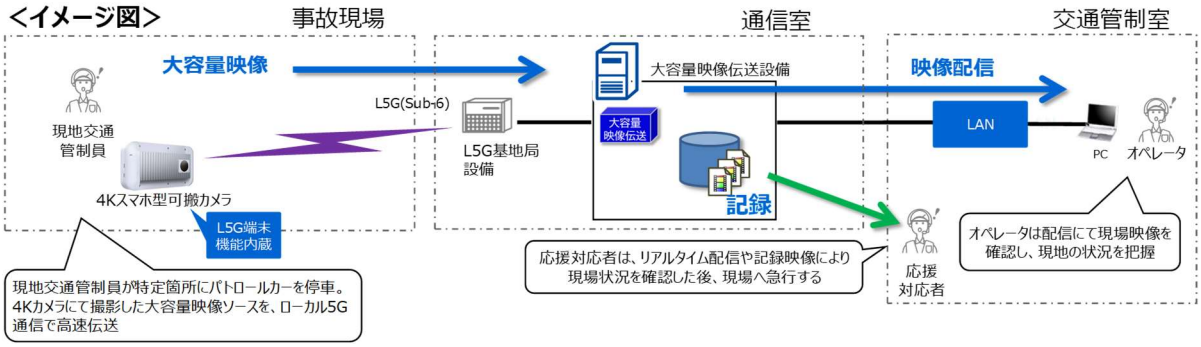


図 4-2　高精細画像･映像のリアルタイム共有

首都高速の現場点検作業における課題は、以下のとおりである。

・　少子高齢化により専門技術者・熟練技術者が減少していく中、高度経済成長期に整備した施設の老朽化が進展、広域な管理エリアでの移動を伴う点検業務の負担が増加している。
・　首都高速の社会インフラとしての重要性から、点検のために施設の運用を長期間止めることは困難であり、熟練点検員による点検が減少することで重大な損傷の見落としリスクが高まっている。
・　作業手順書／チェックリスト等、紙媒体で現場に持ち運ぶ書類が多く、作業者の負担となっている。
・　点検作業を安全かつ確実に、しかも迅速に完了するために、現場の作業効率改善が求められている。

以上の課題を踏まえたうえで、想定するユースケースを挙げる。

- 現場点検員はスマートグラスに登録された作業手順書／チェックリストに基づいて、点検作業を確実に実施できる。
- 手順書の電子化により、書類を持ち運ぶ手間を減らすことができる。
- 不明点や不測の事態に直面した場合は、遠隔の熟練点検員から支援が受けられるため、現場点検員の安心・安全に寄与する。
- 遠隔の指示内容が口頭だけでなく、現場映像や現場画像へのメモ画像を用いて、確実に共有することができる。

本ユースケースで期待される効果としては以下のことが挙げられる。

- 熟練点検員は、複数の現場に逐次対応できるので、点検業務の質の向上と業務効率化に寄与する。また、熟練点検員の負荷軽減（ワークライフバランス改善）が期待される。
- 点検作業手順書の整備により、現場点検員の作業内容の可視化／分析が可能となり、経験の浅い／若手点検員の業務効率の改善に寄与する。
- 交通管制室や災害対策室における現場状況把握の質の向上と、これに伴う判断、情報提供・指示の迅速化、精度向上。
- 情報の円滑な伝達による事故処理対応の迅速化、適切な車線規制／規制解除により交通渋滞等への影響の低減。

上記で挙げた首都高速の画像・映像共有における運用・維持管理上の 5 つの課題において、それぞれの課題のみに対してであれば、別のソリューションが解決手段となる可能性はあるが、5 つの課題を総合的に判断するならばローカル 5G 活用が有効的な手段と考える。

本ユースケースのイメージを図 4-3 に、詳細構成を図 4-4 に示す。図 4-3 のスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援に記載の「過去の点検履歴・手順書マスタ」は、事前に作成され、複数の点検員が必要に応じて適宜引用されるデータであるため、交通管制室の支援者用 PC に保存される構成とする。

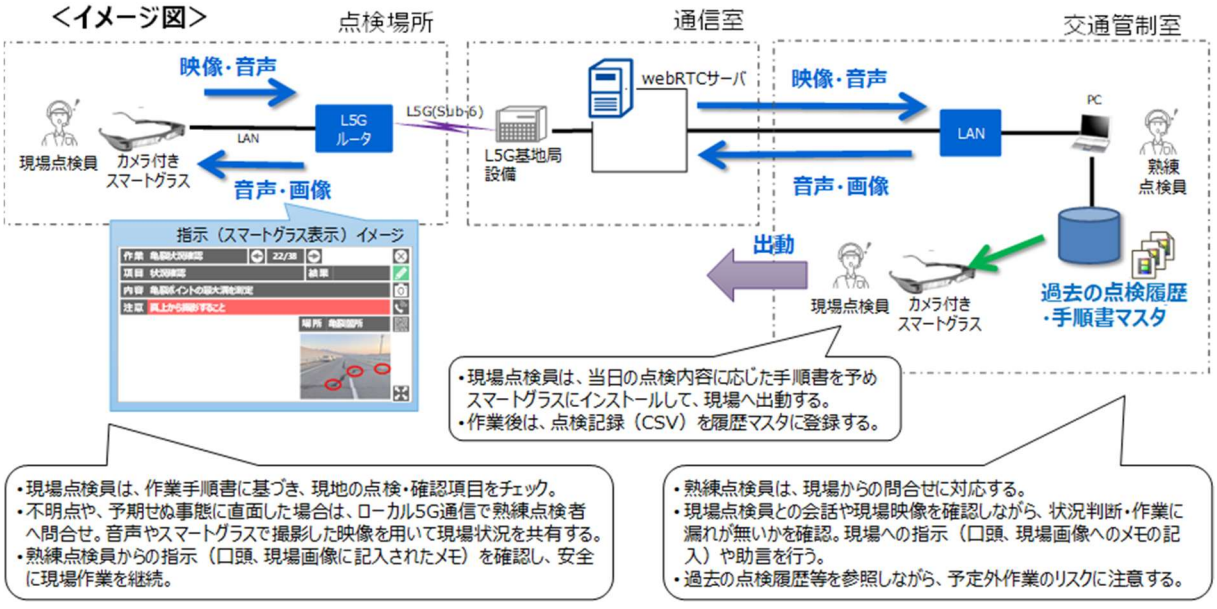


図 4-3 スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

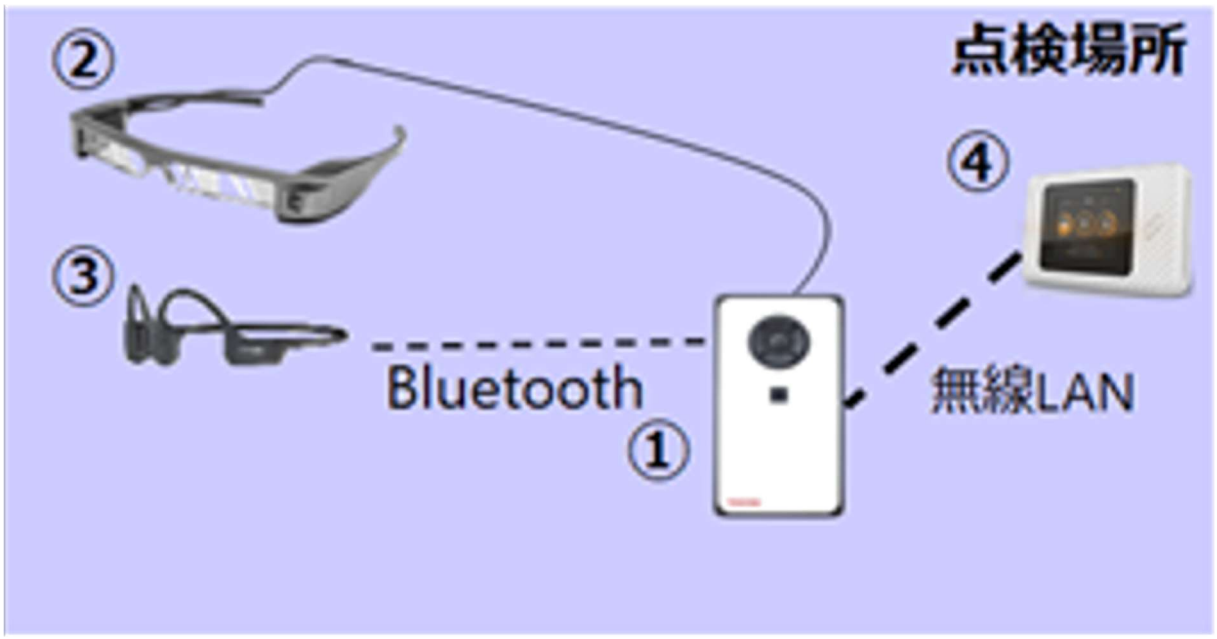


図 4-4 スマートグラスの点検場所 詳細構成

2） 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

首都高速の画像・映像共有における運用・維持管理上の課題は、以下のとおりである。

- 周辺設備や道路上の状態確認においては、通り過ぎてしまう動画では細かな状態の確認が困難である。
- また、走行しながら従来行っている一眼カメラによる単一方向（車の前方方向）からの監視だけでは、必要な箇所が死角になって確認できない可能性がある。
- 動画の蓄積では大容量のストレージが必要となるため、管理が煩雑になる他、維持コストが高額となる。
- 首都高速のような交通過密道路の場合、定常的な渋滞も多く発生するため、全てを動画で保存しても同一箇所の映像が無駄に保存される可能性が高くなりストレージを効率的に利用できない。
- 走行中の車両からのリアルタイム通信は他の車両や遮蔽物等の影響により、現状、平常時に利用している通信キャリア回線では瞬断やスループット低下の懸念がある。また、通信キャリア回線では災害時に輻輳により使用できなくなるリスクがある。

以上の課題を踏まえたうえで、想定するユースケースを挙げる。

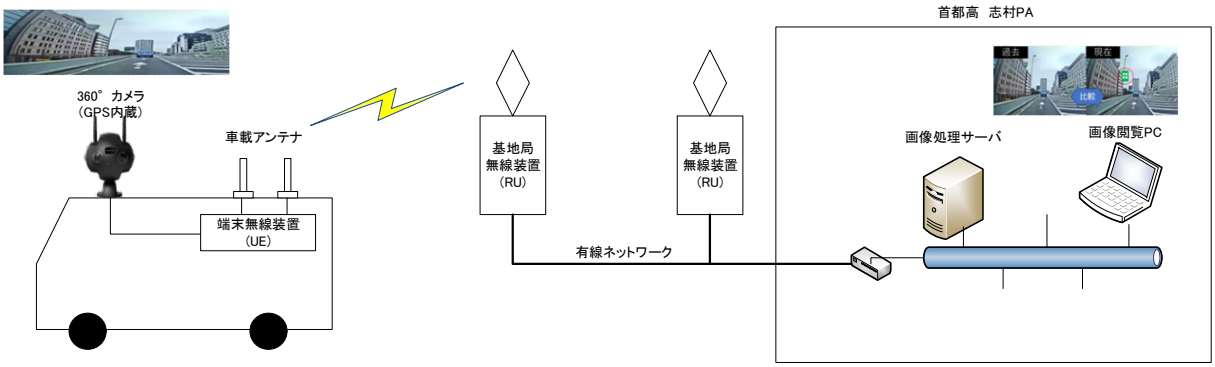
- 動画ではなく、より小容量のデータで構成可能な静止画を蓄積する。
- 同一地点の無駄な保存を抑制するために、静止画取得時の GPS 位置情報を活用して、同一箇所の無駄な静止画は廃棄し、必要な静止画のみを蓄積保存する。
- 静止画でも現場状況を把握可能かつ一方向からの単一方向（車の前方方向）からの確認だけでなく、必要箇所を前後の多方向から確認することができる 360°カメラ（全天球型

カメラ）画像とする。

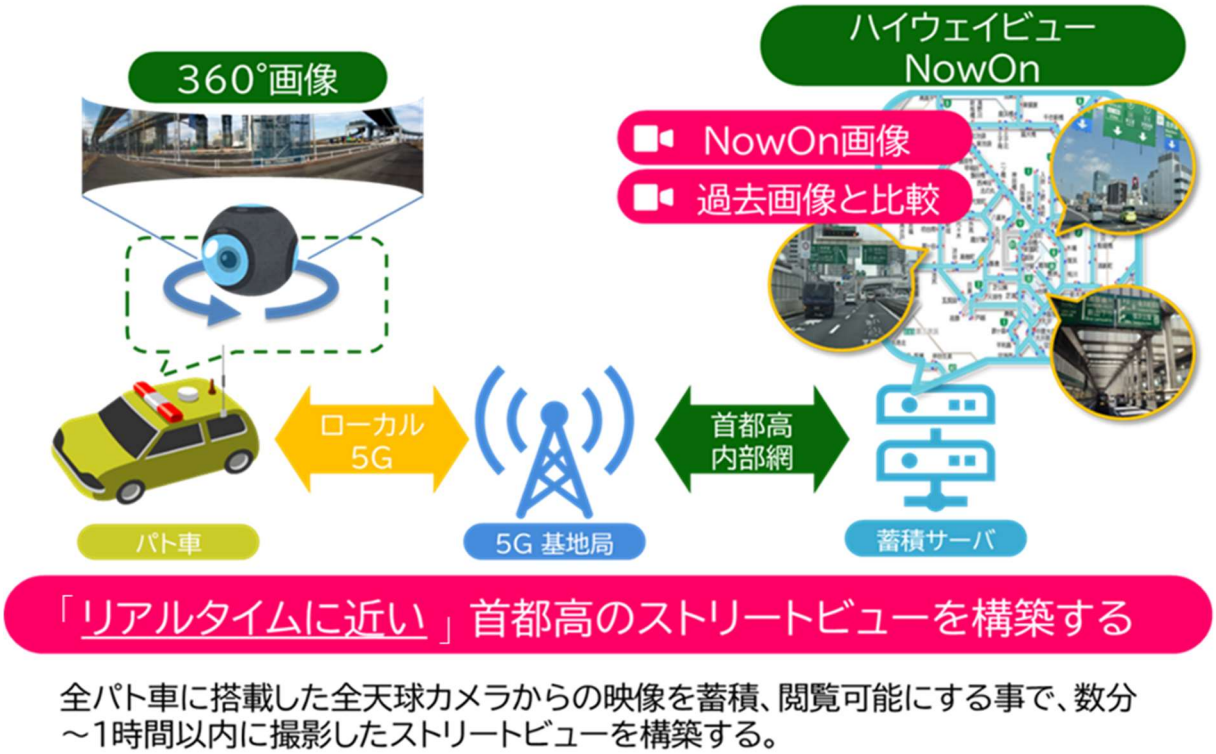
本ユースケースで期待される効果としては以下のことが挙げられる。

- パトロールカーで早期に、かつ可能な限り「今」を静止画で確認することができる。
- 高フレームの動画より小容量でデータの蓄積が可能となる。
- 総使用ディスク容量が削減されるため、ディスク管理の簡略化、維持コストの削減が期待できる。
- リアルタイムにて交通管制室等で専門技術者が確認できるため、パトロールカーに専門技術者が同乗する必要はない。
- VR コンテンツとして事後パトロール等の応用も期待できる。
- 360°カメラ（全天球型カメラ）の静止画では、多方向からの監視監視が可能となるため、目視による定期点検に近い監視が可能となる。

本ユースケースのイメージを図 4-5 に示す。



(1)構成要素



(2)イメージ

図 4-5 首都高ハイウェイビューNowON(360°カメラビュー)

3) 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

都市内高速道路では、隣接する建物や道路附属物の影響等により、線状エリアの電波環境が頻繁に変化することが想定される。一度構築したローカル 5G 網を長期間にわたり維持管理していくためには、日常的に電波環境を管理する必要があるため、迅速かつ効率的に受信電力測定を行う手法を確立する必要がある。本課題実証では、線状エリアに適した新たな測定手段として 5G に対応した電波伝搬測定車（以下、5G WaveDoctor とする。）を提案する。5G WaveDoctor により走行しながら受信電力測定が可能になれば、広範囲の測定を短時間で行うことが期待できる。また、GPS アンテナとの連動により、測定データを地図上に自動マッピングすることが可能であるため、異常箇所をより迅速に把握することができる。

本ソリューションでは、従来型の可搬型測定機による受信電力測定との比較分析を通じて 5G

WaveDoctor の効果検証を行い、本ソリューションを PDCA サイクルの中に組み込んだ維持管理方法の確立を目標とする。5G WaveDoctor の具体的なイメージを図 4-6 に示す。

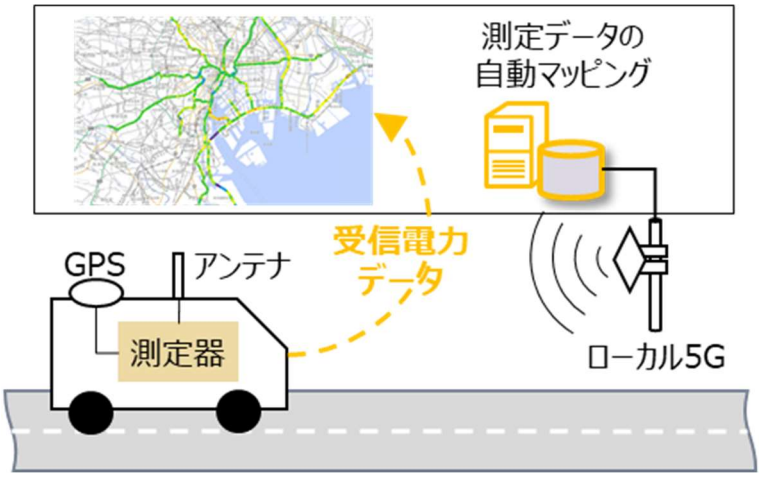


図 4-6 5G WaveDoctor

（2） ローカル 5G 活用モデル（当初仮説）

前項のローカル 5G を用いたソリューションのうち、高精細画像・映像のリアルタイム共有、スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援及び首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）については、線状に展開されている高速道路網の特定の場所での利用を前提としたものではない。つまり、構築システムはそのまま現状の施設管理の運用に資する形態ではなく、ローカル 5G 網が広く管理区間全体に整備・展開されることが前提となっている。従って、これらのソリューションに関しては実証終了後には一旦取外し、課題実証内容の効果検証をもって、あるべきローカル 5G 活用モデルの仮説をもとに実装時の形に機能改修を行ったうえで、実装システムの整備を計画していくこととなる。

1） 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

本システムは、高速道路上の事故の際の活用だけでなく、将来は災害時や平常時の点検・維持管理まで含めた活用をも考えていく必要がある。既存の CCTV システム、交通管制システム、施設管制システム等との連携／機能分担は恒久的な設備整備の前提として整理する必要がある。例えば、高精細画像・映像のリアルタイム共有で用いる可搬型カメラに期待する部分は定点監視機能を担保するものではなく、既設 CCTV の機能を補完するものと考える。

また、サービス提供エリアが拡大するに連れて利用価値が向上していくことは「ネットワークの外部性」の面からも明らかである。ここでは、ローカル 5G 網を整備する初期段階のソリューションとしての仮説について記載する。

- サービス提供エリアが限定されるため、移動体による映像配信には制約が多くなる。故に、特定箇所で運用する固定設備の無線化をターゲットとする。
- 既存の施設監視 CCTV システムとの棲み分け／連携を考慮する必要があるが、例えば道

路構造物等の制約から従来は設置工事が難しかった箇所の監視に特化すること等が想定される。

- ソリューションの提供・利用方法としては、社会インフラとしての重要性を鑑みて、当面は自営のオンプレミスシステムとしての整備・運用を前提とするが、将来的には 5G コアシステムとの共存・運用を想定した仮想化技術の導入等が必要である。運用に係る体制・事業スキームも、同様である。
- 期待される導入効果としては、大容量映像伝送を実現するシステム品質を維持することで、将来的にはスライシング等のローカル 5G 技術により、小さな帯域でも十分な多くの IP 伝送サービス（テレメータ等の制御を伴わないシステム）を同居させることが可能となる。
- 横展開の在り方としては、他の高速道路管理者に加え、線状の管理エリアを保有するインフラ事業者（鉄道、河川管理者）等との連携、システム標準化活動等を積極的に進めていくことが求められる。

ローカル 5G 網の整備の初期段階という前提においては、まず既存の交通監視 CCTV システムとの棲み分け／連携を考慮する必要があると考える。そのうえで、上記仮説の②では例として「設置工事が難しかった場所」を挙げており、設置場所の制約条件によっては「既設 CCTV かつ有線」が有利な箇所もある。ただし、ここでは既存 CCTV システムを置き換えていくことが主旨ではなく補完するものと考えており、サービス提供エリアが限定されるローカル 5G 整備初期段階において、ローカル 5G の多接続という特徴を鑑みて、特定箇所で運用する固定設備（CCTV だけでなく、センサ等の IoT 設備等）の無線化をターゲットとする仮説について述べており、個別具体的な機材や設置工法の違いについてはいずれ必要な議論であるが、本実証の検討範囲外とする。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援については、上記と同様、ユースケースで想定した点検の際の活用だけで議論することは尚早であると言わざるを得ないが、ローカル 5G 草創期の過渡システムという側面から、ソリューションとしての仮説について記載する。

- 高精細画像・映像のリアルタイム共有と同様に、サービス提供エリアが限定されるので、特定設備の点検業務等での活用をターゲットとする。
- ソリューションの提供・利用方法としては、特にローカル 5G 提供エリアに限定せず、既存の施設維持管理業務／システムとの連携を考慮しても良い。運用に係る体制・事業スキームも、同様である。
- 期待される導入効果としては、現場の点検業務に係る様々なサービス（例えば、過去の点検時の映像や帳票・コメントの検索、現在の状態からの劣化診断技術、将来の劣化予測技術との連携）を創造するプラットフォームとしての役割がある。
- 横展開の在り方としては、維持管理の分野で、他の高速道路事業会社に加え、線状の管理エリアを保有するインフラ事業者（鉄道、河川管理者）等との連携、システム標準化活動等を積極的に進めていくことが求められる。

2） 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

平常時や災害時での活用を想定し、首都高速やその他高速道路、一般道路・河川分野、鉄道分

野のソリューションとしての仮説について記載する。

- 平常時における現場状況の事前把握により、保全計画立案業務の支援等での活用をターゲットとして想定する。
- 災害時には災害発生前との状況比較を行うだけではなく、災害発生前の画像との比較により、変化する災害状況の変化を把握することが可能となり、災害対応及び復旧活動の支援としての活用を想定する。
- 運用に係る体制及び事業スキームについて、既存の施設維持管理業務と連携して効率的な運用を行い、BCP（事業継続計画）対策強化を想定する。
- 横展開の在り方としては、維持管理の分野で、他の高速道路事業会社に加え、線状の管理エリアを保有するインフラ事業者（鉄道、河川管理者）等との連携、システム標準化活動等を積極的に進めていくことが求められる。

3） 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

線状エリアのローカル 5G 網を長期間にわたり維持管理していくためには、効率的な受信電力測定手法を確立する必要がある。本課題実証にて提案する 5G WaveDoctor によって車両走行しながらの受信電力測定が可能であることが実証できれば、広範囲のスクリーニング測定を短時間で行うことが期待できるため、効率的な維持管理業務が可能になる。

横展開の在り方については、５G WaveDoctor は車両が走行できる場所であれば基本的に測定可能である。他の道路事業者、鉄道事業者及び河川管理者等が線状エリアを構築する場合は、広範囲かつ高頻度の測定が維持管理において必要になると思われるため応用可能であるが、各事業者が５G 網を導入する際に想定される課題、パッケージ化のニーズ等を意見交換し、横展開を進める際の開発事項の参考としていきたい。

（3） ローカル 5G の必然性・必要性

1） 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有システムでは、発生場所が予期できない事故現場での状況を迅速に共有するためにローカル 5G を利用する。既存の CCTV カメラでは死角があり、事故現場の状況を全てカバーすることはできないため、任意の場所での通信を可能とする無線伝送回線が必要である。また、現地の状況を迅速に共有し的確な判断を行うために、4K カメラによる高精細映像は効果的であり、そのような大容量データの伝送に十分な帯域を確保できる回線が必要である。また、キャリア回線（5G・4GLTE）は、通信事業者の整備計画によって所望する区間でサービスが受けられない可能性がある。

以上のことから、平常時のみならず一般公衆回線の通信が制限を受ける災害時においても安定して十分な帯域を確保可能な自営網（ライセンスバンド）であるローカル 5G 回線が適している。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援では、現場点検作業における業務効率化を目

的として、ローカル 5G を利用する。熟練技術者の減少が懸念されている中、点検業務の負荷軽減を図るため、経験の浅い／若手点検員を遠隔から支援するシステムが必要とされている。管理施設が広域に広がる高速道路において、全ての点検現場に光ファイバや通信キャリア回線等の通信網が整備されてはいないので、任意の場所での通信を可能とする無線伝送回線が必要である。将来的には拠点から遠隔で多地点の現場点検員の支援を行いながら、管内の多くの IoT センサを統合管理することで、設備の劣化予測等の活用も期待できる。

以上のことから、多接続の特徴を持つローカル 5G 回線は適している。なお、過渡期のシステム構築としては、通信キャリアの 4GLTE 回線や Wi-Fi 等の回線の利用も考慮しつつ、最終的には、高精細画像・映像のリアルタイム共有システムと同居していくことが望ましいと考える。

2） 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

本実証システムでは、平常時におけるパトロール業務の効率化や、災害時における早期の状況把握及び復旧活動の迅速化を目的として、ローカル 5G を利用する。現在の通信キャリア回線（4GLTE）では、災害時等の輻輳及び事業者の通信規制等により、実質スループットの低下により画質の劣化が懸念されているため、自営通信網での運用が必須である。ローカル 5G は現状の運用ルールから他利用者のローカル 5G 設備と干渉するリスクが少なく、平常時のみならず災害時においても安定して十分な帯域を確保可能な自営網（ライセンスバンド）である。従ってローカル 5G 回線が適している。

3） 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

線状エリアのローカル 5G 網は無線エリアが広範囲にわたることから、維持管理のためには受信電力測定作業を効率的に短時間で行う方法を確立する必要がある。本課題実証にて導入する 5G WaveDoctor によって車両走行しながらの受信電力測定が可能であることが実証できれば、広範囲のスクリーニング測定を短時間で行うことが期待できるため、効率的な維持管理業務が可能になる。

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

（1） 実証内容の新規性

1） 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有は、以下の点で新規性がある。

- 分野：線状に広がる高速道路という“特殊な環境”での実証であること。
- ユースケース：道路管理業務における事故発生時等の現場状況把握を対象とすること。
- ソリューション：4K 高精細映像（あるいは 2K 映像×2 台による複数視点）のリアルタイム伝送／記録映像による管制室／応援者による現地状況を共有すること。

また、スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援は、以下の点で新規性がある。

- 分野：線状に広がる高速道路という“特殊な環境”での実証であること。
- ユースケース：現場点検業務の熟練者による遠隔支援による業務効率化を対象とすること。
- ソリューション：スマートグラスによる作業手順書／チェックリスト表示、遠隔からの支援コミュニケーション（音声・チャット・手書きメモの組合せ）による点検業務効率化を対象とすること。

2） 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

本ソリューションは、以下の点で新規性がある。

- 分野：線状に広がる高速道路という“特殊な環境”での実証であること。
- ユースケース：平常時におけるパトロール業務の効率化や、災害時における早期の状況把握及び復旧活動の迅速化すること。
- ソリューション：パトロールカーに 360°（全天球）カメラを搭載し、カメラで撮影した動画をローカル 5G の自営通信網を介してリアルタイム伝送し、画像処理サーバに蓄積することで、道路マップ上に表示し、業務の効率化や災害時の指示命令系統を迅速化すること。

3） 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

線状 5G 無線エリアの長期的な維持管理には広範囲、高頻度の受信電力測定が必要であり、本課題実証で新たに導入する 5G WaveDoctor にて効率性及び持続可能性を確保できるか実証するものであるため新規性を有している。

（2） 過年度実証事業との関連性

本実証を実施するコンソーシアム構成員は、総務省令和 3 年度開発実証への応募実績がないため、対象外。

1） 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有については、「令和 3 年度　道路における災害時の被災状況確認の迅速化及び平常時の管理・運営の高度化に向けた実証」においては、撮影した動画像を特定区域のローカル 5G エリアまで移動させてファイル転送を行っている。また、「令和 3 年度　ローカル 5G を活用した高速道路トンネル内メンテナンス作業の効率・安全性向上に関する開発実証」においては、固定設置カメラ映像を固定ポイントにてローカル 5G 伝送している。本実証では、高架道路上で複数の分散型アンテナによって線状に配置されたローカル 5G エリア内で、現地交通管制員が 4K カメラを持ち運びながら、現場の高精細映像を交通管制室に配信するユースケースの検証を行った。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援については、「令和 3 年度　中山間地域での

EV ロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けた…調査検討」、「大都市病院における資格情報共有・AI 解析等を活用したオペレーション向上による医療提供体制の充実・強化の実現」においては、ウェアラブルカメラ映像を 5G により多地点に配信している。「令和 2 年度　スマートグラスを活用した熟練農業者技術の「見える化」の実現」、「ローカル 5G を活用した高速道路トンネル内メンテナンス作業の効率・安全性向上に関する開発実証」においては、スマートグラスを活用した作業員と熟練技術者の遠隔点検支援を行っている。「中小事業における地域共有型ローカル 5G システムによる AI 異常検知等の実証」においては、屋内特定箇所で VR ゴーグル(HoloLens2)に大容量動画ファイルをダウンロードしたり相互通信したりすることによる遠隔作業支援を行っている。本実証では、高架道路上で複数の分散型アンテナによって線状に構成されたローカル 5G エリア内で、現地点検員がスマートグラスを装着し、遠隔から熟練点検員の支援を受けながら作業を行うユースケースの検証を行った。

2)　首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

360°カメラを利用した映像伝送については、「令和 3 年度　フリーストール牛舎での個体管理作業の効率化に向けた実証事業」、高精細画像・映像のリアルタイム共有については、「令和 3 年度　道路における災害時の被災状況確認の迅速化及び平常時の管理・運営の高度化に向けた実証」を行っている。

本実証では試験車両に 360°（全天球）カメラを実装し、360°カメラで撮影した動画をローカル 5G の自営通信網を介してリアルタイム伝送を行い、画像処理サーバに蓄積していくことでリアルタイムに近い首都高速のストリートビューを構築するユースケースの検証を行った。

3)　線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

受信電力の測定方法については「令和 3 年度　ローカル 5G を活用した高速道路トンネル内メンテナンス作業の効率・安全性向上に関する開発実証」において、台車を用いた測定補助器具を使用し、技術実証のための受信電力測定を効率的に行っていることを示していた。本実証では、広範囲にわたる線状エリアの受信電力測定を効率化に行うための新たな測定手法として 5G WaveDoctor を導入し、効率的な維持管理業務のためのスクリーニング測定として機能しうるか検証を行った。

4.1.4　実証目標

総延長が約 327.2km にわたる首都高速のうち、40 年以上を経過した路線が全体の約 4 割（約 145km)、30 年以上を経過した路線が 6 割以上（約 220km）に達し、道路の高齢化が進んでいる。また、道路構造別道路延長においては、高架橋が全体の約 75%、トンネルを含めたきめ細やかな維持管理が必要な構造物の割合に至っては約 95%となっており、他の高速国道に比べて著しく高くなっている。さらに利用交通量においても、大型車の交通量は、他の高速国道の約 2 倍、他の東京 23 区内の一般道路の約 5 倍となっており、過酷な使用状況にさらされている。首都高速が 100 年先の未来においても、国際都市東京の重要かつレジリエンスの高い道

路網でありながら、国際都市間競争に打ち勝つための社会資本として、安全であり安心、かつ良質な都市景観を構成する等の快適性をも担う、一流の社会資本の条件を備え続けることが期待されている。これを踏まえ、首都高速では「大規模修繕事業（首都高リニューアルプロジェクト）」が 2028 年度頃、一部の区間では 2040 年度まで、といった長期計画で実行されているところである。首都高速を真に持続的なインフラとするために、「大規模修繕事業（首都高リニューアルプロジェクト）」と並行して、首都高速が抱える機能的な課題（交通事故、渋滞の発生）のみならず、構造的な課題（維持管理のための空間が狭隘、点検・補修に関する新技術導入）にも取り組んでいく必要がある。

本課題実証は、機能的な課題に対する検証として「高精細画像・映像のリアルタイム共有」「首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）」、構造的な課題に対する検証として「スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援」を行うものである。また、持続的な維持管理を効率的に実施できるよう「線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor」を行うものである。

「高精細画像・映像のリアルタイム共有」と「スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援」について、従来の CCTV のような定点観測も重要と考えるが、機能的な課題の解消については定点観測だけでは不十分で、首都高が推進している「大規模修繕事業（首都高リニューアルプロジェクト）」にて総合的に取り組んでいくことが重要と考える。そのため、今回提案する「映像のリアルタイム共有」は、既存 CCTV から置き換えるものではなく、その 1 つのソリューションとして実施するものという位置付けとする。

（1） 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

首都高速上での事故件数は 7,118 件（1 日平均 19.5 件@2020 年度）で、車両故障発生件数は 8,733 件（1 日平均 23.9 件@2020 年度）となっており、近年は減少傾向にある。閉鎖空間である高架道路上で交通事故や車両故障が発生した場合、現場への急行・救援が容易ではないことに加え、同時多発的に複数個所への対応が迫られることも珍しくない。現場管制員や交通管制室は、現場の事故処理対応だけでなく後続の車両への安全確保・渋滞に対する処置等、変化する状況を見極めながら、適時適切な対応が求められている。高精細画像・映像のリアルタイム共有の目標は、これらの課題を鑑みて、提案したローカル 5G 活用モデル／ユースケースの有効性検証（機能検証、運用検証、効果検証）を行い、「大規模修繕事業」が進行する 2025～2030 年頃の活用モデルの実装を目指して、機能要件だけでなくローカル 5G 網への要求仕様について考察を行う。

また、首都高速では、インフラの高齢化が急速に進む中、将来の維持管理を担う技術者不足に備え、インフラの効率的な維持管理をトータルに支援・実現するスマートインフラマネジメントシステム「i-DREAMs®」を運用している。これに伴い、新たな現場の点検技術の導入（ウェアラブルやタブレットの活用、ドローン・ロボットの活用等）が検討されているところである。このような新しい点検／管理技術が導入されることで、現場点検技術者に求められる技能要件の拡大や変化が予想される一方で、従来の点検技術・ノウハウの継承が課題となっている。スマー

トグラスによる遠隔地からの点検業務支援の目標は、これらの課題を鑑みて、提案したローカル 5G 活用モデル／ユースケースの有効性検証（機能検証、運用検証、効果検証）を行い、「大規模修繕事業」が進行する 2025～2030 年頃の活用モデルの実装を目指して、機能要件だけでなくローカル 5G 網への要求仕様について考察を行う。

（2） 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

設備障害や事故発生時の現場周囲の映像情報は、障害や事故現場そのもの、及び周囲の映像情報を現場と対策本部とで共有して迅速な救護活動や活動の指示の対応が求められる。また、再発防止の観点から、過去に遡った現場の映像情報は需要な解析材料の 1 つとなり、その記録が必要となる。

設備の障害予兆の観察は、定期的なパトロールにより確認されているが、パトロール中に検出ができなかった予兆は、次回以降のパトロールまで発覚に至らない可能性があり、オフラインでの映像パトロールが必要となる。

本ソリューションの実証目標は表 4-5 に示すとおりである。

表 4-5 360°カメラビュー実証目標

項目	実現時期	実証目標
アップリンク スループット	2023 年	360° カメラの 4K 映像を伝送するため、10Mbps 以上の安定した伝送路を確保する。
過去画像との比較	2023 年	過去画像との比較機能を設けることで、過去に遡って比較確認できることによる管制員の有用度 80%以上を目指す。
業務の効率化	2024 年	平常時におけるパトロール業務の効率化や、災害時における早期の状況把握及び復旧活動を迅速化する。（作業工数：10%以上の削減）

（3） 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

広範囲の線状エリアの長期的な維持管理においては効率的な受信電力測定が必要となる。5G WaveDoctor の導入によって、必要なエリアの受信電力データが車線規制を伴わずに測定できること、及び地図上への自動マッピングシステムにより測定解析時間が短縮できることを検証する。時短効果については、将来的に首都高速全線にてローカル 5G 網が構築されることを想定し、首都高速全線における受信電力測定による維持管理業務を行った場合、従来の可搬型測定機を用いての測定・データ整理作業と比較し、本ソリューションを活用することで約 5 割程度の作業時間の縮減（走行測定による測定時間の縮減＋自動マッピングによるデータ整理時間の縮減）が可能と想定している。

本ソリューションの実装時期は、2024 年度を目標としている。

4.2 実証環境

課題実証の実証環境は、技術実証の実証環境と同様、3.2 で示す場所、環境で実施する。課題実証で用いる各システムの構成は、4.1.2 (1)で示す構成のとおりとする。

4.3　実施事項

4.3.1　ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証

（1） 機能検証

これまで述べてきたローカル 5G 活用モデルのユースケースにおいて、求められる性能要件について記載する。

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

4K カメラの高精細映像を安定して伝送するために、ネットワークの上りスループットは、約 25Mbps 以上が確保されていることが求められる。スループット 25Mbps は、4K 解像度で H.265 コーデックの場合の 4K カメラメーカー推奨値であり、本実証における検証を実施するにあたり画質評価を行い決定した。

スマートグラスによる音声コミュニケーション（WebRTC サーバ）において、Round Trip Time が違和感なく会話できる許容遅延（約 300ms）内に収まっていることが求められる。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

360°カメラの映像を安定して伝送するため、ネットワークの上りスループットは、10Mbps 程度が確保されていることが求められる。また、上記スループットが確保可能なローカル 5G 無線サービスエリア内において仮想事故現場等の過去映像情報が閲覧できているかが求められる。

なお、一般的な高画質（フル HD）の伝送には H.264 で 4.5～9Mbps 程度の通信速度が必要であると言われている。4K 画像においては、フル HD の約 4 倍の通信速度（同一フレートレートとして）が必要となることから 18～36Mbps 程度が必要となる。

しかし、今回の課題実証では H.265 コーデックを採用することで、H.264 の約 2 倍の圧縮効率を有することから半分の 9～18Mbps 程度のスループットが必要となるが、静止画で画像を取得するためフレームレートは半分程度を確保できれば、本ソリューションの通信回線としては満足できるものとなる。よって、上りの目標スループットを 10Mbps とする。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

本ソリューションの測定項目として、受信電力値の測定を行う。その際、測定により交通流を妨げないように、通常走行（約 60km/h）にて必要なエリアの測定データが欠損なく連続的に取得できること及び取得したデータが分析可能な精度をクリアしていることを検証する。評価の基準としては、技術実証における可搬型測定機による測定結果との比較・評価となる。そのため、技術実証による測定と可能な限り同日に行う等、条件を揃えたうえで走行測定を行う。また、天候や交通状況が変化した場合の測定データへの影響を評価するため、様々な条件下で測定を実施し、データによる比較検証を実施する。

1） 検証項目

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有では、高架道路上ローカル 5G エリア内の至る所で、4K カメラによる高精細映像の配信を行うため、上り方向で約 25Mbps 以上のスループットが確保されていることを確認する。また、配信を行った際、現場から管制室での閲覧までのエンドツーエンドの伝送遅延、システムを通した配信映像の主観評価等を確認する。さらに、複数カメラを用いた多視点中継等も想定したスループット測定や、他のユースケースとの併用も考慮した通信指標の測定を行う。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援では、高架道路上ローカル 5G エリア内の至る所で、スマートグラスを使った安定したコミュニケーションを行うため、端末からサーバ間の伝送遅延時間（Round Trip Time）が期待値以下に収まっていることを確認する。また、WebRTC サーバを介したコミュニケーション試験を通じて、音声通話の主観評価等を確認する。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

高架道路上ローカル 5G エリア内の至る所で、360°カメラの高精細映像を安定して伝送するため、ネットワークの上りスループットが 10Mbps 程度確保されていること及び映像を伝送するためのプロトコルに障害が発生していないことを確認する。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

線状エリアの維持管理業務の効率化のため、5G WaveDoctor にて必要とされるエリアの受信電力を測定し、スクリーニング測定として機能しうるか確認する。検証項目一覧を表 4-6 に示す。

表 4-6 5G WaveDoctor における検証項目一覧

検証項目	検証概要
走行測定データの精度検証	・可搬型測定機における測定データとの比較検証 5G WaveDoctor に求められる機能は、必要とされるエリアの受信電力を測定し、スクリーニング測定として機能するようなデータを取得することである。そのため、技術実証にて測定した高速上のカバーエリア測定点において、走行測定でもカバーエリアレベルの受信電力が測定できているか検証する。
測定条件の違いによる 測定データ比較	・各種測定条件におけるデータ比較検証 天候等の測定条件の違いによる測定データに対する影響を把握するため、ベースとなる測定データとの比較検証を行う。

2） 検証方法

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

測定用の端末を用意し、配信用のカメラやスマートグラス等の装置に代わり、Round Trip Time やスループットといった サーバとの通信指標の測定を行う。アンテナとの位置関係や道路本線上の車両有無等、試験環境の変化による影響を考慮して、道路本線上の複数のポイントを設定し、それぞれのポイントで複数回の測定を行うものとする。上記測定ポイントの設定は技術実証の結果をもとに検討して決定する。さらに、配信用のカメラやスマートグラスを用いた結合テスト（映像や音声の品質に関する主観評価）を行うことにより、システムとしての動作確認、異常の有無について確認する。

大容量映像伝送システムの試験構成を図 4-7 に示す。高速道路上の 4K カメラ（スマホ型 5G 端末）の映像を映像伝送サーバから管制端末（映像閲覧用 PC）に配信する。

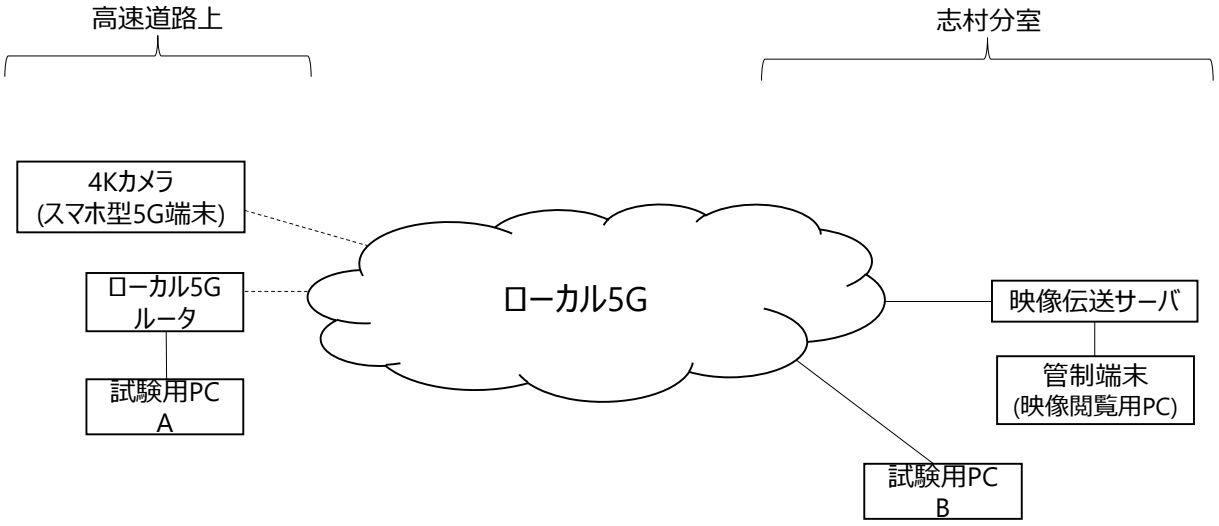


図 4-7 大容量映像伝送システムの試験構成

遠隔作業支援システムの試験構成を図 4-8 に示す。高速道路上のローカル 5G ルータと志村分室内 WebRTC サーバの間で接続確立し、音声通話では WebRTC サーバを介さずに高速道路上のスマートグラス端末と志村分室内遠隔支援 PC が直接データのやり取りをする。

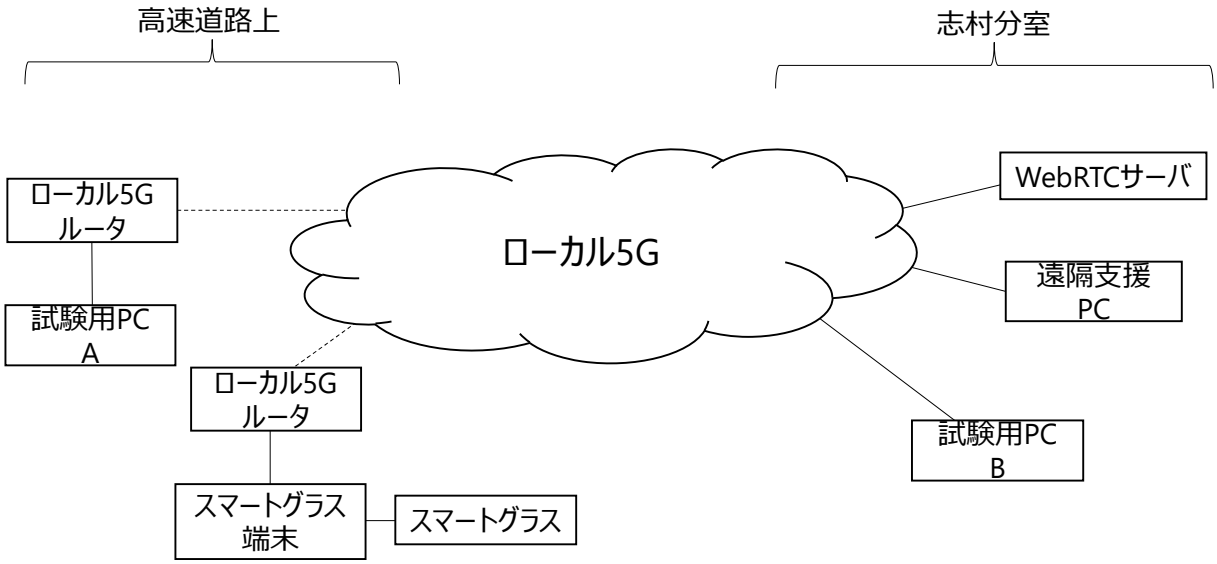


図 4-8 遠隔作業支援システムの試験構成

高速道路上検証風景（大容量映像伝送システム）を図 4-9 に示す。



図 4-9 道路上検証風景(大容量映像伝送システム)

高速道路上検証風景（遠隔作業支援システム）を図 4-10 に示す。

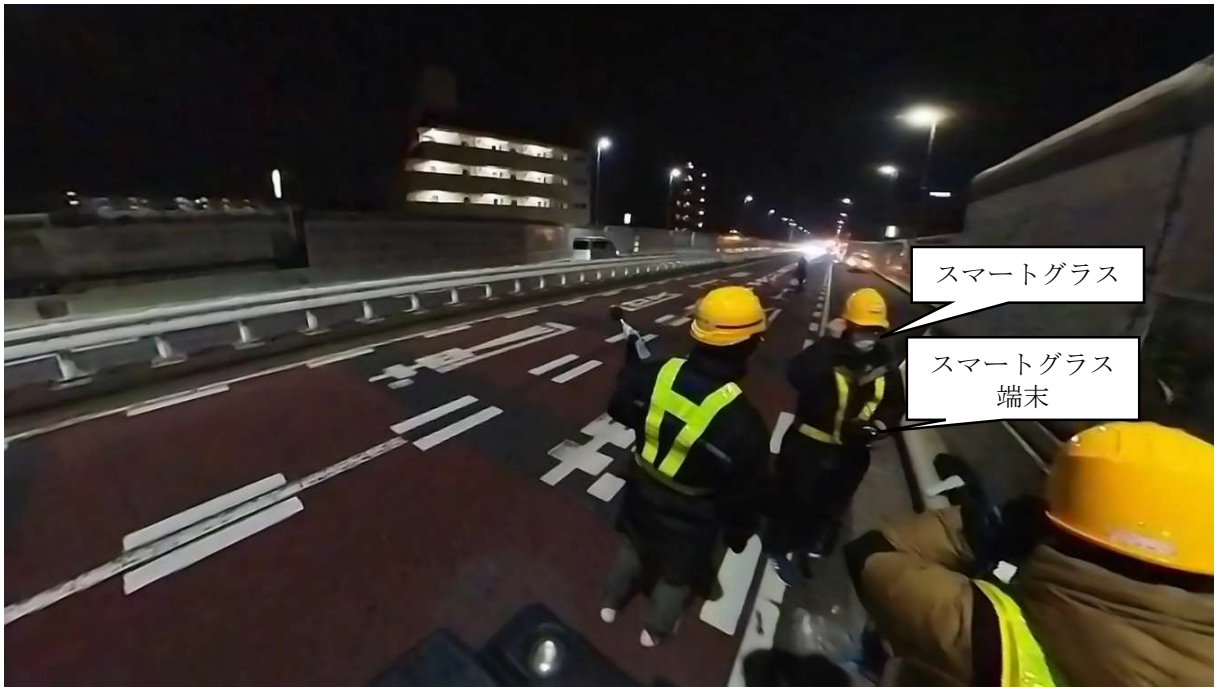


図 4-10　道路上検証風景（遠隔作業支援システム）

志村分室内検証風景を図 4-11 に示す。

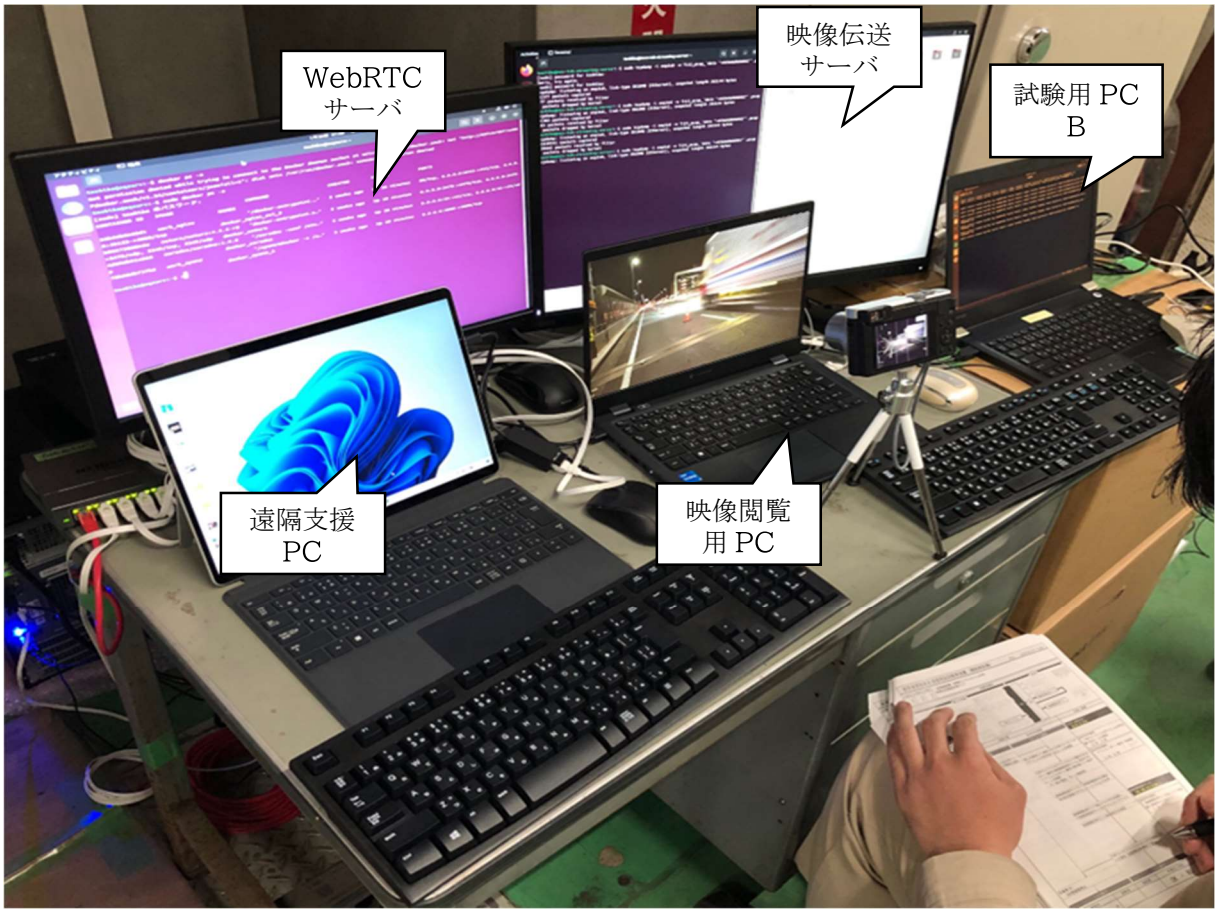


図 4-11　志村分室内検証風景（大容量映像伝送システム、遠隔作業支援システム）

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

被試験エリアにおいて、実走による画像データの送信及び視聴を行うと共に、測定機による電界強度を測定する。上記の走行は過去画像と比較可能な回数を実施し、測定後に蓄積した映像データにて特定エリアの時系列確認し、システムとしての動作及び異常の有無を確認する。



図 4-12　首都高ハイウェイビューNowON　試験車両側実験設備



図 4-13　首都高ハイウェイビューNowON　試験車両側実験設備（車内装置）



図 4-14　首都高ハイウェイビューNowON　志村分室内実証風景

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

技術実証における高速道路上のカバーエリアレベルを観測した各測定点において、本ソリューションの走行測定でもカバーエリアレベルの受信電力値を取得できることを検証する。

本課題実証では、5G WaveDoctor による測定結果がスクリーニングとして機能しうるのかを検証することを目的とする。そのため、技術実証の測定日時と同日同時間帯に走行測定を実施し、天候や交通量の状況等測定環境を可能な限り合わせたうえで測定を実施する。走行測定データの精度検証に関する測定条件を表 4-7 に示す。

表 4-7　走行測定データの精度検証に関する測定条件

周波数帯	区間	測定日時	測定位置	カバーエリアレベル基準値※1 (dBm)	許容誤差値※2 (dB)
sub6 帯	区間①～④	技術実証の測定と同日	技術実証のカバーエリア測定点を基準に、最も近い測定点にて評価	-84.6	±2.5
ミリ波帯	区間③			-81.2	±2.5

※1　電波法関係審査基準（平成 13 年 1 月 6 日総務省訓令第 67 号＜抜粋＞より

※2　測定機の誤差値を許容誤差値とした

さらに、測定環境の変化による測定データの影響の度合いを確認し、実運用に向けた走行測定の条件整理を行うため、以下についても合わせて検証する。

- 道路交通状況の違いによる測定データ比較
- 天候状況の違いによる測定データ比較
- 測定アンテナ位置の違いによる測定データ比較

検証を実施する 5G WaveDoctor の構成図、実装状況をそれぞれに示す。

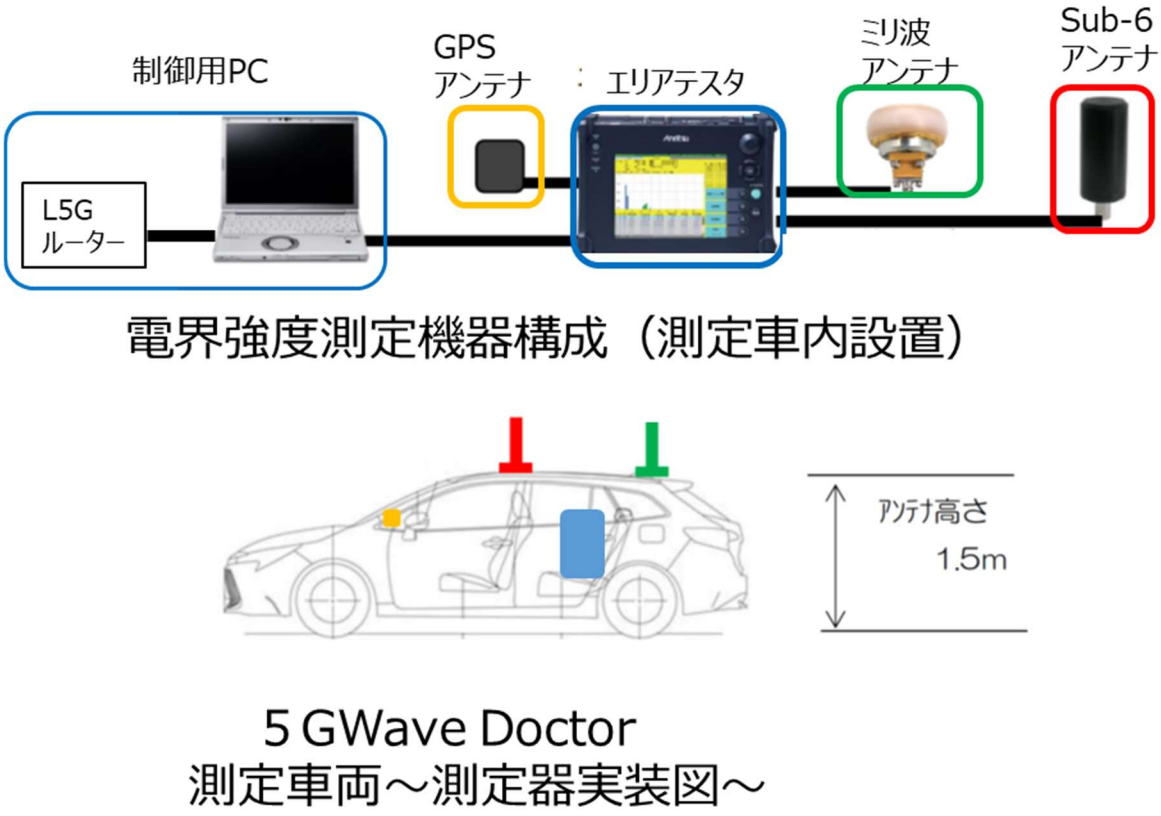


図 4-15　5G WaveDoctor システム構成図









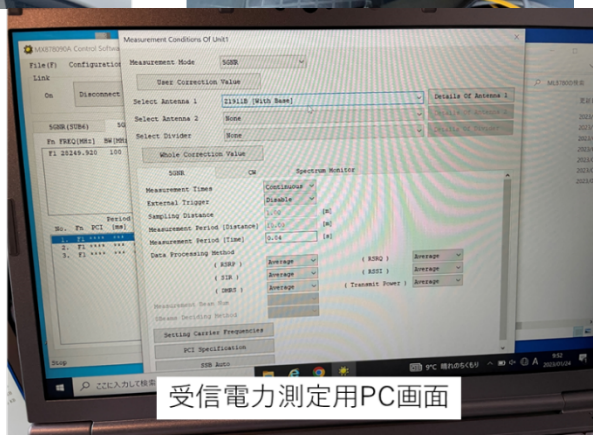


図 4-16　5G WaveDoctor 実装状況

3） 検証結果及び考察

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

ア）高精細画像・映像／スマートグラス評価結果

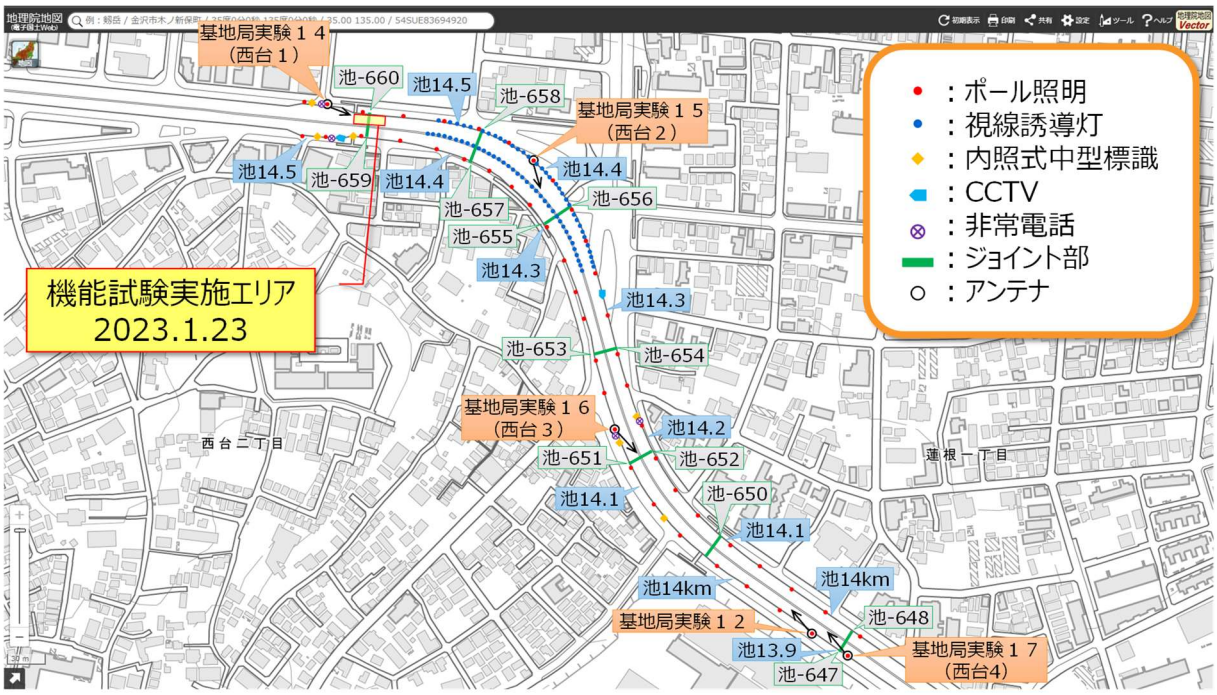
各ポイント・各環境下にて実施した機能試験結果を表形式にて整理し、通信品質の評価を行った。評価結果より、提案したローカル 5G 活用モデルの運用を実現するための要件について、分析・考察を行った。高精細画像・映像／スマートグラスの評価結果を表 4-8 に示す。

表 4-8 高精細画像･映像／スマートグラス 評価結果

No.	測定場所	単体テスト（現場～ローカル 5G～サーバ）				単体テスト（サーバ～端末）	結合テスト			
		RTT(msec)		スループット (Mbps)		RTT(msec)	E2E 遅延(sec)		映像評価	音声評価
		大容量映像伝送	遠隔作業支援	UDP			大容量映像伝送	遠隔作業支援		
				下り	上り					
1	区間④	46	48	500	40	1	12	0.4 未満	良	良
2	区間③	70	50	500	25		14	0.4 未満	良	良

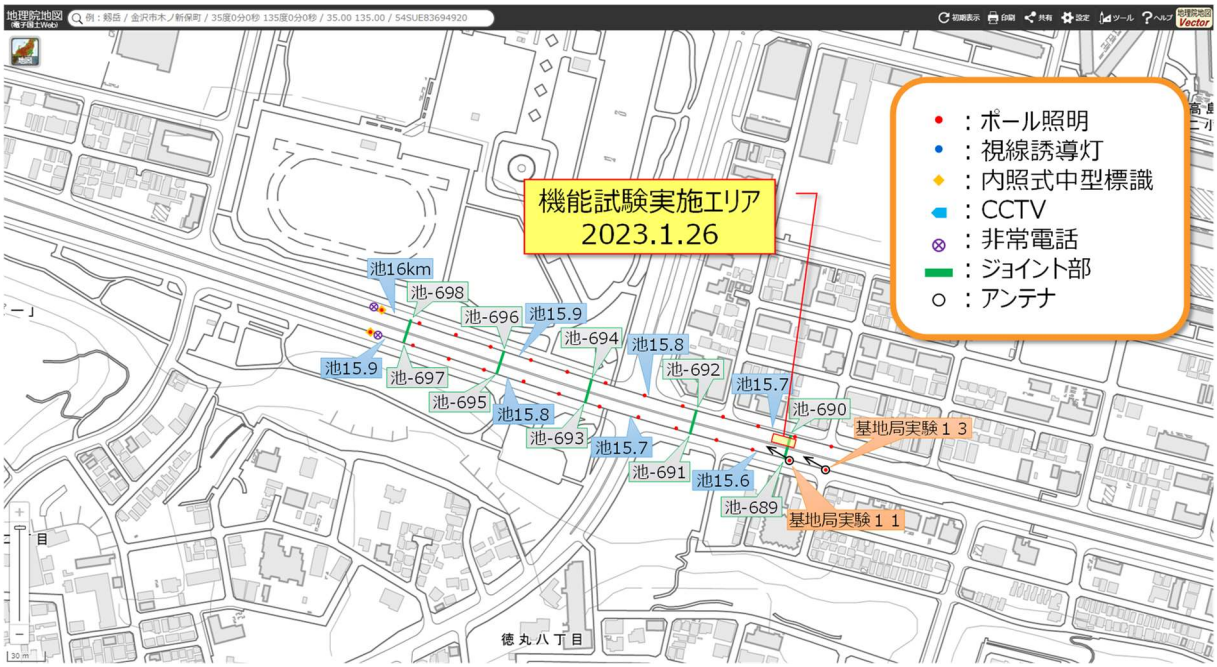
機能試験は、測定場所である区間④（首都高 5 号池袋線西台付近）にて 2023 年 1 月 23 日(月)21 時 45 分～26 時 17 分、また異なる測定場所である区間③（首都高 5 号池袋線高島平付近）にて 2023 年 1 月 26 日(木)24 時 30 分～27 時 25 分に実施した。

区間④の測定場所を図 4-17、区間③の測定場所を図 4-18 に示す。



出典：国土地理院地図を東芝インフラシステムズ株式会社にて加工

図 4-17 測定場所(区間④)



出典：国土地理院地図を東芝インフラシステムズ株式会社にて加工

図 4-18 測定場所(区間③)

① スループット

UDP での上り方向と下り方向のスループット測定には、iperf を用い、送信データ量を変更して 2 分間の測定を数回実施し、パケットロス率が 0%になる送信帯域をスループットとした。

上り方向のスループットは、区間④において 40Mbps、区間③において 25Mbps となり、4K カメラによる高精細映像の配信を行うために必要となる上り方向で 25Mbps 以上のスループットが確保されていることを確認した。

また、下り方向のスループットは、区間④及び区間③において 500Mbps となり、災害現場に向かう作業員が各現場の作業マニュアルや過去点検データをスマートグラスへダウンロードする際、作業性の確保から 10MB 程度のドキュメントを 10 秒程度でダウンロードできる速度として求められる、下り方向で 8Mbps 以上のスループットが確保されていることを確認した。

スループット測定結果（区間④）を図 4-19 に示す。

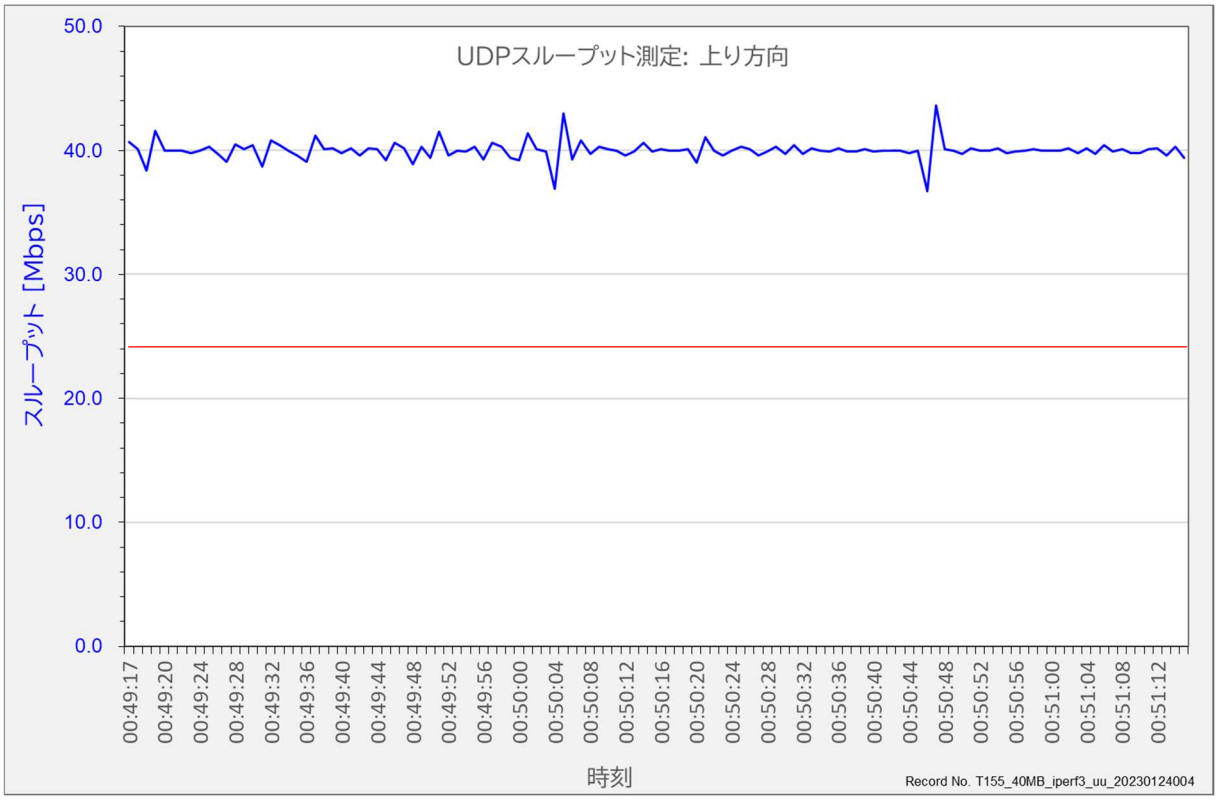


図 4-19 スループット測定結果(区間④)

スループット測定結果（区間③）を図 4-20 に示す。

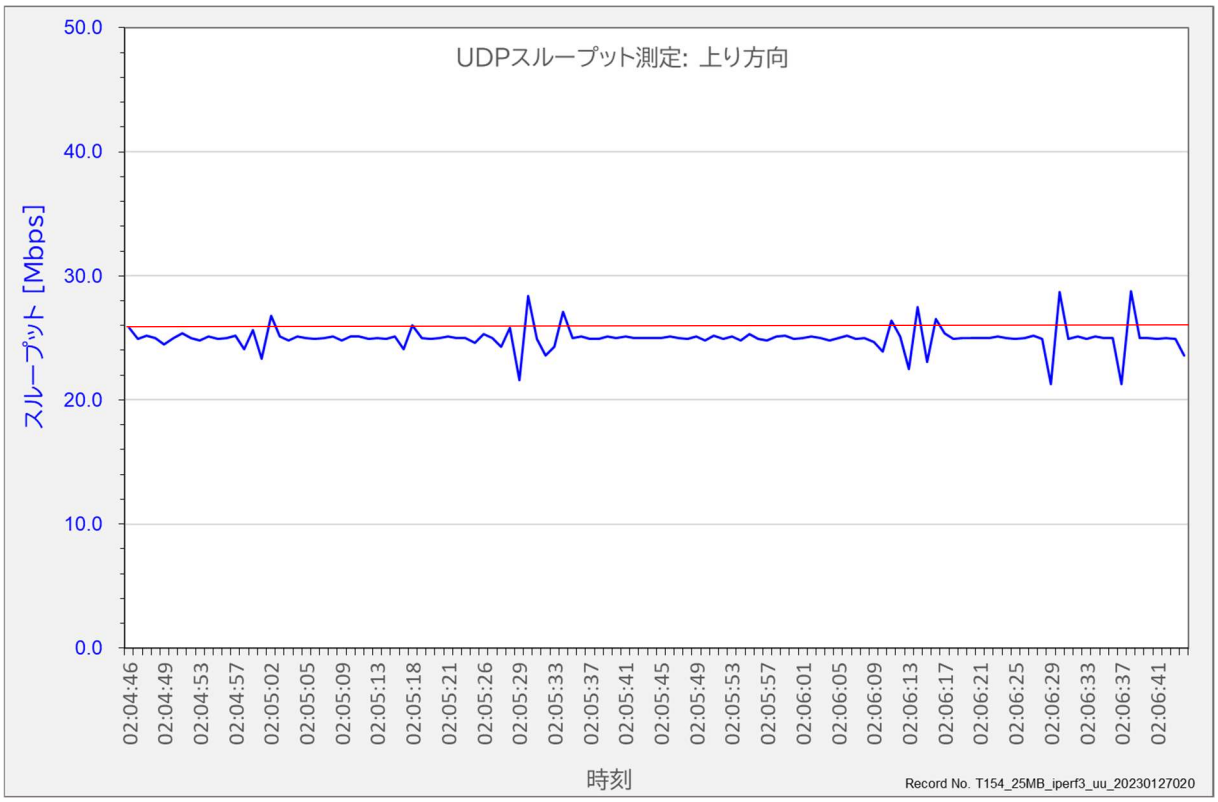


図 4-20 スループット測定結果(区間③)

② RTT 応答時間

スマートグラスシステムでは、図 4-21 に示すような WebRTC（Web Real-Time-Communication）による P2P（Peer To Peer）通信を基本としているため、遠隔支援 PC とスマートグラス端末間の直接通信の Round Trip Time 測定（ping 試験）を実施した。

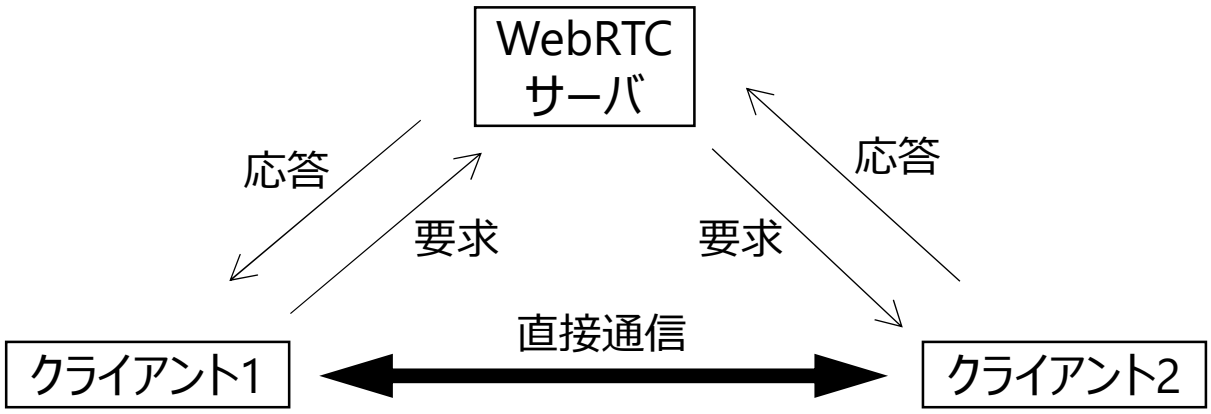


図 4-21 WebRTC の動作イメージ

32B と 1472B（1 パケットあたりの最大長）の 2 つのパターンについて測定した RTT 応答時間の 3 分間の平均値は、共に区間④において 48ms、区間③において 50ms となり、スマートグラスによる音声コミュニケーションにおいて、違和感なく会話できる許容遅延（約 300ms）内に収まっていることを確認した。

RTT 応答時間測定結果（区間④）を図 4-22 に示す。

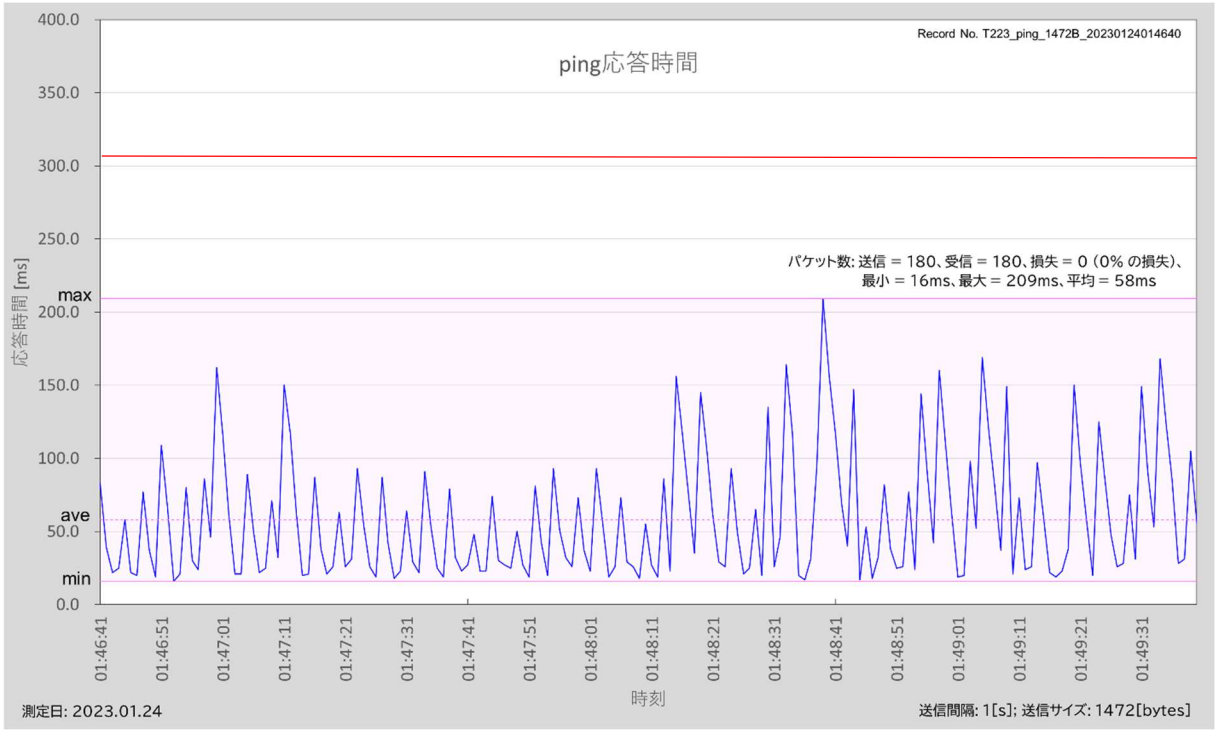


図 4-22 RTT 応答時間測定結果(区間④)

RTT 応答時間測定結果（区間③）を図 4-23 に示す。

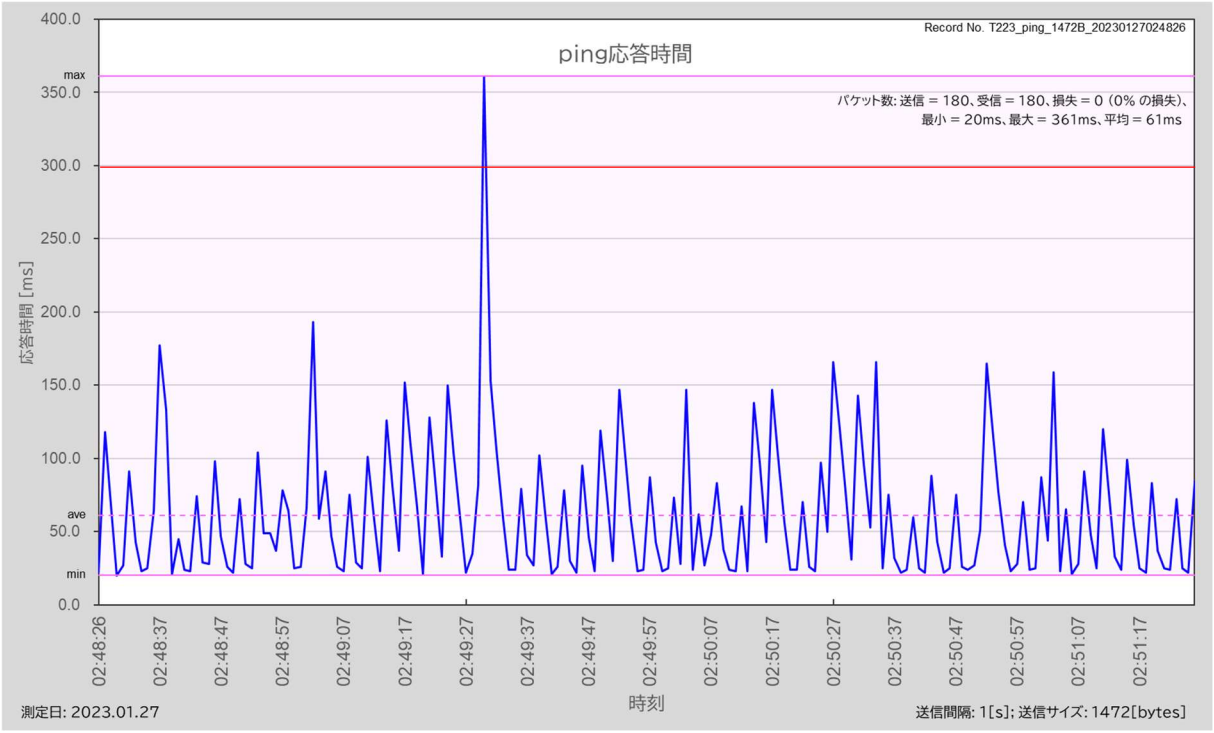


図 4-23 RTT 応答時間測定結果(区間③)

③ E2E（エンドツーエンド）遅延時間

E2E 遅延時間測定風景を図 4-24 に示す。E2E 遅延時間評価として、高速道路上のスマートフォンと志村分室内のスマートフォンの時刻を、インターネット上の NICT 公開 NTP サービス（ntp.nict.jp）を介して同期させた状態で、システム（4K 映像伝送、スマートグラス）を通した時刻比較（End-to-End の映像遅延測定）を行った。



(a) 大容量映像伝送



(b) 遠隔作業支援

図 4-24 E2E 遅延時間測定風景

大容量映像伝送において、映像配信が可能になった状態での道路上のスマートフォンの時刻と志村分室内のスマートフォンの時刻の差は、区間④では 12 秒、区間③では 14 秒となった。遠隔作業支援において、道路上のスマートフォンの時刻と志村分室内のスマートフォンの時刻の差

は、0.4 秒未満となった。大容量映像伝送の E2E 遅延時間の内訳としては、大容量映像伝送の RTT 応答時間は、区間④で 46ms、区間③で 70ms であることから、ローカル 5G 区間における映像伝送時間自体は遠隔作業支援の 0.4 秒未満と同程度であると言え、映像伝送サーバで映像を受信した後、映像を配信するための変換処理時間が E2E 遅延時間の大半を占めている。

④　映像伝送機能評価/音声伝送機能評価

大容量映像伝送の映像伝送機能評価及び遠隔作業支援の音声伝送機能評価を実施した。映像伝送機能評価は志村分室内の作業員 3 名、音声伝送機能評価は道路上の作業員 1 名、志村分室内の作業員 2 名で実施した。

映像伝送機能評価の対象物及び評価項目を表 4-9 に示す。道路の段差や目開き、走行車線方向、照明灯（明部方向/暗部方向）を対象物とした。評価項目は、ローカル 5G の通信品質に係わる伝送遅延やパケットロスが原因と考えられるような、ブロックノイズはないかに主眼を置いて評価を実施した。評価者あたり 7 個以上良で合格と判定した。

表 4-9 映像伝送機能評価の対象物及び評価項目

対象物	評価項目
路上撮影対象(1) 道路の段差、目開き	道路の段差や目開きを確認できる(解像度は十分である)
	伝送遅延やパケットロスが原因と考えられるような、ブロックノイズはない
	モニタの反射やグレア等による、黒沈み／白飛びで見づらシーンは無い
路上撮影対象(2) 走行車線方向	走行車両等の移動体が止まって見えることはない(フレームレートは十分である)
	伝送遅延やパケットロスが原因と考えられるような、ブロックノイズはない
	モニタの反射やグレア等による、黒沈み／白飛びで見づらシーンは無い
路上撮影対象(3) 照明柱 （明部方向／暗部方向）	周囲環境の変化によって見づらシーンはない(ノイズや逆光等は気にならない)
	伝送遅延やパケットロスが原因と考えられるような、ブロックノイズはない
	モニタの反射やグレア等による、黒沈み／白飛びで見づらシーンは無い

環境測定として、デジタル照度計（T-10A コニカミノルタ製）を用いて時間平均照度[lx]を測定した結果を表 4-10 に示す。

表 4-10 映像伝送機能評価時の照度の測定結果

対象物	照度(lx)	
	区間④	区間③
路上撮影対象(1) 道路の段差、目開き	27.8	21.2
路上撮影対象(2) 走行車線方向	(※1)	(※1)
路上撮影対象(3) 照明柱 （明部方向／暗部方向）	明部:(※2) 暗部:6.1	明部:(※2) 暗部:7.2

※1　車両が走行する車線上での照度測定は危険が伴うため未実施。

※2　照度計による照明柱の電灯部分の直接測定は不可のため未実施。

映像伝送機能評価において総合判断では、良の結果となった。区間④の大容量映像伝送の映像伝送機能評価では、映像が途中で何度か止まってしまう様子が確認されたが、その後の調査の結果、録画映像は問題なく記録されていたため、ローカル 5G の区間においては問題ないと言える。

音声伝送機能評価の評価項目を表 4-11 に示す。評価者あたり 4 個以上良で合格と判定した。

表 4-11 音声伝送機能評価の評価項目

評価項目
相手の音声は、明瞭に聞き取れる(マイクの SN は十分である)
相手の音声に、環境音や風切り音が重なって聞き取りづらいことはない
自分の音声がエコーバックして聞こえることはない
相手との通話において、遅延等の不快な間が空くことはない(会話はスムーズに行える)
周囲の環境音に比べて、相手の音声を十分大きく調整できる(スピーカの SN は十分である)

環境測定として、普通騒音計（NL-21 リオン社製）を用いて騒音レベル（A 特性）[dB]を測定した。A 特性は、騒音計による測定に使われる人間の聴覚を考慮した周波数重み付け特性である。測定結果は、区間④では 60～88[dB]、区間③では 66～88.2[dB]であった。なお、騒音レベルの目安は表 4-12 に示すとおりである。

表 4-12 騒音レベルの目安

騒音レベル	環境例
90dB	パチンコ店内
80dB	航空機の機内
70dB	新幹線の車内
60dB	博物館の館内
50dB	高層住宅地域(昼間)
40dB	図書館の館内
30dB	ホテルの室内

出典：全国環境研協議会　騒音調査小委員会資料

遠隔作業支援の音声伝送機能評価では、区間④及び区間③でいずれも道路上及び志村分室内で問題なく会話が可能であり、良の結果となった。

イ）スマートグラスシステムにおける作業手順動画ダウンロード時間評価

スマートグラスシステムにおける作業手順動画ダウンロード時間測定を実施した。

区間④と区間③の 2 か所の測定場所における作業手順動画ダウンロード時間を図 4-25 に示す。作業手順の動画ファイルのサイズが 0MB、10MB、20MB のダウンロード時間の測定を行った。

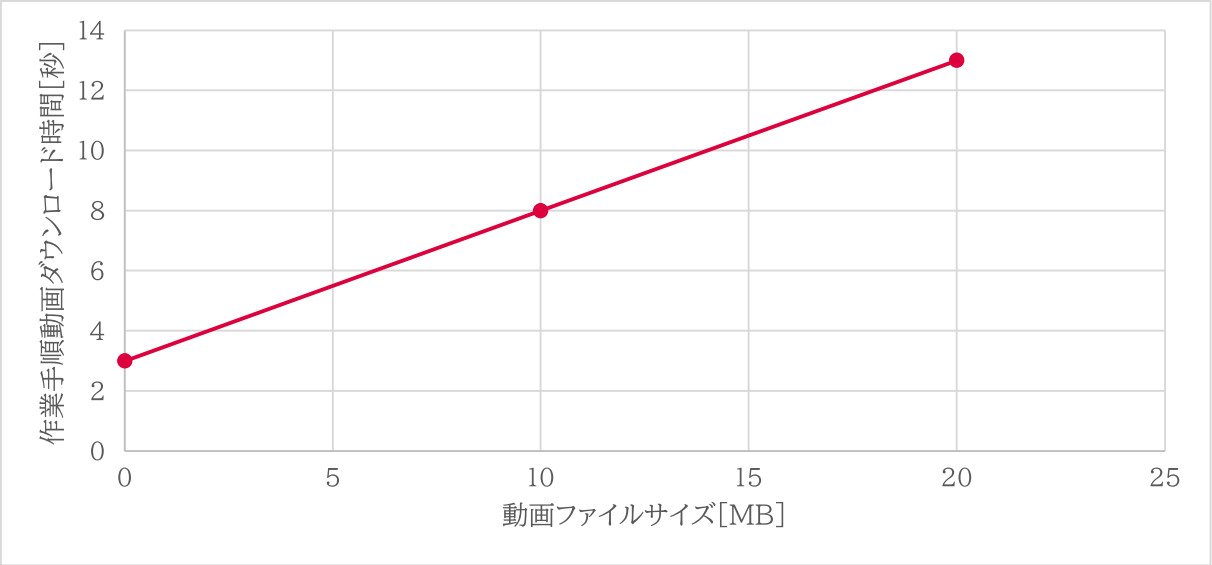


図 4-25 作業手順動画ダウンロード時間

動画ファイルサイズが 10MB の作業手順書のダウンロード時間を計測したところ 8 秒であったので、作業性の観点で求められている「10MB 程度のドキュメントを 10 秒程度でダウンロードできる速度（8Mbps 程度以上）」が確保されていることを確認した。

また、作業手順書の動画ファイルサイズを変えてダウンロード時間を測定したところ、0MB では 3 秒、20MB では 13 秒であったため、ダウンロードの際のプロトコルオーバーヘッドを加味して、ダウンロード時間は以下のように推定される。

・ Ts[sec]＝3 ＋ FileSize[MB]／2 ;（ダウンロード速度を一定と仮定）

ウ）複数カメラを用いた多視点中継等も想定したスループット測定や他のユースケースとの併用も考慮した通信指標の測定

他のユースケースとの併用を考慮した通信指標として、4K 映像（12Mbps、30fps）を配信している状態における、他アプリケーションが使用可能なローカル 5G 区間の帯域猶予（TCP スループット値）[Mbps]を測定した。

大容量映像配信ありの場合の他のアプリケーションが使用可能な帯域としてのスループット測定結果を表 4-13 に示す。参考として大容量映像配信なしの場合のスループット測定結果も示す。

表 4-13 他のユースケースとの併用も考慮した通信指標の測定

No.	測定場所	単体テスト（現場～ローカル 5G～サーバ） スループット(Mbps)	
		大容量映像配信あり	大容量映像配信なし
1	区間④	47	64
2	区間③	58	81

大容量映像伝送で、4K 映像を 12Mbps、30fps で配信している状態では、TCP の上り方向のスループットは、区間④で 47Mbps、区間③で 58Mbps となり、この帯域分が他のアプリ

ケーションが使用可能となることを確認した。

スループット測定結果（区間④）を図 4-26 に示す。

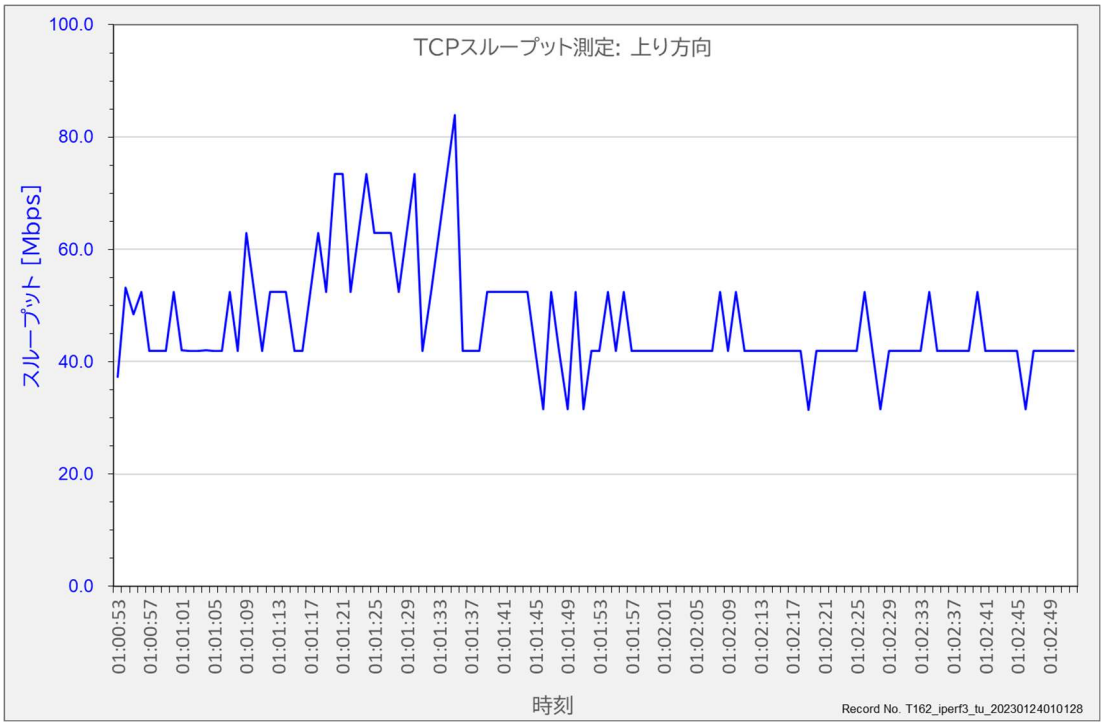


図 4-26　スループット測定結果（区間④）

スループット測定結果（区間③）を図 4-27 に示す。

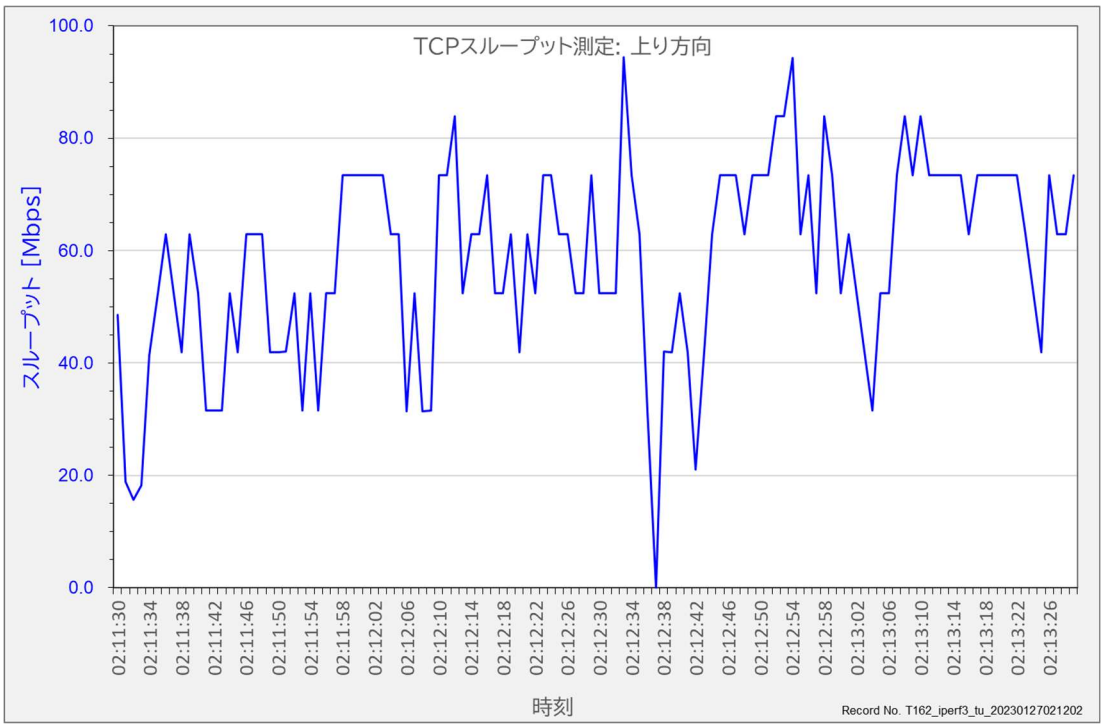


図 4-27　スループット測定結果（区間③）

エ）考察

今回実証で使用したローカル 5G の環境において、UDP の上り方向のスループットが区間④で 40Mbps、区間③で 25Mbps であり、大容量映像伝送システムでの 4K カメラ 1 台で映像配信に問題ないことを確認した。またスマートグラスシステムにおいても、映像及び音声通話に問題ないことを確認した。このことから、今回実証で使用したローカル 5G 環境の仕様のまま、横展開することでこれらのアプリケーションは使用可能と考える。ただし、スループットは時間ごとに変動し低下することもあるため、カメラで使用するビットレートがスループットを超過していなくてもスループットに対して余裕がない場合には映像が乱れる事象が発生すると考えられる。

対策としては、ローカル 5G ネットワークにおいて、上り方向と下り方向の非同期のバランスを変えて上り方向のスループットの帯域の割り当てを増やす方法が考えられる。また、1 台あたりの各カメラが使用するビットレートを下げる等して各カメラのパラメータ調整する方法が考えられる。さらに、現状の今回のローカル 5G ではストリーミングごとに帯域保証する仕組みが設けられていないため、帯域を超過すると、それぞれのストリーミングに影響を与えることが予想される。そのため、安定して映像を配信するには、アプリケーションの要求性能に応じて、ネットワーク帯域の割り当てが必要であり、ローカル 5G にてストリーミングごとに帯域保証する仕組みが必要と考えられる。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

区間①から区間②にかけて上線にて走行試験を実施し、取得できた映像と受信電界強度での評価を行った。

ア）検証結果

走行試験結果を表 4-14～表 4-16 に示す。なお、表中の「接続位置」は移動局がローカル 5G 回線に接続し映像伝送を開始した位置、「切断位置」は移動局がローカル 5G 回線を切断し映像伝送を終了した位置を示す。

表 4-14 360°カメラビュー走行試験結果（区間①+区間②（狭指向アンテナ） 混雑時（走行や停止あり））

測定日時		サンプリング区間				画像取得率[%]			RSRP	
		接続位置	RSRP	切断位置	RSRP	良	否	取得率	最大値	最小値
2023/2/1	06:54～07:04	35.79583317 139.6453392	−95.9	35.78593817 139.6465058	−103.6	57	21	73.1	−82.5	−135.3

表 4-15 360°カメラビュー走行試験結果（区間①+区間②（狭指向アンテナ） 非混雑時（60km/h 走行））

測定日時		サンプリング区間				画像取得率[%]			RSRP	
		接続位置	RSRP	切断位置	RSRP	良	否	取得率	最大値	最小値
2023/2/1	10:35～10:37	35.7994533 139.6468492	−114.4	35.78593783 139.6462737	−113.7	40	65	38.1	−83.3	−119.1

表 4-16　360°カメラビュー走行試験結果（区間②（漏洩同軸ケーブル）　規制内 20km/h 走行）

測定日時		サンプリング区間				画像取得率[%]			RSRP	
		接続位置	RSRP	切断位置	RSRP	良	否	取得率	最大値	最小値
2023/2/6	0:42～ 0:43	35.78892317 139.6433583	-112.8	35.78635917 139.6447502	-102.9	18	4	81.8	-76.9	-117.8

なお、漏洩同軸ケーブルでは、60km/h で走行しながらローカル 5G 回線へ接続することができず、試験データを取得することができなかった。

走行試験時の画像取得状況及び RSRP のプロット図を図 4-28～図 4-33 に示す。



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 4-28　360°カメラビュー走行試験時（区間①+区間②（狭指向アンテナ）　混雑時）の画像取得状況

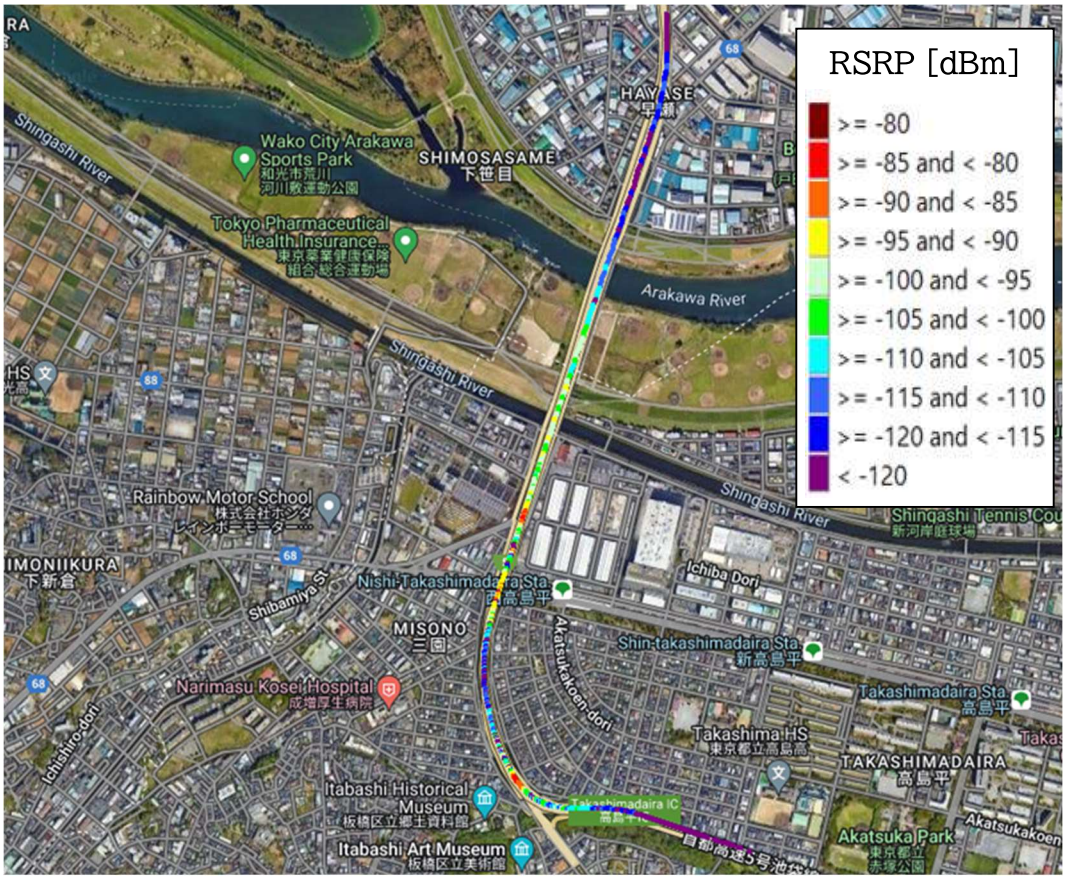
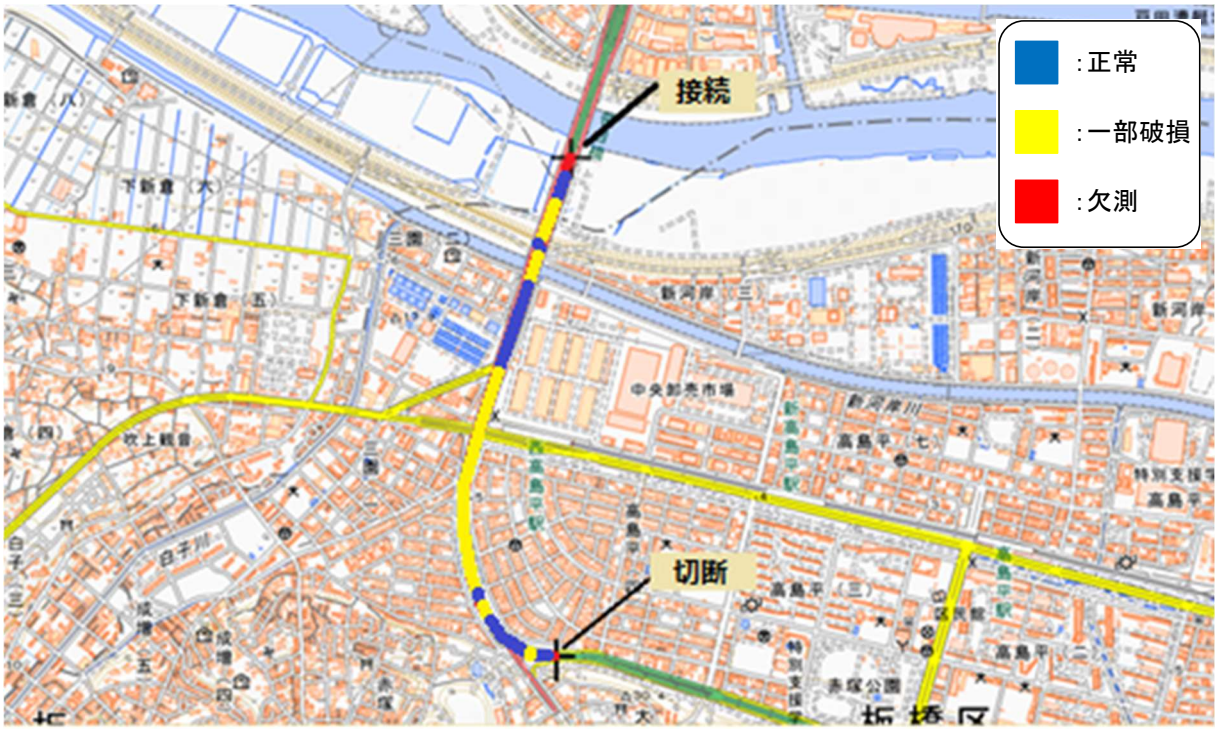


図 4-29　360°カメラビュー走行試験時（区間①+区間②（狭指向アンテナ）　混雑時）の RSRP 状況



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 4-30　360°カメラビュー走行試験時（区間①+区間②（狭指向アンテナ）　非混雑時）の画像取得状況

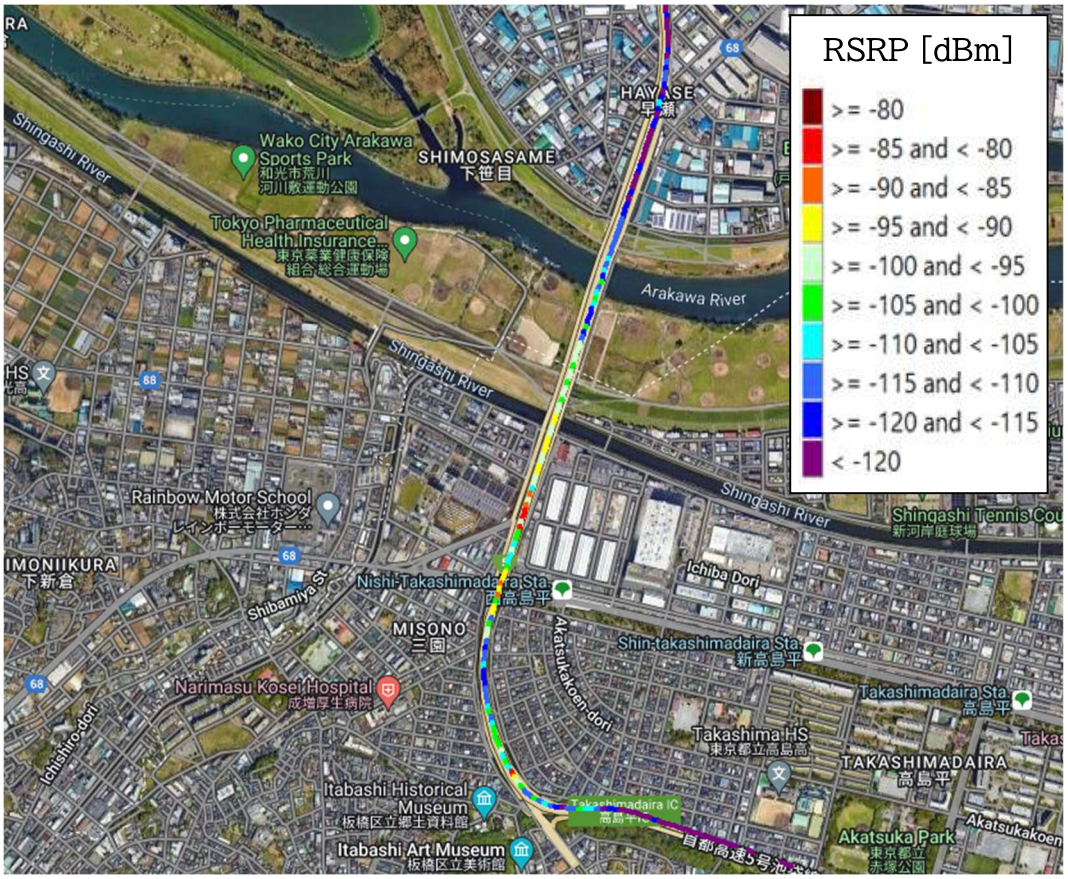
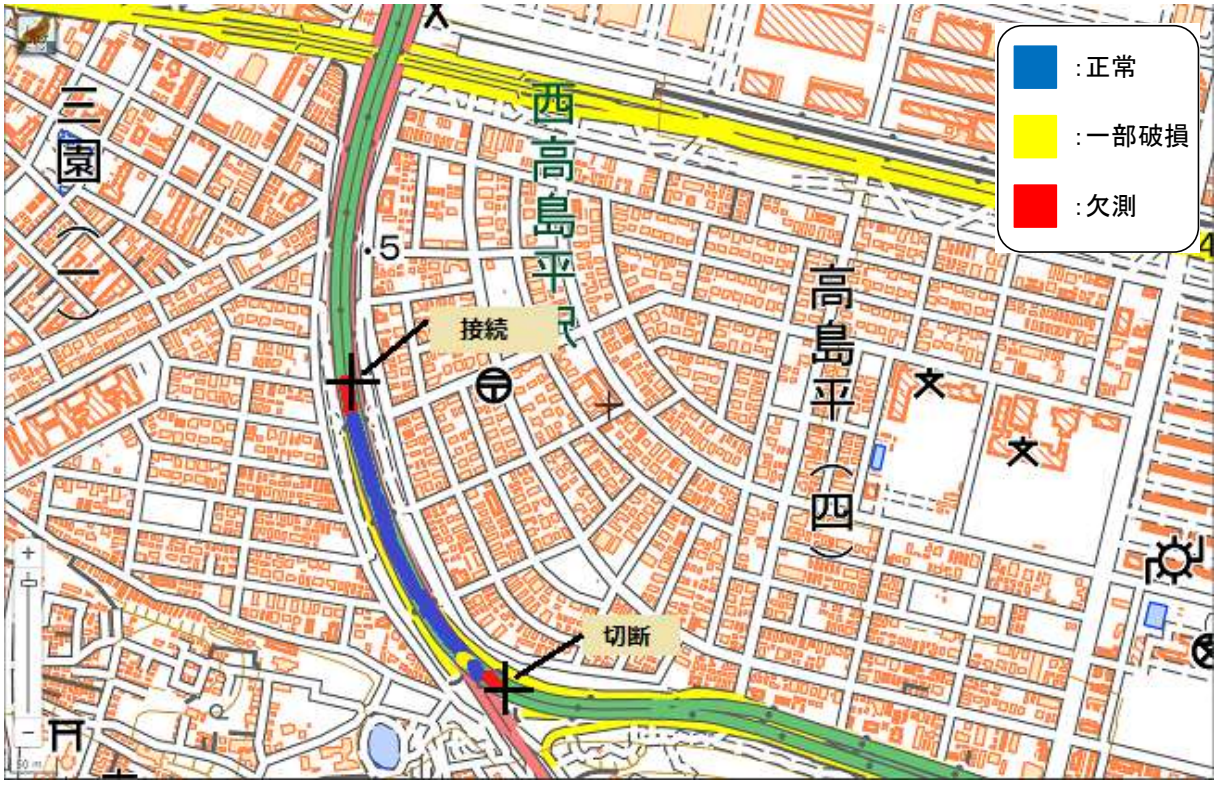


図 4-31　360°カメラビュー走行試験時（区間①+区間②（狭指向アンテナ）　非混雑時）の RSRP 状況



出典：国土地理院地図を日本無線株式会社にて加工

図 4-32　360°カメラビュー走行試験時（区間②（漏洩同軸ケーブル）　規制内 20km/h 走行）の画像取得状況

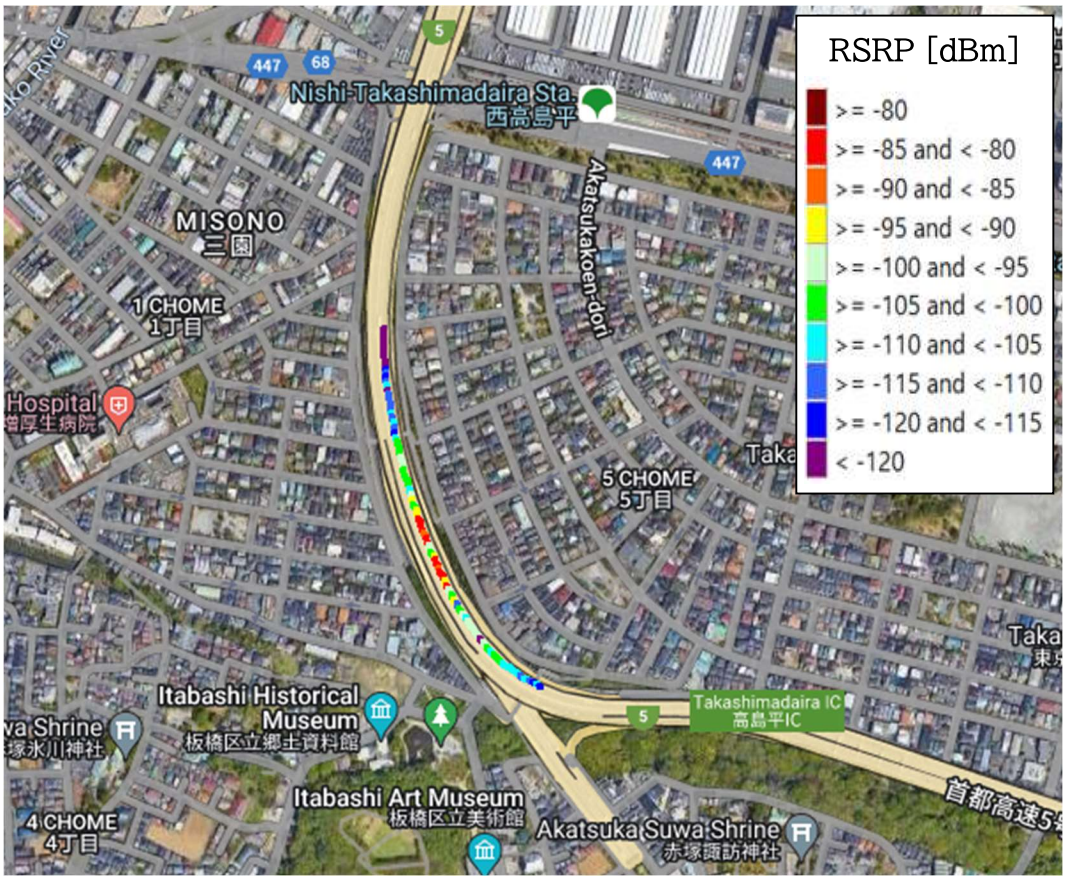


図 4-33　360°カメラビュー走行試験時（区間②（漏洩同軸ケーブル）規制内 20km/h 走行）の RSRP 状況

イ）分析・考察の結果

混雑時は低速で移動、停止を繰り返し、非混雑時は 60km/h で走行しながらネットワークの上りスループット 10Mbps で走行試験を実施することができた。ただし、表 4-14～表 4-16 に示すように、正常な画像の取得率にバラつきのある結果となった。想定される要因としては、以下のようなものが挙げられる。

①　走行中の他車（特に大型トラック）の影響による電波障害

試験走行車の近くを大型トラックが通過した際に、図 4-34 のように画像データの一部が欠損して正常な画像として取得することができなかった。また、画像データの欠損がある程度以上発生した場合には、図 4-35 のように真黒の画像として蓄積されていた。H.265 方式ストリーミング形式での伝送のため、データの一部欠測や、一定以上の欠損が発生した場合に受信側にてこのような画像が蓄積されてしまう。

なお、正しく画像データが取得できた際の画像を図 4-36 に参考として示す。

要因としては、基地局アンテナの設置位置や高さと、走行試験車両とトラックの位置関係による一時的な電界強度の低下や、マルチパスの影響と考えられる。

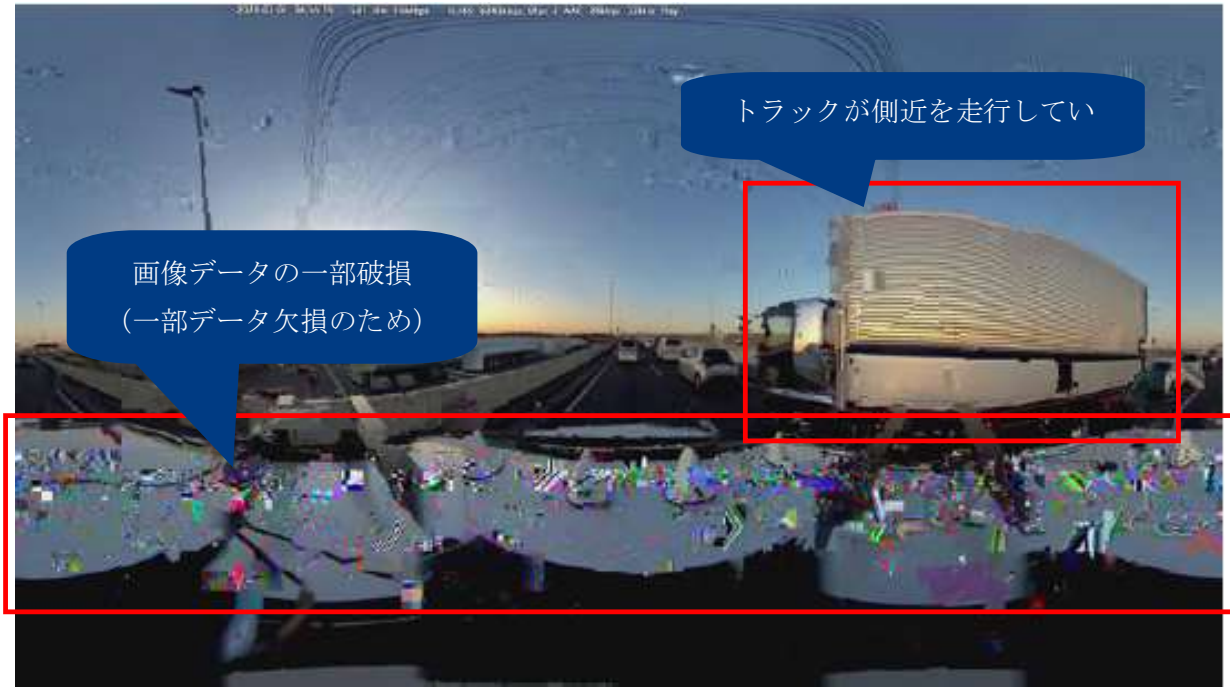


図 4-34　画像データの一部欠損による画像（破損状況）

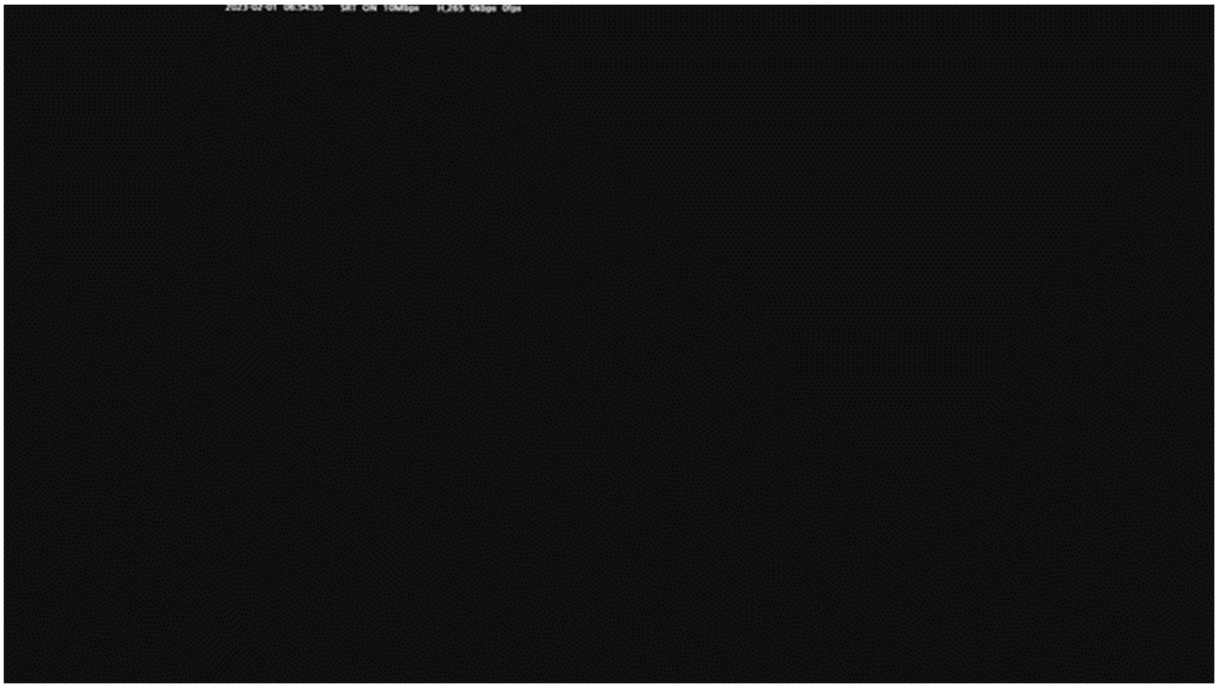


図 4-35　画像データが一定上欠損したための画像（未取得）



図 4-36 正しく取得できた際の画像(参考)

② アンテナ設置位置による影響

画像の取得率は異なるが、混雑時と非混雑時のプロット図（図 4-28 及び図 4-30）のとおり、同じような場所で画像の取得が行えており、これらの場所では高い電界強度が得られていることが分かる。

一方、画像の破損、欠測が発生している場所では、電界強度が低いことが分かる。アンテナからの距離やトラック等の走行車両の影響により、一時的に通信品質が不安定となり、画像の破損や欠測が発生していると考えられる。

③ 漏洩同軸ケーブルの特性による影響

漏洩同軸ケーブルにおいて、片側車線を規制した状態で 20km/h で走行試験を行った際には、画像の取得率は高かった。一方、漏洩同軸ケーブルにおいて、規制しない状態で 60km/h の走行試験を行った際には、画像を取得することができなかった。原因として、漏洩同軸ケーブル区間では、端部に近づくほど電界強度が下がるため、ローカル 5G 回線への接続が不安定であったと考えられる。また、漏洩同軸ケーブルの試験区間が 150m 程度と短いため、走行試験では安定した接続状態が維持することが困難であったと考えられる。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

ア） 走行測定データの精度検証

技術実証における高速道路上のカバーエリアレベルを観測した各測定点において、本ソリューションでもカバーエリアレベルの測定値を取得できているか検証した。測定条件を表 4-17 に、測定結果を表 4-18～表 4-24 に示す。

検証結果として、技術実証で可搬型測定機により実測確認した区間①～④のカバーエリアにおいて、本ソリューションによる走行測定でもカバーエリアレベルの受信電力値を全てのポイントで計測できていることを確認できた。

表 4-17 走行測定データの精度検証 測定条件

	天候	走行速度	アンテナ高さ
全測定日共通	晴れ	約 60km/h	1.5m

表 4-18 区間①(狭指向性アンテナ:sub6)におけるカバーエリア評価

	測定日(上) 時間帯(下)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		測定位置	受信電力 (dBm)	測定位置	受信電力 (dBm)	受信電力≧ カバーエリア レベル
比較ポイント①	2023/1/30 夜間	緯度: 35.8056 経度: 139.649239	−70.6	緯度: 35.805603 経度: 139.649153	−80.2	○
比較ポイント②	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.803211 経度: 139.648344	−78.8	緯度: 35.803225 経度: 139.648267	−79.6	○
比較ポイント③	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.800483 経度: 139.647214	−65.0	緯度: 35.800442 経度: 139.647122	−74.4	○
比較ポイント④	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.797839 経度: 139.646128	−62.2	緯度: 35.797928 経度: 139.646081	−60.2	○
比較ポイント⑤	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.795369 経度: 139.645106	−52.3	緯度: 35.795433 経度: 139.645042	−52.6	○
比較ポイント⑥	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.792583 経度:	−57.0	緯度: 35.792636 経度:	−56.6	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		139.643992		139.643922		

表 4-19 区間②(狭指向性アンテナ:sub6)におけるカバーエリア評価

	測定日(上) 時間帯(下)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		測定位置	受信電力 (dBm)	測定位置	受信電力 (dBm)	受信電力≧ カバーエリア レベル
比較ポイント①	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.790894 経度: 139.643367	−78.8	緯度: 35.790853 経度: 139.643411	−85.4	○
比較ポイント②	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.789778 経度: 139.643211	−71.2	緯度: 35.789742 経度: 139.643272	−72.7	○
比較ポイント③	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.788686 経度: 139.643339	−67.1	緯度: 35.788642 経度: 139.643411	−65.5	○
比較ポイント④	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.788081 経度: 139.643522	−63.9	緯度: 35.788108 経度: 139.643578	−65.3	○
比較ポイント⑤	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.787381 経度: 139.643839	−61.3	緯度: 35.787464 経度: 139.643867	−57.7	○
比較ポイント⑥	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.786747 経度: 139.644244	−44.4	緯度: 35.786728 経度: 139.644333	−51.3	○
比較ポイント⑦	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.786239	−50.4	緯度: 35.786322	−68.9	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		経度: 139.644811		経度: 139.644783		
比較ポイント⑧	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.785917 経度: 139.645861	-58.8	緯度: 35.785958 経度: 139.645869	-59.4	○
比較ポイント⑨	2023/1/30/ 夜間	緯度: 35.785897 経度: 139.647158	-68.1	緯度: 35.785936 経度: 139.647083	-65.8	○

表 4-20 区間②(漏洩同軸ケーブル:sub6)におけるカバーエリア評価

	測定日(上) 時間帯(下)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		測定位置	受信電力 (dBm)	測定位置	受信電力 (dBm)	受信電力≧ カバーエリア レベル
比較ポイント①	2023/2/4 夜間	緯度: 35.788667 経度: 139.643236	-68.1	緯度: 35.788717 経度: 139.643242	-70.2	○
比較ポイント②	2023/2/5 夜間	緯度: 35.788669 経度: 139.643403	-67.7	緯度: 35.788581 経度: 139.643275	-65.6	○
比較ポイント③	2023/2/4 夜間	緯度: 35.788425 経度: 139.643297	-59.8	緯度: 35.788444 経度: 139.643308	-63.2	○
比較ポイント④	2023/2/5 夜間	緯度: 35.788431 経度: 139.643464	-63.4	緯度: 35.788444 経度: 139.643308	-63.2	○
比較ポイント⑤	2023/2/4	緯度:	-60.8	緯度:	-66.2	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
	夜間	35.788267 経度: 139.643344		35.788314 経度: 139.643353		
比較ポイント⑥	2023/2/5 夜間	緯度: 35.788289 経度: 139.643508	-61.0	緯度: 35.788314 経度: 139.643353	-66.2	○
比較ポイント⑦	2023/2/4 夜間	緯度: 35.788081 経度: 139.643408	-55.9	緯度: 35.788047 経度: 139.64345	-57.7	○
比較ポイント⑧	2023/2/5 夜間	緯度: 35.788094 経度: 139.643578	-61.0	緯度: 35.788047 経度: 139.64345	-57.7	○
比較ポイント⑨	2023/2/4 夜間	緯度: 35.787714 経度: 139.643556	-46.7	緯度: 35.787781 経度: 139.643558	-51.7	○
比較ポイント⑩	2023/2/5 夜間	緯度: 35.787764 経度: 139.643711	-54.8	緯度: 35.787781 経度: 139.643558	-51.7	○
比較ポイント⑪	2023/2/4 夜間	緯度: 35.787361 経度: 139.643719	-50.4	緯度: 35.787389 経度: 139.643744	-40.4	○
比較ポイント⑫	2023/2/5 夜間	緯度: 35.787394 経度: 139.643908	-54.2	緯度: 35.787389 経度: 139.643744	-40.4	○
比較ポイント⑬	2023/2/4 夜間	緯度: 35.786981	-53.8	緯度: 35.787006	-46.1	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		経度: 139.643956		経度: 139.643958		
比較ポイント⑭	2023/2/5 夜間	緯度: 35.787067 経度: 139.644086	-49.4	緯度: 35.787006 経度: 139.643958	-46.1	○
比較ポイント⑮	2023/2/4 夜間	緯度: 35.7867 経度: 139.644144	-59.1	緯度: 35.786761 経度: 139.644122	-57.0	○
比較ポイント⑯	2023/2/5 夜間	緯度: 35.786792 経度: 139.644283	-55.4	緯度: 35.786761 経度: 139.644122	-57.0	○
比較ポイント⑰	2023/2/4 夜間	緯度: 35.786522 経度: 139.644294	-59.6	緯度: 35.786533 経度: 139.644314	-58.1	○
比較ポイント⑱	2023/2/5 夜間	緯度: 35.786603 経度: 139.644453	-59.0	緯度: 35.786533 経度: 139.644314	-58.1	○
比較ポイント⑲	2023/2/4 夜間	緯度: 35.786347 経度: 139.644472	-61.6	緯度: 35.786325 経度: 139.644547	-64.4	○
比較ポイント⑳	2023/2/5 夜間	緯度: 35.786472 経度: 139.644597	-62.8	緯度: 35.786425 経度: 139.644425	-60.7	○
比較ポイント㉑	2023/2/4 夜間	緯度: 35.786156 経度:	-67.5	緯度: 35.786142 経度:	-67.8	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		139.644739		139.644819		
比較ポイント㉒	2023/2/5 夜間	緯度: 35.786308 経度: 139.644817	-67.3	緯度: 35.786228 経度: 139.644678	-70.5	○

表 4-21 区間③(狭指向性アンテナ:sub6)遮蔽板無におけるカバーエリア評価

	測定日(上) 時間帯(下)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		測定位置	受信電力 (dBm)	測定位置	受信電力 (dBm)	受信電力≧ カバーエリア レベル
比較ポイント①	2023/1/26 夜間	緯度: 35.782872 経度: 139.659386	-41.0	緯度: 35.782728 経度: 139.659372	-26.0	○
比較ポイント②	2023/1/26 夜間	緯度: 35.782994 経度: 139.658797	-27.1	緯度: 35.782864 経度: 139.658703	-34.3	○
比較ポイント③	2023/2/1 夜間	緯度: 35.782881 経度: 139.658744	-32.5	緯度: 35.783033 経度: 139.658858	-32.1	○
比較ポイント④	2023/1/26 夜間	緯度: 35.783217 経度: 139.657828	-38.4	緯度: 35.783097 経度: 139.657719	-42.6	○
比較ポイント⑤	2023/2/1 夜間	緯度: 35.783108 経度: 139.657761	-37.3	緯度: 35.783258 経度: 139.657853	-34.0	○
比較ポイント⑥	2023/2/1 夜間	緯度: 35.783861	-49.5	緯度: 35.783981	-47.7	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		経度: 139.654928		経度: 139.654892		
比較ポイント⑦	2023/2/1 夜間	緯度: 35.783406 経度: 139.656619	-39.3	緯度: 35.783567 経度: 139.656689	-44.0	○
比較ポイント⑧	2023/2/1 夜間	緯度: 35.783586 経度: 139.655956	-50.0	緯度: 35.783753 経度: 139.656025	-53.0	○
比較ポイント⑨	2023/2/1 夜間	緯度: 35.783478 経度: 139.65635	-41.5	緯度: 35.783608 経度: 139.656342	-51.3	○
比較ポイント⑩	2023/2/1 夜間	緯度: 35.783764 経度: 139.655283	-52.3	緯度: 35.783872 経度: 139.655364	-43.9	○

表 4-22 区間③(狭指向性アンテナ:sub6)遮蔽板有におけるカバーエリア評価

	測定日(上) 時間帯(下)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		測定位置	受信電力 (dBm)	測定位置	受信電力 (dBm)	受信電力≧ カバーエリア レベル
比較ポイント①	2023/2/4 夜間	緯度: 35.782883 経度: 139.659328	-43.4	緯度: 35.782789 経度: 139.659267	-41.2	○
比較ポイント②	2023/2/4 夜間	緯度: 35.783003 経度: 139.658764	-44.1	緯度: 35.782892 経度: 139.658769	-50.0	○
比較ポイント③	2023/2/5	緯度:	-40.1	緯度:	-50.2	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
	夜間	35.782878 経度: 139.658744		35.782919 経度: 139.658806		
比較ポイント④	2023/2/4 夜間	緯度: 35.783228 経度: 139.657797	−53.0	緯度: 35.783117 経度: 139.657781	−49.2	○
比較ポイント⑤	2023/2/5 夜間	緯度: 35.783103 経度: 139.657786	−48.9	緯度: 35.78315 経度: 139.657831	−55.2	○
比較ポイント⑥	2023/2/5 夜間	緯度: 35.783853 経度: 139.654953	−56.2	緯度: 35.783933 経度: 139.654914	−57.8	○
比較ポイント⑦	2023/2/5 夜間	緯度: 35.783414 経度: 139.656586	−52.0	緯度: 35.783489 経度: 139.656533	−63.5	○
比較ポイント⑧	2023/2/5 夜間	緯度: 35.783589 経度: 139.655942	−61.8	緯度: 35.783667 経度: 139.655886	−60.4	○

表 4-23 区間③(ビームフォーミングアンテナ:ミリ波)におけるカバーエリア評価

	測定日(上) 時間帯(下)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		測定位置	受信電力 (dBm)	測定位置	受信電力 (dBm)	受信電力≧ カバーエリア レベル
比較ポイント①	2023/2/2 夜間	緯度: 35.782903 経度: 139.659267	−63.0	緯度: 35.782906 経度: 139.659314	−63.3	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
比較ポイント②	2023/2/1 夜間	緯度: 35.782769 経度: 139.659231	-59.2	緯度: 35.782878 経度: 139.659303	-62.9	○
比較ポイント③	2023/2/2 夜間	緯度: 35.783 経度: 139.658794	-63.1	緯度: 35.783008 経度: 139.658819	-59.2	○
比較ポイント④	2023/2/1 夜間	緯度: 35.782869 経度: 139.658764	-61.5	緯度: 35.782978 経度: 139.658808	-59.1	○
比較ポイント⑤	2023/2/2 夜間	緯度: 35.783097 経度: 139.658347	-66.5	緯度: 35.783119 経度: 139.658331	-66.6	○
比較ポイント⑥	2023/2/1 夜間	緯度: 35.782972 経度: 139.658306	-63.2	緯度: 35.783083 経度: 139.658319	-66.2	○
比較ポイント⑦	2023/2/2 夜間	緯度: 35.78325 経度: 139.658306	-73.3	緯度: 35.783264 経度: 139.657683	-72.3	○
比較ポイント⑧	2023/2/1 夜間	緯度: 35.783128 経度: 1139.657661	-64.3	緯度: 35.783239 経度: 139.657661	-73.3	○
比較ポイント⑨	2023/2/2 夜間	緯度: 35.783433 経度: 139.657017	-77.4	緯度: 35.783425 経度: 139.657028	-82.1	○
比較ポイント⑩	2023/2/1	緯度:	-68.6	緯度:	-80.6	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
	夜間	35.783306 経度: 139.656964		35.78345 経度: 139.656844		

表 4-24　区間④(DAS アンテナ:sub6)におけるカバーエリア評価

	測定日(上) 時間帯(下)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
		測定位置	受信電力 (dBm)	測定位置	受信電力 (dBm)	受信電力≧ カバーエリア レベル
比較ポイント①	2023/1/26 夜間	緯度: 35.781161 経度: 139.670561	−44.1	緯度: 35.781172 経度: 139.6705	−29.2	○
比較ポイント②	2023/2/1 夜間	緯度: 35.780989 経度: 139.671103	−49.9	緯度: 35.781103 経度: 139.671144	−49.1	○
比較ポイント③	2023/1/26 夜間	緯度: 35.781028 経度: 139.672064	−41.7	緯度: 35.781042 経度: 139.672025	−39.3	○
比較ポイント④	2023/2/1 夜間	緯度: 35.780439 経度: 139.672867	−42.1	緯度: 35.780553 経度: 139.673033	−29.0	○
比較ポイント⑤	2023/1/26 夜間	緯度: 35.779794 経度: 139.673392	−39.4	緯度: 35.779789 経度: 139.673422	−39.1	○
比較ポイント⑥	2023/2/1 夜間	緯度: 35.778906 経度: 139.673547	−33.8	緯度: 35.778958 経度: 139.6737	−32.6	○

	測定日(上)	技術実証測定結果(参考)		5G WaveDoctor		評価
比較ポイント⑦	2023/1/26 夜間	緯度: 35.778153 経度: 139.674433	-31.8	緯度: 35.778214 経度: 139.674411	-31.2	○
比較ポイント⑧	2023/2/1 夜間	緯度: 35.777592 経度: 139.675142	-36.7	緯度: 35.777706 経度: 139.675239	-42.7	○
比較ポイント⑨	2023/2/1 夜間	緯度: 35.777444 経度: 139.675403	-42.2	緯度: 35.778122 経度: 139.675239	-59.1	○

イ） 測定条件の違いによる測定データ比較

① 道路交通状況の違いによる測定データ比較

高速道路上では事故や渋滞等により、60km/h にて走行できない場合も想定される。表 4-25 に示す測定条件のもと、区間③（狭指向性アンテナ：sub6）における計 6 回の受信電力の測定の結果をまとめたグラフを図 4-37 に示す。高速上にて意図的に速度を下げて走行を行うことは、後続車からの追突の危険性等の理由から難しいが、今回の測定中に交通渋滞の影響で 40km/h 前後（最低 30km/h）にて測定を行うことができた。

結果としては、技術実証のカバーエリア測定点においてカバーエリア基準値以上の受信電力をクリアしており、その他の 5 回の測定（約 60km/h）と比較して、区間全体を通してデータの傾向に大きな差は見られなかった。この結果より、本ソリューションでは幅広い速度で測定が可能であること及び 60km/h 程度の走行速度はスクリーニング測定としては十分な精度確保できる速度であることが確認できた。

表 4-25 道路交通状況の違いによる測定データ比較 測定条件

測定日	測定サンプル	測定時間	天候	走行速度
2023/2/1	測定 1～5	2023/2/1	晴れ	約 60km/h
2023/2/1	測定 6	2023/2/1	晴れ	約 40km/h 程度

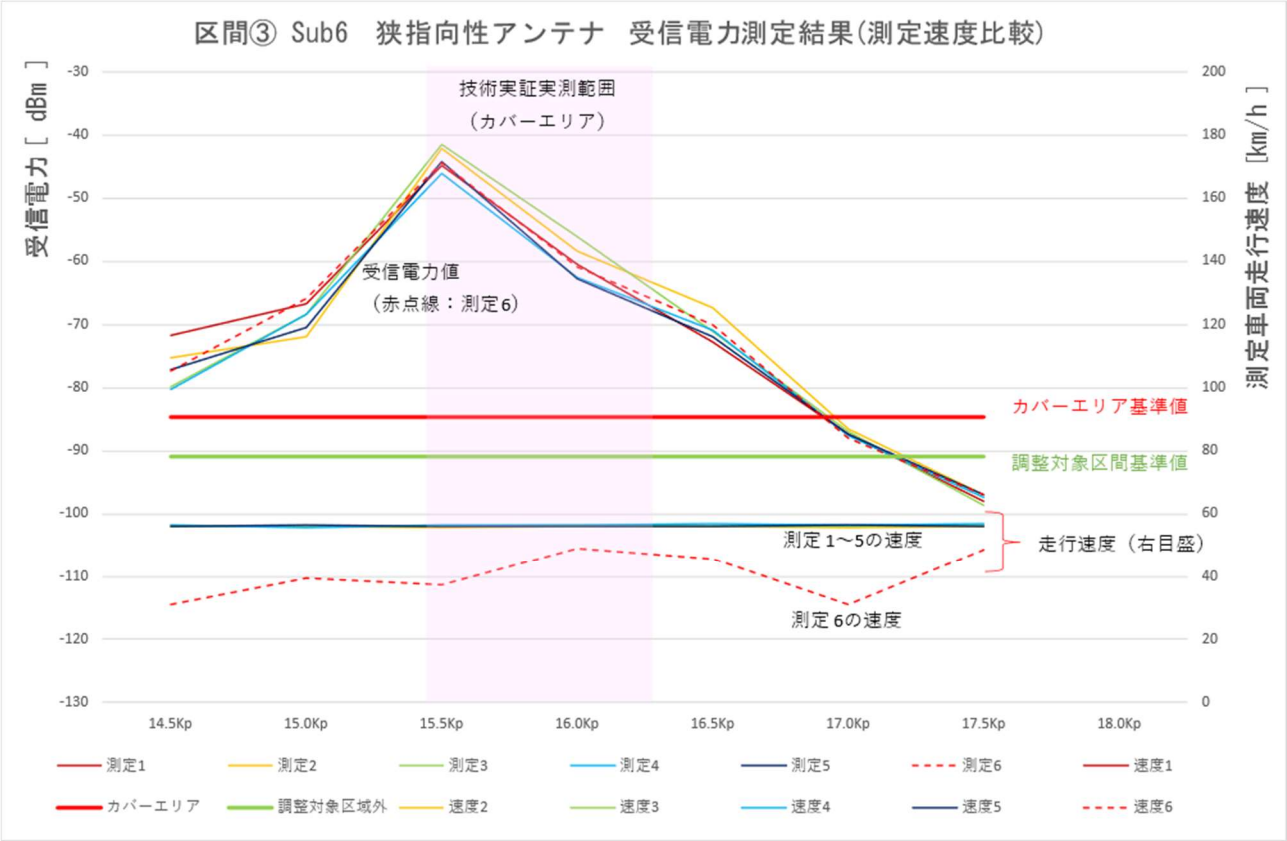


図 4-37　速度の違いによる測定データへの影響

②　天候状況の違いによる測定データ比較

表 4-26 に示す測定条件のもと、区間①～④における雨天時の計 4 回の測定データの結果を図 4-38 に示す。グラフ中の赤点線の結果は晴天時の測定データを参考データとして挿入したものである。

結果として、各区間における測定データの全体的な傾向は、同様の晴天時、雨天時共に同様の傾向を示している。ただし技術実証のカバーエリア実測範囲において、測定 4 のみエリア端付近でカバーエリア基準値を下回るポイントもあった。受信電力の高いその他のポイントではカバーエリア受信電力をクリアしていた。基準値を下回った理由としては雨天による水滴の影響であるか、単なる測定値のバラつきかは今後さらにサンプル数を増やし継続して検証していく必要がある。

表 4-26　天候状況の違いによる測定データ比較　測定条件

	測定日	測定時間	天候
雨天時測定データ	2023/1/16	9:00～15:00	雨(最大 1.5mm/h)
晴天測定データ	2023/1/17	9:00～15:00	晴れ

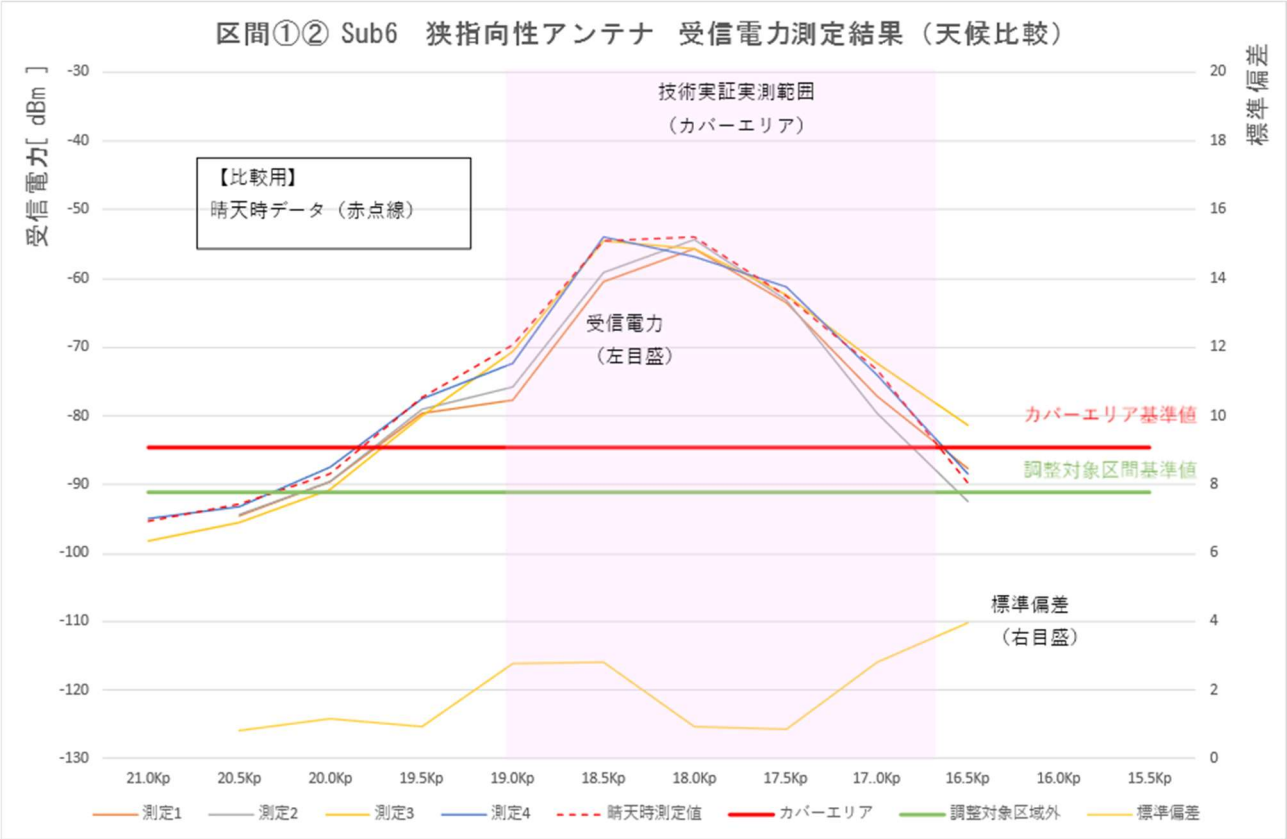


図 4-38　区間①②　雨天時の測定データへの影響

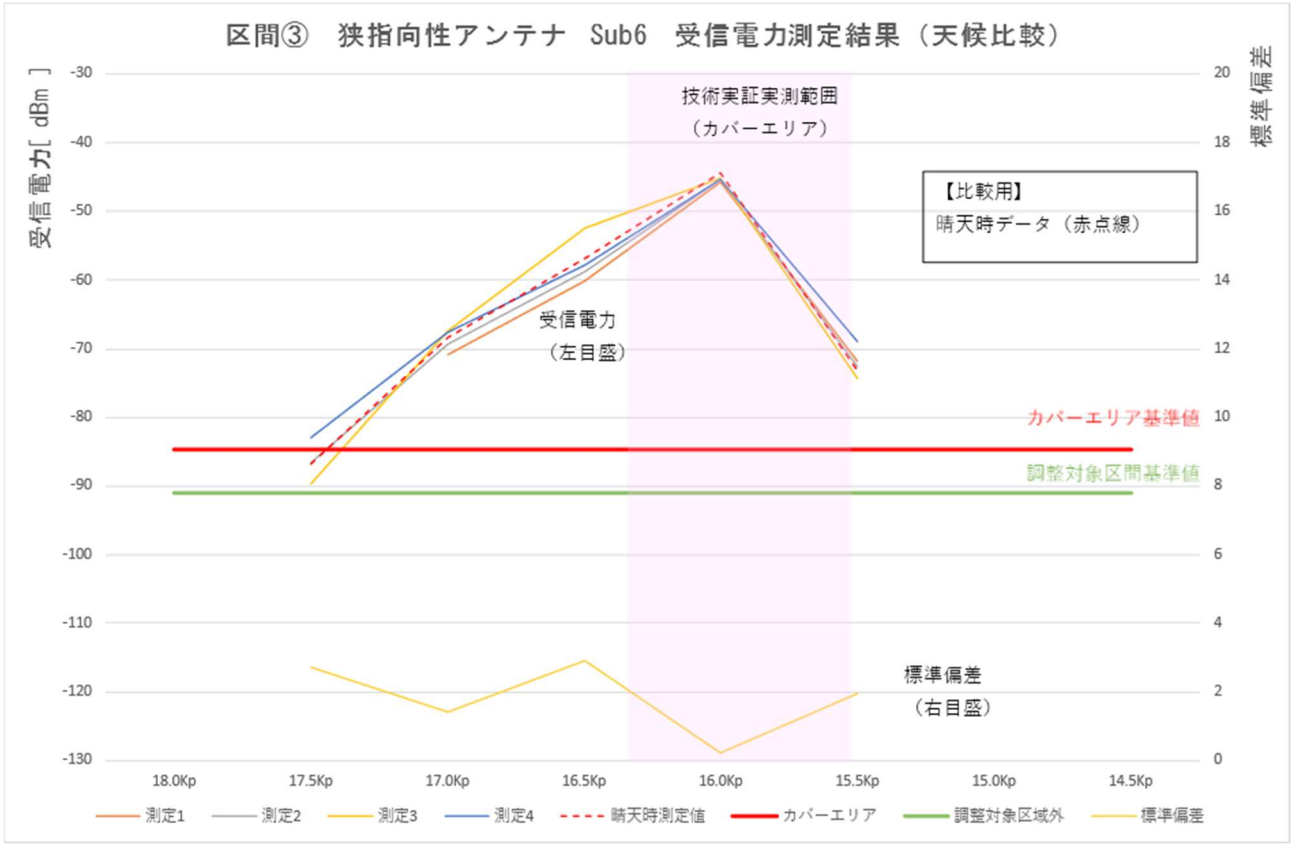


図 4-39　区間③　雨天時の測定データへの影響

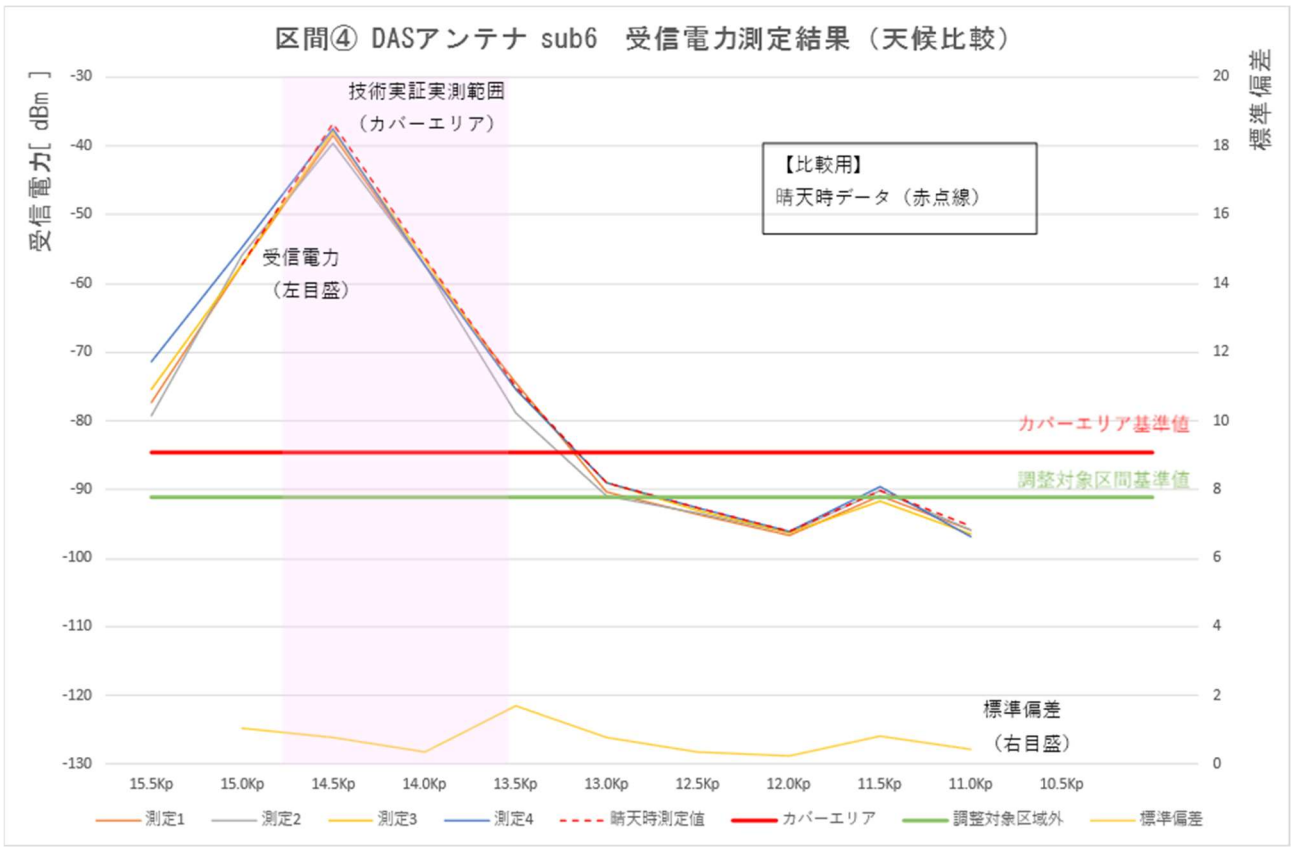


図 4-40　区間④　雨天時の測定データへの影響

③　測定アンテナの高さの違いによる測定データ比較

首都高速には ETC2.0 や管理用無線設備等、様々な無線通信設備が設置されており、既に首都高技術株式会社にて「WaveDoctor」という測定車両を開発し、電波伝搬測定の維持管理として運用している実績がある。今回は、技術実証における測定結果との比較検証のため、アンテナ高さを路面から 1.5m に揃える目的もあり新規に測定車を開発した。しかし、今後の実運用を考えると既存の「WaveDoctor」車両に測定機を実装し、他の測定業務と並行して 5G 測定業務を行うことが効率的である。そのため、今回は「WaveDoctor」車両にも測定機を設置し、5G WaveDoctor 車両における測定データと比較検証を行い測定データの傾向に違いが出るかを検証した。

表 4-27 に示す測定条件のもと、「WaveDoctor」車両（アンテナ高さ 2.0m）で測定した際の測定結果と、本実証で開発した 5G WaveDoctor（アンテナ高さ 1.5m）の測定結果と比較したグラフを図 4-41～図 4-43 に示す。図中赤点線がアンテナ高さ 1.5m の測定データになる。

結果としては、技術実証のカバーエリア測定点においてカバーエリア基準値以上の受信電力をクリアしており、区間別測定データ傾向としても同様の傾向を示していた。以上より、アンテナ高さ 2.0m と 1.5m の測定データの間に大きな差は無いと思われるが、今後もサンプル数を増やし継続検証していく必要がある。

表 4-27 測定アンテナの高さの違いによる測定データ比較 測定条件

	測定日	測定時間	天候
アンテナ高さ 1.5m	2023/1/17	9:00～15:00	晴れ
アンテナ高さ 2.0m	2023/1/18	9:00～15:00	晴れ

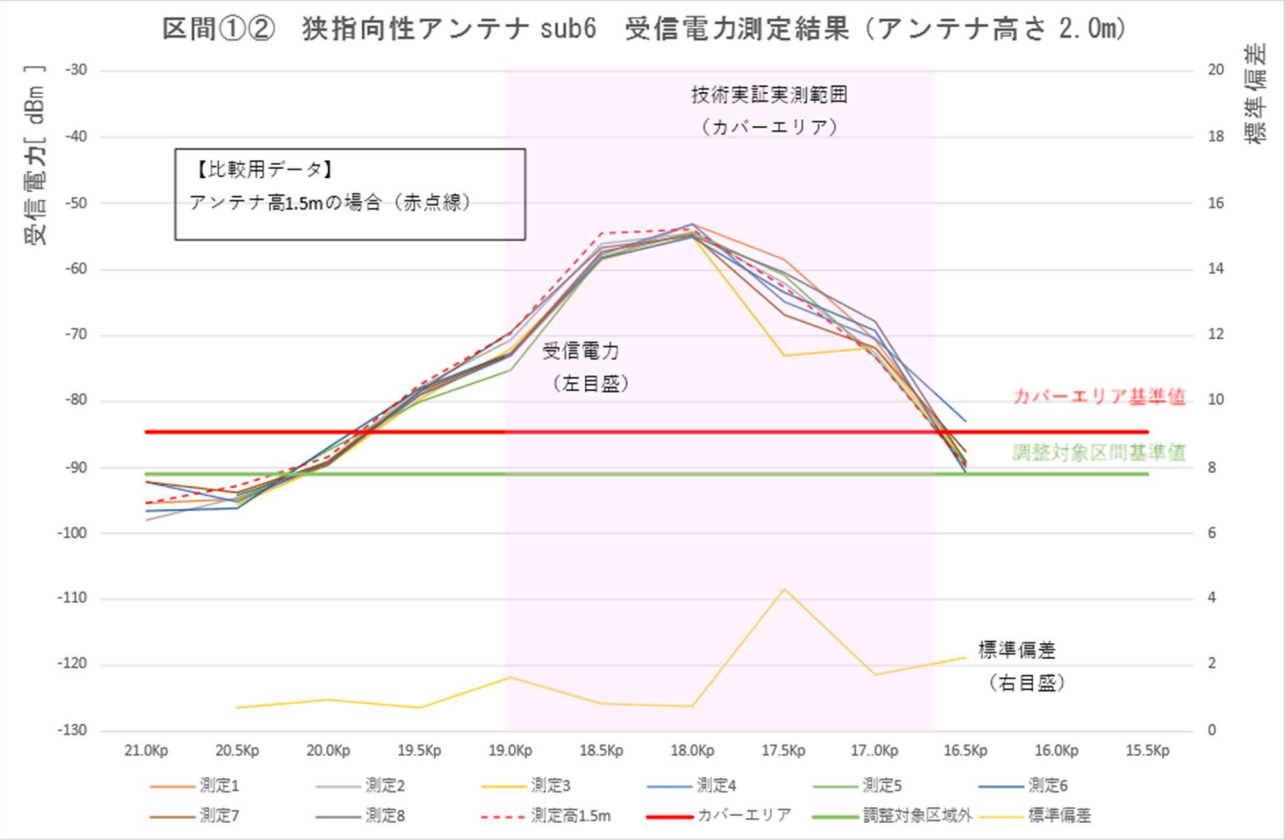


図 4-41 区間①② アンテナ設置高さ（1.5m、2.0m）における測定データへの影響

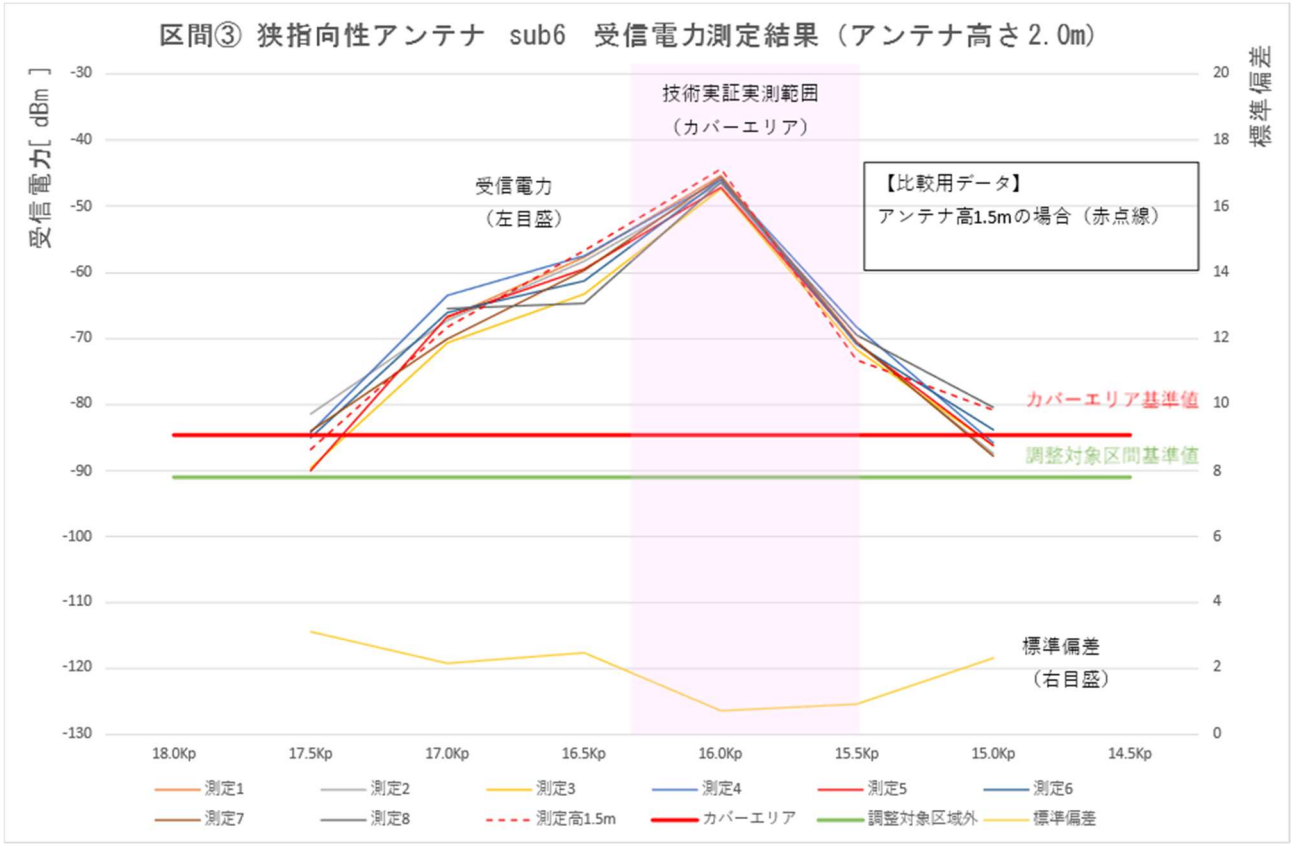


図 4-42　区間③　アンテナ設置高さ（1.5m、2.0m）における測定データへの影響

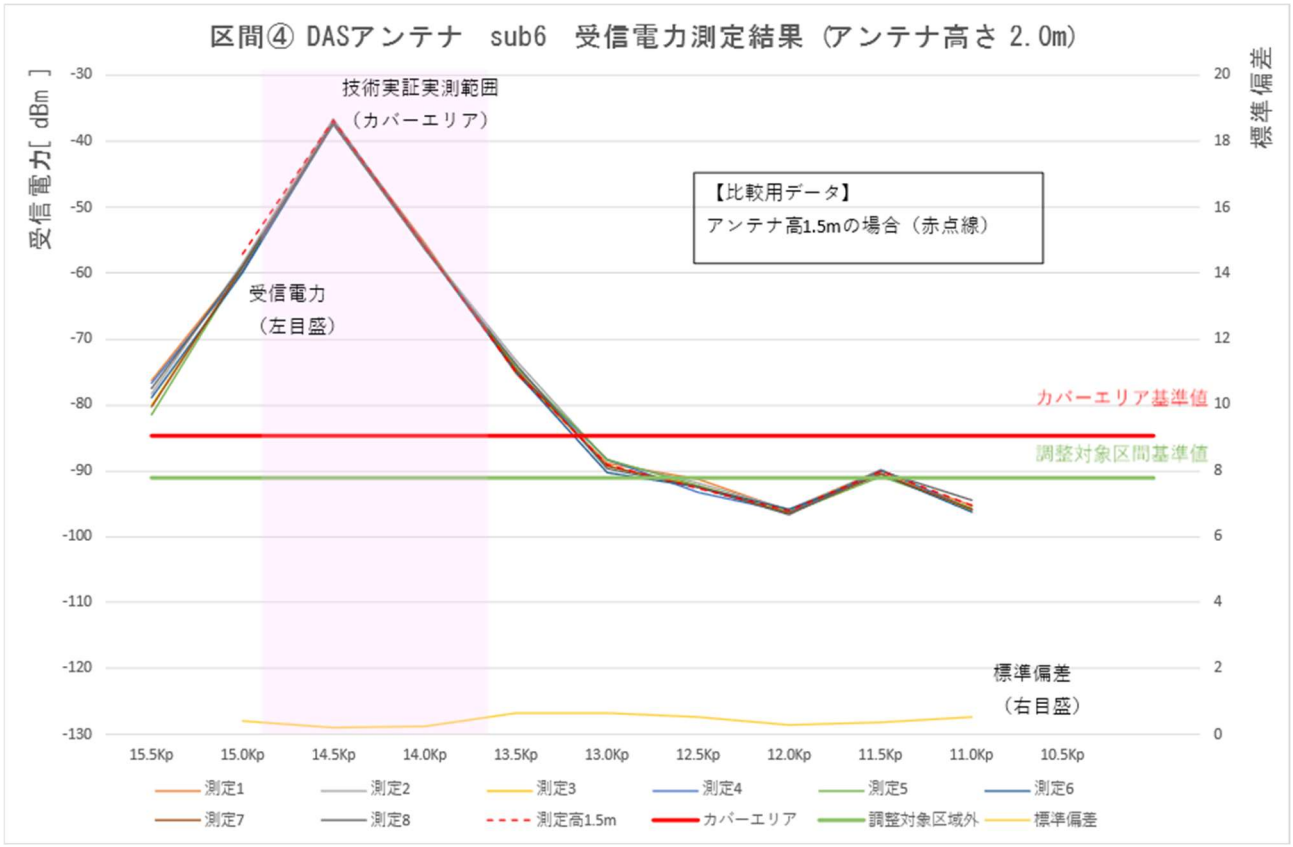


図 4-43　区間④　アンテナ設置高さ（1.5m、2.0m）における測定データへの影響

（2） 運用検証

1） 検証項目

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有、スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の運用検証として、検証項目とその概要を表 4-28 に示す。

表 4-28 高精細画像･映像のリアルタイム共有とスマートグラスシステムの運用検証項目と検証概要

ソリューション	検証項目	検証概要
高精細画像･映像の リアルタイム共有	状況認知の迅速性	実証システムの利用により、現状（音声コミュニケーション）よりも状況認知が迅速化できるか検証する
	業務効率化の可能性	実証システムの利用により、効率化可能な業務の有無を調査･検証する
スマートグラスによる 遠隔地からの点検業務支援	ポール照明点検の 業務工数削減の可能性	通常の業務フローと、実証システムによる仮説業務フローを比較し、工数削減の可能性を聞き取り調査･検証する

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

本システムを利用することにより、現状システムと比較した現場状況把握、指示系統での判断材料としての有用性、業務効率への影響、過去記録映像の有用性を検証項目とする。検証項目を表 4-29 に示す。

表 4-29 360°カメラビューの運用検証項目と検証概要

検証項目	検証概要
状況把握性	固定カメラと 360°カメラでの現場状況の把握のしやすさを検証する
有用性	現場指示に対する判断材料としての有用性を検証する
業務効率への影響度	固定カメラと比較して、業務効率を改善するための影響度を検証する
過去記録映像の有用性	過去の映像と比較表示が行えることで、どの程度の有用性があるかを検証する

現状システムとは、道路管理で利用されている道路上に固定設置された監視カメラ（PTZ カメラ）のモニタシステムとなる。そのため、この監視カメラで撮影した映像と 360°カメラで撮影した画像を比較することで、現場状況の把握のしやすさや、判断材料としての有用性等を、複数の管制員の判断結果をもとに比較検証する。比較検証する対象物は、監視カメラで捉えられるものから数種類選択しておき比較検証を行うものとする。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

5G WaveDoctor による検証項目と概要を表 4-30 に示す。

表 4-30　5G WaveDoctor 運用検証項目と検証概要

検証項目	検証概要
同一条件下における 測定データのバラつきの評価	・同一条件下において、どの程度測定データにバラつきが生じるのかを検証する。 5G WaveDoctor を実運用していくためには、運用上他の測定業務と並行して実施していくことになるため、同一条件下における測定データのバラつきが少なく、信頼性の高いデータが求められる。そこで同一条件下における測定を複数回実施し、標準偏差を検証することでそれぞれの測定データが運用に耐えられる水準にあることを検証する。
自動マッピングシステムによる データ整理業務の効率化	・測定したデータを地図上に自動マッピングできるか検証する。 広範囲の線状エリアの維持管理を行うには、走行測定による測定の効率化だけでなく、取得した膨大なデータを効率的に整理し測定結果が可視化できることが求められる。そこで測定データを地図上に自動マッピングできるかアプリケーションを開発し実証する。

2)　検証方法

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイムの共有では、パトロールカーで首都高速道路内の巡回業務と管制業務を実施している首都高パトロール株式会社を対象とし、本実証システムを活用した場合の業務効率化について、聞き取り調査を実施する。

首都高パトロールの業務は、高速道路上での巡回業務と交通管制室での管制業務がある。巡回業務は、路線長 327.2km の全線をパトロールカーで走行し、トラブルによる停車車両の他、回収が難しい落下物、路面の損傷等を発見した場合に速やかに交通管制室へ報告している。また管制業務は、首都高速道路の機能を維持するために、多様な交通管制機器を駆使して情報を集め、現場隊員への指示、さらには警察や消防等との連携も密に行っている。



出典：首都高パトロール HP（https://www.shutopato.co.jp/business/patrol/）

図 4-44　巡回業務（写真は一部加工）



出典：首都高パトロール HP（https://www.shutopato.co.jp/business/patrol/）

図 4-45 管制業務(写真は一部加工)

高精細画像・映像のリアルタイム共有は、巡回業務で発見した道路の異常・トラブルを正確かつ迅速に交通管制室へ伝達できること及び管制業務では現場から送られてきた映像により状況認知や指示・連絡の効率化ができることを首都高パトロールへの聞き取り調査によって確認する。

首都高速道路における点検は、表 4-31 に示すとおり、大きく 3 つの種別に分類されている。

表 4-31 首都高速道路の点検一覧

点検種別	点検名称	概要
巡回点検	高速上巡回点検	パトロールカーによる車上目視･感覚による点検
	高架下巡回点検	
徒歩点検	高速上徒歩点検	高速上からの目視による点検
	高架下徒歩点検	高架下からの目視による点検
接近点検	構造物接近点検	高所作業車や仮設吊足場等を使用した接近点検
	土木附属施設接近点検	
	施設関係接近点検	建築、機械、電気設備の点検

出典：首都高の技術｜守る技術＜首都高速道路の点検＞https://www.shutoko.jp/ss/tech-shutoko/save/tenken.html

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援では、これらの点検のうち、目視や感覚等の定量化が難しいと考えられる点検ではなく、遠隔支援が有効だと考えられる接近点検をターゲットとする。中でも施設関係接近点検を検証対象とし、道路照明設備（ポール照明）や標識設備（内照式標識、黄色点滅灯、視線誘導灯等）の設備点検に関するチェックシート、運用マニュアル（点検基準等)、過去の点検結果や機器仕様等の資料について、首都高速道路株式会社より提供を受けた。図 4-46 にその一例を示す。

照明・標識設備(道路照明設備)維持点検業務チェックデータシート

点検年月日　　年　　月　　日

件名	電気設備維持補修				
機器名称	ポール照明				
管理番号					
設置場所	高速　　号　　線　　方向				
点検区分					
天候		温度		湿度	

責任者	作業責任者

項目	点検内容	判断結果	点検種別 初期	点検種別 定期	備考
1. 照明柱					
Ⅰ	外観構造点検	結果			
1	接近目視と触診(たたき・ゆらし)等にて損傷状況を確認する。	良 否	○	○	
2	柱基部のﾘﾌﾞ溶接直上部にて磁粉探傷試験を行い、目視では確認できないｸﾗｯｸを確認する。	良 否			
3	段付部、柱開口部四隅及び蓋取り付け部を目視及び触診を実施する。	良 否	○	○	
4	ベースプレートの破損、変形、発錆、モルタルのひび割れ、欠損等及び取付金具類の損傷状況を目視及び触診にて確認する。	良 否			ベースプレートタイプのみ実施
Ⅱ	清掃	結果			
1	機能維持及び美観のため、管理番号銘板の清掃を行う。	済	－	○	
2. 照明灯具　※注記1:新型照明器具(高圧ﾅﾄﾘｳﾑ(NHT))の点検周期は、1/4Yとする。					
Ⅰ	外観構造点検	結果			
1	破損及び取付状態の確認。	良 否			
2	塗装のハクリ・錆の状態確認。	良 否	－	○	
3	損傷ランク判定基準による確認及び点検。	良 否			
Ⅱ	内部構造点検	結果			
1	蝶番・ラッチ錠の状態確認。	良 否			
2	パッキン等劣化部品の状態を確認する。	良 否			
3	反射板・ルーバの状態確認。	良 否	－	○	
4	配線及び端子台の状態確認。	良 否			
5	ソケット・グローブの状態確認。	良 否			
Ⅲ	清掃	結果			
1	光学的性能維持及び美観の為、灯具外面の清掃を行う。	済	－	○	
2	機能維持の為、灯具内面の清掃を行う。	済			
Ⅳ	管球交換	結果			
1	不点管球の交換を行う。	済	－	随時	
2	管球の一斉交換を行う。	済	－	※2	※2　設計図書による。
3. 安定器					
Ⅰ	外観構造点検	結果			
1	損傷ランク判定基準による確認及び点検。	良 否	－	○	
Ⅱ	内部構造点検	結果			
1	ビス・ボルト類の緩み等の状態確認。	良 否			
2	カバースイッチ・配線・端子台・安定器の脱落等の確認。	良 否	－	○	
Ⅲ	清掃	結果			
1	機能維持及び美観の為、ボックス内外部の清掃を行う。	済	－	○	

構造物点検　損傷ランク	要緊急対応	要対応	対応不要	異常なし	
	A1	B	C	D	
機能維持点検　損傷ランク	要緊急対応	要対応	対応不要	異常なし	
	A1	B	C	D	

特記事項・使用部品

図 4-46　ポール照明点検チェックシート

首都高電気メンテナンス株式会社は、首都高速道路全線にわたる電気通信設備の管理・維持修繕を担う会社である。管理設備は多岐にわたっているが、今回の実証区間のように高架道路上の設備としては、照明・標識設備の点検・補修業務が挙げられる。



出典：照明・標識設備の点検・補修｜首都高電気メンテホームページへようこそ（shutoko-denki.jp）
https://www.shutoko-denki.jp/service/works04.html

図 4-47　照明･標識設備の点検･補修

これらの設備のうち、図 4-48、図 4-49 に示すとおり、実証区間内に広く設置されているポール照明の点検が運用・効果検証の対象に適していると考えられる。また、以下の点で対応人員工数の削減効果が期待できるとの仮説を設定する。

- 照明柱の点検には、熟練の判断が必要と予想される磁粉探傷試験が含まれること。
- 全体の設置数が多く、1 本あたりの作業工数を削減できた場合の効果が大きいこと。

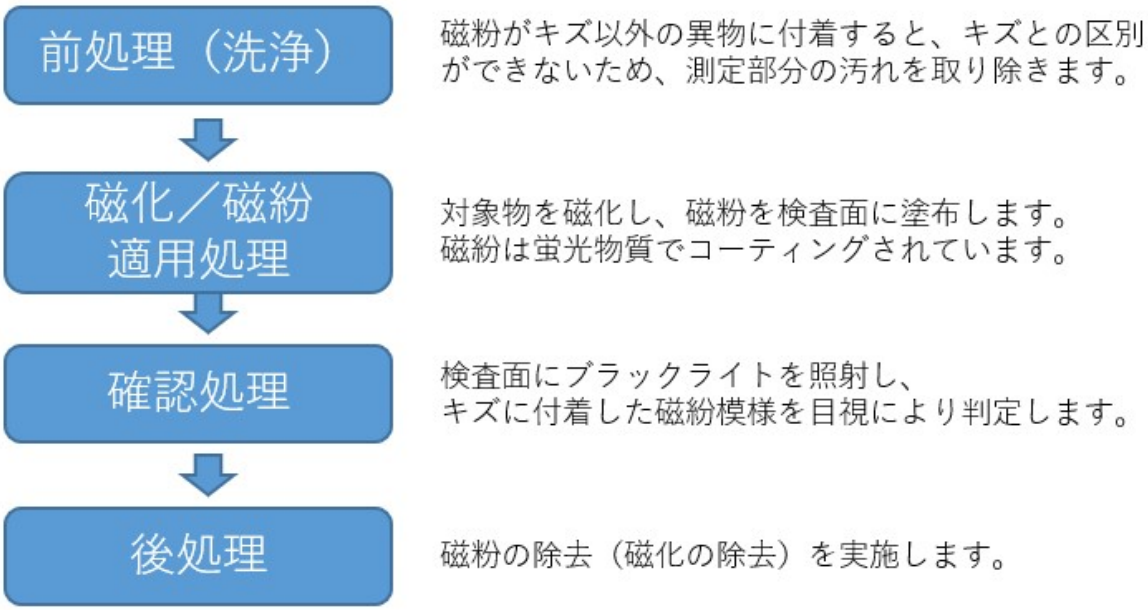


図 4-48　磁粉探傷試験の測定手順

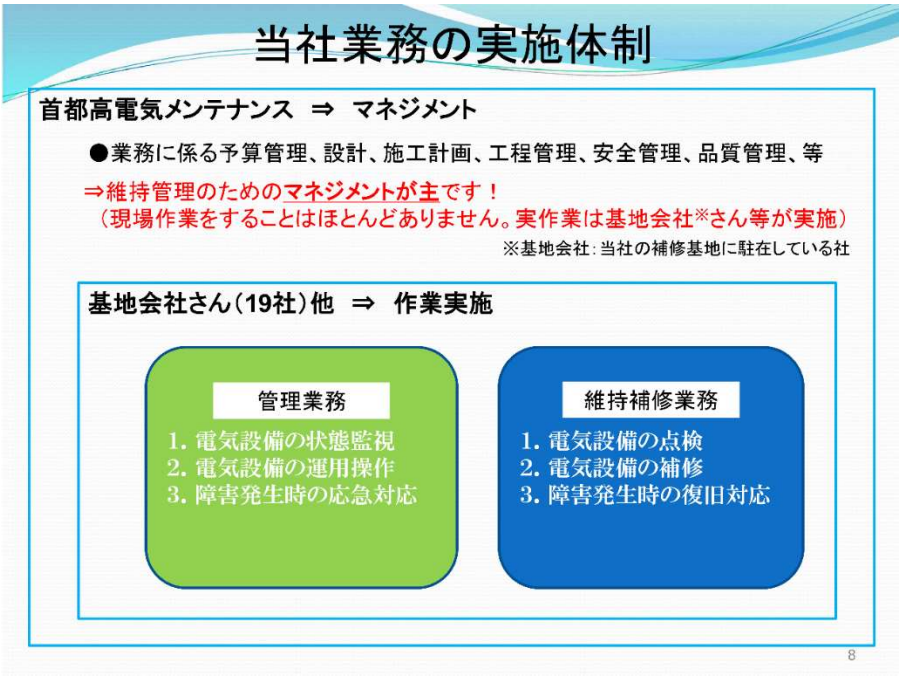
現状のポール照明点検における作業フローとその課題についての聞き取りを、実際に道路設備を点検、補修している首都高電気メンテナンス株式会社に対して実施する。また、今回提案しているローカル 5G 活用モデルの説明を行い、点検作業における共通課題についてのヒアリングも実施する。



スマートグラス表示イメージ　　点検チェックシート

図 4-49　スマートグラスシステムへのポール照明点検手順書実装イメージ

なお、首都高電気メンテナンス株式会社の補修・点検業務の内容を図 4-50 に示す。首都高電気メンテナンス株式会社の業務は、維持管理のためのマネジメントが主体であるので、現場の実作業を担当している協力会社にも合わせて聞き取りを行うこととする。



出典：2021 首都高電気メンテナンス株式会社 会社概要（マイナビ用）（shutoko-denki.jp）
https://www.shutoko-denki.jp/pdf/2021_denkimente.pdf から抜粋

図 4-50　首都高電気メンテナンス株式会社の業務内容



図 4-51　ポール照明設備

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援では、日常的に行っているポール照明の点検作業における点検の業務フロー（図 4-52）と、本実証システムを活用した場合での現場点検完了までの業務フロー（図 4-53）を比較し、対応人員工数が削減・短縮できるかを聞き取り調査によって確認する。

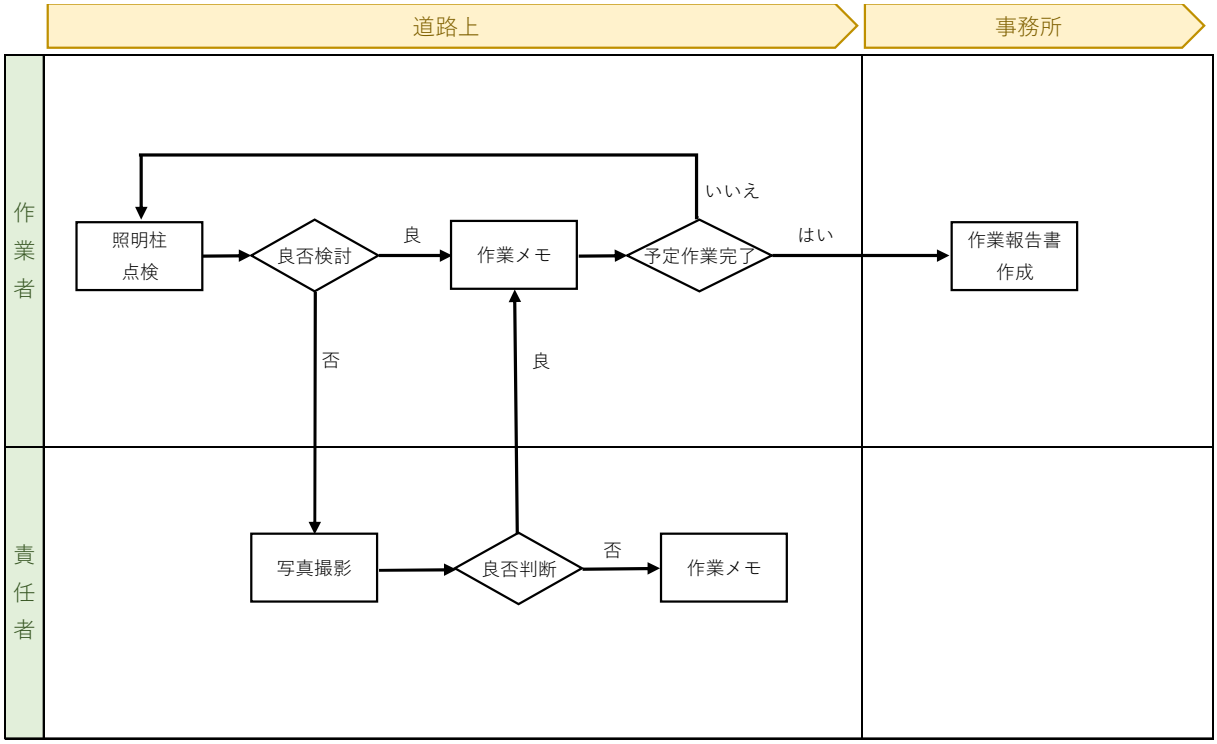


図 4-52　現状の点検業務フロー図

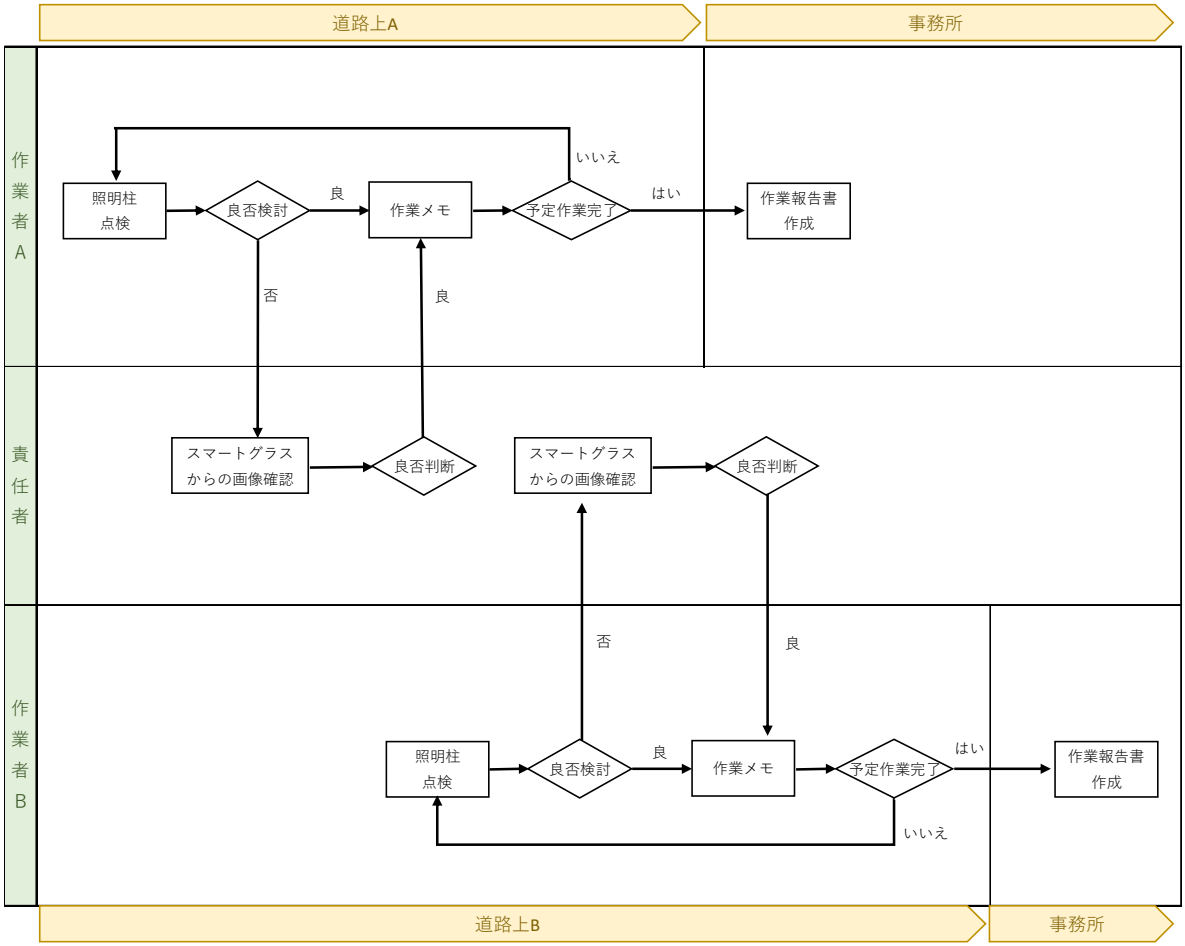


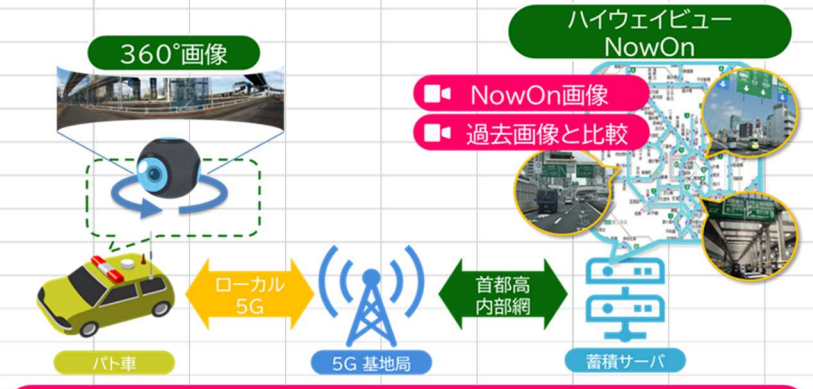
図 4-53 改善後の業務フロー図

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

360°カメラビューのリアルタイムの共有により、交通管制のオペレータや、現場応援者が、リモートでの現場状況把握を現状の音声での共有に対して、どの程度業務工数が削減されたのか、削減された工数（時間×人数）を検証する。また、現場を過去に遡り再発防止に繋げられる有用性を想定できたかを確認する。図 4-54 に示すアンケートにより検証を行う。

日本無線株式会社

首都高ハイウェイビューNowOn（360° カメラビュー）　アンケート



「リアルタイムに近い」首都高のストリートビューを構築する

全パト車に搭載した全天球カメラからの映像を蓄積、閲覧可能にする事で、数分～1時間以内に撮影したストリートビューを構築する。

1．職　種

□　交通管制オペレータ様　　，　　□　現場応援者様

2．運用検証

1)　360° カメラビューの共有により、交通管制様のオペレータや、現場応援者様が、リモートでの現場状況把握を現状の音声での共有に対して、どの程度業務工数が削減されそうでしょうか？

ご回答：　　[h]

2)　現場指示に対する判断材料として、有用性を想定できたでしょうか？

ご回答：　有 ／ 無 ／ 不明

3)　現場の状況を過去に遡り閲覧することが可能となっていますが、有用性を想定できましたでしょうか？

ご回答：　有 ／ 無 ／ 不明

4)　固定カメラと比較して、業務効率を何%程度、改善できそうでしょうか？

ご回答：　　[%]

5)　360° カメラビューのリアルタイム共有の運用に関しまして、ご意見ありましたらお願いします。

図 4-54　360°カメラビューの運用検証アンケート項目

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

ア） 同一測定条件下における測定データのバラつきの評価

区間①～④において、走行測定を複数回実施し、取得したデータを比較し測定データのバラつきを標準偏差にて検証する。標準偏差の基準としては、技術実証における可搬型測定機での値と比較し大きく差異が無いことを確認する。測定条件を表 4-32 に示す。

表 4-32 同一条件下での測定データのバラつきの評価 測定条件

測定日	測定速度	天候	測定回数
同一日時で実施する	60km/h	同一の天候で実施する	sub6 帯、ミリ波帯でそれぞれ 5 回以上

イ） 自動マッピングシステムによるデータ整理業務の効率化

走行測定にて取得したデータが、自動的に地図上にマッピングされているか確認する。図 4-55 に検証を行うシステムの構成を示す。

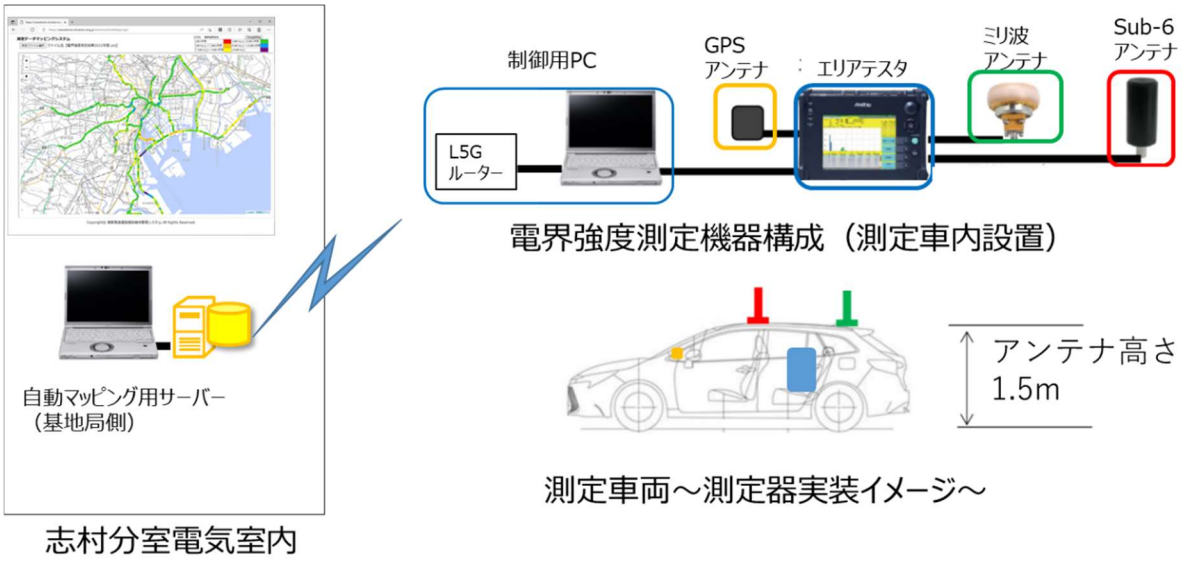


図 4-55 自動マッピングシステム構成図

3） 検証結果及び考察

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

ア） 検証結果（高精細画像・映像のリアルタイム共有）

高精細画像・映像のリアルタイム共有に関して、聞き取り調査の結果、以下のことが判明した。

① 状況認知の迅速性

巡回業務を実施している現場作業者は、事故・故障等による停止車両、回収が難しい落下物を発見した場合、交通管制室へ速やかに報告している。例えば災害時に道路上で計測した段差・目

開きの状態（幅・長さ・深さ等）を交通管制室のオペレータへ音声で伝達する際に、求められる精度は cm オーダーである。

現場作業者は、計測作業だけでなく事故車への対応等、様々な作業を行わなければならないので、画像処理等を活用した計測作業の支援ニーズも高い。

②　業務効率化の可能性

本ソリューションにより、従来の音声だけでなく映像記録として伝達することが可能になるので、関係機関への周知情報への展開や、現場作業者と交通管制室間の確認の手戻り作業が削減できる等、業務効率化が期待できる。

また、管制業務では、現場から収集された情報を的確に判断して、パトロールカーやバイク隊、特殊車両班等に無線で指示を行っている。例えば貨物積載車両の横転事故の場合は、転覆した車両を復旧させるためにまず積載貨物を運び出す作業が必要となるので、貨物量を適切に見積もる等の判断を行っている。

イ）検証結果（スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援）

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援に関して、聞き取り調査の結果、以下のことが判明した。聞き取り調査は首都高電気メンテナンス社員 2 名、実際の点検作業を行う協力会社 2 名に対して実施した。

①　ポール照明点検の業務工数削減の可能性

点検作業の一部である磁粉探傷試験においては、熟練作業員からの遠隔支援を要するとの予想に反し、ほとんど必要としていないことがわかった。

まず、ポール照明 1 本あたりの点検時間は現状 1 分未満であり、これ以上の工数削減が難しく、削減効果も少ない。さらに、現場点検員は社内外の講習等で試験の判断事例調査や試験技能向上に努めていること、また仮に判断に迷うことがあってもチームとして活動しているので、現場に同行している作業責任者の判断を仰ぐことができること等の理由から、業務上の支援ニーズは得られなかった。なお、現在は同行している作業責任者（熟練者）が遠隔から支援するという案については、現状の業務請負契約上、作業体制を変更することができないため、期待していた現場作業員＋遠隔地の熟練作業員という作業形態をとることはできない。

ただし、以下の作業についてはスマートグラスの利用が有効であるとの意見を聞き取ることができた。現在、現場に持参している点検チェックシート（紙）は、一般利用車が規制帯の傍を高速で通過する高速道路上では、安全管理上の理由から現場で記入することが難しく、作業後の事務作業にて取りまとめている。また、現場での良否判定に迷うような事例（安全にはただちに影響が無い程度の発錆等）についても高速道路上では写真撮影し、後から作業報告書にまとめている。

ウ）考察

高精細画像・映像のリアルタイム共有により、音声だけでなく映像情報が得られるので、現場の状況を正確かつ迅速に把握することができる等、業務効率化が期待できる。オペレータは、応援車両を手配する際に必要な貨物量を定量的に見積もるような支援機能により、業務効率化・判

断精度の向上が期待できる。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援により、両手が空いた状態で音声入力を用いて安全に作業ができることで作業効率化に繋がる。また、実施した作業時刻を正確に記録したり、撮影した写真に電子黒板機能を組合せて作業結果を定型的な報告書フォーマットへ変換したり、業務支援機能を追加することにより、労務管理だけでなく作業報告書の作成についても効率化が期待できる。

1 回あたりの作業報告書の作成には 1 時間を要しており、点検作業は最大で同時に 5 チームで行っているとのことであった。また、年間で延べ約 180 日間の点検作業を実施しているため、作業報告書の作成時間を 50%削減できた場合、

・ 0.5×1(h)×5（チーム）×180(回)=450 時間

の削減を年間で行うことができる。

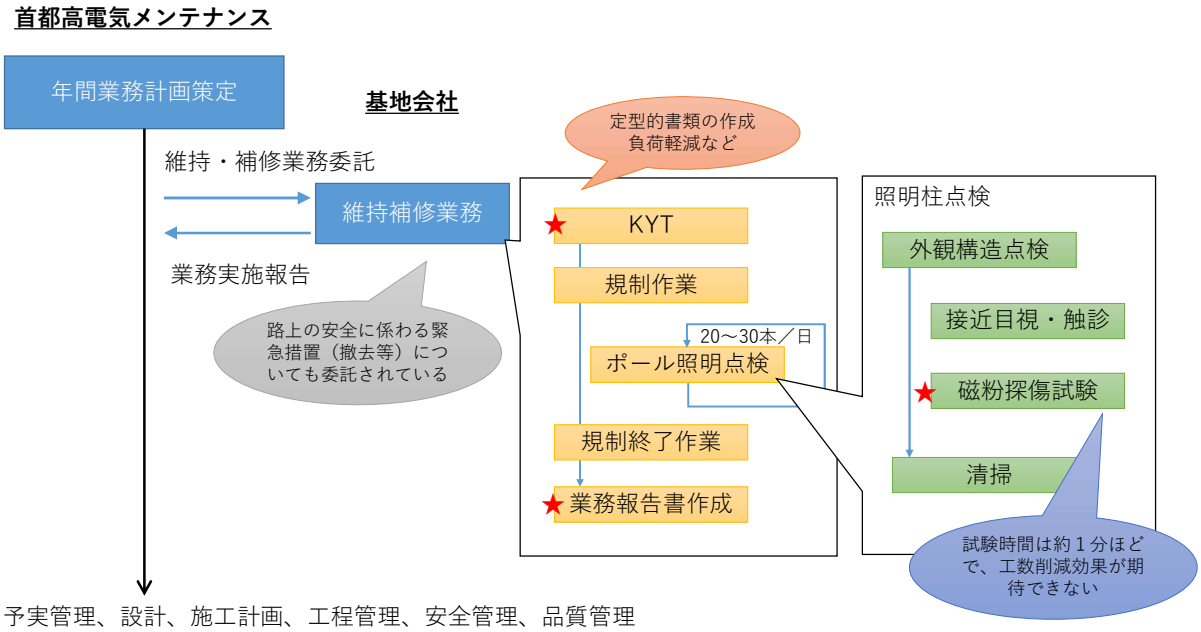


図 4-56 点検業務フロー

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360° カメラビュー）

ア） 検証結果

運用検証におけるアンケート結果を表 4-33、アンケートで得られたコメントを表 4-34 に示す。

表 4-33 360°カメラビュー 運用検証アンケート結果

アンケート実施日： 2023 年 2 月 15 日

場所： 首都高速道路株式会社 東京東局

対象人員： 5 名（交通管制員）

天候： 晴れ

管制員 No.	リアルタイム共有による削減工数[h]	現場指示に対する有用性の想定	過去記録映像の有用性	業務効率への影響度[%]
1	不明	(可)／否	(有)／無	不明
2	不明	(可)／否	(有)／無	50%
3	不明	可／(否)	(有)／無	30%
4	不明	可／否／(不明)	(有)／無	不明
5	0	(可)／否	(有)／無	20

表 4-34 360°カメラビュー 運用検証アンケートで得られたコメント

管制員 No.	コメント
1	削減工数や効率影響度の数値表示が難しい。
2	照明ポールの番号等、読み取れるくらいに画像が良くなると良い。
3	設置場所の問題がかなりあると思います。
4	コメントなし
5	車両に取る付けることで現場の負担感は少ない印象。常時更新されるストリートビューとしての利用は期待できる。

イ）考察

現場指示に対する有用性は 60%、過去映像の閲覧に関しては 100%の有用性を得られたことから、導入に対する有用性は非常に高いソリューションであることが確認できた。ただし、工数削減効果や業務効率改善率に関しては、あまり良い回答をうることができなかった。この辺りは、現状の業務との並走運用を行わなかったために、実感していただくことができなかったのではないかと推測される。

また、道路脇の照明ポール番号の読み取り等は実施できる想定であったが、実際には判別するのが難しい結果となった。要因としては、全天球画像では 4K 画質では解像度が不足していたか、カメラの調整不足であった可能性が考えられる。さらに、車両への設置（車内外）に対するハードルが非常に高いという課題があることが判明した。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

ア）同一測定条件下における測定データのバラつきの評価

表 4-35 に示す測定条件のもと、区間①～④における検証結果を図 4-57～図 4-60 に示す。各区間で複数回の測定を実施したが、標準偏差は概ね 5 以下を示しており、測定データの大きなバラつきは確認できなかった。

表 4-35 同一測定条件下における測定データのバラつき評価 測定条件

測定日	測定速度	天候	測定回数
2023/1/17	60km/h	晴れ	sub6 帯：14 回 ミリ波帯：7 回

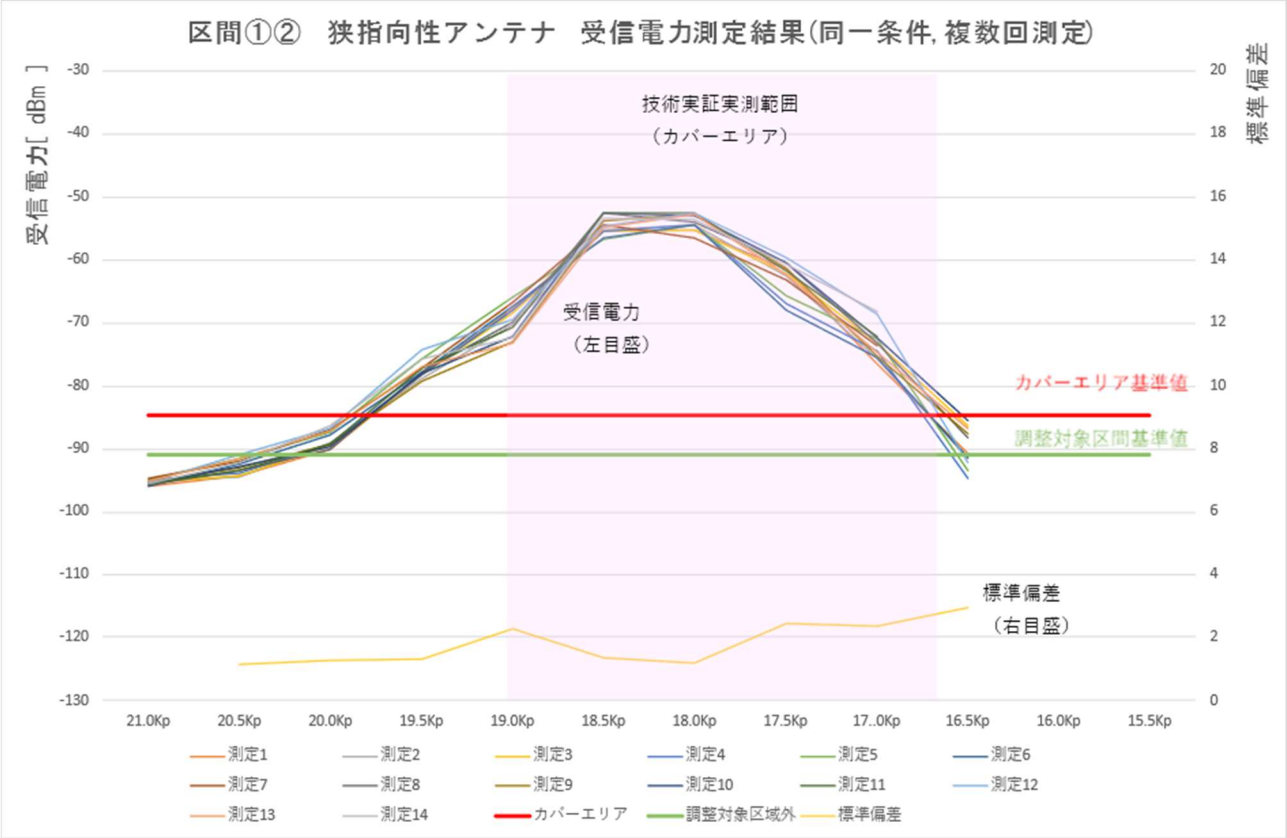


図 4-57 区間①② 測定データのバラつきの検証

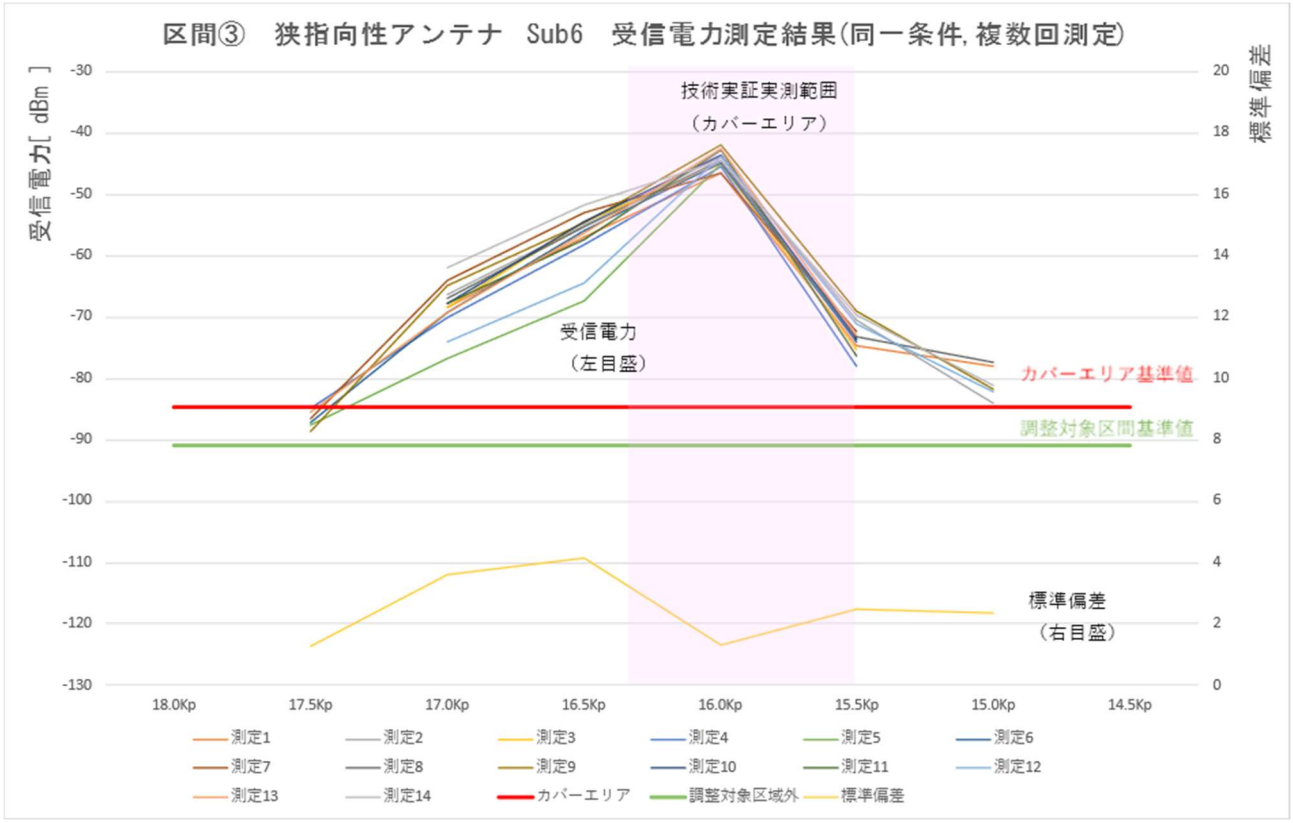


図 4-58　区間③(sub6 帯）測定データのバラつきの検証

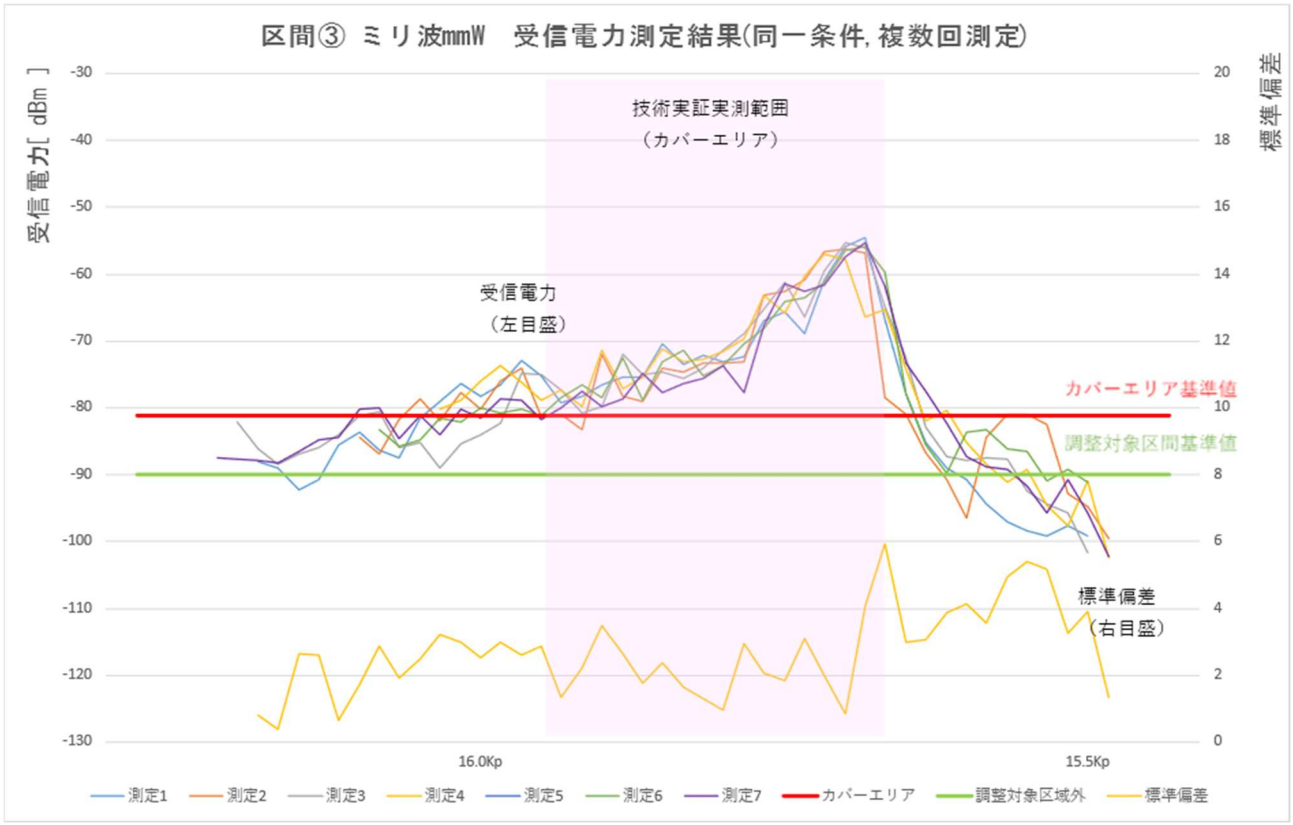


図 4-59　区間③(ミリ波帯）測定データのバラつきの検証

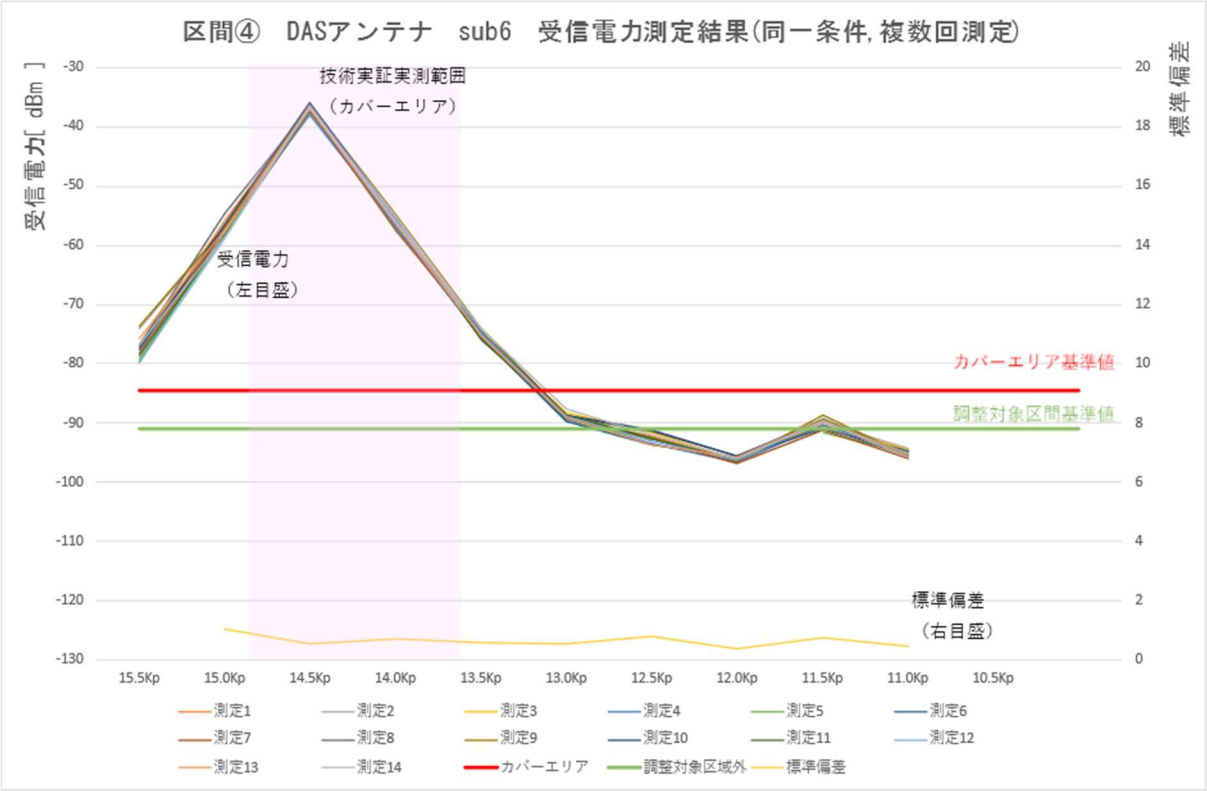


図 4-60　区間④　測定データのバラつきの検証

イ）自動マッピングシステムによるデータ整理業務の効率化

走行測定にて測定したデータを、自動的に地図上にマッピングできることを確認した。図 4-61～図 4-64 にマッピングした画面を示す。測定データが自動でマッピングされ受信電力値に応じて色分けされており、線状エリアの無線状況が可視化されていることを確認した。



図 4-61　区間①②　狭指向性アンテナ自動マッピング画面



図 4-62　区間③　狭指向性アンテナ（sub6）自動マッピング画面



図 4-63 ビームフォーミングアンテナ(ミリ波)自動マッピング画面

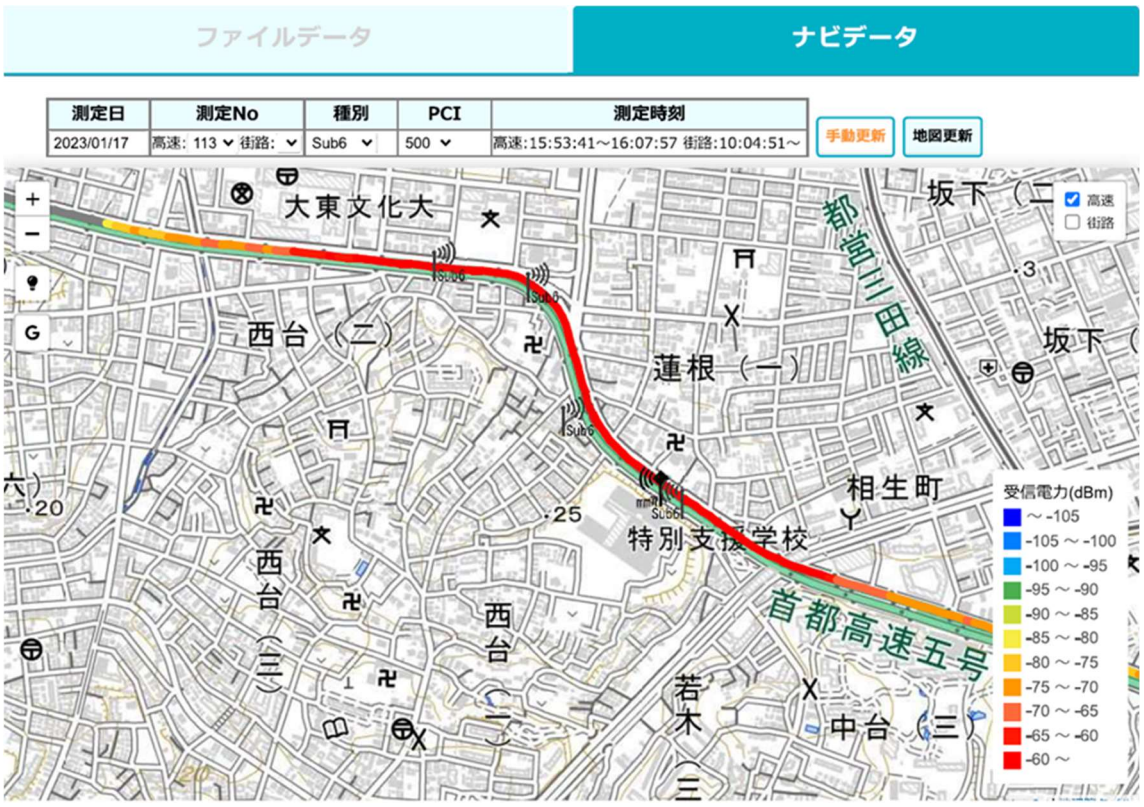


図 4-64　DAS アンテナ(sub6) 自動マッピング画面

（3） 効果検証

1） 検証項目

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有及びスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の効果検証として、実証システムを利用した関係者へのアンケートを実施する。検証項目と検証概要を表 4-36 に示す。

表 4-36 高精細画像･映像のリアルタイム共有とスマートグラスシステムの効果検証項目と検証概要

ソリューション	検証項目	検証概要
高精細画像･映像の リアルタイム共有 ＠首都高パトロール	端末の機動性	4K カメラ端末の携帯性、業務利用の可能性を検証する
	映像の視認性	4K カメラ映像（機能検証時の映像）の画質について、現場状況認知に有効か検証する
	システムの操作性	システムの実業務での操作性を検証する
	映像情報共有の有効性	映像情報を共有することによる、業務効率化の有効性を検証する
スマートグラスによる 遠隔地からの点検業務支援 ＠首都高電気メンテナンス	端末の装着性	現場作業者がスマートグラス端末を装着して、現場作業ができるかを検証する
	システムの操作性	システムの実業務での操作性を検証する
	リアルタイム性	遠隔でのコミュニケーションの円滑さを検証する
	遠隔支援の有効性	遠隔支援による業務効率化の有効性を検証する

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

交通管制室のオペレータや現場応援者が本実証システムを利用することによって、従来システムからの改善点満足度、問題点を検証する。検証項目を表 4-37 に示す。

表 4-37 360°カメラビュー効果検証の効果検証項目と検証概要

検証項目	検証概要
操作性	本ソリューションの操作性を検証することで、現場作業員や交通管制オペレータに適した操作性であるかを検証する
リアルタイム性	現場作業員や交通管制オペレータが求めているリアルタイム性が確保できているかを検証する
遠隔支援の有効性	交通管制オペレータが現場作業者を遠隔から支援する際に、本ソリューションがどの程度の有効性を有しているかを検証する
満足度や問題点等	本ソリューションの満足度や、さらなる改良に向けた問題点のピックアップ等を検証する

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

検証項目と検証概要について表 4-38 に示す。

表 4-38 5G WaveDoctor 効果検証内容

検証項目	検証概要
維持管理における 時間短縮効果	将来的に首都高速道路全線で 5G 無線環境が構築されることを想定し、5G WaveDoctor を用いた維持管理手法による時間短縮効果を検証する。可搬型測定機を用いた従来型の手法と比較し、総作業時間（測定時間＋データ整理時間）が 5 割程度削減できていることを確認する。

2） 検証方法

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有については、現場作業員、交通管制室オペレータ、現場応援者の各業務担当者の複数人員にて本実証システムの使用方法を説明し、実際の首都高速上で撮影した 4K 動画を視聴してもらうことにより実施する。映像の視認性・リアルタイム性・システム操作性・情報共有の有効性の各項目について、アンケートを行い、各項目の 4 段階評価での有効性を確認する。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援については、現場作業員、熟練点検員の各業務担当者の複数人員にて本実証システムを利用し、システムの操作性・リアルタイム性・遠隔支援の有効性の各項目について、アンケートを行い、各項目の 4 段階評価での有効性を確認する。検証は、首都高電気メンテナンス株式会社の葛西基地内の道路上にある実物と同じポール照明設備を使用して実施する。

また、高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援ともに必要な品質が確保されていることの検証を行うため、事前に解像度やフレームレート等について明示したうえで、交通管制室のオペレータや点検対応者にアンケートを行い、ローカル 5G で十分な品質の画像の確認が得られたか確認する。高精細画像・映像のリアルタイム共有については、解像度（4K（3840×2160））、フレームレート（30fps）、スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援については、解像度（Full-HD（1920×1080））、フレームレート（30fps）とする。

実施した高精細画像・映像のリアルタイム共有及びスマートグラスシステムのアンケート項目は、図 4-65 及び図 4-66 に示すとおりである。

高精細画像・映像のリアルタイム共有 アンケート

No.T001-20230203

ご記入日　：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

ご所属部署：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

お名前　　：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

以下の質問は、該当する番号を〇で囲んで回答してください。
補足・ご意見等がございましたらそれぞれ記入をお願いします。

1．　現場応援者として、**４Ｋカメラ端末を操作した方**は以下の質問にご回答ください。

従来の事故・災害時における、音声での情報共有と比較して、お答えください。

1－1. 現場の状況を伝達する手段として、4Kカメラ映像は有効な手段である。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

上記評価の理由

1－2. 段差・目開きなどの細かな状況を、より詳細かつ的確に伝えることが可能となった。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

上記評価の理由

1－3. ４ＫカメラとＬ５Ｇ無線機が一体型となっているので、機動性が高く持ち運びやすい。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

上記評価の理由

1－4. カメラアプリの起動・操作は、直観的で取り扱いが容易であった。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

上記評価の理由

応援要請を受ける場合（先に急行した現場作業員がいる場合）について、お答えください。

1－5. 出発前に事前に共有された現場映像を見ることで、装備・態勢の準備が効率化できる。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

上記評価の理由

1－6. 本システムについて、ご不明点、ご要望・改善点などがあればお願いいたします。

2．　管制センターのオペレータとして、**映像閲覧用PCを操作した方**は以下の質問にご回答ください。

交通管制業務や現場応援者の派遣などの管理業務の観点で、お答えください。

2－1．高精細カメラ（4K、30fps）の映像は、現場状況を把握するのに十分であった。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

2－2．複数のオペレータや関係機関などが同時に閲覧可能なので、意思決定が迅速化できる。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

上記評価の理由

2－3．現場応援者の派遣指示・情報共有に、サーバの記録映像が活用できる。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

上記評価の理由

2－4．応援者現着時にまで遡って映像を閲覧できるので、状況の時系列的な整理が容易である。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

上記評価の理由

2－5．サーバに記録された映像は、将来的には現場の安全管理などへの活用も期待できる。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

上記評価の理由

2－6．本システムについて、ご不明点、ご要望・改善点などがあればお願いいたします。

3．　**全ての方**が、以下の質問にご回答ください。

ご回答いただいた方の属性について、お答えください。

3－1．年齢（世代）について、回答ください。

1．２０代以下　　2．３０代　　3．４０代　　4．５０代以上

3－2．日頃、主に従事している業務を回答ください。

1．巡回業務　　2．取締業務　　3．管制業務　　4．その他

補足など

3－3．現在の業務経験年数について、回答ください。

1．５年以下　　2．６～１０年　　3．１１～１５年　　4．１６年以上

補足など

可能な範囲でご記入をお願いいたします。体験のご参加・アンケートへのご協力ありがとうございます。

図 4-65　高精細画像･映像のリアルタイム共有のアンケート項目

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援 アンケート

No.T002-20230203

ご記入日　：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

ご所属部署：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

お名前　　：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

以下の質問は、該当する番号を〇で囲んで回答してください。
補足・ご意見等がございましたらそれぞれ記入をお願いします。

1．　現場作業者として、**スマートグラスを操作した方**は以下の質問にご回答ください。

従来の紙やペンを用いた点検チェック表と比較して、お答えください。

1－1. スマートグラスや無線機を装着して、点検業務は支障なく作業できた。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

1－2. 端末ボタンや音声コマンドを使用して、画面操作は快適に行えた。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

1－3. 端末ボタンや音声コマンドを使用して、点検結果の入力ができた。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

1－4. 点検項目の指示内容（合成音声）や、遠隔支援者との会話は、問題なく聞き取れた。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

1－5. 遠隔支援者による作業支援の仕組みは、点検時の判断に迷うことなく、作業品質向上に役立つ。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

1－6. 将来的に点検結果の登録が自動化されれば、作業報告書等の作成負荷が軽減する。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

1－7. 本システムについて、ご不明点、ご要望・改善点などがあればお願いいたします。

2．　遠隔作業支援者として、**支援者用PCを操作した方**は以下の質問にご回答ください。

現場の業務管理や技術者の指導・育成の観点で、お答えください。

2－1．作業者カメラ（FullHD相当、30fps）の映像は、状況を把握するのに十分であった。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

2－2．周囲の騒音に係わらず、作業者に指示や確認を行うことができた。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

2－3．操作画面は直観的で、複数の現場作業者の支援に対応できる。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

2－4．将来的に現場の点検結果が即時反映されれば、保全計画の立案・更新に活用できる。

1．満足　　2．やや満足　　3．やや不満　　4．不満

理由・補足など

2－5．本システムについて、ご不明点、ご要望・改善点などがあればお願いいたします。

3．　**全ての方**が、以下の質問にご回答ください。

ご回答いただいた方の属性について、お答えください。

3－1．年齢（世代）について、回答ください。

1．２０代以下　　2．３０代　　3．４０代　　4．５０代以上

3－2．日頃、主に従事している業務を回答ください。

1．点検業務　　2．育成・指導業務　　3．管理業務　　4．その他

補足など

3－3．現在の業務経験年数について、回答ください。

1．５年以下　　2．１０年以下　　3．１５年以下　　4．その他

補足など

可能な範囲でご記入をお願いいたします。体験のご参加・アンケートへのご協力ありがとうございます。

図 4-66　スマートグラスシステムのアンケート項目



図 4-67　ポール照明柱下部の点検作業風景 1（写真は一部加工）



図 4-68　ポール照明柱下部の点検作業風景 2（写真は一部加工）



図 4-69　ポール照明柱下部の点検作業風景 3



図 4-70　遠隔作業支援の作業（写真は一部加工）

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

現場作業員、交通管制室オペレータ、等の各業務担当者の複数人員にて本実証システムを利用し、システムの操作性・リアルタイム性・遠隔支援、事後処理や再発防止の有効性の各項目について、アンケートを行い、各項目の 4 段階評価での有効性を確認する。

図 4-71 に示すアンケートを実施した。

3．効果検証		
	現場作業員様、交通管制室オペレータ様が本実証システムを利用し、システムの操作性・リアルタイム性・遠隔支援、事後処理や再発防止の有効性についてご意見をお願いします。	
1)	システムの操作性について評価をお願いします。	
		高　　低
	ご回答：	4，3，2，1
2)	システムのリアルタイム性について評価をお願いします。	
		高　　低
	ご回答：	4，3，2，1
3)	遠隔支援、事後処理や再発防止の有効性について、評価をお願いします。	
		高　　低
	ご回答：	4，3，2，1
4)	360° カメラビューの満足度や改良が必要な部分等ありましたら記入をお願いします。	
4)	その他、ご意見等ありましたらお願いします。	
	ご協力ありがとうございました。	

図 4-71　360°カメラビューの効果検証アンケート項目

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

従来型の可搬型測定機による定点測定と、5G WaveDoctor によるスクリーニング測定の作業時間の比較検証を行う。作業時間としては約 5 割程度削減されていることを確認する。また、自動マッピングシステムにより作業が効率化されることを確認する。

比較の方法としては、将来的に首都高速道路全線でローカル 5G 網が整備された場合を想定し、首都高速道路全線の維持管理業務を行った際に要する作業時間を算出し、従来型の可搬型測定機を用いた場合の測定・データ整理作業と比較し効果を検証する。検証内容は、表 4-39 に示すとおりとする。作業時間の削減率としてはトータル（測定及びデータ整理にかかる時間）で約 5 割程度削減されていることを確認する。

表 4-39 5G WaveDoctor 効果検証内容

	測定間隔	測定日数 （首都高速全線の測定距離: 327km×2(上下線) =654km）	データ整理時間	総作業時間
定点測定 （可搬型測定機）	首都高速上を 300m ごとに詳細測定	測定所要時間を 5min/1 ポイントと想定し、全線測定にかかる日数を算出 なお、車線規制内での作業時間を 4h/日として算出	データ整理し結果を地図上へ反映するまでの時間（0.5h/測定日毎）	測定日数（全線 1 回）＋データ整理時間の総時間
5G WaveDoctor ソリューション	60km/h にて走行測定した際の限界測定周期を検証	測定可能距離を 100km/1 日とし、さらにデータの信頼性確保のため、全線を 2 回測定した場合の時間を算出	測定データを高速上から自動マッピングサーバへ送信し自動でマッピングできているか検証（データ整理時間ゼロの検証）	測定日数（全線 2 回走行測定）の時間

3） 検証結果及び考察

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

ア）検証結果（高精細画像・映像のリアルタイム共有）

高精細画像・映像のリアルタイム共有について、図 4-65 のアンケートを現場作業員と交通管制室のオペレータの各業務担当者に対してそれぞれ実施した。アンケート被験者の概要は以下のとおりであった。

- 現場作業員に対するアンケート
  - 実施日時：2023 年 2 月 14 日（火） 9:30～11:30
  - 実施場所：首都高パトロール株式会社　東東京事業本部　志村交通管理部
  - 被験者数：5 名
    - 年齢：30 代 3 名、50 代 1 名、未回答 1 名
    - 従事する業務：巡回業務 4 名、未回答 1 名
    - 業務経験：5 年以下 1 名、6～10 年 2 名、16 年以上 1 名、未回答 1 名
- 交通管制室のオペレータに対するアンケート
  - 実施日時：2023 年 2 月 15 日（水） 9:30～11:00

- 実施場所：首都高パトロール株式会社　東東京事業本部　箱崎交通管制部
- 被験者数：5 名
  - 年齢：30 代 1 名、40 代 1 名、50 代 3 名
  - 従事する業務：管制業務 5 名
  - 業務経験：11～15 年 1 名、16 年以上 4 名

アンケート調査の結果、以下のことが判明した。

①　端末の機動性

4K カメラ端末の機動性については、「やや不満」が優勢となった。

現場作業を行うにあたり、装備のサイズや重量に対しては否定的なコメントが多く寄せられた。

②　映像の視認性

図 4-72 に示す 4K カメラによる高精細映像を視聴した結果、映像品質に関しては現場作業者／交通管制室のオペレータとも概ね「やや満足」という結果となった。

一部の意見では、パトロールカーの既存機能の拡張・連携の必要性や、現場作業員の判断の重要性のコメントをいただいた。実際の業務遂行においては、映像情報のみに依存することへの懸念があると考える。



図 4-72　機能検証で採取した 4K カメラ映像による道路状況

③　システムの操作性

4K カメラ端末の操作性については、「やや満足」となった。

一般的なスマートフォンの操作に慣れている方には特に問題ないようであったが、既存のコンシューマ向けアプリケーションの操作性に比べると多少使いづらい、というコメントも見られた。

④　映像情報共有の有効性

大容量映像伝送サーバによる情報共有については、「満足」「やや満足」の回答が得られた。判断や意思決定の根拠として、高精細映像の情報量の多さを評価していただいた。

一方、大容量映像伝送サーバに蓄積された過去映像の活用については、「満足」～「やや不満」に分かれる結果となった。時系列的な情報が見逃し等のリスクを補う効果が期待できるものの、実際の運用においては特に必要とされていない、というコメントが得られた。

イ）検証結果（スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援）

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援について、図 4-66 のアンケートを点検・補修業務の業務担当者に対してそれぞれ実施した。アンケート被験者の概要は以下のとおりであった。

- 点検・補修業務従事者に対するアンケート
  - 実施日時：2023 年 2 月 8 日（水） 10:00～12:30
  - 実施場所：首都高電気メンテナンス株式会社　東東京事業本部　葛西補修基地
  - 被験者数：4 名
    - 年齢：30 代 1 名、40 代 2 名、50 代 1 名
    - 従事する業務：点検業務 3 名、管理業務 1 名
    - 業務経験：11～15 年 2 名、16 年以上 2 名

アンケート調査の結果、以下のことが判明した。

①　端末の装着性

道路側のスマートグラスを装着する作業者側からはスマートグラスの装着性は概ね不満という結果となった。

実作業に当たっては 5G ルータとスマートグラス端末とスマートグラスを身に着け（図 4-69）、これらを有線で接続するため、機器やケーブルが作業の邪魔となる。これについては、5G ネットワークに対応したスマートグラス端末の採用や機器をワイヤレスで接続する製品を採用することで解決が可能と考える。

②　システムの操作性

道路側のスマートグラスを装着する作業者側からはスマートグラスの操作性、チェックシートへの音声入力実行は概ね不満という結果となった。

実証デモにおいて、音声入力が成功しないことがあったが、音声による操作に関しては慣れが必要であり、訓練を行うことで改善すると考える。また、体感ではあるが、機能検証試験を実施した首都高速道路上（60～90dB）より、本検証を行った補修基地の方が頭上に何本も高架道路があり、騒音レベルが高かったことも関係していると考える。

③　リアルタイム性

遠隔支援者との会話は満足、不満の回答が分かれる結果となった。これは機能検証の結果と相違するが、本検証を行った補修基地ではローカル 5G 環境を構築できず、Wi-Fi 環境で実施したため、十分な回線品質を確保することができず、時折音声が途切れ途切れになる結果となったことが原因と考える。

なお、管理室側で映像を確認する作業者側からは、映像と音声の品質については全員から満足という結果が得られた。

④　遠隔支援の有効性

スマートグラスシステムは作業品質向上に役立つ、また点検結果の自動登録がされれば、点検後の事務作業の負荷が軽減するという項目は概ね満足という結果が得られた。今後スマートグラスシステムを本作業向けにカスタムすることで業務効率化が可能になることについては同意が得られる結果となった。

ウ）考察

高精細画像・映像のリアルタイム共有について、4K カメラ端末のサイズや重量への不満はあるものの、情報の共有や状況判断に有効であるという結果が得られた。交通管制室のオペレータにもリアルタイムに情報共有ができるため、事故処理や落下物の回収といった特殊車両の出動要請の判断に有効である。また応援要請を受けた現場作業者が事前に映像を確認し、現場出動前に的確な装備品を準備できるといった効果も期待できる。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援について、端末の装着性や操作性について不満があるものの、情報共有のリアルタイム性や遠隔作業支援の有効性については好意的な評価が得られた。また、現在は事故発生時の緊急対応において、現場の様子が正確にわからず、現場に行く人数、点検対象を把握するのに苦労しているという課題があり、スマートグラスシステムを用いた映像と音声による双方向の情報共有が有効であるという意見が得られた。今後、具体的なシステム化に向けて協議を行う予定である。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

ア）検証結果

効果検証アンケート結果を表 4-40、アンケートで得られたコメントを表 4-41 及び表 4-42 に示す。

表 4-40　360°カメラビュー　効果検証アンケート結果

アンケート実施日：　2023 年 2 月 15 日
場所：　首都高速道路株式会社　東京東局
対象人員：　5 名（交通管制員）
天候：　晴れ

管制員 No.	システムの操作性	リアルタイム性	有用性	備考
1	4, (3), 2, 1	(4), 3, 2, 1	(4), 3, 2, 1	
2	(4), 3, 2, 1	(4), 3, 2, 1	(4), 3, 2, 1	
3	4, (3), 2, 1	4, (3), 2, 1	4, (3), 2, 1	
4	4, (3), 2, 1	4, 3, (2), 1	4, 3, (2), 1	
5	(4), 3, 2, 1	4, (3), 2, 1	4, 3, (2), 1	

表 4-41 360°カメラビュー 効果検証アンケートのコメント(満足度や改良点)

管制員 No.	コメント(満足度や改良点)
1	ズームしたときに数値や施設が、もう少しはっきり見えると扱いやすい。
2	場所によって画像の乱れがあるので改善できればお願いしたい。
3	大きさ(サイズの縮小化)が必要。
4	解像度を上げてほしい。
5	解像度がやや不足している印象。エラー(画像破損)が多いかも。

表 4-42 360°カメラビュー 効果検証アンケートのコメント(その他の意見)

管制員 No.	コメント(その他の意見)
1	管制室内にこのシステムを置くとしたらどこに置くのか、それにより扱いやすさが変わる。
2	アンテナの小型化、カメラの小型化を検討願いたい。
3	コメントなし
4	コメントなし
3	車載する際の課題が多いかも知れません。

イ) 考察

本ソリューションの操作性は満足できる結果をうることができた。また、リアルタイム性や遠隔支援等への有用性に関しては、4 段階中の 2 点の回答もあった。この辺りは、現状の業務との並走運用を行わなかったために、実感していただくことができなかったのではないかと推測される。また、運用時に関して必要となる照明ポール番号や車両ナンバーの把握のためも、解像度を上げてほしいという要望があった。また、画像の乱れ(破損)が発生していたことから改善してほしいという要望も出ていた。これは今回の課題実証では無線区間で映像の UDP 伝送を行っていたためのパケットロスに起因しているものであるため、今後、伝送方式の改良を行う必要があるという結果となった。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

本ソリューションが従来型の測定と比較して、効率化されていることを表 4-43 に示す。

表 4-43 5G WaveDoctor 効果検証結果

	測定間隔	測定日数 （首都高速全線の測定距離: 327km×2(上下線) =654km）	データ整理時間	総作業時間
定点測定 （可搬型測定機）	300m 毎 全線で 2,180 ポイント測定	90.83 日/全線（※1）	5.68 日/全線 0.5h/測定日数	96.51 日
5G WaveDoctor ソリューション	0.64m 毎(※2) SS 周期:40ms にて 60km/h 換算 468 サンプル/300m	13.08 日(※3) 全線走行測定(6.54 日)×2 回	0 高速道路上からマッピングサーバへの測定データ伝送による自動マッピング	13.08 日
削減率	―	―	―	86.5%

※1 高速上での測定は車線規制内での作業になるため実作業時間を 4h/日を想定。

※2 (1)機能検証、(2)運用検証を通じて 60km/h の走行測定においてデータ欠損なく測定が可能であることを確認したため、測定機能力の限界値の SS 周期にて測定が可能である。

※3 5G WaveDoctor による走行測定可能距離を 100km/日と想定し算出。

総作業時間は、従来型の測定機を用いた測定と比較し、本ソリューションを活用した維持点検手法により約 86%の作業時間の削減が可能であることを確認した。

（4） ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像伝送について、機能検証により上り方向のスループットが 25Mbps 以上という結果であり、4K カメラによる高精細映像の配信を行うために必要となる数値が確保されていることが確認できた。

運用検証では、首都高パトロール様に巡回業務や管制業務について聞き取り調査を実施した。現在の業務では、交通管制室とのやり取りは、専用無線による音声で実施している。高精細画像・映像を、リアルタイムに共有できることで、交通管制室のオペレータは、特殊車両の手配内容や応援要請車両の数、応援要請を受けた現場作業員は、必要な装備を準備して現場へ向かうことができるという業務の効率化を実現することができる。

効果検証では、4K カメラによる高精細映像の画質評価について高い評価が得られた。情報共有や状況判断が迅速かつ正確に実施できるため、交通管制室のオペレータは、特殊車両の出動有無の判断が可能となり、また応援要請を受けた現場作業者は現場へ的確な装備品を準備して現場へ向かうことができる。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援について、ローカル 5G を使い首都高速道路上と志村分室間で伝送遅延時間が違和感なく会話できる許容遅延（約 300ms）内に収まっていることを機能検証にて確認した。また、実際にスマートグラスシステムを使用し映像及び音声通話に問題ないことを確認した。

スマートグラスシステムの利用により、首都高速の電気設備の点検作業者が現状の共同チーム構成での現場点検の実施に対して、ポール照明の点検作業をモチーフとしてどの程度業務の効率化が可能か運用検証を行った。結果として、現行の点検作業の効率化は難しいことがわかったが、スマートグラスシステムのハンズフリーという特徴を活かし、作業報告書の自動登録のような業務支援機能を整備することで、業務の効率化に貢献できることがわかった。

実際にスマートグラスシステムを使用する効果検証を行った結果、基本機能である映像と音声の品質については今のままで十分という評価が得られた。また将来、点検結果の自動登録機能が実装されれば、業務負荷が軽減するはずという結果が得られた。緊急時におけるスマートグラスシステムの使用等の有効活用方法についても検討していく。

以上より、高精細画像・映像のリアルタイム共有、及びスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の有効性が確認できた。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

本ソリューションは有用であり、高速道路上の状況を 360°カメラビューでほぼリアルタイムに監視できる有用性は高かったと判断されるが、首都高全域に展開し実運用を開始するためには、以下のような課題があることが判明した。

ア）解像度不足

照明ポール番号等、日常の交通管理や点検業務でも必要となる情報をうるためには、もう少し解像度を上げる必要がある。

イ）実車両への取付方法の検討

実際のパトロール車へのカメラや機材の取付に関して、パトロール車の既設機器の取り付け状況や設置可能なスペースから、取付方法の検討が必要である。

ウ）取得画像の破損対策

無線機の設置場所、特性、走行時の他車との位置関係から、安定した無線通信を行うのが困難な場合が発生する。これにより、画像の破損や欠測が発生していたため、安定して画像を取得するためのソリューション側の対策が必要である。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

本ソリューションの検証目標は、各検証を通して、

・　スクリーニング測定として十分に機能する精度を確保できていること

・　測定結果のバラつきの程度を分析し実運用に向けた運用性を確認すること
・　維持管理業務全体が効率化され作業時間が削減されていること
を確認することであった。以下にそれぞれの検証結果の考察を示す。

ア）スクリーニング測定として十分に機能する精度を確保できていること

技術実証の可搬型測定機にて確認した高速上のカバーエリア測定点において、走行測定においてもカバーエリアレベルの受信電力が取得可能であるか確認した。より精度の高い検証を行うため、本実証事業の区間①～④全てにおいて、技術実証での本線カバーエリアの測定と同日同時間帯にて走行測定を行い、可能な限り測定条件を合わせて測定を行った。

結果としては、高速上のカバーエリアレベルの確認としては全区間、全ポイントにおいて走行測定でもカバーエリアレベルの測定値を計測できていることを確認した。特に、区間③においては sub6 と合わせてミリ波の測定も行ったが、ミリ波においても走行測定でカバーエリアレベルの受信電力値が取得できた。

イ）測定誤差の程度を分析し実運用に向けた運用性を確認すること

同一条件下での測定値のバラつきについて検証を行った。本ソリューションの実運用を視野に入れた場合、その他の測定業務と並行して運用していく形が想定される。従って、あまりにも誤差が大きい場合、信頼性のあるデータを取得するまでに複数回の測定が必要となり、その他の測定業務との並行運用が難しくなり、導入が難しくなる。そこで同一条件下で複数の測定を行い誤差の程度を評価した。

結果としては、各区間①～④全てにおいてバラつきを示す標準偏差が概ね 5 以下となっており、走行測定にて取得したデータの信頼性は、スクリーニング測定としては機能する水準を満足していると評価している。また、さらに運用性を向上させるため、取得したデータの自動マッピングシステムを開発し、地図上にデータが自動でマッピング可能であったことを確認した。このマッピングシステムによりデータ整理時間の削減と電波環境の可視化が可能になった。

ウ）維持管理業務全体が効率化され作業時間が削減されていること

首都高速道路全線における維持管理を想定し、5G WaveDoctor システムを活用した維持管理手法により、どの程度作業時間の削減が可能であるか検証した。本ソリューションの測定精度は高い水準にあると評価しているが、より精度の高いデータ取得を行うため全線を 2 回測定することを前提として作業時間の削減率を比較検証した。

結果としては、総作業時間は従来型の測定機を用いた測定と比較し、本ソリューションを活用した維持点検手法により約 86%の作業時間の削減が可能であることを実証した。以上の検証により本ソリューションの高い有効性が実証することができた。

4.3.2　ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証

（1） 経済性・市場性の検証

ローカル 5G 活用モデルの実装にあたり、経済性・市場性については以下の項目を評価、検証する。

- 導入費用
- 運用費用
- 費用低減策
- 費用対便益
- 横展開性

なお、本実証を通じて明らかになった首都高速道路内でローカル 5G を実装する際の課題については 4.3.4（1）実装・普及シナリオ 1）首都高速道路内のローカル 5G 環境の実装計画にて後述する。

1） 検証項目

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

ア）導入費用

ユーザにてローカル 5G 活用モデルの実装を検討するにあたり、導入可否の判断や予算化を行うために導入費用が必要である。そのため、本実証での導入システムを全路線へ導入した場合の導入費用を試算することを検証する。

イ）運用費用

上記の導入費用と同様の理由で運用に係る費用を把握する必要があるため、システムを導入した際の運用費用を試算することを検証する。

ウ）費用低減策

導入費用や運用費用を試算する必要性について記載したが、実装に向けてさらなる導入費用と運用費用の低減が可能であれば導入可能性も上がると考え、最適なシステム構成、導入形態、運用スキームの対策を検証する。

エ）費用対便益

導入費用や運用費用を算出するだけでなく、導入判断をするためにはそれらに見合った費用対便益があると示す必要があることから、本ローカル 5G 活用モデルを導入することによる業務効率化、省人化、付加価値向上等の利用者の便益を試算することを検証する。

オ）横展開性

本ローカル 5G 活用モデルが首都高速だけでなく他事業者や管理者へも展開できるかを検証するために、首都高速と同様の導入効果が得られるかを確認する必要がある。本実証のアドバイザーである国土交通省、東急電鉄株式会社の知見をもとに一般道路管理、河川管理、鉄道事業等への展開が可能か評価・検証する。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

a.高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援と同様の項目を評価、検証する。本ソリューションの導入からランニングコストに必要となる費用を算出し、それら対価に対する費用低減策や費用対便益を検討・試算することで経済性を検証する。また、市場性を検証するためには、道路事業だけでなく、日本無線が得意としている自治体管理の一般道路や河川管理等への展開について評価・検証を行う必要がある。これら経済性や市場性の検証を行ううえで、今回の首都高速向けのソリューションを評価・検証する。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

以下の項目を評価、検証する。本実証事業にて構築した 5G WaveDoctor のシステム構成にてスクリーニング測定が可能であることが実証できたため、基本的には本実証事業の構成をベースに導入費用、運用費用については検証し、経済性・市場性を評価する。また実装に際してはさらなる費用低減や業務効率化を検討する必要性がある。また将来的な横展開性についても評価検証することで確実な実装に繋げていく。

ア）導入費用

本実証での結果を踏まえ、首都高速全線での展開を想定した費用を検証する。

イ）運用費用

首都高速全線測定を行う際の運用費用を検証する。

ウ）費用低減策

最適なシステム構成、導入形態、運用スキームの対策を検討する。

エ）費用対便益

費用低減策を講じたうえで、運用費用の大幅な低減が可能であることを検証する。参考に可搬型での首都高速全線測定をした場合との比較を行い、導入の有用性を示す。

オ）横展開性

本実証のアドバイザーである国土交通省、東急電鉄株式会社の知見をもとに一般道路管理、河川管理、鉄道事業等への展開について評価・検証する。

2） 検証方法

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

ア）導入費用

本実証では最小構成での導入を行うが、その実用性、運用性をもとに首都高速全線へ導入した場合のシステム構成を検討し、導入費用を試算する。各機器の導入費用は本実証で手配した費用を参考とし、首都高速全線に導入することを想定し、首都高速で運用するパトロールカー236台全てに搭載する前提として必要な費用を試算する。

イ）運用費用

全線へ導入した際のシステム保守費用、設備維持に関する費用、運用経費等を試算する。

ウ）費用低減策

設置場所、設置環境、運用形態等を考慮して、最適なシステム構成を導出する。また、システム導入形態（オンプレミス、クラウド）による比較を行う。さらに、効率的な運用スキーム（外部委託、他事業者とのシステム共用化等）を検討する。

エ）費用対便益

4.3.1 に示す検証結果をもとに全線に導入した場合の業務効率化、省人化による費用削減効果の定量化を行う。災害時、事故発生時の早期復旧作業への寄与、それら作業における安全性向上、付加価値向上等の利用者の便益を試算する。それら便益の導入、運用費用に対しての有効性を検証する。

オ）横展開性

本実証モデルでの検証結果を国土交通省、東急電鉄株式会社に共有し、一般道路、河川、鉄道等の線状エリアへのローカル 5G 導入可能性、本ローカル 5G 活用ソリューション適用の可能性について意見照会をし、一般道路管理、河川管理、鉄道事業へ展開した際のシステム要件の検討、市場規模を評価、検証する。

また、本ローカル 5G 活用ソリューションは、現場管理、設備点検業務の発生する業態での課題解決にも貢献できることが想定されるため、工場、プラント等への展開についても評価、検証する。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

ア）導入費用

本実証では最小構成での導入を行うが、その実用性、運用性をもとに首都高速全線へ導入した場合のシステム構成を検討する。表 4-44 に示す条件で算出を行う。

表 4-44 首都高ハイウェイビューNowON 導入費用の算出条件

項目	条件
監視局数	首都高速全線をカバーするため、監視局を 3 か所（東京東局、東京西局、神奈川局）に分散して設置するものとする。
車載局数	236 台の全てのパトロール車に実装するものとする。
保守内容	設置後の保守業務内容は、監視局、車載局の動作確認作業までとし、故障対応等は含まないものとする。

イ）運用費用

全線へ導入した際のシステム保守費用、設備維持に関する費用、運用経費等を検討する。

ウ）費用低減策

設置場所、設置環境、運用形態等を考慮して、最適なシステム構成を導出する。また、システム導入形態（オンプレミス、クラウド）による比較を行う。さらに、効率的な運用スキーム（外部委託、他事業者とのシステム共用化等）を検討する。

エ）費用対便益

4.3.1 に示す検証結果をもとに全線に導入した場合の業務効率化、省人化による費用削減効果の定量化を行う。災害時、事故発生時の早期復旧作業への寄与、それら作業における安全性向上、付加価値向上等の利用者の便益を検証する。

オ）横展開性

本実証モデルでの検証結果を国土交通省、東急電鉄株式会社に共有し、一般道路、河川、鉄道等の線状エリアへのローカル 5G 導入可能性、本ローカル 5G 活用ソリューション適用の可能性について意見照会をし、一般道路管理、河川管理、鉄道事業へ展開した際のシステム要件の検討、市場規模を評価、検証する。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

ア）導入費用

本実証では最小構成での導入を行ったが、その実用性、運用性をもとに首都高速道路の 5G 整備計画に合わせた形で全路線展開を前提としたシステム構成を検討し導入費用を検証する。本実証では個別に専用車両を用意し、新規に 5G WaveDoctor を構築したが、既存の

WaveDoctor 車両への実装を前提とし、検証する。よって、導入費用としては測定機器購入費用(アンリツ製 ML8780J、測定ユニット及びアンテナ類一式)のみとなる。

イ）運用費用

全路線での維持管理業務に導入した際のシステム保守費用、設備維持に関する費用、運用経費等を検証する。前述のとおり、既存の WaveDoctor への搭載を前提にするため、別段維持費用は不要としている。よって運用費用としては首都高速全線測定(路線延長：327km×2)にかかる人件費（運転手(1 人)、測定員(1 人)）とする。

ウ）費用低減策

前述のとおり既存 WaveDoctor 車両を活用するため、車両の購入費用分を低減できる。

エ）費用対便益

4.3.1 に示す検証結果をもとに全線に導入した場合の業務効率化、省人化による費用削減効果の定量化を行う。比較検証として従来型の可搬型測定装置による費用も算出し、効果の検証を行う。

オ）横展開性

本実証モデルでの検証結果を国土交通省、東急電鉄株式会社に共有し、一般道路、河川、鉄道等の線状エリアへのローカル 5G 導入可能性、本ローカル 5G 活用ソリューション適用の可能性について意見照会をし、一般道路、鉄道事業へ展開した際のシステム要件の検討、市場規模を評価、検証する。

3） 検証結果及び考察

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

本実証システムでのコスト（導入費用、運用費用）と得られる効果を費用対効果として提示する。この結果をもとに、首都高全線へ展開した場合の費用対効果を整理し、さらに同業他社、異業種に展開した際の分析・考察を行った。

ア）導入費用

高精細画像・映像のリアルタイム共有のシステム構築と、スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援システムの構築にかかる費用を算出した。算出結果をそれぞれ表 4-45 と表 4-46 に示す。

表 4-45 高精細画像・映像のリアルタイム共有のシステム構築にかかる費用

項目	想定される内容	想定費用	算出条件
ソフトウェア構築費	高精細画像・映像の伝送及び記録を行うためのソフトウェア構築費用	118,000 千円	・カメラの台数は、首都高速の日常的なパトロールカーの運用台数に基づき 236 台と設定。 ・カメラは全台数同時に稼働しない想定で、高精細画像・映像の伝送及び記録を行うサーバ等の遠隔者側機器は 4 台と設定。
ハードウェア・機器一式	高精細画像・映像の伝送及び記録を行うサーバや、画像・映像撮影用のカメラ等	108,000 千円	
工事等役務	ラック・電源部の工事費用等	4,000 千円	
合計	－	230,000 千円	

表 4-46 スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援システム構築にかかる費用

項目	想定される内容	想定費用	算出条件
ソフトウェア構築・ライセンス費	スマートグラスを用いた遠隔作業支援ソフトウェアの構築費用及びパッケージの使用ライセンス費用	258,000 千円	・スマートグラスや PC 等の点検員側機器の台数は、首都高速の日常的なパトロールカーの運用台数に基づき 236 台と設定。 ・スマートグラスシステムは全台数同時に稼働しない想定で、WebRTC サーバ等の遠隔者側機器は 4 台と設定。
ハードウェア・機器一式	スマートグラスや骨伝導ヘッドセット、WebRTC サーバ等	221,000 千円	
工事等役務	ラック・電源部の工事費用等	21,000 千円	
合計	－	500,000 千円	

イ） 運用費用

高精細画像・映像のリアルタイム共有のシステムと、スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援システムにかかる運用費用を算出した。算出結果をそれぞれ表 4-47、表 4-48 に示す。

表 4-47 高精細画像・映像のリアルタイム共有の運用費用

項目	想定される内容	想定費用 (年間)	算出条件
保守	高精細画像・映像の伝送システムの機器保守費用	4 百万円	構築費用同様、遠隔者側機器であるサーバは 4 台と設定。
アプリケーション保守	高精細画像・映像の伝送システムのアプリケーション保守費用	12 百万円	
合計	－	16 百万円	

表 4-48 スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援システムの運用費用

項目	想定される内容	想定費用 (年間)	算出条件
保守	WebRTC サーバの保守費用	4 百万円	構築費用同様、遠隔者側機器であるサーバは 4 台と設定。
合計	－	4 百万円	

ウ） 費用低減策

本実証でのシステム構築はオンプレミスで構築したが、クラウド上へのシステム構築について検討することで最適なシステム構成や導入形態を検討した。

高精細画像・映像のリアルタイム共有及びスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援は共に運用費用としてはサーバ保守費用と考えているが、台数はそれぞれ 4 台と設定していることから構築費用に対して運用費用は少ない。両システムをクラウド上に構築した場合、両システムは共に映像を取込んで処理を行うことから通信量が多くなり、運用費用となるクラウド利用料が高額となる。その場合オンプレミスとクラウドでの構築を比較した場合、実証と同様のオンプレミスで構築することが最適と考えられる。

費用低減策としては、既存設備を活用することが可能と考える。本実証では、ローカル 5G 基地局、コア設備や DAS 親機等は首都高沿いにある首都高速沿いにある社屋に設置し、社屋から道路上に敷設されている既存の光ケーブルを用いて、照明柱に設置した。首都高速全線への導入の際にも、既存の光ケーブルを用いて設置することで新たに敷設する費用を削減することが可能となる。また、本実証ではローカル環境で構築したが、首都高速の社内ネットワークに接続することで、事務所にある各担当者の席に設置されているモニタに現地映像を映すことができ、遠隔者側の既存設備を利用して本ソリューションを活用できる。上記から、ユーザの既存ネットワーク環境に応じて最適な構成を検討することにより、費用の低減が可能である。

エ）費用対便益

高精細画像・映像のリアルタイム共有については、首都高速道路上の現地高精細映像・画像を撮影し、遠隔にいる管制室との情報共有を行うことが可能となる。情報共有により、交通異常事象等の検出が可能となり、具体的には以下の効果が得られる。

- 正確な状況把握による管制室内の判断や指示の迅速化、精度向上
- 判断・指示の迅速化による現地応援対応、応急復旧の迅速化
- 交通事故処理時間の短縮
- お客様へ提供する交通情報の精度向上

上記は効果があるものの現在の業務量や時間の削減を行うことで金銭的利益を創出するものではなく、首都高速の一般利用者や緊急車両のための道路啓開を目的としたものである。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援については、本ローカル 5G 活用モデルを活用することにより以下の効果が得られる。

- 点検員の危険作業からの解放・ワークライフバランス向上
- 経験の浅い若手点検員の業務効率向上（デバイス上での図面参照等）
- 点検終了後の報告書作成業務の効率化

上記から、熟練点検員の業務効率化により年間 2,800 千円（5 班、年間作業回数 180 回、単価 50,000 円／日、1 時間作業を 50%削減）の利益があると考える。

表 4-46 に示す構築費用と比較すると金銭的利益の創出は難しいが、熟練点検員の減少という課題に対する解決策や点検員の危険作業からの解放という利益から、点検員のワークライフバランスの向上に貢献できる。

オ）横展開性

横展開性について、国土交通省、東急電鉄株式会社に共有し、ヒアリングを行った結果、表

4-49 のとおりとなった。

表 4-49 国土交通省と東急電鉄株式会社へのヒアリングの結果(高精細映像・画像、スマートグラス)

アドバイザー	ローカル 5G 導入可能性とコメント	本ローカル 5G 活用モデル適用の可能性とコメント
国土交通省	導入の可能性はある。 インフラ分野の DX を推進しており、ローカル 5G を用いた遠隔施工においてはニーズが高く導入を検討している。施工現場でローカル5Gの特長である低遅延で確実な通信の実現を目指して実験している。	仮想空間の利用ニーズは高く、スマートグラスでの現場状況確認のソリューション導入は進むと考えている。リアルタイムでの映像共有も可能性を感じる。 ただし、ローカル 5G 導入する際には多数の基地局が必要であり、投資に対する導入メリットを整理していく必要はある。
東急電鉄株式会社	導入の可能性はある。 既に主要駅へのローカル 5G 整備の計画があり、電車車体の前方にカメラを搭載して撮影した映像を主要駅停車時にアップロードし解析する用途を想定している。 将来的には駅間でも走行中にアップロードできるようにしたい。	スマートグラスは間違いなく需要があり、適用可能性はある。スマートグラスの実証実験はやってきているが、グラスを付けて線路上に行くのは怖いという声もあり、安全面の考慮が必要。まずは設備のメンテナンスでの活用の可能性はある。

また、工場やプラントにおける本ローカル 5G 活用モデルの展開についても検討を行った。

本実証の結果、有効性検証においてローカル 5G エリアにおける高精細の映像伝送やスマートグラスでの映像/音声のコミュニケーションは問題なく行うことができ、また、点検時の報告書作成等を効率化することにも効果があった。それらの結果を踏まえると、各ユーザの作業手順や運用にもよるところはあるが、工場やプラントにおける以下の作業においては課題解決に貢献でき、横展開は可能と考える。

- 工場の製造ラインでの作業における手順確認
- 工場・プラントでの機器定期点検時の手順確認や遠隔作業支援
- 工場・プラントでの夜間の機器障害時等の状況確認

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

検証結果を以下に示す。

ア）導入費用

全路線に導入した場合の導入費用の算出結果は以下となる。

表 4-50 360°カメラビューのシステム構築にかかる費用

項目	想定される内容	想定費用	算出条件
監視局装置	360° カメラ映像の受信、静止画生成、画像蓄積、及び Web 画面の提供を行うためのソフトウェア、及びハードウェア構築費用	120,000 千円	・監視局は 3 か所に分散設置。 ・車載局数は 236 台。
車載局装置	パトロール車に実装するカメラやコーデック、GPS 受信機等のハードウェア構築費	700,000 千円	
合計	－	820,000 千円	

イ）運用費用

全路線へ導入した場合の保守・設備維持に関する費用は以下となる。

・ 保守費 ：2,500 千円

［算出条件］

・ 全ての監視局機器及び移動局機器の動作確認作業とする。

表 4-51 360°カメラビューのシステム保守にかかる費用

項目	想定される内容	想定費用	算出条件
保守費	監視局 3 局の構成機器の動作確認、及び車載局のカメラ等の動作確認作業	2,500 千円	・監視局は 3 か所に分散設置。 ・車載局数は 236 台。 ・全ての監視局機器及び移動局機器の動作確認作業とする
工事等役務			
合計	－	2,500 千円	

ウ）費用低減策

車載局の保有数としては 236 台となっているが、実際の運用形態としては全車が一斉に巡回することはない。通常時の巡回業務では、図 4-73 のように 30 台～40 台程度のパトロール車で巡回業務を行っている。災害等の緊急時には 2 倍程度の出動も想定されるため、予備を含めて 100 台程度のパトロール車の同時巡回まで対応できる監視局設備とすることで、監視局設備の構築費を削減することが可能となる。

また、システム導入形態としては、画像を取り扱うソリューションであるためクラウド型システムとしてしまうと高速なアクセス回線や、大容量のハードディスクが必要となってしまいランニングコストが大幅に増加してしまう。そのため、本ソリューションは、オンプレミス型が最適となる。

また、効率的に運用を行っていくために、既に運用中の交通管制室設備である大型モニタや端末類を共有で使用することで、効率的に運用を実施できることが可能となる。また、監視局設備のイニシャルコストの低減にも繋がる。

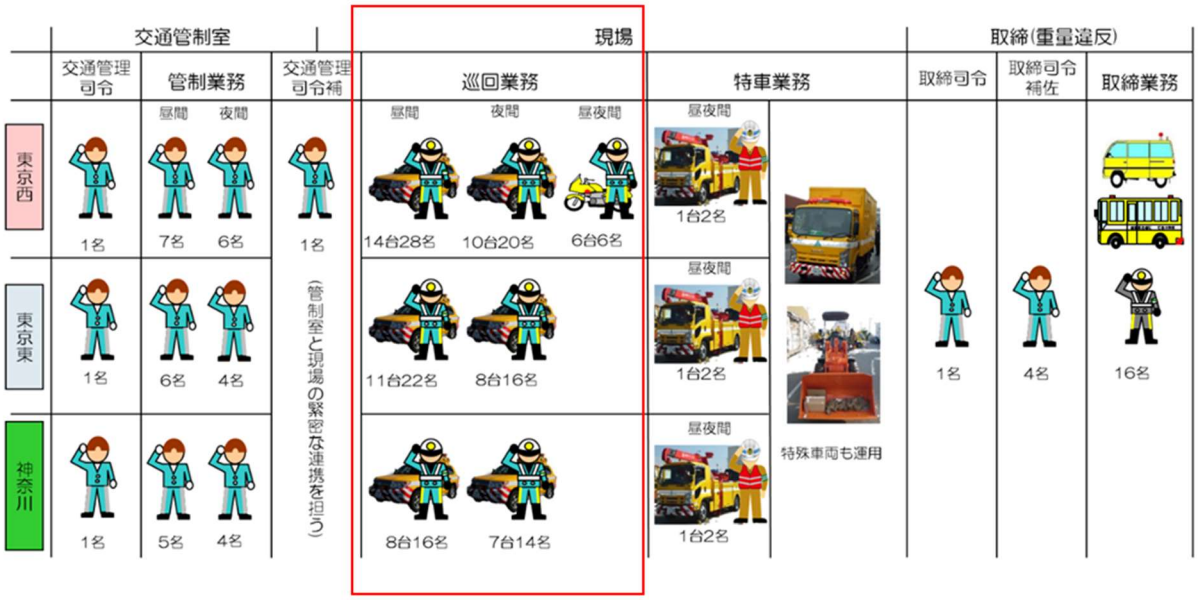


図 4-73　首都高速道路における巡回業務(2017 年度時点)

エ）費用対便益

4.3.1 に示す検証結果をもとに全線に導入した場合の業務効率化、省人化による費用削減効果の定量化を行う。災害時、事故発生時の早期復旧作業への寄与、それら作業における安全性向上、付加価値向上等の利用者の便益を試算した。それら便益の導入、運用費用に対しての有効性を検証した。

本ソリューションを導入することで、アンケート調査から得られた情報として 20～50%程度（平均：約 33%）の業務の効率化が可能であると回答をうることができた。他業務との兼ね合いもあるため一概には言えないが、映像による監視業務だけで考えた場合には、10 人で対応していた業務を 7 人程度で実施できることになり、約 33%の省人化による費用削減効果を得られることとなる。また、災害や事故発生時においても、パトロール車で走行するだけで最新の情報をうることができるため。安全性が向上する他、専門作業者が現地に出向かなくても現地の状況を把握することが可能となり、人件費を削減することもできる。

オ）横展開性

本実証モデルでの検証結果を国土交通省、東急電鉄株式会社に共有し、一般道路、河川、鉄道等の線状エリアにローカル 5G を導入し、本ローカル 5G 活用ソリューション適用の可能性について、アドバイザー会議で意見照会を行った。一般道路管理、河川管理、鉄道事業へ展開した際の有用性に関する意見、横展開にあたっての課題をうることができた。

表 4-52　国土交通省と東急電鉄株式会社へのヒアリング結果(首都高ハイウェイビューNowON)

アドバイザー	本ローカル 5G 活用モデル適用の可能性とコメント	ローカル 5G 設備における横展開にあたっての課題に関するコメント
国土交通省	災害時は回線設計を迅速に行う必要があり、電波環境を迅速に測定する需要があるので活用できると思う。非常に興味深	導入コストやランニングコストに課題があると思われる。そのため、スポットでの整備も検討する必要がある。

アドバイザー	本ローカル 5G 活用モデル適用の可能性とコメント	ローカル 5G 設備における横展開にあたっての課題に関するコメント
	く感じた。	今回の実証事業でも課題となっていたが近接エリアとの電波干渉の調整が非常に気になる。
東急電鉄株式会社	線路上や各設備の状態監視に有効活用できると思う。運転シーンでは踏切の立ち入り等による停止後の運転再開時に車両周辺の点検・安全確認が必要である。現状では、運転士が目視で実際に点検しているが、運転台から降りることがなく列車の周辺状況が確認できると、運転再開までの時間短縮に繋がるため、このような場面では有効と思われる。	ローカル 5G 設備の安定した通信システムを組み込むことができれば置き換えを考えていけると思う。鉄道のメンテナンスには瞬停対策が課題となってくるので、瞬停時には安定稼働ができれば既存の通信設備と置き換わってくると思う。

その他、国土交通省側からは可搬型ローカル 5G 基地局のニーズも確認することができ、ローカル 5G に関する注目の高さが伺えた。アプリケーションについてもヒアリング結果から、一般道路管理分野、河川管理分野、鉄道分野への適用は十分に考えられることがわかった。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

本ソリューションでのコスト（導入費用、運用費用）を算出し、将来的に首都高速全線に展開した場合の効果を費用対効果として提示する。この結果をもとに、首都高速全線測定（本線上）を行った場合の費用対効果を整理し、さらに同業他社、異業種に展開した際の分析・考察を行った。結果を表 4-53 に示す。なお、表中の数値については可搬型測定機とのコスト比較のための数値であるので、管理費用や諸経費等は考慮していない。

表 4-53 5G WaveDoctor を用いた維持管理手法の効果検証

	検証結果	備考
導入費用	17,200 千円 A:14,000 千円 B:3,200 千円	測定機器購入費用 A: ML8780、測定ユニット、アンテナ類一式 B: 車両購入費用（トヨタプリウス）
運用費用（※1）	1,030 千円	2 回の全線測定(654km)にかかる運用費用 合計=運転手(1 人)＋測定員(1 人) ⇒ 測定可能距離:100km/日 ⇒ 全線測定必要日数:6.54 日 ⇒ 2 回測定必要日数:13.08 日 ⇒（運転手時間単価＋測定技師単価）×13.08 ≒1,030 千円
費用低減策	▲3,200 千円	既存 WaveDoctor への搭載による車両購入費用の削減（①の B 分削減）
年間総コスト	3,360 千円/年間	年間総コスト＝（導入費用/年間）（※2）＋運用費用 =(14,000/6)+1,030

	検証結果	備考
		≒3,360
費用対便益(※1)	A:1,030 千円 B:8,980 千円 ⇒(1-A/B)≒88%のコスト縮減が可能。	運用コストを比較 A:本ソリューションの運用費用 B:可搬型測定による人件費(測定員 2 人) ⇒測定箇所:654km/300m=2180 か所 ⇒必要日数:5min×2180=45.42 日 ⇒車線規制内実作業時間:4h/日 ⇒全線測定実必要日数:45.42×2=90.83 日 ⇒データ整理時間:90.83×0.5h≒40.42h=5.68 日 ⇒測定技師単価×2 人×96.51 日≒8,980 千円
横展開性	1 件程度/年間(2024 年度以降)	アドバイザリー会議にて本実証モデルの結果を共有し意見交換を行ったところ、今後 5G 網の構築等に際して広範囲の電波測定を行う際にはニーズがあるという意見もあり、年間 1 件程度は横展開にて測定業務の受注を期待できる。

※1 運転手及び測定技師時間単価は設計業務委託費等技術者単価を準用し計算。

⇒運転手：31,600 円/日、測定技師：46,500 円/日

※2 ①の機器購入費用を 2024 年～2029 年までのローカル 5G 網構築期間の 6 年間の機器損料として各年度に計上

（2） 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

1） 検証項目

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

ア） 首都高速全線への展開

首都高速全線にローカル 5G ネットワークを形成し、ローカル 5G 活用ソリューションを導入する際の最適なネットワーク構成、システム構成について検証し、また、コストを含めて運用体制・事業スキームを検証し、将来的な現場対応者、保守・点検対応者の人員不足、ノウハウ継承に有効かを検証する。

イ） 関連事業者、潜在的ユーザへの展開

高齢化に伴い、将来的な現場対応者、保守・点検対応者の人員不足、ノウハウ継承については、

各業界において共通の大きな課題である。その課題解決に向けて、各業界における現場対応者、保守・点検対応者の 5 年後、10 年後の人員構成を予測し、それらの人員変動に対し、本ソリューションによってどの程度課題解決できるかを検証する。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

ア） 首都高速全線への展開

首都高速全線にローカル 5G ネットワークを形成し、ローカル 5G 活用ソリューションを導入する際の最適なネットワーク構成、システム構成について検証し、また、コストを含めて運用体制・事業スキームを検証し、将来的な現場対応者、保守・点検対応者の人員不足、ノウハウ継承に有効かを検証する。

イ） 道路事業者、河川事業者、鉄道事業者への展開

他の高速道路事業者、一般道、鉄道及び河川等を管理する事業者においても、現場状況の迅速な把握及び情報共有は共通の課題と認識しているため、他分野のアドバイザーと意見交換の上、運用者の現状の課題や事前に想定していなかった潜在的ニーズについて掘り出し、本ソリューションによってどの程度課題解決できるかを検証する。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

首都高速全線にローカル 5G ネットワークが形成されることを前提とし、5G WaveDoctor によるスクリーニング測定を維持管理業務に導入し、効率的な維持管理業務として継続運用していくための維持管理手法を検討した。

2） 検証方法

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

道路事業者、鉄道事業者、河川管理者等における、現在及び 5 年後、10 年後における現場対応者、保守・点検対応者の人員推移を予測し、また、本ソリューションでの業務の補完範囲、ソリューション導入範囲を設定し、人員減に対し、どの程度の補完ができるかを検証する。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

本実証モデルでの検証結果を国土交通省、東急電鉄株式会社に共有し、一般道路、河川、鉄道等の線状エリアにローカル 5G を導入し、本ローカル 5G 活用ソリューション適用の可能性について意見照会をし、一般道路管理、河川管理、鉄道事業へ展開した際のシステム要件の検討、市場規模を評価、検証する。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

将来的な維持管理業務の在り方を踏まえ、首都高速全線のローカル 5G ネットワークの維持管理に必要とされる測定データ、測定頻度等を整理し、維持管理業務全体の中で 5G WaveDoctor のスクリーニング測定が担う役割を検証した。4.3.1 における 5G WaveDoctor の有効性検証、運用性検証及び効果検証の結果や、4.3.2(1)にて行った経済性の検証に基づき、電波環境の維持管理全体のソリューションを示す。

3） 検証結果及び考察

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

首都高速全線に展開する際の最適なネットワーク構成、システム構成、運用体制を提示し、それらのシステム導入、運用体制構築により現状の点検業務に対しての省人化、効率化を定量的に算出し、5 年後、10 年後における現場対応者、保守・点検対応者の人員推移との対比により、補完度、課題を抽出した。

同様に他事業者（道路事業者、鉄道事業者、河川管理者）での補完度、課題を抽出し、その課題に対しての対策案を考察する。例えばシステムの共通化、システムの共用化等の関連事業者との連携スキーム案等を考察する。

ア）最適なネットワーク構成

本実証において、ローカル 5G 基地局やコア装置、DAS 親機等は首都高速沿いにある社屋の電気室に設置し、社屋から道路上に敷設されている既存の光ケーブルを用いて、照明柱に設置した。DAS 子機と接続する構成をとることで、電源と光ケーブルの施工が容易となっていた。また、高精細画像・映像のリアルタイム共有の映像伝送サーバ及び管理端末やスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の WebRTC サーバ及び遠隔支援 PC ついてもローカル 5G 基地局、コア設備や DAS 親機等と同様社屋に設置し、ローカルな環境で実証を行った。

首都高速全線に展開する際にも、DAS 親機と子機間については、同様のネットワーク構成をとることにより、既存の設備を流用してコストを削減でき、効率的にシステム構築することが可能となる。また高精細画像・映像のリアルタイム共有の映像伝送サーバや遠隔地からの点検業務支援の WebRTC サーバは、一括管理のため、管理局等中央のサーバルームに設置し、管制端末や遠隔支援 PC といった端末は、複数の閲覧者に対応することから交通管制室や各社屋に設置されることが想定され、この間のネットワークは既設ネットワークと可能な限り連携、共用することで最適なネットワーク構成が可能と考える。

イ）システム構成

高精細画像・映像のリアルタイム共有／スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の両システムとも、サーバ部分を社屋の電気室内のラックに設置し、既存の首都高速社内ネットワークと独立したネットワークに接続した。課題実証において高精細カメラやスマートグラスの映像

や音声は、ローカル 5G の回線を通じて電気室内のサーバで処理され、社内で映像を確認することができた。

首都高速全線に展開する際には、4K カメラやスマートグラスの各端末はそれぞれの社屋へ配備して現場に持ち出すことが想定される。また、管制端末や遠隔支援 PC といった端末は複数拠点からの閲覧、操作が想定されるため、映像伝送サーバや WebRTC サーバはセキュリティや耐災害性、集中管理による効率性の観点から中央のサーバルーム等に構築することが望ましい。中央管理となるため、信頼性向上のため、システムの冗長化が必要と考える。

ウ）運用体制

高精細画像・映像のリアルタイム共有については、高精細カメラをパトロールカーに取り付け、走行中の映像を撮影することが可能であるため、常にパトロールカーの全面に設置しておくことで平常時の巡回の際にも映像を撮影することも可能であり、災害発生時にも現地の詳細映像を遠隔地に伝送することが可能となる。人員体制は変更する必要はなく、管制室内での現地応援や応急復旧の判断を行う際に、従来の情報伝達手段に加えて高精細映像を確認することで判断や指示の迅速化・精度向上に貢献できる。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援については、平常時の点検を行う際に事務所から持ち出し、点検作業を行う際にスマートグラスを装着する。作業手順書やチェックリストは紙ではなく電子化され、音声認識によってチェックリストに入力することで作業が効率化される。

また、本実証ではスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援では、現在の運用体制上人員削減やチェックリスト入力以外での作業において省力化は難しいという結論であった。中長期的な視点で見ると点検業務の効率化や省人化はユーザへのメリットが大きく、運用体制の変更を行い、本ソリューションを活用できるような提案を行うことが必要である。

エ）省人化・効率化

高精細画像・映像のリアルタイム共有については、導入によって高精細な現地映像を伝送することが可能になり、管制室での判断の迅速化や精度向上に貢献するものであり、省人化・効率化は対象外とする。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援については、点検作業終了後の報告書作成業務における効率化に貢献でき、従来に比較して 2,800 千円/年の裨益効果が見込める。

オ）5 年後、10 年後の人員推移との比較と補完度・課題

道路事業者、鉄道事業者、河川管理者等の関連事業者の人員推移を予測は、日本国内における 15 歳から 65 歳未満である生産年齢人口をもとに予測する。

2022 年 8 月時点での日本における年齢別人口を以下の表 4-54 に示す。この表から、日本の生産年齢人口は 71,844 千人ということがわかる。このうち、15 歳から 39 歳を非熟練者、40 歳から 64 歳までを熟練者と定義し、人口推移を算出すると表 4-55 のとおりとなる。5 年後では 0.8%の減少と小幅であるが、10 年後には 5.2%の減少となり、点検熟練者においても

熟練者／非熟練者の割合は大幅に変化すると考える。

点検業務のうち現地作業における削減効果は本実証にて確認することができていなかったが、上記のデータから熟練点検員の作業においても 10 年後には 5.2%程度の工数削減を実施することが必要となる。

表 4-54 2022 年 8 月時点での日本における年齢別人口

時間軸(年月日現在)	年齢5歳階級	男女計
2022年8月	総数	122,238
2022年8月	0～4歳	4,187
2022年8月	5～9歳	4,895
2022年8月	10～14歳	5,258
2022年8月	15～19歳	5,447
2022年8月	20～24歳	5,861
2022年8月	25～29歳	5,944
2022年8月	30～34歳	6,093
2022年8月	35～39歳	6,979
2022年8月	40～44歳	7,753
2022年8月	45～49歳	9,331
2022年8月	50～54歳	9,220
2022年8月	55～59歳	7,888
2022年8月	60～64歳	7,326
2022年8月	65～69歳	7,517
2022年8月	70～74歳	9,383
2022年8月	75～79歳	6,900
2022年8月	80～84歳	5,699
2022年8月	85～89歳	3,929
2022年8月	90～94歳	1,976
2022年8月	95～99歳	562
2022年8月	100歳以上	89
2022年8月	(再掲)15歳未満	14,339
2022年8月	(再掲)15～64歳	71,844
2022年8月	(再掲)65歳以上	36,055
2022年8月	(再掲)うち75歳以上	19,155
2022年8月	(再掲)うち85歳以上	6,556

出典：「人口推計」（総務省統計局）を東芝インフラシステムズ株式会社にて加工

表 4-55 2022 年と 5 年後、10 年後の熟練者数の推移

	2022年8月の 生産年齢人口	5年後の 生産年齢人口	10年後の 生産年齢人口
熟練者数(40～64歳)	41,518	41,171	39,376
2022年からの増減割合	ー	-0.8%	-5.2%

出展：「人口推計」（総務省統計局）を東芝インフラシステムズ株式会社にて加工

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

本ソリューションは、一般道路、河川、鉄道等の線状エリアで、監視業務が必要となる事業への展開は有用であると想定していた。

今回の検証結果を国土交通省、東急電鉄株式会社に共有し、表 4-56 及び表 4-57 のような意見、課題をうることができた。

表 4-56 首都高ハイウェイビューNowON アドバイザーへの意見照会結果

No.		アドバイザーからの意見
1	国土交通省	一般道路や河川においても、平常時の状態変化を把握することは重要であり、パトロール車が走行するだけで巡回エリアの情報が集約できることは非常に便利である。
2	東急電鉄株式会社	鉄道事業においても、沿線上の周囲環境を確認することは重要であるが、作業者が隈なく目視確認するのは非常に労力が必要となるため、このようなソリューションで情報収集できることは便利である。
3	国土交通省	将来の少子高齢化に向け、専門性を要しない人財（例えば、高齢者や外国人等）でも情報収集が行えることも有用である。
4	国土交通省	ローカル 5G を導入することで、災害時にも安定した回線を利活用できることもメリットである。
5	国土交通省	一般道路や河川においても、平常時の状態変化を把握することは重要であり、パトロール車が走行するだけで巡回エリアの情報が集約できることは非常に便利である。

表 4-57 横展開にあたっての課題に関する意見

No.		アドバイザーからの意見
1	国土交通省	導入コスト、ランニングコストが問題である。そのため、スポットでの整備も検討する必要がある。
2	国土交通省	今回の実証事業でも課題となっていたが、近接エリアとの電波干渉の調整が非常に気になる。
3	国土交通省	360° カメラで設備の老朽化状況、崩落箇所、構造物の被災状況把握には比較的高精細な映像が求められる。一方で平常時では大まかに確認できればよいため、あまり高精細映像にはこだわっていない。場面によって求める解像度は変わってくると思う。

意見照会結果からも、ローカル 5G を活用した本ソリューションが有効であると回答をうることができたが、導入コストやランニングコストの問題及び電波干渉の調整問題等が挙げられた。その中でも導入コストやランニングコストの低減のためにも、スポットエリアの整備に対応することが普及に向けても重要であることが判明した。スポットで整備されたローカル 5G エリアに適用するために、本ソリューションとしても画像を収集しながら、スポットを通過する際にデータ（画像）を伝送するような仕組みが必要であることがわかった。

市場規模としては、47 都道府県管理の県道や、国土交通省管理の 109 水系、及び鉄道としては 7 つの JR グループと 16 の大手私鉄等が対象となる。アプリケーションについてもヒアリング結果から、一般道路管理分野、河川管理分野、鉄道分野への適用は十分に考えられることがわかった。導入においては継続的なヒアリングやユースケースに応じた開発・改修は考えられるが、360° カメラによるインフラメンテナンスのアイデアとしては有用ではないかと考察する。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

首都高速全域でローカル 5G 網が構築された後の適切な維持管理方法を検証する。広範囲な

ローカル 5G 無線エリアとなるため、効率的な維持管理業務が求められるが、維持管理全体を考える中で本ソリューションが担う役割を表 4-58 に示す。

表 4-58 各測定方式の比較

	メリット	デメリット	備考
可搬型測定機のみによる維持管理	・より正確なデータが取得可能 ・スループットの測定が可能	・道路規制が必要 ・規制帯内での作業は作業安全上のリスクが大きい ・測定頻度を多くできない ・広範囲測定は難しい ・測定位置間隔が大きい ・運用コストが高い	
5G WaveDoctor ソリューション	・広範囲のデータが短時間で取得可能 ・自動マッピングシステムによりデータ整理時間の削減が可能 ・運用コストが安い ・測定位置間隔が狭い ・測定頻度を多くできる	・スループット測定は不可能	4.3.1(1)③で示したコスト削減案を適用。
結論	供用延長が 327km に及ぶ首都高速道路において、全線の維持管理測定を可搬型測定機にて行うことはコスト面及び作業時間の観点より現実的ではない。また、高速道路上のおける測定は規制を伴うことから作業安全上のリスクも高い。 そこで今回提案する 5G WaveDoctor によるスクリーニング測定を導入することで可搬型測定によるデメリットを補うことが可能である。一方、将来的に重要電気設備の通信をローカル 5G 網が担う可能性が高い首都高速道路において、より精度の高い測定も必要な場面があると想定される。5G WaveDoctor によるスクリーニング測定により異常箇所の迅速な把握を行い、必要に応じて可搬型測定機による詳細測定を行う等、2 種類の測定を適切に組合せた維持管理方法が必要である。		

以上より、本ソリューションにおける走行測定を用いることによって、効率的かつ精度の高い無線エリアの維持管理を行うことが可能である。表 4-59 に本ソリューションを有効に用いた維持管理手法案を提示する。

表 4-59 5G WaveDoctor を用いた維持管理手法(案)

	測定頻度(年間)	位置付け	目的	備考
①走行測定	2 回/1 年間	スクリーニング測定	広範囲の無線エリアを高頻度で測定し迅速に異常箇所を見つけ出す	
②可搬型測定機による測定	異常発生時	詳細測定	・異常箇所の詳細測定	
③地図上マッピングシステムによる測定データの共有	測定後随時	電波環境状況管理	①②のデータは今回構築した首都高グループ内にて共有できるため、迅速な異常箇所の共有が可能	本実証においては①のデータの取込みのみ検証したが、将来的に②の自動取込みも可能。

（3） ローカル 5G 活用モデルの構築

首都高速におけるローカル 5G 導入後のソリューションとして、次の 3 つの活用モデルを構築した。

- 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援
- 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）
- 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

1） ローカル 5G 活用モデルの全体像

a. ターゲット

ア）高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有は災害時の現場状況の高度化・迅速化、スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援は平常時の点検業務の高度化・業務効率化に資するシステムである。首都高速道路は保全関係業務、交通関係業務において広範な管理エリアを有しており、今後日本社会の高齢化による労働者人口の減少に伴う管理業務人員の不足が見込まれる中、異常気象を原因とした突発的で局所的な自然災害によるインフラ構造物の被害・保全対策事案が増加傾

向にあると共に、管理する道路を支える構造物を経年劣化による損壊の危険を見逃さずに適切な維持管理を実現し続けることが求められる。そこでは、管理するインフラ構造物の異常や損壊等の現場状況の迅速な把握及び情報共有や適切な判断、点検業務の効率化が考えられる必要となる。

首都高速と同様に災害時の高度な状況把握や早期交通開放が必要な事業者や、設備を持ち定期的な点検業務を行っている管理事業者については本ローカル 5G 活用モデルが適用でき、横展開のターゲットとする。具体的には、一般道路の上や河川の上に高架で建設されていることが多いため、一般の高速道路と比較してカーブが多く、また周囲に他者土地となるビル群や工場、住宅があり、災害時の緊急車両通行の主要道としても指定されている点で、首都高速と共通している他地域の都市高速道路管理者（阪神高速道路、名古屋高速道路、広島高速道路、福岡・北九州高速道路）に加え、交通インフラ事業者である鉄道会社や、一般住民生活を支える社会インフラとしての河川や高規格道路や一般道路（国道・県道・市道等）を管理している地方自治体や国土交通省管理事務所をターゲットとする。本実証におけるローカル 5G 活用モデルにより現地映像や画像を共有できれば、現地からのより正確な情報伝達、維持管理事務所での適切な判断、指示の迅速化により、早期の現場着手、情報提供に寄与することが期待できる。

イ）首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

本モデルの市場は、他高速道路事業者、一般道、鉄道及び河川等を管理する事業者をターゲットとして想定しており、他にも 360°カメラによる現場状況の迅速な把握及び情報共有を課題としている地域、市場であれば活用できると想定される。今までのような単眼カメラでは実現できなかった、360°の全方位の現場状況の把握が可能となる。また、災害時以外にも平常時での活用も想定しており、以下のような条件で適用可能と想定される。

- 平常時における現場状況の事前把握、及び過去の状況との比較を行うことにより、保全計画立案業務の支援等での活用
- 災害時には災害発生前との状況比較を行うだけではなく、災害発生前の画像との比較により、変化する災害状況を把握することが可能となり、災害対応及び復旧活動の支援としての活用
- 運用に係る体制及び事業スキームについて、既存の施設維持管理業務と連携して効率的な運用を行い、BCP（事業継続計画）対策強化としての活用
- 維持管理の分野で、他の高速道路事業会社に加え、線状の管理エリアを保有するインフラ事業者（鉄道、河川管理者）等との連携での活用

ウ）線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

都市内高速道路では、隣接する建物や道路附属物の影響等により、線状エリアの電波環境が頻繁に変化することが想定される。一度構築したローカル 5G 網を長期間にわたり維持管理していくためには、日常的に電波環境を管理する必要があるため、迅速かつ効率的に電波伝搬測定を行うことが求められる。

上記より 5G wave doctor の期待される市場としては、首都高速を始めとした道路事業者をメインターゲットに想定しているが、線状エリアを有する鉄道事業者及び河川管理者への展開も

可能である。基本的に車両が走行できる環境であれば測定可能であるため、5G エリアの構築後の効率的な維持管理等を課題としている市場であれば活躍が期待できる。

維持管理段階のみならず、線状無線エリア構築段階においても道路規制等を伴わずに簡易的に電波伝搬状況を確認できることから、アンテナ角度の再調整等の時間が短縮でき、作業の効率性、安全性、コストの縮減等のメリットが期待できる。

b. 対象となるシステム

ア）高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

災害時等での道路現場状況把握の質の向上と、これに伴う判断、情報提供・指示の迅速化や、適切な車線規制／規制解除により交通渋滞等への影響の低減を目的として、4K 高精細画像・映像のリアルタイム共有を行うシステムを構築した。イメージを図 4-74 に示す。

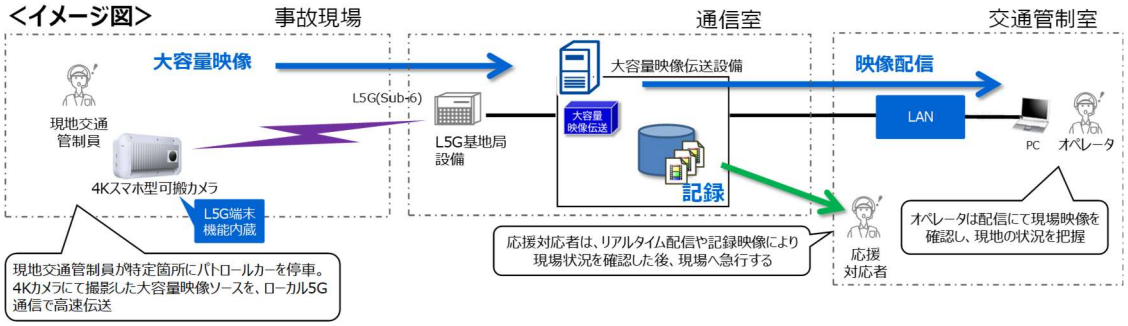


図 4-74　高精細画像･映像のリアルタイム共有

また、平常時の点検業務における手順書の電子化や、遠隔者から点検業務支援を受けることでの点検業務の質向上と業務効率化等を目的としたスマートグラスシステムを構築した。

イメージを図 4-75 に、構成図 4-76 に、各機器における役割を表 4-60 に示す。

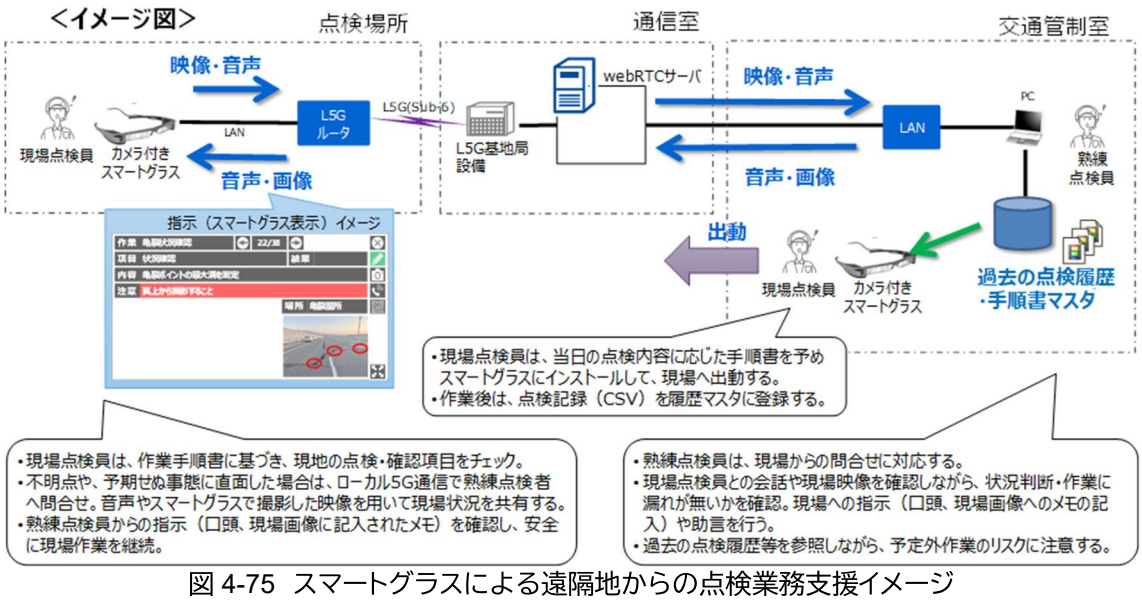


図 4-75　スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援イメージ

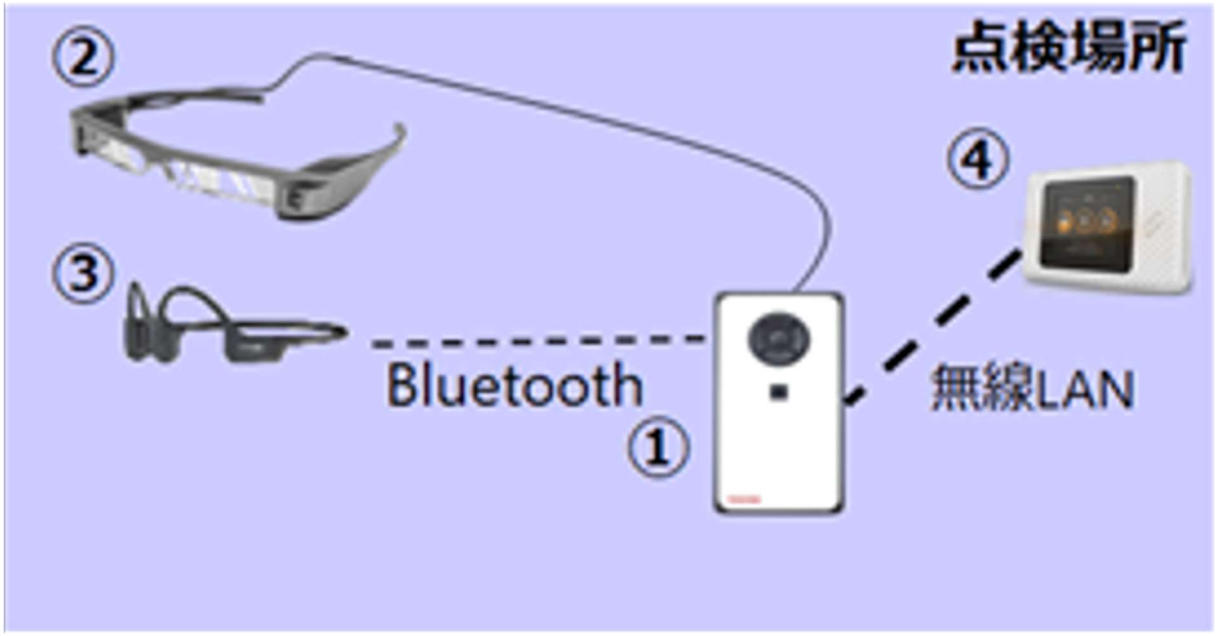


図 4-76　点検場所で装着するスマートグラスの構成

表 4-60　点検場所で装着するスマートグラスの各機器における役割

No.	機器名称	用途	詳細
1	携帯端末 （Window 10 Pro）	作業支援システムの実装 （作業者用）	スマートグラス／USB カメラの映像を支援者用 PC へ送信 作業者と支援者の音声通話 支援者用 PC の作業手順書のダウンロード （作業者支援システムのアプリケーション機能）
2	スマートグラス	作業指示書の表示 現場映像の撮影 （解像度 HD）	スマートグラスで撮影した映像を携帯端末支援者用 PC に表示 支援者用 PC から携帯端末にダウンロードされた作業手順書等を表示
3	骨伝導マイク	マイク及びスピーカ	支援者との音声通話
4	ローカル 5G ルータ	ローカル 5G ネットワーク接続用	

上記の高精細映像のリアルタイム伝送におけるアップロードと点検業務支援のスマートグラスの機能要件と性能要件は以下となる。

- 高精細画像・映像のリアルタイム共有における機能要件
  - 映像の撮影・伝送・配信

    4K カメラにて対象物の映像を撮影し、ローカル 5G 回線を経由して遠隔地へ伝送する。伝送された 4K 映像を大容量映像伝送設備にてエンコードし、遠隔者側のモニタに表示してリアルタイムでの映像確認を可能とする。
  - 映像の記録

    大容量映像伝送設備にて、映像の配信と並行して記録を行い、見返すことを可能とする。

・　スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の機能要件
  - 映像の撮影
    スマートグラスに付属しているカメラで映像を撮影する。
  - 映像と音声の伝送
    撮影された映像を、ローカル 5G 回線を経由して WebRTC サーバへ伝送する。映像は WebRTC サーバを介して遠隔者側 PC の画面に表示する。
  - 遠隔地との通話
    現地点検員の骨伝導ヘッドセットと遠隔者側 PC のマイク/スピーカを用い、WebRTC サーバを介して通話を行う。
  - 画面キャプチャと、画面キャプチャへの描画と送信
    遠隔者 PC に表示されている映像を任意のタイミングで画面キャプチャし、描画して作業者へ送信する。また、テキストを入力し、作業者へ送信する。
  - 大容量ファイルのダウンロード
    電子化された作業手順書（テキスト・音声・映像/画像）を作業現場からダウンロードし、携帯端末に保存する。
  - スマートグラス上に作業手順書の表示
    携帯端末に保存された作業手順書をスマートグラス上に表示し、音声データを再生する。
  - 音声認識での作業チェックリストへの入力
    発話された音声を、骨伝導ヘッドセットを通して携帯端末で音声認識を行い、事前に登録されたチェックリストへの入力を行う。
・　高精細画像・映像のリアルタイム共有及びスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の性能要件
  - エリア端で 25Mbps 以上のアップリンク通信が可能であること。
  - エリア端で 8Mbps 以上のダウンリンク通信が可能であること。

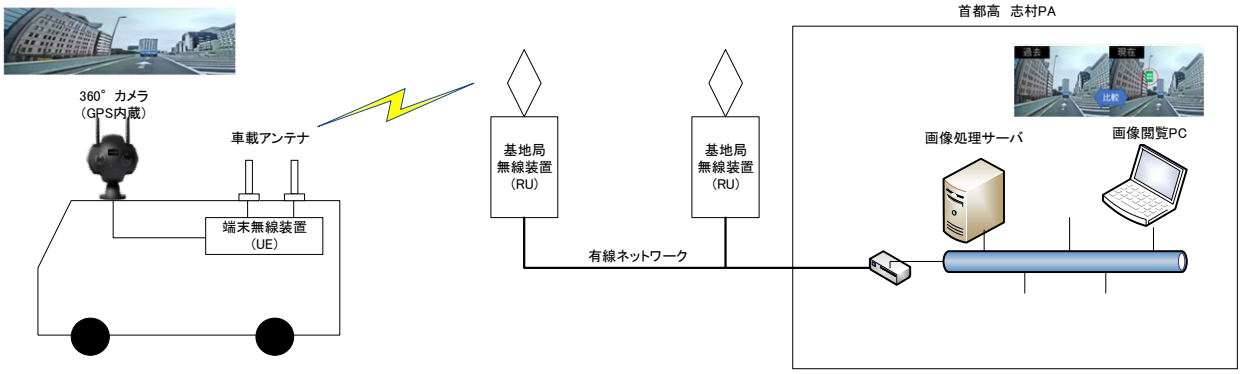
なお、1 つの基地局で 500m 程度のカバレッジを想定すると、各 2 台程度は同時運用できることが必要である。

イ）首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

平常時におけるパトロール業務の効率化や、災害時における早期の状況把握及び復旧活動の迅速化を目的として、首都高速の画像・映像共有における運用・維持管理上の課題を解決するために、全天球カメラを活用した短時間（数分から 1 時間程度）で更新されるリアルタイムに近いストリートビュー・システムを構築した。



全体像イメージ図



構成イメージ図

図 4-77 首都高ハイウェイビューNowON(360°カメラビュー)

本ソリューション全体は図 4-77 に示す構成となり、全天球カメラ（360° カメラ）と 5G 無線機を実装した車載局及び車載局からの情報を収集して閲覧するための監視局にて構成される。車載局の 360°カメラ映像は、4K 画像として位置情報と一緒に監視局に伝送し、監視局に設置する画像処理サーバに静止画として蓄積される。構成機器及び各機器の用途を表 4-61 に示す。

表 4-61 360°カメラビュー 構成機器と役割

No.	機器名称	用途	詳細
①	360° カメラ	車上からの周囲撮影(4K 画質)	車上から全方位を撮影するカメラ装置であり、6つのレンズで構成され、全映像をスティッチングして出力する。
②	ビデオコーデック	映像送信	360° カメラからの 4K 映像を H.265 方式で送信する装置
③	GPS 受信機	位置情報の受信	車載局の位置情報(緯度経度)を受信する受信機
④	プロトコル変換装置	LAN 変換	GPS 受信機からの位置情報を LAN に変換する装置

No.	機器名称	用途	詳細
⑤	端末無線装置(UE)	無線装置	映像や位置情報を無線伝送するローカル 5G の無線機
⑥	ビデオコーデック	映像受信、JPEG 変換	車載局から送信された H.265 方式の映像を受信する装置、また映像を JPEG 形式の静止画に変換する装置
⑦	画像処理サーバ	画像受信、Web 機能提供	カメラからの静止画、及び位置情報を紐付けして保存したり、Web 機能により画像閲覧端末からの要求に対して画面提供を行うサーバ装置
⑧	画像閲覧 PC	閲覧用	画像を閲覧する端末装置

また、各機器の設置状況（写真）を、志村分室（⑥～⑧）は図 4-78、車載局（①～⑤）は図 4-79 に示す。360° カメラで撮影した全天球画像を図 4-80 に示す。



図 4-78 システム実装状況(志村分室)



図 4-79　端末実装状況



図 4-80　360°カメラ撮影映像

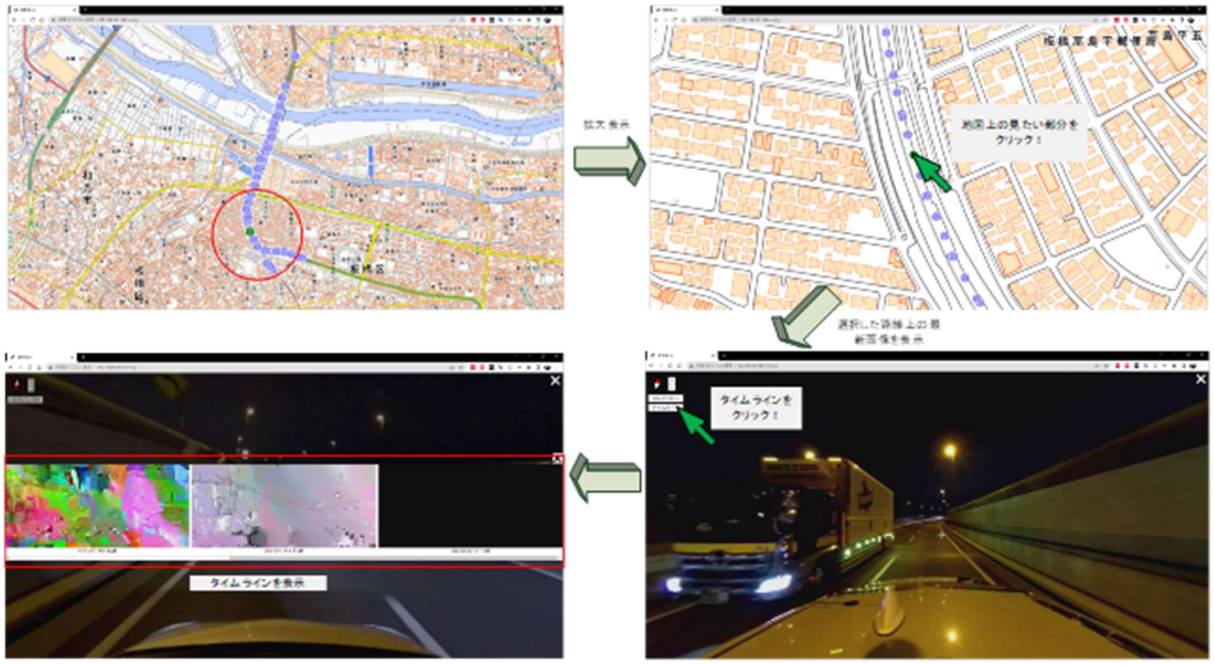


図 4-81　画像閲覧 PC 操作画面（管理者確認画面）

蓄積された映像は画像閲覧 PC で閲覧を行う。PC の操作画面を図 4-81 に示す。操作概要は以下のようになる。

- 道路マップが「①トップ画面」となり、「②トップ画面（拡大図）」のように拡大/縮小表示や、地図内の移動ができる。
- 「②トップ画面（拡大図）」のように、路線上に配置されたアイコン（◎）は撮影画像が保存されていることを示す。
- 路線上の監視したい部分のアイコン（◎）をクリックすることで、「③360°全天球画像表示」のような画面が表示され、360°の全天球画像を表示する
- 表示された 360°の全天球画像を、マウスで掴んで上下左右することで上下左右に視点移動することができる。また、センターホイールにより拡大/縮小表示もできる。
- 「③360°全天球画像表示」左上の「タイムライン」をクリックすると、タイムライン（同一地点の過去画像）が表示される。
- タイムライン内の画像をクリックすると、選択した過去画像が「③360°全天球画像表示」で表示される。

また、本モデルの機能要件は以下となる。

- 全天球カメラ（360°カメラ）映像の撮影、伝送機能
  複数レンズからの映像を造成するスティッチング機能。
  360°カメラからの映像を 4K 画質の H.265 方式により、5G 無線を介して監視局に伝送する機能。
- 撮影位置情報の伝送機能
  車載局に実装した GPS 受信機により位置情報を取得して、5G 無線を介して監視局に伝送する機能。

・ 静止画生成機能
車載局から伝送された H.265 映像を復号化し、保存容量を削減するために JPEG 画像に変換し画像処理サーバへ保存する機能。
・ 取得画像の閲覧機能
取得した静止画を GPS 受信機からの位置情報に従って道路マップ上に配置し、道路マップ上で選択した道路位置の最新画像を表示する機能。
表示した画像はマウス操作により上下左右前後へ視線を移動して表示、ズームして拡大表示する機能。
・ タイムライン表示
現在の最新画像を表示する以外に、保存された過去画像を表示することで、状況比較、変異確認を行う機能。

また、本モデルの非機能要件は以下となる。

・ 動画像によるリアルタイム映像表示、保存機能
別途、有線回線で定点カメラシステムが整備されているため、動画像による映像表示や動画像の保存機能は非対応。
・ 雨天時の運用
本実証で採用している 360°カメラは、完全防水型ではないため雨天時の運用は非対応だが、通常パトロールでの運用を想定しているため、全天候型の 360°カメラソリューションでの検討を引き続き行っていく。

ウ）線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

首都高速のような線状エリアにて一度構築したローカル 5G 網を長期間にわたり維持管理していくためには、日常的に変化する電波環境を適切に管理していくかという課題がある。そのため迅速かつ効率的に電界強度測定を行う手法を確立が必要であると考える。本課題実証では、線状エリアに適した新たな測定手段として 5G に対応した電界強度測定車（以下、5G WaveDoctor とする。）を提案する。5G WaveDoctor により走行しながら電界強度測定が可能になれば、広範囲の測定を短時間で行うことが期待できる。また、GPS アンテナとの連動により、測定データを地図上に自動マッピングすることが可能であるため、異常箇所をより迅速に把握することができる。

本ソリューションでは技術実証での詳細測定との差異分析を通じて 5G WaveDoctor の効果検証を行い、本ソリューションを PDCA サイクルの中に組み込んだ維持管理方法の確立を目標とする。5G WaveDoctor の具体的なイメージを図 4-82 に示す。

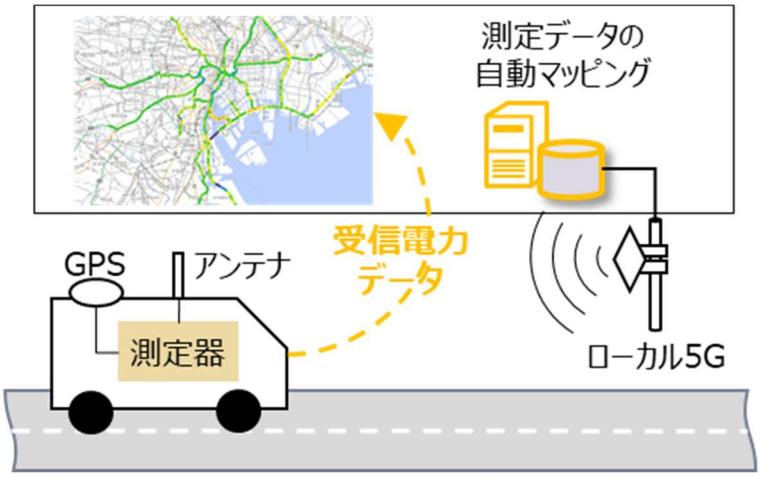


図 4-82　5G WaveDoctor イメージ図

基本的な機器構成としては図 4-83 及び
表 4-62 に示すとおりである。

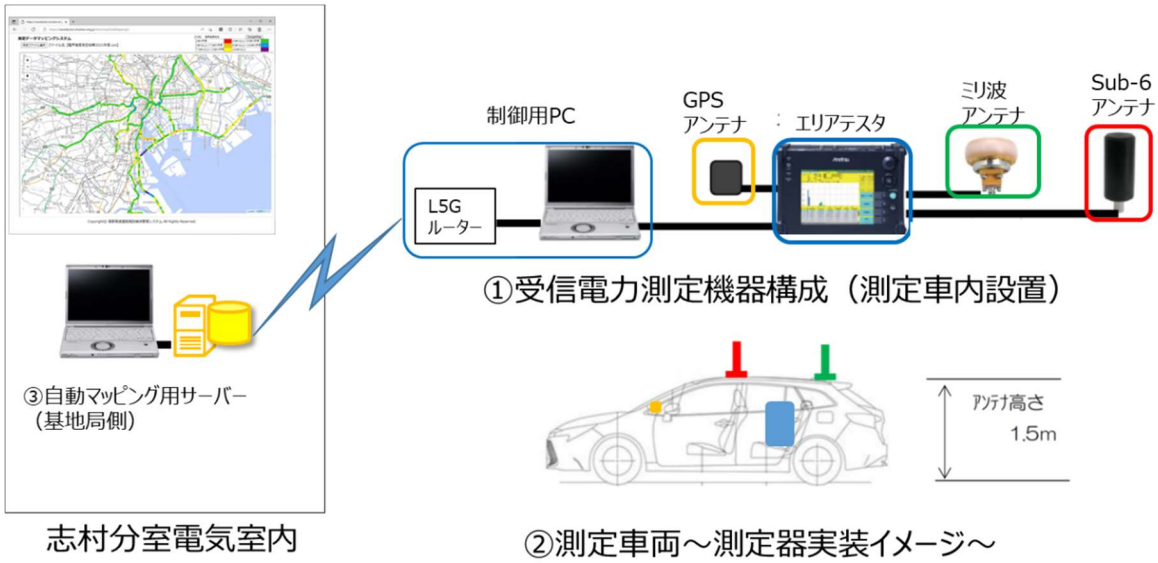


図 4-83　5G WaveDoctor 機器構成図

表 4-62　5G WaveDoctor の基本的な機器構成一覧

No.	機器構成	用途・役割	備考
①	受信電力測定機器（アンテナ類を含む）	無線エリアの受信電力を測定する。	ML8780A（ミリ波、sub6　同時測定可能なユニット構成）
②	測定車両	測定機器を設置し、測定エリアを走行する。	車高によってアンテナ高さが異なる。本実証ではトヨタ　カローラを使用。検証用としてトヨタ　アルファード（WaveDoctor　車両）も使用。
③	自動マッピングサーバ	測定したデータを地図上に自動でマッピングし、電波状況を迅速に可視化する。	街路への漏れ電波等の測定等でデータ通信が難しい場合でも、制御用　PC　にデータを一時蓄積し、測定完了後にサーバ取

			込みをすることで対応可能。

本モデルの機能要件は以下となる。

- 5G 電波走行測定機能
  車両で走行しながら受信電力（RSRP）を測定する機能。
- 測定位置情報の伝送機能
  車両に実装した GPS により位置情報を取得し、測定データと紐付けする機能。
- 測定データ蓄積機能
  測定したデータを一時的に保存しておく機能。漏れ電波の測定時等即時のデータ送信が不可能な状況もありうる。
- 測定データモニタリング機能
  取得したデータを車内において画面で確認する機能。
- 測定データ自動マッピング機能
  測定データを地図上に自動マッピングし、電波伝搬状況の可視化をする機能。

また、本モデルの非機能要件は以下となる。

- 走行測定によるスループット測定機能
  本モデルの目的は、走行測定による広範囲なエリアの簡易的なスクリーニング測定であるため、スループット値の測定は不要とする。

c. ビジネスモデル

ア）高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

首都高速をはじめとしたインフラ設備において、広範なローカル 5G エリアを構築する場合は一度に全エリア構築することは難しく、順次エリア拡張していくと考える。そのような事業者へローカル 5G 活用モデルを展開していくためには、ローカル 5G エリア拡張に伴い 4K カメラやスマートグラス等の端末を増やしていくことでソリューションを使用できるエリアを広げられるよう、ソリューションに拡張性を持たせることで、同一事業者内での展開を容易とすることが必要であると考える。上記のような拡張性を持たせるビジネスモデルとすることで、ローカル５Ｇ活用モデルの展開も容易となり、ローカル 5G 普及・展開の加速に資すると考える。なお、ローカル 5G エリアの拡張については 4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装普及展開(2)実装計画にて後述するシナリオによるものとする。

イ）首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

本 5G 活用モデルでは、ローカル 5G 活用モデルとして、平常時や災害時での活用を想定し、首都高速やその他高速道路、一般道路・河川分野、鉄道分野のソリューションとして効率化・省力化を行うビジネスモデルを想定している。

平常時における現場状況の事前把握により、保全計画立案業務の支援や、災害時における災害発生前と発生時の画像比較を行うことにより、災害対応及び復旧活動の支援を行う。

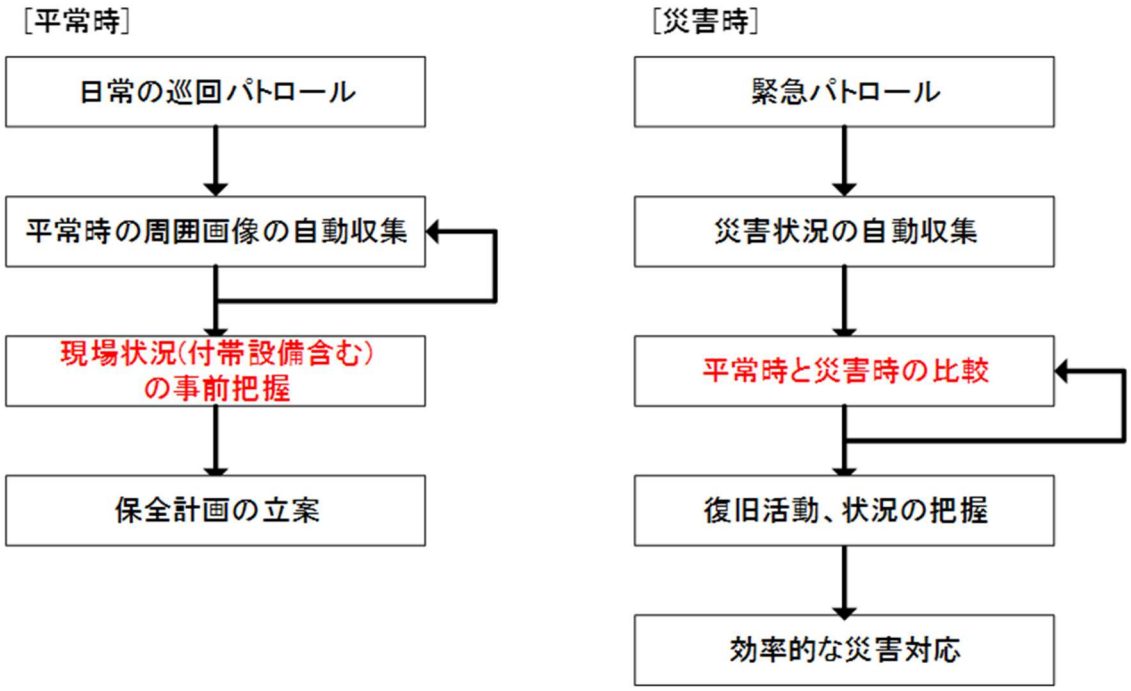


図 4-84　想定する業務フロー(360°カメラビュー)

これらシステムの実現には、ローカル 5G システムが首都高速全線に導入され、普段のパトロールにより、全路線の画像データを蓄積し、事故等が発生した場合に過去に遡れることが必要である。そのためには、線状の無線エリアを構築することが必要となる。

その他高速道路、一般道路・河川分野、鉄道分野でも、今後、効率化・省力化を目的として、このようなシステムを実現することが必要となるため、同様に線状無線エリアを構築することが必要となる。

ウ）線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

首都高速全線にローカル 5G ネットワークが形成されることを前提とし、5G WaveDoctor によるスクリーニング測定を維持管理業務に導入し、効率的な維持管理業務として継続運用していくための維持管理方法の提案を主とするが、無線エリア構築段階においても 5G wave doctor の走行測定は有用であるため、線状エリアの導入検討段階からエリア構築後の維持管理業務までパッケージでサービス提供を行う。

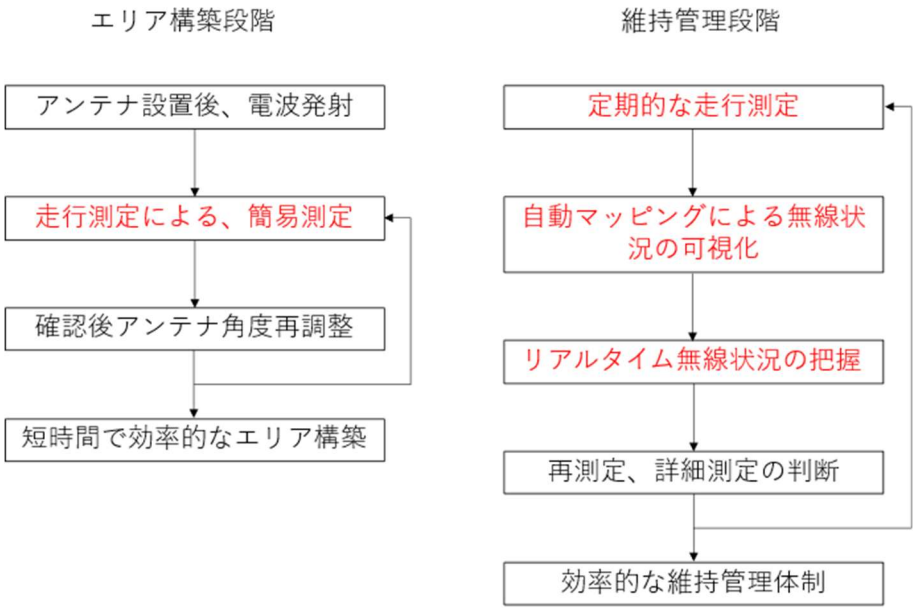


図 4-85　想定する業務フロー（5G WaveDoctor）

2）　体制・役割分担

a.　高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

ア）具体的な主体

本実証にて担当した東芝インフラシステムズ株式会社が主体となって展開を進める。

イ）免許人

横展開の対象となる各ユーザ社（有料の管理道路を有している他地域の高速道路管理者や一般道路を管理している地方自治体や国土交通省管理事務所）が免許人となる。

ウ）ネットワーク・システム構成

システム構成は b.対象となるシステム記載のとおり。

エ）体制・役割分担

高精細画像・映像のリアルタイム共有の体制・役割分担については以下の図 4-86 のとおり、スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の体制・役割分担については以下の図 4-87 のとおりとする。

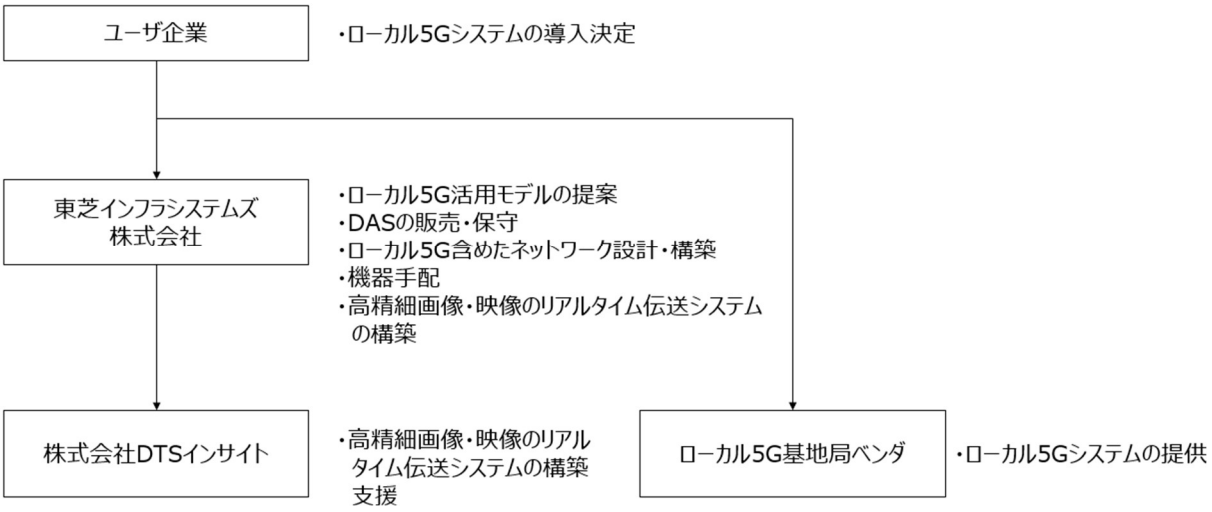


図 4-86 高精細画像・映像のリアルタイム伝送システムの展開を行う体制と役割分担

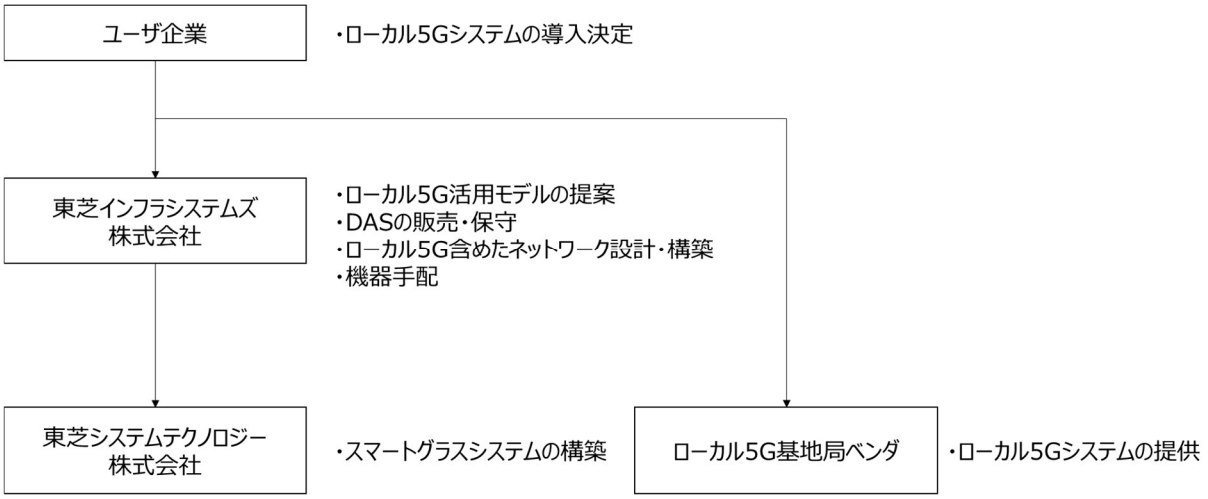


図 4-87 スマートグラスの展開を行う体制と役割分担

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

ア）具体的な主体

本実証にて担当した日本無線株式会社が主体となって展開を進める。

イ）免許人

横展開の対象となるユーザ各社（有料の管理道路を有している他地域の高速道路管理者や一般道路を管理している地方自治体や国土交通省管理事務所）が免許人となる。

ウ）ネットワーク・システム構成

システム構成はb.対象となるシステム記載のとおり。

エ） 体制・役割分担

首都高ハイウェイビューNowON の体制・役割分担については以下の図 4-88 のとおりとなる。

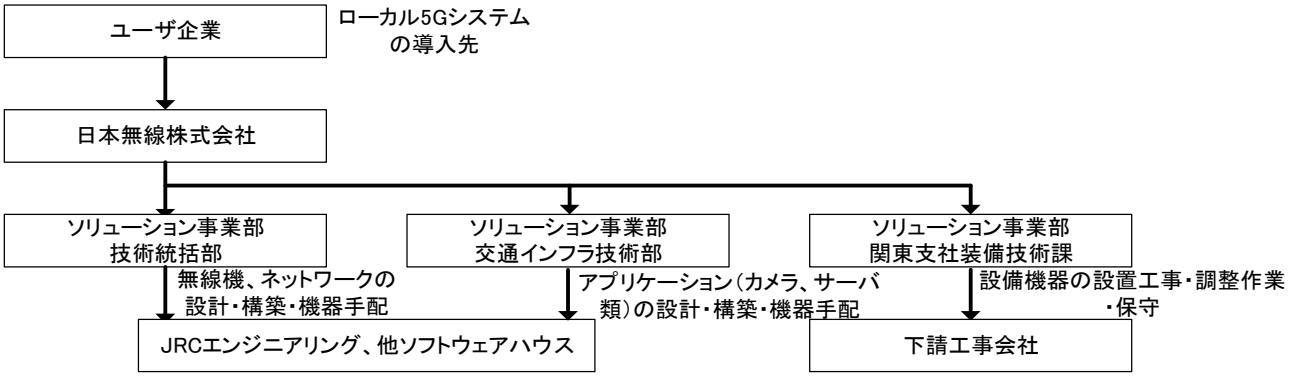


図 4-88 首都高ハイウェイビューNowON の展開を行う体制と役割分担

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

ア） 具体的な主体

本実証にて担当した首都高技術株式会社が主体となって展開・構築を行う。

イ） 免許人

首都高速道路株式会社及び横展開のターゲットとなる各ユーザ社（有料の管理道路を有している他地域の高速道路管理者や一般道路を管理している地方自治体や国土交通省管理事務所）が免許人となる。

ウ） ネットワーク・システム構成

システム構成は b.対象となるシステム記載のとおり。

エ） 体制・役割分担

本ソリューションの体制役割について、図 4-89 に示す。

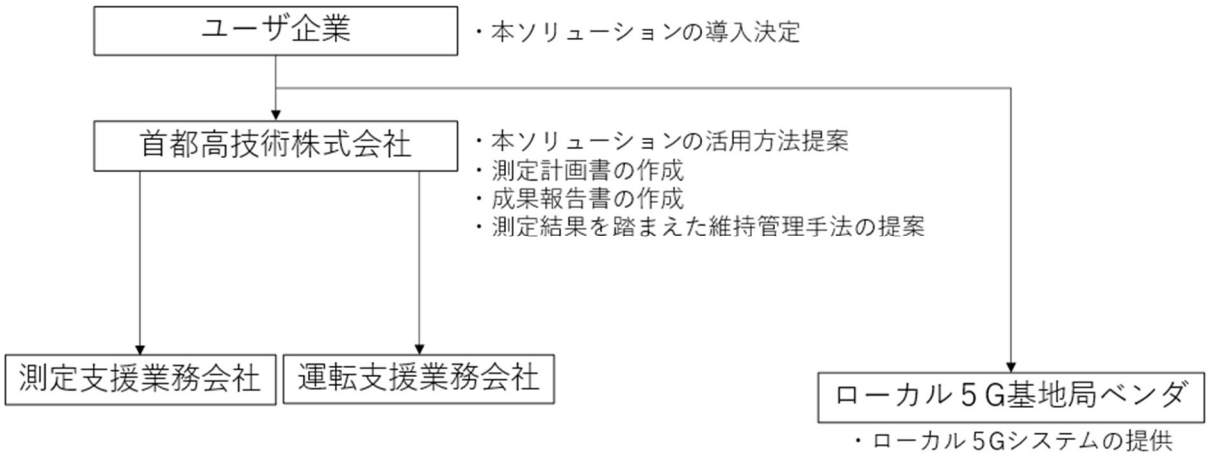


図 4-89　5G WaveDoctor の体制･役割分担

3)　導入効果

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検作業支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有は、本実証にて通信品質は安定しており 4K の高精細映像の安定的な伝送を確認した。このことから、大規模災害時にも通信キャリア回線に起こりうる輻輳が起きることなく映像の伝送が可能となる。また、可搬型カメラにより走行中の映像だけでなく、道路上の段差・目開きや土工区間の路面ひび割れ等の撮影対象の映像を伝送することができ、既存の CCTV カメラにある死角もなく的確な現場状況の伝達が可能となった。このことから本ソリューションの導入により以下の導入効果が期待できる。

- 正確な状況把握による管制室内の判断や指示の迅速化、精度向上
- 判断・指示の迅速化による現地応援対応、応急復旧の迅速化
- 交通事故処理時間の短縮
- お客様へ提供する交通情報の精度向上

代替ソリューションとしては、ローカル 5G を用いない Wi-Fi や通信キャリア回線を用いた映像共有のソリューションは存在している。しかし 4K の映像を安定的に伝送することは難しく、ローカル 5G の大容量伝送と低遅延が可能な自営網という特長を活かした本ソリューションには優位性があると言える。本ソリューションは早期障害対応が必要なインフラ設備を中心に導入効果が期待でき、提供価値があると考える。

スマートグラスによる遠隔地からの点検作業支援については、本実証にて映像及び音声の安定的な伝送を確認した。このことから現場点検員と遠隔作業支援者の情報共有が可能となった。また、マニュアルとチェックリストの電子化により作業報告書作成業務の短縮・効率化が可能となり、以下の導入効果が期待できる。

- 熟練点検員の業務効率化（複数点検への同時指示、移動削減等）
- 点検員の危険作業からの解放・ワークライフバランス向上
- 経験の浅い若手点検員の業務効率向上（デバイス上での図面参照等）

スマートグラスシステムは、ローカル 5G を用いない Wi-Fi や通信キャリア回線にて既に運

用されているものもある。本実証で構築したソリューションはリアルタイムに遠隔支援者と映像や音声を共有することができ、点検現場にて大容量の作業マニュアルをダウンロードすることができる。それぞれの機能を単体で実現する場合は Wi-Fi や通信キャリア回線でも可能ではあるが、全てを満たすためにはローカル 5G の大容量伝送と低遅延という特長を活かした本ソリューションには優位性があると言える。本ソリューションは点検業務を行うインフラ設備を持つ事業者・管理者だけでなく、工場やプラントといった設備をもつ事業者にも導入効果が期待でき、提供価値があると考える。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

高速、大容量データの通信回線を活かし、360°カメラビューのソリューションを構築し課題実証を実施した。360°カメラにより現場状況の迅速な把握や、道路管制での情報共有において、単眼カメラでは得られない状況把握が行えることが確認できた。平常時と災害時の変化する状況を把握することも可能であるため、災害対応、復旧活動の支援としての有用性があることも確認できた。

また、平常時においても道路周辺設備の劣化状況の把握や、通行車両による当て逃げの損傷確認等が道路管制室で行えるため、道路パトロールに専門人身が同行する必要がなく巡回を行うことが可能となり、人件費のコスト削減にも繋げられることが確認できた。

本ソリューションの構築において、LTE 回線等の他通信回線の活用も代替案として存在するが、高速大容量の通信が可能であり、かつローカルの閉域網で回線構築できるローカル 5G を活用することが優位性となる。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

4.3.1～4.3.2 の検証結果より、本ソリューションを導入する場合、作業時間面、コスト面から既存の可搬型測定と比較して有用性があることを示してきたが、改めて表 4-63 に示す。

表 4-63 5G WaveDoctor による導入効果一覧

	5G WaveDoctor による削減率	備考
作業時間	約 86%削減	・走行測定は精度向上のため 2 回測定 ・可搬型測定機は 300m ごとの測定 ・可搬型測定機は規制帯内作業を考慮し(4h/日)の作業時間にて日数を算出
コスト	約 88%削減	

上記の結果より、作業時間面及びコスト面において非常に高い効果があることが実証できている。加えて、高速道路上の作業においては従来の可搬型測定機による測定では道路規制が必要になり、規制帯内での測定作業は作業安全性のリスクがあること、車線規制を実施するための専門業者との契約が必要であること及び高速道路上にて他工事と競合する場合もあり、迅速な電力測定は難しい状況にある。

以上より、高速道路上にて広範囲の電力測定を行う場合は走行測定による測定が必須であり、本ソリューションの高い導入効果を見込むことができる。

（4） 実装性を高める手法の検討及び実行

1） 検証項目

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

本ローカル 5G 活用モデルの実現に向けて、技術実証でのアウトプットを踏まえローカル 5G の無線ネットワーク側の必要要件を提示する。必要要件とは、伝送速度・遅延時間等の通信品質に関する要件や端末種別の提示となる。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

ローカル 5G で運用を可能とする伝送速度等の通信品質に関する要件を定義し、実装に向けた検証を行う。また、様々な環境下（天候、時間帯、交通量等）で試験を行うため、環境の違いによる影響の分析を行う。360°カメラビューの実現への障壁として、様々な環境下（天候、時間帯、交通量等）で実運用に耐えるデータの取得が課題となってくる。本実証では、実運用に向けた仕様等の整理を行い、環境の違いによる影響の分析を行う。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

本実証では 5G WaveDoctor によるスクリーニング測定が、線状エリア構築後の維持管理において有効な手段であることを実証する。しかし維持管理段階の他、線状エリアの検討、構築段階においても 5G WaveDoctor によるソリューションの有効性が検証できればより実装性を高めることに繋がる。

2） 検証方法

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

技術実証におけるネットワーク構成及び得られた無線特性、通信品質等のアウトプットと課題実証によって得られた本ローカル 5G 活用モデルの実現に向けての無線ネットワーク側の必要要件を総合的に検証し整理する。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

技術実証におけるネットワーク構成及び得られた無線特性、通信品質等のアウトプットと課題実証によって得られた本ローカル 5G 活用モデルの実現に向けての無線ネットワーク側の必要要件を総合的に検証し整理する。また、様々な環境下（天候、時間帯、交通量等）で試験を行った結果を項目ごとに整理し、環境の違いによる影響の分析を行う。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

5G WaveDoctor のスクリーニング測定の有効性を以下の構築段階別に整理し、メリットを検証する。

- 線状エリア構築検討段階（走行測定による近隣からのノイズ電波レベルの確認）
- 線状エリア構築段階（アンテナ設置後の広範囲の走行測定）
- 線状エリア構築後の維持管理段階（効率的な維持管理のための測定）

3） 検証結果及び考察

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

本ローカル 5G 活用モデルを実装するにあたり、高精細である大容量の映像等のデータ伝送が可能であることが必要であり、ローカル 5G の通信品質が重要となってくる。通信品質は本モデルだけに留まらず、他のソリューションにおいても大容量データの伝送を行うことが多く、ローカル 5G の回線に期待するところが大きい。それらのソリューションの実装性を高めるためには安定的で高速、低遅延の通信品質が必要であることから、本実証を通じて検証した結果を示す。

技術実証にて測定したカバーエリア内のスループットについては以下の表 4-64 に再度示す。本モデルの安定的な稼働の目標値としてアップリンクで 25Mbps、ダウンリンクで 8Mbps の性能を要件としており、測定結果として要件を満たす性能が確認できる。課題実証において、伝送遅延は 300msec を目標値としていたが、これを満たす数値となっていた。上記から、通信要件で示していたスループットのアップリンク 25Mbps、ダウンリンク 8Mbps と遅延の 300msec という数値は、本モデルにおけるローカル 5G の無線ネットワークとしての必要要件と言える。

表 4-64 カバーエリア内のスループット性能の測定結果

測定点ID	スループット目標値(課題実証を踏まえた必要スループット値	UL伝送スループット 遮蔽板無 [dB]			UL伝送スループット 遮蔽板有 [Mbps]			変動値 [Mbps]		
		中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
1	25.0	25.0	25.0	1.6	25.0	25.0	0.7	0.0	0.0	-0.9
2		25.0	25.0	1.0	25.0	25.0	0.8	0.0	0.0	-0.3
3		25.0	25.0	0.7	25.0	25.0	0.7	0.0	0.0	0.0
4		25.0	25.0	0.8	25.0	25.0	0.7	0.0	0.0	-0.2
5		25.0	25.0	0.8	25.0	25.0	0.1	0.0	0.0	-0.7
6		25.0	25.0	0.4	25.0	24.6	4.4	0.0	-0.5	4.0
7		25.0	25.0	0.2	25.0	25.0	0.1	0.0	0.0	-0.1
8		25.0	25.0	0.1	22.8	23.0	2.9	-2.2	-2.0	2.8
測定点ID	スループット目標値(課題実証を踏まえた必要スループット値	DL伝送スループット 遮蔽板無 [dB]			DL伝送スループット 遮蔽板有 [Mbps]			変動値 [Mbps]		
		中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差	中央値	平均値	標準偏差
1	8.0	8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8		8.0	8.0	0.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

ローカル 5G 活用モデルの実現及び普及展開の加速に向けて、今回の課題実証結果及びローカル 5G 活用モデルの課題を抱える他ユーザ企業（国土交通省、東急電鉄株式会社）からの意見から、他ユーザ企業や他分野へ普及するための方策は以下となる。

表 4-65 首都高ハイウェイビューNowON 普及のための課題

項目	結果
移動体への実装時の環境変化への対応	パトロール車での走行試験において、全域で安定した通信品質を確保することができず、収集画像の破損や欠測が発生してしまったが、実装性を高めるためにもソリューションの安定運用（安定した画像収集）が課題となる。
スポット整備への対応	イニシャルコスト、ランニングコストの低減のためにも、ローカル 5G のスポット整備への対応が必要である。

道路という環境下においては、狭指向性アンテナでは安定した通信品質を確保できたものの、アンテナの設置位置とパトロール車の位置関係に対して、大型車の位置の影響が非常に大きいことが確認された。混雑、非混雑に関わらず、大型車の位置との関係で安定した通信品質を確保するこができなかった。

首都高速の道路環境や、他ユーザ企業においても、何かしらの遮蔽物の影響を受けることは避けられないものであるため、無線側の通信品質の確保だけでは安定した通信を実現することは困難である。また、ローカル 5G のスポット整備への対応も必須となる。

これらを解決し実装性を高め、他ユーザ企業や他分野への普及を加速するためにも、以下表 4-66 の対策を実行する必要がある。

表 4-66 首都高ハイウェイビューNowON 実装性を高めるための対策

項目	内容	詳細
通信品質に依存しない映像伝送方式の検討	・通信品質に依存せずに移動局からデータ（映像）を安定して伝送する仕組みを移動局に実装する。 ・上記に対応することで、スポット整備にも対応することが可能となる。	移動局内でのデータ（映像）の取得は構築済モデルのままとするが、そのデータを一時蓄積しておき、通信品質が安定した際に一気に送信する仕組みを構築する。若干のリアルタイム性は欠けてしまうが、一時的な通信品質の低下や、基地局のスポット整備にも対応することが可能となる。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

これまでの検証結果を踏まえて、実装性を高めるための構築段階別の評価を表 4-67 に記載する。

表 4-67 構築段階別ソリューション導入効果一覧

	可搬型測定機	5G WaveDoctor	備考
①構築検討段階	近接からの漏洩電波による干渉状況の調査		
測定可否	○	○	・構築予定の基地局の周波数が決まって

	可搬型測定機	5G WaveDoctor	備考
			いることが条件。 ・それ以外の周波数の漏洩電波の測定には別途測定機器が必要。
実用性	△	○	カバーエリアの測定と異なり、実際に電波が飛んでいる箇所があらかじめ特定できないため、定点の測定では漏洩電波を検出できない可能性がある。
評価	△	○	
②構築段階	アンテナ設置時の簡易測定による電波伝搬状況の確認		
測定可否	○	○	
実用性	△	○	・高速上等での可搬型測定機による測定は別途測定業務のために道路規制が必要になり、作業時間とコストが増大する。
評価	△	○	
③維持管理段階	広範囲の無線エリア維持管理		
測定可否	○	○	
実用性	×	○	・広範囲のカバーエリアを可搬型測定機により測定するには膨大な時間がかかり現実的ではない ・高速上等での可搬型測定機による測定は別途測定業務のために道路規制が必要になり、作業時間とコストが増大する。 ・走行測定により異常箇所を検知した後の可搬型側的によるスループット測定は必要。
評価	×	○	

上記の検証により、それぞれの段階において 5G WaveDoctor の有効性が確認できた。特に本ソリューション導入初期のニーズとしては「構築段階」における広範囲のカバーエリア測定や周囲への漏洩電波測定が大きいと想定しているので、維持管理段階を待たずに早期段階から有効活用できる。

4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討

（1） ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有に関して、映像共有の品質については効果検証を行い問題ないことが確認できたが、装着性に関してはアンケートの結果で不満が多い結果となり、本モデルを実装するにあたっては改善する必要がある。また、実測した上りのスループットが 4K 映像のビットレートに対してあまり余裕がないことがわかった。4K 映像のビットレートは今回 25Mbps に設定したが、測定した上りのスループットの結果は区間③においては 25Mbps となった。機能検証の結果、遠隔側で映像が乱れることはなかったが、上りのスループットの向上が課題として挙げられる。

スマートグラスによる点検業務支援について、技術的な課題としては映像共有の品質については効果検証を行い問題ないことが確認できたが、操作性と装着性に関してはアンケートの結果が全員一致で不満となり、本モデルを実装するにあたっては改善する必要がある。また、スマートグラスシステムを使用する際に、点検結果登録の自動化等の業務支援機能を追加することで、点検後の事務作業の負荷が軽減するという検証結果が得られた。よって、業務支援機能の追加が課題となる。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

本実証では、ローカル 5G 活用モデルとして、平常時や災害時での活用を想定し、首都高速やその他高速道路、一般道路・河川分野、鉄道分野のソリューションとして効率化・省力化を行う。平常時における現場状況の事前把握により、保全計画立案業務の支援や、災害時における災害発生前と発生時の画像比較を行うことにより、災害対応及び復旧活動の支援を行う。

これらシステムの実現には、ローカル 5G システムが首都高速全線に導入され、普段のパトロールにより、全路線の画像データを蓄積し、事故等が発生した場合に過去に遡れることが必要である。そのためには、線状の無線エリアを構築することが必要となる。

本実証の結果から、線状の無線エリアを構築するにあたって、機能・運用に関する表 4-68 に示す課題が抽出された。

表 4-68 機能･運用面の課題

項目	内容
走行時における安定した通信品質の確保	走行試験においては、アンテナ種別や道路通行車両の影響により、常に安定した通信品質を確保することが難しい。
映像伝送時の画像損失	UDP 方式による映像伝送では通信品質の影響を受けて、品質低下時に、取得画像の損失や劣化が発生してしまう。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

電波環境は、建物や車両による電波の遮蔽等の外部環境の変化により影響を受けやすい。特に、

都市内高速道路は近隣と隣接しているため、電波環境への影響に対して常に気を配らなければならない。そのため、線状エリアを適切に維持管理していくには、多頻度で受信電力の測定を行う必要がある。しかし、従来の可搬型測定機では、受信電力の測定をするために車線規制が必須であり、迅速に必要箇所の測定が実施できない状況が想定される。長期的に線状エリアを維持管理していくためには、より迅速にリアルタイム性のあるデータを常に取得し続けることが求められる。

本ソリューションは時速 60km/h にて走行しながら精度の高い受信電力測定が可能であるため、道路規制が不要であり、高い機動力で受信電力測定を実施できるメリットを活かし、様々な条件下でデータ測定を行い高い効果を実証してきた。しかし、災害時に確実な通信を実現する観点を踏まえると、定期的な走行測定の他にも受信電力データを取得し、さらにリアルタイム性を高める仕組みの構築が課題となる。

（2） ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題に対する解決策の検討

a. 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有による点検業務支援で判明した課題のうち、装着性の改善については、今後発売を予定している小型化された製品を採用することで解決が行える。4K カメラからの上りのスループットの向上の方法については、基地局と DAS を準同期モードに変更し、上り方向と下り方向のバランスを変えて上り方向のスループットの帯域の割り当てを増やす方法が考えられる。

スマートグラスによる点検業務支援で判明した課題のうち、装着性の改善については、スマートグラスの開発メーカーに対して、スマートグラスとスマートグラス端末が一体化した製品の開発や Wi-Fi ではなく 5G に対応した製品の開発を今回わかった背景と共に依頼し開発を促す。同時に、河川や鉄道等の他のインフラ事業でも横展開ができるよう、スマートグラスの使用に関する広い意見の収集を行い、開発メーカーに対して情報を展開することでも開発を促す。現在より小規模な構成となる製品を採用することで装着性に対する改善が行える。操作性の改善と点検結果の自動化等の業務支援機能の追加については、実際にシステム開発を行う際に実作業者との打合せを行うことで要求仕様を整理しターゲットとなる作業向けに特化した開発を行うことで解決が行える。

b. 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

表 4-68 に示す課題に対応するため、以下の対策が必要となる。

ア）通信品質の確保

線状の無線エリアをカバーするための狭指向性アンテナの開発や漏洩同軸ケーブルを活用し、複雑な構造である首都高速上でローカル 5G の運用ルールに則った無線エリアを確立する。

図 4-90 に示すフローにて無線エリアの確立を行う。

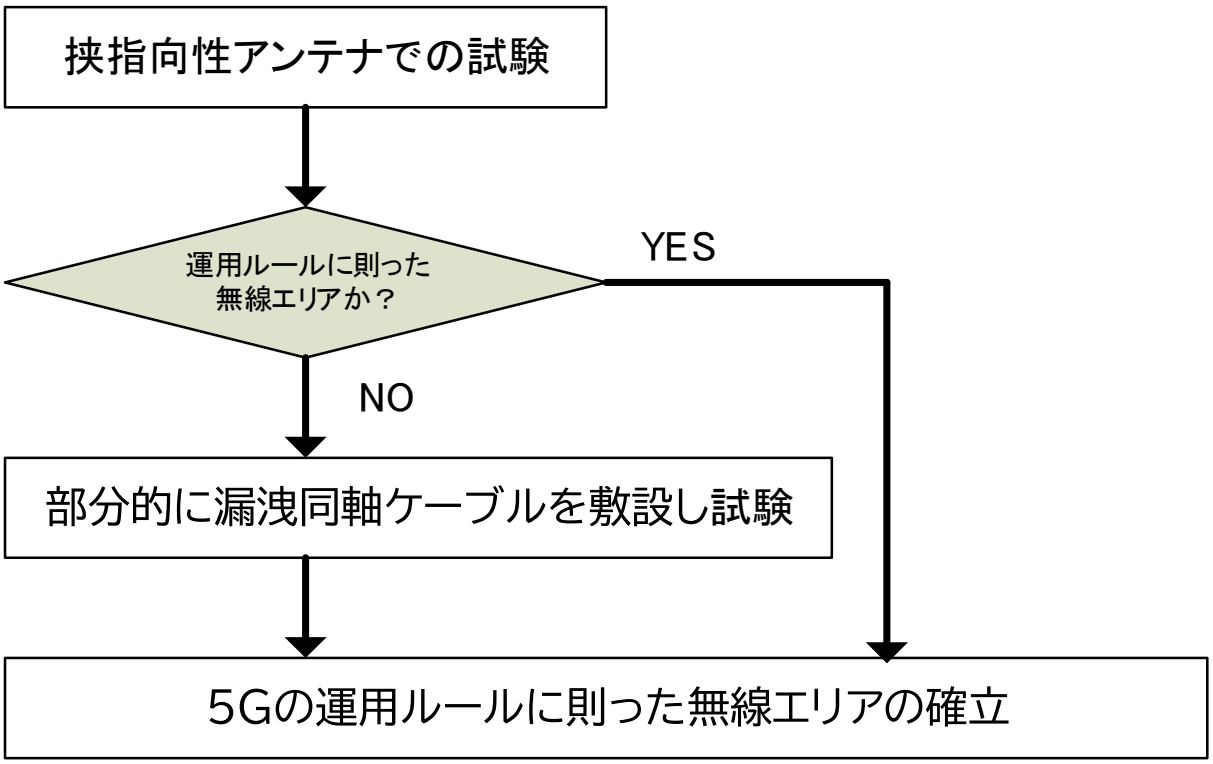


図 4-90 ローカル5Gの無線エリア確立フロー

イ）ソリューション側での回線品質低下時の対応

本ソリューションのような移動局を活用したモデルの場合には、無線エリアの確立だけでは解決できない通信品質の問題が発生する。この課題の解決策としては、通信品質に合わせたデータ（映像）伝送の機能を実現することである。

具体的には、UDP によるストリーミング方式の伝送から TCP 方式の伝送にすることで、通信品質が安定しているときに一括して伝送する機能を移動局に設けることである。これにより、品質低下時には低レートでの伝送となるが、品質が安定した際に一括してデータ（映像）伝送を行うことで、データ（映像）の破損や損失を防ぐことが可能となる。

c. 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

外部環境変化の影響による電波環境の日々の変化に対応し、常に安定した無線エリアを確保し続けるためには、より多頻度で受信電力の測定を取得し続けることが求められる。本実証では可搬型測定機との比較検証のためアンテナ設置高さが 1.5m になるような車種を選定し、本実証事業専用で 5G WaveDoctor を開発した。

しかし、より多頻度でのデータ取得を可能にすることが求められることに対応するため、ローカル 5G 無線エリアの定期測定時以外にも、その他の業務と並行してローカル 5G 無線エリアの測定が行うことが必要である。そこで本実証では首都高技術株式会社所有の「WaveDoctor（アンテナ設置高さ 2.0m)」車両にもローカル 5G 無線測定機を設置し、測定データの比較検証を行った。

今回の実証結果では、1.5m⇒2.0m 程度のアンテナ高さの違いでは、受信データへの影響は限定的であり、スクリーニング測定として十分な精度のデータを取得できることが確認できていた。

本実証事業後も継続してデータ取得・検証を行い今回の結果をより確実なものにしていく予定である。また今回の実証区間は明かり部のみであったため、GPS が容易に受信できる測定条件での検証であったが、首都高速道路にはトンネル部も多く存在する。データの継続検証と並行して、トンネル部等の GPS の受信が難しい箇所においても、測定データと位置情報との紐付けができるように追加システムの開発検討も進めていくことが必要である。

上記の課題を解決し、WaveDoctor による他の測定業務と並行して受信電力データの追加取得を実施することで、よりリアルタイム性の高いデータ取得が可能になる。図 4-91 に課題解決フローを示す。

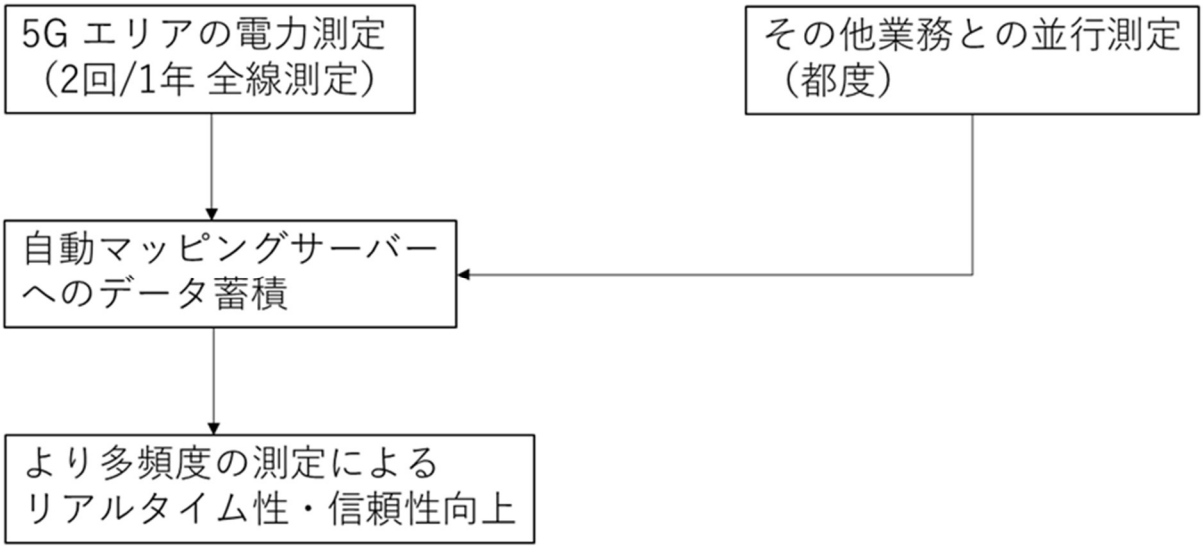


図 4-91 WaveDoctor 車両を用いた課題解決フロー

4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開

（1） 実装・普及展開シナリオ

本実証の課題実証で実施する各ソリューションは、1.1 で触れたとおり首都高速の過酷な状況に適切に対応するため、実装が不可欠である。ただし、首都高速において各ソリューションを有効に活用するためには、首都高速内のローカル 5G 環境が構築されることが前提となる。首都高速の運用路線長は約 330km あり、ローカル 5G 環境構築に多大なコストや時間がかかることから、まずは首都高速内のローカル 5G 環境の実装計画の考え方を整理し、これを踏まえて各ソリューションの実装・普及展開シナリオを整理する。

1） 首都高速内のローカル 5G 環境の実装計画

まず、ローカル 5G 活用モデルの実装シナリオの検討にあたり、前提となる首都高速内のロー

カル 5G 環境の実装計画を検討する。

都市内高速道路でローカル 5G を整備する際の課題として、当初は線状の無線通信エリア構築に係る自己土地内の効率的なエリア構成及び他者土地への電波漏洩抑制を想定していた。本実証の実施を通じて、近隣事業者との電波干渉問題が具現化し、特に導入段階では電波干渉協議の長期化に伴い、ローカル 5G 環境の実装計画どおりに展開できないリスクを新たな課題として想定しなければならなくなった。電波干渉問題を含め、今後の整備段階別に課題を整理した結果を表 4-69 に示す。

表 4-69 都市内高速道路でローカル 5G を整備する際の課題と対応策(整備段階別)

整備段階	課題	対応策
研究・開発段階	・ローカル 5G の制度に基づく高架道路上、トンネル内、高架下への線状の無線通信エリアの構築	・本実証で検討する線状の無線通信エリアを構築する要素技術の活用
導入段階	・近隣でローカル 5G 運用中のエリアに整備する際の電波の干渉対策 ・近隣の建物内から漏洩する電波の干渉対策	・ミリ波帯を活用した電波干渉の回避検討 ・周波数帯域を分割する、ダイナミック周波数共用技術の適用等、近隣事業者との共同利用対応
運用・維持管理段階	・広大な線状の無線通信エリアの維持管理 ・近隣で新たにローカル 5G を整備する事業者との調整 ・周辺街路等、利用領域の拡大 ・さらなる通信速度の高速化	・効率的かつ迅速に対応可能な電界強度測定技術の開発 ・ミリ波帯を活用した電波干渉の回避検討 ・キャリア 5G ローミングの活用 ・非同期運用による上り方向の通信速度の向上

これらの課題を受けて、以下のとおり整理したうえで実装計画の詳細を検討する。

- 線状エリアの整備上の課題対応は、本実証及び首都高速で実施中の共同研究（民間投資での実証）を踏まえ、2023 年度前半までには整理を行う。
- 首都高速にローカル 5G を展開する際の近隣との干渉は避けられない課題であるため、本実証や 2022 年度の他の実証の成果を踏まえたうえで、課題解決に向けた検討を 2023 年度に推進する。
- 近隣事業者との電波干渉を避けられない場合を想定し、連続エリア整備案とスポットエリア整備案の 2 つの実装シナリオを想定し、各シナリオにおける実装計画を検討する。

2) ローカル 5G を活用する各ソリューション

首都高速においては、災害時対応ツールや点検業務支援ツールとして早期の実装が求められるため、本実証完了後、首都高速全線へのローカル 5G 整備（2024 年度から道路啓開優先道路より順次整備）と並行して実装できる見込みである。

また、普及展開としては、長大な区間で災害時における早期の復旧・開通を求められる、またはインフラ設備の点検の効率化が求められるといった同様なニーズを有する事業がある。具体的

には、他の高速道路、一般道路、鉄道及び河川に加えて、ガス、水道、電気等のライフラインを管理運営する事業者にも横展開の可能性が見込まれる。なお、一般道路や高速道路、鉄道の郊外区間及び河川においては、沿道への騒音を防ぐ目的の遮音壁が設置されていないため、本実証と異なる環境ではあるが、本実証で実施した柔軟化手法を用いてローカル 5G 環境を構築することは十分可能である。

基本的なニーズは各事業者ともに共通するが、事業者ごとに求める機能（接続点数や監視・制御項目、ユーザ操作等）の細かな点は違いがあるため、アドバイザーである国土交通省や東急電鉄等へのヒアリングを通じて共通化項目とカスタマイズできる変更項目や、災害時における迅速な情報共有を求めるインフラ事業者のニーズに合わせたシステムの提供スキームやサービス形態の検討も含めて、実装・ソリューションパッケージの商品化による横展開の可能性を検討する。

（2） 実装計画

1） 実装計画の作成方法

首都高速内のローカル 5G 環境の実装計画の検討にあたり、前項で整理したとおり、2 つの実装シナリオを想定する。実装シナリオを表 4-70 に示す。

表 4-70 首都高速内のローカル 5G 環境実装シナリオ

シナリオ	条件、展開計画
シナリオ 1 連続エリア 整備案	【前提条件】 ・導入予定先における近隣との電波干渉がなく、設計どおりの置局が可能である。 ・導入予算が潤沢に確保できる。
	【展開目標】 ・道路啓開最優先路線及び優先路線では、場所を気にすることなくローカル 5G を使用可能な環境を先行して構築する。
	【展開優先度】 1. 道路啓開最優先路線（約 20km） 2. 道路啓開優先路線（約 130km） 3. その他路線（約 240km）
シナリオ 2 スポット エリア 整備案	【前提条件】 ・導入予定先における近隣との電波干渉があり、干渉調整対象区域を狭めるため、出力調整等が必要である。 ・最低限の導入予算を確保しつつも、潤沢に確保できない。 ・映像共有等において、リアルタイムにこだわらず、数分程度の遅れを許容できる。（ローカル 5G 通信エリア連続化まで）
	【展開目標】 ・ローカル 5G 展開の制約が厳しい中でも、早期に非常電話付近やトンネル内の限られた場所でローカル 5G を使用できる環境を構築する。
	【展開優先度】

シナリオ	条件、展開計画
	1. 道路啓開最優先路線の非常駐車帯(約 40 か所) 2. 道路啓開優先路線の非常駐車帯(約 200 か所)、トンネル部(約 45km) 3. その他路線の非常駐車帯(約 430 か所)、トンネル部(約 45km) ＜ローカル 5G 通信エリア連続化の必要性検討＞ 4. 道路啓開最優先路線のローカル 5G 通信エリア連続化 5. 道路啓開優先路線のローカル 5G 通信エリア連続化 6. その他路線のローカル 5G 通信エリア連続化

シナリオ 2 において、非常電話付近には非常駐車帯や非常口を併設している箇所があり、避難時の重要拠点となること、トンネルは火災事故等による多くのお客様に生命の危険があることから、それぞれ重要場所と位置付けているため、展開優先度を高く設定している。

首都高速における道路啓開優先度を図 4-92 に示す。中央自動車道等、NEXCO の管理する高速道路と接続する路線等を優先路線と位置付けている。

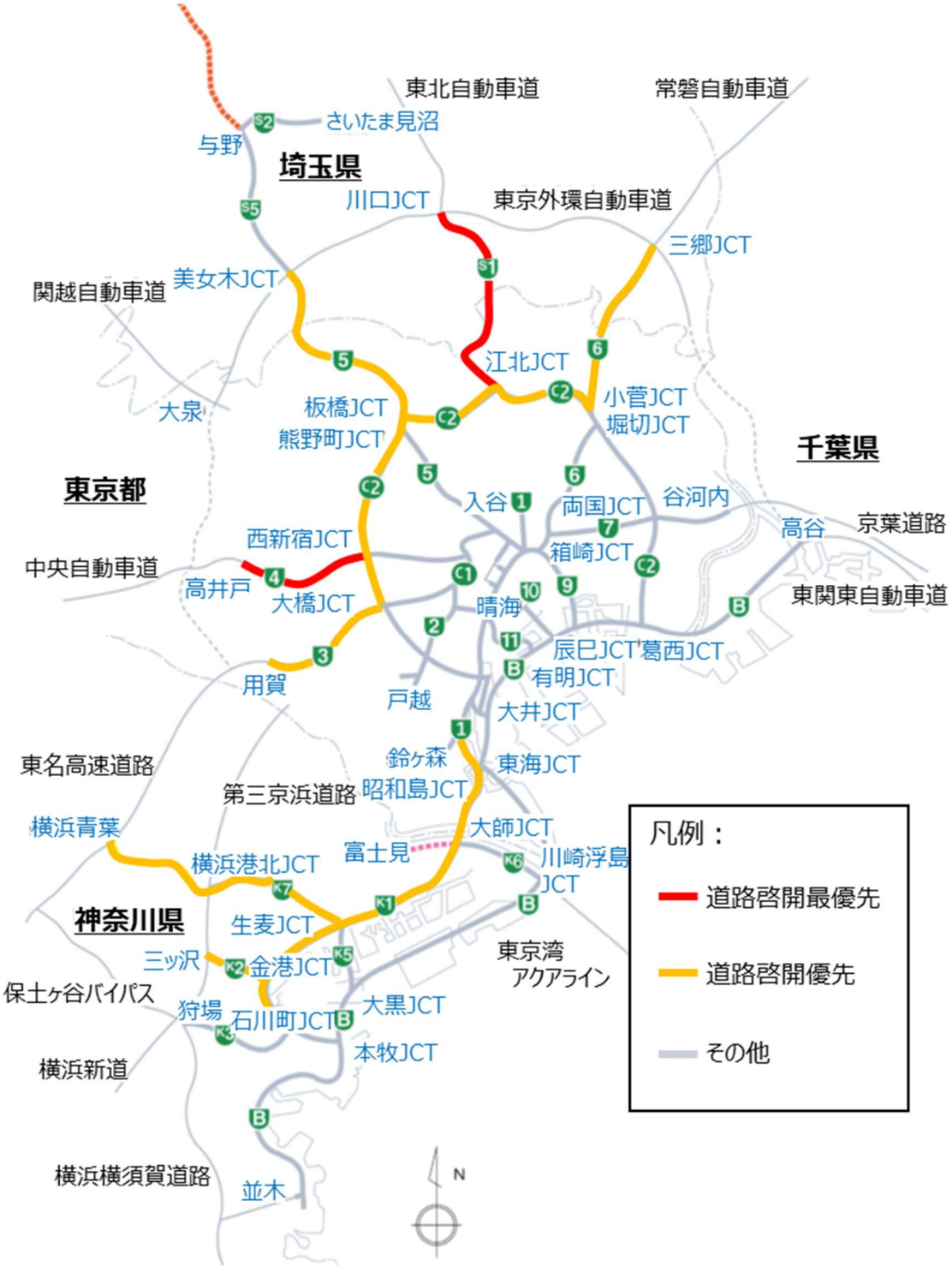


図 4-92　首都高速の道路啓開優先度

各シナリオにおけるローカル 5G 整備計画の詳細を図 4-93 に示す。

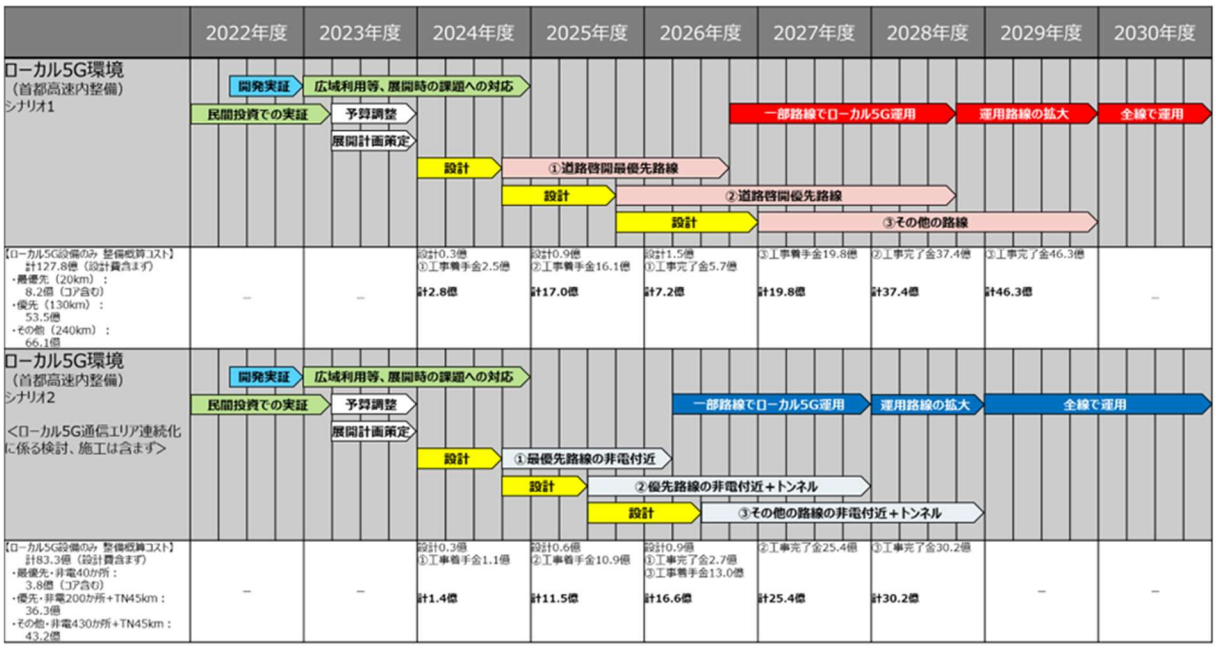


図 4-93　各シナリオにおけるローカル 5G 展開計画

ローカル 5G を活用する各ソリューションの実装計画について、導入時期はローカル 5G 整備計画、導入効果（コスト）は裨益効果を参照しつつ立案する。

なお、本実証終了後、技術実証及び課題実証の内容を深化させるため、本実証で構築した試験環境及び首都高速で実施中の民間共同研究を活用し、首都高速が中心となって悪天候時等、より細かい条件下でのデータ測定、運用性向上のための多くの点検員、交通管理員へのヒアリング等の検討を引き続き実施する。

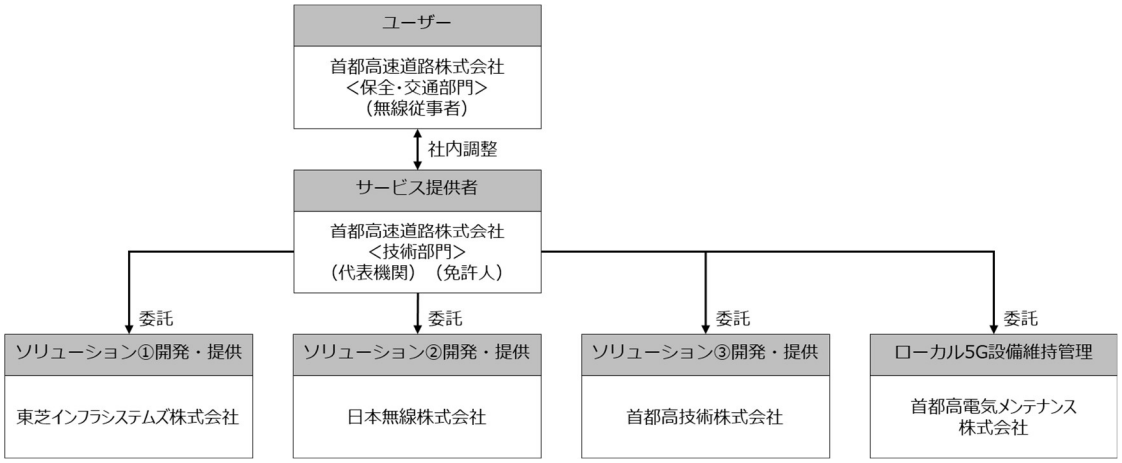
また、本実証で構築した試験環境を活用し、ローカル 5G の展開時に顕在化すると想定される電波干渉を回避するための研究、開発を実施する。具体的には、電波干渉協議を実施した近隣事業者との協議を深化させたうえでの周波数帯域分割や共同利用による電波干渉回避に向けた検討、民間共同研究によるダイナミック周波数共用技術の適用等の新たな技術を適用した電波干渉回避策の検討、ミリ波 SA 対応端末が開発され次第、ミリ波帯適用による電波干渉回避に向けた実験等を推進する。

2）　実装計画の要約

■実装計画要約シート

特 02 代表機関名	首都高速道路株式会社	分野	道路
実証件名	ローカル 5G を活用した都市内高速道路での大規模災害発生時における通信手段の確保と迅速な被害状況把握の実現		
実施体制			

特 02 代表機関名	首都高速道路株式会社	分野	道路



ソリューション①:高精細画像・映像のリアルタイム共有／スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援
ソリューション②:首都高ハイウェイビューNowON(360° カメラビュー)
ソリューション③:線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

		令和 4 年度 (2022)	令和 5 年度 (2023)	令和 6 年度 (2024)	令和 7 年度 (2025)	令和 8 年度 (2026)	令和 9 年度 (2027)
実装計画	ソリューション① 高精細画像・映像のリアルタイム共有／スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援	開発実証	課題対応	コンソ内実装	他地域、他分野への横展開		
	ソリューション② 首都高ハイウェイビューNowON(360° カメラビュー)	開発実証	課題対応	コンソ内実装	他地域、他分野への横展開		
	ソリューション③ 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor	開発実証	課題対応	コンソ内実装	他地域、他分野への横展開		
	ローカル5Gシステム (首都高内整備)	開発実証 民間投資による実証	コンソ内実装				
収支計画(千円)	(1)ユーザからうる対価※1 最上段:首都高整備相当分 ①～③:各ソリューション対価	−	35,200	1,244,000	1,862,100	906,700	2,172,300
		−	① 0 ② 0 ③ 0	① 0 ② 0 ③ 12,100	① 457,000 ② 160,000 ③ 18,300	① 457,000 ② 160,000 ③ 24,500	① 457,000 ② 160,000 ③ 30,600
	(2)補助金・交付金	−	−	−	−	−	−
	(3)収入((1)+(2))※1 最上段:首都高整備相当分 ①～③:各ソリューション収入	−	35,200	1,244,000	1,862,100	906,700	2,172,300
		−	① 0 ② 0 ③ 0	① 0 ② 0 ③ 12,100	① 457,000 ② 160,000 ③ 18,300	① 457,000 ② 160,000 ③ 24,500	① 457,000 ② 160,000 ③ 30,600
	(4)ネットワーク設置費	−	−	280,000	1,700,000	720,000	1,980,000
	(5)ネットワーク運用費※2	−	1,000	1,000	1,000	20,000	20,000
	(6)ソリューション購入費	−	① 0 ② 0 ③ 4,200	① 142,000 ② 800,000 ③ 11,000	① 142,000 ② 0 ③ 16,600	① 142,000 ② 0 ③ 22,200	① 142,000 ② 0 ③ 27,800

特 02 代表機関名	首都高速道路株式会社	分野	道路

	(7)ソリューション開発費	－	① 0 ② 30,000 ③ 0		① 0 ② 10,000 ③ 0		① 0 ② 2,500 ③ 0		① 0 ② 2,500 ③ 0		① 0 ② 2,500 ③ 0	
	(8)支出((4)～(7))	－	35,200		1,244,000		1,862,100		906,700		2,172,300	
	(9)収支((3)-(8))※1 最上段:首都高収支 ①～③:各ソリューション収支	－	0		0		0		0		0	
		－	① 0 ② 30,000 ③ 4,200		① 142,000 ② 810,000 ③ 23,100		① 599,000 ② 162,500 ③ 34,900		① 599,000 ② 162,500 ③ 46,700		① 599,000 ② 162,500 ③ 58,400	

収入、支出の算定根拠
※1 首都高速はユーザ企業であり、各ソリューションの横展開による対価は直接得られないため、ソリューション事業者ごとに直接入る対価を算出している。
※2 令和 5～7 年度のネットワーク運用費は、本実証終了後も試験環境を継続運用することをもとに算出している。
① 首都高へのローカル 5G 整備計画に基づき、6 か年で総額を割り戻した費用及び保守費を計上。
② 首都高全線をカバーし、全管理車両に導入した場合の費用を想定し算出。令和 7 年度以降は保守費を計上。
③ 令和 5 年度は実験等による走行測定を 1 か月程度想定。令和 6 年度以降は、横展開による受注(1 件/年)費用と首都高のローカル 5G 整備計画に基づき 6 年で総額を割り戻した損料及び保守費を計上。

実装を確実にするための取組		どのようにして(手段、取組方法、アウトカム)	いつまでに
	提供コスト低減	① 複数台の手配による提供コストの低減、複数台同時作業による人件費の削減 ② 首都高全域への展開に向けた見直しの実施 ③ WaveDoctor によるその他測定業務との並行運用検討の実施	① 導入に合わせて実施 ② 令和 5 年末 ③ 令和 5 年度中
	ソリューション追加開発	① 本実証で得られた課題を踏まえ、ユーザビリティ向上等を実施 ② 車載局の屋外機器(360° カメラ)の防水対策ため、機構設計や実装検討、カメラ仕様の見直しを実施 ③ GPS が入らないトンネル内等の位置情報に対応するため、追加システムを検討し実装する	① 導入に合わせて実施 ② 令和 5 年末 ③ 令和 5 年度中
	顧客開拓	① 各種展示会、ウェビナー、社内ラボラトリー環境への集客により顧客開拓を行う ② 各種展示会への出展や、HP での情報発信により顧客開拓を行う ③ 各種展示会等への出展や Web 上への情報発信等で顧客開拓を行う	① 令和 5 年度中 ② 令和 5 年度中 ③ 令和 5 年度中
	運用面の改善	① 本実証で得られた課題を踏まえ、ユーザビリティ向上等を実施 ② 実証実験結果により、監視端末の操作画面の改善、情報共有先の追加検討の実施 ③ WaveDoctor によるその他測定業務との並行運用検討の実施	① 導入に合わせて実施 ② 令和 5 年度中 ③ 令和 5 年度中
	ルールメイキングへの貢献	現時点では特に想定なし	－

計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達等)
① 新たな販売先を検討し、販路の変更を想定。
② 新たな販売先を検討し、販路の変更を想定。
③ 現時点では特に想定なし

a. 実施体制

実装計画の実施に係る役割分担を表 4-71 に示す。

表 4-71 実装計画の実施に係る役割分担

社名、事業部名	主な役割
首都高速道路株式会社	【サービス提供者】<技術部門>(免許人)

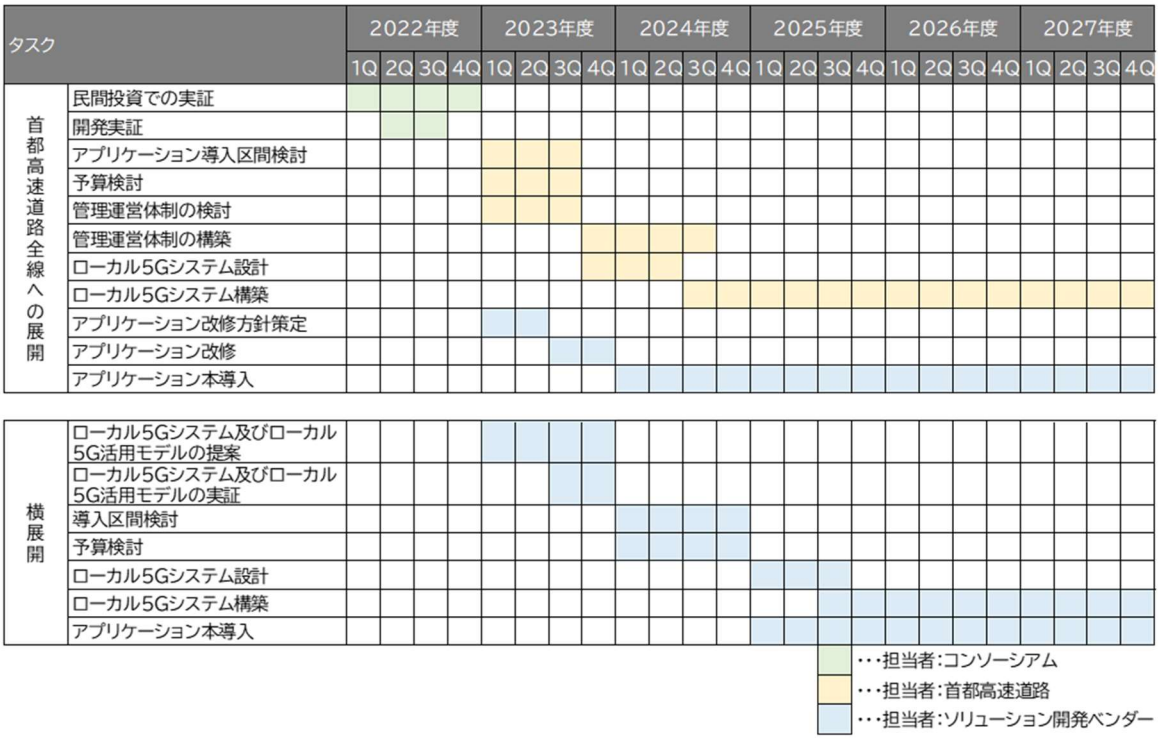
社名、事業部名	主な役割
技術部	ローカル 5G を含む新たな通信インフラ構築に向けた新技術の検討、実装計画の策定を担当する。また、各ソリューションの横展開に向けた道路事業者、他の関連事業者等との調整を実施する。
首都高速道路株式会社 保全・交通部 東京西局、東京東局、神奈川局	【ユーザ】＜保全・交通部門＞（無線従事者） ローカル 5G に係る様々なユースケースの検討の他、各ユースケースを用いた運用を担当する。
首都高電気メンテナンス株式会社 西東京事業部、東東京事業部、 神奈川事業部、システム管理部	【ローカル 5G 設備維持管理】 ローカル 5G 設備やネットワークの点検・維持管理、運用監視を担当する。
東芝インフラシステムズ株式会社	【ソリューション①開発・提供】 高精細画像・映像のリアルタイム共有／スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援に係る開発、提供を担当する。また、本ソリューションの横展開を実施する。
日本無線株式会社	【ソリューション②開発・提供】 首都高ハイウェイビューNowON（360° カメラビュー）に係る開発・提供を担当する。また、本ソリューションの横展開を実施する。
首都高技術株式会社	【ソリューション③開発・提供】 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor に係る開発・提供を担当する。また、本ソリューションの横展開を実施する。

b. 実装計画（実施事項）

ア） 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

実装計画に記載した首都高速全線への導入及び横展開における各実施内容のスケジュールは、図 4-94 のような想定とする。

図 4-94　高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の実装計画



本実証終了後よりローカル 5G システム及びソリューションの本導入に向けた検討を開始する。

本実証で現場作業員より得られたアンケートの結果をもとにし、2023 年度中にローカル 5G 導入予定エリアの中で本ソリューション導入が急がれる区間を選定する。また、合わせてローカル 5G 導入に向けたエリア設計や他者干渉調整、設備導入に必要な設置場所や既存流用可能な伝送路の有無等の現地状況からの導入へ向けた課題を本実証における試験環境を継続運用しながら整理して、アプリケーション導入区間の選定と順序や導入機器数を検討する。

検討した区間や順序から、設備導入に係る導入費用や維持コスト、管理運営体制を検討し、予算化を行う。2024 年度から予算を執行し、導入区間においてローカル 5G システムの構築に必要なシステムや無線エリア、工事設計、構築を進めると共に、管理運営体制の構築や、システムの導入後の運用方法や保守管理の方法を、導入区間を管理する部門や設備管理の関連会社の該当部門と共に協議のうえ策定する。

ローカル 5G システム活用のアプリケーションについては、本実証から抽出された技術課題の中で、機能改修が必要な項目や追加機能の開発を行うための検討とロードマップ策定を進める。2023 年度上半期にはソリューションの開発項目の中で優先順位をつけ、下期にアプリケーション改修を実施し、導入後の運用に耐えうるシステムを構築する。

2024 年度からは、ローカル 5G システムの設計・構築が始まることと並行してシステムの手配・構築を進める。

また、本ローカル 5G 活用モデルは他インフラ事業者（鉄道、河川管理者）への展開も可能と考え、ローカル 5G システム及びローカル 5G 活用モデルの実装に向けて計画する。本実証で得た実績をもとに、2023 年度中に鉄道事業者や河川管理者への提案を開始し、年度内での実証を

行う。2024 年度には予算化に向けてローカル 5G 活用モデルを適用する地域・区間を協議し、具体的な構成を策定する。2025 年度からローカル 5G システムの設計や構築を開始し、並行してローカル 5G 活用モデルのソリューションについても構築を行い導入していく。

イ） 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

課題実証の結果から、今後の課題を抽出し、ローカル 5G システム性能を考慮したカメラ機材の選定、ソフトウェア設計、カメラ、コーデックの設定等を検討の上、2024 年から首都高速へ順次実装していくものとする。

図 4-95 に本モデルの実装に向けた実施内容、スケジュールを示す。

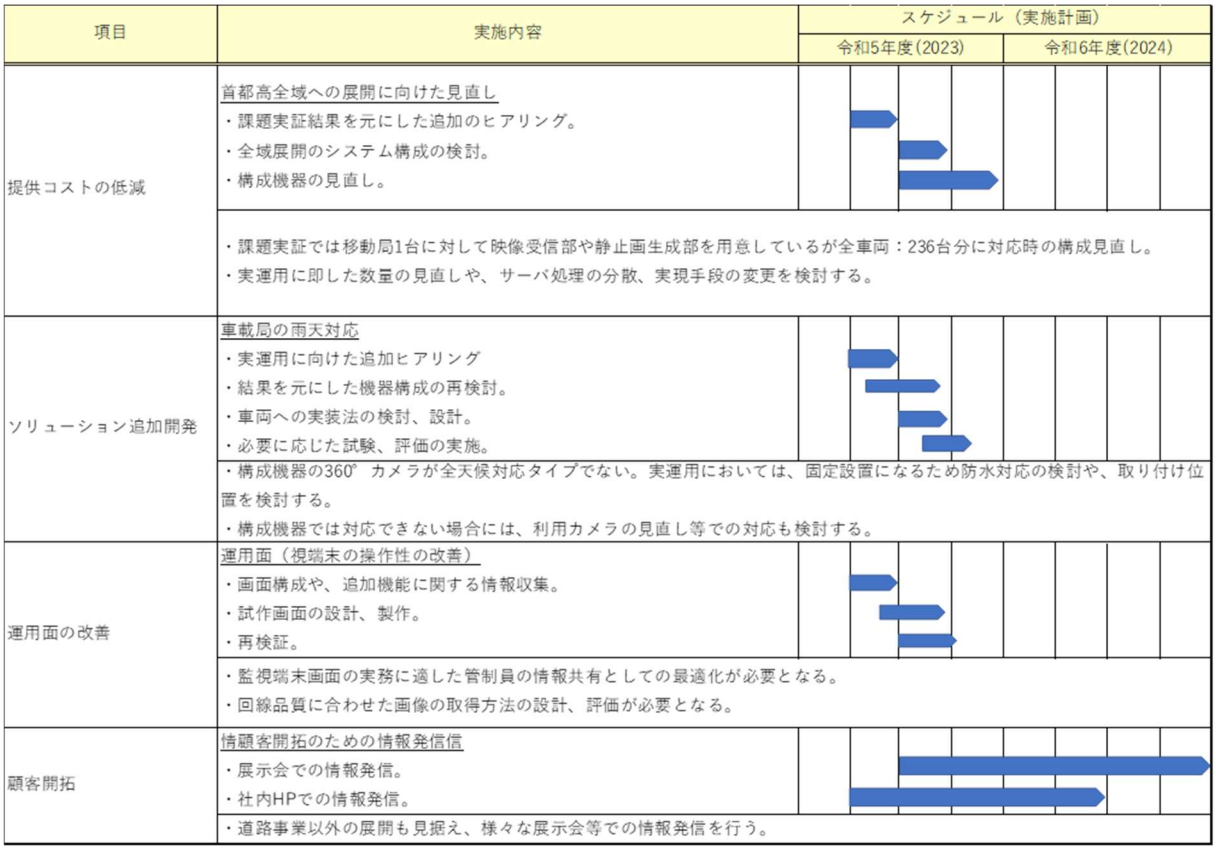


図 4-95 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）実装計画

また、本モデルは、高速道路以外のインフラ施設等での展開が期待できる。具体的には日本無線株式会社の河川やダム、自治体向けのソリューションとなる。

- 河川、ダム向けソリューション：河川監視を行っているパトロールカーに 360° カメラを実装することで、河川監視の効率を図ることができる。
- 自治体向けソリューション：自治体が管理している道路の道路パトロールや防犯パトロール等の業務の効率化を図ることができる。

実装計画については、図 4-95 の顧客開拓のスケジュールとなる。

ウ）線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

2027 年度の首都高速全線へのローカル 5G ネットワークの整備を見据え、本実証後にて得られた課題対応については 2023 年度を目処に行う。また 5G WaveDoctor は基地局の整備のスケジュールに合わせて実装することが望ましいため、課題対応と並行して 2023 年度内には実験等に対応するために首都高速にて実装できるように進める。その後 2024 年度内より、首都高速のローカル 5G 整備時の確認及び維持管理業務として活用していくと同時に、パッケージ型スクリーニング測定サービス提供を他事業者へ横展開していく予定である。なお、5G WaveDoctor 導入の際には首都高全線（高速上＋街路）での測定(2029 年以降)を年 2 回想定しており、その場合導入に係る費用は概算で 3,600 万円／年を見込んでいる。

c. 収支計画

ア）収支計画

① 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有の費用として、ソリューション購入における金額は首都高速全線へ導入した場合は概算として約 230 百万円を見込んでいる。6 か年でのローカル 5G エリア構築の想定で考えると、各年度においては約 38 百万円を見込む。加えて導入機材であるサーバの保守点検費用としては年間約 16 百万円を見込んでおり、合計金額の約 54 百万円が各年度に発生する費用となる。導入費用の内訳について表 4-72、保守点検費用について表 4-73 に示す。

表 4-72 高精細画像･映像のリアルタイム共有のシステムを首都高速全線に展開した場合に構築にかかる費用

項目	想定される内容	想定費用	算出条件
ソフトウェア構築費	高精細画像･映像の伝送及び記録を行うためのソフトウェア構築費用	118,000 千円	･カメラの台数は、首都高速の日常的なパトロールカーの運用台数に基づき 236 台と設定。 ･カメラは全台数同時に稼働しない想定で、高精細画像･映像の伝送及び記録を行うサーバ等の遠隔者側機器は 4 台と設定。
ハードウェア･機器一式	高精細画像･映像の伝送及び記録を行うサーバや、画像･映像撮影用のカメラ等	108,000 千円	
工事等役務	ラック･電源部の工事費用等	4,000 千円	
合計	－	230,000 千円	

表 4-73 高精細画像･映像のリアルタイム共有システムを首都高速全線に展開した場合の運用費用

項目	想定される内容	想定費用 (年間)	算出条件
保守	高精細画像･映像の伝送システムの機器保守費用	4,000 千円	構築費用同様、遠隔者側機器であるサーバは 4 台と設定。
アプリケーション保守	高精細画像･映像の伝送システムのアプリケーション保守費用	12,000 千円	
合計	－	16,000 千円	

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の費用として、ソリューション購入における

金額は首都高速全線へ導入した場合は概算として約 500,000 千円を見込んでいる。6 か年でのローカル 5G エリア構築の想定で考えると、各年度においては約 830,000 千円を見込む。加えて導入機材であるサーバの保守点検費用としては年間約 4,000 千円を見込んでおり、合計金額の約 87,000 千円が各年度に発生する費用となる。導入費用の内訳について表 4-74、保守点検費用について表 4-75 に示す。

表 4-74 スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援システムを首都高速全線に展開した場合に構築にかかる費用

項目	想定される内容	想定費用	算出条件
ソフトウェア構築・ライセンス費	スマートグラスを用いた遠隔作業支援ソフトウェアの構築費用及びパッケージの使用ライセンス費用	258,000 千円	・スマートグラスや PC 等の点検員側機器の台数は、首都高速の日常的なパトロールカーの運用台数に基づき 236 台と設定。 ・スマートグラスシステムは全台数同時に稼働しない想定で、WebRTC サーバ等の遠隔者側機器は 4 台と設定。
ハードウェア・機器一式	スマートグラスや骨伝導ヘッドセット、WebRTC サーバ等	221,000 千円	
工事等役務	ラック・電源部の工事費用等	21,000 千円	
合計	－	500,000 千円	

表 4-75 スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援システムを首都高速全線に展開した場合の運用費用

項目	想定される内容	想定費用（年間）	算出条件
保守	WebRTC サーバの保守費用	4,000 千円	構築費用同様、遠隔者側機器であるサーバは 4 台と設定。
合計	－	4,000 千円	

また、高精細画像・映像のリアルタイム共有とスマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の両システムの他インフラ事業者（鉄道、河川管理者）への展開についても検討した。

全国には河川国道事務所が 45 か所、国道/道路事務所が 76 か所、河川事務所が 59 か所の計 180 か所存在している。河川国道事務所、国道/道路事務所でパトロールカー3 台、河川事務所でパトロールカー2 台を保有していると仮定し、全車体に高精細画像・映像のリアルタイム共有システムとスマートグラスシステムを 1 台ずつ設置する前提で費用を算出した。

高精細画像・映像のリアルタイム共有のソリューション購入における金額は、全河川・国道事務所へ導入した場合、概算として約 1,479,000 千円を見込んでいる。加えて導入機材であるサーバの保守点検費用としては年間約 22,000 千円を見込んでおり、導入費用の内訳については以下の表 4-76、保守点検費用については

表 4-77 に示す。

表 4-76 高精細画像・映像のリアルタイム共有のシステムを横展開した場合に構築にかかる費用

項目	想定される内容	想定費用	算出条件
ソフトウェア構築費	高精細画像・映像の伝送及び記録を行うためのソフトウェア構築費用	1,180,000 千円	・カメラの台数は、事務所のパトロールカーの想定保有台数に基づき 481 台と設定。 ・高精細画像・映像の伝送及び記録を行うサーバ等の
ハードウェア・機器一式	高精細画像・映像の伝送及び記録を行うサーバや、画像・映像撮影用のカメラ等	277,000 千円	

工事等役務	ラック・電源部の工事費用等	22,000 千円	遠隔者側機器は 10 台と設定。
合計	－	1,479,000 千円	

表 4-77 高精細画像・映像のリアルタイム共有システムを横展開した場合の運用費用

項目	想定される内容	想定費用（年間）	算出条件
保守	高精細画像・映像の伝送システムの機器保守費用	10,000 千円	構築費用同様、遠隔者側機器であるサーバは 10 台と設定。
アプリケーション保守	高精細画像・映像の伝送システムのアプリケーション保守費用	12,000 千円	
合計	－	22,000 千円	

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援のソリューション購入における金額は、全河川・国道事務所へ導入した場合、概算として約 1,070 百万円を見込んでいる。加えて導入機材であるサーバの保守点検費用としては年間約 10 百万円を見込んでおり、導入費用の内訳については以下の表 4-78、保守点検費用については表 4-79 に示す。

表 4-78 スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援システムを横展開した場合に構築にかかる費用

項目	想定される内容	想定費用	算出条件
ソフトウェア構築・ライセンス費	スマートグラスを用いた遠隔作業支援ソフトウェアの構築費用及びパッケージの使用ライセンス費用	483,000 千円	・スマートグラスや PC 等の点検員側機器の台数は、事務所のパトロールカーの想定保有台数に基づき 481 台と設定。 ・スマートグラスシステムは全台数同時に稼働しない想定で、WebRTC サーバ等の遠隔者側機器は 10 台と設定。
ハードウェア・機器一式	スマートグラスや骨伝導ヘッドセット、WebRTC サーバ等	472,000 千円	
工事等役務	ラック・電源部の工事費用等	115,000 千円	
合計	－	1,070,000 千円	

表 4-79 スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援システムを横展開した場合の運用費用

項目	想定される内容	想定費用（年間）	算出条件
保守	WebRTC サーバの保守費用	10,000 千円	構築費用同様、遠隔者側機器であるサーバは 10 台と設定。
合計	－	10,000 千円	

② 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

首都高全域に導入した場合の概算費用は以下のようになる。

［算出根拠］

- 首都高全線をカバーする仕様とする。
- 親局サーバは 3 か所（東京東局・東京西局・神奈川局）に分散配置とする。
- 全管理用車両：236 台に導入した場合の費用とする。
- ランニングコストは、年 1 回の定期保守費用とする。

［初期投資コスト］

表 4-80 360°カメラビュー初期投資コスト（首都高全域）

NO.	項目	数量	単価	合計	備　考
1	**監視局装置**	**1**		**120,000,000**	
	親サーバ	3			東京西局・東京東局・神奈川局設置を想定
	Webサーバ	1			
	ソフトウェア	1			親サーバ・Webサーバ用ソフトウェア
2	**車載局設備**	**1**		**700,000,000**	**首都高パトロールカー：236台**
	カメラ設備	236			
	コーデック設備	236			
	GPS・部材費等	236			
設計費・検査費等				**上記に含む**	
合　計				**820,000,000**	

※上記内容に工事費（据付・調整）及び、SI 費は含まず。

［ランニングコスト（保守費)］

・　移動局の機材、及び監視局サーバ類の動作確認作業を行うものとする。

表 4-81 360°カメラビューランニングコスト（首都高全域）

NO.	項目	数量	単価	合計	備　考
1	**保守費**	**1**		**2,500,000**	
	保守費	1			移動局、監視局の動作確認作業
合　計				**2,500,000**	

また、首都高速以外の他ユーザ企業や他分野（河川やダム、自治体向け）に展開した場合の概算費用（収入）は以下のようになる。

［算出根拠］

・　監視局設備は 1 か所のみとする。

・　管理車両（移動局）は、3 台とする。

表 4-82 初期投資コスト(河川、ダム、自治体向け)

No.	項目	数量	単価	合計	備　考
1	監視局設備			**31,000,000**	
	親サーバ	1	6,000,000	6,000,000	1局を想定
	Webサーバ	1	4,000,000	4,000,000	
	ソフトウェア	1	21,000,000	21,000,000	親サーバ、Webサーバ用ソフトウェア
2	車載局設備			**9,000,000**	3台
	カメラ	3	1,000,000	3,000,000	
	コーデック（ENC）	3	1,000,000	3,000,000	
	GPS。部材費等	3	1,000,000	3,000,000	
設計費・検査費等				**上記に含む**	
合　計				**40,000,000**	

③　線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

実装計画要約シートに記載の各年度の詳細内訳については表 4-83 のとおりとなる。2023 年度は本実証事業の課題への対応を行う予定であるが、実験等での試験的な走行を行うことを想定している。2024 年度以降は首都高での環境構築のスケジュールに合わせた運用費の計上及び横展開での受注を年間 1 件程度想定している。2024～2029 年にかけて 1/6 ずつエリアが構築され、運用費も上昇していくことになる。なお、高速上及び街路への漏洩電波の測定も含めて 2 回/年の測定頻度を想定している。

表 4-83 5G WaveDoctor コスト

年度	2023	2024	2025	2026	2027
導入費用	1,300 千円	2,400 千円	2,400 千円	2,400 千円	2,400 千円
運用費	2,900 千円	5,700 千円	11,300 千円	16,900 千円	22,500 千円
横展開	－	2,900 千円	2,900 千円	2,900 千円	2,900 千円
合計	4,200 千円	11,000 千円	16,600 千円	22,200 千円	27,800 千円
備考	・実験 1 月程度 ・機器レンタル	・2024 年度に測定機を購入し(各年度 1/6 損料計上) ・2029 年度の首都高全線構築時の運用費を 33,700 千円とし、1/6 ごとに構築すると想定し運用費を算出			

イ）ユーザにおける必要リソース（モデルケース）

ユーザ企業として、首都高速にローカル 5G システム及び各ソリューションを導入する際の必要リソースを表 4-84 に示す。なお、表中のイニシャルコスト、ランニングコストは首都高速における本格整備後の想定コストとし、本実証及びその他研究開発に伴い整備する実験設備はコストに含まないものとする。

表 4-84 ユーザ(首都高速)における必要リソース

項目	イニシャルコスト (初年度)	ランニングコスト (次年度以降、年間)
ローカル 5G システム(※1)	12,780,000 千円	20,000 千円

項目		イニシャルコスト（初年度）	ランニングコスト（次年度以降、年間）
a.	ローカル 5G システム環境整備	12,780,000 千円	－
b.	ローカル 5G システム維持管理業務委託	－	20,000 千円
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション（※2）		1,551,440 千円	56,200 千円
a.	高精細画像・映像のリアルタイム共有 スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援	730,000 千円	20,000 千円
	① ソリューション環境整備	730,000 千円	－
	② ソリューション維持管理業務委託	－	20,000 千円
b.	首都高ハイウェイビューNowON （360° カメラビュー）	820,000 千円	2,500 千円
	① ソリューション環境整備	820,000 千円	－
	② ソリューション維持管理業務委託	－	2,500 千円
c.	線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor	14,400 千円	33,700 千円
	① ソリューション環境整備	14,400 千円	－
	② ソリューション運用業務委託	－	33,700 千円

備考（算出条件等）

（※1）

・ローカル 5G システム環境整備に係るイニシャルコストは、全線の整備費用を計上しているが、全線展開の完成まで数年かかる見込みである。

・ローカル 5G システム環境整備は、表 4-70 及び図 4-93 に示すシナリオ 1 相当とする。

・ローカル 5G システム環境整備の規模は、道路形状や周辺環境から下表のとおりの想定とする。
なお、1RU あたりの各アンテナのカバレッジは、狭指向性アンテナ 500m、分散アンテナ 100m、漏洩同軸ケーブル 100m とする。

項目	数量	単価（百万円）	金額（百万円）
RU（狭指向性アンテナ）	183 基	2	366
RU（分散アンテナ）	2,044 基	2	4,088
RU（漏洩同軸ケーブル）及び漏洩同軸ケーブル	907 基	5	4,535
コアネットワーク設備（コア装置、BBU）	1 式	－	841
施工費（システムの 3 割程度を想定）	1 式	－	2,950
計	－	－	12,780

・ローカル 5G システム維持管理業務は、首都高の基幹ネットワーク監視業務、高速上設備点検業務と並行実施を想定する。

（※2）

・各ソリューション環境整備に係るイニシャルコストは、首都高全線の整備費用を計上しているが、ローカル 5G 環境の全線展開の完成まで数年かかる見込みである。

・ローカル 5G 活用モデルに係るソリューションに関するコストは、各ソリューションの収支計画に記載のコストによる。

d. 実装を確実にするための取組

ア）提供コスト低減

① 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

システムに用いるサーバや PC、スマートグラスといった機器については、整備にあたり複数台まとめての手配となることから、手配先への金額交渉により提供コストの低減を目指す。また、

システム構築についても同一プロジェクトで複数台同時に行うことによって人件費の削減を実現する。

② 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

提供コストは、全管理車両：236 台への実装をもとに算出したコストとなっているが、実際の同時走行台数は少なくなると予測される。そのため実運用に即した走行台数のデータから、システム構成の見直しや機能の実現方法の変更を、首都高への実装を開始する 2023 年 12 月末までに行う。再検討を行うことで、現在の想定価格：120,000 千円／1 局の価格を 5%（6,000 千円）から 10%（12,000 千円）程度低減し、114,000 千円～108,000 千円を実現する。

また、河川やダム、地方自治体への展開においては、運用台数の見直しや、それに伴う監視局設備の規模の見直しも必要となるため、想定される規模を導き出すことで標準モデルを作成することで、提供コストの低減を図る。

③ 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

首都高技術株式会社では ETC 設備、管理用無線設備の電波測定業務を wave doctor(アンテナ高さ約 2.0m)にて行っている。今回は実証実験ということもあり技術実証と比較しやすいようにアンテナ高さが GL から 1.5m の高さになるような車種を選定し、新規に 5G wave doctor を構築した。

一方で仮にアンテナ高 2.0m の測定でもスクリーニング測定として問題ない測定結果が得られるようであれば導入コストの縮減やローカル５G 電波測定業務以外の業務と並行して測定を実施できる。そこで今回は追加検証として、既存の wave doctor に測定機を実装、測定しアンテナ高さによる影響の検証を行った。この検証を実証事業後も継続して行い、各種測定業務の並行運用の評価を行い運用コストの低減を図る。

イ）ソリューション追加開発

① 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

高精細画像・映像のリアルタイム共有については、映像伝送システムの開発者である東芝インフラシステムズ株式会社にて、本実証等で得られた課題に対して追加開発による改善の可否について検討し、必要な項目については同社の研究開発費による追加開発を実施し、ユーザビリティを向上させる。また、本実証の結果から上りスループットの向上を課題として挙げており、基地局と DAS を用いた構成で準同期モードに変更した際の動作検証を実施する。東芝インフラシステムズ株式会社の敷地内にて基地局と DAS を用いた屋外の実証環境を 2023 年度中に同期・準同期それぞれに設定時のスループット（UL/DL）を確認し、設定変更によって上りスループットの向上ができることを確認することで、実装を確実にしていく。

スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援についても本実証で得られた課題に対する解決策であるスマートグラスと端末の一体型製品や 5G 対応製品の開発を開発者である東芝システムテクノロジー株式会社の研究開発ロードマップへ反映するよう打診する。さらに東芝インフラシステムズ株式会社の敷地内に開設しているローカル 5G 共創センター「CreativeCircuitL5G™」では、本実証で用いた東芝システムテクノロジー株式会社製のスマートグラスシステムを導入しており、ローカル 5G 回線を用いて稼働させている。

「CreativeCircuitL5G™」には業種を問わず多くの来客が見込めるため、来客に実際にスマートグラスシステムを体感いただき、広く意見の収集を行う。本実証で抽出された課題に対する解決策の開発依頼だけでなく今後収集される意見を 3 か月に 1 度程度の頻度で開発社に共有し、ユーザビリティの向上を目指す。

② 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

・ 車載局カメラの防水対策

課題実証で使用している 360° カメラは全天候対応（防水）タイプでないが、首都高への実装においては作業性も考慮して常時固定設置状態（管理車両への脱着は行わない）となるため、カメラ部の防水対応が求められる。

ただし、本カメラは複数レンズで構成された特殊カメラのため、容易にカバーを取り付けることができないため、専用のドーム状カバー等の機構的な構造の検討・設計が必要となる。

また、課題実証の結果やヒアリングから出てきたパトロール車への具体的な実装の課題をもとに全天球カメラでなく、180° カメラ(半円球全方位カメラ)での運用でも要求仕様を満たせるのであれば、利用するカメラの見直しを行うことで防水対策を実施するものとする（180° カメラ(半円球全方位カメラ)であれば IP66 対応製品がある)。

これらの再検討、見直し作業を 2023 年秋頃までに実施する。

・ 収集画像の破損、欠測の対策

課題実証で車による走行試験を実施したが、ローカル 5G の回線品質が通過車両等の影響により不安定になった際に、収集する画像の一部破損や欠測が発生した。画像の破損や欠測は管制業務へ影響を与えるため対策が求められる。

対策として走行車両からの UDP によるストリーミング伝送でなく、車両側にデータを一時蓄積して TCP によるハンドシェイク型の通信方式に変更することで、画像の破損や欠測にも対応することとする。これらの見直し、再評価作業を 2023 年秋頃までに実施する。

なお、この対策を実施することで、5G 活用モデルの課題を抱える他ユーザ企業（国土交通省、東急電鉄株式会社）からも提示されたローカル 5G のスポット整備にも副次的に対応できるソリューションとすることが可能となる。

③ 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

本実証環境では明かり部であったため GPS の受信が問題なく行えたが、トンネル内等で GPS が受信できない環境においても位置情報を算出するためのシステムを検討し実装していく予定である。

ウ）顧客開拓

① 高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

東芝インフラシステムズ株式会社主催のウェビナーを実施し、DAS を用いたローカル 5G エリア構築手法やローカル５G 活用モデルを紹介し、提案活動を実施する。ウェビナーの集客は同社の既存顧客である道路事業者や水道局といったインフラ事業者や官公庁等に対してメール配信や各営業担当者を通じて広く行う。実施時期は 2023 年 6 月、11 月頃を想定し、規模は 100 名程度を目指す。

さらに、2023 年 10 月頃に実施される CEATEC や、道路事業者向けのハイウェイテクノフェア、インフラ事象者の維持管理効率化がテーマに含まれるその他展示会での技術紹介(出展を含むプロモーション活動)を実施し、同社既存顧客以外の企業・団体へもアプローチし、20 程度の顧客開拓を目指す。

上記手法により顧客開拓を実施後、2024 年 3 月末までに、同社が府中事業所に持つローカル 5G に関連する技術展示や実証試験を行えるラボラトリー環境である、ローカル５Ｇ共創センター「CreativeCircuitL5G™」への集客を行い、ローカル 5G のメリットと共に、当該活用モデルを訴求しサービスの提供を目指す。

② 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

日本無線株式会社のマーケティング費により、以下に上げるような展示会での導入事例や取り組みの紹介、アプリケーションの実演等を行う予定である。

道路事業者向け以外の展示会にも展示することで、河川やダム等を含めた様々な分野へ情報発信を行い展開する。

表 4-85 日本無線株式会社の展示会出展予定

展示会名	実施予定時期
建設技術公開	2023 年、2024 年 6 月頃
COMNEXT(次世代通信技術&ソリューション展)	2023 年、2024 年 6 月頃
IoT&5G ソリューション展	2023 年、2024 年 10 月頃
ハイウェイテクノフェア	2023 年、2024 年 10 月頃

また、実証実験の終了後から、社内ホームページの導入事例での事例紹介や、日本無線技報への掲載等を行い、2023 年 6 月頃から 2024 年にかけて情報発信を行う。

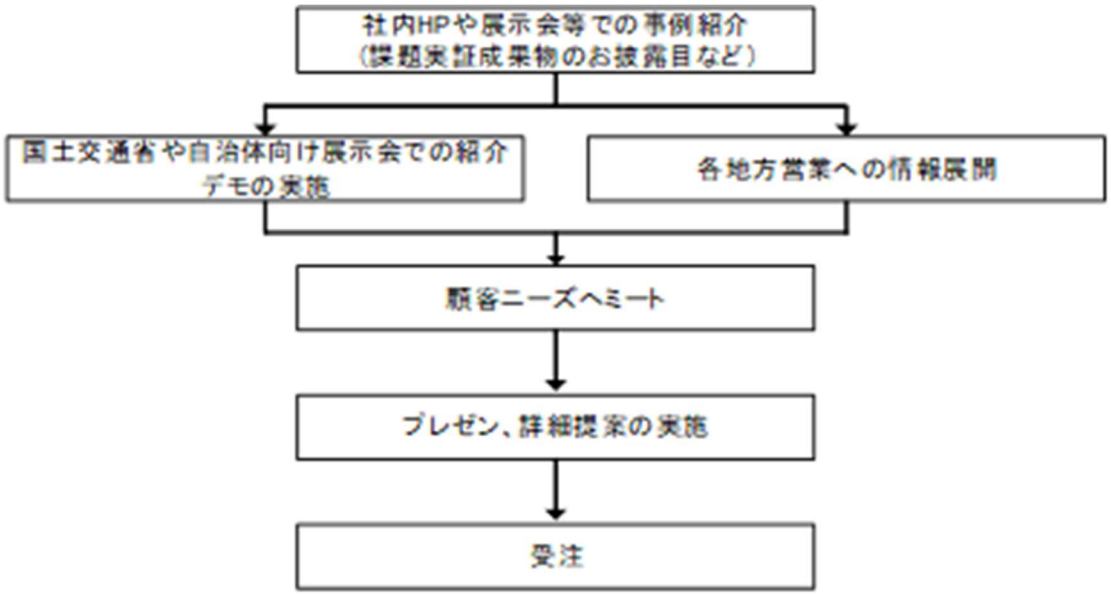


図 4-96 河川やダム、地方自治体の顧客開拓フロー

③　線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

本ソリューションを軸にした道路事業者、鉄道事業者、河川管理者への営業に加え、その他の WaveDoctor を使用した測定業務とのパッケージでのサービス提供の展開を検討する。

また、道路事業者向けの展示会であるハイウェイテクノフェア等への出展を行う。また、NTT コミュニケーションズの「5G カタログサイト」にも本ソリューションの掲載を依頼し、広く顧客獲得に繋げていく。

エ）運用面の改善

①　高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

「ソリューション追加開発」の記載内容と同様に、本実証で洗い出された課題に対して追加開発による改善可否について検討し、それぞれのシステムの開発者による研究開発費によってユーザビリティの向上を目指す。

また、ユーザである現場作業員、交通管制室オペレータ、現場応援者の各業務担当者へシステムの使用方法に関する説明や教育を行うことで心理的な抵抗感を減らし、ローカル 5G 活用モデルの運用の有効性を確認する。

②　首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

課題実証で実施した運用面に対する有用性、業務効率への影響の検証結果、本実証終了後の首都高速で実施中の共同研究を活用した運用性向上のためのヒアリング等の継続実施により、さらなる情報収集を行い、以下の運用面の改善に取り組む 。

・　監視端末の操作性の改善

課題実証における運用検証の結果をもとに、監視端末の操作性（ソフトウェアの構成、実装機能）の改善を実施する。

課題実証向けの操作画面は、道路マップ上で選択した箇所の最新画像の全画面表示、及び過去画像をタイムライン表示し選択することで過去画像を表示する機能を有している。有用性や業務効率への影響を検証した結果をもとに、画面構成やボタン配置、表示方法の再検討・設計を 2023 年秋頃までに実施する。

・　運用方法の検討

課題実証の機能としては、監視局の監視端末（デスクトップ PC）からの Web 操作のみであり、交通管制のオペレータが主な操作者として想定して作成している。しかし、災害時には災害現場（高速道路上）において、現場応援者が現況と平常時の状況を比較確認する可能性も想定される。交通管制のオペレータと同じ情報を共有することで、より迅速な適格な対応が実施可能と想定される。追加検証の結果、このような運用対応が必要となった場合には、車載でも利便性が高いタブレット端末等を採用すると想定されることから、タブレット端末向けの画面構成や操作性の検討も必要となるため、上記同様に 2023 年秋頃月までに実施する必要がある。

また、河川やダム、地方自治体への展開においては、異なる運用方法も想定される。今後、対象顧客に対して本モデルの運用に関するヒアリングを行い、2024 年末までには運用面の改善を行う。

③　線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

「提供コストの低減」でも記載したとおり、既に運用中の測定車両「WaveDoctor」へのローカル 5G 測定機能の展開が可能か実証事業後も検証する。アンテナ高さの違いによるデータへの影響度合いを評価し、スクリーニング測定としては問題なく機能することが実証できれば、他の測定業務とあわせて効率化が図れる。

オ）ルールメイキングへの貢献

現時点では、特に想定なし。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達等）

ア）高精細画像・映像のリアルタイム共有/スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援

展開先としたインフラ事業者や官公庁への訴求の 1 つである遠隔地からの正確な情報伝達、適切な判断・指示の迅速化を求める新たな販売先を検討し、販路の変更を計画する。

一例として、複数の事業所・製造拠点を有する製造業や、遠隔地の事業所間での情報連携・共有を必要とするサービス業等が想定される。

これらの事業分野で、東芝インフラシステムズ株式会社の所属する東芝グループ企業の顧客企業を中心とした当該ソリューション提案を実施し、インフラ事業者等とは異なる機能要件や性能、備えるべき付加機能を調査したうえで、システム改変の開発・改修を行う。

このことによる新たな展開先への提供を行うことで、計画した収入の不足を補う。

イ）首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）

360°カメラビューについては、メンテナンス分野への適用が想定される。今回のような車両への搭載だけではなく今後想定される可搬型無線基地局への搭載や全自動ロボット用等へのアプリケーションとして、市場の検討を行い、新たな市場を開拓することで計画した収入の不足を補う。このような市場は日本無線株式会社及び親会社の日清紡ホールディングス株式会社の顧客企業を中心にアプローチを行い、顧客の要望にマッチしたシステムの開発・改修を進め、導入を目指していくものとする。

ウ）線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor

現時点では、特に想定なし。

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

本実証の取り組み成果に係る 3 分程度の動画を作成した。また、以下の実証映像の素材提供等、事務局からの協力要請に対応した。

- PM コメント
- 実証実施場所付近の高速道路状況
- 高精細映像・画像のリアルタイム共有　実施状況
- スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援　実施状況
- 首都高ハイウェイビューNowON（360°カメラビュー）　実施状況
- 5G WaveDoctor　実施状況



図 5-1　スマートグラスを使用した点検業務状況の動画切り出し

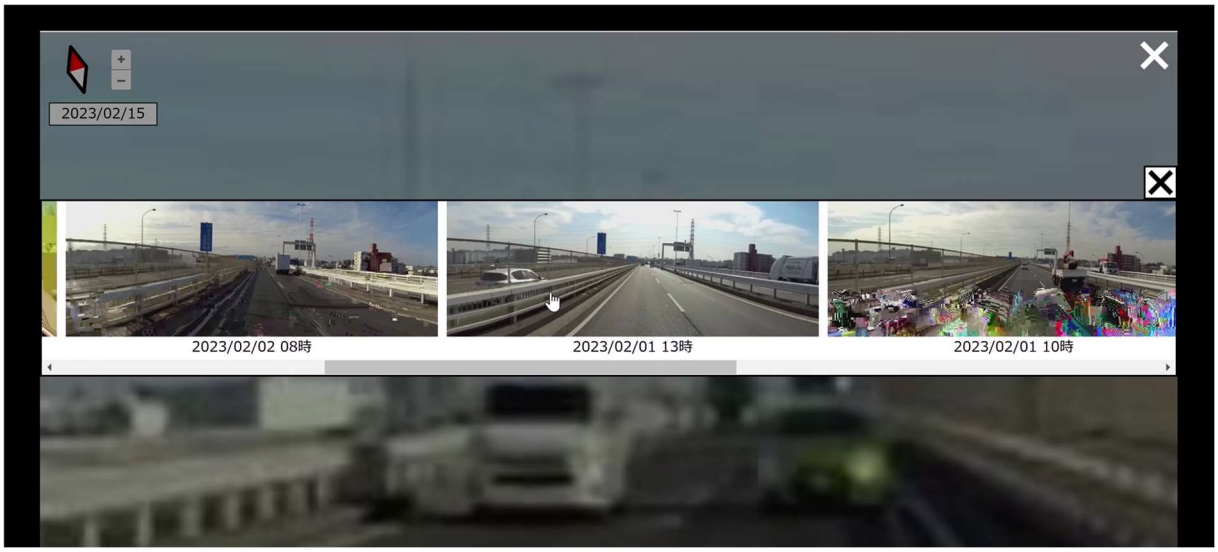


図 5-2　首都高ハイウェイビューNowON(360°カメラビュー)のタイムライン機能利用状況の動画切り出し



図 5-3　5G WaveDoctor による測定状況の動画切り出し

5.2　実証視察会の実施

本実証に関心のある関係省庁や企業等への普及啓発活動の一環として、2023 年 2 月 10 日に実証視察会を実施した。実証視察会は、首都圏に大雪警報が発令される中での現地開催であったため、視察内容の一部変更や参加予定者が出席できない状況であったが、約 40 名の方に参加いただき、活発な意見交換を実施することができた。

表 5-1　実証視察会概要

実施日時	2023 年 2 月 10 日(金)9 時 30 分～16 時 所要約 1 時間のプログラムを 4 回実施
実施形態	現地開催
場所	首都高速道路株式会社　志村分室
参加者	・総務省 ・株式会社国際電気通信基礎技術研究所 ・住友商事株式会社 ・株式会社三菱総合研究所 ・本実証コンソーシアム会社社員及び協力会社社員
プログラム	・首都高速の事業紹介、実証概要紹介 ・各ソリューション紹介 ➢ 高精細画像・映像のリアルタイム共有／スマートグラスによる遠隔地からの点検業務支援の概要紹介 ➢ 首都高ハイウェイビューNowON(360°　カメラビュー)の概要及び実証車両紹介 ➢ 線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor の概要及び実証車両紹介 ・実証機器等視察 ➢ ローカル 5G 構成機器視察

	➢ 高精細映像撮影用 4K カメラ端末視察、スマートグラス装着体験 ➢ 360° カメラビュー機器視察 ➢ 5G WaveDoctor の出力結果視察 （実証車両展示を予定していたが、首都高速の積雪・凍結対策の対応により十分な駐車スペースを確保できなくなったため、プレゼンテーションテーション内での紹介に変更）
主な質疑、意見等	・5G WaveDoctor はローカル 5G 以外の 5G 周波数帯の測定可否、用途に関する意見交換を実施。 ・高速道路の災害時対策として、高精細映像が必要な事情に関する意見交換を実施。 ・高精細映像と合わせて 360° カメラに取り組む事情に関する意見交換を実施。





図 5-4 実証視察会の様子

5.3 その他普及啓発活動

5.3.1 展示会等での情報発信

本実証のコンソーシアム構成員が参加する展示会やウェビナー等において、事務局への申請、承認手続きを行ったうえで情報発信を実施した。無線業界に加え、道路業界の各種イベント等でも情報発信を行うことにより、線状エリア構築に向けた普及啓発活動を効果的に実施した。また、ARIB、CIAJ 等の業界団体を通じ CEATEC 等のイベントを活用して、様々なユーザ企業や他分野からの意見収集や普及の方策に関する議論を実施した。本実証で実施した普及啓発活動の取り組みを表 5-2、実施状況の一例を図 5-5 から図 5-9 に示す。

表 5-2 本実証で実施した普及啓発活動

イベント等名称	開催日	担当会社	イベント概要、ターゲット等
CEATEC2022	10/18 ～ 10/21	東芝インフラシステムズ	あらゆる産業・業種の人と技術・情報が集う展示会であり、幅広い分野の方々が来場

イベント等名称	開催日	担当会社	イベント概要、ターゲット等
			本実証事業の取り組みを口頭で説明
第 5 回 CONEXIO Black Bear Fes ローカル 5G で変わる現場の DX	10/20	ノキアソリューションズ ＆ネットワークス	コネクシオ社主催のローカル 5G 顧客向けオンラインセッション 本実証事業の取り組みをプレゼンテーション資料で説明
第 13 回 Japan IT Week 秋 IoT&5G ソリューション展	10/26 ～ 10/28	日本無線	IoT&5G ソリューションが集う展示会であり、通信事業者、機器製作会社、ユーザ企業等の幅広い分野の方々が来場 本実証事業に関連したパネル展示
Automotive World 名古屋	10/26 ～ 10/28	ノキアソリューションズ ＆ネットワークス	自動車業界にフォーカスした展示会 本実証事業の取り組みをプレゼンテーション資料で説明
IEEE 8th World Forum on IoT	11/7	ノキアソリューションズ ＆ネットワークス	IEEE 主催の IoT イベント 本実証事業の取り組みをプレゼンテーション資料で説明
ハイウェイテクノフェア 2022	11/24 ～ 11/25	首都高速道路	高速道路の建設・管理技術に焦点を当てた展示会であり、道路事業者、道路関係施工会社等、道路分野の方々を中心に来場 本実証事業に関連したパネル展示
技術論文誌 東芝レビュー 77 巻 2 号(技術成果号)	3/1 頃 予定	東芝インフラシステムズ	東芝グループの先端技術開発の取り組みや技術成果を紹介する技術論文誌であり、ホームページへ掲載することから幅広い分野の方々が閲覧予定



図 5-5　CEATEC2022 での東芝グループブースのローカル 5G コーナー



図 5-6　IoT&5G ソリューション展で展示したパネル（日本無線）



図 5-7　IoT&5G ソリューション展　実施状況（写真は一部加工）

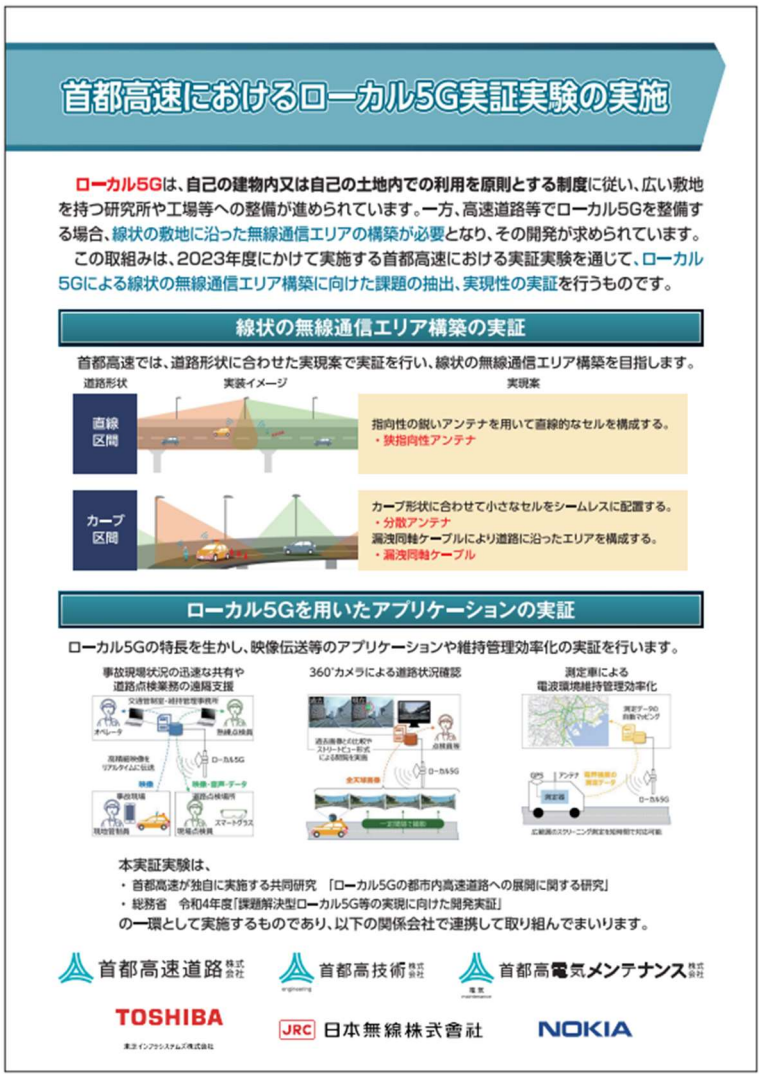


図 5-8 ハイウェイテクノフェア 2022 で展示したパネル（首都高速）

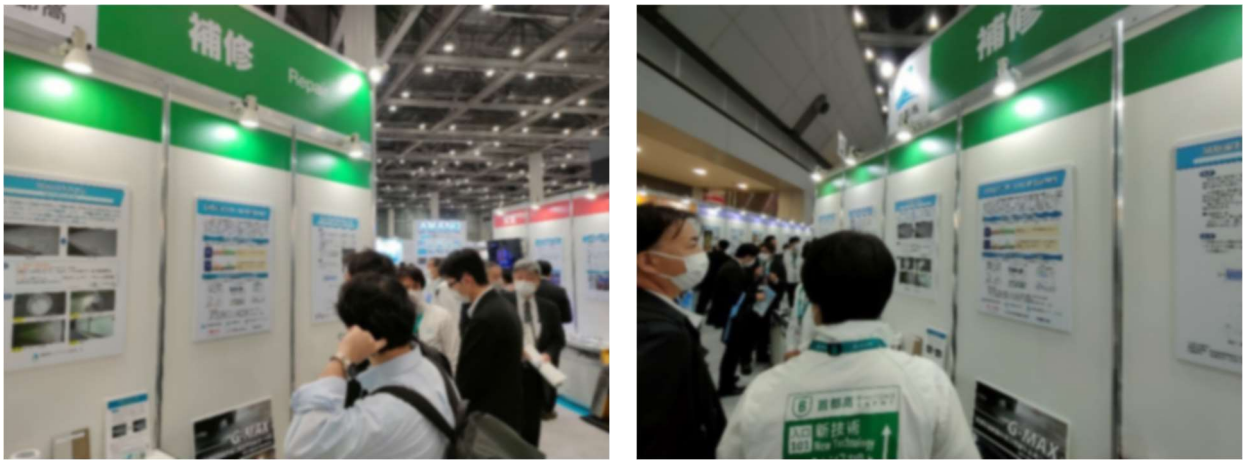


図 5-9 ハイウェイテクノフェア 2022 実施状況（写真は一部加工）

5.3.2 他分野アドバイザーとの意見交換会の実施

本実証では、ローカル 5G を導入する際、線状の無線通信エリア構築が必須となる国道、河川、鉄道を管理する事業者にアドバイザーを依頼し、意見交換会を 2 回実施した。ここでは、意見交換会の経緯、実施内容、考察を示す。

（1） アドバイザー会議の計画

本実証では、線状の無線通信エリアという特殊環境を取り扱う。線状の無線通信エリアとしては、首都高速が管理する高速道路の他、国道や県道等の道路、河川、鉄道が考えられる。これらを運用する事業者がローカル 5G の導入を検討する場合、工場や研究所等の広い敷地への導入とは異なるアプローチが必要となる。線状の無線通信エリア構築に向け、技術的課題と解決策の検討動向、ユースケースの検討動向、本実証で開発するソリューションの方向性、横展開性等について意見交換を行うため、本実証の一環として意見交換会を企画した。

国道及び河川における他分野アドバイザー事業者として、無線通信分野をはじめ様々な電気通信分野において交流のある国土交通省、鉄道における他分野アドバイザー事業者として、「鉄道版インフラドクター」をはじめとする維持管理分野において交流のある東急電鉄株式会社に協力を依頼した。いずれの事業者も、ローカル 5G に関する検討を積極的に推進している。アドバイザー事業者の概要を表 5-3 に示す。

表 5-3 アドバイザー事業者の概要

アドバイザー事業者、所属等	アドバイザーの所掌業務、概要
（国道・河川分野） 国土交通省	道路、河川・ダム等の直轄事業に係る電気通信施設の整備、管理、技術基準の制定等を担当する。ローカル 5G 等の基幹技術を活用したインフラ分野の DX を強力に推進する。
（鉄道分野） 東急電鉄株式会社	東京都西南部から神奈川県東部かけ 104.9km の鉄道ネットワークを構築し、運用・維持管理を行っている。総務省実証事業等を通じて、鉄道分野におけるローカル 5G の取り組みを推進する。

本実証における技術実証、課題実証の取り組みやローカル 5G 活用モデルの横展開について、実証期間中に 2 回の意見交換会（アドバイザー会議）を計画した。アドバイザー会議の実施計画を表 5-4 に示す。

表 5-4 アドバイザー会議の実施計画

会議	実施時期	議題（案）	得たい成果
第 1 回 アドバイザー会議	2022 年 12 月	・本実証事業の実施方針紹介 ・線状エリア構成時の技術的課題 ・ローカル 5G 実装計画 ・課題実証の横展開の可能性 （特に 5G WaveDoctor の横展開）	・線状エリアにおけるローカル 5G 実装に向けた課題の抽出 ・ローカル 5G 実装後の維持管理の重要性の共有
第 2 回	2023 年	・本実証事業の結果概要報告	・各事業者のローカル 5G 実装に向

会議	実施時期	議題(案)	得たい成果
アドバイザー会議	2 月	・ローカル 5G 実装に向けた課題 ・課題実証の横展開の可能性	けた課題を踏まえた実装計画 ・ローカル 5G 実装後の維持管理の重要性の再確認 ・課題実証で開発したソリューションのニーズ、横展開に向けた課題の抽出

(2) アドバイザー会議の実施

1) 第 1 回アドバイザー会議

第 1 回アドバイザー会議は、2022 年 12 月 14 日に実施した。ローカル 5G のユースケース、導入時の課題、導入に向けた取り組み、今後の課題、今後の予定について資料を構成し、資料に基づく説明及び議論を行った。

第 1 回アドバイザー会議では、ローカル 5G の実装にあたりローカル 5G を適用することの必然性、整備コストの低減が重要課題であるとの共通認識を得られた。また、線状エリア構築後の維持管理の重要性について共有することができた。

2) 第 2 回アドバイザー会議

第 2 回アドバイザー会議は、2023 年 2 月 21 日に実施した。本実証の結果概要、実証視察会の報告について資料を構成し、資料に基づく説明及び議論を行った。

第 2 回アドバイザー会議では、各事業者におけるローカル 5G の高い実装ニーズ、整備計画、各事業者が推すユースケースに関する情報をうることができた。また、ローカル 5G 実装後の維持管理の重要性について再確認できた。さらに本実証で開発した各ソリューションのニーズ、展開にあたって掘り下げるべき事項に関する知見をうることができた。

(3) アドバイザー会議を受けた考察、まとめ

2 回のアドバイザー会議で得られた知見等を、ローカル 5G の実装、維持管理、活用方法の観点で整理した。なお、活用方法については、各課題実証の項においてもアドバイザー会議で得られた成果を踏まえて考察している。

1) ローカル 5G の実装に関する事項

国土交通省では、光通信網の接続点や既存の情報コンセント整備箇所を拠点としてローカル 5G のスポット整備を進めることとしている。東急電鉄では、駅を拠点としてスポット整備を進め、将来的には駅間のエリア化を目指すとしている。両事業者とも、様々な無線網整備方式がある中で、ローカル 5G の実装に対して一定の優位性を見出しているものの、莫大な整備コストが

課題であると捉えている。また、国土交通省では、都心部ではローカル 5G を活用できる機会は多いと感じているものの、地方の直轄区間ではローカル 5G を活用する機会が少なく裨益効果が薄いため、このような場所への整備スキームも課題であると捉えている。

ローカル 5G の実装にあたり、整備コストの低減は引き続きの重要課題である。一方、ローカル 5G の共同利用を前提とした、複数事業者によるローカル 5G の共同整備スキームの検討が進めば、都心部では電波干渉の回避、地方では活用機会の増加が可能になると考えられる。また、一事業者あたりの整備コストの低減が図れると考えられる。制度上の課題も踏まえ、近隣事業者との意識醸成を進めていきたい。

2） ローカル 5G の維持管理に関する事項

両事業者とも、特に自己土地外の電波漏洩の程度や与干渉に懸念を抱いている。ローカル 5G による線状の無線通信エリアを構築する場合、広大な敷地に構築する場合に比べて技術的な難易度が高い他、自己土地の境界付近まで業務区域となり、一定程度の電波漏洩が不可避のためである。

本実証では、ローカル 5G 整備後の電波環境維持管理に着目した 5G WaveDoctor を開発した。法定速度で走行しながらの測定により定点測定と差異の少ない測定結果が得られる他、自動マッピング機能により電波の広がりを平面的に確認できるため、効率的な電波状況の把握を実現できる。道路上で測定する際には、保安規制が不要であることも大きなメリットである。両事業者ともに 5G WaveDoctor に関心を持っていただくことができたが、引き続きユーザビリティ改良を行い、横展開の確実性の向上を進めていきたい。

3） ローカル 5G の活用方法に関する事項

国土交通省では、インフラ DX を推進していく中で、高速大容量の特長を活かした災害時の現場把握の他、低遅延の特長を活かした遠隔施工にメリットを見出し、実証実験を実施する等積極的に取り組んでいる。東急電鉄では、映像のリアルタイム確認、AI による画像処理による現場作業の省力化にメリットを見出している。

本実証で開発した高精細映像・画像のリアルタイム共有、スマートグラスによる点検業務支援、360°カメラビューは、国道、河川、鉄道でもニーズはあるものの、高精細映像・画像が求められる場面、軽いデータで現地状況をざっと確認できればよい場面があり、横展開を推進するには何をターゲットとするかの整理が引き続き必要である。また、災害現場や一時的な施工現場等において、可搬型基地局のニーズが高いことも明らかになった。可搬型基地局は、首都高速においてもトンネルの避難通路内や箱桁内部等、活用できる場面はあると考えられる。ローカル 5G の活用方法と共に、どのような場所で活用するのかを明確にし、ローカル 5G の実装に関する事項も含めて検討を推進していきたい。

5.3.3 高速道路事業者との連携

国土交通省、高速道路 6 社、水資源機構による無線通信に関する打合せ（2022 年 9 月 27 日

実施）では、ローカル 5G に関する首都高速の取り組みの概要を紹介した。また、高速道路の各事業者が主催する防災分野、DX 分野、道路維持管理分野の委員会や打合せでは、ローカル 5G を用いたソリューション、ユースケースや首都高速のローカル 5G 展開計画の紹介、質疑応答の対応を実施した。引き続き、事業化調整や予算要求手続きでの連携を図っていく予定である。

5.3.4 ローカル 5G カタログサイトとの連携

総務省「5G ソリューションの横展開に向けた共用形態の有効性に係る調査研究の請負」事務局と連携し、他分野への横展開において有望と思われる「線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor」の掲載情報をカタログサイトへ提供した。引き続き、カタログサイトのアンケート等に協力し、実装性を高める工夫を行っていく。



図 5-10 「線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な 5G WaveDoctor」 カタログサイト掲載情報

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

実施体制の全体像を図 6-1 に示す。

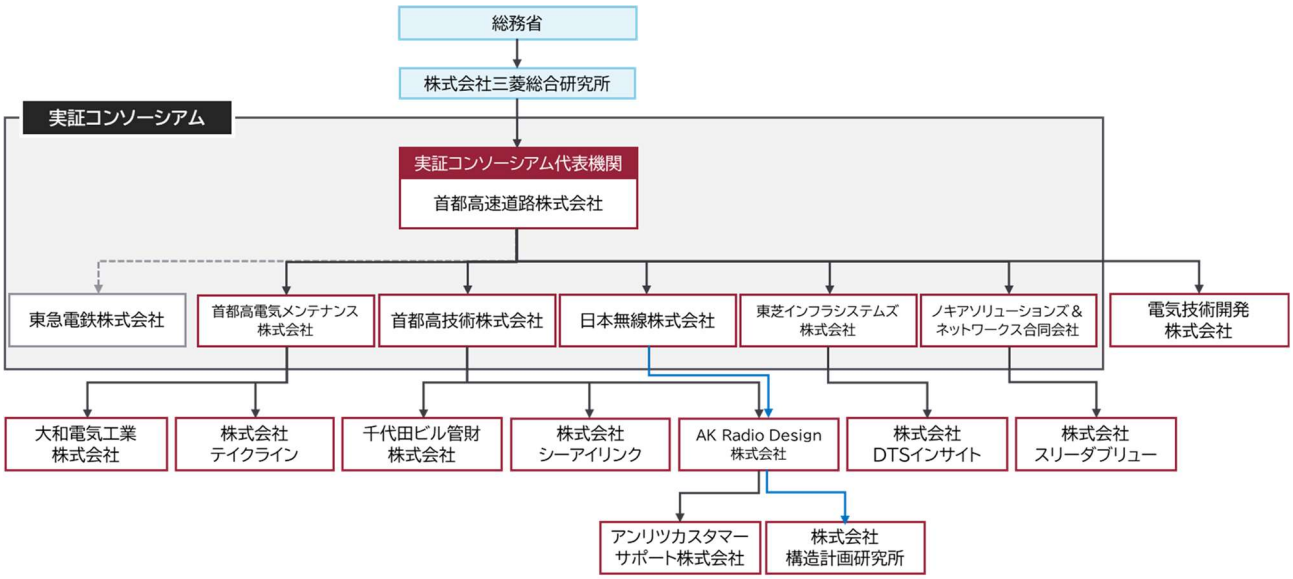


図 6-1 実施体制の全体像

6.2 実施体制内の役割

実施体制における各社が担った役割分担を表 6-1　実施体制内の役割分担図 6-1 に示す。

表 6-1 実施体制内の役割分担

社名	役割
首都高速道路株式会社	本実証事業の全体統括として、コンソーシアム内の定例会議や各種イベントの企画、無線局免許申請や関係機関協議、事務局との調整、各種提出資料の取りまとめを実施した。また、首都高速の一部を実証環境として提供した。
首都高技術株式会社	課題実証（効率的な電界強度測定技術）の総括として、5G WaveDoctor のソリューションの開発を実施した。また、技術実証の電界強度、スループット等の測定を実施した。
首都高電気メンテナンス株式会社	首都高速上に本実証事業の実施環境を構築した。また、技術実証の実施にあたり、高速上の保安規制、安全管理を実施した。
東芝インフラシステムズ株式会社	課題実証（高精細映像共有、点検業務支援）の総括として、4K スマホカメラやスマートグラスに関するソリューションの開発を実施した。また、技術実証（分散アンテナシステム（DAS））の総括として、技術実証テーマⅡに関する事項の電波シミュレーション、測定計画作成、結果取りまとめを実施した。
日本無線株式会社	課題実証（360° カメラビュー構築）の総括として、360° カメラ

社名	役割
	ビューに関するソリューションの開発を実施した。また、技術実証（狭指向性アンテナ、漏洩同軸ケーブル）の総括として、技術実証テーマⅠ及びテーマⅡに関する事項の電波シミュレーション、測定計画作成、結果取りまとめを実施した。
ノキアソリューションズ＆ネットワークス合同会社	技術実証（狭指向性アンテナ、sub6 及びミリ波、5GC を含む 5G ネットワーク）の総括として、技術実証テーマⅠ及びテーマⅡに関する事項の電波シミュレーション、測定計画作成、結果取りまとめを実施した。
東急電鉄株式会社	他分野アドバイザー（鉄道分野）として、アドバイザー会議を通じて線状エリア構築技術の汎用性やローカル 5G 活用モデルの横展開に関する意見交換を実施した。
千代田ビル管財株式会社	課題実証（効率的な電界強度測定技術）に係る車両運転業務を実施した。
株式会社シーアイリンク	課題実証（効率的な電界強度測定技術）に係る電界強度測定業務及びデータ整理業務を実施した。
AK Radio Design 株式会社	技術実証テーマⅠ及びテーマⅡにおける 3D シミュレーション、精緻化対応検討、電界強度やスループットの測定及びデータ整理業務を実施した。
大和電気工業株式会社	首都高電気メンテナンス株式会社に協力し、首都高速上に本実証事業の実施環境を構築した。また、技術実証の実施にあたり、高速上の保安規制、安全管理を実施した。
株式会社テイクライン	首都高電気メンテナンス株式会社に協力し、首都高速上に本実証事業の実施環境を構築した。また、技術実証の実施にあたり、高速上の保安規制、安全管理を実施した。
株式会社 DTS インサイト	課題実証（高精細映像共有）に用いる高精細映像配信アプリケーションの構築を実施した。
株式会社スリーダブリュー	技術実証（狭指向性アンテナ、ミリ波）に関する免許申請支援、技術実証に係る試験検討及び考察分析を実施した。
アンリツカスタマーサポート株式会社	技術実証テーマⅠ及びテーマⅡにおける電界強度やスループットの測定を実施した。
株式会社構造計画研究所	技術実証テーマⅠ及びテーマⅡにおける 3D シミュレーション、精緻化対応に関する測定データ実測比較及び評価を実施した。

上記の他、他分野アドバイザー（国道、河川）として、国土交通省に協力いただき、アドバイザー会議を通じて線状エリア構築技術の汎用性やローカル 5G 活用モデルの横展開に関する意見交換を実施した。

7. スケジュール

本実証の全体スケジュールを図 7-1 に示す。

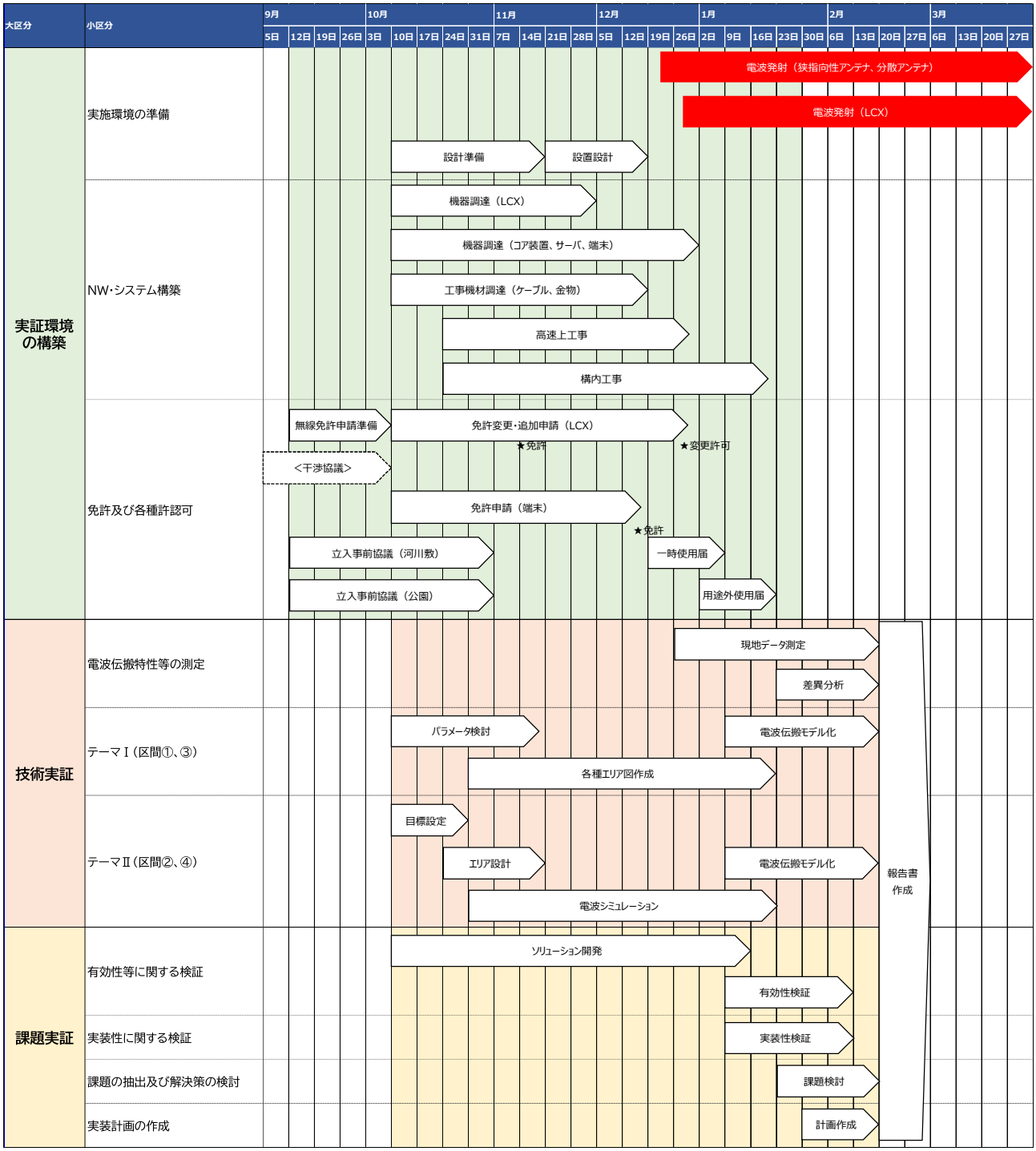


図 7-1 本実証の全体スケジュール

令和4年度　課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証【特殊環境実証事業】

ローカル5Gを活用した都市内高速道路での大規模災害発生時における通信手段の確保と迅速な被害状況把握の実現

2023 年 3 月

首都高速道路株式会社