

「令和4年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」

【特殊な環境における実証事業】

ローカル5Gを活用した河川災害における
リアルタイムな状況把握と
安全かつ迅速な応急復旧の実現

成果報告書

令和5年3月

国際航業株式会社

目次

1.	実証概要	2
1.1	背景・目的	2
1.1.1	河川災害の状況変化	2
1.1.2	インフラ分野を取り巻く環境	5
1.1.3	現状の課題・問題点	6
1.1.4	本実証の目的	6
1.2	実証の概要	8
2.	実証環境の構築	9
2.1	対象周波数帯	9
2.2	実施環境	9
2.3	ネットワーク・システム構成	11
2.4	システム機能・性能・要件	20
2.5	その他	42
2.5.1	実証システムの拡張性等	42
2.5.2	実証システムの安全性確保のための対策	42
3.	特殊な環境におけるローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）	45
3.1	実証概要	45
3.2	実証環境	46
3.3	実証事項	47
3.3.1	線状の空間における電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化	47
3.3.2	線状の空間におけるエリア化の改善・柔軟性向上	84
4.	ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）	118
4.1	実証概要	118
4.1.1	背景となる課題	119
4.1.2	本実証におけるローカル 5G 活用モデル	121
4.1.3	実証内容の新規性・妥当性	129
4.1.4	実証目標	132
4.2	実証環境	134
4.3	実施事項	137

4.3.1	ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証	137
4.3.2	ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証	228
4.3.3	ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討	283
4.3.4	ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開	291
5.	普及啓発活動の実施	304
5.1	映像制作	304
5.2	実証視察会の実施	304
5.3	その他普及啓発活動	305
6.	実施体制	308
6.1	実施体制の全体像	308
6.2	実施体制内の役割	309
7.	スケジュール	310

1. 実証概要

1.1 背景・目的

「令和4年度課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証」の事業区分のうち、「特殊な環境における実証事業」（以下、「本実証」という。）として、河川災害時における情報収集・共有および復旧活動の迅速化に向けた課題を対象に、河川区域に設置した可搬型ローカル5Gシステムを用いて、ローカル5Gを活用したソリューションの実証を行うものである。

1.1.1 河川災害の状況変化

(1) 河川・土砂災害の激甚化・頻発化

近年、気候変動の進行により、河川災害の激甚化・頻発化が懸念されており、近年、氾濫危険水位を超過した河川数は増加傾向である。



図 1.1-1 氾濫危険水位を超過した河川数

出所「国土交通省白書 2021」（国土交通省）

土砂災害の発生件数についても、2018年に平成30年7月豪雨での災害を含む過去最多の3,459件となり、2019年には令和元年東日本台風での災害を含む1,996件、2020年には1,319件となっており、多くの土砂災害が発生している。

2020年は、令和2年7月豪雨によって、37府県において961件の土砂災害が発生した。これは過去最大クラスの広域災害である。

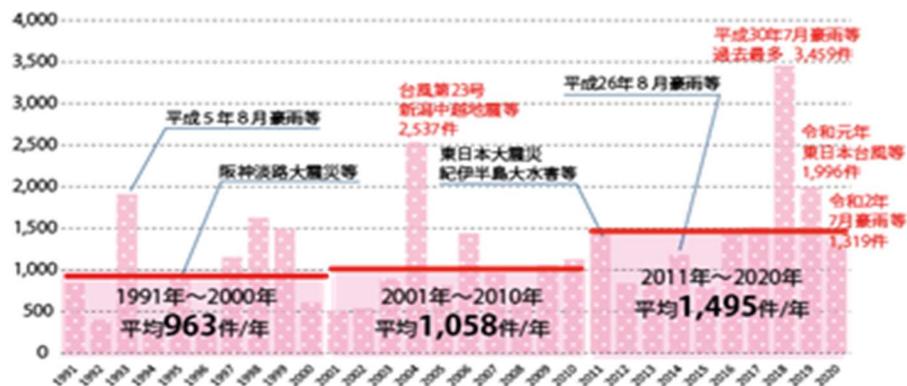


図 1.1-2 土砂災害の発生件数の推移

出所「国土交通省白書 2021」（国土交通省）

さらに、1時間雨量50mm以上の短時間強雨の発生頻度は、平均174回（1976年～1985年）から平均251回（2010年～2019年）と、直近30～40年間で約1.4倍に拡大した。

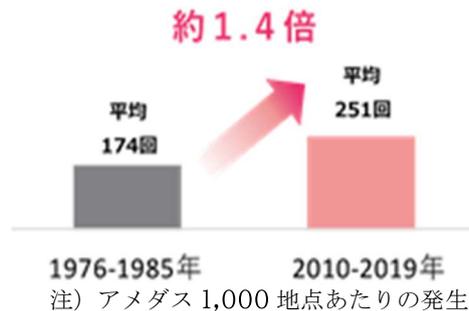


図 1.1-3 短時間強雨(50mm/h 以上)の年間発生回数

出所「国土交通省白書 2021」(国土交通省)

(2) 災害リスクの高い地域への人口・機能の集中

我が国では、洪水、土砂災害、地震（震度災害）、津波のいずれかの災害リスクがあるエリアの面積は国土全体の21.5%となっている。一方で、災害リスクのある地域に居住する人口は2015年現在で8,603万人、総人口に対する割合は67.7%を占めている。さらに、2050年にはその割合が70.5%まで増加すると予測されている。

表 1.1-1 リスクエリアに居住する人口(全人口に対する割合)の推移

対象災害	2015年のリスク地域内人口 (全人口に対する割合)	2050年のリスク地域内人口見込み (全人口に対する割合)
洪水	3,703万人(29.1%)	3,108万人(30.5%)
土砂災害	595万人(4.7%)	374万人(3.7%)
地震	7,018万人(55.2%)	6,003万人(58.9%)
津波	754万人(5.9%)	587万人(5.9%)
上記いずれか	8,603万人(67.7%)	7,187万人(70.5%)

出所「国土交通省白書 2021」(国土交通省)

(3) 迅速な状況把握と避難指示の重要性

水位上昇のスピードは河川によって大きく異なるが、短時間で一気に水位が上昇するケースもあり、人命を守るためには迅速な対応が重要である。

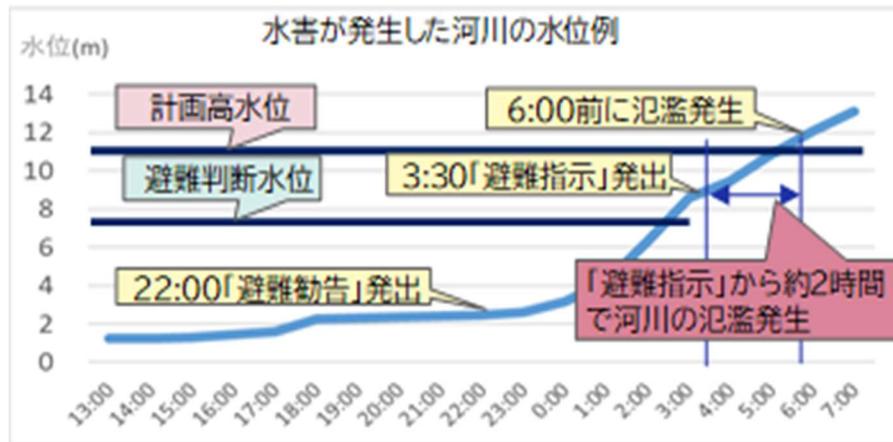


図 1.1-4 水害が発生した河川の水位例

出所 国土交通省資料

また、急速な高齢社会を迎えている現在、災害時には、こうした高齢者や障害者等の災害弱者が犠牲となる恐れがある。2004年の新潟・福島豪雨と福井豪雨では、死亡者の85%が65歳以上の高齢者となった。避難にも時間を要するため、日頃から地域で十分な支援体制を整備しておくことが重要となっている。

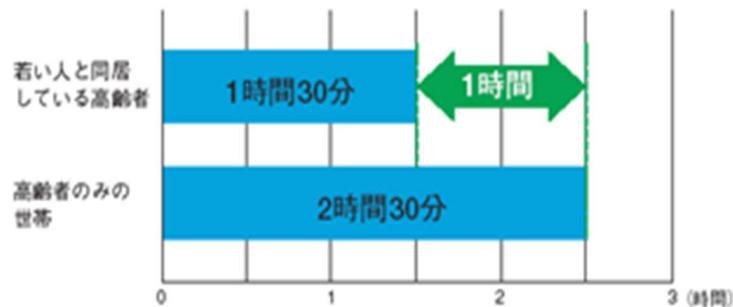


図 1.1-5 高齢者が避難に要した時間

出所「水害対策を考える」国土交通省 HP

1.1.2 インフラ分野を取り巻く環境

(1) 社会資本の老朽化

河川管理施設を含む防災・減災に重要な役割を果たすインフラは、その多くが高度経済成長期以降に整備されており、今後、建設から50年以上経過する施設が加速度的に増加する。

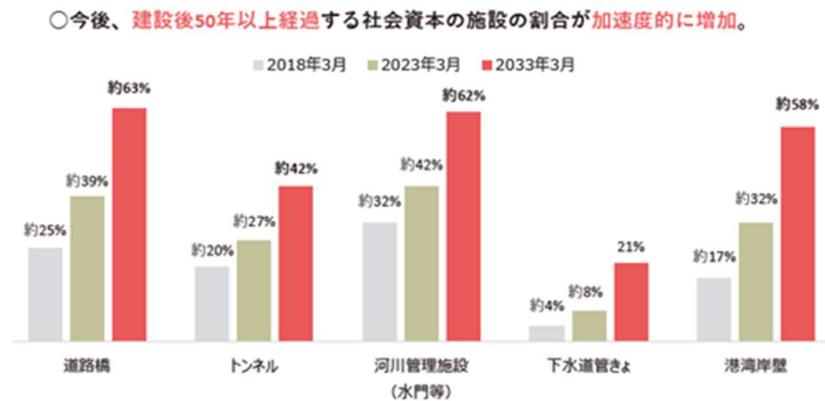


図 1.1-6 建設後50年以上経過する施設

出所「国土交通白書 2021」国土交通省

(2) 生産人口の減少

鉱業・建設業の就業者予測 2017年に493万人、2040年に288万人へと41.6%の大幅な減少が予測され、将来の人手不足への対策が必要である。

加えて、高齢化の進行により、洪水リスクが高い地域内の高齢者世帯 2010年448万世帯から2050年680万世帯(+52%)へ増加することが予測され、さらに近年、単独世帯の割合は増加傾向にあり、65歳以上の高齢者の単独世帯数は増加している。これらのことより、老朽化する大量なインフラ管理の対策に対し、施工や点検の省人化・無人化、災害状況把握・対策のリアルタイム化が必要となる。

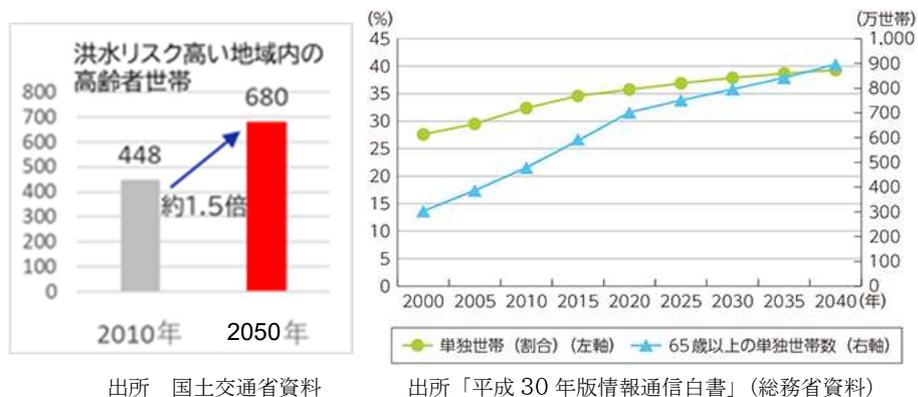


図 1.1-7 リスクの高い地域内の高齢者世帯と65歳以上の単独世帯数の推移

1.1.3 現状の課題・問題点

河川における災害発生時は、航空機やドローン等により被災状況の把握が行われる。

被災直後は、主に空中写真による被災範囲・規模等の把握が行われ、その後水位が低下してから応急復旧のためドローン等により空中写真撮影を行い、決壊延長・落掘れ等の把握が行われる。

災害時のデータ取得は、既に高精細映像の取得や、撮影した空中写真から3次元地形データ(SfMモデル)の作成など、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活用されている。

しかしながら、これらのデータは容量が大きいため、現在のLTEによる無線通信では、伝送に多くの時間を要するため、速やかな被害状況の把握を必要とする災害直後や、迅速な復旧工事へ向けた必要な工事データの提供に応えることができないという課題がある。

1.1.4 本実証の目的

前項の課題を解決するため、本実証では災害現場に高速・大容量なネットワーク環境を構築可能な可搬型ローカル5Gシステムにより、ドローンで取得した災害現場の高精細映像のリアルタイム伝送を行い、関係機関での速やかな被害状況の把握と共有の実現と、画像より作成される3次元地形データを建機等に伝送することで迅速な復旧活動の実現を目指すものである。

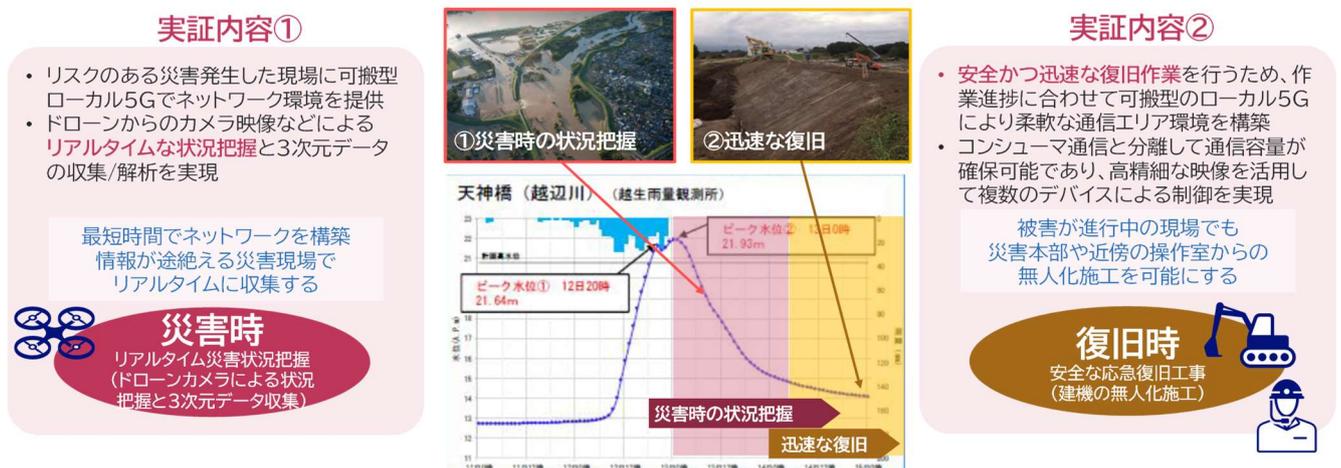


図 1.1-8 可搬型ローカル 5G を活用したソリューションイメージ(河川災害時)



図 1.1-9 本実証の概要

1.2 実証の概要

現在の LTE による無線通信では、伝送に多くの時間を要するため、多くの関係者に速やかな被害状況の把握・共有が必要とされる災害直後や、水位低下後の迅速な復旧工事へ向けた必要な工事データの提供に応えることができないという課題がある。

表 1.2-1 実証概要

実証地域	荒川下流域（東京都北区、足立区）
実証概要	<p>近年、気候変動の進行により、河川・土砂災害の激甚化・頻発化が懸念されており、氾濫危険水位を超過した河川数は増加傾向である。河川における災害では、発生直後は被害範囲・規模の速やかな把握と関係機関への共有が求められ、水位低下後の復旧工事では迅速な施工に向けた被害箇所の工事データ提供が求められるという課題が存在する。</p> <p>そのため、課題解決に向けて、以下の実証を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・河道内にローカル 5G 環境を構築し、ドローンによる被災箇所の高精細映像のリアルタイム伝送と復旧工事に必要な3次元地形データ伝送に関する実証を実施した。 ・河川災害の激甚化・頻発化を見据えた災害時の速やかな状況把握と迅速な災害復旧活動を実現した。
技術実証	<ul style="list-style-type: none"> ①河川の線状地形を考慮した置局(カバーエリア、調整対象区域)と電波伝搬モデル精緻化 ②災害時の復旧進捗を想定し、河川の堤内地、堤外地を考慮した電波伝搬モデル精緻化 ③レピータおよび複数基地局を使用し、河川の線状地形におけるカバーエリアの改善・柔軟性向上
課題実証	<ul style="list-style-type: none"> ①災害発生段階におけるドローンによる高精細映像のリアルタイム伝送 ②応急復旧段階におけるドローンによる静止画のリアルタイム伝送、3D 地形データ作成、復旧設計データ作成の作業効率化 ③応急復旧段階における施工データの取得から無人化施工までの安全性の向上かつ作業効率化
ローカル 5G の活用により目指す将来像	<ul style="list-style-type: none"> ■自然災害の激甚化・頻発化及び人口減少やインフラ老朽化に対応した「災害から命とくらしが守られる社会」ならびに「持続可能な社会」の実現 ・河川災害復旧 DX の一環として、発災から災害復旧までのプロセスを効率化・高度化した『スマート災害復旧』を実装する。 ・高精細映像のデータ伝送により、管理者及び関係機関が被災状況をいち早く把握・共有ができ、災害直後に適切な指示を出すことに貢献する。 ・3次元地形データ等の大容量データ伝送により、迅速な災害復旧工事への支援とインフラ管理における省力化・無人化による効率化へ貢献する。

2. 実証環境の構築

本実証は、荒川下流域の河川特有の環境において、ローカル 5G 基地局及びコア設備を設置しネットワーク・システムを構築するものとした。

本実証では河川災害時のリアルタイムな状況把握と情報共有、復旧作業時の無人化施工にローカル 5G システムが有効であるかを実証し検証したものである。

2.1 対象周波数帯

本実証では、4.8-4.9GHz 帯域(Sub6)の周波数帯を活用する。屋外環境での実証を想定しているため、屋外利用が可能な 4.8-4.9GHz 帯を対象周波数帯とする。

2.2 実施環境

実証エリアは図 2.2-1 で示す荒川下流域の①北区、②足立区のそれぞれの流域で実施した。

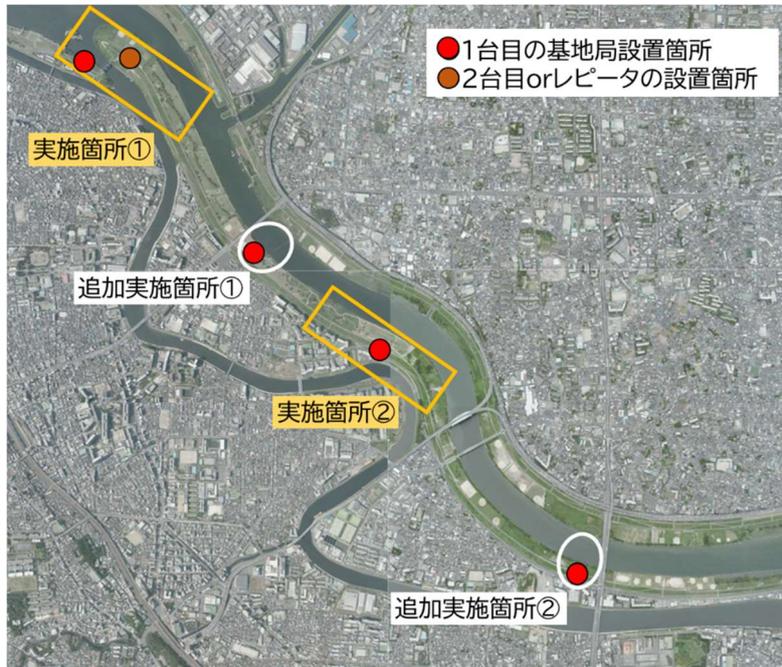
①の北区における岩淵地区は川幅が狭く、河道内に遮蔽物となる構造物（水門）があり堤防の形状が蛇行している地形、②の足立区における新田地区は川幅が広く河道内に遮蔽物がない堤防の形状が直線的な地形になっており、それぞれ異なる特徴的な河川の地形で実証を行った。

表 2.2-1 実証環境の概要

	荒川 ①岩淵地区(北区)	荒川 ②新田地区(足立区)
川幅	狭域	広域
遮蔽物	水門	なし
堤防線形	蛇行	直線
背後地	広大な河川敷を田畑(郊外地)と見立てて実施	住宅地(市街地)

技術実証、課題実証の実施箇所は、以下の通りである。

なお、上段図内における白丸においては、課題実証の一環として、日常時の河川点検における検証（船舶等からの画像伝送）を行った。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 2.2-1 荒川流域の実証フィールド

2.3 ネットワーク・システム構成

ローカル 5G システム (基地局) の概要は下記の通りである。詳細は下記(1)～(5)に記載する。

表 2.3-1 ローカル 5G システム(基地局)の概要

	基地局(型番 RV1200)
製造ベンダ	日本電気株式会社
台数	2 台
設置場所 (屋内/屋外)	屋外
同期/準同期	同期
UL : DL 比率	2:7
周波数帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA
UL 周波数	4.8~4.9GHz
DL 周波数	
UL 帯域幅	100MHz
DL 帯域幅	
UL 中心周波数	4.85GHz
DL 中心周波数	
UL 変調方式	256QAM
DL 変調方式	
MIMO	UL: 1×1MIMO DL: 2×2MIMO

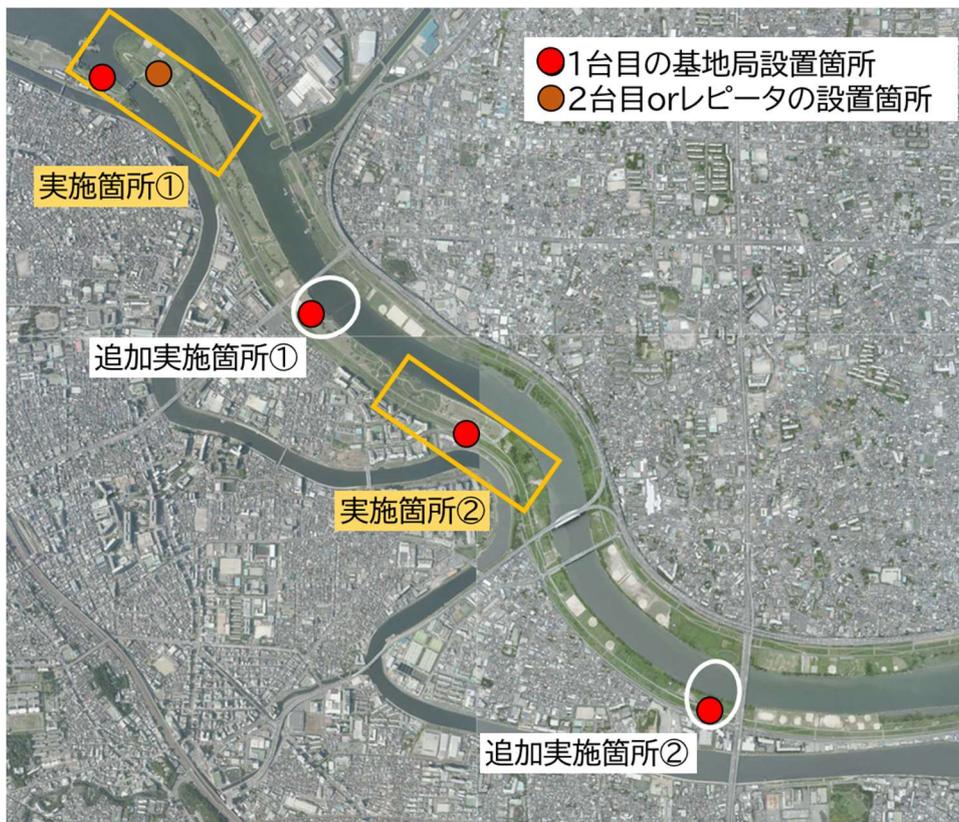
(1) 設置場所

【ローカル 5G 基地局及びレピータ】

- 本実証においては、以下の実施箇所①、②の荒川下流域の実証フィールドに伸縮柱搭載車内に設置したローカル 5G 基地局とレピータを設置した。
- 実施箇所① 岩淵地区（北区）：河道内の水門を遮蔽物（密な樹木）と見立て、
河川は蛇行、広大な河川敷を田畑（開放地）と見立て
- 実施箇所② 新田地区（足立区）：河道内の樹木なし、河川は直線、
堤内地は住宅地（市街地）
- 追加実施箇所① 新田船着場（鹿浜橋下流）、追加実施箇所② 扇大橋上流
：課題実証の一環として、日常時の河川点検における検証（船舶等からの画像伝送）を行うものとした

【ローカル 5G コア設備】

- ローカル 5G コア設備は、クラウドに設置し、5G コア以外の設備は伸縮柱搭載車内に設置して実証を行った。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 2.3-1 荒川下流域の設置場所イメージ

(2) 実施環境

基地局は、堤防および河川敷に設置した伸縮柱搭載車によりアンテナを地上高 10m 程度の「車載型の基地局」2 基とレピータで構成される。なお、「車載型の基地局」には、線形の河川域をカバー可能な、広域かつ長距離に電波を放射できるよう指向性を持ったセクタアンテナを利用し、電波伝搬特性の検証及び精緻化と複数基地局とレピータの組合せによるエリア構築の柔軟化について検証を行った。それぞれのエリアでのエリアカバレッジは下記の通りである。

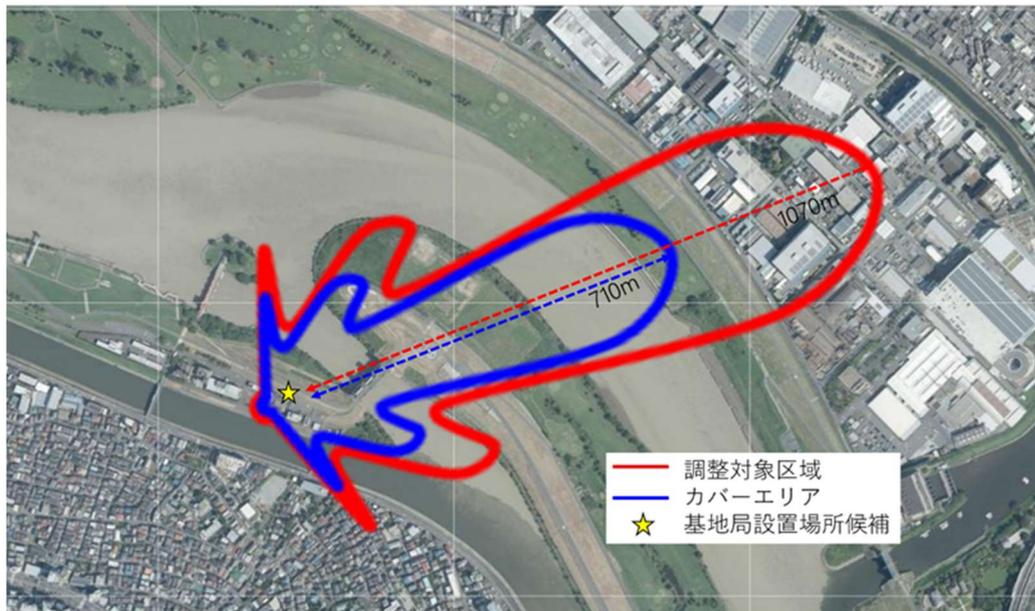


図 2.3-2 実施箇所①の基地局エリアカバレッジ(1)



図 2.3-3 実施箇所①の基地局エリアカバレッジ(2)



図 2.3-4 実施箇所②の基地局エリアカバレッジ

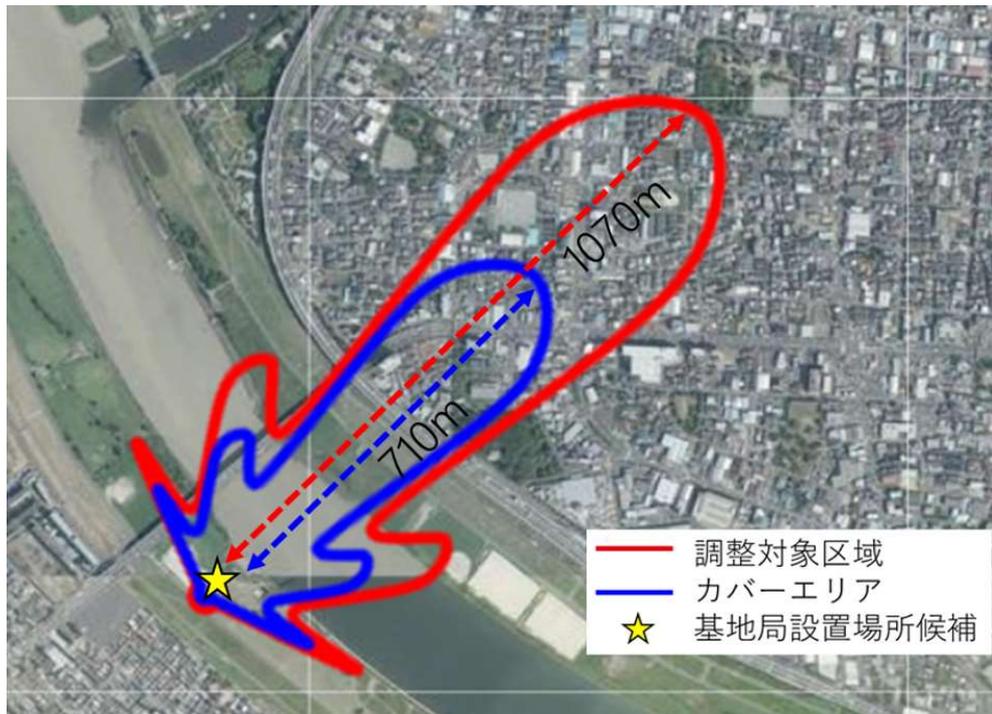


図 2.3-5 追加実施箇所①の基地局エリアカバレッジ



図 2.3-6 追加実施箇所②の基地局エリアカバレッジ

(3) ネットワーク・システム構成図

本実証においては、荒川下流域の実証フィールドに 4.8-4.9GHz 帯域 (Sub6) を利用した Stand Alone (SA) 方式のローカル 5G システムを使用した。

ローカル 5G システムの関連装置 (CU/DU/RU 一体型基地局、UPF 等) は、伸縮柱搭載車内に設置し、インターネット回線を通じてコア設備 (クラウド 5G コア) と接続して実施した。

災害時の破堤現場の映像や静止画はドローンで撮影され、リアルタイムに上位システムに送信される。上位システムで施工データを生成後、無人化施工システムに施工データを投入、建機の無人化施工を実現する構成とした。

CU (Central Unit) : 無線基地局のデータ処理を行う集約基地局

DU (Distributed Unit) : 電波の送受信を行うリモート局

RU (Radio Unit) : 無線基地局装置の無線子局

UPF (User Plane Function) : コアネットワークのうち U-Plane 機能を提供

FWA (Fixed Wireless Access) : 固定無線アクセスシステム

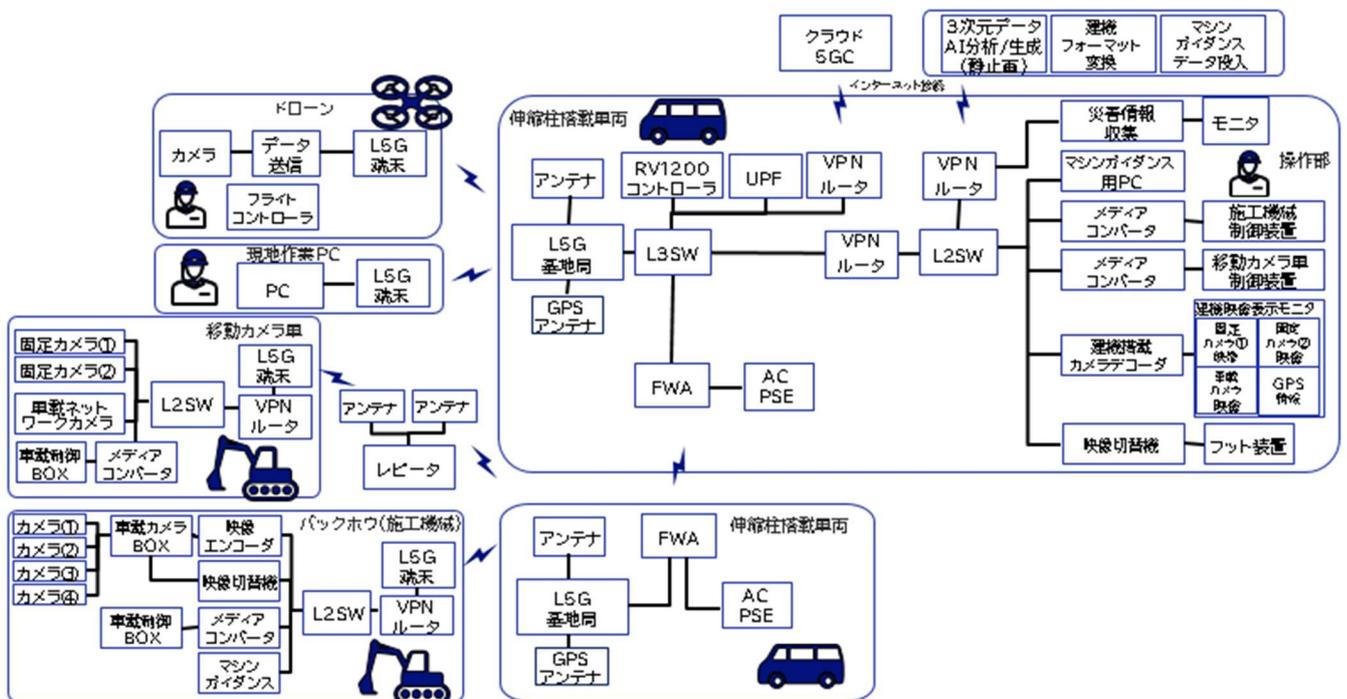


図 2.3-7 システム構成図

なお、ローカル 5G システムエリア内で得られた情報 (映像、画像) を河川事務所の災害対策室等へ伝送するためのネットワークとしては、河川管理者が整備・運用している既存の光ファイバー設備との連携を想定している。

なお、これは、将来的な実現を想定しているものであり、本実証では、仮想の河川事務所の災害対策室として、基地局内に LAN 接続した PC で実施した。

表 2.3-2 ローカル 5G 無線機器(Sub6)システム構成

項目	装置名	数量	調達先	役割	機能
5G システム	クラウド 5GC	1	日本電気株式会社	5G コアネットワーク(C-Plane 機能)	端末のモビリティ管理など
	UPF	1	日本電気株式会社	5G コアネットワーク(U-Plane 機能)	データパケットの転送
	RV1200 コントローラー	1	日本電気株式会社	5G 一体型基地局制御装置	一体型基地局の制御
	RV1200 (CU/DU/RU 一体型基地局)	2	日本電気株式会社	5G 基地局(集約/デジタル/無線部)	5G 基地局制御とベースバンド処理と無線機能
	セクタアンテナ	4	電気興業株式会社	5G 基地局(無線部アンテナ)	Sub6帯の電波を放射
	レピータ	1	電気興業株式会社	ローカル 5G 中継装置	ローカル 5G の無線信号を中継する
ネットワーク機器	L3SW	1	日本電気株式会社	ネットワーク中継装置	5G システムとサーバーの中継
	VPN ルータ	2	日本電気株式会社	ネットワーク中継装置	5G システムとサーバーの中継
	GPS アンテナ	2	日本電気株式会社	GPS 受信アンテナ	同期
5G 対応端末	モバイルルータ	5	京セラ株式会社/日本電気株式会社	5G 対応端末装置	デバイス接続

(4) ネットワーク性能

ローカル 5G システムのネットワーク性能は下記の通りである。

表 2.3-3 ローカル 5G システムのネットワーク性能

項目	仕様	備考
機種	RV1200	
接続端末数	16 台/1 基地局	
最大スループット	DL:660Mbps/UL:60Mbps(同期), DL:370Mbps/UL:120Mbps(準同期)	(理論値)
伝送遅延値	平均 35ms(Ping RTT)	NW 状況で変化
ハンドオーバー	対応 (RV1200 無線機同士)	

ローカル 5G 基地局の仕様は下記の通りである。

表 2.3-4 ローカル 5G 基地局仕様

項目	仕様	備考
周波数帯	4.6GHz-4.9GHz	
最大出力	24.0dBm(250mW)×2	
通信方式	TDD NR(ローカル 5G)	
SA/NSA	SA	
空中線利得	17dBi	
帯域幅	100MHz	
MIMO レイヤ数	ダウンリンク 2x2 MIMO	
変調方式	最大 256QAM	
同期	同期運用/準同期	
ネットワーク接続方式	10Gbps LAN	
時刻同期方式	GPS 同期方式	
電源	POE++ IEEE 802.3bt	

(5) 端末の概要

ローカル 5G システムの端末は適用内容により 2 種類準備しており、それぞれの概要は下記の通りである。

表 2.3-5 ローカル 5G システム端末概要

項目	仕様	備考
機種	K5G-C-100A	
製造ベンダ	京セラ株式会社	
ディスプレイ	2.6 [inch]	
サイズ	約 165(W) x 78(H) x 27(D) FAN Unit を含む	
質量	約 326g	
OS	AOSP(Android 10.0 ベース)	
CPU	Qualcomm Snapdragon 865 Octa-core, with Snapdragon X55 5G Modem	
インターフェース	USB-TypeC(3.1) HDMI*, Ethernet*, RS232C*	*専用のアダプターが必要
メモリ	RAM: 8GB / ROM: 128GB	
BT&Wi-Fi	Bluetooth 5.1 Wi-Fi (802.11 a/b/g/n/ac/ax) 2x2 MIMO	
Max Number	20 devices	
バッテリー	Capacity: 6,000 [mAh]	
Location	GPS/GLONASS/BeiDou/ガリレオ/みちびき/A-GPS/Wi-Fi(11mc)	
Supply	USB-TypeC (QC 4+)	
SIM	Nano SIM x2	
Support Band	5G NR (Sub6/mmW), ローカル 5G (Sub6/mmW) 4G LTE (マルチバンド)	
Network Type	NSA/SA 両対応	
ルータ機能	DHCP/ Port forwarding/ Packet filtering	

表 2.3-6 ローカル 5G システム端末概要

諸元・動作環境条件等	内容	備考
機種	RAKU+	
製造ベンダ	Compal Electronics	
搭載モデム	Qualcomm Snapdragon X55	
対応バンド	5G : n79(Sub6)、n257(mmWave) LTE: B41	
SIM カードタイプ	Nano SIM	
インターフェース	無線 LAN IEEE802.11a/b/g/n/ac/ax 2.4GHz 帯 / 5GHz 帯対応 有線 LAN (RJ45) 1000BASE USB (TypeC) USB3.1、Gen2	
バッテリー容量	5,300mAh	
外形寸法	119mm x 72mm x 23.5mm	
質量	235g	
技術基準適合証明	日本国内認証取得済み	

2.4 システム機能・性能・要件

本章では、本実証の無線区間及びシステム全体として必要とされる通信性能を記載する。また、本実証の実施に必要な機能及び性能を具備するシステムに関する構成機器について示す。

(1) システム機能・性能・要件

本実証の無線区間及びシステム全体として必要とされる通信性能において、災害発生時、復旧作業時の基地局における通信性能を以下に示す。

表 2.4-1 災害発生時の通信性能

項番	通信	対象台数	通信性能		伝送遅延
			UL	DL	
1	映像、センサーデータ通信 通信帯域は以下を想定。 ① リアルタイム映像配信 UL:45Mbps DL:— Mbps ② 撮影データ UL:8Mbps DL:— Mbps	① 1台 ② 1台	45Mbps (=45Mbps×1台) 又は、 8Mbps (=8Mbps×1台)	— Mbps (=— Mbps×*台)	0.1秒
合計			45Mbps	— Mbps	—

表 2.4-2 復旧作業時の通信性能

項番	通信	対象台数	通信性能		伝送遅延
			UL	DL	
1	無人化施工 通信帯域は以下を想定 ① 重機制御データ UL:1Mbps DL:1Mbps ② 建機用カメラデータ UL: 10 Mbps DL:— Mbps ③ マシンガイダンス信号 UL:5Mbps DL:5Mbps	① 2台 ② 4台 ③ 1台	47Mbps (=1Mbps×2台 +10Mbps×4台 +5Mbps×1台)	7Mbps (=1Mbps×2台 +5Mbps×1台)	0.2秒
合計			47Mbps	7Mbps	—

(2) ローカル 5G システム機器

ローカル 5G システムを構成する各装置の機能および性能諸元を以下に示す。

1) UPF



図 2.4-1 UPF 外観

表 2.4-3 UPF 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	43.7 x 381 x 434 mm (1U)	
質量	約 7.43kg	
電源	AC120V, 50/60Hz	
消費電力	Max.311W, Typ.206.5W	
冷却方式	FAN 強制空冷	
運用温度	0°C ~ 45°C @ 高度 3.048m 未満	
運用湿度	5 ~ 90%RH (結露しないこと)	
NIC	RJ45(1Gbps) x 4ports x 1 SFP+(10Gbps) x 2ports x 1	
HDD/SDD	1 x 960GB SSD	
メモリ	64GB(1 x 64GB RDIMM)	
CPU	1 x Intel Xeon-D 2.1G 16 core	

2) RV1200(Sub6 一体型基地局)



図 2.4-2 Sub6 一体型基地局外観

表 2.4-4 Sub6 一体型基地局諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
周波数	4.6-4.9GHz (100MHz 幅)	
送信出力	250mW/RF 端子×2	
外寸	250×210×57mm	
質量	3kg	
防塵/防水	IP65 準拠(IEC 規格)	
アンテナ	外付け	

3) アンテナ

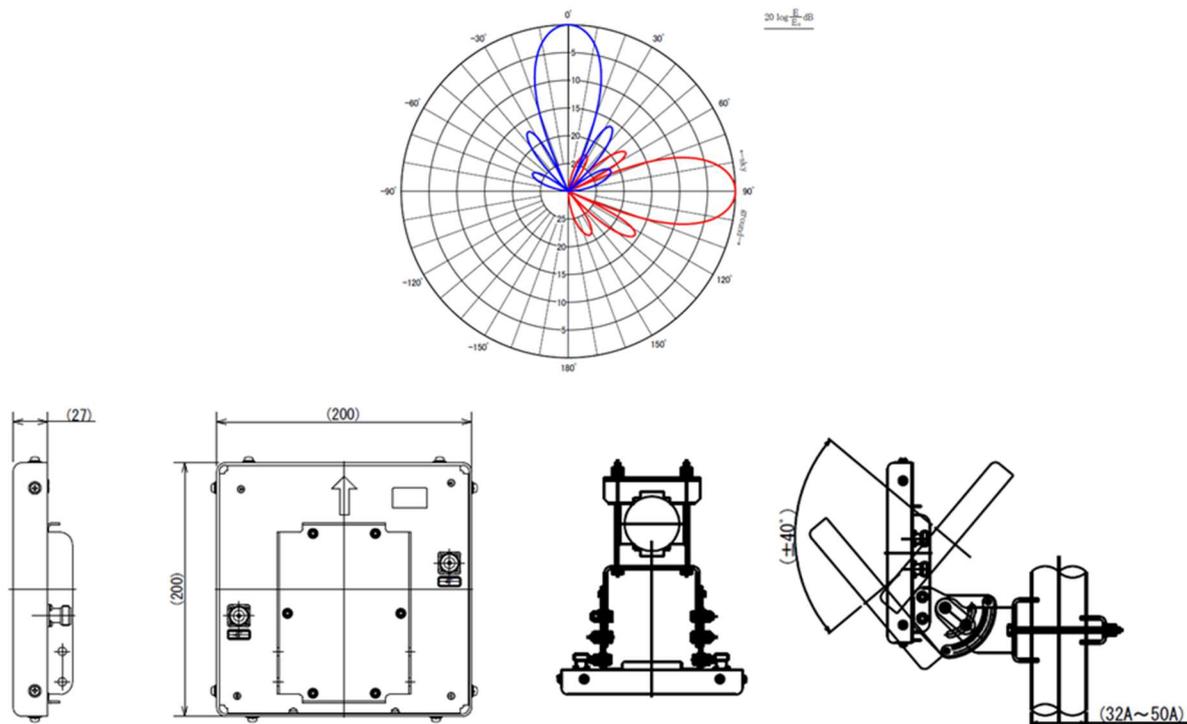


図 2.4-3 セクタアンテナ緒元

表 2.4-5 セクタアンテナ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
対応周波数	4400MHz~5000MHz	
利得	約 17dBi	
水平面内指向性	約 20°	
垂直面内指向性	約 20°	
ビームチルト角	0°(固定)	
定在波比	2.0 以下	
偏波面	±45°偏波	
アンテナ端子	N-J	
重さ	2.0kg(取付金具は含まない)	
大きさ	(W)200mm x (H)200mm x (D)27mm	
防塵・防水	未対応	

4) RV1200-Controller/CB 装置



図 2.4-4 RV1200-Controller/CB 装置外観

表 2.4-6 RV1200-Controller/CB 装置諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
CPU	Core i3(8100T 3.1GHz 4C4T)	
メモリ	4GB x2	
HDD/SDD	220GB x1 SSD	
LAN	RJ45(1Gbps) x2ports	
冗長化	非対応	
寸法(W/D/H)	50mm×180mm x 180mm	
質量	本体:約 1,600g、AC アダプター:約 570g	
電源	120W AC100/240V、50/60Hz	(AC アダプター添付)
消費電力	最大 120W	
冷却方式	強制空冷	(FAN 有)
運用温度	動作時:5~40℃	
運用湿度	動作時:20~85%(結露なきこと)	

5) L3スイッチ



図 2.4-5 L3スイッチ外観

表 2.4-7 L3 スイッチ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製品名	UNIVERGE QX-S5124GP-4X(W)	
用途	ローカル 5G 基地局を収容するためのコアスイッチ	
インターフェース	10GBASE-SR/LR(SFP+) : 4 ポート 1GBASE-SR/LR(SFP) : 16+8 ポート(コンボポート) 10/100/1000BASE-T(RJ-45) : 8 ポート(コンボポート) 10/100/1000BASE-T(RJ-45) : 1 ポート(マネジメントポート)	
管理インターフェース	RJ-45(QX-S5124GP 側) - D-Sub9 ピン(PC 側) : 1 ポート	
電源	AC90~264V ※三極 AC100V ケーブル	
最大消費電力	53W	
重さ	4.3kg	
大きさ	(W)440mm x (H)44mm x (D)360mm	
動作温度	0~+45 度	
動作湿度	10~90% ※結露なきこと	
防塵・防水	未対応	
設置方法	19 インチラックマウント(別売り) or 据え置き	

6) VPN ルータ



図 2.4-6 VPN ルータ外観

表 2.4-8 VPN ルータ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	210×175×40 (突起物を除く)	(W×D×H)[mm]
質量	900g 以下	(AC アダプター含)
電源	AC100V±10% 50/60Hz(AC アダプター)	
最大消費電力	28VA(17W)以下 (USB データ通信端末の消費電力を除く)	
運用温度	0℃~45℃	
運用湿度	90%以下(非結露)	
Ether ポート	5 ポート(RJ-45) 1000BASE-T/100BASE-TX/10BASE-T(※3)、Auto-MDI/MDIX 対応、IEEE802.3u/802.3	
転送レート	LTE 下り最大 300Mbps、上り最大 50Mbps WCDMA 下り最大 14Mbps、上り最大 5.7Mbps	

7) K5G-C-100A



図 2.4-7 K5G-C-100A 外観

表 2.4-9 K5G-C-100A 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
ディスプレイ	2.6 [inch]	
サイズ	約 165(W) x 78(H) x 27(D) FAN Unit を含む	
質量	約 326g	
OS	AOSP(Android 10.0 ベース)	
CPU	Qualcomm Snapdragon 865 Octa-core, with Snapdragon X55 5G Modem	
インターフェース	USB-TypeC(3.1) HDMI*, Ethernet*, RS232C*	*専用のアダプターが必要
メモリ	RAM: 8GB / ROM: 128GB	
BT&Wi-Fi	Bluetooth 5.1 Wi-Fi (802.11 a/b/g/n/ac/ax) 2x2 MIMO	
Max Number	20 devices	
バッテリー	Capacity: 6,000 [mAh]	
Location	GPS/GLONASS/BeiDou/ガリレオ/みちびき/A-GPS/Wi-Fi(11mc)	
Supply	USB-TypeC (QC 4+)	
SIM	Nano SIM x2	
Support Band	5G NR (Sub6/mmW),ローカル 5G (Sub6/mmW) 4G LTE (マルチバンド)	
Network Type	NSA/SA 両対応	
ルータ機能	DHCP/ Port forwarding/ Packet filtering	

8) 端末(RAKU+)



図 2.4-8 端末(RAKU+)外観

表 2.4-10 端末(RAKU+)諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
搭載モデム	Qualcomm Snapdragon X55	
対応バンド	5G : n79(Sub6)、n257(mmWave) LTE: B41	
SIM カードタイプ	Nano SIM	
インターフェース	無線 LAN IEEE802.11a/b/g/n/ac/ax 2.4GHz 帯 / 5GHz 帯対応 有線 LAN (RJ45) 1000BASE USB (TypeC) USB3.1、Gen2	
バッテリー容量	5,300mAh	
外形寸法	119mm x 72mm x 23.5mm	
質量	235g	
技術基準適合証明	日本国内認証取得済み	

9) GPS アンテナ



図 2.4-9 GPS アンテナ外観

表 2.4-11 GPS アンテナ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	40.4 x 37.8 x 10 mm	
質量	0.3kg	
アンテナ利得	-0.5dBi 以上(仰角 90 度) -10dBi 以上(仰角 10 度)	
総合利得	26±3dBi(1575.42MHz) 27±3dBi(1602MHz)	
周波数帯域	1575 ~ 1610MHz	
運用温度	-40 °C ~ 85 °C	

10) FWA



図 2.4-10 FWA 外観

表 2.4-12 FWA 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
無線周波数	71~76 / 81~86GHz	
帯域幅	62.5/125/250/500/750/1000/2000MHz(ETSI/ANSI)	
復信方式	FDD	
送信出力	+18dBm (QPSK)	
伝送速度	10Gbps(2000MHz/128QAM)	
変調方式	QPSK, 16, 32, 64, 128, 256QAM	
インターフェース	2×10GbE(Optical) 1×1GbE(Electrical)	
クロック同期	Synchronous Ethernet	
Ethernet OAM	ITU-T G.8013/Y.1731	
消費電力	65W typ	
サイズ/質量	230(W)×230(H)×65(D)mm / 3.5kg	

11) ローカル 5G の可搬に関する機器



図 2.4-11 伸縮柱搭載車両外観

表 2.4-13 伸縮柱搭載車両緒元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
車種	トヨタ自動車 ハイエース	
種別	普通	
用途	特種	
自家用・事業用の別	自家用	
車体の形状	検査測定車	
型式	CBF-TRH200V	
伸縮ポール	10 段 10m	

12) ローカル 5G の中継装置



図 2.4-12 4.8GHz 帯 RF レピータ外観

表 2.4-14 4.8GHz 帯 RF レピータ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製造元	電気興業株式会社	
周波数範囲	4.8-4.9GHz (100MHz 幅)	
通信方式	5G NR	
送信/受信経路	2T2R	
アンテナ	外付け	N 型コネクタ
装置内利得	40dB~60dB	
装置内遅延	約 300ns	
送信出力	+10dBm / 100MHz / アンテナ端子	
寸法	292mm×345mm×157mm	
電源電圧	AC100V±10%	消費電力 50W 以下

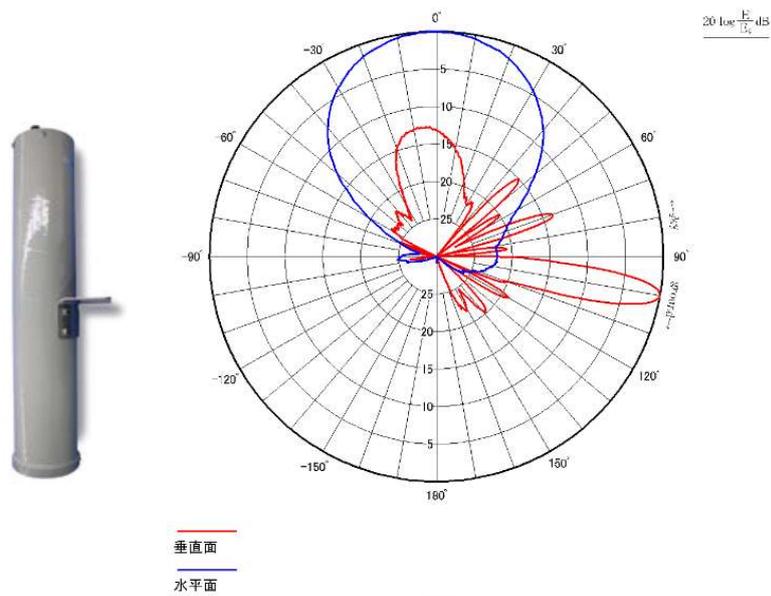


図 2.4-13 RF レピータ外部接続用アンテナ外観・指向性図

表 2.4-15 RF レピータ外部接続用アンテナ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
対応周波数	3400MHz～5000MHz	
利得	約 17.5dBi	
水平面内指向性	約 55°±10°	
垂直面内指向性	約 6.5°±1°	
ビームチルト角	電気チルト可変式(AISG2.0 準拠)	
定在波比	1.5 以下	
偏波面	垂直偏波・水平偏波	
アンテナ端子	N-J	
重さ	3.8kg(取付金具は含まない)	
耐風速	75m/s	
寸法	φ105mm×550mm(コネクタを除く)	

(3) 計測機器

以下の国産ドローン、カメラ、ジンバルを用いて本検証を行うものとする。



図 2.4-14 ドローン外観

表 2.4-16 ドローン諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製造元	株式会社 ACSL	
製品名	ACSL-PF2	
全長(プロペラ範囲)	1,173 mm	
高さ(カバー上面まで)	526 mm	
高さ(アンテナを含む)	654 mm	
重量(バッテリー2本含む)	7.07 kg (機体本体 3.8 kg)	
モータ	ブラシレス DC モータ (シナノケンシ)	
プロペラ	XAOR (静音) 15 inch	
ESC	東芝 TPMD0001A	
フライト制御システム	オートパイロット ACSL AP 3.0	
バッテリー容量	12,000 mAh × 2	
バッテリー公称電圧	22.2 V	
バッテリータイプ	LiPo 6S	
飛行速度	水平 10 m/s、上昇 3 m/s、下降 2 m/s	
最大対気速度	20 m/s	
最大ペイロード	2.75 kg	



図 2.4-15 カメラ外観

表 2.4-17 カメラ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製造元	ソニー株式会社	
製品名	Sony α7R V ILCE-7RM4A	
型式	レンズ交換式デジタルカメラ	
使用レンズ	E マウント	
撮像素子	35mm フルサイズ(35.7×23.8mm)、 Exmor R CMOS センサー	
カメラ有効画素数	約 6100 万画素	
総画素数	約 6250 万画素	
アスペクト比	3:2	
静止画記録 ファイル形式	JPEG (DCF Ver.2.0、Exif Ver.2.31、 MPF Baseline)準拠、RAW(Sony ARW 2.3 フォーマット)	
動画記録 ファイル形式	XAVC S、AVCHD 規格 Ver.2.0 準拠	
使用電池	リチャージャブルバッテリーパック NP- FZ100	
質量(バッテリー・メモリー カードを含む)	約 665g	
質量(本体のみ)	約 580g	
外形寸法	約 128.9(幅) x 96.4(高さ) x 77.5(奥行 き)mm	



図 2.4-16 ジンバル外観

表 2.4-18 ジンバル諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製造元	Gremisy 社	
製品名	Pixy U	
最大制御回転速度	パン軸 100°/s チルト軸 100°/s ロール軸 100°/s	
エンドポイント範囲	パン軸 +330° ~ -330° チルト軸 +135° ~ -45° ロール軸 +45° ~ -90°	
入力電力	14~52V	
動作電力	12V	
動作環境温度	0~50°C	
質量	0.465kg	
外形寸法	約 112(幅) x 200(高さ) x 145(奥行き) mm	

(4) 解析システム

ドローンで撮影した静止画から3次元モデルを生成する。使用する解析システムの概要、諸元を以下に示す。



図 2.4-17 3次元モデルを生成するシステム概要

表 2.4-3次元モデルを生成するシステム諸元

項目	内容
システム名	KKC-3D (読み: ケーケーシースリーディー)
URL	https://www.3Dcloud.kkc.jp/
提供元	国際航業株式会社
内容	クラウドによる3次元モデル生成サービス
入力画像形式	JPEG・TIFF
その他入力ファイル	標定点情報
3次元点群 出力データ形式	LAS・LAZ・PLY・XYZ
3Dメッシュ 出力データ形式	PLY・FBX・DXF・OBJ
その他出力ファイル	DSM・DTM・オルソ・空三結果・ 内部パラメータ・無歪み画像
外部連携方式	上記 URL からのアクセス 又は WebAPI による連携

(5) 3次元ビューア

解析システムで生成した3次元モデルを3次元ビューアに搭載することで、状況把握に活用することができる。ビューアの概要、諸元を以下に示す。

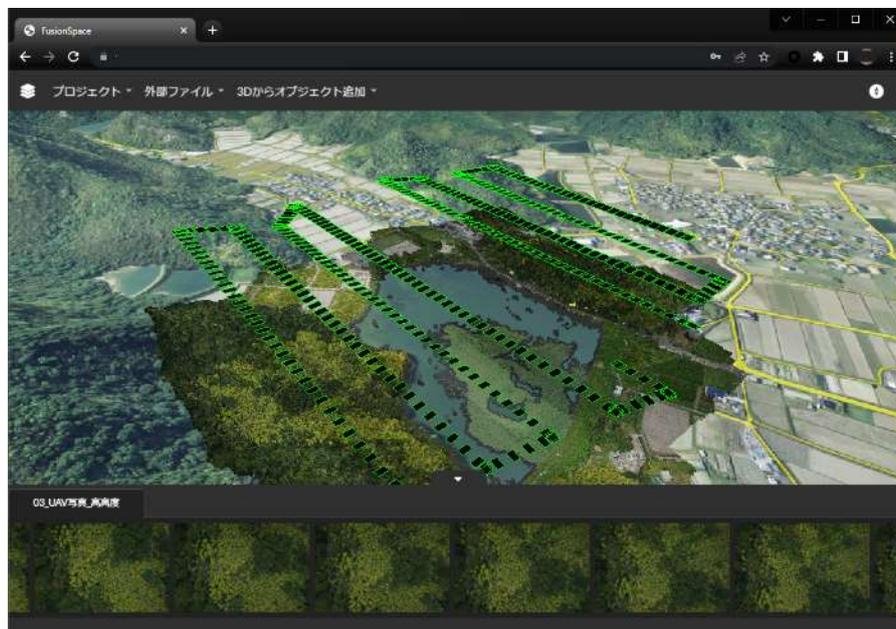


図 2.4-18 3次元ビューア概要

表 2.4-19 3次元ビューア諸元

項目	内容
サービス名	FusionSpace (読み:フュージョンスペース)
提供元	国際航業株式会社
内容	クラウドによる3次元ビューア
主な機能	点群データ、写真データの表示と連携 外部データ表示(河川区域データ、3D都市モデルデータなど) 3次元計測(点・線・面) 計測結果の書き出し・読み込み 任意断面の表示・出力 面積計測・体積計測・体積差分計測・角度計測 印刷・画面キャプチャ出力
対応 OS	Windows 10/11 64bit macOS Monterey
対応 CPU	第 7 世代 Intel Core i5 以上
必要メモリ	8GB 以上
対応ブラウザ	WebGL2.0 以降対応ブラウザ Chrome 64bit 版・Edge 64bit 版 ※Safari は動作対象外
構成方式	オンプレミス・クラウド (インターネット接続が必要)

※動画配信を行うためのサーバーはクラウド等を利用することを想定する。

(6) 無人化施工に関する機器

1) 遠隔操作用バックホウ (0.5 m³)

標準的なバックホウに遠隔油圧制御ユニットを搭載し操作するシステムである。



図 2.4-19 遠隔操作用バックホウ外観

表 2.4-20 遠隔操作用バックホウ諸元

項目	内容
システム名	遠隔操作バックホウ HRC システム
提供元	西尾レントオール株式会社(ベースマシンは住友建機販売)
内容	遠隔で操作できるバックホウ
通信方式	RS422 通信による遠隔制御
送信機操作数	アナログジョイスティック ジョイスティックスイッチ パネルスイッチ
送信機サイズ	W230*D196*H147
送信機連続使用時間	8 時間
送信機耐水	JIS D 0203-1994 S2
送信機質量	2.3kg
送信機使用電源	充電式 Ni-Cd 電池 DC4.8V
使用温度範囲	-10℃～60℃

表 2.4-21 バースマシン仕様(参考)

SH135X-3B		
基本	バケット容量(新JIS)山積/平積	0.50m ³ /0.37m ³
	運転質量	13400kg
	エンジン名称	いすゞ AJ-4JJ1X
	定格出力	70.9kW/2000min ⁻¹
	排気量	2999mL(cc)
寸法	アーム種類	STD
	輸送時全長	7240mm
	輸送時全幅	2490mm
	輸送時全高	2800mm
	クローラ全長	3500mm
	クローラ全幅	2490mm
	標準シュー幅	500(グローサシュー)mm
性能	走行速度: 高速/低速	5.0/3.1km/h
	登坂能力	70%(35°)
	回転速度	10min ⁻¹
	バケット掘削力	89.7kN
	アーム掘削力	63.9kN
油圧機器	ポンプ形式	2速可変容量形ピストンポンプ 1個
	最大圧力	34.3MPa
	走行モータ形式	可変容量形ピストンモータ 2個
	駐車ブレーキ形式	機械式ロック(走行レバー連動式)
	回転モータ形式	定容量形ピストンモータ 1個
容量	燃料タンク容量	165L
	作動油容量	130L

2) 55 インチモニター



図 2.4-20 55 インチモニター外観

表 2.4-22 55 インチモニター諸元

項目	内容
メーカー・型式	オリオン・OL55XD100
内容	各カメラをモニタリング
本体寸法	W1231 * D210 * H769
重量	13.3kg
消費電力	140w
映像	4K・HDR 信号対応(HDR10/HLG)
画面サイズ	55V 型
画素数	3,840 × 2,160(4K)

3) 24 インチモニター



図 2.4-21 24 インチモニター外観

表 2.4-23 24 インチモニター諸元

項目	内容
メーカー・型式	三菱・LCD-24LB7
内容	各カメラをモニタリング
本体寸法	W578* D398 *H252
重量	5.12kg
消費電力	29w
映像	4K・HDR 信号対応(HDR10/HLG)
画面サイズ	55V 型
画素数	1366×768(ワイド XGA)

4) 車載 HD カメラ



図 2.4-22 車載 HD カメラ外観

表 2.4-24 車載 HD カメラ諸元

項目	内容
メーカー・型式	AXIS・P3925-R
内容	遠隔施工用バックホウに搭載し撮影
レンズ	2.8 mm、F1.6・水平画角: 110°・垂直画角: 62°
シャッター速度	1/33500 秒～2 秒
解像度	1920*1080
ビデオ圧縮	H.264 (MPEG-4 Part 10/AVC)
本体寸法	高さ: 49.4 mm、直径 110 mm
重量	410g
消費電力	6.4w

5) カメラ車用旋回 HD カメラ



図 2.4-23 カメラ車用旋回 HD カメラ外観

表 2.4-25 カメラ車用旋回 HD カメラ諸元

項目	内容
メーカー・型式	西尾レントオール・CONDOR-HD
内容	遠隔施工用バックホウに搭載し撮影(旋回可能)
重量	13.5kg
消費電力	15w
映像	4K・HDR 信号対応(HDR10/HLG)
センサー形式	1/2.8 CMOS センサー
解像度	1920*1080
ズーム	光学 30 倍
旋回角度	P360°/T180°

6) モニタリングユニット



図 2.4-24 モニタリングユニット外観

表 2.4-26 モニタリングユニット諸元

項目	内容
メーカー・型式	西尾レントオール・HD-VIEW
内容	各カメラを制御・モニタリング
本体寸法	W117*D112*H51
重量	1.5kg
消費電力	30w
OS	Win10
アプリケーションソフト	HD 画像操作専用アプリケーションソフト

7) 映像切替器



図 2.4-25 映像切替器外観

表 2.4-27 映像切替器諸元

項目	内容
メーカー・型式	西尾レントオール・映像切替器
内容	カメラを遠隔から切替
本体寸法	W66*D115*H106
重量	0.28kg
消費電力	3.5w
切替 CH	5ch

8) マシンガイダンスシステム

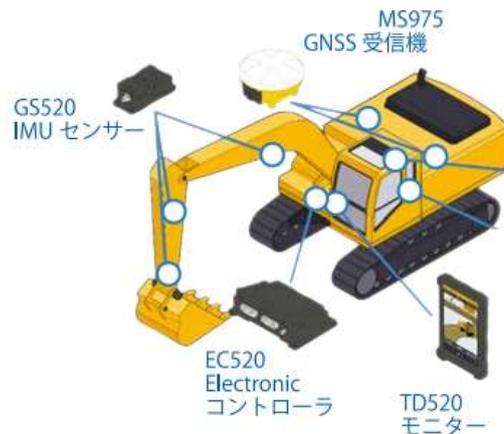


図 2.4-26 マシンガイダンスシステム外観

表 2.4-28 マシンガイダンスシステム諸元

項目	内容
メーカー・型式	トリンプル社・Earthworks_excavators
内容	遠隔操作用バックホウの位置情報を把握し、設計データとの差分をガイダンス

表 2.4-29 GNSS 受信機部

項目	内容
メーカー・型式	トリンプル社・MS975
内容	重機の位置情報を GNSS 測位にて把握
本体寸法	118*190*194mm
重量	1.83kg
測位方式	RTK2 周波・GPS・GLONASS

表 2.4-30 IMU 部

項目	内容
メーカー・型式	トリンブル社・GS520
内容	重機の各パーツの傾斜をモニタリング
本体寸法	68*138*44mm
重量	0.5kg
センサー	6 軸

表 2.4-31 情報処理部

項目	内容
メーカー・型式	トリンブル社・EC520
内容	各種センサー情報統合及び中央演算部
本体寸法	200*130*58mm
重量	1.05kg
CPU・OS	1GHz・Linux

表 2.4-32 モニター部

項目	内容
メーカー・型式	トリンブル社・TD520
内容	ガイダンス情報を表示・操作
本体寸法	293*185*50mm
重量	2.07kg
CPU・OS	1GHz・Android6.0

表 2.4-33 通信端末部

項目	内容
メーカー・型式	トリンブル社・SNM941
内容	GNSS 補正情報・クラウド情報入出力装置
本体寸法	293*185*50mm
重量	2.07kg
CPU・OS	1GHz・Android6.0

9) マシンガイダンス用クラウドサービス

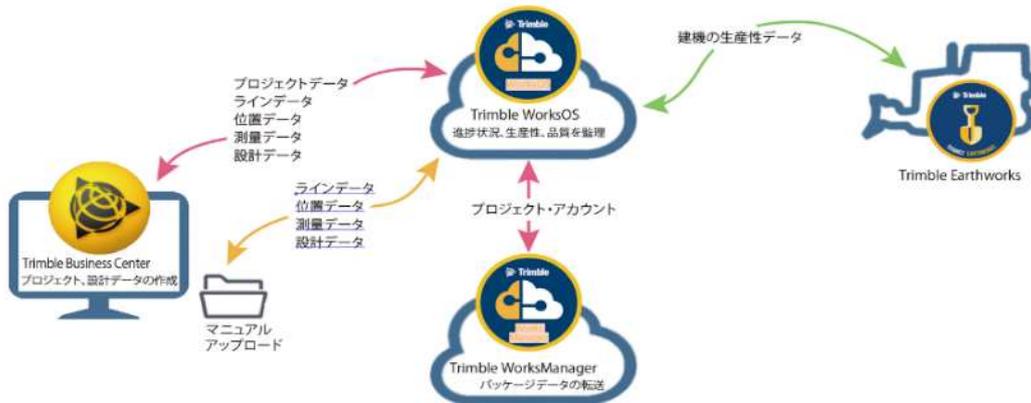


図 2.4-27 マシンガイダンス用クラウドサービス概要

表 2.4-34 マシンガイダンス用クラウドサービス諸元

項目	内容
メーカー・型式	トリンブル社・WorksOS
内容	マシンガイダンスのデータ入出力及び画面モニタリング
本体寸法	W66 * D115 * H106
対応 OS	Windows 10 64bit
必要メモリ	8GB 以上
対応ブラウザ	WebGL2.0 以降対応ブラウザ Chrome 64bit 版・Safari は動作対象外

10) マシンガイダンス用 VRS サービス

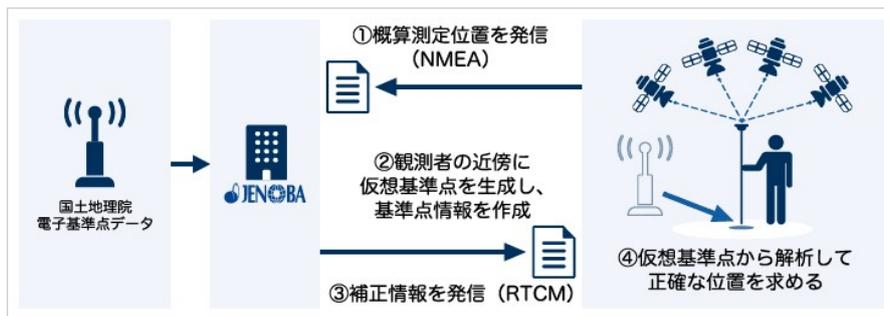


図 2.4-28 マシンガイダンス用 VRS サービス概要

表 2.4-35 マシンガイダンス用 VRS サービス諸元

項目	内容
メーカー	株式会社ジェノバ
内容	GNSS 測位用補正データ配信サービス
配信データ	RTCM(Ver3.2)
通信方法	Ntrip 方式
対応機器	RTK 測位が可能な 2 周波対応受信機
対応衛星	GPS/GLONASS/QZSS/Galileo

2.5 その他

2.5.1 実証システムの拡張性等

本実証ではローカル 5G システムは、伸縮柱搭載車内に設置する基地局設備（CU/DU/RU 一体型基地局、UPF 等）とクラウド上に設置されインターネット回線を通じ接続するコア設備（クラウド 5G コア）にて構築している。

基地局設備は CU/DU/RU を一体型としたコンパクトな基地局であり車両搭載し移動できる高い可搬性が特徴である。一方でコア設備との接続にはインターネット回線を通じた接続が必要である。

今後の拡張として、基地局設備とコア設備を一体型とした小型でシンプルなハンドキャリー型ローカル 5G システムの検討、開発を進めている。

これにより、インターネットを介したコア設備への接続が不要となるためキャリア通信網などの乏しい山間部などの河川でもローカル 5G ネットワークの構築が可能となり、また基地局とコアがひとつの機器に集約し小型化されるため車両の入り込めない災害現場への設置が可能となるなど、可搬性・運用性の向上が見込める。

2.5.2 実証システムの安全性確保のための対策

(1) 特定高度情報通信技術活用システム

本実証にて使用した基地局、コア設備等のローカル 5G システム機器は、以下の事業者が供給を行った。なお、基地局は、3GPP の標準化仕様に準拠し、製品提供可能な無線インターフェースを具備する。

表 2.5-1 ローカル 5G システム機器の開発供給計画認定に関する情報

変更の認定の日付	令和 4 年 3 月 28 日
開発供給計画認定番号	2021 開 1 総経第 0001 号-3
認定開発供給事業者の名称	日本電気株式会社

本実証環境では、ローカル 5G システムと外部のネットワーク（日本電気株式会社、NEC クラウドコア）の間に VPN（IPsec）を確立することでセキュアな通信を実現した。

また、サプライチェーンリスクに対応するため、ローカル 5G システム機器に日本（国産）、台湾、米国のサプライヤー製品を利用した。

表 2.5-2 ローカル 5G システム機器のサプライヤー製品一覧

機器	装置名称	製造者(国名)
5GC	5G Core	日本電気株式会社 (日本)
UPF	User Plane Function	日本電気株式会社 (日本)
RV1200	Central/Distributed/Radio 一体型装置	日 Foxconn (台湾)
RV1200-Controller	RV1200 コントロール装置	日本電気株式会社(日本)
VPN	VPN ルータ	日本電気株式会社(日本)
K5G-C-100A	5G 端末装置	京セラ株式会社(日本)
RAKU+	5G 端末装置	Compal Electronics (台湾)
L3SW	Layer 3 スイッチ	日本電気株式会社(日本)
L2SW	Layer 2 スイッチ	Cisco(米国)
GPS アンテナ	Global Positioning System Antenna	古野電気株式会社(日本)

本実証で用いたドローンは、サプライチェーンリスクに対応するため、純国産のドローンを選定した。純国産ドローンを利用したことによりデータの流出防止に努め、ローカル 5G 環境下での安全性を確保した。

(2) その他の実証システム

試験環境の安全確保

使用する遠隔操作可能なバックホウについては、住友建機株式会社にて提供される市販のバックホウをベースマシンとし、西尾レントオール株式会社にて設計したリモコンシステムである HRC システムを搭載した。本機器構成については、10 年以上の国内稼働実績を持ち作業の安定性及び安定していることは、実現場での導入・使用状況から判断ができ採用に至った。

また、課題実証試験において使用・運転を実施する際は、建設機械を操縦するための資格である車両系建設機械運転技能講習修了者にて実施した。

試験時には、周囲の安全を確保するため、作業範囲をカラーコーンで囲み、第 3 者の立ち入りを禁止する誘導員の配置と、誘導看板の設置を行った。



図 2.5-1 試験環境の安全確保状況

建設機械動作に関する安全機構

今回の実験にあたり、ローカル 5G 通信環境を実装した上で、建設機械を遠隔操作させるため、通信異常が発生した際に安全に制御できるよう機能を確認した。

- 通信切断が起こった際の動作自動停止機能の確認
- 異常信号を受信した際の動作自動停止機能の確認
- 動作異常が起こった場合の、非常停止機能の作動確認

3. 特殊な環境におけるローカル 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

本実証では前章で述べた河川に構築するローカル 5G 実証環境において、以下について実施した。

- ・テーマⅠ:線上の空間における電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化
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。)に基づく河川環境ごとのカバーエリア及び調整対象区域と実測値の比較検証、現実の利用環境に近い電波伝搬モデル(算出式、パラメータ)の検討を行った。
- ・テーマⅡ:線上の空間におけるエリア化の改善・柔軟性向上
レピータおよび複数基地局を使用し、線状におけるエリア化の改善・柔軟性向上を行った。

表 3.1-1 技術実証の概要表

項目		該当(○、×)	
技術実証の 実施環境	周波数帯	4.7GHz 帯	○
		28GHz 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.線上の空間における 電波環境やユース ケースを想定した電 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.線上の空間におけ るエリア化の改善・柔 軟性向上		実施の有無	○

3.2 実証環境

本実証環境は、実際に河川の氾濫が想定される場所であり、このような災害時は、被災場所(本実証環境)に可搬型の基地局を運搬し、ローカル 5G によるエリア化が必要となる。

ここで、本実証環境は堤内地(堤防によって洪水から守られている区域、川の反対側)が他者土地と隣接しており、電波漏洩を抑える必要がある環境である。また、本実証環境は堤内地および堤外地(堤防の内側、川側の区域)で住宅の密集度、樹木や水門の有無など電波伝搬に影響を与える遮蔽物の割合が様々であるという点で代表的な河川である。そのため、本環境でモデル化した結果は他の河川でも流用が可能である。

以上の理由から本実証環境にて実証を行った。実証環境全体の航空写真を図 3.2-1 に、各環境の特徴を表 3.2-1 に示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.2-1 技術実証 実証環境

表 3.2-1 技術実証を行う各環境の特徴

	堤内地	堤外地	蛇行の有無
実証環境①	住宅地が点在	水門が存在	蛇行
実証環境②	住宅地	-	直線

3.3 実証事項

3.3.1 線状の空間における電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

- ・背景となる技術的課題

本ユースケースのような線状の空間でエリア化を行う場合、河川方向(線状方向)、堤内地、堤外地で電波伝搬環境が大きく異なる。

このように線状の空間では線状・非線状で電波伝搬環境が大きく異なるため、既存のエリア算出法で単一の補正值(パラメータ S)を使用すると、現実の伝搬距離とエリア算出法で算出するカバーエリアや調整対象区域と乖離が生じてしまう。

また、パラメータ S においては河川周辺特有の環境による分類では補いきれない環境がある。さらに、河川のような線状の水面におけるパラメータ K が明確に定義されていない。

このため、現実の伝搬距離とエリア算出法で算出するカバーエリアや調整対象区域と乖離が生じてしまう。

これにより電波干渉の発生、また必要以上に他者基地局との基地局間隔を遠ざけてしまうなど、ローカル 5G の普及に支障をきたす恐れがある。

なお、本実証環境は公募要領記載の実施環境要件(下記)にはパラメータ K、S いずれも合致する。

[パラメータ K] 基地局設置場所が屋外／測定距離 100m 以上／水面が存在する

[パラメータ S] 基地局設置場所が屋外／測定距離 100m 以上

2) 実証目標

実証環境を用いて、線状の空間における電波環境やユースケースを想定した電波伝搬モデルの精緻化を行うことを目標とした。具体的にはエリア算出法にけるパラメータ S およびパラメータ K を精緻化することを目標とした。

- ・パラメータ S の実証目標

線状の空間におけるパラメータ S について選択基準を詳細化する。具体的には基地局からの方向によって環境に合わせたパラメータ S を適用する必要があることを実証する。

現行のエリア算出法パラメータ S の分類では補えない環境の分類でパラメータ S の導出を行う。

- ・パラメータ K の実証目標

河川のような線状の水面が存在する環境におけるパラメータ K を定量化する。

特に河川においては伝搬経路中の河川の割合に着目し、河川の割合およびアンテナの高さに応じたパラメータ K の導出を行う。

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

- ・パラメータ S の発展性、新規性

令和 3 年度ローカル 5G 等開発実証「中山間地域での EV ロボット遠隔制御等による果樹栽培支援に向けたローカル 5G の技術的条件及び利活用に関する調査検討」では、樹木が散在する地域でのパラメータ S を精緻化していたが、1 基地局に対し、ひとつのパラメータ S を精緻化していた。本ユースケースでは方角によって環境が大きく異なるため、方角ごとにパラメータ S を導出することが過年度からの発展性となる。

- ・パラメータ K の発展性、新規性

令和 3 年度ローカル 5G 等開発実証「ローカル 5G を活用した操船支援情報の提供および映像監視による港湾内安全管理の取り組み」と比較し、本ユースケースでは伝搬経路上の一部に水面が存在するため、伝搬経路上のほとんどが海面となる過年度実証と比べると水面の影響が下がることが想定される。また、本ユースケースではアンテナの高さが変動するため、アンテナの高さによる水面の影響も変動すると考えられる。

このため水面の割合およびアンテナ高さに応じたパラメータ K を導出することが過年度からの発展性となる。

(2) 実証仮説

- ・パラメータ S の精緻化に関する実証仮説

仮説①

既存のエリア算出法では線状空間におけるエリア化を考慮していないため、線状-非線状方向で大きく環境が変わる場合、単一のパラメータ S では現実のカバーエリアや調整対象区域を表現することが困難である。

線状の空間においては、線状方向(アンテナ正面と背面)と非線状方向(アンテナの側面)で大きく環境が変わるため、最低でも 90 度方向ずつ 4 方向でパラメータ S の定義が必要である。90 度の粒度ではエリア図を作成する際に、粒度が粗いため実際のエリア範囲と乖離することが懸念される。一方、粒度を上げすぎるとよりエリア算出が煩雑になり、簡易かつ汎用性を求められるエリア算出法の目的と乖離する。

このため、アンテナ正面方向を基準に 45 度方向ずつ 8 方向でそれぞれのパラメータ S を定義する必要があると考えた。

仮説②

既存のエリア算出法では、河川特有の環境(樹木が密集した平地)におけるパラメータ S の分類が定義されていない。類似した定義としては、郊外地における「樹木、家屋等の散在する田園地帯」および市街地における「建物と繁茂した高い樹木の混合地域」があてはめられるが、樹木のみ密集したエリアでは、いずれの分類も合致しない。樹木のみ密集したエリアでは、パラメータ S における「市街地(S=0.0)」「郊外地(S=12.3)」の中間的な値になると考えた。

上記仮説①と仮説②をふまえ、各環境におけるパラメータ S の分類を仮説として検討する。

・実証環境① 仮説前後のエリア図

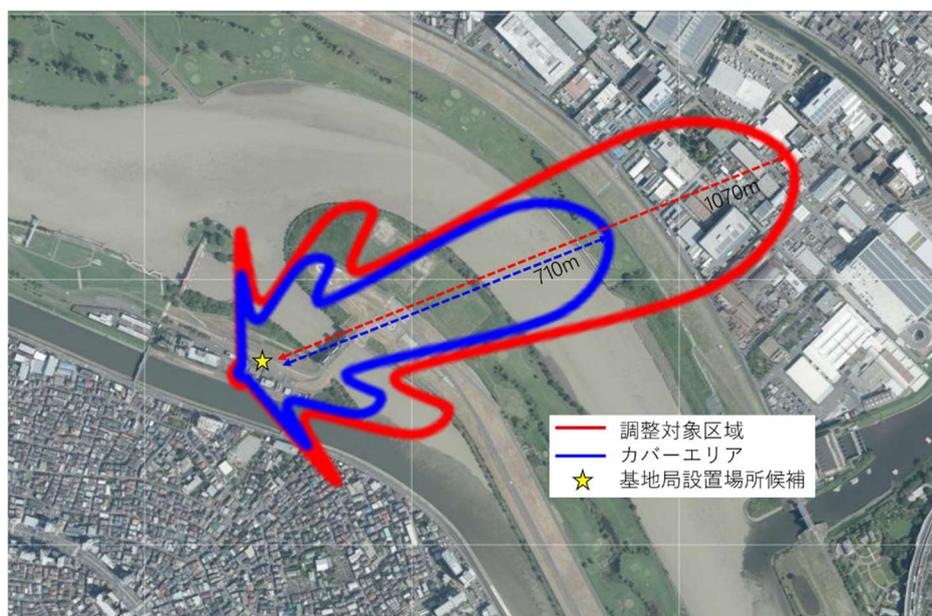
既存のエリア算出法(仮説前)で算出したカバーエリアおよび調整対象区域のエリア図を図 3.3-1 に示す。また、エリア算出に使用したパラメータと算出結果(最大利得方向)を表 3.3-2 および表 3.3-3 に示す。なお、本実証で使用するローカル 5G 機器は周波数帯域幅が 100MHz であるため、カバーエリア、調整対象区域の閾値は帯域 100MHz システムでの閾値となる。

既存のエリア算出法ではパラメータ S は全方向で 1 種類であるため、最も干渉エリアの広がる「開放地」とパラメータ S を分類した。

なお、各環境の分類はエリア算出法に記載されている下記定義を使用した。

表 3.3-1 エリア算出法 パラメータ S の分類定義

分類	補正值	定義
市街地	S=0.0	都市の中心部であって、2 階建て以上の建物の密集地や建物と繁茂した高い樹木の混合地域など
郊外地	S=12.3	樹木、家屋等の散在する田園地帯、郊外の街道筋など陸上移動局近傍に障害物はあるが密集していない地域
開放地	S=32.5	電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300~400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-1 仮説前のエリア図(実証環境①)

表 3.3-2 エリア算出に使用したパラメータ

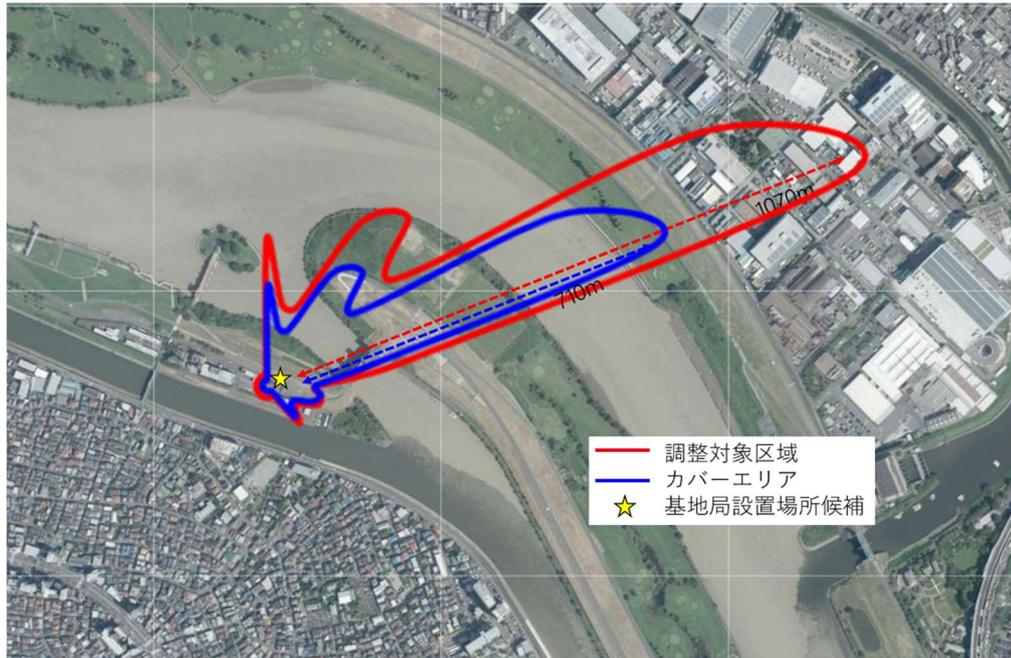
パラメータ	値
Pt[dBm]:送信電力	27
Gt[dBi]:送信アンテナ利得	17
Lf[dB]:基地局の給電損失	7.2
Gr[dBi]:受信アンテナ利得	0
f[MHz]:使用周波数	中心周波数:4850MHz 周波数範囲:4800~4900MHz
Hb[m]:基地局の地上高	10
Hm[m]:移動局の地上高	1.5
R	0
α	1
a(Hm):移動局高の補正	0
b(Hb):基地局高の補正	-9.542425094
K	0
S	32.5
カバーエリア閾値[dBm] (帯域 100MHz システム)	-84.6
調整対象区域閾値[dBm] (帯域 100MHz システム)	-91.0

表 3.3-3 エリア算出法によるカバーエリアと調整対象区域の最大距離

分類	基地局からの距離
カバーエリア	710m
調整対象区域	1070m

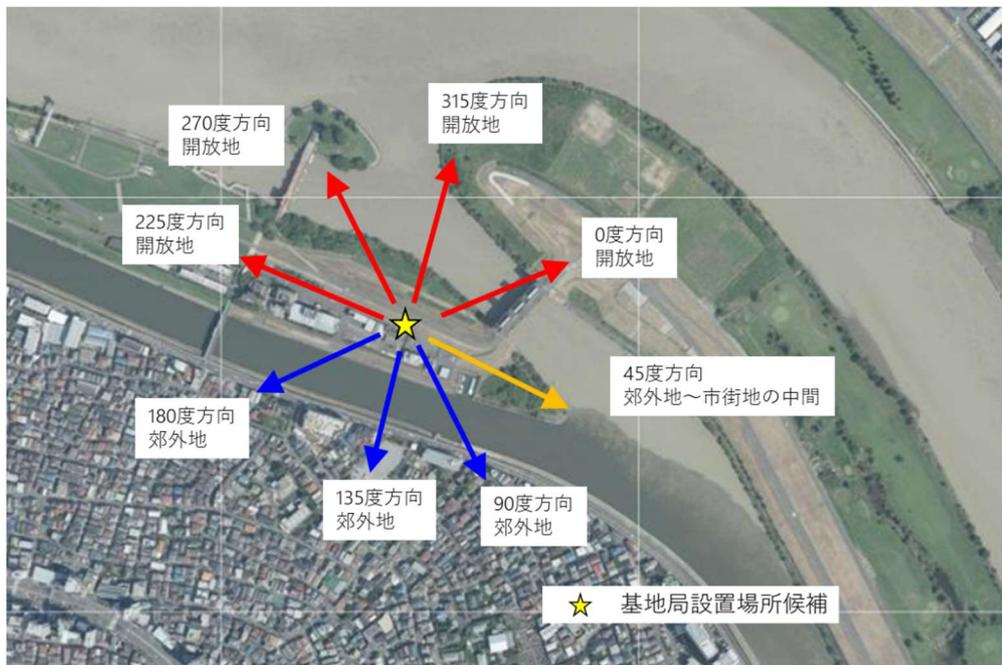
次に仮説に基づき、実証環境①での仮説後のカバーエリアおよび調整対象区域を図 3.3-2 に示す。基地局正面(最大利得)方向を 0 度とすると、0 度、225 度、270 度、315 度方向は基地局から 300m 以上で樹木や建物などの妨害がない開けた地域であるため「開放地」と分類できる。

また、堤内地方向(90 度、135 度、185 度)は樹木や家屋が散在するため郊外地と分類できる。また、45 度方向は樹木の密集があるため郊外地、市街地の中間と分類できる。なお。角度の定義と角度ごとのパラメータ S の分類を図 3.3-3 に示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-2 仮説後のエリア図(実証環境①)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-3 角度の定義およびパラメータSの仮説分類(実証環境①)

同様に実証環境②についても仮説を立てた。

実証環境②では、基地局正面(最大利得)方向を0度とすると、線状方向である0度と180度に加え、45度、90度、135度、225度方向は基地局から300m以上で樹木や建物などの妨害がない開けた地域であるため「開放地」と分類できる。

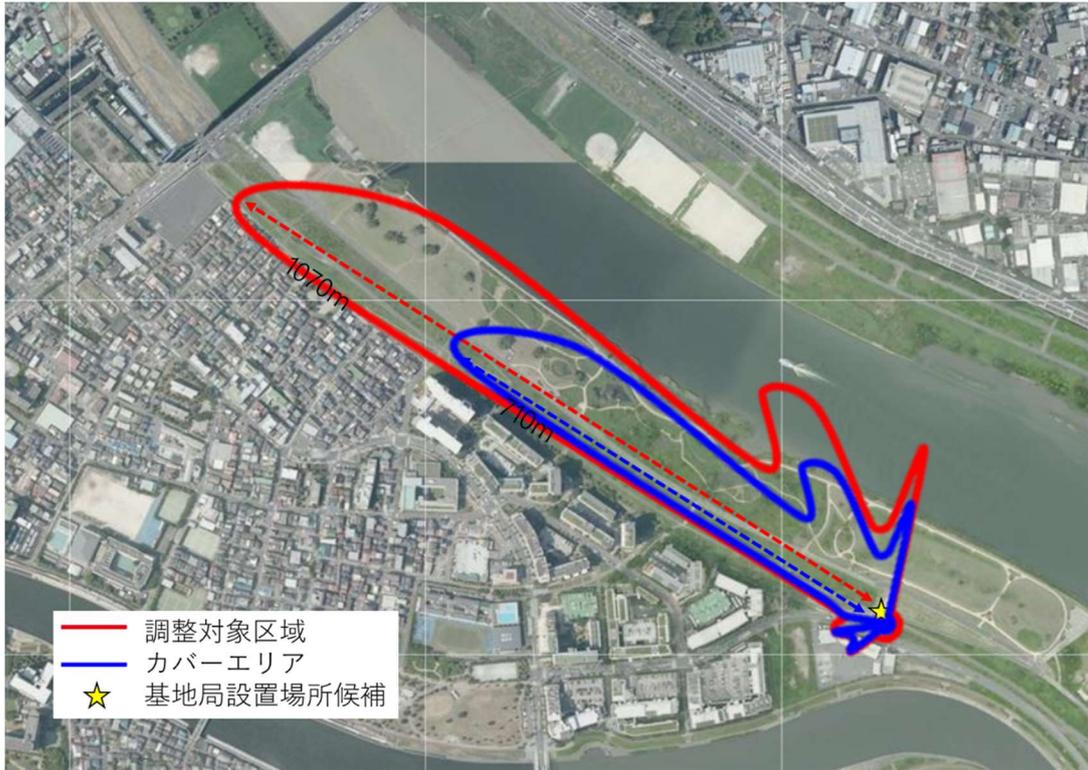
また、270度方向は建物などが散在するため郊外地と分類できる。さらに315度方向は住宅地が密集しているため市街地と分類できる。

仮説前のエリア図を図3.3-4に、仮説後のエリア図を図3.3-5に、角度の定義と角度ごとのパラメータSの分類を図3.3-6に示す。



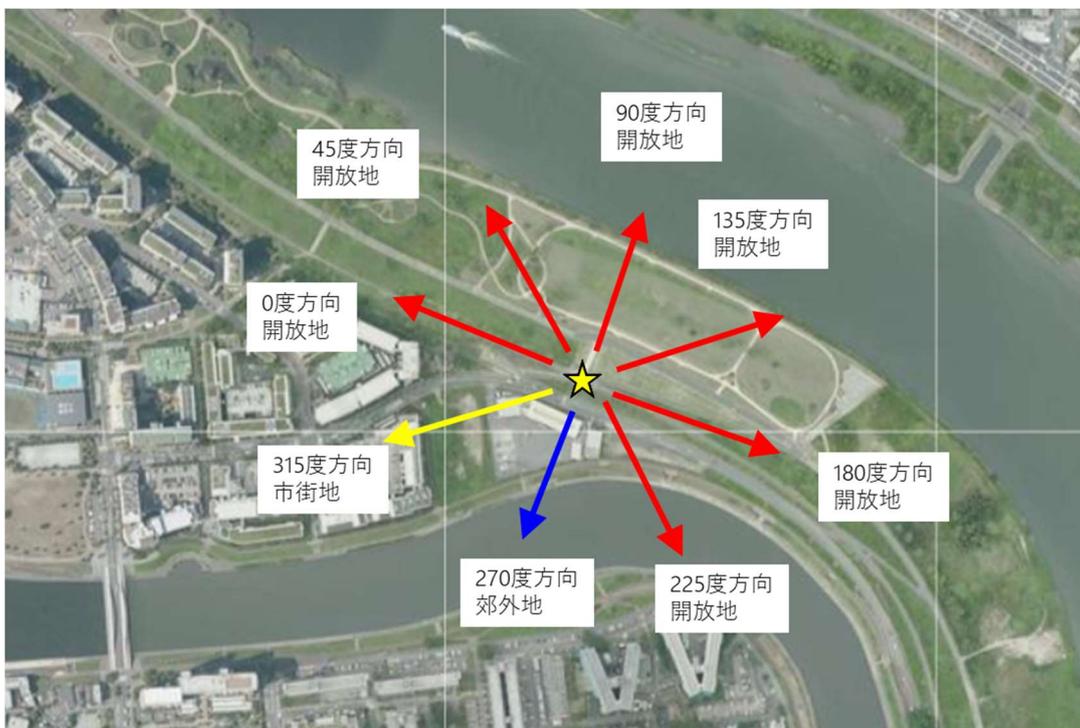
※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-4 仮説前のエリア図(実証環境②)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-5 仮説後のエリア図(実証環境②)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-6 角度の定義およびパラメータ S の仮説分類(実証環境②)

以上のことから各環境におけるパラメータ S を下記仮説とし検証を行った。

表 3.3-4 各環境の分類

環境	開放地	郊外地	郊外地と市街地の中間	市街地
実証環境①	0度 225度 270度 315度	90度 135度 180度	45度	—
実証環境②	0度 45度 90度 135度 180度 225度	270度	—	315度

・パラメータ K の精緻化に関する実証仮説

河川では水面が地上より低い面に位置していることに着目し、河川に基地局を配置した場合は、地上高ではなく水面を基準にしたアンテナ高を考慮する必要があると考える。

移動局の高さによる補正値を Km、基地局の高さによる補正値を Kb とし、それぞれのパラメータ K の検証を行った。

[移動局の高さによる補正値 Km]

過年度の実証「ローカル 5G を活用した災害時におけるテレビ放送の応急復旧」において、パラメータ K は移動局の高さにより導出できることが報告されている。

報告されていたパラメータ K の一般式としては下記となる。

$$K=15\log_{10}(2n-1) \quad ※n \text{ はフロア階数}$$

このとき、(2n-1)は審査基準のアンテナ高 1.5m に対し、何倍の高さであるかを表現している。例としては 2 階ならアンテナ高 4.5m で 1.5m の 3 倍(2×2-1=3)、3 階なら 7.5m で 5 倍(2×3-1=5)などである。

この考え方を踏襲し、水面を基準とすると Km は下記式で一般化できる。

$$K_m=15\log_{10}\{(H_m+\beta)/H_m\}$$

仮に β(地面と水面の標高差)が 1m とすると Hm(移動局高さ)は審査基準では 1.5m であるため、1.67 倍となる。

$$\begin{aligned} (H_m+\beta)/H_m &= (1.5+1)/1.5 \\ &\doteq 1.67 \end{aligned}$$

[基地局の高さによる補正値 Kb]

同様に基地局高さについても水面を基準に補正を行うため、審査基準に記載の基地高さによる補正項 b(Hb)から、水面を基準にした場合の補正値を一般化する。

まず、審査基準記載の b(Hb)は下記で定義されている。

Hb(基地局高)が 30m 以上の場合

$$b(Hb)=0$$

Hb(基地局高)が 30m 以下の場合

$$b(Hb)=20\log_{10}(Hb/30)$$

上記式中(Hb/30)は 30m を基準にした場合の補正となるので、同様に水面を基準にすると(Hb/30)の部分が $\{(Hb+\alpha)/Hb\}$ と置き換えることができる。※ α は地面と水面の標高差

これにより基地局高による補正は下記で一般化できる。

$$Kb=20\log_{10}\{(Hb+\alpha)/Hb\} \quad Hb(\text{基地局高})が 30m \text{ 以下の場合}$$

なお、Hb(基地局高)が 30m 以上の場合は b(Hb)と同様に補正值は 0 と考える。

これらの仮説を整理し、パラメータ K の仮説を下記とする。

$$K=(Kb+Km)$$

$$Kb=20\log_{10}\{(Hb+\alpha)/Hb\} \quad Hb(\text{基地局高})が 30m \text{ 以下の場合}$$

$$Kb=0 \quad Hb(\text{基地局高})が 30m \text{ 以上の場合}$$

$$Km=15\log_{10}\{(Hm+\beta)/Hm\} \quad \text{※}Hm(\text{移動局アンテナ地上高})は審査基準で 1.5m \text{ 固定}$$

各変数の定義は下記。

Kb : 水面の影響(基地局側)

Km : 水面の影響(端末側)

Hb : 地面を基準とした基地局アンテナ高

α : 地面と水面の標高差(基地局側)

β : 地面と水面等の標高差(端末側)

上記を本ユースケースにあてはめると

$K=3.2$ となり、仮説として本実証でも同程度の値と考える。

(Hb=3[m]、Hm=1.5[m]、 $\alpha=0.5$ [m]、 $\beta=0.5$ [m]の場合)

また、伝搬経路中の水面割合によってパラメータ K は変動すると考え、水面割合が 50%程度であれば影響が半分になると仮定し 3dB、25%程度であれば 1/4 になると仮定し 6dB が上記アンテナの高さによるパラメータ(Kb+Km)から小さくなる(最小値は 0)と考える。

本計算式が基地局側アンテナ高や端末側のアンテナ高を変動した場合においても適用可能か検証した。

(3) 評価・検証項目

下記の評価・検証を行った。

・エリア設計

精緻化の対象パラメータの値について、実証環境の環境条件に基づき精緻化の仮説を立てた。仮説に基づきパラメータの値を修正した算出式を用いて、カバーエリア及び調整対象区域を作図した。

・測定

エリア設計で作図したカバーエリアおよび調整対象区域内において、基地局からの距離が異なる 30 以上の地点(カバーエリア、調整対象区域端を含む)で SS-RSRP を測定した。また、上記測定に加えて、一方向だけではなく、45 度方向ごとの 8 方向でのエリア算出法に定めるカバーエリア及び調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される基地局相当の無線局からの距離の確認を行った。なお、測定ではアンテナ利得 0dBi のアンテナを使用した。

・分析／考察

エリア設計の作図と実測データを比較し、その差分の要因を分析した。

差分の考察に基づきパラメータを精緻化した。精緻化後のパラメータを用いた屋外のカバーエリア及び調整対象区域を作図し、実測に近い結果が得られていることを示した。精緻化後のパラメータを用いても実測との誤差が大きい場合は、その原因および今後の検討課題を考察した。

精緻化後のパラメータが汎用的にどのような環境において適用可能であるか、実証環境の特徴と関連付けて考察した。

(4) 評価・検証方法

・パラメータ S の評価・検証方法

各環境において、SS-RSRP の測定を行った。測定した SS-RSRP と方角に応じたアンテナ利得から電波伝搬損失を導出した。仮説で定めたパラメータ S ごとに距離と電波伝搬損失の関係を検証し精緻化を行った。

本ユースケースでは、基地局からの方角によって電波伝搬環境が異なることから、45 度ずつ異なる方角で、それぞれ測定を行った。具体的には下記の基準で選定した。

- ・仮説エリア図における 45 度間隔 8 方向の調整対象区域端
- ・仮説エリア図における 45 度間隔 8 方向のカバーエリア端
- ・仮説エリア図における 45 度間隔 8 方向の調整対象区域とカバーエリアの中間地点
- ・カバーエリア内の距離の異なる 6 地点

なお、測定ではエリアテスタなどの測定機材を用いて SS-RSRP を測定する。受信電力は基地局からおおよそ同距離の地点においてもマルチパスの影響で値が変動するため、5 cm(受信周波数の 1 波長以下)の短区間を合計 6 点移動させ、各点で測定結果を取得した。マルチパス環境では

一方方向へ移動してもフェージングの影響を軽減できないため、前後および横方向で 10λ 以内に測定点を動かすこととした。

測定結果としては SS-RSRP 測定値から本システムのサブキャリア間隔 30kHz を考慮した上で 100MHz 帯域受信電力に換算した。

なお、測定サンプルは 1000 サンプル以上取得し、中央値、 σ 、上位 10% 値、下位 10% 値を算出した。

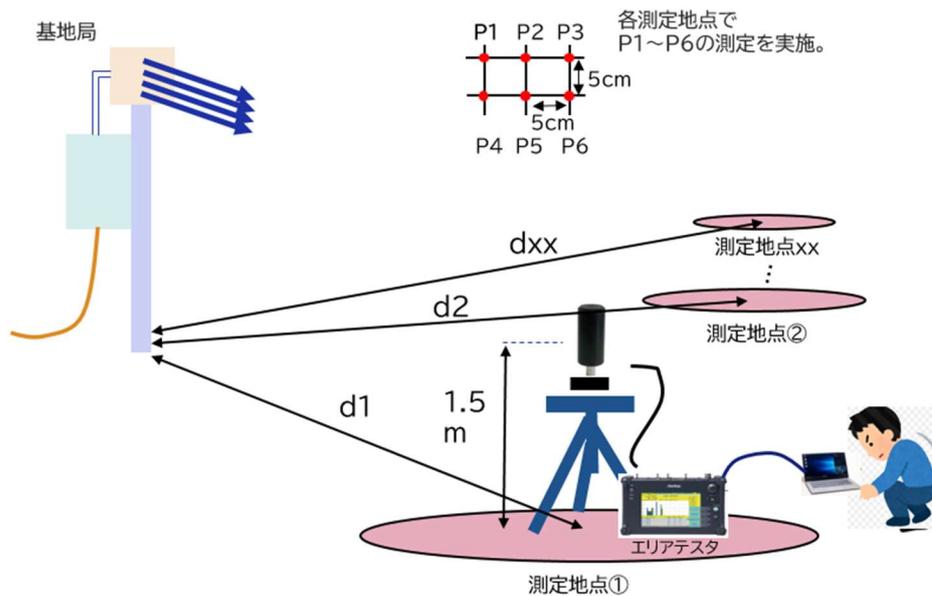


図 3.3-7 SS-RSRP 測定方法イメージ

測定系の構成および使用機器を図 3.3-8 および表 3.3-5 に示す。

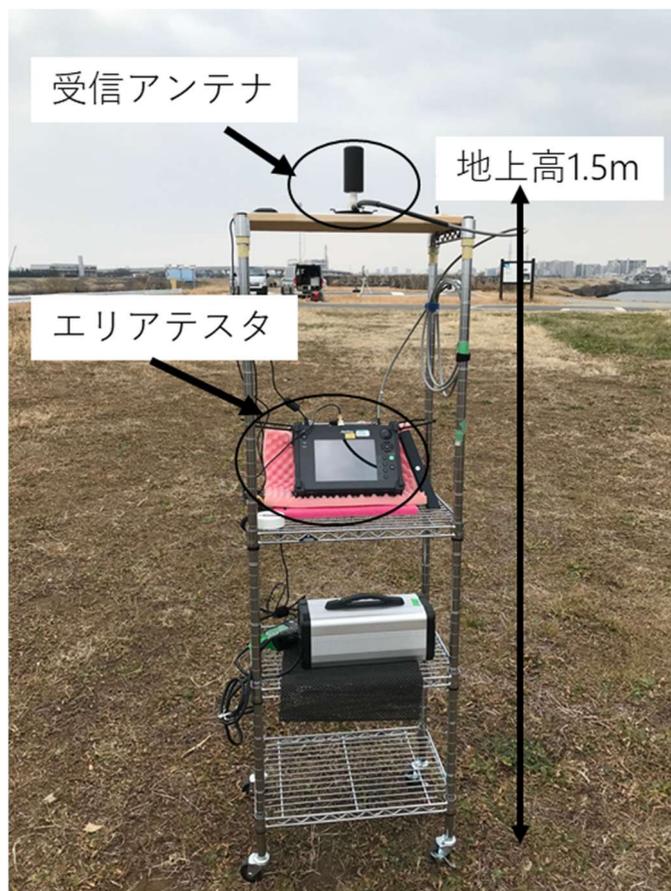


図 3.3-8 測定系の構成

表 3.3-5 使用機器

機器名	メーカー	備考
エリアテスタ ML8780A	アンリツ(株)	SS-RSRP 測定機器
アンテナ Z-1911B	アンリツ(株)	SS-RSRP 測定用アンテナ
測定用 RF ケーブル 及びアンテナ台座	アンリツ(株)	ML8780A と Z-1911B を接続する機器
Sub6GHz 測定ユニット MU878070A	アンリツ(株)	ML8780A で Sub6GHz 帯 SS-RSRP を測定可能とする機器

・パラメータ K の評価・検証方法

水面によるパラメータ K を検証するため遮蔽物のない図 3.3-9 のような環境にて SS-RSRP を測定した。

- ①距離 A[m]で水面なし
- ②距離 A[m]で伝搬経路中の水面割合が 40%

- ③距離 B[m]で水面なし
- ④距離 B[m]で伝搬経路中の水面割合が 80%

上記①～④の方向において基地局から同じ距離の地点を複数選定し測定を行った。(300m～400m までを 10m おきに測定する等、河川の状況を調査した上で選定した)

①②では同じ距離で伝搬経路中の水面割合のみが異なる環境を作り、電波伝搬損失を比較し電波伝搬損失の差分からパラメータ K を導出した。

同様に③④でも電波伝搬損失を比較し、電波伝搬損失の差分からパラメータ K を導出した。

本検証を基地局および端末のアンテナ高さを変動させ検証することで、アンテナ高さおよび伝搬経路中の水面割合によるパラメータ K の検証を行った。



※国土地理院の地図を編集し使用

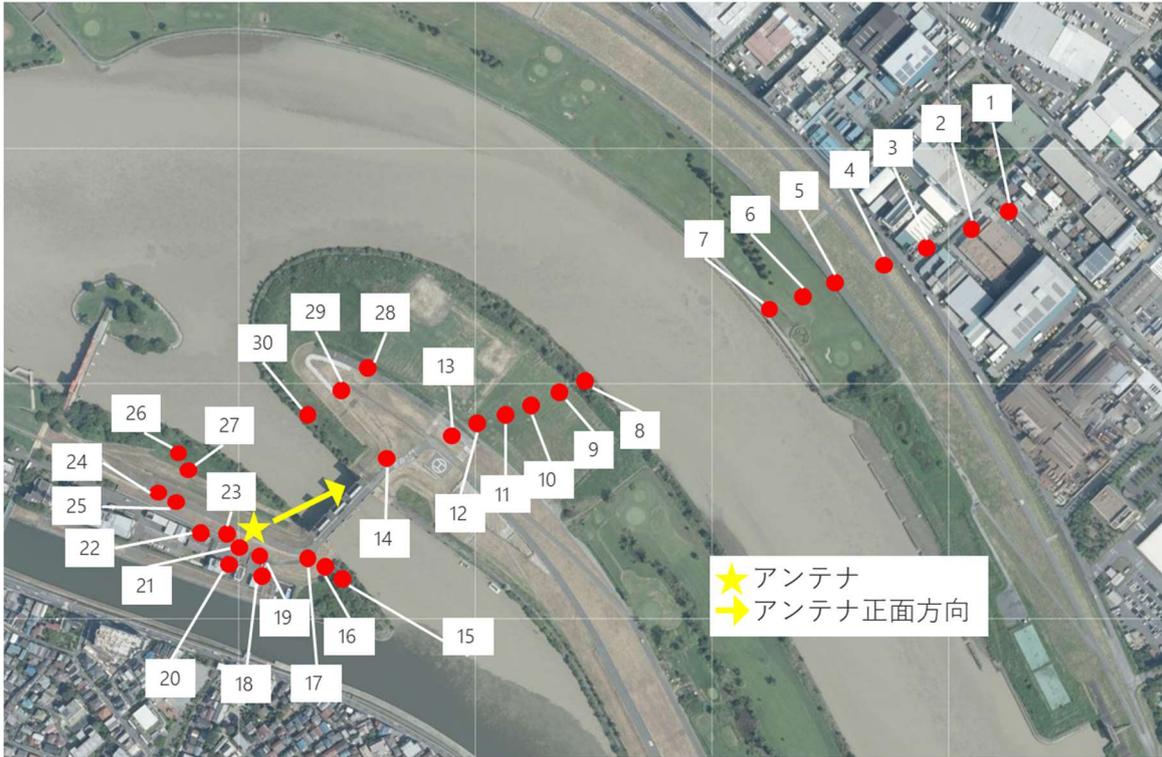
図 3.3-9 パラメータ K の検証方法

(5) 実証結果及び考察

【パラメータ S の精緻化】

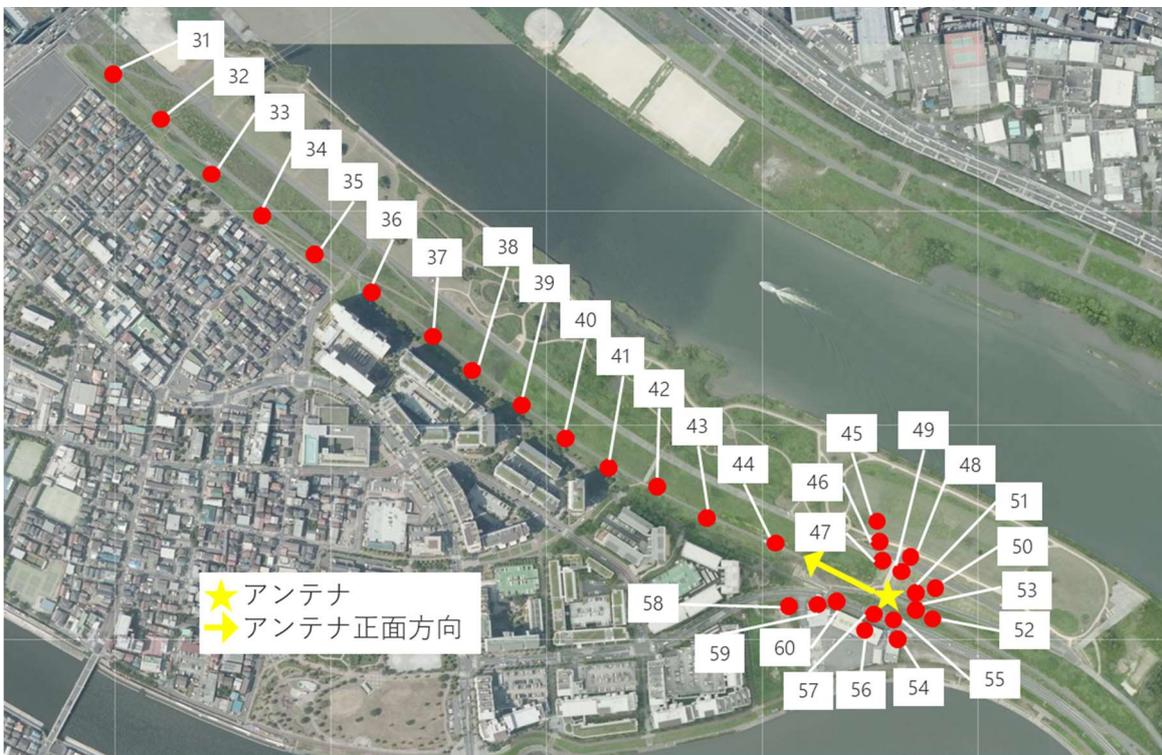
パラメータ S を精緻化するため、実証環境①および実証環境②で測定を行った。

測定点は図 3.3-10 および図 3.3-11 となる。本実証では線状の空間をカバーするために指向性の鋭い(半値角 20 度)狭角アンテナを使用したため、アンテナ正面方向にエリアが伸び、アンテナの側面および背面方向の利得が小さい。このため、測定点は主にアンテナ正面方向を重点的に電波伝搬環境が異なる方向において測定を行った。測定点から基地局までの見通し状況の例を図 3.3-12 に示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-10 実証環境①の測定点



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-11 実証環境②の測定点



(1)実証環境①見通しの測定地点(測定点 13)



(2) 実証環境①非見通しの測定地点(測定点 8)



(3)実証環境②見通しの測定地点(測定点 40)



(4)実証環境②非見通しの測定地点(測定点 58)

図 3.3-12 測定地点の様子

上記測定点において、基地局との距離や見通し有無、仮説で設定した精緻化対象のパラメータ S、エリア算出法による机上計算値と実際に測定された受信電力の中央値、 σ 、上位 10%値、下位 10%値を表 3.3-6 に示す。

仮説時点では測定点 15~17 は郊外地および市街地の中間的な損失になると考えたがエリア算出法において、汎用的かつ判定可能な条件の考察を行うために新たなパラメータ S は算出しないこととしたため、考察においてはより環境条件に近い郊外地に分類した。

また、測定点 58~60 は仮説時点では市街地と分類したが、市街地と分類した方向においては全ての測定点でエリア端までの距離が 100m 以下となり、精緻化の精度が悪いため精緻化対象外とした。

なお、受信電力の測定は 3.3.1(4)で示したように 20 秒間で 6 点の SS-RSRP を測定し、下記表では 100MHz 帯域幅に換算し記載している。また、測定では人体損が生じないようにしているため、エリア算出法の計算値は人体損の項(8dB)を除外した値としている。

代表例として図 3.3-13、図 3.3-14 に受信電力の時間変動、および正規化処理後の測定結果を示す。

表 3.3-6 各測定点の情報および測定結果

測定点	基地局との 距離[m]	仮説で設定した パラメータ S	エリア 算出法 計算値 [dBm]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定結果[dBm](100MHz 帯域幅)			
					中央値	σ	上位 10%値	下位 10%値
1	1070	32.5	-82.9	1	-93.6	2.8	-90.7	-97.8
2	980	32.5	-81.5	1	※低受信電力のため測定不可			
3	900	32.5	-80.2	1	-93.0	2.8	-90.2	-97.0
4	780	32.5	-78.0	0	-67.9	2.8	-65.4	-71.9
5	710	32.5	-76.6	0	-69.9	2.5	-67.0	-73.1
6	670	32.5	-75.7	0	-75.9	3	-73.2	-80.4
7	630	32.5	-74.8	0	-80.4	1.9	-78.2	-83.0
8	400	32.5	-67.8	0	-70.4	2.4	-68	-74.3
9	360	32.5	-66.2	1	-77.0	2.5	-74.9	-80.3
10	320	32.5	-64.4	1	-79.4	2.1	-77	-82.4
11	280	32.5	-62.3	1	-81.3	1.3	-79.5	-82.8
12	240	32.5	-60.0	1	-87.8	1.8	-85.8	-90.2
13	200	32.5	-57.2	0	-57.3	1.8	-55.3	-59.7
14	180	32.5	-55.6	0	-55.9	3.3	-52.7	-59.9
15	140	12.3	-81.9	1	-92.4	3.6	-88.8	-97.6
16	120	12.3	-79.6	1	-90.5	3.6	-86.6	-95.6
17	100	12.3	-76.8	0	-76.4	5.1	-71.7	-84.9
18	60	12.3	-80.2	0	-85.3	3.5	-82.2	-90.3
19	50	12.3	-75.5	0	-84.0	4.5	-78.9	-90.6
20	40	12.3	-78.5	0	-87.5	3.9	-84.8	-94.0
21	30	12.3	-76.2	0	-80.7	3.4	-77.1	-84.8
22	20	12.3	-87.1	0	-87.2	4.1	-84.2	-94.8
23	10	12.3	-82.7	0	-81.9	3.5	-78.5	-87.0
24	70	32.5	-83.3	0	-82.4	1.5	-80.7	-84.6
25	30	32.5	-76.2	0	-76.7	1.3	-75.3	-78.4
26	100	32.5	-84.3	0	-81.1	1.2	-79.8	-82.9
27	50	32.5	-78.4	0	-79.2	1.7	-77	-81.3
28	140	32.5	-77.3	1	-73.2	2.6	-70.8	-77.3
29	170	32.5	-79.7	0	-74.3	2.1	-72.1	-77.1
30	200	32.5	-82.2	0	-91.5	3	-88.8	-96.3
31	1070	32.5	-82.9	0	-66.2	1.4	-64.4	-68.0
32	990	32.5	-81.7	0	-61.0	1.5	-59	-63.0
33	920	32.5	-80.5	0	-72.5	4.3	-68.8	-79.6

測定点	基地局との 距離[m]	仮説で設定した パラメータ S	エリア 算出法 計算値 [dBm]	LOS (0:LOS 1:NLOS)	測定結果[dBm](100MHz 帯域幅)			
					中央値	σ	上位 10%値	下位 10%値
34	850	32.5	-79.3	0	-63.2	1.5	-61.3	-65.0
35	780	32.5	-78.0	0	-70.9	5.1	-65.6	-78.3
36	710	32.5	-76.6	0	-65.8	2.7	-63.2	-69.9
37	640	32.5	-75.0	0	-60.3	1.4	-58.7	-62.2
38	570	32.5	-73.2	0	-58.4	1.8	-56.5	-61.0
39	500	32.5	-71.2	0	-59.8	1.8	-57.9	-62.3
40	430	32.5	-68.9	0	-64.2	2.6	-60.8	-67.7
41	360	32.5	-66.2	0	-58.9	2.6	-56.4	-62.9
42	290	32.5	-62.9	0	-55.2	2.1	-52.8	-58.2
43	220	32.5	-58.7	0	-51.5	1.7	-49.4	-53.9
44	150	32.5	-52.9	0	-47.6	2	-45.6	-50.7
45	100	32.5	-84.3	0	-78.5	3.2	-74.6	-83.2
46	80	32.5	-82.4	0	-79.6	2.4	-76.9	-82.9
47	50	32.5	-78.4	0	-79.8	4.3	-76.6	-87.7
48	70	32.5	-85.3	0	-86.3	2.9	-83.4	-90.3
49	30	32.5	-78.2	0	-82.7	3.1	-79.2	-86.9
50	70	32.5	-85.3	0	-79.8	2.4	-77.1	-83
51	30	32.5	-78.2	0	-82.9	2.9	-79.7	-87.3
52	70	32.5	-85.3	0	-88.1	2.2	-85.7	-91
53	30	32.5	-78.2	0	-80.6	1.8	-78.8	-83.1
54	70	32.5	-85.3	0	-77.2	3	-73.8	-81.8
55	30	32.5	-78.2	0	-77.45	1.7	-75.1	-79.5
56	50	12.3	-83.5	0	-73.5	2.6	-70.6	-77.0
57	30	12.3	-76.2	0	-73.3	2.2	-70.9	-76.6

※エリアテストでは 100MHz 帯域受信電力が-98dBm(SS-RSRP≒-134dBm)程度まで測定可能であったことから、測定点 ID2 での 100MHz 帯域受信電力は-98dBm(SS-RSRP≒-134dBm)未満、伝搬損失としては 135dB 以上と考えられる。

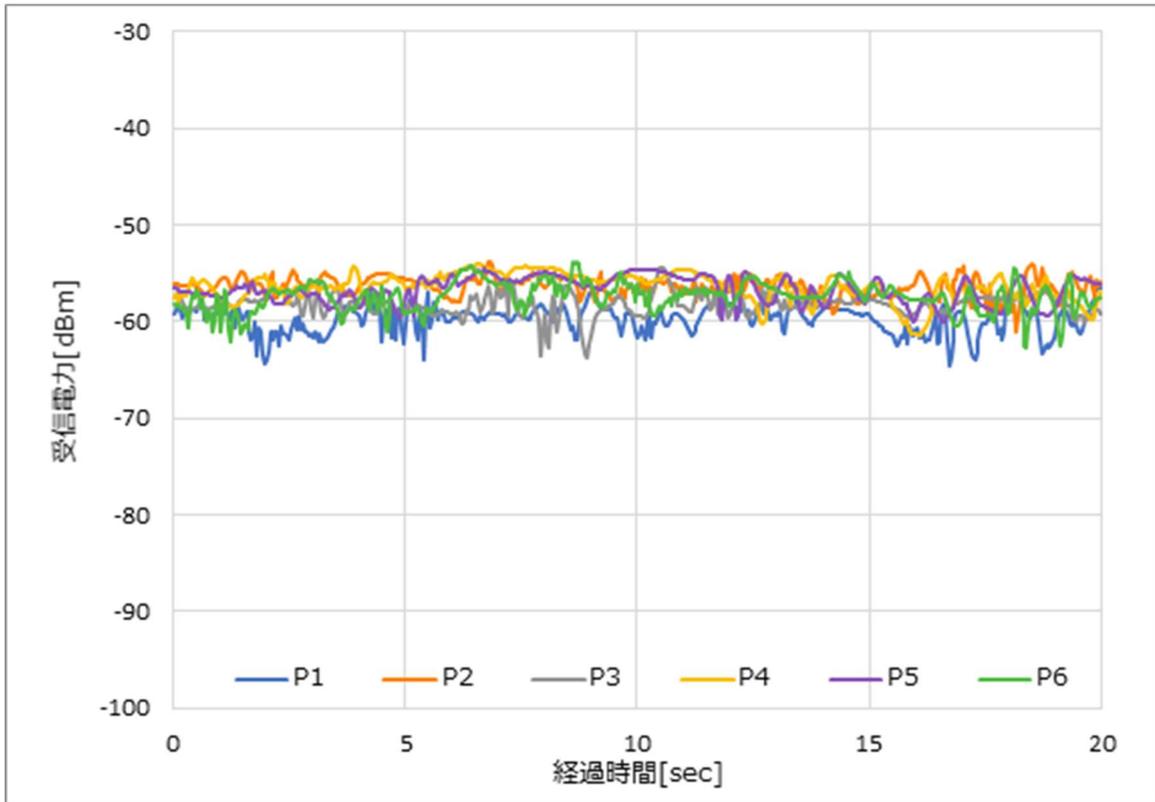


図 3.3-13 受信電力 時間変動(測定点 13)

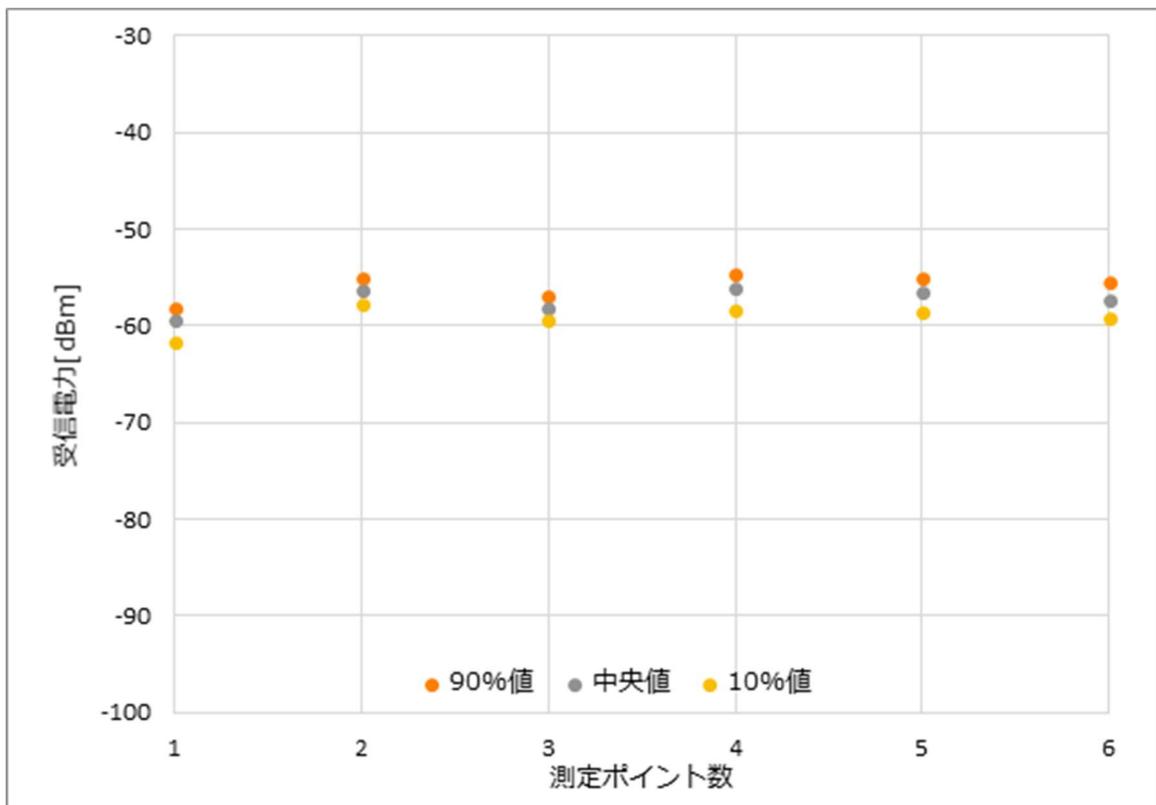
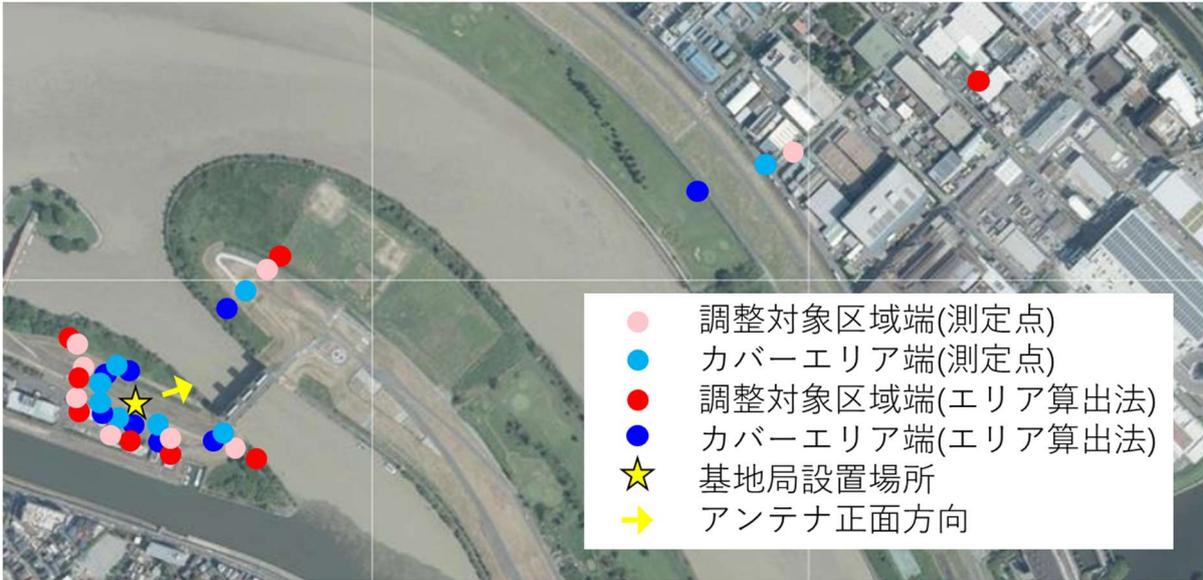


図 3.3-14 受信電力の正規化(測定点 13)

また、各方角において仮説で設定したパラメータ S を使用した際のエリア端までの距離(机上計算値)と、実際のエリア端の距離を図 3.3-15 および図 3.3-16、表 3.3-7 に示す。表 3.3-7 に示すように数 dB の受信電力誤差によるエリア端位置の誤差はあるものの、基本的には方角ごとのアンテナ利得および周辺環境に沿った机上計算によってエリア端は算出できると考えられる。(※実証環境②におけるアンテナ正面方向は机上計算と実際のエリア端が大きく異なるが、その理由は後述する考察で詳細を検討した。)

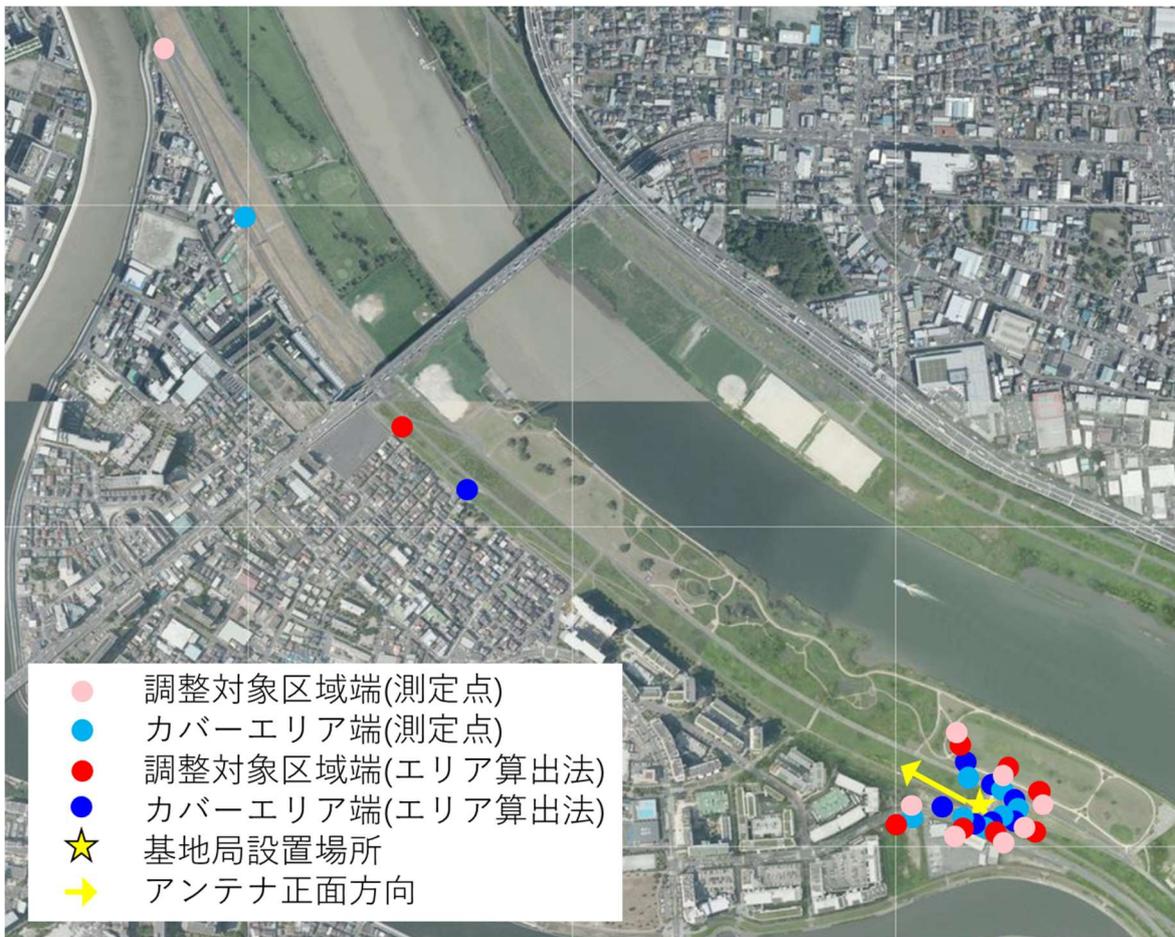
本実証では、線状方向以外の方角において、線状方向から反射波として到来されたと思われるような強電界の電波は到来しなかった。このため、本実証環境のような線状空間では、仮説で述べたように 45 度方向ずつ 8 方向で環境が異なる方角ごとにパラメータ S を適用することで、現実の伝搬環境に近いカバーエリアおよび調整対象区域を算出できると考えられる。

なお、45 度より細かい粒度にした場合、さらに現実の伝搬環境に近いカバーエリアおよび調整対象区域を算出できると考えられるが、エリア算出が煩雑になり、簡易かつ汎用性を求められるエリア算出法の目的と乖離する。また、環境によっては 45 度に限らず特定の方角に他の方角と明確に異なる環境が存在する場合も考えられる。このため、特異な方角については追加でパラメータ S の適用が必要と考える。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-15 机上計算したカバーエリア／調整対象区域と実際の閾値が確認できた地点(実証環境①)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-16 机上計算したカバーエリア／調整対象区域と実際の閾値が確認できた地点(実証環境②)

表 3.3-7 各方向のエリア端までの距離

実証環境	方向	算出したエリア端までの距離[m]		実際のエリア端までの距離[m]	
		カバーエリア	調整対象区域	カバーエリア	調整対象区域
①	0度方向	710	1070	800	850
	45度方向	100	140	100	110
	90度方向	50	60	40	50
	135度方向	30	40	30	40
	180度方向	10	20	10	20
	225度方向	30	70	30	70
	270度方向	50	100	40	110
	315度方向	140	200	170	190
②	0度方向	710	1070	1470	1730
	45度方向	50	100	40	120
	90度方向	30	70	30	60
	135度方向	30	70	30	70
	180度方向	30	70	20	60
	225度方向	30	70	30	80
	270度方向	30	60	30	70
	315度方向	20	50	50	70

以上の結果から、仮説で設定したパラメータ S ごとの受信電力距離変動およびアンテナ利得等を補正した電波伝搬損失の距離変動を図 3.3-17 および図 3.3-18 に示す。

受信電力距離変動のグラフでは、エリア算出法で算出した受信電力と測定結果で最大 20dB 程度の乖離が生じており、仮説で設定した分類からさらなる精緻化が必要であることが分かった。

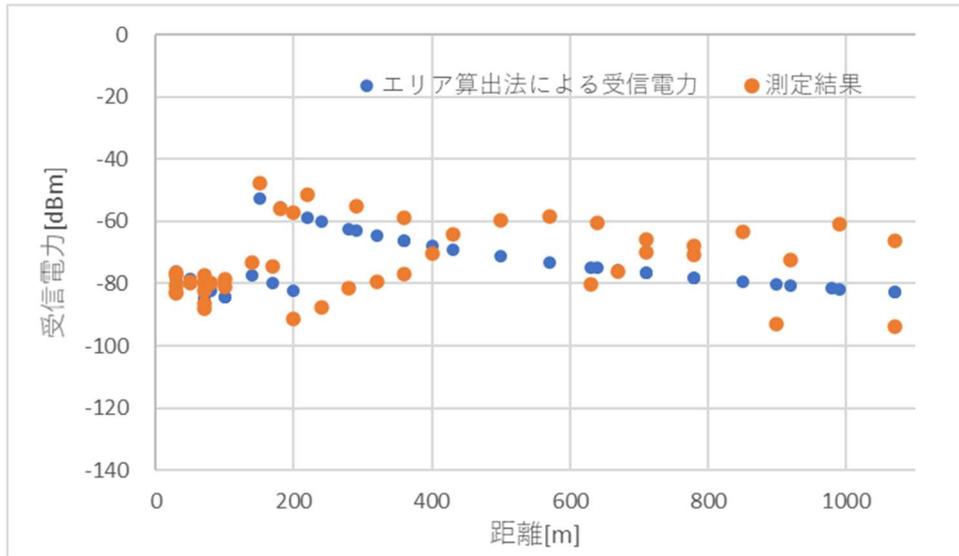
ここで各測定点は、アンテナから見た角度が異なり、受信電力をもとにした考察が困難であるため、アンテナ利得およびケーブル損失等の各種利得/損失を除外した電波伝搬損失を算出し、精緻化に向けた考察を行った。

考察を行う際、伝搬モデルと測定結果から RMSE (Root Mean Squared Error、二乗平均平方根誤差) を下記の式で算出し評価した。RMSE は測定結果と評価対象の伝搬モデルがどの程度乖離しているかを表し、0 に近い値であるほど誤差が少なく良好な伝搬モデルとなる。

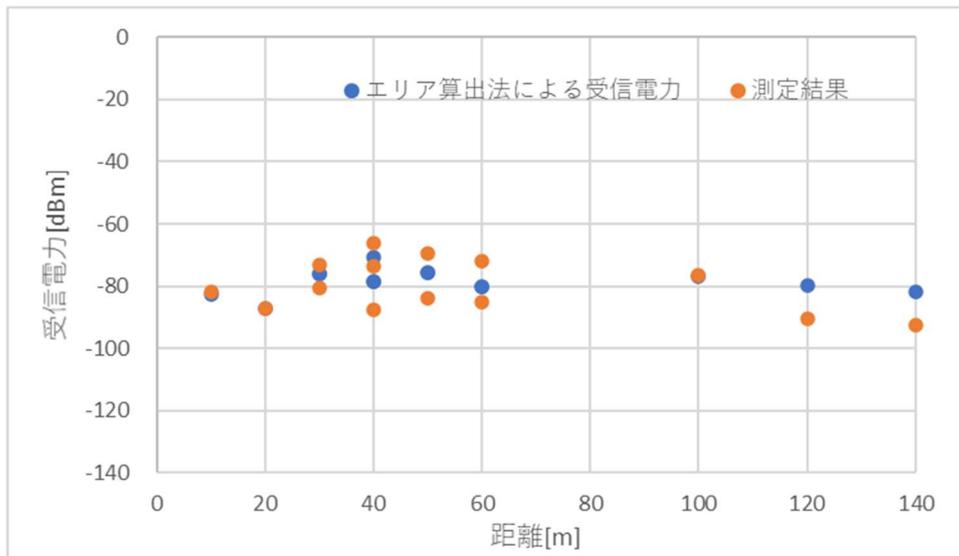
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

(y_i : 測定値 \hat{y}_i : 伝搬モデルの値 n : データの総数)

なお、図 3.3-18(1) のように仮説で開放地と分類した測定点では RMSE=9.72、(2) のように仮説で郊外地と分類した測定点では RMSE=6.47 となった。後述する考察では本 RMSE を基準として精緻化した伝搬モデルの評価を行った。

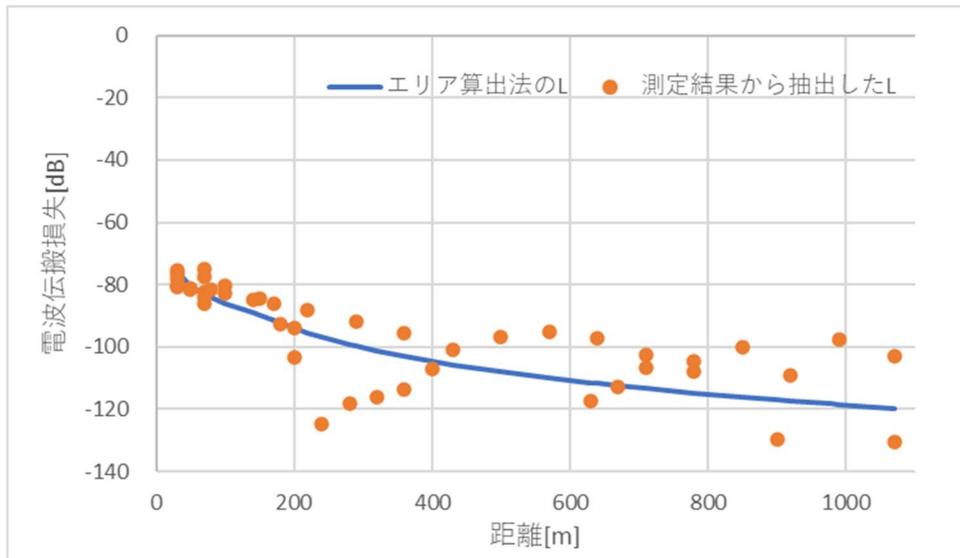


(1) 開放地と仮説で分類した測定点

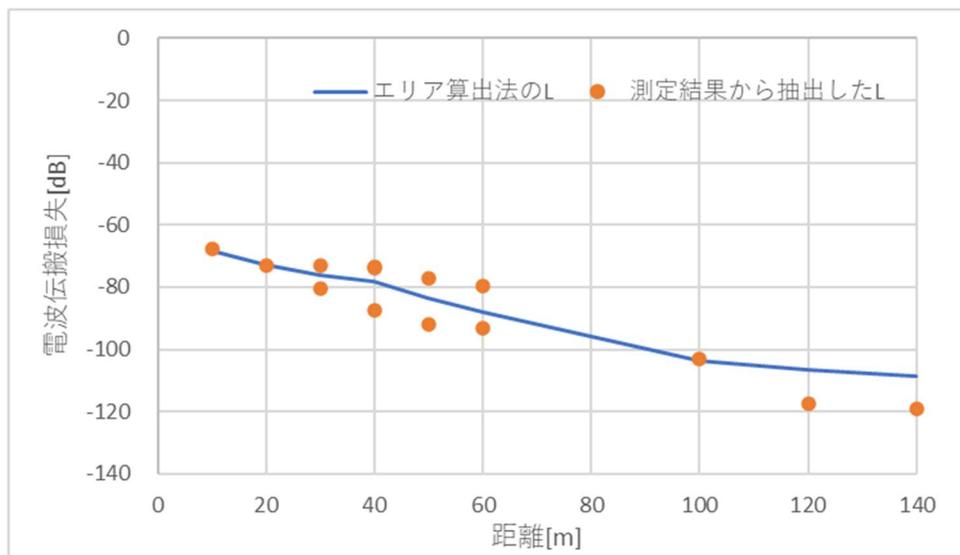


(2) 郊外地と仮説で分類した測定点

図 3.3-17 受信電力の距離変動



(1) 開放地と仮説で分類した測定点



(2) 郊外地と仮説で分類した測定点

図 3.3-18 伝搬損失の距離変動

図 3.3-18(1)では開放地と仮説で分類した測定点の伝搬損失距離変動を示しているが、エリア算出法で算出した L(伝搬損失)より損失量が大きな測定点と、損失量が少ない測定点が存在するため、そのそれぞれで考察を行った。

まず、損失量が少ない測定点に着目すると、そのほとんどが実証環境②におけるアンテナ正面方向(図 3.3-11 の測定点 31~44)であることが分かった。

実証環境②におけるアンテナ正面方向は基地局から 1km 以上にわたり、樹木や建物のような遮蔽物が全くない線状の環境であった。このため、開放地として算出した伝搬損失より少ない自由空間損失の伝搬損失傾向に近いと考えた。

図 3.3-19 に実証環境②におけるアンテナ正面方向(図 3.3-11 の測定点 31~44)の測定点のみを抽出した伝搬損失の距離変動を示す。ここで、図中に自由空間損失の伝搬モデルを追加し、エリア算出法(開放地)との比較を行うと、測定結果は自由空間損失の伝搬モデルに近いことが分かった。

ここで、実証環境②におけるアンテナ正面方向(図 3.3-11 の測定点 31~44)の測定点に対し、自由空間損失の損失との RMSE を算出すると $RMSE=4.46$ となり、エリア算出法(開放地)モデルとの $RMSE=9.72$ に比べ、大きく誤差が減少したことを確認した。

このことから、エリア算出法で開放地と定義されている「電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300~400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など」のうち、「線状空間のように 400m を超える距離でも開放地相当の環境が続く場合は、自由空間損失の損失量とする」という区分が必要だと考察した。

なお、本実証では 400m を超える距離の地点の測定は、線状空間でのみ実施したため、非線状空間でも同様の傾向となるかについては追加検証が必要と考えた。このため、本精緻化は現段階では線状空間という制限を設けている。

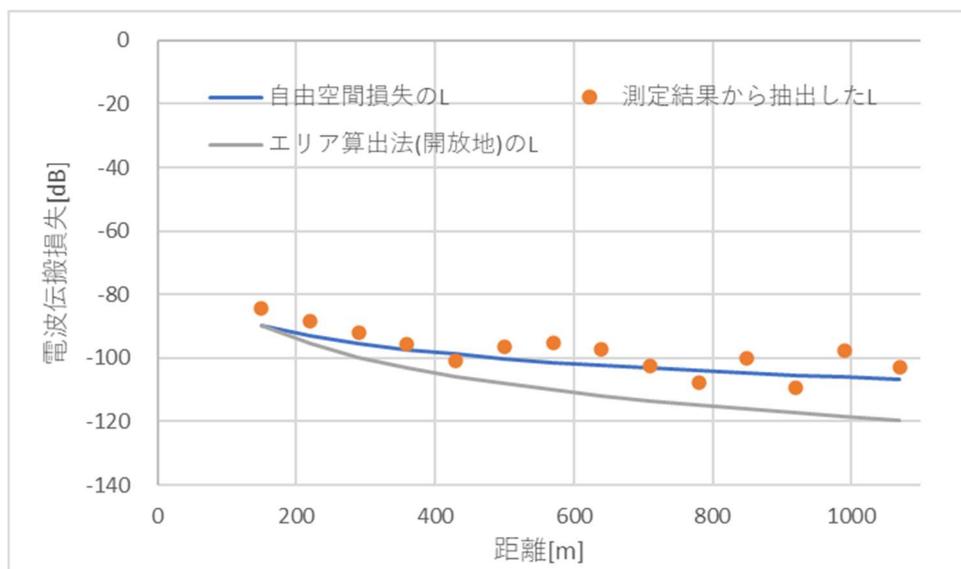


図 3.3-19 伝搬損失の距離変動(精緻化後、自由空間)

次に、図 3.3-18(1)においてエリア算出法で算出した L(伝搬損失)より、損失量が大きな測定点について考察を行った。

まず、損失量が大きな測定点では、開放地相当の環境でありながら、標高差により局所的に見通し外の測定点であるという共通点があることに着目した。

仮説時点では樹木や建物などの遮蔽物が少ないことから開放地と分類した測定点においても、標高差などから見通し外となるエリアについては郊外地と分類すべきと考えた。

このため、仮説時点で郊外地と分類した測定点に加え、仮説時点で開放地と区分したが見通し外となる測定点を郊外地として追加し、伝搬損失の距離変動をグラフ化した。これを図 3.3-20 に示す。

本分類でも RMSE を算出し、仮説時点の郊外地分類では $RMSE=6.47$ であったものが、精緻化後の分類において $RMSE=6.24$ と大きな変動はなく、精緻化による郊外地分類の条件追加は、支障がないことを確認した。

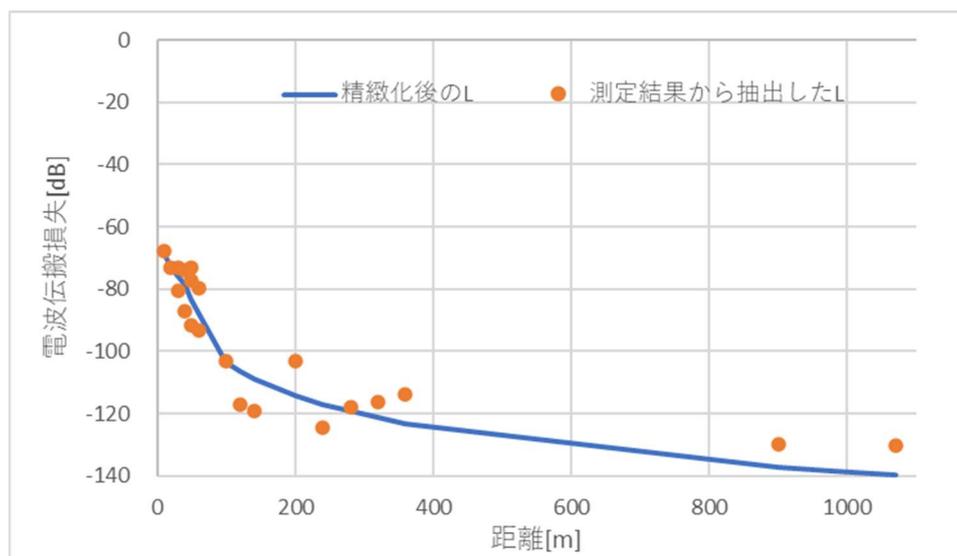


図 3.3-20 伝搬損失の距離変動(精緻化後、郊外地)

上述の考察により、仮説時点の開放地と分類した測定点から下記の測定点を除外した測定点で伝搬損失の距離変動をグラフ化した。これを図 3.3-21 に示す。

- ・実証環境②におけるアンテナ正面方向(図 3.3-11 の測定点 31~44)の測定点
- ・開放地と分類した測定点のうち見通し外となる測定点

開放地と分類した測定点は仮説時点では $RMSE=9.72$ であったものに対し、上記分類を除いた精緻化後は $RMSE=4.19$ と大きく誤差が減少した。

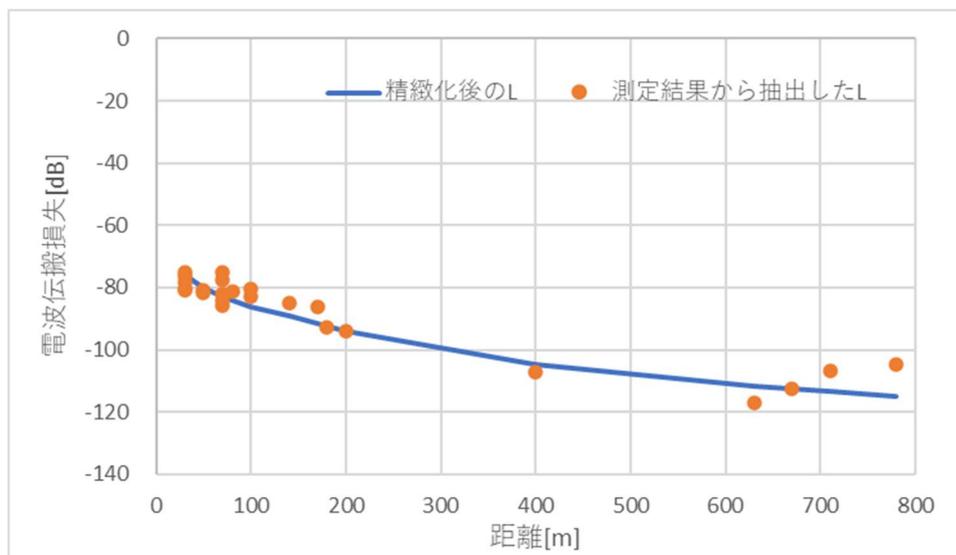


図 3.3-21 伝搬損失の距離変動(精緻化後、開放地)

仮説時点の RMSE と精緻化後の RMSE を表 3.3-8 に、精緻化後のカバーエリアおよび調整対象区域の図を図 3.3-22 および図 3.3-23 に示す。

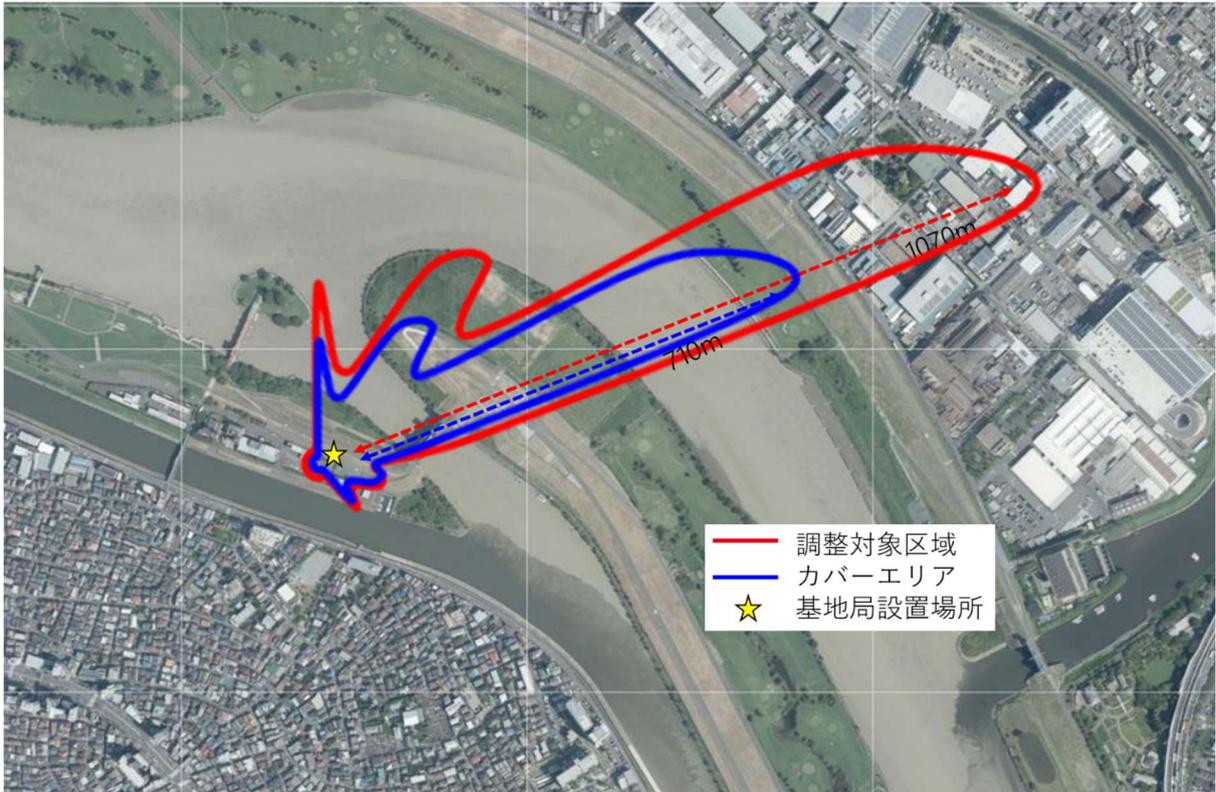
以上の考察から下記 2 点を本実証のパラメータ S の精緻化結果として報告する。

- エリア算出法で開放地と定義されている「電波の到来方向に高い樹木、建物などの妨害物がない開けた地域で、目安として前方 300~400m 以内が開けているような畑地・田地・野原など」のうち、「線状空間のように 400m を超える距離でも開放地相当の環境が続く場合は、自由空間損失の損失量とする」という区分が必要
- 開放地と分類した環境のうちエリア端周辺が見通し外となる場合は「郊外地」と分類する。

表 3.3-8 S の精緻化による効果

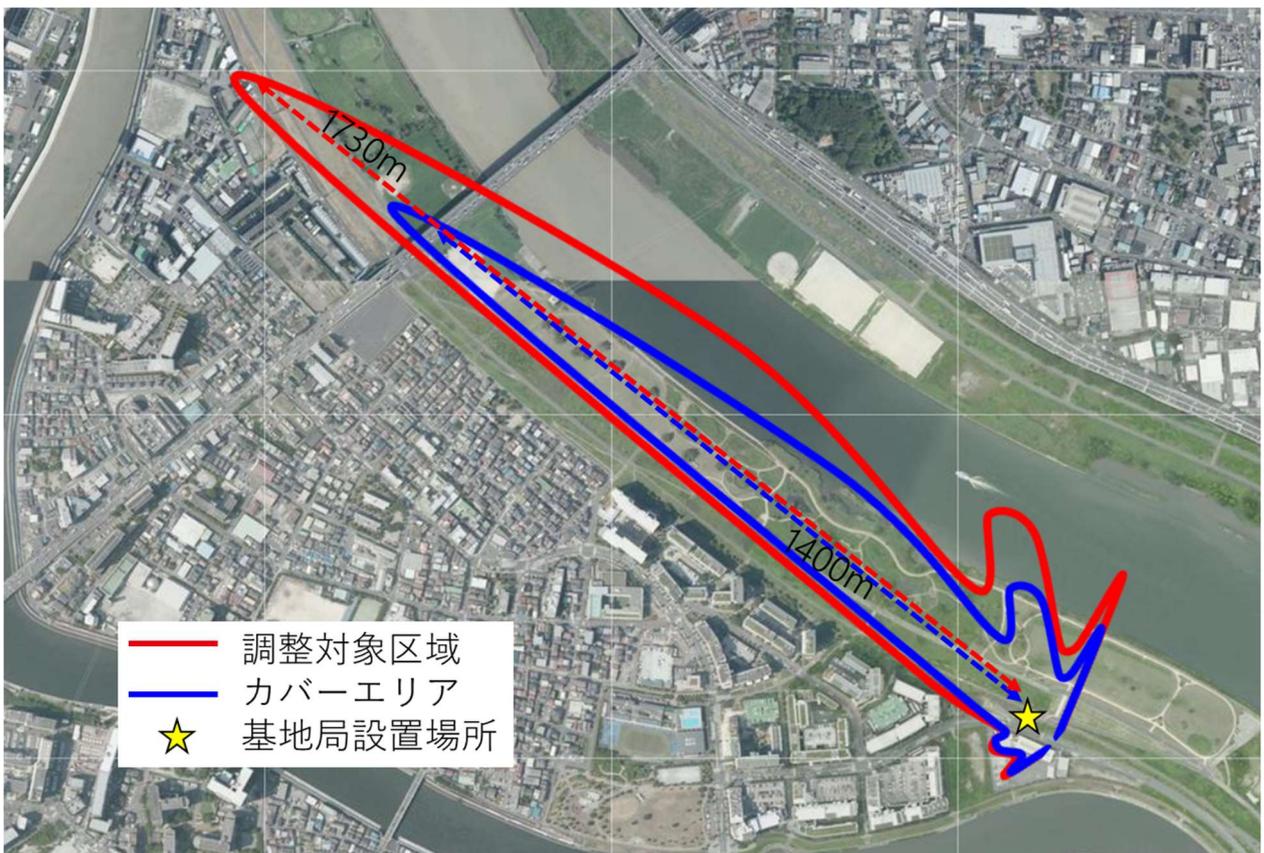
	仮説時の RMSE	精緻化後の RMSE
開放地	9.72	4.19
郊外地	6.47	6.24
自由空間	-	4.46

ただし、今回検証できたのは基地局から 1.1 Km 程度であり、より遠方になると 2 波モデルとしてブレイクポイント等が生じ、以降の損失が大きくなる見込みである。このため、より遠方のエリアの精緻化については今後の課題として検証が必要である。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-22 精緻化後のカバーエリアおよび調整対象区域(実証環境①)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-23 精緻化後のカバーエリアおよび調整対象区域(実証環境②)

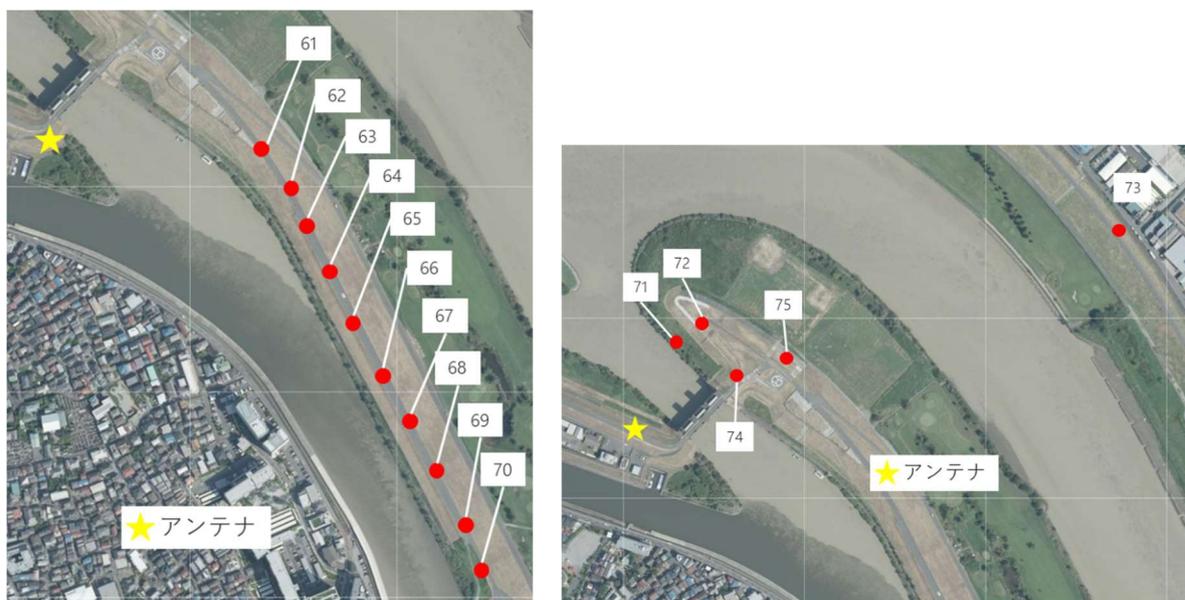
【パラメータ K 精緻化】

水面によるパラメータ K を検証するため遮蔽物がなく、伝搬経路中に水面が存在する図 3.3-24 および図 3.3-25 のような環境にて SS-RSRP を測定した。

下記①～③において基地局および端末のアンテナ高さを変動させ検証することで、伝搬経路中の水面割合によるパラメータ K の検証を行った。なお、基地局のアンテナ高は伸縮柱により変動させ、端末のアンテナ高さは異なる標高の地点で測定を行うことで水面を基準としたアンテナ高を変動させた。

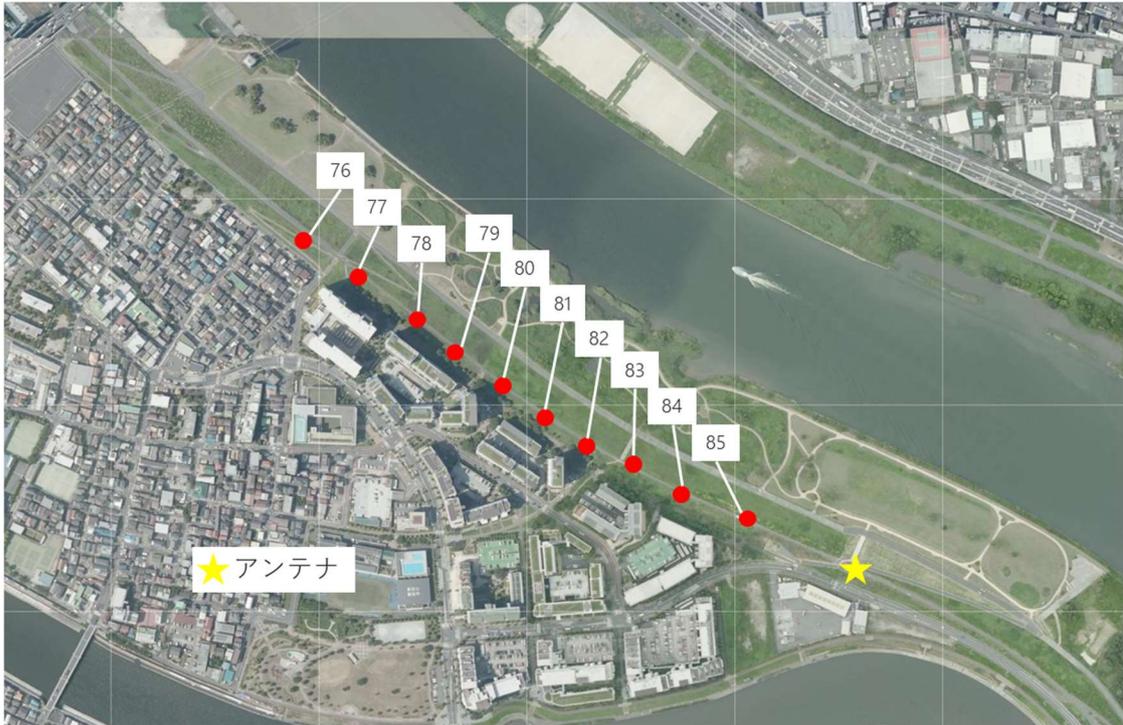
- ①伝搬経路中の水面割合が 40%程度(最小 34%～最大 54%)
- ②伝搬経路中の水面割合が 80%程度(最小 65%～最大 84%)
- ③伝搬経路中に水面なし

測定系の構成および使用機器は図 3.3-8 および表 3.3-5 と同様となる。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-24 パラメータ K の測定地点(水面あり)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-25 パラメータ K の測定点(水面なし)

測定点から見た見通し状況を図 3.3-26 に示す。

既存のエリア算出法では基地局アンテナ高が低いと電波伝搬損失が大きくなることから基地局アンテナ高が 30m 以下の場合は $b(H_b)$ というパラメータで損失を補正している。

※ $b(H_b)$: 基地局アンテナ高が 30m 以上の場合は 0、アンテナ高が 30m 未満であれば基地局アンテナ高が低いほど電波伝搬損失が大きくなるように補正する。

ここで、 $b(H_b)$ は地面を基準としたアンテナ高であるため、伝搬経路中に水面がある場合(疑似的に地面が下がる場合)は、 $b(H_b)$ を再度水面を基準にしたアンテナ高として補正する必要がある。

仮説で述べたパラメータ K は、上記の考え方であるため、パラメータ K が $b(H_b)$ を超えた場合は、アンテナ高が 30m を超えた場合と同様に、電波伝搬損失がアンテナ高の影響を受けないと考えられる。このため、伝搬損失を少なくするためのパラメータ K の最大値は $b(H_b)$ であると考えた。

測定当日(1/24)の水位は 1.9m であったため、仮説で検討した式からパラメータ K を算出すると、 $K=13.3$ となった。(基地局アンテナ高 $H_b:10[m]$ 、移動局アンテナ高 $H_m:1.5[m]$ 、基地局と水面の差 $\alpha:5.2[m]$ (基地局標高 $10.1m-(河川の標高 3m+水位 1.9m)$)、 $\beta:5.2[m]$ (移動局標高 $10.1m-(河川の標高 3m+水位 1.9m)$))。また、上記パラメータ K の最大値の考え方から本環境においては $b(H_b)=9.5$ であるため、パラメータ K は $b(H_b)$ と同じ値である $K=9.5$ とした。

さらにパラメータ K に対し、水面割合による補正を行うと、水面割合が 40%程度の場合は $10\log(0.4)=4\text{dB}$ 、水面割合が 80%程度の場合は $10\log(0.8)=1\text{dB}$ 、となることから、それぞれの水面割合におけるパラメータ K を下記と考えた。

①伝搬経路中の水面割合が 40%程度

$$K=9.5-1$$
$$=8.5$$

②伝搬経路中の水面割合が 80%程度

$$K=9.5-4$$
$$=5.5$$

③伝搬経路中に水面なし

$$K=0$$



図 3.3-26 測定点の様子

上記測定点において、基地局との距離や見通し有無、仮説で設定した精緻化対象のパラメータ K、エリア算出法による机上計算値と実際に測定された受信電力の中央値、 σ 、上位 10%値、下位 10%値を表 3.3-9 に示す。

なお、受信電力の測定は 3.3.1(4)で示したように 20 秒間で 6 点の SS-RSRP を測定し、下記表では 100MHz 帯域幅に換算し記載している。また、測定では人体損が生じないようにしているため、エリア算出法の計算値は人体損の項(8dB)を除外した値としている。

代表例として図 3.3-27 および図 3.3-28 に受信電力の時間変動、および正規化処理後の測定結果を示す。

表 3.3-9 各測定点の情報および測定結果

測定点	基地局との 距離[m]	伝搬経路中 の水面割合	仮説で設定した パラメータ K	エリア 算出法 計算値 [dBm]	測定結果[dBm](100MHz 帯域幅)			
					中央値	σ	上位 10% 値	下位 10% 値
61	245	65%	8.5	-76.1	-71.6	2.9	-68.5	-75.5
62	295	68%	8.5	-72.2	-73.5	2.6	-70.7	-77.3
63	340	74%	8.5	-64.4	-62.1	2.7	-59.6	-65.9
64	390	77%	8.5	-62.8	-59.1	2.5	-56.4	-62.8
65	445	79%	8.5	-63.3	-64.7	1.8	-62.5	-67.2
66	500	80%	8.5	-64.3	-62.4	3.2	-58.7	-66.2
67	560	80%	8.5	-66.3	-67.0	3.1	-64.4	-71.5
68	620	82%	8.5	-67.7	-70.6	3.7	-67.1	-75.8
69	680	84%	8.5	-69.7	-65.3	1.5	-63.6	-67.4
70	750	84%	8.5	-72.4	-68.1	2.5	-65.3	-71.4
71	140	54%	5.5	-80.3	-73.2	2.6	-70.8	-77.3
72	170	44%	5.5	-78.9	-74.3	2.1	-72.1	-77.1
73	780	34%	5.5	-72.5	-67.9	2.8	-65.4	-71.9
74	180	42%	5.5	-54.4	-55.9	3.3	-52.7	-59.9
75	200	38%	5.5	-55.3	-57.3	1.8	-55.3	-59.7
76	780	-	0	-78.0	-70.9	5.1	-65.6	-78.3
77	710	-	0	-76.6	-65.8	2.7	-63.2	-69.9
78	640	-	0	-75.0	-60.3	1.4	-58.7	-62.2
79	570	-	0	-73.2	-58.4	1.8	-56.5	-61.0
80	500	-	0	-71.2	-59.8	1.8	-57.9	-62.3
81	430	-	0	-68.9	-64.2	2.6	-60.8	-67.7
82	360	-	0	-66.2	-58.9	2.6	-56.4	-62.9
83	290	-	0	-62.9	-55.2	2.1	-52.8	-58.2
84	220	-	0	-58.7	-51.5	1.7	-49.4	-53.9
85	150	-	0	-52.9	-47.6	2.0	-45.6	-50.7

※全測定点で基地局-測定点間は見通しであるためパラメータ S は開放地としている。

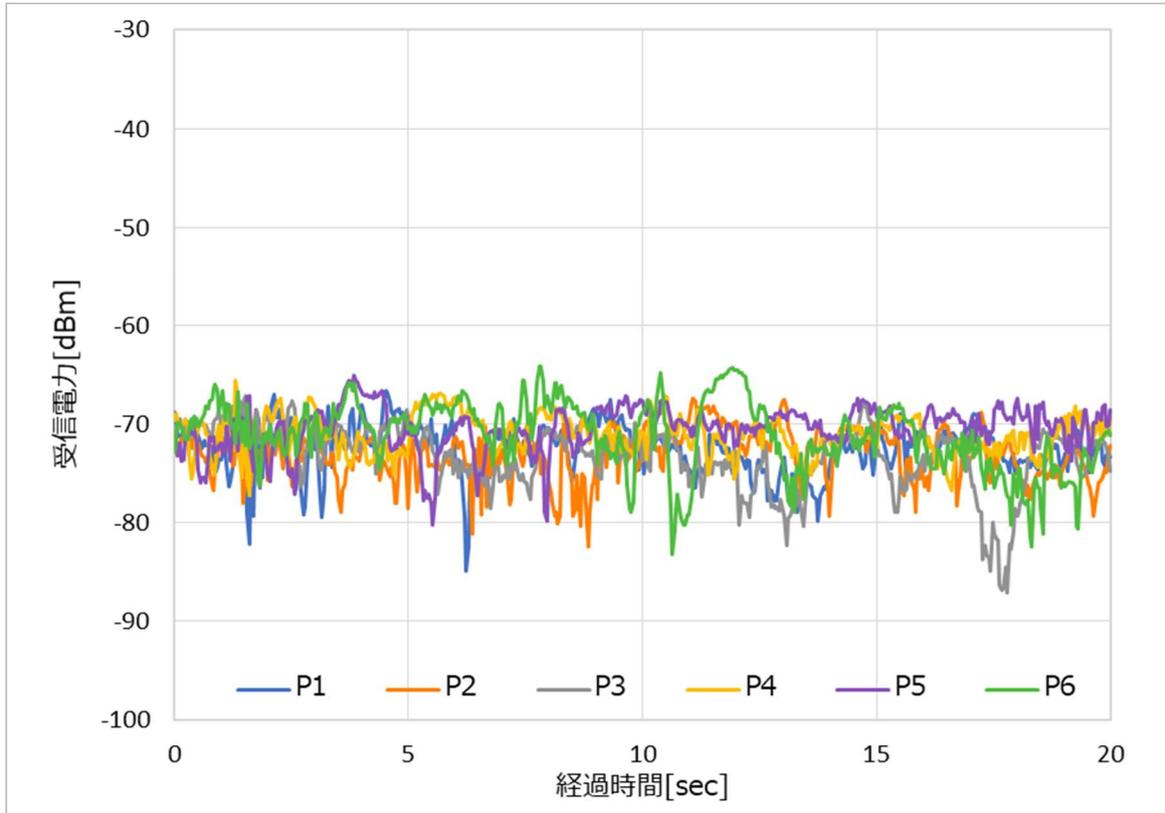


図 3.3-27 受信電力 時間変動

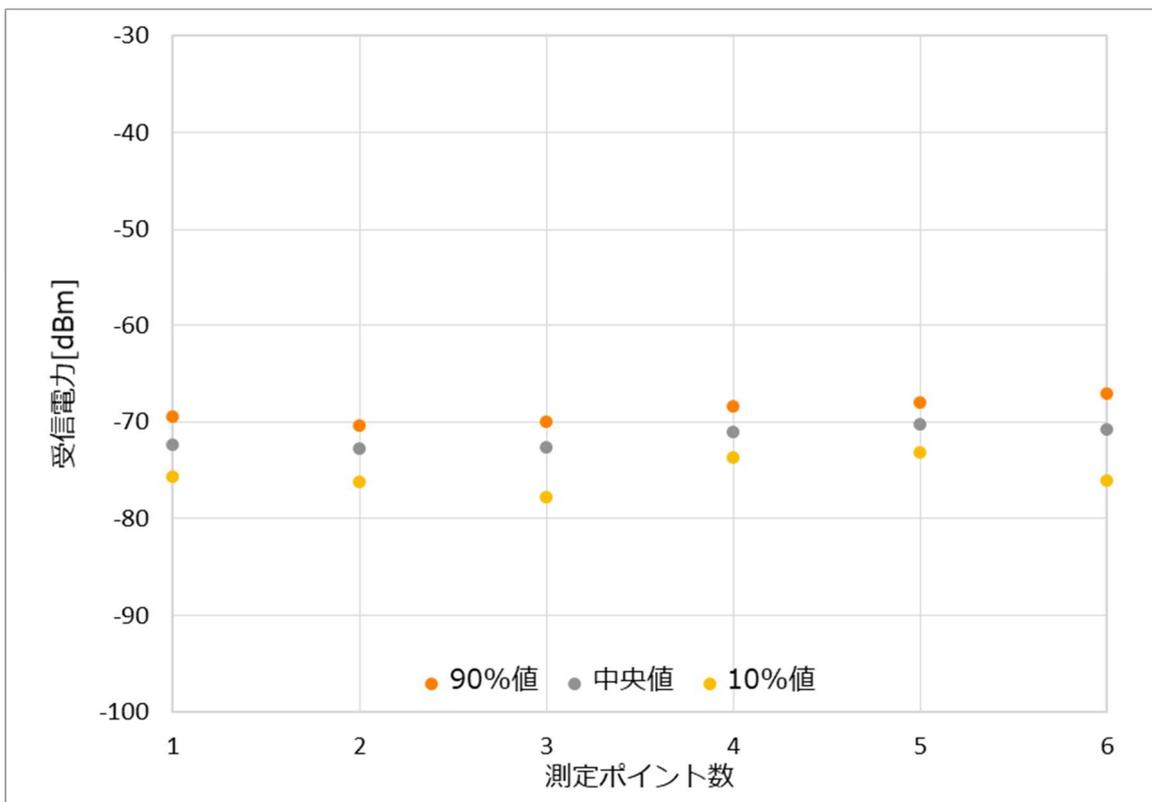


図 3.3-28 受信電力の正規化

以上の結果から、仮説で設定したパラメータ K ごとの受信電力距離変動およびアンテナ利得等を補正した電波伝搬損失の距離変動を図 3.3-29 および図 3.3-30 に示す。

ここでパラメータ S の精緻化と同様に、各測定点はアンテナから見た角度が異なり受信電力をもとにした考察が困難であるため、アンテナ利得およびケーブル損失等の各種利得/損失を除外した電波伝搬損失を算出し、精緻化に向けた考察を行った。考察を行う際、伝搬モデルと測定結果から RMSE(Root Mean Squared Error、二乗平均平方根誤差)を算出し評価した。

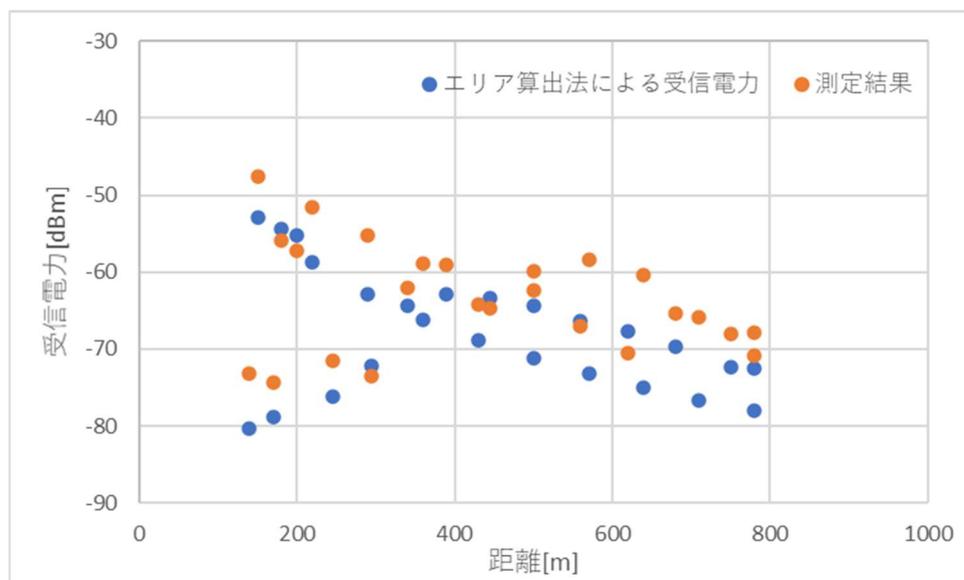
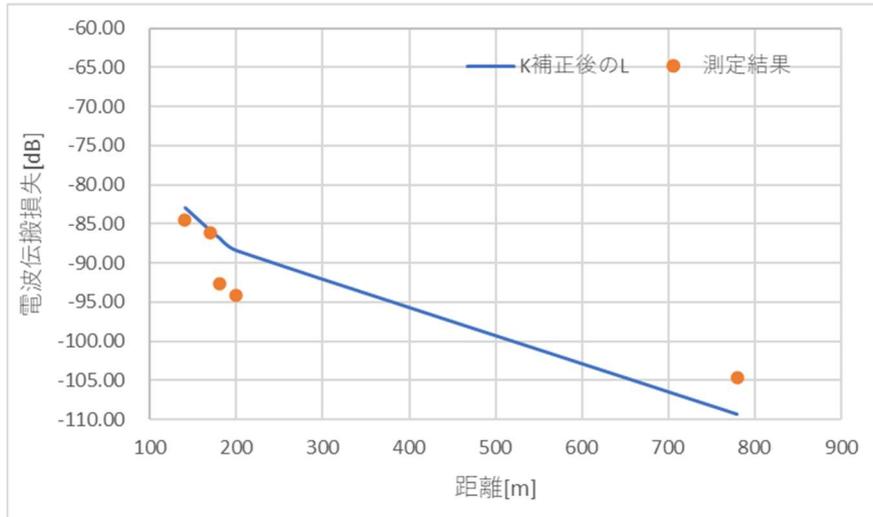
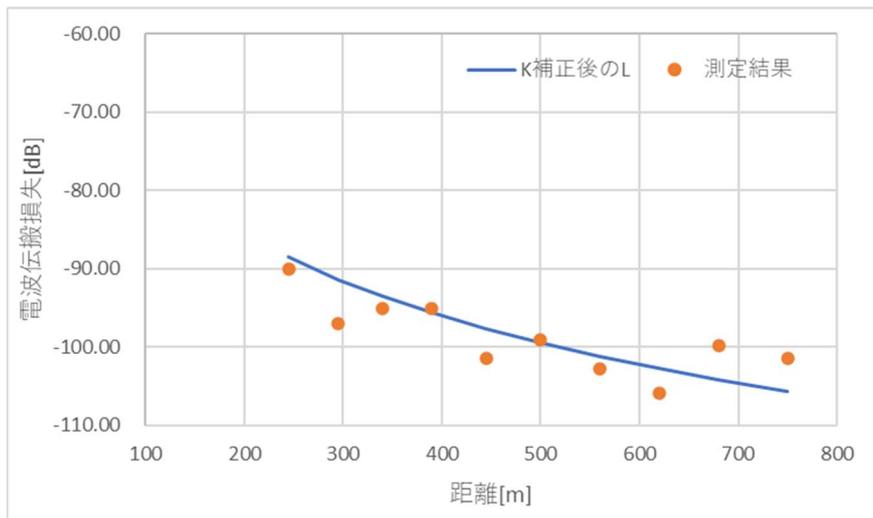


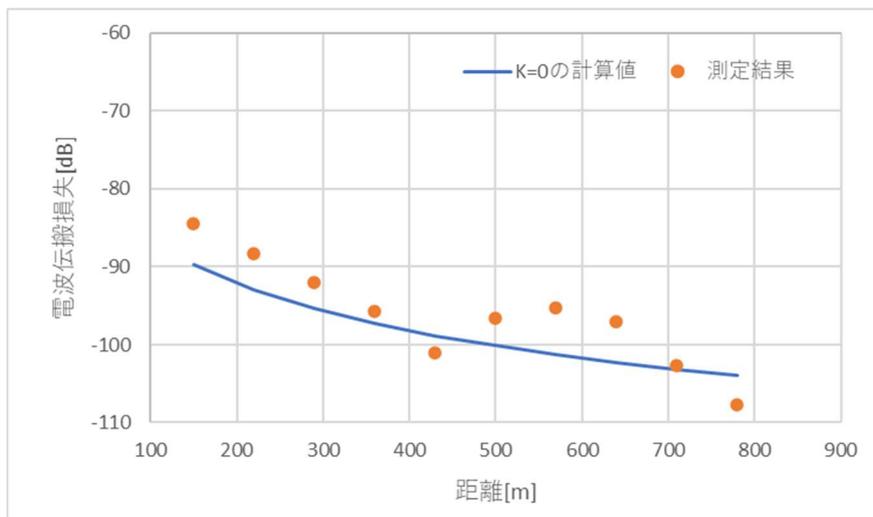
図 3.3-29 受信電力の距離変動



(1) 水面割合が 40%程度(K=5.5)



(2) 水面割合が 80%程度(K=8.5)

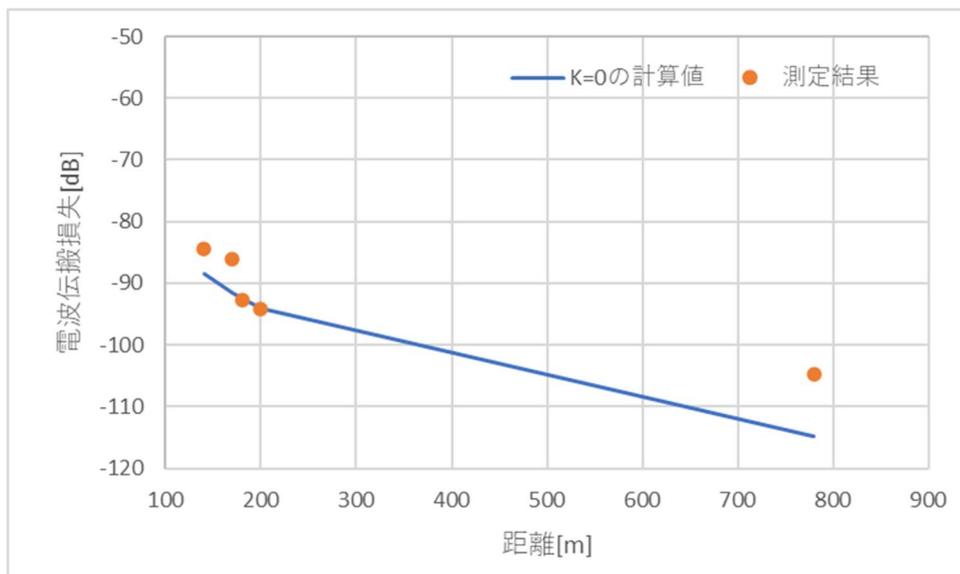


(3) 伝搬経路中に水面なし

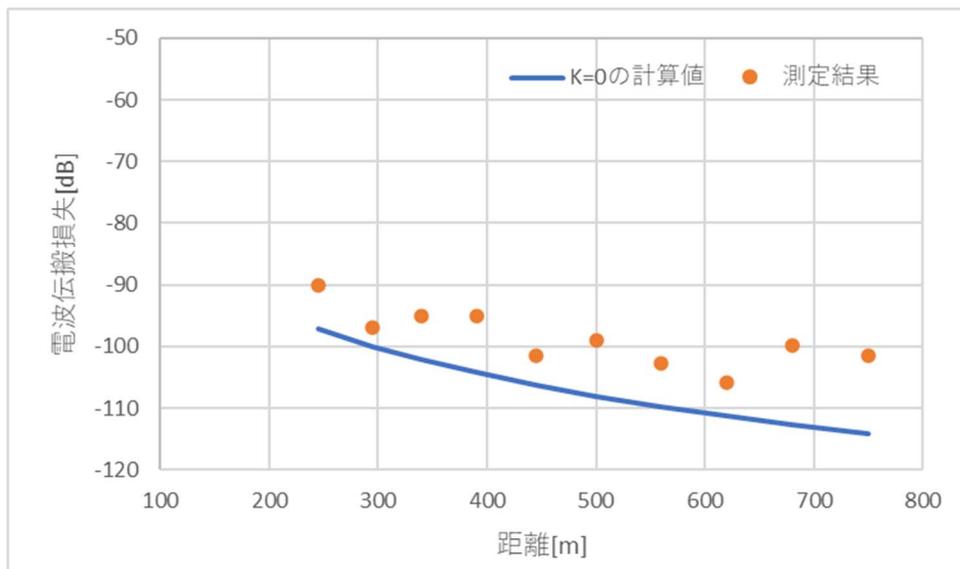
図 3.3-30 伝搬損失の距離変動

図 3.3-30 (1)のように水面割合が 40%程度のエリアでは $RMSE=4.23$ 、(2)のように水面割合が 80%程度のエリアでは $RMSE=3.17$ となった。本精緻化の効果を検証するため、同じ測定データに対し、 $K=0$ とした場合の $RMSE$ を算出し、比較を行った。これを図 3.3-31 および表 3.3-10 に示す。

仮説で設定したパラメータ K を適用する前後で $RMSE$ を比較すると、①水面割合が 40%の場合は $RMSE$ が 5.44 から 4.23 に、②水面割合が 80%の場合は $RMSE$ が 8.41 から 3.17 にそれぞれ向上(誤差が減少)できたことが分かった。このため、仮説で述べたパラメータ K の考え方は精緻化の効果があると考えた。



(1) 水面割合が 40%程度 ($K=0$)



(2) 水面割合が 80%程度 ($K=0$)

図 3.3-31 伝搬損失の距離変動 ($K=0$ とした場合)

表 3.3-10 K の精緻化による効果

	K を考慮しなかった 場合(K=0)の RMSE	仮説の K を適用した 場合の RMSE
①水面割合が 40%程度	5.44	4.23 (K=5.5)
②水面割合が 80%程度	8.41	3.17 (K=8.5)
③水面なし	3.98	—

3.3.2 線状の空間におけるエリア化の改善・柔軟性向上

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

・背景となる技術的課題

本ユースケースでは高解像度のカメラ映像伝送／建機の自動施工を行うため、高いスループットが必要であり、強い電界強度かつ雑音／干渉波の少ないローカル 5G エリアを形成する必要がある。

ユースケースで想定される災害時は、可搬型の RU が必要である。しかし、可搬型は低出力であるため 1 台の基地局で広域な線状の空間をカバーすることが困難である。このため、レピータや複数基地局によるエリア拡大が必要となる。

また、レピータはローカル 5G において実用実績が少なく、今後の普及および技術規定の改定に向けた課題の洗い出しが必要である。具体的に想定する課題としては、レピータの中継処理遅延によるスループット特性の劣化である。レピータで中継処理を行う際に処理遅延が発生するため、レピータによりエリア拡大した地点の端末では、基地局が放射した弱い電波が先に到来し、その後レピーターが放射した強い電波が到来する。このため、レピータによるエリア構築と基地局のエリア構築では、必要な電波強度が異なる懸念がある。そのため、電波強度とスループットの関係性をレピータによるエリア拡大地点および単一基地局で構築した地点の両方で検証する。

加えて、ユースケースである災害時は堤防決壊などが発生し、電波伝搬環境が刻一刻と変動するため、平時では他者土地への電波漏洩が生じていない場合でも、災害時には堤防決壊および水面範囲の拡大など電波伝搬環境の変動によって他者土地への電波漏洩が生じてしまう恐れがある。

・実証目的

上記課題を解消するため、下記を実証することでユースケース実現に向けた必要なエリア構築手法や、他者土地への電波漏洩軽減に関する知見を導出することを目的とする。

- ①線状空間でのエリア拡大を目的としたレピータ／複数基地局の有用性、課題の検証。
- ②レピータ、複数基地局を使用した際の他者土地への電波漏洩検証。
- ③環境変動を想定した他者土地への電波漏洩検証。
- ④レピータ、複数基地局の使用による単一基地局で生じる不感地帯の解消。

2) 実証目標

実証目的で記載した①～④の項目について、それぞれ下記を目標とした。

①線状空間でのエリア拡大を目的としたレピータ／複数基地局の有用性、課題の検証。

河川においてのカバーエリア内にてレピータおよび複数基地局を使用した場合の性能評価を行い、ユースケースを満たすことが可能か実証する。

②レピータ、複数基地局を使用した際の他者土地への電波漏洩検証。

河川においてレピータおよび複数基地局を使用した場合の他者土地への電波漏洩を検証し、ユースケースを満たした上で、電波漏洩の度合いを比較検証する。

③環境変動を想定した他者土地への電波漏洩検証。

環境変動を想定し、基地局および端末のアンテナ高さを変動し、エリア拡大／縮小を検証する。また、堤防決壊時を模擬し、堤防の一部除去／水面範囲の拡大を想定した電波伝搬シミュレーションを行い、堤防決壊時のエリア変動を検証する。

本検証により得られた知見(堤防決壊時のエリア拡大度合い)は、災害発生時に河川で基地局を設置する際の他者土地への電波漏洩算出に有用であると考ええる。

④レピータ、複数基地局の使用による単一基地局で生じる不感地帯の解消。

ユースケースにおける必要なローカル 5G カバーエリア内に水門による遮蔽物又はアンテナ指向方向外にて数 10m 四方程度の不感地帯を構築し、レピータおよび複数基地局を使用することで不感地帯を解消可能であることを実証する。

なお、遮蔽物により不感地帯を構築する際は、エリア算出法によるパラメータ S における開放地(S=32.5)、郊外地(S=12.3)の差分となる 20.2dB(距離 100m 以上の時)の損失が発生する環境を目安に構築する。

加えて、アンテナ指向方向外にて不感地帯を構築する際は、アンテナのサイドローブ、アンテナ高、アンテナチルト角によるビーム幅(水平／垂直)等を考慮する。

なお、ユースケースから下記スループットおよび遅延時間を目標とし本実証環境における業務区域／他者土地／自己土地を図 3.3-32 に示す。

表 3.3-11 スループットおよび遅延時間の目標値

項目	目標値	備考
スループット(UL)	45Mbps	1 基地局あたり
スループット(DL)	7Mbps	1 基地局あたり
遅延時間	50msec	ローカル 5G 端末~コア装置間(片道)



図 3.3-32 実証環境における業務区域／他者土地／自己土地

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

令和3年度ローカル5G等開発実証「ローカル5Gを活用した山間部林業現場での生産性向上および安全性向上のための実用化モデル検証」では本ユースケースの環境と同様に屋外でのエリア拡大について実証を行っている。過年度では反射板を使用した実証であったことに対し、本実証ではレピータおよび複数基地局を使用したエリア拡大を実証する点が新規性となる。加えて、本実証では線状空間であり、基地局近傍に他者土地が広がっているため、電波漏洩を軽減しながらエリア拡大を目指す点が新規性となる。

(2) 実証仮説

レピータは基地局程の送信出力を出すことはできず、想定している使用機器では送信出力10dBmとなる。ここで高利得アンテナを(17dBi相当)使用したとしても、カバーエリアは基地局に比べて狭い。例えばユースケースを満たすために必要な受信電力が-60dBm程度の場合、電波伝搬距離は下記のように40m程度となる。一方送信出力が24dBmの基地局の場合、同条件で電波伝搬距離は190m程度となる。(いずれも開放地の場合)

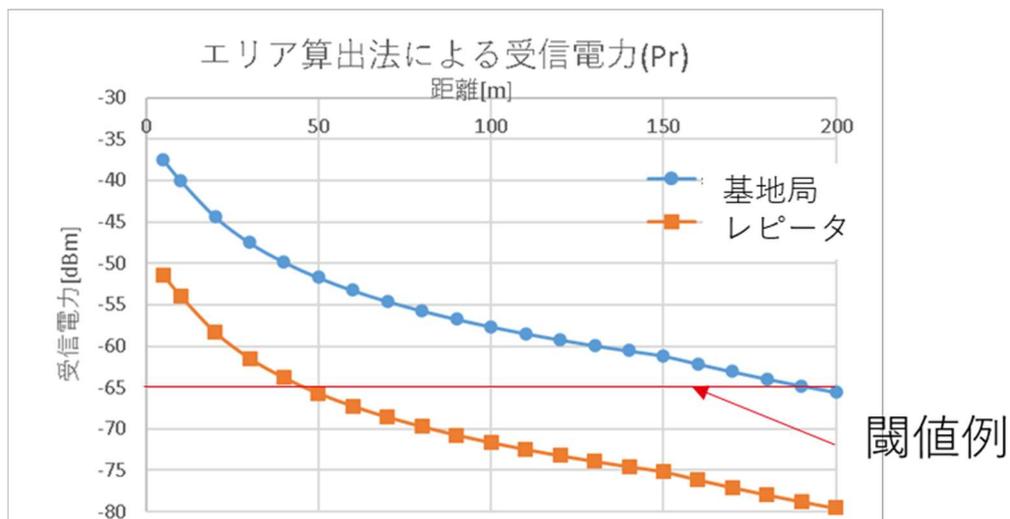


図 3.3-33 レピータと基地局の伝搬距離比較

このため、エリア拡大の面では基地局を使用した方が良いが、基地局では干渉が発生することと、設置の容易さの面から、レピータで可能なエリア範囲(概ね 40m 程度)であれば、レピータを使用し、40m 以上のエリア拡大には基地局を複数設置する方が望ましいと考える。

加えて、局所的(数 10m 程度)な不感地帯(遮蔽物の裏など)の解消に対してもレピータが有効であると考えられる。

<エリア設計>

本ユースケースでエリア設計を行った際のフローを図 3.3-34 に示す。

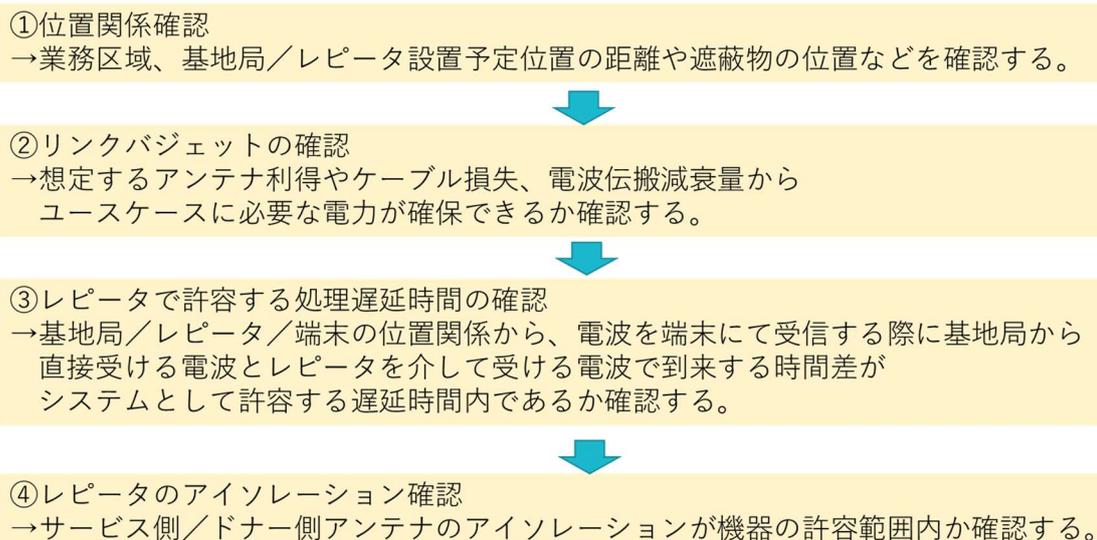


図 3.3-34 エリア設計のフロー

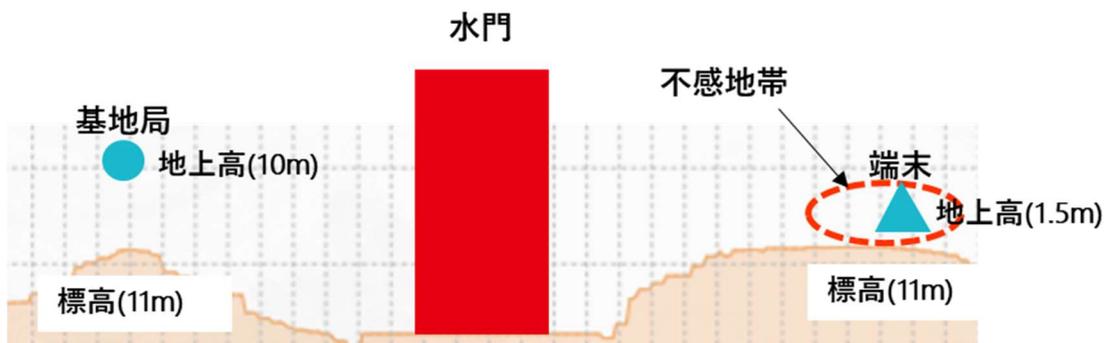
以降で上記フロー①～④について本ユースケースで行った内容について記載する。

【①：位置関係確認】

本ユースケースにおいて業務区域と不感地帯、基地局やレピータの位置関係(水平面)を図 3.3-35 に示す。基地局と端末の直線区間にて水門が存在するため、電波が遮蔽され、基地局と水門が直線状に重なるエリアは不感地帯となることが想定される。また、図 3.3-36 および図 3.3-37 に基地局と不感地帯の位置関係(垂直面)を示す。水門を迂回するようにレピータ又は複数基地局を配置することで電波伝搬経路上に遮蔽物が存在しないようにした。



図 3.3-35 業務区域と不感地帯の位置関係(水平面)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-36 不感地帯の位置(垂直面、基地局～端末間)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-37 不感地帯の位置(垂直面、基地局～レピータ～端末間)

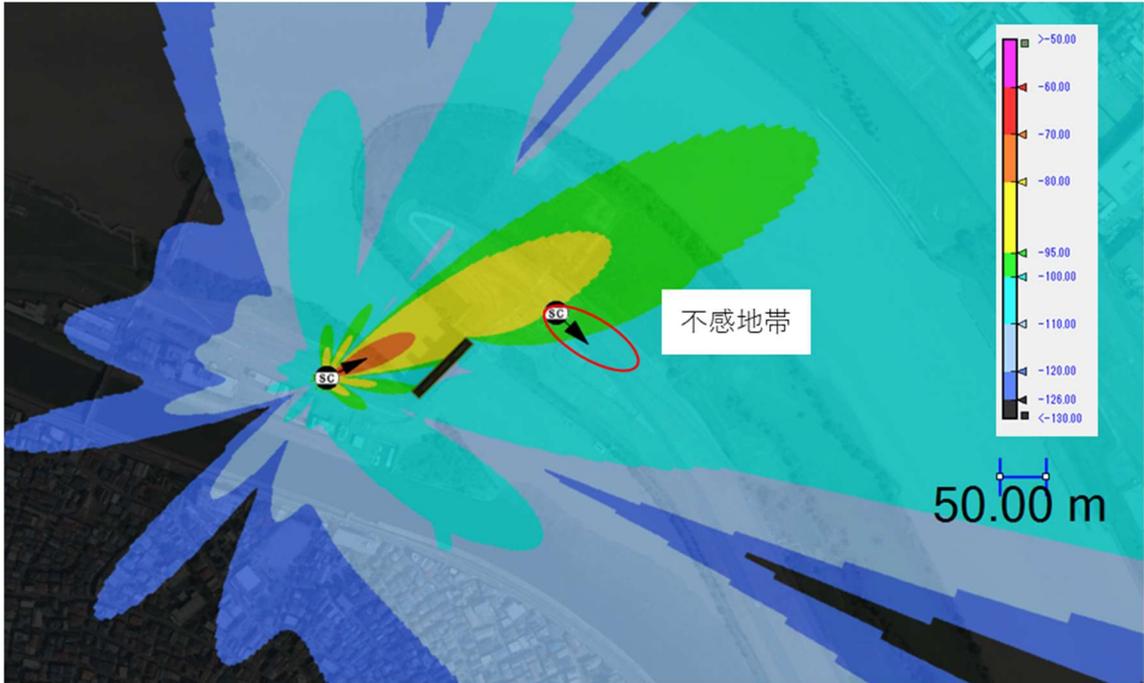
【②：リンクバジェットの確認】

遮蔽物による不感地帯を検証するため、実証環境における遮蔽物を 3D ポリゴンで再現し、レイトレース法を用いたシミュレーションを行った。本ユースケースにおいては、遮蔽物として水門を使用したため、水門をコンクリート壁として計算を行った。計算では iBwave 社の iBwave Design を使用した。表 3.3-12 の条件をもとに、図 3.3-38 に単一基地局を配置した場合のシミュレーション結果を示す。水門裏の業務エリアではユースケースに必要な SS-RSRP-95dBm 以上のエリア(図中黄色および赤色の範囲)が構築できず、SS-RSRP が-95dBm 未満の不感地帯となることを確認した。

ここで、図 3.3-39 および図 3.3-40 に示すように不感地帯近傍にリピーター又は複数基地局を設置することで不感地帯が解消できる見込みであることを確認した。

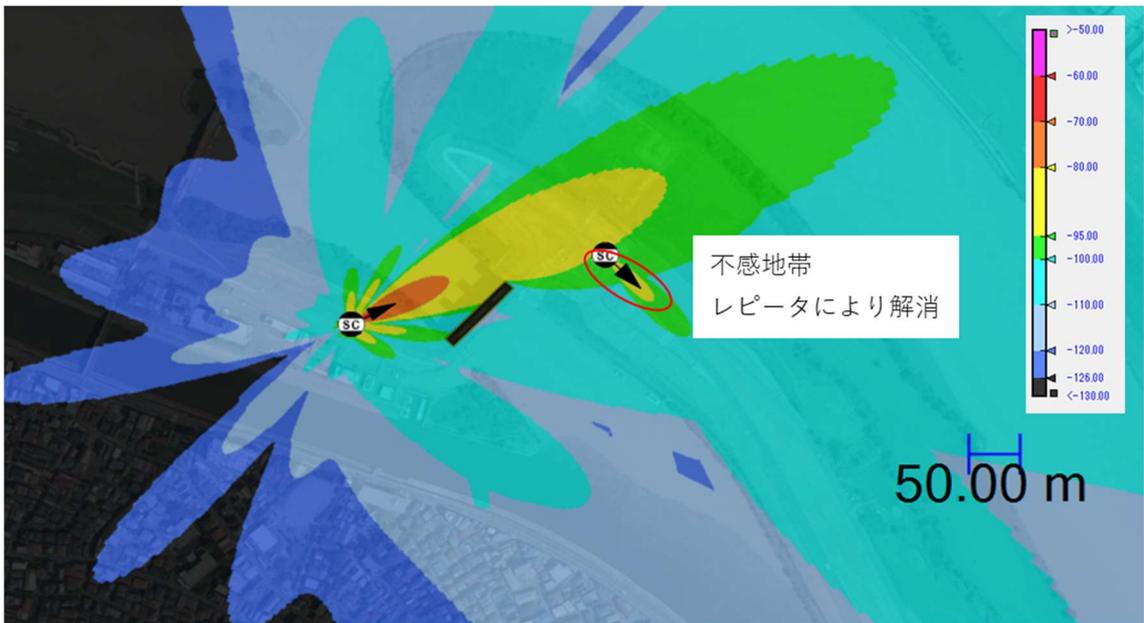
表 3.3-12 シミュレーションに使用したパラメータ

パラメータ	値
Pt[dBm]:送信電力	基地局および複数基地局:27 レピータ:13
Gt[dBi]:送信アンテナ利得	17(最大)
Lf[dB]:基地局の給電損失	基地局および複数基地局:7.2 レピータ:1.1
Gr[dBi]:受信アンテナ利得	0
f[MHz]:使用周波数	中心周波数:4850MHz 周波数範囲:4800~4900MHz
Hb[m]:基地局の地上高	基地局:10 レピータおよび複数基地局:3
Hm[m]:移動局の地上高	1.5



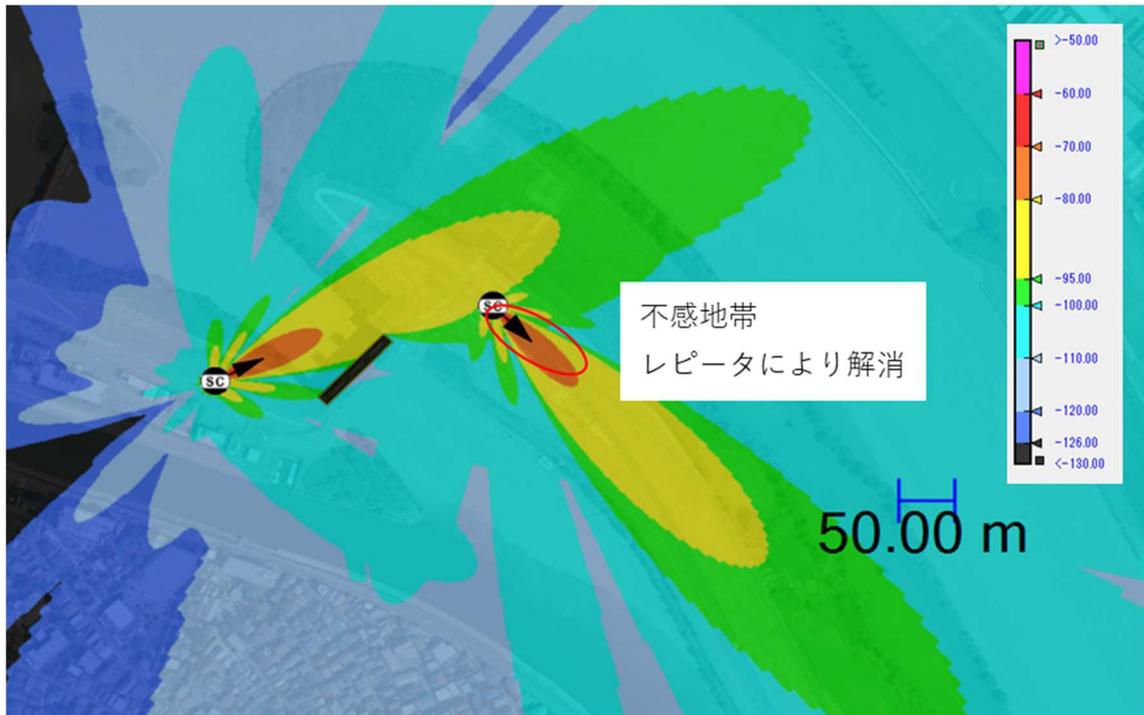
※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-38 不感地帯を確認するエリアシミュレーション結果



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-39 リピーターによる不感地帯解消を確認するエリアシミュレーション結果



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-40 複数基地局による不感地帯解消を確認するシミュレーション結果

なお、使用する基地局のアンテナを選定する際、垂直および水平面の指向性パターンを複数案で検証し、ユースケースの用途に合致するアンテナを選定した。アンテナパターンを図 3.3-41 に諸元を表 3.3-13 に示す。最終的に選定したアンテナより広角のアンテナであるため、図 3.3-42 のように広域のエリアが期待できるが、他者土地への電波漏洩が増大する恐れがあるため、採用を見送った。

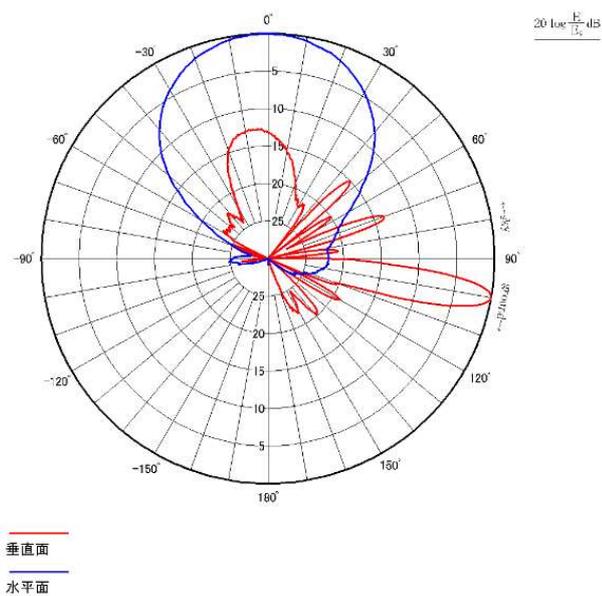
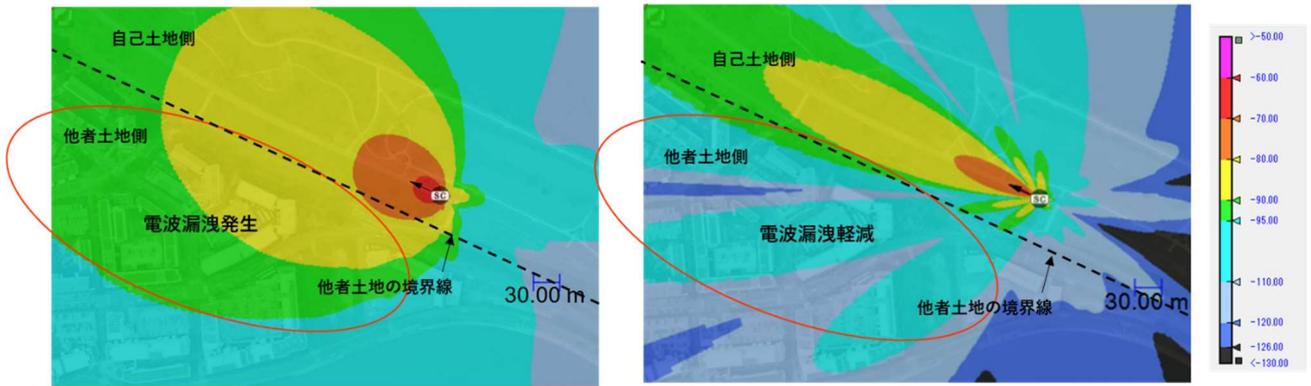


図 3.3-41 検討候補としたアンテナパターン指向性

表 3.3-13 検討候補としたアンテナの諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
対応周波数	3400MHz~5000MHz	
利得	約 17.5dBi	
水平面内指向性	約 55°±10°	
垂直面内指向性	約 6.5°±1°	
ビームチルト角	電気チルト可変式(AISG2.0 準拠)	
定在波比	1.5 以下	
偏波面	垂直偏波・水平偏波	
アンテナ端子	N-J	
重さ	3.8kg(取付金具は含まない)	
耐風速	75m/s	
寸法	φ105mm×550mm(コネクタを除く)	



※国土地理院の地図を編集し使用

(1) 検討候補アンテナ

(2) 最終的に採用したアンテナ

図 3.3-42 検討候補でのエリアシミュレーション①

【③：レピータで許容する処理遅延時間の確認】

遅延時間が OFDM シンボルに付加されている CP(cyclic prefix)の時間長に収まっているか否かを判断した。

本システムのようにサブキャリア間隔が 30kHz の場合、CP 時間(ガードタイム)長は約 2.34 μ sec である。このため、基地局～端末の電波伝搬時間と基地局～レピータ～端末の伝搬時間の差が 2.34 μ sec 以下であれば、基地局から受ける電波とレピータを経由する電波は互いに干渉が生じない。このためレピータ設置による、スループット劣化等の影響はないと考えられる。

ここで、下記の計算から基地局～レピータ～端末の距離と、基地局～端末の距離との差が 612m 以内であればスループットへの影響はないと考え、本ユースケースでの位置関係に合致することを確認した。

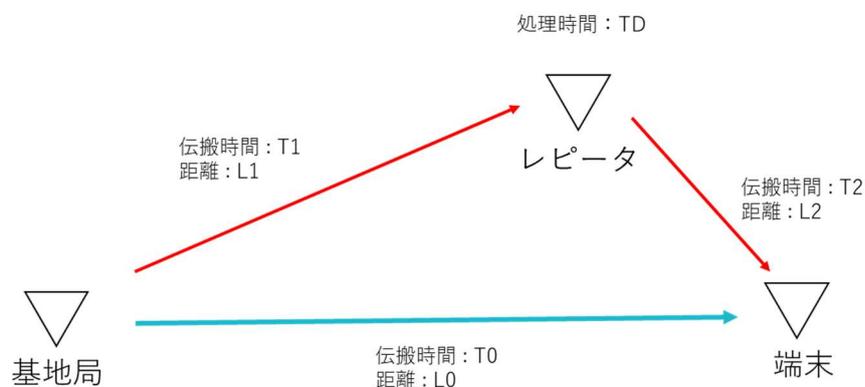


図 3.3-43 レピータで許容する処理遅延時間の確認イメージ

T0: 基地局～端末の電波伝搬時間

L0: 基地局～端末の距離

T1: 基地局～レピータの電波伝搬時間

L1: 基地局～レピータの距離

T2: レピータ～端末の電波伝搬時間

L2: レピータ～端末の距離

TD: レピータの処理時間 300ns

c: 光速 300,000km/sec

(算出式)

$$(T1+TD+T2)-T0 \leq 2.34 \mu$$

ここで T1～T0 は下記となり、TD=300n であるので

$$T1=L1/c \quad T2=L2/c \quad T0=L0/c$$

$$L1/c+L2/c-L0/c \leq 2.04 \mu$$

$$L1+L2-L0 \leq 2.04 \mu \times 300,000k$$

$$L1+L2-L0 \leq 612m$$

【④：レピータのアイソレーション確認】

レピータにはサービス側／ドナー側のアンテナが接続されており、離隔距離や設置角度によっては共振が発生するため、期待する動作が得られない場合がある。このため、機器で定められているアイソレーション値が満たされるか、アンテナ間の離隔距離や設置角度を検討する際に事前検証する必要がある。

図 3.3-44 のようなユースケースにおけるドナー側とサービス側のアンテナの位置関係から、アイソレーションを計算し、機器の許容範囲内であることを確認した。

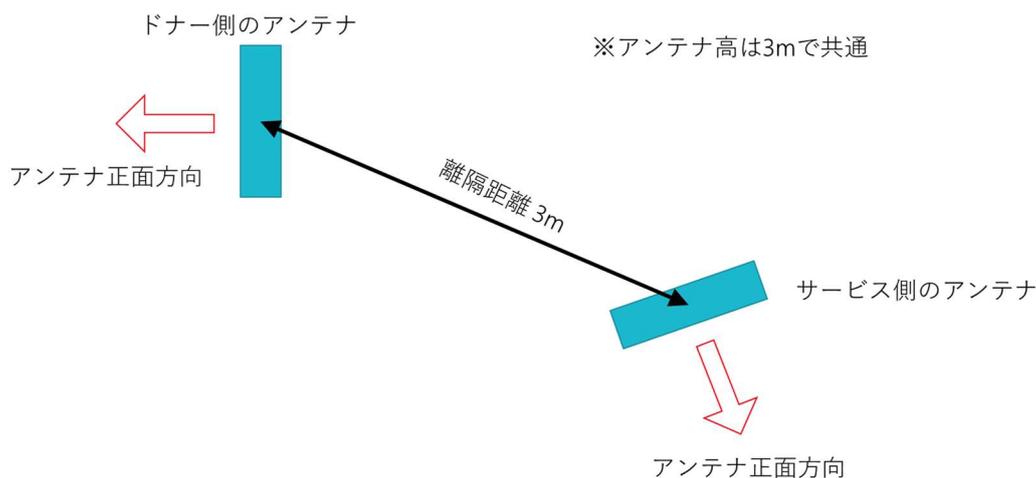


図 3.3-44 レピータアイソレーションの確認

表 3.3-14 レピータアイソレーションの確認

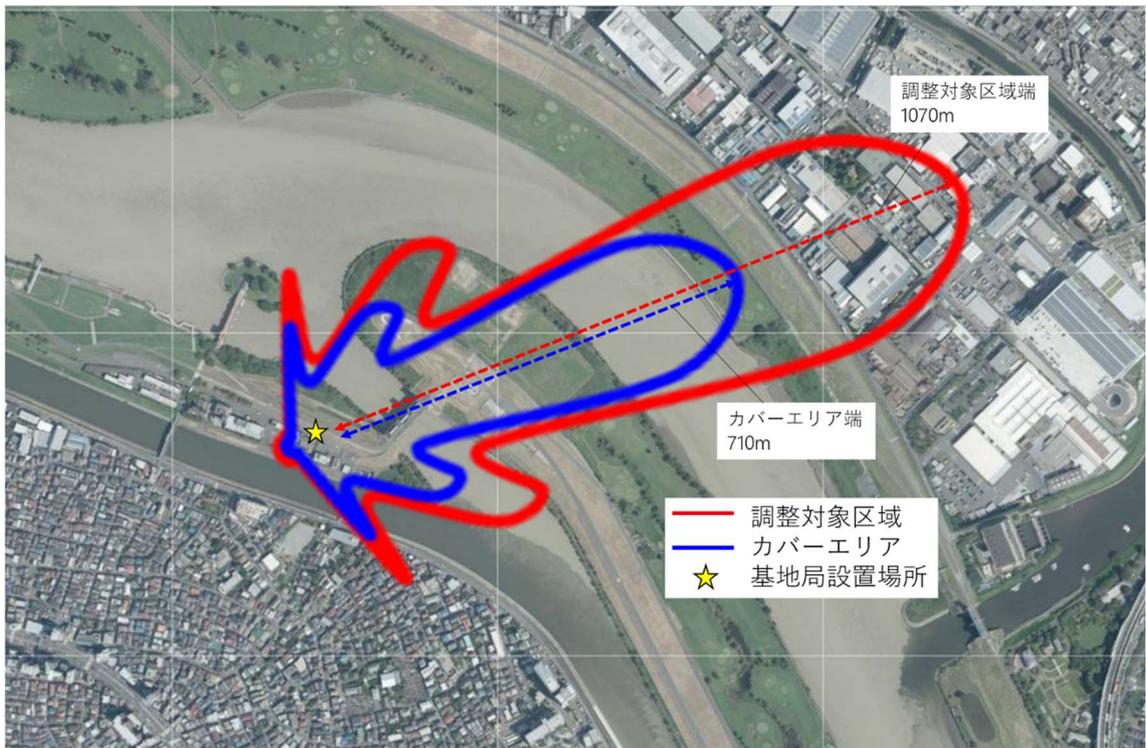
分類	項目	値	備考
ドナー側	d1:最大利得[dBi]	17	
	d2:水平面減衰[dB]	-35.29	
	d3:垂直面減衰[dB]	0	
	d:総合利得[dB]	-18.29	$d=d1+d2+d3$
	d4:給電損失[dB]	-1.1	
サービス側	s1:最大利得[dBi]	17	
	s2:水平面減衰[dB]	-41.44	
	s3:垂直面減衰[dB]	0	
	s:総合利得[dB]	-24.44	$s=s1+s2+s3$
	s4:給電損失[dB]	-1.1	
電波伝搬減衰	離隔距離[m]	3	
	L:離隔距離の自由空間損失	55.7dB	
i:アイソレーション[dB]		100.6	$L-(d+s)-(d4+s4)$
im:アイソレーションの-margin[dB]		20	
x:レピータゲイン		60	機器仕様
判定		OK	$i \geq x+im$ であれば OK

上記フロー①～④によって検討した位置関係およびアンテナを使用した際のエリア算出法で算出したカバーエリアおよび調整対象区域のエリア図を 図 3.3-45～図 3.3-47 に示す。また、エリア算出に使用したパラメータと算出結果(最大利得方向)を

表 3.3-15～表 3.3-16 に示す。

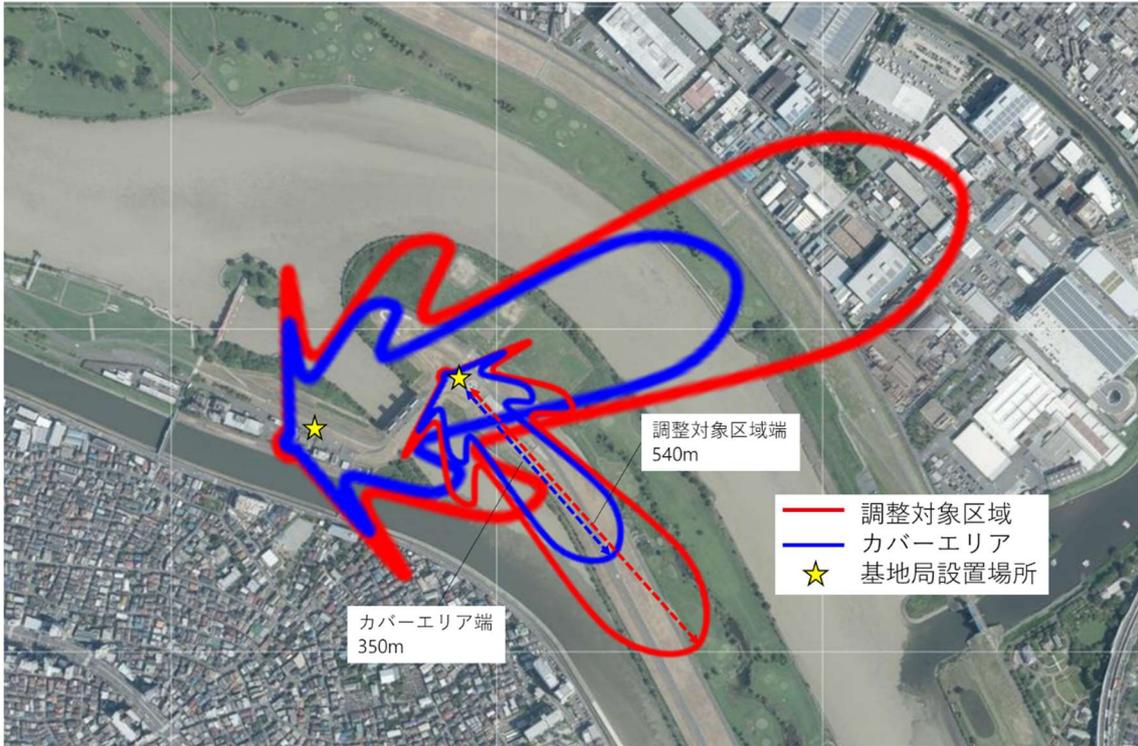
なお、本実証で使用するローカル 5G 機器は周波数帯域幅が 100MHz であるため、カバーエリア、調整対象区域の閾値は帯域 100MHz システムでの閾値となる。

既存のエリア算出法ではパラメータ S は全方向で 1 種類であるため、最も干渉エリアの広くなる「開放地」とパラメータ S を分類した。



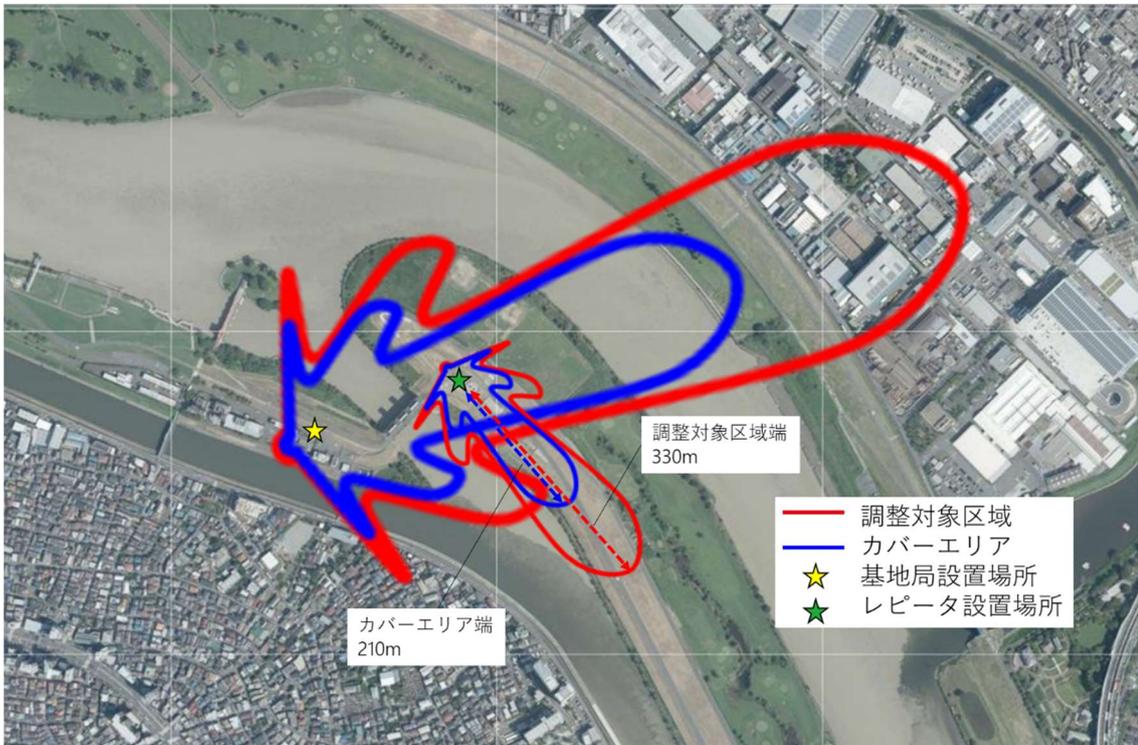
※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-45 単一基地局でのカバーエリアおよび調整対象区域



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-46 基地局および複数基地局使用時のカバーエリアおよび調整対象区域



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-47 基地局およびレピータ使用時のカバーエリアおよび調整対象区域

表 3.3-15 エリア算出に使用したパラメータ

パラメータ	値
Pt[dBm]:送信電力	基地局および複数基地局:27 レピータ:13
Gt[dBi]:送信アンテナ利得	17
Lf[dB]:基地局の給電損失	基地局および複数基地局:7.2 レピータ:
Gr[dBi]:受信アンテナ利得	0
f[MHz]:使用周波数	中心周波数:4850MHz 周波数範囲:4800~4900MHz
Hb[m]:基地局の地上高	基地局:10 複数基地局およびレピータ:3
Hm[m]:移動局の地上高	1.5
R	0
α	1
a(Hm):移動局高の補正	0
b(Hb):基地局高の補正	基地局:-9.542425094 複数基地局およびレピータ::
K	0
S	32.5
カバーエリア閾値[dBm] (帯域 100MHz システム)	-84.6
調整対象区域閾値[dBm] (帯域 100MHz システム)	-91.0

表 3.3-16 エリア算出法によるカバーエリアと調整対象区域の最大距離

	分類	基地局からの距離
基地局	カバーエリア	710m
	調整対象区域	1070m
複数基地局	カバーエリア	350m
	調整対象区域	540m
レピータ	カバーエリア	210m
	調整対象区域	330m

(3) 評価・検証項目

構築した実証環境において、受信電力、伝送スループットや伝送遅延時間等のデータを測定した。具体的には下記の検証を行った。

<エリア設計>

- ・シミュレーション等により提案手法(レピータおよび複数基地局の使用)前後のカバーエリア及び調整対象区域を作成し、エリア構築の課題および提案手法による課題解決を行った。
- ・シミュレーション等により提案手法(レピータおよび複数基地局の使用)前後の業務区域の作成を行った。

なお、シミュレーションでは業務区域内の不感地帯の想定エリア及び提案手法(レピータおよび複数基地局の使用)後に該当不感地帯がどのように改善されるかの視点でシミュレーションを実施した。

<測定>

- ・作図した提案手法の実施前後のカバーエリアおよび調整対象区域相当の受信電力が得られるエリアにおいて、提案手法実施前後の受信電力(SS-RSRP 値)、通信品質 SINR 及び伝送性能(UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延等)を測定した。
- ・測定地点は、エリア構築の課題に応じて提案手法実施前後の改善効果が明確になるように設けた。
- ・測定地点数は 30 点以上とした。
- ・提案手法実施前後について、ある一方向だけではなく、45 度方向ごとの 8 方向でのエリア算出法に定めるカバーエリア及び調整対象区域の閾値がそれぞれ実測される基地局(中継器等の電波を発する機器を使う場合、それも含める)からの距離の確認を行った。
- ・基地局からの電波に加え、提案手法に用いる機器からの電波(電波反射板の反射波等を含む)を測定した。

測定データや測定点の情報に加え、以下の情報も取得した。

- ・レピータの諸元
- ・レピータ設置場所の諸元
- ・レピータ設置場所における基地局からの電波伝搬状況

<分析／考察>

- ・エリア設計の作図と実測データを比較し、その差分の要因を分析した。
- ・分析をふまえ、測定を実施する際のエリア設計手法(実施手順やシミュレーション方法・条件

パラメータ等の選び方など)等をモデル化した。

- ・測定の結果、ユースケースの所要性能が達成可能かどうかを評価した。達成できない場合は、実測データに基づき達成するために必要な方策を考察した。
- ・測定手法の実施容易性やコストをそのほかの解決方法と比較し、実施した手法が有効となる汎用的な条件や使い方を導出した。

(4) 評価・検証方法

実証環境における遮蔽物を 3D ポリゴンで再現し、レイトレース法を用いた計算を行うことで遮蔽物による不感地帯を正確に再現した。

シミュレーションはユースケースを想定し、基地局アンテナを複数パターンで実施した。

提案手法であるレピータおよび複数基地局を使用した場合、また単一の基地局を使用した場合で不感地帯の有無やエリア範囲を比較し、最適なエリア設計手法を検証した。

加えて、測定結果をもとにユースケースに必要な電波強度を確保しつつ、かつ他者土地への電波漏洩を抑えるために必要なアンテナの指向性パターン(ビーム幅)やその他パラメータ(基地局送信出力、アンテナ高、アンテナチルト角)について考察し、考察したアンテナパターンやその他パラメータを使用したエリアシミュレーション等を実施することで最適なエリア設計手法を検証した。

<測定>

3.3.2 (1) 2) 実証目標に定めた①～④に対し、下記の測定を行った。

①線状空間でのエリア拡大を目的としたレピータ/複数基地局の有用性、課題の検証。

- ・レピータを使用した場合の SS-RSRP を測定することでエリア拡大を検証し、拡大エリアでの SS-RSRP、スループット、SINR などの特性を測定することで、レピータによるエリアと基地局によるエリアの特性劣化の有無を検証した。
- ・複数基地局を使用した場合の基地局間の干渉を SINR およびスループット特性で検証し、出力調整を行うなど安定したハンドオーバー実現に向けた測定を行う。加えて、干渉波の強さ(D/U比)に応じたスループット検証を行った。
- ・単一基地局の状態での測定を行い、ユースケースに必要な電波強度が得られなかった地点において、レピータ又は複数基地局を追加し、再度同地点にて SS-RSRP、スループット、SINR を測定した。

②レピータ、複数基地局を使用した際の他者土地への電波漏洩検証。

- ・①でレピータ及び複数基地局を使用したエリア拡大を行う際、エリア算出法によるカバーエリアおよび調整対象区域の閾値が確認できる地点を探索し、他者土地への電波漏洩を比較検証した。

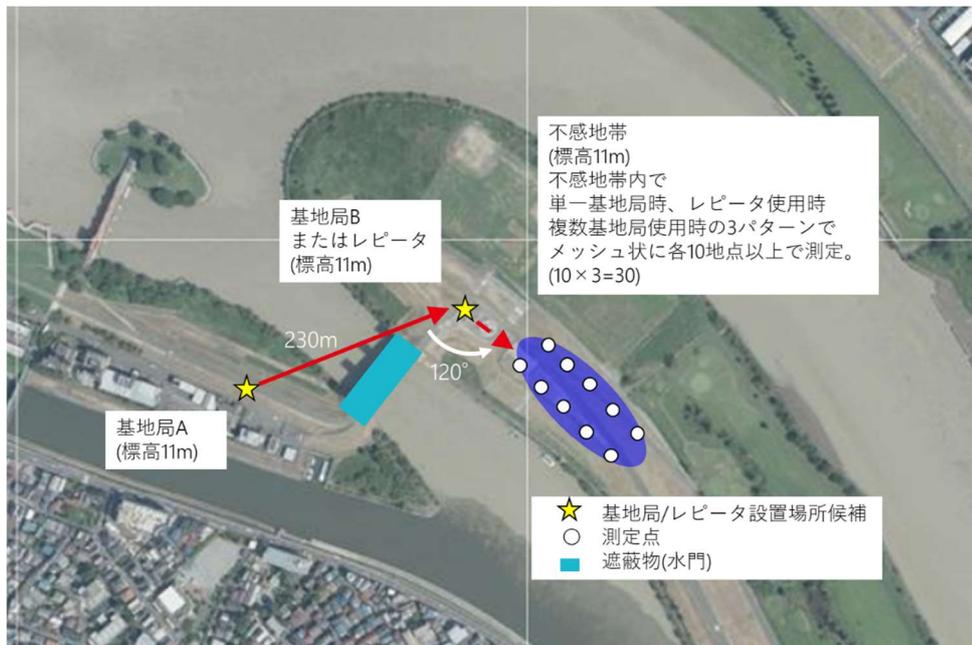
- ・他者土地への電波漏洩が発生した場合、電波漏洩を抑えるための検証を行った。具体的には送信出力の調整、アンテナチルト角の調整、使用アンテナのビーム幅の調整を行った場合の調整対象区域およびユースケースが実現できるエリアを考察した。

③環境変動を想定した他者土地への電波漏洩検証。

- ・ユースケースに応じた基地局アンテナの高さと移動局アンテナの高さでの測定を行った。

④レピータ、複数基地局の使用による単一基地局で生じる不感地帯の解消。

- ・線状かつ曲線区間において水門を用いて不感地帯を準備し、レピータ又は複数基地局を使用した場合の不感地帯解消を SS-RSRP、スループット、SINR などの特性を測定することで検証した。具体的には電波強度とスループットの関係性をレピータによるエリア拡大地点および単一基地局で構築した地点の両方で測定し検証した。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-48 不感地帯に対する複数基地局又はレピータ使用による効果検証



図 3.3-49 不感地帯に対する複数基地局又はレピータ使用による効果検証(垂直面位置関係)

なお、具体的な測定方法は下記となる。

- 受信電力値(SS-RSRP)

エリアテスタなどの測定機材を用いて SS-RSRP を測定した。受信電力は基地局からおおよそ同距離の地点においてもマルチパスの影響で値が変動するため、5 cm(受信周波数の1波長以下)の短区間を合計6点移動させ、各点で測定結果を取得した。

- SINR

エリアテスタなどの測定機材を用いて SINR を測定した。

- 伝送スループット

端末(又は端末を模擬した試験用装置)に接続したパソコンの測定アプリケーションソフトを使用し測定を行った。

- 伝送遅延

端末(又は端末を模擬した試験用装置)に接続したパソコンの測定アプリケーションソフトを使用し測定を行った。

具体的な測定方法を図 3.3-50～図 3.3-52 および表 3.3-17 に示す。

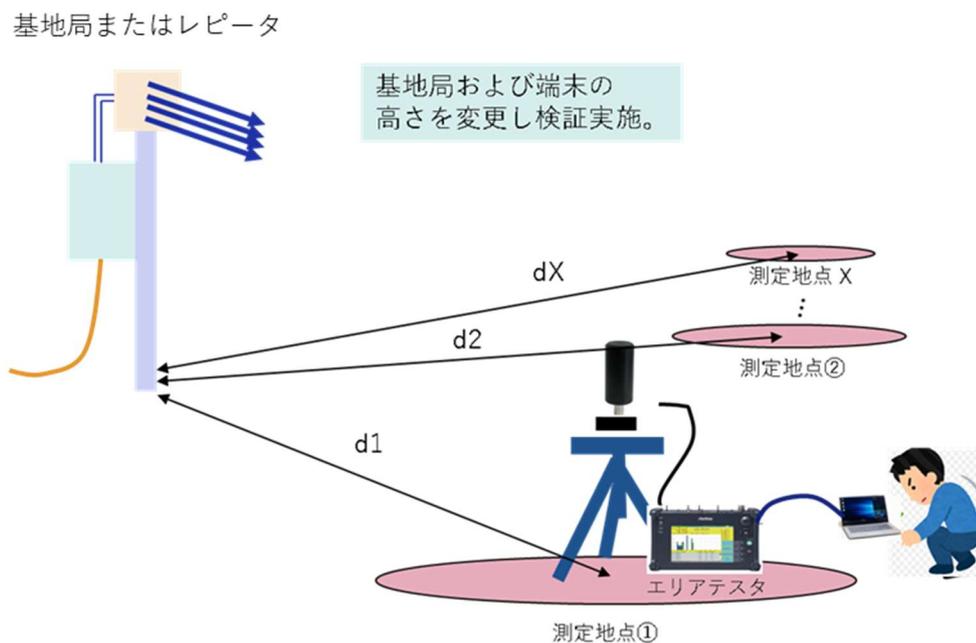


図 3.3-50 受信電力(SS-RSRP)および SINR の測定方法

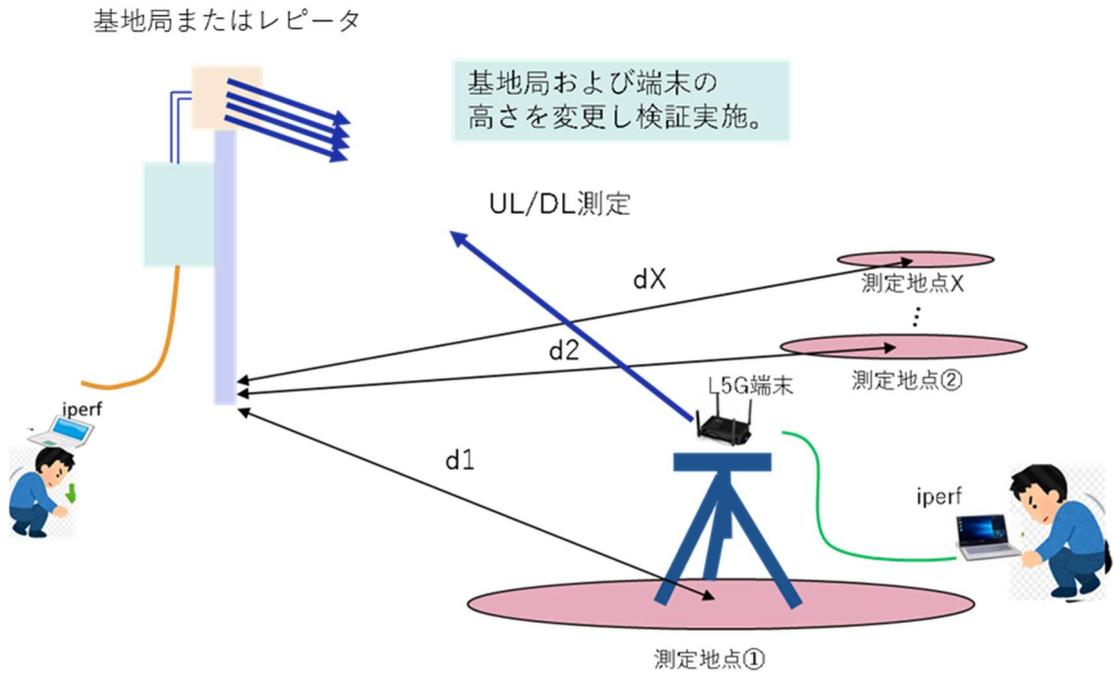


図 3.3-51 スループットおよび遅延時間の測定方法

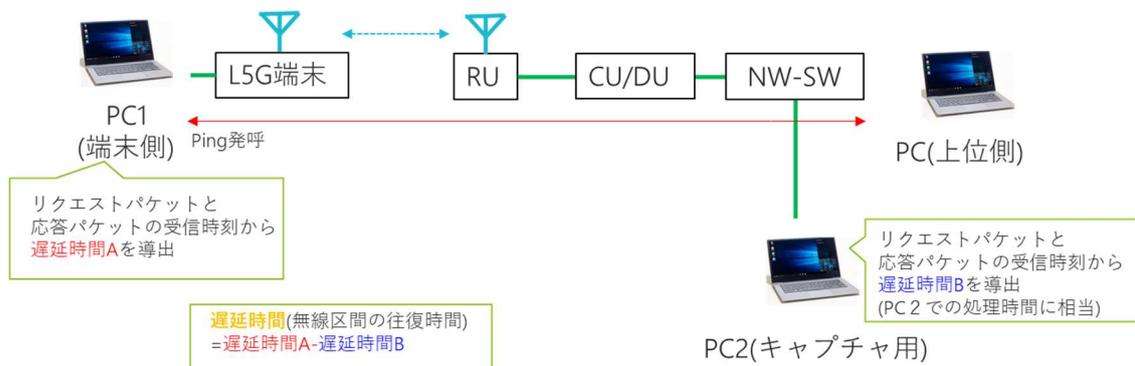


図 3.3-52 遅延時間の測定箇所

表 3.3-17 使用機器

機器名	メーカー	備考
エリアテスタ ML8780A	アンリツ(株)	SS-RSRP 測定機器
アンテナ Z-1911B	アンリツ(株)	SS-RSRP 測定用アンテナ
測定用 RF ケーブル 及びアンテナ台座	アンリツ(株)	ML8780A と Z-1911B を接続する機器
Sub6GHz 測定ユニット MU878070A	アンリツ(株)	ML8780A で Sub6GHz 帯 SS-RSRP を測定可能とする機器
ローカル 5G 端末 K5G-C-100A	京セラ	遅延時間およびスループット測定用機器
ノート PC		遅延時間およびスループット測定用機器

(5) 実証結果及び考察

<測定>

①～④の検証を行うため、下記測定点にて SS-RSRP/SINR/スループット/遅延時間の測定を行った。測定点を図 3.3-53 に示す。リピーターおよび複数基地局の外観を図 3.3-54 および図 3.3-55 に示す。また、測定点周辺からリピーターおよび複数基地局までの見通し状況を図 3.3-56 に、測定点周辺から基地局までの見通し状況を図 3.3-57 に示す。

各測定点における測定結果を

表 3.3-19 に示す。また、単一基地局／レピータ／複数基地局使用時の SS-RSRP の測定結果比較を図 3.3-58 に、SS-SINR の測定結果比較を図 3.3-59 に、スループット UL/DL の測定結果比較を図 3.3-60 および図 3.3-61 に、遅延時間の測定結果比較を図 3.3-62 に示す。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 3.3-53 測定点

表 3.3-18 各測定点の情報

測定点	基地局との距離[m]	中継器又は複数基地局との距離[m]	標高[m]	基地局とのLOS (0:LOS 1:NLOS)	中継器又は複数基地局とのLOS (0:LOS 1:NLOS)
1	190	—	11	0	—
2	193	—	11	0	—
3	202	—	11	0	—
4	207	—	11	0	—
5	214	—	11	0	—
6	221	—	11	0	—
7	226	—	11	0	—
8	235	—	11	0	—
9	238	—	11	0	—
10	250	—	11	0	—
11	260	40	11	1	0
12	270	40	11	1	0
13	270	40	11	1	0
14	280	40	11	1	0
15	280	55	11	1	0
16	290	55	11	1	0
17	290	55	11	1	0
18	300	55	11	1	0
19	300	70	11	1	0
20	310	70	11	1	0

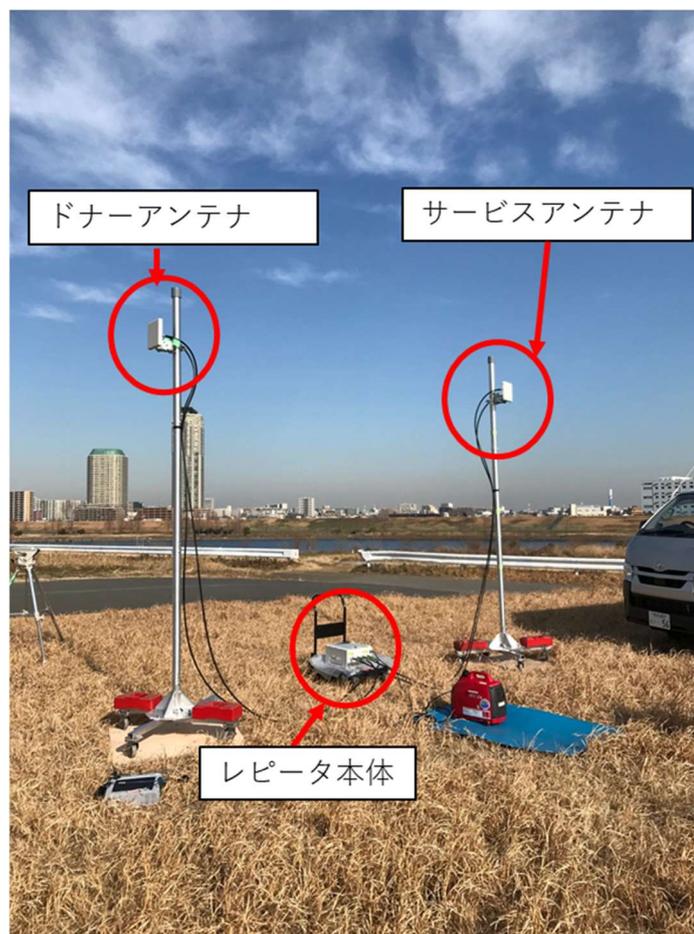


図 3.3-54 レピータの外観



図 3.3-55 複数基地局の外観



図 3.3-56 測定点からリピーター/複数基地局までの見通し状況(測定点 16)



(1)見通しの測定地点(測定点 4)



(2)非見通しの測定地点(測定点 16)

図 3.3-57 測定点から基地局までの見通し状況

表 3.3-19 各測定点の測定結果

測定点	使用設備	SS-RSRP[dBm]	スループット UL[Mbps]	スループット DL[Mbps]	遅延時間 [msec]	SINR
1	単一基地局	-92.8	46.5	44.6	20.7	20.8
2	単一基地局	-97.2	39.0	44.2	15.8	18.5
3	単一基地局	-92.4	37.9	44.4	17.7	20.6
4	単一基地局	-93.6	47.3	44.5	15.3	20.4
5	単一基地局	-91.2	47.0	44.9	16.2	21.1
6	単一基地局	-96.0	46.6	43.9	20.1	19.3
7	単一基地局	-92.1	46.3	44.5	17.5	20.7
8	単一基地局	-98.7	22.2	47.2	20.2	16.9
9	単一基地局	-94.3	40.5	44.4	16.8	20.0
10	単一基地局	-97.7	29.4	44.0	19.5	17.9
11	単一基地局	-116.6	低受信電力のため通信不可			-1.3
	レピータ	-84.8	31.6	47.2	19.7	20.1
	複数基地局	-76.6	47.1	45.1	16.6	18.2
12	単一基地局	-117.2	低受信電力のため通信不可			-3.9
	レピータ	-84.8	35.1	45.7	18.5	18.9
	複数基地局	-76.6	47.0	44.2	17.7	20.1
13	単一基地局	-117.2	低受信電力のため通信不可			-3.2
	レピータ	-88.6	36.9	44.3	18.9	19.7
	複数基地局	-80.4	47.0	43.8	17.8	20.4
14	単一基地局	-117.7	低受信電力のため通信不可			-2.9
	レピータ	-88.6	28.1	44.5	18.1	18.6
	複数基地局	-80.4	47.0	43.9	17.0	20.1
15	単一基地局	-117.7	低受信電力のため通信不可			-4.8
	レピータ	-92.4	26.9	44.3	19.5	16.7
	複数基地局	-84.2	47.0	44.7	16.0	20.8
16	単一基地局	-118.3	低受信電力のため通信不可			-5.7
	レピータ	-92.4	34.8	44.3	19.9	15.3
	複数基地局	-84.2	47.0	44.4	17.9	19.8
17	単一基地局	-118.3	低受信電力のため通信不可			-7.6
	レピータ	-96.1	26.9	44.4	21.4	19.9
	複数基地局	-87.9	47.5	44.7	21.1	19.8
18	単一基地局	-118.8	低受信電力のため通信不可			-8.5
	レピータ	-96.1	24.8	46.1	18.7	18.3
	複数基地局	-87.9	36.1	44.2	18.1	20.1
19	単一基地局	-118.8	低受信電力のため通信不可			-7.1
	レピータ	-99.6	23.8	44.2	17.3	16.0
	複数基地局	-91.4	47.0	44.3	20.7	18.4
20	単一基地局	-119.3	低受信電力のため通信不可			
	レピータ	-99.6	13.0	44.9	21.1	11.1
	複数基地局	-91.4	47.2	44.1	19.2	20.8

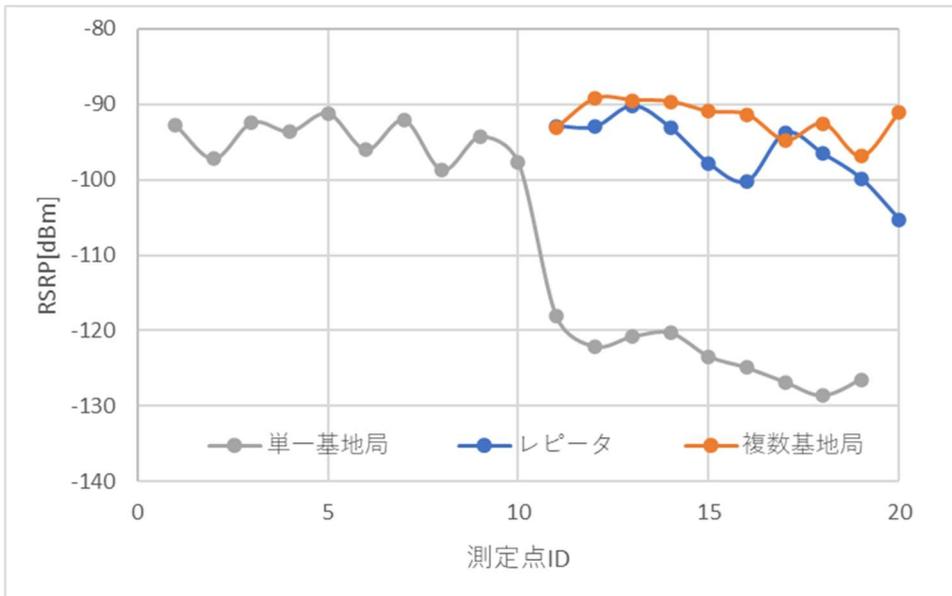


図 3.3-58 単一基地局／レピータ／複数基地局使用時の SS-RSRP 比較

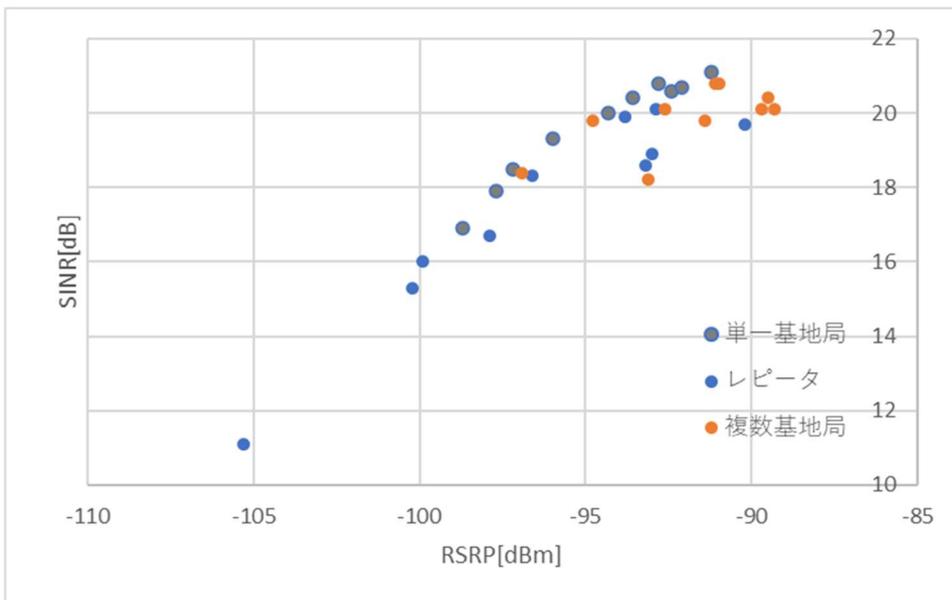


図 3.3-59 単一基地局／レピータ／複数基地局使用時の SS-SINR 比較

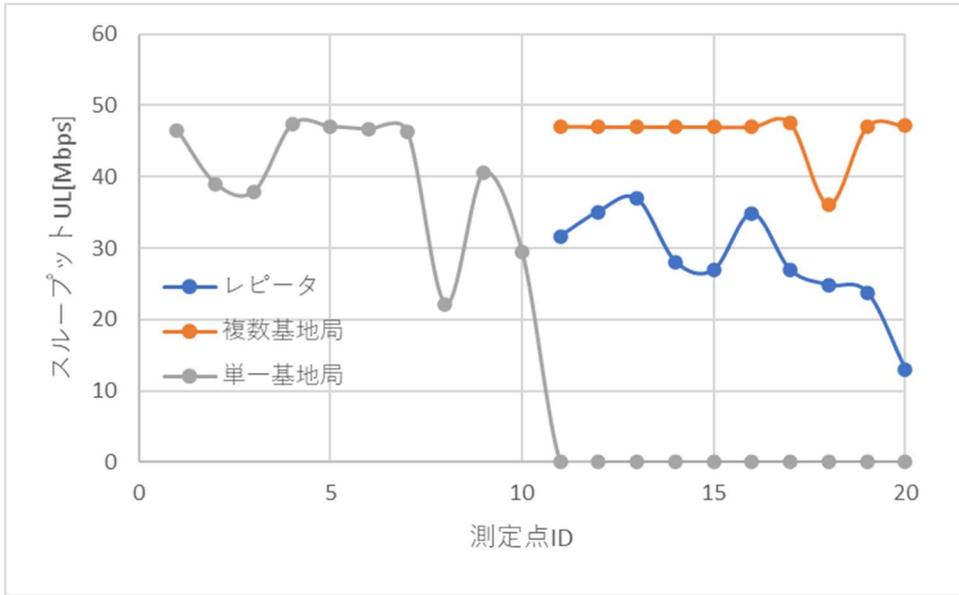


図 3.3-60 単一基地局／レピータ／複数基地局使用時のスループット UL 比較

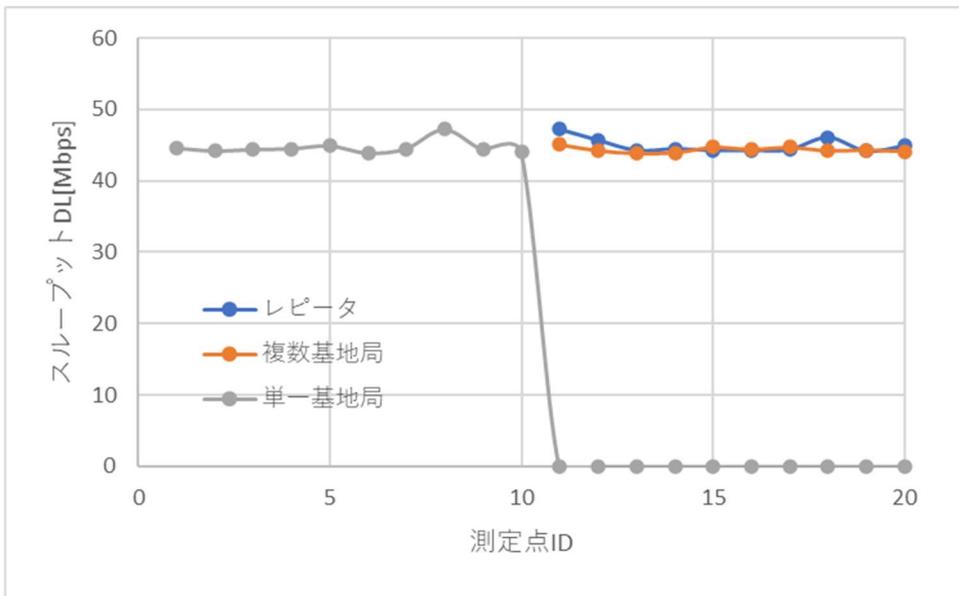


図 3.3-61 単一基地局／レピータ／複数基地局使用時のスループット DL 比較

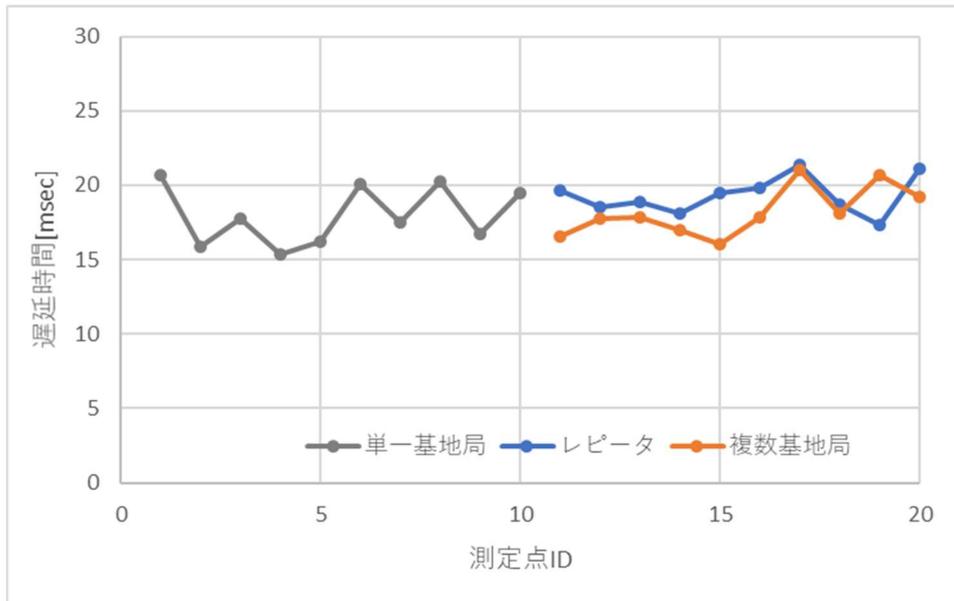


図 3.3-62 単一基地局/レピータ/複数基地局使用時の遅延時間比較

測定結果をふまえて下記①～④の観点で考察を実施した。

- ①線状空間でのエリア拡大を目的としたレピータ/複数基地局の有用性、課題の検証
- ②レピータ、複数基地局を使用した際の他者土地への電波漏洩検証
- ③環境変動を想定した他者土地への電波漏洩検証
- ④レピータ、複数基地局の使用による単一基地局で生じる不感地帯の解消

①線状空間でのエリア拡大を目的としたレピータ/複数基地局の有用性、課題の検証

図 3.3-58 にて示した各測定点の SS-RSRP の測定結果から、レピータ使用時は測定点 ID17 をピークに、より遠方の測定点(測定点 ID18~20)にて SS-RSRP が小さくなっていることを確認した。一方、複数基地局使用時では同様の傾向は確認できない。

また、スループットの測定結果についても DL についてはレピータ/複数基地局ともに 45Mbps 程度を安定して確保できているが、UL については複数基地局では DL 同様のスループット特性を確認できるがレピータでは測定点が基地局から離れていくにつれスループットが低下していることを確認した。

レピータおよび複数基地局の位置から遠い測定点においてレピータの SS-RSRP およびスループット特性が下がることから、レピータに比べ、複数基地局がより長距離のエリア拡大を実現したといえる。

ここで、レピータの出力電力を把握するため、レピータの入出力電力の測定を行った。入力電力の測定はレピータドナー側のアンテナポートおよび接続用同軸ケーブルをエリアテストに接続し SS-RSRP の測定を行った。出力電力についてはレピータの出力ポートにエリアテストを接続

し、SS-RSRP のデータを取得した。レピータの入力電力と出力電力の時間変動を図 3.3-63 に、入出力の中央値、平均値、標準偏差、上位 10%、下位 10%の値を表 3.3-20 に示す。測定結果が示すようにレピータの入出力電力は常時安定し、標準偏差が 0.23~0.24dB であるなど時間的な変動はほぼないといえる。

出力電力としては SS-RSRP 測定値で約-28.1dBm となっており、これを本システムで使用する 100MHz 帯域幅に換算すると、約 7.1dBm となる。基地局の送信出力は 24dBm/port であるため、その差分によりレピータと複数基地局のエリア拡大範囲が変わったと考える。

なお、図 3.3-59 に示すように複数基地局使用時に単一基地局やレピータ使用時と比べ SINR が劣化することは確認されなかった。また、複数基地局使用時に測定点 ID10 にて基地局と通信した状態から測定点 ID11 へ徒歩で移動し、再度測定を行った際も測定点 ID11 にて問題なく測定ができたことから、ハンドオーバーについても本ユースケースのような低速の移動においては可能であることを確認した。

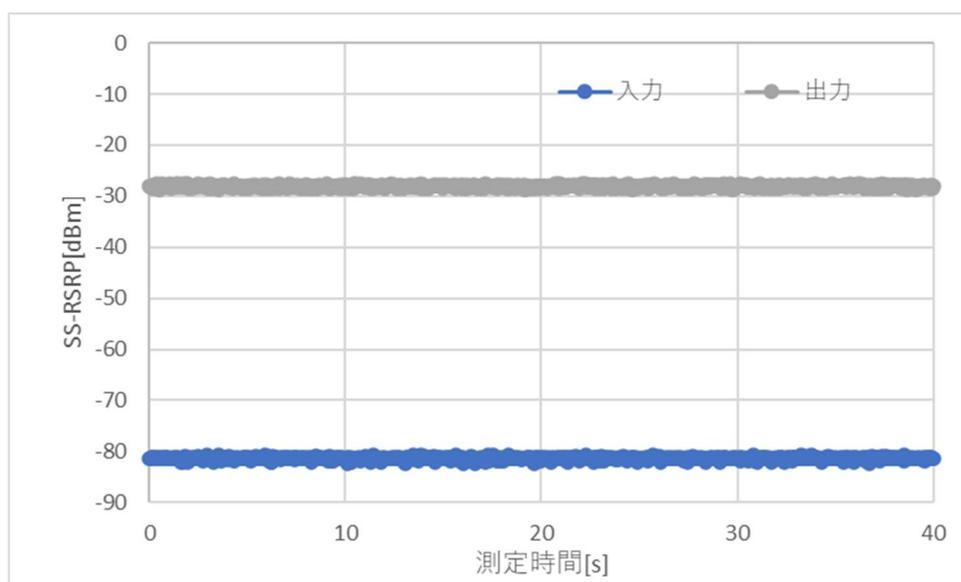


図 3.3-63 レピータ入出力電力の時間変動

表 3.3-20 レピータの入出力電力 測定結果

項目	中央値	平均値	標準偏差	上位 10%	下位 10%
入力電力(SS-RSRP)[dBm]	-81.3	-81.32	0.24	-81.2	-81.4
出力電力(SS-RSRP)[dBm]	-28.1	-28.08	0.23	-27.8	-28.5
利得[dB]	53.2	53.23	0.33	53.68	52.8

②レピータ、複数基地局を使用した際の他者土地への電波漏洩検証

単一基地局／レピータ／複数基地局使用時のエリア端までの距離を表 3.3-21 および図 3.3-64 に示す。図 3.3-65 および図 3.3-66 に示したように、本実証ではレピータおよび複数基地局設置地点の近隣に他者土地はなかったため、他者土地への漏洩は生じなかったが、ほかの河川では、レピータおよび複数基地局の設置位置近辺に他者土地が存在する可能性がある。

そこで、図 3.3-64 に示したように、レピータおよび複数基地局でエリア端までの距離を比較すると、複数基地局に比べレピータ使用時の電波漏洩距離は狭いことが分かる。

①で述べたように、エリア拡大の面では複数基地局がレピータに比べ広域にカバー可能であることと引き換えに、送信出力が低いレピータは電波漏洩が少ないといえる。

このため、電波漏洩を軽減するためにはユースケースで必要な業務区域を最低限カバーできるよう、最小の送信出力でエリア構築を目指す必要がある。

表 3.3-21 各方角のエリア端までの距離

使用基地局	方角	実際のエリア端までの距離[m]	
		カバーエリア	調整対象区域
単一基地局	0度方向	800	850
	45度方向	100	110
	90度方向	40	50
	135度方向	30	40
	180度方向	10	20
	225度方向	30	70
	270度方向	40	110
	315度方向	170	190
単一基地局＋レピータ	0度方向	200	320
	45度方向	20	40
	90度方向	30	40
	135度方向	基地局側の電波が支配的で測定不可	
	180度方向		
	225度方向		
	270度方向	20	30
	315度方向	60	60
複数基地局	0度方向	450	610
	45度方向	80	100
	90度方向	30	40
	135度方向	50	70
	180度方向	40	50
	225度方向	30	50
	270度方向	30	40
	315度方向	60	80

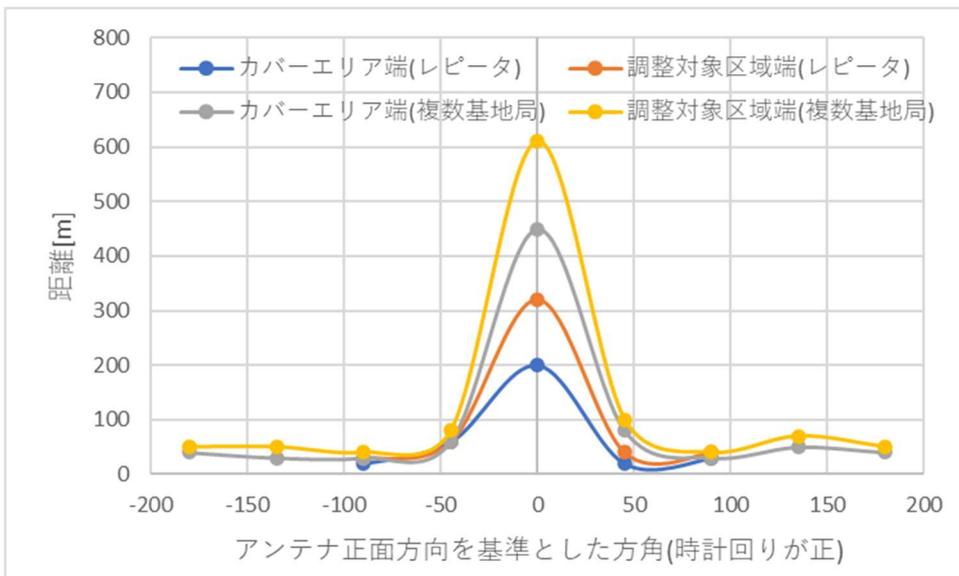


図 3.3-64 レピータ／複数基地局使用時の他者土地への電波漏洩比較

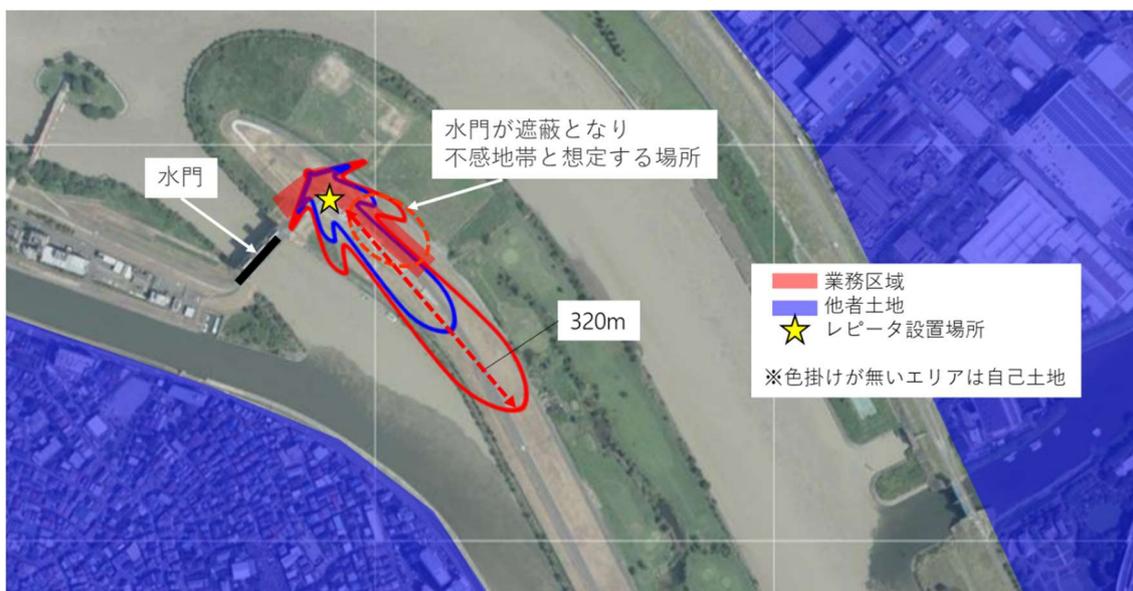


図 3.3-65 レピータ使用時の他者土地への電波漏洩

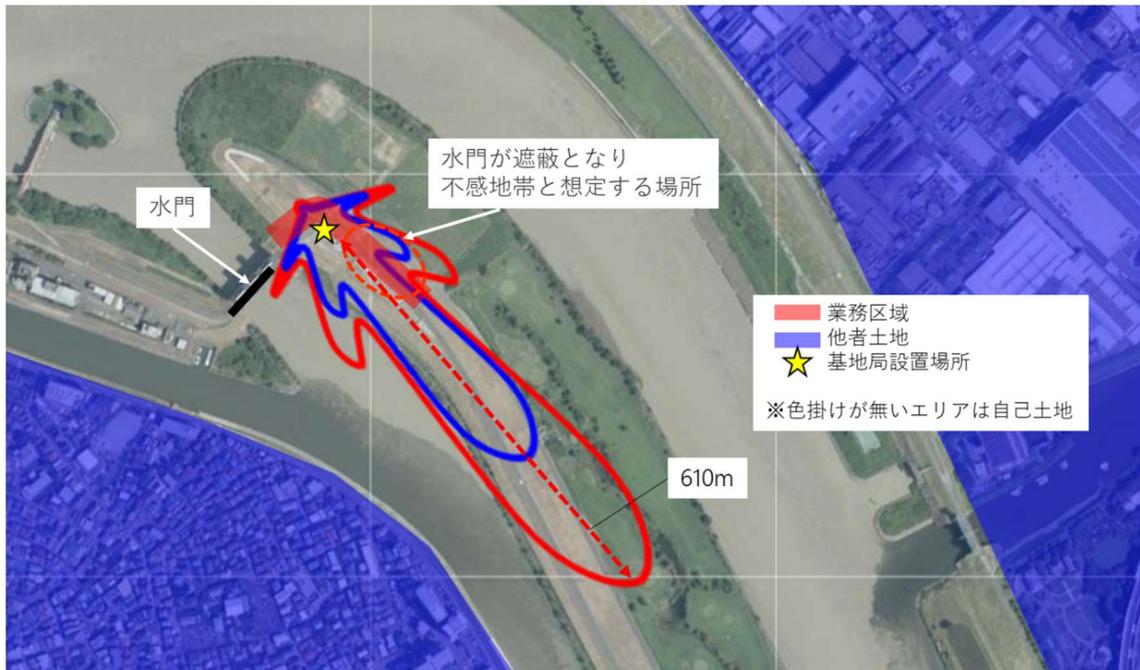


図 3.3-66 複数基地局使用時の他者土地への電波漏洩

③環境変動を想定した他者土地への電波漏洩検証

ユースケースに応じた基地局アンテナの高さと移動局アンテナの高さでの測定を行った。ユースケースでは基地局アンテナが高さ 5~10m まで変動するため、基地局アンテナを高さ 10m/5m に変動させ、電波漏洩変動を検証した。測定結果を表 3.3-22 および図 3.3-67 に示す。

一般的にアンテナ高は高いほど電波は遠くまで届く。エリア算出法においても、基地局アンテナ高さによる補正($b(H_b)$)が存在し、アンテナ高 10m の場合は $b(H_b)=9.5$ 、5m とした場合は $b(H_b)=15.5$ となる。このため、エリア端までの距離についてもアンテナ高 10m の場合はアンテナ高 5m に比べるとエリア端までの距離が長くなると想定した。しかし、表 3.3-22 および図 3.3-67 に示したように、エリア端までの距離でアンテナ高による変動は数 10m までと少なかった。これは、河川では標高の変動が激しく、標高差により見通し外となる地点にて極端に受信電力が下がるため、アンテナ高による影響は軽微となったと考えた。

表 3.3-22 各方角のエリア端までの距離

アンテナ高さ	方角	実際のエリア端までの距離[m]	
		カバーエリア	調整対象区域
10m	0度方向	800	850
	45度方向	100	110
	90度方向	40	50
	135度方向	30	40
	180度方向	10	20
	225度方向	30	70
	270度方向	40	110
	315度方向	170	190
5m	0度方向	800	850
	45度方向	90	110
	90度方向	40	40
	135度方向	30	30
	180度方向	10	20
	225度方向	30	60
	270度方向	40	90
	315度方向	130	160

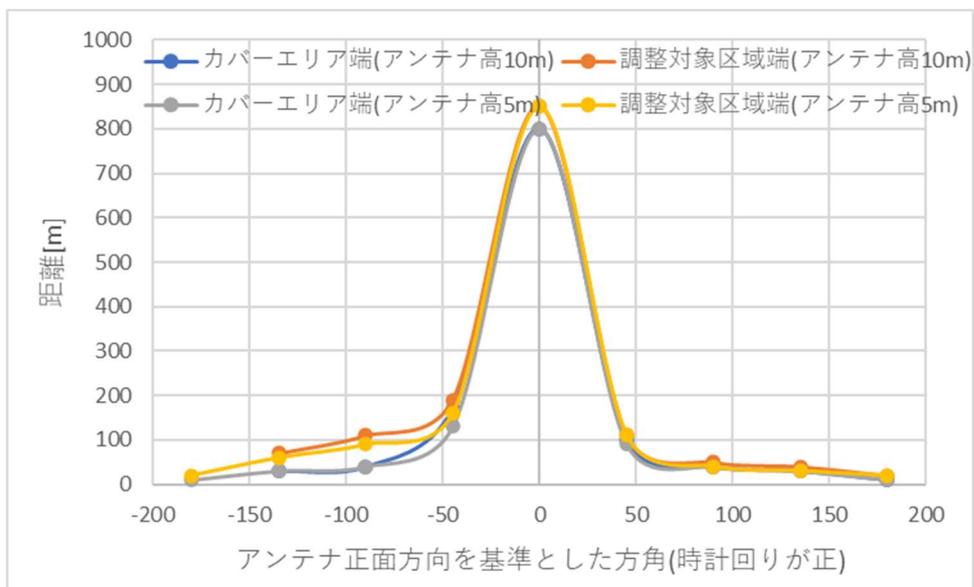


図 3.3-67 アンテナ高さ変更による電波漏洩

④レピータ、複数基地局の使用による単一基地局で生じる不感地帯の解消

線状かつ曲線区間において、水門による遮蔽を用いて不感地帯(図 3.3-53 における測定点 ID11~20)の構築を行った。図 3.3-58 に示したように測定点 ID11~20 において単一基地局使用時では SS-RSRP が測定点 ID1~10 と比べ 20dB ほど下がり、図 3.3-60~図 3.3-62 に示したようにスループットや遅延時間の測定ができないほどの不感地帯であることを測定にて確認した。

ここでレピータおよび複数基地局を使用することで、図 3.3-53~図 3.3-62 に示したように SS-RSRP、スループット UL/DL、遅延時間の改善を確認したことで、不感地帯の解消を実証した。

①~④の総括として技術的観点では下記を確認した。

- ・線状での広域なエリア拡大を主目的とした場合は、複数基地局の使用が適している。
- ・局所的な不感地帯の解消としてはレピータが適している。
- ・他者土地への電波漏洩を軽減するためには、基地局の送信出力を業務区域がカバーできる最小の送信出力に抑える必要があり、より狭角のアンテナが適している。

また、レピータはレピータ本体／アンテナ(設置用ポールを含む)のみの構成であるため、より大がかりな設備(CU/DU 等を設置するため搬送には車両が必要な)複数基地局と比較し、設置／コストの観点としてもメリットが多い。

このため、レピータで対応可能な範囲のエリア拡大であれば、レピータを使用することが望ましいと考える。

ローカル 5G におけるレピータの普及課題としては、より柔軟な免許申請制度や、送信出力性能の向上等、より広域のエリア拡大に向けたレピータ機器としての電气的性能向上が必要と考える。

免許申請としては、総務省「新世代モバイル通信システム委員会 ローカル 5G 検討作業班」にて議論が行われているように、アンテナの設置場所変更にあたって「基地局免許申請時等に予め、複数の空中線設置予定地点において他者土地へ干渉を与えないことを確認できるのであれば、確認を行った予定地点に空中線を移設する場合に変更を届出で認める」に基地局に加え、レピータも含めて実現が必要と考える。

(参照 URL: https://www.soumu.go.jp/main_content/000845223.pdf P7)

本実証としてはレピータを使用する際、本ユースケースでは水門という固定設置された遮蔽物を対象に不感地帯の解消を行ったが、樹木や災害時に生じる遮蔽物など変動する要素があるものによる不感地帯解消の場合、レピータの設置位置などを実際のカバーエリアの状況に応じ柔軟に変更可能であることが望まれるため、免許申請時のレピータ設置位置から、より適切な位置への設置位置変更を容易に可能となるような制度となることが望ましいと考える。

また、電气的性能としては、本実証で使用したレピータは EIRP が 25.9[dBm/100MHz] (送信出力が 10[dBm]、アンテナ利得が最大 17[dBi]、ケーブル損失 1.1[dB]) であり、図 3.3-58 に示したように不感地帯の末端(測定点 ID19-20)では SS-RSRP 落ち込みがはじまる傾向が確認されていた。このため、総務省「新世代モバイル通信システム委員会 技術検討作業班(第 28 回)」で隣接周波数および同一周波数との共用検討対象としている EIRP33[dBm/100MHz] (送信出力 24[dBm]、アンテナ利得[9dBi]、ケーブル損失[0dB]) 程度までレピータの電气的性能が向上することで、より広域のエリア拡大が実現できると考える。

(参照 URL: https://www.soumu.go.jp/main_content/000831364.pdf P44)

4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）

4.1 実証概要

近年、豪雨災害が激甚化・頻発化し、各地で命に関わる甚大な被害が発生している。特に、河川堤防の決壊が生じた場合は大規模な被害に見舞われ、二次的な被害低減に向けて、迅速な対応が求められる。

そのため、災害の初期段階の状況を各関係機関が、いち早く、詳細に共有できることは、迅速な災害対応の一步として、きわめて重要である。

災害現場の状況を、安全かつリアルタイムに把握するには、ドローン等によるカメラ映像を、河川管理者の災害対策室等で受信するためのネットワーク環境が必要となる。また、応急復旧工事の時間短縮の観点からは、時々刻々と変化する被災箇所地形変化をリアルタイムに検出し、最短時間で復旧設計データを作成できること、さらに、そのデータに基づいた遠隔からの無人化施工も災害現場の安全性の確保する上で必要となる。

上記をふまえ、超高速・超低遅延な環境を実現できる無線技術であるローカル 5G (Sub6) システムを活用し、以下の実証を実施することで、河川災害復旧 DX の実現に向けた一助となる。

発災から災害復旧までのプロセスを効率化・高度化する「スマート災害復旧の推進」を目的とし、ローカル 5G を用いて以下を検証した。

(災害発生段階)

- ▶ 災害状況確認のリアルタイム性の向上：ドローンで取得した高精細映像を安全な場所からリアルタイムで確認できることの検証

(応急復旧段階)

- ▶ 生産性の向上：ドローンで取得した静止画のリアルタイム伝送による、3D 地形データ、復旧設計データ作成の作業効率化の検証
- ▶ 災害復旧における無人化施工現場の高度化：計測→ 設計データ作成→ ICT 建機へのインプットまでの一連の施工準備に要する所要時間を短縮し、作業効率化および現場での映像送信が実現できることの検証

ローカル 5G は、運搬車両に搭載した可搬型を基地局として用い、また、ドローンや建機には、移動局としてローカル 5G 端末を設置した。

これにより、時系列の状況変化を追従しつつ、迅速な活動が可能な通信環境の構築を図ることができる優位性があり、本課題解決には非常に有効と考えられる。

また、実証にあたっては、国土交通省と連携し、実際の河川敷や堤防等をフィールドとして実験を行い、様々な環境への適用性ならびに課題解決方法を立案の上、早期の実装を目指すこととした。

4.1.1 背景となる課題

近年、気候変動の影響により、河川災害の激甚化・頻発化が顕著になっている。

より一層、災害初期段階での速やかな状況把握、ならびに迅速な復旧対策の重要性が高まっており、そのためには、ドローンや省力化・無人化に資する建機の活用と、それらの機能を最大限活用し、安全かつリアルタイムな対応を実現するための超高速・超低遅延なネットワーク環境の構築が不可欠である。

ここでは、災害発生段階と復旧段階に分けて示す。

(災害発生段階)

国土交通省など災害対応を担う機関においては、衛星通信車等を開発し実際の現場で活用しているが、昨今のように、同時多発的に被災が生じた場合は、複数箇所の対応が非現実的になる。

また、多くの現場では、ドローン等を活用したとしても、毎回取得した画像や映像を作業員のパソコンから 4G LTE 回線などの公衆網を活用して伝送しているため、脆弱かつ遅延の要因となっている。

(応急復旧段階)

堤防決壊後に、河道内の水位低下に応じて応急復旧活動に入るが、現在は、航空写真等から概ねの被災延長を測り、復旧資材の概算数量を算定した後、作業しながら現場合わせで対応している状況であり、迅速かつ安全な復旧に向け、効率的な作業準備が課題である。

具体的には、災害現場でドローンにより測量を実施する作業機関にとっては、作業に時間を要する課題がある。現状は、上空利用に関しては上空利用の免許を取得した事業者の LTE 回線を使う必要があり、リアルタイム配信ができない、又は、場所によって通信ができないという課題がある。

このような課題は、災害時に代替手段がない場合に顕著になるが、平時に河川や道路などの測量を行う際にも同様にデータ転送に関わる帯域が不足しているという課題があるため作業時間を短縮したい、高精細映像をリアルタイムで確認したいというニーズに対して実現できていないということがいえる。

また、復旧を行う施工業者としては、設計データを受け取るまでに時間がかかるため施工開始までの期間が長くなるという課題がある。

施工時にはネットワーク環境がない場合もあり、現場の状況把握をするためには実際に現場に行く必要がある。この課題に関しては、復旧時には顕著に現れるが、工事現場が山の中などの通信環境が乏しい場合は、通常の工事でも同様の課題が発生する。

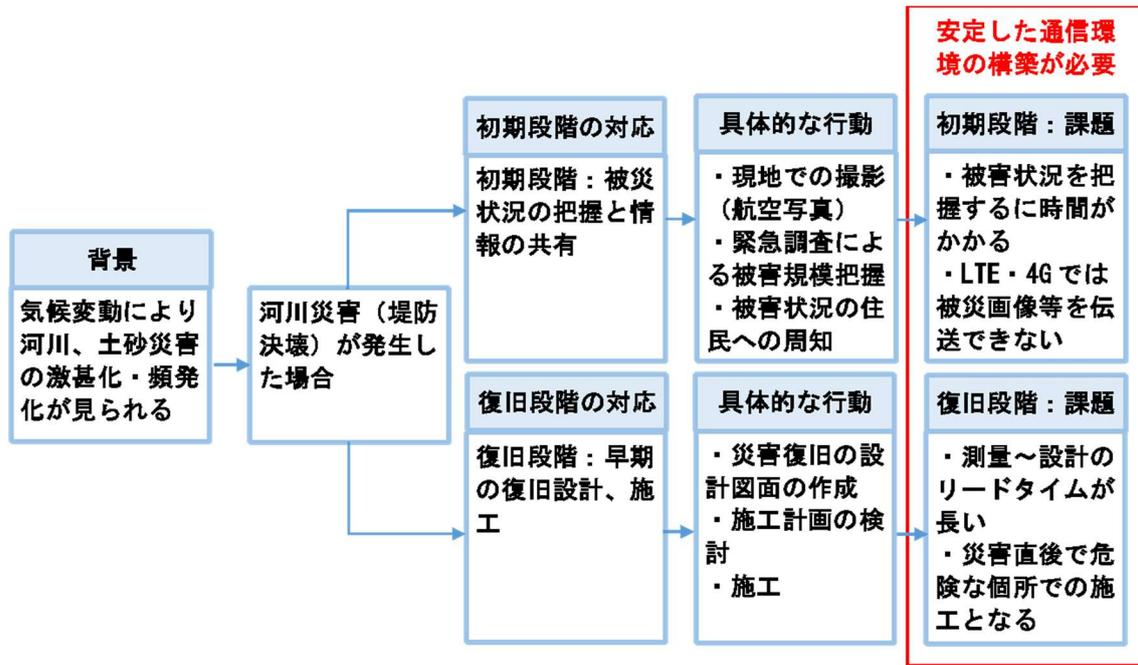


図 4.1-1 背景・課題の整理

・決壊後30～40時間までは準備段階。
（災害協業者の参集、ヘリやUAVで写真撮影）
水位低下後にUAV計測開始。

・破堤から30～40時間経過し、水位低下してから応急復旧開始。
・水位低下した状態でUAV撮影することで、決壊延長、落掘れ深等が把握できる。

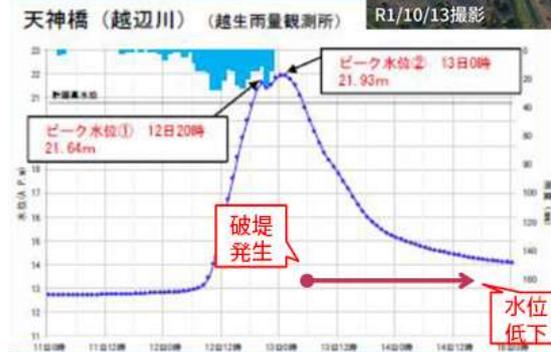


図 4.1-2 被災時の段階的対応イメージ

4.1.2 本実証におけるローカル 5G 活用モデル

(1) ローカル 5G を用いたソリューション

堤防決壊の発生直後の災害発生段階においては、決壊箇所において、可搬型ローカル 5G を基地局としてエリア化し、移動局となるドローンによって撮影した大容量の映像や画像を、ローカル 5G を活用してリアルタイムで配信する。

また、応急復旧段階においては、画像（静止画）データを用いて、SfM (Structure from Motion ドローンによる空撮写真から三次元点群データにより地形を生成する技術) により三次元地形図、から復旧に必要な設計データを作成し、移動局となる無人化施工の建機へ配信する。

無人化施工を行う建機は、ローカル 5G の伝送を用いて施工中の監視・モニタリングを HD 等の画像を用いて行い、安全性を確保することでできる。

ローカル 5G 活用することで、情報収集・共有、測量、設計・施工の一連の流れで、迅速に対応できる環境を構築することが可能となる。

ローカル 5G を用いたソリューションのイメージについて、以下に示す。



図 4.1-3 ローカル 5G を用いたソリューションイメージ

(2) ローカル 5G 活用モデル（当初仮説）

現在、災害時にドローン等で計測した大容量の画像・映像データは、4G（LTE）や公共 Wi-Fi では現場からのリアルタイム配信が実施できないため、撮影終了後に SD カードを介して手で現場作業員の PC 等に取り込み、その後 PC をインターネット環境に接続してからアップロードするという作業となり、大幅に作業時間を要する。

その課題解決策として、ローカル 5G によって、大容量なデータを低遅延に伝送できる環境を構築するものとし、ローカル 5G を搭載した車両を基地局として、また、ドローンや建機を移動局としたシステム構成とした。基地局からは、インターネット接続により各種クラウド等にアクセス可能である。

システム構成を以下に示す。

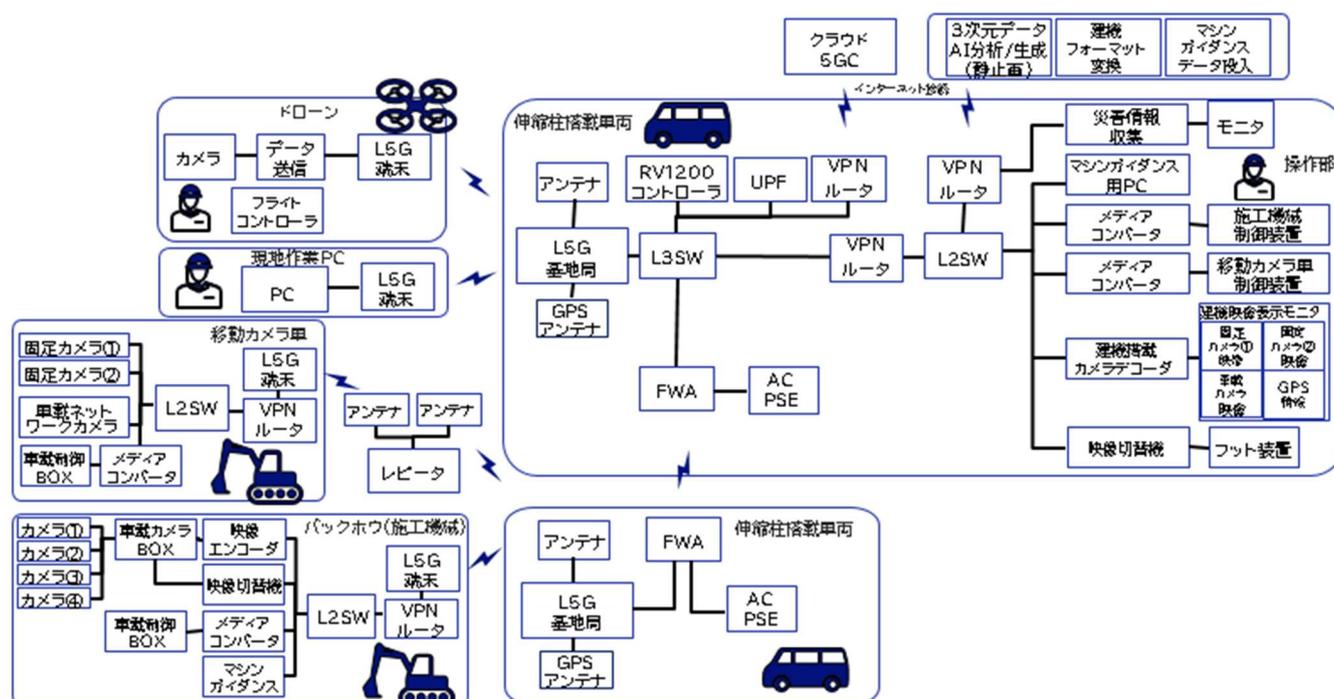


図 4.1-4 ローカル 5G システム構成

活用シーンは、災害発生後は災害時の状況把握として、ドローンを用いて映像による状態把握を行うものである。

河道水位が低下した後（概ね決壊 1～2 日経過後）、堤防決壊箇所において、ドローンにより計測を実施し、詳細な被災状況の把握を行う。

インターネットを介して転送された画像データはクラウドシステムに保存され、そこで画像処理、SfM 解析処理が行われ、三次元詳細地形データ、空中写真を作成する。

また、三次元データから、被災箇所の復旧土量等の算定、設計データを作成する。

作成したデータは現場従事者（災害施工業者）が別途クラウドからローカル 5G 環境下で取得する。

盛土の進捗に応じながら、可搬型ローカル 5G を最適な位置に配置させ、無人化施工を行う。無人化施工を実施することで、安全な施工と効率的な復旧工事が期待できる。



図 4.1-5 災害時におけるローカル 5G 活用のスキームイメージ

本実証後も、安全性確保のための実地検証を続けるとともに、ドローン、無人化施工建機、ローカル 5G の機能、設備の向上を図るとともに、法整備が整えば、災害時のみでなく日常的な河川巡視・点検や、工事における活用も期待できる。

また、河川区域のみならず、砂防区域等での活用も見込まれるとともに、各管理者（国土交通省、都道府県、市町村）への発展が現実となる。

なお、本実証では、国土交通省の整備局、河川事務所および出張所の職員との打合せや現地確認等を行い、情報共有しながら検証を進めるものとする。

その中で、災害時における職員の行動、あるいは災害協定業者への依頼事項等についてヒアリングを行い、現在の実態を把握しつつ、国交省職員、災害協定業者等が連携、あるいは主導してローカル 5G システムを運用できるための方向性を具体的に検討する。

	令和4年度	令和5年度	令和6年度	令和7年度	令和8年度	令和9年度
全体計画(SLパッケージ)		SLパッケージ化 実証/検証の継続		他地域・他分野への横展開 運用後の課題、対策検討		
ドローンによる災害映像および地形画像のリアルタイム伝送	開発実証	安全性確保のための実地検証 機能、設備のアップデート		ローカル5Gと連携したデータ伝送実装		
建機無人化施工	開発実証	ローカル5G連携パッケージ化 機能、設備のアップデート				
ローカル5G環境	開発実証	法整備(電波法) 機能、設備のアップデート		国交省様環境ラストワンマイルのローカル5G置き換え		
売上計画(百万円)	0	0	160	320	640	960
全体SLパッケージ販売	0	0	(120)	(240)	(480)	(720)
建機無人化施工(+L5G)レンタル	0	0	(40)	(80)	(160)	(240)
コスト計画(百万円)	130	60	60	90	160	210
ドローン情報伝送	(40)	(30)	(10)	0	0	0
建機無人化施工	(50)	(10)	0	0	0	0
ローカル5Gシステム設備	(40)	(20)	(50)	(90)	(160)	(210)
収支計画(百万円)	(130)	(60)	100	230	480	750

※本年度開発実証にかかる機器設備開発の金額をR4年度コストとして計上、R5年度のローカル5Gシステム設備欄は維持管理費を計上

※全体SLパッケージ販売導入数(建機無人化施工レンタルも同様)は、R6年度10台、R7年度20台、R8年度40台、R9年度60台とする

※ローカル5Gシステム設備について、普及、生産増加に伴い、価格を低減できると想定し、低減割合をR7年度から10%、R8年度に20%、R9年度に30%を想定している

ローカル5Gシステム設備欄のR7は(90)としているが、計算は500万円×20台×0.9=9,000万円、R8は(160)としているが、計算は500万円×40台×0.8=16,000万円となる

ローカル5Gシステム設備欄のR5は(20)としているが、維持管理費として計上している

売上計画(百万円)

項目	単価(百万円)
全体SLパッケージ(教育付)	12
建機無人化施工レンタル	4

※全体SLパッケージはL5Gシステム2台と利活用方法等の教育支援(期間限定)を含めた価格を設定する

※1年間レンタル販売はSLパッケージ販売費の1/3と仮定する

※ドローン機体の費用は含まずL5G環境構築を対象とする

コスト計画(百万円)

項目	単価(百万円)
ローカル5Gシステム設備	5

※ローカル5Gシステム設備は、ローカル5G機器導入費と維持管理経費を含む。

※ドローン情報伝送および建機無人化施工については開発費用のみを計上(最大R6年まで)、

以後のドローンの機体の原価は計上しない

図 4.1-6 ローカル 5G の実装計画

(3) ローカル 5G の必然性・必要性

河川災害時の状況把握には、膨大な画像・映像データ、三次元地形データが必要となる。これらのデータを共有、活用するためには 4GLTE による伝送では限界があり、大容量で低遅延なデータ伝送を実現するシステム構築が不可欠となる。

河川災害現場では、堤防決壊等による堤内地への浸水によって、キャリア 5G の基地局・公共 Wi-Fi・有線等も被災して、使用することができない可能性が高い。そのため、可搬型でどこでも持ち運びが可能なローカル 5G の必要性は非常に高い。

また、生産年齢人口の減少や上述した自然災害の激甚化・頻発化するため、省力化・効率化が求められる。ローカル 5G を活用することで災害時の作業員を少人数化し、地形解析・復旧設計に作業員を回せるという副次的な効果も期待できる。

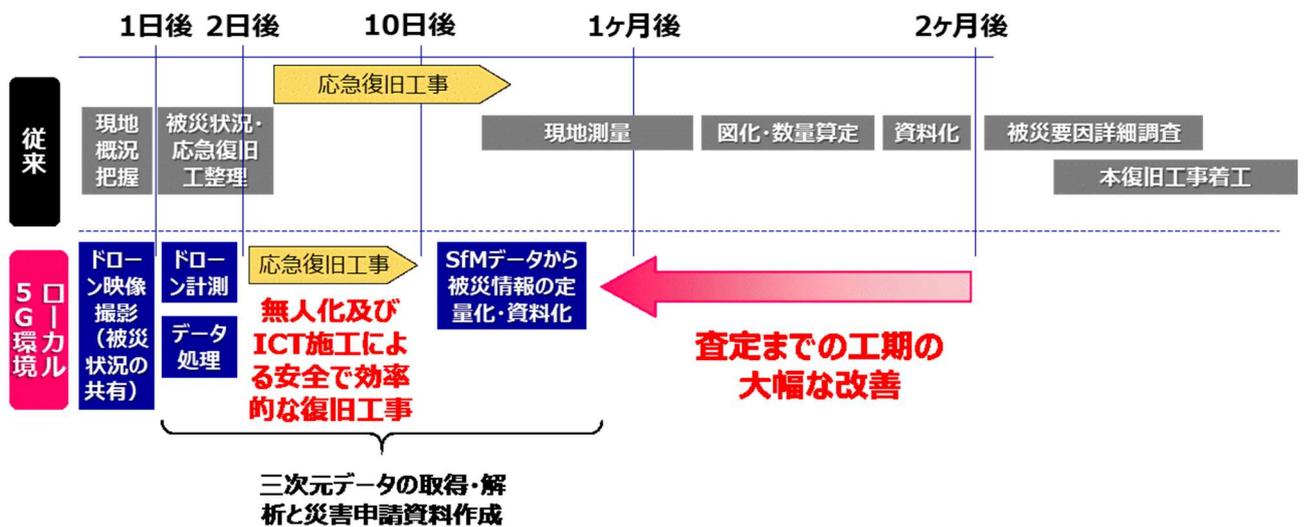


図 4.1-7 想定される迅速化(日時短縮)効果

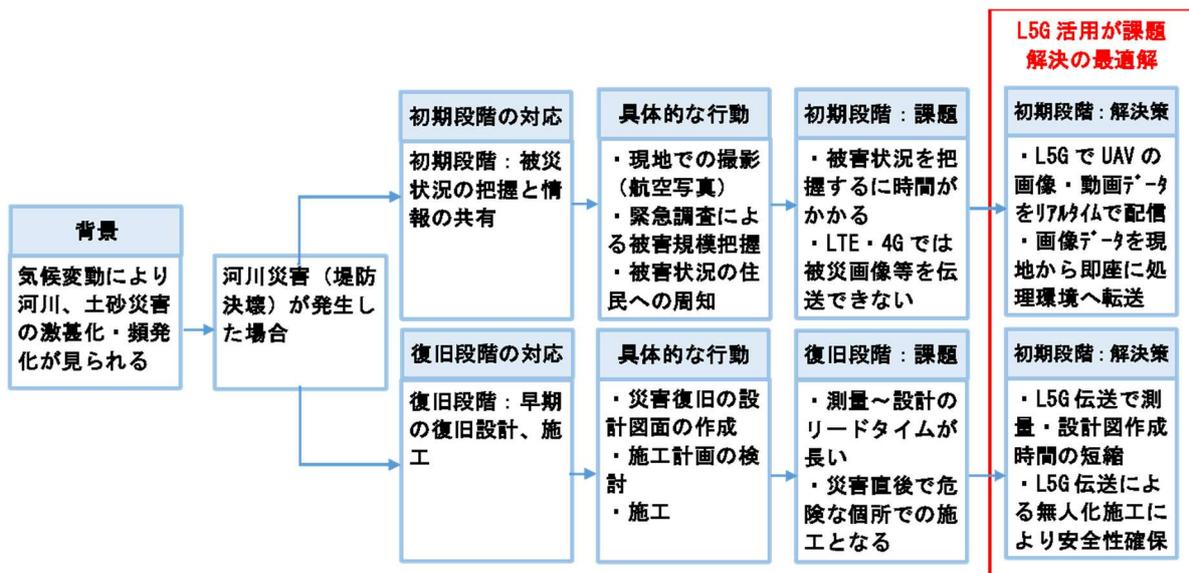


図 4.1-8 課題・課題解決策(最適解)の整理

国土交通省では、衛星通信による通信網の構築により災害現場においても現場と事務所間の情報共有を可能としている。

車両搭載型の衛星通信車や可搬型衛星通信装置（Ku-SAT）は災害により通常時の回線が切断された場合にも有効であり、東日本大震災の復興にも尽力している。

Ku-SAT の映像伝送パターンを以下に示す。映像伝送の通信速度は 384k～2M となっており、高画質 HD 映像の送信が可能とされている。しかし、動きの少ない映像の通信速度でも解像度 HD（720px）で約 2.5Mbps が必要であり、河川の災害時のように堤防法面の崩れや堤防決壊の状況、氾濫流等、動きのある映像の通信速度を考慮した場合、解像度 HD（720px）では約 5.0Mbps を要する。よって、Ku-SAT による河川の災害時の映像の通信速度を考慮した場合、解像度 SD（480px）で約 2.0Mbps が最大となり、画質の粗さや乱れが見られる。また、Ku-SAT は、国土交通省の所有台数に限りがあることや設営に必要な職員が帯同しなければならないこと、地上の固定カメラ映像に限定されることなどから、大規模災害時には、同時に複数の地点の状況を把握することに課題がある。

表 4.1-1 国土交通省 Ku-SAT の映像伝送パターン

局名	映像伝送パターン(全国)		受信設備
衛星通信車	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星設備を統合 ・映像伝送速度可変式 384k～2Mより選択 (高画質HD映像送信可) 	最大30映像	本省・近畿 固定局受信 統合網接続 により映像 共有(全国)
KU-SAT			
追加機能	メール送受信機能及びweb閲覧が可能		

出所 「Ku-SAT の運用改善」 国土交通省関東地方整備局企画部情報通信技術科 田中正志（2018）
https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000624143.pdf

一方で、ローカル 5G（Sub6）を活用した本システムでは、災害時における動きのある映像を解像度フル HD（1080px）で通信速度約 10.0Mbps の伝送を実現することを想定しており、大容量データをリアルタイムに伝送可能とすることが期待される。

また、Ku-SAT と比べて、独自回線の通信網を必要な場所に配備でき、かつ 5G 端末を装備した移動局となるドローンなど上空で広範囲の映像を配信することが可能となるため、大規模で複数の被災が発生した場合の迅速な情報共有に効果を発揮できることが想定される。

よって、本実証でシステムを検証することは全国の河川等の屋外エリア化に向けた検討として意義があるものと考えられる。

表 4.1-2 本提案システムにおける通信

局名	伝送パターン	通信容量	受信設備
ローカル 5G 基地局車	ドローンからのフル HD(1080i) 映像データのリアルタイム配信、 画像データのリアルタイム配信	UL:45Mbps	ローカル 5G 受信端末 必要な機能を持った端末を必要な台数 で事前準備、利用可能 (映像、電話、Web 閲覧、電話会議など)

また、国土交通省は、衛星通信のほかにも無線通信を利用した i-RAS・公共 BB の導入・整備も行っている。

i-RAS は、5GHz 帯無線アクセスシステムであり、大容量の通信を可能とする。

公共 BB は、小型軽量化により車両の搬入が困難な災害現場において、その機動性を活かして通信網の Last 1 mile として使用されているが、この点は、通信環境の観点からは、脆弱性があるといわざるを得ない。

災害現場においては Last 1 mile の情報伝達の迅速が求められ、現場での状況を対策本部、事務所とリアルタイムで共有し、対策を現場に届けるためにはローカル 5G 通信によるさらなる高速化が必要である。

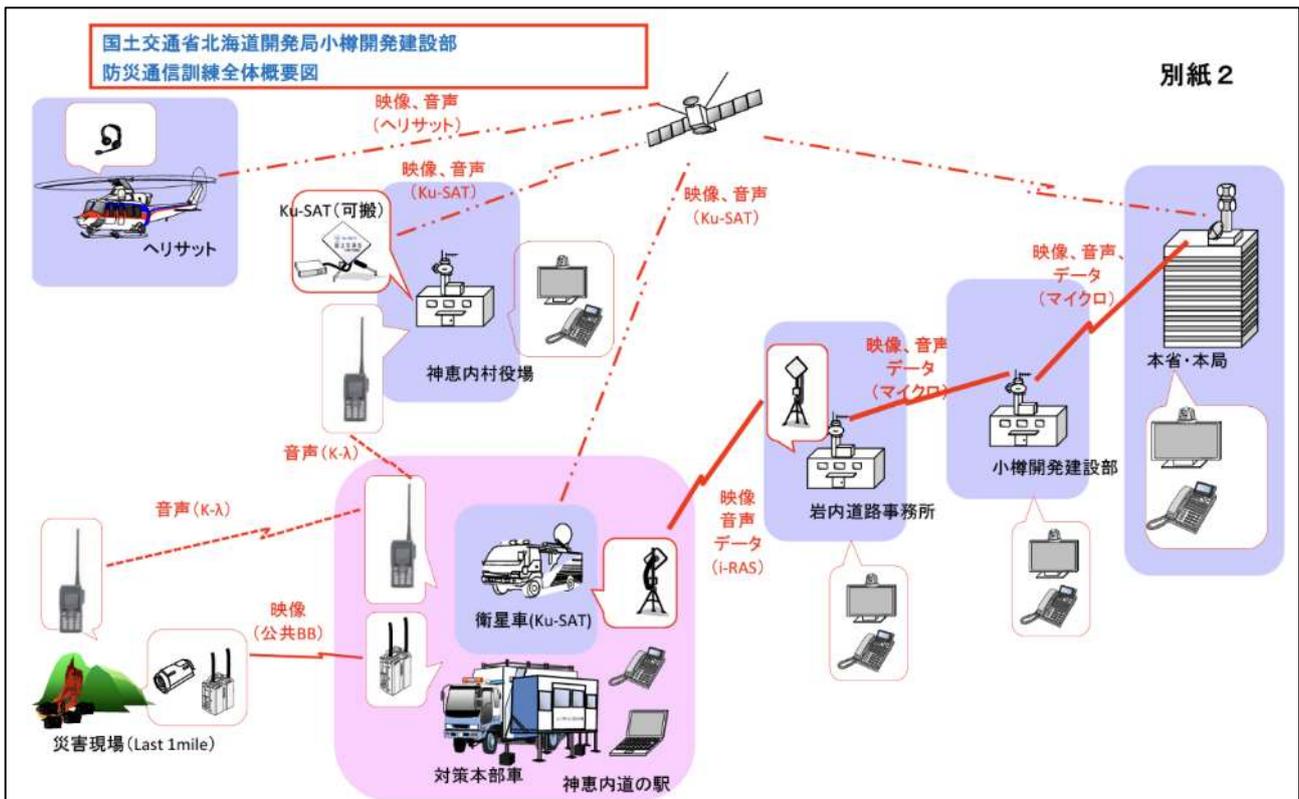


図 4.1-9 国土交通省北海道開発局小樽開発建設部 防災通信訓練概要図

出所 「国土交通省 Press Release 「道内初！最新型の機器を活用した通信訓練」」
a8pgkh0000007nup.pdf (mlit.go.jp)

i-RAS・公共BBの機能は以下の通りである。

表 4.1-3 i-RAS・公共BBの機能

種別	最大伝送距離	山間部利用	伝送容量	運用
i-RAS	30km程度	△見通しでの通信のみ	5Mbps以上	見通しでの長距離伝送を可能とするが距離が離れるほど伝送容量が低下、設営が困難。目視範囲での運用がし易く、数百Mbpsでの通信が可能。
公共BB	3km程度	○見通し外通信が可能	1.5~6Mbps	近距離通信、一方からの映像送信運用に向く。アンテナ形状により伝送距離が大きくかわる。通常使用のホイップアンテナでは300m程度。長距離伝送する場合は八木アンテナを必要とする。

※運用における記載は、今日までの訓練、実験による考察。

使い方として、i-RAS・公共BB共に、国土交通省ネットワークからの無線延長として用いるもので、光ケーブルや、事務所・出張所等の施設を入り口としてネットワークで接続する利用方法となる。よって、災害地点や被災自治体などの利用したい箇所から、接続する箇所を検討し、無線回線を構築するものとなる。実例として、今年度発生した芦野堰緊急復旧工事のカメラ監視として、初動はKu-SATによる監視体制としたが、i-RASによる構成を検討、配置替えを実施している。

出所「新たな防災通信機器の導入について」

<http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/b00097/k00360/happyoukai/R1/list%204/4-3.pdf>

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 実証内容の新規性

現在、ドローンによる三次元情報の取得と ICT 施工への提供、出来形管理等は、LTE を活用して制御信号等の送受信が実施されているが、特に、上り帯域に限られるため、ドローンで撮影されたデータは SD カードに保存しドローンを着陸された後に PC 等から送信する作業を行っている。

しかし、ローカル 5G システムを用い、河川のように多種多様な環境下において、被災規模の把握・復旧計画設計・無人化施工をシームレスかつ迅速に実施する本実証は新たな試みである。

このことで、従来手法に比べ、飛躍的な効率化が図れることが期待される。

また、上記の LTE 通信網を用いた、ICT 施工、出来高管理は主に平常時での活用であり、可搬型ローカル 5G を用いた、災害時（制限下で既存の通信インフラが使用不可能）での実証は新たな取り組みである。

(2) 過年度実証事業との関連性

時々刻々と環境が変化し、緊急性の高い河川災害に対応するには、現場に急行しリアルタイムデータ通信の提供が可能な可搬型ローカル 5G システムが有効であることを実証する。

以下に、類似実証「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」（以降、令和 3 年度類似実証（東埼玉）とする）と項目ごとに比較・整理した内容を示す。

令和 3 年度類似実証（東埼玉）では通信エリアとなるスポット通過時にファイル通信を行う想定であったため、伝送容量の不足が課題とされており、基地局を増やすことによる解決が検討されていたと認識しており、これに対して本提案では、ドローンで取得した映像、画像の直接伝送を目的に、通信が必要な場所に基地局を設置し最適なエリア構築を迅速に実施することを目指す。また、令和 3 年度類似実証（東埼玉）では反射板を用いたエリア拡張を検討したものの課題があったことから、本提案ではより適したアンテナの選択や基地局配置に対する考察、レピータの活用によるカバーエリアと電波漏洩について実証することによって課題実証に必要な通信要件を満たす方向で検討する。

表 4.1-4 過年度実証事業との関連性

		本実証	令和3年度類似実証(東埼玉)	
課題実証	目的	<ul style="list-style-type: none"> センシング技術などを活用して河川災害現場を特定し、緊急性の高い河川災害時にタイムラグなしでリアルタイムに被災状況の確認と対策の実現 時々刻々と環境が変化する河川災害・復旧現場での可搬型ローカル 5G システム活用によるリアルタイムな対応力の検証 河川管理の効率化 	<ul style="list-style-type: none"> 災害時の被災状況の確認(タイムラグあり) 道路管理の効率化 	
	フィールド	<ul style="list-style-type: none"> 河川 	<ul style="list-style-type: none"> 道路 	
	システム	<ul style="list-style-type: none"> 周波数帯: Sub6 ローカル 5G 基地局: 可搬型 	<ul style="list-style-type: none"> 周波数帯: ミリ波 ローカル 5G 基地局: 固定設置 	
	ユースケース	平常時	河川管理の効率化 <ul style="list-style-type: none"> ドローン測量、インフラ点検、無人化施工 ※今回の実証対象外 	道路管理・運営の効率化 <ul style="list-style-type: none"> 自動運転車両による路面の 4K 映像による AI 異常検知
		災害時	河川の被災状況のリアルタイムな確認と災害対策の迅速化 <ul style="list-style-type: none"> ドローンを活用した大容量なデータ(動画や点群データ)をリアルタイムにローカル 5G で伝送(リアルタイムに被害状況の AI 解析や 3D モデル化を行う) 復旧作業の無人化施工や作業支援のための大容量で低遅延なデータをリアルタイムにローカル 5G で伝送 工事進捗による地形変化に応じたエリアの再設計 	被災状況確認 <ul style="list-style-type: none"> 4K 画像は録画しておき、着陸後にローカル 5G で伝送 車両で取得した大容量データ(点群データ)を保存し、ローカル 5G のカバーエリア内に車両が移動した時に伝送 バックアップによる取得した点群データは、計測後にローカル 5G でデータ伝送

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

実施体制 (下線：代表機関)	中央復建コンサルタンツ(株)、(株)NTTドコモ	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)、道路空間の4K映像、3D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・強靱化を実現。		
主な成果	> 平常時には路面監視AIシステムにてひびやポットホール等道路状況を検知し有効性を確認。災害時での被災状況確認までの時間は、延長90m程度の被災状況の場合、遠方事務所ににて360°画像による状況確認が10分程度で、また、被災前との差分など詳細情報が2時間程度で取得可能なことを確認。 > ローカル5Gを活用した平常時の道路管理・災害時の状況確認の高度化により、地域公共インフラの効率運用・強靱化への貢献可能性を確認。		
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		
主な成果	> 審査基準のエリア算出法と実測値のエリア図は概ね一致していることを確認。今後はビルの谷間の様な環境で同様の傾向が確認できるか検証する必要があることを示唆。 > メタマテリアル反射板を用いて、基地局背面エリアの20%程度(面積)で受信電力等が改善することを確認。		
今後の展開	本実証成果の実装に向けては、平常時は道路管理者における実運用を含めた検証、災害時は運用体制の構築および基地局密度確保にむけた配置計画が必要。令和4年度以降は、2年間程度の試行を経て、実装することを想定する。		



図 4.1-10 令和3年度類似実証(東埼玉)の成果報告書概要版

出所「総務省 課題解決型ローカル 5G の実現に向けた開発実証に係る令和3年度ローカル 5G 開発実証報告書」

4.1.4 実証目標

ローカル 5G の通信環境を構築し、災害発生段階においては、災害状況確認のリアルタイム性の向上、応急復旧段階においては、生産性の向上、無人化施工現場の高度化を検証するが、各々の実証目標は以下の通りとした。

表 4.1-5 実証目標の設定

実証項目	実証目標
<p>◆ドローンからのリアルタイム映像配信</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンに搭載したカメラからフル HD の映像をリアルタイム配信する。現場付近の安全な環境での確認を想定し、ローカル 5G ネットワークを活用しリアルタイムでドローンからの映像を受信できるシステムを構築する。 	<ul style="list-style-type: none"> ドローンに搭載したカメラから高精細映像(1080i を想定)をリアルタイムで送信する。 災害時に災害協定業者等に指示を行う国交省職員等が、被災状況を確認でき、発災時の情報収集の効率化、復旧の迅速化および被害の軽減に寄与する鮮明な映像※を見ることができる。 <p>※画像の鮮明さについては、国土交通省本省、整備局、河川事務所等の関係者に実際に取得した映像を確認いただき、意見交換を行った上で、被災の状況が分かる精緻度か、情報収集の効率化、復旧の迅速化への貢献、および被害の軽減に寄与するか等の有効性を確認する。</p>
<p>◆ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成</p> <ul style="list-style-type: none"> ドローンに搭載したカメラから画像データを定期的に送信し、クラウド上の 3D 地形データ作成システムにおいて自動的に 3D 地形データを生成するシステムを構築する。 	<ul style="list-style-type: none"> 1～2 秒間に 1 回、8MB の画像データを送信する。 撮影開始時から静止画像のクラウドサーバーでの受信にかかる所要時間を従来手法※から 50%以上短縮する。 <p>※ドローンを着陸させ SD カードから PC にダウンロードし LTE での送信を想定している。従来は、堤防決壊範囲を川軸方向 100m 程度と想定した場合、ドローン撮影範囲が川軸方向 200m×幅 100m 程度であり、100 枚以上の撮影を行う。ドローンを降下させた後に画像データ(概ね 1.0～1.5GB を想定)のダウンロードに 10～15 分程度、PC からのデータ伝送にさらに 20～30 分程度を要するため、データ伝送のみで被災箇所1箇所につき 30～45 分のロスが生じることが想定される。なお、場所によっては、LTE でのデータ伝送を行えない可能性もあり、その視点からも実装効果は高い。</p> <p>また、刻一刻と変化する被災現場においては、復旧初動の 30～45 分は、災害協定業者や関係機関に復旧の指揮伝達を行う上で重要な時間であり、そのロスの解消が被害の軽減に大きく寄与することが想定される。</p>

<p>◆建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信</p> <ul style="list-style-type: none"> ・無人化施工で ICT 施工が実施可能な建機に対して、3D 地形データを活用して作成した施工用設計データをアップロードする。また、施工時に現場の状態を確認するためのカメラ車を配置し、現場の状況をリアルタイムに確認するシステムを構築する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工用設計データをクラウドから受信する。 ・3D 地形データの自動作成→設計データ作成→ICT 建機にデータ入力するまでの一連の施工準備に要する所要時間を従来手法※から 50%以上短縮する。 ・支障なく建機の無人化施工動作を行う。 ・従来の無線 LAN におけるカメラ映像の画質、伝送遅延、データ伝送容量の観点から比較し、施工性の向上(施工効率、施工速度、安全性)を確認できる。 ・現時点の想定としては、従来の無線よりも鮮明な画像の伝達、伝送の速度の向上、容量の向上が想定され、従来の無線機と比べて、迅速かつ安全な復旧活動に資するシステムである。 <p>※現地簡易計測データをもとに CAD 等で作成した図面の送信を想定。</p>
--	--

4.2 実証環境

実証環境は、国土交通省が管理する直轄河川を対象として、以下の視点から選定を行った。

- 過去に被災を受けた流域であり、仮設立案、検証が可能な河川であること。河川という線状エリアで多様な条件においても電波伝搬モデルを構築するために堤防形状、背景地の土地利用、川幅、河道内樹木等、環境が異なること。
- 実証作業中の運用にあたり、不都合や不具合時にも迅速な対応が必要であり、これらにリソースを投入しやすい環境として近方であること。(遠方での実証は物流や移動の費用だけでなく、時間的なロスも多い)
- ドローンや建機を用いるため、河川の周辺地等を含め、動植物の生息環境等に影響が及ばないこと。

この結果、候補地として、関東地方整備局管内である荒川下流域の北区岩淵地区、足立区新田地区を設定した。

荒川流域は、令和元年台風 19 号で甚大な被害を受けている。

上記の 2 地区は周辺環境が異なっており、電波伝搬モデルの精緻化の検討が可能である。

- ・堤防形状：線状エリアの精緻化のために直線/曲線/蛇行の異なるモデルがある
- ・背景地：精緻化のパラメータである市街地/郊外地/解放地の違いがある
- ・川幅：水面反射が影響を確認するための川幅の違いがある
- ・遮蔽物：見通しによる影響を確認するための樹木や構造物の有無の違いがある

実証時のドローン飛行においては、堤防の決壊範囲を川軸方向 100m 程度と想定し、その場合のドローン撮影範囲は、川軸方向 150~200m×幅 100m 程度を設定した。この場合のドローンの飛行時間は 5~10 分程度となる。

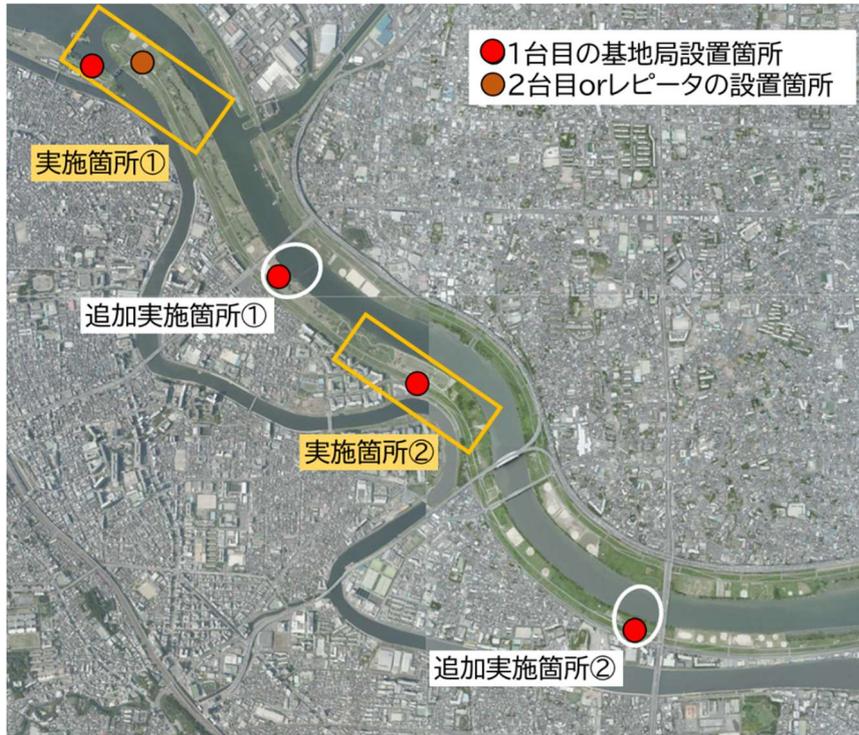
河川区域上空内での飛行を基本とし、橋梁上や堤内地の道路上等は飛行しない等、安全に十分留意して実施した。

表 4.2-1 実証環境(河川)の状況

	荒川 ① 岩淵地区(北区)	荒川 ② 新田地区(足立区)
川幅	狭域	広域
遮蔽物	水門	なし
堤防線形	蛇行	直線
背後地	広大な河川敷を田畑(郊外地)と見立てて実施	住宅地(市街地)

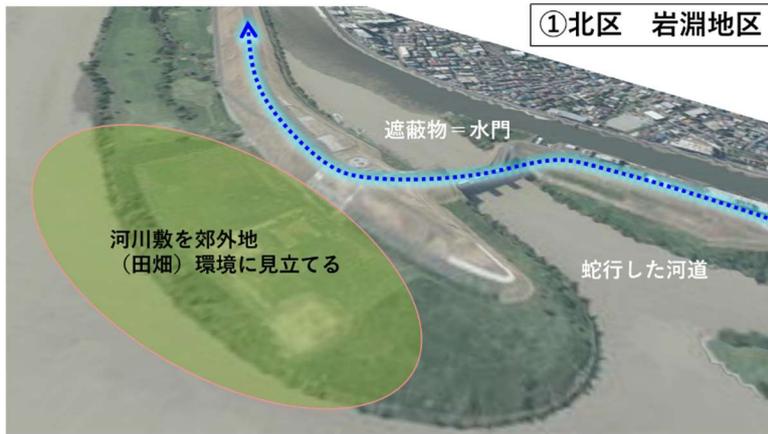
技術実証、課題実証の実施箇所は、以下の通りである。

なお、上段図内における白丸においては、課題実証の一環として、日常時の河川点検における検証（船舶等からの画像伝送）を行った。



※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.2-1 実証環境(河川)の位置図



※国土地理院の地図を編集し使用
 図 4.2-2 荒川流域の実証フィールド

4.3 実施事項

4.3.1 ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証

(1) 機能検証

1) 検証項目

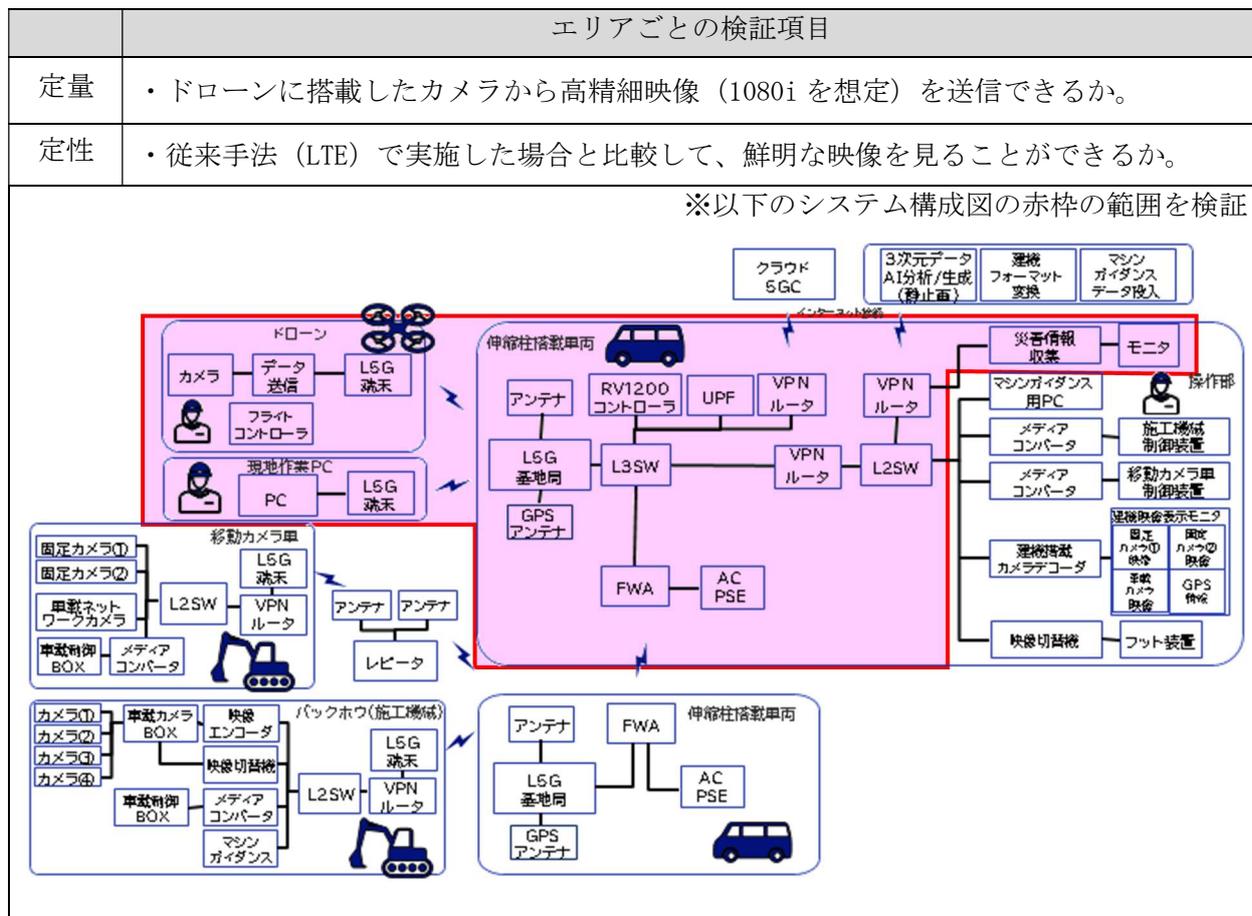
定量的な項目としては、ドローンにおいて取得したリアルタイムの高精細映像、静止画の送受信を検証した。また、施工用データの取得、施工時の現場映像の送受信を確認した。

定性的な項目としては、ドローン映像伝送においては、従来方法である LTE を用いて実施した場合と、また ICT 建機においては従来方法である無線 LAN を用いて実施した場合と、ローカル 5G を用いて実施した場合との比較を目視で比較検証した。

これらについては、実証エリアの環境条件（河川の線形、川幅、樹木の有無、背後地土地利用等）により、どのような変化が生じるか比較検証した。

以下に、3つの実証項目ごとの検証項目を示す。

実証項目:ドローンからのリアルタイム映像配信における検証項目

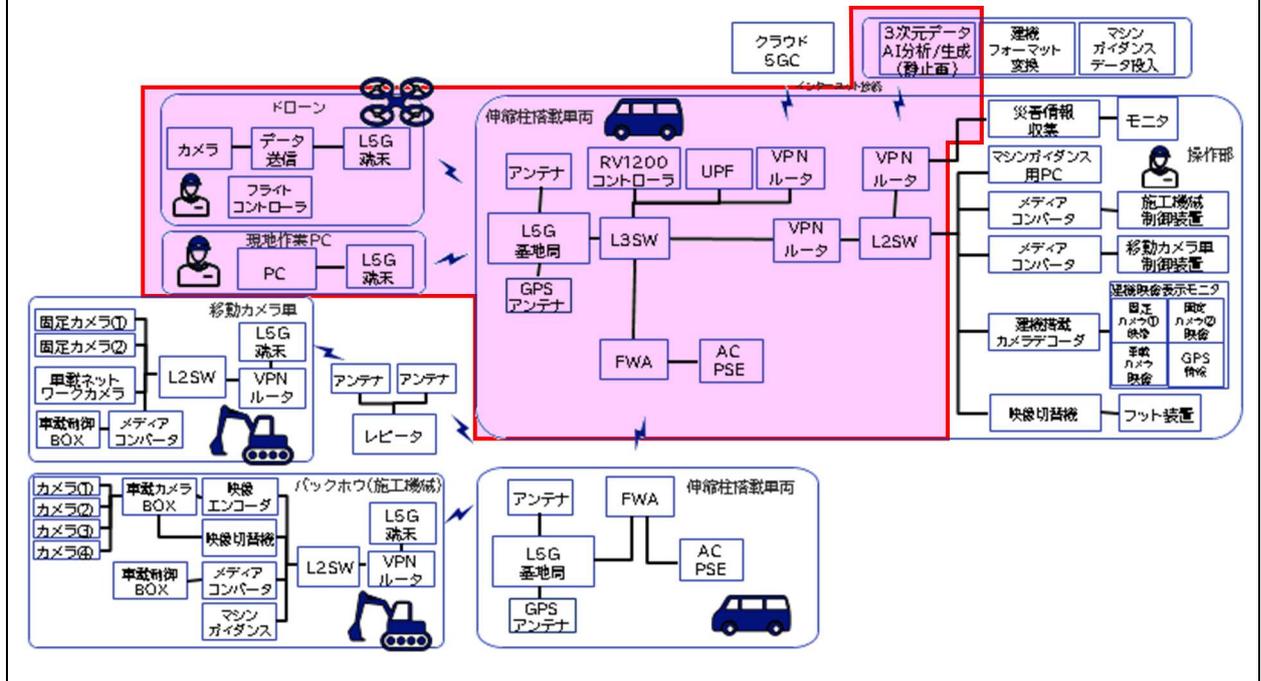


実証項目:ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成における検証項目

エリアごとの検証項目	
定量	<ul style="list-style-type: none"> ・1～2秒間に1回、8MBの画像データを送信できるか。 ・ローカル5G区間でのスループット目標UL45Mbpsを満たすか。 ・撮影開始時から全ての静止画像の三次元地形作成クラウドサーバー側への受信にかかる所要時間を、従来手法※から50%以上短縮する。 <p>※ドローンを着陸させてSDカードからPCにダウンロードし、LTEで送信の一連の時間を想定。</p>

※以下のシステム構成図の赤枠の範囲を検証

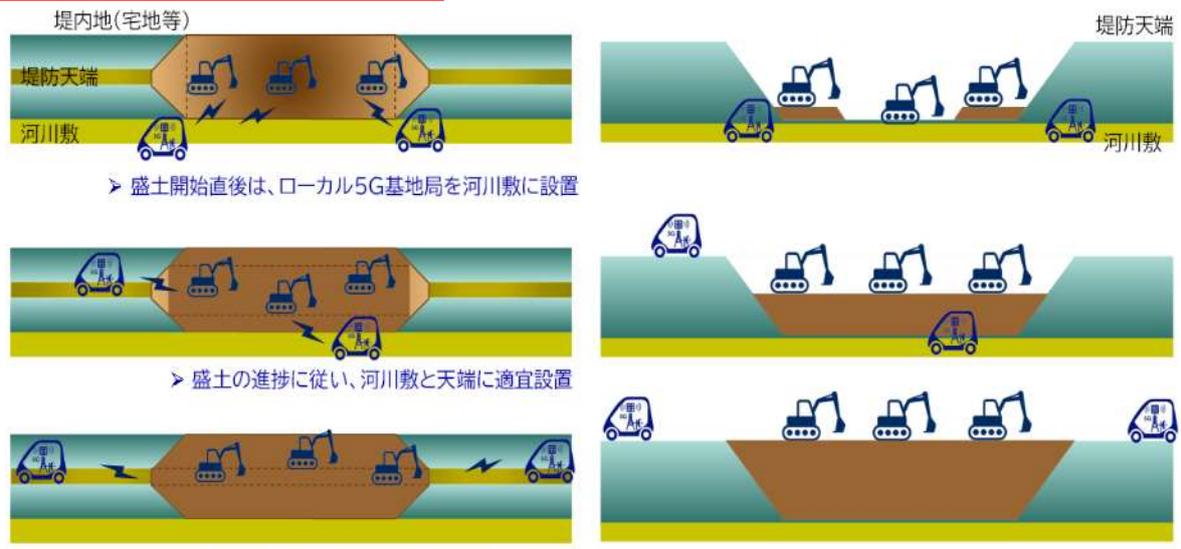
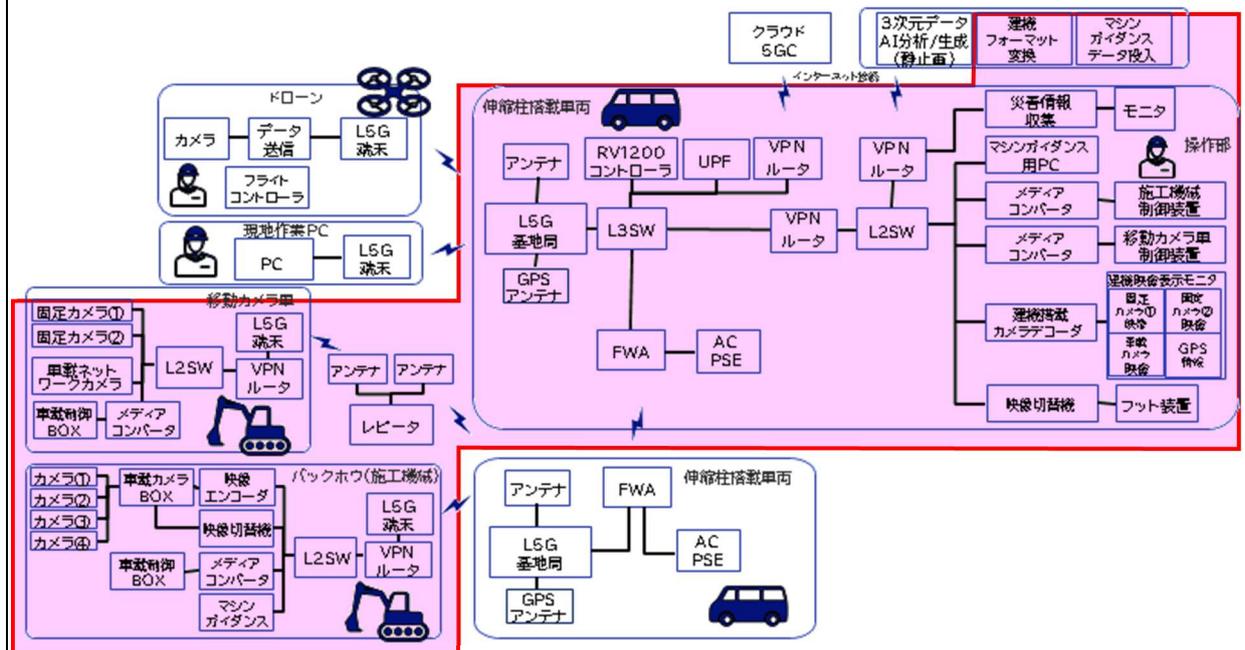
建機フォーマット変換、マシンガイダンスの投入の自動化は困難であるため、個々のワークを手動で実施する。



実証項目:建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信の検証項目

エリアごとの検証項目	
定量	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工用設計データをクラウドから受信できるか。 ・ 3D 地形データの自動作成→設計データ作成→ICT 建機にデータインプットするまでの一連の施工準備に要する所要時間を従来手法※から 50%以上短縮できるか。 <p>※現地簡易計測データをもとに CAD 等で作成した図面の送信を想定</p>
定性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 建機の動作は、従来の無線 LAN の場合と変化はないか。(目視確認) ・ 支障なく建機の無人化施工動作を行うことができるか。

※以下のシステム構成図の赤枠の範囲を検証



- 盛土開始直後は、ローカル5G基地局を河川敷に設置
- 盛土の進捗に従い、河川敷と天端に適宜設置
- 盛土が高く積まれた段階で天端に設置

復旧進捗に応じたローカル 5G 基地局および建機位置の変化

2) 検証方法

a. 検証方法の設定

各検証項目に対し、以下の方法で検証を実施した。

表 4.3-1 検証方法の設定

実証項目	エリアごとの検証手法	
◆ドローンからのリアルタイム映像配信	定量	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G エリア内の作業員パソコンに高精細映像（解像度フル HD1080i を想定）の伝達を確認した。映像の鮮明さについては、危機管理用途の映像として十分な映像かどうか、国土交通省、整備局、河川事務所等の関係者によって段階的な指標[※]等により取得映像を評価した。 ※段階的指標 A) 確実に状況把握でき、対応指示が可能な精細度である B) 一部に不鮮明な部分があるが、状況把握や対応指示を行える精細度である C) 概括的に状況把握できるが、現地作業員等からの情報収集等も必要とする精細度である D) 現地の状況が把握できない精細度である
	定性	<ul style="list-style-type: none"> 従来手法（LTE）で実施した場合と比較して、鮮明な映像を見ることができるか作業員が目視で確認した。
◆ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成	定量	<ul style="list-style-type: none"> クラウドサーバーを管理するオフィス作業員が画像の伝達を確認した。 ドローンの画像取得時間とクラウドサーバーでの画像の受信時間を確認した。 従来手法からの短縮率を算定した。 スループットについては、測定ツール等を使用し、端末の受信レベルと最大スループットを測定した。
◆建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	定量	<ul style="list-style-type: none"> 施工用設計データが受信されているか現地作業員の PC および建機のマシンガイダンスで確認した。 従来手法からの短縮率を算定した。
	定性	<ul style="list-style-type: none"> 施工用設計データにより、従来と変化なく動作ができるか作業員が目視で確認した。 映像の乱れ、ブレはないか、作業員パソコンで、複数人で目視確認した。

b. 検証のためのドローンの飛行計画

ア) 飛行対象区間

- ・ 東京都足立区、荒川区、北区
- ・ 荒川下流[距離標右岸 17.75~20.50kp の河川区域]

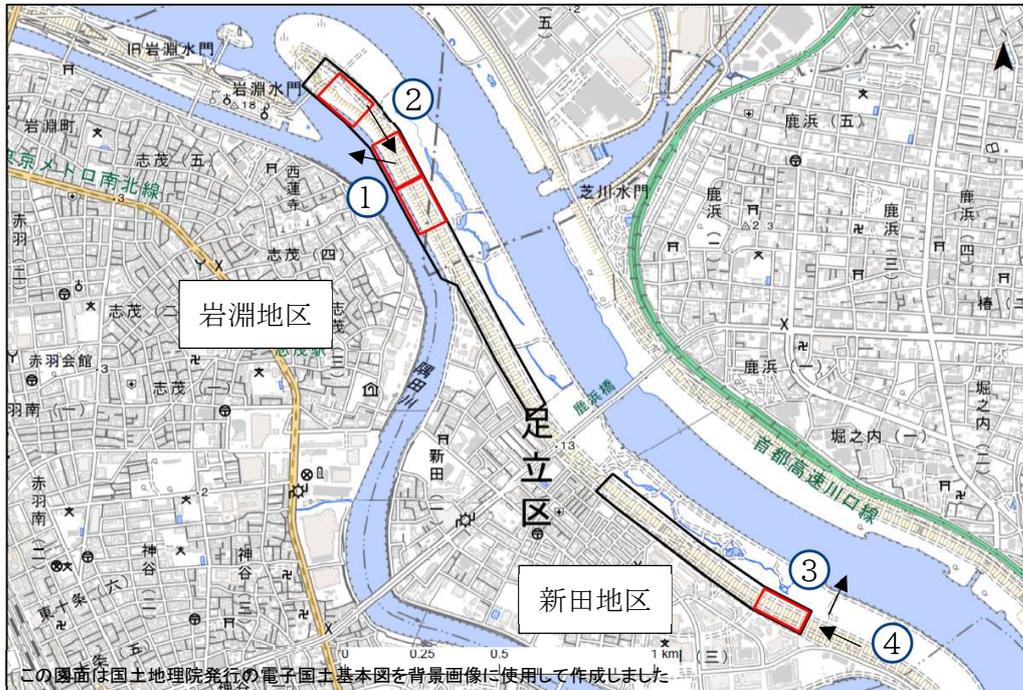


図 4.3-1 現場実証区間



図 4.3-2 現地状況写真(上段:岩淵地区、下段:新田地区)

イ) 撮影時期

各種申請・連絡完了後に撮影を実施した。

- ・ テスト飛行:令和5年1月25日(水)(下記A~Bブロックの区間のみ)でテスト飛行
- ・ 撮影本番 :令和5年1月30日(月) ~2月1日(水)

ウ) 撮影機材

汎用的な機材として、表 4.3-2 に示す機材を使用した。航空法における「資料の一部を省略することができる無人航空機」の機体である。

表 4.3-2 使用機材

使用機器		仕様	
飛行機体	ACSL-PF2(株式会社 ACSL) 写真上:ドローン全景 下:5G 端末装着部  	機体重量	7.07 kg(機体本体 3.8 kg)
		外形寸法	1,173 mm
		プロペラ数	6 枚
		耐風速	20 m/s
		飛行時動作範囲(水平距離)	4km
		飛行可能時間	約 20 分
		シリアルナンバー	①ACSLPF22206B03 ②ACSLPF22110B02
		登録番号	①JU3226A7B9B3 ②JU32267A16A6
カメラ	Sony α7RIV ILCE-7RM4A 	使用レンズ	E マウント
		撮像素子	35mm フルサイズ (35.7×23.8mm)、Exmor R CMOS センサー
		カメラ有効画素数	約 6100 万画素
		静止画記録 ファイル形式	PEG (DCF Ver.2.0 、 ExifVer.2.31、MPF Baseline) 準拠、RAW (Sony ARW2.3 フォーマット)
		動画記録 ファイル形式	XAVC S、AVCHD 規格 Ver.2.0 準拠
		重量	約 580 g(本体のみ)

エ) 飛行諸元

飛行については、表 4.3-3 に示す内容で各項目を設定した。また、飛行ルートについては、ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成における検証を実施するため、該当エリアを網羅できるようオーバーラップ及びサイドラップを設定し作成した。

表 4.3-3 飛行諸元

項目	内容	備考
対地高度	50m～100m 15m～20m(スループット試験)	<ul style="list-style-type: none"> 等高度でエリア内を撮影 仮想災害対策室からの指示を受けてエリア内を撮影
撮影アングル	90°、手動で適宜アングル設定	<ul style="list-style-type: none"> 垂直撮影及び仮想災害室からの指示を受けて状況に応じてアングル変更
飛行ルート	<ul style="list-style-type: none"> 河川縦断方向に飛行 水際付近を飛行 	<ul style="list-style-type: none"> 自動でフライトさせた場合、映像及び画像伝送が切れた後も機体はコース上を動き続けるため、伝送が切れた箇所を確認するためにその地点まで手動で戻す 伝送が切れる位置を記録する



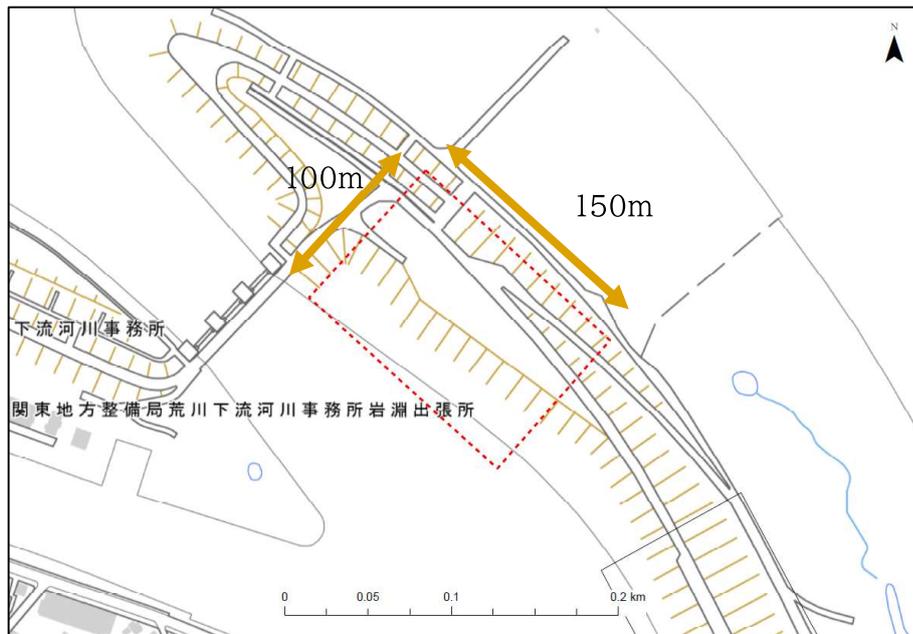
図 4.3-3 飛行ルート設定画面

オ) 飛行区間

下記 4 区間において、動画撮影及び写真撮影を実施した。A ブロック～C ブロックを岩淵地区、D ブロックを新田地区とした。※赤破線：撮影範囲

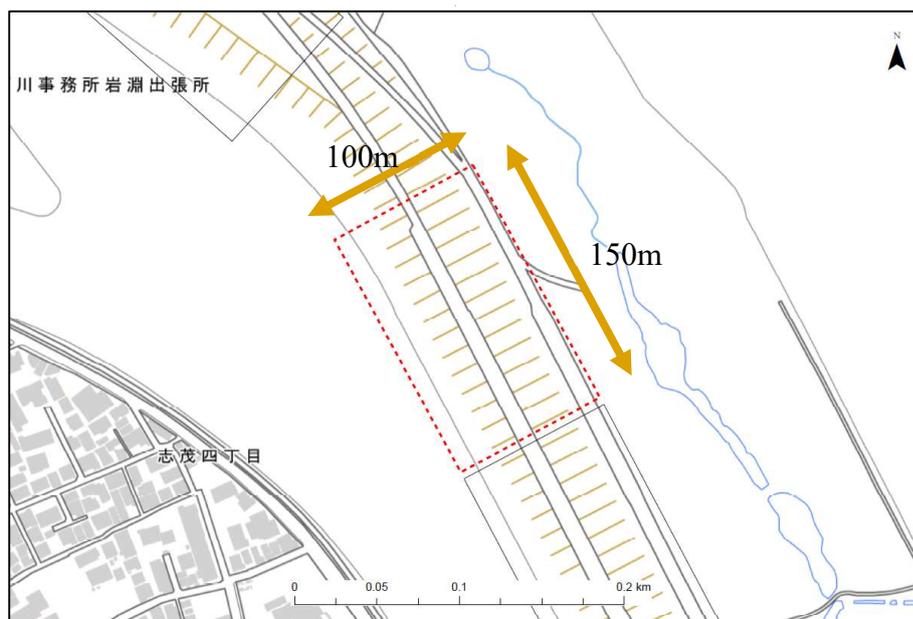
なお、フライト範囲は河川堤防部のみとし、周辺施設上空はフライトさせないこととした。

[A ブロック]R20.00～20.25kp



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

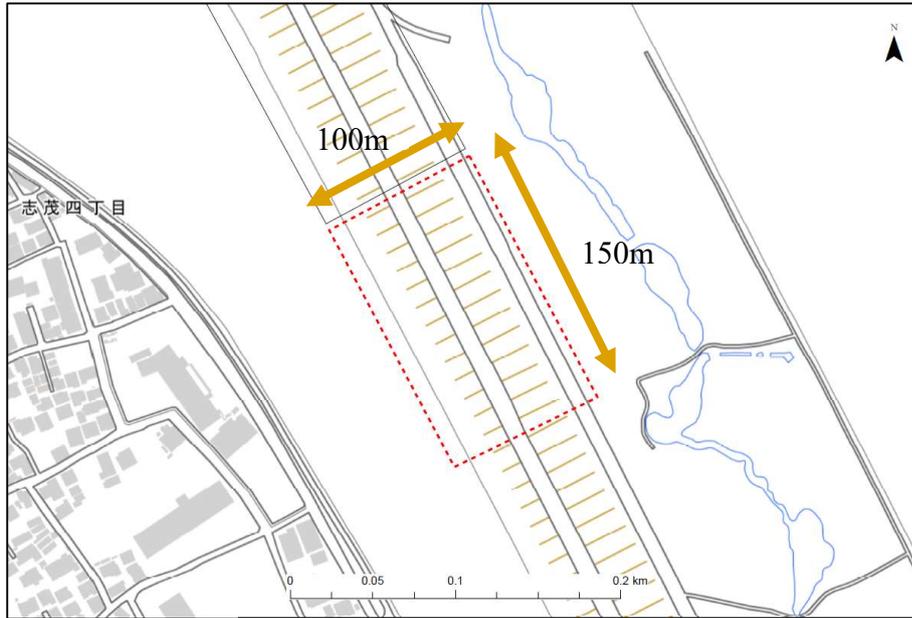
[B ブロック]R19.75～19.20kp



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

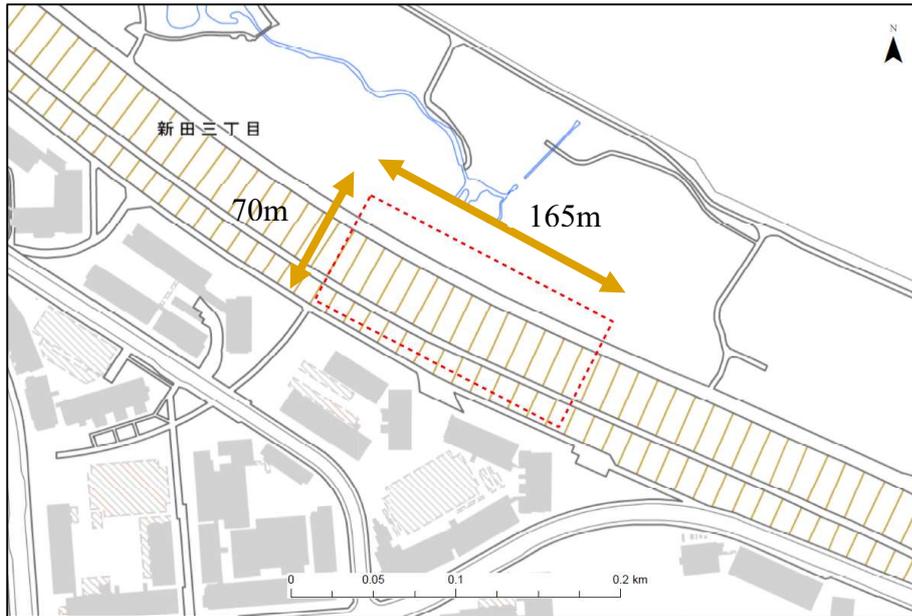
図 4.3-4 飛行区間図(1)

[C ブロック]R19.75~20.00kp



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

[D ブロック]R17.75~18.00kp



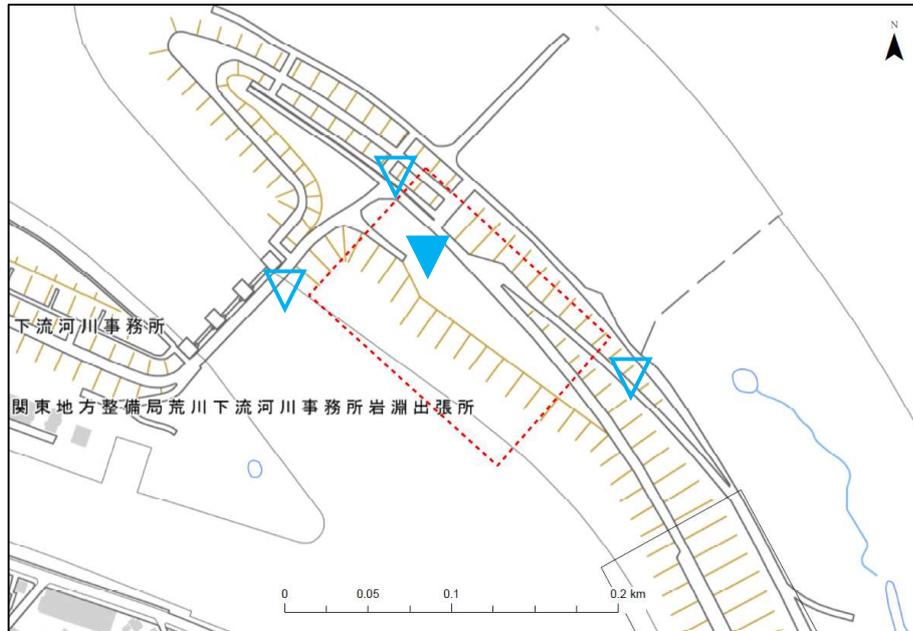
この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

図 4.3-5 飛行区間図(2)

カ) 離着陸場所

離着陸場所(▼)は平坦地とし、見上げ 45° に樹木等の障害がなく、視野確保できる場所を設定した。また、安全対策として、周辺に安全監視員もしくは安全看板等を、歩行者が多いと考えられる下図▽の位置に設置した。

[A ブロック]R20.00～20.25kp



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

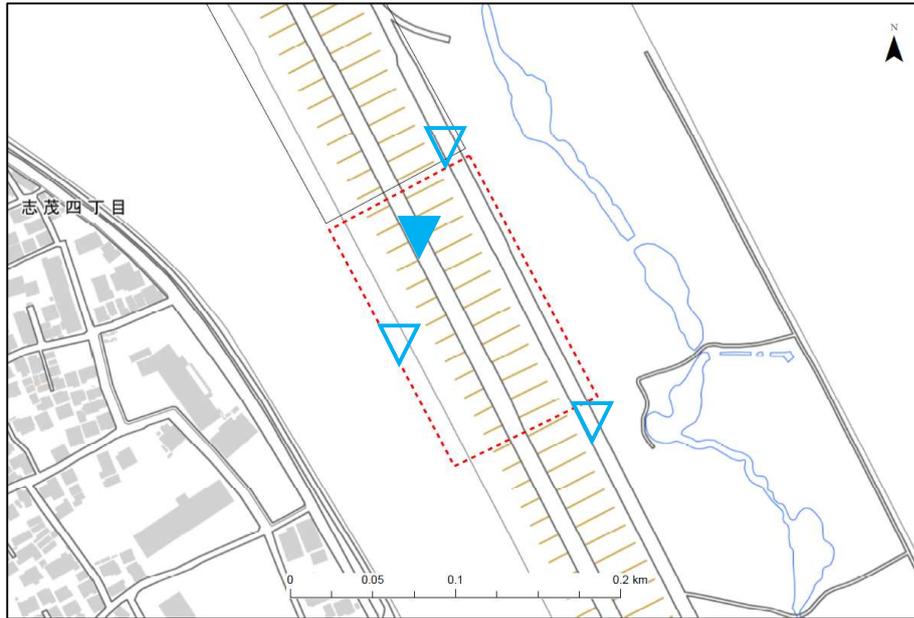
[B ブロック]R19.75～19.20kp



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

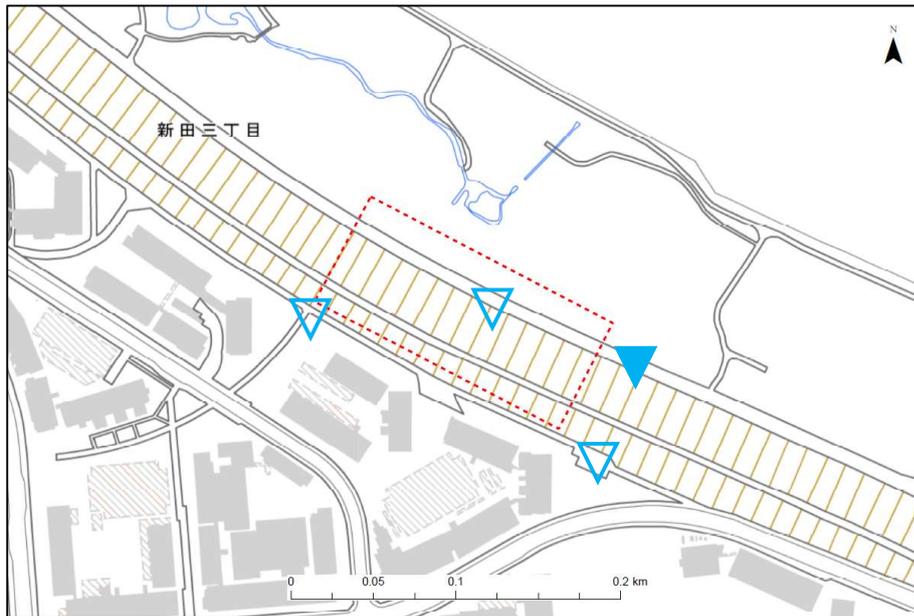
図 4.3-6 離着陸場所位置図(1)

[C ブロック]R19.75~20.00kp



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

[D ブロック]R17.75~18.00kp



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

図 4.3-7 離着陸場所位置図(2)



図 4.3-8 離着陸場所



図 4.3-9 安全対策のためののぼり旗、看板

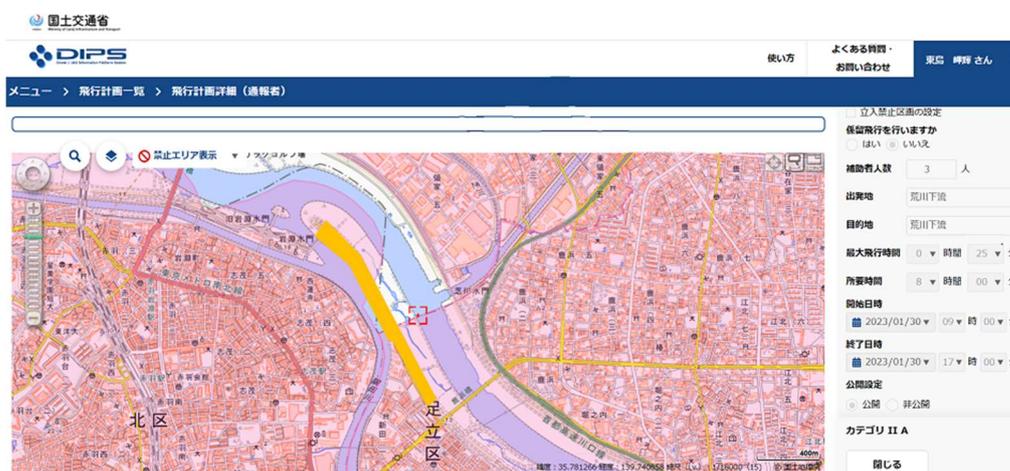
キ) 遵守した法令等

< 航空法 >

航空法第 236 条及び 236 の 2 において定められている無人航空機の飛行の禁止空域に、本飛行範囲が含まれているかを地理院地図により確認した。その結果、本飛行範囲は、空港等の周辺空域(国土交通省航空局)に該当しないが、人口集中地区(H27 年、総務省統計局)に該当するため、飛行の許可・承認申請対象であることから、航空局へ飛行の承認申請を実施する必要がある。東京航空局に申請し、下記の通り承認を受けた。

飛行・許可承認書の番号	東空運航第 15699 号
-------------	---------------

・岩淵地区 1/30



・岩淵地区 1/31

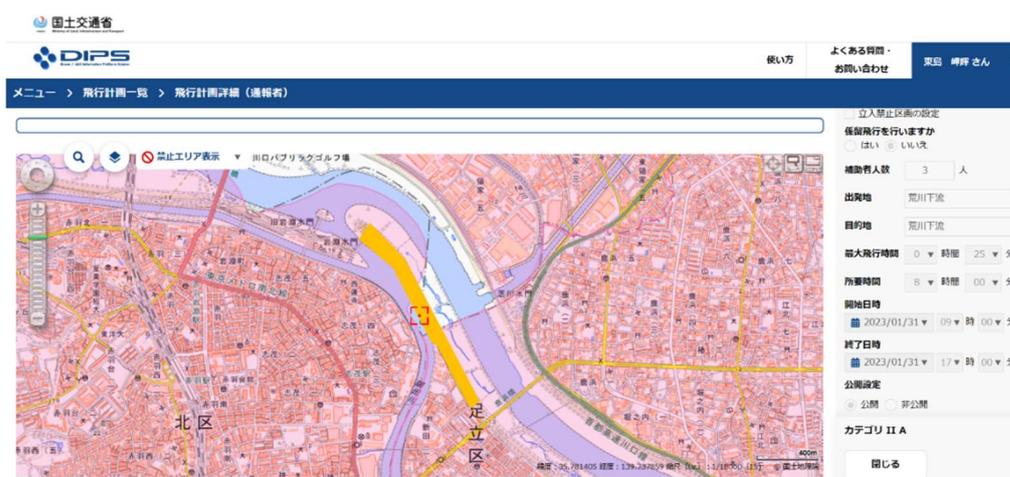


図 4.3-10 航空法の承認状況(1)

・岩淵地区 2/1

国土交通省
DIPS

メニュー > 飛行計画一覧 > 飛行計画詳細 (通報者)

立入禁止区域の設定
保留飛行を行いますか
 はい いいえ

補助者人数 3 人

出発地 荒川下流

目的地 荒川下流

最大飛行時間 0 時間 25 分

所要時間 8 時間 00 分

開始日時
2023/02/01 09 時 00 分

終了日時
2023/02/01 17 時 00 分

公開設定
 公開 非公開

カテゴリ II A

閉じる

・新田地区 1/30

国土交通省
DIPS

メニュー > 飛行計画一覧 > 飛行計画詳細 (通報者)

立入禁止区域の設定
保留飛行を行いますか
 はい いいえ

補助者人数 3 人

出発地 荒川下流

目的地 荒川下流

最大飛行時間 0 時間 25 分

所要時間 8 時間 00 分

開始日時
2023/01/30 09 時 00 分

終了日時
2023/01/30 17 時 00 分

公開設定
 公開 非公開

カテゴリ II A

閉じる

・新田地区 1/31

国土交通省
DIPS

メニュー > 飛行計画一覧 > 飛行計画詳細 (通報者)

立入禁止区域の設定
保留飛行を行いますか
 はい いいえ

補助者人数 3 人

出発地 荒川下流

目的地 荒川下流

最大飛行時間 0 時間 25 分

所要時間 8 時間 00 分

開始日時
2023/01/31 09 時 00 分

終了日時
2023/01/31 17 時 00 分

公開設定
 公開 非公開

カテゴリ II A

閉じる

図 4.3-11 航空法の承認状況(2)

・新田地区 2/1

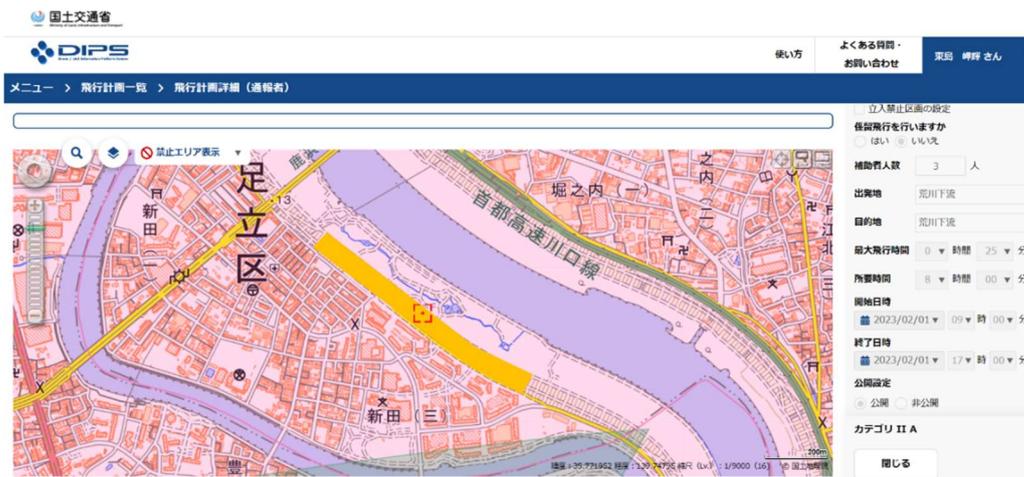


図 4.3-12 航空法の承認状況(3)

<河川法>

河川区域かつ足立区、荒川区、河川財団の占有区域周辺での作業であることから、事前に荒川下流河川事務所岩淵出張所に「河川敷一時使用届」を提出し、了承を得るとともに、各占有者に 事前連絡し、適切な手順に従って了承を得た。

<小型無人機等飛行禁止法>

本飛行範囲及び周辺に、当該法律で小型無人機等の飛行が禁止されている施設はない。

<その他>

- ・ 電波法: 無人航空機・送信機で使用する周波数帯は、2.4GHz であり、無線局の開設及び免許は不要である。
- ・ 道路交通法: 公道道路にて離着陸させず、また公道道路上空を飛行させる計画ではないため、道路の使用申請は不要である
- ・ 民法: 民地上空を飛行させる計画ではないため、特段の申請・連絡等は不要である。

<ドローン情報基盤システム>

荒川下流河川事務所管内を無人航空機が飛行するにあたり、ドローン情報基盤システム(飛行情報共有機能)に登録した。

- ・ 日程: 2023/1/25、2023/1/30～2/1
- ・ 時間: 9:00～17:00
- ・ 飛行高度: 100m

<荒川下流河川事務所岩淵出張所 UAV(ドローン)監督チェックリスト>

荒川下流河川事務所管内を無人航空機が飛行するにあたり、岩淵出張所における UAV(ドローン)監督チェックリストに関する手続きを行った。

<警察署への周知>

近隣住民から警察署へ通報があった場合、事前の周知を行うことでトラブルを防ぐことができるため、対象範囲の近隣の警察署(王子警察署、赤羽警察署、西新井警察署、川口警察署)を訪問し、事前に実証実験の内容を周知した。

ク) タイムスケジュール

河川区域かつ足立区、荒川区、河川財団の占用区域周辺での作業であることから、事前に荒川下流河川事務所岩淵出張所に「河川敷一時使用届」を提出し、了承を得るとともに、各占用者に事前連絡し、適切な手順に従って了承を得た。

表 4.3-4 ドローン飛行 タイムスケジュール

作業日	作業場所	作業項目	開始時間	所要時間
1/30(月)	新田地区 Dブロック	集合・MTG	8:30	
		基地局(新田a)準備 5Gエリア電波測定	9:00	
		飛行テスト	10:30	0時30分
		課題実証ドローン<(1)映像伝送> 高度50m 高度100m	11:00	1時00分
		課題実証ドローン<(2)動画到達限界> 高度50m 高度100m	13:00	2時00分
		課題実証ドローン<(3)撮影伝送> 高度50m 高度100m ※撮影後、3次元データ作成は適宜実施	15:30	1時00分
		片付け・撤収	17:00	0時30分
1/31(火)	岩淵地区 Cブロック	集合・MTG	8:30	
		基地局(岩淵c)準備 5Gエリア電波測定	9:00	
		飛行テスト	10:30	0時30分
		課題実証ドローン<(1)映像伝送> 高度15m(強風のため低高度で実施) 高度50m 高度100m	11:00	1時00分
		課題実証ドローン<(2)動画到達限界> 高度50m 高度100m	13:00	0時30分
		課題実証ドローン<(3)撮影伝送> 高度50m 高度100m ※撮影後、3次元データ作成は適宜実施	13:30	1時30分
		移動・準備		
	新田地区 Dブロック	基地局(新田a)準備 5Gエリア電波測定	14:00	0時45分
		課題実証ドローン<(3)撮影伝送テスト> 高度20m 高度100m	15:00	1時30分
		片付け・撤収	17:00	0時30分
2/1(水)	岩淵地区 Aブロック	集合・MTG	8:30	
		基地局(岩淵b)準備 5Gエリア電波測定	9:00	
		飛行テスト	9:00	0時30分
		課題実証ドローン<(1)映像伝送、(3)撮影伝送> 高度50m 高度100m	9:45	1時00分
		課題実証ドローン<(2)動画到達限界> 高度50m 高度100m	11:00	0時30分
		課題実証ドローン<(2)動画到達限界> レピーター 高度0m(強風のため台車にドローンを載せて陸上計測)	13:15	1時30分
		課題実証ドローン<(2)動画到達限界> LTEとの比較 高度0m(強風のため台車にドローンを載せて陸上計測)	15:00	1時00分
		片付け・撤収	17:00	0時30分

c. 検証のための建機の設定・計画

ア) 建機実証対象区間

- ・ 東京都足立区、荒川区、北区
- ・ 荒川下流[距離標右岸 17.75～20.50kp の河川区域]



※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.3-13 現場実証区間

イ) 建機実証時期

各種申請・連絡完了後に撮影を実施する。

- ・ テスト: 令和 5 年 1 月 25 日 (水) 岩淵地区でのみ実機テスト
- ・ 実証本番 : 令和 5 年 1 月 26 日 (木) ～1 月 27 日 (金)

ウ) 使用建機

汎用的な機材として、示す機材を使用した。



図 4.3-14 活用した建機

表 4.3-5 使用機材

項目	内容
システム名	遠隔操作バックホウ HRC システム
提供元	西尾レントオール株式会社(ベースマシンは住友建機販売)
内容	遠隔で操作できるバックホウ
通信方式	RS422 通信による遠隔制御
送信機操作数	アナログジョイスティック ジョイスティックスイッチ パネルスイッチ
送信機サイズ	W230*D196*H147
送信機連続使用時間	8 時間
送信機耐水	JIS D 0203-1994 S2
送信機質量	2.3kg
送信機使用電源	充電式 Ni-Cd 電池 DC4.8V
使用温度範囲	-10℃～60℃

エ) 建機実証諸元

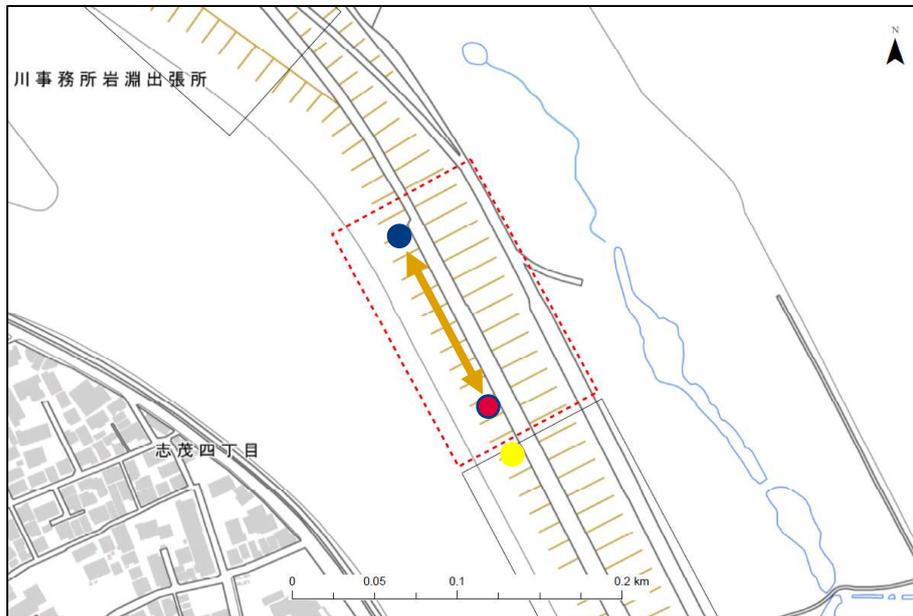
表 4.3-6 使用機材

項目	内容	備考
遠隔操作距離	100m～400m	<ul style="list-style-type: none"> 実施箇所①にて 100m・200m・400m にて操作 実施箇所②は 100m 程度
遠隔操作高低差	0m～20m	<ul style="list-style-type: none"> 実施箇所①は 0m程度 実施箇所②は 0mと 20m 程度の高低差
配置重機	<ul style="list-style-type: none"> 施工機(マシンガイダンス付き) カメラ車 	<ul style="list-style-type: none"> 実施箇所①は施工機+カメラ車 200m・400m 地点は施工機のみ 実施箇所②は施工機+カメラ車

才) 建機実証区間

岩渕地区

R19.75~19.20kp

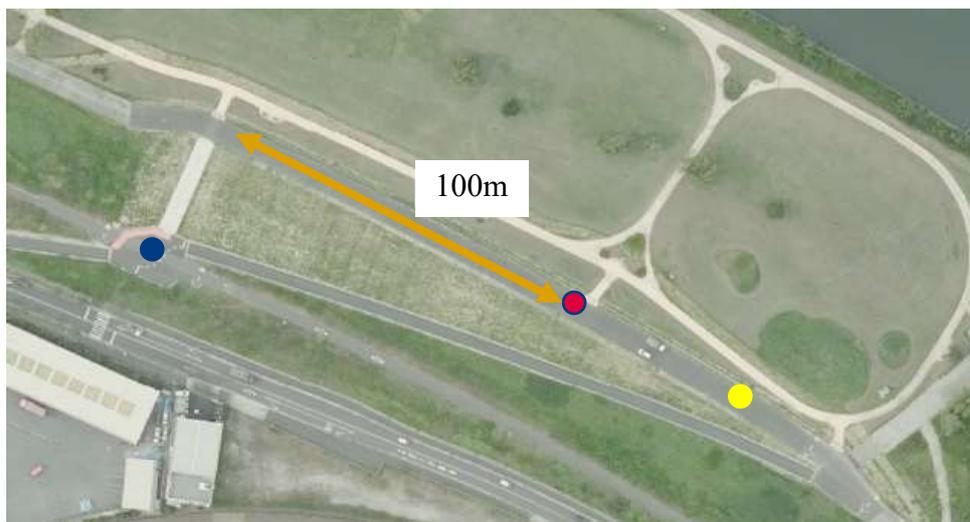


※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.3-15 実証区間位置図(1)

新田地区

[移動基地局天端]

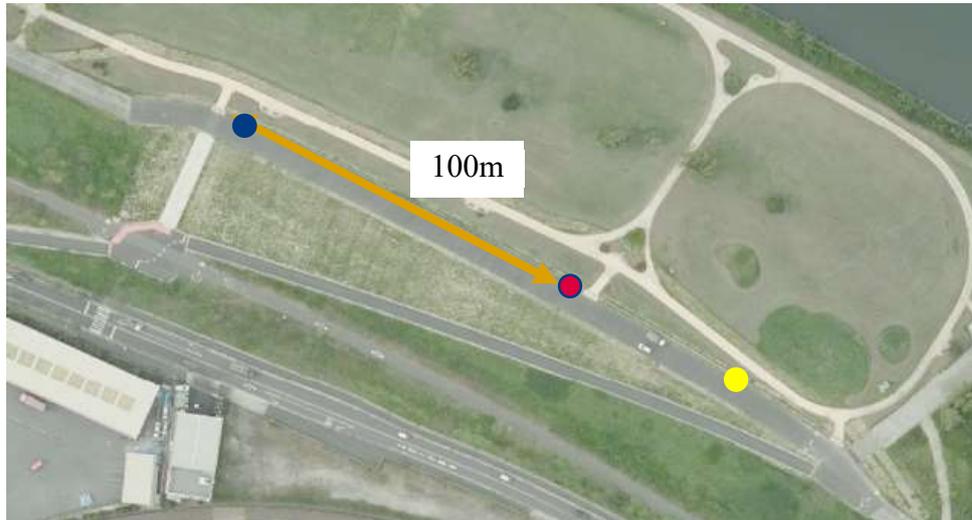


※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.3-16 実証区間位置図(2)

新田地区

[移動基地局河川敷]



※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.3-17 実証区間位置図(3)

カ) タイムスケジュール

河川区域かつ足立区、荒川区、河川財団の占有区域周辺での作業であることから、事前に荒川下流河川事務所岩淵出張所に「河川敷一時使用届」を提出し、了承を得るとともに、各占有者に事前連絡し、適切な手順に従って了承を得ることとした。

表 4.3-7 タイムスケジュール(1)

1月25日	テスト		
項目		開始時間	所要時間
	現地集合・準備	11:00	
	所定位置	12:45	
重機運搬：	施工車搬入車両入場	13:00	0時30分
重機設置：	カメラ・アンテナ再取付(施工車)→試運転		
	カメラ車搬入車両入場	13:30	0時30分
試験：	カメラ・アンテナ再取付(カメラ車)		
	カメラ車試運転開始	14:00	2時00分
	施工車搬出車両入場→作業後退場	16:00	0時30分
	カメラ車搬出車両入場→作業後退場	16:30	0時30分
	解散	17:00	
	合計		4時00分

表 4.3-8 タイムスケジュール(2)

1月26日			
岩淵地区			
	項目	開始時間	所要時間
	現地集合・準備	8:30	0時15分
重機運搬：	施工車搬入車両入場	8:45	0時30分
	カメラ・アンテナ再取付（施工車）		
	カメラ車搬入車両入場	9:15	0時30分
	カメラ・アンテナ再取付（カメラ車）		
	各所調整	9:45	0時55分
試験：	試運転 L=100m	10:40	0時10分
	動作試験（角度0度）	10:50	0時10分
	国交省要望試験90度	11:00	0時10分
	国交省要望試験180度	11:10	0時10分
	国交省要望試験270度	11:20	0時10分
	画像品質試験	11:30	0時10分
重機運搬：	2車輛移動準備・施工車積込	11:40	0時15分
	カメラ車搬出用車両入場	12:00	0時30分
	カメラ車積込		
	カメラ車搬出	12:30	0時15分
	施工車移動		
	施工車移動完了	12:45	0時35分
	各所調整		
試験：	試運転 L=200m	13:20	0時10分
	動作試験（角度0度）	13:30	0時10分
	国交省要望試験90度	13:40	0時10分
	国交省要望試験180度	13:50	0時10分
	国交省要望試験270度	14:00	0時10分
	画像品質試験	14:10	0時10分
重機運搬：	移動3か所目	14:10	0時50分
試験：	試運転 L=400m	15:00	0時10分
	動作試験（角度0度）	15:10	0時10分
	国交省要望試験90度	15:20	0時10分
	国交省要望試験180度	15:30	0時10分
	国交省要望試験270度	15:40	0時10分
	画像品質試験	15:50	0時10分
重機運搬：	機材取り外し	16:00	0時10分
	施工車搬出車両退場	16:10	0時20分
	撤収作業	16:30	0時30分
	解散	17:00	
	合計		8時35分

表 4.3-9 タイムスケジュール(3)

1月27日			
新田地区			
	項目	開始時間	所要時間
	現地集合・準備	8:30	
重機運搬：	施工車搬入車両入場	8:45	0時30分
	カメラ・アンテナ再取付（施工車）		
	カメラ車搬入車両入場	9:15	0時30分
	カメラ・アンテナ再取付（カメラ車）		
	各所調整	9:45	0時55分
試験：	試運転	10:40	0時10分
	動作試験 基地局：天端	10:50	0時10分
	画像品質試験	11:00	0時10分
試験：	基地局場所変更	11:10	1時00分
	試運転	12:10	0時10分
	動作試験【2か所目】基地局：河川敷	12:20	0時10分
	画像品質試験【2か所目】	12:30	0時10分
	従来比較遅延試験	12:40	0時20分
試験：	従来無線機に取替	13:00	0時30分
	試運転	13:30	0時10分
	動作試験【2か所目・従来無線】	13:40	0時10分
	画像品質試験【2か所目・従来無線】	13:50	0時10分
	従来比較遅延試験【従来無線】	14:00	0時20分
重機運搬：	後片づけ	14:20	1時10分
	施工車搬出車両入場→作業後退場	15:30	0時30分
	カメラ車搬出車両入場→作業後退場	16:00	0時30分
	解散	16:30	
	合計		7時45分

3) 検証結果及び考察

a. ドローンからのリアルタイム映像配信

ローカル 5G エリア内の現地作業員 PC 高精細映像（1080i を想定）の伝達を確認した。

ドローンから撮影している動画を現地作業員 PC 及び基地局 PC に伝送した。フライト中に映像伝送が切れた後も機体はコース上を動き続けるため、伝送が切れた箇所を確認するためにその地点まで手動で戻し、伝送が切れる距離を記録した。また、映像の遅延確認のために、現地作業員 PC で確認している作業員と同じ時刻画面を機体搭載カメラにも写して、秒単位での遅延を確認した。



図 4.3-18 ドローンリアルタイム映像配信の状況写真(上:フライト状況、中左:現地作業員 PC 画面、中右:基地局 PC 画面、下左:機体に搭載するローカル 5G 端末、下右:映像遅延の確認状況)

機体のシステム構成については、機体内部の Flight Controller と Onboard Computer 間で機体の位置情報等のデータ通信を行っている。カメラで取得した画像を、Onboard Computer へ取り込み、位置情報を画像 Exif へ付与する仕組みである。

最終的に、Onboard Computer からローカル 5G 端末へデータ通信を行っている。

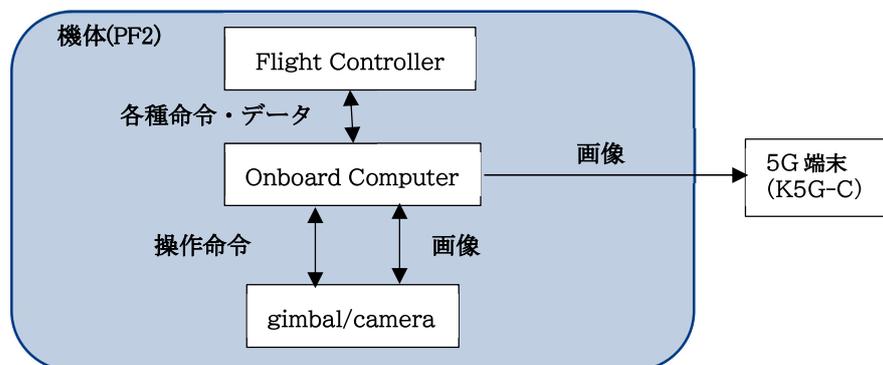


図 4.3-19 ドローンシステム構成

ドローンとローカル 5G 端末については、Onboard Computer から LAN Adapter を介して接続した。

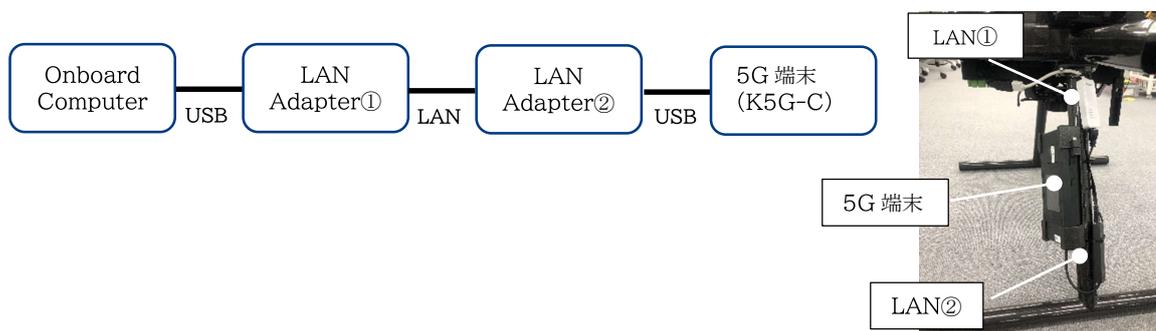


図 4.3-20 5G 端末接続の仕組み

脆弱部として、ローカル 5G 端末との接続部があげられる。

その他の影響も考えられるが、上図に示すラインにおいて、通信リンクの途絶が実証中に数回発生した。傾向としては、初期起動時に発生しやすく、再接続で復帰することが確認できたため、運用方法の検討でカバーが可能であると考えられる。

基地局とドローンの距離が離れた場合に数秒の映像遅延が発生したが、これは映像が高画質による影響であると考えられる。

本実証では、映像再生のために汎用デコーダを使用していたが、環境や実証に合わせた専用のデコーダを開発することにより、映像伝送の遅延が低減できる可能性が考えられる。また、ローカル 5G の電波状況を確認しつつ、それに合わせたビットレートの変更に対応できる開発（仕様）が望ましいことが本実証を通して確認できた。

(ア) 定量検証

まず、基地局からの電波伝搬エリアを確認するため、アンテナ高および角度、ドローンの対地高度ごとの電波到達距離のとりまとめを行った。なお、アンテナ高やドローン対地高度はドローン飛行時の気象条件（風速）を考慮して設定した。基本的には風速が 5m/s を超えた場合には安全に配慮してアンテナ高を 5m に設定するものとし、ドローンを上空飛行はさせず台車に機体を載せて移動させた。風速 5m/s 以内であれば、アンテナ高を 10m に設定した。また、ドローン対地高度が 50m の場合のアンテナ角は 20 度、ドローン対地高度が 100m の場合のアンテナ角は 40 度とした。

表 4.3-10 電波到達限界実証時の諸元一覧

検証パターン	①	②	③	④	⑤	⑥
検証内容	単独基地局での測定	単独基地局での測定	単独基地局での測定	単独基地局での測定	レピータで中継した測定	FWA で中継した基地局での測定
計測日	1月30日	1月30日	1月31日	2月1日	2月1日	2月1日
離陸時刻	13:53:34	14:25:59	13:03:06	11:17:57	13:15:00	15:04:35
着陸時刻	14:06:30	14:37:50	13:15:52	11:30:53		
エリア	新田 D1	新田 D1	岩淵 C	岩淵 A	岩淵 A	岩淵 A
天候	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ
風速(m/s)	2.8	2.0	4.2	3.0	6.5	7.2
アンテナ高(m)	10	10	5	10	5	5
アンテナ角(度)	40	20	0	20	0	0
ドローン対地高度(m)	100	50	15	50	0	0
映像到達距離(m)	500	440	590	570	107	440

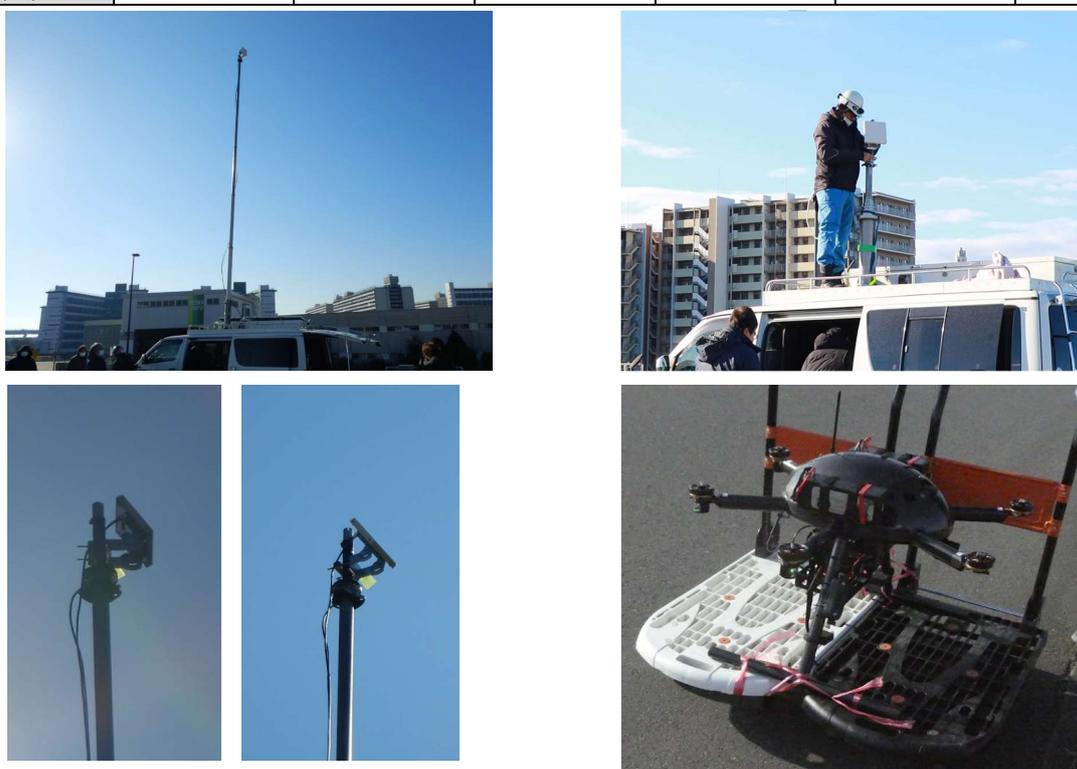


図 4.3-21 定量検証時の状況写真(上左:アンテナ高 10m、上右:アンテナ方向変更作業の様子、下左:アンテナ角度の違いの様子、下右:ドローン対地高度 0m での陸上測定の様子)



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

図 4.3-22 実証①及び実証②における基地局、現地作業員 PC、到達限界距離の位置図

① の実証結果

- ・アンテナ高 10m、アンテナ角 40 度、対地高度 100m で実施した。
- ・基地局からの距離 500m 付近で映像のブレが発生し、その後、映像が停止した。
- ・ドローンに搭載しているローカル 5G 端末では、ドローンが地上付近に位置する時はアンテナ角の影響により 5G エリア外となるためドローンで取得した映像を見ることができない状態であったが、高度を上げると映像を確認することができた。
- ・5G 端末で接続されている現地作業員 PC は途中で映像が停止する状況があったが、これはアンテナ角を上に向けているため、現地作業員 PC も電波が不安定であった可能性が高いと推察する。

② の実証結果

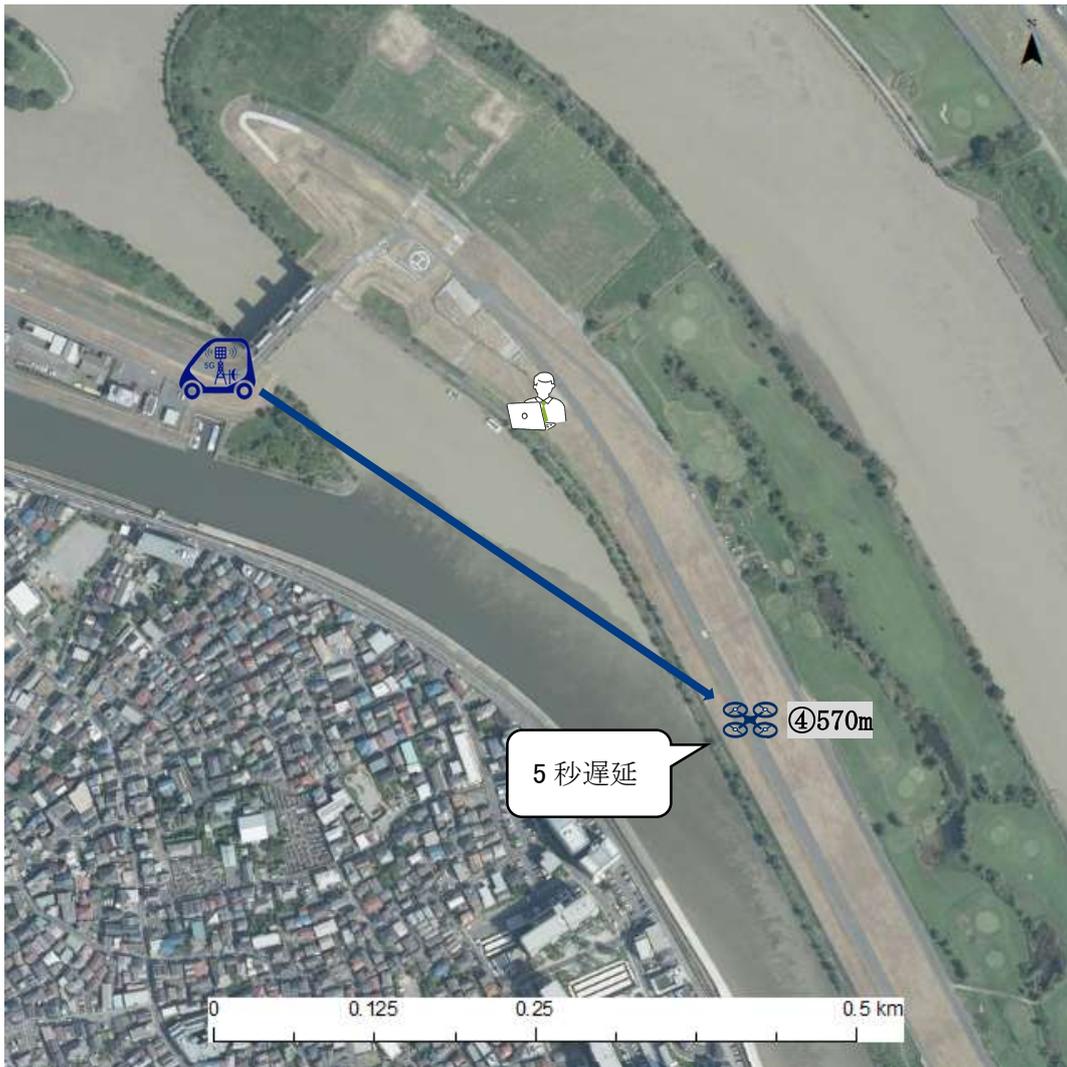
- ・アンテナ高 10m、アンテナ角 20 度、対地高度 50m で実施した。
- ・基地局からの距離 440m 付近で映像が停止した。ドローンの位置を数 m 戻したら映像が再開した。
- ・映像が停止するまでの通信は良好であり、途中で停止することはなかった。



図 4.3-23 実証③における基地局、現地作業員 PC、到達限界距離の位置図

③ の実証結果

- ・一時的風速 4~5m/s が確認されたため、アンテナ高 5m、アンテナ角 0 度、対地高度 15m で実施した。
- ・基地局からの距離 590m 付近で映像のブレが発生し、その後、映像が停止した。
- ・ドローンが基地局から 590m 付近及び 320m 付近まで到達した際、ドローンのコントローラーから旋回指示を送り、旋回の映像が届くまでに概ね 5 秒程度の遅れが確認された。コントローラーからの伝送の遅れも想定し得るため、一概に 5G の遅延とは言い切れないものである。結果として、ほぼリアルタイムの範疇であり、活用に支障は生じないと考えられる。

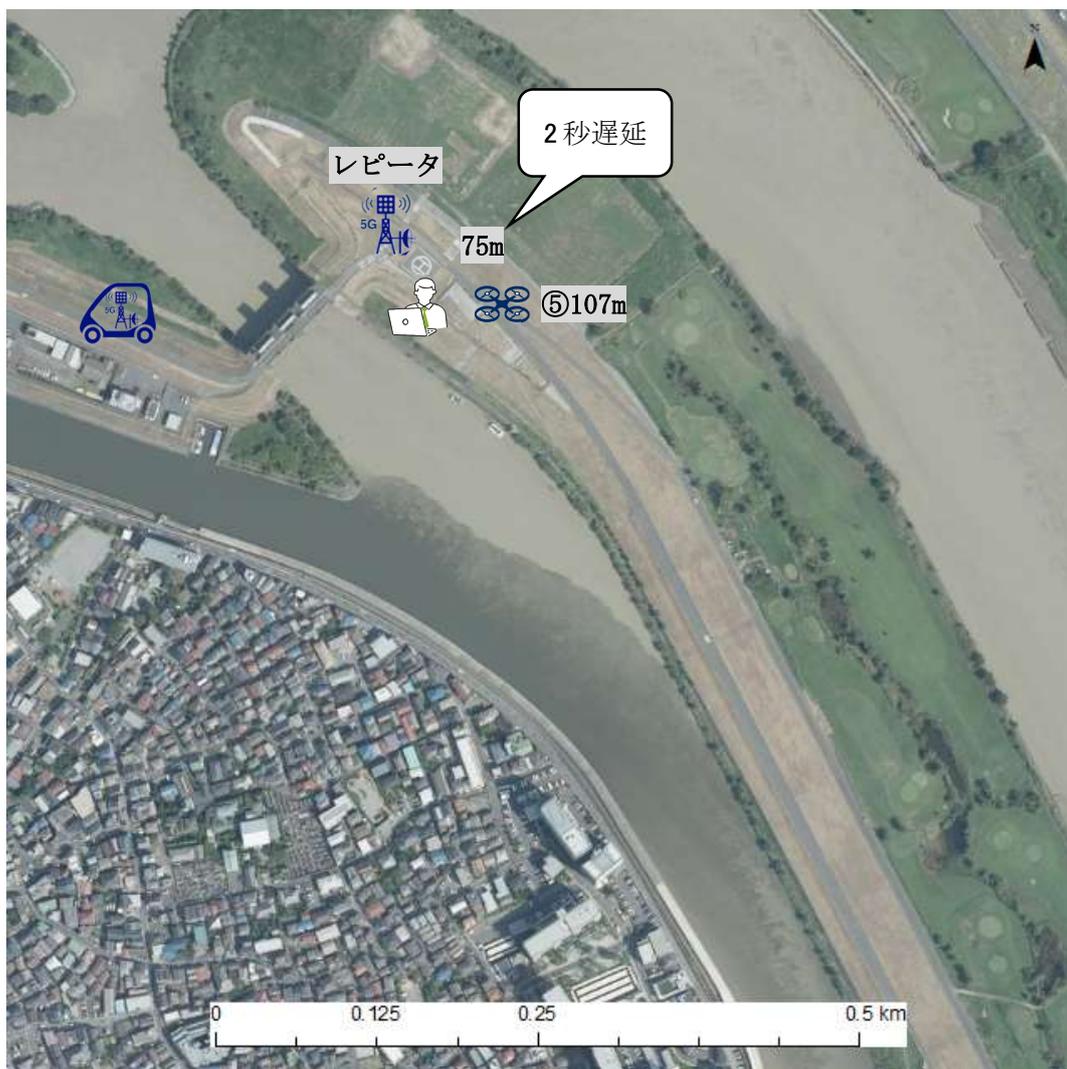


この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

図 4.3-24 実証④における基地局、現地作業員 PC、到達限界距離の位置図

④ の実証結果

- ・アンテナ高 10m、アンテナ角 20 度、対地高度 50m で実施した。
- ・基地局内の基地局 PC では、基地局から約 570m 地点で映像のブレが発生し、その後、映像が停止した。
- ・この付近での映像の遅延は、ドローンのコントローラーから旋回指示を送り、旋回の映像が PC 映像に届くまでに概ね 5 秒程度の遅れが確認できた。

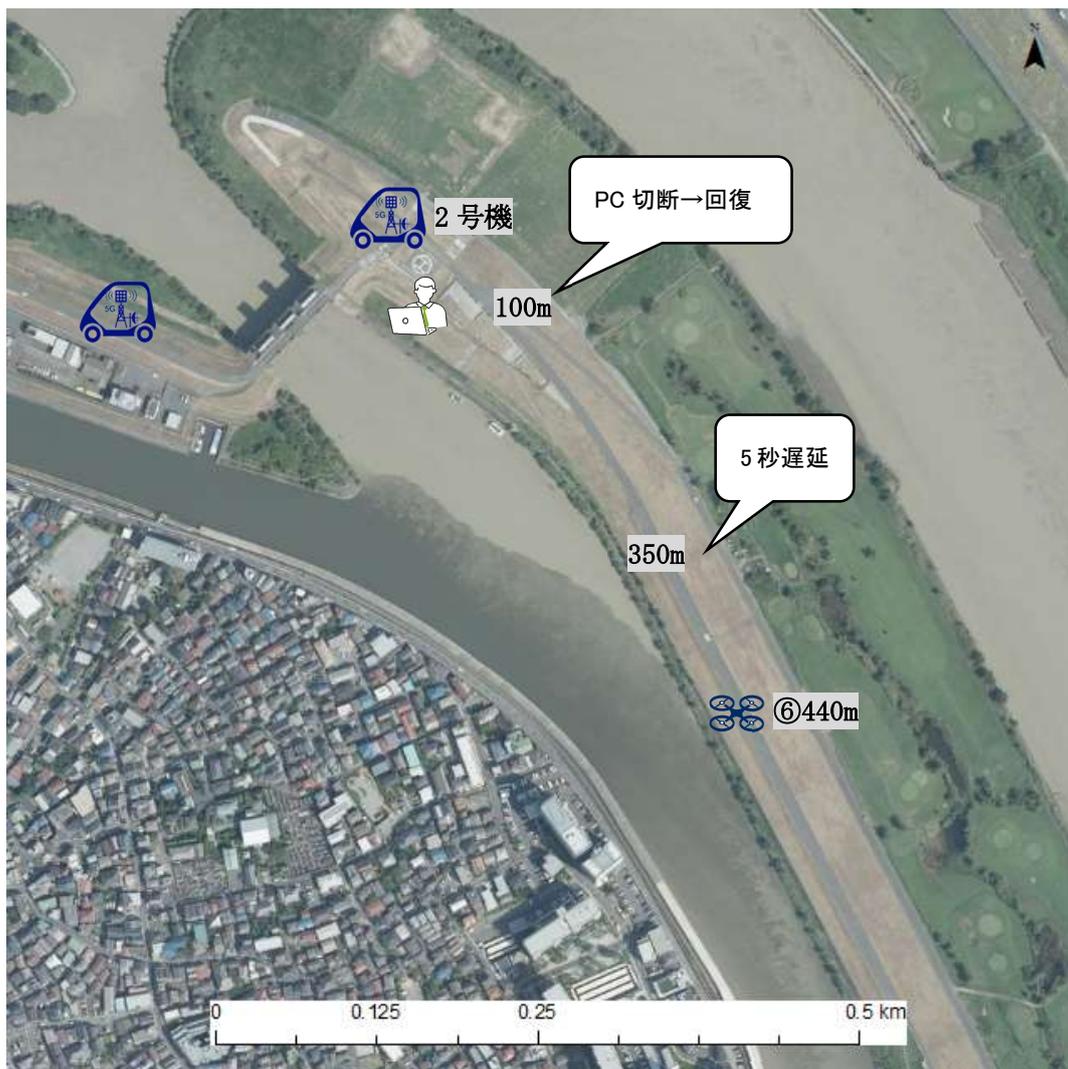


この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

図 4.3-25 実証⑤における基地局、現地作業員 PC、到達限界距離の位置図

⑤ の実証結果

- ・ 一時的に風速 10m/s を超える強風のため、安全を考慮し陸上測定を実施した。ドローンを台車に乗せて下流方向へ移動させながら電波到達限界を確認した。
- ・ アンテナ高 5m、アンテナ角度 0 度、対地高度 0m で実施した。
- ・ 基地局から 63m 地点で、基地局 PC の映像に問題はなかったが、現地作業員 PC の映像は一時的に停止した。現地作業員 PC の映像が回復した後に 75m 地点まで進み、時間のずれを確認した。現地作業員 PC では 2 秒遅れであることを確認した。
- ・ 基地局から 107m 付近で映像のブレが発生し、その後、映像が停止した。レピータで中継した測定は、単独基地局での測定と比較し短い距離であった。



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

図 4.3-26 実証⑥における基地局、現地作業員 PC、到達限界距離の位置図

⑥ の実証結果

- ・ 一時的に風速 10m/s を超える強風のため、安全を考慮し陸上測定を実施した。ドローンを台車に乗せて下流方向へ移動させながら電波到達限界を確認した。
- ・ アンテナ高 5m、アンテナ角度 0 度、対地高度 0m で実施した。
- ・ 基地局から 100m 地点で現地作業員 PC の映像が切断、基地局 PC の映像に乱れが発生したが、すぐに回復した。200m 地点で一時的に現地作業員 PC の映像が乱れた。回復後、350m 地点まで進み、そこでは 5 秒の遅延が確認できた。400m 地点までスムーズにいき、基地局 PC では時々映像が乱れた。440m では現地作業員 PC が切断し、基地局 PC の映像は止まっていることを確認した。420m 地点まで戻ると映像が復活した。

実証結果をふまえ、対地高度ごとの映像伝送のエリアを以下に図示する。

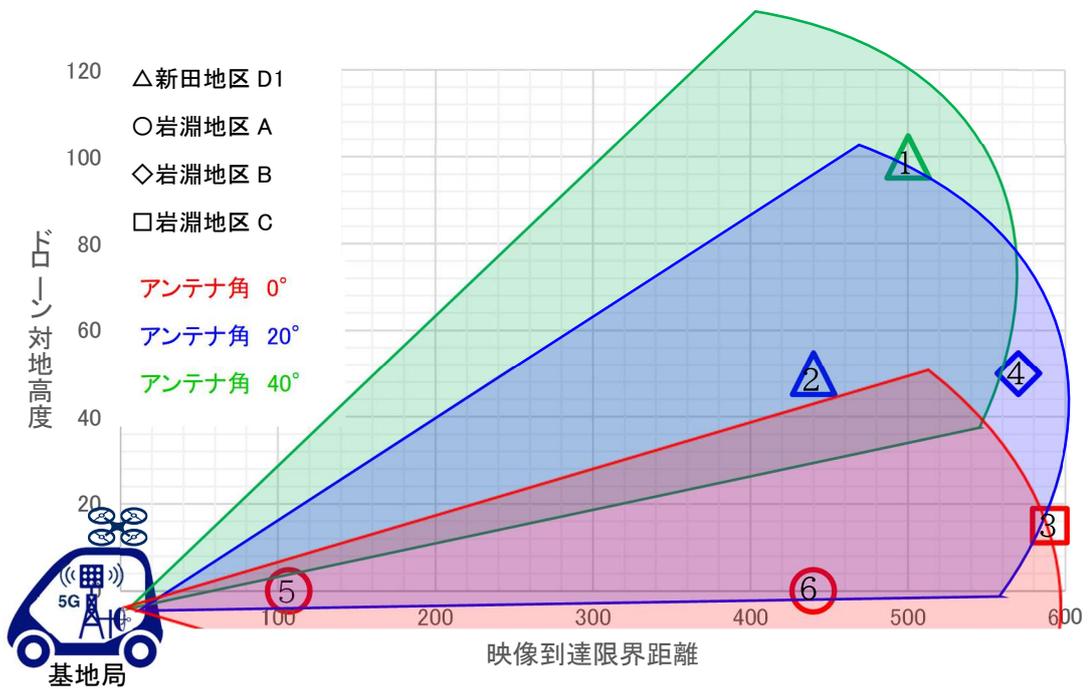
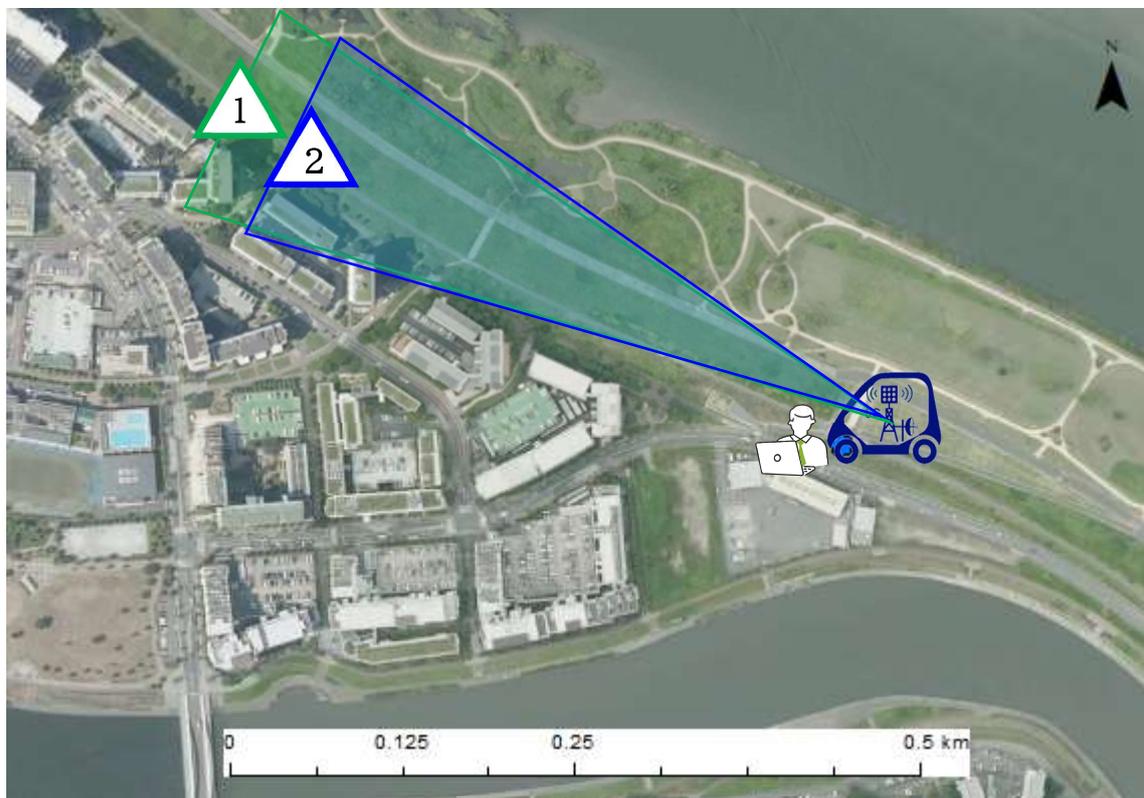


図 4.3-27 ドローン対地高度に対する映像到達限界距離とアンテナ概略図



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

図 4.3-28 新田地区における基地局、現地作業員 PC、到達限界距離の位置図



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

図 4.3-29 岩淵地区における基地局、現地作業員 PC、到達限界距離の位置図

本実証では風の影響により、対地高度を設定し、それに合わせてアンテナ角度を設定した。

実証②と実証④を比較すると、高度 50m、アンテナ角 20° と同じ設定にしているが、到達限界距離が岩淵地区 B では 570m に対し、新田地区では 440m であった。地形の特徴として、新田地区では片側にマンションなどの住宅が多く隣接していることに対し、岩淵地区 B では河川を渡って電波を照射しているが周囲は開けている。一概に地形が原因とはいえないが、2 つの実証の大きな違いとしては地形の特徴に違いがあるということが見受けられる。

実証①では、ドローンが地上に近い高度の時は、映像が受信できなかったが、高度を上げると映像を確認することができた。一方で、アンテナ角 0° の実証③、実証⑤、実証⑥に関しては対地高度 20m 及び地上での計測の場合でも最大 590m まで映像を確認することができた。

同じ実証地点である実証①と実証②を比較すると、アンテナ角が 20° の実証②では 440m、アンテナ角が 40° の実証①では 500m となり、アンテナ角 40° の方が遠くまで進むことができた。図 4.3-27 の概略図で確認できるように、アンテナから照射される電波は直線に進むため、角度を上げると水平距離の網羅できる範囲と下側の網羅できる範囲が少なくなる。そのため低い位置では伝送ができなかった地点でも高度を上げると映像がつながる結果となった。

新田地区の事前に簡易シミュレーション結果と比較すると、300m 程度までがカバーエリア想定されている。本検証内のレピータで中継した測定以外の単独基地局での測定及び FWA で中継した基地局での測定における映像到達限界距離 300m は超えた。ただし、場所や高度、アンテナ条件によって、映像到達限界距離は 440m~570m と 100m 以上も違いが発生した。

また、今回はローカル 5G エリア内にてドローンを用いた検証を検討してきたが、天候状況によりドローンをフライトさせることができない場合がある。例えば本実証時においても、強風の影響を受け、フライトをすることが困難であったが、雨天や降雪時においてもフライトが制限されることが予想される。悪天候の際にドローンを利用する場合は、全天候型ドローンを採用するなどの対策を講じる必要がある。

以上より、映像到達限界範囲はアンテナ角度や向きによって大きく左右することが分かった。ローカル 5G は指向性があると考えられるため、災害時に利活用する場合は、対象物の方向や位置を確認し、アンテナ角度や向きを選定することが重要であることが本実証を通じて確認できた。

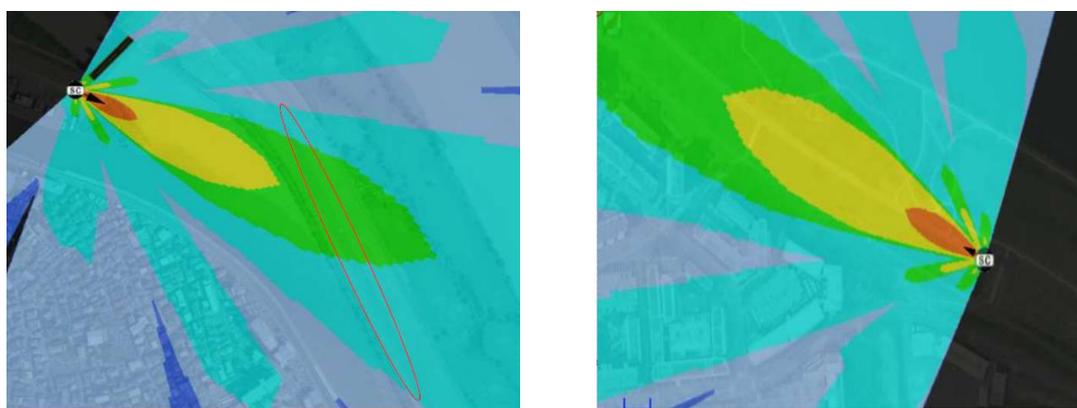


図 4.3-30 電波到達簡易シミュレーション(上段:岩淵地区、下段:新田地区)

(イ) 定性検証

従来手法 (LTE) で実施した場合と比較して、鮮明な映像を見ることができるか作業員が目視確認を行った。

2月1日に実施した本検証については、一時的に風速 10m/s を超える強風のため、安全を考慮し陸上測定を実施した。ローカル 5G 端末を搭載したドローン及び LTE 端末を搭載したドローンをそれぞれ台車に乗せて図 4.3-31 左上のように移動させながら電波到達限界を確認した。

映像に関しては、LTE よりもローカル 5G の方が鮮明でスムーズに動いていることが確認できた。風の影響で揺れている植生が確認できるほどのフレームレートの高いデータの伝送が可能となっていた。さらに、図 4.3-31 右上のように各ドローンに搭載しているカメラに同じ時刻画面を表示させ、映像の遅延を秒単位で確認した。100m 地点では、ローカル 5G : 0.5 秒、LTE : 1 秒の遅延が発生し、350m 地点では、ローカル 5G : 5 秒、LTE : 1 秒の遅延が発生した。これは、基地局に近い地点では、ローカル 5G の方では遅延が少なくよりリアルタイムに近い、鮮明な映像が確認できたが、基地局から離れた場所ではローカル 5G の方が 5 秒程度遅延した映像を確認できた。原因として、LTE は広範囲に整備されており、あらゆる位置から通信が同程度可能になっている。一方で、ローカル 5G は設置した環境内で電波の強度が変わり、基地局から離れると受信状態に影響が生じると考えられる。しかし、実際に災害時の利用を想定した場合、リアルタイムの観点からは微々たる差であり、迅速な情報伝達においての支障は生じないことが確認できた。



図 4.3-31 定性検証時の状況写真(左上:陸上測定の様子、右上:受信状況の画面比較
左下:LTE 受信画面の録画、右下:ローカル 5G 受信画面の録画)



この図面は国土地理院発行の電子国土基本図を背景画像に使用して作成しました

図 4.3-32 岩淵地区における映像比較検証の位置図

(ウ)取得映像の評価

映像の鮮明さについては、危機管理用途の映像として十分な映像かどうか、国土交通省の関係者へのヒアリングによって取得映像を確認した。

ローカル 5G エリア内の作業員パソコンに高精細映像（解像度フル HD1080i を想定）の伝達を確認した。映像の鮮明さについては、危機管理用途の映像として十分な映像かどうか、国土交通省、整備局、河川事務所等の関係者によって段階的指標※等により取得映像を評価した。

2月9日に実施した視察会では、関係者からは鮮明で状況把握しやすいという意見が多くあった。到達限界距離を超えると映像が停止もしくは切断されるが、範囲内であれば、「確実に状況把握でき、対応指示が可能な精細度である」という評価を得られ、段階的指標では A に該当した。

※段階的指標

- A) 確実に状況把握でき、対応指示が可能な精細度である
- B) 一部に不鮮明な部分があるが、状況把握や対応指示を行える精細度である
- C) 概括的に状況把握できるが、現地作業員等からの情報収集等も必要とする精細度である
- D) 現地の状況が把握できない精細度である



図 4.3-33 2月9日視察会の様子(上:ローカル 5G 端末 PC でのドローン映像、下:視察の状況)



図 4.3-34 国交省職員への機能説明の様子(上:説明の状況、下:基地局 PC でのドローン映像)

b. ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成

(ア)クラウドサーバーを管理する作業員が画像の伝達を確認する。【定量】

ドローンから撮影された画像がリアルタイムでクラウドサーバーにアップロードされるか、飛行テストを経て確認した。その結果、ドローンが飛行し撮影を始めた後、3D モデル作成のためのプロジェクトを立ち上げ、画像がアップロードされていることを確認できた。

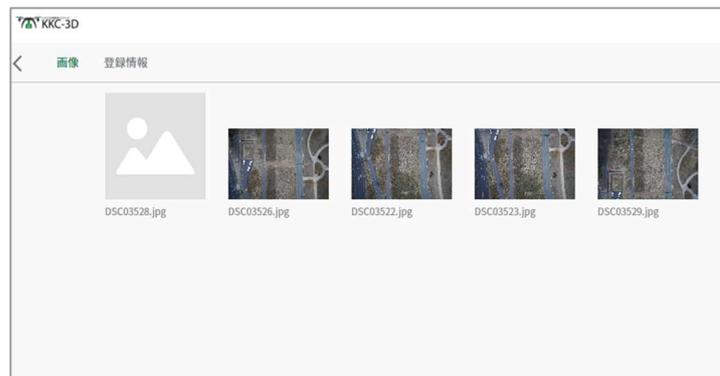


図 4.3-35 KKC-3D における画像アップロード状況

(イ) ドローンの画像取得時間とクラウドサーバーでの画像の受信時間を確認する。【定量】

飛行するドローンより撮影した画像をリアルタイムで解析システム（KKC-3D）に転送する画像伝送試験について、以下表に示す諸元にて計6回実施した。

表 4.3-11 画像伝送試験概要

No	1	2	3	4	5	6
実施日	1月31日	1月31日	1月31日	1月31日	2月1日	2月1日
飛行開始時間	13:42	14:49	16:13	16:46	9:34	10:20
撮影エリア	岩淵	岩淵	新田	新田	岩淵	岩淵
風速 (m/s)	1.1	-	2.7	-	0.5	1.3
対地高度	50	100	100	100	50	100
アンテナ高(m)	5	5	5	5	10	10
アンテナ角(°)	0	40	40	40	20	40
オーバーラップ (%)	80	80	80	80	80	80
サイドラップ (%)	60	70	85	85	65	85

3D モデルの生成は、全ての画像が解析システムのクラウド上にアップロードされた時点で開始される。以下表に各試験の結果を示す。

表 4.3-12 画像伝送試験の結果

No	実施日	画像アップロード開始時間	画像アップロード完了時間	撮影枚数	解析成功可否
1	1月31日	13:47:57	2:02:09	76	成功
2	1月31日	14:49:40	15:04:52	45	電波途切れ
3	1月31日	16:15:16	16:44:55	112	成功
4	1月31日	16:48:23	16:48:50	4	枚数不足
5	2月1日	9:40:08	9:53:59	47	成功
6	2月1日	10:24:00	10:42:05	27	成功

撮影画像のアップロードが完了し、3次元モデルの生成まで成功したケースは4回、一部失敗したケース2回となった。

No.2 のケースは、飛行時にローカル 5G の電波が一時的に途切れたことが確認されており、その影響と考えられる。電波が切れた場合、機体側ではカメラのシャッターが継続し撮影完了の信号をクラウドに送信できない等の信号の不具合が発生することが確認された。この不具合により、解析が実施されなかった。

No.4 のケースは、試験的に基地局から近い範囲でドローン飛行高度を 100m とさせたケー

スを確認したため、画像は4枚のみアップロードされる結果であった。

KKC-3Dでは、解析処理には5枚以上の画像が必要となるため、規定枚数に足りず処理が実施されなかった。

各試験における、撮影画像のアップロードにかかった時間を下表に示す。

表 4.3-13 各試験における画像アップロード時間の要約

No	実施日	撮影枚数	アップロード時間	1枚あたり平均アップロード時間	平均画像容量
1	1月31日	76	14分12秒	00分11秒	13.6MB
2	1月31日	45	15分12秒	00分20秒	13.7MB
3	1月31日	112	29分39秒	00分16秒	12.1MB
4	1月31日	4	00分27秒	00分07秒	11.8MB
5	2月1日	47	13分51秒	00分18秒	14.2MB
6	2月1日	27	18分05秒	00分40秒	14.3MB

各試験において、1枚あたりのアップロード時間は10秒～40秒程度であった。

No.1～No.5までは、7秒～20秒でアップロードが完了している。No.6は、基地局からドローン離着陸場所まで330mの離隔があり、電波影響による伝送不備によりアップロード時間が遅延した可能性が想定される。

(ウ)解析システムによる 3D モデルの自動生成結果について確認した。

本実証においては、ドローンによって空中から撮影された写真をもとに、SfM 処理によって 3D モデルを作成した。SfM とは、Structure from Motion の略称で、複数の写真から、撮影時のカメラの位置姿勢を復元する技術である。写真上の特徴点を抽出し、それらの対応点を探索した上で、バンドル法と呼ばれる写真測量の最適化計算を行うことで、複数のカメラの位置姿勢を同時に計算することができる。SfM 処理によって特定された撮影対象の対応点から、高密度点群の生成を行い、現況の 3D モデルを作成することができる。

SfM 処理を実施するための撮影の注意点として、写真が少ない場合や、写真同士が離れすぎていて十分なラップ率がとれていない場合は、対応点の探索ができず、位置姿勢を求めることはできない。また、水面や建物の壁などの特徴がない場合や、風が吹いているときの樹木の枝葉などの動いているものが写真に写り込んでいる場合は、一意に特徴点が求まらず、計算が困難となる。

3D モデルの生成に成功した No. 1、3、5、6 について、生成されたモデルを以下の図に示す。

No1 の 3D モデルを見ると、土手及び堤防の高低差は表現されている。一方で、奥部のゴルフネットは倒れこんでおり、地物として適切に表現されていないことが分かる。

No. 3 においては空をモデル化している部分が見られる（図下部）。アップロードされている画像を確認すると、飛行直後の、河川から上空を撮影しているものが混入していた。これにより、SfM 処理の画像マッチングにおいて上空部がマッチングしてしまう現象（スカイノイズという）が発生し空がモデル化され、かつ位置関係が正しく特定されなかったため、下部にモデルが生成されたと考えられる。そうしたモデルを活用する際は、当該箇所を取り除く処理を実施する必要がある。

No. 5、No. 6 については No. 1 同様に土手・堤防の高低差が表現されているが、モデルの端部において生成されていない部分が確認できる。当該箇所は、撮影時のラップ率が確保されず、SfM 処理において画像がマッチングされなかったことが想定される。ラップ率が確保されなかった原因として、想定した高度より高い箇所から撮影した、ローカル 5G エリアから外れたため、画像の伝送が一部失敗した影響等が考えられる。

それぞれの 3D モデルに共通する事象として、実環境においては道路方向に高低差が見られないにもかかわらず、生成されたモデルは高さ方向に湾曲した形で出力されている。これは、撮影のコースが道路方向に往復する形になり、大局的な線形を維持できなかったことによると考えられる。道路方向と垂直に撮影コースを設定することで、3D モデルの湾曲を解消できる可能性がある。

対象範囲の 3D モデルを生成するための計測時の留意点として、エリア内の上下左右端部の電波確認を実施した上で垂直写真撮影を実施する、端部で画像伝送漏れが生じることも考慮し、飛行コースを対象範囲からもう 1 コース分のバッファを持って設定する等があげられる。

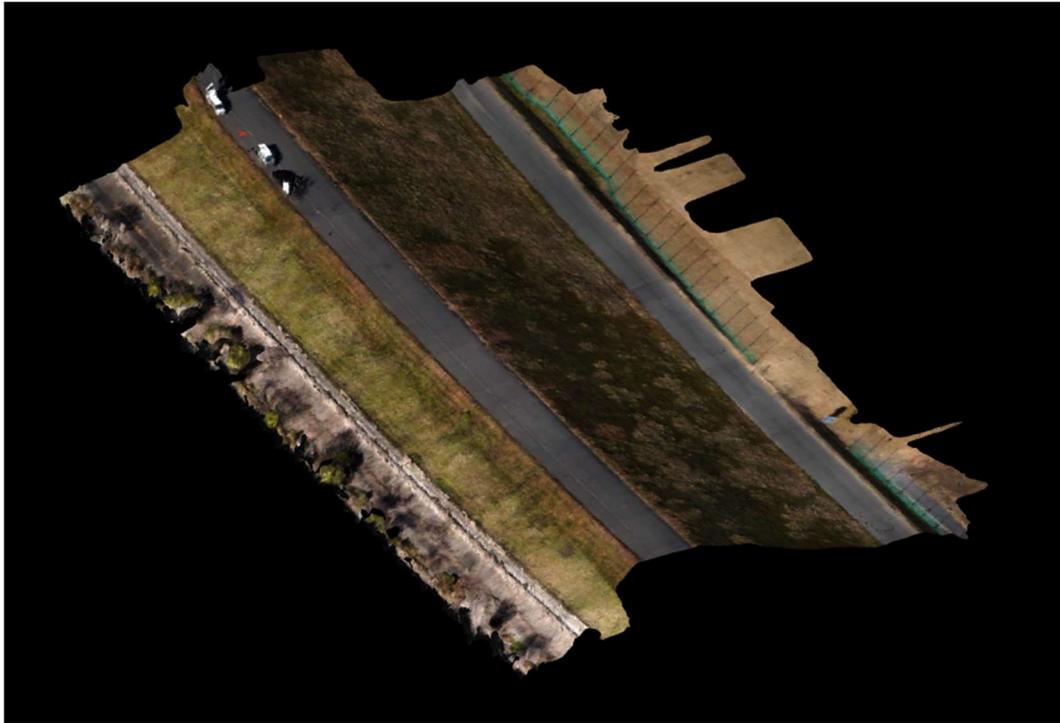


図 4.3-36 No1 のモデル生成結果

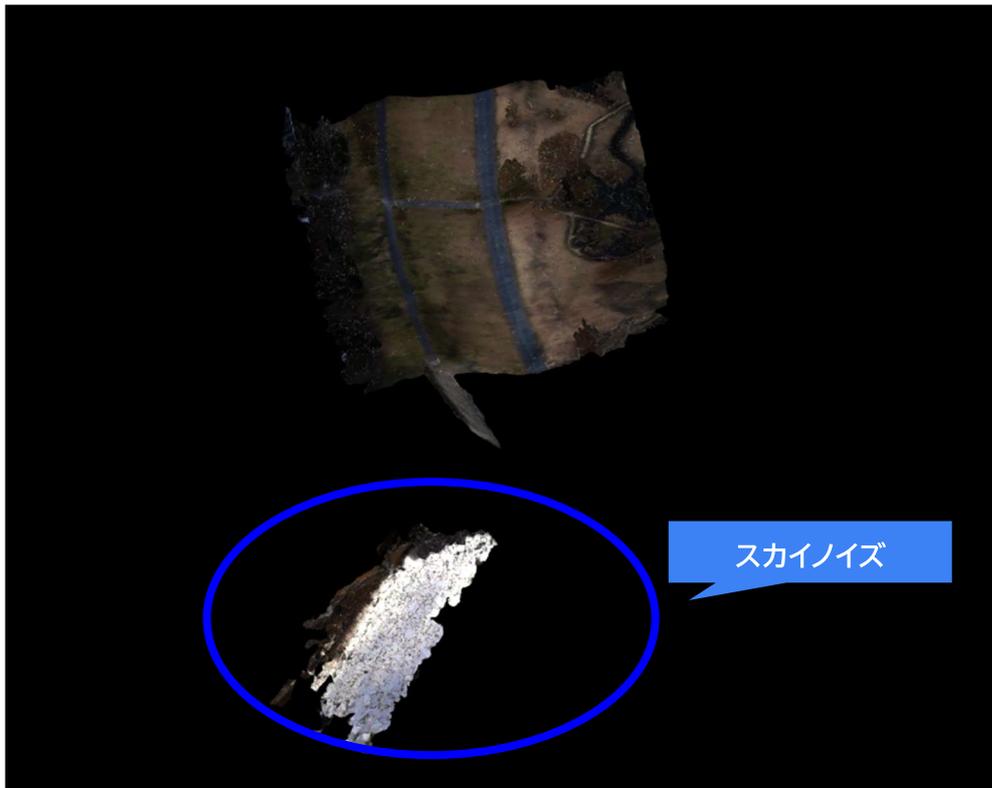


図 4.3-37 No3 のモデル生成結果

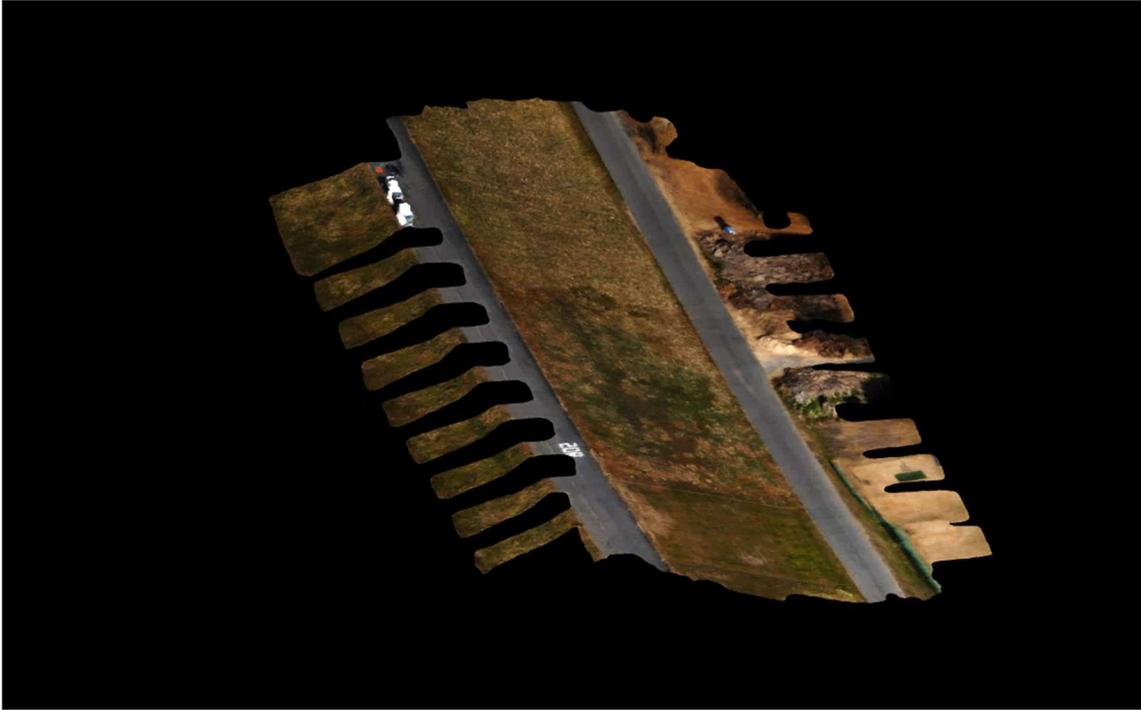


図 4.3-38 No5 のモデル生成結果

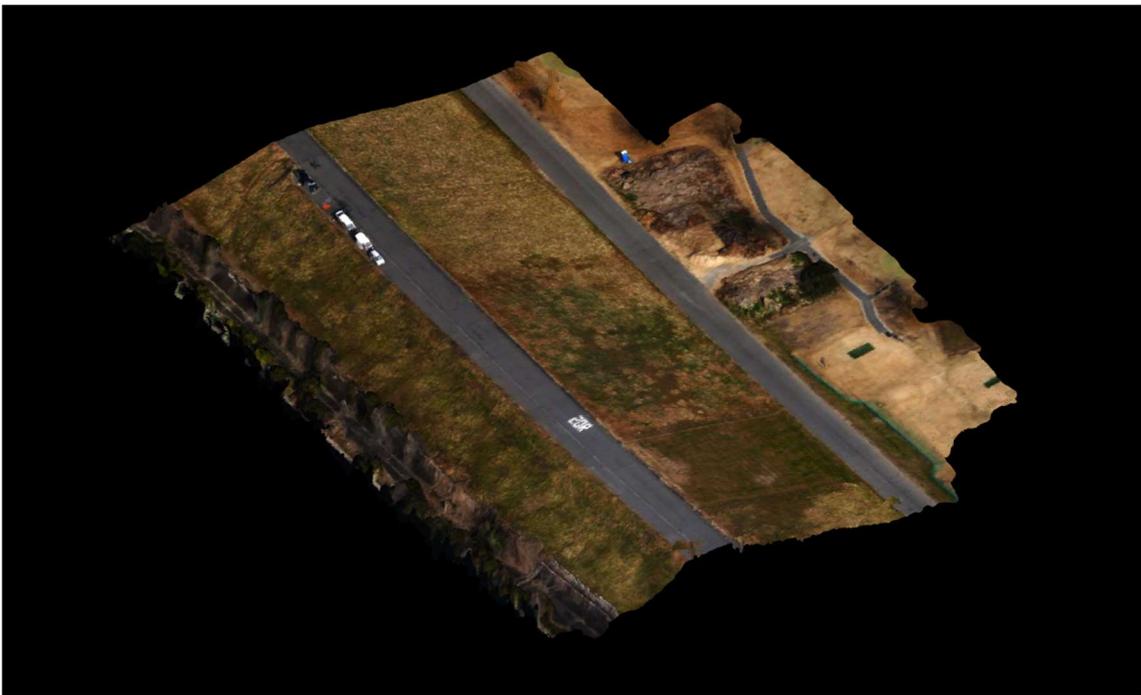


図 4.3-39 No6 のモデル生成結果

三次元地形データ (SfM) 作成に要した時間は以下の通りである。災害規模による撮影枚数によるが、概ね 30~40 分で処理が完了する。

表 4.3-14 各試験における三次元地形データ処理時間

No	実施日	撮影枚数 (枚)	平均画像 容量	三次元地形 データ作成時間 (分)
1	1月31日	76	13.6MB	97※
2	1月31日	45	13.7MB	—
3	1月31日	112	12.1MB	38
4	1月31日	4	11.8MB	—
5	2月1日	47	14.2MB	21
6	2月1日	27	14.3MB	13

※三次元データ作成時に一時電波が途切れたことにより開始遅延が発生

(エ)3D モデルから、自動施工における設計データを生成するツールについて確認した。

本実証においては、SfM 処理によって作成した 3D モデルから、自動施工における設計データを生成するツールについて動作を確認した。本ツールは、3次元ビューア FusionSpace 上で動作する。使用手順を、以下の図および表に示す。

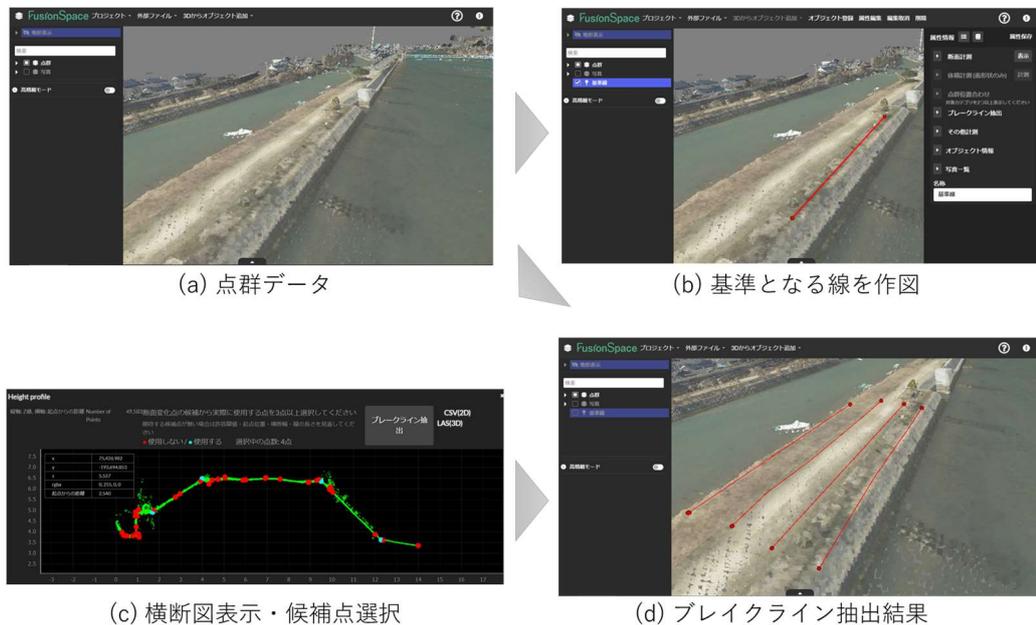


図 4.3-40 ブレイクライン抽出手順のイメージ

表 4.3-15 ブレイクライン抽出手順

(各手順において自動で処理できる部分と手動処理が必要な部分は○をつける形で明記)

No.	処理名	自動	手動	処理内容・備考
1	ビューア上で点群表示	○		図(a)に対応
2	基準となる線の作図		○	図(b)に対応
3	パラメータ設定		○	横断線の間隔、横断線の長さ等を設定する
4	点群の回転	○		後段の処理のため、2の基準線が座標軸に沿うように、点群全体を回転する
5	等間隔に横断線を生成	○		2の基準線に沿って等間隔に横断線を生成する
6	候補点抽出	○		横断線図上で、候補点を自動的に抽出する
7	断面図・候補点表示	○		図(c)に対応。断面図上に候補点を表示し、使用する点
8	候補点の選択		○	を選択する
9	変化点追跡	○		8で選択した点を、基準線方向に追跡し、ブレイクラインのベクタデータを生成する
10	ブレイクライン表示		○	図(d)に対応
11	データエクスポート		○	10で表示した結果をエクスポートする

図の(a)のような点群データに対して、まず(b)のように基準となる線を手動で作図する。「ブレイクライン抽出」ボタンを押すことで、自動的に(c)のように横断面図(作図した線に対して直角となる方向に点群を断面表示した図)が表示され、変化点の候補が表示される。この候補から、実際に使用したい点を手動で選択する。その後、断面図ウインドウの「ブレイクライン抽出」ボタンを押すことで、自動処理によってブレイクラインが抽出され、(d)のような結果が生成される。この結果はベクタデータとしてエクスポートが可能であることから、CADソフトやBIM/CIMソフトで扱うことができるデータ形式への変換が可能である。

本事業では、3次元ビューア FusionSpace 上でブレイクライン抽出機能が使用できるよう開発を行っている。このうち、国際航業株式会社が既に保有している技術・システムとしては、ブレイクライン自動抽出技術、および3次元ビューア FusionSpace である。本事業においては、この技術のシステム化、および FusionSpace への組み込みを実施した。

(オ)設計用データの作成

作成された断面形状データ、ブレイクラインデータより、堤防法肩や法尻などの構造点、地形変化点を抽出し、BIM/CIM 対応の設計用三次元モデルデータの作成を行った。また、作成された三次元モデルにドローンで撮影した写真から取得した色情報を付与することで、より現地の状況を把握することが可能となる。作成した設計用データは建機の ICT 施工データとして提供される。

ドローンによる画像撮影から設計用データの作成までに要する時間は従来手法に対して約25%であった。ここで比較する従来手法は VRS 等により現地を測量し、データを解析、CADソフトにより図面を作成する作業を想定している。

ここでは、現況地形の取得や三次元地形データ作成においては、枚数の最も多いケースである画像生成試験の No.3 (撮影枚数: 112 枚) をテストケースとして、従来手法と本実証の手法における処理時間を比較した。

表 4.3-16 設計データ作成手順(単位:分)

	従来手法	本実証の手法
現況地形の取得	210 ※1	31 ※3
三次元地形データ作成		38 ※3
設計データ作成	270 ※2	45
合計	480 (約 8 時間)	114 (約 2 時間)
短縮率 (本実証/従来手法)		25%

※1: 現地における被災箇所の VRS による起終点位置取得、延長測定、堤防天端幅・法勾配、被災(決壊や沈下)による高低差等を現地で簡易計測し、概括的な被災形状を取得するまでに要すると想定される時間。被災延長は 100m 相当とする。概ね3~4時間を要することが想定されるため、210分として設定。

※2: 測量データを用いて CAD ソフトで施工用設計データの作図を実施するのに要すると想定される時間。概ね 4~5 時間を要することが想定されるため、270分として設定。

※3: 枚数の最も多い No.3(撮影枚数:112 枚)をケースとした時間

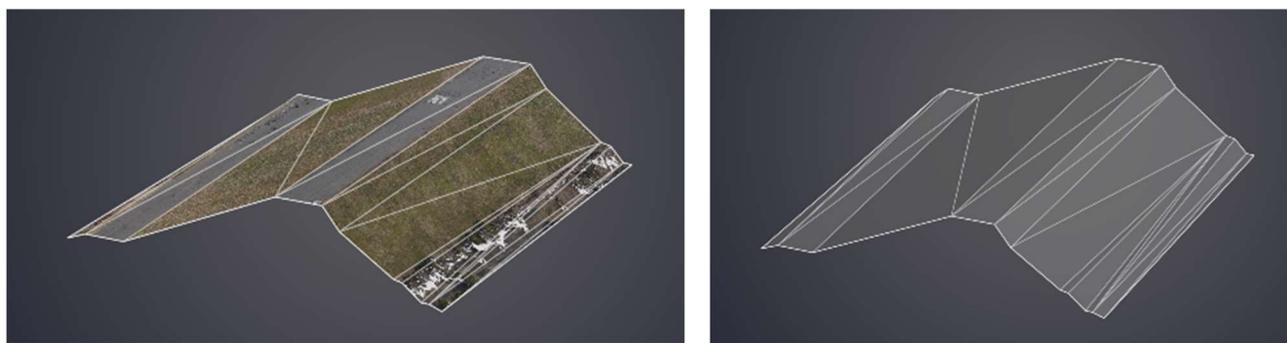


図 4.3-41 作成した三次元モデルデータ

(カ)測定ツール等を使用し、端末の受信レベルと最大スループットを測定し、ローカル 5G 区
間でのスループット目標 UL45Mbps を満たすか確認した。【定量】

基地局から 330m の位置でスループットを計測した結果、UL27Mbps という結果になっ
た。これは、距離による減衰とフェージングに加え、ドローンに搭載した端末の向き(水平/垂
直)およびドローン機体部分による反射等環境変動によって若干低下したものと推察される。

また、基地局から 50m の位置では UL48Mbps となり、目標を上回った。

なお、本実証の場所である赤羽岩淵地区は公共の電波が弱く、3G の箇所もあったことから
アップロードに時間を要した。

計測1の結果 ※赤枠がスループット計測値

災害情報収集 PC 側の結果

iperf -s -p 50001 -u -i1

 Server listening on UDP port 50001
 Receiving 1470 byte datagrams
 UDP buffer size: 208 KByte (default)

```
[ 3] local 192.168.101.100 port 50001 connected with 192.168.250.3 port 48314
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth      Jitter  Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0- 1.0 sec  3.25 MBytes 27.2 Mbits/sec 1.779 ms 5612/ 8044 (70%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec  3.10 MBytes 26.0 Mbits/sec 1.241 ms 20542/22864 (90%)
[ 3] 2.0- 3.0 sec  2.93 MBytes 24.6 Mbits/sec 0.564 ms 19701/21894 (90%)
[ 3] 3.0- 4.0 sec  3.15 MBytes 26.4 Mbits/sec 1.718 ms 24433/26793 (91%)
[ 3] 4.0- 5.0 sec  3.19 MBytes 26.8 Mbits/sec 0.622 ms 21922/24315 (90%)
[ 3] 5.0- 6.0 sec  3.13 MBytes 26.3 Mbits/sec 2.335 ms 21948/24294 (90%)
[ 3] 6.0- 7.0 sec  3.09 MBytes 26.0 Mbits/sec 0.542 ms 20813/23130 (90%)
[ 3] 7.0- 8.0 sec  3.18 MBytes 26.7 Mbits/sec 1.432 ms 23074/25456 (91%)
[ 3] 8.0- 9.0 sec  3.19 MBytes 26.8 Mbits/sec 1.583 ms 21910/24301 (90%)
[ 3] 9.0-10.0 sec  3.10 MBytes 26.0 Mbits/sec 0.586 ms 20735/23057 (90%)
[ 3] 0.0-10.8 sec 33.5 MBytes 26.1 Mbits/sec 0.531 ms 2147216112/2147241232 (1e+02%)
read failed: Connection refused
[ 4] local 192.168.101.100 port 50001 connected with 192.168.250.3 port 58543
[ 4] 0.0- 1.0 sec  3.11 MBytes 26.1 Mbits/sec 3.174 ms 4959/ 7290 (68%)
[ 4] 1.0- 2.0 sec  2.27 MBytes 19.1 Mbits/sec 0.830 ms 13986/15688 (89%)
[ 4] 2.0- 3.0 sec  2.75 MBytes 23.1 Mbits/sec 2.250 ms 28121/30184 (93%)
[ 4] 3.0- 4.0 sec  3.15 MBytes 26.4 Mbits/sec 0.602 ms 23233/25591 (91%)
[ 4] 4.0- 5.0 sec  3.15 MBytes 26.4 Mbits/sec 0.545 ms 21966/24324 (90%)
[ 4] 5.0- 6.0 sec  3.17 MBytes 26.6 Mbits/sec 0.533 ms 22032/24403 (90%)
[ 4] 6.0- 7.0 sec  3.16 MBytes 26.5 Mbits/sec 0.650 ms 21902/24271 (90%)
[ 4] 7.0- 8.0 sec  3.22 MBytes 27.0 Mbits/sec 0.552 ms 21904/24316 (90%)
[ 4] 8.0- 9.0 sec  3.20 MBytes 26.8 Mbits/sec 1.192 ms 21862/24258 (90%)
[ 4] 9.0-10.0 sec  3.17 MBytes 26.6 Mbits/sec 0.562 ms 21872/24246 (90%)
[ 4] 0.0-10.7 sec 32.6 MBytes 25.5 Mbits/sec 2.873 ms 2147216585/2147241037 (1e+02%)
read failed: Connection refused
[ 3] local 192.168.101.100 port 50001 connected with 192.168.250.3 port 53204
[ 3] 0.0- 1.0 sec  2.90 MBytes 24.3 Mbits/sec 2.194 ms 3807/ 5981 (64%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec  2.93 MBytes 24.6 Mbits/sec 1.395 ms 22218/24411 (91%)
[ 3] 2.0- 3.0 sec  2.87 MBytes 24.1 Mbits/sec 0.788 ms 20895/23046 (91%)
[ 3] 3.0- 4.0 sec  2.91 MBytes 24.4 Mbits/sec 1.643 ms 23327/25506 (91%)
[ 3] 4.0- 5.0 sec  3.03 MBytes 25.4 Mbits/sec 0.567 ms 22084/24353 (91%)
[ 3] 5.0- 6.0 sec  3.15 MBytes 26.4 Mbits/sec 1.379 ms 23153/25513 (91%)
[ 3] 5.0000-6.0000 sec 6 datagrams received out-of-order
[ 3] 6.0- 7.0 sec  3.12 MBytes 26.2 Mbits/sec 2.036 ms 22068/24406 (90%)
[ 3] 7.0- 8.0 sec  2.98 MBytes 25.0 Mbits/sec 1.457 ms 20821/23055 (90%)
[ 3] 8.0- 9.0 sec  2.09 MBytes 17.5 Mbits/sec 0.747 ms 14345/15909 (90%)
[ 3] 9.0-10.0 sec  2.10 MBytes 17.6 Mbits/sec 2.054 ms 22617/24190 (93%)
[ 3] 0.0-10.9 sec 30.4 MBytes 23.3 Mbits/sec 0.535 ms 2147217780/2147240579 (1e+02%)
[ 3] 0.0000-10.9382 sec 6 datagrams received out-of-order
read failed: Connection refused
```

計測 2 の結果 ※赤枠がスループット計測値

災害情報収集 PC 側の結果

iperf -s -p 50001 -u -i1

 Server listening on UDP port 50001
 Receiving 1470 byte datagrams
 UDP buffer size: 208 KByte (default)

```
[ 3] local 192.168.101.100 port 50001 connected with 192.168.250.3 port 54822
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth  Jitter    Lost/Total Datagrams
[ 3] 0.0- 1.0 sec  5.98 MBytes 50.2 Mbits/sec 0.407 ms 11342/15824 (72%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec  5.79 MBytes 48.5 Mbits/sec 0.279 ms 19921/24254 (82%)
[ 3] 2.0- 3.0 sec  5.67 MBytes 47.6 Mbits/sec 1.926 ms 19991/24237 (82%)
[ 3] 3.0- 4.0 sec  5.61 MBytes 47.0 Mbits/sec 1.590 ms 20218/24417 (83%)
[ 3] 4.0- 5.0 sec  5.64 MBytes 47.3 Mbits/sec 0.695 ms 20173/24394 (83%)
[ 3] 5.0- 6.0 sec  5.59 MBytes 46.9 Mbits/sec 0.434 ms 18918/23102 (82%)
[ 3] 6.0- 7.0 sec  5.47 MBytes 45.9 Mbits/sec 0.654 ms 20131/24226 (83%)
[ 3] 7.0- 8.0 sec  5.56 MBytes 46.6 Mbits/sec 0.390 ms 20268/24433 (83%)
[ 3] 8.0- 9.0 sec  5.26 MBytes 44.1 Mbits/sec 1.069 ms 20403/24342 (84%)
[ 3] 9.0-10.0 sec  5.21 MBytes 43.7 Mbits/sec 0.402 ms 19510/23412 (83%)
[ 3] 0.0-10.5 sec  58.0 MBytes 46.4 Mbits/sec 0.418 ms 2147196877/2147240284 (1e+02%)
[ 4] local 192.168.101.100 port 50001 connected with 192.168.250.3 port 45655
[ 4] 0.0- 1.0 sec  5.20 MBytes 43.6 Mbits/sec 1.232 ms 10268/14161 (73%)
[ 4] 1.0- 2.0 sec  5.44 MBytes 45.7 Mbits/sec 0.421 ms 20410/24487 (83%)
[ 4] 2.0- 3.0 sec  5.68 MBytes 47.6 Mbits/sec 3.222 ms 21189/25440 (83%)
[ 4] 3.0- 4.0 sec  5.82 MBytes 48.9 Mbits/sec 0.670 ms 19986/24348 (82%)
[ 4] 4.0- 5.0 sec  5.78 MBytes 48.5 Mbits/sec 1.773 ms 19935/24265 (82%)
[ 4] 4.0000-5.0000 sec 1 datagrams received out-of-order
[ 4] 5.0- 6.0 sec  5.85 MBytes 49.1 Mbits/sec 0.524 ms 19991/24374 (82%)
[ 4] 6.0- 7.0 sec  5.76 MBytes 48.3 Mbits/sec 0.640 ms 20126/24439 (82%)
[ 4] 7.0- 8.0 sec  5.84 MBytes 49.0 Mbits/sec 0.420 ms 20009/24381 (82%)
[ 4] 8.0- 9.0 sec  5.81 MBytes 48.7 Mbits/sec 0.831 ms 19888/24237 (82%)
[ 4] 9.0-10.0 sec  5.87 MBytes 49.2 Mbits/sec 1.436 ms 19910/24304 (82%)
[ 4] 0.0-10.4 sec  59.2 MBytes 47.9 Mbits/sec 0.454 ms 2147196374/2147240739 (1e+02%)
[ 4] 0.0000-10.3647 sec 1 datagrams received out-of-order
[ 3] local 192.168.101.100 port 50001 connected with 192.168.250.3 port 58181
[ 3] 0.0- 1.0 sec  5.97 MBytes 50.1 Mbits/sec 0.581 ms 10483/14954 (70%)
[ 3] 1.0- 2.0 sec  5.98 MBytes 50.1 Mbits/sec 0.397 ms 19764/24240 (82%)
[ 3] 2.0- 3.0 sec  5.95 MBytes 49.9 Mbits/sec 0.266 ms 19781/24236 (82%)
[ 3] 3.0- 4.0 sec  5.86 MBytes 49.1 Mbits/sec 0.575 ms 20022/24409 (82%)
[ 3] 4.0- 5.0 sec  5.63 MBytes 47.3 Mbits/sec 1.597 ms 20066/24285 (83%)
[ 3] 5.0- 6.0 sec  5.76 MBytes 48.3 Mbits/sec 1.176 ms 20015/24327 (82%)
[ 3] 6.0- 7.0 sec  5.79 MBytes 48.6 Mbits/sec 0.469 ms 19161/23499 (82%)
[ 3] 7.0- 8.0 sec  5.89 MBytes 49.4 Mbits/sec 1.088 ms 20717/25128 (82%)
[ 3] 8.0- 9.0 sec  5.77 MBytes 48.4 Mbits/sec 0.943 ms 20051/24372 (82%)
[ 3] 9.0-10.0 sec  5.73 MBytes 48.0 Mbits/sec 0.372 ms 19192/23481 (82%)
[ 3] 0.0-10.4 sec  60.5 MBytes 48.8 Mbits/sec 0.248 ms 2147195682/2147241021 (1e+02%)
read failed: Connection refused
```

(キ)従来手法からの短縮率を算定した。【定量】

枚数の最も多いケースである画像生成試験のNo.3（撮影枚数：112枚）をテストケースとして、従来手法と本実証の手法における処理時間を比較した。

表 4.3-17 従来環境と本実証環境の処理時間の比較(単位:分)

	従来手法	本実証の手法
離陸～撮影開始	2	2
撮影～着陸	5	(※1)
着陸～電源停止	6	0
データ確認	4	0
データ移動	5	0
解析システム設定	5	0
クラウドへのデータアップロード (※2)	29	29
合 計	56	31
短縮率 (本実証/従来手法)		55%

※1 フライト中からアップロード開始しているため、アップロード時間でカウントする。

※2 ローカル 5G 環境においてもクラウドへのアップロードは LTE を用いて実施するため、ともに今回実証した値を設定する。

従来手法においては、現場での撮影後、着陸した機体からデータを確認した後にデータを PC へコピーし、解析システムへアップロードする手順をふまえる必要があり、工程数の増大に伴い作業時間が比例する。一方、本実証の手法では、ドローンを離陸させてから、解析システムへのデータ伝送までの工程を自動で行うため、表における「着陸～電源停止」「データ確認」「データ移動」「解析システム設定」の工程がなくなり、本実証の手法に作業上での優位性があるといえる。

クラウドへのデータアップロードについては、ローカル 5G 環境においても LTE を活用することに変わりはないため、今回の実証値をともに用いて算定する。本実証の手法では、撮影の都度機体から直接クラウドのシステムにアップロードする方法を行ったが、今後、撮影終了時に一括でアップロードを行うことの改良により、より時間短縮を図れることが想定される。

全工程を含めた作業時間の合計を見ると、従来手法は 56 分であるのに対し、本実証の手法は 31 分であり、ドローンの離陸からデータ伝送までにかかる作業時間の短縮率は 55% となり、約半分の時間短縮に寄与することが確認できた。

上記の評価より、本実証の手法（ローカル 5G 環境下）は従来手法（LTE 環境下）と比較し、時間優位性及び作業優位性が向上したと結論付けた。

c. 建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信

(ア) 施工用設計データが受信されているか現地作業員の PC および建機のマシンガイダンスで確認した【定量】

本項における施工用設計データとは、被災後ドローンによって取得された現地測量データをもとに、復旧計画を検討し作成された設計データとした。その施工用設計データを、クラウド上にアップロードされたものを現地にて確認した。

指定された施工用設計データになっていることを確認

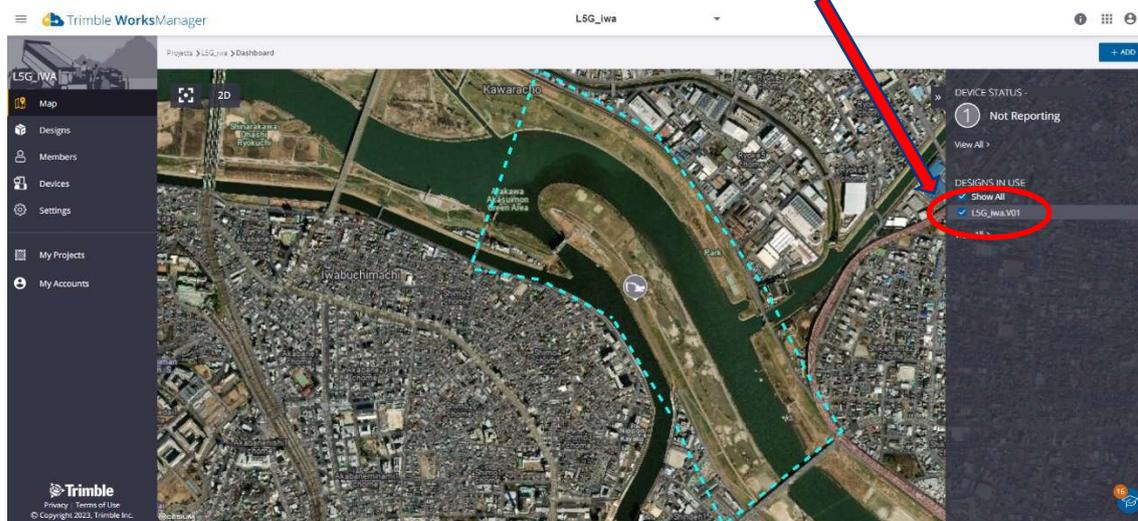


図 4.3-42 現地作業員の PC 画面

指定された施工用設計データになっていることを確認



建機のマシンガイダンス画面【操作室】



建機のマシンガイダンス画面【左記拡大】

図 4.3-43 マシンガイダンス画面

サンプル数 2 (実証対象期間において確認できた検証数)

①1/26 : 天候晴 試行時間 (10:30~15:30) 中、指定されていることを確認

②1/27：天候晴 試行時間（10:30～15:30）中、指定されていることを確認

検証内容詳細

- ・現地作業員 PC にて、クラウド上に指定の設計データがアップロードされたことを確認した。
- ・建機のマシンガイダンス画面に指定の設計データが採用されたことを確認した。
- ・データ内容についても、データの抜け落ちや異常がないか確認した。

検証結果

- ・2 ケースとも上記検証内容詳細事項につき、支障なく確認することができた。
- ・施工用設計データと、クラウドを共有できるユーザ同士の間では即時にデータを共有することが可能なため、設計データの物理的な受渡しのミスや中間者を多く挟むことによる選択データ間違い等のミスを防げるとともに、施工中の設計データ変更等のメンテナンスについても同様にリアルタイムに変更可能なことを確認した。

(イ)従来手法からの短縮率を算定する。【定量】

設計データの取得にあたり、実証エリアでの設計データを作成し、現地マシンガイダンスシステムにインストールするまでの時間を計測した。

サンプル数 2（実証対象期間において確認できた検証数）

①2/9：天候晴 試行時間（9:00～10:30）現地での反映時間を計測

②2/9：天候晴 試行時間（10:30～12:00）現地での反映時間を計測

表 4.3-18 従来環境と本実証環境の処理時間の比較(単位:分)

	従来手法	本実証の手法
現況地形の取得	210 ※1	31 ※4
三次元地形データ作成		38 ※4
設計データ作成	270 ※2	45
施工用設計データ変換	180 ※3	30
施工用設計データアップロード	30	30
ICT 建機での運用開始	10	10
合計	700(11 時間 40 分)	184(3 時間 4 分)
短縮率（本実証/従来手法）		26%

※1:現地における被災箇所の VRS による起終点位置取得、延長測定、堤防天端幅・法勾配、被災(決壊や沈下)による高低差等を現地で簡易計測し、概括的な被災形状を取得するまでに要すると想定される時間。被災延長は 100m 相当とする。概ね3～4時間を要することが想定されるため、210 分として設定。

※2:測量データを用いて CAD ソフトで施工用設計データの作図を実施するのに要すると想定される時間。概ね 4～5 時間を要することが想定されるため、270 分として設定。

※3:設計者と施工者間のデータの受渡し、および内容の確認に要すると想定される時間。概ね3時間を要することが想定される。

※4:前項 b.ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成 (コ)従来手法からの短縮率適用。

検証内容詳細

- ・ドローンによる現況地形の取得時間・解析時間・及びそれらを利用した設計データの構築時間、その設計データを施工用の設計データに変換する時間、それをアップロードする時間、重機にダウンロードし使用設計データとして認識させる時間を計測した。

検証結果

- ・従来手法 11 時間 40 分に対し、本実証の時間 3 時間 4 分となり、概ね 74%の時間短縮となり、目標値の 50%を上回る結果であった。

(ウ)施工用設計データが搭載されたガイダンス画面により、従来と変化なく動作ができるか作業員が目視で確認した。【定性】



図 4.3-44 作業員がガイダンス画面を確認している状況



図 4.3-45 作業員ガイダンス確認画面詳細



図 4.3-46 マシンガイダンス確認画面

検証結果

【検証日時】

1/26 : 天候 晴れ 風速 2m

【検証概要】

試験中 (10:30~15:00) において、無人化施工システム作動中は常に受信されていることを確認した。

【検証内容詳細】

モニタリング画面 : 良好

刃先精度 : 良好 【10cm 以上の大きな誤差につながるエラーはなかった】

【検証日時】

1/27 : 天候 晴れ 風速 1m

【検証概要】

試験中 (10:30~15:00) において、無人化施工システム作動中は常に受信されていることを確認した。

【検証内容詳細】

モニタリング画面 : 良好

刃先精度 : 良好 【10cm 以上の大きな誤差につながるエラーはなかった】

【検証結果】

1/26-27 の実証試験中常にガイダンス画面は作動させモニタリングしていたが、上記検証内容詳細につき、大きな遅延・動作不良等は起こらず、従来と変化ない動作であることを確認した。

(エ)映像の乱れ、ブレはないか、作業員パソコンで、複数人で目視確認する。【定性】

・動作確認試験

バックホウ方向を0度・90度・180度・270度に旋回した上で静止し、アーム部稼働させ途切れ・遅れがないかを定性的に確認した。(岩淵地区においては、基地局との距離 100m・200m・400m の各々の状況を確認)

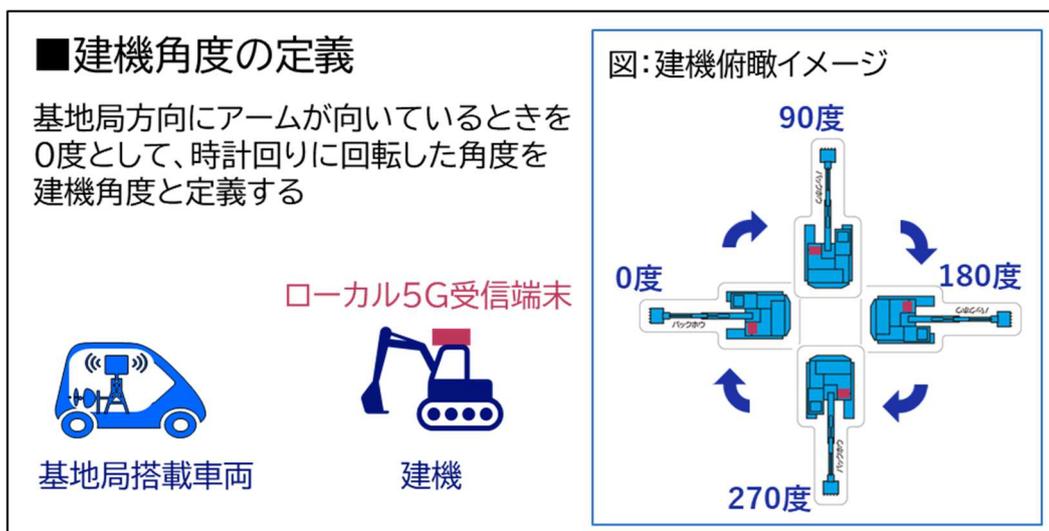


図 4.3-47 建機角度の定義

考察

定性的には、ローカル 5G 使用時において途切れ・遅れを感知することはなかった。
また、従来無線との比較においても、今回の試験条件下では、差異を感じる事象はなかった。

参考として、伝送距離 100m では建機角度 90 度、180 度のとき、ほかの角度に比べて速度が出ている。理由としては、建機角度 90 度、180 度のときに基地局からローカル 5G 受信端末が完全見通しとなり、建機角度 0 度、270 度のときにはアームによって一部見通しが遮蔽されたことが考えられる。

また、ローカル 5G 受信端末のアンテナが外付けではなく内蔵型であったため、性能値よりも低いスループットになったと考えられる。

伝送距離 200m、400m で 100m よりも低いスループットとなった理由は、伝送距離の影響で十分な受信強度が得られなかったことが理由と考えられる。



図 4.3-48 ローカル 5G 受信端末格納状況

表 4.3-19 岩淵地区 100m 動作確認試験チェックシート

	岩淵100m_0度	岩淵100m_90度	岩淵100m_180度	岩淵100m_270度
操作機能				
操作の遅延があるか？	ない	ない	ない	ない
操作の瞬断があるか？	ない	ない	ない	ない
エンストはしたか？	しなかった	しなかった	しなかった	しなかった
車載カメラ映像				
車載カメラ映像の遅延は無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にノイズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にフリーズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	ない	ない	ない	ない
カメラ車映像				
車載カメラ映像の遅延は無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にノイズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にフリーズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラとのズレがあるか	ない	ない	ない	ない



岩淵 100m 0 度



岩淵 100m 90 度



岩淵 100m 180 度



岩淵 100m 270 度

図 4.3-49 岩淵地区 100m 施工車車載カメラ映像

表 4.3-20 岩淵地区 200m 動作確認試験チェックシート

	岩淵200m_0度	岩淵200m_90度	岩淵200m_180度	岩淵200m_270度
操作機能				
操作の遅延があるか？	ない	ない	ない	ない
操作の瞬断があるか？	ない	ない	ない	ない
エンストはしたか？	しなかった	しなかった	しなかった	しなかった
車載カメラ映像				
車載カメラ映像の遅延は無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にノイズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にフリーズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	ない	ない	ない	ない
カメラ車映像				
車載カメラ映像の遅延は無い？	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し
車載カメラ映像にノイズは無い？	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し
車載カメラ映像にフリーズは無い？	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し
車載カメラとのズレがあるか	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し



岩淵 200m.0 度



岩淵 200m.90 度



岩淵 200m.180 度



岩淵 200m.270 度

図 4.3-50 岩淵地区 200m 施工車車載カメラ映像

表 4.3-21 岩淵地区 400m 動作確認試験チェックシート

	岩淵400m_0度	岩淵400m_90度	岩淵400m_180度	岩淵400m_270度
操作機能				
操作の遅延があるか？	ない	ない	ない	ない
操作の瞬断があるか？	ない	ない	ない	ない
エンストはしたか？	しなかった	しなかった	しなかった	しなかった
車載カメラ映像				
車載カメラ映像の遅延は無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にノイズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にフリーズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	ない	ない	ない	ない
カメラ車映像				
車載カメラ映像の遅延は無い？	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し
車載カメラ映像にノイズは無い？	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し
車載カメラ映像にフリーズは無い？	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し
車載カメラとのズレがあるか	実施無し	実施無し	実施無し	実施無し



岩淵 400m_0 度



岩淵 400m_90 度



岩淵 400m_180 度



岩淵 400m_270 度

図 4.3-51 岩淵地区 400m 施工車車載カメラ映像

表 4.3-22 新田地区動作確認試験チェックシート

	新田天端_0度_水平	新田天端_0度_▲5度	新田河川敷_0度_L5G	新田河川敷_0度_従来
操作機能				
操作の遅延があるか？	ない	ない	ない	ない
操作の瞬断があるか？	ない	ない	ない	ない
エンストはしたか？	しなかった	しなかった	しなかった	しなかった
車載カメラ映像				
車載カメラ映像の遅延は無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にノイズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にフリーズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	ない	ない	ない	ない
カメラ車映像				
車載カメラ映像の遅延は無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にノイズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にフリーズは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	ない	ない	ない	ない
車載カメラとのズレがあるか	ない	ない	ない	ない



新田 天端 0度



新田 天端 0度 ▲5度



新田河川敷 ローカル 5G



新田河川敷 従来

図 4.3-52 新田地区施工車車載カメラ映像

表 4.3-23 参考:岩淵地区遅延時間・スループット計測状況

伝送距離・建機角度の違いによる比較 (DL)

遅延時間は条件によらずおおそ35ms前後で安定。スループットの中央値はUDP通信でDL:40Mbps程度、TCP通信でDL:13Mbps程度。伝送距離100m、建機角度90度・180度のときに高いスループットを観測

※基地局アンテナ高=10m

■平均遅延時間(DL)

#	伝送距離	建機角度	平均遅延時間(ms)
1	100m	0度	34.7
2	100m	90度	27.0
3	100m	180度	28.0
4	100m	270度	32.0
5	200m	0度	27.0
6	200m	90度	29.0
7	200m	180度	26.3
8	200m	270度	43.0
9	400m	0度	34.0
10	400m	90度	29.0
11	400m	180度	31.0
12	400m	270度	37.3

■平均スループット(DL)

※測定方法:遅延時間ping、スループット:iperf2(印加量=750M)

#	伝送距離	建機角度	平均スループット(UDP) (Mbps)	平均スループット(TCP) (Mbps)
1	100m	0度	42.5	12.4
2	100m	90度	136.1	12.8
3	100m	180度	285.3	13.2
4	100m	270度	37.7	12.4
5	200m	0度	45.9	13.0
6	200m	90度	29.2	11.5
7	200m	180度	38.9	11.7
8	200m	270度	33.1	11.3
9	400m	0度	44.7	12.2
10	400m	90度	30.5	13.6
11	400m	180度	42.8	13.9
12	400m	270度	28.1	19.4

グラフ: 伝送距離・建機角度の違いによる比較 (DL)

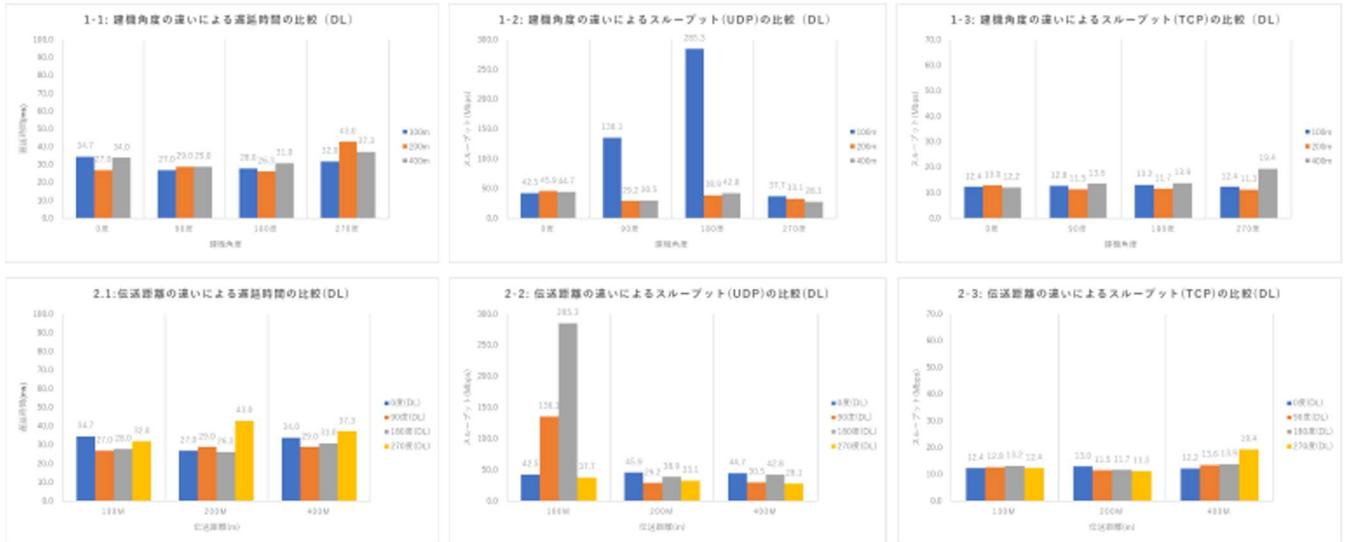


図 4.3-53 参考:岩淵地区遅延時間・スループット計測グラフ

・画像品質試験

バックホウを巡回させ画像に乱れ・遅れがないか定性的に確認した。

考察

定性的には、ローカル 5G 使用時において乱れ・遅れを感知することはなかった。

また、従来無線との比較においても、今回の試験条件下では、差異を感じる事象はなかった。

ただ、重機自体のアーム部分と基地局が重なる角度に入ると画像に乱れを起こす傾向は認められた。

	岩淵100m	岩淵200m	岩淵400m	新田天端	新田天端▲5度	新田河川敷	新田河川敷従来
操作機能							
操作の遅延があるか？	ない						
操作の瞬断があるか？	ない						
エンストはしたか？	しなかった						
車載カメラ映像							
車載カメラ映像の遅延は無い？	特定角度で発生						
車載カメラ映像にノイズは無い？	特定角度で発生						
車載カメラ映像にフリーズは無い？	ない						
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	ない						
カメラ車映像							
車載カメラ映像の遅延は無い？	ない	実施なし	実施なし	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にノイズは無い？	ない	実施なし	実施なし	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にフリーズは無い？	ない	実施なし	実施なし	ない	ない	ない	ない
車載カメラ映像にブラックアウトは無い？	ない	実施なし	実施なし	ない	ない	ない	ない
車載カメラとのズレがあるか	ない	実施なし	実施なし	ない	ない	ない	ない



図 4.3-54 画像品質試験実施状況

・従来比較用遅延試験

バックホウを旋回させ指定のコーンが見えたらレバーを離し止まったコーン位置と停止方向の差異を記録した。

実施日時：1/27 晴れ 風速 2m 14:00～15:30

サンプル数 8回 ローカル 5G でのテスト 4回 従来無線でのテスト 4回



図 4.3-55 従来比較用遅延試験状況



図 4.3-56 従来比較用試験旋回停止開始用コーン(左)と実際の停止位置(右)



図 4.3-57 重機方位角確認画面例

【測定結果】

表 4.3-24 従来比較用試験チェックシート

	コーン位置方位角	停止方位角	方位角差	従来無線との差
ローカル 5G 低速旋回 (1 回目)	264	285	21	2
ローカル 5G 低速旋回 (2 回目)	159	190	31	2
ローカル 5G 高速旋回 (1 回目)	210	166	-44	3
ローカル 5G 高速旋回 (2 回目)	179	142	-37	3
従来無線低速旋回 (1 回目)	264	287	23	/
従来無線低速旋回 (2 回目)	159	192	33	
従来無線高速旋回 (1 回目)	210	169	-41	
従来無線高速旋回 (2 回目)	179	145	-34	

【考察】

ローカル 5G・従来無線でほぼ同様の結果が得られた。

低速旋回時は、指定コーンが見えたら、コーンの方位角に到達するまでには停止できていたが、高速旋回時は、コーン方位角を過ぎたところで停止していた。

またその量についてもほぼ同様で、対従来無線での実施に比べローカル 5G での差異角度は 2-3 度遅く停止するに留まった結果となった。

これは、旋回中心から半径 4m で弧を描いていたことから、弧長として 14cm~20cm の差ということになる。

ただし、従来無線についてはアンテナが外部に出ていたこと、ローカル 5G 端末についてはプラボックス内部に収納されていたこともふまえると、ローカル 5G の条件は不利になっていたと考えられる。よって今後の建機側の端末は外部アンテナが接続可能で、さらにアンテナ形状もダイバシティ状になっているものを選定することが望ましい。



図 4.3-58 従来比較試験時受信端末アンテナ状況

今回使用した建設機械であるバックホウは形状及び挙動が複雑なため、基地局との位置・方向関係が目まぐるしく変化する状態となる。実運用に際しても、基地局と施工機のアンテナ同士の視通が確保できる場所・高さ選定が必要と考える。

(2) 運用検証

1) 検証項目

河川災害時の課題に対して、想定したローカル 5G 活用モデルの運用（実運用）に向け、以下 4 つの検証項目を設定した。

- 保有・運用主体の適性検証
- 運用マニュアルの作成の検証
- 研修プログラムの検証（導入時プログラム、出水期前の定期的なプログラムの提供）
- メンテナンスサポートの検証

2) 検証方法

a. 保有・運用主体の適性検証

可搬型ローカル 5G システムは、国土交通省・都道府県等の河川管理者による運用、あるいは災害協定業者（委託会社）等による運用が行われることが想定される。

システムの保有および運用において、以下のような複数のケースが想定される。

国土交通省等に聞き取りを行い、当面の現実的な設定、将来的な展開も含め保有・運用主体の検証を行った。

表 4.3-25 保有主体の設定ケース

	保有主体	
	ケース(1)	ケース(2)
ローカル 5G 基地局保有場所	河川管理者事務所	災害協定業者（施工業者）

表 4.3-26 運用主体の設定ケース

運用時の作業項目	運用主体			
	ケース(1)	ケース(2)	ケース(3)	ケース(4)
◆ローカル 5G エリア構築	河川管理者が 自ら構築	河川管理者が 自ら構築	測量業者 に委託	災害協定業者 (施工業者) に委託
◆ドローン飛行/ リアルタイム映像配信	河川管理者が 自ら操作	測量業者 に委託		
◆ドローン飛行/ リアルタイム画像伝送				
◆建機の無人化施工/ 現場の映像配信	災害協定業者 (施工業者) に委託	災害協定業者 (施工業者) に委託	災害協定業者 (施工業者) に委託	

ここで、ローカル 5G システムを実装するにあたっては、電気通信、測量、建機の共同企業体による研修・サポート・メンテナンスが必要となる。対象者は管理者、委託事業者（測量業者・施工業者・災害協定業者）を想定し、運用マニュアル・研修プログラム・メンテナンスサポートを検証した。

b. 運用マニュアルの作成の検証

様々な保有・運用ケースが想定されるため、統一した対応が可能なように、いずれも、今後は人員不足が想定されるため、実証を行った以下の項目について運用に関するマニュアル内容を整理した。

表 4.3-27 マニュアル作成項目の設定

実証項目	マニュアル作成項目
◆ドローンからのリアルタイム映像配信	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル 5G 基地局の設置によるエリア構築（現場での通信環境の構築） ・ドローン飛行計画立案およびドローン操作 ・映像伝送
◆ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル 5G 基地局の設置によるエリア構築（現場での通信環境の構築） ・ドローン飛行計画立案およびドローン操作 ・画像伝送 <p>※3D 地形データ作成は民間サービスの活用を想定</p>
◆建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル 5G 基地局の設置によるエリア構築（現場での通信環境の構築） ・設計データ取得 ・映像伝送

c. 研修プログラムの検証（導入時プログラム、出水期前の定期的なプログラムの提供）

マニュアルの作成のみでは実運用は困難と想定されるため、導入時や毎年の出水期前における定期的な研修教育プログラム（現地訓練等）の内容を整理した。

d. メンテナンスサポートの検証

災害時に支障なく活用できるよう、出水期前等の事前メンテナンスサポートの内容を整理した。

3) 検証結果及び考察

a. 保有・運用主体の適性検証

保有・運用主体の適性について検証するため、保有主体となり得る河川管理者（国土交通省）、建機の無人化施工に精通している無人化施工協会にヒアリングを実施した。ヒアリング時には表 4.3-25、表 4.3-26 に示す保有・運用主体の想定ケースを提示し、体制について意見を伺った。ヒアリング結果は以下に示す。

ヒアリングの結果より、可搬型ローカル 5G システムの保有主体は、許認可申請（申請者＝河川管理者）の観点から、河川区域内では災害時、平常時の多様なシーンでの利用が想定され、それらを一元的に管理するのは河川管理者なので、河川管理者が保有主体となる。そのため、施工業者・災害協業者は保有主体とならない。また、可搬型ローカル 5G システムは管理者が購入（建機はレンタル）して使用することが基本となる。運用主体は、ローカル 5G のエリア構築・無人化施工は管理者自ら全てを実施することは困難であり、運用については委託となる。そのため、管理者からローカル 5G システムの貸与を受けた、測量業者・施工業者・災害協業者での実施、もしくは運用一体を包括委託された業者が運用主体となる。

その他、可搬型ローカル 5G システムは一定の有効性が確認されるものの、河川管理・施工での利用において、ローカル 5G は許認可制であり、河川区域全域で包括的な免許申請になっていないこと、災害時の稟議の措置も管理者と利用者で差がある点などの利用上の課題がヒアリング意見としてあげられ、ローカル 5G の運用（実運用）において、拡大・横展開する際は現行の法制度に課題があることが改めて確認された。

また、2月9日に現地において実証視察会を実施し、その中で意見交換会を行った。その結果も合わせて示す。

表 4.3-28 荒川下流河川事務所 ヒアリング結果(概要)

日時	2022/12/21 (水) 13:30~14:30
ヒアリング先	国土交通省 関東地方整備局 荒川下流河川事務所
場所	Web 会議
ヒアリング結果 (概要)	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>災害時に即座に映像がとれるのはありがたい。災害時の活用がまず想定される。平常時の場合、現時点では巡視は写真を媒体として使っている。映像の即時性については、管理の効率化・高度化の観点から、今後取り組むひとつの重要なミッションとなっている。</u> ・<u>施工管理の観点からは、遠隔臨場の立合や検査で Web カメラの映像を使用しており、映像が途切れ現場が見えにくいことがあるため、映像が安定することは心強い。</u> ・<u>コストが高いことはネックとなるひとつの大きな要因と思う。導入後、最低 10 年ぐらいは使うのは当然となる。</u> ・<u>活用が期待できる場所として、例えば、京成本線の架替事業を行っており、今後 10 数年かけた長期工事を行うので、そういう場所に固定しての利用は期待される。</u> ・<u>通線基盤として光ファイバー網を構築しているが、万が一落ちた場合、河川は橋梁でしか横断できないため、対岸と通信が切れてしまうことが想定される。有線・無線を意識させない対災害性の確保を未来の無線環境には期待したい。</u> ・<u>導入は、コスト、免許申請など法的な条件次第となるだろう。ローカル 5G として導入ならば、管理者が保有するケースしかないのではないか。</u> ・<u>導入にはインセンティブが必要で、試験的にレンタル使用することはきっかけとなるだろうが、本格導入となると持ち物となる。</u>

表 4.3-29 関東地方整備局 ヒアリング結果(概要)

日時	2022/12/22 (木) 13:00~14:20
ヒアリング先	国土交通省 関東地方整備局
場所	対面会議 (Teams 併用)
ヒアリング結果 (概要)	<ul style="list-style-type: none"> ・河川で活用する上で、意見として、<u>河川区域=自己土地にしてもらいたい。災害で許認可は全て OK であるという環境にはまだなっていないため、改善してほしい事項として提言に入れ込んでもらいたい。</u> ・<u>ローカル 5G は、末端の通信手段としては有効であるが、基幹通信には置き換わらないのではないか。</u> ・防災室では、道路や防災について情報通信 (DX) を検討しており、<u>ローカル 5G は末端の最後のネットワークとして活用が期待されるのではないかと考えている。</u> ・<u>ローカル 5G のニーズは山間部 (砂防や急傾斜地等) の方が災害だけでなく、通常施工でもニーズがあるのではないか。</u> ・<u>ローカル 5G のリアルタイム性を活かした自治体支援に活用できないかと考えている。</u>ドローンで取得した現場状況データを速やかに提供することで、<u>災害査定申請時の金額を即時試算できないか。</u> ・ローカル 5G を光ケーブルに接続する通信環境として、<u>河川、道路の情報揭示版のネットワークを利用することもひとつのアイデアになり得るのではないか。</u>

表 4.3-30 本省 ヒアリング結果(概要)

日時	2023/2/2 (木) 13:00~14:10
ヒアリング先	国土交通省 本省 (総合政策局、水管理・国土保全局ほか)
場所	対面会議
ヒアリング結果 (概要)	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>ドローンを飛ばし高解像度の画像がリアルタイムで見られることはメリットになる。</u>将来的に普及するとコストが下がると良い。 ・<u>直轄エリア外では、設備が十分ではなく、被災も多い。地方公共団体を支援する TEC—FORCE (緊急災害対策派遣隊) での利用も想定される。</u> ・<u>可搬型やハンドキャリー型などの多様な対応ができるローカル 5G は災害時のリダンダンシー確保につながる</u>と考える。 ・<u>人命救助が絡む砂防現場の近くでの映像確認に使えるのではないか。</u> ・災害時の緊急な対応を可能にするためにも、<u>ローカル 5G と建設機械のパッケージ提供が望まれる。</u> ・現在、災害時に使用頻度が多い i-RAS は、令和 6 年度以降、周波数の再編で使用できなくなる可能性がありその代替にローカル 5G はなるのでは。 ・<u>ダム建設で無人化施工している現場での利用もあるのでは。</u>

表 4.3-31 無人化施工協会 ヒアリング結果(概要)

日時	2022/12/19 (月) 16:00～17:00
ヒアリング先	無人化施工協会
場所	対面会議 (Teams 併用)
ヒアリング結果 (概要)	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル 5G を使用したことがある所属会社の意見として、現在、<u>ローカル 5G の安定性を維持するためには現地での機器チューニングが必要で、設定完了までに時間がかかる</u>。専門知識のある技術者が必要な状況。コストは高く 1000 万オーダーである。 ・現在は、大きいデータ通信は行っていない、2.4GHz、5GHz 帯 (Wi-Fi) を使用している。<u>車両が増え、映像等 (カメラを増やす) のセンサーを駆使するようになれば、ローカル 5G の大容量データ転送にはメリットが出てくる</u>。現在の無線機器でも無人化施工は実施できている。 ・ローカル 5G を活用した工事实績は現状ない。<u>コスト・免許申請 (導入時期)・機器設定の調整等の問題があり、現状では実証段階である</u>。 ・災害利用に際しては、<u>許認可制度が現状のままでは災害現場に適用は困難である</u>。 ・機器は、日々進化をするため、ローカル 5G 端末等を持ち続けるのではなく、<u>レンタル業者からのレンタルを活用する</u>。 ・<u>現状の免許制度では、建設業でローカル 5G システムを持つことはおそらくない</u>。重機と同様にレンタルになると思う。国や自治体がエリア構築・提供 (更新) をしてくれるなら別である。 ・無線 LAN のように使えると良いが、あれこれ前提があり、<u>免許も含めて障害となる</u>。

表 4.3-32 現地実証視察会 意見交換会(概要)

日時	2023/2/9 (木) 14:45~15:00
現地視察参加者	総務省 (本省、関東総合通信局)、関係省庁、関係企業・団体等 計 37 名 (コンソーシアムメンバーを除く)
場所	現地実証：岩淵地区 意見交換：荒川知水資料館アモアホール
主な意見	<ul style="list-style-type: none"> ・様々な技術を用い、利便性を高めるために試行錯誤されていた。<u>様々なデータをとることだけでなく、電波の使い勝手が環境や状況によってどう変化するのか、そのノウハウを操作する側が説明できる状況に至ることが重要。状況の変化によって可能・不可能なことをパターン化するなどして、現場でローカル 5G 技術をうまく使うことが今後の課題。</u> ・<u>災害時など、すぐに現地で使用することを想定すると天候の影響は大きいと思われるため、アンテナや機器類の、天候などの環境への対策が必要。</u> ・ドローンは、実際の災害現場での撮影、その後の施工に対する準備段階で活躍すると考える。<u>実際の気象条件を想定した使い方が必要となる。</u> ・重機の操作は、設計のデータが入った段階で可能なため、ある程度落ち着いた後で施工する場面となる。同じシステムを使っている、<u>災害から復旧の流れでいくと、それぞれ使われる段階に違いがあるため、そのあたりをうまく整理する必要がある</u>と考える。 ・本件は非常にローカル 5G らしいと思っている。つまり高精細な映像、あるいは画像といったものをリアルタイムで送らないと意味がないと考えている。<u>ローカル 5G のユースケースとしては、特徴を活かせるものなのでは</u>と思っており、<u>実用化という点については期待している。</u> ・<u>優良で鮮明な画像を実際に見て、希望が持てた。厳しい状況でも、こういったものが使えると様々な可能性が広がり、わくわくする</u>など思った。災害の場面を想定すると、無人でできることは、安全面でとても強みである。限られた状況でないと使用できない (例：雲仙 熊本の斜面崩れ) 印象があったが、<u>堤防除草や河川巡視など、普段使</u>いできると<u>全国展開という意味でも希望が持てる。</u>

表 4.3-33 国交省職員に向けての機能説明(概要)

日時	2023/2/22 (水) 13:00~15:00
国土交通省職員への機能説明 参加者 14 名 (コンソーシアム関係者を除く)	国土交通省 (総合政策局、大臣官房技術調査課電気通信室、関東地方整備局、近畿地方整備局、四国地方整備局)
場所	現地および荒川下流河川事務所
主な意見 ⇒: 事務局回答	<p>・実際に活用する際は準備にどのくらい時間がかかるものか。マニュアルや知識がなくてもできるものか。</p> <p>⇒エリア構築し測定に至るまでに 30 分程度。本実証ではマニュアルの骨子 (手順) を作成している。今後、災害協定業者の方でも使えるよう継続検証を行う。</p> <p>・災害時に使おうとした時、雨が降っている状況とかも考えられるので、どのような状況では使えないのか整理しておくが良い。全天候型ドローンの採用はどうか。</p> <p>⇒全天候の適用は継続して開発していければと思う。天候による使い分けを想定し、使いやすい状態にしていきたい。</p> <p>・ひとつの基地局に対して無人化機械は同時に何台まで対応可能か。</p> <p>⇒まだ実証を済ませている訳ではないが、感覚として 5 台程度を想定する。無線ランでの操作も 5、6 台である。</p> <p>・送信受信の間に川などあった場合、フェイズングなどの影響は確認されるか。</p> <p>⇒ドローン飛行による映像、画像の伝送には影響はなかった。また、平常時を想定した船舶の実証の結果も同様に、映像、画像の伝送に陸上と比べて極端に減衰するような影響は見られなかった。技術実証で想定もしているため、具体的な数値は報告書で示すものとする。</p> <p>・条件的に周辺に構造物があるところ、建物があるような地域での検証はどうか。</p> <p>⇒市街地、マンションが建っているところで測定し、電波を發してどういう影響があるか、ドローンの飛行の影響があるかなどの検証を実施している。技術検証として、電波測定も行っており、具体的な数値は報告書で示す。</p> <p>・山岳部で実現するために解決すべき事項や調整等を把握したい。</p> <p>⇒複数の基地局をつないでエリア構築する実証をしている。山奥でどこまでエリア構築できるかは実証が必要。光ファイバーも何もないような場所、車でも行けないような場所であれば、現在開発している小型のハンドキャリア型を活用して 5G の環境を構築すること等も視野に入れて検討する必要がある。</p> <p>・樹木の影響はどうか。</p> <p>⇒ちょうど船舶や河川敷での平常時活用に向けた実験時に樹木が多い場所で実施したところ、映像の伝送が不安定になったり、電波が途切れる影響があった。</p> <p>・アンテナの改良による感度向上は想定できるか。</p> <p>⇒ローカル 5G の周波数帯自体が 4.8 ギガで高いので、やはり条件として、見通しの確保が重視される。基本的には見通しを作っておけるシステム構成が必要。レピータを見通しがとれるところに置き、電波を受けるような仕組み作りが必要。</p>

また、河川管理者（国土交通省）へのヒアリングにおいて、現状使用している主な通信設備・情報収集手段について以下の情報が得られた。

災害時に使用する Car-SAT や Ku-SAT は地方整備局に 1 台程度など台数に限りがある。光ファイバーネットワークは有線のため断線する恐れがある。平常時の巡視に使用するドローン映像は、民間の携帯電話回線に依存している状況にある。

また、公物管理における『眼』を増やす観点から「ローカル 5G」の導入による独自通信網の構築、「普段使い」ができないことを災害時に突然使用することは困難との観点から平時の維持管理（河川管理）における利用頻度の増加を要望する意見も得ている。

表 4.3-34 河川管理における通信設備・情報収集手段(現状)

通信設備・情報収集手段	利点	課題	通信
光ファイバーネットワーク	常時稼働 高速・大容量通信が可能	ファイバー断線、長期の停電	独自回線（光）
ヘリサット 	防災初動期に迅速に稼働 パイロットのみで運用可能 専用回線（衛星） 広域監視 道路交通の影響を受けない	台数が少ない（地整 1 台）	独自回線（衛星）
Car-SAT 	災害初動期に迅速に稼働 ドライバーのみで運用可能 専用回線（衛星）	道路交通網の影響を受ける 台数が少ない（地整 1 台）	独自回線（衛星）
Ku-SAT/衛星通信車  	専用回線（衛星）	道路交通網の影響を受ける 設営可能な職員同行が必要	独自回線（衛星）
CCTV カメラ	常時稼働 職員による普通使いが可能	不可視部の存在 固定（その場で旋回）運用	独自回線（光）
ドローン映像 （上空巡視）	災害初動期に迅速に稼働 導入が容易（台数増に対応） 道路交通の影響を受けない	映像伝送手段が民間通信（停止の恐れ） パイロットの同行が必要	民間回線
ウェアラブルカメラ 映像（地上巡視）	災害初動期に迅速に稼働 導入が容易（台数増に対応）	道路交通網の影響を受ける 映像伝送手段が民間通信（停止の恐れ）	民間回線
ウェアラブルカメラ 映像（水上巡視）	導入が容易（台数増に対応） 道路交通の影響を受けない	映像伝送手段が民間通信（停止の恐れ） 電通職の同行が必要 船長の同行が必要	民間 + 独自回線 （無線）

以上のヒアリング結果より、可搬型ローカル 5G システムの保有主体、運用主体を整理すると以下ようになる。河川管理者が保有主体となり、運用主体は測量業者や施工業者への委託による運用が基本となる。

表 4.3-35 ヒアリング結果をふまえた保有主体・運用主体

	保有主体
ローカル 5G 基地局保有場所	河川管理者事務所

運用時の作業項目	運用主体	
	ケース(3)	ケース(4)
◆ローカル 5G エリア構築	測量業者に委託	災害協定業者 (施工業者) に委託
◆ドローン飛行／リアルタイム映像配信		
◆ドローン飛行／リアルタイム画像伝送		
◆建機の無人化施工／現場の映像配信	災害協定業者 (施工業者) に委託	

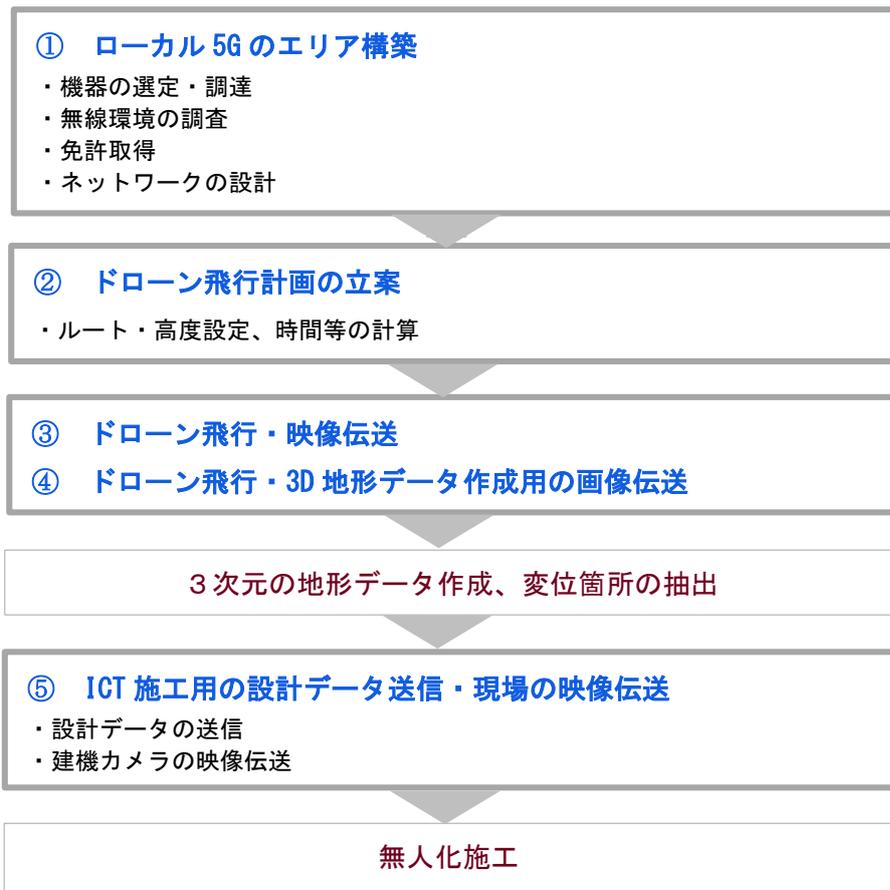
また、国土交通省へのヒアリングの中で、直轄エリア外の区間は、設備は十分ではなく、被災も多い状況にあり、地方公共団体では災害時に被災状況を調査し災害査定申請を行うのに時間を要している状況を伺った。早期査定を実現するためにも、ドローン等を活用した状況把握は期待されるが、地方公共団体では、災害時に少人数での対応が求められ、さらに市民への情報発信なども行う必要があり、十分な運用体制が構築できないことが想定される。その場合は、国土交通省緊急災害対策派遣隊（TEC-FORCE）との連携による体制作りなどの対応策が求められ、地方公共団体での導入展開のあり方の検討にあたっては、ヒアリング等で現状の対応体制についての確認が求められる。

b. 運用マニュアルの作成の検証

河川管理者、委託を受けた測量業者、施工業者、災害協定業者が、平常時の河川管理や災害時の現地状況の把握、復旧工事等の無人化施工の場面にローカル 5G を活用する場合の、各作業の内容や手順、留意すべきポイントについて、骨子を整理し、マニュアル構成表としてとりまとめた。

マニュアル構成表は、以下に示すローカル 5G のエリア構築から施工活用までの流れをステップごとに分けて次頁以降に示す。

ローカル 5G 活用の全体の流れ



前述のヒアリング結果より、可搬型ローカル 5G システムの運用には、河川管理者、委託を受けた測量業者、施工業者、災害協定業者が関わることが考えられた。多くの関係者が存在する中で、トラブル発生がなく統一した対応ができるようにするためには、マニュアルの作成が必要となる。なお、今回整理した構成表の留意すべきポイントは現地実証結果をふまえた内容であるため、実稼働に向けては、今後、他者土地利用と自己土地利用の干渉調整方法の明確化、免許手順・検査の簡素化などの検討が進むことにより、ポイントも刻々と変化することが考えられ、法制度等の最新情報を確認の上、運用マニュアルを作成・更新していくことが求められる。

ア) ローカル 5G 基地局の設置によるエリア構築・・・(全体の流れの“①”)

マニュアルの目的	ローカル 5G を搭載した車両を基地局として、ローカル 5G 環境を構築し、ドローンに搭載したカメラから高精細な映像、3D 地形データ作成用の画像をリアルタイムに確認する	
マニュアル利用者	河川管理者、委託を受けた測量業者、災害協定業者、施工業者	
作業手順		ポイント
1. エリア構築	(1) 機器の選定・調達	・ローカル 5G システム (搭載車両を含む)、ドローン機器、無人化施工用建機を選定、調達
	(2) 無線環境の現場調査	・構築する無線エリアにおける障害物を確認する、無線状況を調べる ・無線エリアをカバーできるように、基地局の設置場所を決める ・不感地帯をなくす方策として、反射板の活用を検討する
	(3) 無線局免許の取得	・基地局の設置場所が決まった後に、その情報をもとに無線局免許の申請を行う (総合通信局との事前整合: 1 か月程度、干渉調整、申請資料の作成: 2.5 か月程度、総務省判断: 1.5 か月程度) ・必要に応じて、他のローカル 5G 基地局や隣接する周波数帯においてサービスを行っている携帯電話事業者との干渉調整が必要となる
2 ネットワーク設計	(1) ローカル 5G のコアネットワークの設定	・基地局とコアネットワークとの通信経路を構築する ・コアネットワークへ基地局を登録する ・基地局へコアネットワークを登録する
	(2) ドローン機器 (通信端末を含む) の登録、設定	・ローカル 5G ネットワークへドローン機器を登録する ・ドローン機器へローカル 5G ネットワークを登録する
	(3) 無人化施工用建機 (通信端末を含む) の登録、設定	・ローカル 5G ネットワークへ建機を登録する ・建機へローカル 5G ネットワークを登録する
	(4) 外部ネットワークとの接続	・基地局と河川事務所など映像データ送信先となるシステムとの通信経路を構築する ・基地局と画像データ/3D 地形データ送信先となるシステムとの通信経路を構築する ・基地局と無人化施工操作室との通信経路を構築する
3 システム構築	(1) 事前構築	・ローカル 5G システムを車両へ搭載する ・アンテナ取り付けを行う
	(2) 現地展開	・伸縮柱の調整を行う ・免許通りのアンテナ位置/高さ、周波数や送信電力であることを確認する
	(3) 電波発射	・電波発射されていることを確認する
4 安全に運用するための注意事項	(1) 遵守すべき法令関連	・電波法 無線局免許 (免許期間が最大 5 年、更新可能) が必要 無線従事者 (有資格: 第 3 級陸上特殊無線技士以上) が必要
	(2) 問い合わせ先、注意事項等	・災害時の免許申請は別途の手続きとなる

イ) ドローン飛行計画の立案、ドローン飛行・映像伝送・・・(全体の流れの“②・③”)

マニュアルの目的	ローカル 5G を搭載した車両を基地局として、ローカル 5G 環境を構築し、ドローンに搭載したカメラから高精細映像をリアルタイムに確認する	
マニュアル利用者	河川管理者、委託を受けた測量業者、災害協定業者、施工業者	
作業手順		ポイント
1 ドローン飛行計画立案	(1) 規則の確認	<ul style="list-style-type: none"> ・撮影範囲や飛行方法が航空法の規則の対象になっていないか確認する ・規制対象の場合は、許可申請を行う
	(2) 機器の選定	<ul style="list-style-type: none"> ・機体の諸元（フライト可能時間、ペイロード、耐風性能、大きさ、フェイルセーフ機能の有無）を確認する ・搭載カメラの諸元（画素数、焦点距離、1枚あたりの撮影範囲、インターバル撮影間隔、動画フォーマット）を確認する
	(3) 飛行ルートの設定	<ul style="list-style-type: none"> ・手動航行を基本とし、対象範囲を網羅する暫定飛行ルートを設定しておく ・緊急時の着陸場所を確認する
	(4) 撮影高度の設定	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル 5G 電波を受信できる高度で設定する
	(5) 撮影時間の計算	<ul style="list-style-type: none"> ・使用する機器の最大フライト時間の 8 割程度を目安とする ・飛行時間が長くなる場合は必要なバッテリーの本数を計算しておく
2 ドローン操作	(1) ドローン操作	<ul style="list-style-type: none"> ・手動航行で実施する ・映像伝送先からの撮影方向指示を受ける場合は、タイムラグを考慮し各操作を数秒程度遅らせて操作をする ・補助者からの指示を受けて操作を行う
3 映像伝送	(1) 映像伝送	<ul style="list-style-type: none"> ・可能な限りの高い画質で撮影し、タイムラグが大きい場合は画質を落とすなどの対策をとる ・補助者もしくは現地作業者が映像を見られる体制を確保する
4 安全に運用するための注意事項	(1) ドローンの安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・飛行技術の維持・向上のために定期的に飛行訓練を実施する ・日常的にドローンのメンテナンスを行うことでトラブルを少なくする ・不具合の状態、原因、対応策を記録しておく ・計測前に現地確認を実施し、フライトへの障害を視認した上で、飛行ルートを最終決定する
	(2) 墜落等のトラブルの対応	<ul style="list-style-type: none"> ・河川へ墜落した場合、速やかに落下した機体を回収できるよう落下地点を確認する ・陸側への飛び去りの場合、民地へ侵入する前に、モータを強制停止し、被害の少ない場所へ落下させる ・付近に通行者がある場合は、補助員による避難誘導を行う
	(3) 問い合わせ先	<ul style="list-style-type: none"> ・河川管理者
	(4) 遵守すべき法令関連	<ul style="list-style-type: none"> ・航空法、小型無人機等飛行禁止法、道路交通法、電波法、民法、刑法、個人情報保護法、フライト範囲を管轄する国もしくは地方自治体の条例

ウ) ドローン飛行計画の立案、ドローン飛行・3D 地形データ作成用の画像伝送・・・(全体の流れの“②・④”)

マニュアルの目的	ローカル 5G を搭載した車両を基地局として、ローカル 5G 環境を構築し、ドローンに搭載したカメラから 3D 地形データ作成用の画像 をリアルタイムに確認する	
マニュアル利用者	河川管理者、委託を受けた測量業者、災害協定業者、施工業者	
作業手順		ポイント
1 ドローン飛行計画立案	(1) 規則の確認	・要求精度の確認が必要
	(2) 機器の選定	・機体の諸元（フライト可能時間、ペイロード、耐風性能、大きさ、フェイルセーフ機能の有無）を確認する ・搭載カメラの諸元（画素数、焦点距離、1 枚あたりの撮影範囲、インターバル撮影間隔、動画フォーマット）を確認する
	(3) 飛行ルートの設定	・自動航行を基本とし、対象範囲を網羅する飛行ルートを設定しておく ・適切なラップ率（オーバーラップ/サイドラップ）を設定する ・緊急時の着陸場所を確認する
	(4) 撮影高度の設定	・ローカル 5G 電波を受信できる高度で設定する ・搭載カメラ及び要求精度に応じた高度を算出する
	(5) 撮影時間の計算	・使用する機器の最大フライト時間の 8 割程度を目安とする ・オーバーラップ率に応じて飛行速度が変動するため注意する ・飛行時間が長くなる場合は必要なバッテリーの本数を計算しておく
2 ドローン操作	(1) ドローン操作	・自動航行で実施する（離着陸は手動） ・撮影画像の品質（露出/ボケ/ISO など）を確認する
3 画像伝送	(1) 画像伝送	・可能な限りの最大画素数で撮影する ・ファイルサイズが大きすぎる場合は画素数を落とすなどの対策をとる ・補助者もしくは現地作業者が画像を見られる体制を確保する
4 安全に運用するための注意事項	(1) ドローンの安全性	・飛行技術の維持・向上のために定期的に飛行訓練を実施する ・日常的にドローンのメンテナンスを行うことでトラブルを少なくする ・不具合の状態、原因、対応策を記録しておく ・計測前に現地確認を実施し、フライトへの障害を視認した上で、飛行ルートを最終決定する
	(2) 墜落等のトラブルの対応	・河川へ墜落した場合、速やかに落下した機体を回収できるよう落下地点を確認する ・陸側への飛び去りの場合、民地へ侵入する前に、モータを強制停止し、被害の少ない場所へ落下させる。付近に通行者がある場合は、補助員による避難誘導を行う
	(3) 問い合わせ先	・河川管理者
	(4) 遵守すべき法令関連	・航空法、小型無人機等飛行禁止法、道路交通法、電波法、民法、刑法、個人情報保護法、フライト範囲を管轄する国もしくは地方自治体の条例

エ) 建機の ICT 施工における設計データをインプットし、無人化施工用の現場映像配信・・・
 (全体の流れの“⑤”)

マニュアルの目的	ローカル 5G を搭載した車両を基地局として、ローカル 5G 環境を構築し、ドローンに搭載したカメラから 3D 地形データ作成用の画像をリアルタイムに確認 現場の ICT 建機へ、3D 地形データを送信し、映像をリアルタイムに確認しながら、無人化施工する	
マニュアル利用者	委託を受けた施工業者	
作業手順		ポイント
1 設計データ送信	(1) 3次元地形データの建機への送信	<ul style="list-style-type: none"> ・設計データを、DXF や XML や CSV 等で作成した上で、使用する ・ICT 施工機械に合わせた、マシン用設計ファイルに変換をする ・5G を経由しクラウドにて重機のコントロールボックスに、マシン用設計データをアップロードする ・ICT 施工機械の刃先座標データが、現場座標データと合致するかを確認し施工を開始する
2 無人化施工用の映像伝送	(1) 映像伝送	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的には、重機のオペレーター目線の車載カメラや、俯瞰で見るための固定カメラの設置方法・設置場所を決定し、5G ユニットまでの通信方法を選定する ・操作室側についても、5G 端末と接続した上で、画像が受信できるかを確認し、遅延などがないかを定性的に判断する ・制御操作についても、映像を確認しながら挙動確認を実施し、遅延がないかを確認する
3 安全に運用するための注意事項	(1) 遵守すべき法令関連	道路交通法、電波法、民法、刑法、労働安全衛生法
	(2) 問い合わせ先	河川管理者

c. 研修プログラムの検証

災害時にローカル 5G を駆使するためには、ローカル 5G やドローンの特性を理解しておく必要がある。平常時の巡視点検や ICT 施工といった様々な場面での活用が想定され、活用の幅を広げるためにも事前の知識と実用技術の習得が必要となる。また、河川管理者は異動があり、実運用できる体制を維持していくためには、異動があってもスキルを身に付けられる仕組みが必要となる。

研修は、目的に合わせたプログラムを提供することになるが、前述した運用マニュアルに示す作業を、災害時・平常時の現場で実運用する上で必要な知識や技術を身に付ける内容とし、初めて使う方が対象となる「導入時研修」、基礎知識を習得した方が実際に体験を通じて技術を習得する「定期研修」、「出水期前研修」の3つを定期的に開催するプログラムを考えた。

研修プログラムの種類

「導入時研修」： ローカル 5G の各種機器の導入時に（初めて使う方が）、ローカル 5G の基本的な概念やエリア構築の方法を学ぶ研修

「定期研修」： 主に平常時に活用するスキル習得のプログラムとして、
①ドローン飛行による撮影映像配信・画像伝送の方法
②ICT 施工へ活用する方法を実践的に学ぶ研修

「出水期前研修」： 出水期に活用するスキル習得のプログラムとして、出水による被災状況をドローン飛行による映像伝送する方法を実践的に学ぶ研修

研修の実施時期は、研修内容に合わせて、異動直後のタイミングにあたる年度当初（4月）、災害発生の危険性が高まる出水期の前（5月）、6～10月の出水期を除く期間（2月、11月）とした。検討した各研修プログラムの構成・内容・費用を次頁以降に示す。

ア) 「導入時研修」のプログラム

研修の目的	初めてローカル 5G を使う方を対象として、ローカル 5G の基本的な概念、エリア構築の方法、ドローン撮影等に活用する作業の全体の流れを学び、ローカル 5G 活用の基礎知識を習得する。	
参加者	ローカル 5G の基礎知識を体系的に学び、活用に向けて必要な知識・技術を取得したい方 ・河川管理者 ・委託を受けた測量業者 ・施工業者 ・災害協定業者（流域に関係する多数業者が対象）	
内 容	■導入時プログラムの構成案	
	<プログラム 1：座学>	
	1 ローカル 5G でできること（基礎知識）	1.5 時間
	2 エリア構築の方法 ・機器の選定・調達 ・無線環境の現場調査 ・無線局免許の取得方法 ・ネットワークの設計 ・遵守すべき法令等	
	3 ドローン撮影等の活用の全体の流れ	
	<プログラム 2：講師による実演>	
1 エリア構築 ・無線環境の現地調査（実演） ・基地局の設置、エリア構築（実演） ・ネットワーク構築（実演）	1.5 時間	
2 ドローン飛行による映像の配信（実演）		
実施時期	導入時、4 月（異動直後のタイミング）	
期 間	1 日間（AM10:00～PM4:00）※移動・休憩を含む	
費 用	106.2 万円 ※ローカル 5G・ドローンは、河川管理者から貸与されるものを使用する。 ※関東圏での実施を想定。	

イ) 「定期研修」のプログラム（①ドローン飛行による映像配信・画像伝送）

研修の目的	ローカル 5G を使用し、ドローン飛行による撮影映像配信・画像伝送の方法を習得する。	
参加者	ローカル 5G を使用しドローン撮影を行いたい方 ・河川管理者 ・委託を受けた測量業者（巡視点検など） ・施工業者 ・災害協定業者（流域に関係する多数業者が対象）	
内 容	■平常時プログラム（ドローン飛行による映像配信・画像伝送）の構成案	
	<プログラム 1：座学>	
	1 ドローン飛行計画の作成方法	1.5 時間
	2 ドローン撮影・映像配信・画像伝送	
	3 遵守すべき法令等	
	<プログラム 2：体験（屋外）>	
1 ドローン操作、映像配信・画像伝送の体験	1.5 時間	
実施時期	年 2 回（11 月頃・2 月頃）	
期 間	1 日間（AM10:00～PM4:00）※移動・休憩を含む	
費 用	212.5 万円（年 2 回分） ※ローカル 5G・ドローンは、河川管理者から貸与されるものを使用する。 ※関東圏での実施を想定。	

ウ) 「定期研修」のプログラム (②ICT 施工へ活用する方法)

研修の目的	ローカル 5G を使用し、建機への 3 次元地形データの送信、無人化施工用の映像配信の方法を習得する。	
対象者	ローカル 5G を使用した ICT 施工を行いたい方 ・施工業者	
内 容	■平常時プログラム (ICT 施工への活用) の構成案	
	<プログラム 1 : 座学>	
	1 設計データの送信	1.5 時間
	2 無人化施工用の映像伝送	
	3 遵守すべき法令等	
<プログラム 2 : 体験 (屋外) >		
1 ICT 施工用データの伝送や映像配信の体験	1.5 時間	
実施時期	年 1 回 (11 月頃)	
期 間	1 日間 (AM10:00~PM4:00) ※移動・休憩を含む	
費 用	170.0 万円/回 ※ローカル 5G・ドローンは、河川管理者から貸与されるものを使用する。 ※3次元地形データは研修前に作成したものを当日使用する。 ※関東圏での実施を想定し、使用する重機の在庫が関東圏にあることを前提とする。	

エ) 「出水期前研修」のプログラム

研修の目的	出水による被災状況を、ローカル 5G を使用し、ドローン飛行による撮影映像の配信方法を習得する。	
対象者	・河川管理者 ・災害協定業者 (流域に関係する多数業者が対象)	
内 容	■出水期前プログラムの構成案	
	<プログラム : 体験 (屋外) >	
	1 エリア構築 ・無線環境の現地調査の体験 ・基地局の設置、反射板を活用してエリア構築の体験 ・ネットワーク構築の体験	1.5 時間
	2 ドローン飛行による映像の配信の体験 ※河川事務所への映像配信	
実施時期	年 1 回 (5 月頃に開催される水防訓練にあわせて実施)	
期 間	0.5 日間 (PM1:00~PM4:00) ※移動・休憩を含む	
費 用	106.2 万円 ※ローカル 5G・ドローンは、河川管理者から貸与されるものを使用する。 ※関東圏での実施を想定。	

d. メンテナンスサポートの検証

ローカル 5G を活用したドローン撮影を安全・安心に行うためには、使用機器について、使用前後の点検や定期的な点検・整備を徹底し、トラブル発生時には、早期の復旧を目指しトラブルの要因を究明し、今後の予防保全に活かすためにも、専門家によるサポートが求められる。

機器のメンテナンスサポートは、「定期点検」と「トラブル発生時の保守」の 2 つを考えた。各サポートの内容を以下に示す。

サポート時期は、ドローンについては「公共測量における UAV の使用に関する安全基準(案)」(国土交通省 国土地理院・平成 28 年 3 月)の記述に従うことになる。「UAV は、機体の製造元

の推奨する期間ごとに、特に定めがない場合は1年又は 合計 100 時間の運航を目途に、機体の定期的な点検を、専門の第三者機関や機体の製造元等で実施することが必要」と定期点検の時期が提示されている。前述した研修プログラムと点検・修理に必要な期間をふまえ、年1回、出水期前研修の前（4月）とした。

表 4.3-36 メンテナンスサポート内容(定期点検、トラブル発生時の保守)

		定期点検	トラブル発生時の保守
目的		トラブルを事前に防ぐ	早期の復旧を目指す
回数（時期）		1回/年（4月）	—
対象機器		ローカル 5G システム（伸縮柱搭載車両、ローカル 5G 端末） 1台 撮影用ドローン（ドローン、カメラ） 1台	
サポート内容		<ul style="list-style-type: none"> ・消耗品の交換 ・点検 ・出張費 ・技術費 ※状況に応じて部品交換費 	<ul style="list-style-type: none"> ・修理 ・出張費 ・技術費 ※状況に応じて部品交換費
費用	ローカル 5G システム	—	年間 782.7 万円 ※部品の交換は別途費用が発生
	車両	1回あたり 33.5 万円 ※部品の交換は別途費用が発生	1回あたり 33.5 万円 ※部品の交換は別途費用が発生
	撮影用ドローン	1回あたり 16.8 万円 ※部品の交換は別途費用が発生	1回あたり 22.4 万円 ※部品の交換は別途費用が発生

また、メンテナンスには専門的なスキル（技術）が必要であり、機器のトラブルや不具合はいつ発生するか分からないため、以下のような常設チームでのサポート体制の構築が求められる。

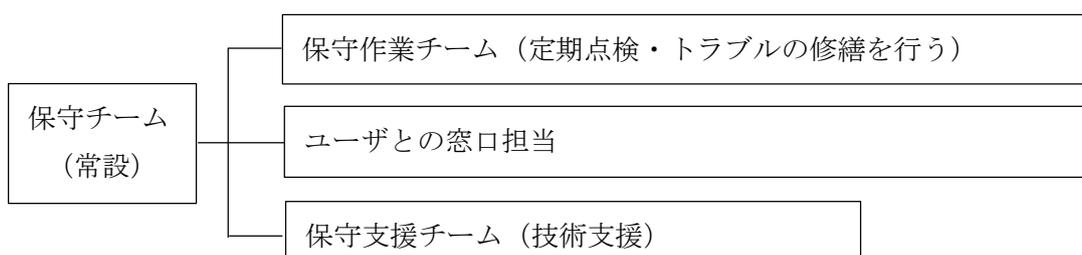


図 4.3-59 メンテナンスサポート体制

(3) 効果検証

ここでは、機能検証で得た成果が、これまでの実施方法と比べ、効果があるか、あるいは、課題が生じる可能性があるか、定量的かつ定性的な観点から検証を行った。

1) 検証項目

以下に3つの実証項目ごとの検証項目を示す。

表 4.3-37 検証項目の設定

実証項目	エリアごとの検証項目	
◆ドローンからのリアルタイム映像配信	定量	・ローカル 5G システムと従来の手法（録画映像の 4GLTE による現地作業員 PC からの伝送、管理者等からの配信）の総時間との比較による迅速性の効果
	定性	・ローカル 5G システムと従来の手法の映像の乱れ、ブレの比較
◆ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成	定量	・ローカル 5G システムと従来の手法（撮影画像の 4GLTE による現地作業員 PC からの伝送）の総時間との比較による迅速性の効果 ・3D 地形データ作成のサービスの活用効果（精度、迅速性）
◆建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	定量	・設計用データ作成におけるローカル 5G システムと従来の手法（現地確認、CAD 等での図化）の総時間との比較による迅速性の効果 ・建機へのデータ伝送におけるローカル 5G システムと従来の手法（無線 LAN 等）の総時間との比較による迅速性の効果
	定性	・ローカル 5G システムと従来の手法（無線 LAN 等）における建機の安全な動作の変化

2) 検証方法

各検証項目に対し、以下の方法で検証を実施する。

表 4.3-38 検証方法の設定

実証項目	エリアごとの検証手法	
◆ドローンからのリアルタイム映像配信	定量	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G システムと従来の手法（録画映像の 4GLTE による現地作業員 PC からの伝送、管理者等からの配信）の総時間との比較による迅速性の効果を整理する。
	定性	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G システムと従来の手法の映像を目視確認で比較する。
◆ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成	定量	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G システムと従来の手法（撮影画像の 4GLTE による現地作業員 PC からの伝送）の総時間との比較による迅速性の効果を整理する。 3D 地形データ作成のサービスの活用効果（精度、迅速性）を整理する。
◆建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	定量	<ul style="list-style-type: none"> 設計用データ作成におけるローカル 5G システムと従来の手法（現地確認、CAD 等での図化）の総時間との比較による迅速性の効果を整理する。 建機へのデータ伝送におけるローカル 5G システムと従来の手法（無線 LAN 等）の総時間との比較による迅速性の効果を整理する。
	定性	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G システムと従来の手法（無線 LAN 等）における建機の安全な動作の変化を検証する。

3) 検証結果及び考察

検証の結果を以下に示す。

表 4.3-39 検証結果

実証項目	検証結果																									
◆ドローンからのリアルタイム映像配信	定量	<ul style="list-style-type: none"> ・ 基地局からの距離 100m ローカル 5G : 0.5 秒遅延 LTE : 1.0 秒遅延 ・ 基地局からの距離 350m ローカル 5G : 5.0 秒遅延 LTE : 1.0 秒遅延 ・ 上記の結果より、基地局からの距離による映像の遅延はあるものの 5 秒程度であり、これは災害時の“リアルタイム性”を考慮した状況把握、情報共有の観点に置いて支障が生じるものではなく、迅速性に資する。 ・ 以下の表に示すように、従来手法で映像配信を行う場合、ドローンを着陸させ、SD カードを抜いて PC にてデータ確認、データ移動させた後に、LTE 通信で送付することとなる。10 分の映像でも 4GB 程度の容量が必要となるため、配信にも時間を要する。総じて、最短 50 分となり、本手法のリアルタイム性の 2 分において、96%の大幅な改善効果を得られた。 <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p>表 従来環境と本実証環境の処理時間の比較 (単位: 分)</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>従来手法</th> <th>本実証の手法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>離陸～撮影開始</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>撮影～着陸</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td></td> </tr> <tr> <td>着陸～電源停止</td> <td style="text-align: center;">6</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>映像データ確認</td> <td style="text-align: center;">4</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>データ移動</td> <td style="text-align: center;">5</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>データ配信</td> <td style="text-align: center;">30 分以上</td> <td style="text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">合 計</td> <td style="text-align: center;">50 分以上</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> </tbody> </table> </div>		従来手法	本実証の手法	離陸～撮影開始	2	2	撮影～着陸	5		着陸～電源停止	6	0	映像データ確認	4	0	データ移動	5	0	データ配信	30 分以上	0	合 計	50 分以上	2
	従来手法	本実証の手法																								
離陸～撮影開始	2	2																								
撮影～着陸	5																									
着陸～電源停止	6	0																								
映像データ確認	4	0																								
データ移動	5	0																								
データ配信	30 分以上	0																								
合 計	50 分以上	2																								
	定性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 目視確認結果はローカル 5G の方が LTE での通信映像より鮮明で動作もスムーズであった。 ・ 飛行高度 50m、100m の双方、また地上での検証もふまえ、基地局から 400m のエリア内では高精細映像の配信が可能となる。 																								

◆ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成

・以下の表に示すように、従来手法で画像配信を行う場合、ドローンを着陸させ、SD カードを抜いて PC にてデータ確認、データ移動させた後に、LTE 通信で送付することとなる。総じて 56 分となり、本手法 31 分は、おおよそ半分の時間(対従来比 55%)となり、45%の改善効果を得られた。

表 従来環境と本実証環境の処理時間の比較 (単位：分)

	従来手法	本実証の手法
離陸～撮影開始	2	2
撮影～着陸	5	(※1)
着陸～電源停止	6	0
データ確認	4	0
データ移動	5	0
解析システム設定	5	0
クラウドへのデータアップロード (※2)	29	29
合計	56	31
短縮率 (本実証/従来手法)		55%

※1 フライト中からアップロード開始しているため、アップロード時間でカウントする。
 ※2 ローカル 5G 環境においてもクラウドへのアップロードは LTE を用いて実施するため、ともに今回実証した値を設定する。

・3D 地形データ作成のサービスを活用することで、以下の表の通り、対従来比 25%時間で済み、75%の時間短縮効果を得られた。

表 設計データ作成手順 (単位：分)

	従来手法	本実証の手法
現況地形の取得	210 ※1	31 ※3
三次元地形データ作成		38 ※3
設計データ作成	270 ※2	45
合計	480 (約 8 時間)	114 (約 2 時間)
短縮率 (本実証/従来手法)		25%

※1: 現地における被災箇所の VRS による起終点位置取得、延長測定、堤防天端幅・法勾配、被災(決壊や沈下)による高低差等を現地で簡易計測し、概括的な被災形状を取得するまでに要すると想定される時間。被災延長は 100m 相当とする。概ね 3~4 時間を要することが想定されるため、210 分として設定。

※2: 測量データを用いて CAD ソフトで施工用設計データの作図を実施するのに要すると想定される時間。概ね 4~5 時間を要することが想定されるため、270 分として設定。

※3: 枚数の最も多い No.3 (撮影枚数: 112 枚) をケースとした時間

定量

<p>◆建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信</p>		<p>・現地データの取得から ICT 建機での運用開始にかかる時間（ローカル 5G ではドローンによるデータ取得、従来手法ではトータルステーション等による現地データの取得を想定している。）は、ローカル 5G : 約 3 時間に対し、従来手法 : 11 時間 40 分であり、従来手法と比較して約 74% の時間短縮効果を得られた。</p> <p style="text-align: center;">表 従来環境と本実証環境の処理時間の比較（単位：分）</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;"></th> <th style="width: 35%;">従来手法</th> <th style="width: 35%;">本実証の手法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>現況地形の取得</td> <td style="text-align: center;">210 ※1</td> <td style="text-align: center;">31 ※4</td> </tr> <tr> <td>三次元地形データ作成</td> <td></td> <td style="text-align: center;">38 ※4</td> </tr> <tr> <td>設計データ作成</td> <td style="text-align: center;">270 ※2</td> <td style="text-align: center;">45</td> </tr> <tr> <td>施工用設計データ変換</td> <td style="text-align: center;">180 ※3</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>施工用設計データアップロード</td> <td style="text-align: center;">30</td> <td style="text-align: center;">30</td> </tr> <tr> <td>ICT 建機での運用開始</td> <td style="text-align: center;">10</td> <td style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">合 計</td> <td style="text-align: center;">700(11 時間 40 分)</td> <td style="text-align: center;">184(3 時間 4 分)</td> </tr> <tr> <td>短縮率（本実証/従来手法）</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">26%</td> </tr> </tbody> </table> <p>※1: 現地における被災箇所の VRS による起終点位置取得、延長測定、堤防天端幅・法勾配、被災（決壊や沈下）による高低差等を現地で簡易計測し、概括的な被災形状を取得するまでに要すると想定される時間。被災延長は 100m 相当とする。概ね 3～4 時間を要することが想定されるため、210 分として設定。</p> <p>※2: 測量データを用いて CAD ソフトで施工用設計データの作図を実施するのに要すると想定される時間。概ね 4～5 時間を要することが想定されるため、270 分として設定。</p> <p>※3: 設計者と施工者間のデータの受渡し、および内容の確認に要すると想定される時間。概ね 3 時間を要することが想定される。</p> <p>※4: 前項 b. ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成 (コ) 従来手法からの短縮率適用。</p>		従来手法	本実証の手法	現況地形の取得	210 ※1	31 ※4	三次元地形データ作成		38 ※4	設計データ作成	270 ※2	45	施工用設計データ変換	180 ※3	30	施工用設計データアップロード	30	30	ICT 建機での運用開始	10	10	合 計	700(11 時間 40 分)	184(3 時間 4 分)	短縮率（本実証/従来手法）	26%	
	従来手法	本実証の手法																											
現況地形の取得	210 ※1	31 ※4																											
三次元地形データ作成		38 ※4																											
設計データ作成	270 ※2	45																											
施工用設計データ変換	180 ※3	30																											
施工用設計データアップロード	30	30																											
ICT 建機での運用開始	10	10																											
合 計	700(11 時間 40 分)	184(3 時間 4 分)																											
短縮率（本実証/従来手法）	26%																												
	定性	<p>・ローカル 5G 環境下での動作と従来無線による動作での差異は感じられなかった。モニター画面やガイダンスデータが途切れることはなく、安全な作業への効果が確認された。</p>																											

これらの検証結果から、河川災害における各フェーズにおいてローカル 5G モデルを活用することで得られる効果を以下に示す。

表 4.3-40 ローカル 5G 活用効果

想定フェーズ	行動の目的	データ	ローカル 5G の活用効果	想定効果
破堤開始 ～30 時間	広範囲の 被害状況把握	ドローン映像	基地局より 400m 範囲内において、ドローンによる高精細映像による情報のリアルタイムでの共有	被災により公共ネットワークが遮断された場合にも有効で災害対応の初動に大きく貢献できる。
破堤後 30 時間～	決壊箇所の 計測	ドローン静止画	ドローンで撮影した高精細画像データの随時連続送信し、3D 地形データを作成	従来 (LTE) : 56 分/箇所 本実証 : 31 分/箇所 ドローンフライト開始から SfM データ作成開始までの時間が 45% 短縮され迅速な地形把握に寄与する。 また、SD カードからのデータコピーなど、有人での作業工程を省略することができ、災害復旧での状況において有効である。
破堤後 30 時間～	復旧施工設計・資材量の算定	3D モデル (施工用設計データ)	計測から無人化施工用のデータ提供のまでの一連の流れの迅速化	従来 ^{*1} : 11 時間 40 分 ローカル 5G : 3 時間 4 分 ICT 建機へのデータ提供時間が 74% 短縮され迅速な復旧工事の着手に貢献できる。

※1 現地における被災箇所の VRS 計測、図面作成に要する時間。

ローカル 5G を活用して河川災害対応にあたることで発生時の現況把握におけるリアルタイムの情報共有が可能になるとともに、被災後の復旧工事開始までの時間を 9 時間短縮することができ、復旧の迅速化が可能となる。また、ドローンによる地形データ取得や ICT 建機による無人化施工について、ローカル 5G 環境下で問題なく動作することが確認でき、作業員を現地作業時の二次災害から安全確保するといった効果も十分に確認された。

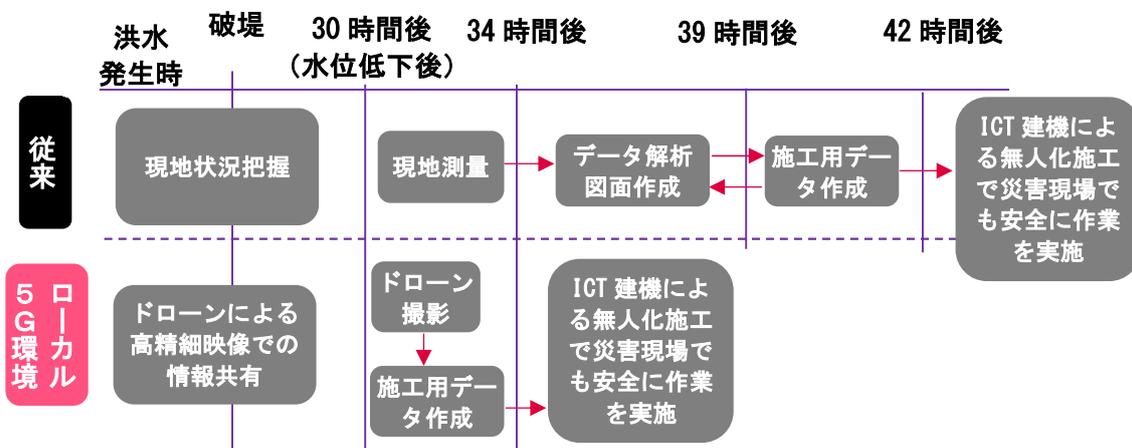


図 4.3-60 河川災害への対応における迅速化・安全性効果

(4) ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

各種検証からローカル 5G における各ソリューションの効果を確認した。

特に災害復旧対応という点について、対応の迅速性、安全性が重要事項であり、本モデルでは災害発生時の高精細画像による現状把握、復旧段階での早急な地形データ取得と ICT 建機による安全な施工開始が可能となり、河川管理者にとっても実用が期待されている。

表 4.3-41 ローカル 5G 実証結果と効果

実証項目	ローカル 5G と従来手法の比較	効果
◆ ドローンからのリアルタイム映像配信	<ul style="list-style-type: none"> リアルタイムでの映像伝送が可能。 LTE の映像と比較してより鮮明で動作もスムーズ（目視確認結果） 従来手法（SD カードを抜いて PC にてデータ確認、移動させた後に、LTE 通信で映像配信）と比べ、96%の改善効果 	<p>高精細画像の配信により被災状況の把握や対応指示が可能であり、現地の通信網が被災により使えない場合は効果が絶大となる。</p>
◆ ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成	<ul style="list-style-type: none"> ドローンフライト開始から 3D 地形データ自動作成開始までに要する時間が従来手法と比べ、45%の改善効果 従来の現地測量を実施して施工用の設計データを作成した場合（約 8 時間）と比較して、約 2 時間と約 75%の時間を短縮 	<p>画像伝送が従来の約半分の時価となり、迅速性の観点から効果が大きい。</p> <p>また、施工用の設計データの作成にかかる時間が大幅に短縮でき、3D 地形データ作成の活用効果は非常に大きい。</p>
◆ 建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	<ul style="list-style-type: none"> 現地データの取得から ICT 建機での運用開始にかかる時間 （ローカル 5G ではドローンによるデータ取得、従来手法ではトータルステーション等による現地データの取得を想定している。） ローカル 5G : 3 時間 40 分 従来手法 : 11 時間 4 分 従来手法と比較して約 74%の時間を短縮 従来無線と比較して操縦に際は感じなかった。 マシンガイダンスやカメラの映像が途切れることはなかった。 	<p>ドローンによる 3D 地形データの作成と活用で運用開始までの時間を大幅短縮している。また、従来無線と比較して建機の動作に問題もなく無人化施工による作業の安全確保にも効果的である。</p>

4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証

本実証で構築した可搬型ローカル5Gによる「スマート災害復旧の推進」を目的とした取り組みは、来年度以降（パッケージでは令和6年度以降を想定）に商用サービスの提供で活用を行う予定である。

商用に向け、実証環境の河川区域において、実証実験終了後の技術実証の結果を受け、精緻なローカル5Gサービス提供に向け、継続的に検証を行うものとする。

実施にあたっては、これまでも協議を重ねてきた国土交通省の関係機関等（公共事業企画調整課、河川計画課情報企画室、技術調査課電気通信室ならびに関東地方整備局所管事務所）と継続して協議を重ね、災害時の迅速な対応に資する取り組みとして実装を目指す。

特に、近年、豪雨災害が激甚化・頻発化し、各地で命に関わる甚大な被害が発生している状況を鑑みれば、河川堤防等の大規模被災時における状況把握には、ドローンによって撮影された映像や画像がリアルタイムで配信されることで、各関係機関が、いち早く詳細に共有できる手法として非常に期待されている。また、ドローンにより時々刻々と変化する被災箇所の地形変化をリアルタイムに検出し、復旧設計データを短時間で作成すること、復旧設計データをもとに建機の無人化施工等を実施することへの期待感も高い。

現在の課題としては、ドローンで取得した映像等を河川事務所の災害対策室等へ伝送するためのネットワークインフラ環境の構築の実現である。河川事務所が整備している光ファイバー等の有効活用も含め、引き続き実現に向けた調整を行うものとする。

さらに、広く普及するための取り組みとして、実際の有事の際の導入効果を確認・周知していくこと、平時の巡視や点検から有効活用することについて、まずはモデル河川を定め、実施協議会等を立ち上げて関係機関を交えた調整を行う等、実証に向けたアクションを実践していく。

なお、荒川下流域では、日常的な河川巡視・点検において、河岸部の確認に船舶を活用しており、その画像や映像の迅速な共有に向けた意向がある。そのため、本取り組みにおける課題実証において、ローカル5Gの活用の展開の一環として、船舶上のカメラで取得したデータの伝送の試験も実施し、今後の実装に向けた基礎資料とした。

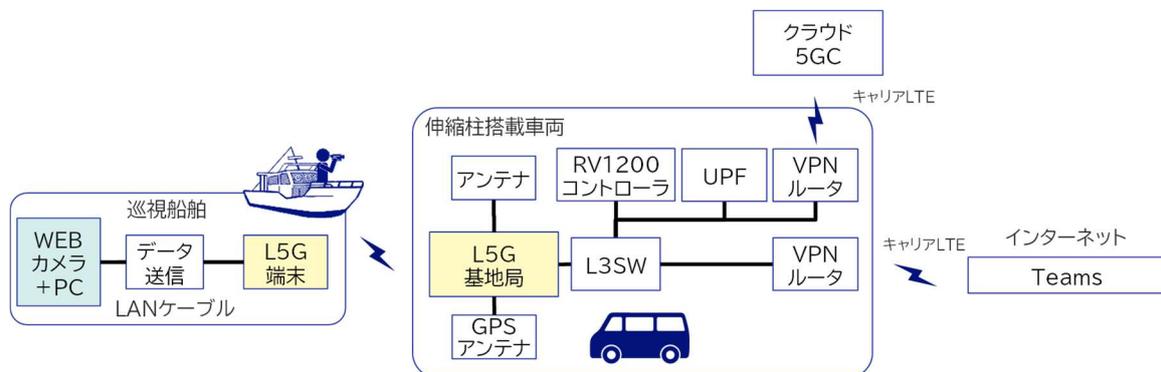


図 4.3-61 追加実証(平常時の船舶による巡視)のシステム構成図

現在は、船舶上で撮影された写真等のデータは、既存通信施設（BWA）により職員等が事務所で確認している。ローカル 5G を活用し、さらに大容量のデータを所内職員や現地の陸上作業員等と迅速に共有できれば、効率的かつ効果的な巡視、点検を実施することが可能となる。

ここでは、「実装性に係る検証の前提」として、平常時に活用される船舶や河川敷上で撮影した映像の伝送の実験を行い、実現性に向けた基礎資料とするものとした。

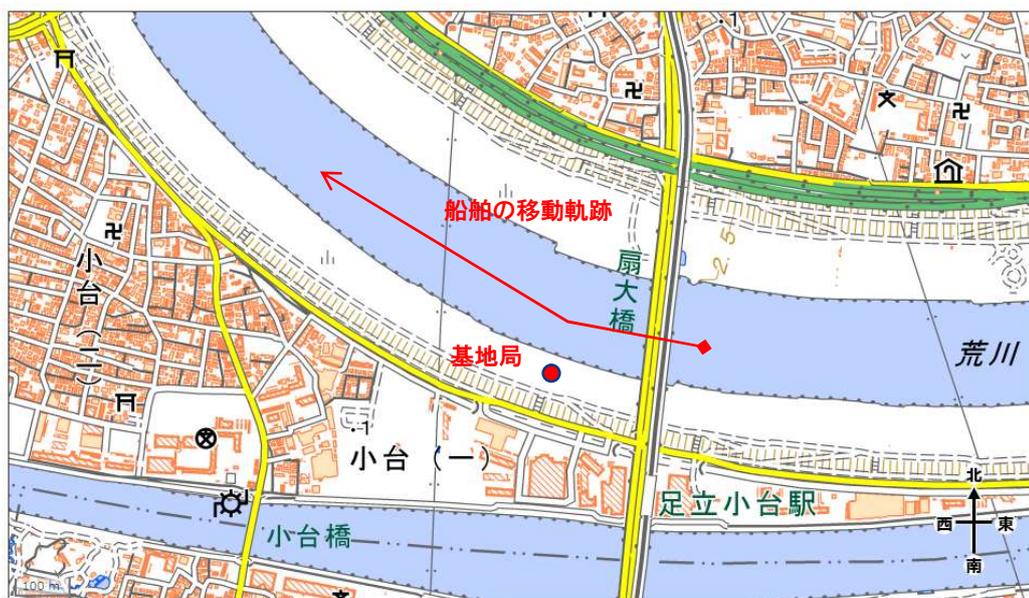
ローカル 5G 活用モデルの実装に向けた実験のひとつとして、河川巡視での活用を想定し、船舶上ならびに河川敷上において、ローカル 5G エリア内の Web カメラ映像伝送試験を行った。試験にあたっては、船舶試験は、荒川下流河川事務所において CCTV カメラ脇に固定された既存通信施設（BWA；2 地点）との比較を行った。河川敷上の試験は、スマートフォンの LTE 通信との比較を行った。

なお、ローカル 5G 基地局は、船舶および河川敷上のローカル 5G 端末を追随しながらアンテナ方向を変化させた。アンテナ高は、既存通信施設（BWA）に合わせて設定した。

実施日：令和 5 年 2 月 7 日（火）13:00～15:30

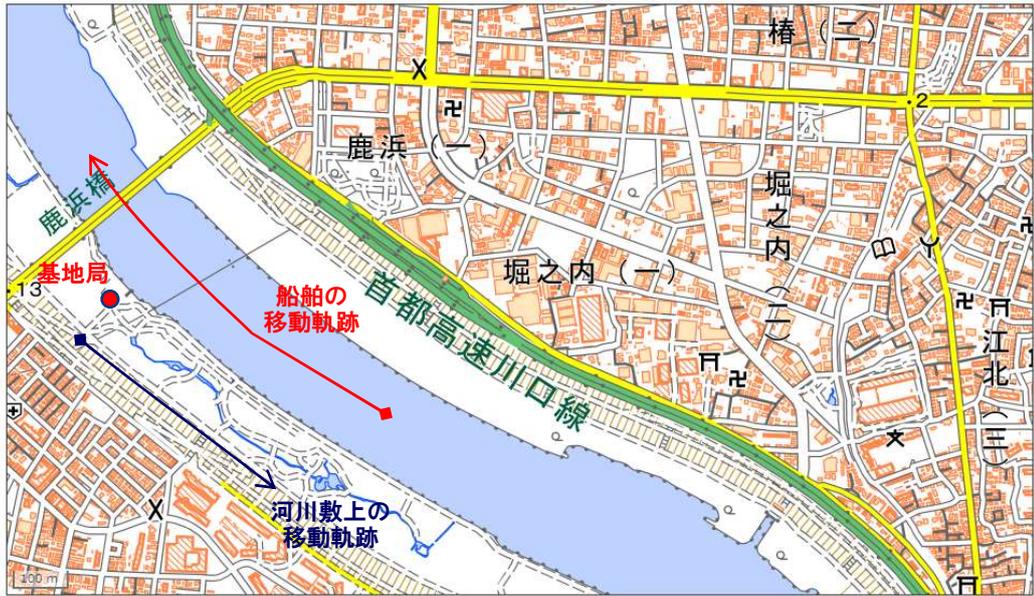
実施地点：扇大橋上流部、新田緊急用船着場付近

実施環境：晴天、風速 1m/s 程度、水面も波等がなく風の状態



※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.3-62 追加実証地点 扇大橋上流部



※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.3-63 追加実証地点 新田緊急用船着場

河川敷での試験については、既存通信施設（BWA）ではなく、スマートフォンの映像との比較を行った。以下に、ローカル 5G と BWA 比較のシステム構成概要図を示す。

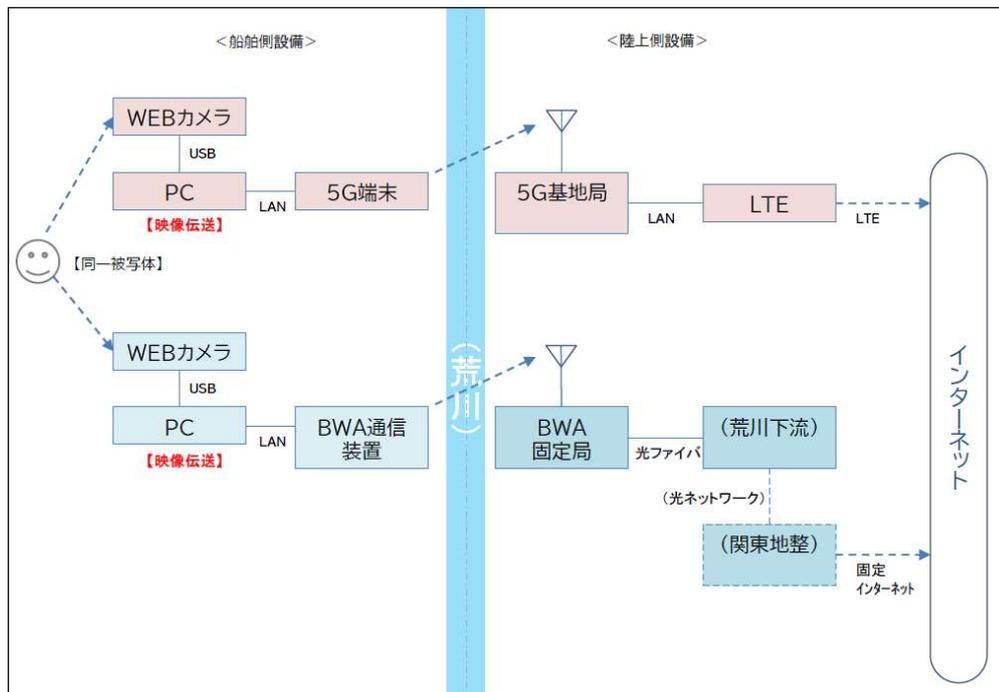


図 4.3-64 ローカル 5G と既存 BWA 比較のシステム構成(船舶での試験)

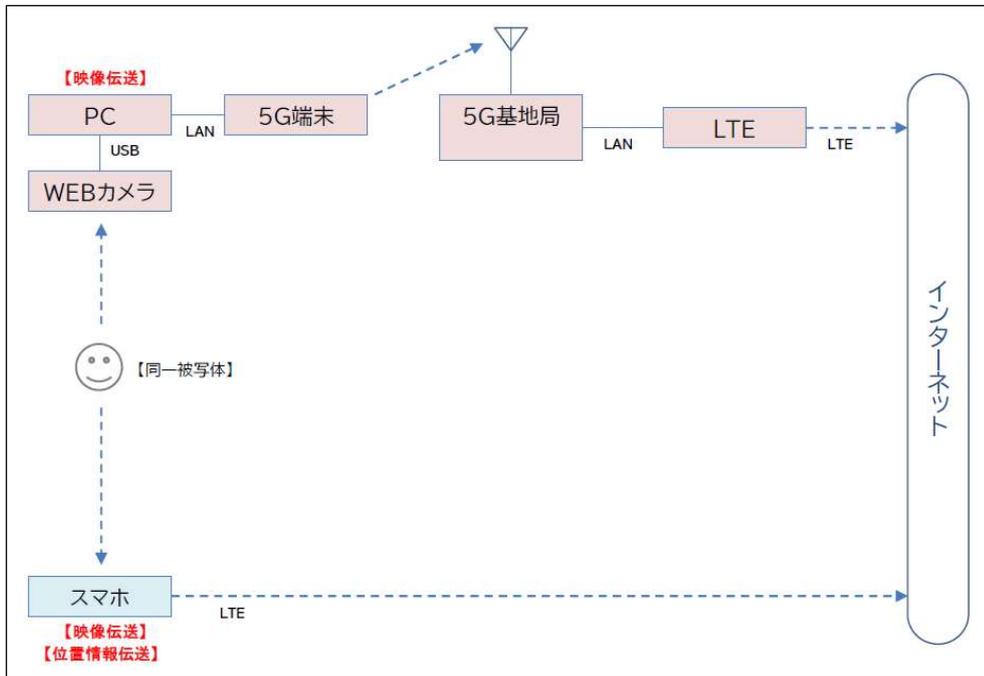


図 4.3-65 ローカル 5G と既存 BWA 比較のシステム構成(河川敷での試験)



図 4.3-66 船舶上に設置した BWA 通信装置及び PC(左)、ローカル 5G 端末及び PC(右)

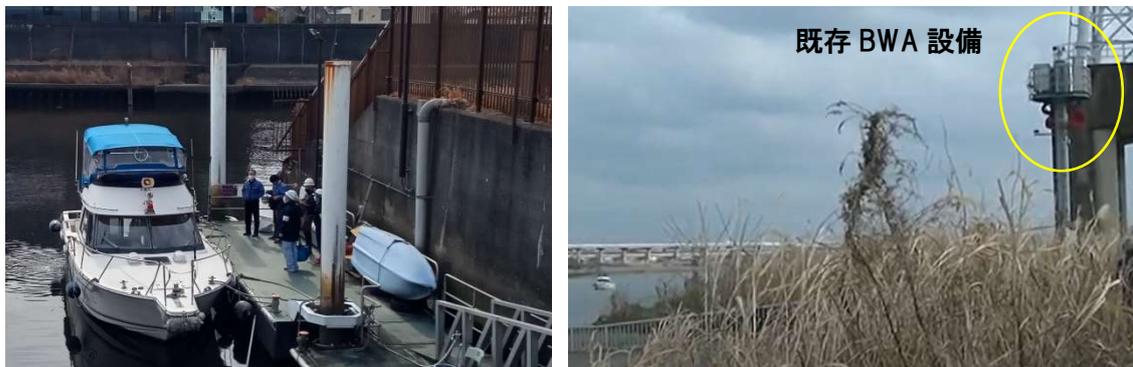


図 4.3-67 船舶全景(左)、CCTV 脇に設置された既存 BWA 設備(右)



図 4.3-68 ローカル 5G 可搬型基地局設置状況(左:新田緊急用船着場 右:扇大橋上流)

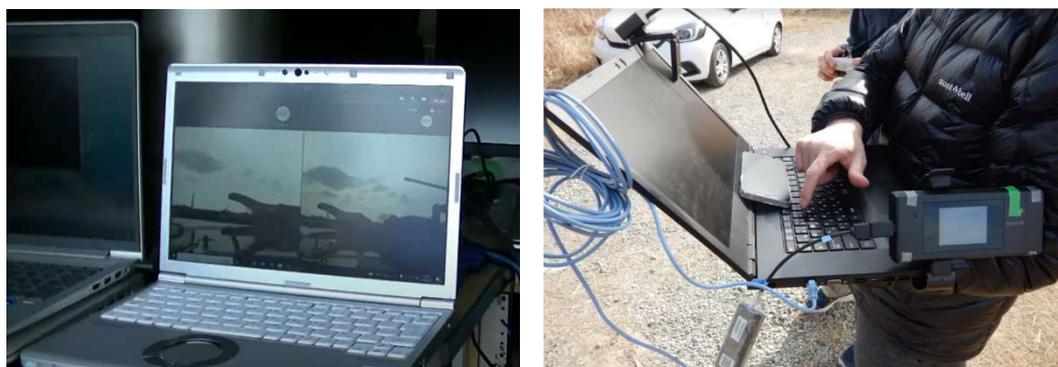


図 4.3-69 ローカル 5G 可搬型基地局内(左)、ローカル 5G 端末を活用した河川敷での映像伝送試験(右)

試験結果について、以下に示す。

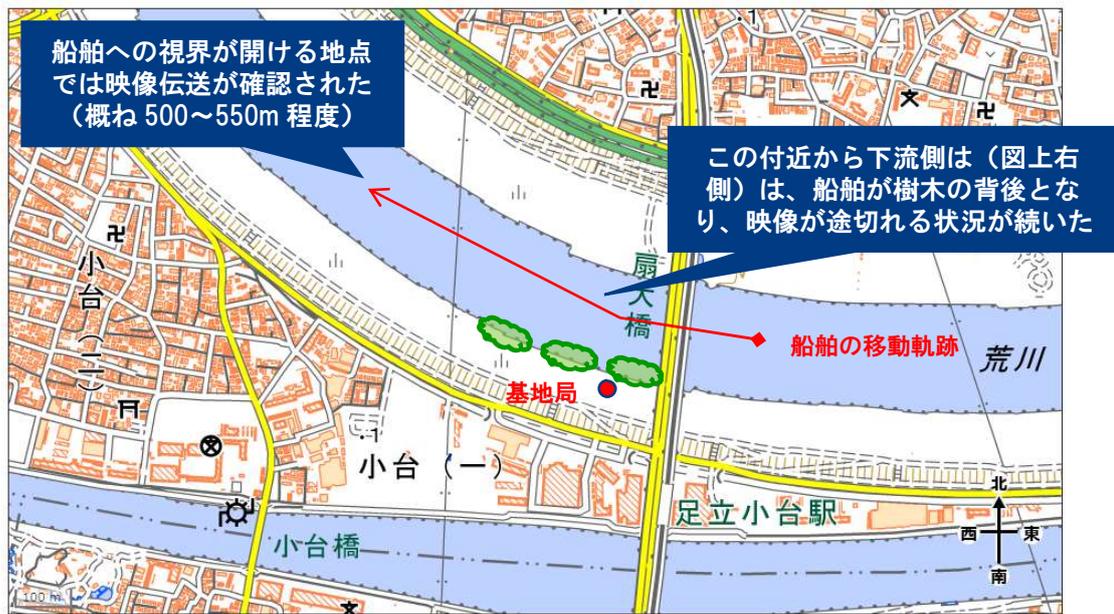
1) 扇大橋上流

この地点では河岸に樹木が見られ、船舶と基地局の視界が一部遮られている環境である。

その影響と想定されるが、特に左下の常緑の樹木付近において、一部映像が途切れる、あるいは停止する現象が見られた。肉眼で船舶が確認できる角度であれば問題なく映像が確認できた。ローカル 5G における映像確認到達距離は、概ね 500~550m であった。



図 4.3-70 陸上から船舶方向の眺望(左)、船舶からローカル 5G 基地局方向の眺望(右)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.3-71 扇大橋上流部での実証結果

ローカル 5G の映像は、一部画質が悪くなる状況も見られたが、樹木による支障が生じない角度の映像は鮮明であった。Teams 上での映像は以下の通りである。



図 4.3-72 既存 BWA 設備の映像(左)、ローカル 5G+Web カメラの映像(右)

2) 新田緊急用船着場付近 (船舶試験)

この地点ではローカル 5G 基地局から船舶までの遮蔽がなく、終始、鮮明な映像が確認できた。ローカル 5G における映像確認到達距離は、概ね 500~550m であった。

また、遅延の試験も実施したが、基地局から 200m 程度離れた地点で計測した結果、約 1 秒の遅延であった。



図 4.3-73 船舶からローカル基地局方向の眺望(左)、ローカル 5G 基地局から船舶の眺望(右)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.3-74 新田緊急用船着場付近での実証結果(船舶)



図 4.3-75 既存 BWA 設備の映像(左)、ローカル 5G+Web カメラの映像(右)



図 4.3-76 既存 BWA 設備の映像(左)、ローカル 5G+Web カメラの映像(右)

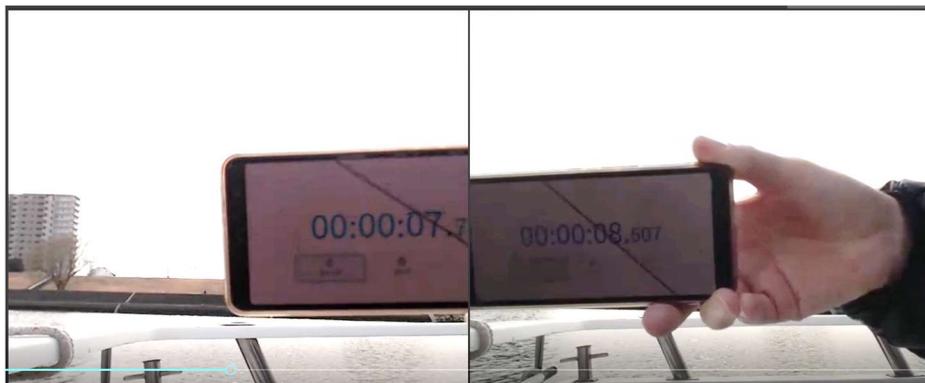


図 4.3-77 遅延試験 既存 BWA 設備の映像(左)、ローカル 5G+Web カメラの映像(右)

2) 新田緊急用船着場付近 (河川敷上の試験)

ローカル 5G 基地局と端末の間に河川敷の樹木や近傍の鉄塔基礎があり、遮蔽された影響からから 400m を超えた付近から映像の乱れ、途切れ、停止が繰り返し確認された。

指向性が強く、樹木群等でも遮蔽影響が想定されることが確認できた。



図 4.3-78 スマートフォンでの撮影状況(左)、ローカル 5G+Web カメラを持った調査員(右)



図 4.3-79 河川敷の状況(左)、ローカル 5G 基地局付近の鉄塔基礎(右)



※国土地理院の地図を編集し使用

図 4.3-80 新田緊急用船着場付近での実証結果(河川敷上)

このような平常時活用の観点からの実験結果もふまえ、ローカル 5G 活用モデルの実装性に係る検証として、経済性や市場性、運用スキーム、ビジネスモデルを整理し、実装性を高める手法等について検討、検証した結果を次頁より示す。

(1) 経済性・市場性の検証

1) 検証項目

本実証のターゲットは、国土交通省及び都道府県、市町村等の河川管理者、及び協定を結ぶ災害協定業者ならびに測量の委託業者とする。

その中でも、被災した場合のリスクが大きい、あるいは積極的にドローン等を導入した施策を実施している、無人化施工の導入を検証している地方整備局や直轄河川事務所を最優先として、ロールモデルを構築する。その上で全国的に波及する仕組みとする。

ここで、河川法第4条第1項の規定によると、一級河川は「国土保全上又は国民経済上特に重要な水系で政令で指定したものに係る河川で国土交通大臣が指定したもの。」とされており、そのうち直轄管理の区間は、一級河川の中でも重要度の高い区間として管理区分されている。本ソリューションの最優先のターゲットとなる。

そのため、ここでの検証項目としては、以下の項目を設定した。

- 直轄河川事務所数、都道府県河川事務所数、河川数、延長、配備する場合の数量等の精査による、市場規模の定量化
- 地域別の被災リスク（河川災害だけでなく、土砂災害、地震、高潮・津波等の甚大な被害を想定）による導入効果の精査
- ドローン利活用による河川巡視、点検等の導入実績
- 無人化施工に向けた検討・検証の実績
- 早期設置エリア・事務所に関する検討
- 経済性に関する検討

2) 検証方法

a. 直轄河川事務所数、都道府県河川事務所数、河川数、延長、配備する場合の数量等の精査による、市場規模の定量化

国土交通省では、河川事務所ごとに大規模な被災が生じた場合、概ね20～30kmをカバーエリアとするケースが多いことから、事務所管轄における河川延長等から導入量の定量化を検証した。

河川災害以外にも、土砂災害や津波・高潮などの海岸災害が発生した時には活用が想定される。砂防・海岸の事務所への導入拡大も想定し、市場規模を算出した。

また、全国的に整備が進められている「河川防災ステーション」の整備数、位置を整理するとともに、実際の配備の可能性として、車両が配置できるスペースがあるか等を代表的な例から整理した。

b. 地域別の被災リスク（河川災害だけでなく、土砂災害、地震、高潮・津波等の甚大な被害を想定）による導入効果の精査

被災実績等から地域別リスクを整理し、導入効果を定性的に精査した。

c. ドローン利活用による河川巡視、点検等の導入実績

国土交通省等において実施されている試験や実証を整理し、導入効果を定性的に精査した。

d. 無人化施工に向けた検討・検証の実績

国土交通省等において実施されている試験や実証を整理し、導入効果を定性的に精査した。

e. 早期設置エリア・事務所に関する検討

上記で整理したドローン利活用、無人化施工に向けた検討・検証の実績等より、早期設置が期待されるエリア・事務所について総合的に検討した。

f. 経済性に関する検討

ローカル 5G 導入により期待される利用シーンを想定し、経済性の効果を試算した。

3) 検証結果及び考察

a. 市場規模の定量化

最優先として考える河川の直轄事務所への導入ほか、海岸・砂防の直轄事務所、県管理の河川・海岸・砂防の事務所への導入拡大ケースを想定し、市場規模を算出した。算出式は以下を使用した。

河川・海岸の延長距離や事務所数とローカル 5G システム・ドローンの配備費、毎年支払われる研修・保守サポートの利用料、加えて施工業者が無人化施工用にレンタルする重機の利用料より算出した。

<直轄管理の河川>

市場規模＝直轄管理の河川の延長距離×延長距離あたりの配備箇所数×((1箇所あたりの台数(金額)÷耐用年数)+(1箇所あたりの研修・保守サポート(金額))+(1箇所あたりの重機レンタル(金額)))

<直轄管理の海岸>

市場規模＝直轄管理の海岸の延長距離×延長距離あたりの配備箇所数×((1箇所あたりの台数(金額)÷耐用年数)+(1箇所あたりの研修・保守サポート(金額))+(1箇所あたりの重機レンタル(金額)))

<直轄管理の砂防>

市場規模＝直轄管理の砂防事務所数×事務所数あたりの配備箇所数×((1箇所あたりの台数(金額)÷耐用年数)+(1箇所あたりの研修・保守サポート(金額))+(1箇所あたりの重機レンタル(金額)))

<県管理の河川・海岸・砂防>

市場規模＝都道府県の河川・海岸・砂防事務所数×事務所数あたりの配備箇所数×((1箇所あたりの台数(金額)÷耐用年数)+(1箇所あたりの研修・保守サポート(金額))+(1箇所あたりの重機レンタル(金額)))

全国の直轄管理の河川の総延長 10,624.2km、海岸の総延長約 340km、砂防関係の 47 事務所、県管理の河川・海岸・砂防関係の 643 事務所への導入による市場規模は 359.3 億円/年(配備箇所数 1,055 箇所)となる。

管理者別内訳を見ると直轄管理の河川は 34%、海岸は 1%、砂防は 4%、県管理の河川・海岸・砂防は 61%を占める。直轄では河川が最も市場規模が大きい。県は 1 事務所で河川・海岸・砂防ほか多種多様な事業が行われており、1 年を通じて多様なシーンでの活用が想定される。

表 4.3-42 河川の総延長距離(実数)

河川区分			延長距離 (km)
河川	一級河川	直轄管理区間 (指定区間外)	10,624.2
		指定区間	77,464.6
	二級河川		35,866.5
	準用河川		20,063.7

出典：「河川データブック 2022」(国土交通省 HP、2022 年 10 月閲覧)

https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen_db/pdf/2022/4-1-3.pdf

表 4.3-43 海岸の総延長距離(実数)

海岸区分			延長距離 (km)
海岸	海岸保全施設	水管理・国土保全局所管 (うち直轄管理)	5,170.3 (約190)
		港湾局所管 (うち直轄管理)	4,258.3 (約120)
		農林振興局所管 (うち直轄管理)	1,722.8 (約30)
		水産庁所管	3,234.9
		水・国土農振共管	238.8
合計 (うち直轄管理)			14,625.1 (約340)

出典：「令和二年度 海岸統計」(国土交通省HP、2022年10月閲覧)

https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kaigan/pdf/20220418.pdf

「直轄海岸事業(水管理・国土保全局所管)」(国土交通省HP、2022年10月閲覧)

<https://www.mlit.go.jp/river/kaigan/main/kaigandukuri/pdf/jigyouchi.pdf>

「令和3年度 海岸管理者一覧表」(国土交通省HP、2022年10月閲覧)

<https://www.mlit.go.jp/common/001466005.pdf>

「直轄海岸保全施設整備事業実施地区概要」(農林水産省HP、2022年10月閲覧)

https://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_kaigan/attach/pdf/index-14.pdf

各直轄管理の延長距離は各海岸のHP等の情報をもとに集計(2022年10月閲覧)

表 4.3-44 直轄の河川・海岸・砂防事務所数(実数)

区分		河川・海岸・ 砂防事務所数	区分		河川・海岸・砂 防事務所数
国土交 通省	北海道開発局 (うち砂防関係)	45 (6)	国土交 通省	中国地方整備局 (うち砂防関係)	19 (3)
	東北地方整備局 (うち砂防関係)	27 (6)		四国地方整備局 (うち砂防関係)	15 (1)
	関東地方整備局 (うち砂防関係)	30 (5)		九州地方整備局 (うち砂防関係)	30 (7)
	北陸地方整備局 (うち砂防関係)	24 (9)	内閣府	沖縄総合事務局	1
	中部地方整備局 (うち砂防関係)	24 (6)	合計 (うち砂防関係)		235 (47)
	近畿地方整備局 (うち砂防関係)	20 (4)			

出典：北海道開発局、地方整備局、沖縄総合事務局のHPの情報をもとに河川・海岸・砂防関係の担当事務所を集計(2022年10月閲覧)

砂防関係の担当事務所の内数は国土交通省HPの「砂防に関する所掌事務」を参考とした

https://www.mlit.go.jp/river/sabo/soshiki/sabo_soshiki.html

表 4.3-45 砂防の土砂災害危険箇所数(実数)

砂防区分			箇所数
砂防	土砂災害危険 箇所	土石流危険渓流等 I	89,518
		地すべり危険箇所	11,288
		急傾斜地崩壊危険箇所等 I	113,557

出典：「都道府県別土砂災害危険箇所」(国土交通省HP、2022年10月閲覧)

<https://www.mlit.go.jp/common/001286018.pdf>

表 4.3-46 都道府県の河川・海岸・砂防事務所等数(実数)

都道府県	河川・海岸・砂防事務所等数	都道府県	河川・海岸・砂防事務所等数	都道府県	河川・海岸・砂防事務所等数
北海道	10	石川県	14	岡山県	16
青森県	11	福井県	13	広島県	15
岩手県	17	山梨県	13	山口県	17
宮城県	11	長野県	25	徳島県	8
秋田県	22	岐阜県	13	香川県	4
山形県	11	静岡県	12	愛媛県	16
福島県	17	愛知県	14	高知県	14
茨城県	13	三重県	10	福岡県	27
栃木県	9	滋賀県	10	佐賀県	6
群馬県	22	京都府	8	長崎県	15
埼玉県	13	大阪府	12	熊本県	9
千葉県	21	兵庫県	19	大分県	13
東京都	12	奈良県	9	宮崎県	14
神奈川県	13	和歌山県	12	鹿児島県	8
新潟県	27	鳥取県	7	沖縄県	8
富山県	15	島根県	18	合計	643

出典：各都道府県HPの土木事務所等の情報をもとに、河川・海岸・砂防関係の担当事務所を集計（2022年10月閲覧）

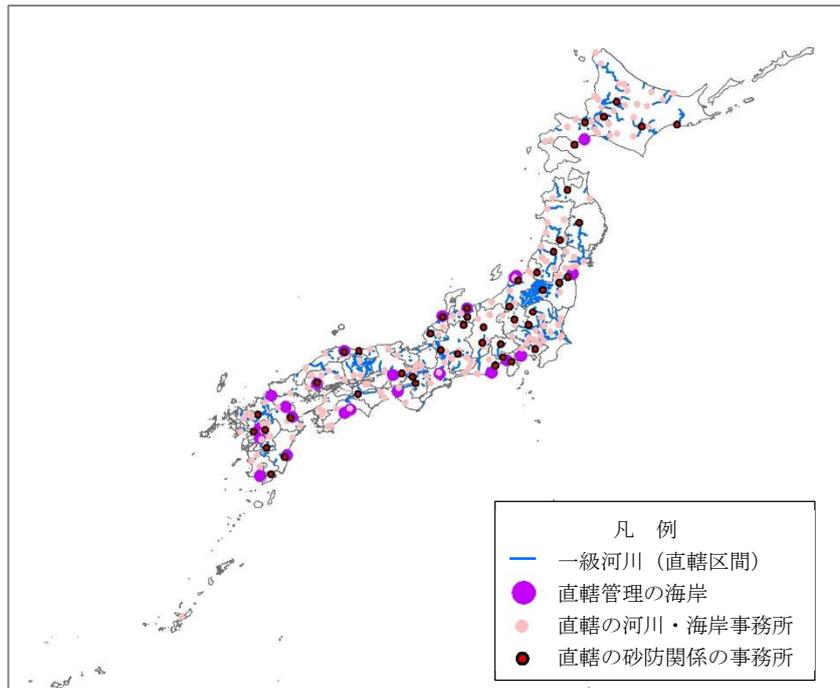


図 4.3-81 直轄管理の河川・海岸、事務所等の位置

出典：「国土数値情報（河川データ）」（国土交通省HP、2022年10月閲覧）

直轄管理海岸の位置は各海岸のHP等の情報をもとに入力（2022年10月閲覧）

河川・海岸・砂防関係の直轄事務所の位置は北海道開発局、地方整備局、沖縄総合事務局のHPの情報をもとに入力（2022年10月閲覧）

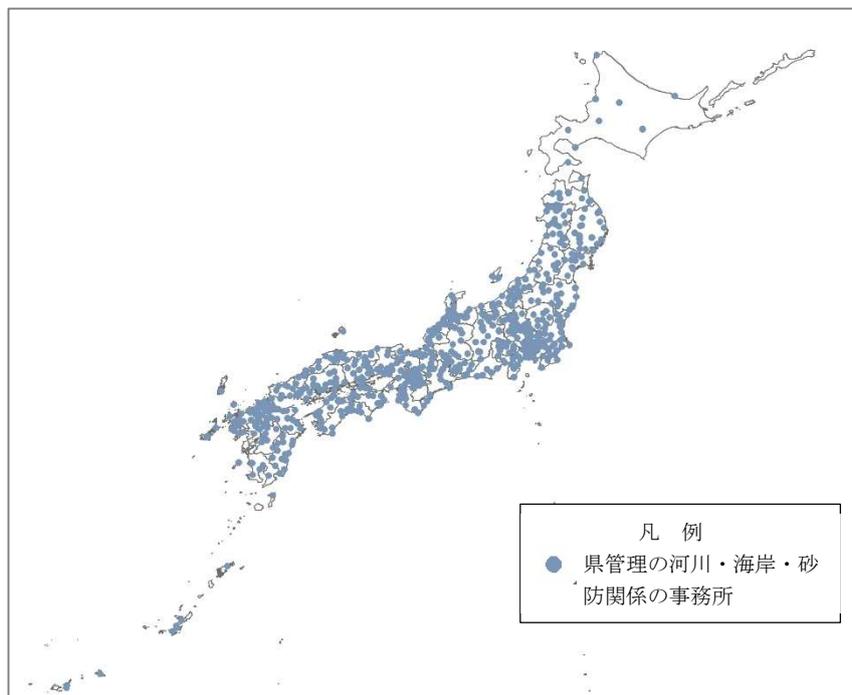


図 4.3-82 県管理の事務所の位置

出典：事務所の位置は、各都道府県HPの土木事務所等の情報をもとに入力（2022年10月閲覧）

表 4.3-47 市場規模の推定条件

項目	条件
延長距離あたりの配備箇所数	1 河川事務所の災害時のカバーエリアを参考として、1箇所/30km
1 箇所あたりの配置台数	伸縮柱掲載車両1台、ドローン1台
伸縮柱掲載車両 1 台あたりの金額	導入2,688.1万円
ドローン 1 台あたりの金額	導入 503.2万円 ^{※1}
事務所数あたりの配備箇所数	1箇所/1事務所
耐用年数	伸縮柱掲載車両15年、ドローン5年
1 箇所あたりの重機レンタルの金額	重機レンタル1,640.0万円/年 ^{※2}
1 箇所あたりの研修・保守サポートの金額	研修・保守 1,483.8万円 (内訳) <ul style="list-style-type: none"> ・ 導入時研修 (基礎・年1回) : 106.2万円/年 ・ 定期研修 (ドローン飛行による映像配信・画像伝送の体験・年2回) : 212.5万円/年 ・ 定期研修 (ICT施工の体験・年1回) : 170.0万円/年 ・ 出水期前研修 (年1回) : 106.2万円/年 ・ 保守サポート : 888.9万円/年^{※3}

※1 ドローンは 50 台以上の導入を想定したボリュームディスカウント適用後の価格とした。

※2 重機レンタルはバックホウを想定した。

※3 保守サポートは、車両本体を除くローカル 5G システムは年間保守 (782.7 万円)、車両本体とドローンは年 1 回の点検・保守 (車両 : 67.0 万円、ドローン : 39.2 万円) を想定した。

表 4.3-48 市場規模の算出結果

項目		配備箇所数	市場規模	割合
直轄管理	河川	354	120.5億円/年	34%
	海岸	11	3.9億円/年	1%
	砂防	47	16.0億円/年	4%
県管理の河川・海岸・砂防		643	218.9億円/年	61%
合計		1,055	359.3億円/年	100%

洪水等の緊急対応を迅速に行うための河川の拠点として、河川防災ステーションの整備が全国で整備が進められている。整備状況を以下に示す。

直轄河川 106 箇所、補助河川 39 箇所、合計 145 箇所の整備が承認されている。

表 4.3-49 河川防災ステーション数(実数)

区分		河川防災ステーション数		区分		河川防災ステーション数	
直轄	北海道開発局	<u>10</u>	<u>(9)</u>	直轄	中国地方整備局	<u>6</u>	<u>(6)</u>
	東北地方整備局	<u>18</u>	<u>(17)</u>		河川	四国地方整備局	<u>7</u>
河川	関東地方整備局	<u>19</u>	<u>(12)</u>	注1)	九州地方整備局	<u>12</u>	<u>(11)</u>
	北陸地方整備局	<u>7</u>	<u>(3)</u>		補助	1 級水系	<u>24</u>
注1)	中部地方整備局	<u>17</u>	<u>(16)</u>	河川	2 級水系	<u>15</u>	<u>(15)</u>
	近畿地方整備局	<u>10</u>	<u>(8)</u>		注2)		
				合計		145	(126)

注1) 直轄河川の河川防災ステーション数は、令和2年度までの承認箇所数と、括弧内はうち令和3年4月までの完成箇所数を示す。

注2) 補助河川の河川防災ステーション数は、令和元年度までの承認箇所数と、括弧内はうち令和2年4月までの完成箇所数を示す。

出典：「河川データブック2022」（国土交通省HP、2022年10月閲覧）

https://www.mlit.go.jp/river/toukei_chousa/kasen_db/pdf/2021/4-2-3.pdf

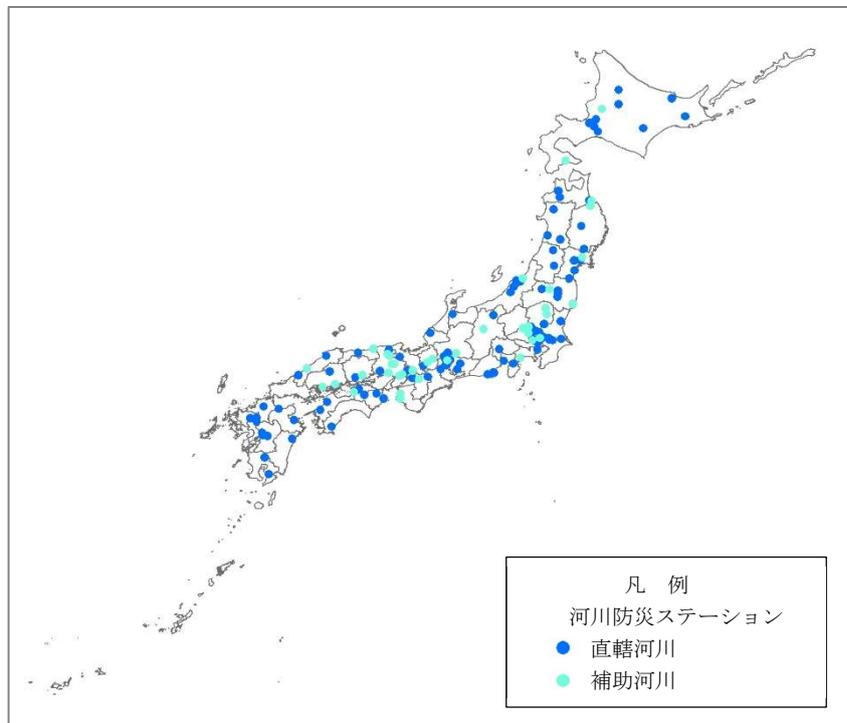


図 4.3-83 河川防災ステーションの位置

出典：河川防災ステーションの位置は「河川データブック2022」及び関連事務所のHP等の情報をもとに入力（2022年10月閲覧）

主な河川防災ステーションの整備内容を以下に示す。

水防活動の拠点として、ヘリポート、資材置き場などの広い敷地を有し、また、排水ポンプ車や照明車等の大型車両を格納できる車庫などが整備されている。

可搬型のローカル 5G を河川・海岸・砂防事務所へ配置する場合、伸縮柱掲載車両を保管するスペースを今すぐ確保できない物理的な問題が想定されるが、広い敷地を有する河川防災ステーションの一部利用が考えられる。

河川管理者	河川名	施設名
北海道開発局長	千歳川	北広島地区河川防災ステーション

【整備内容】洪水時の水防活動の拠点として、排水ポンプ車や照明車など各種車両を格納する水防資材庫が整備されている。また、河川管理カメラの映像等をリアルタイムで提供できるモニターが整備されている。





情報機器室

出典：「北広島河川防災ステーション」（国土交通省HP、2022年10月閲覧）
kluhh40000002hku.pdf (mlit.go.jp)

河川管理者	河川名	施設名
中国地方整備局長	天神川	天神川河川防災ステーション

【整備内容】水防活動・緊急復旧活動の拠点として、防災センターや災害対策車両庫が整備されている。ポンプ車、照明車、現場へ急行し現地対策本部として使用される対策本部車、衛星回線を利用して現場の映像等を防災基地へ送信する衛星通信車などが配置されている。



■防災センター
 防災活動の中心となる施設です。
 ...する施設です。
 ...する土砂・ブロック

■衛星通信車(中型)
 災害等で通信機器が不通になった所でも衛星回線を利用して災害現場の映像等を防災基地へ送信することができます。

■対策本部車(拡幅型・9人乗り)
 大規模災害発生時に現場へ急行し、現地対策本部として使用します。
 車両には長期滞在を想定した簡易なキッチン等を装備しています。

出典：「天神川河川防災ステーション」（国土交通省HP、2022年10月閲覧）
https://www.cgr.mlit.go.jp/kurayoshi/press/images/h270209_st.pdf

b. 地域別の被災リスクによる導入効果の精査

最近の主な自然災害の被害状況を以下に示す。

平成7年の阪神淡路大震災、平成23年の東日本大震災、そのほか近年の自然災害の大部分は台風などの風水害による。

表 4.3-50 自然災害による死者・行方不明者内訳

年	風水害	地震・津波	火山	雪害	その他	合計
平成5年	183	234	1	9	11	438
6	8	3	0	21	7	39
7	19	6,437	4	14	8	6,482
8	21	0	0	28	35	84
9	51	0	0	16	4	71
10	80	0	0	28	1	109
11	109	0	0	29	3	141
12	19	1	0	52	6	78
13	27	2	0	59	2	90
14	20	0	0	26	2	48
15	48	2	0	12	0	62
16	240	68	0	16	3	327
17	43	1	0	98	6	148
18	87	0	0	88	2	177
19	14	16	0	5	4	39
20	22	24	0	48	7	101
21	76	1	0	35	3	115
22	31	0	0	57	1	89
23	136	22,312	0	125	2	22,575
24	52	0	0	138	0	190
25	75	0	0	92	6	173
26	112	0	63	108	0	283
27	28	0	0	49	0	77
28	45	267	0	32	0	344
29	60	0	0	68	1	129
30	285	49	1	103	6	444
令和元年	123	0	0	32	0	155
2	89	0	0	30	0	119
3	41	0	0	145	0	186

注) 本表は、対象年の1月1日から12月31日の死者・行方不明者数を表す。令和3年の死者・行方不明者は内閣府とりまとめによる速報値。平成23年に起きた災害のうち「地震・津波」欄のうち、東日本大震災分は、「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)について(令和4年3月8日)」により、死者(震災関連死を含む)・行方不明者22,312人となっている。

出展：「防災白書」(内閣府HP、令和4年)

https://www.ousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/r4_all.pdf

風水害、地震・津波による被害状況の詳細について以下に示す。

集中豪雨や台風の上陸や地震等により、全国各地で被害が生じている。近年5か年の被災状況を見ると、平成30年は特に風水害の被害が顕著であり、平成30年7月の豪雨では、九州から北海道にかけて被害が生じ、死者・行方不明者245名、負傷者433名の人的被害、全壊6,767棟、半壊・一部破損15,234棟、床上浸水7,173棟、床下浸水21,296棟の住宅被害が発生している。

全国にローカル5Gを配備し実運用できるようになることで、これら被災時に被災施設の迅速な復旧など現場対応の迅速化が期待される。

地区別の災害発生の頻度を見ると、北海道は他の地区に比べてやや少なく、東北から九州にかけては概ね同程度の頻度で発生している。

表 4.3-51 風水害、地震・津波に係る被害状況(近年5か年)

発災日	災害名	発災地区								人的被害(人)		住宅被害(棟)				
		北海道	東北	関東	中部	近畿	中国	四国	九州	死者・行方不明者	負傷者	全壊	半壊・一部破損	床上浸水	床下浸水	
H30.4	地震						○				9	13	419			
H30.6	地震					○	○	○			4	434	9	27183		
H30.7	豪雨	○	○		○	○	○	○	○		245	433	6767	15234	7173	21296
H30.8	台風第13号			○								4				
H30.8	台風第20号			○	○	○	○	○				30		47	5	22
H30.9	台風第21号	○	○	○	○	○	○	○			14	954	26	50272	66	505
H30.9	地震	○									42	672	462	14170		
H30.9	台風第24号	○	○	○	○	○	○	○	○		2	195	14	1771	22	115
H31.1	地震								○			1				
H31.2	地震	○										6		1		
R1.6	地震		○		○							43		1281		
R1.7	大雨				○				○		2	6	9	10	92	385
R1.7	台風第5号				○		○	○	○		1	6		3	16	92
R1.8	台風第8号								○		1	5	1	5	1	3
R1.8	台風第10号	○	○			○	○	○	○		2	56		12	1	1
R1.8	大雨	○	○				○		○		4	2	95	930	904	4739
R1.9	台風第15号		○	○	○						1	150	342	74324	127	128
R1.9	台風第17号	○	○		○		○	○	○		1	65		555	14	32
R1.10	台風第19号	○	○	○	○	○	○	○	○		107	384	3308	67344	8129	22892
R2.3	地震				○							1				
R2.7	豪雨		○	○	○	○	○	○	○		86	54	1621	8007	1681	5290
R2.9	台風第10号			○	○	○	○	○	○		9	95	2	855	6	31
R2.10	台風第14号					○						2				
R3.2	地震		○	○								185	21	3091		
R3.7	大雨		○	○	○	○	○	○	○		28	39	59	457	472	2638
R3.8	大雨			○	○	○	○	○	○		13	14	43	1611	1024	5531
R3.10	地震			○								43				
R4.3	地震		○	○	○						3	245	111	20333		
R4.6	地震				○							6				
R4.7	台風第4号		○	○	○	○	○	○	○		1			4	17	96
R4.7	大雨		○	○	○	○	○	○	○		1	6	3	30	260	1333
R4.8	大雨	○	○	○	○	○	○	○	○		3	9	28	923	1710	4381
R4.9	台風第11号				○	○		○	○		1	6	1	2	18	120
R4.9	台風第14号		○	○	○	○	○	○	○		5	154	10	1072	659	651
R4.9	台風第15号			○	○						3	6	6	3519	4275	12995
累積頻度(○の個数合計)		10	17	18	23	17	19	17	19							

出展：「内閣府の防災情報のページ」(内閣府HP、2022年12月閲覧) <https://www.bousai.go.jp/updates/#r3>

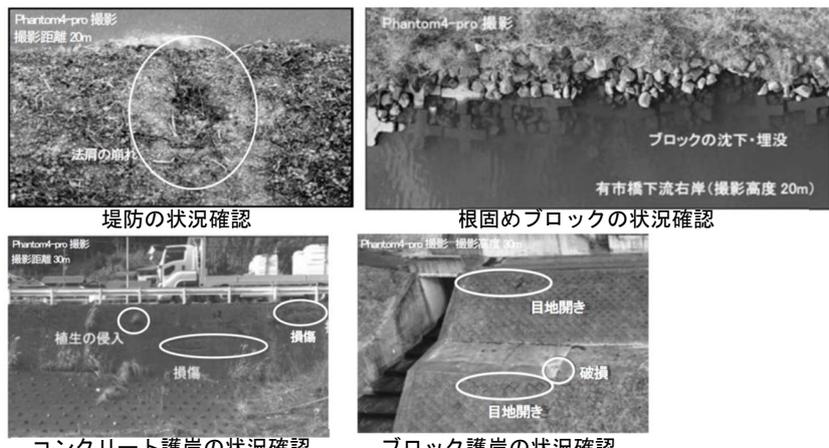
c. ドローン利活用による河川巡視、点検等の導入実績

国土交通省等における河川管理におけるドローン活用の主な実績を以下に示す。地方整備局の近年の技術発表会資料等より整理を行った。

河川管理においてドローンは、被災状況の把握、平常時の巡視・点検、工事の進捗状況の把握、3次元測量などの場面で活用・検討されている。災害直後の被災状況を事務所の職員が自ら撮影し情報が得られるよう、ドローンの飛行訓練が実施されている。さらに、AIによる自動判読、ドローン操縦者を現地に派遣せず事務所からの遠隔操作で映像を受信する、自動航行の検討も進められている状況にある。

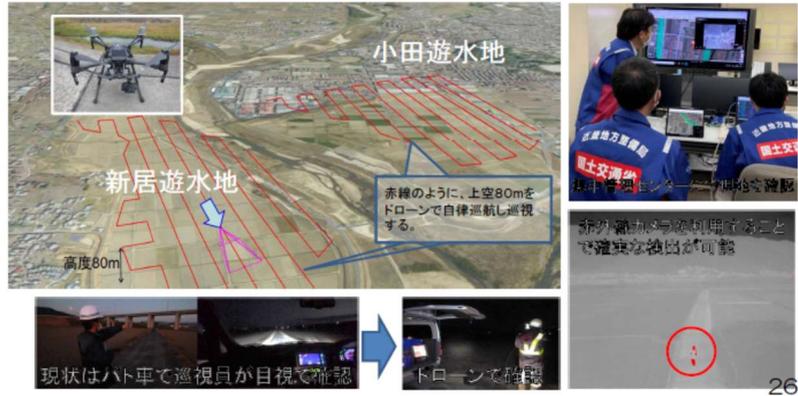
国土交通省ではドローンの運用や安全管理の方法、ドローンで得られたデータの活用方法、ドローン巡視の将来像をとりまとめた「UAV等を活用した河川巡視の手引き(案)」を令和4年3月に作成しており、巡視現場でのドローン活用、将来的にはAI等の画像解析技術を活用した巡視の自動化を目指している。将来的にはさらにドローン活用の幅が広がることが予想される。

大容量のデータをリアルタイムに通信できるローカル5Gは、AI等を活用した自動化処理などにより巡視・点検、施工管理等、さらなる河川管理の効率化に寄与することが期待できる。

活用区分	河川の巡視・点検
実施主体	兵庫県姫路土木事務所
【活用内容】	河川の巡視・点検業務の効率化・高度化を図るため、ドローンで取得した情報(映像や画像)を用いて、河川点検を実施している。また、監視システム(UAVによる空撮動画をパソコン画面の地図上で表示するアプリケーションソフト)を開発し、2017年度より業務で運用している。 ドローン撮影により、河川全体の状況を俯瞰的に把握できる。
	
出典	中村. UAVを活用した河川点検・監視システムについて. 近畿地方整備局事業研究発表会, 2018
実施主体	近畿地方整備局 近畿技術事務所
【活用内容】	現地実証調査により、ドローンによる河川維持管理への適用性を検証している。変状発見を検証した調査結果によると、河川状況や工作物等の多くの変状をドローン撮影画像より検出できることが確認されている。変状の大きさ計測までは難しいが、異常・変状の検出は可能。河岸や低水護岸、直立護岸、中洲、山付けの溪谷等、人が立ち入って行う詳細な観察・計測が必要な箇所のスクリーニング(抽出)に有効となる。
	
出典	畠山ら. 無人航空機を用いた河川維持管理への利活用について. 近畿地方整備局事業研究発表会, 2020

活用区分	河川の巡視・点検（続き）
実施主体	近畿地方整備局 木津川上流河川事務所

【活用内容】遊水地の湛水前の巡視には時間を要するため、ドローンによる赤外線カメラの画像検出により、夜間においても農耕者等を速やかに抽出し避難の促しを検証している。今後は自動検出としてAI活用も含め検討している。



遊水地におけるドローンを活用した湛水前巡視の効率化

出典：令和3年度 第1回 近畿地方整備局インフラDW推進本部会議資料, 2022

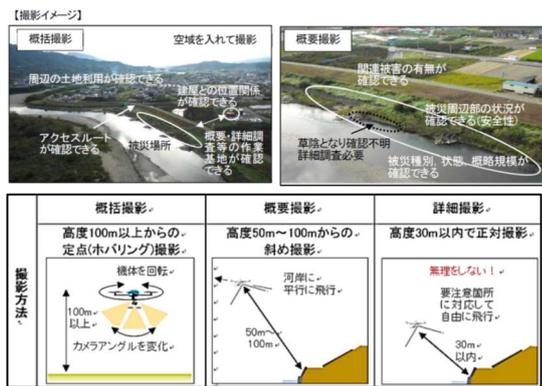
実施主体	北海道開発局 札幌開発建設部
------	----------------

【活用内容】河川管理分野のDXとしてAI/Eye River（アイ・リバー）ワーキングを立ち上げ、CCTVカメラやドローン等の映像をAIで解析する技術検討を進めている。ドローン活用では、上空から撮影した映像をAIで解析し、河道や河川構造物等の異常箇所の監視、発見、記録を自動化し、河川巡視等の高度化と効率化を図る・河道内植生の把握や、積雪期の堤防等の状態をAI解析で把握することの検討を進めている。

出典：令和3年度 第1回 AI/Eye River(アイ・リバー)ワーキング資料, 2021

活用区分	災害時の状況調査
実施主体	近畿地方整備局 近畿技術事務所

【活用内容】災害発生直後は、被災場所・周辺の状況は平常時と大きく変化し、情報の混乱が想定される。災害発生時の初期段階に必要な被災状況調査で効率的・効果的な情報（映像）を提供するために、被災状況調査（河川災害、土砂災害、道路災害）の運用手引き作成・撮影方法（撮影手順、撮影諸元、撮影アングル等）、安全管理の手引きを作成している。



ドローンを活用した被災状況調査の運用

出典：尾無ら. UAV（無人航空機）による災害初期の被災状況調査について. 近畿地方整備局事業研究発表会, 2019

活用区分	工事の進捗状況等の把握
実施主体	中国地方整備局 福山河川国道事務所

【活用内容】災害直後の被災状況を職員が自ら撮影し情報を得るために、計画的に飛行訓練を実施している。主な活用事例のひとつに、工事進捗の把握（河道内の樹木の伐採等の工事の状況の把握）があり、上空からの撮影画像を2時期で比較することで、進捗状況の把握に活用している。



河川における樹木伐採・土砂掘削状況の把握

出典：安食ら. 福山河川国道事務所におけるUAVの活用事例について. 中国地方整備局事業研究発表会, 2019

活用区分	3次元測量
実施主体	中部地方整備局 木曾川上流河川事務所 近畿地方整備局 大和川河川事務所ほか

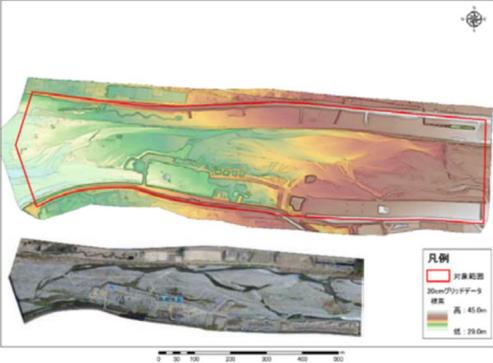
【活用内容】出水後にUAVで撮影された動画をもとに3次元形状を把握するSfM解析を行っている。大和川河川事務所では、SfM解析と画像解析を組合せて、迅速な洪水痕跡調査の実施手法を検討している。



ドローン写真測量による3次元データ

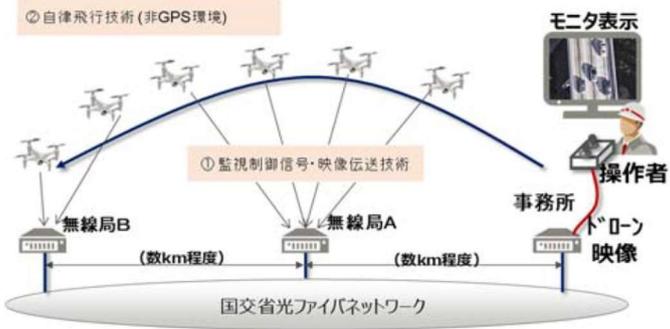
出典：鬼頭ら. UAVを用いた河道内物理環境の面的把握とその活用. 中部地方整備局管内事業研究発表会, 2017

出典：田中ら. SfM解析及び画像分類を用いた洪水痕跡水位自動認識手法の妥当性検証. 河川技術論文集, 2020, 第26巻

活用区分	3次元測量（続き）
実施主体	四国地方整備局
<p>【活用内容】河川管理のための効率的・効果的な情報（三次元データ）を取得するために、グリーンレーザードローンにより現地計測を行っている。水部での測深能力、植生域での地表面データ取得状況、河川構造物のデータ取得状況を把握している。</p>	
	
<p>グリーンレーザードローンによる3次元データと空中写真</p>	
<p>出典：岡崎. グリーンレーザードローンを活用した河川管理への適用. 四国地方整備局事業研究発表会, 2020</p>	

活用区分	河床材料調査
実施主体	国土技術政策総合研究所
<p>【活用内容】立ち入りが困難な箇所、短時間での河床材料調査の実施手法の開発をするため、UAVの空中写真より河床材料の粒径を把握している。</p>	
	
<p>ドローン空中写真を用いた河床材料調査</p>	
<p>出典：福島ら. UAV空中写真の河床材料調査への適用性に関する検討. 河川技術論文集, 2018, 第24巻</p>	

活用区分	飛行訓練の実施
実施主体	中国地方整備局 福山河川国道事務所、四国地方整備局 浜田河川国道事務所
<p>【活用内容】災害直後の被災状況を職員が自ら撮影し、情報が得られるよう、ドローンの飛行訓練を実施している。水防演習等において撮影映像のリアルタイム送信の試行、強風下で飛行可能な全天候型ドローンの訓練も行われている。</p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>飛行時間10時間を目指し計画的な訓練</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>全天候型ドローンの飛行訓練（職員）</p> </div> </div>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>夜間飛行訓練 （福山河川国道事務所）</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>映像のリアルタイム送信 （浜田河川国道事務所）</p> </div> </div>	
<p>出典：安食ら. 福山河川国道事務所におけるUAVの活用事例について. 中国地方整備局事業研究発表会, 2019 出典：楨原ら. 全天候型ドローンを活用した河川巡視について. 四国地方整備局事業研究発表会, 2019</p>	

活用区分	その他
実施主体	関東地方整備局
<p>【活用内容】さらなる河川管理の効率化に向けて、ドローン操縦者を現地に派遣せず、事務所からの遠隔操作により自動航行させ映像を受信する、ドローンの自動航行に向けた検討を行っている。</p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>ドローンの自動航行に向けた検討</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>ドローンカメラ映像</p> </div> </div>	
<p>出典：梶原. 小型無人航空機（ドローン）の自動航行に向けた検討. 関東地方整備局事業研究発表会, 2020</p>	

また、国土交通省では i-Construction を推進するために、3次元データや ICT 等の新技術の導入を加速化する「3次元情報活用モデル事業」を平成 31 年より実施、全国で 10 箇所の直轄事業を実施する事務所をモデル地区に指定している。鳴瀬川総合開発工事事務所（鳴瀬川）、信濃川河川事務所（信濃川）、新丸山ダム工事事務所（木曾川）、豊岡河川国道事務所（円山川）、立野ダム工事事務所（白川）といった河川事業を行う事務所も含まれる。

これらモデル地区の事務所は、ドローン活用にも積極的な事務所と考えられる。

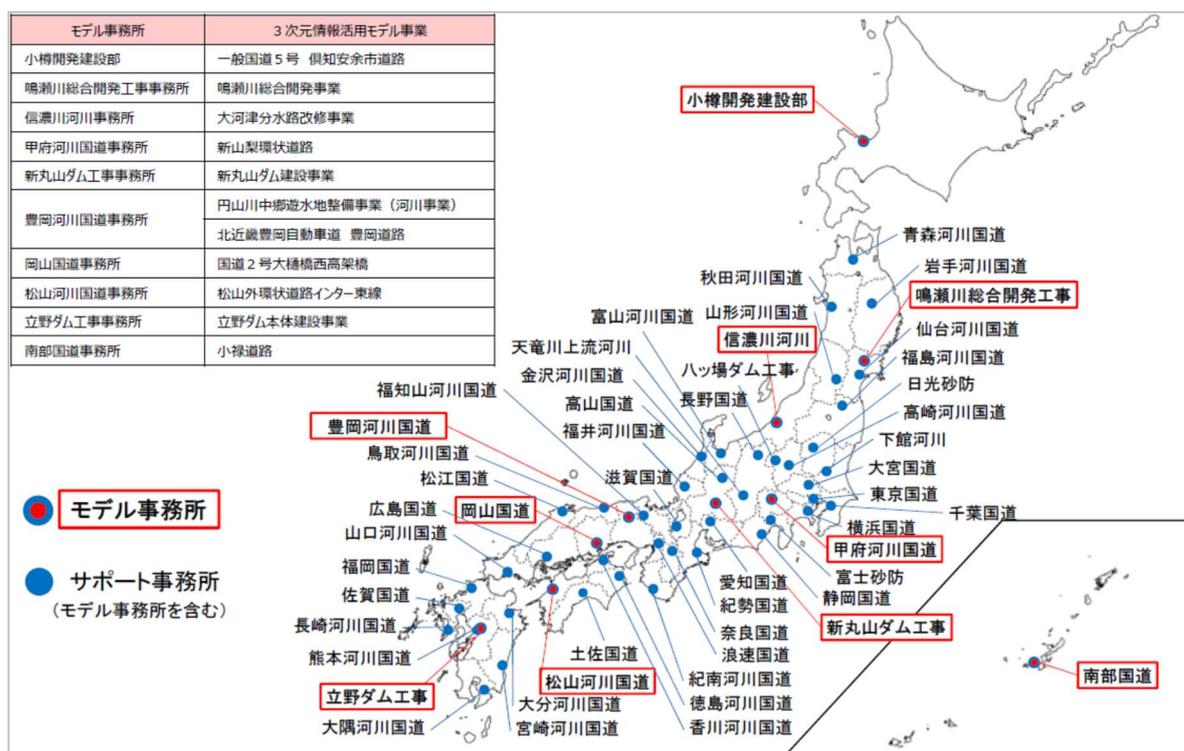


図 4.3-84 「3次元情報活用モデル事業」のモデル事務所・サポート事務所

出展：「i-Constructionの取り組みをリードする事務所を決定」（国土交通省HP、平成31年）

https://www.thr.mlit.go.jp/akita/office/04_i-Construction/pdf/zimusyo.pdf

d. 無人化施工に向けた検討・検証の実績

国土交通省等における河川・砂防工事での無人化施工の主な実績を以下に示す。実績は無人化施工協会のホームページに記載されている最新の工事実績である。

災害復旧や斜面崩壊地での工事、危険が伴う箇所における工事において、無人化施工は行われており、通信システムには無線 LAN を使用し 5GHz 帯のほか高速通信ができる 25GHz 帯を映像の通信に使用している。

キャリア 5G でカバーできない山間部においても、大容量データ通信が可能なローカル 5G を活用することで、危険作業の安全確保、災害対応の効果を高めることが期待できる。

管理者	河川名	施工者
近畿地方整備局長	赤谷川	鹿島建設

【無人化施工内容】奈良県上北山村に位置する、赤谷川における、砂防堰堤工事において、3号砂防堰堤施工において、無人化施工が実施されている。無人化施工は主に6～10月の出水時の施工に用いられており、土砂・岩盤・既設ソイルセメントの掘削・積込・運搬、法面整形作業で実施している。出来形は、地上型レーザースキャナ、UAVによる、空中写真測量による出来形の進捗管理がなされている。重機の映像は、デジタル無線を用いられ、重機の操作には、5GHz帯アクセス無線、固定カメラの映像データ通信には、大容量かつ高速通信が可能な25GHz帯小電力無線を採用された。

無人化施工設備配置図

無線LAN設置配置図

出典： 松本、令和3年度 全国砂防関係工事安全施工管理技術研究発表会，優秀論文集， P. 31-34
 (国土交通省HP、2023年1月閲覧)
[r3zenkoku.pdf\(mlit.go.jp\)](https://www.r3zenkoku.pdf(mlit.go.jp))

河川管理者	河川名	施工者
静岡県（直轄砂防災 害関連緊急事業）	逢初川	大成建設

【整備内容】静岡県熱海市伊豆山地区逢初川水系において、2021年7月に発生した、土石流が発生し、甚大な被害を及ぼした。発災の早期復旧のための、災害対策工事の一部で、無人化施工、遠隔監視が行われている。無人化施工は、現地での作業をいち早く進めるため、源頭部の除石で使用するバックホウを無人化とし、ラジコン型無人化施工機が導入されている。無人化施工機の操作位置は、万が一上流から土石流が流下しても直接被害が生じない位置にステージをも置き、そこからオペレーターが遠隔で操作することで、二次災害のリスクを低減している。また、災害地での工事であったため、工事関係者の判断や安全性・生産性を支援する現場管理システムを導入し、カメラ画像等をスマートフォンで確認しながら工事を行っている。



無人化バックホウによる既設堰堤の除石作業状況



現場安全管理システム

出典：大谷. 逢初川直轄砂防災害関連事業における無人化施工. 中部地方整備局事業研究発表会, 2022, (国土交通省HP、2023年1月閲覧)
[pr12.pdf\(milt.go.jp\)](https://pr12.pdf(milt.go.jp))

また、全国で実施されている無人化施工の地区別の実績を示す。無人化施工は、雲仙普賢岳の対応に活用されてきた九州での実績が圧倒的に多くなっている。九州は他の地区に比べて無人化施工の対応体制が構築されていると考えられる。

表 4.3-52 無人化施工の地区別実績(工事実績)

	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	(雲仙)	計
工事実績(件)	26	39	13	62	9	13	6	4	99	83	271

先端建設技術センター調べ（2018年9月）

出典：吉田, 5G を活用した無人化施工の可能性について, 令和3年度先端建設技術セミナー

e. 早期設置エリア・事務所に関する検討

可搬型ローカル 5G を河川事務所に導入する場合、伸縮柱掲載車両を保管するスペースを確保できない問題が想定され、広い敷地を有する河川防災ステーションを利用した設置が考えられる。令和 2 年度現在、河川防災ステーションは北海道から九州までの全国各地で 106 箇所の整備が承認されている。また、国土交通省の各地方整備局には、災害対応機材として Ku-SAT などの衛星通信車を整備しており、これら車両の保管スペースの利用も考えられ、設置の実現性の高い場所としては、100 箇所程度が見込まれる。

また、導入にあたっては、国土交通省では i-Construction を推進するために 3 次元情報活用モデル事業を平成 31 年より実施、全国にモデル地区を指定しており、このモデル地区の事務所はドローン活用にも積極的な事務所として、また無人化施工の実績が多い九州地区は、地域に無人化施工の対応体制が構築されているエリアと考えられることから、これらの導入効果の早期発現が期待される事務所・エリアから設置を進めることを考える。

なお、公表資料からドローン利活用の実績を調べたところ、上記のモデル地区以外にも全国各地で活用・検討は行われている。段階的な導入の具体的なアプローチ先については、ドローン活用・検討が進められている事務所も含めて（一例を表 4.3-54 に示す）、ローカル 5G に対する意向や早期活用の場合となる ICT 施工予定をヒアリング等で確認し、各地でモデル形成・横展開が図れるよう、各地方整備局あたり 1 箇所以上の設置を考える。

表 4.3-53 設置エリアの比較

		北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州
設置の実現性	河川防災ステーション承認箇所数 (R2 現在)	10	18	19	7	17	10	6	7	12
	○：実現性が高い	○	○	○	○	○	○	○	○	○
導入効果の早期発現	3次元情報活用モデル事業のモデル地区 (河川事業)		鳴瀬川総合開発工事事務所		信濃川河川事務所	新丸山ダム工事事務所 (木曾川)	豊岡河川国道事務所 (円山川)			立野ダム工事事務所 (白川)
	無人化施工の実績件数	26	39	13	62	9	13	6	4	99 うち雲仙 83
	○：効果の早期発現性が高い		○		○	○	○			○
早期設置が期待される事務所・エリア			鳴瀬川総合開発工事事務所		信濃川河川事務所	新丸山ダム工事事務所 (木曾川)	豊岡河川国道事務所 (円山川)			立野ダム工事事務所 (白川)・九州地区

注 1) 直轄の河川・海岸・砂防事務所数、河川防災ステーションの数は各整備局の集計値を示す

注 2) 九州には沖縄も含めて集計している

表 4.3-54 ドローン活用・検討が進められている事務所の一例

区分	ドローンの活用・検討が進められている事務所（一例）	（参考）3次元情報活用モデル事業モデル地区事務所	（参考）無人化施工の実績件数が多いエリア
北海道開発局	札幌開発建設部		
東北地方整備局		鳴瀬川総合開発工事事務所	
関東地方整備局	関東地方整備局		
北陸地方整備局		信濃川河川事務所	
中部地方整備局	木曽川上流河川事務所	新丸山ダム工事事務所	
近畿地方整備局	近畿技術事務所 大和川河川事務所 木津川上流河川事務所	豊岡河川国道事務所	
中国地方整備局	福山河川国道事務所		
四国地方整備局	四国地方整備局 浜田河川国道事務所		
九州地方整備局		立野ダム工事事務所	九州地区

f. 経済性に関する検討

具体的な工種における削減効果を下表に示す。

災害時において、発災後のドローンによる三次元地形データ作成、設計データ作成をローカル 5G システム導入することにより、当初 4GLTE でのデータ転送又は作業員が事務所に持ち帰りデータ作成を行っていた時間に比べて、現地での実証によって従来比 45% の削減がみられることが確認された。従来のドローンによる計測は、現地で半日計測し、作業員が事務所にデータを持ち帰り（半日）、翌日にデータ作成を行うため計 1.5 日を要する。一方で、ローカル 5G 端末を搭載したドローンで計測することにより、現地で半日計測し、半日でデータ作成を行えるため、移動を考慮しても計 1 日で計測からデータ作成まで行う。移動や準備を含め、0.5 日の短縮という想定である。

現状でのドローンは強風に弱く、本実証においても一日の中でも急に強風になり、ドローン飛行ができない状況も確認された。このような環境変化に対するリスクを小さくする点も鑑みれば、災害復旧現場での 1 時間、2 時間は平常時の 1 時間とは異なり、非常に重要であるため、小さい時間短縮も定性的な導入効果として期待できる。

定性的な導入効果としては、発災直後は、現地は非常に危険が伴い二次災害の危険と隣り合わせでの復旧となるため、1 日でも早く安全に復旧工事を進める必要がある。復旧工事までの時間短縮が二次災害等の危険を回避させ、安全な復旧工事に貢献すると考えられ、人口減少等で建設業の作業従事者が減る状況の中で、省人化の観点でも導入効果が期待できると考える。

災害時だけではなく平常時には、河川管理の高度化・効率化の観点から、今後は映像を活用した現地確認の即時性について取り組む必要がある。河川巡視や施工管理の遠隔臨場の場面においてローカル 5G システムを導入することにより途切れることのない映像での確認・立会が可能と

なると考える。ここで導入効果は、河川巡視や施工管理において管理者が現地に出向き確認（河川状況、工事立会）するために要している人件費の削減効果として定量化した。荒川下流河川事務所の2021年度の工事発注数は36件あり、1工事あたり年10回立会があると仮定すると年間540万円の削減、同様に河川巡視は年間144万円の管理者の人件費削減が期待される。

表 4.3-55 ローカル5G導入による経済性の効果

状況	項目	効果（定量）	効果（定性）
災害時	ローカル5G搭載ドローンによる三次元計測・3Dモデル作成作業	（従来比45%短縮） 移動を考慮し0.5日短縮効果を見込む 4人日×1.5日（従来） 4人日×1日（ローカル5G）	気象状況、現地環境状況の変化といったリスクを小さくし、復旧の時間を少しでも短縮できる。
災害時	ローカル5G搭載ドローンによる調査・設計作業	—	復旧工事までの時間短縮が二次災害等の危険を回避させ、安全な復旧工事に貢献する
平常時	河川巡視における、管理者の現地確認の効率化	48日/年（12か月×4日/月）×3万円 （1日の人件費） =144万/年	—
平常時	施工管理における、遠隔臨場による管理者の現地確認の効率化	36工事×10回/年（立会回数）×11.5万円（0.5日の人件費） =540万/年	—

(2) 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

1) 検証項目

ローカル 5G の実装に関しては、災害時のみならず平常時の利用を前提にした実装が求められている。導入実現化に向けた運用スキーム、ビジネスモデルについて検証した。

2) 検証方法

国土交通省や都道府県の事務所への配備を実現するために、国土交通省等へのヒアリングを行い、持続的な運用を考慮した運用体制等を整理し、運用スキーム、ビジネスモデルの適性評価についてとりまとめた。

3) 検証結果及び考察

a. 運用スキーム

可搬型のローカル 5G の導入は、伸縮柱掲載車両などの通信システムを中心とした設備投資となり、運用にあたっては、設備を保有する主体と運用する主体に大別される。

4.3.1 章 (2) 運用検証に前述したように、国土交通省等へのヒアリング結果等から、保有主体は、無線局はじめ許認可申請の観点から河川管理者などの行政管理者が保有することが基本となる。運用主体は、ローカル 5G のエリア構築や無人化施工を河川管理者が自ら全て実施することは現状難しいため、測量業者や施工業者への委託による運用となる。

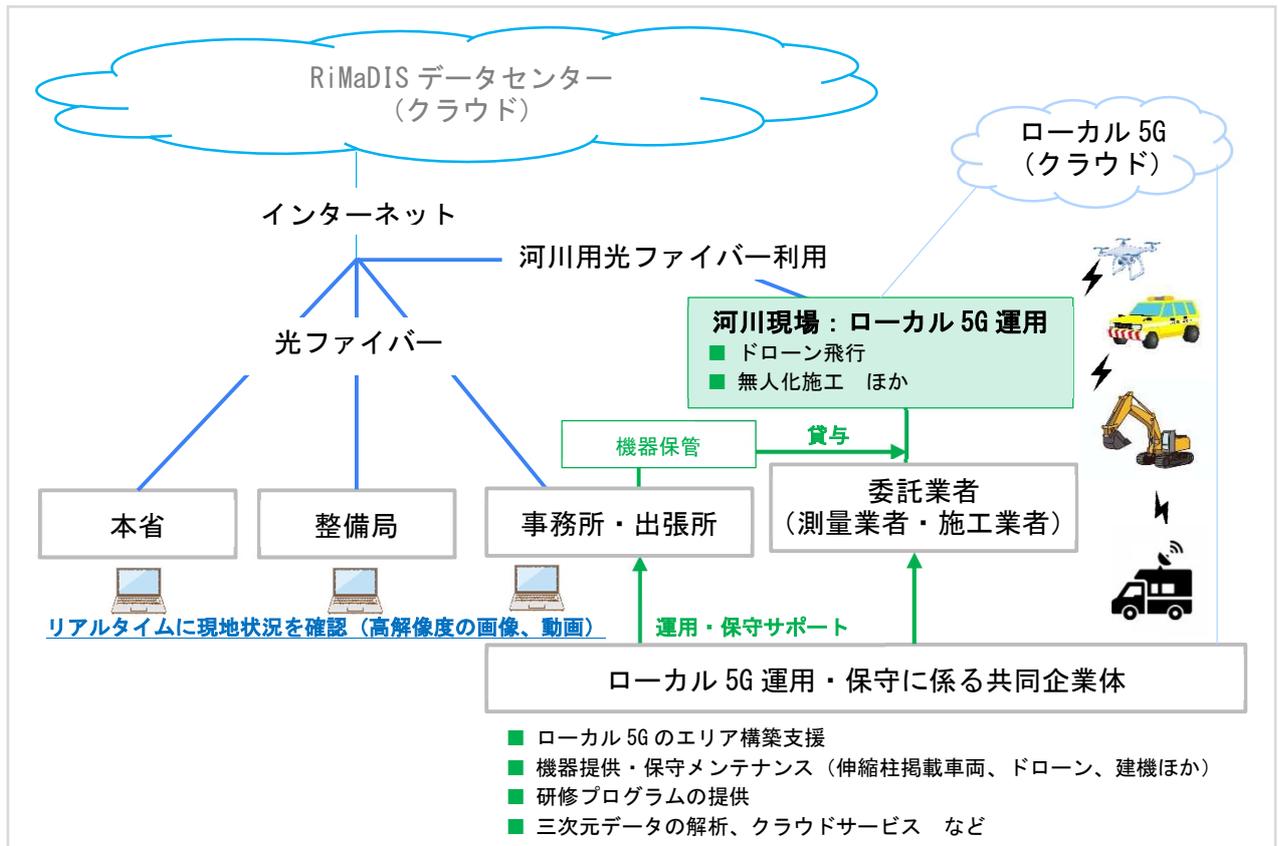
また、測量業者や施工業者によってもできることは異なり、ローカル 5G のエリア構築から施工活用までの全てのステップを単独で対応できるケースは少ない。安全な運用を行うためには機器の提供や定期的な操作研修や専門家によるメンテナンスなどのサポートは必要となる。そのためには、電気通信、測量、建機のそれぞれの専門技術や経験を有する企業が共同企業体を組み、運用・保守をサポートする体制が考えられる。共同企業体による運用・保守サポートは、河川管理者からの委託、測量業者や施工業者からの利用料による運用となる。

現地で取得したドローン映像等のデータ利用については、河川の光ファイバーを利用し河川事務所へ、災害時には地方整備局や本省へリアルタイムに共有することを考える。データ管理については専用クラウドによる運用となるが、国土交通省では巡視・点検の状況報告をデータベースシステム RiMaDIS にアップロードする管理が現在進められており、これら既存システムの整備動向を取り入れながら、データ管理の方法を検討することも求められる。

表 4.3-56 保有・運用主体

	保有主体
ローカル 5G 基地局保有場所	河川管理者事務所

運用時の作業項目	運用主体	
	ケース(3)	ケース(4)
◆ローカル 5G エリア構築	測量業者に委託	災害協定業者 (施工業者) に委託
◆ドローン飛行／リアルタイム映像配信		
◆ドローン飛行／リアルタイム画像伝送		
◆建機の無人化施工／現場の映像配信	災害協定業者 (施工業者) に委託	



一方で、現状ではローカル 5G 導入において以下の課題がある。

<現状抱えるローカル 5G 導入の課題>

- ・電波法に基づく許認可の緩和・・・現状では河川区域全域で包括的な免許申請ができない・河川利用を想定した手続きの合理化が必要である。
- ・無線従事者資格の取得・・・・・・・・運用者は無線従事者の資格が必要となる。事前の資格取得が必要ある。
- ・光ファイバーの接続改善・・・・・・・・現状では河川敷地の光ファイバーへの直接接続は難しく、通信キャリアのネットワークや通信河川や道路の情報掲示板のネットワークを経由する必要がある。

上記の課題に加えて、イニシャルコスト、5G の特性である伝搬距離の短さ（利用範囲の狭さ）、などの障害がメリットを上回っており、現時点では導入効果は低く見積もられる。

しかし、災害発生時におけるローカル 5G 環境の現場展開は、情報のリアルタイム入手を含め有効である。平常時は河川事業における管理業務の抜本的な改善は現状では難しいが、長期に及ぶ施工現場では遠隔臨場、無人化施工、モニタリングデータの配信などに低遅延・大容量の 5G のメリットを活かした適用が考えられる。さらに、現状の課題を解決していくことにより、平常時の河川管理業務への適用が可能となるものと考えられる。

利用が期待される 3 ケース（災害時・平常時・施工時）について、利用シーン、導入メリット、現状の適用性等を整理すると以下ようになる。

表 4.3-57 災害時の利用ケース

災害時の利用ケース	
利用シーン	被災現場状況の迅速な把握・共有、復旧工事の無人化施工
イメージ	<p>The diagram illustrates a disaster response system. At the top left, two inset images show '現場状況の把握' (On-site situation grasp). The main scene shows a river with a dam and a '被災箇所' (Disaster site) marked with a warning sign. Technologies used include 'L5G' towers, 'グリーンレーザー' (Green laser), 'ナローマルチビーム' (Narrow multi-beam), and '光ファイバー' (Optical fiber). A '3次元測量' (3D measurement) map is shown at the bottom left. On the right, an inset shows '復旧工事の無人化施工' (Unmanned construction of restoration work). The system connects the '現場' (Field) to the '局・本省' (Local/Provincial Office) and '事務所' (Office) via '高精細画像、映像、データ' (High-precision images, videos, data).</p>
内容	<p>災害発生直後、被災現場にローカル 5G 環境を展開し、被災情報の収集・共有、復旧工事の基礎資料収集（3次元測量）、無人化施工の通信を提供する</p> <p>センシング、設計、工事などをローカル 5G 環境下で提供する</p>
導入メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・これまでの端末間でのデータのやり取りを通信により効率化 ・低遅延、大容量データ通信によりリアルタイム現場把握（高精細映像）・共有 ・無人化施工におけるリアルタイム映像によるマシンコントロールにより施工精度の向上 ・UAV の高度運用、リアルタイム計測 ・回線の多重化 ・独自通信網
必須条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル 5G システムの配備及び運用の即応体制 ・河川区域内の速やかな無線免許取得 ・管理者ネットワークとの円滑な接続
現状での適用性	<ul style="list-style-type: none"> ・災害時に当該箇所の電波利用許可がスムーズに下りない ・国の管理する河川管理用光ファイバーに平易に接続できない
評価	<p>許認可制度、管理者ネットワークの利用規則の改善により、ローカル 5G システムを円滑に利用できるようになり、災害発生後の有益な利用につながる</p>

表 4.3-58 平常時の利用ケース(1)

平常時の利用ケース	
利用シーン	平常時の巡視・点検、現場状況の迅速な把握
イメージ	
内容	低遅延・大容量のローカル 5G のメリットを活かした点検や巡視に利用する上空 (UAV)・地上 (車・バイク・徒歩など)・水上 (船舶) 巡視を行う
導入メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・(容易に立ち入れない場所において) UAVにより上空や近接での巡視、点検により作業の効率化が図れる ・公物管理の効率化 ・遠隔でのリアルタイム映像の把握により、職員の負担軽減 ・独自通信網の獲得 ・平常時の活用により、災害時にスムーズな利用が可能となる
必須条件	<ul style="list-style-type: none"> ・河川区域内の速やかな無線免許取得 ・管理者ネットワークとの円滑な接続 ・巡視点検マニュアルの改訂
現状での適用性	<ul style="list-style-type: none"> ・許認可については災害時のような緊急性はないが、ローカル 5G の通信エリアが狭小であることから、常時免許について複数申請が必要になる ・国の管理する河川管理用光ファイバーに平易に接続できない
評価	<p>ローカル 5G の通信エリアが狭小であるため、延長のある河川環境では、無線局の配置換えやレピータの増設などの対策が必要である</p> <p>ただし、山間地の砂防エリアや、直轄海岸等の比較的定められたエリアを有するケースでは、ローカル 5G との親和性が高い</p>

表 4.3-59 平常時の利用ケース(2)

平常時の利用シーン (施工)	
利用シーン	平常時の工事における無人化施工、施工管理
イメージ	
内容	長期、大規模工事等での無人化施工の通信環境や施工状況を確認する遠隔臨場を提供する
導入メリット	<ul style="list-style-type: none"> ・ i-Construction の推進に寄与 ・ 施工現場のリアルタイム画像を共有することが可能となる ・ 円滑な遠隔臨場が可能となり職員負担の軽減となる ・ 可搬型の導入によって、工事進捗に合わせたローカル 5G 網を構築できる
必須条件	<ul style="list-style-type: none"> ・ 河川区域内の速やかな無線免許取得 ・ 管理者ネットワークとの円滑な接続
現状での適用性	管理者ネットワークへの接続を解決すれば、常設環境として実装が可能である
評価	比較的定められたエリアでの利用となり、ローカル 5G との親和性が高い

b. ビジネスモデル.

運用スキームをふまえ、可搬型ローカル 5G 実装のビジネスモデルの構成を整理した。

共同企業体には、システム開発、機器提供、運用保守サポートをパッケージ化して提供することが求められる。

利用者である河川管理者（もしくは砂防や海岸の管理者）及び管理者より委託を受ける測量業者や施工業者には、ローカル 5G を保有・管理、借用が求められる。

また、ローカル 5G 活用の普及に向けては、法制度やネットワークの整備、全国の管理事務所への導入促進を進める総務省、国土交通省の関与も求められる。

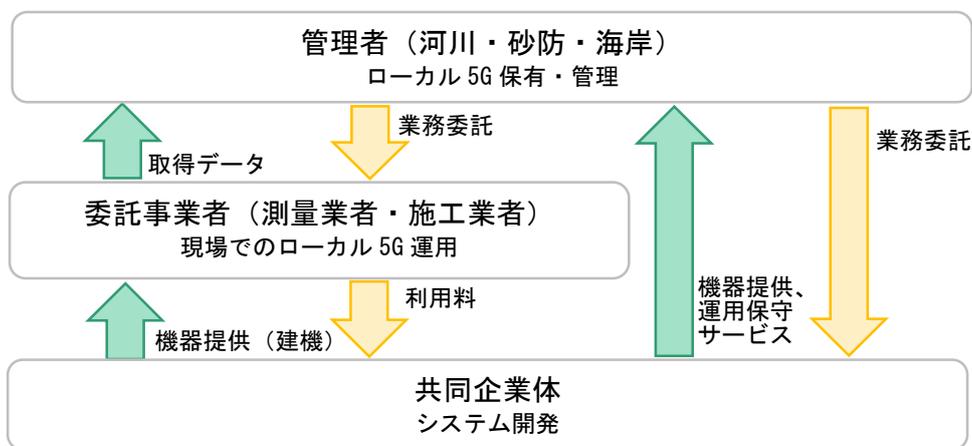


図 4.3-86 可搬型ローカル 5G のビジネスモデルの構成

(3) ローカル 5G 活用モデルの構築

1) ローカル 5G 活用モデルの全体像

a. ターゲット

本コンソーシアムは、本ローカル 5G 活用モデルのソリューションパッケージ（以下「SL パッケージ」）がターゲットとするエンドユーザとして、国土交通省の河川事務所を想定する。ローカル 5G 搭載のドローンにより、氾濫や堤防決壊等の状況を河川管理者にリアルタイム伝送し、省内・関係行政機関間での共有を迅速化に貢献する。また応急復旧時の三次元地形計測や無人化施工にも活用し、迅速な人命救助や応急復旧に係る公共の意思決定を支援する。

本 SL パッケージは、「ローカル 5G エリア構築」、「ドローン飛行／リアルタイム映像配信」、「ドローン飛行／リアルタイム画像伝送」、および「建機の無人化施工／現場の映像配信」の 4 つで構成される。また本 SL パッケージの活用にあたって、エンドユーザである河川事務所は、必要な資機材を、一部を除いて購入し、調達する必要がある。

一般にレンタルやリースはサービス導入における初期コスト等を抑える上で好まれる場合がある。しかし本コンソーシアムの実証協力者である荒川下流河川事務所（国土交通省関東地方整備局）が、本コンソーシアムによるヒアリングの場で「本格導入となると持ち物となる」との見解を示していたほか、公共セクターによるアセット管理の考え方・慣習も総合的に考慮すれば、一部の資機材を除き、一連の SL パッケージとして販売するモデルの方が、より早期にプロダクトマーケットフィットを実現ができるのではないかと判断した。なお実際の実装にあたっては、SL パッケージを「運用する主体」および「保有する主体」について、エンドユーザや地域ごとのニーズなどに合わせた最適化を図る。

本コンソーシアムは、以上を前提に、本 SL パッケージに関するビジネスモデルおよび商流を検討した。

まず運用主体は、以下表の通り、前述したケース(1)からケース(4)までを想定し、本実証における調査・検討の結果、ケース(3)および(4)が妥当であると考えた。災害発生後、エンドユーザは運用委託先である測量業者あるいは災害協定業者（施工業者）に運用を要請することとなる。

表 4.3-60 保有・運用主体

	保有主体
ローカル 5G 基地局保有場所	河川管理者（事務所）

運用時の作業項目	運用主体	
	ケース(3)	ケース(4)
◆ローカル 5G エリア構築	測量業者に委託	災害協定業者 (施工業者) に委託
◆ドローン飛行／リアルタイム映像配信		
◆ドローン飛行／リアルタイム画像伝送		
◆建機の無人化施工／現場の映像配信	災害協定業者 (施工業者) に委託	

次に保有主体については、上の表の通り、河川管理者が妥当であると考えた。

運用委託先の事業者が、資機材まで保有し、有事の際に現地まで運搬して運用するというモデルは、事業者側の負担が非常に重く、実装・普及展開の足かせとなり得るためである。またローカル 5G 制度がエリア限定的にその活用を認めるという制度である以上、有事だけでなく、平時での利活用を前提に、エンドユーザが資機材を調達し、保有するのが妥当であると考えた。

すなわち本コンソーシアムは、エンドユーザである国土交通省の河川事務所に向けて本モデルのサービスを提供する上で、まず河川事務所に対してサービスに必要な資機材を、一部を除いて販売し、また運用のための手法・ノウハウを、運用委託先となる測量業者および災害協定事業者、またエンドユーザとなる河川事務所に応じて最適化した上で提供する。

なお、河川管理者へのヒアリングにおいて、公物管理における『眼』を増やす観点から「ローカル 5G」の導入による独自通信網の構築、「普段使い」ができないことを災害時に突然使用することは困難との観点から、平時の維持管理（河川管理）における利用頻度の増加を要望する意見も得ている。

b. 対象となるシステム

現在、災害時にドローン等で計測した大容量の画像・映像データは、4G (LTE) や公共 Wi-Fi では現場からのリアルタイム配信が実施できないため、撮影終了後に SD カードを介して手動で現場作業員の PC 等に取り込み、その後 PC をインターネット環境に接続してからアップロードするという作業となり、大幅に作業時間を要する。その課題解決策として、ローカル 5G によって、大容量なデータを低遅延で伝送できる環境を構築する。

ローカル 5G 活用モデルとしては、ローカル 5G を搭載した車両を基地局として、また、ドローンや建機を移動局として、被災箇所における通信環境システムを構築する。基地局からは、インターネット接続により各種クラウド等にアクセス可能である。

システム構成を以下に示す（下図）。現場に展開したドローン、施工建機、伸縮柱搭載車両の間では、ローカル 5G によるデータコミュニケーションが展開し、また光ファイバー等の既存通信インフラとも連携することにより、現場から離れた場所に位置するエンドユーザの事務所（図内右の「操作室」）へのデータ伝送も可能となる。

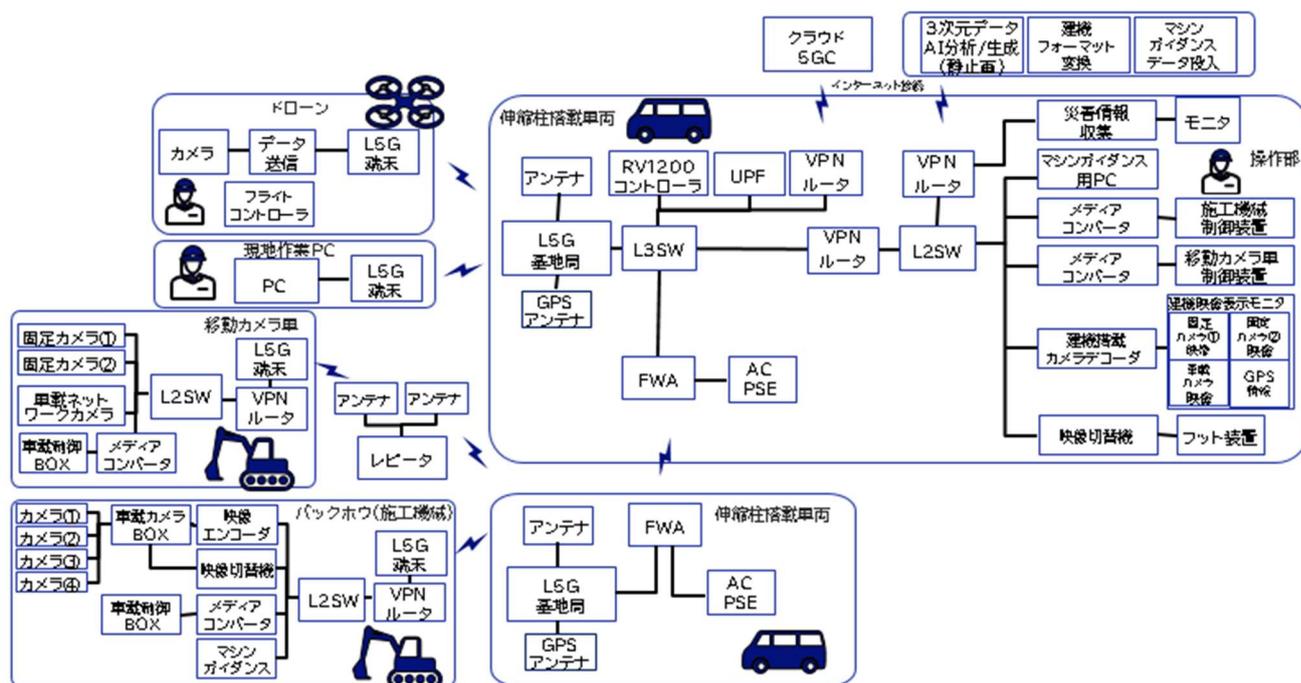


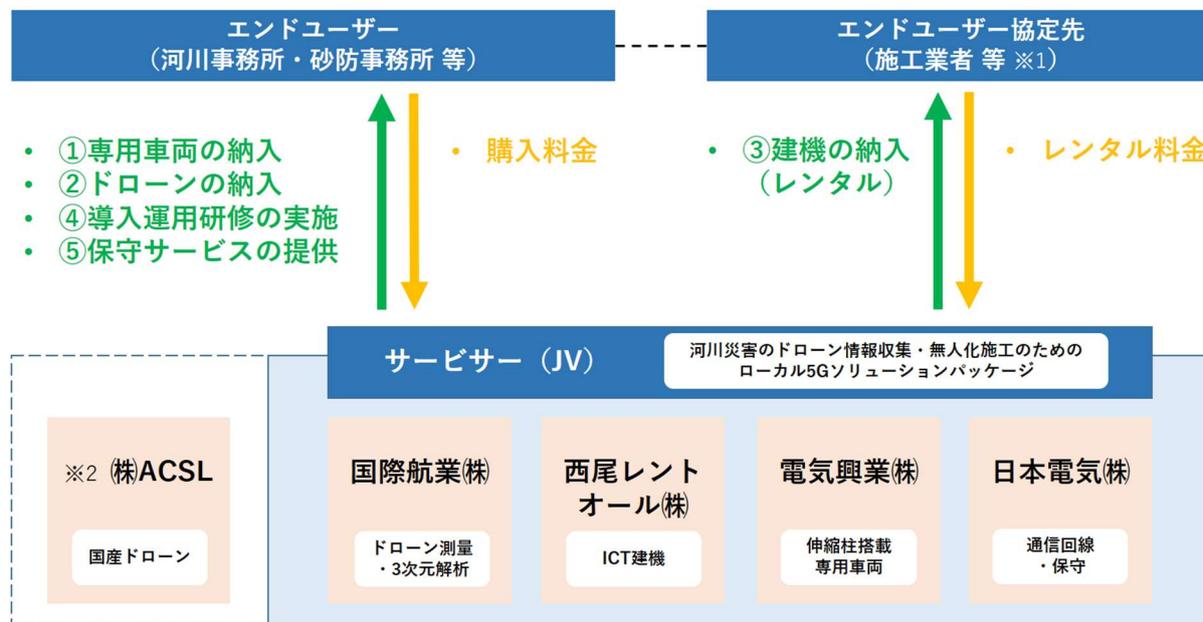
図 4.3-87 ローカル 5G システム構成

c. ビジネスモデル

本コンソーシアムは、本 SL パッケージの市場展開にあたって、「本実証のコンソーシアム 4 社で合同出資のジョイントベンチャー（以下 JV）を設立する。JV が本 SL パッケージの実装・普及展開の主体を担い、河川災害のドローン情報収集・無人化施工のためのローカル 5G ソリューションパッケージとして、平時・有事の際に主なターゲットとして河川事務所、砂防事務所等の河川管理者、ひいては自治体や国土交通省（地方整備局）に向けてサービスを提供し、その対価を料金として得る」というビジネスモデルを提案する。

まず本 JV は、エンドユーザである河川事務所等に対して、資機材（①伸縮柱搭載等専用車両、②ローカル 5G 端末搭載ドローン）を販売する。それにあわせて、④導入・運用研修プログラム、⑤資機材の保守サービスを販売する。以上が、導入年度においてユーザが負担するイニシャルコストである。導入 2 年目以降には、導入・運用プログラム、資機材の保守サービスが、本 SL パッケージ継続のランニングコストとして毎年発生する。また③ローカル 5G 端末搭載の無人化施工建機について、本 JV は、エンドユーザが災害協定等を締結する施工業者に対して、年間でのレンタル提供を行う。初年度と同様に、2 年目以降にもレンタル提供を行う。

基本的な収益構造は、上記の通り、エンドユーザに対する資機材（①専用車両、②ドローン）および④導入運用研修、⑤保守サポートに関する一連の販売収益、ならびに③建機のレンタル収益によって構成される。



※1 河川事務所による協定先企業の選定等を、本JVが妨げるものではない。
 ※2 本実証におけるコンソ内企業をJV構成メンバーと想定し、(株)ACSLは枠外に置いた。

図 4.3-88 ビジネスモデル

2) 体制・役割分担

本コンソーシアムの構成企業各社が、JV に対して出資を実行し、エンドユーザおよびその委託先企業との契約活動および各種サービス提供を担う。

国際航業株式会社は全体のトータルマネジメント、ならびに ACSL の国産ドローンを用いたドローン測量、およびそれに付随するデータ解析・処理サービスの提供を担当する。

西尾レントオール株式会社はリース・レンタルによる建機の提供・運用・保守を担当する。

電気興業株式会社は、可搬型ローカル 5G 専用車両ならびに基地局設置柱の提供・運用・保守を担当する。

日本電気株式会社は通信回線全般のサービス提供・運用・保守を担当する。

免許人は、国土交通省等の河川管理者、又は、委託された通信事業者（例えば日本電気株式会社）が担う。

3) 導入効果

災害時の迅速性効果：災害時において、大容量データ通信の効果により迅速かつ正確な被害状況把握と、災害状況の情報共有が必要な関連機関に対して、従前より正確な情報連絡が可能となる。ドローン計測データ（写真）と 3D 点群データを合わせて利用することで、効率的な災害復旧計画の立案も可能となる。災害状況の正確な計測情報は、復旧のための効率的作業だけでなく、高い災害予算適用効果が出ることも見込まれる。

また、迅速な対応を実践することにより、災害時の人命・救難の効果も想定できる。

前述のローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証、実装性に関する検証で示したように、本ソリューションでは、災害対応における移動や準備を含めても、少なくとも 0.5 日の短縮が実現されることが想定され、ドローンを活用した情報伝達においても約 30 分の短縮効果が確認された。天候も含め、刻一刻と状況が変化する災害対応環境下においては、30 分の短縮でも非常に効果的である。情報伝達の迅速化は避難行動にも直結するとともに、復旧が早まれば二次被害のリスクが軽減される。被災状況が多様に想定されるため、効果を定量的に試算することは困難であるが、洪水や高潮など大規模水害時の避難に要する時間は概ね 30～60 分程度と推定されている場合が多く、東京都の沿川区でも 30 分としている。（高潮避難の例）

●リードタイム	
避難や情報伝達に要する時間で、高潮特別警戒水位に到達してから避難が完了するまでに最低限必要なリードタイムを	
・発表準備・情報伝達	10分
・避難（準備・移動）	20分
合計	30分
として設定しています。	

出典：高潮が起こる仕組み

港区 HP https://www.city.minato.tokyo.jp/bousai/hazard_map/documents/takashiojajouhou.pdf

荒川下流域を例とすれば、現在の状況を考慮した試算結果とは異なるものの、かつては最悪の事態を想定した場合の死者数が 2,000 人と試算されたこともあることから、30 分の情報伝達の迅速化がそのまま 30 分の避難行動に結び付けば、全てとはいえずとも、この 2,000 人の人命を救える一助となることが想定できる。現実的な例では、平成 27 年の関東東北豪雨により、鬼怒川決壊による人的被害は、死者、傷病者を含め 72 名であり、これらが全て情報共有の迅速化によって解消されることではないが、早期避難による軽減にはつながることが期待される。

2 人的被害	
○死亡	16名（常総市 15，境町 1）
○重症	5名（常総市 5）
○中等症	23名（古河市 1，常総市 21，境町 1）
○軽症	28名（古河市 4，常総市 20，坂東市 2，境町 2）
※ 常総市の死者数については、災害弔慰金の支給等に関する法律に基づき、災害により死亡したと認められた者（災害関連死）13名が含まれる。	
また、常総市の重症者数については、災害弔慰金の支給等に関する法律に基づき、災害により精神又は身体に著しい障害を受けたと認められた者 2名が含まれる。	

出典：平成 27 年 9 月 関東・東北豪雨による本県の被害状況について

茨城県 HP <https://www.pref.ibaraki.jp/1saigai/201509/documents/kantoutouhokugou011209.pdf>

また、災害情報学での研究においても、近年の風水害による犠牲者の行動や情報伝達等に関する効果の研究を行っており、その中でここ数年の中で甚大な被害を及ぼした 2019 年台風第 19 号における避難等の動向が整理されている。

以下の要旨に示されるよう、東日本一帯の死者が 88 人に達し、それらのうち 66%は浸水想定区域内で犠牲となったことが示されている。

要 旨

筆頭著者らは近年の日本の風水害による死者・行方不明者（以下「犠牲者」）に関するデータベースを構築しており、これまでに1999～2018年の1259人について分類している（以下「1999-2018」）。本報告では、2019年台風19号（令和元年東日本台風）による犠牲者（以下「台風19号」と1999-2018の特徴を比較することを目的とする。台風19号では、東日本一帯で犠牲者88人（関連死を除く）が生じた。台風19号による犠牲者の特徴としては以下が挙げられる。1）犠牲者の72%は洪水など水関連の犠牲者だった。水関連犠牲者の比率は、1999年以降の主な風水害事例中では最も高くなった。2）犠牲者の58%は屋外で生じ、その54%は自動車で移動中の遭難だった。この比率も1999年以降の主な風水害事例中では最も高い。3）水関連犠牲者の66%は浸水想定区域付近で発生した。これは、1999-2018に比べ高い比率だった。水関連犠牲者の93%は低地で発生し、これは1999-2018の結果と整合的だった。犠牲者軽減にはハザードマップ的情報が重要であることがあらためて示された。

出典:「2019 年台風 19 号による人的被害の特徴」(牛山素行・本間基寛・横幕早季・杉村晃一)

現在は、水位観測所、危機管理型水位計等の整備も進展したことから、堤防決壊前から決壊に至る可能性がある箇所は概ね把握できると推察される。国土交通省が公開している浸水ナビシステム等との連携により、浸水範囲とその到達時間が把握できるため、本ソリューションを活用し、早期に視覚的な情報を取得し、伝達、配信を行うことで、浸水可能性の高い区域の避難促進、注意喚起の浸透に活用できるものと考えられる。



図 4.3-89 浸水ナビによる浸水範囲の時系列表示 <https://sui boumap.gsi.go.jp/>

国土交通省における公共事業評価の考え方において、人的損失額における検討例が示されており、1 名あたりの死亡損失額（統計的生命価値）は、226 百万円と算定されている。

仮にこの結果を用いて、既往の洪水被害時に迅速な情報共有によって無事に避難することができたと仮定すれば、本ソリューションによる経済価値の資産は以下が想定できる。

- ・平成 27 年の関東東北豪雨：死者 16 名×226 百万円＝約 36 億円
- ・2019 年台風第 19 号：死者 58 名（東日本一帯の死者が 88 人×浸水想定区域内 66%）
×226 百万円＝約 131 億円

表 「死傷損失」の算定の概要

算定の対象範囲	被害者本人の死亡損失、重度の後遺障害が残るような状態 上記以外の傷害による被害者の損失や被害者の家族及び友人 が被る損失については算定の対象外
算定方法	死亡損失：損失を回避することに対する人々の支払意思額 (WTP)を仮想市場評価法(CVM)により適用 重傷損失：死亡に対するWTPの算定結果を基に算定
質問形式	二段階二項選択方式
サンプル数	2,000サンプル

・ 1名あたりの死亡損失額(統計的生命価値)は、死亡リスク削減に対する支払意思額を死亡リスクの削減分で除すことで、6,782円/(6/10万-3/10万)
=226百万円と算定されている。

出典：「死傷損失」の算定 https://www.mlit.go.jp/tec/hyouka/public/pdf_kentoukai03/04.pdf

災害時の安全性向上効果：ドローンを活用することで、現地作業員が被災箇所周辺に近づかずとも安全な場所から現地の被災状況を把握できるとともに、無人化施工建機による遠隔操作によって、作業員の安全性を確保することができる。特に、長期湛水が想定されるような流域においては、災害復旧時に湛水区間近傍で作業することも想定されることから、安全面の向上の視点で非常に効果的と考えられる。

平常時の維持管理の高度化、効率化：ドローン計測データを平常時に定期的な撮影を行うことにより、河川管理施設の経年変化情報などを把握することが可能となる。さらにドローン計測データから生成される3D点群データの経年比較が可能なWebビューア(FusionSpace※国際航業社提供プラットフォーム)を利用することにより、過年の設備点検箇所の情報把握や業務の効率化など、これまでよりも高度な情報利活用が見込まれる。

(4) 実装性を高める手法の検討及び実行

1) 検証項目

本実証における「実装」とは、本実証終了後も、同実証地域やユーザにおいてローカル5Gを用いたソリューションの一部又は全てを継続的に活用している状態(実運用/商用化)を指す。その実装を確実にし、普及を着実に進めていく上での蓋然性を高めることを、本稿では「実装性」と定義する。

本実証成果の実装性を高め、PMF(プロダクトマーケットフィット)を図る上では、ドローン及び無人化施工の占める役割の重要性が高く、その品質向上が必要不可欠である。ターゲットとなる、国土交通省および都道府県、市町村等の河川管理者、および協定を結ぶ災害協定業者ならびに測量の委託業者側からのニーズ等をふまえた展開が必要となると考える。さらに、

そのため、ここでの検証項目としては、以下の4項目を設定する。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> a. 既往アンケートや市場調査の把握 b. ローカル5Gと連携したドローンによるリアルタイムデータ伝送の実装を高める上での課題や対策の把握 c. ローカル5Gと連携した無人化施工の実装を高める上での課題や対策の把握 d. 今後の展開(ロードマップ)の整理 |
|--|

2) 検証方法

a. 既往アンケートや市場調査の把握

行政、一般社団法人、関連協会、民間企業等が実施した導入に関するアンケートや市場調査を整理し、実装に向けた課題と対策を整理した。日本政策投資銀行（2020）「5G/ローカル 5G 調査レポート」、5G 利活用型社会デザイン推進コンソーシアム（2023）「ローカル 5G 関連市場見通し調査レポート：エグゼクティブサマリー」を参照した。

b. ローカル 5G と連携したドローンによるリアルタイムデータ伝送の実装を高める上での課題や対策の把握

ローカル 5G を活用したドローンによるリアルタイムデータ伝送について、幅広く情報収集を行うことによる品質向上を目的に、ドローン関連事業者へのヒアリングを行い、実装を高める上での課題や対策を検討した。

c. ローカル 5G と連携した無人化施工の実装を高める上での課題や対策の把握

ローカル 5G を活用した無人化施工での導入について、先述の建設無人化施工協会へのヒアリング結果、および日経 BP（2020）『建設テック：未来戦略』を参照し、実装を高める上での課題や対策を検討した。

d. 今後の展開（ロードマップ）の整理

本実証をふまえ、次年度以降検証・検討を行うべき事項、ならびに解決すべき課題と対策の方向性を、ロードマップとして整理した。

3) 検証結果及び考察

a. 既往アンケートや市場調査の把握

本項では、一般的なローカル 5G の特性をふまえ、改めて本実証モデルの位置づけを確認する。

2019 年 12 月に免許申請受付が開始されたローカル 5G は、その技術的な特性上、「テンポラリーなネットワークが求められる建設現場や、セキュアかつ干渉しないネットワークが求められる製造業などでニーズ」（日本政策投資銀行、2020、p.55）が高いことが認識され、またそのような局所的な地点での活用に対する電波開放を企図したものであった。図 4.3-89 に示すように、当時、ローカル 5G に参入意欲ある事業者の類型とビジネスモデルは大きく「固定通信事業者系」「インフラ系」「SIer 系」「メーカー系」「自治体系」の 5 類型に大別されていた（ibid, p.57）。それぞれのプレイヤーが想定する顧客ターゲットとして、農業法人、スマートファクトリー、CATV 運営会社、病院などが、「自営ネットワーク構築のニーズがある事業者」が主に想定されていたことが分かる（ibid, pp.58-67）。「自治体系」に関しても、イノベーションを促進する場・

環境整備としてのローカル 5G 導入に留まっており、少なくとも本実証モデルが想定するような、「パブリックセクターがローカル 5G サービスを活用して災害対応を実施する」ユースケースは見受けられない。

現時点での市場見込みはどうだろう。2022 年の国際データコーポレーション ジャパン (IDC Japan) による、国内産業分野向けの 5G 市場産業分野別予測に目を向ければ、「自治体では、過疎地の医師不足や公共交通の衰退、防災といった地域課題解決や地域企業支援のためのインフラとして 5G に対する関心が高まりつつある。自治体や地域のケーブルテレビ会社などが、国の助成制度を利用したり、IT 企業とパートナーシップを組んだりすることによって、ローカル 5G を導入するケースが増える」(IDC Japan, 2022 #2, p.7) と、限定的ではあるものの、防災活用に関する市場の関心が高まりつつあることが分かる。

また別の視点から、本実証モデルを捉えることも可能である。本実証モデルを、現場での役割・機能で分けた場合、第一にドローンで取得したデータを遠隔地に伝送するパート、第二に処理・解析したデータをもとに無人化施工をするパートに大別することができる。この 2 つの技術テーマについて、IDC Japan (2022) は、これまでの実証実験で多く取り組まれており、かつ市場の立ち上がり早いとの予測を示している。特に「高精細映像の遠隔リアルタイム中継の立ち上がりは 1~3 年以内」(p.7) で、「機械の自律運転による省人化の普及は 2025 年頃」(p.8) との見込みが示されている。なお「機械の自律運転」には、建機の遠隔操縦も含まれる。

以上をまとめると、災害対策をユースケースとし、また自治体をユーザとして想定するような、本実証モデルに近いローカル 5G 活用への関心が着実な高まりを見せているだけでなく、本実証モデルを構成する要素技術(データ伝送、および建機の遠隔運用)については特に市場での普及が近い、というような、市場動向における本実証モデルの見立てを得ることもできるだろう。

またローカル 5G 導入の障壁のひとつに、比較的手軽な Wi-Fi 等よりも明らかに高価な点があげられる。しかし 2022 年、富士通、NEC、および NTT 東日本が相次いで、低価格パッケージを発表し、ローカル 5G の最小構成の価格水準が「2020 年頃の約 1 億円、2021 年頃の数千円台の前半から、2022 年第 1 四半期には 1,000 万円程度にまで下落」(IDC Japan, 2022 #1, p.6) したことは、業界全体として前向きな機運として捉えるべきである。

また Wi-Fi との比較におけるローカル 5G の差別化ポイントとして、IDC Japan があげる「ローカル 5G が免許制である点、SIM (Subscriber Identity Module) カードで認証する点、カスタマイズが可能な点」(IDC, 2022 #1, p.5) の 3 点は、パブリックセクター向けのサービスを想定する本実証にとってポジティブなものであると考える。先述 (4.3.2. (1)) で示したように、ローカル 5G が免許制である点については、ICT 施工に取り組む事業者から、その使いづらさから制度改善を望む声も上がっているものの、公益性の高いユースケースにおいてセキュリティを担保することの重要性・妥当性と天秤にかけて、事業者の声を評価する必要もあるといえよう。

今後のローカル 5G 市場の予測に関して、5G 利活用型社会デザイン推進コンソーシアム(2023) は、2020~2022 年度について「アーリーアダプターによる PoC が主体のステージ」、「導入のしやすさが高まり、ユースケースの増加に転じる契機となった」(p.26) と評した上で、2023 年度より商用導入が増え始め、2025 年度より様々な導入が進むだろうと推測している (図 4.3-90)。

3.ローカル5Gについて 国内事業者による各種PoCの動向

■ ローカル5Gに参入意欲ある事業者の類型とビジネスモデルは大きく下記5類型

事業者“類型”	主なプレイヤー	ビジネスモデル (推測)
1. 固定通信事業者系	<ul style="list-style-type: none"> NTT東西 NTTコミュニケーションズ オプテージ 	<ul style="list-style-type: none"> 自社の固定回線のユーザーを増やし、回線利用料収入を増加 従来はNW構築に不向きだったシーンに対して5Gを用いてNWを構築することで、裾野を拡大 無線化により、有線に対して、セキュリティ、速度・容量、遅延、干渉などの要件で見劣りしない性能を提供し、収益を享受
2. インフラ系	<ul style="list-style-type: none"> 住友商事 IIJ 阪急阪神 	<ul style="list-style-type: none"> インフラをケーブルテレビ事業者等に貸し出すことで、B2B2Xの事業収益を取得 ケーブル引き込み線の代替など、既存の有線事業の低コスト化
3. Sier系	<ul style="list-style-type: none"> 富士通 Panasonic NEC NSSOL 	<ul style="list-style-type: none"> 得意な業務系パッケージを、NWに乗せて、マネタイズを志向 NW自体は、グローバルベンダーの基地局を利用し、ある程度割安に提供
4. メーカー系	<ul style="list-style-type: none"> DMG森精機 京セラ 	<ul style="list-style-type: none"> 顧客の製造プロセスを効率化、高付加価値化に資する製造機器+ネットワークを販売 消耗、故障の検知によりタイムリーなメンテナンスを実施し不稼働期間や修理コストを低減 製造機器の導入による、顧客の付加価値向上、コスト削減分の利益をシェア
5. 自治体	<ul style="list-style-type: none"> 東京都 前橋市 九州工業大学 	<ul style="list-style-type: none"> 自治体が保有するアセットを開放し、5Gインフラ整備を促進し住民利便性を向上 東京都の様に、自らローカル5Gの免許を取得しPoC環境を都立大学や西新宿エリアに構築し、大学での新規事業創出や、スタートアップの誘致を志向 また、産・学・官連携により、中小企業の5G関連の新製品や新技術の開発を支援

出所:各種資料から NTTD経産研究所 ビジネストランスフォーメーションユニット作成

57



図 4.3-90 ローカル 5G のビジネスモデル傾向
(日本政策投資銀行, 2020, p.57 より引用)

分析/考察 - 普及ロードマップ -



ローカル5Gの普及進展の条件となり得る要素を“マイルストーン”として提示
特に**インパクトが大きく、早期にクリアすべきものは“トリガー要素”**として強調

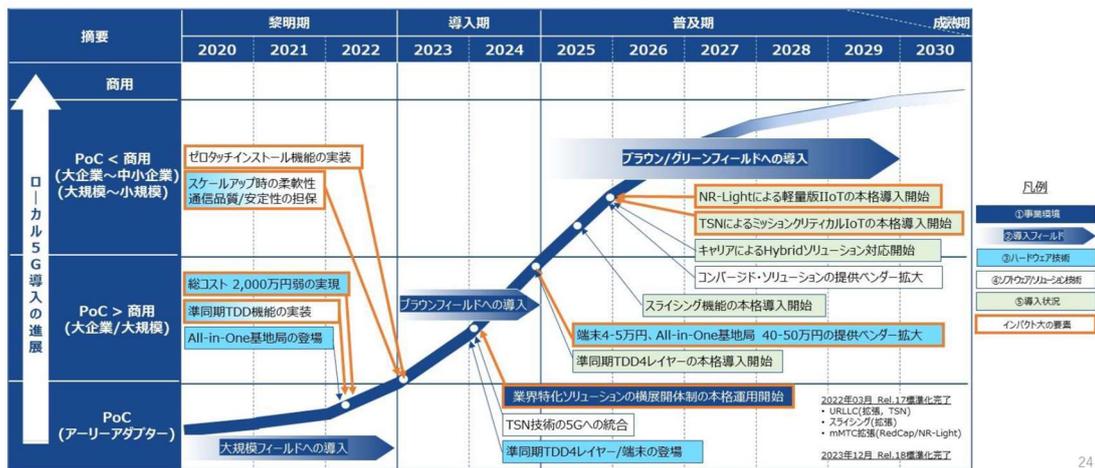


図 4.3-91 ローカル 5G 普及予想に関するロードマップ
(5G 利活用型社会デザイン推進コンソーシアム, 2023, p.24 より引用)

本実証モデルは、後述の通り、2023 年度からの実装、2025 年度からの本格普及を基本的なターゲットシナリオとして掲げている。先述の市場予測をふまえれば、このターゲットシナリオの妥当性は一定の評価ができると思われる。

しかし本実証モデルが、比較的新しいユースケースとして新しい顧客層をターゲットとしてい

る以上、ユーザ側にとっても、その有用性や費用対効果をはかる、あるいは比較検討するための前例に乏しく、導入予算・方法をはじめとした複数のハードルを乗り越える必要がある。本モデルを提供する側にとっても、サービスの質を維持・向上できるための体制を整え、継続的に利用いただけるよう努める必要がある。

従って続く b、c では、本実証モデルの実装性を高める手法を検討する上で、本実証モデルを構成するドローンおよびデータ伝送のパート、ならびに建機による無人化施工のパートについて、上記の IDC Japan の市場予測とは別の観点から、改めて現状の課題と対策の方向性を確認する。

b. ローカル 5G と連携したドローンによるリアルタイムデータ伝送の実装を高める上での課題や対策の把握

ドローンが「空飛ぶカメラ」としての機能を発揮する上で、災害時に機動的な情報収集を行うユースケースに対する期待は非常に高く、既に数々の現場で活用がされている。2015 年の航空法改正によってドローン活用の素地が整備されるに従って、パブリックセクターにおけるドローンの導入も、テックフォース（国土交通省緊急災害対策派遣隊）や自衛隊などのファーストレスポンスを中心に積極的に進められてきた。特に消防に関しては、令和 4 年 4 月現在、全国 429 の消防本部（59.3%）がドローンを導入している（消防庁、「消防の動き」2022 年 10 月号、No.618）。

災害時においては、どこから離着陸できる／すべきか、どこに向けてどのようなルートで飛ばせる／すべきかを、パイロットが臨機応変に検討・決定する必要がある。しかしドローンの運用可能な距離・面積・時間は、現場の天候以外には、バッテリー性能を含む機体性能に加えて、現場の通信環境に大いに依存する。具体的なドローンと通信の関係性については、少し長いですが、インプレス（2021）の『ドローンビジネス調査報告書』の記載を以下に引用する。

現在、一般的にドローンの遠隔制御では、Wi-Fi や Bluetooth などでも使われている、2.4GHz 帯の小電力データ通信システムを使って、送信機・コントローラーと機体の間で直接電波を送受信し、制御信号をやり取りしている。しかし、この方法では出力が 10mW（電波法による）と小さく、電波の到達距離が数百 m 程度に限られてしまい、おのずと飛行できる距離も限られてしまう。そこで期待されるのが携帯電話ネットワークを使った遠隔制御である。

携帯電話端末をドローンに搭載し、一般的な携帯電話の通信の仕組みと同様に携帯電話網を経由してインターネットに接続し、そこから制御のための PC やコントローラーと通信を行う。携帯電話ネットワークは、全国の人が住んでいるエリアをほぼカバーしており、携帯電話のサービスエリアの範囲であれば、ドローンはバッテリー容量としての飛行時間の限界まで飛んでいくことも可能だ。そのため、ドローン事業者や携帯電話事業者は、こうした携帯電話ネットワークによるドローンの制御、いわゆる“セルラードローン”の実現に早くから取り組んできた。（インプレス、2021、p.74）

セルラードローンについては、令和 2 年 12 月、総務省の規制緩和により、一定の条件に合致する携帯電話等の端末については、簡素化した手続きにより無人航空機において利用可能となっ

た。それに加えて、国が推進するデジタルトランスフォーメーション政策の後押しを受け、ドローンは、さらなる活用の機会の拡大が見込まれている。

例えば、令和4年12月21日(水)、デジタル臨時行政調査会(第6回)が、「デジタル原則をふまえたアナログ規制の見直しに係る工程表」をはじめとする、デジタル規制改革推進のための一括法案が提出された。アナログ規制とは、国家行政の運営において、デジタル技術の活用を阻むとされる条項の総称である。同会議の資料「デジタル原則をふまえた工程表の確定とデジタル規制改革推進のための一括法案について」によれば、省庁横断での検証の結果、このアナログ規制として、目視 2927 条項、定期検査・点検 1034 条項、実地監査 74 条項、常駐・専任 1062 条項、対面講習 217 条項、書面掲示 772 条項、往訪閲覧・縦覧 1446 条項、FD 等記録媒体 2095 条項、その他の規制 42 条項、合計 9669 条項が抽出され、その見直し方針及び見直しに向けた工程表が示された(p.2)。またあわせて、国は地方公共団体における同様の取り組み支援として、デジタル田園都市構想交付金の活用を位置づけたほか、その先の適切な規制改革と技術実装の好循環を実現し、成長産業の創出を目指す指針が示された(p.12)。

特に「目視」規制、「実地監査」規制、「定期検査・点検」規制の見直しにおいては、遠隔技術や AI の活用による時間短縮と安全性向上が企図されており、本実証との親和性も高い。河川分野の巡視・点検条項の見直し方針例として、以下のように示されている。

●河川・ダム、都市公園等の巡視・点検：
(河川・ダム) 2023年3月まで、(都市公園等) 2024年6月まで
(参考) 河川延長123,948km(一級・二級)、都市公園等111,525箇所(いずれも2020年)
これまで、河川・ダムや都市公園の維持修繕の点検を基本目視で実施しているところ、ドローン、水中ロボット、常時監視、画像解析等の活用を進めることで、インフラ管理の効率化と安全性の向上を図る。

図 4.3-92 河川分野の「アナログ規制」見直しにおけるドローン活用に関する記述例
(デジタル臨時行政調査会, 2022, p.6 より引用)

ドローンに関連する通信規制の緩和、ならびにドローンの活用機会を促進するアナログ規制の見直しなど、マクロ環境の動向を考慮すれば、河川事務所をはじめとする河川行政関連のパブリックセクターに対して、本実証モデルを実装していく環境整備が推進されることは大いに期待できるだろう。

しかしながら本実証の前提には、災害時にドローンが取り扱う画像や映像データの容量が大きく、現在の LTE による無線通信での伝送等が十分機能しない等の課題認識に立ち、ローカル 5G 通信を活用した災害対応策を検討してきた。また既存の通信キャリア事業者は、ローカル 5G の免許人申請資格がないため、災害によって基地局機能に被害を受けたキャリア事業者が、LTE や 5G が復旧するまでの臨時通信としてローカル 5G を設置するシナリオは妥当ではない。そのため、災害時に河川管理者等が、自ら迅速に被害状況を把握し、復旧を計画できる上で、ローカル 5G の通信環境下でドローンを活用する方法、ならびにその実装性を高める方法を検討する必要がある。

(1) ドローン関連サービス実施事業者へのヒアリングを実施し意見を含めた検討の結果、

ローカル 5G×ドローン運用について、技術面の長所では、低遅延、多接続、高速大容量データ送受信が期待できるとの回答があった。

ビジネス面ではパッケージソリューションとして展開が可能となった時に利用効果が見込まれるといった前向きな意見が得られた。

- (2) 強みを伸ばす・活かし、実装性を高める施策としては、機器可動性とコストの両面で改善方法を検討していくことが必要であると考え。導入済みユーザに対してもバージョンアップ可能な提案と対応ができるサービスモデルとすることも必要である。

- (3) ローカル 5G×ドローン運用（リアルタイムデータ伝送）の短所（技術面、ビジネス面、制度面）

一方、ローカル 5G に関する法制度上の制約は、本実証モデルの実現に向けた明確なハードルとなり得る。今後、ドローンそのものについては、事業者にとって使いやすい環境が整う。バッテリー性能が向上し、また VTOL 型をはじめとする航続距離・時間の長いドローンの市場投入も進んでいることに加えて、また令和 4 年 12 月の改正航空法施行によってレベル 4 飛行、すなわち第 3 者上空の目視外飛行の条件も示され、事実上、都市部等の人口密集地区上空でのドローン飛行の実施も可能となった。しかしながら、ローカル 5G の上空利用は、本実証のような実験試験局免許では認められているものの、商用免許では認められていない。またカバーエリアに関しては、総務省新世代モバイル通信システム委員会内において、他社土地保有者との「共同利用」、および、他者土地における「移動制限の緩和」など、ひとつの基地局がより広域をカバーしやすくなるような方向性で検討されている。本実証が選定した、河川区域のような土地が、その面積規模、および管理・利用の性質上、ローカル 5G 制度下においてどのような扱いとなっていくかについては、今後の制度化により展開が期待できるが、現状は議論中である。

- (4) 弱みを克服し、実装性を高める施策

ドローン運用における長年の課題として、搭載バッテリー容量の影響により、航行時間が最大でも数十分程度と短く、今回の実証モデルでも同様の課題が残る。現状の対応策として、交換バッテリーを複数保持する対応を行っているが、撮影間隔のタイムラグが発生することは回避できない状況である。

その改善策として①ドローン自体をより航行時間の長いエンジンタイプに変更することにより、3 時間～5 時間程度まで航続時間を延長する。又は、②有線ドローンを採用し、常にバッテリー問題そのものを解決する施策を継続検討する。なお、蓄電池容量は年々進化している状況であるため、対応バッテリー容量のバージョンアップも対応策として常に考慮しておく。

c. ローカル 5G と連携した無人化施工の実装を高める上での課題や対策の把握

先述（4.3.2.（1））の通り、無人化施工協会へのヒアリングを実施した。以下に、ヒアリング結果の概要を再掲する。

ヒアリングを通じて、可搬型ローカル 5G システムは一定の有効性が確認されたものの、河川管理・施工での利用において、ローカル 5G は許認可制であり、河川区域全域で包括的な免許申請になっていないこと、災害時の臨機の措置も管理者と利用者で差がある点などの利用上の課題が意見としてあげられた。これらについては、現在も議論がなされており、早期の制度化を期待する。

表 4.3-61 無人化施工協会 ヒアリング結果(概要)

日時	2022/12/19（月） 16:00～17:00
ヒアリング先	無人化施工協会
場所	対面会議（Teams 併用）
ヒアリング結果 （概要）	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G を使用したことがある所属会社の意見として、現在、<u>ローカル 5G の安定性を維持するためには現地での機器チューニングが必要で、設定完了までに時間がかかる</u>。専門知識のある技術者が必要な状況。コストは高く 1000 万オーダーである。 現在は、大きいデータ通信は行っていない、2.4GHz、5GHz 帯（Wi-Fi）を使用している。<u>車両が増え、映像等（カメラを増やす）のセンサーを駆使するようになれば、ローカル 5G の大容量データ転送にはメリットが出てくる</u>。現在の無線機器でも無人化施工は実施できている。 ローカル 5G を活用した工事实績は現状ない。<u>コスト・免許申請（導入時期）・機器設定の調整等の問題があり、現状では実証段階である</u>。 災害利用に際しては、<u>許認可制度が現状のままでは災害現場に適用は困難である</u>。 機器は、日々進化をするため、ローカル 5G 端末等を持ち続けるのではなく、<u>レンタル業者からのレンタルを活用する</u>。 <u>現状の免許制度では、建設業でローカル 5G システムを持つことはおそくない</u>。重機と同様にレンタルになると思う。国や自治体がエリア構築・提供（更新）をしてくれるなら別である。 無線 LAN のように使えると良いが、あれこれ前提があり、免許も含めて障害となる。

厳しいコメントが並ぶが、土木・建築業界では、国土交通省が推進する「i- Construction」のもと、安全性確保や人手不足対策などのニーズから、「作業の効率化」、「作業の省人化・無人化」、「労災リスクの低減」の手段として、ICT 建機の導入に関するアプローチを試みてきた。

建設会社、建設コンサルタント、設計事務所を対象とした日経 BP の調査（84 社から回答）によれば、ICT 建機による無人化施工に関して「製品を利用したい」と回答したのは 45.7%、「技術を開発したい」と回答したのは 30.1%である（次頁グラフ参照）。しかし、ICT 建機による施工補助（マシンガイダンス）への関心の方が相対的に高い（次頁グラフ参照）。この差について、「技術的な難易度は無人化施工の方がはるかに高い。一般的な土工事ならば施工補助だけで十分に効率化できるので、無人化施工までは必要ないと考えている会社が多い」、「施工補助では、土木で『利用したい』関心がある層の 3 分の 2 が『既に利用している』との回答だったのに対し、無人化施工では逆に『将来的に利用したい』が 3 分の 2 を占めた。現時点で商用化されている技術が少ない分、将来に期待している層が一定数いることが読み取れる」（日経 BP、2020、p. 165）との分析がなされている。

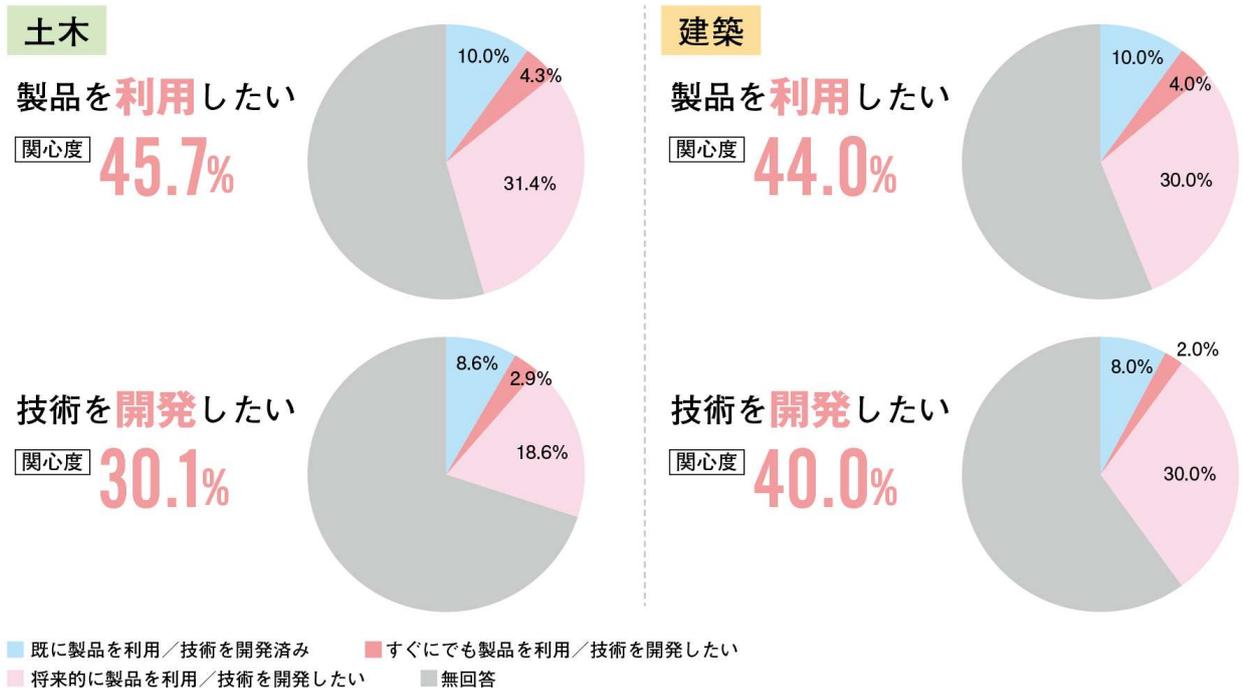


図 4.3-93 建設関連企業の ICT 建機による無人化施工への関心度 (日経 BP、2020、p.166 より引用)

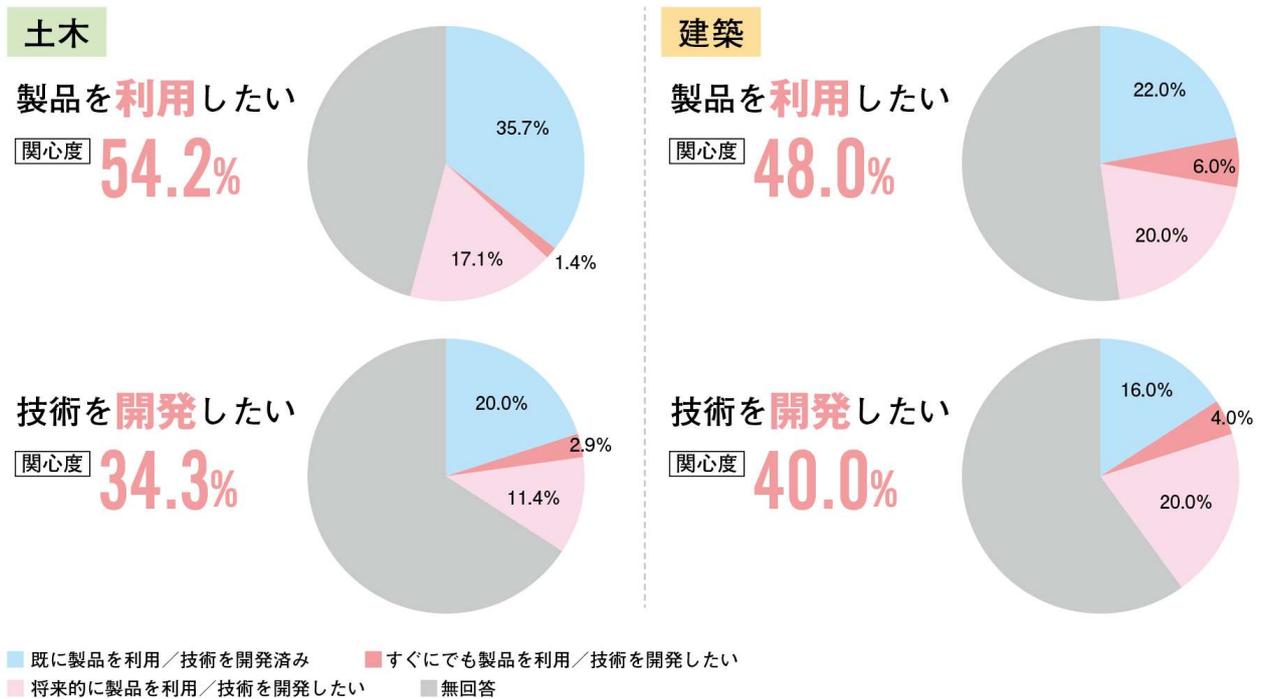


図 4.3-94 建設関連企業の ICT 建機による施工補助(マシンガイダンス)への関心度 (日経 BP、2020、p.161 より引用)

ヒアリング結果もふまえると、ローカル 5G による無人化施工の導入には 2 つのハードルがあることが分かる。ひとつ目は、既存の通信規格・環境においても「無人化施工は実施できている」上に「公共工事において、無人化施工の加点はない」ため、ローカル 5G を導入するインセンティブに乏しいという点。2 つ目は、その上でローカル 5G の伝送能力等を見込んで導入を計画したとしても、利用時の安定性を確保・維持するための専門性が高く、Wi-Fi 等と比べてコストが膨らみ、ローカル 5G を活用するメリットが弱まるという点である。

これらの課題を解消するためには、今後のコンソーシアム構成員に建機メーカーを組み込むことも選択肢のひとつとし、ローカル 5G を活用した無人化施工技術・モデルの確立・充実を図ること、そしてそれと並行して公共工事等の規則・準則のアップデートも含め、ICT 施工を行う事業者のインセンティブが高まるよう適切な働きかけを図ることが重要である。

前者について補足する。まず国内工事現場の 9 割以上は、中小規模の建設会社が担っている一方で、ICT 施工技術の開発は、主に建設会社が担っている実態がある。建設会社が、生産性向上を求める発注者に対して、自動化施工や無人化施工を取り入れた技術提案を行い、自社の現場で活用するケースが多い（日経 BP、2020、p.169）。ローカル 5G の強みを活かし、弱点を克服するようなプロダクト、運用方法の開発を実施することで、無人化施工への信頼性および実装性の向上に寄与すると考える。後者については、前者およびそれに類する施策の実施、およびその成果に基づいた協議・検討によって、民間における技術開発の促進と、現場導入のためのインセンティブ強化の方向性が、所管省庁から示されるようなゴール設定が望ましい。

具体的には、2023 年度中を目途に、無人化施工ソリューションのパッケージ化、および実装環境への実装を実施し、その実績をもって、2024 年度以降、さらなる技術課題の解決およびソリューションサービスの充実、建機メーカー・建設会社を含むパートナーシップ戦略の立案・実施、省庁への働きかけを並行して進めていく。

d. 今後の展開（ロードマップ）の整理

本項では、上記 a、b、c で検討した市場動向の予測、その他考慮すべき事項をふまえて、今後の実装性向上に向けた取り組み（案）の検討の結果として、簡易なロードマップに整理した。なお下記のロードマップ作成にあたり、各タスクの具体的な年次目標を詳細に設定することよりも、本項で検討した今後 5 か年にわたって主に留意すべき、また見据えておくべき外部環境の動向予測との関係性、影響関係に注目し、今後の取り組み検討の土台となるよう留意した。

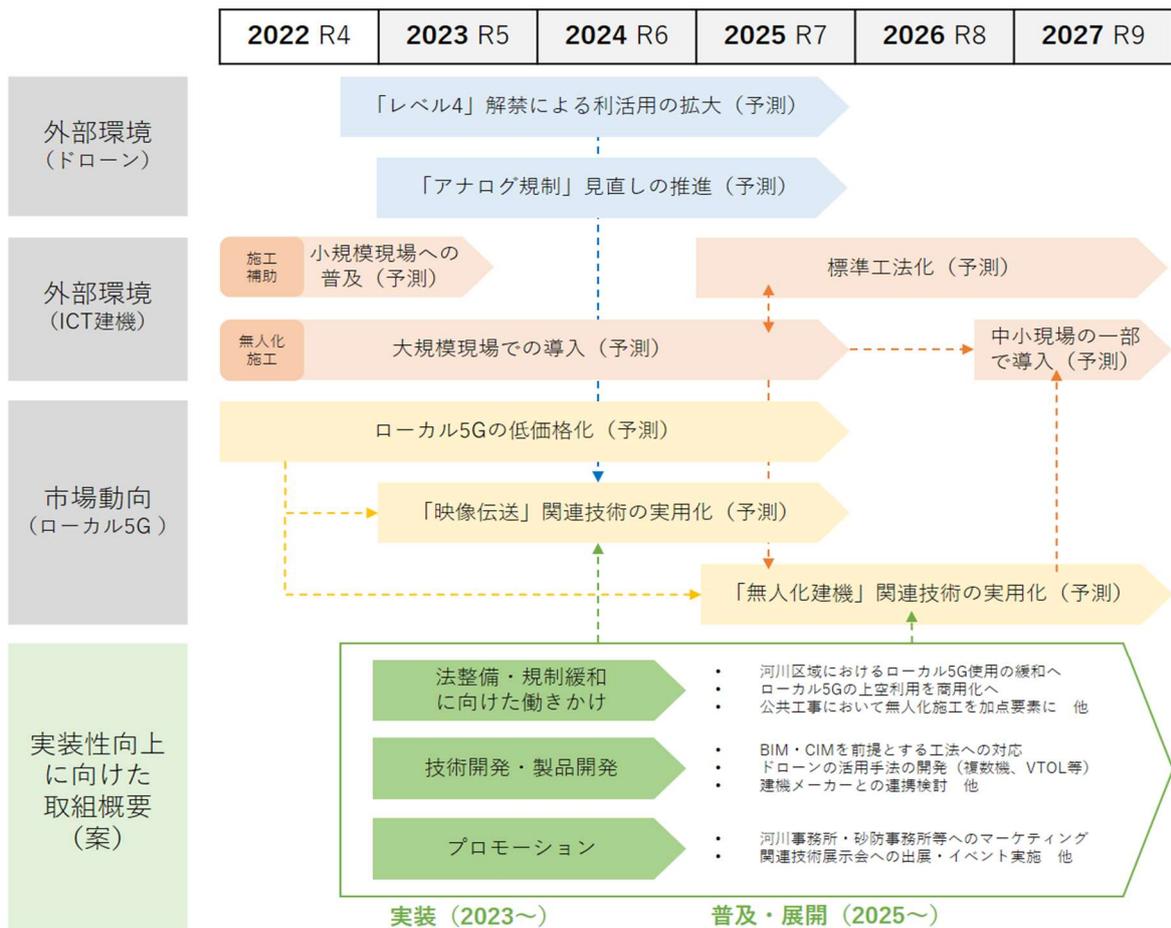
縦軸には、本実証モデルの基本機能であるドローンおよび ICT 建機、そしてローカル 5G に関する市場動向の項目を設定し、来年度からの直近 5 か年にわたる、各項目におけるおおよその予測・見込みを配置した。これらの総合的な動向をふまえて、最下段には本実証モデルの実装性を高める上での取り組み事項を、大きく「法整備・規制緩和に向けた働きかけ」、「技術開発・製品開発」、「プロモーション」の 3 つに分けて整理した。

「法整備・規制緩和に向けた働きかけ」は、現段階で本実証モデルの商業化におけるハードルとなっているローカル 5G 関連の法規制、ならびにその先の、ユーザおよび事業者にとっての本実証モデル活用のインセンティブ設計に向けた、適切な公共政策活動を指す。例えば、河川区域におけるローカル 5G 使用に関する免許制度、その他条件の緩和や、ローカル 5G の上空利用の

商用化を促進すること、ならびに、公共工事において無人化施工を標準工法として盛り込む、あるいは加算要素とするよう働きかけるなどの環境整備があげられよう。これらは、本実証モデルのみへの利益誘導とはせず、全国の国土保全における課題解決、および関連業界全体にとっての利益となるよう、省庁・各種団体との連携を通じて図る必要がある。

「技術開発・製品開発」は、現段階での本実証モデルのさらなる技術水準の向上、ならびにユーザビリティの向上を図る取り組み全般を指す。本実証モデルは、現場の無人化・省人化、それによる安全性・効率性の向上に貢献した上で、災害の早期状況把握・早期復旧の実現に資するソリューションであることが求められる。そのためには、本実証モデルの普遍性・汎用性を高めること、ならびに本実証モデルの冗長性、例えば既存システムや他センサーとの接続性も含めた、「使い勝手の良さ」の追求が重要となる。従って、BIM・CIMを前提とする工法導入の動向全体に沿った開発や、現行のマルチコプタードローン1機を前提とするのではなく、複数機の同時活用や、比較的長距離飛行が可能なVTOL型ドローンの活用・併用をする選択肢も検討すべきである。また建機メーカーとの連携ができれば、ローカル5Gを前提とする無人化施工技術の開発に寄与する可能性も高まるだろう。本実証を実施するコンソーシアム、ならびにJV（ジョイントベンチャー）における開発予算の確保、ならびに開発工程の詳細検討も今後の重要テーマとなる。

「プロモーション」は、良い技術・良い製品を、市場にデリバリーするために必要な取り組み全般を指す。令和7（2025）年からの普及・展開を見据えたマーケティング・PR活動、例えば関連技術展示会への出展やイベントの主催により、ローカル5Gを活用した災害対応手法の検討・導入の機運を醸成することが目的となる。この取り組みは省庁に対するアプローチ、ならびに技術開発・製品開発へのフィードバックを得る機会としても有効であるため、上記の動きと連携して推進することが望ましい。



日経BP (2020)、インプレス (2021)、IDC Japan (2022)、5G利活用型社会デザイン推進コンソーシアム (2023)、デジタル臨時行政調査会の会議資料、新世代モバイル通信システム委員会の会議資料をもとに、編集・作成

図 4.3-95 本実証モデルの実装性向上に向けたロードマップ(案)

4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出及び解決策の検討

(1) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題

今回の課題実証は、河川という自然物であり、蛇行する線形や樹木の有無、なおかつ復旧時の地形変化など、ローカル 5G の通信環境を構築する上では、事前のシミュレーション等で想定したよりもスループットの未達や遅延の増加が生じる可能性がある。

また、特にドローンという移動体を対象としてリアルタイムデータ配信を行う仕組みを検討するものであり、飛行高度、移動速度、基地局との角度や位置関係によっては、通信に支障が及ぶ可能性がある。

実際に上空でのローカル 5G の利用が可能になる時期として令和 6 年以降を想定しており、現状の規定において上空での通信可能となる高さに限定した実験を想定している。規制がなくなっただけに、ドローンの飛行を想定する高度は 70~80m 程度となるため、本実証で想定している途中に遮蔽物が存在する状況よりもより有利な条件になる一方で、基地局から端末までの距離が遠くなるのが想定される。

表 4.3-62 課題仮設の設定

実証項目	課題仮設
ドローンからのリアルタイム映像配信	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンに搭載したカメラからのリアルタイム映像の未送信 ・LTE 等と比較して映像の乱れ、ブレの発生
ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成	<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンに搭載したカメラからのリアルタイム画像の未送信(クラウドサーバー自動転送時のエラー)
建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	<ul style="list-style-type: none"> ・施工用設計データの未受信 ・建機の未作動 ・連続して施工用設計データを受信することを想定した際の運用方法の確認

実証実験完了後、実証目標と実証結果の差異を明らかにして課題を抽出し、解決策を検討した。

表 4.3-63 解決策の検討方法の設定

課題	解決策の検討方法
<ul style="list-style-type: none"> ・ドローンに搭載したカメラからのリアルタイム映像および画像の未送信 ・LTE 等と比較して映像の乱れ、ブレの発生 	<ul style="list-style-type: none"> ・エリア構築再設定 ・基地局の配置変更、設定変更
<ul style="list-style-type: none"> ・施工用設計データの未受信 ・映像の乱れ、ブレ ・建機の未作動 ・連続して施工用設計データを受信することを想定した際の運用方法の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・エリア構築再設定 ・基地局の配置変更、設定変更 ・施工用設計データ作成～建機作動～施工までの建機稼働タイムラインを考慮した運用書の整理

なお、課題解決の検討のために本技術実証で以下の項目を実行する。

- 本ローカル 5G システムを、全国各地の河川条件に合わせて展開できるノウハウ、技術的データ等を得ること
- 設計検討されたローカル 5G カバーエリア（地形、距離、遮蔽物等）と実際の取得データ（受信電力、スループット）の関係（差異の発生時はその要因）を明確にすること
- 基地局、移動局との組合せにより、効果的なエリア設計を可能とすること
- ドローンが上空を飛行するため、その飛行位置によって映像や画像のデータ伝送の変化が生じるか、要因を明確化すること

さらに、今後のローカル 5G システムグレードアップと運用コスト等について考察する項目を以下に列挙する。

- ローカル 5G 端末の相互接続検証、大量使用による端末価格の低下
 - ・ローカル 5G を運用する事業者が使用する端末を自由に選定できるよう、業界において相互接続試験が実施できる仕組みが必要と思われる。認定機種が増加すれば、基地局と端末が他社との組合せであっても、接続検証のコストを省くことができ、また、ユーザも複数の端末の中から、自分が気に入った機種を自由に選択することができる。
- 構成機器のグレードアップ
 - ・可搬型ローカル 5G を商用化する場合、実装や普及には事業採算性を高めることが必要で、ローカル 5G システムの初期導入費を軽減して採算性を高め、運用負荷を減らすことが必要と考えられる。ローカル 5G システムの大容量、多接続特性を活かし、導入コストを低減するためにもシステム性能のグレードアップについて検討する。
- 制度的課題（ドローン搭載、平常時活用等に向けた法整備）

(2) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題に対する解決策の検討

ドローン、建機いずれの検証においても、ローカル 5G 環境下で従来の方法と同等以上の検証結果が得られた。

ドローンによる映像配信に関しては従来手法より高画質な映像を伝送し、さらには動作もスムーズであったことで従来手法に対して大きなアドバンテージを持っている。

一方、基地局からの離隔が大きくなり、ローカル 5G エリア端部では従来手法より映像伝送に遅延が生じた。そのため、運用にあたってはローカル 5G エリアの設定とフライト計画に留意する必要がある。

ドローンによる画像伝送ではローカル 5G の活用によりフライト中からの画像伝送が可能となりすぐさま 3D 地形データの自動作成のフェーズに移行できる。1分1秒を争う災害現場において大きな効果を期待できる。

建機の無人化施工の動作においては、従来手法との差異を感じずに操作することができ、運用開始までに要する時間では、前述のローカル 5G とドローンの活用もあり、従来手法と比較して大幅な時間短縮となっており、その効果は大きい。

運用にあたりローカル 5G 端末と基地局の間に建機のアームが入ると映像の乱れが発生する可能性があるため、現場での建機、基地局の配置には留意する必要がある。

設定された課題仮設において、今回の課題実証で検証した結果を以下に示す。

表 4.3-64 課題実証結果

実証項目	実証結果	解決策の検討
ドローンからのリアルタイム映像配信	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G エリア内（概ね 400m）では高精細映像確認されたが、エリア端部では映像に乱れや遅延が発生した LTE と比較して映像は鮮明でスムーズであった 	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G エリアを把握したドローンフライト計画の作成、マニュアルの整備
ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G 接続が切れると通信エラーが発生し、撮影データの伝送に不備が生じた 誤った位置で撮影された写真や、写真撮影のコース設定を誤ると 3D 地形データが正確に作成できなかった 撮影ごとに画像をクラウドにアップロードしたが、撮影全ミッションが終了した段階で、安定した電波エリアで一括してアップロードした方が確実な伝送が期待できることが判明した 	<ul style="list-style-type: none"> ローカル 5G エリアを把握したドローンフライト計画の作成、マニュアルの整備 画像伝送方法の改良による確実かつ迅速な伝送の実施

建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	<ul style="list-style-type: none"> ・ 施工用設計データの受信に問題はなかった ・ 従来無線と比較して建機の作動に異常はないが、基地局とローカル 5G 端末間に重機のアームが重なると画像に乱れが発生した ・ 施工用設計データが実証中途切れることなく受信されていることを現地作業員の PC および建機のマシンガイダンスで確認した 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ローカル 5G エリアを把握した基地局と建機の配置
---------------------------------------	---	---

〈考察結果〉

本実証を通じて得られた課題については、ローカル 5G エリアを十分に考慮したフライト計画や端末の設置位置、建機と基地局の配置等の基準を明確にし、マニュアル等に整理すること、また、画像伝送は一括アップロード方式に変換すること等で解決できると考える。

その他、実装に向けて課題となり得る項目を以下に示す。これらに対する今後の解決策の方向性として、各種機器の精度向上、技術革新、端末装着不備の改善や基地局との位置関係を重視した移動局配置、運用方法の制度改善、実装を深めるための他分野展開等があげられる。

○：課題、⇒：解決の方向性として、以下に列挙する。

○課題：広範囲計測を実施する場合のローカル 5G エリア構築

⇒1 基につき 400m 内は映像や画像の伝送が確認されたことをふまえたフライト計画

(飛行を複数に分けるなど柔軟な運用)

⇒ローカル 5G 機器改良による電波出力・範囲の強化

⇒ドローン飛行に合わせたアンテナの方向変換による移動局を追従できるエリア構築

⇒可搬型ローカル 5G の機動性（車両であること）を活かした移動局を追従できるエリア構築

⇒複数の基地局を同時に配置したエリア構築、その場合のエリアの精緻化・機器配置の検証

上記の課題に対する取り組みを以下に整理する。

表 4.3-65 ローカル 5G エリア構築に関する課題への対応

対応時期	対応方法（対応主体）
令和 5～6 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・ 継続した現地実証による広範囲エリア構築の検証（コンソーシアム全体） ・ 基地局の改良（NEC、電気興業）

○課題：ドローンの機能改良

- ⇒ローカル5G 端末とドローンの接続部は通信不安定になる要因のひとつであるため、タイプ C でない端末の活用やケーブル接続部の強化、補強による改善
- ⇒現在の機体では 20 分がフライト限界であるため、有線による電源供給が可能なドローンや長時間飛行が可能なエンジンドローンの開発による改善

上記の課題に対する取り組みを以下に整理する。

表 4.3-66 ドローンの機能改良に関する課題への対応

対応時期	対応方法（対応主体）
令和 5 年度	・接続の改善については市販のものだけでなく、接続部を補強する方法について検討する。（国際航業）
令和 5～9 年度	・長時間フライトが可能な機器の開発（ドローンメーカー）

○課題：現地到着からローカル 5G エリア構築までの時間短縮

- ⇒機器配置が複雑であるため、システム操作を容易・簡易化するためのアプリケーションソフトやタッチパネルなどの開発

上記の課題に対する取り組みを以下に整理する。

表 4.3-67 現地到着からローカル5G エリア構築までの時間短縮に関する課題への対応

対応時期	対応方法（対応主体）
令和 5～6 年度	・簡易システムの開発（NEC）

○課題：車両が進入できない場所、配置できない場合の対応

- ⇒より簡易、軽量化したローカル 5G ハンドキャリー型の開発

本実証ではローカル 5G システムは、伸縮柱搭載車内に設置する基地局設備（CU/DU/RU 一体型基地局、UPF 等）とクラウド上に設置されインターネット回線を通じ接続するコア設備（クラウド 5G コア）にて構築した。基地局設備は CU/DU/RU を一体型としたコンパクトな基地局であり車両搭載し移動できる高い可搬性が特徴である。

一方で、コア設備との接続にはインターネット回線を通じた接続が必要であるため、基地局設備とコア設備を一体型とした小型でシンプルなハンドキャリー型ローカル 5G システムの検討、開発を進めている。これにより、インターネットを介したコア設備への接続が不要となるためキャリア通信網などの乏しい山間部などの河川でもローカル 5G ネットワークの構築が可能となり、また基地局とコアがひとつの機器に集約し小型化されるため車両の入り込めない災害現場への設置が可能となるなど、可搬性・運用性の向上が見込めるものである。

上記の課題に対する取り組みを以下に整理する。

表 4.3-68 車両が侵入できない場所、配置できない場合に関する課題への対応

対応時期	対応方法（対応主体）
令和5年度	・ローカル5G基地局の開発（NEC）

○課題：ローカル5G機器の導入コストの低減

⇒砂防分野、海岸・港湾分野への展開や点群データを活用した管理手法との連携により普段使いを容易にし、機器の普及拡大とさらなる機器開発等によるコスト低下を実践

上記の課題に対する取り組みを以下に整理する。

表 4.3-69 ローカル5G機器の導入コスト低減に関する課題への対応

対応時期	対応方法（対応主体）
令和5～6年度	・ローカル5G基地局の開発によるコスト改良（NEC）
令和5～9年度	・平常時活用も含めた本ソリューションへの理解促進による普及拡大（コンソーシアム）

○課題：天候に応じた的確な運用の実施と機器の機能改善による対応力の向上

⇒雨風に強い基地局ポールの開発、全天候対応型のドローン開発

全天候対応型ドローンについては、国交省でも実証実験を行い知見が増えつつあるとともに、各種ドローンメーカーによる開発が進展している状況をふまえ、令和5年度、あるいは6年度を目途に、ローカル5Gを活用して、全天候対応型のドローンを活用した雨天での実証を行い、運用ルール、実装マニュアルへの反映等について検討を行うものとする。

⇒現ソリューションにおける運用時における留意点の明確化（下記参照）

実証視察会においても意見があったように、本ソリューションの現地適用においては、天候の影響に左右する部分が多く、特に実装にあたっては、現時点における留意点を以下に示す。技術革新等による改善に向けて今後も継続して検討を行うものとする。

1) 雨天でなく風速が5m以下の状況（風速は、地上で測定した数値とする。以下同様。）

表 4.3-70 天候による留意点(1)

実施項目	天候による留意点	
◇アンテナ設置高さ	10mまで可能	○
◆ドローンからのリアルタイム映像配信	特に影響なし	○
◆ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D地形データの自動作成	(同上)	○
◆建機のICT施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	(同上)	○

2) 雨天でなく風速が 5m 以上の状況

表 4.3-71 天候による留意点(2)

実施項目	天候による留意点	
◇アンテナ設置高さ	風速 10m 以下の場合、アンテナ高を 5m 程度に下げて実施する。風速 10m 超過の場合はアンテナを極力伸ばさないこととする。	△
◆ドローンからのリアルタイム映像配信	上空飛行せず地上でドローン搭載のカメラを活用した映像取得、伝送を行う。	△
◆ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成	飛行不可のため実施不可	×
◆建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	設計データはドローンによる 3D 地形データからの取得は困難のため、別途準備する。 アンテナ高に応じて建機の動作確認を行う。	△

3) 雨天の状況

表 4.3-72 天候による留意点(3)

実施項目	天候による留意点	
◇アンテナ設置高さ	風速 5m 以下はアンテナ高 10m、風速 10m 以下の場合、アンテナ高を 5m 程度に下げて実施する。風速 10m 超過の場合はアンテナを極力伸ばさないこととする。	○ △ ※
◆ドローンからのリアルタイム映像配信	雨の影響を回避できる場所(例えば現地対策本部テント内等)において、ドローン搭載のカメラを活用した映像取得、伝送を行う。	△
◆ドローンからのリアルタイム画像伝送・3D 地形データの自動作成	現機体は全天候型でないため、実施不可	×
◆建機の ICT 施工における設計データの取得と無人化施工での現場の映像配信	設計データはドローンによる 3D 地形データからの取得は困難のため、別途準備する。 アンテナ高に応じて建機の動作確認を行う。	△

※雨天時の風速 5m 以下はアンテナ高 10m が可能で「○」となるが、風速 5m 以上の場合はアンテナを下げる必要があり「△」の評価となる。

上記の課題に対する取り組みを以下に整理する。

表 4.3-73 天候に応じた的確な運用の実施と機器の機能改善に関する課題への対応

対応時期	対応方法 (対応主体)
令和 5~6 年度	<ul style="list-style-type: none"> ・風に強いアンテナポールの開発 (電気興業) ・全天候型ドローンの開発 (ドローンメーカー) ・全天候型ローカル 5G 端末の開発 (通信メーカー)

4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開

(1) 実装・普及展開シナリオ

上述(4.3.3)の通り、本実証に基づくローカル 5G 活用モデルの実装においては、限定的な電波伝搬範囲による技術的制約が高い点、ならびに関連機材が高額で、設定・運用・管理方法にも習熟を要する点という、ローカル 5G における一般的な諸課題に加えて、いつどこでどのくらいの規模で発生するか分からない災害時を想定し「ユーザにとって運用のしやすい、冗長性・汎用性の高いモデルの構築を要する点」が鍵であることが確認できた。

これらの結果をふまえ、本ローカル 5G システムの実装・普及展開に向けた実装計画の基本コンセプトを、下図に示す。社会的効果をより高めるための方策として、災害時に加えて、平常時のユースケースも想定している。

ポイントは、図の 2 段目に示す通り、ローカル 5G システムを「ドローンや無人化施工建機と一体的なパッケージ」として管理・運用されることを目指す点、そして 3 段目に示す「実装後もマニュアル作成や操作等の講習会を継続的に実施し、自主的な運用が可能なよう、体制構築を図っていく」点である。

4 段目には、実装・普及展開の想定シナリオを示した。「実装」とは、本実証終了後も、同実証地域やユーザにおいてローカル 5G を用いたソリューションの一部又は全てを継続的に活用している状態（実運用/商用化）を指し、「普及展開」は、実証コンソーシアム構成員等による当該ソリューションの商用サービス化等を通じて、他の地域やユーザ、他分野等へ導入・提供している状態を指す。本コンソーシアムは、国土交通省河川事務所に向けて、災害時を想定したソリューションパッケージを「実装」し、それを皮切りに、砂防事務所、海岸・港湾事務所、道路事務所、および都道府県出先事務所への「普及展開」を図る。

堤防決壊等、甚大な被害が発生した場合、素早く被災状況を把握し、情報共有の上、迅速かつ安全に復旧作業を行うことが求められている。

そのため、災害後、被災現場において早期に『データ容量制限や送受信の遅延がなく、安定した通信環境』を構築することが非常に重要である。

特に、災害直後においては映像により変化する氾濫状況を把握することが重要である。また、水位が低下した後、被災延長の確認や地形計測を行い、応急復旧に必要な資機材の算定や設計図の作成が必要である。

これら一連の活動の迅速化に向けて、ドローンの活用および無人化施工建機の活用により、高度化・効率化を図るスマート災害復旧を実現する。



災害時の可搬型ローカル5Gモデルは、災害箇所に迅速に移動し、ローカル5Gエリア構築を実施できる。

また、ドローンや無人化施工建機と一体的なパッケージとして管理・運用されることが効果的である。



管理場所としては、国土交通省では災害時の迅速な対応のため、「河川防災ステーション」や河川事務所に災害対策車両・機器等を保管するための倉庫等が整備されており、これらの活用が望ましい。

運用面では、実装後もマニュアル作成や操作等の講習会を継続体を実施し、自主的な運用が可能なよう、体制構築を図っていく。(河川管理者のみならず、測量業者や災害協定業者(施工業者)含む)



まずは国土交通省河川事務所を対象に先行的に実装し、持続的に、砂防の事務所、海岸・港湾の事務所、道路事務所に展開する。

また、都道府県出先事務所への展開も図る。

さらに、民間業者への実装も展開する。

一方、災害時のみならず、平常時の活用として、河川の巡視・点検への展開、あるいは河川工事への適用を図っていくものとする。

図 4.3-96 実装・普及展開のための基本コンセプトおよびシナリオ

特に他地域への「普及展開」を図る上では、国土交通省における河川の災害対策、および「インフラ分野のDX(デジタルフォーメーション)アクションプラン」において示される工程を念頭に、既存の光ケーブルや衛星通信装置などとの連携、また本実証において検討した可搬型の利活用だけでなく、河川設備に常設する場合の活用についても継続して検討を行う必要がある。

その上でローカル5G技術・制度の活用促進に向けた法・制度整備との連動、ならびにそれを見据えた取り組みも欠かせない。例えば本実証時点において、本モデルの実装・普及展開を左右する課題は、以下2点である。

- 上空方向へ電波を放出した状態でのローカル5G利用に関する免許が現状では許可されないこと
- 免許取得において基地局の移動が許容されていないこと

これらのマクロ環境および諸課題などを念頭に、今後の本ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開を進めるにあたって、災害時におけるローカル 5G 環境の構築、および災害対応（ドローン等による情報収集ならびに建機等による無人化施工）を実用化した前例がないことを考慮すれば、段階的な検証を通じて発展・拡張させる「フォアキャスト型」を念頭に、実装の推進を図ることが妥当である。

特に新技術を段階的に実装させ、発展・拡張させていくためには、ユーザニーズのきめ細かい把握だけでなく、ともすれば「現行のままで十分やれている」となりがちなユーザの認識・判断に対して、ユーザとのコミュニケーションおよび着実な実績作りにまで踏み込み、本モデルに対する市場の認識の移行——「a nice-to-have（あったらいいもの）」から「a must-have（絶対に必要なもの）」へ——を促すなど、そのような意味でのニーズの創出を図ることが不可欠である。

そこで本コンソーシアムは、主サービスの段階的かつ着実な「実装」を可能にするために、主サービスとあわせて、運用マニュアル、研修プログラム、メンテナンスサポートという手厚いサポートの提供を検討した。本実証を通じて、それぞれの基本設計も実施した。これらは主サービスにとっての付属品ではなく、ユーザとのコミュニケーションを促進し、主サービスのさらなる開発・充実に活かし、そして「実装」「普及展開」を支え得る重要なサービスである。今後の段階的な発展・拡張に応じて、運用マニュアル、研修プログラム、メンテナンスサポートの種類および質の向上を図っていく。

- 運用マニュアル：各主体において統一した対応が可能なように運用マニュアルを提供する。
- 研修プログラム：マニュアル提供のみでの実運用は困難なため、導入時や毎年出水期前における定期的な研修教育プログラム（現地訓練等）を提供する。
- メンテナンスサポート：災害時に支障なく活用できるよう、出水期前等の事前メンテナンスサポートを提供する。

年次目標としては、令和 5～6 年度に国土交通省河川事務所による試行継続・実装（荒川下流河川事務所を想定）を実施し、令和 6 年度から荒川下流河川事務所等の代表的な機関で実装し、令和 10 年度までを目途に、国土交通省所管の河川事務所への普及展開完了、国土交通省所管の他事務所（港湾・砂防）、都道府県土木部局への一部普及展開を図る。

(2) 実装計画

1) 実装計画の作成方法

当初の実施計画案をもとに、想定エンドユーザとなる国土交通省および河川事務所へのヒアリング、ゼネコン・メーカー等 22 社からなる建設無人化施工協会へのヒアリング、ならびにドローンメーカーを含むコンソーシアム内での協議・検討を実施し、実装計画の詳細版を作成した。

特にコンソーシアム内では、実装内容の精緻化・標準化に向けて、運用費用の見積収集、マネタイズ方法、法制度や国土交通省等の取り組み動向をふまえた実装時期について、経済性・拡張性などの観点から協議・調整を行った。(下表)

表 4.3-74 実装計画の作成に関する調査・協議過程

会議体等	主催	参加・依頼先等	日時
週次定例会議	国際航業	日本電気、電気興業、西尾レントオール、ACSL (コンソ外)	(週次開催につき詳細は省略する)
見積依頼	国際航業	日本電気、電気興業、西尾レントオール、ACSL (コンソ外)	2022/12/14～
建設無人化施工協会ヒアリング	国際航業、NEC	建設無人化施工協会	2022/12/19
荒川下流河川事務所ヒアリング	国際航業、NEC	荒川下流河川事務所	2022/12/21
関東地方整備局ヒアリング	国際航業、NEC	関東地方整備局	2022/12/22
国土交通省本省ヒアリング	国際航業、NEC	総合政策局、水管理・国土保全局ほか	2023/2/2
実証視察会 参加者 37 名 (コンソーシアム関係者除をく)	国際航業	総務省 (本省、関東総合通信局) 関係省庁	2023/2/9
国土交通省職員への機能説明 参加者 14 名 (コンソーシアム関係者を除く)	国際航業	国土交通省 (総合政策局、大臣官房技術調査課電気通信室、関東地方整備局、近畿地方整備局、四国地方整備局)	2023/2/22

2) 実装計画の要約

■実装計画要約シート

代表機関名	国際航業株式会社		分野	河川			
実証件名	ローカル 5G を活用した河川災害におけるリアルタイムな状況把握と安全かつ迅速な応急復旧の実現(「令和4年度課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」【特殊な環境における実証事業】)						
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> 実証コンソーシアム構成企業: 国際航業株式会社、日本電気株式会社、西尾レントオール株式会社、電気興業株式会社(計4者)。 代表機関である国際航業株式会社は、プロジェクトの推進・管理のほか、課題実証のとりまとめ、ドローン、3次元空間解析技術提供、報告書作成等を担当。日本電気株式会社は、技術実証のとりまとめ、ローカル 5G ネットワーク提供等を担当。西尾レントオール、電気興業株式会社は課題・技術実証支援等を担当。 						
<p>※1 河川事務所による協定先企業の選定等を、本JVが妨げるものではない。 ※2 本実証におけるコンソ内企業をJV構成メンバーと想定し、株ACSLは枠外に置いた。</p>							
		令和4年度 (2022)	令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)
実装計画	全体計画 (SLパッケージ)		SLパッケージ化 実証/検証の継続	コンソ内 実装	他地域・他分野への横展開 運用後の課題、対策検討		
	ドローンソリューション	開発実証	安全性確保等の ための実地検証	コンソ内 実装	他地域・他分野への横展開 運用後の課題、対策検討		
	無人化施工ソリューション	開発実証	ローカル 5G 連携パッケージ化	コンソ内 実装	他地域・他分野への横展開 運用後の課題、対策検討		
	ローカル 5G システム	開発実証	実装			国交省様環境ラストワンマイルのローカル 5G 置き換え	
収支計画 (千円)	(1)ユーザから得る対価	-	0	634,305	1,580,991	2,840,959	5,031,837
	(2)補助金・交付金	-	0	0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))	-	0	634,305	1,580,991	2,840,959	5,031,837
	(4)ネットワーク設置費	-	0	0	0	0	0
	(5)ネットワーク運用費	-	0	0	0	0	0
	(6)ソリューション購入費	-	0	564,600	1,405,900	2,523,900	4,470,700
	(7)ソリューション開発費	-	60,000	0	0	0	0
	(8)支出((4)~(7))	-	60,000	564,600	1,405,900	2,523,900	4,470,700
	(9)収支((3)-(8))	-	▲60,000	69,705	175,091	316,159	561,167

<p>収入、支出の算定根拠</p> <p>●パッケージ1台(1箇所)あたりのJV収支</p> <p>支出合計 5,671万円</p> <ul style="list-style-type: none"> 【購入】①伸縮柱掲載車両 2,404万円/台、②ドローン 500万円/機、④研修 532万円/年(※毎年発生)、⑤保守サポート:795万円/年(※毎年発生) 【レンタル】③バックホウレンタルの金額 1,440万円/年(※施工業者に対してレンタル提供) <p>収入合計 6,371万円</p> <ul style="list-style-type: none"> 【購入】①+②+④+⑤+500万円 【レンタル】③+200万円 <p>●パッケージ1台(1箇所)あたりの収支および令和4~9年度収支計画の算定根拠</p> <ul style="list-style-type: none"> 1台あたりの支出は、コンソ内各社にて積算し、パッケージ1台(1箇所)あたりの支出合計(=①+②+③+④+⑤)を算出。 1台あたりの収入は、まず【購入】分(①②④⑤)については、粗利分の総額500万円を上乗せ(支出合計に占める各支出の割合に応じて、傾斜をつけて①②④⑤に上乗せ)。次に【レンタル】分(③)には、200万円を上乗せ。従って、支出+700万円(粗利)を収入とした。 令和4~5年度は開発コストを計上。令和6~9年度には順に10台、20台、30台、50台を販売する見込み。なおドローンの価格は、合計10台以上の納入で1機あたり5%、50台以上の納入で1機あたり10%のボリュームディスカウントが適用されるため、R6~8年度以降は5%引き、50台を納めるR9年度は10%引きとなる。上記の販売台数見込みおよびドローンのボリュームディスカウント適用をふまえて、各年度の導入時の支出総額(①+②+③+④+⑤)を算出、ならびに導入翌年度から毎年度発生する支出(③+④+⑤)を算出。それに対応する収入金額との差額で、令和6~9年度の収支を算定した。 			
<p>実装を確実にするための取り組み</p>		どのようにして(手段、取り組み方法、アウトカム)	いつまでに
	提供コスト低減	サービス提供は基本的に販売(売り切り)を想定しているが、販売価格が導入ハードルとなって成約率が向上しない場合、リース/レンタルによる提供プランも検討し、導入ハードルを低くすることを検討する。	~R6年度
	ソリューション追加開発	ドローンの目視外飛行(LEVEL4)を考慮し、基地局が移動した状態でのエリア構築、基地局間のエリアの連続性の確保、電波照射の柔軟性の向上(角度)など、多様な河川環境、被災状況での実装に向けた対応を図る。	~R6年度
	顧客開拓	国交省や都道府県の業務実績を多数有し、全国に拠点展開を行っている国際航業の営業リソースを使用することにより、河川事務所および関連機関への展開活動を行う。ウェビナーや展示会での紹介とフォローアップを実施する。	R5年度~
	運用面の改善	平常時の巡視・点検、施工監理等での導入と研修・トレーニングの充実を図る。また保守運用について、JV体制で専用窓口を準備して提供サービス内に含めるため、追加費用の発生なく利用できるサービスモデルを構築する。	R6年度~
	ルールメイキングへの貢献	総務省の情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会内の「上空利用検討作業班」において検討されているローカル5Gの活用・商用利用拡大について、また、「ローカル5G検討作業班」において検討されている河川区域等の自己土地における免許規制・移動規制の緩和について、本実証結果等をふまえて提言を試みる。さらに、無人化施工の導入促進に向けた提言活動を、本実証ならびにその後の実装・開発経過をふまえて国土交通省に対して実施する。	R5年度~
<p>計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達など)</p> <ul style="list-style-type: none"> デモ機材一式を準備し数日~数週間の実証実験受託するサービスモデルを構築しておくことにより、収入源を別途確保する。 JV各社の開発予算を投入することにより、実装計画を遂行する。 			

a. 実施体制

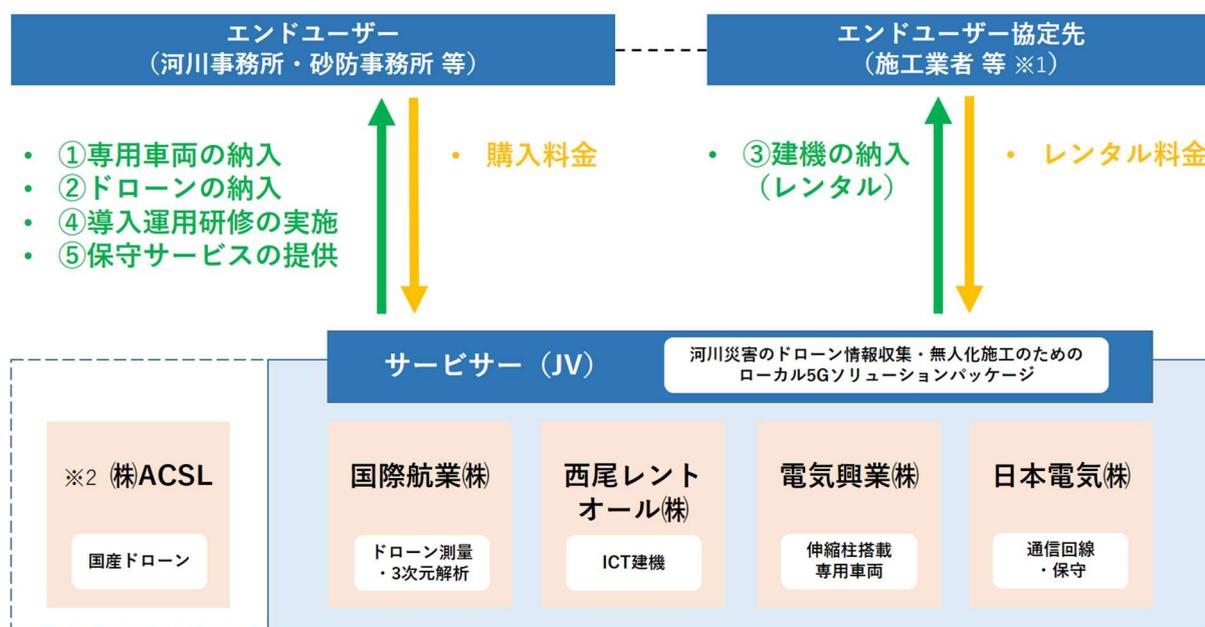
先述の通り、本コンソーシアムメンバーで構成する JV（以下、本 JV）が、本モデルによるサービス提供を実施する。JV の代表を、国際航業株式会社公共コンサルタント事業部が担当し、ローカル 5G によるドローン計測およびデータ伝送サービスを、株式会社 ACSL と共同開発の上、提供する。その上で、本 JV におけるサービス全体のとりまとめ、ユーザへのコンサルティング、およびサービスの提供を担う。西尾レントオール株式会社は、ローカル 5G による無人化施工対応建機の調達および提供を行う。電気興業株式会社は、ローカル 5G 対応専用車両の調達および提供を行う。日本電気株式会社は、ローカル 5G 設備全般に関する機材の調達・提供を行う。以上が、本 JV における各社の役割である。

なお免許人は、国土交通省等の河川管理者、又は、委託された通信事業者（例えば日本電気株式会社）が担う。本実証実験用に取得している免許から、商用免許への切替のタイミングとその進め方については、現在のローカル 5G 上空利用に関する規制の緩和（あるいは緩和の見通しの）状況に応じて、国際航業株式会社および日本電気株式会社が検討の上、JV が判断をする。

次に商流について説明する。本 JV は、河川事務所等のエンドユーザに対して、資機材（伸縮柱搭載等専用車両、ローカル 5G 端末搭載ドローン）を販売する。あわせて、導入・運用プログラム、資機材の保守サービスを販売する。導入 2 年目以降には、導入・運用プログラム、資機材の保守サービスが、本 SL パッケージのランニングコストとして毎年発生するため、それをエンドユーザに販売する。またローカル 5G 端末搭載の無人化施工建機について、本 JV は、エンドユーザが災害協定等を締結する施工業者に対して、年間でのレンタル提供を行う。初年度と同様に、2 年目以降にもレンタル提供を行う。

なお本 JV 以外の施工業者等、エンドユーザが本 SL パッケージの運用を委託する事業者の選定等に関して、本 JV が何らかの制限をかける、あるいは妨げるものではない。ただし当該事業者からの本 SL パッケージに関する問い合わせに対して、本 JV は、あくまで河川事務所との契約範囲内にて実施する。

以上を、本モデルによるローカル 5G サービス提供における実施体制とする。



※1 河川事務所による協定先企業の選定等を、本JVが妨げるものではない。
 ※2 本実証におけるコンソ内企業をJV構成メンバーと想定し、(株)ACSLは枠外に置いた。

図 4.3-97 本モデルの実施体制

b. 実装計画（実施事項）

実装化に向けた方向性をふまえ、直近 5 年間の具体的な行動計画を以下に示す。まずは優先度の高い国交省河川事務所での実装に注力し、徐々に横展開して規模拡大を図っていくことを想定している。

従って 1 年目である令和 5 年度は、本 JV におけるパッケージ化検証として、本事業で構築したローカル 5G システムを活用し、広範囲エリア構築の検証、ドローンにおけるローカル 5G 端末接続部の補強、ハンドキャリア型ローカル 5G 基地局を活用した追加実証を実施する。また、国土交通省での予算確保に向けた働きかけを行う。

2 年目は、ドローンへのローカル 5G 端末搭載認可の法制度整備がなされていることを前提にさらなるドローン活用安全性検証を行う。また予算規模に応じて、建機無人化施工は順次実装を開始する。3 年目は実装を行い、平常時への活用試行を開始する。4 年目にも平常時の活用試行は継続する。5 年目には、砂防、海岸・港湾等の他分野、ならびに都道府県等の他ユーザに向けた、災害時および平常時の活用に関するサービスの展開を図る。

なお 5 年目以降の様々な分野やユーザに対する普及・展開に向けて、計画的なプロモーション、提案が必要となる。特に災害対応に特化したローカル 5G プロダクトのメリットを明確に伝えるために、広告、PR、オンラインマーケティング、展示会等のイベントなどを通じて、ターゲットに向けたプロモーションを実施する。

0年目:開発実証
(開発実装完了)※本実証の普及活動
1年目:パッケージ化検証、予算確保
<ul style="list-style-type: none"> ・ソリューションパッケージ化(建機無人化施工) ・安全性確保のための実地検証(ドローン活用) ・ローカル5G活用モデルの有効性評価 ・予算確保に向けた資料等の作成 ※実装に向けて国土交通省などで予算確保(以後継続)
2年目:ドローン活用安全性検証
<ul style="list-style-type: none"> ・予算規模等に応じて順次実装(建機無人化施工) ・安全性確保のための実地検証(ドローン活用) ※ドローンへの搭載認可の法制度が前提
3年目:実装
<ul style="list-style-type: none"> ・ローカル5Gと連携したデータ伝送実装(ドローン活用) ・平常時への適用試行
4年目:実装の拡大
<ul style="list-style-type: none"> ・平常時の活用の試行
5年目:実装の拡大、横展開
<ul style="list-style-type: none"> ・砂防、海岸・港湾等他事業への展開 ・都道府県等への展開

図 4.3-98 5か年の実装スケジュール

c. 収支計画

ア) 収支計画

収入と支出の算定根拠、および収支計画の概要を以下に示す。なお本収支計画は、サービス提供者目線での算定である。

令和4～5年度は、ソリューション開発費として1億3,000万円、6,000万円それぞれ計上した。この過程で、本SLパッケージを作り上げる。具体的にはSLパッケージ1台(1箇所)あたり、伸縮柱等ローカル5G設備を搭載した専用車両1台、ローカル5G端末搭載ドローン1機、ローカル5G端末搭載建機(バックホウ)、年間の導入研修プログラム、および年間の保守サポートで構成される。

令和6～9年度は、本SLの商用化を推進する。令和6年度には10台、同7年度には20台、同

8 年度には 30 台、同 9 年度には 50 台の販売を見込む。この販売台数は、需要が見込まれる河川事務所、砂防事務所、および河川の防災ステーション数をもとに試算した。本販売計画に基づいて収支計画を立案した。

収支計画立案にあたって、第一にコンソーシアム各社および ACSL が検討した、SL の各構成要素に関する販売見積価格（建機についてはレンタル見積価格）を根拠に、SL1 台（1 箇所）あたりの支出を算出した。なお車両およびドローンはユーザが購入するモデルとしたが、建機はレンタル・リースによる利用が一般的なため、ユーザ委託先の施工業者がレンタルするモデルとする。

まとめると伸縮柱搭載専用車両、ドローン、導入・運用プログラム、保守サポートの 1 台（1 箇所）あたりの販売原価、すなわち本 JV の支出は 4,231 万円/年、建機のレンタル原価は 1,440 万円/年となり、合計で 5,671 万円/SL/年となる。本支出は、ネットワーク設置費・ネットワーク運用費を含めて「ソリューション購入費」とし、以上を「支出」として計上した。

次に本 JV の収入算定だが、上記 SL をユーザに提供するにあたり、伸縮柱搭載専用車両、ドローン、導入・運用プログラムおよび保守サポートについては、粗利分の総額 500 万円を上乗せし、建機には別途 200 万円を上乗せすることとし、これを 1 台（1 箇所）あたりのサービス収入とした。なお 500 万円の粗利は、SL 全体の支出に占める各要素（伸縮柱搭載専用車両、ドローン、導入・運用プログラム、保守サポート）の割合に応じて傾斜をつけて上乗せしている。従って車両、ドローン、導入・運用プログラム、保守サポートの 1 台（1 箇所）あたりの収入は 4,731 万円/年、建機のレンタル収入は 1,640 万円/年となり、合計で 6,371 万円/SL/年となる。

これらをユーザが支払うイニシャルコストとした上で、1 年ごとのランニングコストも継続的に導入プログラム、保守サポート、および建機に対して発生する。以上の収入構成、および販売計画をベースに、令和 6～9 年度の支出および収入を算定した。これらの数値を「ユーザから得る対価」および「収入」とし、「支出」との差額を「収支」として算定した。

また、ネットワーク運用費、ネットワーク設置費について、本ソリューションは、公物管理を行う河川管理者向けのサービスであり、河川管理者が保有している光ファイバーケーブルに接続して情報共有を図る。そのため、国交省の河川等の管理者が保有している、光ファイバーケーブルの利用費（ネットワーク運用費）は 11～15 円/m 程度かかるが、河川管理者の委託業務で実施するケースを想定しており、現状では減免となると想定した。光ファイバーケーブルを接続するクロージャは既設のものを使用することを想定しているため、新たな設置（ネットワーク設置費）は伴わないと想定した。

▼支出合計 5,671 万円

- ・ 【購入】 ①伸縮柱搭載車両 2,404 万円/台（※買い取り）、②ドローン 500 万円/機（※買い取り）、④研修 532 万円/年（※毎年発生）、⑤保守サポート：795 万円/年（※毎年発生）
- ・ 【レンタル】 ③バックホウレンタルの金額 1,440 万円/年（※施工業者に対してレンタル提供）

▼収入合計 6,371 万円

- ・ 【購入】 ①+②+④+⑤+500 万円
- ・ 【レンタル】 ③+200 万円

表 4.3-75 令和 4～9 年度の収支計画の詳細

支出の算定

- ①②④⑤：1台あたりの導入・運用コスト
- ③：1台あたりの導入・運用コスト

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両			24,040			
②ドローン			5,000			
④研修			5,320	5,320	5,320	5,320
⑤保守サポート			7,950	7,950	7,950	7,950
	0	0	42,310	13,270	13,270	13,270

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル			14,400	14,400	14,400	14,400

R6年 支出 新規導入目標台数⇒ 10

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両			240,400			
②ドローン			47,500			
④研修			53,200	53,200	53,200	53,200
⑤保守サポート			79,500	79,500	79,500	79,500
	0	0	420,600	132,700	132,700	132,700

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル			144,000	144,000	144,000	144,000

R7年 支出 新規導入目標台数⇒ 20

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両				480,800		
②ドローン				95,000		
④研修				106,400	106,400	106,400
⑤保守サポート				159,000	159,000	159,000
	0	0	0	841,200	265,400	265,400

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル				288,000	288,000	288,000

R8年 支出 新規導入目標台数⇒ 30

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両					721,200	
②ドローン					142,500	
④研修					159,600	159,600
⑤保守サポート					238,500	238,500
					1,261,800	398,100

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル					432,000	432,000

R9年 支出 新規導入目標台数⇒ 50

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両						1,202,000
②ドローン						225,000
④研修						266,000
⑤保守サポート						397,500
	0	0	0	0	0	2,090,500

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル						720,000

R6～9年 支出 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両	0	0	240,400	480,800	721,200	1,202,000
②ドローン	0	0	47,500	95,000	142,500	225,000
④研修	0	0	53,200	159,600	319,200	585,200
⑤保守サポート	0	0	79,500	238,500	477,000	874,500
	0	0	420,600	973,900	1,659,900	2,886,700

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル	0	0	144,000	432,000	864,000	1,584,000

支出合計

			564,600	1,405,900	2,523,900	4,470,700
--	--	--	---------	-----------	-----------	-----------

収入の算定

- ①②④⑤：1台あたりの導入・運用コスト+粗利
- ③：1台あたりの導入・運用コスト+粗利

単位：千円

5000
2000

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両			26,881			
②ドローン			5,591			
④研修			5,949	5,949	5,949	5,949
⑤保守サポート			8,889	8,889	8,889	8,889
	0	0	47,310	14,838	14,838	14,838

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル			16,400	16,400	16,400	16,400

R6年 収入 新規導入目標台数⇒ 10

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両			268,809			
②ドローン			53,113			
④研修			59,487	59,487	59,487	59,487
⑤保守サポート			88,895	88,895	88,895	88,895
	0	0	470,305	148,382	148,382	148,382

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル			164,000	164,000	164,000	164,000

R7年 収入 新規導入目標台数⇒ 20

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両				537,619		
②ドローン				106,227		
④研修				118,974	118,974	118,974
⑤保守サポート				177,790	177,790	177,790
	0	0	0	940,609	296,764	296,764

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル				328,000	328,000	328,000

R8年 収入 新規導入目標台数⇒ 30

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両					806,428	
②ドローン					159,340	
④研修					178,461	178,461
⑤保守サポート					266,685	266,685
					1,410,914	445,146

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル					492,000	492,000

R9年 収入 新規導入目標台数⇒ 50

納入先：国土交通省 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両						1,344,047
②ドローン						251,589
④研修						297,435
⑤保守サポート						444,475
	0	0	0	0	0	2,337,546

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル						820,000

R6～9年 収入 単位：千円

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
①伸縮柱掲載車両	0	0	268,809	537,619	806,428	1,344,047
②ドローン	0	0	53,113	106,227	159,340	251,589
④研修	0	0	59,487	178,461	356,922	654,356
⑤保守サポート	0	0	88,895	266,685	533,370	977,844
	0	0	470,305	1,088,991	1,856,059	3,227,837

納入先：施工業者

	R4	R5	R6	R7	R8	R9
③バックホウレンタル	0	0	164,000	492,000	984,000	1,804,000

収入合計

			634,305	1,580,991	2,840,059	5,031,837
--	--	--	---------	-----------	-----------	-----------

収支

			69,705	175,091	316,159	561,137
--	--	--	--------	---------	---------	---------

イ) ユーザにおける必要リソース (モデルケース)

上記の収支計画がサービス提供者目線での算定であるのに対して、ユーザ目線での本ソリューションパッケージのモデルケースは下表の通りである。

表 4.3-76 ユーザにおける必要リソース

項目		イニシャルコスト (初年度)	ランニングコスト (次年度以降、年間)
ローカル 5G システム		37,502 千円	9,559 千円
a.	ローカル 5G システムを搭載した伸縮柱 掲載車両調達費 (/台) ※買切	26,881 千円	0 円
b.	ローカル 5G システムの保守費 (/年)	7,827 千円	7,827 千円
c.	伸縮柱掲載車両調達費の保守費 (/年)	670 千円	670 千円
d.	導入時研修	1,062 千円	0 円
e.	出水期前研修 (/年)	1,062 千円	1,062 千円
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション		25,659 千円	20,617 千円
a.	ドローンソリューション	7,549 千円	2,517 千円
	① 5G ドローン購入費 (/台) ※1	5,032 千円	0 円
	② 保守費 (/年)	392 千円	392 千円
	③ 研修費 (ドローン飛行による映像配 信・画像伝送の体験・年 2 回)	2,125 千円	2,125 千円
b.	無人化施工ソリューション	18,100 千円	18,100 千円
	① 5G 建機レンタル費 (/年) ※2	16,400 千円	16,400 千円
	② 定期研修費 (ICT 施工の体験・年 1 回)	1,700 千円	1,700 千円

※1 ドローンは、50 台以上の導入を想定したボリュームディスカウント適用後の価格とした。

※2 重機レンタルは、バックホウを想定した。

収支計画の試算と同様、モデルケースの試算にあたって、コンソーシアム各社および ACSL が検討した、SL の各構成要素に関する販売見積価格 (建機についてはレンタル見積価格)、その他保守費および研修費の見積価格を根拠とした。

ユーザへの提供価格のうち、ローカル 5G システムの a~e、ならびにローカル 5G 活用モデルに係るソリューションの a「ドローンソリューション」の①~③、および b「無人化施工ソリューション」の②の費用は、各費目の見積価格の合計に粗利分の総額 500 万円を上乗せした上で、見積価格の合計に占める各費目の割合に応じて、傾斜をつけて粗利分を配分した価格となっている。例えば、「ローカル 5G システムを搭載した伸縮柱掲載車両調達費」のイニシャルコストには、1 台あたりの見積価格 2,404 万円に、傾斜をかけた粗利 284.1 万円を上乗せした金額 2,688.1 万円を記載している。建機には見積価格に 200 万円の粗利分を上乗せしている。

d. 実装を確実にするための取り組み

ア) 提供コスト低減

サービス提供は基本的に販売（売り切り）を想定しているが、販売価格が導入ハードルとなって成約率が向上しない場合、リース／レンタルによる提供プランも検討し、導入ハードルを低くすることを検討する。

イ) ソリューション追加開発

第3者上空におけるドローンの目視外飛行（レベル4）解禁等に伴う、飛行範囲の拡大やニーズの多様化を見込み、基地局が移動した状態でのエリア構築、基地局間のエリアの連続性の確保、電波照射の柔軟性の向上（角度）など、多様な河川環境、被災状況での実装に向けた対応を図る。

ウ) 顧客開拓

国交省や都道府県の業務実績を多数有し、全国に拠点展開を行っている国際航業の営業リソースを使用することにより、河川事務所および関連機関への展開活動を行う。ウェビナーや展示会での紹介とフォローアップを実施する。

エ) 運用面の改善

平常時の巡視・点検、施工監理等での導入と研修・トレーニングの充実を図る。特にサービス契約者側での担当者変更等があった場合には、新任者向けに、通常の研修の範囲において、プログラムの内容を手厚くするなど、安定的な運用環境の維持・向上に貢献する。サービス契約者側での満足度、信頼も向上すると思われ、解約率を抑えるはたらきも期待される。

オ) ルールメイキングへの貢献

総務省の情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会内の「上空利用検討作業班」において検討されているローカル5Gの活用・商用利用拡大について、また、「ローカル5G検討作業班」において検討されている河川区域等の自己土地における免許規制・移動規制の緩和について、本実証結果等をふまえて提言を試みる。さらに、無人化施工の導入促進に向けた提言活動を、本実証ならびにその後の実装・開発経過をふまえて国土交通省に対して実施する。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）

デモ機材一式を準備し数日～数週間の実証実験受託するサービスモデルを構築しておくことにより、収入源を別途確保する。JV各社の開発予算を投入することにより、実装計画を遂行する。

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

本コンソーシアムは、実証の取り組み成果に係る動画を作成した。

また、株式会社三菱総合研究所(以下「MRI」と記す。)がローカル 5G の普及の観点から行う本開発事業に関する映像制作に関して、MRI と事前に綿密に連携した上で MRI の指示に従い、実証映像の素材提供の協力を行った。

5.2 実証視察会の実施

令和 5 年 2 月 9 日 (木) 13:00~15:00 に、実証視察会を開催し、総務省 (本省、関東総合通信局)、関係省庁、関係企業・団体等に対し、本ソリューションの内容について説明を行った。

荒川岩淵地区で現地実証を行い説明するとともに、荒川知水資料館アモアホールにおいて、意見交換を行った。参加者は合計 37 名 (コンソーシアム関係者を除く) であった。

主なプログラムは以下の通りである。

13:00	国土交通省 荒川下流河川事務所 集合
13:05~13:20	概要説明本実証におけるソリューションの紹介、これまでの実証の概要説明
13:35~13:55	現地にてドローンによる映像伝送、画像伝送の確認
14:05~14:30	無人化施工建機における動作確認
14:40~15:00	意見交換等現地視察をふまえての意見交換
15:00	解散



無人化施工建機の視察状況(1)



無人化施工建機の視察状況(2)



ドローンや建機の映像確認の状況



ドローンによる映像撮影の状況

5.3 その他普及啓発活動

本実証コンソーシアムは、実証成果のその他普及啓発活動として、以下の取り組みを行った。

【実施した普及啓発活動】

- ・MRI 及び総務省の令和4年度実証内容の報道発表の実施以降、本実証の実施について国際航業含む複数社でプレスリリースを行った。
- ・本実証の実施について、新聞記者への情報提供等を行った。
- ・国土交通省への取り組み動画の配信を行った。
- ・無人化施工協会を通じ、建設事業者への普及啓発活動を行った。
- ・国土交通省職員を対象に本開発の機能を現地にて説明する機会を設けた。(2月22日実施)

以下に記者発表資料を掲載する。(出典：国際航業株式会社ホームページ)

NEW 2023/01/24 リリース

河川災害対策におけるローカル5G等を活用した実証実験について

2023年1月24日
国際航業株式会社
日本電気株式会社
西尾レントオール株式会社
電気興業株式会社

国際航業株式会社（注1、以下 国際航業）、日本電気株式会社（注2、以下 NEC）、西尾レントオール株式会社（注3、以下 西尾レントオール）、電気興業株式会社（注4、以下 DKK）の4社は、総務省「課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証（特殊な環境における実証事業）」において、ローカル5Gを活用した河川災害におけるリアルタイムな状況把握と安全かつ迅速な応急復旧の実現を目的とした提案を行い、採択されました。

本実証事業では、東京都北区および足立区（荒川下流域）において、河川区域内にローカル5G環境を構築し、ドローンを活用した高精細映像のリアルタイム伝送による被害状況の迅速な把握や、三次元地形データの作成および建機の無人化施工による安全かつ迅速な応急復旧、平常時の河川管理の高度化・効率化の実現に向けた実証を行います。

【背景・目的】
気候変動が引き起こす異常気象等により災害が激甚化・大規模化する中、洪水等の災害が発生した場合には、対応に当たる関係者間で状況を素早く共有し、避難指示や応急復旧などの意思決定を迅速かつ的確に行うことが求められています。

これらの状況に対応するため、ドローンの活用による被災地の高精細映像の取得や、水位低下後の河川周辺の地形画像を活用した三次元地形モデルの作成、高精細映像の活用による無人化施工建機の安全かつ迅速な応急復旧など、近年は被災状況の詳細な把握を可能とする技術が開発されています。一方で、これらの技術を活用するために必要なデータは容量が非常に大きくなるため、高速大容量で低遅延かつ多数同時接続の特長を持ち、独立したネットワーク網を構築できるローカル5Gの活用が期待されます。

本実証では、河川災害時におけるローカル5G等を活用した情報収集と応急復旧の迅速化に関する技術実証と課題実証の2つの実証を行います。技術実証では、河川の特異な線状地形における電波伝搬モデルの精緻化や中継器を使用した柔軟な電波カバーエリアの構築を行い、データ容量の制限や受信の遅延の少ない安定した通信環境の提供に向けた取り組みを行います。課題実証では、これらの通信環境のもとで、ドローンによる高精細映像のリアルタイム伝送および無人化施工建機を活用した復旧作業の効率化の実現に向けた有効性の評価、課題の抽出、実装に向けた具体的な検討を行います。さらに、これらの仕組みを平常時から活用するため、河川の巡視や点検、施工監理等での実装に向け、船舶上のカメラからのデータ伝送試験を行います。

【実験イメージ（災害時対応のイメージ）】



【実証実験の概要】

時期	2023年1月下旬から2月中旬
場所	荒川下流域（東京都北区岩淵地区、足立区新田地区）
技術実証	<ul style="list-style-type: none"> ①河川の線状地形を考慮した置局(カバーエリア、調整対象区域)と電波伝搬モデル精緻化 ②災害時の復旧進捗を想定し、河川の堤内地、堤外地を考慮した電波伝搬モデル精緻化 ③レピータおよび複数基地局を使用し、河川の線状地形におけるカバーエリアの改善・柔軟性向上
課題実証	<ul style="list-style-type: none"> ①災害発生段階におけるドローンによる高精細映像のリアルタイム伝送 ②応急復旧段階におけるドローンによる静止画のリアルタイム伝送、3D地形データ作成、復旧設計データ作成の作業効率化 ③応急復旧段階における施工データの取得から無人化施工までの安全性の向上かつ作業効率化 <p>※平常時活用の観点から、船舶上のカメラからの高精細映像のリアルタイム伝送</p>

【各社の役割】

社名	役割
国際航業	<ul style="list-style-type: none">・プロジェクトの推進・管理・課題実証の総括、検証・ローカル5G端末搭載ドローン、3次元空間解析技術提供
NEC	<ul style="list-style-type: none">・技術実証の総括、検証・ローカル5Gの機器の調達、設計
西尾レントオール	<ul style="list-style-type: none">・課題実証（無人化施工建機）の検証
DKK	<ul style="list-style-type: none">・ローカル5Gを搭載した可搬型機器の調達、設計・中継器（レピータ）の調達、設計

以上

(注1)本社：東京都新宿区、代表取締役社長 兼 執行役員COO：土方 聡

(注2)本社：東京都港区、代表取締役執行役員社長 兼 CEO：森田 隆之

(注3)本社：大阪府大阪市、代表取締役社長：西尾公志

(注4)本社：東京都千代田区、代表取締役社長：近藤忠登史

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

本事業の実証コンソーシアムは、国際航業株式会社、日本電気株式会社、西尾レントオール株式会社、電気興業株式会社の4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、国際航業株式会社であり、プロジェクトの推進・管理のほか、課題実証のとりまとめ、ドローン、3次元空間解析技術提供、報告書作成等を担った。

日本電気株式会社は、技術実証とりまとめ、ローカル5Gネットワーク提供等を担当した。

西尾レントオール、電気興業株式会社は課題・技術実証支援等を担当した。

協力企業を含めた本事業の組織構成を以下に示す。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で構成し、円滑な事業遂行に取り組んだ。

また、本事業の実施にあたっては、国土交通省水管理・国土保全局、関東地方整備局と調整し、課題実証ならびに展開シナリオの検討支援、実証エリアの提供を受け実証を行った。

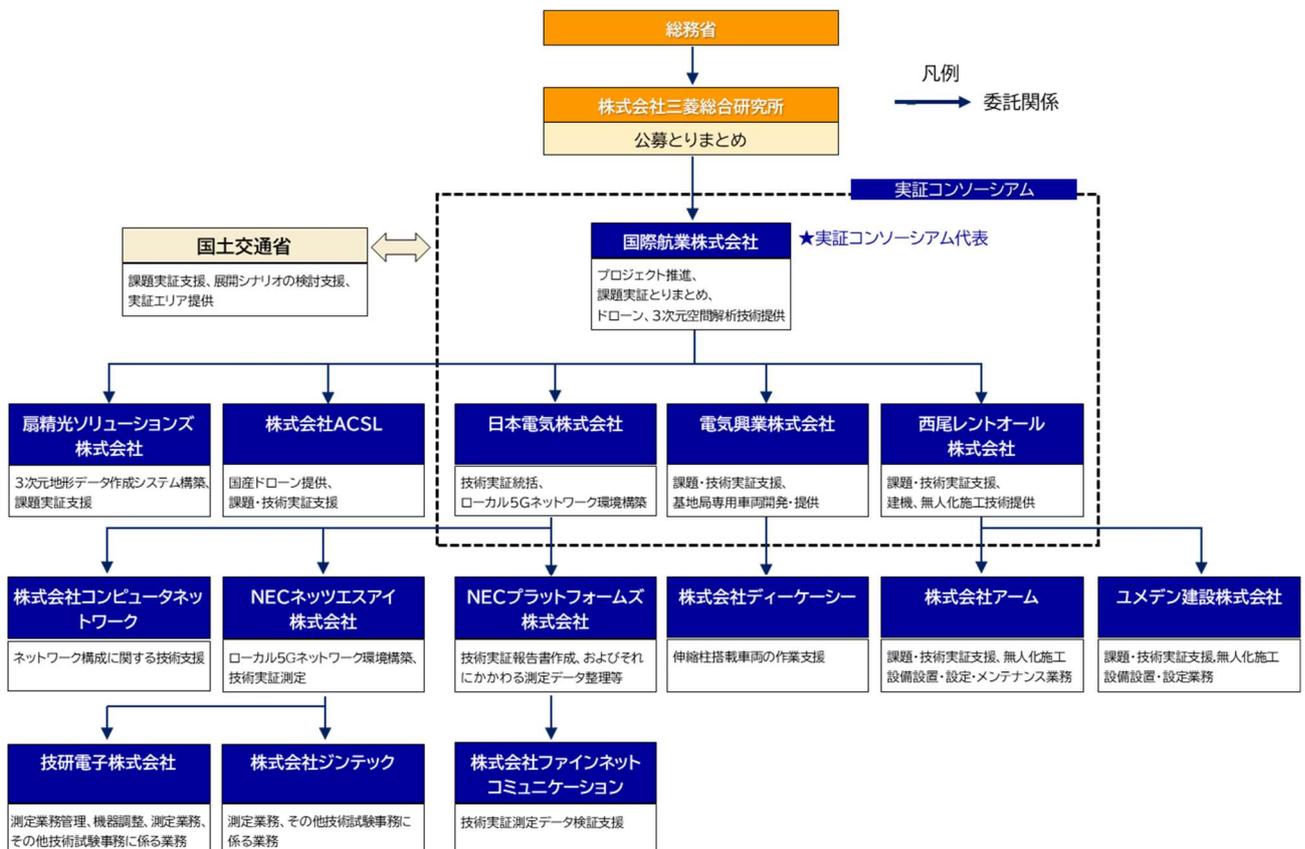


図 6.1-1 実施体制

6.2 実施体制内の役割

本実証コンソーシアムにおける各役割の分担は以下の通りである。

- ① プロジェクトマネージャー：国際航業株式会社
- ② 技術実証担当者：日本電気株式会社、電気興業株式会社
- ③ 課題実証担当者：国際航業株式会社、西尾レントオール株式会社
- ④ 会計処理担当者：国際航業株式会社

① プロジェクトマネージャー

実証コンソーシアムの代表機関である国際航業株式会社において、プロジェクトの進捗管理等の経験豊富かつ能力を有するプロジェクトマネージャーを設置した。プロジェクトマネージャーは、事業の進捗管理等、事業を統括するとともに、株式会社三菱総合研究所（以下、MRI とする。）ならびに総務省の求めに応じて事業の内容の説明等を行う責任を持つ。

② 技術実証担当者

MRI との間でローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討に関する連絡を担当する技術実証担当者を設置した。技術実証担当者は、MRI ならびに総務省の求めに応じて当該検討の内容の説明等を行う責任を持つ。

③ 課題実証担当者

本実証の課題実証の遂行を担当する課題実証担当者を設置した。課題実証担当者は、課題実証に必要な実証環境構築の機器手配、実証場所の選定と調整、課題実証の遂行、実証フィールドを提供する国土交通省との連絡・調整等を行う責任を持つ。

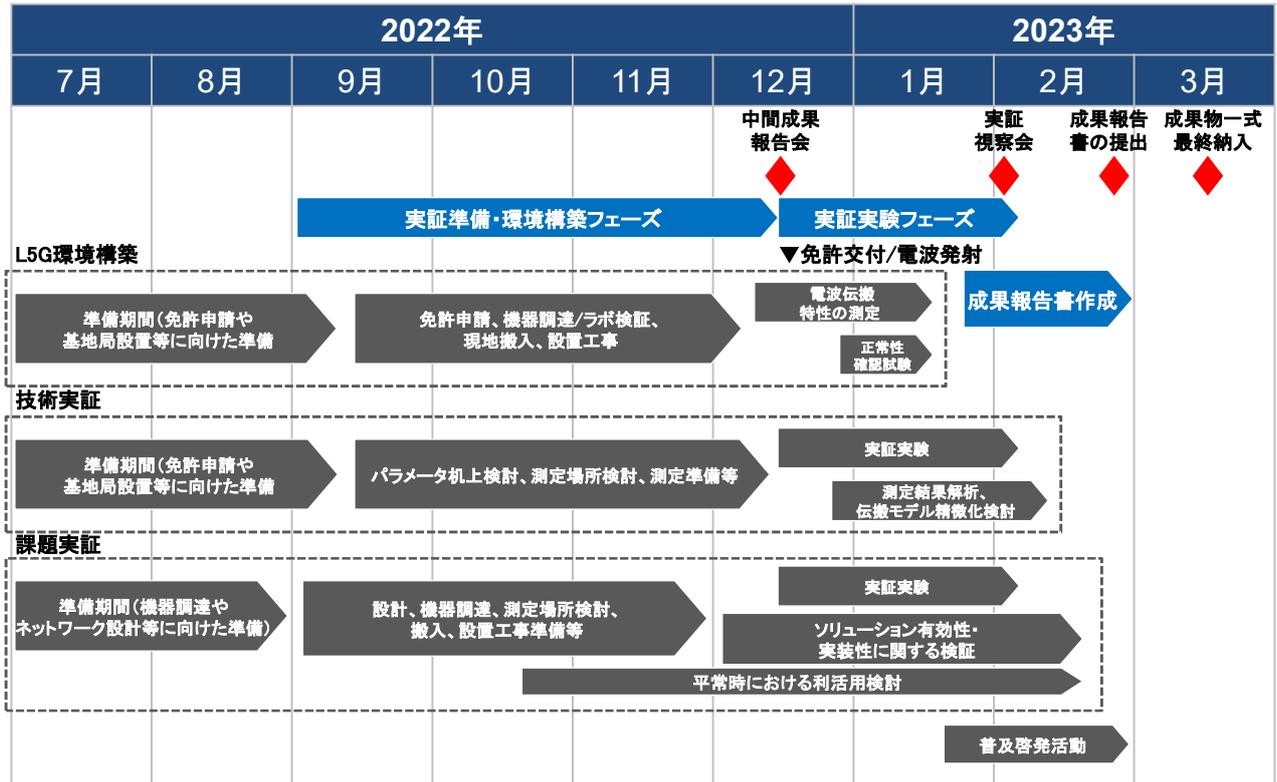
④ 会計処理担当者

事業の遂行における支出を適切に管理可能な体制を確保するため、会計処理担当者を設置した。会計処理担当は、実証コンソーシアム内の全ての支出経費に関連した証書等の整理・とりまとめの責任を持つ。

7. スケジュール

以下表に示すスケジュールにて、本実証事業を実施した。

9月から実証準備や環境構築に取り組み、2月上旬までに実証実験を行い、2月上旬に実証視察会を開催した後に、成果報告書のとりまとめを行った。



令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証【特殊環境実証事業】

[ローカル5Gを活用した河川災害におけるリアルタイムな状況把握と安全かつ迅速な応急復旧の実現]

2023年3月

国際航業株式会社
