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

【開発実証事業】

地方公共団体と連携したローカル5Gの活用による火力発電所のスマート保安の実現

成果報告書

令和5年3月

九州電力株式会社

目次

1. 実証概要 1

1.1 背景・目的 1
1.2 実証の概要 4

2. 実証環境の構築 6

2.1 対象周波数帯 6
2.2 実施環境 6
2.3 ネットワーク・システム構成 8
2.3.1 システム物理構成 8
2.3.2 エリア化イメージ 9
2.3.3 基地局等の無線機器の調達先等 10
2.3.4 ローカル 5G の無線機器. 11
2.3.5 ネットワーク機器. 21
2.3.6 ソリューション機器 27
2.4 システム機能・性能・要件. 35
2.4.1 実証ソリューション必要帯域 35
2.4.2 ローカル 5G システムの性能 38
2.5 その他 39
2.5.1 実証システムの拡張性等 39
2.5.2 実証システムの安全性確保のための対策 41
2.5.3 免許および各種認可 42

3. ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討(技術実証). 43

3.1 実証概要 43
3.2 実証環境 44
3.3 実施事項 45
3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化. 45
3.3.2 エリア構築の柔軟性向上 78

4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討(課題実証). 129

4.1 実証概要 129
4.1.1 背景となる課題. 129
4.1.2 本実証におけるローカル 5G 活用モデル 133
4.1.3 実証内容の新規性・妥当性 137

4.1.4 実証目標 139
4.2 実証環境 140
4.3 実施事項 142
4.3.1 ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証 142
4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証 253
4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出および解決策の検討 283
4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開 287

5. 普及啓発活動の実施 308

5.1 映像制作 308
5.2 実証視察会の実施 308
5.3 その他普及啓発活動 310

6. 実施体制 312

6.1 実施体制の全体像 312
6.2 実施体制内の役割 312

7. スケジュール 314

1.　実証概要

1.1　背景・目的

昨今、異常気象等の気候変動問題が顕在化し、主な原因となる温室効果ガスの排出削減は、地球規模で対応が求められる急務の課題となっている。我が国においても 2020 年 10 月の総理所信表明において、2050 年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すことが宣言され、再生可能エネルギーの導入が加速している。

このような流れの中、CO2 排出を伴う火力発電所は、設備の点検・補修が延伸され、高経年化も進んでいる。さらに、技術者の高齢化、リタイヤによる保安人材不足および技術継承等の課題にも直面している状況である。しかしながら、導入が加速している再生可能エネルギーは、季節や天候等による発電量の出力変動が大きいことから、現状では、出力変動の調整を火力発電所が担わざるを得ず、火力発電所を完全に停止させることは現実的に困難である。

他方、近年は、センサーデバイス、5G、IoT、クラウド技術、ビッグデータ解析、AI 等の ICT 技術の進展により、新たな価値を生み出す DX（デジタルトランスフォーメーション）があらゆる分野で加速しており、電力インフラにおいても効率化や高付加価値に寄与することが期待されている。

こうした背景の中、経済産業省は、電気保安分野において IoT や AI、ドローン等の新技術を導入することで、保安力の維持・向上と生産性の向上を両立（スマート保安）させていくことが重要とし、スマート保安の将来像を以下の通り定めている。

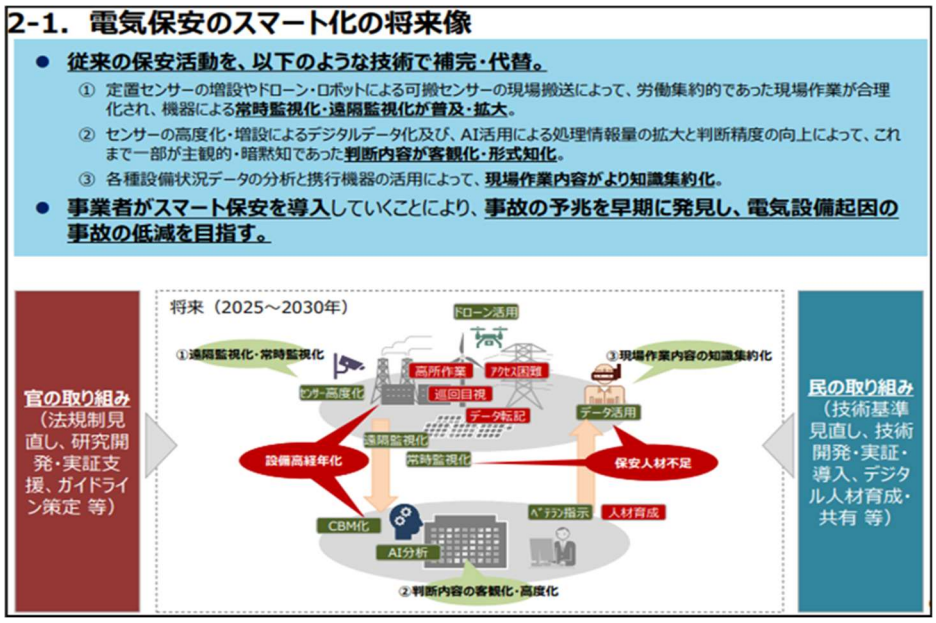


図 1.1-1　電気保安のスマート化の将来像

【出典：電気保安分野 スマート保安アクションプランの概要、経済産業省】

九州電力株式会社(以下、九州電力)において、火力発電所は、主要な電源であり 24 時間態勢で稼働している重要施設であるが、先に述べた設備の高経年化、技術者の高齢化、人材不足および技術継承の課題に直面していることから、これら課題を解決する「スマート保安」の実装に向けて、DX を推進しているところである。

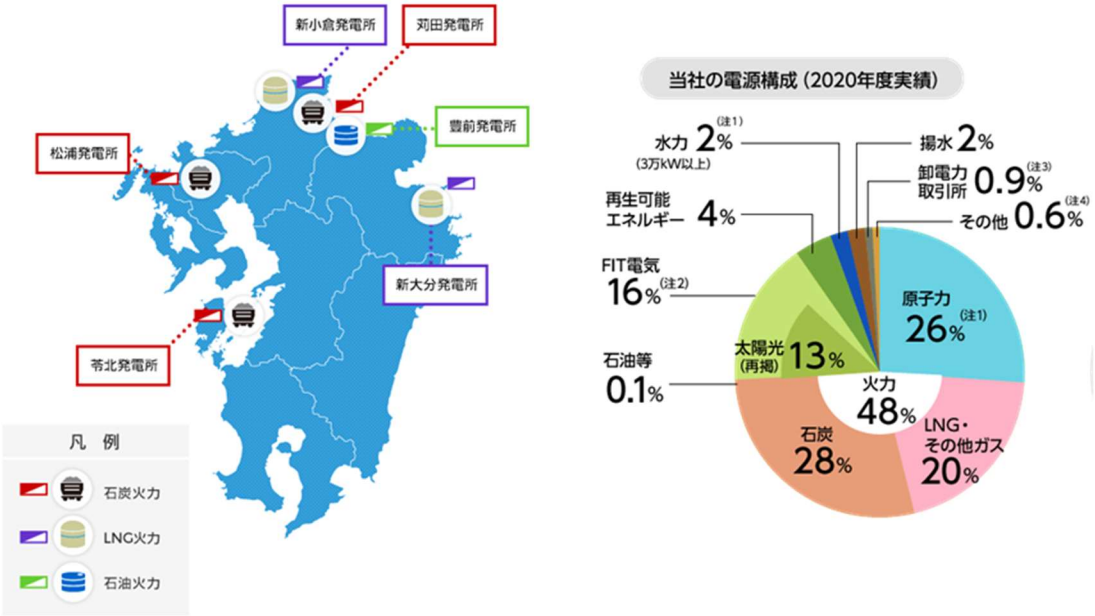


図 1.1-2 九州電力の火力発電所設備および電源構成(2020 年度実績)

【出典:九州電力株式会社ホームページより抜粋】

一方、九州電力苓北火力発電所が位置する熊本県天草地区は、熊本県の南西部に位置し、天草諸島の中で、天草上島と天草下島および御所浦島等で構成されている。地形は、ほとんどが山林で占められ、急峻な地形が多く、河川沿いの平野部や海岸線の平地や埋立地に市街地や集落、農地が展開している。昭和 41 年 9 月、天草五橋の開通によって天草上島・下島が九州本土と陸続きとなったが、天草市中心部の本渡市街地から熊本市中心部までは車で 120 分を要し、県内 90 分構想の実現が唯一達成されていない。さらに、平成 12 年 3 月には、天草空港を開港しているが、空路としての十分な輸送容量が備わっているわけではない。国道 266 号線の一部である天草五橋は市民の生活環境の向上、産業の振興等に不可欠な生命線となっており、橋の老朽化や災害発生等による損傷は、交通・通信の遮断を招き、市民生活や経済活動に致命的な影響を与えるため、天草地区への災害物資輸送、住民の避難にとって大きな課題となっている。

図 1.1-3 天草地区地図

【出典 : Map-It ﾏｯﾌﾟｲｯﾄ | 地図素材ｻｲﾄ】

これらの社会的課題を解決し、天草住民への安全・安心な生活を提供するため、令和 4 年(2022 年)6 月 3 日に熊本県と九州電力熊本支店で「苓北発電所港湾等施設の使用に関する協定(以下、熊本県との協定)」を締結した。具体的には、災害時における県事務所と現地との迅速な連絡手段を確保するための「体制の確立」、物資輸送のための港湾設備の活用等「苓北発電所施設の活用」、災害発生状況や被災状況の迅速な把握、共有するための「情報共有」、「防災訓練等への相互参加」等を通じて、災害時における熊本県の円滑な救援物資の運搬等、被災地の迅速な復旧に向けて、連携して取り組むこととしている。

今回、九州電力の火力発電所における課題解決に向けた将来のスマート保安の実現および実証場所の苓北発電所における地理的な課題と熊本県との協定における港湾施設の円滑な利用を実現するために、高速大容量・低遅延・多元接続・高セキュリティの特徴を有するローカル 5G の活用が極めて有効である。

ローカル 5G の活用により、発電所のスマート保安に求められる要件である、多種多様なセンサーの「大量同時接続」、ロボットやドローンの自動遠隔巡視点検のための「大容量・リアルタイム映像通信」、荷揚げ装置等の遠隔制御のための「低遅延・非常災害時の帯域確保・セキュリティ確保」が実現できる。

また、熊本県との協定に基づく非常災害時の迅速かつ的確な災害対策に求められる要件である、緊急支援輸送車両の「AI 入退管理」、高精細カメラによる輸送船および不審者の「リアルタイム映像監視」、ロボットやドローンの構内・湾岸部の安全確認のための「大容量・リアルタイム映像通信」が実現できる。

1.2　実証の概要

スマート保安の導入検討は、九州電力所有の発電所に限らず、全国の発電所においても進められており、ロボットやドローン等を活用したスマート保安実装による点検業務の品質維持、効率化および自動化が求められている。

一方で、九州電力の火力発電所である苓北発電所、松浦発電所等は、外航の出入りがある港への保安対策の整備が求められる SOLAS（海上人命安全条約）に指定されている。さらに、苓北発電所の港湾施設については、「熊本県との協定」に基づき、非常災害時に熊本県からの要請で緊急支援物資搬送車両および輸送船を受け入れる必要があり、その際の保安の確保が課題となっている。

今回の課題検証では、スマート保安で実装予定のロボット・ドローン等の複数ソリューションを、「熊本県との協定」に基づく対応時の保安の確保にも適用することで、平常時のスマート化はもちろん、非常災害時における複数輸送船の受け入れ、緊急支援物資輸送車両の受付所から構内誘導等の輻輳時の対応を効率化・省力化し、保安の確保につなげる国内初の実証となった。

また、技術実証では、広大な敷地および港湾設備を有する発電所において、技術的な検討（技術実証）では、直線的なエリア（最大 1,500m）の環境下で柔軟なかつ最適なローカル 5G エリアの構築方法（中継器の使用を含む）を実証した。

九州電力は、日本電気株式会社（以下、日本電気）、ニシム電子工業株式会社（以下、ニシム電子工業）、西日本プラント工業株式会社（以下、西日本プラント工業）および株式会社正興電機製作所（以下、正興電機製作所）とコンソーシアムを形成し、電力分野の課題解決につながるローカル 5G 等の無線通信システムの具体的なソリューションについて、実装を前提とした実証および検討を行った。

表 1.2 実証概要（ポイント）

カテゴリ	ポイント
技術実証 （ローカル 5G システム）	<u>電波伝搬モデルの精緻化</u> ・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、パラメータ S を精緻化 <u>中継器によるエリア構築の柔軟化</u> ・中継器を活用してエリアを延伸させることで少数基地局での低コストで効率的な 5G エリア構築の評価 ・線状空間でのエリア拡大を目的とした中継器の有用性、課題の検証 ・中継器の使用による単一基地局で生じる弱電界地帯の解消
課題実証 （スマート保安のソリューション）	<u>ロボット・ドローン等の複数ソリューションの機能検証</u> ・スマート保安で実装するソリューションを、「熊本県との協定」に基づく対応時の保安の確保に流用し、重要施設の保安を確保しつつ、効率化、省力化およびコスト削減につながるスマート保安のソリューション実証 ・今年度実証するソリューションは、①車両の AI 入退管理からの②自動走行ロボットによる構内誘導、③ドローンによる遠隔操作による巡視点検、④高精細カメラによる湾岸部の輸送船および不審者の監視を実施
普及展開方策検討	・実装モデルのパッケージ化並びに港湾施設を有する全国プラント系事業者への展開を検討

2.　実証環境の構築

実証環境の構築にあたっては、構築・運用に係るコストを可能な限り削減し、代替可能性および事業継続性を考慮した持続可能な普及モデルとして必要かつ十分な要件を備えたものとなるよう構築した。また、今回提案する実証環境の構築が円滑に実施できるよう、コンソーシアム構成主体の協力を得て、実証に必要な許認可等の取得を行った。

なお、スケジュールに関しては、クリティカルパスを抽出し、不測の事態にも柔軟に対応できる計画を立案した。以上の要件を満たす実証環境を、契約締結後、速やかに構築した。

2.1　対象周波数帯

本実証では、実証環境として、周波数 4.7GHz 帯（Sub6、SA 方式）の基地局を設置した。

2.2　実施環境

九州電力が所有する苓北発電所（熊本県天草郡苓北町年柄 1091）内にある港湾等施設を対象に実証環境を構築した。

図 2.2-1　対象施設の位置図および外観【出典：国土地理院　地理院地図】

図 2.2-2 に示すように対象エリアを構築し、各々の対象エリアにおいて次の検証を実施した。

＜荷揚岸壁および貯炭場エリア＞

ドローンによる遠隔巡視点検、高精細カメラによる船舶入港管理・監視を行う。

＜入退ゲートエリア＞

高精細カメラおよび AI による車両の入退管理を行う。

＜入退ゲート～荷揚岸壁までの構内道路＞

非常災害時等の緊急時に、自動走行ロボットにより安全な構内誘導を行う。

対象エリアは、いずれも屋外の平地であり、コンテナや金属フェンス、大型荷揚げ装置等遮蔽物が多く存在する環境となっている。また、直線的(直線距離 500m および 1,500m)なエリアであるため、5G 電波の到達が困難な可能性があるが、中継器を用いて拡張することで、構築コストを削減し、柔軟な構築を行った。

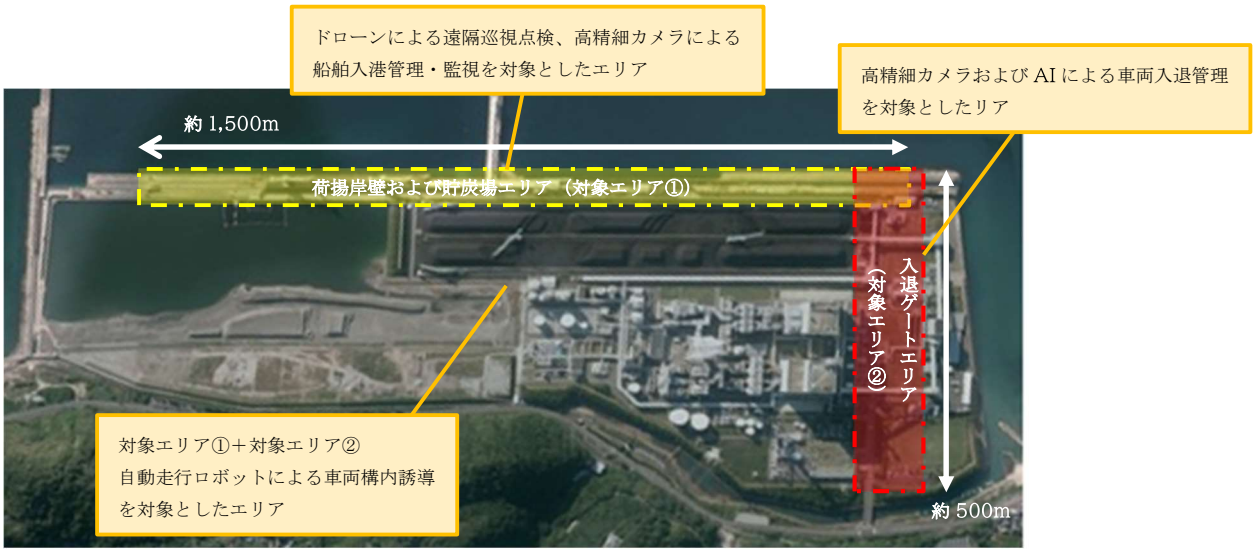


図 2.2-2 試験対象エリア【出典:国土地理院ウェブサイト】

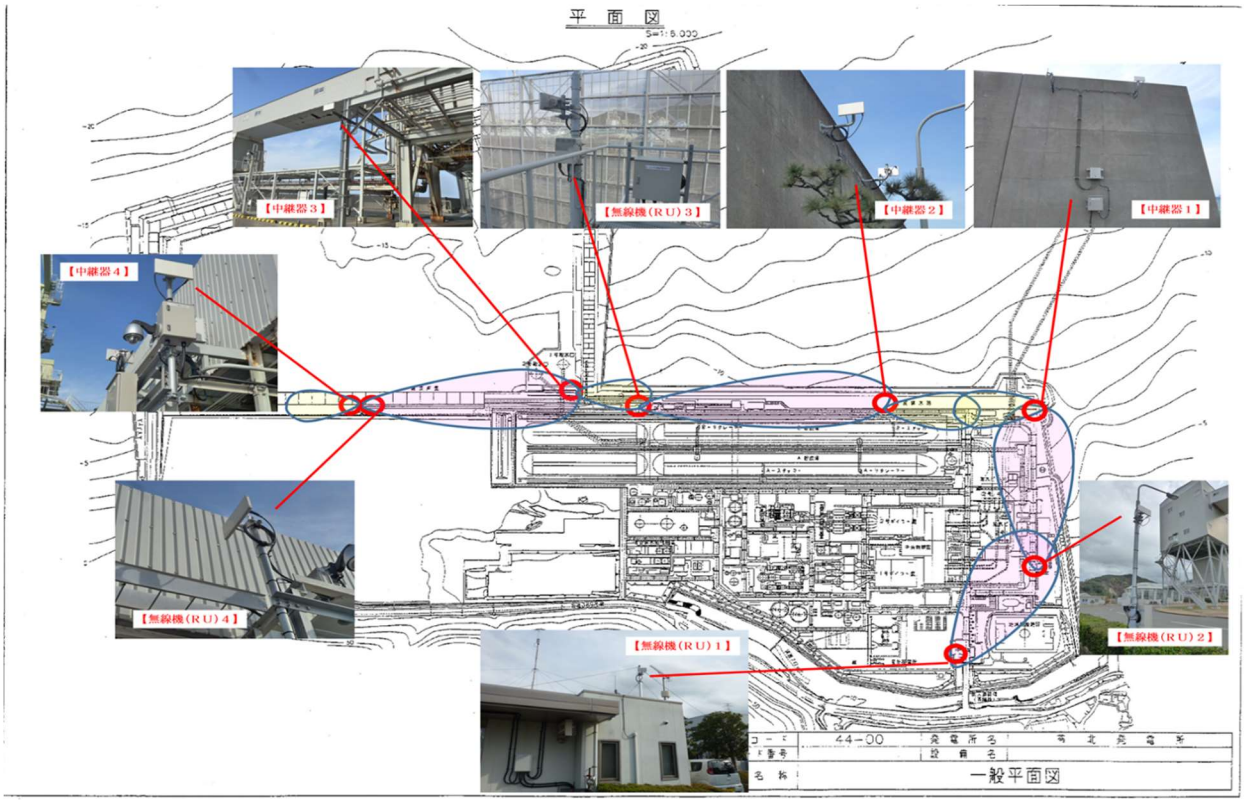


図 2.2-3 基地局、中継器取り付け状況(出典:九州電力苓北発電所一般平面図)

2.3　ネットワーク・システム構成

2.3.1　システム物理構成

本実証では、4.8-4.9GHz 帯域(Sub6)を利用した Stand Alone 方式のローカル 5G システムを使用する。システム物理構成を図 2.3.1 に示す。

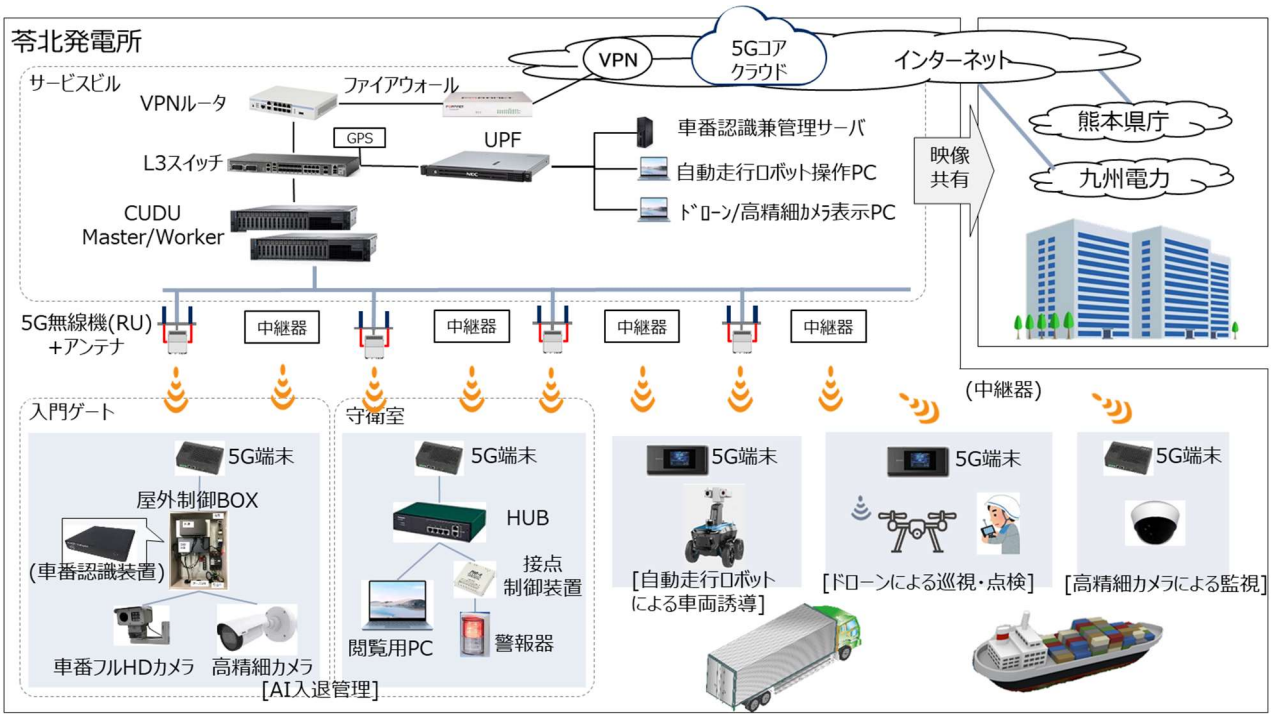


図 2.3.1 システム物理構成(概要)

2.3.2　エリア化イメージ

本実証事業を行う発電所構内のエリア化イメージを図 2.3.2 に示す。

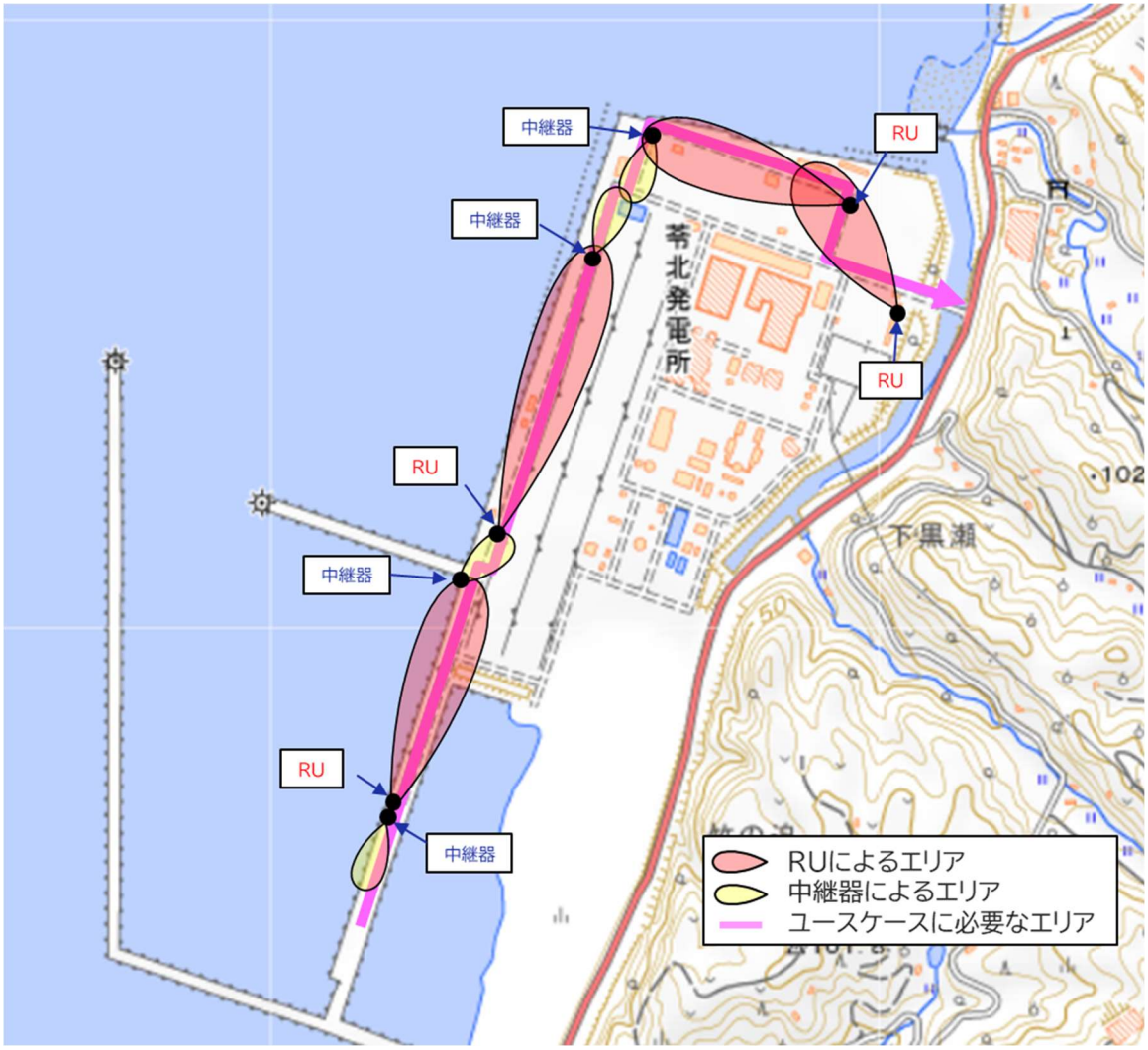


図 2.3.2　エリア化イメージ図【出典:国土地理院　地理院地図】

2.3.3　基地局等の無線機器の調達先等

本実証で使用する基地局の無線機器の調達先、役割等を表 2.3.3 に示す。

表 2.3.3 ローカル 5G 使用機器一覧

項目	装置名	数量	設置形態	調達先	役割	機能
5G システム	5GC	1 台	クラウド	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等
	UPF	1 台	固定	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
	CU/DU	2 台	固定	日本電気株式会社	5G 基地局（集約部/デジタル部）	基地局制御とベースバンド処理
	RU	4 台	固定	日本電気株式会社	5G 基地局（無線部）	5G 基地局の無線機能
	セクタアンテナ	4 台	固定	電気興業株式会社	5G 基地局（無線部アンテナ）	サブ 6GHz 帯の電波を発射
	中継器	4 台	固定	電気興業株式会社	5G 基地局（無線部アンテナ）	サブ 6GHz 帯の電波を発射
ネットワーク機器	VPN ルータ	1 台	固定	日本電気株式会社	ネットワーク中継装置	5G システム装置間の中継
	ファイアウォール	1 台	固定	Fortinet 社	セキュリティ対策	不正通信の防止
	時刻同期用 L2 スイッチ	1 台	固定	Cisco Systems 社	ネットワーク中継装置	5G システムとサーバの中継
	GPS アンテナ	1 台	固定	古野電機株式会社	GPS 受信アンテナ	同期
	管理用 L2 スイッチ	1 台	固定	日本電気株式会社	ネットワーク中継装置	5G システム装置間の中継
	検証 NW 接続用ルータ	1 台	固定	日本電気株式会社	ネットワーク中継装置	5G システムと検証 NW の中継
5G 対応端末	K5G-C-100A	10 台	可搬	京セラ株式会社	5G 対応モバイルルータ	デバイス接続
	RAKU+	1 台	可搬	Compal 社（台湾）	5G 対応モバイルルータ	デバイス接続
	FG900CS	3 台	固定	NEC マグナスコミュニケーションズ株式会社	5G ゲートウェイ	デバイス接続

2.3.4　ローカル 5G の無線機器

本実証におけるローカル5G システムはSA（Stand Alone）方式のシステムであり、概要を表2.3.4-1に示す。基本仕様として3GPP Release15 に準拠する。

以下、ローカル5G システムを構成する機器について記載する。

表 2.3.4-1 ローカル 5G システム（基地局）の概要

基地局	
製造ベンダ	日本電気株式会社
台数	4 台
設置場所（屋内/屋外）	屋外
同期/準同期	準同期
UL:DL 比率	1:1
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 レイヤ DL: 1レイヤ

（1）5GC

日本電気株式会社製の 5G コア（クラウド）である。

主な諸元を表 2.3.4-2 に示す。

表 2.3.4-2 5G コア（クラウド）諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
1つの 5GC で利用可能な拠点数	20	
トラフィック転送性能（1UE あたり）	4Gbps,1Mpps（1UE 時の最大値） ※平均パケット長：512Byte の前提	
接続数（1UPF あたり）	10,000	
制御信号	NGAP で 100TPS	
収容加入者数（5GC）	10,000	
同時接続数（5GC）	10,000	
DNN 数（5GC）	50	
gNB 数	100	

（2）UPF

日本電気株式会社製の UPF である。
ハードウェア外観を図 2.3.4-1 に示す。
主な諸元を表 2.3.4-3 に示す。

図 2.3.4-1 UPF 外観

表 2.3.4-3 UPF 主な諸元

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) x4ports x 1 SFP+(10Gbps)x2ports x 1	
HDD/SDD	1 x 960GB SSD	
メモリ	64GB(1 x 64GB RDIMM)	
CPU	Intel Xeon-D 2.1G 16 core×1	

（3）CU／DU

日本電気株式会社製の 5G の CU/DU である。
ハードウェア外観を図 2.3.4-2 に示す。
主な諸元を表 2.3.4-4 に示す。

図 2.3.4-2 CU/DU ハードウェア外観

表 2.3.4-4 CU/DU 主な諸元

諸元･動作環境条件等	内容	備考
寸法	86.8 x 434 x 715.5 mm（2U）	
質量	約 26kg	
電源	AC120V, 50/60Hz	
消費電力	Max.500W, Typ.390W	
冷却方式	FAN 強制空冷	
運用温度	10 ～ 35℃ @ 高度 950m 未満	
運用湿度	10 ～ 80%RH（結露しないこと）	
NIC	RJ45（1Gbps） x4ports × 1 SFP+（10Gbps）x2ports × 4	PCIe スロットに FPGA ボードを搭載
HDD/SDD	480GB SSD×2, RAID	
メモリ	512GB（16 x 32GB RDIMM）	
CPU	Intel Xeon Gold 6230R×2 2.1G, 26C/52T	

（4）RU

日本電気株式会社製の RU である。

ハードウェア外観を図 2.3.4-3 に示す。

主な諸元を表 2.3.4-5 に示す。

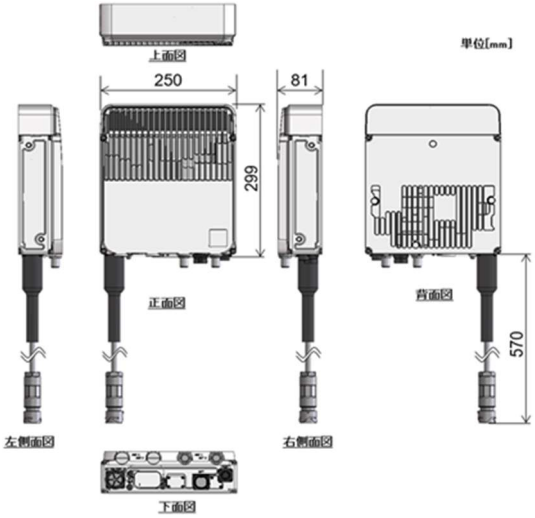


図 2.3.4-3 RU ハードウェア外観

表 2.3.4-5 RU 諸元

諸元･動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 299(h) x 250(w) x 81(d) mm (電源ケーブルを除く)	約 6 L
質量	約 9kG	(TBD)
電源電圧	AC100/200V, 50/60Hz	
消費電力	最大 270VA	
冷却方式	FAN 強制空冷	
運用温度	-20℃ ～ +50℃	
運用湿度	湿度 65%±30%	
防塵･防水	IPX4	
無線アクセス方式	OFDMA	
対応周波数 帯域	4.8 ～ 4.9GHz (n79)	
送信電力(空中線電力)	33.6dBm /アンテナポート	
アンテナタイプ,利得	アンテナ分離型	
Fronthaul Split Option	Lower Layer Split (Option 7-2x)	O-RAN 準拠
複信方式	TDD	
チャネル帯域幅	100MHz	
送受信系統数	2	
最大 MIMO レイヤ数	DL 1 レイヤ UL 1 レイヤ	
BeamforminG	非対応	
スロット長	0.5ms @30kHz	
TDD DL/UL ConfiGuration	DL:UL=1:1	
DU-RU 間 同期方式	PTP	
Interface	OPT Interface:SFP+ (10 Gbps) x 1 (LC コネクタ x 1) ANT (RF 入出力端子)インタフェース: N 型ジャック x 2	

（5）セクタアンテナ

電気興業株式会社製の指向性アンテナである。
ハードウェア外観等を図 2.3.4-4 に示す。
主な諸元を表 2.3.4-6 に示す。

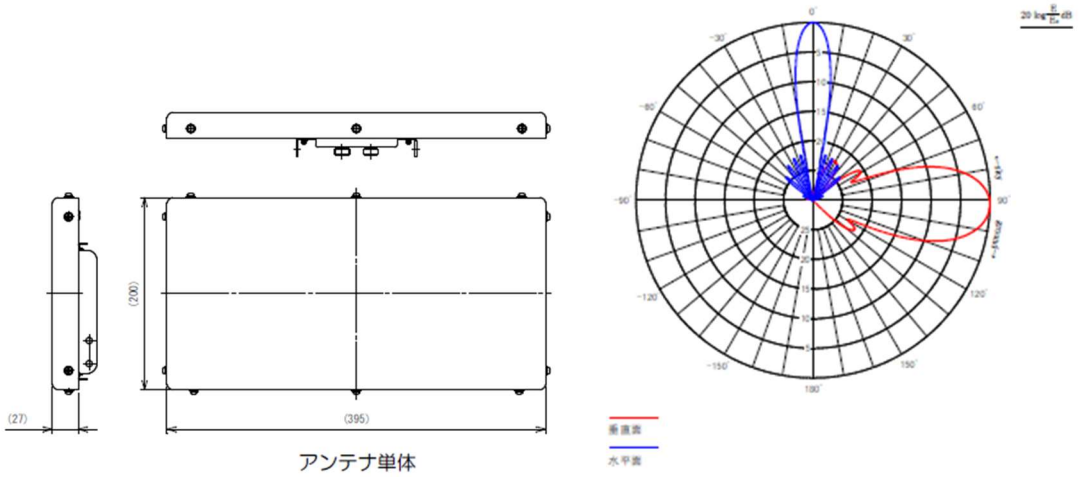


図 2.3.4-4 セクタアンテナ外観等

表 2.3.4-6 セクタアンテナ諸元

諸元･動作環境条件等	内容	備考
製品名	屋外用セクタアンテナ(X1225-3545FTD)	
用途	RF レピータ用ドナーアンテナ およびサービスアンテナ	
対応周波数	4,400MHz～5,000MHz	
利得	約 20dBi	
水平面内指向性	約 10°	
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	
大きさ	(W)200mm x (H)395mm x (D)27mm	

（6）中継器

電気興業株式会社製の 4.8GHz 帯 RF 中継器である。
ハードウェア外観を図 2.3.4-5 に示す。
主な諸元を表 2.3.4-7 に示す。

図 2.3.4-5 4.8GHz 帯 RF 中継器外観

表 2.3.4-7 4.8GHz 帯 RF 中継器諸元

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

（7）5G 対応端末①

京セラ株式会社製の 5G 端末（5G モバイルルータ型端末）である。

ハードウェア外観を図 2.3.4-6 に示す。

主な諸元を表 2.3.4-8 に示す。

図 2.3.4-6 5G モバイルルータ型端末 外観

表 2.3.4-8 5G モバイルルータ型端末 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	
インタフェース	USB-TypeC（3.1） HDMI*, Ethernet*, RS232C*	専用のアダプタが必要
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）, Local5G（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)5G 対応端末②

Compal 社製の 5G 端末(5G モバイルルータ型端末)である。

ハードウェア外観を図 2.3.4-7 に示す。

主な諸元を表 2.3.4-9 に示す。

図 2.3.4-7 5G ゲートウェイ外観

表 2.3.4-9 5G ゲートウェイ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
ディスプレイ	2.4 [inch]	
サイズ	約 119(W) x 72(H) x 23.5(D)	
質量	約 235G	
搭載モデム	Qualcomm Snapdragon X55	
インタフェース	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	5,300 [mAh]	
SIM	Nano SIM	

(9)5G 対応端末③

NEC マグナスコミュニケーションズ製の 5G 端末(5G ゲートウェイ装置)である。
ハードウェア外観を図 2.3.4-8 に示す。
主な諸元を表 2.3.4-10 に示す。

図 2.3.4-8 5G ゲートウェイ外観

表 2.3.4-10 5G ゲートウェイ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製品名	FG900CS	
インタフェース	無線 LAN:IEEE802.11a/b/g/n/ac/ax 2.4GHz 帯／5GHz 帯対応 有線 LAN:1000BASE-T(RJ45, 2 ポート) AUX(USB Type A) シリアル:RS232C/RS485(D-sub 9pin) DIO:DIDO(2 ポート) Bluetooth:Bluetooth 5.1, BLE	
電源	DC12V	
消費電力	26W 以下	
重さ	640g	
大きさ	(W)195mm x (H)59mm x (D)128mm	
動作温湿度	動作条件 0～40℃, 90%以下(結露無きこと) 保存条件 -40～80℃, 90%以下(結露無きこと)	

2.3.5　ネットワーク機器

以下、ネットワークを構成する機器について記載する。

（1）VPN ルータ

日本電気株式会社製の VPN ルータである。
ハードウェア外観を図 2.3.5-1 に示す。
主な諸元を表 2.3.5-1 に示す。

図 2.3.5-1 VPN ルータ外観

表 2.3.5-1 VPN ルータ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製品名	UNIVERGE IX2235	
用途	5G コアクラウド/マネージドサービスと接続するための VPN ルータ	
インタフェース	10/100/1000BASE-T(RJ-45)：2 ポート 10/100/1000BASE-T(RJ-45)：8 ポート (スイッチングハブ)	
管理インタフェース	RJ-45(IX2235 側) - D-sub9 ピン(PC 側)：ポート	
電源	AC90～110V ※二極 AC100V アース付きケール	
最大消費電力	19W	
重さ	1.2kg	
大きさ	(W)210mm x (H)43mm x (D)165mm	
動作温度	0～+45 度	
動作湿度	90%以下 ※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	

（2）ファイアウォール

Fortinet 社製のファイアウォールである。

ハードウェア外観を図 2.3.5-2 に示す。

主な諸元を表 2.3.5-2 に示す。

図 2.3.5-2 ファイアウォール外観

表 2.3.5-2 ファイアウォール諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製品名	ファイアウォール(Fortigate80F)	
製品概要	1. データネットワークとローカル 5G ネットワーク間の アクセス制御を行うためのファイアウォール 2. ファイアウォールスループット (1518/512/64 バイト UDP パケット):10/10/6 Gbps 3. ファイアウォール ポリシー:5,000 4. ファイアウォール新規セッション/秒(TCP) 35,000	
インタフェース	100/1000BASE-T(RJ45):2 ポート 100/1000BASE-T (RJ45)管理インタフェース:1 ポート 100/1000BASE-T(RJ45) WAN インタフェース:2 ポート 100/1000BASE-T(RJ45) DMZ インタフェース:1 ポート RJ45 FortLink インタフェース:2 ポート RJ45 LAN インタフェース:5 ポート	
管理インタフェース	Dsub9 ピン(PC 側)-RJ45(Fortigate101F 側):1 ポート	
電源	AC100～240V	
最大消費電力	18.7W	
重量	1.01kg	
外形寸法	(W)216mm × (H)38.5mm × (D)160mm	
動作温度	0～+40 度	
動作湿度	10～90%(結露なきこと)	

（3）時刻同期用L2スイッチ

Cisco Systems 社製の時刻同期用 L2 スイッチである。
ハードウェア外観を図 2.3.5-3 に示す。
主な諸元を表 2.3.5-3 に示す。

図 2.3.5-3 時刻同期用 L2 スイッチ外観

表 2.3.5-3 時刻同期用 L2 スイッチ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製品名	時刻同期用 L2 スイッチ（Cisco ASR-920-12SZ-IM）	
製品概要	1. ローカル 5G ネットワークを構成するノード間接続をするためのスイッチ 2. GPS で時刻を受信し、グランドマスタークロックとして PTP を利用した時刻同期を実施する 3. スイッチング容量：64Gbps	
インタフェース	10/100/1000BASE-T（RJ45）：8 ポート SFP スロット（1000BASE-SX/LX）：4 ポート SFP+スロット（10GBASE-SR/LR）：4 ポート	
管理インタフェース	10/100/1000BASE-T：1 ポート Dsub9 ピン（PC 側）-RJ45（ASR-920 側）：1 ポート	
アンテナ端子	GNSS RF IN（SMA 型ジャック）	
電源	AC85V～264V ×2（3 極 AC）	
最大消費電力	150W	
重量	6.1kg	
外形寸法	(W)440mm × (H)43.6mm × (D)266mm ※1 ユニットの大きさ	
動作温度	-40～+70 度	
動作湿度	5～95%（結露なきこと）	
設置方法	19 インチラックマウントもしくは据え置き ※ラックマウントキット別途購入必要	
防塵・防水	未対応	

（4）GPSアンテナ

古野電機社製の GPS アンテナである。
ハードウェア外観を図 2.3.5-4 に示す。
主な諸元を表 2.3.5-4 に示す。

図 2.3.5-4 GPS アンテナ外観

表 2.3.5-4 GPS アンテナ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製品名	GPS アンテナ（古野電機 AU-217）	
周波数帯域	1575～1606Hz	
偏波	右旋円偏波	
アンテナ部利得	4.25dBi 以上（仰角 90 度）、-3dBi 以上（仰角 10 度）	
出力インピーダンス	50 Ω	
プリアンプ利得	40±2dB	
雑音指数	2.5dB Typ	
VSWR	<1.5:1（@LNA output）	
供給電圧	DC 2.5V ～ 16V	
消費電流	20mA 以下（85°C）	
動作温度	-40 ～ +85℃	
保存温度	-40 ～ +85℃	
動作湿度	97%RH 以下	
防水性	IP67	
コネクタ形式	TNC（F）	
質量	約 150g	

（5）管理用L2スイッチ

日本電気株式会社製の管理用 L2 スイッチである。
ハードウェア外観を図 2.3.5-5 に示す。
主な諸元を表 2.3.5-5 に示す。

図 2.3.5-5 管理用 L2 スイッチ外観

表 2.3.5-5 管理用 L2 スイッチ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製品名	管理用 L2 スイッチ(QX-S1124GT-4G)	
インタフェース	10/100/1000BASE-T(RJ45):24 ポート SFP スロット(1000BASE-SX/LX):4 ポート	
管理インタフェース	10/100/1000BASE-T:1 ポート	
電源	AC100V～240V	
最大消費電力	28W	
重量	2.2kg	
外形寸法	(W)440mm × (H)43.6mm × (D)169mm	
動作温度	0～50 度	
動作湿度	10～90%(結露なきこと)	
設置方法	19 インチラックマウントもしくは据え置き ※ラックマウントキット標準添付	
防塵・防水	未対応	

（6）検証NW接続用ルータ

日本電気株式会社製の検証接続用ルータである。
ハードウェア外観を図 2.3.5-6 に示す。
主な諸元を表 2.3.5-6 に示す。

図 2.3.5-6 検証接続用ルータ外観

表 2.3.5-6 検証接続用ルータ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
製品名	検証接続用ルータ（UNIVERGE IX2235）	
インタフェース	10/100/1000BASE-T：6 ポート	
管理インタフェース	10/100/1000BASE-T：1 ポート	
電源	AC90V～110V	
最大消費電力	24W	
重量	1.0kg	
外形寸法	(W)210mm × (H)43mm × (D)148mm	
動作温度	0～45 度	
動作湿度	90%以下（非結露）	
設置方法	机上設置、二段重ね、19 インチラック	
防塵・防水	未対応	

2.3.6　ソリューション機器

1）AI 入退管理

（システム機能）

・専用 HD カメラで撮影したナンバープレートを自動で読み取り
・事前に登録されたナンバープレート情報と照合判定
・ナンバープレート読み取りは走行中に行う（車両の一時停止は不要）
・認識照合結果は運転者、警備員にパトライトで通知、守衛所端末はモニター表示と PC 鳴動で通知
・ナンバープレート認識履歴は後日履歴検索、履歴は Excel ファイルで出力
・車両入門時の状況を確認するため IP カメラによるライブ映像表示および録画検索再生
・最大 3 万件 のナンバープレート情報を管理可能
・最大 365 万件 のナンバープレート認識履歴を保存可能
・最大 90 日間の認識ナンバープレート静止画を保存可能
・最大 7 日間の IP カメラ録画映像を保存
・管理サーバ兼 PC およびクライアント端末はタイムサーバと連携し時刻同期可能

車番認識装置の仕様
・車番認識装置からカメラを制御し走行中の車両ナンバープレートを自動読み取り
・車両ナンバープレートの読み取りはカメラからおおよそ6m～10m前後で撮影
・車両走行速度は約25km/h以下（低速走行版の装置を使用）
・カメラと走行車両の撮影関係は俯角30°以内、側写角25°以内、プレート傾き角5°以内
・車番認識装置はナンバープレート文字情報とナンバープレート静止画を自動で外部出力

図 2.3.6-1 車番認識装置外観図

車番HDカメラの仕様

・カメラは車番認識専用の仕様であり、市販のIPカメラは使用不可

・レンズ2MP CMOSセンサーHD-SDI解像度1,980x1,080フレームレート30fps

・12倍光学ズーム7mm～84mm（柔軟な設置位置調整）

・近赤外線LED 9個撮影距離10m

・可視光カットフィルター内蔵

・カメラ制御RS485消費電力約30W

・屋外ハウジング、支柱取り付け構造防水性能 IP67

図 2.3.6-2 車番HDカメラ外観図

2） 自動走行ロボット

自動走行ロボットの外観を図 2.3.6-3 に、仕様を表 2.3.6-1 に記載する。

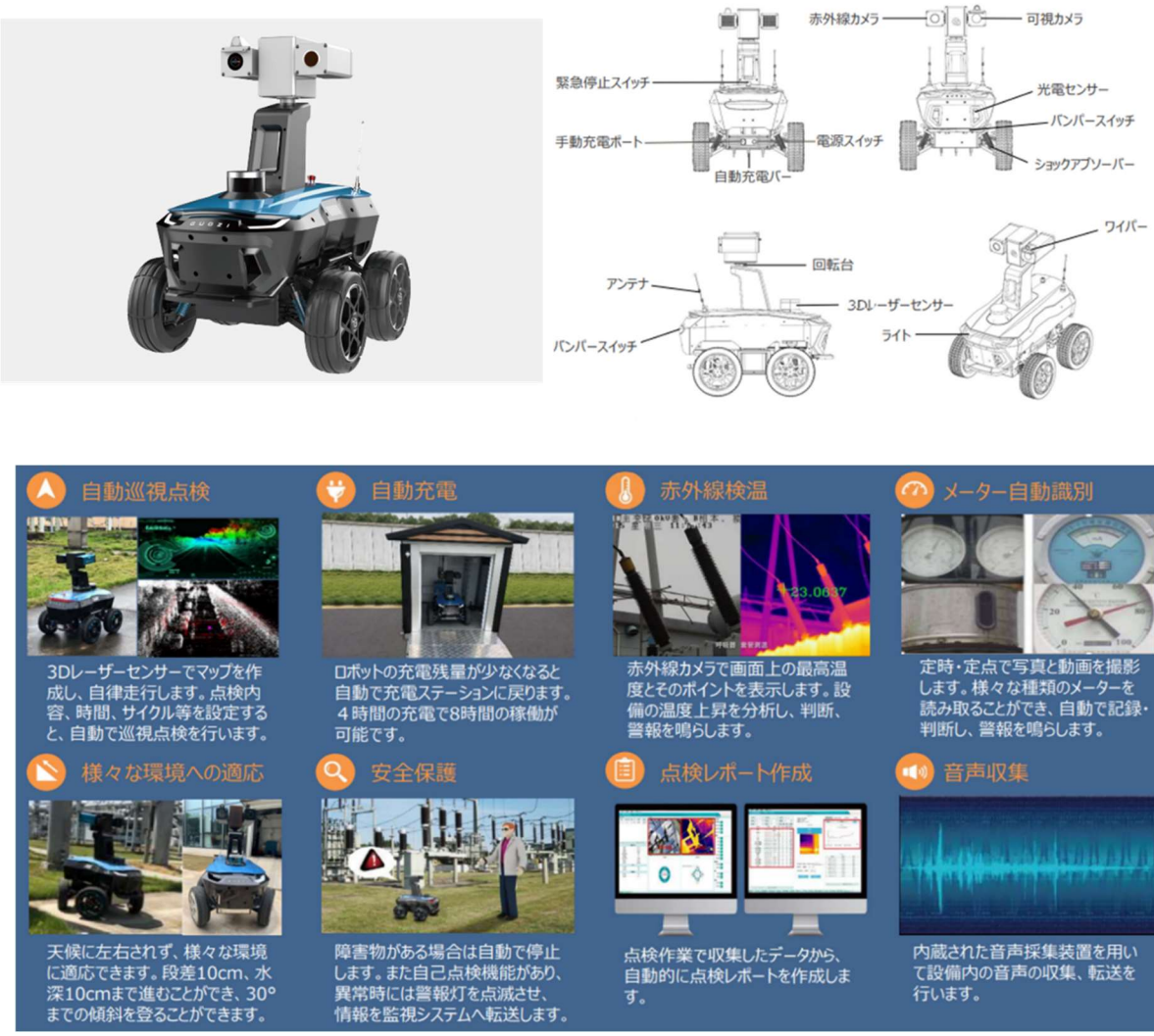


図 2.3.6-3 自動走行ロボット外観図

表 2.3.6-1 ロボット仕様

カテゴリ	スペック
サイズ	W627× D852 × H900 mm
本体重量	70kg
最大速度	6.8km/h
駆動方式	四輪駆動
回転台動作範囲	水平:±180° 垂直:±90°（可視カメラ・赤外線カメラ）
最小回転半径	0.4m
登坂能力	30°
段差乗り越え	100mm
走行可能水深	100mm
可視カメラ	フルHDカメラ（光学30倍ズーム）
赤外線カメラ測温範囲	-20 ～ 550℃
電源	AC220V±10% 2,200W（最大）
バッテリー	リン酸鉄リチウム電池
最大稼働時間	約8時間
充電時間	約4時間
適用環境	全天候型（屋内・屋外）
保護等級	IP55
使用環境	-20 ～ 45℃

3） ドローン

ドローンの外観を図 2.3.6-4 に、仕様を表 2.3.6-2 に記載する。本機体は、Wi-Fi 通信（2.4GHz 帯）での飛行制御やリアルタイム映像伝送が可能であるが、ローカル 5G 回線を直接機体が受信することはできない。このため、今回はローカル 5G モバイルルータ経由で機体の制御等を実施することとする。また、機能面では、ビジュアル SLAM による衝突防止や、設定ルート（GPS 設定、ビジュアル設定）による自動飛行が可能である。なお、ビジュアル設定は、ウェイポイントを離着陸地点からの距離やその地点の画像に設定するものであり、本機体の独自技術である。

図 2.3.6-4 ドローン外観
【出典：https://www.jiw.co.jp/rental/skydioj2.html】

表 2.3.6-2 ドローン仕様

＜機体（Skydio 2）＞

項目	緒元
サイズ	L 223 × W 237 × H 74 ※バッテリー装着時
重量	775G ※バッテリー装着時
飛行可能時間	23 分
最高飛行速度	約 58km/h
最大耐速度	約 11m/s
最大高度	500m
最大伝送距離	約 3,500m ※環境により異なる
最接近距離	半径 0.5m
可用温度範囲	-5～40℃
GNSS	GPS + GLONASS

＜カメラ＞

項目	緒元
センサー	Sony IMX577 1/2.3 CMOS
解像度（静止画）	1,200 万画素（4,056×3,040）
解像度（動画）	4K 60fps ※リアルタイム映像伝送時は HD 30fps
ISO	100～3,200
絞り	f/2.8
シャッタースピード	1～1/1920s
焦点距離	200mm ※35mm 換算時
カメラピッチ	-110～90°
保存形式	JPG、DNG、MP4

※機体およびカメラは非防水

4） 4K カメラ

AXIS 社製の 4K PTZ カメラ(可動)である。
ハードウェア外観を図 2.3.6-5 に示す。
主な諸元を表 2.3.6-3 に示す。

図 2.3.6-5 4K カメラ(可動)のハードウェア外観

表 2.3.6-3 4K カメラ(可動)の主な諸元

項目	諸元値
寸法	取り付けフックあり ：274 x 165 x 165mm 取り付けフックなし ：256 x 165 x 165mm
重さ	3.0kg
ビデオ圧縮	H.264（MPEG-4 Part 10/AVC)、Baseline、MAIn、 HiGh Profile Motion JPEG
解像度	3,840x2,160（UltraHD 4K）～640x360
フレームレート	最大 50/60 フレーム/秒（電源周波数 50/60 Hz）@1,080p 最大 25/30 フレーム/秒（電源周波数 50/60 Hz）@4K
動作条件	30W ミッドスパン利用 ：-20 ˚C～50 ˚C 60W ミッドスパン利用 ：-50 ˚C～50 ˚C 極寒温度管理機能 ：-40 ˚C の低温下で起動可能 湿度 10～100% RH（結露可）
電源	Axis High PoE midspan midspan midspan 1-port: 100～240V AC、最大 74W カメラ消費電力 ： 通常 14W、最大 51W Axis PoE+ミッドスパン 1 ポート ：100～240 V AC、最大 37 W IEEE 802.3at Type 2 Class 4 カメラ消費電力 ： 通常 14W、最大 25W

AXIS 社製の 4K カメラ(固定)である。
ハードウェア外観を図 2.3.6-6 に示す。
主な諸元を表 2.3.6-4 に示す。

図 2.3.6-6 4K カメラ(固定)のハードウェア外観

表 2.3.6-4 4K カメラ(固定)の主な諸元

項目	諸元値
寸法	長さ：360mm、直径：147mm
重さ	2.55kg
ビデオ圧縮	H.264（MPEG-4 Part 10/AVC）ベースライン、メイン、 およびハイプロファイル H.265（MPEG-H Part 2/HEVC）メインプロファイル Motion JPEG
解像度	3,840x2,160 4K～160x90
フレームレート	4K:最大25/30 フレーム/秒（50/60 Hz） 10 メガピクセル:最大20 フレーム/秒（50/60 Hz）
動作条件	-40°C～60°C NEMA TS 2（2.2.7）による最高温度: 74°C 湿度: 10～100% RH（結露可）
電源	Power over Ethernet（PoE）IEEE 802.3at Type 2 Class 4 標準13.3 W、最大24.0 W 20～28V DC、標準12. W、最大23.2W 20～24V AC、標準 19.4V A、最大33.0V A

2.4　システム機能・性能・要件

2.4.1　実証ソリューション必要帯域

本実証で実施するソリューションの伝送帯域の算出区間を図 2.4.1 に示す。

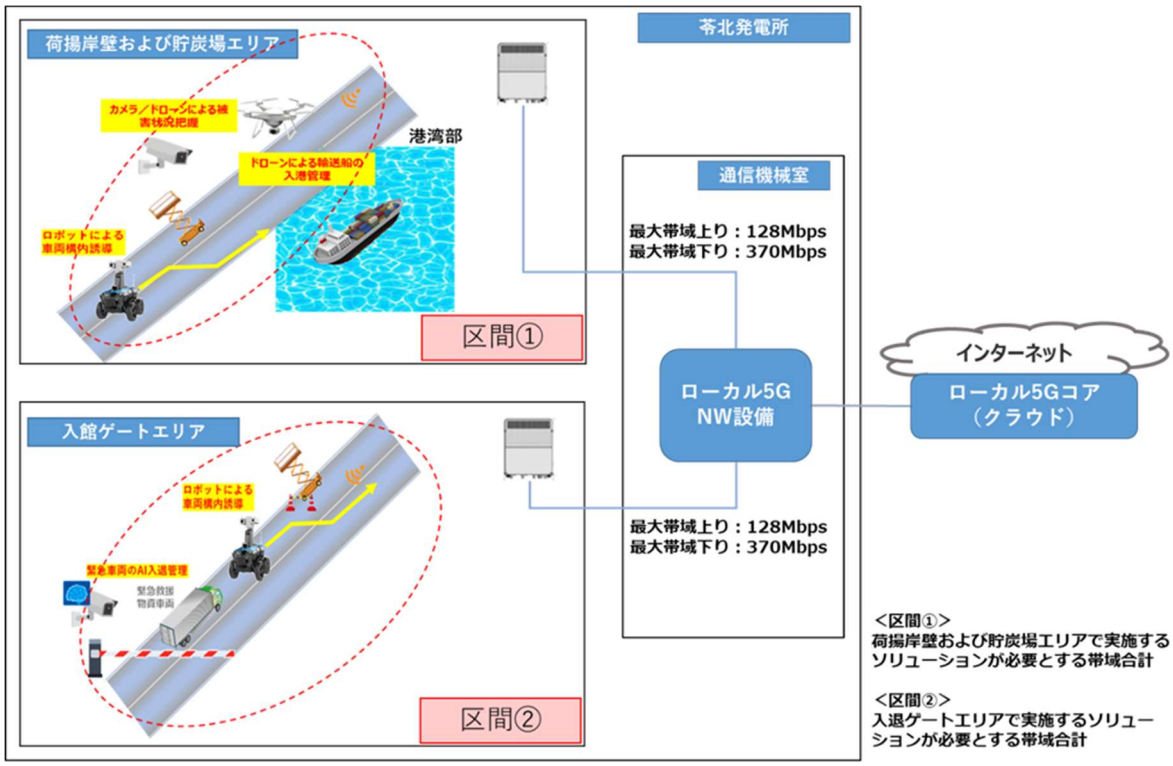


図 2.4.1 伝送帯域算出区間

区間①：荷揚岸壁および貯炭場エリアで実施するソリューションが必要とする帯域合計
区間②：入退ゲートエリアで実施するソリューションが必要とする帯域合計

各区間で使用するカメラ等機器の必要台数および、品質条件を表 2.4.1-1、2.4.1-2 に示す。
各区間の必要帯域を表 2.4.1-3 に示す。自動走行ロボットについては、区間①、②両方を対象とした実証になるため、各区間のソリューションとして算出する。

表 2.4.1-1　使用機器必要数

区　間	使　用　機　器	必要数
①荷揚岸壁および貯炭場エリア	高精細カメラ(4K)	1 台
	ドローンカメラ(HD)	2 台
②入退ゲートカメラ	高精細カメラ(4K)	2 台
	車両認証カメラ(Full HD)	2 台
区間①＋区間②	ロボットカメラ(Full HD)	1 機

表 2.4.1-2 各使用機器の想定ビットレート

機器種別	想定ビットレート
AI 入退管理用高精細カメラ(4K)	15Mbps
港湾部用高精細カメラ(4K)	45Mbps
ドローンカメラ(HD)	5Mbps
ロボットカメラ(Full HD)	最大 25Mbps
車両認証カメラ(HD)	1Mbps

<AI 入退管理用高精細カメラ(4K)>

解像度	3,840×2,160
フレームレート	10fps
BPP(被写体)	0.175

<港湾部用高精細カメラ(4K)>

解像度	3,840×2,160
フレームレート	30fps
BPP(被写体)	0.175

<ドローンカメラ(HD)>

解像度	1,280×720
フレームレート	30fps
BPP(被写体)	0.175

<車両認識カメラ(HD)>

解像度	1,280×720
フレームレート	3fps
BPP(被写体)	0.175

<BPP(ピクセルあたりのビット数)の目安>

BPP		品質			
		最高	高	中	低
動作	高速	0.225	0.175	0.125	0.1
	中速	0.2	0.15	0.1	0.075
	低速	0.175	0.125	0.075	0.05

※動作は映像の動きの激しさで、本検証撮影映像は「低速」とする。

【ビットレート計算式】ビットレート[Mbps]＝BPP×フレームレート[fps]×解像度×10^{-6}

表 2.4.1-3 必要帯域

区 間	使 用 機 器	必要帯域
① 荷揚岸壁および貯炭場エリア	高精細カメラ(4K)	45Mbps
	ドローンカメラ(HD)	10Mbps
	合計帯域	50Mbps
② 入退ゲートカメラ	高精細カメラ(4K)	30Mbps
	車両認証カメラ(Full HD)	1Mbps
	合計帯域	31Mbps
③ 区間①＋区間②	ロボットカメラ(Full HD)	25Mbps
	合計帯域(①＋②＋ロボット)	111Mbps

2.4.2　ローカル 5G システムの性能

本実証で使用するローカル 5G システムにおける基地局無線部特性を表 2.4.2-1 に、ネットワーク性能を 2.4.2-2 に示す。各実証エリアで実施するソリューションにおいてデータ伝送は UL 回線で転送される。良好な無線環境での実質的なスループットとしては、理論値の約 60%である 80Mbps 程度を実効スループットと想定している。これは表 2.4.1-3 で示した、本実証における必要帯域を満たしており、ローカル 5G システムの UL 回線の性能で実現可能と考えられる。

表 2.4.2-1 基地局無線部特性

項目	仕様
無線局数	4 台
周波数帯	4. 8～4.9 GHz 帯
通信方式	ローカル 5G
SA/NSA	SA
帯域幅	100MHz
同期	準同期運用

表 2.4.2-2 ネットワーク性能

項目	仕様
接続数	64 端末/RU
最大スループット/RU	準同期：UL 128Mbps / DL 420Mbps
伝送遅延値	Ping RTT（64byte）が平均 10～20ms
ハンドオーバー	Inter gNB handover（Xn based）

2.5　その他

実証環境は、4.8－4.9GHz 帯域(Sub6)を利用した SA 方式のローカル 5G システムを基本とし、エリア拡張の検証として 4.8GHz 帯 RF 中継器を用いたエリア拡張を行い、苓北発電所内での技術実証並びに課題実証を行えるよう構成した。システム構成品は表 2.5.2-2 を参照。

2.5.1 実証システムの拡張性等

今後を見据えた拡張性を備えた構成とし、苓北発電所内でのエリア拡張できるようシステムを構成するとともに 3GPP 準拠のローカル 5G 端末を用いることで異なるシステムを取り込めるよう柔軟なネットワークを構成した。

また、クラウドコアを共有することで他拠点の拡張を見据えたシステムとした。

表 2.5.1 クラウドコア収容数

項目	接続数
接続拠点数	20 拠点
モバイル(SIM)登録可能数	10,000
gNB 接続数	100

(1)　自拠点内の拡張

アプリケーション用のセグメントを設け、拡張できるようネットワークの設計を行い、アプリケーションおよび AP サーバの増設を可能とした。また、エリアの拡張を見据え、RU の増設を現行の4台から8台まで許容できるよう CU/DU の構成を行いエリア拡張に備えたシステムとした。

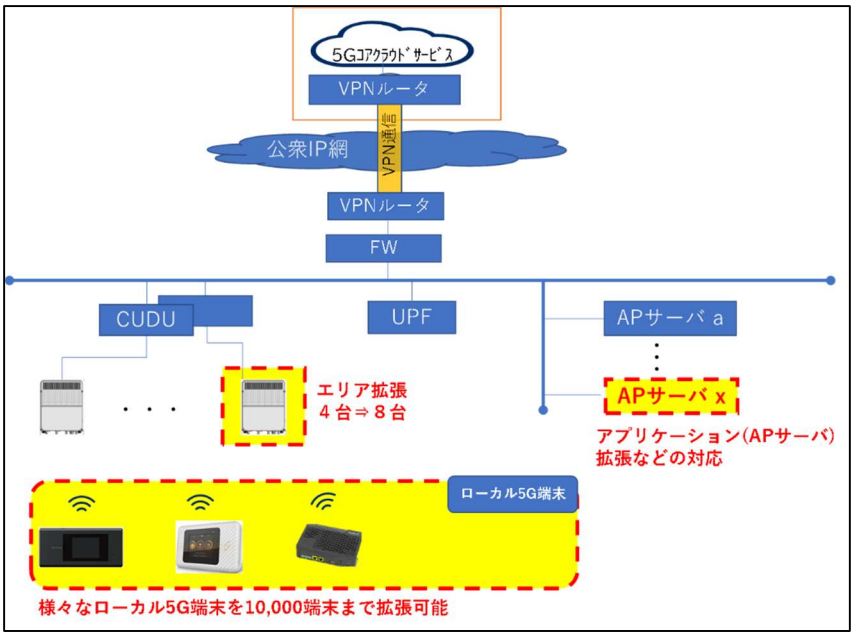


図 2.5.1-1 システム構成図(自拠点内の拡張)

(2)　他拠点への拡張

クラウドコアを共用で利用することで 20 拠点までの拠点拡張を 1 つのコアで行えるようにし、将来的に他拠点へ分離型、一体型の基地局を配置できる構成とした。

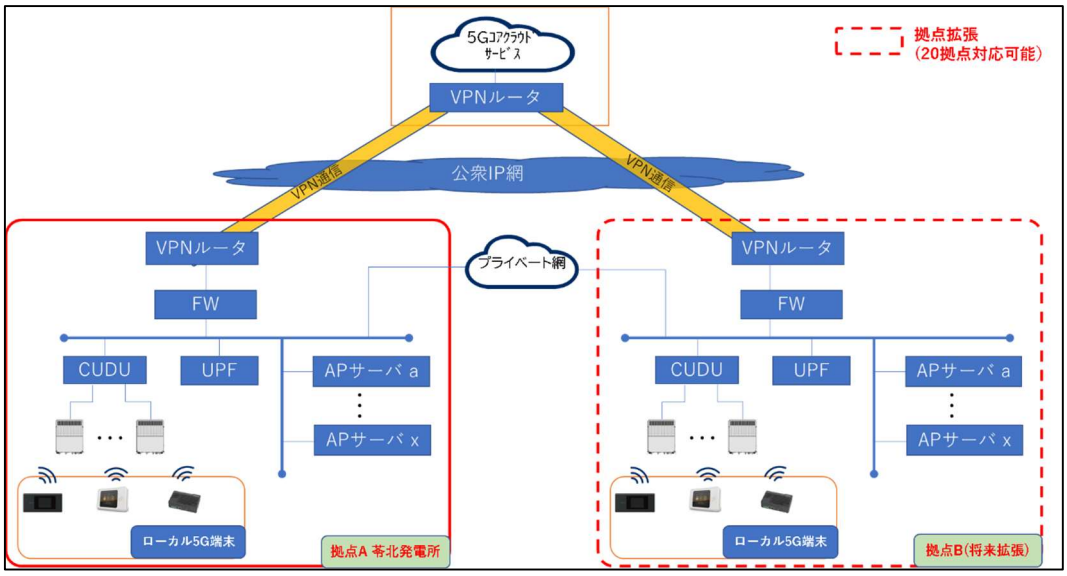


図 2.5.1-2 システム構成図(他拠点への拡張)

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

実証にて使用する基地局、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した。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フェースを具備している。

表 2.5.2-1 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

本実証環境のローカル 5G システムは、本実証開始前に NEC ラボ環境で検証・評価を行った機器を用いて構築した。なお、ローカル 5G システムと外部のネットワーク(NEC、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)、米国および台湾のサプライヤー製品を利用した。

表 2.5.2-2 ローカル5G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)
CU/DU	Central Unit/Distributed Unit	日本電気株式会社(日本)
RU	Radio Unit	日本電気株式会社(日本)
アンテナ	Sub6 帯対応指向性アンテナ	電気興業株式会社(日本)
ローカル 5G 中継装置	中継器	電気興業株式会社(日本)
GPS アンテナ	位置情報取得アンテナ	古野電機株式会社(日本)
VPN ルータ	クラウド接続用ルータ	日本電気株式会社(日本)
L2switch	時刻同期用スイッチ	Cisco Systems, Inc.(米国)
L2switch	管理用スイッチ	日本電気株式会社(日本)
CE ルータ	検証 NW 接続用ルータ	日本電気株式会社(日本)
ファイアウォール	ファイアウォール	Fortinet(米国)
5G 端末	Customer Premises Equipment	Compal(台湾) 京セラ株式会社 NEC マグナスコミュニケーションズ

2.5.3　免許および各種認可

本実証で使用する無線局については、九州電力を免許人として、九州総合通信局へ免許申請を実施し、4.8GHz 帯の実験試験局免許の取得を行った。

表 2.5.3 無線局免許一覧

免許の番号	免許の年月日	免許の有効期間	識別信号
九実第 3248 号	令 4.12.19	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくむせんだいいちじっけん
九実第 3249 号	令 4.12.19	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくむせんだいにじっけん
九実第 3250 号	令 4.12.19	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくむせんだいさんじっけん
九実第 3251 号	令 4.12.19	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくむせんだいよんじっけん
九実第 3252 号	令 5.1.20	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくれぴーただいいちじっけん
九実第 3253 号	令 5.1.20	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくれぴーただいにじっけん
九実第 3254 号	令 5.1.20	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくれぴーただいさんじっけん
九実第 3255 号	令 5.1.20	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくれぴーただいよんじっけん
九実第 3256 号 ～ 九実第 3265 号	令 4.12.12	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくきょうせらじっけん 1～10
九実第 3266 号 ～ 九実第 3268 号	令 4.12.12	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくまぐなすじっけん 1～3
九実第 3269 号	令 4.12.12	令 9.11.30 まで	きゅうしゅうでんりょくれいほくこんぱるじっけん 1

3.　ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要

本実証おいては Sub6ローカル 5G 基地局と、中継器を用いて検証を行った。

発電所の屋外エリアを 5G エリア化する際に経済性を考慮し、少数の基地局で構築する必要が有る。そのため、中継器を活用してエリアを延伸させることで少数基地局での構築を実証し、低コストで効率的な 5G エリア構築を実施した。

技術実証としては発電所における大型クレーンや発電所内建屋等の遮蔽物が混在するエリアでの電波伝搬モデルの精緻化を検討した。

表 3.1 技術実証の概要

項　目			該　当
技術実証の実施環境	周波数帯	4.7GHz 帯	○
		28GHz 帯	×
		キャリア 5G の周波数帯	×
	屋内外	屋内	×
		屋外	○
		半屋内	×
	周辺環境	都市部	×
		郊外	×
		開放地	○
		その他	×
テーマ別実証	I.電波伝搬モデルの精緻化	K の精緻化	×
		S の精緻化	○
		R の精緻化	×
		その他の精緻化	×
	II.エリア構築の柔軟性向上	実施の有無	○
	III.準同期 TDD の追加パターンの開発	TDD2 の検討	×
		TDD3 の検討	×
		TDD2、3 以外のパターンの検討	×
		追加パターンを具備した実機での検証	×
	その他．基本的な電波伝搬データ取得	実施の有無	○

3.2 実証環境

本実証では、ユースケースに基づき、火力発電所における電波伝搬を検証するために荷揚岸壁および貯炭場エリア、入退ゲートエリアにおいて実証を行った。

図 3.2 九州電力苓北発電所【出典：国土地理院ウェブサイト】

表 3.2 技術実証を行う各環境の特徴

エリア	特徴
荷揚岸壁および貯炭場エリア	・港湾に面する ・大型荷揚装置等が存在 ・建屋が存在 ・開放地相当
入退ゲートエリア	・山間部に面する ・建屋が存在 ・開放地相当

3.3 実施事項

3.3.1 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

本来、発電所内でローカル 5G を使用する場合、広大な敷地をカバーするため、大送信電力の基地局が必要である。しかし、大送信電力の基地局を使用すると現在のエリア算出法では調整対象区域が広範囲に及ぶ。このため、一部建屋等で遮蔽される方向については過剰に広範囲を調整対象区域とする可能性があるため、本実証にて方向別にパラメータ S の精緻化を検証した。

2) 実証目標

九州電力苓北発電所の港湾エリアにて実証を行った。

現在のエリア算出法の調整対象区域の算出にあたって、開放地の条件を適用するとともに発電所設備のある方向の開放地については調整対象区域の範囲が過大となることが想定されるため、適切なパラメータ S の値を導出することを実証目的とした。

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 を活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実証」において、発電所屋内エリアでのローカル 5G 実証の成果が報告されている。

今回の実証では屋外エリアでの測定データを計測することで発電所屋内外エリアでのそれぞれの検証結果比較やローカル 5G ネットワークの屋内外での共存の可能性の検討を行った。

(2) 実証仮説

火力発電所内の道路は直線で見通しが良いため、開放地に近い値が想定される。同発電所施設の建屋やクレーン等の遮蔽物が散在するため、郊外地のパラメータＳの値に類似すると考えた。

ここで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。

現地の環境・状況等を確認した上で、異なる電波伝搬環境毎にパラメータＳの検証が必要と考え、現地の環境・状況等から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。本実証では８方向で見通しの良い方向と遮蔽物が存在する方向が混在する基地局（精緻化対象基地局 A）と、周囲が全方位で見通しの良い基地局（精緻化対象基地局 B）の 2 基地局で実証を行った。

エリア算出に使用したパラメータを表 3.3.1-1，表 3.3.1-4 に示し、算出結果（最大利得方向）を表 3.3.1-2，表 3.3.1-5 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。

なお、各環境の分類はエリア算出法に記載されている定義（表 3.3.1-3）を使用した。

表 3.3.1-1　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	36.6
Gt[dBi]:送信アンテナ利得	20
Lf[dB]:基地局の給電損失	1.27
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	4
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	-17.501225
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 3.3.1-2　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	1040m
調整対象区域	1570m

表 3.3.1-3 エリア算出法 パラメータ S の分類定義

分類	補正値	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

・精緻化対象基地局 A　仮説前後のエリア図

精緻化対象基地局 A において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 3.3.1-1 に示す。

ここで、精緻化対象基地局 A はアンテナ正面方向から 45 度方向では基地局から 300～400m の距離が開けた環境であるが、90 度～315 度方向では、樹木や建造物が散在する環境に設置されている。

このため、図 3.3.1-2 のように 0 度方向と 45 度方向を開放地と分類し、その他の方向(90 度～315 度)を郊外地と分類した。本仮説に基づくエリア図を図 3.3.1-3 に示す。

図 3.3.1-1 仮説前のエリア図(精緻化対象基地局 A)
【出典:国土地理院　地理院地図】

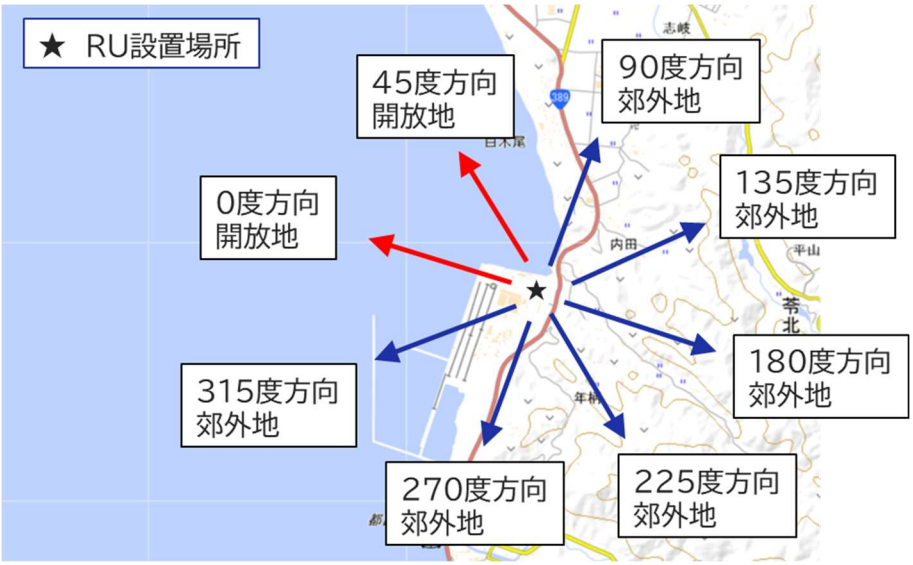


図 3.3.1-2 角度の定義およびパラメータ S の仮説分類(精緻化対象基地局 A)
【出典:国土地理院 地理院地図】

図 3.3.1-3 仮説後のエリア図(精緻化対象基地
【出典:国土地理院 地理院地図】

表 3.3.1-4　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	36.6
Gt[dBi]:送信アンテナ利得	20
Lf[dB]:基地局の給電損失	0.95
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	13
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	-7.263558
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 3.3.1-5　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	2,030m
調整対象区域	3,070m

・精緻化対象基地局Ｂ　仮説前後のエリア

精緻化対象基地局 Ｂ において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 3.3.1-4 に示す。

ここで、精緻化対象基地局Ｂは全方向で 300～400m の距離が開けた環境である。

このため、図 3.3.1-5 のように全方向を開放地と分類した。

図 3.3.1-4 仮説前後のエリア図（精緻化対象基地局Ｂ）
【出典：国土地理院　地理院地図】

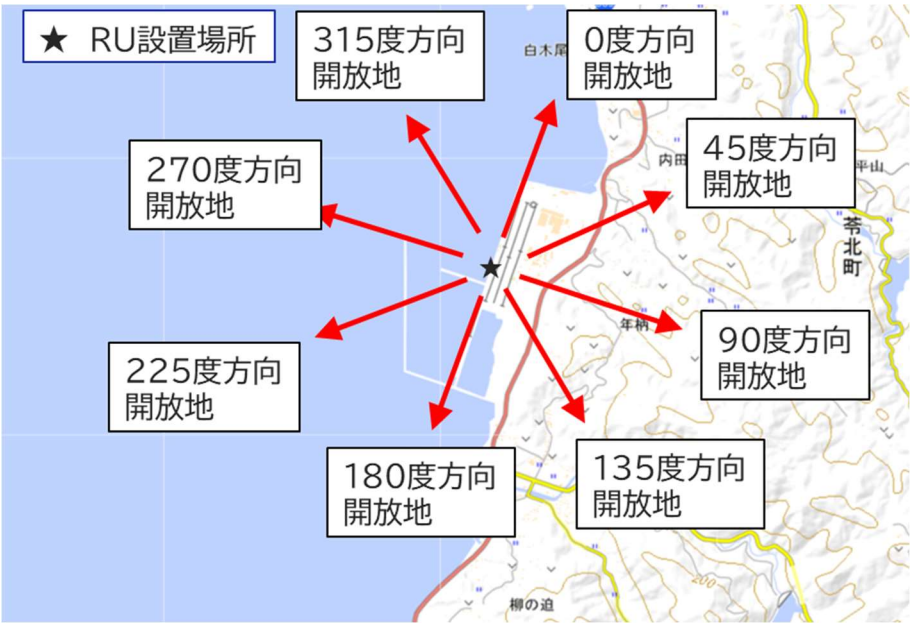


図 3.3.1-5 角度の定義およびパラメータ S の仮説分類(精緻化対象基地局 B)
【出典:国土地理院 地理院地図】

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 3.3.1-6 技術実証を行う各環境の特徴

環境	開放地	郊外地	市街地
精緻化対象 基地局 A	0 度 45 度	90 度 135 度 180 度 225 度 270 度 315 度	—
精緻化対象 基地局 B	0 度 45 度 90 度 135 度 180 度 225 度 270 度 315 度	—	—

（3） 評価・検証項目

・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、カバーエリアおよび調整対象区域の作図を行った。

・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 以上の地点で測定を実施した。

また、上記測定に加えて、一方向だけではなく、45 度方向毎ごとの 8 方向でのエリア算出法に定めるカバーエリアおよ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。

・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。また、精緻化後のパラメータを用いた屋外のカバーエリアおよび調整対象区域を作図し、実測に近しい結果が得られていることを確認した。

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 毎に距離と電波伝搬損失の関係を検証し精緻化を実施した。

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。なお、カバーエリアおよび調整対象区域端等の位置で、一部の測定点では電波伝搬経路上に海面が存在する。海上での測定については、位置関係の特徴が異なる 2 基地局（精緻化対象基地局 A および B）で実施した。

精緻化としての測定点を図 3.3.1-6、図 3.3.1-7 に示す。

・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間の地点
・カバーエリア内の距離の異なる地点

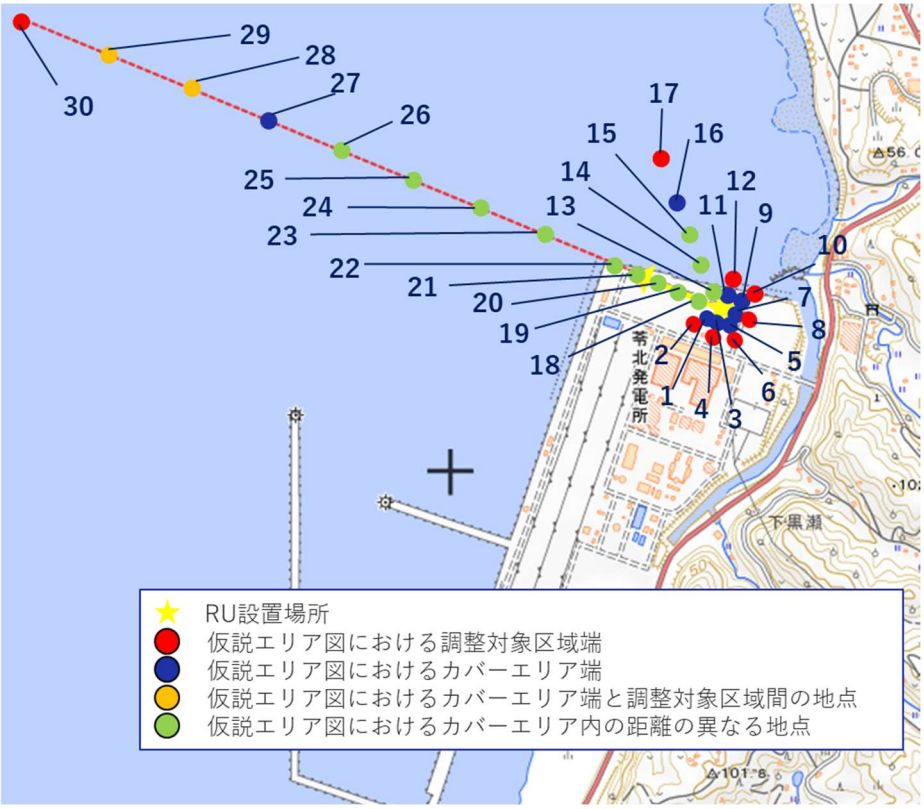


図 3.3.1-6 測定地点（精緻化対象基地局 A）
【出典：国土地理院　地理院地図】

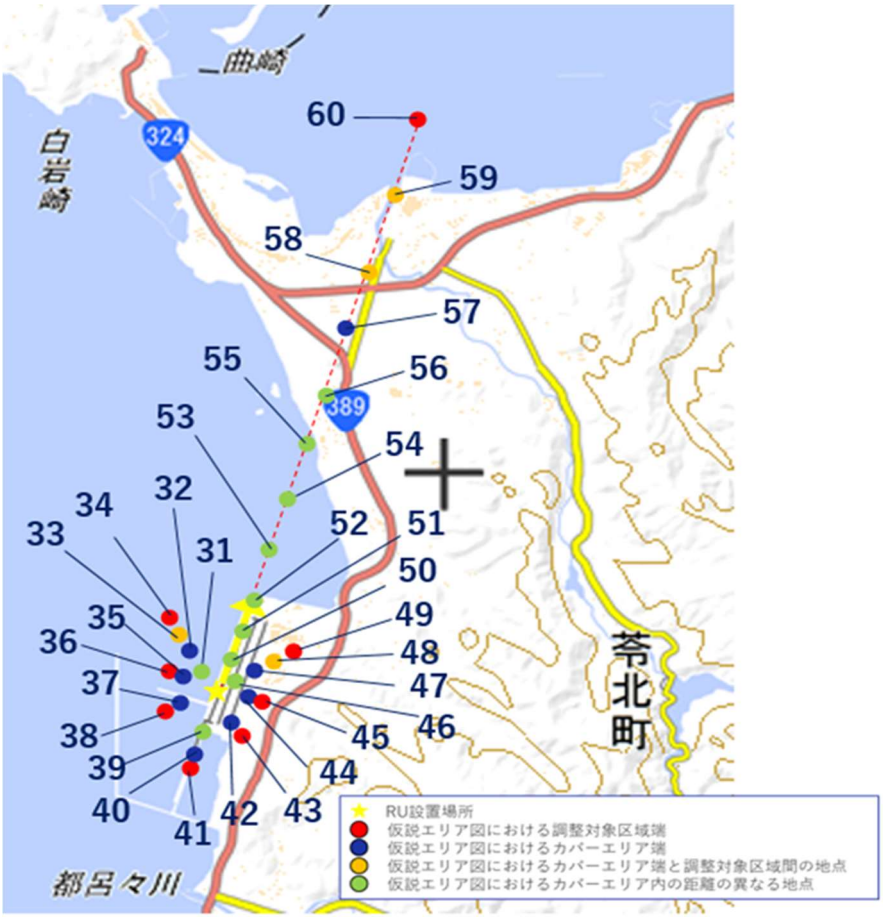


図 3.3.1-7 測定地点(精緻化対象基地局 B)
【出典:国土地理院 地理院地図】

なお、測定ではアンリツ(株)製エリアテスタ 型式 ML8780A 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、5cm(受信周波数の1波長以下)の短区間を複数点移動させ、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。

なお、海上での測定においては定点での測定は困難であるため、低速(時速 5km 程度)で移動しデータを取得した。測定は各測定点付近で 4 回実施した。測定結果の処理については、測定結果の緯度・経度から基地局との距離を算出し、各測定点位置と算出した距離を基に測定点毎に 1000 サンプル以上となるようデータを抽出した。

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。

測定結果の妥当性を確認するため、エリア算出法で計算した理論値に加え、伝搬シミュレータによるシミュレーションを測定の事前に行い、測定結果との差異を検証し差異が大きい場合等は必要に応じて再測定を行う。

［測定結果を用いた精緻化の方法］

各測定点の代表値と、基地局から測定点までの距離を用いて近似曲線を求める。求めた近似曲線と類似するエリア算出法のパラメータ（S 値）を導出し、精緻化を実施した。

精緻化は対象基地局の周囲環境の異なる方向毎に分類し、測定結果から最小二乗法を用いてパラメータ S 値を導出した。

測定系の構成および使用機器を図 3.3.1-8 および表 3.3.1-7 に示す。

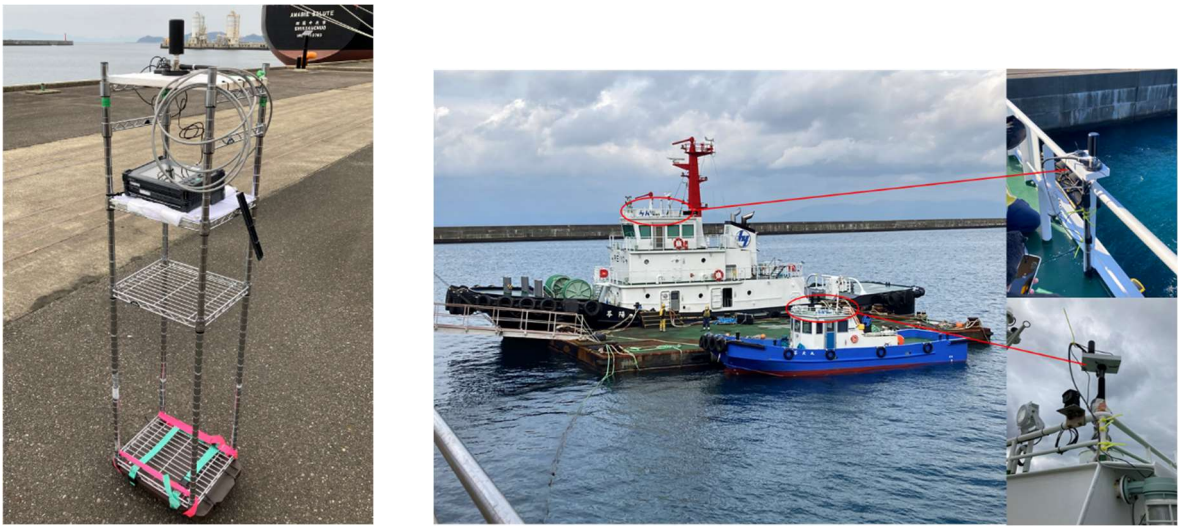


図 3.3.1-8　測定系の構成（地上／海上）

表 3.3.1-7　使用機器

機器名	メーカ	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 およびアンテナ台座	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

(5)　実証結果および考察

【パラメータ S の精緻化】

パラメータ S を精緻化するため、図 3.3.1-6 および図 3.3.1-7 の環境で測定を行った。

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 10 度)の挟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。

以下で精緻化対象基地局 A、B の測定結果および考察を記載していく。

(1)精緻化対象基地局 A における測定結果および検討・考察

精緻化対象基地局 A における測定点から基地局までの見通し状況の例を図 3.3.1-9 に示す。

各測定点における基地局との距離や見通し有無、仮説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、標高を表 3.3.1-8 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)を除外した値とした。

代表例として図 3.3.1-10、図 3.3.1-11 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。

見通しの測定地点(測定点 20)　非見通しの測定地点(測定点 6)　海上の測定地点(測定点 23)

図 3.3.1-9 測定地点の様子

表 3.3.1-8 各測定点の基地局までの距離や見通し状況

測定点	基地局との距離[m]	仮説したパラメータ S	エリア算出法計算値[dBm]	基地局との見通し有無	測定結果[dBm]中央値	標高[m]
1	70	12.3	-71.8	○	-56.5	5.00
2	80	12.3	-76.8	○	-54.0	5.00
3	50	12.3	-71.8	○	-54.2	5.00
4	60	12.3	-77.8	○	-57.7	5.00
5	50	12.3	-73.8	○	-55.9	5.00
6	60	12.3	-79.8	×	-72.3	5.00
7	40	12.3	-65.8	○	-52.3	5.00
8	50	12.3	-72.8	○	-58.8	5.00
9	50	12.3	-73.8	○	-55.7	5.00
10	60	12.3	-79.8	○	-64.0	5.00
11	50	12.3	-69.8	○	-53.3	5.00
12	60	12.3	-75.8	－	－	5.00
13	50	32.5	-49.8	○	-57.4	5.00
14	80	32.5	-56.8	×	-69.6	(海上)
15	120	32.5	-63.8	×	-69.8	(海上)
16	160	32.5	-68.2	×	-71.1	(海上)
17	230	32.5	-73.8	×	-69.9	(海上)
18	80	32.5	-36.8	○	-38.7	5.00
19	150	32.5	-47.3	○	-40.0	4.70
20	220	32.5	-53.1	○	-53.1	4.40
21	290	32.5	-57.3	○	-52.7	4.40
22	360	32.5	-60.7	○	-60.7	4.10
23	600	32.5	-68.5	×	-82.3	(海上)
24	830	32.5	-73.4	×	-81.8	(海上)
25	1070	32.5	-77.3	×	-83.2	(海上)
26	1300	32.5	-80.3	×	-81.3	(海上)
27	1540	32.5	-82.9	×	-83.5	(海上)
28	1800	32.5	-85.3	×	-84.9	(海上)
29	2060	32.5	-87.3	×	-88.7	(海上)
30	2330	32.5	-89.2	×	-88.1	(海上)

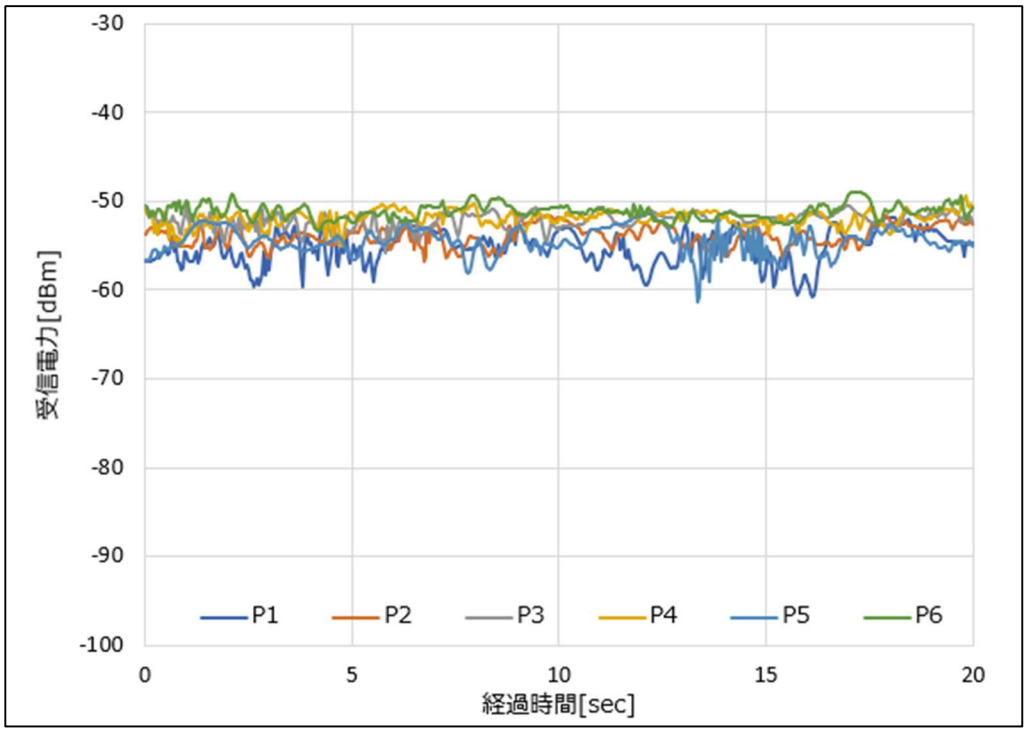


図 3.3.1-10 受信電力 時間変動(測定点 21)

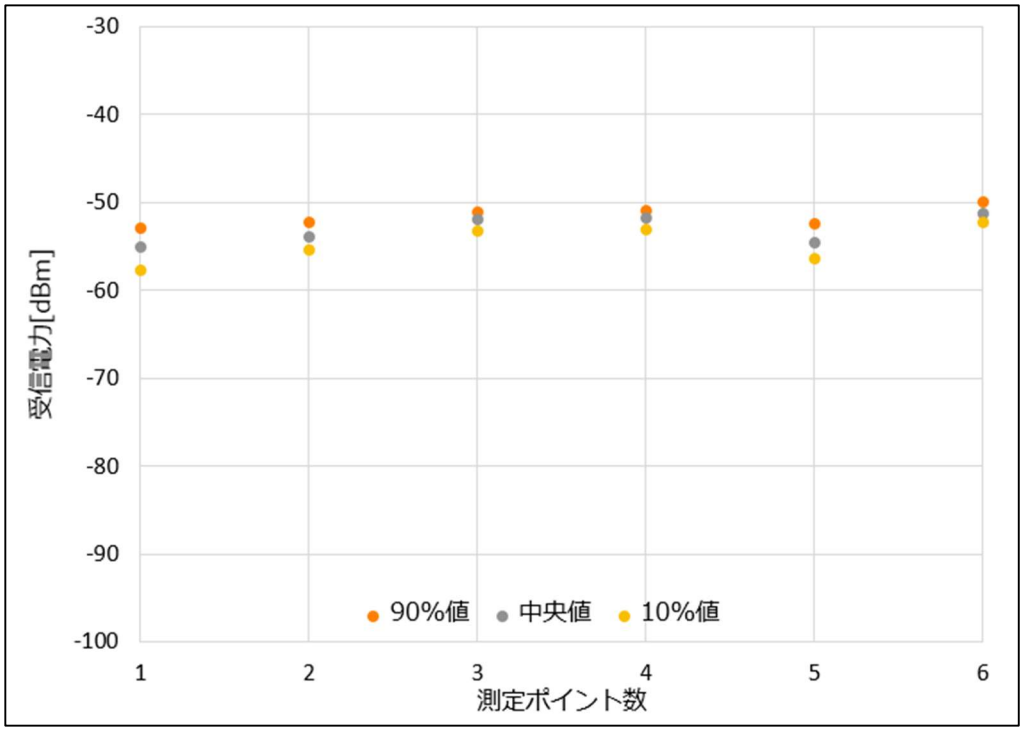


図 3.3.1-11 受信電力 正規化(測定点 21)

また、対象基地局 A の各方角において、仮説で設定したパラメータ S 値を使用した際のカバーエリア端と調整対象区域端までの距離（机上計算値）と、実際のエリア端の距離を図 3.3.1-12 と表 3.3.1-9 に示す。

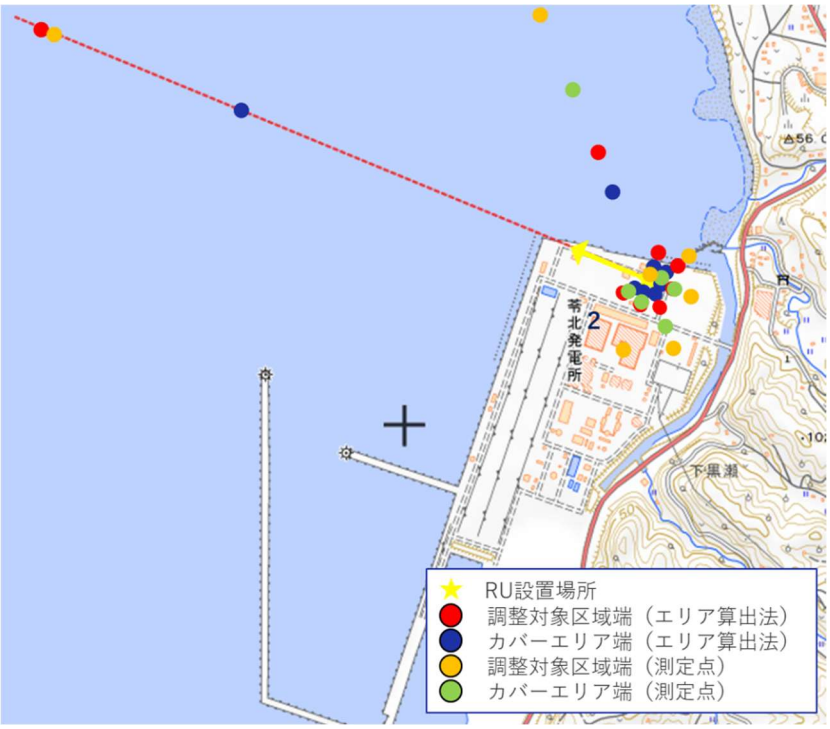


図 3.3.1-12 エリア算出法で算出したカバーエリア端および調整対象区域端と実際の閾値が確認できた地点【出典：国土地理院 地理院地図】

表 3.3.1-9 各方角のエリア端までの距離

方角	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
0 度方向	1040	1570	360～600※1	1550
45 度方向	290	420	800	1400
90 度方向	110	150	－※2	37.5
135 度方向	90	130	66	172
180 度方向	100	140	135	189
225 度方向	90	130	208	270
270 度方向	100	140	130	320
315 度方向	240	350	271	－※3

※1：海上で 600m 地点よりも陸側に船が近付けないため測定不可
360m 地点で RSRP 値-95.9dBm を確認し、600m 地点で RSRP 値-117.5dBm を確認していることから 360～600m の間にカバーエリア端があると推測
※2：カバーエリア端付近に建物があり測定不可
※3：調整対象区域端が石炭エリア（立ち入り禁止区域）のため測定不可

表 3.3.1-9 に示すように 0 度方向のカバーエリア端については、机上計算値よりも距離が短くなっている。これは 0 度方向の伝搬経路上に防波堤（6m 程度）が存在するため、防波堤に遮蔽されることで伝搬距離が短くなっていると思われる。

45 度方向については、カバーエリア端および調整対象区域端どちらも机上計算値より大幅に伸びている結果となっている。理由としては 0 度方向とは異なり、伝搬経路上に防波堤等の遮蔽物がないため、影響を受けることなく海上伝搬していると推測される。

90 度方向については基地局設置箇所の近傍に建物があり、遮蔽されているため、調整対象区域端が机上計算値よりも短くなっている。

135 度方向および 180 度方向については、伝搬経路上に遮蔽物となるようなものや高さのある建造物が存在しないため、基本的には机上計算によって算出したエリア端と近しい距離となった。

225 度方向および 270 度方向、315 度方向の基地局の左方向は図 3.3.1-13 のような特殊な構造物が存在しているため建物反射等の影響を受けエリア端が伸びたと推測される。

図 3.3.1-13 基地局アンテナの左方向の環境

以上の結果から、仮設したパラメータ S ごとの受信電力の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 3.3.1-14 および図 3.3.1-15 に示す。グラフは地上の測定点と海上の測定点を分けて示す。

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 15dB 程度の乖離が生じている。

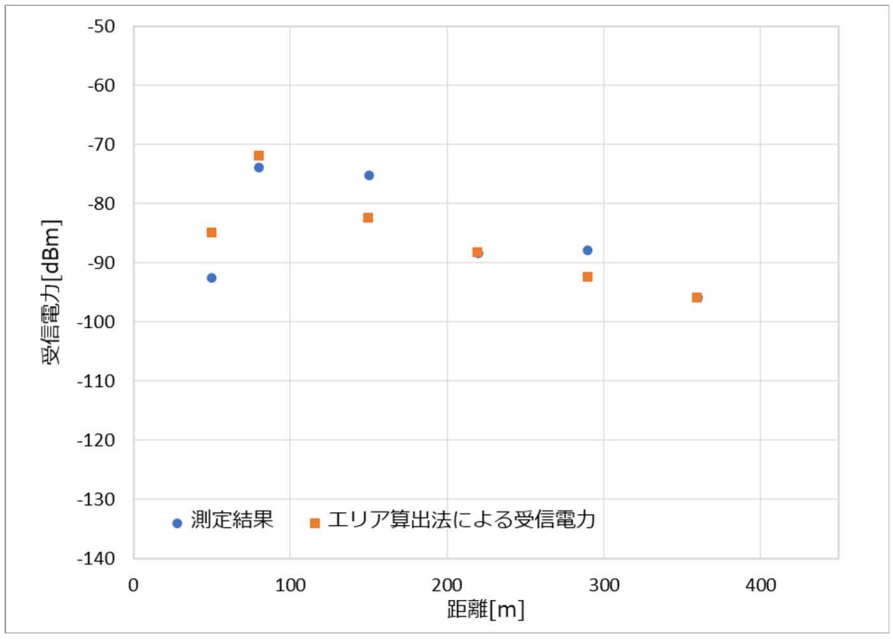
ここで各測定点は、アンテナから見た角度が異なり、受信電力を基にした考察が困難であるため、アンテナ利得およびケーブル損失等の各種利得／損失を除外した電波伝搬損失を算出し、精緻化に向けた考察を行った。

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小さく良好な伝搬モデルとなる。

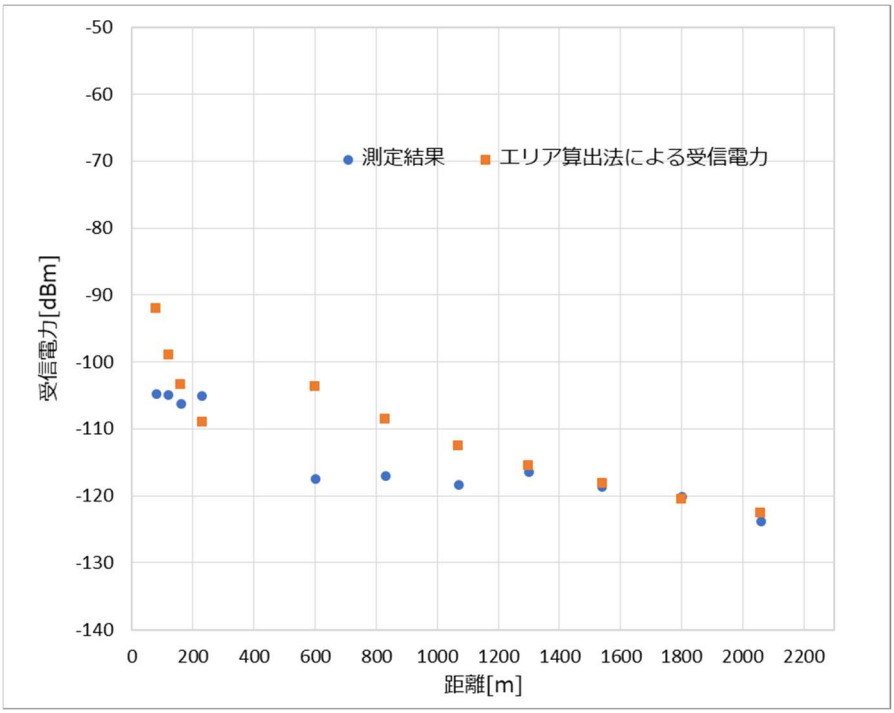
$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

（ 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 3.3.1-14 (1)のように仮説で開放地と分類した地上測定点では RMSE=4.73、(2)のように仮説で開放地と分類した海上測定点では RMSE=6.6 となった。

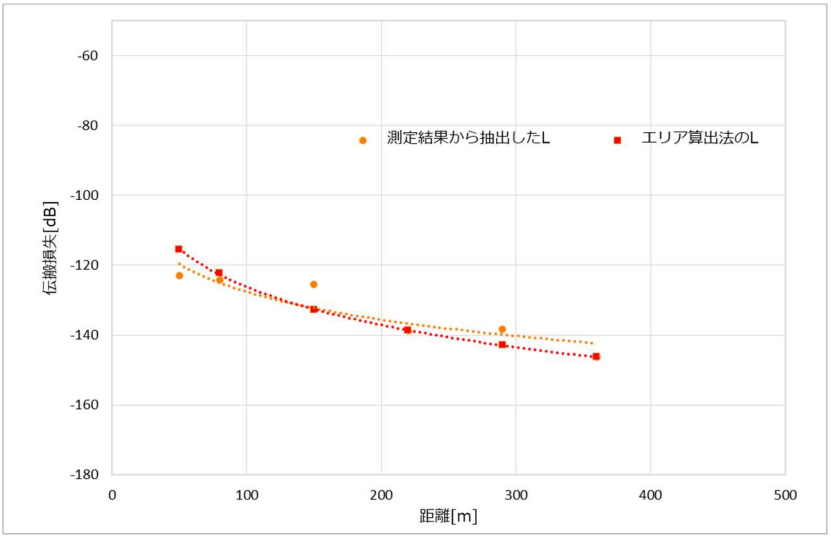


（1）開放地と仮説で分類した測定点（地上測定点）

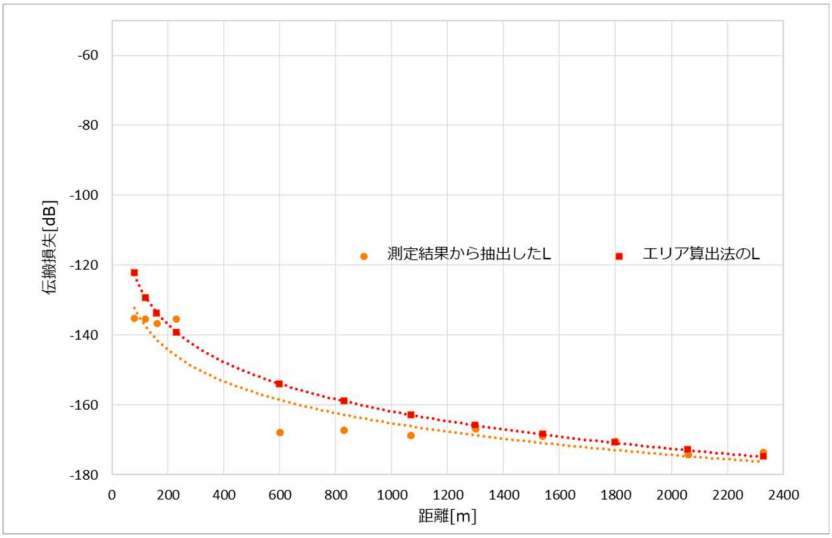


（2）開放地と仮説で分類した測定点（海上測定点）

図3.3.1-14 受信電力の距離変動



(1)開放地と仮説で分類した測定点(地上測定点)



(2)開放地と仮説で分類した測定点(海上測定点)

図 3.3.1-15 伝搬損失の距離変動

図 3.3.1-15 の(1)では、開放地と仮説で分類した測定点の地上測定点で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)と測定結果から得た損失量に大きな差が見られなかった。このことから、対象基地局 A のような周囲に金属構造物が存在している環境であっても前方 300～400m 以内が開けているような環境であれば開放地と分類して良いと考えた。

次に(2)では開放地と仮説で分類した測定点の海上測定点で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)よりも損失量が大きな測定点について考察を実施した。

損失量が大きな測定点は、アンテナ正面方向（図 3.3.1-6 の測定点 23,24,25）であることが確認できる。基地局からの伝搬経路上（距離 360m 地点）に高さ 10m 程度の防波堤（コンクリート材質）が存在するため、電波が遮蔽され、一時的に伝搬損失が大きくなっていると考えられる。その後 1300m 程度より離れた測定点では開放地相当に近いカーブに近似していることがわかるため、伝搬経路上に遮蔽物となる防波堤がある場合においても仮説として開放地と定義することは有効であると考える。

なお、仮説において郊外地と分類した方向（90 度/135 度/180 度/225 度/270 度/315 度方向）については、測定点との水平距離が 100m 以下のため、距離によって影響が異なる等推定精度の観点で精緻化の対象ではないが、実際の測定結果から開放地相当で伝搬していることを確認した。

仮説時点の RMSE と精緻化後の RMSE を表 3.3.1-10 に、図 3.3.1-16 に精緻化後のカバーエリアおよび調整対象区域の図を示す。精緻化後の RMSE については郊外地および自由空間損失と比較し、開放地条件での RMSE が最も 0 に近い値であったことから仮説時（開放地と仮説）と同様としている。

以上の考察から下記を対象基地局 A におけるパラメータ S の精緻化結果として報告する。

・本実証を行った苓北発電所において対象基地局 A のような周囲に金属構造物が存在している環境であっても前方 300～400m 程度が開けているような環境であれば「開放地（パラメータ S＝32.5）」と分類することで実際の伝搬環境に近しい結果を得ることができる。

表 3.3.1-10 S の精緻化による効果

	仮説時の RMSE	精緻化後の RMSE
開放地（地上測定点）	4.73	4.73
開放地（海上測定点）	6.60	6.60

図 3.3.1-16　精緻化後のカバーエリアおよび調整対象区域図
【出典:国土地理院　地理院地図】

(2)精緻化対象基地局 B における測定結果および検討・考察

精緻化対象基地局 B における測定点から基地局までの見通し状況の例を図 3.3.1-17 に示す。

各測定点における、基地局との距離や見通し有無、仮説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、標高を表 3.3.1-11 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)を除外した値とした。

代表例として図 3.3.1-18、図 3.3.1-19 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。

見通しの測定地点(測定点 40)

非見通しの測定地点(測定点 43)

海上の測定地点(測定点 54)

図 3.3.1-17　測定地点の様子

表 3.3.1-11 各測定点の基地局までの距離や見通し状況

測定点	基地局との距離[m]	仮説したパラメータ S	エリア算出法計算値[dBm]	基地局との見通し有無	測定結果[dBm]中央値	標高[m]
31	260	32.5	-68.1	×	-68.8	(海上)
32	310	32.5	-70.8	×	-69.8	(海上)
33	360	32.5	-73.1	×	-71.6	(海上)
34	410	32.5	-75.1	×	-72.9	(海上)
35	190	32.5	-79.1	×	-69.5	(海上)
36	270	32.5	-83.7	×	-70.7	(海上)
37	140	32.5	-80.5	×	-72.5	(海上)
38	190	32.5	-83.1	×	-71.8	(海上)
39	70	32.5	-70.8	○	-62.1	5.3
40	120	32.5	-80.1	○	-64.2	5.3
41	170	32.5	-83.1	○	-66.6	5.3
42	140	32.5	-77.4	○	-58.4	5.3
43	190	32.5	-80.1	×	-84.4	5.3
44	190	32.5	-79.1	×	-74.6	4.8
45	270	32.5	-83.7	×	-91.3	4.8
46	235	32.5	-75.6	×	-82.4	4.8
47	310	32.5	-79.8	×	-82.8	4.8
48	385	32.5	-83.1	×	-93.0	4.8
49	460	32.5	-85.8	×	-90.3	4.8
50	250	32.5	-40.5	○	-51.3	4.9
51	500	32.5	-51.1	○	-61.4	4.6
52	750	32.5	-57.3	×	-66.0	4.3
53	1200	32.5	-64.5	×	-77.2	(海上)
54	1600	32.5	-68.9	×	-73.6	(海上)
55	2000	32.5	-72.3	×	-85.3	8.1
56	2500	32.5	-75.7	×	－	－
57	3000	32.5	-78.5	×	－	－
58	3500	32.5	-80.9	×	－	－
59	4000	32.5	-82.9	×	－	－
60	4550	32.5	-84.9	×	－	－

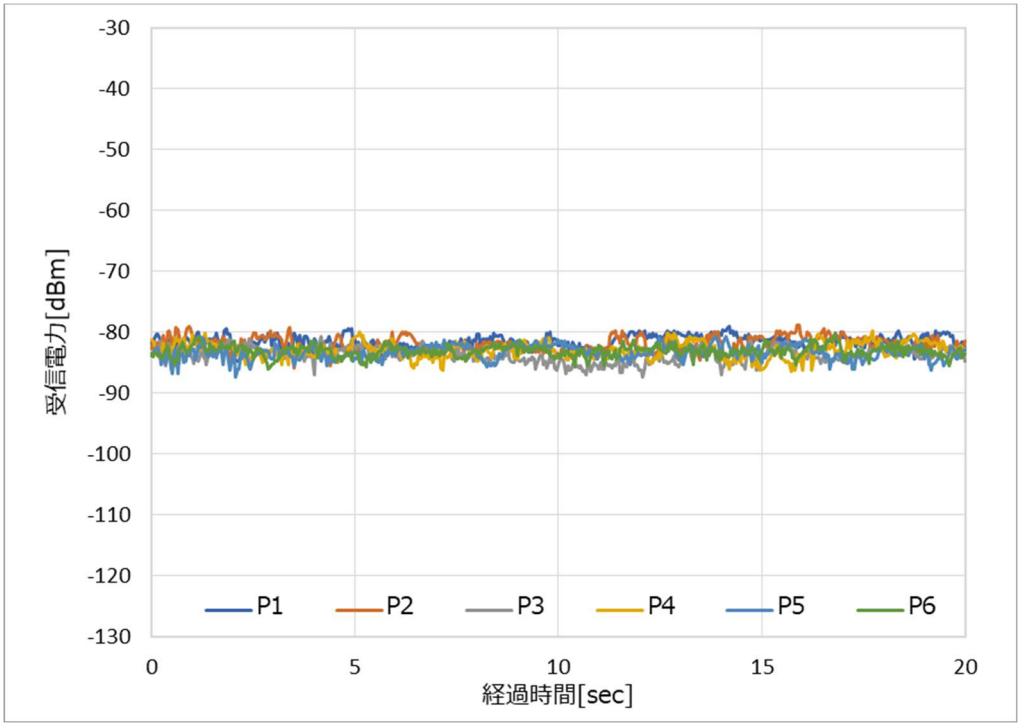


図 3.3.1-18 受信電力 時間変動(測定点 47)

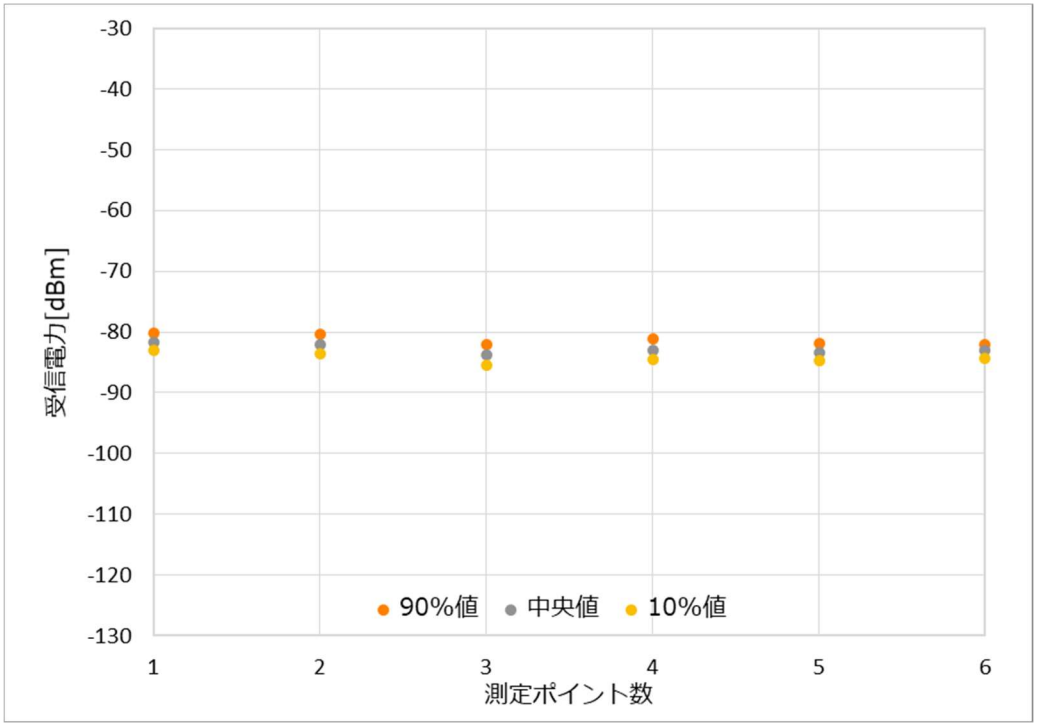


図 3.3.1-19 受信電力 正規化(測定点 47)

また、対象基地局 B の各方角において仮説で設定したパラメータ S 値を使用した際のカバーエリア端と調整対象区域端までの距離(机上計算値)と、実際のエリア端の距離を図 3.3.1-20 と表 3.3.1-12 に示す。

図 3.3.1-20 エリア算出法で算出したカバーエリア端および調整対象区域端と実際の閾値が確認できた地点【出典:国土地理院 地理院地図】

表 3.3.1-12 各方角のエリア端までの距離

方角	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
0 度方向	2030	3070	1600～1940 ※1	1940
45 度方向	550	830	249	317
90 度方向	210	310	164	199
135 度方向	170	250	234	246
180 度方向	190	270	281	406
225 度方向	170	250	440	570
270 度方向	200	290	450	600
315 度方向	460	680	600	1050

※1:1600m 地点より先が浅瀬になっており、船が立ち入れないため測定不可

表 3.3.1-12 に示すように 0 度方向のカバーエリア端および調整対象区域端については、机上計算値よりも距離が短くなっている。これは 0 度方向の伝搬経路上で 750m 付近において地上と海上の境となる箇所にテトラポットが散在しているため遮蔽されていることと、1940m 付近において海上から地上へ変わる箇所に大きな標高差（十数 m 程度）があるため電波が遮蔽されていることがエリア算出法から算出したエリア端までの距離よりも実際のエリア端までの距離が短くなった理由と推察する。

45 度方向および 90 度方向については、伝搬経路上に図 3.3.1-21 のような特殊な構造物（石炭の山や大型の重機）が存在しているため遮蔽され実際のエリア端が短くなったと推測される。

図 3.3.1-21 特殊な構造物

225 度方向および 270 度方向、315 度方向の基地局の左側方向については、算出したエリア端よりも実際のカバーエリア、調整対象区域ともに大きく伸びている結果となった。

理由としては RU のアンテナ高が 13m あり、伝搬経路上に存在する防波堤（高さ 10m 程度）よりも高いため防波堤による遮蔽の影響を受けずに海上伝搬していたと推測される。

本実証環境は発電所特有の構造物（防波堤、金網、金属構造物等）が散在する環境であるため、仮説で述べたように周囲環境の構造物の有無や種類に応じて 45 度方向ずつ 8 方向に分類したが、測定結果からは、防波堤や金網、金属構造物が散在する環境は開放地と郊外地の中間相当、遮蔽物がない環境では開放地相当と分類することで、実際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。このため、仮説段階においても構造物の種類に関わらず構造物が散在する環境は開放地と郊外地の中間相当、遮蔽物がない環境は開放地と定義する必要があったと考える。

以上の結果から、仮設したパラメータ S ごとの受信電力の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 3.3.1-22 および図 3.3.1-23 に示す。グラフは地上の測定点と海上の測定点を分けて示す。

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いる。

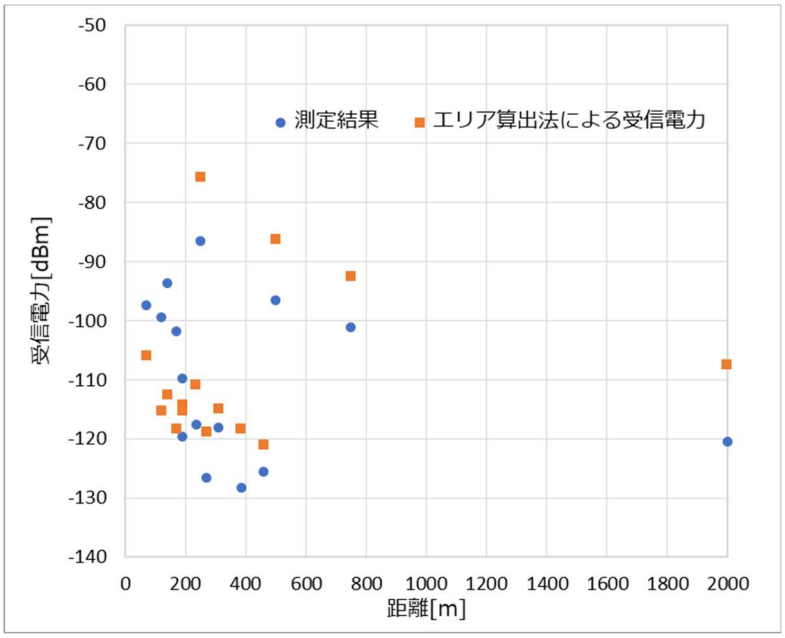
ここで各測定点は、アンテナから見た角度が異なり、受信電力を基にした考察が困難であるため、アンテナ利得およびケーブル損失等の各種利得／損失を除外した電波伝搬損失を算出し、精緻化に向けた考察を行った。

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小さく良好な伝搬モデルとなる。

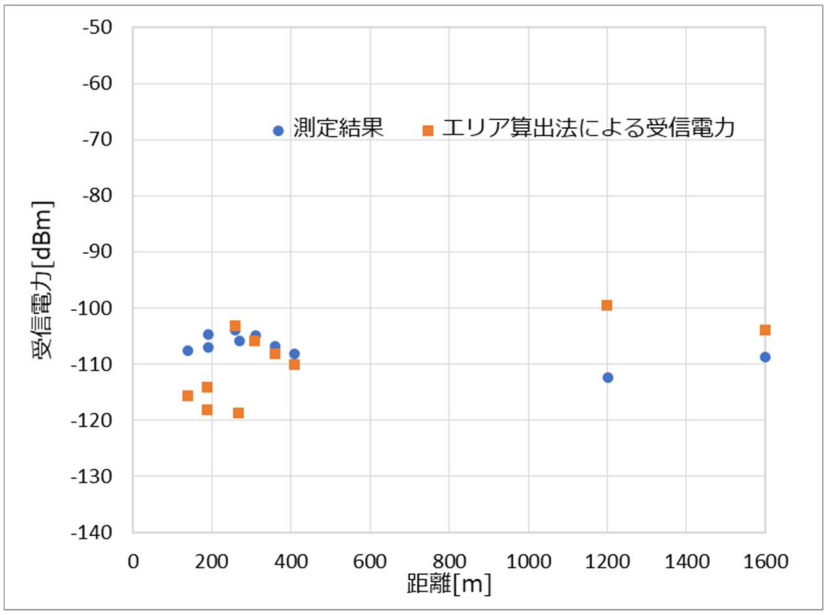
$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=0}^{n-1}(y_i - \hat{y}_i)^2}$$

(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3.3.1-22(1)のように仮説で開放地と分類した地上測定点ではRMSE=8.89、図3.3.1-22 (2)のように仮説で開放地と分類した海上測定点ではRMSE=8.01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。

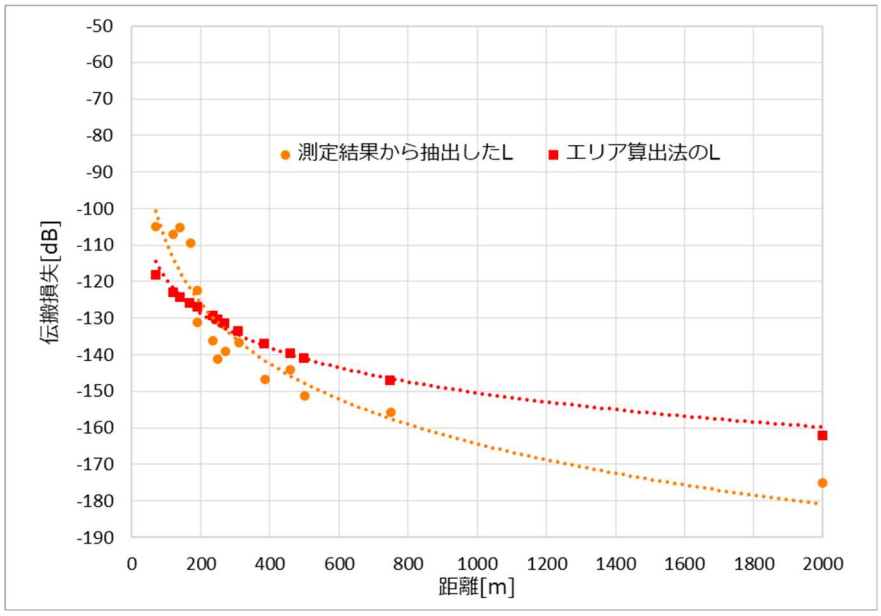


(1)開放地と仮説で分類した測定点(地上測定点)

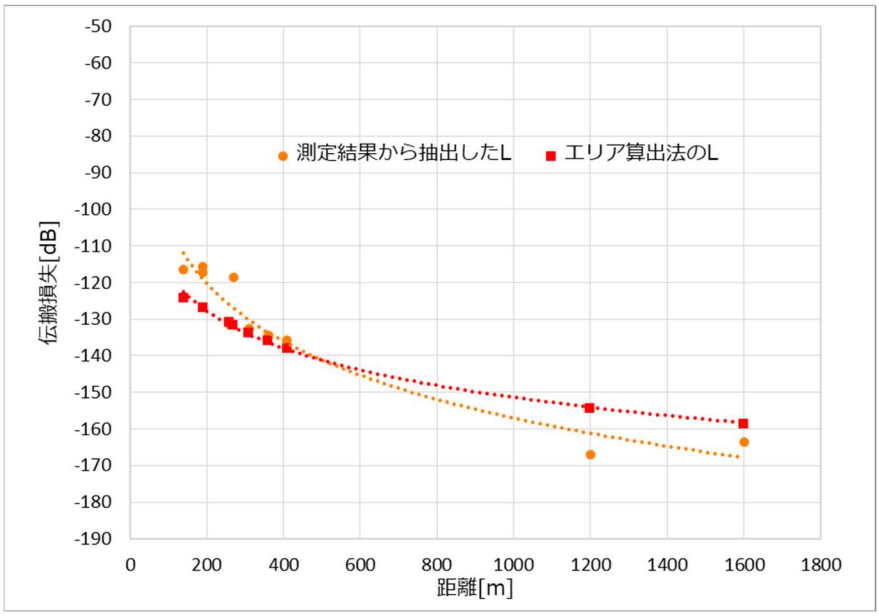


(2)開放地と仮説で分類した測定点(海上測定点)

図 3.3.1-22 受信電力の距離変動



(1)開放地と仮説で分類した測定点(地上測定点)



(2)開放地と仮説で分類した測定点(海上測定点)

図 3.3.1-23 伝搬損失の距離変動

図 3.3.1-23 の(1)では開放地と仮説で分類した測定点の地上測定点で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)よりも損失量が大きな測定点について考察を実施した。

損失量が大きな測定点に着目すると、ほとんどがアンテナ正面方向(図 3.3.1-7 の測定点 50～52)および 45 度方向(図 3.3.1-7 の測定点 46～49)であることがわかった。

アンテナ正面方向は左側に高さ 10m 程度の防波堤(コンクリート材質)が存在し、右側に高さ 20m 程度の金網が存在する環境であった。(図 3.3.1-24 に周囲環境を示す)

このため、開放地として算出した伝搬損失よりも大きい郊外地の伝搬損失傾向に近いと考えた。

45 度方向においても伝搬経路上に高さ 20m 程度の金網や大型の重機が存在する環境のため、開放地として算出した伝搬損失よりも大きい郊外地の伝搬損失傾向に近いと考えた。

図 3.3.1-25 に上記アンテナ正面方向(0 度方向)および 45 度方向の測定点のみを抽出した伝搬損失の距離変動を示す。ここで図中に郊外地の伝搬モデルと開放地(パラメータ S=32.5)と郊外地(パラメータ S=12.3)の中間値(パラメータ S=22.5)を追加し、エリア算出法(開放地)との比較を行うと、測定結果は中間値の伝搬モデルに近いことがわかった。

ここで上記の測定点に対し、郊外地相当での損失との RMSE を算出すると RMSE=12.29 となり、中間値(パラメータ S=22.5)での損失との RMSE を算出すると、RMSE=3.57 となる。中間値での RMSE はエリア算出法(開放地)モデルの RMSE=8.89 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、対象基地局 B のように周囲が防波堤や金網で囲まれている苓北発電所相当の環境ではパラメータ S 値は開放地と郊外地の中間値を定義することで実際の伝搬環境に近しい結果が得られると考察する。

図 3.3.1-24 アンテナ正面方向の周囲環境

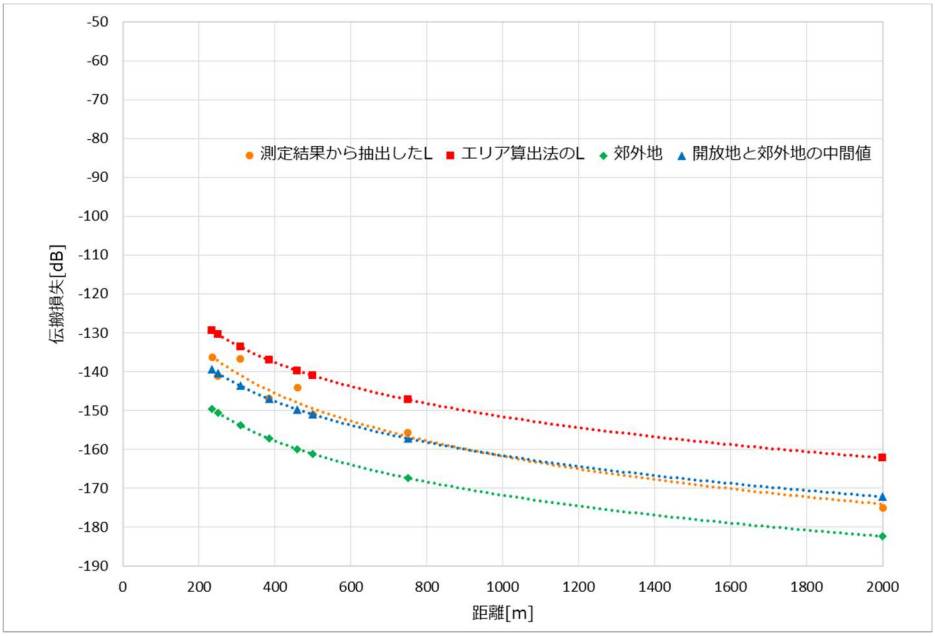


図 3.3.1-25 伝搬損失の距離変動(精緻化後)

次に(2)では開放地と仮説で分類した測定点の海上測定点で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)よりも損失量が大きな測定点と、損失量が小さな測定点が存在するため、それぞれで考察を実施した。

まず、損失量の小さな測定点に着目すると、ほとんどがアンテナ正面方向に対して左側(225 度/270 度/315 度)方向であることがわかった。(図 3.3.1-7 の測定点 31～38)

これらの方向は基地局アンテナ高が 13m であることに対して、伝搬経路上に存在する防波堤が高さ 10m 程度であることから防波堤による遮蔽の影響を受けずに海上伝搬したと推測する。

図 3.3.1-26 に上記アンテナ方向(225 度/270 度/315 度)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わかった。

ここで上記の測定点に対し、自由空間損失の損失との RMSE を算出すると RMSE=7.27 となり、エリア算出法(開放地)モデルの RMSE＝8.01 に比べ、誤差が減少したことを確認した。

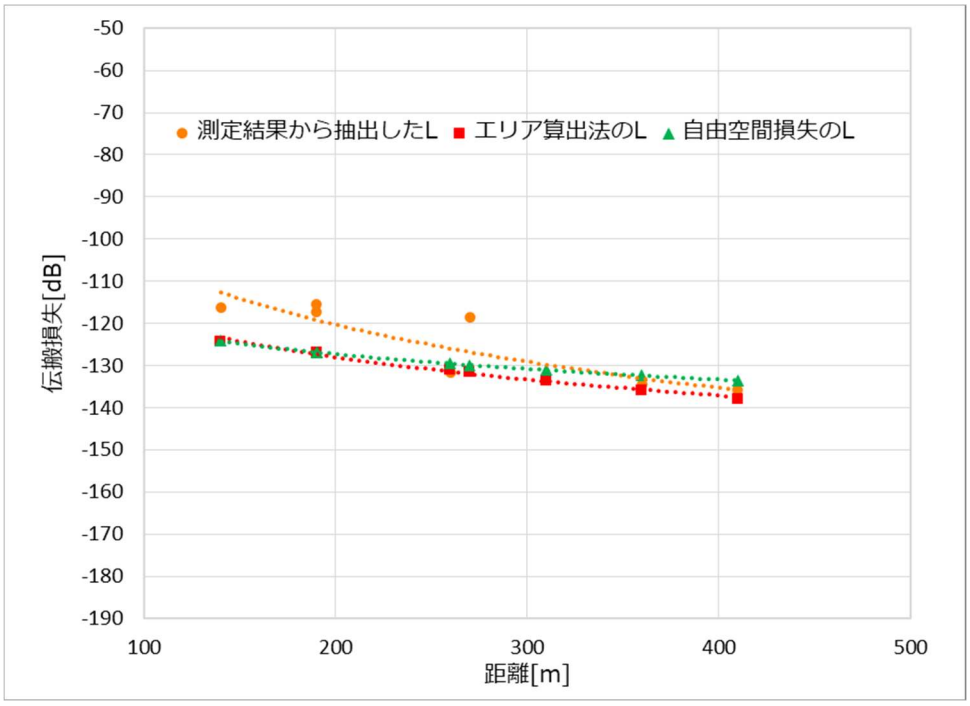


図 3.3.1-26 伝搬損失の距離変動(精緻化後 225 度/270 度/315 度のみ)

次に損失量が大きな測定点に着目すると、アンテナ正面方向(図 3.3.1-7 の測定点 53,54)であることがわかった。(1)の地上測定点で記載した通り、アンテナ正面方向は左側に高さ 10m 程度の防波堤(コンクリート材質)が存在し、右側に高さ 20m 程度の金網が存在する環境であった。

このため、(1)と同様に開放地として算出した伝搬損失よりも大きい郊外地の伝搬損失傾向に近いと考えた。

図 3.3.1-27 に上記アンテナ正面方向(0 度方向)のみを抽出し、図 3.3.1-25 伝搬損失の距離変動のグラフ上にプロットしたものを示す。

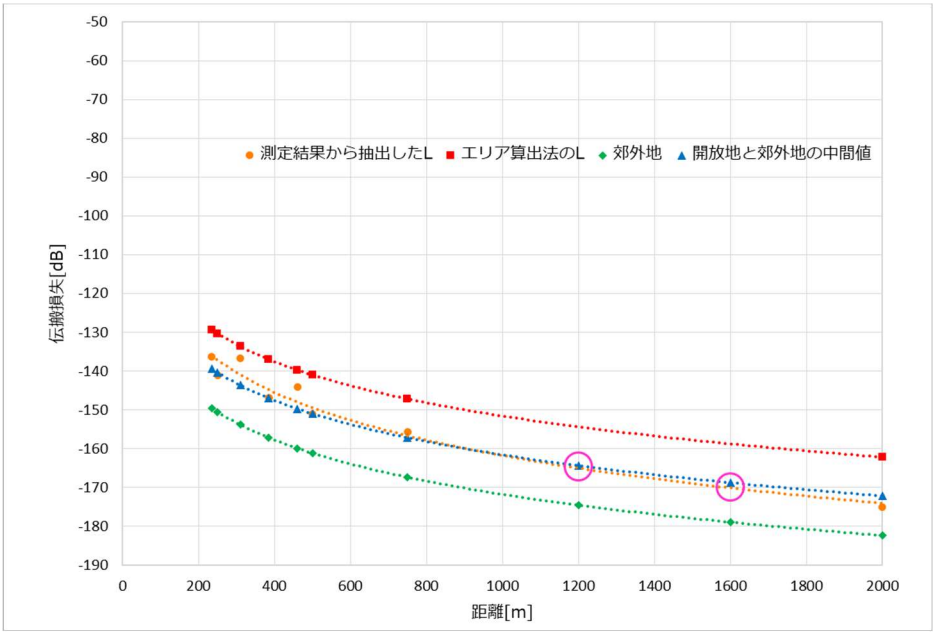


図 3.3.1-27 伝搬損失の距離変動(精緻化後 海上測定点追加)

図 3.3.1-27 で示すように開放地と郊外地の中間値の伝搬モデルに近いことがわかった。

本分類でも RMSE を算出し、(1)で算出した中間値(パラメータ S＝22.5)での損失との RMSE＝3.57 であったものが、RMSE＝3.71 と大きな変動はないことを確認した。

仮説時点の RMSE と精緻化後の RMSE を表 3.3.1-13 に、図 3.3.1-28 に精緻化後のカバーエリアおよび調整対象区域の図を示す。

以上の考察から下記を対象基地局 B におけるパラメータ S の精緻化結果として報告する。

・本実証を行った苓北発電所のような特殊な環境下において対象基地局 B のような周囲が防波堤や金網等で囲まれている環境においては前方 300～400m 程度が開けているような環境であってもパラメータ S 値は開放地(S＝32.5)と郊外地(S＝12.3)の中間値(S＝22.5)を定義することで実際の伝搬環境に近しい結果を得ることができる。

表 3.3.1-13 S の精緻化による効果

	仮説時の RMSE	精緻化後の RMSE
開放地(地上測定点)	8.89	3.57
開放地(海上測定点)	8.01	4.22
自由空間	-	7.27

図 3.3.1-28　精緻化後のカバーエリアおよび調整対象区域図

【出典：国土地理院　地理院地図】

3.3.2　エリア構築の柔軟性向上

(1)　実証の目的・目標

1)　背景となる技術的課題と実証目的

本ユースケースでは高解像度のカメラ映像伝送を行うため、高いスループットが必要であり、高電界なローカル 5G エリアを形成する必要がある。

ユースケースでは、全エリアをカバーする必要性がある。よって、少数の基地局で広域な線状の空間をカバーするために、中継器によるエリア拡大が必要となる。

また、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を行う。

なお、エリア拡大を行う場合には他の手法として分散アンテナ技術（DAS）も考えられるが、分散アンテナ技術では、複数の RU を使用した場合でも 1 台分のスループットしか得られないため、本実証のように長距離かつ多数の端末が接続される場合は中継器によるエリア拡大が有効であると考えた。

・実証目的

上記課題を解消するため、下記の各状況において中継器を用い、その有効性、課題を検証することを実証目的とした。

① アンテナの指向性による不感地帯を中継器によってカバーし、道路に沿って柔軟にエリアを構築する
② 指向性アンテナの後方に中継器を用いて簡易にエリアを拡張する
③ 障害物のあるエリアに中継器を用いて不感地帯をエリア化する
④ 距離の長い道路における弱電界エリアに中継器を用いて十分な電力を確保する

2)　実証目標

下記の実証を行うことでユースケースを実現するために必要なエリア構築手法を実証することを目標とした。

・中継器を使用した場合の特性（特性劣化の有無等）を検証する。
・中継器を使用した場合の干渉を調査し出力調整を行う等、エリア内移動時の安定した通信を実現する。
・弱電界地帯の解消を目的とした中継器によるエリア拡大の検証。

なお、ユースケースに必要な無線性能として下記表 3.3.2-1 を目標とした。また、本実証環境における自己土地、他者土地、業務区域を図 3.3.2-1 に示す。

表 3.3.2-1 ユースケースに必要な無線性能

項目	目標値	備考
受信電力値	SS-RSRP -95dBm 以上	ユースケースで想定する スループット性能に必要な SS-RSRP 値
スループット UL	57Mbps	ユースケースで想定する 1RU あたりの最大スループット量 （高精細カメラ/ドローンカメラ/ロボットカメラ各 1 台使用時）
スループット DL	1Mbps	－
遅延時間	100msec	－

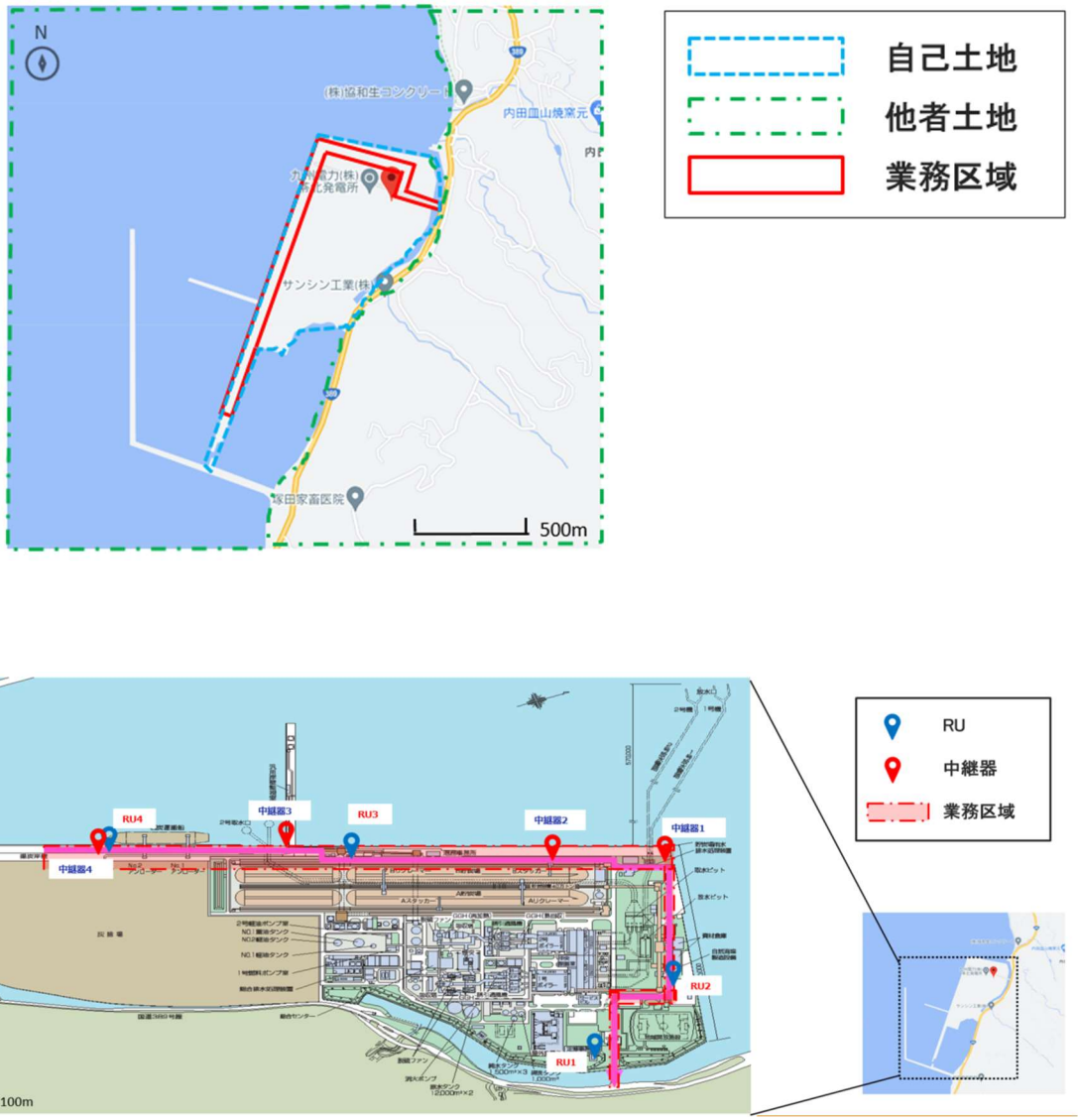


図 3.3.2-1 実証環境における自己土地、他者土地、業務区域

3） 過年度技術実証からの発展性・新規性

昨年度の自主実証（机上検討）においては、無指向性アンテナを用いて広範囲なカバーエリアを構築していたが、今年度は指向性アンテナと中継器を用いて効率的に高スループットが期待できる必要最小限なエリア構築を行う点が異なり、新規性となる。

（2） 実証仮説

中継器は基地局程の送信出力を出すことはできず、想定していた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使用したとしても、カバーエリアは基地局に比べて狭いと言える。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 80m 程度となる。一方送信出力が 33.6dBm の基地局の場合、同条件で電波伝搬距離は 400m 程度となる。（いずれも開放地の場合）

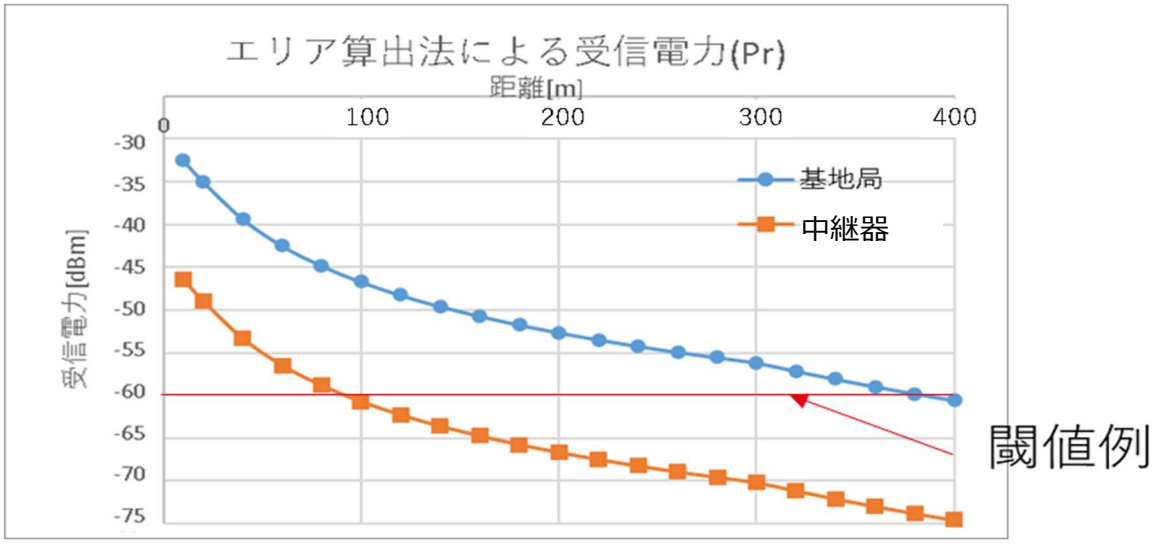


図 3.3.2-2 中継器と基地局の伝搬距離比較

このため、エリア拡大の面では基地局の増設が望ましいが、基地局では干渉が発生することが想定されるため、局所領域のエリア化には中継器を使用し、長距離領域をエリア拡大するには基地局を複数設置するのが有効であると考えた。

加えて、局所的な弱電界地帯（遮蔽物の裏等）の解消に対しても中継器が有効であると考える。

本実証で想定する弱電界は、ユースケースに必要な電力値（SS-RSRP -95dBm 未満）のエリアを想定しており、具体的な想定エリアとしては下図 3.3.2-4 に示す。

＜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 3.3.2-3 に示す。

①位置関係の確認
→業務区域、基地局、中継器設置予定位置の距離や遮蔽物の位置などを確認する。

↓

②リンクバジェットの確認
→想定するアンテナ利得やケーブル損失、電波伝搬減衰量からユースケースに必要な電力が確保できるか確認する。

↓

③中継器のアイソレーション確認
→サービス側／ドナー側アンテナのアイソレーションが機器の許容範囲内か確認する。

図 3.3.2-3 エリア設計のフロー

以降で上記フロー①～③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弱電界エリア、基地局や中継器の位置関係(水平面)を図 3.3.2-4 に示す。下記A～Dについて不感地帯となることが想定される。

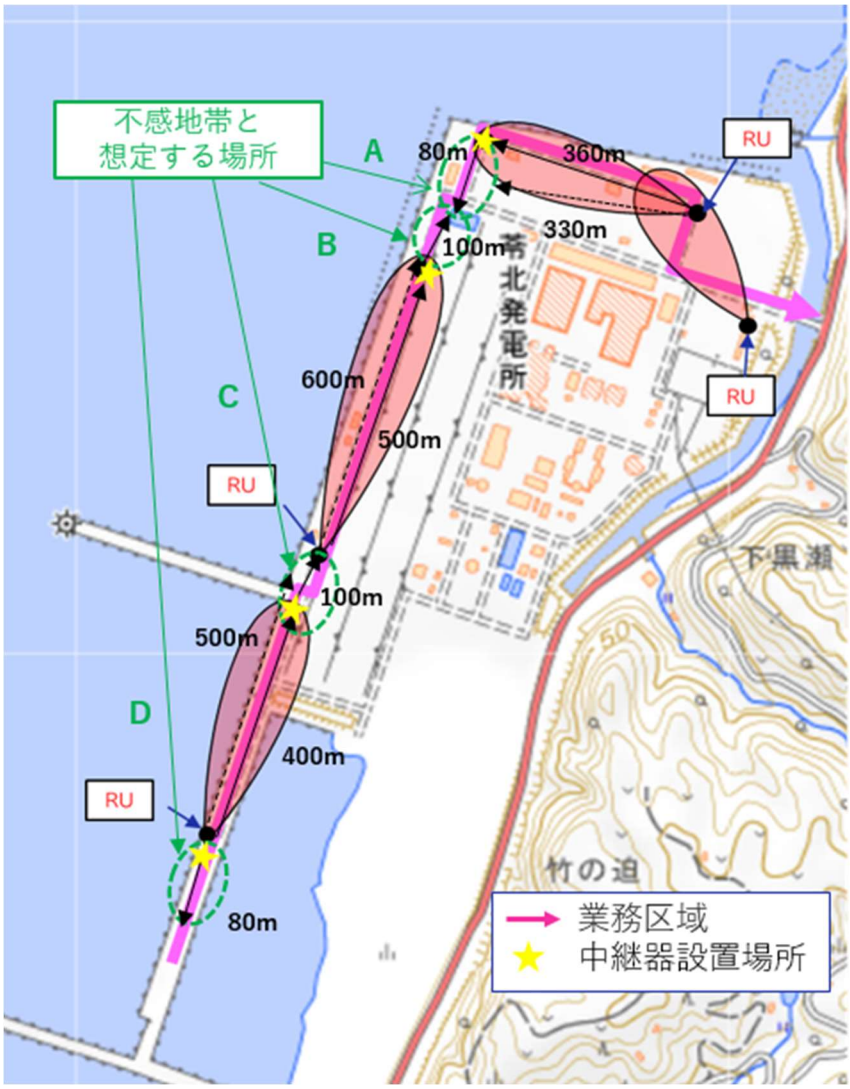


図 3.3.2-4 業務区域と不感地帯の位置関係(水平面)
【出典:国土地理院 地理院地図】

上記図で示した不感地帯A～Dにおける基地局と不感地帯の位置関係(垂直面)を図 3.3.2-5,6,7 に示す。

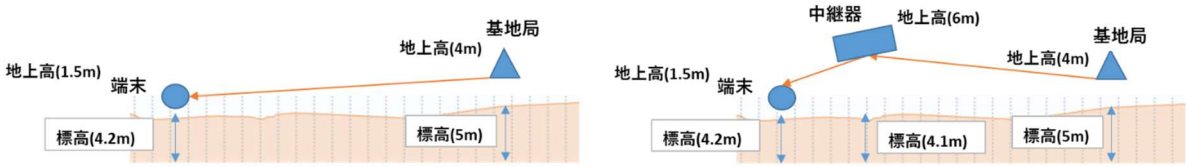


図 3.3.2-5 不感地帯 A の位置
左図（垂直面、基地局～端末間） 右図（垂直面、基地局～レピータ～端末間）

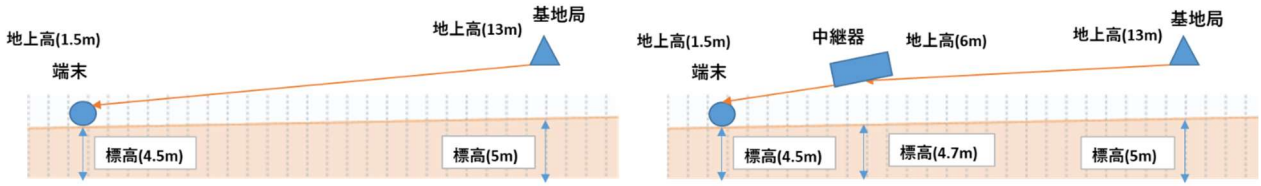


図 3.3.2-6 不感地帯 B の位置
左図（垂直面、基地局～端末間） 右図（垂直面、基地局～レピータ～端末間）

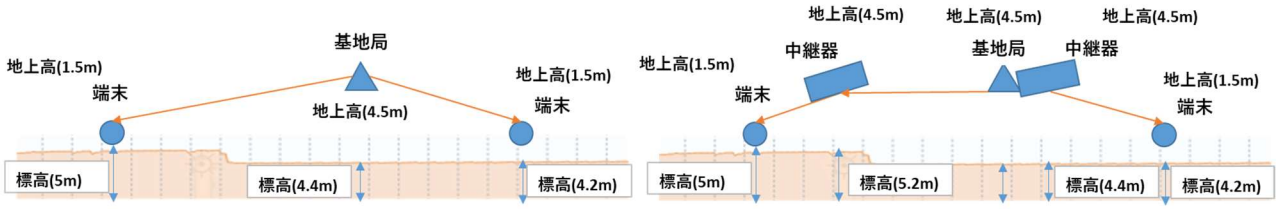


図 3.3.2-7 不感地帯 C,D の位置
左図（垂直面、基地局～端末間） 右図（垂直面、基地局～レピータ～端末間）

【②:リンクバジェットの確認】

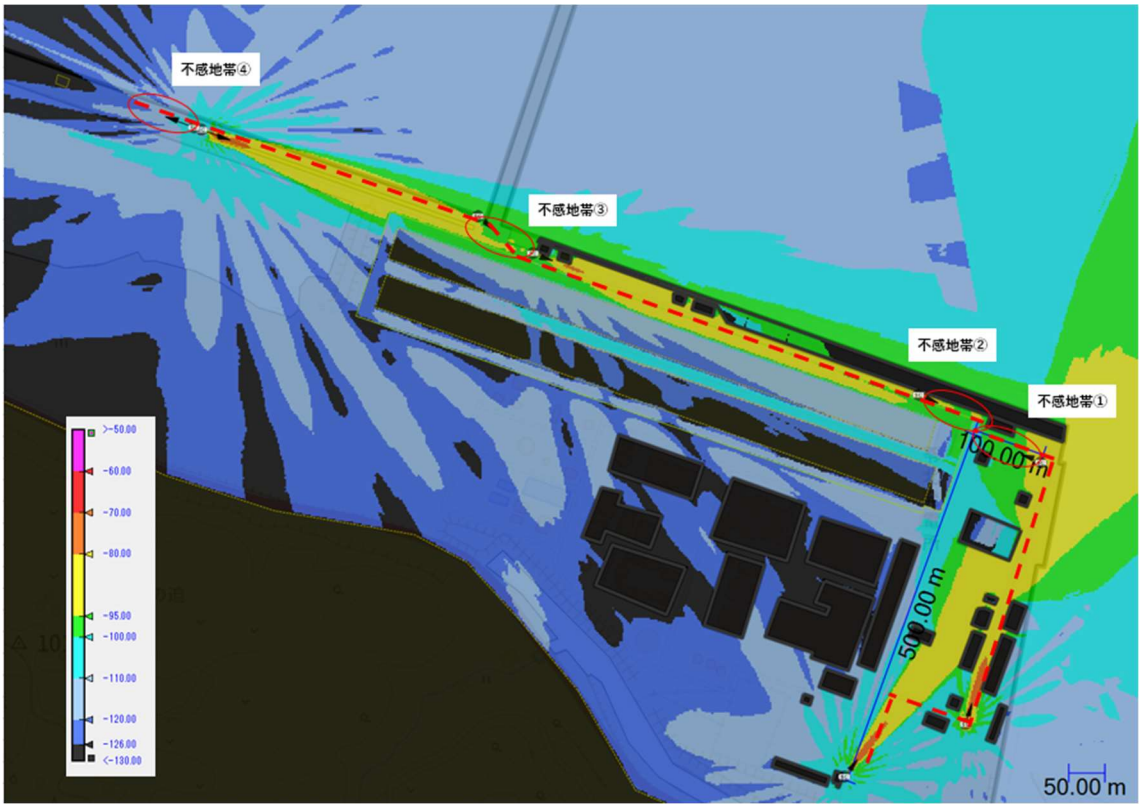
遮蔽物等による不感地帯を検証するため、実証環境における遮蔽物を 3D ポリゴンで再現し、レイトレース法を用いたシミュレーションを行った。計算では iBwave 社の iBwave DesiGn を使用した。

表 3.3.2-2 の条件を基に、図 3.3.2-8 に基地局を配置した場合のシミュレーション結果を示す。業務区域内で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 3.3.2-9 に示すように不感地帯近傍に中継器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。

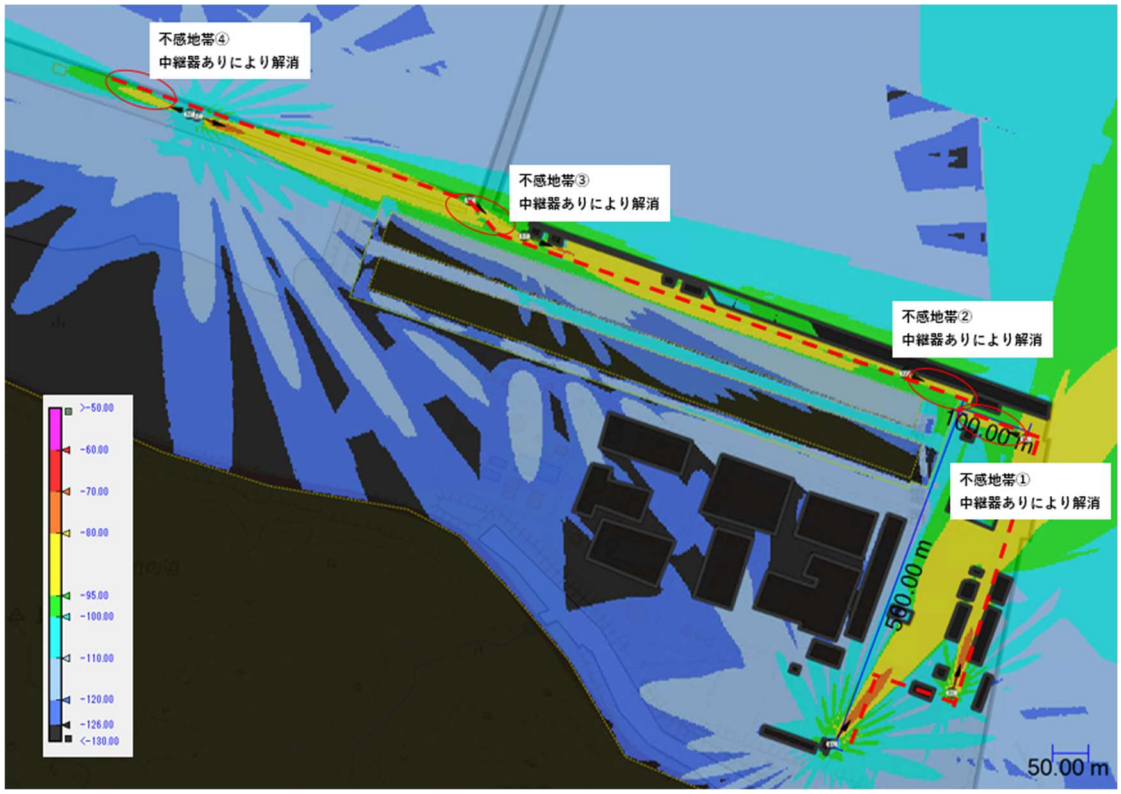
表 3.3.2-2 シミュレーションに使用したパラメータ

パラメータ	値
Pt[dBm]:送信電力	基地局:33.6 中継器:10
Gt[dBi]:送信アンテナ利得	20(最大)
Lf[dB]:基地局の給電損失	基地局:1.27/0.95/1.27 中継器:2.54
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:4m/13m/4.5m 中継器:6m/6m/4.5m
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 3.3.2-8 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 3.3.2-9 中継器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

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 3.3.2-10 に、諸元を表 3.3.2-3 に示す。本実証で選定したアンテナは、以下のアンテナと比べて、アンテナのサイドローブを軽減したことで、他者土地への電波漏洩軽減が期待できると判断し採用した。

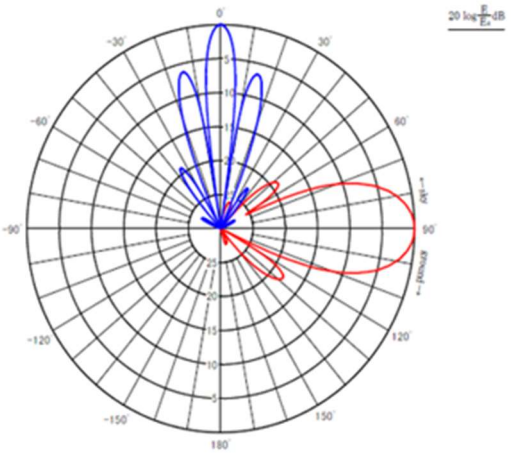


図 3.3.2-10 検討候補としたアンテナパターン

表 3.3.2-3 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
対応周波数	4400MHz～5000MHz
利得	約 19dBi
水平面内指向性	約 8°
垂直面内指向性	約 20°
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

【③:中継器のアイソレーションの確認】

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 3.3.2-11,12,13 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。以下に図 3.3.2-1 で示した各中継器におけるアイソレーションの計算値を示す。

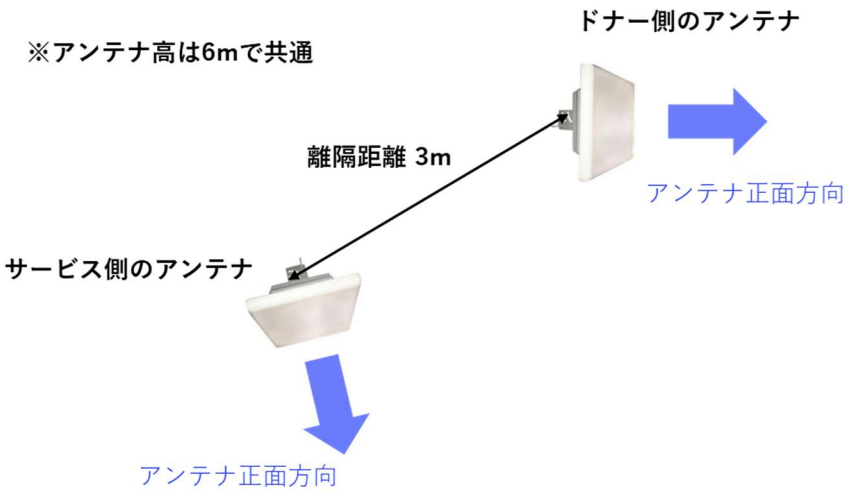


図 3.3.2-11 中継器 1 におけるアイソレーションの確認

表 3.3.2-4 中継器 1 におけるアイソレーションの設計値

項目		(入力)値	備考
周波数 (MHz)	a	4850	
ドナー側			
空中線 品種		X1225-3545FTD	カタログ値(公称値)
空中線利得 (dBi)	b1	20	
水平面指向減衰 (dB)	b2	-32.52	
垂直面指向減衰 (dB)	b3	0	
総合利得 (dB)	b	-12.52	b=b1+b2+b3
給電線損失 (dB)	c	-1.76	損失a = -a
RFレピーター			
品種			
レピーターゲイン(dB)	d	60	
サービス側			
空中線 品種		X1225-3545FTD	
空中線利得 (dBi)	e1	20	
水平面指向減衰(dB)	e2	-32.22	
垂直面指向減衰(dB)	e3	0	
総合利得(dB)	e	-12.22	e=e1+e2+e3
給電線損失	f	-1.76	損失a = -a
離隔距離 (m)	g1	3	直線距離
伝搬損失 (dB)	g2	55.7	自由空間損失 g2 = 20 x log(4 x PI x g1/λ) (λ = 3 x 10^8 /(a x 10^6))
アンテナアイソレーション (dB)	h	84.0	h =g2 - (b + e) - (c + f)
アイソレーション マージン (dB)	i	20	
判定		OK	OK判定: h ≧ d + i

※中継器２：アンテナ高は6mで共通
※中継器３：アンテナ高は4.5mで共通

図 3.3.2-12 中継器２および３におけるアイソレーションの確認

表 3.3.2-5 中継器２および３におけるアイソレーションの設計値

項目		(入力)値	備考
周波数 (MHz)	a	4850	
ドナー側			
空中線 品種		X1225-3545FTD	カタログ値(公称値)
空中線利得 (dBi)	b1	20	
水平面指向減衰 (dB)	b2	0	
垂直面指向減衰 (dB)	b3	-38.85	
総合利得 (dB)	b	-18.85	b=b1+b2+b3
給電線損失 (dB)	c	-1.76	損失a = -a
RFレピーター			
品種			
レピーターゲイン(dB)	d	60	
サービス側			
空中線 品種		X1225-3545FTD	
空中線利得 (dBi)	e1	20	
水平面指向減衰(dB)	e2	0	
垂直面指向減衰(dB)	e3	-38.85	
総合利得(dB)	e	-18.85	e=e1+e2+e3
給電線損失	f	-1.76	損失a = -a
離隔距離 (m)	g1	3	直線距離
伝搬損失 (dB)	g2	55.7	自由空間損失 g2 = 20 x log(4 x PI x g1/λ) (λ = 3 x 10^8 /(a x 10^6))
アンテナアイソレーション (dB)	h	96.9	h =g2 - (b + e) - (c + f)
アイソレーション マージン (dB)	i	20	
判定		OK	OK判定: h ≧ d + i

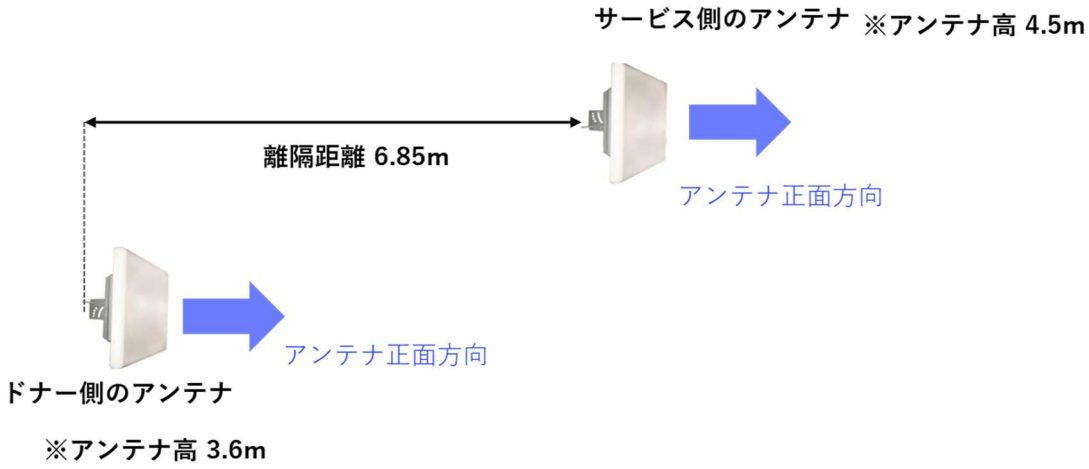


図 3.3.2-13 中継器 4 におけるアイソレーションの確認

表 3.3.2-6 中継器 4 におけるアイソレーションの設計値

項目		(入力)値	備考
周波数 (MHz)	a	4850	
ドナー側			
空中線 品種		X1225-3545FTD	カタログ値(公称値)
空中線利得 (dBi)	b1	20	
水平面指向減衰 (dB)	b2	-23.31	
垂直面指向減衰 (dB)	b3	0	
総合利得 (dB)	b	-3.31	b=b1+b2+b3
給電線損失 (dB)	c	-1.76	損失a = -a
RFレピーター			
品種			
レピーターゲイン(dB)	d	60	
サービス側			
空中線 品種		X1225-3545FTD	
空中線利得 (dBi)	e1	20	
水平面指向減衰(dB)	e2	-44.81	
垂直面指向減衰(dB)	e3	0	
総合利得(dB)	e	-24.81	e=e1+e2+e3
給電線損失	f	-1.76	損失a = -a
離隔距離 (m)	g1	6.85	直線距離
伝搬損失 (dB)	g2	62.9	自由空間損失 g2 = 20 x log(4 x PI x g1/λ) (λ = 3 x 10^8 /(a x 10^6))
アンテナアイソレーション (dB)	h	94.5	h =g2 - (b + e) - (c + f)
アイソレーション マージン (dB)	i	20	
判定		OK	OK判定: h ≧ d + i

（3） 評価・検証項目

構築した実証環境において、次の検証を行った。

- 中継器が有る場合とない場合の受信電力距離特性、スループットの比較
- 中継器が有る場合とない場合の干渉調整区域の比較
- 中継器が有る場合とない場合の各業務区域で一定の受信電力が確保できる面積率の比較

これらにより、中継器による改善度合いを導出し、中継器の効果的な設置手法（エリア構築法）を提案する。

＜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 および伝送性能（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。測定点はGPS 測定器にて緯度経度の測定を行った。

なお、事前に国土地理院等の地図で緯度経度および海抜高の確認を行い、GPS 測定器で測定した緯度経度と、事前に国土地理院等の地図で確認した緯度経度に水平／垂直の距離における誤差が数 10m 以上ある場合は再度測定点の位置をGPS 測定器で確認し、測定点位置の誤差軽減を目指す。

・提案手法実施前後について、ある一方向だけではなく、現地の環境・状況等を踏まえ、45 度方向毎ごとの８方向でのエリア算出法に定めるカバーエリアおよ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。

・業務区域内（特に不感地帯、弱電界地帯を含む）での SS-RSRP、スループット特性を測定した。

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。

・中継器の諸元

・中継器設置場所の諸元

・中継器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する。

・分析を踏まえ、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等）等）をモデル化する。

・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する。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する。

・測定手法の実施容易性やコストをその他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する。

(4) 評価・検証方法

<エリア設計>

課題実証に合わせて充分なサービスエリアが確保できるように基地局の置局設計を行い、弱電界地帯となりそうなエリアに中継器を配置し、検証を実施した。

ユースケースに必要な電界強度を確保しつつ、他者土地への電波漏洩を軽減するために必要なアンテナ特性を検証するため、シミュレーションを行った。実証結果によっては、基地局アンテナおよび移動局のアンテナのビーム幅および利得を複数パターンで考察する。

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

提案手法である中継器を使用した場合、また単一の基地局を使用した場合で弱電界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。

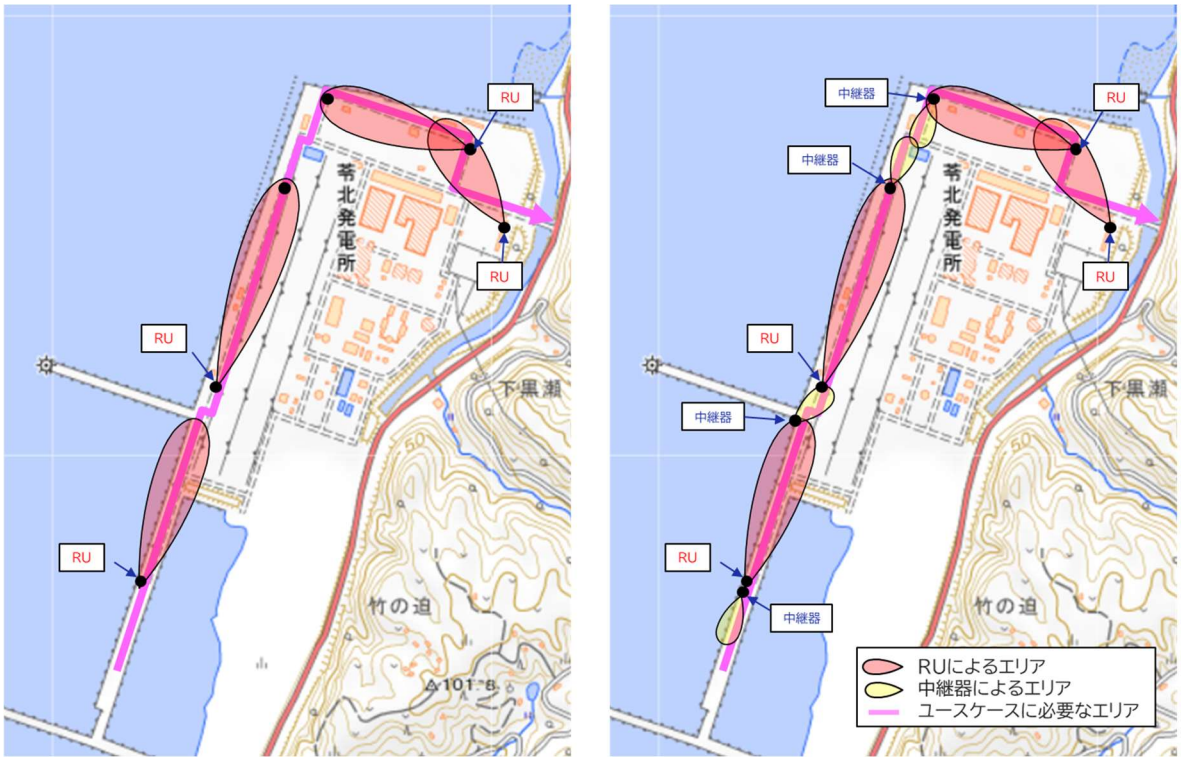
<測定>

実証環境で示した環境にて下記を測定した。

・ユースケースに応じた基地局アンテナ高さ（4m,13m,4.5m）と移動局アンテナ高さ（1.5m）での測定を行った。

・中継器を使用した場合の 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 等の特性を測定することで、中継器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。エリア拡大前後のエリア図を図 3.3.2-14 に示す。

なお、エリア端を測定する際に海上測定が必要となるため、海上測定を実施した。



(1)エリア拡大前　　(2)エリア拡大後

図 3.3.2-14 エリア拡大前後のエリア図【出典:国土地理院 地理院地図】

具体的な測定方法を下記に示す。

・受信電力値(SS-RSRP)

アンリツ(株)製エリアテスタ 型式ML8780A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、5cm(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。

なお、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報告する。本システムでは RSRP に 35.2dB を加算することで 100M 帯域受信電力として報告する。(例.RSRP=-100dBm の場合、100MHz 帯域受信電力(RSSI)=-64.8dBm)

・SINR

受信電力値(SS-RSRP)と同様にアンリツ(株)製エリアテスタ 型式 ML8780A を用いてSINR を測定した。

・伝送スループット

端末に接続したパソコンの測定アプリを使用し測定を行った。UL の測定では端末側 PC 内の測定アプリ(iperf)で送信を行い、基地側 PC 側 PC 内の測定アプリ(iperf)で受信した測定データを得た。DL の測定では基地側PC 内の測定アプリ(iperf)で送信を行い、端末側PC 内の測定アプリ(iperf)で受信した測定データを得た。いずれも 57Mbps のデータ送信を 30 秒間行い、測定データを得た。

・伝送遅延

端末に接続したパソコンの測定アプリを使用し測定を行った。

測定方法は以下の手順で行った。

端末側 PC(PC1)から上位側 PC へ pinGを送信した。

この時、NW-SW(ネットワークスイッチ)のポートミラーリング機能(NW-SW で送受するパケットのコピーを特定の物理ポートへ転送する機能)を使用し、キャプチャ用 PC(PC2)で pinGコマンドのパケットキャプチャを実施した。

キャプチャを行うpinGコマンドはPC1から上位側PCへ向かうリクエストパケット(icmp echo request)と、上位側 PC から PC1 へ向かう応答パケット(icmp echo reply)パケットの 2 種類とした。

また、上位側 PC においてもリクエストパケットと応答パケットのキャプチャを行った。

PC1 におけるリクエストパケットから応答パケットまでの所要時間(遅延時間 A)と PC2 におけるリクエストパケットから応答パケットまでの所要時間(遅延時間 B)を各パケットの受信時刻から導出した。

遅延時間 A から遅延時間 B を減算した時間を無線区間の遅延時間として導出した。

具体的な測定方法を図 3.3.2-15,16,17,18 に示す。

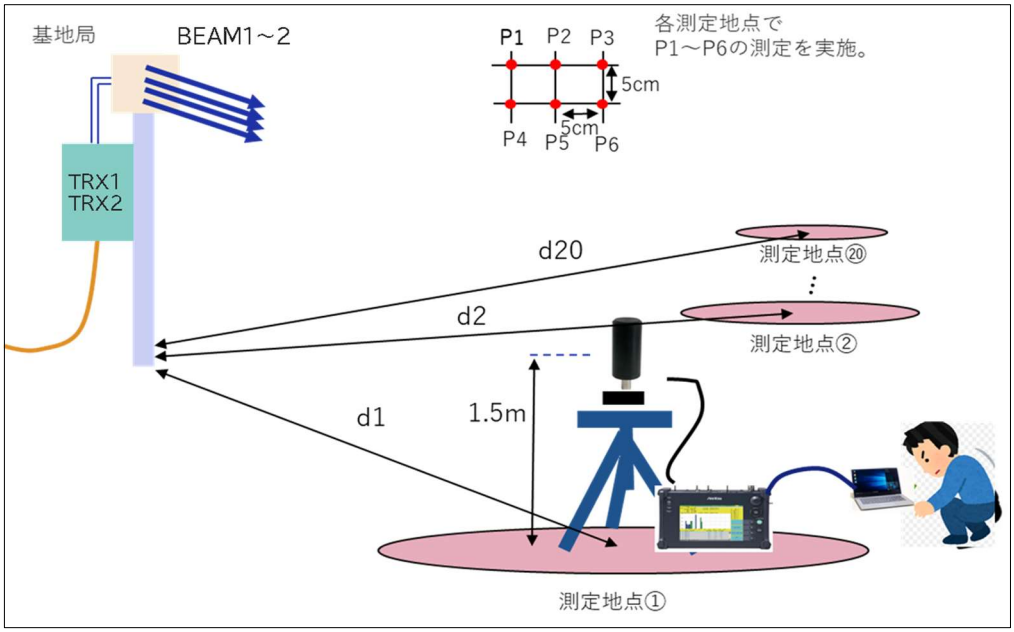


図 3.3.2-15 受信電力(RSRP)測定方法

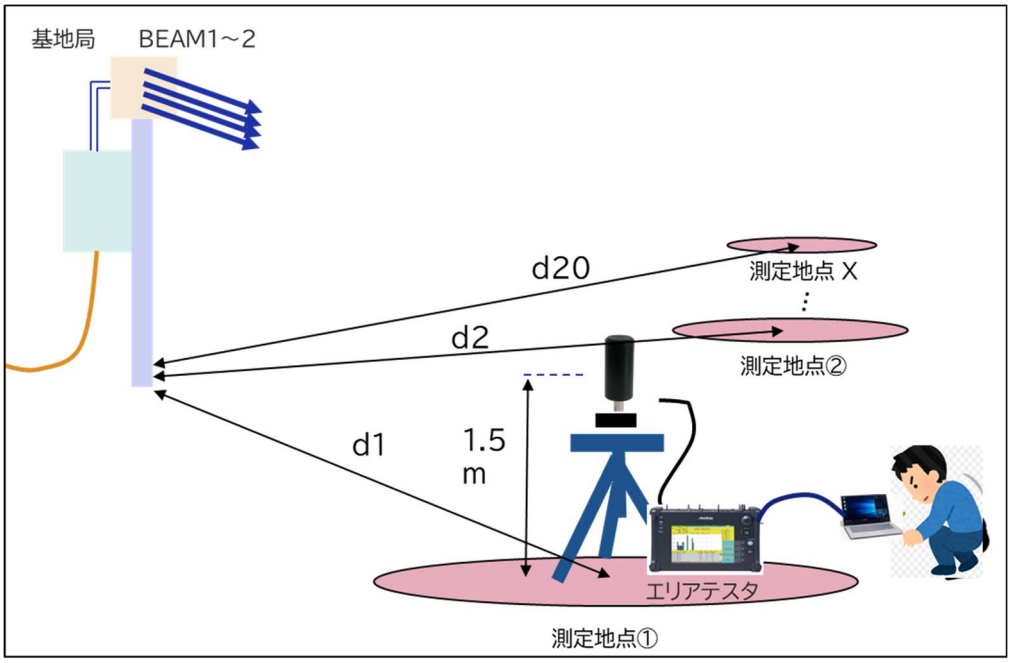


図 3.3.2-16 SINR 測定方法

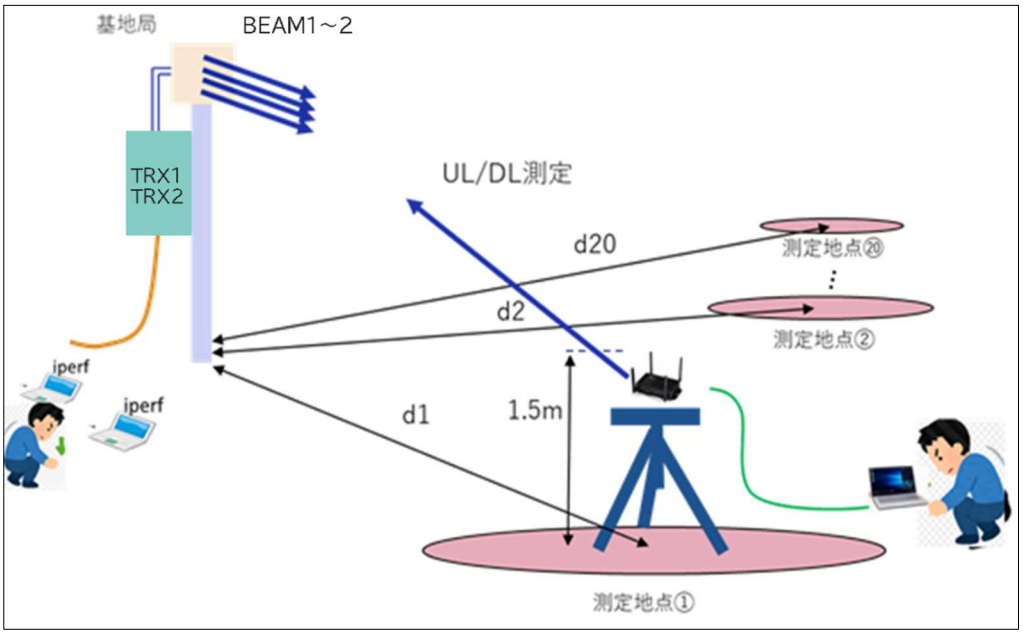


図 3.3.2-17 スループットおよび遅延時間測定方法

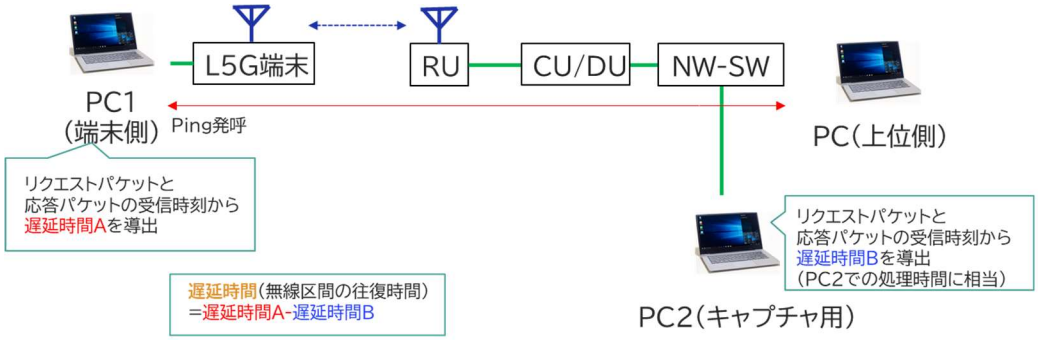


図 3.3.2-18 遅延時間測定箇所

また、使用機器を表 3.3.2-7 に示す。

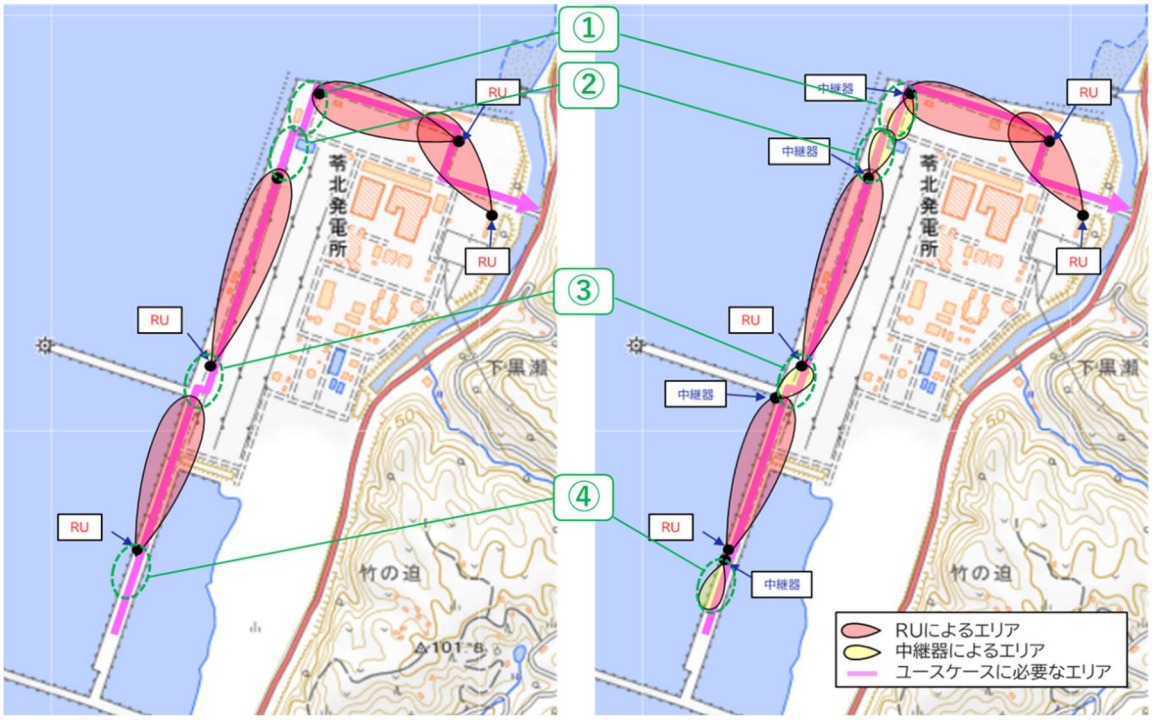
表 3.3.2-7 使用機器

機器名	メーカ	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 およびアンテナ台座	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 RAKU+	Compal (台湾)	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) 実証結果および考察

(1) 中継器によるエリア拡大前後の測定地点の図

下図 3.3.2-19 に示す 4 か所にて中継器が有る場合とない場合の RSRP、SINR、スループット、遅延時間測定を実施した。



(1)エリア拡大前　　(2)エリア拡大後

図 3.3.2-19 エリア拡大前後のエリア図【出典:国土地理院 地理院地図】

上記図 3.3.2-19 内の各測定箇所(①～④)における測定地点を図 3.3.2-20,21,22 に示す。

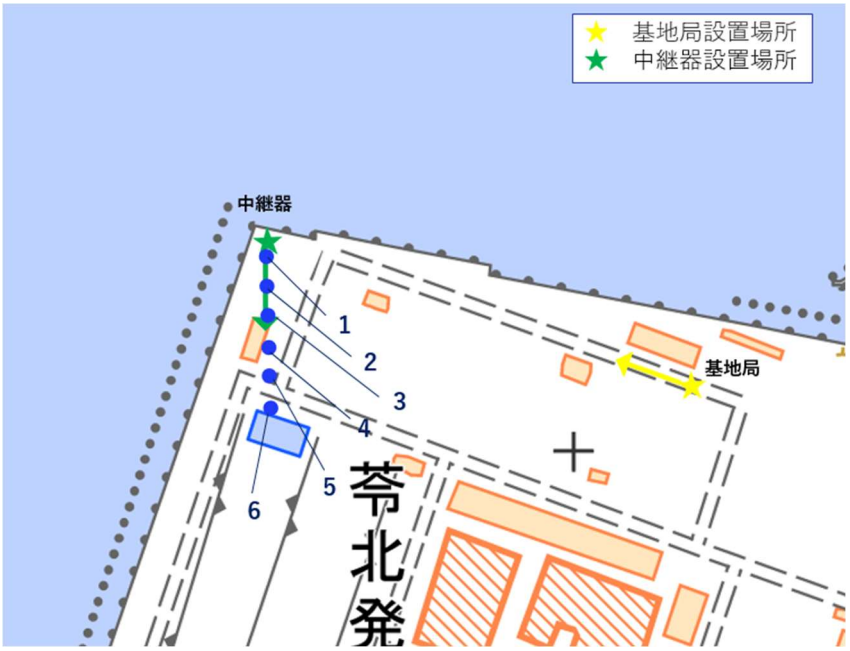


図 3.3.2-20 ①における測定地点【出典:国土地理院 地理院地図】

図 3.3.2-21 ②における測定地点【出典:国土地理院 地理院地図】

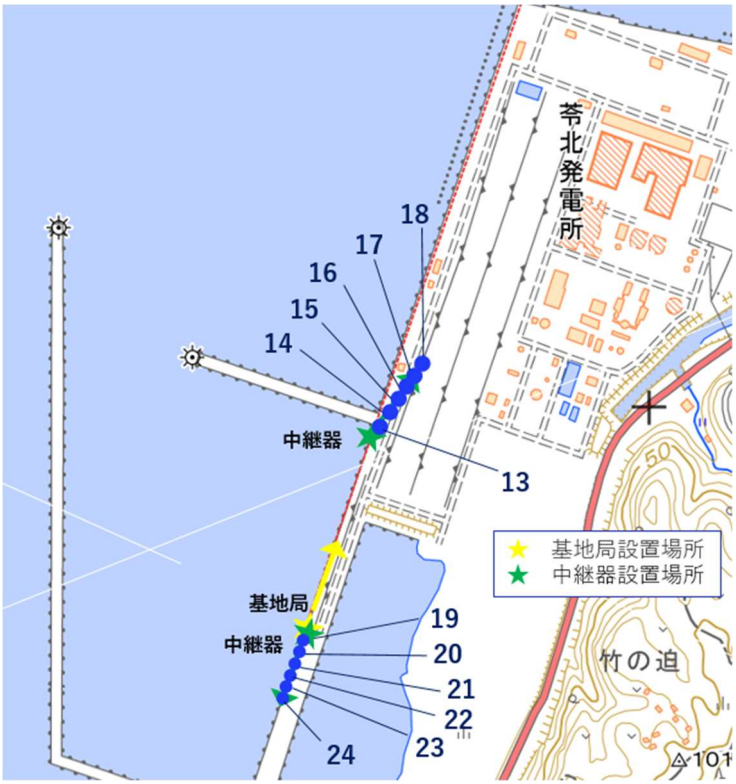


図 3.3.2-22 ③④における測定地点【出典:国土地理院 地理院地図】

各中継器の実証目的を下記に示す。

中継器①：アンテナの指向方向から外れる不感地帯を中継器によってカバーし、道路に沿って柔軟にエリアを構築する。

中継器②：長距離の道路における弱電界エリアに中継器を用いてエリアを拡張する。

中継器③：周囲に建造物のあるエリアに中継器を用いて不感地帯をエリア化する。

中継器④：指向性アンテナの後方に中継器を用いてエリアを拡張する。

以下に上記①～④毎に各測定点から基地局までの距離および見通し状況、測定結果を示し有効性、課題を考察する。

【(2)-①】

表 3.3.2-8 ①における各測定点から基地局までの距離および見通し状況

測定点	基地局との距離[m]	中継器との距離[m]	測定点標高[m]	基地局との見通し有無	中継器との見通し有無
1	360	10	4.2	○	○
2	350	20	4.2	○	○
3	345	30	4.2	○	×
4	340	40	4.1	×	○
5	335	60	4.1	×	○
6	330	80	4.4	×	○

また、測定点から中継器までの見通し状況を図 3.3.2-23 に示す。

(1)見通しの測定地点(測定点 2)

(2)非見通しの測定地点(測定点 3)

図 3.3.2-23 測定点から中継器までの見通し状況

測定点 1～6 の測定結果概要を表 3.3.2-9 に、SINR、スループット(DL/UL)および遅延時間の測定結果を表 3.3.2-10 に示す。また、中継器設置前後における RSRP の測定結果の比較を図 3.3.2-24 に、SINR の測定結果の比較を図 3.3.2-25 に、スループット UL/DL の測定結果の比較を図 3.3.2-26 および図 3.3.2-27 に、遅延時間の測定結果の比較を図 3.3.2-28 に示す。

なお、各測定点では複数サンプルの結果を取得しているため代表値としては中央値を採用している。

表 3.3.2-9 ①における RSRP の測定結果

測定点	中継器設置前測定結果[dBm]	中継器設置後測定結果[dBm]	中継器での入射波の受信電力[dBm]	中継器での出射波の送信電力[dBm]	中継器利得[dB]
1	-83.9	-81.0	-55.4	-15.4	40.0
2	-98.9	-80.2	-55.4	-15.4	40.0
3	-106.5	-88.4	-55.4	-15.4	40.0
4	-101.5	-88.0	-55.4	-15.4	40.0
5	-107.5	-92.9	-55.4	-15.4	40.0
6	-112.5	-91.3	-55.4	-15.4	40.0

表 3.3.2-10 ①における SINR、スループット、遅延時間の測定結果

測定点	中継器設置前SINR測定結果[dB]	中継器設置後SINR測定結果[dB]	中継器設置前UL スループット[Mbps]	中継器設置後UL スループット[Mbps]	中継器設置前DL スループット[Mbps]	中継器設置後DL スループット[Mbps]	中継器設置前遅延時間[msec]	中継器設置後遅延時間[msec]
1	20.9	21.3	57.0	57.2	56.9	57.0	10.3	10.6
2	16.0	21.6	54.1	56.8	57.0	57.1	13.0	11.3
3	10.8	20.8	3.9	57.0	56.7	57.0	11.7	10.8
4	14.4	20.6	10.0	56.9	57.0	57.0	12.4	11.2
5	10.0	20.2	7.1	56.9	57.1	57.0	14.6	9.9
6	4.4	20.1	3.8	56.9	47.8	57.1	11.4	10.3

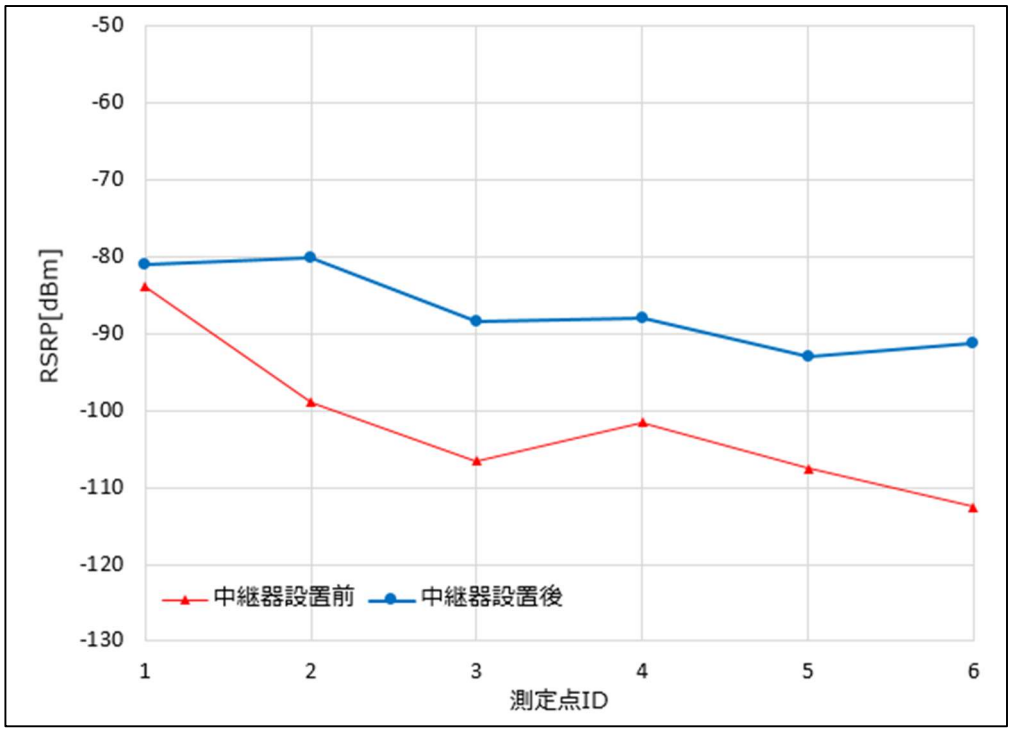


図 3.3.2-24 中継器設置前後における RSRP の比較

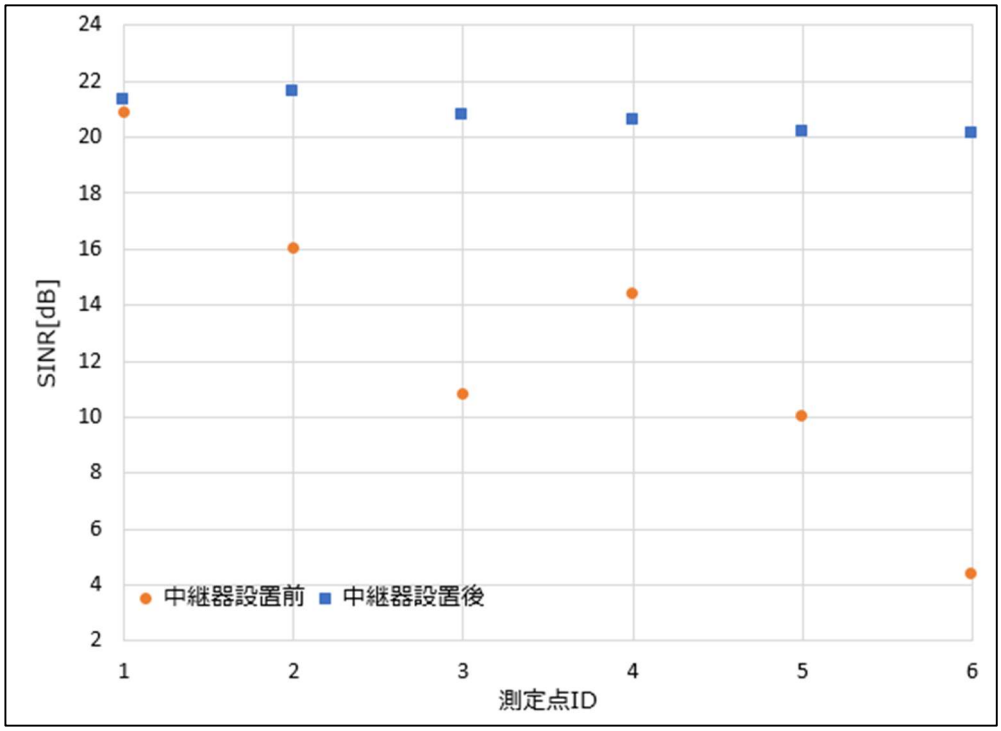


図 3.3.2-25 中継器設置前後における SINR の比較

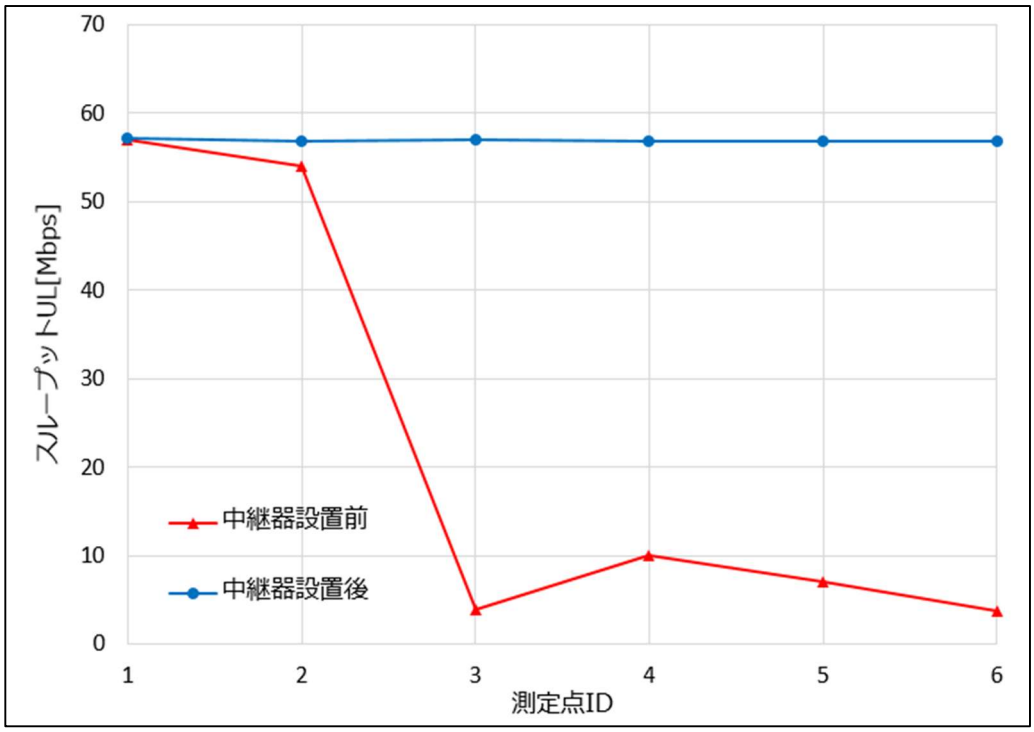


図 3.3.2-26 中継器設置前後におけるスループット UL の比較

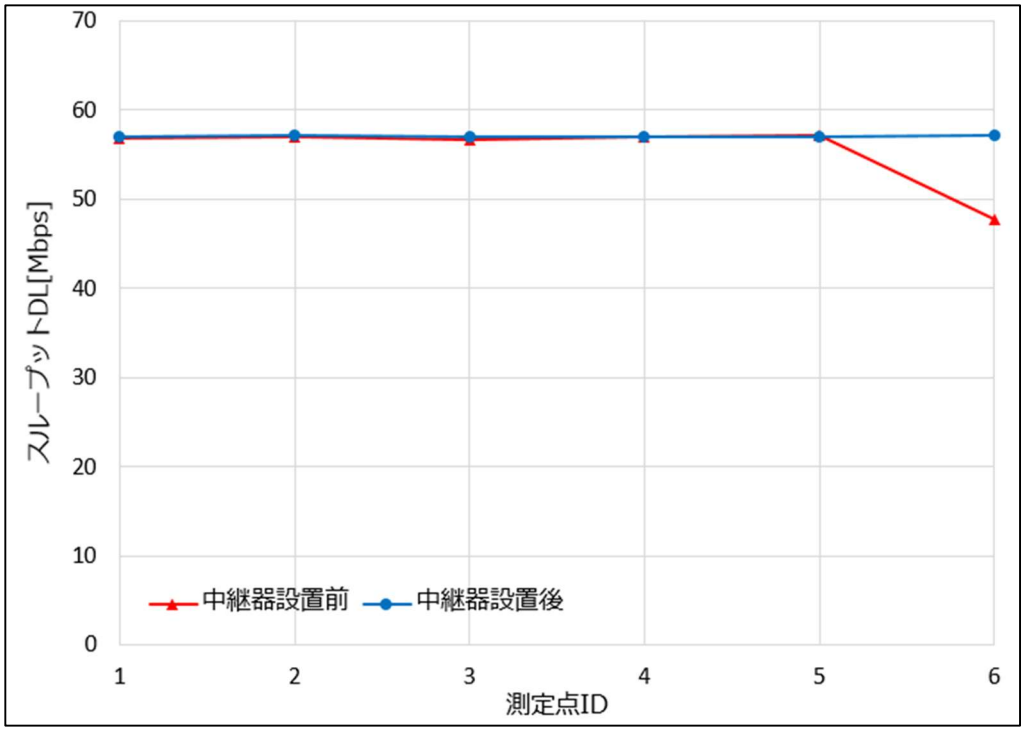


図 3.3.2-27 中継器設置前後におけるスループット DL の比較

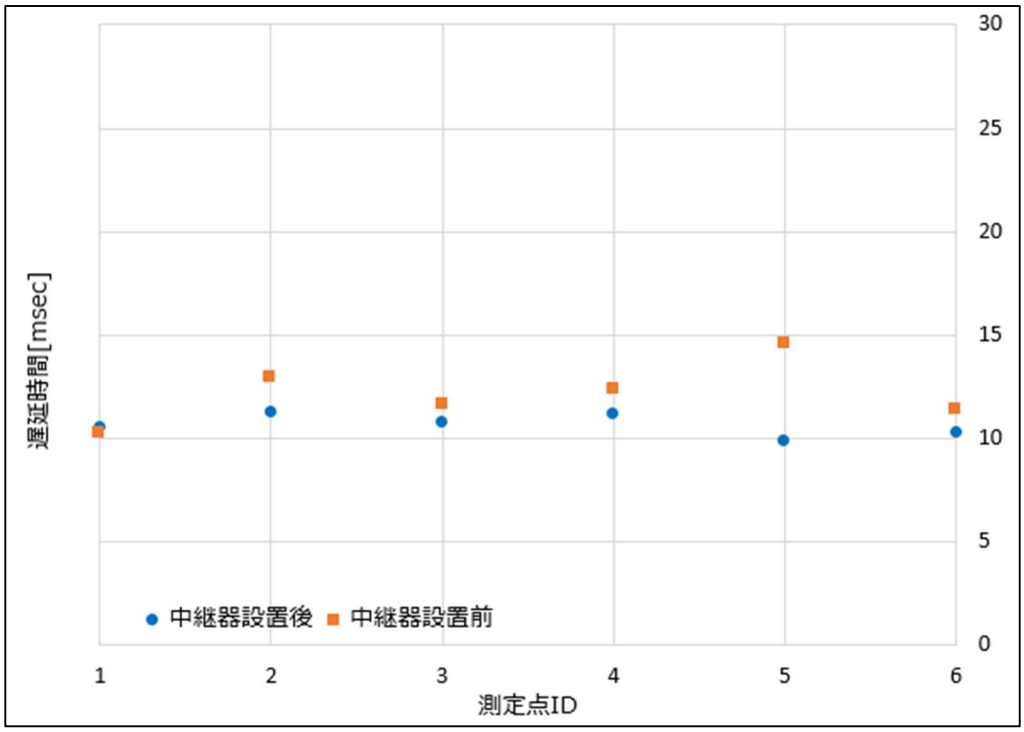


図 3.3.2-28 中継器設置前後における遅延時間の比較

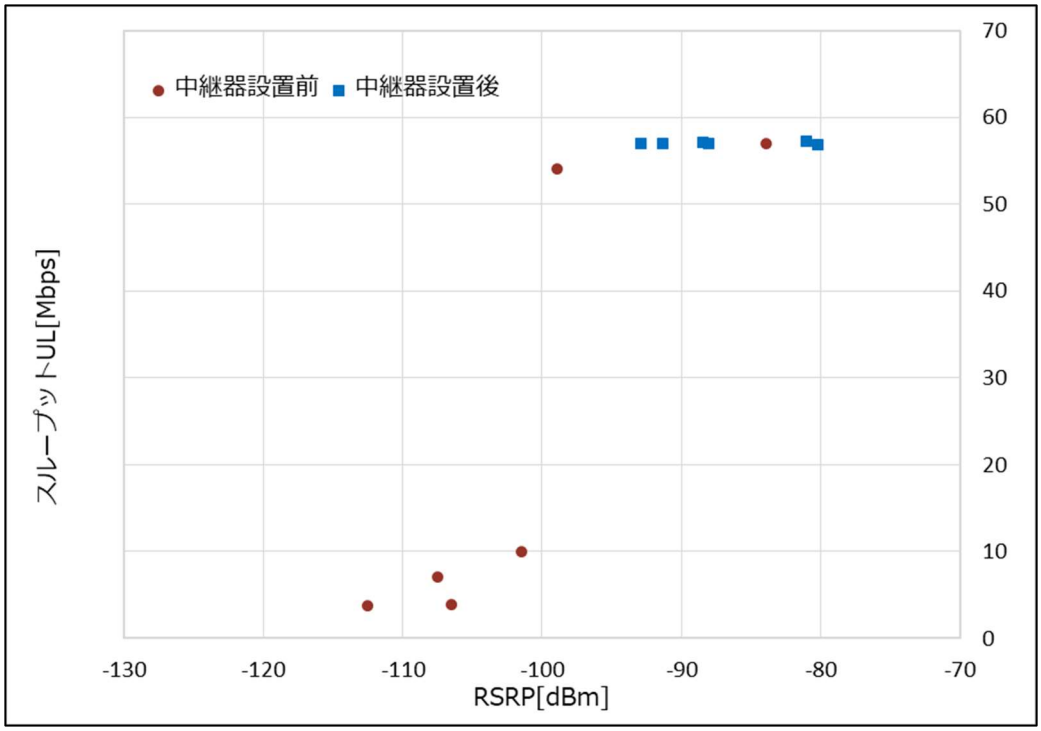


図 3.3.2-29 中継器設置前後における RSRP とスループット UL の比較

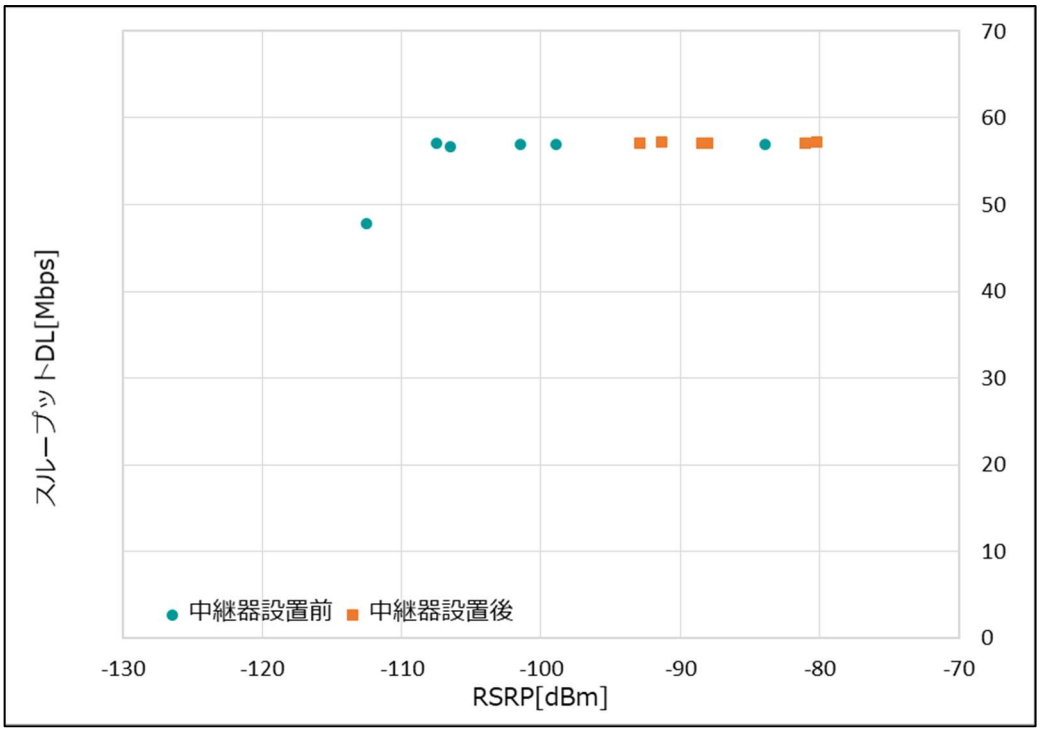


図 3.3.2-30 中継器設置前後における RSRP とスループット DL の比較

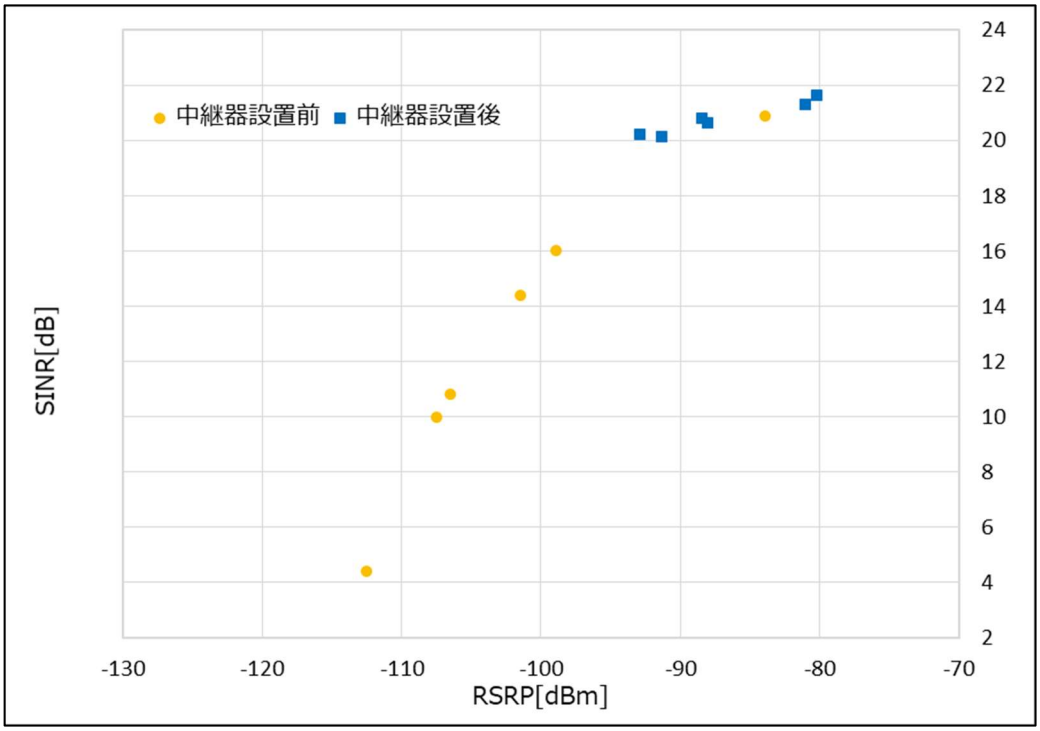


図 3.3.2-31 中継器設置前後における RSRP と SINR の比較

中継器設置前後における RSRP の比較から中継器設置前では測定点 2 以降で不感地帯であることが確認でき、中継器設置後には全ての測定点において不感地帯が解消されたことが確認できた。

また、スループット UL においては、中継器設置前後におけるスループット UL の比較から測定点 3 以降でスループットの劣化が確認できたが、中継器設置後にはユースケースに必要な無線性能目標値である 57Mbps を確保できていることが確認できた。スループット DL においては中継器設置前後で顕著な差はないが、目標値である 1Mbps は達成できていると結果となった。

SINR および遅延時間についても中継器設置前よりも設置の結果の方が全体的に改善されていることが確認できた。

RSRP とスループット UL 比較結果からは RSRP-95dBm 以下のエリアでスループットが落ち込むことが確認でき、RSRP とスループット DL 比較結果からは RSRP-110dB 以下のエリアでスループット落ち込んでいることが確認できた。

この結果からスループット UL は-95dB を境に性能が劣化し、スループット DL は-110dB を境に性能が劣化すると考えられる。

以上の結果からアンテナの指向方向から外れる不感地帯のエリア化という実証の目的に対して、不感地帯の解消に中継器は十分に有効であると言える。

【(2)-②】

表 3.3.2-11 ②における各測定点から基地局までの距離および見通し状況

測定点	基地局との距離[m]	中継器との距離[m]	標高[m]	基地局との見通し有無	中継器との見通し有無
7	510	10	4.5	×	○
8	520	20	4.5	×	○
9	540	40	4.5	×	×
10	560	60	4.5	×	×
11	580	80	4.5	×	×
12	600	100	4.5	×	○

また、測定点から中継器までの見通し状況を図 3.3.2-32 に示す。

(1)見通しの測定地点(測定点 8)

(2)非見通しの測定地点(測定点 9)

図 3.3.2-32 測定点から中継器までの見通し状況

測定点 7～12 の測定結果概要を表 3.3.2-12 に、SINR、スループット(DL/UL)および遅延時間の測定結果を表 3.3.2-13 に示す。また、中継器設置前後における RSRP の測定結果の比較を図 3.3.2-33 に、SINR の測定結果の比較を図 3.3.2-34 に、スループット UL/DL の測定結果の比較を図 3.3.2-35 および図 3.3.2-36 に、遅延時間の測定結果の比較を図 3.3.2-37 に示す。

なお、各測定点では複数サンプルの結果を取得しているため代表値としては中央値を採用している。

表 3.3.2-12 ②における RSRP の測定結果

測定点	中継器設置前測定結果[dBm]	中継器設置後測定結果[dBm]	中継器での入射波の受信電力[dBm]	中継器での出射波の送信電力[dBm]	中継器利得[dB]
7	-102.2	-101.2	-63.4	-19.4	44.0
8	-97.7	-96.7	-63.4	-19.4	44.0
9	-95.2	-94.6	-63.4	-19.4	44.0
10	-101.9	-102.1	-63.4	-19.4	44.0
11	-101.5	-100.6	-63.4	-19.4	44.0
12	-100.5	-91.6	-63.4	-19.4	44.0

表 3.3.2-13 ②における SINR、スループット、遅延時間の測定結果

測定点	中継器設置前SINR測定結果[dB]	中継器設置後SINR測定結果[dB]	中継器設置前UL スループット[Mbps]	中継器設置後UL スループット[Mbps]	中継器設置前DL スループット[Mbps]	中継器設置後DL スループット[Mbps]	中継器設置前遅延時間[msec]	中継器設置後遅延時間[msec]
7	12.3	13.1	56.8	57.2	57.0	56.9	11.2	11.1
8	14.2	13.2	57.1	57.1	56.9	56.8	11.6	11.2
9	17.9	18.1	55.4	56.9	56.9	56.9	11.7	11.2
10	14.5	14.2	53.5	57.0	56.9	57.0	11.8	10.5
11	13.9	15.5	28.6	46.4	57.0	57.0	12.0	10.7
12	15.3	19.1	57.0	47.3	56.9	57.1	11.6	11.0

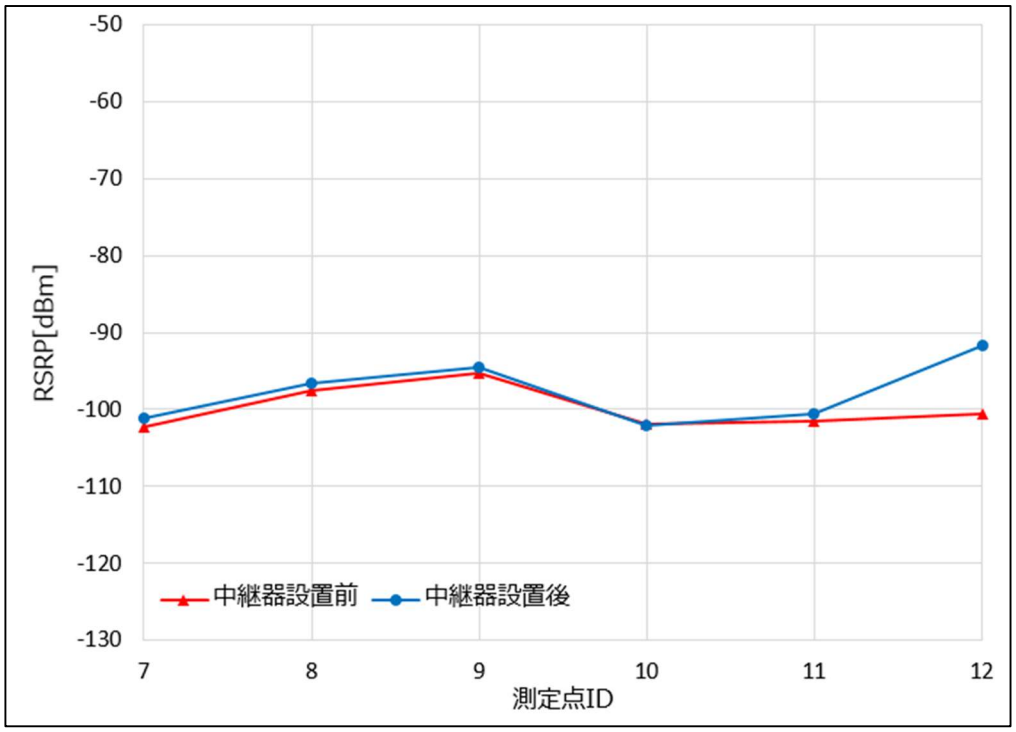


図 3.3.2-33 中継器設置前後における RSRP の比較

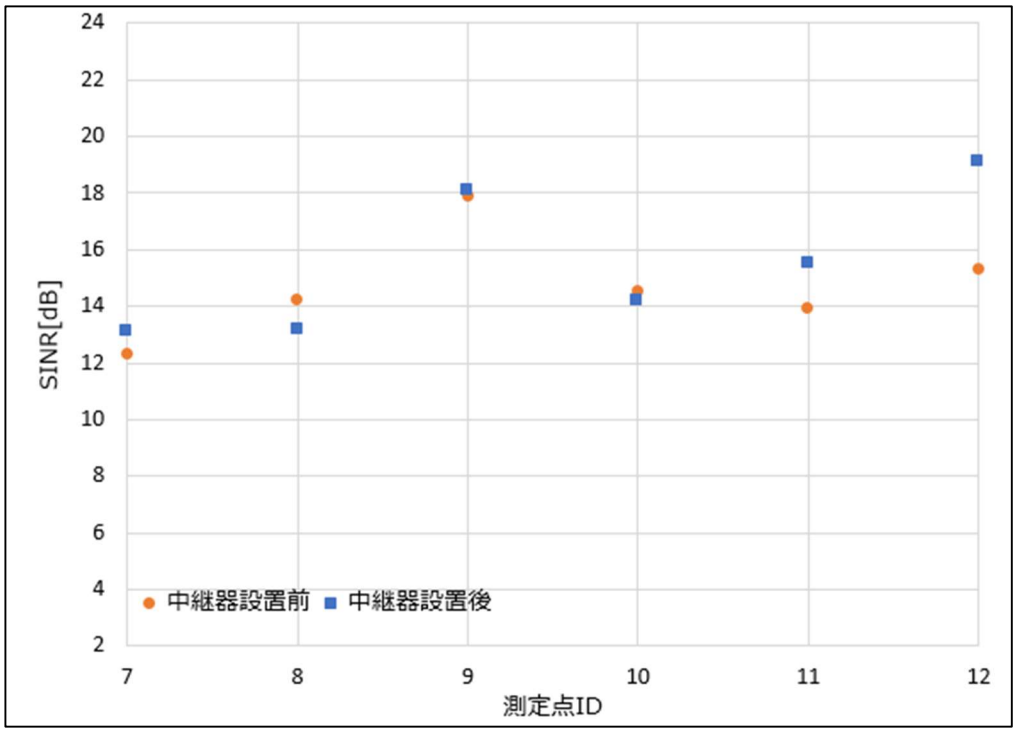


図 3.3.2-34 中継器設置前後における SINR の比較

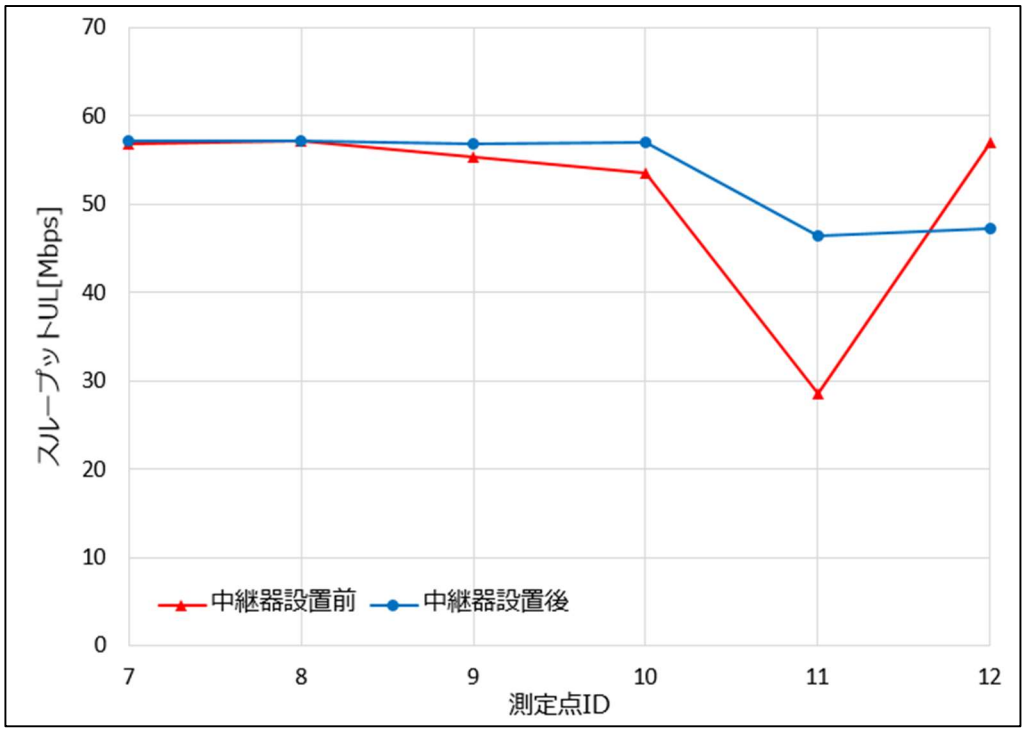


図 3.3.2-35 中継器設置前後におけるスループット UL の比較

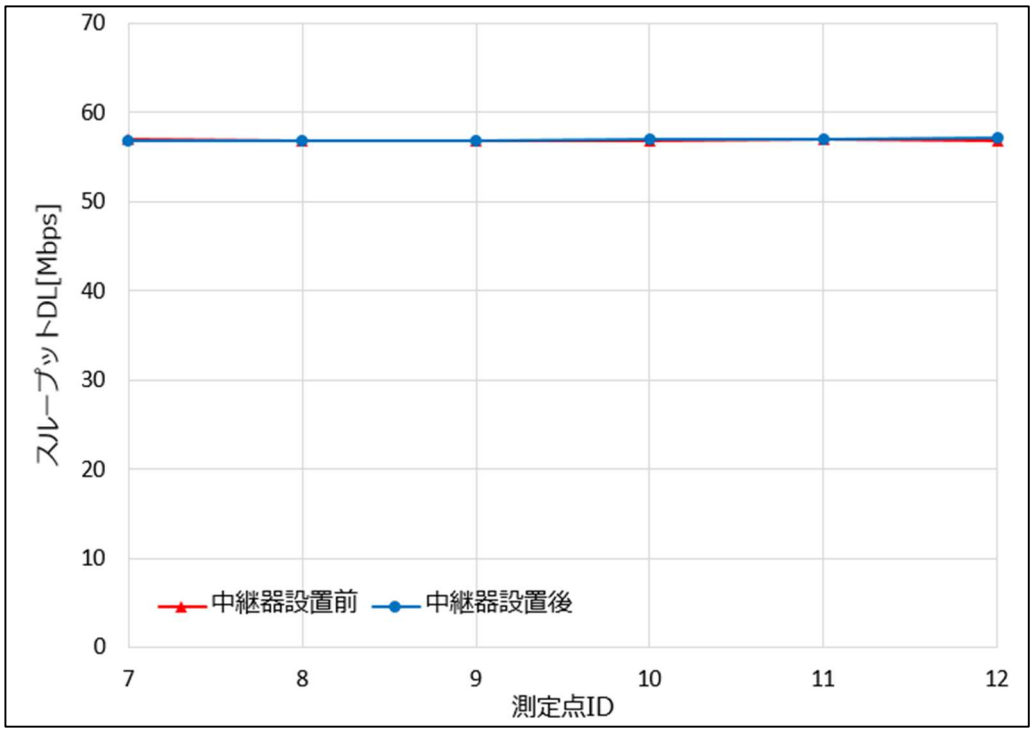


図 3.3.2-36 中継器設置前後におけるスループット DL の比較

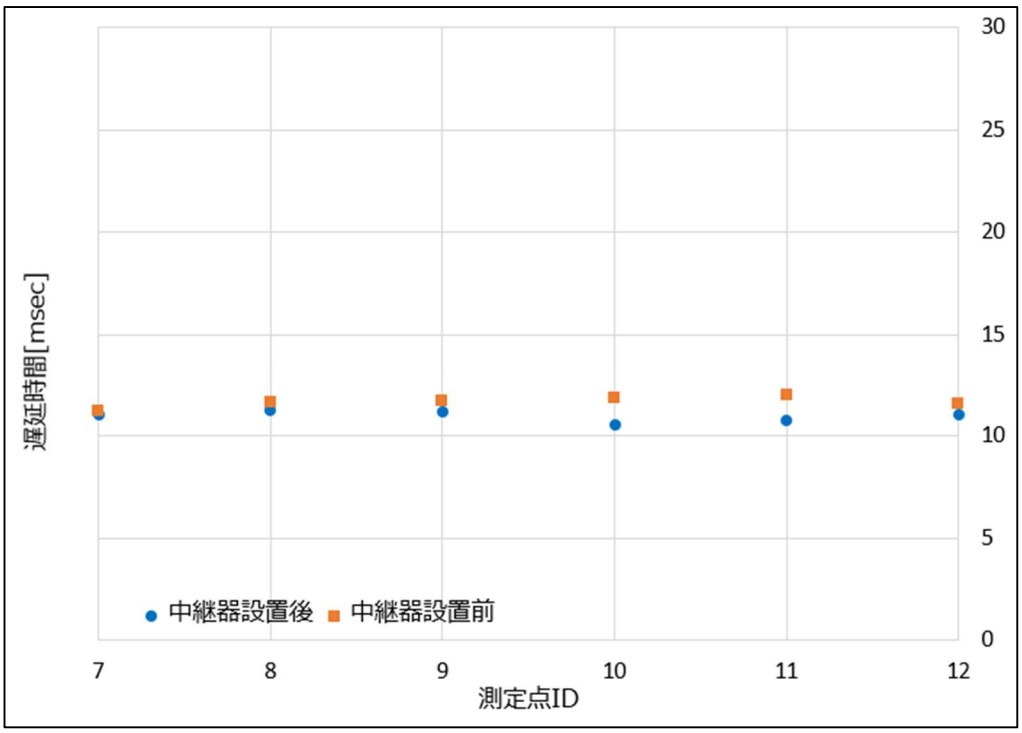


図 3.3.2-37 中継器設置前後における遅延時間の比較

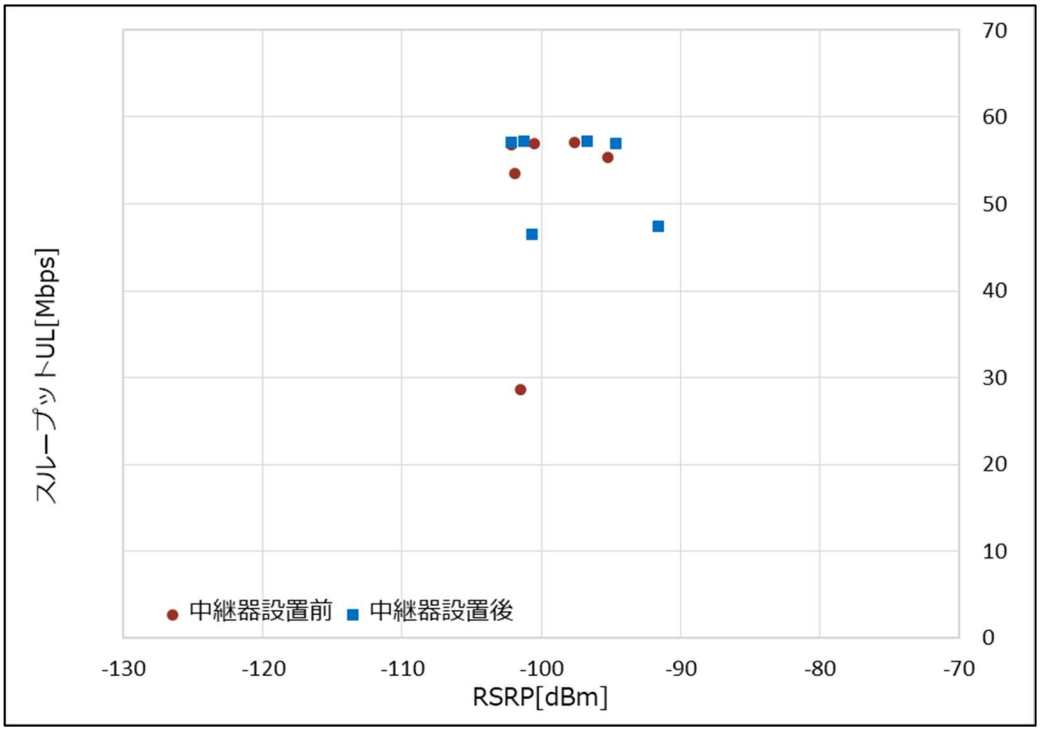


図 3.3.2-38 中継器設置前後における RSRP とスループット UL の比較

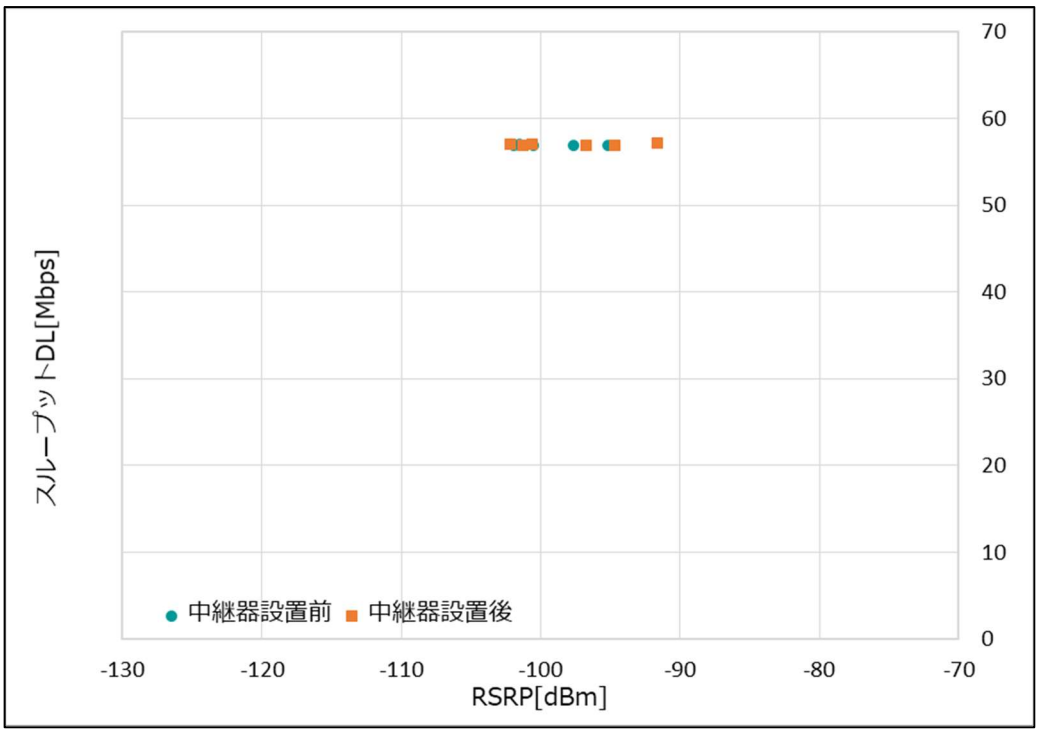


図 3.3.2-39 中継器設置前後における RSRP とスループット DL の比較

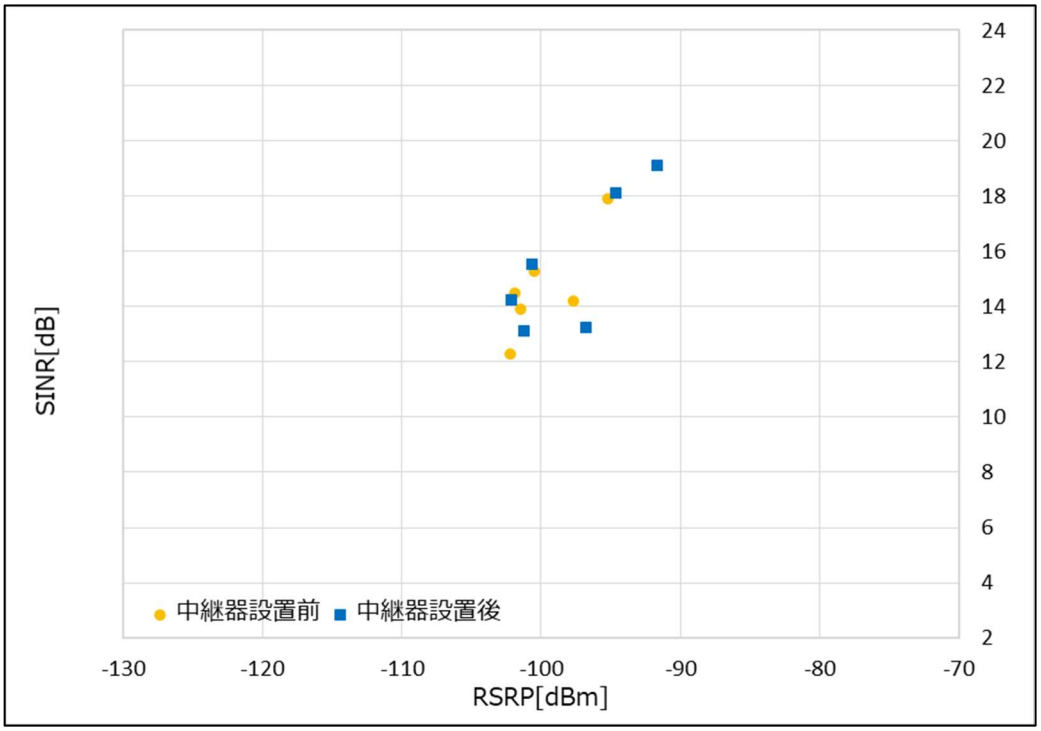


図 3.3.2-40 中継器設置前後における RSRP と SINR の比較

中継器設置前後における RSRP の比較から中継器設置前では全体的に RSRP が低く不感地帯であることが確認できる。一方、中継器設置後には測定点 9,12 においては改善されていることが確認できたが、その他の測定点では大きな改善が見られない結果となった。

原因としては伝搬経路上に図 3.3.2-40 のように樹木が存在するため遮蔽されていることが考えられる。

また、スループット UL においても大きな改善は見られなかったが、落ち込みが見られた測定点 11 では改善される結果となった。結果として測定点 7～10 までの位置ではユースケースに必要な無線性能目標値である 57Mbps を確保できているが、測定点 11,12 位置では 47Mbps 程度と満たすことができていない結果となった。スループット DL においては中継器設置前後で差は見られないが、目標値である 1Mbps は達成できていると結果となった。

SINR および遅延時間についても中継器設置後で顕著な差は確認できない結果となった。

RSRP とスループット UL 比較結果からは RSRP-100dBm 付近でのスループットが落ち込んでいることが確認できるが、RSRP とスループット DL 比較結果からはスループットの落ち込みは見られなかった。

以上の結果から長距離の道路における弱電界エリアに中継器を用いてエリアを拡張するという実証の目的に対して、中継器は効果的とは言えない結果となった。

図 3.3.2-41　樹木による遮蔽

【(2)-③】

表 3.3.2-14 ③における各測定点から基地局までの距離および見通し状況

測定点	基地局との距離[m]	中継器との距離[m]	標高[m]	基地局との見通し有無	中継器との見通し有無
13	410	10	5.2	×	○
14	420	20	5.1	×	○
15	440	40	5.1	×	○
16	460	60	5.0	×	○
17	480	80	5.0	×	×
18	500	100	5.0	×	×

また、測定点から中継器までの見通し状況を図 3.3.2-42 に示す。

(1)見通しの測定地点(測定点 16)

(2)非見通しの測定地点(測定点 18)

図 3.3.2-42 測定点から中継器までの見通し状況

測定点 13～18 の測定結果概要を表 3.3.2-15 に、SINR、スループット(DL/UL)および遅延時間の測定結果を表 3.3.2-16 に示す。また、中継器設置前後における RSRP の測定結果の比較を図 3.3.2-43 に、SINR の測定結果の比較を図 3.3.2-44 に、スループット UL/DL の測定結果の比較を図 3.3.2-45 および図 3.3.2-46 に、遅延時間の測定結果の比較を図 3.3.2-47 に示す。

なお、各測定点では複数サンプルの結果を取得しているため代表値としては中央値を採用している。

表 3.3.2-15 ③における RSRP の測定結果

測定点	中継器設置前測定結果[dBm]	中継器設置後測定結果[dBm]	中継器での入射波の受信電力[dBm]	中継器での出射波の送信電力[dBm]	中継器利得[dB]
13	-89.8	-92.2	-56.4	-17.4	40.0
14	-92.6	-92.6	-56.4	-17.4	40.0
15	-99.0	-98.6	-56.4	-17.4	40.0
16	-98.2	-96.4	-56.4	-17.4	40.0
17	-105.7	-98.3	-56.4	-17.4	40.0
18	-106.4	-101.5	-56.4	-17.4	40.0

表 3.3.2-16 ③における SINR、スループット、遅延時間の測定結果

測定点	中継器設置前SINR測定結果[dB]	中継器設置後SINR測定結果[dB]	中継器設置前UL スループット[Mbps]	中継器設置後UL スループット[Mbps]	中継器設置前DL スループット[Mbps]	中継器設置後DL スループット[Mbps]	中継器設置前遅延時間[msec]	中継器設置後遅延時間[msec]
13	17.9	15.4	57.1	56.7	56.9	57.2	11.3	11.2
14	17.3	16.6	57.1	56.8	57.0	56.9	10.9	10.6
15	14.9	14.3	33.8	56.9	57.0	57.2	11.4	11.0
16	16.6	16.0	15.0	57.0	57.0	56.9	11.7	11.3
17	11.4	15.2	4.8	52.5	57.0	57.1	11.6	12.2
18	9.3	9.3	6.3	56.5	57.0	56.9	11.4	11.8

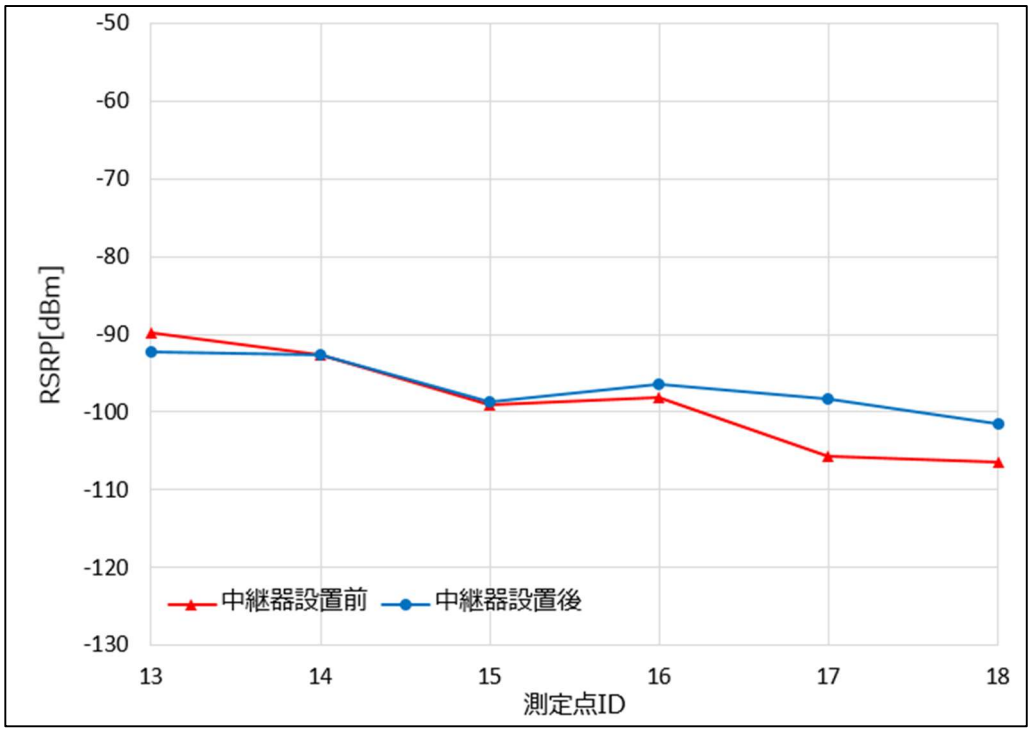


図 3.3.2-43 中継器設置前後における RSRP の比較

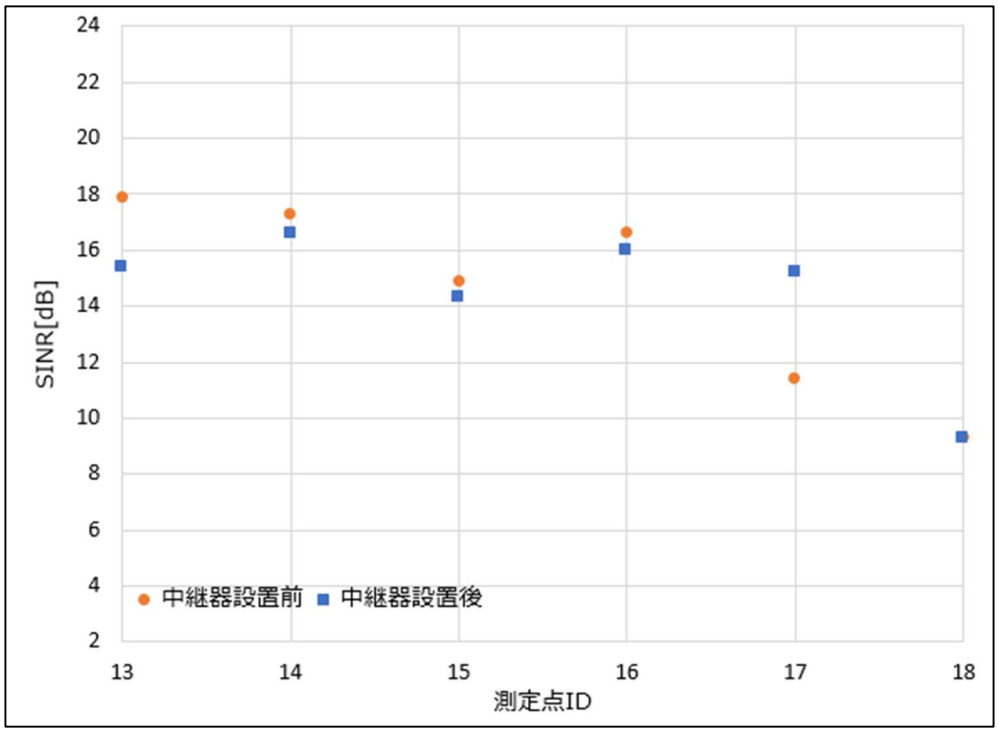


図 3.3.2-44 中継器設置前後における SINR の比較

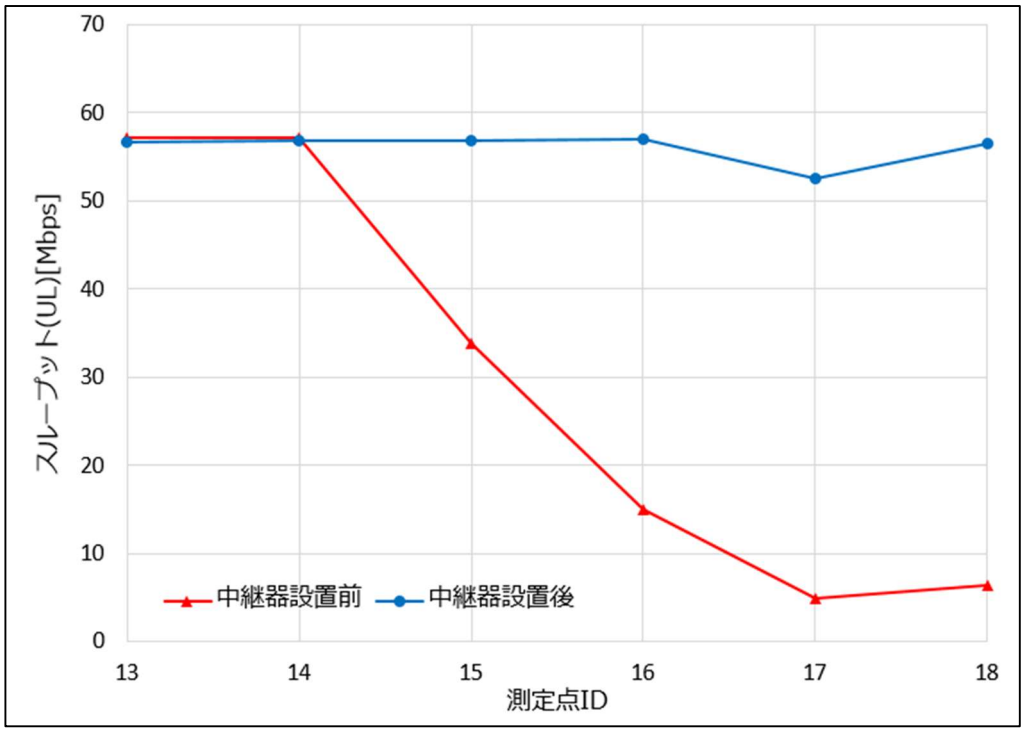


図 3.3.2-45 中継器設置前後におけるスループット UL の比較

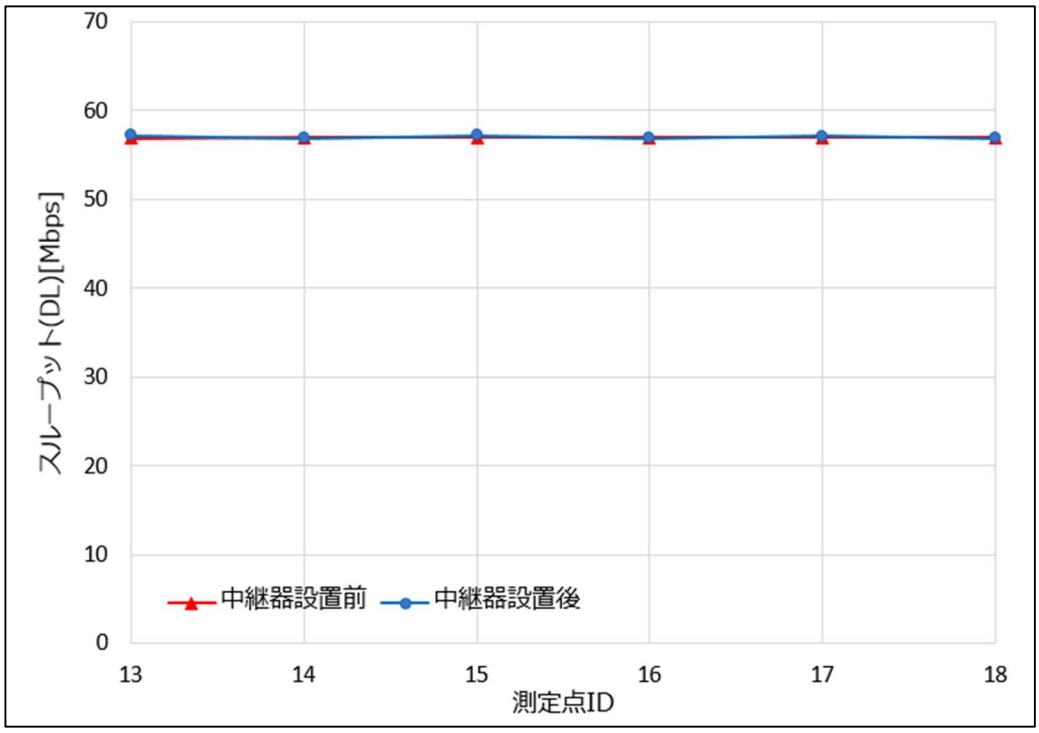


図 3.3.2-46 中継器設置前後におけるスループット DL の比較

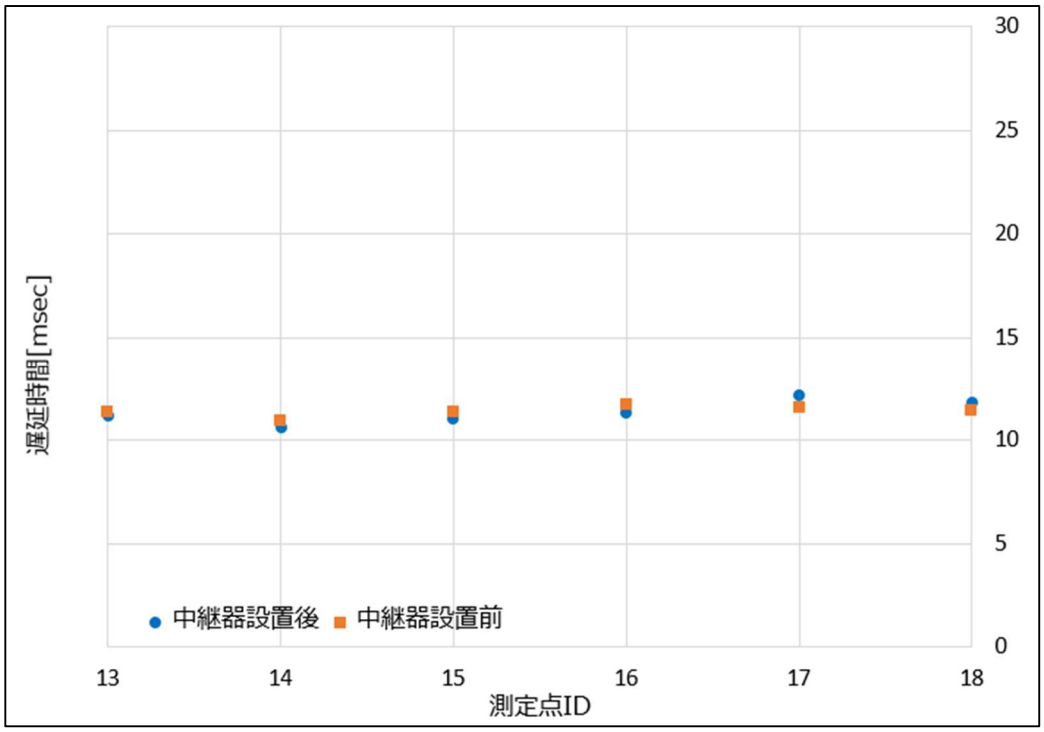


図 3.3.2-47 中継器設置前後における遅延時間の比較

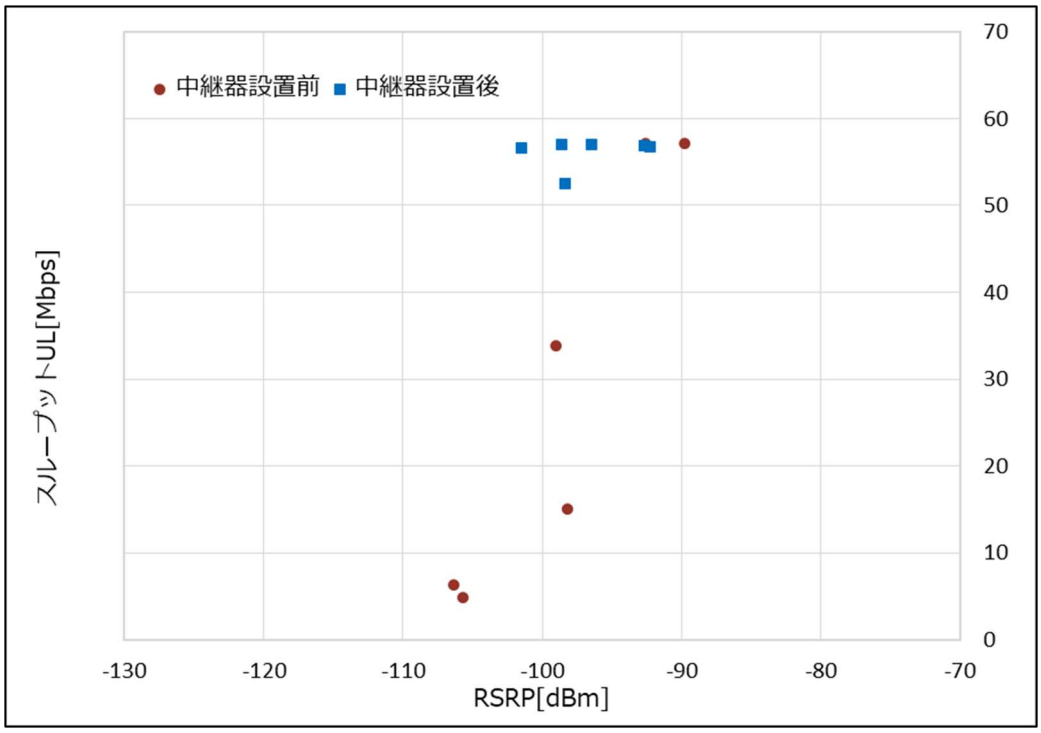


図 3.3.2-48 中継器設置前後における RSRP とスループット UL の比較

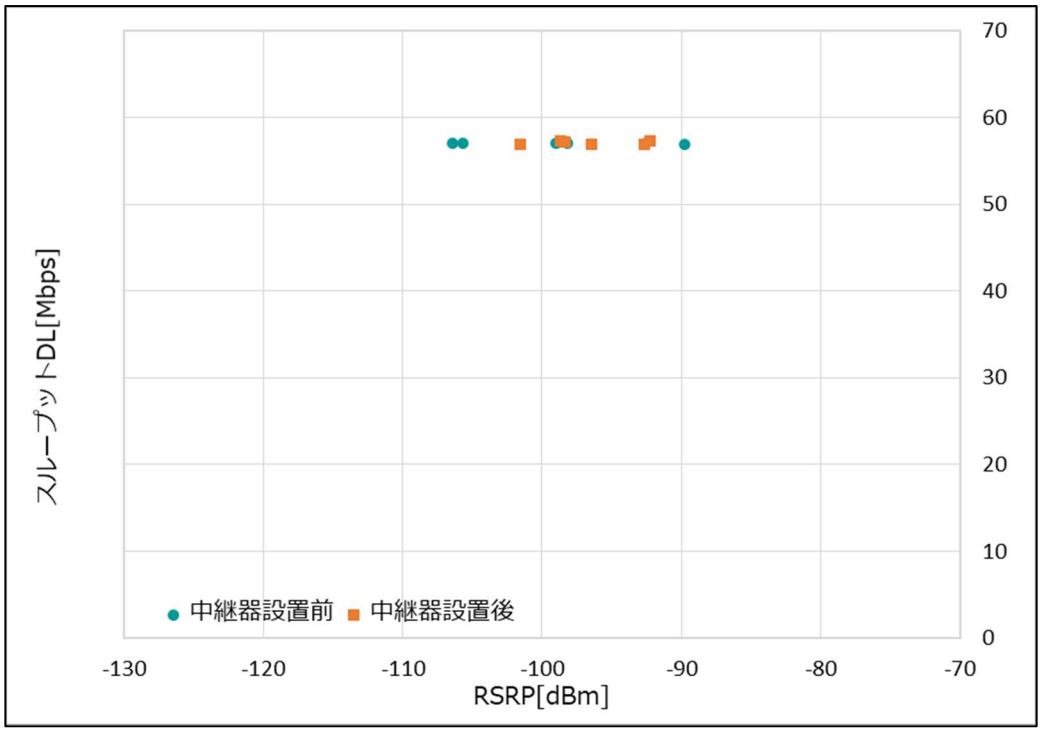


図 3.3.2-49 中継器設置前後における RSRP とスループット DL の比較

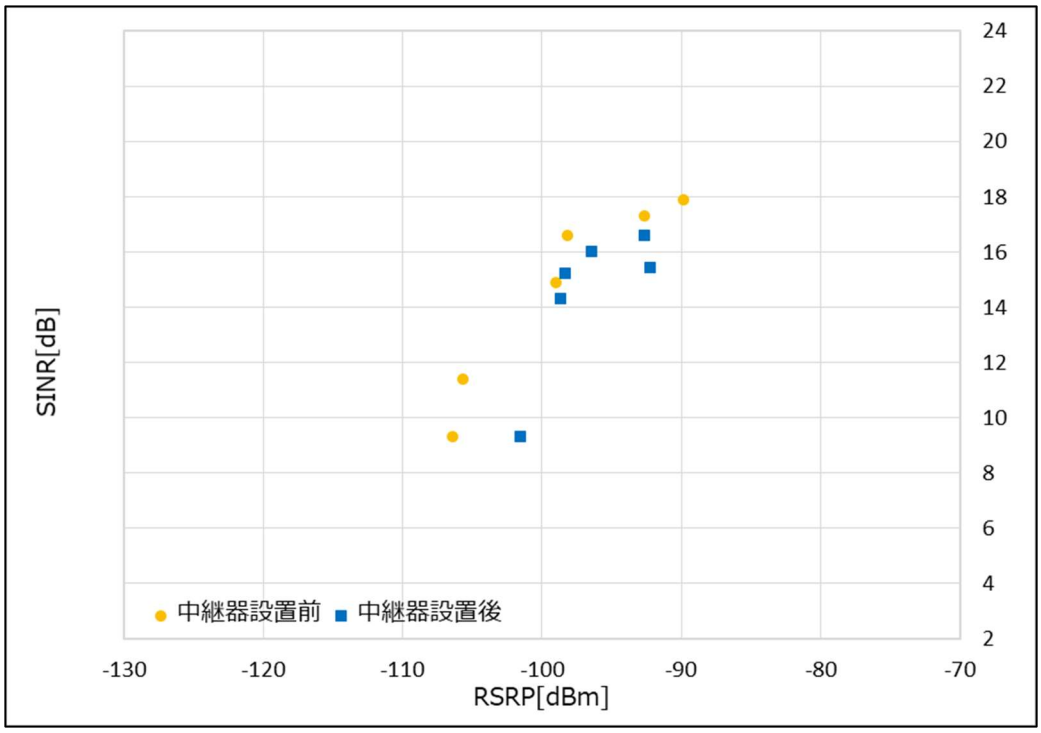


図 3.3.2-50 中継器設置前後における RSRP と SINR の比較

中継器設置前後における RSRP の比較から中継器設置前では測定点 15 以降で不感地帯であることが確認でき、中継器設置後には全ての測定点で-95dBm 以上に改善とはならなかったが、離れた測定地点では改善されていることが確認できた。原因としては図 3.3.2-50 のように本測定地点の周囲に金属構造物が隣接するためマルチパスフェージングの影響が考えられる。

また、スループット UL においては、中継器設置前後におけるスループット UL の比較から測定点 14 以降でスループットの劣化が確認できたが、中継器設置後にはユースケースに必要な無線性能目標値である 57Mbps が確保できるレベルまで改善されていることが確認できた。スループット DL においては中継器設置前後で顕著な差はないが、目標値である 1Mbps は達成できていると結果となった。

SINR および遅延時間についても中継器設置後で顕著な差は確認できない結果となった。

RSRP とスループット UL 比較結果からは RSRP-100dBm 付近でスループットが落ち込んでいることが確認できるが、RSRP とスループット DL 比較結果からはスループットの落ち込みは見られなかった。

以上の結果から周囲に建造物のある不感地帯のエリア化という実証の目的に対して、不感地帯の解消に中継器は十分に有効であると言える。

図 3.3.2-51 金属構造物

【(2)-④】

表 3.3.2-17 ④における各測定点から基地局までの距離および見通し状況

測定点	基地局との距離[m]	中継器との距離[m]	標高[m]	基地局との見通し有無	中継器との見通し有無
19	10	10	4.3	×	○
20	20	20	4.2	×	×
21	40	40	4.1	×	×
22	60	60	4.1	×	×
23	80	80	4.3	×	○
24	100	100	4.3	×	○

また、測定点から中継器までの見通し状況を図 3.3.2-52 に示す。

(1)見通しの測定地点(測定点 19)

(2)非見通しの測定地点(測定点 22)

図 3.3.2-52 測定点から中継器までの見通し状況

測定点 19～24 における RSRP の測定結果を表 3.3.2-18 に、SINR、スループット(DL/UL)および遅延時間の測定結果を表 3.3.2-19 に示す。また、中継器設置前後における RSRP の測定結果の比較を図 3.3.2-53 に、SINR の測定結果の比較を図 3.3.2-54 に、スループット UL/DL の測定結果の比較を図 3.3.2-55 および図 3.3.2-56 に、遅延時間の測定結果の比較を図 3.3.2-57 に示す。

なお、各測定点では複数サンプルの結果を取得しているため代表値としては中央値を採用している。

表 3.3.2-18 ④における RSRP の測定結果

測定点	中継器設置前測定結果[dBm]	中継器設置後測定結果[dBm]	中継器での入射波の受信電力[dBm]	中継器での出射波の送信電力[dBm]	中継器利得[dB]
19	-79.8	-73.5	-59.4	-15.4	44.0
20	-89.5	-86.6	-59.4	-15.4	44.0
21	-91.5	-78.6	-59.4	-15.4	44.0
22	-88.6	-81.3	-59.4	-15.4	44.0
23	-83.0	-85.1	-59.4	-15.4	44.0
24	-85.1	-82.8	-59.4	-15.4	44.0

表 3.3.2-19 ④における SINR、スループット、遅延時間の測定結果

測定点	中継器設置前SINR測定結果[dB]	中継器設置後SINR測定結果[dB]	中継器設置前UL スループット[Mbps]	中継器設置後UL スループット[Mbps]	中継器設置前DL スループット[Mbps]	中継器設置後DL スループット[Mbps]	中継器設置前遅延時間[msec]	中継器設置後遅延時間[msec]
19	14.0	17.7	57.1	57.0	56.9	57.1	10.7	11.9
20	13.2	15.2	52.1	56.9	57.0	57.1	10.5	11.4
21	13.7	20.4	46.1	56.8	56.9	57.1	11.0	12.1
22	16.5	18.2	54.4	56.9	56.9	56.9	11.0	11.6
23	18.9	17.5	57.0	56.9	56.8	56.9	11.5	12.5
24	16.4	15.1	56.8	57.0	57.0	57.0	11.5	11.7

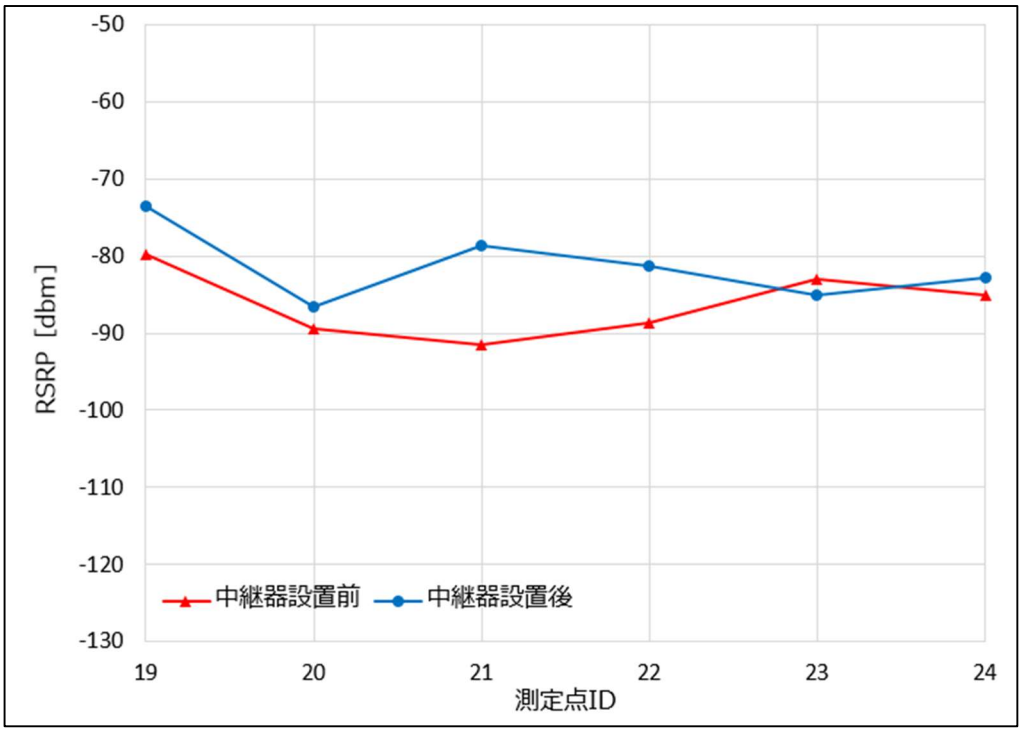


図 3.3.2-53 中継器設置前後における RSRP の比較

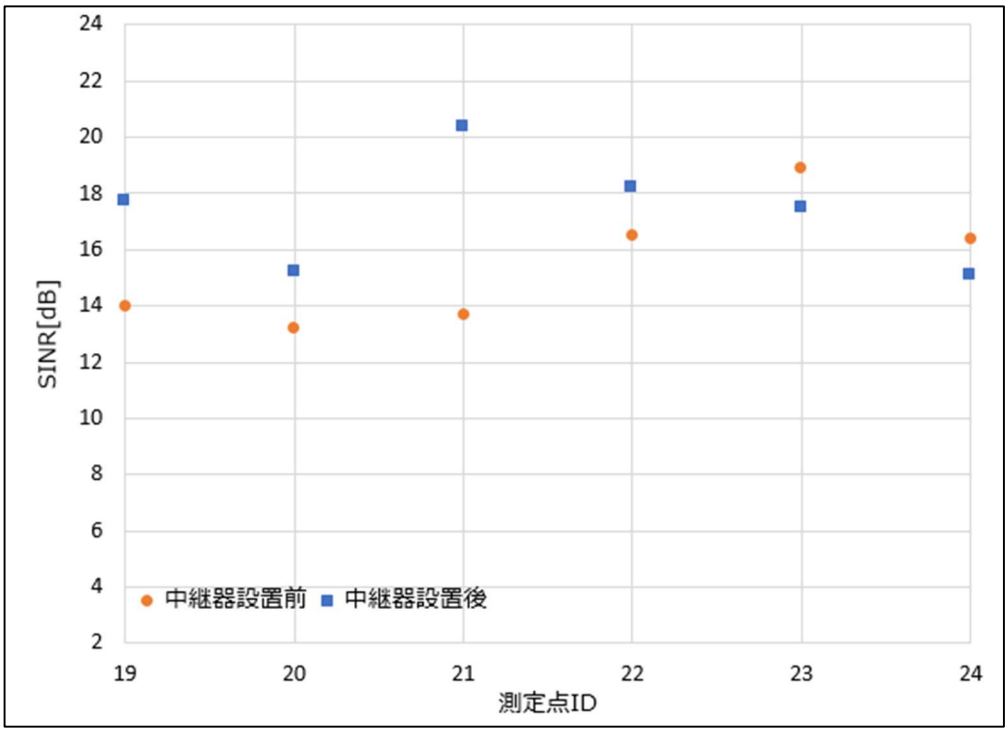


図 3.3.2-54 中継器設置前後における SINR の比較

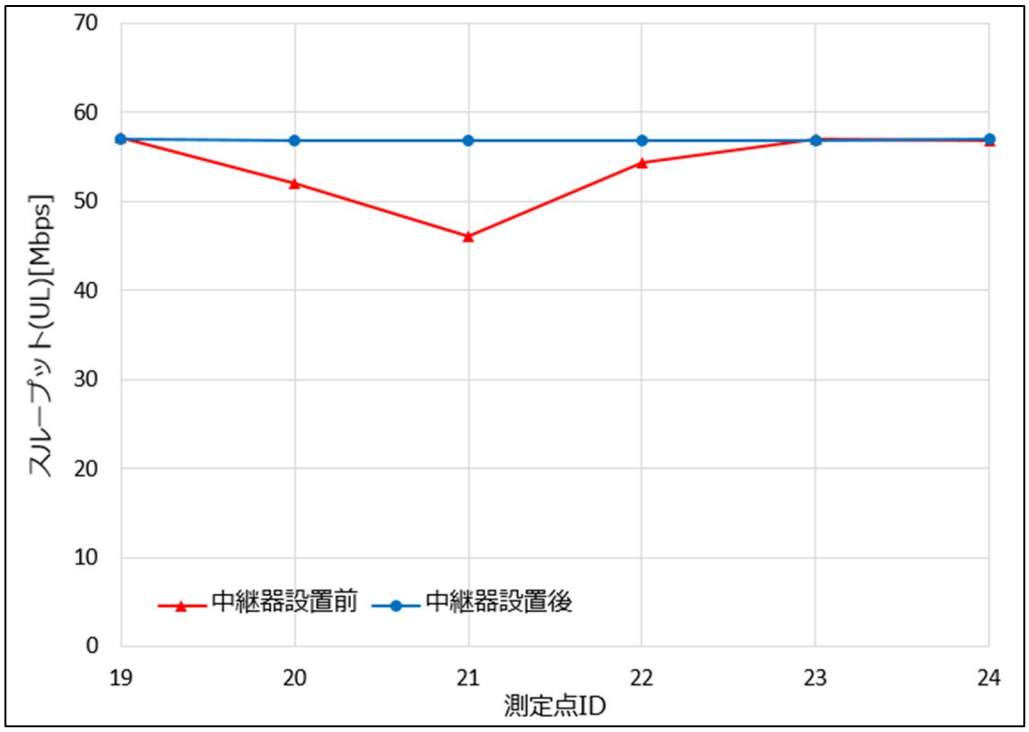


図 3.3.2-55 中継器設置前後におけるスループット UL の比較

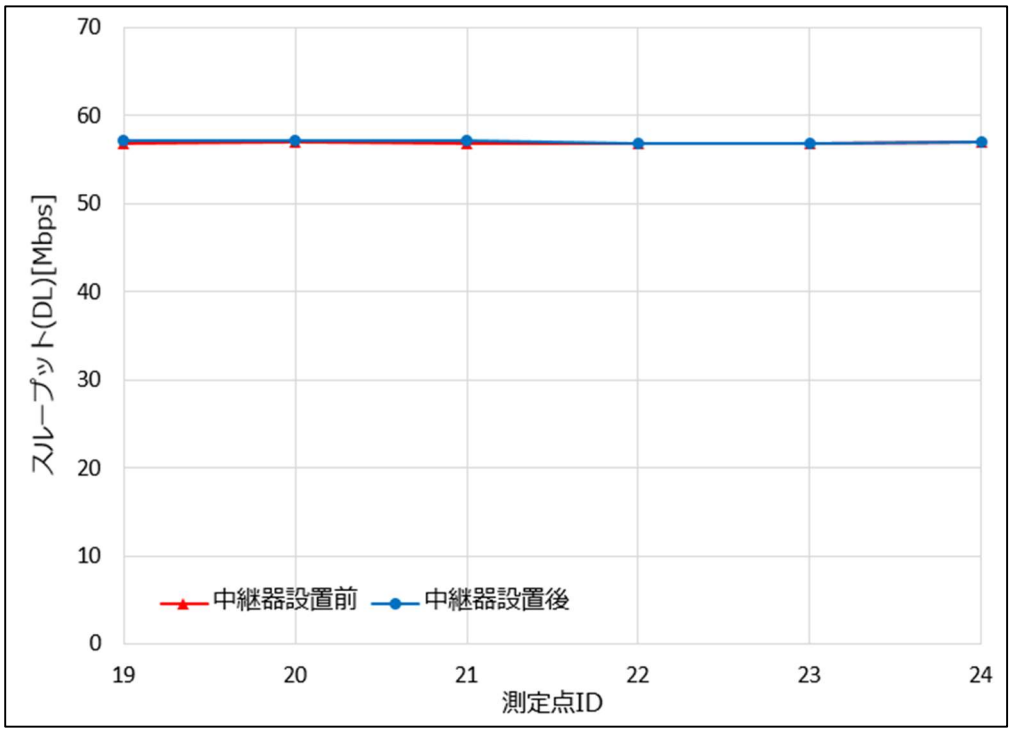


図 3.3.2-56 中継器設置前後におけるスループット DL の比較

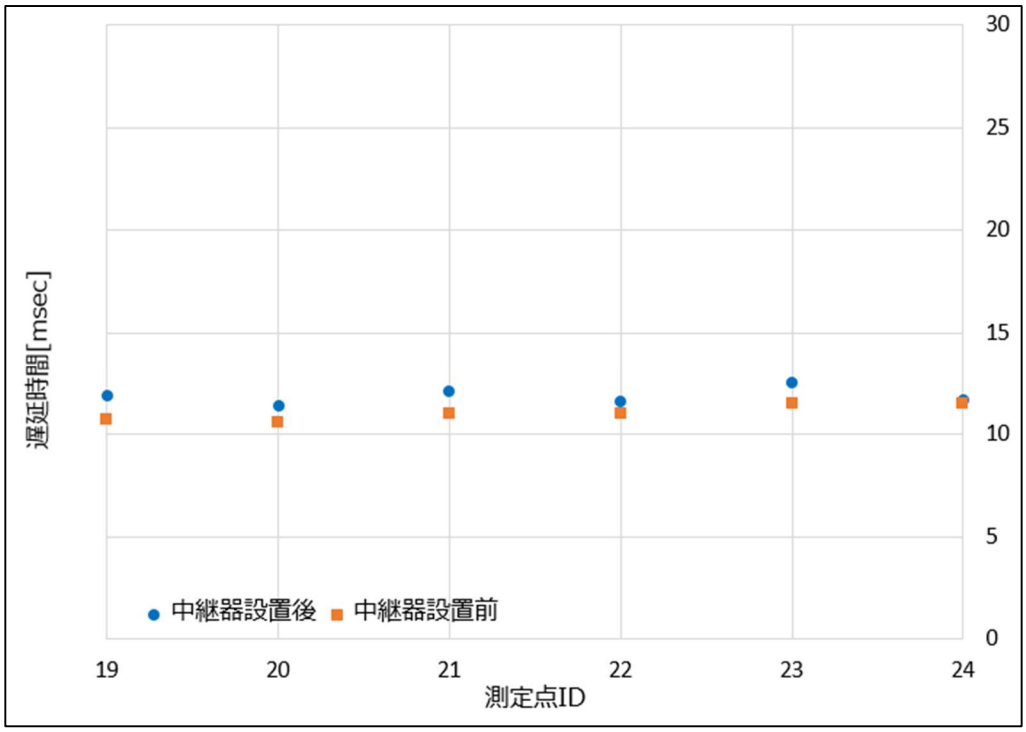


図 3.3.2-57 中継器設置前後における遅延時間の比較

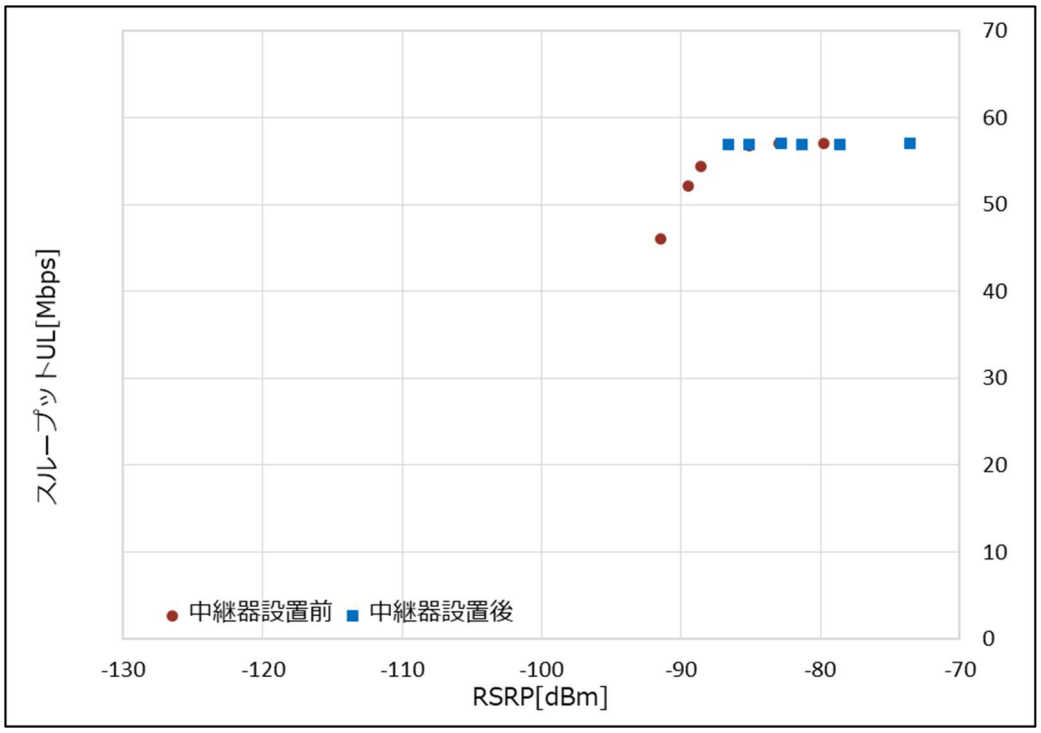


図 3.3.2-58 中継器設置前後における RSRP とスループット UL の比較

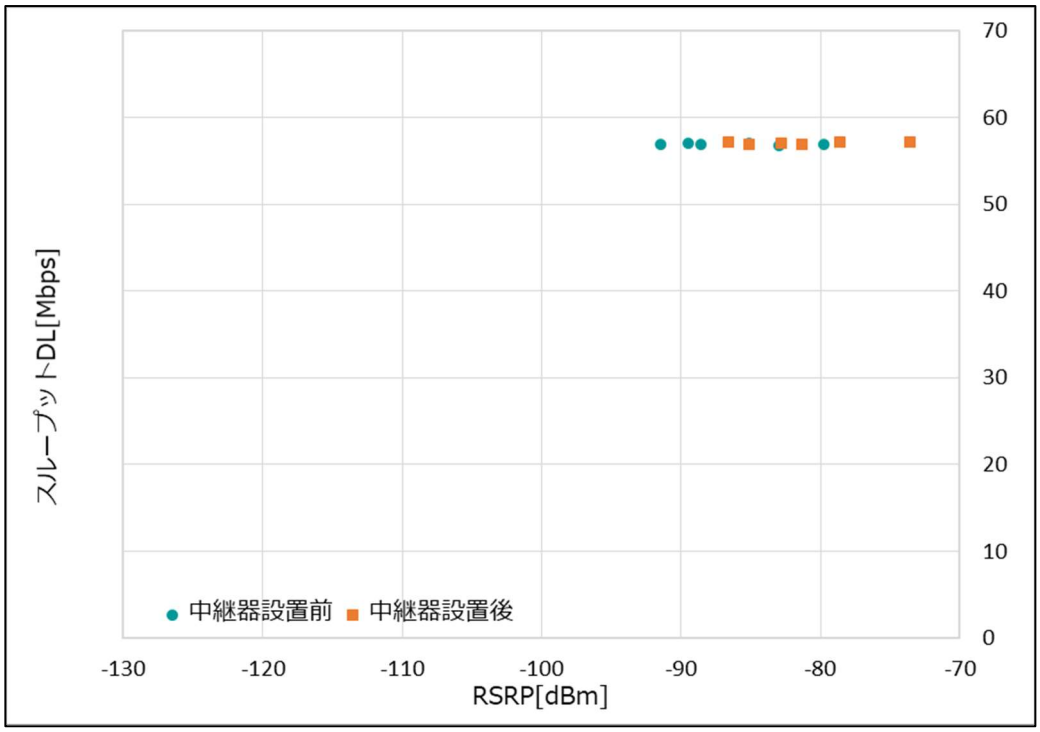


図 3.3.2-59 中継器設置前後における RSRP とスループット DL の比較

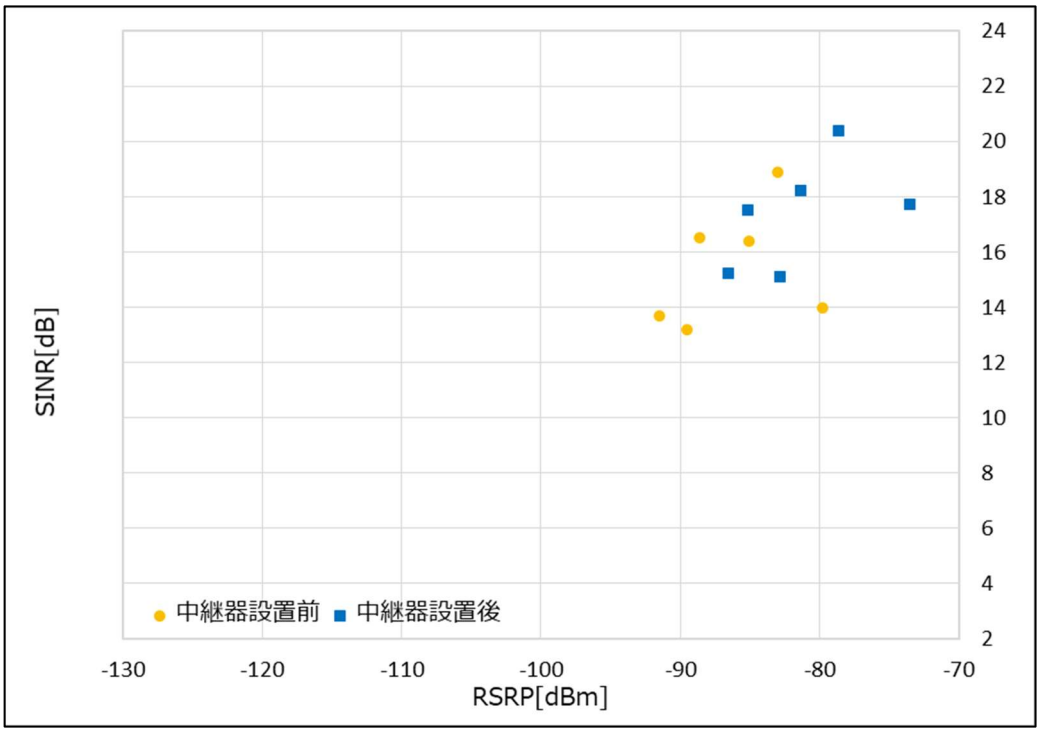


図 3.3.2-60 中継器設置前後における RSRP と SINR の比較

中継器設置前後における RSRP の比較から中継器設置前では全体的に RSRP がシミュレーション結果よりも高く、弱電界が確認できなかったが、中継器設置後では全体的に改善されていることが確認できた。原因としては伝搬経路上に図 3.3.2-60 のような大型の重機等が存在するため反射していると考えられる。

また、スループット UL においては落ち込みが見られた測定点 20～22 で改善され安定した結果となり、ユースケースに必要な無線性能目標値である 57Mbps を確保できていることが確認できた。スループット DL においては中継器設置前後で差は見られないが、目標値である 1Mbps は達成できていると結果となった。

SINR および遅延時間についても中継器設置後で顕著な差は見られない結果となった。

RSRP とスループット UL 比較結果からは RSRP-90dBm 付近でのスループットが落ち込んでいることが確認できるが、RSRP とスループット DL 比較結果からはスループットの落ち込みは見られなかった。

以上の結果から指向性アンテナの後方に中継器を用いてエリアを拡張するという実証の目的に対して、中継器は効果的とは言えない結果となった。

図 3.3.2-61 大型の重機

以上【(2)-①】～【(2)-④】の結果および考察から中継器①や③のように基地局アンテナの指向方向から外れた不感地帯のエリア化という用途では、RSRP およびスループット(UL)が大きく改善されていることが確認でき、中継器の導入は効果的であると言える。

また、中継器②や④のように基地局アンテナの直線方向(前方や後方)のエリアの拡張という用途では、スループットの落ち込みが見られた測定点での改善等一定の導入効果は得られたが、中継器設置前の測定結果として RSRP やスループット(UL)の劣化がそこまで確認できなかったため、導入の効果としては弱い結果となった。

本実証の結果から、中継器の使用用途としてアンテナの指向方向から外れる不感地帯の解消（アンテナの指向方向を変化させたい際）には効果的であると推察する。

また、課題として、直線方向（前方や後方）のエリア拡張という観点では、事前のシミュレーション結果では不感地帯となることを確認していたが、実際の現地環境ではシミュレーション結果ほどの受信電力の劣化は見られなかった。

中継器の設置検討については机上のシミュレーション結果のみではなく、基地局を設置後、実際に現地環境で電波伝搬特性を確認した上で置局検討する必要があると考える。

また、上記と併せて、中継器の設置面での柔軟性向上として無線局免許申請後であっても容易に設置箇所の変更等が可能になるような制度が整備されれば、現地測定の結果から中継器の設置位置を変更する等できるようになり、効果検証としての精度も向上すると考える。

ローカル 5G における中継器の普及課題としては、より柔軟な免許申請制度の整備や、送信出力性能の向上等、より広域のエリア拡大に向けた中継器としての電気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」ことに中継器も加える必要があると考える。

本実証のような直線方向（前方や後方）の不感地帯エリアの解消を行う場合、中継器の設置位置を実際の基地局のカバーエリアの状況に応じて柔軟に変更可能であることが望まれるため、無線局免許申請時の設置位置から、より適切な位置への変更（移動）が容易に可能となるような制度が整備されることが望ましいと考える。

また、電気的性能としては、本実証で使用した中継器は、EIRP が 27.46[dBm/100MHz]（送信出力が 10[dBm]、アンテナ利得が最大 20[dBi]、ケーブル損失 2.54[dB]）であり、図 3.3.2-43 に示したように不感地帯の中間から末端（測定点 ID15-18）にかけて RSRP の落ち込みが始まる傾向が確認された。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」にて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 EIRP 33[dBm/100MHz]（送信出力 24[dBm]、アンテナ利得 9[dBi]、ケーブル損失 0[dB]）程度まで中継器の電気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。

(3)環境図や写真等

各中継器の外観および設置状態を図 3.3.2-62～66 に示す。

図 3.3.2-62 中継器の外観

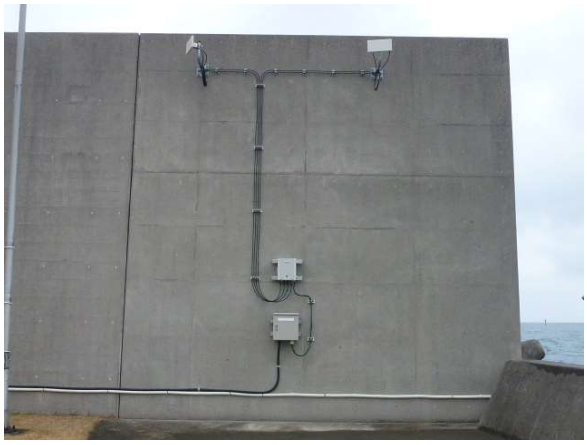


図 3.3.2-63 中継器①設置図

図 3.3.2-64 中継器②設置図

図 3.3.2-65 中継器③設置図

図 3.3.2-66 中継器④設置図

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

4.1.1 背景となる課題

【背景】

九州電力では、「九電グループ経営ビジョン 2030」の実現に向けて、ICT を活用した業務効率化・高度化等 DX の取り組みを進めており、デジタルを起点とした業務の抜本的改革や新たなビジネスの展開をさらに加速させるため、令和 4 年（2022 年）7 月 1 日に「DX 推進本部」を設置している。

こうした状況の中で、九州電力の火力発電所においても長期的な人材不足、高経年化による設備トラブルおよび保全業務における費用抑制等の様々な課題を解決するため、スマート保安の実現を目指し、DX を推進しているところである。

一方で、平成 28 年熊本地震はまだ記憶に新しいところではあるが、同規模の地震がいつ発生するか予測困難であり、熊本県としては大規模災害時の対策強化が喫緊の課題である。この課題解決の一環として、苓北火力発電所港湾施設の使用に関して熊本県と協定を締結し、迅速かつ的確な災害対策（輸送船の入港受け入れ、救助部隊や物資等の輸送、平時の訓練対応等）に協力して取り組むこととしている。

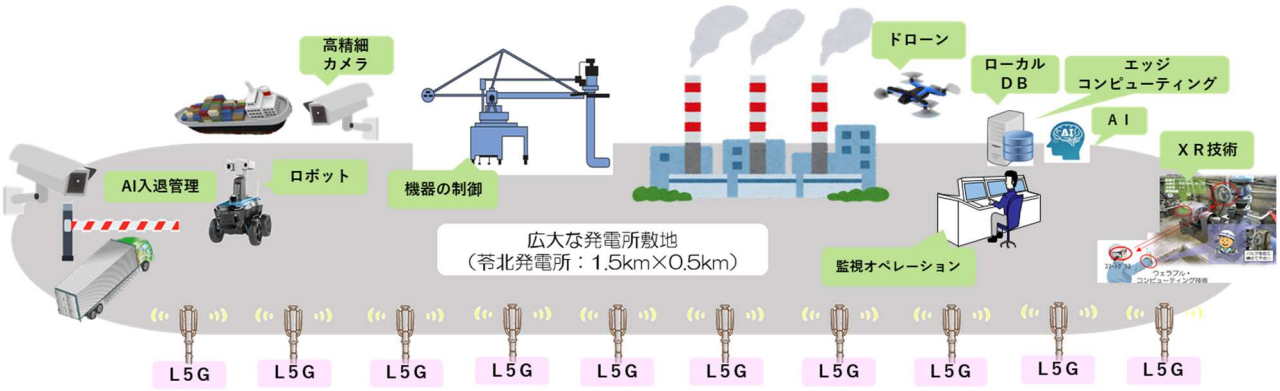


図 4.1.1-1 九州電力が目指す発電所のスマート保安イメージ

【発電所の現状の課題】

発電所のスマート保安および災害時の自治体への協力に関して、現状の課題は以下の通り。

［課題 A］保安業務にかかる費用抑制

発電所共通の課題として、発電所の定期補修期や災害発生時において社員だけでなく社外の工事事業者等、大量の車両が入退場するため、始業・終了時はゲートが大変混雑し、発電所の入門者の入退管理に係る保安業務の負荷が上がることがあげられる。

今回の実証箇所である苓北発電所を例とすると、発電所のゲートで入退管理している車両台数は、定期補修期は 300～400 台/日、通常期はおよそ 100～200 台/日あり、現在、一時入門者に関しては、守衛所で名前等を決められた書式に記入してバッジを渡す、また常時出入りする関係者には、予め許可証を渡して、守衛所で許可証を提示して入退所するアナログ的なやり方であるため、書面での入退管理では時間と労力を要している。

なお、苓北発電所特有の課題としては、定期補修期や災害発生時において大量の車両が入門し、始業・終了時はゲートが大変混雑する状況下で、さらに熊本県要請の緊急物資輸送車両の入退も重なった場合、入退管理が機能不全に陥り、運転中の発電設備に必要な車両や作業員の入門に影響を及ぼし、発電支障を来す可能性があることがあげられる。

［課題 B］長期的な人材不足

発電所共通の課題として、電力自由化に伴う価格競争の激化の中で、発電所社員を最小化しており、容易に要員を増やすことが難しい状況にあり、高齢化も進んでいることがあげられる。

また、煙突や揚炭機等の高所作業点検等、特殊技能を有する必要な人材が年々不足している。

苓北発電所においても同様の課題を抱えており、高所点検の代替手段が必要となっている。

［課題 C］高経年化による設備トラブル

発電所共通の課題として、電力自由化に伴う価格競争の激化の中で設備更新が難しく高経年設備が増えており、設備トラブルが増加傾向にあることがあげられる。また、設備トラブルが発生すると、原因となる箇所を見付けるために足場を組む場合があり、原因究明から復旧までに多大な時間と労力を要する。長期停止した場合は大きな経済損失を伴う。

なお、苓北発電所特有の課題としては、石炭燃料受け入れのための荷役設備があり、石炭大型船と緊急物資輸送船が同時に接岸すると現状の固定カメラでは死角が生じる上、荷下ろし作業等の鮮明な動画を伝送できる仕組みにはなっていないため、監視が十分にできないことがあげられる。

［課題 D］災害時の的確な災害対策と熊本県との連携

国際船が就航する発電所では、米国同時多発テロをきっかけに、国際テロ対策が世界中で問題となり、外航の出入りをする港は保安対策（海上人命安全条約：SOLAS）を整備することが求められており、以下の保安対策を行っている。

（1）制限区域内への人や車両の出入りの管理、船舶に積み込まれる貨物の管理、港湾施設内外の監視等の措置

（2）フェンスや照明等の保安設備の設置

（3）保安措置の実施責任者（保安管理者）の選任

（4）保安措置の実施のための訓練

なお、苓北発電所特有の課題としては、SOLAS への対応に加え、熊本県との協定書に基づき同施設に手配した輸送船を受け入れて、物資や救助部隊等の輸送を適正かつ安全に管理する必要があるが、発電所員が 24 時間運転業務を行いながら、所員が県との情報共有が困難となることがあげられる。

また、熊本県は、輸送船や救援支援物資車両の受け入れ状況について迅速に情報収集する手法が定まっていないことが、喫緊の課題となっている。

【課題解決策】

先の課題に対し、苓北発電所における本実証において取り組む課題解決策並びにイシューツリーを示す。

［課題 A への課題解決策］

・AI カメラにより車両ナンバープレートを自動で読み取り、事前登録したデータベースと照合し、AI がゲート機と連携して、登録車両のゲート開閉を自動化させ、さらに車両の入退場の時刻を記録するとともに、訪問部署に自動通知するまで完全自動化を目指す。

・さらに、熊本県事務所への緊急車両の入退情報配信についてヒアリング等を実施し、配信環境の構築に向けた検討を行い、地方自治体の合意を踏まえ地方自治体が希望する配信先、配信開始時期に基づいた情報配信を目指す。地方自治体への配信については、令和5年秋頃に予定されている九州電力と熊本県との協定に基づいた合同訓練等の機会に合わせ、地方公共団体と連携した運用確認を目指す。

［課題B、Cへの課題解決策］

・作業者が煙突やアンローダ等の高所箇所でアクセスが難しい箇所を、ドローンやロボットによる点検を実施する。なお、ドローンについては事前に決められたルートを設定することで、離陸、飛行、点検、着陸といった一連の作業の完全自動化を図り、点検のフルオートメーションを目指す。

・さらに、XR 技術を活用した現場作業の支援による省力化および安全の高度化の実現を目指す。

［課題 D への課題解決策］

・苓北発電所員が 24 時間発電所の運転業務等を行いながら、熊本県との協定に基づいた災害時における苓北発電所港湾の保安対策を十分に対応する必要があり、限られた人員によるオペレーションを可能とするため、緊急支援物資車両の入退管理やロボットによる構内誘導の自動化を目指す。

・熊本県は災害時において、大量の輸送船や多種多様な緊急支援物資車両の受け入れ状況について迅速に情報収集し管理することが必要であり、人による識別・誘導では、熊本地震での経験から輻輳、限界があることが課題となっている。また緊急支援物資車両の受け入れの際は、荷揚げ装置の遠隔制御により車両の通行エリアを確保する。本対応は、災害等の稀なケースであるため、通常時に活用できるモデルを非常災害時においても活用できることを目指す。

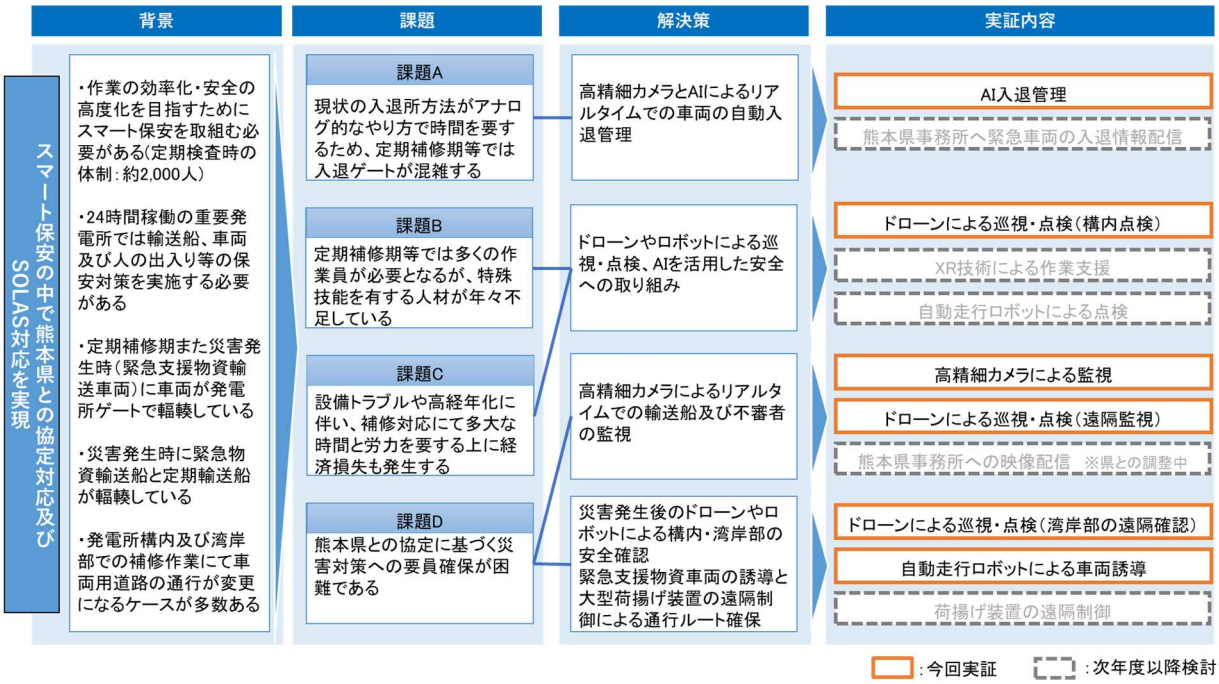


図 4.1.1-2 イシューツリー

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

今年度ローカル 5G を用いたソリューションを以下に示す。

表 4.1.2-1 今年度実証対象のソリューション

ソリューション	スマート保安（SOLAS対応含む）	熊本県協定対応
①AI入退管理	高精細カメラおよびAIによる 作業・工事車両の入退管理	高精細カメラおよびAIによる 緊急車両の入退管理
②自動走行ロボットによる 車両誘導		自動走行ロボットによる緊急車両の 安全な構内誘導
③ドローンによる巡視・点検	ドローン自動巡回による巡視点検	ドローン遠隔操作による巡視点検および 輸送船の入港管理
④高精細カメラによる監視	高精細カメラによる作業船の入港管理	高精細カメラによる 輸送船及び不審者の入港監視

また、各ソリューションの概要を以下に示すとともに、各ソリューションが図 4.1.1-1 のスマート保安イメージとの関連性を図 4.1.2-1 に示す。

［ソリューション（実証）の概要］

①AI 入退管理：

発電所の守衛所にて AI カメラを用いて車両ナンバープレートを自動で読み取り、事前登録したデータベースと照合し、車両の入門可否を判定可能であること。なお、車両の入退場の時刻を記録することを含む。さらに、次年度以降はバーゲートを設置し、車両認識システムと連携することで、入退管理の自動化を目指す。

②自動走行ロボットによる車両誘導：

緊急支援物資車両の構内誘導を想定して、①でゲートを通過させた車両を、予めルート設定したロボットが発電所構内を自動走行して指定場所に車両を誘導可能なこと。さらに、将来的には、自動巡視点検機能等による発電所構内巡視を目指す。

③ドローンによる巡視点検：

障害物回避機能を搭載した自律飛行ドローンを使用して事前に設定したルートを自律飛行し、港湾部の岸壁や貯炭場の異常有無を映像で確認できること。また、非常災害時は固定カメラの死角となる箇所を遠隔手動操作することにより構内や設備の状況を柔軟に確認可能であること。

④高精細カメラによる監視：

カメラを遠隔操作して港湾付近の作業船の状況を、リアルタイムに事務所に映像伝送が可能であること。さらに、将来的には常日頃入港する作業船とそれ以外（不審船）を AI が自動判定し、自動通知することを目指す。

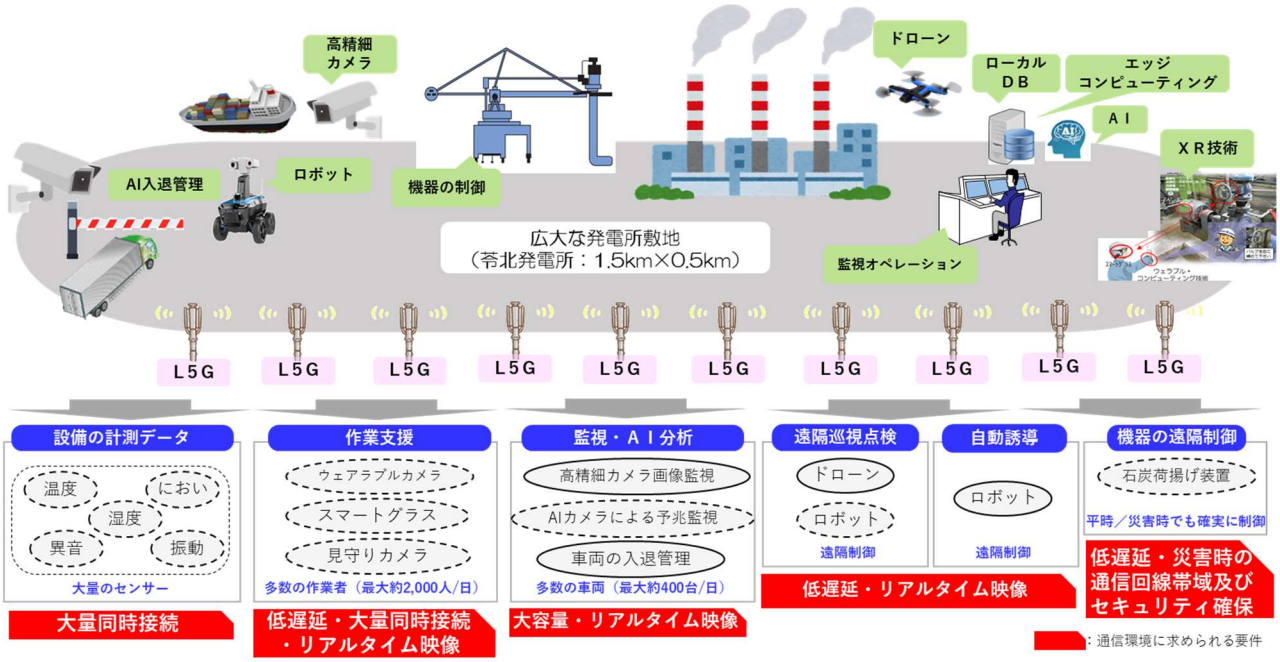
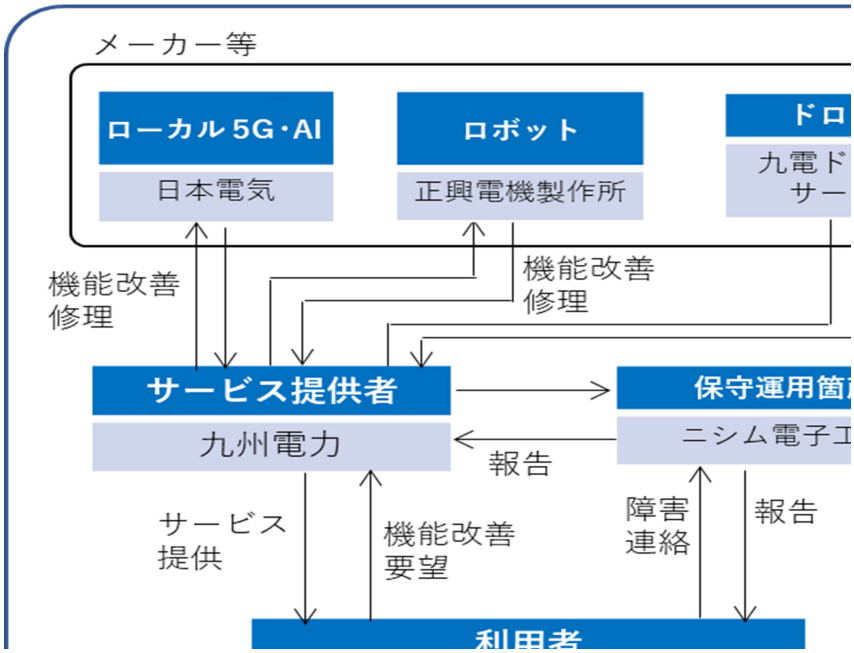


図 4.1.2-1 各ソリューションの利用イメージ

(2)　ローカル 5G 活用モデル(当初仮説)

実証終了後も持続的に利用するためのローカル 5G 活用モデル(仮説)を以下に示す。

表 4.1.2-2 ローカル 5G 活用モデル(仮説)

項　目	内　容
想定するターゲット	九州電力 苓北発電所 所員または協力会社 ※協力会社:発電所の保守業務委託等を請け負っている会社
ソリューションの提供・利用方法	九州電力が自ら実証を通じて 4.3.4(1)実装・普及展開シナリオに沿って実装を推進 火力部門の DX 推進計画に併せてローカル 5G エリアの拡張並びに必要なソリューションを提供
運用に係る体制	
導入効果	本モデルにおける導入効果は 4.3.2(3)効果検証に示す。
横展開の在り方(考え方)	✓ 本実証では、九州電力は代表者、かつ利用するユーザ企業でもあるため、ユーザ視点に立ち、本実証を通じて実装並びに横展開を推進。 ✓ 横展開は他火力発電、内燃力発電、さらに将来的な原子力への実装を目指す。 ✓ また、同業種の電力会社並びに SOLAS 指定箇所の化学系プラント事業者への横展開を目指す。

(3)　ローカル 5G の必然性・必要性

本実証対象の車両入出ゲート、車両通行道路、貯炭場、岸壁箇所は、ネットワーク配線（有線布設）が既設でない箇所が多いため、新たに有線布設するには道路の掘削が必要となり、多大な費用を要し、現実的な方法ではない。

本実証は高精細なカメラやドローンによる映像伝送に、大容量なアップリンク伝送を行うもの（大容量通信）であり、発電所という重要施設においてはセキュアな環境で安定的に通信する必要があることから、アンライセンスバンドである Wi-Fi を利用することができない。また、将来的には揚炭機（アンローダ）の遠隔制御を目指していることから、低遅延かつクローズドネットワーク（セキュリティの確保）である必要がある。また、各種センサーデバイスや作業支援に資するウェアラブルデバイスの接続（作業員最大 2,000 名）も視野に入れ、大量同時接続を想定している。さらに、非常災害時も想定しているため、公衆 LTE／5G 回線では、災害時はネットワーク環境が輻輳となり使用することができないおそれ（災害時の通信確保）がある。

以上の理由により、迅速かつセキュアなローカル 5G 環境の活用が適していると考えた。

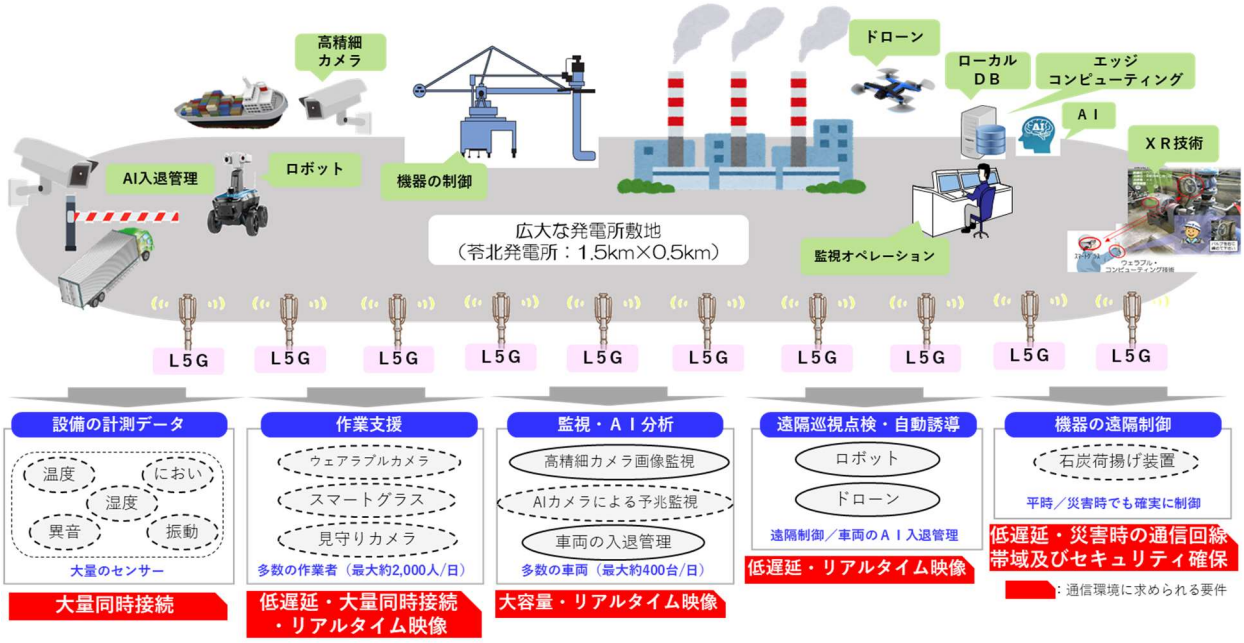


図 4.1.2-2　将来を踏まえたローカル 5G の活用イメージ

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 実証内容の新規性

① 発電所内ドローン点検フルオートメーション化

人手を介さず予め設定されたルートに沿って自律飛行ドローンが巡回し、発電所構内設備等を点検後、ドローンポートに自動的に着陸し、再度の巡回に備え、自動充電する。これらの発電所内のローカル 5G 環境下での実証は世界初である。

② 指向性アンテナと中継器を用いた効果的なエリア構築

対象エリアは直線的なエリアであり、これまでのメーカ(日本電気)検討では広域エリアに対して、無指向性アンテナを適用した実績はあるが、今回、指向性アンテナと中継器を用いて効果的にカバーエリアを構築する。なお、指向性アンテナ+中継器を用いたエリア構築はメーカ(日本電気)初の取り組みである。

③ SOLAS 施設におけるスマート保安および県との連携

SOLAS 指定港湾である保安対策が必要な火力発電所で実証(スマート保安を実現し自動化/省力化)するものであり、同発電所は、熊本県との協定により、非常災害時に緊急支援物資等の輸送で港湾を利用する重要施設である。また、本実証はスマート保安と熊本県との協定を、両方とも満たす取り組みであり、発電所やプラント工場へ横展開可能である。

上記により、SOLAS 施設でもある発電所にスマート保安を実証する取り組みであり、非常災害時に熊本県との連携強化を図る取り組みは全国初である。

④ 発電所ローカル 5G 環境下での 4 つのソリューション同時接続

迅速かつセキュアなローカル 5G 環境の活用が適している発電所において 4 つのソリューションを同時多接続する実証であり、ローカル 5G 環境下での自動走行ロボットの発電所屋外利用は全国初である。

(2) 過年度実証事業との関連性

令和 3 年度 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証において、「No.9 ローカル 5G を活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実現」は屋内での巡視点検ロボットの実証、「№11 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」は港湾での高精細カメラ他の実証、「№19 スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI 画像認識による見守りの高度化」は大学キャンパス内での高精細カメラ他の実証がなされる等、今回の開発実証と類似した取り組みがなされている。

今回の開発実証は、火力発電所という多種多様な電気工作物、建屋が密集する特殊なフィールドにローカル 5G のエリアを確立し、AI 画像認識による AI 入退管理、自動走行ロボットによる車両誘導、ドローンによる巡視点検、高精細カメラによる監視を複合的に組み合わせた港湾保安と発電所のスマート保安の実現を目指した取り組みである。

表 4.1.3-1 過年度実証事業との関連性①

実証年度	令和3年度
件名	(No.9)ローカル 5G を活用した閉域ネットワークによる離島発電所での巡視点検ロボット運用の実現
実施場所	新壱岐発電所
課題実証内容	・巡視点検ロボットが自動巡回し、特殊カメラと AI を利用して漏油・漏水の危険度判定、熱検知や計器類の映像確認等閉域網を介して遠隔から確認
本件との関連性	自動走行ロボットによる車両誘導 ・巡視点検ロボット

表 4.1.3-2 過年度実証事業との関連性②

実証年度	令和3年度
件名	(No.11)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
実施場所	三重県鳥羽市池ノ浦湾内他
課題実証内容	・港湾内航行中の船舶に対する「港湾内映像および AI による船舶位置情報(操船支援ダッシュボード)」と「船舶俯瞰映像(フライングビュー)」 ・港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像＋AI 映像解析による自動化 ・船舶の着岸確認、記録を高精細カメラ＋AI 映像解析による自動化
本件との関連性	高精細カメラによる監視 ・高精細カメラ

表 4.1.3-3 過年度実証事業との関連性③

実証年度	令和3年度
件名	(No.19)スマートシティにおける移動体搭載カメラ・AI 画像認識による見守りの高度化
実証場所	奈良学園大学三郷キャンパス
課題実証内容	・自動運転車両等の移動体に搭載のカメラを活用した AI 顔認証や AI 画像に AI 画像認識による地域の見守り
本件との関連性	AI 入退管理(車番認識システム) ・車番検知システム 高精細カメラによる監視 ・高精細カメラ

4.1.4 実証目標

本実証における実証終了段階の実証目標は、以下のように設定する。設定に当たっては、火力発電所のスマート保安という位置づけで当社DXの先行的な事例として継続していくこと、および熊本県と九州電力苓北発電所間の協定に関わる運用に必要な開発実証として熊本県と連携して実装を進めて行くことを踏まえ、以下4つのソリューションの開発実証を屋外エリア（一部）で行い、その後、発電所構内全体への拡張していくことを見据えたものとしている。

表 4.1.4 実証目標

設定対象	実証終了段階	定量目標
車両の AI 入退管理	✓ 時間帯・天候等の環境変化時においてもナンバープレートを撮影したカメラ画像を AI により文字認識できること ✓ AI による文字認識と事前登録ナンバーを自動照合判定できること	車両認識率は 100% （条件） 車両認識装置の仕様を設定する ・車両速度 25Km/h 以下 ・撮影範囲（俯角 30°/側写角 25°/プレート傾き角 5°以内）
自動走行ロボットによる車両誘導	✓ 予め設定したルートを時間帯・天候等の環境条件が変化しても影響がないこと、影響がある場合は対策を明らかにすること ✓ 基地局ローミング状態においてもシームレスな映像データを取得していること	・走行ルート逸脱率は 0% ・障害物回避（緊急停止）失敗率は 0% （条件） 走行速度、障害物種類等により変化する
ドローンによる巡視点検	✓ 固定カメラの死角となる箇所を遠隔手動操作することにより構内や設備の状況を映像で確認できること ✓ 設定した飛行ルートを離陸から着陸まで障害物に衝突することなく完全自律飛行し、港湾部の岸壁や貯炭場の異常有無を映像で確認できること	・飛行ルート逸脱率は 0% ・障害物回避失敗率は 0% （条件） 雨天は飛行不可のため、晴天、曇りよるもの
高精細カメラによる監視	✓ カメラ制御と映像データが遅延なくリアルタイムな通信であること	・解像度、フレームレートの計算値を目標とする
全体	✓ 各実証の結果から、サーバ設置箇所等の適切なシステム構成を明らかにすること	－

また、実証後の実装に向けたスケジュールは実装計画要約シートの実装計画の通り。

4.2 実証環境

実証環境は実証内容に合わせて、図 4.2-1 に示すようにエリアを対象に構築を行う。港湾部の岸壁および貯炭場エリア（対象エリア①）、入り口ゲートエリア（対象エリア②）、また、対象エリア①、②の構内道路を対象としたエリア（対象エリア①＋②）を対象に実証内容に応じた環境を構築する。

図 4.2-1 実証対象エリア構築イメージ【出典：国土地理院ウェブサイト】

また、課題実証全体のイメージを図 4.2-2 に示す。

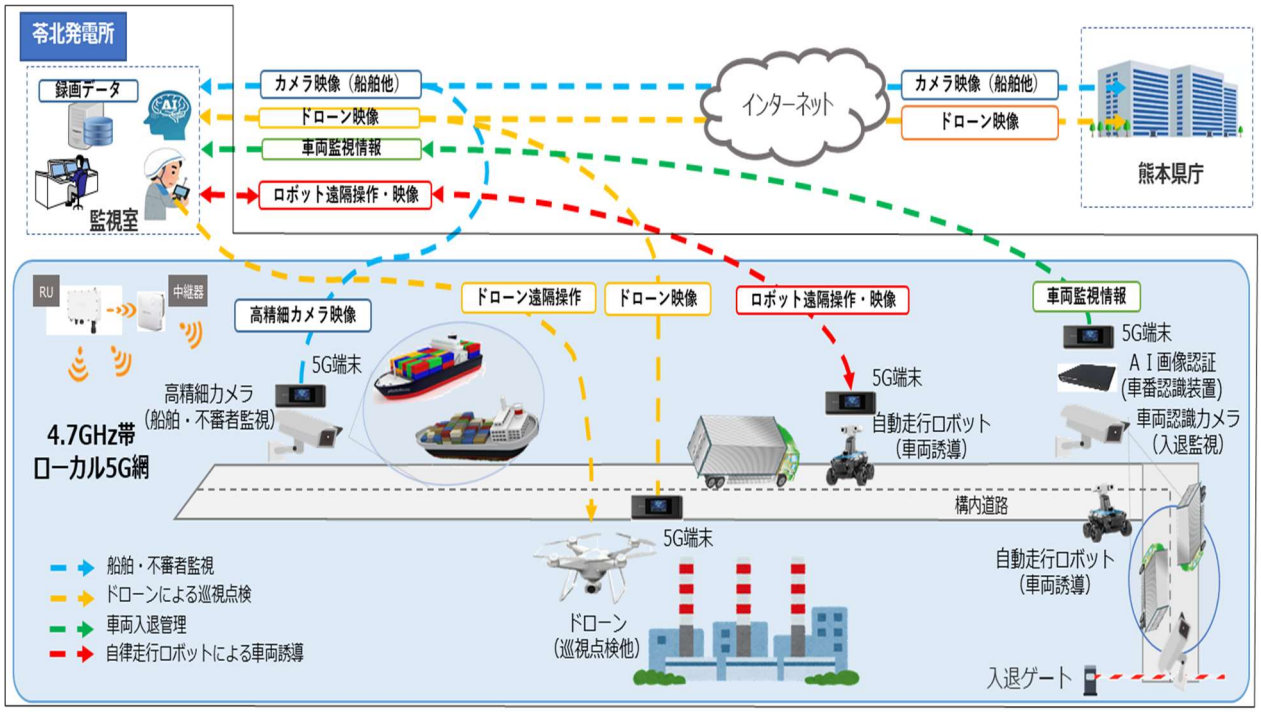


図 4.2-2 課題実証全体イメージ

対象エリア①では、輸送船および不審者の監視を行うために、高精細カメラ（4K）を設置する。撮影したカメラ映像を苓北発電所事務所および熊本県庁から確認するため、撮影データを蓄積するサーバを設置する。また、ドローンによる遠隔巡視点検を実施するため、ローカル 5G 端末と通信可能等ローンを準備し、遠隔巡視点検を実現する。さらに緊急時にはドローンが撮影した映像を苓北発電所事務所および熊本県庁から確認できるよう、インターネット経由で配信可能な環境を構築する。

対象エリア②では、苓北発電所構内に入退する車両の管理を行うため、入り口ゲート付近に車両認識カメラを設置する。撮影した映像から不審車両の特定を行うため、AI 解析するサーバ（エッジ AI）を設置する。

対象エリア①＋②では、自動走行ロボットによる車両誘導を行うため、自動走行ロボットに搭載されたフル HD カメラ映像をローカル 5G 経由でサーバに伝送する。

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

「4.1 実証概要」に記載した 4 つの主な課題(4.1.1 背景となる課題 A～D)に対して、求められる性能要件を踏まえ、実装時の利用環境や条件を想定した上で、ローカル 5G を用いたソリューションの実装に向けて必要となる機能について、評価・検証項目、検証方法、結果等を示す。

1) 検証項目

具体的な検証項目について下表に示す。

表 4.3.1-1 評価・検証項目

ソリューション	機能		検証項目
(a)AI 入退管理	ナンバー 自動読み取り	事前登録ナンバーを AI で自動照合判定 判定結果表示	①車両認識率:100%
(b)自動走行ロボットによる車両誘導	自動走行/ 緊急停止	設定した経路で自動走行し、障害物を検知時は緊急停止	①設定経路逸脱率:0% ②障害物回避(緊急停止)失敗率:0%
	遠隔操作	操作 PC による手動操縦	③操作可否:失敗率 0%
	搭載カメラ (フル HD)	操作 PC へのリアルタイム映像配信	④画質:解像度、フレームレートの計算値
(c)ドローンによる巡視点検	遠隔操作	操作 PC による手動操縦	①映像確認失敗率:0%
	自律飛行	センサーによる障害物を迂回し、映像にて異常有無を確認	②設定経路逸脱率:0% ③障害物回避失敗率:0%
	映像伝送	監視用 PC へのリアルタイム映像配信	④画質:解像度、フレームレートの計算値
(d)高精細カメラによる監視	4K 映像伝送	監視用 PC へのリアルタイム映像配信	①画質:解像度、フレームレートの計算値
【共通】 ネットワーク	伝送性能	－	①遅延時間 ②伝送トラフィック

2） 検証方法

具体的な検証方法について以下に示す。なお、今後、検証の手順、詳細項目、方法、様式について、運用担当箇所とコンソーシアム双方のご意見を反映したテスト計画書および各種アウトプット様式を作成し実証を行った。

a. AI 入退管理

① 車両認識率

AI入退管理の車両認識率の確認については、図4.3.1-1の通り実施した。

以下のステップでパターン毎の検証を実施し、システムの車両認識判定が正確に動作する（車両ナンバーの4つの要素（図4.3.1.2）を100％認識する）ことを確認した。

パターンとしては、天候（晴、雨）と明暗（朝、夜）の組み合わせで検証を行い、車両認識率を導いた。なお、認識率は保安上セキュリティ要件が高いため100％を目指した。

なお、検証結果のアウトプットイメージを表4.3.1-2、表4.3.1-3に示す。

＜STEP1＞車両番号読み取り率（成功率）を検証した。

車両番号読み取り結果のログ（車両番号情報、車番読み取り用静止画）と IP カメラの入退門映像を照合して、以下の計算式から車両番号読み取りの成功率を導いた。

【計算式】

車両番号読み取り率 ＝ 読み取り成功台数 ÷ 実際の通過台数 × 100（％）
（ログ情報） （IP カメラ映像）

＜STEP2＞登録車両番号情報との照合判定率を検証した。

＜STEP1＞において認識した車両番号情報と事前に登録した車両番号情報との照合判定結果から車両番号照合判定の成功率を導いた。なお、判定結果は「許可」、「未登録」で判定され、判定条件と計算式を以下に示す。

【判定条件】

・許　可：事前に登録された車両番号情報であり、有効期間内の場合

・未登録：事前に登録されていない車両番号情報、もしくは事前に登録された車両番号情報であるが、有効期間外の場合

【計算式】

照合判定率 ＝ 判定成功台数 ÷ 照合判定実施台数 × 100（％）
（登録情報） （ログ情報）

＜STEP3＞車両番号認識率を検証した。

＜STEP1＞、＜STEP2＞の結果から、以下の計算式で車両番号認識の成功率を導いた。

【計算式】

車両番号認識率 ＝ 車両番号読み取り率 × 照合判定率 ÷ 100(%)

◆パターン要素

天候の違い　　：雨の有無(晴天、雨天の2パターン)

環境の明暗の違い：明暗(朝、夜の2パターン)

表 4.3.1-2 晴天時の車両認識率

項目	天 候	晴れ	
	日 時	○○○○年○月○日(○)	○○○○年○月○日(○)
		○:○○～○:○○(朝)	○:○○～○:○○(夜)
	気 温	○℃	○℃
STEP1	読み取り成功台数		
	車両通過台数		
	車両番号読み取り(%)		
STEP2	判定成功台数		
	照合判定実施台数		
	照合判定率(%)		
STEP3	車両認識率(%)		

表 4.3.1-3 雨天時の車両認識率

項目	天 候	雨	
	日 時	○○○○年○月○日(○)	○○○○年○月○日(○)
		○:○○～○:○○(朝)	○:○○～○:○○(夜)
	気 温	○℃	○℃
STEP1	読み取り成功台数		
	車両通過台数		
	車両番号読み取り(%)		
STEP2	判定成功台数		
	照合判定実施台数		
	照合判定率(%)		
STEP3	車両認識率(%)		

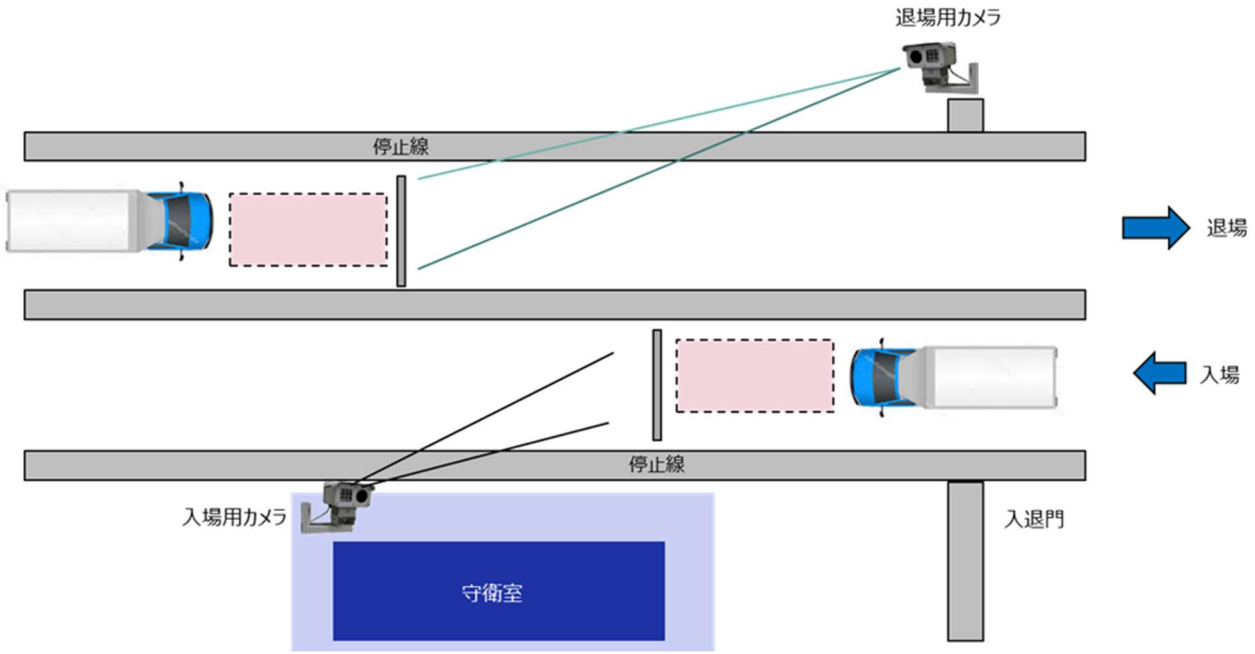


図 4.3.1-1 検証概要図

図 4.3.1-2 【参考】車両ナンバーの4要素

(a)照合判定「許可」

(b)照合判定「未登録」

図 4.3.1-3 車両ナンバー認識の判定例

b. 自動走行ロボットによる車両誘導

①設定経路逸脱率

規定の走行ルートにおける天候、時刻、屋外の明るさ等の複数パターンで実証した。

パターンとしては天候と時刻の組み合わせ等を想定し、パターン毎に入退ゲートエリア～荷揚岸壁エリアの往復での実測を2回行い逸脱率を確認した。

なお、逸脱率は保安上セキュリティ要件が高いため0%を目指した。

実証パターンとしては、以下で実施した。

（パターン）

・晴天時－昼間、夜間

・雨天時－昼間、夜間

設定経路逸脱のチェックポイントを8か所設けて、自動走行ロボットの走行状況を確認した。チェックポイントの選定は、走行ルートのうち右転や左転がある箇所とし、図 4.3.1-4 の箇所で確認した。

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-4,5,6,7 に示す。

図 4.3.1-4 設定経路逸脱率チェックポイント【出典：国土地理院ウェブサイト】

表 4.3.1-4 晴天時・昼間の自動走行ロボットの設定経路逸脱率

項 目	天 候	晴天時	
	時間帯	昼間	
	回 数	1回目	2回目
	日 時	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○
判定結果(往路)			
判定結果(復路)			
設定経路逸脱率(%)			

表 4.3.1-5 晴天時・夜間の自動走行ロボットの設定経路逸脱率

項 目	天 候	晴天時	
	時間帯	夜間	
	回 数	1回目	2回目
	日 時	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○
判定結果(往路)			
判定結果(復路)			
設定経路逸脱率(%)			

表 4.3.1-6 雨天時・昼間の自動走行ロボットの設定経路逸脱率

項 目	天 候	雨天時	
	時間帯	昼間	
	回 数	1回目	2回目
	日 時	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○
判定結果(往路)			
判定結果(復路)			
設定経路逸脱率(%)			

表 4.3.1-7 雨天時・夜間の自動走行ロボットの設定経路逸脱率

項 目	天 候	雨天時	
	時間帯	夜間	
	回 数	1回目	2回目
	日 時	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○
判定結果(往路)			
判定結果(復路)			
設定経路逸脱率(%)			

②障害物回避(緊急停止)失敗率

障害物の大きさ、天候、時刻、屋外の明るさ等の複数パターンにより障害物の回避機能(緊急停止)による安全性の評価を行った。パターンとしては天候と時刻の組み合わせ等を想定し、パターン毎に2回行い失敗率を確認した。なお、失敗率は保安上セキュリティ要件が高いため0%を目指した。判定基準は障害物に衝突した場合を失敗としカウントした。

実証パターンとしては、①晴天時－昼間、夜間／②雨天時－昼間、夜間で実施した。

障害物としては、発電所構内での作業等を考慮して、下記の障害物(詳細は図 4.3.1-5 の通り)を使用して確認した。

・障害物(大):車両／障害物(中):作業区画＋作業員／障害物(小):作業区画

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-8,9 に示す。

図 4.3.1-5 自動走行ロボットによる障害物回避(緊急停止)で使用した障害物

表 4.3.1-8 晴天時の自動走行ロボットの障害物回避(緊急停止)失敗率

項 目	天 候	晴天時					
	日 時	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○			○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○		
	障害物	大	中	小	大	中	小
判定結果(1回目)							
判定結果(2回目)							
障害物回避(緊急停止) 失敗率(%)							

表 4.3.1-9 雨天時の自動走行ロボットの障害物回避(緊急停止)失敗率

項 目	天 候	雨天時					
	日 時	○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○			○○○○年○月○日(○) ○○:○○～○○:○○		
	障害物	大	中	小	大	中	小
判定結果(1回目)							
判定結果(2回目)							
障害物回避(緊急停止) 失敗率(%)							

③遠隔操作可否

操作PC(自動走行ロボットサーバ)によるローカル 5G ネットワークを使用した遠隔での自動走行ロボットの操作可否を無線エリア、天候、時刻、屋外の明るさ等の複数パターンにより評価を行った。パターンとしては天候と時刻の組み合わせ等を想定し、パターン毎に2回行い失敗率を確認した。

なお、失敗率は保安上セキュリティ要件が高いため0%を目指した。判定基準は、前進、後進、左転、右転等の遠隔での操作に対して即応することとした。

実証パターンとしては、以下で実施した。

(パターン)

・無線機(RU)エリア:晴天時－昼間、夜間、雨天時－昼間、夜間

・中継器エリア　　:晴天時－昼間、夜間、雨天時－昼間、夜間

遠隔での自動走行ロボットの操作は、走行ルート上の駐車車両を回避する操作(前進、後進、左転、右転)で確認した。(詳細は、図 4.3.1-6 の通り)

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-10,11,12,13 に示す。

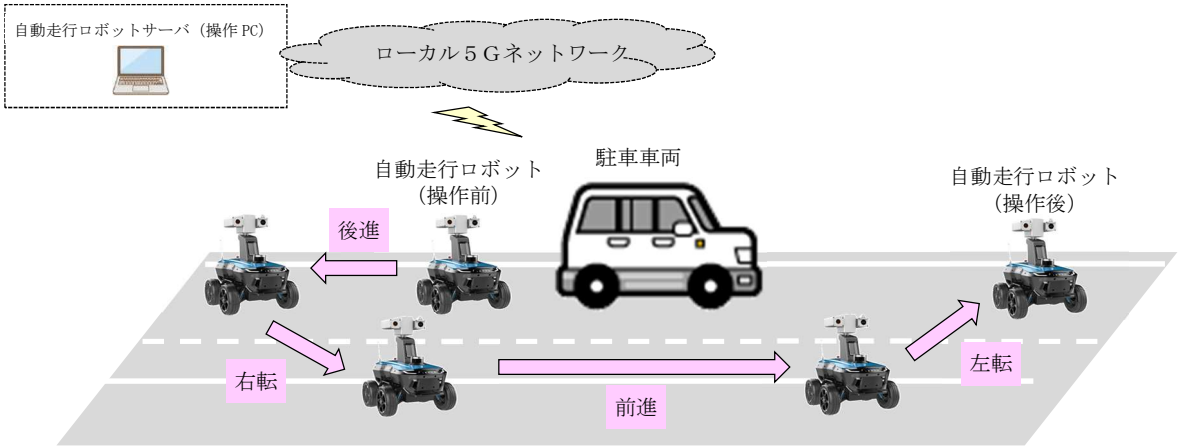


図 4.3.1-6 遠隔での自動走行ロボット操作可否確認方法

表 4.3.1-10 晴天時の自動走行ロボットの操作可否（無線機（RU）エリア）

項 目	天 候	晴天時							
	日 時	○○○○年○月○日（○） ○○:○○～○○:○○（昼間）				○○○○年○月○日（○） ○○:○○～○○:○○（夜間）			
	エリア								
	操 作	前進	後進	左転	右転	前進	後進	左転	右転
判定結果（1回目）									
判定結果（2回目）									
操作失敗率（%）									

表 4.3.1-11 雨天時の自動走行ロボットの操作可否（無線機（RU）エリア）

項 目	天 候	雨天時							
	日 時	○○○○年○月○日（○） ○○:○○～○○:○○（昼間）				○○○○年○月○日（○） ○○:○○～○○:○○（夜間）			
	エリア								
	操 作	前進	後進	左転	右転	前進	後進	左転	右転
判定結果（1回目）									
判定結果（2回目）									
操作失敗率（%）									

表 4.3.1-12 晴天時の自動走行ロボットの操作可否（中継器エリア）

項 目	天 候	晴天時							
	日 時	○○○○年○月○日（○） ○○:○○～○○:○○（昼間）				○○○○年○月○日（○） ○○:○○～○○:○○（夜間）			
	エリア								
	操 作	前進	後進	左転	右転	前進	後進	左転	右転
判定結果（1回目）									
判定結果（2回目）									
操作失敗率（%）									

表 4.3.1-13 雨天時の自動走行ロボットの操作可否（中継器エリア）

項 目	天 候	雨天時							
	日 時	○○○○年○月○日（○） ○○:○○～○○:○○（昼間）				○○○○年○月○日（○） ○○:○○～○○:○○（夜間）			
	エリア								
	操 作	前進	後進	左転	右転	前進	後進	左転	右転
判定結果（1回目）									
判定結果（2回目）									
操作失敗率（%）									

④画質

解像度およびフレームレートを実測して評価を行った。

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-14 に示す。

表 4.3.1-14 自動走行ロボット映像の実測

項 目	計算値	実測値
解像度	1,920×1,020	
フレームレート	25fps	

なお、フレームレートの測定は、動画ファイルに対してファイルの情報を確認し、想定された解像度で保存されているかを確認した。

c. ドローンによる巡視点検

①設定経路逸脱率

複数の飛行ルートにおける天候、時刻の複数パターンで実証した。飛行ルートについては、図 4.3.1-7,8,9 に示す。

パターンとしては天候と時刻の組み合わせ等を想定し、パターン毎に実測を2回行い逸脱率を導いた。なお、逸脱率は保安上セキュリティ要件が高いため0%を目指した。(雨や夜間時、強風時は除外)

なお、港湾部の岸壁では、海岸の岸壁状況を確認するように飛行させ、貯炭場では、煙等異常がないかを確認することやメータリングが撮影が可能かを目的に撮影した。

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-15 に示す。

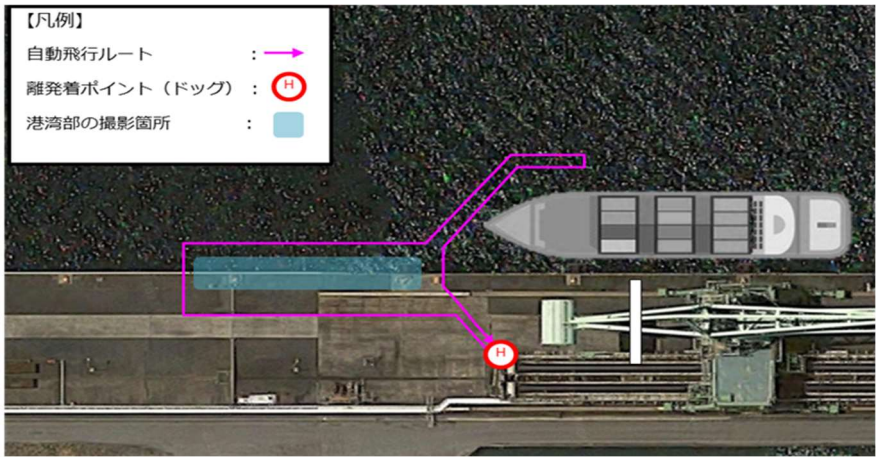


図 4.3.1-7 設定経路逸脱率検証ルート(港湾部の岸壁)【出典:国土地理院ウェブサイト】

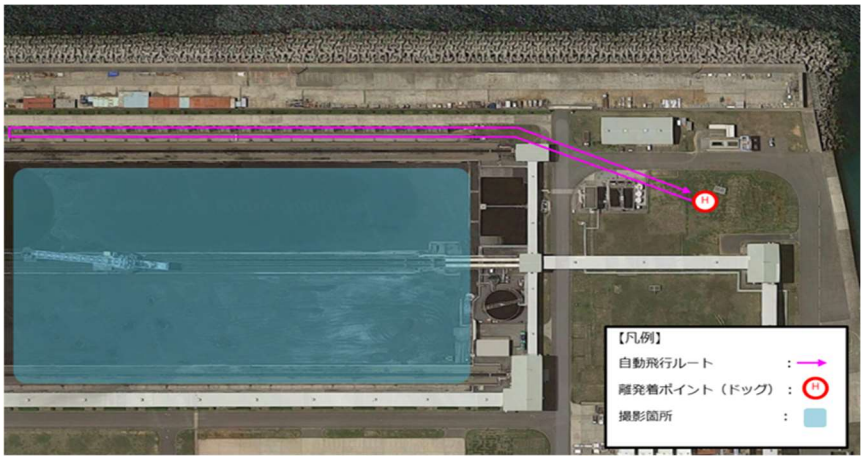


図 4.3.1-8 設定経路逸脱率検証ルート(貯炭場エリア)【出典:国土地理院ウェブサイト】

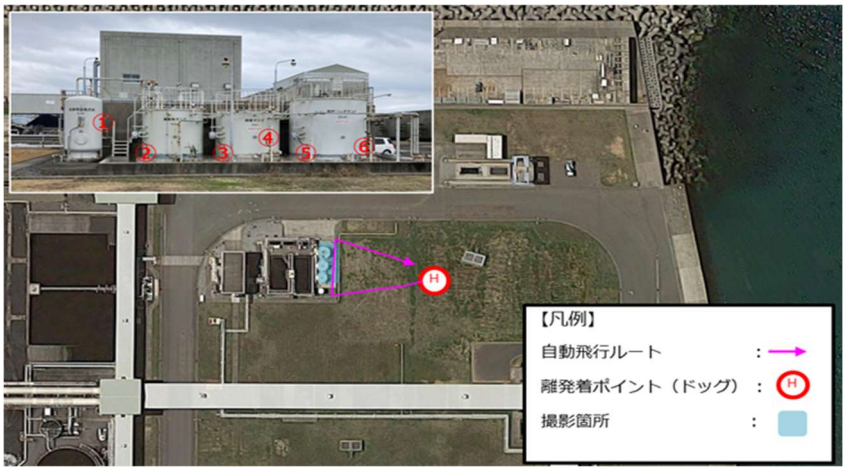


図 4.3.1-9 設定経路逸脱率検証ルート(メータリング)【出典:国土地理院ウェブサイト】

表 4.3.1-15 ドローンの設定経路逸脱率のアウトプット例

項 目	検証パターン(場所:港湾部の岸壁および貯炭場エリア)						
	天 候	晴れ			曇り		
	時 刻	朝 (8 時頃)	昼間 (13 時頃)	夕方 (16 時頃)	朝 (8 時頃)	昼間 (13 時頃)	夕方 (16 時頃)
	風 速	地上平均 5m/s 以下					
判定結果(1回目)							
判定結果(2回目)							
飛行ルートの逸脱率(%)							

【計算式】飛行ルートの逸脱率＝失敗回数／(2天候×3時刻×2回)

②障害物回避失敗率

障害物の大きさ、天候、時刻の複数パターンにより障害物の回避機能による安全性の評価を行った。パターンとしては天候と時刻の組み合わせ等を想定し、パターン毎に実測を2回行い失敗率を導いた。なお、失敗率は保安上セキュリティ要件が高いため0%を目指した。(雨や夜間時、強風時は除外)

また、トラック等の車両、自転車や作業区画(パイロンと棒)等をダミー障害物として利用し、判定基準は障害物に衝突した場合を失敗としカウントした。

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-16 に示す。

表 4.3.1-16 ドローンの障害物回避失敗率のアウトプット例

項 目	検証パターン(場所:港湾部の岸壁)																	
	天 候	晴れ									曇り							
	時 刻	朝 (8 時頃)			昼間 (13 時頃)			夕方 (16 時頃)			朝 (8 時頃)			昼間 (13 時頃)			夕方 (16 時頃)		
	風 速	地上平均 5m/s 以下																
	障害物	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小
判定結果(1回目)																			
判定結果(2回目)																			
障害物回避失敗率(%)																			

障害物として、車両、自転車や作業区画(パイロンと棒)をダミー障害物(詳細は図 4.3.1-10,11 の通り)として利用し、判定基準は障害物に衝突した場合を失敗としカウントした。

・障害物(大):車両/障害物(中):自転車/障害物(小):作業区間(パイロンと棒)

【計算式】障害物回避失敗率=失敗回数/(2天候×3時刻×3障害物×2回)

図 4.3.1-10 ドローン飛行による障害物回避で使用した障害物

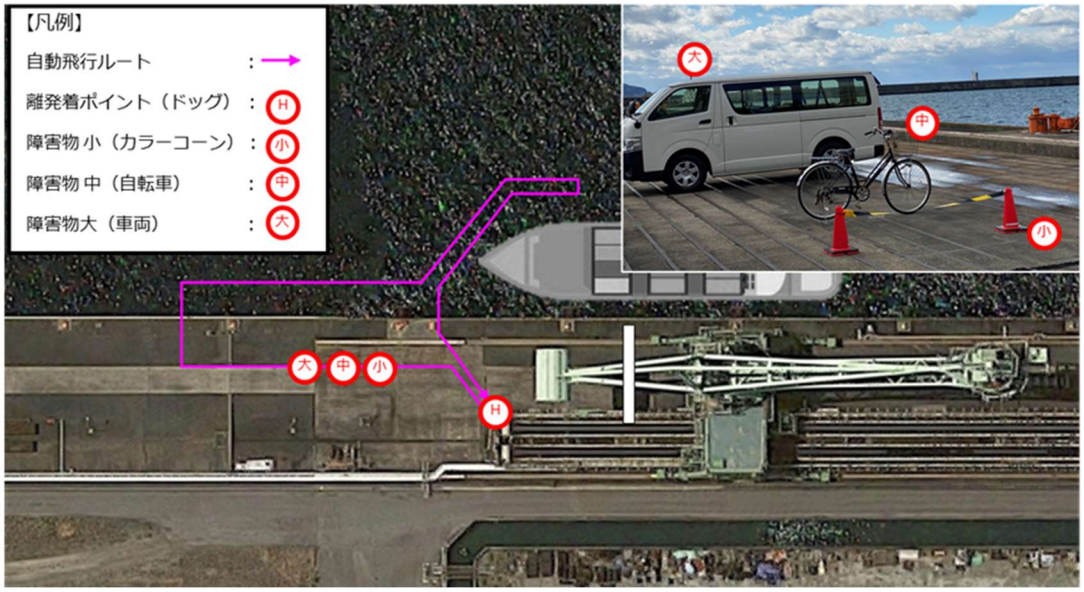


図 4.3.1-11 障害物回避検証ルート【出典:国土地理院ウェブサイト】

③映像確認失敗率

複数の飛行ルートにおける天候、時刻の複数パターンで遠隔手動で実証した。飛行ルートについては、図 4.3.1-12 に示す。

パターンとしては天候と時刻の組み合わせ等を想定し、パターン毎に実測を2回行い映像確認失敗率を導いた。なお、失敗率は保安上セキュリティ要件が高いため0%を目指した。（雨や夜間時、強風時は除外）

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-17 に示す。

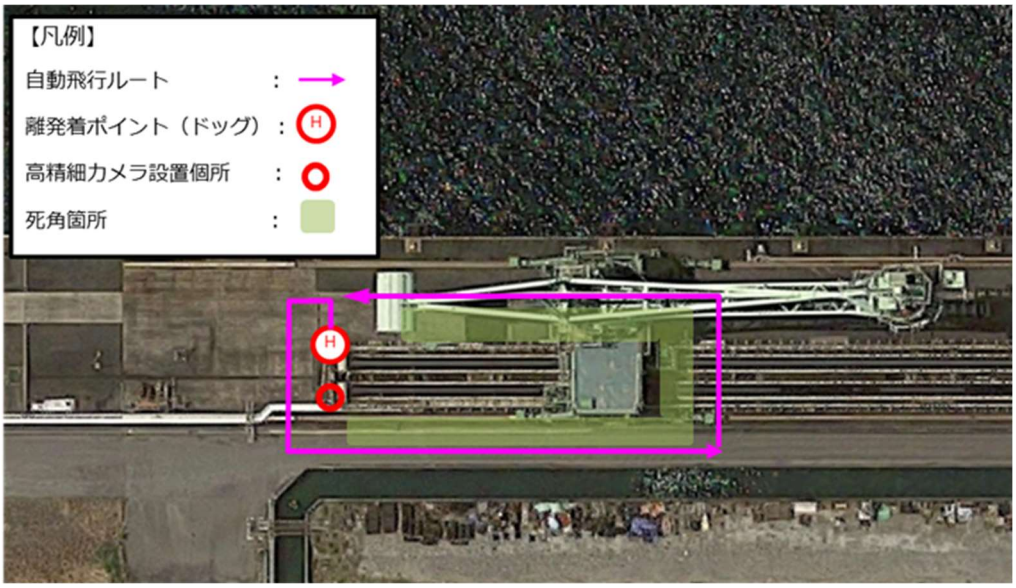


図 4.3.1-12 映像確認失敗率検証ルート【出典:国土地理院ウェブサイト】

表 4.3.1-17 ドローンの映像確認失敗率のアウトプット例

項 目	検証パターン（場所：港湾部の岸壁）						
	天 候	晴れ			曇り		
	時 刻	朝 （8 時頃）	昼間 （13 時頃）	夕方 （16 時頃）	朝 （8 時頃）	昼間 （13 時頃）	夕方 （16 時頃）
	風 速	地上平均 5m/s 以下					
判定結果（1回目）							
判定結果（2回目）							
映像確認失敗率（%）							

④画質

解像度およびフレームレートを実測して評価を行った。

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-18 に示す。

表 4.3.1-18 ドローンカメラ映像の実測アウトプット例

項 目	計算値	実測値
解像度	1,280×720	
フレームレート	30fps	
遅延	1 秒以内	

なお、フレームレートの測定は、動画ファイルに対してファイルの情報を確認し、想定された解像度で保存されているかを確認した。

d. 高精細カメラによる監視

①画質

解像度およびフレームレートを実測して評価を行った。

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-19 に示す。

表 4.3.1-19 高精細カメラの実測アウトプット例

項 目	計算値	実測値
解像度	3,840×2,160	
フレームレート	30fps	

なお、フレームレートの測定は、動画ファイルに対してファイルの情報を確認し、想定された解像度で保存されているかを確認した。

e. 共通（ネットワーク）

①遅延時間

伝送遅延の測定は、カメラにてデジタル時計（ミリ秒単位）を表示した PC のモニターを撮影し、カメラ映像をその PC に表示しスクリーンショットすることで遅延（時間差）を記録した。遅延時間の記録方法を図 4.3.1-13 に示す。

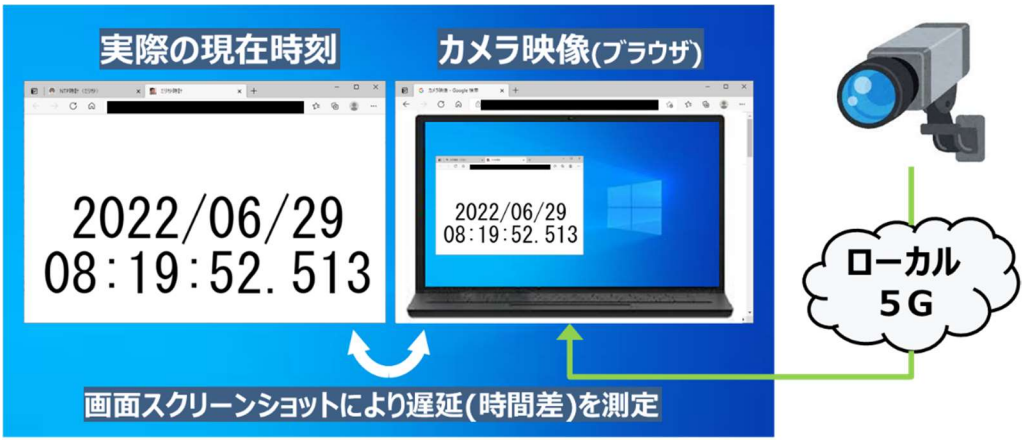


図 4.3.1-13 カメラ映像遅延測定

②伝送トラフィック

各ソリューションを単独接続と4つのソリューション全てを同時接続した場合のスループットを測定し、表 2.4.1-2～表 2.4.1-3 にて算出したトラフィック相当となっていることを確認した。また、各種ソリューションの設定値は各ソリューションの有効性検証を行った結果による最適値を設定して（天候等の不可変パラメータはベストエフォート環境（晴天時等）とする）実施した。

なお、検証結果のアウトプットイメージを表 4.3.1-20 に示す。

表 4.3.1-20 伝送トラフィック実測のアウトプット例

機器種別	想定ビットレート	実測値
高精細カメラ（4K）港湾監視用	45Mbps	
高精細カメラ（4K）入退管理用	30Mbps	
ドローンカメラ（HD）	最大 5Mbps	
自動走行ロボットカメラ（Full HD）	最大 25Mbps	
車両認証カメラ（Full HD）	1Mbps	
全て同時接続（ドローン 2 台）	111Mbps	

なお、通信品質やその他性能において所望要件を満たせなかった場合、外部からの影響を受けない電波暗室等特別な環境において検証を行うことを考慮した。

3） 検証結果および考察

a. AI 入退管理

①車両認識率

天候（晴、雨）と明暗（時間帯）を考慮し、4パターンの検証を実施し、システムの車両認識判定が良好になる（車両ナンバーの4つの要素（図4.3.1-2）を良好に認識できる）ことを確認した。その結果を下表に示す。

表 4.3.1-21 晴天時の車両認識率

項目	天 候	晴れ	
	日 時	令和５年２月３日（金） 7:30～8:30（明）	令和５年２月３日（金） 18:00～19:00（暗）
STEP1	読み取り成功台数	184 台	33 台
	車両通過台数	184 台	33 台
	車両番号読み取り（%）	100%	100%
STEP2	判定成功台数	184 台	33 台
	照合判定実施台数	184 台	33 台
	照合判定率（%）	100%	100%
STEP3	車両認識率（%）	100%	100%

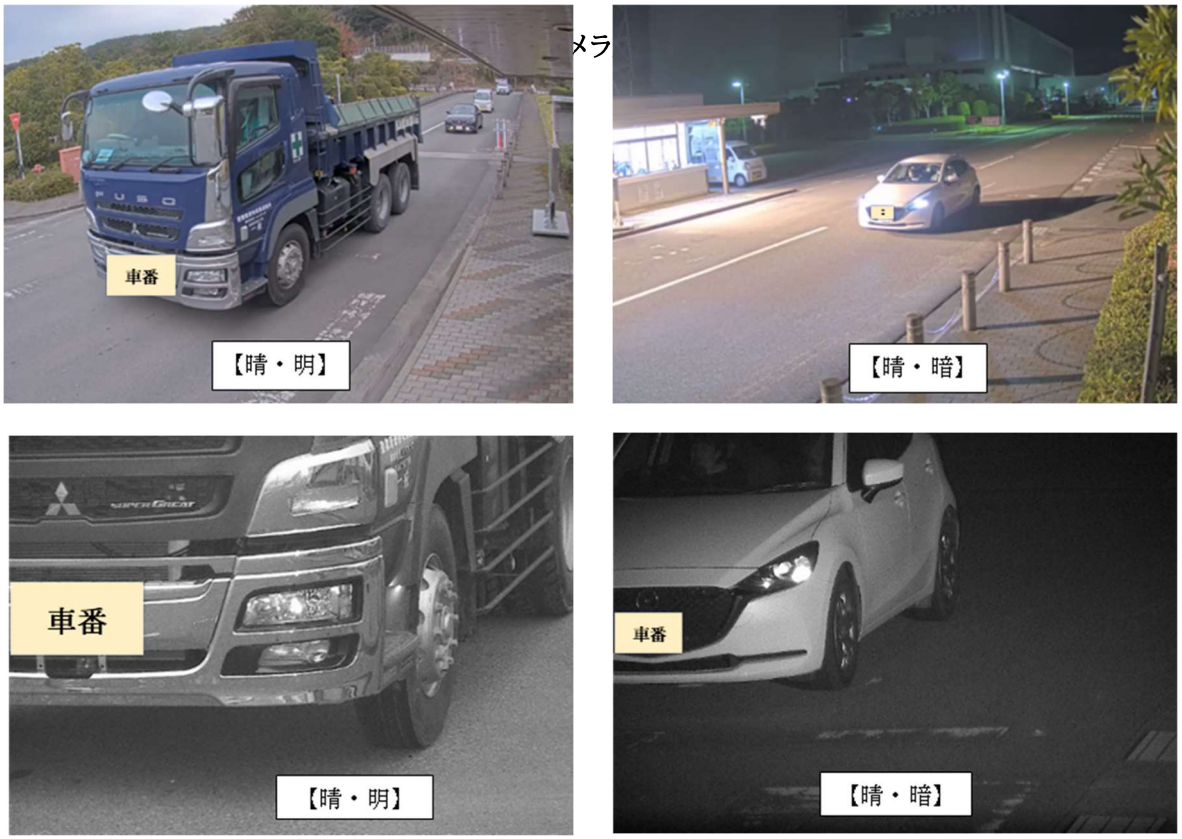


図 4.3.1-15 晴天時の車番読取用静止画（車両番号読み取り率照合）

表 4.3.1-22 雨天時の車両認識率

項目	天 候	雨	
	日 時	令和５年２月６日(月)	令和５年２月６日(月)
		17:00～18:00(明)	18:00～19:00(暗)
STEP1	読み取り成功台数	140 台	23 台
	車両通過台数	140 台	23 台
	車両番号読み取り(%)	100%	100%
STEP2	判定成功台数	140 台	23 台
	照合判定実施台数	140 台	23 台
	照合判定率(%)	100%	100%
STEP3	車両認識率(%)	100%	100%

図 4.3.1-16 雨天時の IP カメラ動画(車両番号読み取り率照合)

図 4.3.1-17 雨天時の車番読取用静止画(車両番号読み取り率照合)

b. 自動走行ロボットによる車両誘導

① 設定経路逸脱率

規定の走行ルートにおける天候、時刻、屋外の明るさ等を考慮していた4パターンで入退ゲートエリア～荷揚岸壁エリア間の往復を2回の計8回走行させ逸脱率を確認した。

設定経路逸脱の確認は、8か所のチェックポイントでロボットの走行状況を確認したが、天候、時刻、屋外の明るさ等に関係なく、規定の走行ルートを逸脱せずに走行できることを確認した。その結果を下表に示す。

なお、8か所のチェックポイント以外の走行ルートでも走行状況を確認したが、全区間において、規定の走行ルートを逸脱せずに走行できることを確認した。

また、走行時の風速をチェックポイント毎に実測した結果、風速0～6m／s であったが、特に風の影響を受けることなく、走行することも確認できた。

今回、規定の走行ルートを逸脱することなく走行できたが、走行距離が片道1.5kmで約45分の時間を要することが判明した。要因としては、自動走行時の自己位置推定に必要な情報を LiDAR により取り込んでいることから、走行ルートの周囲の環境状況が記憶している自己位置推定情報と異なった場合や屋外環境の参照物が少ない走行ルート上において、一旦停止する等の動作を確認した。また、ロボットの最大速度は 6.8km/h であるが、上記の通り周囲の環境状況や屋外環境の参照物が少ない箇所、右転、左転が必要な箇所では速度調整（減速）が必要となるため、走行時間を要する結果となった。

表 4.3.1-23 晴天時・昼間の自動走行ロボットの設定経路逸脱率

項 目	天 候	晴天時	
	時間帯	昼間	
	回 数	1回目	2回目
	日 時	令和５年１月 31 日（火） 13:52～16:18	令和５年２月１日（水） 10:15～12:05
判定結果（往路）		無	無
判定結果（復路）		無	無
設定経路逸脱率（%）		0%	

表 4.3.1-24 晴天時・夜間の自動走行ロボットの設定経路逸脱率

項 目	天 候	晴天時	
	時間帯	夜間	
	回 数	1回目	2回目
	日 時	令和５年１月 30 日(月) 16:52～18:58	令和５年１月 31 日(火) 18:00～19:35
判定結果(往路)		無	無
判定結果(復路)		無	無
設定経路逸脱率(%)		0%	

表 4.3.1-25 雨天時・昼間の自動走行ロボットの設定経路逸脱率

項 目	天 候	雨天時	
	時間帯	昼間	
	回 数	1回目	2回目
	日 時	令和５年２月２日(木) 13:21～17:27	令和５年２月３日(金) 11:06～12:44
判定結果(往路)		無	無
判定結果(復路)		無	無
設定経路逸脱率(%)		0%	

表 4.3.1-26 雨天時・夜間の自動走行ロボットの設定経路逸脱率

項 目	天 候	雨天時	
	時間帯	夜間	
	回 数	1回目	2回目
	日 時	令和５年２月１日(水) 18:07～20:00	令和５年２月２日(木) 18:00～19:37
判定結果(往路)		無	無
判定結果(復路)		無	無
設定経路逸脱率(%)		0%	

図 4.3.1-18 設定経路走行中(設定経路逸脱率確認中)

② 障害物回避(緊急停止)失敗率

天候、時刻、屋外の明るさ等を考慮した4パターンおよび発電所構内での各種作業を踏まえて、3種類(大、中、小)の障害物を使用して障害物回避(緊急停止)を確認した。

なお、障害物回避(緊急停止)は、自動走行ロボットに搭載しているセンサーにて障害物を検知し、障害物回避(緊急停止)するため、ローカル 5G エリアのうち無線機(RU)エリアで実施した。

障害物回避(緊急停止)を確認した結果、天候、時刻、屋外の明るさ等に関係なくセンサーにて障害物を検知し、緊急停止することを確認した。

試験結果については、障害物回避(緊急停止)した場合に「良」とした。

表 4.3.1-27 晴天時の自動走行ロボットの障害物回避(緊急停止)失敗率

項 目	天 候	晴天時					
	日 時	令和 5 年 1 月 31 日(火) 10:57～11:37(昼間)			令和 5 年 1 月 30 日(月) 19:15～19:52(夜間)		
	障害物	大	中	小	大	中	小
判定結果(1回目)		良	良	良	良	良	良
判定結果(2回目)		良	良	良	良	良	良
障害物回避(緊急停止) 失敗率(%)		0%					

表 4.3.1-28 雨天時の自動走行ロボットの障害物回避(緊急停止)失敗率

項 目	天 候	雨天時					
	日 時	令和５年２月１日(水) 13:37～14:09(昼間)			令和５年２月１日(水) 20:18～20:56(夜間)		
	障害物	大	中	小	大	中	小
判定結果(1回目)		良	良	良	良	良	良
判定結果(2回目)		良	良	良	良	良	良
障害物回避(緊急停止) 失敗率(%)		0%					

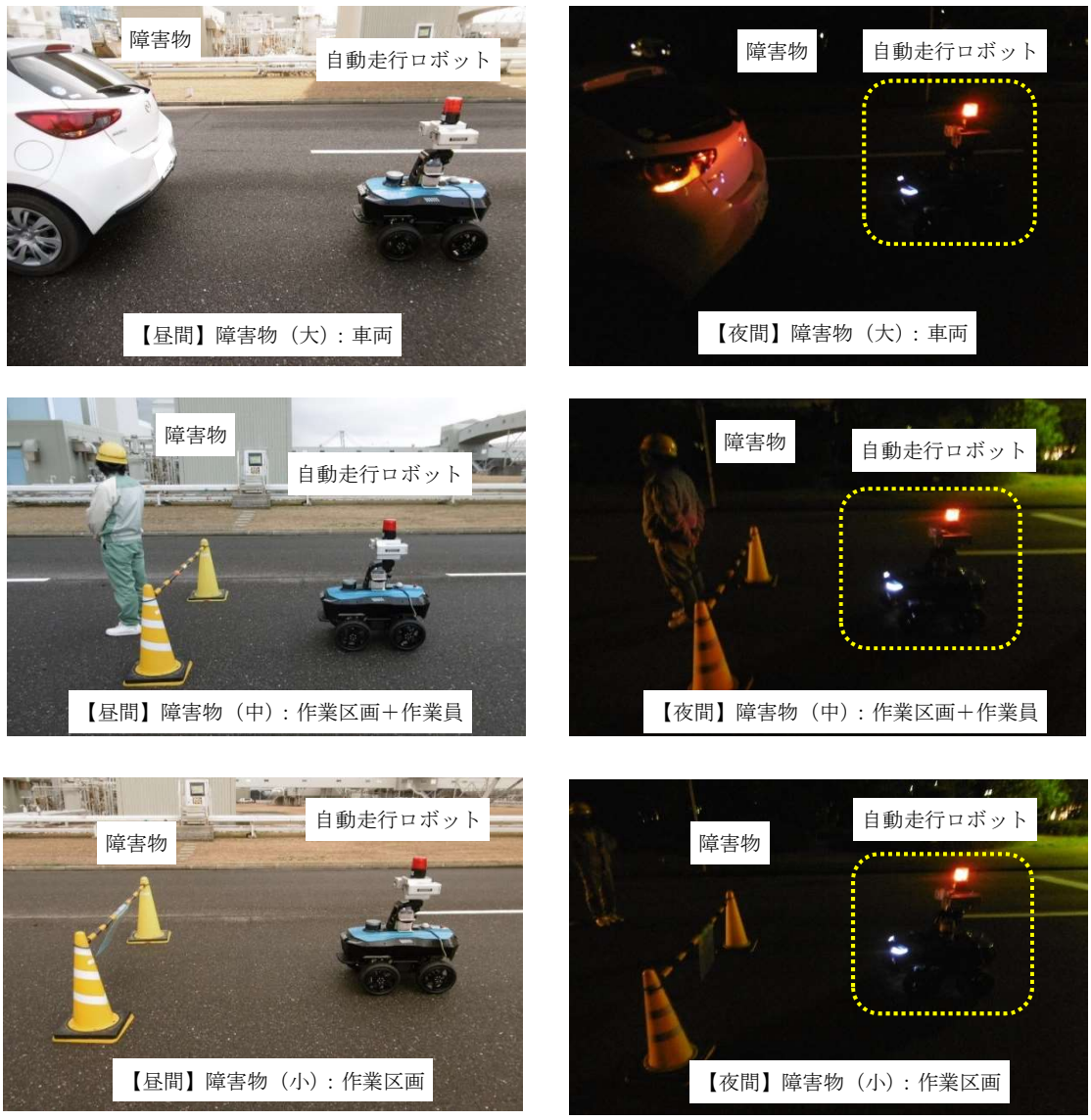


図 4.3.1-19 自動走行ロボットによる障害物回避(緊急停止)実証中

③ 操作可否

操作PC(自動走行ロボットサーバ)によるローカル5Gネットワークを使用した遠隔での自動走行ロボットの操作可否を天候、時刻、屋外の明るさ等を考慮してた4パターンおよびローカル5エリアのうち無線機(RU)エリア、中継器エリアで確認した。

操作PCによる遠隔での自動走行ロボットの操作を確認した結果、天候、時刻、屋外の明るさ等に関係なく、操作できることを確認した。

試験結果については、遠隔での自動走行ロボットの操作ができた場合に「良」とした。

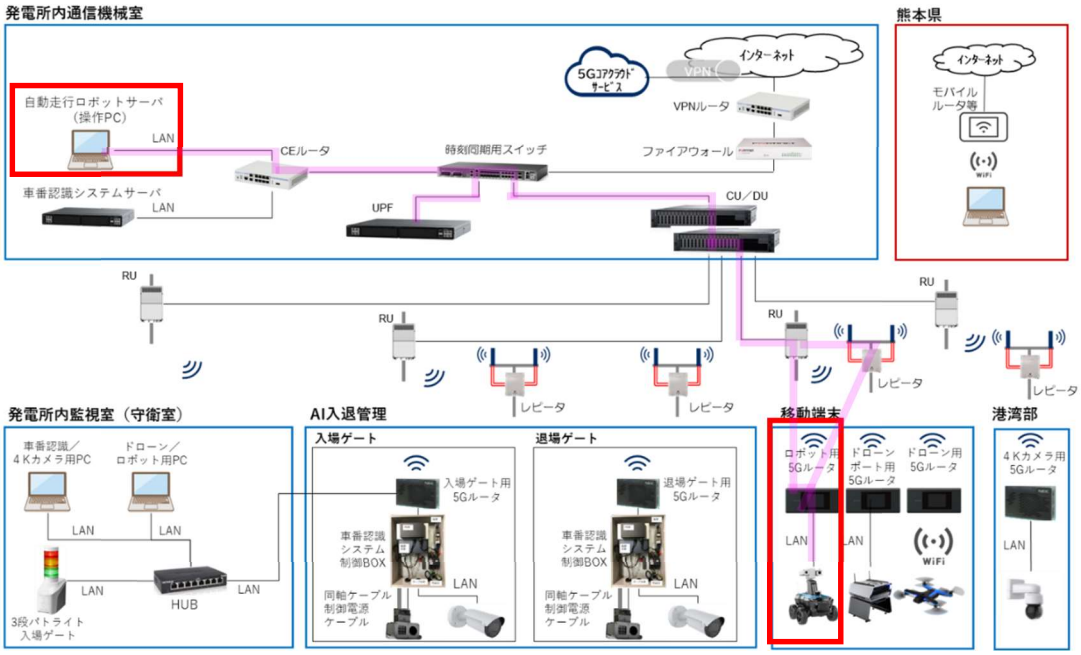


図 4.3.1-20 遠隔での自動走行ロボット操作構成

表 4.3.1-29 晴天時の自動走行ロボットの操作可否(無線機(RU)エリア)

項 目	天 候	晴天時							
	日 時	令和5年1月30日(月) 14:25～14:40(昼間)				令和5年1月30日(月) 19:54～20:03(夜間)			
	エリア	RU4				RU2			
	操 作	前進	後進	左転	右転	前進	後進	左転	右転
判定結果(1回目)		良	良	良	良	良	良	良	良
判定結果(2回目)		良	良	良	良	良	良	良	良
操作失敗率(%)		0%							

表 4.3.1-30 雨天時の自動走行ロボットの操作可否(無線機(RU)エリア)

項 目	天 候	雨天時							
	日 時	令和５年２月１日(水) 14:10～14:18(昼間)				令和５年２月１日(水) 20:58～21:07(夜間)			
	エリア	RU2				RU1			
	操 作	前進	後進	左転	右転	前進	後進	左転	右転
判定結果(1回目)		良	良	良	良	良	良	良	良
判定結果(2回目)		良	良	良	良	良	良	良	良
操作失敗率(%)		0%							

表 4.3.1-31 晴天時の自動走行ロボットの操作可否(中継器エリア)

項 目	天 候	晴天時							
	日 時	令和５年１月 31 日(火) 11:41～11:56(昼間)				令和５年１月 31 日(火) 19:45～19:55(夜間)			
	エリア	REP3				REP3			
	操 作	前進	後進	左転	右転	前進	後進	左転	右転
判定結果(1回目)		良	良	良	良	良	良	良	良
判定結果(2回目)		良	良	良	良	良	良	良	良
操作失敗率(%)		0%							

表 4.3.1-32 雨天時の自動走行ロボットの操作可否(中継器エリア)

項 目	天 候	雨天時							
	日 時	令和５月１日(水) 14:30～14:39(昼間)				令和５年２月２日(木) 20:07～20:18(夜間)			
	エリア	REP3				REP3			
	操 作	前進	後進	左転	右転	前進	後進	左転	右転
判定結果(1回目)		良	良	良	良	良	良	良	良
判定結果(2回目)		良	良	良	良	良	良	良	良
操作失敗率(%)		0%							

図 4.3.1-21 自動走行ロボットによる操作可否実証中

④ 画質

自動走行ロボットの録画映像の解像度およびフレームレートを実測したが、計算値と同等であることを確認した。

表 4.3.1-33 自動走行ロボット映像の実測

項 目	計算値	実測値
解像度	1,920×1,080	1,920×1,080
フレームレート	25fps	25fps

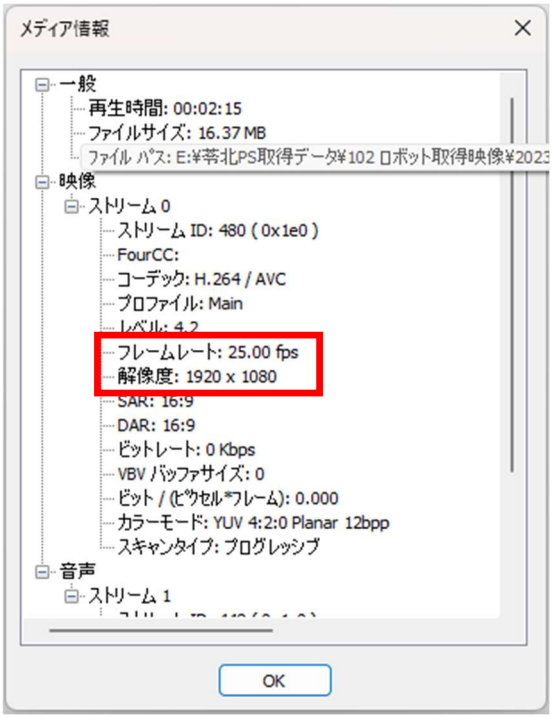


図 4.3.1-22 自動走行ロボットの録画映像情報

c. ドローンによる巡視点検

① 設定経路逸脱率

港湾部の岸壁および貯炭場エリアの2か所で飛行ルート(3ルート)を設定し、天候、時刻の複数パターンで自動飛行による巡視点検検証を実施した。現状の巡視・点検を想定し、パターンとしては天候と時刻の組み合わせ等を想定したパターン毎に実測を2回行った。その結果、各所とも天候、時刻にかかわらず設定ルートを逸脱することなくルート上を飛行し、逸脱率は0%となった。詳細は下記に記載する。

港湾部の岸壁における結果を表4.3.1-34に示す。湾岸での飛行では、湾岸部の壁面をルート設定(ビジュアル設定)して実施した。設定した飛行ルートで問題なく撮影でき、設定経路の逸脱こそなかったが、海上での飛行のビジュアルルート設定時に、ドローン機体が上下に動く等の不安定な動作が確認された。これは、飛行日光での海面反射によりビジュアルSLAMが誤作動を起こしている可能性が推定される。また、晴れの日等、日光が強い日は離着陸地点に設置したドッグに着陸できない事象も確認されたが、今回設定したルートでの経路を逸脱することがなかった。

表 4.3.1-34 港湾部の岸壁における設定経路逸脱率

項 目	検証パターン(場所:港湾部の岸壁)						
	天 候	晴れ			曇り		
	時 刻	8:06 ~8:22 (朝)	12:22 ~12:44 (昼)	15:52 ~16:27 (夕)	9:00 ~9:24 (朝)	13:03 ~14:13 (昼)	16:19 ~16:43 (夕)
	風 速	地上平均 5m/s 以下					
判定結果(1回目)		無	無	無	無	無	無
判定結果(2回目)		無	無	無	無	無	無
飛行ルートの逸脱率(%)		0%					

図 4.3.1-23 ドローンによる湾岸部の岸壁での飛行状況

次に、貯炭場における結果を表4.3.1-35,36に示す。貯炭場での飛行では、貯炭場の異常有無の確認のルート設定（GPS設定）と、メータリング確認のルート設定（ビジュアル設定）による撮影を実施した。双方のルートとも設定したルートで問題なく撮影でき、設定経路を逸脱することなかった。ただし、貯炭場の異常有無の確認ルートでは、進行方向に対して左右に±5m程度で誤差が生じた（撮影自体に影響なし）。これはGPSでの誤差によるものと考えられる。

また、メータリング確認では、メータリングは可能であったが、毎回全く同じ場所に飛行せずに、数十cmのずれが生じた。これは、メータまでに到達するまでの風の影響等によって誤差が生じたと推定される。

さらに、湾岸部の場合と同様に、晴れの日等、日光が強い日は離着陸地点に設置したドッグに着陸できない事象も確認されたが、今回設定したルートでの経路を逸脱することがなかった。

表 4.3.1-35 貯炭場におけるドローンの設定経路逸脱率

項 目		検証パターン（場所：貯炭場）					
	天 候	晴れ			曇り		
	時 刻	8:05 ～8:20 （朝）	13:00 ～13:11 （昼）	16:00 ～16:42 （夕）	8:58 ～9:16 （朝）	14:33 ～14:45 （昼）	15:34 ～15:50 （夕）
	風 速	地上平均 5m/s 以下					
判定結果（1回目）		無	無	無	無	無	無
判定結果（2回目）		無	無	無	無	無	無
飛行ルートの逸脱率（%）		0%					

図 4.3.1-24 ドローンによる貯炭場での飛行状況

表 4.3.1-36 貯炭場でのメータリングにおけるドローンの設定経路逸脱率

項 目	検証パターン(場所:貯炭場)						
	天 候	晴れ			曇り		
	時 刻	9:00 ～9:10 (朝)	12:49 ～12:57 (昼)	15:55 ～16:02 (夕)	8:24 ～8:31 (朝)	12:39 ～12:53 (昼)	16:51～ 16:58 (夕)
	風 速	地上平均 5m/s 以下					
判定結果(1回目)		無	無	無	無	無	無
判定結果(2回目)		無	無	無	無	無	無
飛行ルートの逸脱率(%)		0%					

図 4.3.1-25 ドローンによるメータリング飛行状況

② 障害物回避失敗率

港湾部の岸壁において、障害物の大きさ、天候、時刻の複数パターンにより障害物の回避機能による安全性の評価を行った。パターンとしては天候と時刻の組み合わせ等を想定し、パターン毎に実測を2回行った。

その結果、障害物を回避し、ルートを逸脱することなく、設定したルート上を飛行し、失敗率は0%となった。その一覧を表4.3.1-37に示す。(障害物に衝突せずに、回避して飛行した場合に「良」とした。)

また、ドローンはダミー障害物の大中小に関わらず障害物を検知したのちに上部へ回避し、飛行ルート上を飛行した。

なお、本機体における衝突防止機能は、不動の障害物であれば回避が可能であるが、自動車やアンローダ等の稼働物が動作している場合については、衝突防止機能が追い付かず、衝突する可能性がある。

表 4.3.1-37 ドローンの障害物回避失敗率

項目	検証パターン（場所：港湾部の岸壁）																	
天 候	晴れ									曇り								
時 刻	8:06 ～8:22 （朝）			12:22 ～12:44 （昼）			15:52 ～16:27 （夕）			9:00 ～9:24 （朝）			13:03 ～14:13 （昼）			16:19 ～16:43 （夕）		
風 速	地上平均 5m/s 以下																	
障害物	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小	大	中	小
判定結果（1回目）	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
判定結果（2回目）	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良	良
障害物回避失敗率（%）	0%																	

図 4.3.1-26 ドローン飛行における障害物回避状況

③ 映像確認失敗率

港湾部の岸壁において、遠隔手動操作を実施し、天候、時刻の複数パターンで実証を行った。パターンとしては天候と時刻の組み合わせ等を想定し、パターン毎に実測を2回行った。

その結果、高精細カメラでは死角となる場所を遠隔飛行はでき、失敗率は0％であった。なお、遠隔手動操作はリアルタイムでの制御であるため、ローカル5GやWi-Fi通信がローミング等により途切れる瞬間は制御ができないようになることを確認した。その際は、その場にとどまる挙動（ホバーリング）をしたが、通信が回復すると制御も回復した。もし、一定時間通信が途切れた状態が続いた場合、RTH（リターントゥホーム）機能が動作し、離着陸地点に戻る。

また、設定経路逸脱での検証と同様に、晴れ等の日光が強い日は離着陸地点に設置したドッグに着陸できない事象が確認された。

表 4.3.1-38 ドローンの映像確認失敗率

項目	検証パターン(場所:港湾部の岸壁)						
	天 候	晴れ			曇り		
	時 刻	9:03 ～9:28 (朝)	12:04 ～12:24 (昼)	16:00 ～16:17 (夕)	9:30 ～9:50 (朝)	12:50 ～13:13 (昼)	16:47 ～16:57 (夕)
	風 速	地上平均 5m/s 以下					
判定結果(1回目)		無	無	無	無	無	無
判定結果(2回目)		無	無	無	無	無	無
映像確認失敗率(%)		0%					

図 4.3.1-27 ドローン飛行における高精細カメラ死角の撮影映像

④ 画質

ドローン飛行時に伝送されるリアルタイム映像の解像度およびフレームレートを実測して評価を行った。結果は下表の通り、計算値と同等であった。

表 4.3.1-39 ドローンカメラ映像の実測結果

項 目	計算値	実測値
解像度	1,280×720	1,280×720
フレームレート	30fps	30fps
遅延	1 秒以内	約 0.4 秒

d. 高精細カメラによる監視

① 画質

カメラのリアルタイム映像の解像度およびフレームレートの実測結果を下表に示す。結果は下表の通り、計算値と同等であるため、不審船等の目視確認が十分に可能である。

表 4.3.1-40 高精細カメラの解像度およびフレームレート実測結果

項 目	計算値	実測値
解像度	3,840×2,160	3,840×2,160
フレームレート	30fps	30fps

図 4.3.1-28 高精細カメラ映像

図 4.3.1-29 高精細カメラ映像の解像度およびフレームレート

e. 共通（ネットワーク）

⑦ 遅延時間

各ソリューションの遅延時間を実測し、各ソリューションの操作に影響がでないことを確認した。その結果を下表に示す。なお、AI 入退管理と高精細カメラについては、往復の通信経路のため半分に除算した。

表 4.3.1-41 遅延時間実測結果

各ソリューション（映像）	遅延時間
AI 入退管理	408 ミリ秒
自動走行ロボットによる車両誘導	343 ミリ秒
ドローンによる巡視点検	430 ミリ秒
高精細カメラによる監視	342 ミリ秒

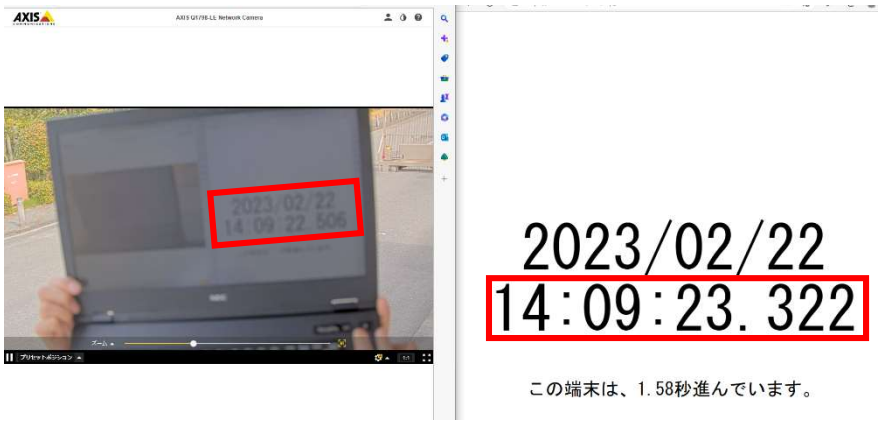


図 4.3.1-30 AI 入退管理の伝送遅延時間

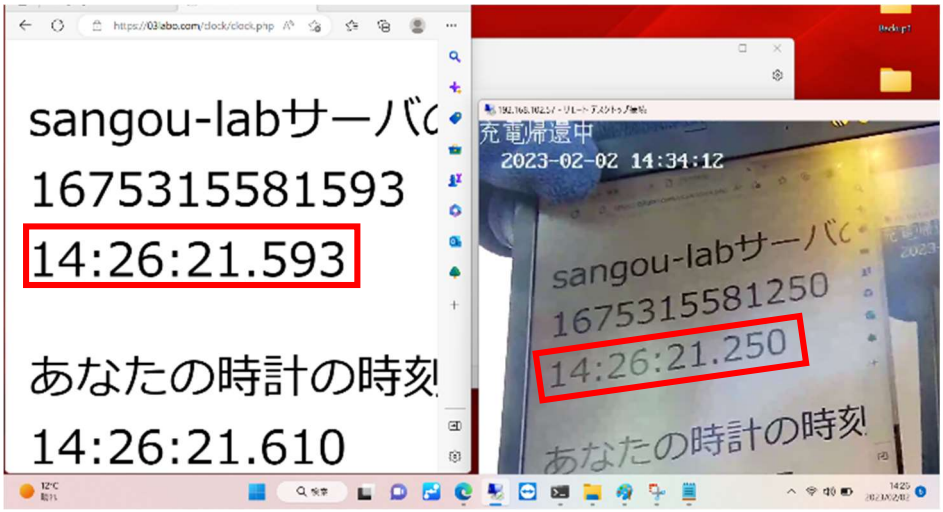


図 4.3.1-31 自動走行ロボットの伝送遅延時間

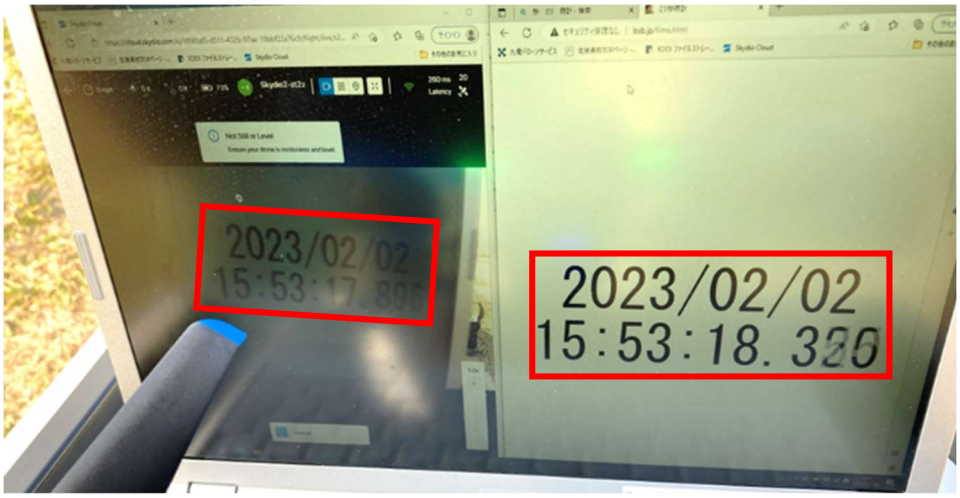


図 4.3.1-32 ドローン映像の伝送遅延時間

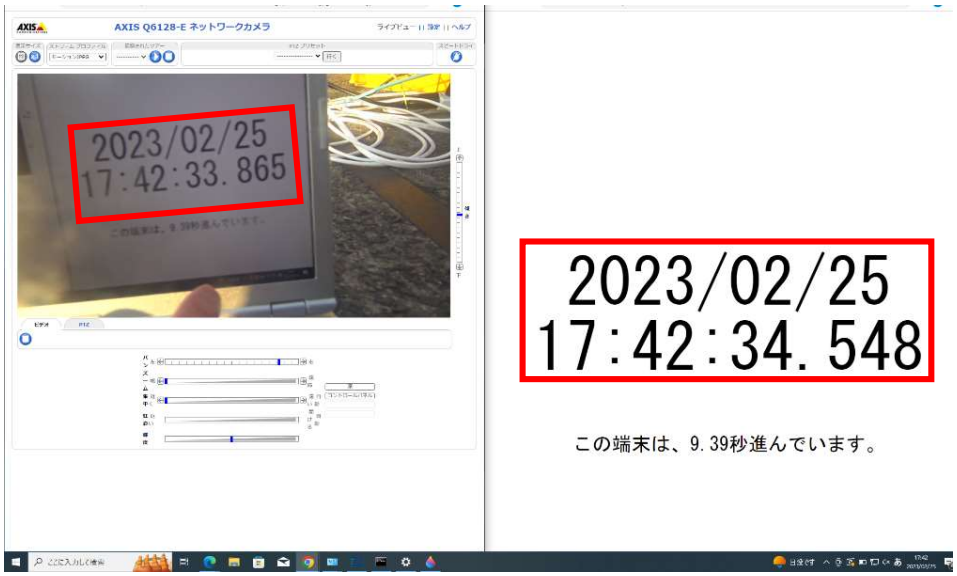


図 4.3.1-33 高精細カメラの伝送遅延時間

⑧ 伝送トラフィック

各ソリューションを単独接続と4つのソリューション全てを同時接続した場合に、ネットワークへの負荷が大きい下りのスループットを測定し、本実証ソリューションにおけるネットワークの要求性能を満たすことを確認した。結果を下表に示す。

測定結果について、港湾監視用のカメラ撮影映像の動作の変化により想定よりも高い実測値となった。また入退管理用の高精細カメラ(4K)と車両認証カメラ(HD)については、ビューアソフトのコーデック処理によるデータ圧縮がかけられており、想定より低い実測値(アプリケーションの利得により、ネットワークに対しての負荷が減るため目標であるネットワークの要求性能は十分に満たす。)となった。

なお、各ソリューションの映像についても任意の解像度で映像品質に問題がないことを確認した。

表 4.3.1-42 伝送トラフィック実測結果

機器種別	想定ビットレート	実測値
高精細カメラ(4K)港湾監視用	45Mbps	56Mbps
高精細カメラ(4K)入退管理用	30Mbps	9.5Mbps
ドローンカメラ(HD)	最大 5Mbps	5Mbps
ロボットカメラ(Full HD)	最大 25Mbps	8Mbps
車両認証カメラ(HD)	1Mbps	0.5Mbps
全て同時接続(ドローン 2 台)	111Mbps	108Mbps

(2) 運用検証

1) 検証項目

エンドユーザである発電所保安員への利活用の観点を踏まえて、現場の実態に沿った運用マニュアルを作成するため、下表の検証項目について検証した。

表 4.3.1-43 運用検証に関する検証項目

分 類	検証項目
(a)AI 入退管理	各ソリューションのシステム構成と操作および設定方法
(b)自動走行ロボットによる車両誘導	
(c)ドローンによる巡視点検	
(d)高精細カメラによる監視	

2) 検証方法

各ソリューションの操作マニュアル作成後、開発実証期間内に発電所員と連携した操作確認を目的とした模擬操作を行い、発電所保安員が操作マニュアルの有効性を検証した。検証内容としては、各ソリューションのシステム構成、システム操作手順(ログイン、車両ナンバー登録、自動走行ルート設定、手動操作等)等について実施した。

また、運用マニュアルの作成については、従来運用業務フローから本検証運用業務フローへ業務プロセスが変更になることにより、エンドユーザである発電所保安員からの既存マニュアルからの変更点他、ご意見・ご要望等を十分に取り込む必要がある。そのため、ソリューション導入前の現在時点での業務の実態調査のため、発電所保安員を対象にしたヒアリングとして令和 4 年(2022 年)9 月に、発電所の所員とソリューション毎に「保安業務における現状の課題について」「ソリューション導入による期待される効果」「ソリューションを導入した場合の課題」について意見交換を実施した。その結果を表 4.3.1-45 に示す。

最後に、ソリューション適用後の運用面の課題や改善等の抽出を目的に、実証後の検証結果確認のためアンケートを実施した。

表 4.3.1-44 エンドユーザへのヒアリング概要

実施時期	実施方法	実施項目
課題実証前 (令和 4 年(2022 年)9 月)	ヒアリング	・保安業務における現状の課題 ・保安業務におけるポイント、重点監視項目 ・ソリューション導入により期待される効果
課題実証後 (令和 5 年(2023 年)2 月)	アンケート	・運用フローの見直し案について ・ソリューション導入による運用変更点 ・ソリューション実運用化に向けた課題

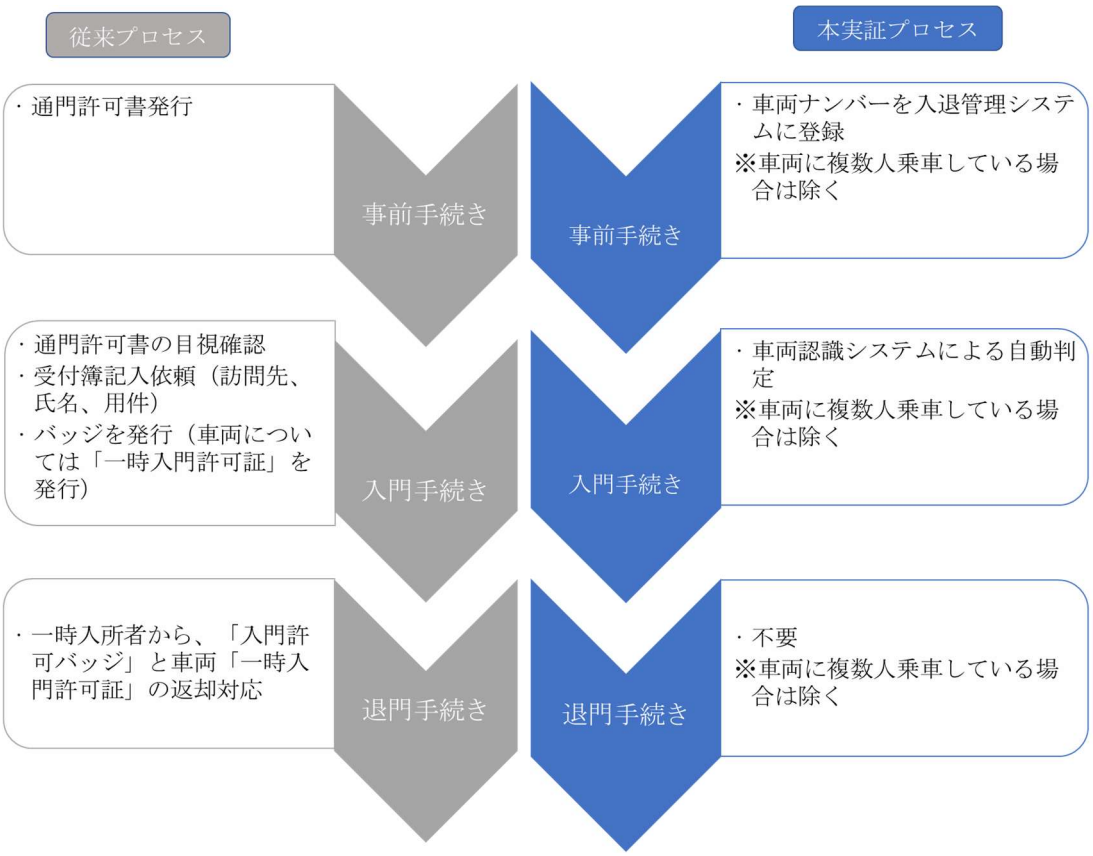


図 4.3.1-34 ソリューション導入前・後のアウトプットイメージ（AI 入退管理の例）

表 4.3.1-45 課題実証前ヒアリング結果

項目		保安業務における現状の課題について	ソリューション導入により期待される効果	ソリューションを導入した場合の課題
AI入退管理	平常時	・入門手続きに時間を要する。 ・許可証等の紙発行 ・防犯セキュリティ	・入門手続き時間の削減 ・ペーパーレス ・防犯セキュリティの向上	・入門申請方法の整理 ・防犯セキュリティ上、バーゲートの設置等が必要
	非常時	・同上	・同上	・通常の入退門と入港する貨物船から入門する物資運搬車両番号の事前登録方法の整理
自動走行ロボットによる車両誘導	非常時	・発電所運用業務と並行した構内の車両誘導	・構内の車両誘導の自動化	・走行速度が遅い ・自動走行ロボットが小さいため、車両の運転席からの視認性が悪い ・陸側から入ってくる物資運搬車両番号の事前登録フロー
ドローンによる巡視点検	平常時	・人が確認困難な箇所（高所や海上等）での巡視点検	・巡視点検作業の高度化	・雨天や強風時等の悪天候で飛行可能な機能要件を満たしたドローンがない ・ローカル5Gと直接通信可能な機体が現時点ではない
高精細カメラによる監視	平常時	・防犯セキュリティ	・防犯セキュリティの向上	・暗闇での撮影が可能　か ・荷揚げ装置が死角になる
	非常時	・防犯セキュリティ ・熊本県との情報共有	・防犯セキュリティの向上 ・熊本県からの復旧支援作業指示の効率化	・平常時には映像伝送しない仕組みが必要

a. AI 入退管理

【システム構成】

AI 入退管理システムの構成を下図に示す。

車両番号読み取りについては、入退ゲート付近に設置した車番認識システム制御BOX内でエッジ計算処理される。その後、認識した車両番号情報を発電所内通信機械室へ伝送し、車番認識システムサーバにて登録情報との照合判定の処理を行う。なお、守衛室の車番認証結果閲覧用 PC はサーバから情報を受け取り、認証結果を表示させる。

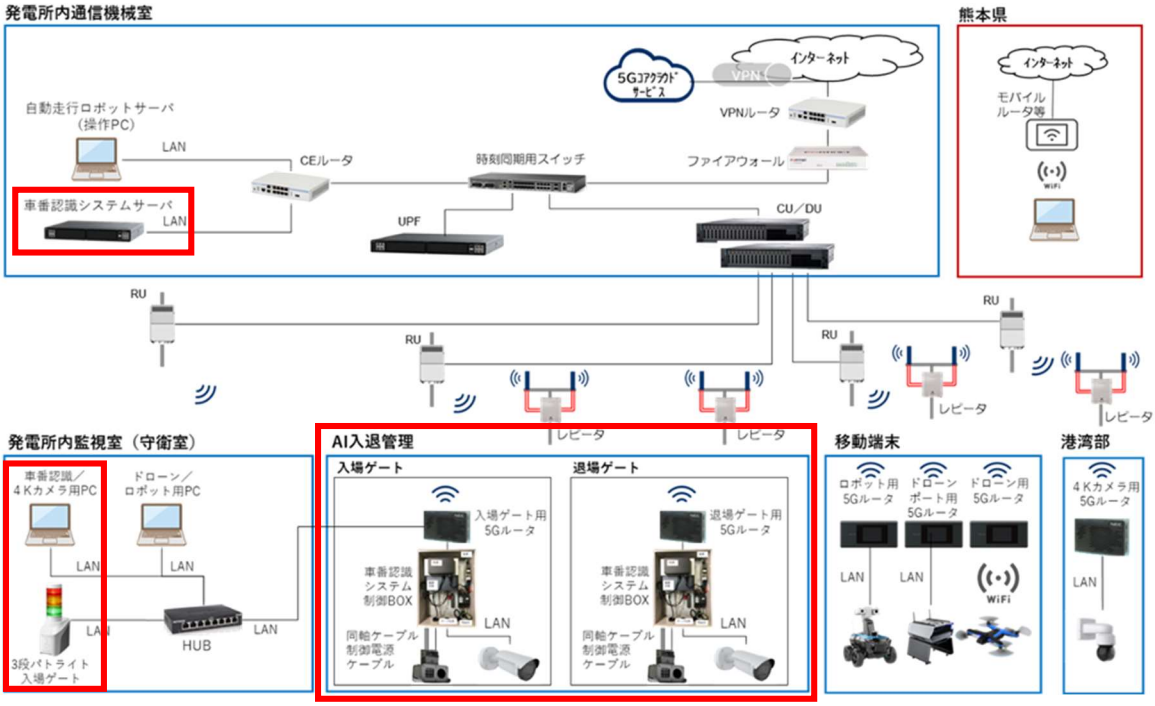


図 4.3.1-35 AI 入退管理のシステム構成図（赤枠）

【システム操作および設定項目】

＜車両番号情報の登録＞

ナンバープレート等の車両情報を「直接入力して登録」する操作手順を示す。

以下の『登録車両』画面下部の「追加」ボタンをクリックすると、右側に追加用エリアが開き、追加用エリアより、車両情報を編集して追加する。

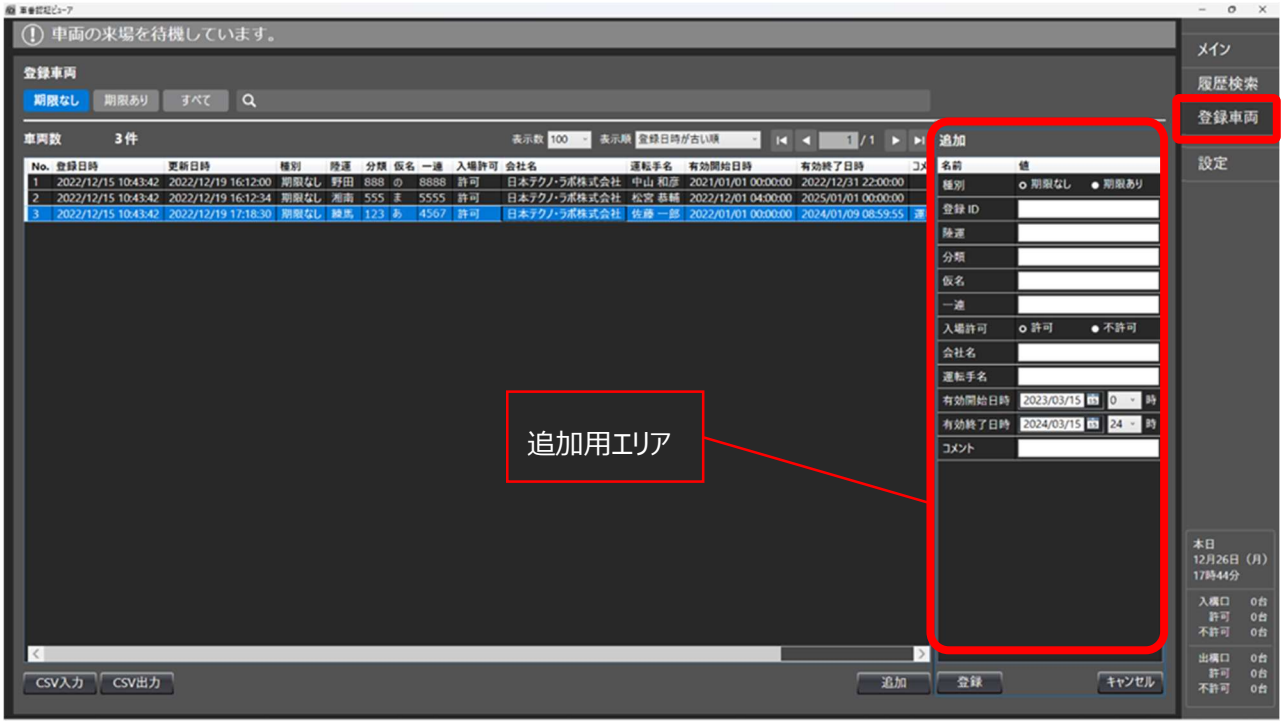


図 4.3.1-36 車両番号登録(直接入力時)の画面表示(赤枠)

① 追加ボタンをクリックする

『登録車両』画面下部にある追加ボタンをクリックする。

② 車両情報を入力

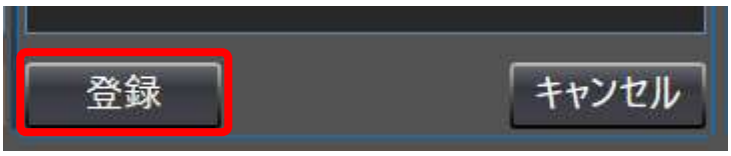
画面右側に追加用エリアが開き、追加する車両情報を入力する。

表 4.3.1-46 車両情報一覧

名前	説明
種別	車番認証システムにおける車両の種別 ● 期限なし … 有効期間の期限がなく入門できる車両 ● 期限あり … 短期で入門する車両 ※工事等の理由で短期に入門する車両が対象
登録 ID	既存システムの登録 ID を入力する。 登録 ID は、車番認証システム内で、一意な ID となる。
陸運	ナンバープレートの運輸支局等をあらわす文字列
分類	ナンバープレートの分類番号
仮名	ナンバープレートの仮名文字
一連	ナンバープレートの一連指定番号
入門許可	車両の入門の許可/不許可を選択 ・通常は「許可」を選択 ・特定の理由で入門を不許可にしたい車両は、「不許可」を選択
会社名	車両が所属する会社名(最大 64 文字まで)
運転手名	車両の運転手名(最大 64 文字まで)
有効開始日時	車両が入門(または出場)可能な開始日時
有効終了日時	車両が入門(または出場)可能な終了日時
コメント	車両に対して登録されたコメント(最大 200 文字まで)

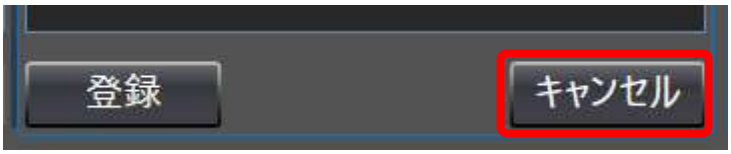
③ 登録ボタンをクリックする

追加用エリアの下部にある登録ボタンをクリックすると、車両情報が追加される。



④ キャンセルボタンをクリックする

追加用エリアの下部にあるキャンセルボタンをクリックすると、車両情報の追加がキャンセルされる。



「CSV 入力して一括登録」する操作手順を示す。

①CSV ファイルを選択する

『登録車両』画面下部にある CSV 入力ボタンをクリックする。

CSV ファイルを選択するダイアログが表示され、任意の CSV ファイルを選択する。

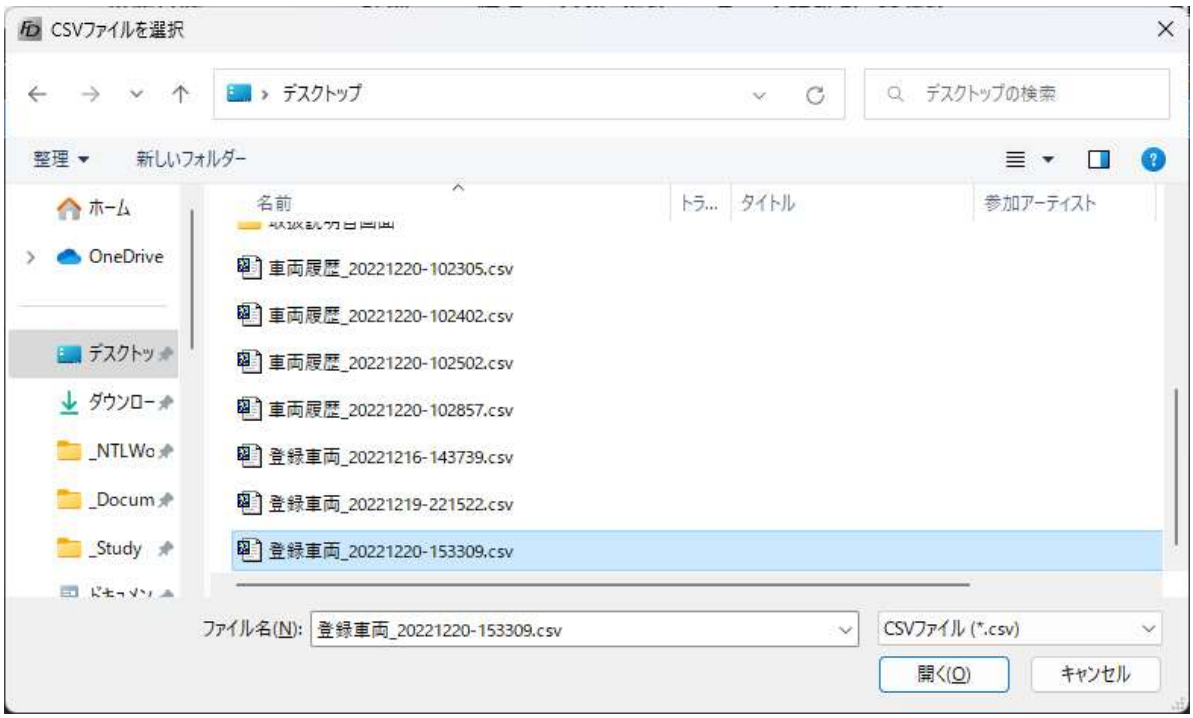


図 4.3.1-37 車両番号登録(CSV 一括登録時)のファイル選択画面表示

②CSV 入力設定を行う

CSV 入力設定ダイアログが開き、入力するデータの種別を選択して、「OK」ボタンをクリックする。

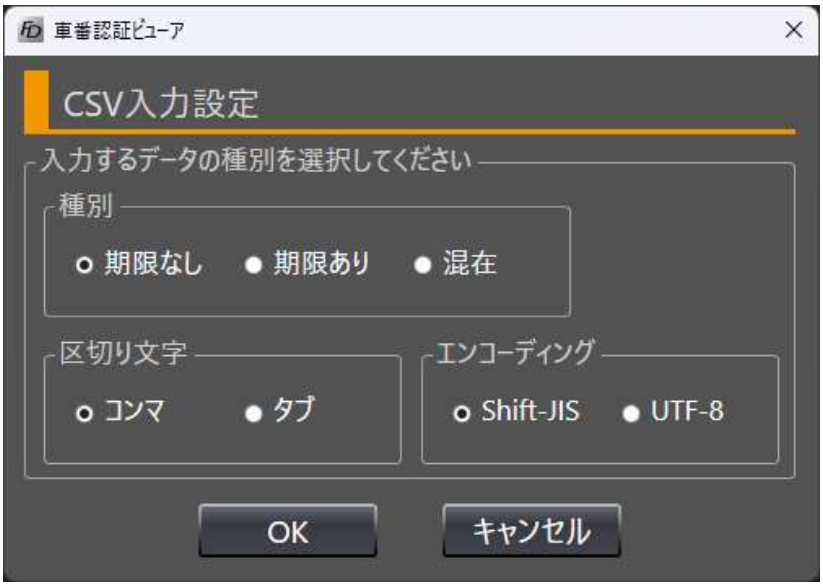


図 4.3.1-38 車両番号登録(CSV 一括登録時)の CSV 入力設定画面

表 4.3.1-47 CSV 登録入力時の選択情報一覧

項目	説明
種別	車番認証システムにおける車両の種別 ● 期限なし CSV ファイル中で、種別が「期限なし」の車両情報だけが入力される ● 期限あり CSV ファイル中で、種別が「期限あり」の車両情報だけが入力される ● 混在 CSV ファイル中で、種別が「期限なし」 / 「期限あり」の両方の車両情報が入力される
区切り文字	CSV ファイルの区切り文字を選択 コンマ / タブ
エンコーディング	CSV ファイルのエンコーディングを選択 Shift-JIS / UTF-8

③CSV 読み込み結果を確認する

CSV 読み込み結果を確認するダイアログが表示され、入力する内容に問題がないことを確認する。次のメッセージは CSV 入力の種別が「期限なし」の場合の確認メッセージである。

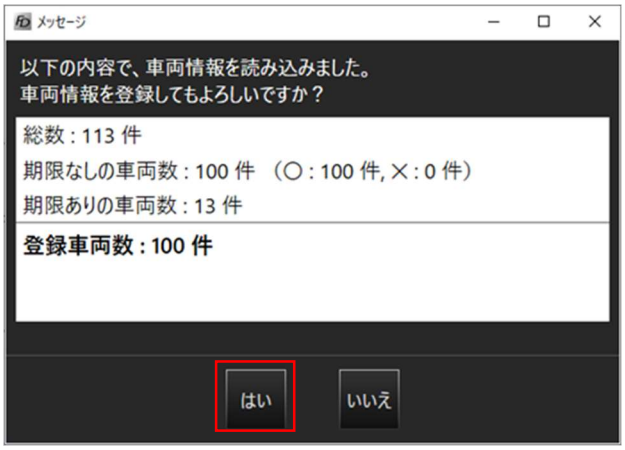


図 4.3.1-39 車両番号登録(CSV 一括登録時)の CSV 読み込み結果画面

次のメッセージは CSV 入力の種別が「混在」の場合の確認メッセージである。

表 4.3.1-48 CSV 登録入力時の読み込み情報一覧

項目	説明
総数	登録する車両情報の総数
全ての車両数	期限なし / 期限ありの総数
期限なしの車両数	期限なしの車両数
期限ありの車両数	期限ありの車両数
○(読み込み成功数)	読み込みに成功した車両の数
×(読み込み失敗数)	読み込みに失敗した車両の数

④車両情報を登録する

ダイアログ上で「はい」ボタンをクリックすることにより、車両情報が登録される。

＜車番認識結果の確認・出力＞

画面右の「メイン」ボタンをクリックすると、以下の『メイン』画面が表示される。

『メイン』画面では、来場した車両の「許可」/「未登録」の判定結果をリアルタイムで確認することができる。

図 4.3.1-40 車番認識システムのメイン画面

車番認証システムによる「許可」/「不許可」の判定結果を受けて、画面内の表示が切り替わる。

図 4.3.1-41 車番認識判定結果情報

① 車両イベント通知メッセージ

車両の来場を認識(ナンバー認識)した際のメッセージを表示する。

■	「許可」と判定された車両を認識したことを表す。 許可の車両が来場した場合には、パトライトが緑色に点滅する。
■	「不許可」と判定された車両を認識したことを表す。 不許可の車両が来場した場合には、パトライトが赤色に点滅する。 不許可の車両のうち、有効期限切れの車両が来場した場合には、パトライトは黄色に点滅する。設定により、ブザー音をならす。

② 入門口に設置されたカメラ映像

「入門口カメラ」として、車番認証システムに設定されたネットワークカメラのライブ映像が表示される

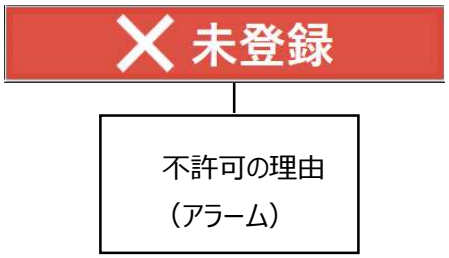
③ 認識した車両ナンバープレート画像

車番認証システムにより受信したナンバープレート画像が表示される。

④ 入門許可・不許可の表示

車番認証システムによる「許可」/「不許可」の判定結果を表示する。

「許可」と判定された車両を認識したことを表す。
○印に背景が緑色(■)で表示される。



「不許可」と判定された車両を認識したことを表す。
×印に背景が赤色(■)で表示される。
×印の後には、不許可と判定された理由が表示される。
不許可の理由には、次の種類がある。
未登録 / 通行 不許可 / 不完全ナンバー /
有効期限切れ / 申請日時の不一致

⑤ 車両詳細情報

認識されたナンバープレートから、登録された車両情報の詳細を表示する。

表 4.3.1-49 車番認識結果情報一覧

項目	説明
会社名	車両が所属する会社名
日時	車両が認識されたイベントの発生日時
種別	車番認証システムにおける車両の種別 ● 期限なし … 有効期間の期限がなく入門できる車両 ● 期限あり … 短期で入門する車両 工事等の理由で短期に入門する車両が対象
車両番号	認識された車両番号(ナンバープレート) 「陸運」－「分類」－「仮名」－「一連」
運転手名	車両の運転手名
有効期間	車両の入門が許可された期間
コメント	車両に対して登録された任意のコメントを入力可能

＜車番認識結果履歴の確認・出力＞

画面右の「履歴検索」ボタンをクリックすると、以下の『履歴検索』画面が表示される。

『履歴検索』画面では、検索条件に日時等を入力することにより、車両の来場履歴を検索することができる。

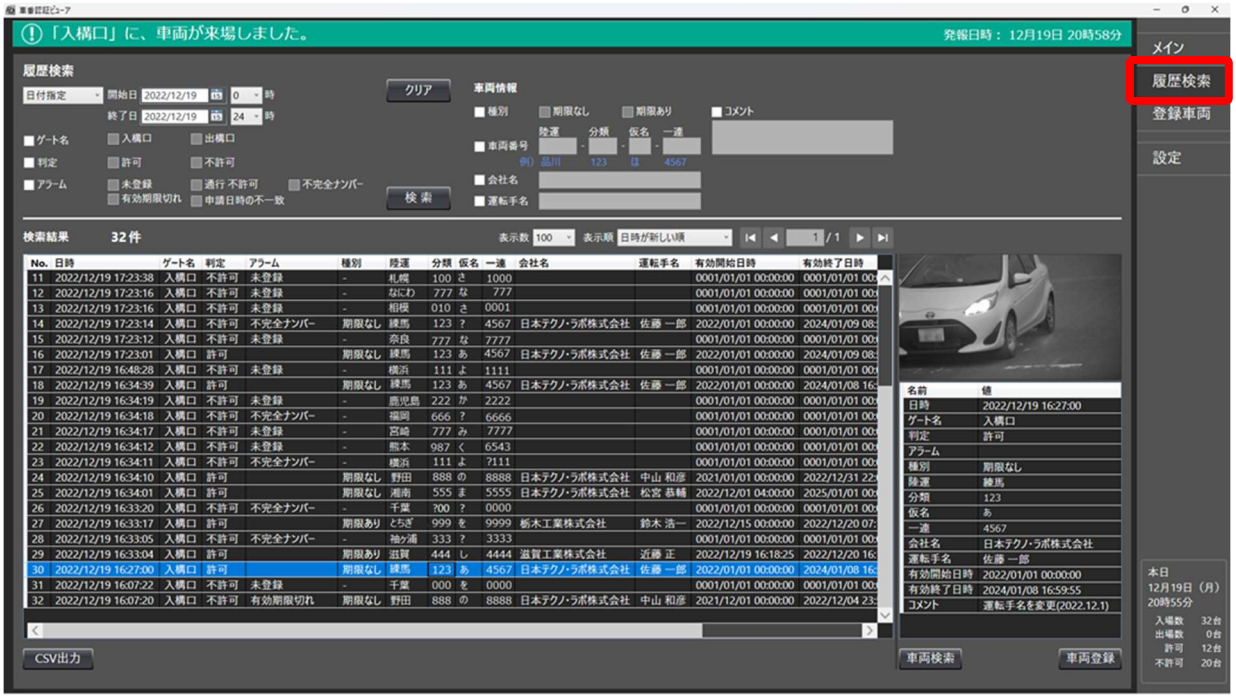


図 4.3.1-42 車番認識結果履歴の確認画面

『履歴検索』画面の上部で、検索する条件を入力する。

※AND 検索を行います。入力した全ての条件に適合する履歴が検索される。

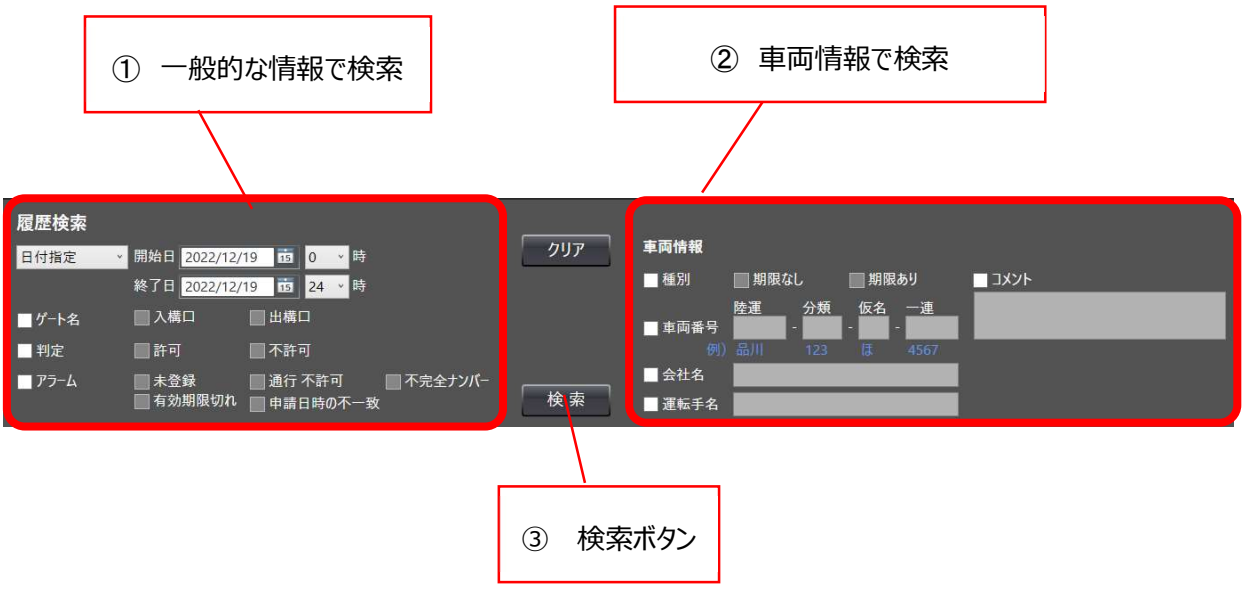


図 4.3.1-43 車番認識結果履歴の検索情報

① <u>一般的な情報で検索</u>

日時やゲート名等の一般的な情報で検索する。

表 4.3.1-50 一般的な情報で検索時の一覧

項目	説明
日時指定	検索したい日時を指定する。 プルダウンメニューを開くと、下記から選択できる。 日付指定 / 1ヶ月間 / 3ヶ月間 / 6ヶ月 ※ 日付指定を選択した場合は、開始日時、終了日時を入力する。
ゲート名	ゲート名を検索する場合は、「ゲート名」にチェックを入れる。 以下の選択肢から、検索するゲート名にチェックを入れる。(複数選択可) 入門口 / 出構口
判定	車両の判定結果を検索する場合は、「判定」にチェックを入れる。 以下の選択肢から、検索する判定結果にチェックを入れる。(複数選択可) 許可 / 不許可
アラーム	アラーム(不許可の理由)を検索する場合は、「アラーム」にチェックを入れる。 以下の選択肢から、検索するアラームにチェックを入れる。(複数選択可) 未登録 / 通行不許可 / 不完全ナンバー / 有効期限切れ / 申請日時の不一致

② 車両情報で絞り込み検索

認識されたナンバープレートから、登録された車両情報を検索する。

表 4.3.1-51 車両情報で検索時の一覧

項目	説明
種別	車両の種別を検索する場合は、「種別」にチェックを入れる。 以下の選択肢から、検索する種別にチェックを入れる。（複数選択可） 期限なし / 期限あり
車両番号	車両番号を検索する場合は、「車両番号」にチェックを入れる。 入力欄に、検索する車両のナンバープレートを入力する。 「陸運」「分類」「仮名」「一連」のいずれかに入力した文字が、ナンバープレートの項目と一致（あるいは部分一致）していれば、検索できる。 陸運：完全一致（全角入力） 分類：部分一致（半角入力） 仮名：完全一致（全角入力） 一連：部分一致（半角入力） ※4 桁ナンバーの“-”（ハイフン）入力は必要なし。
会社名	会社名を検索する場合は、「会社名」にチェックを入れる。 入力欄に、検索する会社名を入力する。 入力した文字が、会社名の一部分と一致していれば、検索できる。
運転手名	運転手名を検索する場合は、「運転手名」にチェックを入れる。 入力欄に、検索する運転手名を入力する。 入力した文字が、運転手名の一部分と一致していれば、検索可能。
コメント	車両のコメントを検索する場合は、「コメント」にチェックを入れる。入力欄に、検索するコメントを入力する。 ● 入力した文字が、コメントの一部分と一致していれば、検索できる。 ● 「コメント」にチェックを入れて、入力欄に何も入力しない場合は、車両にコメントが登録された全ての履歴が検索される。 ● 履歴が作成された時点で車両に登録されていたコメントが検索される。

③ 検索ボタン

入力された条件で検索を実行する。画面下部の表に検索結果が表示される。

図 4.3.1-44 車番認識結果履歴の検索結果

表 4.3.1-52 車番認識結果履歴の検索結果情報一覧

項目	説明
No.	検索結果中の No
日時	車両が認識されたイベントの発生日時
ゲート名	車両が認識されたゲートの名称 入門口 / 出構口
判定	入門判定の結果 許可 / 不許可
アラーム	アラーム(不許可の理由) 未登録 / 通行不許可 / 不完全ナンバー / 有効期限切れ / 申請日時の不一致
種別	車番認証システムにおける車両の種別 期限なし / 期限あり
陸運	認識されたナンバープレートの運輸支局等を表す文字列
分類	認識されたナンバープレートの分類番号
仮名	認識されたナンバープレートの仮名文字
一連	認識されたナンバープレートの一連指定番号
会社名	車両が所属する会社名
運転手名	車両の運転手名
有効開始日時	車両が入門(または出場)可能な開始日時
有効終了日時	車両が入門(または出場)可能な終了日時
コメント	車両に対して登録されたコメント ※ 車両が認識された時点で、車両に登録されていたコメントが表示される。

＜IP カメラ録画映像の確認･出力＞

IP カメラ録画映像の確認･出力は以下の画面から対象のカメラを選択し、検索を行う。検索結果から対象時間を選択して映像データを出力できる。

図 4.3.1-45 入退門 IP カメラ録画映像の確認画面

表 4.3.1-53 入退門 IP カメラ録画映像の確認画面情報一覧

項目	説明
カメラリスト	サーバに登録されているカメラ一覧を表示します。 検索する録画映像の条件をカメラ単位で指定します。
検索条件設定	検索する録画映像の条件を日時単位で指定します。
検索結果リスト	検索条件指定にて指定した内容に合致した録画映像の一覧が表示されます。
画面レイアウト選択	画面表示ウィンドウの表示レイアウトパターン切り換えが行えます。
環境設定	IP カメラ録画再生ソフトウェアの、その他の設定を行います。
映像表示エリア	録画映像を表示します。
再生操作	録画映像の再生･停止等の操作が行えます。
終了ボタン	IP カメラ録画再生ソフトウェアを終了します。

【運用業務フロー】

ヒアリング結果を踏まえて作成した、以下の図 4.3.1-47 の運用業務フローで操作説明会を実施し、表 4.3.1-54 のアンケートを実施した。また参考に、従来の運用業務フローを図 4.3.1-46 に示す。

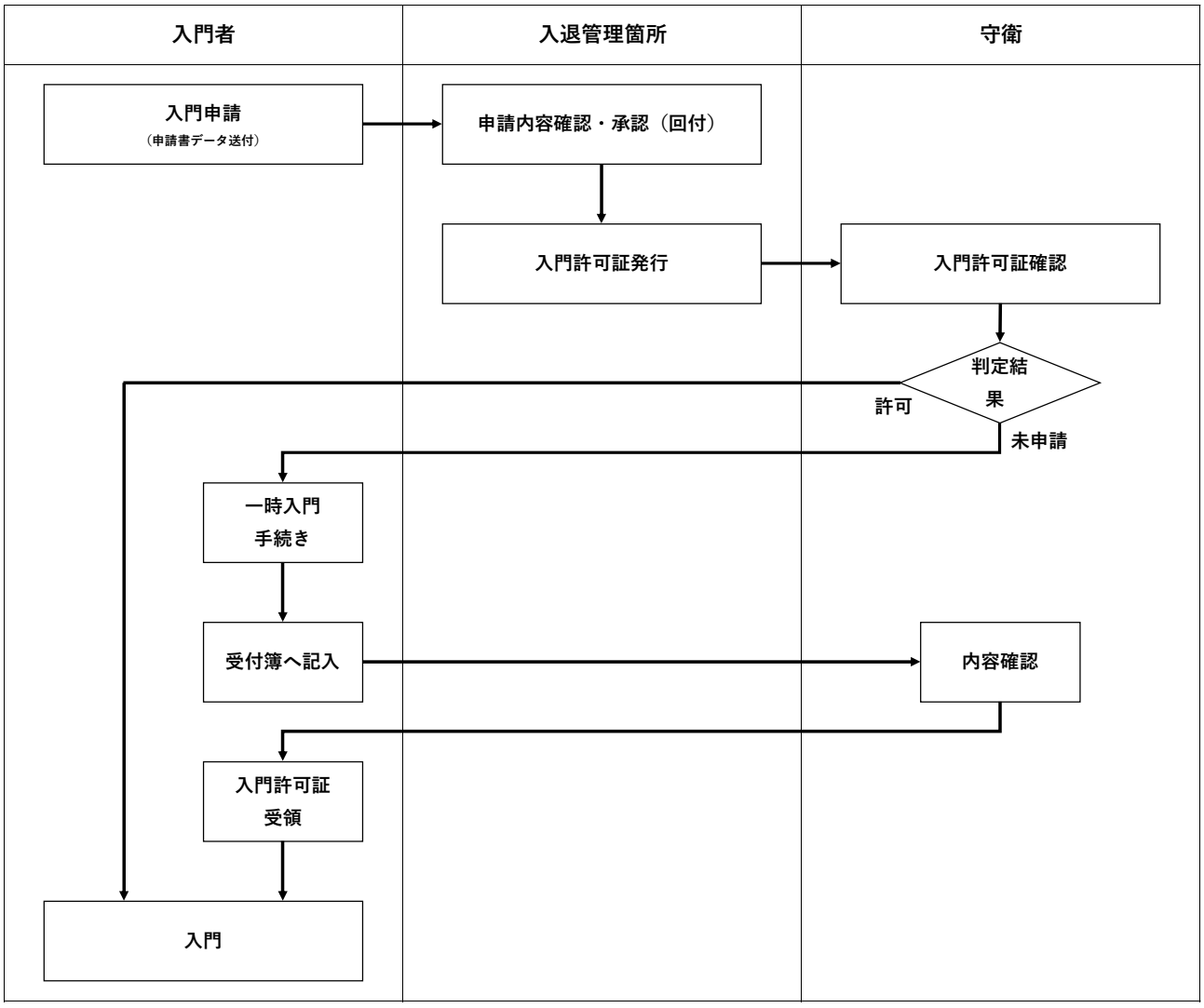


図 4.3.1-46 AI 入退管理の運用業務フロー（実証前）

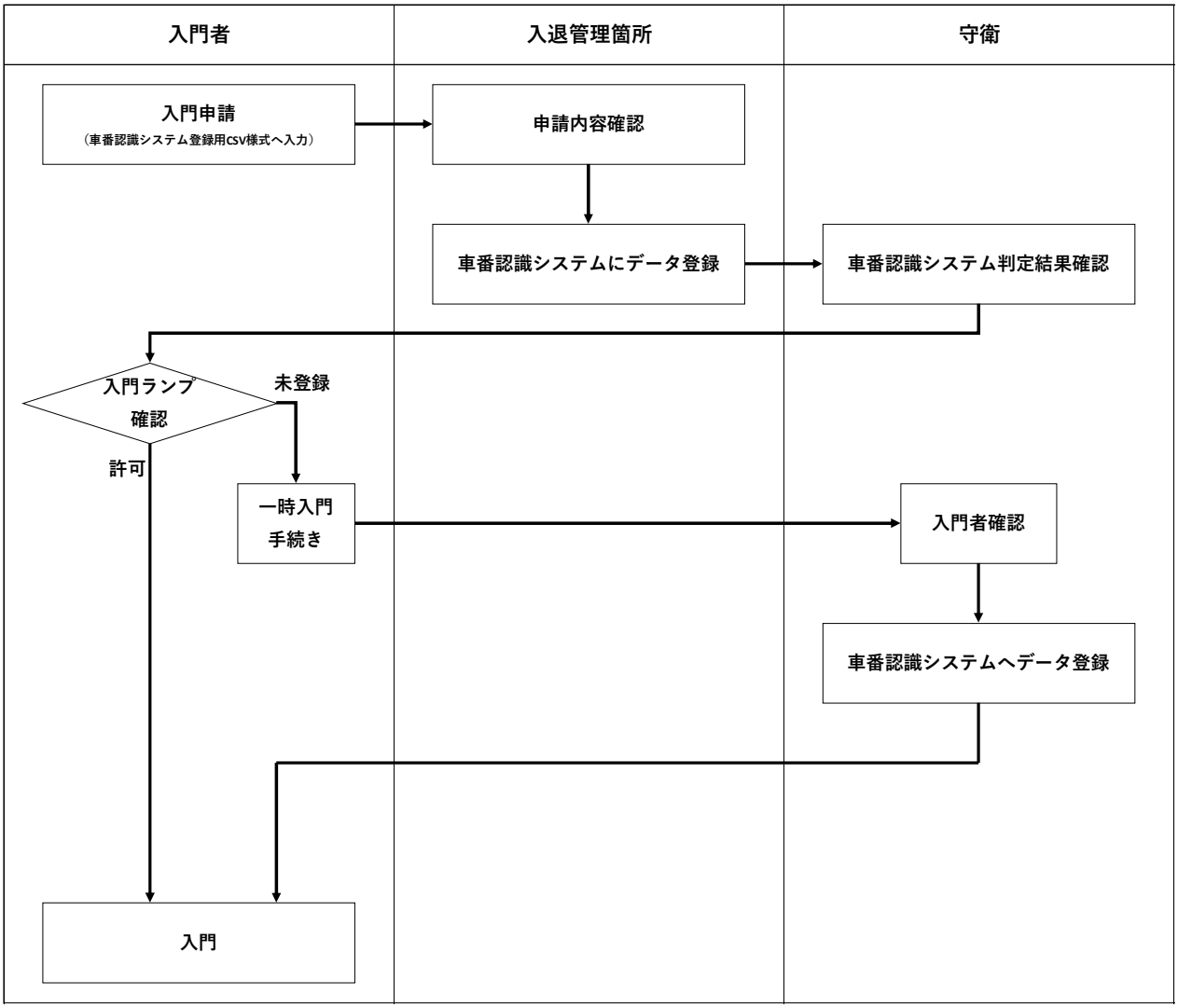


図 4.3.1-47 AI 入退管理の運用業務フロー（実証後）

表 4.3.1-54 入退管理者へのアンケート内容（AI 入退管理） 1

項目	小項目	内容
システムの操作性	車番認証ビューア	車番認証システムについて、操作は難しいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5（非常に簡単） 4（簡単） 3（どちらともいえない） 2（難しい） 1（とても難しい）
		車番認証システムについて、操作マニュアルはわかりやすいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5（非常にわかりやすい） 4（わかりやすい） 3（どちらともいえない） 2（わかり難い） 1（とてもわかり難い）
	IP カメラ映像表示	IP カメラ映像表示システムについて、操作は難しいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5（非常に簡単） 4（簡単） 3（どちらともいえない） 2（難しい） 1（とても難しい）
		IP カメラ映像表示システムについて、操作マニュアルはわかりやすいですか。当てはまる番号に○を付けて下さい。 5（非常にわかりやすい） 4（わかりやすい） 3（どちらともいえない） 2（わかり難い） 1（とてもわかり難い）

表 4.3.1-55 入退管理者へのアンケート内容（AI 入退管理） 2

項目	小項目	内容
システムの操作性	IP カメラ録画再生	IP カメラ録画再生システムについて、操作は難しいですか。 当てはまる番号に〇を付けて下さい。 5（非常に簡単） 4（簡単） 3（どちらともいえない） 2（難しい） 1（とても難しい）
		IP カメラ録画再生システムについて、操作マニュアルはわかりやすいですか。当てはまる番号に〇を付けて下さい。 5（非常にわかりやすい） 4（わかりやすい） 3（どちらともいえない） 2（わかり難い） 1（とてもわかり難い）
導入による運用変更点	運用フロー案	本システムを導入した運用フロー案について、より効率的なフローや運用が難しい内容等、ご意見があれば教えて下さい。 例：データ登録が難しい。手書きの方が早い。
	運用変更点	本システムを使用することが可能な、その他の運用業務はありますか。 例：現在までの入退の回数をカウント（チェック）していた業務を、システムのログ情報を見ることで確認する。
実運用化に向けた改善点	本システムを実運用で使用する場合、改善して欲しい機能や追加して欲しい機能、もしくは必ず追加改善が必要な機能があれば教えて下さい。 例：画面を大きくして欲しい（文字を大きくして欲しい） ：同乗者、歩行者、自転車等での入門者の確認が可能な機能	

b. 自動走行ロボットによる車両誘導

【システム構成】

自動走行ロボットの構成を下図に示す。

自動走行ロボットは、屋外に設置し、ローカル 5G ルータを経由し、通信機械室内の自動走行ロボットサーバ(操作PC)に接続する。自動走行ロボットサーバ(操作PC)は、自動走行ロボットの操作やカメラ映像の表示、規定された走行ルート(マップ上のルート)に自動走行ロボット位置を表示することができる。

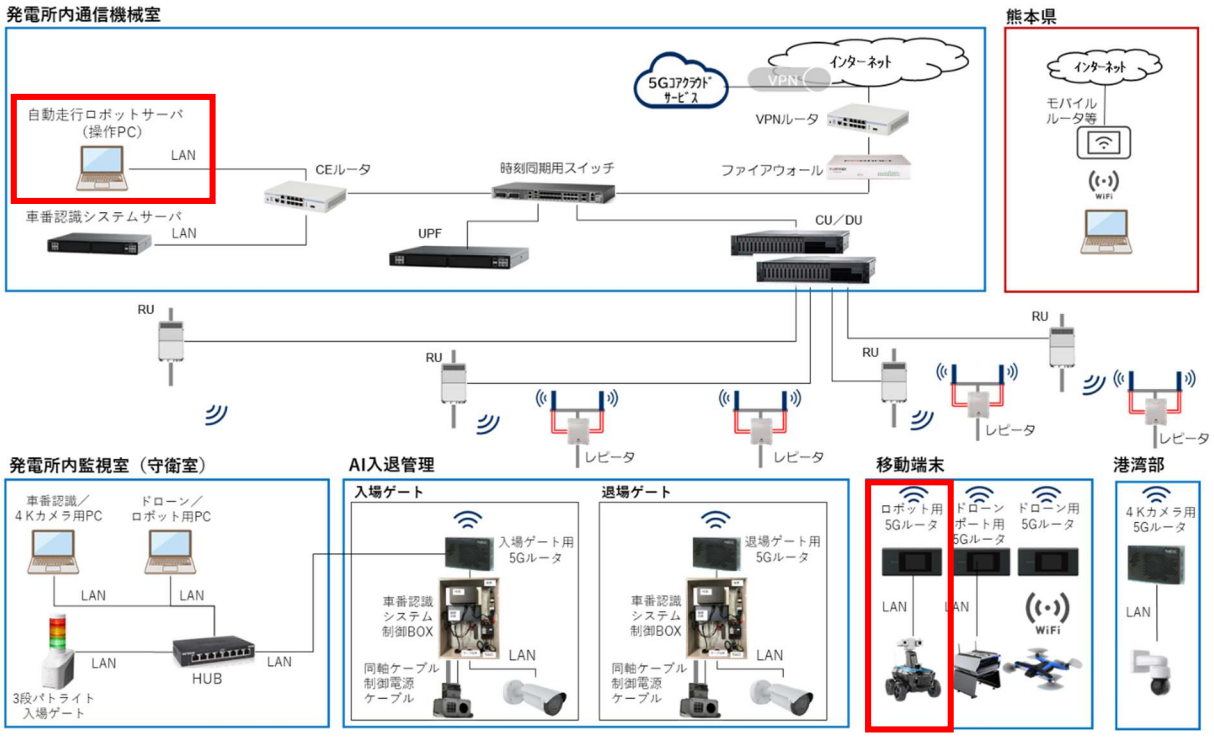


図 4.3.1-48 自動走行ロボットのシステム構成図(赤枠)

【自動走行ロボットの外観】

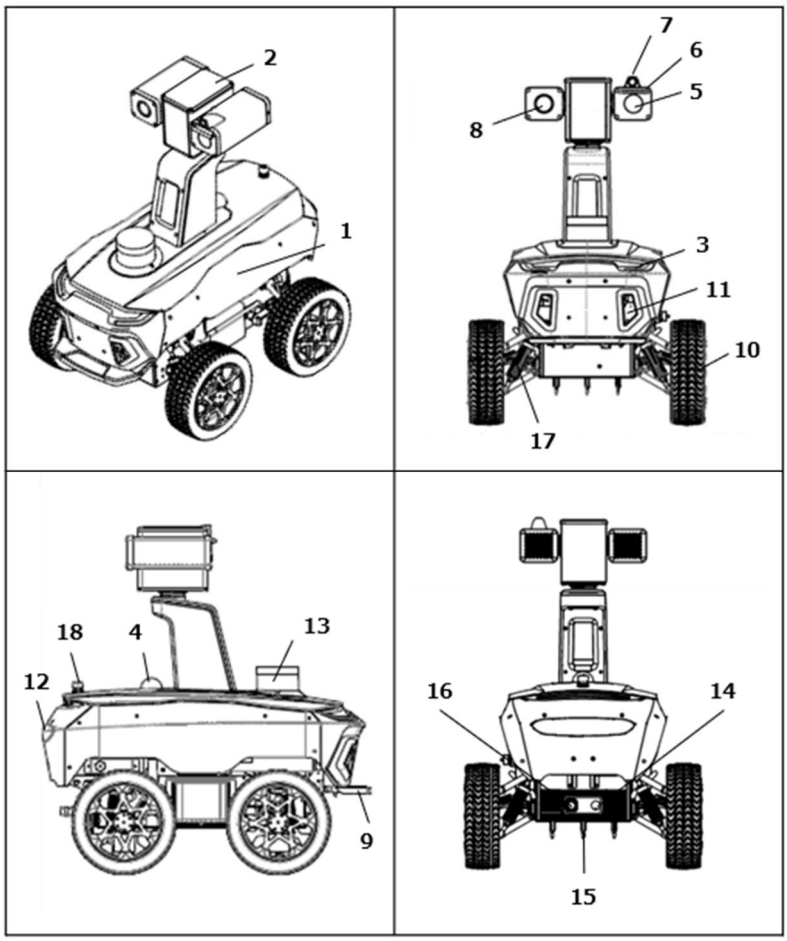


図 4.3.1-49 自動走行ロボットの外観

表 4.3.1-56 自動走行ロボットの外観装置名称

No	装置名称	No	装置名称
1	シャーシ	10	タイヤ
2	回転台	11	転落防止光電センサー
3	警報灯	12	接触停止スイッチ(後)
4	アンテナ	13	3Dレーザーセンサー
5	可視カメラ	14	電源スイッチ
6	ワイパー	15	自動充電バー
7	夜間照明灯	16	手動充電ポート
8	赤外線カメラ	17	ショックアブソーバ
9	接触停止スイッチ(前)	18	緊急停止ボタン

表 4.3.1-57 自動走行ロボットの外観装置名称

項目	詳細説明
四輪駆動 シャーシ	四つの独立駆動のタイヤで構成され、4WS（四輪操舵）方式で走行します。最大直進速度 1.9m/s であり、原点 360°で回転することができます。駆動モジュールは本体の過電圧、低電圧、過電流、短絡、開放、過熱等の故障をリアルタイムに監視、通信する機能があります。故障およびエラーが発生する場合、自動停止し、故障/エラーの情報を監視 PC に表示します。
3Dレーザー センサー	リアルタイムで水平 270°、垂直 30°（センサーを中心として上下 15°）のスキャンを実施し、周囲環境をマッピングする為の装置です。
可視カメラ	200 万画素、30 倍光学ズームとなります。
赤外線カメラ	正確な測温を実施し、災害や事故が発生する前に異常を発見できます。
表示灯	警報灯と夜間照明灯があります。ロボットを起動した場合、警報灯が点灯します。夜間照明灯は夜間点検時の点検性能を向上させます。

【自動走行ロボットサーバ(操作PC)】

自動走行ロボットサーバ(操作PC)は、点検項目情報、リアルタイム監視(可視、赤外線カメラ)、マップ(走行ルートを含む)、リアルタイム情報の4つの表示ができます。

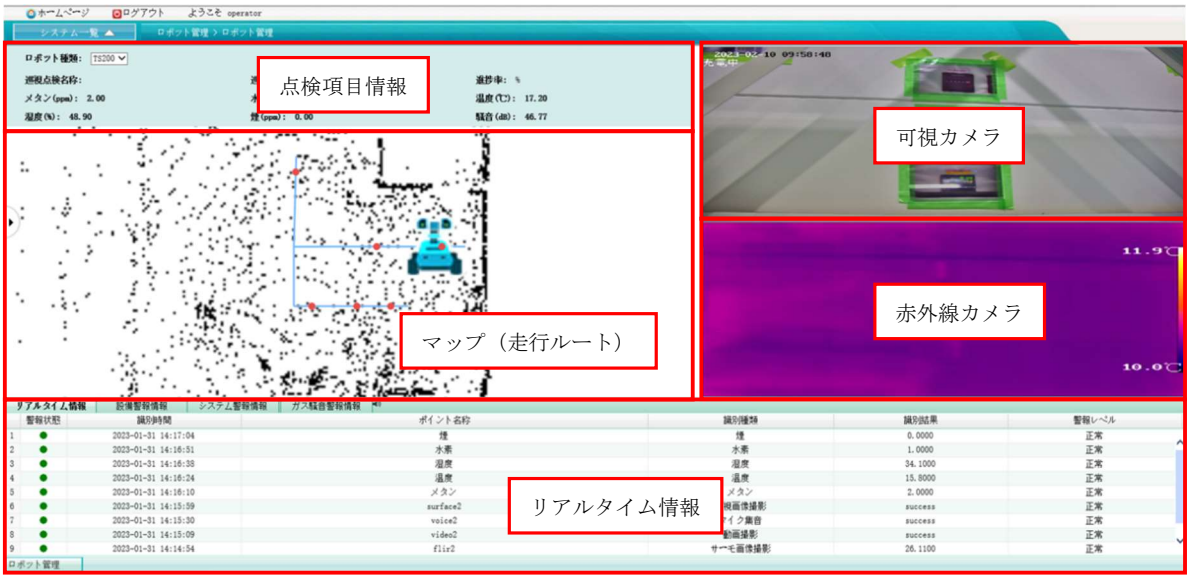


図 4.3.1-50 自動走行ロボットサーバ(操作PC)画面

表 4.3.1-58 自動走行ロボットサーバ(操作PC)画面説明

項目	詳細説明
マップ (走行ルート)	自動走行ロボットに登録したマップについて、自動走行ロボット位置、自律走行ルート・方向を表示し、即充電の制御ができます。
可視カメラ	リアルタイムの動画を表示します。メインの機能は写真ポイントで、拡大および全画面表示することができます。
赤外線カメラ	リアルタイムの動画を表示します。メインは装置および周囲環境の温度を測定し、全画面表示することができます。
リアルタイム 情報	点検情報を表示します。リアルタイム情報、設備警報、音声警報、システム警報等分けて表示します。

【リアルタイム監視（動画監視）】

監視画面の左には、構造ツリーによって自動走行ロボット名が表示されています。右には、ネットワークカメラの数に応じて自動的に映像表示ウィンドウが追加されます。左の構造ツリーからロボットを選択し、右に対応する自動走行ロボットの映像を表示します。

また、可視カメラ動画と赤外線カメラ動画はネットワークビデオレコーダ（NVR）に保存を行っており、NVRシステムにログインすることで、保存動画を確認することができます。

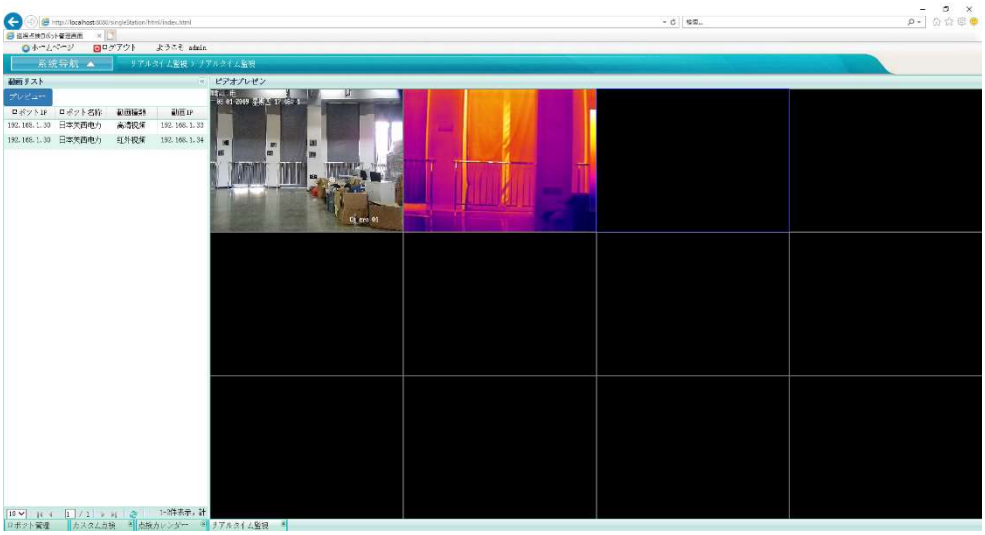


図 4.3.1-51 リアルタイム監視（動画監視）画面

【自動走行ロボット制御】

自動走行ロボットの各種状態データの表示と搭載されている機器のリモコン制御に使用されます。なお、自動走行ロボットの種類により、表示されたデータと制御内容が異なります。管理制御画面の左側に自動走行ロボットリスト、名称、種類、状態（待機、点検中、充電中等）を表示します。リストに選択された自動走行ロボットの制御情報を右側に表示します。

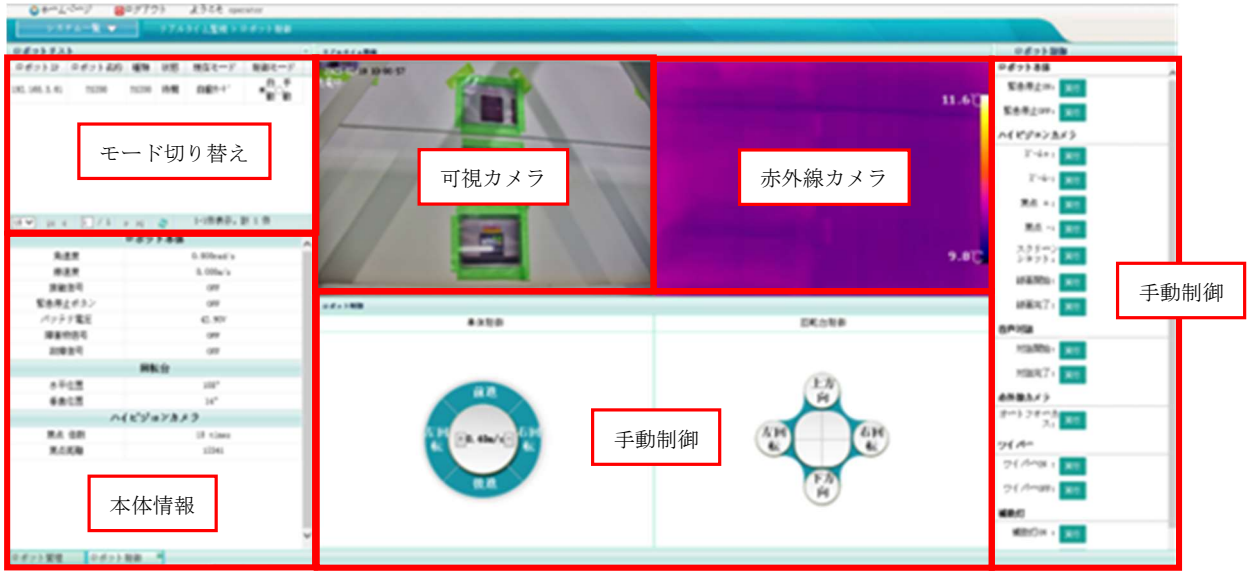


図 4.3.1-52 自動走行ロボット制御画面

表 4.3.1-59 自動走行ロボットの制御切り替え説明

項目	説明
手動制御	自動走行ロボットが停止状態の場合に、モード切り替え枠の<手動>ボタンを選択することで「手動制御モード」になります。 手動制御枠でシャーシ（駆動）と回転台を制御することができます。マウスで選択している間、その選択されている操作を継続します。 （注）操作PCにて、自動走行ロボットを手動走行させる場合は、速度を0.4m/s 以下に設定して操作して下さい。
自動制御	自動制御モードに切り替え前に、自動走行ロボットの位置が必ず設定ルート上であることを確認し、モード切り替え枠の<自動>ボタンを選択することで「自動制御モード」になります。 この時、自動走行ロボットの正面は自動点検時と同じ方向へ向いている必要があります。

【自動走行ロボットによる車両誘導手順1：自動走行ロボット起動からの場合】

①自動走行ロボット本体状態確認

・自動走行ロボットが自動点検中でないことを確認する。

・操作PCに自動走行ロボット本体の警報・エラー情報がないことを確認する。

・バッテリー電圧が 38V 以下でないことを確認する。

②自動走行ロボット本体の起動

・自動走行ロボット本体の電源スイッチを押して、電源を投入する。また、緊急停止スイッチがOFFであることを確認する。

・自動走行ロボットは自動点検を 1 分間行う。自動点検完了後、カメラは正面・水平に向きます。

③自動走行ロボット本体プログラムの起動

・操作PCのデスクトップ上のリモートデスクトップをクリックして、操作PCと自動走行ロボット本体を遠隔接続し、アカウントとパスワードを入力する。

必要なプログラムは、自動で起動する。（起動には60～90秒程度かかります。）

④自動走行ロボット位置確認

・自動走行ロボット本体が起動後、操作PCのタスクバー上の[layoutdesiGner（exe ファイル）]をクリックして、設定ソフトを起動する。

・設定ソフトメニュー欄の[無線接続]をクリックし、IPアドレスを選択し、自動走行ロボットと遠隔接続する。マップに[ロボット現在地マーク]が表れたら操作PCと自動走行ロボットの遠隔接続は完了となります。

・設定ソフトメニュー欄の[地図インストール]をクリックし、「2d.map」を選択し、マップをインストールする。

・設定ソフトメニュー欄の[走行ルートインストール]をクリックし、「layout.xml」を選択し、走行ルートをインストールする。

・マップと走行ルートをインストールした後、設定ソフトメニュー欄の[センサースキャン]をクリックし、レーザースキャンのリアルタイムデータが赤印として表示される。リアルタイムデータとマップの障害物（壁、装置等）の位置が一致していることを確認する。

一致している場合は、位置調整する必要がないため、設定ソフトを終了する。一致していない場合は、以下の操作を実行して下さい。

・設定ソフトメニュー欄の[ロボット位置調整]をクリックして、マップ上の自動走行ロボット中心位置（実際に外れて表示されているため、中心と思われる位置）から自動走行ロボット正面方向へ、マウスをドロップ操作（モニター上で2cm程度）する。操作後に、自動走行ロボットが正しい位置（リアルタイムスキャンデータとマップが一致する位置）に表示されれば操作完了です。

自動走行ロボットが正しい位置となるまでこの操作を繰り返し実施する。操作完了後は、設定ソフトを終了する。

⑤監視システム起動

・操作PCのタスクバー上の[watchdoG(看门狗)]をクリックし、必要なプログラムが自動で起動する。(起動には30秒程度かかります。)プログラム起動後に、デスクトップ上のWEB リンクページ [監視システム]をダブルクリックして監視システム(ブラウザ)を起動する。

起動後、監視システムのログインIDとパスワードを入力します。

⑥車両誘導開始

・自動走行ロボットサーバ(操作PC)の、マップ上でロボットの車両誘導終着点として設定したポイントを選択(マップ上の赤ポチをダブルクリック(図 4.3.1-*の通り))し、新規表示されるポップアップ上でポイントにチェックマークを入れて確認ボタンを押す(図 4.3.1-*の通り)ことで自動走行ロボットが自動走行を開始します。

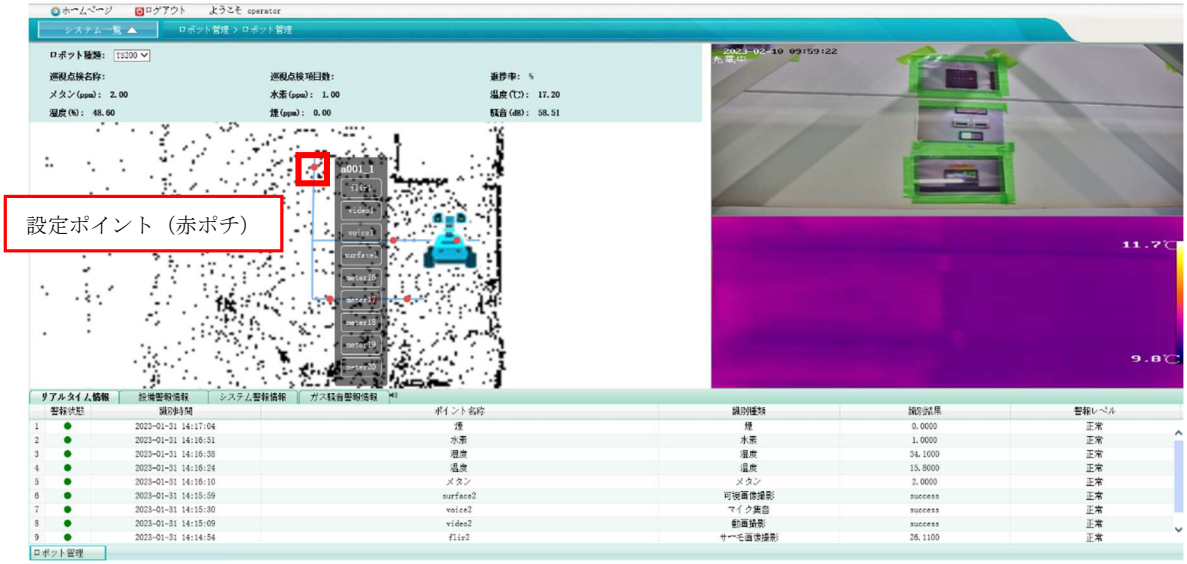


図 4.3.1-53 自動走行ロボットによる車両誘導 指令操作画面1－1

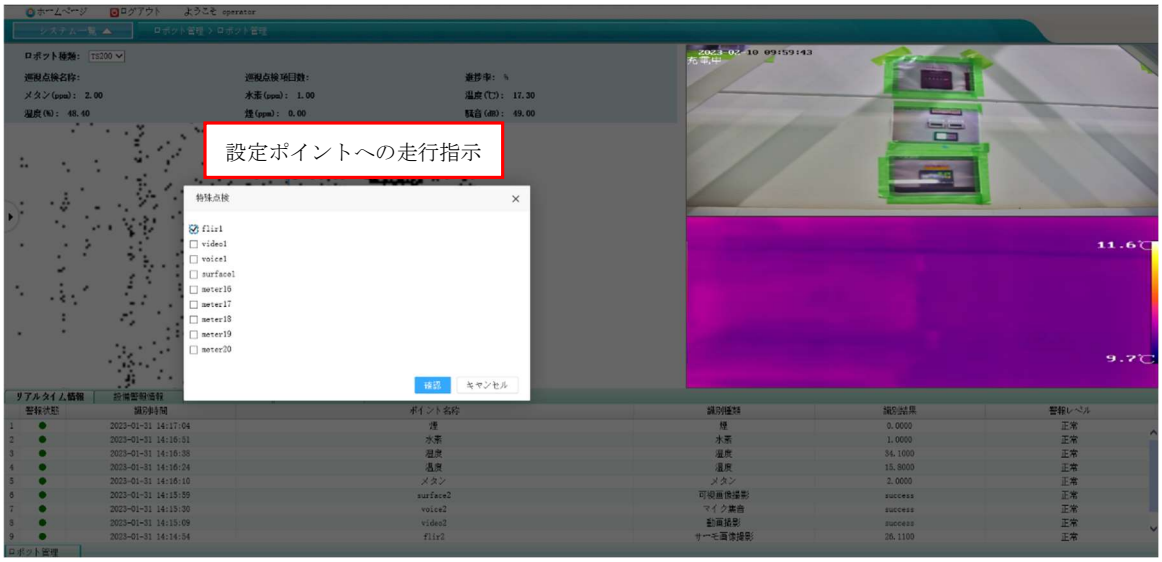


図 4.3.1-54 自動走行ロボットによる車両誘導 指令操作画面1－2

【自動走行ロボットによる車両誘導手順2：ロボット起動中の場合】

①自動走行ロボット本体状態確認

・自動走行ロボットが自動点検中でないことを確認する。

・操作PCに自動走行ロボット本体の警報・エラー情報がないことを確認する。

・バッテリー電圧が 38V 以下でないことを確認する。

②車両誘導開始

・自動走行ロボットサーバ（操作PC）の、マップ上でロボットの車両誘導終着点として設定したポイントを選択（マップ上の赤ポチをダブルクリック（図 4.3.1-*の通り））し、新規表示されるポップアップ上でポイントにチェックマークを入れて確認ボタンを押す（図 4.3.1-*の通り）ことで自動走行ロボットが自動走行を開始します。

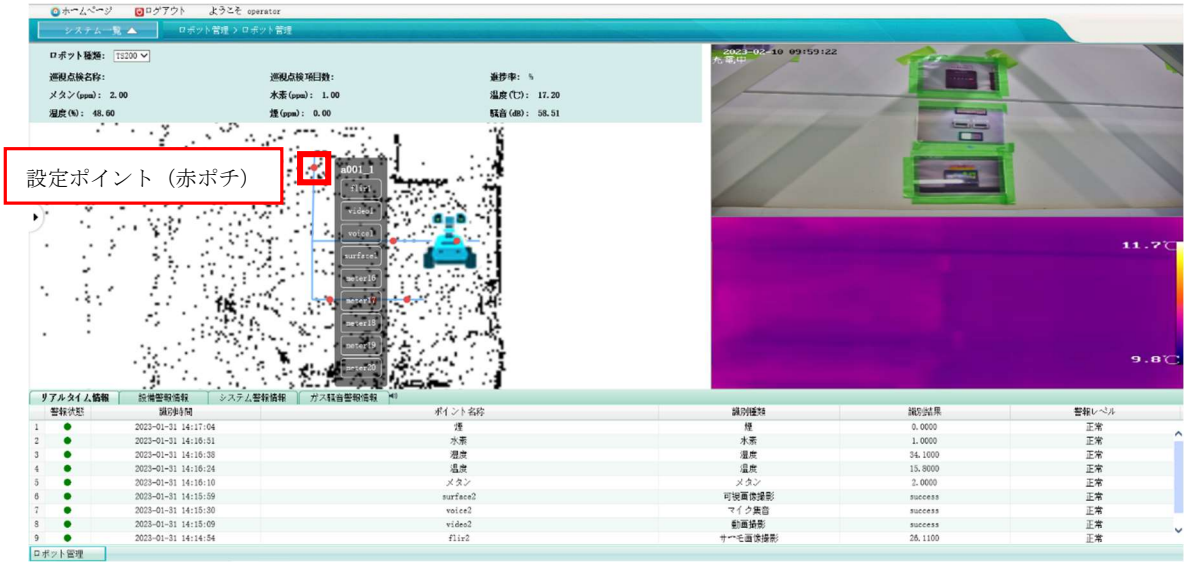


図 4.3.1-55 自動走行ロボットによる車両誘導 指令操作画面2－1

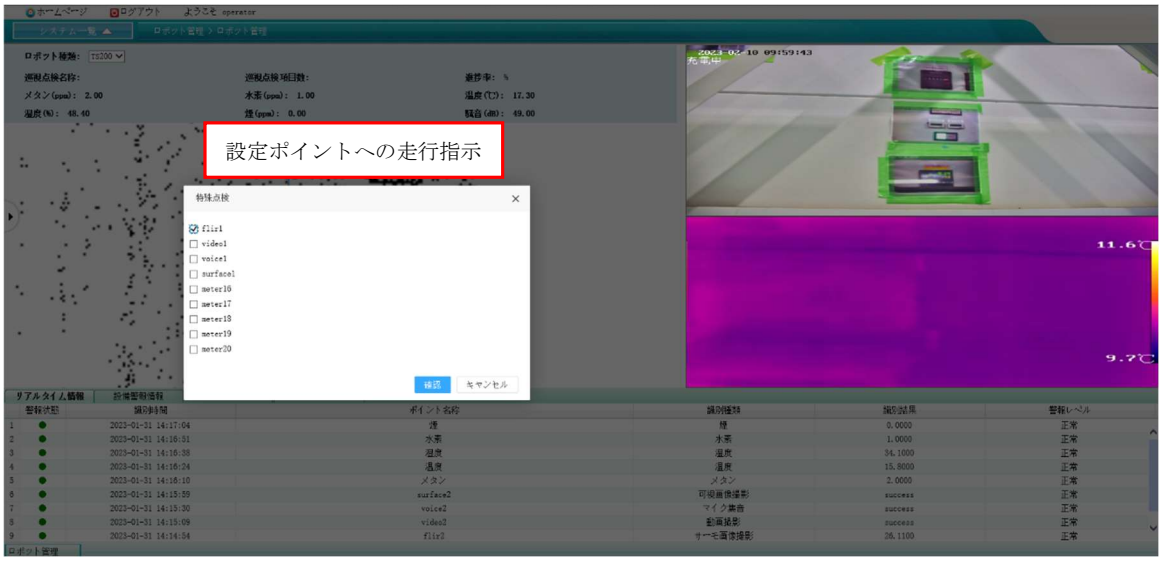


図 4.3.1-56 自動走行ロボットによる車両誘導 指令操作画面2－2

【自動走行ロボットの充電操作】

①自動走行ロボット充電操作

・自動走行ロボット管理画面マップ上の自動走行ロボットマークにマウスを当てて、右クリックし、＜強制充電＞をクリックすることで、強制受電を行うことができます。

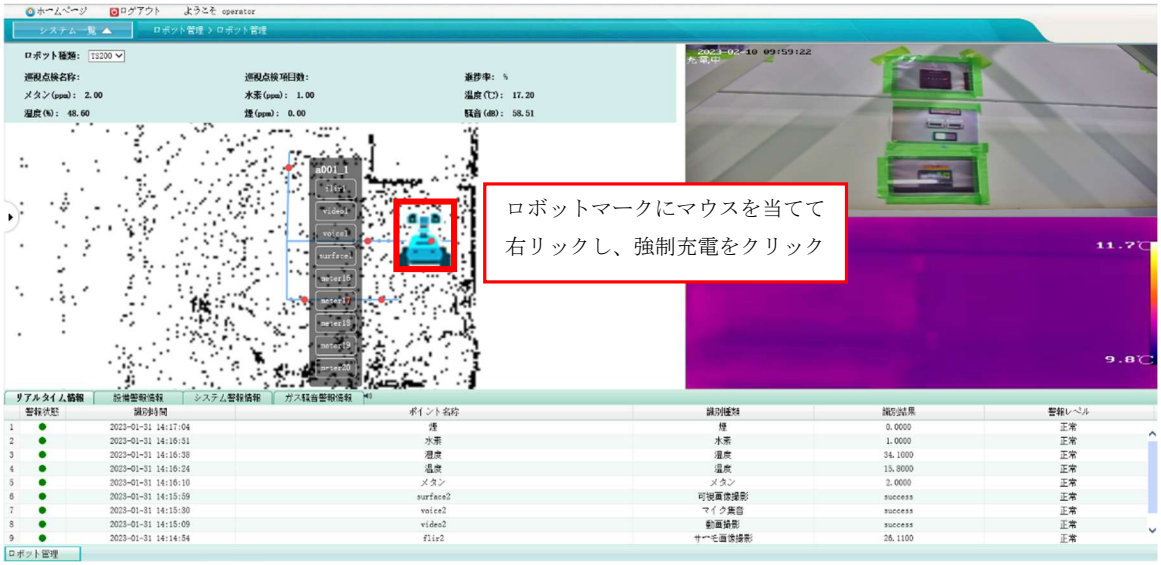


図 4.3.1-57 自動走行ロボットの充電操作画面

［補足説明］

・自動充電操作は自動走行ロボットに対する指令の中で、優先順位が一番高いため、充電操作を行うと自動走行ロボットがどの場所にあっても充電台へ戻り自動充電を行います。

・自動走行中に、ロボットバッテリーが設定された閾値以下となった場合は、自動走行ロボットは自動走行を止めて、充電台へ戻り自動充電を行います。

・自動充電操作や自動走行中のバッテリー低下による充電動作中は、自動走行ロボット管理画面マップ上でのキャンセル操作を行うことができません。

・超音波センサーおよび転落防止センサーが反応し、設定時間を経過してもセンサーが反応継続中であった場合、自動走行ロボットは点検を中止し充電ポイントへ戻ります。ただし、充電するためのルート上に障害物等がある場合は、その位置に停止し続けます。

【自動走行ロボットのシャットダウン】

自動走行ロボットを一定時間使用しない場合や設置場所を変更する場合は、自動走行ロボットをシャットダウンする必要があります。詳細手順は以下の通りです。

①停止状態確認

・自動走行ロボットが停止状態であること、回転台が真正面を向いていることを確認します。なお、回転台が真正面を向いていない場合、自動走行ロボット本体のプログラムを一度終了し、再起動して下さい。

②シャットダウン

・自動走行ロボット本体のプログラム（WatchdoG（看门狗））を閉じて、「alt＋F4」を押して、シャットダウンします。

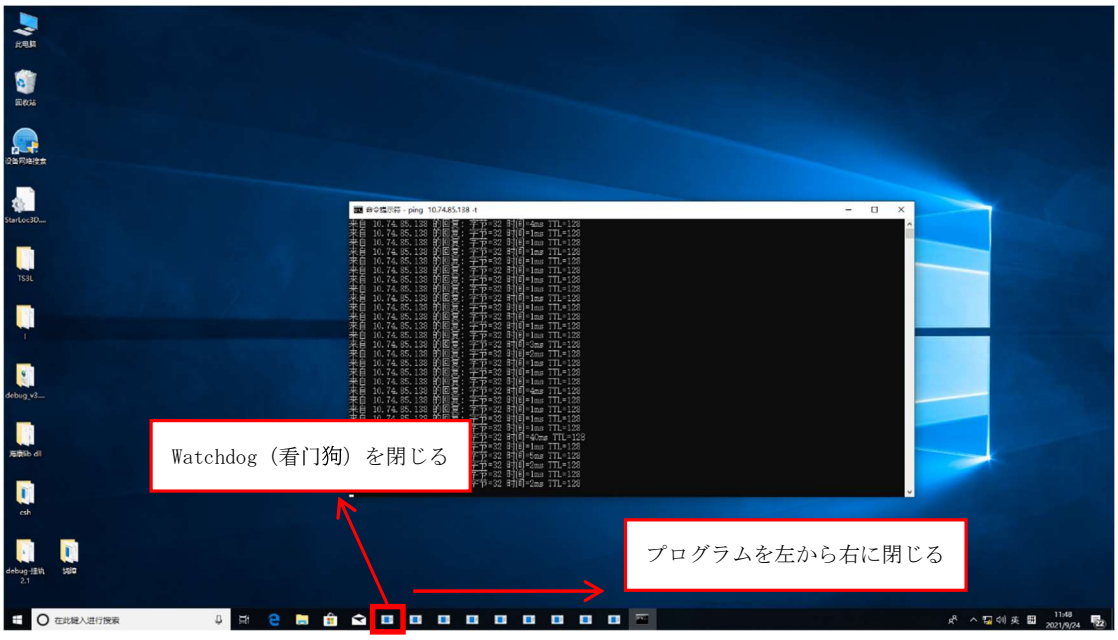


図 4.3.1-58 自動走行ロボットのプログラム停止操作画面

③自動走行ロボット本体電源断

・自動走行ロボット本体PCシャットダウン後、20～30秒後に自動走行ロボット本体の電源を切って下さい。自動走行ロボット本体の電源は、自動走行ロボット後方のボタンを押すことで切ることができます。

④操作PC電源断

・操作PCをシャットダウンします。

【運用業務フロー】

発電所員へのヒアリング結果より、自動走行ロボットによる車両誘導の運用業務フロー(案)を入門パターン毎に下図 4.3.1-59,60,61 に示す。なお、本運用業務フロー(案)については、今後の熊本県他との協議結果によって、変更となる可能性がある。

①苓北発電所へ陸路で入門する場合

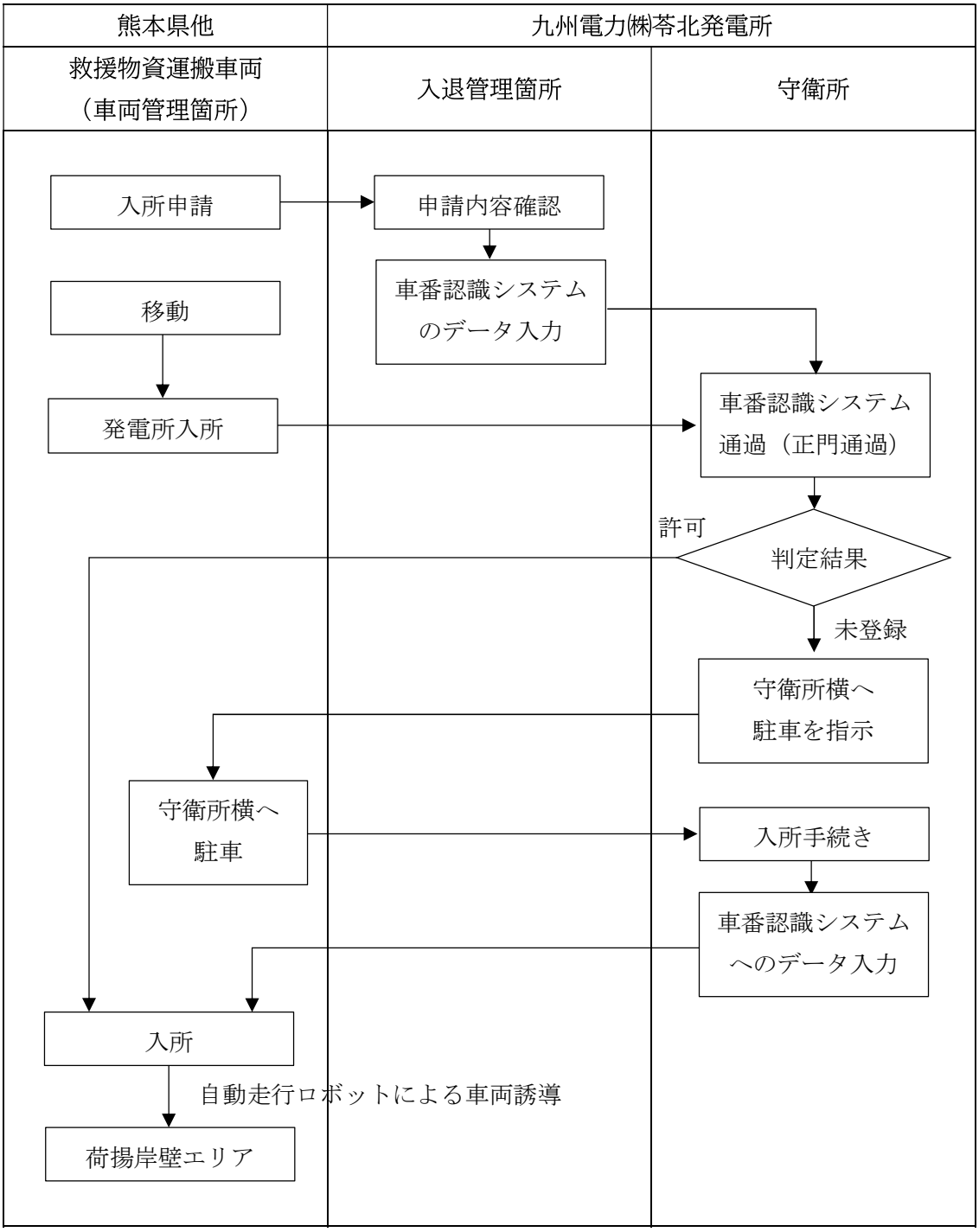


図 4.3.1-59 入門する場合の運用業務フロー(案)

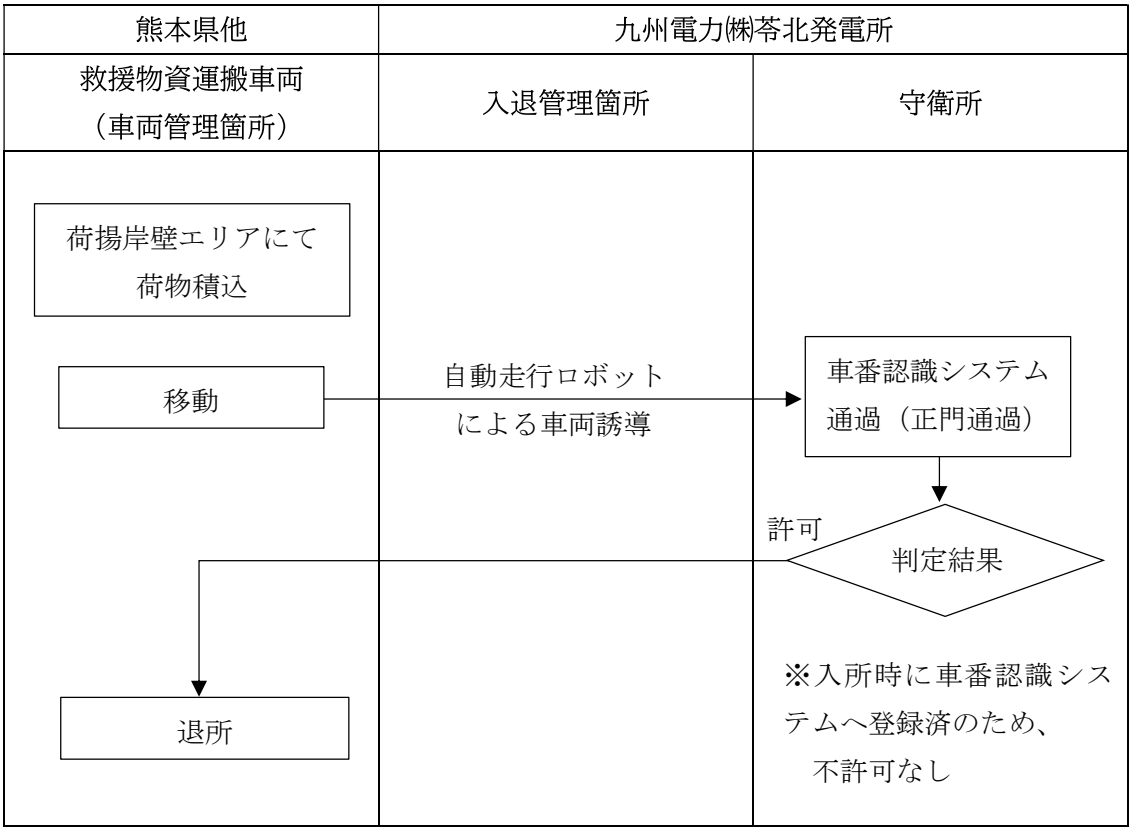


図 4.3.1-60 荷揚岸壁エリアで荷物積み込み後、退所する場合の運用業務フロー（案）

②苓北発電所へ荷揚岸壁エリアから入門し、退所する場合

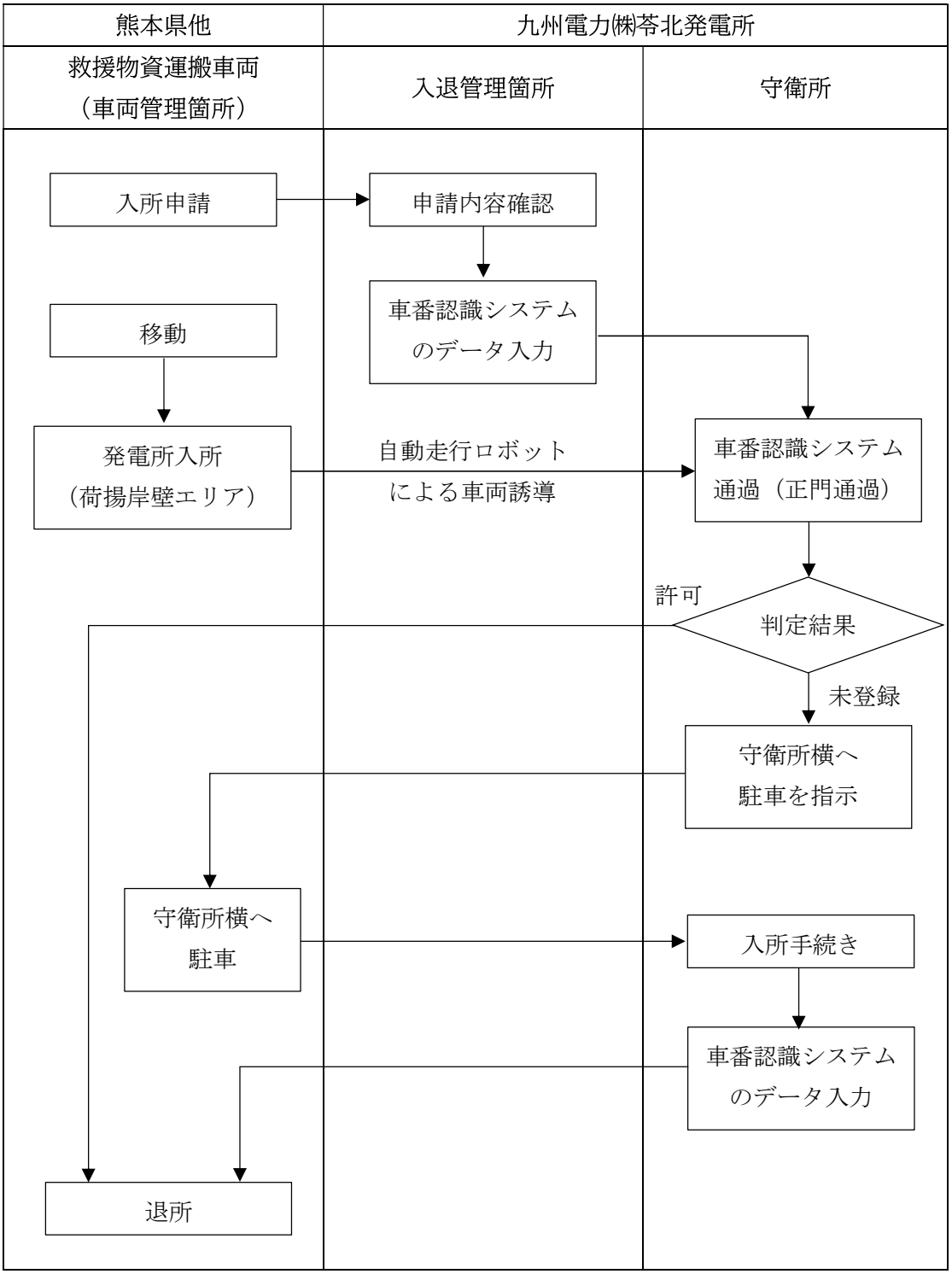


図 4.3.1-61 荷揚岸壁エリアから入門し、退所する場合の運用業務フロー（案）

【アンケート】

自動走行ロボットの操作説明を行い、操作性や運用方法等について、発電所員へアンケートを行った。アンケート内容は、下表に示す。

なお、操作説明およびアンケート対象者は、発電所において車両の入出管理担当箇所を主に実施した。

表 4.3.1-60 発電所へのアンケート内容（自動走行ロボットによる車両誘導）1

項目	小項目	内容
システムの操作性	操作PC	自動走行ロボットの操作は難しいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5（非常に簡単） 4（簡単） 3（どちらともいえない） 2（難しい） 1（とても難しい）
		自動走行ロボットの操作マニュアルはわかりやすいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5（非常にわかりやすい） 4（わかりやすい） 3（どちらともいえない） 2（わかり難い） 1（とてもわかり難い）
	カメラ映像	カメラの表示操作は難しいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5（非常に簡単） 4（簡単） 3（どちらともいえない） 2（難しい） 1（とても難しい）
		カメラの操作マニュアルはわかりやすいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5（非常にわかりやすい） 4（わかりやすい） 3（どちらともいえない） 2（わかり難い） 1（とてもわかり難い）

表 4.3.1-61 発電所へのアンケート内容（自動走行ロボットによる車両誘導）2

項目	小項目	内容
導入による運用変更点	運用フロー案	本システムを導入した運用業務フロー案について、より効率的なフローや運用が難しい内容等、ご意見があれば教えて下さい。 例：入門手続きは手書きや口頭の方が早い。 　　警備員や発電所員の対応ができない場合に有効である。
	運用変更点	本システムを使用することが可能な、車両誘導以外の運用業務はありますか。 なお、自動走行ロボットには、以下の機能を有しております。 ①自動巡視点検 ②自動充電 ③赤外線検温 ④メータ自動認識 ⑤点検レポート作成 ⑥音声収集
	実運用化に向けた改善点	本システムを実運用で使用する場合、改善して欲しい機能や追加して欲しい機能、もしくは必ず追加改善が必要な機能があれば教えて下さい。 例：自動走行ロボットの走行速度を上げて欲しい。 　　操作PC画面を大きくして欲しい。

c. ドローンによる巡視点検

【システム構成】

ドローンによる巡視点検におけるシステム構成を下図に示す。

今回の遠隔操作においては、インターネットにあるクラウドサーバ経由で実施される。手動遠隔操作の場合は、監視室から操作信号をサーバが受信し、サーバからドローンへ伝送され、ドローンが撮影したリアルタイム映像はサーバ経由で監視室にある PC へ伝送される。また、ルート設定における自動飛行の場合は、予め設定されたルートを飛行するための操作信号がサーバから発出され、ドローンへ伝送され、リアルタイム映像については手動遠隔操作時と同様である。

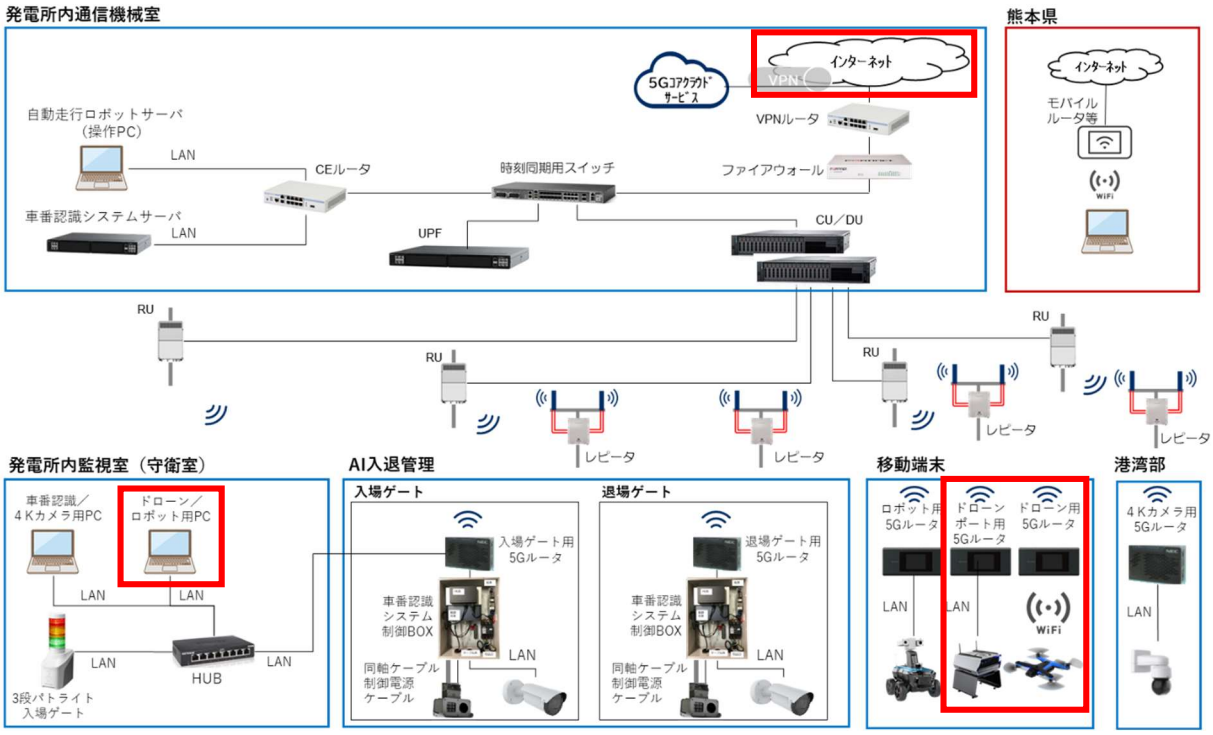


図 4.3.1-62 ドローン操縦におけるシステム構成図（赤枠）

【システム操作】

＜ルート設定＞

ドローンにおける自律での飛行ルート設定についてその設定手順を示す。

① SkydioCloud（ドローンの自律飛行を設定するためのクラウドサービス）に所定の URL からアクセスし、ID、パスワードでログイン（下図はログイン後の画面）

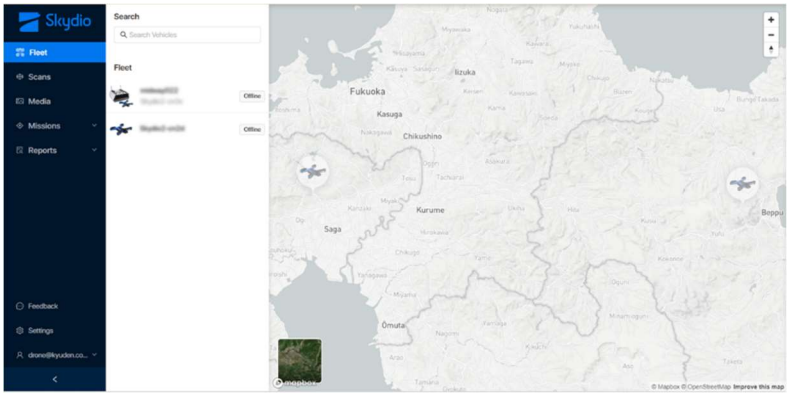


図 4.3.1-63 SkydioCloud 画面①

② SkydioCloud で飛行させる機体が「Online」状態を確認する

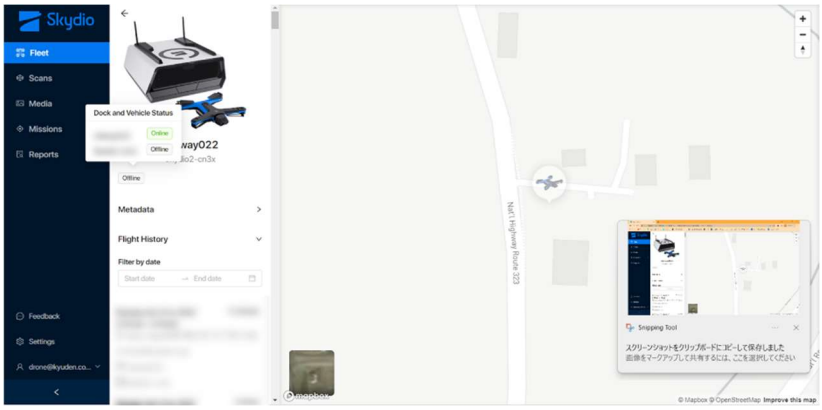


図 4.3.1-64 SkydioCloud 画面②

③ ドローンをドッグに収納し、SkydioCloud 上で、ドローンの状態が「Online」もしくは「Uploaded」となってことを確認し、「Fly Now」ボタンをクリック

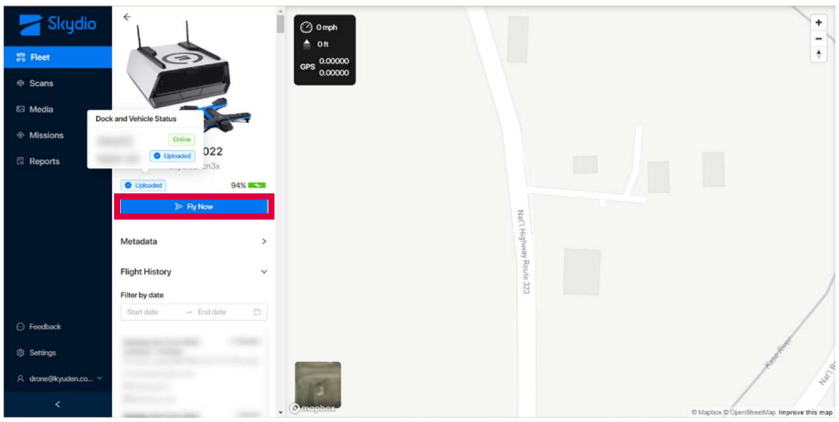


図 4.3.1-65 SkydioCloud 画面③

④ 画面下のプルダウンから「Mission Planner」を選択しルート設計を行う

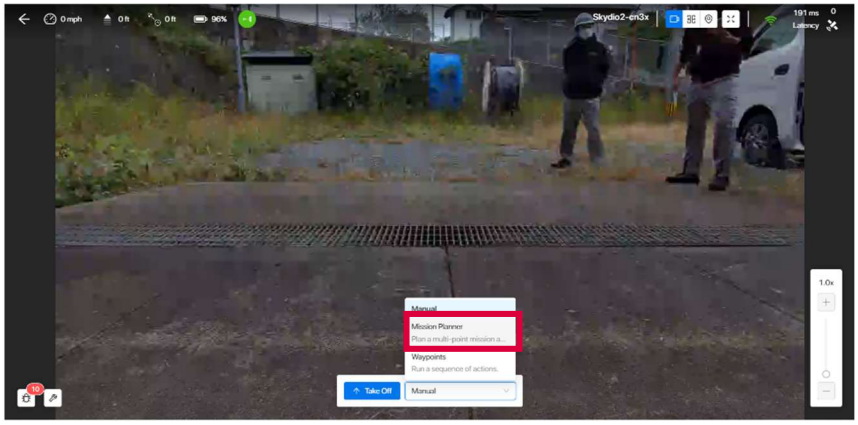


図 4.3.1-66 SkydioCloud 画面④

⑤ 登録する自律飛行のタイトル名を入力し、ナビゲーションタイプ（ビジョン/GPS）を選択

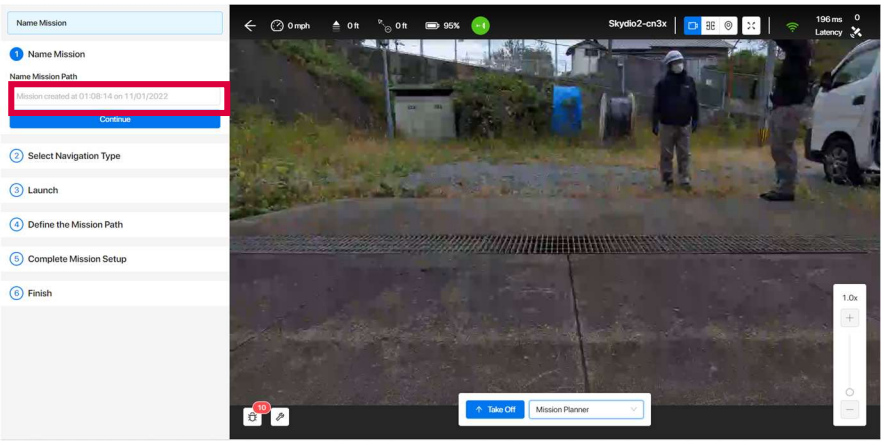


図 4.3.1-67 SkydioCloud 画面⑤

⑥「TakeOff」ボタンでドローンの飛行を実施

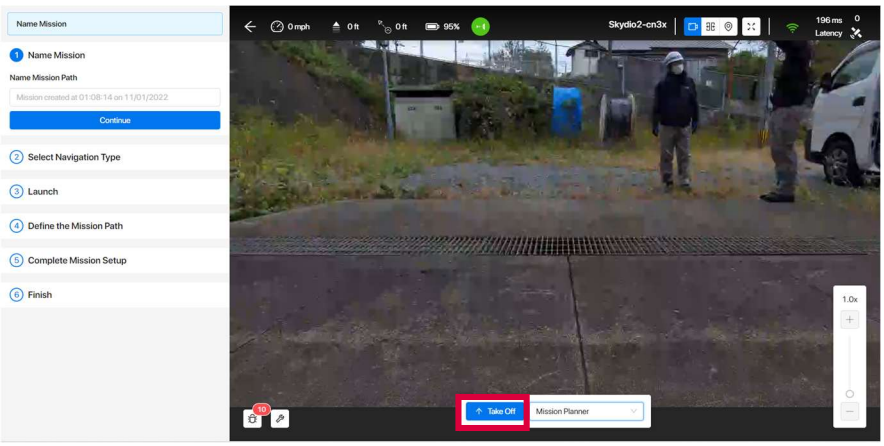


図 4.3.1-68 SkydioCloud 画面⑥

⑦ 画面の指示に従い、飛行ルート上に WayPoint(ウェイポイント:飛行ルートで通過するポイント)をおいていき、ルートを設定

＜自動飛行の起動＞

ドローンにおける自動飛行の起動方法についてその手順を示す。

① SkydioCloud(ドローンの自律飛行を設定するためのクラウドサービス)に所定の URL からアクセスし、ID、パスワードでログイン(下図はログイン後の画面)

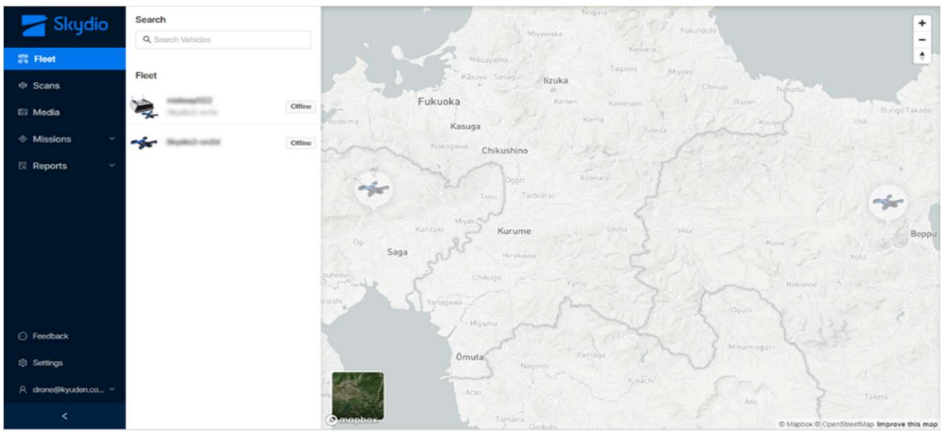


図 4.3.1-69 SkydioCloud 画面①

② SkydioCloud で飛行させる機体およびドッグが「Online」状態を確認する

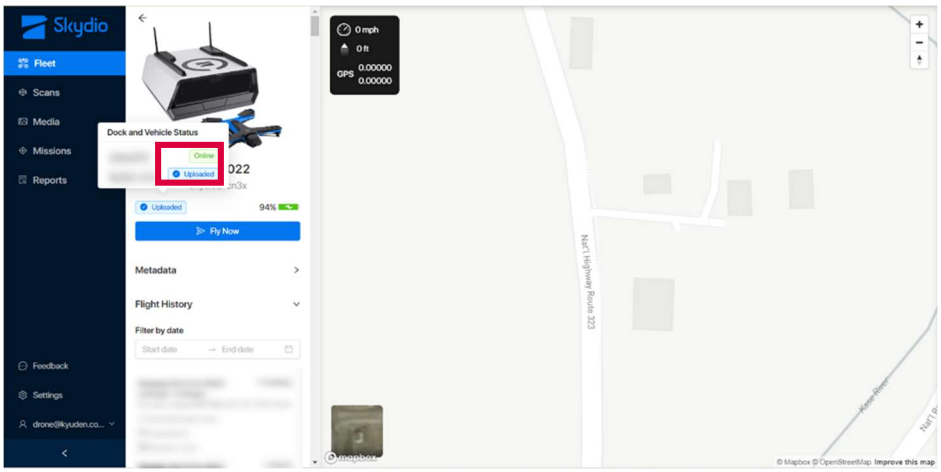


図 4.3.1-70 SkydioCloud 画面②

③ 画面左側の「Missions」の「PlanninG」をクリック

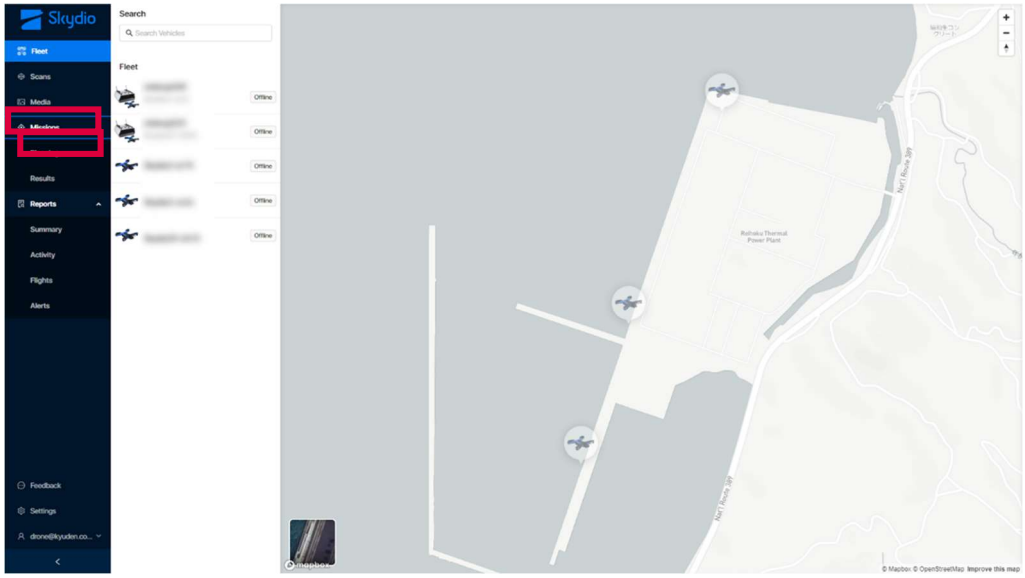


図 4.3.1-71 SkydioCloud 画面③

④ 作成されたミッションの中から該当の飛行ルート名を検索し、「Run Now」をクリック
※時間を指定して自動飛行させることも可能

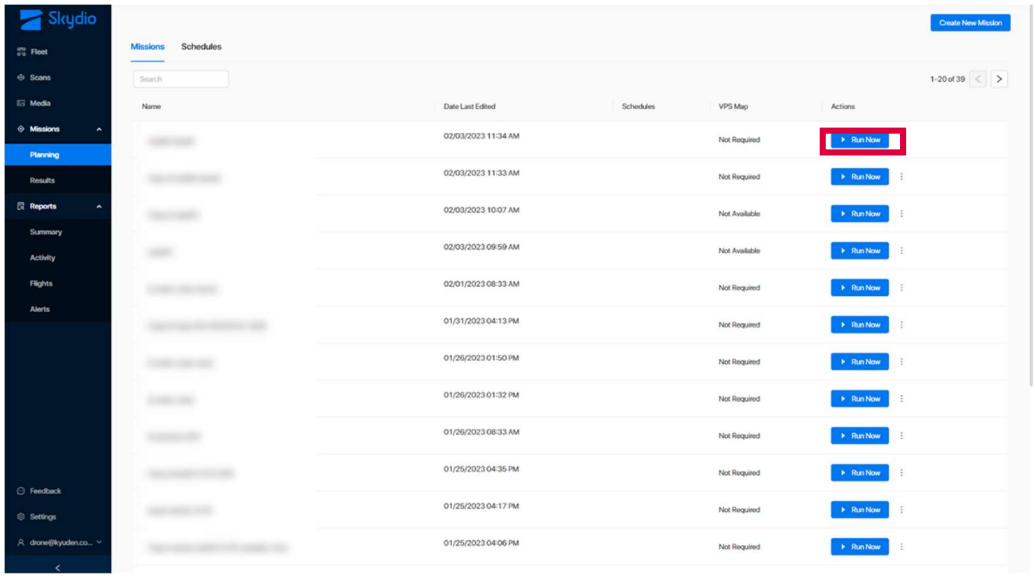


図 4.3.1-72 SkydioCloud 画面④

⑤ ポップアップ内にある「Choose a vehicle」から飛行させる機体を選択し、「Run Mission」をクリック

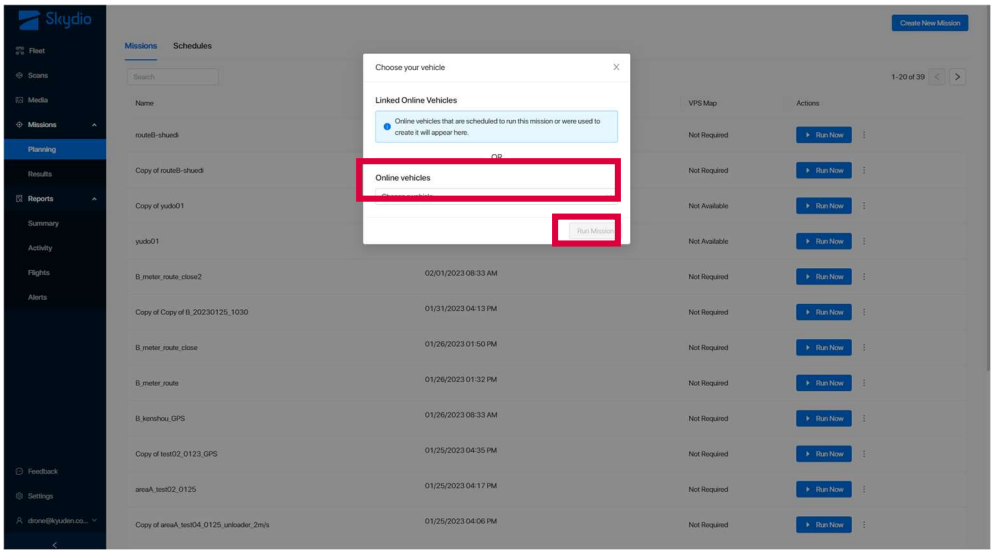


図 4.3.1-73 SkydioCloud 画面⑤

⑥ リアルタイム映像が表示され、「Take Off」ボタンが活性状態となったことを確認し、「Take off」をクリック

図 4.3.1-74 SkydioCloud 画面⑥

⑦ 自動飛行が開始され、機体が帰還したら自動飛行完了

＜手動飛行の起動＞

ドローンにおける手動飛行の起動方法についてその手順を示す。

① SkydioCloud（ドローンの自律飛行を設定するためのクラウドサービス）に所定の URL からアクセスし、ID、パスワードでログイン（下図はログイン後の画面）

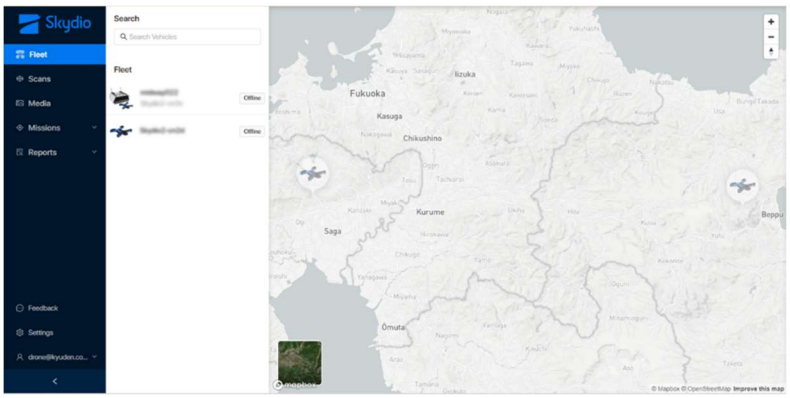


図 4.3.1-75 SkydioCloud 画面①

② SkydioCloud で飛行させる機体が「Online」状態を確認する

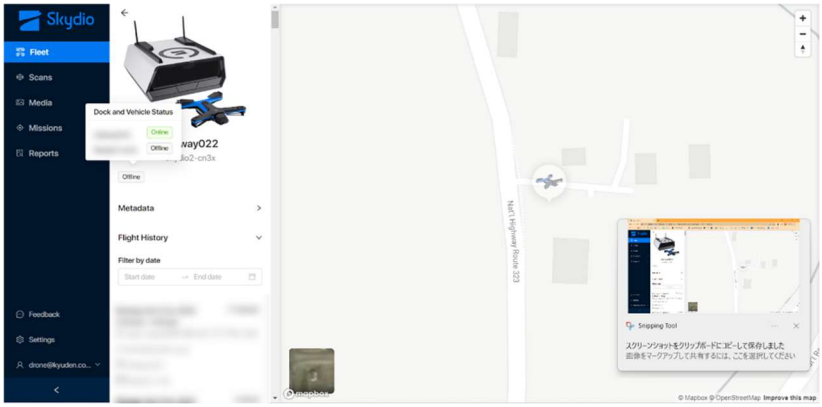


図 4.3.1-76 SkydioCloud 画面②

③ ドローンをドッグに収納し、SkydioCloud 上で、ドローンの状態が「Online」もしくは「Uploaded」となってことを確認し、「Fly Now」ボタンをクリック

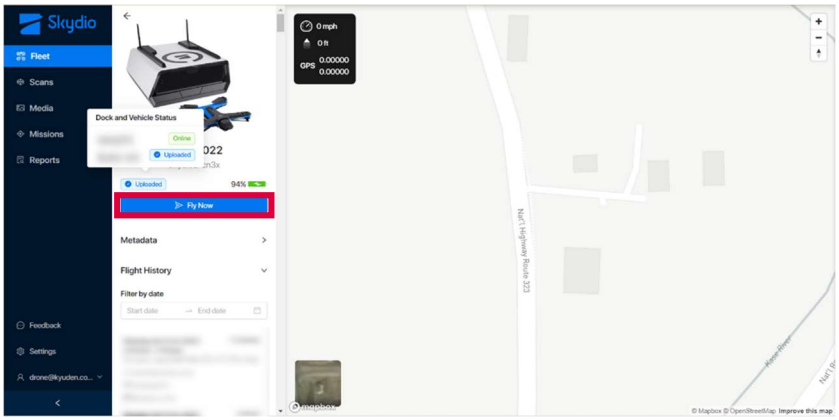


図 4.3.1-77 SkydioCloud 画面③

④ 画面下のプルダウンから「Manual」を選択

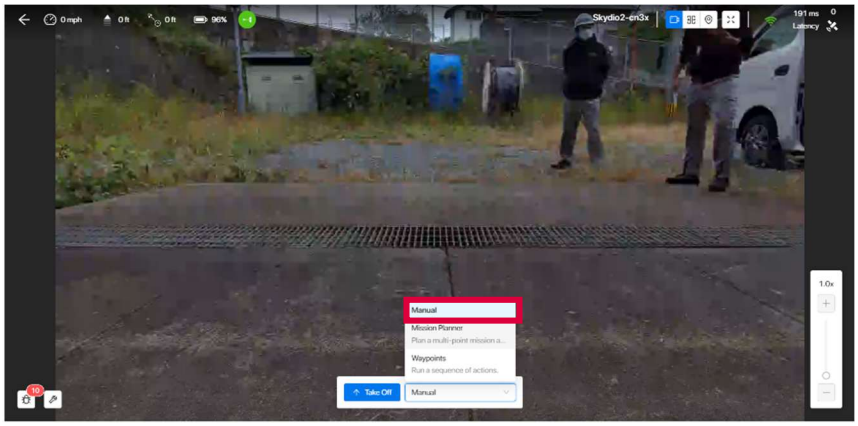


図 4.3.1-78 SkydioCloud 画面④

⑤「Take Off」ボタンが活性状態となったことを確認し、「Take off」をクリック

図 4.3.1-79 SkydioCloud 画面⑤

⑥ 飛行が開始されたら、PC のキーボードを使って機体が手動操作

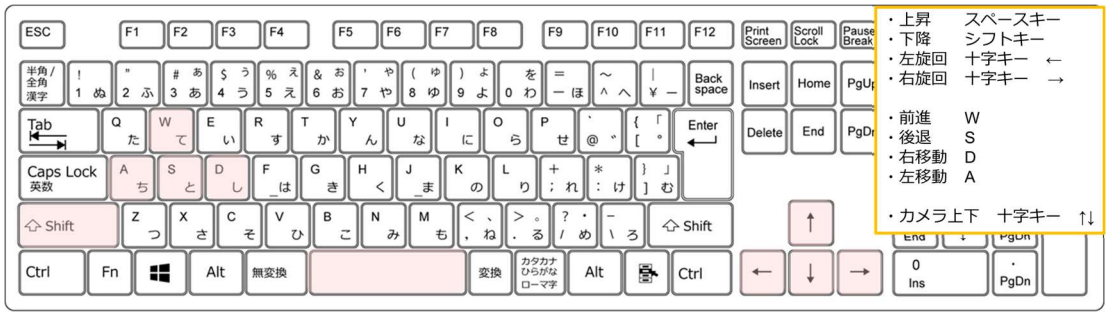


図 4.3.1-80 SkydioCloud による手動操作キー

⑦ 飛行が終了させる場合は、画面の「Return To Dock」をクリック

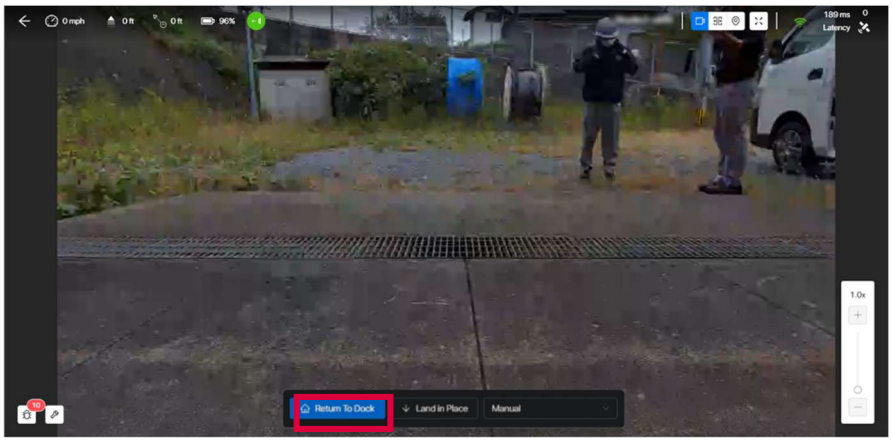


図 4.3.1-81 SkydioCloud 画面⑥

⑧ 自動帰還飛行が開始され、機体が帰還したら飛行完了

＜リアルタイム映像の確認＞

ドローンにおけるリアルタイム映像の確認方法についてその手順を示す。

① SkydioCloud（ドローンの自律飛行を設定するためのクラウドサービス）に所定の URL からアクセスし、ID、パスワードでログイン（下図はログイン後の画面）

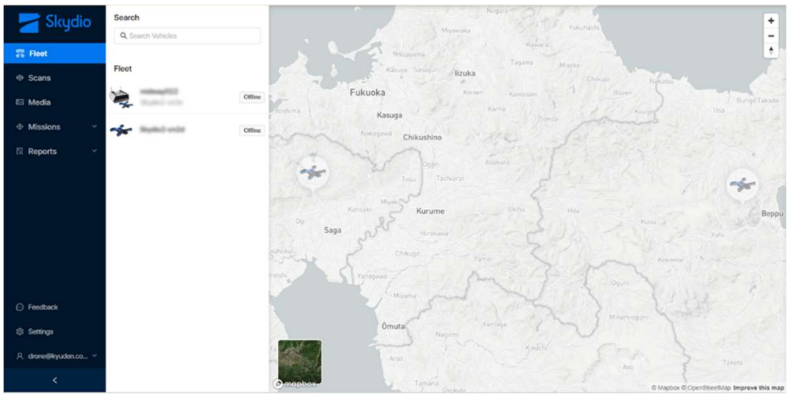


図 4.3.1-82 SkydioCloud 画面①

② 該当の機体が飛行していることを確認（機体名の横に「Live」と表示あり）し、「View Live Stream」ボタンをクリック

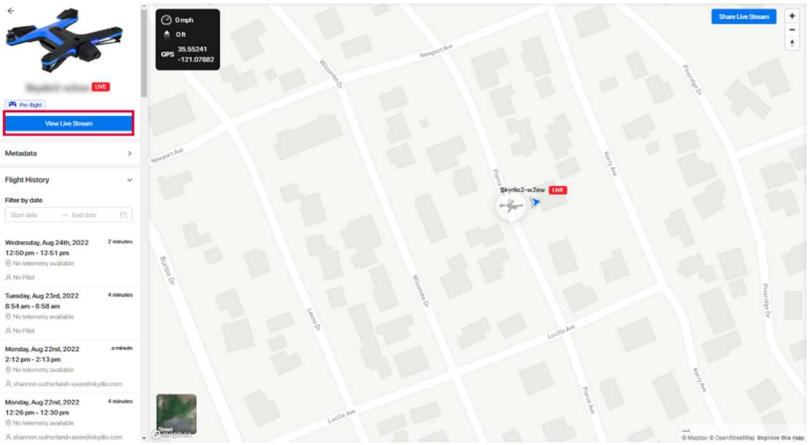


図 4.3.1-83 SkydioCloud 画面②

③ 撮影状況をリアルタイム映像にて確認

＜録画映像の確認＞

ドローンにおける録画映像の確認方法についてその手順を示す。

① SkydioCloud（ドローンの自律飛行を設定するためのクラウドサービス）に所定の URL からアクセスし、ID、パスワードでログイン（下図はログイン後の画面）

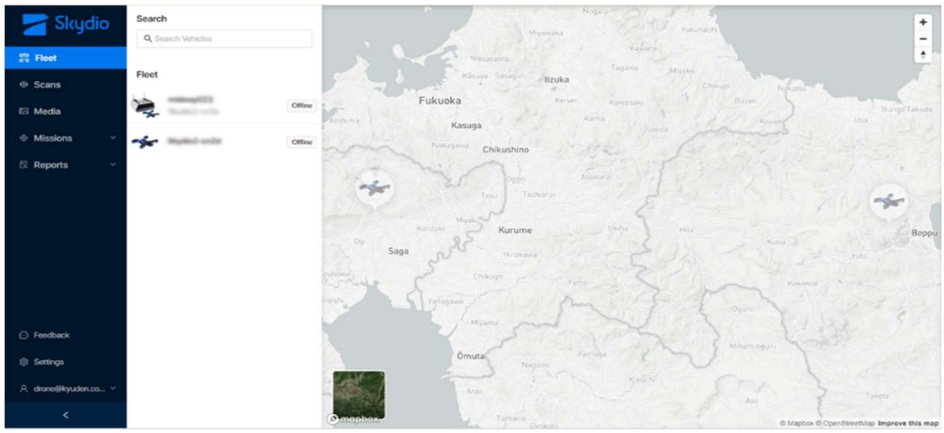


図 4.3.1-84　SkydioCloud 画面①

② 画面左側の「Media」をクリック

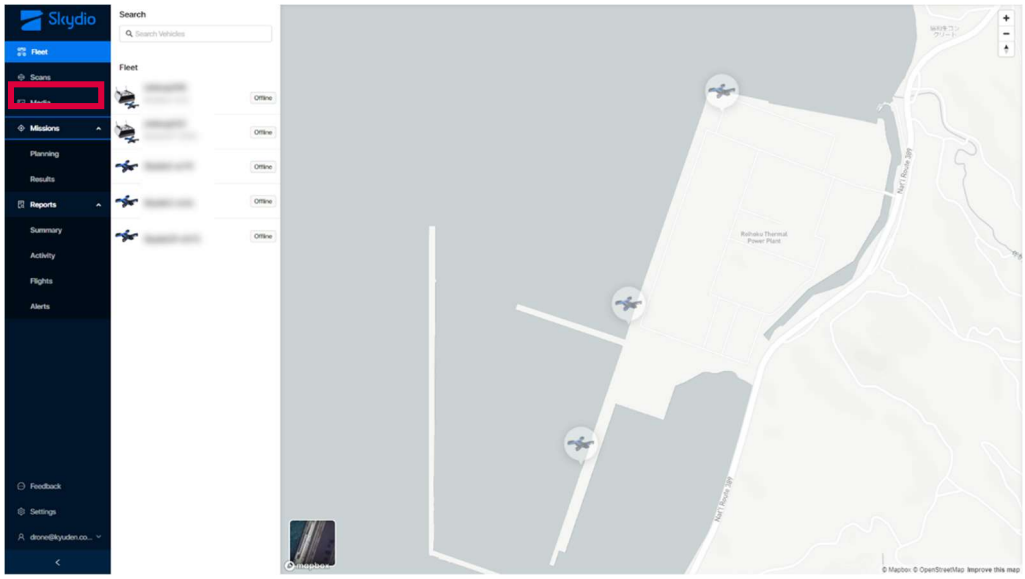


図 4.3.1-85　SkydioCloud 画面②

③ 閲覧した画像を検索し、画像をクリック

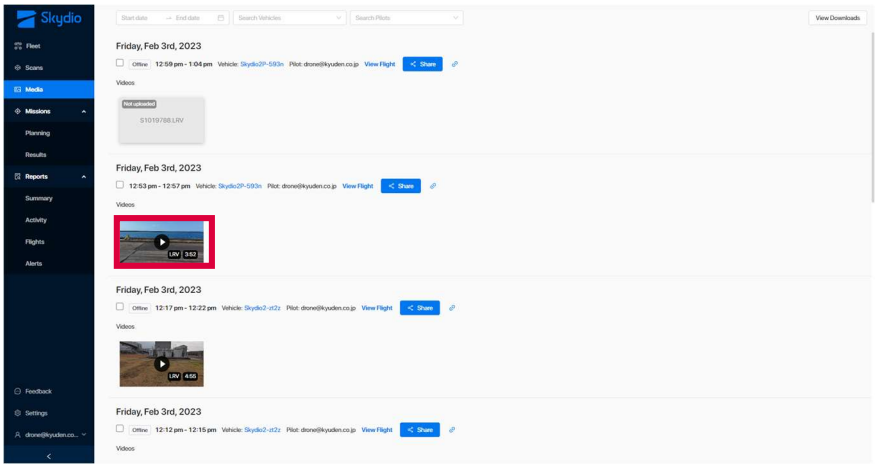


図 4.3.1-86　SkydioCloud 画面③

④ 動画再生画面に遷移するので、「▶」ボタンをクリックすることで動画が再生される

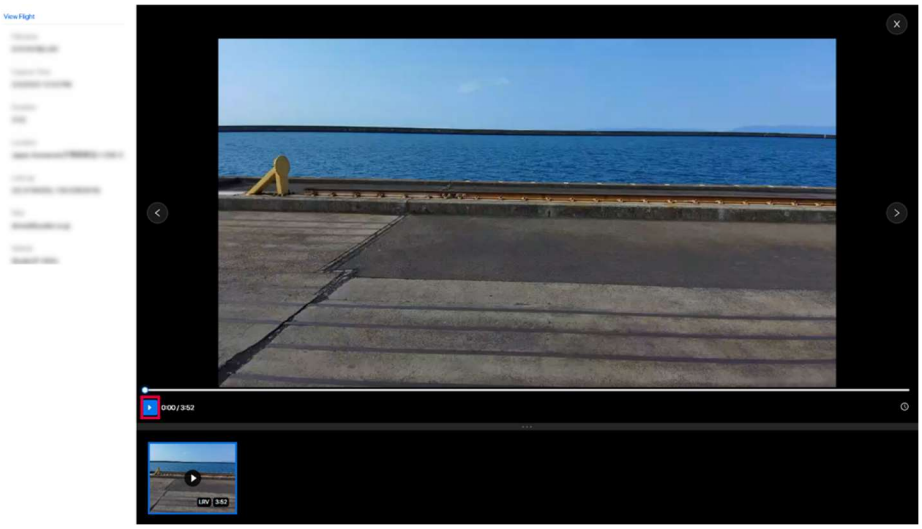


図 4.3.1-87　SkydioCloud 画面④

【運用業務フロー】

運用を想定した際の飛行までの業務フローを下図に示す。

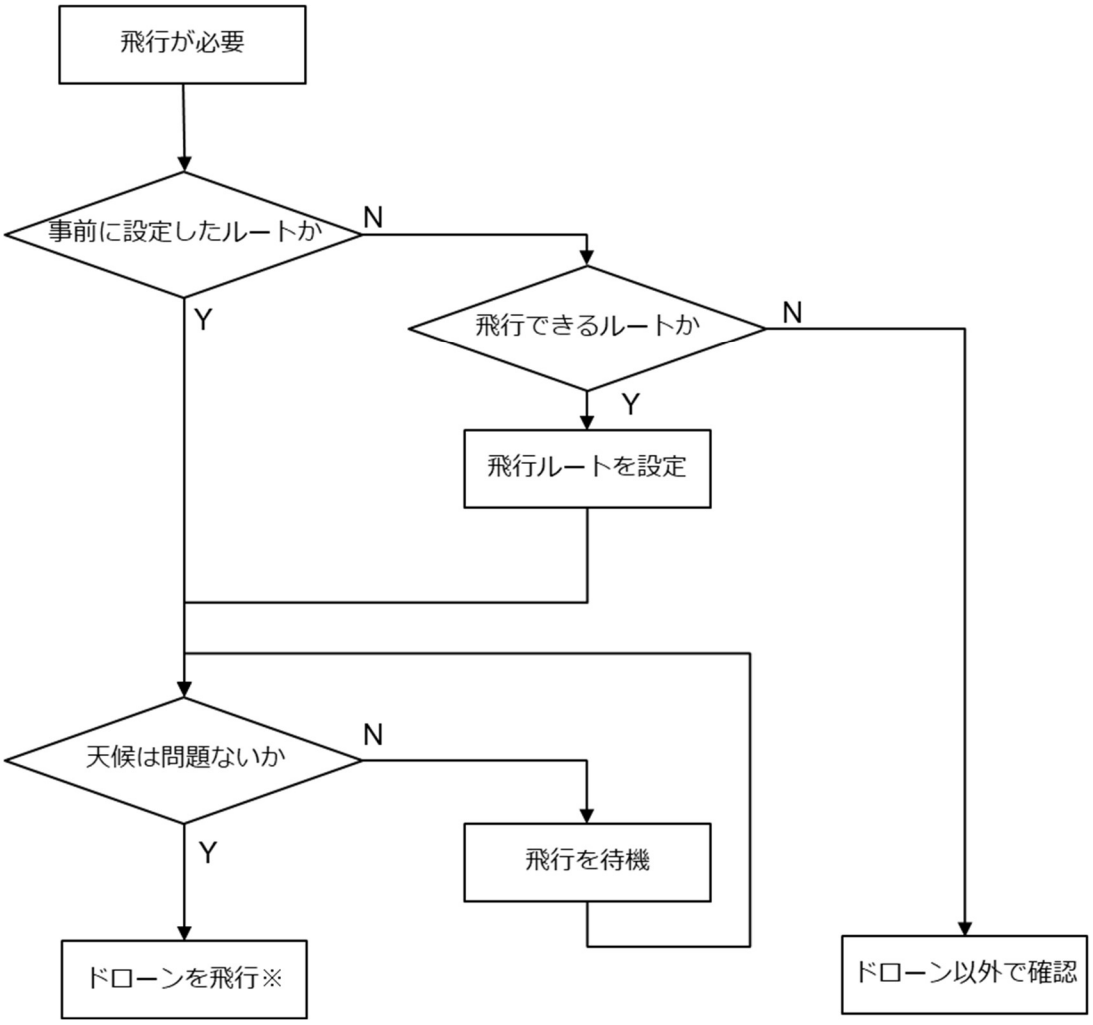


図 4.3.1-88 ドローンによる巡視点検での運用業務フロー

なお、現時点においてドローンの操作は、ドローンの操縦資格保有者が実施しなければならない。発電所員は資格を保有しておらず、ドローンの操作ができないため、苓北発電所を管轄している社内担当部門のドローン操縦資格保有者向けに操作説明を行い、アンケート実施した。

表 4.3.1-62 ドローン操縦資格保有者へのアンケート内容(ドローンによる巡視点検)1

項目	小項目	内　　容
システムの操作性	ドローンの遠隔操作	ドローンの遠隔自動操作について、操作は難しいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常に簡単) 4(簡単) 3(どちらともいえない) 2(難しい) 1(とても難しい)
		ドローンの遠隔自動操作について、操作マニュアルはわかりやすいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常にわかりやすい) 4(わかりやすい) 3(どちらともいえない) 2(わかり難い) 1(とてもわかり難い)
		ドローンの遠隔手動操作について、操作は難しいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常に簡単) 4(簡単) 3(どちらともいえない) 2(難しい) 1(とても難しい)
		ドローンの遠隔手動操作について、操作マニュアルはわかりやすいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常にわかりやすい) 4(わかりやすい) 3(どちらともいえない) 2(わかり難い) 1(とてもわかり難い)
	リアルタイム映像表示	リアルタイム映像表示について、操作は難しいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常に簡単) 4(簡単) 3(どちらともいえない) 2(難しい) 1(とても難しい)

表 4.3.1-63 ドローン操縦資格保有者へのアンケート内容(ドローンによる巡視点検)2

項目	小項目	内　　容
システムの操作性	リアルタイム映像表示	リアルタイム映像表示について、操作マニュアルはわかりやすいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常にわかりやすい) 4(わかりやすい) 3(どちらともいえない) 2(わかり難い) 1(とてもわかり難い)
	録画再生	撮影した録画データ確認について、操作は難しいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常に簡単) 4(簡単) 3(どちらともいえない) 2(難しい) 1(とても難しい)
		撮影した録画データ確認について、操作マニュアルはわかりやすいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常にわかりやすい) 4(わかりやすい) 3(どちらともいえない) 2(わかり難い) 1(とてもわかり難い)
導入による運用変更点	運用フロー案	本システムを導入した運用フロー案について、より効率的なフローや運用が難しい内容等、ご意見があれば教えて下さい。
	運用変更点	本システムを使用することが可能な、その他の運用業務はありますか。
	実運用化に向けた改善点	本システムを実運用で使用する場合、改善して欲しい機能や追加して欲しい機能、もしくは必ず追加改善が必要な機能があれば教えて下さい。 例:画面を大きくして欲しい(文字を大きくして欲しい) :暗闇でも見えるようにして欲しい :対象の自動追尾機能を追加して欲しい

d. 高精細カメラによる監視

【システム構成】

高精細カメラの構成を下図に示す。

高精細カメラは、屋外の港湾部に設置し、ローカル 5G 端末を経由し、守衛室に設置の操作PCに撮影映像を表示させる。

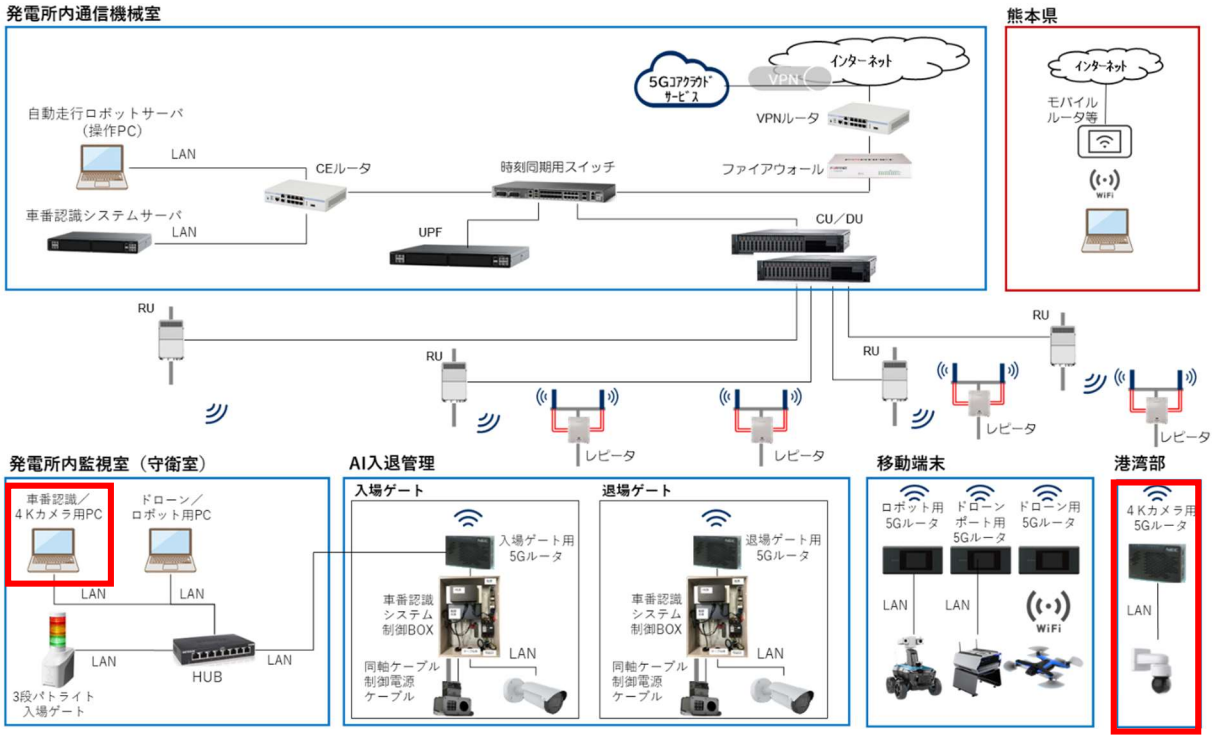


図 4.3.1-89 高精細カメラのシステム構成図(赤枠)

【システム操作】

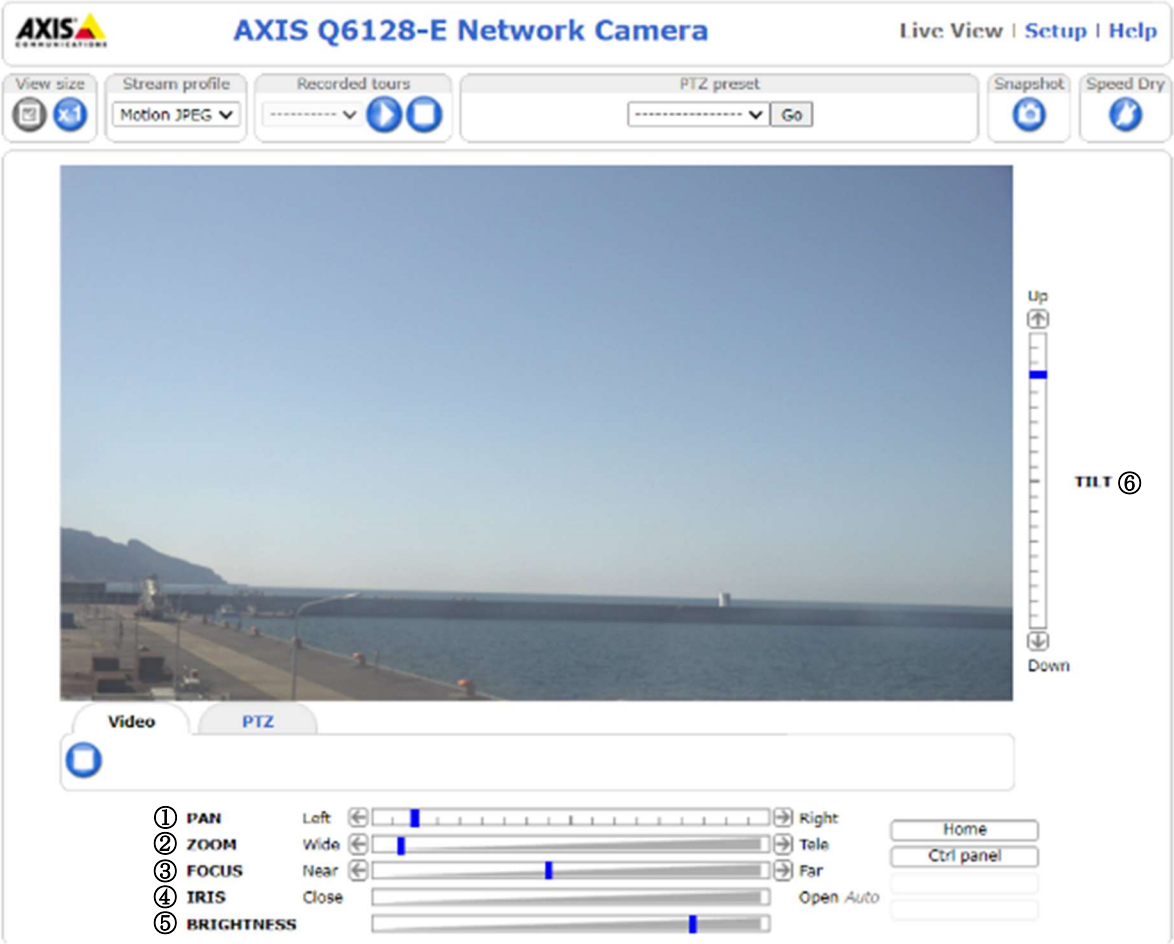


図 4.3.1-90 高精細カメラの操作画面

①カメラのレンズの向きを左右に動かす。矢印もしくはバー上の位置をクリックしてその位置にカメラビューを移動させる。

②撮影対象の拡大・縮小（ズームイン・ズームアウト）する。矢印もしくはバー上の位置をクリックするとその位置まで拡大・縮小させる。

③焦点（ピント）を合わせる。矢印もしくはバー上の任意の位置をクリックしてピント位置を設定する。（基本的にはオート設定）

※バーを使用すると、本製品のオート設定が無効になります。再度有効にするには、[Ctrl panel]をクリックして開く PTZ コントロールパネルを使用する。

④バー上の位置をクリックして、画像を明るくしたり暗くしたりするための手動露出レベルを設定する。（基本的にはオート設定）

※バーを使用すると、本製品のオート設定が無効になります。再度有効にするには、[Ctrl panel]をクリックして開く PTZ コントロールパネルを使用する。

⑤バー上の位置をクリックして、画像の明るさを調整する。

⑥カメラのレンズの向きを上下に動かす。矢印もしくはバー上の位置をクリックしてその位置にカメラビューを移動させる。

【運用業務シーン】

ヒアリング結果を踏まえて作成した、以下の表 4.3.1-64 の監視シーンを想定して操作説明会を実施し、表 4.3.1-65,66 のアンケートを実施した。

表 4.3.1-64 監視シーン一覧

監視シーン	内容
不審者(船)監視	不法侵入者等の不審者(船)を監視する
不審船発見時の警告対応	不審船発見時に現地を確認しに駆けつけ、警告注意を実施する
侵入警戒装置誤作動検知時の現場確認	誤作動検知時に現地を確認しに駆けつける
石炭船の入出港	石炭船の入出港状況を監視する
石炭船の荷揚げ作業監視	石炭船の荷揚げ作業を監視する
移動式石炭コンベア運転状況確認	移動式石炭コンベアの運転状況を確認する
台風後の港湾部のブイ確認	港湾部のブイが風に流されている可能性があるため、台風通過後に目視確認を実施する

表 4.3.1-65 発電所へのアンケート内容(高精細カメラ)1

項目	小項目	内容
システムの操作性	IP カメラ映像表示	IP カメラ映像表示システムについて、操作は難しいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常に簡単) 4(簡単) 3(どちらともいえない) 2(難しい) 1(とても難しい)
		IP カメラ映像表示システムについて、操作マニュアルはわかりやすいですか。 当てはまる番号に○を付けて下さい。 5(非常にわかりやすい) 4(わかりやすい) 3(どちらともいえない) 2(わかり難い) 1(とてもわかり難い)

表 4.3.1-66 発電所へのアンケート内容(高精細カメラ)2

項目	小項目	内容
システムの 操作性	IP カメラ 録画再生	IP カメラ録画再生システムについて、操作は難しいですか。 当てはまる番号に〇を付けて下さい。 5(非常に簡単) 4(簡単) 3(どちらともいえない) 2(難しい) 1(とても難しい)
		IP カメラ録画再生システムについて、操作マニュアルはわかりやすいですか。 当てはまる番号に〇を付けて下さい。 5(非常にわかりやすい) 4(わかりやすい) 3(どちらともいえない) 2(わかり難い) 1(とてもわかり難い)
導入による 運用変更点	運用変更点	本システムを使用することが可能な、監視シーンはありますか。 例:港湾のブイの確認。
実運用化に 向けた改善点	本システムを実運用で使用する場合、改善して欲しい機能や追加して欲しい機能、もしくは必ず追加改善が必要な機能があれば教えて下さい。 例:画面を大きくして欲しい(文字を大きくして欲しい) :暗闇でも見えるようにして欲しい :対象の自動追尾機能を追加して欲しい	

3） 検証結果および考察

発電所員と連携して、各ソリューションを用いた現地説明会（操作を含む）や運用業務フローの確認を令和5年（2023年）2月に行い、本実証担当グループの8名へアンケートを実施し、その平均（過半数）の結果を表 4.3.1-67 と表 4.3.1-68 に示す。

自動走行ロボットによる車両誘導の運用業務フローの適用については、今後の熊本県他との協議結果によって、変更となる可能性があるため、一部課題が残る結果となった。

なお、アンケートを実施して得られた課題は、今後も継続して検討および検証を実施していく。

表 4.3.1-67 各ソリューション運用検証結果一覧

ソリューション項目	システム操作および設定項目	システム動作良否	操作運用可否	運用業務フロー（シーン）案の適用可否
AI 入退管理	車両番号情報の登録	良	可	可
	車番認識結果の確認・出力	良	可	可
	車番認識結果履歴の確認・出力	良	可	可
	IP カメラ録画映像の確認・出力	良	可	可
自動走行ロボットによる車両誘導	自動走行	良	可	課題あり
	カメラ映像	良	可	可
ドローンによる巡視点検	操作 PC による遠隔手動操作	良	可	一部可（悪天候や夜間では不可）
	センサーによる自律飛行	良	可	一部可（悪天候や夜間では不可）
高精細カメラによる監視	ブラウザビューア	良	可	一部可

＜評価基準＞

良・可：アンケート結果の5段階評定のうち5、4、3の場合、適用可の場合

否　：アンケート結果の5段階評定のうち2、1の場合

表 4.3.1-68 運用検証におけるアンケート結果を踏まえた考察と課題

項目		運用フローの見直し案について	ソリューション実運用化に向けた課題
AI 入退管理	平常時	防犯セキュリティの向上は見込めるが、入門手続き時間の削減やペーパーレスの実運用化には、右記の課題対応が必要である。	・防犯セキュリティ上、バーゲートの設置等が必要
	非常時	同上	・通常の入退門と入港する貨物船から入門する物資運搬車両番号の事前登録方法の整理
自動走行ロボットによる車両誘導	非常時	発電所構内の車両誘導の自動化（警備員または発電所員による車両誘導時間の削減）には、右記の課題対応が必要である。	・走行速度が遅い（入門ゲートエリア～荷揚岸壁エリアまでの走行時間が約45分かかる） ・段差や走行ルートの環境変化への柔軟な対応 ・走行ルートの設定の簡易可 ・自動走行ロボットのバッテリー充電対策として、ソーラーパネルの導入
ドローンによる巡視点検	平常時	巡視点検の高度化（人が確認困難な高所や海上等の箇所での巡視点検）は見込めるが、実運用化には、右記の課題対応が必要である。	・雨天時において人が巡視点検可能な場合に、ドローンは飛行が困難 ・夕暮れや夜間時等の光量が十分でない環境下では、自動飛行のルート設定不可
高精細カメラによる監視	平常時	防犯セキュリティの向上は見込めるが、監視業務時間の削減のための実運用化には、右記の課題対応が必要である。	・不審船（者）対応時、現地への移動中に見失うおそれがあることから、自動追尾機能の追加 ・荷揚げ装置が死角になるため、ドローンによる巡視点検の整理
	非常時	熊本県との映像共有の実運用化には、右記の課題対応が必要である。	・平常時には映像伝送しない仕組みが必要

(3) 効果検証

各ソリューションについての導入効果については、開発実証期間内に発電所所員と連携した運用確認を目的とした操作説明会を行い、定量的かつ定性的な効果を検証した。

1) 検証項目

開発実証期間内に発電所所員と連携した運用確認を目的とした操作説明会の際に実施する効果の検証項目は、下表の通り。なお、下表には、従来業務の改善が期待される効果および検証方法についても記載している。

表 4.3.1-69 効果検証項目

分 類	検証項目	観点	期待される効果	効果の検証方法等
(a) AI 入退管理	ゲートカメラ画像による自動認証	省力化 高度化	車両の入退管理の容易化、迅速化 人為的ミス削減による高度化	入退管理の対応人数の検証 登録・不登録車両の識別・検知率の検証
(b)自動走行ロボットによる車両誘導	車両の無人誘導	省力化 高度化	車両誘導業務の自動化	車両誘導時間削減の検証
(c)ドローンによる巡視点検	ドローンカメラ映像による巡視点検	高度化	巡視点検作業の高度化	人が確認困難な箇所(高所や海上等)での巡視点検の検証
(d)高精細カメラによる監視	高精細監視カメラ映像のリアルタイム伝送	省力化	現場出動回数の低減	監視業務の削減時間の検証

2） 検証方法

効果の検証方法については、下表に記載の通り。5段階評価（リッカート尺度）により今回実証するソリューションの考察の一つとして活用する。アンケートを通して、効果内容や運用課題の把握およびニーズ分析を行い、実装に反映していく。

また、検証実施後には発電所保安員へのアンケートを実施し、定量評価および定性評価を実施した。

表 4.3.1-70 エンドユーザへのアンケート・ヒアリング内容（例）

分 類	評 価	効果内容	運用課題	ニーズ調査
(a)AI 入退管理	5・4・3・2・1			
(b)自動走行ロボットによる車両誘導	5・4・3・2・1			
(c)ドローンによる点検	5・4・3・2・1			
(d)高精細カメラによる監視	5・4・3・2・1			
＜改善点＞				

※評価指標：5（非常に業務効率化される）
4（やや業務効率化される）
3（どちらともいえない）
2（あまり業務効率化されない）
1（全く業務効率化されない）

※定量効果（例）：人手による入退管理対応時間と AI 入退管理による時間を比較

a. AI 入退管理

AI 入退管理において、以下の内容でアンケートを実施した。

表 4.3.1-71 入退管理者へのアンケート内容（AI 入退管理）

項目	内容
定量効果もしくは試算値	本システムを使用することで、車両の入退管理は簡単になりましたか。 例：入門許可証（通門車によっては見せ方が悪い）を見なくて済むようになったため、確認が簡単になった。
	本システムを使用することで、対応時間や業務処理時間は短くなりましたか。 短くなった場合、どの程度の時間ですか？ 例：業務引き続き時等の口頭での情報共有を、システムログ情報を見ての共有に変えることで 10 分短くなった。
定性効果	本システムを使用することで、保安（セキュリティ）面は向上しましたか。 例：業務処理の誤りや見落としが無くなった。
実運用化に向けた改善点	本システムを実運用で使用する場合、改善して欲しい機能や追加して欲しい機能、もしくは必ず追加改善が必要な機能があれば教えて下さい。 例：画面を大きくして欲しい（文字を大きくして欲しい） ：同乗者、歩行者、自転車等での入門者の確認が可能な機能
総評	本システムを導入することで、業務は効率化されると思いますか。 当てはまる番号に〇を付けて下さい。 5（非常に業務効率化される） 4（やや業務効率化される） 3（どちらともいえない） 2（あまり業務効率化されない） 1（全く業務効率化されない）

b. 自動走行ロボットによる車両誘導

自動走行ロボットによる車両誘導において、発電所員へ下表の内容でアンケートを実施した。なお、アンケート対象者は、発電所において車両の入出管理担当箇所を主に実施した。

表 4.3.1-72 発電所へのアンケート内容（自動走行ロボットによる車両誘導）

項目	内容
定量効果もしくは試算値	自動走行ロボットによる車両誘導を行うことで、警備員や発電所員による車両誘導対応および案内用の看板やバリケードの設置が不要になりますか。
	自動走行ロボットを使用することで、警備員や発電所員による車両誘導対応および案内用の看板やバリケードの設置の対応時間が無くなった場合、どの程度の時間を短縮できますか。
定性効果	本システムを使用することで、保安（セキュリティ）面は向上しましたか。 例：車両誘導時に誘導車両の現在位置の操作PCで確認できる。
総評	自動走行ロボットを導入することで、業務は効率化されると思いますか。当てはまる番号に○を付けて下さい。 5（非常に業務効率化される） 4（やや業務効率化される） 3（どちらともいえない） 2（あまり業務効率化されない） 1（全く業務効率化されない）

c. ドローンによる巡視点検

現時点においてドローンの操作は、ドローンの操縦資格保有者が実施しなければならない。発電所員は資格を保有しておらず、ドローンの操作ができないため、苓北発電所を管轄している社内担当部門のドローン操縦資格保有者向けに操作説明を行い、アンケート実施した。

表 4.3.1-73 ドローン操縦資格保有者へのアンケート内容（ドローンによる巡視点検）

項目	内容
定性効果	本システムを使用することで、巡視・点検の高度化となりましたか。 例：人では確認できない視点での巡視が可能となった。
総評	本システムを導入することで、業務は高度化されると思いますか。 当てはまる番号に〇を付けて下さい。 5（非常に高度化される） 4（やや高度化される） 3（どちらともいえない） 2（あまり高度化されない） 1（全く高度化されない）

d. 高精細カメラによる監視

高精細カメラによる監視において、以下の内容でアンケートを実施した。

表 4.3.1-74 発電所へのアンケート内容（高精細カメラによる監視）

項目	内容
定量効果もしくは試算値	本システムを使用することで、監視業務は簡単になりましたか。 例：現地に移動しなくて済むようになったため、確認が簡単になった。
	本システムを使用することで、対応時間や業務処理時間は短くなりましたか。 短くなった場合、どの程度の時間ですか？ 例：現地への移動時間（往復：約 10 分）が無くなった。
定性効果	本システムを使用することで、保安（セキュリティ）面は向上しましたか。 例：業務処理の誤りや見落としが無くなった。
総評	本システムを導入することで、業務は効率化されると思いますか。 当てはまる番号に〇を付けて下さい。 5（非常に業務効率化される） 4（やや業務効率化される） 3（どちらともいえない） 2（あまり業務効率化されない） 1（全く業務効率化されない）

3） 検証結果および考察

本実証の効果検証結果と考察をソリューション毎に実施した。効果検証のためのアンケートは令和 5 年(2023 年)2 月に、各ソリューションを用いた現地説明会と模擬操作に合わせて発電所の本実証担当グループの 8 名へ実施した。

また、効果額については、国土交通省「令和 5 年 3 月から適用する公共工事設計労務単価について」から引用し、時間単価を「22,227 円/8 時間＝2,778 円」として、各ソリューションの総計として年間約 22.6 百万の効果を得られることを算出した。

a. AI 入退管理

AI 入退管理において、以下の表の通り省力化および高度化の観点で、事前のヒアリング結果から整理した期待される効果の検証を行い、年間約 13.3 百万円の効果が得られることを算出した。

表 4.3.1-75 評価観点および期待される効果(AI 入退管理)

指標	観点	期待される効果	検証内容
定量評価	省力化	・入門手続き時間の削減 ・ペーパーレス	・入退管理の対応時間の検証 ・諸経費削減の検証
定性評価	高度化	・防犯セキュリティの向上	・人為的過失リスク削減の検証

アンケート結果から得られた入門手続き※の業務処理項目毎に、従来と実証時の対応時間の削減効果を表 4.3.1-76、77 に、通門時の削減効果を表 4.3.1-78 に示す。

また入門手続きに伴うペーパーレスによる諸経費の削減効果を表 4.3.1-79 に示す。

※期間入門：事前の入門申請に応じて許可証を発行し、許可証を守衛に掲示して入門
一時入門：入門時に手続きを行い、一時入門許可証を受領して入門

表 4.3.1-76 期間入門時における手続き時間の削減効果（AI 入退管理）

業務処理項目			時間	
対象	従来	実証	従来	実証
入門者	入門許可申請書作成	登録用 CSV 様式データへの入力	5 分	2 分
管理者	申請書確認・承認（回付）	申請内容確認・車番認識システムへデータ登録	15 分	5 分
管理者	入門許可証発行	－	5 分	－
守衛	入門許可証確認	車番認識システム照合結果確認	10 分	1 分
時間総計（入門車両 1 台当たり）			35 分	8 分
削減時間（実証－従来）			27 分	
年間削減総時間（手続き車両 2,427 台）			65,520 分（約 1,092 時間）	
効果額総計（年間）			3,033 千円	

表 4.3.1-77 一時入門時における手続き時間の削減効果（AI 入退管理）

業務処理項目			時間	
入門者	紙への記載	－	10 分	－
守衛	内容確認	車番認識システムへデータ登録	30 秒	1 分
守衛 入門者	一時入門許可証および入門バッジ受領・返却	－	2 分	－
時間総計（入門車両 1 台当たり）			12 分 30 秒	1 分
削減時間（実証－従来）			11 分 30 秒	
年間削減総時間（手続き車両 18,200 台）			209,300 分（約 3,488 時間）	
効果額総計（年間）			9,690 千円	

表 4.3.1-78 入退門者の通門時間の削減効果（AI 入退管理）

業務処理項目			時間	
対象	従来	実証	従来	実証
入門者	通過（許可証掲示）	通過	5 秒	0 秒
退門者	通過（許可証掲示）	通過	5 秒	0 秒
時間総計（入門車両 1 台当たり）			10 秒	0 秒
削減時間（実証－従来）			10 秒	
年間削減総時間（通門車両 72,800 台）			12,133 分（約 202 時間）	
効果額総計（年間）			561 千円	

表 4.3.1-79 諸経費の削減効果（AI 入退管理）

諸経費項目	1 発行当たりの費用	年間の発行数	年間の費用
車両入門許可申請書	1 円×2 枚＝ 2 円	2,427 回	5 千円
入門許可証	37 円×1 枚＝37 円	2,527 回	93 千円
効果額総計（年間）			98 千円

また定性的な評価として、アンケート結果を以下の表に示す。結果から、防犯セキュリティの向上が見込める。

表 4.3.1-80 定性的な効果（AI 入退管理）

項目	内容
防犯セキュリティの向上	・システム登録をするため、入門許可証の不正利用を発見できる。 ・入門届の作成誤りがあっても、その場で修正できる。 ・運転者側が、入門許可証を探したり、掲げたり（片手運転）が無くなるため、交通上の安全も保証される。

b. 自動走行ロボットによる車両誘導

自動走行ロボットによる車両誘導において、下表の通り省力化および高度化の観点で、事前のヒアリング結果から整理した期待される効果の検証を行った。

表 4.3.1-81 評価観点および期待される効果（自動走行ロボットによる車両誘導）

指標	観点	期待される効果	検証内容
定量評価	省力化	・車両誘導業務の自動化	・車両誘導時間削減の検証 ・案内用の看板やバリケードの設置時間削減の検証
定性評価	高度化	・セキュリティの向上 （車両位置の確認等）	・車両位置確認時間削減の検証

発電所へのヒアリング結果から得られた車両誘導業務の業務処理項目毎に、従来と実証時の対応時間の削減効果を下表に示す。下表の結果から、車両誘導業務の対応時間を約67～69分、削減できることを確認した。

なお、削減効果額については、下記の前提条件を元に算出した。

＜前提条件＞

・天草5橋のうち1橋が倒壊し、天草地区が孤立する。

・橋の復旧期間は、1年間とする。

・苓北発電所の港湾部を使用した船舶による物資輸送は1回／日とする。

・物資輸送のトラックは船舶に乗船し、苓北発電所港湾部から陸路での輸送とする。
輸送完了後、苓北発電所停泊中の船舶で帰ることとする。

＜削減効果額＞

・物資輸送回数：1年間＝365回

・自動走行ロボットによる削減時間：69＋46分＝115分
（削減時間は、表 4.3.1-82、83 の合計値）

・人件費単価：22，227円÷8時間＝2，778円／時間（46．3円／分）

※国土交通省「令和 5 年 3 月から適用する公共工事設計労務単価について」から引用

・警備員または発電所員による対応人数：2人／回

以上のことから、削減効果額は下記の通り約3，900千円の削減が可能である。

・削減効果額＝物資輸送回数×削減時間×人件費単価（円／分）×対応人数
＝365回×115分×46．3円／分×2人
＝3，886，885円

表 4.3.1-82 自動走行ロボットによる車両誘導時間の削減効果（陸路からの入門の場合）

業務処理項目			時間	
対象	従来	実証	従来	実証
管理者	案内用の看板やバリケードの設置	－	30 分	－
入門者	入門許可申請書作成	登録用 CSV 様式データへの入力	5 分	2 分
管理者	入門許可申請書受領 申請書確認・承認（回付）	登録用データ受領 申請内容確認・車番認識システムへデータ登録	15 分	5 分
管理者	入門許可証発行	－	5 分	－
守衛所	入門許可証確認	車番認識システム照合結果確認	10 分	1 分
正門	通過（入門許可証提示）	通過	5 秒	－
移動	警備員または発電所員による誘導	自動走行ロボットによる誘導	30 分	45 分
管理者	車両位置連絡	操作PCによる車両位置確認	5 分	1 分
入門者	荷物積込	荷物積込	－	－
移動	警備員または発電所員による誘導	自動走行ロボットによる誘導	30 分	45 分
管理者	車両位置連絡	操作PCによる車両位置確認	5 分	1 分
守衛所	入門許可証確認	車番認識システム照合結果確認	3 分	1 分
正門	通過（入門許可証提示）	通過	5 秒	－
管理者	案内用の看板やバリケードの撤去	－	30 分	－
時間総計			168 分 10 秒	101 分 0 秒
削減時間（実証－従来）			67 分 0 秒	

表 4.3.1-83 自動走行ロボットによる車両誘導時間の削減効果（港湾部からの入門の場合）

業務処理項目			時間	
対象	従来	実証	従来	実証
入門者	入門許可申請書作成	登録用 CSV 様式データへの入力	5 分	2 分
管理者	入門許可申請書受領 申請書確認・承認（回付）	登録用データ受領 申請内容確認・車番認識システムへデータ登録	15 分	5 分
管理者	入門許可証発行	－	5 分	－
管理者	案内用の看板やバリケードの設置	－	30 分	－
移動	警備員または発電所員による誘導	自動走行ロボットによる誘導	30 分	45 分
管理者	車両位置連絡	操作PCによる車両位置確認	5 分	1 分
守衛所	入門許可証確認	車番認識システム照合結果確認	3 分	1 分
正門	通過（入門許可証提示）	通過	5 秒	－
管理者	案内用の看板やバリケードの撤去	－	30 分	－
時間総計			123 分 5 秒	54 分 0 秒
削減時間（従来－実証）			69 分 5 秒	

表 4.3.1-84 自動走行ロボットによる車両誘導の定性効果

項目	内容
セキュリティの向上	・操作PCでの確認による電話連絡の削減が可能 ・警備員または発電所員のみで対応できるため、外部応援者での対応が不要となり、保安の維持が可能

c. ドローンによる巡視点検

ドローンによる巡視点検において、下表の通り高度化の観点で、事前のヒアリング結果から整理した期待される効果の検証を行った。

表 4.3.1-85 評価観点および期待される効果（ドローンによる巡視点検）

指標	観点	期待される効果	検証内容
定量評価	省力化	現場出動回数の低減	巡視点検業務の削減時間の検証
定性評価	高度化	巡視点検の高度化	人が確認困難な箇所（高所や海上等）での巡視点検の検証

巡視点検業務の削減効果について、現場への移動時間から効果を算定したものを以下に示す。本内容は毎日巡視を行うことを前提に算出したが、効果は限定的であった。そのため、ドローンでの巡視点検の適用範囲を拡大していくことが必要であり、導入コスト低減も踏まえつつ、導入を検討していくことが重要である。

表 4.3.1-86 ドローンによる巡視点検の削減効果

巡視点検シーン	現地移動時間	年間対応頻度
不審者（船）等の巡視（高精細カメラ死角の確認）	30 分	1,095 回
台風等の港湾部の岸壁状況確認	30 分	3 回
貯炭場の巡視	10 分	365 回
貯炭場のメータ点検	10 分	365 回
削減時間総計	40,260 分（約 671 時間）	
効果額総計（年間）	1,863 千円	

定性的な評価として、アンケート結果を以下に示す。結果から、防犯セキュリティの向上が見込める。

表 4.3.1-87 定性的な効果（ドローンによる巡視点検）

項目	内容
巡視点検の高度化	・石炭荷揚げ装置や貯炭場等の高所箇所および海上からの湾岸部箇所など人のアクセスが困難な箇所の確認が可能である。

d. 高精細カメラによる監視

高精細カメラによる監視において、以下の表の通り省力化および高度化の観点で、事前のヒアリング結果から整理した期待される効果の検証を行った。

表 4.3.1-88 評価観点および期待される効果（高精細カメラによる監視）

指標	観点	期待される効果	検証内容
定量評価	省力化	・現場出動回数の低減	・監視業務の削減時間の検証
定性評価	高度化	・防犯セキュリティの向上	・人為的過失リスク削減の検証

アンケート結果から得られた監視業務の削減効果を、監視シーン毎の移動時間から算定し、以下に示す。

表 4.3.1-89 監視時間の削減効果（高精細カメラによる監視）

監視シーン	現地移動時間	年間対応頻度
不審者（船）等の監視（巡視）	60 分	1,095 回
不審船発見時警告対応	120 分	4 回
侵入警戒装置誤作動検知時の現場確認	60 分	3 回
石炭船の入出港	120 分	40 回
石炭船の荷揚げ監視	60 分	40 回
移動式コンベア運転状況確認	60 分	40 回
台風後の港湾部のブイ確認	60 分	3 回
削減時間総計	76,140 分（約 1,269 時間）	
効果額総計（年間）	3,525 千円	

また、定性的な評価として、アンケート結果を以下に示す。結果から、防犯セキュリティの向上が見込める。

表 4.3.1-90 定性的な効果（高精細カメラによる監視）

項目	内容
防犯セキュリティの向上	・映像を録画できるため、後から確認が可能である。 ・高精細カメラのため、遠方監視の能力が向上する。 ・360°可動のため監視可能範囲が広がる。

(4) ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

本実証においては、既に開発済である各ソリューションをローカル 5G 環境で構築し、表 4.3.1-90 に示す通り、ソリューション毎の有効性を検証した。しかし、表 4.3.1-92,93 の各ソリューションの考察と総評に示す通り、ソリューション単体の機能については、既存仕様のまま適用していることから、機能面や運用面での課題は残るため、今後もソリューション毎の機能の向上や利用者との運用方法のさらなる整理が必要となる。なお、各ソリューションのシステム構成については、運用検証（図 4.3.1-35,48,62,89）において、有効性を確認している。

表 4.3.1-91 各ソリューションの有効性等の検証結果一覧 1

項目	評価・検証項目		目標	検証結果	目標達成状況
AI 入退管理	機能	1.車両認識率	1.車両認識率：[100%]	1.[100%]	1.[○]
	運用	1.操作性 2.運用業務フロー	1.「容易」であること 2.適用可能	1.良好（容易である） 2.一部課題あり	1.[○] 2.[△]
	効果	1.ゲートカメラ画像による自動認証	1.入門手続き時間の削減 2.ペーパーレス 3.セキュリティの向上	1.年間の削減効果 有 2.年間の削減効果 有 3.発電所保安が向上	1.[○] 2.[○] 3.[○]
自動走行ロボットによる車両誘導（非常時）	機能	1.自動走行 2.障害物回避（緊急停止） 3.操作可否	1.設定経路逸脱率：[0%] 2.障害物回避（緊急停止）失敗率:[0%] 3.失敗率:[0%]	1.[0%] 2.[0%] 3.[0%]	1.[○] 2.[○] 3.[○]
	運用	1.操作性 2.運用業務フロー	1.「容易」であること 2.適用可能	1.良好（容易である） 2.一部課題あり	1.[○] 2.[△]
	効果	1.車両誘導業務の自動化 2.セキュリティの向上（車両位置の確認等）	1.発電所員または警備員による車両誘導や案内用の看板やバリケード設置対応の削減 2.操作PCでの確認による電話連絡の削減等	1.5割程度の時間削減が可能 2.削減が可能。また、外部応援者の対応が不要となるため、保安の維持が可能	1.[○] 2.[○]

（目標達成状況の凡例）○：目標達成、△：一部課題あり、×：目標未達

表 4.3.1-92 各ソリューションの有効性等の検証結果一覧 2

項目	評価・検証項目		目標	検証結果	目標達成状況
ドローンによる巡視点検	機能	1.設定経路逸脱 2.障害物回避 3.映像確認	1.逸脱率:[0%] 2.回避失敗率:[0%] 3.確認失敗率:[0%]	1.逸脱率:[0%] 2.回避失敗率:[0%] 3.確認失敗率:[0%]	1.[○] 2.[○] 3.[○]
	運用	1.操作性 2.運用業務フロー	1.「容易」であること 2.適用可能	1.良好(容易である) 2.実運用化のためには、雨天時のドローン対応が困難等の課題への対応が必要	1.[○] 2.[△]
	効果	1.巡視点検の高度化	1.人が確認困難な箇所(高所や海上等)での巡視点検の対応	1.対応可能	1.[○]
高精細カメラによる監視	機能	1.画質	1.解像度:3,840×2,160、フレームレート:30fps	1.解像度:3,840×2,160、フレームレート:30fps	1.[○]
	運用	1.操作性 2.運用業務シーン	1.「容易」であること 2.適用可能	1.良好(容易である) 2.一部課題あり	1.[○] 2.[△]
	効果	1.高精細監視カメラ映像のリアルタイム伝送	1.現場出動回数の低減 2.セキュリティの向上	1.年間の削減効果 有 2.発電所保安が向上	1.[○] 2.[○]

(目標達成状況の凡例)○:目標達成、△:一部課題あり、×:目標未達

表 4.3.1-93 各ソリューションの考察と総評 1

項目	評価・検証項目		目標達成状況	考察および対応策
AI 入退管理	機能	1.車両認識率	1.[○]	[1.] ・目標値の車両認識率 100%を達成した。
	運用	1.操作性 2.運用業務フロー	1.[○] 2.[△]	[2.] ・保安ルールに対応した防犯セキュリティ機能の追加が必要なことから、入退管理システムと連動するバーゲートの設置を検討する。
	効果	1.ゲートカメラ画像による自動認証	1.[○] 2.[○] 3.[○]	[1.][2.] ・保安ルール対応策としてバーゲードを設置することにより、削減効果が見込める。
自動走行ロボットによる車両誘導	機能	1.自動走行 2.障害物回避（緊急停止） 3.操作可否	1.[○] 2.[○] 3.[○]	[1.][2.][3.] ・目標値を全て達成した。
	運用	1.操作性 2.運用業務フロー	1.[○] 2.[△]	[2.] ・GPS 機能による走行機能変更および、走行速度向上に向けた性能向上検討を実施する。
	効果	1.車両誘導業務の自動化 2.セキュリティの向上（車両位置の確認等）	1.[○] 2.[○]	[1.] ・従来の入門許可申請手順の遂行、案内板、バリケードの設置、誘導員の配置等の業務が削減できる。 [2.] ・操作PCによる遠隔から誘導車両の位置確認が可能により、電話連絡等の情報伝達業務が削減。また、外部応援者での対応が不要となる。

（目標達成状況の凡例）○：目標達成、△：一部課題あり、×：目標未達

表 4.3.1-94 各ソリューションの考察と総評 2

項目	評価・検証項目		目標達成状況	考察および対応策
ドローンによる巡視点検	機能	1.設定経路逸 2.障害物回避 3.映像確認	1.[○] 2.[○] 3.[○]	[1.][2.][3.] ・目標値を全て達成した。
	運用	1.操作性 2.運用業務フロー	1.[○] 2.[△]	[2.] ・巡視点検の高度化・飛行ルートの精度向上およびローカル 5G 対応や耐環境性能の向上を図るために、最適な最新ドローン技術動向を注視し、継続的な検討を実施する。 ・運用にあたって、機能以外の法令による制限に対する法令改正等を注視し、最適な運用検討を実施する。
	効果	1.巡視点検の高度化	1.[○]	[1.] ・人が確認困難な箇所（高所や海上等）での巡視点検の対応が可能である。
高精細カメラによる監視	機能	1.画質	1.[○]	[1.] ・目標値を達成した。
	運用	1.操作性 2.運用業務シーン	1.[○] 2.[△]	[2.] ・さらに運用精度を高める方策として、船舶自動追従機能等を追加
	効果	1.高精細カメラによる遠隔監視 2.セキュリティの向上	1.[○] 2.[○]	[1.] ・船舶自動追従機能等の追加により、さらなる監視業務の効率化が見込める。

総評

非常時 （非常災害対応）	自動走行ロボットによる車両誘導において、誘導時間短縮の課題は残るが、その他のソリューションにおいては十分に適用可能である。なお、熊本県との災害協定に基づき、被災時等において熊本県に高精細映像のリアルタイム伝送を計画・実施。
平常時 （スマート保安）	ローカル 5G 環境下における、車両ナンバーの認識率 100%、ドローンの自律飛行機能や映像伝送の有効性、高精細カメラの画質や映像伝送の有効性が実証された。また、今後は確実な実装に向けて利用者と各種運用面の整備を図ることとする。

（目標達成状況の凡例）○：目標達成、△：一部課題あり、×：目標未達

4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証

(1) 経済性・市場性の検証

本実証の結果について、下記のローカル 5G 環境構築モデルの費用対効果および課題ソリューションモデルの効果から、経済性・市場性の検証を行った。

なお、以下のローカル 5G 環境構築および4つのソリューションを対象として検証を実施した。

・ローカル 5G 環境構築
・AI 入退管理
・自動走行ロボットによる車両誘導
・ドローンによる巡視点検
・高精細カメラによる監視

1) 検証項目

社内での実装を前提として、ローカル 5G 環境構築および、各ソリューションの年間経費(コスト)の検証項目は、以下の通りである。

表 4.3.2-1 各ソリューション年間経費の検証項目

No	検証項目	年間経費(コスト)
1	ローカル 5G 環境構築	年間のランニング費用 ・機器:リース費用 ・工事:減価償却(年経費) ・運用:通信費 ・保守:実費
2	AI 入退管理	年間のランニング費用 ・機器:リース費用 ・工事:減価償却(年経費) ・保守:実費
3	自動走行ロボットによる車両誘導	年間のランニング費用 ・機器:減価償却(年経費) ・工事:減価償却(年経費) ・保守:実費
4	ドローンによる巡視点検	年間のランニング費用 ・機器:減価償却(年経費) ・工事:減価償却(年経費) ・保守:ライセンス費用、実費
5	高精細カメラによる監視	年間のランニング費用 ・機器:リース費用計上 ・工事:減価償却(年経費) ・保守:実費

2） 検証方法

社内での実装を前提として、ローカル 5G 環境構築および、各ソリューションの年間経費（コスト）の検証を実施した（年間経費の検証方法は、以下の通り）。

表 4.3.2-2 各ソリューション年間経費の検証方法

No	検証項目	年間経費（コスト）	検証方法
1	ローカル 5G 環境構築	年間のランニング費用 ・機器：リース費用 ・工事：減価償却（年経費） ・運用：通信費 ・保守：実費	実装モデルにおけるローカル 5G の構築費用、保守費用を算出。
2	AI 入退管理	年間のランニング費用 ・機器：リース費用 ・工事：減価償却（年経費） ・保守：実費	各ソリューションモデルについて、実装する場合のモデルを設定し、各ソリューションの構築費用、保守費用、リース費用をそれぞれ算出。
3	自動走行ロボットによる車両誘導	年間のランニング費用 ・機器：減価償却（年経費） ・工事：減価償却（年経費） ・保守：実費	
4	ドローンによる巡視点検	年間のランニング費用 ・機器：減価償却（年経費） ・工事：減価償却（年経費） ・保守：ライセンス費用、実費	
5	高精細カメラによる監視	年間のランニング費用 ・機器：リース費用計上 ・工事：減価償却（年経費） ・保守：実費	

・年間経費の検証結果を踏まえ、九州電力苓北発電所以外の九州域内の発電所で横展開可能な候補となる発電所を抽出し検証を実施

・九州域内の発電所で横展開が可能な発電所への展開後の実績を想定し、さらに同じような屋外設備環境で構成される他の電力会社の発電所、プラント会社に焦点を当て検証を実施

3） 検証結果および考察

社内での実装を前提として、ローカル 5G 環境構築および、各ソリューションの年間経費（コスト）の検証方法を踏まえた検証結果と考察は、以下の通りである。

表 4.3.2-3 各ソリューション年間経費の検証結果

No	検証項目	年間経費（コスト）	検証結果
1	ローカル 5G 環境構築	年間のランニング費用 ・機器：リース費用 ・工事：減価償却（年経費） ・運用：通信費 ・保守：実費	年間経費：46,900 千円 ・19,800 千円 ・14,700 千円 ・11,800 千円 ・ 600 千円
2	AI 入退管理	年間のランニング費用 ・機器：リース費用 ・工事：減価償却（年経費） ・保守：実費	年間経費： 6,100 千円 ・ 4,000 千円 ・ 1,500 千円 ・ 600 千円
3	自動走行ロボットによる車両誘導	年間のランニング費用 ・機器：減価償却（年経費） ・工事：減価償却（年経費） ・保守：実費	年間経費： 9,400 千円 ・ 5.600 千円 ・ 800 千円 ・ 3,000 千円
4	ドローンによる巡視点検	年間のランニング費用 ・機器：減価償却（年経費） ・工事：減価償却（年経費） ・保守：ライセンス費用、実費	年間経費： 5,800 千円 ・ 3,600 千円 ・ 200 千円 ・ 2,000 千円
5	高精細カメラによる監視	年間のランニング費用 ・機器：リース費用計上 ・工事：減価償却（年経費） ・保守：実費	年間経費： 930 千円 ・ 200 千円 ・ 130 千円 ・ 600 千円

【市場性について】

・実証結果から本モデルについて九州電力苓北発電所で確実に実装し、さらに横展開の検討が可能な九州域内のその他の発電所が市場となる。

・九州域内の市場での成果をモデルとし将来的には、他の電力会社並びに同じような施設を持つプラント事業者への展開がさらなる市場となる。

・上記の市場は、広大かつ複雑な工作物が密集するエリアでのローカル 5G の展開となり、今回の開発実証実績から、効率的な基地局、中継局の配置、経済的な屋外工事（通信ケーブル、電源ゲーブルの構築等）を踏まえ、ローカル 5G の構築の展開が可能になることから有望な市場となる。

（2） 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

運用スキーム、ビジネスモデルについては、引き続き本コンソーシアムにより構築した体制で苓北発電所へ確実に実装し、各ソリューションを磨きながら九州電力の他の発電所に当ローカル 5G モデルを展開する計画としている。

なお、ビジネスモデルについては、当モデルを継続し積み上げられた成果を他電力会社等に展開していく計画（令和 8 年（2026 年）以降）としていることから、ここでは運用スキームについてローカル 5G 環境構築と4つのソリューションを対象として検討を実施する。

・ローカル 5G 環境構築
・AI 入退管理
・自動走行ロボットによる車両誘導
・ドローンによる巡視点検
・高精細カメラによる監視

1） 検証項目

【運用スキーム】

（ア）ローカル 5G 環境構築モデルの役割分担、運用スキーム整理検討

（イ）ローカル 5G 活用ソリューションモデル（4つのソリューション）の役割分担、運用スキーム整理検討

2） 検証方法

【運用スキーム】

①ローカル 5G 環境構築モデルの役割分担、運用スキーム整理検討

・各社の役割の詳細項目を抽出する。（STEP1）
・運用スキーム上の課題を抽出する。（STEP2）
・詳細項目の役割分担を精査する。（STEP3）
・運用スキームを見直す。（STEP3）

②ローカル 5G 活用ソリューションモデル（4 つのソリューション）の役割分担、運用スキーム整理検討

・各社の役割の詳細項目を抽出する。（STEP1）
・運用スキーム上の課題を抽出する。（STEP2）
・詳細項目の役割分担を精査する。（STEP3）
・運用スキームを見直す。（STEP3）

3） 検証結果および考察

a. 運用スキーム

今後の実装に向けた運用スキームについては、本コンソーシアムでの実績と今後の課題と対策について対応を継続していくことから、各ソリューションを下記の体制役割分担により磨きながら九州電力の他の発電所に当ローカル 5G モデルを展開していくことが確実な横展開につながるとの検証結果となった。

なお、ビジネスモデルについては、当モデルを継続し積み上げられた成果を他電力会社等に展開していく計画（令和8年（2026 年）以降）としていることから、ここでは運用スキームについてローカル 5G 環境構築と4つのソリューションを対象として検討を実施する。

表 4.3.2-4 体制と役割分担

会社名		各社の役割
九州電力（実装主体）	火力発電本部（DX 推進）	・火力発電部門のスマート保安実現に向けた実行内容の検討、年度／中長期計画の立案、計画、実施、評価
	情報通信本部（免許人）	・ローカル 5G インフラの整備に向けた立案、年度／中長期計画の立案、計画、実施、評価 ・各課題解決に向けた計画、実施、評価 ・ローカル 5G 無線局の免許申請 ・ローカル 5G ネットワーク・システムの運用
日本電気		・既存ローカル 5G ネットワーク機器の提供継続 ・エリア拡大に伴うローカル 5G 無線機類の調達 5G 無線機、レピータ、CU/DU サーバ、アンテナ装置類他 ・エリア拡大に伴うネットワークのシステム設計、現地調整 ・ローカル 5G ネットワーク機器の保守実施 ・AI 入退管理システムの機能改善等
ニシム電子工業		・エリア拡大に伴うローカル 5G 基地局装置類設置工事 ・エリア拡大に伴うネットワーク機器類の設置工事
西日本プラント工業		・エリア拡大に伴う発電所構内のケーブル布設工事（通信、電源） ・エリア拡大に伴う電源工事、その他付帯工事（支持物設置等）
正興電機製作所		・自動走行ロボットによる車両誘導に向けての課題検討

b. ビジネスモデル

ビジネスモデルについては、本実証モデルを継続し、積み上げられた成果を他電力会社等に展開していく計画（令和 8 年（2026 年）以降）としていることから、本課題実証での体制により継続実施していくこととする。

（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

今回のローカル 5G を九州電力苓北発電所で確実に実装し、さらにその他の発電所への横展開を計画する。

原子力発電所への横展開については、原子力DXへの取り組みの過程において、火力発電所での実装モデルを実績としてローカル 5G の高速・大容量、低遅延、同時多接続性、セキュリティ面での特性を踏まえ、最適な無線ネットワークの選択肢の一つとして議論を進めていくこととする。

そうした社内での成果をモデルとし将来的には、ローカル 5G を主体とするネットワークとその通信基盤上で運用されるソリューションを組み合わせた提案型の無線ネットワークを他の電力会社並びに同じような施設を持つプラント事業者等への展開を目指す。

また、当ローカル 5G 活用モデルのターゲットとして求められる条件については、今回実施箇所となった苓北発電所と同等もしくはそれ以上の設備および敷地の規模があり、ローカル 5G を主体とするネットワーク導入での経済性の確保が見込めることを前提として展開を目指していく。

実装に向けたステップを表 4.3.2-5 に示す。

表 4.3.2-5 実装の STEP

ステップ1	九州電力苓北発電所
ステップ2	九州電力の他発電所
ステップ3	他の電力会社並びに同じような施設を持つプラント事業者等

b. 対象となるシステム

本実証の対象となるシステムは、ローカル 5G 環境構築および以下①から④の4つのソリューションを対象としたシステムとなる。

①AI 入退管理

②自動走行ロボットによる車両誘導

③ドローンによる巡視点検

④高精細カメラによる監視

上記、①～④の4つのソリューションの内容を以下に示す。

① AI 画像認証による車両の入退管理

【平常時】

発電所へ入退する車両に対し、AI カメラを用いて車両ナンバープレートを自動認識し、事前に登録された車両情報と照合判定することで入退のセキュリティを管理

【災害時】

災害時に入退所する緊急支援物資運搬車両等を含め事前に登録された車両情報と照合判定することで入退のセキュリティを管理

② 自動走行ロボットによる車両誘導

【災害時】

多数の緊急支援物資運搬車両等の構内誘導を想定して、物資輸送船から着陸した車両が移動する港湾エリアから発電所出口までのルートを事前設定したロボットが自動走行誘導により、発電所の入退管理箇所までの移動を可能とすること。

③ ドローンによる巡視点検

【平常時】

障害物回避機能を搭載した自律飛行ドローンを使用して事前に設定したルートを飛行し、高精細な映像を撮影、録画し活用することで発電所設備の点検を可能とすること。

【災害時】

ドローンで撮影した構内や湾岸部の高精細な映像を必要に応じてリアルタイムで熊本県への映像伝送を可能とすること。

④ 高精細カメラ（4K）による不審船の監視

【平常時／災害時】

湾岸部に設置した高精細カメラを遠隔操作して監視室への映像伝送をリアルタイムに行うことで、平常時・非常災害時における港湾内の船舶の入港状況、不審船（人）等を監視室にて確認を可能とすること。また、災害時、必要に応じてリアルタイムで熊本県への映像伝送を可能とすること。

ア） ローカル 5G 活用モデルの対象となるシステムの全体像

本ローカル 5G 活用モデルにおける、ローカル 5G 環境および4つのソリューションの全体像を図 4.3.2-1 に示す。

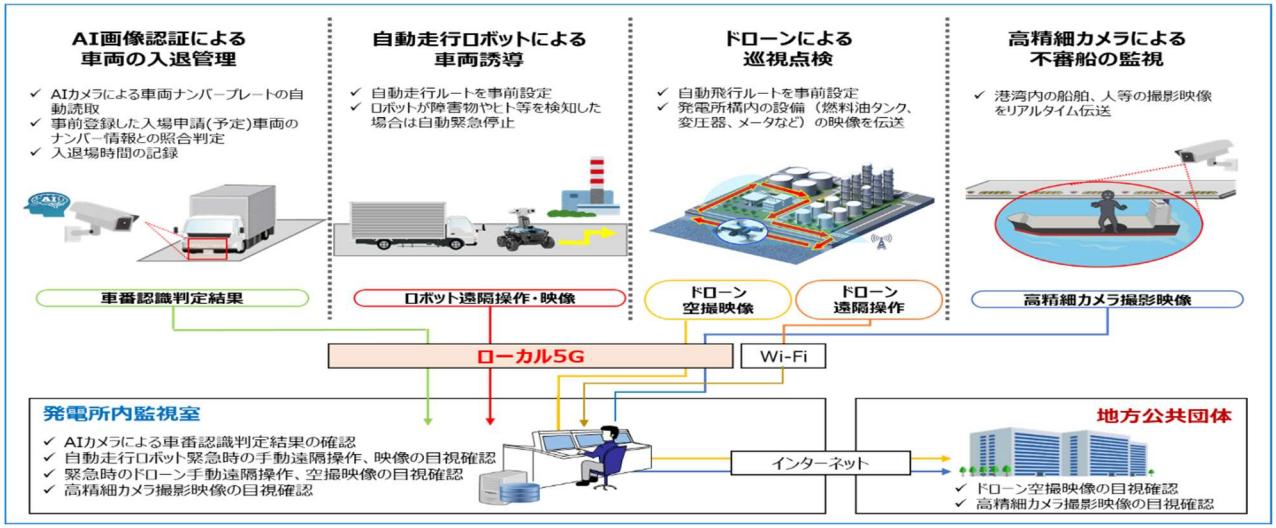


図 4.3.2-1 ローカル 5G 活用モデルの対象となる全体像

イ） 機能要件

4 つのソリューションに対する機能要件は、以下の通りである。

①AI 画像認証による車両の入退管理

（システム機能）

・専用 HD カメラで撮影したナンバープレートを自動で読み取り
・事前に登録されたナンバープレート情報と照合判定
・ナンバープレート読み取りは走行中に行う（車両の一時停止は不要）
・認識照合結果は運転者、警備員にパトライトで通知、守衛所端末はモニター表示と PC 鳴動で通知
・ナンバープレート認識履歴は後日履歴検索、履歴は Excel ファイルで出力
・車両入門時の状況を確認するため IP カメラによるライブ映像表示および録画検索再生
・最大 3 万件 のナンバープレート情報を管理可能
・最大 365 万件 のナンバープレート認識履歴を保存可能
・最大 90 日間の認識ナンバープレート静止画を保存可能
・最大 7 日間の IP カメラ録画映像を保存
・管理サーバ兼 PC およびクライアント端末はタイムサーバと連携し時刻同期可能

車番認識装置の仕様
・車番認識装置からカメラを制御し走行中の車両ナンバープレートを自動読み取り
・車両ナンバープレートの読み取りはカメラからおおよそ6m～10m前後で撮影
・車両走行速度は約25km/h以下（低速走行版の装置を使用）
・カメラと走行車両の撮影関係は俯角30°以内、側写角25°以内、プレート傾き角5°以内
・車番認識装置はナンバープレート文字情報とナンバープレート静止画を自動で外部出力

図 4.3.2-2 車番認識装置外観図

車番HDカメラの仕様

・カメラは車番認識専用の仕様であり、市販のIPカメラは使用不可

・レンズ2MP CMOSセンサーHD-SDI解像度1,980x1,080フレームレート30fps

・12倍光学ズーム7mm～84mm（柔軟な設置位置調整）

・近赤外線LED 9個撮影距離10m

・可視光カットフィルター内蔵

・カメラ制御RS485消費電力約30W

・屋外ハウジング、支柱取り付け構造防水性能 IP67

図 4.3.2-3 車番HDカメラ外観図

②自動走行ロボットによる車両誘導

・3D レーザーナビゲーションシステムを搭載し、予め設定したルートを無人という状況下で安全速度での自動走行が可能

・3D レーザーセンサーでマップを作成し、自動走行を行う。走行ルート、時間、サイクル等を設定すると自動で可動

・障害物や人を検知して衝突回避(停止)し、遠隔操作で再走行が可能・駆動方式:4WS(四輪操舵)であり、回転や方向転換がスムーズに行える。

・天候に左右されず、様々な環境に適用可能。段差 10 cm、水深 10 cmまで進むことが可能。また、傾斜 30 度までの登行が可能であり、障害物がある場合は自動で停止

・可視カメラ(フルHD)および赤外線カメラを搭載し、カメラは回転式であり、車両誘導の過程で周囲の状況がロボットのカメラ映像を遠隔から監視可能本機能・性能要件が九州電力の発電所で開発実証(令和3年度　課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証)された自動走行ロボットを採用

自動走行ロボットの外観を図 4.3.2-4 に、仕様を表 4.3.2-6 に記載する。

図 4.3.2-4　自動走行ロボット外観図

表 4.3.2-6 ロボット仕様

カテゴリ	スペック
サイズ	W627× D852 × H900 mm
本体重量	70kg
最大速度	6.8km/h
駆動方式	四輪駆動
回転台動作範囲	水平:±180° 垂直:±90°（可視カメラ・赤外線カメラ）
最小回転半径	0.4m
登坂能力	30°
段差乗り越え	100mm
走行可能水深	100mm
可視カメラ	フルHDカメラ（光学30倍ズーム）
赤外線カメラ測温範囲	-20 ～ 550℃
電源	AC220V±10% 2,200W（最大）
バッテリー	リン酸鉄リチウム電池
最大稼働時間	約8時間
充電時間	約4時間
適用環境	全天候型（屋内・屋外）
保護等級	IP55
使用環境	-20 ～ 45℃

③ドローンによる巡視点検

ドローンによる巡視点検での機能要件を以下に記載する。なお、ドローンは天候に左右されるため、いつでも飛行できることを前提にした場合を記載する。

表 4.3.2-7 ドローンの機能要件（機体）

項目	要件
通信機能	・ローカル 5G や LTE、Wi-Fi 通信が可能な機体であること。 ※ローカル 5G 通信が可能な機体は現時点ではない
画質	撮影目的を確認できる画質以上であること。 ※リアルタイム映像と記録映像でも要件が異なると想定
耐環境性能	・雨天時でも飛行が可能であること。 ・強風（例えば 10m/s 以上）でも飛行できること。 ・気温が高いもしくは低くても（例えば、-5～40℃）安定した飛行が可能であること。
夜間飛行	・夕方や夜間、早朝等光量が少ない場合でも飛行可能であること。
衝突防止機能	・日光が強く、乱反射が起こるような箇所でも、誤作動等がなく、安定した飛行ができること。 ・人や自動車等位置が変わるものについて回避可能であること。
経路設定精度	・撮影対象が撮影できる範囲の設定ルート誤差であること。 ビジュアル設定の場合は、±1m 程度の精度（メータの映像が確認できる範囲）であること。 ・GPS 設定の場合は、±5m 程度（GPS 精度と同等）であること。 ・屋内等のGPS がない箇所でもルート設定が可能であること。
リアルタイム映像伝送、遠隔操作	・リアルタイム映像の伝送が可能であり、遅延が支障のない範囲であること。 ・遠隔操作の場合、操作に支障とならない遅延（1 秒未満）であること。
その他機能	・何かしらの要因で離着陸地点に帰還する必要がある際に、自動帰還が可能であること（RTH 機能）。 ・赤外線カメラを搭載することができること（貯炭場等熱源を検出する場合）。 ・海上での動作が安定していること（不時着しないこと）。

なお、今回使用したドローンの外観を図 4.3.2-5 に、仕様を表 4.3.2-8 に記載する。

図 4.3.2-5 ドローン外観
【出典:https://www.jiw.co.jp/rental/skydioj2.html】

表 4.3.2-8 ドローンの機能要件(機体以外)

[機能要件:機体以外]

項目	要件
環境	発着点について、ローカル 5G および GPS が入る場所であること。 ※ドローンの安定飛行には GPS を利用することも多いが、発電所では、防潮堤や防風フェンス等の GPS の遮蔽物も多いため、GPS とローカル 5G の両方を受信できる発着点およびルート設計が必要 ※湾岸部のルート設計について、高精細カメラの死角を確認する場合、ローカル 5G エリアが船により遮られるため、その状況を含めたエリア設計が必要
電波エリア	ドローンの飛行ルートを高度設定する場合、リアルタイム映像を確認するためには、飛行エリアがローカル 5G エリアとすること(将来的にローカル 5G をドローンが直接受ける場合のもそのエリア設定が必要) ※今回は Wi-Fi にて中継したため、本要件は未検証。 基地局間のローミングの際に一時的に伝送の切断が起こるため、その箇所の設定を考慮したエリア設定を推奨
法令	ドローンを飛行させるためのライセンスの取得。
教育	ドローンでのアクシデントがあった際に対応が可能であること。

表 4.3.2-9 ドローン仕様

＜機 体＞

項目	緒元
サイズ	L 223 × W 237 × H 74 ※バッテリー装着時
重量	775G ※バッテリー装着時
飛行可能時間	23 分
最高飛行速度	約 58km/h
最大耐速度	約 11m/s
最大高度	500m
最大伝送距離	約 3,500m ※環境により異なる
最接近距離	半径 0.5m
可用温度範囲	-5～40℃
GNSS	GPS + GLONASS

＜カメラ＞

項目	緒元
センサー	Sony IMX577 1/2.3 CMOS
解像度(静止画)	1,200 万画素(4,056×3,040)
解像度(動画)	4K 60fps
ISO	100～3,200
絞り	f/2.8
シャッタースピード	1～1/1920s
焦点距離	200mm ※35mm 換算時
カメラピッチ	-110～90°
保存形式	JPG、DNG、MP4

※機体およびカメラは、非防水

④高精細カメラによる不審船の監視

AXIS 社製の 4K PTZ カメラ(可動)である。
ハードウェア外観を図 4.3.2-6 に示す。
主な諸元を表 4.3.2-10 に示す。

図 4.3.2-6 4K カメラ(可動)のハードウェア外観

表 4.3.2-10 4K カメラ(可動)の主な諸元

項目	諸元値
寸法	取り付けフックあり：274 x 165 x 165mm 取り付けフックなし：256 x 165 x 165mm
重さ	3.0kg
ビデオ圧縮	H.264（MPEG-4 Part 10/AVC)、Baseline、MAIn、 High Profile Motion JPEG
解像度	3840x2160（UltraHD 4K）～640x360
フレームレート	最大 50/60 フレーム/秒（電源周波数 50/60 Hz）@1080p 最大 25/30 フレーム/秒（電源周波数 50/60 Hz）@4K
動作条件	30W ミッドスパン利用：-20 ˚C～50 ˚C 60 W ミッドスパン利用：-50 ˚C～50 ˚C 極寒温度管理機能：-40 ˚C の低温下で起動可能 湿度 10～100% RH（結露可）
電源	Axis High PoE midspan midspan midspan 1-port: 100～240V AC、最大 74W カメラ消費電力：通常 14W、最大 51W Axis PoE+ミッドスパン 1 ポート：100～240 V AC、最大 37 W IEEE 802.3at Type 2 Class 4 カメラ消費電力：通常 14W、最大 25W

AXIS 社製の 4K カメラ(固定)である。
ハードウェア外観を図 4.3.2-7 に示す。
主な諸元を表 4.3.2-11 に示す。

図 4.3.2-7 4K カメラ(固定)のハードウェア外観

表 4.3.2-11 4K カメラ(固定)の主な諸元

項目	諸元値
寸法	長さ：360mm、直径：147mm
重さ	2.55kg
ビデオ圧縮	H.264（MPEG-4 Part 10/AVC）ベースライン、メイン、 およびハイプロファイル H.265（MPEG-H Part 2/HEVC）メインプロファイル Motion JPEG
解像度	3840x2160 4K～160x90
フレームレート	4K :最大25/30 フレーム/秒（50/60 Hz） 10 メガピクセル ： 最大20 フレーム/秒（50/60 Hz）
動作条件	-40°C～60°C NEMA TS 2（2.2.7）による最高温度: 74°C 湿度: 10～100% RH（結露可）
電源	Power over Ethernet（PoE）IEEE 802.3at Type 2 Class 4 標準13.3 W、最大24.0 W 20～28V DC、標準12. W、最大23.2W 20～24V AC、標準 19.4V A、最大33.0V A

本ローカル 5G システムにおける、4つのソリューションの同時使用時の必要帯域の合計がローカル 5G ネットワークの最大帯域を上限とした設計でること。

今回の4つのソリューションの同時使用時の伝送帯域の算出区間を図 4.3.2-8 に示す。

また、4つのソリューションの同時使用時の必要帯域の合計値を表 4.3.2—14 に示す。

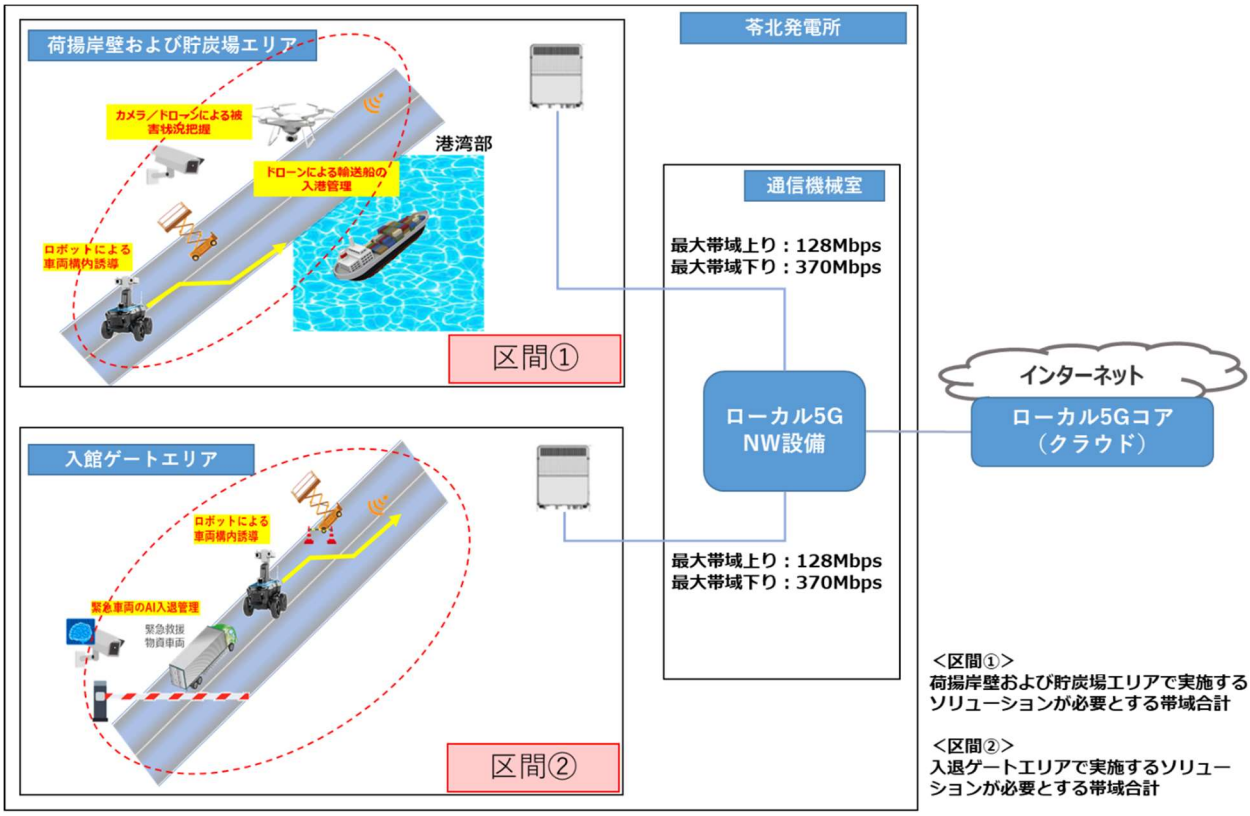


図 4.3.2-8 伝送帯域算出区間

区間①：荷揚岸壁および貯炭場エリアで実施するソリューションが必要とする帯域合計

区間②：入退ゲートエリアで実施するソリューションが必要とする帯域合計

各区間で使用するカメラ等機器の必要台数および、品質条件を表 4.3.2-12 に示す。

各区間の必要帯域を表 4.3.2-13 に示す。自動走行ロボットについては、区間①、②両方を対象とした実証になるため、各区間のソリューションとして算出する。

表 4.3.2-12 使用機器必要数

区 間	使 用 機 器	必要数
①荷揚岸壁および貯炭場エリア	高精細カメラ(4K)	1 台
	ドローンカメラ(HD)	2 台
②入退ゲートカメラ	高精細カメラ(4K)	2 台
	車両認証カメラ(Full HD)	2 台
区間①＋区間②	ロボットカメラ(Full HD)	1 機

表 4.3.2-13 各使用機器の想定ビットレート

機器種別	想定ビットレート
AI 入退管理用高精細カメラ(4K)	15Mbps
港湾部用高精細カメラ(4K)	45Mbps
ドローンカメラ(HD)	5Mbps
ロボットカメラ(Full HD)	最大 25Mbps
車両認証カメラ(HD)	1Mbps

<AI 入退管理用高精細カメラ(4K)>

解像度	3,840×2,160
フレームレート	10fps
BPP(被写体)	0.175

<港湾部用高精細カメラ(4K)>

解像度	3,840×2,160
フレームレート	30fps
BPP(被写体)	0.175

<ドローンカメラ(HD)>

解像度	1,280×720
フレームレート	30fps
BPP(被写体)	0.175

<車両認識カメラ(HD)>

解像度	1,280×720
フレームレート	3fps
BPP(被写体)	0.175

<BPP(ピクセルあたりのビット数)の目安>

BPP		品質			
		最高	高	中	低
動作	高速	0.225	0.175	0.125	0.1
	中速	0.2	0.15	0.1	0.075
	低速	0.175	0.125	0.075	0.05

※動作は映像の動きの激しさで、本検証撮影映像は「低速」とする。

【ビットレート計算式】ビットレート[Mbps]＝BPP×フレームレート[fps]×解像度×10^{-6}

表 4.3.2-14 必要帯域

区 間	使 用 機 器	必要帯域
④ 荷揚岸壁および貯炭場エリア	高精細カメラ(4K)	45Mbps
	ドローンカメラ(HD)	10Mbps
	合計帯域	50Mbps
⑤ 入退ゲートカメラ	高精細カメラ(4K)	30Mbps
	車両認証カメラ(Full HD)	1Mbps
	合計帯域	31Mbps
⑥ 区間①+区間②	ロボットカメラ(Full HD)	25Mbps
	合計帯域(①+②+ロボット)	111Mbps

ウ) 非機能要件

非機能要件について、対応コストを踏まえて表 4.3.2-15 に示す。
なお、各ソリューションの非機能要件は発電所の保安上、非公開とする。

表 4.3.2-15 非機能要件(ローカル 5G 環境構築)

項 目		要 件
電源	停電対策	・商用電源停止が発生した場合、ローカル 5G 無線ネットワーク上のシステムが停止することなく稼働を継続するよう無線基地局、無線ネットワーク機器類に供給される電源は、商用受電設備、分電盤、無停電電源装置および非常用発電機で冗長構成された電源系統に接続されること。
情報セキュリティ	情報セキュリティ対策	無線ネットワークにおけるリスクと脅威を以下に整理 ＜リスク①:デバイスのなりすまし＞ 【脅威】 ・脆弱な IoT デバイスへのなりすまし不正ログイン ・SIM カードの不正利用によるなりすまし不正ログイン ＜リスク②:基地局間中継機器のなりすまし＞ 【脅威】 ・バッテリードレイン攻撃によるデータ改ざん ＜リスク③:機器への Dos 攻撃＞ 【脅威】 ・5G コアへの不正メッセージ攻撃 ・IoT デバイスからの大量シグナリングメッセージ攻撃 ＜リスク④:外部要因による通信品質劣化＞

		【脅威】 ・障害物による電波妨害 ＜リスク⑤：盗難・盗聴によるデバイスの悪用＞ 【脅威】 ・デバイスのアクセス制限管理不備による盗聴 ・未暗号によるデータ盗聴 ・デバイスの設置管理不備 ＜リスク⑥：物理的な脆弱性＞ 【脅威】 ・侵入者による証跡ログの削除 ・IoT デバイスの踏み台による内部感染 ・出入り業者による IoT 機器の持ち込みや設備構成変更 ・リモート管理の誤操作・誤設定による不具合やセキュリティホール ＜＜上記のリスクと脅威における対策例＞＞ ・SIM／ネットワークのセキュリティ対策 ・脆弱性対策 ・コアネットワーク内の通信の暗号化、認証／認可 ・接続機器とネットワークの可視化／脅威の検知
機器設置環境	サーバルームの空調環境整備	・機器の動作温度が安定的に維持されるように設置サーバ室への空調環境の整備がされていること。 一般的にはサーバ室内の温度が 25 度程度（一定）に維持されていること。
保守・運用体制	設備の 24 時間 365 日監視・運用体制の確立	・24 時間 365 日において、ローカル 5G 基地局、無線ネットワーク機器類の障害状況のタイムリーな把握、1次対応、利用者からの問い合わせ対応が可能となる監視・運用体制下で設備が維持されること。
	大規模災害時、機器故障時における現地駆けつけ手段の多様化の維持	・災害時や緊急時に災害箇所、災害の状況、交通遮断状況に応じて、保守員が所在する拠点から複数のアクセスの手段を確保されていること。 ＜例：本実証（苓北町）の場合＞ 【陸路】保守員（熊本市） ⇒ 現地（苓北） 【海路】保守員（長崎市） ⇒ フェリー ⇒ 現地（苓北） 【空路】保守員（福岡市） ⇒ 飛行機 ⇒ 現地（苓北）

エ）　ネットワーク・システム構成

ネットワーク・システム構成を、下図に示す。

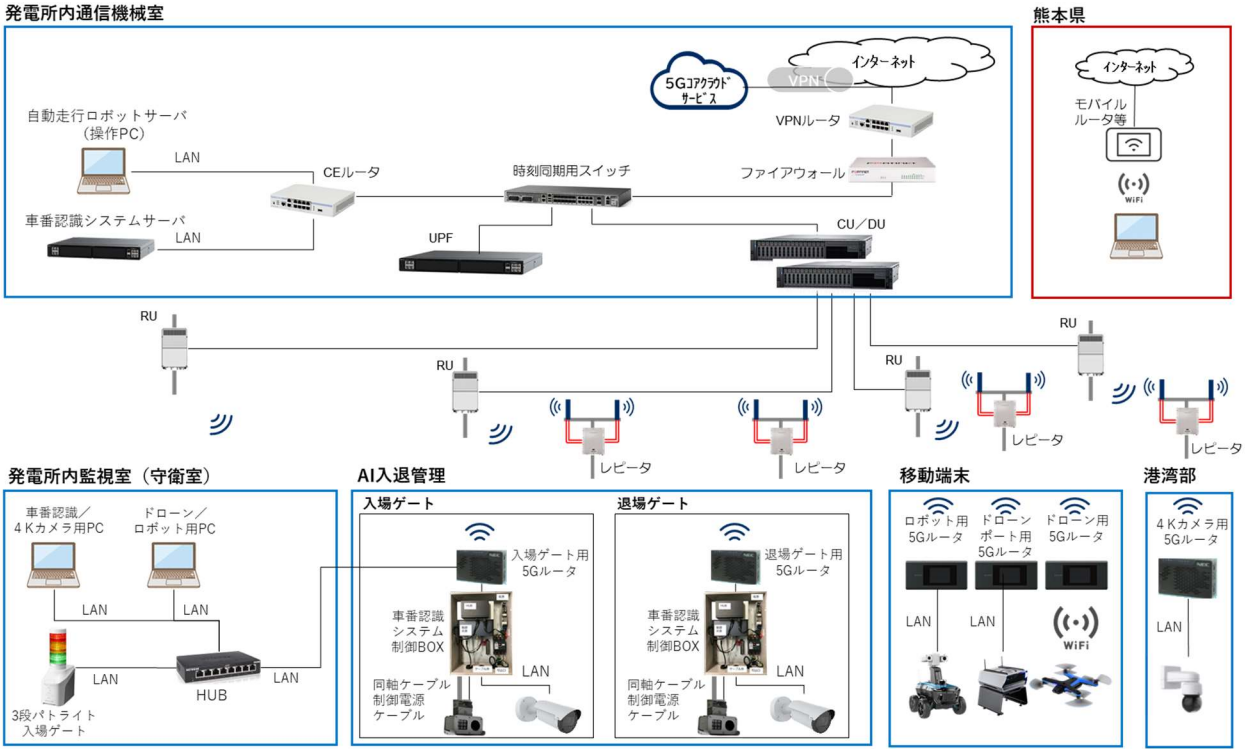


図 4.3.2-9 ネットワーク・システム構成

オ） 業務・処理フロー

ローカル 5G 活用モデルにおいて、ローカル 5G 環境構築とローカル 5G 活用ソリューション提供の業務・処理フローは以下の通りとする。

＜ローカル 5G 環境の構築および運用＞

ローカル 5G 環境の構築および運用における業務・処理フローを、以下に示す。

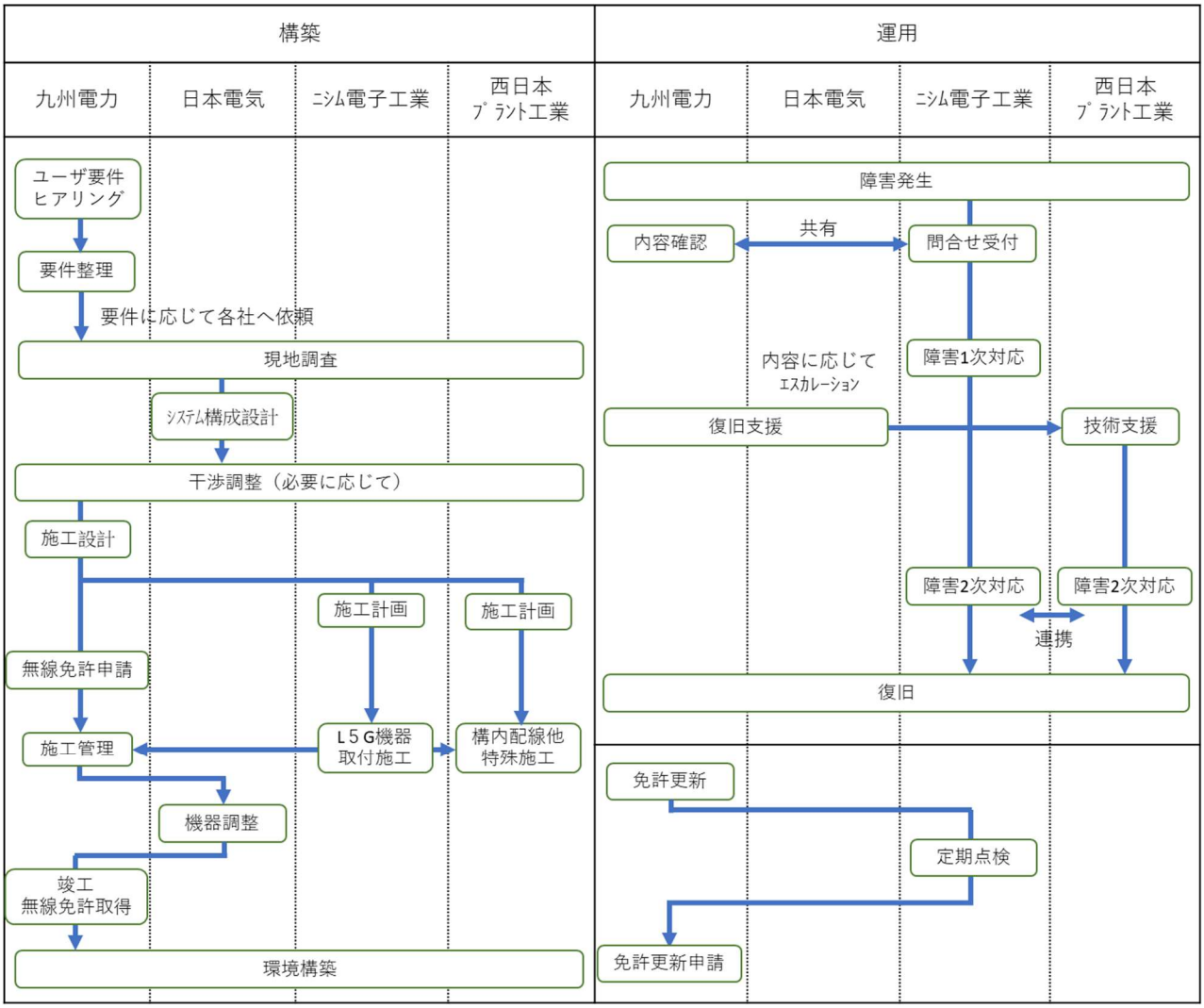


図 4.3.2-10 ローカル 5G 環境構築および運用の業務・処理フロー

＜ローカル 5G 活用ソリューションの提供および運用＞

ローカル 5G 活用ソリューションの提供および運用における業務･処理フローを、以下に示す。

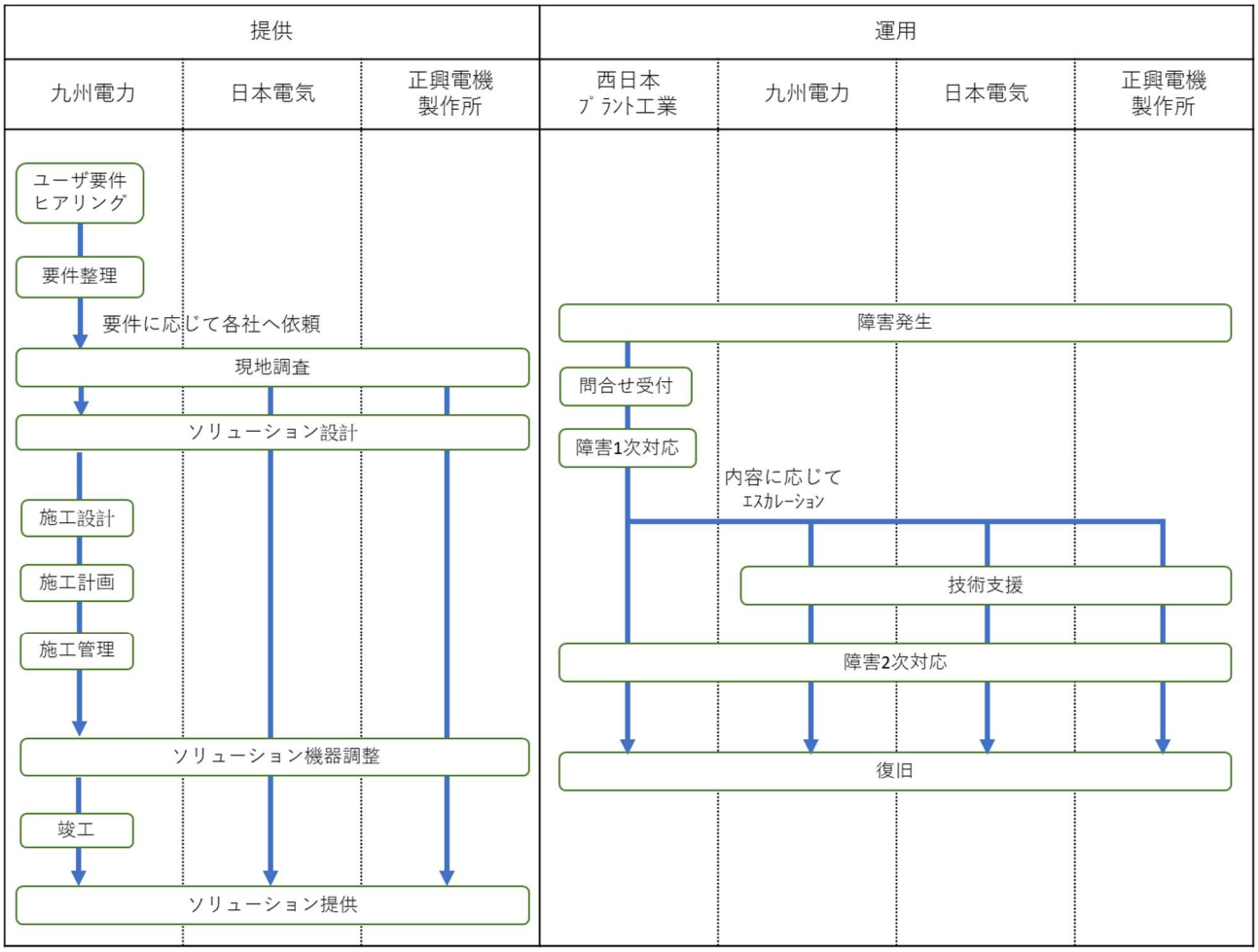


図 4.3.2-11 ローカル 5G 活用ソリューション提供および運用の業務･処理フロー

c.　ビジネスモデル

ローカル 5G 活用モデルにおける想定するビジネスモデルを以下に示す通り、利用者は九州電力の苓北発電所やその他の発電所として、九州電力の DX 推進本部と火力発電本部および情報通信本部が連携し、各ソリューションを提供する。

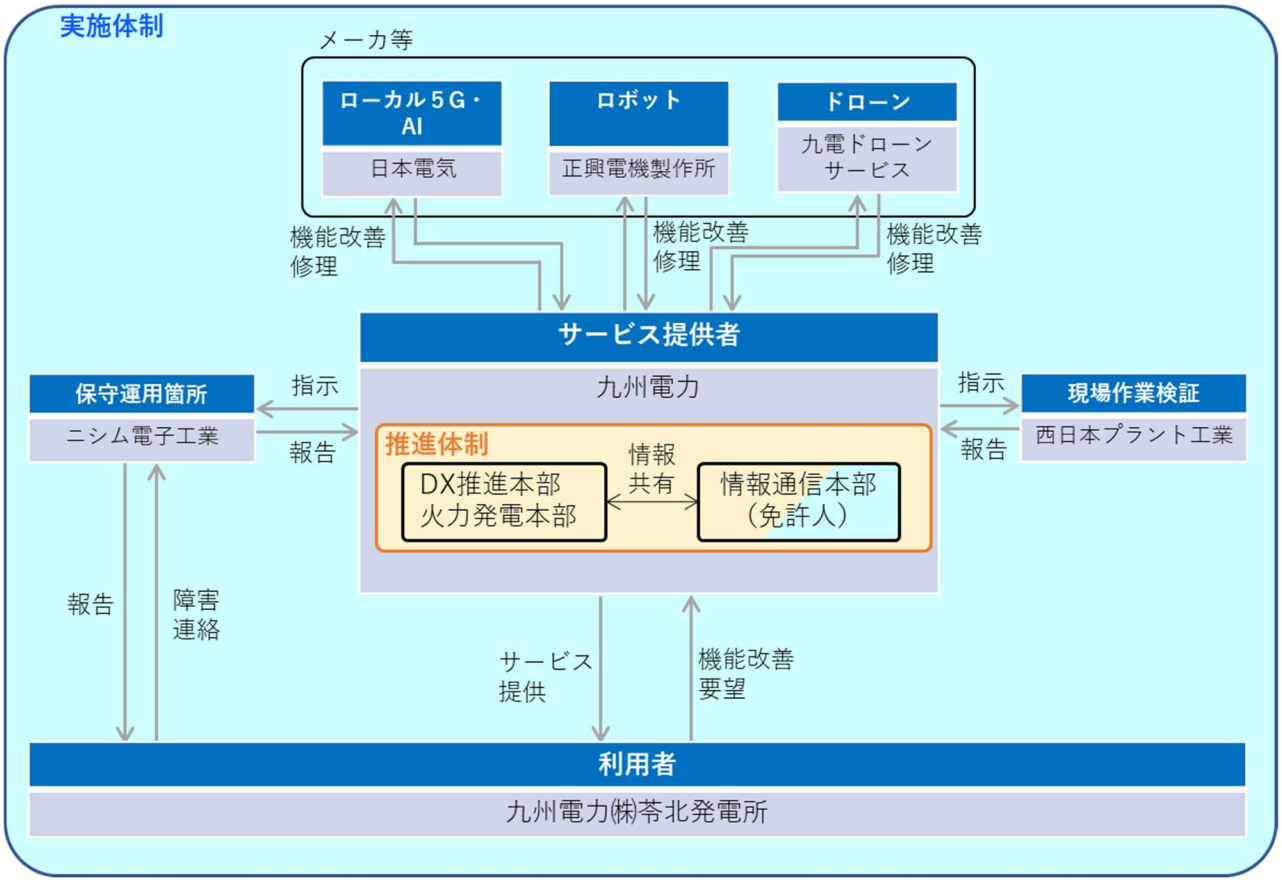


図 4.3.2-12 ローカル 5G 活用モデルの想定するビジネスモデル

2） 体制・役割分担

表 4.3.2-16 体制と役割分担

会社名		各社の役割
九州電力 （実装主体）	火力発電本部 （DX 推進）	・火力発電部門のスマート保安実現に向けた実行内容の検討、年度／中長期計画の立案、計画、実施、評価
	情報通信本部 （免許人）	・ローカル 5G インフラの整備に向けた立案、年度／中長期計画の立案、計画、実施、評価 ・各課題解決に向けた計画、実施、評価 ・ローカル 5G 無線局の免許申請 ・ローカル 5G ネットワーク・システムの運用
日本電気		・既存ローカル 5G ネットワーク機器の提供継続 ・エリア拡大に伴うローカル 5G 無線機類の調達 5G 無線機、レピータ、CU/DU サーバ、アンテナ装置類他 ・エリア拡大に伴うネットワークのシステム設計、現地調整 ・ローカル 5G ネットワーク機器の保守実施 ・AI 入退管理システムの機能改善等
ニシム電子工業		・エリア拡大に伴うローカル 5G 基地局装置類設置工事 ・エリア拡大に伴うネットワーク機器類の設置工事
西日本プラント工業		・エリア拡大に伴う発電所構内のケーブル布設工事（通信、電源） ・エリア拡大に伴う電源工事、その他付帯工事（支持物設置等）
正興電機製作所		・自動走行ロボットによる車両誘導に向けての課題検討

3） 導入効果

ローカル 5G 活用モデルを用いて実運用化された場合の導入効果として、下表の通り、　現時点での設備投資額を踏まえた年間経費に対して、年間効果額が少ない状況ではあるが、今後さらなる年間経費の削減（初期投資のコスト削減）、ドローン巡視点検での効果創出および、高精細カメラを活用した港湾エリアの保安業務の効率化を進め、費用対効果を向上させていく必要がある。

さらに、経費と効果額の乖離分を縮小する策として、ローカル 5G を活用したスマート保安に向けた新たなソリューションを検討、追加していくことで導入効果の向上を図っていくこととする。これらの取り組みについては、火力発電本部の同意を得ており、一体的に取り組んでいくこととする。

表 4.3.2-17 費用対効果一覧

項目	年間経費※1	年間効果額※2
ローカル 5G 環境構築	46,900 千円	－
AI 入退管理	6,100 千円	13,382 千円
自動走行ロボットによる車両誘導	9,400 千円	3,886 千円
ドローンによる巡視点検	5,800 千円	1,863 千円
高精細カメラによる監視	930 千円	3,525 千円
計	69,130 千円	22,656 千円

※1：4.3.2（1）経済性の検証結果を引用

※2：4.3.1（3）効果検証結果を引用して、非常災害時の効果額も含めて記載

（4） 実装性を高める手法の検討および実行

1） 検証項目

本実証結果から、ローカル 5G 活用モデルの実装性を高めるため、火力発電所特有の環境における最適な不感エリア解消方法の検討を実施した。

2） 検証方法

本実証環境である火力発電所においては、以下の表 4.3.2-18 に示す通り、局所的な不感エリアが多数発生するおそれの高い環境である。

このため、構築コストを踏まえて、どのように不感エリアを解消するかという観点をミッシングピースの一つとして検討した。

表 4.3.2-18 火力発電所における不感エリア発生要因一覧

環境		具体例	要因	エリアの特徴
本実証	特殊な構造物	金網（防風ネット）や岸壁 ※貯炭場石炭の飛散防止 （図 4.3.2-13 に写真）	・電波遮蔽 ・電波反射	・広範囲な不感エリア（無線機から見て金網を挟んだ反対側のエリア）となる ・電波特性を活かしたエリア設計（増大）の可能性は有るが、フェージングや干渉の影響で計算外の不感地点が発生する可能性がある。
		燃料・原材料等の運搬用ベルトコンベアや建屋突起部 （図 4.3.2-13 に写真）	・電波遮蔽	・局所的な不感エリアとなる
	大型の重機や特殊車両	石炭荷揚げ装置 （図 4.3.2-13 に写真）	・電波遮蔽	・局所的かつ流動的な不感エリアとなる
今後想定される要因	大型の重機や特殊車両	工事や保修作業期間中の大型重機や大型クレーン車等の特殊車両	・電波遮蔽	・局所的かつ流動的な不感エリアとなる
	建屋の構造	床面グレーチングによる吹き抜け（タービン建屋等）	・電波直進もしくは透過	・電波特性を活かしたエリア設計（増大）の可能性は有るが、フェージングや干渉の影響で計算外の不感地点が発生する可能性がある。

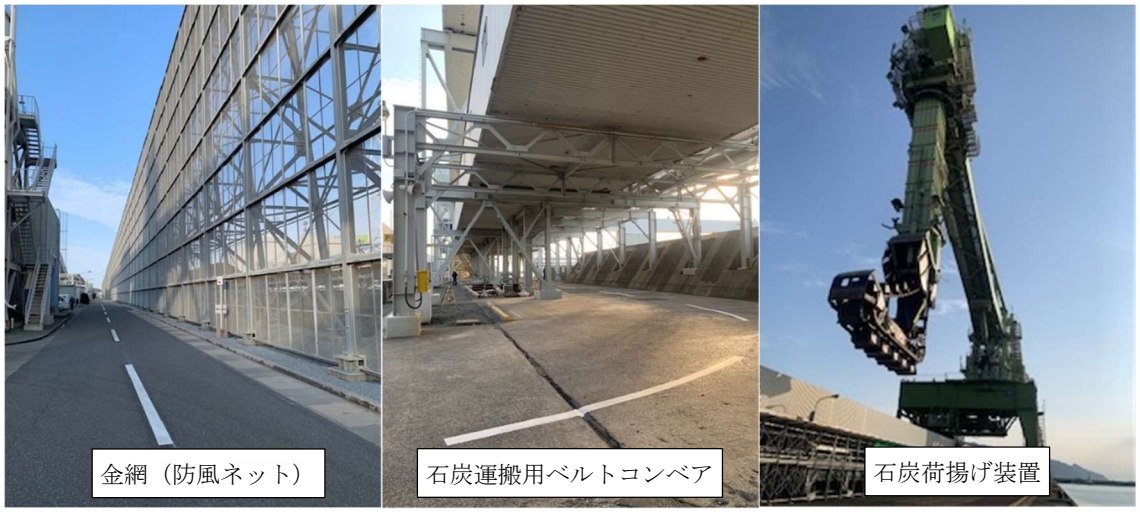


図 4.3.2-13 石炭火力発電所特有な構造物の写真

3） 検証結果および考察

本実証において、中継器は必要となった不感エリアに設置することで柔軟にエリア化が可能となり、光ケーブルの布設が不要であることから、大幅なコスト削減が図ることができ、初期投資の抑制策と、ローカル 5G の実装性を高める手法としては大変有効であることが推察される。

具体的には、中継器は送信出力が小さく利用可能エリアが狭いことは短所であるが、局所的な不感エリアは中継器を用いて十分にカバーが可能である。また、表 4.3.2-18 に示す通り、光ケーブルの布設が不要であること、消費電力が小さく電源構成に柔軟性や拡張性を持てることの長所もあり、構築コストを踏まえたケーブル布設経路の選定が容易である。

さらに、表 4.3.2-19 に示す通り、中継器は光ケーブルが不要であることから、光ケーブルと比べた電源ケーブルの布設の容易性に伴い、光ケーブルの布設距離を減らすことにより構築コストの低減が見込める。なお、無線機と中継器は設置箇所が異なること（無線機は所望エリアを広くカバーするため、構内中心部に近い設置箇所となり既設分電盤等からの距離が短く、中継器は不感エリアをカバーするため、構内中心部に遠い設置箇所となり既設分電盤等から距離が長いこと）から、必然的に中継器の電源ケーブルの構築コストが高くなるが、消費電力が小さいことを活かして可搬型電源（AC 出力対応バッテリー等）をサービス利用時のみ準備することで、さらなるコスト低減も見込める。

表 4.3.2-19 無線機と中継器のケーブル布設に関わる特徴

項目	光ケーブル	電源ケーブル
無線機	・ローカル 5G ネットワーク機器を設置するサーバ室まで、1 箇所に集約する必要があることから、布設経路が限定され、布設距離が長くなってしまう。 ・また距離が長くなることで光延長装置が必要になる可能性が有る。 （経済性が悪い）	・消費電力や負荷電流が大きいため、電源容量や電圧降下を考慮した設計が必要となる。 （柔軟性・拡張性が悪い）
中継器	・なし （経済性が良い）	・消費電力や負荷電流が小さいため、電圧降下を踏まえた電線サイズの選定や、上位電源系統の電源容量の制限を受け難い。 （柔軟性が良い） ・そのため、ケーブルの布設（取り回し）が容易となり、既設分電盤の流用性が高く、受電設備の改修や増設等のコスト低減が可能である。 （拡張性が良い） ・消費電力や負荷電流が小さいため、可搬型電池を用いることも可能である。 （柔軟性・拡張性・経済性が良い）
共通	・なし	・既設の配電盤・分電盤が遍在しており、電源ケーブルを布設する経路の選択が容易である。 （柔軟性・経済性が良い）

表 4.3.2-20 本実証における無線機と中継器のケーブル布設コストの比較による低減効果

各1台当たりの平均構築コスト	無線機（RU、DAS 等）	中継器	低減コスト
光ケーブル	3,700 千円	－	
電源ケーブル	438 千円	951 千円	
計	4,138 千円	951 千円	3,187 千円

4.3.3 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題の抽出および解決策の検討

(1) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題

本実証で用いたローカル 5G を活用したソリューションに対して、実装に関わる課題を以下の表に示す。

表 4.3.3-1 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題 1

	課 題
1	【非常災害対応(ドローン、高精細カメラ)】 ・非常災害時において、支援物資車両等の情報共有のため、地方自治体への映像情報配信の運用体制を整備する課題が存在
2	【AI 入退管理】 ・現在発電所の入退門については、車両1台通過ごとに開閉するような自動ゲート構造ではないため、車番認識システムの判定結果に連動するバーゲートの設置が必要であるという課題が存在 ・バーゲートに設置に合わせ、AI 入退管理システムを連携し実装するという課題が存在
3	【自動走行ロボットによる車両誘導】 ・今回非常災害時の自動走行課題実証に採用したロボットは、平常時の自動設備点検機能を主に開発されたもので、車両誘導に多大な時間を要するため、新たな自己位置推定機能と走行速度向上に向けた課題が存在 今回の自動走行経路:約 1.5 ㎞で約 45 分(平均時速 4 ㎞/h) 【ドローンによる巡視・点検】 ・発電所構内での自動巡視・点検に最適な最新のドローン技術動向を注視し、新機体の導入を継続的に検証していく課題が存在
4	【ドローンによる点検】 ・防爆エリアを考慮したドローンによる対応可否および運用体制を整備する課題が存在 ・雨天時等天候によるドローンの運用体制、巡視点検の手法を整備する課題が存在
5	【高精細カメラによる不審船の監視】 ・高精細カメラによる不審物を容易に検知する仕組みとして、さらに運用精度を高める方策として船舶自動追従機能等の機能を追加するという課題が存在
6	【ローカル 5G システム】 ・さらなる発電所構内のローカル 5G エリア拡大を図っていく必要があるが、そのためには、ローカル 5G 無線機器類の調達コストの削減、および広大な敷地かつ特殊な構造物が密集するエリアでのエリア構築に伴うケーブル類(通信、電源)の設置工事費の削減という課題が存在 ・また、高出力型基地局、RU と CU/DU の一体型無線機や移動式中継器(レピータ)の開発等今後進展する新技術や製品の継続的調査が必要であり、柔軟な調達に向けた新たな体制の構築という課題が存在

表 4.3.3-2 ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題 2

	課 題
7	【ローカル 5G システム】 ・各ソリューションの課題解決完了後、本実証に伴い実験試験局として取得した免許を中継器の制度化に合わせ、商用免許に切り替えるという課題が存在 ※本実証においては実験試験局として令和9年 11 月 30 日まで取得済

(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

5 年後のフル実装に向けて、最も重要な要素は費用対効果である。フル実装の実現のために次年度以降に新たに検討を行うソリューションについては、九州電力の DX 推進本部と火力発電本部および情報通信本部が連携し、各ソリューションの構築・運用費用を比較検討した上で実施計画を精緻化する。その他、以下の課題を想定しており、コンソーシアムおよび実証フィールドである発電所と一体的な体制で対応策の検討を実施した。

表 4.3.3-3 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 1

	課題	内容	解決策
1	**継続して行う必要がある実証への対応**	【非常災害対応(ドローン、高精細カメラ)】 ・非常災害時において、支援物資車両等の情報共有のための運用体制を整備し、地方自治体への映像情報配信の実証を行う必要がある。	【令和5年度】 ・九州電力が主体となり、県への入退管理情報配信に向けた要件定義、基本／詳細設計・構築を実施
2	**さらなる機能向上に向けた対応**	【AI 入退管理】 ・現在発電所の入退門については、車両1台通過ごとに開閉するような自動ゲート構造ではないため、車番認識システムの判定結果に連動するバーゲートの設置を検討する必要がある。 ・バーゲートに設置に合わせ、AI 入退管理を実装する必要がある。	【令和6年度】 ・令和6年度のバーゲート設置に向け、バーゲートの仕様、設計を検討 【令和7年度】 ・令和7年度のバーゲート設置に合わせ、AI 入退管理システムとの連携機能を追加し、バーゲートとの連動を完了させ最終実装完了

表 4.3.3-4 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 2

	課題	内容	解決策
3	技術的課題への対応	【自動走行ロボットによる車両誘導】 ・今回非常災害時の自動走行課題実証に採用したロボットは、平常時の自動設備点検機能を主に開発されたものであり、新たな自己位置推定機能と走行速度向上策が必要 今回の自動走行経路：約 1.5 ㎞で約 45 分（平均時速 4 ㎞/h）	【令和5年度】 ・平常時の自動巡視点検機能、様々な環境（段差 10 ㎝、水深 10 ㎝、30°傾斜登行）への適用等当ロボットが備えているスマート保安の機能を維持しながら、GPS 機能による自己位置推定への機能変更ついて検討を実施 【令和6年度】 ・平常時の自動巡視点検機能、様々な環境（段差 10 ㎝、水深 10 ㎝、30°傾斜登行）への適用等当ロボットが備えているスマート保安の機能を維持しながら、GPS 機能による自己位置を維持し、走行速度の向上策に向けた性能向上の可否について検討を実施
		【ドローンによる巡視点検】 ・発電所構内での自動巡視・点検に最適な最新のドローン技術動向を注視し、新機体の導入を継続的に検証していく必要がある。	【令和8年度】 ・引き続き、発電所構内での巡視・点検に最適等ローンの新機体の導入検証を実施 【令和9年度】 ・発電所構内での巡視・点検に最適等ローンを実装
4	未整備分野での運用体制構築への対応	【ドローンによる巡視点検】 ・防爆エリアを考慮したドローンによる対応可否および運用体制を整理する必要がある。 ・雨天時等天候によるドローンの運用体制、整理が必要	【令和5,6年度】 ・防爆エリアを考慮したドローンによる巡視・点検の対応可否および運用体制を整理後、発電所構内での飛行マニュアルを策定 ・雨天時等でドローンが飛行できないケースでの巡視・点検手法の運用整理等を実施 【令和7年度】 ・上記の運用体制整理後に発電所構内に実装

表 4.3.3-5 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 3

	課題	内容	解決策
5	**さらなる業務効率化への追及**	【高精細カメラによる不審船の監視】 ・高精細カメラによる不審物を容易に検知する仕組みとして、さらに運用精度を高める方策として船舶自動追従機能等の機能追加を検討する必要がある。	【令和5年度】 ・現在のカメラ機能の向上を図る対策を実施
6	**エリア拡大を図っていくためのコスト削減への対応**	【ローカル 5G システム】 ・さらなる発電所構内のローカル 5G エリア拡大を図っていく必要がある。そのためには、ローカル 5G 無線機器類の調達コストの削減、および広大な敷地かつ特殊な構造物が密集するエリアでのエリア構築に伴うケーブル類（通信、電源）の設置工事費の削減に向けた取り組みが必要である。 ・また、高出力型基地局、RU と CU/DU の一体型無線機や移動式中継器（レピータ）の開発等今後進展する新技術や製品の継続的調査が必要であり、柔軟な調達に向けた新たな体制の構築も必要となる。	【令和6年度】 ・ローカル 5G の無線機器類の調達コストの削減策として、発電所やプラント工場での利活用実績からローカル 5G 無線機機器類の導入機種を調査し、導入事例による比較表を作成 ・比較表では、適切に基地局が最小数に抑えられたケースの無線機類の仕様、構成に着目し検討を実施 また、多様な製造メーカにも視野を広げ、ローカル 5G の技術革新および競争下による新たな機種の発掘を継続的に実施 ・広大かつ複雑な工作物が密集するエリアでのケーブル（通信、電源）設置工事は、布設ルートの掘削、管路工事、地中埋設工事等大規模な工事に発展するケースもあり、ケーブル（通信、電源）の布設する距離を最小限に抑えることがコスト削減の重要なポイントとなる。 ・基地局の配置により生じるケーブル（通信、電源）布設工事にかかる費用を最小限に抑えるため、効率的な基地局の配置とケーブル布設の両方の観点で経済的な全体設計を実施

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

【実装シナリオ】

現在、九州電力の火力発電所の保安対策は作業員や警備員による人が介在した対策が主であるが、将来(5 ヵ年)はドローンや AI を活用したスマート保安を目指している。

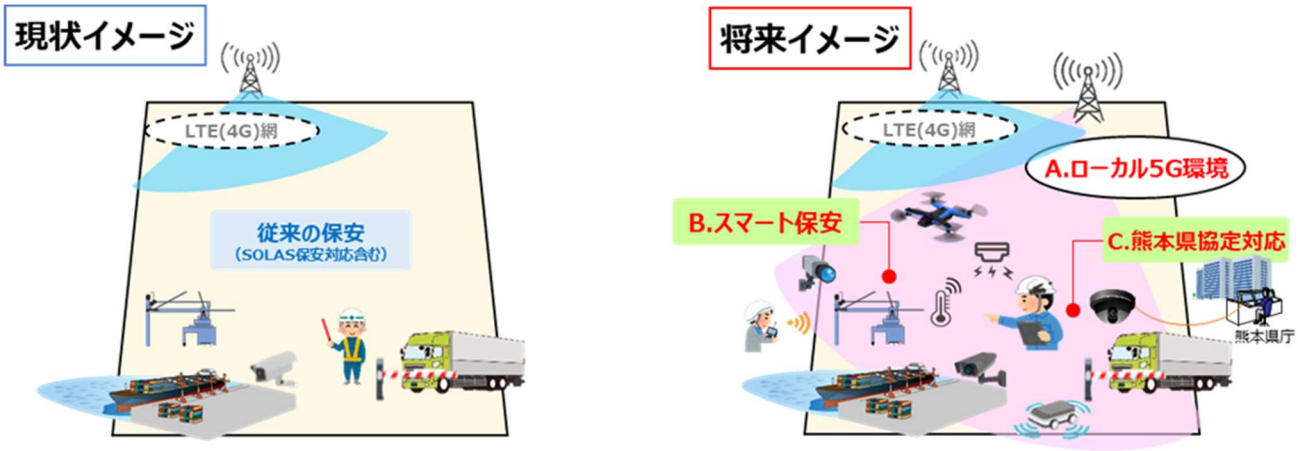


図 4.3.4-1 発電所の保安対策における現状と将来(ありたい姿)図

また、将来のスマート保安実現(実装)に向けて以下の表 4.3.4-1 の通り段階的に進めることにしている。

表 4.3.4-1 実装に向けたステップ(シナリオ)

実装計画	初期構築	スマート保安			
		AI 運用	遠隔監視	中央管理	緊急対応
フェーズ 1 :初年度(実証)	初期 構築	実証	実証	実証	実証
フェーズ 2 :次年度以降 (過渡期:実証～実装)	発電所全域へ エリア拡大	課題対応 実装	課題対応 実装	課題対応 実装	課題対応 実装
フェーズ 3 :5 年後 (最終形態:実装)	全エリア 実装完了	–	–	–	–

1） 将来像の実現（実装）に向けた構想・計画

・ローカル 5G の活用による苓北発電所でのスマート保安の実現を目指し、令和 9 年度のフル実装完了までコンソーシアム体制を維持し、継続して実装・拡張に取り組む。

・今回のローカル 5G を九州電力苓北発電所で中継器の制度化に合わせて確実に実装し、さらにその他の発電所への横展開の計画を令和 5 年度（2023 年度）に着手し、令和 6 年度（2024 年度）からの実装に向け計画を進める。

・その端緒として、苓北発電所港湾（SOLAS 施設（国際船舶・港湾保安法に基づく保安対策の義務施設））における①AI 画像認証による車両の入退管理、②自動走行ロボットによる車両誘導、③ドローンによる巡視点検、④高精細カメラによる不審船の監視について例えば、船舶自動追従機能を追加する等各ソリューションの磨き上げを行い、令和 4 年度（2022 年度）に実証を継続していくこととする。

・原子力発電所への横展開については、原子力DXへの取り組みの過程において、火力発電所での実装モデルを実績としてローカル 5G の高速・大容量、低遅延、同時多接続性、セキュリティ面での特性を踏まえ、最適な無線ネットワークの選択肢の一つとして議論を進めていくこととする。

・そうした社内での成果をモデルとし将来的には、ローカル 5G を主体とするネットワークとその通信基盤上で運用されるソリューションを組み合わせた提案型の無線ネットワークを他の電力会社並びに同じような施設を持つプラント事業者等への令和 8 年度（2026 年度）以降の展開を目指し進める。

・また、当ローカル 5G 活用モデルのターゲットとして求められる条件については、今回実施箇所となった苓北発電所と同等もしくはそれ以上の設備および敷地の規模があり、ローカル 5G を主体とするネットワーク導入での経済性の確保が見込めることを前提として展開を目指していく。

・また、本実証における非常災害時の運用については、令和 5 年（2023 年度）秋頃、熊本県との協定に基づいた SOLAS 施設運用の訓練が計画される予定である。
この訓練に際し、今回実証の一部のソリューション（ドローンによる巡視点検、不審船監視のリアルタイム映像配信）について合同での訓練を実施予定（※）

（※）熊本県・九州電力「苓北発電所港湾等施設の使用に関する協定」。
熊本県は災害時、苓北発電所の港湾施設を使用し、海上から救助部隊や緊急支援物資の輸送を行う。この際、発電所は県危機管理防災課等に対し、港湾施設等の状況の高精細映像をリアルタイムに伝送する。

2） 将来像の実現（実装）に向けた本実証の実証目標およびその位置づけ

本実証では、発電所屋外エリア（一部）において、以下４つのソリューションについてそれぞれ設定した条件のもとで定量目標を達成するとともに、ソリューション全体としてサーバ設置箇所等の適切なシステム構成を明らかにし、技術・運用面での課題を把握することで、令和 9 年度（2027 年度）の苓北発電所構内全体へのフル実装に向けた具体的なアクションを明確化するとともに、ユーザ（苓北発電所）に本ソリューションの効果を具体的に理解いただき、確実な実装を目指す。

①車両の AI 入退管理（車両認識率 100％）
②自動走行ロボットによる車両誘導（走行ルート逸脱率/障害物回避失敗率 0％）
③ドローンによる映像確認（飛行ルート逸脱率/障害物回避失敗率 0％）
④高精細カメラによる監視（4K 解像度/3,840×2,160、フレームレート/30fps）

なお、ローカル 5G システムは、将来のユースケースや経済性・拡張性を踏まえた無線ネットワークの位置づけとして普及を図っていくこととなる。

3） 実証目標達成に向けた課題および対応策

確実な実装に向けてはソリューションと併せてユーザとなる発電所保安員が使いやすい具体的な運用方法まで構築することが肝要となる。そのため既存業務における実際の運用や課題、ニーズを火力発電部門関係綾、発電所所員等へのヒアリングや訓練の実施等によって詳細に把握し、マニュアル、運用ルール等への反映を継続していく。

（2） 実装計画

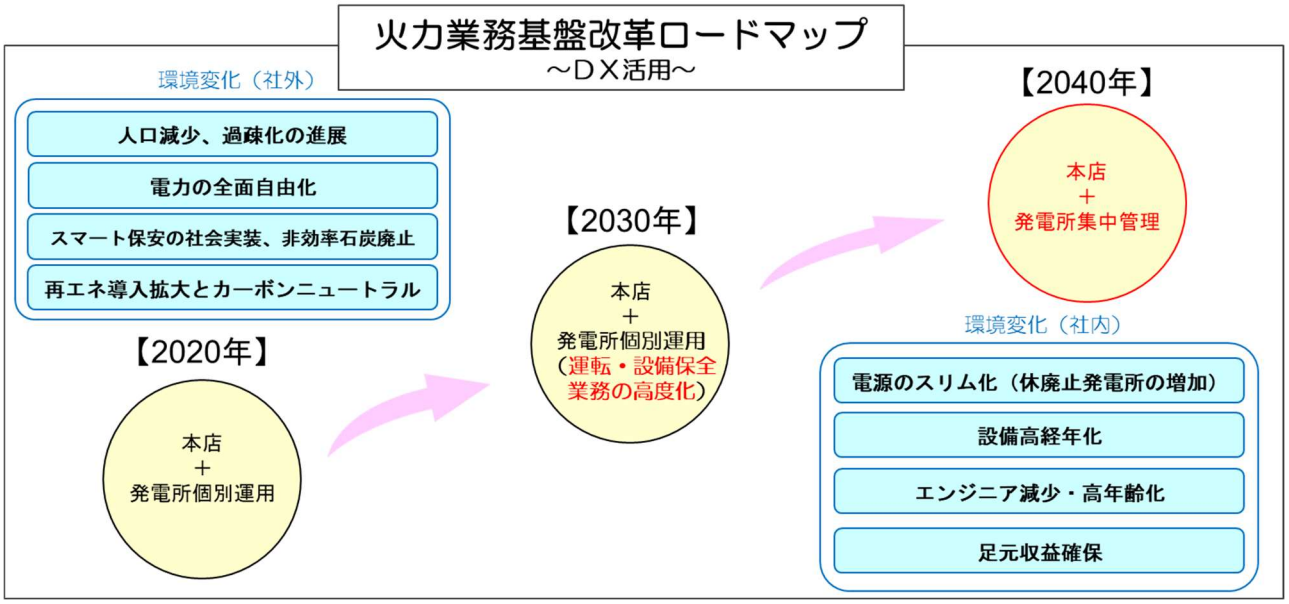
1） 実装計画の作成方法

全てのソリューションの実装完了までは 5 年後（令和 9 年度）を想定しており、次年度以降の検討項目については、九州電力における火力発電本部内の DX 担当部署と連携し、実証環境である発電所員へのヒアリングを実施している。今後さらなるスマート保安の実装に向けて令和 4 年度（2022 年度）より計画検討に着手し、その内容を令和 5 年度（2023 年度）以降の年度計画、長期計画へ反映している。

実施体制については、本実証コンソーシアムに加え、本実証で得た課題や要件を解決する新たなパートナー企業も含めて計画の検討を実施している。

当計画検討については、火力業務基盤改革ロードマップと火力業務基盤改革ビジョン（図 4.3.4-2）を基に、各コスト（構築・運用費用）を比較検討した上で実施計画を策定している。

なお、実装計画・実施については、九州電力におけるDXを推進するための体制・仕組み（図 4.3.4-3）および、スマート保安導入に向けた火力DX推進体制（図 4.3.4-4）内にて承認を得た上で計画を進めていくものとする。



「火力業務基盤改革ビジョン」

（１）2040年ごろの火力業務

- 遠隔常時監視制御※を実現
- 収集したデータを科学的に分析し、機器状態を自動で判断して、トラブルの未然防止や不具合箇所を早期に発見
- 信頼性重視の保全により、点検間隔の延伸や高経年化に伴う未経験トラブルへミニマムコストで対応し、信頼度を向上
- 現場３K作業は機械が支援若しくは代行

（２）2030年ごろの火力業務

a. 運転監視業務

運転員の負担軽減と安全確保を目的に現場操作・作業の効率化、内容の共有化、判断業務の一部自動化を志向

b. 保全業務

事後保全から予防保全と事後保全の的確な組み合わせへと移行

保全業務に必要な情報＊の共有化・見える化

＊資機材・工法・工期・法的手続き・保全コスト

燃料別保全業務の統一

c. 発電所セキュリティ・安全対策

業務の省力化･高度化を行いつつ、発電所セキュリティ向上と構内従事者の安全向上を志向

図 4.3.4-2 火力業務基盤改革ロードマップと火力業務基盤改革ビジョン

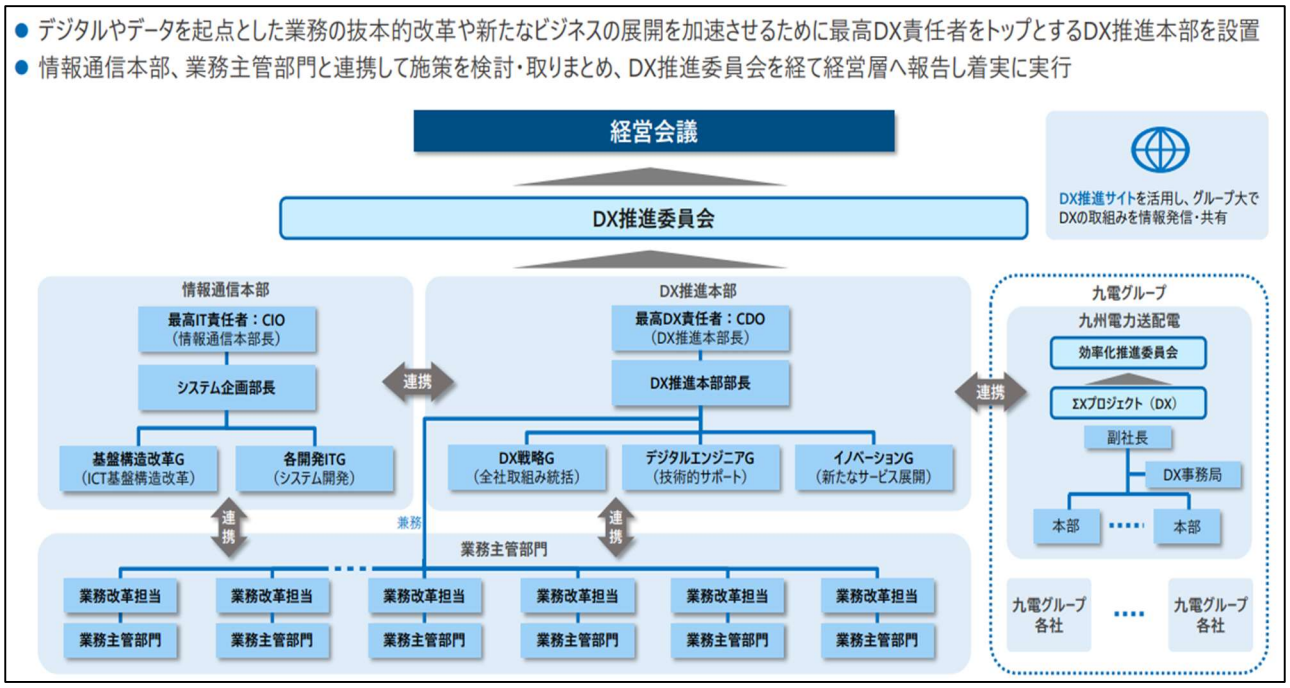


図 4.3.4-3 九州電力における DX を推進するための体制･仕組み

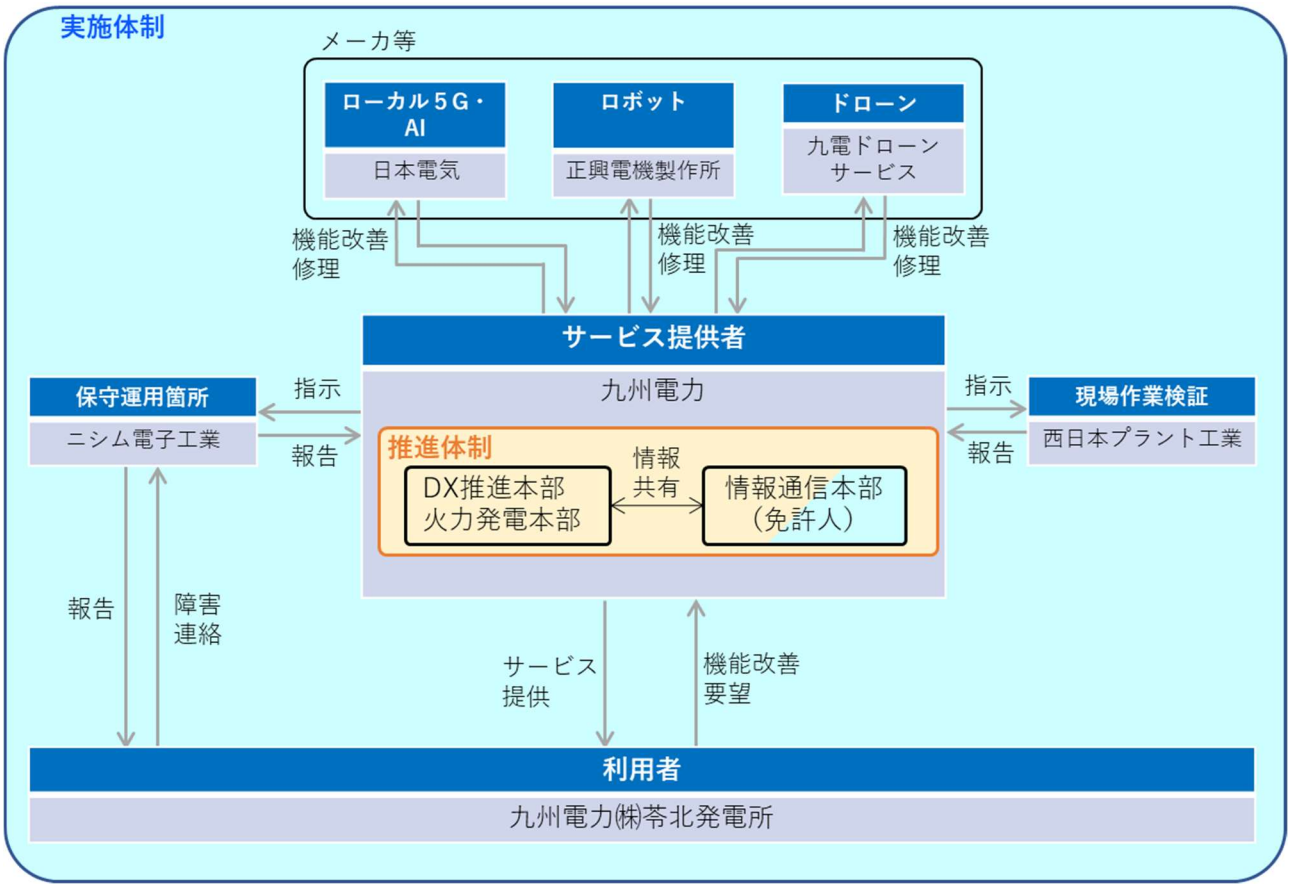


図 4.3.4-4 スマート保安導入に向けた火力DX推進体制

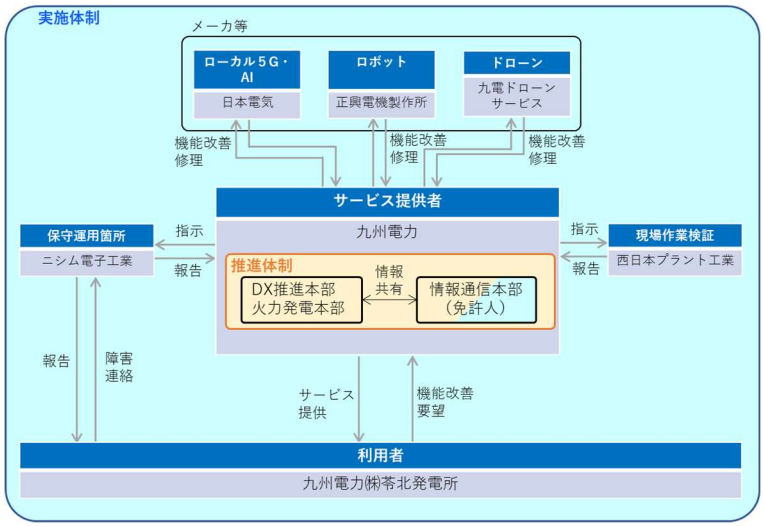
2） 実装計画の要約

実装計画は、ローカル 5G の活用による苓北発電所でのスマート保安の実現を目指し、令和 9 年度のフル実装完了までコンソーシアム体制を維持し、継続して実装・拡張に取り組んでいくこととし、各課題対応（確実な運用への対応）を継続しながら、①AI 画像認証による車両の入退管理（R6 年度実装）、②自動走行ロボットによる車両誘導（R7 年度実装）、③ドローンによる巡視点検（R9 年度実装）、④高精細カメラによる不審船の監視（R5 年度実装）の実装を行う。特に、④高精細カメラによる監視は、今回、不審者の顔、船名まで認識可能であった実証結果を活かし、従来の人の目によるパトロール業務を凌駕するものとしてさらに新たな夜間追尾機能を追加し実装に向けて取り組んでいく。

また、実装を確実にするための取り組みとして、基地局一体型無線機や中継器の活用によるローカル 5G のエリア拡大、防爆エリアや雨天時等天候での運用面の改善を図りながら、確実な実装を目指していく。

■実装計画要約シート

開 09 代表機関名	九州電力株式会社	分野	工場・発電所等
実証件名	地方公共団体と連携したローカル 5G の活用による火力発電所のスマート保安の実現		
実施体制	日本電気、ニシム電子工業、西日本プラント工業、正興電機製作所		



		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	AI 入退管理	開発実証	課題対応		実装		
	自動走行ロボットによる車両誘導	開発実証	課題対応		実装		
	ドローンによる巡視点検	開発実証	課題対応（防爆エリア・雨天時の運用整理）		実装	課題対応（新機体検証）	実装

	高精細カメラによる監視	開発実証	課題対応	実装			
	ローカル 5G システム	開発実証	実装				
			課題対応(エリア拡張)				実装
	横展開			九州電力 他発電所への横展開			
						他社、他業界への横展開	
収支（円）	(1)ユーザから得る対価	-	40,419	154,119	61,419	41,419	291,419
	(2)補助金・交付金	-	0	0	0	0	0
	(3)収入((1)+(2))	-	40,419	154,119	61,419	41,419	291,419
	(4)ネットワーク設置費	-	19,782	109,082	19,782	19,782	269,782
	(5)ネットワーク運用費	-	10,000	14,400	14,000	14,000	14,000
	(6)ソリューション購入費	-	7,637	27,637	27,637	7,637	7,637
	(7)ソリューション開発費	-	3,000	3,000	0	0	0
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))	-	40,419	154,119	61,419	41,419	291,491
	(9)収支((3)-(8))	-	0	0	0	0	0

収入、支出の算定根拠

・苓北発電所の実装費用のみ計上
・ネットワーク設置費は「表 4.3.4-3,4 ネットワーク設置費内訳」の通り
・ネットワーク運用費は「表 4.3.4-5 ネットワーク運用費内訳」の通り
・ソリューション購入費は「表 4.3.4-6,7 ソリューション購入費内訳」の通り
・ソリューション開発費は「表 4.3.4-8 ソリューション開発費内訳」の通り

実装を確実にするための取り組み		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	・ローカル 5G システムの柔軟なエリア化 ・複数の無線通信方式の組み合わせ	令和9年度まで
	顧客開拓	九州電力火力発電へのヒアリング	令和6年度まで
	運用面の改善	ドローンによる巡視・点検において、環境や天候を踏まえた運用体制等の課題整理	令和9年度まで
	ルールメイキングへの貢献	該当なし	該当なし

	計画した収入を下回った場合の対応方法(資金調達等) 火力発電部門の DX 担当部署と連携し、スマート保安実現に向けた具体策、効果を精緻化し、確実な予算確保に向けて取り組んでいく

a. 実施体制

会社名		各社の役割
九州電力 （実装主体）	火力発電本部 （DX 推進）	・火力発電部門のスマート保安実現に向けた実行内容の検討、年度／中長期計画の立案、計画、実施、評価
	情報通信本部 （免許人）	・ローカル 5G インフラの整備に向けた立案、年度／中長期計画の立案、計画、実施、評価 ・各課題解決に向けた計画、実施、評価 ・ローカル 5G 無線局の免許申請 ・ローカル 5G システムの運用
日本電気		・既存ローカル 5G ネットワーク機器の提供継続 ・エリア拡大に伴うローカル 5G 無線機類の調達 5G 無線機、レピータ、CU/DU サーバ、アンテナ装置類他 ・エリア拡大に伴うネットワークのシステム設計、現地調整 ・ローカル 5G ネットワーク機器の保守 ・AI 入退管理システムの機能改善等
ニシム電子工業		・エリア拡大に伴うローカル 5G 基地局装置類設置工事 ・エリア拡大に伴うネットワーク機器類の設置工事
西日本プラント工業		・エリア拡大に伴う発電所構内のケーブル布設工事（通信、電源） ・エリア拡大に伴う電源工事、その他付帯工事（支持物設置等）
正興電機製作所		・自動走行ロボットによる車両誘導に向けての課題検討

b. 実装計画（実施事項）

【非常災害時対応】

	課　題
1	【ドローン、高精細カメラ】 ・非常災害時において、支援物資車両等の情報共有のため、地方自治体への映像情報配信の運用体制を整備する課題が存在

検討期限	実施事項
令和5年度	・非常災害時において、支援物資車両等の情報共有のため、地方自治体への映像情報配信への実証については、九州電力が主体となり、県への入退情報配信に向けた要件定義、基本／詳細背系・構築を実施（3ソリューション共通）

【AI 入退管理】

	課　題
1	【AI 入退管理】 ・現在発電所の入退門については、車両1台通過ごとに開閉するような自動ゲート構造ではないため、車番認識システムの判定結果に連動するバーゲートの設置が必要であるという課題が存在 ・バーゲートに設置に合わせ、AI 入退管理システムを連携し実装するという課題が存在

検討期限	実施事項
令和6年度	・現在発電所の入退門については、車両1台通過ごとに開閉するような自動ゲート構造ではないため、車番認識システムの判定結果に連動するバーゲートの設置に向け、バーゲートの仕様、設計を検討。
令和7年度	・バーゲート設置に合わせ、AI 入退管理システムとの連携機能を追加し、バーゲートとの連動を完了させ最終実装とする。

【自動走行ロボットによる車両誘導】

	課　題
1	【自動走行ロボットによる車両誘導】 ・今回非常災害時の自動走行課題実証に採用したロボットは、平常時の自動設備点検機能を主に開発されたものであり、新たな自己位置推定機能と走行速度向上に向けた課題が存在 今回の自動走行経路：約 1.5 ㎞で約 45 分（平均時速 4 ㎞/h）

実施期限	実施事項
令和5年度	・平常時の自動巡視点検機能、様々な環境（段差 10 ㎝、水深 10 ㎝、30°傾斜登行）への適用等当ロボットが備えているスマート保安の機能を維持しながら、GPS 機能による自己位置推定への機能変更ついて検討を実施
令和6年度	・平常時の自動巡視点検機能、様々な環境（段差 10 ㎝、水深 10 ㎝、30°傾斜登行）への適用等当ロボットが備えているスマート保安の機能を維持しながら、GPS 機能による自己位置を維持し、走行速度の向上策に向けた性能向上の可否について検討を実施

【ドローンによる巡視点検】

	課　題
1	【ドローンによる巡視・点検】 ・発電所構内での自動巡視・点検に最適な最新のドローン技術動向を注視し、新機体の導入を継続的に検証していく課題が存在
2	【ドローンによる点検】 ・防爆エリアを考慮したドローンによる対応可否および運用体制を整備する課題が存在 ・雨天時等天候によるドローンの運用体制、巡視点検の手法を整備する課題が存在

実施期限	実施事項
令和5年度 令和6年度	・防爆エリアを含めたドローンによる巡視点検の対応可否および運用体制を整理後、発電所構内での飛行マニュアルを策定 ・雨天時等でドローンが飛行できないケースでの巡視点検手法の運用整理等を実施
令和7年度	・上記の運用体制整理後に発電所構内に実装
令和8年度	・発電所構内での自動巡視点検に最適なローカル 5G 対応のドローン技術動向を注視し、引き続き、発電所構内での巡視点検およびローカル 5G に対応可能等ローンの新機体の導入検証を実施
令和 9 年度	・発電所構内での巡視点検に最適等ローンを実装

【高精細カメラによる不審船の監視】

	課　題
1	【高精細カメラによる不審船の監視】 ・高精細カメラによる不審物を容易に検知する仕組みとして、さらに運用精度を高める方策として船舶自動追従機能等の機能を追加するという課題が存在

実施期限	実施事項
令和5年度	・高精細カメラによる不審物を容易に検知する仕組みとして、さらに運用効率を高める方策として船舶自動追従機能等の機能追加を検討し、カメラ機能の向上を図る対策を実施

【ローカル 5G システム】

	課 題
1	【ローカル 5G システム】 ・さらなる発電所構内のローカル 5G エリア拡大を図っていく必要があるが、そのためには、ローカル 5G 無線機器類の調達コストの削減、および広大な敷地かつ特殊な構造物が密集するエリアでのエリア構築に伴うケーブル類（通信、電源）の設置工事費の削減という課題が存在 ・また、高出力型基地局、RU と CU/DU の一体型無線機や移動式中継器（レピータ）の開発等今後進展する新技術や製品の継続的調査が必要であり、柔軟な調達に向けた新たな体制の構築という課題が存在
2	・各ソリューションの課題解決完了後、本実証に伴い実験試験局として取得した免許を中継器の制度化に合わせ、商用免許に切り替えるという課題が存在 ※本実証においては実験試験局として令和9年 11 月 30 日まで取得済

期限	実施事項
令和6年度	・ローカル 5G の無線機器類の調達コストの削減策として、発電所やプラント工場での利活用実績からローカル 5G 無線機機器類の導入機種を調査し、導入事例による比較表を作成 ・比較表では、適切に基地局が最小数に抑えられたケースの無線機類の仕様、構成に着目し検討を実施 また、多様な製造メーカにも視野を広げ、ローカル 5G の技術革新および競争下による新たな機種の発掘を継続的に実施 ・広大かつ複雑な工作物が密集するエリアでのケーブル（通信、電源）設置工事は、布設ルートの掘削、管路工事、地中埋設工事等大規模な工事に発展するケースもあり、ケーブル（通信、電源）の布設する距離を最小限に抑えることがコスト削減の重要なポイントとなる。 ・基地局の配置により生じるケーブル（通信、電源）布設工事にかかる費用を最小限に抑えるため、効率的な基地局の配置とケーブル布設の両方の観点で経済的な全体設計を実施
令和 9 年度*	・ソリューションの課題解決完了後、本実証に伴い実験試験局として取得した免許を中継器の制度化に合わせ、商用免許に切り替えを実施 ※切り替え期限：令和9年 11 月 30 日

c. 収支計画

ア） 収支計画

収支項目毎に年度展開した収支内訳を表 4.3.4-2 に示す。

表 4.3.4-2 収支計画表(単位:千円)

【収入】	R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)
九州電力投資予算	-	40,419	154,119	61,419	41,419	291,419
実証事業補助金	-	0	0	0	0	0
収入計	-	40,419	154,119	61,419	41,419	291,419
【支出】	R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)
ネットワーク設置費	-	19,782	109,082	19,782	19,782	269,782
ネットワーク運用費	-	10,000	14,400	14,000	14,000	14,000
ソリューション購入費	-	7,637	27,637	27,637	7,637	7,637
ソリューション開発費	-	3,000	3,000	0	0	0
支出計	-	40,419	154,119	61,419	41,419	291,419
収支計	-	0	0	0	0	0

表 4.3.4-3 ネットワーク設置費内訳(単位:千円)1

【ローカル 5G システム】		R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)
ローカル 5G ネットワーク構築		構築	実装	実装	実装	実装	実装
機器 (リース)	5G 無線機	-	1,221	1,221	1,221	1,221	1,221
	CU/DU サーバ	-	6,330	6,330	6,330	6,330	6,330
	UPF サーバ	-	375	375	375	375	375
	時刻同期用 L2 スイッチ	-	660	660	660	660	660
	ファイアウォール	-	39	39	39	39	39
	ルータ	-	18	18	18	18	18
	スイッチ	-	15	15	15	15	15
	5G 端末	-	786	786	786	786	786
	レピータ	-	3,102	3,102	3,102	3,102	3,102
	アンテナ	-	570	570	570	570	570
	ラック	-	66	66	66	66	66
システム	NW システム設計・構築(リース)	-	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600
	5G コア設定構築/SIM 設置	-	-	-	-	-	-
	局設計・置局設計	-	-	-	-	-	-
	現地調整	-	-	-	-	-	-
回線費用	インターネット回線利用料	-	-	-	-	-	-
工事費	取り付け配線工事	-	-	-	-	-	-
検証費	技術実証	-	-	-	-	-	-
その他	プロジェクト管理費	-	-	-	-	-	-

表 4.3.4-4 ネットワーク設置費内訳(単位:千円)2

【ローカル 5G システム】 ＜課題対応(エリア拡張)＞		R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)
屋外ローカル 5G ネットワーク拡張		-	検討	拡張	実装	実装	実装
機器	5G 無線機	-	-	7,900	-	-	-
	アンテナ	-	-	900	-	-	-
	ケーブル、取り付け金具類	-	-	500	-	-	-
システム	設計、設定	-	-	20,000	-	-	-
	構築	-	-	6,000	-	-	-
	プロジェクト管理	-	-	3,000	-	-	-
	免許申請支援	-	-	1,000	-	-	-
工事費	取り付け配線工事	-	-	50,000	-	-	-
屋内 NW 拡張		-	-	-	検討	検討	拡張
機器	無線 AP 等	-	-	-	-	-	10,000
システム	設計、設定	-	-	-	-	-	70,000
	構築	-	-	-	-	-	20,000
工事費	取り付け配線工事	-	-	-	-	-	150,000
ネットワーク設置費		-	19,782	109,082	19,782	19,782	269,782

表 4.3.4-5 ネットワーク運用費内訳（単位：千円）

【ローカル 5G システム】		R4 （2022）	R5 （2023）	R6 （2024）	R7 （2025）	R8 （2026）	R9 （2027）
ローカル 5G ネットワーク運用		構築	運用	運用	運用	運用	運用
保守運用費	5G コアクラウドサービス他	-	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
ローカル 5G ネットワーク（拡張分）運用		-	-	運用	運用	運用	運用
保守運用費	5G コアクラウドサービス他	-	-	3,400	3,000	3,000	3,000
	機器保守	-	-	1,000	1,000	1,000	1,000
ネットワーク運用費		-	10,000	14,400	14,000	14,000	14,000

表 4.3.4-6 ソリューション購入費内訳(単位:千円)1

【AI 入退管理】		R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)
車番認識システム		購入	購入	運用	運用	運用	運用
機器 (リース)	車番専用 HD カメラ	-	660	660	660	660	660
	車番認識装置	-	486	486	486	486	486
	屋外制御 BOX	-	222	222	222	222	222
	監視端末兼サーバ	-	174	174	174	174	174
	操作・表示 PC	-	1,470	1,470	1,470	1,470	1,470
システム導入	車番認識ソフト	-	315	315	315	315	315
	設定、構築、動作確認	-	2,115	2,115	2,115	2,115	2,115
バーゲート設置費	設計、設定、構築、動作確認	-	-	-	20,000	-	-
【ドローンによる巡視・点検】		R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)
ドローンによる巡視・点検		検証	検討	購入	運用	運用	運用
検証費	課題実証	-	-	3,000	-	-	-
機器	機体代(周辺機器を含む)	-	-	16,000	-	-	-
構築費	現地調整作業	-	-	1,000	-	-	-
維持費	機体ライセンス	-	-	2,000	2,000	2,000	2,000
県への入退情報映像配信		検証	実装	運用	運用	運用	運用
機器	高精細カメラによる監視での構築環境を共用	-	-	-	-	-	-
構築費		-	-	-	-	-	-

表 4.3.4-7 ソリューション購入費内訳(単位:千円)2

【高精細カメラによる監視】		R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)
高精細カメラ		構築	運用	運用	運用	運用	運用
機器 (リース)	4K カメラ(固定)×2	-	105	105	105	105	105
	4K カメラ(可動)×1	-	90	90	90	90	90
県への入退情報映像配信		検証	構築	運用	運用	運用	運用
機器	VPN ルータ×2	-	300	-	-	-	-
	表示 PC×1	-	200	-	-	-	-
構築費	要件定義・基本/詳細設計・構築他	-	1,500	-	-	-	-
ソリューション購入費		-	7,637	27,637	7,637	7,637	7,637

表 4.3.4-8 ソリューション開発費内訳(単位:千円)

【自動走行ロボットによる車両誘導】		R4 (2022)	R5 (2023)	R6 (2024)	R7 (2025)	R8 (2026)	R9 (2027)
自動走行ロボットによる車両誘導		検証	検討	検証	実装	実装	実装
検証費	課題対応構成・設計検討	-	3,000	3,000	-	-	-
ソリューション開発費		0	3,000	3,000	0	0	0

イ）　ユーザにおける必要リソース（モデルケース）

本実証と同規模の火力発電所において、本実証のソリューションを導入する場合の試算値を以下に示す。

表 4.3.4-9 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		444,804 千円	14,000 千円
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション		101,585 千円	5,000 千円
a.	AI 入退管理	47,210 千円	-
b.	ドローンによる巡視・点検	13,000 千円	2,000 千円
c.	高精細カメラによる監視	2,975 千円	-
d.	自動走行ロボットによる車両誘導	38,400 千円	3,000 千円

※初年度に一括して構築し、ネットワーク・ソリューションの運用を行うと仮定した場合

d. 実装を確実にするための取り組み

ローカル 5G システムの柔軟なエリア化や他の無線通信方式を組み合わせることで提供コスト低減を目指す。並行して、今回実証実施したソリューションにおいては、運用面の課題を解決し、実装を進めていく。

ア） 提供コスト低減

【ローカル 5G システムの柔軟なエリア化】

基地局一体型無線機や中継器での実装を進める。

＜実施時期＞

令和5～9年度まで：

・九州電力の各発電所への展開においては、一体型のローカル 5G システムでの構成を検討する。

・不感エリアがあった場合は、そのエリアに可搬型として設置可能な移動式中継器（レピータ）を検討する。

【複数の無線通信方式の効果的な組み合わせ】

建屋内や部屋ごとに電波遮蔽される環境においては、ローカル 5G ネットワークと組み合わせ、Wi-Fi 等の無線通信ネットワークと組み合わせ経済的な構築を図る。

＜実施時期＞

令和5年度まで：仮説検証に向けた検討を実施する。

令和6年度まで：仮説検証を実施して、計画を策定する。

令和9年度まで：複数の無線通信方式を組み合わせ屋外、屋内の無線通信ネットワークを実装する。

イ） ソリューション追加開発

本実証において、採用したロボットは、平常時の自動設備点検機能を主に開発されたもので、車両誘導に多大な時間を要するため、 新たな自己位置推定機能と走行速度向上に向けた検討を実施していく。

＜実現時期＞

令和5年度まで：新たな自己位置推定機能と走行速度向上に向けた検討を実施する。

令和6年度まで：検討結果を踏まえて、検証を実施する。

ウ）　顧客開拓

顧客は、九州電力の苓北発電所以外の発電所をターゲットとして、火力発電本部内のDX 担当部署と連携して、社内主管部とのヒアリングを十分に行い、着実に計画を進めていく。

＜実現時期＞

令和5年度まで：社内主管部へのヒアリング、計画策定

令和6年度まで：各発電所への実装計画を進める。

エ）　運用面の改善

【ドローンによる巡視点検】

発電所構内においては、主にドローンによる巡視・点検でのスマート保安への検討が進められている。しかし、ドローンによる巡視・点検が困難な箇所も想定されるため、防爆エリアを考慮した運用体制、雨天時等での運用に向けた課題整理を行い、発電所構内に実装を行う。

＜実現時期＞

令和5年度まで：防爆エリアを考慮したドローンによる巡視・点検の対応可否および運用体制を整理後、発電所構内での飛行マニュアルを策定する。

令和5年度まで：雨天時等でドローンが飛行できないケースでの巡視・点検手法の運用整理を実施する。

令和6年度まで：ドローンによる巡視・点検を実装する。

オ）　ルールメイキングへの貢献

該当なし

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達等）

本実装の実現にあたっては社内で構築、社内で利活用というモデルであることから、設備構築を所管する部署から設備を利用する部署へ原価での引き渡しの考え方となり、計画実施に向けて確実な年度予算の確保の継続が重要となる。火力発電部門の DX 担当部署と連携し、スマート保安実現に向けた具体策、効果を精緻化し、確実な予算確保に向けて取り組んでいく。

5.　普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

実証コンソーシアムは、実証報告の作成とともに、実証の取り組み・成果をまとめた3分程度の動画の作成および実証映像等の素材提供を行った。

開発実証シーンとして、「1.発電所の全景」「2.日常の作業の様子」「3.AI 画像認証での車両の入退管理の様子、カメラのアップ」「4.自動走行ロボットによる車両誘導の様子、ロボットのアップ」「5.ドローンで点検をしている様子、ドローンや作業をする方のアップ」「6.高精細カメラで船舶の監視をしている様子、カマラのアップ」「7.遠隔で 1～6 の映像やデータを確認している様子」「8.7 のモニター画面のアップやスタッフの様子」「9.5 のドローンを遠隔操作する様子」の撮影を行った。

5.2 実証視察会の実施

実証コンソーシアムは、ローカル 5G の導入に関心がある企業や地方公共団体、関係省庁等に対する普及啓発の一環として、苓北発電所において実証視察会を開催した。

ローカル 5G を活用した火力発電所のスマート保安を実現するソリューションについて今後の普及およびさらなる開発の促進を図ることを目的に、今回開発実証を行った4つのソリューション（AI 入退管理、自動走行ロボットによる車両誘導、ドローンによる巡視点検、高精細カメラによる監視）の実演および現地設置状況の確認に加え、発電所の施設見学を取り入れることでローカル 5G の有効性を実感していただいた。

・開催日　：令和5年（2023年）3月9日（木）13時00分～16時15分
・開催場所：苓北発電所
・開催内容：1.開催挨拶（コンソーシアム代表、苓北発電所代表）
　　2.スケジュール、開発実証内容の説明
　　3.現地視察（ローカル 5G 機器他設置状況、4つのソリューション実働、発電所見学）
　　4.開発実証への質問・確認
　　5.講評（総務省）
・参加者　：総務省、九州総合通信局、関係省庁、三菱総合研究所、熊本県、苓北町、
　　関係企業・団体、九州電力㈱、ニシム電子工業㈱、西日本プラント工業㈱、
　　㈱正興電機製作所

図 5.2 実証視察会の状況

5.3 その他普及啓発活動

実証コンソーシアムは、テレビ・新聞・WEB 記事等におけるインタビュー対応をはじめとする実証成果の普及活動に積極的に取り組みを行った。

なお、普及啓発活動のための情報発信を行う場合は、総務省「課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けたローカル 5G の電波伝搬特性やローカル 5G 等の活用に関する技術的検討並びに調査検討の請け負い」の一環としての取り組み・成果である旨を明示するとともに、予めローカル 5G 開発事務局（三菱総合研究所）に対し情報提供を行った。

【報告】

①九州デジタル推進ワーキンググループ（第2回会合）

・開催日時：令和5年（2023年）2月10日（金）13：20～17：15

・開始場所：熊本地区合同庁舎 A 棟1F 会議室（オフライン）

Zoom（オンライン）

・開催内容：1.開会、座長挨拶

2.デジタル田園都市国家インフラ整備計画地域協議会

3.デジタル関連取り組み事例紹介

※苓北発電所でのローカル 5G 実証試験の取り組みを説明

4.各省庁デジタル関連施策説明

5.各自治体からのデジタル関連取り組み事例説明

6.座長クロージング

7.特別講演

8.閉会

・参加者　：九州テレコム振興センター（KIAI）会員

②令和4年度ローカル 5G 開発実証　課題実証専門会合

・開催日時：令和5年（2023年）2月20日（月）14：00～16：00

・開催場所：Teams（オンライン）

・開催内容：1.実証成果等を踏まえたソリューションの有効性に関する評価・分析

2.ローカル 5G の普及促進に係る課題および解決方策に関する検討

3.Beyond5G を見据えた分野単位・横断のロードマップ（実装・横展開の在り方等）に関する検討

※苓北発電所でのローカル 5G 実証試験の取り組みを説明

・参加者　：令和4年度ローカル 5G 開発実証　課題実証専門会合委員、オブザーバ

【掲載】

・電気新聞（令和4年（2022年）11月8日）

総務省　令和4年度　課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証に採択された苓北発電所でのローカル 5G 開発実証について記事が掲載された。

・電気新聞（令和5年（2023年）1月30日）

苓北発電所の特集記事において、苓北発電所でのローカル 5G 開発実証について記事が掲載された。

・熊本日日新聞、長崎新聞、南日本新聞（令和5年（2023年）3月10日）

苓北発電所でのローカル 5G 開発実証の視察会について記事が掲載された。

・熊本県民テレビ（令和5年（2023年）3月10日）

苓北発電所でのローカル 5G 開発実証の視察会についてニュースで報道された。

・電気新聞（令和5年（2023年）3月17日）

苓北発電所でのローカル 5G 開発実証の視察会について記事が掲載された。

6.　実施体制

6.1 実施体制の全体像

本実証を実施するにあたり、電波伝搬等の技術的検討や、ローカル 5G 等を用いたソリューションの検討等を行うのに十分な知識・技術・経験を有する関係者と実証コンソーシアムを構成し取り組んだ。

本実証のコンソーシアムの構成図を図 6.1 に示す。

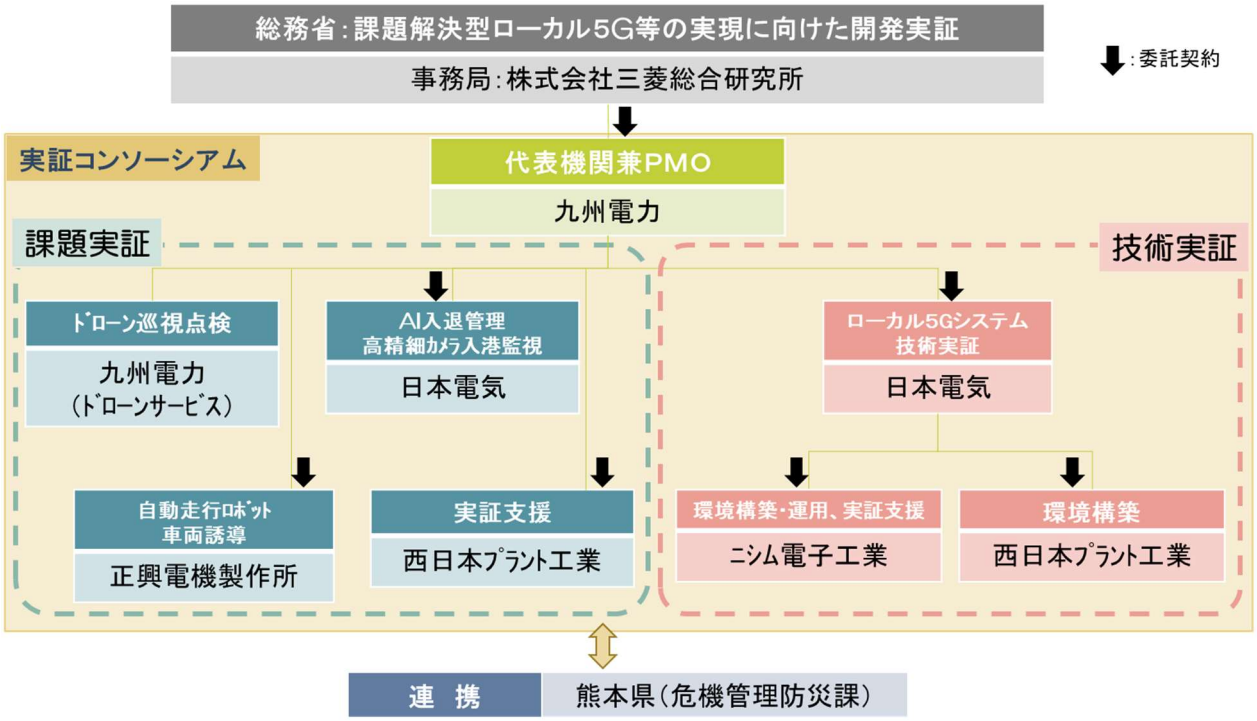


図 6.1 実施体制（実証コンソーシアム）構成図

6.2 実施体制内の役割

以下の実施体制・役割のもと、本実証事業に取り組んだ。

（1）実証コンソーシアムの代表機関は、九州電力が務め、本事業の取りまとめ、コンソーシアムを構成する企業・団体間の調整・窓口、契約に係る一義的な責任等の役割を担った。

（2）本実証事業の推進にあたっては、プロジェクト立ち上げや運営の経験のあるプロジェクトマネージャーを以下の通り設置した。

会社名・所属	役職
九州電力（株） テクニカルソリューション統括本部 情報通信本部　通信ソリューショングループ	グループ長

（3）電波伝搬等の技術的検討は、ローカル 5G システムの開発メーカである日本電気が実施する。また、自社における無線システム運用実績の豊富な当社およびニシム電子工業も技術的検討および実証に協力した。

（4）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以下の通り配置した。

会社名・所属	役職
日本電気（株） 都市インフラソリューション事業部門	ディレクター

（5）課題実証に関しては、今回の実証フィールドである九州電力苓北発電所の港湾設備の運用・保守を担当している西日本プラント工業より知見の提供等支援を受け、日本電気および九州電力（九電ドローンサービス）並びに正興電機製作所が具体的なソリューションの検討、実証の実施を担当した。

（6）代表機関である九州電力は、本実証事業の支出について実証コンソーシアム構成する各企業・団体と連携し、以下会計処理担当者を設置し、適切に管理した。

会社名・所属	役職
九州電力（株） テクニカルソリューション統括本部 情報通信本部　通信ソリューショングループ	副長

7.　スケジュール

スケジュールは以下の通り進めた。なお、実証スケジュール（計画と実績）を図7に示す。

（1）実証開始後、毎月、全体会議を実施し、進捗状況や課題、リスク等を共有・管理した。環境構築等各チームの進捗については、週1回工程進捗会議を実施して確認した。

（2）契約後速やかに機器調達およびネットワーク環境の構築を行った。令和4年（2022年）12月末までに無線機、ネットワーク機器の実証環境を整備し、令和5年（2023年）1月中旬までに。中継器、車番認識、高精細カメラの実証環境を整備した。実証環境構築後の令和5年（2023年）1月から技術実証および課題実証を開始した。

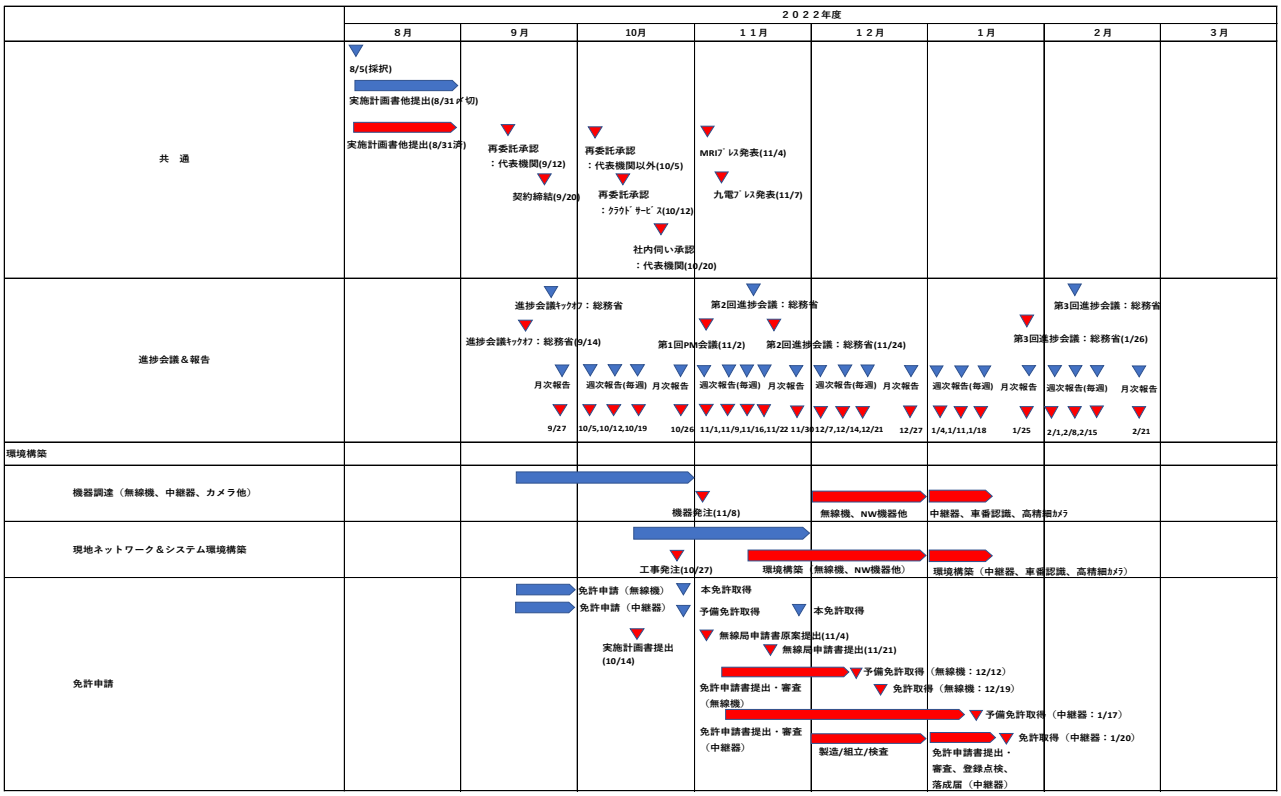
（3）機器調達については、契約前から準備を進め、契約後速やかに手続きを行った。

（4）ローカル5G機器の調達に合わせ、九州電力を免許人として、九州総合通信局へ免許申請を実施し、実験試験局免許の取得を行った。無線機は令和4年（2022年）12月19日、中継器は令和5年（2023年）1月20日に免許を受領した。

（5）環境構築や一部技術実証の状況を整理し、令和4年（2022年）12月13日の中間報告会にて報告した。

（6）実証の結果を成果報告書としてまとめ、令和5年（2023年）3月17日までに提出した。また、令和5年（2023年）3月20日の最終成果報告会で報告した。

（7）令和5年（2023年）2月20日の課題実証専門会合において、開発実証の報告を行った。



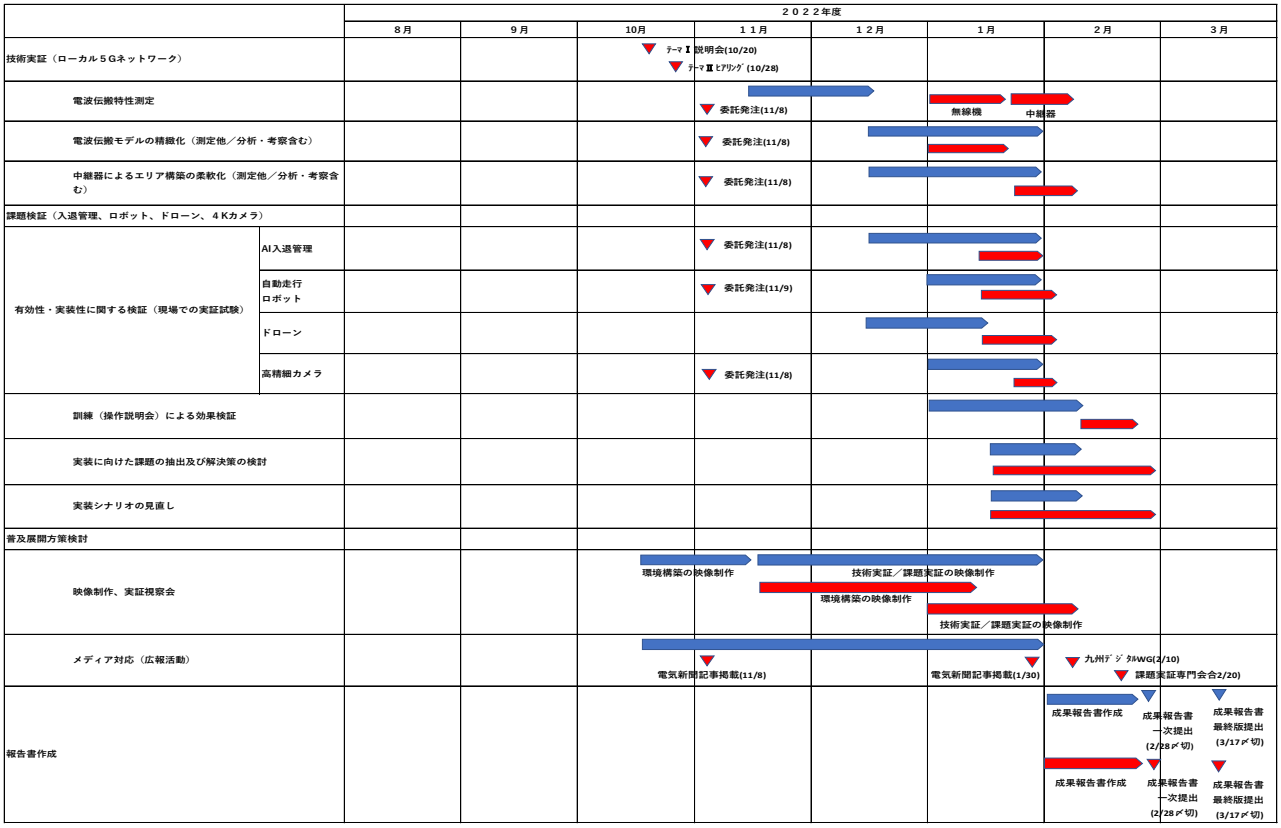


図７　実証スケジュール(計画(青)と実績(赤))

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【開発実証事業】
地方公共団体と連携したローカル 5G の活用による火力発電所のスマート保安の実現

2023 年 3 月

九州電力株式会社