

令和3年度

課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

ローカル5Gを活用した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

成果報告書概要版

令和4年3月25日

エクシオグループ株式会社

目次

1. 実証概要	・・・ 2
2. 実証環境の構築	・・・ 5
3. ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証)	・・・ 12
4. ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討(課題実証)	・・・ 23
5. まとめ	・・・ 33

実証概要

■ 実証の概要

本調査では、高速道路の「トンネル」に焦点をあてる。トンネルは山間部に多く、キャリア5Gの活用が見込めず、ローカル5Gへの期待が高い。ローカル5G、スマートグラス、監視カメラ、AIによる保守保全業務の高度化として、以下の二点について課題実証を行った。

1. 遠隔作業支援： 労働人口減少で作業員確保の課題に対し、スマートグラスや4Kカメラで遠隔の熟練者から作業を支援。
2. 作業員の安全確保： 監視カメラのAI画像解析で、規制中車線に突入しそうな車や作業員が危険なエリアに入ったとき、作業員に通知して危険を回避。

現在、エリア算出法で、「トンネル」を対象とした伝搬モデルがない。このため、技術実証で電波伝搬の実測と伝搬モデルの精緻化を行うことで、エリア算出方法のモデル構築に寄与することを目的とした。また、入射角に対して反射角度を1° ステップで制御可能な反射板を活用することによって、反射板を活用した柔軟なエリア構築が可能となることを検証した。



出展：高速道路トンネル内メンテナンス作業 イメージ図

実証環境の構築

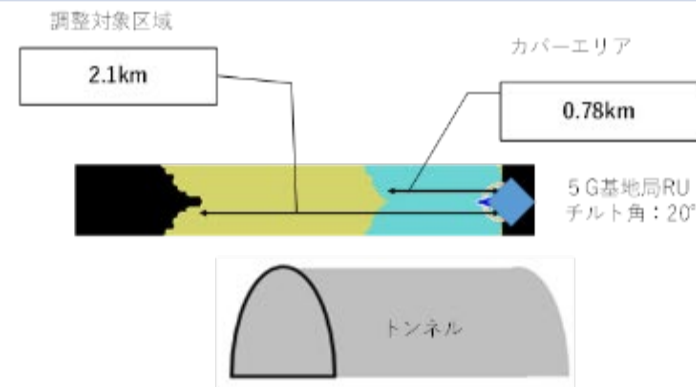
■実証環境の構築

東海北陸自動車道 古城山トンネル 下り車線内にて、実証環境を構築

#	項目	内容
1	対象周波数帯	28GHz+2.5GHz帯 NSA(選定理由:4K映像伝送で、4.7GHz SAに比べアップリンクが速いため) * 伝送スループットの理論上限:28GHz: 140Mbps(2CC: 280Mbps), 4.7GHz: 80Mbps
2	実施環境	中日本高速道路 東海北陸自動車道 古城山トンネル 下り車線内(屋内、平地環境)
3	システム概要	クラウドから遠隔保守運用が可能なローカル5Gシステム(トンネルの遠隔保守運用が可能) コア装置、L3SW、5G基地局CU/DU・RU、自営等BWA基地局:各1式 移動局数:スマートグラス×2式、スマートフォン×2式、4K監視カメラ×2式、警告灯×1式
4	システム機能、性能要件	機能要件:4K映像による遠隔作業支援、4K監視カメラによる車線規制中作業員へのアラート通知 性能要件:4K映像伝送(30fps, 25Mbps)



出典:国土地理院
ウェブサイトの地図
を加工して作成



NSA: Non Stand Alone,
SA: Stand Alone

■ 実証環境の構築

電気室に画像解析サーバ・コア装置・ローカル5GCU/DU等の設備を設置、トンネル内に基地局を設置

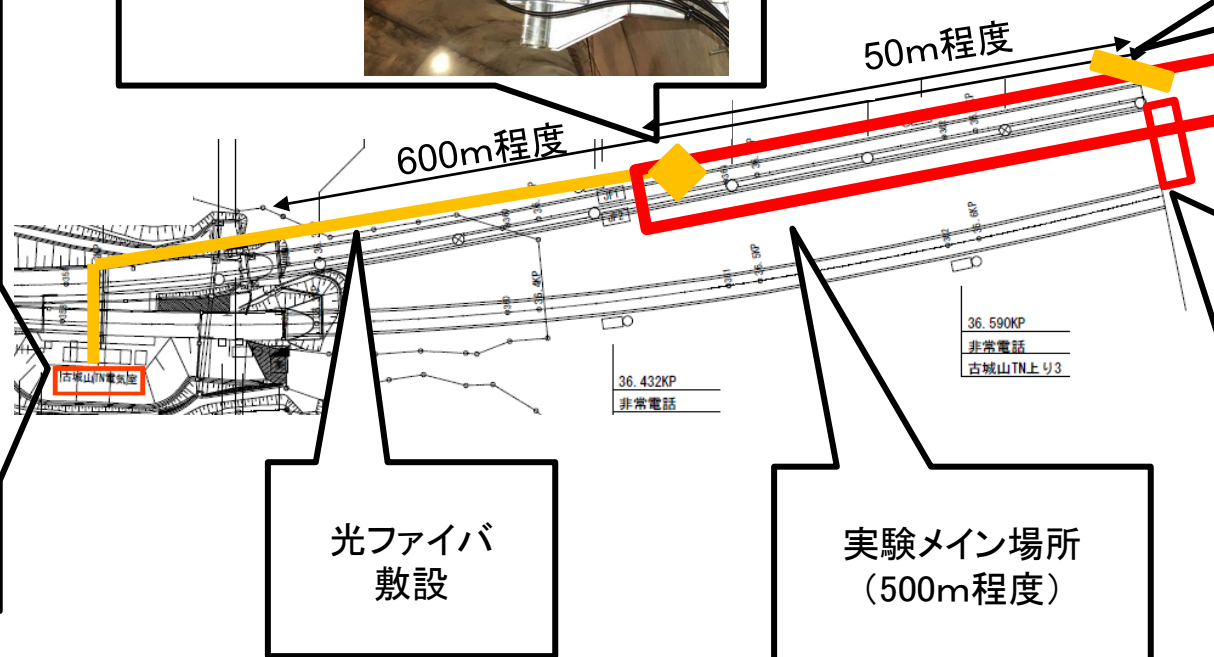
電気室
(5Gコア装置
基地局CU/DU)



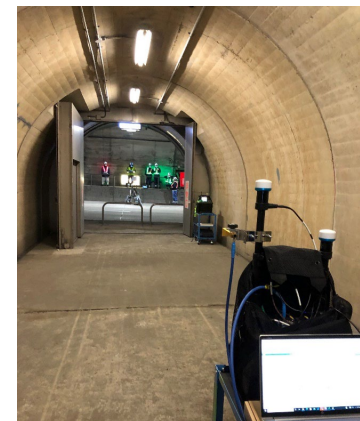
基地局
(5G: 28GHz)
(4G: 2.5GHz)
壁面設置



反射板
(ビーム角
調整機能)

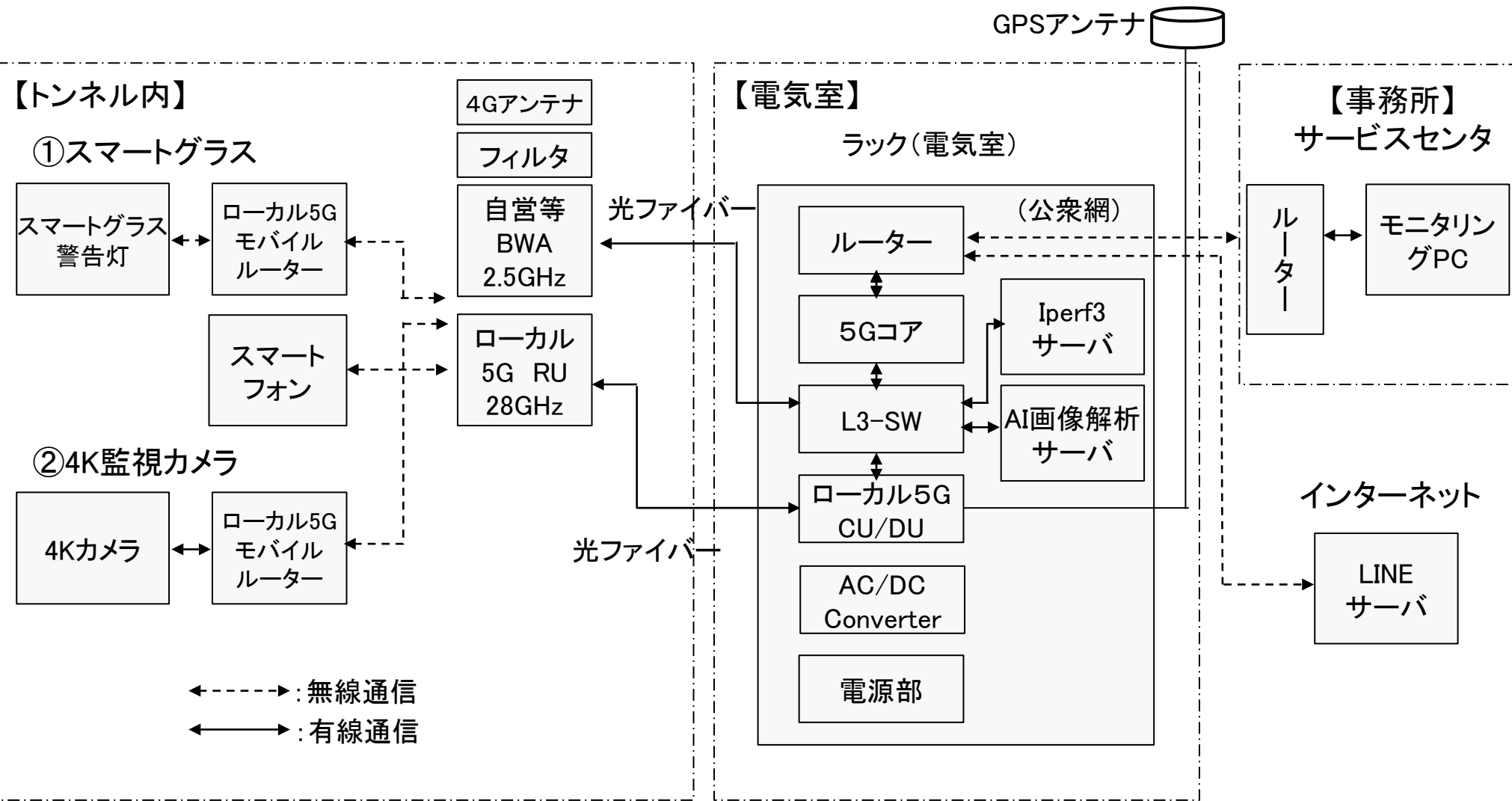


避難連絡坑
(反射板活用エリア化)



ローカル5Gのシステム構成

課題実証(遠隔事務所からの作業支援/AI危険検知)を行うのに適したシステム構成



CU: Central Unit、DU: Distributed Unit、RU: Remote Unit、BWA: Broadband Wireless Access

■システム機能・性能・要件

課題実証においては、遠隔作業支援、安全確保で4K映像をリアルタイム伝送する必要があり、以下にシステム機能、性能要件を纏める。

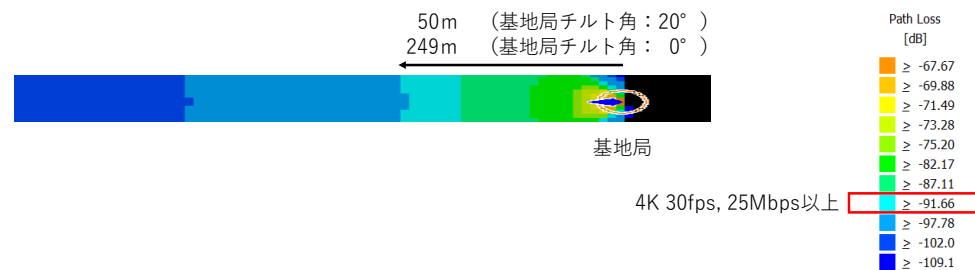
#	項目	要件
1	機能要件	4K映像伝送が可能であること
2	性能要件	25Mbps以上のアップリンク伝送が可能であること

また、トンネル内に設置したノキア製ローカル5G基地局(28GHz帯)の仕様を元に移動局を搭載する4Kカメラ、スマートグラス、スマートフォンの高さを1.5mとして、要求スループットでの上り通信が可能となるようにシミュレーションを実施した。条件は以下の通り。

項目	設定値	
基地局	アンテナ利得	23[dBi] (AWEUA)
	送信電力	22[dBm] (158[mW])
	給電線損失	0[dB]
	周波数	28.2499[GHz]
	高度	地上高5[m]:トンネル内の照明を想定
	チルト角	20°
移動局	アンテナ利得	20[dBi]
	高度	地上高1.5m
	人体吸収損失	4[dB]
その他	伝搬モデル	ITU-R P.1411
	建物侵入損失	0[dB]

シミュレーション結果より移動局の高さが1.5mの場合において50mまでは4Kカメラ映像を圧縮した状態で伝送できるだけのスループットをアップリンクにおいて出す無線通信が可能と分かる。なお基地局のチルト角を0° とすることにより、249mまでの距離をカバーできる見通しとなる。

以上から、本開発実証における要件を満たしていると考えらる。



■ 免許及び各種許認可

本開発実証を進めるにあたり取得した、実験試験局免許、道路占用許可及び道路使用許可について以下に示す。

1. 実験試験局免許情報

28GHz帯は直進性が高く、トンネルでは遠くまで電波が届くことが予想された。本実証ではトンネル内の電波伝搬特性を解明する実験的な側面が多いため、総合通信局にもご指導を仰ぎながら、実験試験局免許にて行うのがふさわしいと判断した。

	基地局	移動局(1/3)	移動局(2/3)	移動局(3/3)
免許人の氏名又は名称	エクシオグループ株式会社	エクシオグループ株式会社	エクシオグループ株式会社	エクシオグループ株式会社
免許人の住所	東京都渋谷区渋谷3-29-20	東京都渋谷区渋谷3-29-20	東京都渋谷区渋谷3-29-20	東京都渋谷区渋谷3-29-20
無線局の種類	実験試験局	実験試験局	実験試験局	実験試験局
免許の番号	海実第4163号	海実第4164号 ~ 海実第4166号	海実第4167号 ~ 海実第4169号	海実第4170号 ~ 海実第4171号
免許の年月日	令 3.12.24	令 3.12.24	令 3.12.24	令 3.12.24
免許の有効期限	令 4.3.31 まで	令 4.3.31 まで	令 4.3.31 まで	令 4.3.31 まで
無線局の目的	実験試験用	実験試験用	実験試験用	実験試験用
運用許容時間	常時	常時	常時	常時
通信事項	実験、試験又は調査に関する事項 (アルゴシステムデータ伝送に関する事項、 教育に関する事項を除く。)	実験、試験又は調査に関する事項 (アルゴシステムデータ伝送に関する事項、 教育に関する事項を除く。)	実験、試験又は調査に関する事項 (アルゴシステムデータ伝送に関する事項、 教育に関する事項を除く。)	実験、試験又は調査に関する事項 (アルゴシステムデータ伝送に関する事項、 教育に関する事項を除く。)
通信の相手方	免許人所属の実験試験局	免許人所属の実験試験局	免許人所属の実験試験局	免許人所属の実験試験局
識別番号	えくしおこじょうざんとんねるろーかる5Gじっけん	えくしおこじょうざんとんねるろーかる5Gじっけんいどう 1~3	えくしおこじょうざんとんねるろーかる5Gじっけんいどう 4~6	えくしおこじょうざんとんねるろーかる5Gじっけんいどう 7~8
無線設備の設置場所 又は移動範囲	常置場所 岐阜県美濃市 東海北陸自動車道上路線 古城山トンネル 電気室 移動範囲 岐阜県美濃市 東海北陸自動車道下り線 古城山トンネル内、36.7kpから36.9kpの間	常置場所 岐阜県美濃市 東海北陸自動車道上路線 古城山トンネル 電気室 移動範囲 岐阜県美濃市 東海北陸自動車道下り線 古城山トンネル内	常置場所 岐阜県美濃市 東海北陸自動車道上路線 古城山トンネル 電気室 移動範囲 岐阜県美濃市 東海北陸自動車道下り線 古城山トンネル内	常置場所 岐阜県美濃市 東海北陸自動車道上路線 古城山トンネル 電気室 移動範囲 岐阜県美濃市 東海北陸自動車道下り線 古城山トンネル内
電波の型式、周波数の 範囲及び空中線電力	99M8X7W 28.24992 GHz 158 mW 100MX7W 28.34928, 28.44864, 28.548 GHz 158 mW 20MOX7W 2585 MHz 6.2 W	99M8D1A,B,C,D,F,X/99M8D7W/99M8G1A,B,C,D,F,X/99M8G7W 28.24992 GHz 200 mW 100MD1A,B,C,D,F,X/100MD7W/100MG1A,B,C,D,F,X/100MG7W 28.34928 GHz 200 mW 20MOX1A,B,C,D,F,X/20MOX7W 2585 MHz 400 mW	99M8D1A,B,C,D,F,X/99M8D7W/99M8G1A,B,C,D,F,X/99M8G7W 28.24992 GHz 200 mW 100MD1A,B,C,D,F,X/100MD7W/100MG1A,B,C,D,F,X/100MG7W 28.34928 GHz 200 mW 20MOX1A,B,C,D,F,X/20MOX7W 2585 MHz 200 mW	99M8D1A,B,C,D,F,X/99M8D7W/99M8G1A,B,C,D,F,X/99M8G7W 28.24992 GHz 200 mW 100MD1A,B,C,D,F,X/100MD7W/100MG1A,B,C,D,F,X/100MG7W 28.34928 GHz 200 mW 20MOX1A,B,C,D,F,X/20MOX7 2585 MHz 200 mW

2. 道路占用許可情報

項目	説明
発行者	独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構 理事長 渡邊 大樹
申請者	エクシオグループ株式会社 東海支店長
許可日	令和3年12月28日
占有の目的	総務省社会実験用の実験用器材設置のため
占有の場所	路線名: 東海北陸自動車道 場所: 東海北陸自動車道 上下線 36.20KP~36.90KP 岐阜県美濃市鈍尾4018-1地先 古城山トンネル電気室~古城山トンネル内
占有物件	名称・規模・数量:申請書のとおり
占有の期間	許可日から令和4年3月31日まで
工事の期間	許可日から令和4年3月31日まで
道路の復旧方法	原状回復

3. 道路使用許可情報

項目	説明
発行者	岐阜県高速道路交通警察隊長
申請者	エクシオグループ(株) 東海支店長
道路使用の目的	総務省社会実験用の実験用器材設置のため
場所又は区間	東海北陸自動車道 古城山TN (上路線・下り線)
期間	令和4年1月17日7時から令和4年3月4日17時まで
方法又は形態	車線規制(走行車線、追越車線)・路肩規制
現場責任者	愛知県名古屋市中区錦3-10-33 錦SISビル4F 矢野 満義

■ その他要件および実証環境の運用

1. その他要件

・開発供給計画認定/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

本開発実証において使用した基地局やコア設備については開発供給計画認定番号「2020開1総経第0003号-1」にて開発供給計画認定を受けているノキアが製造している機器を使用した。

・サイバーセキュリティ対策について

本開発実証を実施するために導入するシステムについて、サイバーセキュリティ対策に留意し、実証を行う古城山トンネルでのシステム構築とし不必要にデータが外部に漏れない閉域のシステムとした。28GHz帯システムにおいては、ノキア社NDACサービスを利用するが、コア装置や基地局の運用監視機能に限定しており、個人情報に関するデータは扱わない。また、NDACサービスのデータセンタとはVPNを設定し、サイバーセキュリティ対策を講じている。本開発実証においては情報保全を履行する体制を確立して情報管理を行った。本開発実証において取得したデータの管理方法についても、本コンソーシアム内でのみ扱うものとし、情報保全を履行する体制にて情報管理を行った。

・実証に用いる機材の実証前の品質担保、事前の動作検証

日立国際電気では5G/AI協創ラボを開設しており、本開発実証で扱う28GHzのNSAシステムを導入済のため、以下の事前検証を行った。

- ① 端末との相互接続試験
- ② 課題実証におけるアプリケーションの事前動作確認
- ③ 技術実証の測定項目が取得できること

2. 実証環境の運用

本開発実証では、片側車線の工事規制を行って実証試験を行った。

本開発実証で活用した28GHzのNSA構成は、遠隔のデータセンタから保守監視を行うことができる。もし、開発実証中にインシデント等が発生した場合は、遠隔保守のサービスセンタと連携をとることによって早急に対処を行うものとした。

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)

■技術実証：サマリ

高速道路トンネル内メンテナンス作業の効率・安全性向上における5G活用に向け、ローカル5Gの性能を明らかにした。

#	項目	概要説明
①	a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定	トンネル内の20点以上の測定点で受信電力/伝送スループット/伝送遅延を測定。また、カバーエリア端、調整対象区域端の調査を行った。
②	b. テーマ別実証 I.電波伝搬モデルの精緻化	エリア算出基準にトンネルのモデルがないため、トンネル内の受信電力の測定データを用いて、電波伝搬モデルを構築して検証した。
③	b. テーマ別実証 II.電波反射板によるエリア構築の柔軟化	28GHzのミリ波で不感地帯になると想定される避難連絡坑で、電波反射板を活用して、4Gから5G通信可能であることを検証

#	技術実証の目標	結果
① ③	4K映像伝送に必要な25Mbps以上のスループットとなるエリアの明確化	①トンネル内のエリア(基地局からの距離): <ul style="list-style-type: none"> ・UDP DL:10m~310m(○)、TCP DL:10m~310m(○) ・UDP UL:10m~390m(○)、TCP UL:10m~30m、70m(△) ③避難連絡坑内(反射板からの距離): <ul style="list-style-type: none"> ・UDP DL:~18m(○)、TCP DL:~18m(○) ・UDP UL/TCP UL:20Mbpsで未達(×)
②	伝搬損失Lのモデルを実測から求める	受信電力の実測値から回帰分析によって、下記モデルを導出 $L1(d) = 20 \log_{10}(4 \pi d / \lambda)$ ($d < 10m$) $L1(d) = 82.23 + 0.103 \times d$ ($10m \leq d < 90m$) $L1(d) = 89.0 + 0.028 \times d$ ($90m \leq d$)
③	避難連絡坑を反射板により5G通信可能とする	△ 反射板から18mの地点まで5Gエリア化(反射板無しでは4G) (ただし、入口で接続すれば、避難連絡坑の出口まで5G通信可能)
③	反射板活用で10m以上で5dB以上の改善	○ 反射板から18mの地点で14dB改善
	端末とサーバ間の往復遅延を100msec以内	○ 往復遅延時間は約30msec

■技術実証：①ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定(測定方法)

トンネル内の監査路上、及び避難連絡坑にて受信電力/スループット/遅延特性を測定

トンネル入口 基地局アンテナ設置場所

測定区間(-10m~390m)

下り線

トンネル出口

上り線

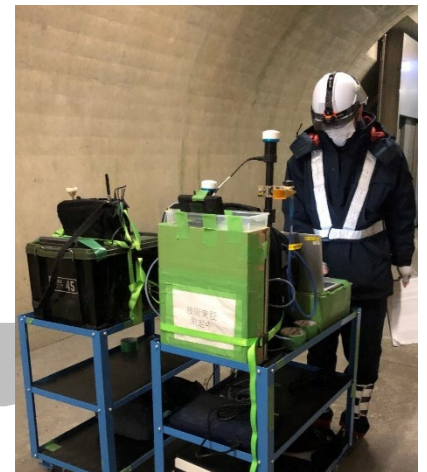
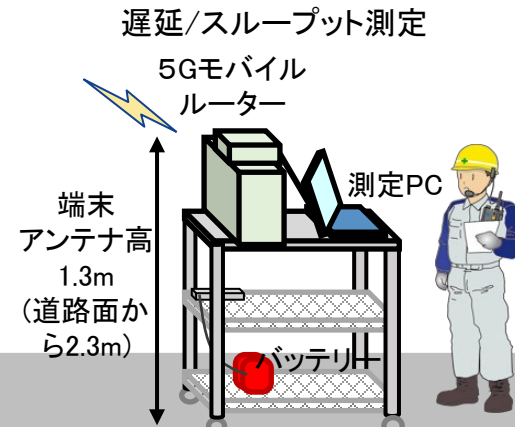
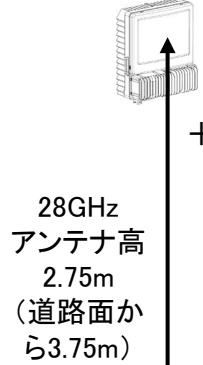
20m間隔

監査路(道路面から高さ1m)

▲ 測定地点

-10m 10m 50m

390m



監査路高 1m

道路面(非常駐車帯)

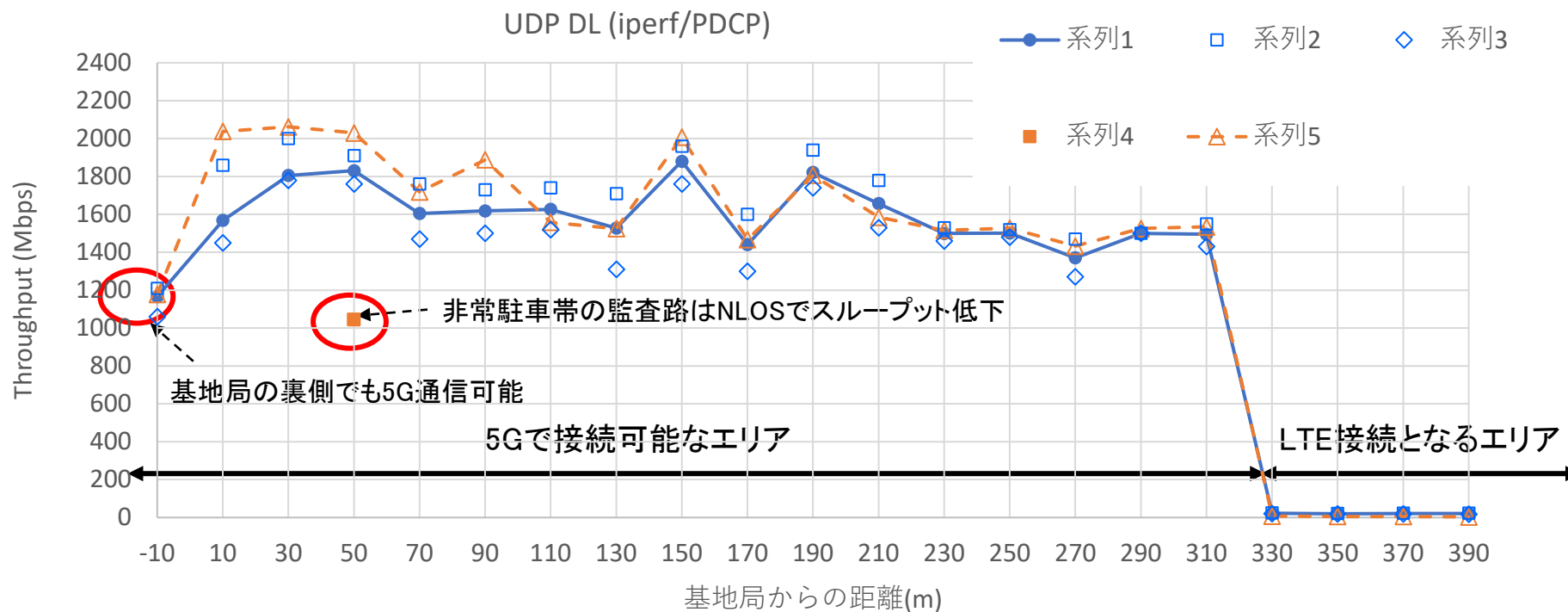
■技術実証:①ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定(スループット静特性)

UDP/TCPのアップリンク・ダウンリンクスループットを計測。4K映像伝送に必要な25Mbps以上となるエリアを確認。

表2-1: 4K映像伝送に必要な25Mbpsのエリア明確化

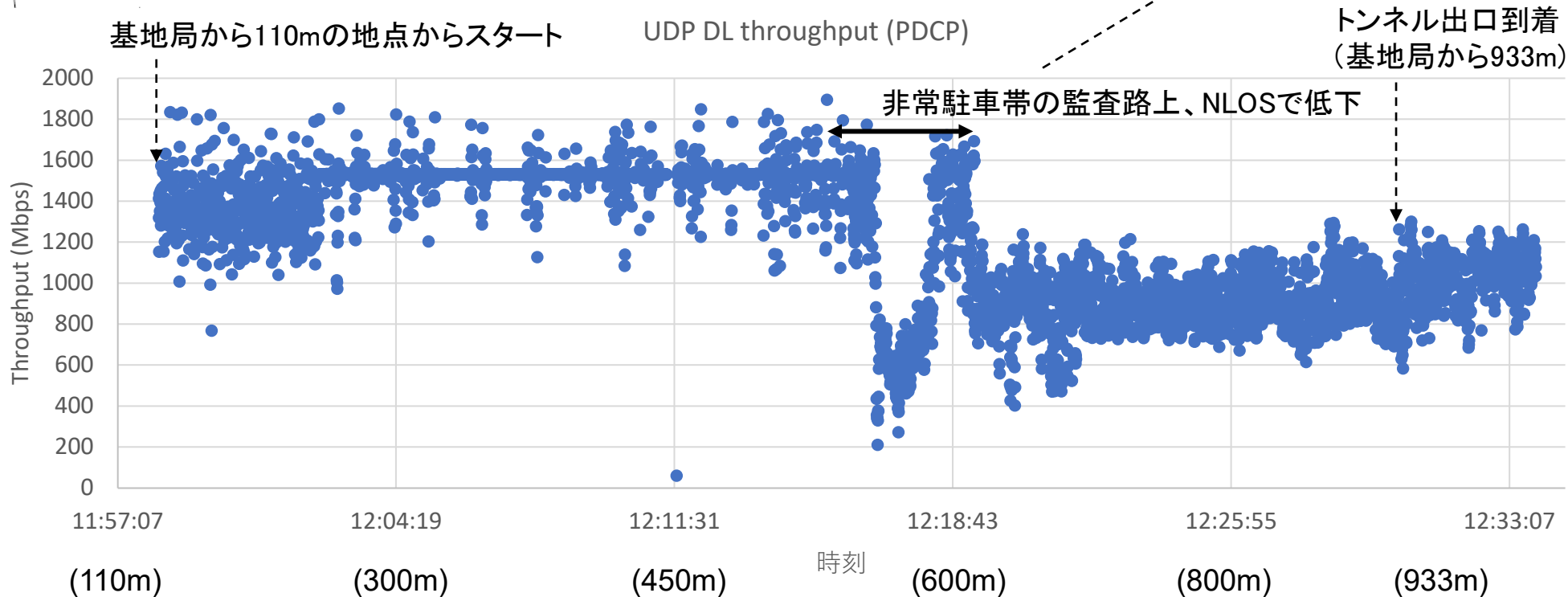
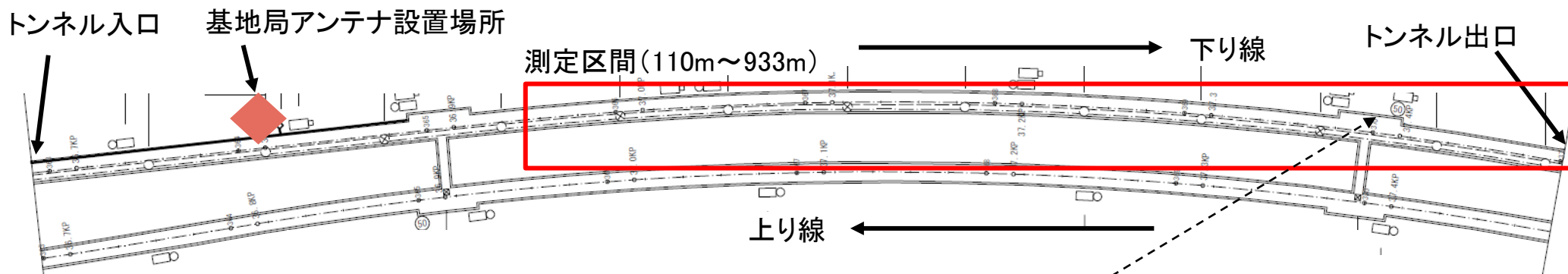
項目	UDP UL	TCP UL	UDP DL	TCP DL
スループット	100Mbps~240Mbps	80Mbps~120Mbps	1.4 Gbps~1.8 Gbps	1 Gbps~1.2 Gbps
25Mbps以上エリア	10m~390m	10m~30m、70m	10m~310m	10m~310m

例:UDP DLの測定結果



■技術実証:①ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定(スループット移動特性)

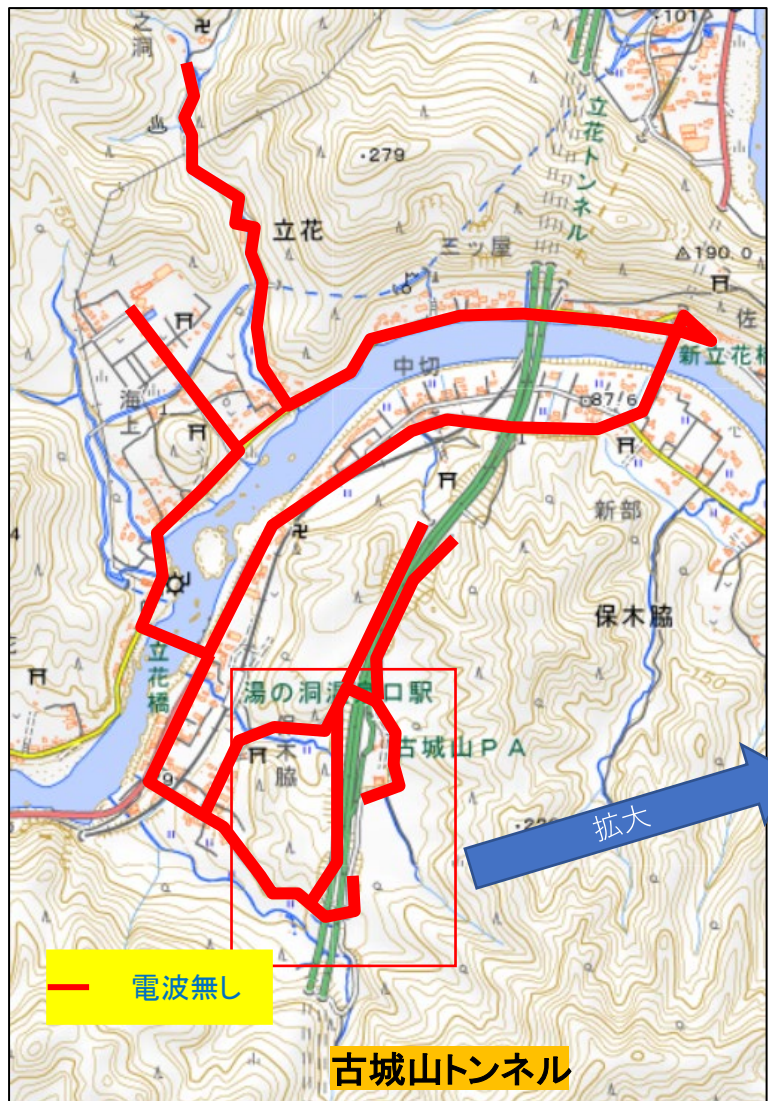
110m地点で5G接続し、トンネル出口まで歩行。トンネルの全区間で5G通信が可能であることを確認。



()内の数字は基地局からの距離

■技術実証: ①ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定(カバーエリア端/調整対象区域端)

カバーエリア端は遠くまで届いていた。調整対象区域端が予想された川の近辺では5Gの電波を検出しなかった。



出典: 国土地理院ウェブサイトの地図を加工して作成

■技術実証: ②電波伝搬モデルの精緻化

トンネル内は自由空間伝搬損よりも遠くに電波が届くことを確認。回帰分析により電波伝搬モデルを構築

(1) 伝搬損失(モデル): 実測値の回帰分析

$$L1(d) = 20 \log_{10}(4 \pi d / \lambda) \quad (d < 10m)$$

$$L1(d) = 82.23 + 0.103 \times d \quad (10m \leq d < 90m)$$

$$L1(d) = 89.0 + 0.028 \times d \quad (90m \leq d)$$

(2) 伝搬損(トンネル外): (仮説: 自由空間伝搬損カーブ)

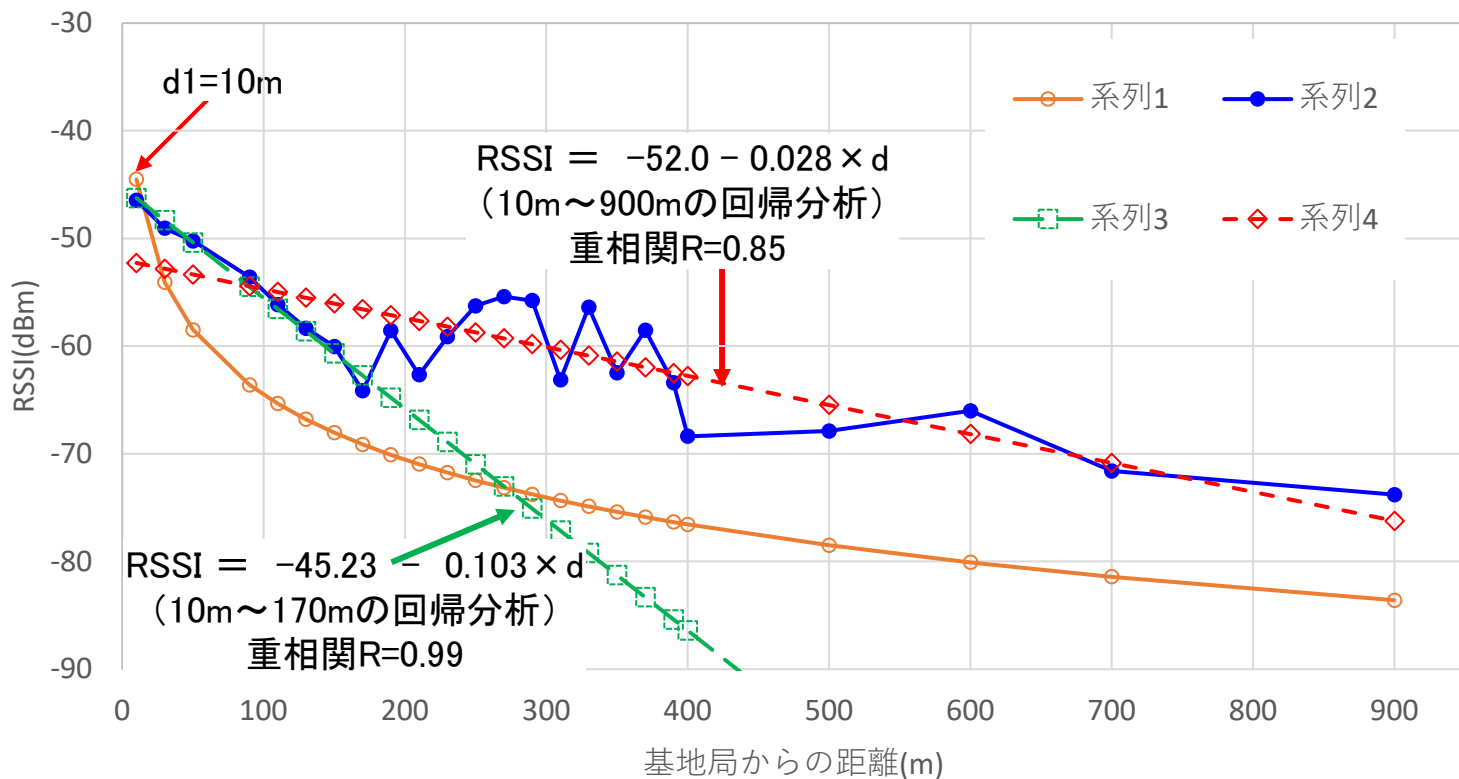
$$L2(d) = L1(930) + 20 \log_{10}(4 \pi d / \lambda) - 20 \log_{10}(4 \pi \times 930 / \lambda)$$

#	項目	カバーエリア端	実測との差
1	事前Sim	780m	-550m (△)
2	実測	1330m	0m
3	モデル	1700m	370m (○)

基地局から見通せるLOSのデータを活用して回帰分析

距離減衰係数K:
電波伝搬モデルにおける主要パラメータ:

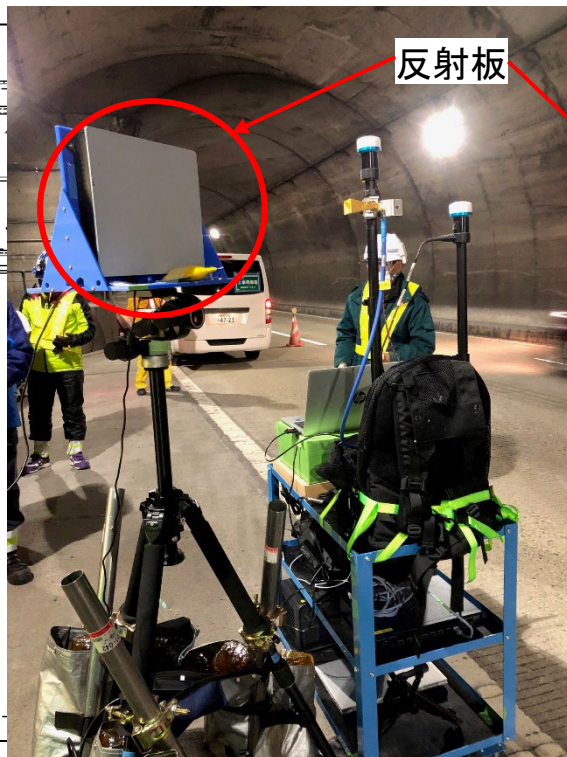
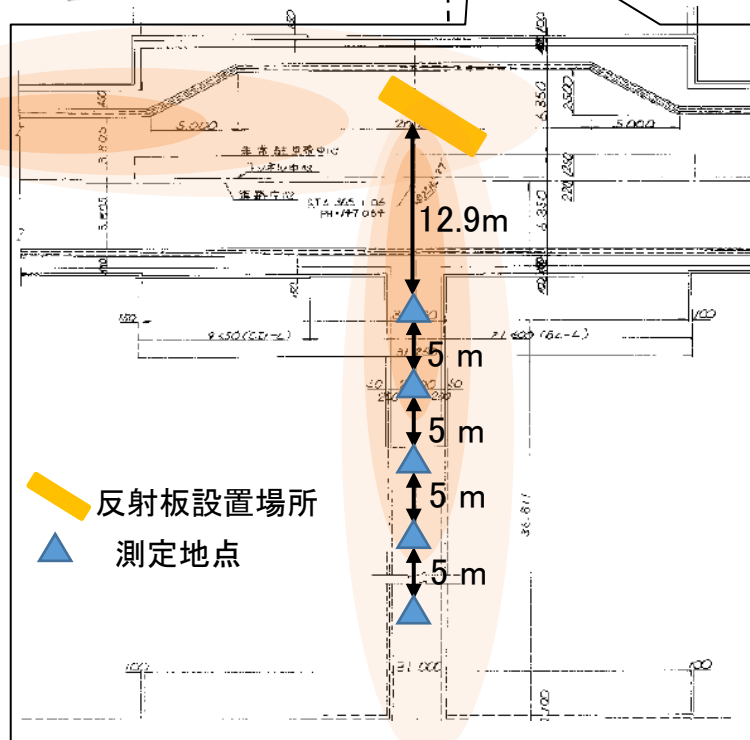
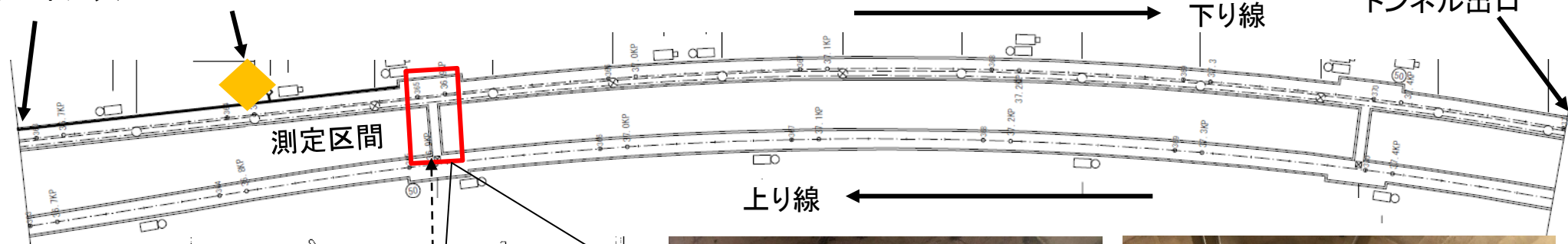
- ・10m~170mの回帰分析
→ 距離減衰係数K1 = 0.103
- ・10m~900mの回帰分析
→ 距離減衰係数K2 = 0.028



■技術実証：③電波反射板によるエリア構築の柔軟化（測定方法）

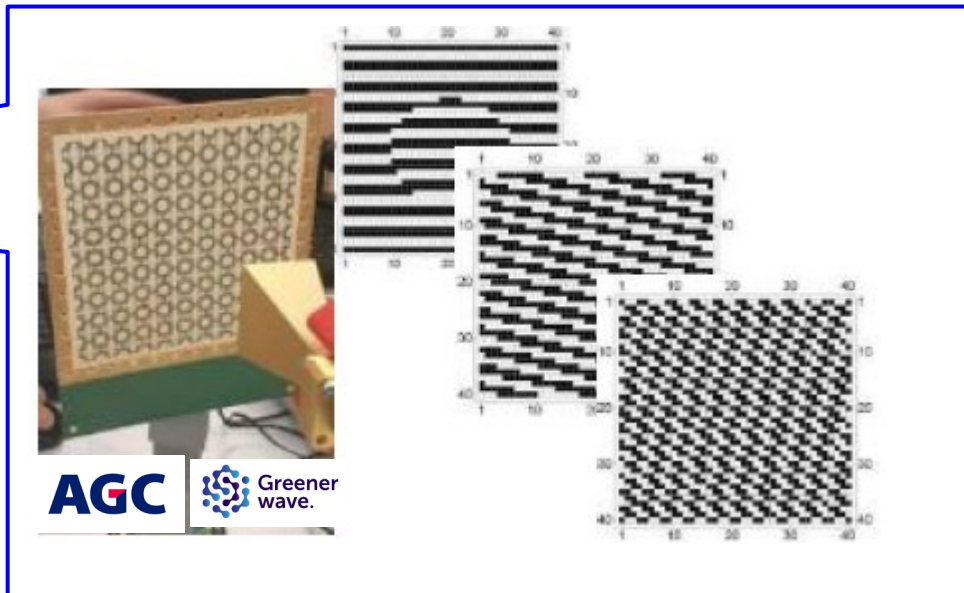
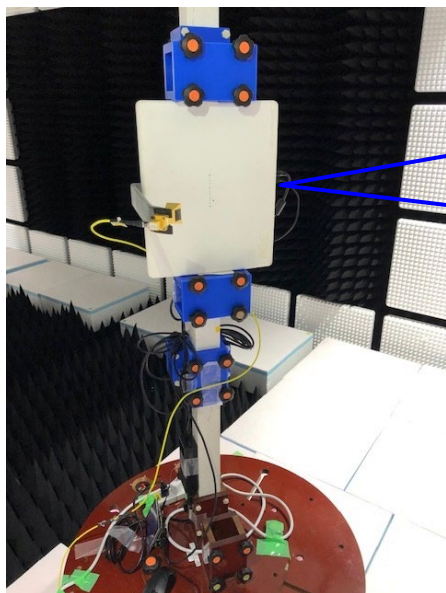
反射角度を1°ステップで制御可能な反射板を活用して、避難連絡坑で5G通信が可能になることを検証

トンネル入口 基地局アンテナ設置場所



■技術実証：③電波反射板によるエリア構築の柔軟化（反射板について）

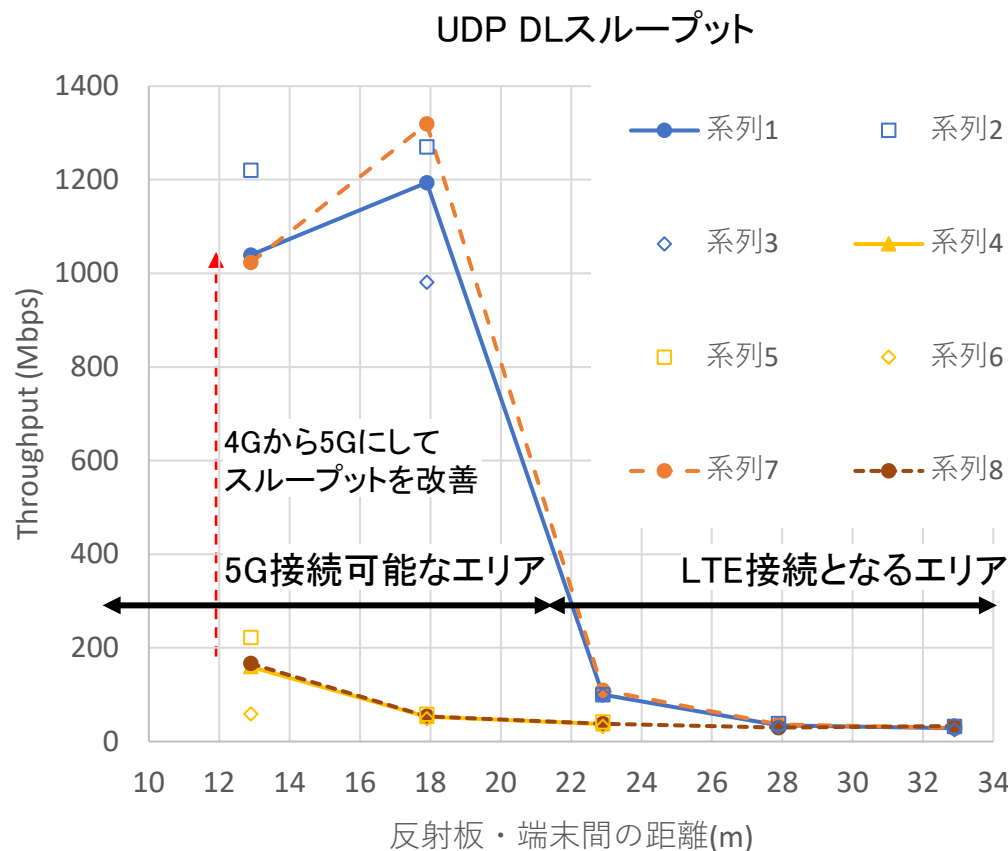
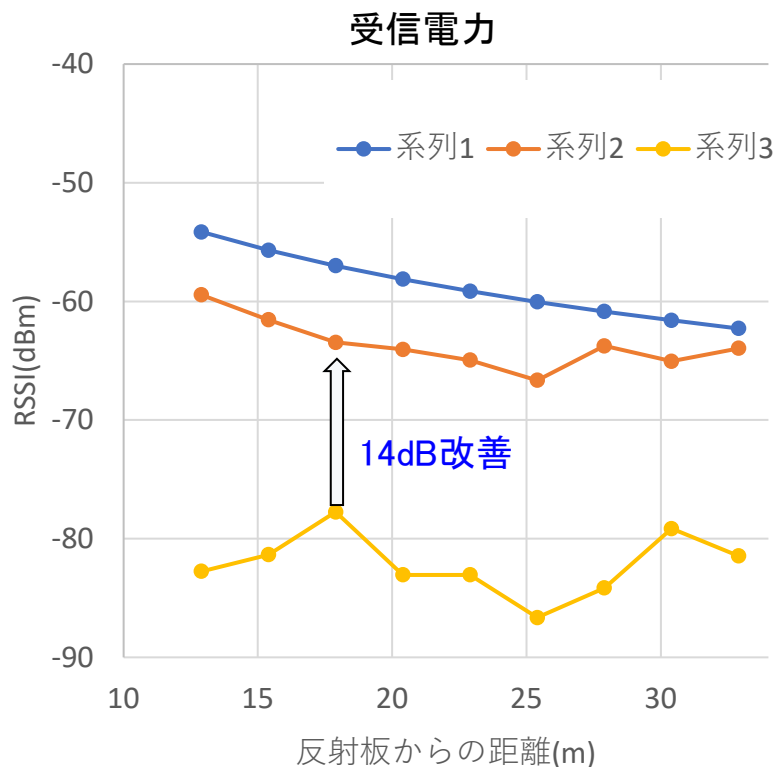
スイッチング素子で反射位相を制御することにより、反射角度を1°ステップで方向制御が可能な反射板を活用



#	諸元	説明
1	大きさ	330x270x40 mm
2	重量	2kg
3	材質	レドーム: Nylon12 (PA12)、内部: PCB基板+素子群
4	動作周波数	27.0GHz~29.5GHz
5	偏波	H偏波およびV偏波
6	入射角度/反射角度範囲	水平/垂直方向 ±60°
7	ビーム幅(HPBW)	3°

■技術実証：③電波反射板によるエリア構築の柔軟化(受信電力/スループット特性)

- ・反射板がない場合に比べて受信電力を約14dB以上改善(反射板の到来方向にホーンアンテナを向けた場合)
- ・反射板から約18m離れた地点まで5Gで接続可能で、1Gbps以上のスループットを実現。
- ・23m以上は5Gの初期接続が困難。12.9m地点で5G接続して移動すると32.9mでも5G通信可能(約1Gbps)



理論値:

想定受信電力(dBm)=RU送信電力(dBm)+基地局アンテナ利得(dBi)

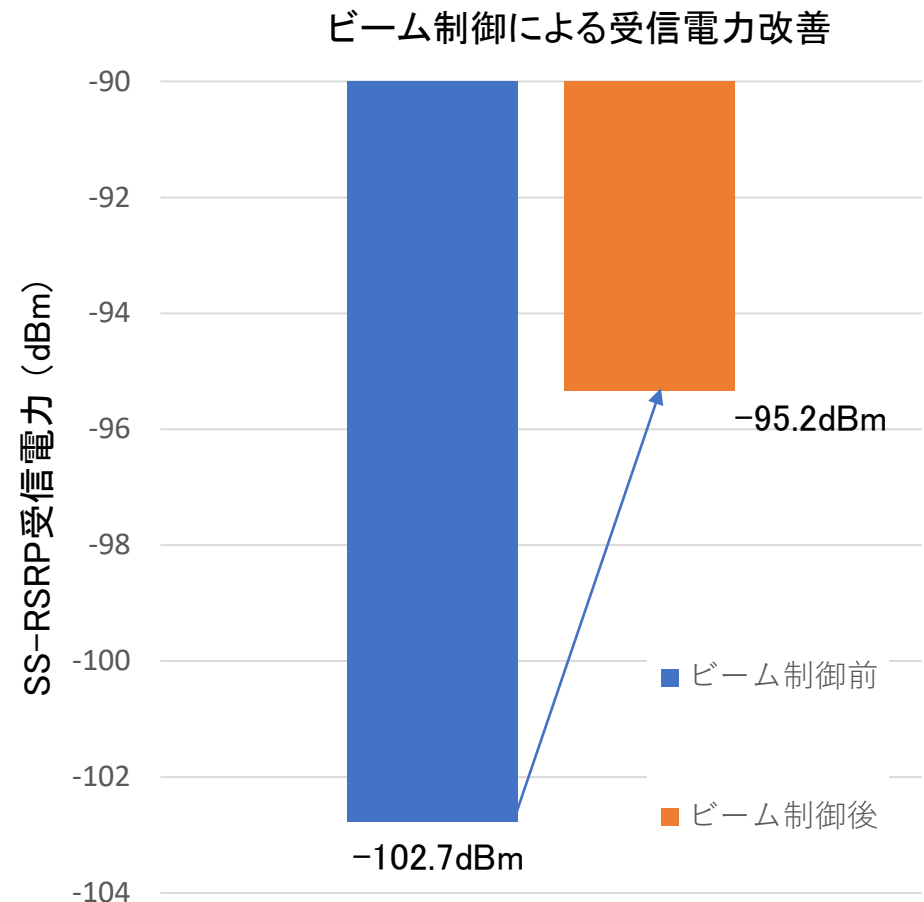
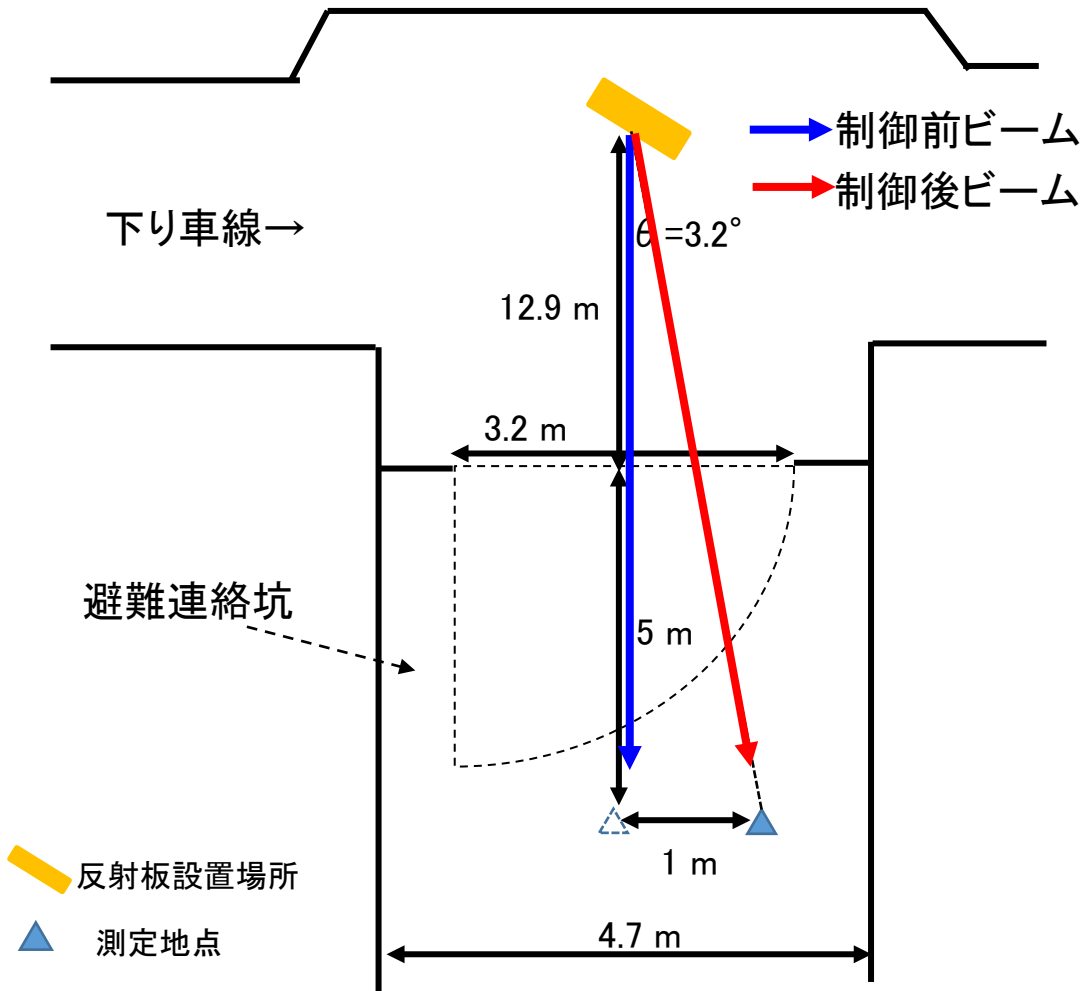
-RU反射板間距離による自由空間伝搬損(dB)+反射板利得(dBi)

-反射板UE間距離による自由空間伝搬(dB)

+UEアンテナ利得(dBi)-UEケーブル損失

■技術実証：③電波反射板によるエリア構築の柔軟化(ビーム制御機能)

- ・反射板から17.9m離れた地点から横に1m移動(ビームの半値幅 3° のため、ビームからはずれる場所へ移動)
- ・移動先の場所において、ビーム制御前とビーム制御後で受信電力を比較したところ、約7dB改善。



ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討 (課題実証)

■実証概要

中日本高速道路株式会社 管内の道路構造物は約6割が供用後30年以上を経過しており、インフラ長寿命化計画(行動計画)を策定し、高速道路リニューアルプロジェクトに取り組んでいる。また、10年先を見据えた次世代技術を活用した高速道路の保全マネジメントの革新的な改革プロジェクトに取り組んでいる。

幅広い分野の企業や大学などと連携し、AI、IoT、ビッグデータ、ロボットなどの先端技術や知見を取り入れるため、コンソーシアム方式を導入し、オープンイノベーション推進組織である「イノベーション交流会」を設置。イノベーション交流会のローカル5G企画検討部会(=本実証コンソーシアム)にて、5Gの活用検討を推進。本開発実証では、キャリア5Gの敷設が見込めないトンネルでのローカル5G活用モデルに焦点をあて、②スマートグラス、⑩監視カメラ(CCTV)にフォーカスをあて課題実証の内容を検討した。



#	高速道路業務の高度化	5Gの活用	
①	ドローン、車載カメラ(ドラレコ含む)等の立体画像	○	大容量・移動体通信
②	スマートグラスカメラ画像(点検支援、工事管理(立ち合い)、近接立ち会い等用)	○	大容量・移動体通信
③	構造物等3D・点群計測データ(点検ロボット等による自動計測)	○	大容量・移動体通信
④	定点CCTVカメラ画像(明かり部・トンネル部用)	△	地上ネットワークで整備済み有
⑤	道路管理用各種センサー計測データ(明かり部・トンネル部・のり面変形位計等も含む)	○	多元接続・ネットワーク整備コスト削減・労力削減・早期実現可能
⑥	情報提供設備向け監視・制御データ(将来、空中結像サイネージでの提供)	△	地上ネットワークで整備済み有
⑦	点検用タブレット入力、過去データ/3D図面等参照	○	大容量・移動体通信
⑧	料金所周辺のケーブルレス化(ETC・現金システム等)	△	大容量・高安定性・高セキュリティ確保が必要
⑨	社屋内ネットワーク(音声電話系やグループネットワーク(保全サービスセンター棟、道路管制センター棟、SA・PA管理用)	×	他のシステムで安価に対応可
⑩	CCTVカメラ臨時増設用(火災時、イベント発生時)	○	ネットワーク整備コスト削減・労力削減・早期実現可能
⑪	光ケーブル切断時のバックアップ(予備)	×	技術的に対応できない(基地局間通信が不可)
⑫	維持管理車両の自動運転(自動走行・遠隔走行の監視制御含む)	○	大容量・移動体通信
⑬	工事・作業用ロボットの遠隔制御・監視	○	大容量・移動体通信

■背景となる課題を踏まえた実装シナリオ

労働人口の減少により、メンテナンスを担う技術者の確保が困難となり、技術者不足による高速道路の保守保全事業への影響も看過できない状況にある。技術者不足の課題に対しては、ローカル5Gを活用した熟練者による遠隔作業支援への期待が高まっている。

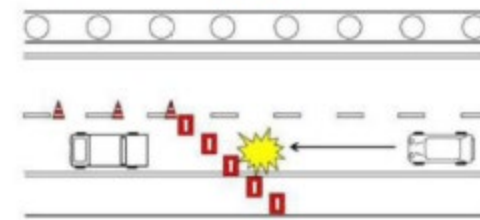
また、高速道路では、規制中車線に車が突入する事故が発生するなど、ICT技術の活用による対策が急務であり、現場作業員の安全確保が重要な課題となっている。

この課題に対しては、監視カメラの映像をローカル5Gで伝送し、エッジコンピュータでAI画像解析することにより、規制中車線に進入してくる車を早期発見し、作業員にアラート通知することで、未然に事故を防止することができる。また、作業員自身が気が付かずに、危険なエリアに侵入したことをAIで検知してアラート通知することも事故防止の観点で効果的であると考えられる。

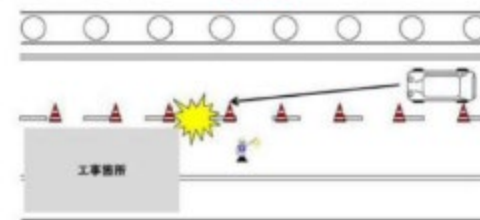
上記を踏まえて、以下の課題実証を推進した。

また、本開発実証で得られたトンネルの実証実験結果を踏まえて、中日本高速道路グループの全国のトンネルへの普及展開方策を検討することが今後具体的に可能になった。

(テーパー部への突入) 62%



(平行部への突入) 36%



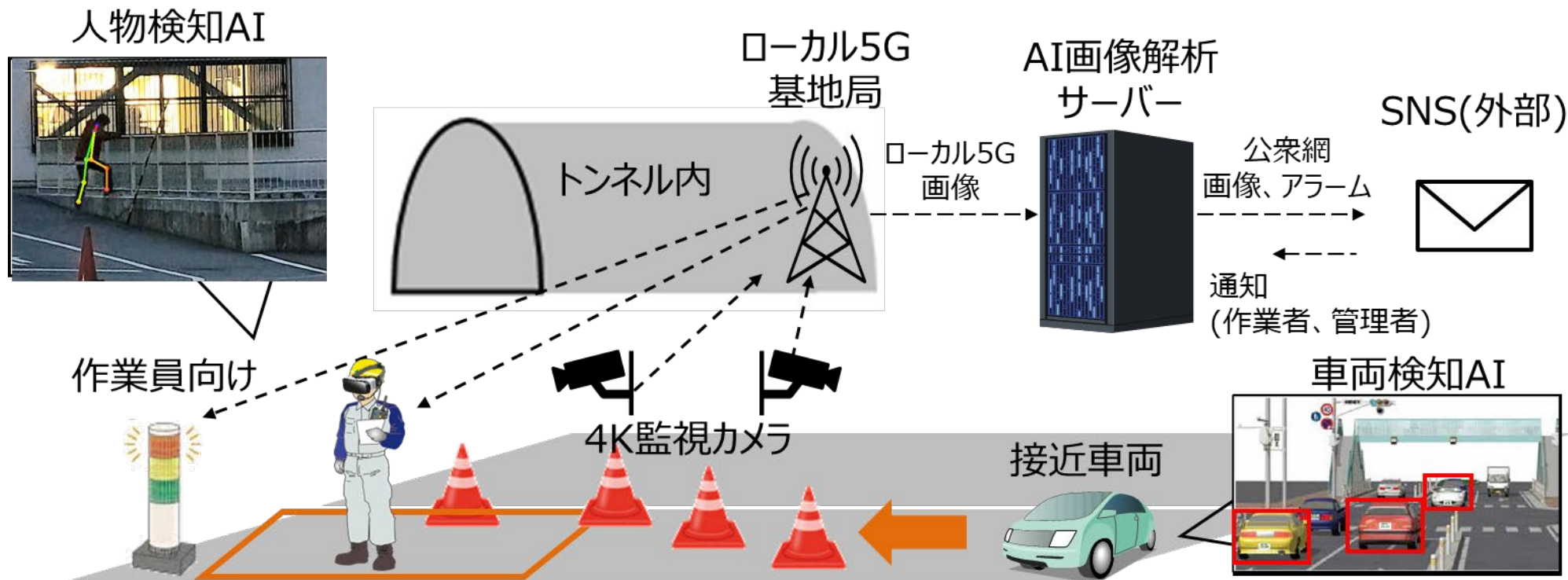
高速道路における規制中車線への車の突入事故

#	課題実証	課題	解決策
①	トンネル内 4K監視カメラを用いた 作業員の安全確保	規制中車線への車の侵入や、作業員の注意不足による危険場所への侵入等の危険ポテンシャルの排除	4K監視カメラとリアルタイムAI画像解析を活用し、現場作業員の危険エリア侵入や接近車両を検知し、現場作業員にアラート通知することで危険を回避
②	スマートデバイスを活用した遠隔作業支援	熟練技術者の減少により、現場作業員の教育が必要。遠隔作業支援によって、複数の現場を一人の熟練者が対応することで、作業効率を向上	スマートデバイス(スマートグラスやスマートフォン)の4K解像度の映像と音声を活用することで、遠隔地の事務所にいる熟練者による現場作業員への遠隔作業支援することで作業効率を向上するか検証

■実証環境

課題実証テーマ①： 4K監視カメラを用いた作業員の安全確保

ローカル5G及び仮設する4K監視カメラ+リアルタイムAI解析を活用することにより、現場作業員の危険エリア侵入検知、及び接近車両検知を実施し、少ない現場作業員で安全確保することを目的とした。



危険作業エリア侵入検知、接近車両検知 → アラート通知(作業員スマートフォン、警告灯等)

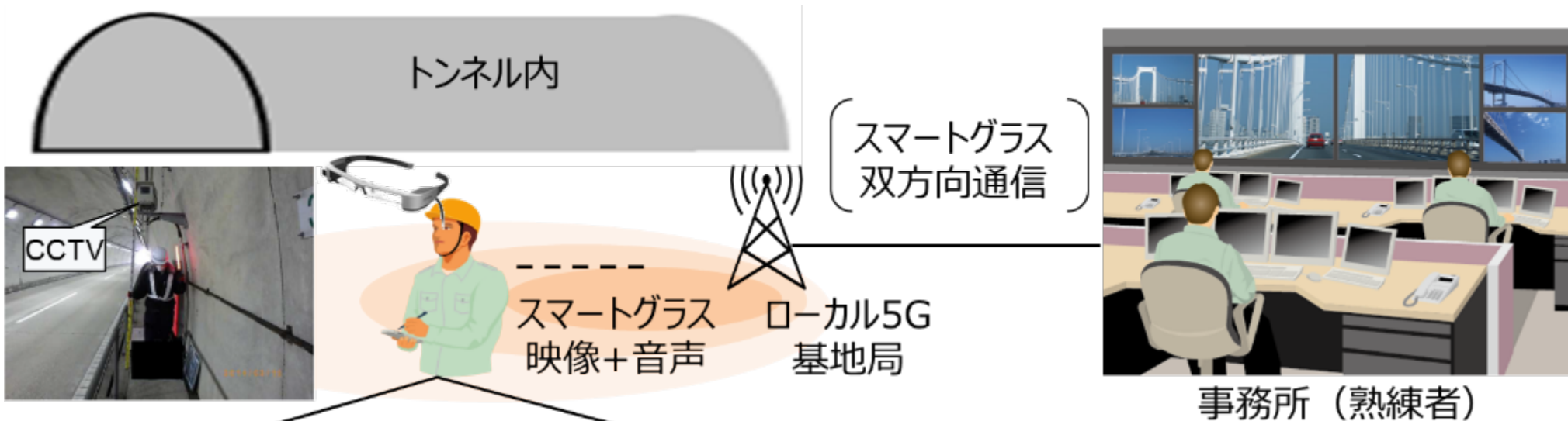
仮設監視カメラ～サーバー 5G伝送 イメージ図

■実証環境

課題実証テーマ②： スマートデバイスを活用した遠隔作業支援

ローカル5G及びスマートグラスやスマートフォンを活用することにより、遠隔事務所にいる熟練者による遠隔作業支援を実施し、複数現場の状況把握、指示をストレス無く行うことを目的とした。

トンネル内の設備点検(CCTV設備、移動無線設備等)の遠隔作業支援をスムーズに行うことができるか検証。



遠隔作業支援
内容の例

#	対象設備	設備点検項目	#	対象設備	設備点検項目
①	CCTVカメラ 支柱 基礎 アンカボルト	<ul style="list-style-type: none"> ・外観チェック ・動作確認 ・電源電圧確認 ・感度調整等 	②	移動無線設備	<ul style="list-style-type: none"> ・外観チェック ・通話試験 ・電圧等確認 ・フィルタ清掃等

現場作業員～事務所間 遠隔作業支援

■実証目標・実証結果

サマリ

検証項目の実証目標値に対して、いずれも達成できた。検証結果のサマリは以下の通り。

#	課題実証	検証項目	検証結果
①	4K監視カメラを用いた作業員の安全確保	<ul style="list-style-type: none"> AI画像解析(人物検知、車両検知)の精度の評価 通知時間の評価 ※平均値(実証目標:5秒以内) ※内訳: 撮影～L5G～解析～L5G～通知	検知精度(適合率) ※カメラから10m～20m地点 <ul style="list-style-type: none"> 人物検知 :100%(試行1,000フレーム) 車両検知 :97%(試行1,000フレーム) 通知時間 <ul style="list-style-type: none"> 警告灯 :約2.23秒 SNS :約4.15秒 ユーザーアンケート結果 <ul style="list-style-type: none"> AI画像解析の検知精度が良かった。 AI画像解析の通知先(警告灯、SNS)を再検討して欲しい。
②	スマートデバイスを活用した遠隔作業支援	<ul style="list-style-type: none"> 遠隔作業支援における品質評価 ✓ 映像品質評価 ✓ 音声品質評価 遅延時間の評価 ※平均値(実証目標:0.5秒以内) ※内訳: 撮影・発声～L5G～公衆網～サーバ～公衆網～表示・出力(Microsoft Teams)	通話品質 <ul style="list-style-type: none"> 映像はきれいに見える 走行車両音により音声が聞き取りづらい 伝送遅延時間 <ul style="list-style-type: none"> 映像・音声:約0.33秒(試行100回) ユーザーアンケート結果 <ul style="list-style-type: none"> 遠隔で現場の状況を十分把握できる 従来のヘルメットと比べて重たい

■実証結果

課題実証テーマ①： 4K監視カメラを用いた作業員の安全確保

実現場にてユーザー実施体験等を実施し、以下の検証結果が得られた。

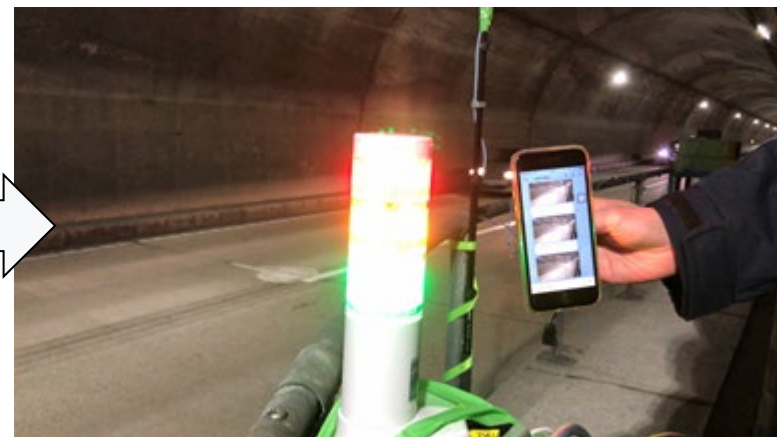
#	検証内容	検証結果
1	ソリューションの有効性等に関する検証	AI画像解析による車両・人物検知精度は、ユーザー実施体験で73%の作業員から現状と比べて安心して作業できるとの意見を頂いた。
2	ソリューションの実装性に関する検証	AI画像解析検知後の通知先は引き続き検討・ユーザー評価が必要
3	ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策	<ul style="list-style-type: none">・ユーザー特有の運用、装備に合わせた装置選定、機能構築 例：ブザーと振動等の通知 等・災害時等に対応できる可搬型L5G対応(制度化への期待)



4K監視カメラ設置



AI画像解析 車両検知



警告灯、SNS 通知

4K監視カメラを用いた作業員の安全確保 設置～検知～通知イメージ

■実証結果

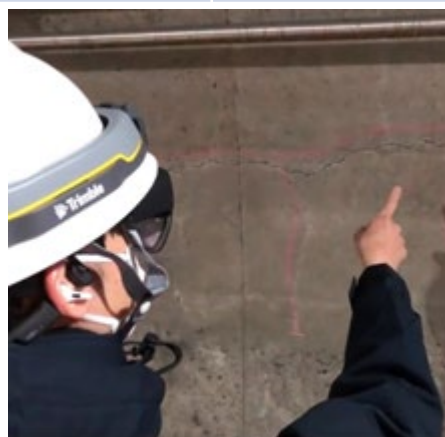
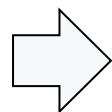
課題実証テーマ②：スマートデバイスを活用した遠隔作業支援

実現場にてユーザー実施体験等を実施し、以下の検証結果が得られた。

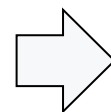
#	検証内容	検証結果
1	ソリューションの有効性等に関する検証	スマートグラスの映像・音声通話の有効性は、ユーザー実施体験で60%の作業員からスマートグラスは遠隔作業支援として実運用に使えるとの意見を頂いた。
2	ソリューションの実装性に関する検証	トンネル内走行車両音の対応は引き続き検討・ユーザー評価が必要
3	ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策	<ul style="list-style-type: none"> ・ユーザー特有の運用(車両音対応)に合わせた装置選定、機能構築 例：ノイズキャンセリングヘッドホン 等 ・災害時等に対応できる可搬型L5G対応(制度化への期待)



スマートデバイス
装着状況



トンネル内模擬点検状況



遠隔作業支援側
Microsoft Teams画面

スマートデバイスを活用した遠隔作業支援イメージ

■実装について

ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

●ローカル5G活用モデル：中日本高速道路管内高速道路のメンテナンス作業の高度化

検討ポイント	抽出された課題	解決策	期間
アプリケーション	・運用環境に合わせた仕様変更(トンネル内)	・警告音や骨伝導技術など通知手段の最適化	短期
L5Gシステム (28GHzNSA)	・エリアやスループットの改善 ・効果的な置局	・無線機(RU)のパラメータ調整/RU追加/準同期方式 ・中日本高速道路 光自営網活用、「移動可能な基地局」検討	短中期
費用対効果	・費用対効果の改善(特にL5G整備費用)	・L5Gを多数の利用シーンで活用	中期

継続利用の見通し

令和4年度以降についても、イノベーション交流会(※注)において、高速道路区域内へのL5G活用モデルの検証活動を継続

●設備・機器等：基地局等L5G機器については供用中トンネル内に設置したため、実証実施後撤去済み。令和4年度、中日本高速道路管内の高速道路のメンテナンス作業の高度化において更なるフィジビリティスタディにて継続利用を検討対象メンテナンス業務(検討中)：点検業務もしくは監視業務、他 設置場所(検討中)：岐阜管内もしくは伊勢原管内、他

●体制等：本コンソーシアムを令和4年度以降も継続。(スキーム継続)

●知見・ノウハウ等：継続利用・実装に必要な知見・ノウハウは、コンソ全体で共有。

特に要求性能は活動成果報告書として取り纏め活用。

●資金計画等：コンソ構成員の民間負担。(例：検討中)L5G関連機器等：日立国際電気、移設工事等：エクシオグループ 等

※注「イノベーション交流会」：中日本高速道路が提唱する「次世代技術を活用した革新的な高速道路保全マネジメント」を実現するためのオープンイノベーション組織。道路事業者や国内メーカーなど110社を超える会員がコンソーシアム方式により活動中

■実装について

各利用シーンとその実装計画(現時点における素案)

高速道路区域内へのL5G活用モデルの実装検討計画は以下の通りである。

#	高速道路業務の高度化	5Gの活用				備考	2021	2022	2023	2024	2025	2026
		判定	大容量	超低遅延	多接続		令和3年	令和4年	令和5年	令和6年	令和7年	令和8年
①	ドローン、車載カメラ(ドラレコ含む)等の立体画像	○	●							ユースケース・ニーズ等に応じて検討		
②	ウェアラブルカメラ画像(点検支援、工事管理(立ち合い)、近接立ち会い等用)	○	●	●		本実証により検証	本実証	再検証	実装検討			
③	構造物等3D・点群計測データ(点検ロボット等による自動計測)	○	●	●						ユースケース・ニーズ等に応じて検討		
④	定点CCTVカメラ画像(明かり部・トンネル部用)	○	●	●		ジャンクションで活用検討		企画・計画・検証	実装検討			
⑤	道路管理用各種センサー計測データ(明かり部・トンネル部・のり面変形計等も含む)	○	●	●	●					ユースケース・ニーズ等に応じて検討		
⑥	情報提供設備向け監視・制御データ(将来、空中結像サイネージでの提供)	△	●							ユースケース・ニーズ等に応じて検討		
⑦	点検用タブレット入力、過去データ/3D図面等参照	○	●	●						ユースケース・ニーズ等に応じて検討		
⑧	料金所周辺のケーブルレス化(ETC・現金システム等)	△	●	●	●	大容量・高安定性・高セキュリティ確保が必要				ユースケース・ニーズ等に応じて検討		
⑨	社屋内ネットワーク(音声電話系やグループネットワーク(保全サービスセンター棟、道路管制センター棟、SA・PA管理用)	×				他のシステムで安価に対応可						
⑩	CCTVカメラ臨時増設用(火災時、イベント発生時)	○	●	●		本実証により検証	本実証	再検証	実装検討			
⑪	光ケーブル切断時のバックアップ(予備)	×				技術的に対応できない(基地局間通信が不可)						
⑫	維持管理車両の自動運転(自動走行・遠隔走行の監視制御含む)	○	●	●						ユースケース・ニーズ等に応じて検討		
⑬	工事・作業用ロボットの遠隔制御・監視	○	●	●	●					ユースケース・ニーズ等に応じて検討		

なお、本実証で実施した2つの課題実証テーマは表の青色と関係している

- ・4Kカメラを活用した現場作業員の安全確保・・・⑩
- ・スマートグラスを活用したトンネル内の遠隔作業支援・・・②

まとめ

■まとめ

(1) 技術実証について:

①トンネル内の電波伝搬特性としてトンネル効果で遠くまで届くことを確認。下記の伝搬モデルを構築。

伝搬損失(モデル): トンネル内:L1(d)、トンネル外L2(d)

$$L1(d) = 20 \log_{10}(4 \pi d / \lambda) \quad (d < 10m)$$

$$L1(d) = 82.23 + 0.103 \times d \quad (10m \leq d < 90m)$$

$$L1(d) = 89.0 + 0.028 \times d \quad (90m \leq d \leq 930m)$$

$$L2(d) = L1(930) + 20 \log_{10}(4 \pi d / \lambda) - 20 \log_{10}(4 \pi \times 930 / \lambda) \quad (930m < d)$$

②4K画像伝送に必要なとなる25Mbps以上となるエリアを確認

項目	UDP UL	TCP UL	UDP DL	TCP DL
スループット	100Mbps~240Mbps	80Mbps~120Mbps	1.4 Gbps~1.8 Gbps	1 Gbps~1.2 Gbps
25Mbps以上エリア	10m~390m	10m~30m、70m	10m~310m	10m~310m

UDP DLについては、110mで5G接続後、トンネル出口まで移動し、約1Gbps@930mを確認。

③不感地帯であった避難連絡坑を反射板活用で5Gエリア化を確認(反射板から約18mまで)

(2) 課題実証について:

①定量評価は、いずれも目標値を達成

- ・4K監視カメラを用いた作業員の安全確保・・・警告灯、SNSへの通知時間5秒以内
- ・スマートデバイスを活用した遠隔作業支援・・・双方向遅延時間0.5秒以内

②定性評価(アンケート)を中日本高速道路関係者に実施

- ・AI画像解析の検知精度については概ね良好な回答が得られた。
- ・AI画像解析の通知先については再検討を求める回答が多くあった。⇒対応策: 警告音や骨伝導技術など伝達手段の多様化
- ・スマートデバイスの映像については良好な回答が得られたが、音声については
走行車両音により聞き取りづらいという回答が多くあった。⇒対応策: 骨伝導技術など伝達手段の多様化

(3) 実装計画について:

令和4年度以降についても、中日本高速道路イノベーション交流会において、検証活動を継続

検討モデル:「高速道路区域内へのローカル5G活用モデル」