

Networking People, Communities, and Daily Lives

5Gスペシャルデー V ローカル5G利活用2023ワークショップ —利活用の広がりと課題、今後の展望—

都市内高速道路におけるローカル5G実証実験



2023年10月18日

首都高速道路株式会社

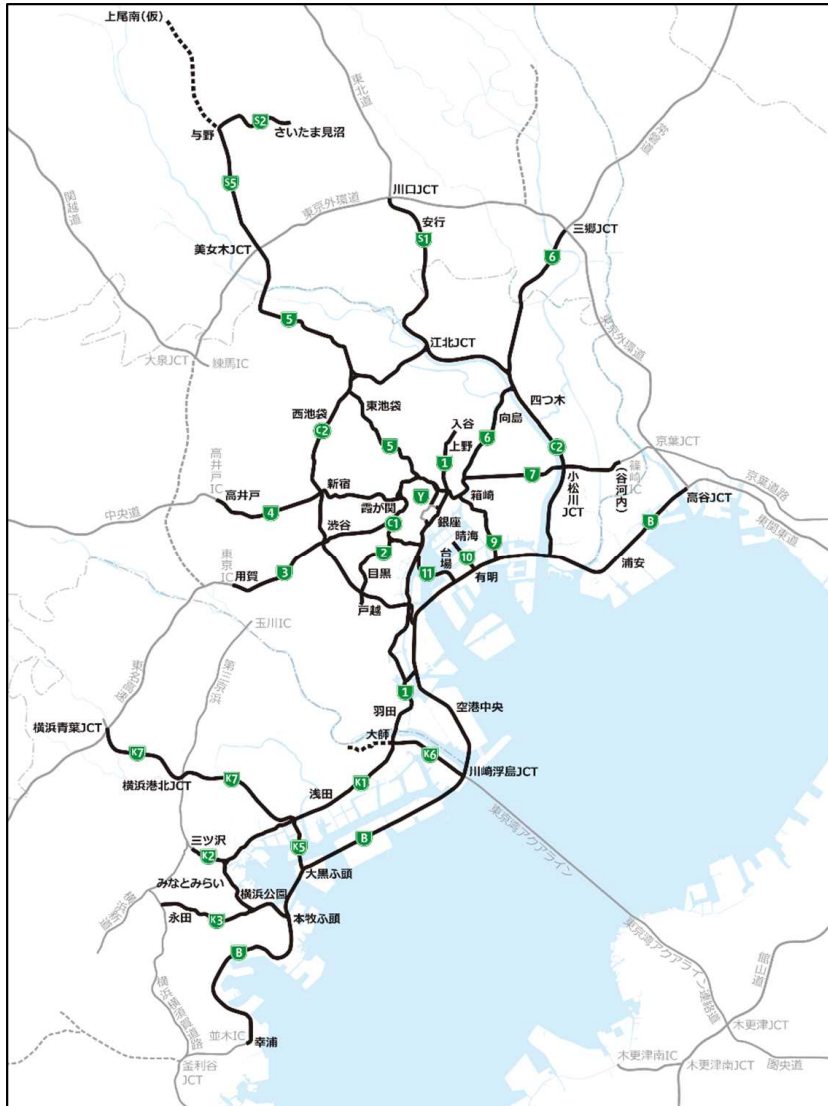
※本内容は、

- ・総務省 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」
- ・首都高速 共同研究「ローカル5Gの都市内高速道路への展開に関する研究」

の一環として取り組んだ成果を含んでおります。

1. 首都高速の現状

首都高速道路株式会社は、高速道路株式会社法及び日本道路公団等民営化関係法施行法に基づき、首都高速道路公団に代わり2005年10月1日に設立。



事業内容

首都圏における都市高速道路の建設・管理
駐車場・高架下施設の建設・管理など

総延長

327.2 km

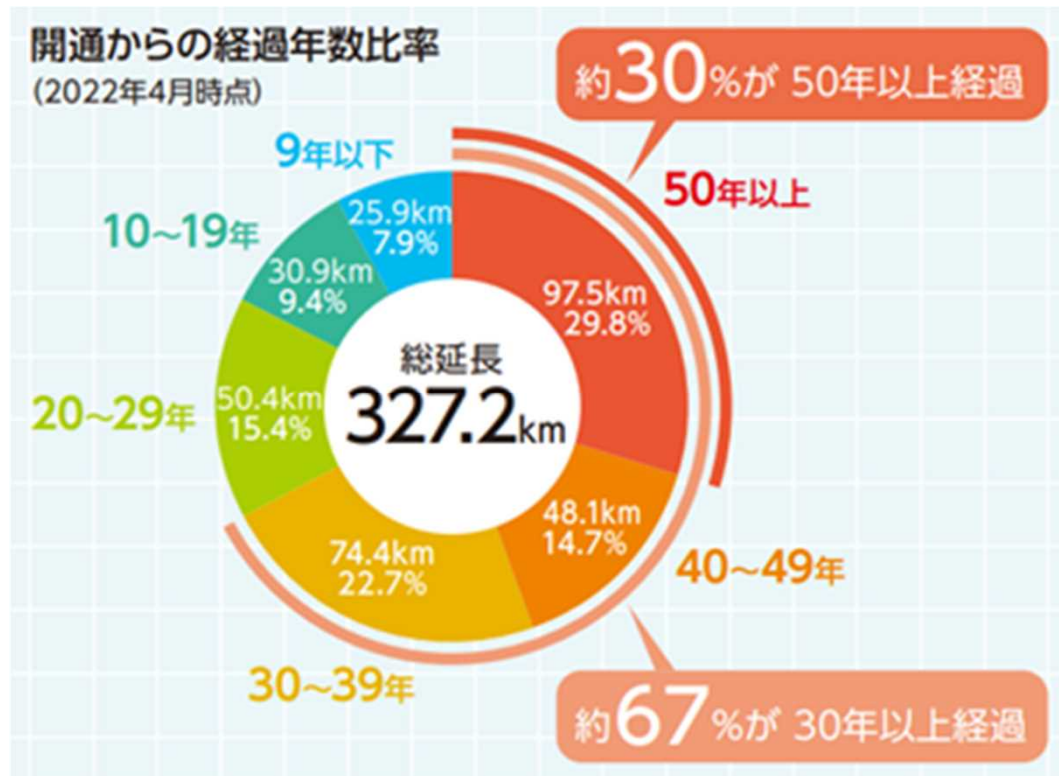
通行台数

1日約100万台

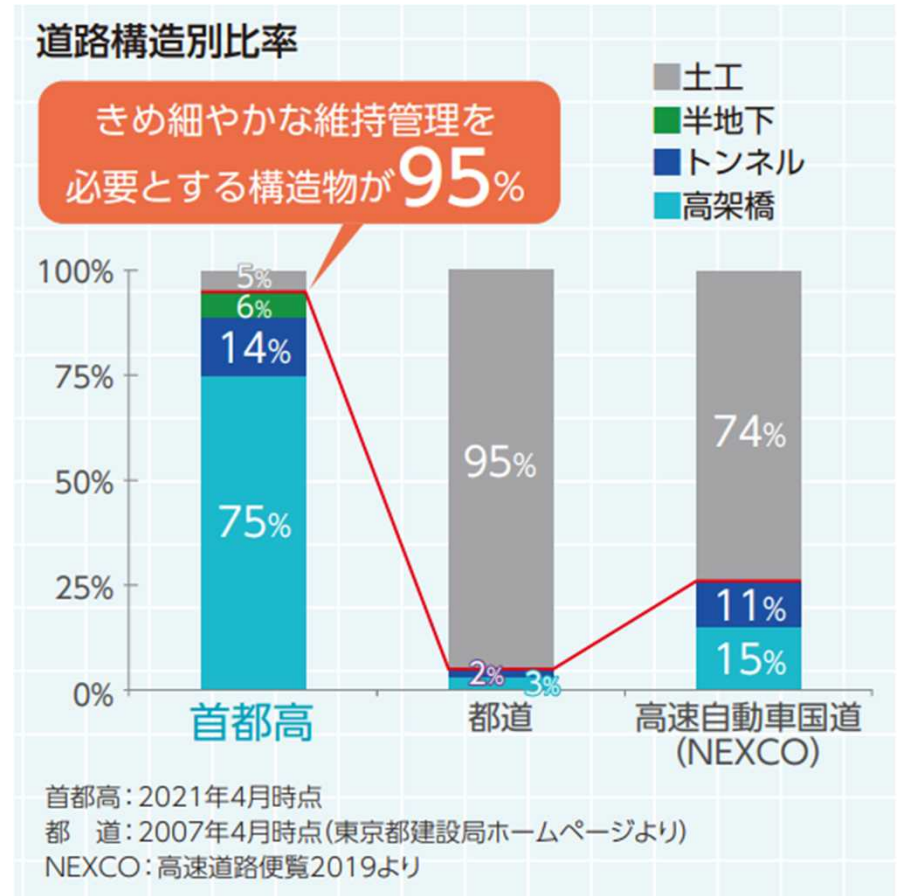
年間約3.6億台

1. 首都高速の現状

首都高速は、開通から50年以上経過した路線が約3割に達する等、**道路の高齢化が著しい**。また、市街化区域に後施工で道路網を構築したことから、**道路構造物の割合が高い**。



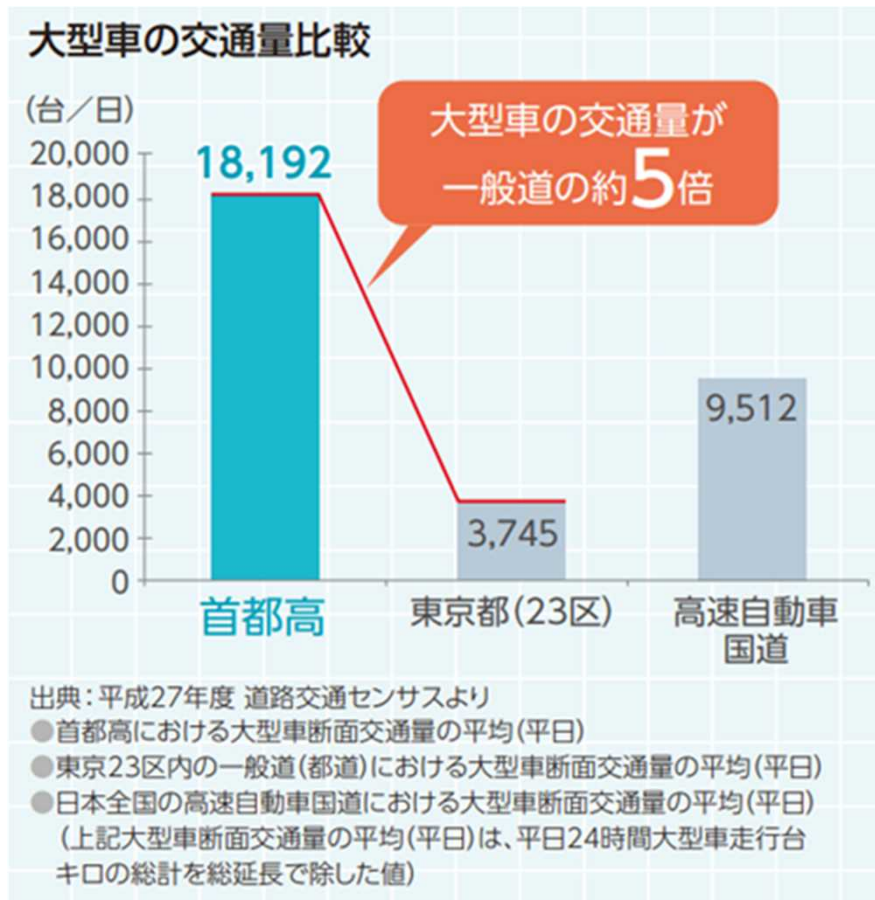
首都高速の30%が開通から50年以上、2/3が30年以上経過する等、**道路の高齢化が進んでいる**



首都高速の**95%**が**道路構造物**で構成され、**きめ細やかな維持管理が必要**

1. 首都高速の現状

首都高速の1日の交通量は約100万台であり、大型車の交通量が都道の約5倍に達する。事故、故障車、落下物等の交通異常事象は、約13分に1回発生している。



首都高速の大型車交通量は、都道の約5倍
道路の高齢化や道路構造物の割合とあいまって、
過酷な使用状況にさらされている

事故

約8,000件/年

故障車

約9,000件/年

落下物

約23,000件/年

対処が必要な事象が約13分に1回の割合で発生
道路交通の支障となる他、二次被害を避けるため、
迅速な把握と対処が必要

1. 首都高速の現状

災害時及び平常時の道路運用のため、400MHz帯狭帯域デジタル通信方式を用いて、主に道路パトロールカー～管制室間の音声通話用に自営無線網を構築、運用している。



⇒本無線網では、映像や画像の送信は困難であり、通信キャリア回線に頼らざるを得ない状況

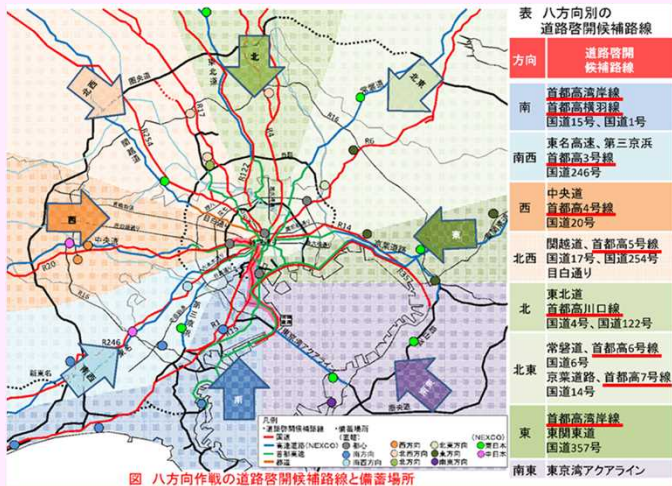
1. 首都高速の現状

災害時

・首都高速は首都直下地震時等の
道路啓開※候補路線として指定されている

※1車線でも通行できるよう早急に最低限の散乱物等の処理、簡易な段差修正により救援ルートを開けること

首都直下地震道路啓開計画（八方向作戦）



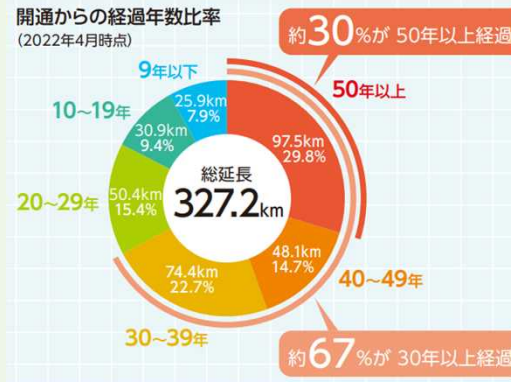
道路啓開訓練

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を一部加工

- 緊急車両を通行させるため、道路啓開が必要
 - ①高架区間の段差や目開きの程度確認、修正
 - ②緊急車両の通行の支障となる停車車両、散乱物等の除去
- 迅速な道路啓開には、映像等による現地状況把握が不可欠
- 通信キャリア回線は、接続規制等により利用困難

平常時

・首都高速は過酷な道路使用にさらされている



- 首都高速の約30%が開通から50年以上経過
- 首都高速の約95%が道路構造物
- 1日100万台の重交通量、大型車交通量が一般道の約5倍
- 事故、故障車、落下物等の交通異常事象が13分に1回発生

・円滑な道路交通の維持のため、**異常状態の迅速な発見や効率的な対応が必要**（点検、維持補修、交通管理）

2. 首都高速のローカル5G導入に向けた取り組み

災害時

- ・緊急輸送道路を確保するための迅速な現地状況の把握
- ・少人数で効率的に対応するためのツール、システム等の確保

平常時

- ・高齢化により増大する道路や施設損傷等の迅速な発見、効率的な対応
- ・重交通量を円滑に処理するための適切な交通管制、交通管理

画像・映像データは、現地状況把握、データ解析等に幅広く活用できることを期待

目指すところ

- ・災害時にも安定して使用できる大容量通信インフラの確保
- ・平常時の業務高度化、効率化に活用
- +
- ・構築する新たな通信インフラの効率的で持続可能な維持管理

制度化され、導入や普及が進むローカル5Gによる実現を目指す

3. 首都高速へのローカル5G導入の課題

ローカル5Gの制度上、道路事業者がローカル5Gによる自営無線通信網を構築する場合、

- ① 道路に沿った線状の無線通信エリアを構築すること
- ② 道路周辺への電波漏洩を抑制すること

が必要となる。

背景

- ローカル5Gで無線通信エリアを構築する場合、**ローカル5Gの制度上、他者土地への電波漏洩を抑制することが求められる**
- 道路事業者が自社の管理範囲内でローカル5Gのエリア化を実施する場合、**道路に沿った細い線状の無線通信エリアを構築する必要がある**
- 線状の無線通信エリアの構築に関し、全国の通信キャリアでは検討されるケースは無いため、**汎用的なソリューションはなく、事業者が検討しなければならない課題**となっている

検証すべき内容

- 首都高本線上に道路形状に合った実験設備を展開、実用性を検証する
- 実験設備により、線状の無線通信エリア構築可否、道路外への電波漏洩抑制状況を受信電力測定やスループット測定により検証する

4. 実験コンセプト

首都高速の道路形状に対応するため、以下の実験コンセプトを設定。

道路形状

実装イメージ

実現案

直線 区間



指向性の高いアンテナを用いて直線的なセルを構成する

- ・狭指向性アンテナ
- ・遮蔽板

カーブ 区間



カーブ形状に合わせて小さなセルをシームレスに配置する

- ・分散アンテナシステム

漏洩同軸ケーブルにより道路形状に沿ったセルを構成する

- ・漏洩同軸ケーブル

トンネル 区間



指向性の高いアンテナや漏洩同軸ケーブルを用いてエリアを構成する。トンネル坑口以外は電波漏洩を抑制可能。

- ・狭指向性アンテナ
- ・漏洩同軸ケーブル

実験未実施

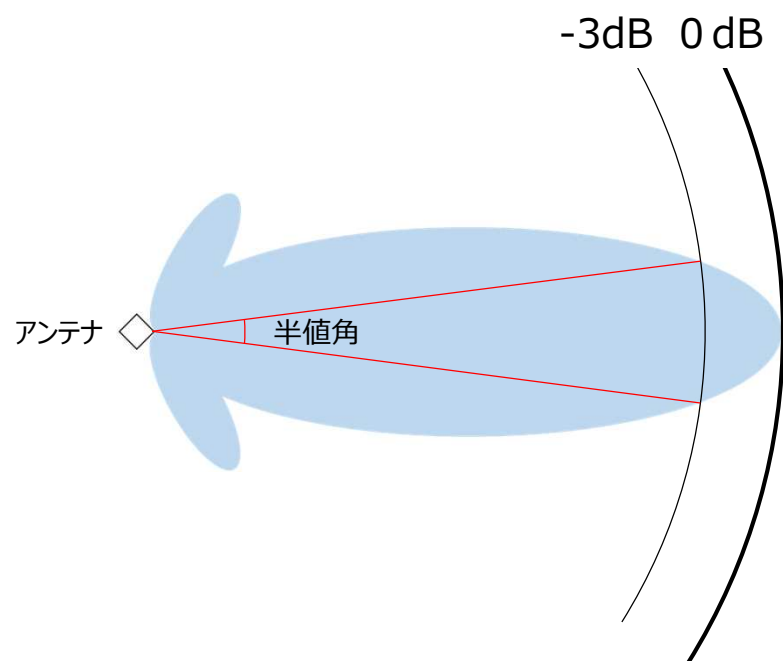
4. 実験コンセプト

実験で用いるアンテナの特徴

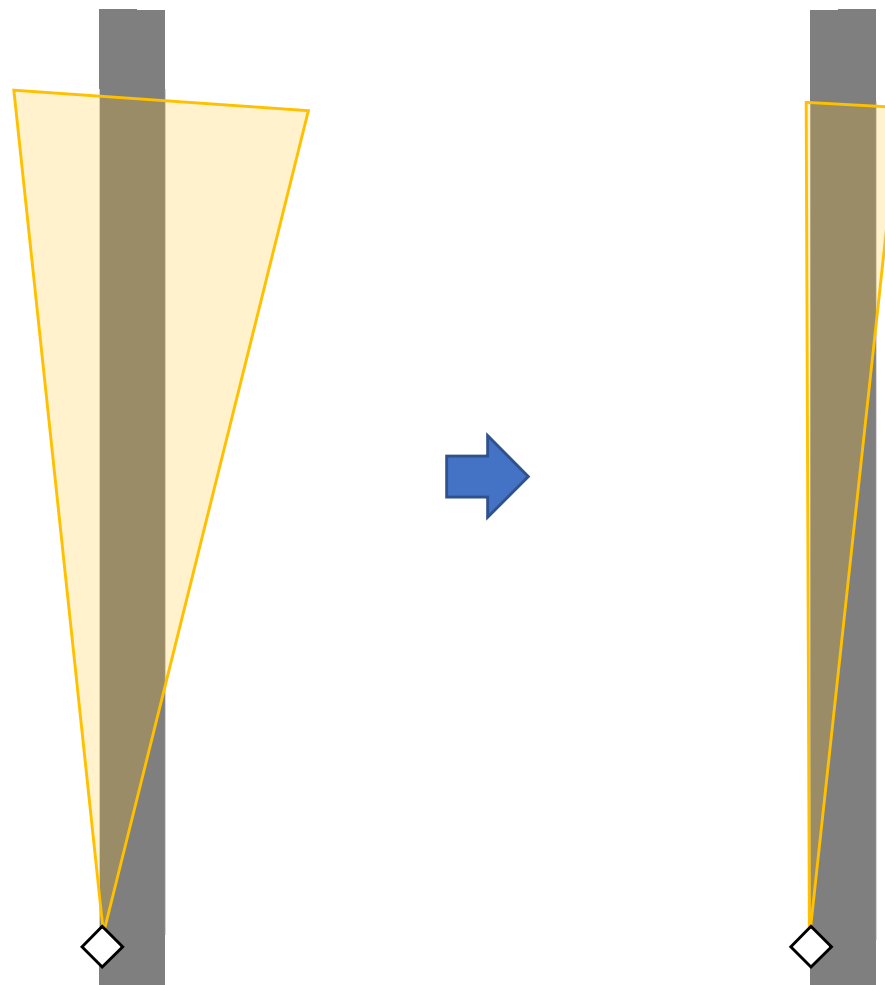
狭指向性アンテナ：

道路上の**カバーエリアを最大化**するとともに、
道路外への**電波漏洩を極力抑える**手法により
エリアを構築する。

500m程度以上のカバレッジが可能であり、
直線区間に適していると考えられる。



狭指向性アンテナにより、
直線区間の道路外への電波漏洩を抑制



半値角20°
市販アンテナの中でも
狭い指向性を持つアンテナ

半値角5°
実験実施にあたり、
新規開発したアンテナ

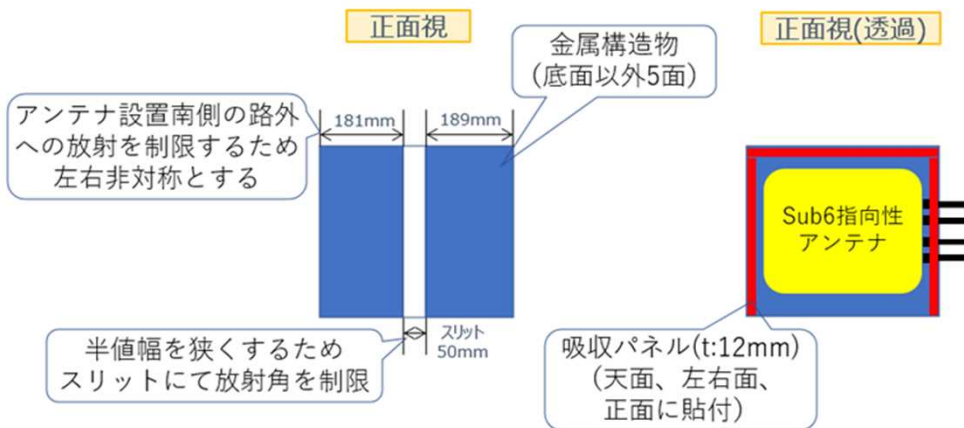
4. 実験コンセプト

実験で用いるアンテナの特徴

遮蔽板：

アンテナ表面に電波を遮蔽する構造物を設置し、電波の発射方向を制限することにより、狭指向性アンテナと似たような状態を作る。

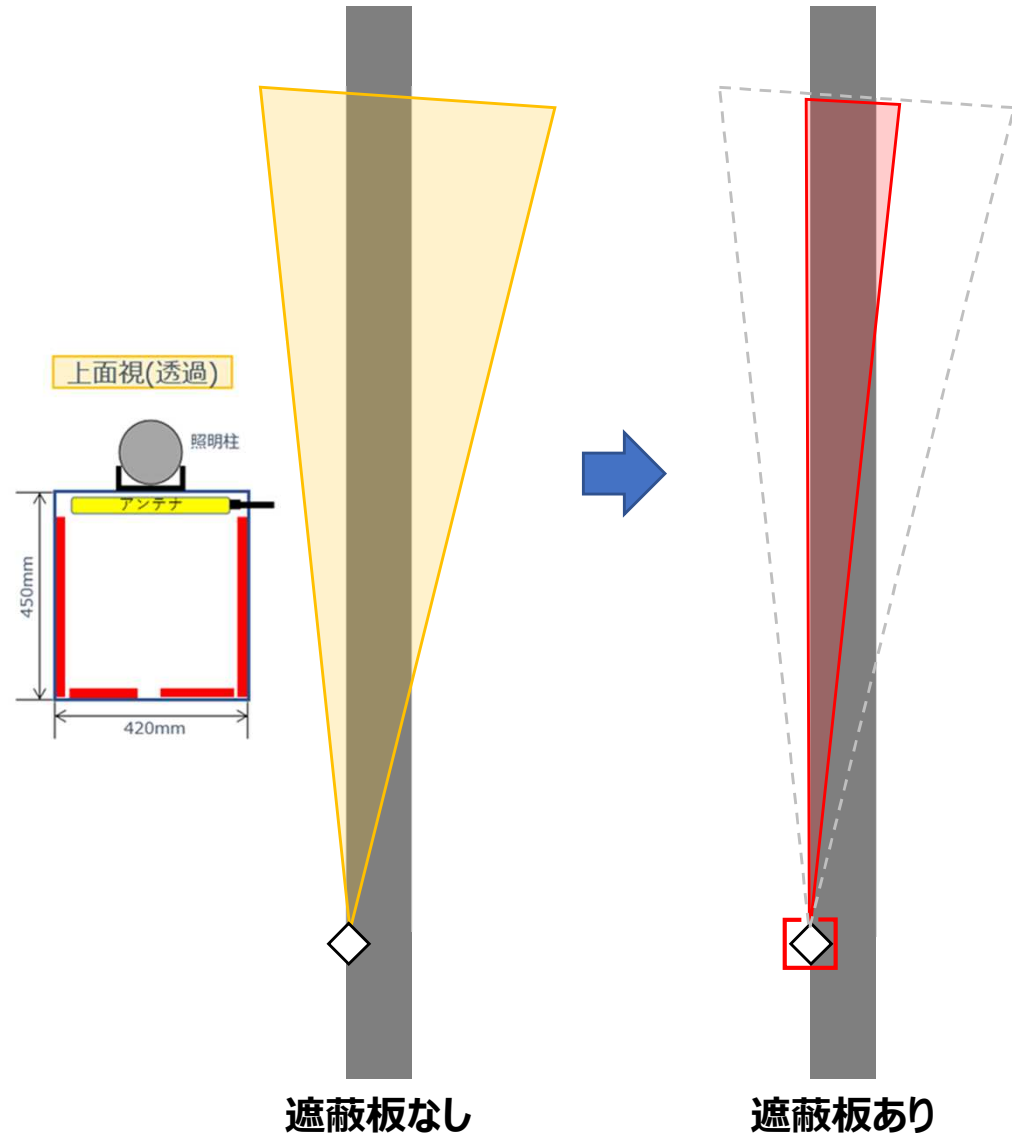
後施工が可能であり、ローカル5G環境構築後の電波干渉対応等で効果を発揮できる。



遮蔽板なし



遮蔽板あり



4. 実験コンセプト

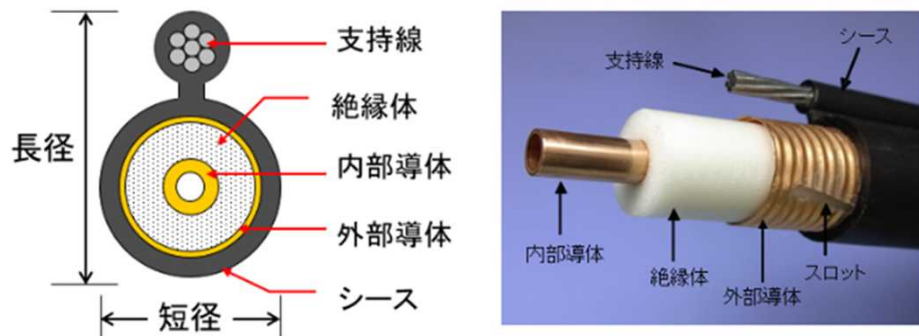
実験で用いるアンテナの特徴

漏洩同軸ケーブル：

ケーブルの外部導体に電波を漏らすためのスロットを設けた
特殊構造の同軸ケーブルを用いてエリアを構築する。

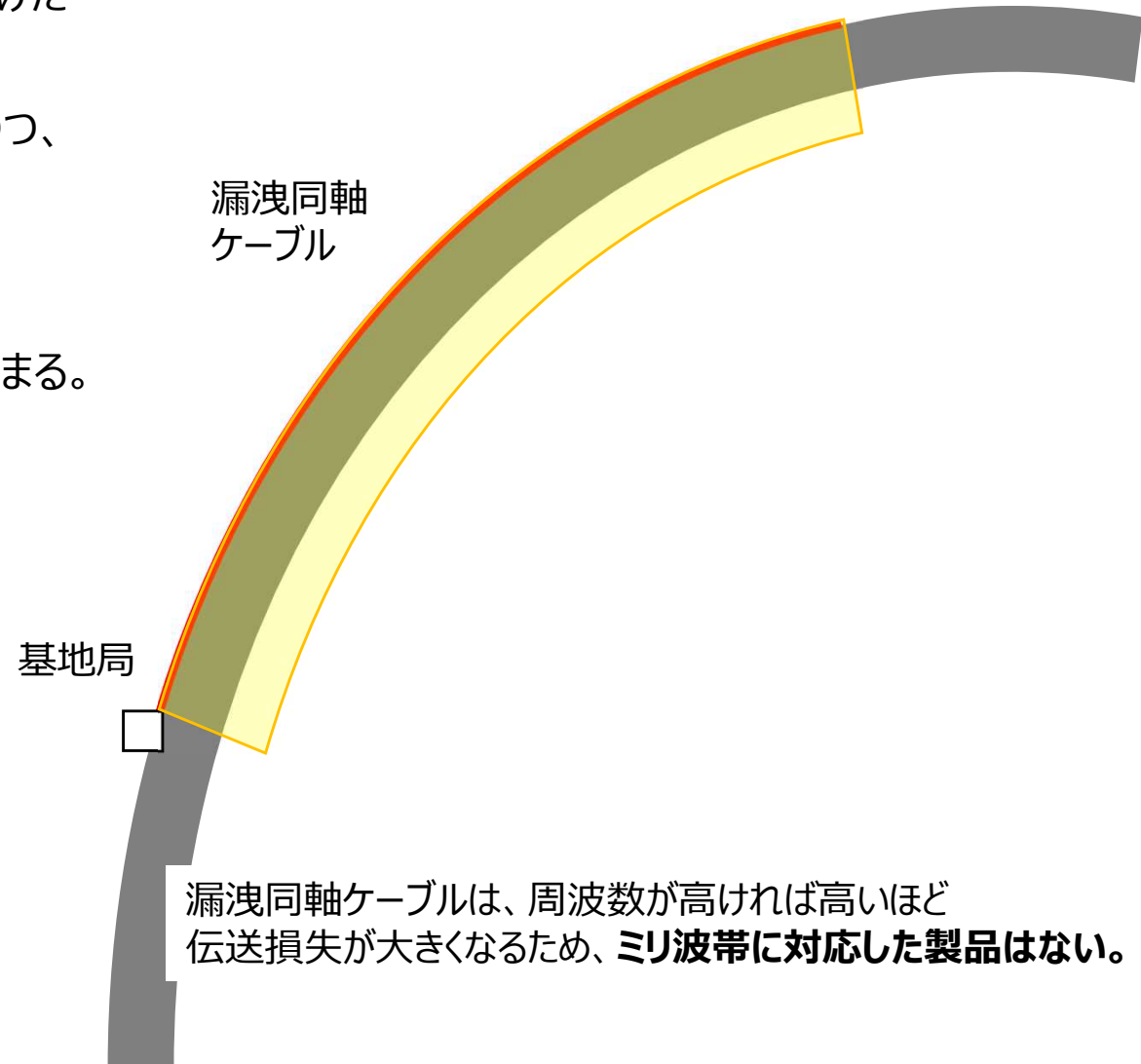
ケーブルに沿ってエリアができるため、電波漏洩を抑えつつ、
道路形状に沿ったエリア構築が可能であり、
特にカーブ区間に適していると考えられる。

周波数が高いほど伝送損失が大きくなるため、
1台の基地局でのカバレッジは100～150m程度に留まる。



漏洩同軸ケーブルイメージ

漏洩同軸ケーブルにより、
カーブ区間の形状に合わせたエリア構成が可能



漏洩同軸ケーブルは、周波数が高ければ高いほど
伝送損失が大きくなるため、**ミリ波帯に対応した製品はない。**

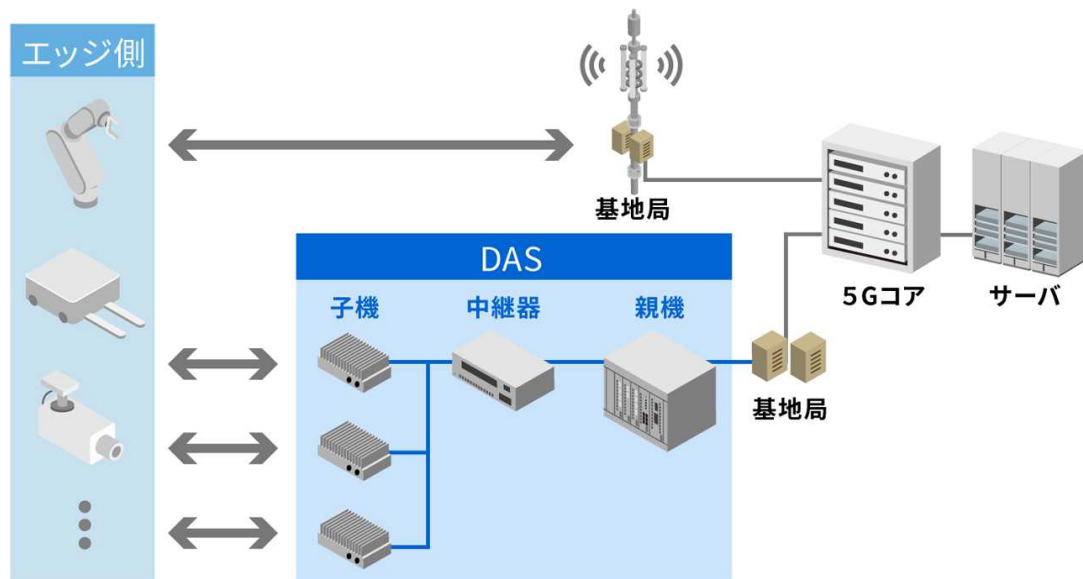
4. 実験コンセプト

実験で用いるアンテナの特徴

分散アンテナシステム：

基地局からの電波を光ケーブルによって分配することで
通信できるエリアを拡張し、エリアを構築する。

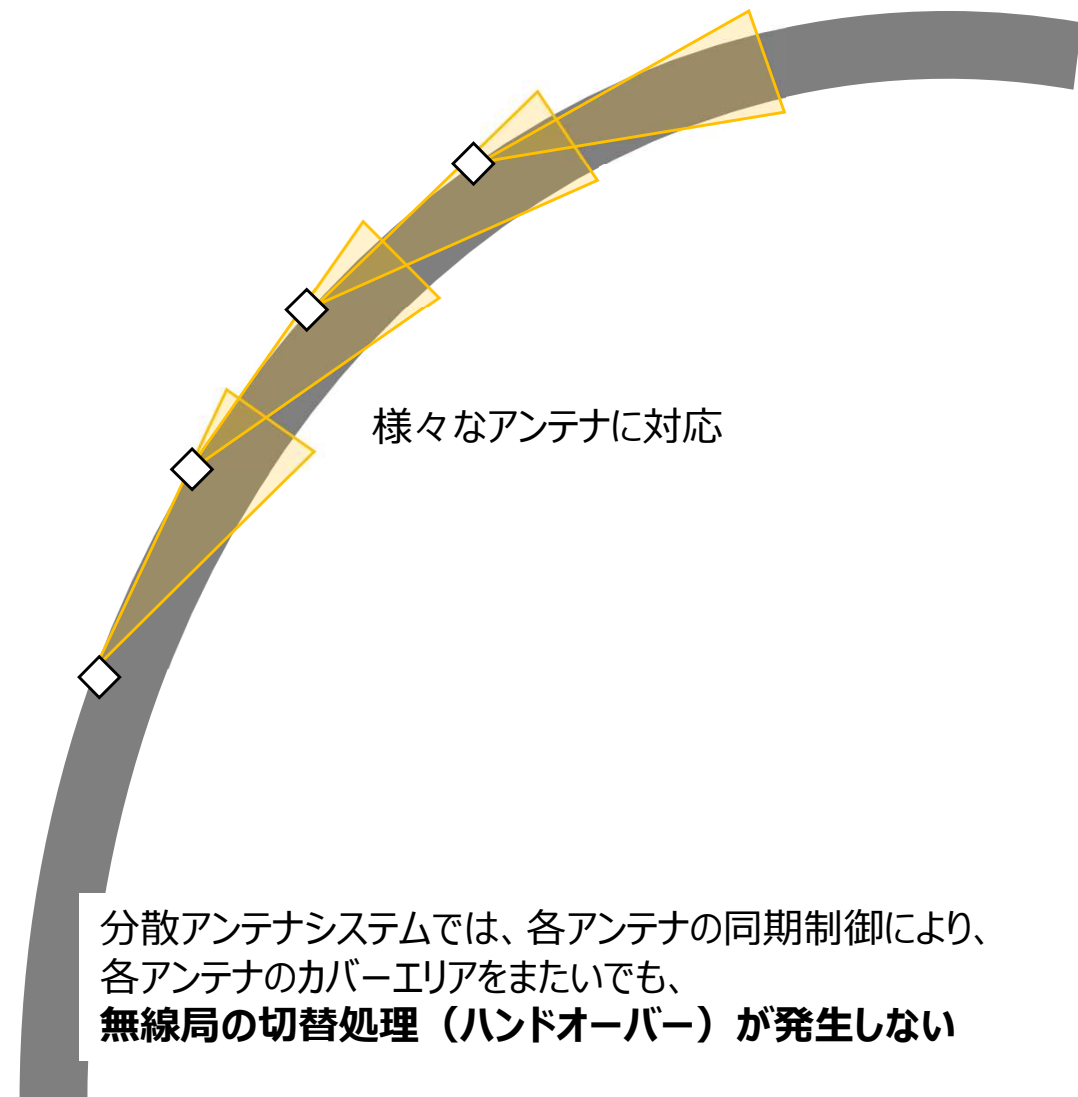
子機として小出力アンテナを連続配置することにより、
電波漏洩を抑えつつ、道路形状に沿ったエリア構築が可能
であり、特にカーブ区間に適していると考えられる。



分散アンテナシステムイメージ

出典：東芝インフラシステムズ株式会社資料より抜粋

分散アンテナシステムにより、
カーブ区間の形状に合わせたエリア構成が可能

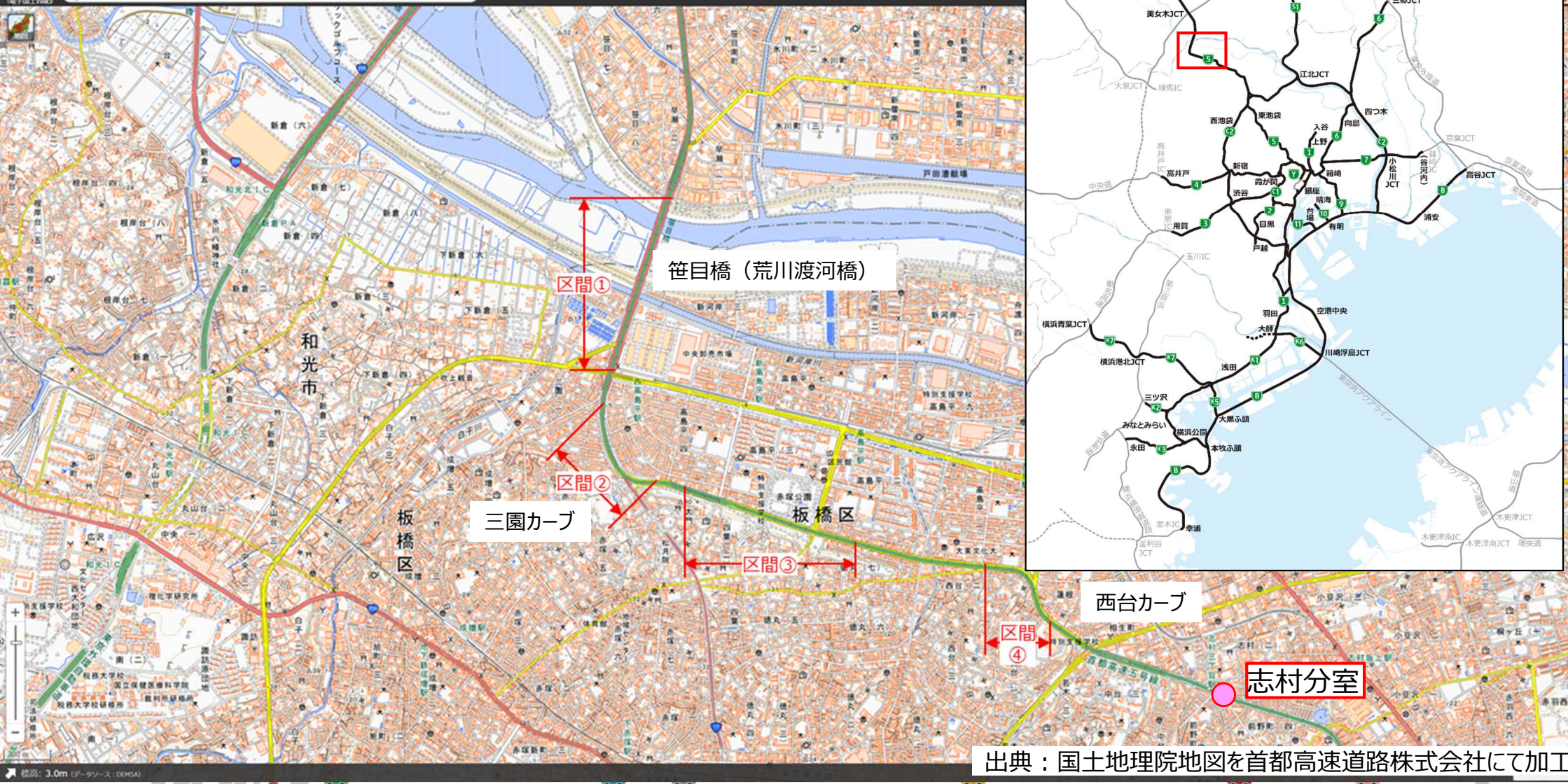


5. 実験概要と結果

実施場所：東京都板橋区

5号池袋線 笹目橋～西台付近に4つの区間を設定。

地理院地図 検索：板橋 / 金沢市木 / 新保町 / 35度0分0秒 / 135度0分0秒 / 35.00 135.00 / 54SUE83694920



5. 実験概要と結果

実施場所：東京都板橋区

5号池袋線 笹目橋～西台付近に4つの区間を設定。



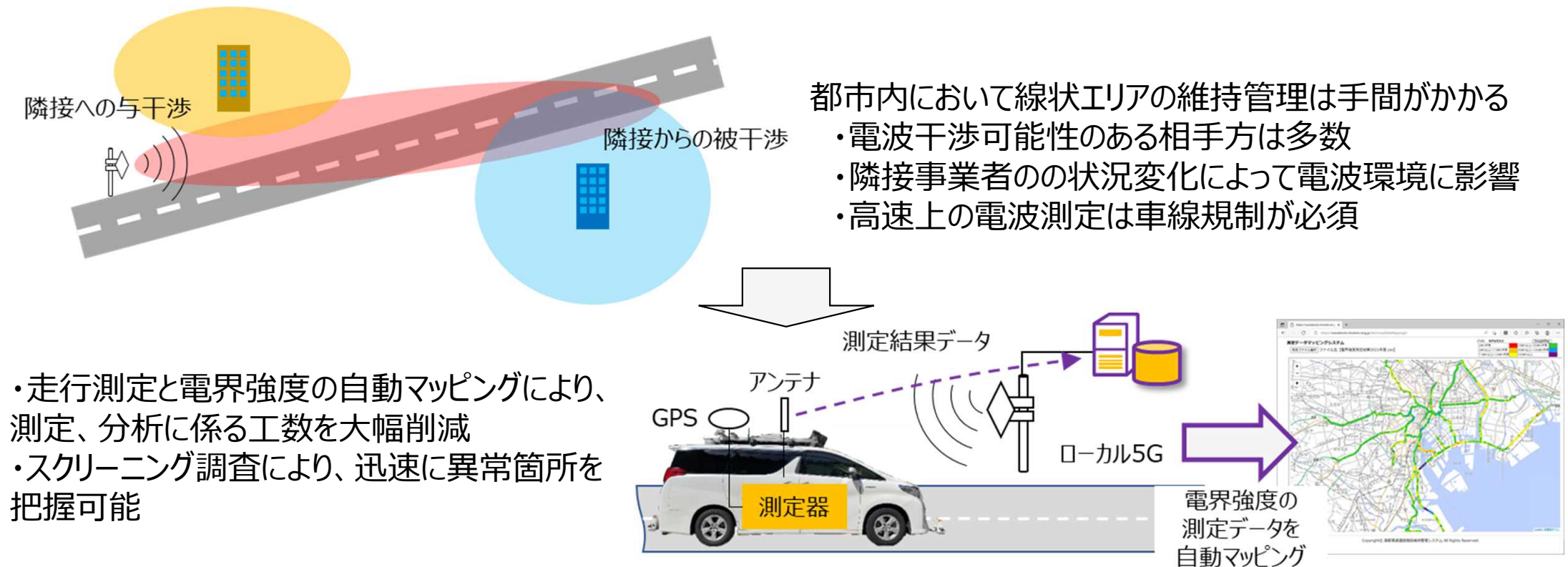
5. 実験概要と結果

線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な5G Wave Doctor

概要：

5G Wave Doctorは、走行しながら電波環境測定を実施可能であり、広範囲の線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能なツールである。

総務省 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」において、首都高技術株式会社が開発。



5. 実験概要と結果

狭指向性アンテナの測定結果（区間②；5G Wave Doctorで測定）



①本線上の約800mに渡り、
カバーエリア相当の受信電力を確認



②アンテナ直下は、金属製遮音壁により電波漏洩は抑えられている

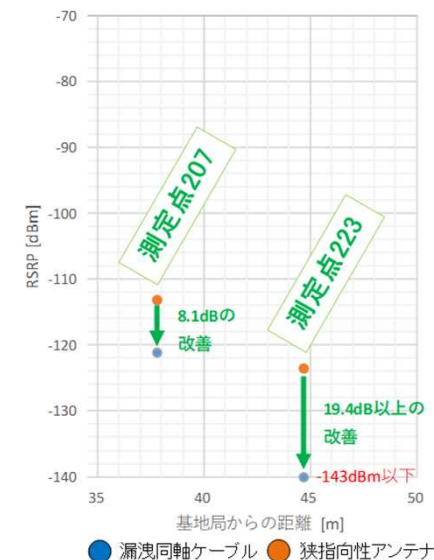
③アンテナ直進方向は、遮音壁を越えてカバーエリア相当の電波漏洩あり

5. 実験概要と結果

漏洩同軸ケーブルの測定結果（区間②）

【高速上】 4車線（約20m幅）でカバーエリア相当の受信電力を確認

【道路外】 電波漏洩が狭指向性アンテナと比べて最大約20dB低減していることを確認



成果

- ・単位長の漏洩同軸ケーブルで得た放射特性をアンテナパターンとし、アンテナを一定間隔毎に設置する手法でシミュレーションを実施することにより、実測値と同様の傾向が得られることを確認
- ・幅方向で約20mのカバーエリア相当の通信エリア構築を確認、道路幅に対して最適
- ・漏洩同軸ケーブルにより周辺への電波漏洩を低減できることを確認、**周辺への電波漏洩が厳しく制限される環境下での利用が特に有効**

5. 実験概要と結果

狭指向性アンテナの測定結果（区間③；5G Wave Doctorで測定）



①本線上の約1,200mに渡り、
カバーエリア相当の受信電力を確認



②並行街路に
カバーエリア相当の強い電波漏洩あり

③幅方向の電波漏洩は抑えられている

5. 実験概要と結果

遮蔽板の測定結果（区間③）

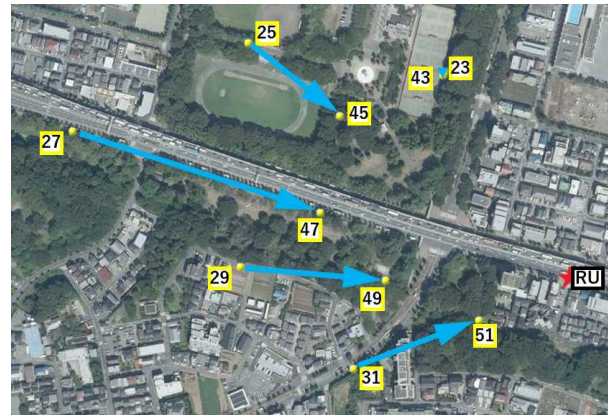
【高速上】 遮蔽板により、高速道路上の受信電力は低減したが、SIRの劣化はほぼ無し

【道路外】 遮蔽板により、道路外の電波漏洩が約10dB改善したことを確認

測定点 ID	受信電力(RSRP)[dBm]			SIR [dB]		
	柔軟化前	柔軟化後	改善値[dB]	柔軟化前	柔軟化後	改善値
1	-40.7	-42.3	-1.6	19.0	21.3	2.4
2	-25.7	-43.3	-17.6	21.4	21.3	-0.1
3	-31.9	-40.3	-8.4	20.6	21.1	0.5
4	-37.1	-51.6	-14.5	20.7	20.0	-0.7
5	-37.0	-48.7	-11.7	19.8	20.5	0.7
6	-48.7	-55.7	-7.0	19.4	20.2	0.8
7	-39.2	-51.9	-12.7	20.2	19.4	-0.8
8	-49.5	-61.0	-11.5	18.1	17.9	-0.2

【高速上】

受信電力が低減し、カバーエリアが狭くなるものの、SIRの劣化はほぼ無し



測定点 ID	受信電力(RSRP)[dBm]			
	柔軟化前	柔軟化後	目標値[dB]	改善値[dB]
11	-50.6	-54.8	10.0	4.2
12	-57.6	-63.9		6.3
13	-56.7	-59.1		2.4
14	-70.6	-79.7		9.2
15	-53.0	-62.3		9.3
16	-76.0	-78.9		2.9
17	-66.6	-77.0		10.4
18	-79.7	-86.5		6.8
19	-79.0	-89.1		10.1
20	-75.6	-86.6		11.0
21	-80.8	-94.0		13.2
22	-85.4	-95.7		10.3

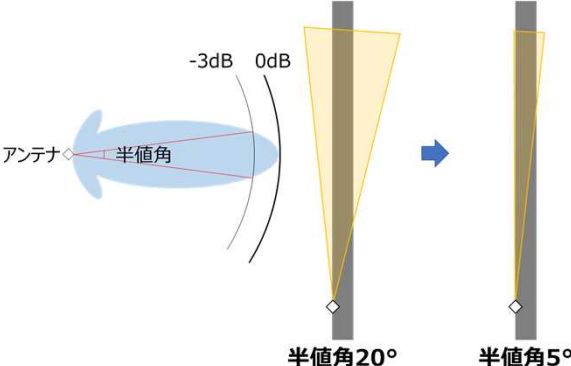
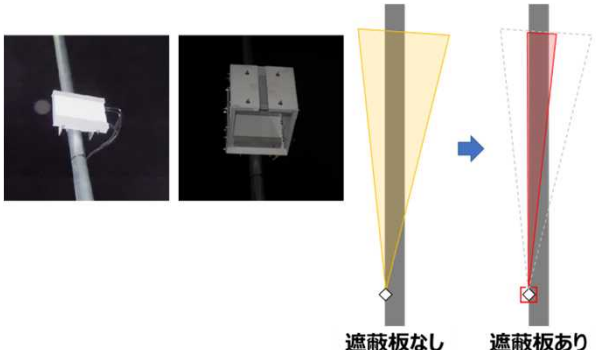
【道路外】

電波漏洩は約10dB改善し、道路外のカバーエリア端が縮退していることを確認

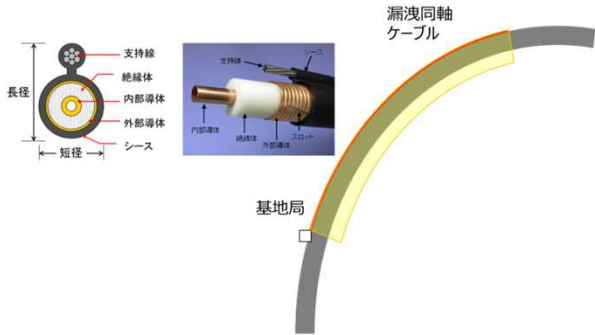
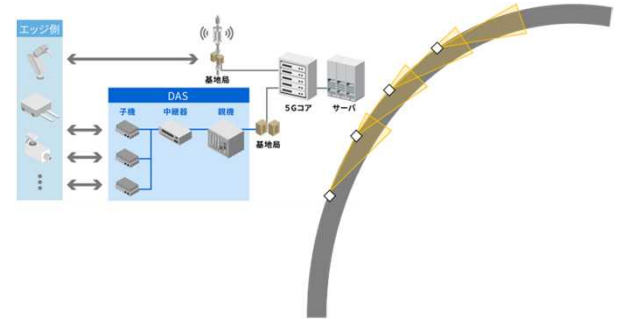
成果

- ・高速道路上の受信電力は低減するものの、SIRの劣化はほぼ無し
- ・道路外の電波漏洩は約10dB改善、カバーエリア相当の電波漏洩が大きく縮退
- ・既存アンテナへの後施工が可能であるため、電波干渉調整等に特に有効
- ・道路形状に合わせ、遮蔽板の形状を工夫することにより、様々なケースで対応できる可能性あり

6. 実験結果の考察

項目	狭指向性アンテナ	遮蔽板
<p>コンセプト</p>	<p>半値角の鋭い特性を持つアンテナにより、直線区間の道路外への電波漏洩を抑制する。</p> 	<p>アンテナ表面に電波を遮蔽する構造物を設置し、電波の発射方向を制限することにより、狭指向性アンテナと似たような状態を作る。</p> 
<p>1基地局あたりのカバーエリア</p>	<p>500m以上</p>	<p>500m以上</p>
<p>整備コスト</p>	<p>安価</p>	<p>安価</p>
<p>道路形状適用性</p>	<p>・直線区間全般 (・トンネル区間)</p>	<p>・直線区間全般</p>
<p>総括</p>	<p>直線区間全般を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。</p>	<p>直線区間全般を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。汎用の狭指向性アンテナを用いることができ、後施工も可能であるため、柔軟性や費用対効果が高い。</p>

6. 実験結果の考察

項目	漏洩同軸ケーブル	分散アンテナシステム
<p>コンセプト</p>	<p>漏洩同軸ケーブルを用いて、道路に沿った通信エリアを構築する。</p> 	<p>基地局からの電波を多数の小セルアンテナに分配、同期させることにより通信エリアを拡張し、エリアを構築する。</p> 
<p>1基地局あたりのカバーエリア</p>	<p>約100m</p>	<p>約125m (500m/4アンテナ)</p>
<p>整備コスト</p>	<p>高価</p>	<p>中程度</p>
<p>道路形状適用性</p>	<ul style="list-style-type: none"> カーブ区間全般 (・ダブルデッキ下層) (・出入口ランプ部) 	<ul style="list-style-type: none"> 直線区間全般 カーブ区間全般
<p>総括</p>	<p>カーブ区間、出入口ランプ等、道路形状への適用性は随一であるが、設置コストが高い他、ローカル5G周波数帯では、伝送損失が大きいため、広いエリアは構築できない。</p>	<p>カーブ区間全般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。ハンドオーバーを考慮し、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。</p>

6. 実験結果の考察

線状無線通信エリアを効率的に維持管理可能な5G Wave Doctor

効果：

5G Wave Doctorによる測定は、可搬型測定機による測定と比較して、**約86%の時間削減を実現した。**

高速道路上の交通規制を実施せずに、法定速度で走行しながら安全に測定することができた。

課題と対応策：

GPSを受信できない場所（例：トンネル内、ダブルデッキ下層）の測定では、測定値と位置情報の紐づけができない。

⇒3次元スキャナによる相対的な位置情報把握等、追加システムの検討を推進する。

日々変化する周辺状況に迅速に対応するため、より多頻度で測定を行う仕組みを構築する必要がある。

⇒他点検業務等との並行実施による多頻度化を図る。

7. まとめ

・良かった点、工夫して上手くいった点など

⇒線状エリア構築にあたり、道路形状に合ったアンテナを見出せたこと。（アンテナがキーデバイス）

⇒ 5G Wave Doctorにより、以下を実現したこと。

- ①高速道路上を車線規制することなく、安全に測定可能
- ②可搬型測定機による測定と比較して大幅な省力化

・問題点、課題、工夫して上手くいかなかった点など

⇒線状エリア構築にあたり、電波漏洩を完全に防ぐのは困難であること。

⇒他者土地との隣接区域が多く、十分な離隔を取れないため、電波干渉を避けられないこと。

⇒電波干渉協議により、以下のリスクがあること。

- ①計画通りのペースで基地局を整備できないリスク
- ②電波出力、アンテナ形状や指向性、設置場所等、置局設計の変更リスク

首都高速では、引き続きローカル5Gの都市内高速道路への展開に向けた技術研究、特に電波干渉対策をテーマとした研究に取り組んでまいります。