

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

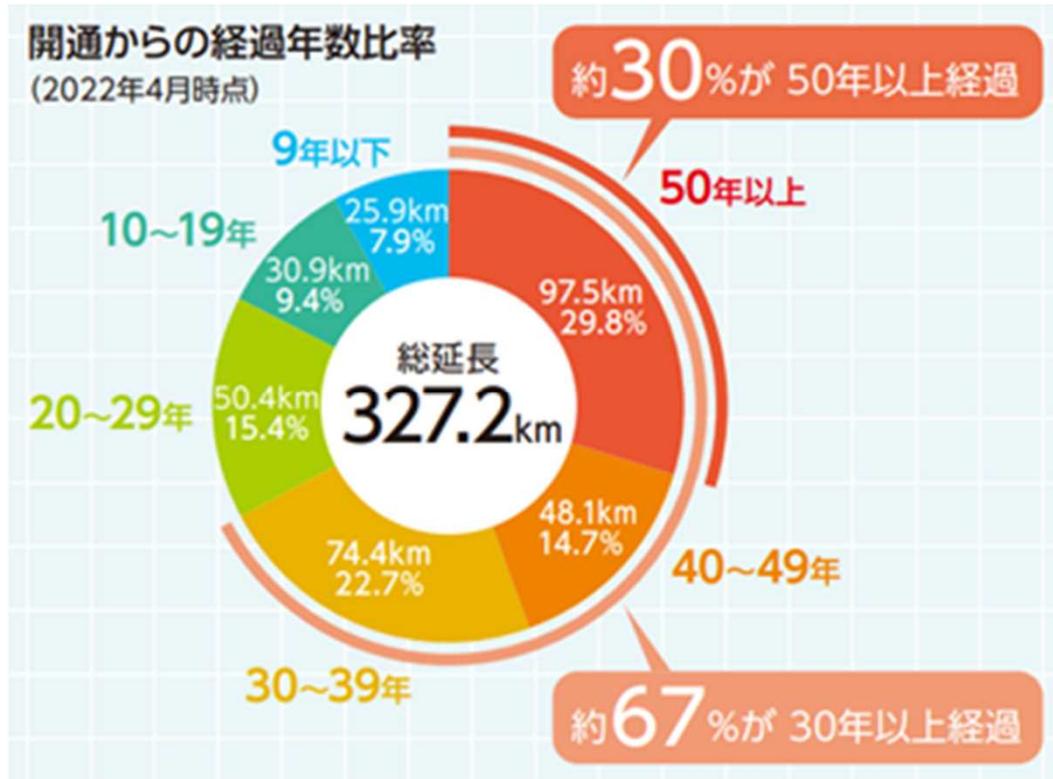
※本内容は、

- ・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」

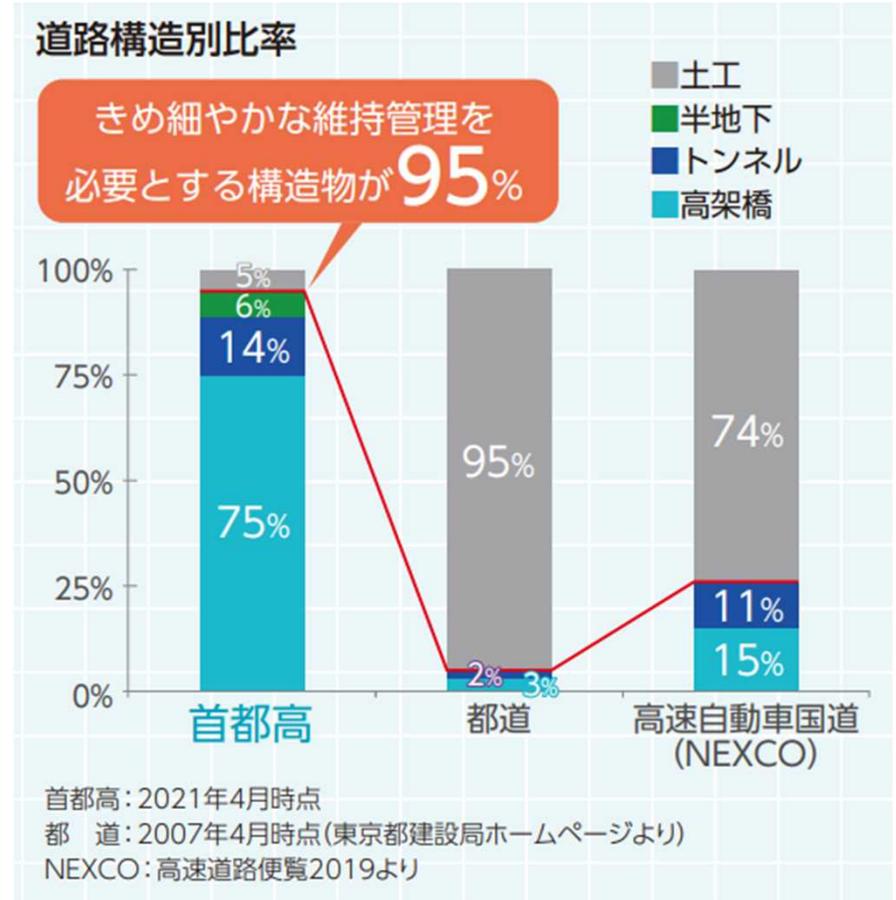
の一環として取り組んだ成果を含んでおります。

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**。



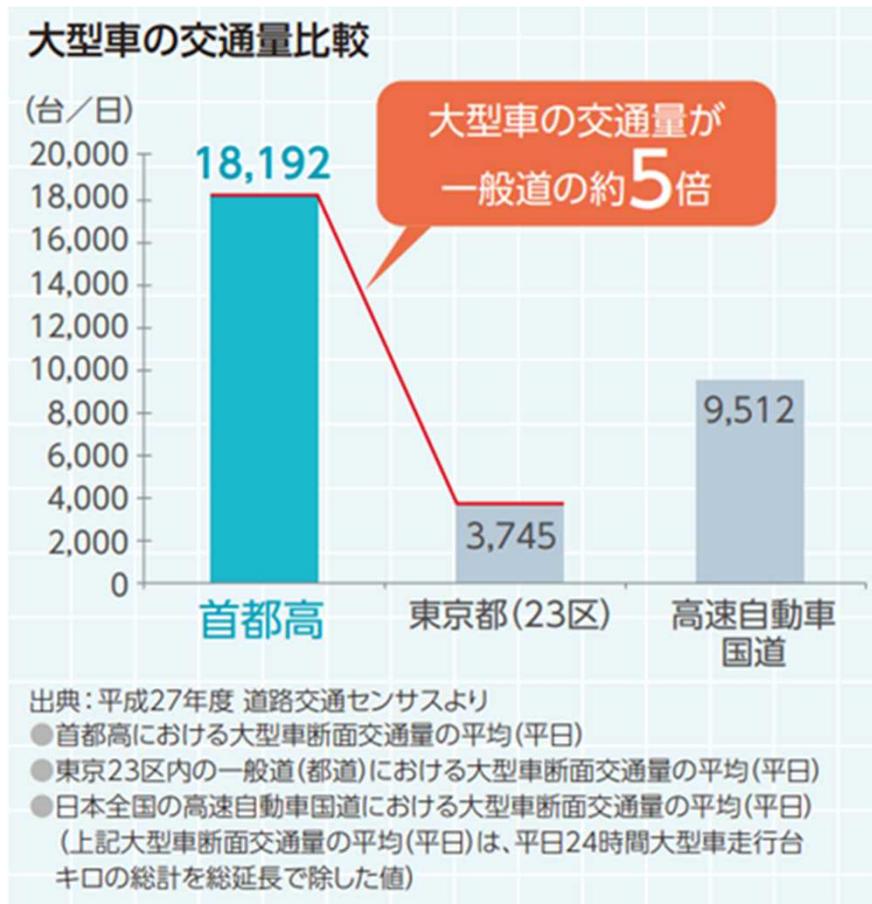
首都高速の30%が開通から50年以上、2/3が30年以上経過する等、**道路の高齢化が進んでいる**



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

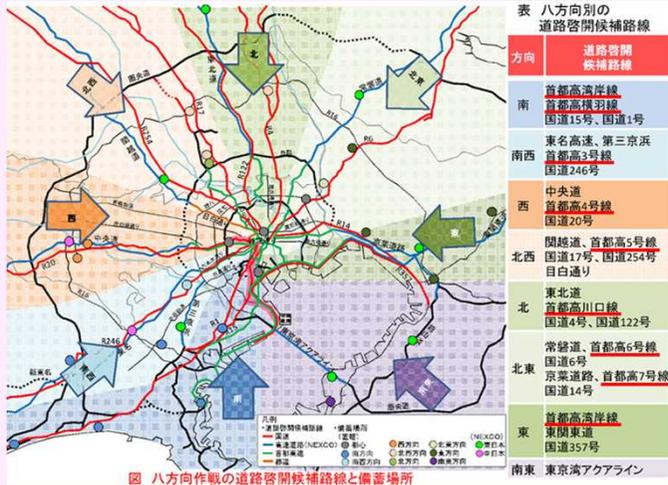
1. 首都高速の現状

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）



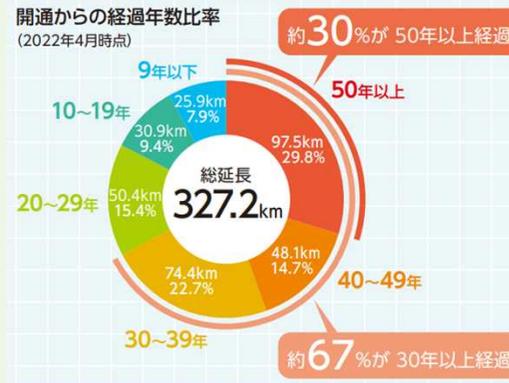
道路啓開訓練

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

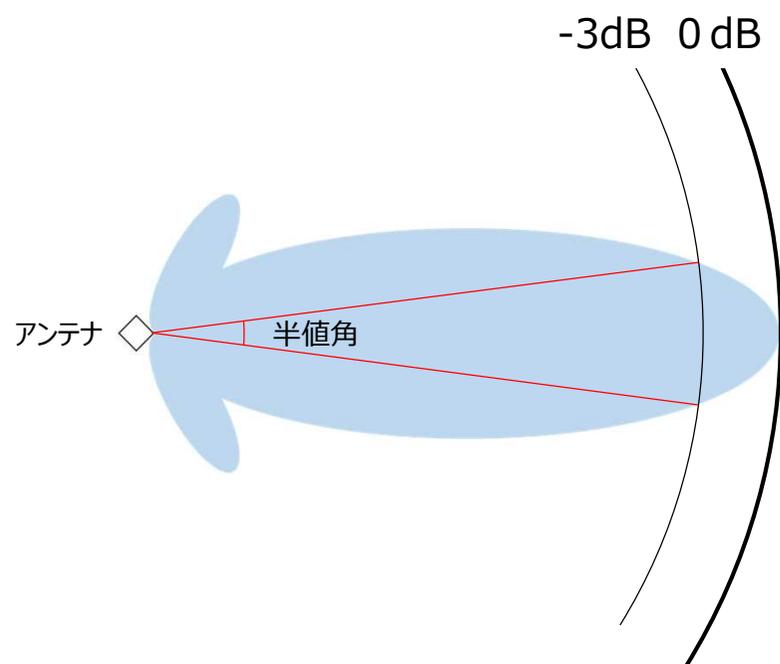
4. 実験コンセプト

実験で用いるアンテナの特徴

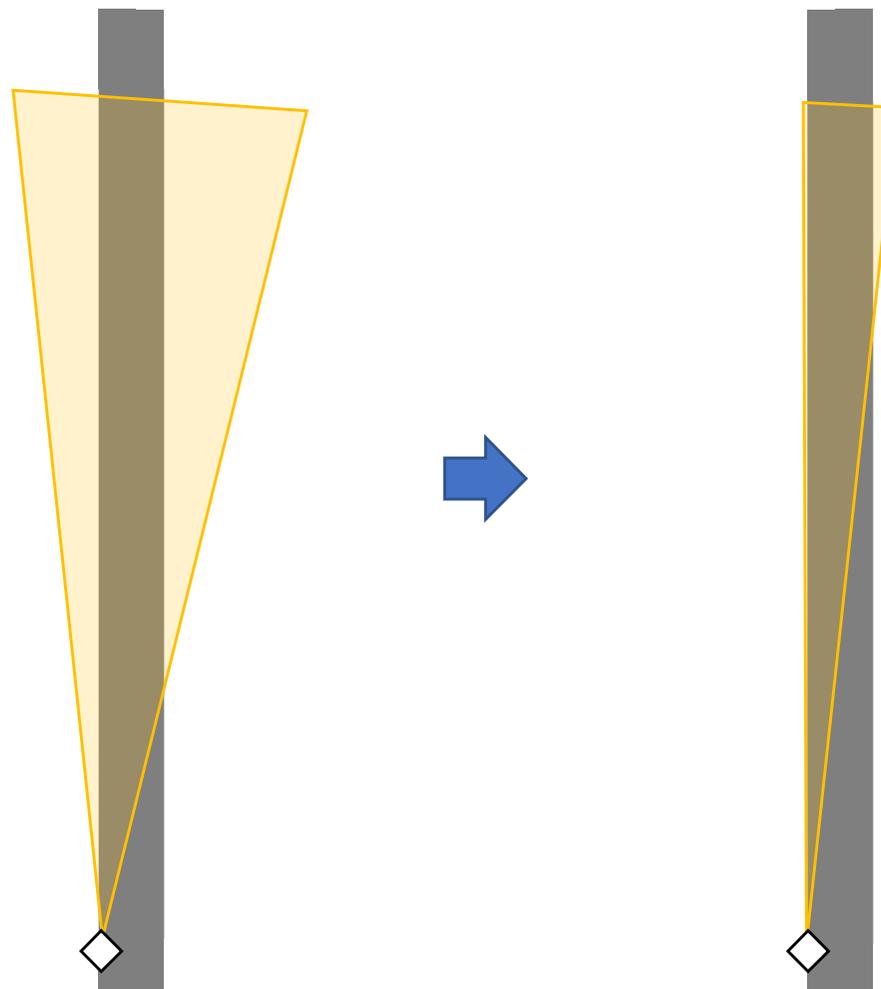
狭指向性アンテナ：

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

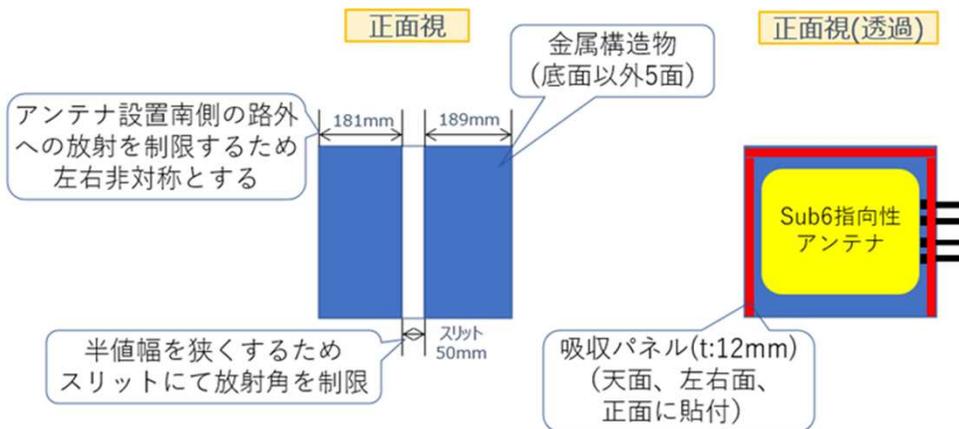
4. 実験コンセプト

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。

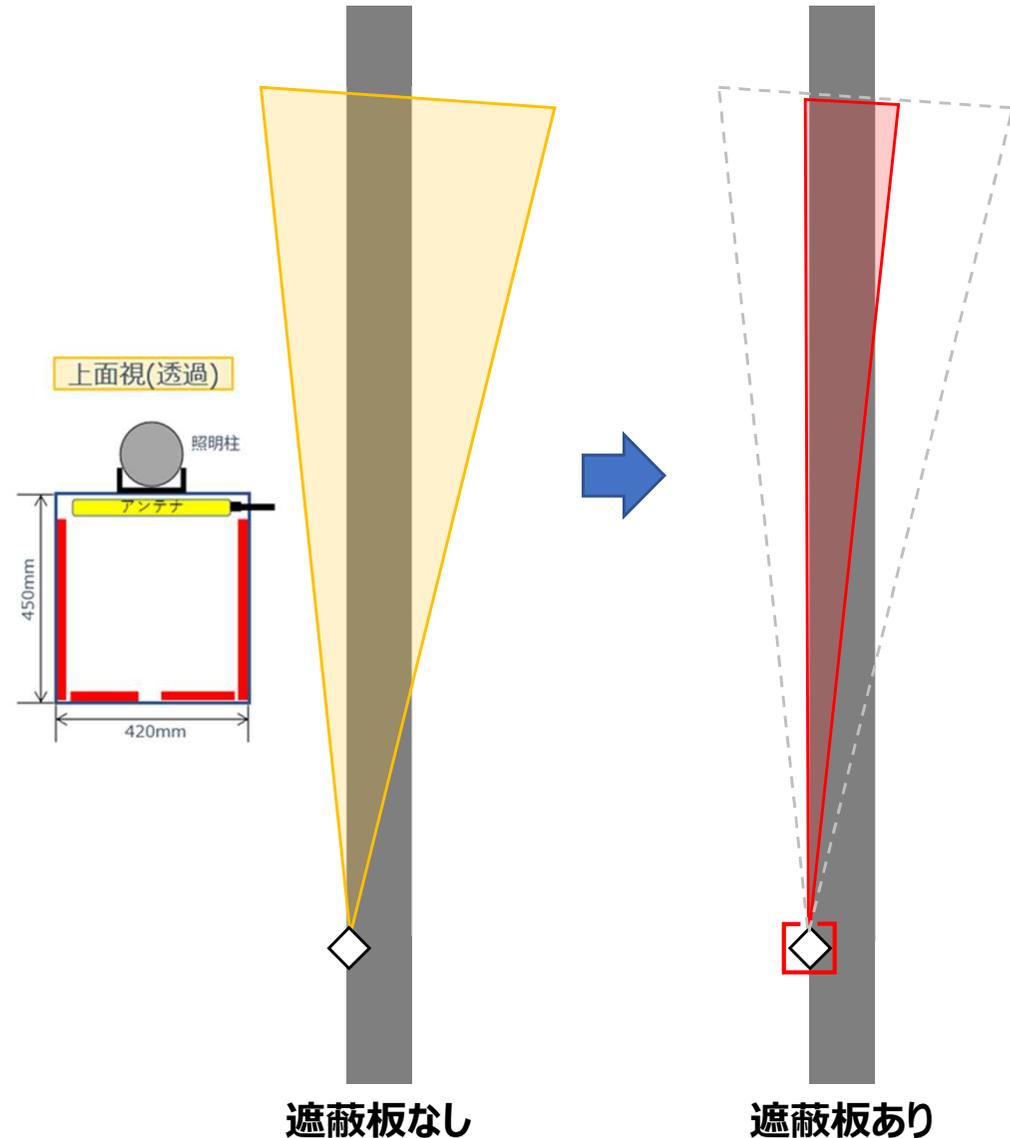
後施工が可能であり、ローカル5G環境構築後の電波干渉対応等で効果を発揮できる。



遮蔽板なし



遮蔽板あり



4. 実験コンセプト

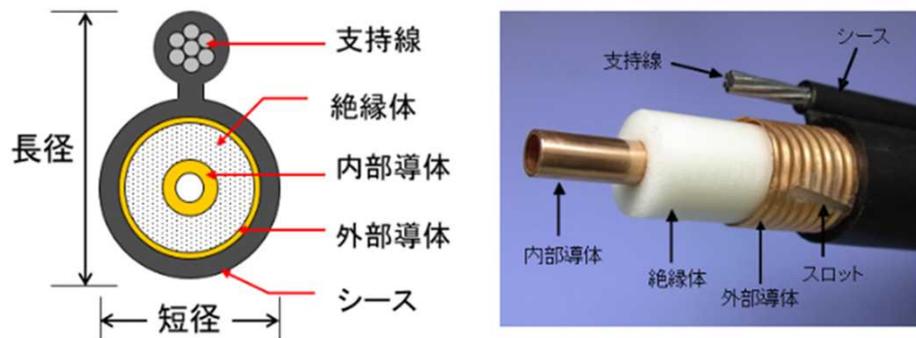
実験で用いるアンテナの特徴

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。

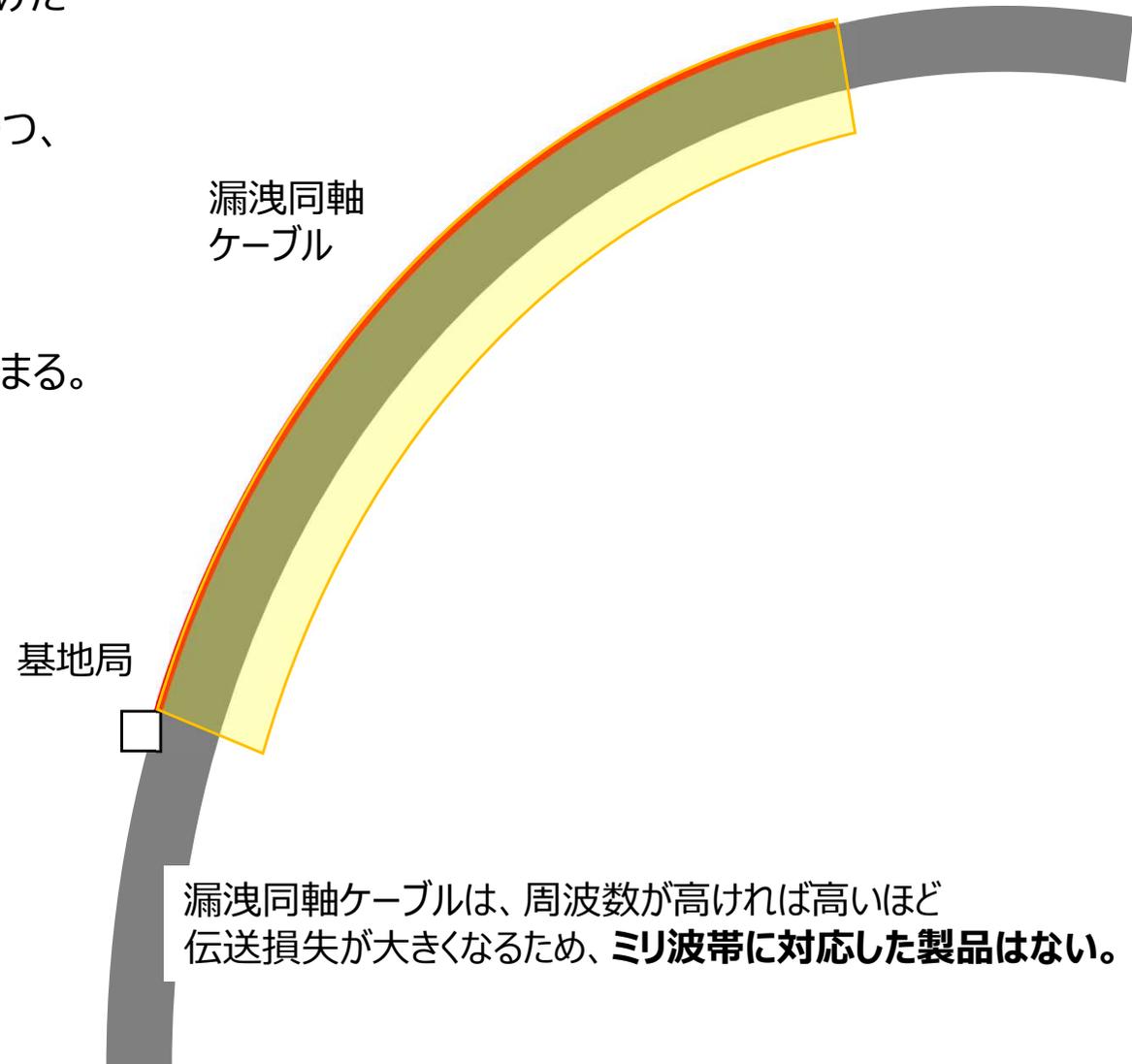
ケーブルに沿ってエリアができるため、電波漏洩を抑えつつ、
道路形状に沿ったエリア構築が可能であり、
特にカーブ区間に適していると考えられる。

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。**

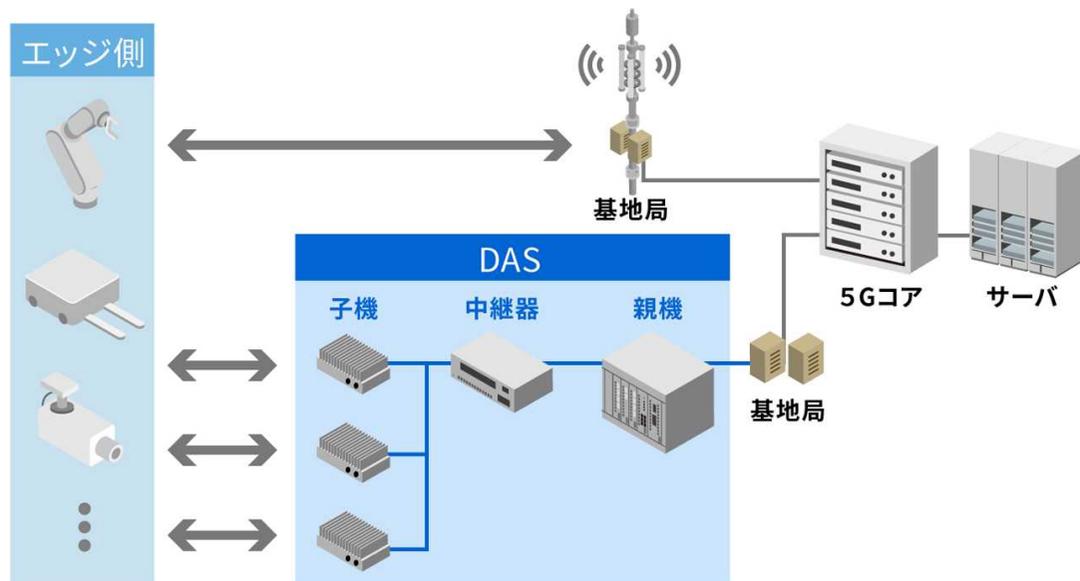
4. 実験コンセプト

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。

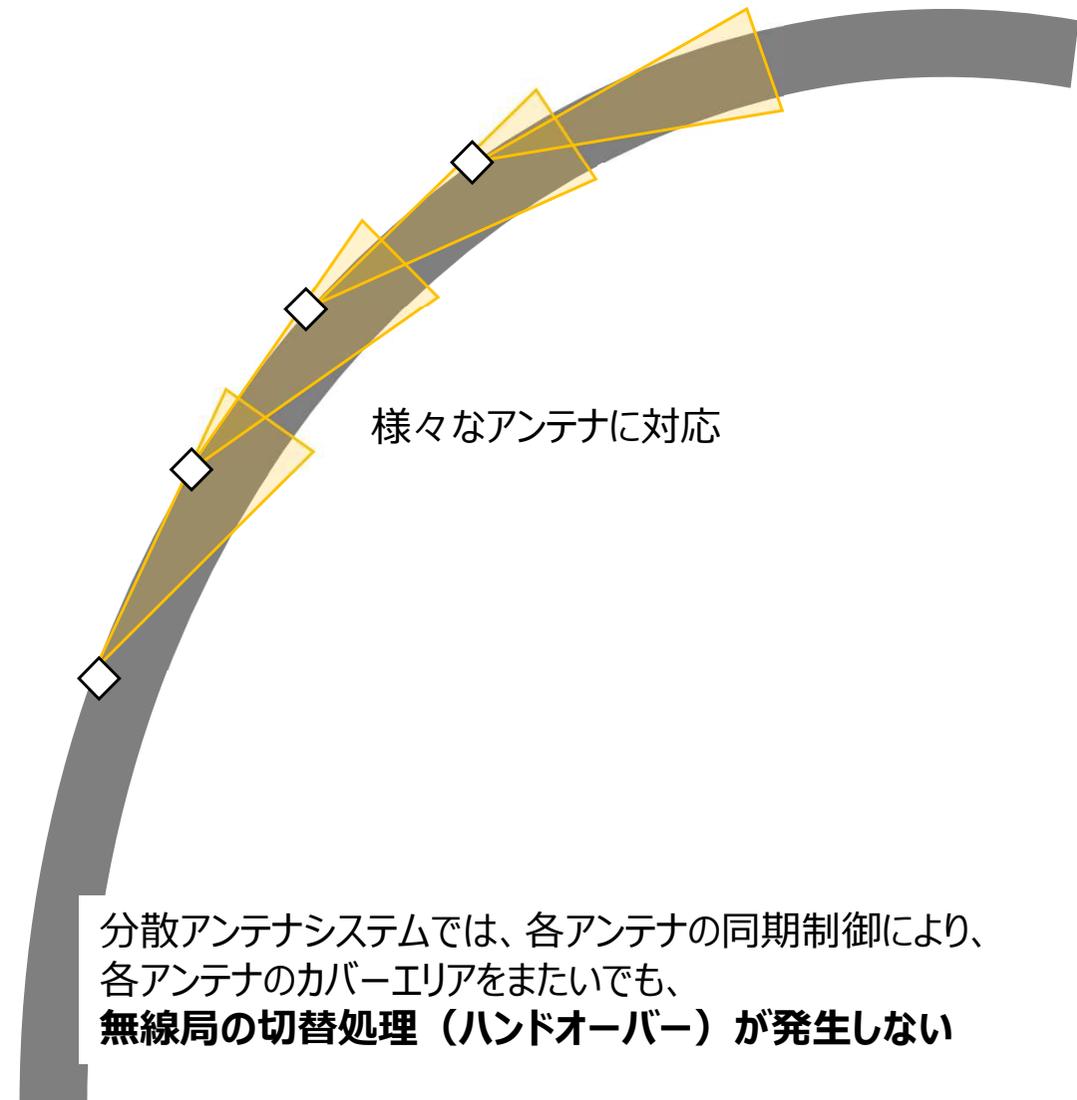
子機として小出力アンテナを連続配置することにより、
電波漏洩を抑えつつ、道路形状に沿ったエリア構築が可能
であり、特にカーブ区間に適していると考えられる。



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



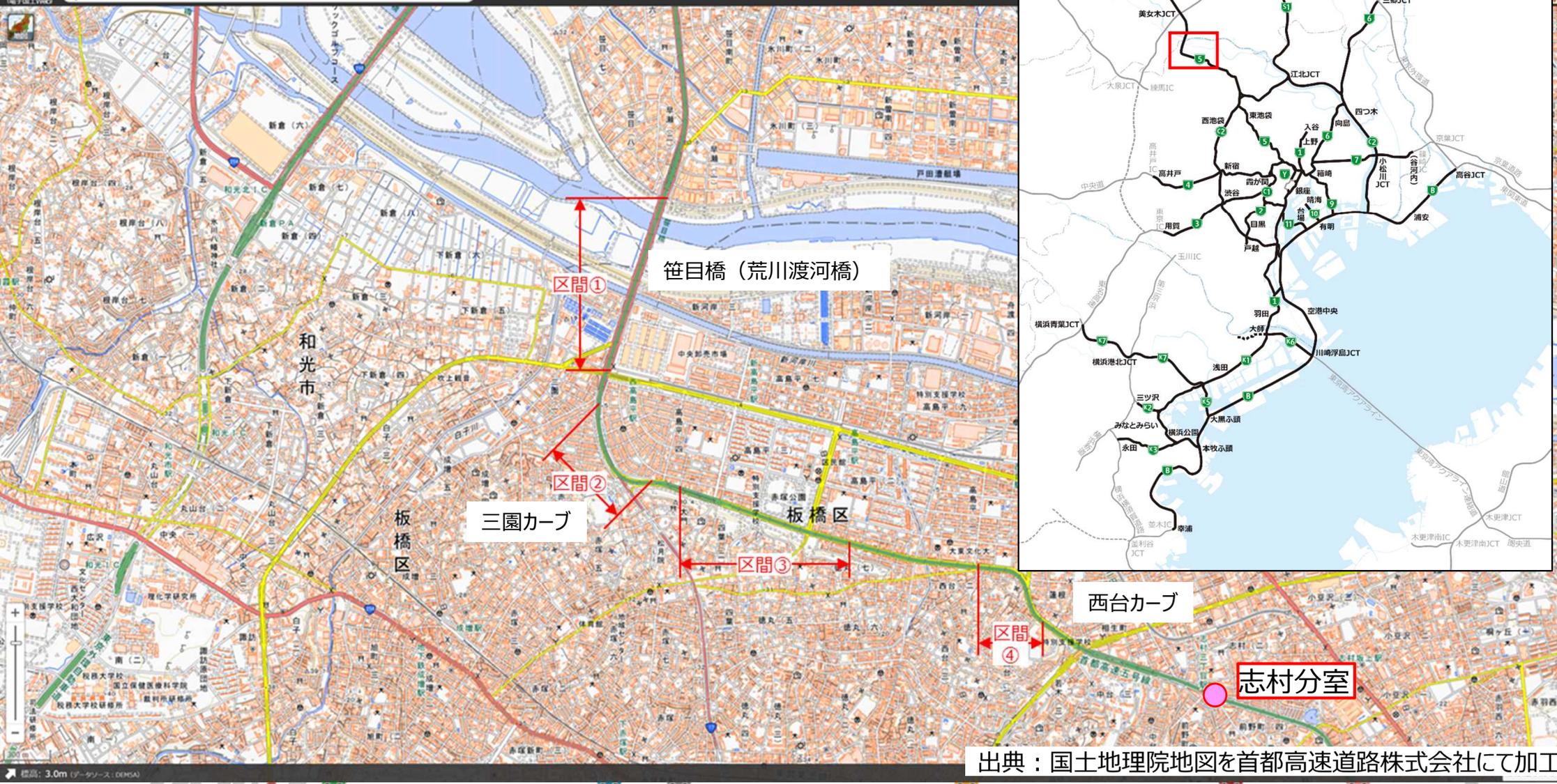
分散アンテナシステムでは、各アンテナの同期制御により、
各アンテナのカバーエリアをまたいでも、
無線局の切替処理（ハンドオーバー）が発生しない

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



出典：国土地理院地図を首都高速道路株式会社にて加工

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。



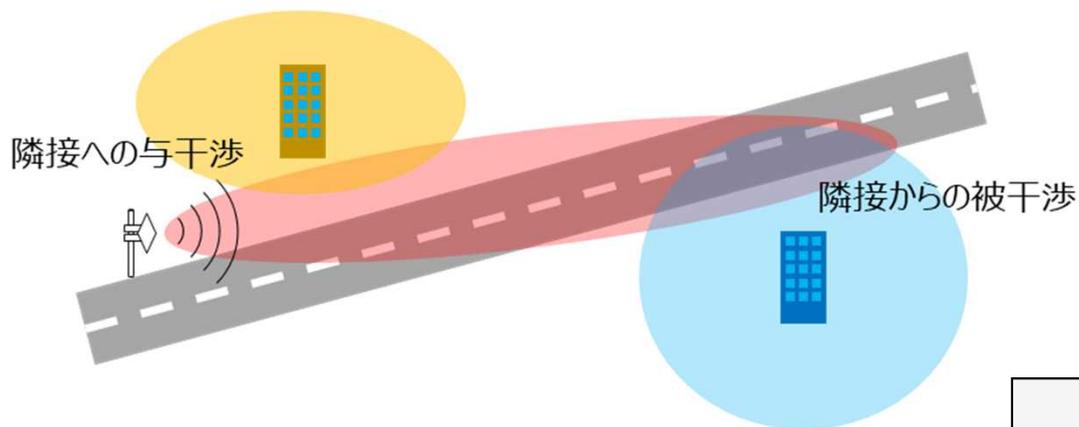
5. 実験概要と結果

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。

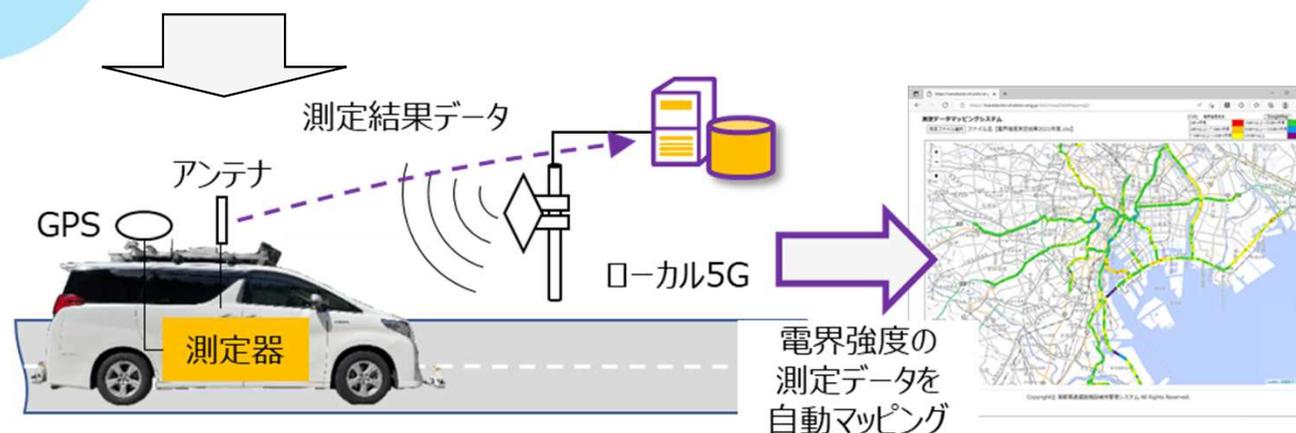
総務省 令和4年度「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」において、首都高技術株式会社が開発。



都市内において線状エリアの維持管理は手間がかかる

- ・電波干渉可能性のある相手方は多数
- ・隣接事業者の状況変化によって電波環境に影響
- ・高速上の電波測定は車線規制が必須

- ・走行測定と電界強度の自動マッピングにより、測定、分析に係る工数を大幅削減
- ・スクリーニング調査により、迅速に異常箇所を把握可能



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

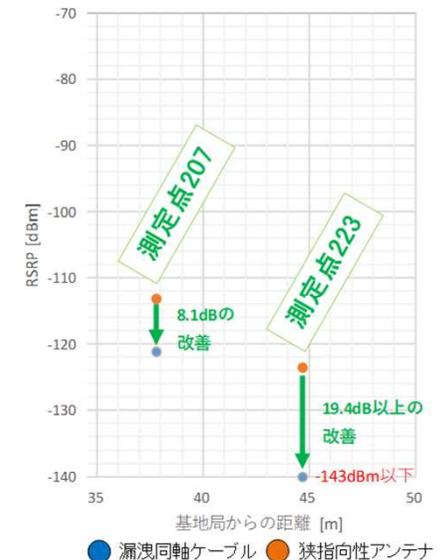
③アンテナ直進方向は、遮音壁を越えてカバーエリア相当の電波漏洩あり

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）

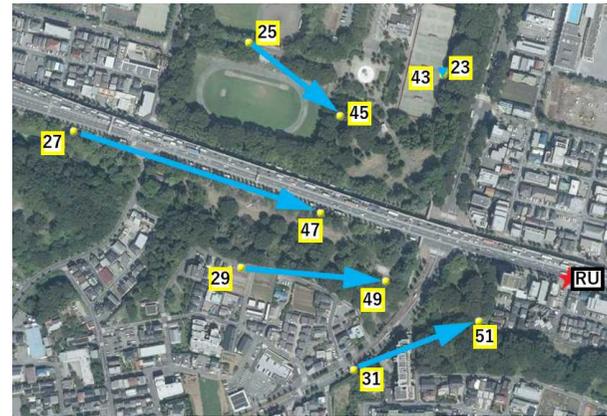
【高速上】 遮蔽板により、高速道路上の受信電力は低減したが、SIRの劣化はほぼ無し

【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

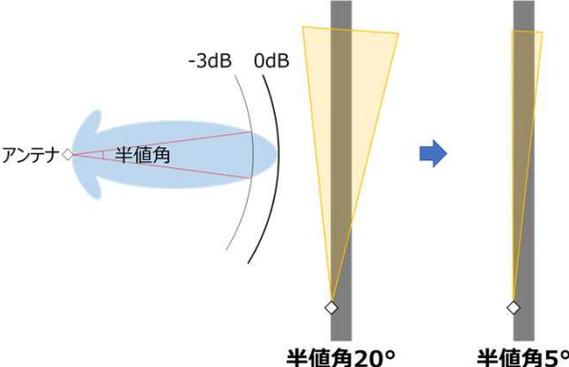
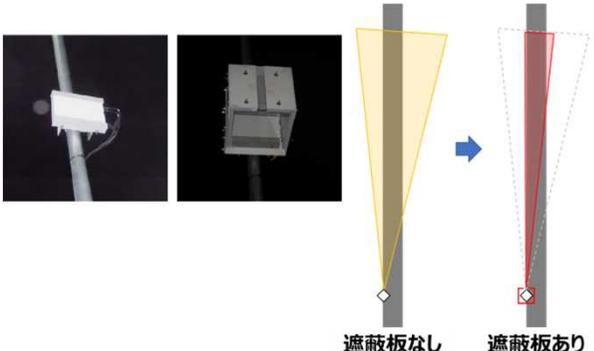
【道路外】

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

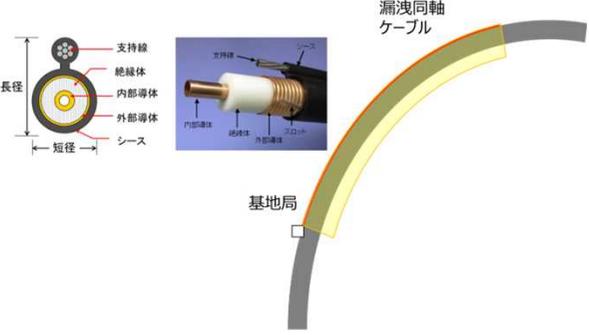
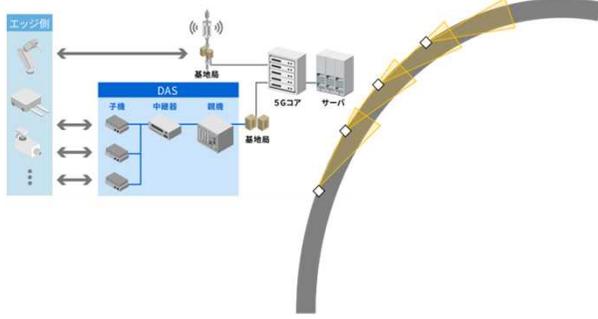
成果

- ・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。