

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

道路における災害時の被災状況確認の迅速化および
平常時の管理・運営の高度化に向けた実証

成果報告書概要版

令和4年3月25日

中央復建コンサルタンツ株式会社

実証概要

背景・目的

- 実証対象とするローカル5Gの活用ソリューション
 - 災害時: 被災状況確認の迅速化の実証 (実証A)
 - 平常時: 道路管理・運営の効率化の実証 (実証B)

■ 実証の背景

	現状	課題
災害時	【自然災害の頻発・激甚化】 高精細カメラやレーザースキャナによる3D(3次元)点群データ等、被災地の状況を詳細に把握できる様々な技術が開発され、被災現場でもすでに活用	左記の方法で取得されたデータは容量が大きく、伝送に多くの時間を要すると、速やかな道路啓開や復旧に对应できないため、通信環境の改善が必要
平常時	【人口減少・高齢化が深刻化】	【地域公共交通】 事業者の経営環境の悪化や運転手の不足により、地域の足となる交通手段の確保 【道路管理】 税収の減少に伴う予算不足や管理担当職員の減少に伴い、適切な管理水準の維持

実証の概要

■ 実証概要

	内容	実証内容
災害時	4K映像と3D点群データによる被災状況の迅速な確認	<ul style="list-style-type: none">・4Kカメラやレーザースキャナをドローンや車体等に搭載・道路空間の4K映像や3D点群データを収集・災害前と災害後のデータを突合
平常時	4K映像とプローブデータを活用した効率的な道路管理	<ul style="list-style-type: none">・自動運転車両に搭載された4Kカメラによる道路センシング・4K映像やプローブデータを収集・路面異常や障害物の情報をAI検知

■ ローカル5Gの活用により目指す将来像

	将来像
災害時	<ul style="list-style-type: none">・被災時に公衆通信網が輻輳して不安定である際にも、公衆通信網と並行してローカル5G専用通信網を運用できる環境を整備することで、安定的な大容量通信が可能に・被災状況のデータ収集後、安定した大容量通信でデータ伝送を行うことで、事務所への帰還や稼働の削減に加え、二次災害のリスクを低減し、迅速かつ安全性の高い被災状況の確認が可能に
平常時	<ul style="list-style-type: none">・ローカル5Gスポットと公共交通を活用した道路情報収集スキームが有効で、道路維持管理業務の効率化が可能に・公共交通だけでなく一般車両からのプローブデータ収集にも活用することにより、実装時にさらなる費用対効果の向上が見込まれる。本実証では、平常時のシステムが車載器からのプローブデータの収集にも活用可能に

実証環境の構築

実施環境

- ローカル5G基地局を埼玉県越谷レイクタウンの国道用地内に設置
- 免許は道路管理者による商用免許(自己土地利用)として運用

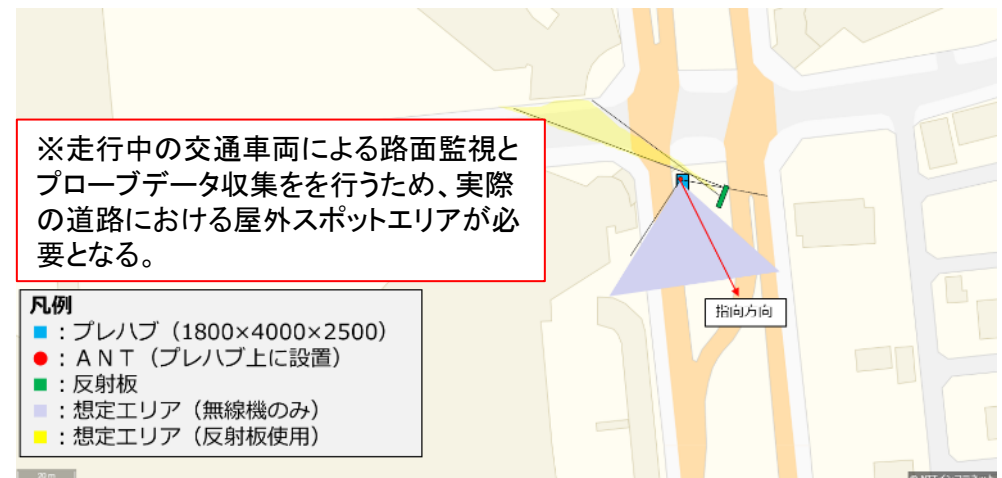


プレハブおよびローカル5G基地局の設置場所

- ・実施環境: 屋外環境(埼玉県越谷市越谷レイクタウン)
- ・対象周波数帯:
 - ローカル5G 28.2 - 28.3GHz (100MHz)
 - アンカーバンド 2,575MHz - 2,595MHz (20MHz)
- ・システム機能・性能・要件:
 - 運用方法: 同期運用
 - スループット: 上り 50Mbps 下り 15Mbps
- ・免許及び各種許認可: 商用免許(自己土地利用)
道路管理者の委任に基づき申請



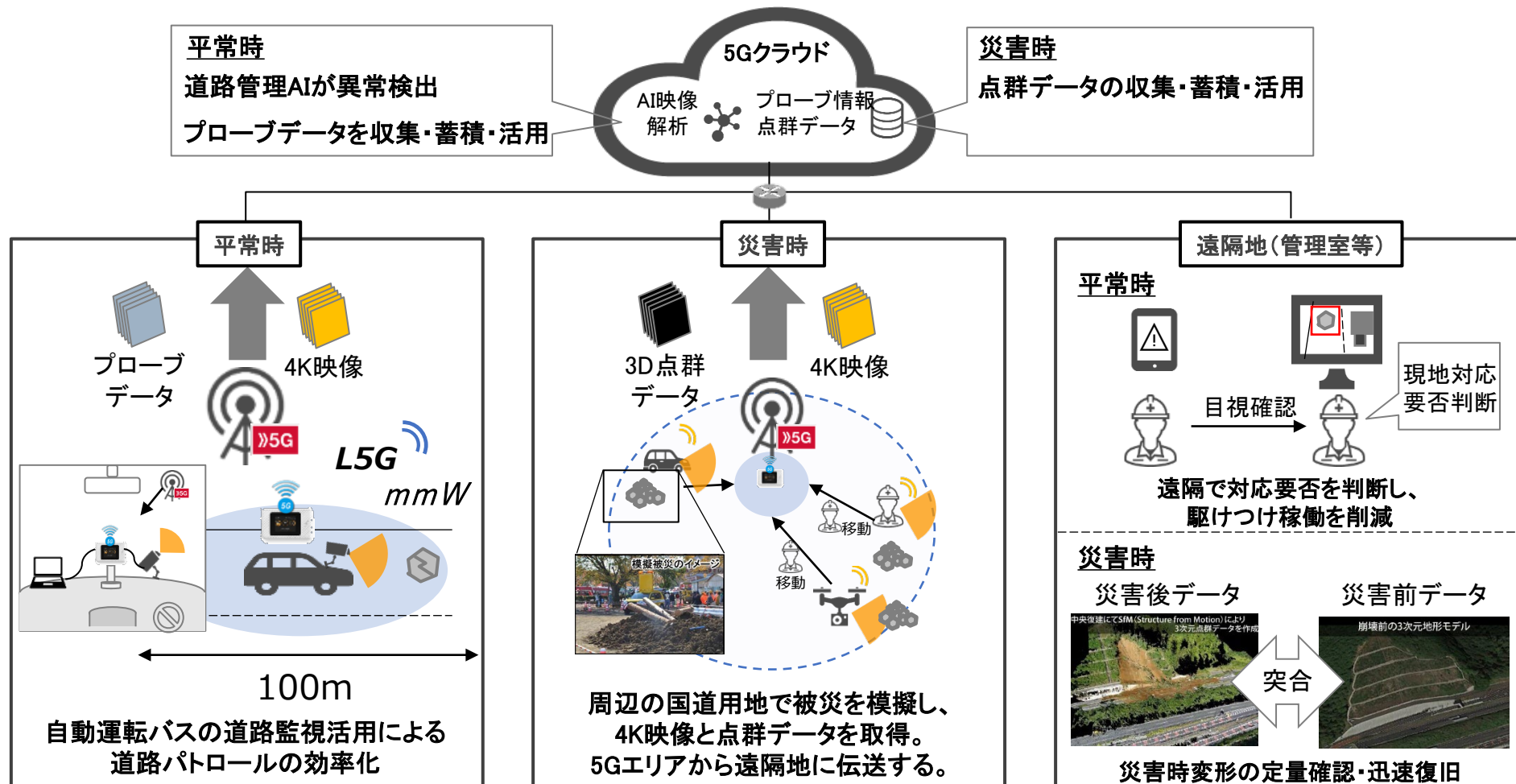
ローカル5G基地局等の設置状況



ローカル5Gカバーエリアのイメージ

システム概要

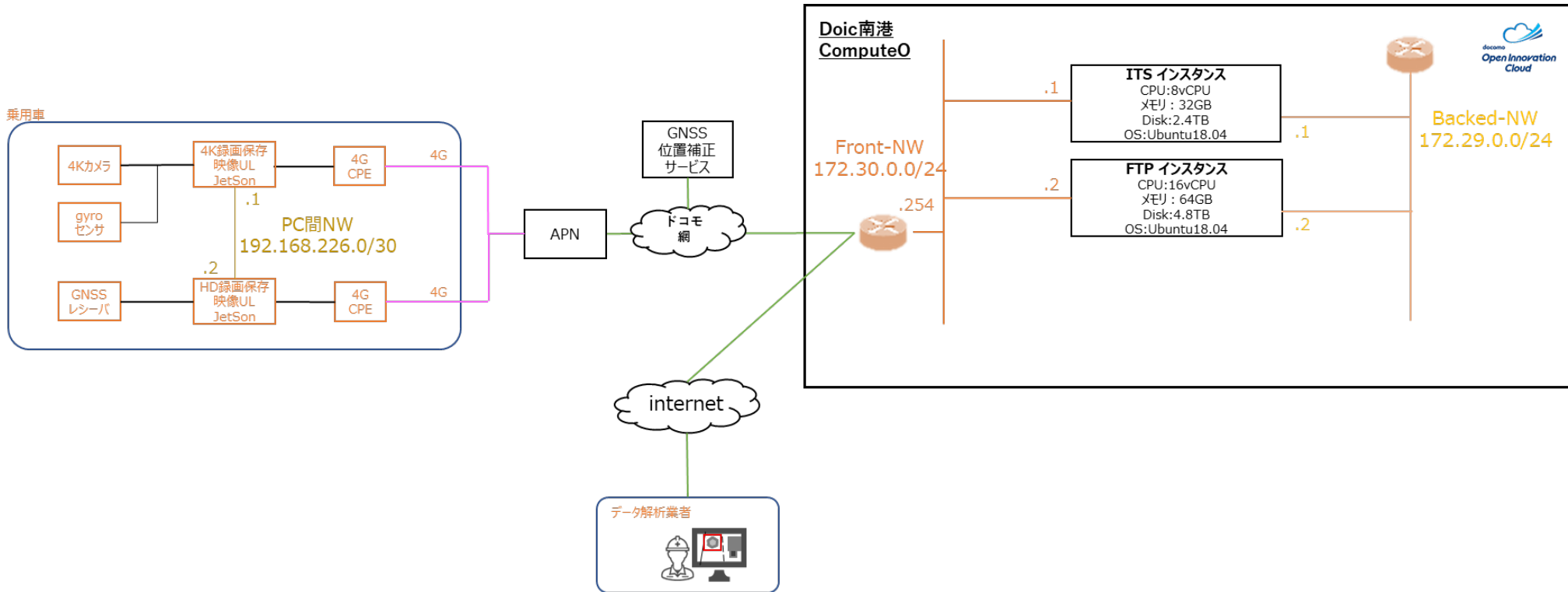
- 平常時は、L5Gスポット通信をAI路面監視による道路管理に活用
- 災害時は、輻輳しにくいL5G専用通信網を用い、被災状況確認の迅速化に活用



システムの全体概要

システム構成(災害時)

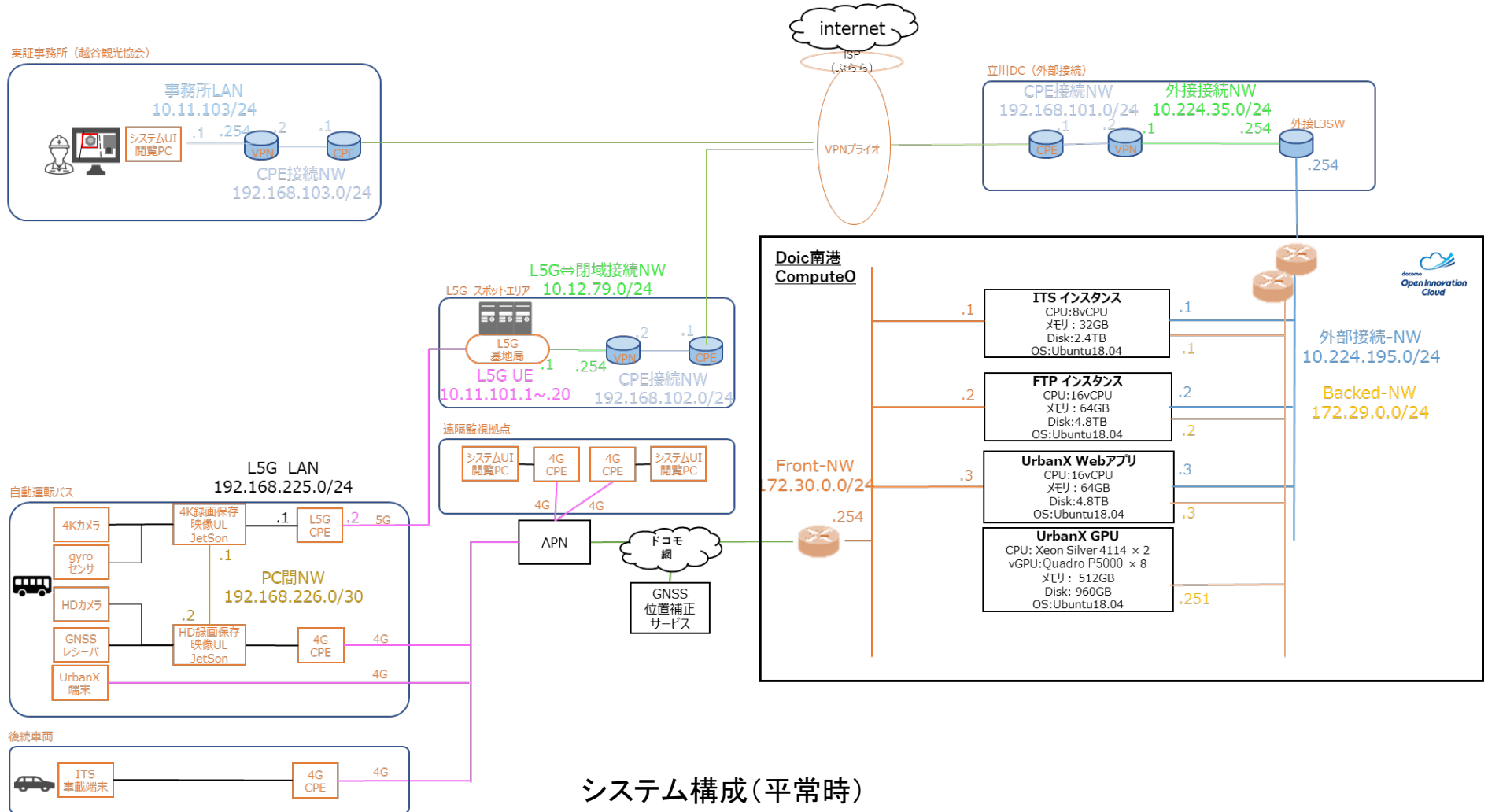
- 車載型の映像は、4K映像とGNSS位置情報、加速度・方位情報を取得
- その他の映像と3D点群データは、適切な方法で取得
- 屋外環境(スポットエリア)からPCとローカル5G端末を用いてFTP転送



システム構成(災害時)

システム構成(平常時)

- 車載器を用いてGNSS位置情報、加速度・方位情報、4K映像を取得
- クラウド上で各データを融合し、AI解析等を通じて効率的に道路管理情報を生成



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)

技術実証の概要

■ 課題解決システム利活用環境における技術的課題

- ローカル5Gを道路環境で活用するには、車載器を利用するため自己土地利用が前提となる。一方、開空間のため電波の漏れ出しを少なくするため電波伝搬特性上直進性が高いミリ波帯を使用した
- 実環境では、車種や混雑具合によって動的に遮蔽・反射環境が変化する。本来は、アンテナを高い位置に設置して吹き降ろすエリア形成が有効であるが、一方で他者土地への漏洩電力が課題となる。そこで、本実証ではアンテナ高を3~4[m]程度に抑えた置局設計を行い、下記の検証を行った

■ 実証目標

- a: 適切な電波伝搬モデルの選定とともに、ローカル5G性能向上のための課題抽出と解決策を検討
- b. I : エリア算出法の適切性を評価するとともに、エリア算出式パラメータ hr の精緻化を検討
- b. II : 電波反射板によるエリア構築の柔軟化による、カバーエリアの拡大検討



技術実証フィールド



実証環境

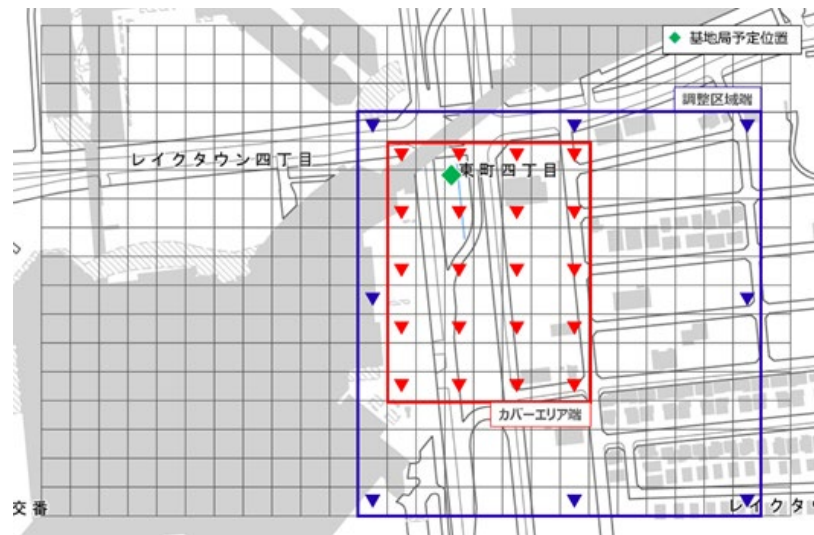
a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

■ 計測指標

- ・ローカル5Gの性能評価として、エリア形成の観点とユーザへのサービス提供品質の観点から評価を行うため、エリア算出法に基づくカバーエリア内の20地点以上において下記データを計測した
 - ・エリア形成: 下り受信電力(SS-RSRP)、受信品質(SS-RSRQ/SS-SINR)
 - ・サービス提供品質: DL伝送スループット、UL伝送スループット、伝送遅延

■ 評価・検証方法

- ・エリア形成は、エリア算出法に基づくカバーエリア、調整対象区域と受信電力の測定結果で評価
- ・サービス提供品質は、課題実証と同じ目標値(UL伝送スループット50Mbps)の達成率を評価
- ・測定は、実証環境において20地点以上で実施した



測定地点



実証環境におけるサービスエリア

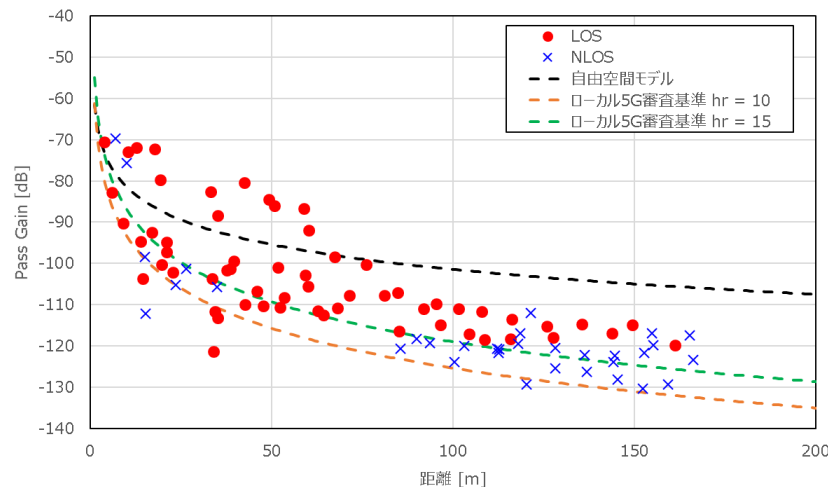
a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

■ 分析結果

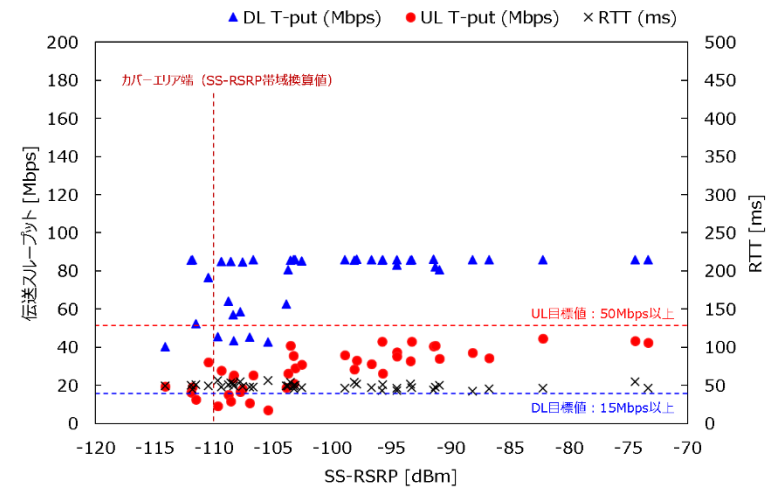
- ・実証環境における伝搬ロスから近似できる電波伝搬モデルは
ミリ波帯のローカル5G審査基準(引用元: ITU-R P.1411-10)で用いられている $hr=15m$ である
- ・ターゲットエリア付近での伝送性能は DL平均76Mbps / UL平均30Mbps / RTT50ms

■ 考察結果

- ・サービスエリア内においてカバーエリア閾値以上の受信電力値を得ることが出来たが、通信性能としてはUL伝送スループットで目標値としている50Mbpsを達成することが出来なかった。また、カバーエリア以上の電力値を確保していても -105dBm (カバーエリア閾値から $+5\text{dB}$)以下においては伝送性能が不安定となる
- ・この結果から、本実証環境において所要性能を満たすためには、カバーエリア閾値以上の強い受信電力値を得ることに加え、変調方式等の無線局パラメータの最適化についても留意が必要である



実証環境における伝搬損失



実証環境における伝送性能

b. I 電波伝搬モデルの精緻化

■ 実証仮説

- ・実証環境におけるパラメータhr値を環境要因から推定し、エリア算出法に基づくエリア図を検討
 ⇒ 基地局周辺建物高は地図データから15mとなるため、hr値は15と推定

■ 計測指標

- ・a.ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定にて測定した、下り受信電力値(SS-RSRP)を活用する

■ 評価・検証方法

- ・仮説hr値に基づくエリア図と、実測値から推定されるエリア図との比較結果を評価
- ・精緻化したhr値を用いてエリア図を作成し、実測値エリア図との比較を行いその妥当性を評価

精緻化対象パラメータ

利用する周波数帯	精緻化の対象パラメータ	精緻化の方向性	実施環境の要件
4.7GHz帯	K ⁹	斜面や植生、水面の影響の定量化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が100m以上確保できる ● 斜面や植生、水面等の地形情報データにより算入し難い地形の影響が存在する
	S ¹⁰	選択基準の詳細化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局と測定点の距離が100m以上確保できる
	R ¹¹	壁面の材質・厚さ別の定量化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋内である
28GHz帯	hr ¹²	選択基準の明確化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋外である ● 基地局が見通せない測定点を確保できる
	R ¹³	壁面の材質・厚さ別の定量化	<ul style="list-style-type: none"> ● 基地局設置場所が屋内である



エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域

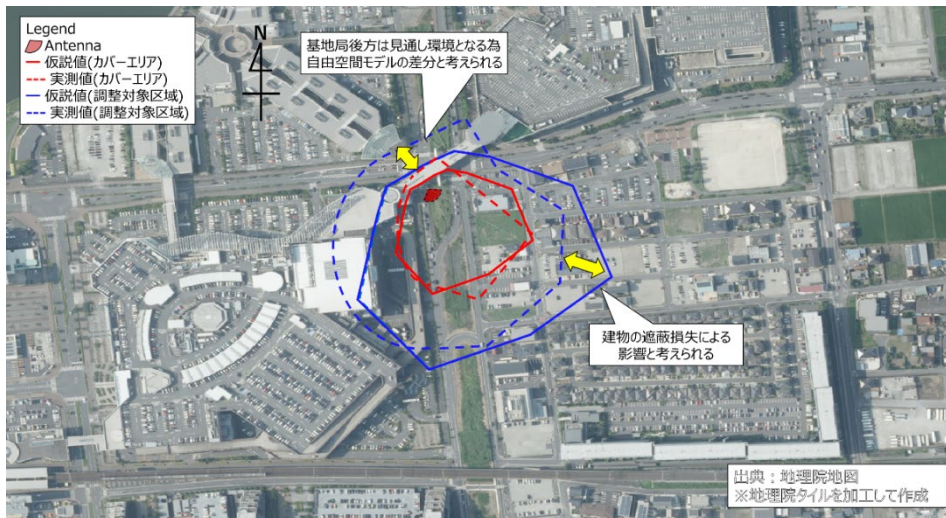
b. I 電波伝搬モデルの精緻化

■ 分析結果

- ・実測値から算出される精緻化値 h_r は15mとなる

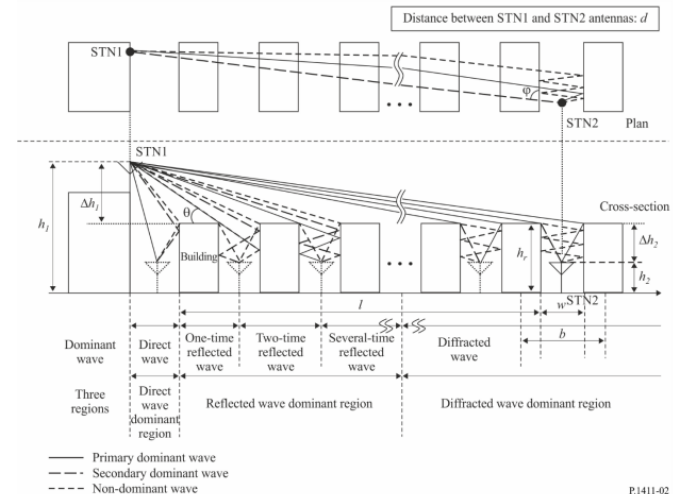
■ 考察結果

- ・周辺建物高さ15mの値において、実測値とエリア算出法が概ね一致することが確認できた
- ・本来、当算出式の適用条件は、「基地局が周辺の建物よりも高い条件で置局」される場合であり、今回の条件では適用外となる。しかし、今回の反射波が垂直方向ではなく、水平方向に発生しているとすると、建物の高さと幅を読み替えることができる。大型商業施設と住宅地の間に発生した反射波が観測されることで、結果的にエリア図と一致したと考えられる
- ・今後はストリートキャニオンの様な環境で、基地局を周辺建物高よりも低地に置局した場合、同様の傾向が確認できるか、より詳細な検証が必要である



仮説値を用いたエリア図と実測値との比較

FIGURE 2
Definition of parameters for the NLoS1 case



P.1411-02

エリア算出法伝搬式の引用元「ITU-R P.1411-10」

b. II 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

■ 実証仮説

- ・実証環境における電波反射板の設置条件および反射板諸元(メタ材料)の特性を考慮したエリア設計の検討
- ・エリア算出法によるエリア構築の可能性検討

■ 計測指標

電波反射板設置前後で下記測定を実施する。

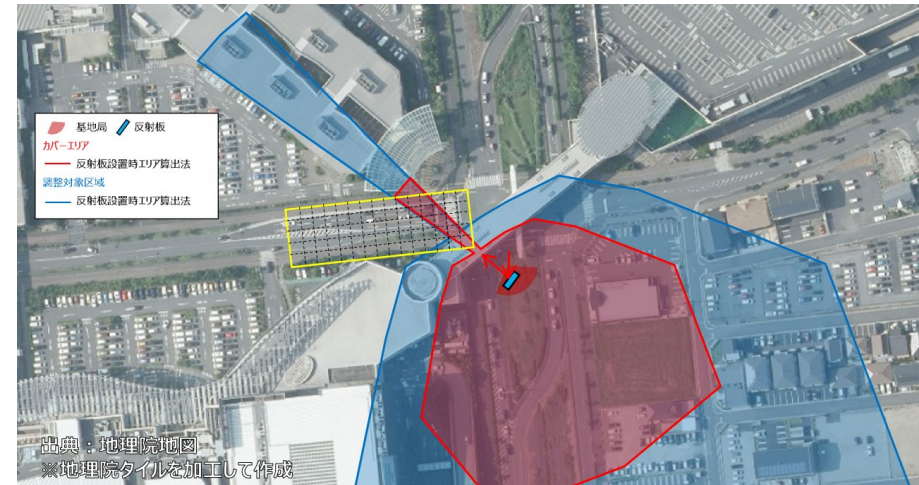
- ・エリア形成: 下り受信電力(SS-RSRP)、受信品質(SS-RSRQ/SS-SINR)
- ・サービス提供品質: DL伝送スループット、UL伝送スループット、伝送遅延

■ 評価・検証方法

- ・電波反射板設置時のカバーエリア及び調整対象区域図の作成
- ・電波反射板設置前後のエリア算出法から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図の作成
- ・電波反射板設置前後の実測値エリア図との比較を行いその妥当性を評価

電波反射板諸元

電波反射板 種別	材質	大きさ	入射角/反射角 (※1)	利得(Gain) (※2)	ビーム幅	リンク バジェット
メタ 材料 No.1	ガラスエポキシ + 銅メッキ	400mm × 400mm	AZ 入射角25° 反射角25° EL 入射角15° 反射角15°	Gr=63.0dB d1=3.5(m) d2=20(m)	入射波 HPBW(AZ) 12.0° 反射波 HPBW(AZ) 10.0° 入射波 HPBW(EL) 12.0° 反射波 HPBW(EL) 12.0°	20dB以上
メタ 材料 No.2	ガラスエポキシ + 銅メッキ	400mm × 400mm	AZ 入射角25° 反射角25° EL 入射角15° 反射角15°	Gr=56.0dB d1=3.5(m) d2=20(m)	入射波 HPBW(AZ) 12.0° 反射波 HPBW(AZ) 20.0° 入射波 HPBW(EL) 12.0° 反射波 HPBW(EL) 12.0°	20dB以上



エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域

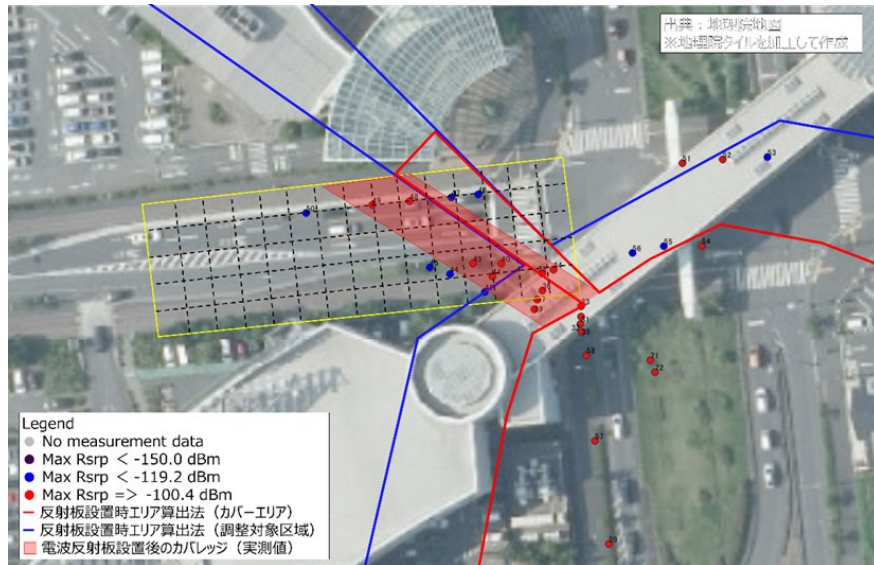
b. II 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

■ 分析結果

- ・電波反射板設置後における、改善量及び劣化量は下記のとおり
 下り受信電力改善量: 5dB程度 / 下り受信品質改善量: 2dB程度
 UL T-put 改善量: 5Mbps程度 / DL T-put改善量: 20Mbps程度 / RTT劣化量: 5~8ms

■ 考察結果

- ・伝送性能観点では上り性能よりも下り性能の方がその改善量は大きく、DLの要求が多いユースケースにおいて有効であると考えられる
- ・追加のエリア構築を行う場合、光伝送路や電源が敷設できないエリアにおいては、無給電で動作する電波反射板を用いると容易にエリアを構築できる。また、導入にかかるリードタイムが短いことも利点に挙げられる



エリア算出法と実測値との比較

設置の容易性におけるエリア改善策比較結果

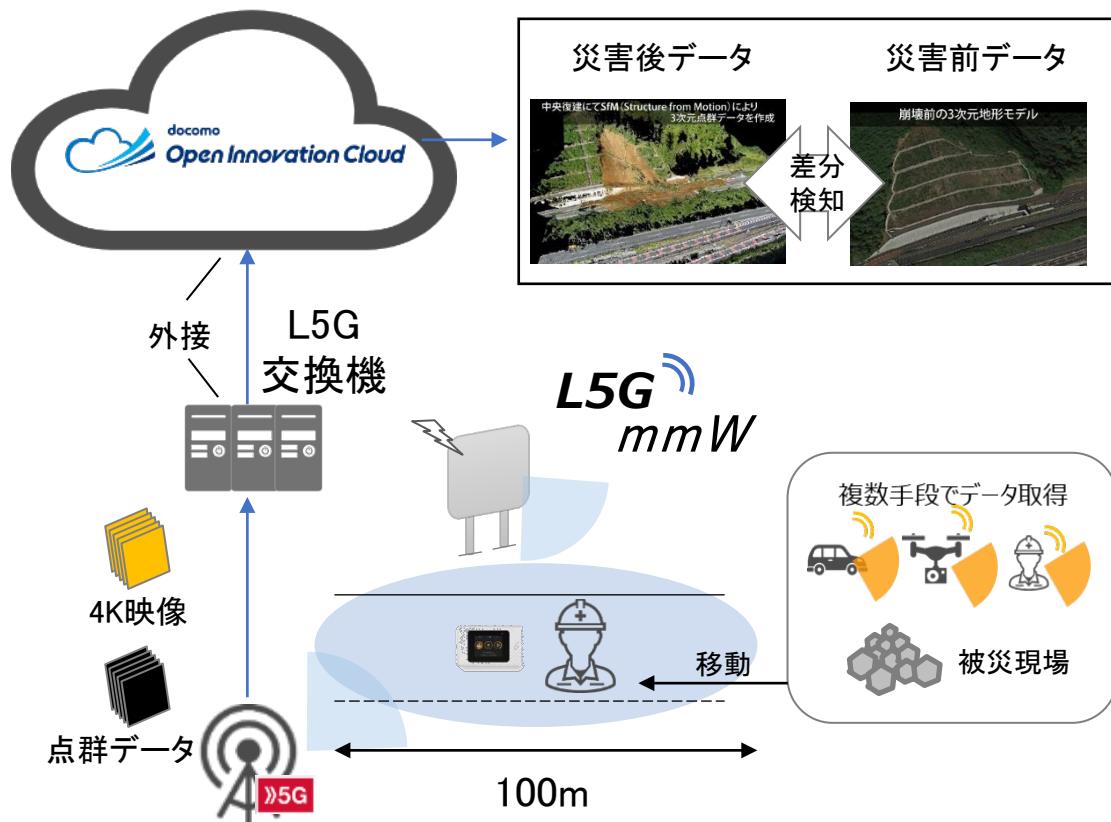
評価項目	電波反射板 メタマテリアル ・アルミ	簡易基地局	中継器	アンテナ張出
設置位置 (アクセス容易、面積)	設置面積が少なく、 電源、伝送路も 不要	設置面積は電源、伝送 路設備も必要のため電波 反射板より大きくなる (別親局拠点から暫定 で光張出局構築する 場合と想定)	設置面積は電源設 備も必要のため 電波反射板より 大きくなる (今後制度化)	屋内(ビル内)のため アクセスは容易、 面積はビル、 工場のフロア面積
電源の必要性	不要	必要	必要	必要
伝送路の必要性	不要	必要	不要	不要
施工の容易性	容易	中程度	中程度	中程度
導入リードタイム	3か月程度	6か月程度	6か月程度	6か月程度
移設の容易性	容易(電源、伝送 路が無く簡易)	困難(電源、伝送路 含み移設が必要)	困難(電源、伝送路 含み移設が必要)	中程度(同軸/光ケー ブルの移設が必要)
免許	不要	個別免許	今後制度化	個別免許
備考		パブリック5Gを 想定した記載	パブリック5Gを 想定した記載	パブリック5Gを 想定した記載
総合評価	◎	△	○	△
電波反射板が有効と なる条件や使い方		<ul style="list-style-type: none"> ・光伝送路や電源が敷設できない建物奥のエリアなど(時にホップ運用することで)反射板を利用することで設置が容易になる(エリア化が容易になる) ・また導入リードタイムも短いことから、既存エリアを活用したエリア拡張が容易である 		

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)

(災害時)実証概要

■ 確認・検証事項

- ローカル5Gを用いたデータ伝送の有効性を確認する
- 4K映像および3D点群データを用いた被災状況確認の精度を確認する
- 発災後からのタイムラインを検証する



災害時の実証場所

検証ポイント

1. 通信の基本性能確認
2. 収集データの伝送ボリューム検討
および伝送の所要時間の確認
3. 4K映像による被災状況把握
4. 点群データによる災害前後の差分評価
5. 4K映像を用いた災害直前の点群生成

(災害時)実証結果①

■ 被災状況伝達の有効性

- 実測されたローカル5G+光回線の通信速度は、概ね50Mbpsから70Mbps
- データの伝送実験より、4K画像の伝送では5GはLTEの約1/25~1/22、3D点群データの伝送では5GはLTEの約1/13~1/9

実証フィールドにて実測された通信速度と通信時間

場所	手法	延長 (m) (※1)	データ 容量 (MB)	実測値		
				通信 速度 (Mbps)	通信 時間 (分秒)	
越谷市/増林公園	3D点群データ	手持ち型	—	1,782	57	04:10
		歩行者型	401	1,193	46	03:34
		自転車型	257	763	46	02:17
		車両型	630	5,806	61	12:45
		ドローン型	—	690	73	01:16
越谷市/越谷 レイクタウン	4K動画※2	—	1,096	83	01:46	
吉川市/国道用地	3D点群データ	車両型	123	6,083	58	14:00
草加市/市役所前	3D点群データ	歩行者型	170	919	80	01:32
八潮市/市役所前	3D点群データ	自転車型	100	469	72	00:52

※1 手持ち型は災害模擬を個別に計測していること、ドローン型は上空から撮影していることから、延長は記入しない。

※2 越谷レイクタウンにてドローン(UAV)で撮影した4K動画。

ローカル5G+光回線と4GLTEの比較

《4K映像の伝送》

	容量	伝送時間		5G/ LTE
		5G	LTE※	
1回目	1.04GB	1分36秒	39分37秒	約 1/25 ~1/22
2回目	0.92GB	1分37秒	35分2秒	
3回目	1.07GB	1分46秒	40分45秒	

※3.5Mbps(事前計測結果)と仮定した計算値

《点群データの伝送》

	容量	伝送時間		5G/ LTE
		5G	LTE※	
1回目	0.96GB	5分12秒	47分24秒	約 1/13 ~1/9
2回目	0.96GB	3分46秒	47分24秒	
3回目	0.96GB	4分49秒	47分24秒	

※2.7Mbps(事前計測結果)と仮定した計算値

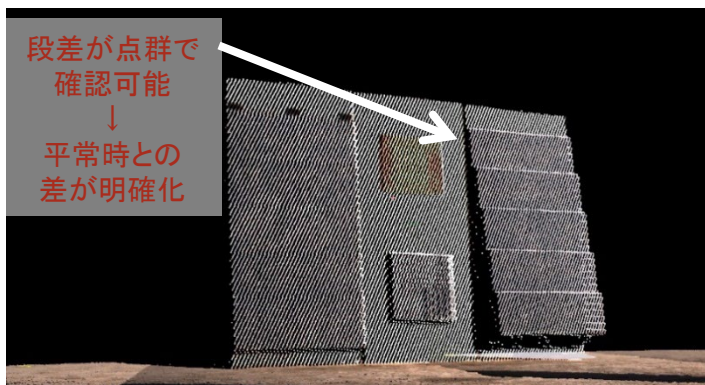
(災害時)実証結果②

■ 被災状況確認の有効性

- 4K画像だけでなく、定量評価につながる点群データでも、災害模擬の状況が確認可能
- 延長90m程度の被災状況であれば、遠方の事務所にて360° 画像による被災状況の確認が10分程度で、被災前からの差分を含む詳細な情報の取得が2時間程度で可能

橋脚変位の模擬

(上:4K画像、下:3D点群)



実際の所要時間(越谷市:増林公園、データ取得延長約90m)

使用データ・機材	撮影画像	撮影画像	点群データ	点群データ	VRゴーグル
確認レベル	被災状況の確認	被災前後の比較	面積、高さ、断面を確認	災害前後の差分を確認	データの詳細を確認
手持ち360°カメラ	5分後	10分後	—	—	—
手持ち型(レーザ計測)	—	—	25分後	1時間5分後	1時間35分後
歩行型MMS(バックパック)	—	10分後	20分後	1時間後	1時間30分後
自転車型MMS(バックパック)	—	10分後	20分後	1時間後	1時間25分後
車両型MMS	—	10分後	35分後	1時間15分後	2時間15分後
ドローン	リアルタイム*	10分後	30分後	1時間15分後	1時間45分後

* Web会議システムによるリアルタイム中継

* 増林公園におけるデータ取得延長約90mにおける実証環境下での結果であることに留意

左:使用した手持ち型レーザ計測機材

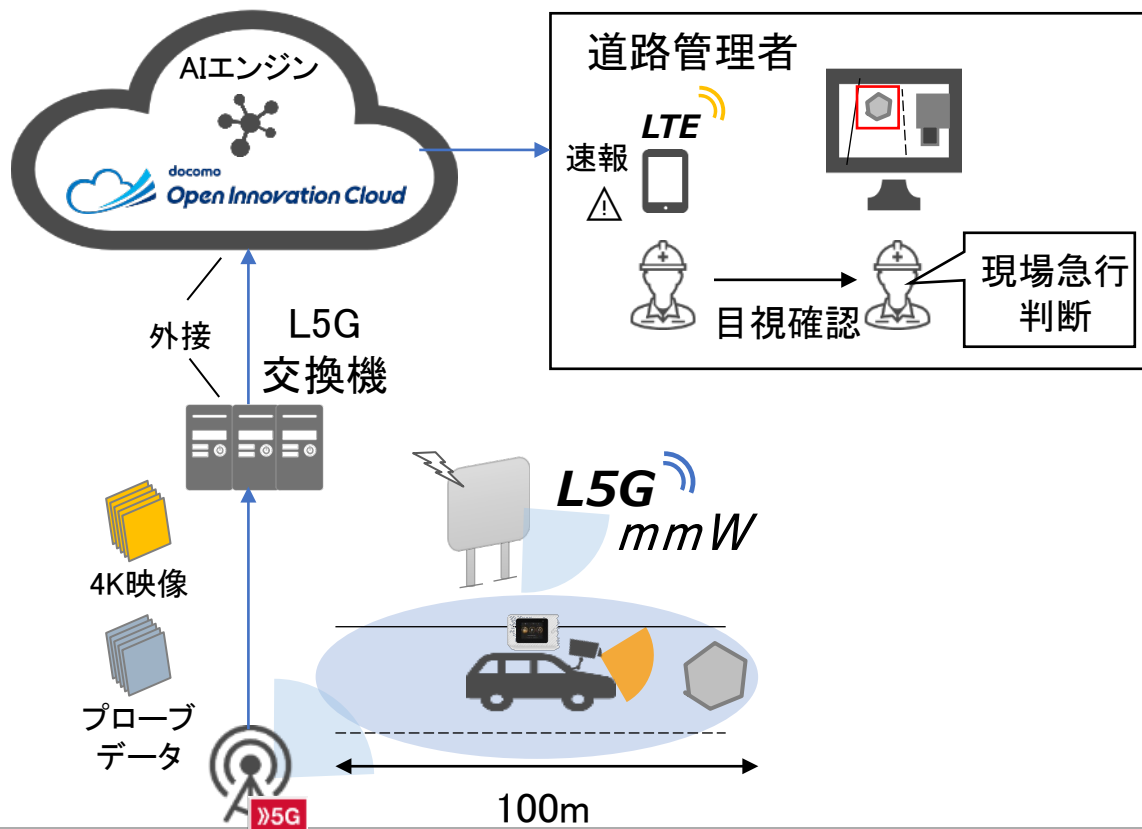
中:使用したバックパック機材、右:使用した車両型MMS



(平常時)実証概要

■ 検証項目

- 路面監視AIシステムの有効性
- ローカル5G伝送、AI検知・急加減速検知システムのUI可用性
- 自動運転バスを含めた道路管理システムによる稼働削減効果等の実装性



平常時の実証場所

検証ポイント

1. AIの検出性能確認
2. 道路管理機能(UI)の評価
 - ・ローカル5G伝送の可視化画面
 - ・路面監視AIの振り返り確認画面
 - ・急加減速頻発箇所の可視化画面
3. 道路管理機能の稼働削減効果
4. 水平展開に向けた検討

(平常時)実証結果①

■ 路面監視AIシステムの有効性

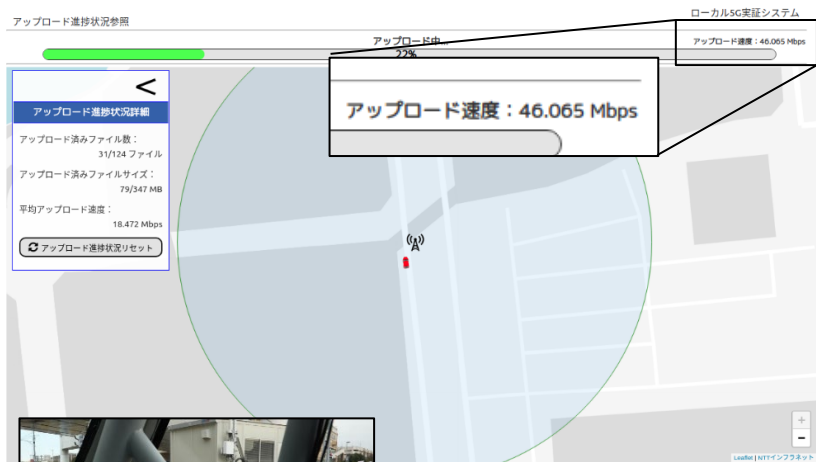
- 車載器からのローカル5G伝送は半径200m圏内で平均12.8Mbps、最大46.1Mbps
- 4K画像を用いることにより、速度が速い状況でも、一定の検知精度の確保が可能



実証環境における検知状況

車載器を用いたローカル5G伝送

デバイスごとの検知数の差



車載器からのローカル5G伝送は屋内損失等の影響により、当初目標として設定していた最大50Mbpsには至らなかった。

	4Kカメラ	HDカメラ	HDスマホ	結果
ひび (10km/h)	3 / 18	5 / 18	3 / 18	4Kカメラは速度が速くても一定の検知精度を確保(ただし、HDカメラと検出数は同程度。撮影フレームの時刻誤差や光の反射、画角の微小な差異が影響している可能性)
ひび (20km/h)	4 / 18	5 / 18	0 / 18	
ひび (40km/h)	4 / 18	3 / 18	0 / 18	
ポットホール(10km/h) 〈マンホールとの誤検知〉	4 / 6	3 / 6 〈うち、2〉	2 / 6 〈うち、2〉	4Kカメラは20km/hまでであればHDカメラ等と比較して正しく検知しやすい
ポットホール(20km/h) 〈マンホールとの誤検知〉	3 / 6	3 / 6 〈うち、2〉	0 / 6	
ポットホール(40km/h) 〈マンホールとの誤検知〉	2 / 6 〈うち、2〉	1 / 6	0 / 6	
白線 (10km/h)	8 / 9	1 / 9	0 / 9	4Kカメラは速度に依らず他と比較して検知精度が高い
白線 (20km/h)	6 / 9	1 / 9	0 / 9	
白線 (40km/h)	9 / 9	0 / 9	0 / 9	

(平常時)実証結果②

■ 道路管理効率化に資する3つのUIサービスの構築 ① ローカル5Gのデータ伝送可視化画面

- ① ローカル5Gのデータ伝送可視化画面
- ② AI検知結果の可視化画面
- ③ 急加減速頻発箇所の可視化画面

① ローカル5Gのデータ伝送可視化画面

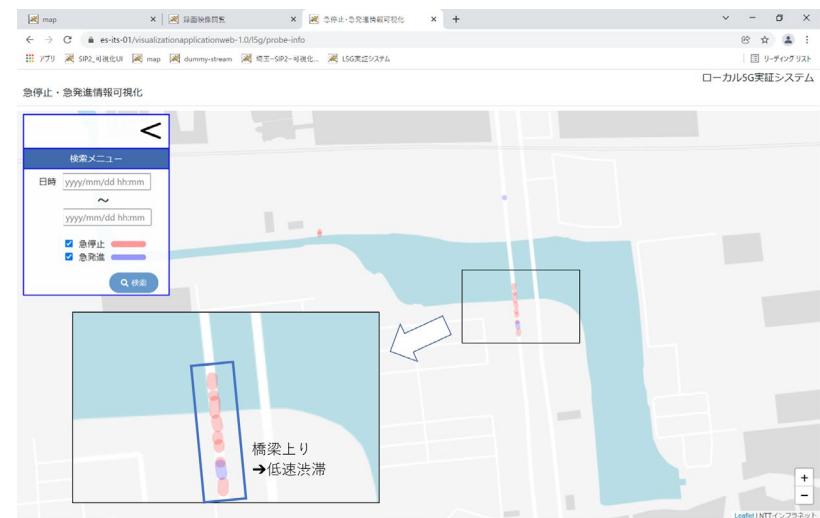


② AI検知結果の可視化画面



AI検知結果を地図に可視化、クリック後の画像拡大等も実装

③ 急加減速頻発箇所の可視化画面



継続利用・実装計画

■ 継続利用

- 本実証は、実証を目的とした期間中での道路占用申請を行うことで実施に至ったほか、道路管理者との調整により実証実現



長期的な運用について
実現可能性の高い箇所
を改めて検討・選定

■ 実装計画

- 災害時は、防災拠点機能を有する「道の駅」でスポットエリアを構築・運用
 - 差分検知が可能な3D点群データの活用を視野に入れた場合、VRゴーグルによる延長1km程度の被災状況を、目標24時間以内に、遠隔の事務所で確認可能となる見込み
 - 災害時には国と地方公共団体が協働し、必要となる道路の啓開・復旧に努めなければならないため、地方公共団体などの関係機関は国土交通省を通じて道路の啓開・復旧に必要な情報やデータを受け取る体制が望ましい
 - 防災拠点化に係る各種支援については、国土交通省の各種重点支援メニューが存在しており、都道府県、自治体、管理運営者、国による推進体制を構築しながら進行中
- 平常時には、多数の車両が通行する主要幹線道路上でスポットエリアを構築・運用
 - 信号停車がない場合、1度のエリア通過ではデータ伝送が完了しなかったことから、交差点流入部付近での構築が望ましい
 - 導入コストが大きい中で、社会的効果をより高めるためには、関係者間のみで情報をクローズするのではなく、画像診断を踏まえた交通安全・円滑化支援に活用することが方向性として考えられる

まとめ

まとめ

■ 課題実証

● 災害時

- 4Kカメラやレーザースキャナをドローンや車両等に搭載し、道路空間の4K映像や3D点群データを収集したうえで、災害前と災害後のデータを突合し、差分を解析した
- ローカル5Gを活用することにより、被災状況確認までの時間が短縮し、目標とした実運用が可能であることを確認した
- 今後、運用体制の構築や基地局密度確保に向けた配置計画が必要である

● 平常時

- 自動運転車両に搭載された4Kカメラによる道路センシングで、4K映像やプローブデータを収集し、路面異常や障害物の情報をAI検知した
- ローカル5Gスポット通信により、プローブデータ1Gbit以上を車載器から伝送できることを確認し、4K映像の活用により、AI機能の高度化の可能性とともに、スポット伝送UI、AI検知結果UI、急加減速頻発箇所検知UIの有効性が示唆された
- ローカル5Gスポットは、ITSスポットとして交通管制等への活用や、事前災害情報としてのデータの活用により、利用価値が向上する

■ 技術実証

● テーマⅠ

- 精緻化値 $hr=15$ を用いたエリア算出法と実測値は概ね一致しておりエリア推定が可能
- 周辺建物高より低地に置局する場合はストリートキャニオン環境で詳細な検討が必要

● テーマⅡ

- UL改善量: 5Mbps程度 / DL改善量: 20Mbps程度 / RTT劣化量: 5~8ms
- メタマテリアルを用いることでカバーエリアをユースケースに合わせて任意に設計可能