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

令和 4 年 3 月 25 日

中央復建コンサルタンツ株式会社

目次

1. 実証概要

「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」として実施した「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」（以下、「本実証」という。）では、災害時と平常時における道路の課題を対象に、国道 4 号東埼玉道路上に構築したローカル 5G スポット通信エリア（基地局）を用いて、ローカル 5G を活用したソリューションを実証した。

［ローカル 5G 活用ソリューション］

1) 「災害時：被災状況確認の迅速化の実証」（実証 A）
2) 「平常時：道路管理・運営の効率化の実証」（実証 B）

1.1 背景・目的

1.1.1 災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

［災害の激甚化・頻発化］

我が国は、地形・地質・気象等の条件による災害が起こりやすい国土であり、特に近年、自然災害が激甚化・頻発化している。豪雨による災害は、激甚化・頻発化が顕著で、各地で甚大な被害が発生しており、2019 年の水害被害額は、下図に示すように全国で 2 兆 1,800 億円となり、1 年間の津波以外の水害被害総額統計開始以来最大となった。

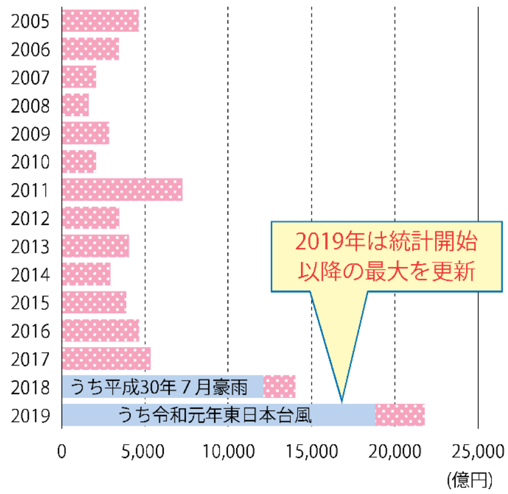


図 1.1-1　津波以外の水害被害状況の推移

出典：国土交通省「国土交通白書 2021」

地震では、南海トラフ地震、首都直下地震や日本海溝・千島海港周辺海溝型地震といった大規模地震の発生確率が高まっている。下表に示すように、南海トラフ地震の被害は、最大で死者が約 32.3 万人、経済被害が約 169.5 兆円（東日本大震災の約 10 倍）、また、首都直下地震は死者が約 2.3 万人、経済被害が約 47 兆円と試算されており、国民のいのちと暮らしに対し極めて甚大な被害を与え得る。

表 1.1-1　大規模地震による被害想定

	南海トラフ地震	首都直下地震	日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震	（参考）東日本大震災
規模	M 9.0～9.1	M 7.3	M 8.0	M 9.0
最大震度	7	7	6強	7
死者・行方不明者	約323千人	約23千人	約2.7千人	22千人
建物全壊・焼失	約2,386千棟	約610千棟	約35千棟	122千棟
経済被害（直接）	約169.5兆円	約47兆円	約1兆円	16.9兆円

（注）被害が最大となるケース　出典：国土交通省「国土交通白書 2021」

［現状の課題・問題点］

災害が発生すると人が被災地に急行し、目視やドローン等の機器によって被災状況を確認している。すでに 4K や 8K 等の高精細画像が撮影できるカメラやレーザースキャナによる 3 次元（3D）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ており、被災現場で活用されている。しかし、これらの方法にて取得されたデータは容量が大きいため、現在の 4GLTE による無線通信で伝送すると通信に多くの時間を要するため、下表で目標が示されているタイムラインのような、速やかな道路啓開や復旧に応えられないという課題がある。

表 1.1-2　災害時における道路啓開のタイムラインの例

開始時間	緊急輸送のための交通確保（交通ネットワークの復旧）の行動
0 分～30 分	高速道路の通行可否の確認を開始する。
30 分～1 時間	道路の通行可否情報の確認を開始する。
1 時間～3 時間	道路施設の啓開状況や応急復旧見込みの把握を開始する。
3 時間～12 時間	優先啓開ルートを報告する。
12 時間～1 日	道路の通行可否情報の共有を開始する。
1 日～3 日	優先啓開ルートの確保状況を確認する。
3 日～1 週間	緊急輸送道路の一部供用の確保・情報提供の開始。

資料：国土交通省「国土交通省業務継続計画　第 4 版（平成 30 年 5 月）」から抜粋

［本実証の目的］

前項の課題を解決するため、**<u>本実証では災害時でもアクセス可能な災害拠点等にローカル 5G スポットエリアを構築し、高精細画像や 3D 点群などの容量の大きなデータを、遠方の災害対策本部等に迅速に伝送することにより、道路の速やかな啓開・復旧に活用することを目指す</u>**。

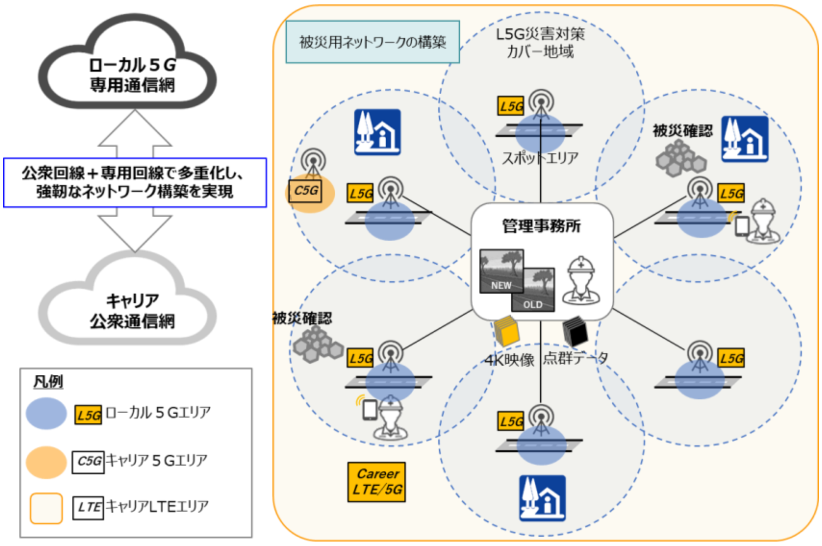
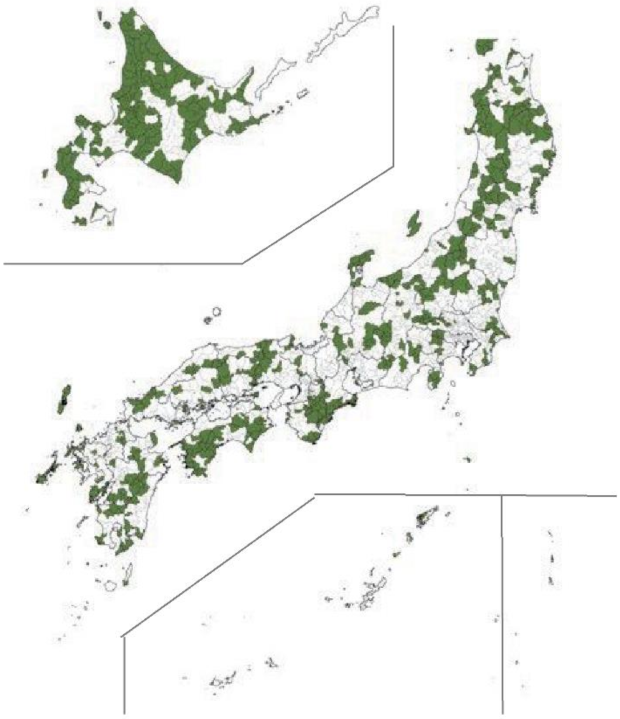


図 1.1-2　ローカル 5G を活用したソリューションイメージ（災害時）

1.1.2　平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

［少子高齢化の進展］

我が国では、人口減少・高齢化が深刻化している。2050 年の市町村別人口推計値（総務省「平成 27 年国勢調査」、国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来推計人口（平成 30 年推計）」等より国土交通省推計、出典：国土交通省「国土交通白書 2021」）では、全市区町村の約 3 割が 2015 年の人口の半数未満となると推計されている。



（注）分析対象には、福島県富岡町、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、飯館村は入っていない

出典：国土交通省「国土交通白書 2021」

図 1.1-3　2050 年までに人口が半数未満となる市区町村の分布

［地域の生活サービスの維持困難化］

医療・福祉サービス、商店、教育サービス、防災体制など、生活必需サービスの維持には、一定程度の人口規模とアクセスのための公共交通基盤が必要である。地方部の人口減少は、このような地域の生活必需サービスの維持を困難化させている。特に、地域公共交通は、コロナ禍により利用者が一層減少し、経営状態が非常に厳しくなっている。また、地域公共交通のサービス低下が地方部の人口減少に拍車をかけ、それが生活必需サービスの低下、人口減少につながるという衰退のスパイラルが各地で発生している。

［現状の課題・問題点］

人口減少に伴う課題として、地域公共交通の確保と道路管理の担い手不足が挙げられる。地域公共交通では、事業者の経営環境の悪化や運転手の不足により、高齢者等の地域の足となる交通手段の確保が困難になっている。また、道路管理では、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が難しくなっている。人口減少に伴うこれらの課題に対応するために、地域公共交通や道路管理の効率化（省人化）が求められている。

表 1.1-3　現状の問題点と課題の整理

<table>
<tr><th>道路に関するサービス</th><th>現状の問題点</th><th>課題</th></tr>
<tr><td rowspan="2">地域公共交通の運行</td><td>利用者の減少による地域公共交通の経営環境の悪化</td><td rowspan="2">公共交通の運行の効率化（省人化）が必要
・担い手不足解消により、地域公共交通を守る必要がある</td></tr>
<tr><td rowspan="2">業務の担い手不足</td></tr>
<tr><td rowspan="2">道路施設の維持管理</td><td rowspan="2">道路の維持管理の効率化（省人化）が必要
・地域交通の維持のため、道路施設の管理水準を保つ必要がある</td></tr>
<tr><td>税収の減少による道路管理者の財政逼迫度合いの高まり</td></tr>
</table>

［本実証の目的］

前項の課題を解決するため、**本実証では平常時の道路パトロールに着目し、下図のように車載カメラにて撮影した画像を、巡回ルートの道路上に構築したローカル 5G スポットエリアを通じて伝送することにより、運転者と点検者の 2 人体制の道路パトロールを自動運転と AI（人工知能）による道路異常の自動検知に代行させることにより、無人化することを目指す**。なお、本ソリューションは、道路の巡回車両以外にも適用可能であることから、路線バスやごみ収集車などの定められたルートを定期的に巡回する車両に適用することにより、道路パトロールの負担を軽減することについても検討する。

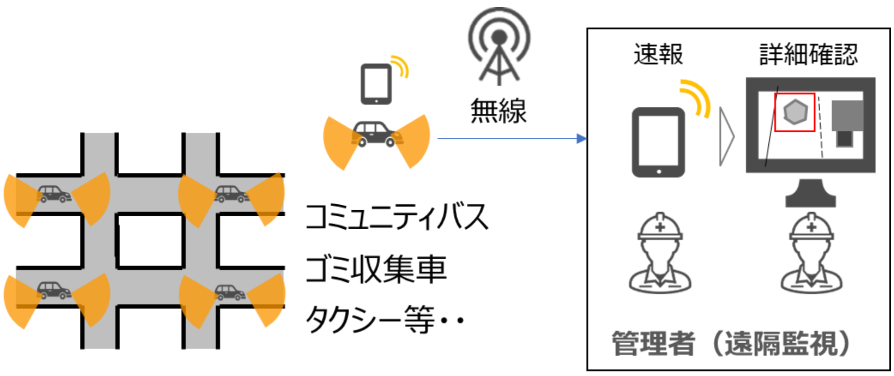


図 1.1-4　ローカル 5G を活用したソリューションイメージ（平常時）

1.2 実証の概要

表 1.2-1　実証概要

実証地域	埼玉県越谷市（東埼玉道路）他
実証概要	地域公共インフラの中でも主要インフラの一つである道路は、道路管理者の担い手が減少する一方、災害発生時には緊急物資等の輸送ライフラインとして早期の復旧が求められるという課題が存在 ・幹線道路にローカル 5G 環境を構築し、自動運転車両による収集データ等を活用した効率的な道路管理（平常時）、3 次元点群データ等を活用した被災状況の迅速な確認（災害時）に関する実証を実施 ・自動運転社会を見据えた公共交通の高度化および、激甚災害を見据えた被災ネットワークの高度化を通じ、地域公共インフラの効率運用・強靭化を実現
技術実証	・大型施設や住宅が立ち並ぶ市街地の屋外道路環境における電波伝搬モデルの精緻化、電波反射板を利用した基地局背面のエリア化および曲折したカバーエリアの構築を実施 ・周波数：28.2-28.3GHz 帯（100MHz）　構成：NSA 方式　利用環境：屋外
課題実証	【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 ・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 ⇒道路管理の効率化への寄与を期待 【災害時】 4K 映像と 3 次元点群データによる被災状況の迅速な確認 ・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 ⇒被災状況確認の迅速化への寄与を期待
ローカル 5G の活用により目指す将来像	■人口減少やインフラ老朽化の時代に対応した、インフラ全体の高度化による「持続可能な社会」の実現 【災害時】 ・映像・点群データの大容量データ転送により、管理者が被災状況をいち早く確認でき、激甚災害時にも適切な指示を出すことに貢献 【平常時】 ・「自動運転」と「AI 検知」を組み合わせることで省人化・効率化に貢献

1.2.1　災害時：被災状況の確認の迅速化の実証（実証 A）

激甚災害発生時、安全性やインフラ機能の観点で移動が制限される中でも、初動として可能な限り早く、被災状況を確認することが必要となる。

実際の運用に関しては、現行のスキーム（災害協定）に基づいて、民間事業者に対する後精算の業務委託の形式となる想定である（図 1.2-1）。ここでは、実装主体として、土木・建設コンサルタント等が機材を所有し、災害時には被災地でのスポット通信エリアを展開する可能性が想定される。点群測量等を含め、他事業者とも連携して被災状況を迅速に把握し、遠隔地の管理事務所に伝達することを想定している（図 1.2-2）。

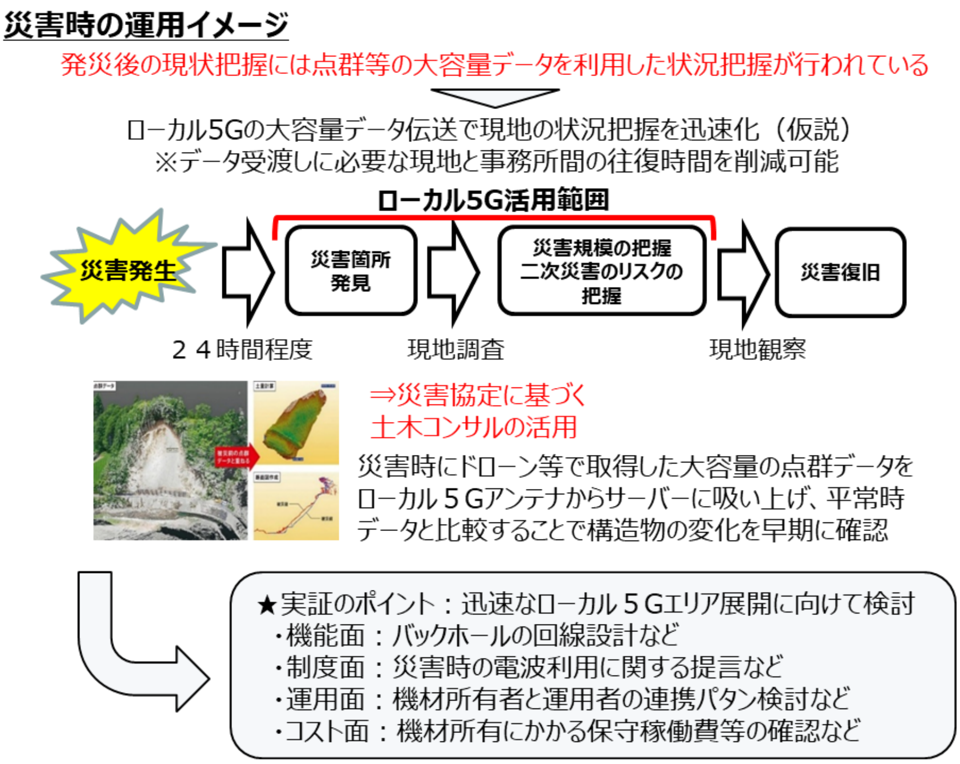


図 1.2-1　災害時ローカル５G システムの運用イメージおよび実証のポイント

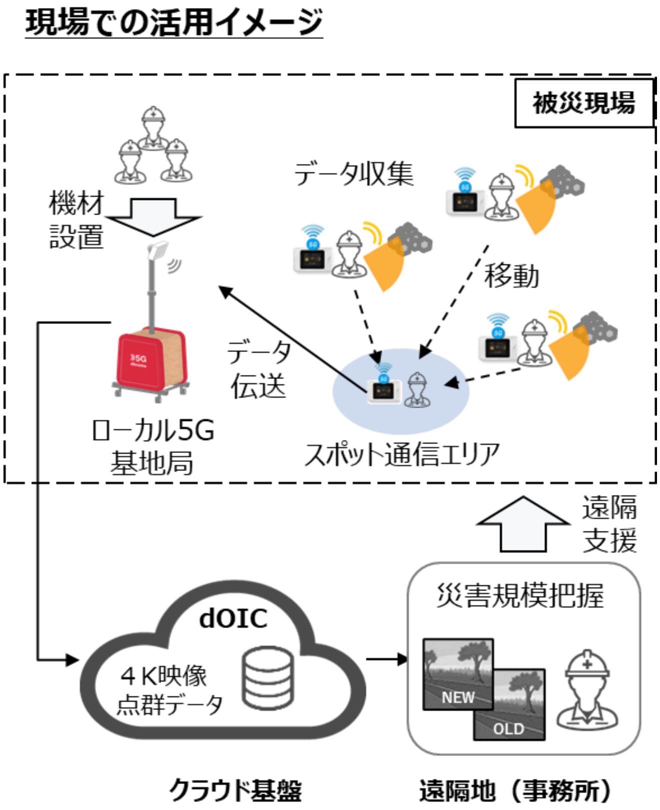


図 1.2-2　災害時ローカル５G システムの現場活用イメージ

前述の実装イメージを踏まえ、上図内のローカル５G スポットを被災時のデータ伝送ハブとして活用した効率的な被災状況確認スキームを構築し、実装に向けて検討した。

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となるとともに、周辺被災状況のデータを収集した後に、安定した大容量通信でデータ伝送を行うことで、事務所に帰還する時間、稼働を削減するだけでなく、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実現可能となることを実証目標とした。

1.2.2　平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

地域公共交通の持続化を図るためには、運転手等の担い手不足への対応の観点から自動運転技術の必要性が高まってくる。一方で、自動運転技術の導入による明確な収入向上や費用削減効果（費用対効果）が見込めない中では、難しい現状である。また、道路施設の維持管理に関しても、業務の担い手不足等の課題を有しており、業務の効率化を図る必要がある。

これらの課題への対策として、図 1.2-2 内のローカル５G スポットと公共交通と想定した自動運転バスを活用した道路情報収集スキームを構築し、実装に向けて検討した。

本実証においては、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となることを実証目標とした。

さらに、平常時のシステムは、下図に示すように、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となることを確認することも実証目標とした。

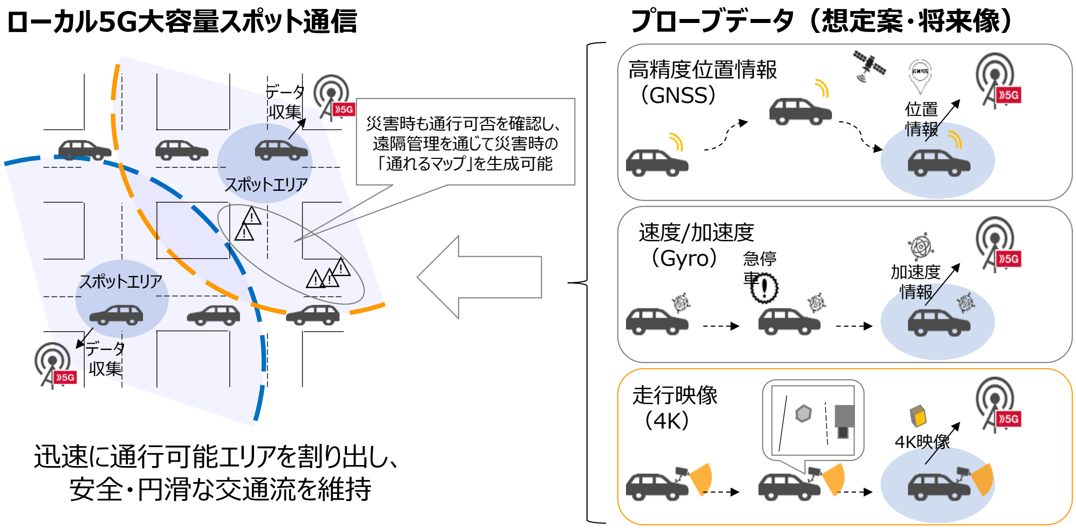


図 1.2-3　ローカル５G システムによるプローブデータ収集機能の実装イメージ

2. 実証環境の構築

2.1 実施環境

2.1.1　実証実施場所

2.1.1.1 ローカル 5G 基地局の設置場所

（1）実証場所の概要

東埼玉道路の国道用地にローカル5G基地局を設置し、道路上にローカル５Gスポット通信エリアを展開した。（場所：埼玉県越谷市レイクタウン（図 2.1-1)）

本実証では、平常時に公共交通を想定した車両による路面監視を行うが、その際、車両は通常通り走行しながらも、車載のローカル５G 端末から、スポット通信でデータを吸い上げることが、運用効率化の観点で必要であった。

そのため、本実証では屋外のローカル５G 基地局（図 2.1-2）を設置し、スポット通信エリアの設計や、車載端末を用いて安定した通信を確保する手段を検討した。

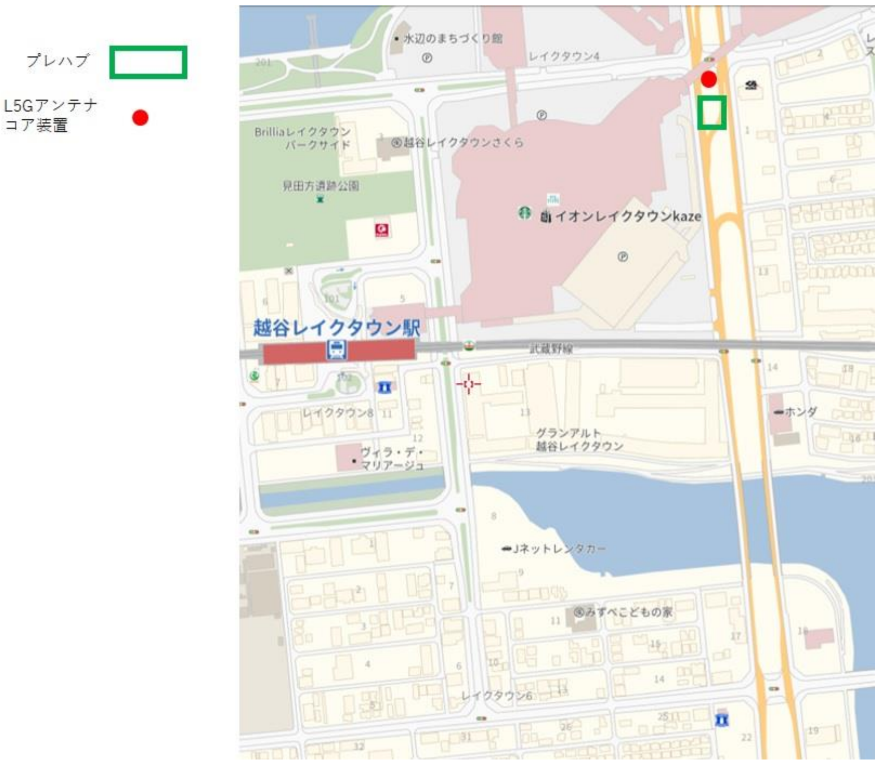


図 2.1-1　プレハブおよびローカル５G 基地局の設置場所

ローカル 5G 基地局の設置にあたって、下図の設備を設置した。アンテナを設置したプレハブ（基地局のコア設備用）に加えて、検証作業用のプレハブや反射板の基盤設備、電源用の発動発電機、運用に必要な簡易トイレ等を設置した。

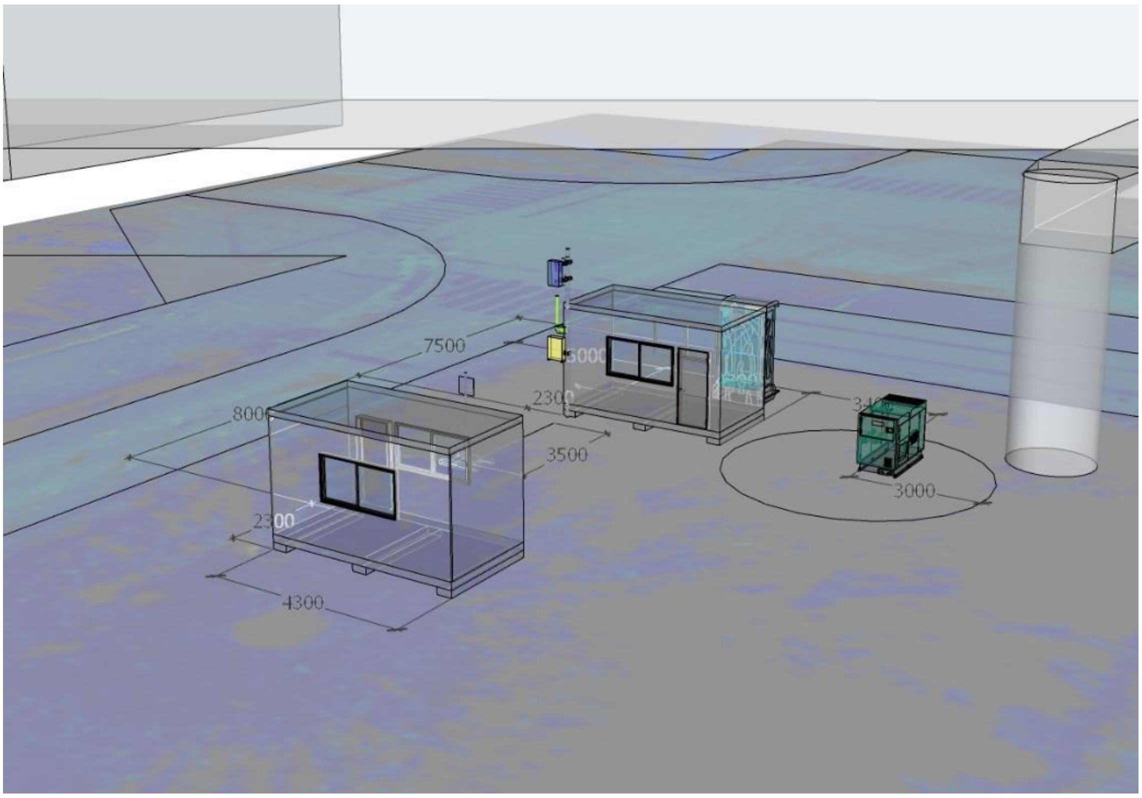


図 2.1-2　ローカル 5G 基地局等の設置図面 1

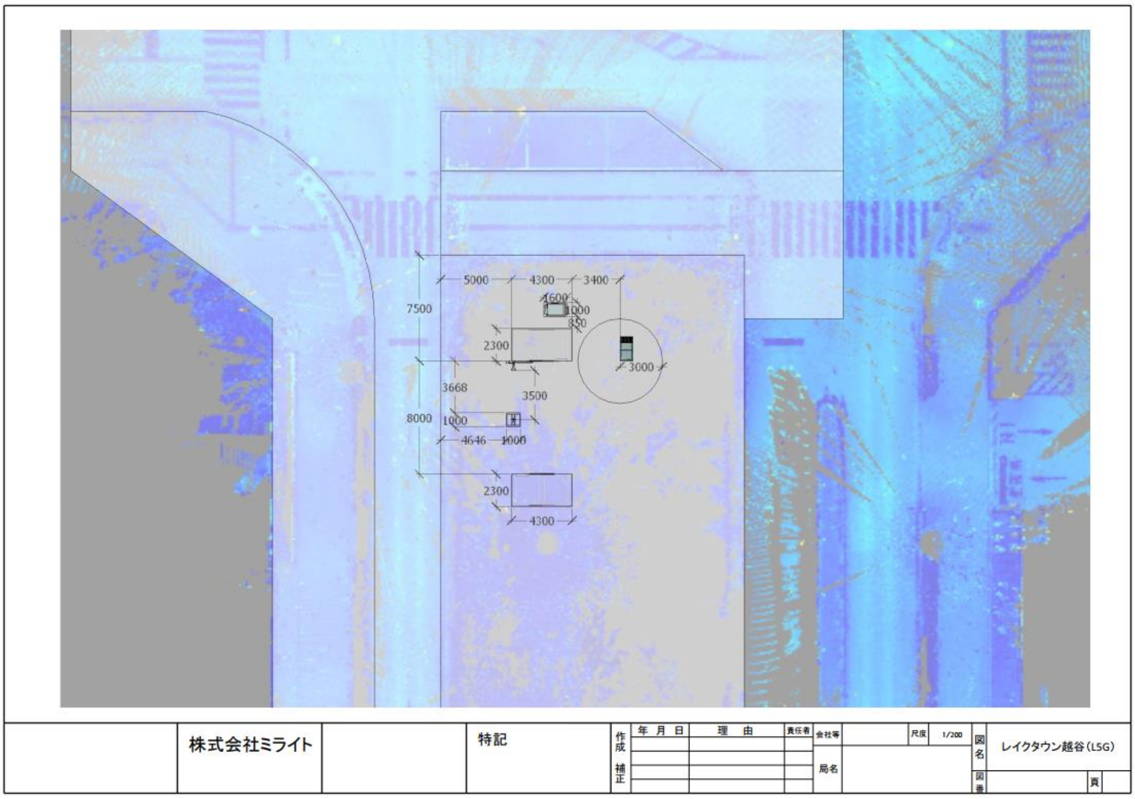


図 2.1-3　ローカル 5G 基地局等の設置図面 2：平面図

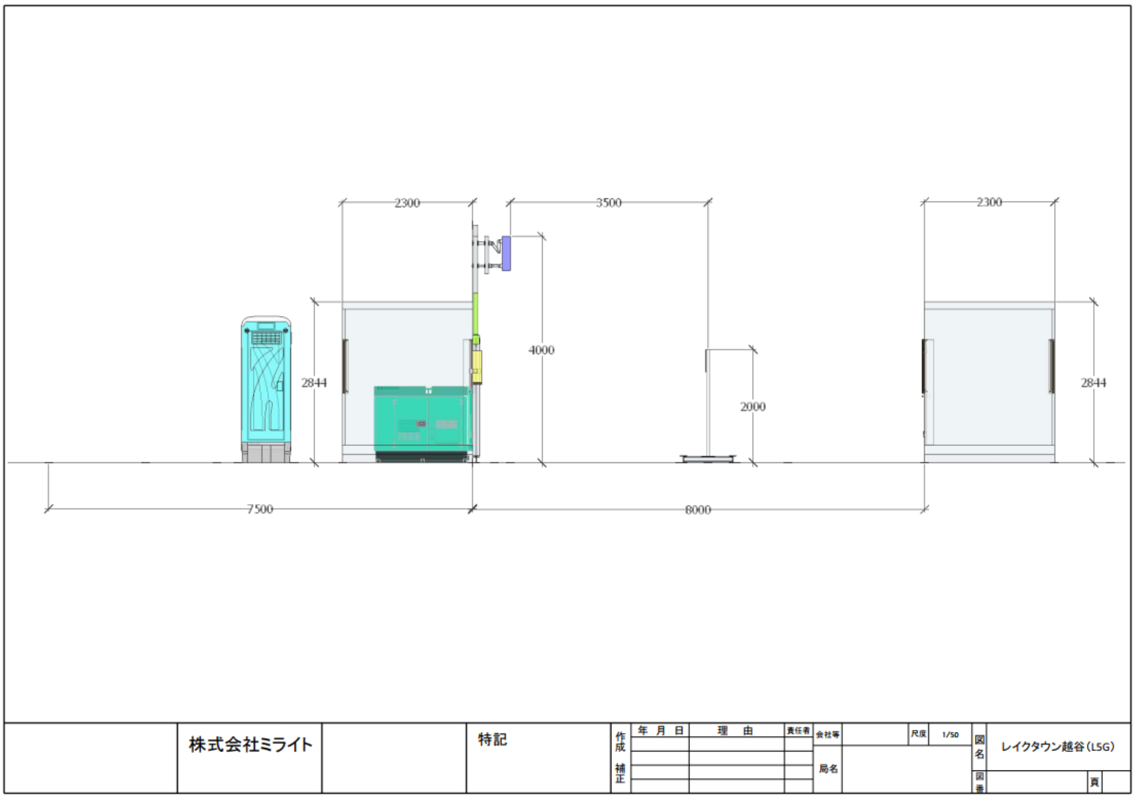


図 2.1-4　ローカル 5G 基地局等の設置図面 3：立面図

また、屋外のアンテナ近傍には、技術実証テーマⅡを実施するため、下図のように反射板設置用の基盤設備を設置し、上部に反射板を設置する構成とした。

図 2.1-5　設置したプレハブおよびローカル５G 基地局の写真

図 2.1-6　設置した反射板とアンテナの位置関係

基地局用プレハブの内部には、ローカル 5G コア装置の設置や NTT の回線引込みを行った。

図 2.1-7　設置したローカル 5G コア装置等

（2）実証環境構築にあたっての関係機関調整

1）調整先

直轄国道におけるローカル 5G 基地局等の設置および NTT の専用光回線の引込みを実施するにあたり、関係各所と行った調整を以降の表に示す。

道路管理者（大宮国道事務所、北首都国道事務所）や越谷市への道路占用許可申請、所轄の警察署への道路使用許可申請、所轄道路管理事務所（春日部国道出張所）への作業届など、関東地方整備局と連携しながら各種申請を実施した。

表 2.1-1 (a)　ローカル 5G 基地局等設備に係る各所への申請（設置）

No.	ジャンル	目的	調整先	調整内容	実施者
1	占用申請等	国道上中央分離帯におけるローカル 5G 設備の設置	大宮国道事務所 北首都国道事務所	道路占用許可申請	関東地方整備局 NTT ドコモ
2	占用申請等	国道上橋梁への設備設置（公道利用）	大宮国道事務所 北首都国道事務所	道路占用許可申請	関東地方整備局 NTT ドコモ
3	占用申請等	国道上橋梁への設備設置（設備利用）	民間施設	センターブリッジ上における配管設置許可	NTT ドコモ
4	占用申請等	国道上通線ルートの変更	大宮国道事務所	道路占用許可の修正	NTT 東日本
5	占用申請等	越谷市道上空における架空通線許可	越谷市	道路占用許可申請	関東地方整備局 NTT ドコモ
6	占用申請等	越谷市道地下における埋設管通線許可	越谷市	道路占用許可申請	関東地方整備局 NTT ドコモ
7	占用申請等	信号柱への通線許可	埼玉県警察	個別調整・許可申請	関東地方整備局 NTT ドコモ
8	工事申請等	国道における車線規制の実施	越谷警察署	道路使用許可申請	関東地方整備局 NTT ドコモ
9	工事申請等	国道上中央分離帯における設備設置工事	春日部国道出張所	工事作業届	NTT ドコモ
10	工事申請等	国道上橋梁における設備設置工事	春日部国道出張所	工事作業届	民間施設
11	工事申請等	国道上通線ルートの変更工事	大宮国道事務所	工事着手届	NTT 東日本
12	工事申請等	国道上中央分離帯における設備設置工事	越谷市	リサイクル法届出書	ミライト・ NTT ドコモ
13	工事申請等	国道上中央分離帯における設備設置工事	越谷市	事業計画書（農地転用）	ミライト・ NTT ドコモ
14	工事申請等	国道上中央分離帯における設備設置工事	越谷市	仮設建築物申請書	ミライト・ NTT ドコモ
15	工事申請等	国道上中央分離帯における設備設置工事	越谷市	建築物確認申請書	ミライト・ NTT ドコモ
16	工事申請等	国道上中央分離帯における設備設置工事	越谷市	発電設備設置届出書	ミライト・ NTT ドコモ
17	工事申請等	国道上中央分離帯における設備設置工事	越谷市	開発行為等計画書	ミライト・ NTT ドコモ

表 2.1-1(b)　ローカル5G基地局等設備に係る各所への申請（撤去）

No.	ジャンル	目的	調整先	調整内容	実施者
18	占用申請等	国道上中央分離帯における ローカル 5G 設備の撤去	大宮国道事務所 北首都国道事務所	道路占用許可申請	関東地方整備局 NTT ドコモ
19	占用申請等	国道上橋梁への設備撤去 （公道利用）	大宮国道事務所 北首都国道事務所	道路占用許可申請	関東地方整備局 NTT ドコモ
20	占用申請等	国道上橋梁への設備撤去 （設備利用）	民間施設	センターブリッジ上に おける配管撤去許可	NTT ドコモ
21	占用申請等	国道上通線ルートの変更	大宮国道事務所	道路占用許可の修正	NTT 東日本
22	工事申請等	国道における車線規制の実 施	越谷警察署	道路使用許可申請	NTT ドコモ
23	工事申請等	国道上中央分離帯における 設備撤去工事	春日部国道出張所	工事作業届	NTT ドコモ
24	工事申請等	国道上橋梁における設備撤 去工事	春日部国道出張所	工事作業届	民間施設
25	工事申請等	国道上通線ルートの変更工 事	大宮国道事務所	工事着手届	NTT 東日本
26	工事申請等	国道上中央分離帯における 設備撤去工事	越谷市	建築物除却届	ミライト・ NTT ドコモ
27	工事申請等	国道上中央分離帯における 設備撤去工事	越谷市	近隣説明等報告書	ミライト・ NTT ドコモ

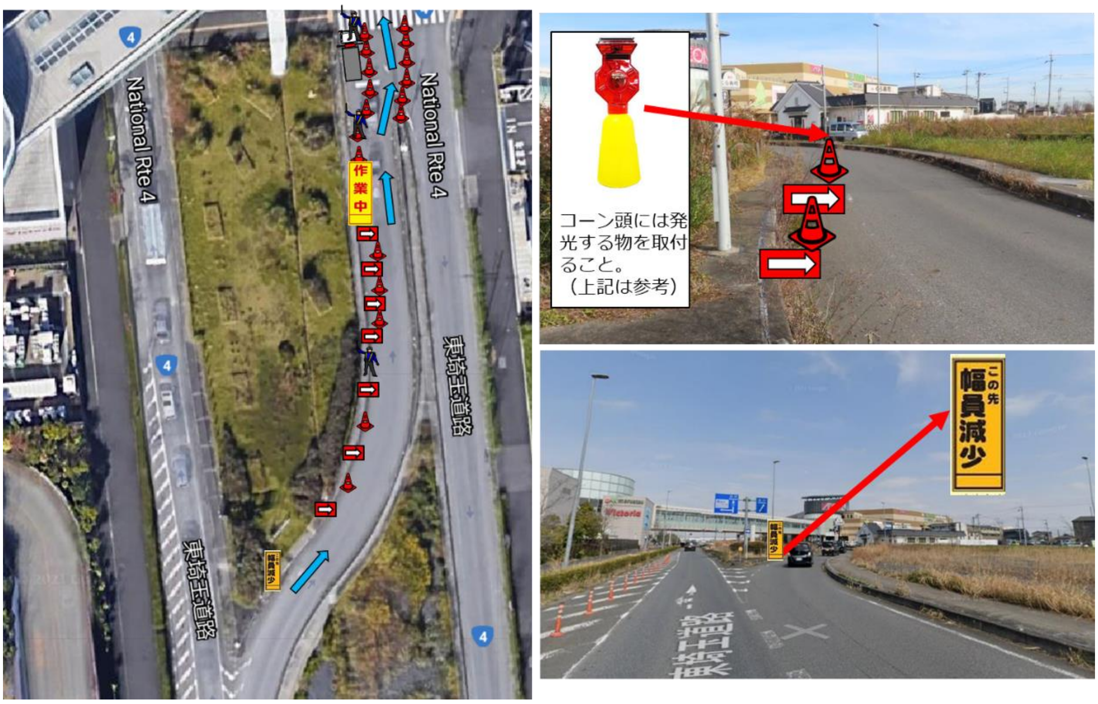
2）施工方法

設備の設置工事にあたり、国道用地内においてラフタークレーン等を用いて機材を搬入した。

搬入の際の課題として、ラフタークレーンが中央分離帯に乗り入れるための養生鉄板の敷設と資材運搬のためのユニック車を道路に停車させて作業する必要があった。そのため、所轄の警察署（越谷警察署）に協力を仰ぎ、道路使用許可証を発行した上で、下図のとおり車線規制にて対応した。

具体的には、下図のように車線規制によって右折レーンを封鎖しないよう、3m 以上の幅員を残す必要があったため、一部反対車線に一時的に道路を拡幅することで、安全な幅員（余裕を見込んで 4m 幅）を確保した。また、作業車両への追突の危険性を少なくするため、約 50m 手前から幅員減少・右寄せ走行の指示看板を設置した。

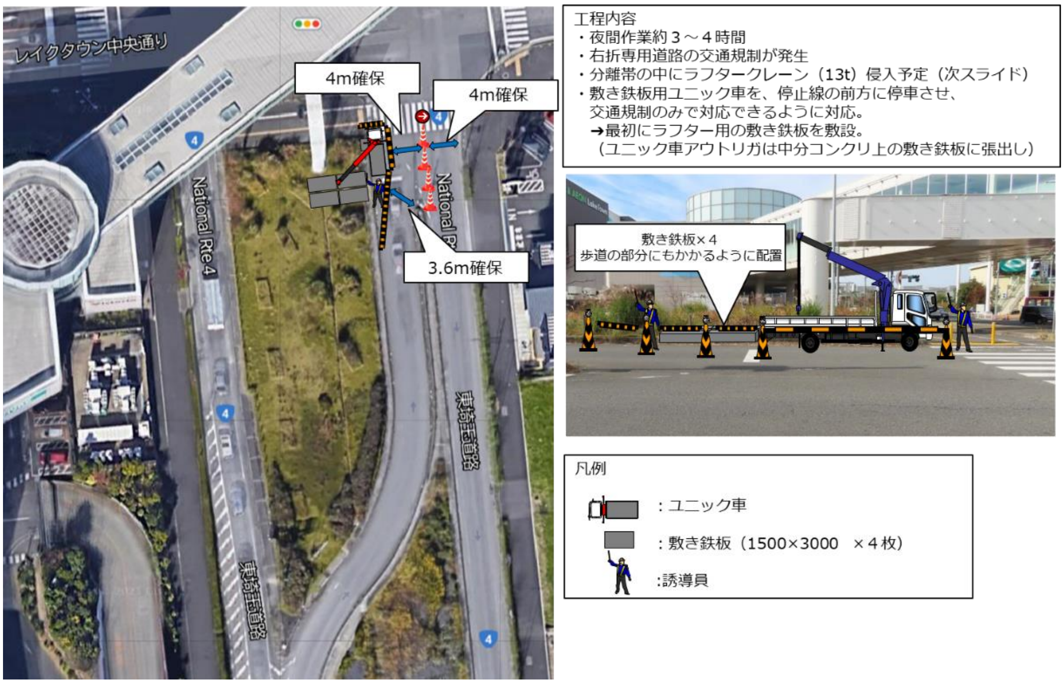
その他の設置基準としては、「道路工事保安施設設置基準（令和元年 5 月　関東地方整備局）」に則って車線規制の対応を行った。



背景地図の出典：Google Maps

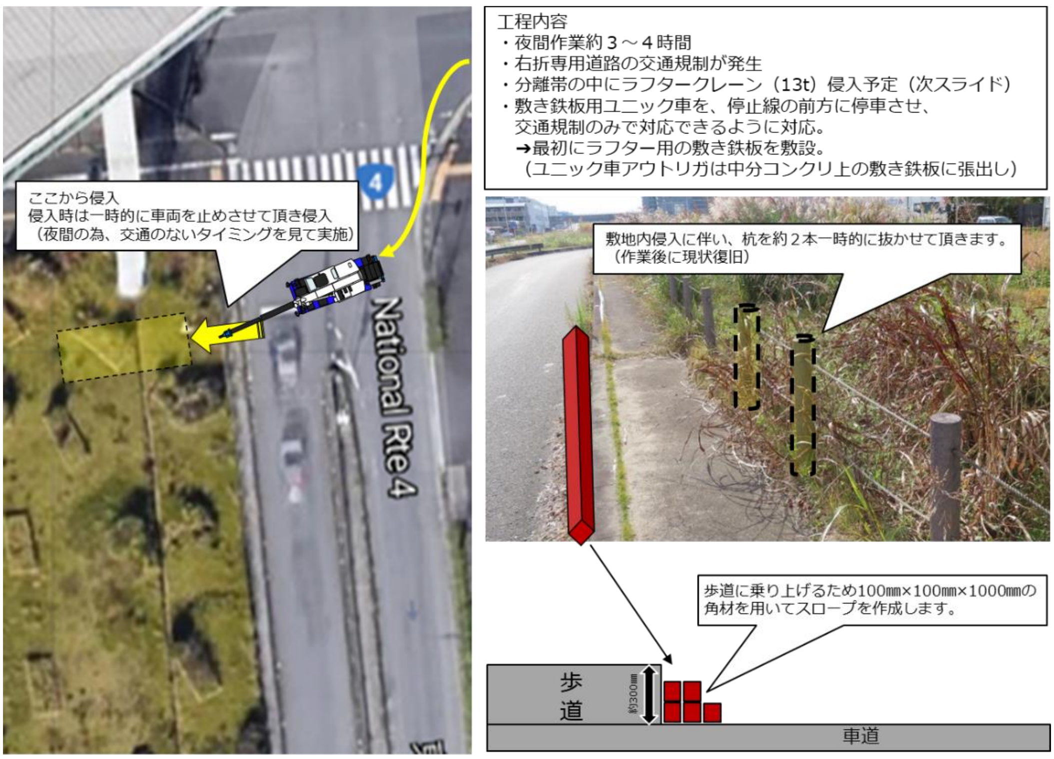
図 2.1-8　設置工事の車線規制にともなう保安図

施工手順としては、次頁に示す 3 ステップで実施した。まず、4t ユニック車によりラフタークレーンが中央分離帯に乗り入れるための養生鉄板を敷設した。敷設完了後に、越谷市道（東側）から 13t ラフタークレーン車を乗り入れる。その後、近傍に停車した資材ユニックから仮下ろしした資材をラフタークレーンにより所定の位置に設置した。



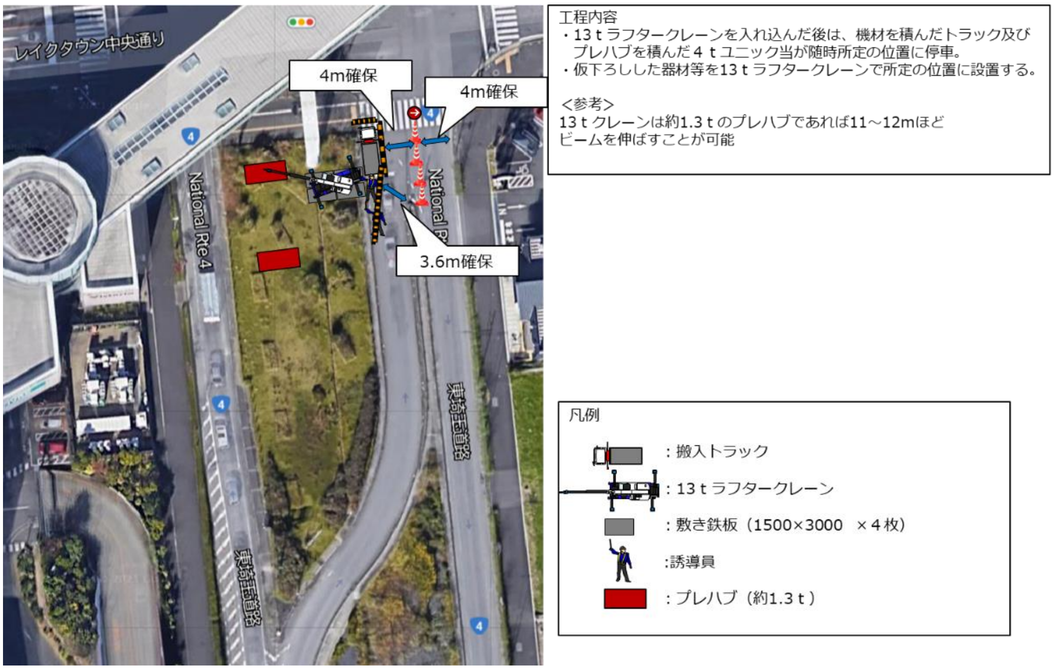
背景地図の出典：Google Maps

図 2.1-9　設置工事ステップ１：養生鉄板の敷設



背景地図の出典：Google Maps

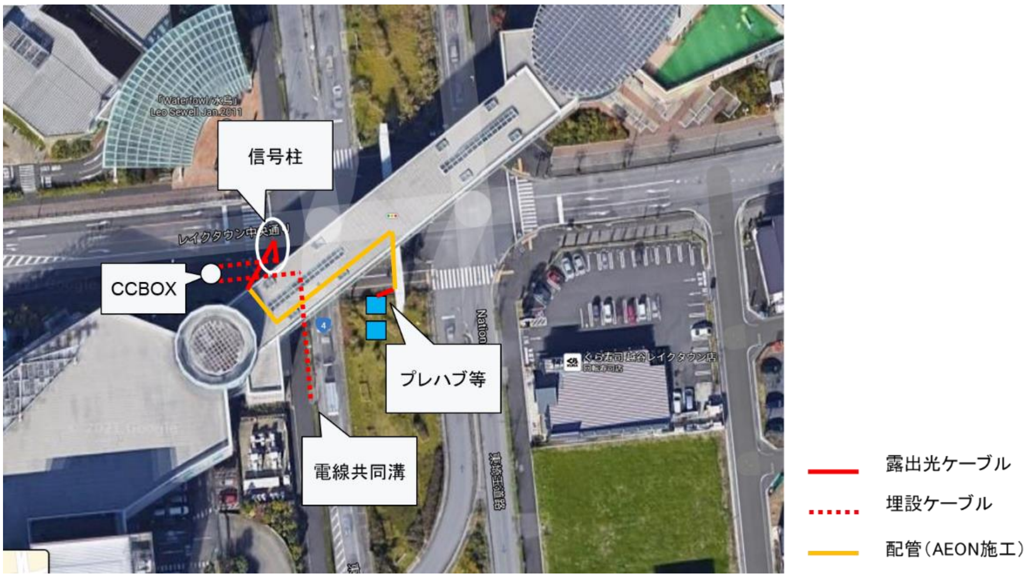
図 2.1-10　設置工事ステップ２：ラフタークレーン車の乗り入れ



背景地図の出典：Google Maps

図 2.1-11　設置工事ステップ３：資材ユニックとラフタークレーンによる設置作業

NTT 東日本の専用光回線のルート設計は下図のとおりである。架空配線ができない地域であったため、基本的に橋梁を這わせる形で道路を横断して回線を引き込んだ。（下図、全体ルート）



背景地図の出典：Google Maps

図 2.1-12　ケーブルルート全体図

中央分離帯において、埋設ルートからの出線ができなかったため、埼玉県警と調整して許可を得た上で、下図のとおりに信号柱に共架する前提で埋設管路から出線した。

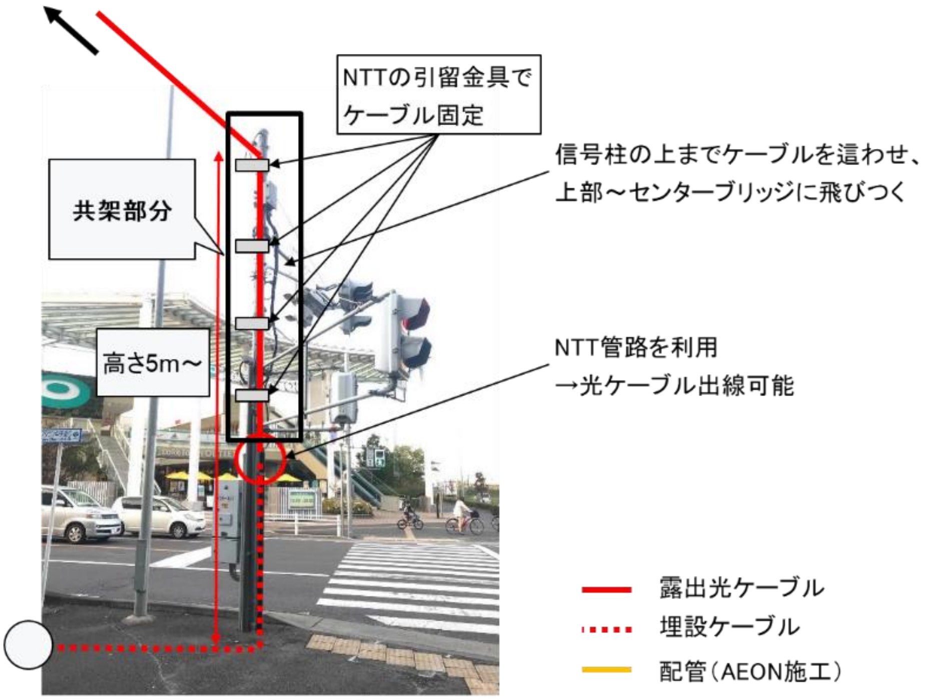


図 2.1-13　出線～信号柱への共架

その後、下図に示すとおり、信号柱からセンターブリッジに飛びつき、センターブリッジを這わせる形で設置した配管内に通線し、中央分離帯の橋梁の支柱部分から回線を引き込んだ。

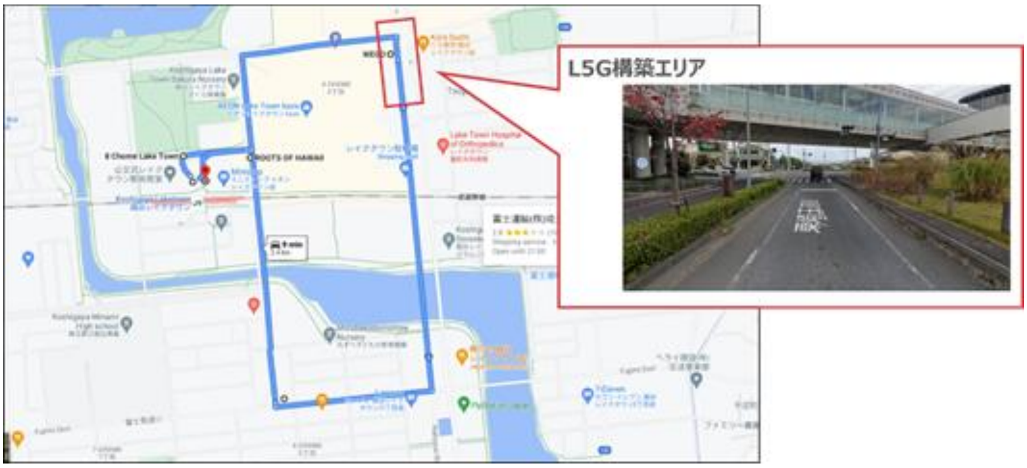
図 2.1-14　信号柱～センターブリッジへの飛びつき架空配線

図 2.1-15　センターブリッジ～中央分離帯への配線

2.1.1.2 平常時システムに関する実証実施場所

（1）実証場所の概要

平常時システムについては、国道沿いの道路管理を、公共交通車両に見立てた自動運転車両を用いて実施した。下図の青色線が、自動運転車両の走行ルートである。（場所：埼玉県越谷市レイクタウン）



背景地図の出典：Google Maps

図 2.1-16　平常時システムの実証実施場所

（2）自動運転車両の走行にあたっての流れ

自動運転車両の走行にあたっての流れは以下のフローのとおりであり、走行にあたっては、運輸局、交通管理者（埼玉県警・越谷警察署）、道路管理者の承認を受けることが必須要件である。加えて、実証の実施前には、現地で路上審査・公道審査に合格する必要があり、公道審査の準備段階では、マッピング情報の現地修正やドライバー習熟のための現地走行を行うことが必要となる。

本実証でも同様の手順で平常時実証を実施した。

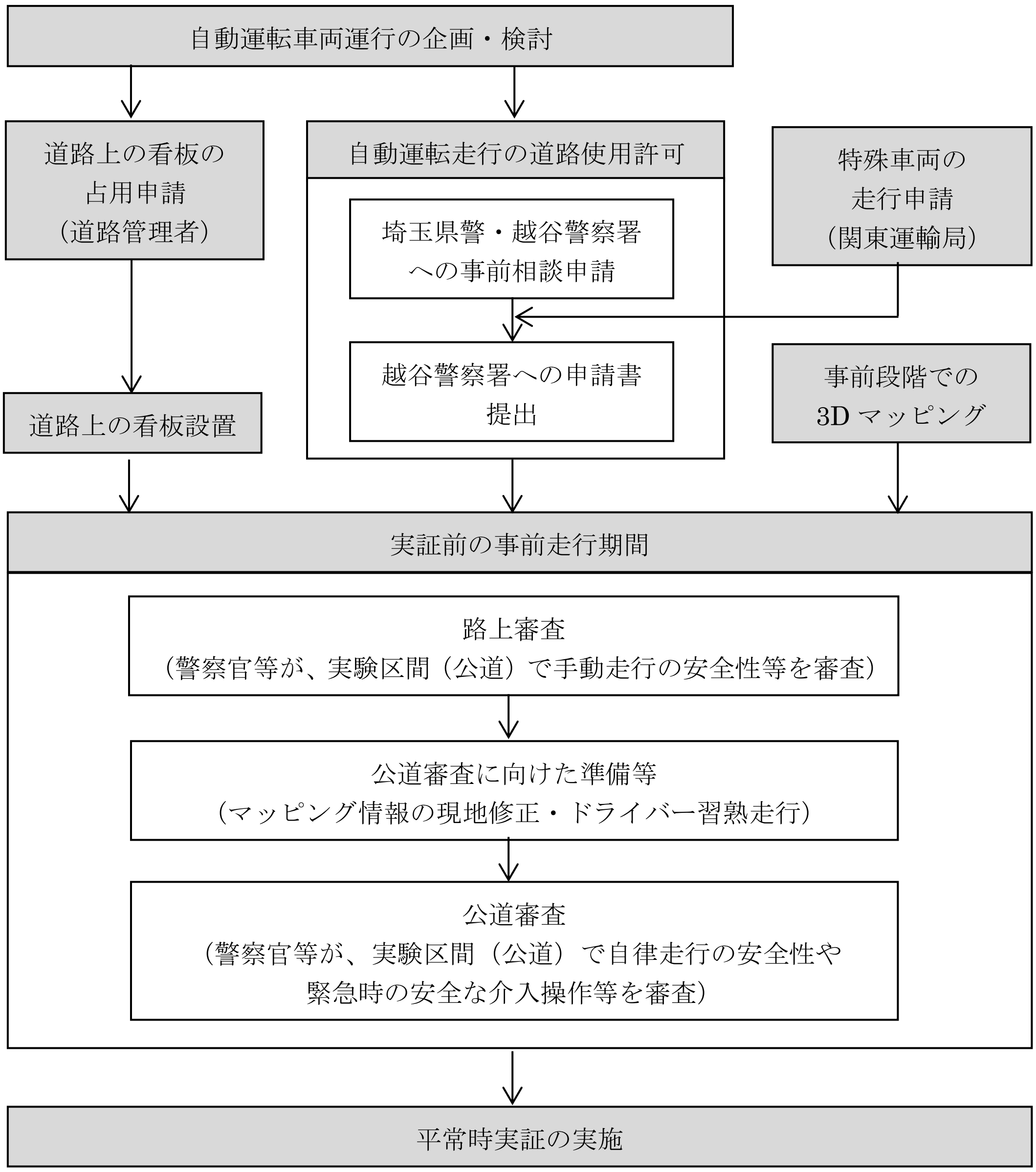


図 2.1-17　自動運転車両の走行にあたっての流れ

(3) 実証環境構築にあたっての関係機関調整

1) 調整先

自動運転車両の運行にあたり、関係各所と行った調整を下表に示す。

道路管理者（大宮国道事務所、北首都国道事務所、越谷市）への道路占用許可申請、所轄の警察署への道路使用許可申請、所轄道路管理事務所（春日部国道出張所）への作業届など、関東地方整備局と連携しながら各種申請を実施した。

表 2.1-2　ローカル 5G 基地局等設備設置・撤去に係る各所への申請

No.	ジャンル	目的	調整先	調整内容	実施者
1	運行申請	特殊車両である自動運転車両の運行の承認	関東運輸局	特車申請	BOLDLY
2	施設利用	自動運転車両の夜間充電・格納場所の選定	民間施設	施設利用許可申請	NTT ドコモ
3	道路使用	自動運転車両の運行計画の承認	越谷警察署	道路使用許可申請	中央復建コンサルタンツ
4	占用申請等	国道上における看板設置	大宮国道事務所 北首都国道事務所	道路占用許可申請	関東地方整備局 中央復建コンサルタンツ
5	占用申請等	国道上における看板設置	春日部国道出張所	工事作業届	中央復建コンサルタンツ
6	占用申請等	越谷市道上における看板設置	越谷市	道路占用許可申請	関東地方整備局 中央復建コンサルタンツ
7	占用申請等	越谷市見田方遺跡公園の受付拠点設置および園内車両乗り入れ	越谷市	公園占用許可申請	中央復建コンサルタンツ

2）実施方法

a）新型コロナウイルス感染拡大等における運行の中止判断の考え方

新型コロナウイルス感染拡大等の場合には、下表に示すとおりの対応方針とした。

今回実証期間においては、まん延防止等重点措置が発令されたことから、自動運転車両の走行は行ったものの、一般試乗を中止するとともに、式典や関係者試乗についても中止した。

表 2.1-3　新型コロナウイルス感染拡大等における運行の中止判断の考え方

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2"></th><th rowspan="2">自動運転車両
走行の有無</th><th>1/24、1/27～1/29</th></tr>
<tr><th>式典の開催、試乗</th></tr>
<tr><td rowspan="2">コロナ関連</td><td>まん延防止等重点措置
【首都圏】</td><td>走行</td><td>中止</td></tr>
<tr><td>緊急事態宣言
【首都圏】</td><td>走行</td><td>中止</td></tr>
<tr><td colspan="2">悪天候
（コロナ自粛要請がない場合）</td><td>荒天時を除き
走行</td><td>走行の場合は実施</td></tr>
</table>

上記の事由から、以降では、実際に実施した内容を整理し、当初計画から変更がある項目については、本節 2)の末尾に示す。

b）実証期間

実証期間は令和 4 年 1 月 24 日(月)、27 日(木)～29 日(土)の計 4 日間で実施した。

c）車両諸元

使用する車両は、以下に示す NAVYA ARMA である。

表 2.1-4　自動運転バスの車両諸元

車　　両	NAVYA ARMA（ナビヤ　アルマ）
写　　真	
乗車人数	ドライバー兼オペレータのみ乗車
サイズ等	全長：4750mm 全高：2650mm 全幅：2110mm 重量：2400kg 車両総重量：3450kg
性　　能	最高速度：25km/h（実験時は最高速度 19km/h） 平均稼働時間：9 時間（電動） 搭載機能：SLAM、GPS（RTK）、LiDAR（3D･2D）、 慣性計測装置、オドメーター
使用台数	1 台

d）車両監視

実証実験では、ドライバー兼オペレータが 1 名乗車した。

車両のドライバーはメーカーが定める研修を受け、これまで数多くの実証実験を担当してきた経験のある者を選定した。

e）事前走行

自動運転車両の運行にあたっては、路上審査（手動での走行審査)、公道審査（自動走行審査）の 2 回の公道審査が必要となる。

現地での手動走行審査後を 1 月 7 日(金)に実施後、実際の走行ルートにおいて、マッピング情報の現地修正やドライバー習熟を目的とした、現地交通環境での事前走行を実施した。

なお、事前走行は基本的に平日の日中に行うが、事前走行を行う初日のみ、交通量の少ない夜間の時間帯で走行を行った。

事前走行期間：令和 4 年 1 月 7 日（金）（公道（手動）走行審査合格後）
～令和 4 年 1 月 21 日（金）（実験期間前日まで）

表 2.1-5　現地での審査および事前走行期間の走行内容

	現地での審査	事前走行
1 月 7 日(金)	午前：路上審査 （手動での走行審査）	夜間：事前走行（22～5 時）
1 月 8 日(土)～10 日(月祝)	－	【予備日】　※走行なし
1 月 11 日(火)～14 日(金)	－	日中：事前走行（10～16 時）
1 月 15 日(土)～16 日(日)	－	【予備日】　※走行なし
1 月 17 日(月)～20 日(木)	－	日中：事前走行（10～16 時）
1 月 21 日(金)	午前：公道審査 （自動での走行審査）	－

f）実証拠点

拠点施設として、以下の 4 箇所を設定した。

①越谷レイクタウン駅：自動運転車両の発着・待機場所
②イオンレイクタウン関係者駐車場：自動運転車両の充電・夜間格納場所
③越谷市観光協会会議室：監督員詰所として使用
④東埼玉道路　中央分離帯：5G 基地局の設置場所

図 2.1-18　実証拠点

g）実証拠点の利用方法

【自動運転車両の発着・待機場所の概要】

越谷レイクタウン駅駅前広場内の北側車路を自動運転車両の停車場所とした。また、他の車両の追い越しを考慮し、停車時の車両先頭が前方より 4 本目のポールを超えない位置で、自動運転車両を停車し乗降処理を行った。

図 2.1-19　越谷レイクタウン駅 駅前広場の利用イメージ

【充電・夜間格納場所の概要】

自動運転車両は電動であることから、定期的な充電が必要となる。また、夜間時はいたずら等を防止するため、適切に保管することが必要である。

このことから、充電・夜間格納として、イオンレイクタウン mori の南側に位置する関係者用駐車場を使用した。

背景地図の出典：Google Maps

図 2.1-20　充電・夜間格納場所の入出庫場所（空中写真）

図 2.1-21　充電・夜間格納場所イメージ　図 2.1-22　充電・夜間時の保管カバーイメージ

【運行開始前・運行終了後の動線】

運行開始前・運行終了後は、手動にてレイクタウン kaze 北側の市道を通行し、充電・夜間格納場所へのアクセス・イグレスを行う。

図 2.1-23　運行開始前・運行終了後の動線

h）注意看板の設置

自動運転バスの走行ルートの安全を確保するため、実験前から実験中にかけて注意喚起看板を走行ルート上に設置（平均約 200m 間隔）した。

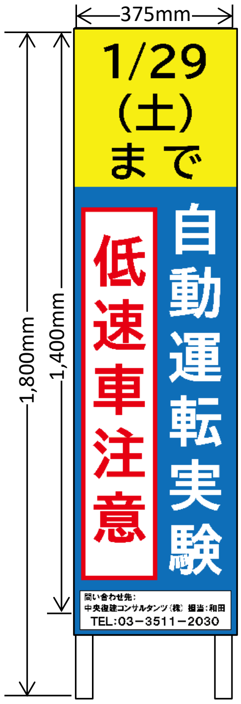


図 2.1-24　注意看板デザイン

詳細の設置箇所は下図のとおりである。

図 2.1-25　注意看板設置箇所

i）後続車両の追従走行

自動運転車両の走行時は、後続に手動運転の追従車両を配置し、実験実施中の掲出を行うことで、実験周知による注意喚起や追突防止を図った。

表 2.1-6　後続車両の移動パターン

期間	移動パターン
1 月 7 日(金) ～21 日(金)	・走行時間が不定期であることから、自動運転車オペレータと連絡を取り合い、走行前に合流し隊列走行
1 月 24 日(月) ～29 日(土)	・運行開始前は、夜間充電・格納場所で合流し、越谷レイクタウン駅 駅前広場まで隊列走行。 ・運行時は、隊列走行。 ・運行終了後は、夜間充電・格納場所まで隊列走行後、周辺駐車場に車を停車。

j）車両における注意喚起

自動運転車両の前方・後方部および側面部に注意喚起用ステッカーを設置し、自動運転車両が走行中であることを周知した。

図 2.1-26　掲出内容

図 2.1-27　自動運転車両の注意喚起イメージ（前方・後方部）

図 2.1-28 自動運転車両の注意喚起イメージ（側面部）

後続車両の後方部および側面部に実験周知と注意喚起を目的としたステッカーを掲出した。また側面部は、1 月 21 日（金）までと 1 月 24 日（月）以降とで記載内容を変更した。

図 2.1-29　自動運転車両の注意喚起イメージ（側面部）後続車両の注意喚起イメージ
（左：後方部、右：側面部）

≪参考≫新型コロナウイルス感染拡大に伴う当初計画からの変更点

新型コロナウイルス感染拡大に伴うまん延防止等重点措置の発令に伴い、一部内容について、当初計画からの変更が生じた。

変更内容は下表のとおりである。

表 2.1-7　当初計画からの変更点

<table>
<tr><th>項目</th><th>当初計画</th><th>実際の実施にあたっての変更点</th></tr>
<tr><td>実証期間</td><td>令和 4 年 1 月 22 日(土)、24 日(月)、
27 日(木)～29 日(土)の計 5 日間</td><td>令和 4 年 1 月 22 日(土)を除いた
計 4 日間で実施</td></tr>
<tr><td>試乗の有無</td><td>1 月 22 日(土)、24 日(月)：
周辺市町等を含めた関係者の試乗
1 月 27 日(木)～29 日(土)：
一般の方を対象とした体験試乗</td><td rowspan="2">試乗を中止し
ドライバーのみで運行</td></tr>
<tr><td>乗車人数</td><td>新型コロナウイルス感染拡大を踏まえ、乗車人数は 1 便あたり 5 人まで</td></tr>
<tr><td>一般の方の
試乗の募集
方法</td><td>Web での募集</td><td rowspan="3">試乗を中止したため
未実施</td></tr>
<tr><td>現地での
受付対応</td><td>越谷レイクタウン駅 駅前広場の
北側に位置する見田方遺跡公園に
テントを設置し受付対応</td></tr>
<tr><td>利用料金</td><td>料金は徴収せず、無料で乗車可能</td></tr>
<tr><td>認知向上・
意識醸成を
目的とした
車両展示</td><td>見田方遺跡公園にて
12 時～13 時の間は車両展示を実施
（下記に詳述）</td><td>車両展示を中止</td></tr>
</table>

自動運転車両に係る認知向上と意識醸成を目的として、運行期間中には、越谷レイクタウン駅 駅前広場の北側に位置する見田方遺跡公園の園路を利用した車両展示を企画した。

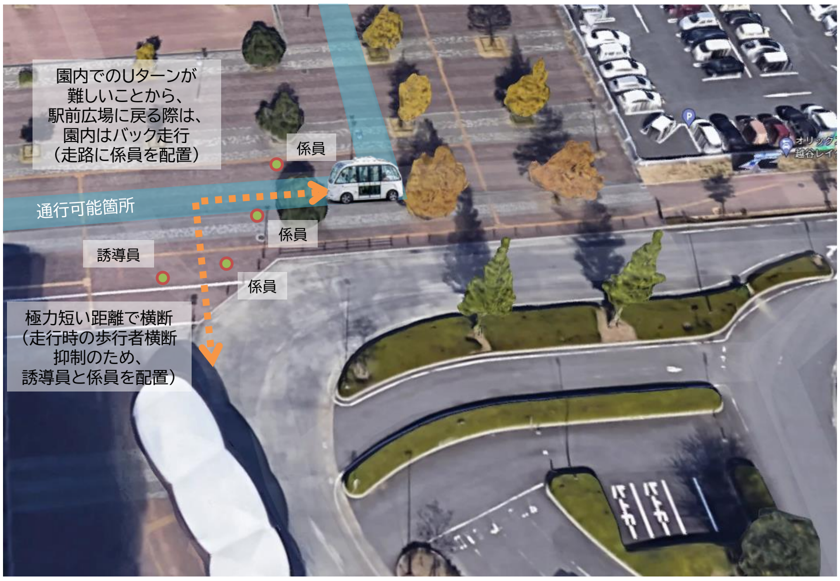
駅前広場から見田方遺跡公園を走行する際は、走行時の安全確保のため、走路の横に誘導員及び係員を配置することとした。

また、待機時は車両の周りに誘導員・係員を配置することと併せて、車両を囲む形でカラーコーンとコーンバーを設置することにより、自動運転車両へのいたずら防止を図ることとした。

ただし、これらの計画は、試乗の中止と併せて実施を見合わせている。

図 2.1-30　園内での車両待機イメージ

背景地図の出典：Google Maps
図 2.1-31　車両進入箇所



背景地図の出典：Google Maps
図 2.1-32　園内の動線イメージ

背景地図の出典：Google Maps
図 2.1-33　園内での車両展示イメージ

2.1.1.3 災害時システムに関する実証実施場所

（1）実証場所の概要

災害時システムについては、異なるフィールドにおいて様々なセンシング手法により災害状況を取得するため、ローカル 5G 基地局を設置する越谷レイクタウンの周辺地域において 5 つの実証フィールドを設定し、それぞれ災害を模擬した環境を作成する計画とした。各実証フィールドの位置を下図に示す。

1）増林公園(越谷市)

【法面崩壊、電柱の倒壊・倒木、橋脚変位・ひび割れ、路面の陥没・変歪、盛土の崩壊・土砂の流出・がれきの発生】

※安全に配慮した場所で複数の測定方法での実証実験を実施

背景地図の出典：地理院地図

図 2.1-34　災害時の実証フィールド(1)

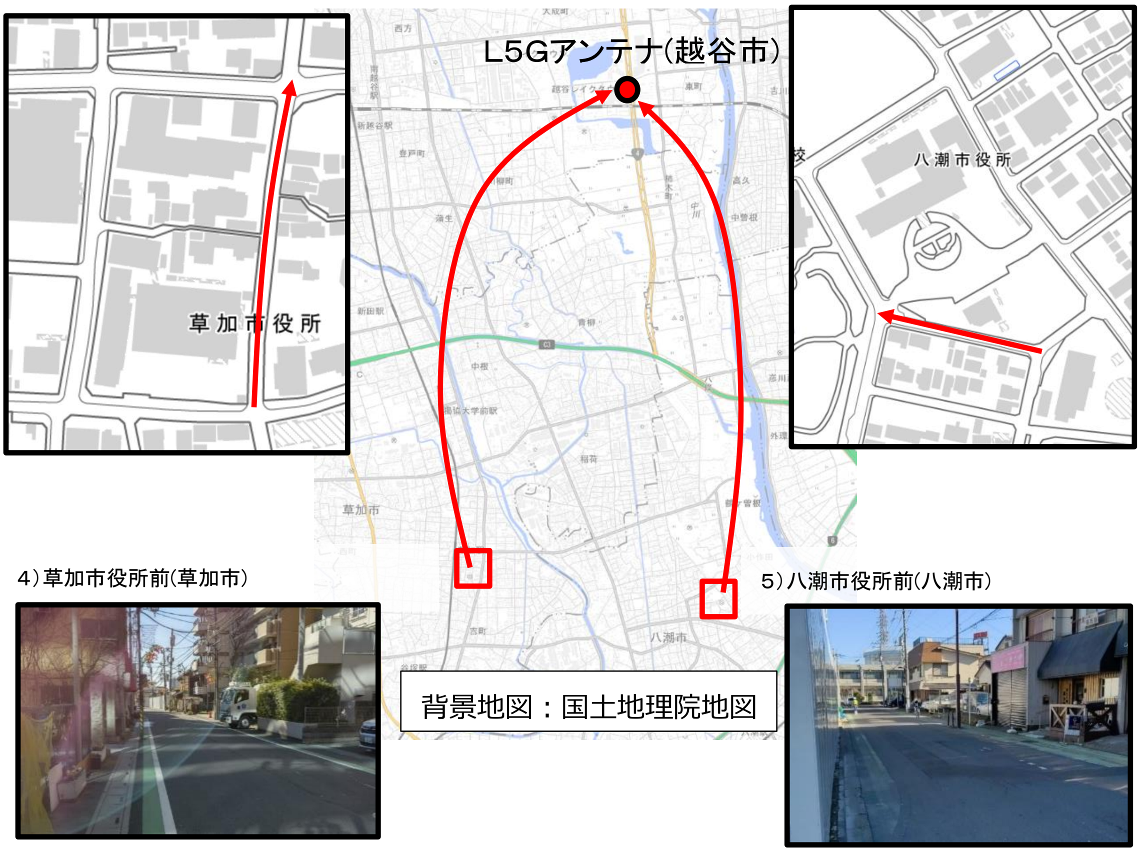


図 2.1-35　災害時の実証フィールド(2)

（2）各場所の実証環境構築の概要

実際の実施では、新型コロナウイルス感染拡大の影響にともない、橋梁工事現場（松伏町）を除いた 4 箇所で実施した。

表 2.1-8　各実証フィールドにおける災害前後の点群データの取得実績

	想定する被災状況				
	法面 崩壊	電柱の 倒壊・倒木	橋脚変位 ・ひび割れ	路面の 陥没・変歪	盛土の崩壊・ 土砂の流出・ がれきの発生
増林公園（越谷市）	○	○	○	○	○
橋梁工事現場（松伏町）	中止				
国道用地（吉川市）	○	―	―	―	―
草加市役所（草加市）	平常時の市道の計測				
八潮市役所（八潮市）	平常時の市道の計測				

1）増林公園(越谷市)

増林公園では、公園内のグラウンドに、被災前と被災後の状況を模擬した災害模擬模型を設置した。災害模擬は、「法面崩壊」、「電柱の倒壊・倒木」、「橋脚変位・ひび割れ」、「路面の陥没・変歪」、「盛土の崩壊・土砂の流出・がれきの発生」の 5 つの災害を対象とした。

以降に、5 つの災害の各種模擬を示す。

a）法面崩壊

法面崩壊の模擬方法として、下に示すように脚立に 91cm×182cm のベニヤ板を取り付けて、災害発生前の状況を再現した。災害発生後の状況としては、下図に示すように発泡スチロールを加工し、はらみ出しを模擬した。また、ベニヤ板の取り付け角度を災害発生前と変えることで、法面の崩壊を模擬した。

【災害発生前】

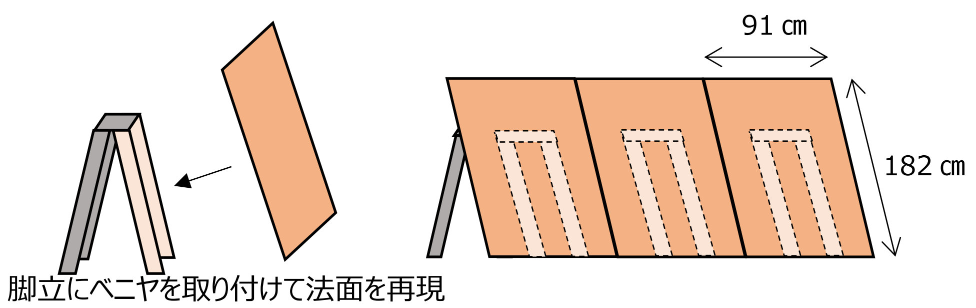


図 2.1-36　法面崩壊の模擬方法（災害発生前）

【災害発生後】

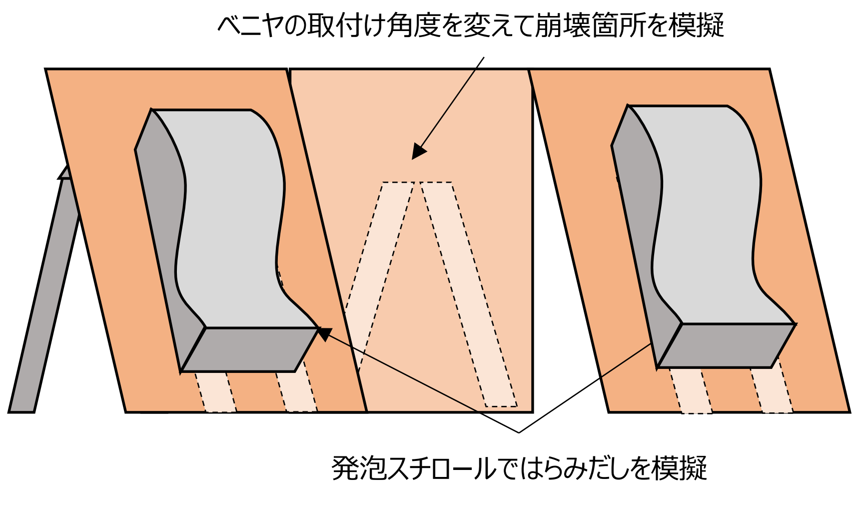


図 2.1-37　法面崩壊の模擬方法（災害発生後）

b）電柱の倒壊・倒木

電柱倒壊の模擬方法として、下図に示すように角度変更が可能なフレームに電柱を模擬した紙管を取り付け、災害発生前の状況を再現した。災害発生後の状況としては、フレームの角度を 5 度と 25 度に変更することで、電柱の倒壊を模擬した。

【災害発生前】

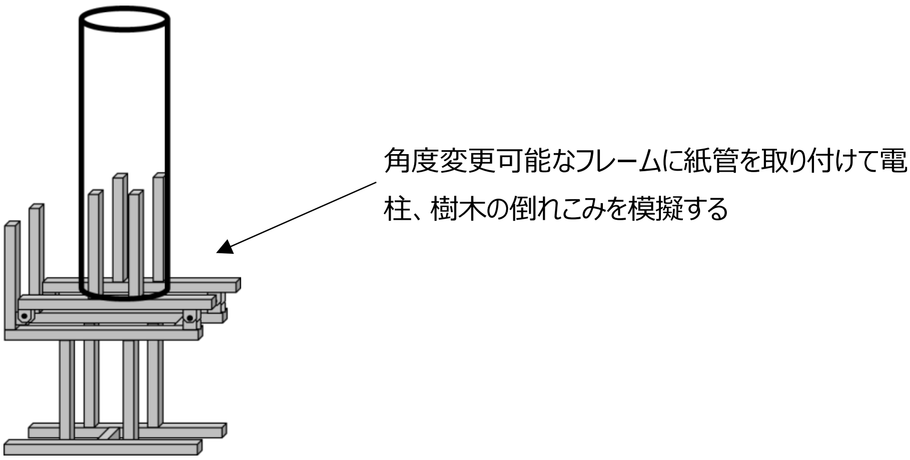


図 2.1-38　電柱倒壊の模擬方法（災害発生前）

【災害発生後】

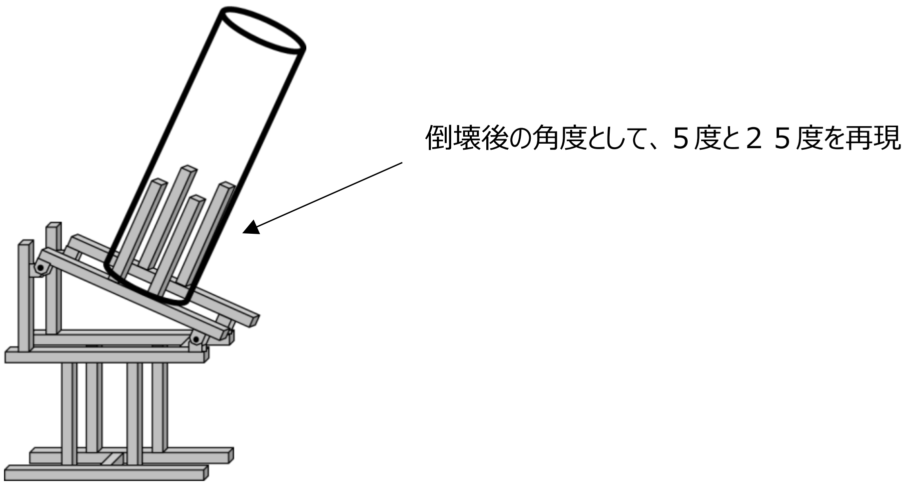


図 2.1-39　電柱倒壊の模擬方法（災害発生後）

c）橋脚変位・ひび割れ

ひび割れの模擬方法として、下図に示すように脚立の側面にベニヤ板を取り付けて地面に対して垂直な橋脚を再現した。災害発生後の状況としては、ベニヤ板に対し、ひび割れを模擬したテストチャートを貼り付けた。ひび割れのサイズとしては、1mm、2mm、3mm、4mm、5mm、1cm、2cm、3cm、4cm、5cm の 10 パターンを用意した。

【災害発生前】

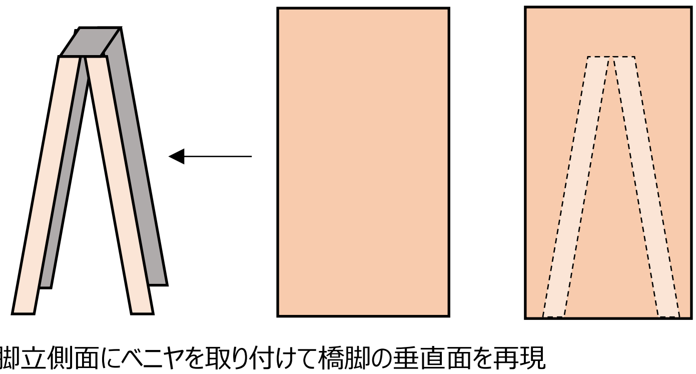


図 2.1-40　ひび割れの模擬方法（災害発生前）

【災害発生後】

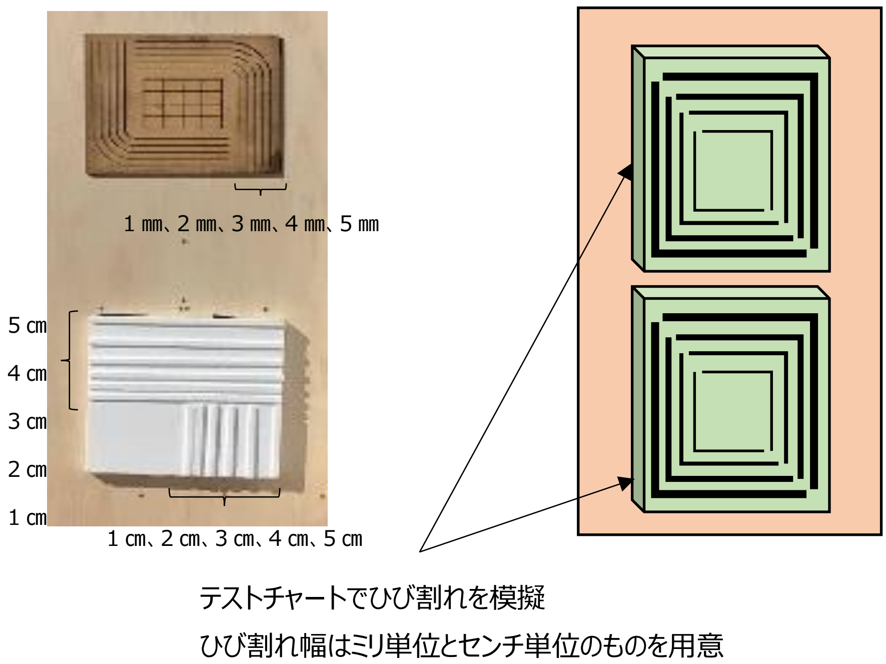


図 2.1-41　ひび割れの模擬方法（災害発生後）

d）路面の陥没・変歪

路面に生じる陥没の模擬としては､下図に示すように 2 種類の深さ（板厚 4cm､8cm）の発泡スチロールを用意し、それぞれに直径 5cm、15cm、30cm の穴をあけた（災害前は穴をふさいだ状態の模型を用意）。

変歪としては、災害前の状況として、厚みが一定の発泡スチロールを用意し、災害後の状況として、変歪形状を再現した発泡スチロールを用意した。隆起としては、発泡スチロールに厚さが異なる板を設置し、サイズの異なる隆起形状を再現した。隆起形状は、1 ㎝、3 ㎝、5 ㎝、8 ㎝の 4 パターンを用意した。

【災害発生前】

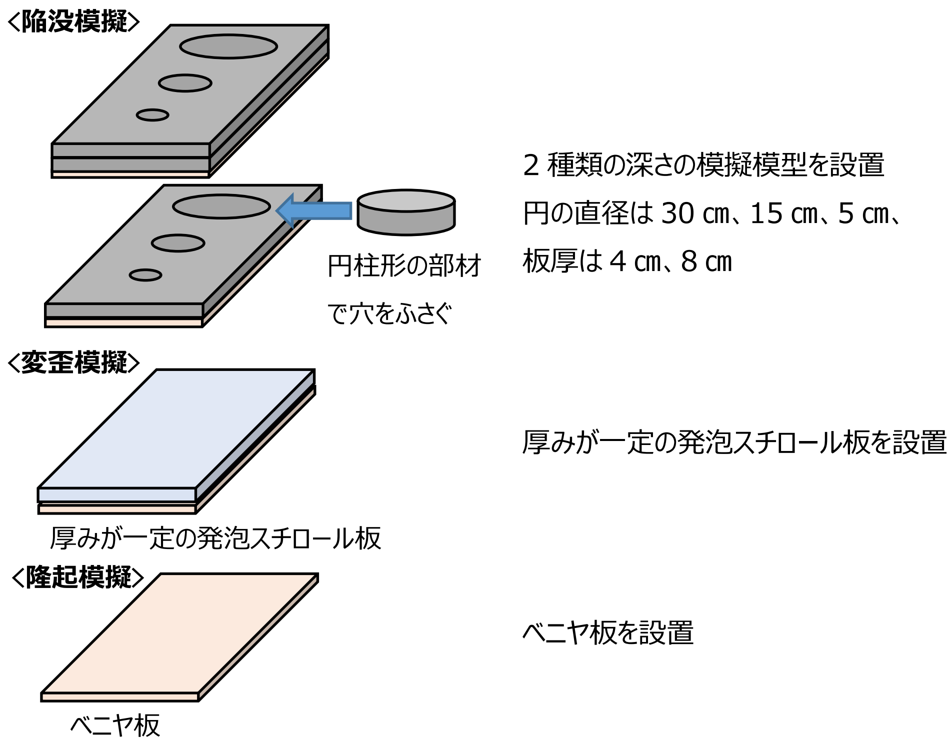
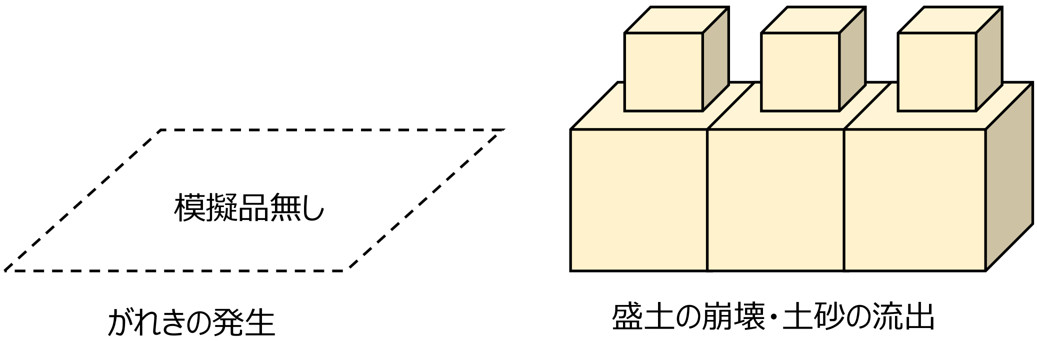


図 2.1-42　路面の陥没、変歪の模擬方法（災害前）

e）盛土の崩壊・土砂の流出・がれきの発生

盛り土崩壊、土砂の流出、がれきの模擬としては、下図に示すように定性的なサイズが判明している大きさの異なる段ボールと半球を三種類用意した。何も模造品を設置していない箇所に段ボールを設置することで、がれきの発生を再現した。また、あらかじめ設定していた段ボールの配置を変えることで盛土の崩壊を再現した。

【災害発生前】



大きさが異なる段ボールと半球の発泡スチロールで模擬

種類	寸法（cm）	体積（m³）	個数
段ボール　大	50.6×37.7×38.6	0.074	5
段ボール　中	23.5×35×16	0.013	5
段ボール　小	24×17×12.4	0.005	5
半球　大	直径30cm	0.007	1
半球　中	直径20cm	0.002	1
半球　小	直径15cm	0.001	2

図 2.1-43　盛土崩壊、土砂の流出、がれき発生の模擬方法（災害前）

【災害発生後】

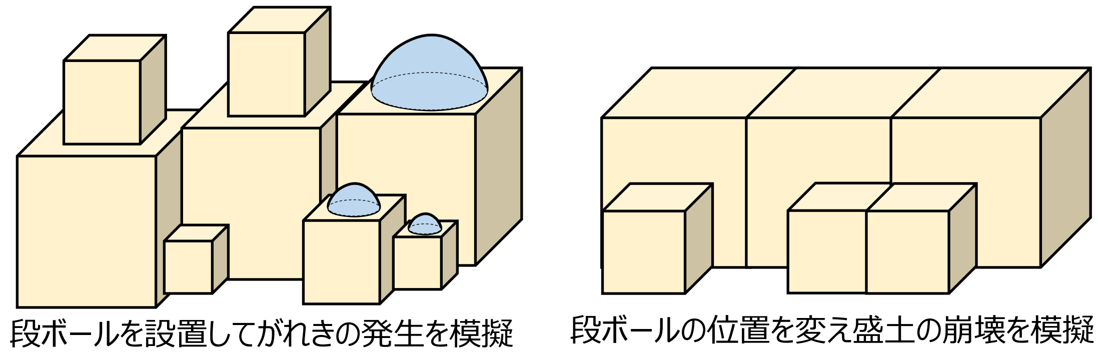


図 2.1-44　盛土崩壊、土砂の流出、がれき発生の模擬方法（災害後）

それぞれの災害模擬模型について、2022 年 1 月 13 日に増林公園へ設置を実施した。設置を実施した際の現場の状況を下図に示す。

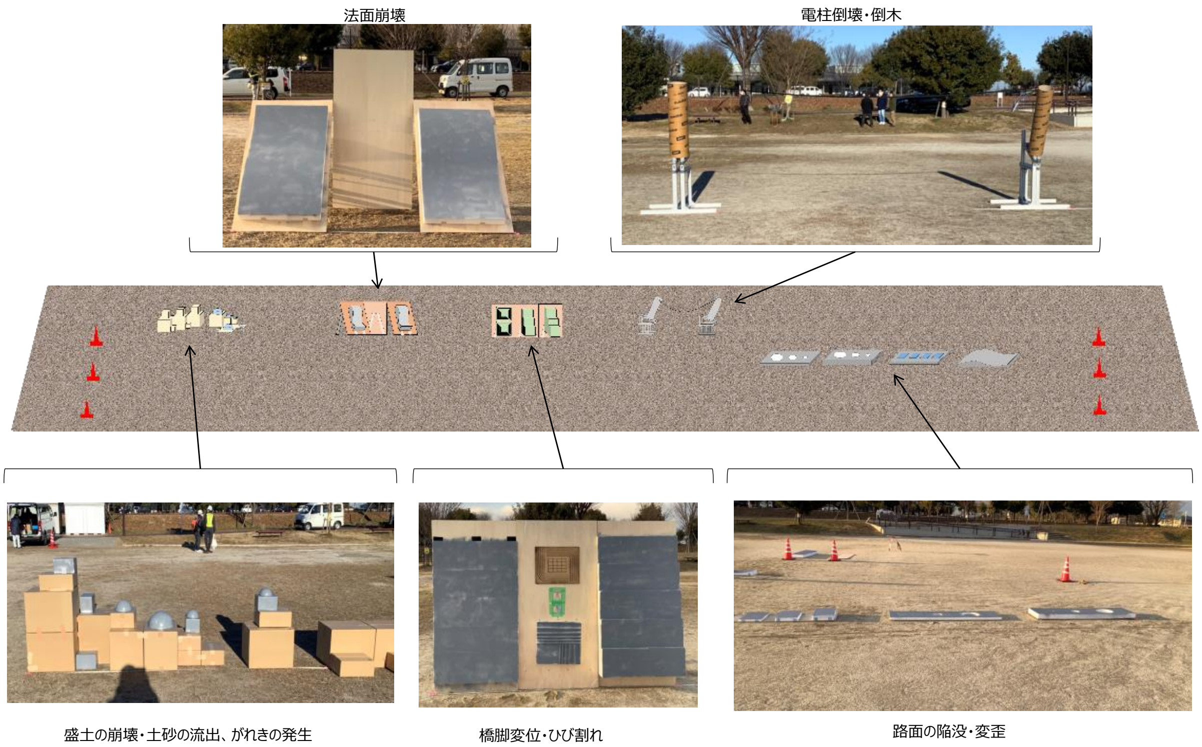


図 2.1-45　検証フィールドへの災害模擬模型の設置（被災後の状況を模擬）

2）国道用地(吉川市)

吉川市の国道用地では、「法面崩壊」を対象とした。現場では、工事中の国道用地の法面の一部を工事用の機材で掘削し、法面崩壊の被災状況を模擬した。災害模擬の作成風景を図 2.1-46、作成した災害模擬の状態を図 2.1-47、図 2.1-48 に示す。

図 2.1-46　工事用機材による法面の掘削作業風景

図 2.1-47　掘削作業前の法面の状態（被災前の模擬）

図 2.1-48　掘削作業後の法面の状態（被災後の模擬）

3）草加市役所前（草加市）

実際のフィールドでも実証を行うことを目的として、草加市においても実証フィールドを設定した。草加市では、一般道を対象としたため、災害模擬は実施せず、平常時における状況取得を行うことを計画した。計測路線は草加市役所前の市道である下図に示す路線を選定した。

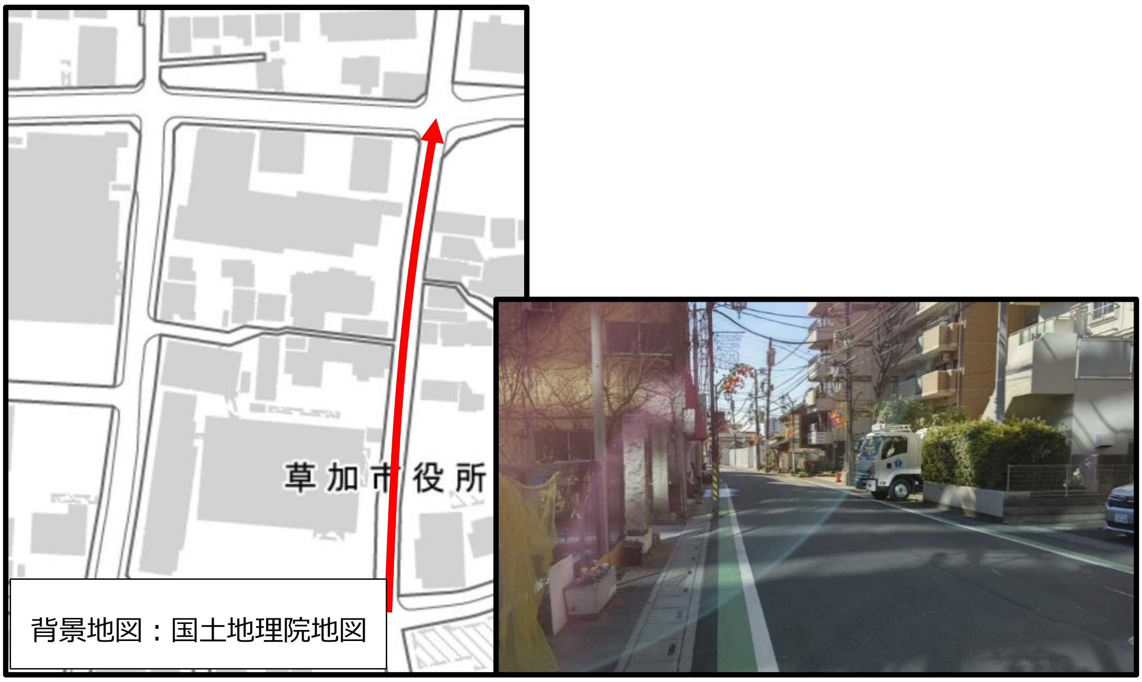


図 2.1-49　データ取得予定経路と現況写真（草加市）

4）八潮市役所前（八潮市）

八潮市も同様に、実際のフィールドでも実証を行うことを目的として、実証フィールドを設定した。八潮市でも一般道を対象としたため、災害模擬は実施せず、平常時における状況取得を行うことを計画した。計測路線は八潮市役所前の市道である下図に示す路線を選定した。

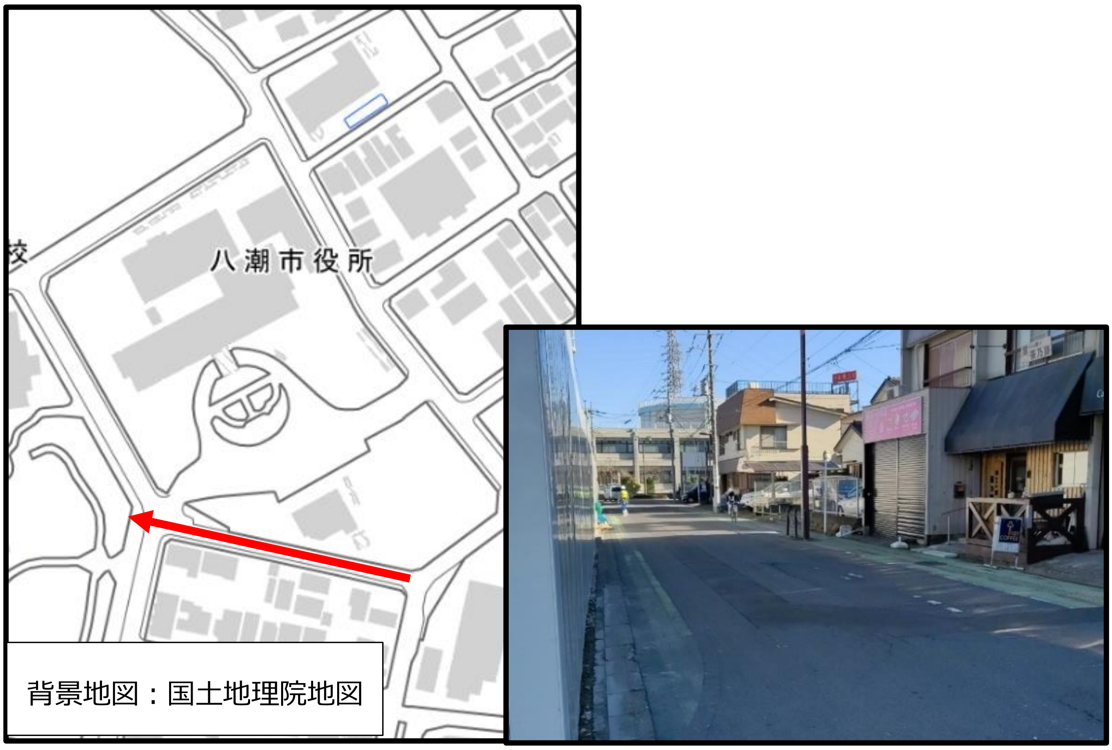


図 2.1-50　データ取得予定経路と現況写真（八潮市）

2.2 ネットワーク・システム構成

上記実証実施場所にローカル 5G 基地局を設置し、下図のようにローカル 5G 端末から接続するローカル 5G ネットワークを構築し、広域イーサ網でクラウド基盤および管理事務所を接続した。

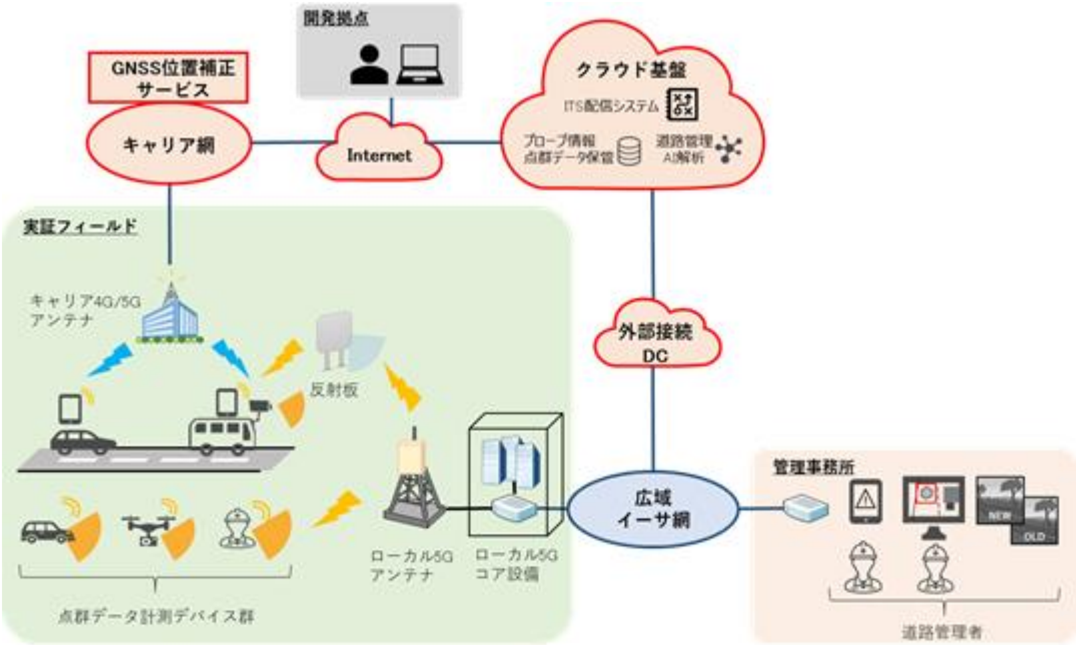


図 2.2-1　ネットワーク・システム構成図

2.2.1 ローカル 5G ネットワーク構成

2.2.1.1 ローカル 5G 基地局設置場所

本実証における基地局装置は、道路横の中央分離帯の中に仮設のプレハブ小屋を設置し、その中にローカル 5G のコア装置を設置した。ローカル 5G 基地局設置場所を下図に示す。

図 2.2-2　ローカル 5G 基地局設置場所

2.2.1.2 ローカル 5G エリアイメージ

本実証におけるローカル 5G 基地局位置を起点としたエリアを下図に示す。

背景地図の出典：Google Maps

図 2.2-3　ローカル 5G 基地局のエリア

2.2.1.3 ローカル 5G ネットワーク機器構成

上記の本実証の実施場所にローカル 5G 基地局を設置し、ローカル 5G 端末から接続するローカル 5G ネットワークを構築した。なお、本実証では株式会社ミライトが同社のミライト新木場ビル内で構築しているローカル 5G 装置を活用した。

活用にあたっては、実施場所においてエリア設計等を再検討したうえで実証期間に限り移設し埼玉県越谷市にローカル 5G エリアを構築した。今回構築したローカル 5G ネットワーク機器構成を下図に示す。

図 2.2-4　ローカル 5G ネットワーク機器構成

（1）ローカル 5G 基地局装置の性能

本実証におけるローカル 5G 基地局装置の性能は以下のとおりである。

・無線局数：1 局
・運用方法：オンプレミス
・周波数帯：28GHz 帯 1 局
・帯 域 幅：100MHz(28GHz)
・通信方式：ローカル 5G
・地域 BWA の 2,575MHz – 2,595MHz（20MHz）をアンカーバンドとしたノンスタンドアロン(NSA)方式

（2）ローカル 5G 基地局装置および構成機器

本実証において用いたローカル 5G 基地局装置の外観およびラック収容図を以降に示す。また、ローカル 5G 基地局装置の各コンポーネントの諸元を 1）から 7）に示す。

図 2.2-5　ローカル 5G 基地局コア装置ラック

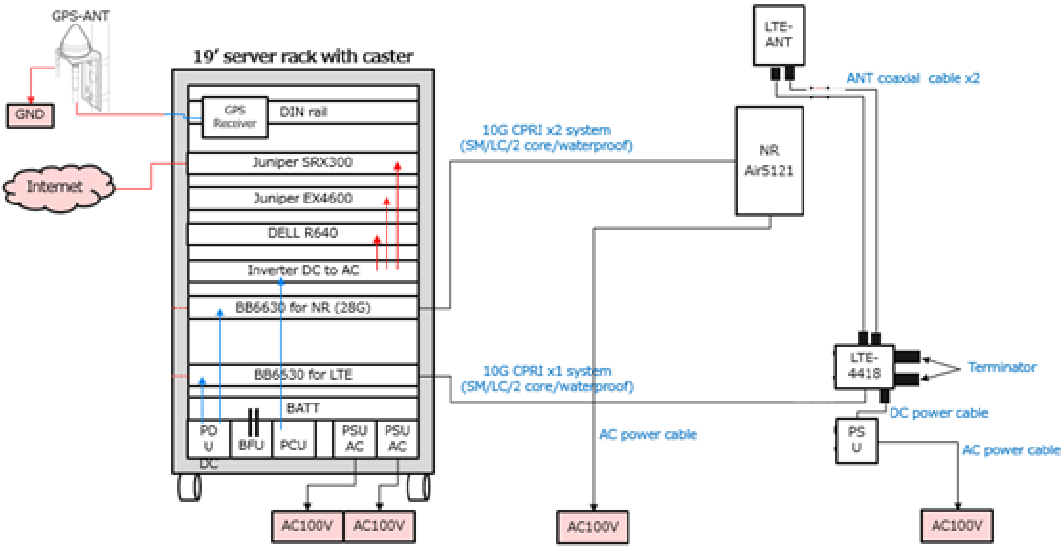


図 2.2-6　ラック収容図

1）ファイアーウォール（Juniper Networks 社製）

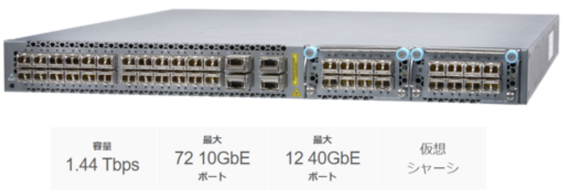
- **Juniper SRX300**
- セキュリティ、ルーティング、スイッチング、WAN 接続を 1 台のコンパクトなファンなしデスクトップ デバイスに集約、ユーザー数が 50 人以下の環境に最適
- GUI で、自動プロビジョニング、ファイアウォール ポリシー管理、NAT、IPsec VPN 配備の中央管理が可能

- 機能：最大1 Gbps のファイアウォールと 300 Mbps の IPsec VPN
- 搭載ポート総数：1GbE x 8 (RJ-45 x 6, SFP x 2)

- 外形寸法（幅 x 高さ x 奥行き）：32.08 x 3.47 x 19.10 cm
- 気流/冷却：ファンレス
- 電源：AC（外部）
- 消費電力：24.9 W

2）L3 スイッチ（Juniper Networks 社製）

- **Juniper EX4600**
- 最大 40 個の 1GbE ポート、72 個の 10GbE ポート、または 12 個の 40GbE ポートをサポートし、1RU で 1.44 Tbps のレイヤー 2/レイヤー 3 接続を実現します。



- レイヤー 2 /レイヤー 3機能： STP/VLAN, MC-LAG, IPv4/v6ルーティング, etc.
- スイッチング性能：1.44 Tbps/1.08 Bpps

- 外形寸法（高さ x 幅 x 奥行き）：4.37 x 44.09 x 52.02 cm
- 重量：9.84 kg
- 19 インチのサーバー ラックに搭載可能
- 気流/冷却：フロントツーバックの冷却
- 電源：冗長構成（1+1）およびホットプラグ対応デュアル電源、110～240 V AC 電源（単相）

3）パケットコア用ハードウェア（Dell 社製）

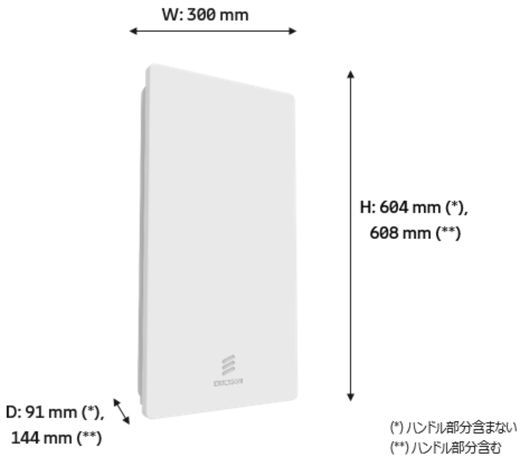
PowerEdge R640	詳細スペック
物理諸元	1RU (434 mm x 42.8 mm x 772.7 mm), 21.9 kg
CPU	2x Intel Xeon Gold 6138 (20C/40HT, 2.0 GHz)
DRAM	384 GB (12x 32 GB RDIMM, 2666MT/s, Dual Rank)
ストレージ・ディスク	2x 2.4 TB 10K RPM SAS 12 Gb/s *RAID-1構成
ストレージ・ディスク（冗長用）	2x 2.4 TB 10K RPM SAS 12 Gb/s *RAID-1構成
ネットワークカード	Intel X710 Dual Port 10GbE SFP+ & i350 Dual Port 1GbE, rNDC
トランシーバ	10GBASE-SR SFP+
RAIDコントローラ	1x PERC H730P RAID Controller, 2GB NV Cache, Minicard
電源ユニット	Dual, Hot-plug, Redundant Power Supply (1+1), 750W AC

4）ベースバンドユニット（エリクソン社製）

5）ミリ波無線機一体型アンテナ（エリクソン社製）

AIR 5121

– Total EIRP:	Max.	55 dBm / 400MHz
–		49 dBm / 100MHz
–	Min.	43 dBm / 100MHz
– OBW:	400 MHz	
– Fronthaul IF:	2x CPRI (10.1 Gbps)	
– Installation type: Pole/wall mounted		
– Volume:	16.5 liters (*)	
– Weight:	14 kg	
– Cooling:	Passive	
– IP Class:	IP65	



6）LTE 無線機（エリクソン社製）

Radio 4418

- 4TX/4RX (4 ports)
- Support split mode (2 x 2T2R as multi-sector solution)
- Tx Power Max. 40W/port
  Min. 5W/port
- Up to 100MHz IBW TDD
- Up to 6 LTE carriers
- 2x 2.5/5/9.8/10.1Gbps CPRI
- 15 liter (*), 16kg
- -48 VDC 2-wire
  - AC support with PSU AC 02
- AISG RET support via RS-485
- 2 external alarm
- Convectional cooling
- IP 65, -40 to +55°C

7）LTE アンテナ（KATHREIN 社製）

2-Port Omni Slimpole 1710–2690 360° 5dBi

Type No.		80020126			
		1710–2690			
Frequency range	MHz	1710 – 1990	1920 – 2170	2170 – 2490	2490 – 2690
Polarization	°	+45, –45	+45, –45	+45, –45	+45, –45
Gain	dBi	2 x 5	2 x 5	2 x 5	2 x 5
Horizontal Pattern:					
Half-power beam width		Omni	Omni	Omni	Omni
Deviation from circularity	dB	±1	±1	±1.5	±1.5
Vertical Pattern:					
Half-power beam width	°	42	40	36	33
Electrical tilt	°	0, fixed			
Impedance	Ω	50			
VSWR		< 1.5			
Isolation, between ports	dB	> 30			
Intermodulation IM3	dBc	< –153 (2 x 43 dBm carrier)			
Max. power per input	W	100 (at 50 °C ambient temperature)			

（3）ローカル 5G 端末

本実証では、点群取得デバイス、災害時パトロール、自動運転バスの 3 つの用途の検証に対し、それぞれ 1 対 1 の構成で計 3 台のローカル 5G 端末を用いた。

なお、本実証ではローカル 5G の実績を考慮し Compal 社製の Raku Plus を用いた。

計画段階で見込んでいた京セラ社製の 5G コネクティングデバイス(K5G-C-100A)は電界強度を容易に確認できる機能的メリットがあるため電波測定機と並行し、疎通確認や電波状況の確認等の補助機器として使用した。

Compal 社の Raku Plus の外観を図 2.2-7 に、諸元を表 2.2-1 に示す。また、京セラ社の 5G コネクティングデバイス(K5G-C-100A)の外観を図 2.2-8、諸元を表 2.2-2 に示す。

図 2.2-7　Compal RAKU Plus の外観

表 2.2-1　Compal RAKU Plus の諸元

プラットフォーム	
OS	Linux
物理要件	
サイズ	119 x 72 x 23.5 mm
重さ	235g
SIM	
SIM card type	Nano SIM
対応周波数	
5G mmWave	n257
LTE	B38,B41
モバイルネットワーク	
5G mmWave NSA(理論値)	DL:7.53Gbps, UL:1.6Gbps
LTE(理論値)	DL:2.0Gbps, UL:0.21Gbps
Connectivity	
USB	USB 3.1 Gen2,
USB data rate(理論値)	10Gbps
USB Connector Type	USB-Type C
Ethernet	RJ45
Data rate	1000BASE-T
Wi-Fi	
Wi-Fi 規格	802.11 a/b/g/n/ac/ax
周波数	2.4/5.0GHz
最大同時接続数	32
環境条件	
動作温度	-10℃ to 45℃
動作湿度	5% to 95%

図 2.2-8　京セラの 5G コネクティングデバイスの外観

表 2.2-2　京セラの 5G コネクティングデバイスの諸元

プラットフォーム	
OS	AOSP(Android 10.0 ベース)
物理要件	
サイズ	165(W)×78(H)×27(D)
重さ	348g
SIM	
SIM card type	Nano SIM x 2
対応周波数	
5G mmWave	n257
LTE	FD(B1,3,8,11,18,19,21,26,28)/TD(B41,42)
モバイルネットワーク	
5G mmWave NSA(理論値)	DL:2.4Gbps, UL:0.4Gbps
LTE(理論値)	
Connectivity	
USB	USB 3.2 Gen1,
USB data rate(理論値)	5Gbps
USB Connector Type	USB-Type C x 2
Ethernet	NS　※USB 変換で対応
Data rate	-
Wi-Fi	
Wi-Fi 規格	802.11 a/b/g/n/ac/ax
周波数	2.4/5.0GHz
最大同時接続数	20
環境条件	
動作温度	5℃ to 35℃
動作湿度	-

2.2.2　実証環境におけるローカル 5G システム構成

道路における課題解決システムのローカル 5G システム構成を下図に示す。

図 2.2-9　実証環境におけるローカル 5G システム構成（再掲）

2.3 システム機能・性能・要件

2.3.1 災害時

2.3.1.1 全体構成

災害時実証における実証環境、システム構成の全体構成図を下図に示す。実証フィールドに災害時の環境を模擬したオブジェクトを配置し、車に搭載したカメラで撮影したデータを 4G/LTE 通信でサーバにアップロードする構成とした。

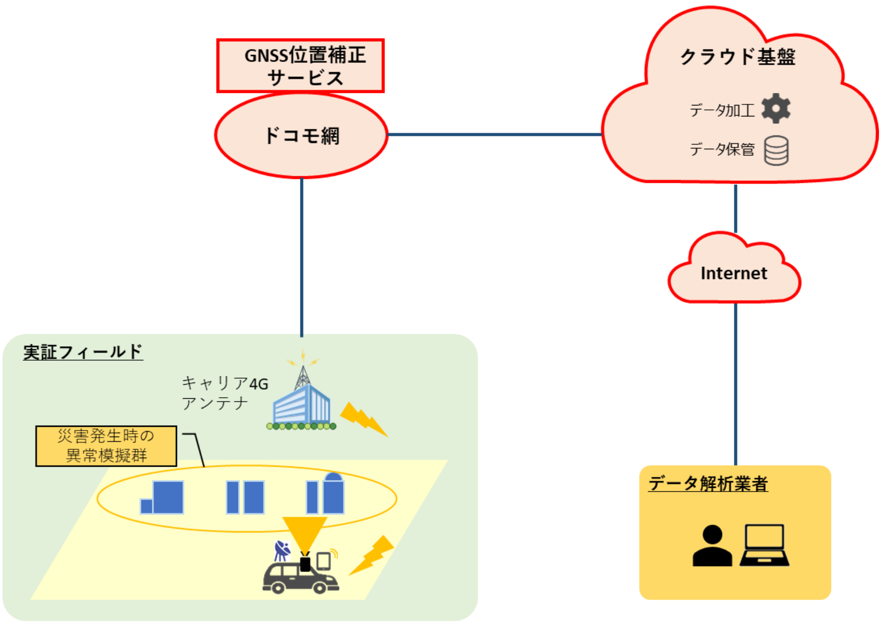


図 2.3-1　災害時実証における全体構成図

2.3.1.2 ネットワーク図

災害時実証におけるネットワーク構成図を下図に示す。

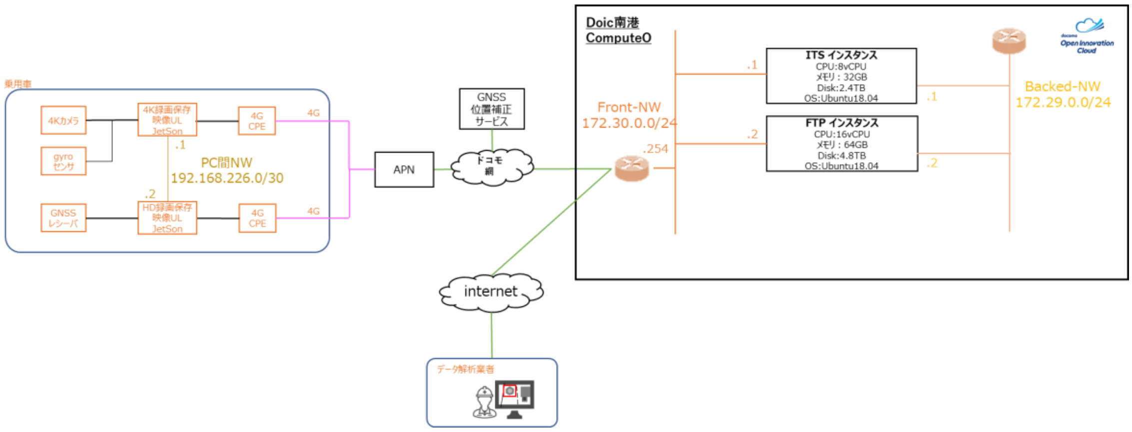


図 2.3-2　災害時実証におけるネットワーク図

2.3.1.3 ハードウェア

（1）搭載機器

システムを構成するハードウェア機器、車への設置方法、接続構成について以降に示す。

1）種別、型番、機能、用途

表 2.3-1　搭載機器の種別/メーカ/型番/機能/用途　一覧表

種別	メーカ・型番	機能・用途
機器 （カメラ）	SONY・ VLOGCAM ZV-1	4K 映像を撮影し、後述の「Jetson①」にデータを送信する。
機器 （スマートフォン）	SHARP・ AQUUS sense5G SH-53A	専用の Android アプリを搭載し、加速度・方位情報を取得して後述の「Jetson①」に送信する。
機器 （シングルボード コンピュータ）	NVIDIA・ Jetson Xavier NX① ※以降 Jetson①と記載	4K 映像、加速度・方位情報を受信し 4K 映像は画像に変換する。特定のアップロードエリア進入を契機に 4K 画像、加速度・方位情報および後述の「Jetson②」で取得する GNSS 情報を「dOIC（FTP サーバ）」へ送信する。
機器 （シングルボード コンピュータ）	NVIDIA・ Jetson Xavier NX② ※以降 Jetson②と記載	GNSS 情報（緯度、経度、高度）を受信する。また「ITS サーバ」からアップロードエリア進入検知情報受信し「Jetson①」に送信する。「Jetson①」とは時刻同期している。
機器 （モバイルルータ）	SHARP・ SH-52A①	「dOIC（FTP サーバ）」にアクセスするためのルータ。LTE 通信を用いる。 Internet 経由のアクセスとなるため、（Infosphere というサービスによって）固定 IP を設定し、dOIC へのアクセス IP を制御することでセキュリティ対策を施す。
機器 （モバイルルータ）	SHARP・ SH-52A②	後述の「IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス」および「ITS サーバ」にアクセスするためのルータ。LTE 通信を用いる。 Internet 経由のアクセスとなるため、（Infosphere というサービスによって）固定 IP を設定し、dOIC へのアクセス IP を制御することでセキュリティ対策を施す。
機器 （GNSS レシーバ）	CORE・ QZNEO	アンテナから受信した GNSS 情報を「GNSS 位置情報サービス」からの位置補正情報をもって補正し、高精度な GNSS 情報を「Jetson②」に送信する。
機器 （GNSS アンテナ）	U-Blox・ ANN-MB-00-00	GNSS 情報を受信し、「QZNEO」へ送信する。
サービス （NTT ドコモ）	dOIC（ITS サーバ）	ドコモ網内に構築されるクラウドサービス（dOIC）を利用し、クラウド内に ITS サーバを構築。 「FTP サーバ」上の各種情報（4K 画像、方位情報、GNSS 情報）を取得し、方位情報と GNSS 情報を 4K 画像に付加した後、再度 FTP サーバに送信する。 また「Jetson②」からの GNSS 情報をもって特定アップロードエリアに進入したかの検知情報を「Jetson②」に送信する。
サービス （NTT ドコモ）	dOIC（FTP サーバ）	ドコモ網内に構築されるクラウドサービス（dOIC）を利用し、クラウド内に FTP サーバを構築。 4K 画像、加速度・方位情報、GNSS 情報、および GNSS・方位情報付き 4K 画像を保持する。
サービス （NTT ドコモ）	IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス	より高精度な位置情報を取得するための GNSS 位置補正情報を配信する。
機器 （バッテリー）	Anker PowerHouse II 800	周辺機器に給電する。
機器 （コンバータ）	INOGENI・ 4K2USB3	HDMI 入力を USB 出力に変換する。
機器 （USB NIC）	I・O DATA・ US3-HB3ETG	LAN ケーブルと USB ケーブルを接続する。
機器 （モニター）	Panasonic・ UN-19FB10H	Jetson に接続しアップロード進捗状況確認 UI 等を表示する。
機器 （キーボード）	Logicool・ K400pBK	Jetson に接続しアプリケーション起動等に使用する。

2）設置方法

センシング機器であるカメラおよびスマートフォンは、固定治具を用いて車のサイドガラスに設置した。GNSS アンテナは車のルーフ（車外）に設置し、その他のデータ処理を行うコンピュータ機器等については車内の床に配置した。

表 2.3-2　機器設置・固定治具　一覧表

メーカ・型番	用途
JOBY・JB01329	サクションカップ（吸盤）とゴリラポッドアームを組み合わせた固定治具。先端にカメラを装着。スマートフォンについてはスマートフォン用アタッチメントにてアーム先端に装着する。

図 2.3-3　カメラ・スマートフォン・GNSS アンテナ取り付けイメージ図

3）接続構成

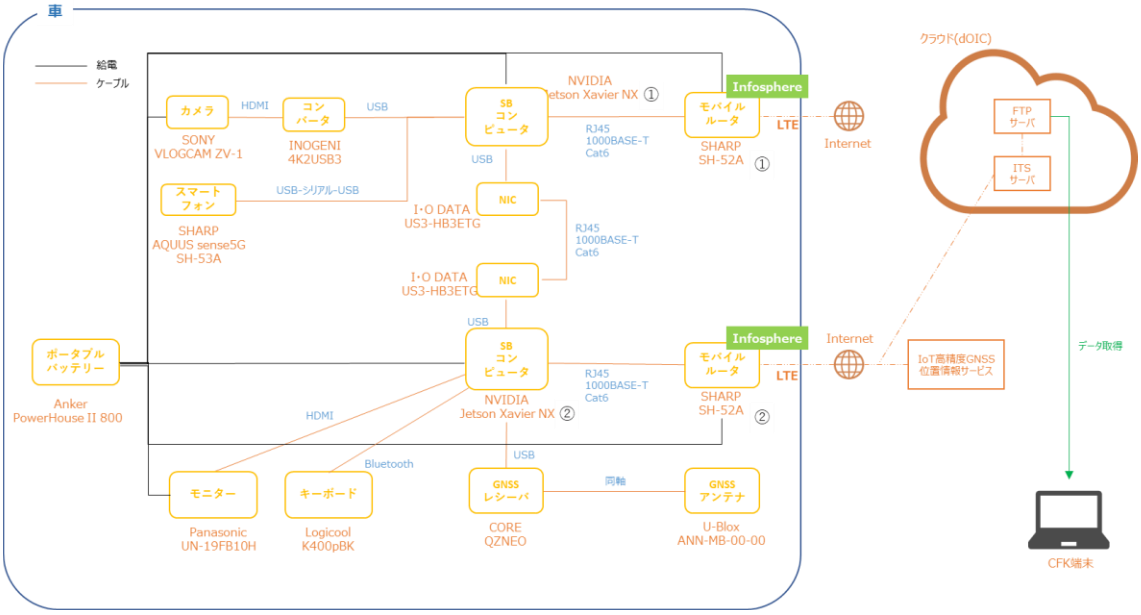


図 2.3-4　搭載機器の接続構成

4）センシングに用いたデバイス

4K 映像および被災前後の点群データ取得に関して、各フィールドにおいて様々なセンシング手法による計測を行った。点群データは、被災状況次第で複数の選択肢を設けられるよう、手持ち型、バックパック型、自転車型、車両型、ドローン型の計 5 種類のセンシングデータ取得装置で取得した。使用したセンシングデータ取得装置の技術的特徴と選定理由を次頁の表に示す。

表 2.3-3　実証実験に使用したセンシングデータ取得装置の技術的特徴と選定理由

センシングデータ取得機器	機器名称	技術的特徴	選定理由
手持ち型 360°カメラ	THETA 	・手持ち型の 360°カメラ ・4K（3840 x 1920、29.97fps）動画撮影が可能 ・画像、動画の無線転送が可能	車両での走行が困難な領域で全周囲画像のデータ取得が可能な装置として選定
手持ち型 レーザ	BLK2GO 	・手持ち型の 3 次元計測装置 ・レーザスキャナの測定範囲は 0.5~25m、スキャンスピードは毎秒 42 万点 ・バッテリー交換式で 1 つのバッテリーで 50 分程度の連続計測が可能 ・点群データは相対座標系で出力	車両での走行が困難な領域で計測が可能な装置として選定。
歩行型・ 自転車型	Pegasus:Backpack 	・背負い型の 3 次元計測装置 ・レーザスキャナの測定範囲は最大 100m、スキャンスピードは毎秒 60 万点 ・400 万画素×5 つのカメラを搭載し背面側のパノラマ画像の撮影が可能 ・バッテリー交換式で 1 セットのバッテリーで 2 時間程度の連続計測が可能 ・点群データは絶対座標系で出力	車両での走行が困難な領域で計測が可能な装置として選定。BLK2GO に比べ広範囲の領域を把握できる。また、自転車に乗ることで移動範囲を広げることも可能。
車両型	MMS G220ZL 	・レーザスキャナの測定範囲は最大 119m ・スキャンスピードは毎秒 100 万点 ・点群データは絶対座標系で出力 ・360°全周囲画像の取得が可能	車両で走行が可能な領域で広範囲の計測が可能な装置として選定。
ドローン型	TDOT GREEN 	・ドローン搭載型レーザスキャナ ・レーザ測定範囲は、158m:反射率 10%以上 300m:反射率 60%以上 ・スキャンスピードは毎秒 6 万点 ・点群データは絶対座標系で出力	空域からの計測が可能な装置として選定。

2.3.1.4 ソフトウェア

（1）現場側

1）映像を画像に変換して送信する機能

4K 映像から直接 jpeg 形式画像へ順次変換をおこなうと Jetson の処理能力を超過し、データ保存が追いつかない場合がある。このため、カメラ（ZV-1）から取得した 4K 映像を、複数枚の bmp 形式の画像に切り出して保存した。その後、圧縮効率を高めるために jpeg 形式の画像に変換した。

その後、複数枚の 4K 画像（jpeg 形式）をクラウド（dOIC）側の FTP サーバへデータ伝送した。

2）GNSS 情報を送信する機能

Jetson②に搭載したアプリケーションにより、GNSS レシーバ（QZNEO）より取得した高精細 GNSS 情報を Jetson②内にファイル出力し、あわせて GNSS 受信時刻を Jetson①に送信した（加速度・方位情報のファイル出力時に用いるため）。その後、出力ファイルを Jetson①のアプリケーションにより特定アップロードエリアへの進入を契機にクラウド（dOIC）側の FTP サーバへデータ伝送した。

GNSS 情報は、NTT ドコモが提供する「IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス」から配信される位置補正情報をもとに、GNSS レシーバ「QZNEO」内で補正した、より高精細な位置情報（誤差数センチメートル）を使用した。

3）方位情報を送る機能

Android 端末（SH-53A）に搭載した専用アプリケーションにより、SH-53A 内の各種センサから以下情報を取得した。

- 線形加速度センサ：重力影響なしの加速度情報
- 加速度センサ：重力影響ありの加速度情報
- 地磁気センサ：地磁気情報

取得範囲は、アプリケーションの UI 上の、「取得開始」ボタンで制御した。

図 2.3-5　アプリケーション UI イメージ

取得した地磁気情報を Jetson①に送信し、方位情報を求め、Jetson②より受信する GNSS 受信時刻に合わせて Jetson①内にファイル出力した。その後、出力ファイルを Jetson①のアプリケーションにより特定アップロードエリアへの進入を契機にクラウド（dOIC）側の FTP サーバへデータ伝送した。

（2）クラウド側

1）画像と GNSS 情報および方位情報を突合する機能

FTP サーバに格納された 4K 画像に、同じく FTP サーバに格納された GNSS 情報、方位情報を、各データのタイムスタンプをもとに突合・付加し、GNSS・方位情報付き 4K 画像を生成した。その後、GNSS・方位情報付き 4K 画像は、FTP サーバへ再度格納した。

2.3.2 平常時

2.3.2.1 全体構成

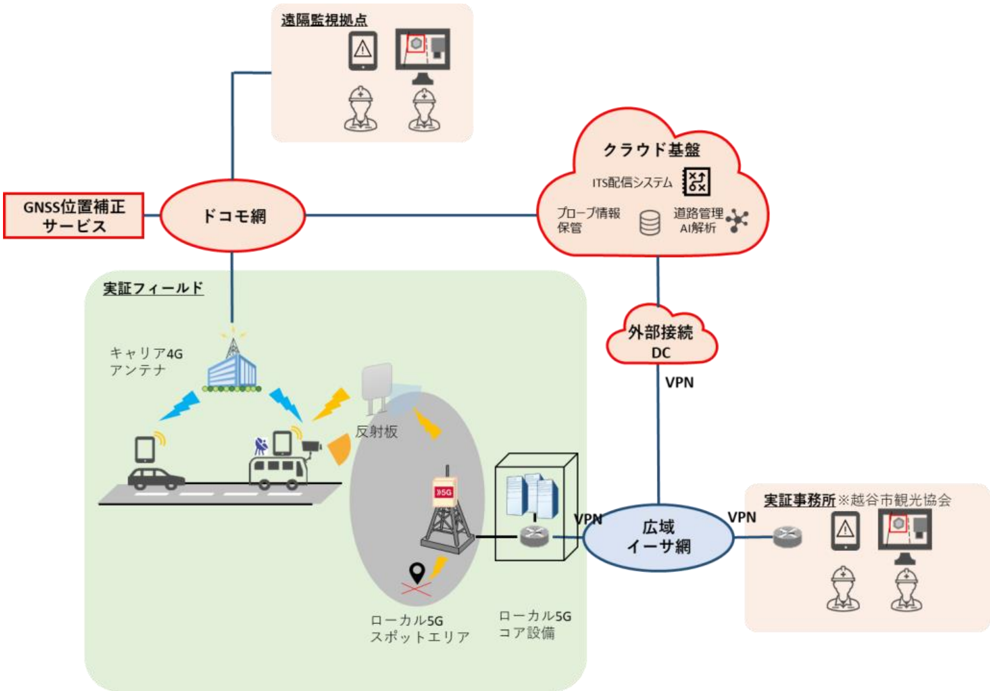


図 2.3-6　平常時実証における全体構成図

2.3.2.2 ネットワーク図

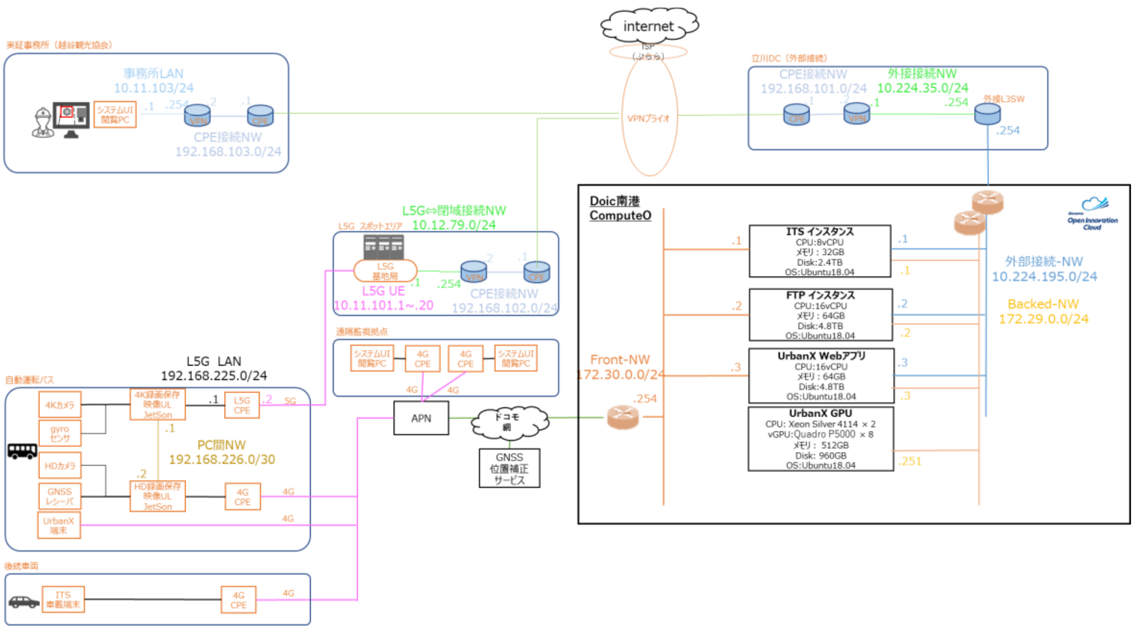


図 2.3-7　平常時実証におけるネットワーク図

2.3.2.3 ハードウェア

（1）搭載機器

1）種別、型番、機能、用途

表 2.3-4　ARMA 搭載機器の種別/メーカ/型番/機能/用途　一覧表

種別	メーカ・型番	機能・用途
機器 （カメラ）	SONY・ VLOGCAM ZV-1	4K 映像を撮影し、後述の「Jetson①」にデータを送信する。
機器 （スマートフォン）	SHARP・ AQUUS sense5G SH-53A	専用の Android アプリを搭載し、加速度・方位情報を取得して後述の「Jetson①」に送信する。
機器 （シングルボード コンピュータ）	NVIDIA・ Jetson Xavier NX① ※以降 Jetson①と記載	4K 映像、加速度・方位情報を受信し 4K 映像は画像に変換する。特定のアップロードエリア進入を契機に 4K 画像、加速度・方位情報および後述の「Jetson②」で取得する GNSS 情報を「dOIC（FTP サーバ）」へ送信する。
機器 （シングルボード コンピュータ）	NVIDIA・ Jetson Xavier NX② ※以降 Jetson②と記載	GNSS 情報（緯度、経度、高度）を受信する。また「ITS サーバ」からアップロードエリア進入検知情報受信し「Jetson①」に送信する。「Jetson①」とは時刻同期している。
機器 （モバイルルータ）	SHARP・ SH-52A①	「dOIC（FTP サーバ）」にアクセスするためのルータ。LTE 通信を用いる。 Internet 経由のアクセスとなるため、（Infosphere というサービスによって）固定 IP を設定し、dOIC へのアクセス IP を制御することでセキュリティ対策を施す。
機器 （モバイルルータ）	SHARP・ SH-52A②	後述の「IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス」および「ITS サーバ」にアクセスするためのルータ。LTE 通信を用いる。 Internet 経由のアクセスとなるため、（Infosphere というサービスによって）固定 IP を設定し、dOIC へのアクセス IP を制御することでセキュリティ対策を施す。
機器 （GNSS レシーバ）	CORE・ QZNEO	アンテナから受信した GNSS 情報を「GNSS 位置情報サービス」からの位置補正情報をもって補正し、高精度な GNSS 情報を「Jetson②」に送信する。
機器 （GNSS アンテナ）	U-Blox・ ANN-MB-00-00	GNSS 情報を受信し、「QZNEO」へ送信する。
サービス （NTT ドコモ）	dOIC（ITS サーバ）	ドコモ網内に構築されるクラウドサービス（dOIC）を利用し、クラウド内に ITS サーバを構築。 「FTP サーバ」上の各種情報（4K 画像、方位情報、GNSS 情報）を取得し、方位情報と GNSS 情報を 4K 画像に付加した後、再度 FTP サーバに送信する。 また「Jetson②」からの GNSS 情報をもって特定アップロードエリアに進入したかの検知情報を「Jetson②」に送信する。
サービス （NTT ドコモ）	dOIC（FTP サーバ）	ドコモ網内に構築されるクラウドサービス（dOIC）を利用し、クラウド内に FTP サーバを構築。 4K 画像、加速度・方位情報、GNSS 情報、および GNSS・方位情報付き 4K 画像を保持する。
サービス （NTT ドコモ）	IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス	より高精度な位置情報を取得するための GNSS 位置補正情報を配信する。
機器 （バッテリー）	Anker PowerHouse II 800	周辺機器に給電する。
機器 （コンバータ）	INOGENI・ 4K2USB3	HDMI 入力を USB 出力に変換する。
機器 （USB NIC）	I・O DATA・ US3-HB3ETG	LAN ケーブルと USB ケーブルを接続する。
機器 （モニター）	Panasonic・ UN-19FB10H	Jetson に接続しアップロード進捗状況確認 UI 等を表示する。
機器 （キーボード）	Logicool・ K400pBK	Jetson に接続しアプリケーション起動等に使用する。

表 2.3-5　後続車両搭載機器の種別/メーカ/型番/機能/用途　一覧表

種別	メーカ・型番	機能・用途
機器 （GNSS アンテナ・レシーバ）	Hemisphere A222	GNSS 情報を受信し、「Surface Pro6」へ送信する。
機器 （タブレット PC）	Microsoft Surface Pro6	ITS システムのアプリケーションを搭載し ITS サーバへ GNSS 情報を ITS サーバへ送信する。また ITS サーバからの路面異常情報を受信する。
機器 （モバイルルータ）	SHARP・ SH-52A	ITS サーバにアクセスするためのルータ。LTE 通信を用いる。 Internet 経由のアクセスとなるため、（Infosphere というサービスによって）固定 IP を設定し、dOIC へのアクセス IP を制御することでセキュリティ対策を施す。
サービス （NTT ドコモ）	dOIC（ITS サーバ）	ドコモ網内に構築されるクラウドサービス（dOIC）を利用し、クラウド内に ITS サーバを構築。 AI WEB サーバから AI 解析結果（路面異常検知）を受信し、路面異常情報として「Surface Pro6」上のアプリケーションへ配信する。また異常情報を UI 表示する。
機器 （バッテリー）	Anker PowerHouse II 800	周辺機器に給電する。
機器 （USB NIC）	I・O DATA・ US3-HB3ETG	LAN ケーブルと USB ケーブルを接続する。

2）設置方法

GNSS アンテナ以外の搭載機器は車内に設置した。

主にセンシング機器および通信機器については ARMA のフロントガラス付近に設置し、その他コンピュータ等の処理機器およびバッテリーはボックス等でまとめて床面に設置した。

センシング機器の固定治具について以下に記載する。

表 2.3-6　機器設置・固定治具　一覧表

メーカ・型番	用途
JOBY・ JB01329	サクションカップ（吸盤）とゴリラポッドアームを組み合わせた固定治具。先端にカメラを装着。スマートフォンについてはスマートフォン用アタッチメントにてアームに装着する。

その他、滑り止めマットや収納ボックス、配線をまとめる結束バンド等を用いて、コンパクトに機器を設置した。

各機器の設置イメージを以降に記載する。

図 2.3-8　車内フロント部の設置風景

図 2.3-9　車内ボディ部の設置風景

図 2.3-10　アームを用いたカメラの設置イメージ

図 2.3-11　アームを用いたスマートフォンの設置イメージ

図 2.3-12　滑り止めマットを用いたスマートフォンおよび通信機器の設置イメージ

収納ボックス内にコンピュータ機器やコンバータ等の周辺機器を収納した。

図 2.3-13　収納ボックス（茶）およびバッテリー設置イメージ

図 2.3-14 車外ルーフの GNSS アンテナ設置イメージ

3）接続構成

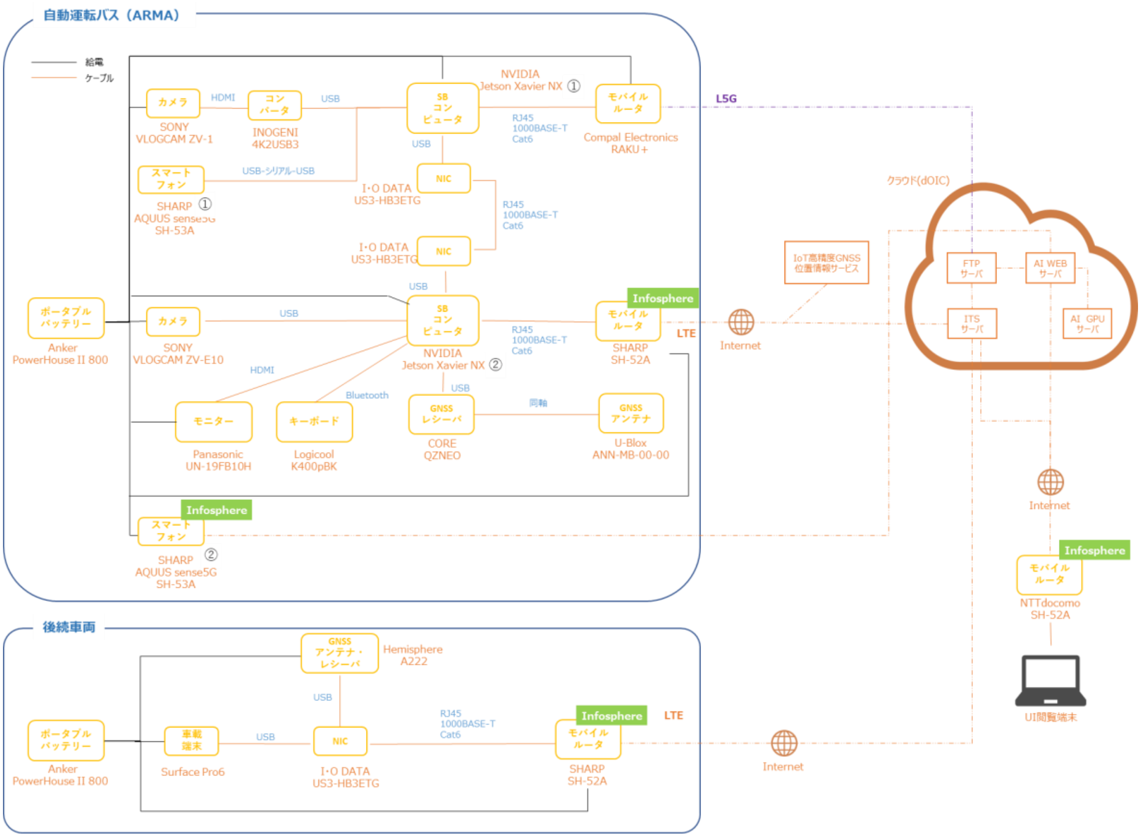


図 2.3-15 搭載機器の接続構成

2.3.2.4 ソフトウェア

（1）現場側

1）映像を画像に変換して送信する機能

4K 映像から直接 jpeg 形式画像へ順次変換をおこなうと Jetson の処理能力を超過し、データ保存が追いつかない場合がある。このため、カメラ（ZV-1）から取得した 4K 映像を、複数枚の bmp 形式の画像に切り出して保存した。その後、圧縮効率を高めるために jpeg 形式の画像に変換した。

カメラ（ZV-E10）から取得した HD 映像は、直接複数枚の jpeg 形式に順次変換・保存した。その後、複数枚の 4K/HD 画像（jpeg 形式）を、アップロードエリア（ジオフェンス：基地局から半径 200m 以内）への進入を契機にクラウド（dOIC）側の FTP サーバへデータ伝送を開始した。

FTP サーバへのデータアップロード状況は確認できるように UI 可視化し、Jetson にモニターを接続して確認した。

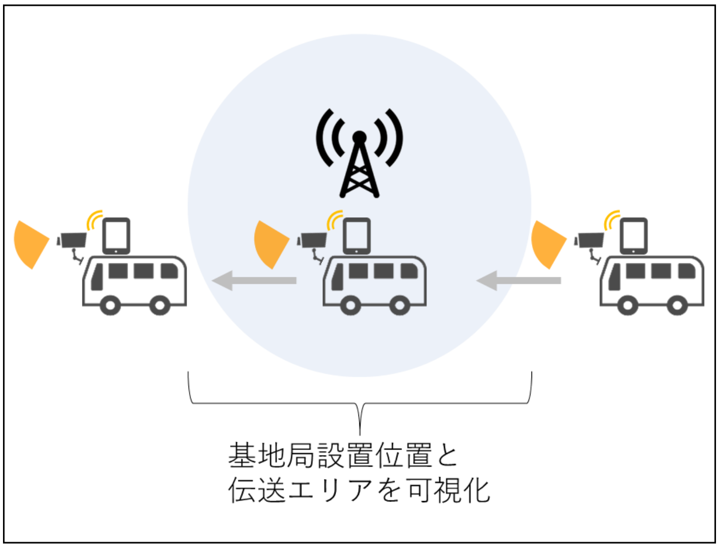


図 2.3-16　アップロード進捗状況確認画面イメージ

UI に表示する各項目について以下に示す。

＜UI 表示項目＞
○アップロード進捗状況リセットボタン
　画面左上の「アップロード進捗状況詳細」に表示されている表記を初期化する。
○アップロード速度
　｛現時点のアップロードファイルサイズ － 前回リクエスト時のアップロードサイズ）/（現時点の時刻 － 前回リクエスト時の時刻)｝を表示する。
○平均アップロード速度
　上記「アップロード速度」の平均値を表示する。
○位置情報取得機能
　Jetson②で取得する GNSS データの最新値により車の自己位置を表示する。
○アップロード進捗情報取得機能
　現在のアップロード状況をパーセンテージで表示する。
○アップロードエリア範囲取得機能
　特定アップロードエリアを表示する。

2）GNSS 情報を送信する機能

Jetson②に搭載したアプリケーションにより、GNSS レシーバ（QZNEO）より取得した高精細 GNSS 情報を Jetson②内にファイル出力し、あわせて GNSS 受信時刻を Jetson①に送信した（加速度・方位情報のファイル出力時に用いるため）。その後、出力ファイルを Jetson①のアプリケーションにより特定アップロードエリアへの進入を契機にクラウド（dOIC）側の FTP サーバへデータ伝送した。

GNSS 情報は、NTT ドコモの提供する「IoT 高精度 GNSS 位置情報サービス」から配信される位置補正情報をもとに、GNSS レシーバ「QZNEO」内で補正した、より高精細な位置情報（誤差数センチメートル）を使用した。

3）加速度情報・方位情報を送る機能

Android 端末（SH-53A）に搭載した専用アプリケーションにより、SH-53A 内の各種センサから以下情報を取得した。

- 線形加速度センサ：重力影響なしの加速度情報
- 加速度センサ：重力影響ありの加速度情報
- 地磁気センサ：地磁気情報

取得範囲は、アプリケーションの UI 上の、「取得開始」ボタンで制御した。

図 2.3-17　アプリケーション UI イメージ

取得した各情報をもとに Jetson①にて加速度・方位情報を求め、Jetson②より受信する GNSS 受信時刻に合わせて Jetson①内にファイル出力した。その後、出力ファイルを Jetson①のアプリケーションにより特定アップロードエリアへの進入を契機にクラウド（dOIC）側の FTP サーバへデータ伝送した。

（2）クラウド側

1）画像と GNSS 情報・方位情報を突合する機能

FTP サーバに格納された 4K/HD 画像に、同じく FTP サーバに格納された GNSS 情報、方位情報を、各データのタイムスタンプをもとに突合・付加し、GNSS・方位情報付き 4K/HD 画像（タグ付き 4K/HD 画像）を生成した。

生成したタグ付き 4K/HD 画像は、FTP サーバへ再度格納した。

また、4K 画像をもとに録画映像を生成し ITS サーバ内のデータベースに登録した。

4K の録画映像を閲覧するための UI を構築した。

図 2.3-18　録画映像閲覧画面イメージ

UI に表示する各項目について以下に示す。

＜UI 表示項目＞
〇録画参照
　日時を指定し「検索ボタン」を押下することで、対象の録画を検索・閲覧する。
〇録画一覧
　過去の録画ファイルを一覧で表示する。

2）加速度情報と GNSS 情報を突合する機能

FTP サーバに格納された GNSS 情報と加速度情報を、GNSS 情報のタイムスタンプを基準として突合する（この時、Jetson 側の加速度情報のファイル出力の際に GNSS 受信時刻と同期をとる形にしているため、両者のタイムスタンプは完全に一致する）。

突合したデータは ITS サーバ内のデータベースに登録した。

GNSS 情報と加速度情報より車両の急加減速を UI にて可視化した。

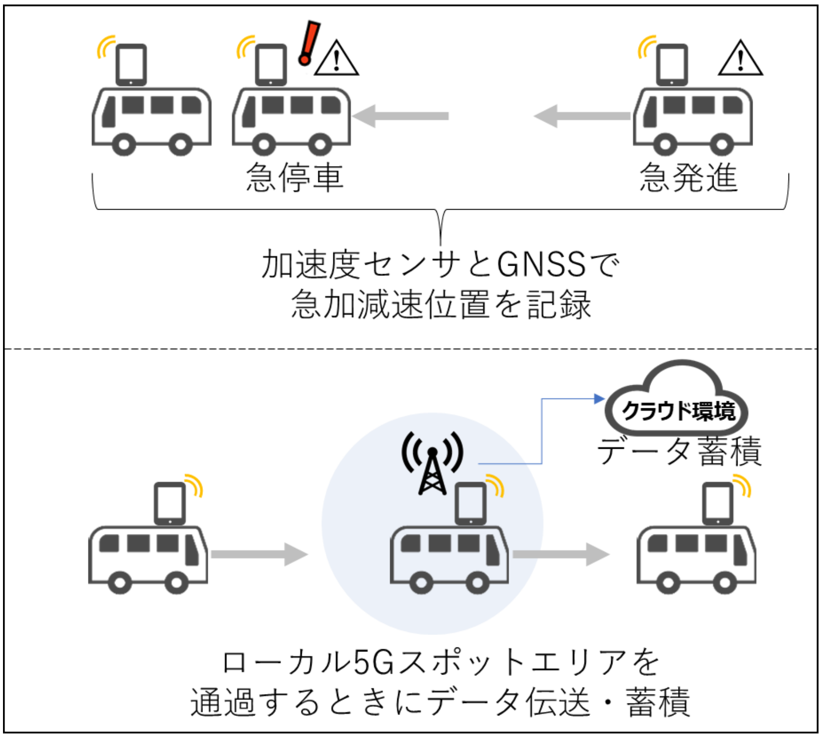


図 2.3-19　急停止/急発進情報のデータ蓄積イメージ

UI に表示する各項目について以下に示す。

＜UI 表示項目＞ 〇日時検索 　日時を指定し「検索ボタン」を押下することで、対象の時間帯の急停止/急発進した地点を丸マーカーでプロット表示する。（赤・・・急停止、青・・・急発進） 〇急停止チェックボックス 　急停止マーカーの表示/非表示を制御する。 〇急発進チェックボックス 　急発進マーカーの表示/非表示を制御する。

3）AI 解析機能

- RoadManager Android アプリ
  - 道路損傷モデルを搭載した、路面損傷検知 Android アプリを構築。アプリを搭載した Android（SH-53A②）を車両フロントガラス付近に設置し、取得する画像をもとに路面損傷を監視した。監視中に道路損傷が検知された場合、検知結果(画像および位置情報)を AI Web サーバに転送した。
  - 本システムは、物体検知および検知物体の識別を行う、CNN（畳み込みニューラルネットワーク）を前提とし、計算コストの小さいライブラリを用いて構築している。

- なお、本システムは、サービス提供が開始された後、すでに 10 以上の自治体にて利用実績がある。
- 本システムは、学習用のデータセットとしては、HD 相当のスマホ取得画像を蓄積しているが、4K 画像の解析には適用できない。このため、本事業においてはI/O のピクセルサイズを調整する改良を加え、4K 画像の学習データ（数百枚程度の一般道路環境のデータ）を用意し、4K 用にチューニングした。
- デバイスをスマホからカメラに変更することで、センサーサイズやレンズの明るさ、シャッタースピードなどが改善されるため、たとえ同じピクセルサイズ（HD 相当）でもブレが少なく高い彩度のオリジナル画像を造影することができ、検知精度が改善されると考えられる。

- AI Web サーバ
  - 「FTP サーバ」の特定ディレクトリに 4K/HD 画像が格納されると、新規分のみ取得して GPU サーバに REST 形式で連携した。AI GPU サーバの検知結果を保存し、ダッシュボードで表示した。 また 別系として「SH-53A②」からの受信画像を GPU サーバに REST 形式で連携し検知結果をダッシュボードで表示した。あわせて本系の検知結果のみ「ITS サーバ」へ送信した。
- Web ダッシュボード
  - Web サーバ内に保存された検知結果を可視化するための Web アプリケーション。地図上にプロットされた道路損傷画像を確認することができる。損傷は期間・デバイス・損傷種類でフィルタリングすることが可能。
- AI GPU サーバ
  - GPU サーバに REST API として構築。WEB サーバから画像情報が連携されると、GPU サーバ内のモデルが路面損傷を検知した。モデルは 4K/HD 画像および SH-53A②から WEB サーバ経由で送られてくる画像をとインプットとし、画像内にある、ポットホール・亀甲状ひび割れ・縦線状ひび割れ・横線状ひび割れ・白線かすれ・マンホールの道路損傷を検知および分類した。分類した結果を WEB サーバに返す。

2.4 免許および各種許認可

2.4.1 免許状

免許状については、地権者である国土交通省と越谷市から本実証に伴う管理区域内でのローカル 5G 環境の構築、運用ならびに管理に関する委任を受けて、株式会社ミライトを免許人とし、該当場所の管轄の総合通信局と調整のうえローカル 5G 免許申請を行い、国道および県道にローカル 5G エリアを構築した。

表 2.4-1　免許人の考え方および解釈

関係者	社名／団体名	備考
土地所有者(地権者)	国道：国土交通省 県道：越谷市	株式会社ミライトに免許人 および運用を委任
免許人	株式会社ミライト	土地所有者から委任を受けて エリアを構築
運用者	株式会社ミライト	土地所有者から委任を受けて エリアを構築
無線従事者	株式会社 NTT ドコモ 株式会社ミライト	株式会社 NTT ドコモは コンソーシアムメンバー

2.4.2 各種許認可

本実証におけるローカル 5G 無線局はノンスタンドアロン（NSA）方式のため、設置予定場所周辺に地域 BWA 事業者が開設している（または開設予定の）2.5GHz 帯の免許人等と干渉調整協議を実施し、承諾をあらかじめ得る必要があることから、採択後速やかに干渉調整協議を開始し、合意がとれた上で、総務省総合通信局に無線局免許申請を行い、実証開始までに無線局免許を取得した。なお、免許取得の考え方は表 2.4-1 のとおりである。

2.5 その他要件

本実証で利用した装置はエリクソン・ジャパンが開発供給しているものであり、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給およ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する事業者が開発供給した機器でないため、装置構成および各装置の製造ベンダを下図に示す。また、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は、機器提供元ベンダのエリクソン・ジャパンによる対策状況を次頁の表に記す。

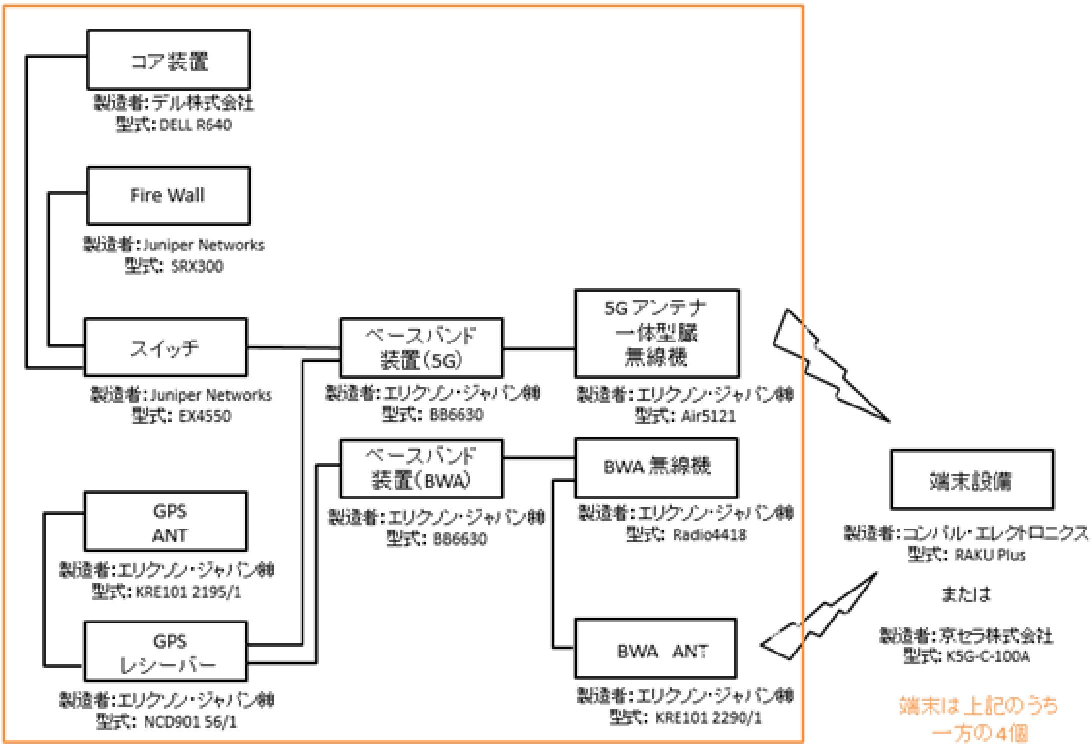


図 2.5-1　装置構成および各装置の製造ベンダ

表 2.5-1　エリクソン・ジャパンのサイバーセキュリティ対策

Local5G 装置 サイバーセキュリティ対策について	
システム観点での施策	
OS カーネルとユーザースペースの堅牢化	メモリ管理を行い、ランダム化、スタックスマッシング保護、実行不可能なヒープとスタックを対処
	OS を最小限に抑え、不要なサービスとコンポーネントを削除
プロセスの分離	システム設計において、なるべくプロセス間の関連性をなくしており、分離して動作
暗号化と鍵管理	すべての通信は暗号化
	データの機密性、整合性、信頼性を確保し、キーを安全に管理するためのセキュリティプラクティスを適用
認証によるアクセス管理	ノードへのアクセスおけるユーザ認証が可能であり、RBAC(ロールベースのアドミッションコントロール)が実装され、潜在的な攻撃のリスクを軽減し、セキュリティを強化
	ユーザは、権限に準拠したアクティビティのみを実行可能
ログの記録	操作ログ、セキュリティログや監査証跡ログを記録しており、全ての操作履歴およびセキュリティイベントをログファイルとして記録
	ログファイルがサイズ制限を超えた場合、ログは FTPES サーバの SFTP に手動または自動で転送され、バルクデータとして送信するよう設定可能
脆弱性試験	製品のリリースに際し、システムの堅牢性が適切に強化されているかどうかを評価するために、サードパーティの商用ツールを使用して脆弱性と侵入試験を実施し、システムの脆弱性を検知、対策
セキュリティのライフサイクルのスキームの実装	エリクソンでは PSIRT (Product Security Incident Response Team)という組織を立ち上げており、2006年より FIRST (Forum of Incident Response and Security Team)の一員として活動
	PSIRT にて収集したグローバルでのセキュリティ情報に基づき、local5G 製品の定期リリースにおいて脆弱性の対処およびセキュリティ対策の改善および強化
データ、およびトラフィック観点での施策	
3GPP で定義されたセキュリティ施策に準拠	
すべての無線リソース制御シグナリングは、UE とコア装置の間で 128 ビットの AES および EEA2 128 暗号を使用し、エンドツーエンドの通信ルートにおいて保護。	
ユーザ/データプレーンは、128 ビット AES を使用して UE と eNodeB の間で暗号化	
UE と無線ベースバンド間のユーザープレーンとデータプレーンは、128 ビット AES を使用して暗号化	
登録された UE はそれぞれ独自の暗号鍵により NW 接続において認証	
システム間の通信には、SSH、SSL / TLS、SFTP、SNMPv3 などの安全なプロトコルを使用	
ユーザ証明書やクレデンシャル（パスワードなど）などのユーザ関連データは、ストレージ内とシステムコンポーネント間の転送中の両方で暗号的に保護	
パスワードは、端末画面への表示、印刷物、ログレコードなど、どのメディアにもプレーンテキストとして表示されることない	

2.6 実証環境の運用

2.6.1　基地局の運用

2.6.1.1 施工日程

本実証におけるローカル 5G 環境は 2021 年 11 月 5 日の再委託承認をもって機材、工事調整を行った。

埼玉県越谷市レイクタウンにおける環境整備、施工は 2021 年 12 月 21 日の夜間に実施した。なお、撤去は 2022 年 2 月 9 日の夜間に実施した。

表 2.6-1　施工日程

期間	施工日程
2021 年 11 月 5 日	再委託承認
	↓機材、工事調整
2021 年 12 月 21 日　夜間	埼玉県越谷市レイクタウンにおける環境整備、施工
2022 年 2 月 9 日　夜間	撤去

図 2.6-1　仮設プレハブ小屋設置工事状況

2.6.1.2 仮設プレハブ小屋内外の構成

第 2.2.1 節の図 2.2-2 で示した仮設プレハブ小屋の中にはローカル 5G のコア装置を収容するサーバラック、電源や光ケーブル類の各種配線、コア装置の操作を行うための作業卓を準備した。実証中、装置の安定性、発動機発電機の燃料補給作業の効率化目的に UPS(無停電電源装置)を導入した。仮設プレハブ小屋の外には装置の電源供給元となる発動発電機、常駐作業員用の仮設トイレを設置した。

2.6.1.3 ローカル 5G 装置への電源供給

ローカル 5G 装置は現地の実証作業期間である 1 か月間のうち、約 20 営業日は装置の連続運用とした。電源供給は発動発電機により 24 時間供給を前提とした。

発動発電機の燃料補給の際は一時的に電源共有を止めることを想定していたが、実運用上は装置のシャットダウン頻度が多いことによるハードウェア故障のリスクが考えられたため、対策として UPS（無停電電源装置）を導入し運用した。

図 2.6-2　UPS による電源供給対策

2.6.1.4 設備維持に関する現地体制案

ローカル 5G 装置は実証期間の約 1 か月間、土日を除く 20 営業日の 24 時間、常に稼働とした。これに伴い現地の作業員は無線免許資格所有者、警備員が 1 名ずつの計 2 名が交代制で常駐し対応を行った。また、遠隔保守の NW 環境を整備し、遠隔からの動作確認を並行して実施した。これ以外に現地作業員の判断で人員を増やさなければならない事象が起きた際は有識者による駆けつけ、トラブルシュートを実施した。

また、コア装置起因の想定外の事象対応のためベンダであるエリクソンの遠隔保守環境を整備した。

2.6.1.5 天候影響による砂塵の侵入と、それに伴う機材への影響、対策について

プレハブ接地面が土であった影響と、天候、主に強風の影響によりローカル 5G 装置が粉塵被害にあってしまった。粉塵被害による影響で装置に致命的な不具合が発生してしまう恐れがあったため、急遽、プレハブ内は土足厳禁とし、装置外観に防塵対策を施した。

図 2.6-3 防塵対策 1：土足厳禁

図 2.6-4 防塵対策 2：
ラック外設置機器の防塵カバー

図 2.6-5　防塵対策 3：ラック内機器への防塵カバーの設置

2.6.1.6 反射板の固定と天候影響を考慮した対策（安定化に係る工夫点）

反射板の設置については現地の天候、主に強風の影響が大きく、固定が困難な状況があった。鉄筋製のポール架台に金具固定し対応したが、反射板の向き、角度調整は精密な調整が必要であり、強風の影響で僅かにズレが生じることから、都度チェック・調整を図る運用が必要であった。反射板の接地面を大きくし、重りを追加するなどで工夫を行った。

図 2.6-6　反射板の固定の工夫

2.6.2　自動運転車両走行ルートの運用

2.6.2.1 施工日程

本実証における自動運転車両の走行ルートでは、道路上に自動運転車両の運行における周知啓発と安全確保を目的として看板を設置した。

看板設置の施工は、2022 年 1 月 6 日(木)に行われた、関東地方整備局による自動運転車両運行のプレスリリースの後の時間帯に実施した。

2.6.2.2 施工内容

道路上の看板設置箇所を以下に示す。

また、実際の看板設置状況を次頁以降に示す。

図 2.6-7　道路上の看板設置箇所（再掲）

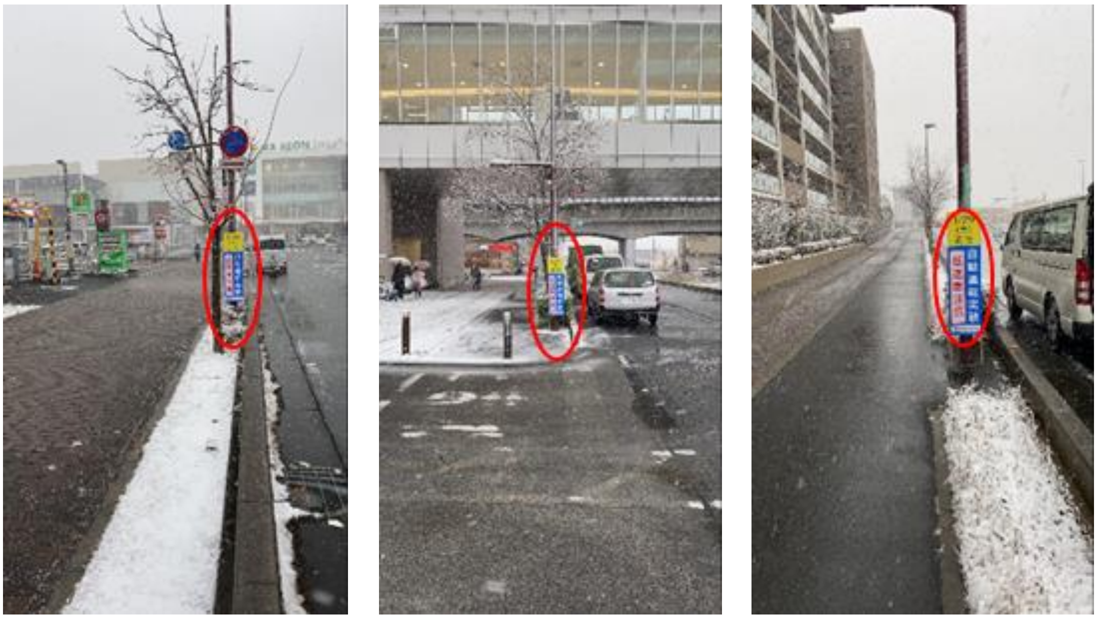


図 2.6-8　注意看板の設置（左：箇所①、中：箇所②、右：箇所③）

図 2.6-9　注意看板の設置（左：箇所④、中：箇所⑤、右：箇所⑥）

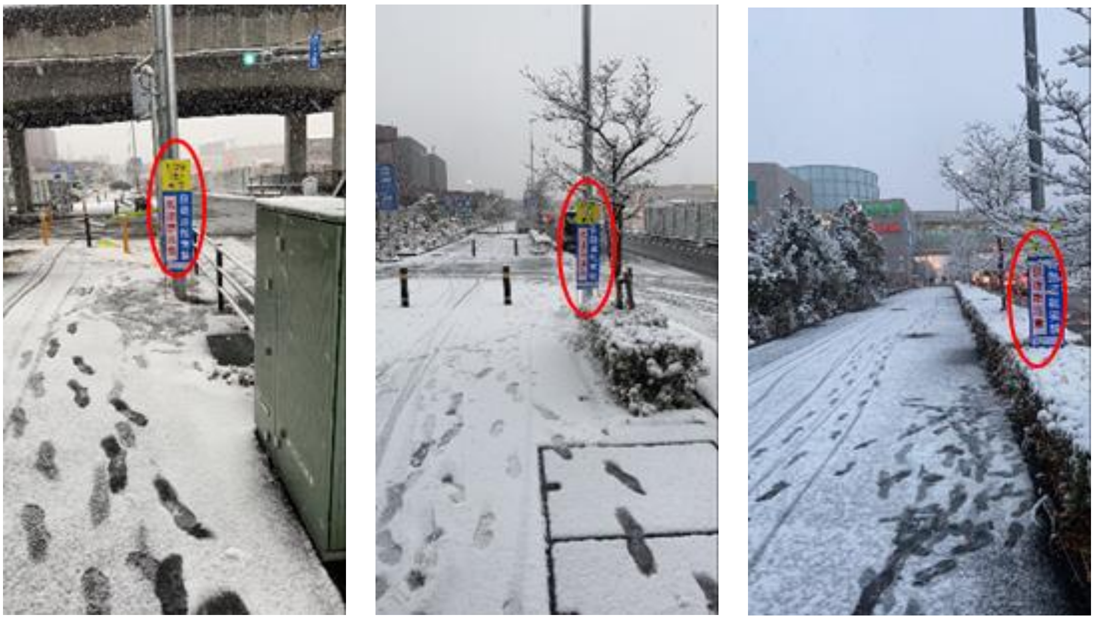


図 2.6-10　注意看板の設置（左：箇所⑦、中：箇所⑧、右：箇所⑨）

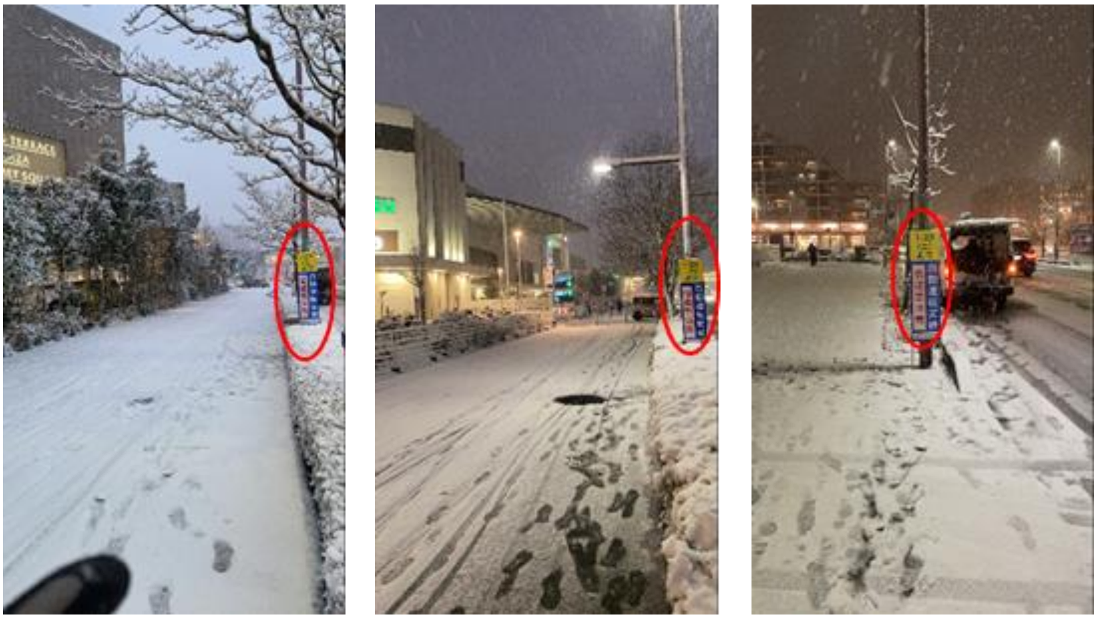


図 2.6-11　注意看板の設置（左：箇所⑩、中：箇所⑪、右：箇所⑫）

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）

3.1 実証概要

交通インフラ分野における課題実証では、“平常時および災害時の道路管理において、車両等が取得した 4K 映像を含む大容量のプローブデータを、ローカル 5G スポットから管理事務所に伝送した。これにより管理者による映像確認と AI 解析結果の確認を迅速に行うことで、道路管理業務の効率化と迅速化”を目的としている。技術実証においてもこのユースケースを前提とし、仕様書で規定されている“a.ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定”“b.Ⅰ.電波伝搬モデルの精緻化”“b.Ⅱ.電波反射板によるエリア構築の柔軟化”について検討を行う。その際、今回得られた知見が他の似たような環境（全国の道路上）においても適用できるよう、“車両等の動的な遮蔽、反射環境における電波伝搬特性”および“屋外環境におけるエリア展開の在り方”を意識しながら検討を進めていくこととした。また、電波伝搬特性の解析においては、ITU や 3GPP における 5G 検討で用いられているパラメータ等を活用して検討した。

表 3.1-1　技術実証の概要

項　目			該当（○、×）
技術実証の実施環境	周波数帯	4.7GHz 帯	×
		28GHz 帯	○
		キャリア５G の周波数帯	×
	屋内外	屋内	×
		屋外	○
		半屋内	×
	周辺環境	都市部	×
		郊外	○
		開放地	×
		その他	×
テーマ別実証	I.電波伝搬モデルの精緻化	K の精緻化	×
		S の精緻化	×
		R の精緻化	×
		その他の精緻化	○
	II.電波反射板によるエリア構築の柔軟化	実施の有無	○
	III.準同期 TDD の追加パターンの開発	TDD2 の検討	×
		TDD3 の検討	×
		TDD2、3 以外のパターンの検討	×
		追加パターンを具備した実機での検証	×
	IV.その他のテーマ	実施の有無	×

3.2 実証環境

埼玉県越谷レイクタウン周辺の国道 4 号線の中央分離帯上に置局される 28GHz 帯（28.2 ~ 28.3GHz）のローカル 5G 基地局 1 局を用いて実証試験を行う。

図 3.2-1 に技術実証試験フィールドおよび基地局設置状況を示す。本実証で使用するミリ波帯は電波伝搬の特性上、直進性が高く、車両の種類、混雑具合によって動的に遮蔽・反射環境が変化する環境（図 3.2-2 内の③）においては、基地局アンテナ設置高を高い位置に設置した吹き降ろしによるエリア形成が有効であると考えられる。

しかしながら、本実証環境においては屋外かつ自己土地が道路となるため、アンテナ設置高を高くするほど他者土地への漏洩電力が課題となる。そこで本実証環境においては、アンテナ高を 3~4[m]程度に抑えた置局設計を行った。なお、交通安全上、車両運転者から信号灯への視野妨害とならないよう、信号機との位置関係に注意した置局設計を行った上で、道路管理事務所と合意の上で置局した。

図 3.2-1　技術実証フィールド

図 3.2-2　実証環境

各種データの実測に使用した測定機器を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1　技術実証の概要実測に使用した測定機器

測定機器名	測定項目	備考
Anritsu エリアテスタ ML8780A※1	SS-RSRP SS-RSRQ SS-SINR	図 3.2-3 設定値：表 3.2-2
測定用 PC iPerf※2 Packet Capture (Wireshark※3)	伝送スループット 遅延時間	図 3.2-4
Garmin eTrex30xJ※4	GPS 座標	図 3.2-5

※1：
https://dl.cdn-anritsu.com/ja-jp/test-measurement/files/Product-Introductions/Product-Introduction/ml8780a-81a-jl11400.pdf
※2：https://iperf.fr/
※3：https://www.wireshark.org/
※4：https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518048/pn/010-01508-10#specs

図 3.2-3　Anritsu エリアテスタの外観

図 3.2-4　測定用 PC(iPerf,Wireshark)

図 3.2-5　Garmin eTrex30xJ の外観

本実証を通じて、エリアテスタの主な設定値は下表を用いることとした。

表 3.2-2　エリアテスタ設定値

項　目	設定値
測定周波数	28GHz 帯
帯域幅	100MHz
測定項目	SS-RSRP SS-RSRQ SS-SINR
測定周期	0.3[s]
アンテナパターン	オムニ

測定においては、多数の測定点を効率的に計測するため、下図に示すような測定補助用の治具を作成して測定を実施した。

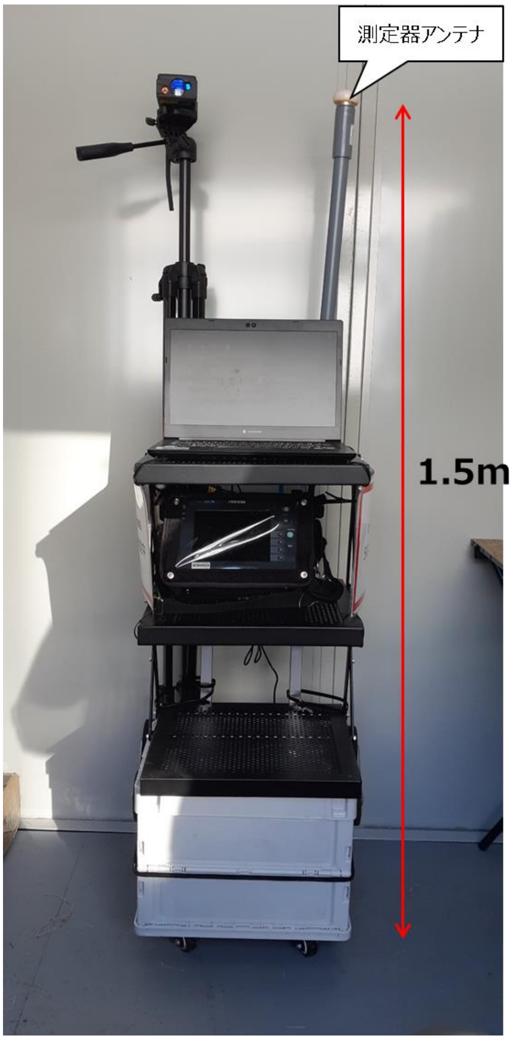


図 3.2-6　実測に用いる測定補助用治具

3.3 実証内容

3.3.1　ローカル５Ｇの電波伝搬特性等の測定

3.3.1.1 実証目標

交通インフラ分野における課題実証では、「平常時および災害時の道路管理」において、車両等が取得した 4K 映像を含む大容量のデータを、ローカル 5G スポットから管理事務所に伝送した。これにより、管理者による映像確認と AI 解析結果の確認が可能となることで、道路管理業務の効率化と迅速化を目的としている。課題実証において提案するローカル 5G を用いたユースケースで要求される性能を下表に示す。

課題実証では、上り回線において、車両からの 4K 映像と点群データを伝送することを前提としているため、ローカル 5G 性能としては、上り回線の伝送スループットが重要となる。技術実証においても、上り回線のスループットが下表に示す 50Mbps/台を満たすことを実証目標とした。その際、エリア形成の観点とユーザへのサービス提供の観点から評価を行う。

それらの評価結果から、類似の環境（全国の道路上）においてローカル 5G サービスを提供する場合に適用可能なエリア形成やサービス提供品質の知見をとりまとめることも実証目標とした。また、得られた知見については、総務省が策定しているローカル 5G ガイドラインにおいて、モデルケースとして記載することで、ローカル 5G の利活用に生かされることを想定している。

本項で取得する測定データについては、後述する技術実証項目において評価を行う際に活用することを想定している。

表 3.3-1　課題実証で要求される所要性能

項　目	下り(DL)	上り(UL)
通信速度	15Mbps/台	50Mbps/台
利用条件	同時通信 1 台想定	同時通信 1 台想定

3.3.1.2 評価・検証項目

実証環境におけるローカル 5G の性能評価として、エリア形成の検証と、ユーザへのサービス提供品質の評価を行う。

まず、エリア形成の検証は、「電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するエリア算出法」（以下、「エリア算出法」という。）に基づく、カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端閾値を基準に、実証環境において実測した下り受信電力値およびそこから導く伝搬ロス特性により行う。

次に、ユーザへのサービス提供品質は、カバーエリア端における伝送スループットが、表 3.3-1 に示す課題実証側での所要性能を達成できているか評価した。

また、遅延に関する所要性能については、本事業において新たに構築する「被災状況確認スキーム」や「平常時の道路管理スキーム」においてデータ伝送の許容時間に依存する。

そのため、計画段階においては、無線区間の遅延量は測定・報告までとし、その後、課題実証報告の中で、その値にてスキームが遅滞するボトルネックにならないことを確認するものとした。

これらの評価・検証を通じて、ローカル 5G 性能向上のための課題抽出と解決策等についても考察を行う。下表に、評価項目と測定項目との関係を示す。

表 3.3-2　技術実証試験における評価項目と測定項目との関係

評価・検証項目	評価項目の概要	主な測定項目
エリア形成 の検証	エリア算出法に基づく、カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端において実測する下り受信電力値とエリア端閾値の比較。 測定地点における伝搬ロスと、いくつかの電波伝搬モデルとの比較。	下り受信電力 (SS-RSRP)
サービス提供 品質の評価	カバーエリア端における、伝送スループットが、課題実証で要求される基準を満たしているか評価。	伝送スループット 遅延時間

3.3.1.3 評価・検証方法

（1）測定方法

測定については、仕様書の規定に従い、エリア算出法に基づく基地局のカバーエリアおよび調整対象区域において行うこととし、下図の考え方で実施した。

図 3.3-1　エリア算出法に基づくカバーエリアおよび調整対象区域図

現状のエリア算出法において周囲を開空間と仮定したとき、ローカル５G 電波（28.2-28.3GHz）は上図の広がりが推定される。本実証では、アンテナチルト等を調整することで、他者土地への漏出しリスクが少ないエリア設計を検討した。なお、漏出しが懸念される場合、必要に応じて道路管理者以外の土地所有者と干渉調整を行った上で、本実証を行った。

1）測定地点の考え方

各測定地点についてはエリア算出法から導き出されるカバーエリア、調整対象区域内及び、それぞれのエリア端が観測できる測定地点を選定し、図3.3-2に示す計103地点で実施した。なお、各測定地点において障害物や私有地等により測定困難な地点については、測定地点をずらし測定を実施している。

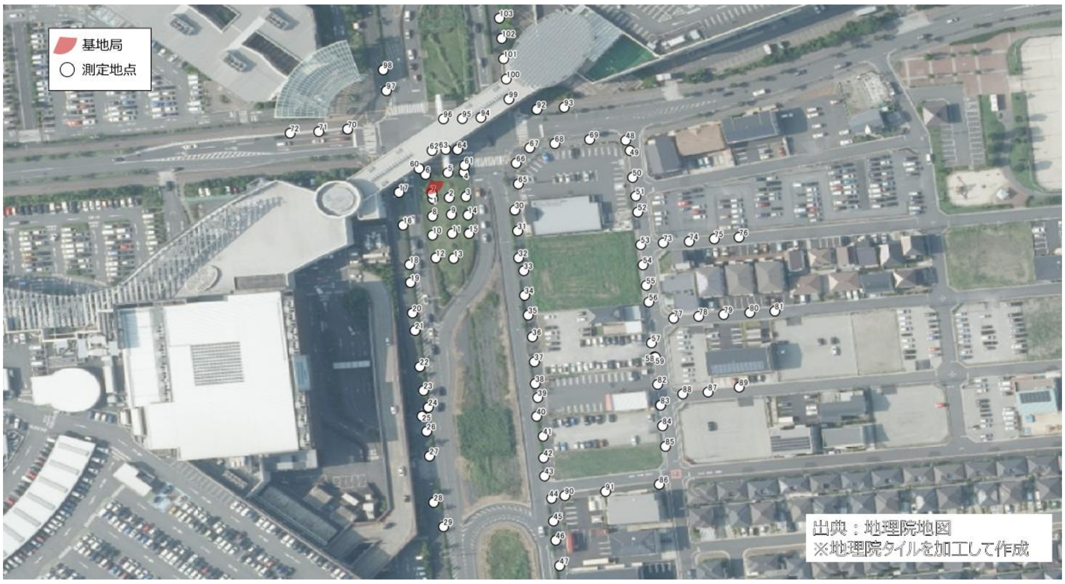


図 3.3-2　測定地点：イメージ

2）測定項目

a）下り受信電力

一般的に５ＧNR のエリア指標として用いられている SS-RSRP（Synchronization Signal-Reference Signal Received Power）及び SS-RSRQ（Synchronization Signal-Reference Signal Received Quality）、SS-SINR (Synchronization Signal-Signal to Interference Reti)について実測する。

SS-RSRP は、1 リソースエレメント当たりの SSS（Secondary Synchronization Signal)の受信電力であり、基地局からの電波の受信レベルを評価する基本的なパラメータである。SS-RSRQ は、受信品質を評価するパラメータであり、近隣基地局の干渉が増大すれば RSRQ が小さくなる。SS-SINR も RSRQ 同様に受信品質を評価するパラメータであり、RSRQ は分母に RSSI、つまり全体帯域の電力を用いるが、SINR では RS と同じリソースブロックの帯域内に存在する干渉電力を分母とする。干渉電力は、同じ帯域内の隣接セルからの信号に加えて雑音成分や、CP(Cyclic Prefic)時間を超えて遅延したマルチパスとなり、その干渉電力が増大すれば SINR が小さくなる。

b）伝送スループットおよび遅延時間

伝送スループットについては、アップリンク（以下、UL）/ダウンリンク（以下、DL）を、端末側に接続したクライアント PC と基地局側コアネットワークに接続したサーバーPC との区間において測定した。遅延時間についても同じ区間において実測した。

3）測定手法と実測模様

各種データの実測については、上記の考え方に基づき選定した測定地点に測定員が赴き、表 3.2-1 に示す測定器および表 3.2-2 に示す設定値を用いて実測した。

また、実証環境における電波伝搬環境をより詳細に分析するため、各測定地点において

は測定員の目視により見通し環境もしくは見通し外環境であるかを併せて記録した。ただし、建物や安全上立ち入りが難しい場所については測定地点をずらすなどで対応した。
SS-RSRP および SS-RSRQ は、エリアテスタを用いて、1,000 サンプル/地点のログ取得を実施した。なお、受信電力の測定においては、定在波の影響を避けるため、1 つの測定点において、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した。

伝送スループットは、iPerf を用いて、各測定地点において UL/DL それぞれ 3 回程度の測定を実施した。遅延時間についても、各測定地点において iPerf および ping コマンドを用いて、複数回の測定を実施した。なお、伝送スループットや遅延時間の測定については、下図に示す通り UE と CN の End To End で測定を行うが、期待する測定値とは異なる結果が得られた場合や、そもそも測定値が取得できない等の場合を考慮し、無線装置と 5G Core 装置の中間である場所に「パケットキャプチャ装置」(光信号分岐用装置（TAP）含む)を接続し、問題発生時の切り分けとして無線伝送部分の測定を行うことを想定している。

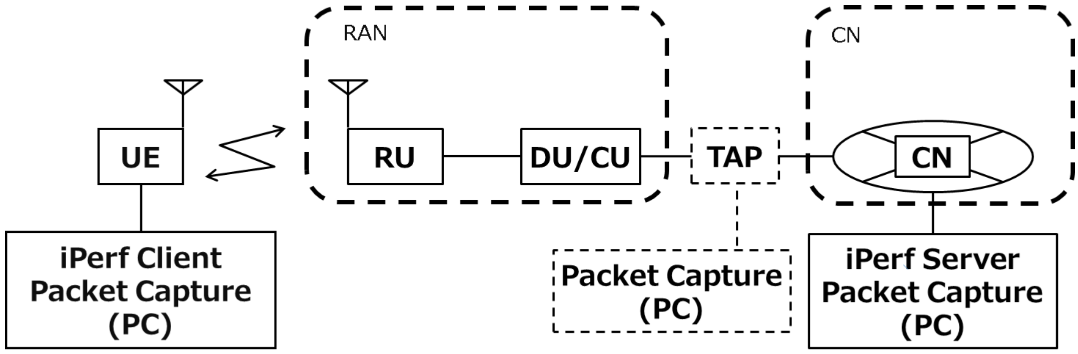


図 3.3-3　伝送性能測定区間

（2）評価・検証方法

ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定に関しては下記に記載する流れで評価・検証を進めていくこととした。

1）実証環境におけるエリア形成の検証

エリア形成の検証としては、エリア算出法に基づく、カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端閾値を基準に、実証環境において実測した下り受信電力値およびそこから導く伝搬ロス特性により行う。

具体的には、実証環境におけるカバーエリアおよび調整対象区域をエリア算出法により作図する（エリア算出法によるエリア図）。その後、それぞれのエリア端における実際の下り受信電力値とエリア端閾値との比較を行なった。下り受信電力値とエリア端閾値が異なっている場合は、カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端閾値が実測される地点と基地局との距離の確認を行うことにより実測値による推定エリア図を作成した。最後に、エリア算出法によるエリア図と実測値による推定エリア図の差分を評価した。

加えて、各測定地点において実測した下り受信電力値と測定地点～基地局間距離から算出した伝搬ロス特性を、携帯電話システムの設計等に用いられている電波伝搬モデルと比較することで、実証環境における 28GHz 帯 (28.2~28.3GHz) の電波伝搬特性を評価した。

2）実証環境におけるユーザへのサービス提供品質の評価

ユーザへのサービス提供品質の評価として、カバーエリア内においての伝送スループット、遅延時間のデータについて、下り受信電力との関係性で評価し、下表にて示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価した。なお、遅延に関する所要性能については、本事業において新たに構築する、被災状況確認スキームや平常時の道路管理スキームにおいて、「何秒以内に大容量データをクラウド環境に伝送する必要があるか」に依存する。そのため、計画段階においては、無線区間の遅延量は測定・報告までとし、その後、課題実証報告の中で、その値にてスキームが遅滞するボトルネックにならないことを確認するものとした。

表 3.3-3　課題実証で要求される所要性能（再掲）

項　目	下り(DL)	上り(UL)
通信速度	15Mbps/台	50Mbps
利用条件	同時通信 1 台想定	同時通信 1 台想定

3.3.1.4 実証結果および考察

（1）下り受信電力、受信品質測定結果

実証環境における下り受信電力および受信品質の測定地点は、3.3.1.2 章にて示しており、103 地点で測定を実施した。

実測結果を図 3.3-4、図 3.3-5 および表 3.3-4 に示す。

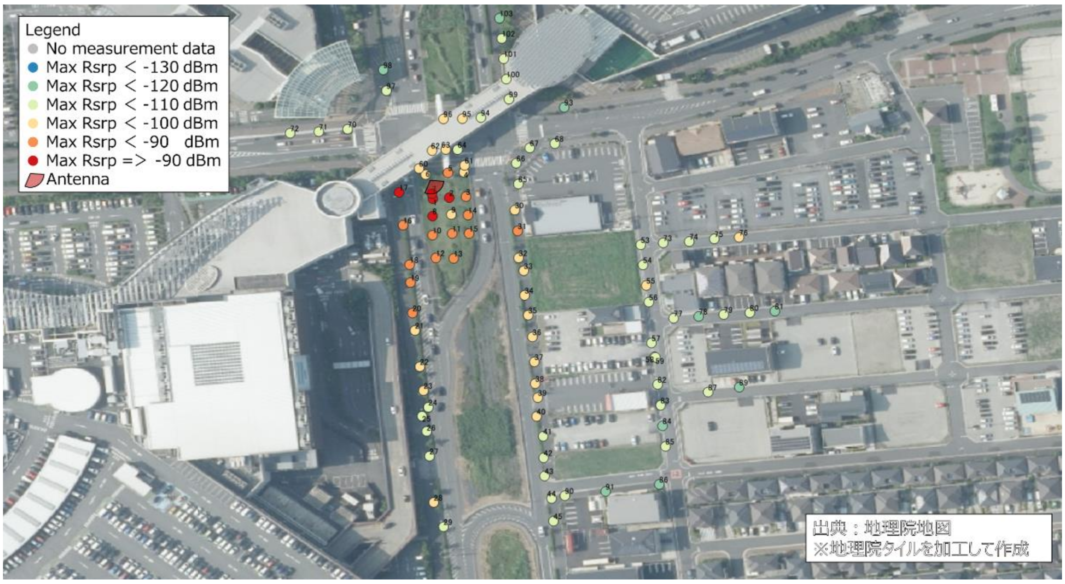


図 3.3-4　実証環境における SS-RSRP 測定結果

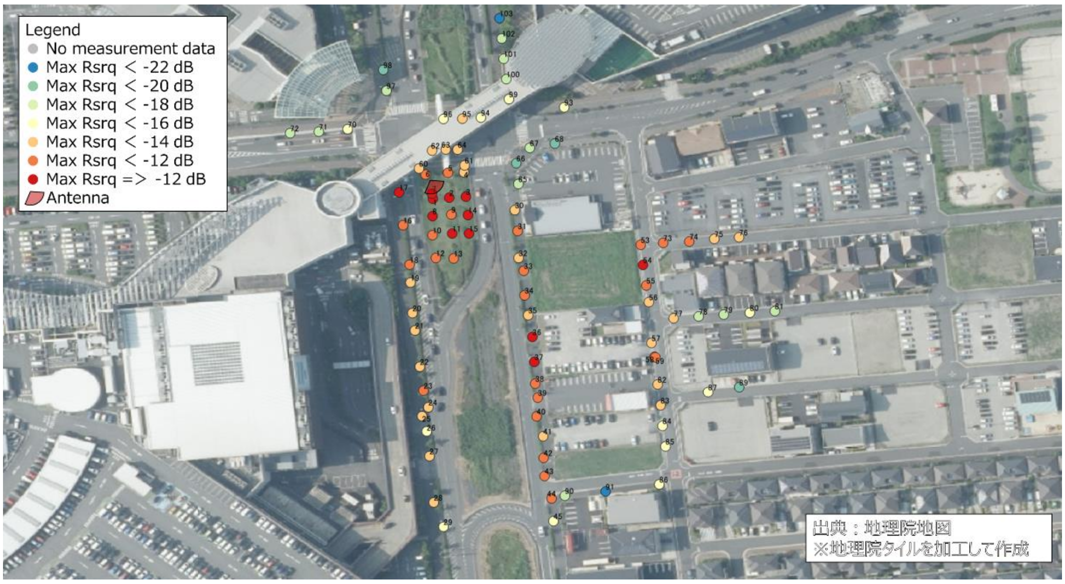


図 3.3-5(a)　実証環境における SS-RSRQ 測定結果

図 3.3-5 (b) 実証環境における SS-SINR 測定結果

表 3.3-4 (a)　実証環境における SS-RSRP、RSRQ、SINR 測定結果

測定点 ID	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)
1	-74.44	-10.38	14.27
2	-82.19	-10.54	12.26
3	-95.77	-11.67	5.26
4	-105.42	-14.98	-2.78
5	-94.57	-12.67	3.70
6	-107.56	-13.49	0.71
7	-73.33	-10.25	16.33
8	-86.74	-10.32	14.20
9	-103.30	-12.53	3.14
10	-93.38	-12.39	4.35
11	-96.68	-11.11	9.77
12	-95.74	-12.52	3.86
13	-98.12	-13.10	2.02
14	-91.46	-11.34	7.83
15	-93.28	-10.26	14.91
16	-90.96	-12.04	5.70
17	-88.15	-11.94	6.09
18	-94.54	-13.01	3.66
19	-98.92	-15.10	-0.84
20	-97.96	-14.21	0.15
21	-103.12	-15.21	-2.01
22	-109.35	-15.19	-1.77
23	-108.37	-13.95	0.39
24	-110.46	-14.68	-1.51
25	-111.94	-15.65	-2.80
26	-111.83	-16.20	-3.50
27	-111.54	-15.65	-2.96
28	-108.77	-14.89	-1.25
29	-113.84	-17.46	-5.41
30	-103.53	-15.44	-2.62
31	-91.31	-13.28	3.67
32	-103.71	-15.23	-2.12
33	-102.56	-12.91	3.82
34	-106.67	-12.39	2.71
35	-103.22	-14.38	-1.02
36	-103.89	-11.16	7.25
37	-106.95	-11.82	4.58
38	-107.75	-12.51	2.35
39	-108.55	-12.86	1.42
40	-109.93	-13.31	0.94
41	-111.63	-15.89	-2.62
42	-111.17	-13.61	0.55
43	-113.56	-12.67	0.94
44	-113.89	-12.91	0.66
45	-114.55	-16.41	-3.90
46			
47			
48			
49			
50			

表 3.3-4 (b)　実証環境における SS-RSRP、RSRQ、SINR 測定結果

測定点 ID	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)
51			
52			
53	-113.06	-12.43	1.75
54	-110.96	-11.64	3.75
55	-103.07	-13.97	0.06
56	-117.63	-15.26	-3.52
57	-116.27	-14.72	-2.40
58	-114.85	-13.25	-0.40
59	-112.29	-12.24	2.24
60	-107.08	-14.09	-0.61
61	-101.43	-15.61	-1.56
62	-105.61	-14.61	-2.11
63	-107.45	-14.90	-2.66
64	-113.12	-14.79	-2.60
65	-118.51	-18.94	-7.39
66	-115.71	-20.25	-8.88
67	-115.89	-19.51	-8.16
68	-116.11	-20.44	-8.90
69			
70	-114.06	-17.85	-6.20
71	-114.66	-19.38	-7.92
72	-116.33	-19.97	-8.15
73	-112.33	-12.14	2.18
74	-113.50	-12.65	0.86
75	-114.58	-15.34	-2.09
76	-106.20	-14.71	-1.10
77	-115.85	-14.94	-2.97
78	-122.77	-19.47	-8.35
79	-119.31	-18.42	-6.84
80	-119.47	-16.25	-5.03
81	-121.21	-18.31	-7.16
82	-117.08	-14.34	-2.58
83	-118.75	-15.54	-4.22
84	-121.06	-17.73	-6.75
85	-119.35	-17.39	-5.89
86	-120.95	-17.45	-6.25
87	-118.20	-17.85	-6.16
88			
89	-125.58	-21.62	-10.04
90	-116.41	-18.88	-7.26
91	-126.71	-23.67	-11.31
92			
93	-120.60	-17.21	-6.20
94	-114.10	-16.45	-4.20
95	-108.30	-15.54	-3.77
96	-109.68	-16.65	-4.84
97	-117.67	-19.92	-8.48
98	-120.21	-21.88	-9.90
99	-113.70	-16.47	-5.22
100	-117.77	-19.65	-8.28
101	-115.96	-18.77	-7.46
102	-118.16	-19.55	-8.30
103	-125.39	-23.70	-11.19

（2）伝送スループット、RTT 測定結果

実証環境における伝送スループットおよび RTT 測定については図 3.3-6 に示す課題実証エリア周辺にて実施している。

実測結果を図 3.3-7 および表 3.3-5 に示す。

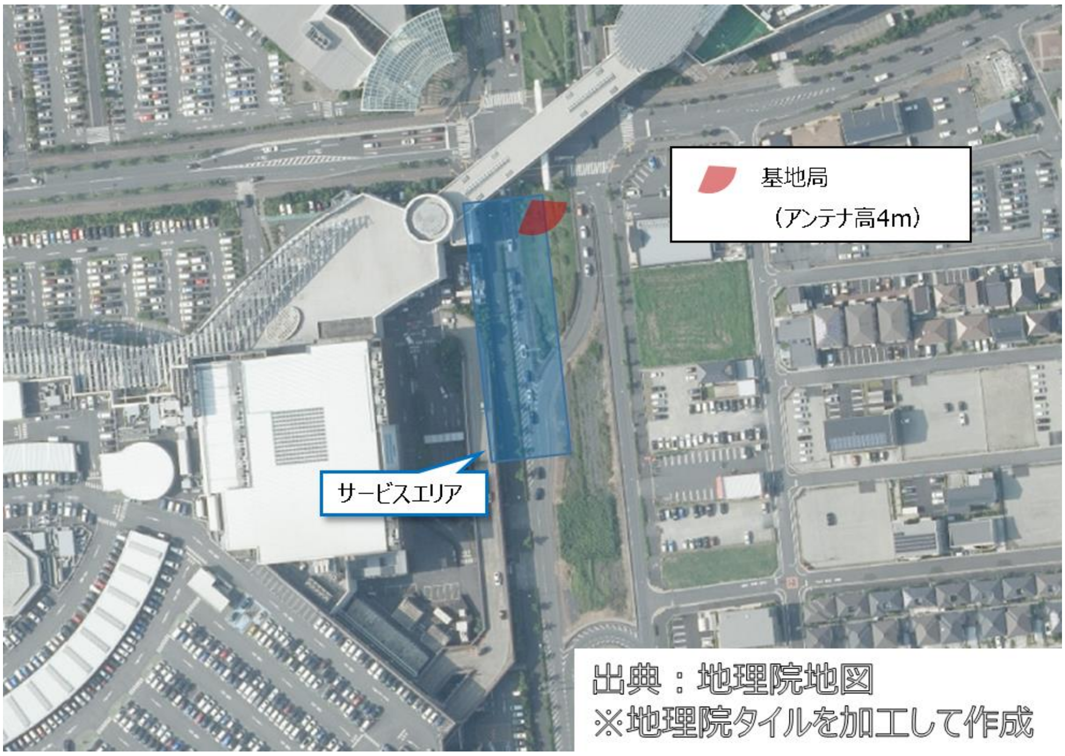


図 3.3-6　伝送スループット、RTT 測定範囲

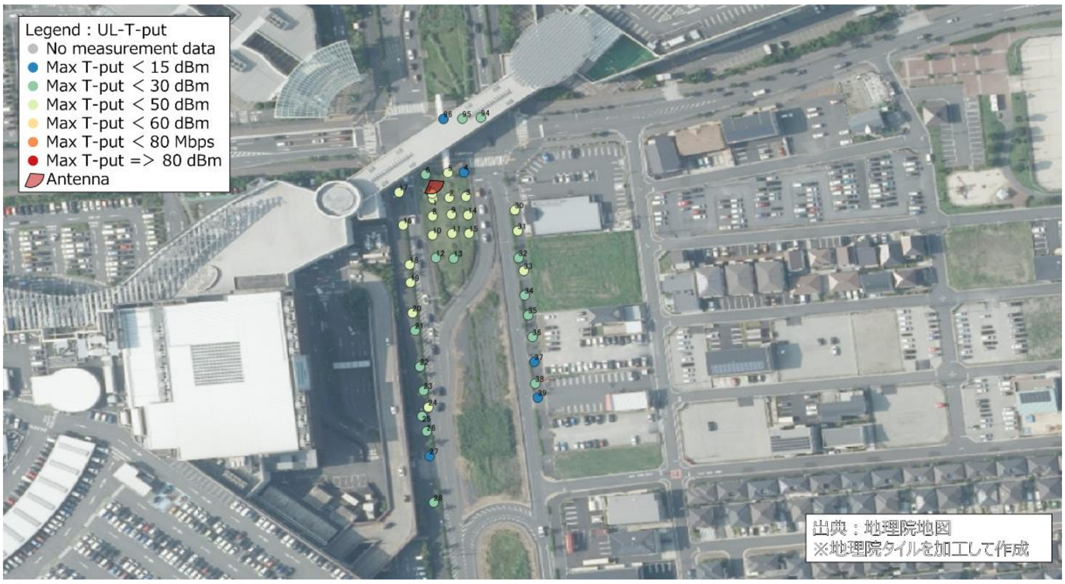


図 3.3-7(a) 実証環境における伝送スループット（UL）測定結果

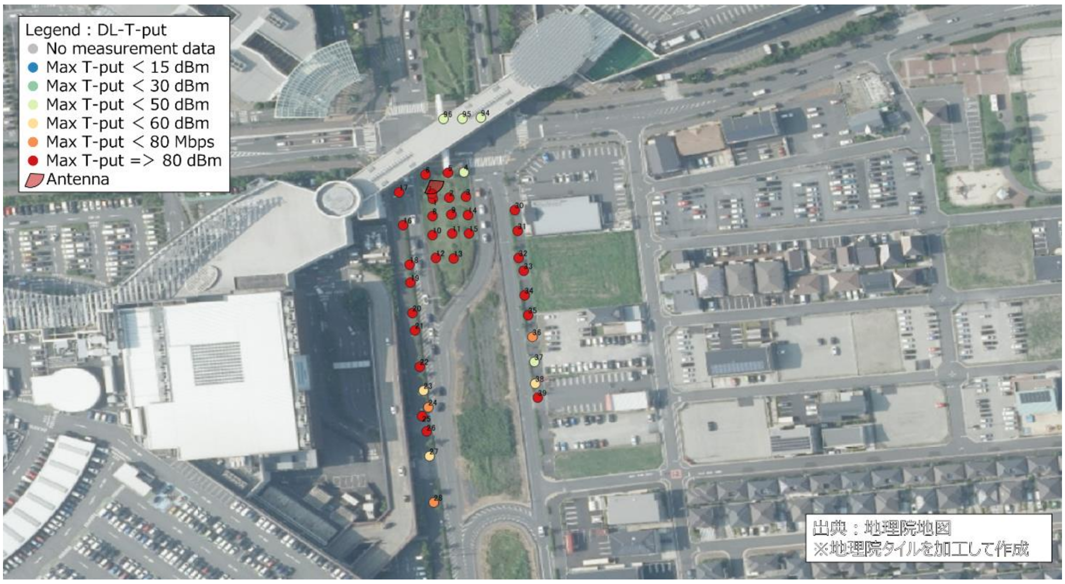


図 3.3-7 (b) 実証環境における伝送スループット（DL）測定結果

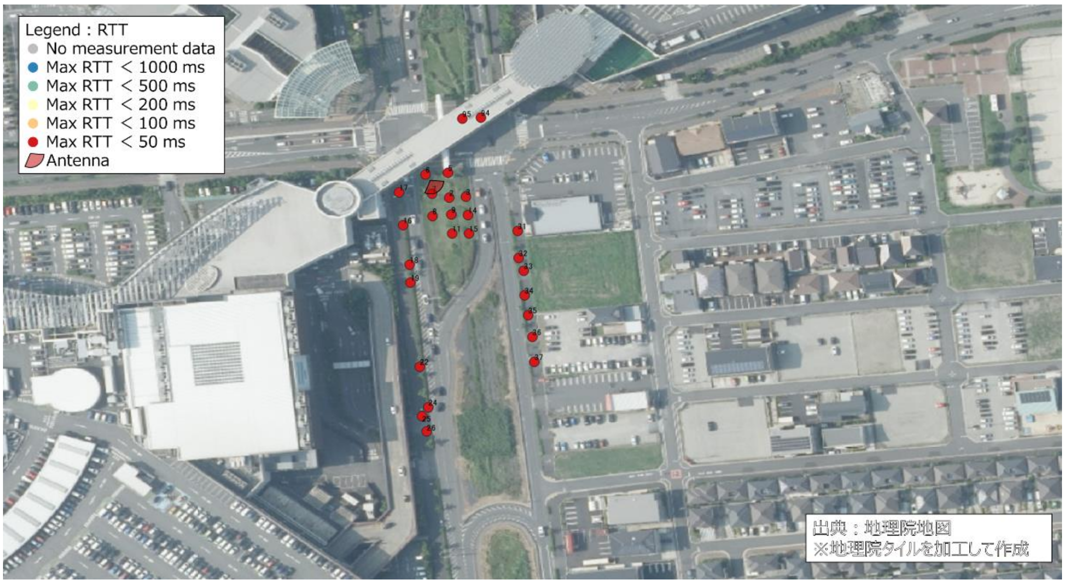


図 3.3-7 (c) 実証環境における伝送スループット RTT 測定結果

表 3.3-5　実証環境における伝送スループット、RTT 測定結果

測定点 ID	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)	RTT (ms)	Ping ロス率 (%)
1	85.92	43.36	54.63	0
2	85.92	44.43	46.10	0
3	85.46	42.99	43.47	0
4	42.72	6.95	55.97	0
5	85.73	37.35	46.03	0
6	84.48	18.22	48.73	0
7	85.77	42.39	45.83	0
8	85.80	34.27	45.77	0
9	85.88	35.62	49.23	0
10	85.58	32.64	51.83	0
11	85.95	31.09	47.20	0
12	85.98	26.18	50.53	0
13	85.57	28.34	54.23	0
14	86.18	40.54	44.00	0
15	85.93	43.11	47.30	0
16	80.68	34.00	49.90	0
17	85.95	37.13	42.60	0
18	83.02	35.11	43.47	0
19	85.97	35.94	46.00	0
20	86.10	33.06	51.73	0
21	85.99	29.01	50.23	0
22	85.02	27.83	48.13	0
23	57.13	23.88	52.17	0
24	76.53	32.02	49.30	0
25	85.48	16.22	49.90	0
26	85.88	18.98	44.43	0
27	52.22	12.54	50.93	0
28	64.10	15.14	50.70	0
30	85.57	40.72	53.73	0
31	82.15	40.94	47.60	0
32	80.47	26.12	49.30	0
33	85.22	30.98	46.83	0
34	85.98	25.34	48.03	0
35	85.87	20.86	45.77	0
36	62.63	18.76	49.47	0
37	45.03	10.84	47.40	0
38	58.45	16.50	54.60	0
39	85.03	11.63	52.93	0
94	40.36	19.29	49.50	0
95	43.39	25.42	49.53	0
96	45.44	9.22	55.97	0

（3）実証環境における電波伝搬特性の評価

今回の実証環境である埼玉県越谷レイクタウン周辺の国道 4 号線において、課題実証を実施する路面方向では基地局からの見通しを確保できソリューションを展開する上ではサービスエリアの構築がしやすい環境と言える。しかしながら、本実証は屋外環境となり想定するサービスエリア外への電波漏洩が課題として上げられる。また、周辺には大型商業施設が存在することから、今後のローカル 5G の展開を見据えると隣接する他事業者への電波干渉を最低限に抑えつつ、自己土地内で必要十分なサービスエリアを確保するサイトエンジニアリングが求められる。そのため、まずは、実証環境における 28Ghz 対の電波伝搬特性の評価を行う。

ここでは、3.3.1.4 章（1）にて示した下り受信電力の実測データ（SS-RSRP）を用いて、実証環境における 28GHz 帯の電波伝搬特性を考察した。

具体的には、実測した下り受信電力値から伝搬ロスを算出し、それらの距離特性を求める。さらに、携帯電話システムの設計等に用いられている、いくつかの電波伝搬モデルから求められる伝搬ロスとの比較を行うことで、屋外の環境における 28GHz 帯の電波伝搬特性の評価を行う。

ここで、実測値との比較に用いる伝搬式を下表に示す。

表 3.3-6　実測値との比較に用いた電波伝搬式

電波伝搬式	概要
自由空間伝搬	開放地に適用。周波数範囲、伝搬距離、送受信機の高さなどの適用制限はない。 $L = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) = 20\log\left(\frac{4\pi f d}{c}\right) = 20\log f + 20\log d + 20\log\left(\frac{4\pi}{c}\right)$ $= 20\log f + 20\log d + 32.4\ [\mathrm{dB}]$ f: 周波数[MHz]、d: 距離[km]、c: 3.0×108[m/s]
ローカル 5G 審査基準	電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号） 令和 2 年 12 月 18 日制定
3GPP モデル	ITU-R P.1411 ベースの伝搬式。環境により基地局、移動局高が規定されている。 RuralMacro:基地局 10～150m、移動局 1～10m UrbanMacro:基地局 25m、移動局 1.5～22.5m UrbanMicro:基地局 10m、移動局 1.5～22.5m InH Office(LOS):直線距離 1～100m InH Office(NLOS):直線距離 1～86m InH ShoppingMall:直線距離 1～150m

実証環境に置局した基地局について、実測した下り受信電力データから算出した電波伝搬特性を下図に示す。図中、●は LOS データ、×は NLOS のデータを示している（LOS か NLOS は、測定地点から基地局アンテナが目視できるかで判断している。）

実測値と比較した伝搬式は、自由空間伝搬と、ローカル 5G 審査基準で用いられている見通し外におけるミリ波帯伝搬式である。

結果からは、見通し、見通し外含めて、ローカル 5G 審査基準で用いられている周辺建物高(hr)が 15m における伝搬式と一致が良く、本実証環境においてはローカル 5G 審査基準で用いられている hr=15m の変数を用いた場合の見通し外電波伝搬式で概ね推定できることが考えられる。なお、机上検討結果から導き出される、各種電波伝搬モデルと実測値の誤差は 5～10dB 程度であり、これはマルチパス等による影響差分と考えられる。

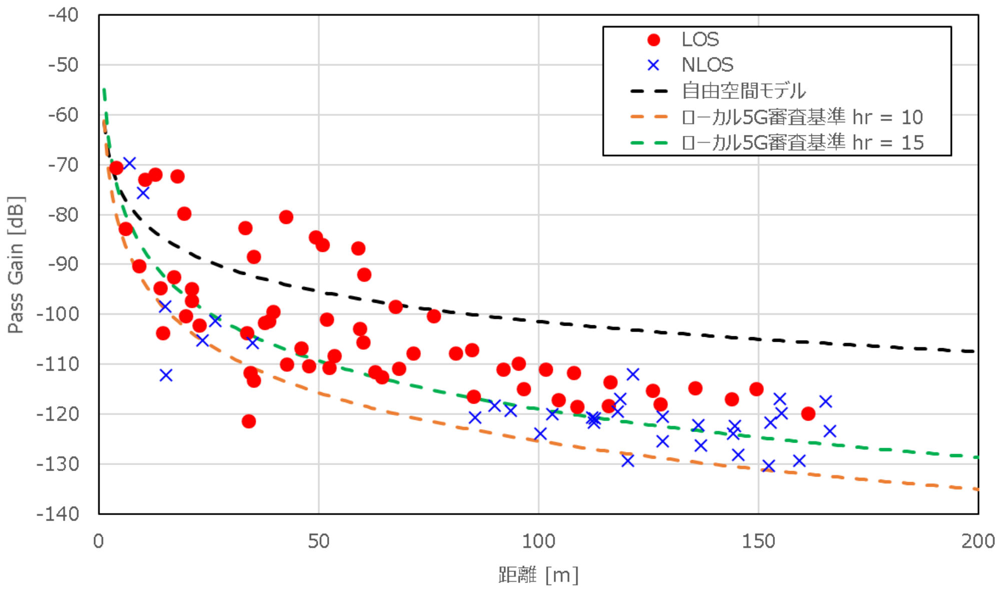


図 3.3-8　実証環境における伝搬ロスの距離特性

（4）実証環境におけるローカル 5G 性能評価

実証環境において、ローカル 5G の性能が想定通りに実現できているかを、実測した SS-RSRP、SS-RSRQ、伝送スループット、ラウンドトリップタイムにより評価した。

ローカル 5G の性能評価は、3.3.1.3 章に示す評価方法に基づき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実施した。前者については、基地局からの受信レベルを用いて、設計通りのエリアが構築できているか否か、できていない場合はどのような原因で想定され、対策としてどのような方策が取りえるのかを考察した。後者については、ローカル 5G ネットワーク上に構築されるアプリケーションやシステムのパフォーマンスに直接的な影響を与えると考えられる、伝送スループットとラウンドトリップタイムの実測結果を用いて考察した。

1）実証環境におけるローカル 5G エリア形成について

ローカル 5G 性能評価の前提となる、実証環境のターゲットエリア（サービスを提供したいエリア）を下図に示す。実証環境においては、基地局から南側の道路上をターゲットエリアとするため、4m の高さにビーム半値角 120 度の指向性アンテナを設置している。

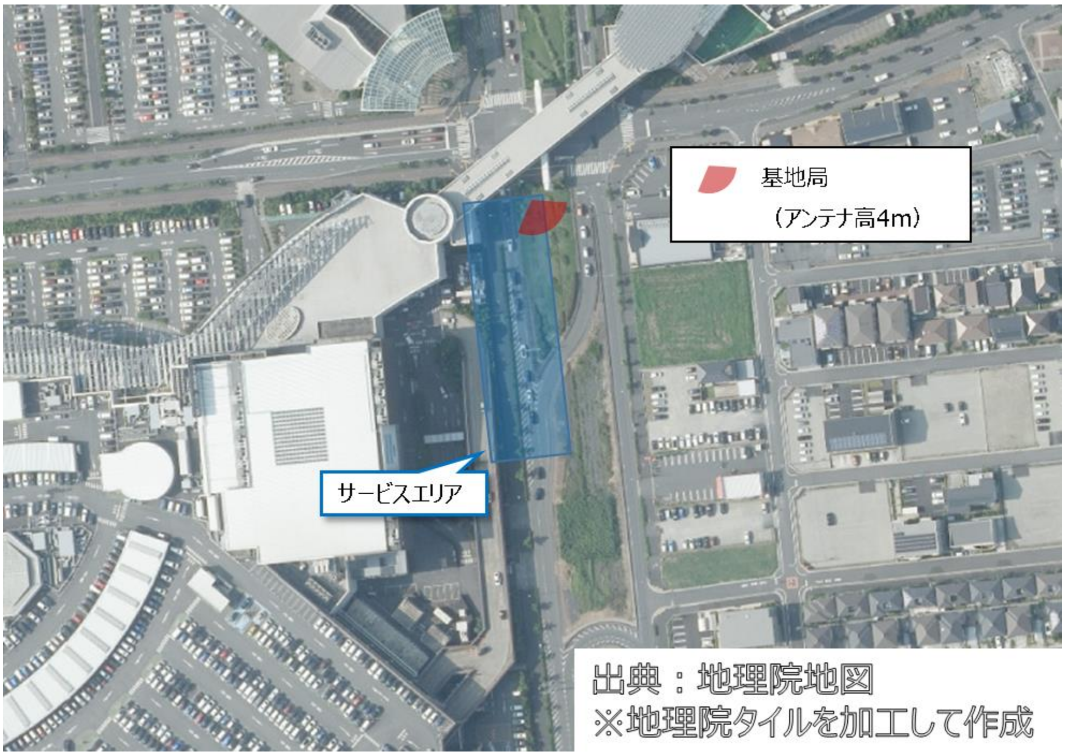


図 3.3-9　実証環境のターゲットエリア

ここでは、下り受信レベル（SS-RSRP）の測定結果からエリア形成の観点で評価を行う。

図 3.3-10、図 3.3-11 に基地局によるエリア形成状況を示す。図中、赤線は 28.2~29.1GHz 帯におけるローカル 5G 審査基準で定められている“カバーエリア端レベル（100MHz 幅の場合：-81.2dBm)”を前提に実測値から評価した想定カバーエリア端である。一方、青線は、同様に審査基準で定められている“調整区域端レベル（100MHz 幅の場合：-90.0dBm)”を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。

なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル（SS-RSRP）の測定帯域は 120kHz であるため、実測値におけるエリア閾値は上述したエリア端閾値を 100MHz から、120kHz へ帯域換算した以下の値を用いている。

カバーエリア端レベル（SS-RSRP 帯域換算）　：-110.4dBm
調整区域端レベル（SS-RSRP 帯域換算）　：-119.2dBm

結果からは、以下のことがわかる。

- 基地局指向方向においては、100m 程度のカバレッジが確保できており、サービスエリア内において、良好な受信電力及び受信品質が得られている。
- エリア算出法との比較として、カバーエリアは概ね一致している。
- エリア算出法との比較として、調整対象区域は基地局指向方向において概ね一致し

ているが、基地局北方向（バックローブ）では実測値の方が強く、基地局南東方向では実測値の方が弱く観測されている。これは、まず基地局北方向では、見通し環境となり、伝搬損失は自由空間となることが支配的な原因と考えられる。つぎに、基地局南東方向においては基地局-測定器間において住宅地等が存在し、建物遮蔽による影響と考えられる。

- SS-SINR においては付近に干渉影響となる無線局は存在していない環境となる。そのため、SINR における"IN"は、環境雑音または CP（Cyclic Prefix）時間を超えて遅延したマルチパスが支配的と考えられるが、基地局と各測定地点の距離は最大でも 200m 以内かつ､屋外と開放的な環境であるため CP 時間を超えて遅延波が観測されることは考えにくく、"IN"に影響を与える要因は環境雑音が支配的と想定する。加えて、RSRP 同様に減衰傾向が見えることから、SINR が低い地点に置いては"S"となる主波及び CP 時間内の遅延波のレベルが減衰しているためと考えられる。

これらの結果から、エリア算出法と実測値は概ね一致しており、サービスエリア内においても十分なカバレッジを確保できていることから、周辺に大型商業施設及び、住宅地が存在する屋外環境において、ミリ波帯のエリア構築を行う際は、本実証の様な地標高 4m 程度の高さに置局し、基地局チルトを 20 度とするようなスポット的なエリア設計が有効であると考えられる。しかしながら、隣接する大型商業施設等で他のローカル 5G 無線機が利用される場合においては、その干渉影響は払拭できないため、基地局アンテナの指向性を絞りつつ、基地局指向方向において必要最低限のサービスエリアを確保しつつ調整対象区域を抑えるようなチルト制御もしくは送信出力制御等の置局設計が望ましいと考えられる。

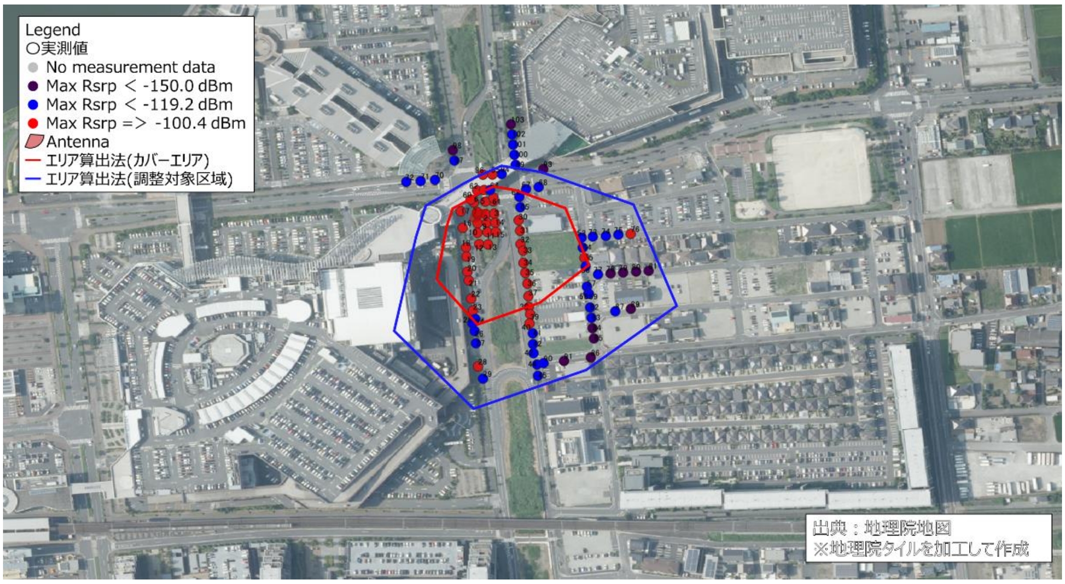


図 3.3-10　実測値受信レベル SS-RSRP から評価した想定カバーエリア

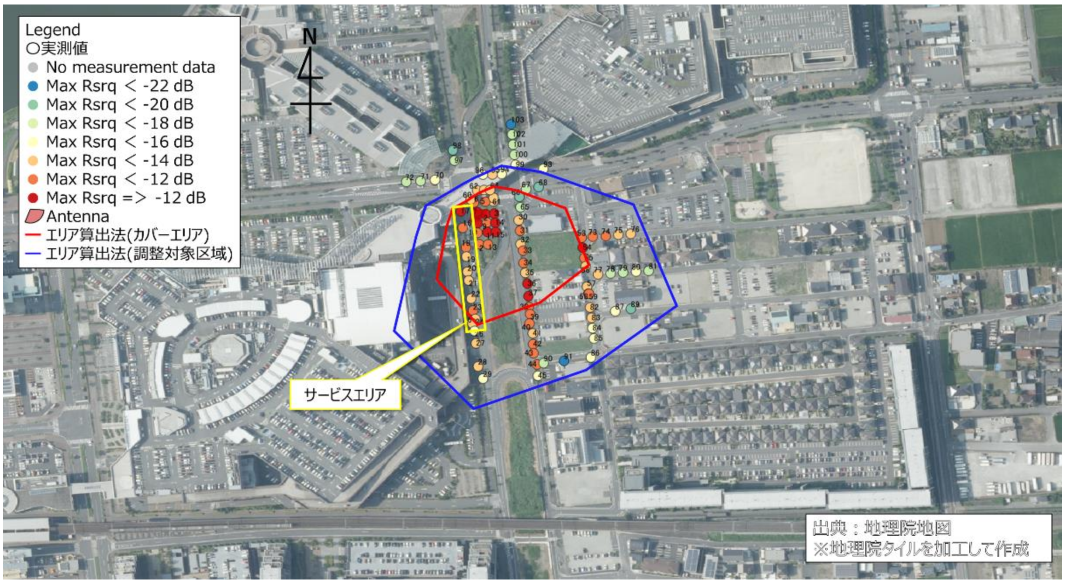


図 3.3-11(a)　実測値受信レベル SS-RSRQ から評価した想定カバーエリア

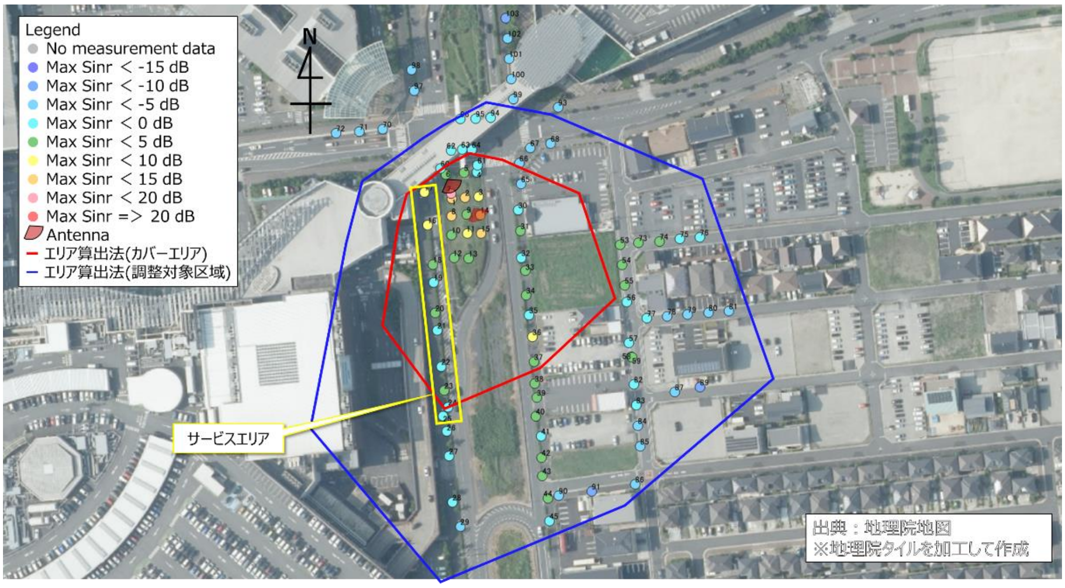


図 3.3-11(b)　実測値受信レベル SS-RSRQ から評価した想定カバーエリア

2）実証環境におけるローカル 5G サービス提供品質について

ここでは、伝送スループット、ラウンドトリップタイムの測定結果から、ユーザへのサービス提供品質の観点での評価を行う。

図 3.3-12 は、図 3.3-9 のターゲットエリア周辺において実測した伝送スループット(DL/UL)とラウンドトリップタイムを地図上に記載したものである。また、図 3.3-13 はターゲットエリア内における下り受信電力（SS-RSRP）と伝送スループット、ラウンドトリップタイムとの関係をグラフ化したものである。

結果からは、サービスエリア周辺において実測した伝送スループットは UL/DL/RTT 共に下り受信電力(SS-RSRP)が-105dBm 以上であれば、受信電力の値によらず、ほぼ一定で

あるが、それ以下を下回ると伝送性能のばらつきが見られる。このことから、カバーエリアとして定められている閾値-110.4dBm（SS-RSRP 換算値）以上であったとしても、本実証環境においては-110.4~-105dBm 間で伝送性能のばらつきが発生することが分かる。そのため、サービスエリア内において安定した通信品質を確保するためには、カバーエリア端閾値にある程度のマージン値を見込んだエリア設計が望ましいと考えられる（本実証環境においてはカバーエリア端閾値＋5dB 程度）。

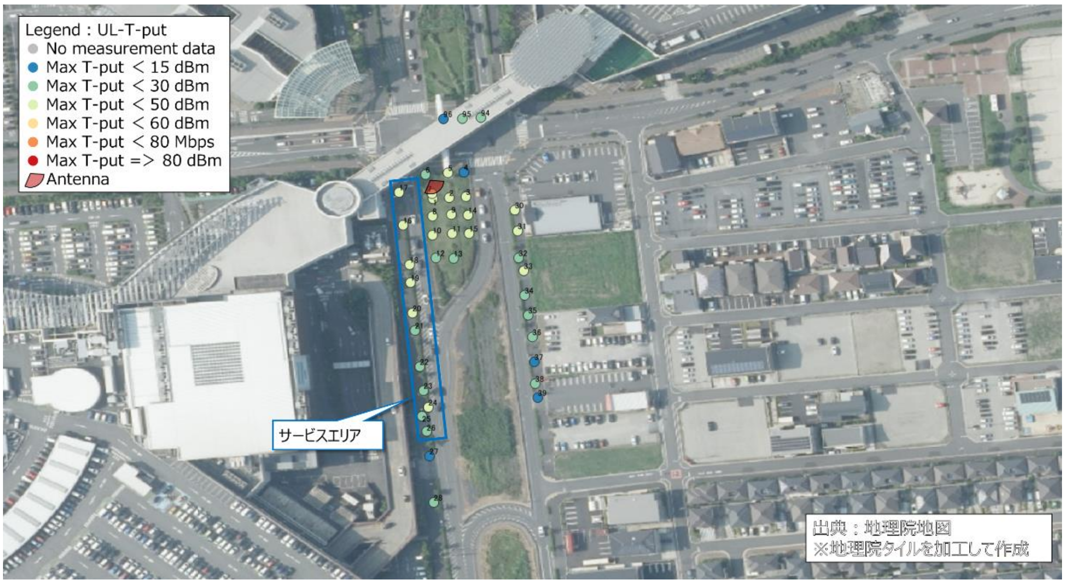


図 3.3-12 (a) 実証環境における伝送スループット（UL）測定結果

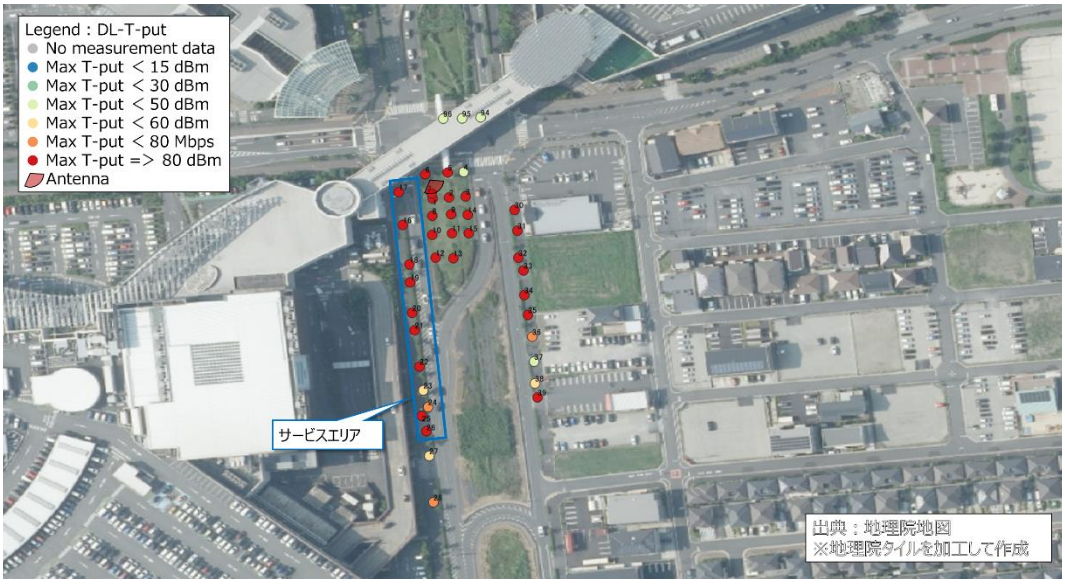


図 3.3-12 (b) 実証環境における伝送スループット（DL）測定結果

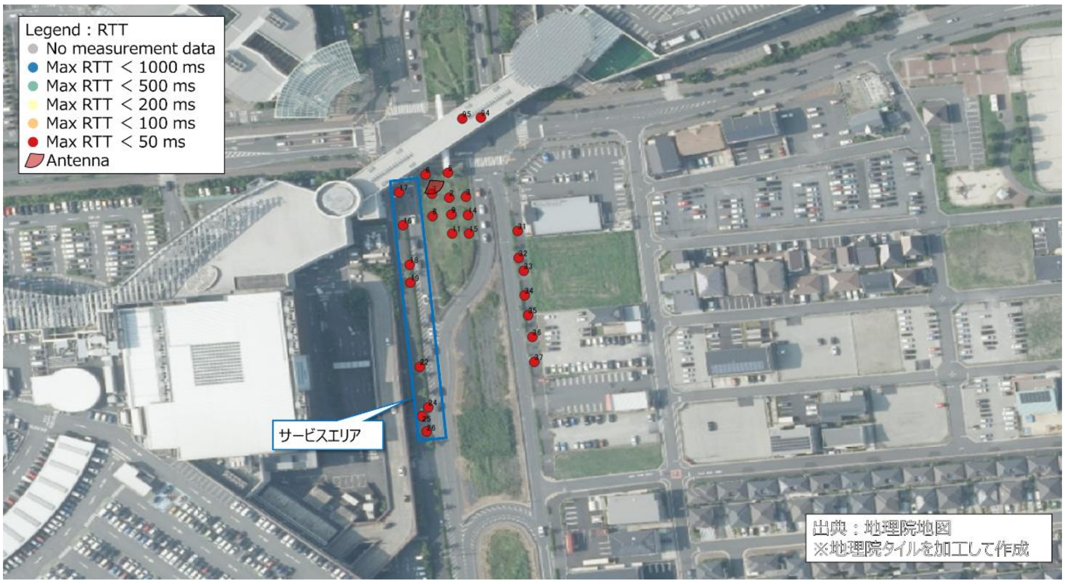


図 3.3-12(c) 実証環境における伝送スループット RTT 測定結果

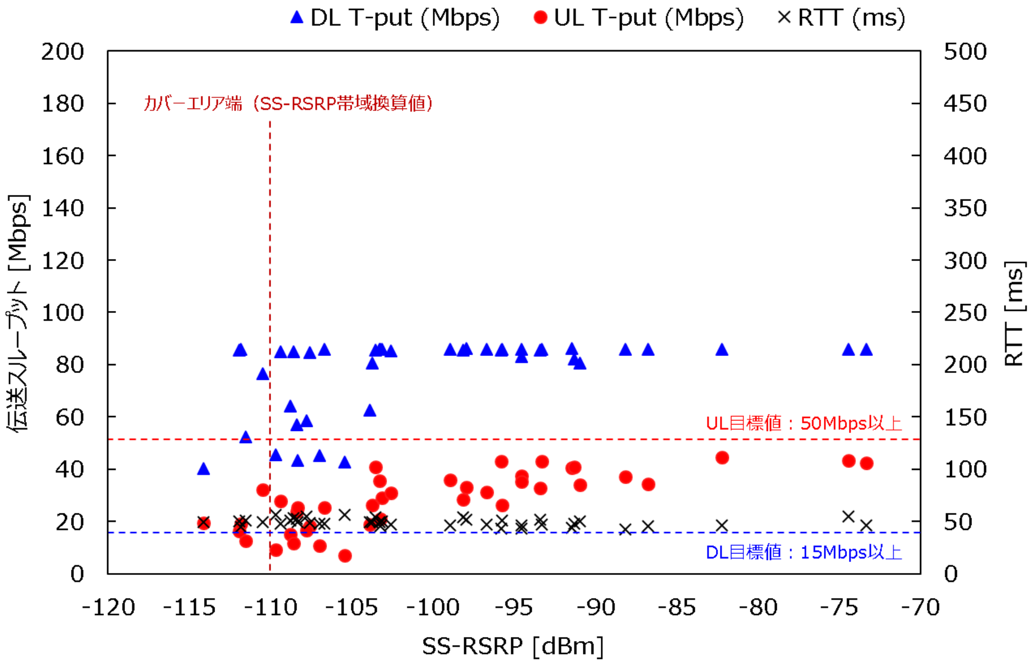


図 3.3-13　実証環境における伝送スループットと SS-RSRP の関係

3.3.1 章に示しているように、交通インフラ分野におけるユースケースを想定した場合、所要性能、特に上り回線の伝送スループットが重要となる。課題実証においては、UL 伝送スループットの目標値として 50Mbps としており、技術実証においても、この目標値を基に評価を行う。

表 3.3-7　課題実証で要求される所要性能（再掲）

項　目	下り(DL)	上り(UL)
通信速度	15Mbps/台	50Mbps
利用条件	同時通信 1 台想定	同時通信 1 台想定

図 3.3-14 は、ターゲットエリア周辺における伝送スループット、RTT の測定結果を累積確率分布としてグラフ化したものである。

結果から、伝送スループットについては課題実証の目標値である、DL=15Mbps、UL=50Mbps を評価指標とすると、DL については概ね 99%以上の確立で評価指標を上回っているが、UL については評価指標 50Mbps を超える測定点は 1 つもなかった。なお、見通し、見通し外で比較しても同様の性能が得られていることが分かる。

UL 伝送スループットにおいて所要性能を下回った要因のひとつとしては、変調方式の影響が一つとして考えられる。今回実証に用いた変調方式は 64QAM であるが、UL において所要性能を達成しておらず、より変調多値数の高い変調方式を用いることが重要であると考えられる。

このことからサービスエリア内で十分な所要性能を得るためには、カバーエリア閾値以上の電力を確保することはもちろん、変調方式等の無線局パラメータについても環境を考慮した設計が必要となると考えられる。

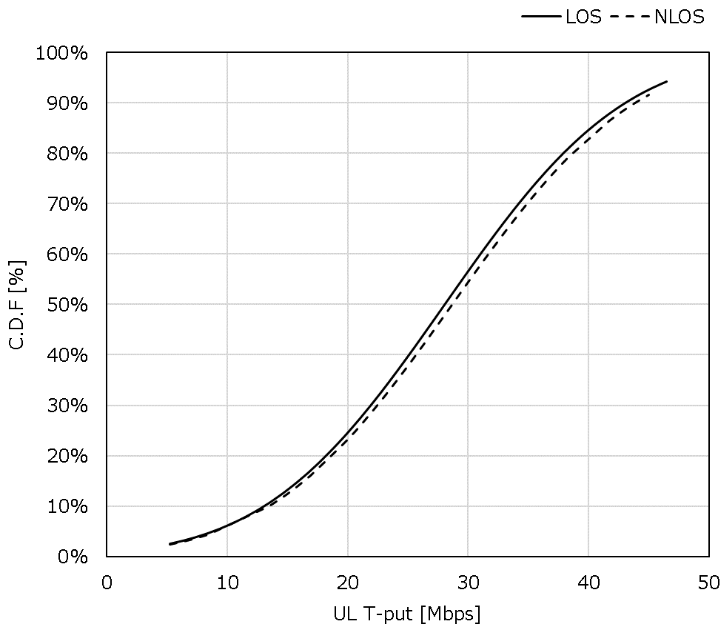


図 3.3-14(a) ターゲットエリア周辺における UL 伝送スループット累積分布

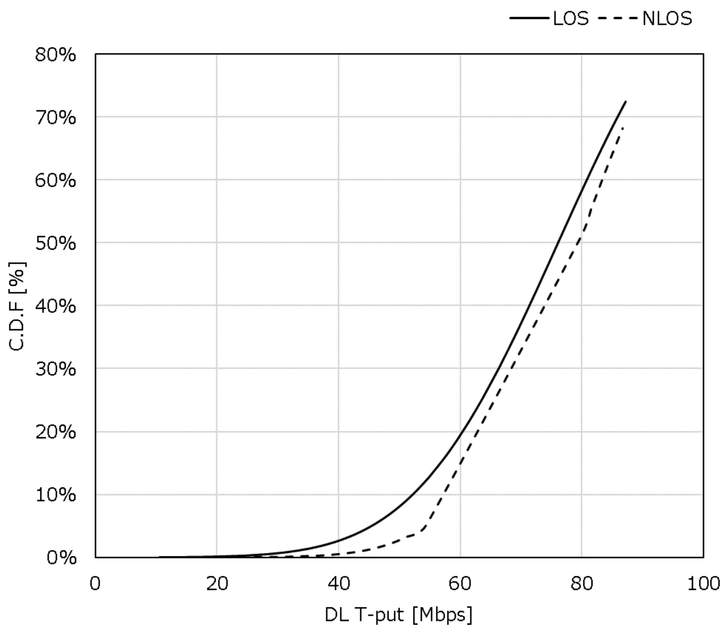


図 3.3-14 (b) ターゲットエリア周辺における DL 伝送スループット累積分布

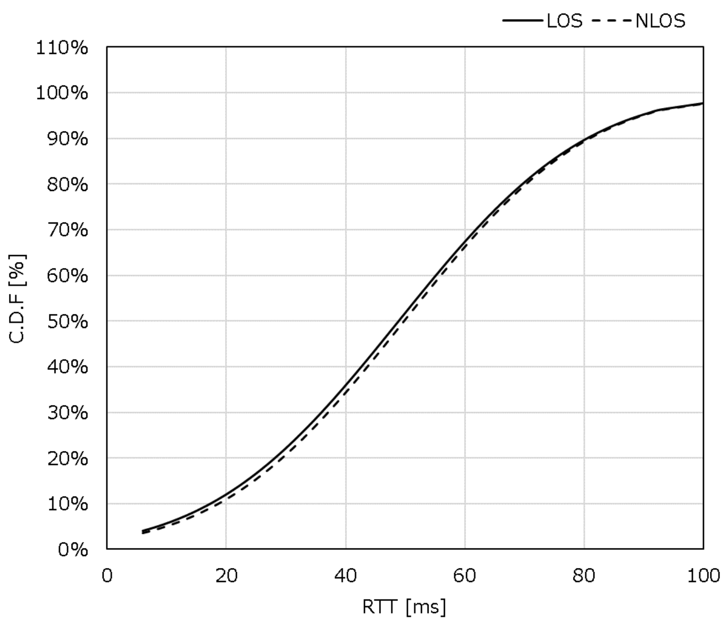


図 3.3-14 (c) ターゲットエリア周辺における RTT 累積分布

（5）技術的課題の解決方策

今回の実証では、交通インフラ分野においてセクタ指向性のアンテナを 1 局活用し、埼玉県越谷レイクタウン周辺の国道 4 号線上にローカル 5G の環境構築を行った。その結果、実測値から得られた伝搬特性においては、ローカル 5G 審査基準で用いられている見通し外環境における周辺建物高 hr=15m とよく一致していることが分かった。また、エリア算出法におけるエリア図については基地局後方及び、基地局-測定器間に建物が存在する方向においては、調整対象区域においいて差分がみられた。

前者については基地局後方が見通し環境となる為、伝搬損失が自由空間と近しい値となること、後者については建物遮蔽による影響差分であることが考えられる。そのため、周辺に大型商業施設及び、住宅地が存在する屋外環境において、ミリ波帯のエリア構築を行う際は、本実証の様な地標高 4m 程度の高さに置局し、基地局チルトを 20 度とするようなスポット的なエリア設計が有効であると考えられる。

しかしながら、隣接する大型商業施設等で他のローカル 5G 無線機が利用される場合においては、その干渉影響は払拭できないため、基地局アンテナの指向性を絞りつつ、基地局指向方向において必要最低限のサービスエリアを確保しつつ調整対象区域を抑えるようなチルト制御もしくは送信出力制御等の置局設計が望ましいと考えられる。

一方、今回サービスエリア内において十分な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である 50Mbps を達成することが出来なかった。この結果から、受信電力のみならず、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ことが分かった。

3.3.2　電波伝搬モデルの精緻化

3.3.2.1 実証の目的・目標

（1）背景となる技術的課題と実証目的

交通インフラ分野におけるユースケースを前提とした場合、屋外に基地局を設置することで、車両による動的な遮蔽・反射環境の変化や自己土地外への電波漏洩等の電波伝搬特性を把握したエリア構築が課題となる。今回課題実証では、“平常時および災害時の道路管理における道路管理業務の効率化と迅速化”を目的としており、下図に示す交差点手前の直線道路上のエリアをカバーするため、ローカル 5G 基地局 1 局を活用して実証を行っている。技術実証においても、同じ基地局を用いることで、屋内環境における電波伝搬特性を網羅的かつ効率的に把握することが出来る。

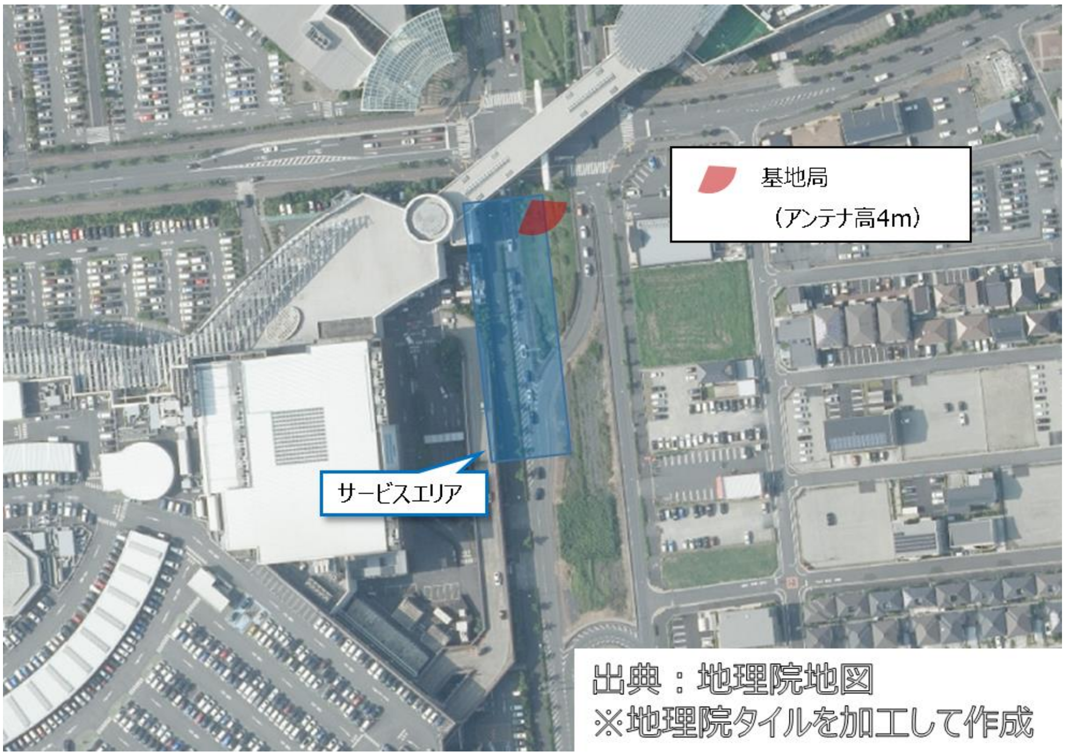


図 3.3-15　課題実証エリア

（2）実証目標

はじめに、3.3.2 においては柔軟なローカル 5G システムの設計・構築に資する検討として、仕様書要件で規定されているエリア算出法に含まれるいくつかのパラメータ（**表 3.3-7**）を対象とし、その値を精緻化することが求められる。

本検討において得られる精緻化したパラメータ値により、ローカル 5G 運用エリアに合わせてエリア算出法を適正化する等の制度改正につながることを目標としている。

また、得られた知見については、総務省が策定しているローカル 5G ガイドラインにおいて、モデルケースとして記載することで、ローカル 5G の利活用に生かされることを想定している。

今回の実証環境においては、28GHz 帯の屋外局を想定しているため精緻化の対象パラメータは表 3.3-7 から *"hr"* とする。なお、 *"hr"* は基地局周辺の平均建物高に応じて修正するパラメータであるが、基地局の周囲の対象範囲の取り方について明確な基準は定まっていない。

よって、本実証においてはエリア算出法で規定されている調整対象区域端の受信電力閾値となる電波の到達範囲を考慮した半径 200m において平均建物高"hr"を算出する。

また、エリア算出法に基づく算出式の引用元「ITU-R P.1411-10」を参照するとパラメータ"hr"は以下のように定義されている。すなわち、本実証環境においては基地局アンテナ高 4m、移動局アンテナ高 1.5m となることから、周辺建物高より低地に基地局を置局する場合は、厳密にはエリア算出法の適用範囲外となる。

基地局アンテナ高（h1）　＞　hr　＞移動局アンテナ高（h2） ※Δh2 ＞ 4m

しかしながら、ローカル 5G のミリ波帯の運用としてはスモールでスポット的な運用が考えられることから、今後も同様な基地局の置局設計が行われることが考えられる。

そのため、まずは前述した通りパラメータ "*hr*" について仮説値と実測値の比較を行い、その結果から今後のミリ波帯における技術基準の改訂に資する評価を行うこととした。

Propagation for suburban area

Model is defined for the path A (h_1) to B (h_2) as depicted in Fig. 1. The model is valid for:

h_r:	any height m
Δh_1:	1 to 100 m
Δh_2:	4 to 10 (less than h_r) m
h_1:	$h_r + \Delta h_1$ m
h_2:	$h_r - \Delta h_2$ m
f:	0.8 to 38 GHz
w:	10 to 25 m
d:	10 to 5 000 m

(Note that although the model is valid up to 5 km, this Recommendation is intended for distances only up to 1 km.)

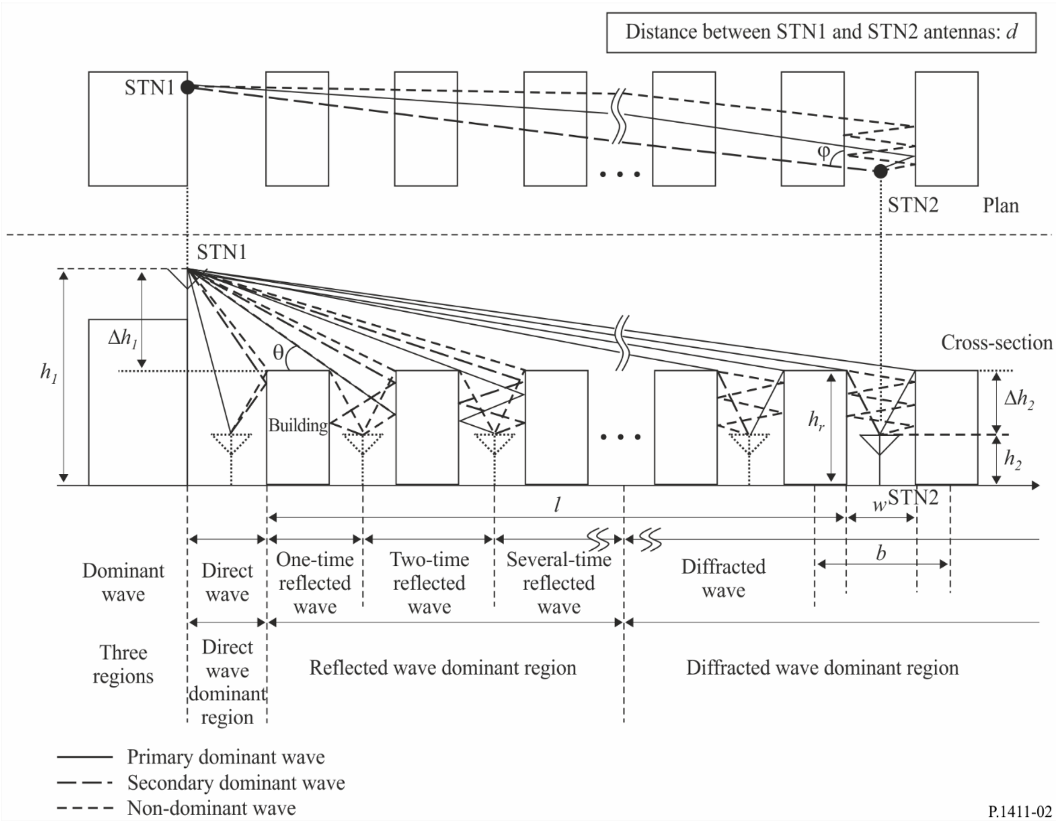


図 3.3-16　見通し外環境におけるパラメータ"hr"の定義

表 3.3-8　精緻化の対象パラメータと精緻化の方向性、実証環境の要件

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	● 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	● 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	● 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	● 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	● 基地局設置場所が屋内である

出典：令和 3 年課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証（令和 3 年 6 月）P34 表 2

3.3.2.2 実証仮説

今回精緻化の対象とするパラメータ *“hr”* については、電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）において詳しく記載されている（表 3.3-9）。平均建物高は基地局を開設するエリアにおいて、階層ごとに値が定義されており、屋外で見通し外の場合は環境に合わせたパラメータ選択が必要である。

今回、技術実証を行う場所は基地局西側に大型商業施設が隣接しており、東側は概ね 2 階建ての住宅街が密集する環境である。そこで、補正値 *“hr”* は基地局を中心とし、電波の到達範囲を考慮した半径 200m 以内において地図データから算出した平均建物高 15m とした。

表 3.3-9　電波関係審査基準の電波伝搬式における補正項選択肢

条件	値[m]
概ね 5 階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合	15
概ね 3 階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合	10
概ね 2 階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合	6
概ね平屋が散在する地域や田園地域の場合	3

出典：電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）：
https://go5g.go.jp/sitemanager/wp-content/uploads/2021/06/ 電波法関係審査基準ローカル５G 部分＜抜粋＞.pdf

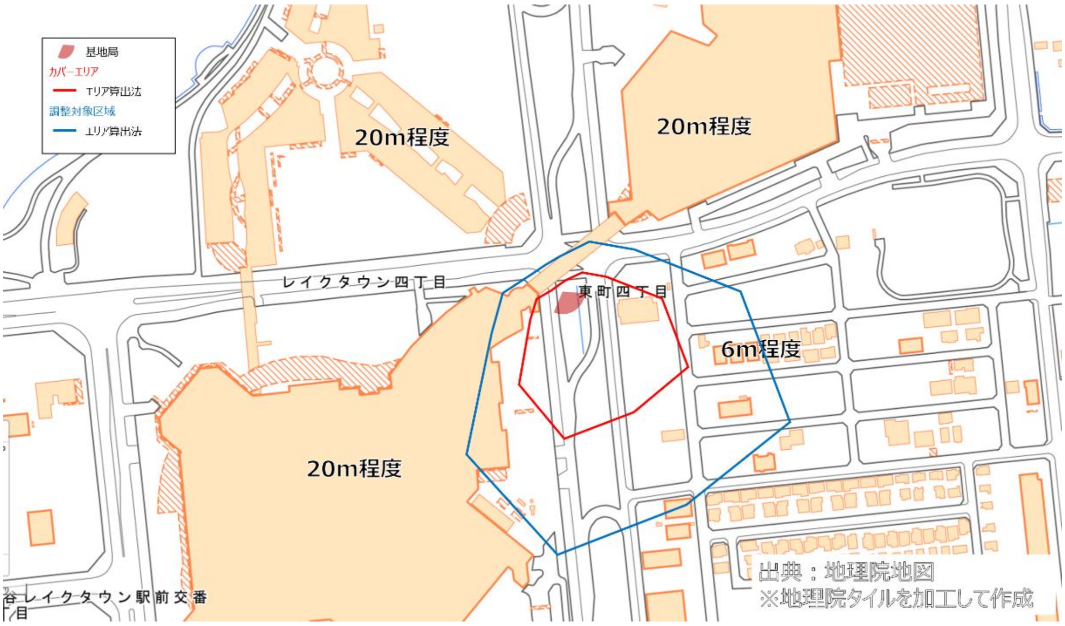


図 3.3-17　実証環境における周辺建物高

前述の仮説に基づき、パラメータ *“hr”* の値を修正したカバーエリアおよび調整対象区域を下図に示す（hr=15m の場合）。

図 3.3-18　仮説パラメータ hr（＝15）を用いて算出した
カバーエリアおよび調整対象区域（イメージ）

3.3.2.3 評価・検証項目

精緻化の対象パラメータ *“hr”* について、仮設と実測結果から得られる知見の両方を用いて評価・検証を行い、実証環境における適切な hr 値を導く。

また、この評価・検証において、実証環境におけるローカル 5G の電波伝搬モデルの精緻化に関する技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等についても考察を行う。

3.3.2.4 評価・検証方法

（1）測定方法

測定については、以下の考え方で実施した。測定機器に関しては技術実証全体を通して同じであり 3.2 章にて記載している。

1）測定エリアの考え方

エリア算出法と比較を行うための下り受信電力値の実測は、仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域において実施した。

各エリアは置局点に対し全方位で作図する必要があるため、精緻化後のエリア算出式の評価としては、ある一方向だけではなく、できるだけ全方位での実測を実施が望ましい。

そのため、実測エリア内において置局点を中心として 30°方向ごとに方位を区切り、カ

バーエリア端、調整区域端でそれぞれ 12 点(方位)ずつの点について、測定を実施した。ただし、建物の構造や障害物の存在等により立ち入りが難しい場所については測定地点をずらすなどで対応した。

なお、観測された下り受信電力値が、エリア算出法により導出されるカバーエリア端、調整対象区域端の閾値と異なる場合はそれぞれの閾値が観測される範囲まで測定エリアを広げることとした。

図 3.3-19　測定エリア

2）測定項目

一般的に 5GNR のエリア指標として用いられている SS-RSRP (Synchronization Signal-Reference Signal Received Power) および SS-RSRQ (Synchronization Signal-Reference Signal Received Quality)について実測した。

3）測定手法と実測模様

各種データは、上記の考え方に基づき選定した測定地点に測定員が赴き、表 3.2-1 に示す測定器および表 3.2-2 に示す設定値を用いて実測した。また、実証環境における電波伝搬環境をより詳細に分析するため、各測定地点においては測定員の目視により見通し環境もしくは見通し外環境であるかを併せて記録した。ただし、建物の構造や障害物の存在等により立ち入りが難しい場所については測定地点をずらすなどで対応した。

SS-RSRP および SS-RSRQ は、エリアテスタを用いて、1000 サンプル/地点のログ取得を実施した。

なお、受信電力の測定においては、定在波の影響を避けるため、1 つの測定点において、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した。

測定においては、測定点間の移動を効率的に実施するため、図 3.2-6 に示すような測定補助用の治具を作成して測定した。

（2）評価・検証方法

電波伝搬モデルの精緻化については 3.3.1 章、3.3.2 章で実測した各種データを用いて下記に記載する流れで評価・検証を進めていくこととした。

① 仮説 *hr* 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域図の作成
実証環境内に設置する 1 つの基地局について、仮説 *hr* 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の図を作成した。詳細は 3.3.2.2 章実証仮説を参照されたい。

② 実測値から推定されるカバーエリアおよび調整対象区域図の作成
①で作成した仮説に基づくエリア図との比較を行う為、実測した各種データを図面上にプロットし、カバーエリアおよび、調整対象区域の閾値から実測値による推定エリア図を作成した。

③ 仮説 *hr* に基づくエリア算出法と、実測値から推定されるエリア図との比較
仮説 hr 値に基づくエリア図の妥当性を評価するため、①、②で作図したエリア図の比較を行った。また、カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端が異なる箇所においてはその差分値をとりまとめた。

④ 対象パラメータの精緻化
仮説に基づき設定した対象パラメータ *“hr”* の値について、③の結果から得られる①、②エリア図の差分の値を活用し、対象パラメータ *“hr”* の値を精緻化した。精緻化を行った対象パラメータ *“hr”* を用いて、再度カバーエリアおよび調整対象区域図を作成し、実測値から推定されるエリア図との比較を行うことでその妥当性を評価した。

3.3.2.5 実証結果および考察

実証環境における測定結果の取りまとめは、3.3.1.4（1）で取り纏めており、本章においてもそのデータを活用した。

（1）仮説 hr 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域図

下図に、実証環境内に設置するそれぞれの基地局について、仮説 hr 値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域を下図に示す。詳細は 3.3.2.2 章実証仮説を参照されたい。

図 3.3-20　仮説パラメータ hr（=15m）を用いて算出した カバーエリアおよび調整対象区域

（2）実測値から推定されるカバーエリアおよび調整対象区域図

実測値から推定されるカバーエリアおよび調整対象区域図を図 3.3-21 に示す。なお、エリア図の推定においては、定点による測定結果のみでは詳細な推定が困難であるため、実証環境周辺において立ち入り可能な場所を面的に測定した結果も参考にしつつ評価を実施している。

図中、赤線は 28.2~29.1GHz 帯におけるローカル 5G 審査基準で定められている“カバーエリア端レベル（100MHz 幅の場合：-81.2dBm）”を前提に実測値から評価した想定カバーエリア端である。一方、青線は、同様に審査基準で定められている“調整区域端レベル（100MHz 幅の場合：-90.0dBm）”を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル（SS-RSRP）の測定帯域は 120kHz であるため、実測値におけるエリア閾値は上述したエリア端閾値を 100MHz から、120kHz へ帯域換算した以下の値を用いている。

カバーエリア端レベル（SS-RSRP 帯域換算）　：-110.4dBm
調整区域端レベル（SS-RSRP 帯域換算）　　　：-119.2dBm

結果から、本実証においてはセクタ指向性のアンテナを用いていることから、カバーエリア及び調整対象区域においても、基地局指向方向に延びる形で楕円形のエリア図となることが分かる。また、基地局東方向においては住宅地等が散在しており、建物遮蔽により調整対象区域がやや狭くなることが確認できる。なお、基地局西方向においては、大型商業施設の敷地内となる為、実測が実施できていないため、実際の環境を基に推定した補助線（破線）にて示している。地図上からでは、建物内に浸透してエリア図（補助線）が引かれているように見えるが、これは、移動局の高さ 1.5m とした場合、対象エリアの 1F は駐車場となり実環境においては建物外壁による遮蔽が見込めないためである。仮に、1F に建物が存在する場合はその壁面の損失マージンを考慮したエリア図作成が望ましい。

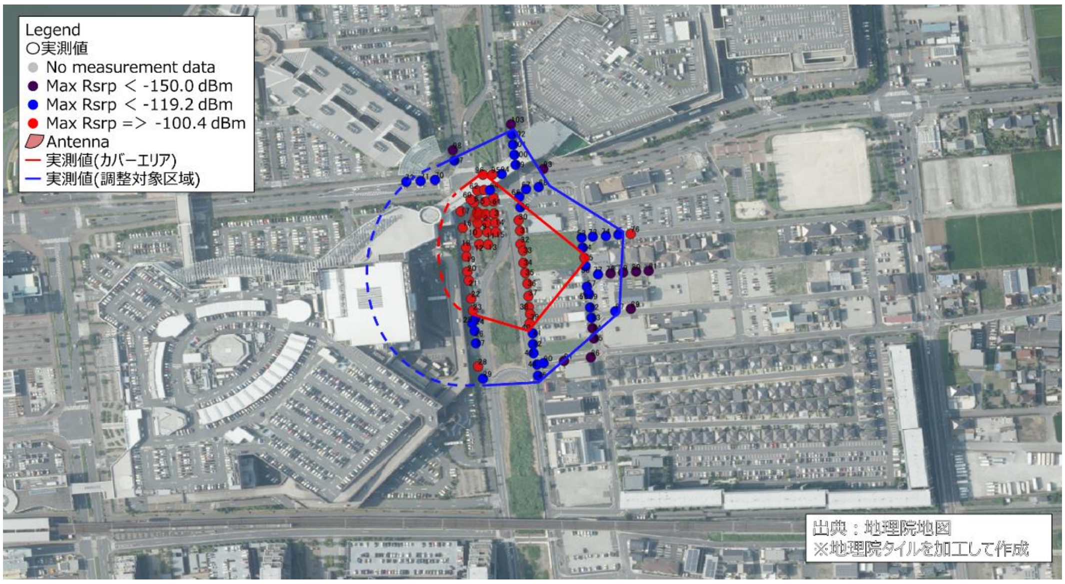


図 3.3-21　実測値から推定したカバーエリアおよび調整対象区域

考察結果を基に、本実証環境におけるパラメータ *hr* の精緻化値を表 3.3-9 とする。

（3）仮説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

3.3.2.5 章（1）にて仮説値から算出したエリア図と、3.3.2.5 章（2）にて実測値から推定したエリア図の比較を行い、仮説値の妥当性を評価した。

仮説値におけるエリア図と実測値から推定したエリア図を図 3.3-22 に示す。

結果から、仮説値と実測値は概ね一致しており、基地局北方向と、基地局南東方向で一部差分が見られるが、北方向は基地局後方が見通し環境となるため、考慮する損失は自由空間損失のみであり、差分が発生していると考えられる。

また、南東方向は住宅による遮蔽の影響により、実測値がエリア図よりも狭く観測されていると考えられる。なお、3.3.1 章で検討した実測値伝搬ロスからの伝搬モデル推定では図 3.3-23 に示す通り、ミリ波帯におけるローカル 5G 審査基準式 hr=15m において、特性が概ね一致している。

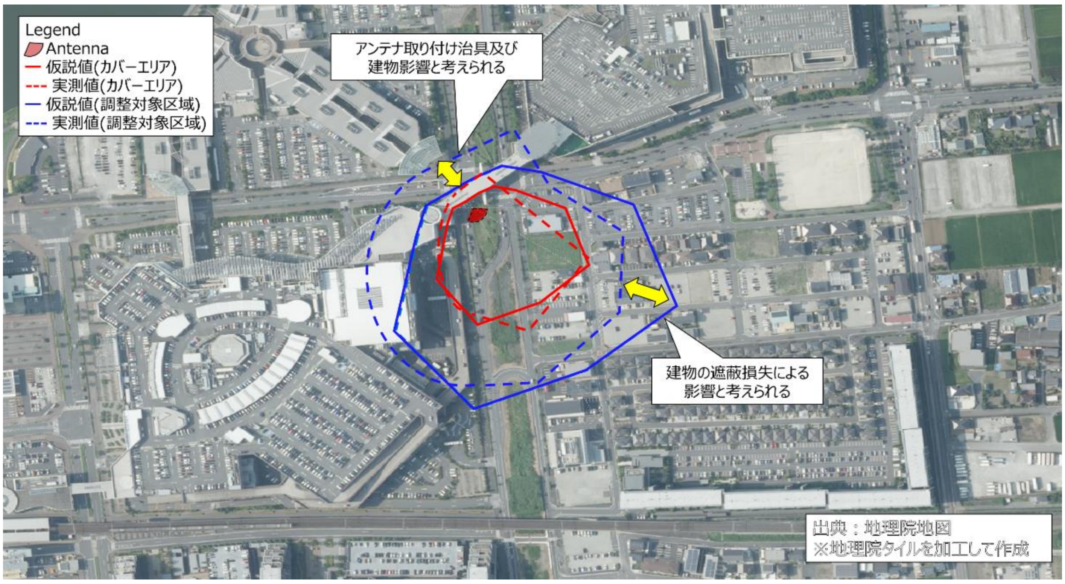


図 3.3-22　仮説値エリア図と実測値推定エリア図との比較

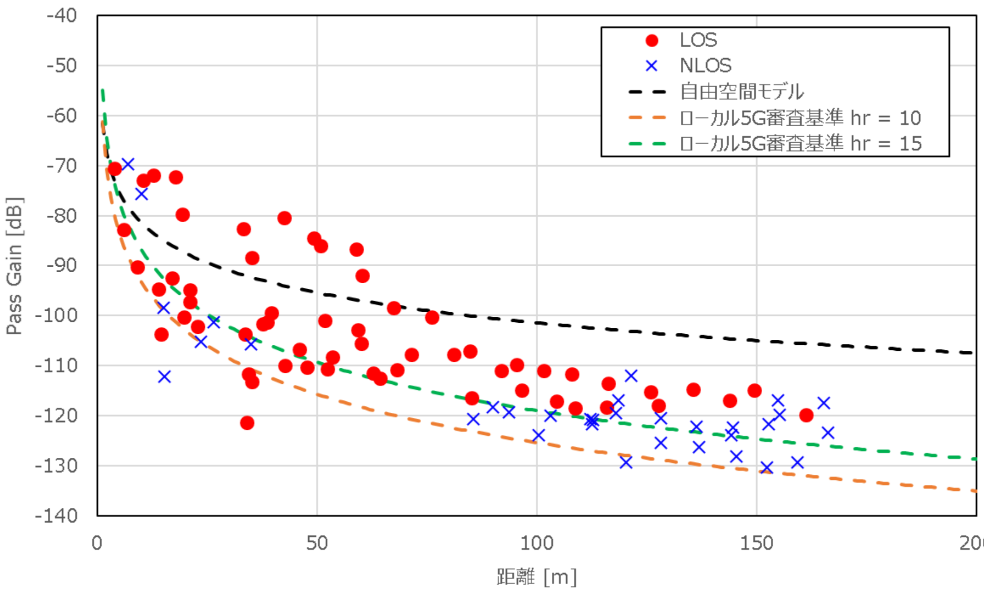


図 3.3-23　実証環境における伝搬ロスの距離特性（再掲）

これらの結果を基に、本実証環境におけるパラメータ hr の精緻化値を表 3.3-10 とする。

表 3.3-10　本実証環境を基に精緻化したパラメータ hr

条　件	値[m]
概ね 5 階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合	15
概ね 3 階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合	10
概ね 2 階までの建物が密集する地域に基地局を開設する場合	6
概ね平屋が散在する地域や田園地域の場合	3
概ね 5 階までの大型施設および 概ね 2 階までの住宅地が密集する地域に基地局を開設する場合 ※基地局を 4 m 程度と周辺建物よりも低地に置局する場合	15

（4）まとめ

今回の実証では、埼玉県越谷レイクタウン周辺の国道 4 号線上の中央分離帯に 4m の高さで置局したセクタ指向性のアンテナを 1 局活用し、周辺建物高よりも低地に置局された場合におけるエリア算出法パラメータ hr 値の精緻化を実施した。その結果 hr 値においては、周辺地図情報から導き出される周辺建物高さ 15m の値において、実測値と概ね一致することが確認できた。

しかし、エリア算出法に用いられている hr 値は 3.3.2.1 章(2)で述べた通り、図 3.3-16 に示すような基地局高が周辺建物高よりも高い位置に置局される場合に適用されるパラメータである。また、ミリ波帯におけるエリア算出法の伝搬損失においては、以下の 3 パターンの評価基準が定められているが、本実証環境の様な周辺建物高よりも低地に置局され、見通し外となるような環境においては適用する伝搬損失モデルは存在していない。

・見通しの場合：自由空間損失
・屋内置局の場合：自由空間損失＋建物侵入損失
・見通し外の場合：「ITU-R P.1411-10」の周辺建物高 hr を考慮した伝搬損失

ただ、今回の様な実証環境においても、hr 値を用いたエリア図と実測値は概ね一致していることが確認できており、何かしらの因果関係は存在すると考えられる。ここで一つ仮説を立てるとすると、「ITU-R P.1411-10」においては、図 3.3-16 に示す通り、建物間の反射波を考慮しており、本実証環境においてはその反射波が垂直方向ではなく、水平方向にて発生していることがあげられる。そのため、建物高さを建物の幅と読み替えることで大型商業施設等の建物と住宅地の間で発生した反射波が測定地点にて観測され結果的にエリア図と一致したと考えられる。

しかし、本実証環境においては住宅地等も散在しており、あくまでも一仮説であるため、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においても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。

また、もう一つのアプローチとしては、周辺建物高よりも低地に基地局を置局し、完全に見通しが取れない方向においては、建物の密集度合や構成によって、建物侵入損失と同様に建物の集合的な遮蔽を見込むことも有効であると考えられる。本実証環境においては集合住宅地を超えて、基地局からの受信電力を観測することが出来なかった為、このアプローチは実施できていないが、前述したストリートキャニオン環境と同様により詳細な検証が必要であると考える。

Propagation for suburban area

Model is defined for the path A (h_1) to B (h_2) as depicted in Fig. 1. The model is valid for:

h_r:	any height m
Δh_1:	1 to 100 m
Δh_2:	4 to 10 (less than h_r) m
h_1:	$h_r + \Delta h_1$ m
h_2:	$h_r - \Delta h_2$ m
f:	0.8 to 38 GHz
w:	10 to 25 m
d:	10 to 5 000 m

(Note that although the model is valid up to 5 km, this Recommendation is intended for distances only up to 1 km.)

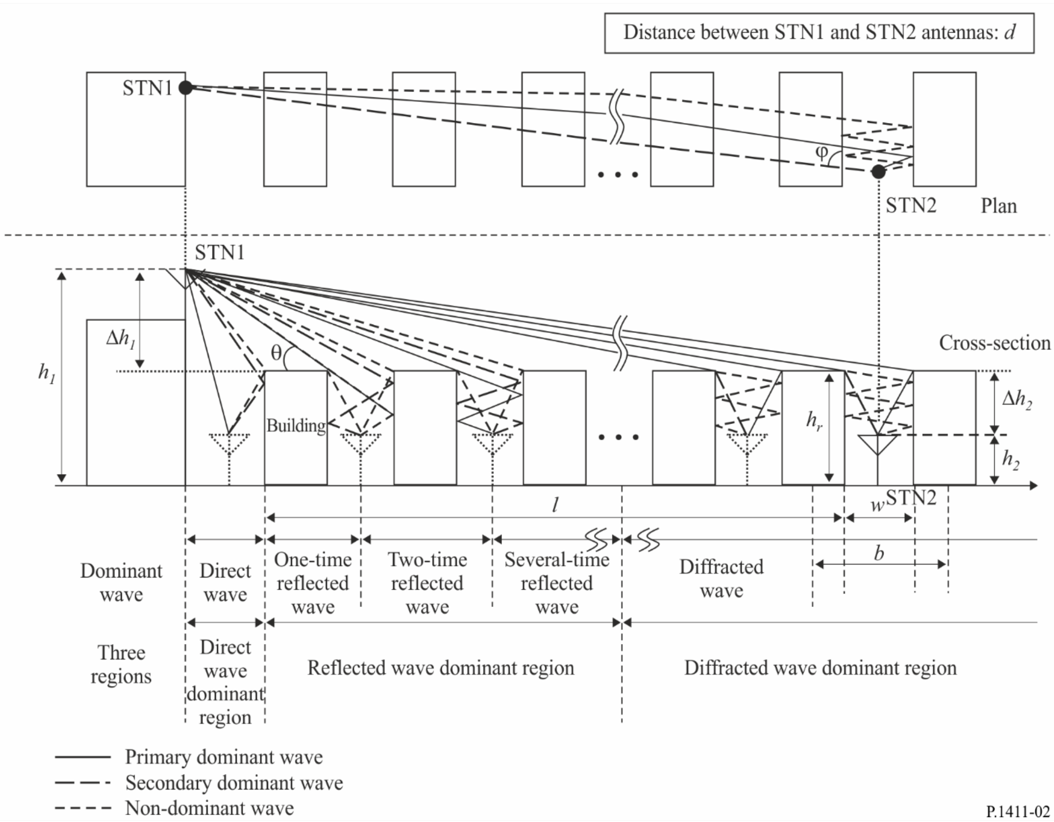


図 3.3-24　見通し外環境におけるパラメータ"*hr*"の定義（再掲）

3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

3.3.3.1 実証の目的・目標

（1）背景となる技術的課題と実証目的

本実証において使用するミリ波帯は電波伝搬特性上、直進性が高く、車両の種類、混雑具合によって動的に遮蔽・反射環境が変化する環境においては、基地局アンテナ設置高を高い位置に設置した吹き降ろしによるエリア形成が有効であると考えられる。しかしながら、本実証環境においては屋外かつ自己土地が道路となるため、アンテナ設置高を高くするほど他者土地への漏洩電力が課題となる。

また課題実証の観点からは、“平常時および災害時の道路管理において、車両等が取得した 4K 映像を含む大容量のプローブデータを、ローカル 5G スポット（強電界エリアで約 50Mbps を想定）を通過する間に伝送し、伝送可能量なボリュームを検証した。

このため、道路上でのデータ伝送可能距離を長く取ることが非常に有用であることから、通信可能な範囲を効果的に拡大し、実装性を高める工夫が重要と考える。

他方、交通安全上の観点から、車両運転者から信号灯への視野妨害とならないよう、道路管理事務所の合意を得たうえで、信号機との位置関係に注意した置局が必要となる。

上記の考え方に基づき、アンテナ高を 3~4[m]程度に抑えて置局設計を行ったローカル 5G 基地局 1 局を活用し、図 3.3-15 に示す道路上のエリアをカバーしたうえで実証を行った。

しかし、下図に示す信号機付近のエリアにおいては、基地局放射方向の背面となる為、エリア形成が困難であると考えられる。

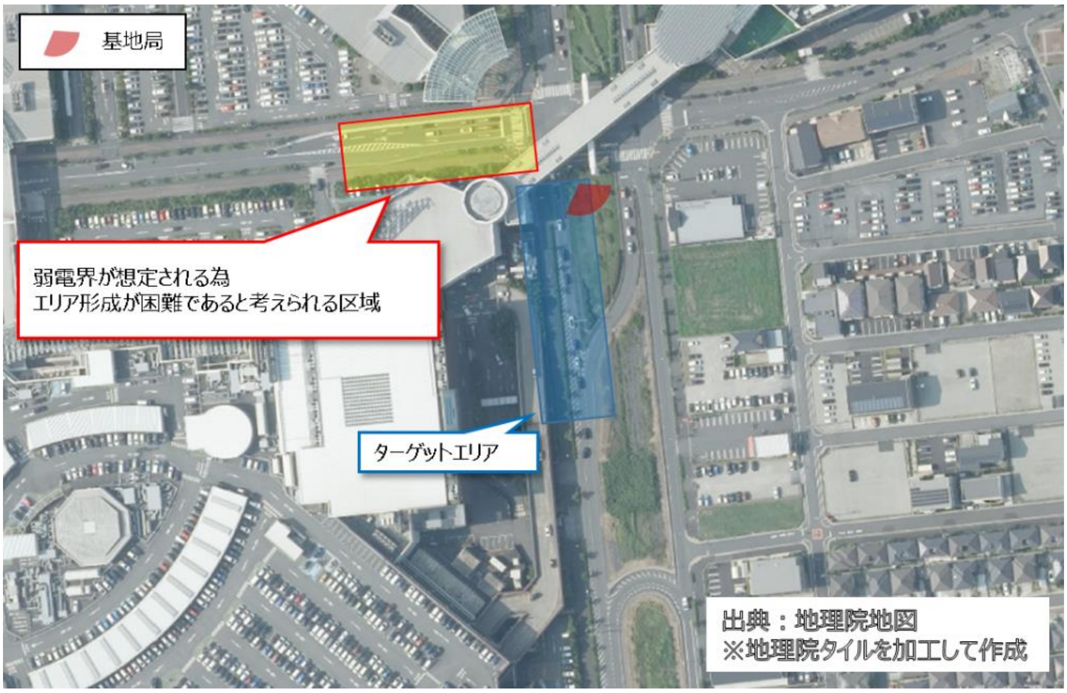


図 3.3-25 エリア形成が困難であると考えられる区域

（2）実証目標

技術的課題で述べた、図 3.3-25 に示すエリア形成が困難と考えられるエリアにおいて、図 3.3-26 のイメージのとおり対象エリアを狙う形で電波反射板を設置することで、基地局背面のエリアカバーを行うと同時に、直進性の高いミリ波帯の電波においても曲折したエリア構築が可能か検証を行った。

本検証を通して、周辺環境により置局条件が制限される場合、もしくはアンテナ指向性外において狙ったエリアをカバーする場合においての解決方策として、反射板を活用するエリア設計の柔軟化について示すことを目標とした。

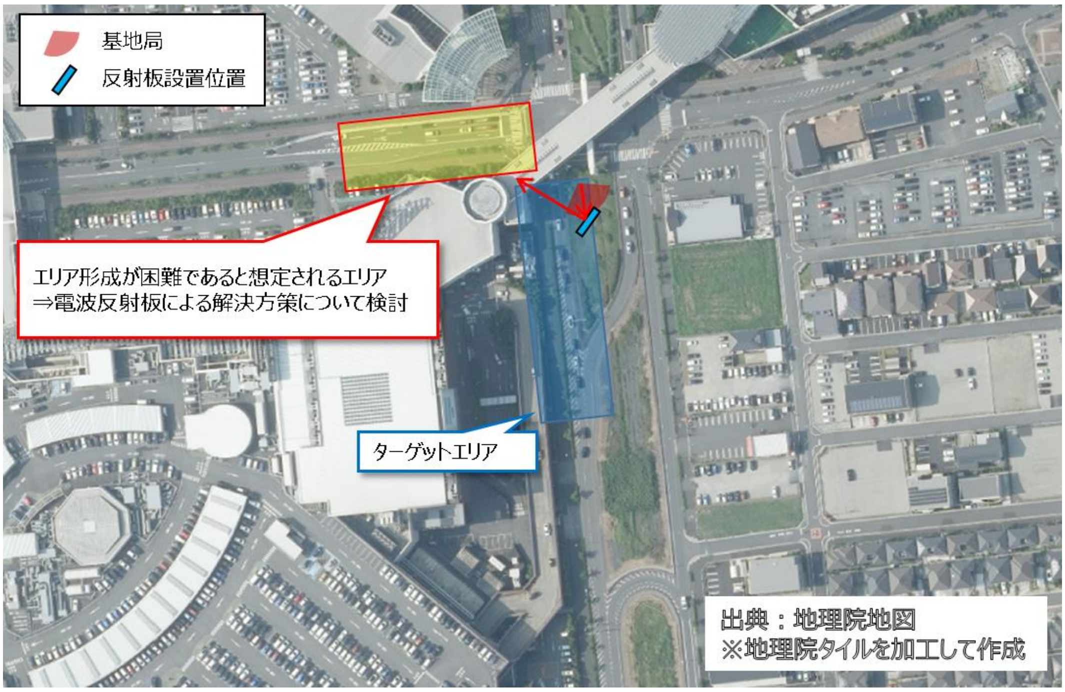


図 3.3-26　電波反射板によるエリア改善

当該方策による課題解決の可能性を検証するために達成すべき評価指標・所要性能は、エリア形成の観点と、エリア品質の観点から下表のとおり定めることとした。また、要求されるスループット値を達成するために必要な受信電力等についても、3.3.1 章で得られるスループット値と受信電力等の相関関係から目標値を設定した。なお、電波発射板設置前において、評価指標を満たしている場合は、その上昇値を割合で評価した。

それらの評価結果から、電波反射板によるエリア構築の柔軟化に資する知見をとりまとめることを実証目標とした。

表 3.3-11　課題実証で要求される評価指標・所要性能

項　目	評価指標・所要性能	備考
エリア形成	28GHz 帯の 100MHz システムにおけるカバーエリアの閾値-81.2[dBm]および調整対象区域の閾値-90[dBm]	電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）
エリア品質	通信速度：下り（DL）15Mbps/台、上り（UL）50Mbps/台	同時通信 1 台を想定

3.3.3.2 実証仮説

3.3.3.1 章にて示したエリア構築における課題に対し、下記手法で検討を進めることとした。なお、本検討においては、電波反射板を用いたエリア設計手法確立の観点から、他の実証環境においても適用可能となる汎用的なものが望ましいと考えられる。そのため、本検討を通して反射波、透過波、回折波等のエリア設計上複雑となるパラメータは考慮せず、直接波のみで机上検討およびシミュレーションを実施することとし、実測から得られる結果を基にその妥当性の確認および、考慮すべきパラメータについて提言を行うこととした。

（1）実証環境におけるエリア構築課題の定量的評価

まずは、3.3.1 章で示した電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定する、エリア算出法に基づく基地局単体でのカバーエリアおよび調整対象区域図から、基地局単体においてエリア構築に課題がある区域においてカバレッジを評価する（図 3.3-27）。図中、赤線はエリア算出法に基づくカバーエリア端である。一方、青線は、同様にエリア算出法に基づく調整区域端である。なお、カバレッジの評価においては図中黄線で示すターゲットエリア内において等間隔でメッシュを描き、そのうち何%がカバーエリア閾値以上の受信電力値を満たすことが出来るかで判断した。

結果として、赤線で示すカバーエリア端が黄線で示すエリア構築上課題となる弱電界エリア内に達しておらず、机上検討上は基地局からのターゲットエリアへのカバレッジは 0%となることが分かる。

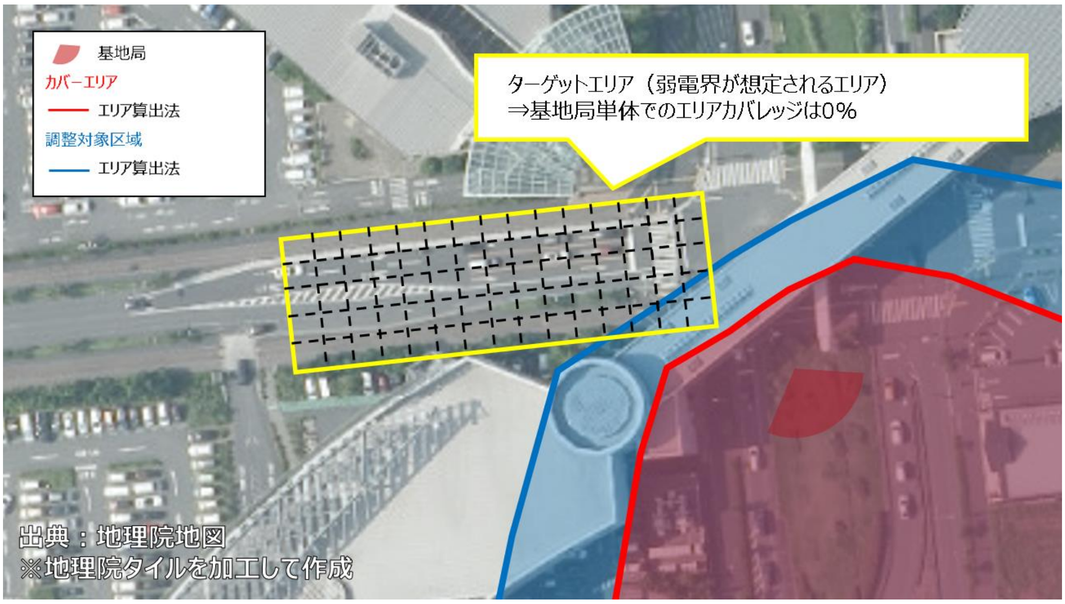


図 3.3-27　基地局単体によるターゲットエリア内のカバレッジ

（2）実証環境における電波反射板の設計手法

3.3.3.2 章(1)で示すターゲットエリアを狙うように電波反射板の設置条件について検討を行う。本実証で使用する 28GHz 帯のエリア算出法においては、基地局から見通し環境となる場合に考慮する伝搬損失は自由空間損失のみであることから、電波反射板活用時においても伝搬損失は次のように考えられる。

伝搬損失＝基地局~反射板間自由空間損失＋反射板~移動局間自由空間損失＋反射板利得

そのため、本実証環境の様な基地局後方の広いエリアをカバーするためには反射板~移動局間の自由空間損失を多く見込めるように、電波反射板は基地局近傍に置くことが望ましいと考えられる。また、その際、電波反射板後方への遮蔽効果により本来の基地局カバーエリアに影響が発生しないよう電波反射板の大きさにも留意が必要と考えられる。

これらの考え方に基づき電波反射板の設置イメージを下図に示す。

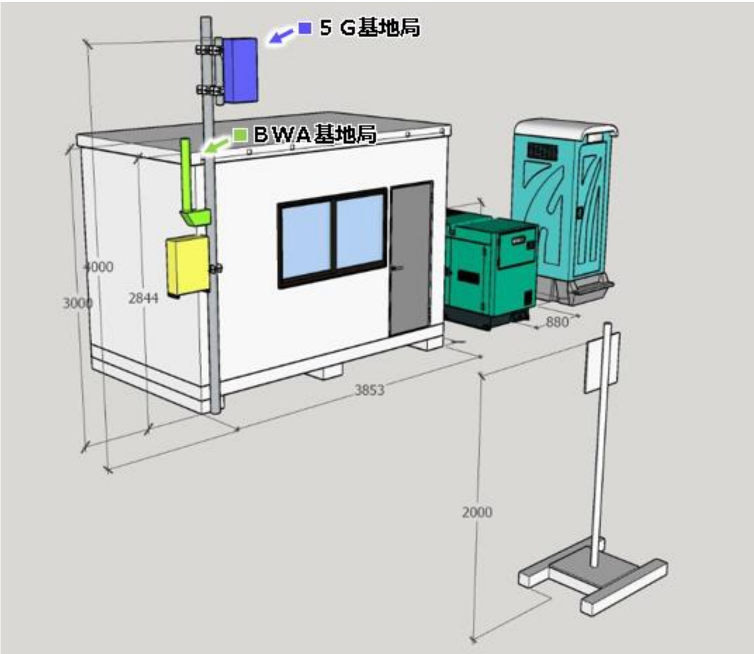


図 3.3-28　電波反射板設置イメージ図

つぎに、電波反射板の入射/反射角度についての検討を実施した。本検討においては前述した通り直接波のみを考慮するため、ターゲットエリア方向において電波反射板から見通し環境で確保できる方位角を算出した。

次頁の図から、方位 285 度から 335 度において電波反射板から 50 度の見通しを確保できることが分かる。この結果から、電波反射板の反射波で狙う角度は 285 度と 385 度の中間となる方位 310 度であり、電波反射板は図 3.3-28 に示す通り基地局と正対させて配置することから、入射波の到来方向は 0 度(360 度)となる。

すなわち電波反射板の入射/反射角度については 50 度÷2=25 度となり、入射特性 25 度、反射特性 25 度として反射板の設計を行う事とする（次頁の図中の赤実線)。

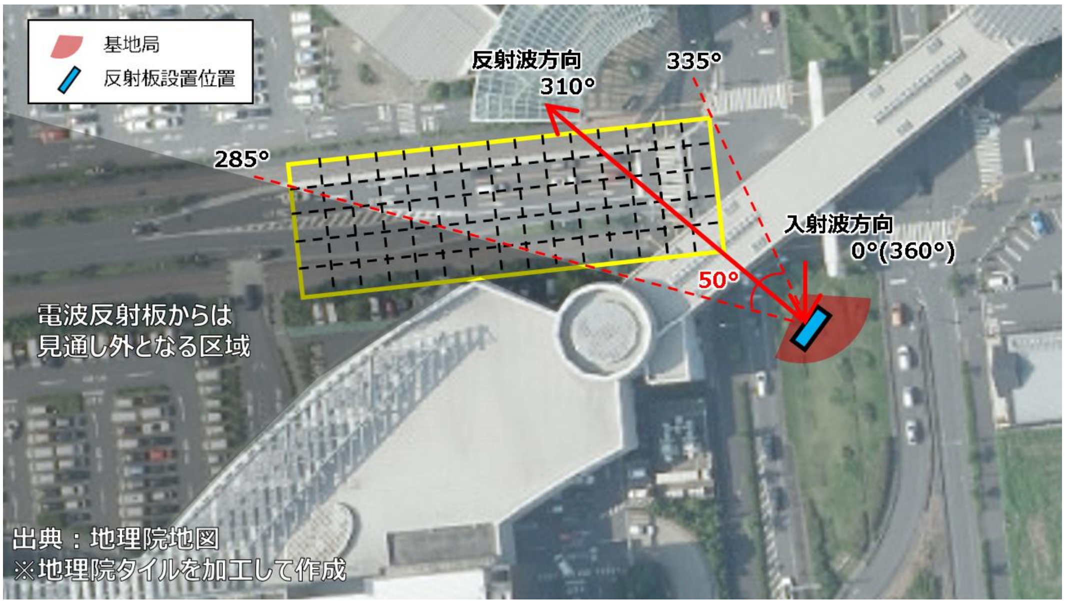


図 3.3-29　電波反射板における入射/反射角イメージ図

これらの検討結果を基に電波反射板の提供元との協議を踏まえ、下表に示す電波反射板を対象として実証を行うこととした。なお、電波反射板においては反射利得と反射ビーム幅に相関関係があり、反射利得を高くすると反射ビーム幅は狭くなり、逆に反射利得を低くすることで反射ビーム幅を広くすることが出来る。

そのため、本実証においては表に赤字で示す通り電波反射板の水平面における反射ビーム幅が 10 度と 20 度のものを用意しターゲットエリアにおけるカバレッジにおいてどちらが望ましいか比較検討を行うこととした。

表 3.3-12　本実証で対象とする電波反射板特性

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
メタマテリアル 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
メタマテリアル 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

※1　AZ＝アジマス(azimuth)：水平面角度　EL＝エレベーション（elevation）：垂直面角度

※2　右記条件における利得：d1＝基地局～反射板の距離（m）d2＝反射板～移動局の距離（m）

（3）エリア算出法に基づく電波反射板を用いたエリア図の作成

電波反射板設置時におけるエリア算出法に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の作図を行うことで、電波反射板の設置時におけるエリアカバレッジについて評価した。エリア算出上の伝搬損失は 3.3.3.2 章(2)の考え方に基づき自由空間損失にて算出した。

図 3.3-30 に表 3.3-12 に示すメタマテリアル No.1（反射ビーム幅 10 度）設置時におけるエリア図を示す。図 3.3-31 に表 3.3-12 に示すメタマテリアル No.2（反射ビーム幅 20 度）設置時におけるエリア図を示す。

結果として、ターゲットエリアのカバレッジはメタマテリアル No.1 設置時：20%、メタマテリアル No.2 設置時：5%となった。

メタマテリアル No.2 においてカバレッジ率が低い理由としては、反射ビーム幅を 20 度としたことで、反射板の利得がメタマテリアル No.1 に比べて 8dB 低いためである。また、これらの結果は反射ビーム幅内のみにおいて一律で反射板利得を考慮した結果であり、実環境においては電波反射板からの反射ビーム幅以外の角度においても反射波が観測されることが考えられ、エリアカバレッジは広がることが想定される。

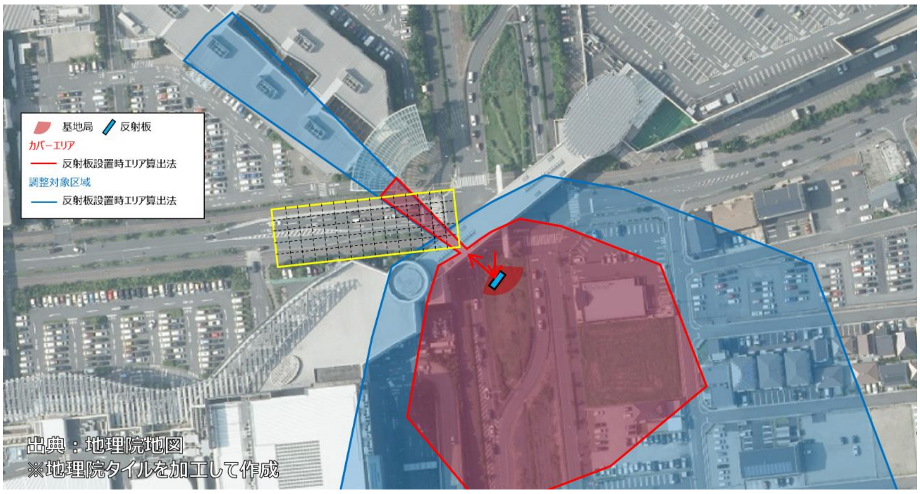


図 3.3-30　メタマテリアル No.1 設置時におけるエリア図

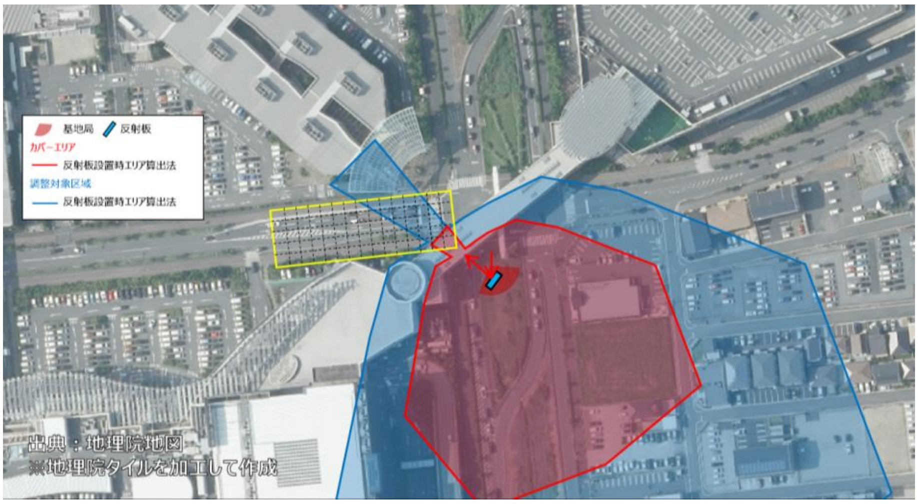


図 3.3-31　メタマテリアル No2 設置時におけるエリア図

（4）レイトレーシング法に基づくに電波反射板を用いたエリア図の作成

3.3.3.2 章(3)においては、エリア算出法に基づくエリア図について検討したが、机上検討では角度ごとの利得の考慮が困難であるため、電波反射板ビーム内は一律で利得を設定し、それ以外の角度においては反射板利得を考慮していない。その結果、エリア図はビーム幅内においてのみ算出され、ターゲットエリア内におけるカバレッジ率も少なくなっている。

ここでは、上記課題を解決するため、レイトレーシング法を用いたエリアシミュレーションを実施し、より実環境に近いカバレッジを導出した。エリアシミュレータについては構造計画研究所が提供する「Wireless InSite」※を活用した。

なお、本シミュレータはメタマテリアル等の電波反射特性を変化させるような構造物には対応していない。そのため、今回は反射板利得をアンテナの絶対利得、反射ビーム幅をアンテナのビーム半値角（HPBW）と置き換え、ダイポールアンテナを基準として相対的にアンテナパターンを作成した、疑似反射板アンテナを電波反射板の設置位置に配置し、その地点に置ける基地局からの到達電力を、送信電力としてシミュレーションを行った。

※http://network.kke.co.jp/products/wi/

本実証環境である国道 4 号線と周辺施設の 3DCAD 計算モデルを下図に示す。

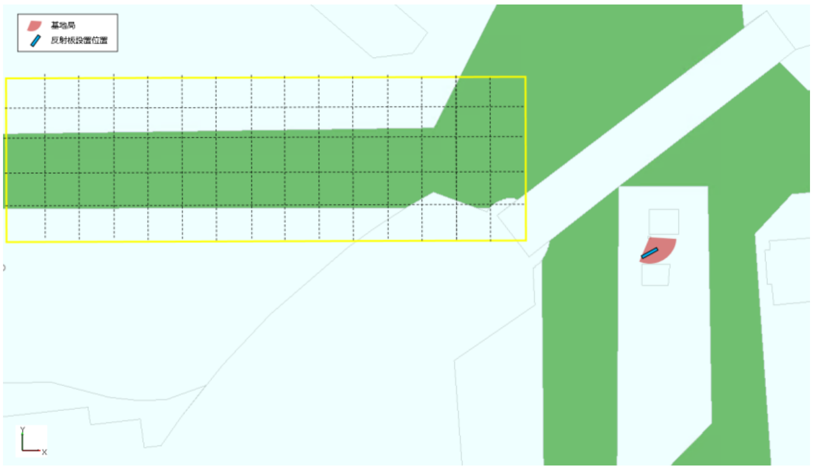


図 3.3-32(a) 実証環境モデル（2D）

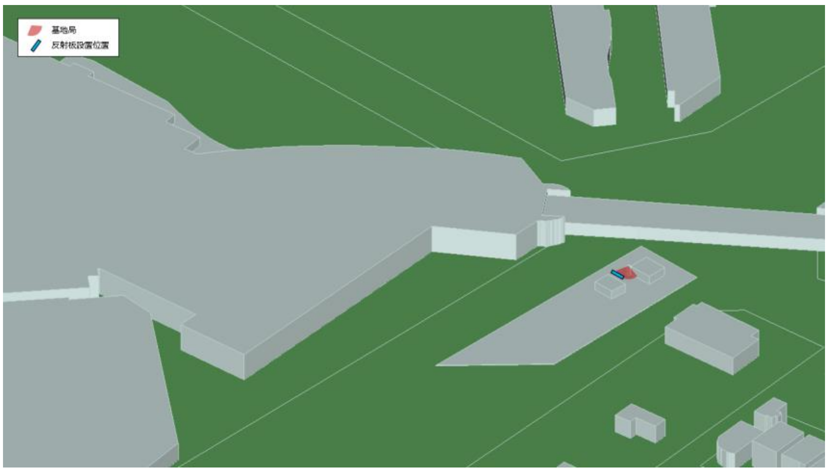


図 3.3-32 (b) 実証環境モデル（3D）

レイトレース法に基づく基地局単体におけるシミュレーション結果を下図に示す。なお、図中の赤塗はエリア算出法で定められているカバーエリアの閾値-81.2[dBm]以上の受信電力値が得られている地点であり、青塗は調整対象区域の閾値-90[dBm]以上の受信電力値が得られている地点となる。

結果から、基地局単体におけるターゲットエリアのカバレッジは 6%となる。

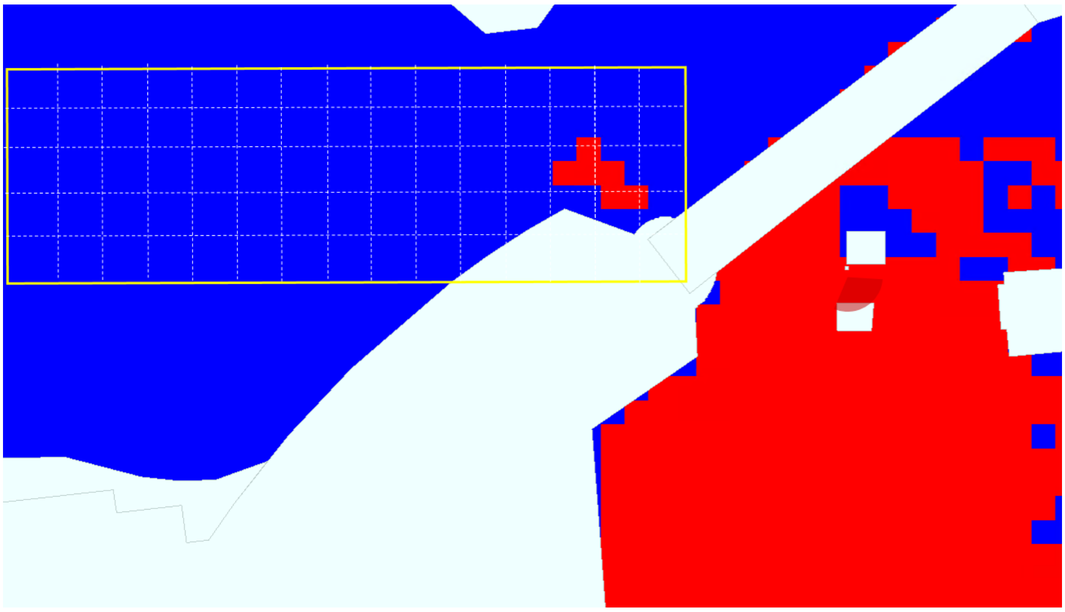


図 3.3-33 (a) 基地局単体におけるレイトレースシミュレーション結果（2D）

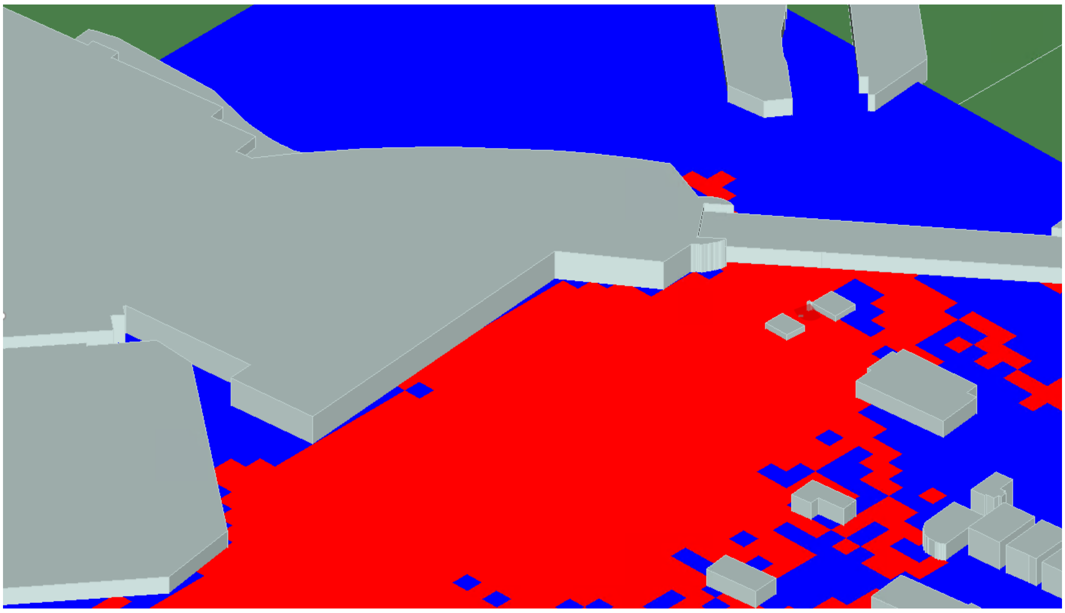


図 3.3-33 (b) 基地局単体におけるレイトレースシミュレーション結果（3D）

　レイトレース法に基づく電波反射板単体におけるシミュレーション結果を下図に示す。なお、図中の赤塗はエリア算出法で定められているカバーエリアの閾値-81.2[dBm]以上の受信電力値が得られている地点であり、青塗は調整対象区域の閾値-90[dBm]以上の受信電力値が得られている地点となる。

　結果から、電波反射板設置時におけるターゲットエリアのカバレッジは 38%となる。

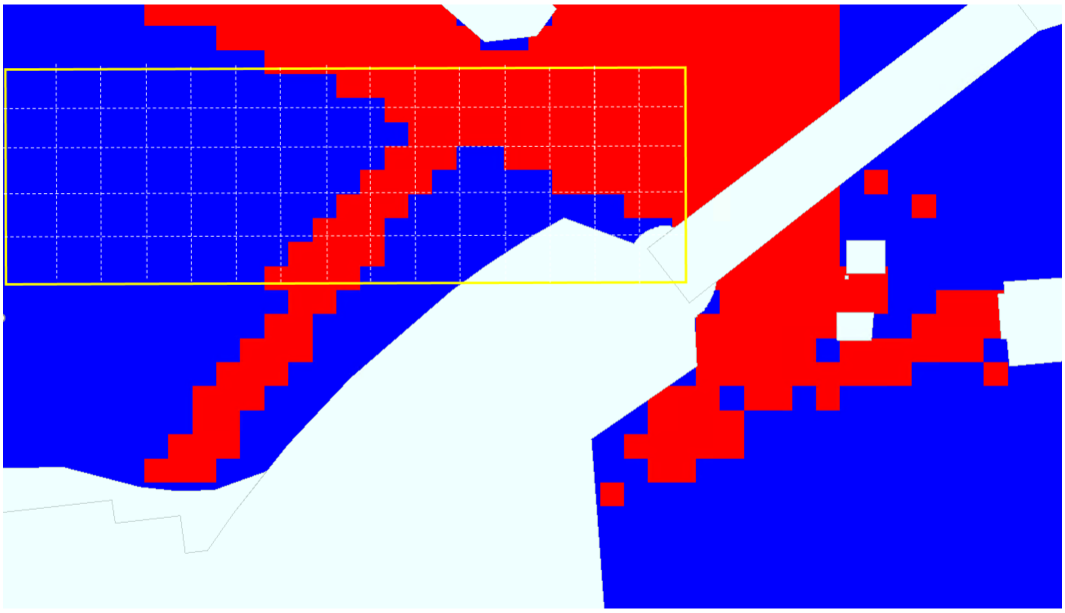


図 3.3-34 (a) 電波反射板単体におけるレイトレースシミュレーション結果（2D）

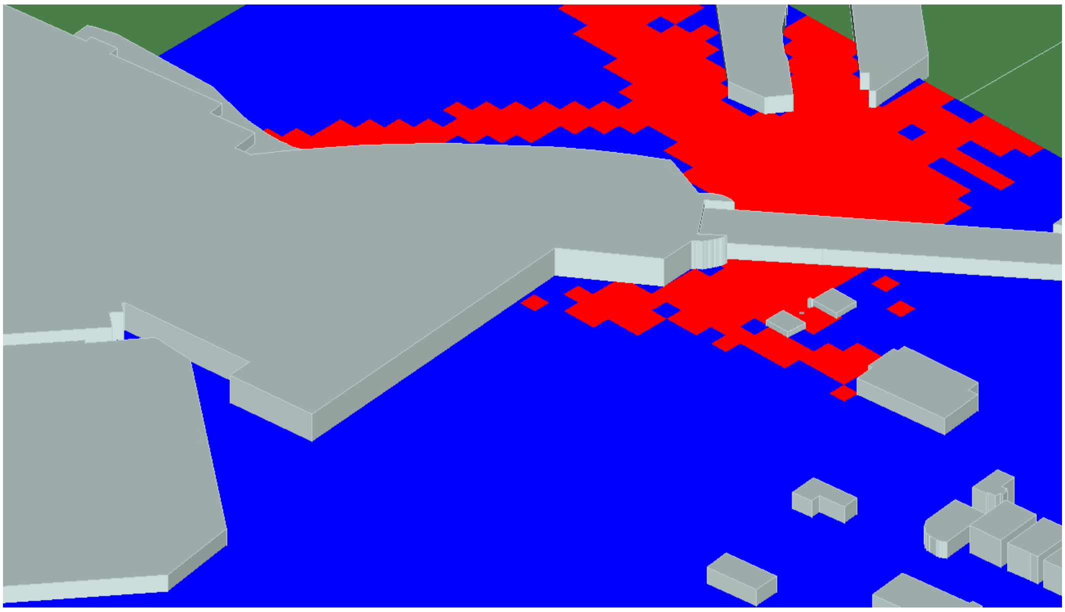


図 3.3-34 (b) 電波反射板単体におけるレイトレースシミュレーション結果（3D）

3.3.3.3 評価・検証項目

実証環境における電波反射板を用いたローカル 5G の性能評価として、エリア形成の検証と、ユーザへのサービス提供品質の評価を行う。

まず、エリア形成の検証は、エリア算出法に基づく、カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端閾値を基準に、実証環境において実測した下り受信電力値により行う。次に、ユーザへのサービス提供品質は、電波反射板によりターゲットとしているエリア形成が困難と考えられる対象区域のカバーエリア端における伝送スループットが、表 3.3-1 にて示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価した。

これらの評価・検証を通じて、電波反射板を用いたローカル 5G エリア設計・構築に関する技術的課題を整理するとともに、それら課題の解決方策等についても考察を行うことで、電波反射板の活用による基地局の設置数や設置形態の変更を不要とするエリア構築手法を検討した。下表に評価項目と測定項目との関係を示す。

表 3.3-13　電波反射板によるエリア構築の柔軟化における評価項目と測定項目との関係

評価・検証項目	評価項目の概要	主な測定項目
エリア形成 の検証	電波反射板設置後のエリア算出法に基づく、カバーエリアおよび調整対象区域のエリア端において実測する下り受信電力値とエリア端閾値の比較。	下り受信電力 (SS-RSRP)
サービス提供品質 の評価	電波反射板設置後のカバーエリア端における、伝送スループットが、課題実証で要求される基準を満たしているか評価。	伝送スループット 遅延時間

3.3.3.4 評価・検証方法

(1) 測定方法

測定については、仕様書で規定されているエリア算出法で作図したカバーエリアおよび調整対象区域内における、電波反射板“未設置時”の基地局からの距離が異なる 20 以上の地点での測定（定点での測定）に関して、3.3.1 章にて実施している。それに伴い、電波反射板“設置時”における測定に関しても同様の測定を実施した。また、電波反射板からの反射ビーム幅を実測値から推定するため、次頁の図に示すような反射波の中心角度（点線）を基準とした±5 度（一点鎖線）および±10 度（二点鎖線）の複数地点に置いて測定地点を選定した。なお、観測された下り受信電力値が、エリア算出法により導出されるカバーエリア端、調整対象区域端の閾値と異なる場合はそれぞれの閾値が観測される範囲まで測定エリアを広げることとした。

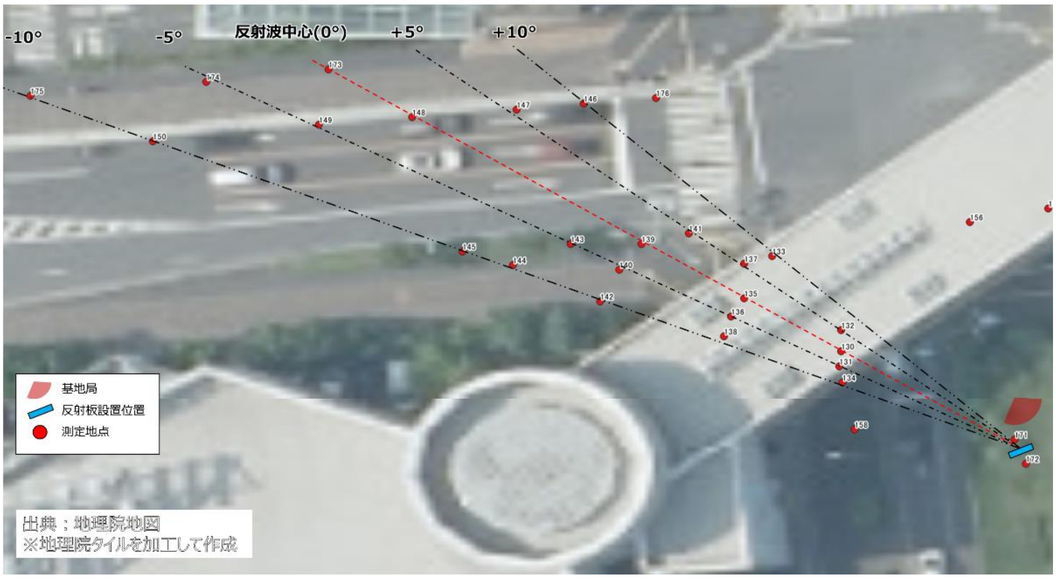


図 3.3-35　電波反射板の効果確認のための測定地点

測定項目については、仕様書上で要求されている、受信電力(ss-RSRP 値)、通信品質(ss-SINR)および伝送性能(UL/DL 別のスループット、伝送遅延)とし、電波反射板“設置時”における受信電力、通信品質および伝送性能の比較対象としては、電波反射板“未設置時”の各測定地点に置ける値を基準とすることとした。

また、電波反射板を設置する際のエリア設計手法をモデル化するため、3.3.3.2 章実証仮説にて設計した電波反射板において実測を行った。

表 3.3-14　本実証で対象とする電波反射板特性（再掲）

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
メタマテリアル 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
メタマテリアル 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

※1　AZ＝アジマス(azimuth)：水平面角度　EL＝エレベーション（elevation）：垂直面角度

※2　右記条件における利得：d1＝基地局～反射板の距離（m）d2＝反射板～移動局の距離（m）

（2）評価・検証方法

電波反射板によるエリア構築の柔軟化については 3.3.1、3.3.2、3.3.3 で実測した各種データを用いて下記に記載する流れで評価・検証を進めていくこととした。

① 電波反射板設置時のカバーエリアおよび調整対象区域図の作成

電波反射板設置前後での実証環境における電波伝搬特性への影響を確認するため、実証仮説にて実施する、机上検討および電波伝搬シミュレーションにより導き出される計算結果に対し、電波法審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）が規定するカバーエリアおよび調整対象区域の閾値を適用したエリア設計図面を作成した。また、電波反射板設置前においても上記と同様の検討を行い、電波反射板設置前後での計算結果の比較を行う。

② 電波反射板設置後の実測値から推定されるカバーエリアおよび調整対象区域図の作成

電波反射板を用いて設計したエリア図と実測値の比較を行う為、実測した電波反射板設置後の各種データを図面上にプロットし、カバーエリアおよび、調整対象区域の閾値エリア推定を行う。なお、観測された下り受信電力値が、エリア算出法により導出されるカバーエリア端、調整対象区域端の閾値と異なる場合はそれぞれの閾値が観測される基地局相当の無線局からの距離を確認した。

③ 電波反射板設置後の各種データの比較

電波反射板設置後のエリア設計の妥当性を評価するため、①、②で作図したエリア図の比較を行う。また、カバーエリアおよび調整対象区域の閾値が異なる箇所においてはその差分値をとりまとめる。さらに、電波反射板を用いたエリア設計手法確立に資する検討として、電波反射板設置前後の実測値についても比較を行い、その差分値をとりまとめる。

④ 通信性能比較

電波反射板を利用した結果、エリア形成が困難と考えられる対象区域のカバーエリア端においてユースケースの所要性能が達成可能かどうか、エリア品質の観点からの評価を行うため各測定地点における反射板設置前後の伝送スループットおよび遅延時間の比較を実施した。加えて、課題実証側での所要性能を達成できているかについても評価した。

3.3.3.5 実証結果および考察

（1）電波反射板の設置条件および諸元

本実証環境における電波反射板の設置条件および設置の様子を以降に示す。

電波反射板は基地局と正対させるように、地標高 1.7m の高さで配置している。また、電波反射板のチルト角は基地局からのチルト角を加味し、移動局高さで最大利得を受けられるように現地でチューニングしている。

チューニング手法としては以下の通りである。

- 電波反射板未設置時の状態において電波反射板から 20m、65m 地点（図 3.3-36 中の青丸●）に置いてそれぞれ基地局からの下り受信電力を測定する。
- 電波反射板設置時において、上記測定地点で同様に基地局からの下り受信電力を測定した。
- 電波反射板設置時において、基地局からの下り受信電力が改善されない場合は、電波反射板チルト角を±1 度刻みで調整し、最も下り受信電力が強く観測された角度にて電波反射板を設置した。

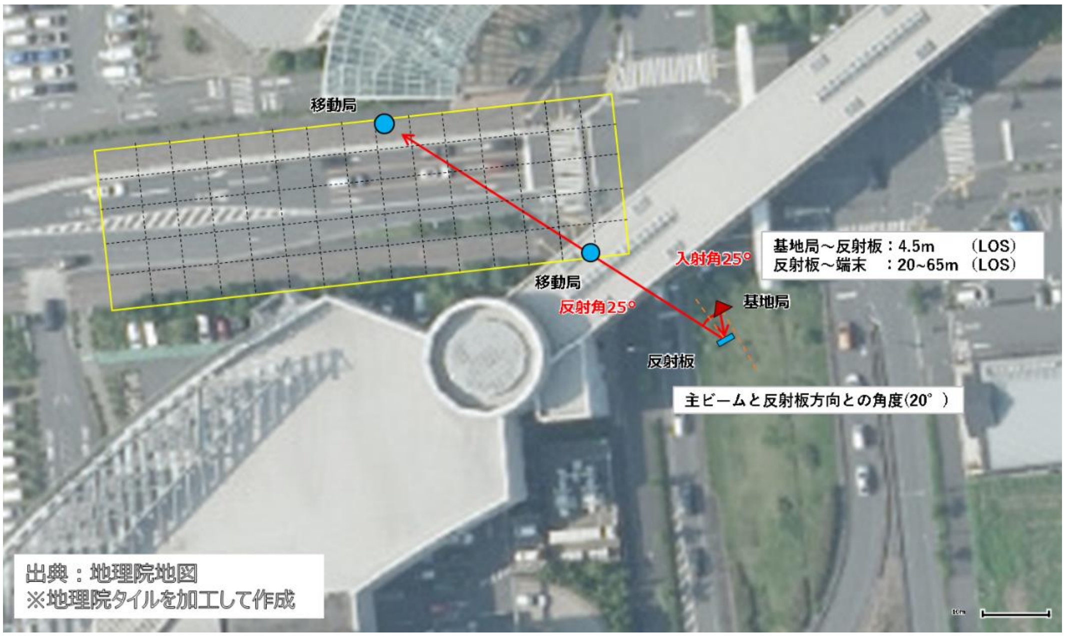


図 3.3-36 (a) 実証環境における反射板設置条件（水平図）

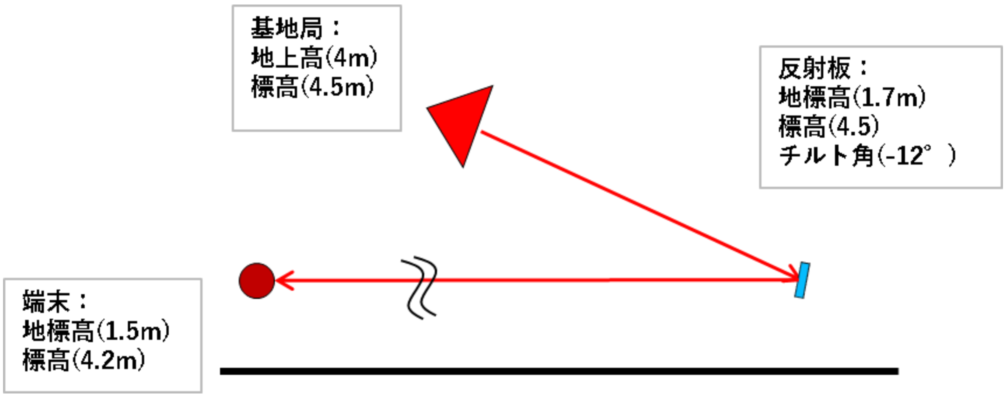


図 3.3-36 (b) 実証環境における反射板設置条件（垂直図）

図 3.3-37 (a) 実証に用いた電波反射板

図 3.3-37 (b) 電波反射板設置の様子

図 3.3-37 (c) 電波反射板設置の様子（背面）

（2）下り受信電力、受信品質測定結果

実証環境における下り受信電力および受信品質の測定地点は、3.3.3.4 章にて示しており、実測結果を以降に示す。

図 3.3-38 (a) 電波反射板設置前の SS-RSRP 測定結果

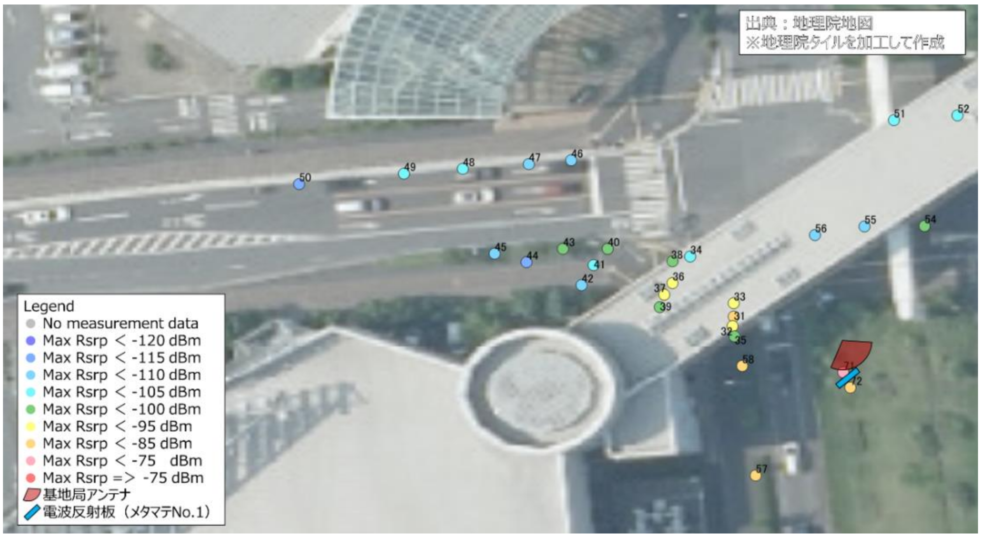


図 3.3-38 (b) 電波反射板（HPBW=10 度）設置後の SS-RSRP 測定結果

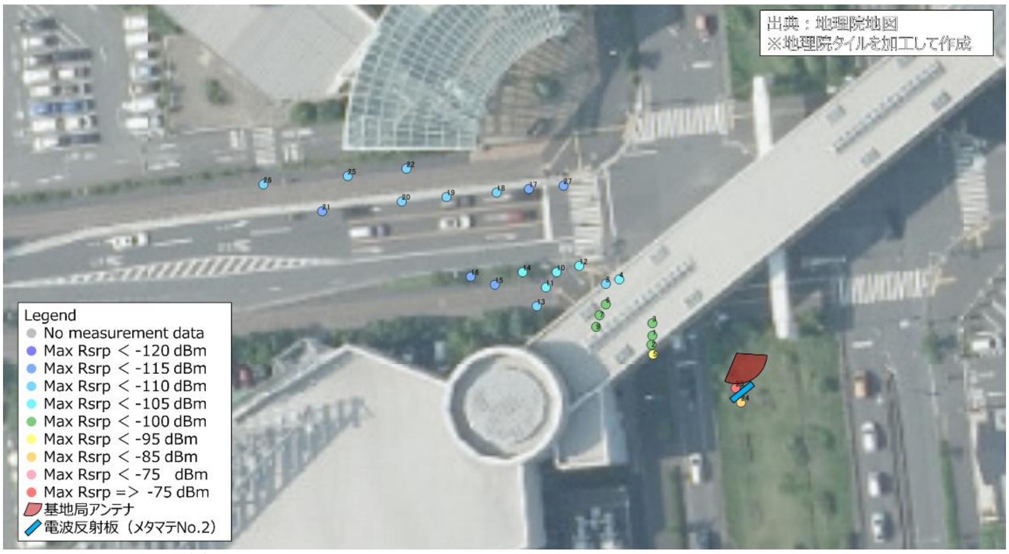


図 3.3-38 (c) 電波反射板（HPBW=20 度）設置後の SS-RSRP 測定結果

図 3.3-39 (a) 電波反射板設置前の SS-SINR 測定結果

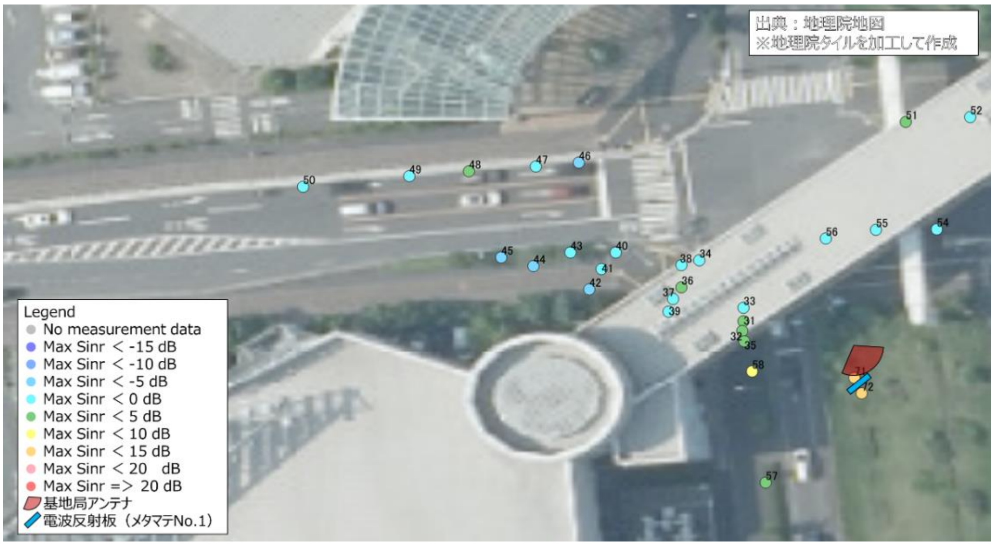


図 3.3-39 (b) 電波反射板（HPBW=10 度）設置後の SS-SINR 測定結果

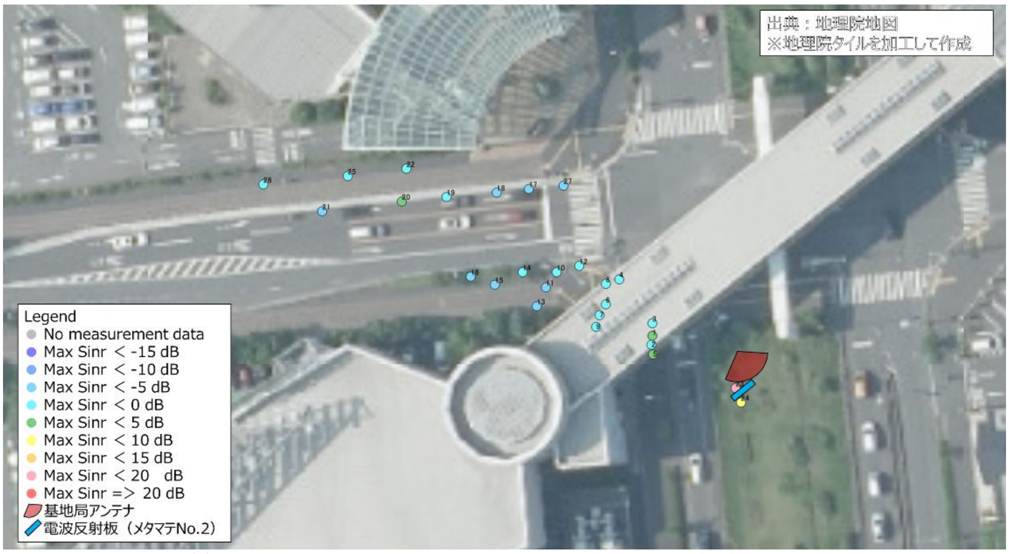


図 3.3-39 (c) 電波反射板（HPBW=20 度）設置後の SS-SINR 測定結果

表 3.3-15 (a) 電波反射板設置前の SS-RSRP、SINR 測定結果

測定点 ID	SS-RSRP (dBm)	SS-SINR (dB)
130	-109.38	-2.38
131	-105.16	-1.64
132	-105.34	-2.31
133	-109.54	-5.75
134	-102.19	-0.21
146	-114.97	-6.20
147	-115.46	-7.92
148	-120.76	-8.15
151	-110.10	-4.84
152	-108.48	-3.77
153	-114.29	-4.20
154	-113.59	-2.60
155	-107.62	-2.66
156	-105.85	-2.11
157	-91.98	5.70
158	-88.55	6.09
171	-77.66	11.79
172	-73.36	14.30

表 3.3-15 (b) 電波反射板（HPBW=10 度）設置後の SS-RSRP、SINR 測定結果

測定点 ID	反射板からの 3D 距離(m)	SS-RSRP (dBm)	SS-SINR (dB)
31	16.2	-94.96	3.50
32	15.6	-97.92	2.30
33	17.3	-99.96	-0.42
34	25.5	-108.34	-4.52
35	14.7	-100.41	1.49
36	24.7	-96.96	0.02
37	24.7	-99.61	-0.95
38	26.6	-101.58	-2.65
39	24.3	-101.61	-1.53
40	33.6	-102.68	-1.88
41	33.8	-107.12	-4.58
42	33.8	-113.76	-6.83
43	38.0	-102.03	-2.88
44	41.0	-116.68	-6.83
45	44.8	-113.52	-5.40
46	44.9	-113.41	-5.84
47	48.2	-113.00	-4.68
48	53.9	-106.38	0.87
49	59.3	-108.47	-2.15
50	69.5	-117.23	-4.02
51	37.3	-106.71	2.24
52	39.6	-105.84	-1.66
53	43.3	-118.71	-6.95
54	23.6	-103.55	-1.74
55	21.9	-112.80	-2.46
56	21.0	-111.03	-1.81
57	17.4	-94.62	3.82
71	1.4	-76.36	11.97
72	1.0	-86.12	11.43

表 3.3-15 (c) 電波反射板（HPBW=20 度）設置後の SS-RSRP、SINR 測定結果

測定点 ID	反射板からの 3D 距離(m)	SS-RSRP (dBm)	SS-SINR (dB)
1	16.2	-101.06	0.44
2	15.6	-104.10	-0.46
3	17.3	-102.76	-1.33
4	25.5	-109.60	-3.96
5	14.7	-99.05	0.52
6	24.7	-104.34	-2.92
7	24.7	-104.20	-3.30
8	26.6	-112.98	-3.04
9	24.3	-101.63	-0.47
10	33.6	-107.72	-3.81
11	33.8	-108.17	-5.88
12	33.8	-106.93	-4.61
13	38.0	-113.05	-7.26
14	41.0	-105.90	-4.13
15	44.8	-117.44	-8.42
16	24.7	-117.40	-5.24
17	44.9	-118.06	-8.63
18	48.2	-112.82	-6.63
19	53.9	-112.78	-4.82
20	59.3	-110.74	0.33
21	69.5	-117.25	-7.81
22	61.2	-113.75	-3.68
23	1.4	-74.20	15.77
24	1.0	-85.93	9.64
25	67.3	-113.70	-2.03
26	79.5	-110.46	-2.61
27	41.3	-119.14	-7.47

（3）伝送スループット、RTT 測定結果

実証環境における伝送スループット、RTT の測定地点は、3.3.3.4 章にて示しており、実測結果を以降に示す。

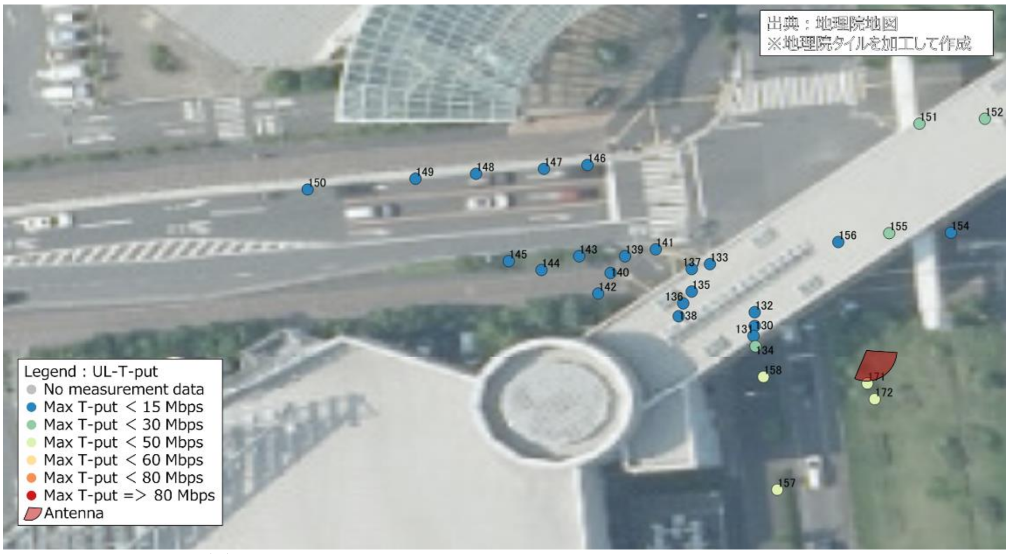


図 3.3-40 (a) 電波反射板設置前の伝送スループット（UL）測定結果

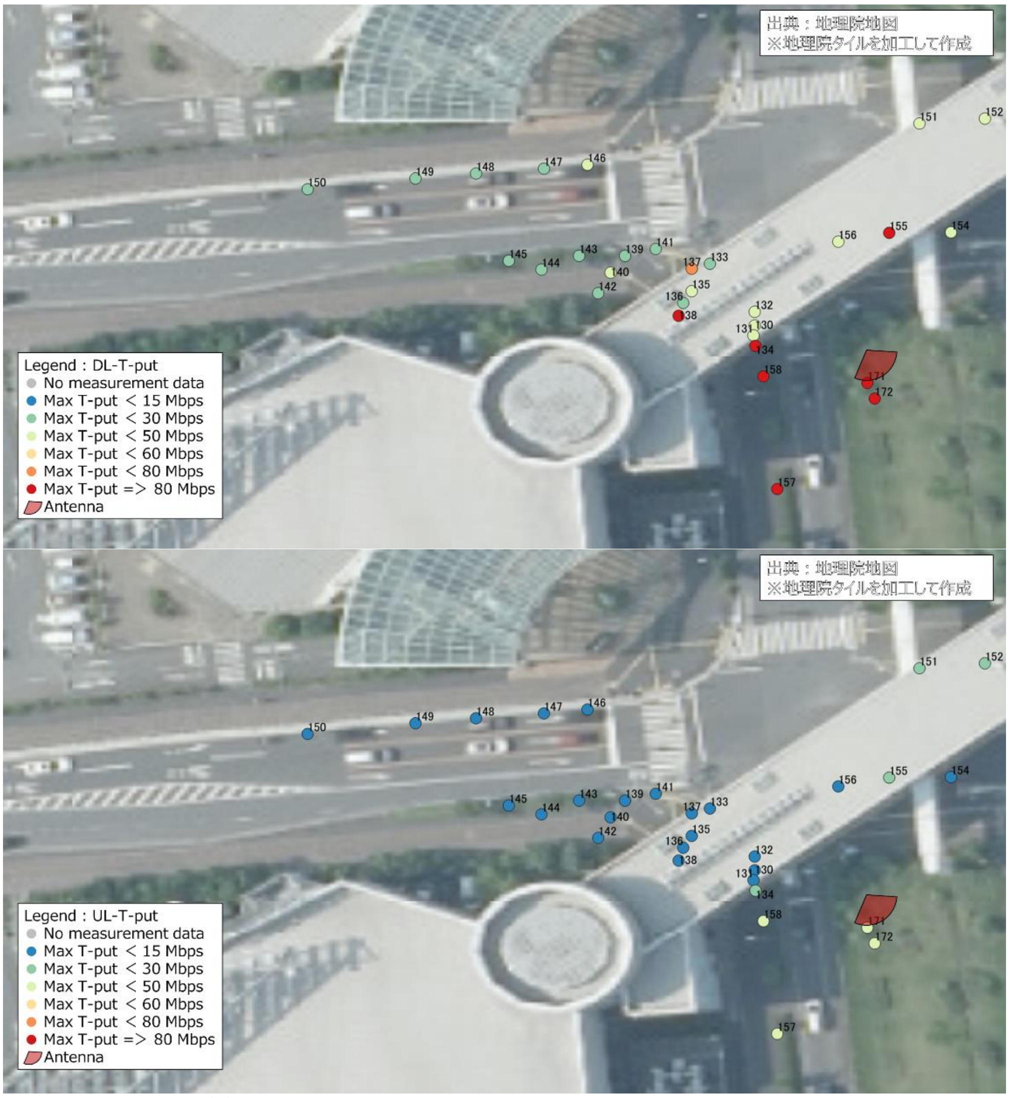


図 3.3-40 (b) 電波反射板設置前の伝送スループット（DL）測定結果

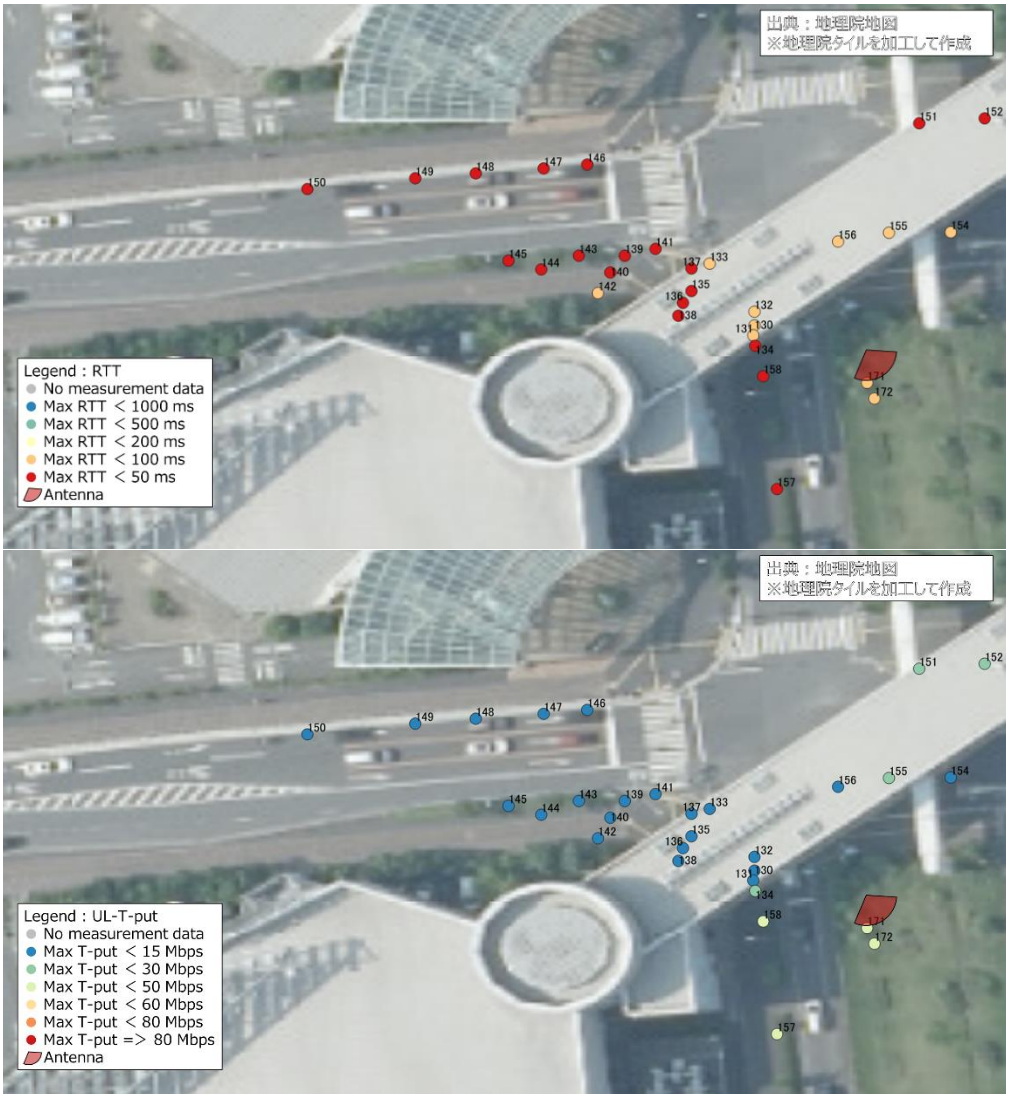


図 3.3-40 (c) 電波反射板設置前の伝送スループット RTT 測定結果

表 3.3-16　電波反射板設置前の伝送スループット、RTT 測定結果

測定点 ID	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)	RTT (ms)
130	40.34	7.10	56.30
131	47.64	11.82	55.90
132	34.67	3.98	52.97
133	26.80	9.67	54.40
134	86.17	16.74	48.40
135	41.85	9.44	35.40
136	28.28	10.77	38.97
137	61.25	10.72	33.57
138	83.04	9.58	47.47
139	27.01	10.79	33.57
140	33.39	11.07	35.50
141	26.43	10.49	35.13
142	26.42	12.90	51.83
143	25.85	9.99	37.13
144	27.01	10.66	35.03
145	26.82	11.32	35.87
146	35.82	9.78	36.37
147	23.65	9.74	39.13
148	26.42	10.80	34.93
149	26.70	10.76	34.67
150	26.50	11.18	34.03
151	45.44	19.29	49.50
152	43.39	25.42	49.53
153	40.36	9.22	55.97
154	35.28	8.71	56.53
155	85.55	15.44	52.07
156	43.37	8.94	50.43
157	80.68	34.00	49.90
158	85.95	37.13	42.60
171	85.46	44.13	51.93
172	86.05	40.19	52.30

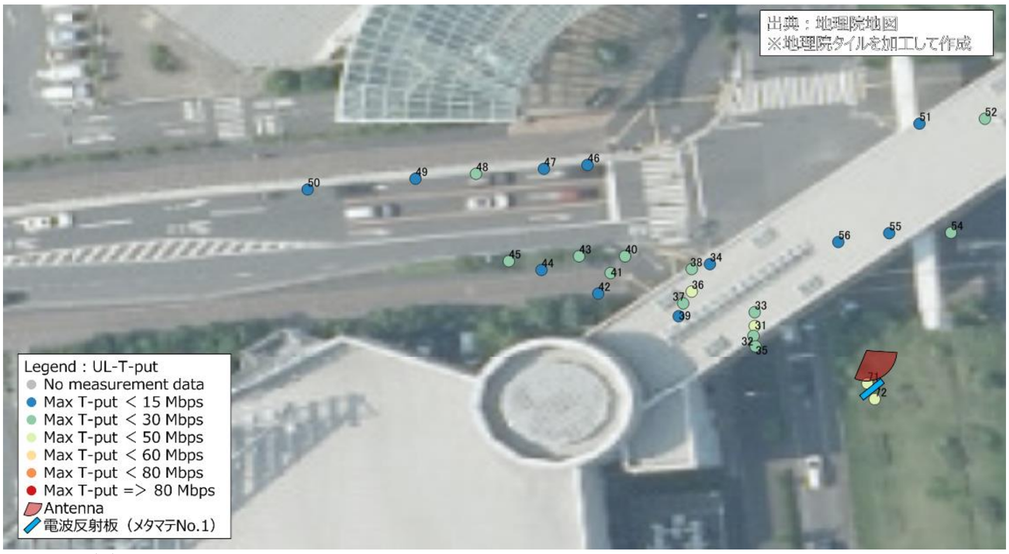


図 3.3-41 (a) 電波反射板（HPBW=10 度）設置後の伝送スループット（UL）測定結果

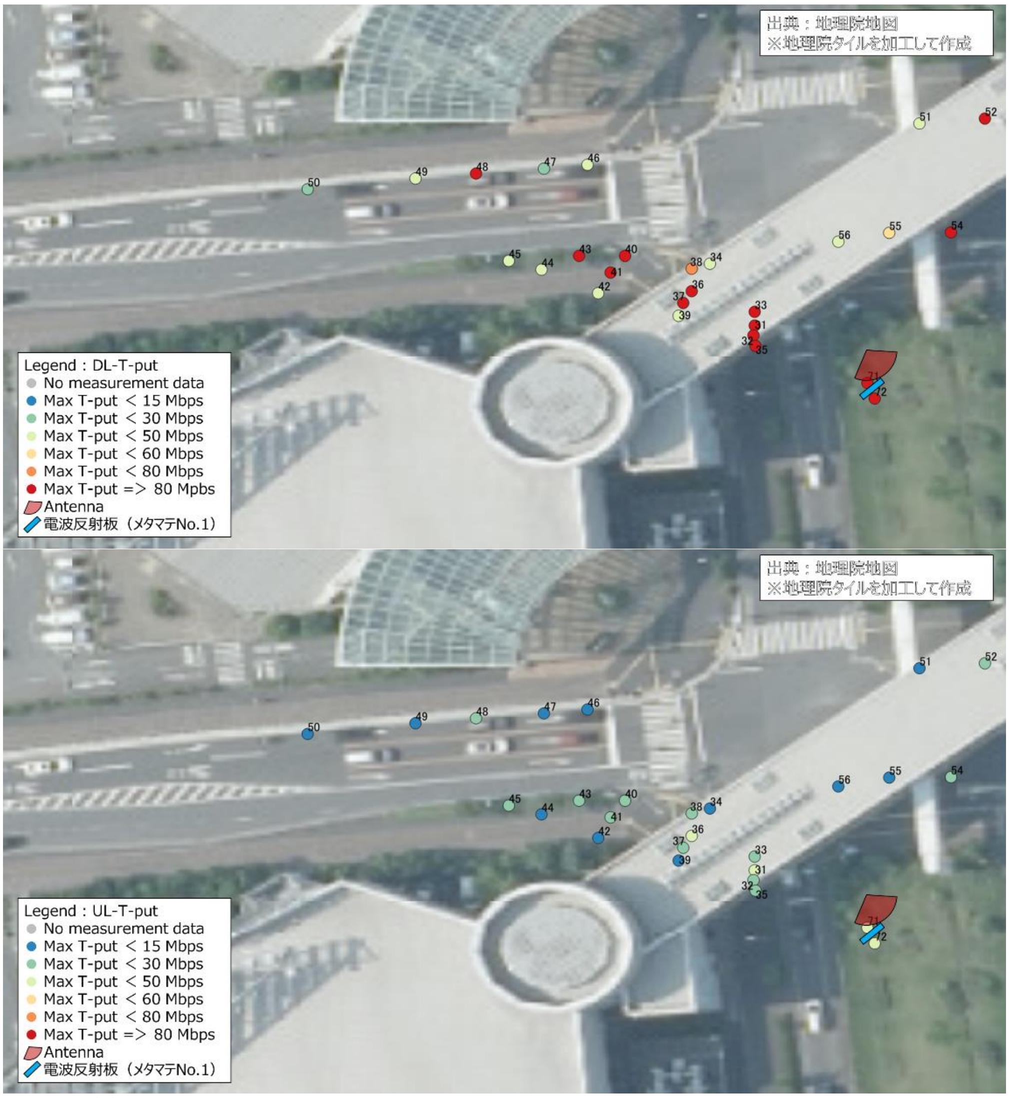


図 3.3-41 (b) 電波反射板（HPBW=10 度）設置後の伝送スループット（DL）測定結果

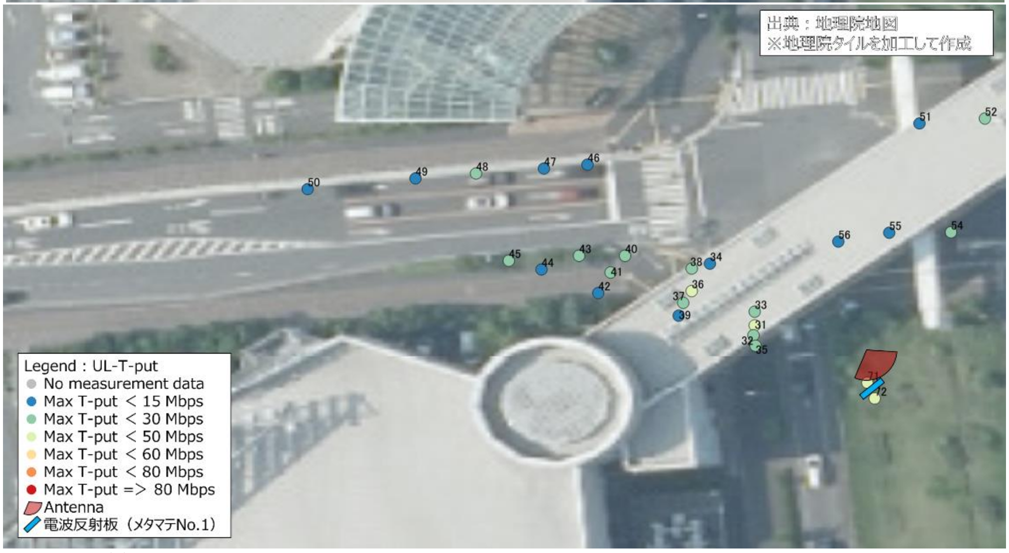


図 3.3-41 (c) 電波反射板（HPBW=10 度）設置後の伝送スループット RTT 測定結果

表 3.3-17 電波反射板（HPBW=10 度）設置後の伝送スループット、RTT 測定結果

測定点 ID	反射板からの 3D 距離 (m)	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)	RTT (ms)
31	16.2	85.99	34.82	67.77
32	15.6	82.91	29.41	60.77
33	17.3	86.08	17.27	64.87
34	25.5	47.22	9.44	59.07
35	14.7	86.07	16.20	77.73
36	24.7	86.14	35.27	45.43
37	24.7	86.15	27.27	47.70
38	26.6	75.50	19.07	73.23
39	24.3	47.49	7.93	42.63
40	33.6	86.11	26.15	46.23
41	33.8	80.10	16.15	55.17
42	33.8	32.72	6.23	55.87
43	38.0	85.99	22.62	47.40
44	41.0	39.28	7.00	51.57
45	44.8	39.13	15.92	34.47
46	44.9	39.01	10.34	56.90
47	48.2	27.63	7.03	46.70
48	53.9	85.72	19.84	52.47
49	59.3	48.98	10.59	46.63
50	69.5	26.58	9.79	34.37
51	37.3	45.52	13.30	55.13
52	39.6	86.12	19.88	64.20
53	43.3	34.10	9.16	46.17
54	23.6	83.60	16.91	50.10
55	21.9	50.15	7.55	53.93
56	21.0	35.89	8.11	55.33
71	1.4	85.70	44.12	47.87
72	1.0	85.31	43.30	50.17

図 3.3-42 (a) 電波反射板（HPBW=20 度）設置後の伝送スループット（UL）測定結果

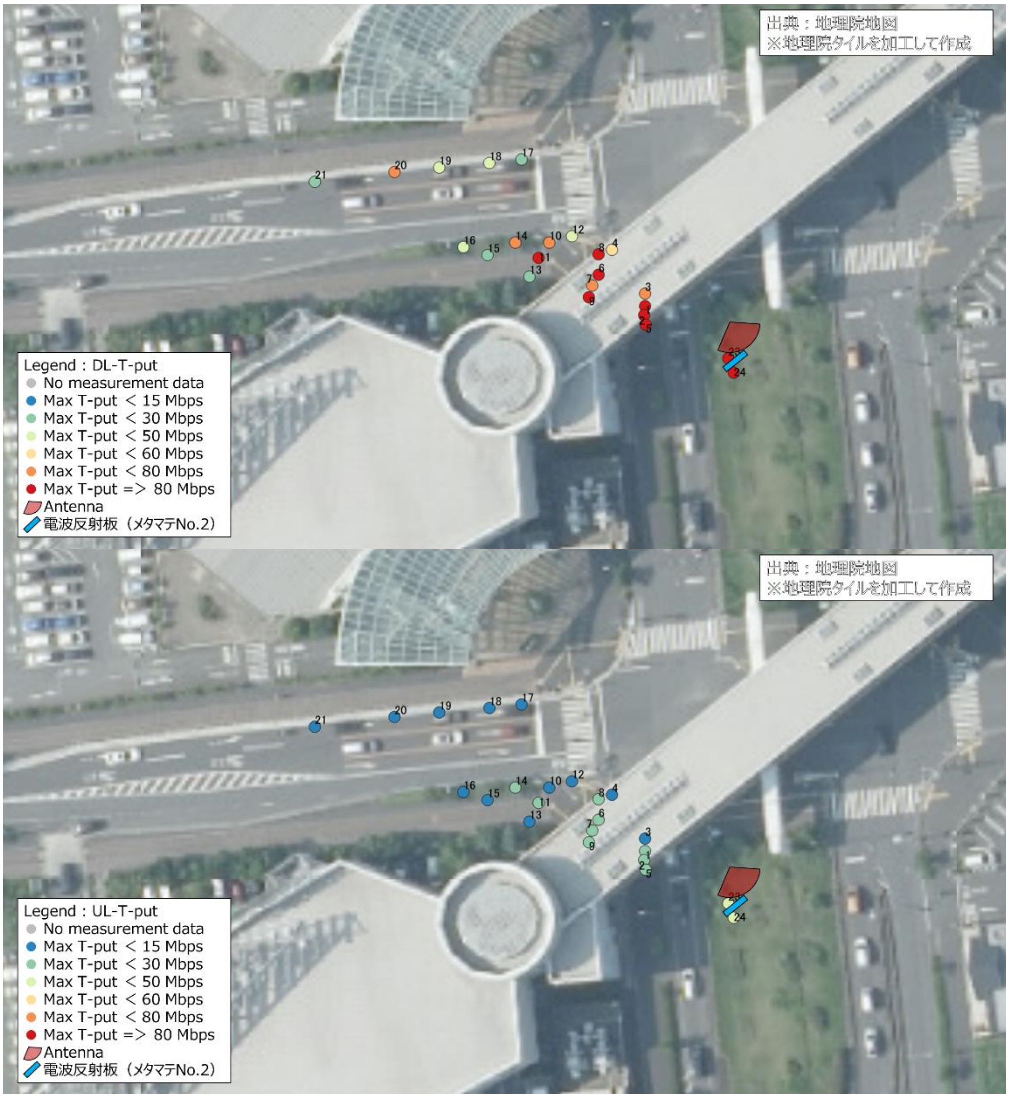


図 3.3-42 (b) 電波反射板（HPBW=20 度）設置後の伝送スループット（DL）測定結果

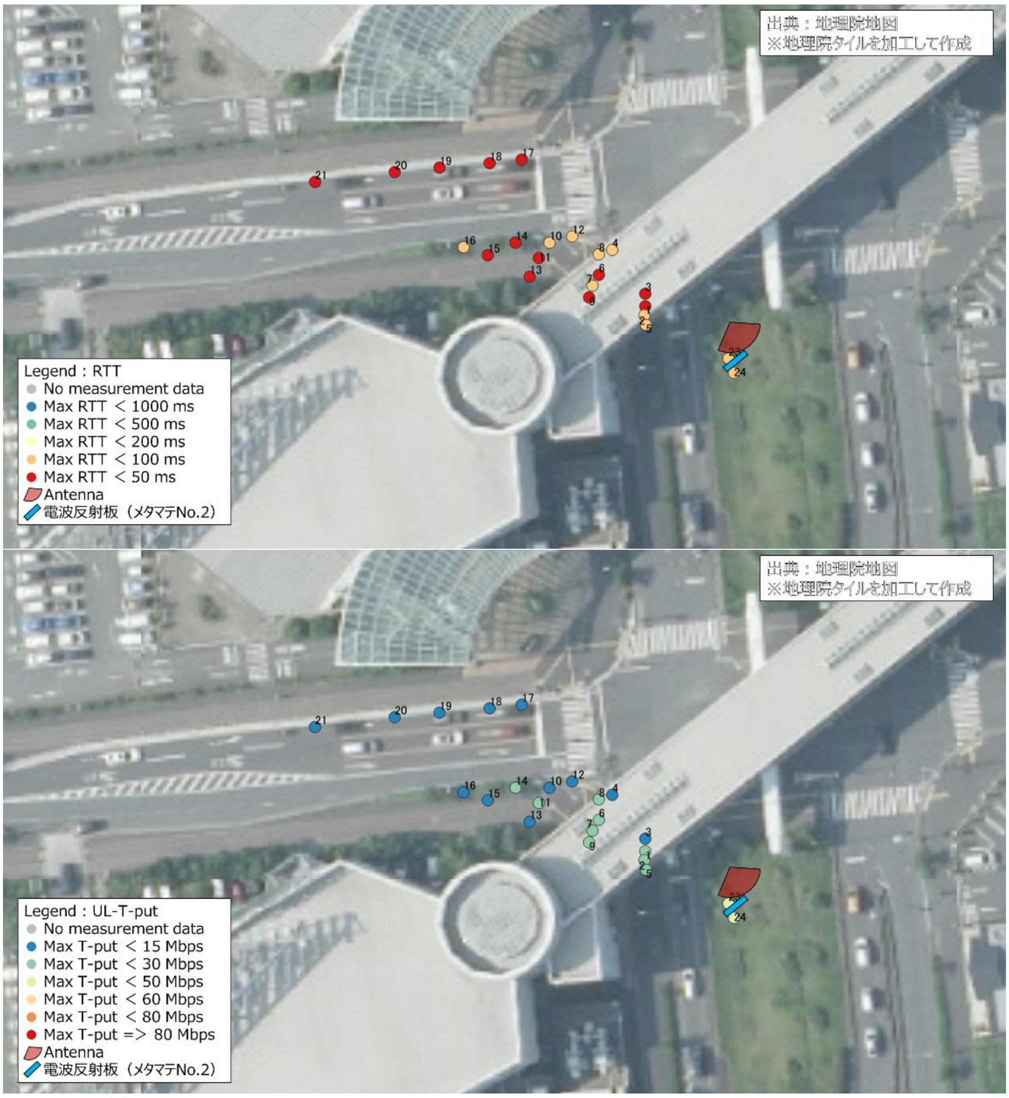


図 3.3-42 (c) 電波反射板（HPBW=20 度）設置後の伝送スループット RTT 測定結果

表 3.3-18　電波反射板（HPBW=20 度）設置後の伝送スループット、RTT 測定結果

測定点 ID	反射板からの 3D 距離 (m)	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)	RTT (ms)
1	16.2	86.17	21.67	43.30
2	15.6	83.01	19.07	50.83
3	17.3	62.45	14.42	47.10
4	25.5	59.41	6.71	52.20
5	14.7	85.77	21.89	53.13
6	24.7	86.10	22.03	47.77
7	24.7	62.88	19.68	50.07
8	26.6	82.65	16.63	53.97
9	24.3	83.81	20.21	48.30
10	33.6	71.54	12.70	51.93
11	33.8	85.99	20.88	48.17
12	33.8	36.02	9.30	50.20
13	38.0	27.05	9.93	47.37
14	41.0	73.67	17.60	43.20
15	44.8	27.86	9.89	35.83
16	24.7	32.73	6.50	58.10
17	44.9	26.26	11.48	35.27
18	48.2	38.54	9.29	37.97
19	53.9	49.20	9.05	45.13
20	59.3	66.04	10.13	47.97
21	69.5	26.57	11.54	34.87
23	1.4	85.97	43.82	50.53
24	1.0	86.10	43.91	50.67

（4）電波反射板を活用したローカル 5G 性能評価

電波反射板を活用したターゲットエリアにおいて、ローカル 5G の性能が想定通りに実現できているかを、実測した SS-RSRP、SS-RSRQ、伝送スループット、ラウンドトリップタイムにより評価した。

ローカル 5G の性能評価は、3.3.3.3 章に示す評価方法に基づき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実施した。前者については、電波反射板設置前後における基地局からの受信レベルを用いて、設計通りのエリアが構築できているか否か、できていない場合はどのような原因で想定され、対策としてどのような方策が取りえるのかを考察した。後者については、電波反射板設置前後において、ローカル 5G ネットワーク上に構築されるアプリケーションやシステムのパフォーマンスに直接的な影響を与えると考えられる伝送スループットとラウンドトリップタイムの実測結果を用いて考察した。

1）電波反射板設置前後におけるローカル 5G エリア形成について

電波反射板を活用したローカル 5G 性能評価の前提となる、実証環境のターゲットエリアを下図に示す。

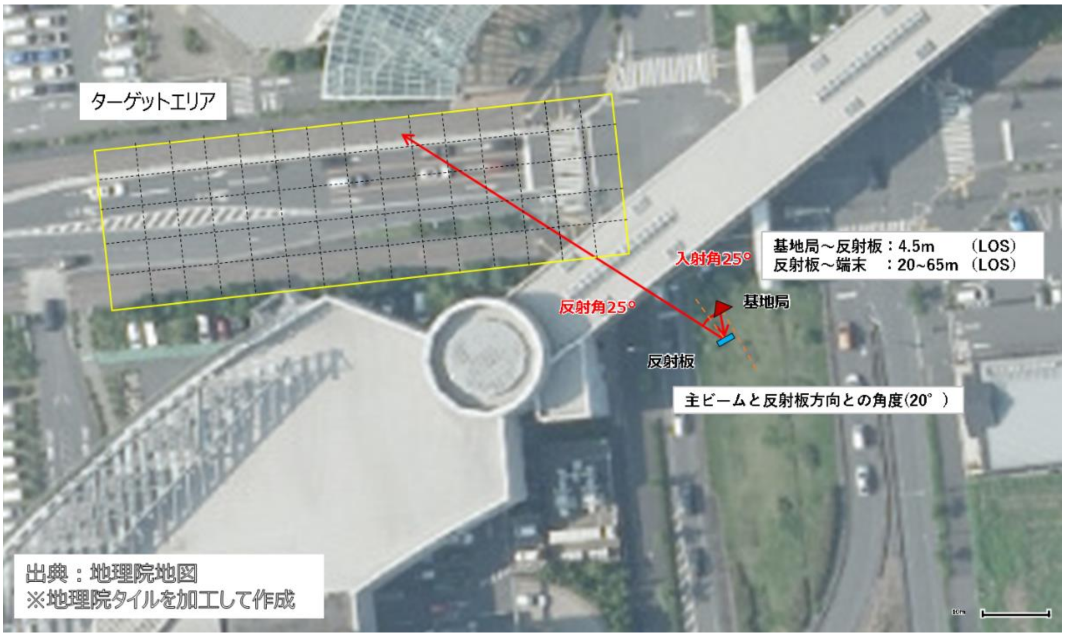


図 3.3-43 電波反射板設置後のターゲットエリア

ここでは、下り受信レベル（SS-RSRP）の測定結果からエリア形成の観点で電波反射板設置前後における実測値同士の比較と、実測値と 3.3.3.2 章実証仮説で示した仮説に基づくエリア図との比較を行う。

まずは、ターゲットエリア内における電波反射板設置前後の実測値での受信電力、受信品質の改善量について比較を行う。図 3.3-44 に電波反射板設置前後における下り受信電力の比較結果を、図 3.3-45 に電波反射板設置前後における下り受信品質の比較結果を示す。なお、図中において各測定データを平均的に評価するため、近似曲線を対数表記で併せて示している。

結果から、下り受信電力においてはビーム幅 10 度では 5dB 程度の改善、ビーム幅 20 度の電波反射板において 3dB 程度の改善値が見られる。これは、ビーム幅が狭い方が電波反射効率が高いためである。

また、SINR においても、本実証環境周辺では干渉影響となる他のローカル 5G 無線機器は無く、SINR における"IN"は、環境雑音または CP（Cyclic Prefix）時間を超えて遅延したマルチパスが支配的と考えられるが基地局と各測定地点の距離は最大でも 200m 以内かつ、屋外と開放的な環境であるため CP 時間を超えて遅延波が観測されることは考えにくく、"IN"に影響を与える要因は環境雑音が支配的と想定する。すなわち、電波反射板による SINR の変動においては遅延波による影響は支配的ではなく CP 時間内に観測された反射波が主波と合成され"S"として考慮されることで RSRP と同様に SINR についても改善が見込まれていると考えられる。

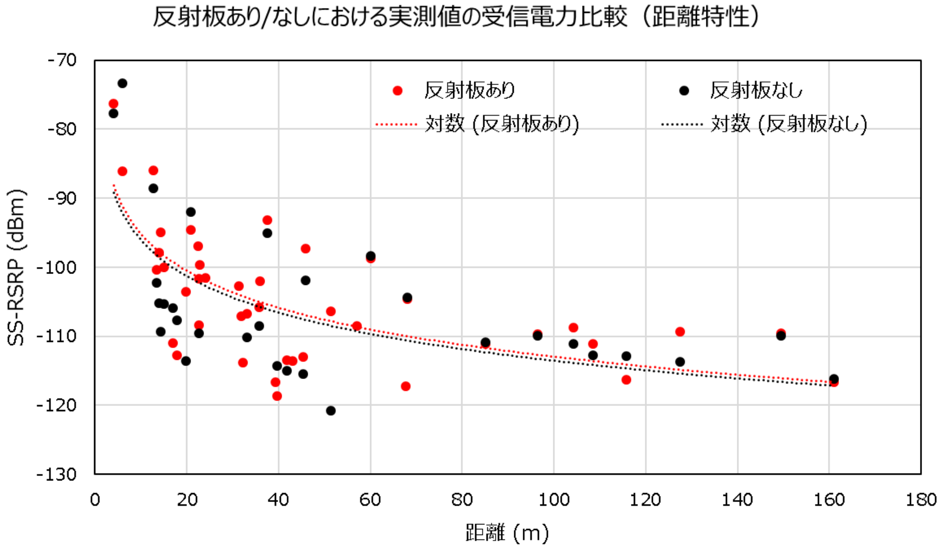


図 3.3-44 (a) 電波反射板設置前後における下り受信電力比較：HPBW＝10 度

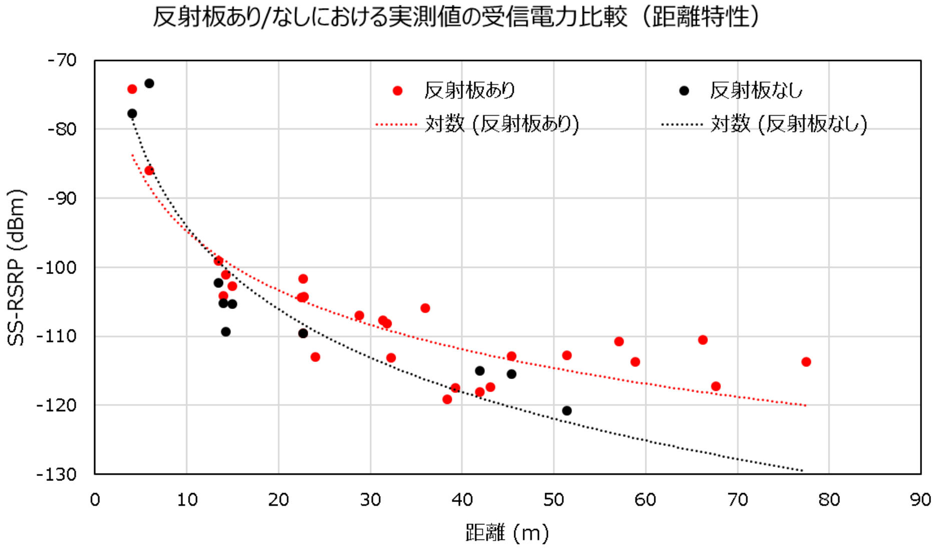


図 3.3-44 (a) 電波反射板設置前後における下り受信電力比較：HPBW＝20 度

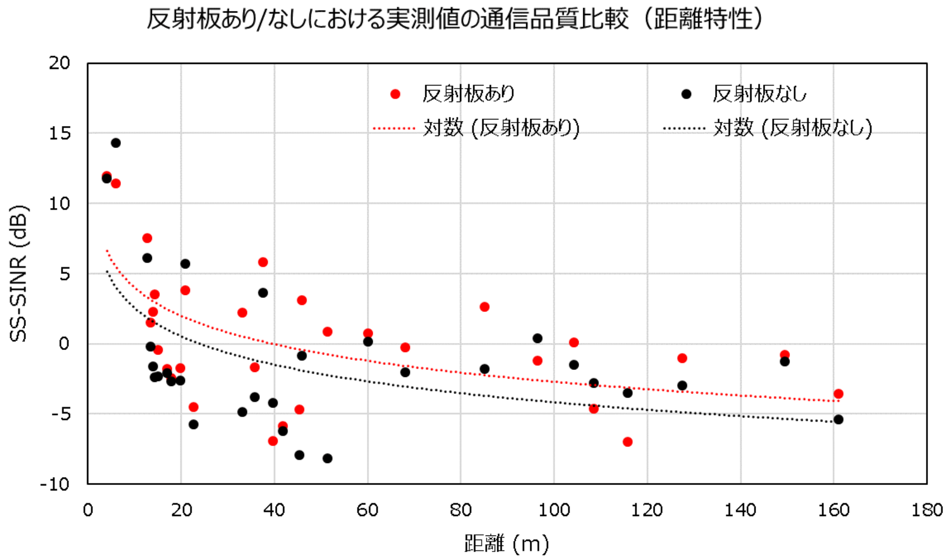


図 3.3-45 (a) 電波反射板設置前後における下り受信品質比較：
HPBW＝10 度

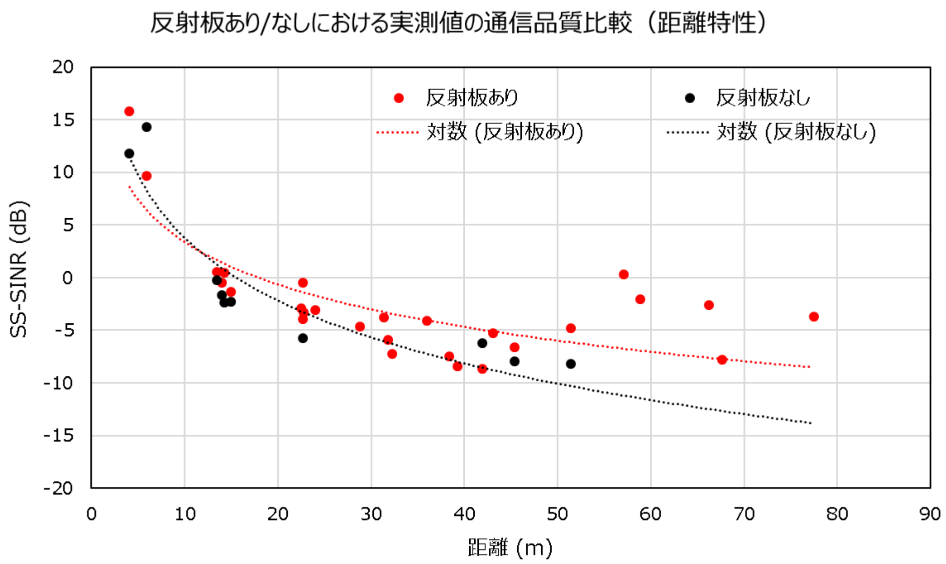


図 3.3-45 (b) 電波反射板設置前後における下り受信品質比較：
HPBW＝20 度

次に、電波反射板設置前後の実測値でのエリア形成について評価を行う。

次頁に電波反射板設置前後によるエリア形成状況を示す。図中、赤線は 28.2~29.1GHz 帯におけるローカル 5G 審査基準で定められている“カバーエリア端レベル（100MHz 幅の場合：-81.2dBm)”を前提に実測値から評価した想定カバーエリア端である。

一方、青線は、同様に審査基準で定められている“調整区域端レベル（100MHz 幅の場合：-90.0dBm)”を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル（SS-RSRP）の測定帯域は 120kHz であるため、実測値におけるエリア閾値は上述したエリア端閾値を、100MHz から 120kHz へ帯域換算した以下

の値を用いている。

カバーエリア端レベル（SS-RSRP 帯域換算）　: -110.4dBm
調整区域端レベル（SS-RSRP 帯域換算）　: -119.2dBm

結果から、電波反射板設置後のターゲットエリアにおいて、電波反射板によるカバーエリアの広がりが確認できる。また、電波反射板後方においては、カバーエリア及び調整対象区域が概ね一致する結果となった。これは、本実証においては基地局アンテナのビーム幅 120 度に対し、サイズ 40×40cm と小型な電波反射板を用いている都合上、電波反射板による遮蔽効果よりも、基地局からの直接波が支配的であるためと考えられる。

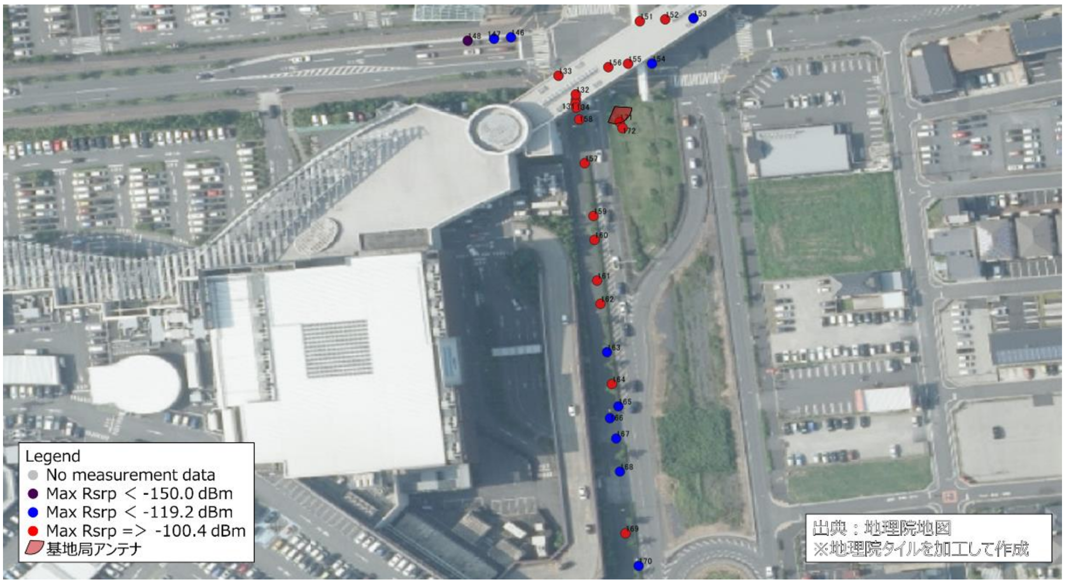


図 3.3-46(a)　電波反射板設置前後における SS-RSRP から評価した想定カバーエリア比較

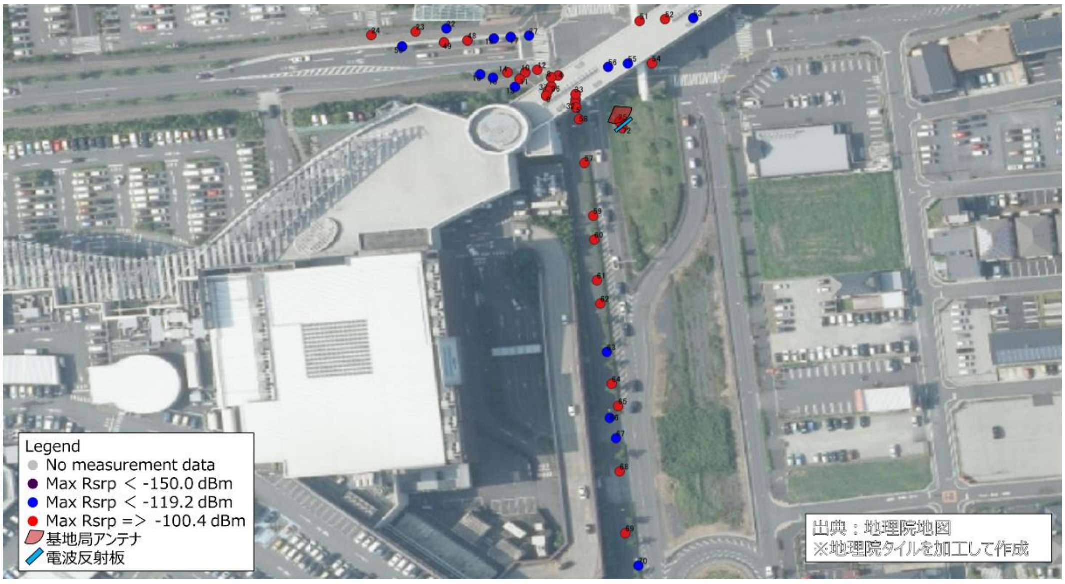


図 3.3-46(b) 電波反射板設置後における SS-RSRP から評価した想定カバーエリア比較

最後に、電波反射板設置後の実測値と仮説に基づくエリア図との比較を行う。電波反射板設置後における実測値とエリア図の比較結果を下図に示す。

結果から、エリア算出法及びレイトレース法から算出されるエリア図と比較して実測値におけるカバーエリアが図中左側にズレているものの、傾向としては概ね一致している。ただ、レイトレース法から算出されるエリア図においては、ターゲットエリア上側の建物による反射波が大きく算出されている。これは、電波反射板を模擬した RU を設置して計算を行っている関係上、計算上の電波反射板効率と実環境における電波反射板効率の差分影響が大きいためと考えられる。

ターゲットエリア内のカバレッジ（図中赤マスキングエリア）においては電波反射板ビーム幅 10 度で 20%程度、ビーム幅 20 度で 10%程度となることが確認できる。また、電波反射板設置時において、受信電力値の改善が見られた地点は全て電波反射板からの見通し環境であり、見通し外においては電波反射板設置前と同程度の受信電力値となる。このことからミリ波帯における電波反射板活用時のエリア構築としては、狙うターゲットエリア内において良好な見通し環境となる設置条件が望ましいと考えられる。

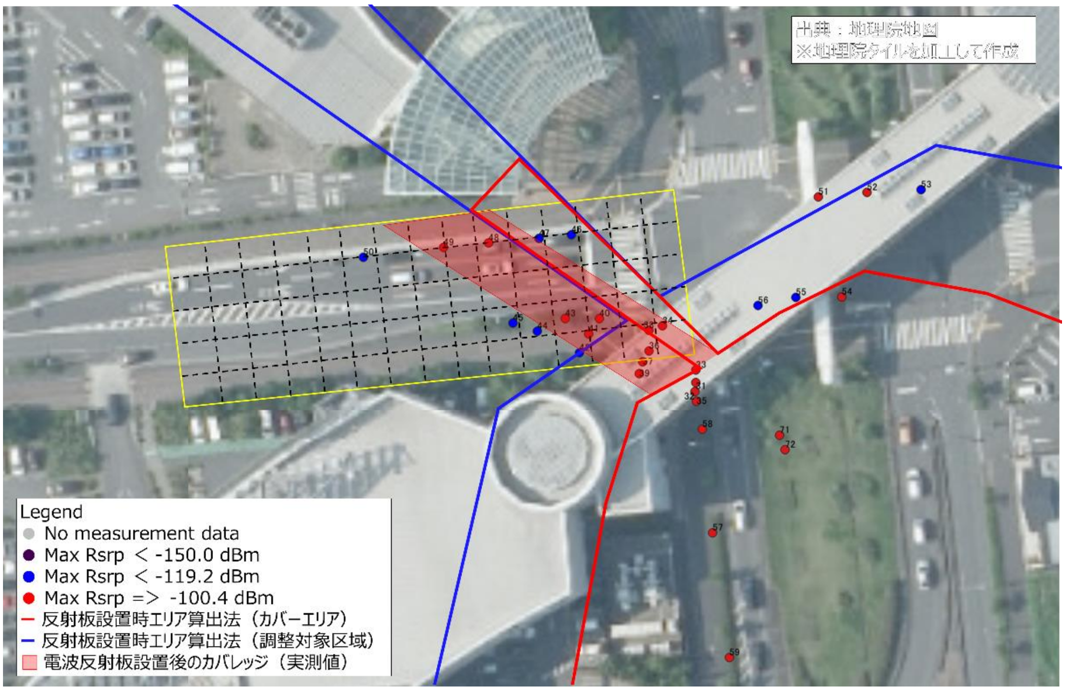


図 3.3-47 (a) 電波反射板（HPBW=10 度）設置後における仮説エリア図との比較（エリア算出法）

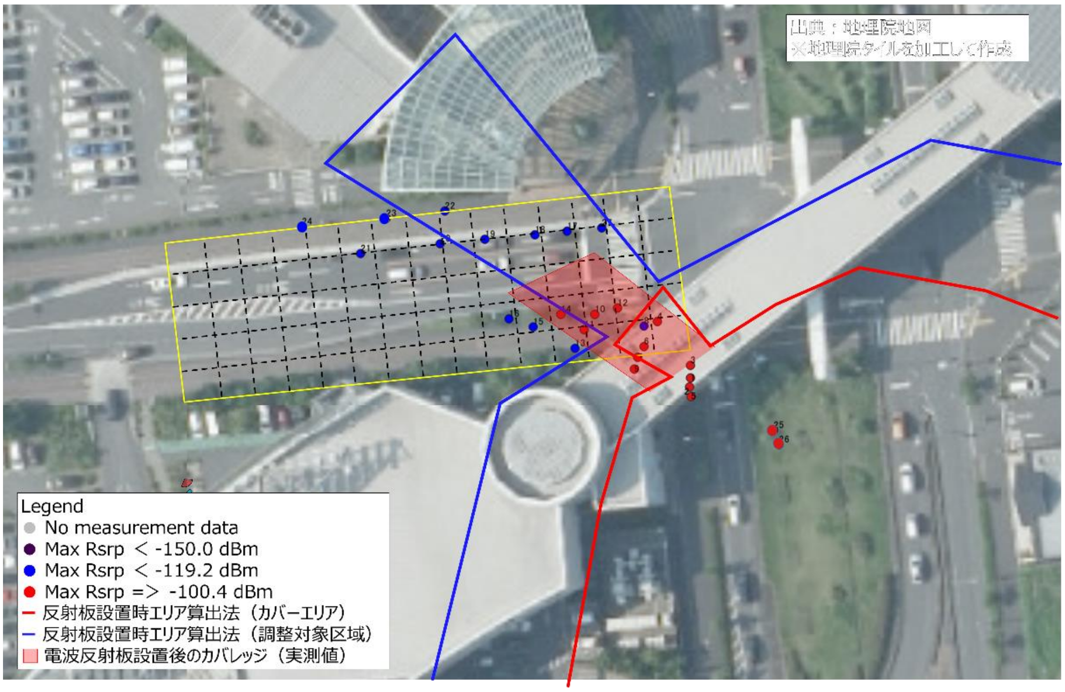


図 3.3-47 (b) 電波反射板（HPBW=10 度）設置後における仮説エリア図との比較
（エリア算出法）

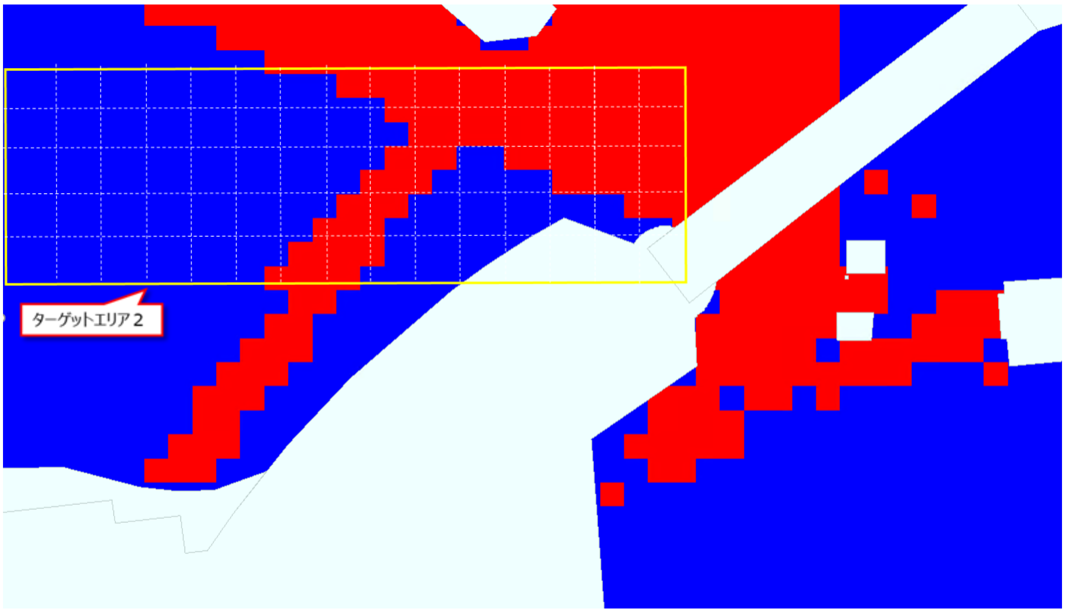


図 3.3-48　電波反射板（HPBW=10 度）を模擬した疑似 RU 設置時におけるエリア図
（レイトレース法）

2）電波反射板設置前後におけるサービス提供品質について

ここでは、伝送スループット、ラウンドトリップタイムの測定結果から、ユーザへのサービス提供品質の観点での評価を行う。

結果から、UL 伝送スループットにおいてはビーム幅 10 度では 5Mbps 程度の改善、ビーム幅 20 度の電波反射板において 3Mbps 程度の改善値が見られる。一方、DL 伝送スループットにおいてはビーム幅 10 度、20 度ともに 20Mbps 程度の改善が見られる、これは、電波反射板を基地局近傍に配置していることにより、下り送信電力における反射効率が良いためと考えられる。また、伝送遅延 RTT においては、電波反射板設置後において 5~8ms の劣化が見られる。これは、電波反射板による伝搬経路長が依存しているものと考えられる。

また、電波反射板においては基地局からの入射波をどれだけ受けられるかにより、その反射効率は上昇すると考えられる。そのため、基地局のビーム幅がより狭帯域であれば、基地局-反射板間の距離を広げることが可能であると考えられるが、本実証に用いた基地局のビーム幅は 120 度と広いため、その一部を反射する関係上、基地局近傍に電波反射板を設置している。加えて、移動局のアンテナパターンは一般的にはオムニ指向性となる為、電波反射板で上り送信電力を受けることは基地局と比べ、より厳しくなる。

これらの結果から、電波反射板を基地局近傍に配置した際、移動局からのオムニ指向性となる上り送信電力を電波反射板で基地局側に経由することは困難であり、UL 伝送スループットの改善量が DL 伝送スループットの改善量に比べて少ないこととなる。すなわち、本実証の様な UL 伝送スループットが重要となるユースケースにおいては、移動局においても指向性アンテナを用いる、もしくは、より反射面のサイズを大きくした電波反射板を用いることが望ましいと考えられる。

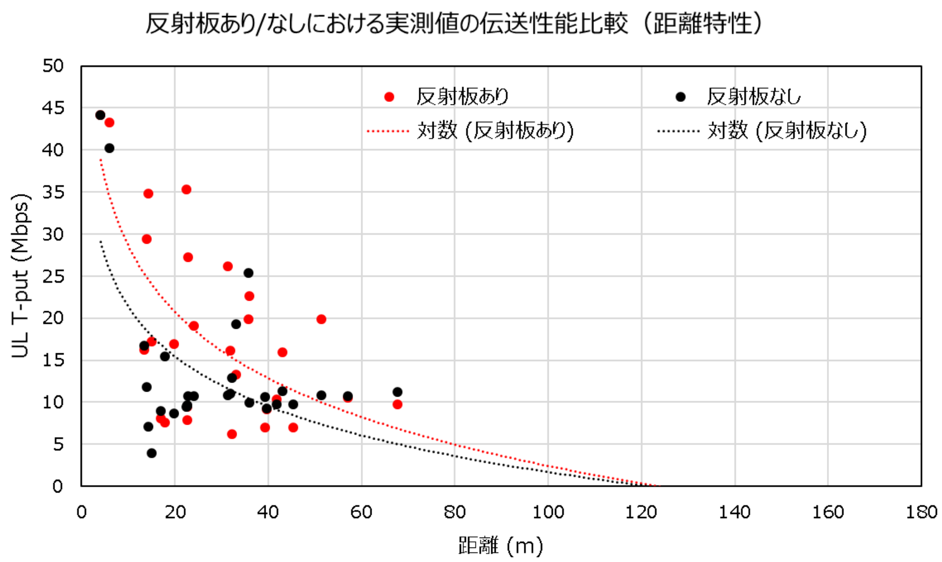


図 3.3-49 (a) 電波反射板設置前後における UL 伝送スループット比較：
HPBW＝10 度

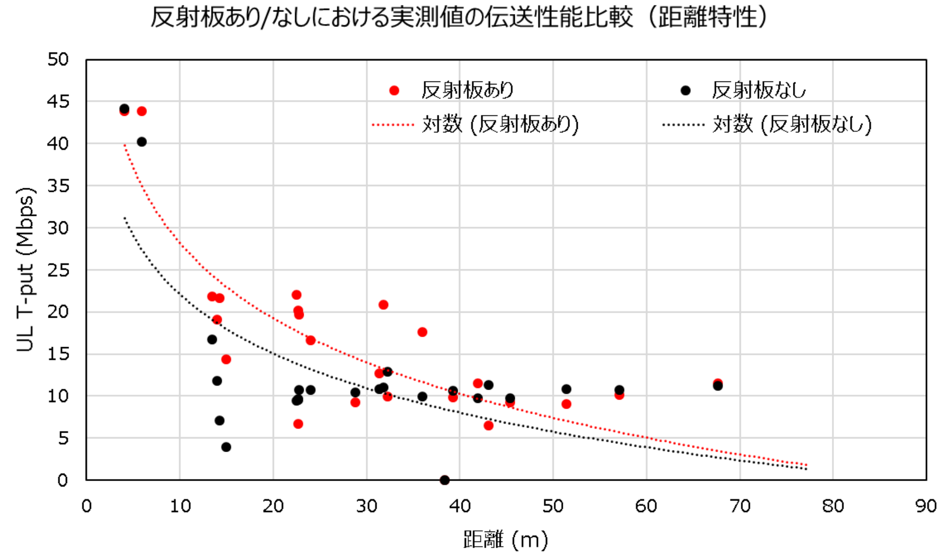


図 3.3-49 (b) 電波反射板設置前後における UL 伝送スループット比較：HPBW＝20 度

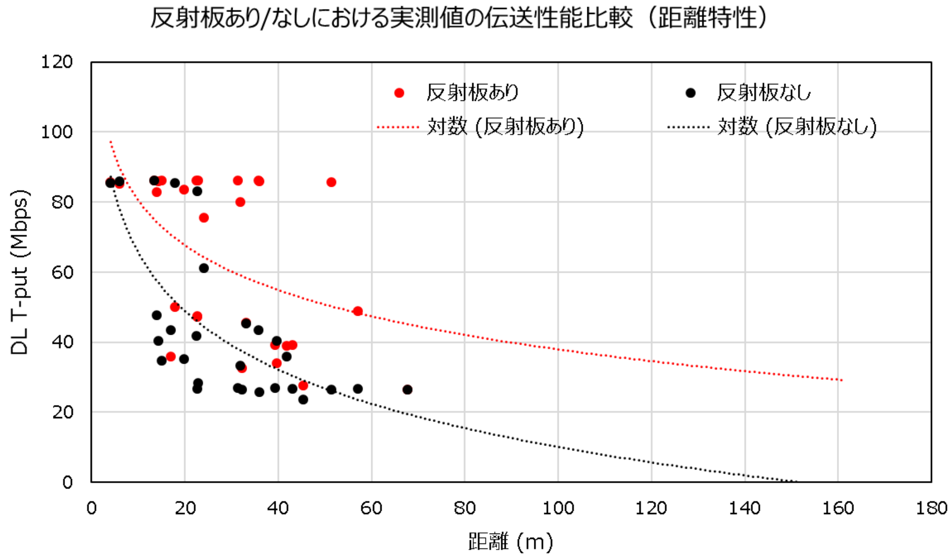


図 3.3-50 (a) 電波反射板設置前後における DL 伝送スループット比較：HPBW＝10 度

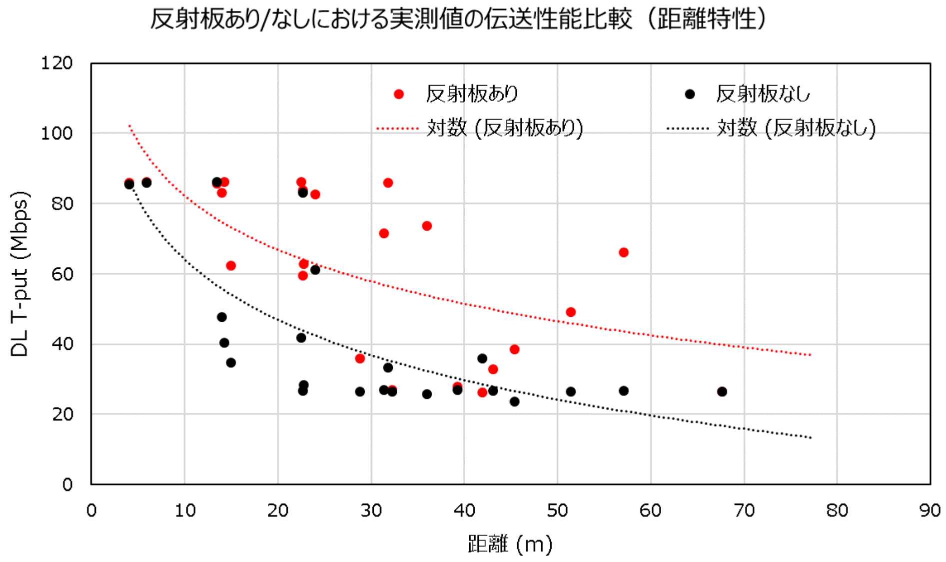


図 3.3-50 (b) 電波反射板設置前後における DL 伝送スループット比較：
HPBW＝20 度

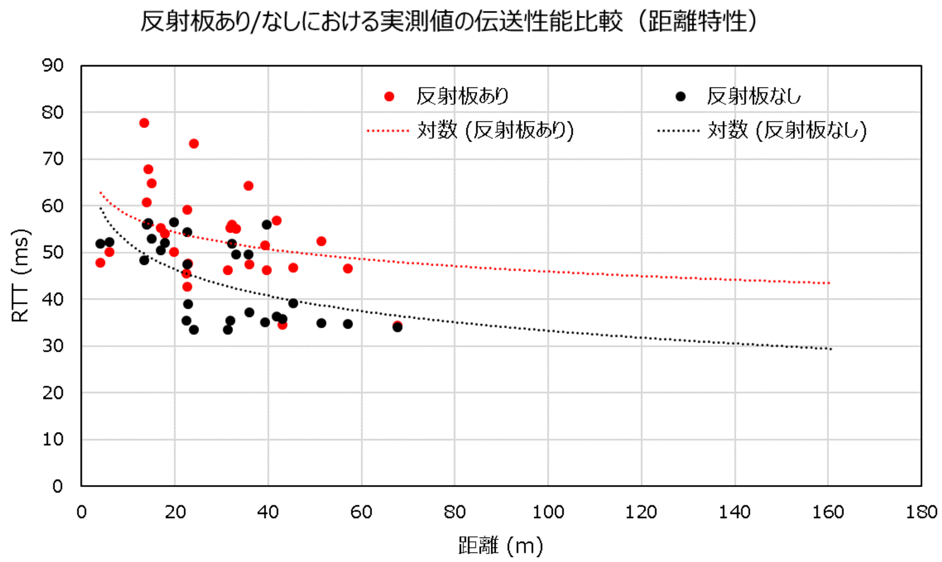


図 3.3-51 (a) 電波反射板設置前後における DL 伝送スループット比較：
HPBW＝10 度

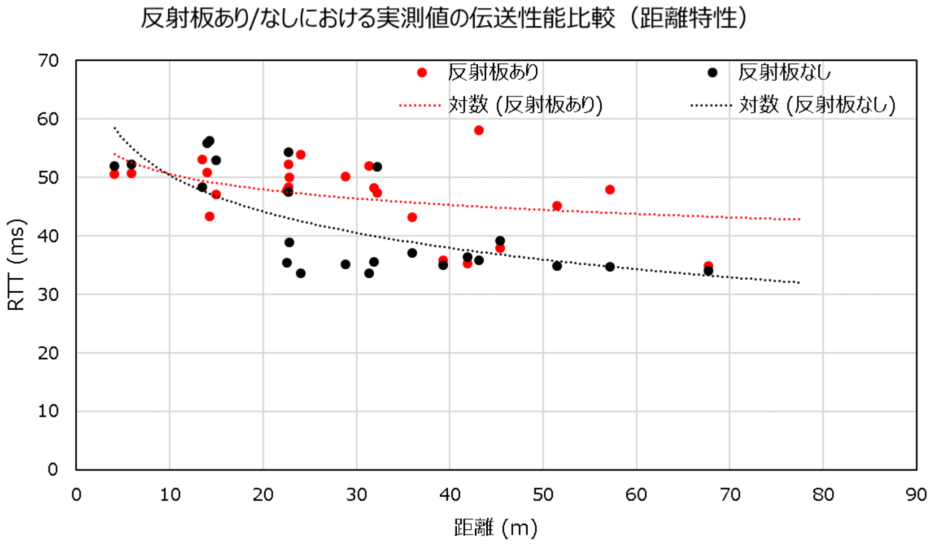


図 3.3-51 (b) 電波反射板設置前後における DL 伝送スループット比較：
HPBW＝20 度

表 3.3-19 (a) 実証環境における電波反射板設置前後の UL 伝送スループット測定結果

測定点 ID	UL 伝送スループット(Mbps)		
	電波反射板設置前	電波反射板設置後 (HPBW=10 度)	電波反射板設置後 (HPBW=20 度)
130	7.10	34.82	21.67
131	11.82	29.41	19.07
132	3.98	17.27	14.42
133	9.67	9.44	6.71
134	16.74	16.20	21.89
135	9.44	35.27	22.03
136	10.77	27.27	19.68
137	10.72	19.07	16.63
138	9.58	7.93	20.21
139	10.79	26.15	12.70
140	11.07	16.15	20.88
141	10.49		9.30
142	12.90	6.23	9.93
143	9.99	22.62	17.60
144	10.66	7.00	9.89
145	11.32	15.92	6.50
146	9.78	10.34	11.48
147	9.74	7.03	9.29
148	10.80	19.84	9.05
149	10.76	10.59	10.13
150	11.18	9.79	11.54
151	19.29	13.30	
152	25.42	19.88	
153	9.22	9.16	
154	8.71	16.91	
155	15.44	7.55	
156	8.94	8.11	
171	44.13	44.12	43.82
172	40.19	43.30	43.91

表 3.3-19 (b) 実証環境における電波反射板設置前後の DL 伝送スループット測定結果

測定点 ID	DL 伝送スループット(Mbps)		
	電波反射板設置前	電波反射板設置後 (HPBW=10 度)	電波反射板設置後 (HPBW=20 度)
130	7.10	34.82	86.17
131	11.82	29.41	83.01
132	3.98	17.27	62.45
133	9.67	9.44	59.41
134	16.74	16.20	85.77
135	9.44	35.27	86.10
136	10.77	27.27	62.88
137	10.72	19.07	82.65
138	9.58	7.93	83.81
139	10.79	26.15	71.54
140	11.07	16.15	85.99
141	26.43		36.02
142	12.90	6.23	27.05
143	9.99	22.62	73.67
144	10.66	7.00	27.86
145	11.32	15.92	32.73
146	9.78	10.34	26.26
147	9.74	7.03	38.54
148	10.80	19.84	49.20
149	10.76	10.59	66.04
150	11.18	9.79	26.57
151	19.29	13.30	
152	25.42	19.88	
153	9.22	9.16	
154	8.71	16.91	
155	15.44	7.55	
156	8.94	8.11	
171	44.13	44.12	85.97
172	40.19	43.30	86.10

表 3.3-19 (c) 実証環境における電波反射板設置前後の RTT 測定結果

測定点 ID	RTT(ms)		
	電波反射板設置前	電波反射板設置後 (HPBW=10 度)	電波反射板設置後 (HPBW=20 度)
130	56.30	67.77	43.30
131	55.90	60.77	50.83
132	52.97	64.87	47.10
133	54.40	59.07	52.20
134	48.40	77.73	53.13
135	35.40	45.43	47.77
136	38.97	47.70	50.07
137	33.57	73.23	53.97
138	47.47	42.63	48.30
139	33.57	46.23	51.93
140	35.50	55.17	48.17
141	35.13		50.20
142	51.83	55.87	47.37
143	37.13	47.40	43.20
144	35.03	51.57	35.83
145	35.87	34.47	58.10
146	36.37	56.90	35.27
147	39.13	46.70	37.97
148	34.93	52.47	45.13
149	34.67	46.63	47.97
150	34.03	34.37	34.87
151	49.50	55.13	
152	49.53	64.20	
153	55.97	46.17	
154	56.53	50.10	
155	52.07	53.93	
156	50.43	55.33	
171	51.93	47.87	50.53
172	52.30	50.17	50.67

（5）技術的課題の解決方策

ここでは 3.3.3.5 章(1)~(4)の実証結果および考察を基に電波反射板を活用した柔軟なエリア設計について評価を行い、電波反射板活用に適したユースケースの提案を行う。また、電波反射板以外のエリア改善策との経済性比較を行い、電波反射板を活用したエリア構築の優位性について考察を行う。

1）電波反射板活用に適したユースケースの提案

電波反射板を用いたエリア構築において、下り受信電力、受信品質共に電波反射板設置後において改善が見られた。また、伝送性能に関しては UL 伝送スループットより DL 伝送スループットの改善量が大きい結果となった。なお、伝送遅延については電波反射板を用いた場合、5~8ms 程度の劣化が見られた。

これらの結果から、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 伝送スループットの要求が多いユースケースにおいては有効であると考えられる。しかしながら、ローカル 5G におけるユースケースでは UL 伝送スループットの要求性能が高いものが多いため、その場合は、移動局側を固定局として指向性アンテナを電波反射板方向に向ける等の置局設計が有効であると考えられる。また、移動局の指向性においてもより狭域なものを用いる方が電波反射板での入射波を受けられる効率が良いため、ビーム指向性を絞ったものを用いることが望ましいと考えられる。

2）他のエリア改善策との経済性比較

電波反射板以外のエリア改善策について設置の容易性およびコストの観点から比較した結果を以降の表に示す。

まず、設置の容易性観点では電波反射板においては、既に構築されたエリアにおいて、追加でエリア構築を行う場合、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)においては、無給電で動作する電波反射板を用いることでエリア化が容易になると考えられる。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といえる。

ただ、電波反射板を用いる場合に留意する点として、屋外に電波反射板を設置する場合、本実証環境では特に大型施設の間に位置しており、ビル風による風圧が顕著であった。電波反射板においてはその設置位置・角度において本来の性能を発揮するものであるため、耐風圧観点での対策が必要である。更に、降雨による電波反射板面に水滴が付着した場合、その影響は否定できないため、今後より詳細な検討が必要であると考える。

つぎに、設置のコスト観点では、他のエリア改善策と比べ費用は半分程度となる。また、本実証においてはメタマテリアルを対象としていたが、アルミ材質を使用した金属電波反射板においてはそのコストはより安価となり、市販のものでも代用できることから、複数台の設置を行う事が可能である。加えて、ランニング費用も他のエリア改善策と比べて安価となることから、コスト面においても追加のエリア構築において有効であると考えられる。

表 3.3-20　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、伝送路設備も必要な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な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、工場のフロアー面積
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	・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			

表 3.3-21　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
設備費用	10～150 万円	100～300 万円	100～300 万円	50～200 万円
設備施工費用(試験含む)	50～100 万円	100～200 万円	200～300 万円	100～300 万円
付帯設備費用 （電源、取付架台等）	設備施工費用に含む	設備施工費用に含む	設備施工費用に含む	設備施工費用に含む
付帯設備施工費用 （電源、取付架台等）	設備施工費用に含む	設備施工費用に含む	設備施工費用に含む	設備施工費用に含む
伝送設備費用（光、無線）	運用保守費用に含む	運用保守費用に含む	運用保守費用に含む	運用保守費用に含む
伝送設備施工費用 （光、無線）	運用保守費用に含む	運用保守費用に含む	運用保守費用に含む	運用保守費用に含む
ランニング費用(電源、光)	不要	50 万円程度/年	30 万円程度/年	50 万円程度/年
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	◎	△	○	△

3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発

本実証では、当該テーマへの取り組みは行わない。

3.3.5 その他のテーマ

本実証では、当該テーマへの取り組みは行わない。

3.3.6 技術実証における追加提案

本実証では、当該テーマへの取り組みは行わない。

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）

4.1 実証概要

課題実証では、道路における災害時と平常時における課題を対象に、国道 4 号東埼玉道路上に構築したローカル 5G スポット通信エリア（基地局）を用いて、ローカル 5G を活用したソリューションを実証した。

［ローカル 5G 活用ソリューション］
1) 「災害時：被災状況確認の迅速化の実証」（実証 A）
2) 「平常時：道路管理・運営の効率化の実証」（実証 B）

ローカル 5G 活用した災害時の被災状況確認の迅速化の実証において、ローカル 5G スポットへの移動、ローカル 5G を使ったデータ伝送に必要な時間を測定した上で、定量的に推計し、現況と比較することにより、被災状況の撮影・センシング手法およびローカル 5G データ伝送に向けたスキーム検討を行った。

ローカル 5G を活用した平常時の道路管理・運営の効率化の実証において、公共交通バスの自動運転化と道路管理への活用検討、ローカル 5G による 4K 画像のデータ伝送速度と AI 解析制度の検証による品質確認、現行スキーム（道路パトロール）の支援、または代替手段としての共存スキームの検討を行った。

なお、複数課題を共通化したシステムで解決することで費用対効果を高めるために、図 4.1-1 に示すように、平常時と災害時の 2 つの場面を対象に、共通化したシステム（ローカル５Ｇ、クラウド上アプリケーション）を活用した課題解決実証を行った。

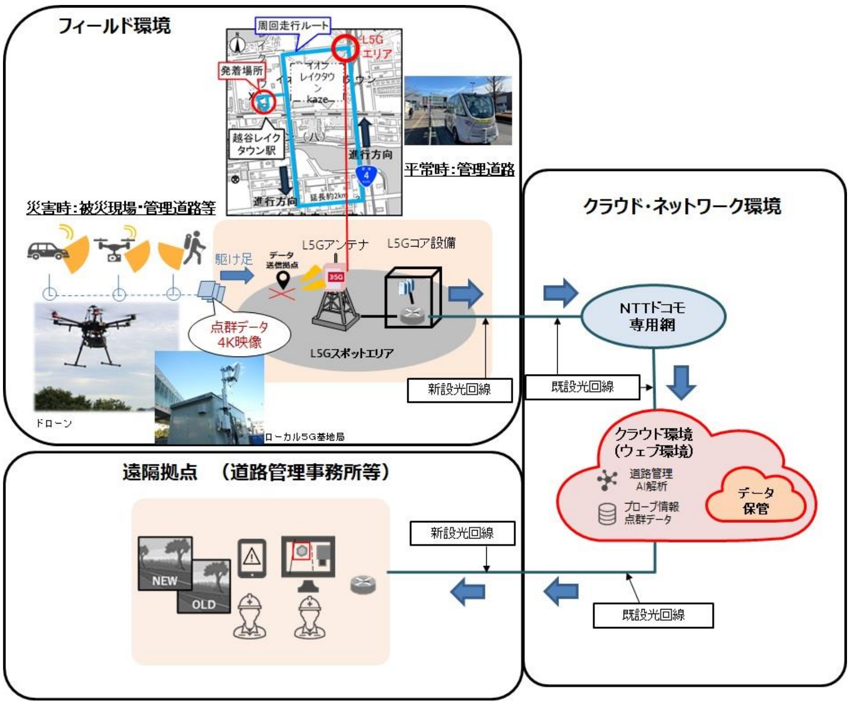


図 4.1-1 平常時・災害時の共通化システムを活用した課題解決実証全体イメージ

4.1.1　災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

道路における災害時の課題実証（実証 A）では、「災害時：被災状況確認の迅速化の実証」として、想定した課題解決ソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の有効性を実証した。

【実証内容】

実証 A では、被災地を模擬した実証フィールドにて、手持ち型、自転車型、バックパック型、車両型、ドローン（UAV）型の 5 つのレーザースキャナで取得した被災前後の 3D 点群データと 4K カメラにて撮影した高精細 4K 画像データを、国道 4 号東埼玉道路上に構築したローカル 5G スポットエリアまで車両で運搬し、ローカル 5G を通じて光ファイバー通信ケーブル（光回線）に乗せて事務所に伝送し、事務所にて 3D 点群データと 4K 画像の閲覧や被災前後の差分検知に要した時間を計測した。

また、この実証結果を踏まえて、本実証で想定したソリューションの有効性を検証するとともに、全国を対象に望ましい置局密度とソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の実装シナリオを想定した。

図 4.1-2　被災地の模擬フィールド（実証 A）

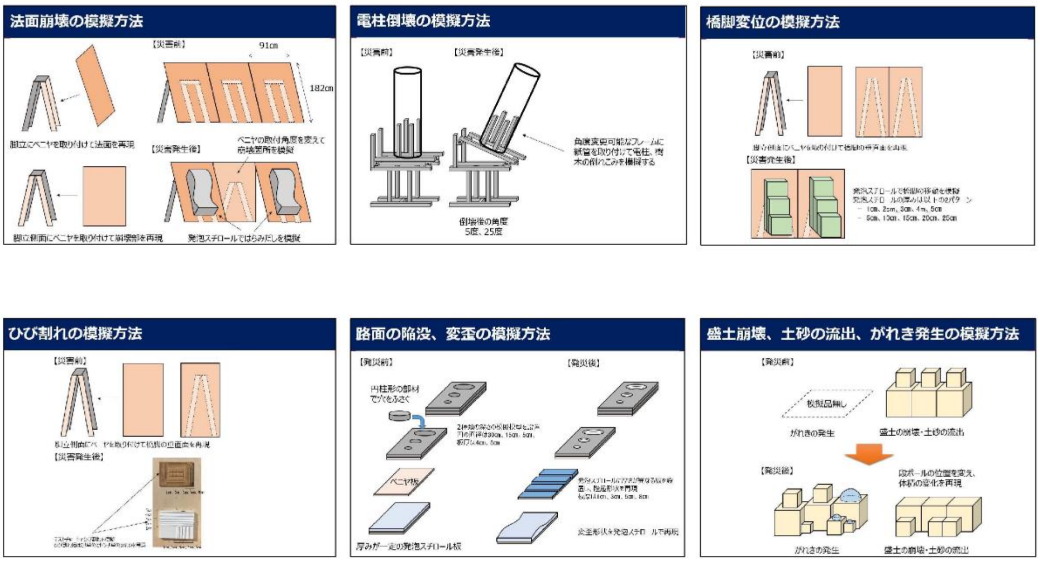


図 4.1-3　模擬被災パターン（実証 A）

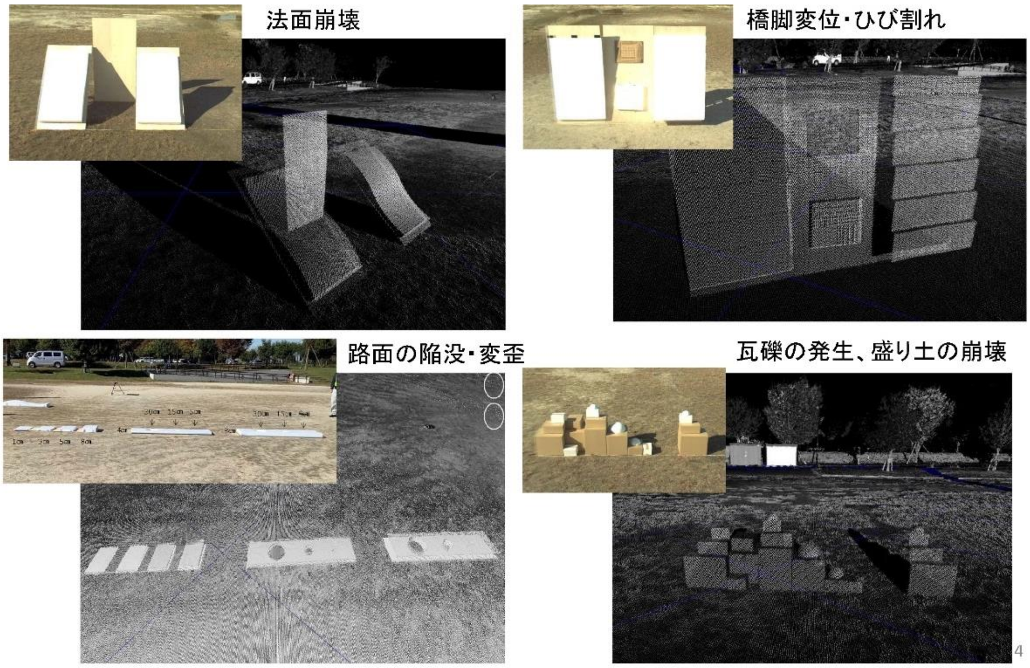
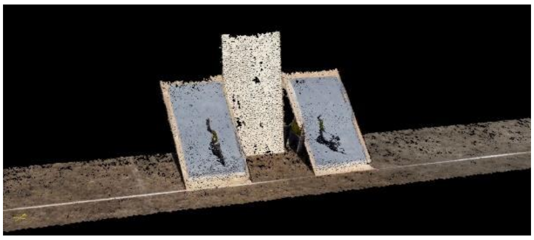
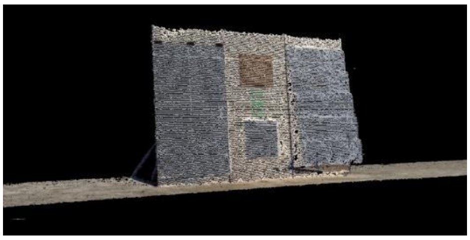


図 4.1-4　レーザ計測にて取得した 3D 点群データ（実証 A）

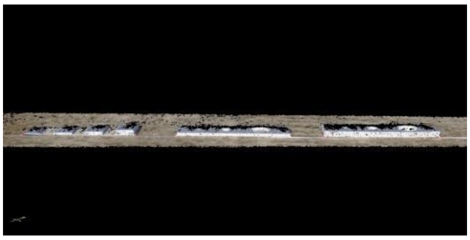
法面崩壊



橋脚変位･ひび割れ



路面の陥没･変歪



瓦礫の発生、盛土の崩壊

図 4.1-5　4K 画像から SfM にて生成した 3D 点群データ（実証 A）

4.1.2　平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

道路における平常時の課題実証（実証 B）では、「平常時：道路管理・運営の効率化の実証」として、想定した課題解決ソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の有効性を実証した。

【実証内容】

実証 B では、ローカル 5G スポットエリアを構築した国道を含む周回ルートに、4K カメラを搭載した自動運転車両を走行させ、車載カメラより撮影した道路周辺の 4K 画像データを、ローカル 5G と光回線を通じてコンピュータに伝送し、AI（人工知能）にて道路の異常（ひび割れ）を検知させ、道路管理者が検知した道路異常の状況や位置を確認するまでに要した時間を計測した。

また、この実証結果を踏まえて、本実証で想定したソリューションの有効性を検証するとともに、全国の直轄国道と主要地方道等を対象に望ましい置局密度と、ソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の実装シナリオを想定した。

図 4.1-6　平常時の課題実証（実証 B）

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

4.2.1　災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

4.2.1.1 実装シナリオ

災害は、いつ、どこで、どのように発生するのかを事前に予測できない。そのような災害に対して機動的な緊急対応を支援するためのソリューションが求められる。

本実証では、全国で整備されている災害拠点などにローカル 5G スポットエリアを構築し、被災地にて取得した 3D 点群データや 4K 画像などの大容量データを、光回線を通じて遠方の事務所に伝送し、関係者で共有する。これにより、迅速な道路啓開・復旧を支援するソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の構築を目指す。

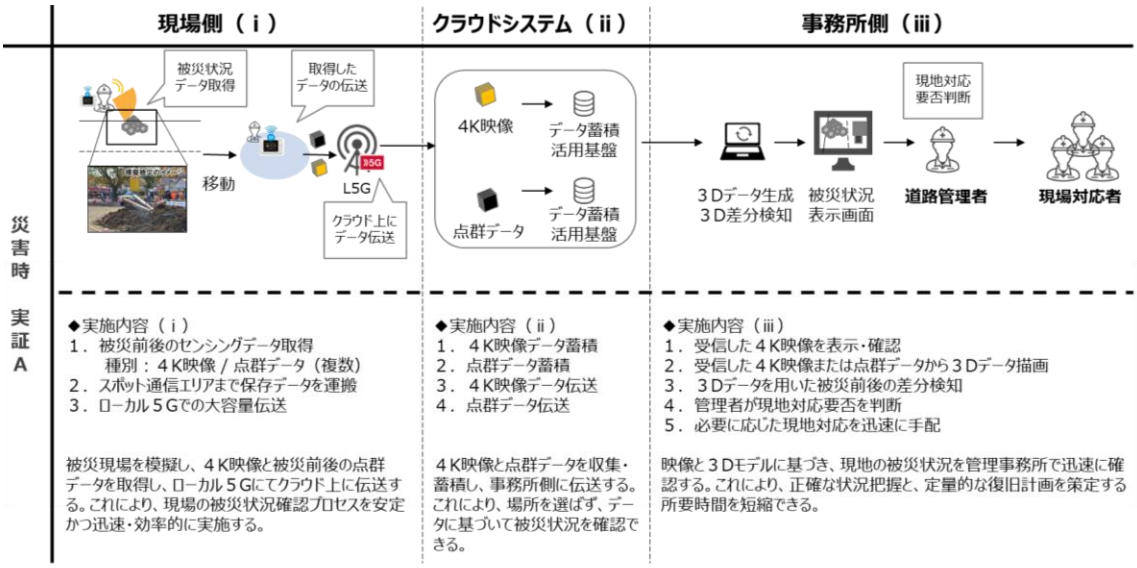


図 4.2-1　災害時ソリューションの実装シナリオ（実証 A）

4.2.1.2 現状と課題の整理

（1）現状の課題（ミッシングピース）

災害が発生すると道路管理者は、被災地の地方公共団体と連携し、消防、警察、自衛隊などとともに、速やかに道路を啓開・復旧しなければならない。道路啓開とは、緊急車両等の通行のため、早急に最低限の瓦礫処理を行い、簡易な段差修正等により救援ルートを開けることであり、災害の発生時には人命を確保するため、道路管理者は早期に道路を啓開し、救援ルートを確保しなければならない。

道路を速やかに啓開・復旧するため、道路では緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）や災害対策現地情報連絡員（リエゾン）の創設等、人命を確保するための制度や仕組みを整備しているものの、現時点では災害状況の把握は人による目視に頼っているため、ドローンやレーザー測量等の新技術を活用した迅速な災害状況の把握手法が求められている。

図 4.2-2　被災時の道路啓開事例

出典：国土交通省ウェブサイト　https://www.mlit.go.jp/road/bosai/measures/index4.html#1-2

図 4.2-3　道路を迅速に啓開・復旧するための取組み

出典：国土交通省、TEC-FORCE の支援内容（詳細版）

（2）課題を抱えている主体と範囲

災害が発生すると、道路管理者は被災地の地方公共団体等と連携して迅速に道路を啓開・復旧しなければならないため、災害時の課題を抱えている主体は、道路管理者である国や地方公共団体（市区町村）、および高速道路会社である。

道路の災害時おける課題の範囲は、災害の発生後に人命を確保するために初動としておこなわれる道路の「啓開」と「復旧」とした。

表 4.2-1　課題を抱えている主体と範囲（災害時）

課題を抱えている主体	道路管理者（国、地方公共団体、高速道路会社）
課題の範囲	道路の啓開・復旧

表 4.2-2　道路の種類と道路管理者

道路の種類	道路管理者
高速自動車国道	国（国土交通大臣）※
一般国道（指定区間）	国（国土交通大臣）
一般国道（指定区間外）	都道府県（知事）または指定市（市町）
都道府県道	都道府県（知事）
市町村道	市町村（市町）

※高速自動車国道は、独立行政法人日本高速道路保有・債権返済機構と高速道路株式会社が国土交通大臣の権限の一部を代行。

（3）課題解決ツリー（イシューツリー）

災害時における道路の啓開・復旧に関する課題の課題解決ツリー（イシューツリー）を以下に示す。

道路における災害時の課題である速やかな道路の啓開・復旧に対しては、3D レーザースキャナにて取得した被災地の 3D 点群データや 4K カメラにて撮影した高精細画像等の大容量データを、ローカル 5G を用いて速やかに遠方に伝送することにより、災害対策本部や国道事務所にて被災状況を速やかに把握し、一刻も早く道路を啓開・復旧するソリューションを実証した。

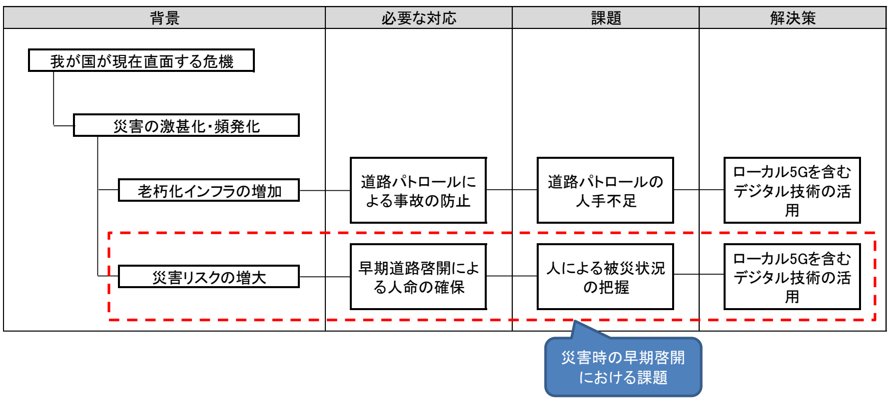


図 4.2-4　道路の災害時における課題解決ツリー（実証 A）

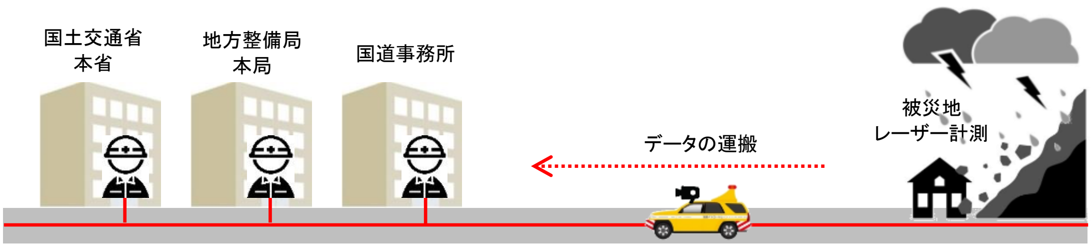
4.2.1.3 課題をふまえた実証の方向性

（1）課題と実証の関係

災害時に道路管理者が消防や警察等と連携し、道路を速やかに啓開・復旧するためには、「被災状況の把握」と「関係者間の情報共有」が重要となる。

直轄国道にはすでに専用光回線が整備されており、国土交通省は事務所間で大容量データが伝送できる通信ネットワークが構築されている。しかし、災害時には最寄りの国道事務所等までデータを運搬しなければ、被災地で取得したデータを光回線に乗せることができない。

そのため、**ローカル 5G スポット通信エリアを、災害時に道路の啓開・復旧等の拠点となる防災拠点に構築し、（平常時は道路管理の高度化システムとして活用しつつ）被災地にて取得した 3D 点群データや 4K 高精細画像などの大容量データを、最寄りの防災拠点からローカル 5G を通じて光回線に乗せることにより、遠方の災害対策本部等に大容量データを迅速に伝送し、関係者間で情報を共有できるソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の創出を目指す。**



（現状）

（目指す姿）

図 4.2-5　本実証で目指すソリューション（ローカル 5G 活用モデル）（災害時）

（2）本実証の位置付け

本実証では、被災地を模擬したフィールドにて取得した被災現場の 3D 点群データと 4K 画像を、国道 4 号東埼玉道路に構築したローカル 5G スポットエリアを通じて光回線に乗せて、市町村災害対策室を模擬した越谷市観光協会内の会議室に伝送し、被災地にて取得したデータの伝送時間を計測することにより、想定するソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の有効性を検証した。

また、本実証結果を踏まえてローカル 5G スポットエリアを整備することによって得られる効果を検証し、防災拠点の設置状況を踏まえたローカル 5G スポットエリアの数（置局密度）を見込むことにより、想定するソリューション（ローカル 5G 活用モデル）実装シナリオを想定した。

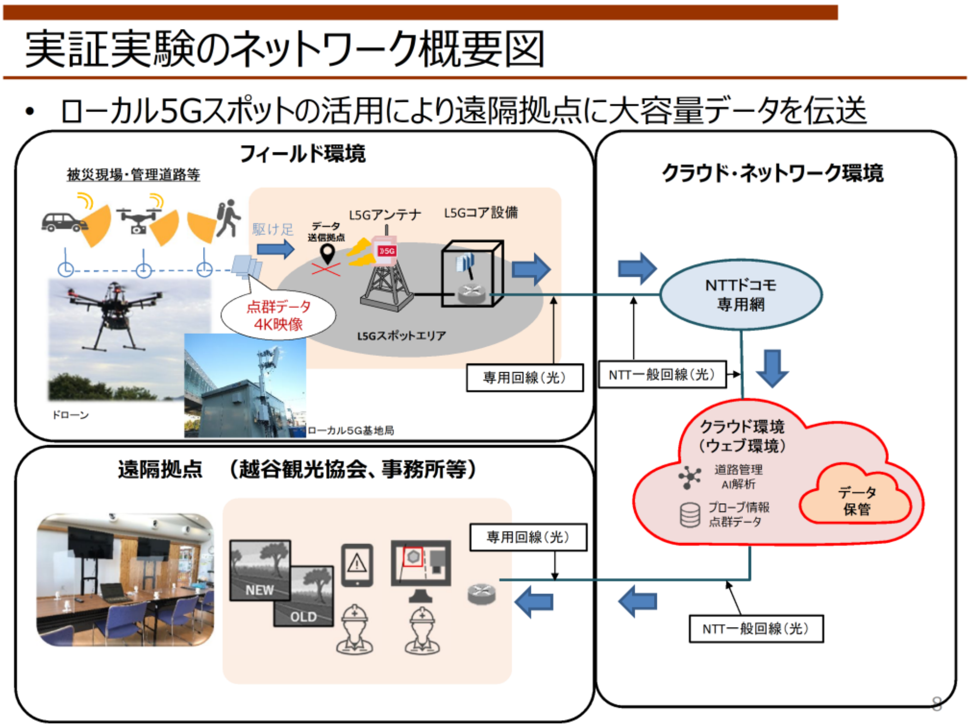


図 4.2-6 実証実験の通信ネットワーク

（3）実証目標

災害時における人命救助では 72 時間（3 日間）で生存率が大きく変化し、以下に示す首都直下地震道路啓開計画では、発災後 48 時間以内に各方向最低 1 ルートは道路啓開の完了を目標としている。道路を啓開するためには被災状況を迅速かつ正確に把握する必要があることから、**本実証のソリューションでは、被災地にて取得した 3D 点群データと 4K 画像データを、ローカル 5G スポットエリアを通じて伝送して解析し、24 時間以内に閲覧可能な状態にすることを目標に、実証目標（タイムライン）を下表のとおり設定した。**

表 4.2-3　本実証で目標とするタイムライン（災害時）

内　容	発災後からの目標時間
360 度画像生成（速報）	10 分
位置情報付き画像生成（速報）	30 分
ビューワーデータ作成（中間報告）	1 時間
2 時点差分解析（詳細報告）	6 時間
VR データ作成（詳細報告）	24 時間

１－４．八方向作戦

本計画では、都心２３区内で震度６弱以上の地震が発生した場合に、全国各方面からのアクセスが可能となるよう、放射方向の道路を活用し、都心に向けた八方向（八方位）毎に優先啓開ルートを設定して、郊外から一斉に進行する作戦（以下、「八方向作戦」という。）で道路啓開を実施することとする。各道路管理者が連携・協力のもと、八方向毎に、高速道路、国道、都道の被害が少ない区間を交互に利用する（いわゆるあみだ状に組み合わせる）ことにより、少なくとも都心へ向かう１車線及び都心から郊外へ向かう１車線（合計２車線）を緊急に確保することで、より短時間で必要な路線を啓開していくこととする。

八方向作戦では、道路啓開がその後の消火活動や救命・救助活動、緊急物資の輸送等を支えるとともに、人命救助の７２時間の壁を意識しつつ、発災後４８時間以内に各方向最低１ルートは道路啓開を完了することを目標とする。なお、東名高速、中央道、関越道、東北道方面においては、自衛隊の航空及び地上偵察による緊急点検や、自衛隊の重機を活用した啓開活動とも連携を図る。

図 3　首都直下地震に備えた“八方向作戦”による道路啓開

出典：首都直下地震道路啓開計画検討協議会、首都直下地震道路啓開計画（第 3 版）、令和 3 年 8 月

4.2.2 平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

4.2.2.1 実装シナリオ

現在、道路パトロールは、車両を運転する「運転者」と車上からの目視にて道路の異常の有無を点検する「点検者」の 2 人体制にて実施されている。しかし、人口減少に伴う担当職員の不足により、今後適切な頻度で道路パトロールをすることが困難になると思われる。一方、車両の自動運転技術は進歩しており、2020 年 4 月の道路交通法改正によって公道におけるレベル 3 の自動運転（※1）がすでに可能になっている。

そのため、**本実証では、自動運転車両に搭載したカメラにて撮影した画像データを、ローカル 5G スポットエリアを通じて事務所に伝送し、AI にて道路異常を検知することにより、2 人で実施している道路パトロールを無人化するソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の構築を目指す。**

なお、このソリューションは道路パトロールの巡回車両でなくても適用可能であるため、路線バスやタクシーなどの車両に上記のソリューションを適用することにより、道路パトロールを代行させることも想定する。さらに、道路上にローカル 5G スポットエリアが構築されれば、ローカル 5G スポットエリア通じて走行車両が取得している様々な計測データ（プローブデータ）等も伝送できることから、本実証ソリューション以外への有効活用（横展開）についても検討した。

また、平常時のローカル 5G スポットは、災害時は迅速な被災状況確認の運用スキームの中で一体的に活用することを想定する。

※1　条件付自動運転：システムが全ての運転タスクを実施するが、システムの介入要求等に対してドライバーが適切に対応することが必要。

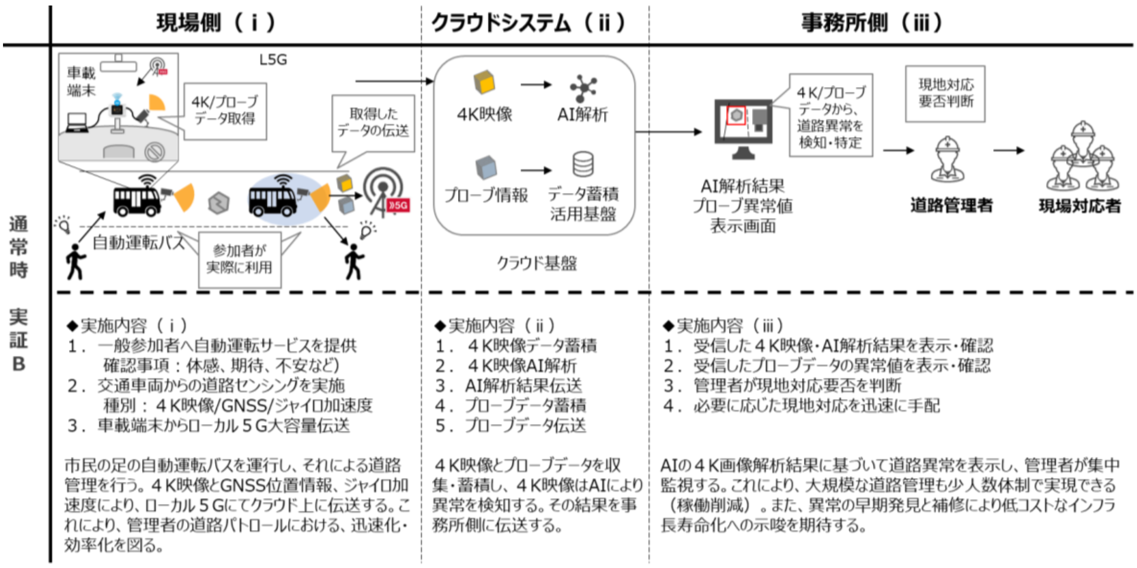


図 4.2-7　平常時ソリューションの実装シナリオ（実証 B）

4.2.2.2 現状と課題の整理

（1）現状の課題（ミッシングピース）

道路管理者は、道路法第四十二条にて「道路管理者は、常時良好な状態に保つように維持し、修繕し、もつて一般交通に支障を及ぼさないように努めなければならない。」と定められており、道路法施行令第三十五条の二第一項にて「適切な時期に、道路の巡視を行い、および清掃、除草、除雪その他の道路の機能を維持するために必要な措置を講ずること。」が定められている。しかし、人口減少に伴う少子高齢化と国や地方公共団体の財政状況の悪化に伴う職員の減少により、道路パトロールが十分な頻度でおこなえなくなっている。

（2）課題を抱えている主体と範囲

道路は道路法第三条に定める道路の種類ごとに、道路法第十二条から第十六条において道路管理者が定められている。道路パトロールは道路管理者の責務であることから、課題を抱えている主体は、国や地方公共団体（市区町村）、および高速道路会社の道路管理者である。

また、道路の平常時おける課題の範囲は、走行車両からの目視によって道路の異常の有無を日常的に点検する「道路パトロール（巡視）」とした。

表 4.2-4　課題を抱えている主体と範囲（平常時）

課題を抱えている主体	道路管理者（国、地方公共団体、高速道路会社）
課題の範囲	道路パトロール（巡視）

表 4.2-5　道路の種類と道路管理者（再掲）

道路の種類	道路管理者
高速自動車国道	国（国土交通大臣）※
一般国道（指定区間）	国（国土交通大臣）
一般国道（指定区間外）	都道府県（知事）または指定市（市町）
都道府県道	都道府県（知事）
市町村道	市町村（市町）

※高速自動車国道は、独立行政法人日本高速道路保有・債権返済機構と高速道路株式会社が国土交通大臣の権限の一部を代行。

（3）課題解決ツリー（イシューツリー）

平常時における道路パトロールに関する課題の課題解決ツリー（イシューツリー）を以下に示す。

現在、道路パトロールは、車両を運転する「運転者」と車上からの目視にて道路の異常の有無を点検する「点検者」の 2 人体制にて実施されているが、車両に搭載したカメラから人工知能（AI）にて道路の異常を自動検知することにより、道路パトロールを 2 人から 1 人に削減する取り組みが試みられている。一方、車両の自動運転技術も進歩しており、すでに公道における実証実験も実施されている。

そのため、本実証では自動運転車両に搭載したカメラにて撮影した画像データを、ローカル 5G スポットエリアを通じて伝送し、AI にて異常を検知することにより、2 人体制で実施している道路パトロールを無人（0 人）にて実施するソリューションを実証した。

なお、上記のソリューションは道路パトロールの巡回車両でなくても適用可能であるため、路線バスやごみ収集車などの車両に上記のソリューションを適用することにより、道路パトロールを代行させることを想定する。また、道路上にローカル 5G スポットエリアが構築されれば、ローカル 5G スポットエリア通じて走行車両が取得している様々な計測データ（プローブデータ）等も伝送できることから、本実証ソリューション以外への有効活用（横展開）についても検討した。

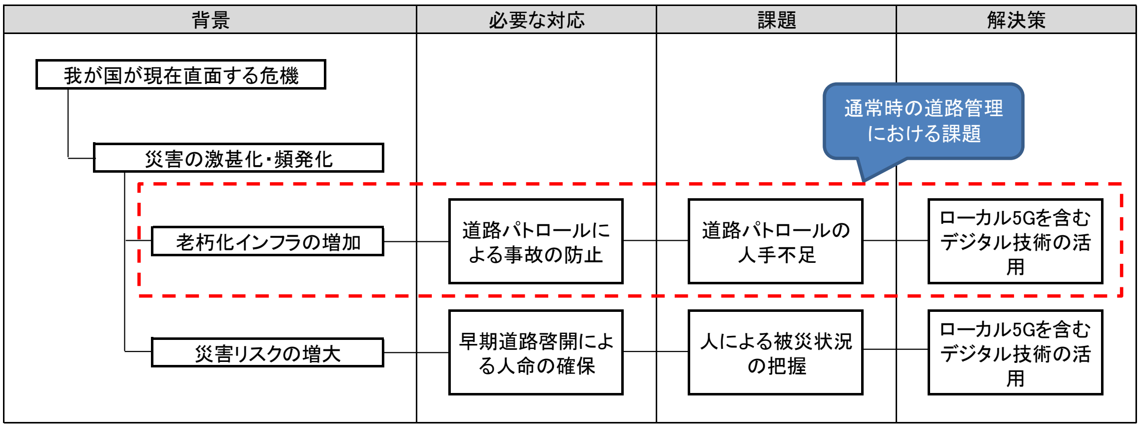


図 4.2-8　道路の平常時における課題に対する課題解決ツリー（イシューツリー）

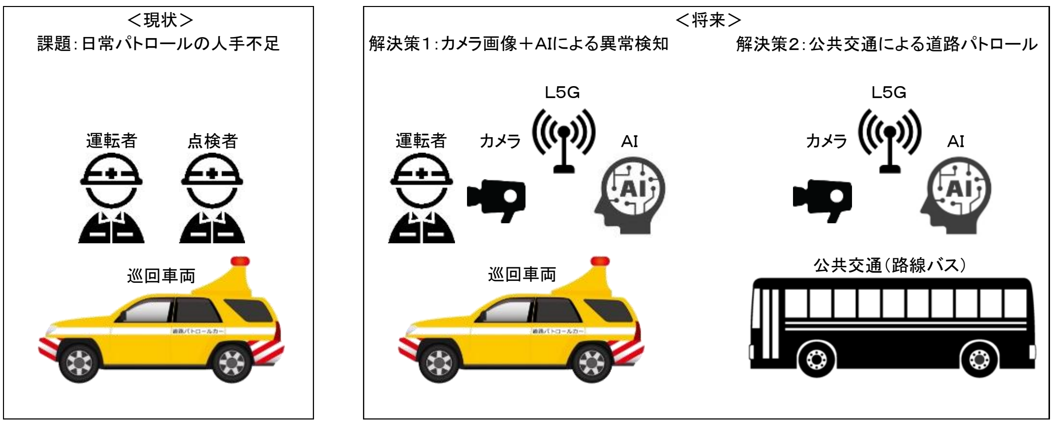


図 4.2-9　道路パトロールの課題とソリューションのイメージ

4.2.2.3 課題をふまえた実証の方向性

（1）課題と実証の関係

平常時の道路パトロールにて措置が必要な異常を発見した場合、現在ではパトロール員が落下物の撤去やカラーコーンの設置などの応急措置（図 4.2-9 参照。）を施すとともに、安全を確保するために必要な対策が速やかに施されるように関係者に連絡している。しかし、自動運転車両と AI 異常検知にて道路パトロールが無人化されると、上記のような応急措置を施すことができなくなる。そのため、自動運転車両と AI 異常検知にて道路パトロールでは、道路の「確実な異常検知」と「異常の迅速な通報」が重要となる。

本実証では、巡回車両や路線バスが走行する路線上にローカル 5G スポットエリアを構築し、車載カメラにて撮影した画像データをインターネットクラウド上に伝送することにより、AI にて検知した道路異常を迅速に道路管理者に通報するソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の創出を目指す。

なお、データ容量が大きくなる 4K 画像や 8K 画像でもローカル 5G スポットエリアから光回線に画像データを乗せることによって速やかに AI にて異常を検知、通報することができる。そのため、道路異常の発見から措置するまでに要する時間（放置時間）から実証目標を設定し、必要となる置局密度を判断した。

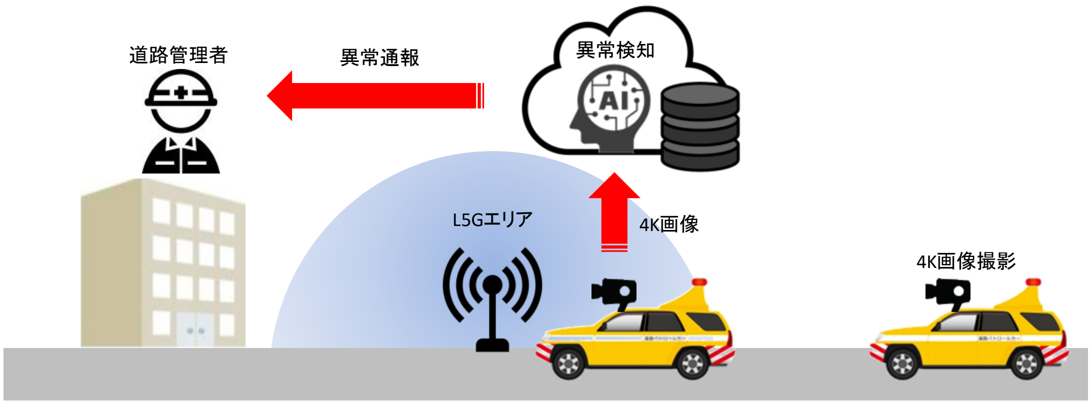


図 4.2-10　本実証で目指すソリューション（ローカル 5G 活用モデル）（平常時）

（2）本実証の位置付け

本実証では、4Kカメラを搭載した自動運転バスを、国道４号東埼玉道路を含む周回ルートを走行させて道路状況を撮影し、周回ルートに構築したローカル 5G スポットエリアを通じて、撮影した 4K 画像データを光回線に伝送し、道路のひび割れが自動検知できる AI アプリケーションにて道路の異常（ひび割れ）を検知することによって、道路異常の画像や位置情報を道路管理者に通報するまでに要する時間を計測し、想定するソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の有効性を検証した。

また、本実証結果を踏まえて、ローカル 5G スポットエリアを整備することによって得られる効果を検証し、全国の直轄国道と主要地方道に整備することが望ましいと判断されるローカル 5G スポットエリアの数（置局密度）を見込むことにより、ソリューション（ローカル 5G 活用モデル）実装シナリオを想定した。

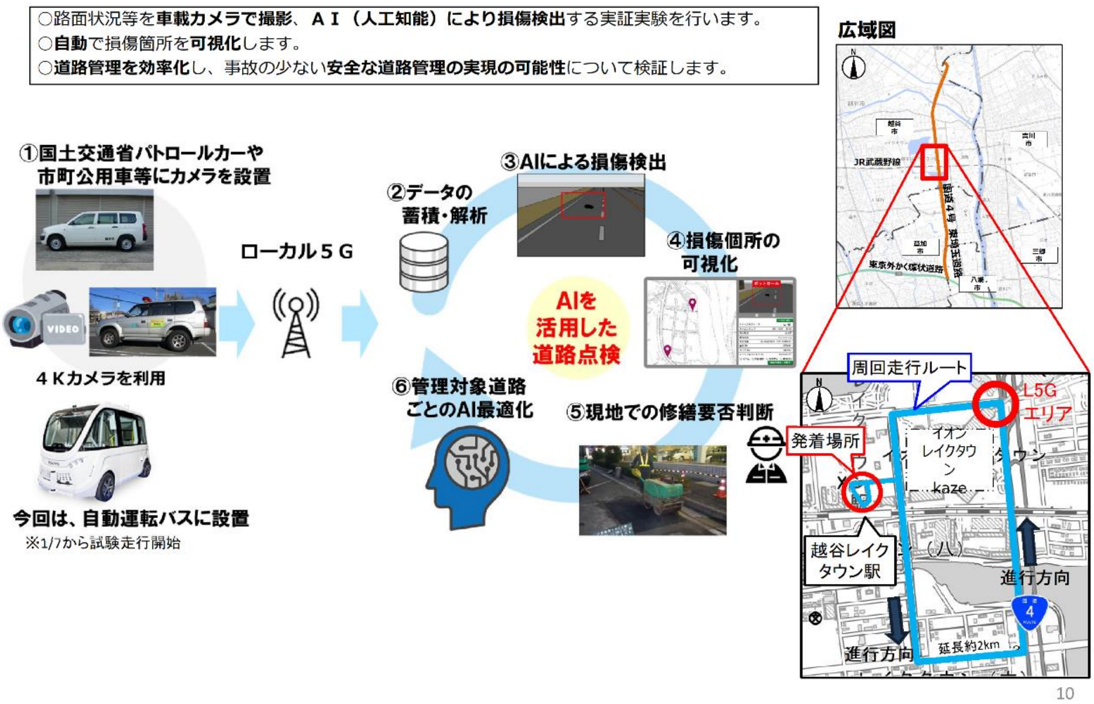


図 4.2-11　実証実験（平常時）

（3）実証目標

時間的な目標を設定するため、重大な道路の異常への対応に着目した。措置が必要な異常を計測してから措置するまでに許容される時間は交通量によって異なる。重大な道路の異常が事故に至る可能性のある道路は通過交通の多い路線であるため、**本実証では直轄国道と主要地方道等の 2 つを対象に下表のタイムラインを設定し、このうち「画像データの伝送と AI 検知」と「道路異常の画像と位置の確認」に要する目標時間を実証目標とした。**

表 4.2-6　本実証で目標とするタイムライン（平常時）

<table>
<tr><th rowspan="2">内　容</th><th colspan="2">計測からの目標時間</th></tr>
<tr><th>直轄国道</th><th>主要地方道等</th></tr>
<tr><td>ローカル 5G スポットエリアまでの移動</td><td>10 分</td><td>20 分</td></tr>
<tr><td>画像データの伝送と AI 検知</td><td rowspan="2">5 分（15 分）</td><td rowspan="2">10 分（30 分）</td></tr>
<tr><td>道路異常の画像と位置の確認</td></tr>
</table>

※主要地方道等は、直轄国道を除く国道（指定区間外）と主要地方道。
※ローカル 5G スポットエリアの置局密度は、一般国道（指定区間）が 5km 毎、一般国道（指定区間外）と主要地方道が 10km 毎と仮定。
※（　）内は、実証目標とする「画像データの伝送と AI 検知」と「道路異常の画像と位置の確認」に要する累積時間。

4.3 実証環境

第2.1章で記載したように、東埼玉道路の国道用地にローカル5G基地局を設置し、道路上にローカル５Ｇ スポット通信エリアを展開し、平常時の道路施設の維持管理の効率化および災害時の被災状況の迅速な確認に関する実証のための環境を構築した。

4.3.1 災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証A）

○近年、埼玉県内において、度々、豪雨による浸水被害が発生、今後は首都直下地震等への備えも必要である。
○地域における課題として、災害時の情報収集等を関係市町が連携して対応できる体制の構築が不可欠である。
○ドローンレーザースキャン測定機器等を用い、デジタルデータを即座に取得し、５Ｇ回線を介して大容量データを伝送、共有する実証実験を実施した。

4.3.2　平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

平常時の道路施設の維持管理の効率化に関する実証環境として、下図に示す自動運転バスの走行ルートを設定し、自動運転バス車内に搭載したカメラで走行ルートの路面状況等を撮影し、ローカル 5G スポット通信エリアへの進入時にローカル 5G 通信で、撮影画像を送信し、MEC（dOIC）上での AI（人工知能）解析により損傷検出する実証環境を構築した。

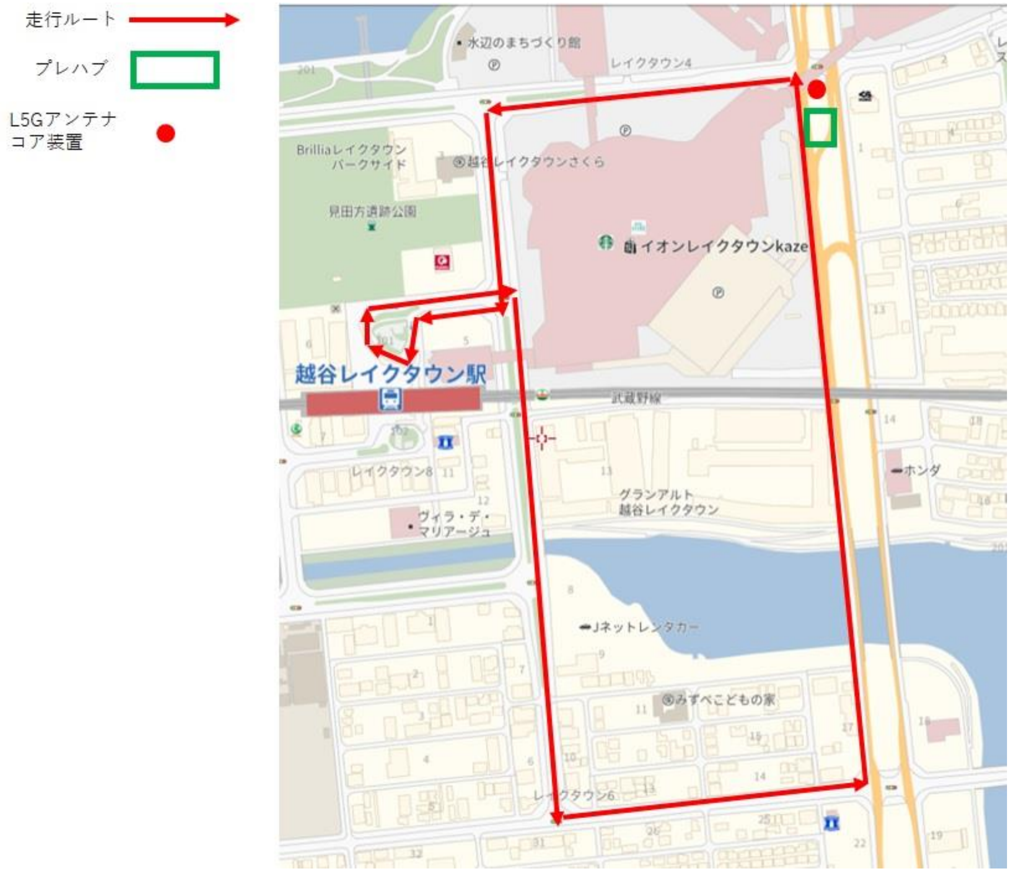


図 4.3-1　平常時の道路施設の維持管理の効率化に関する実証場所

4.3.3　実証に係る課題および対応策

実証に係る課題としては以下があり、それぞれの課題に対して対応策をとった。

災害時の被災状況の迅速な確認に関する実証では、道路上の基地局設置において道路上の通行規制を最小限にとどめた施工方法の検討や実証エリアでのドローン飛行等に伴う安全確保方法の検討を行った。

平常時の道路施設の維持管理の効率化に関する実証では、自動運転車両の運行に伴う周知と安全性確保として、自動運転車両走行時の後続車両の配置、自動運転・後続の両車両への周知および注意啓発シールの掲出、また、道路上で実証を行うことによる、多様な関係主体への事前説明・各種申請等の円滑な実施として、道路管理者（関東地方整備局）との連携による着実な推進を行った。

4.4 実証内容

災害時の被災状況の迅速な確認に関する実証では、災害時の情報収集等を関係市町が連携して対応できる体制の構築が不可欠との認識の下、ドローン、レーザースキャン測定機器等の複数のセンシング手法を用いて取得した大容量の映像・点群データを、5G 回線を介して伝送、共有する実証実験を実施した。

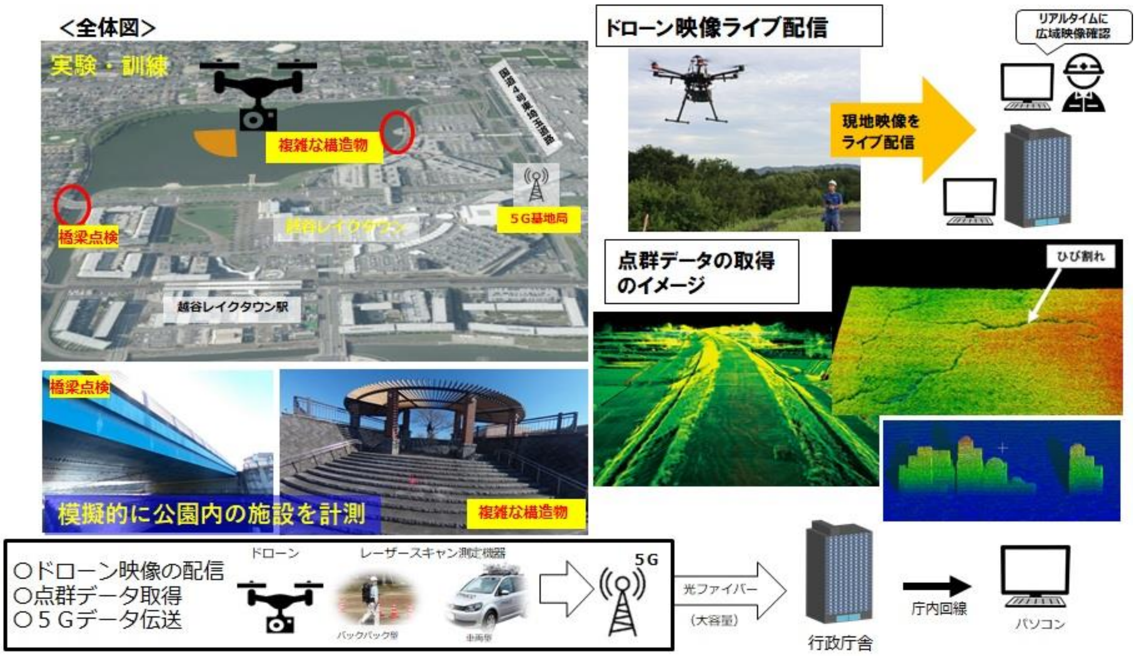


図 4.4-1　災害時の被災状況の迅速な確認に関する実証内容

災害時を想定した実証では、主に下記のポイントの検証を重視した。

・ローカル 5G スポット通信エリアの置局密度を検討することにより、システムの広域展開に向けたローカル 5G 基地局 1 局あたりの地域カバー範囲を定義すること。
・被災状況のセンシング手法およびローカル 5G データ伝送に向けたスキームを検討することにより、被災状況に応じたセンシング手法の選択と、迅速なデータ収集とローカル 5G スポット通信を活用したデータ伝送の運用スキームを定義すること。
・災害前後の差分検知の高度化、迅速化に向けたスキームを検討する（現用スキームと共存も検討する）ことにより、各手法で収集した点群データを用いて、災害発生前後の差分検知に関する高速化の運用スキームを定義すること。

平常時の道路施設の維持管理の効率化に関する実証では、路面状況等を車載カメラで撮影、AI（人工知能）解析により損傷検出し、自動で損傷個所を可視化する実証実験を行い、道路管理を効率化し、事故の少ない安全な道路管理の実現の可能性について検証した。

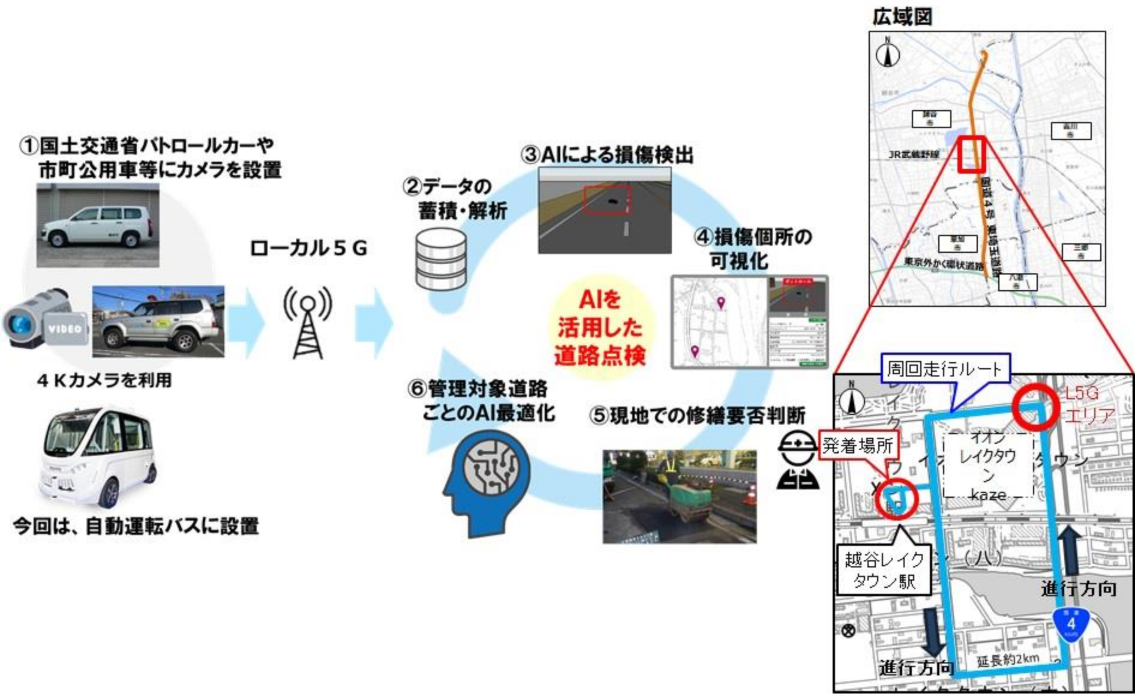


図 4.4-2　平常時の道路施設の維持管理の効率化に関する実証内容

平常時を想定した実証では、主に下記のポイントの検証を重視した。

・公共交通バスの自動運転化と道路管理への活用を検討する（ローカル 5G システムの適用も検討する）ことにより、自動運転技術の地域実装と道路管理技術を融合させた際の費用対効果を定義すること。
・映像等プローブデータの収集／伝送に必要な上り伝送性能および置局密度を検討することにより、ローカル 5G 基地局 1 局あたりの地域カバー範囲を定義する。
・道路管理 AI の性能、効果検証とシステム運用スキームを検討することにより、道路管理 AI の性能と導入効果、運用スキームを定義すること。

4.4.1　ローカル５Ｇを用いたソリューションの有効性等に関する検証

4.4.1.1 効果検証

本実証においては、ローカル 5G スポット通信とクラウド環境を活用して、「4K 映像とプローブデータを活用した効率的な道路管理」「4K 映像と 3 次元点群データによる被災状況の迅速な確認」の社会的課題の解決に向けた取り組みを行うものである。

上記を踏まえ、情報通信の観点と社会的課題の観点から、ローカル 5G を用いたソリューションの導入による効果を、「ローカル 5G の活用による効果」「自動運転車の活用による効果」「UI 活用による効果」「通信の活用による効果」のそれぞれについて評価・検証した。

表 4.4-1　効果検証を行う項目

	効果検証を行う項目
情報通信の観点	ローカル 5G の活用による効果、通信の活用による効果
社会的課題の観点	自動運転車の活用による効果、UI 活用による効果

（1）評価・検証項目

「ローカル 5G の活用による効果」「自動運転車の活用による効果」「UI 活用による効果」「通信活用による効果」のそれぞれについて評価・検証する項目を以下に記載する。

1）ローカル 5G 活用による効果

平常時の道路管理の効率化に関するローカル 5G スポット通信の活用および災害時の被災状況確認の迅速化に関するローカル 5G スポット通信の活用による効果について、道路管理者の体感、道路管理における公共交通車両の利活用に関する自治体の体感の評価を実施した。

表 4.4-2　ローカル 5G の活用による効果に関する評価項目

No	評価対象	評価項目	評価項目の詳細
1	（平常時） 道路管理の効率化に関するローカル 5G スポット通信の活用	道路管理者の体感	道路管理者の道路管理効率化に向けたローカル 5G スポット通信の活用に関して ・利用シーンへの所感 ・4K 映像等プローブデータの収集意義 ・その他データ収集への拡張意義 ・実装への期待感 ・実装への懸念点
2	（災害時） 被災状況確認の迅速化に関するローカル 5G スポット通信の活用	道路管理者の体感	道路管理者の被災状況確認迅速化に向けたローカル 5G スポット通信の活用に関して ・利用シーンへの所感 ・4K 映像や点群データの収集意義 ・その他データ収集への拡張意義 ・実装への期待感 ・実装への懸念点

2）自動運転車の活用による効果

自動運転車の活用による効果は、実証期間中の試乗体験者からのアンケートによる乗車

体験を通した評価項目（自動運転車の実際の乗り心地、自動運転車の普及に対する期待度合いなど）を基本とする。また、道路管理者にも自動運転車の試乗をしてもらい、上記評価項目に加え、乗車体験を通した道路管理者目線での評価（計測状況を含めた運用スキームに関する意見など）をヒアリングにより収集する。

3）UI 活用による効果に関する評価

利用者の体感とオペレーション観点での UI の実用性に関する評価を実施した。

表 4.4-3　UI 活用による効果に関する評価

No	評価対象	評価項目	評価対象の詳細
1	道路監視 AI 検知結果表示画面	実用可能性	道路監視 AI の検知結果は、地図上の UI で過去検知結果の確認が可能である。
2	4K 走行映像の表示画面	実用可能性	4K 走行映像は、過去映像の振返り確認が可能である。
3	プローブデータの表示画面	実用可能性	プローブデータは、走行時における加減速ログの振返り確認が可能である。
4	ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面	実用可能性	ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面は、現在位置とローカル 5G 基地局の設置位置、ローカル 5G エリアのイメージを表示可能である。また、ファイル伝送の進捗状況を表示可能である。

4）通信の活用による効果に関する評価

現場のローカル 5G 基地局から dOIC クラウド環境まで、End-End でスループットや遅延量を測定し、通信に関する評価を実施した。

表 4.4-4　通信の活用による効果に関する評価

No.	評価対象	評価項目	評価区間
1	システム End-End 区間の通信性能	試験プロトコル TCP でのスループット値（上り・下り）	区間①（L5G スポットエリア～dOIC） 区間②（越谷市観光協会～dOIC）
2	システム End-End 区間のデータアップロード性能	データアップロード完了までの時間	

（2）評価・検証方法

「ローカル 5G の活用による効果」「自動運転車の活用による効果」「UI 活用による効果」「通信活用による効果」のそれぞれについて評価・検証方法を以下に記載する。

1）ローカル 5G 活用による効果

図 4.4-1 に示す映像取得対象エリアの 200m 程度の自動運転走行映像を取得し、データを蓄積した。その後、ローカル 5G スポットに入ったとき、図 4.4-2 に示すようにローカル 5G

端末→ローカル 5G 基地局→事務所まで、データを伝送した。

背景地図の出典：Google Maps

図 4.4-3　実証地域におけるローカル 5G スポット通信エリアおよび映像取得対象エリア

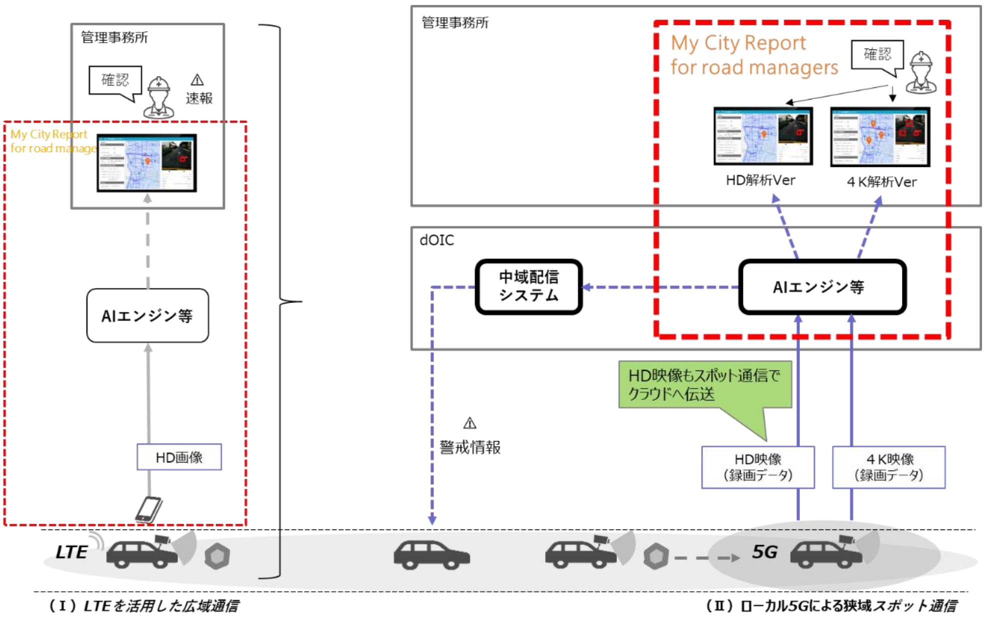


図 4.4-4　平常時における自動運転車両からの道路異常情報配信実証イメージ

激甚災害の発生時を想定して、複数の方法（車両、ドローン、徒歩）で取得された 4K 映像や 3D 点群データがローカル 5G スポットから管理事務所に伝送され、その情報をもとに管理者がいかに迅速に被災状況を確認できるかを、下図に示すとおり実証した。

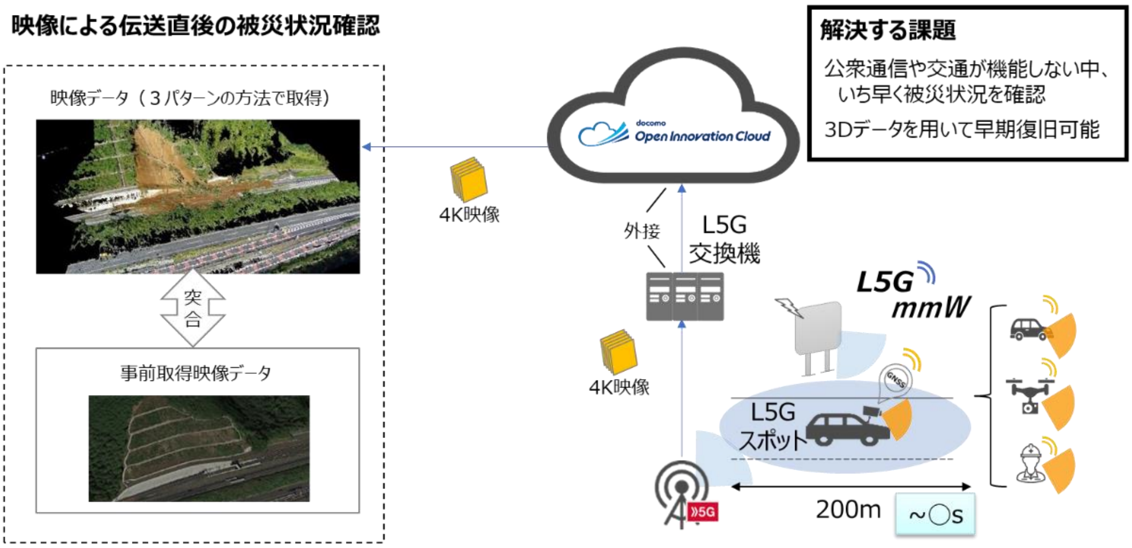


図 4.4-5　複数の方法（車両、ドローン、徒歩）で取得された
4K 映像伝送による被災状況確認

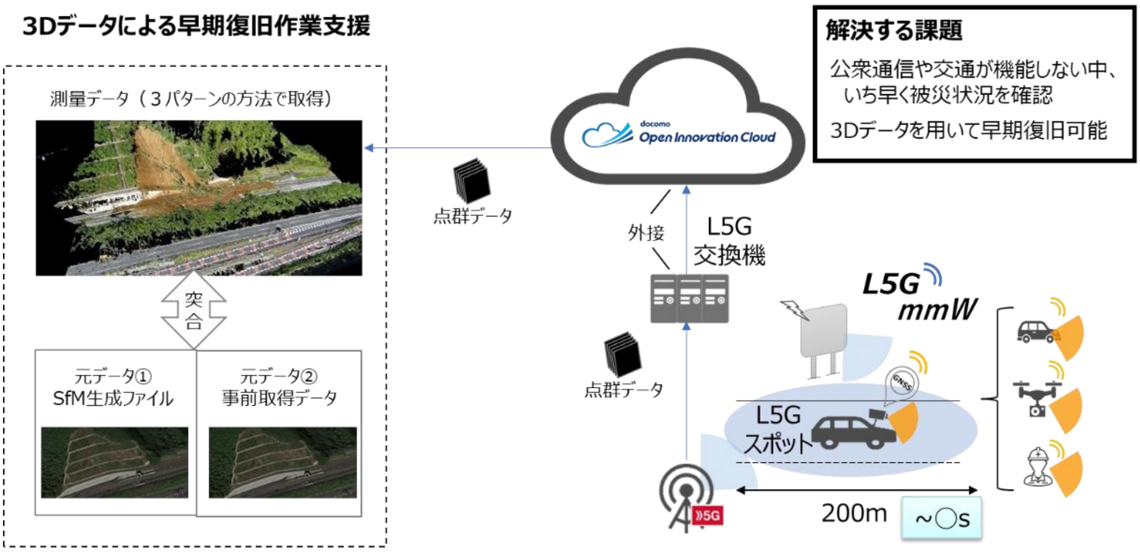


図 4.4-6　複数の方法（車両、ドローン、徒歩）で取得された
点群データ伝送による被災状況確認

ローカル5Gの活用に関する評価方法を下表に示す。

表 4.4-5　ローカル5Gの活用による効果に関する評価方法

No	評価対象	評価項目	評価方法
1	（平常時） 道路管理の効率化に関するローカル5Gスポット通信の活用	道路管理者の体感	アンケートによる定性評価
2	（災害時） 被災状況確認の迅速化に関するローカル5Gスポット通信の活用	道路管理者の体感	アンケートによる定性評価

2）自動運転車の活用による効果

自動運転車の活用による効果は、実証期間中の試乗体験者からのアンケートによる評価を基本と想定していたものの、新型コロナウイルス感染症の流行に伴い体験試乗が中止となった。

ここでは、道路管理者の「自動運転車の活用に関するニーズ」を自動運転車の“期待される”導入効果とみなして、道路管理者へのヒアリングや内部検討会における議論を整理した。

3）UI活用による効果に関する評価

UI活用による効果に関する評価方法を下表に示す。

表 4.4-6　UI活用による効果に関する評価方法

No	評価対象	評価項目	評価内容	評価方法
1	道路監視 AI 検知結果表示画面	実用可能性	利用者の体感とオペレーション観点での実用性について、事前の実務者へのアンケートを通じて要件反映し、実用可能性を向上・評価する。	定性評価
2	4K 走行映像の表示画面	実用可能性	利用者の体感とオペレーション観点での実用性について、事前の実務者へのアンケートを通じて要件反映し、実用可能性を向上・評価する。	定性評価
3	プローブデータの表示画面	実用可能性	利用者の体感とオペレーション観点での実用性について、事前の実務者へのアンケートを通じて要件反映し、実用可能性を向上・評価する。	定性評価
4	ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面	実用可能性	No.1～3の事前アンケートをする中で、通信状況や通信エリアの可視化に関する必要性が示唆されたため、本項目を追加した。 利用者の体感とオペレーション観点での実用性について、事前の実務者へのアンケートを通じて要件反映し、実用可能性を向上・評価する。	定性評価

なお、UI 開発においては、ウォーターフォールの構築を行うと、利用者にとって操作性やイメージの違いが生じることが頻繁に生じることが知られている。そこで、本システム開発プロセスとしては、実証運用時における道路管理者にとっての価値を最大化するため、アジャイルでの開発プロセスを導入した。

具体的には、実際の道路管理者に、構築前および構築中に適宜意見照会を行ってフィードバックをもらいながら、適時性能を評価しつつ、開発仕様を変更し機能を向上させた。これにより、開発側の稼働が増加するデメリットがあるものの、より利用者の意向に迎合したUIを実現することができ、システムの有用性と実装性を高めることができると考えた。

4）通信の活用による効果に関する評価

通信の活用による効果に関する評価方法を下表に示す。

表 4.4-7　通信に関する評価方法

<table>
<tr><th>No.</th><th>評価対象</th><th>評価項目</th><th>評価方法</th><th>評価区間</th></tr>
<tr><td>1</td><td>システム
End-End
区間の
通信性能</td><td>試験
プロトコル
TCP での
スルー
プット値</td><td>ネットワーク測定ツールを使用し、各ポイント間におけるスループット値（上り・下り）を測定することで、本実証環境におけるネットワークの該当区間の基本性能を定量評価する。</td><td rowspan="2">区間①
（L5G
スポットエリア
～dOIC）
区間②
（越谷市観光協会
～dOIC）</td></tr>
<tr><td>2</td><td>システム
End-End
区間のデータ
アップロード
性能</td><td>データ
アップロード
完了までの
時間</td><td>本実証で動画ファイルのアップロードが行われる区間において、動画ファイルを模したデータを FTP サーバへアップロードし、アップロード完了までの時間を測定することで、本実証環境におけるネットワークのデータアップロード性能を定量評価する。</td></tr>
</table>

a）システム End-End 区間の通信性能

現場側からクラウド環境まで、End-End 区間におけるシステムの通信性能を iperf により評価した。このとき、試験内容としては、通信プロトコル TCP を使った上りスループット値および下りスループット値を計測し、本実証環境におけるネットワークの該当区間の基本性能を定量評価した。

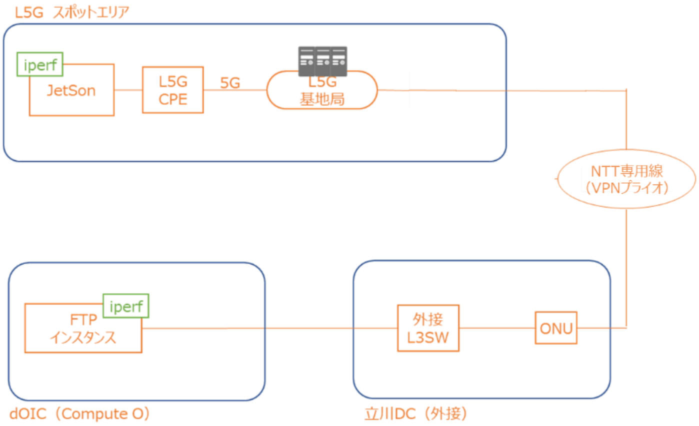
試験区間としては、下記の２パターンについて測定した。

区間①　L5G スポットエリア　～　専用線　～　クラウドサーバ(dOIC)

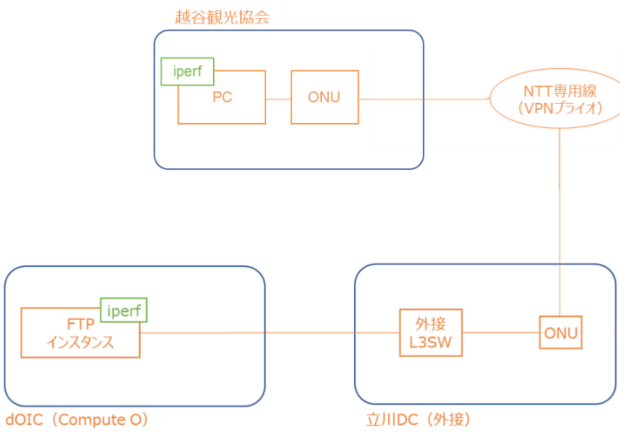
区間②　越谷市観光協会　～　専用線　～　クラウドサーバ(dOIC)

各区間におけるネットワーク構成の概略図および試験条件を下図に示す。

区間①　L5Gスポットエリア ～ 専用線 ～ クラウドサーバ(dOIC)



区間②　越谷観光協会 ～ 専用線 ～ クラウドサーバ(dOIC)



測定条件

・上りスループット
　TCP（送信MTU値：1460）
　計測：　bandwidth
　測定時間：30秒
　※3回の計測値とその平均値を算出

・下りスループット
　TCP（送信MTU値：1460）
　計測：　bandwidth
　測定時間：30秒
　※3回の計測値とその平均値を算出

図 4.4-7　システム通信試験（iperf）：End-End 区間①・②

b）データアップロードの性能試験

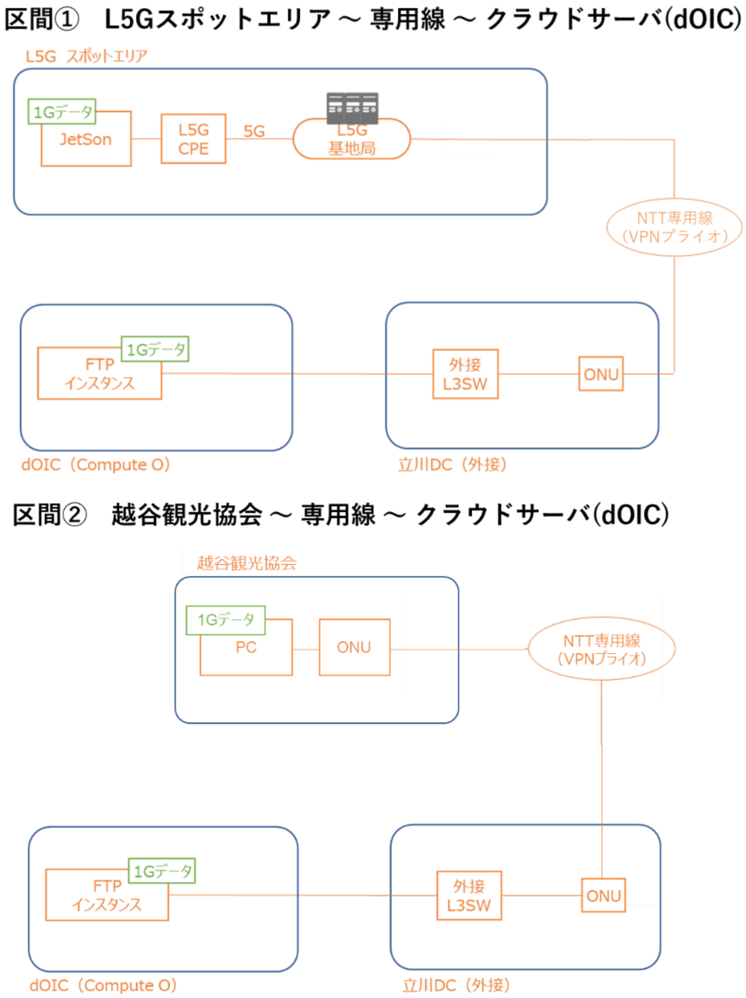
現場側からクラウド環境まで、End-End 区間におけるシステムの通信性能をダミーデータのアップロードにより評価した。このとき、試験内容としては、FTP サーバへアップロードし、アップロード完了までの時間を測定することで、本実証環境におけるネットワークのデータアップロード性能を定量評価した。

試験区間としては、下記の２パターンについて測定した。

区間①　L5G スポットエリア　～　専用線　～　クラウドサーバ(dOIC)

区間②　越谷市観光協会　～　専用線　～　クラウドサーバ(dOIC)

各区間におけるネットワーク構成の概略図および試験条件を下図に示す。



測定条件

・上りスループット

1GBのダミーファイルを用いた、

FTPアップロードによる測定

手順１　Jetson上に1GBのファイルを作成

手順２　FTPサーバ側へアップロード

手順３　完了時間を計測する

※3回の計測値とその平均値を算出

図 4.4-8　システム通信試験（データアップロード）：End-End 区間①・②

（3）実証結果および考察

「ローカル 5G の活用による効果」「自動運転車の活用による効果」「UI 活用による効果」「通信活用による効果」のそれぞれについて、評価結果および考察を以下に記載する。

1）ローカル 5G 活用による効果

a）（平常時）道路管理の効率化に関するローカル 5G スポット通信の活用（No.1）

平常時に関して、道路管理者への意見照会や周辺自治体へのアンケートの結果、下記のコメントを収集した。

意見照会・アンケートの結果から、本実証システムの将来的な有用性が示唆された。ETC2.0（DSRC による路車間通信）のさらなる高度化を想定したときに、ローカル 5G の周波数帯域・伝送技術（将来的な技術革新）を活用することで、伝送可能なデータ容量を増大させられる可能性がある。

一方で、現状のローカル 5G 基地局のスペックにもとづき、課題１「１基地局あたりの通信エリアの拡張」と課題２「１基地局あたりの伝送容量（スループット）の向上」に関する指摘を受けた。

- 道路管理者への意見照会
  - ➢ 路側インフラによる大容量データの収集ができることで、将来的な道路空間の安全確保につながる。
    - ✧ 公共交通やパトロール車、公用車を活用して 4K 映像やプローブデータを収集・蓄積する
    - ✧ 収集した大容量データ（特に 4K 映像）を AI 等のシステムで解析することで、道路管理の効率化につながる。
  - ➢ 以下が課題として挙げられる。

    $\boxed{\text{課題１}}$　スポット通信の範囲（アンテナ指向方向 100m 程度）を広範囲（アンテナ指向方向に 1km など）に拡張できないか。

    $\boxed{\text{課題２}}$　スポット通信の伝送容量（上り 50Mbps 程度）を大容量（上り 1Gbps）にできないか。

- 周辺自治体へのアンケート
  - ➢ 人員と予算の不足により、管理水準が低下している。
  - ➢ （今回のソリューションを活用するためにはローカル 5G が必要であり、）自動運転による道路パトロールできめ細かな点検ができる。
  - ➢ （今回のソリューションを活用するためにはローカル 5G が必要であり、）道路の常時監視ができると、道路陥没などの状況をリアルタイムで把握したいときに、素早く正確な情報のやり取りができる。

【課題１への対応方策の検討】

課題１「１基地局あたりの通信エリアの拡張」については、路車間通信を想定したときに、端末が移動しながら通信する必要がある。

このとき、ローカル 5G の免許は、「自己土地利用」による申請が必須となる。一方、現行の免許制度上、自己土地利用の免許申請をするにあたり、他者の土地に漏れ出さないことが必要条件となる。なお、道路管理者の期待する範囲としては、１アンテナあたり 1km といった拡張を期待していた。そのため、道路空間から周辺施設への電波の漏れ出しを考慮するとスポット通信の範囲を拡張することは、免許制度に反するコンセプトとなる。

本課題の解決方策としては、主に下記の２つが考えられる。

1. 制度改正なしの場合
   (ア) 設計上、複数の指向性アンテナを高高度に設置し、異なる指向方向に放射することで、比較的に広いエリアを形成する
   (イ) 設計上、アンテナ利得や空中線電力等、電波出力に係るパラメータを調整する
   (ウ) 設計上、反射・回折しやすい周波数帯域を選択する（ミリ波ではなく Sub6 が望ましい）
   (エ) その他（巨大な電波反射板を用いて、必要な場所に電波を中継する、など）
2. 制度改正ありの場合
   (ア) 他者の土地に漏れ出す場合も、干渉調整により自己土地利用が可能とする
   (イ) 干渉調整のプロセスを簡略化する（もしくは撤廃する）

【課題２への対応方策の検討】

課題２「１基地局あたりの伝送容量（スループット）の向上」については、機材のスペックに依存するため、構成検討による改善はできない。一方、現状のスループットを維持しながらエリアを拡大することで、エリアを通過する際のデータ通信量を増大させることは可能であると考えられる（課題１にも関連）。

今回利用したエリクソン社製のローカル 5G 基地局は、コア装置の処理スペックは 6Gbps 程度であり、複数のアンテナ子機（現状、３基まで）を張り出す性能を有する。一方、アンテナ子機の性能により、１アンテナあたり直下で伝送容量 50Mbps 程度であった。このことから、複数のアンテナ子機を用いて通信エリアを構築することで、エリアを拡大しながらもエリア内のスループットを維持し、エリア通過時のデータ通信量を増大させることが可能であると考えられる。

b）（災害時）被災状況確認の迅速化に関するローカル 5G スポット通信の活用（No.2）

災害時に関して、道路管理者への意見照会や周辺自治体へのアンケートの結果、下記のコメントを収集した。

意見照会・アンケートの結果から、本実証システムの将来的な有用性が示唆された。基地局の機能が維持されていれば、ローカル 5G は専用のネットワークで発災時も安定した無線ネットワークが提供可能であり、その点が特に有用であると考えられた。

- 道路管理者への意見照会
  - 発災時は、公衆通信網は使い物にならない
    - 公衆通信網が輻輳して利用できなかった経験がある
    - 公衆通信網では大容量データの受け渡しに多大な時間を要した経験がある
    - ローカル 5G の専用ネットワークであれば、被災時にも安定したデータ伝送ができるため、状況確認作業の迅速化に効果的である
  - 発災場所は事前に予測できない
    - 被災場所に事前に基地局を整備することは現実的に困難である。
  - 発災時は、事前の想定が通用しない（状況確認のセンシング手段について）
    - 最も主流な車両型 MMS だけでは、道路が寸断されて交通網が麻痺すると全く効果を発揮しない。
    - 人間の歩行型やドローンを用いたセンシング手法が有効である
    - 点群データだけでは機動力が足りないため、4K 映像などより速やかに現場の状況を把握できる手段も必要である
  - 以下が課題として挙げられる。

    課題１　スポット通信の範囲（アンテナ指向方向 100m 程度）を広範囲（アンテナ指向方向に 1km など）に拡張できないか。

    課題２　スポット通信の伝送容量（上り 50Mbps 程度）を大容量（上り 1Gbps）にできないか。

    課題３　専用のネットワーク（光ケーブルの新規開通）を構築しないと利用できないのでは、構築に時間がかかるため有効性が低いと思われるが、代替の方向性があるか。
- 周辺自治体へのアンケート
  - 発災時は、迅速な情報収集と緊急輸送道路の確保が課題である
  - 被害が大きくなると、地上からの限定的な視野での状況確認では時間を要する
  - （今回のソリューションを活用するためにはローカル 5G が必要であり、）災害時の被災状況確認にドローン等を活用できれば、素早く状況確認ができる

【課題１・2 への対応方策の検討】

課題１、２については、平常時と同様である。

【課題 3 への対応方策の検討】

課題３「専用のネットワーク構築の代替方法」については、NTT の専用回線を利用しない構成を検討した。

具体的には、下記の手順で NTT の専用回線を用いずに構築できる可能性がある。

Step1：ローカル 5G 基地局に、全国の直轄国道沿いの光ケーブルを接続する Step2：直通する道路管理者施設にオンプレミスのシステムを構築する （またはクラウドシステムに中継する） Step3：管理者施設で収集した被災状況の情報を管轄の自治体や道路管理者に伝達する

これについて、道路管理者からは、「直轄国道沿いの光ケーブルは利用できる可能性がある」ことを確認したものの、以下の追加課題があることが浮き彫りとなった。

追加課題 1：【運用面】発災時にローカル 5G 設備を所有、構築、運用する主体 追加課題 2：【制度面】発災時におけるローカル 5G の電波発射の、事前の免許申請の必要の有無

2）自動運転車の活用による効果

道路管理者ニーズとしては、日常点検の効率化・高度化、公共交通の維持に対して、自動運転車の活用が期待されている。平常時の効果に加え、自動運転車が運行中の道路状況を定常的に観測することで、災害時の事前情報として活用することが可能である。これらのことから、自動運転車は重要な要素技術であるということが再認識できた。

表 4.4-8　自動運転車の期待される導入効果（道路管理者のニーズ）

分　類	道路管理者のニーズ
日常点検の効率化・高度化	• 運転手と点検・記録作業員の 2 人一組の道路パトロール業務を、自動運転により運転手を省人化し、1 名での目視点検・記録作業をしたい。 • 自動運転による道路パトロールできめ細かな点検ができる。
公共交通の維持	• バス事業者は、バス運転手の確保が難しいと言っており、自動運転への期待あり。 • 自動運転車両の導入は、地域公共交通の維持のひとつのオプションと考えられるものの、費用面がネックである。

3）UI 活用による効果に関する評価

a）AI 検知結果（No.1・2）

AI 検知結果を通じて画像を確認できることが必要であるため、「走行映像の表示画面」と「道路監視 AI 検知結果表示画面」を共通化して、下図に示す UI を構築した。AI 検知結果の表示に関しては、構築前に行った道路管理者への意見照会の結果、下記の意見を受けていた。

- 視覚的・感覚的にわかりやすいこと
- 検知結果の位置情報がわかること
- 検知された時間がわかること
- 検知した画像を確認できること
- 検知した画像を拡大表示できること
- AI 検知後、すぐに確認できること

ヒアリング結果から設定した要件に基づいて構築し、上記の意見への対応を図った。

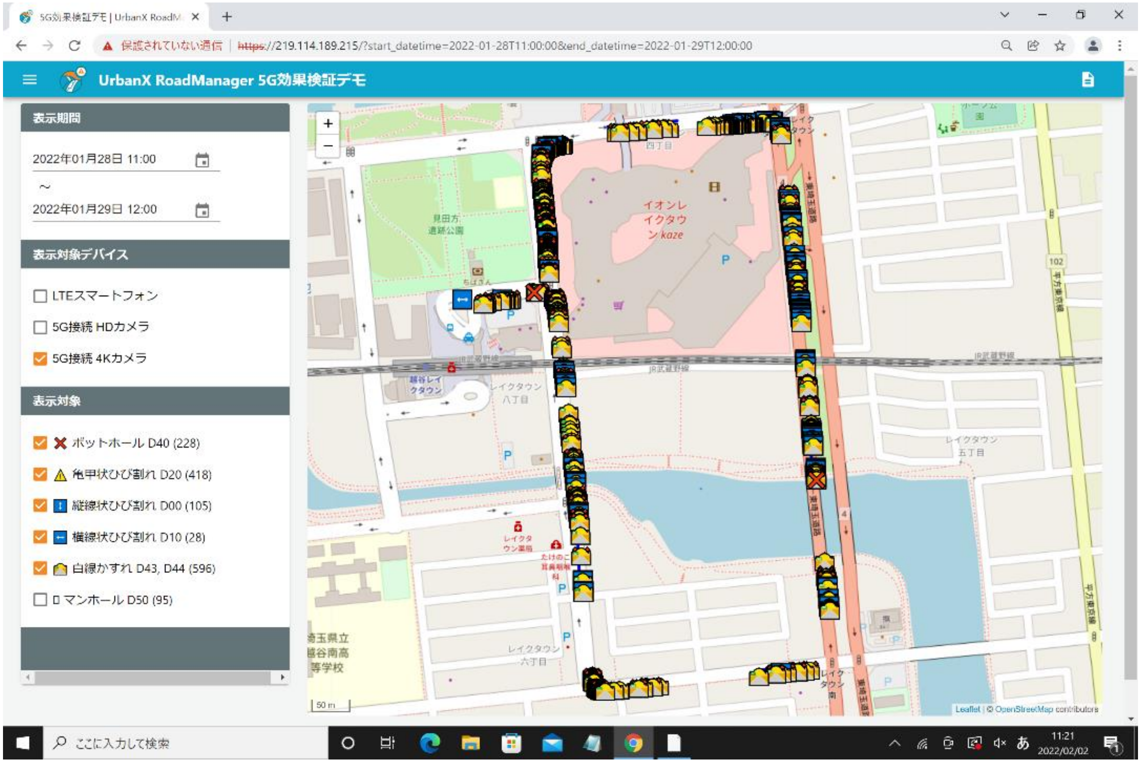


図 4.4-9 道路監視 AI 検知結果表示画面（全体）

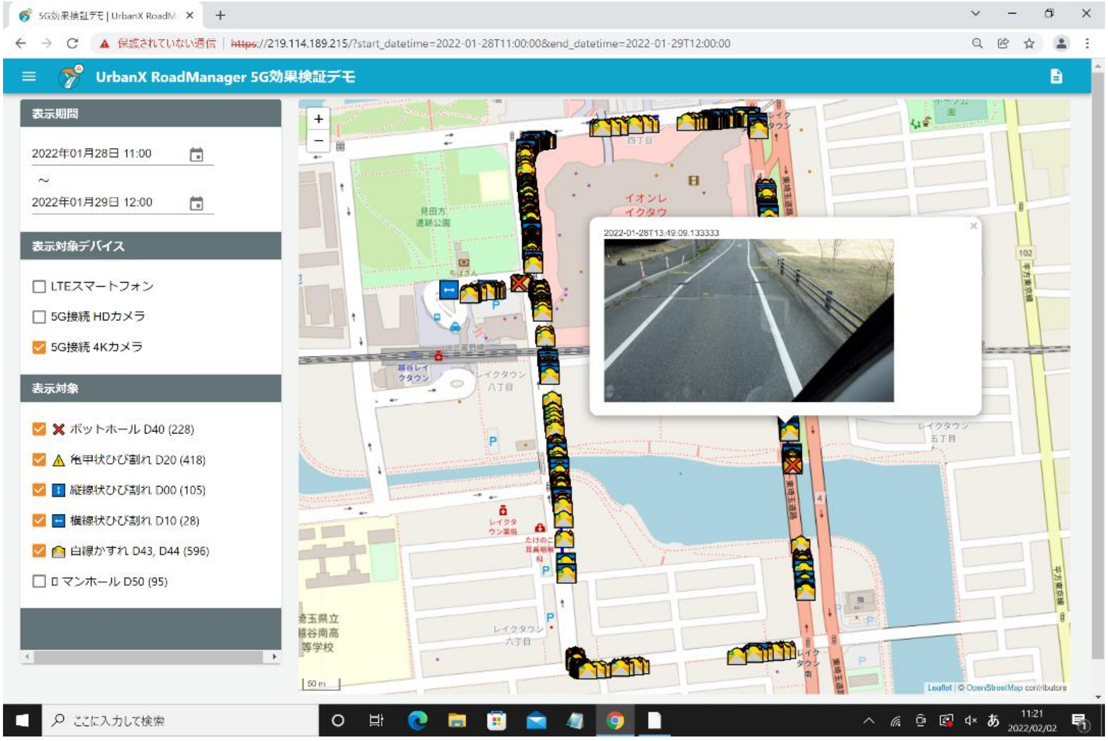


図 4.4-10　道路監視 AI 検知結果表示画面：検知結果を押下
（検知結果１　東埼玉道路における路面ひび割れ）

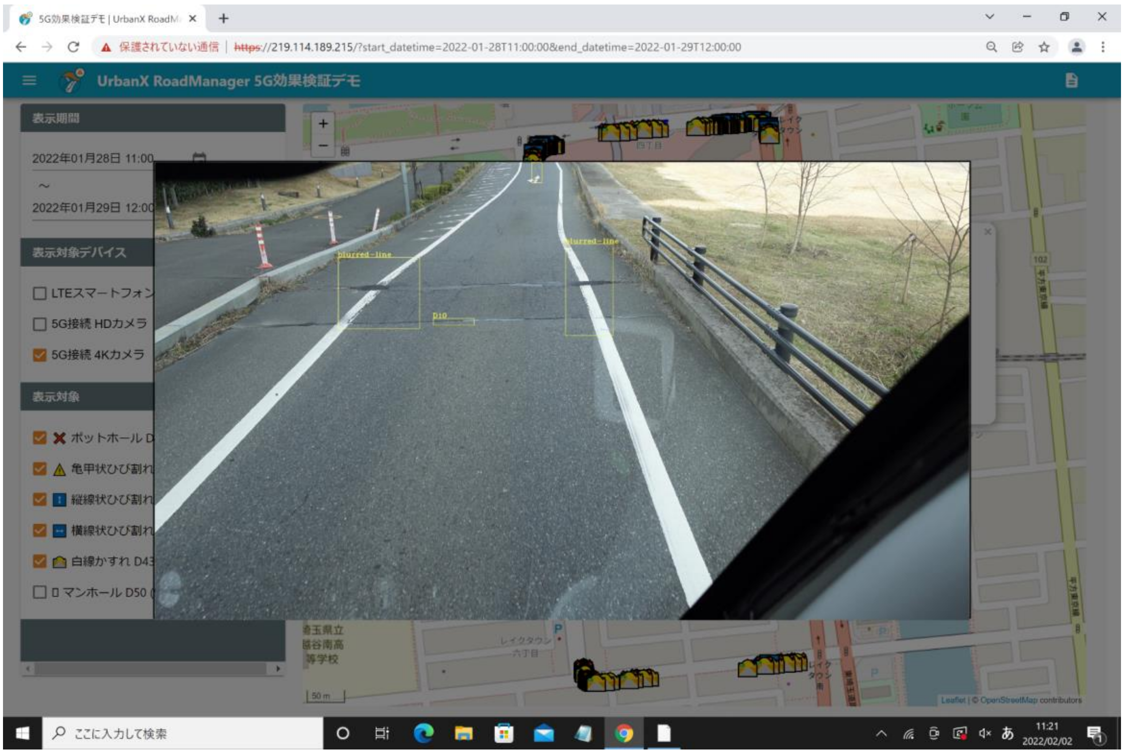


図 4.4-11　道路監視 AI 検知結果表示画面：検知結果画像の拡大
（検知結果１　東埼玉道路における路面ひび割れ）

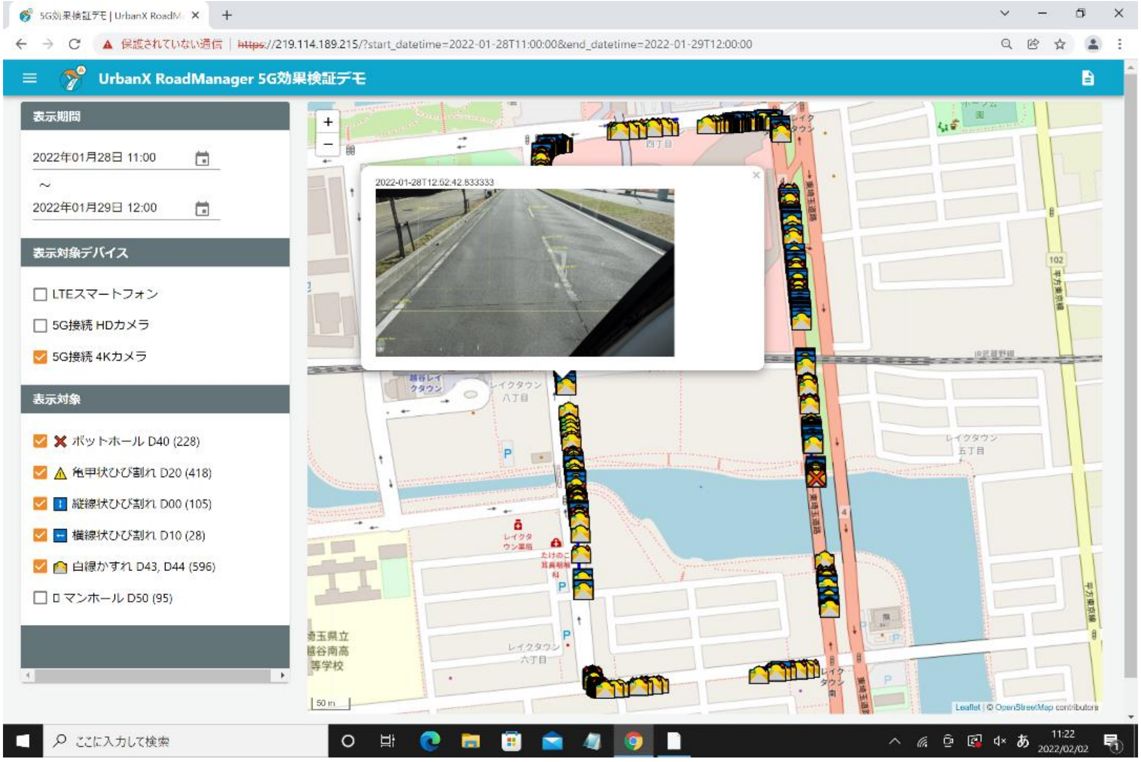


図 4.4-12　道路監視 AI 検知結果表示画面：検知結果を押下
（検知結果２　高架下付近における路面ひび割れ）

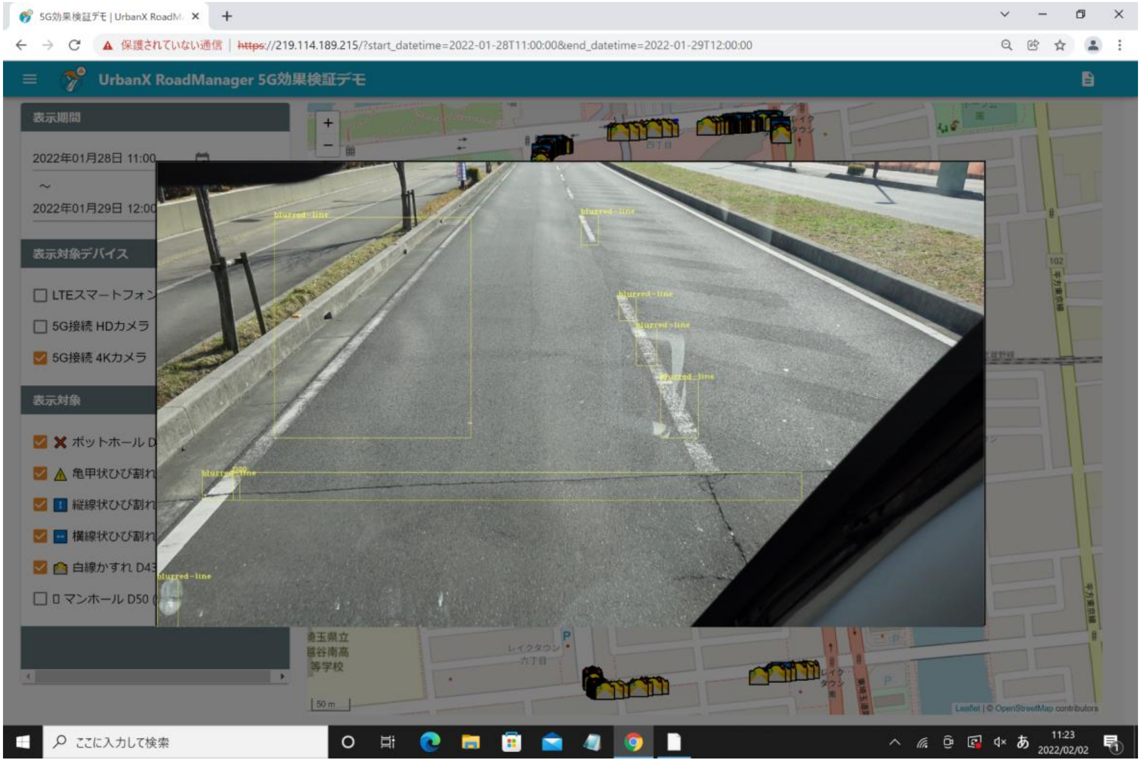


図 4.4-13　道路監視 AI 検知結果表示画面：検知結果画像の拡大
（検知結果２　高架下付近における路面ひび割れ）

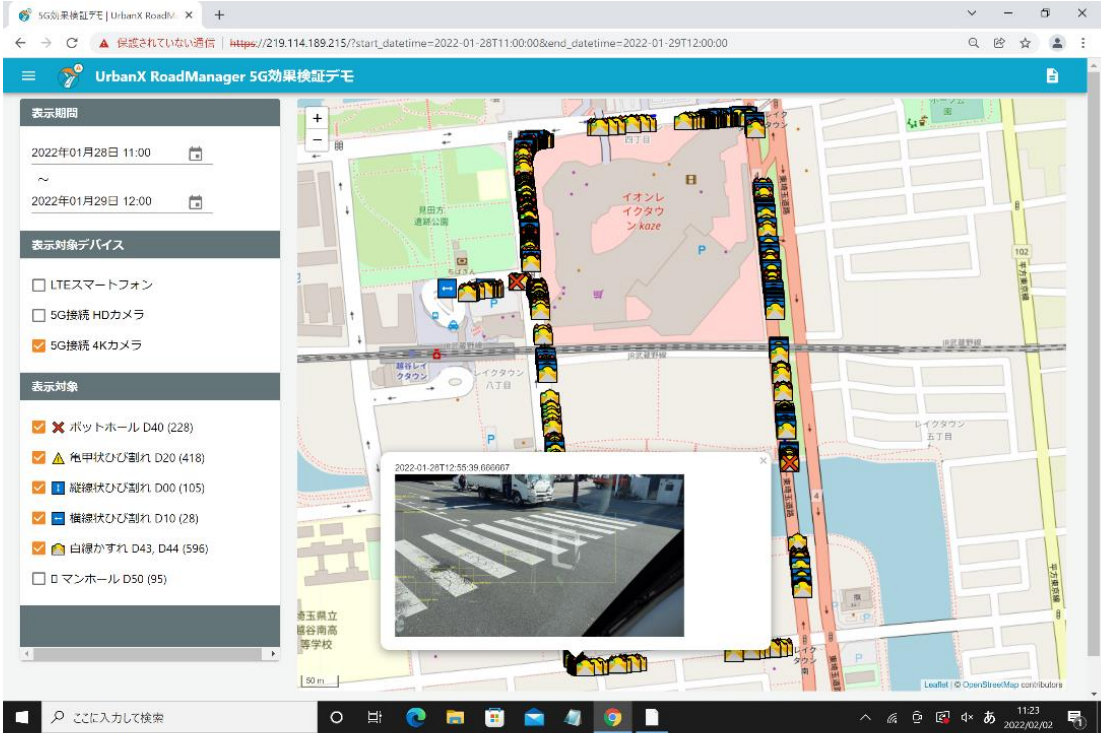


図 4.4-14　道路監視 AI 検知結果表示画面：検知結果を押下
（検知結果３　富士見通り横断歩道におけるポットホール）

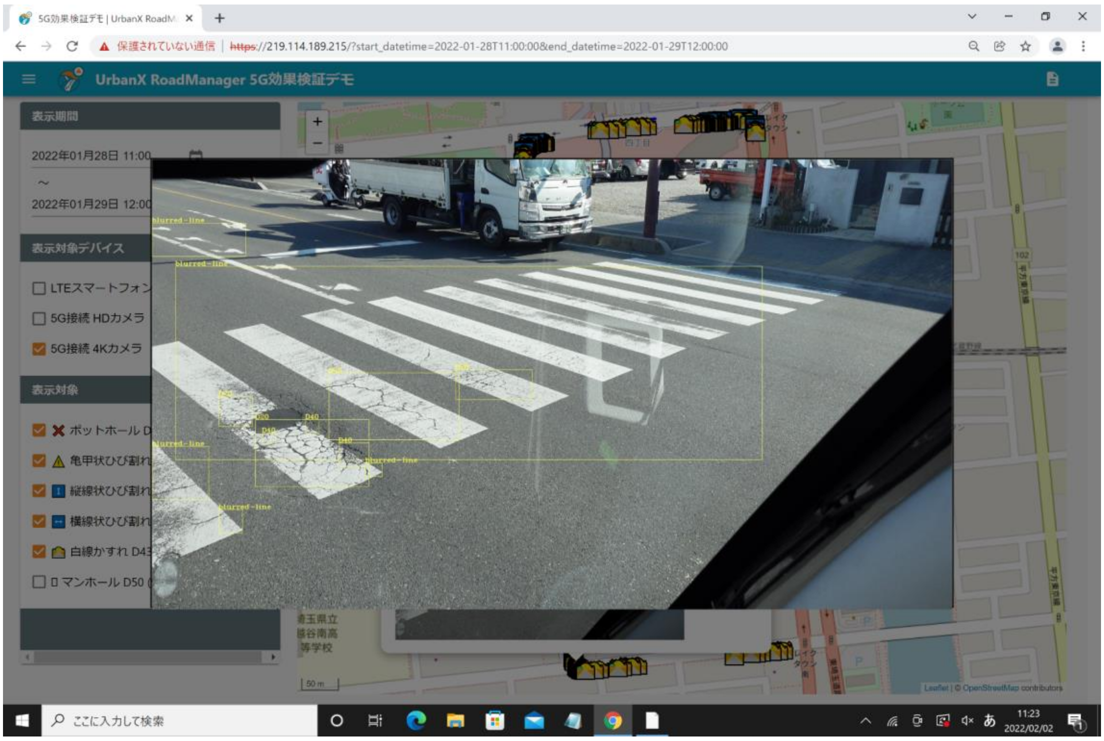


図 4.4-15　道路監視 AI 検知結果表示画面：検知結果画像の拡大
（検知結果３　富士見通り横断歩道におけるポットホール）

実際に道路管理者が前頁に示すUIを見た結果、実際にUIが機能しており、今回の実証フィールドで検知された路面異常については、「確かに補修が必要なもの」も含まれることを確認した。

一方、UI確認にともない、要件とは異なる2点の追加課題が浮き彫りとなった。

- 課題１：検知結果のバウンディングボックスがずれている

  「本システムは、検知物体のバウンディングボックスがずれているため、特定の検知対象の位置がわかりにくい」と指摘を受けた。

  原因としては、今回のシステムでは、バウンディングボックスの位置補正を精緻化していないことが挙げられた。当初の仕様は、バウンディングボックスによって検知対象の位置を判断するものではなく、「路面以上が観測された写真をピックアップし、道路管理者が確認できる」ことであった。

  対策としては、AI解析システムをチューニングし、バウンディングボックスの位置を精緻化することで改善可能である。

- 課題２：軽微な対象を多く検出している

  「本システムは、白線の僅かな掠れをはじめとし、多くの軽微な路面異常を検出しているため、検知結果が膨大で深刻な異常がわかりにくい」と指摘を受けた。

  原因としては、今回のシステムでは、4K映像が精細すぎるため、細かな異常まで検出されていたことが挙げられた。これは、AIの性能としては高いと言えるが、利用者目線では不要であると言えるため、“イノベーションのジレンマ”に陥っていると考えられる。

  対策としては、２つのステップで改善可能である。

  Step1：膨大な量の4K路面映像を取得し、道路管理者と連携して路面異常の取得要否を明確化する。
  Step2：AIの学習プロセスを経て、不要なものは異常でないと推論する。

  これにより、不要な異常を検知せず、必要な異常は高精度に検出することができるAIシステムを構築することができる。なお、Step1を実現する上では、多くの素材が必要となるため、実導入後のPDCAを経て、AIの機能を高めていくことが効率的かつ適切なアプローチであると考えられる。

b）プローブデータの表示画面（No.3）

No.3 に関して、プローブデータの表示画面としては、下図に示す UI を構築した。

プローブデータの表示に関しては、構築前に行った道路管理者への意見照会の結果、下記の意見を受けていた。

- 視覚的・感覚的にわかりやすいこと
- 検知結果の位置情報がわかること
- 検知結果の加速度情報から急加減速位置がわかること

意見照会結果から設定した要件に基づいて構築し、上記の意見への対応を図った。

対応を図った UI の結果から、渡河部の上り坂にて、急停車が頻発していることがわかる。前方信号やイオンレイクタウンの入庫待ち渋滞の影響を受けているためと考えられる。

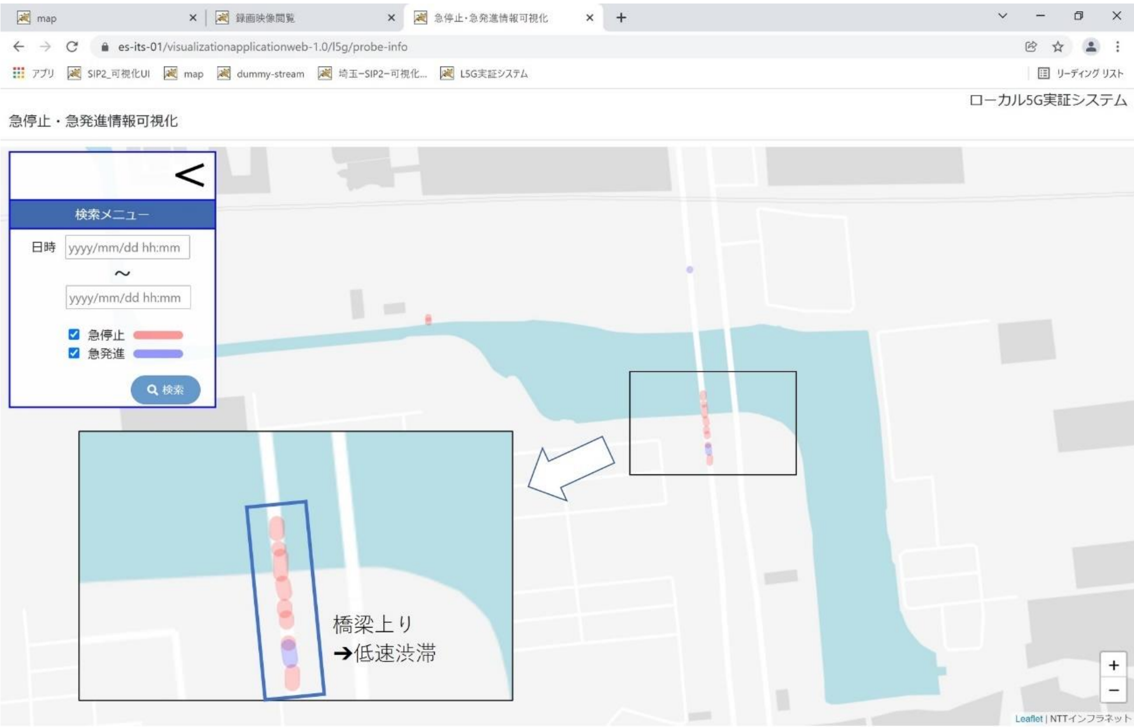


図 4.4-16　プローブデータの表示画面

道路管理者の活用方策としては、プローブデータの表示画面を確認することで、急停車・急発進が集中する場所に着目し、潜在的な危険箇所として把握することができることから、ソフト・ハードの対策を行うことで、道路空間におけるより一層の安心・安全の確保が期待できる。

c）ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面（No.4）

No.4 に関して、事前には想定していない要件であったが、道路管理者の要望として追加した。具体的な要望としては、「道路空間におけるローカル 5G スポット通信が普及した際の道路パトロールを想定したとき、ローカル 5G スポット通信エリアの設置位置およびデータの伝送状況を可視化することで、有用性や実装性が高まる」との指摘を受けた。

そこで、有用性および実装性向上のため、ローカル 5G エリアと伝送状況が可視化できる UI を構築した。

ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面に関しては、構築前に行った道路管理者への意見照会の結果、下記のコメントを受けていた。

- 視覚的・感覚的にわかりやすいこと
- 感覚的に理解しやすい形で概ねの通信エリアが可視化されること
- 通信の開始終了が視覚的にわかること
- データの伝送状況が視覚的にわかること

意見照会結果から設定した要件に基づいて構築し、上記の意見への対応を図った。

図 4.4-17　ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面：伝送待ち状態
（ローカル 5G 基地局がないエリアでの走行）

以降の図では、ローカル 5G のスポット通信エリアとなっている交差点を、信号待ちすることなく円滑に通過し、通過時間が短時間となったことで、撮り溜めた 4K 画像ファイルの伝送しきれていないことがわかる。

当初の設計では、定期的に切り出される撮り溜めた 4K 画像ファイルは、一度のスポット通信エリアの通過で伝送しきれない場合、タイムアウトとなりデータを破棄する仕様としていた。

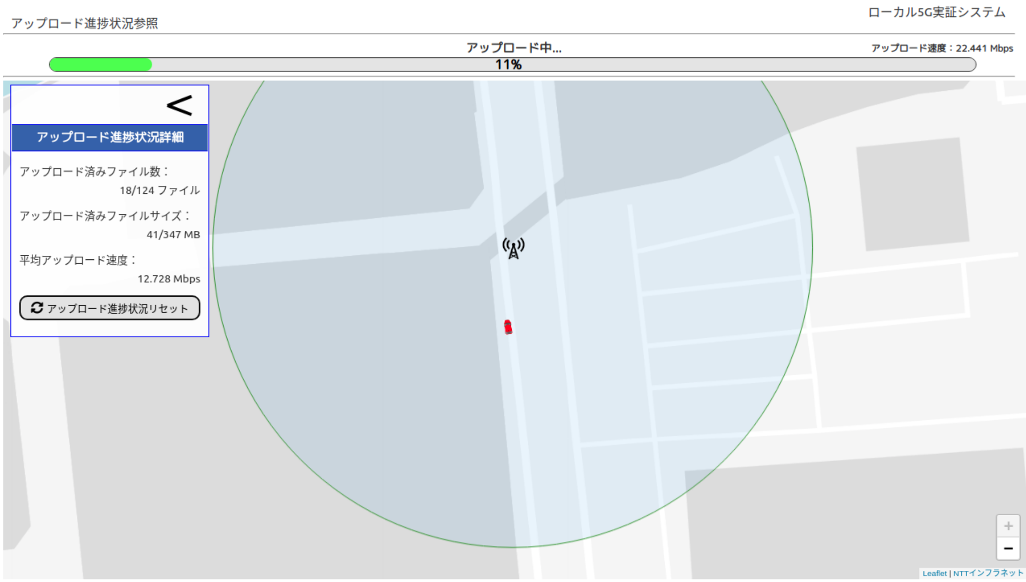


図 4.4-18　ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面：伝送中
（ローカル 5G エリアの走行）

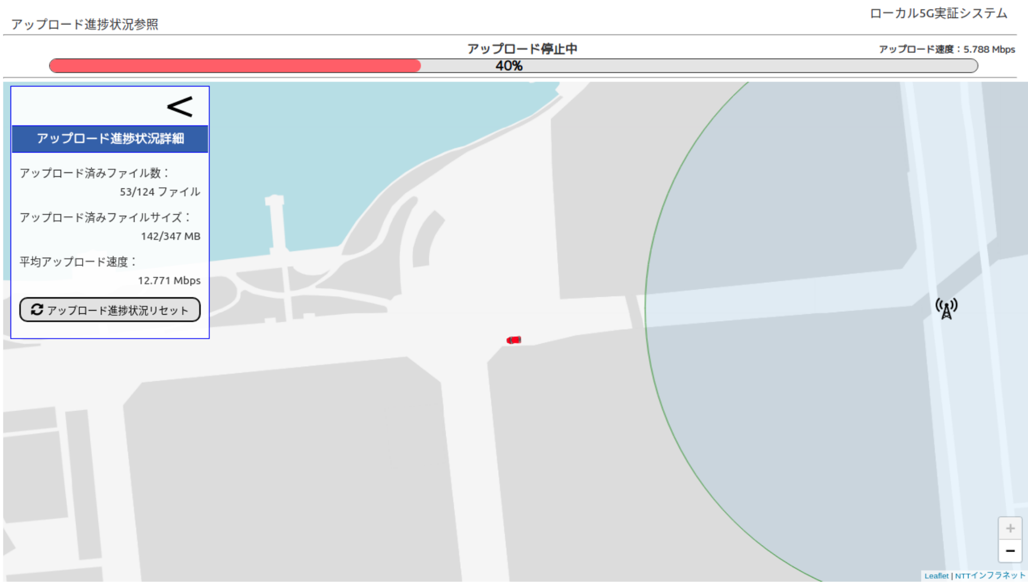


図 4.4-19　ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面：伝送待ち状態
（ローカル 5G エリアからの離脱）

なお、信号機で停車せずにそのまま通過したとき、伝送速度は全体平均で約 12.77Mbps、交差点付近で最大 46.07Mbps、伝送可能なデータ容量は 1.136Gbit であった。一方、信号で停車することで、エリア内に 30 秒～1 分程度、停車してとどまることができるため、さらに多くのデータ（最大で約 2.764Gbit）を伝送できることが見込まれる。

そこで、改めて道路管理者と協議したところ、「伝送しきれない場合は、もう一度スポット通信エリアに進入した際に、伝送を再開できることが望ましい」との意見が挙がった。そのため、収集した上で一定のファイル数を伝送しきれない場合は、伝送を中断し、再度ローカル 5G エリアに進入した際に伝送を再開できるようにシステムを改良した。

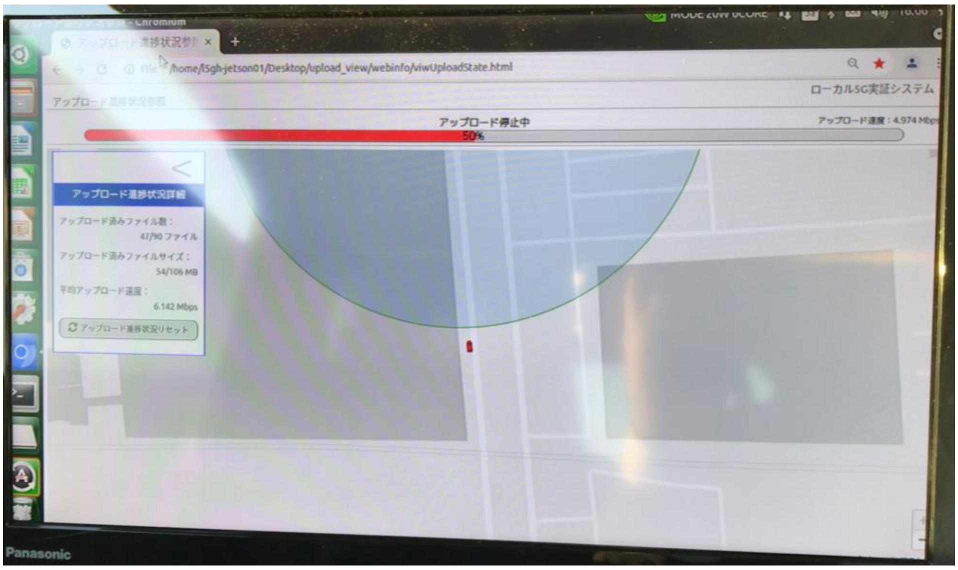


図 4.4-20　ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面：伝送待ち状態
（ローカル 5G エリアへの再進入）

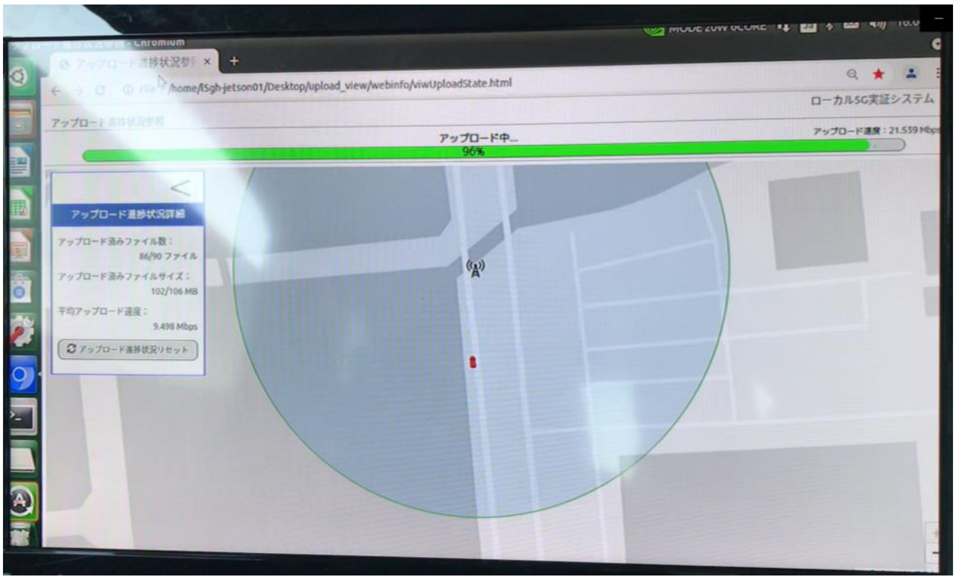


図 4.4-21　ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面：データの伝送再開
（ローカル 5G エリアの走行）

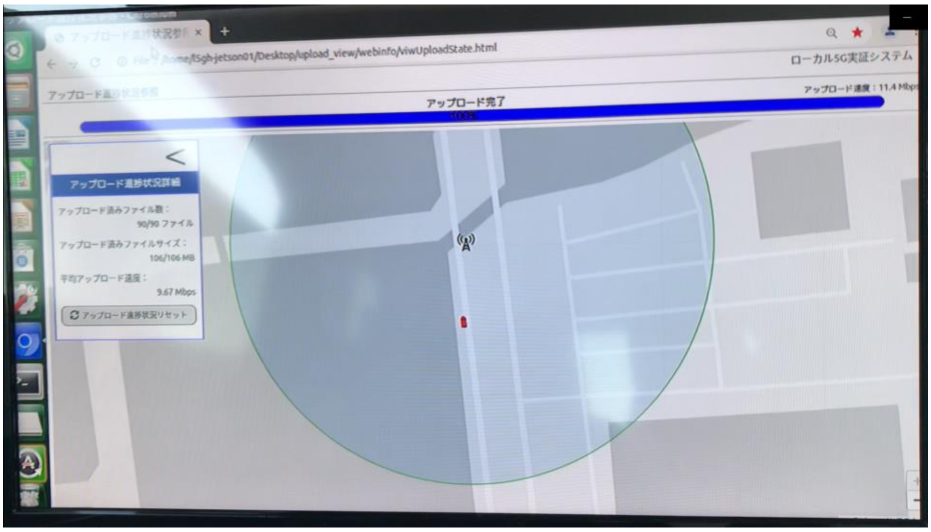


図 4.4-22　ローカル 5G エリアと伝送状況の可視化画面：データの伝送完了
（ローカル 5G エリアの走行）

当該仕様を追加することで、より網羅的に路面映像を取得することが可能となり、道路管理者の実用に寄与する要望を満たすことができたことで、本システムの有用性と実装性の向上につながったと考える。

4）通信の活用による効果に関する評価

a）L5G スポットエリア ～ 専用線 ～ クラウドサーバ(dOIC)（区間①）

区間①について、iperf による通信試験（上り・下り）および 1GB ダミーファイル転送試験の測定結果を下表に示す。

iperf による通信試験から、ローカル 5G 基地局からクラウド環境（dOIC）への通信において、上りの平均伝送容量が 79.1 Mbps、下り通信の平均伝送容量が 86.1 Mbps であった。実際に 1GB ダミーファイルの FTP 転送試験を行ったところ、上りの平均スループット（計算値）は 74.1 Mbps であり、前者の通信試験の結果と概ね整合する結果となった。

表 4.4-9　システム通信試験（iperf）：End-End 区間①

試験区分	パケットサイズ	送信時間(sec)	試験回数	bandwidth
上り 1 回目	1420	30	1	78.9
上り 2 回目	1420	30	2	79.5
上り 3 回目	1420	30	3	79.0
			※avg	79.1
下り 1 回目	1420	30	1	94.2
下り 2 回目	1420	30	2	80.9
下り 3 回目	1420	30	3	83.3
			※avg	86.1

表 4.4-10　システム通信試験（データアップロード）：End-End 区間①

試験区分	試験回数	アップロード時間(sec)	想定のスループット(Mbps)
アップロード 1 回目	1	105.0	75.2
アップロード 2 回目	2	106	75.2
アップロード 3 回目	3	111.0	72.0
	※avg	107.3	74.1

b）越谷市観光協会 ～ 専用線 ～ クラウドサーバ(dOIC)（区間②）

区間②について、iperf による通信試験（上り・下り）および 1GB ダミーファイル転送試験の測定結果を下表に示す。

iperf による通信試験から、越谷市観光協会（ワークステーション）から有線接続でクラウド環境（dOIC）と通信する場合、上りの平均伝送容量が 300.7 Mbps、下り通信の平均伝送容量が 101.0 Mbps であった。1GB ダミーファイルの FTP 転送試験を行ったところ、上りの平均スループット（計算値）は 239.5 Mbps であり、iperf 試験は下回るが近い水準のスループットとなった。

表 4.4-11 システム通信試験（iperf） : End-End 区間②

試験区分	パケットサイズ	送信時間(sec)	試験回数	bandwidth
上り１回目	1420	30	1	258.0
上り２回目	1420	30	2	336
上り３回目	1420	30	3	308.0
			※avg	300.7
下り１回目	1420	30	1	99.1
下り２回目	1420	30	2	102
下り３回目	1420	30	3	102
			※avg	101.0

表 4.4-12 システム通信試験（データアップロード） : End-End 区間②

試験区分	試験回数	アップロード時間(sec)	想定のスループット(Mbps)
アップロード１回目	1	35.0	228.0
アップロード２回目	2	36	221.6
アップロード３回目	3	29.0	268.8
	※avg	33.3	239.5

5）導入にかかる費用対効果の導出

a）費用項目・便益項目の設定

本検討では、費用項目・便益項目として以下の項目を設定した。

費用項目
- ・ローカル 5G 基地局設置・運用
- ・クラウド環境の構築・運用
- ・現場システム（現場機材・自動運転車両）の導入

便益項目
- ・災害時の早期データ伝送にともなう時間短縮
- ・平常時の道路パトロールの省人化における人件費の縮減

b）費用の整理

本実証の実績や他サービスの事例等に基づき、費用感の整理を行った。

【ローカル 5G 基地局設置・運用】

基地局については、購入やレンタルなどの調達方法が考えられる。それぞれの費用感は以下のとおりである。

購入の場合		レンタルの場合
イニシャル：約 1.2 億円・基 ランニング：約 0.3 億円/年・基 （NSA 方式を想定）	～	イニシャル：なし ランニング：約 0.1 億円/年・基 （SA 方式を想定）

【クラウド環境の構築・運用】

クラウド環境については、環境下で AI 検知システムを付与するかどうかで費用感が異なる。それぞれの費用感は以下のとおりである。

クラウド上での AI 検知あり		クラウド上での AI 検知なし
イニシャル：約 0.1 億円 ランニング：約 0.3 億円/年	～	イニシャル：約 0.05 億円 ランニング：約 0.2 億円/年

【現場システム（現場機材・自動運転バス）の導入】

現場システムは、平常時の場合、自動運転バスの費用が上乗せされる。自動運転バスの有無における費用感は以下のとおりである。

現場機材のみ		現場機材＋自動運転バス導入
イニシャル：約 0.05 億円 ランニング：約 0.05 億円/年	～	イニシャル：約 0.3 億円 ランニング：約 0.6 億円/年

c）便益の整理

【災害時】

「首都直下地震道路啓開計画」では発災後 48 時間以内に各方向最低 1 ルートの道路啓開の完了を目標としていることを踏まえると、被災箇所の速やかな啓開・復旧による効果は非常に大きい。被災状況の大きさや発生箇所によって効果には差があるものの、一例として、首都直下地震や南海トラフ地震では、全国的な 1 か月の交通寸断で数千億円～数兆円規模の被害が想定されている。

例えば、首都直下地震の道路交通寸断の影響は、人流・物流併せて 1 兆円/月・全国となっており、これは時間換算すると 13.9 億円/時・全国（＝1 兆円÷30 日÷24 時間）である。

表 4.4-13　首都直下地震の交通寸断による影響（全国）

（兆円）

項目			被害額	
道路	1ヶ月の場合	人流	0.5	1.0
		物流	0.5	
	6ヶ月の場合	人流	2.9	5.6
		物流	2.7	
鉄道	1ヶ月の場合		0.3	
	6ヶ月の場合		2.1	

注）四捨五入の関係上、各項目の積算値と合計欄の数字は一致しないことがある。

（兆円）

項目		復旧完了までに要する時間	被害額
港湾	物流	1年間	4.5

注）四捨五入の関係上、各項目の積算値と合計欄の数字は一致しないことがある。

出典：首都直下地震の被害想定と対策について

（平成 25 年 12 月　中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキンググループ）

表 4.4-14　南海トラフ巨大地震の交通寸断による影響（全国）

（兆円）

項目		復旧完了までに要する時間	基本ケース	陸側ケース
道路	人流	１ヶ月の場合	0.2	0.3
		６ヶ月の場合	1.1	1.6
	物流	１ヶ月の場合	0.3	0.4
		６ヶ月の場合	1.6	2.2
鉄道	人流	１ヶ月の場合	0.3	0.4
		６ヶ月の場合	2.0	2.1
空港	人流・物流	２週間	0.00	0.00
合計		道路・鉄道が６ヶ月停止する場合	4.6	5.9
【参考】港湾	物流	１年間	13.1	20.1

注）港湾機能停止による損失額は、コンテナ貨物は代替港湾に陸送し、バラ貨物は輸送を取りやめると仮定して推計しており、参考値として記載する。

出典：南海トラフ巨大地震の被害想定について（経済的な被害）
（令和元年６月　内閣府政策統括官（防災担当））

【平常時】

道路パトロールを自動運転＋AI にて無人化すると、自動運転車両が走行不能となった場合に道路上に車両が放置されるため、当面は 2 人体制の道路パトロールを 1 人にすることを目指す方が現実的である。

このことから、早期～中期的には、現況 2 名で構成される道路パトロール班のうち運転者の削減を、長期的な視点で技術進展が図られると、完全無人化が実現できると想定し、人件費の縮減効果を設定した。

表 4.4-15　平常時の人件費の縮減効果

	現況	早期～中期	長期
人員体制	2 名	1 名 （1 名削減）	0 名 （2 名削減）
人員削減の概要	現況	自動運転車両の導入により、運転者を削減	自動運転車両技術・AI 検知の進展による完全無人化
縮減可能な人件費 ＜想定＞	－	600 万円/年・班 （600 万円/年×1 名）	1,200 万円/年・班 （600 万円/年×2 名）

d）費用対効果に関する評価

【災害時】

自然災害は発生場所や時間が事前に予測できないものの、被災時に経済活動の停止・停滞が長期化すると、社会的影響が大きくなる。首都直下地震の道路交通寸断の影響を金銭価値化した結果から、1 時間の短縮が 13.9 億円/時・全国の価値を生むと見込まれる。

加えて、災害時における人命救助では 72 時間（3 日間）で生存率が大きく変化することが明らかとなっている。このことから、数時間の時間短縮が、人命救助の観点から非常に大きな効果が期待できる。

ローカル 5G 基地局の設置、運用コストは購入の場合であっても 1～2 億円/基であることや、近年の自然災害の激甚化・頻発化を踏まえると、導入効果は非常に高いと考えられる。また、平常時における有効活用も図ることで、平時においても社会的効果を生むことが可能と考えられる。（4.4.4 章参照）

【平常時】

平常時には、削減される経費は人件費のみであり、「現状のサービスの置き換え」という視点でみると、経費削減効果としては限定的と考えられる。

他方、現状の道路パトロールでは、応急的な対応が大部分となっている道路パトロールにおいて、要注意箇所の蓄積といった、これまで対応できていなかった事項に対しても対応が可能となるため、サービスレベルの向上が見込まれる。

加えて、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できれば、さらに社会的効果を高めることも可能と考えられる。（4.4.4 章参照）

4.4.1.2 機能検証

本実証で構築した、ローカル 5G を用いた課題解決システムを構成する要素（伝送メディア、映像取得、映像蓄積、画像解析、映像配信、結果表示）ごとに、実装を見据えた適格性や拡張・発展性について机上検討した

（1）評価・検証項目

1）伝送メディア

伝送メディアとして、「キャリア 5G」「ローカル 5G」「Wi-Fi」「光ケーブル」を検討対象とする。

2）映像取得

映像取得機材として、「8K カメラ」「4K カメラ」「HD カメラ」「ハイスピードカメラ」を検討対象とする。

3）映像蓄積

映像蓄積用に使う基盤サービスとして、「dOIC」「AWS」「Azure」を検討対象とする。

4）画像解析

画像解析手法として、「単純画像解析」「ディープラーニング」「人の目」を検討対象とする。

5）結果表示

UI 設計（デバイス）として、「PC」「タブレット」「スマートフォン」を、また、UI 設計（媒体）として「ブラウザ」「アプリ」「専用デバイス」を検討対象とする。

（2）評価・検証方法

1）伝送メディア

伝送メディアとして、「キャリア 5G」「ローカル 5G」「Wi-Fi」「光ケーブル」を対象とし、「性能・スペック」「拡張性」「運用保守性」「コスト・汎用性」の点からそれぞれを机上検証し、5 段階評価して、総合的な機能評価を行う。

2）映像取得

映像取得機材として、「8K カメラ」「4K カメラ」「HD カメラ」「ハイスピードカメラ」を対象とし、「性能・スペック」「拡張性」「運用保守性」「コスト・汎用性」の点からそれ

ぞれを机上検証し、5 段階評価して、総合的な機能評価を行う。

3）映像蓄積

映像蓄積用に使う基盤サービスとして、「dOIC」「AWS」「Azure」を対象とし、「性能・スペック」「拡張性」「運用保守性」「コスト・汎用性」の点からそれぞれを机上検証し、5 段階評価して、総合的な機能評価を行う。

4）画像解析

画像解析手法として、「単純画像解析」「ディープラーニング」「人の目」を対象とし、「性能・スペック」「拡張性」「運用保守性」「コスト・汎用性」の点からそれぞれを机上検証し、5 段階評価して、総合的な機能評価を行う。

5）結果表示

UI 設計（デバイス）として、「PC」「タブレット」「スマートフォン」を対象とし、また、UI 設計（媒体）として「ブラウザ」「アプリ」「専用デバイス」を対象とし、「性能・スペック」「拡張性」「運用保守性」「コスト・汎用性」の点からそれぞれを机上検証し、5 段階評価して、総合的な機能評価を行う。

（3）実証結果および考察

1）伝送メディア

本実証で構築した課題解決システムを実装する上で、伝送メディアに係る要件は下記のとおりである。

- 性能・スペック

➢ スループット観点 ✧ 災害時でも輻輳しない（★最重要点） ✧ 大容量通信が可能	➢ エリア観点 ✧ 屋外で利用可能 ✧ 大容量通信が可能

- 拡張性

➢ スループット観点 ✧ 今後の技術革新 ✧ システム更新の容易さ	➢ エリア観点 ✧ 今後の技術革新 ✧ 自由な置局選定

- 運用保守性

➢ 機材観点 ✧ 故障時の対応（メーカー保証等）	➢ 稼働観点 ✧ 運用・保守は誰でも対応可能か

- コスト・汎用性
    - ユーザにかかる費用感
    - 機材の取得が容易か

以上の観点で主たる 4 つの伝送メディアについて相対的に比較した。

表 4.4-16　伝送メディアの機能評価

伝送メディア	性能・スペック	拡張性	運用保守性	コスト・汎用性	評点	コメント
キャリア 5G	3	2	4	3	12	ローカル 5G と同等の伝送容量を有し、ユーザは回線料金のみで利用可能だが、必要な場所に 5G 基地局が置局されることはほとんどない。スポットエリアのため、基本的に広域をカバーすることもできない。また、今回最も重要な災害時において、公衆網は輻輳に弱いことからも、利用者のニーズを満たすことは極めて難しい。
ローカル 5G	5	4	2	3	14	独立網もしくは専用線接続であるため、災害時にも機材が無事であれば安定通信が可能である。置局場所も利用者のニーズに応じて設計できる。 一方、スポットエリアのため、基本的に広域をカバーすることができない。また、運用保守をする際に、無線従事者がいない場合は外注する必要がある。 加えて、現状は機材コストが高騰している。ただし、将来的には技術革新とベンダ競争に応じて、低廉化されることが期待される。
WiFi	2	2	4	4	12	汎用性は高く、伝送容量（上り）は最大で 5G に匹敵する可能性もある。しかし、端末がエリアに進入したときの接続や、安定的な通信に課題がある。
光ケーブル	1	1	2	4	8	伝送容量は大きいものの、有線接続であるため屋外での利用には不向きである。
総合的な評価	本実証のシステムを実装するための伝送メディアとしては、ローカル 5G の適格性が最も高い。しかし、特にエリア拡張とコストに関する課題の解決が重要である。					

ローカル 5G の利用に関する課題について、今後の機能の拡張・発展に関する考察を以下に示す。

- 課題１：エリア拡張
    - 解１：基地局数を増やす
        - 現状分析：
            - NTT 光ケーブルを利用する場合、NTT 東日本などの電気通信事業者がケーブルを敷設できる場所に限定される。
            - 本実証のような中央分離帯へのケーブル敷設は、制度的には可能であるものの、通信事業者の観点からは抵抗感が強い。（補足：今回は越谷レイクタウンのセンターブリッジがあり、所有者の合意が取れ、さらにその特定の橋梁に関する目的外利用の調整ができたため、構築できた。）
        - 改善提案：

        - 直轄国道にて利用する場合は、通常は国道沿いに道路管理者の事務所に直通する光ケーブルが敷設されている。(補足：本実証は特殊な国道であったため、敷設されていなかった)
        - これを利用することで、直轄国道沿いであればNTT東日本の工事技術を問わず、道路管理者が所掌してネットワーク構築可能である。
        - これを利用することで、専用線のコスト（年間数百万円）を削減することも可能である。
  - 解２：１基地局あたりのカバーエリアを大きくする
    - 現状分析：
        - 制度面の課題として、自己土地利用の観点から、他者土地への電波漏れ出しが許容されない。
        - 構成面の課題として、高出力の屋外用アンテナが利用できない。
    - 改善提案：
        - 他者の土地への漏れ出しや干渉検討に関する緩和措置（適切な措置）が必要である。
        - 技術革新を通じて、ハードウェアスペックの向上を見込み、将来的な機能向上や設計検討（アンテナ高、アンテナ利得、空中線電力等）を行う。
- 課題２：コスト低廉化
  - 複数局を展開することが出来れば、ベンダ交渉の上でバルクディスカウント（スケールメリット）が期待できる。(機材コスト・構築コスト・運用保守コスト)

2）映像取得

本実証で構築した課題解決システムを実装する上で、映像取得に係る要件は下記のとおりである。

- 性能・スペック
  - 画像の綺麗さ（ピクセル数）
  - 高速物体への適応（フレームレートとシャッター速度）
  - データの軽量さ（ファイル容量；ピクセル数✕フレームレート）
- 拡張性
  - 今後の技術革新
  - 他分野への応用可能性
- 運用保守性
  - 故障対応の簡便さ
  - 運用技術が特殊かどうか
- コスト・汎用性
  - 販路へのアクセス
  - 価格帯

表 4.4-17　映像取得の機能評価

映像取得	性能・スペック	拡張性	運用保守性	コスト・汎用性	評点	コメント
8K カメラ	3	3	2	2	10	新しい技術を採用しており、画質に関しては最も優れる。一方、機材の扱いやすさやデータの軽量さ、機材コストと販路の確保が難しく、不適である。
4K カメラ	5	4	4	4	17	汎用性の高い技術であり、本実証を通じて、汎用機でも十分な性能を有することがわかった。HD 映像よりもピクセル数が 9 倍多いため、道路監視 AI の精度が高くなることがわかった。一方、データの軽量さでは HD 映像の方が優れ、かつ高速物体への対応が難しい。
HD カメラ	3	3	4	5	15	汎用性の高い技術であり、データが軽量であることから扱いやすさに優れる。一方で、4K 映像よりも道路監視 AI の精度が低いことがわかり、見逃しを防ぐためには 4K カメラの方が優れる。
ハイスピードカメラ	4	3	2	2	11	高速物体への対応に最も優れ、車両の平均時速が 40km を超える道路の AI 監視（自動車専用道路や高速道路）には有用であると考えられる。一方、機材の扱いやすさやデータの軽量さ、機材コストと販路の確保が難しく、多くの一般道では不適である。
総合的な評価	本実証のシステムを実装するための撮影機器としては、4K カメラの適格性が最も高い。 しかし、特にデータの軽量さと高速物体への適応に関する課題の解決が重要である。					

- 課題１：データの軽量さ
  - 解１：フレームレートを下げる（チューニング可能な機材を選定）
  - 解２：圧縮レートを上げる
    - 本実証では、bmp 形式から jpg 形式に変更することで圧縮レートを上げており、ローカル 5G のスポット通信（限定的な時間での伝送）でもより多くの画像を伝送できるように設計した。
    - さらに、jpg 形式の圧縮レートをチューニングし、AI 検知の精度が顕著に低下しない最適値に設定することができれば、より効率的にデータ伝送できる可能性がある。
- 課題２：高速物体への適応
  - 解１：シャッター速度を上げる
    - 本実証では、HD カメラと 4K カメラのシャッター速度を 1/200～1/1000 まで調整し、時速 40km でも検知できる可能性が示唆された。
    - 一方、時速 40km 以上の車速でも検知精度を高めるために、よりシャッター速度のチューニング幅が広い機材を選定することが考えられる。
  - 解２：ハイスピードカメラで代替する
    - シャッター速度を早くするには、汎用機では性能の限界がある。そのため、あえて限定的なケース（e.g. 高速道路上など）において、ハイスピードカメラを導入することも検討の余地がある。

3）映像蓄積

本実証で構築した課題解決システムを実装する上で、映像蓄積等に用いるクラウド基盤選定に係る要件は下記のとおりである。

- 性能・スペック
  - 多様なメニュー（CPU/GPU の演算処理性能、ストレージ容量など）
  - ロケーションの多様さとディザスタリカバリ
- 拡張性
  - リソース増減の簡便さ
  - 他分野への応用可能性
- 運用保守性
  - 運用技術が特殊かどうか
- コスト・汎用性
  - 価格帯
  - 環境の早期払い出し
  - 社会的な利用実績

表 4.4-18　映像蓄積の機能評価

映像蓄積	性能・スペック	拡張性	運用保守性	コスト・汎用性	評点	コメント
dOIC	3	3	3	3	12	実証としては十分な性能・スペックである。また、キャリア 5G が利用できる環境であれば、ドコモの交換機網を通して低遅延性を発揮できる可能性がある。一方、構築実績のある事業者（エクシオグループなど）が市場に少なく、実装上はローカル 5G が支配的になるため、不向きであると考えられる。
AWS	4	4	4	4	16	多岐に渡るメニューを提供しており、リージョンも多くディザスタリカバリに関しても高水準のサービスである。また、社会的な利用実績が多く、構築時のベンダを選定しやすいメリットが挙げられる。
Azure	4	4	4	4	16	多岐に渡るメニューを提供しており、リージョンも多くディザスタリカバリに関しても高水準のサービスである。また、社会的な利用実績が多く、構築時のベンダを選定しやすいメリットが挙げられる。
総合的な評価	本実証のシステムを実装するための映像蓄積環境としては、AWS/Azure の適格性が高い。					

4）画像解析

本実証で構築した課題解決システムを実装する上で、画像解析に係る要件は下記のとおりである。

- 性能・スペック
  - 解析の精度
    - 大きさや色合い、形状の異なる対象物の検知
    - 見落としの少なさ
  - 解析速度
- 拡張性
  - 他分野への応用可能性
- 運用保守性
  - 故障対応の簡便さ
- コスト・汎用性
  - 構築費用
  - 運用保守費用
  - 一般的な技術かどうか

表 4.4-19　画像解析の機能評価

画像解析	性能・スペック	拡張性	運用保守性	コスト・汎用性	評点	コメント
単純画像解析	2	2	3	5	13	決められた対象物を検出する（大きさや色合い、形状が異なるものは検出不能である）ため、様々な形状の道路損傷を検出するニーズを想定すると不適である。
ディープラーニング	4	4	3	4	15	単純な画像解析よりも柔軟な（人の目に近い）解析が可能である。また、画像がぶれていなければ、移動体から撮影した画像であっても検出可能であり、路面監視 AI のニーズに的確である。一方で、運用保守にはベンダの特殊な技術を必要とすることや、道路管理に導入するためのスキーム検討が課題である。
人の目	4	4	3	3	14	静止状態では最も精度が高い。しかし、移動物体の検知では見落としを生じる可能性が高い。また、熟練の技術を必要とし、実施者に応じて損傷の評価度合いが変化するため、一定の検査水準を担保することが難しい。
総合的な評価	本実証システムを実装するための画像解析技術としてはディープラーニングの適格性が最も高い。しかし、特に運用保守にベンダの技術を必要とすることや、導入時のスキーム検討に関する課題の解決が重要である。					

- 課題１：運用保守にベンダの技術を必要とする
  - 解１：回避策として、内製で AI を構築する。
    - 技術力と実績がない場合は、実現不可能である。
    - 技術力と実績がある場合は可能であるが、大規模なデータセットを収集し、アノテーション作業をした上で学習させるプロセスを何度も実施する必要がある。そのため、実施内容によっては、ベンダ委託よりも高コストになる危険性がある。
  - 解２：許容策として、実績のあるベンダを採用する。
    - 本実証では、RoadManager というベースのシステムをリリースしている UrbanX Technologies 社の技術を採用していた。すでに運用実績のある AI システムを用いることで、運用保守も安定的かつ廉価に実施できる可能性が高い。
- 課題２：導入時のスキーム検討を必要とする
  - 解１：道路管理者との連携
    - 本実証では、道路管理者との密な協力関係を構築した。将来的には、各自治体の現場オペレーションに則した形での実装提案およびスキーム提案をしていく必要がある。

5）結果表示

本実証で構築した課題解決システムを実装する上で、結果表示に係る要件は下記のとおりである。なお、本実証では汎用性の観点から専用アプリを構築せず、ブラウザベースの UI に特化して検証した。

- 性能・スペック
  - 情報の見やすさ（道路管理者）
  - 扱いやすさ（通信速度、ポータビリティ等）
- 拡張性
  - 他分野への応用可能性
- 運用保守性
  - 故障対応の簡便さ
- コスト・汎用性
  - 販路へのアクセス
  - 価格帯

表 4.4-20　結果表示の機能評価

結果表示	性能・スペック	拡張性	運用保守性	コスト・汎用性	評点	コメント
PC	3	2	3	3	11	通信速度の店で優位性があるものの、利用場所が限定されるため、不適である。
タブレット	4	4	4	4	16	LTE 通信ができて、ブラウザベースの閲覧であれば、場所を問わず活用できるため、適格性が高い。特にスマートフォンよりも画面サイズが大きいため、道路管理者が画像をもとに損傷箇所の路面の健全度を評価する上でも効果的であると考えられる。
スマートフォン	3	4	4	4	15	LTE 通信ができて、ブラウザベースの閲覧であれば、場所を問わず活用できるため、適格性が高い。ただ、タブレットよりも画面サイズが小さいため、道路管理者が画像をもとに損傷箇所の路面の健全度を評価することが難しい。
総合的な評価	本実証のシステムを実装するための伝送メディアとしては、タブレットが最も適格性が高い。					

4.4.1.3 運用検証

本項では、道路の災害時と平常時における課題に対して想定したローカル 5G を用いたソリューションに対し、想定したローカル 5G 活用モデルを運用した際の保守・運用について評価・検証した。

［ローカル 5G 活用モデル］

(A) 災害時ソリューションの運用検証（実証 A）：「災害時：被災状況確認の迅速化の実証」

(B) 平常時ソリューションの運用検証（実証 B）：「平常時：道路管理・運営の効率化の実証」

図 4.4-23　本実証で想定するローカル 5G ソリューション

（1）評価・検証項目

1）災害時ソリューションの運用検証（実証 A）

災害時における課題ソリューションでは、被災地の最寄りの災害拠点等にローカル 5G スポットエリアを整備することにより、被災地にて取得した 3D 点群データや高精細 4K 画像等の大容量データを、光回線を通じて速やかに遠方に伝送し、道路を迅速に啓開・復旧できるようにすることを想定している。

そのため、災害時における課題ソリューションの運用検証では、下表の点に着眼し、評価・検証項目を設定した。

表 4.4-21　評価・検証の着眼点（災害時：実証 A）

①	データの通信速度
②	被災地で取得するデータの容量とその送信時間
③	被災状況の把握のしやすさ
④	3D 点群データによる被災前後の差分検出
⑤	4K 画像から SfM にて生成する 3D 点群データの精度

表 4.4-22　評価・検証項目（災害時：実証 A）

①	通信速度の検証（ローカル 5G／光回線）
②	データ容量と送信時間の検証（3D 点群データ／4K 画像）
③	被災状況の把握のしやすさの評価（3D 点群データ／4K 画像）
④	3D 点群データによる被災前後の差分検出時間の検証
⑤	3D 点群データの差異の検証（レーザースキャナ／4K 画像 SfM）

2）平常時ソリューションの運用検証（実証 B）

平常時における課題ソリューションでは、道路パトロールの巡回経路にローカル 5G スポットエリアを整備し、自動運転する車両から撮影した画像データを、ローカル 5G を通じてクラウドに伝送し、AI にて異常を自動検知することにより、道路パトロールを無人化することを想定している。

そのため、平常時における課題ソリューションの運用検証では、下表の点に着眼し、評価・検証項目を設定した。

表 4.4-23　評価・検証の着眼点（平常時：実証 B）

①	画素数が AI の道路異常検出に与える影響
②	画質がデータ容量とその送信時間に与える影響
③	AI と自動運転によって道路パトロールの人員を削減することによる得失
④	道路パトロールに路線バス等を活用することによる得失
⑤	想定するソリューション以外へのローカル 5G スポットエリアの活用可能性

表 4.4-24　評価・検証項目（平常時：実証 B）

①	AI による道路異常検出性能の検証（4K 画像）
②	データ容量と伝送時間の検証（HD 画像／4K 画像）
③	道路パトロールへの AI と自動運転の適用性評価
④	道路パトロールへの路線バス等の適用性評価
⑤	ローカル 5G スポットエリアの活用可能性評価

（2）評価・検証方法

1）災害時ソリューションの運用検証（実証 A）

災害時における課題ソリューションの運用検証では、前項 4.4.1.3(1)1)にて設定した評価・検証項目を下表の方法にて評価・検証した。道路管理者へのヒアリングでは、主に実装可能性を確認した。

表 4.4-25　評価・検証方法（災害時：実証 A）

①　通信速度の検証（ローカル 5G／光回線）
　⇒　［定量］実証フィールドにおける通信速度の計測
　⇒　［定量］4GLTE の通信速度との比較
②　データ容量と送信時間の検証（3D 点群データ／4K 画像）
　⇒　［定量］実証フィールドにおける通信時間の計測
　⇒　［定量］4GLTE による通信時間との比較
　⇒　［定量］必要なスポットエリア置局密度の推定
③　被災状況の把握のしやすさの評価（3D 点群データ／4K 画像）
　⇒　［定性］3D 点群データと 4K 画像の比較
　⇒　［定性］道路管理者へのヒアリング
④　3D 点群データによる被災前後の差分計算時間の検証
　⇒　［定量］実証において差分計算に要した時間の計測
　⇒　［定性］道路管理者へのヒアリング
⑤　3D 点群データの差異の検証（レーザースキャナ／4K 画像 SfM）
　⇒　［定量］レーザースキャナにて取得した点群データと 4K 画像 SfM にて生成した点群データの比較
　⇒　［定性］道路管理者へのヒアリング

2）平常時ソリューションの運用検証（実証 B）

平常時における課題ソリューションの運用検証では、前項 4.4.1.3(1)2)にて設定した評価・検証項目を下表の方法にて評価・検証した。道路管理者へのヒアリングでは、主に実装可能性を確認した。

表 4.4-26　評価・検証方法（平常時：実証 B）

① AI による道路異常検出性能の検証（4K 画像）
　⇒　［定性］模擬損傷による検出性能の確認
② データ容量と伝送時間の検証（HD 画像／4K 画像）
　⇒　［定量］取得した HD 画像と 4K 画像のデータ容量の確認
　⇒　［定量］実証フィールドにおける伝送時間の計測
　⇒　［定量］必要なスポットエリア置局密度の推定
③ 道路パトロールへの AI と自動運転の適用性評価
　⇒　［定性］下記 a)から c)の 3 ケースに対する適用性評価
　　a)　点検者を AI に代行させ、運転者 1 名にて道路パトロールするケース
　　b)　巡回車両を自動運転させ、点検者 1 名にて道路パトロールするケース
　　c)　AI と自動運転車両にて道路パトロールを無人化するケース
　⇒　［定性］道路管理者へのヒアリング
④ 道路パトロールへの路線バス等の適用性評価
　⇒　［定性］道路管理者へのヒアリング
⑤ ローカル 5G スポットエリアの活用可能性評価
　⇒　［定性］道路管理者へのヒアリング

（3）実証結果および考察

1）災害時ソリューションの運用検証（実証 A）

① 通信速度の検証（ローカル 5G／光回線）

② データ容量と送信時間の検証（3D 点群データ／4K 画像）

［定量］実証フィールドにて実測したローカル 5G＋光回線の通信速度／通信時間

- **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 であった。**
- **増林公園にて取得した 3D 点群データの通信速度は、手法によって最大 73 Mbps から最小 46 Mbps まで異なっていた。**
- **同じ手法にて取得した 3D 点群データでも、場所によって通信速度が異なった。**
- **ドローン（UAV）にて撮影した 4K 動画の通信速度は 83 Mbps であった。**
- **実証実験より、ローカル 5G＋光回線にて、概ね 50Mbps 以上の通信速度にてデータ伝送可能と判断される。**

実証フィールドにて取得したデータをローカル 5G＋光回線を通じて伝送した通信速度と通信時間を実測した。

表 4.4-27 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）	実測値 通信時間（時分秒）
越谷市/増林公園	3D 点群データ 手持ち型	―	1,782	57	00:04:10
	3D 点群データ 歩行者型	401	1,193	46	00:03:34
	3D 点群データ 自転車型	257	763	46	00:02:17
	3D 点群データ 車両型	630	5,806	61	00:12:45
	3D 点群データ ドローン型	―	690	73	00:01:16
越谷市/越谷レイクタウン	4K 動画※2	―	1,096	83	00:01:46
吉川市/国道用地	3D 点群データ 車両型	123	6,083	58	00:14:00
草加市/市役所前	3D 点群データ 歩行者型	170	919	80	00:01:32
八潮市/市役所前	3D 点群データ 自転車型	100	469	72	00:00:52

※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）にて撮影した 4K 動画。

［定量］4GLTE による通信速度／通信時間との比較

- 4K 画像と 3D 点群データの伝送実験より、ローカル 5G は 4GLTE と比べて、約 1/25 から約 1/9 程度の時間でデータ転送ができると想定される。

ドローンにて撮影した 4K 画像（映像）とバックパック（歩行者型）にて取得した 3D 点群データを用いて、ローカル 5G＋光回線（5G）と 4GLTE（LTE）の通信（伝送）に要した時間を計測し、通信速度を比較した。なお、計測は、事前と当日の 2 回実施し、当日は 5G しか計測できなかったため、LTE は事前に計測した値から換算した。

これより、5G の伝送時間は 4K 画像が LTE の約 1/25～1/22、3D 点群データが約 1/13～1/9 と実測されることから、ローカル 5G を導入することにより、4GLTE と比べて伝送時間が 1/25～1/9 程度の時間でデータ転送ができると想定される。

なお、4K 画像と 3D 点群データで伝送速度に差が生じた理由としては、4K 画像より 3D 点群データのファイル数が多く、データが分割して伝送されたためと想定される。

表 4.4-28　ローカル 5G＋光回線と 4GLTE の比較

ドローン４Ｋ映像伝送時間

事前計測	容量	１．５ＧＢ
	伝送時間（５Ｇ）	８分
	伝送時間（ＬＴＥ）	５６分
	伝送速度	３．５Ｍｂｐｓ※

※1.5GB（12,000Mbit）／56分（3,360秒）

		１回目	２回目	３回目
当日計測（1月29日）	容量	１．０４ＧＢ	０．９２ＧＢ	１．０７ＧＢ
	①伝送時間（５Ｇ）	１分３６秒	１分３７秒	１分４６秒
	②伝送時間（ＬＴＥ）※	３９分３７秒	３５分２秒	４０分４５秒
	②÷①	24.8	21.7	23.1

※3.5Mbps（事前計測結果）と仮定した計算値

バックパック点群データ伝送伝送時間

事前計測	容量	１．０ＧＢ
	伝送時間（５Ｇ）	７分
	伝送時間（ＬＴＥ）	５０分
	伝送速度	２．７Ｍｂｐｓ※

※1.0GB（8,000Mbit）／50分（3,000秒）

		１回目	２回目	３回目
当日計測（1月29日）	容量	０．９６ＧＢ	０．９６ＧＢ	０．９６ＧＢ
	①伝送時間（５Ｇ）	５分１２秒	３分４６秒	４分４９秒
	②伝送時間（ＬＴＥ）※	４７分２４秒	４７分２４秒	４７分２４秒
	②÷①	9.1	12.6	9.8

※2.7Mbps（事前計測結果）と仮定した計算値

［定量］必要なスポットエリア置局密度（置局数）の推定

- 災害時のソリューションの運用性を高める上では、地域の防災拠点に併設する形で設置し、定期的な防災訓練の実施等を通じて、災害時に確実に稼働・運用できるようにすることが望ましい。
- 加えて、平常時のローカル 5G スポットエリアの活用可能性が高い場所に設置することで、平常時のソリューションと一体的に運用することが可能になる。上記の要件を満たす置局場所として、道路管理者と自治体等が全国に整備している「道の駅」に災害時ソリューションを導入することを想定する。
  - ➢ 国土交通省は「道の駅」に広域災害応急対策の拠点となる防災機能を持たせるため、道路法を改正した。道の駅は令和 3 年 3 月 31 日時点で全国 1,187 駅あり、このうち約 500 駅を広域的又は地域の防災拠点機能を持つ駅と位置付けている。
  - ➢ また、道の駅には自治体等が管理する地域振興施設等が設置されており、地域住民及び観光客が多く訪れるため、平常時のローカル 5G スポットエリアの活用やビジネスモデルの創出にも適している。
- 本実証にて想定した災害時のソリューションでは、道の駅にローカル 5G スポットエリアを整備することを想定し、災害時のソリューションを運用するために必要なローカル 5G スポットエリアの置局数を、広域的又は地域の防災拠点機能を持つ道の駅 500 駅と推定した。

国土交通省は近年増加している災害に対応するため、道路法を改正し、広域災害応急対策の拠点となる防災機能を有する「道の駅」等について、国土交通大臣が防災拠点自動車駐車場として指定する制度を新たに創設した（令和 3 年 3 月 31 日成立・公布）。国土交通省の資料によると、道の駅は令和 3 年 3 月 31 日時点で全国 1,187 駅あり、このうち約 500 駅に対し、広域的又は地域の防災拠点機能を持つ駅と位置付けている。

道の駅は約 10 km 程度の間隔で計画・設置されており、災害の多い山間部でも整備されていることから、本実証にて想定した災害時のソリューションでは、道の駅にローカル 5G スポットエリアを整備することを想定し、災害時のソリューションを運用するために必要となるローカル 5G スポットエリアの置局数を、広域的又は地域の防災拠点機能を持つ道の駅 500 駅と推定した。

表 4.4-29　ローカル 5G スポットエリア置局密度（置局数）の推定（災害時）

ローカル 5G スポットエリアの置局	置局数
広域的又は地域の防災拠点機能を持つ道の駅	500

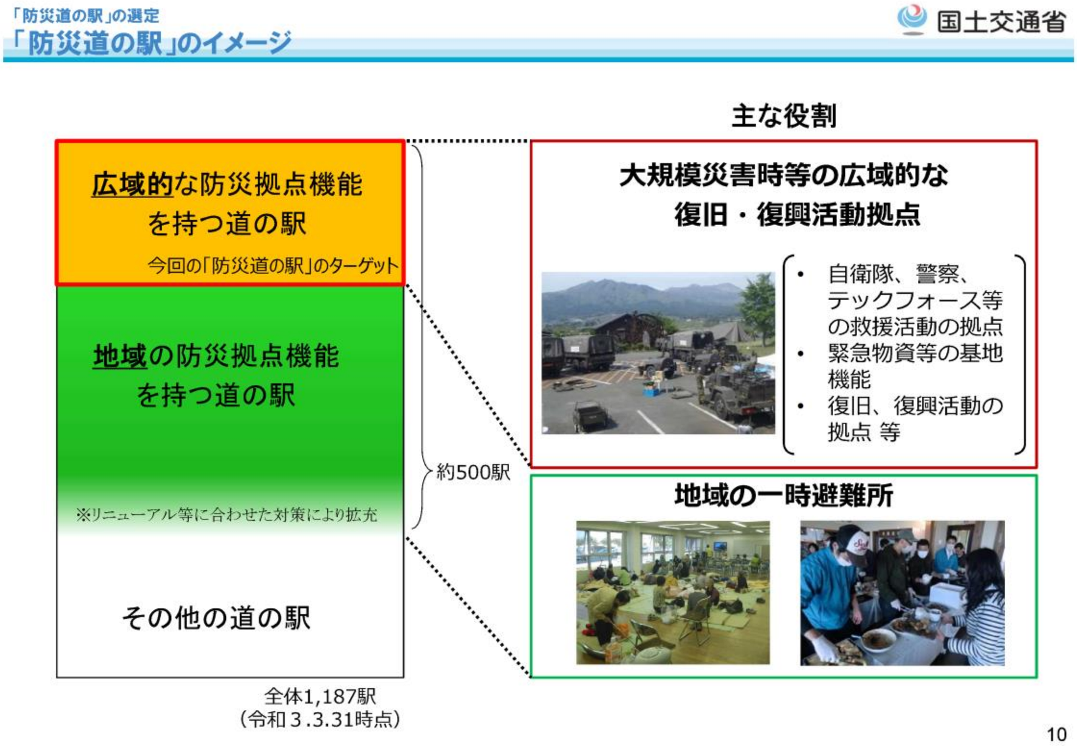


図 4.4-24　防災道の駅

出典：国土交通省、第５回 「道の駅」第３ステージ推進委員会 資料１

③　被災状況の把握のしやすさの評価（3D 点群データ／4K 画像）

［定性］3D 点群データと 4K 画像の比較

- 4K 画像は画素が小さいためズームしても視認性が低下せず、離散的な 3D 点群データと比べると 4K 画像の方が視認性に優れている。
- 3D 点群データは 3D 空間に配置された点群であるため、視点を動かることで立体視でき、座標データ（x、y、z）から距離を計測することができる。
- 4K 画像から生成した点群データは、レーザースキャナにて取得した点群データと比べて視認性は良いものの、点群データが一様に生成されない。
- 3D 点群データと 4K 画像は、把握できる被災情報と得失が異なるため、目的に応じて使い分ける必要がある。

6 つの災害模擬（A：法面崩壊、B：電柱倒壊、C：橋脚変位、D：ひび割れ、E：路面の陥没・変歪、F：盛土崩壊・土砂の流出・がれき）を対象に、異なるレーザースキャナ（手持ち型、バックパック型、車両型、ドローン型）にて取得した 3D 点群データと 4K カメラにて撮影した画像から SfM にて生成した 3D 点群データ、および 4K 画像を比較し、被災状況の把握のしやすさを比較した。

これより、3D 点群データは離散的な点群であるため、視認性は 4K 画像の方が 3D 点群データよりはるかに優れている。また、ひび割れに代表されるように、4K 画像は画素が小さいためズームしても視認性が低下しないという利点がある。

一方、4K 画像は 2 次元画像であるため、視点が変更できないものの、3D 点群データは 3D 空間に配置された点群であるため、視点を動かすことで立体視することができる。また、3D 点群データは 3D 空間における座標データ（x、y、z）を有しているため、距離を計測することができるという利点がある。

各手法で取得した 3D 点群データを 0.2m×0.2m格子に分割し、格子内の平均点群数（点群密度）を算出した。結果は次頁以降に示すとおりであり、SfM が最も多く、次にバックパック型が多い結果となった。バックパック型は車両型よりも点群密度が高かったが、平坦面でも 0.1m程度の起伏が現れるなど、車両型より精度が良くなかった。また、4K 画像から生成した点群データは、レーザースキャナにて取得した点群データと比べて点群密度が高いものの、点群データが一様に生成されず、部分的に欠けていた。

以上より、3D 点群データと 4K 画像は、把握できる被災情報と得失が異なるため、目的に応じて使い分ける必要がある。災害時における活用としては、道路啓開に対しては視認性の高い 4K 画像が有効であり、啓開後の道路復旧に対しては変位や体積等の定量値が計測できる 3D 点群データが有効と想定される。

表 4.4-30 (a)　3D 点群データの密度

手法	画像

3D レーザースキャナ　手持ち型

	34	54	45	47	35	28	36	34	47	40	21	23	24	13
33	99	161	117	128	123	111	130	127	154	150	133	99	124	79
46	111	154	127	158	99	117	117	116	146	142	141	108	131	83
33	117	144	122	147	132	112	132	137	151	172	141	114	135	72
15	119	134	154	129	125	125	141	120	152	163	179	98	119	59
29	129	128	166	117	98	128	140	114	163	158	166	118	123	59
43	134	134	180	125	115	124	138	128	153	125	162	121	109	50
53	137	129	179	136	124	122	139	143	128	159	151	134	113	83
68	126	139	169	154	135	134	146	152	117	186	153	155	103	65
54	89	95	106	102	99	96	50	100	93	113	120	114	59	26

0.2m×0.2m：平均 111.2 個

3D レーザースキャナ　自転車・歩行（バックパック型）

42	96	88	73	73	77	73	88	68	81	77	59	46	38	9
331	700	673	590	659	615	729	674	736	677	704	693	719	664	238
390	739	676	606	637	680	694	659	733	713	743	681	735	735	269
383	780	721	652	648	653	661	708	698	776	768	772	769	802	240
359	741	657	650	593	659	636	660	655	735	718	787	734	792	209
355	707	692	673	618	671	642	684	667	717	721	745	735	790	231
387	698	711	626	696	602	711	652	661	697	725	756	750	739	203
369	712	707	633	721	653	708	624	711	662	742	739	744	715	197
405	738	670	745	673	752	714	717	685	686	730	692	678	688	156
357	760	671	718	637	734	710	726	675	729	691	707	698	669	139
56	92	81	78	82	96	92	92	85	105	103	135	119	138	92

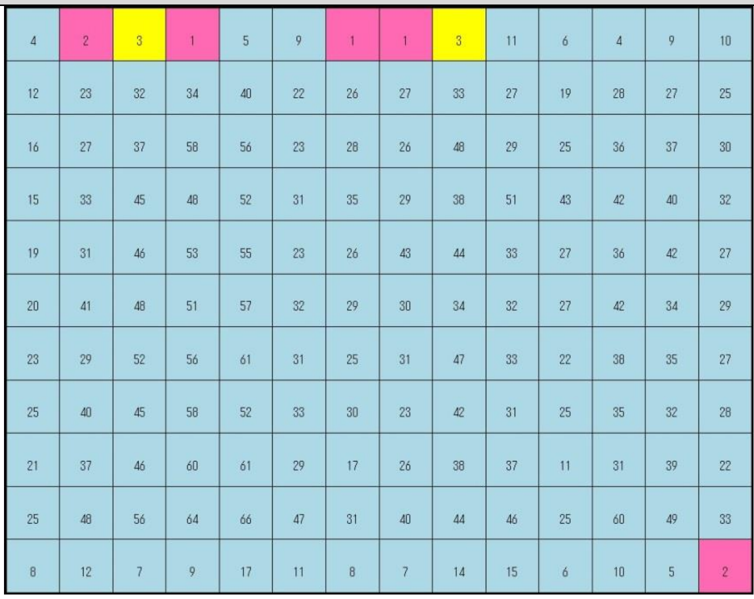
0.2m×0.2m：平均 541.8 個

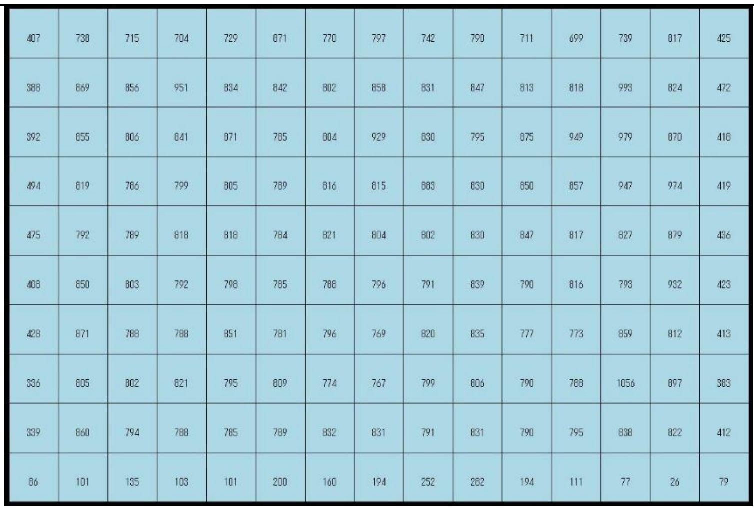
3D レーザースキャナ　車両型

22	50	55	52	48	57	59	62	59	56	57	57	54	47	13
128	278	275	278	283	270	270	270	270	257	269	265	270	259	73
126	273	273	276	271	271	270	266	266	259	265	268	262	262	70
122	272	272	267	265	258	266	265	264	254	264	266	261	261	70
117	271	273	268	259	253	260	264	261	257	263	258	255	257	69
116	260	261	257	256	243	258	257	260	251	257	254	253	254	67
112	259	256	249	251	243	253	253	252	251	253	253	251	250	65
114	256	248	249	247	242	249	246	247	247	240	243	240	238	62
107	243	239	238	240	232	241	244	244	237	238	238	239	235	58
100	221	218	220	213	191	214	214	218	213	214	215	222	222	55

0.2m×0.2m：平均 212.7 個

表 4.4-30 (b)　3D 点群データの密度

<table>
<tr><th colspan="2">手法</th><th>画像</th></tr>
<tr><td>3D レーザースキャナ</td><td>ドローン型</td><td>

0.2m×0.2m：平均 30.6 個</td></tr>
<tr><td>4K カメラ</td><td>SfM</td><td>

0.2m×0.2m：平均 704.4 個</td></tr>
</table>

表 4.4-31 (a)　3D 点群データと 4K 画像の比較（法面崩壊）

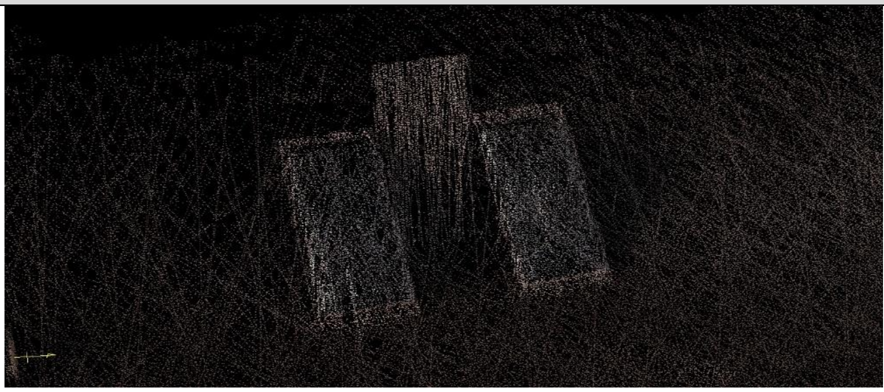
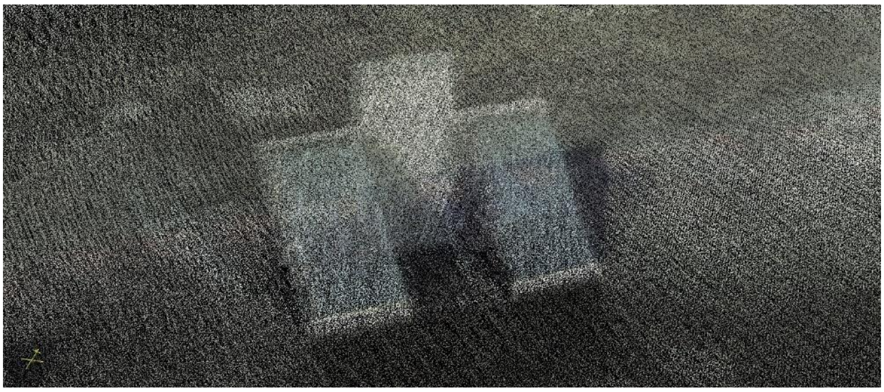
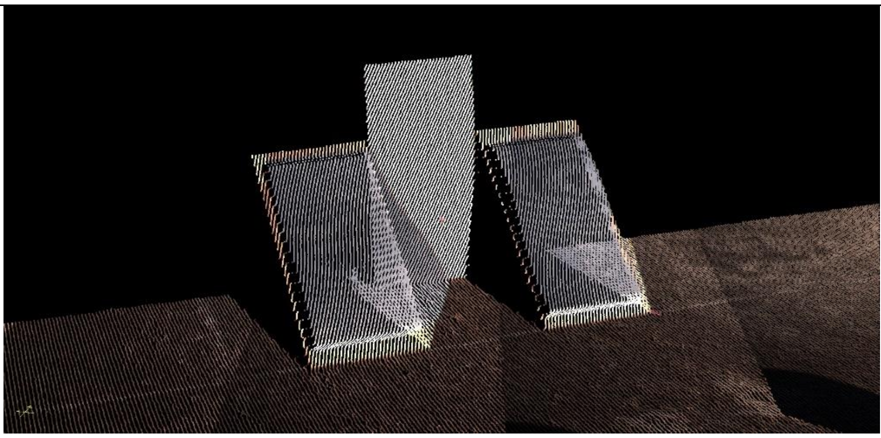
<table>
<tr><th colspan="2">手法</th><th>画像</th></tr>
<tr><td rowspan="4">3D レーザースキャナ　点群データ</td><td>手持ち型</td><td></td></tr>
<tr><td>自転車・歩行（バックパック型）</td><td></td></tr>
<tr><td>車両型</td><td></td></tr>
<tr><td>ドローン型</td><td></td></tr>
</table>

表 4.4-31 (b)　3D 点群データと 4K 画像の比較（法面崩壊）

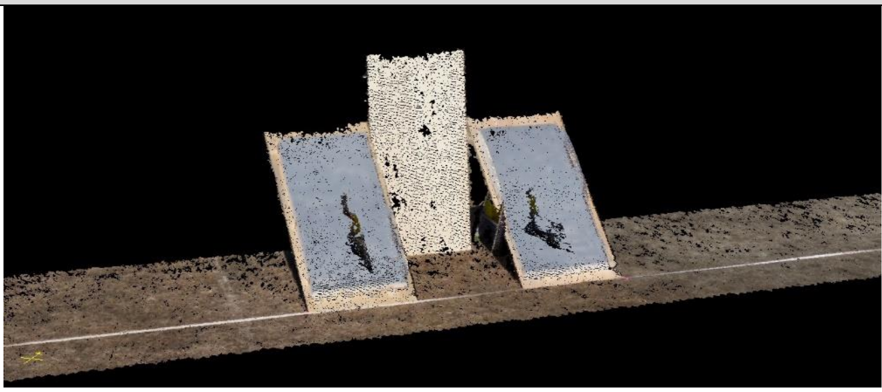
手法		画像
4K カメラ	SfM 3D 点群データ	
	4K 画像	

表 4.4-32 (a)　3D 点群データと 4K 画像の比較（電柱倒壊）

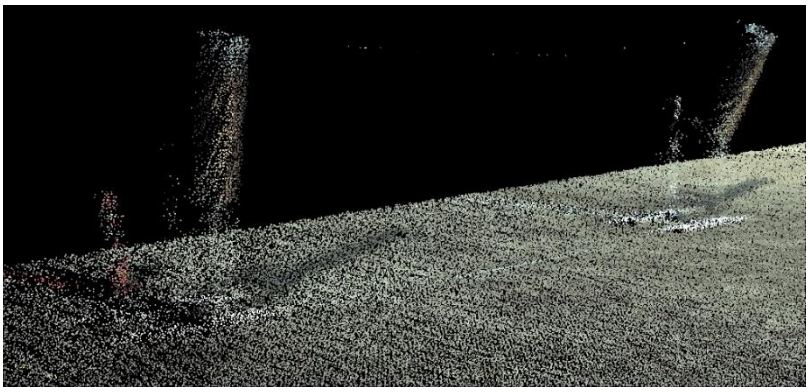
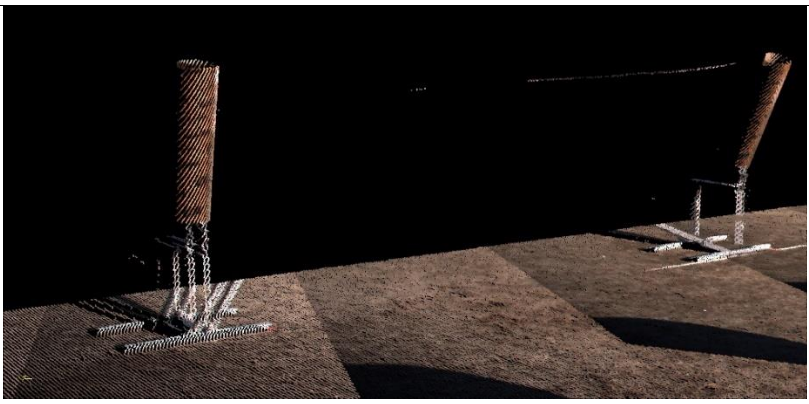
手法		画像
3D レーザースキャナ　点群データ	手持ち型	
	自転車・歩行（バックパック型）	
	車両型	
	ドローン型	

表 4.4-32 (b)　3D 点群データと 4K 画像の比較（電柱倒壊）

手法		画像
4K カメラ	SfM 3D 点群データ	
	4K 画像	

表 4.4-33 (a)　3D 点群データと 4K 画像の比較（橋脚変位）

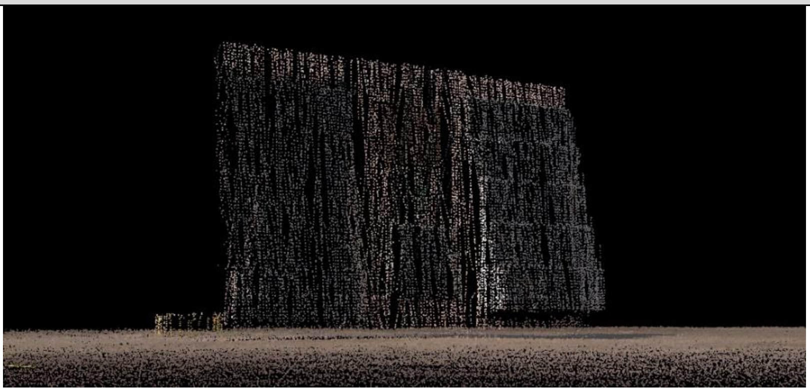
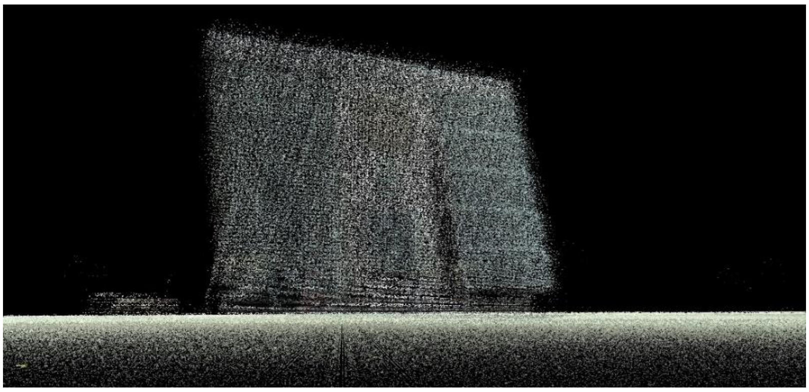
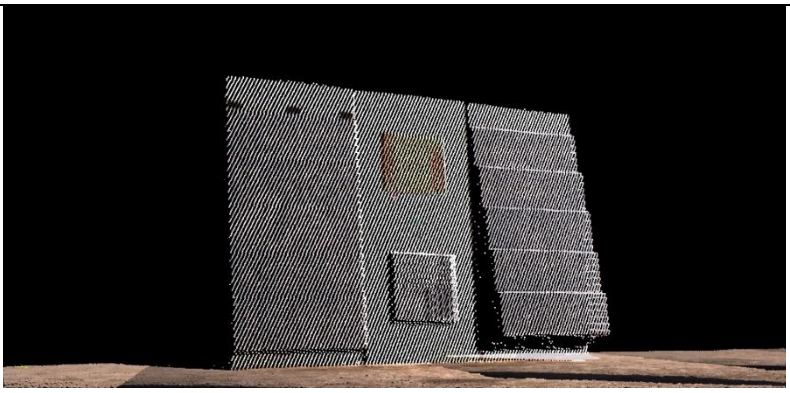
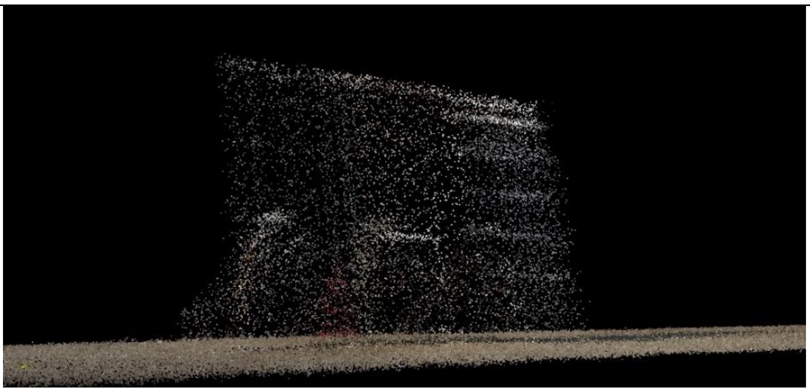
手法		画像
3D レーザースキャナ　点群データ	手持ち型	
	自転車・歩行（バックパック型）	
	車両型	
	ドローン型	

表 4.4-33 (b)　3D 点群データと 4K 画像の比較（橋脚変位）

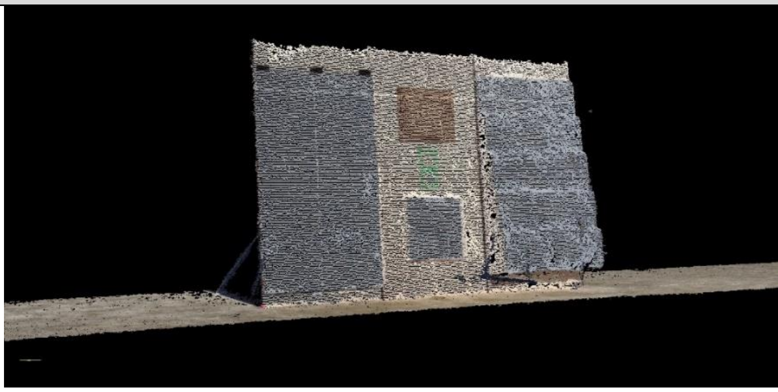
手法		画像
4K カメラ	SfM 3D 点群データ	
	4K 画像	

表 4.4-34 (a)　3D 点群データと 4K 画像の比較（ひび割れ）

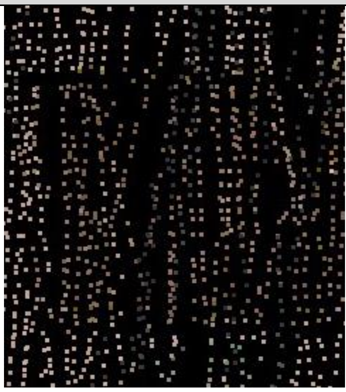
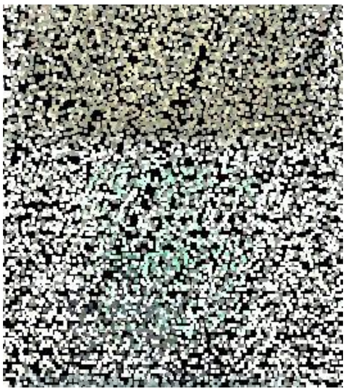
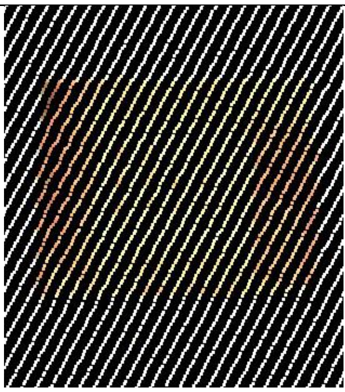
手法		画像	
3D レーザースキャナ　点群データ	手持ち型		
	自転車・歩行（バックパック型）		
	車両型		
	ドローン型		

表 4.4-34 (b)　3D 点群データと 4K 画像の比較（ひび割れ）

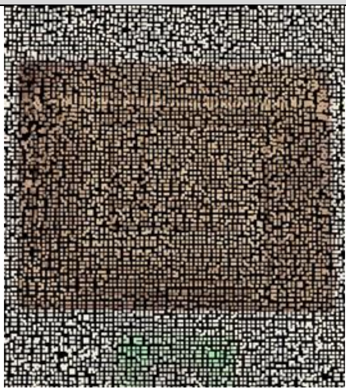
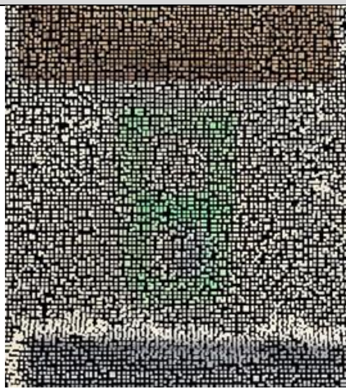
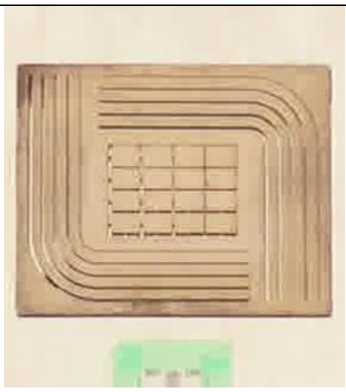
手法		画像	
4K カメラ	SfM　3D 点群データ		
	4K 画像		

表 4.4-35 (a)　3D 点群データと 4K 画像の比較（路面の陥没、変歪）

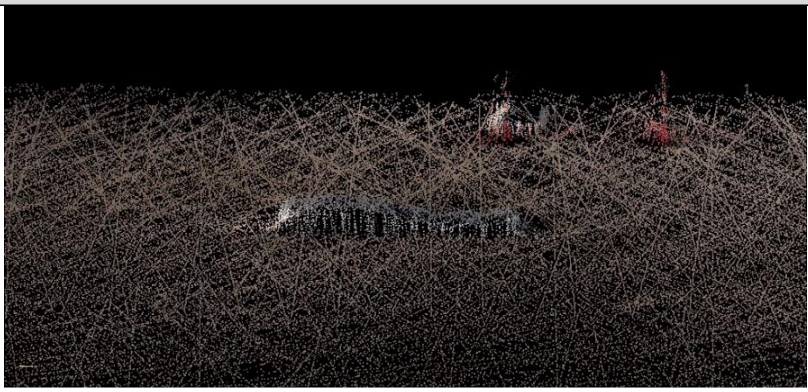
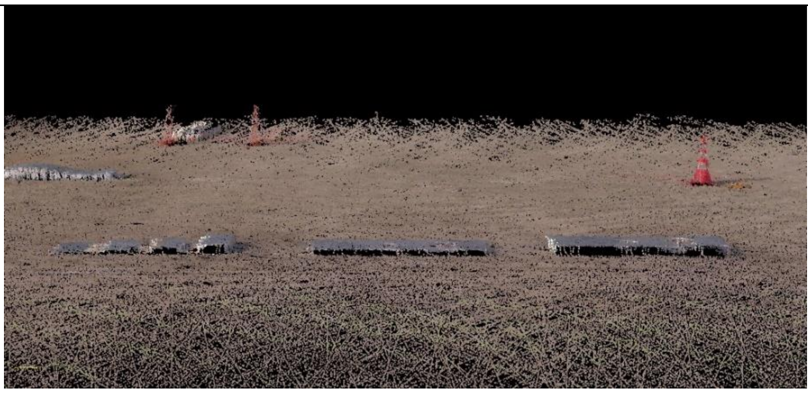
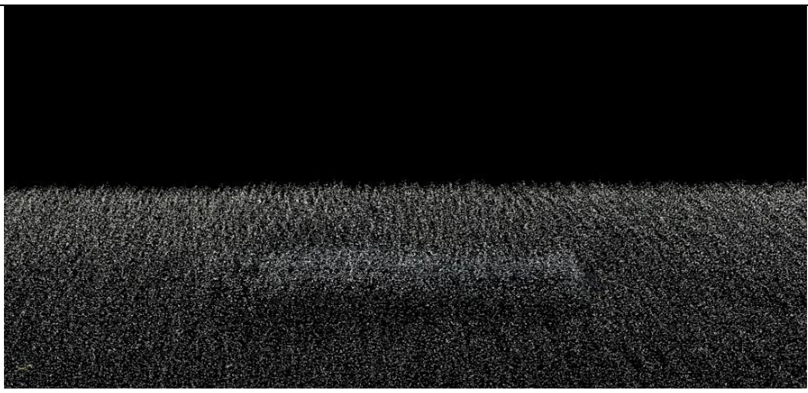
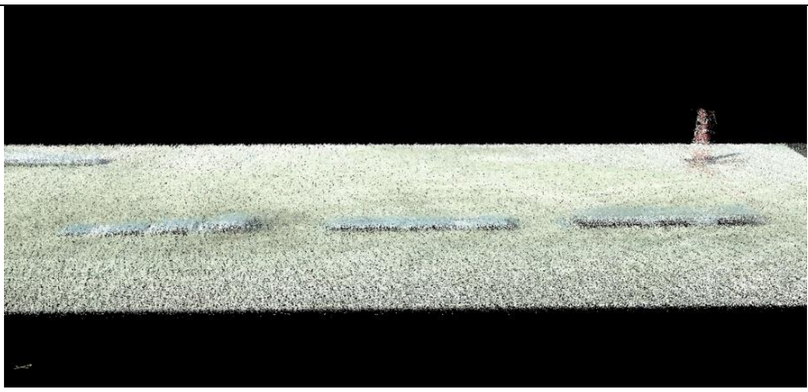
<table>
<tr><th colspan="2">手法</th><th>画像</th></tr>
<tr><td rowspan="4">3D レーザースキャナ　点群データ</td><td rowspan="2">手持ち型</td><td></td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">自転車・歩行（バックパック型）</td><td></td></tr>
<tr><td></td></tr>
</table>

表 4.4-35 (b)　3D 点群データと 4K 画像の比較（路面の陥没、変歪）

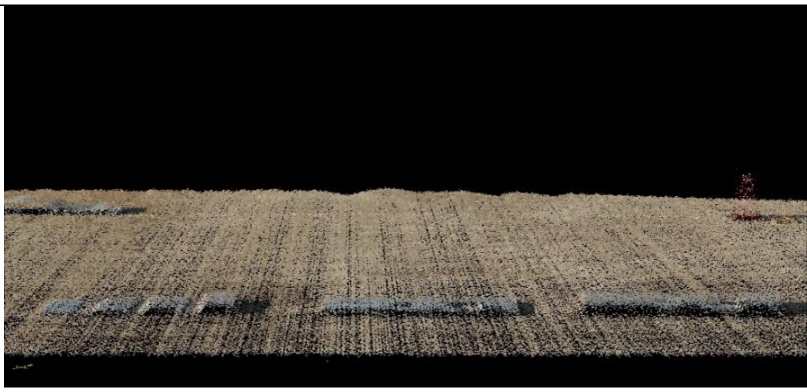
手法		画像
3D レーザースキャナ　点群データ	車両型	
		
	ドローン型	
		

表 4.4-35 (c)　3D 点群データと 4K 画像の比較（路面の陥没、変歪）

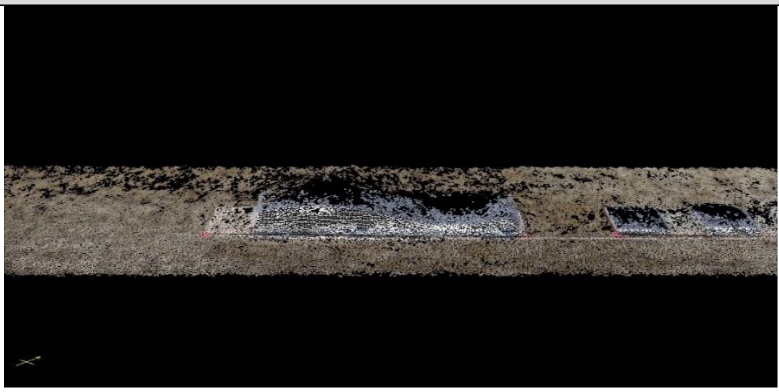
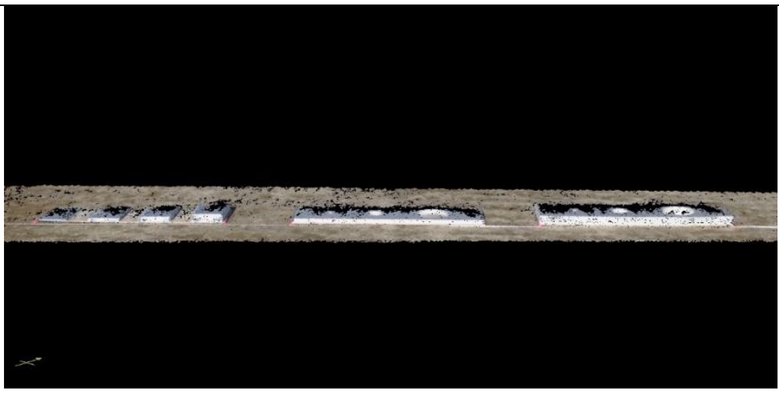
手法		画像
4K カメラ	SfM　3D 点群データ	
		
	4K 画像	
		

表 4.4-36 (a)　3D 点群データと 4K 画像の比較（盛土崩壊、土砂の流出、がれき）

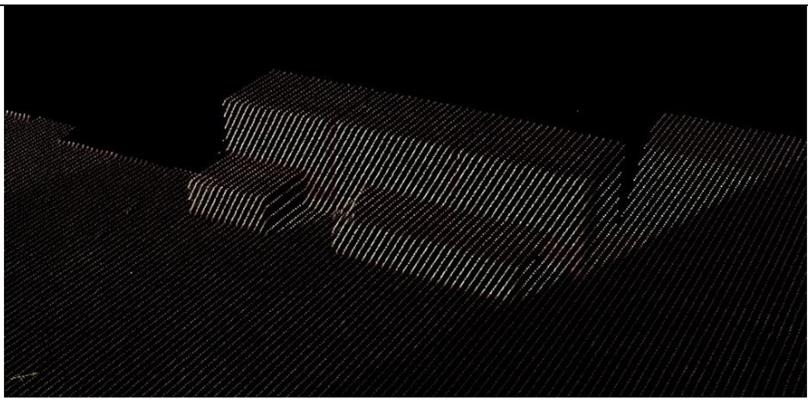
手法		画像
3D レーザースキャナ　点群データ	手持ち型	
	自転車・歩行（バックパック型）	
	車両型	
	ドローン型	

表 4.4-36 (b)　3D 点群データと 4K 画像の比較（盛土崩壊、土砂の流出、がれき）

手法		画像
4K カメラ	SfM 3D 点群データ	
	4K 画像	

［定性］道路管理者へのヒアリング

- 様々なデータや機器で現地状況を確認できるようにしておくことは、道路の速やかな啓開・復旧において有効である。
- 4K 画像は視認性が良く一次情報として良いが、3D 点群データにて土量などの数量が算出できれば必要な資機材の手配がしやすくなる。
- 実証実験で使用された機器を災害現場で活用するためには、職員が直営でするものと専門業者に委託するものを分け、定期的に合同訓練しておく必要がある。
- 道路の速やかな啓開・復旧に際して、デジタル技術でカバーできるものは可能な限り活用できるようにすることが重要。

（主な意見）

- 災害は規模や形態が多種多様であり、状況に応じて必要となる情報が異なる。そのため、現在のようなカメラによる撮影画像だけでなく、360 度カメラ画像、動画、3D 点群データなど、様々なデータで現地状況を確認できるようにしておくことは、道路の速やかな啓開・復旧において有効である。
- 上記に加えて、災害時は、車両や人が立ち入れる場所が限定される。カメラや手持ち型レーザースキャナは限定された範囲のデータを詳細に取得には有効であるが、広範囲のデータを効率的に取得するためには動画や車両型又はドローン型のレーザースキャナが有効である。そのため、取得機器も様々なものがあれば、状況に応じて使い分けることができる。
- まず初めに広範囲の状況把握が必要となるが、その後、対象範囲を絞った詳細な状況把握が必要となる。道路を速やかに啓開・復旧させるためには、両方とも必要。
- 4K 画像は視認性が良く、一次情報として良いが、長さや変位などの寸法を把握するためは目測に頼らざるを得ない。土砂崩落の場合などでは、崩落土量に応じて必要な重機やダンプを手配しなければならないため、3D 点群データにて概算でも土量などの数量が算出できれば必要な資機材の手配がしやすくなる。
- カメラであれば職員でも使えるが、レーザースキャナのような機器は使い慣れたものでなければ、緊急時に使用できない。実証実験で使用された機器を災害現場で活用するためには、職員が直営でするものと専門業者に委託するものを分け、定期的に合同訓練しておく必要がある。
- 今後、道路管理者の職員はますます減少するため、道路の速やかな啓開・復旧に際して、デジタル技術でカバーできるものは可能な限り活用できるようにすることが重要である。

④　3D 点群データによる被災前後の差分計算時間の検証

［定量］実証において差分計算に要した時間の計測

- 360°画像にて延長約 90m の被災状況確認に要した時間は約 10 分であった。
- 差分を含む VR ゴーグルにて延長 90m の被災状況確認に要した時間は約 2 時間であった。
- 実証実験から、本実証にて想定したソリューションを導入することにより、360°画像の場合 13km 程度、VR ゴーグルによる詳細データの場合 1km 程度の被災状況を、24 時間以内に遠方の事務所にて確認可能と想定された。

実証実験にて要した時間を下表に示す。

これより、延長 90m 程度の被災状況であれば、遠方の事務所にて 10 分程度で 360°画像による被災状況の確認が可能であり、2 時間程度で被災前からの差分を含む詳細な情報を得ることができた。一方増林公園のデータ取得は約 90m×道路幅想定と目標の 5 分の 1 程度の規模であったため、短時間で可能となった。

今回の実証実験から、本実証にて想定したソリューションを導入することにより、360°画像の場合 13km（=90m×24 時間÷10 分/60 分）、VR ゴーグルによる詳細データ（VR モデルで確認）の場合 1km（=90m×24 時間÷2 時間）程度の被災状況を、24 時間以内には遠隔地の事務所にて確認可能と考えられる。

表 4.4-37　実証実験にて要した時間
（越谷市：増林公園、データ取得延長約 90m）

計測データ 確認レベル	画像で被災状況の確認	画像で被災前後の比較	点群データで面積、高さ、断面を確認	点群データで災害前後の差分を確認	VR ゴーグルで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	―	―	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

・10分、30分、1時間、6時間、24時間と段階的にアウトプットできるよう、画像、位置情報や点群を個別にデータを処理すること手法を検討した。11月11日、12日にかけて増林公園(越谷市)において取得したデータを元に処理することで、想定時間内で段階的にデータがアウトプットできることを実証した。

図 4.4-25 実証実験での所要時間（災害時）

災害発生時における被災状況の迅速な見える化や災害復旧対策の迅速な立案を支援するため、個別データ解析で検討した各種のセンシングデータを用いた段階的な2時期差分解析手法を検討した。

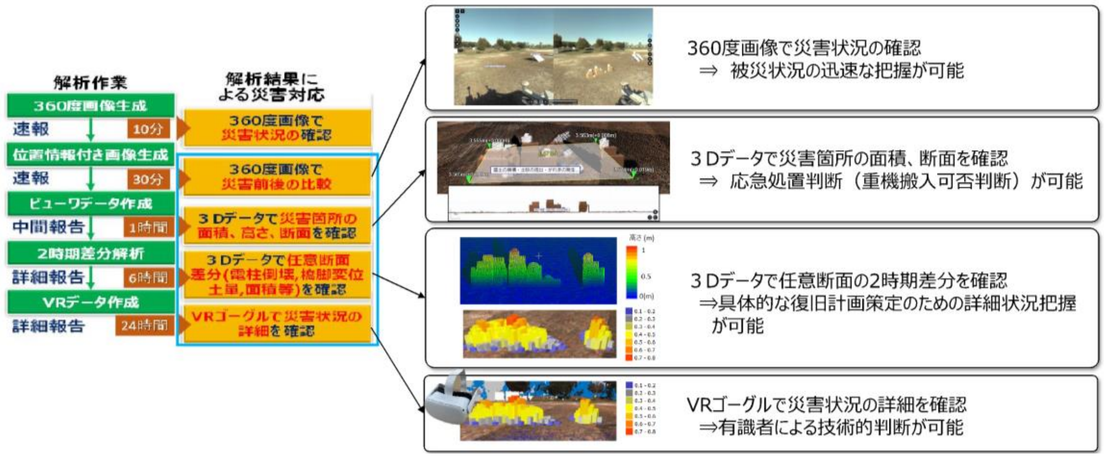


図 4.4-26 実証実験での所要時間（災害時）

図 4.4-27 VR による被災状況の確認（災害時）

［定性］道路管理者へのヒアリング

・ 本実証実験にて目標としたタイムラインは、首都直下地震道路啓開計画を踏まえて設定したものである。 ・ 被災直後の状況把握には 360° 画像は有効である。 ・ 建物の倒壊や法面の崩壊にて道路通行が妨げられている場合、範囲を限定して 3D 点群データを取得すれば早期の道路啓開・復旧に役立つ。 ・ 災害時に見たいところを素早く確実に見えるようにしておくことが重要である。 ・ 人命救助は最優先なので、必要であれば民間業者に支援してもらうことも含め、災害時のオペレーションを決めておく必要がある。

（主な意見）

・ 災害時における人の生存確率は 72 時間（3 日間）を超えると急激に低下するため、首都直下地震道路啓開計画では 48 時間以内に八方向作戦の各方向において最低 1 ルートは道路啓開を完了することを目標としている。**本実証実験にて目標としたタイムラインは、これを踏まえて設定したタイムラインである**。
・ 360° 画像でも沿道状況が概ね把握できるため、**被災直後の状況把握には 360° 画像は有効である。**
・ 建物の倒壊や法面の崩壊にて道路通行が妨げられている場合、3D 点群データにて災害規模を定量的に把握することが重要となるため、**範囲を限定して 3D 点群データを取得すれば早期の道路啓開・復旧に役立つ**。
・ 道路通行が妨げられている状況では、車両型で取得できる 3D 点群データの範囲が限られる。そのため、被災規模を把握するためにはドローン型にて上空から取得した 3D 点群データの方が有効である。
・ 3D 点群データは、必ずしも VR ゴーグルにて見る必要はない。2 次元のディスプレイでも視点を動かすことで立体的に見ることができる。**重要なことは、災害時に見たいところを素早く確実に見えるようにしておくことである**。
・ このような技術は有効と思われるが、使う側のスキルの問題がある。機器を整備しても道路管理者にこれらの機器を使うスキルがなければ役に立たない。
・ **人命救助は最優先なので、必要であれば民間業者に支援してもらうことも含め、災害時のオペレーションを決めておく**必要がある。

⑤　3D 点群データの差異の検証（レーザースキャナ／4K 画像 SfM）

［定量］レーザースキャナにて取得した点群データと 4K 画像 SfM にて生成した点群データの比較

- MMS と SfM ともに、X 方向と Z 方向の誤差は 50mm 未満に収まったが、奥行方向となる Y 方向の最大誤差は X 方向および Z 方向の 2 倍以上となった。
- MMS の方が SfM より誤差が小さいが、その差は数十 mm 程度であった。
- MMS が調達できるのであれば、MMS の方がより正確な差分計測が可能と判断される。
- 4K カメラによる撮影画像から SfM にて生成した点群データでも道路の啓開や復旧に適用可能と判断される。

ここでは、「盛土の崩壊・土砂の流出」、「法面崩壊」、「橋脚変位」、「電柱・倒木倒壊」の 4 つの災害模擬を対象に、①災害模擬した寸法（真値）、②MMS にて取得した点群データから計測した寸法（MMS）、③4K 画像から SfM にて生成した点群データから計測した寸法（SfM）を比較し、レーザースキャナにて取得した点群データと 4K 画像から SfM にて生成した点群データの差を検証した。

MMS と 4K 画像は、どちらも対象から 5m離れた位置より約 20km/h の速度にて走行する車両から計測・撮影した。方向は、走行車両の進行方向を X 軸、進行方向に対し平面直交する方向を Y 軸、比高差を Z 軸とした。

実証実績にて得られた①から③の寸法値と比較した寸法を示した点群データの画像を次頁以降に示す。

これより、①真値との誤差（◿）について、以下の結果が得られ、誤差は②MMS の方が③SfM より小さく、精度が良いが、その差は数十 mm 程度であることがわかった。

- ②MMS では全て±100mm 未満に収まっていたが、③SfM では最大-260mm の誤差
- 方向別の最大誤差は、②MMS は、X 方向が-28mm、Y 方向が-98mm、Z 方向が-13mm に対し、③SfM は、X 方向が-46mm、Y 方向が-260mm、Z 方向が-38mm であり、X 方向と Z 方向の誤差は MMS と SfM ともに 50mm 未満に収まっていたが、走行車両から奥行方向となる Y 方向の誤差は最大誤差が X 方向および Z 方向の 2 倍以上
- 点群密度は③SfM の方が②MMS より高いが、③SfM は②MMS と比べて生成される点群に斑（ムラ）があり、隅角やエッジの取得精度が低い。

以上より、MMS の方が SfM より精度の良い点群データを取得できるため、MMS が調達できるのであれば、MMS の方がより正確な差分計測が可能と判断される。ただし、その差は数十 mm（数 cm）程度であることから、MMS の調達が困難な場合は、4K カメラによる撮影画像から SfM にて生成した点群データでも道路の啓開や復旧に適用可能と判断される。

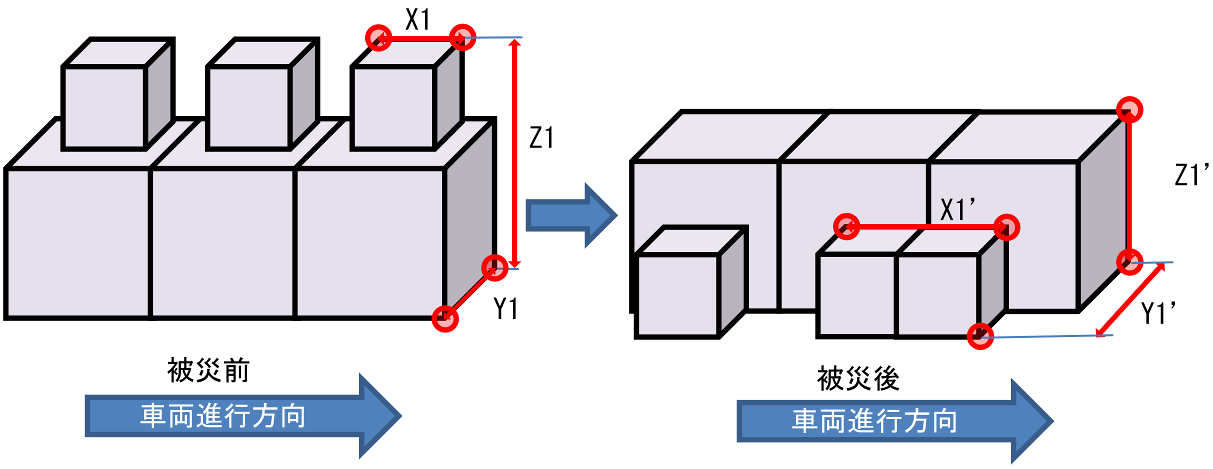
表 4.4-38　①真値、②MMS、③SfM の寸法比較

※赤字：最大誤差、青字：方向別最大誤差

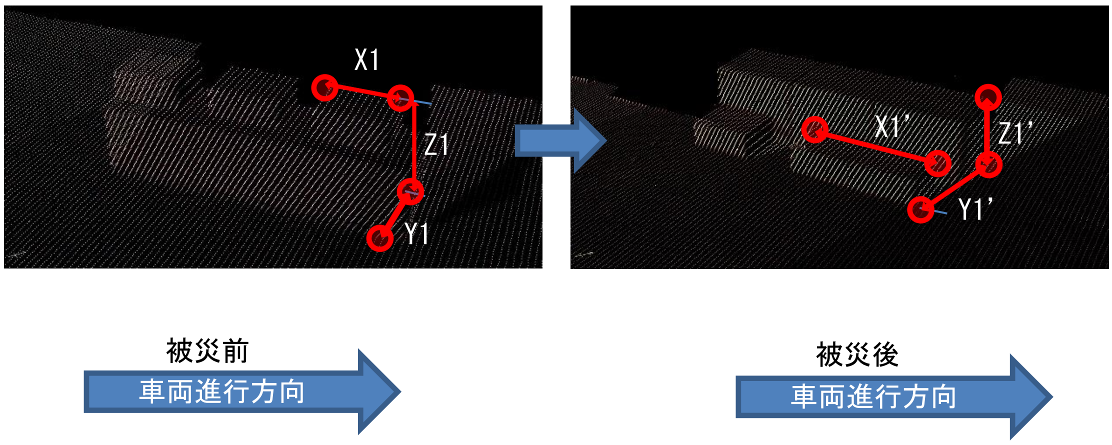
災害模擬カテゴリ			① 真値 (m)	② MMS (m)	③ SfM (m)	②−① ⊿MMS (m)	③−① ⊿SfM (m)
盛土崩壊 土砂流出	被災前	X1	0.350	0.370	0.383	-0.020	-0.033
		Y1	0.377	0.353	0.402	0.024	-0.025
		Z1	0.546	0.549	0.536	-0.003	0.010
	被災後	X1'	0.700	0.728	0.731	-0.028	-0.031
		Y1'	0.727	0.629	0.683	0.098	0.044
		Z1'	0.386	0.387	0.395	-0.001	-0.009
法面崩壊	被災前	X2	2.730	2.743	2.776	-0.013	-0.046
		Y2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Z2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	被災後	X2'	0.910	0.889	0.904	0.021	0.006
		Y2'	0.150	0.157	0.128	-0.007	0.022
		Z2'	1.500	1.513	1.538	-0.013	-0.038
橋脚変位	被災前	Y3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Y4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Y5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Y6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Y7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
		Y8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	被災後	Y3'	0.010	0.013	0.010	-0.003	0.000
		Y4'	0.030	0.029	0.160	0.001	-0.130
		Y5'	0.050	0.046	0.310	0.004	-0.260
		Y6'	0.050	0.058	0.054	-0.008	-0.004
		Y7'	0.150	0.151	0.156	-0.001	-0.006
		Y8'	0.250	0.250	0.259	0.000	-0.009
電柱倒壊 倒木倒壊	被災前(0°)	Y9	—	0.422	0.404	—	—
	被災後(5°)	Y9'	—	0.674	0.623	—	—
	被災前(0°)	Y10	—	0.428	0.407	—	—
	被災後(25°)	Y10'	—	0.942	0.924	—	—

［盛土の崩壊・土砂の流出］

【①真値】



【②MMS】



【③SfM】

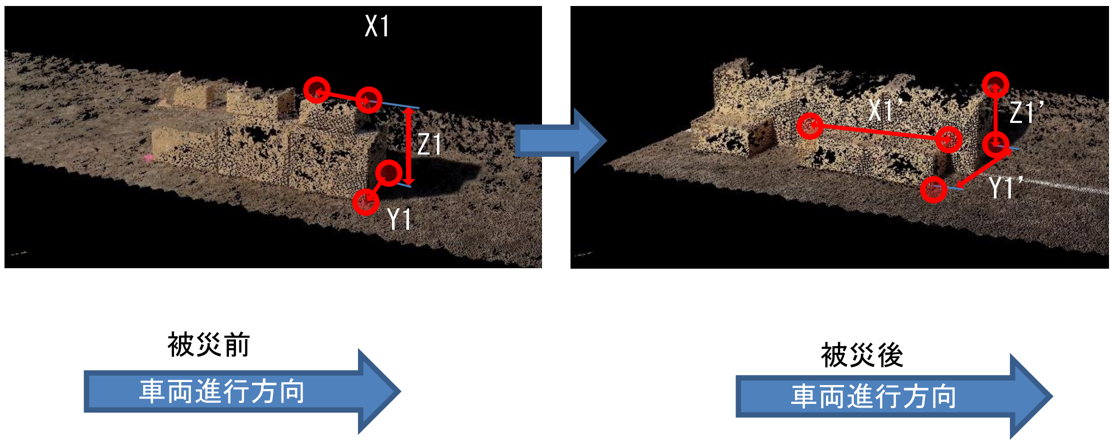
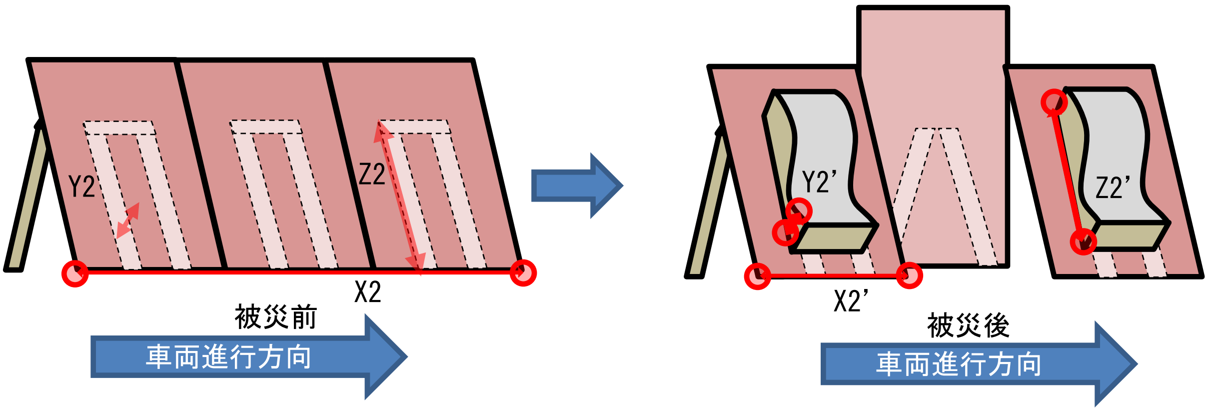


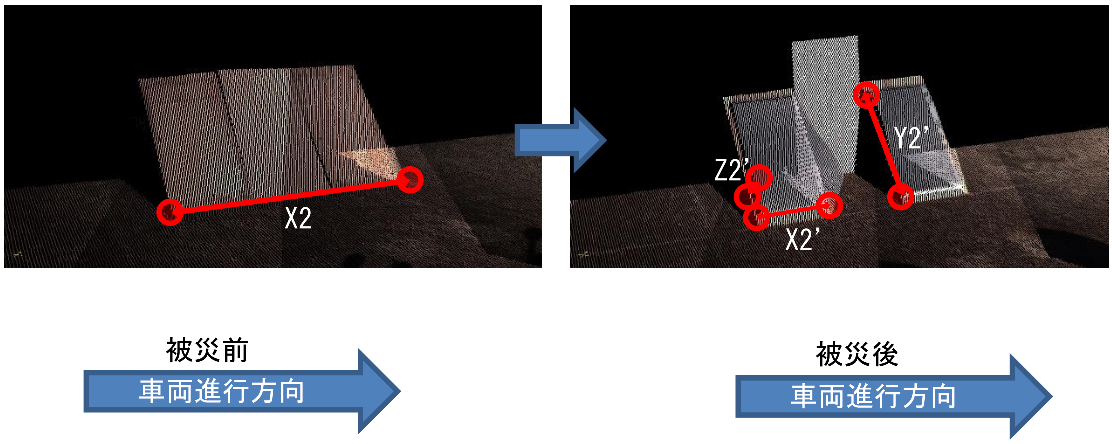
図 4.4-28　災害模擬（盛土の崩壊・土砂の流出）

［法面崩壊］

【①真値】



【②MMS】



【③SfM】

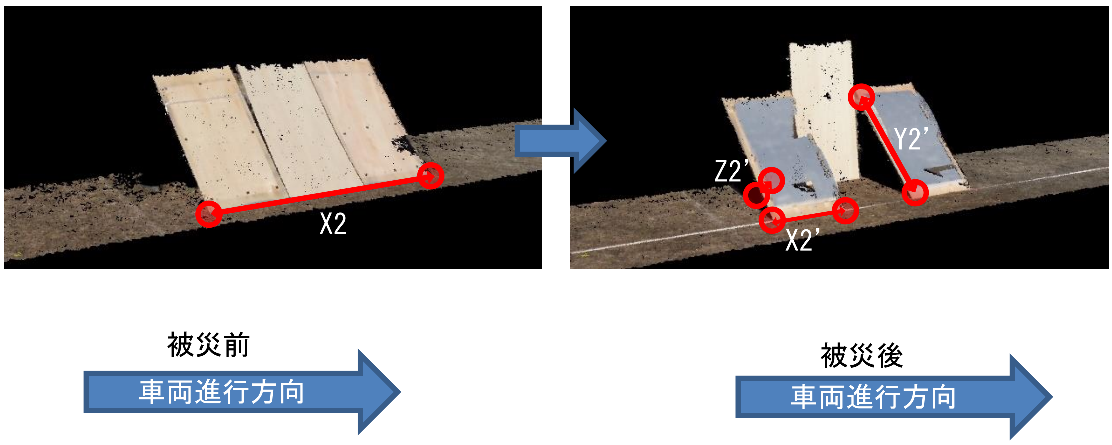
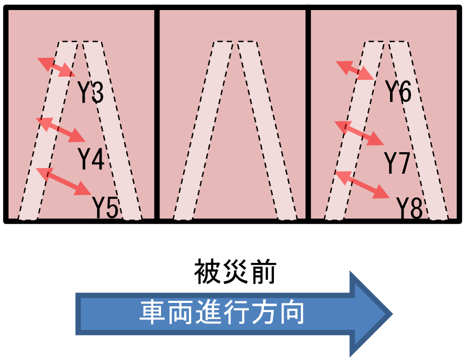
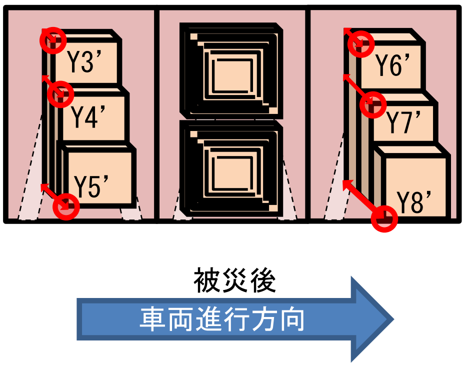


図 4.4-29　災害模擬（法面崩壊）

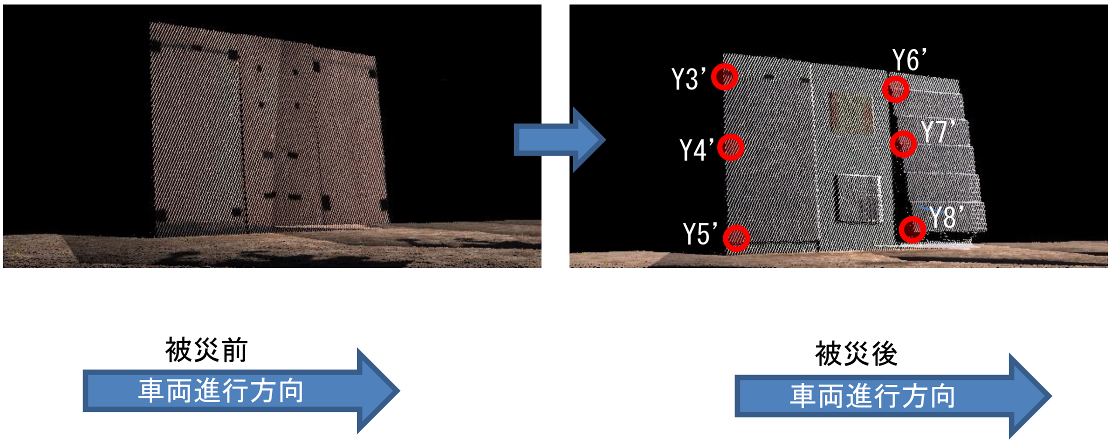
［橋脚変位］

【①真値】





【②MMS】



【③SfM】

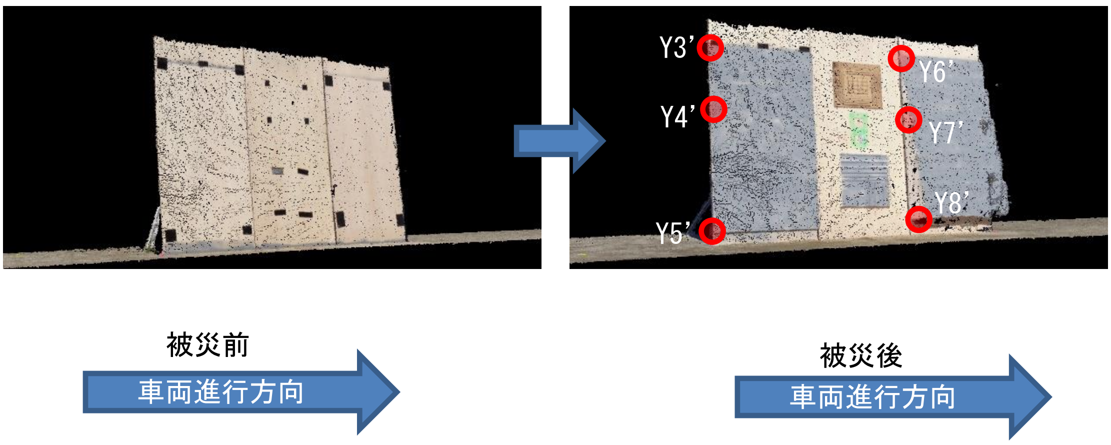
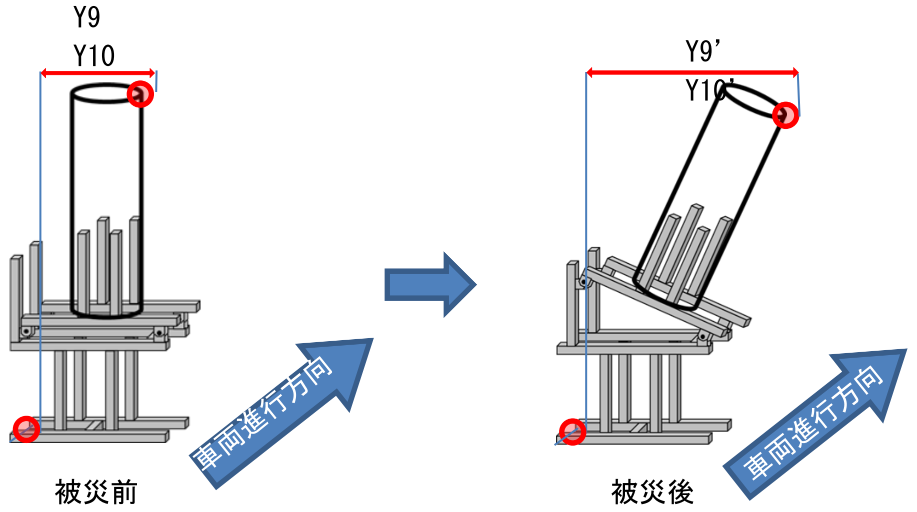


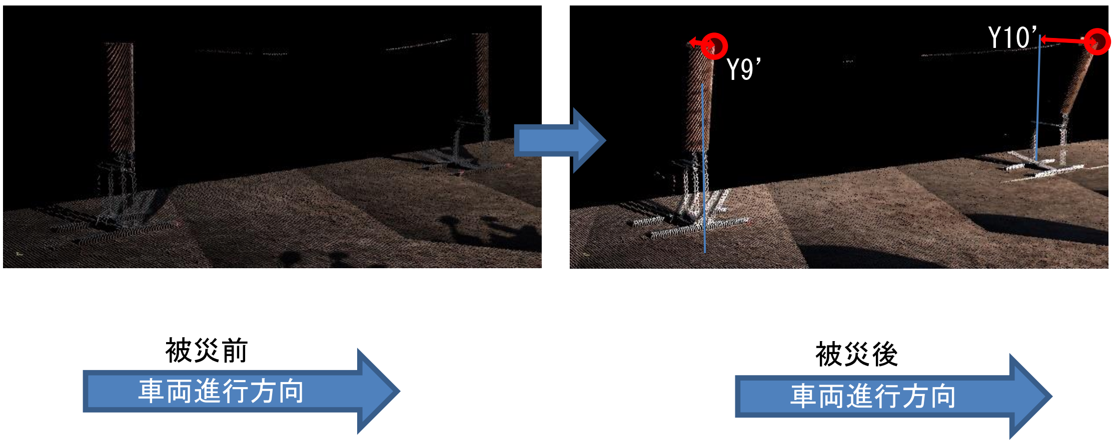
図 4.4-30　災害模擬（橋脚変位）

［電柱倒壊・倒木］

【①真値】



【②MMS】



【③SfM】

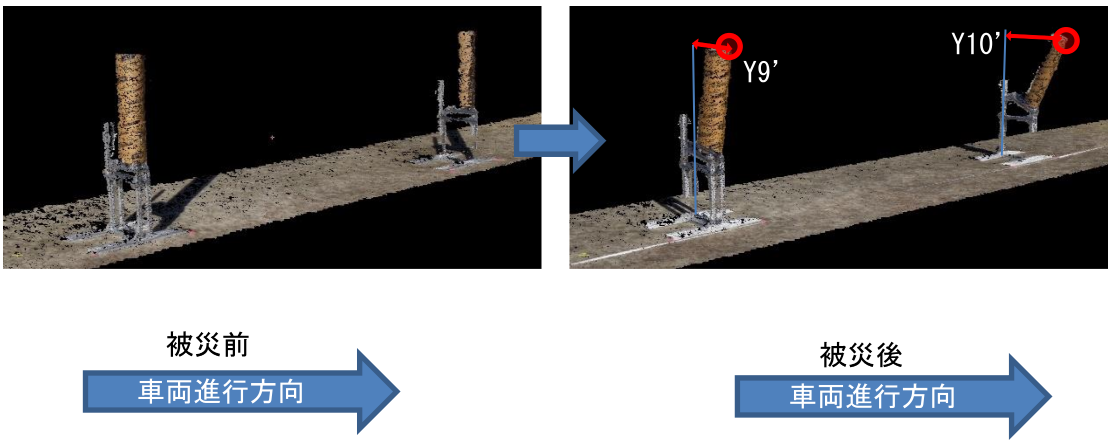


図 4.4-31　災害模擬（電柱倒壊・倒木）

［定性］道路管理者へのヒアリング

- 4K 画像は 4K カメラがあれば取得できるため、レーザースキャナと比べて導入しやすい。このため、道路巡回に合わせて 4K 画像を取得し、必要な時に SfM にて 3D 点群データを生成できれば有効である。
- SfM にて生成した 3D 点群データがレーザースキャナにて取得した 3D 点群データと比べて、どのような場合にどの程度精度が低下するのかが分かれば、状況に応じて使い分けることができる。

（主な意見）

- 4K 画像は 4K カメラがあれば取得できるため、レーザースキャナと比べて導入しやすい。
- レーザースキャナにて 3D 点群データを定期的に取得することは困難であるが、4K 画像であれば道路巡回に合わせて取得することが可能である。4K 画像を定期的に取得し、必要な時に SfM にて 3D 点群データを生成できれば有効である。
- 4K 画像は道路管理者の職員でも取得できるものの、3D 点群データを生成するためには SfM のアプリケーションを操作しなければならないため、3D 点群データの生成は業者に委託せざるを得ない。
- SfM にて生成した 3D 点群データは、レーザースキャナにて取得した 3D 点群データと比べて精度が低下するとのことであるが、無いよりか良いと思われる。どのような場合にどの程度精度が低下するのかが分かれば、状況に応じて使い分けることができると思う。

2）平常時ソリューションの運用検証（実証 B）

① AI による道路異常検出性能の検証（4K 画像）

［定性］模擬損傷による検出性能の確認

- 4K 画像を用いたとしても、損傷の大きさや向き、車両の速度等の要因から、100%の検知は現実的ではない。
- AI による異常検知を実際の道路パトロールに適用するにあたっては、多様な事象を検知できるような AI システムのさらなる拡張に加え、複数回の試行をもって判断するための継続的な実施が必要である。

実証環境において、4K カメラで撮影した映像を基に AI システムを用いて AI 検知を行った結果、実環境で発生している規模の事象であれば、ひび割れも含め、検知が出来ている状況が確認できた。

図 4.4-32　実証環境における検知状況

② データ容量と伝送時間の検証

［定量］実証フィールドにおける伝送時間の計測

- L5G スポットエリア ～ 専用線 ～ クラウドサーバ(dOIC)（区間①）および越谷市観光協会 ～ 専用線 ～ クラウドサーバ(dOIC)（区間②）の 2 つを対象に、1GB ダミーファイル転送試験を実施した。
- iperf による通信試験の平均伝送容量は区間①が上り 79.1 Mbps、下り 86.1 Mbps、区間②が上り 300.7 Mbps、下り 101.0 Mbps であった。
- 1GB ダミーファイルの FTP 転送試験で得られた上りの平均スループットは、どちらの区間も iperf による通信試験とほぼ同じ結果となった。

L5G スポットエリア ～ 専用線 ～ クラウドサーバ(dOIC))（区間①）および越谷市観光協会 ～ 専用線 ～ クラウドサーバ(dOIC))（区間②）の 2 つを対象に、1GB ダミーファイル転送試験の結果を下表に示す。

区間①では、iperf による通信試験から、ローカル 5G 基地局からクラウド環境（dOIC）への通信において、上りの平均伝送容量が 79.1 Mbps、下り通信の平均伝送容量が 86.1 Mbps であった。実際に 1GB ダミーファイルの FTP 転送試験を行ったところ、上りの平均スループット（計算値）は 74.1 Mbps であり、前者の通信試験の結果と概ね整合する結果となった。

区間②では、iperf による通信試験から、越谷市観光協会（ワークステーション）から有線接続でクラウド環境（dOIC）と通信する場合、上りの平均伝送容量が 300.7 Mbps、下り通信の平均伝送容量が 101.0 Mbps であった。1GB ダミーファイルの FTP 転送試験を行ったところ、上りの平均スループット（計算値）は 239.5 Mbps であり、iperf 試験は下回るが近い水準のスループットとなった。

表 4.4-39 iperf の伝送試験（End-End）

区間	方向	回数	伝送容量（Mbps）
①	上り	1 回目	78.9
〃	〃	2 回目	79.5
〃	〃	3 回目	79.0
〃	〃	**平均**	**79.1**
〃	下り	1 回目	94.2
〃	〃	2 回目	80.9
〃	〃	3 回目	83.3
〃	〃	**平均**	**86.1**
②	上り	1 回目	258.0
〃	〃	2 回目	336.0
〃	〃	3 回目	308.0
〃	〃	**平均**	**300.7**
〃	下り	1 回目	99.1
〃	〃	2 回目	102.0
〃	〃	3 回目	102.0
〃	〃	**平均**	**101.0**

表 4.4-40　1GB ダミーファイルの伝送時間（データアップロード：End-End）

区間	回数	アップロード時間（sec）	想定のスループット（Mbps）
①	1 回目	105.0	75.2
〃	2 回目	106.0	75.2
〃	3 回目	111.0	72.0
〃	**平均**	**107.3**	**74.1**
②	1 回目	35.0	228.0
〃	2 回目	36.0	221.6
〃	3 回目	29.0	268.8
〃	**平均**	**33.3**	**239.5**

［定量］必要なスポットエリア置局密度の推定

- **ローカル 5G スポットエリアの置局密度は、一般国道（指定区間）が 5km 毎、一般国道（指定区間外）と主要地方道が 10km 毎と推定した。**
- **全国のローカル 5G スポットエリアの置局数は、一般国道（指定区間）が約 53 百箇所、一般国道（指定区間外）が約 39 百箇所、主要地方道が約 63 百箇所と推定した。**

道路統計年報 2021 に示されている道路種別ごとの道路延長を下表に示す。道路パトロールが必要となる道路は通過交通の多い道路であるため、ここでは、一般国道（指定区間と指定区間外）と主要地方道（主要市道含む）を対象に、前項 4.2(3)の表 4.2-6 にて設定したタイムラインにて設定したローカル 5G スポットエリアまでの目標移動時間（国道（指定区間）: 10 分、国道（指定区間外）および主要地方道：20 分）から、平常時の道路パトロールに活用するためのローカル 5G スポットエリアの置局密度（置局数）を推定した。

その結果、平均走行速度を時速 30km と仮定すると、ローカル 5G スポットエリアの置局密度は、一般国道（指定区間）が 5km 毎、一般国道（指定区間外）と主要地方道が 10km 毎となり、全国のローカル 5G スポットエリアの置局数は、一般国道（指定区間）が約 53 百箇所、一般国道（指定区間外）が約 39 百箇所、主要地方道が約 63 百箇所となった。

表 4.4-41　一般道路の実延長

道路種別			実延長（km）
一般道路			1,281,793.6
	国道	指定区間	26,677.8
		指定区間外	39,445.7
	地方道	主要地方道　含主要市道	62,816.8

出典：道路統計年報 2021　表 2　　道路現況総括表

表 4.4-42　ローカル 5G スポットエリア置局密度（置局数）の推定条件（平常時）

項目	条件
ローカル 5G スポットエリアまでの移動時間（目標）	―
国道（指定区間）	10 分（1/6 時間）
国道（指定区間外）・主要地方道	20 分（1/3 時間）
車両の平均走行速度	30km/時間
ローカル 5G スポットエリアまでの移動距離（目標）（置局密度）	―
国道（指定区間）	5km 毎
国道（指定区間外）・主要地方道	10km 毎

表 4.4-43　ローカル 5G スポットエリア置局密度（置局数）の推定（平常時）

項目	置局数
国道（指定区間）：約 26,678km÷5km	約 5,336 箇所
国道（指定区間外）：約 39,446km÷10km	約 3,945 箇所
主要地方道：約 62,817km÷10km	約 6,282 箇所

※点検者を AI に代行させる場合

③　道路パトロールへの AI と自動運転の適用性評価

［定量］3 ケースに対する適用性評価

- **道路パトロールの完全無人化は運行の安全性、異常の検知精度、経済性の点から早期の適用は困難である。**
- **2 人体制の道路パトロールを 1 人削減して 1 人体制にすると、非常時対応が可能となるため適用可能性が高い。**
- **点検者と比べると AI は道路の異常検知能力が低いため、道路パトロールを 1 人体制で行うためには、点検者より運転者を削減する方が適用可能性が高い。**
- **ただし、自動運転＋点検員にて道路パトロールをする場合、必要に応じて点検員が連絡や措置できるため、ローカル 5G を整備する必要性が低くなる。**

本実証では、現在、点検者と運転者の 2 名体制で実施している道路パトロールを、AI と自動運転車両に代行させることにより、無人化するソリューションを想定している。本実証では道路パトロールの無人化を目指しているものの、AI と自動運転車両のどちらか 1 つを導入するたけでも、2 名体制の道路パトロールが 1 名で実施できるため、従事者を減らす効果が期待できる。

ここでは、以下に示す 3 つのケースを対象に、道路パトロールへの効果と課題を整理し、適用性を評価した。

＜AI と自動運転車両の道路パトロールへの適用性評価ケース＞

a)　点検者を AI に代行させ、運転者 1 名にて道路パトロールするケース（ケース a）

b)　巡回車両を自動運転させ、点検者 1 名にて道路パトロールするケース（ケース b）

c)　AI と自動運転車両にて道路パトロールを無人化するケース（ケース c）

表 4.4-44　効果、課題、適用性の整理（ケース a）

効果	・ 道路パトロールの要員を 1 名削減できる。 ・ 運転者が 1 名乗車しているため、事故等の緊急対応は可能である。 ・ 道路の状況を定期的にデジタルデータとして記録・蓄積できる。
課題	・ AI にて検知できる道路異常の種類と程度が限られる。 ・ ローカル 5G スポットエリアが整備されなければ、道路異常の検知と措置が遅れる可能性がある。
適用性	・ 本実証に用いた AI に道路パトロールの点検者を代行させることは困難。 ・ 道路パトロールの点検者を AI に代行させるためには、点検者が検知する道路異がすべて検知できなければ適用できない。

表 4.4-45　効果、課題、適用性の整理（ケース b）

効果	・ 道路パトロールの要員を 1 名削減できる。 ・ 点検者が 1 名乗車しているため、現在と同じ応急措置ができる。 ・ 点検者が道路異常を確認するため、現在の検知能力を維持できる。
課題	・ 自動運転を導入しなければならない。 ・ 安全性を含めたコンセンサス（合意形成）が必要。 ・ 車両が高価でコストがかかる。 ・ 道路の異常を発見した場合、点検者が必要な連絡や措置がおこなえるため、ローカル 5G を整備する必要性がほどんとない。
適用性	・ 巡回ルートを設定すれば、比較的自動運転を適用しやすい。 ・ 自動運転が機能しなくなっても、点検者が手動で運転できる。

表 4.4-46　効果、課題、適用性の整理（ケース c）

効果	・ 道路パトロールの要員を 0 名（無人）にできる。 ・ 道路の状況を定期的にデジタルデータとして記録・蓄積できる。
課題	・ AI にて検知できる道路異常の種類と程度が限られる。 ・ 人が乗車しないため、自動運転できなくなると路上に車両が放置される。 ・ 自動運転車両やローカル 5G スポットエリアの整備にコストがかかる。
適用性	・ 道路パトロールの完全無人化は運行の安全性、異常の検知精度、経済性の点から早期の適用は困難。

［定性］道路管理者へのヒアリング

- **実証実験に用いた AI システムは、道路管理者より「検知結果のバウンディングボックスがずれている」、「軽微な対象を多く検出している」との指摘を受けた。**
- **現時点では実証実験に用いた AI システムを道路パトロールに適用し、点検者を代行させることは困難と判断される。**

（主な意見）

- 実証フィールドで検知された路面異常には、確かに補修が必要なものも含まれる。
- 検知結果のバウンディングボックスがずれていることや、軽微な対象を多く検出していることなど、改善すべき点がある。
- 現時点では実証実験に用いた AI システムを道路パトロールに適用し、点検者を代行させることは困難である。

④　道路パトロールへの路線バス等の適用性評価

［定性］道路管理者へのヒアリング

・　**苦情対応で現地に行くのに合わせて道路パトロールをしているのが実態であり、定められたルートを定期的に巡回するような道路パトロールはできていない。**
・　**路線バスやごみ収集車等が道路パトロールを代行してくれればありがたい。**

（主な意見）

- 市に道路パトロール班があるものの、道路パトロールだけをしている訳ではなく、市民からの苦情対応などもおこなっている。そのため、**苦情対応で現地に行くのに合わせて道路パトロールをしているのが実態であり、定められたルートを定期的に巡回するような道路パトロールはできていない**。
- 道路異常の発見は市民からの通報が大半である。
- 市民からの通報に SNS を活用している自治体もあるが、市の道路に関係しない通報も多く、必ずしも効率化につながっていない。
- 道路パトロールが必要な路線は交通量の多い幹線道路であり、多くは路線バスやごみ収集車等の公共車両が定期的に走行するため、**これらの車両が道路パトロールを代行してくれればありがたい**。
- 職員が少なくなっている一方、対応しなければならない業務は増えている。

表 4.4-47　道路パトロールに路線バス等を適用した場合の効果、課題、適用性

効果	・　道路パトロールの巡回ルートや頻度を削減できる。 ・　道路の状況を定期的にデジタルデータとして記録・蓄積できる。
課題	・　カメラを設置する車両を保有する事業者の合意が必要。 ・　ローカル 5G 等を通じて、車載カメラにて撮影した画像データを道路管理者に渡さなければならない。
適用性	・　車内にカメラを設置するだけであれば、事業者の合意が比較的得やすいと想定される。

⑤　ローカル 5G スポットエリアの活用可能性評価

［定性］道路管理者へのヒアリング

・　**点検者と同等の判断ができなければ、AI を道路パトロールに適用することは困難。**
・　**2 名体制の道路パトロールを無人化できなくても、1 名でできるようになればかなりの効率化になる。**
・　**一般国道にローカル 5G スポットエリアを構築し、情報の送受信ができれば交通管制に有効である。**

（主な意見）－　道路パトロールへのローカル 5G スポットエリアの活用　－

- 道路パトロールはひび割れやポットホールなど路面の異常だけを見ている訳ではなく、落下物や飛散物、冠水なども含め、道路を車両が安全に通行できる状態か否かを確認している。そのため、少なくとも**点検者と同等の判断ができなければ、AI を道路パトロ**

ールに適用することは困難である。

- 道路パトロールは道路の安全を確保することが目的であり、道路の異常検知が目的ではない、道路パトロールにて落下物などの道路異常を確認した場合は、道路パトロールを中断し、落下物が撤去できる場合は撤去し、撤去できない場合はカラーコーンを設置するなどの方法によって、事故を未然に防ぐ措置を施さなければならない。
- パトロール車両の運転者は安全運転に徹する必要があるため、現在では運転者と点検者の2名体制にて道路パトロールしている。**2名体制の道路パトロールを無人化できなくでも、1名でできるようになればかなりの効率化になる**。

（主な意見）－　道路交通へのローカル5Gスポットエリアの活用について　－

- 道路では、車両を円滑に通行させるため、交通量や走行速度など様々な情報を収集している。また最近では、高速道路を中心にETC2.0によるICTスポットを通じて道路交通情報を走行車両に提供しており、円滑な道路交通に貢献している。一般国道においても道路交通の円滑化は重要であり、**一般国道にローカル5Gスポットエリアを構築し、情報の送受信ができれば交通管制に有効である**。
- 国道上にローカル5Gスポットエリアが構築されれば、道路管理や交通管制以外も含め、様々な目的に活用できる。

表 4.4-48　ローカル5Gの活用効果、課題、適用性

効果	・道路パトロールだけでなく、走行車両のプローブデータなどの様々なデータを送受信できる。 ・交通の要衝となっており、交通量が多い直轄国道は、複数の主体の利用に資することができる。 ・道路パトロールなどのアナログ情報をデジタルデータとして記録・蓄積することにより、道路管理や交通管理の効率化に必要な調査や分析（データマイニング）がおこなえる。
課題	・ローカル5Gスポットエリアの整備にコストがかかる。 ・道路にローカル5Gスポットエリアを構築するための制度や手続きを整備する必要がある。
適用性	・道路パトロールの効率化のためだけにローカル5Gスポットエリアを整備することは効率的ではない。 ・直轄国道の場合、通常の電柱からの引き込みのほか、地下に埋設されている専用光回線の使用も活用案として期待できる。 ・プローブデータの収集や利用者への情報提供など、道路パトロール以外へも活用すればローカル5Gスポットエリアの適用効果は高くなる。

4.4.2 ローカル５Ｇを用いたソリューションの実装性に関する検証

4.4.2.1 ローカル５Ｇ活用モデルの構築・検証

本項では、本実証にて想定した道路の災害時と平常時におけるローカル 5G 活用ソリューションを、持続的に導入・利用するためのローカル 5G 活用モデルの構築の検証として、4.4.1 に示した実証結果の考察を踏まえて、下記内容を整理した。

［ローカル 5G 活用ソリューション］
1) 「災害時：被災状況確認の迅速化の実証」（実証 A）
2) 「平常時：道路管理・運営の効率化の実証」（実証 B）

［整理項目］
(1) 想定される具体的な主体およびターゲット（地域・市場・ユーザ等）
(2) 対象となるシステム（普及に資するソリューションやビジネスモデル等のパッケージ）
(3) 詳細の前提条件（実証地域やユーザ等の固有な要因や実証環境との関係等）
(4) 標準モデル（機能要件・非機能要件、ネットワークシステム構成、業務・処理フロー、運用ノウハウ、実装方法・手順）
(5) 体制・事業スキームのモデル（免許人・ネットワーク・システム構築・運用等の役割分担の在り方含む）
(6) 導入効果（ターゲットの特長を踏まえ課題解決等に資する導入効果および有用性等）
(7) 課題と対応策（技術面・運用面、対応策、運用に必要なノウハウ等）

(1) 想定される具体的な主体およびターゲット（地域・市場・ユーザ等）

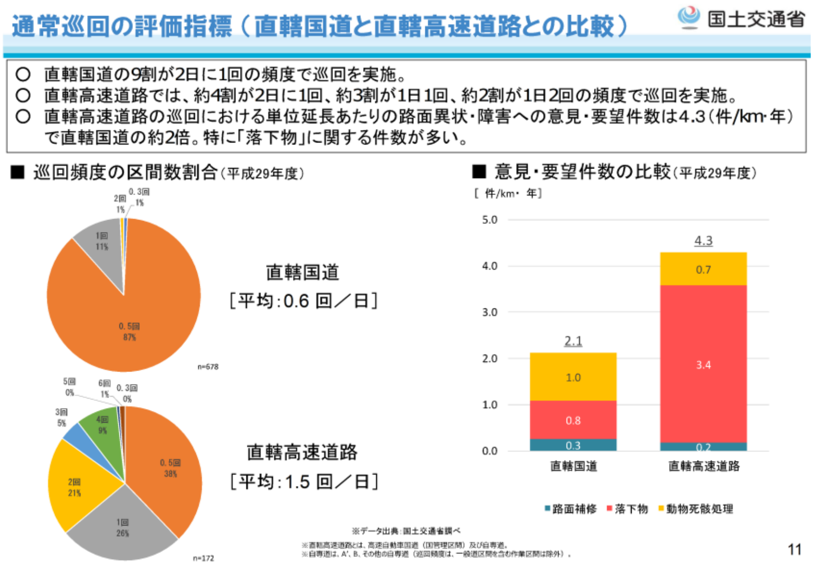
1) 災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

- 4.4.1.3 (3) 1)の運用検証の考察に示す通り、災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）のターゲットは、道路管理者と地方公共団体等が整備する「広域的又は地域の防災拠点機能を持つ道の駅」（約 500 駅）とする。
  ※平常時でも活用は可能

2) 平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

- 4.4.1.3 (3) 2)の運用検証の考察では、一般国道及び主要地方道の全域で本ソリューションを導入する場合のローカル 5G スポットエリアの置局数を、一般国道（指定区間）が約 53 百箇所、一般国道（指定区間外）が約 39 百箇所、主要地方道が約 63 百箇所と推定した。
- 一方、実装を考えた場合は、上記のような網羅的な展開はコストの観点で困難であり、より導入効果が高い、つまり道路パトロールのニーズが高い道路から段階的に導入していくことが現実的である。
- そこで、平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）のターゲットは、交通量が多く、1 日～3 日の頻度で定期的に道路パトロールしている「直轄国道」を第一優先とする。
  ※災害時でも活用は可能

下図に示すとおり、直轄国道では、1～3 日に 1 回程度の頻度で巡回が行われており、道路のパトロールへのニーズが特に高いと考えられる。



出典：第 6 回（令和元年度第 1 回）国道（国管理）の維持管理等に関する検討会 資料 4

図 4.4-33 直轄国道と直轄高速道路における道路パトロールの頻度と意見・要望

（2） 対象となるシステム（普及に資するソリューションやビジネスモデル等のパッケージ）

1) 災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

・ 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）では、被災地にて取得したデータを、最寄りのローカル 5G スポットエリアを通じて光回線に乗せることにより、遠方の事務所でも被災地の状況を迅速かつ詳細に把握できるシステムを対象とする。

2) 平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

・ 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）では、道路パトロールの車載カメラにて取得した画像データや走行車両が計測するプローブデータ等のデータを、道路上のローカル 5G スポットエリアを通じて直轄国道の専用光回線に乗せ、国道事務所等に伝送することにより、道路と交通の効率化に関するデータを収集するとともに、道路の円滑な通行に有益な情報を利用者に迅速に伝えるシステムを対象とする。

（3） 詳細の前提条件（実証地域やユーザ等の固有な要因や実証環境との関係等）

1) 災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）は、被災地にて取得した 3D 点群データや高精細 4K・8K 画像などの大容量のデータを遠方に伝送することを目的としているため、本実証に用いたローカル 5G＋光回線と同等以上の通信容量が確保されている路線や地域に適用することを前提とする。
- なお、本実証の対象としたソリューションは、道路の種類（高速自動車国道、一般国道、都道府県道、市町村道）や環境（交通量、気象）に依存しないことから、上記の前提を満たす場合は、災害時のローカル 5G 活用モデルを適用できるものとする。

2) 平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）は、道路上に構築したローカル 5G スポットエリアを通じて、車載カメラにて撮影した画像やプローブデータなどのデータを伝送するとともに、利用者に有益な情報を配信することを目的としているため、これらのデータ通信が有効に機能する交通量の多い路線や地域に適用することを前提とする。
- なお、本実証の対象としたソリューションは、道路の種類（高速自動車国道、一般国道、都道府県道、市町村道）や環境（交通量、気象）に依存しないことから、上記の前提を満たす場合は、災害時のローカル 5G 活用モデルを適用できるものとする。

（4） 標準モデル（機能要件・非機能要件、ネットワーク・システム構成、業務・処理フロー運用ノウハウ、実装方法・手順）

1) 災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）は、本実証に用いたローカル 5G＋光回線と同等以上の通信容量が確保されていることを機能要件とする。
- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）では、ローカル 5G＋直轄国道の専用光回線を通信ネットワーク・システムと想定する。
- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）では、ローカル 5G＋直轄国道の専用光回線を通じて大容量のデータが通信できるものの、道路の啓開・復旧を判断するためにデータの加工が必要となる場合は、データを加工する民間業者とのデータ通信についても留意する。
- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）の実装は、「広域的又は地域の防災拠点機能を持つ道の駅」（約 500 駅）をターゲットとする。

2) 平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）は、本実証に用いたローカル 5G＋光回線と同等以上の通信容量が確保されていることを機能要件とする。
- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）では、ローカル 5G＋直轄国道の専用光回線を通信ネットワーク・システムと想定する。
- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）では、ローカル 5G＋直轄国道の専用光回線を通じて、道路パトロールを含む様々なデータを送受信することを想定する。
- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）の実装は、データ通信が有効に機能する交通量の多い路線・地域から順次実装する。

（5）体制・事業スキームのモデル（免許人・ネットワーク・システム構築・運用等の役割分担の在り方含む）

1)　災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）の免許人は、道路管理者又は道路管理者から委託された者とする。
- 迅速性をもっとも重視し、既存の枠組みである災害協定に基づいた民間企業による運用を想定する。ここで、運用主体として災害協定のもとで道路管理者への情報提供や環境提供をするフロントは、建設コンサルタントや測量会社を想定している。
- 災害時は即日の構築・電波発射を必要とするため、通常の免許申請手順では運用することができない。そこで、災害時における免許申請は「一定の設計仕様であれば事後の届け出として運用できる整理」が必要と考える。これにより、被災時にも迅速なローカル 5G エリアの構築・運用が可能となり、用途の拡大および有用性の向上を実現できる。
- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）では、被災地にて取得した大容量データをローカル 5G＋光回線を通じて国土交通省や地方公共団体内で共有する。
- 基地局設備（資産）を保有する主体については、事前の協議に基づいて決定するが、地方公共団体が独自に機能要件を満足する通信インフラを整備･運用することを妨げない。

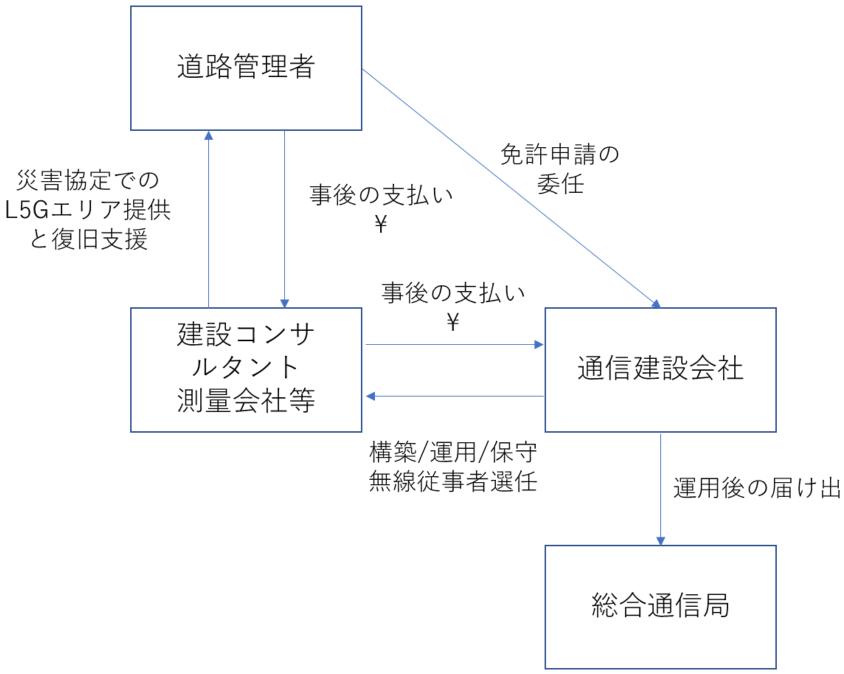


図 4.4-34　災害時のローカル５G システムの運用スキーム案

2)　平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）の免許人は、道路管理者又は道路管理者から委託された者とする。
- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）では、道路管理や交通管制に有益なデータを、ローカル 5G スポットエリアを通じて道路管理者が取得し、必要に応じて他の道路管理者と情報を共有する。
- 発生時期が予見できない災害時と異なり、平常時は定常的な取り組みであることから、免許申請の認可や契約締結を、実施の事前段階で行うことを必須要件とする。
- また、定常的な取り組みであることから、サブスクリプション型の実装を取り入れるなど、予算に応じた弾力的な運用が可能となる。
- 地方公共団体が独自にローカル 5G スポットエリアを整備･運用することを妨げない。

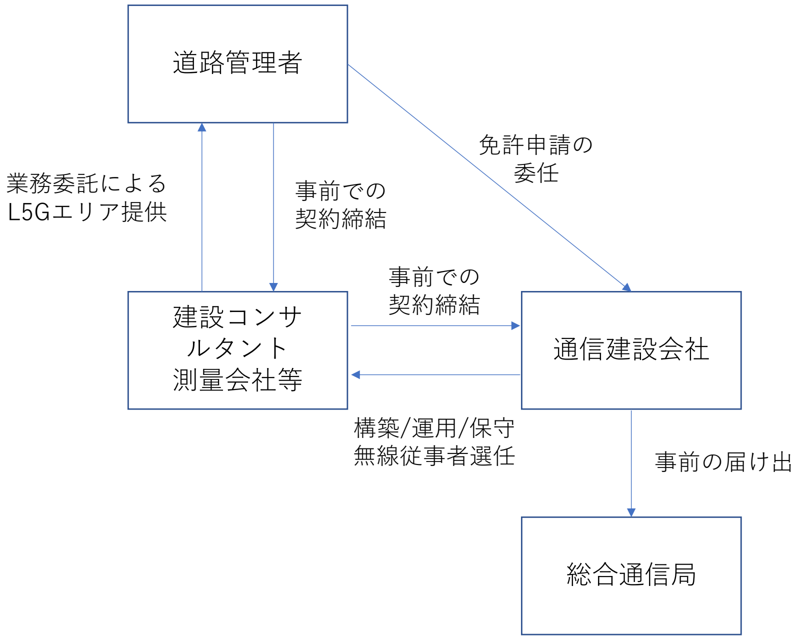


図 4.4-35　平常時のローカル５G システムの運用スキーム案

(6) 導入効果（ターゲットの特長を踏まえ課題解決等に資する導入効果および有用性等）

1) 災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）を導入することにより、遠方の事務所にて被災現場の状況を迅速かつ詳細に確認することにより、道路を速やかに啓開・復旧できる効果が得られる。
- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）では、ローカル 5G スポットエリアを構築する道の駅から、対象道路を所管する国道事務所と地方整備局（本局）へのデータ伝送に要する時間を評価指標とし、ローカル 5G の導入効果を評価する。
- なお、内部検討会の意見を踏まえ、災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）は、平常時において平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）として有効に活用する。

2) 平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）を導入することにより、道路管理と交通管制を効率的かつ円滑に実施できる効果が得られる。
- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）では、ローカル 5G スポットエリアを通じて送受信するデータ量を評価指標とし、ローカル 5G の導入効果を評価する。
- なお、内部検討会の意見を踏まえ、平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）は、災害時には災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）として活用する。

（7） 課題と対応策（技術面・運用面、対応策、運用に必要なノウハウ等）

1)　災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

- 災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）を導入するための技術的な課題としては、伝送することに対する技術的な課題はないものの、直轄国道の専用光回線以外の通信回線にも適用可能であるため、直轄国道の専用光回線以外の通信回線に本ローカル 5G 活用モデルを適用する場合は技術的な課題の発生が想定される。
- 近年、災害が多発していることから、災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）は、道路防災点検や過去の被災記録を踏まえ、災害危険性の高い路線・地域から計画的に整備を進めることが重要である。
- 災害はいつ、どこで発生するのか分からないため、災害時のローカル 5G 活用モデル（実証 A）では、ローカル 5G を活用した災害対応を定期的な訓練を通じて、効果的な運用方法を見定める必要がある。

2)　平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）を導入するための技術的な課題としては、現時点のローカル 5G の伝送スピード(道路パトロールにて撮影した 4K 画像を数分以内に伝送することは困難）が挙げられる。
- 平常時のローカル 5G 活用モデル（実証 B）を導入する際は、本実証で得られたローカル 5G の性能を踏まえて、導入効果の高い路線・地域を選定し、運用を通じて整備すべき路線・地域を見定めるとともに、効果的な活用方法を模索する必要がある。

4.4.2.2 普及展開方策の検討

道路の災害時と平常時のローカル 5G 活用モデルの普及展開の加速に向け、ローカル 5G 活用モデルを同様の課題を抱える道路管理者への普及展開方策を検討し、道路管理者間で共通認識を持って推進するための内部検討会を設立し、道路管理者ニーズや本事業の実証内容を議論した。

（1）内部検討会の構成主体

- 本実証にて想定したソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の有効性等について検討するため、道路行政の監督官庁である国土交通省、および実証フィールド周辺の道路管理者にて構成される内部検討会を構成した。

本実証にて想定した 2 つのソリューション（ローカル 5G 活用モデル）は、いずれも道路が対象であるため、有効性や実装性を検討するためには、道路を実際に管理している道路管理者と道路行政の監督官庁である国土交通省の意見を踏まえる必要がある。そのため、本実証では道路行政の監督官庁である国土交通省（本省道路局、関東地方整備局道路部）と実証フィールド周辺の道路管理者である国土交通省（大宮国道事務所、北首都国道事務所）、都道府県（埼玉県）、市町（越谷市、三郷市、草加市、八潮市、吉川市、松伏町）、および自動運転車両の自動走行実証実績を有するさいたま市を含む内部検討会を構成し、本実証にて想定した 2 つのソリューション（ローカル 5G 活用モデル）の有効性や実装性について討議した。

図 4.4-36　実証フィールドの周辺地域

表 4.4-49　内部検討会の構成

参加区分	所属	役職（部署）
道路管理者	関東地方整備局 道路部	道路計画第二課　課長補佐
		交通対策課　課長補佐
		道路管理課　建設専門官
	大宮国道事務所	副所長
		計画課長
		管理第二課長
	北首都国道事務所	副所長
		計画課長
		管理課　管理係長
	本省　道路局	ITS 推進室　課長補佐
	越谷市	建設部道路総務課長
		都市整備部都市計画課長
	三郷市	都市デザイン課　課長補佐
	草加市	都市整備部都市計画課長
	八潮市	都市計画課　副主幹
		交通防犯課　副主幹
	吉川市	政策室副室長兼政策室主幹
		道路公園課長
	松伏町	まちづくり整備課長
	さいたま市	都市総務課長
		道路環境課長
	埼玉県	県土整備部　県土整備政策課　副課長
コンソーシアム (事務局)	中央復建コンサルタンツ 株式会社	計画系部門　事業創生グループ　プロジェクトマネージャー
	株式会社 NTT ドコモ	法人ビジネス本部　第一法人営業部　担当課長
オブザーバー	総務省　総合通信基盤局	電波部　移動通信課
	株式会社三菱総合研究所	

（2）内部検討会の実施

内部検討会は「ローカル５Gを用いた道路の維持管理・運営高度化検討会」と銘打って計 3 回開催した。なお、内部検討会は、新型コロナウイルス感染症対策として、オンラインによるウェブ会議方式（Zoom Meetings および Microsoft Teams）とした。

実証実験後の第 3 回は、関係者の関心が極めて高いことから、より多くの関係者が出席できるように 4 回に分けて実施した。第 3 回は各自治体における関心のある職員、関東地方整備局内および管内の国道事務所の職員など幅広に参加を募った。

また、第 1 回の議論に先駆けて自治体の道路管理・運営に関する現状および課題に関する個別ヒアリングを実施した。

表 4.4-50　内部検討会の開催日時と議題

回	開催日時	議題
事前	2021 年 11 月 01 日（月） ～2021 年 11 月 08 日（月）	【自治体個別ヒアリング】 ・平常時における道路管理業務（道路パトロールなど）の実施状況と課題・ニーズ ・災害時における道路機能保全の対応方針と課題・ニーズ ・地域の道路交通問題（渋滞など）・地域公共交通に関する課題　など
第 1 回	2021 年 11 月 26 日（金） 10:00～12:00	・実証概要 ・自治体個別ヒアリングの結果報告 ・実証実験内容、スケジュール　など
第 2 回	2022 年 01 月 13 日（木） 10:00～12:00	・実証概要 ・現場見学会の実施計画 ・実証実験内容、スケジュール　など
第 3 回	①2022 年 02 月 16 日（水） 13:30～15:00 ②2022 年 02 月 17 日（木） 10:30～12:00 ③2022 年 02 月 18 日（金） 10:30～12:00 ④2022 年 02 月 18 日（金） 13:30～15:00	【①～④は同じ内容】 ・実証概要説明 ・災害時実証のデモ ・平常時実証のデモ ・質疑応答

（3）自治体個別ヒアリングの結果

自治体個別ヒアリングの実施概要を表 4.4-51、実施結果の要約（課題）を表 4.4-52 に示す。

表 4.4-51　自治体個別ヒアリングの実施概要

自治体	実施日時	参加部署
八潮市	2021 年 11 月 1 日（月） 11:00～12:00	・生活安全部　交通防犯課 ・建設部　道路治水課 ・都市デザイン部　都市計画課
草加市	2021 年 11 月 1 日（月） 16:00～17:00	・道路整備課 ・交通対策課 ・建設管理課 ・都市計画課
三郷市	2021 年 11 月 2 日（火） 10:00～11:00	・建設部道路河川課 ・まちづくり推進部　都市デザイン課
松伏町	2021 年 11 月 2 日（火） 14:00～15:00	・まちづくり整備課
越谷市	2021 年 11 月 5 日（金） 11:00～12:00	・建設部　道路総務課 ・都市整備部　都市計画課 ・市長公室　行政デジタル推進課
吉川市	2021 年 11 月 8 日（月） 10:00～11:00	・政策室

表 4.4-52　道路管理における課題

分類	道路管理における課題（自治体個別ヒアリング結果より抽出）
道路の日常点検	• 舗装劣化の応急処置・抜本的な補修ができないことによる点検箇所（要注意箇所）の増加。【三郷市・吉川市】 • 管理区間が膨大であるものの、人員と予算の不足により、十分な点検ができていない（管理水準の維持）。【草加市・三郷市・松伏町・越谷市】 • 安全性の確保（道路管理瑕疵による車両事故防止）。【草加市・吉川市】 • 街灯切れ等の夜間の状況確認できていない。【草加市】
道路の定期点検	• 人材不足によるパトロール頻度の低下（管理水準の維持）。【八潮市】 • 財政負担が大きい（財源の確保）。【草加市・三郷市・吉川市】
災害時の対応	• 迅速な情報収集（災害時は状況確認に時間がかかる／被害が大きくなると全体像把握が難しい）。【草加市・越谷市】 • 緊急輸送道路の確保。【八潮市・三郷市・越谷市】 • 復旧に必要な資材調達と施工体制構築。【八潮市】
地域公共交通	• 公共交通の維持（バス事業者の厳しい財政状況、運転手不足にコロナが追い打ちをかけている状況）。【三郷市・越谷市】 • 公共交通不便地域の解消。【八潮市・三郷市・吉川市】 • 自動運転車両の導入も考えられるものの、費用面から市単独での運用は難しく、自治体連携で進めることが現実的。【八潮市】

※内部検討会にて各市町共通の課題であることを認識

（4）内部検討会の実施結果

- 自治体における道路管理業務、地域の道路交通・地域公共交通に関する課題・ニーズを把握した。
- 地域課題を有する道路管理者とローカル 5G 技術による道路の維持管理・運営高度化の将来像を共有した。
- 実証を通してローカル 5G を活用したシステムの有効性が周知され、道路管理者による実装に向けた検討、機運の醸成に資することができた。

内部検討会を通して把握することができた道路管理者のニーズ・新技術に関する期待を下表に示す。

道路管理者は道路インフラの現状の詳細把握、リアルタイム性を重視していることがわかる。ローカル 5G 技術を活用した災害時・平常時の道路の維持管理・運営高度化に関する技術動向を共有することで、道路管理者の機運醸成を図った。

表 4.4-53　道路管理者のニーズ・新技術に関する期待

分類	新技術に関する期待
災害時	• 被害が大きくなると、状況確認に時間がかかるため、ドローンの活用した空からの状況把握が有効である（大規模な災害現場でも着実に被災状況確認が実施できる）。【越谷市】 • 災害時の被災状況確認にドローンを活用できれば、素早く状況確認ができる（情報伝達に遅れが生じない）。【草加市】 • 被災状況に関する情報は、国土交通省の被害情報をマップ上に表示するシステム（DiMAPS）との共有・連動によりさらに情報価値が高まる。【横浜国道事務所】 • 災害対策本部だけでなく、災害現場でも有効である。今後災害現場における活用も念頭に置いて検討する。【関東地方整備局】
平常時	• 自動運転による道路パトロールできめ細かな点検ができる。【三郷市・松伏町】 • 道路の常時監視ができると、道路陥没などの状況をリアルタイムで把握したいときに、素早く正確な情報のやり取りができる。【三郷市】

参考までに、実証内容のデモを実施した第 3 回内部検討会における質疑応答の内容を下表にまとめる。

特に災害時実証におけるシステムの詳細、ローカル 5G の有効性に関する内容が多く、道路管理者による今後の活用も見据えた前向きな意見もみられる。

表 4.4-54(a) 第 3 回内部検討会（オンライン説明会）における質問・意見（1/2）

発言者所属	質問・意見	回答（回答者）
横浜国道事務所	どこで調査を実施しているかリアルタイムでわかる仕組みはあるか。	UAV は Teams で画面共有することでリアルタイムにいまどこを調査しているのかは確認可能である。（コンソーシアム）
	動画データのアップロードは時間がかかるので少なくとも画像だけでも送れる仕組みはあるのか。	Teams でのライブ通信の中で情報を共有していくことは可能と考える。（コンソーシアム）
	国交省では被害情報をマップ上に表示する DiMAPS というシステムがある。それとうまく共有・連動できればと思う。【意見】	—
	今後整備局全体としてこのような取組を行う予定はあるか。	具体的な予定はないが同様の取組・フィールドがあれば積極的に取り組んで行きたい。（関東地方整備局 道路計画第二課）
長野国道事務所	長野の土砂災害では 6 時間かかったものが、ローカル 5 G を使用すれば短縮できるというが実際に使えたのか。使えなかったのであればどうしたら使えるようになるのか具体的に教えてほしい。	長野でローカル 5 G はまだ使えない技術であった。法制度の整備の問題と現時点では機材が市場に出回っておらず事業者も持っていないというのが主な理由である。今回の実験成果を受けて、免許申請の簡素化や運営のためのスキームづくりを検討していく。いかに現場の情報を素早くするかという観点から長野では実施しなかったがライブ中継という観点は実施可能かと考える。（コンソーシアム）

表 4.4-54(b)　第 3 回内部検討会（オンライン説明会）における質問・意見（2/2）

発言者所属	質問・意見	回答（回答者）
関東地方整備局 道路管理課	ドローンの機種。	DJI 社。（コンソーシアム）
	ドローンの飛行時間（１回の充電での）。	約２０分のフライト。（コンソーシアム）
	ドローンを飛行する体制。	操縦者・補助者・周辺の安全監視（5名）体制は航空局に届出を行った。（コンソーシアム）
	飛行ルートはあらかじめセットしていたのか。	事前に設定し自動航行。ただ、臨機応変に対応できるよう手動で走行可能なような操縦者で実験実施。（コンソーシアム）
	リアルタイム中継はコントローラーから HDMI を PC に接続して伝送していたのか。	コントローラーから PC を繋いで実施した。（コンソーシアム）
	災害現場でも有効。今後災害現場でも準備していきたい。【意見】	―
さいたま市 道路環境課	AI 解析の中でポットホールの深さなども計測できるのか。	深さや幅など定量的な大きさは検知していないが、技術的には今後可能になってくると思われる。（コンソーシアム）
関東地方整備局 情報通信技術課	今回離れた場所で複数箇所実験していると思うが、すべて基地局と各通信するものが５G 環境下で実験したのか。	実証実験で実施した場所でデータをとり、ローカル５G エリアまで移動し伝送。自動運転バスは５G エリアに入ったときに自動で伝送される。（コンソーシアム）
関東地方整備局 情報通信技術課	バックパックによる実証実験で点群データが約 0.96GB で一秒間に 60 万発うてるという説明であったがこの映像は約何点の集まりか。	0.96GB で 1,667,464 点の点群データ。（コンソーシアム）
関東地方整備局 情報通信技術課	データ量について UAV４K 映像（1.07GB）:1 分 46 秒に対しバックパック（0.96GB）: 4 分 49 秒になったという結果であったが、時間に差が生じた原因はなにか考えられるか。	UAV は１ファイル（mp4)であったがバックパックは複数のフォルダとファイルになっている。その違いが影響したのでは無いかと考えられる。（コンソーシアム） 【参考】 ○UAV→1 ファイル ○バックパック→フォルダ数：59、ファイル数：1625

（5）内部検討会の議論を踏まえた普及展開方策

内部検討会で把握した道路管理者のニーズ・新技術に関する期待を、ローカル 5G 効果の観点からみると、下表のように要約できる。

表 4.4-55　道路管理者のニーズ・新技術に関する期待からみたローカル 5G の効果

分類	期待されるローカル 5G の効果
災害時	• 大規模災害時でも着実に、遅延なくデータがやりとりできる。 • 既存システムとの連携により、災害情報の価値向上が見込める。 • 遠隔地の災害対策本部だけでなく、災害現場でも活用可能である。
平常時	• 追加人員なしでのきめ細かな道路点検が実現できる。 • 常時監視で素早く、正確な情報のやりとりが可能となる。

普及展開のターゲットは、規格の高い道路を有する道路管理者、管理延長の長い道路管理者といった、より大きな導入効果を享受できる道路管理者が該当すると考える。これらの道路管理者とローカル 5G の導入効果を訴求（道路管理者が共通して抱える課題の認識、本実証実験の成果の共有）し、導入に向けた意思決定を支援する必要がある。

普及展開にあたっての「異なる条件での活用可能性」に関しては、第一優先を道の駅（災害時）、直轄国道（平常時）を想定しているものの、それが異なる道路施設になったとしても、今回提案の課題解決システムの運用を考えるとバリエーションの幅は大きくないため、普及展開の障壁となるものではないと考える。災害時・平常時ともにローカル 5G スポット配置の面的網羅性を高めていくという方針がある中、運用方法の定型化が「通信インフラの拡張性」と考えることが可能である。

今後の普及展開を考えた際のステークホルダーとその役割を下記のように想定する。

① 道路管理者：道路管理業務の遂行
② 建設コンサルタント・測量会社等：災害協定での L5G エリア提供と復旧支援、道路管理システムの運用支援（①からの委託）
③ 通信建設会社：構築、運用、保守、無線従事者選任（②からの委託）、総合通信局への届け出（①からの委任）
④ 総合通信局：届け出の認可

4.4.3 ローカル５Ｇの実装に向けた課題の抽出および解決策の検討

4.4.3.1 ローカル 5G 活用モデルを実装するための課題と解決策

本ローカル 5G 活用モデルの実証にあたり、実証結果を踏まえて想定される課題を整理し、解決策の検討を行った。個別の課題の検討結果を（2）以降に示す。

技術的な課題	（課題 A）アンテナスペックに伴う伝送容量
	（課題 B）スポットエリアの拡張の制約
	（課題 C）屋外における反射板の設置や有用性
導入上の課題	（課題 D）費用対効果を高める方策
	（課題 E）場所に応じた整備・所有・管理主体の役割分担
	（課題 F）国土交通省の専用光回線を使用する場合のクラウド通信の検証
運用上の課題	（課題 G）資格要件からみた運用主体の選任
	（課題 H）点群データの UI 構築
	（課題 I）実環境におけるデータ量の検証
普及上の課題	（課題 J）普及にあたってのアウトリーチ

（1）実証結果

- 本実証にて、ローカル 5G を通じて直轄国道の専用光回線にデータを伝送することにより、4GLTE と比べて通信（データ伝送）時間が 1/25 から 1/9 程度に短縮することを確認した（表 4.4-28 参照）。
- 本実証では、MMS にて取得した 100m 程度の 3D 点群データの場合、目標とした 1 時間以内に閲覧可能なビューワーデータを作成し、2 時間程度で被災前との差分解析や現地状況再現 VR 等の詳細データを閲覧することが可能であることを確認した（表 4.4-37 参照）。
- 本実証では、UAV（ドローン）にて撮影したデータ容量約 1.1GB の 4K 画像（動画）の通信時間が最大 1 分 46 秒、バックパックにて取得した点群データ容量約 1.0GB の通信時間が最大 5 分 12 秒であった（表 4.4-28 参照）。これより、ビットレートのコントロールにより伝送時間の短縮を図ることができ、1GB 程度のデータ容量であれば数分での伝送は可能であるものの、ファイル数等によって伝送時間は変動することが分かった。

（2）技術的な課題と解決策

（課題 A）アンテナスペックに伴う伝送容量	災害時	平常時

【災害時】

実証結果で得られた伝送速度とデータ容量の関係から、現状のアンテナのスペックでは、360° 画像の場合 13km、VR ゴーグルによる詳細データの場合 1km 程度の被災状況を、24 時間以内には遠隔地の事務所にて確認可能であることが予測できる。被災エリアが大規模となる場合、さらに時間を要することが懸念される。

【平常時】

道路上でのデータ伝送の場合には、カバーエリアの滞在時間で伝送のデータ量の上限が決まってくる。今回実証では、伝送対象とする撮影エリアを、ルートの一部区間に限定して伝送を行ったものの、信号停車がない場合には、1 度のエリア通過ではデータ伝送が完了せず、今回実証の伝送容量では、走行区間を網羅的に伝送することは困難であり、現状ではアンテナのスペックがボトルネックになっている。

【道路管理者からの要望】

道路管理者からも、ローカル 5G スポット通信の伝送容量（上り 50Mbps 程度）を上り 1Gbps 程度まで大きくできないか、との要望を受けている。

（解決策および必要な検証項目 1）【災害時・平常時】

設置箇所としては、短時間で通過をしてしまう部分ではなく、一定時間の滞留や停車が見込まれる箇所に優先的にローカル 5G スポットエリアを構築することで、伝送可能なデータ量が増加することが見込まれる。

（解決策および必要な検証項目 2）【平常時】

既定のアンテナスペックのもとでは、1 アンテナ・子機あたりのスループットは変化しない。しかし、より多くのデータを伝送するために、アンテナ・子機を複数張り出して、同スループットのエリアを拡大することが見込まれる。

なお、今回使用したエリクソン社製のローカル 5G 基地局は、処理部のスペックは最大で 6Gbps であり、アンテナ子機は現状 3 基まで張り出すことができる。そのため、ローカル 5G スポット通信エリアをアンテナ 3 基分に拡張することができる。

（解決策および必要な検証項目 3）【平常時】

本実証実験では、車載カメラにて撮影した 4K 画像（動画）を、ローカル 5G スポット通信エリアを通じてクラウドに伝送し、クラウド上にて道路異常を AI 検知することを想定したが、車載機側に AI 検知システムを搭載し、異常検知した道路の画像や一定間隔の道路の画像など、車載機側にてローカル 5G にて伝送する画像のデータ容量を絞り込むことによって、ローカル 5G スポット通信エリアの走行中に必要なデータが伝送できるようなシステムに設計する。

（課題 B）スポットエリアの拡張の制約	災害時	平常時

本実証実験では、ミリ波を用いてアンテナ指向方向に100m程度のローカル5Gスポット通信エリアを構築した。他方、本実証の内容を具体化するための道路管理者との協議の中で、よりもっと広範囲（アンテナ指向方向に 1km 程度）にローカル 5G スポット通信エリアを拡張できる可能性がないか、という要望を受けた。

ローカル 5G の通信エリアを 1km 程度まで拡張するためには、Sub6 の周波数利用やアンテナ張出しでは改善効果が限定的であることから、アンテナをより高位置に設置して電波発射するのが望ましいものの、他者の土地に漏れ出す電波の干渉調整や近隣のキャリア 5G との調整が必要かつ膨大となるため、免許申請が却下される可能性が高い。

（解決策および必要な検証項目 1）【平常時】

ローカル5G基地局への優先的な干渉調整スキームを整備し、マクロのローカル5Gエリアを構築する際の干渉調整の簡素化（許容範囲を拡大）などが必要であると考える。

（解決策および必要な検証項目 2）【平常時】

ローカル 5G スポットエリアを高密度で配置する。

（課題 C）屋外における反射板の設置や有用性	災害時	平常時

反射板を活用することで、指向方向にあたる主道路側だけでなく、従道路側にもカバーエリアを拡大することが期待できる。

本実証実験では、反射板を設置することで、交差道路側でのカバレッジを確認したものの、反射板の大きさから、カバーできる反射角度は限定された。

また、反射板が比較的小さかったことから、指向方向のカバーエリアには影響を及ぼさなかったものの、反射板を大きくすると、指向方向のカバー範囲に影響を与える可能性がある。加えて、本実証では雨天時の検証は行っていないため、屋外での連続的な運用には懸念が残る。

（解決策および必要な検証項目）【平常時】

屋外において反射板の大きさや天候など、様々な状況下においてカバーエリアを検証することで、従道路側のエリアのカバーにおける反射板使用の可否や有用性を検証する。

（3）導入する上の課題と解決策

（課題 D）費用対効果を高める方策	災害時	平常時
【災害時】 本実証では、ローカル 5G 基地局を国道用地に設置し、平常時のソリューションと共用したが、実際に導入する際には、災害時の速やかな道路の啓開・復旧のため、確実な稼働・運用を重視した置局場所の検討を行う必要がある。 一方、災害は発生場所や発生日時が事前に予測できないため、災害用に特化したシステムとすると、非常に稀にしか活用できず、費用対効果の観点からメリットが生み出しにくい可能性がある。 （解決策および必要な検証項目）【災害時】 災害時の有効性を確保しつつ、道路利用者や地域の人々の日常生活に貢献できるような、「平常時における災害時ローカル 5G 活用モデル」について検討し、ローカル 5G の有効性を向上させることが重要となる。この点においても、地域の防災拠点機能と地域振興拠点としての機能（休憩機能、情報発信機能、地域の連携機能）を併せ持つ「道の駅」への実装を想定したローカル 5G 活用モデルの検討を進める。		
【平常時】 本実証では、ローカル 5G と自動運転車両及び AI 検知を組み合わせた道路パトロールの人件費の削減効果を示した。ただし、現在 2 名体制の道路パトロールを無人化するためには、通行車両の安全を確保するため、ローカル 5G スポットエリアを密に整備する必要がある。また、道路パトロールにおけるコスト縮減効果は人件費のみであり、費用対効果の観点から道路パトロールのみへの活用では導入効果が小さい。 （解決策および必要な検証項目）【平常時】 現在の道路パトロールにて記録されるデータは、点検者による路面の異常記録のみであるが、定期的に路面の画像データを蓄積し、異常の傾向や進展速度などの分析（データマイニング）に活用することにより、路面の修繕や更新を最適化する効果が期待できる。 また、道路では、渋滞等によって生じる社会的な損失コストを小さくするため、走行車両からプローブデータ（プローブ交通情報）を収集し、走行車両に必要な交通情報を提供している。ローカル 5G をプローブデータなどの交通情報データの送受信にも活用することができれば、ローカル 5G の導入効果を高めることができる。		

（課題 E）場所に応じた整備・所有・管理主体の役割分担	災害時	平常時
本実証では国道用地にローカル 5G 基地局を設置し、道路上にローカル 5G スポットエリアを構築した。基地局の設置や専用光回線の引込みを実施するにあたり、関東地方整備局と連携しながら、関係各所との調整（2.1.1 参照）を実施した。一方、道路は路線ごとに道路法上で管理者が定められており、場所により利用可能な設備や必要な手続きがそれぞれ異なる。 ローカル 5G スポットエリアを構築するにあたっては、どの主体が整備し、所有し、管理するのかを、設置場所に適した形で事前に決めておく必要がある。 （解決策および必要な検証項目）【災害時・平常時】 地方公共団体と国土交通省にて、新たに設置するローカル 5G 基地局と光回線の整備者、所有者、管理者について、主に費用分担の観点から事前に協議し、両者にて協定を締結する。		

（課題 F）国土交通省の専用光回線を使用する場合のクラウド通信の検証	災害時	平常時
本実証実験では、ローカル 5G スポット通信エリアの近くに道路管理者の専用光回線がなかったため、ローカル 5G を NTT の光回線に接続した。 しかし、国土交通省が管理する直轄国道では、基本的に専用の光ファイバーケーブル（専用光回線）が既に整備されていることから、直轄国道沿いにローカル 5G スポット通信エリアを構築する場合、国土交通省の専用光回線にローカル 5G を接続することも可能と考えられるが、クラウドへのアクセス可否については未検証である。 （解決策および必要な検証項目）【災害時・平常時】 道路管理者の事務所を経由して NTT 回線に接続し、クラウド環境を利用する構成が考えられるが、道路管理者の協議と了解を得る必要がある。なお、オンプレミスのシステムは、拡張性や可用性、災害復旧・事業継続の観点で効果的でないと考えている。		

（4）運用する上の課題と解決策

（課題 G）資格要件からみた運用主体の選任	災害時	平常時
本ローカル 5G 活用モデルを運用するためには、ローカル 5G 無線局を適切に運用できる適格性を有する無線従事者を選任する必要がある。運用主体が道路管理者の場合、無線従事者（有資格者）の選任が困難となる可能性が高い。 （解決策および必要な検証項目）【災害時・平常時】 運用主体である道路管理者が、通信建設会社や通信キャリアとの連携に基づいて、本システムを運用していくことが、適切であると考えられる。		

（課題 H）点群データの UI 構築	災害時	平常時
本実証実験に用いた 3D 点群データは座標情報（xyz）を含むテキストデータであり、コンピュータ上のサイバー空間にて閲覧するためには 3D 点群データを閲覧するためのソフトウエア（ビューワー）が必要となる。 （解決策および必要な検証項目）【災害時】 被災地で取得したデータを遠方の事務所で閲覧し、道路の啓開・復旧に活用するため、被災地にて取得したデータを閲覧できる UI（ユーザーインターフェイス）を整備し、防災訓練等の試行を通じて UI の有効性を確認する。		

（課題 I）実環境におけるデータ量の検証	災害時	平常時
本実証では、実証環境の限られた範囲のデータを伝送したが、実運用にあたっては、設置場所や利用状況に応じてデータ量が異なると想定される。加えて、導入場所における導入の可否と導入した場合の通信速度等の性能を事前に確認する必要がある。 （解決策および必要な検証項目）【災害時・平常時】 事前に活用可能なユースケースを想定し、送受信されるデータ容量を見込むとともに、実環により近づけた試行（災害時：防災訓練、平常時：複数スポットエリアでの通信）を通じて、想定した通信データ量と実際の通信データ量の差をモニタリングし、ローカル 5G にて確実に回収／提供できる通信データ量を把握し、伝送時間との関係を明確化する。		

（5）普及する上の課題と解決策

（課題 J）普及にあたってのアウトリーチ	災害時	平常時
ローカル 5G はまだコストや性能が明確になっていないため、ローカル 5G の導入に伴って得られる効果とコスト（費用対効果）を適切に見込むことが困難である。そのため、ローカル 5G の整備や運用に必要となる予算を要求し、確保することが難しい。 （解決策および必要な検証項目）【災害時・平常時】 実環境におけるローカル 5G の試行運用を通じて、ローカル 5G の整備と運用に要するコストと効果を明確にする。また、試行運用を通じて得られた結果（活用事例）を広報することにより、管理者に導入の可否を判断するための情報を提供する。		

4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

4.4.4.1 実証環境を踏まえた継続利用の見通し

本実証では、NTT 東日本の光回線を、直轄国道に設置したローカル 5G 基地局に引き込むことで実証環境を構築し、当該基地局を活用しながら課題実証を行った。

他方、本実証では、民間事業者による取り組みのため、道路管理者の協力を得ながら、期間限定の実証を目的とした実証期間中での道路占用申請を行うことで実施に至った経緯がある。

これらの観点から、長期的な運用を見据えた場合には、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・選定することにより、課題解決システムの継続利用をしていくことが可能と考える。

4.4.4.2 実装計画の検討

(1) 災害時：被災状況確認の迅速化の実証（実証 A）

［実装計画の概要］

人命救助や経済活動の再開などの観点から、迅速な災害対応は非常に重要であり、被災地にて取得したデータを遠方の事務所にて閲覧できるようにするローカル 5G 活用モデルは、社会的にも重要性が高いと判断できる。 特に、防災拠点機能を有する「道の駅」にローカル 5G スポットエリアを構築することは、他事業との関連性も強く（補足 1）、実現可能性が高いと考えられる。道の駅の整備・管理は地方公共団体と道路管理者によって行われているものの、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取り組みが進められている。 また、実証結果から得られたデータ伝送容量の観点からも、車両が滞留できる場所への設置が望ましいといえる。

方向性 1	災害時ローカル 5G 活用モデルは、道の駅における防災機能と一体的に管理・運用されることが効率的かつ効果的といえる。

災害復旧等における権限代行制度の創設（補足 2）により、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・復旧に努めることの重要度がより高まっている。

方向性 2	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・復旧に必要となる情報やデータを受け取る体制が望ましいと考えられる。 この際、直轄国道沿線の道の駅の場合には、道路管理用の光ファイバーネットワークにローカル 5G スポットエリアを構築し、国土交通省が実装対象となった場合には、災害時の安定的なデータ伝送への寄与も期待できる。

［社会的効果をより高めるための方策］

今回実証では、差分検知が可能な点群データの活用を視野に入れた場合、360°画像の場合延長 13km、VR ゴーグルによる詳細データの場合延長 1km 程度の被災状況を、目標とした 24 時間以内に、遠隔の事務所で確認可能ということが把握できた。

このことから、被災エリアが広範囲にわたる場合、道の駅に構築するローカル 5G スポットエリアだけでなく、平常時での積極的な活用を想定した道路上のスポットエリアとも必要に応じて分担して伝送を図り、効率的な被災状況把握を行うことで、スポットエリアの効果的な運用が期待できる。

加えて、道の駅でのローカル 5G スポットエリアの有効活用の観点から、道の駅の 3 つの機能（休憩機能・情報発信機能・地域の連携機能）を活かすための「平常時における道の駅ローカル 5G 活用モデル」について検討し、ローカル 5G の有効性を向上させる。

［実装に向けた工程］

現時点で想定する次年度以降の実装計画を以下に示す。

表 4.4-56　災害時ローカル 5G 活用モデルの実装計画（コンソーシアム案）

0 年目：実証フェーズ（今年度）	取り組む課題	予算獲得計画
1 月　：実証完了 ※本実証の普及活動	課題 J	―
1 年目：予算確保フェーズ		
04 月－06 月　：道の駅におけるローカル 5G 活用モデルの有効性評価（平常時活用含む。） 07 月－09 月　：ローカル 5G 試行箇所（道の駅）の選定 10 月－03 月　：予算確保に向けた説明資料作成等 ※以降、実装に向けた予算確保が必要	課題 D・J	新技術導入の公募等の枠組み等（補足 1）を活用した予算確保
2 年目：設計フェーズ		
04 月－07 月　：選定箇所の現地確認、資機材の調達確認。 08 月－11 月　：選定箇所におけるローカル 5G の構築設計。 12 月－03 月　：ローカル 5G 試行計画の立案、資機材の調達	課題 A・G・H	
3 年目：試行フェーズ		
04 月－08 月　：ローカル 5G の構築、伝送性能の確認。 09 月　01 日　：災害時の被災地データの伝送試行。（防災訓練） 09 月－12 月　：平常時データの伝送試行。 01 月－03 月　：試行結果の整理、ローカル 5G 整備計画の立案。	課題 I・F	
4 年目以降：実装フェーズ		
※予算規模に応じて順次整備、実装。	課題 E	横展開への予算確保

［段階的な実装ステップにおける支出計画］

災害時における実装に向けたステップと、各ステップの費用は以下のとおりである。

なお、実装計画の設定にあたっては、極力小規模でスタートしながら、徐々に規模拡大を図っていくことを想定しているが、山岳部が多く土砂災害が発生しやすい地域等では、当初段階から複数箇所での試行を行うなど、派生的な実装ステップの採用が考えられる。

この場合には、下記で設定した数量を参考に、概算の支出計画を想定されたい。

表 4.4-57　災害時の実装ステップの支出計画

	STEP1 （道の駅 1 箇所で試行）	STEP2 （関東地方整備局管内の 1 都 8 県で各 1 箇所に設置）
候補箇所	水害や土砂災害の発生頻度が高いエリアより選定 （沿岸部・山間地等）	
ローカル 5G 基地局 設置・運用	約 0.1 億円/年 （レンタルを想定）	約 13.5 億円 （購入を想定）
クラウド環境の 構築・運用 （AI 検知なし）	イニシャル：約 0.05 億円 ランニング：約 0.2 億円/年	イニシャル：約 0.45 億円 ランニング：約 1.8 億円/年
現場システム の導入	イニシャル：約 0.05 億円 ランニング：約 0.05 億円/年	イニシャル：約 0.45 億円 ランニング：約 0.45 億円/年
支出計	イニシャル：約 0.1 億円 ランニング：約 0.4 億円/年	イニシャル：約 14.4 億円 ランニング：約 2.3 億円/年

≪補足 1≫ 道の駅の災害拠点化

道の駅では、防災拠点として耐災害性を高める新技術の導入が検討されている。公募する技術の一例として、「国道等に埋設されている道路管理用光ファイバーネットワークを活用した、道の駅ローカル 5G システムに関する技術」が掲げられている。

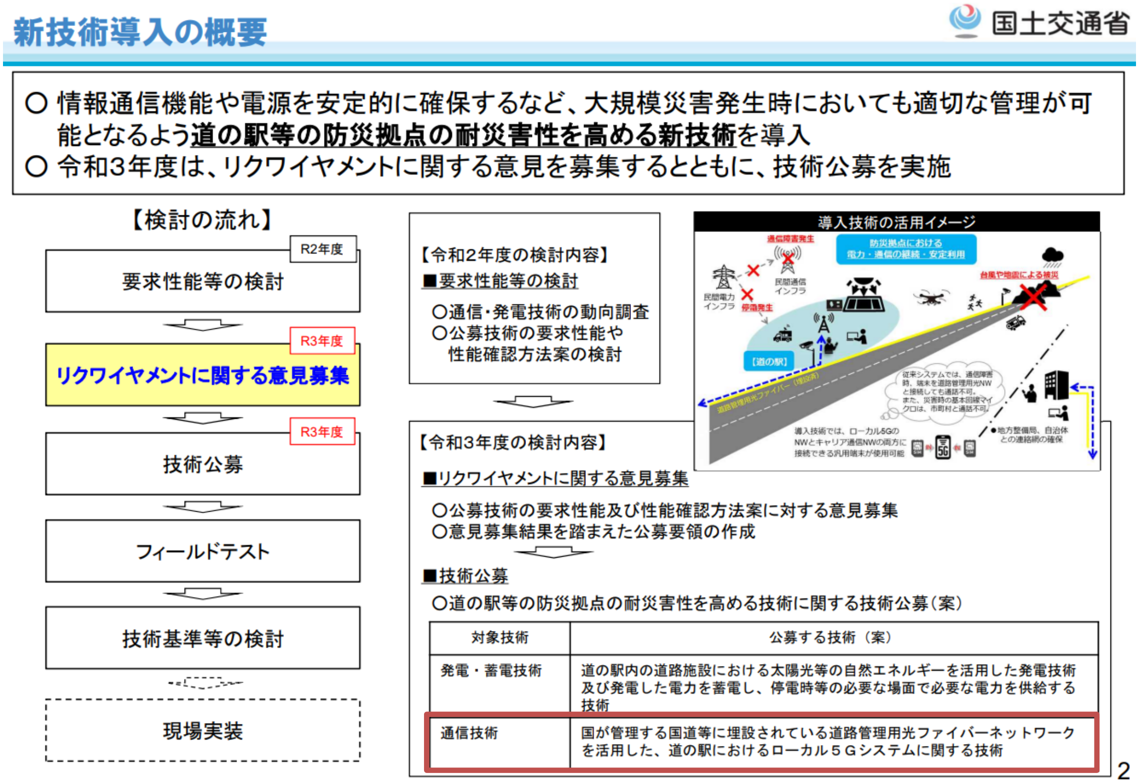


図 4.4-37　道の駅等の防災拠点へのローカル 5G システム導入の公募技術案

資料：「道の駅等の防災拠点の耐災害性を高める技術」の要求性能等に関する意見募集について（令和 3 年 9 月 8 日　国土交通省プレスリリース）

≪補足 2≫災害復旧等における権限代行制度

国土交通省は、道路法第四十八条の十九に規定する重要物流道路等に指定されている道路については、従来より、権限を代行し災害復旧等を行うことが可能であったが、令和２年５月に道路法施行令の一部を改正したことにより、重要物流道路等に指定されている道路以外の災害復旧等も国が代行できることとなった。

また、令和 3 年 6 月には、道路法の改正によって都道府県による市町村管理道路の災害復旧等の代行制度（都道府県災害代行制度）が創設されている。

（2）平常時：道路管理・運営の効率化の実証（実証 B）

［実装計画の概要］

平常時ローカル 5G 活用モデルは、道路上に構築するローカル 5G スポットエリアを通過することでデータの自動伝送を行うものである。他方、道路上でのデータ伝送の場合には、信号での停止等によるエリアの滞在時間で伝送のデータ量の上限が決まる。今回実証では、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。

（参考：実証環境での伝送可能データ容量：[信号停車なし]1.136Gbit（実績）
[信号停車あり]:最大で約 2.764Gbit（見込））

方向性 1	システム改良により、次回のエリア通過時に前回の続きからデータ伝送が可能となる仕様となったものの、伝送のタイミングが順次遅れていくことも懸念されることから、構築場所は交差点流入部付近が望ましいと考えられる。また、データ収集の観点からは、多数の車両が通行するような路線への設置が望ましく、主要幹線道路が設置候補と考えられる。

平常時ローカル 5G 活用モデルは、前章で示した通り導入コストが大きく、市町村が単独で実施することは費用対効果の面からハードルが高いと考えられる。

方向性 2	当面の実装対象を国土交通省とし、ローカル 5G スポットエリアを通じて回収されたデータを他の道路管理者（地方公共団体等）と共有することが望ましい場合は、データを共有するための協定等を締結することにより、国土交通省を通じて関係機関がデータを受け取れる体制を構築することが現実的と考えられる。

［社会的効果をより高めるための方策］

ETC2.0 システムでは、高速道路や直轄国道に設置されている路側機を活用して、県や市町村管理の道路も含めた走行履歴の取得を行っており、面的なサービス提供に向けた取り組みが進められている。（補足１）

平常時ローカル 5G 活用モデルにおいても、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。

上記方策を取り入れたモデルを構築する場合、国土交通省が実装対象となることがより優位と考えられる。ここで、直轄国道にローカル 5G スポットエリアを構築する場合には、既存ストックである道路管理用の光ファイバーネットワーク（補足２）も活用が期待できる。

［実装に向けた工程］
現時点で想定する次年度以降の実装計画を以下に示す。

表 4.4-58　平常時ローカル 5G 活用モデルの実装計画（コンソーシアム案）

0 年目：実証フェーズ（今年度）	取り組む課題	予算獲得計画
1 月　：実証完了 ※本実証の普及活動	課題 J	―
1 年目：設計フェーズ		
04 月－06 月　：直轄国道におけるローカル 5G 活用モデルの有効性評価（災害時活用含む。） 07 月－09 月　：ローカル 5G 試行箇所の選定。［有力候補：交通量の多い主要幹線道路の交差点流入側］ 10 月－03 月　：予算確保に向けた説明資料作成等 ※以降、実装に向けた予算確保が必要	課題 D・J	一部区間での試行的な線的配置を想定した予算確保
2 年目：設計フェーズ		
04 月－07 月　：選定箇所の現地確認、資機材の調達確認。 08 月－11 月　：選定箇所におけるローカル 5G の構築設計。 12 月－03 月　：ローカル 5G 試行計画の立案、資機材の調達。	課題 A・G	
3 年目：試行フェーズ		
04 月－08 月　：ローカル 5G の構築、伝送性能の確認。 09 月　01 日　：データ伝送試行。（防災訓練） 09 月－12 月　：平常時データの伝送試行。 01 月－03 月　：試行結果の整理、ローカル 5G 整備計画の立案。	課題 C・I・F	
4 年目以降：実装フェーズ		
※予算規模に応じて順次整備、実装。	課題 E	横展開への予算確保

［段階的な実装ステップにおける支出計画］
平常時における実装に向けたステップと、各ステップの費用は以下のとおりである。
なお、実装計画の設定にあたっては、極力小規模でスタートしながら、徐々に規模拡大を図っていくことを想定しているが、都市規模によっては都市部・郊外部・地方部の明確な線引きが難しいなどの理由から、設置数を増減させるなど、派生的な実装ステップの採用が考えられる。
この場合には、下記で設定した数量を参考に、概算の支出計画を想定されたい。

表 4.4-59　平常時の実装ステップの支出計画

	STEP1 （都市部:2 箇所設置での試行）	STEP2 （STEP1 に加え、郊外部・地方部 でも各 2 箇所に試行設置）
候補箇所	交通量の多い主要幹線道路の交差点流入部付近	
ローカル 5G 基地局 設置・運用	約 0.2 億円/年 （レンタルを想定）	【レンタル継続】 STEP1＋約 0.4 億円/年 【購入】 イニシャル：約 7.2 億円 ランニング：約 1.8 億円/年
クラウド環境の 構築・運用 （AI 検知あり）	イニシャル：約 0.2 億円 ランニング：約 0.6 億円/年	イニシャル：STEP1＋約 0.4 億円 ランニング：STEP1＋約 1.2 億円/年
現場システム の導入	イニシャル：約 0.1 億円 ランニング：約 0.1 億円/年	イニシャル：STEP1＋約 0.2 億円 ランニング：STEP1＋約 0.2 億円/年
支出計	イニシャル：約 0.3 億円 ランニング：約 0.9 億円/年	【レンタル継続】 イニシャル：STEP1＋約 0.6 億円 ランニング：STEP1＋約 1.8 億円/年 【購入に切り替え】 イニシャル：約 7.2 億円 ランニング：約 3.2 億円/年

≪補足１≫ETC2.0 の取組み

ETC2.0 は、道路上に設置されている路側機と ETC2.0 対応車載器・カーナビが、高速大容量の DSRC 通信方式によって双方向通信することで、渋滞対策や交通安全対策等に役立てる新しい ETC システムである。

現在、路側機は高速道路・直轄国道に設置されており、走行履歴等のデータの吸い上げが行われている。

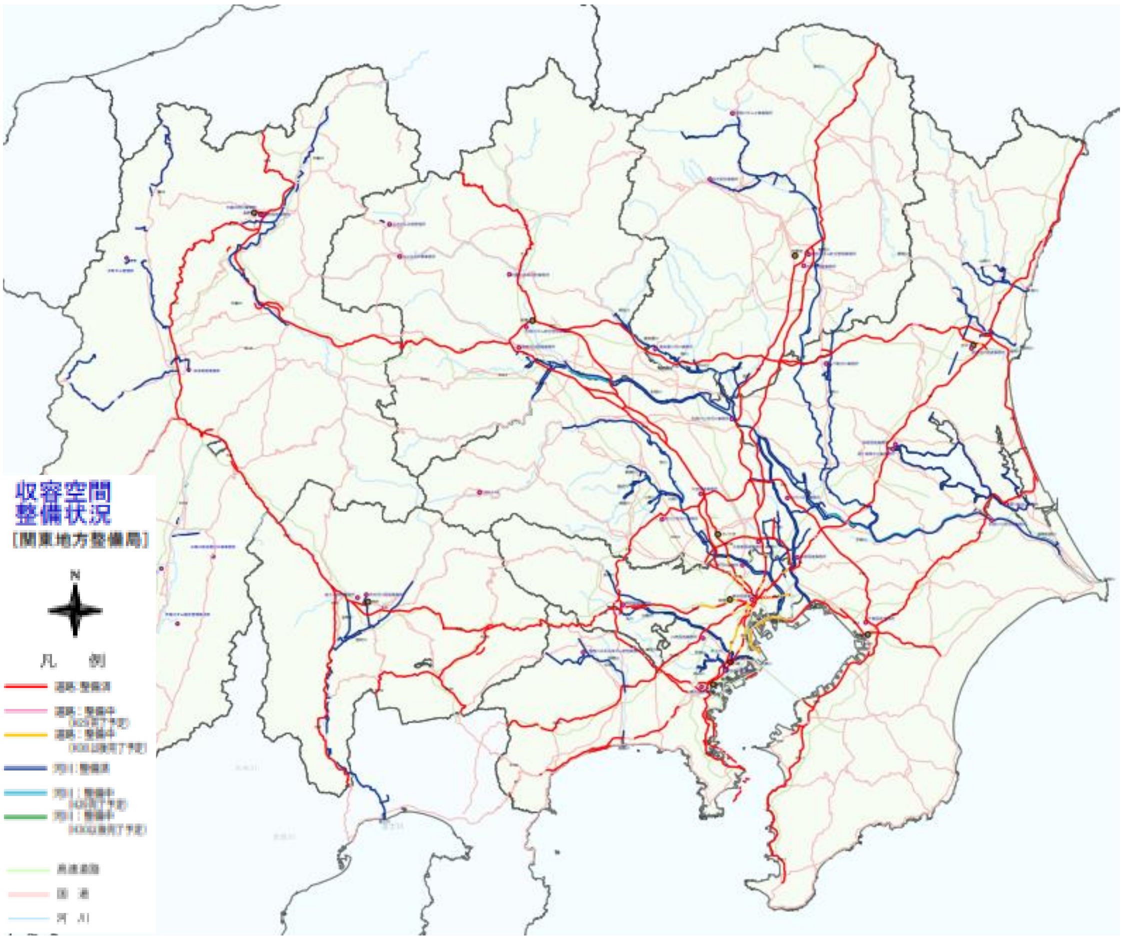
資料：ETC2.0 の概要（国土交通省ウェブサイト）

図 4.4-38　ETC2.0 の概要

≪補足２≫通信事業者以外の管理者が所有する専用光回線

ローカル 5G 基地局に引き込みを行う光回線は、NTT の光設備が設置されている電柱や電線共同溝から回線を引き込むことで、光通信が可能となる。

その他、直轄国道では、道路管理用の光ファイバーネットワークが埋設されている。このことから、直轄国道沿線であれば、道路管理用の光ファイバーネットワークも活用の可能性が期待できる。



資料：河川・道路管理用光ファイバの民間事業者等への開放（国土交通省ウェブサイト）

図 4.4-39　光ファイバ収容空間整備状況（関東地方整備局管内）

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作への協力

一次請負者が実証コンソーシアムの取組成果に係る動画を作成する際に、映像制作に必要な実証事業の映像素材の提供や関係者へのインタビューの撮影等に協力した。

5.2 実証視察会の実施

ローカル 5G の普及を啓発するため、内部検討会のメンバーに対し、実証視察会（現場見学会）を企画した。ただし、開催予定日の前日、新型コロナウイルス感染症の濃厚接触者が発生したため、関係者による協議を踏まえ、開催を見送った。

5.3 その他普及啓発活動

実証成果その他の普及啓発活動として、アウトリーチに積極的に取り組む。その際、あらかじめ一次請負者に取組内容を報告し、実施結果も速やかに報告する。なお、実証コンソーシアムにて本事業の情報発信を行う場合、総務省「課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けたローカル 5G の電波伝搬特性やローカル 5G 等の活用に関する技術的検討並びに調査検討の請負」の一環としての取組・成果であることを明示し、事前に一次請負者に対して情報提供する。本事業では、下記に示すようなアウトリーチを想定している。

プレスリリース
実証コンソーシアム構成各社のウェブサイトにてプレスリリースを掲載する。
（令和 2 年度の総務省事業における弊社実績）
① 5G と高速 AI ディープラーニングを活用した鉄道インフラのリアルタイム遠隔・自動監視の実証試験を開始します。（2020 年 11 月 20 日）
https://www.cfk.co.jp/download_file/get_file/201120_Local_5G_CFK.pdf
② 5G と高速 AI ディープラーニングを活用した鉄道インフラのリアルタイム遠隔・自動監視システムの構築に成功しました。（2021 年 3 月 26 日）
https://www.cfk.co.jp/download_file/get_file/210326_Local_5G_CFK.pdf

インタビュー対応
テレビ・新聞・WEB 記事等における取材に対応する。

技術展への出展（イベントへの参加）
建設・情報関連の技術展に出展し、本事業で開発した技術をアピールする（次年度以降）。

学会報告
学術論文としてふさわしい成果が得られた場合は、学会にて発表する（次年度以降）。

6. 実施体制

6.1 コンソーシアム構成および役割分担

本事業の実証コンソーシアムは、中央復建コンサルタンツ株式会社、株式会社 NTT ドコモの 2 者により構成した。本事業のとりまとめ等を行う代表機関は、中央復建コンサルタンツ株式会社であり、実証全体の管理、実証結果の評価、内部検討会の運営、報告書作成等を担った。株式会社 NTT ドコモは、ローカル 5G 実証環境の構築、技術実証・課題実証の運営、報告書等の作成を担った。

協力企業を含めた本事業の組織構成を図 6-1 に示す。課題実証の要素技術ごとに高度な知見を有する専門業者を擁し、円滑な事業遂行を目指した。

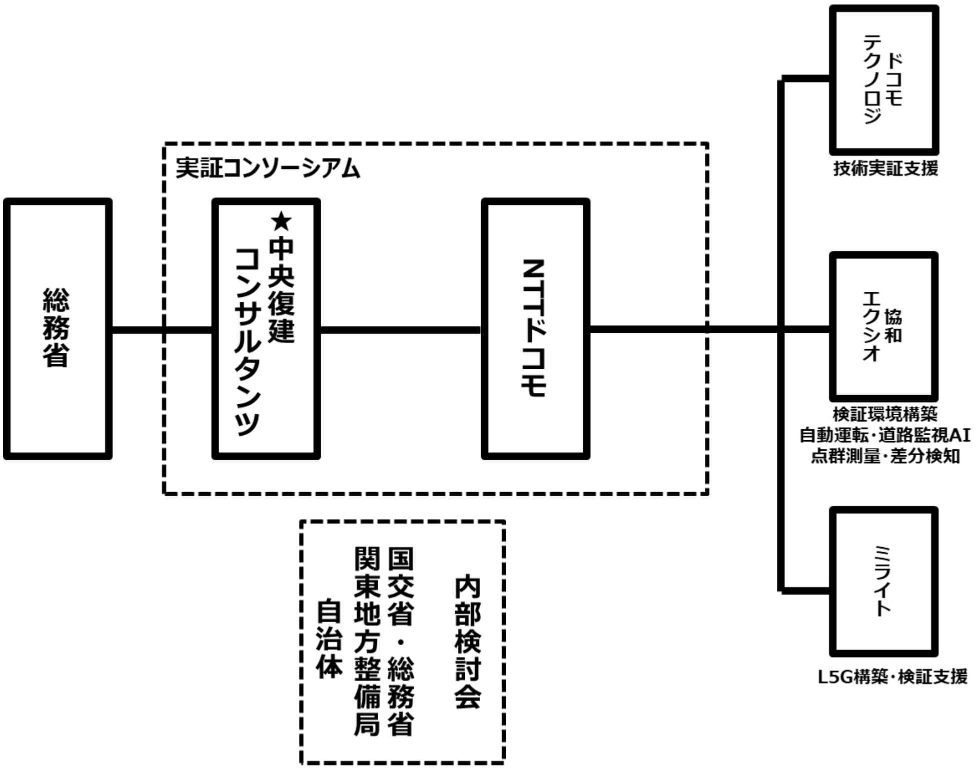


図 6.1-1 実証体制図

6.1.1　中央復建コンサルタンツ株式会社（代表機関）

本社住所：〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4 丁目 11 番 10 号
代表者名：代表取締役社長　兼塚 卓也

国内外の道路・橋梁・鉄道などの社会インフラの計画や設計、三次元化技術、社会インフラマネジメント、まちづくりコーディネートなどの総合的な分野で豊富な知見と実績を有する総合建設コンサルタント。

6.1.2　株式会社 NTT ドコモ

本店住所：〒100-6150 東京都千代田区永田町 2 丁目 11 番 1 号山王パークタワー
代表者名：代表取締役社長　井伊 基之

キャリア 5G サービスを提供中であるとともに、ローカル 5G 等の通信と映像の AI 解析を統合した課題解決システムを使った実証、ローカル 5G の性能評価等の実証を実施可能な通信事業者。

6.2 再委託先および再々委託先

実証コンソーシアムの代表機関（中央復建コンサルタンツ株式会社）からの再委託先および再々委託先を以下に示す。

6.2.1 再委託先

6.2.1.1 株式会社 NTT ドコモ

本店住所：〒100-6150 東京都千代田区永田町 2 丁目 11 番 1 号山王パークタワー
代表者名：代表取締役社長　井伊 基之

再委託の業務範囲：
道路分野における課題解決システムの構築および課題解決システム実証実施、技術実証におけるキャリア 5G システム（基地局および移動局）環境の提供、技術実証の実施

6.2.2 再々委託先

6.2.2.1 株式会社ミライト

※本店住所：〒135-8111　東京都江東区豊洲 5-6-36
※代表者名：代表取締役社長　中山俊樹
※再々委託の業務範囲：ローカル 5G 免許取得

6.2.2.2 ドコモ・テクノロジ株式会社

※本店住所：〒107-0052 東京都港区赤坂一丁目 8 番 1 号 赤坂インターシティ AIR 26 階
※代表者名：代表取締役社長　中村　寛
※再々委託範囲：電波伝搬試験、干渉検討、試験結果取りまとめ

6.2.2.3 エクシオグループ株式会社

※本店住所：〒150-0002 東京都渋谷区渋谷 3 丁目 29 番 20 号
※代表者名：代表取締役社長　船橋　哲也
※再々委託範囲：IaaS・映像配信、UI 構築・検証支援

7. スケジュール

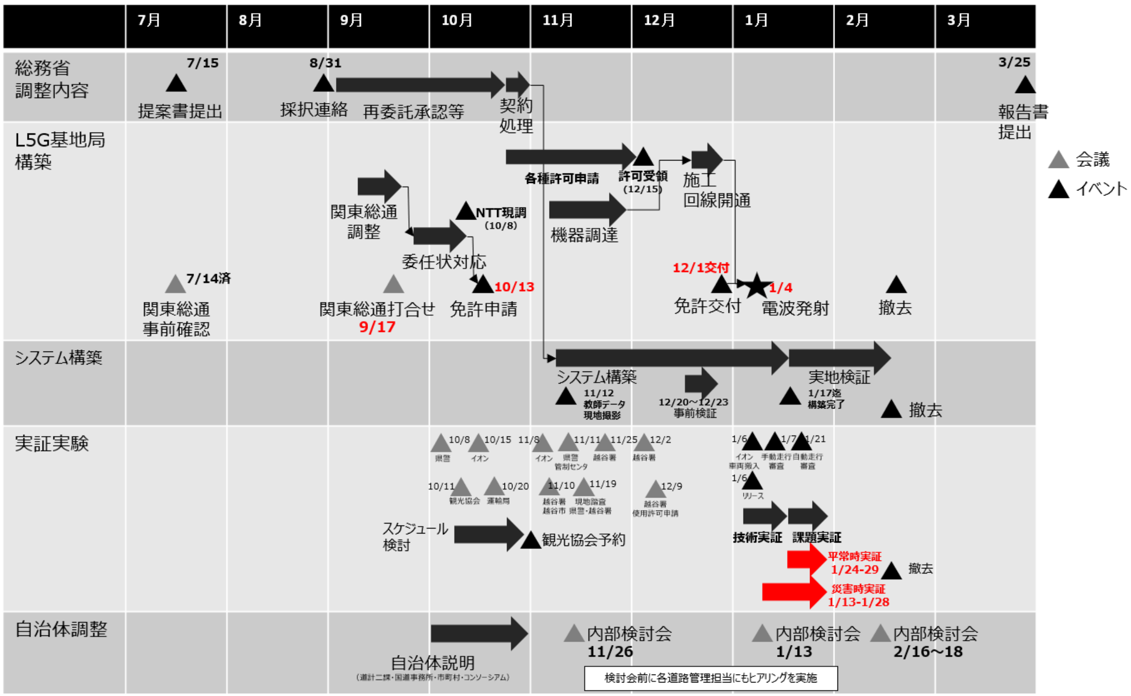


図 6.2-1　実証実施スケジュール