

令和3年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

ローカル5Gを活用した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

成果報告書

令和4年3月25日

株式会社 正興電機製作所

# 目次

<b>1. 実証概要</b> .....	<b>1</b>
1.1 背景・目的 .....	1
1.2 実証の概要 .....	4
<b>2. 実証環境の構築</b> .....	<b>7</b>
2.1 実施環境 .....	7
2.2 ネットワーク・システム構成 .....	12
2.3 システム機能・性能・要件 .....	16
2.3.1 ネットワーク・システム全体の性能要件 .....	16
2.3.2 巡視点検ロボット (①) .....	17
2.3.3 ハイパースペクトルカメラ・PC (②) .....	20
2.3.4 ローカル5Gネットワーク (③) .....	25
2.3.5 広域イーサ網 (④) .....	39
2.3.6 クラウド基盤 (⑤) .....	41
2.3.7 アプリケーション (⑥) .....	42
2.3.8 監視者用／開発者用ネットワーク (⑦⑧) .....	43
2.4 免許及び各種許認可 .....	44
2.5 その他要件 .....	46
2.6 実証環境の運用 .....	48
2.6.1 運用時の連絡体制 .....	48
2.6.2 実証環境構築（実証開始前） .....	49
2.6.3 ローカル5G装置・巡視点検ロボットの運用 .....	52
<b>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）</b> .....	<b>55</b>
3.1 実証概要 .....	55
3.2 実証環境 .....	57
3.3 実証内容 .....	66
3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定 .....	66
3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化 .....	104
<b>4. ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）</b> .....	<b>143</b>
4.1 実証概要 .....	143

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標.....	144
4.2.1 電力分野の運用管理における課題.....	144
4.2.2 離島の発電設備運用管理における問題意識.....	148
4.2.3 内燃力発電設備が抱える課題に対するソリューションの検討.....	160
4.3 実証環境.....	192
4.3.1 巡視点検ロボットの自動走行と各種カメラによる撮影.....	193
4.3.2 漏油・漏水検知と判定結果の出力.....	203
4.3.3 巡視点検ロボット可視カメラ・赤外線カメラ映像の遠隔確認・遠隔操作.....	211
4.4 実証内容.....	212
4.4.1 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証.....	212
4.4.2 ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証.....	261
4.4.3 ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討.....	265
4.4.4 継続利用の見通し・実装計画.....	280
<b>5. 普及啓発活動の実施.....</b>	<b>284</b>
5.1 映像制作への協力.....	284
5.2 実証視察会の実施.....	284
5.3 その他普及啓発活動.....	286
<b>6. 実施体制.....</b>	<b>288</b>
6.1 体制及び役割.....	289
6.2 情報保全体制.....	293
<b>7. スケジュール.....</b>	<b>302</b>

## 1. 実証概要

### 1.1 背景・目的

#### (1) 背景

##### 【設備経年化、保安技術者不足等の課題】

九州管内の離島における電源供給は、ディーゼル機関を利用した内燃力発電所であり、電力の安定供給維持管理において、設備の老朽化と電力保安を担う人材や熟練電気保安技術者の確保等が急務の課題となっている。現在内燃力発電所の定期日常巡視点検は、電気事業法に基づく事業者の保安規定を策定し、24時間体制でグループ毎に配分した当直体制を編成して行われている。また、日常の保安業務は、これまで蓄積された保安員の技術的知見に依存されながら行っていることから、人的依存度が高く熟練保安員の高齢化に伴う要員確保の問題もあり、更なる保安確保・強化を図ることが困難な状況にある。

一方で、九州管内離島発電設備の平均経年年数は40年以上となっており、主力ベースディーゼル機関の配管亀裂による漏油・漏水トラブルの増加や、プラント設備（煙突、消音器、屋外燃料タンク、重油受け入れ設備等）の経年腐食による事故が懸念される。九州管内の離島内燃力設備は島内の主要電源に位置付けられており、燃料漏油などの不具合は、電力供給支障はもとより周辺海域の汚染など、重大事故に波及する恐れがあり、日常巡視点検の精度の向上、高頻度化が必須の課題となっている。

また九州管内の離島は毎年、巨大台風の影響をまともに受ける立地条件にあり、また、火山帯地域で活火山の離島も多く、大規模災害時の監視対応も従来に増して強化する必要性に迫られている。

更に昨年からの新型コロナ対策のため、一部離島のコロナの感染拡大による保安員不足による日常巡視点検や運転運用に支障を来す状況を想定し、本土や他離島から保安員派遣を計画するなど、大規模災害やコロナ感染拡大時の日常巡視点検や監視対応の見直しが急務となっており、発電設備の保守高度化が求められる。

経済産業省産業保安グループでは、スマート保安官民協議会電力安全部会を設置し、官民連携での電気保安のスマート化について検討を行っている。具体的には電気保安のスマート化について、2025年をターゲットイヤーとし、現状の課題や導入が期待される技術を踏まえ、電気保安の将来像やスマート化実現に向けたポイントを整理し、官民のアクションが検討・整理されている。

### 2-3-1. 電気保安におけるAI導入のイメージ (2025年)

- 定置センサー・ドローン搭載センサー等により取得・蓄積されるデータが格段に増加、それらビッグデータを活用し、人間を卓越した「記憶容量」「処理速度」を備えたAI技術の進展により、**保安分野でも人間の判断の判断・補助としてのAIの活用が拡大。**
- 具体的には、下記の観点から画像診断や故障予兆検知等の分野で活用が進む。**①人間の五感を超えたセンシング情報の活用、②常時監視機能、③処理速度の向上・効率化、④判断における主観的・暗黙知な差異の排除。**

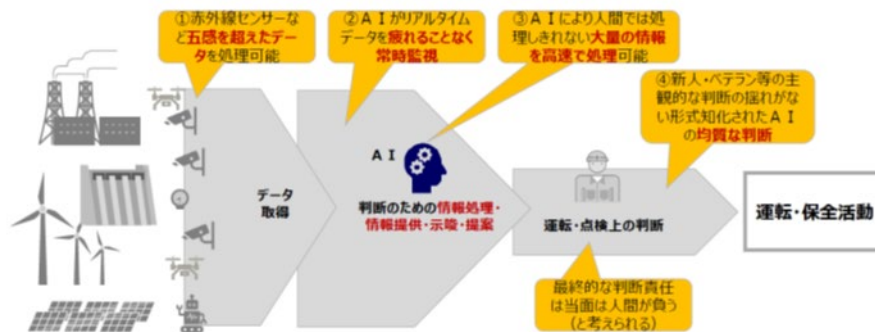


図 1.1-1 技術実装の道筋とターゲットイヤー

【出典】電力保安分野スマート保安アクションプラン 令和3年4月(スマート保安官民協議 電力安全部会)

#### 【再生可能エネルギー拡大に伴う既存発電設備の運用課題】

九州管内では太陽光、風力をはじめとする再生可能エネルギーによる電力供給が増加している。太陽光発電、風力発電は自然環境により電力供給量が変動する電源であるだけでなく、電力系統の周波数や電圧の外乱とも成り得るため、安定した電力の供給の観点から、火力発電設備や内燃力発電設備、水力発電設備、地熱発電設備やバイオマス発電設備のような定格運転が可能な発電設備を調整電源として電力系統を維持するとともに、設備の安定運用が求められる。

また、再生可能エネルギーが増加した電力系統では、系統運営事業者は毎日の電力需給計画の策定のために多大な労力を費やしている。

今後の分散型電源の急増や、設備の高経年化等に伴う発電設備運用の保守管理業務の増加に対応していくためには、従来の点検手法（作業員の五感や経験に基づく判断等）では作業員の技術力や経験の差、判断基準の乖離が発生することから、ビッグデータやI o T 等のI C T 新技術を導入し、保守管理技術の一律化、効率化、自動化を促進し、電力供給事業の負担軽減につなげていくことが重要である。

## (2) 目的

全国の発電所（特に離島の発電所）では、点検業務の品質維持、効率化の観点から自動化（スマート保安）が求められている。自動化の手段としてロボットによる遠隔巡視点検が有効な手段であるが、そのためには高速大容量かつ高セキュアな無線ネットワークが必要となる。しかし、発電所は居住エリアから離れている事が多く、所有地であるのでキャリア5 Gの早期エリア化が望めないことから、ローカル5 Gを活用したモデルにより解決を目指すこととした。

## 1.2 実証の概要

### (1) 実施事項

当社（株式会社正興電機製作所（以下、正興電機））は株式会社NTTドコモ（以下、ドコモ）、九州電力送配電株式会社（以下、九電送配電）、西日本技術開発株式会社（以下、西技）とコンソーシアムを形成し、電力分野の課題解決に繋がるローカル5G等の無線通信システムの具体的なユースケースを検討する。

(a) 技術実証：ローカル5G等の電波伝搬特性や性能評価といった技術的検討を実施し技術面、制度面、運用面からの課題を抽出及び解決方策の検討

(b) 課題実証：従来人が直接実施していたディーゼル発電設備の巡視点検作業の一部を巡視点検ロボットで代替する実証を行い、その有効性を検証すると共に、課題の解決を踏まえた将来の横展開についての策定・検討

上記2点を主題とし、調査研究、実証事業を行った。

### (2) 実施目標

技術実証のうち電波伝搬モデルの精緻化については自由空間伝搬、ローカル5G審査基準、3GPPモデル等の電波伝搬式を比較対象とし、実証環境における実測値に類似する伝搬モデルを評価する。電波法関係審査基準（平成13年総務省訓令第67号）が規定するエリア算出法に基づく基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域の評価を行う。

課題実証のうち発電所向け巡視点検ロボットの適用に関し、従来保安員が目視にて実施していた機器の状態監視及び異常兆候の判定といった日常的な点検業務をロボットにて代替するため、特殊カメラを採用することで現場画像解析精度の向上、連続監視による経時的な機器の劣化の判断、機器の重大事故の要因となる漏油・漏水といった異常兆候の判定が可能となるよう、システムの構築を行う。

本実証ソリューションについては現在運用されている発電設備の課題解決に向けたシステム構築であり、例えば他電力、IPP事業者などの潜在的なニーズについては現時点で未知数であるものの、電力業界を取り巻くスマート保安への取組み、生産年齢人口の減少とい

った課題は共通と判断される。ビジネスモデルの精緻化については今回実証適用する九電送配電 新壱岐発電所以外の離島、九州本土発電設備、変電所といった箇所への適用を念頭におきつつも、関連事業者へ団体、潜在的ユーザー等への意見聴取や調査についても合わせて行い、普及展開方策の具体化、方策検討を進めた。

表 1.2-1 実証内容

カテゴリ	実証内容
技術実証 (電波伝搬モデルの精緻化)	実証環境における実測値に類似する伝搬モデルを評価
課題実証 (ローカル5G及び閉域ネットワークによる巡視点検ロボット適用)	巡視点検ロボット搭載の高画質カメラ、特殊カメラにより収集したデータを高速度、大容量、高セキュリティを実現するローカル5G及び閉域ネットワークによりデータの収集・解析を行い、異常兆候の早期検出を検証
普及展開方策検討	ローカル5G活用モデルのパッケージ化ならびに他電力設備や事業者の潜在的ニーズの調査を実施



また、本実証においてローカル5G及び巡視点検ロボットを選択した理由については以下の通りとなる。

#### 【ローカル5Gを選択した理由】

##### ■セキュリティ面での選択理由

発電所においては非常に高いセキュリティが求められており、安易にインターネットへの接続を行うことはできない。また、発電所には工事業者等の入館もあることから、無線LANを利用した場合、接続情報等の漏洩により不正アクセスにつながる可能性があり、秘匿情報の取得、機器の操作等に利用される可能性がある。無線LANにもMACアドレス登録や証明書による接続制限も可能であるが、偽造によるアクセスも不可能ではない。その点、ローカル5Gであれば、標準でSIM認証を具備しており、情報漏洩による不正アクセスや偽造による不正アクセスは難しいと考えた。

##### ■安定した通信確保による選択理由

ロボット等機器の制御においては信号の確実な伝達を確保する必要がある。無線環境での信号の伝達は外部からの影響を受けやすく、電波干渉等によって突然不安定になる場合も発生する。それらの多くの要因は一般的に利用されている無線LANが乱立した場合が考えられ、今後スマート保安化が進むにつれ、その課題は顕著になると考えられ、ローカル5Gであればライセンスバンドとなる為、乱立による通信の不安定は回避できると考えた。

#### 【巡視点検ロボットを選択した理由】

発電所内には非常に多くのメータが存在しており、点検項目の対象となっている。一部のメータは監視センター側でも確認が可能であるが、現地での目視確認が必要なメータも存在している。それら目視確認が必要なメータにおいては、監視センター側で確認するためには何らか外部から撮影し、送信する必要がある。外部から撮影する方法については固定式カメラを使用する方法があるが、対象となるメータが多く存在するため、カメラの調達費用や撮影したデータを送信するため通信手段を考えた場合、莫大な投資が必要と考えた。またロボットやドローンでの撮影であれば、必要に応じて目的のメータを確認するために移動することができ、災害時等においてはメータだけでなく現場の状況を移動できることで確認することが可能となる。

## 2. 実証環境の構築

### 2.1 実施環境

実証フィールドの選定にあたっては、下記の点を考慮した。

- 内燃力発電所は、経済産業省令で定める技術基準等の関連法令に基づき、元来より遠隔監視が可能となっている。監視保安の効率化の観点から将来展開を考慮し、内燃力発電所を選定。
- 離島において重要な電力供給源である内燃力発電所の課題解決を目標とした実証となるため、稼働中の内燃力発電所を選定。
- アクセスの利便性。不測の事態が発生した場合に、九州電力の本社がある福岡市内から駆け付けしやすい場所であること。
- 将来の「スマート保安」化を見越した場合において、内燃力発電所の共通の課題を抱えていること。
- 既設発電所設備の運営・保守及び年間の設備保守計画に影響を与えない発電所及び発電所設備であること。
- 主要な電力供給源である一方、発電所設備の経年劣化で漏油・漏水トラブルが増加していること、保安員が基本的には常駐しているが、台風等有事の際に対応可能な保安員の確保が困難な場所であることから、課題解決による裨益効果が高いこと。
- 島とクラウドを光ファイバでの専用線で接続できること。

全ての項目を満たすフィールドとして、九電送配電が運用を行う、壱岐島にある新壱岐発電所（長崎県壱岐市芦辺町）を選定した。

壱岐島は九州本土の福岡市から北西に約80 km、佐賀県北端部の東松浦半島から北北西に約20 kmの玄界灘に位置する離島である。壱岐島の面積は133.82 km<sup>2</sup>、南北17 km、東西15 kmとなっている。壱岐島及び新壱岐発電所の位置を図 2.1-1 に示す。

新壱岐発電所は、4機のディーゼル機関がある（表 1.2-1）。実証場所としては「4号機関室」を選定し、ローカル5Gのエリア化を行うとともに、電波伝搬特性の測定と電波伝搬モデルの精緻化（技術実証）、巡視点検ロボット及び特殊カメラ（ハイパースペクトルカ

メラ)による巡視設備点検ソリューション(以下、「本実証ソリューション」という)の効果・機能・運用検証及び実装に向けた検討(課題実証)を行うこととした。

なお、壱岐島は、総務省「ローカル5G導入に関するガイドライン」における「その他、4.7GHz帯設置の留意事項」に該当する地域であることから、屋内運用、かつ、等価等方輻射電力を48dBm/MHz以下とすることで条件を満たした運用を行った。

また、発電所建屋は厚いコンクリート壁で建てられており、建屋内部にはディーゼル機関及び付帯設備、計器類等電波を遮蔽もしくは反射する構造物があることから、電波の回折等により、広くカバレッジ可能なSub6帯周波数を利用することとした。さらに、屋内であるが構造物による遮蔽の影響で電波の減衰が想定されるため、等価等方輻射電力の大きな4.8～4.9GHzの周波数を利用することとした。

【壱岐島基本情報】

- 人口：25,699人(2021年4月)
- 交通：福岡発ジェットフォイル1時間10分 長崎発飛行機30分
- 主要産業：漁業、農業、畜産業
- その他：2018年にSDGs未来都市に選定



図 2.1-1 壱岐の概要 【出典】国土地理院ウェブサイト

表 2.1-1 壱岐島内 内燃力発電設備 【出典】九電送配電

発電所	種別	ユニット	出力
新壱岐発電所	ディーゼル	1号	6,000kW
		2号	6,000kW
		3号	6,000kW
		4号	6,000kW
	小計	4基	24,000kW
芦辺発電所	"	7号	3,000kW
		8号	3,000kW
		9号	4,500kW
		10号	4,500kW
	小計	4基	15,000kW
内燃力発電所	合計	8基	39,000kW

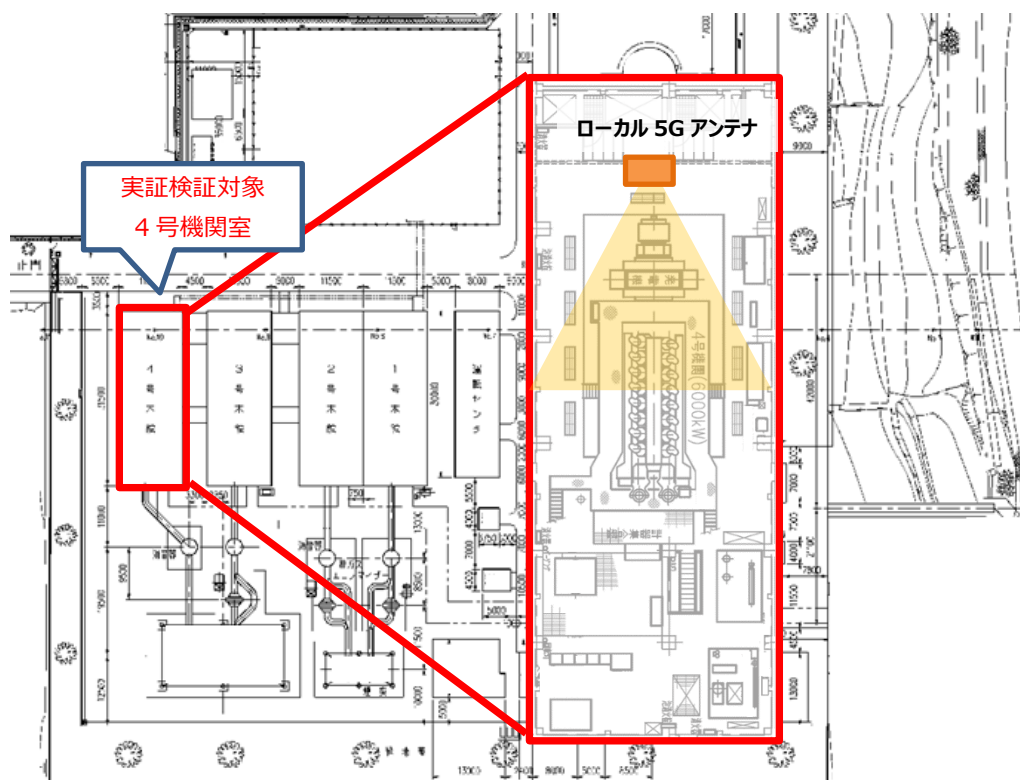


図 2.1-2 新巻岐発電所構内図 【出典】九電送配電

本実証ではコアネットワークを含めたローカル 5 G システム全てを実証フィールド内に設置するオンプレミス構成とした。

ローカル 5 G 端末及びアンテナ・アンテナユニット (RU) (2. 3. 4. 3 章に記述する (f) ~ (e) ; アンテナ装置群 ) については、新巻岐発電所 4 号機関室内 I T V ステージ (既設監視カメラ設置場所) に 1 局設置し、4 号機関室内をカバーするようにした。

ベースバンドユニット~ 5 G コア・CU 各サーバ (2. 3. 4. 3 章に記述する (d) ~ (a) ; コア装置群) 及び収容ラックについては、発電設備からの輻射熱等による温度上昇による影響を抑えること、設置スペースの観点から、別建屋である新巻岐発電所遮断機室内にそれぞれ設置した。

なお、新巻岐発電所構内には保安員が待機し、設備等の監視を行っている監視センター

があるが、新型コロナウイルス等感染症まん延防止の観点から常駐している保安員との接触時間を極力減らすことも考慮した。

アンテナ装置群、コア装置群の設置写真については、図 2.3-8～図 2.3-11 を参照されたい。

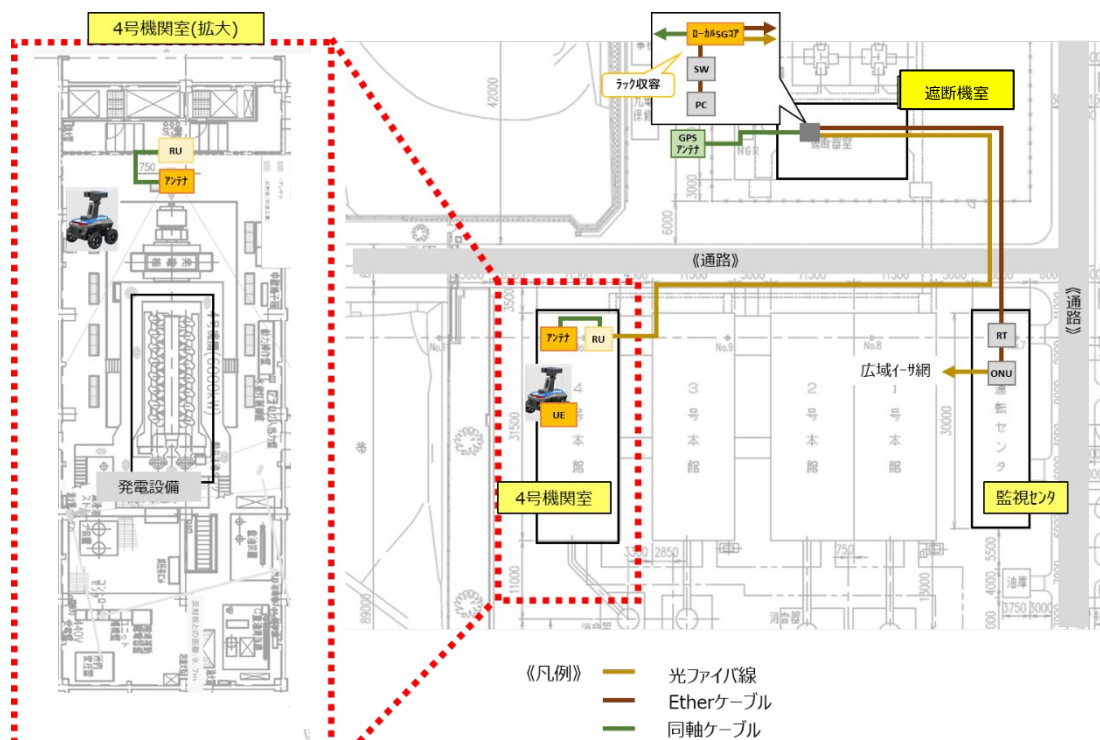


図 2.1-3 実証環境（装置類設置場所）

## 2.2 ネットワーク・システム構成

本実証ソリューションのシステム概要構成図を図 2.2-1 に示す。また、本実証ソリューションの各構成要素について、役割概要を表 2.2-1 に示す。表中の丸囲み番号は、図 2.2-1 中の番号に対応している。

点検対象が電力設備であり保安上の理由から、インターネットに接続することのないセキュアなネットワークであることが要請される。

セキュアなネットワークを実現するために、下記の要領で構築を実施した。

- ・ローカル5Gネットワーク（2.3.4）

ローカル5G端末からコアネットワーク装置まで、実証フィールド敷地内に設置するオンプレミス構成とするとともに、ローカル5Gネットワークには専用SIMでのみの接続となるため、セキュリティが担保される。

- ・ローカル5Gネットワーク～クラウド基盤間のネットワーク（2.3.5）

ローカル5Gネットワークとクラウド基盤とを広域イーサネットで接続することにより、インターネット網に接続しない閉域接続の構成とした。なお、クラウド基盤としては、ドコモが提供するキャリア網内プラットフォームである「ドコモオープンイノベーションクラウド（dOIC）」（以下、「クラウド（dOIC）」という）を利用し、広域イーサネットとしてはエヌ・ティ・ティ・コミュニケーションズ株式会社が提供するVPNサービス「Arcstar Universal One」（UNO）ベースでサービス提供している「ドコモの固定VPNサービス（UNOタイプ）」を選定した。

- ・クラウド基盤内のネットワーク

本実証にて構築したクラウド基盤・サーバからはインターネット網に接続しない（インターネット接続を必要としない）構成にて構築を実施した。

- ・クラウド基盤～遠隔拠点間のネットワーク（2.3.8）

遠隔拠点の端末からキャリア網（ドコモネットワーク）を介してクラウド基盤に直接かつ閉域接続可能である「クラウドダイレクト接続」を利用する構成とした。

公衆網と異なるAPN（アクセスポイントネーム）及び予め登録した電話番号からのみの接続により、不特定多数からのアクセスを制限することによりセキュリティを担保した。

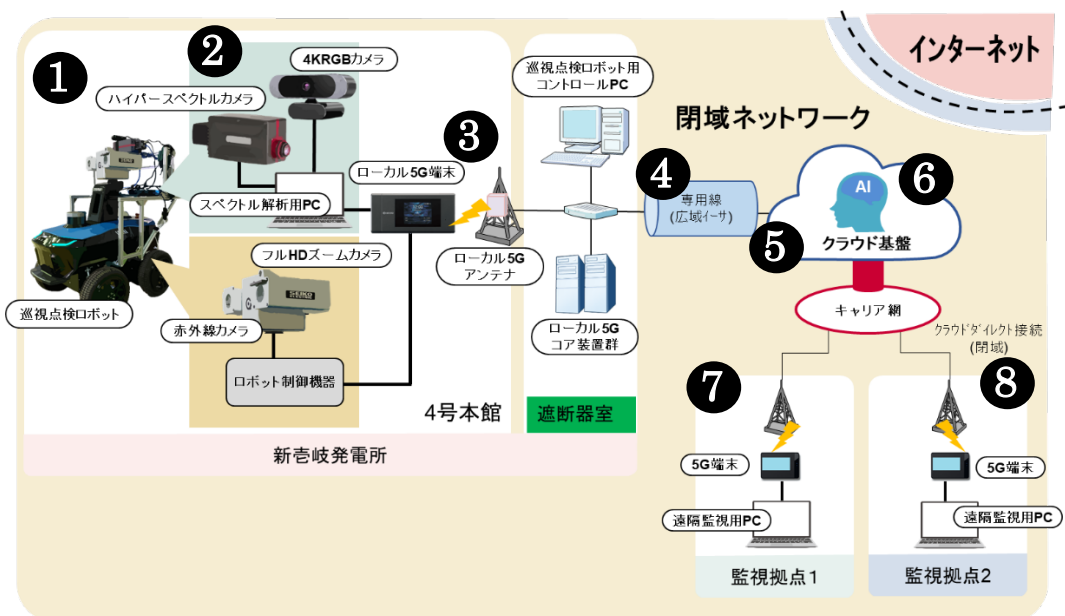


図 2.2-1 システム構成概要全体図



表 2.2-1 システム構成要素の役割概要

No	項目名	役割
①	巡視点検ロボット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発電設備がある機関室内を、予め設定したルートや時刻、走行速度、点検項目等に従い、自動走行する</li> <li>・ 標準搭載する可視カメラ・赤外線カメラによる発電設備の撮影</li> <li>・ 「②ハイパースペクトルカメラ・PC」を追加で搭載、撮影を行いながら一定の速度で走行する</li> </ul>
②	ハイパースペクトルカメラ・PC	<p>【ハイパースペクトルカメラ】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発電設備からの漏油・漏水検出にあたり、複数の油・水を種類ごとに判別するために、波長データ（分光データ）を用いる。波長データを取得するために、被写体を撮影するカメラ</li> </ul> <p>※より精緻な波長データを取得するために、各ピクセルごとに、数十～数百バンドの波長情報を取得することができる「ハイパースペクトルカメラ」を選定</p> <p>【PC】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ ハイパースペクトルカメラの撮影制御、パラメータ変更、データキューブ（ハイパースペクトルカメラで撮影したデータ）の加工、クラウドへのアップロード</li> </ul>
③	ローカル5Gネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 巡視点検ロボット（可視カメラ、赤外線カメラ）及びハイパースペクトルカメラにて撮影・取得したデータのアップロード、巡視点検ロボットの遠隔からの設定・操作等を行うために使用するネットワーク</li> </ul>
④	広域イーサ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ローカル5Gネットワークとクラウド基盤を接続するための専用回線</li> <li>・ インターネットには接続しない、セキュアなネットワーク回線</li> </ul>
⑤	クラウド（dOIC）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 下記アプリケーション（⑥）のプラットフォーム</li> <li>・ インターネット接続は行わない閉域環境</li> </ul>
⑥	アプリケーション（AI等）	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 画像処理（データキューブ→画像データの生成）</li> <li>・ AI危険度判定（漏油・漏水場所及び範囲の特定と漏油・漏水場所による危険度をAIにより判定）</li> <li>・ 結果表示（Web UI）</li> </ul>

⑦	監視者用ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ クラウド基盤にアクセスするための専用閉域網</li> <li>・ 巡視点検ロボットの巡視点検結果やA I解析エンジンの危険度判定結果を閲覧、巡視点検ロボットの遠隔操作</li> </ul>
⑧	開発環境ネットワーク	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ クラウド基盤にアクセスするための専用閉域網</li> <li>・ 開発者は専用閉域網にてクラウドへ接続し開発作業実施</li> </ul>

## 2.3 システム機能・性能・要件

### 2.3.1 ネットワーク・システム全体の性能要件

本実証ソリューションを活用した、漏油・漏水検知を含む巡視点検業務において、下記2点が同時に行われることが想定される（図 2.3-1）。

- (1) ハイパースペクトルカメラにて撮影したデータをクラウドへアップロードし、漏油・漏水の検知及びAIによる危険度判定
- (2) 巡視点検ロボット（可視カメラ（フルHD）＋赤外線カメラ）にて撮影した映像にて設備の状態を確認

上記（2）について、正興電機古賀事業所に設置されている、キャリア5G（ドコモ5G、クラウドダイレクト接続）を用いて、巡視点検ロボットに搭載されている可視カメラ（フルHD）及び赤外線カメラの撮影画像のリアルタイム伝送を行い必要となる通信速度の計測を行った事前検証結果から、上り25Mbpsの通信速度が必要である。

本実証では、上記（1）（2）を合わせて「上り50Mbps以上の通信速度」を性能要件とし、通信速度について本実証にて検証を行った。

なお、検証結果については、4.4.1章を参照されたい。

以降、システム各構成要素について機能・性能・要件を記載する。なお（）中の丸囲み数字は、2.2章に対応している。

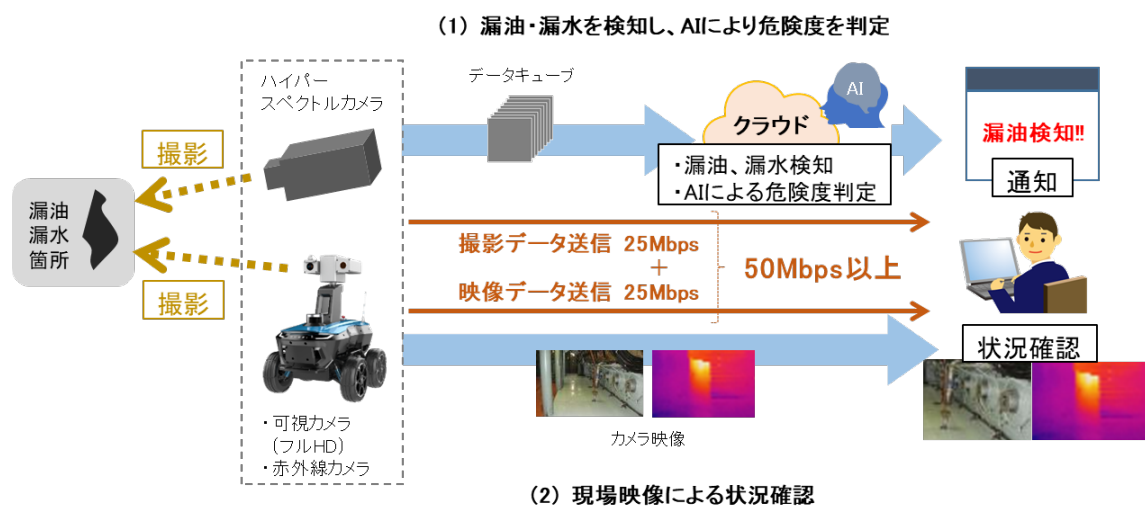


図 2.3-1 通信速度要件

### 2.3.2 巡視点検ロボット (①)

巡視点検ロボットの外観を図 2.3-2 に、仕様を表 2.3-1 に記載する。

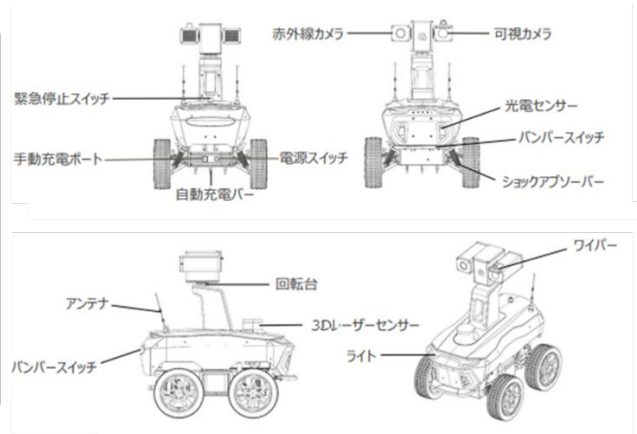
本実証において、下記の要件を満たす巡視点検ロボットであることが求められた。

- ・ 発電設備がある機関室内を安全に自動走行できること
- ・ グレーチング床等段差がある路面の走行や方向転換がスムーズに行えること
- ・ 可視カメラ・赤外線カメラにより設備の状態や計器の撮影・読み取りができること
- ・ ハイパースペクトルカメラがラインスキャン型のカメラであることから、等速で走行が可能であること

今回選定した巡視点検ロボット「SP02」は、下記特徴を有するロボットである。

- ・ 3Dレーザナビゲーションシステムを搭載し、予め設定したルート・時刻・走行速度での自動走行が可能
- ・ 障害物や人を検知して衝突回避（停止）
- ・ 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
- ・ 可視カメラ（フルHD）及び赤外線カメラを搭載  
カメラは回転式であり、可視カメラは光学30倍ズームが可能であるため、様々な設備の撮影や計器の読み取りが可能

本実証では、本ロボットを1台使用した。



<p><b>自動巡視点検</b></p> <p>3Dレーザーセンサーでマップを作成し、自律走行します。点検内容、時間、サイクル等を設定すると、自動で巡視点検を行います。</p>	<p><b>自動充電</b></p> <p>ロボットの充電残量が少なくなると自動で充電ステーションに戻ります。4時間の充電で8時間の稼働が可能です。</p>	<p><b>赤外線検温</b></p> <p>赤外線カメラで画面上の最高温度とそのポイントを表示します。設備の温度上昇を分析し、判断、警報を鳴らします。</p>	<p><b>メーター自動識別</b></p> <p>定時・定点で写真と動画を撮影します。様々な種類のメーターを読み取ることができ、自動で記録・判断し、警報を鳴らします。</p>
<p><b>様々な環境への適応</b></p> <p>天候に左右されず、様々な環境に適応できます。段差10cm、水深10cmまで進むことができ、30°までの傾斜を登ることができます。</p>	<p><b>安全保護</b></p> <p>障害物がある場合は自動で停止します。また自己点検機能があり、異常時には警報灯を点滅させ、情報を監視システムへ転送します。</p>	<p><b>点検レポート作成</b></p> <p>点検作業で収集したデータから、自動的に点検レポートを作成します。</p>	<p><b>音声収集</b></p> <p>内蔵された音声採集装置を用いて設備内の音声の収集、転送を行います。</p>

図 2.3-2 巡視点検ロボット外観図

表 2.3-1 巡視点検ロボット仕様

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℃

### 2.3.3 ハイパースペクトルカメラ・PC (2)

ハイパースペクトルカメラとは、光を波長ごとに分光して撮影するカメラである（4.2.3章参考資料参照）。

対象をハイパースペクトルカメラで撮影することによって、データキューブ（ $x$ 、 $y$ 方向の二次元の平面イメージが、分光された波長ごとに層を成しているキューブ状のデータ）と呼ばれる特殊なイメージを生成する。

100バンド以上の波長情報を取得（RGBカメラは3バンド、マルチスペクトルカメラは10バンド程度）することで、人間の目・RGBカメラでは評価困難な物性の違いを可視化して評価することができ、油種や、目視・RGBカメラでは判別が難しい水の検出が期待できる。

《関連資料：ハイパースペクトルカメラ》 出展：ケイエルビイ社資料より抜粋

#### ■ハイパースペクトルカメラの原理

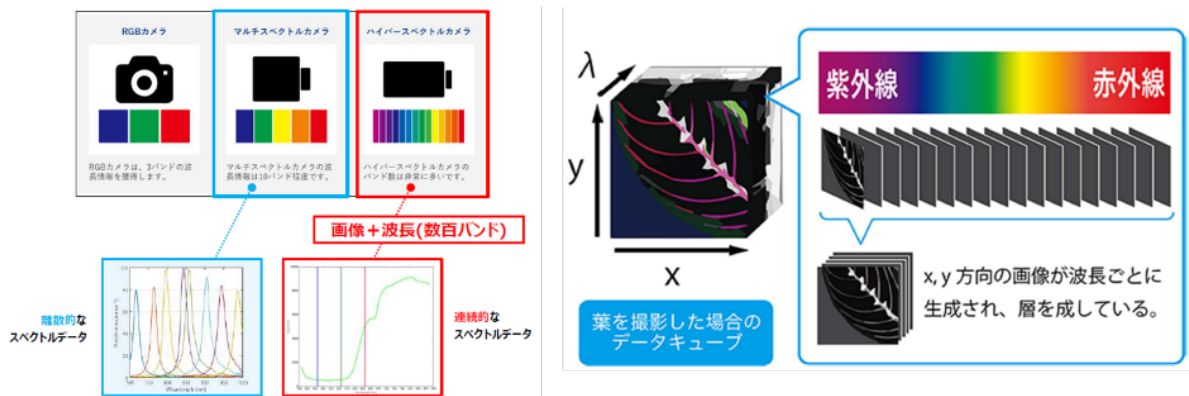


図 2.3-3 ハイパースペクトルカメラの原理

ハイパースペクトルカメラとは、光を波長ごとに分光して撮影するカメラであり、対象を撮影することによってデータキューブと呼ばれる特殊なイメージを生成する。

データキューブとは、 $x$ 、 $y$ 方向の二次元の平面イメージが、分光された波長ごとに層を成しているキューブ状のデータとなる。それにより目視やRGBカメラで得られるよりも多くの情報が得られ、様々な分析・研究・産業用途に用いられている。

■ カメラの測定方法の違いとプッシュブルーム方式（ライン）の原理



図 2.3-4 ライン方式の原理

ラインスキャン形式 撮影の様子

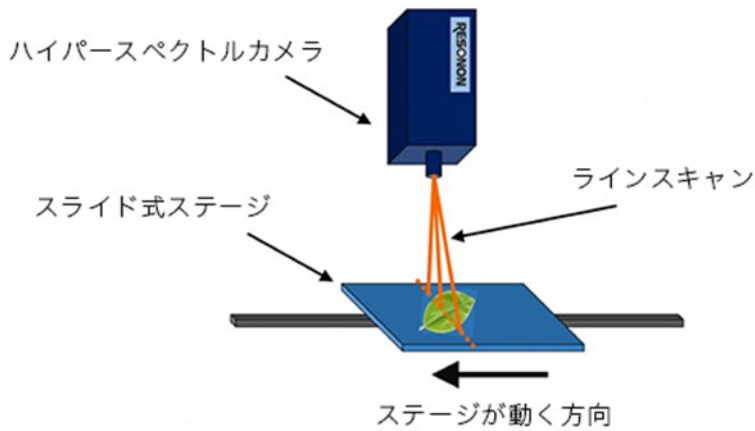


図 2.3-5 ラインスキャン式カメラ



表 2.3-2 4Kカメラとハイパースペクトルカメラ（HSカメラ）比較

	4Kカメラ+AI	HSカメラ	優位性
対象機材	4Kカメラ	P i k a N I R - 3 2 0（ライン方式）	—
漏油・漏水検知での実現可能性	R G B 画像での判定となるため、人の目で判断できるものは画像判定でも検知しやすい	スペクトルデータを元に判定するため、素材を識別することで検知しやすい	HSカメラ
検知可能な範囲	撮影場所からディーゼルエンジンまでの距離が2m程離れており、4K画質及び広角カメラで撮影した場合、漏油・漏水箇所が小さく、発見できない可能性がある	分解能が320ピクセルとなるため、ディーゼルエンジンの高さが2mとした場合、 $2m \div 320$ で6cm以上の漏油であればスペクトルデータが取得できる為、検知可能	HSカメラ
解析ソフトの開発	過去実績を利用可能であり、解析ソフトウェアの大きな開発は不要	カメラベンダーから解析ソフトが提供されているが、クラウドと連携する為のカスタマイズが必要となるため別途開発が必要	4Kカメラ+AI
教師データ作成の容易性	AIでの画像解析のため、事前に大量の教師データ作成の必要あり	教師データの作成は不要であり、フォーカス等のチューニングのみで検知可能	HSカメラ
過去の実績	他案件で実績あり	ライン方式のカメラは主に固定設置で利用され、食品等ライン生産の件数で使用実績あり。（一部ドローンに搭載できる機種もあり）	4Kカメラ+AI
ローカル5Gの必要性	4Kカメラの映像をd O I Cに伝送し、AIで解析する必要があるため大容量通信が必要	HSカメラから出力されるデータ量は400MBを超えるため、ロボットに搭載したPCにて油と水を検知可能な波長に絞ってキューブデータファイルを作成。機関廻りを巡回すると1TB近いファイル量が想定されるためローカル5Gの活用が必要	HSカメラ

発電所設備が片面高さ約2m×横幅約10mと広範な範囲かつ物質の検出にあたって高い精度が求められることが要件であり、カメラあるいはサンプルを走査することによりデータを取得するラインスキャン式カメラ（図 2.3-5 参照）を採用し、Resonon社「Pika NIR-320」を選定した（1台）。

今回は、巡視点検ロボットにハイパースペクトルカメラを搭載し、等速走行しながら撮影を行うようにした。

外観を図 2.3-6 に、仕様を表 2.3-3 に記載する。



図 2.3-6 ハイパースペクトルカメラ外観図

表 2.3-3 ハイパースペクトルカメラ仕様

カテゴリ	スペック
サイズ	27.0×11.4×8.9cm
本体重量	3.21kg
測定波長範囲	900 ~ 1,700nm
波長分解能	9.7nm
波長チャンネル数	164
空間チャンネル数	320
最大フレームレート	520fps
ビット数	14
インターフェース	GigE
使用環境	5 ~ 40℃

また、ハイパースペクトルカメラの撮影制御（撮影開始／終了、フレームレート等可変値の設定）、撮影データからのデータキューブ生成、クラウド基盤上に構築する画像処理システムへのデータキューブ転送（2.3.6、2.3.7参照）を担うアプリケーションを構築し、PCに搭載する。

データキューブの生成等において処理速度が可能な限り高く、アプリケーション画面表示及び操作が容易に行えること、巡視点検ロボットに搭載するため可能な限り小型のPCであることが要件であり、これを満たす機種として、Dell社製New Alienware x15を選定した（1台）。外観・仕様を図2.3-7に記載する。



カテゴリ	スペック
サイズ	約359.7×277.25×16.3mm
本体重量	約2.36kg
CPU	第11世代 インテル® Core™ i7 11800H (8コア、24MB L3 キャッシュ、Turbo Boostで最大4.6GHzまで)
OS	Windows 10 Pro (64ビット) 日本語
メモリ	32GB DDR4、3200MHz
ハードディスク	1TB M.2 PCIe NVMe SSD
ビデオカード	NVIDIA® GeForce RTX™ 3070 8GB GDDR6
ディスプレイ	15.6インチ FHD (1920 x 1080) 165Hz 3ms ComfortView Plus搭載

図 2.3-7 ハイパースペクトルカメラ用PC外観図

## 2.3.4 ローカル5Gネットワーク (●)

### 2.3.4.1 ローカル5G基地局及びアンテナ設置場所

本実証ではコアネットワークを含めたローカル5Gシステム全てを実証実験敷地内に設置するオンプレミス構成とした。

ローカル5G端末及びアンテナ・アンテナユニット(RU)(2.3.4.3章に記述する(f)～(e))については本実証を行う対象の発電設備のある新壱岐発電所4号本館に、ベースバンドユニット～5Gコア・CU各サーバ(2.3.4.3章に記述する(d)～(a))及び収容ラックについては、別建屋である新壱岐発電所遮断機室内に設置した。

なお、新壱岐発電所構内には保安員が待機する監視センターがあるが、新型コロナウイルス等感染症まん延防止の観点から常駐している保安員との接触時間を極力減らすこと、設置スペースの観点から、監視センターではなく遮断機室に基地局装置を設置することとした。

なお、4号本館～遮断機室とは光ファイバで接続した。

ローカル 5 G アンテナ設置場所

コア装置及び GPS アンテナ設置場所

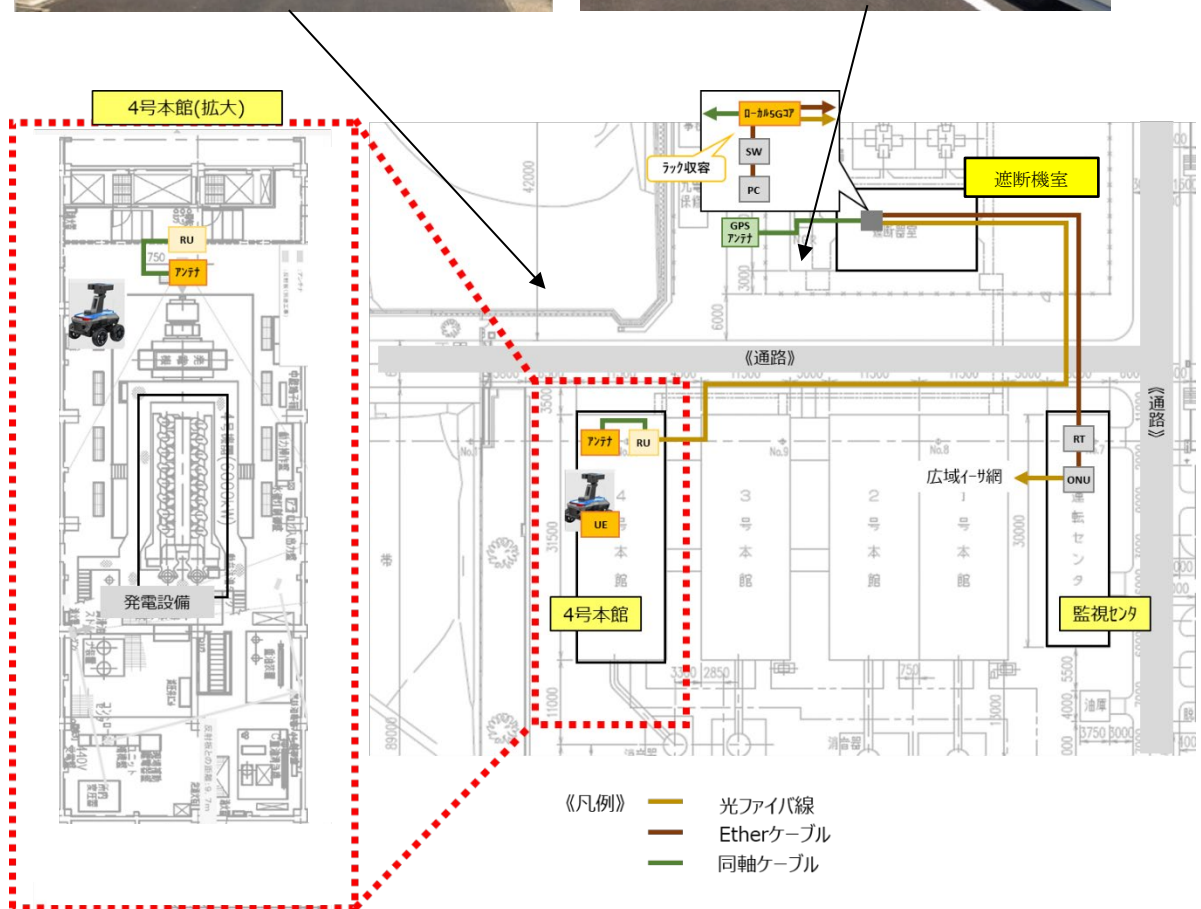


図 2.3-8 ローカル 5 G 基地局及びアンテナ設置場所

ローカル5Gアンテナ・アンテナユニット装置は、既設監視カメラの架台へ取り付け、4号本館内をカバーするようにした。

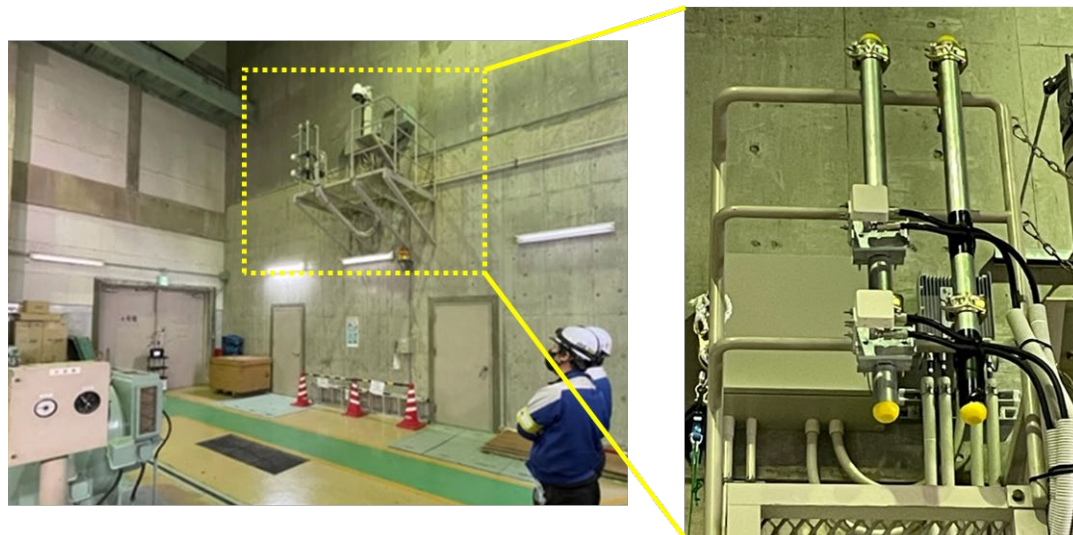


図 2.3-9 ローカル5Gアンテナ設置場所（4号本館内）

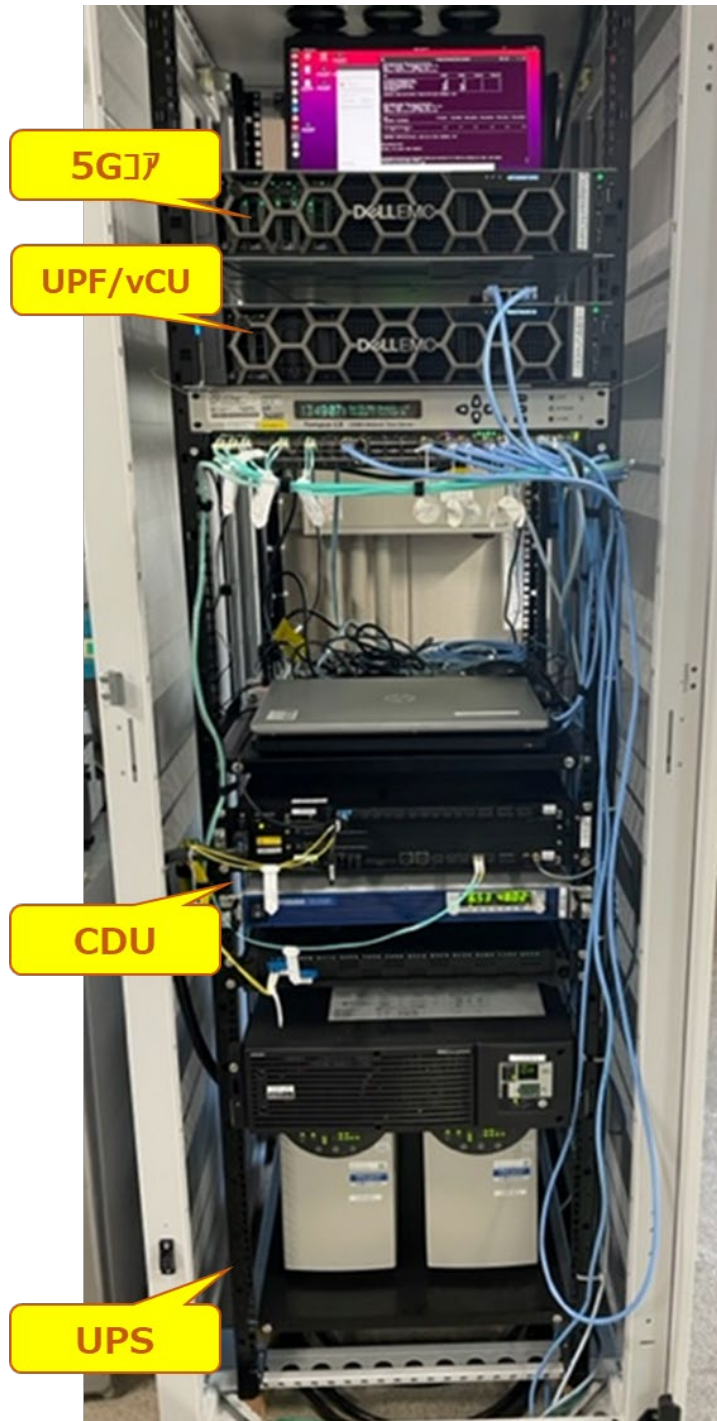


図 2.3-10 ローカル5Gコア機器設置場所（遮断機室、収容ラック）



図 2.3-11 ローカル5G GPSアンテナ設置場所（室外）



### 2.3.4.2 ローカル5Gエリアイメージ

本実証におけるローカル5Gアンテナ装置を起点としたエリア図を図 2.3-12 に示す。

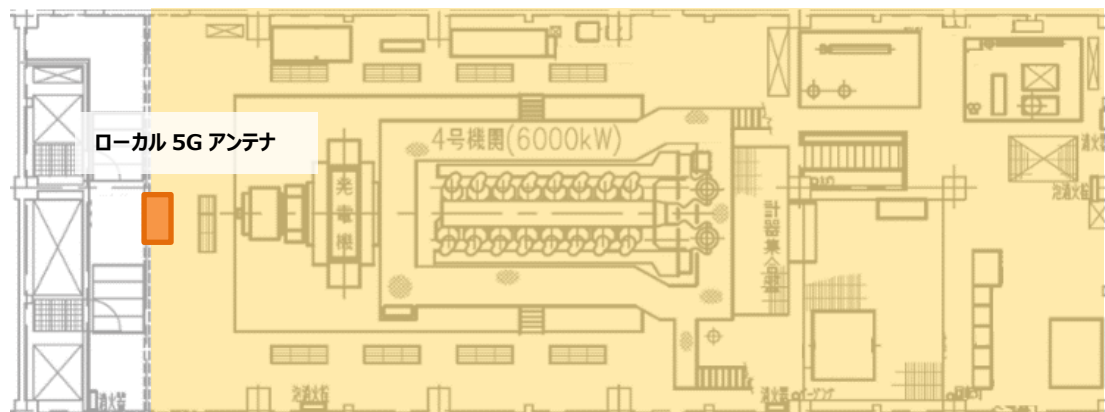


図 2.3-12 ローカル5Gエリアカバレッジ

### 2.3.4.3 ローカル5Gネットワーク機器構成

本実証において構築したローカル5Gネットワーク機器構成を図 2.3-13 に示す。

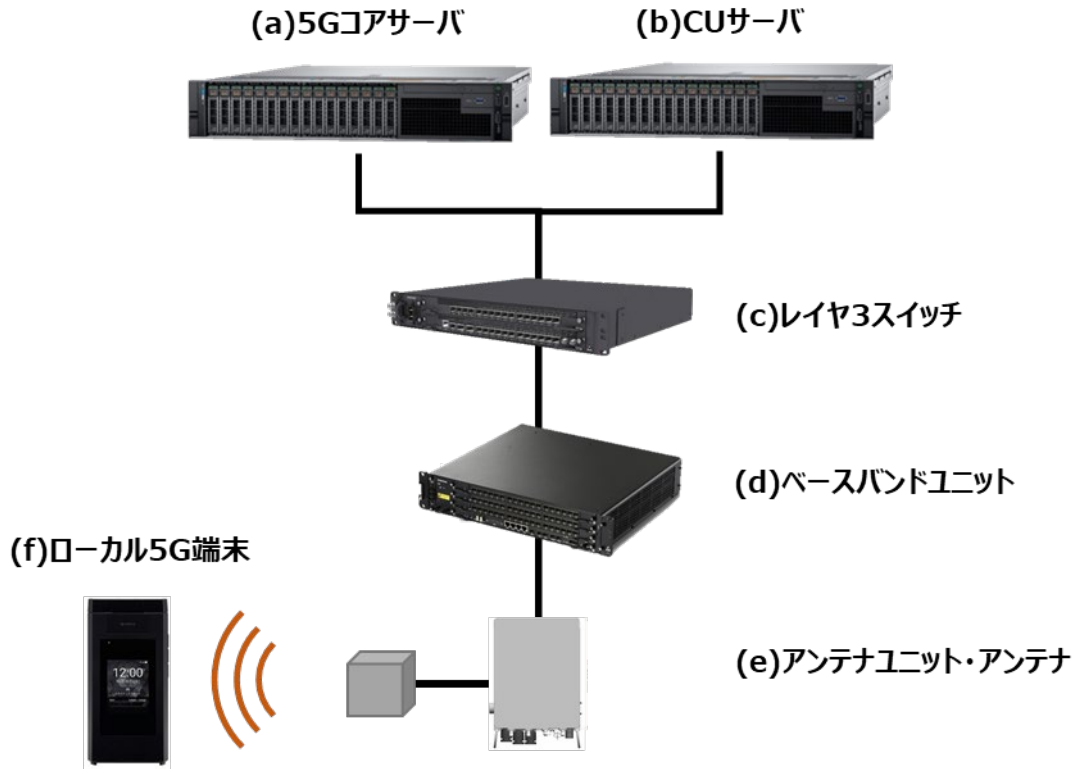


図 2.3-13 ローカル5G装置構成

### (1) ローカル5G基地局装置の性能

2. 1章に記載した、総務省「ローカル5G導入に関するガイドライン」等に基づく条件を満たすこと、2. 3章に記載した本実証ソリューションとしての性能要件値（上り：50Mbps以上）を満足するスペックを有する装置であることが要件として求められる。

本実証において選定したローカル5G基地局装置の性能を表 2.3-4 に示す。また、ローカル5G基地局装置各コンポーネントについて以降に記載する。

表 2.3-4 ローカル5G基地局装置の仕様

カテゴリ	スペック
製造ベンダ	サムスン電子株式会社
台数	1台
設置場所（屋内/屋外）	屋内
同期/準同期	同期
UL：DL比率	3:7
周波数帯	4.8GHz帯
SA/NSA	SA（スタンドアロン）
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	4849.98MHz
DL中心周波数	
UL変調方式	64QAM
DL変調方式	
MIMO	2×2MIMO

## (2) ローカル5G基地局装置及び構成機器

実証におけるローカル5G基地局装置の各コンポーネントの外観及び諸元を（a）から（e）に示す。

(a) 5Gコアサーバ（Dell社製）

(b) CUサーバ（Dell社製）



Dell PowerEdge R740

Item	Server	CPU	Memory	NIC	HDD
vCore (5GC) + USM	Dell PER740	Intel Xeon Gold 6238R 2.2Ghz 28core * 2	512GB	10G-SR * 4 Port 1G * 4 Port	SSD (3.84TB) * 8
vCore (UPF) + vCU	Dell PER740	Intel Xeon Gold 6238R 2.2Ghz 28core * 2	512GB	10G-SR * 12 Port 1G * 4 Port	SSD (1.92TB) * 4

図 2.3-14 5Gコア・CUサーバの外観及び諸元

(c) レイヤ3スイッチ (D e l l 社製)



Dell S4148F-ON

カテゴリ	スペック
ユニット数	1U
ポート	48xSFP + 2xQSFP + 4xQSFP28
スイッチ容量	1.76Tbps
スループット	1,320Mbps
レイテンシ	800ns
最大電力消費量	370W
一般的な動作電力	200W
重量	9.14kg

図 2.3-15 レイヤ3スイッチの外観及び諸元

(d) ベースバンドユニット (サムスン電子社製)



## Samsung CDU50



カテゴリ		スペック
形状		GMA1 + GCB1 x 2ea + LCC4
サポート	LTE	最大20M 4T4R 54cell
Cell 数	NR(B6G)	最大100M 18セル(DL 8L/UL 4L)
		最大100M 36セル(DL 4L/UL 2L)
Throughput		~ 36Gbps
Backhaul I/F		1/10/25GbE 4port (25G 4 port使用時、2+2 冗長化サポート)
Fronthaul I/F		GCB1 : eCPRI 10G (6 ports) LCC4 : CPRI 5G (12 ports)
Fn. Split		GCB1 : Option 7-2x LCC4 : Option 8
Clock		GPS, IEEE1588v2, SyncE (HW ready) ※ GPS/1588 clock switchover含む
Size (HWD, mm)		19 inch 2U Shelf (14.7L) Mounting bracket 除外: 434mm(W) x 88mm(H) x 385mm(D) Mounting bracket 含む: 482.6mm(W) x 88mm(H) x 385mm(D)
Weight		17kg 以下 (w/o optic )
Cooling Method		FAN Cooling
電圧動作範囲		-48VDC (-40.5 ~ -57VDC)
動作温度		0℃ ~ 50℃
動作湿度		5 ~ 95%RH, non-condensing, not to exceed 30g/m <sup>3</sup> absolute humidity.
許容電流		Max. 50A

図 2.3-16 ベースバンドユニットの外観及び諸元

(e) アンテナユニット (RU) (サムスン電子社製)



## Samsung n79 Outdoor RU

カテゴリ	スペック
Air Technology	5G NR
Band	n79 (4.8GHz)
Frequency	4700~4900MHz
TDD configuration	8:2
IBW (占有帯域幅)	100MHz
OBW (瞬間信号帯域幅)	100MHz
Carrier Bandwidth	100MHz
# of Carriers	1 carrier
RF Chain	4T4R
RF Output Power (空中線電力)	Total: 10W 2.5W x 4 paths
RX Sensitivity (受信感度)	Typical -97dBm @scs 30kHz 51RBs, room temperature
Modulation (変調)	256QAM support
Input Power	AC100 V±10%
Power Consumption (消費電力)	Typical 120W (TBD) @ 100% RF load, room temp., w/o FAN
Size (WHD)	(TBD) 220 x 265 x 77 mm (w/o FAN) (TBD) 220 x 331 x 87 mm (w/ FAN)
Volume	4.5 L (w/o FAN) / 6.3L (w/ FAN)
Weight	(TBD) 4.9 kg L (w/o FAN) / 6.0kg (w/ FAN)
Operating Temperature	-30℃ ~ 50℃ (w/o solar load)
Cooling	Natural convection
Unwanted Emission	3GPP 38.104 Cat. A, TELEC Regulation
Optic Interface	10/25Gbps x 1port, SFP28, single mode, Duplex, fixed WDM
FAN	In case of horizontal installation, FAN is option
UDA	TX 1, RX 3 (10 pin connector)
UDE	Support
Mounting Options	Wall vertical front , Wall vertical side, Horizontal(optional FAN for 50℃)

図 2.3-17 アンテナユニット (RU) の外観及び諸元

(e) アンテナユニット (RU) (サムスン電子社製)、アンテナ (電気興業社製)

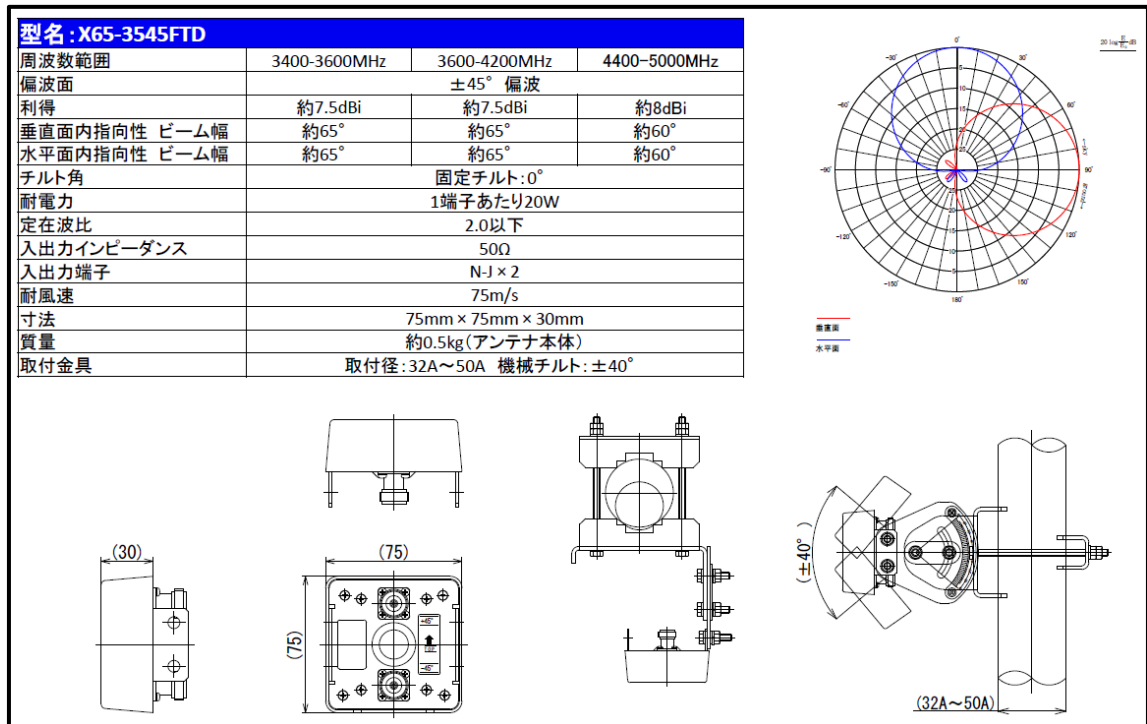


図 2.3-18 外部アンテナの外観及び諸元



(f) ローカル5G端末

本実証では、ローカル5G端末として、京セラ社製5Gコネクティングデバイス「K5G-C-100A」を選定した（台数：2台（うち、予備端末1台））。

京セラ社製5Gコネクティングデバイス「K5G-C-100A」の外観写真及び諸元を図 2.3-19 に示す。



カテゴリ	スペック
サイズ	約78(H) x 165(W) x 27(D)mm
重量	約348g
ディスプレイ	約2.6インチ
CPU	Qualcomm® Snapdragon™ 865 5G Mobile Platform, Snapdragon™ X55 5G Modem-RF System
メモリ	RAM : 8GB / ROM : 128GB
mmWave	DL 400 MHz bandwidth, 4 carriers, 2x2 MIMO @ n257 UL 200 MHz bandwidth, 2 carriers, 2x2 MIMO @ n257
Sub-6	DL 100MHz bandwidth, 4x4 MIMO UL 100MHz bandwidth, Non-MIMO @ NSA
充電端子	USB Type-C™ (PD3.0)
電池	リチウムイオン電池 (6,000mAh)

図 2.3-19 ローカル5G端末の外観及び諸元

### 2.3.5 広域イーサ網 (④)

新巻岐発電所に構築するローカル5Gネットワーク(2.3.4参照)とクラウド基盤(2.3.6参照)をセキュアに接続、かつ、ネットワーク・システム全体の性能要件(2.4.1参照)に記載する通信速度以上が確保できることが要件であり、これを満たす帯域確保型の広域イーサ網(70Mbps)を選定した。

・ SLAを実装した帯域確保型の完全閉域



帯域確保型の完全閉域ネットワークをご提供します。回線単位で常時監視を行い、またサービス品質保証制度(SLA: Service Level Agreement)を設けているため、安心してネットワークをご利用できます。

#### 「ドコモの固定VPNサービス」とは

ドコモの固定VPNサービスは帯域確保型の完全閉域ネットワークで、サービスのアクセス回線やお客さまの拠点間通信(WAN型)回線として利用が可能です。また、回線単位で常時監視もを行い、仮にサービスが故障してもサービス品質保証制度(SLA: Service Level Agreement)を設けたネットワークサービスです。

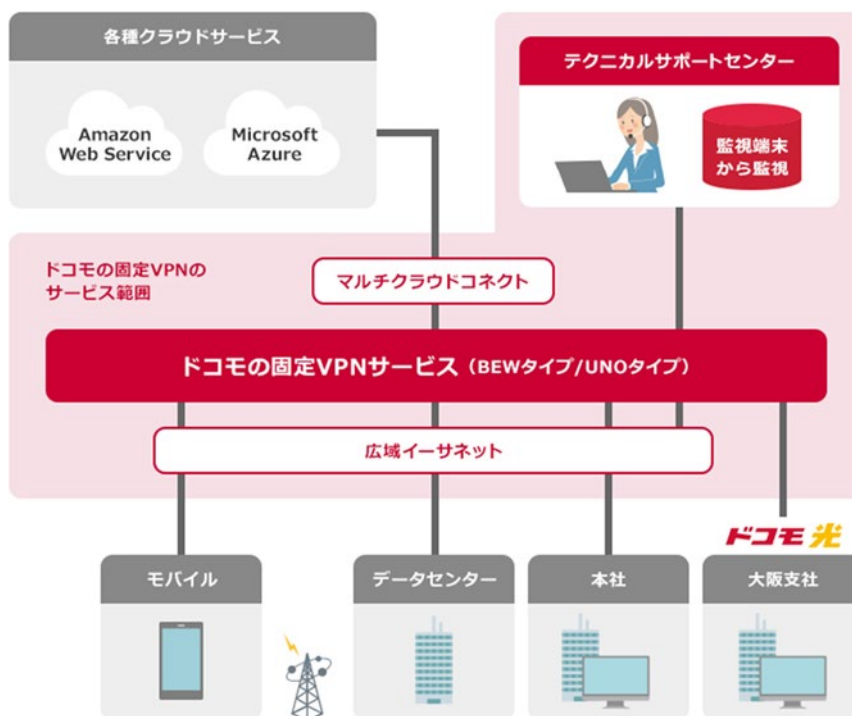


図 2.3-20 固定VPNサービス



図 2.3-21 固定VPNサービス クラウド側終端



図 2.3-22 固定VPNサービス 新巻岐発電所側終端

### 2.3.6 クラウド基盤 (5)

クラウド基盤については、以下の理由により、ドコモオープンイノベーションクラウド (dOIC) を選定した。

- 2. 3. 7に記載するアプリケーションを構築、動作させるうえで必要となるコンピューティングリソースの提供が可能
- 広域イーサ網 (2. 3. 5参照) により、ローカル5Gネットワークと閉域接続可能
- クラウドダイレクト接続 (2. 3. 8参照) により、遠隔地にいる監視者・開発者拠点 (遠隔地) からの接続についてもドコモネットワークを介して閉域接続が可能
- 令和2年度ローカル5G開発実証でも利用実績がある

### 2.3.7 アプリケーション (6)

2. 3. 6に記載するクラウド基盤上に下記2アプリケーションを構築する。

- ・ 画像処理・AI危険度判定アプリケーション
- ・ 結果表示アプリケーション (Web UI)

#### (1) 画像処理・AI危険度判定アプリケーション

ハイパースペクトルカメラに接続したPCから撮影データ(データキューブ)を受信し、データキューブから画像データを生成する。生成した画像データから漏油・漏水場所及び範囲の特定と漏油・漏水の危険度をAIにより判定する。画像データ及び危険度判定結果についてはストレージに保存し、結果表示アプリケーションのWeb UIを通じて巡視履歴として確認できるようにする。

表 2.3-5 画像処理・AI危険度判定アプリケーション機能・概要

NO	機能	概要
1	撮像データ受信機能	ハイパースペクトルカメラの撮像データを受信する。
2	撮像データからの画像生成機能	撮像データから画像データを生成する。
3	危険度判定AI画像処理	漏油・漏水場所および範囲を特定する。 漏油・漏水場所および範囲より、危険度を判定する。
4	画像データ&判定結果保存機能	判定した画像データおよび結果を保存する。

#### (2) 結果表示アプリケーション (Web UI)

上記画像処理・AI危険度判定アプリケーションにより生成された画像データ及び危険度判定結果(過去履歴を含む)をWeb UIにより表示・出力する。

表 2.3-6 結果表示アプリケーション (Web UI) 機能・概要

NO	機能	概要
1	危険度判定結果&画像表示	WEBにて、危険度判定結果および画像を表示する。
2	巡視履歴一覧	過去に保存した巡視履歴一覧を表示する。

### 2.3.8 監視者用／開発者用ネットワーク（78）

2. 3. 6 記載のクラウド基盤へ接続して、遠隔地からの漏油・漏水検知・判定結果及び可視カメラ・赤外線カメラ映像による設備・計器類確認、巡視点検ロボットの遠隔操作を行うために、クラウド（dOIC）にキャリア網（ドコモ網）を經由して直接かつ閉域接続可能である「クラウドダイレクト接続」により接続を行った。

電力設備は重要なインフラであり、保安上の理由からセキュアな接続であることが求められるが、インターネットを經由しないネットワークであること、予め登録した電話番号からのみ接続が許容される仕組みであることから要件を満たすネットワークである。

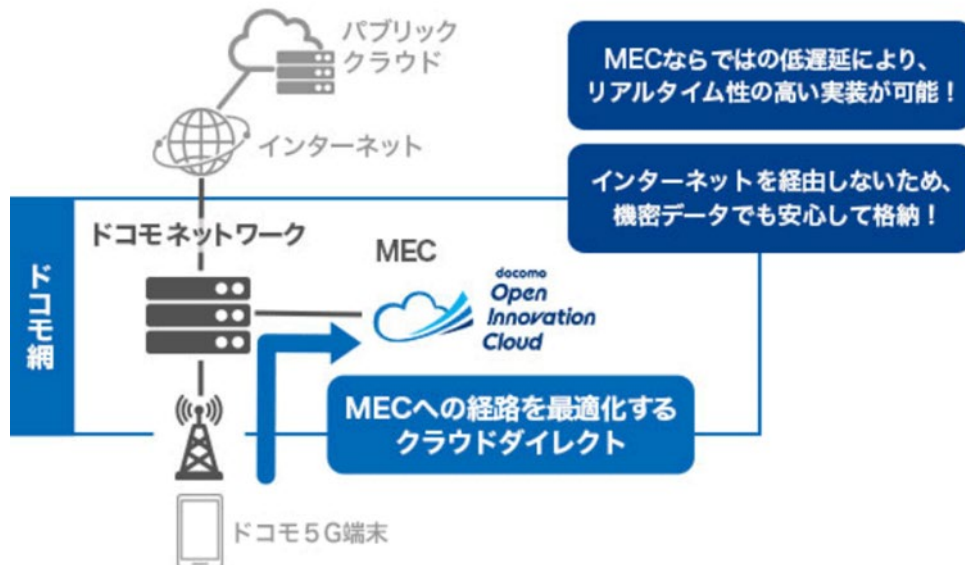


図 2.3-23 クラウドダイレクトによる接続

## 2.4 免許及び各種許認可

本実証においては、本実証実験のコンソーシアム代表企業である正興電機を免許人として、管轄である九州総合通信局へローカル5G免許申請を実施し、免許を受けた（2021年11月25日）。

表 2.4-1 免許人の考え方及び解釈

関係者	社名	備考
土地所有者 (地権者)	九州電力送配電株式会社	株式会社正興電機製作所に免許人及び運用を委任
免許人	株式会社正興電機製作所	土地所有者へのサービス提供者としてエリアを構築
運用者		
無線従事者	株式会社NTTドコモ	

令和3年11月25日

九州総合通信局

ローカル5G用無線局の免許を付与  
－課題解決に向けた開発実証を推進－

九州総合通信局[局長:布施田 英生(ふせだ ひでお)]は、本日、総務省が行う令和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」で用いる無線局の免許を2者に付与しました。

免許の概要は以下のとおりです。無線局免許が付与されたことにより、実証が本格化することになります。

【実証件名: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】

免許人名	株式会社正興電機製作所
利用する周波数帯	4.8～4.9GHz帯
免許年月日	令和3年11月25日
無線局の種類・局数	実験試験局・2局
実証地域	長崎県壱岐市
実証の詳細	【別添2】  のとおり

※ローカル5Gとは  
地域の企業や自治体等の様々な主体が、限定されたエリアでスポット的に柔軟に構築できる5Gシステム(超高速、超低遅延、多数同時接続)

<関係報道資料>

・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」に係る実証提案の公募の結果(令和3年8月31日)

<https://www.soumu.go.jp/soutsu/kyushu/press/210831-1.html>

**連絡先**

(無線局関係)  
無線通信部 陸上課 096-326-7857  
(開発実証関係)  
情報通信部情報通信振興課 096-326-7825

図 2.4 ローカル5G用無線局の免許付与

(出展：総務省総通局 WEB) <sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://www.soumu.go.jp/soutsu/kyushu/press/211125-1.html>



## 2.5 その他要件

ローカル5G基地局・コア設備一式の調達元であるサムスン電子社は、現時点において、「特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律（令和2年法律第37号）に基づく開発供給計画認定を受けた実績を有する事業者」ではないが、サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策について下記のとおり対応済であることを確認済みである。

### ・サプライチェーンリスク管理

サムスン電子社では購買統合システム（G-SRM）を構築し、供給網（SCM）、情報共有、協力会社評価および登録、リスク管理、遵法経営と勤労環境の統合管理、協力会社行動規範、自己評価チェックリスト共有し、リスク対応を講じている。<sup>2</sup>

### ・サイバーセキュリティ対策

サムスン電子社はセキュリティ評価基準であるISO15408の認証取得を行い、サイバーセキュリティ対策を講じている。<sup>3</sup>

本実証ソリューションに関しては、重要インフラである電力設備が対象である点から保安上、サイバーセキュリティ対策が要請されており、インターネット等外部ネットワークとの接続を行わない閉域環境で構築・運用を行うことを念頭に設計・構築を行った。

また、本実証ソリューションを構成する機器等の事前確認結果概要について、主に、ローカル5G基地局・コア設備一式、アプリケーション（2.3.7章）の面で記載する。

本実証で使用したローカル5G基地局・コア設備一式は、既に商用導入実績がある機器である。

---

<sup>2</sup>

[https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/ir/docs/sustainability\\_report\\_2021\\_en.pdf](https://images.samsung.com/is/content/samsung/assets/global/ir/docs/sustainability_report_2021_en.pdf) (pp.45-72)

<sup>3</sup> <https://news.samsung.com/global/samsung-advances-network-security-leadership-achieving-first-common-criteria-certification-for-5G-solutions-in-north-america>

新壱岐発電所での構築及び実証前に、同型番のものを利用してベンダのラボ環境において動作・性能試験（I c a l l）を実施した（2021年10月）。

アプリケーションについては、2021年12月下旬にベンダ検証環境にて単体・結合試験を実施し、ハイパースペクトルカメラとの接続及びデータ処理、処理結果のエクスポートの確認を行ったうえで、2022年1月にクラウド上に実装し、実証フィールドでのE n d t o E n dでの動作確認を行った。

## 2.6 実証環境の運用

### 2.6.1 運用時の連絡体制

実証環境の運用にあたっては現場での不測の事態に対応すべく、工事計画書及び工事要領書を作成し、その中で工事及び作業に関連する企業間の連絡体制を整備した。

#### 連絡体制表

工事件名： 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実現に係るローカル5G関連機器等設置工事

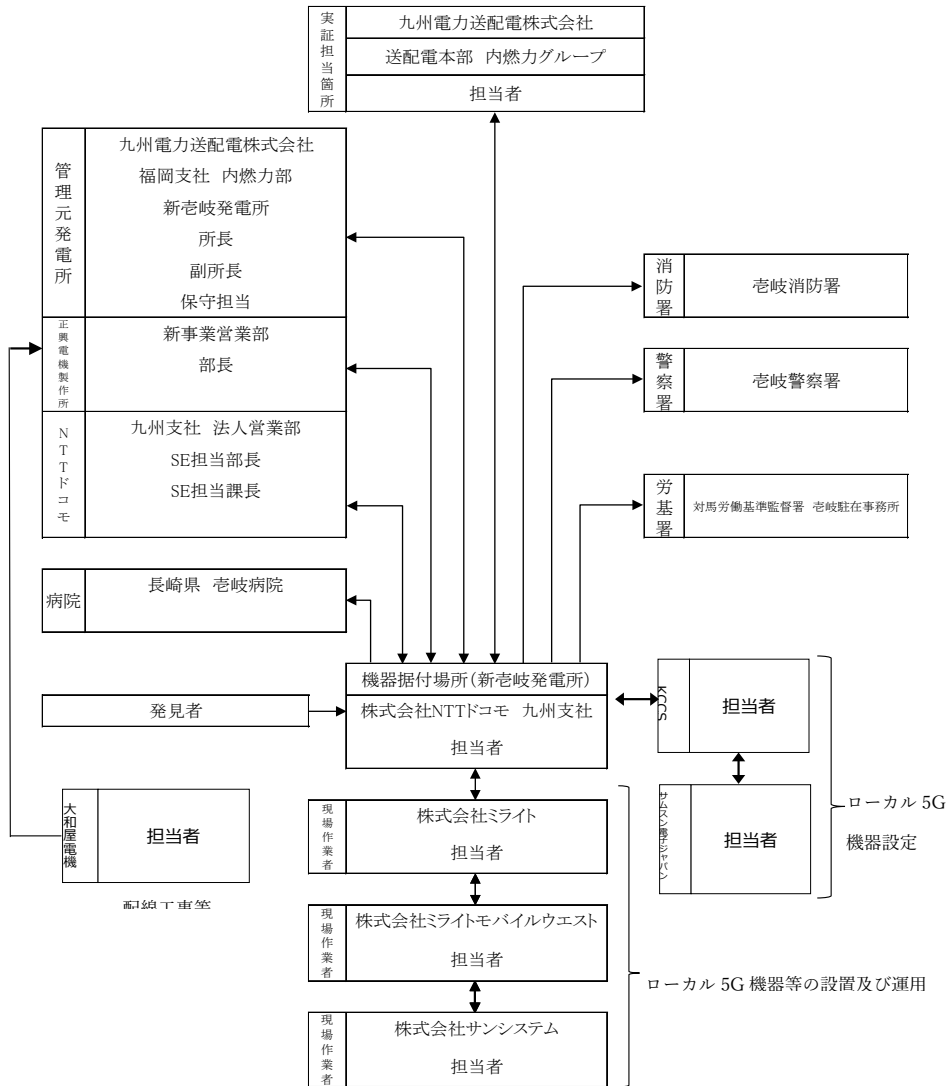


図 2.6-1 連絡体制図

## 2.6.2 実証環境構築（実証開始前）

実証開始前に、実証フィールドである新巻岐発電所を所管する九電送配電及び新巻岐発電所の責任者に対して、コンソーシアム代表である正興電機、コンソーシアム構成企業であるドコモ、西枝より、本実証の概要や実証環境構築・実証実施スケジュール及び実証作業者及び発電所設備への支障予知及び対処策の説明を行うとともに、実証場所への立ち入り許可、インタビュー・アンケートへの協力依頼を行った。また、実証環境の構築・運用にあたっては既存設備への影響を与えないよう、実証構築前ミーティングを行い、各種対策を確認した。特に配線作業等により、小動物の侵入経路を不用意に作ってしまうことによって、ケーブルの破損等につながる恐れがあることから、慎重な対応を期するよう徹底した。

実証環境構築着手後は、日単位で作業開始時・作業終了時にミーティングを実施し、作業内容や進捗・手順の確認、実証作業者・実証外部作業者や発電所設備への安全面を考慮して、その日の作業内容に対する危険・支障予知及び対策の確認を行った。

また、発電所内工事・作業ルールに準じて、日単位で作業許可が発行されてからの作業、作業許可証返却後の作業は実施しないことを徹底した。



図 2.6-2 実証構築前ミーティング



図 2.6-3 ローカル5G設備搭載用ラック設置状況



図 2.6-4 ローカル5Gアンテナ設置時における高所対応作業の状況

### 2.6.3 ローカル5G装置・巡視点検ロボットの運用

ローカル5G装置については、本実証では実験免許運用としたことから、免許申請における許容範囲内での基地局及び移動局の移動を遵守した。また、装置を運用する専任者を配置し、実証実施期間中は現地常駐として、日単位で実証開始時に電波発射、実証終了時に停波を行う運用とした。装置ベンダとの連絡手段及びリモートからの死活監視手段を確保し、装置異常時のリカバリが迅速に行えるようにする等、システムの正常性維持を図った。

巡視点検ロボットの発電所設備内走行に際しては、実証実施期間中複数回自動走行による試験を行った。巡視点検ロボットに人や障害物を検知して自動停止する機能が備わっているところではあるが、保安員による日常の設備巡視点検や作業が行われることから、必ずコンソーシアムメンバーが立会った状態で巡視点検ロボットを動作させるようにした。また、退館する際は電源をオフし、区画養生を行う等、安全対策を徹底した。

実証実施時間帯において異常・トラブルが発生した場合の連絡体制として、コンソーシアム企業単位で管理監督者を設け、現地実証立会作業員から連絡を行うようにし、実証フィールドである新巻岐発電所管理者へ報告するようにした。また、各装置・システムの製造・調達・開発元等への連絡体制を確立し、復旧に向けた対応を迅速に行えるようにした。実証実施時間帯以外は前述のとおり、ローカル5G装置及び本実証ソリューションは停波・電源オフとし、使用しない運用とした。なお、実証実施期間中、ローカル5G装置及び本実証ソリューションは安定動作しており、特筆すべき異常・トラブルは起こらなかった。



図 2.6-5 専任者よる電波発射・停波作業





図 2.6-6 立会いによる作業

### 3. ローカル 5 G 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

発電所分野における課題実証では“発電設備の運転状況を巡視点検ロボット搭載の高画質カメラ、ハイパースペクトルカメラにより撮影・分析し、異常兆候の早期発見、ひいては電力の安定供給に資する課題解決”を目的としている。技術実証においても、このユースケースを前提とし、仕様書で規定されている“a. ローカル 5 G の電波伝搬特性等の測定”“b. I. 電波伝搬モデルの精緻化”について検討を行う。その際、今回得られた知見が、他の似たような環境（その他発電所や上下水道設備など屋内に設置されたインフラ設備）においても適用できるよう、“遮蔽、反射環境における電波伝搬特性”及び“屋内環境におけるエリア展開の在り方”を意識しながら検討を進めていくこととする。

また、電波伝搬特性の解析においては、ITUや3GPPにおける5G検討で用いられているパラメータ等を活用して検討を行う。

表 3.1-1 技術実証の概要

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

### 3.2 実証環境

長崎県壱岐市芦辺町の九州電力送配電株式会社新壱岐発電所4号機内に置局される4.7GHz帯(4.8~4.9GHz)のローカル5G基地局1局を用いて実証試験を行う。

図3.2-1(a)(b)に発電所内における技術実証試験フィールド及び基地局設置状況を示す。

技術実証を行う発電所建屋は、図3.2-2(a)(b)に示す様な外壁が厚い鉄筋コンクリート造の建物であり、図3.2-2(c)に示すような金属製の発電機、発電用エンジン、発電設備等が多数配置されており、遮蔽または反射による電波伝搬特性への影響が大きい環境である。



図3.2-1(a) 技術実証フィールド全景地図

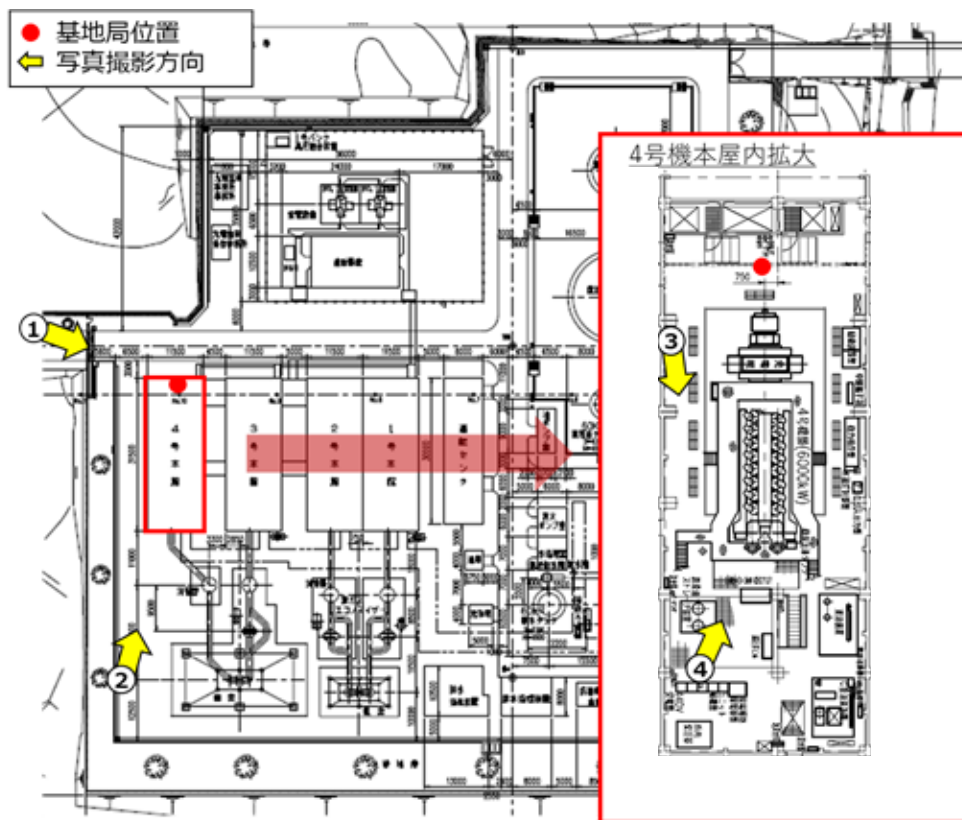


図 3.2-1 (b) 技術実証フィールド図面



図 3. 2-2(a) 発電所建屋外観(写真撮影方向①)



図 3. 2-2(b) 発電所建屋外観(写真撮影方向②)



図 3. 2-2(c) 発電機、発電エンジン、発電設備の状況

各種データの実測に使用する測定機器を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 実測に使用する測定機器

測定機器名	測定項目	備考
Anritsu エリアテスタML8780A <sup>4</sup>	SS-RSRP SS-RSRQ	図 3.2-3 設定値：表 3.2-2
測定用PC iperf <sup>5</sup> Packet Capture (Wireshark <sup>6</sup> )	伝送スループット 遅延時間	図 3.2-4
Garmin eTrex 30x J <sup>7</sup>	GPS座標 (屋外測定用)	図 3.2-5



図 3.2-3 Anritsuエリアテスタの外観

<sup>4</sup> <https://dl.cdn-anritsu.com/ja-jp/test-measurement/files/Product-Introductions/Product-Introduction/ml8780a-81a-jl11400.pdf>

<sup>5</sup> <https://iperf.fr/>

<sup>6</sup> <https://www.wireshark.org/>

<sup>7</sup> <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/518048/pn/010-01508-10#specs>





図 3.2-4 測定用 PC (iPerf, Wireshark)



図 3.2-5 Garmin eTrex 30xJ の外観

本実証を通して、エリアテストの主な設定値は表 3.2-2 を用いることとする。

表 3.2-2 エリアテスト設定値

項目	設定値
測定周波数	4.7GHz帯
帯域幅	100MHz
測定項目	SS-RSRP SS-RSRQ SS-SINR
測定周期	0.3[s]
アンテナパターン	オムニ

測定においては、多数の測定点における測定を効率的に実施するため、図 3.2-6 に示すような測定補助用の治具を作成して測定を実施した。

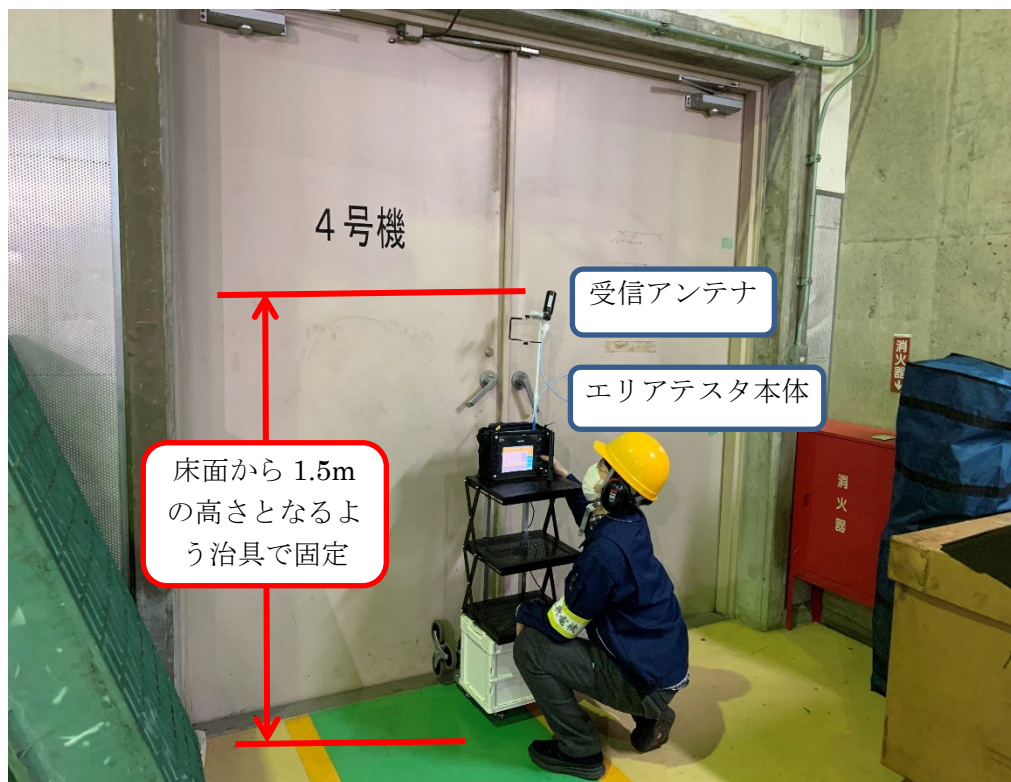


図 3. 2-6 実測に用いる測定補助用治具(a)

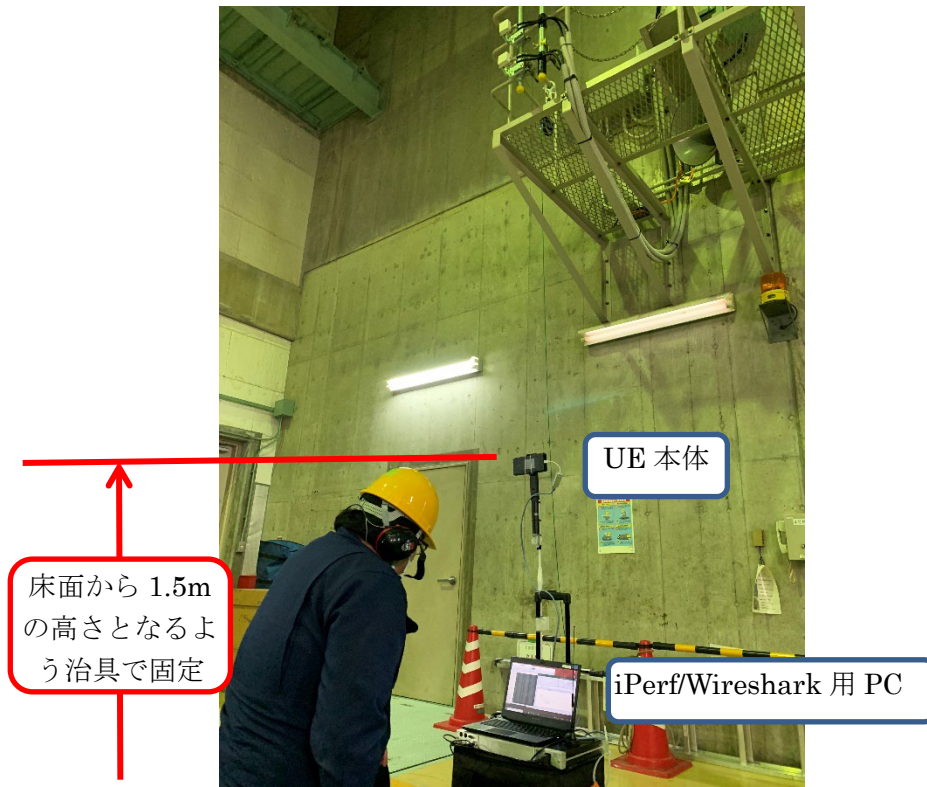


図 3.2-7 実測に用いる測定補助用治具(b)

### 3.3 実証内容

#### 3.3.1 ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

発電所分野における課題実証では、“発電設備の運転状況を巡視点検ロボット搭載の高画質カメラ、ハイパースペクトルカメラにより撮影・分析し、異常兆候の早期発見、ひいては電力の安定供給に資する課題解決”を目的としている。課題実証において提案するローカル5Gを用いたユースケースで要求される性能を表 3.3-1 に示す。

課題実証では、上り回線において、巡視点検ロボットからの映像を伝送することを前提としているため、ローカル5G性能としては、上り回線の伝送スループットが重要となる。従って、技術実証においても、監視カメラ+赤外線25Mbps、ハイパースペクトルカメラ25Mbpsで合計50Mbpsを所要性能とし、上り回線のスループットが表 3.3-1 に示す50Mbpsを満たすことを実証目標とする。また、本実証においては下り回線のスループット要件は定められていないが、今後、リアルタイムでの従業員遠隔指示等のソリューションが考えられる。そのため、スマートグラス5Mbps/台で6台を想定した合計30Mbpsを所要性能とし、下り回線のスループットについても、表 3.3-1 に示す30Mbpsを満たすことを実証目標とする。

なお、ここでは、スマートグラスを例として挙げているが、技術実証及び課題実証においてスマートグラスを用いたユースケースは実証しないことに留意されたい。

その際、エリア形成の観点とユーザへのサービス提供の観点から評価を行う。

それらの評価結果から、類似の環境（その他発電所や上下水道設備など屋内に設置されたインフラ設備）においてローカル5Gサービスを提供する場合に適用可能なエリア形成やサービス提供品質の知見を取り纏めることも実証目標とする。また、得られた知見については、総務省が策定しているローカル5Gガイドラインにおいて、モデルケースとして記載することで、ローカル5Gの利活用に生かされることを想定している。

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

表 3.3-1 上りは課題実証要求される所要性能、下りは技術実証で定めた目標値

項目	下り (DL)	上り (UL)
通信速度	30Mbps (最大同時接続時)	50Mbps (最大同時接続時)
遅延時間	100ms以下	100ms以下
利用条件	同時接続6台程度 スマートグラスを想定	同時接続3台程度 (可視カメラ+赤外線+ハイパースペクトルカメラ)

### 3.3.1.1 実証目標

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

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

次に、ユーザへのサービス提供品質は、カバーエリア端における伝送スループット、遅延時間が、表 3.3-1 に示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価する。これらの評価・検証を通じて、ローカル5G性能向上のための課題抽出と解決策等についても考察を行う。

表 3.3-2 に、評価項目と測定項目との関係を示す。

表 3.3-2 技術実証試験における評価項目と測定項目との関係

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

### 3.3.1.2 評価・検証項目

#### (1) 測定方法

測定については、仕様書の規定に従い、エリア算出法に基づく基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域（図 3.3.1.2-1）において行うこととし、以下の考え方で実施する。

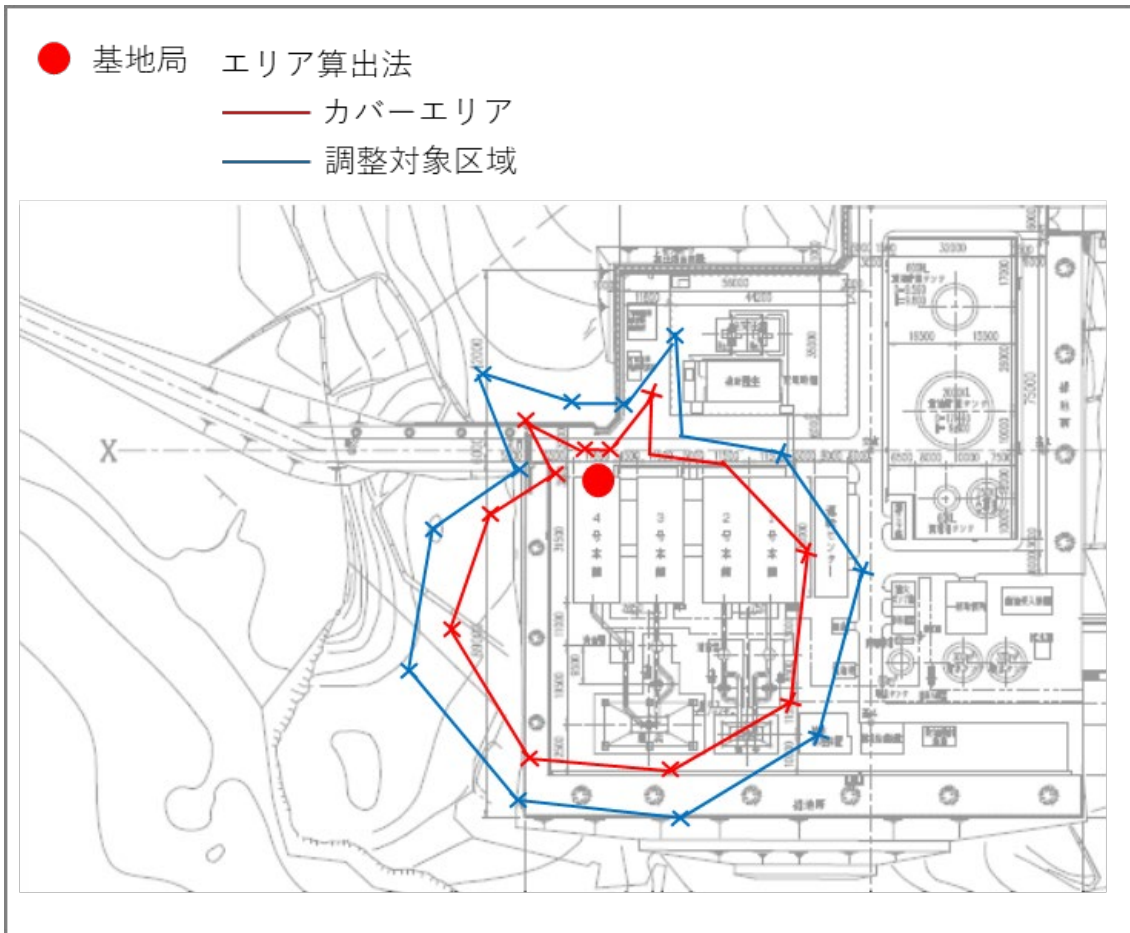


図 3.3.1.2-1 エリア図



## 1) 測定地点の考え方

屋内、屋外の測定地点に置いて下記考え方にに基づき測定地点を選定する。

測定地点番号は技術実証を通して同じであり連番となっていないことに注意されたい。

※なお、各測定地点において障害物等により測定困難な地点については、測定地点をずらす等の調整を行う。

### ●屋内測定地点

発電所4号機建屋内（屋内）において、発電機、発電用エンジン、発電設備の配置を勘案し、また課題実証のサービスエリアを踏まえ、計14測定点を選定する（図3.3.1.2-2(a)）。

### ●屋外測定地点

また、屋外においては、発電所4号機建屋外壁周辺、及びエリア算出法により算出されたカバーエリア端、調整対象区域端の他、測定に必要と考えられる地点として、40測定点を選定する（図3.3.1.2-1(a)(b)）。

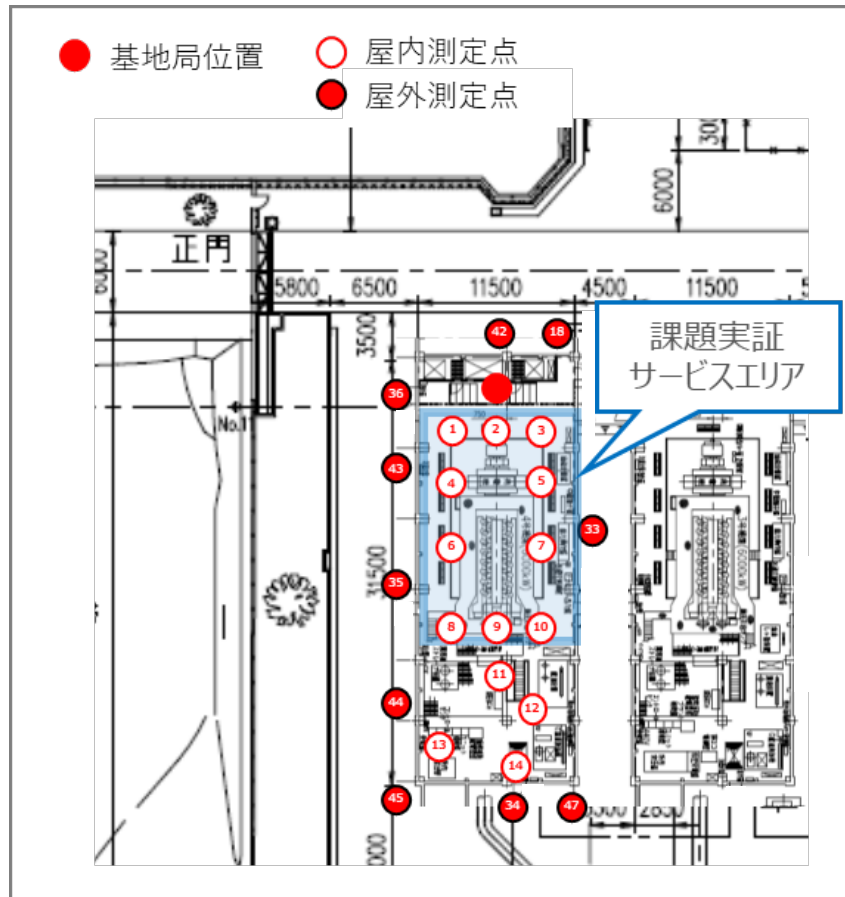


図 3. 3. 1. 2-2(a) 測定地点(発電所 4 号機建屋内、および周辺)

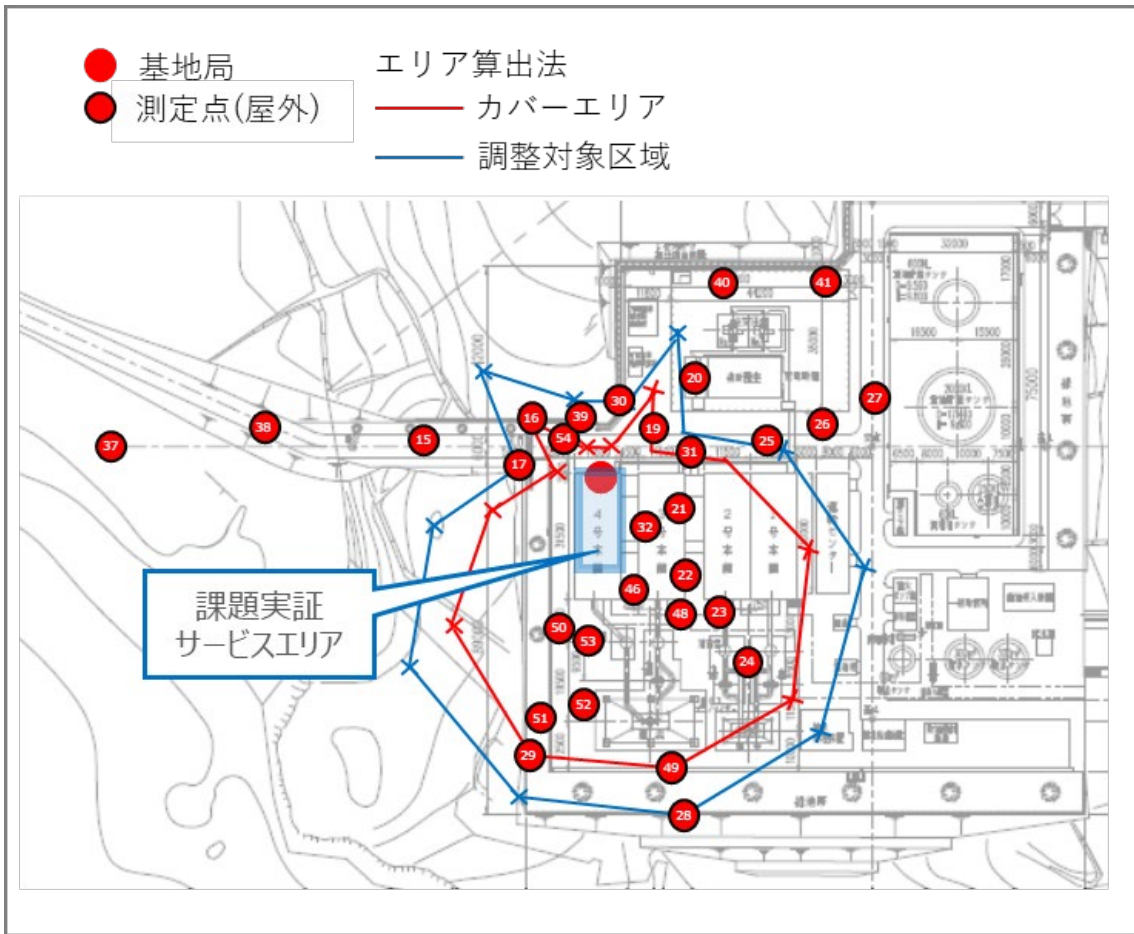


図 3. 3. 1. 2-2(b) 測定地点(発電所 3 号機建屋内、及び発電所周辺)

## 2) 測定項目

- 下り受信電力

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

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

- 伝送スループット及び遅延時間

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

## 2) 測定手法と実測模様

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

SS-RSRP及びSS-RSRQは、エリアテストを用いて、1000サンプル/地点のログ取得を実施する。

なお、受信電力の測定においては、定在波の影響を避けるため、1つの測定点において、 $10\lambda$  ( $\lambda$ は波長) の範囲で測定位置を動かしながら測定を実施する。

伝送スループットや遅延時間の測定については、図 3.3.1.3-3 に示す通りUEとCNの End To Endで測定を行うが、期待する測定値とは異なる結果や、そもそも測定値が取得できない等の場合を考慮し、無線装置と5G Core装置の間である場所に「パケットキャプチャ装置」(光信号分岐用装置(TAP)含む)を接続し、問題発生時の切り分けとして無線伝送部分の測定を行う。

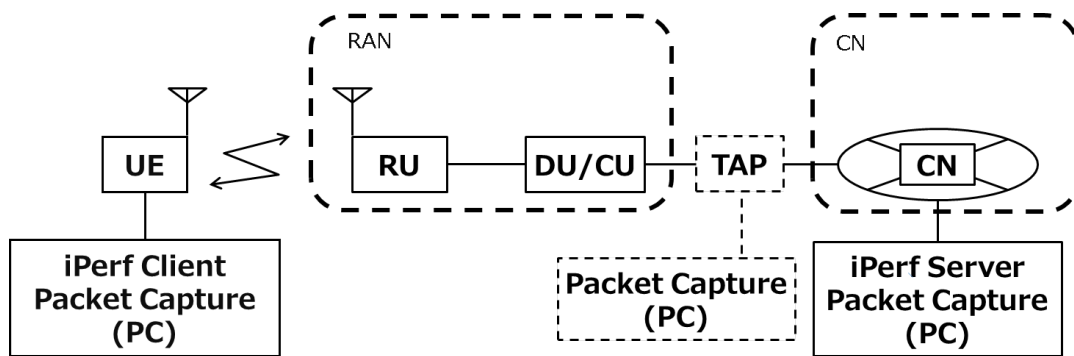


図 3.3.1.3-3 伝送性能測定区間：イメージ

### 3.3.1.3 評価・検証方法

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

#### (1) 実証環境におけるエリア形成の検証

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

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

加えて、各測定地点において実測した下り受信電力値と測定地点～基地局間距離から算出した伝搬ロス特性を、携帯電話システムの設計等に用いられている電波伝搬モデルと比較することで、実証環境における4.7GHz帯（4.8～4.9GHz）の電波伝搬特性の評価を行う。

(2) 実証環境におけるユーザへのサービス提供品質の評価

ユーザへのサービス提供品質の評価として、カバーエリア端における伝送スループット、遅延時間について、下り受信電力値との関係性で評価し、表 3.3-3 にて示している課題実証側での所要性能を達成できているか評価する。

表 3.3-3 <表 3.3-1 の再掲>

上りは課題実証で要求される所要性能、下りは技術実証で定めた目標値

項目	下り (DL)	上り (UL)
通信速度	30Mbps (最大同時接続時)	50Mbps (最大同時接続時)
遅延時間	100ms以下	100ms以下
利用条件	同時接続6台程度 スマートグラスを想定	同時接続3台程度 (可視カメラ+赤外線+ハイパースペクトルカメラ)

### 3.3.1.4 実証結果及び考察

#### (1) 下り受信電力、受信品質測定結果

実証環境における下り受信電力及び受信品質の測定地点は、3.3.1.2章にて示しており、計54地点で測定を実施した。

実測結果を図3.3.1.4-1(a)(b)及び表3.3-4に示す。

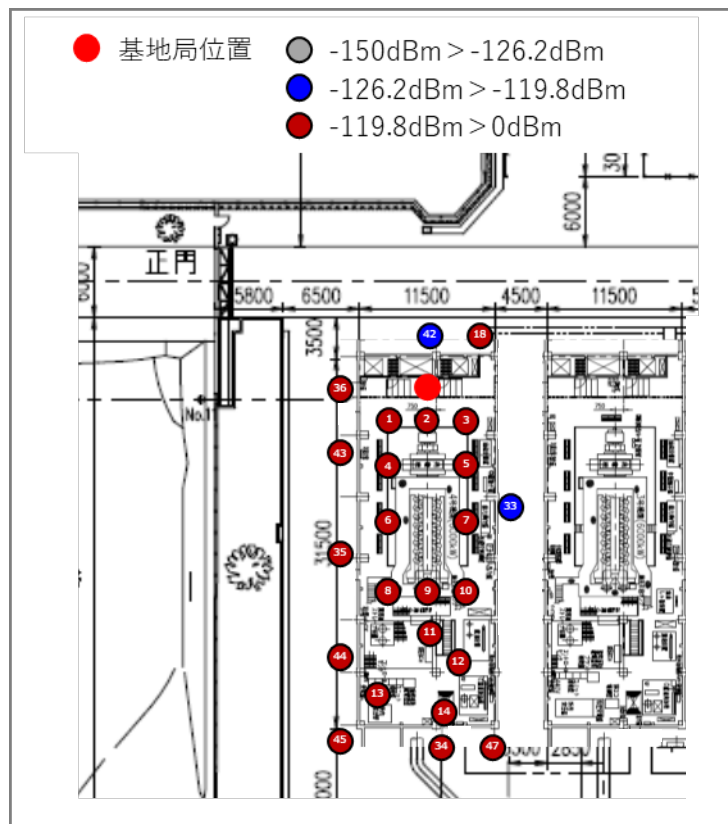


図3.3.1.4-1(a) SS-RSRP測定結果（発電所4号機建屋内、および周辺）



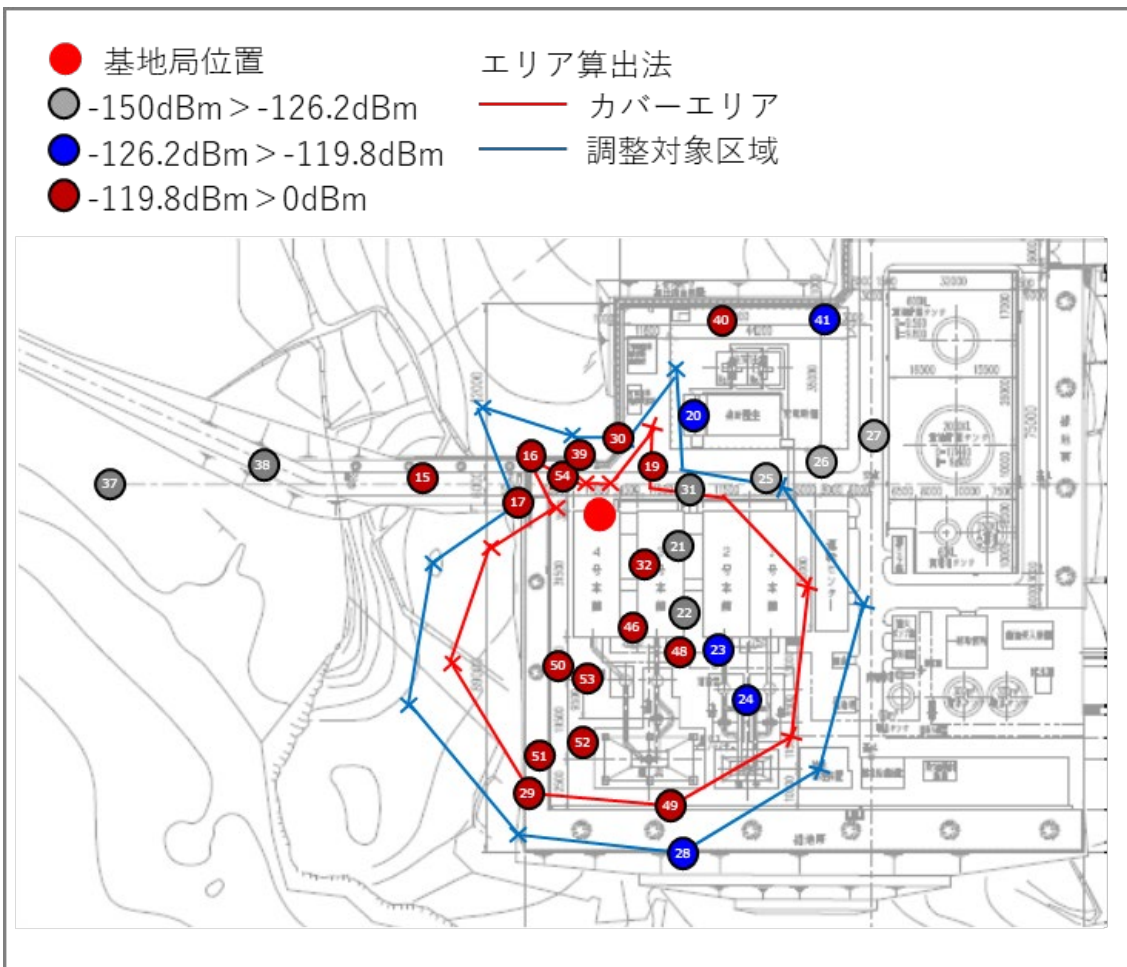


図 3. 3. 1. 4-1(b) SS-RSRP測定結果（発電所3号機建屋内、及び発電所周辺）

表 3.3-4 SS-RSRP、RSRQ、SINR測定結果

測定点 ID	基地局からの 3D 距離 (m)	SS-RSRP (dBm)	SS-RSRQ (dB)	SS-SINR (dB)
1	4.53	-63.88	-11.44	20.76
2	3.05	-61.64	-11.21	20.76
3	4.53	-64.13	-11.34	20.60
4	7.31	-60.95	-11.12	20.65
5	7.31	-60.62	-11.29	20.75
6	12.15	-68.04	-11.23	20.55
7	12.15	-63.59	-11.17	20.83
8	18.86	-68.55	-11.32	20.62
9	18.41	-71.27	-11.41	20.50
10	18.60	-70.12	-11.26	20.52
11	20.74	-73.35	-11.38	20.68
12	24.08	-75.45	-11.44	20.73
13	25.79	-75.51	-11.25	20.89
14	27.71	-72.03	-11.30	20.97
15	35.16	-119.40	-12.74	4.06
16	18.88	-108.94	-11.44	12.72
17	14.91	-111.42	-12.03	11.23
18	11.46	-111.40	-11.59	10.73
19	32.16	-117.69	-12.37	5.53
20	39.80	-122.10	-13.47	1.82
21	24.93	-129.27	-18.40	-6.43
22	29.92	-129.84	-19.22	-7.08
23	45.81	-122.91	-13.75	0.50
24	57.66	-121.53	-13.47	1.69
25	48.30	-133.69	-21.79	-9.41
26	60.20	-133.74	-21.58	-9.38
27	76.16	-131.17	-19.64	-7.59
28	76.07	-122.11	-13.93	0.93

29	71.39	-114.74	-12.08	8.08
30	20.65	-117.22	-11.86	6.59
31	27.31	-128.54	-17.68	-5.51
32	11.42	-103.73	-11.35	16.48
33	15.80	-123.05	-14.42	-0.42
34	32.53	-111.02	-11.29	11.41
35	14.34	-102.47	-11.27	16.96
36	6.93	-99.13	-11.30	18.29
37	99.16	-130.63	-18.41	-6.71
38	62.89	-130.53	-18.62	-6.73
39	11.97	-116.15	-12.60	6.29
40	62.08	-119.20	-12.29	4.36
41	76.44	-125.58	-14.94	-1.68
42	7.23	-125.21	-15.37	-2.15
43	8.18	-101.73	-11.18	17.97
44	26.25	-112.45	-11.91	10.41
45	31.93	-112.05	-11.82	10.32
46	27.21	-104.55	-11.32	15.70
47	34.47	-110.14	-11.88	12.20
48	40.32	-118.67	-12.57	4.54
49	60.14	-117.45	-12.27	5.76
50	39.63	-105.03	-10.96	16.01
51	56.96	-108.91	-11.36	12.27
52	54.52	-102.68	-11.40	17.14
53	42.85	-102.55	-11.19	16.31
54	17.74	-107.37	-11.11	13.98

(2) 伝送スループット、R T T測定結果

実証環境における伝送スループット及びR T T測定についても、下り受信電力、受信品質測定と同じ地点（図 3.3.1.4-1(a)(b)）にて実施している。

実測結果を表 3.3-5 に示す。

表 3.3-5 伝送スループット、R T T測定結果

測定点 ID	DL T-put (Mbps)	UL T-put (Mbps)	RTT (ms)	Ping ロス率 (%)
1	115.67	828.67	28.13	0%
2	115.60	837.80	21.23	0%
3	115.60	831.37	20.60	0%
4	115.93	826.13	21.97	0%
5		826.70	22.80	0%
6	115.63	832.87	30.10	0%
7	115.93	824.07	27.63	0%
8	115.63	837.57	28.77	0%
9	115.47	819.90	22.27	0%
10	116.27	836.70	25.33	0%
11	115.97	829.30	20.57	0%
12	115.57	832.53	21.37	0%
13	114.73	832.40	27.67	0%
14	116.37	830.33	22.83	0%
15	6.22	8.38	22.83	0%
16	19.93	171.90	28.50	0%
17	11.74	94.63	23.17	0%
18	26.53	171.63	27.87	0%
19	6.36	15.16	197.63	0%
20	6.82	10.15		100%
21				100%
22			251.33	0%

23	6.96		371.00	7%
24	6.26	8.62	372.74	10%
25				100%
26				100%
27				100%
28	6.26	15.72	262.47	0%
29	12.99	130.13	90.70	0%
30	7.69	75.68	160.53	0%
31				100%
32	40.47	322.13	30.60	0%
33			592.36	17%
34	16.95	152.50	28.67	0%
35	54.21	325.07	22.60	0%
36	62.93	422.13	23.13	0%
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				

### (3) 実証環境における電波伝搬特性の評価

今回の実証環境である新壱岐発電所4号機内部は、強固なコンクリート造の建屋であり、内部に置局された基地局からの電波漏洩は、壁面損失が大きいことから少ない環境であり、自己土地内においてサービスエリアの構築がしやすいと言える。

一方、発電所という特殊な環境であり、一般的な壁面構造と異なることから、ローカル5G基地局から想定するサービスエリア外への電波漏洩について更に精査する必要があり、ローカル5Gを運用するには、隣接する他事業者への電波干渉を最低限に抑えつつ、自己土地内で必要十分なサービスエリアを確保するサイトエンジニアリングが求められる。そのため、まずは、実証環境における4.7GHz帯の電波伝搬特性の評価を行う。

3.3.1.4章(1)にて示した下り受信電力の実測データ(SS-RSRP)を用いて、発電所等の環境における4.7GHz帯の電波伝搬特性を考察する。

具体的には、実測した下り受信電力値から伝搬ロスを算出し、それらの距離特性を求める。さらに、携帯電話システムの設計等に用いられている、いくつかの電波伝搬モデルから求められる伝搬ロスとの比較を行うことで、発電所等の環境における4.7GHz帯の電波伝搬特性の評価を行う。

ここで、実測値との比較に用いる伝搬式を表 3.3-6 に示す。

表 3.3-6 実測値との比較に用いた電波伝搬式

電波伝搬式	概要
自由空間伝搬	<p>開放地に適用。周波数範囲、伝搬距離、送受信機の高さなどの適用制限はない。</p> $L = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) = 20 \log \left( \frac{4\pi f d}{c} \right) = 20 \log f + 20 \log d + 20 \log \left( \frac{4\pi}{c} \right)$ $= 20 \log f + 20 \log d + 32.4 \text{ [dB]}$ <p>f: 周波数[MHz]、d: 距離[km]、c: <math>3.0 \times 10^8</math>[m/s]</p>
ローカル 5G 審査基準	<p>電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）</p> <p>令和 2 年 12 月 18 日制定</p>
3GPP モデル	<p>ITU-R P. 1411 ベースの伝搬式。環境により基地局、移動局高が規定されている。</p> <p>RuralMacro: 基地局 10~150m、移動局 1~10m</p> <p>UrbanMacro: 基地局 25m、移動局 1.5~22.5m</p> <p>UrbanMicro: 基地局 10m、移動局 1.5~22.5m</p> <p>InH Office (LOS): 直線距離 1~100m</p> <p>InH Office (NLOS): 直線距離 1~86m</p> <p>InH ShoppingMall: 直線距離 1~150m</p>

発電所内に設置した基地局について、実測した下り受信電力データから算出した電波伝搬特性を図 3.3.1.4-2 に示す。図中、●は LOS データ、×は NLOS のデータを示している（LOS か NLOS は、測定地点から基地局アンテナが目視できるかで判断している。）

実測値と比較した伝搬式は、自由空間伝搬と、ローカル 5G 審査基準で用いられている伝搬式（奥村・秦式）である。結果からは、以下のことがわかる。

- 見通し環境となる発電所建屋内で且つ発電設備周辺においては、自由空間伝搬モデルとの一致が良い。
- 見通し外環境となる発電所建屋内についても、基地局近傍（30m 以内）においては、自由空間損失モデルとほぼ同等と考えられる。

- 見通し外環境となる、発電所建屋外については、発電所建屋壁面の遮蔽が大きく影響することから、自由空間伝搬モデルとは一致せず、奥村・秦式（中小都市、市街地）モデルとの一致が良い。

これらの結果から、発電所等の環境について、開口部が少ない壁面で構成される建物屋内においては自由空間伝搬式で概ね推定ができると考えられる。一方で、発電所建屋外においては、ローカル5G審査基準で用いられている、奥村・秦式（中小都市、市街地）モデルで概ね推定できると考えられる。

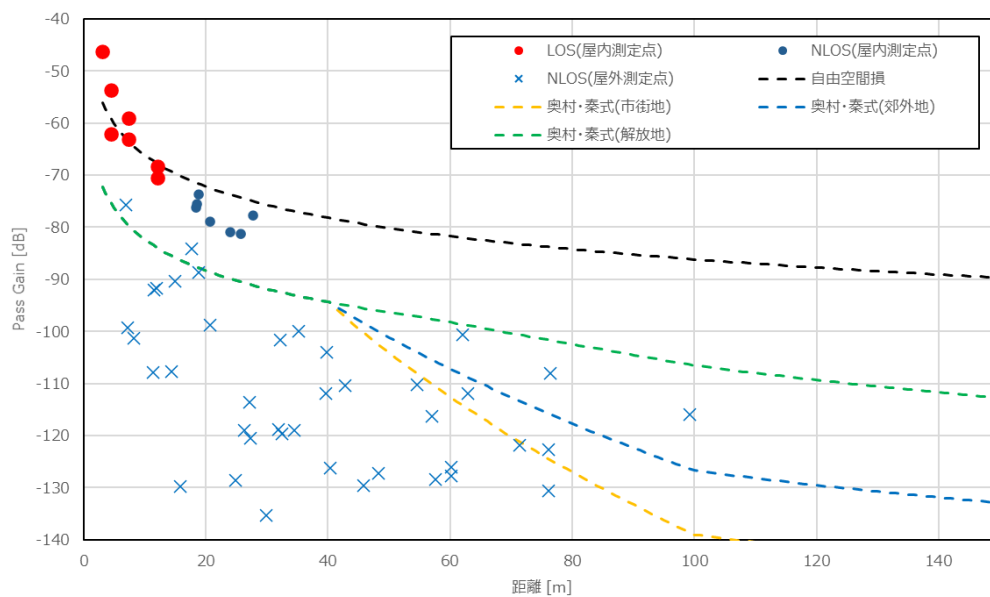


図 3. 3. 1. 4-2 基地局からの伝搬ロスの距離特性



#### (4) 実証環境におけるローカル5G性能評価

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

またSS-SINRについては、参考情報として考察を追記する。

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

##### 1) 実証環境におけるローカル5Gエリア形成について

ローカル5G性能評価の前提となる、課題実証のサービスエリア(サービスを提供したいエリア)を図3.3.1.4-3に示す。実証環境である発電所4号機建屋内は、エリア算出法によるカバーエリア内であり、発電所4号機建屋内に設置される発電用エンジン周囲全体をカバーするため、高さ4.5mに指向性のアンテナ(水平面45°、垂直面45°度)を設置している。

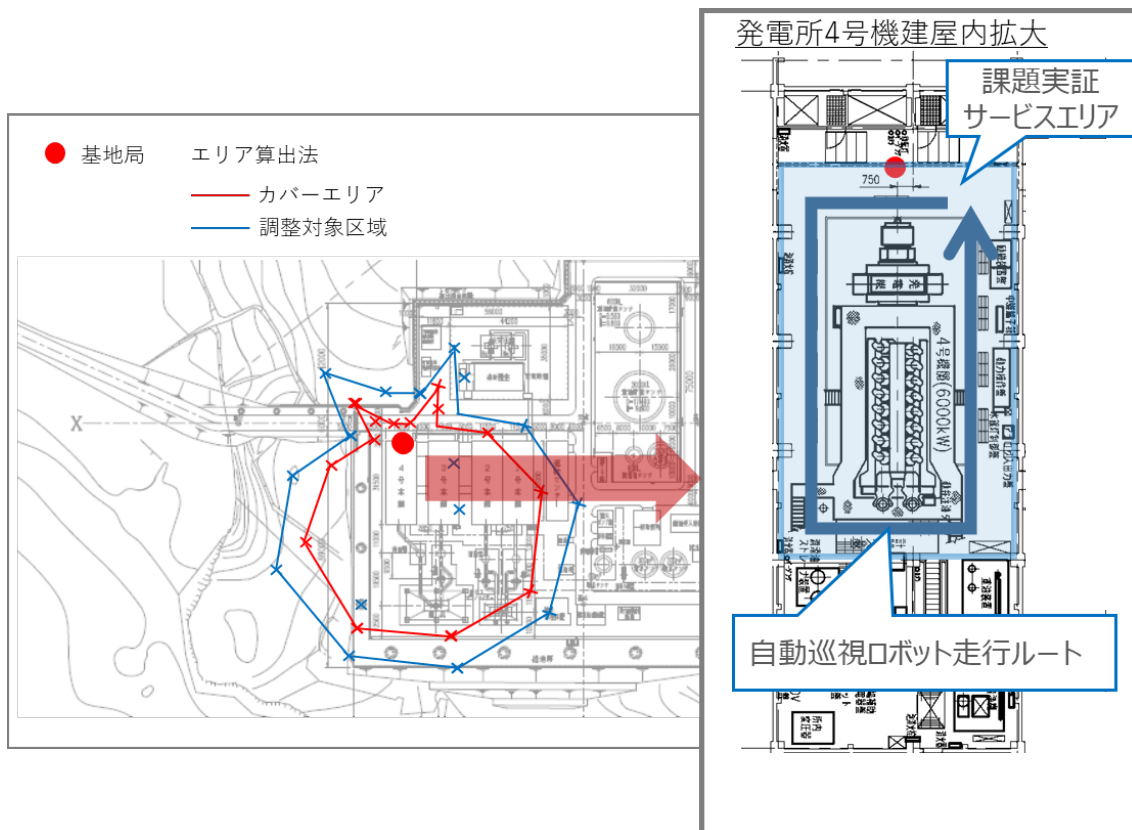


図 3.3.1.4-3 エリア算出法によるカバーエリア、調整対象区域  
及び課題実証におけるサービスエリア

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

図 3.3.1.4-4(a) (b)に基地局によるエリア形成状況を示す。図 3.3.1.4-4(b)に記載の赤破線は4.6-4.9GHz帯におけるローカル5G審査基準で定められている“カバーエリア端レベル（100MHz幅の場合：-84.6dBm）”を前提に実測値から評価した想定カバーエリア端である。一方、青破線は、同様に審査基準で定められている“調整区域端レベル（100MHz幅の場合：-91.0dBm）”を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。

なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル（SS-RSRP）の測定帯域は30kHzであるため、上述したエリア端閾値を100MHzから、30kHzへ帯域換算した以下の値を用いている。

カバーエリア端レベル (SS-RSRP帯域換算) : -119.8 dBm

調整区域端レベル (SS-RSRP帯域換算) : -126.2 dBm

結果からは、以下のことがわかる。

- エリア算出法のカバーエリア内である図 3.3.1.4-4(a)に示す発電所4号機建屋内の課題実証におけるサービスエリアについては、良好な受信電力及び受信品質が得られている。
- エリア算出法との差分値としてカバーエリアは発電所4号機建屋の壁面にある金属扉からの漏洩電力が影響し、図 3.3.1.4-4(b)の赤矢印で示す方向の先にある測定点(測定点15、および測定点40)において、カバーエリア外だがカバーエリアの受信電力を観測した。測定時は、金属扉を閉じた状態で行ったが、金属扉の状態を確認したところ一部に腐食が見られ(図 3.3.1.4-4(c)(d))、そこから電波漏洩した可能性も考えられるが原因を特定することは困難である。

※今回の実証環境は海に面しており、塩害により金属扉の経年腐食が考えられる。

また、図 3.3.1.4-4(b)に示す発電所4号機に隣接する発電所3号機建屋方向への電界レベルが壁面遮蔽による影響で調整対象区域外となることが明らかになった。それ以外はカバーエリアと近似値であることが明らかになった。

- エリア算出法との差分値として図 3.3.1.4-4(b)に示す発電所4号機に隣接する発電所3号機建屋方向への電界レベルが壁面遮蔽による影響で調整対象区域外となることが明らかになった。また、図 3.3.1.4-4(b)の青矢印で示す方向の先にある測定点(測定点41)において、調整対象区域外だが調整対象区域の受信電力を観測した一方、今回実測したデータからは原因を特定することは困難である。それ以外は調整対象区域と近似値であることが明らかになった。

これらの結果から、発電所4号機建屋内を課題実証のサービスエリアとする環境では、置局状況により十分な伝搬環境を得ることができる。一方、図 3.3.1.4-4(b)に示す隣接する別の発電所建屋(図中は発電所3号機)の様な別の建物が有る場合は、遮蔽となる建物の有無によるカバーエリア、および調整対象区域の調整を行うことが望ましいと考える。

また、参考情報として、SS-SINRの測定結果の考察を行う(図 3.3.1.4-5(c)(d))。

今回の検証では、単局の評価を実施している。S I N Rにおける " I N " は、環境雑音またはC P (C y c l i c P r e f i x) 時間を超えて遅延したマルチパスが支配的と考えられるが、屋内に設置した基地局と屋内各測定地点の距離は最大でも30 m程度と短くC P 時間を超えて遅延波が観測されることは考えにくく、" I N " に影響を与える要因は環境雑音が支配的と想定する。加えて、屋外についてはR S R P同様に減衰傾向が見えることから、S I N Rが低い地点に置いては" S " となる主波及びC P 時間内の遅延波のレベルが減衰しているためと考えられる。

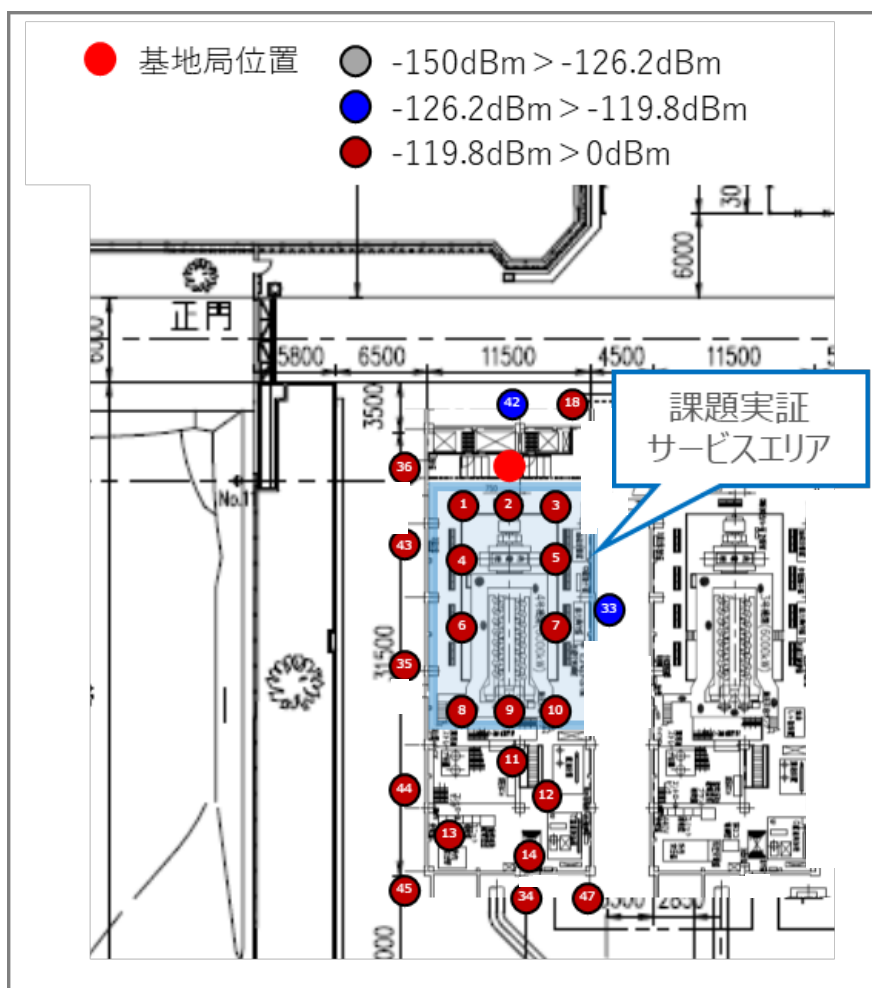


図 3. 3. 1. 4-4(a) 基地局からの受信レベル (S S - R S R P)

(発電所 4 号機建屋内、及び建物周辺)

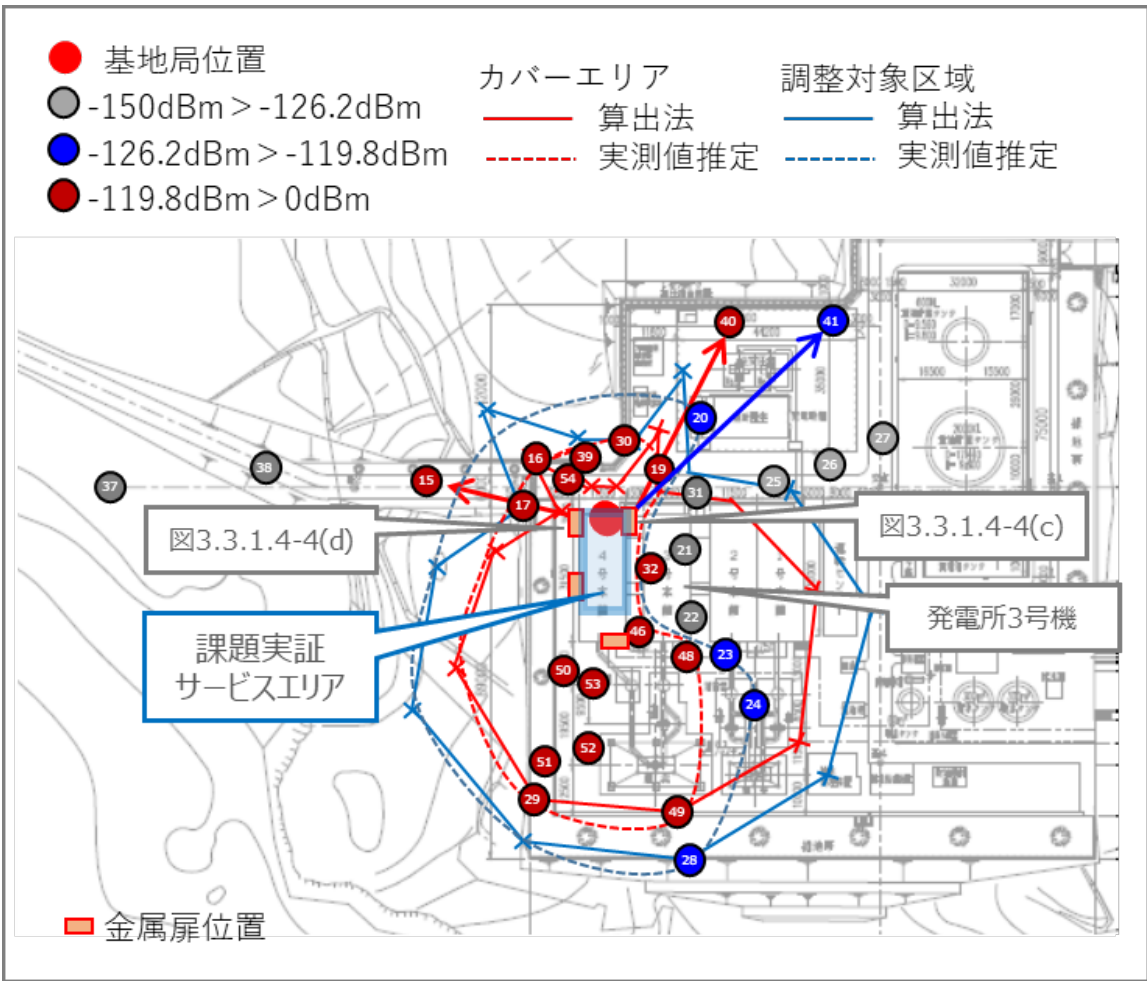


図 3. 3. 1. 4-4(b) 基地局における受信レベル S S - R S R P から評価した  
 想定カバーエリア(発電所 3 号機建屋内、及び発電所周辺)



図 3. 3. 1. 4-4(c) 金属扉状態①



図 3. 3. 1. 4-4(d) 金属扉状態②

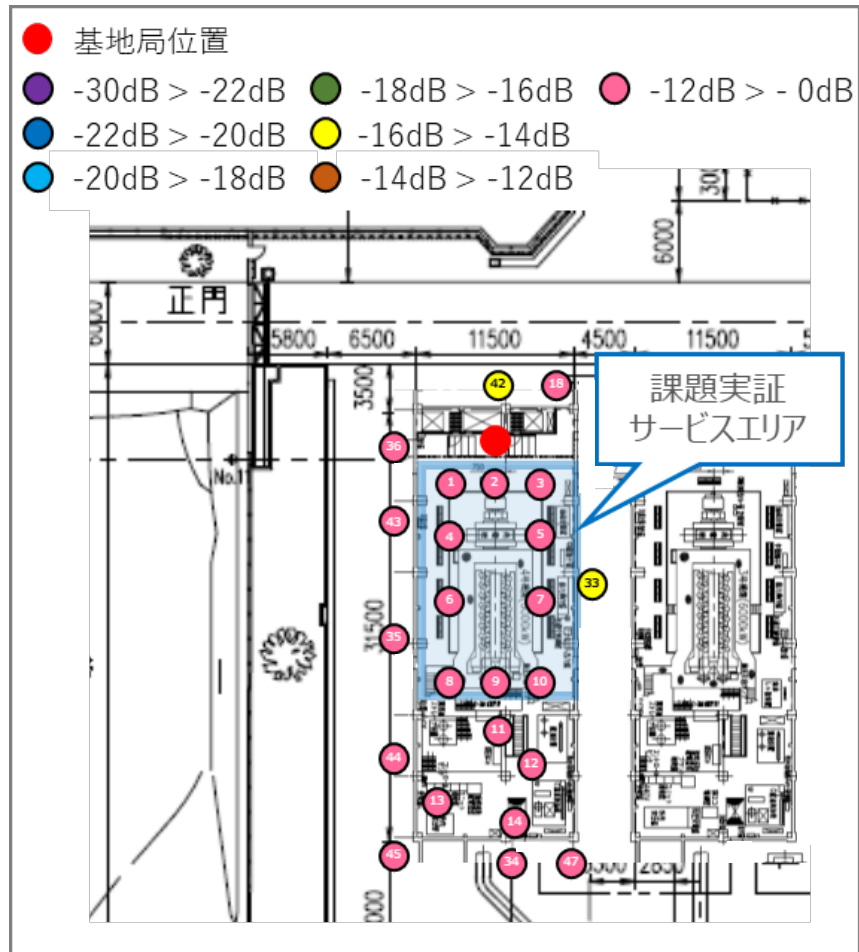


図 3.3.1.4-5(a) 基地局における受信レベル (SS-RSRQ)  
 (発電所 4 号機建屋内、及び建物周辺)



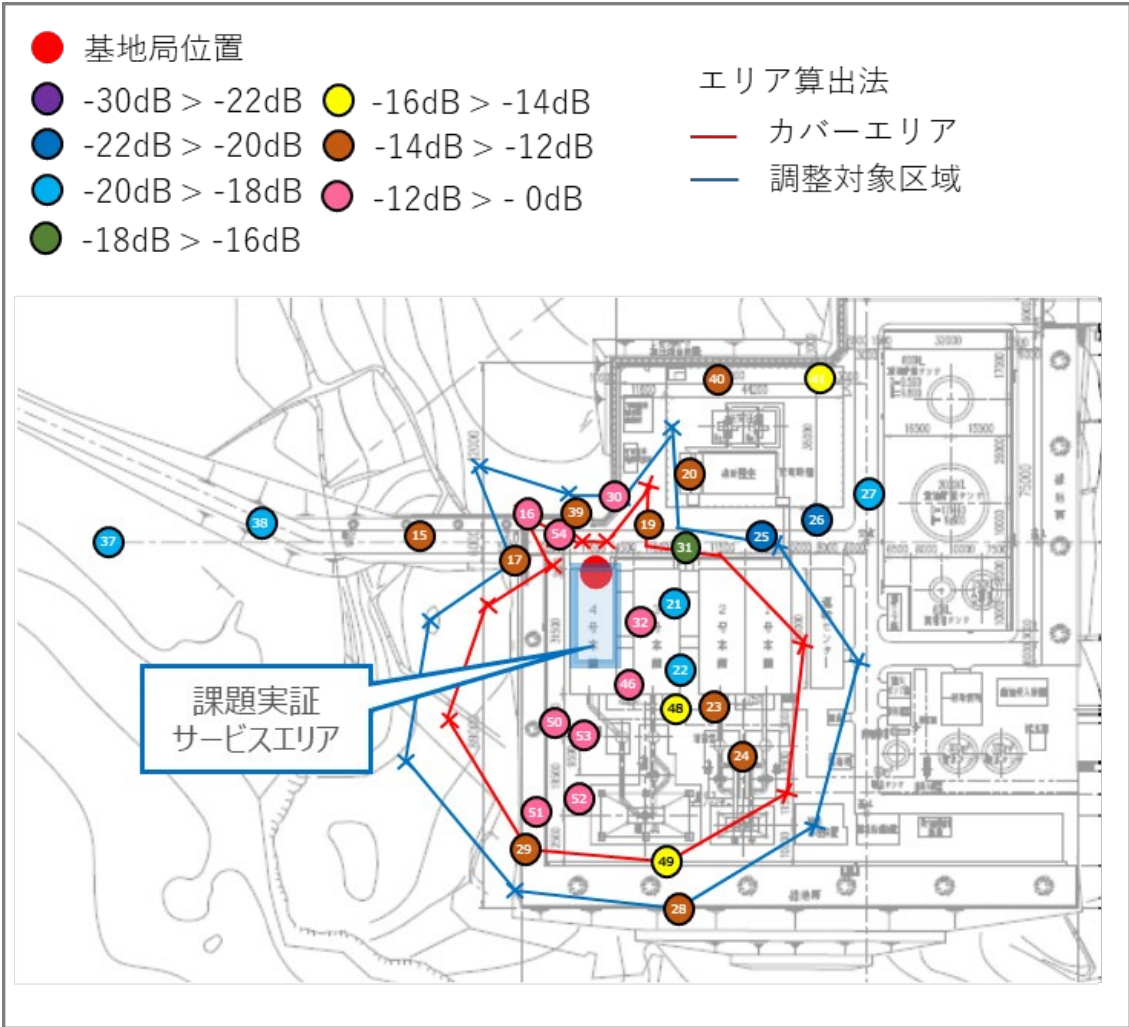


図 3.3.1.4-5(b) 基地局における受信レベル (SS-RSRQ)  
 (発電所 3 号機建屋内、及び発電所周辺)

## 2) 実証環境におけるローカル5Gサービス提供品質

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

図 3.3.1.4-6(a)(b)(c)は、発電所4号機建屋内における課題実証のサービスエリア内及びその付近において実測した伝送スループット(DL/UL)とラウンドトリップタイムを地図上に記載したものである。また、図 3.3.1.4-7は発電所内における下り受信電力(SS-RSRP)と伝送スループット、ラウンドトリップタイムとの関係をグラフ化したものである。

結果からは、以下のことがわかる。

- UL伝送スループットにおいては、課題実証のサービスエリアを含む屋内測定点において、下り受信電力の値によらず、ほぼ一定であり、目標値としている50[Mbps]を達成している。
- DL伝送スループットにおいては、課題実証のサービスエリアを含む屋内測定点において、下り受信電力に比例している。
- 伝送遅延(RTT)においても、課題実証のサービスエリアを含む屋内測定点において、下り受信電力に比例している。

これらの結果から、課題実証のサービスエリアで規定されている閾値以上の電力値を確保することで、所要性能を達成することが可能と考えられる。

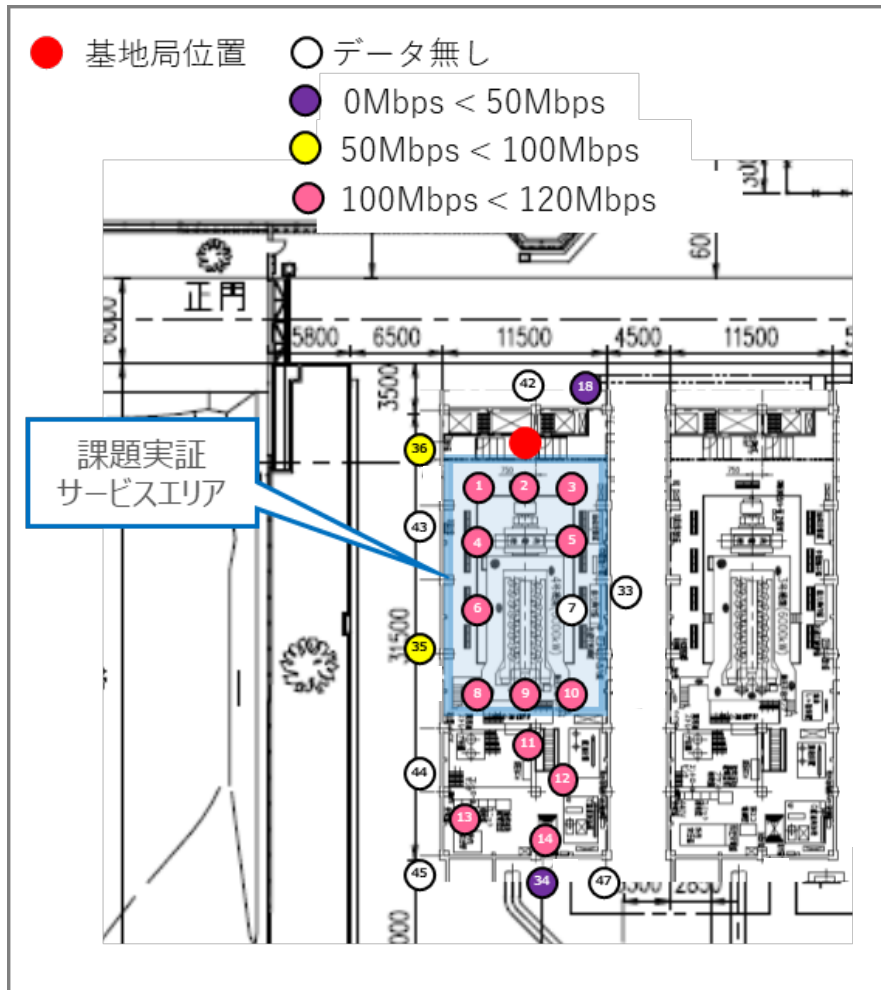


図 3.3.1.4-6(a) 伝送スループット (UL) 測定結果  
(発電所 4 号機建屋内、及び建物周辺)

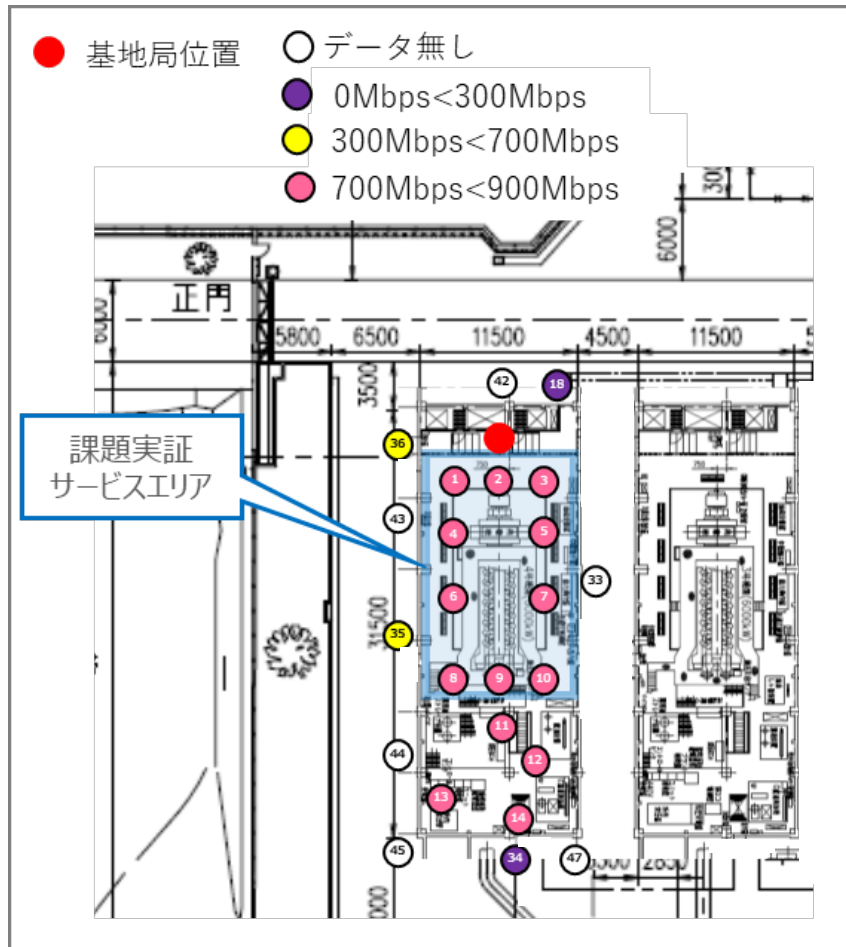


図 3.3.1.4-6(b) 伝送スループット (DL) 測定結果  
 (発電所 4 号機建屋内、及び建物周辺)

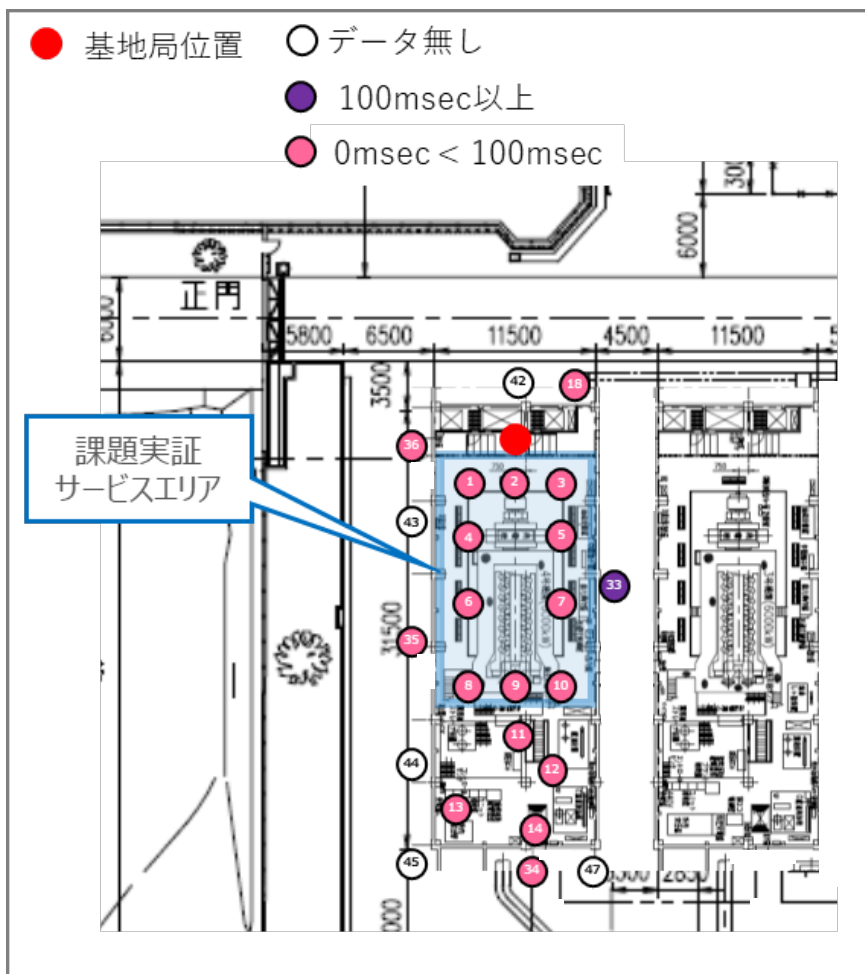


図 3. 3. 1. 4-6(c) R T T測定結果  
(発電所 4 号機建屋内、及び建物周辺)

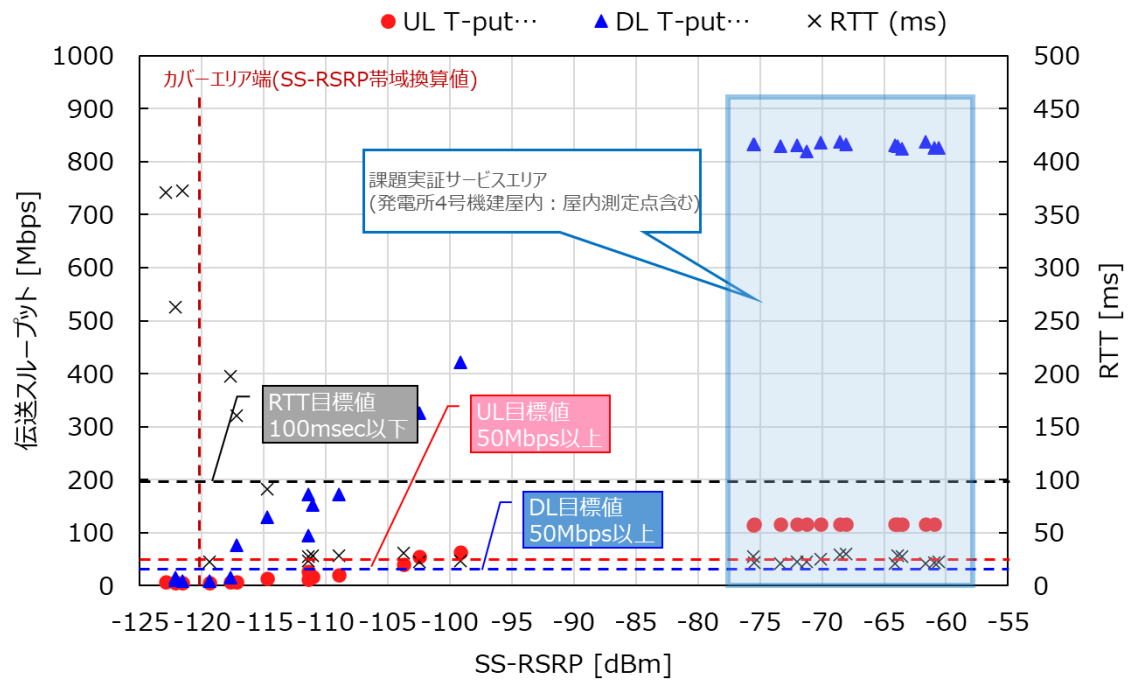


図 3.3.1.4-7 伝送スループットとSS-RSRPの関係

図 3.3.1.4-8(a)(b)(c)は、発電所建屋内のサービスエリア内における伝送スループット、RTTの測定結果を累積確率分布としてグラフ化したものである。

結果からは、以下のことがわかる。

伝送スループット等については課題実証の目標値である、UL = 50 Mbps、RTT = 100 msec 以下を指標とすると、UL、RTT 全てにおいて、累積確率分布が急峻であり、概ね安定していると考えられる。

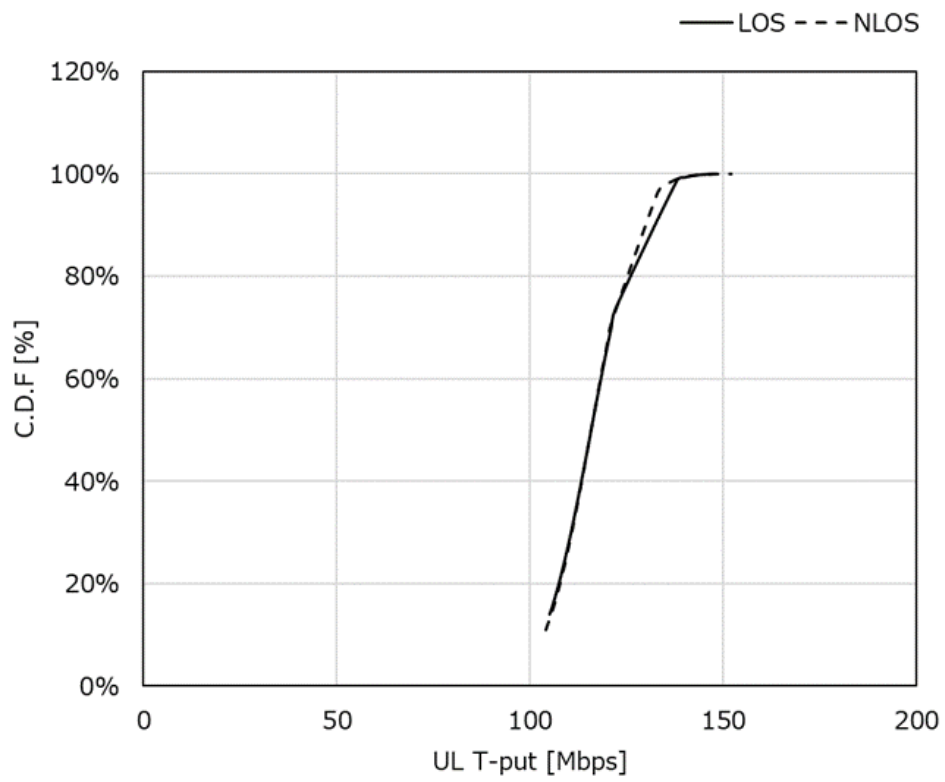


図 3. 3. 1. 4-8(a) UL 伝送スループット累積分布

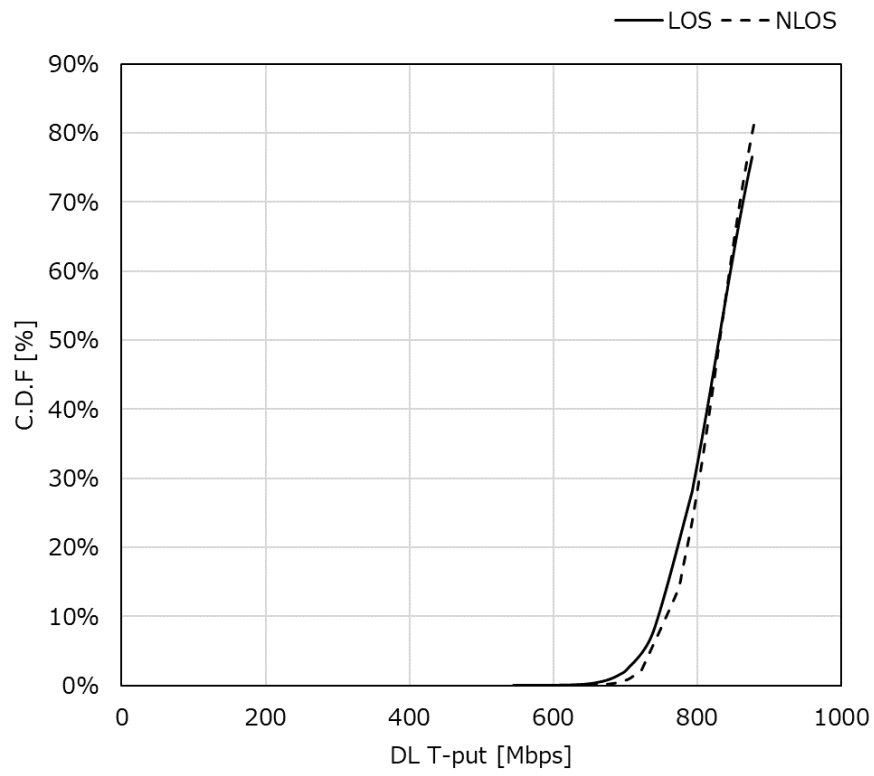


図 3. 3. 1. 4-8 (b) DL 伝送スループット累積分布



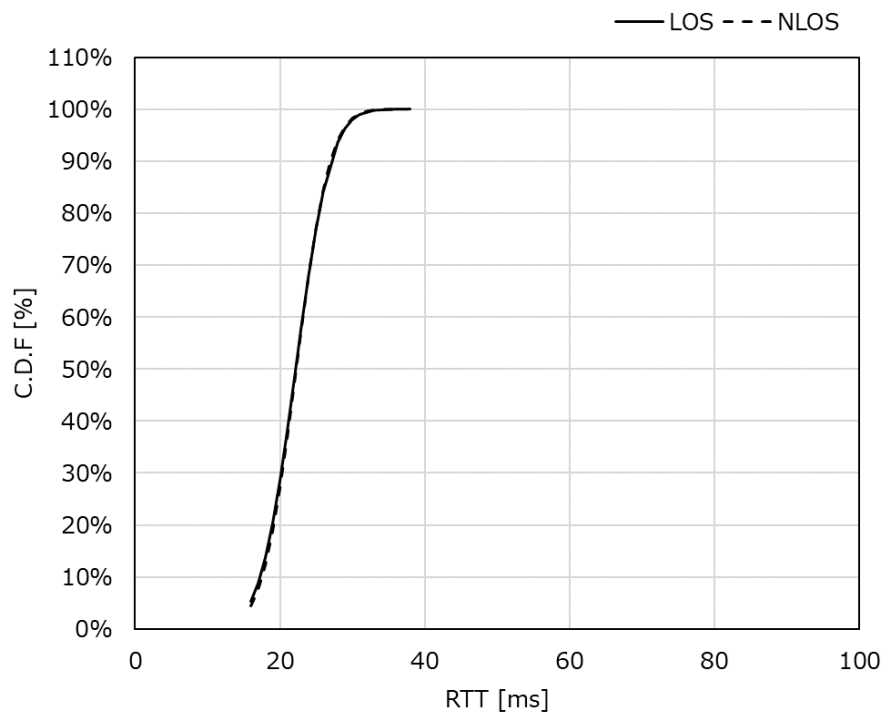


図 3.3.1.4-8(c) DL 伝送スループット累積分布

## (5) 技術的課題の解決方策

今回の実証では、発電所4号機建屋内において指向性アンテナを1局活用しローカル5Gの構築を行った。その結果、実測値から得られた伝搬特性は屋内においては自由空間伝搬、屋外においては奥村・秦式（中小都市、郊外地）に近いことが分かった。前者は、発電所内環境が遮蔽された空間でありながら、アンテナ高（4.5m）が遮蔽となる発電機より高い位置に設置されたことで、見通しエリアが多く取ることができたものとする。後者については、強固な鉄筋コンクリートで覆われた環境であることから、電波漏洩が一部の場所（金属扉等）に留まることが判明したため、今回のようなユースケースにおいては、屋内へのアンテナ置局位置、チルト角、伝搬方向等を考慮したサービスエリアとする環境を中心に置局設計を行えば良いと考える。

一方、発電所等の環境においては、今回のようなディーゼルエンジンの規模や大きさ、ディーゼルエンジン以外の発電設備（発電タービン等）の設置規模、設置状況によりアンテナの設置高、チルト角の調整等で、見通し環境が大きく左右されることから、置局の際には留意が必要である。また、今回の実証では鉄筋コンクリート壁面付近に指向性アンテナ（水平面45°、垂直面45°）を用いたことで、アンテナからのサイドローブ/バックローブを極力受けない、すなわち壁面からの乱反射による影響を回避できたことも一因にあると考えられることから、オムニアンテナを用いる際には、壁面反射等も留意した上での置局設計が必要と考える。

### 3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化

#### 3.3.2.1 実証の目的・目標

##### (1) 背景となる技術的課題と実証目的

発電所分野におけるユースケースを前提とした場合、屋内に基地局を設置する上では、什器等による遮蔽損失や反射波による影響、または建物外への電波漏洩等の電波伝搬特性を把握したエリア構築が課題となる。背景として、今回の課題実証では、発電設備の運転状況を巡視点検ロボット搭載の高画質カメラ、ハイパースペクトルカメラにより撮影・分析し、異常兆候の早期発見、ひいては電力の安定供給に資する課題解決”を目的としており、図 3.3.2.1-1 に示す巡視点検ロボットが移動する発電所内の発電機周辺のエリアをカバーするため、ローカル 5 G 基地局 1 局を活用して実証を行っている。本実証では、ロボットを使った発電機周囲の巡視であり、有線ではなく無線における伝送路が必要となる。また、無線における伝送路においてはローカル 5 G の他に無線 LAN や 4 G (LTE) が考えられるが、無線 LAN においては本実証環境の様な遮蔽環境をカバーするためには出力等の問題から複数の AP で形成する必要があると考えており、先にも述べた通り巡視ロボットが複数の AP を跨ぐことになる為、エリア跨ぎ時における通信遅延の懸念やデータの連続性という部分で課題が残る。4 G (LTE) においては、本実証環境が堅牢な壁面で構成されている屋内環境であるため屋内への置局が求められるが、離島における施工コストを考えると、今後普及が見込まれるローカル 5 G の方が安価であり、また、今後のバリエーション検討として、屋外と屋内も併せてカバーすることを考慮する場合、同一無線技術であることが望ましい為、ローカル 5 G が優位と言える。また、将来的には用途が異なるデバイスにおいて、無線 LAN 環境を利用するケースが想定されており、ロボットを使った発電機周囲の巡視においては、他のデバイスからの影響を受けることなく、通信の安定性・高いセキュリティの確保が求められる。本実証を通じてローカル 5 G での実現が確立することで無線 LAN 環境から切り離すことができ、通信の安定性・高いセキュリティが確保できると考える。

本実証環境においては、図 3.3.2.1-2(a) の様に、内外壁が鉄筋コンクリート造となっており、基地局から見た発電所周辺は見通し外の環境となる。

そのため、発電所等、堅牢な建物内をユースケースとした場合、建物からの漏洩電力の強弱により、自己土地外への電波漏洩等の電波伝搬特性を把握したエリア構築が課題となる。

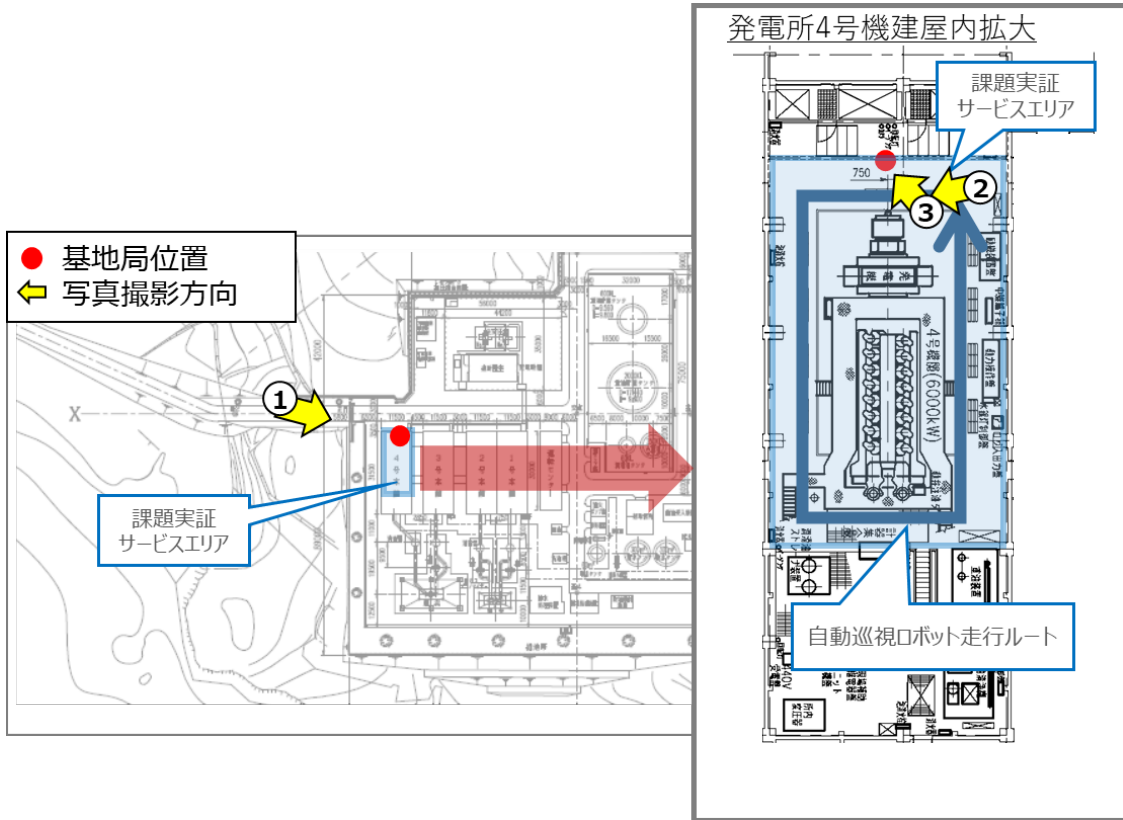
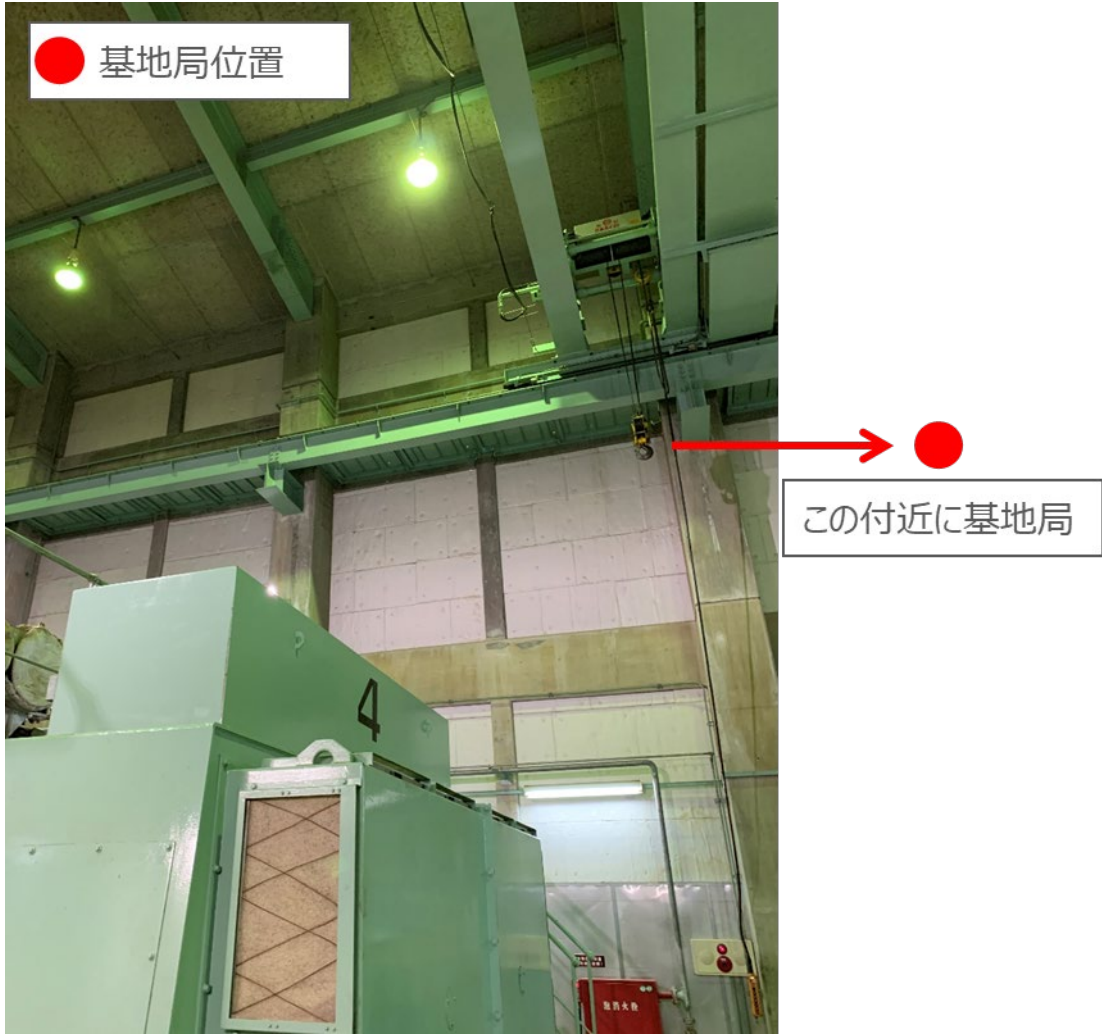


図 3.3.2.1-1 実証エリア



図 3. 3. 2. 1-2(a) 発電所建屋外壁(写真撮影方向①)



● 基地局位置

この付近に基地局

図 3. 3. 2. 1-2 (b) 発電所建屋内壁 (写真撮影方向②)

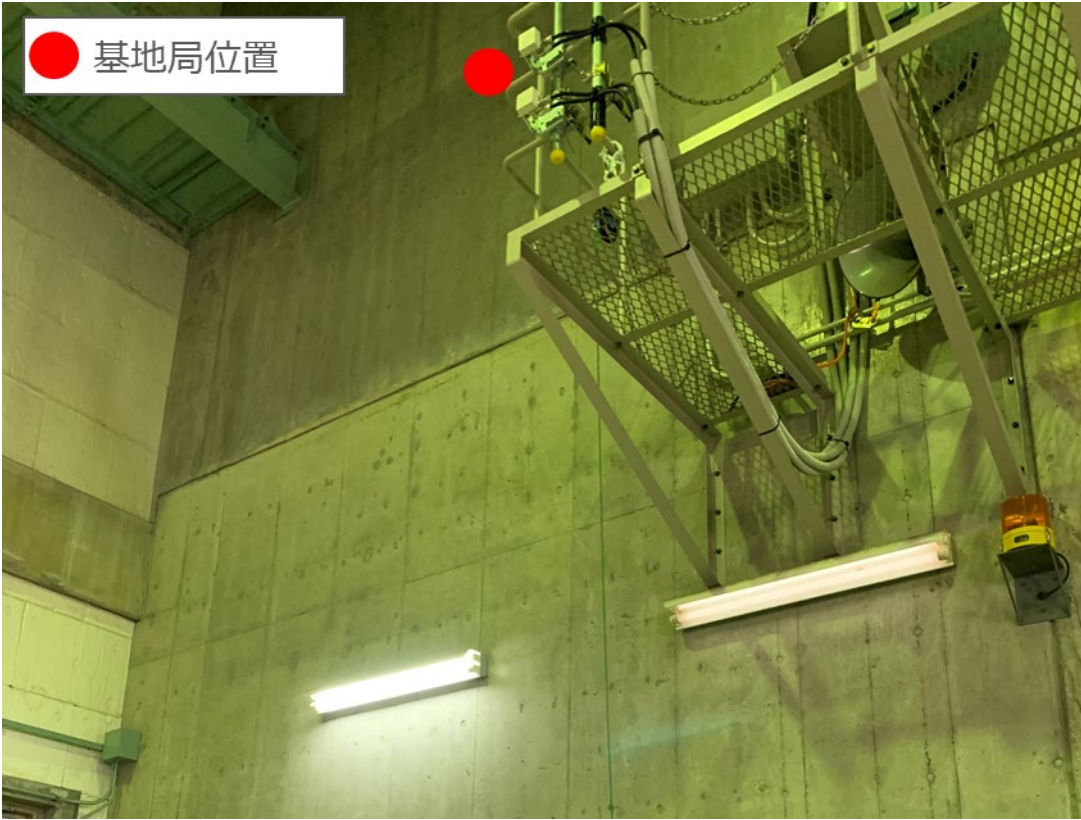


图 3. 3. 2. 1-2(c) 發電所建屋內壁(写真撮影方向③)

## (2) 実証目標

3. 3. 2章においては柔軟なローカル5Gシステムの設計・構築に資する検討として、仕様書要件で規定されているエリア算出法に含まれるいくつかのパラメータ（表 3.3-7）を対象とし、その値を精緻化することが求められる。

本検討において得られる精緻化したパラメータ値により、ローカル5G運用エリアに合わせてエリア算出法を適正化する等の制度改正につながることを目標としている。また、得られた知見については、総務省が策定しているローカル5Gガイドラインにおいて、モデルケースとして記載することで、ローカル5Gの利活用に生かされることを想定している。

今回の実証環境においては、4.7GHz帯の屋内局を想定しているため精緻化の対象パラメータは表 3.3-7 から“R”を選択する。なお、“R”は建物内に基地局を配置する際に建物侵入損失の値に応じて修正するパラメータであり、本実証環境の様に堅牢な壁を有する環境においてのモデルケースを示すにあたって適切なパラメータであると考えられる。

なお、本実証において精緻化の対象とするR（壁面）は、図 3.3.2.1-3 に黄線で示す壁面である。

表 3.3-7 精緻化の対象パラメータと精緻化の方向性、実証環境の要件

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



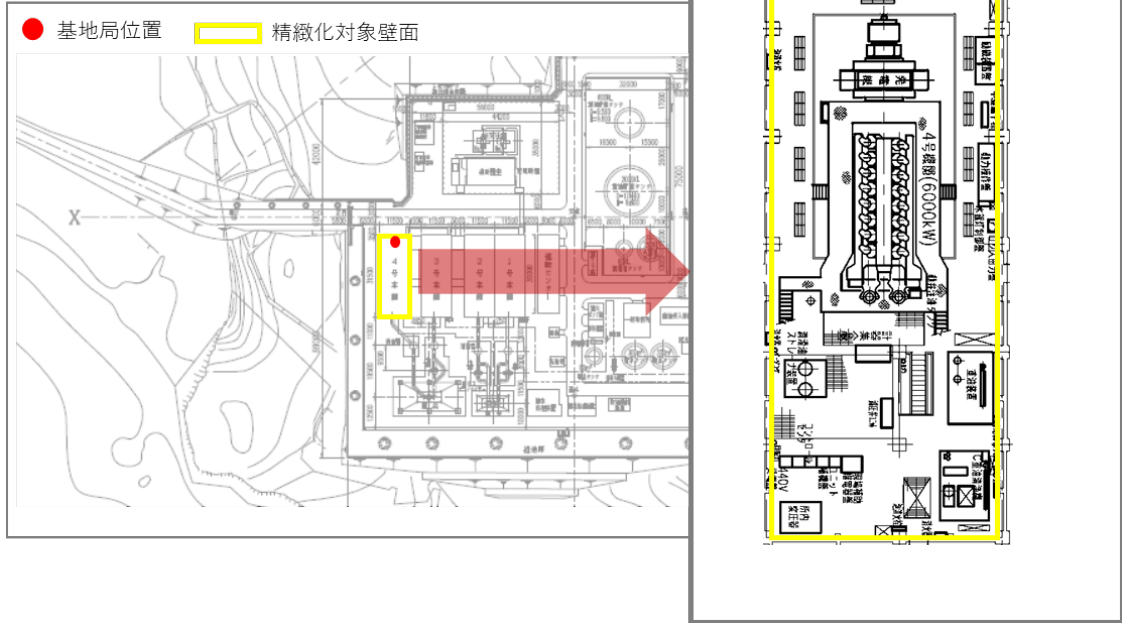


図 3.3.2.1-3 精緻化の対象となるR（壁面）

### 3.3.2.2 実証仮説

#### (1) パラメータ“R”についての仮説

今回精緻化の対象とするパラメータ“R”については、4.7GHz帯のローカル5G技術的条件等を検討した情報通信審議会報告書において、建物侵入損として詳しく記載されている（表 3.3-8 参照）。建物侵入損は、建物の外壁の材質によって想定される値が変化することが示されており、一般的な建物外壁（Traditional）では、50%の期待値において $R = 16.2 \text{ dB}$ となっている。また、4.7GHz帯のローカル5G審査基準においては、 $R = 16.2 \text{ dB}$ が規定値として定められてもいる。しかし、今回、技術実証を行う場所は発電所内であるため、建物壁面は防音、耐震等の観点から相当頑丈であり、一般的な建物の外壁とは異なると想定される。

そのため、“R”値は、より減衰効果の大きいThermally-efficientにおける期待値5%（ $= 13.3 \text{ dB}$ ）～期待値50%（ $= 31.4 \text{ dB}$ ）の間にあるものと仮定する。

表 3.3-8 4.7GHz帯における建物侵入損

建物の種別※	建物侵入損の期待値			
	5%	10%	20%	50%
Traditional	4.2dB	6.0dB	8.8dB	16.2dB
Thermally-efficient	13.3dB	16.6dB	21.0dB	31.4dB

※Thermally-efficient：金属化ガラス（断熱効果を高めるために使用する建築用の紫外線を遮断するガラス）、金属ホイルを裏打ちしたパネルを用いた建物。

Traditional：上記以外の建物

なお、エリア算出法では、表 3.3-9 に示すように、送受信間距離 $d_{xy}$ が40m以下の場合には、計算対象地域の環境に応じて、建物侵入損に対して考慮する補正值“R”の選択が必要である。本実証環境において、壁の厚みは35cm程度、材質は鉄筋コンクリート、壁面に複数の金属製制御盤や棚が配置されていることを考慮し、補正值“R”は表 3.3-8 に示すThermally-efficientの期待値50%である31.4dBとする。

表 3.3-9 電波関係審査基準の電波伝搬式における補正項選択肢

( $d_{xy}$  が 40m 以下の場合)

補正項	定義	選択肢
R	建物侵入損に対して考慮する補正項	16.2 [dB]
		実際の建物侵入損が明確な場合は明示の上、建物に応じた値を適用する。 <b>本実証環境においては31.4 [dB]とする。</b>

上記仮説に基づき、パラメータ“R”の値を修正したエリア算出式を用いて作成した、カバーエリアおよび調整対象区域を図 3.3.2.2-1 に示す (R = 31.4 dB の場合)。

なお、「3.3.1.4 章(4) 実証環境におけるローカル5G性能評価」の考察の結果、発電所4号機に隣接する発電所3号機建屋方向への電界レベルが壁面遮蔽による影響で調整対象区域外となったことから、精緻化対象となる壁面の一部(発電所3号機側)のエリア算出においては、建物侵入損を追加する重みづけを行うことにより、実測値に近いカバーエリアおよび調整対象区域としたことに留意いただきたい。

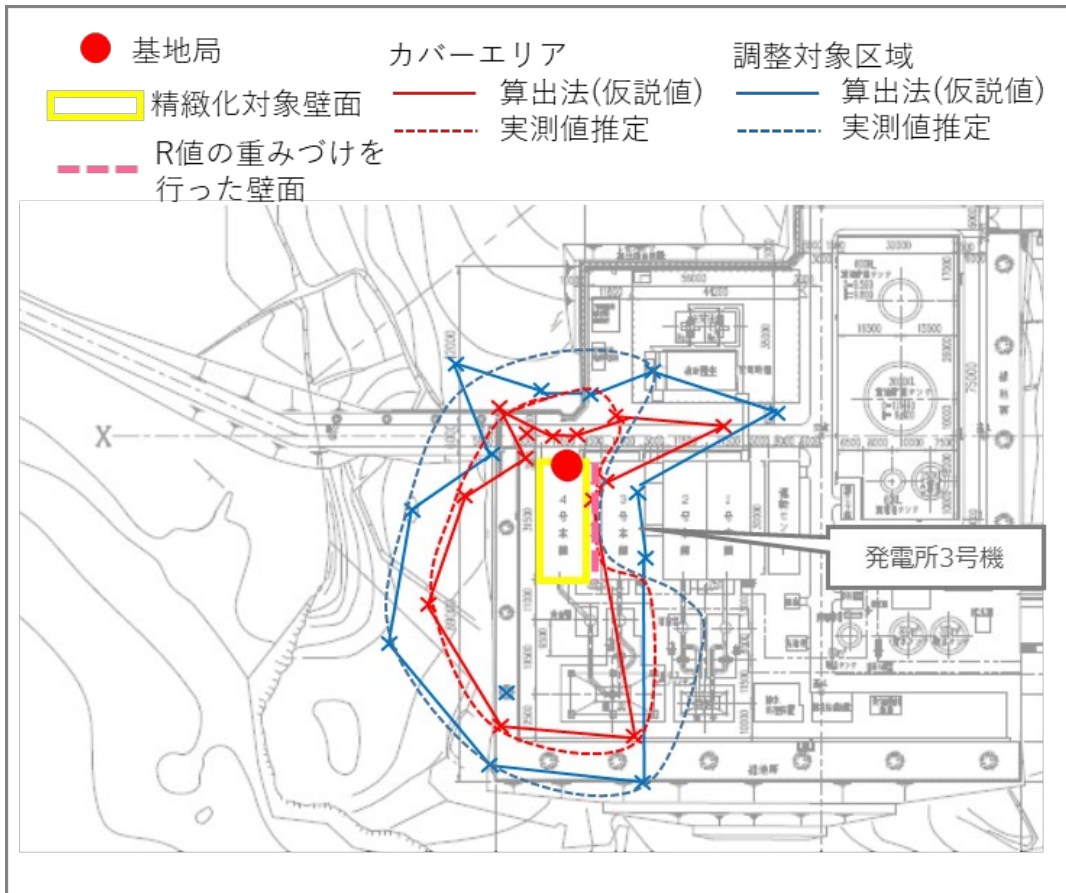


図 3.3.2.2-1 仮説パラメータR (= 3 1. 4 d B) を用いて算出した  
カバーエリアおよび調整対象区域

### 3.3.2.3 評価・検証項目

精緻化対象パラメータ“ $R$ ”について、仮説パラメータから導き出されるカバーエリア及び調整対象区域図と測定から得られる実測値の比較を行い、その差分を取り纏めることで、仮説パラメータの評価を行う。また、その値が異なる場合においては、実測値から導き出される対象パラメータ $R$ を用いて再度エリア算出を行い、その妥当性を評価することで、実証環境における適切な $R$ 値を導く。また、精緻化後においても残留する誤差が大きい場合は、その要因を分析し、今後の検討の方向性についても提案する。

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

### 3.3.2.4 評価・検証方法

#### (1) 測定方法

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

#### 1) 測定エリアの考え方

エリア算出法と比較を行うための下り受信電力値の実測は、基地局の $R = 31.4 \text{ dB}$ という仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域において実施する。

発電所4号機建屋内については、内部が狭い空間であり、発電機や発電設備があることから、課題実証で行う「自動走行ロボット」の走行ルート内にあるサービスエリアを念頭に、測定可能な地点を抽出する必要がある。

そのため、図3.3.2.4-1(a)の発電所建屋内実測エリア内において、課題実証に影響する箇所、および、置局点からみた発電設備等の遮蔽になる部分を中心に測定エリアを選定した。

また、発電所4号機建屋外は、置局点に対し全方位で作図する必要があるため、精緻化後のエリア算出式の評価としては、ある一方向だけではなく、できるだけ全方位での実測の実施が望ましい。

そのため、図 3.3.2.4-1(b)の発電所建屋外実測エリア内において置局点を中心として30° 方向ごとに方位を区切り、カバーエリア端、調整区域端でそれぞれ12点(方位)ずつの点について、測定を実施する。

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

ただし、カバーエリア端、調整区域端が自己土地敷地外に該当、または立ち入りが困難な地点については、その近傍を測定地点として選定する。

加えて、R値の精緻化に伴う建物外参照点として、発電所4号機近傍において発電所建屋内測定地点と近傍で測定可能な地点を選定する(図3.3.2.4-1(a))。

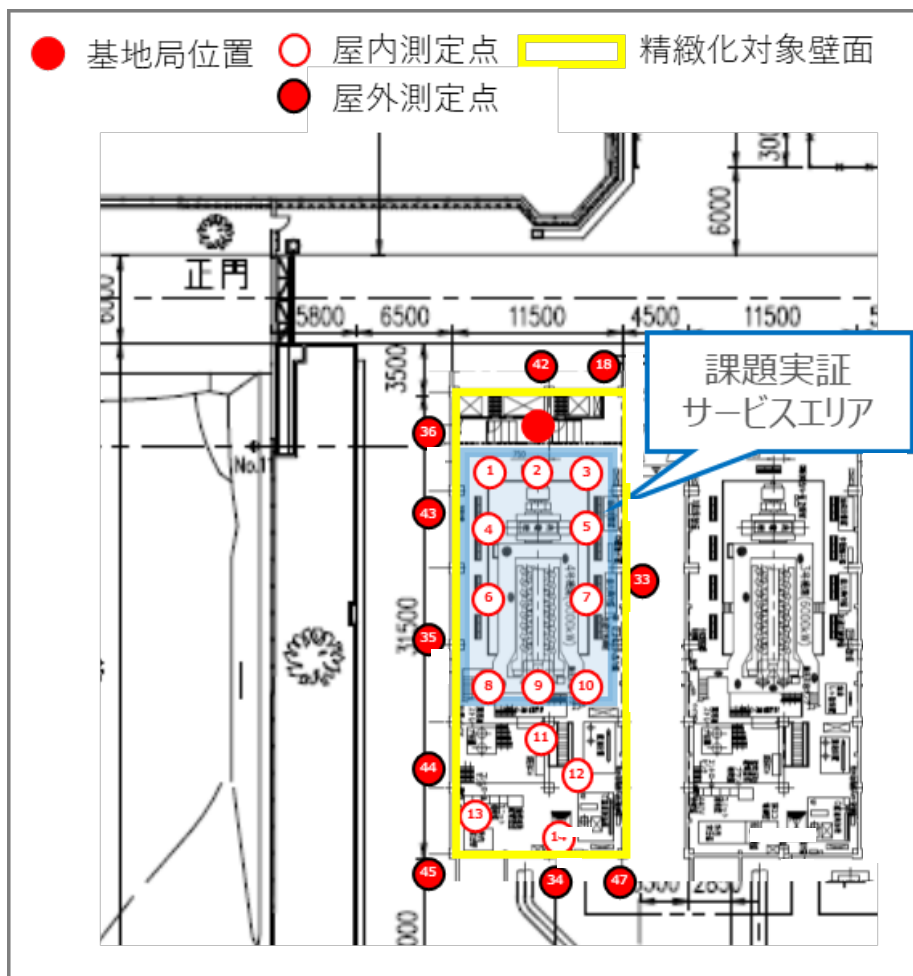


図 3. 3. 2. 4-1(a) 測定地点（発電所 4 号機建屋内、及び建物周辺）

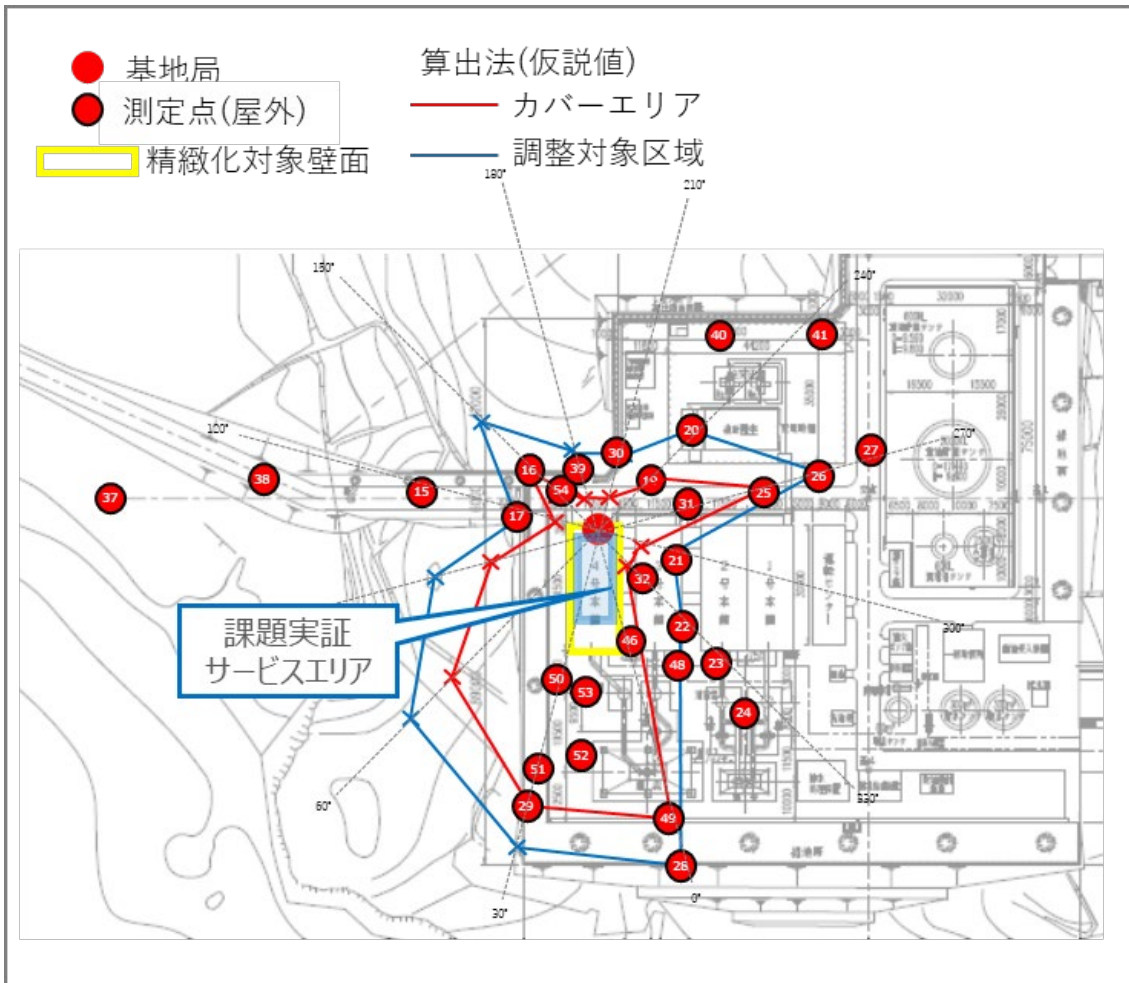


図 3.3.2.4-1(b) 発電所4号機建屋外における測定地点

また、エリア算出法によるエリア図との比較がしやすいよう、実証環境を面的に測定し、そのデータを活用する。測定範囲は図 3.3.2.4-2(a)(b)に示すように、現地立入が可能な範囲において実施することとする。



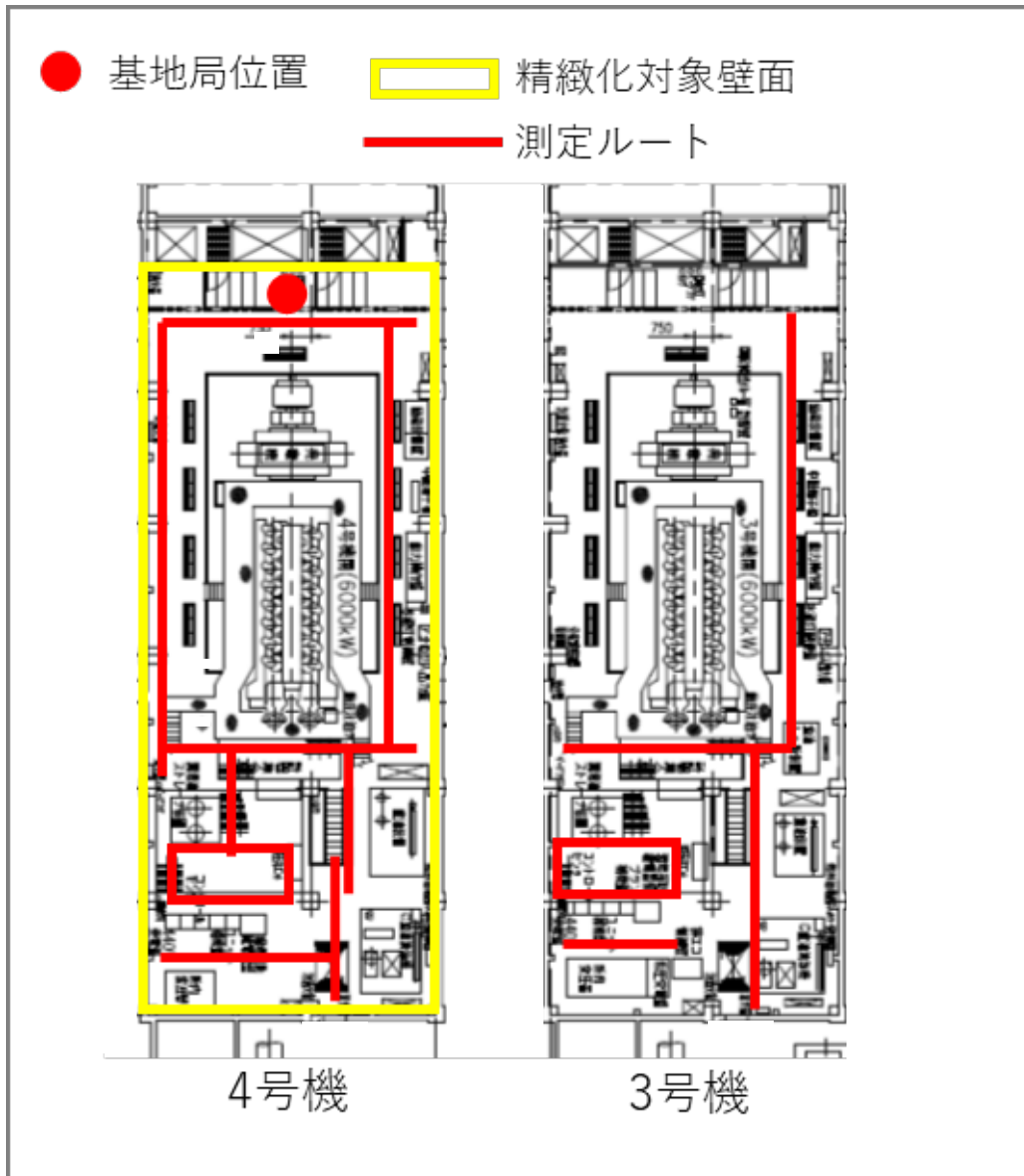


図 3.3.2.4-2(a) 実証環境周辺における面的な測定ルート  
 (発電所4号機建屋内、及び発電所3号機建屋)



図 3. 3. 2. 4-2(b) 実証環境周辺における面的な測定ルート  
(発電所屋外)

## 2) 測定項目

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

加えて、R値に影響を与える実証環境のデータとして下記に示す情報を記録する。

- ・壁面の材質／厚さ／面積率
- ・LOS／NLOS
- ・対象の壁面と送信／受信点の位置関係
- ・外壁の厚さ、壁、床の材質等

なお、実施計画書に記載した一部記載事項については、該当しない項目（窓の有無や構造（ガラスの枚数）等）があるため省略する。

## 3) 測定手法と実測模様

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

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

なお、受信電力の測定においては、定在波の影響を避けるため、1つの測定点において、 $10\lambda$  ( $\lambda$ は波長) の範囲で測定位置を動かしながら測定を実施する。

測定においては、移動しながらの測定を効率的に実施するため、図 3.2-6 に示すような測定補助用の治具を作成して測定を実施する。

## (2) 評価・検証方法

電波伝搬モデルの精緻化については3. 3. 1章、3. 3. 2章で実測した各種データを用いて下記に記載する流れで評価・検証を進めていくこととする。

### 1) 仮説R値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域図の作成

実証環境内に設置するそれぞれの基地局について、仮説R値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の図を作成する。詳細は3. 3. 2. 2章実証仮説を参照されたい。

### 2) 実測値から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図の作成

1) で作成した仮説に基づくエリア図との比較を行う為、実測した各種データを図面上にプロットし、カバーエリア及び、調整対象区域の閾値から実測値による推定エリア図を作成する。なお、測定結果の妥当性を確認するため、本実証においては構造計画研究所が提供している電波伝搬シミュレーション「Wireless InSite」<sup>8</sup>の計算値と比較する。具体的には、建物図面と現地調査結果から実証環境を3次元モデル化し、電波伝搬のレイトレース法を用いてシミュレーションした結果を用い実測値と比較した。

### 3) 仮説に基づくエリア算出法と、実測値から推定されるエリア図との比較

仮説R値に基づくエリア図の妥当性を評価するため、1)、2) で作図したエリア図の比較を行う。また、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端が異なる箇所においてはその差分値を取り纏める。

### 4) 実測値から建物侵入損失を算出

R値の精緻化のもう1つのアプローチとして、建物内/外で実測した下り受信電力値から建物侵入損失を算出する。なお、建物侵入損失とは、厳密には、建物近傍路上における受信レベルと建物中央部における受信レベルとの差を意味するが、今回はエリア設計上建物外への漏洩電力を対象としているため、基地局アンテナから直線上となる建物内壁と建物外壁の電界強度差分を建物侵入損として検証する(図)。

$$R = \text{建物外参照点の電界強度} - \text{建物内部測定点の電界強度}$$

---

<sup>8</sup> <https://network.kke.co.jp/products/wi/>

また、純粋な壁面損失を算出するため、基地局から建物外参照点と建物内部測定点間の距離に応じた自由空間損失（FSPL）の差分を減算し補正するものとする。

なお、今回の実証環境のみに有効な結論ではなく、他の環境でも有効な汎用的／一般的な成果を得るため、壁面の材質や、それに伴う面積率などを記録し、汎用的に利用可能なR値の精緻化を実施する。

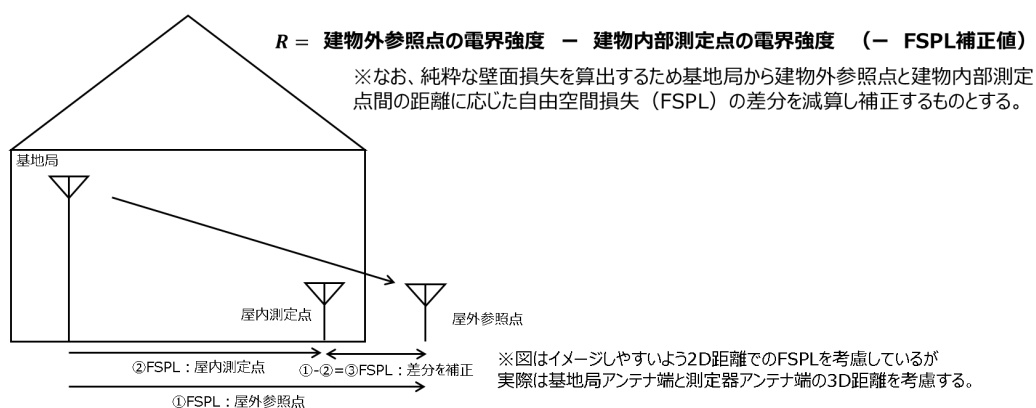


図 3. 3. 2. 4-3 実測値からのR値算出手法

### 3.3.2.5 実証結果及び考察

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

#### (1) 仮説R値に基づくカバーエリア及び調整対象区域図

図3.3.2.5-1に、実証環境内に設置する基地局について、仮説R値に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の図を示す。

カバーエリア端、調整対象区域において発電所4号機に隣接する発電所3号機側壁面にR値の重みづけ(R値を2倍)を行うことでカバーエリアが約60m(300°方向)調整対象区域が約50m(300°方向)、エリアが縮小する。

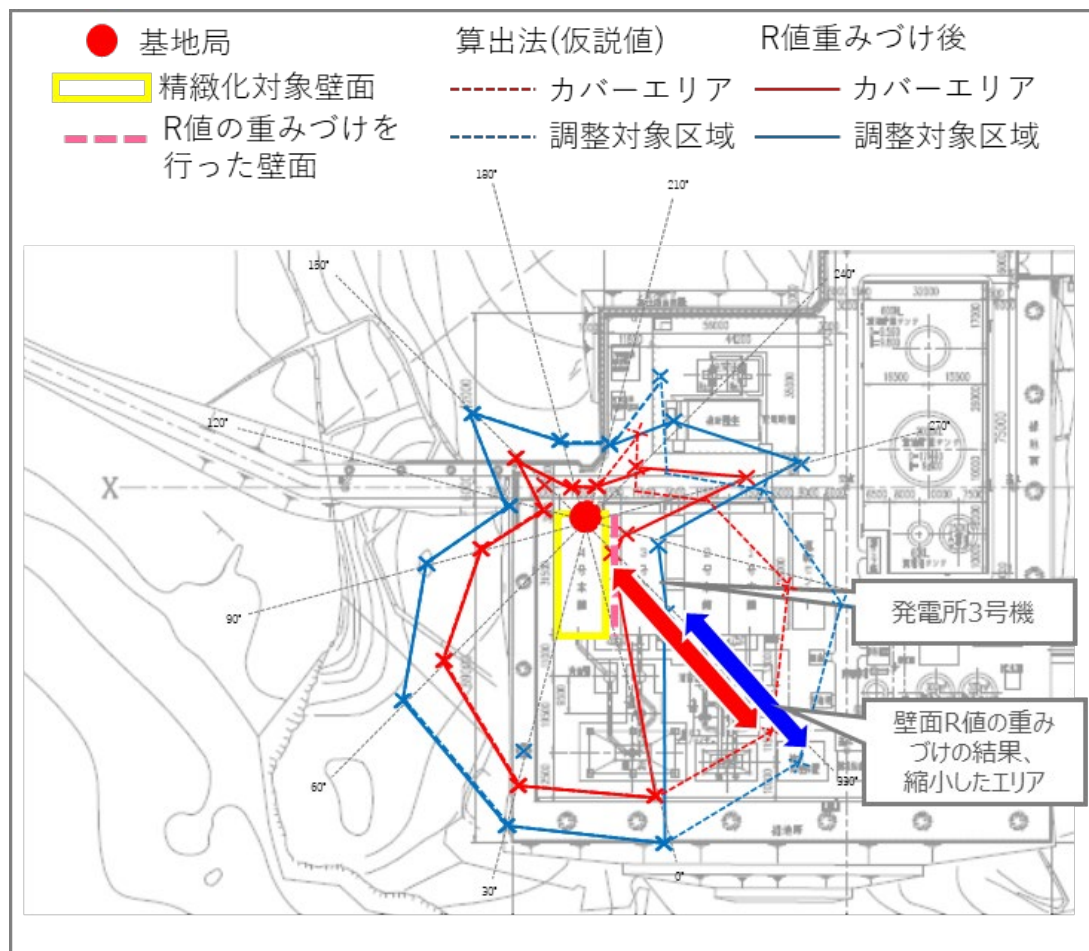


図 3.3.2.5-1 仮説パラメータR (= 31.4 dB) を用いて算出した

カバーエリアおよび調整対象区域

## (2) 実測値から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図

図 3.3.2.5-2(a)(b)に実測値から推定されるカバーエリア及び調整対象区域図を示す。

図中赤点線は4.6～4.9GHz帯におけるローカル5G審査基準で定められている“カバーエリア端レベル(100MHz幅の場合：-84.6dBm)”を前提に実測値から評価した想定カバーエリア端である。一方、青点線は、同様に審査基準で定められている“調整区域端レベル(100MHz幅の場合：-91.0dBm)”を前提に実測値から評価した想定調整区域端である。なお、本実証に用いる基地局装置の下り受信レベル(SS-RSRP)の測定帯域は30kHzであるため、上述したエリア端閾値を100MHzから、30kHzへ帯域換算した以下の値を用いている。

カバーエリア端レベル(SS-RSRP帯域換算)	: -119.8dBm
調整区域端レベル(SS-RSRP帯域換算)	: -126.2dBm

実測値から推定したエリア図によると、発電所4号機と発電所3号機の間でエリアが狭まっていることがわかる。

このエリアには、複数の壁面が存在し(図3.3.2.5-2(c))、それらによる減衰が発生しているものと想定される。

また、電波伝搬シミュレーション「Wireless InSite」の結果においても、発電所4号機から発電所3号機方向が、遮蔽影響から減衰する状況が確認できた。

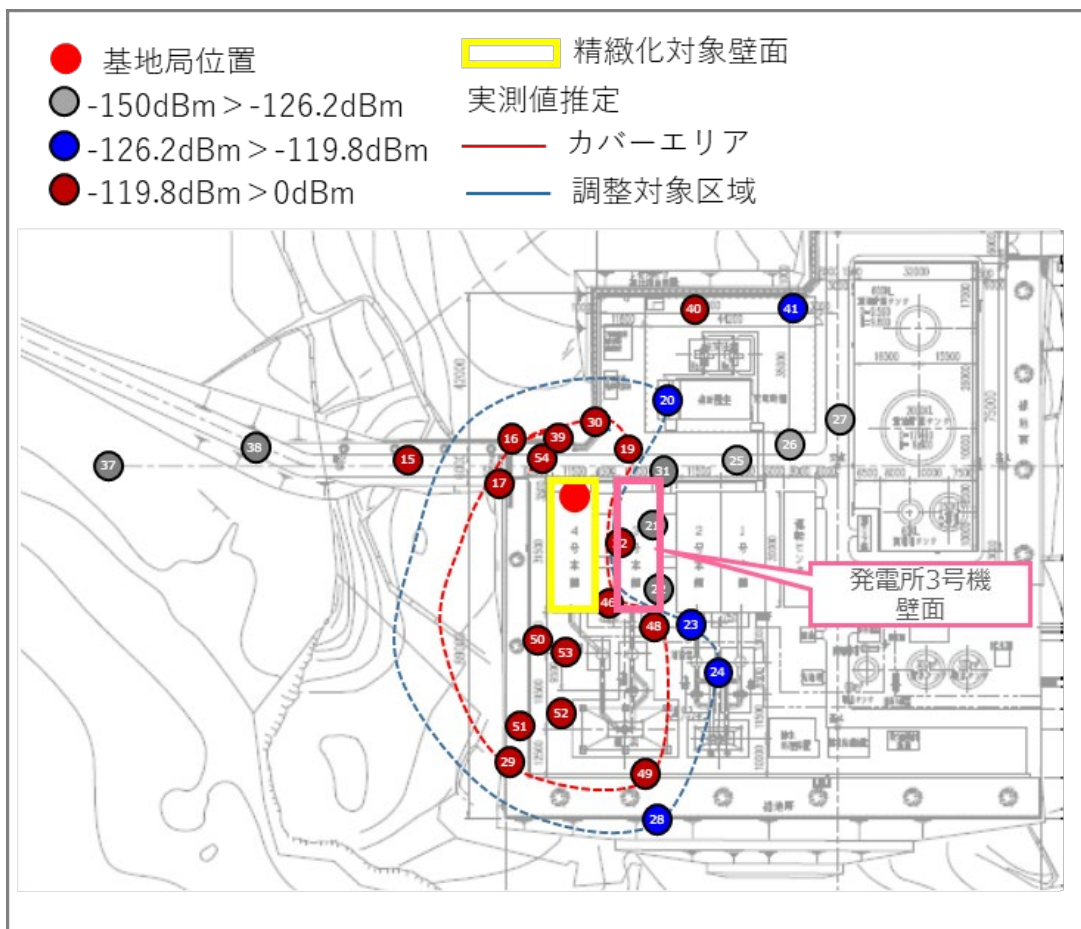


図 3.3.2.5-2(a) 実測値から推定したカバーエリアおよび調整対象区域  
(発電所建屋内、および外壁近傍)



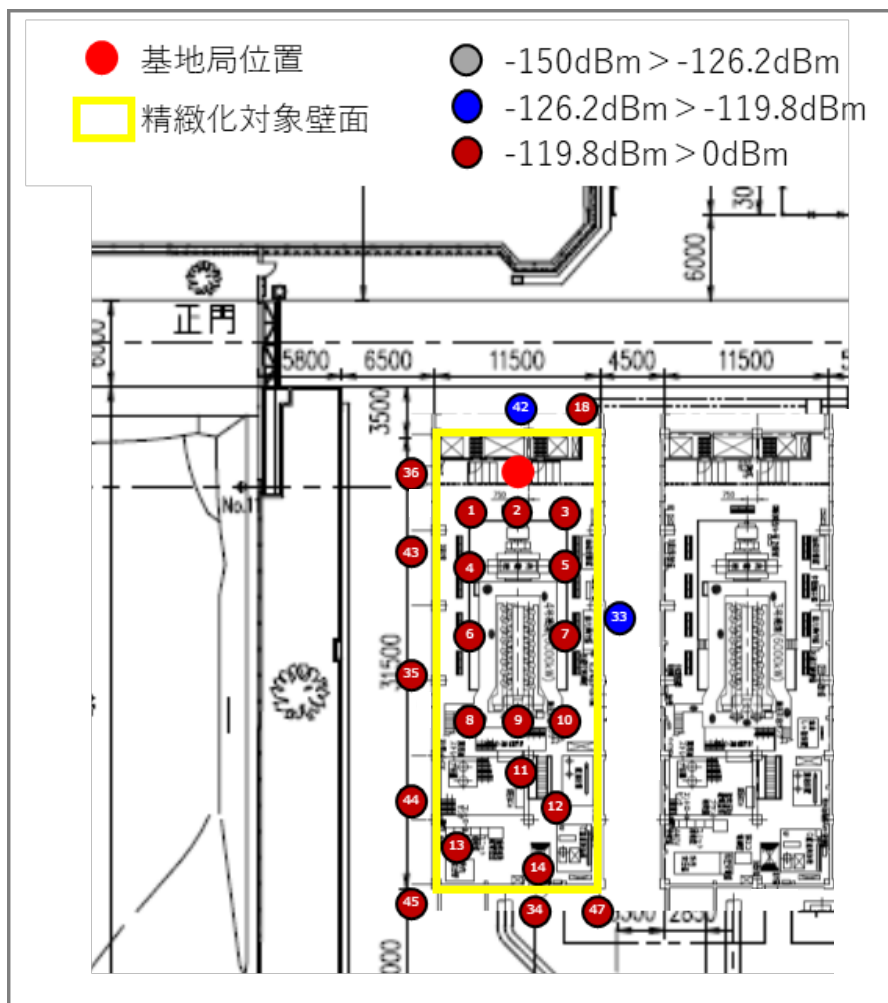


図 3.3.2.5-2(b) 実測値 (SS-RSRP) 拡大図  
 (発電所 4 号機建屋内、及び周辺)



図 3. 3. 2. 5-2(c) 複数壁面の状況

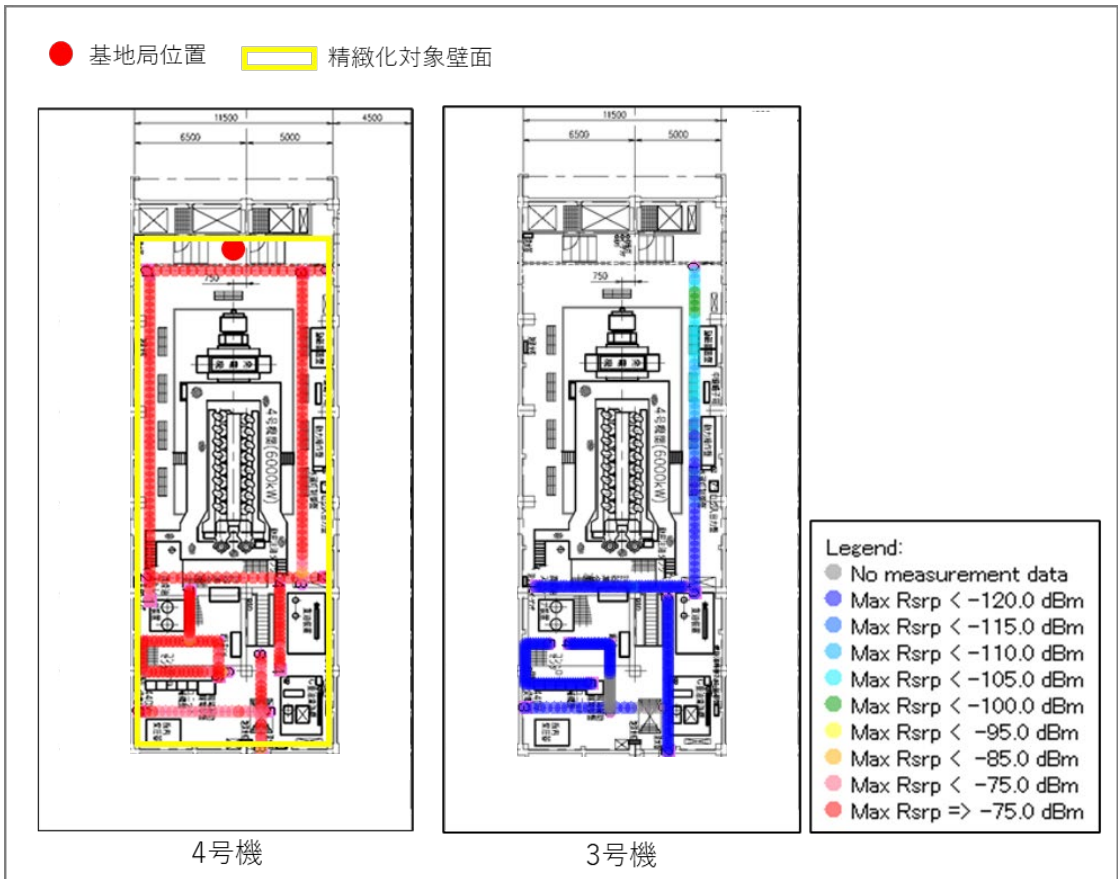


図 3. 3. 2. 5-2(d) 面測定による測定結果  
(発電所 4 号機、3 号機建屋内)

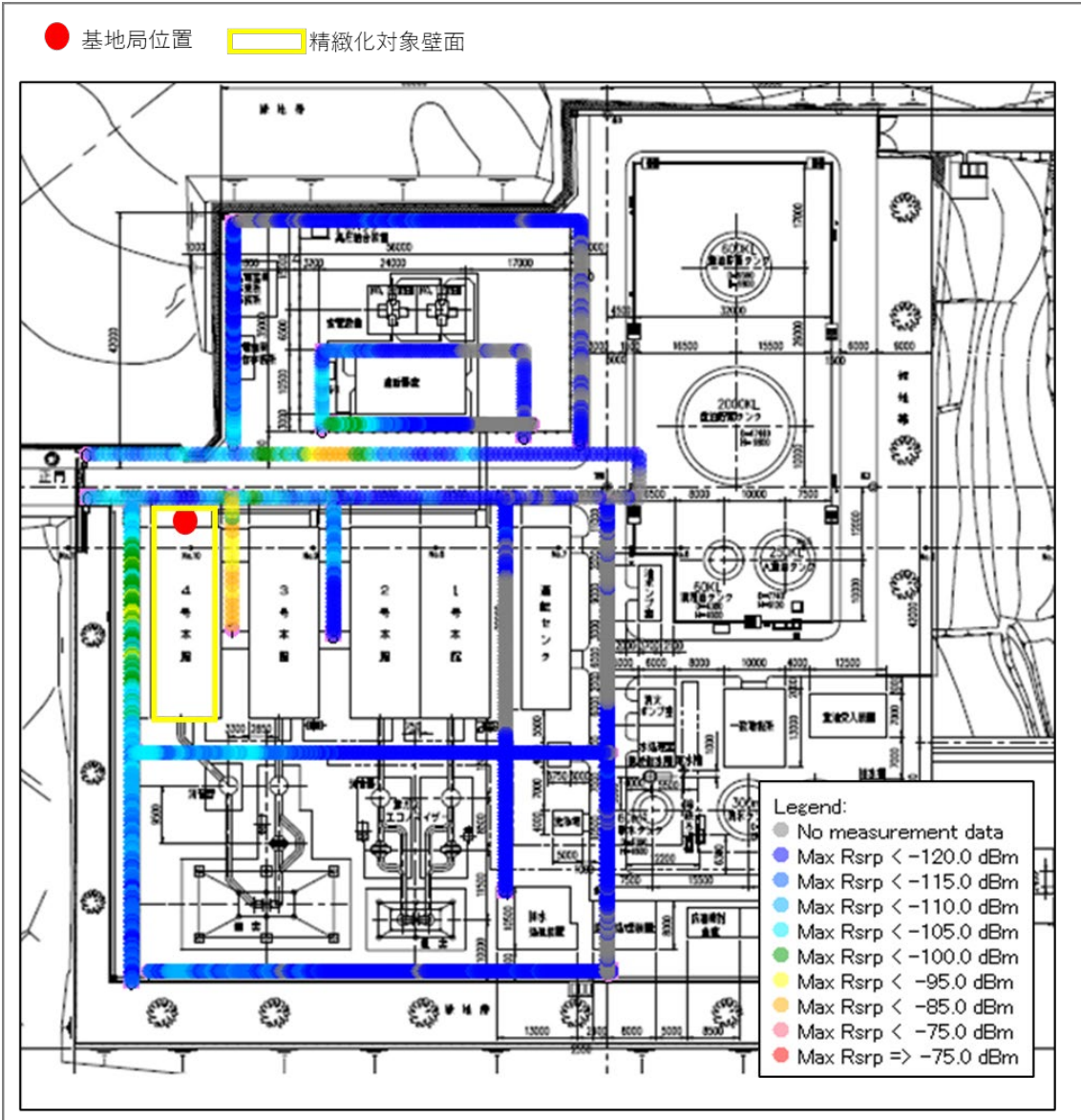


図 3.3.2.5-2(e) 面測定による測定結果  
(発電所屋外)

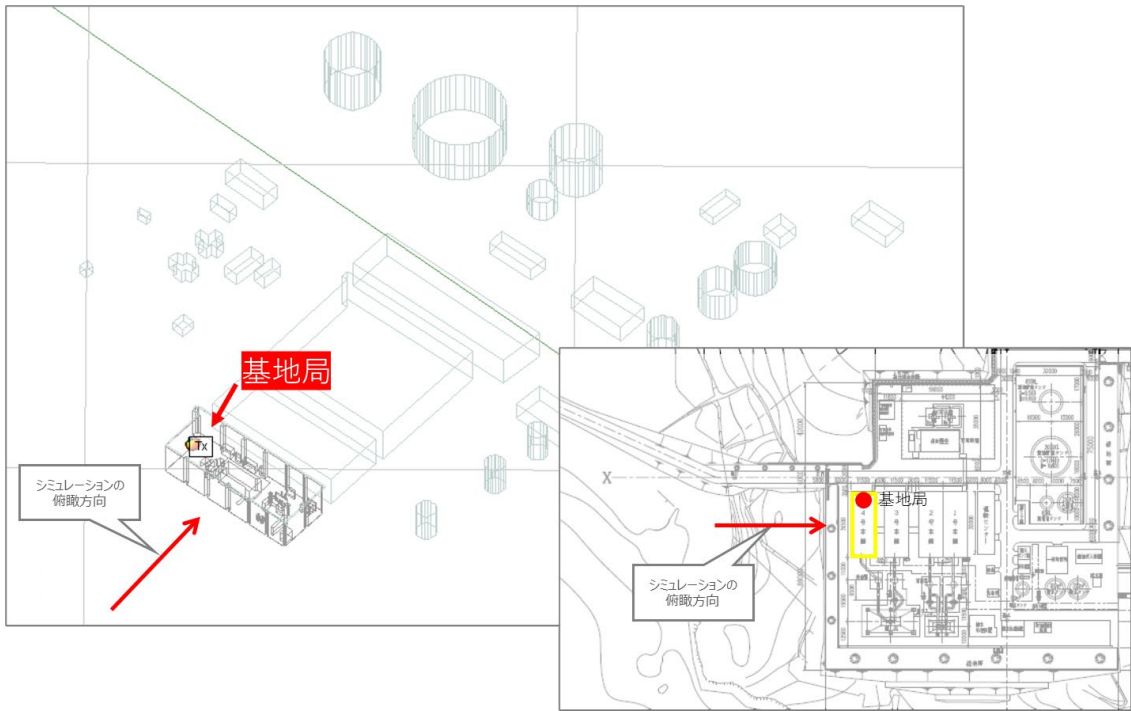


図 3.3.2.5-2(f) シミュレーションによる概要

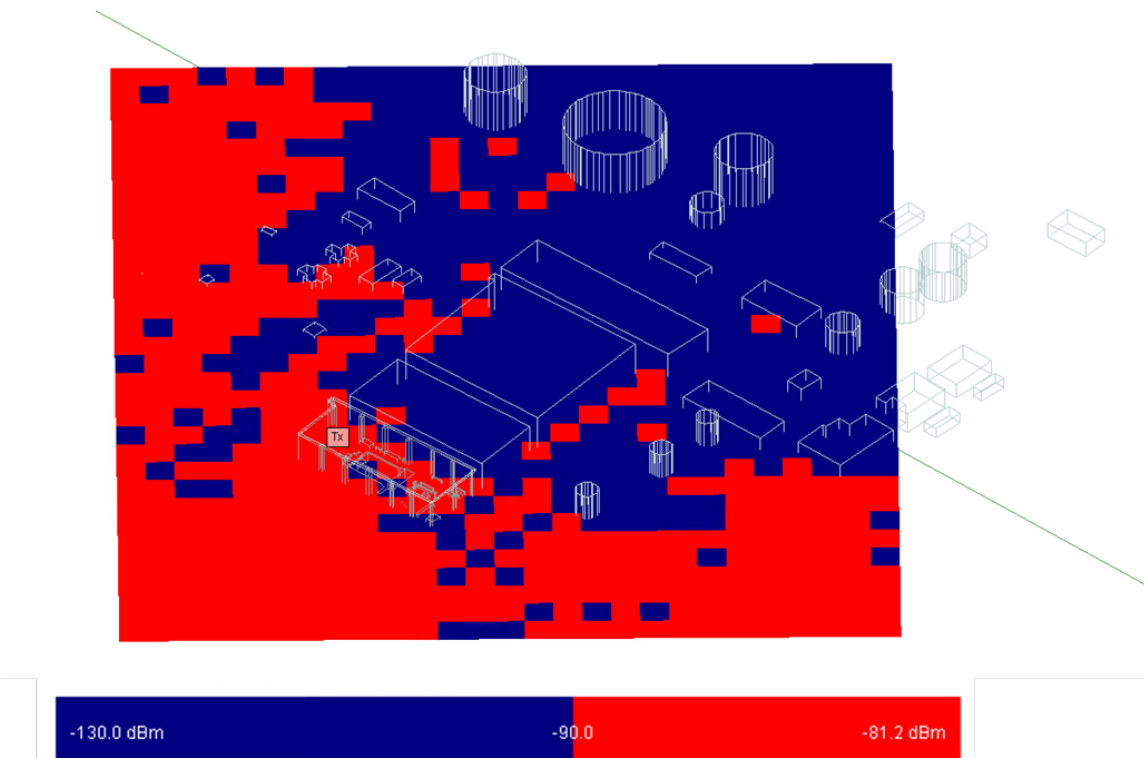


図 3.3.2.5-2(g) シミュレーションによる計算結果

### (3) 仮説に基づくエリア図と実測値から推定されるエリア図との比較

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

図3.3.2.5-4に仮説値におけるエリア図と実測値から推定したエリア図を示す。

結果から、カバーエリア、調整対象区域において、発電所4号機建屋の左側については、仮説値に近い状況になることが確認できた(図中①)。基地局に近い発電所3号機から発電所1号機にかけての屋外については、仮説値より縮小することが確認できた(図中②)。基地局から遠い発電所3号機、発電所2号機の周辺においては、実測値の結果、仮説値より拡大することが確認できた(図中③)。

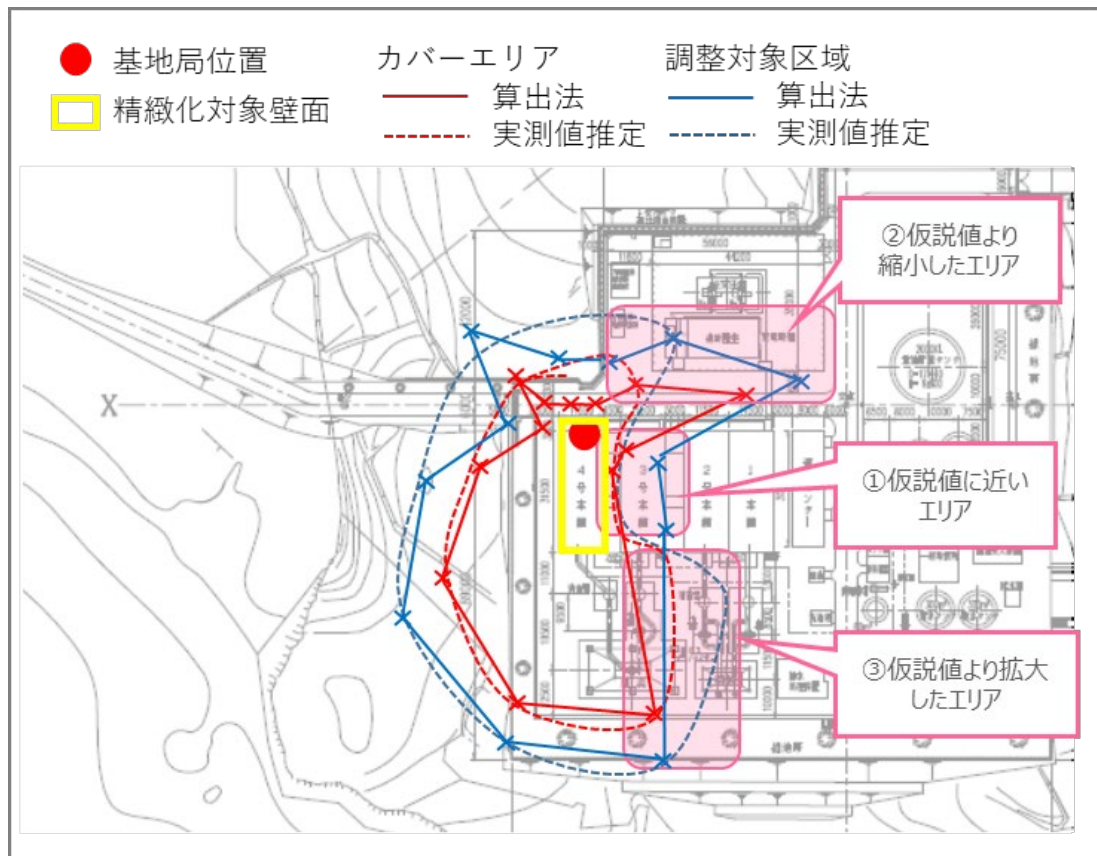


図3.3.2.5-4 実測値から推定したカバーエリアおよび調整対象区域

#### (4) 実測値を用いた建物侵入損失の算出

R 値の精緻化のもう 1 つのアプローチとして、建物内／外で実測した下り受信電力値から建物侵入損失を算出する。なお、建物侵入損失とは、厳密には、建物近傍路上における受信レベルと建物中央部における受信レベルとの差を意味するが、今回はエリア設計上建物外への漏洩電力を対象としているため、それぞれの基地局アンテナから、直線上となる建物内壁と建物外壁の電界強度差分を建物侵入損として検証する（図 3.3.2.5-3）。

$$R = \text{建物外参照点の電界強度} - \text{建物内部測定点の電界強度}$$

また、純粋な壁面損失を算出するため、基地局から建物外参照点と建物内部測定点間の距離に応じた自由空間損失（F S P L）の差分を減算し補正するものとする。

なお、今回の実証環境のみに有効な結論ではなく、他の環境でも有効な汎用的／一般的な成果を得るため、壁面の材質や、それに伴う面積率などを記録し、汎用的に利用可能な R 値の精緻化を実施する。

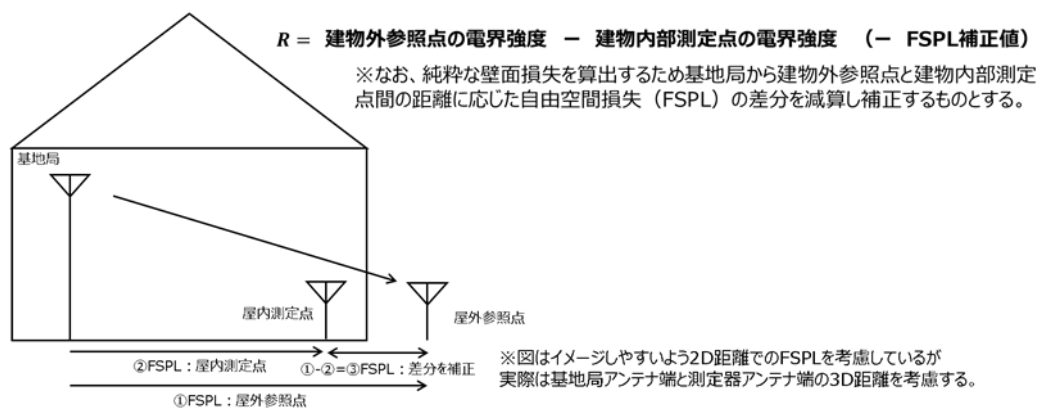


図 3.3.2.5-3 実測値からの R 値算出手法（再掲）

図 3.3.2.5-5(a)(b) 及び表 3.3-10 に、実証環境における壁面損失算出対象の測定地点及び算出結果を示す。図中の屋内測定点とその近傍の屋外参照点において、壁面損失の導出を行う事とする。なお、屋内測定点と屋外参照点の比較においては前述した手法により自由空間損失を補正しているが、その他損失は周辺環境要因にて異なり、建物外壁から遠方の屋外参照点はその他損失の影響が支配的になる。そのため、自由空間損失以外が含まれると判断した屋外参照点は精緻化対象から外している。

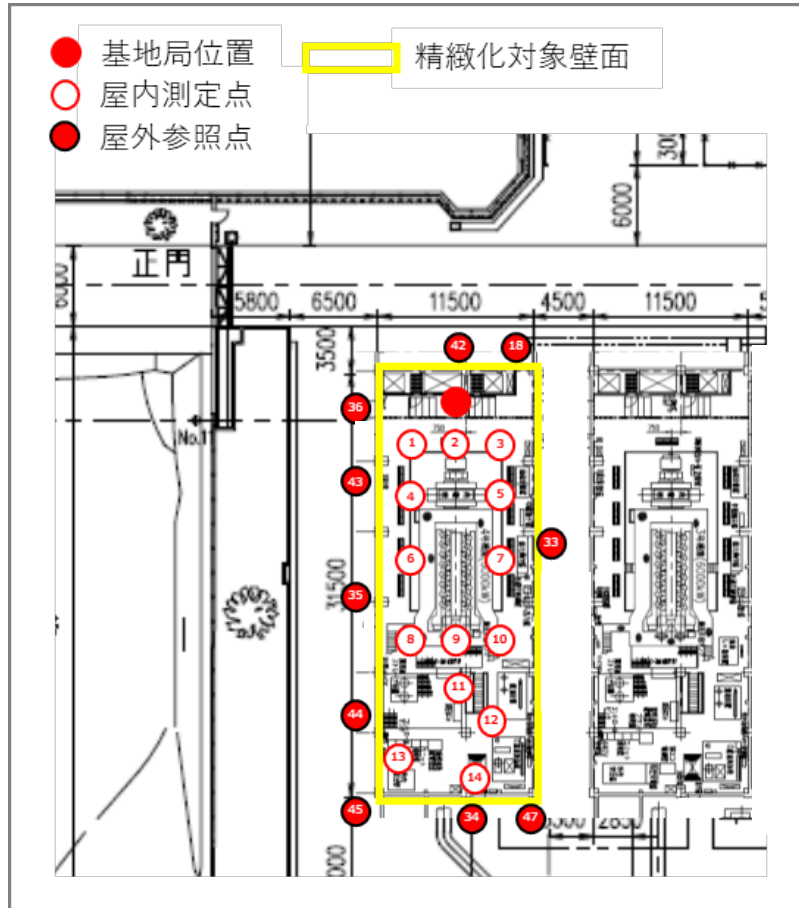


図 3.3.2.5-5(a) 測定地点(発電所 4 号機建屋内、及び建物周辺)



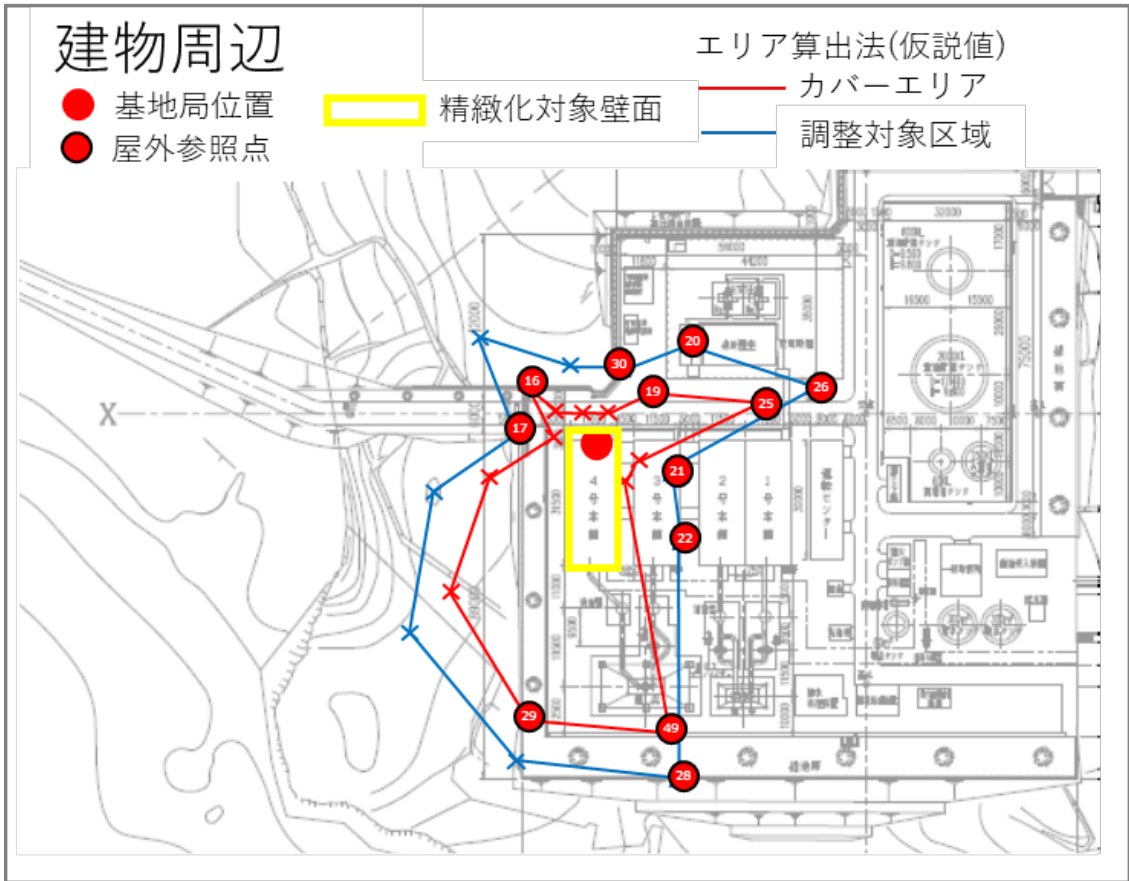


図 3.3.2.5-5(b) 発電所 4 号機建屋外における測定地点

表 3.3-10 壁面精緻化結果

比較対象		実測平均値 SS-RSRP (dBm)		自由空間	電界強度差分	R 値 (dB)
屋内 ID	屋外 ID	屋内測定点	屋外参照点	損失差分 (dB)	(dB)	
1	36	-73.07	-109.25	3.70	36.18	32.48
1	43	-73.07	-108.38	5.14	35.31	30.17
2	42	-69.12	-131.47	7.49	62.35	54.86
3	18	-71.58	-120.36	8.06	48.78	40.72
4	43	-73.01	-108.38	0.98	35.37	34.39
5	33	-67.86	-129.94	6.70	62.07	55.38
6	35	-77.28	-110.90	1.44	33.62	32.18
7	33	-71.19	-129.94	2.28	58.74	56.47
8	35	-78.83	-110.90	2.38	32.07	29.69
9	35	-81.11	-110.90	2.17	29.79	27.62
10	33	-80.37	-129.94	1.42	49.57	48.15
11	44	-82.16	-127.84	2.05	45.68	43.63
12	41	-85.07	-129.88	10.03	44.81	34.78
13	44	-84.84	-127.84	0.15	43.00	42.84
13	45	-84.84	-119.80	1.85	34.96	33.10
14	34	-81.87	-117.46	1.39	35.59	34.20
14	41	-81.87	-129.88	8.81	48.02	39.20
1	16	-73.07	-118.50	12.40	45.43	33.04
1	17	-73.07	-118.42	10.35	45.35	35.00
2	30	-69.12	-122.17	16.61	53.05	36.44
3	19	-71.58	-124.15	17.02	52.57	35.55
3	20	-71.58	-125.31	18.87	53.73	34.85
3	25	-71.58	-140.27	20.56	68.68	48.13
3	26	-71.58	-139.01	22.47	67.42	44.96
5	21	-67.86	-136.13	10.66	68.27	57.61
5	22	-67.86	-137.14	12.24	69.28	57.03
7	22	-71.19	-137.14	7.83	65.95	58.12
14	49	-81.87	-122.84	6.73	40.98	34.25

14	28	-81.87	-129.60	8.77	47.73	38.96
13	29	-84.84	-121.51	8.84	36.67	27.83

表 3.3-11 に表 3.3-10 にて算出したRの精緻化値と対象壁面の材質／厚さ／面積率を示す。なお、精緻化値については壁面ごとに算出したR値の平均値を記載している。図 3.3.2.5-5 に壁面ごとの測定状況を示す。

結果から、仮説値 31.4 dB に対し、鉄筋コンクリート造の強固な壁面、開口部が非常に少ない環境の結果としては精緻化値として、40.4 dB となる。

特に、発電所 4 号機建屋と隣接する発電所 3 号機建屋付近の測定点 21、22 ではR値が 57～58 dB と測定結果で最大となっている。これは、この測定点が、発電所 4 号機と発電所 3 号機の間であり、複数の壁面が存在することが原因である。

また、測定値から得られたR値は約 27 dB～約 58 dB と大きくばらついているので、全体平均を取った 40.4 dB を精緻化したR値として評価する。この値は、仮説値の 31.2 dB よりも 9 dB 程度高い値となる。

表 3.3-11 4.7GHz 帯における実証環境R値

周波数	建物	材質	厚さ	面積率	仮説値 R(dB)	精緻化値 R [dB]
4.7GHz	代表値					40.4
	鉄筋コンクリート造で構成された開口部が少ない壁面	コンクリート	350mm	99%	31.4	40.4
		金属開口扉	200m	1%		

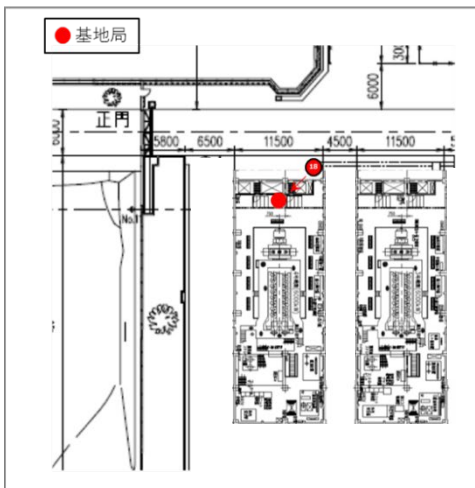


図 3.3.2.5-6(a) 屋外参照点の状況①

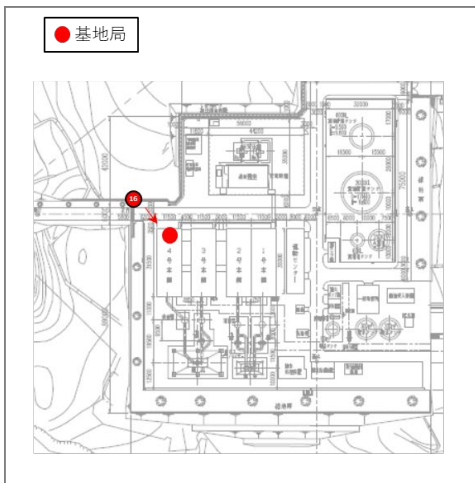


図 3.3.2.5-6(b) 屋外参照点の状況②

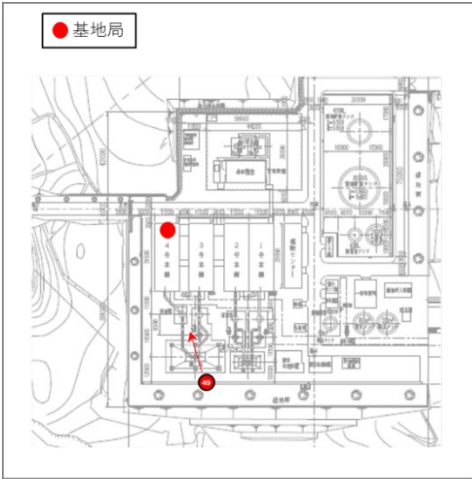


図 3.3.2.5-6(c) 屋外参照点の状況③

#### (5) 精緻化パラメータの妥当性評価

3.3.2.5章(4)にて精緻化を行った対象パラメータ“R”を用いて、図3.3.2.5-7に精緻化パラメータを用いたカバーエリア及び調整対象区域図を作成し、実測値から推定されるエリア図との比較を行うことでその妥当性を評価する。

最初に、全体平均という考え方を採用し、 $R = 40.4 \text{ dB}$ として精緻化エリアを描画した結果、以下のことが確認できた。

- ・発電所3号機壁面と接する発電所3号機付近では、精緻化したR値と実測エリアが合致する (図中①)。

- ・基地局に近い発電所3号機から発電所1号機方向に対しては、精緻化したR値より実測値が実測エリアが小さい (図中②)。

- ・上記以外の発電所4号機周辺においては、精緻化したR値より実測エリアが大きい (図中③)。

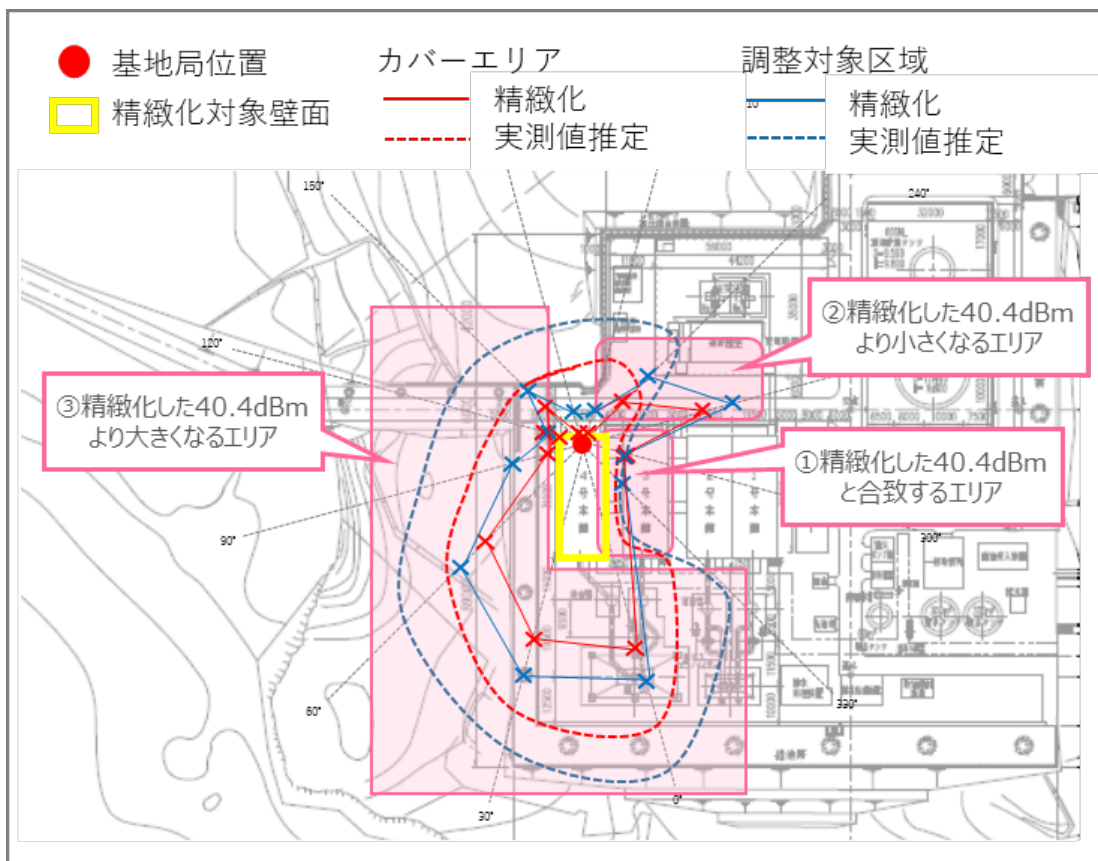


図 3.3.2.5-7 精緻化パラメータを用いたカバーエリア及び調整対象区域図、及び実測値との比較

図 3.3.2.5-8 では、精緻化Rに対し実測値との乖離があった部分について考察する。

結果から、基地局の遮蔽となる発電所4号機と隣接する発電所3号機の延長線上においては、精緻化R (40.4dBm) に近いと考えられる(図中①)。また、それ以外の発電所4号機周辺においては、仮説値R (31.4dBm) とほぼ一致する(図中②)。そのため、R値は壁面の状態によって、大きく変わるので、エリア推定には、慎重なパラメータ選定が必要であることがわかる。

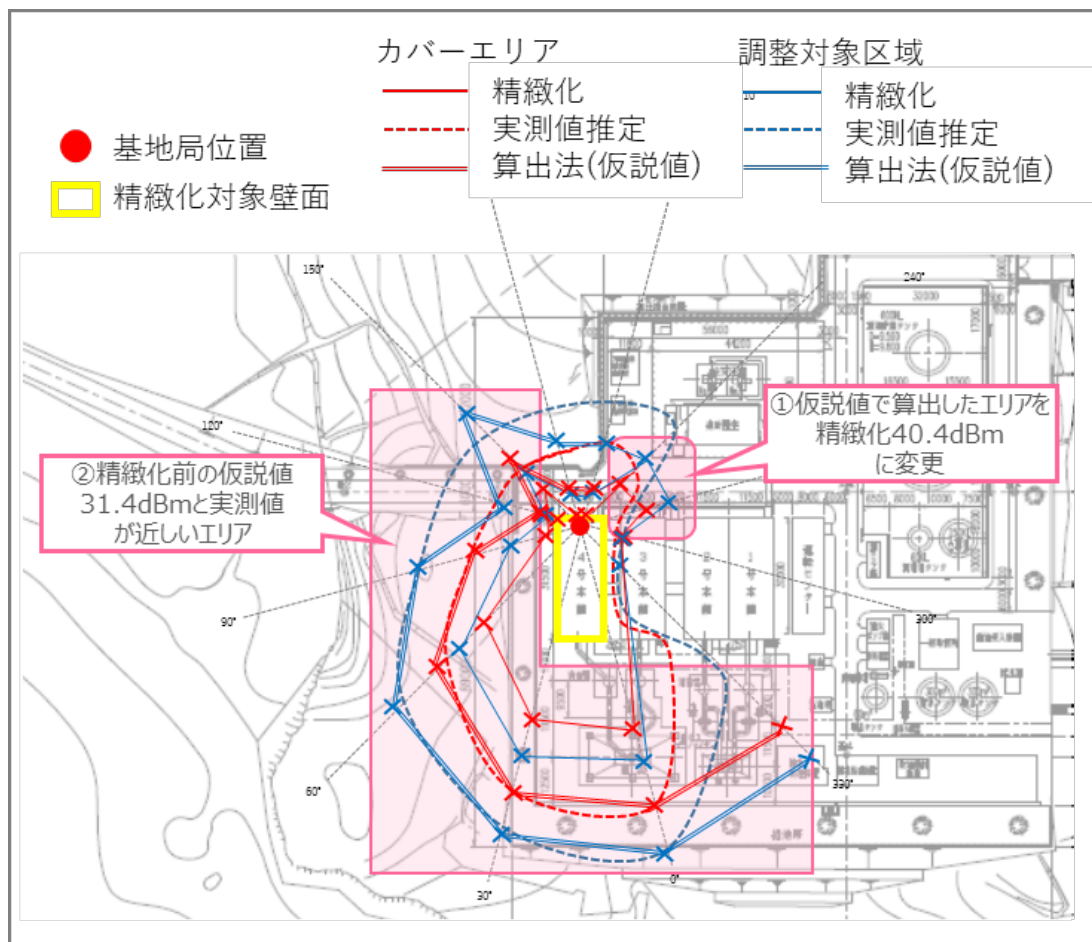


図 3.3.2.5-8 考察結果に基づくカバーエリア及び調整対象区域図



## (6) 技術的課題の解決方策

今回の実証では、発電所内において指向性のアンテナ1局（ローカル5G 4.7GHz帯（4.8～4.9GHz））を活用し、発電環境におけるエリア算出法パラメータR値の精緻化を実施した。その結果R値においては一般的な壁面より高い値となった。また、対象建物に別の建屋が併設される環境においては、同様の壁面構造である場合R値を倍にすることで、その方向におけるR値を精緻化する手法が有効であると考えられる。

また、本実証環境の電波伝搬モデルにおいては3.3.1.4章で考察した通り、屋内環境においてはLOS/NLOSどちらにおいても自由空間損失モデルに概ね一致しており、建物中心に大型の発電機が存在している状況でも、単純な伝搬モデルでエリア推定が可能と考えられる。一方で、屋外環境においては各測定地点ごとに伝搬ロスのはらつきが発生しており、これは特定方向に同様の発電機が存在しておりその遮蔽損失が支配的であるためと考えられる。そのため、屋外環境においては特定方向において周辺環境（建屋、樹木等）の損失影響を考慮するなどの伝搬モデルの使い分けが必要であると考えられ、やや複雑な環境と言える。

これらの結果から、自己土地外への電波漏洩の観点では、前述した通り、壁面に設置される金属扉等からの漏洩電力によって、建物外へ影響する可能性がある。その場合、他者土地にて他のローカル5Gシステムが運用される場合は互いに干渉調整が必要となることから、サービスエリア内のカバレッジを十分とりつつ、出来る限り調整対象区域を抑える置局設計が求められる。一方、本実証環境では、サービスエリア内において十分なカバレッジを確保できていることから、基地局の送信出力を下げる等の置局設計も考慮する必要があると考える。

## 4. ローカル5G活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

### 4.1 実証概要

九電送配電が運用を行う、新巻岐発電所4号機関室内にローカル5G基地局、巡視点検ロボットを配置し、従来発電所保安員が実施している巡視点検業務のロボットによる代替に関する検証を実施した。ディーゼル機関設備の運転状態を巡視点検ロボット搭載のハイパースペクトルカメラにより撮影・分析し、異常兆候の早期発見、ひいては電力の安定供給に資する課題解消を目的とした課題実証となる。

表 4.1-1 現状の課題

分類	現時点での課題(ミッシングピース)
運用面	<ul style="list-style-type: none"><li>保守体制(ローカル5G保守ベンダー)</li><li>想定される適正な保守レベルの確定</li></ul>
技術面	<ul style="list-style-type: none"><li>等価等方輻射電力を抑える制限がある環境でのエリア形成手法の確立</li><li>ハンドオーバー時のデータ伝送速度減衰影響の確定と最適なエリア設計手法の確立</li><li>屋内の遮蔽物がある環境下でのエリア形成方法の確立</li></ul>
経済面	<ul style="list-style-type: none"><li>費用感の妥当性・納得性</li><li>導入ユーザー負担費用</li><li>費用対効果</li></ul>
普及展開	<ul style="list-style-type: none"><li>電力業界、他業界が抱える課題解決ソリューションの適合化</li><li>潜在的ユーザーニーズの把握</li></ul>

## 4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

### 4.2.1 電力分野の運用管理における課題

本項では現在の電力業界全体を取り巻く環境や内燃力発電所の現状及びその地理的特異性による課題を中心に記載する。

#### (1) 電力全体を取り巻く課題

現在、電力分野においては構成する設備の経年劣化や電気保安人材の高齢化・人材不足、そして再生可能エネルギー業者等の参入に伴う電力分野を構成するプレイヤーの多様ななどの産業構造の変化への課題に直面している。また、近年大型台風や豪雨等の自然災害の激甚化や、新型コロナウイルス感染対策を行いながらの電力の安定供給の実現などの外部環境変化の課題も多く出現している。電力供給は社会活動の基盤となる重要インフラであり、そのための保安作業についても安定性と効率性の向上及び高度化を図っていくことが必要である。

このような状況にあって、近年ではIOT、AIやドローンに代表されるような新しい技術が登場し実用化されており、電気保安の分野においても安全性を前提とした電力の安定供給を将来にわたり実現するべく、これらの技術の活用による電気保安水準の維持向上及び生産性向上等を両立させる保安・運用管理のスマート化の推進が強く求められている。

経済産業省産業保安グループでは、スマート保安官民協議会電力安全部会を設置し、官民連携での電気保安のスマート化について検討を行った。具体的には電気保安のスマート化について、2025年をターゲットイヤーとし、現状の課題や導入が期待される技術を踏まえ、電気保安の将来像やスマート化実現に向けたポイントを整理し、官民のアクションが検討・整理されている。



図 4.2-1 スマート保安官民協議会の位置づけ

【出典】電力保安分野スマート保安アクションプラン 令和3年4月(スマート保安官民協議 電力安全部会)

## (2) 発電設備を取り巻く課題

内燃力発電所を含む火力発電所においては再生可能エネルギーの導入拡大、脱炭素化への潮流、発電・送電分野の分離等様々な要因に伴い、設備の老朽化が顕在しつつある。<sup>9</sup>

図 4.2-2 に九州電力管内の火力発電設備の経年別台数を示す。保有発電設備のほぼ半数が運開後30年を超える高経年機となりつつある。

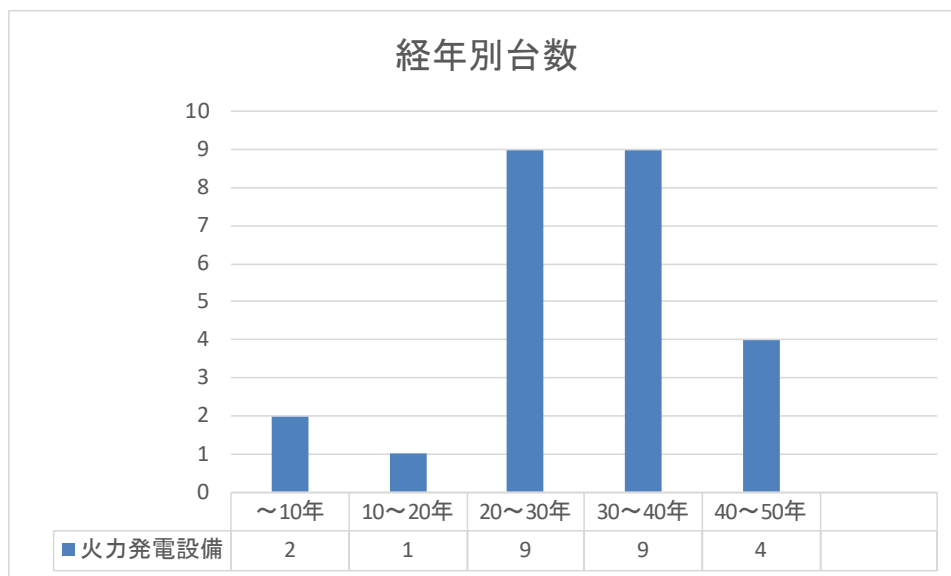


図 4.2-2 九州電力管内火力発電設備の経年別台数

【出典】九州電力ホームページより

こうした設備の経年化や保安人材不足等に直面する課題について一層の対策が必要となっている。その他設備特有の課題として下記が挙げられる。

- ・ 発電設備については構成設備が多岐にわたり点検箇所も広範なため、日々の巡視点検に多くの時間と労力を要している。
- ・ 設備保安の維持のため、定期事業者検査があるが、それまでの運転状況や設備の劣化状況に関わらず一定のインターバルで設備を停止し検査を行う必要がある。

<sup>9</sup> 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令では内燃力発電所も火力を原動力として電気を発生するために施設する電気工作物と位置付けられており、スマート保安を含めた全体的な共通課題を抱えるため、火力の現状を記載

- ・ 機器の分解や設備内部の点検用足場組立等、検査準備等の作業にも多くの時間と労力がかかり、ボイラー、煙突他の高所・狭所部分の点検、危険作業も存在
- ・ 通常時も発電設備の常時監視制御及びその他の法令遵守のため、一定の職員が昼夜問わず常駐し、設備の維持管理を行う必要がある。

図 4.2-3 に示す通り、経済産業省スマート保安官民協議会で策定された「スマート保安推進のための基本方針」において、2025年を目標年次とし、センサーやドローンについては現在の巡視点検における補完性、代替性を確認したうえで、保安力の向上を図りつつ、点検の省力化、コスト面での更なる合理化を目指すとしている。また、有用であるが現在確立していない技術（例：状態監視技術等を活用した点検時期の最適化）の開発の促進についても合わせて言及されている。スマート技術の活用を通し、保安力の維持・向上を図ると共に、異常の予兆を的確に把握することにより、計画的なメンテナンスに寄与することで、計画外停止を低減し、調整電源やベース電源としての機能を果たすことも目標設定されている。

上述の発電設備を取り巻く現況及び課題については次項以降に記載する。なお、離島内火力発電設備についても共通する内容となっている。

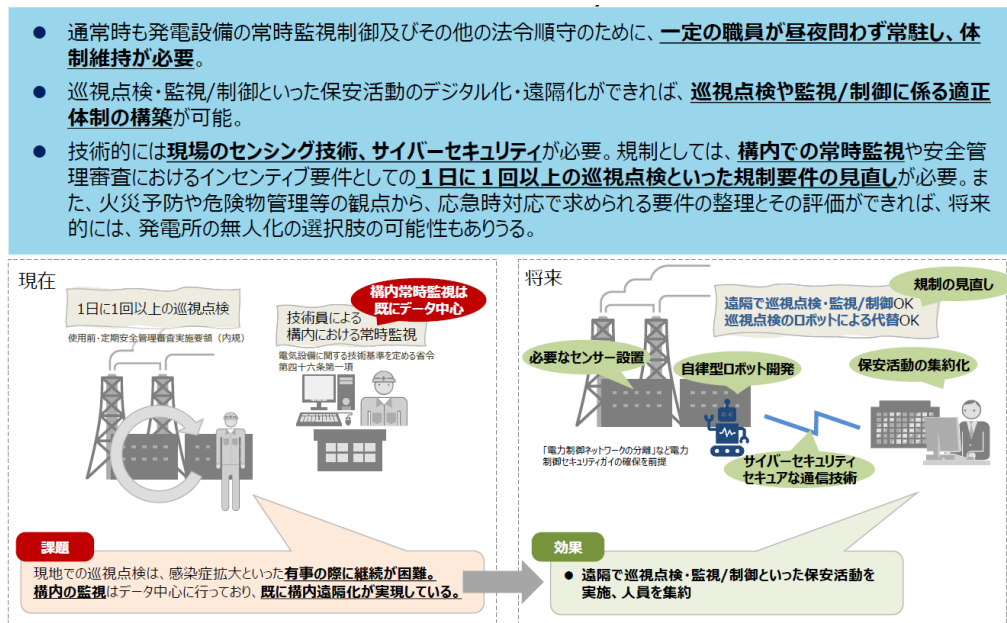


図 4.2-3 発電分野における技術 巡視点検監視／制御のデジタル化遠隔化

【出典】 経済産業省電力保安分野スマートアクションプランの概要

## 4.2.2 離島の発電設備運用管理における問題意識

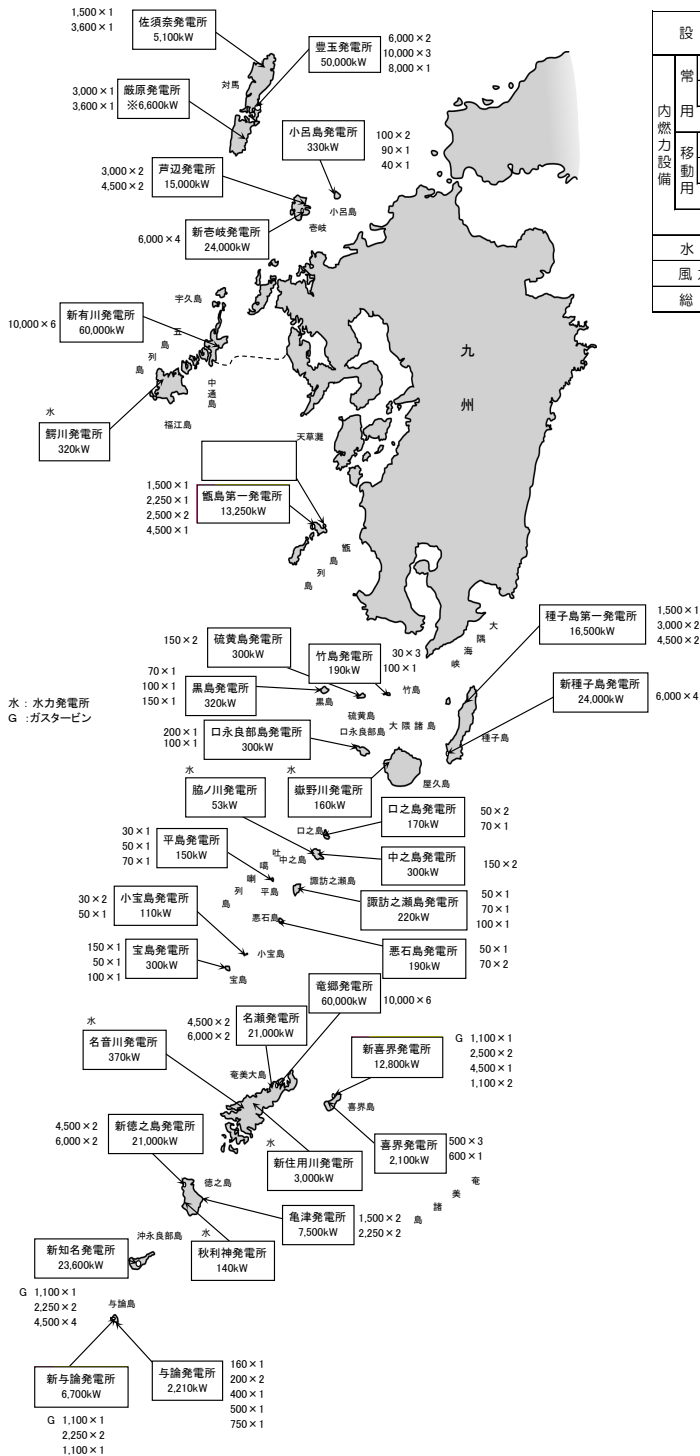
### (1) 九州の離島の概要

九州はその地理的特性から大小様々な離島を抱えている。有人島内の電力供給はその地理的特徴から内燃力（ディーゼル機関設備）、水力、太陽光、風力などが中心となっているが、建設期間の短さ、電力調整力といったメリットから、島内発電設備容量のうち内燃力発電所が占める割合は非常に大きい。

2021年4月現在の九州離島内における内燃力発電所数は39箇所、ユニット総合計132台、設備容量は400,000kW程度となる。設備容量ベースでは全国の内燃力発電設備の約50%が九州管内に集中している。

九州離島の電力供給は各島の地理的条件等によって供給開始の時期、供給規模も様々である。昭和18年2月戦時下の「配電統合令」によって、その大部分は当時の九州配電に統合され、昭和26年の「電気事業再編成令」により九州電力が設立され、引き継がれた。

# 離島発電所位置図



設備名	発電所数	設備容量 (kW)	台数	
内燃力設備	常用	30ヶ所	370,940	115
	ガスタービン (3ヶ所)	3,300	3	
	計	30ヶ所	374,240	118
	移動用	2ヶ所	3,530	8
移動用	ガスタービン	14,600	6	
	計	2ヶ所	18,130	14
水力計	6ヶ所	4,043	6	
風力(自社)	1ヶ所	250	1	
総合計	39ヶ所	396,663	139	

■内燃力発電設備 (常用)

支社	管轄	島別	発電所名	設備容量 (kW)	台数					
福岡	対馬	対馬	佐須奈	5,100	2					
			豊玉	50,000	6					
			蔵原※1	6,600	2					
				計	61,700	10				
	香岐	香岐	香岐	芦辺	15,000	4				
				新香岐	24,000	4				
						計	39,000	8		
				種子島	種子島	種子島	小呂島	330	4	
	新有川	60,000	6							
			計				161,030	28		
鹿児島	鹿児島	鹿児島	蔵原第一	13,250	5					
					計	13,250	5			
			十島	十島	十島	竹島	190	4		
						硫黄島	300	2		
						黒島	320	3		
						計	810	9		
	奄美	奄美	奄美	口之島	170	3				
				中之島	300	2				
				平島	150	3				
				諏訪之瀬島	220	3				
悪石島				190	3					
		小宝島	110	3						
		宝島	300	3						
			計	1,440	20					
熊本	熊本	熊本	口永良部島	300	2					
			種子島第一	16,500	5					
			新種子島	24,000	4					
			計	40,500	9					
鹿児島	鹿児島	鹿児島	喜界	2,100	4					
			新喜界	12,800	6					
					計	14,900	10			
			奄美	奄美	奄美	奄美大島	60,000	6		
						名瀬	21,000	4		
								計	81,000	10
			徳島	徳島	徳島	新徳之島	21,000	4		
						亀津	7,500	4		
								計	28,500	8
						新島	新島	新島	新知名	23,600
		計	23,600	7						
与論	与論	与論	与論	2,210	6					
			新与論	6,700	4					
			計	8,910	10					
			全支社計	374,240	118					

図 4.2-4 九州離島配置図

【出典】九電送配電資料



## (2) 九州の離島における発電設備の現状と課題

戦後、九州電力管内における離島発電設備は小・中型の内燃機関（ディーゼル機関設備）をベースに電力供給がなされてきた。高度成長期の1975年以降、市街地への発電設備の増設が困難となったことから、島内郊外地域の敷地を購入し、大容量ディーゼル機関の建設が進んだ。そうした大容量ディーゼル機関は今日に至るまで40年に渡り、島内の基幹電源として電力の供給を継続している。

こうした歴史背景から大容量ディーゼル機関は設置後40年を過ぎた高経年機の台数が増えており、ディーゼル機関及び発電付帯設備の配管等からの漏油・漏水といった不具合が増えつつある。また昨今島内における再エネ電源の増加に伴い、系統電力調整のためのディーゼル機関の低出力運転や機関の運転・停止回数の増加に伴い燃焼系機器の不具合、吸排気設備のトラブル、また同様に屋外プラント機器の老朽化が加速しつつあり、こういった要因も漏油・漏水の多発原因の一部と推測される。

このような状況下において内燃力発電所運転保安員は2名×3直の体制で日常巡視点検、運用調整業務、不具合対応等を行っている。

### 【離島発電設備高経年化の現状】

主力機関120台のうち40年以上が約45%を占める。

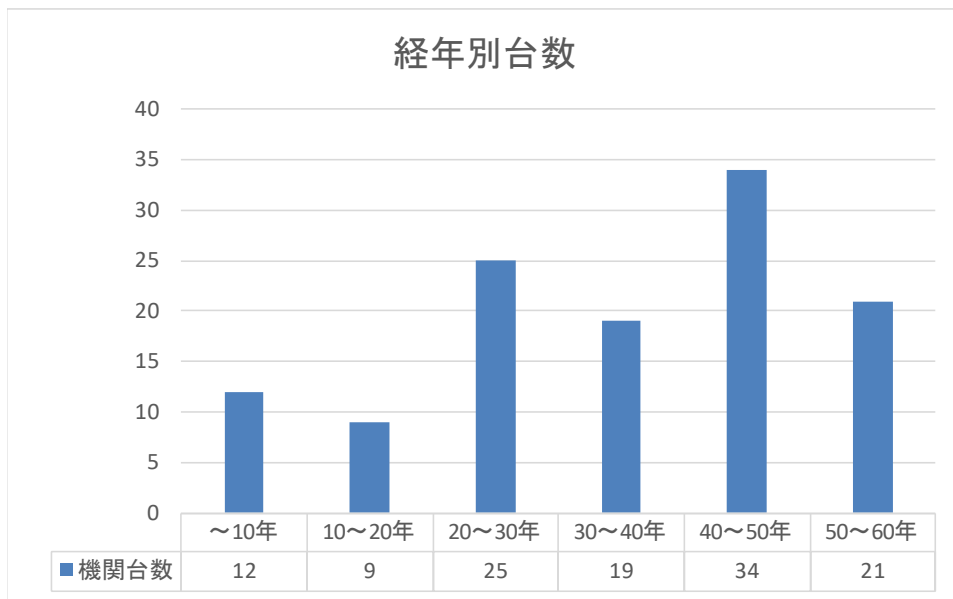


図 4.2-5 九州離島発電所経年別台数(移動用発電設備は除外)

【出典】九電送配電資料

### (3) 発電設備の不良不調の現状

前項記載の通り、発電設備の高経年機が進んでおり、ディーゼル機関の各種配管からの亀裂による漏油・漏水及び屋外プラント設備の経年劣化による大口径配管の漏水など増加傾向にある。表 4.2-1 は長崎県新壱岐発電所及び鹿児島県新種子島発電所における2019年の不具合件数を表したものである。

表 4.2-1 2019年度 長崎県新壱岐発電所及び鹿児島県新種子島発電所不具合件数

不具合要因	新壱岐発電所 (2019年件数)	新種子島発電所 (2019年件数)	備考
漏気	50	45	排ガス、蒸気の漏れ
漏水	37	42	軸冷水、冷却水の漏れ
漏油	27	31	潤滑油・燃料油の漏れ
機器不良	83	91	機器本体、部品不具合等
その他	44	55	上記に該当しないもの
全体	241	264	

不具合要因の中で漏気、漏水、漏油で半数程度の件数を占めており、配管接手、バルブ、機関本体、燃料移送設備、油清浄機廻りでの件数が目立つ。

また、2013年以降は、九州管内離島のうち、とりわけ壱岐島、種子島を中心に、太陽光や風力といった再生可能エネルギーが急速に拡大しており、不安定電源に対する電力品質の維持や系統変動抑止のためのきめ細やかな出力調整が日々必要となっている。このため、ディーゼル機関の低出力運転や機関起動停止の増加により低効率の運用を余儀なくされ、ディーゼルエンジンの不完全燃焼による燃焼機器の不具合や機関温度上昇、更には排気ガス異常(燃焼不安定)など増加傾向にある。これらの不具合は保安員の巡視点検において、早期発見し的確に対応することが、保安員の日常巡視点検の重要な業務である。

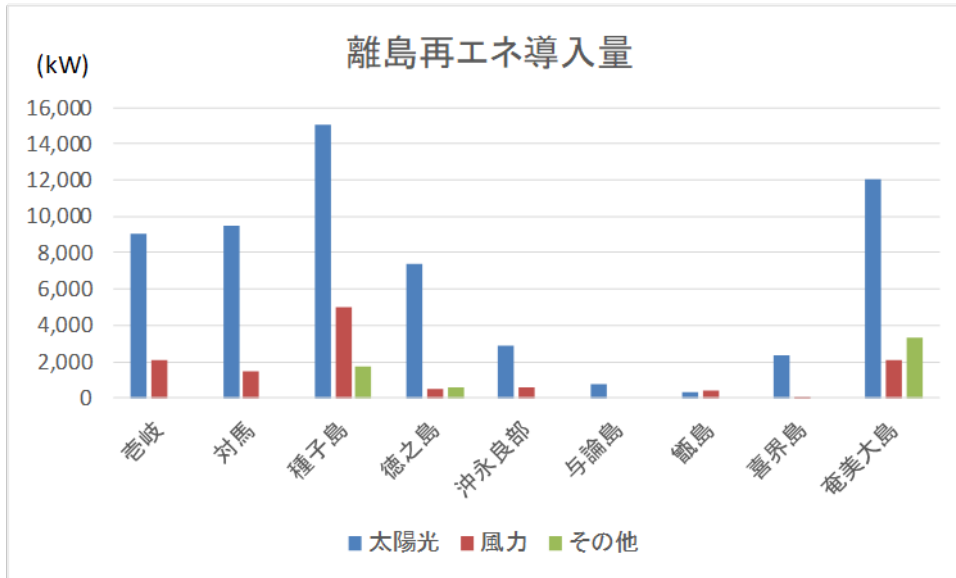


図 4.2-6 九州管内離島における再エネ導入量

【出典】九電送配電（2021年4月 接続済、接続承諾済分含む）

一方で、再生可能エネルギーの導入拡大で保安員の需給運用業務も煩雑化かつ高度化する状況にあり、巡視点検業務の頻度増加や高度な技術対応が求められている。

図 4.2-7 は2021年4月上旬の晴天時の壱岐島における電力需要及び需要に対して供給される再エネ及び火力・内燃力の電力の割合を表したものである。壱岐島需要の47%程度が再生可能エネルギーの電力で供給されている。すなわち電力の調整役割を果たす内燃力機関は必要台数の調整（⇒起動停止の頻発化）、低負荷運転（効率低下、ディーゼル機関劣化加速）を強いられることとなる。

表 4.2-2 電力の調整（内燃力）

ユニット効率	高	⇒	低
機関発電機出力	定格出力	⇒	低出力
機関起動停止回数	連続運転	⇒	頻度高
機器の安全性	高	⇒	低

【出典】 コンソーシアム作成

\*発電ユニットは通常定格出力での運用が最も効率が良い運転状態となる。低出力での運転や起動停止回数が多い場合、燃費効率の低い運転を強いられることになる。また頻繁な起動停止を行う場合、機械機器・配管の熱収縮が継続することとなり、ユニットの劣化も進むこととなる。

		4月7日（火） 沓岐		4月8日（水） 沓岐		4月9日（木） 沓岐		
		前日計画 [出力抑制後]	実績	前日計画 [出力抑制後]	実績	前日計画 [出力抑制後]	実績	
気象 予報	天候	晴	晴	晴	晴	晴	晴	
	最高気温	16.6℃	17.2℃	15.9℃	16.7℃	15.2℃	16.3℃	
需 給 バ ラ ン ス	下げ調整力最小時刻	13時	13時	13時	13時	13時	14時	
	需要 (前日計画との差※)	14,300kW	14,120kW (-180kW)	14,400kW	14,120kW (-280kW)	14,300kW	13,370kW (-930kW)	
	発電出力合計	14,300kW	14,120kW	14,400kW	14,120kW	14,300kW	13,370kW	
	内 訳	火力 (最大出力に対する割合)	7,708kW (51%)	7,750kW (52%)	7,887kW (53%)	7,920kW (53%)	7,726kW (52%)	8,000kW (53%)
		再エネ（太陽光・風力） (前日計画との差※)	6,592kW	6,370kW (-222kW)	最小出力程度まで調整		5,370kW -1,204kW	
火力の最大出力		15,000kW	15,000kW	15,000kW	15,000kW	15,000kW	15,000kW	
火力の最小出力		7,500kW	7,500kW	7,500kW	7,500kW	7,500kW	7,500kW	

図 4.2-7 沓岐島における再生可能エネルギー接続状況及び電力需要

【出典】 九州離島における再エネ発電設備の出力抑制の検証結果（電力広域的運営推進機関）

#### (4) 九州の離島における発電設備熟練保安員の現状

離島内燃力発電所保安員の業務はディーゼル発電機の起動停止操作、ユニットの運転、保守を基本とするが、電力需給運用業務（電力需要予測、再エネ発生電力予測）や系統運用業務（電力周波数、電圧調整を基に電力品質を維持）及び燃料油及び潤滑油の受け入れ、日常巡視点検と幅広い管理業務に従事している。更に近年離島においては、再生可能エネルギー導入拡大により、不安定電源の拡大に対する電力品質維持管理を目的に、再エネ出力制御、きめ細やかな需給運用が求められており、今後益々高度な電力保安技術力が必要となっている。

しかしながら技術力を有する保安員の数は定年に伴い2017年以降減少する傾向にあり、過去5年間余りで離島内燃力の熟練保安員は約20%以上減少している。

離島においても、大型再生可能エネルギーが普及拡大し、更に洋上風力、潮流発電等新技術発電が増加する中で電気保安に対する人材不足に対応する有力な手法として、「発電所内監視システムのDX（デジタルトランスフォーメーション）」の推進が挙げられる。

たとえば、発電所内巡視業務の内 ① 保守員が実施していた日常巡視点検業務や設備運転状況の手書き入力省力化、② ロボットや高精度カメラによる経時的なデータ収集・解析により、人が瞬時に確認できない微細な変化(漏油、漏水、クラック、圧力変動等)の自動検知を可能とし、機器の異常兆候の早期検出、配管や部品の破損が拡大する前に適切な処置を行う事が可能となり、業務の効率化と安定した電力供給に貢献できる。

## (5) 自然環境対策等の現状

### A 災害対応

九州管内、とりわけ鹿児島地区の離島については夏季に台風の通り道となることから、電力設備への影響は非常に大きい。設備被災時の迅速な復旧を目的に、台風、豪雨災害発生前に臨時宿直体制確立や九州本土からの人員派遣を行い、電力設備の維持管理を図っている。2015年5月に発生した鹿児島県 口永良部島噴火の際は九州電力本店及び支社に非常災害対策総本部を設置し、防災体制に入った。当時屋久島町より全島民に避難指示が出たことから、発電所保安員や設備保修要員などは屋久島に一時待機し、口永良部島発電所の運転を継続した。この経験より九州電力では口永良部島に遠隔地より停電を復旧させるシステムの導入を行った。電力設備停電時には鹿児島市にある鹿児島支社より島内の発電所の起動・停止や状態監視が可能となっている。こうした経験を踏まえ、離島発電所における機器の遠隔監視の重要性は非常に明確化されてきている。



図 4.2-8 九州電力災害対応

【出典】九州電力 Face book

## B 感染症対策

発電設備の運用を支える保安員については、設備の規模によるが1発電所あたり、3～20名程度の要員で構成されている。職場内で感染症発生の場合の影響は甚大であり、最悪の場合発電所運転が困難となることが予想される。九州電力を含む電力各社は、新型インフルエンザ等対策措置法に基づき、最大40%の従業員が欠勤した場合においても、安定供給を確保するための業務を維持することなどを内容とする「業務計画」を策定しており、この計画に基づいて対応を行っている。特に、電力の安定供給の要である中央給電指令所や発電所においては、班ごとに担当者が相互接触しないローテーションで業務を行い、感染者が確認された場合や災害が発生した場合にも代替人員がオペレーションを行えるバックアップ体制も構築している。九州の離島においても離島発電所業務経験者のリストアップ、バックアップ要員の確保に努めている。こうしたことを踏まえ、運用・保守業務の維持・効率化・遠隔化・高度化への取組は必須の課題となっている。



### 電気事業者及びガス事業者に対して電気及びガスの安定的かつ適切な供給の継続を要請しました

2020年4月8日

#### ▶エネルギー・環境

経済産業省は昨日、新型インフルエンザ等対策特別措置法の規定に基づき、新型コロナウイルス感染症に関する新型インフルエンザ等緊急事態宣言が発令されたことを踏まえ、電気事業者及びガス事業者である指定公共機関及び指定地方公共機関等に対して、改めて、電気及びガスの安定的な供給及び現場の安全の確保に万全を期すことを要請しました。

#### 本件概要

令和2年4月7日付けで新型インフルエンザ等対策特別措置法（平成24年法律第31号。以下「法」という。）第32条第1項の規定に基づき、新型コロナウイルス感染症に関する新型インフルエンザ等緊急事態宣言がなされました。

また、同日開催された新型コロナウイルス感染症対策本部では、「新型コロナウイルス感染症対策の基本的対処方針」の改定が行われ、この中では、「緊急事態宣言時に事業の継続が求められる事業者」として、電力、ガスなどのインフラ関係事業者が挙げられています。

新型コロナウイルス感染症対策については、これまでも累次にわたって、要請や注意喚起などを行ってきたところですが、上記を踏まえ、電気事業者及びガス事業者である指定公共機関及び指定地方公共機関に対して、改めて下記の事項を要請しました。

また、指定公共機関である電力広域的運営推進機関に対しても、広域的な電気の安定供給の確保に万全に期すことなどを要請しました。

## 図 4.2-9 経済産業省電力安定供給継続の要請

【出典】経済産業省ニュースリリース



(6) 課題解決ツリー(イシューツリー)

内燃力発電所における課題の範囲を、保安員の日常巡視点検で行う監視項目とした。

以下に問題解決ツリー (イシューツリー) を示す。日常巡視点検では発電設備の経年に伴う事故を未然に防止するために、保守点検員の高齢化と保守員の人手不足に伴う巡視員の不足という課題に対して、ローカル 5 G を含むデジタル技術を活用したソリューションについて実証を行った。

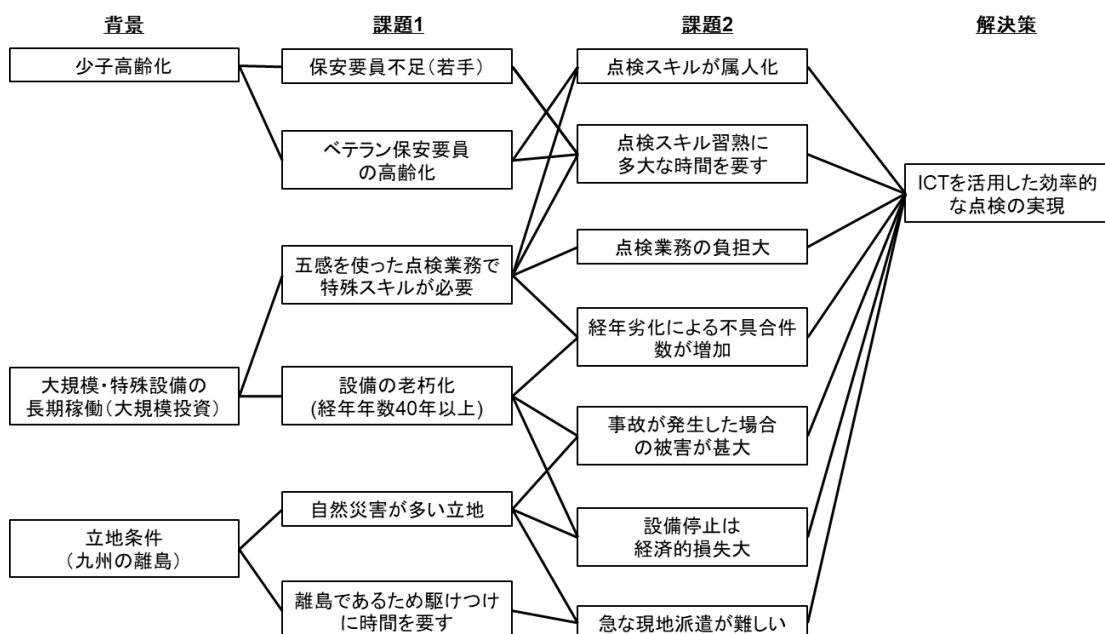


図 4.2-10 発電所保守管理に対するイシューツリー

(7) まとめ

前項までに離島内燃力設備の現状及び課題について説明した。その内容を踏まえ図 4.2-10 記載の 이슈ツリーによって明確となった課題及び解決策に対し下記の①及び②がクローズアップされていることが分かる。

① 巡視点検業務の効率化

② 設備の遠隔監視・連続監視手法の確立

実証においては上記の①及び②項の達成に向けたソリューションの実証試験を行った。具体的には保安員が実施する巡視点検業務の高度化並びに稼働削減を目的に導入する、ソリューションの現時点での効果を検証すると共に、将来展開に向けた課題抽出を行った。巡視点検業務では (a) 人の五感を活用したユニット稼働状態の確認、(b) ユニット不具合を事前に察知、(c) 機器の注油、稼働ベルトの調整、フィルター切替え作業などがあるが、実際に人の手が介在することにより完結する作業を除いた (a) 及び (b) 作業のソリューション適用により削減することを最終目標とし、その第一段階となるフェーズ1 作業が今回の実証に該当する。本格導入に向けたフェーズ作業については下記を想定している。

表 4.2-3 導入フェーズ目標

目標達成に向けたフェーズ	目標
フェーズ1	ユニット巡視点検範囲のうち、保安の高度化、省力化への効果が大きい、ディーゼル機関廻りの点検についてソリューション導入を行う。特に HS カメラとローカル 5G ネットワーク網を利用した漏油・漏水検知についてその効果、実運用に向けた課題抽出を行う。
フェーズ2	フェーズ1でソリューション導入する範囲の拡大を目的に、既設設備の改造範囲の洗い出し、抽出を行うと同時にフェーズ1で明るみとなった課題に対し更なる技術革新・検討を行うフェーズ
フェーズ3	機関室以外の巡視点検範囲である、屋外共通設備、燃料受入れ設備、変電設備へのソリューション導入を行うフェーズ。また本段階では発電ユニット全体への適用条件・技術が概ね満たした状態であることを踏まえ、その他発電設備、その他インフラ設備への導入展開に向け、ビジネスモデルの確立を平行して進めて行く段階

### 4.2.3 内燃力発電設備が抱える課題に対するソリューションの検討

本項では前項にて記載した課題ごとの整理を行い、ローカル5G（高速度、大容量）及び巡視点検ロボット（設備の連続監視、監視手法の多角化）を用いた実証の対象（保安業務項目の代替範囲）の選定に至る経緯について記す。

#### (1) 内燃力発電設備の保安業務の位置づけ

発電所の機器の巡視点検については電気事業法による電気工作物の工事・維持及び運用に関する保安の確保が定められており、これに基づき適切な設備の運用、保安を行っている。

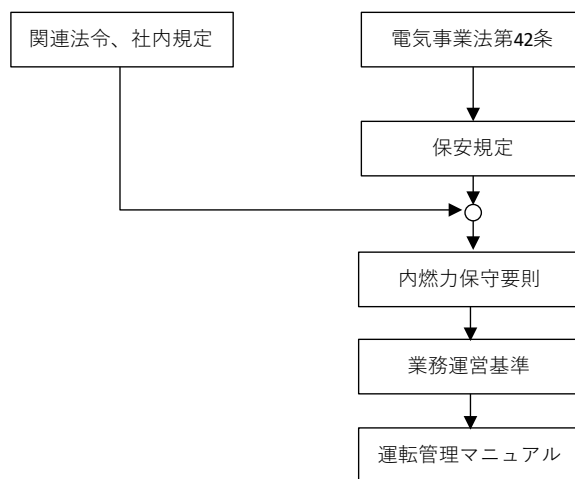


図 4.2-11 発電所運営に関する法体系

出典：コンソーシアム

なお、電気事業法の保安に関する条項は電気事業法第42条に明記されており、これに基づき運転、巡視点検、保安に関する記録業務を行っている。

特に下記①～④に記載されている項目に関しては記録として保管されることが定められている。

- ① 電気工作物の工事、維持又は運用に関する保安のための巡視、点検及び検査に関すること。
- ② 電気工作物の運転又は操作に関すること。

- ③ 発電所の運転を相当期間停止する場合における保全の方法に関すること。
- ④ 電気工作物の工事、維持及び運用に関する保安についての記録に関すること。

(2) 内燃力機関設備の概要及び日常点検

運用中の内燃力設備はディーゼル機関が主要設備となっている。ディーゼル機関は往復内燃機関とも呼び、エンジン内部にピストン等の摺動部、点火装置、排ガス設備、発電機等の回転機器及び燃料供給設備、潤滑油系統・冷却水等複数の機器で構成されている。

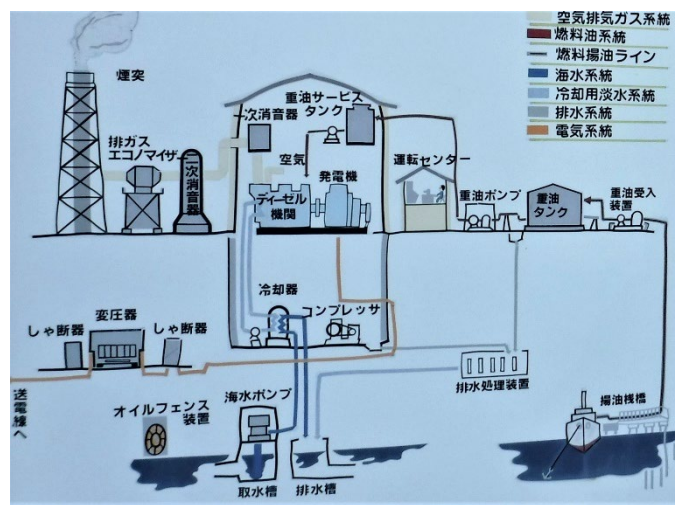


図 4.2-12 内燃力設備概要

【出典】新巻岐発電所見学者用説明

各機器の異常の有無を早期発見することにより、トラブルを未然に防ぐことは設備の安定運用において最も重要である。こういった側面から、機器の状況や運用状態を熟知した保安員の経験や、運用に関する技術力を保持することは一つの課題となっている。内燃力発電所における保安員の主な巡視点検箇所は下記の通りである。

表 4.2-4 巡視点検箇所 【出典】コンソーシアム

機関室内	本館建屋廻り	屋外共通設備
ディーゼル機関本体	排ガスエコノマイザ	重油貯蔵タンク設備
発電機	煙道	補給水処理設備
計器収納盤	海水ポンプ	消火設備
1F,BF 補機室	屋外変電所	取放水設備
2F C・A 重油サービスタンク他	排水処理装置	煙突廻り



図 4.2-13 ディーゼルエンジン設備 全体



図 4.2-14 ディーゼルエンジン設備 左

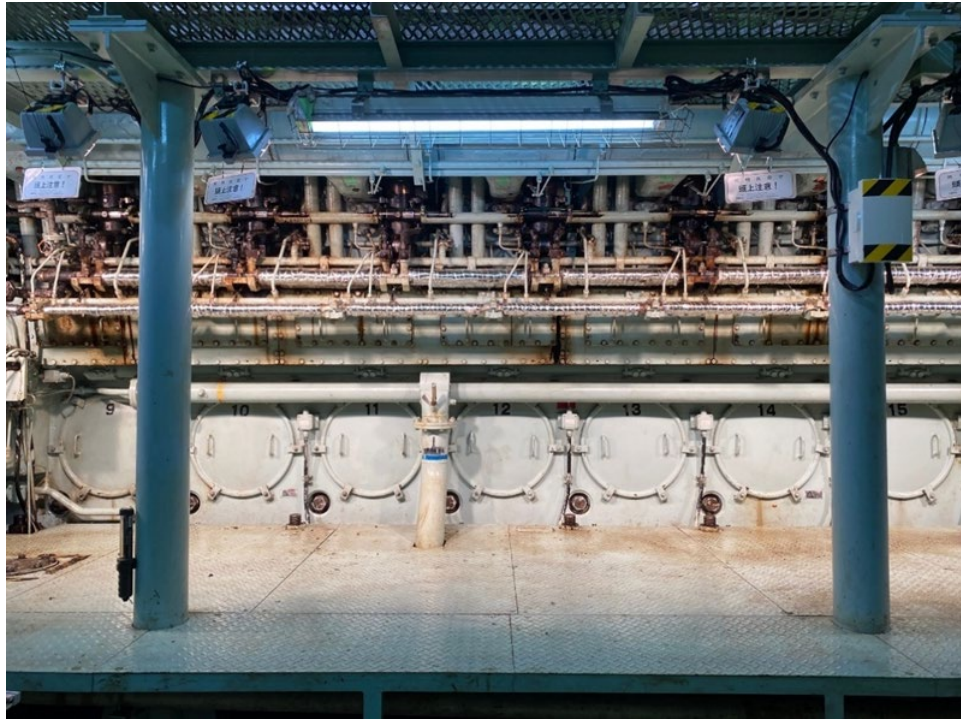


図 4.2-15 ディーゼルエンジン設備 中央

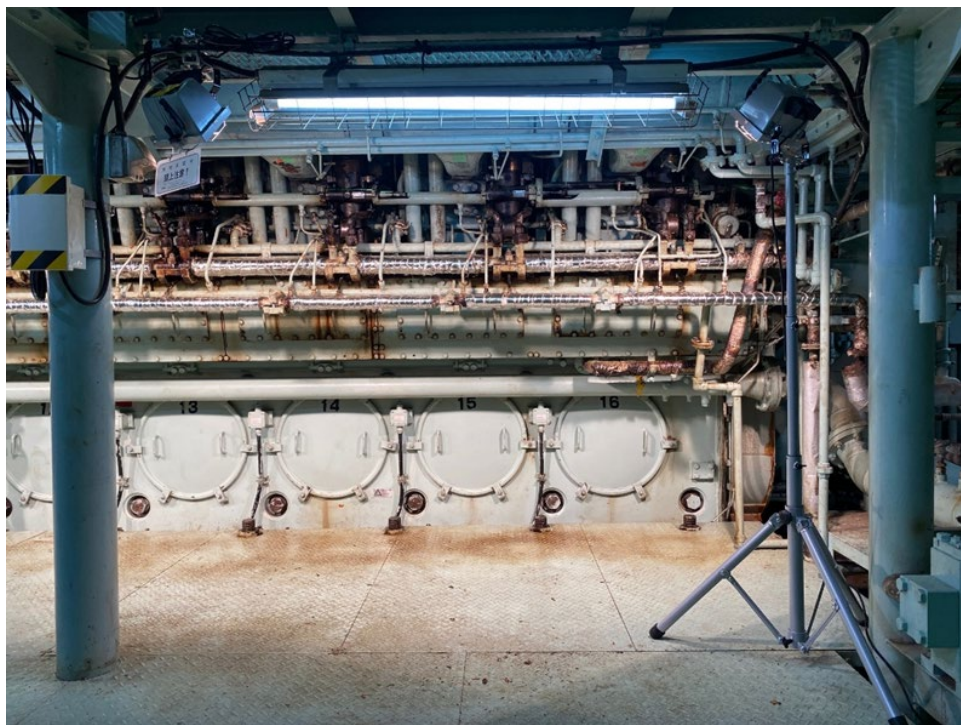


図 4.2-16 ディーゼルエンジン設備 右

下記は内燃力機関設備の不具合一例である。保安員点検時、機関側面部のクランクケース（高圧高温の燃焼ガスを発生するシリンダ部分を収めた架講室）より漏油を確認した。漏油ふき取り後微細な漏油が継続していたため、機関側面部分に浸透探試験（非破壊検査）を実施したところ水平方向に亀裂が発生しているのが確認されたため機器を停止し、補修作業を実施した。今回の事象は早期に保安員が異常兆候を確認し、予防保全を行った結果重大事故に至らなかった事例である。

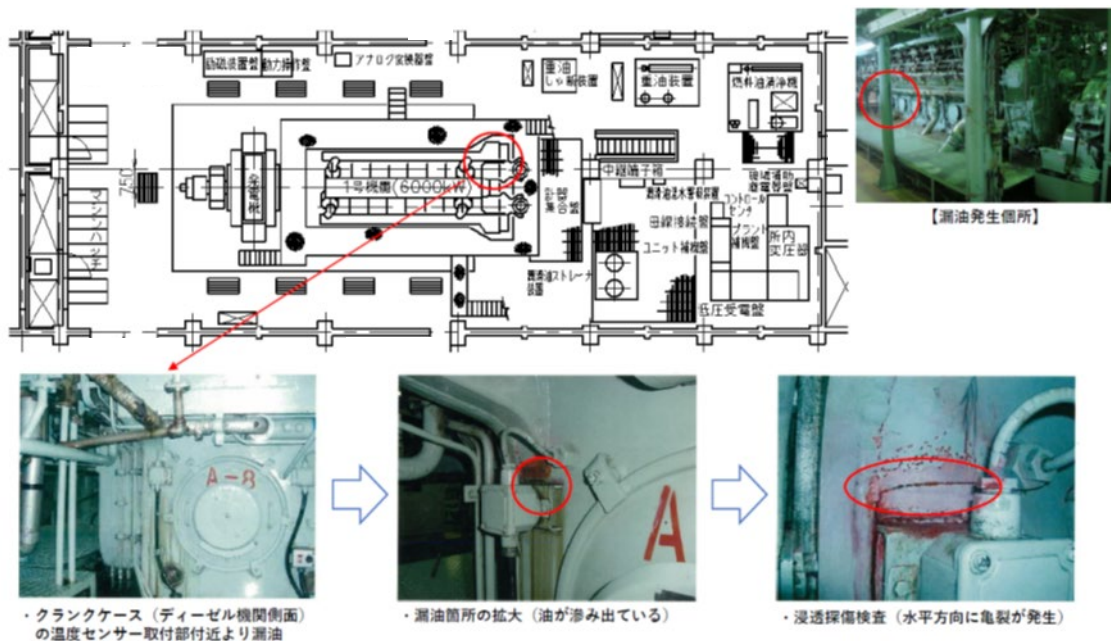


図 4.2-17 内燃力機関設備 不具合例

【出典】九州電力送配電機



### (3) 電気工作物の保安に基づく構築体制

電気事業法に定められている保安の維持確保のため、24時間日々1日たりとも空白の時間が発生しないよう、チームを組み交替勤務体制を構築し、維持管理・運営を行っている。今回実証試験を行った、新杵岐発電所の交替勤務体制は下記の通りとなっている。

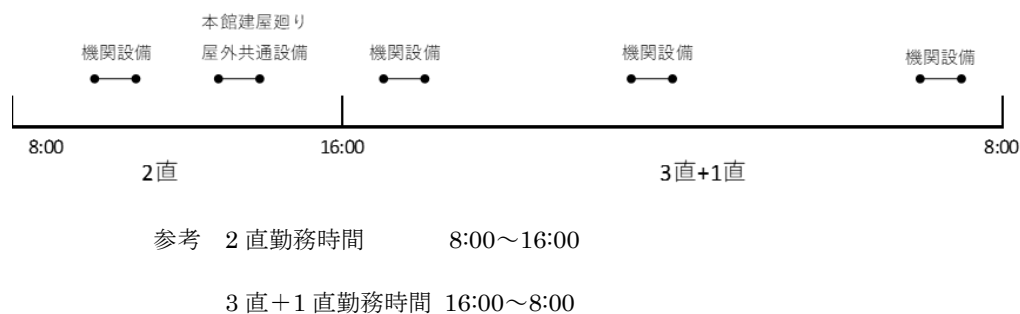


図 4.2-18 交代勤務体制概要

【出典】九州電力送配電㈱

### (4) 電気工作物の保安に対する課題

#### A その他発電所の業務

九州管内離島の内燃力発電設備は島内の主力電源として位置づけられており、電力の安定供給のために下記のような業務を日々行っている。

- ・需給運用業務：島内の電力需給を過去実績、天候情報等を基に計画
- ・系統運用業務：電力の周波数、電圧の変動、停電等を極力少なく、良質な電気を供給するため、島内の発電設備、送電線、配電線設備を的確に運用する。  
\*電力系統の運用においては需要（電気の使用量）及び供給（発電機出力）を同時同量に保つこと及び電圧、周波数を維持することが基本となる。周波数の低下⇒工場等の回転機（モーター）の回転数低下⇒製造品の品質の低下につながる為である。
- ・運転操作業務：上記需給運用、系統運用に基づく発電機の起動停止、周波数・電圧の維持に伴う機器の操作
- ・日常点検業務：ルーチンによる機器の操作、定期保修、修繕、改良工事にに基づく機器の操作等が含まれる。（例：ポンプの起動操作、遮断器の入切操作）

内燃力発電設備は上記の需給運用、系統運用業務及び機器の点検を骨子として運用されており、特に1日の業務の中で運転操作、日常点検業務に最も多くのマンパワーを費やしている。離島においても再生可能エネルギー導入量（太陽光、風力）が拡大（系統不安定電源の拡大）しており、需給運用、系統運用に要するマンパワーについては今後も増大していく傾向にある。

## B 作業環境

内燃力発電設備のうち機関室はエンジン運転中、周囲温度が高く、また機関室内はエンジンの駆動音により常時100dB以上の騒音環境下にあり、労働安全衛生法の適用により入室時は耳栓等が必須となっている。

今回の技術実証、課題実証における現地検証作業時には新壱岐発電所4号機関は連続で運転している時間も長く、コンソーシアム実証員の機関室内での会話はほぼ不可能であり、骨伝導マイク等を用いてコミュニケーションを図っている状態であった。

よって保安員は日常の巡視点検においては過酷な環境下で日々の運用管理を実施している。また、少人数体制で運用していることから、保安員の労働環境の改善についても大きな課題の一つである。

## C スマート保安化対応

九電送配電では経済産業省が目指す保安のスマート化や離島のレジリエンス強化、島内発電設備の運転効率化を目的とし、将来的な運転集中化の検討を進めている。九州本土より各離島発電所の遠隔監視制御体制を構築し、電力設備の起動・停止、運転状態監視を行うことを目指している。発電設備の運転状態は各設備に設置している監視用計算機により収集され、現地所員はモニタ等を介し、確認が出来る状態となっており、この設備情報を本土の監視センターで集中監視することを目指している。なお、現状保安員が行う巡視点検は、監視用計算機では確認できない現場計器の指示値確認、設備の目視、触診、設備稼働音の聞き取りといった5感を利用し行われており、上述の集中監視による代替は不可能である。そのため、この点を補う目的で、現在無線LANを利用したウェアラブル端末で作業のICT化を平行して進めている。巡視点検ロボットを導入・運用するにあたっては、ロボット制御並びに各種センサー・画像情報を取り扱うため、重大事故を誘発しないような通信の安定性・高いセキュリティが求められる。無線LAN環境で巡視点検ロボットと前述ウェアラブル端末を共存させた場合、過トラフィック等による通信の不安定性が懸念される。セキュリティ面においても、サイバーセキュリティ対策として、無線LAN環境で運用されるウェアラブル端末等と巡視点検ロボット類は、ネットワークの分離運用が望ましい。ローカル5Gを利用することで通信速度の低下や通信の不安定となる事象を抑えら

れる事とともに、特定機器のみ接続される閉域ネットワークのため高いセキュリティを実現できる。

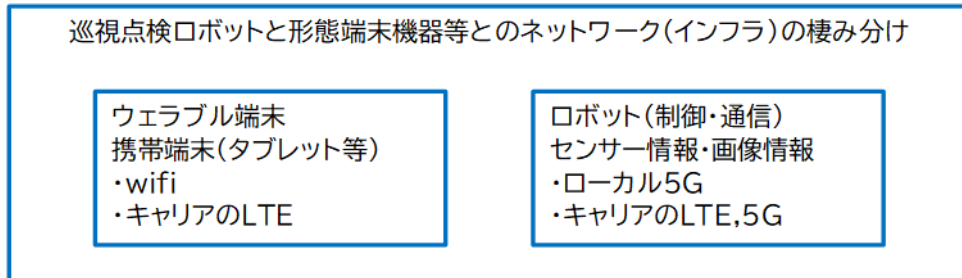


図 4.2-19 ネットワークインフラの棲み分け

ローカル5Gと他通信方式との比較		
	ローカル5G	WiFi 6
周波数	28GHz帯、4.5GHz帯※1	2.4GHz帯、5GHz帯
免許	要	不要
伝送速度(規格上)	20Gbps	9.6Gbps (最大)
認証方式	APN/パスワード、SIM	SSID/パスワード
通信遅延(無線区間)	eMBB:4ms URLLC:1ms	20~30ms
安定性	高 (他事業者との干渉対策は必要)	低 (他事業者との干渉対策が困難)
セキュリティ	高 (SIM認証、閉域NW等)	低
導入コスト	高	低
電波利用料	有り	無し

※ 28GHz帯の帯域幅拡張、4.5GHz帯の対応等は、2020年末に制度化予定  
資料出所：第5世代モバイル推進フォーラム「ローカル5G導入支援ガイドブック1.0版」

図 4.2-20 ローカル5Gと他通信方式の比較

【出典】総務省「地域におけるローカル5G活用に向けて」

#### 4-2. 新技術の実用化・導入に必要な民の取組

- 保安の高度化、合理化を進めていくために、技術の導入に当たって必要な民の取組は以下の通り。

##### 1. 技術実証・導入

- スマート保安技術の活用による保安管理の省力化と保安水準の維持・向上の両立性を技術実証によって明確化する。（スマート保安プロモーション委員会におけるデータ協力等にも貢献）
- 実証事業などによって得られたノウハウ・データについては可能な限り業界で共有し、それに必要な人材育成を図る。また、業界全体でのスマート技術の向上・普及を目指す。

##### 2. 人材育成

- 新しい電気保安の姿に基づいた、新しい電気保安体制・業務（スキル・役割・責任分担の再設計）を整理。デジタル人材の新規・中途採用や、共同事業、外部研修の活用等を通じ、スマート保安に必要な能力を補充していく。

##### 3. サイバーセキュリティ

- スマート保安技術の導入においては、サイバーセキュリティの確保が重要。制御系NWは分離させることを前提に保安用の各種システムを構築。また、サイバーセキュリティ対策を実施するための人材育成も必要。

61

図 4.2-21 スマート保安におけるサイバーセキュリティの確保

【出典】経済産業省「電気保安分野 スマート保安アクションプランの概要」

## A 課題解決に対する実証設備選定について

上述の機器の異常の早期発見によるトラブルの未然防止、電力の安定供給に資する需給運用業務、系統運用業務量の拡大による、日常的な現場巡視点検作業の効率化、内燃力発電所といった特殊環境における保安員の労働環境改善の大きな課題解決に向け、表 4.2-5 に実証設備選定方針を取り纏めた。

表 4.2-5 実証設備選定方針

抱える課題	ローカル 5 G, 巡視点検 ロボット導入の目的及び効果	適用の理由
機器異常の 早期発見	巡視箇所での連続的な監視により、微細な設備兆候、設備の経年的な変化を検知する。具体的には赤外線カメラによる異常熱部位の検知、漏油・漏水の早期検知を行うことで、設備の予防保全に繋がるとともに、電力の安定供給に繋げる	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ディーゼル機関廻りを特殊カメラで撮影する場合 1TB 程度のファイル容量を伝送する必要あり</li> <li>➤ 保安員が実施する巡視業務を代替する場合は、ある程度の走行時間を確保する必要があり。また、巡視箇所の環境条件（高温）を考慮</li> </ul>
需給運用、系統運用業務のマンパワーの増加	巡視点検の質を維持もしくは向上しつつ、巡視点検時間を縮減することにより、需給運用、系統運用業務のマンパワーを確保する。	電力供給設備という重要インフラであり設備情報データの機密面から、セキュリティ面を重視
保安員労働環境改善	過酷環境へのロボット導入により、保安員の労働環境改善を図る	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 既設無線 LAN 機器との干渉考慮</li> </ul>

#### (5) 電力設備保安業務の代替範囲

前項記載の通り、内燃力発電設備においては定期的にディーゼル機関設備廻りを含めた巡視点検を行い、機器の異常の早期発見に努めている。

機器の巡視については下記にて大別分類されている。

- ① 機器配置に従ってルートを決めて行う一般巡視
- ② 特定の設備に集中して行う重点巡視
- ③ チェックシートによる記録点検
- ④ 台風など荒天時や夏季高温重負荷期及び冬季厳寒厳冬期に行う特別巡視

などがあるが、必要に応じ適宜組合せで実施されている。巡視業務は非常に重要なものであるが、運転業務に占める割合が大きいため、監視計器及び警報装置の有無や故障頻度などを勘案して、合理的かつ効率的に行うことを重視している。保安員による巡視においては、常に運転状態を把握しておき、機器が正常な運転状態にあるかどうかを視覚、聴覚、臭覚、触覚などの各感覚により判断している。即ち、機器の亀裂、破損、変形、変色、異常音、異臭及び温度上昇などを注意深く点検する必要がある。

表 4.2-6 電力設備保安業務一覧 出典コンソーシアム

中央制御室での監視・制御 (設備の運転計画策定、監視制御)	日常巡視点検業務 (設備の異常兆候監視)
島内需要、再エネ発電量予測を基にした 発電計画策定	重点巡視、特別巡視
需給運用、発電設備起動停止、電圧、周波 数調整	一般巡視 ・潤滑油、燃料油、冷却水、空気、 蒸気漏れの確認 ・回転機振動、音の異常有無確認 ・各種タンク類のレベル正常確認 ・各バルブ類の開閉状況の適正確認 ・潤滑油清浄機、燃料清浄機の処理量 及びフィルタ差圧の確認 ・発電機、変圧器、開閉装置といった 電気設備の異常有無確認
設備運転情報監視、系統情報監視	
警報確認、事故処置対応	



図 4.2-22 巡視点検の様子

【出典】九電送配電

## (6) 課題実証の範囲

今回課題実証は九電送配電が運用を行う、長崎県壱岐島の新壱岐発電所4号機関室内にて実施を行う。壱岐島は九州本土の福岡市から北西に約80km、佐賀県北端部の東松浦半島から北北西に約20kmの玄界灘上に位置する離島である。壱岐島の面積は133.82km<sup>2</sup>、南北17km、東西15kmとなっている。課題実証選定にあたっては下記を考慮した。

- ① 内燃力発電所は経済産業省令で定める技術基準等の関連法令に基づき、元来より遠隔監視が可能となっている。監視保安の効率化の観点から将来展開を考慮し、内燃力発電所を選定
- ② 九州本土からのアクセスの利便性
- ③ 将来のスマート保安化を見越した場合における、内燃力発電所の共通の課題を抱えている点
- ④ 島内の主要電源であり課題解決による裨益効果が高い

## (7) 巡視保安の代替範囲

巡視点検においては設備ごとに点検チェックシートを定め、各直の指定時間に記録を行っている。巡視点検の一連のフローを踏まえ、今回の実証範囲について以下に記す。



図 4.2-23 巡視点検フロー

### A 機器状態確認、チェックシート作成範囲

今回の課題実証のうち、巡視点検ロボットの走行可能なエリアを基に、保安員の巡視代替可能な範囲を検討した。主に主機関、発電機、機関用補機等を集中して配置された1階部分が対象となる。この対象箇所を大きく5つのエリアに分け、最も監視対象箇所が広く、かつ効率的な異常検知が可能な様、巡視点検ロボットの周回ルートの選定を行った。





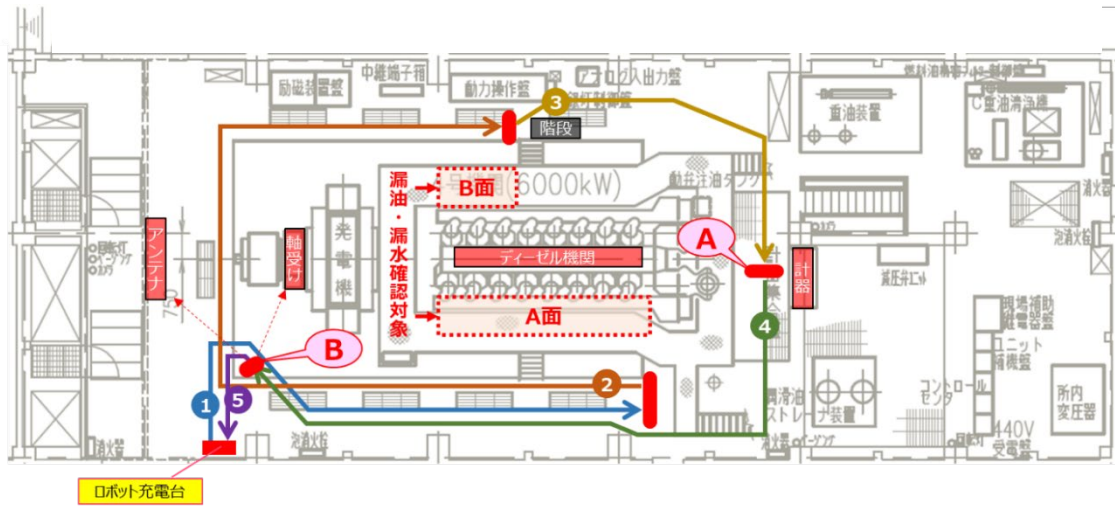
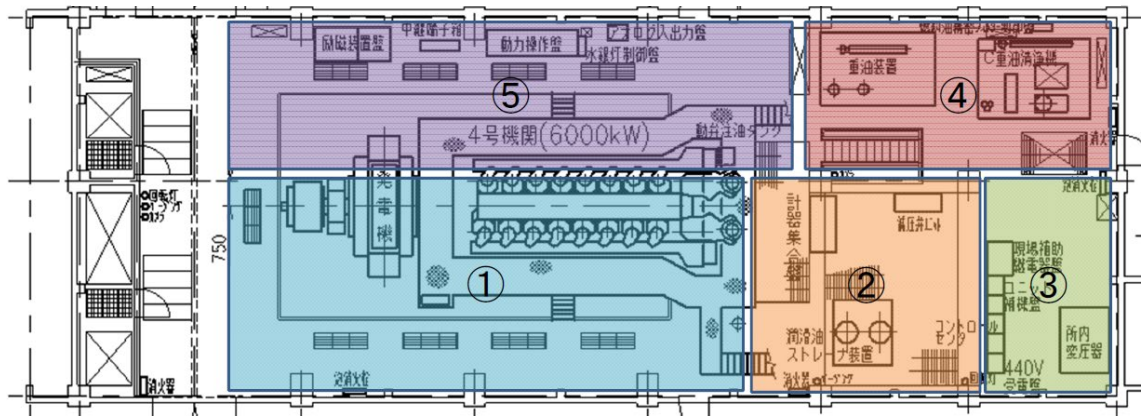


図 4.2-25 機関室廻りエリア区分及びロボット周回ルート

【出典】コンソーシアム

上記設備にてロボットの巡視点検、ローカル5Gによる大容量データ伝送、クラウドAIによる設備状態監視を行う。通常巡視点検と比較し、検査頻度の向上を図ることを目的としている。検証にあたっては、事前に現場保守員へのインタビューを行い、

- ① 巡視点検におけるポイント、重点監視項目
- ② 課題実証に対するニーズ調査
- ③ 巡視点検結果確認用マンマシンインターフェースへの改善要望

上記項目を確実に吸い上げ、課題実証、ひいては将来の実装への課題取り纏めを行う。

《関連資料：巡視点検ロボット及び巡視点検箇所》

■巡視点検ロボット(SP02)特徴

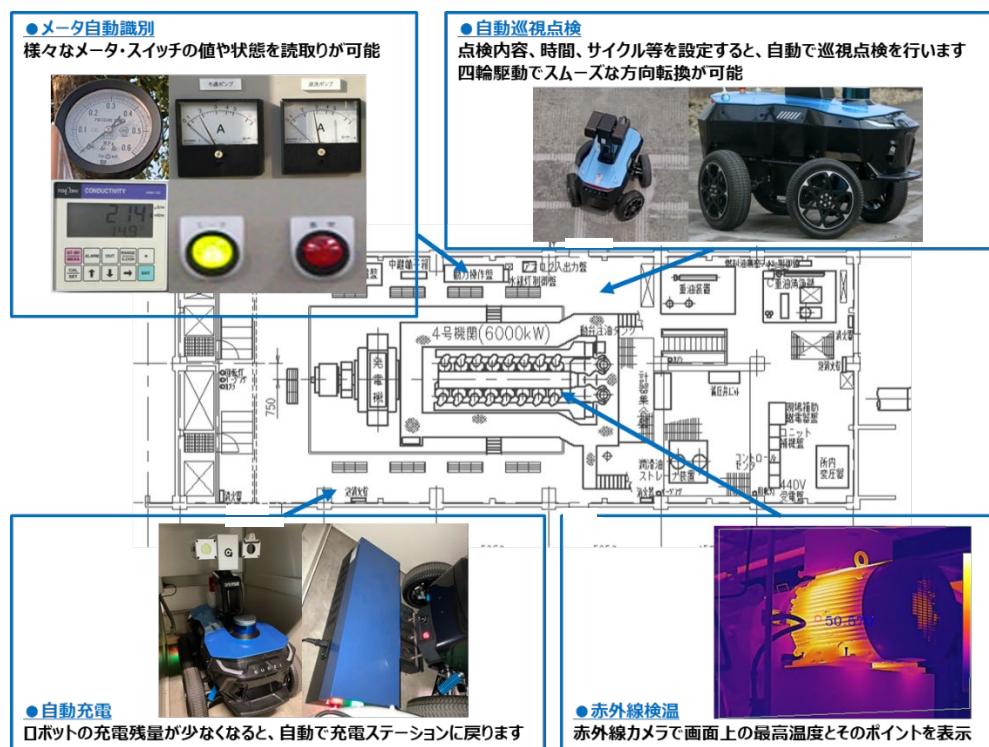


図 4.2-26 巡視点検ロボットの特徴

## ■巡視点検ロボット(SP02)システム構成図

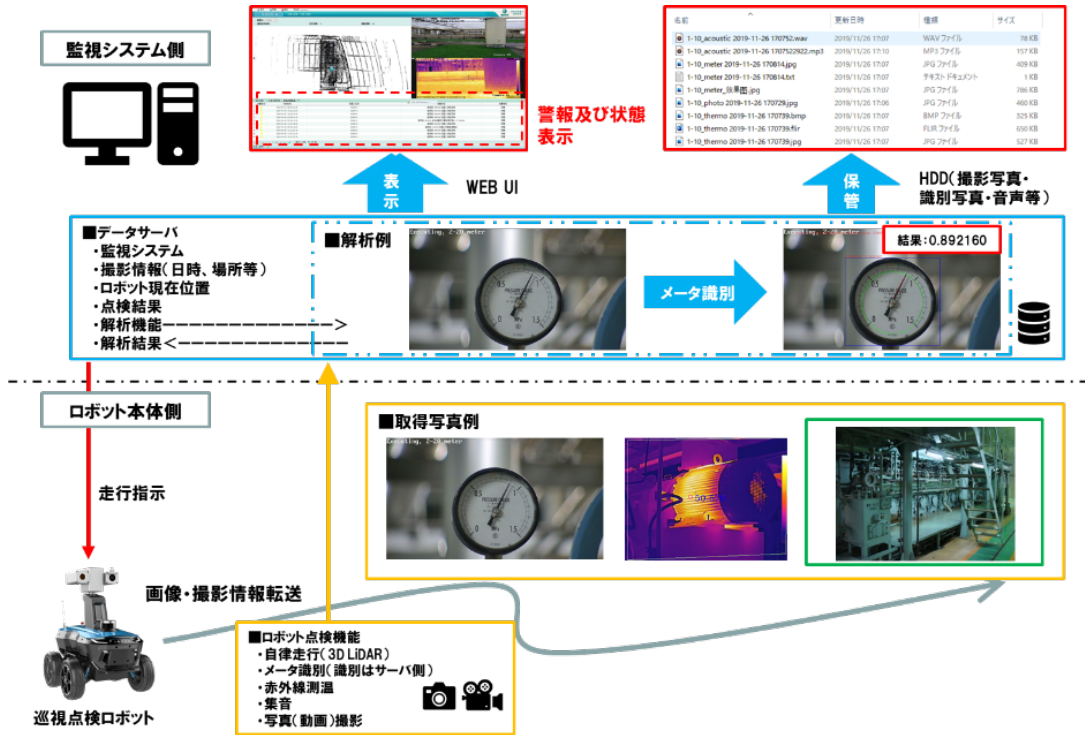


図 4.2-27 巡視点検ロボットのシステム構成図

## ■ 巡視点検箇所①

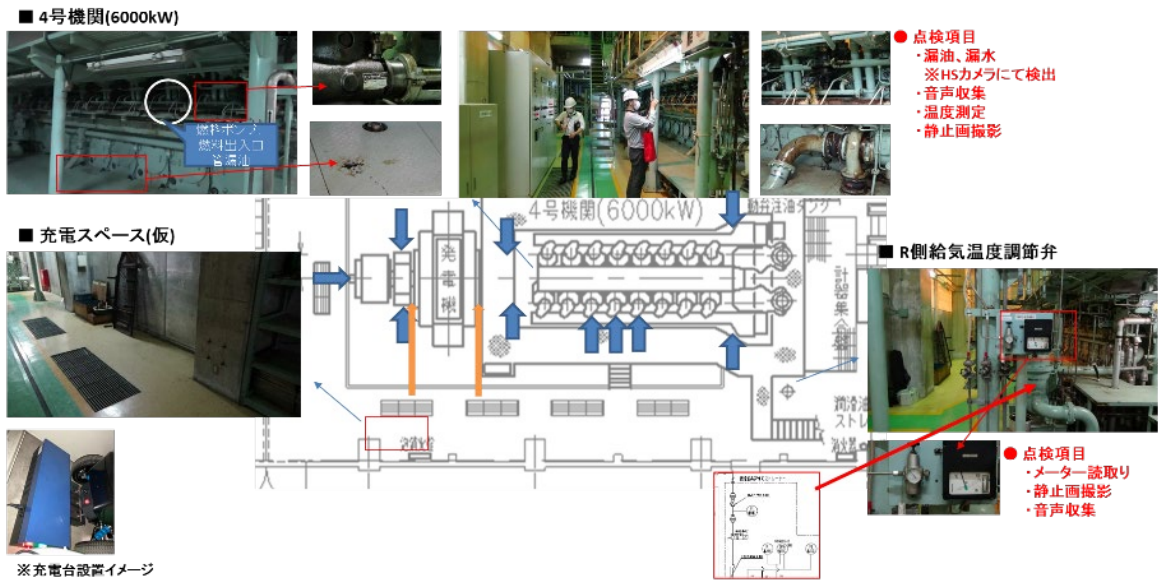


図 4.2-28 巡視点検箇所①

## ■ 巡視点検箇所②

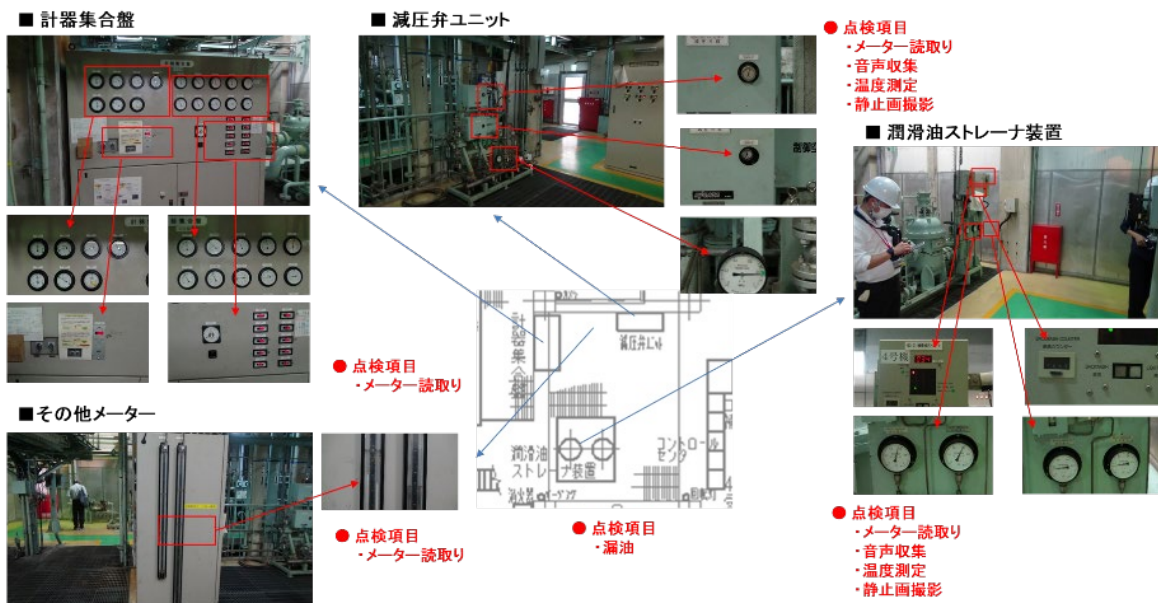


図 4.2-29 巡視点検箇所②

## B 異常発見

A項記載のデイリーチェックシートを基に、点検各部位における異常判定の手法及びその検証方法について記す。なお、実際の課題検証実施時点における諸条件ならびに新たに確認される課題等を踏まえ、検証方法、将来実装に向けた改善を行った。

なお、内燃力機関設備の各装置について簡単に説明する。設備記号に関しては次頁の異常発見手法並びに評価方法をまとめたリスト記載のものとリンクする。

表 4.2-7 ディーゼル機関設備廻りの概要 (出典)コンソーシアム

記号	設備名称	概要説明
DG	主機関設備	ディーゼル機関、発電機本体
MP	計器収納盤	ディーゼル機関廻り設備の圧力、温度といった指示計器を集約した盤。いくつかの指示値については発信器を介し、中央制御室内設置のデータロガーに表示される。
LO	潤滑油設備	高温、高圧にさらされながら作動する機関のクランク、ピストン、主軸受等の稼働部は適当な油膜を与えて摩耗を防ぎ、温度上昇を抑える必要がある。その油(潤滑油)を供給する設備。油内の異物を除去するストレーナ設備なども含む。
FO	燃料油設備	ディーゼル機関のシリンダ内部に燃料油を供給する設備。燃料ポンプ、小出し槽、油こし器等を含む。
DP	配電盤、制御盤	ディーゼル機関用のポンプ、ファン等の動力電源供給盤ならびに発電機の電圧調整用の制御装置等の盤
PI	配管類	各設備間をつなぐ配管類。流れる流体としては燃料油、潤滑油、蒸気等がある。

異常発見手法

表 4.2-8 課題検証における項目別評価手法 (出典)コンソーシアム

No	確認項目	巡視点検ロボット標準機能					課題検証の評価方法	対象箇所						
		赤外線 温度測定	メーター 読取り	表示灯 確認	集音 マイク	特殊 カメラ		DG	MP	LO	FO	DP	PI	
1	現場メーター指示値計測		○				既設データロガー装置取込みデータとの比較検証。なお電波エリア範囲を考慮し、データ送受信の可否も含め検討 実測値とロボット読取り位置による読込データ精度についても 検証(ロボット標準機能のためコンソーシアム独自で行う実証と 位置づけ)	○	○	○	○	○		
2	機器の異常発熱の有無	○					赤外線カメラによる温度計測。警報閾値の変更を行い、温度異常による遠隔での警報確認検証を行う。(ロボット標準機能のため コンソーシアム独自で行う実証と位置づけ)	○				○		○
3	漏気の有無確認	○					将来展開を踏まえた課題と位置づけ。今回実証実施対象外	○						○
4	漏水、漏油					○	ハイパースペクトルカメラにより漏水、漏油箇所の検知検証を行う。	○		○	○			○
5	表示灯状態の確認			○			表示灯状態を模擬的に変化させ検知の有無を確認(ロボット標準 機能のためコンソーシアム独自で行う実証と位置づけ)							
6	異音の有無				○		将来展開を踏まえた課題と位置づけ。今回実証実施対象外	○				○		
7	ロボット走行路障害物有無						人や物との衝突回避機能の検証 (ロボット標準機能のためコンソーシアム独自で行う実証と位置 づけ)	巡航ルート全体が対象						
8	ロボットにより取得した機器データのL5G活用	○	○	○	○	○	ロボット巡視により収集した大容量の設備情報をL5Gを介し遠 隔地で監視、検証を行う	巡航ルート全体が対象						
9	機器の異常振動						将来展開を踏まえた課題と位置づけ。今回実証実施対象外							
10	リンク機構、Vベルト異常有無						将来展開を踏まえた課題と位置づけ。今回実証実施対象外							
11	傷(クラック)発生の有無						4Kカメラ及びクラウドAI等を用いれば可能であるが、他所でも 同様の事例検証もあり。今回実証実施対象外							



## ■漏油・漏水検出方法

ライン方式のHSカメラを巡視点検ロボットに搭載し、巡視点検ロボットが一定の速度で走行。その際、巡視点検ロボットの走行速度とHSカメラのシャッタースピードの関連性は本実証を持って検証した。また、HSカメラから送信されるデータ容量は膨大になる為、ロボットに搭載されたPCで水と油の検出が可能なサイズのキューブデータ形式に変換させ、ローカル5Gを利用して、クラウドにアップロードする。その際の最適なサイズについても本実証を持って検証を行った。但し、ローカル5G～クラウド間で送信できる通信容量は巡視点検ロボットに搭載されたカメラ（フルHD、赤外線）も含め、50Mbpsを仮説として設定する。

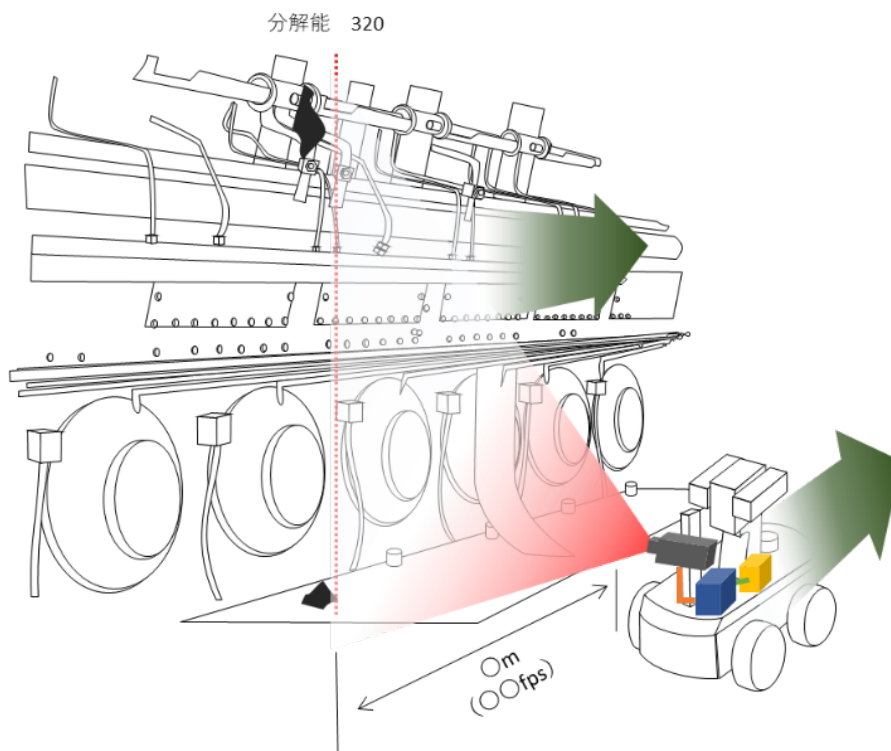


図 4.2-30 巡視点検ロボット走行イメージ

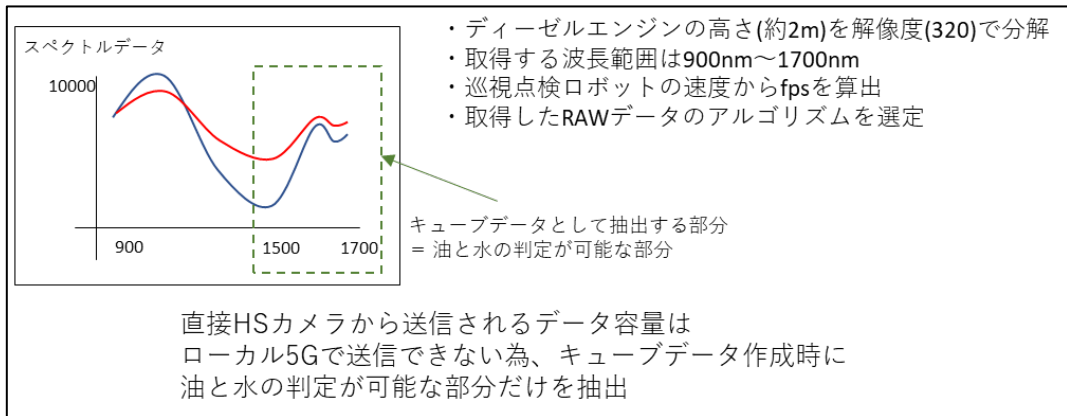


図 4.2-31 ハイパースペクトルカメラによる検出方法

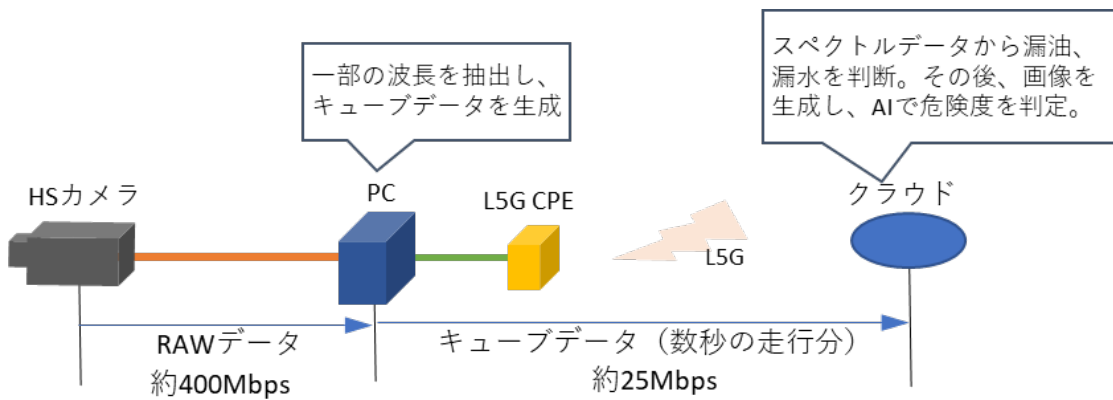


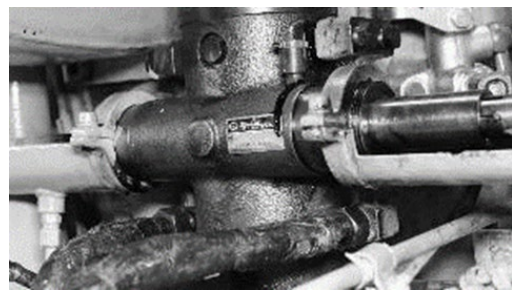
図 4.2-32 ハイパースペクトルカメラからクラウドまでのデータ伝送イメージ

## ■ A I による危険度判定方法

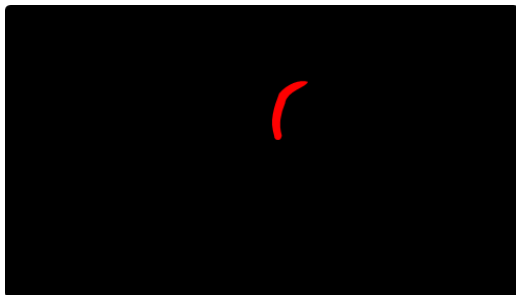
HSカメラから得られたスペクトルデータを使用して生成されるキューブデータから、特定の波長を抽出することで、グレースケールの画像を生成できる。そのグレースケールの画像を画像認識エンジン（A I）で処理することで、一般的なRGB画像と同様の解析処理ができると想定。本実証では漏油・漏水の検知を行った後、漏油・漏水の部分をカラーマッピング画像として出力し、あわせて生成されたグレースケールの画像と重ね合わせた、危険度判定用画像を生成する。



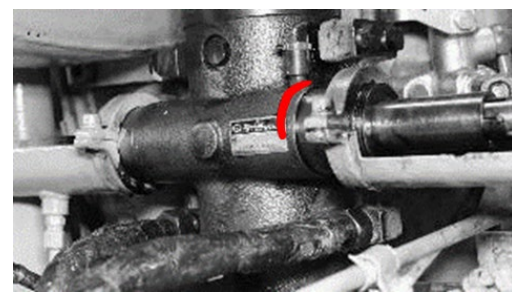
一般的な RGB 画像



HS カメラから抽出されたグレースケール(イメージ)



カラーマッピング画像(イメージ)



危険度判定用画像(イメージ)

図 4.2-33 危険度判定用画像イメージ

危険度判定画像は事前に収集した教師データとの比較をA Iで解析し、危険度の高さを判定し、評価を行った。

### C 日報作成（アウトプット）

巡視点検ロボットの巡視点検記録はデイリーチェックシートとして、不具合発生時は発生事象の記録を行い、次の直への引継ぎ事項として日誌に取り纏められる。

ロボットにおける巡視点検では、監視項目毎における点検記録や異常記録、点検箇所の画像データなどをウェブブラウザにて、遠隔地での確認可能とする。下記については課題実証により最終化した点検日報のイメージである。

巡視点検レポート（画像）								
巡視点検名称	20220107-1							
巡視点検時間	開始時間 2022-01-14 15:01:40,完了時間 2022-01-14 15:37:51,実行時間 00:36:11							
点検状態	完了							
巡視点検情報	今回点検ポイント:35ヶ所,正常:26ヶ所,警報:9ヶ所,点検未実施:0ヶ所, 警報ポイント							
識別種類	ポイント名称	識別結果	警報	識別時間	画像表示	修正値	異常状態	確認状態
メータ読取	入口圧力	0.9221	予備警報	2022-01-14 15:35:56		無	無	未確認
メータ読取	潤滑油温水警報装置	0.00	予備警報	2022-01-14 15:25:52		無	無	未確認
メータ読取	No_9主軸受_38E-2	71.3	予備警報	2022-01-14 15:25:30		無	無	未確認

図 4.2-34 巡視点検アウトプット 【出典】コンソーシアム

#### ● 課題実証目標

課題事象システムの実装・将来展開に向け本項で述べたシステムの効果検証を実施する。具体的には①巡視点検業務の効率化 ②設備の遠隔監視、遠隔監視手法の確立の観点から可能性を検証する。

① 巡視業務の効率化

表 4.2-9 巡視点検業務の効率化により期待される効果

期待される効果	適用・達成範囲	ソリューションに求められる基準、性能
巡視点検の高頻度化	<p>高温、高い騒音下にあるディーゼル機関室内での機器巡視点検頻度を上げることを達成目標とする。</p> <p>⇒現在機関1ユニットあたりの巡視点検時間は50分/日程度となる。現状の点検時間を基準とし、今回規定したロボット巡視点検ルートにおいて運用可能な点検頻度（回/日）について評価した。</p>	<p>過酷な状況下でのロボット巡視を可能とするため、ロボット及びその付属品に関しては実証環境条件を満たす仕様が求められる。また、高頻度の巡視を可能とするためのロボットバッテリー容量及び最適な巡視ルートの設定についても同様である。</p>
設備の微小な変化の検知	<p>ロボット巡視点検ルート上からの漏水、漏油検知により、HSカメラ解像度限界となる320ピクセルにて検出可能な漏油、漏水量を評価した。</p>	<p>微小な漏油・漏水が検知可能なHSカメラの採用及び膨大なデータ量を伝送するため要求される通信速度50Mbpsを要求仕様とした。</p>
巡視点検記録の省力化	<p>巡視点検後の点検記録の自動作成を行い、記録作成業務の省力化を行う。当直引継ぎのため必要となる申し送り情報が「抜け・漏れ」無く伝わるかについて、アンケート等結果を踏まえ評価した。</p>	<p>巡視点検対象箇所及び点検結果が画像等も組合せ判断しやすい画面構成となっているか、また同じ点検結果が遠隔でも同様に確認可能な仕様とした。</p>

② 設備の遠隔監視、遠隔監視手法

表 4.2-10 遠隔監視による実証の効果

実証効果	適用範囲	ソリューションに求められる基準、性能
設備異常状態のアラーム機能	クラウド上にアップロードした設備画像を AI 解析することにより機器の漏油、漏水を検出。自動検知した異常を警報として遠隔地へ発報することで、異常の早期発見に繋げる。UI により警報認識のし易さについてアンケート結果を踏まえ、改善点を抽出した。	遠隔地においても危険と判定され、早急に措置の必要な設備異常が即座に判定可能な UI 構成。また異常部位の特定が容易に可能な画像精度
設備状態の遠隔監視機能	巡視点検ロボットを遠隔制御することで、監視したい設備箇所の近接撮影、データアップロードが可能となり、遠隔地からの設備状態確認を可能とした。ロボット操作性、安全運転機能、画像精度等の確認結果をアンケートにより抽出、評価した。	遅延の少ないロボット応答性に資する通信速度ならびにロボット安全性能。災害等緊急時の初期現場確認への適用を考慮したロボットの悪路走行性能

(8) 保安員の確認観点から具備すべき要件

熟練保安員への事前聞き取り結果をふまえ、保安員の確認観点から具備すべき要件を以下にまとめた。

表 4.2-11 保安員の確認観点から具備すべき要件

保安員の確認観点		具備すべき要件
視覚	発電機軸受からの漏油確認	特殊カメラによる漏油、漏水の検知
	ディーゼルエンジンからの漏油、漏水の有無確認	特殊カメラによる漏油、漏水の検知
	エンジン配管廻りの漏気確認	亀裂、破損等で漏気が発生するため、画像解析にて代替可能
触覚	エンジンや配管温度の触診(通常状態より熱くないか)及び振動状態確認	赤外線カメラによる温度上昇の確認
聴覚	エンジン稼働音の異常有無、発電機軸受、ポンプ類の異音確認(聴診棒等による)	音が変化する前の温度変化を捉えることで代替可能。赤外線カメラによる温度上昇の確認

### (9) 発電所向けアンケート収集

課題実証における評価手法について、前項記載の項目について、エンドユーザーである発電所保安員の利活用の観点からの意見・要望等を取り込む必要がある。ソリューション導入前の現在時点での巡視点検業務の実態調査、ソリューション適用後の課題、改善等の抽出を目的に、新巻岐発電所保安員を対象にアンケートを行った。アンケートについては実証前後の2回に分けて実施した。

表 4.2-12 アンケート概要

対象	実施時期	アンケート項目
1回目	課題実証前 (2021.11)	<ul style="list-style-type: none"><li>・巡視点検業務における現状について</li><li>・巡視点検におけるポイント、重点監視項目</li><li>・ソリューション導入により期待される効果</li></ul>
2回目	課題実証後 (2022.2)	<ul style="list-style-type: none"><li>・実証設備に関する実運用化に向けた改善点</li><li>・ソリューション導入による運用変更点</li><li>・実運用化に向けた既設設備改修範囲について</li></ul>



## (1) アンケート結果

### 1) 1回目アンケート（課題実証前）

#### a) 1回目アンケート概要

アンケート実施に先立ち、2021年11月5日に今回実証の背景、実証コンソーシアム体制、実証スケジュール、実証概要についてコンソーシアムより発電所保安員への説明会を開催した。

なお、新型コロナウイルス感染症予防対策のため、発電所保安員と島外の方（コンソーシアム）との接触は禁止されていることから、発電所長向けに説明を実施し、保安員へのアンケートを依頼した。また、アンケート収集、その後の聞き取りについてはオンラインベースで実施した。

#### b) 1回目アンケート結果

「巡視点検業務における現状について」、「巡視点検におけるポイント、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」の3項目に分けて実施した。アンケート結果は下記の通り。

- ・ 現状一日に3回（各直一回）の巡視点検により設備の保全に努めている。巡視点検の重視箇所はディーゼル機関回りの漏油、漏水、蒸気漏れ等となっている。また、重点項目は当直間の業務引継ぎ等で確認されているトラブル等の継続監視項目等があげられる。
- ・ 監視業務のうち新技術としては、構内監視カメラやWiFiを活用したウェアラブルカメラ等が導入されている。
- ・ 巡視点検に対する課題としては、昨今島内でも再生可能エネルギー導入に伴い、島内の系統安定化に向けた細やかな運用管理に時間を費やされており、設備の運転管理に必要なパトロール業務対応時間との輻輳が発生している。
- ・ 本ソリューションへの要望としては、早期に漏洩・漏水等の発見を行いたい。ただし、予兆管理に関しては経験豊富な保安員の技術や知見・判断が必要なことが多く、ベテラン保安員の技術力（経年変化に対する知見を持っている）を取り入れた新技術の導入を要望している。

1回目アンケート結果の詳細は別紙1に記載した。

## 2) 2 回目アンケート（課題実証完了後）

### a) 2 回目アンケート概要

アンケート実施に先立ち、実証ソリューションを用いた現地説明会を 2 月 8 日（火）、2 月 9 日（水）の 2 回に分けて行った。現地説明会内訳は下記の通り。

- 実証設備概要や構成機器の説明
- 自動巡視点検ロボットの機関室におけるデモ走行
- 監視・制御 PC 上での自動巡視点検ロボット点検結果確認
- UI 上での HS カメラを用いた漏油・漏水点検結果確認
- 質疑応答、その他意見聴衆

### b) 2 回目アンケート結果

「実証設備に関する実運用化に向けた改善点」、「ソリューション導入による運用変更点」「実運用化に向けた既設設備改修範囲について」の 3 項目に分けて実施した。アンケート結果を下記に記す。

実証設備に関する実運用に向けた改善点としては、ソリューション設備の配置スペース確保の必要性、モーター駆動である巡視点検ロボットの走行音に対する視覚的な表示機能（ロボットの走行音が小さいため、視覚的な注意喚起の機能）の追加、ロボットに搭載したサーモカメラは非常に好評であり、確認箇所など具体的な個所を事前に登録することで、より確実に点検機器の温度変化に対応できることや、自動巡視モード以外のモード運転も可能であること、緊急時の対応ができることがより、機器の安全・運用管理に寄与することが挙げられた。

- ・ 漏油・漏水検知に関しハイパースペクトルカメラの活用については、非常に好評であった。特に「検知が困難なタービン軸受油と水などの識別が可能であること」、「AI 機能を活用しての経時変化がつかめること」が挙げられた。
- ・ その他、今回の巡視点検範囲が機関室のみとなっていたことから、他の要  
点検機器もあり、点検箇所の範囲拡大ができれば更に活用範囲が広がるなどの意見が出た。ただし、巡視点検ロボットの活用範囲を広げるためには、走行するスペースの確保や、段差、ドア等の仕切り改修（バリアフリー化）が必要となることも認識できた。
- ・ 巡視点検ロボットが収集したデータの活用については、各直での業務引継ぎにおける数値化したデータの共有化が図れるとの意見が多く出た。
- ・ 更に巡視点検ロボットへの異常検知機能については、設備の異音に関する要望が多く、ディーゼルエンジン機内のピストン等の摺動音など微細音の変化等を知りたいとの要望があった。これは、ベテランの保安員これまで

に培われた経験等で異常な摺動音を聞き取れるため、経験の浅い保安員からの要望でもあった。また、ディーゼルエンジン室内は騒音が高く、人的な検知が非常に難しいとの意見があった。

本アンケートの基になった実証設備の環境、実証結果等の詳細は 4.3 章及び 4.4 章に示す。

2 回目アンケート結果の詳細は別紙 2 に記載した。

### 4.3 実証環境

図 4.3-1 に示すように、本実証ソリューションは、以下の 4 点の要素で構成される。

A 巡視点検ロボットが自動走行しながら、標準搭載する可視カメラ・赤外線カメラ、追加搭載した特殊カメラ（ハイパースペクトルカメラ）にて発電所設備を撮影する。

B ハイパースペクトルカメラにて撮影したデータをクラウドへアップロードし、漏油・漏水の検知及び AI による危険度判定を行う。検知・判定結果については、遠隔拠点から Web UI で確認を行う。

C 可視カメラ、赤外線カメラにて撮影した設備の状態や計器類の映像を遠隔から確認する。

D 緊急時等、必要に応じて、遠隔拠点から巡視点検ロボットの遠隔操縦を行う。

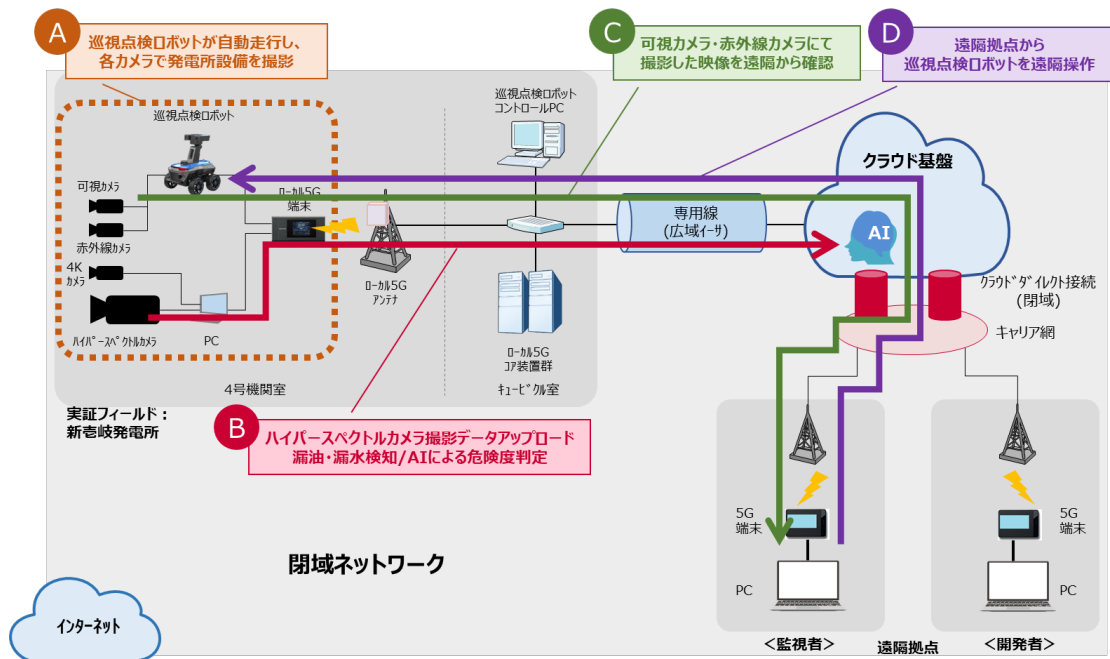


図 4.3-1 実証ソリューション要素概要

#### 4.3.1 巡視点検ロボットの自動走行と各種カメラによる撮影

図 4.3-2 に巡視点検ロボットの走行ルート及び撮影・点検対象を示す。

巡視点検ロボット充電台を図左下部に設置し、これをロボットの走行起・終点とした。

ロボット可視カメラ・赤外線カメラ、後付けの4Kカメラで常時撮影をしながら、図中番号①～⑤と示すルートで進み、途中、

- ・ ハイパースペクトルカメラによるディーゼル機関の撮影のため、機関各側面（便宜上、「A面」・「B面」という）を0.05m/sの等速度で走行
- ・ 図右部の計器盤（ポイントA）ではロボット可視カメラによる計器の撮影
- ・ 図下部（ポイントB）では、ロボット赤外線カメラによるディーゼル機関軸受け部の温度測定及びロボット可視カメラの光学30倍ズームを活かし、本実証にて設定したローカル5Gアンテナ装置のランプ状態確認を行う

といった巡視点検ロボットの特長を活用しつつ、予めルートと機能の設定を行った（図 4.3-3 に巡視点検ロボットの設定画面を示す）。

なお、ロボットの走行トリガとして、予め設定した時刻にスタートする「予約巡視」と、任意のタイミングでスタートする「即時巡視」に対応している

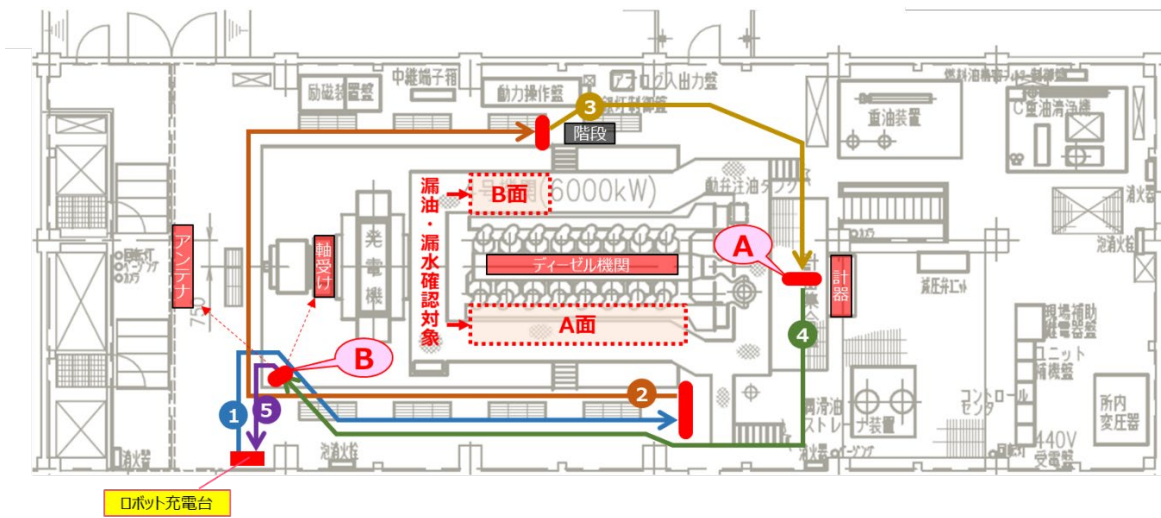


図 4.3-2 巡視点検ロボット走行ルート・点検対象

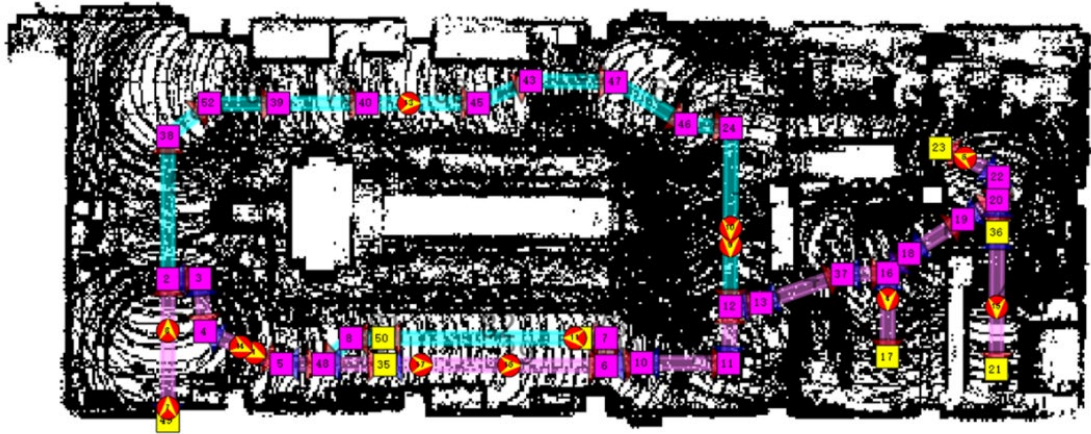


図 4.3-3 巡視点検ロボットのルート設定画面

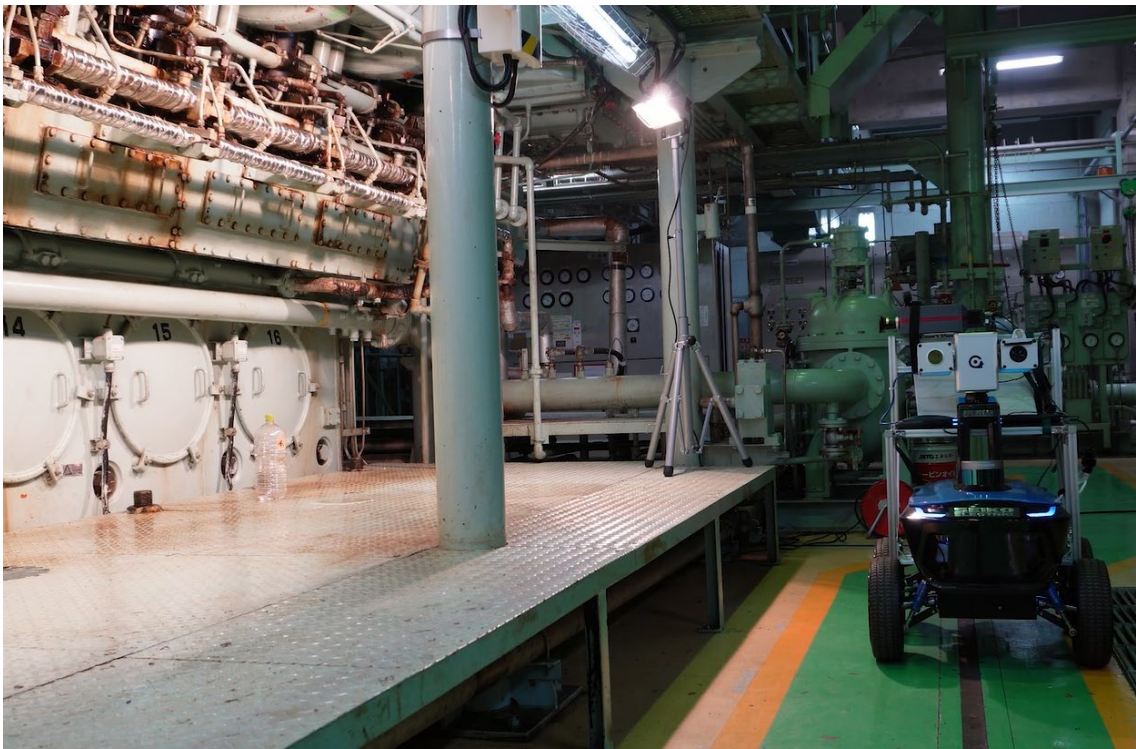


図 4.3-4 漏油・漏水を検知する様子



図 4.3-5 メータ点検する様子

図 4.3-6～図 4.3-8 に、それぞれ巡視点検ロボットの可視カメラで撮影した計器類及びローカル 5 G アンテナ装置（光学 30 倍ズーム）、赤外線カメラで撮影したディーゼル機関軸受け部の画像を示す。

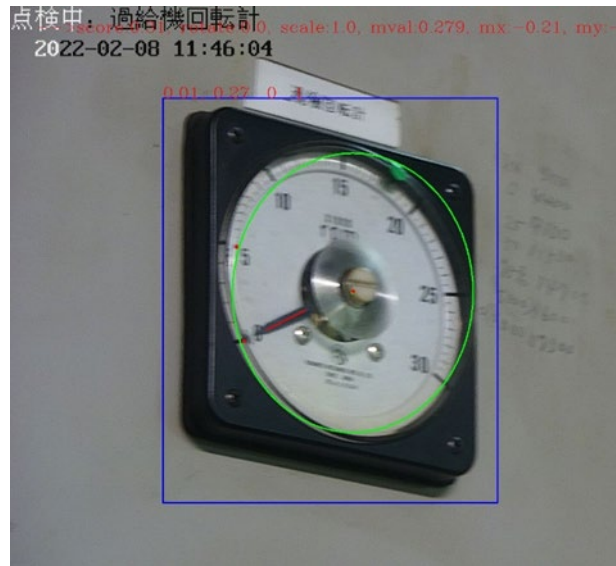


図 4.3-6 ロボットの可視カメラで撮影した計器

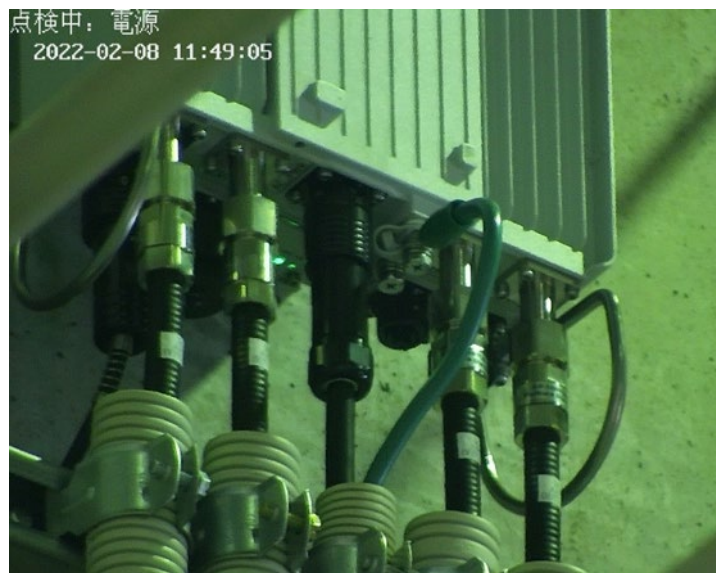


図 4.3-7 ロボットの可視カメラで撮影したローカル 5G アンテナ装置（光学 30 倍ズーム）



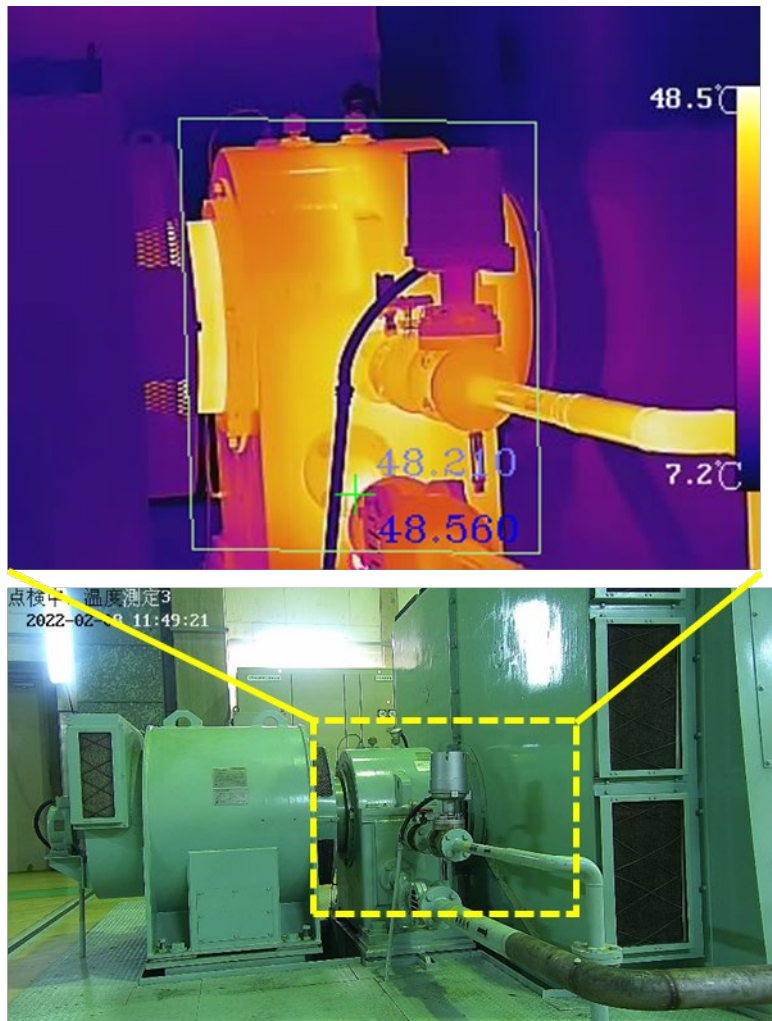


図 4.3-8 赤外線カメラで撮影したディーゼル機関軸受け部

巡視点検ロボットの標準状態では、ハイパースペクトルカメラ及びハイパースペクトルカメラ制御用PCの搭載が行えないことから、後付けフレームを製作し、ロボットに取り付けた。

フレームの概要図及びフレーム・ハイパースペクトルカメラ等機器を搭載したロボットの写真を図 4.3-9～図 4.3-11 に示す。

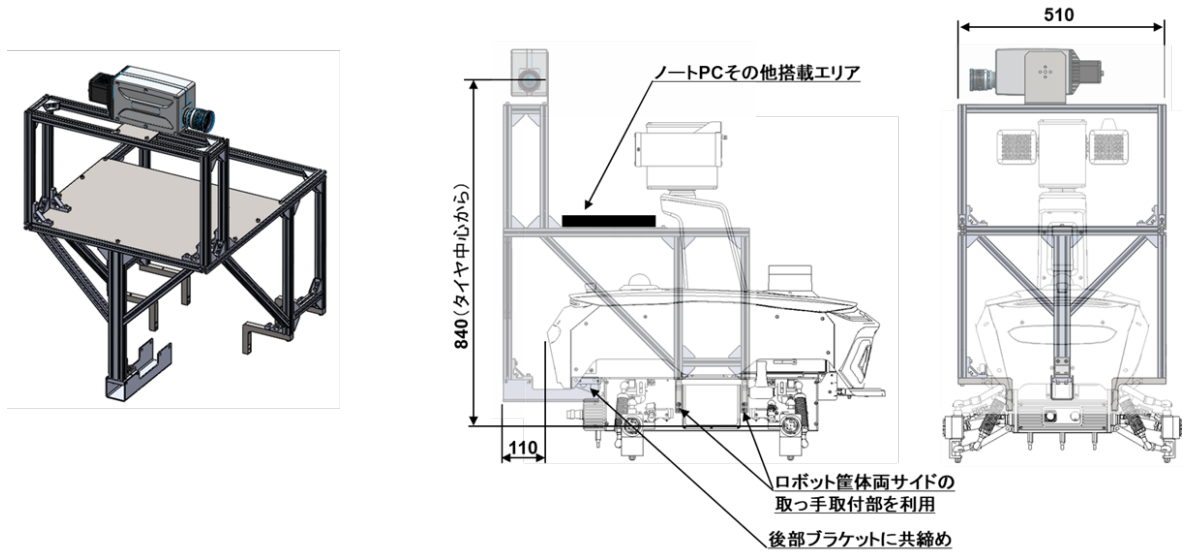


図 4.3-9 フレーム概要



図 4.3-10 フレーム接続前の巡視点検ロボット

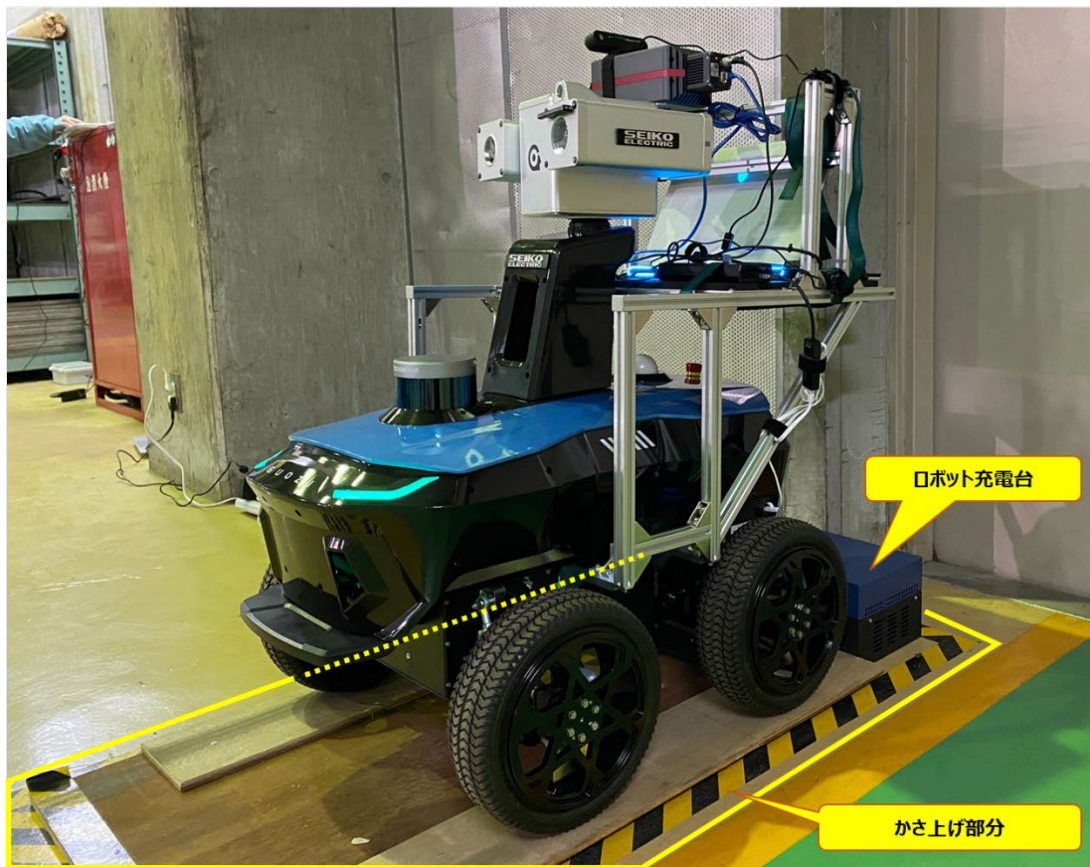
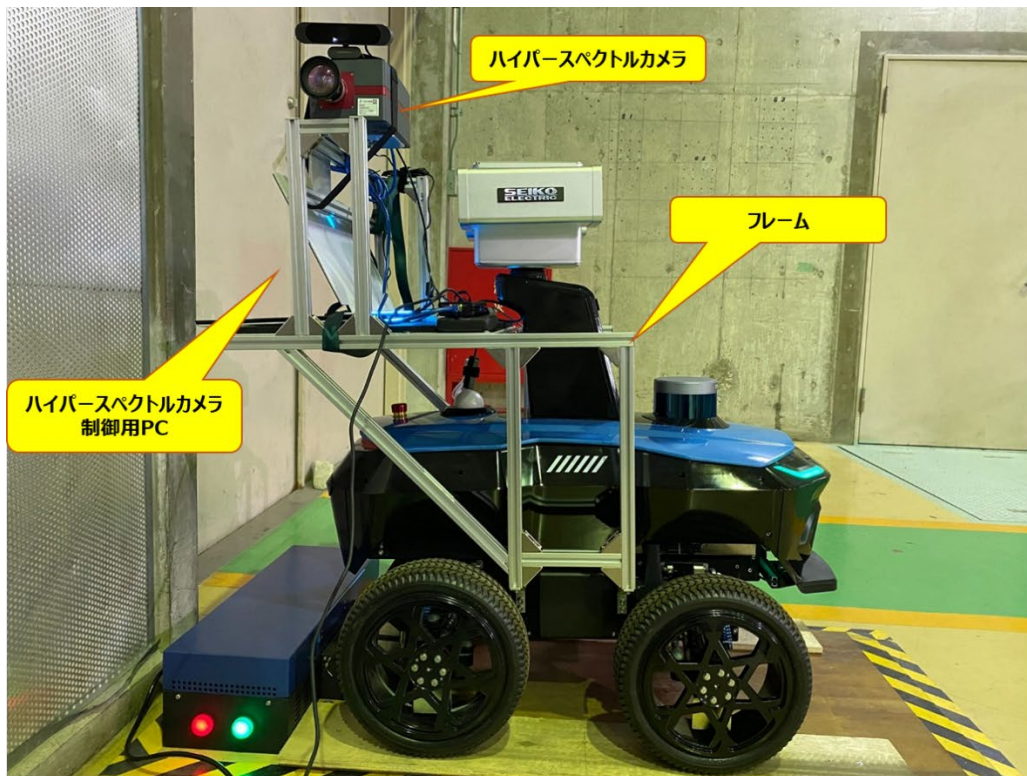


図 4.3-11 フレーム及び機器搭載時の巡視点検ロボット

また、ハイパースペクトルカメラは光を波長ごとに分光して撮影するカメラであるがゆえ、広い波長帯を持つ光源が必要となる。

「ハロゲンライト」がこの特徴を満たす（色温度にもよるが350 nm～3500 nm程度の範囲<sup>10)</sup> ことから本実証における光源として選定し、図 4.3-12 の要領でディーゼル機関を照射するように設置した。

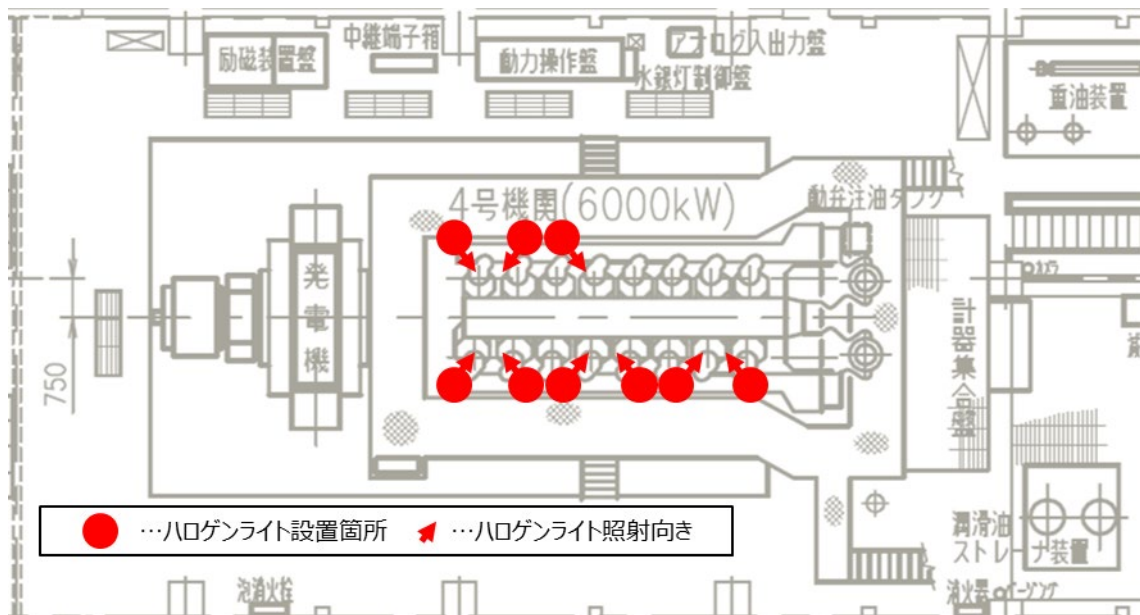


図 4.3-12 ハロゲンライト設置箇所

10

<https://www.an.shimadzu.co.jp/uv/support/lib/uvtalk/uvtalk6/basic.htm#:~:text=%E4%BD%BF%E7%94%A8%E3%81%A7%E3%81%8D%E3%82%8B%E6%B3%A2%E9%95%B7%E7%AF%84%E5%9B%B2%E3%81%AF,%E3%81%A6%E3%81%84%E3%82%8B%E3%81%A8%E3%81%84%E3%81%88%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>

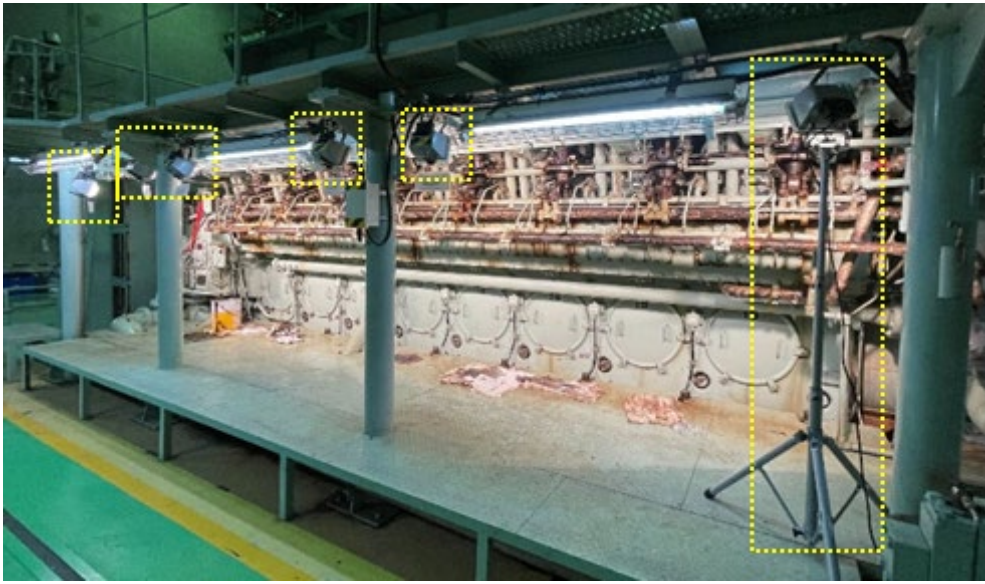


図 4.3-13 ハロゲンライト設置状況 (全体)

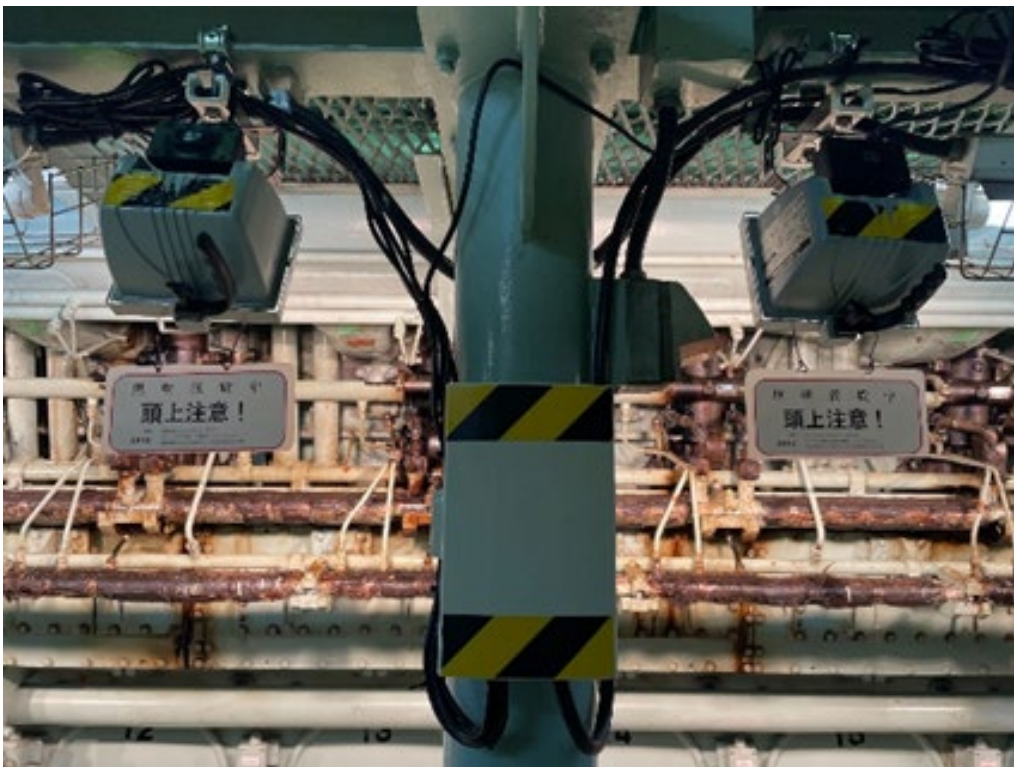


図 4.3-14 ハロゲンライト設置状況 (拡大)

#### 4.3.2 漏油・漏水検知と判定結果の出力

本実証において、検知すべき対象としては以下の4種類とした。

表 4.3-1 検知対象概要

検知対象	用途	監視の重要性
C重油 (危険度1)	機関起動後、規定された発電機出力以上となった段階で機関に投入される燃料油	圧力低下で機関トリップにつながるため常時圧力監視と配管漏油監視が必要。特に配管漏油は高圧管等があり火災の危険性が高くなるので早期発見が重要となる。また燃料油は印加点が低く漏油すると火災の危険性が大きくなる
A重油 (危険度1)	機関起動初期の段階で期間に投入される燃料油	
タービン油 (危険度2)	機関各部の主軸、ピストン他摺動部の潤滑に使用	潤滑油は人間の血液と同じで機関にとっては主要部位の潤滑と冷却に必要不可欠なもの。圧力低下で機関トリップとなるため常時の圧力監視や配管の漏油監視が重要。
水 (危険度3)	機関高熱部(シリンダーヘッド)の冷却や主要補機類(冷却器の冷却)に使用	冷却水系トラブルは燃料や潤滑油のトラブルに比較すると機関主要部事故や火災等の危険度は低いが一系系トラブルは機関トリップや主要部の損傷に至る状況もある。このため圧力監視と配管漏水監視は重要

C重油・A重油は有色であるが、タービン油・水に関しては無色に近い液体であるため、波長特性による検出が可能なハイパースペクトルカメラを使用したソリューションが有効であると考えた。

新巻岐発電所4号機関は稼働中の発電設備であるため、配管等から漏油・漏水が起きたと想定し、疑似的に床面に一定量を滴下した状態で実証を実施した。

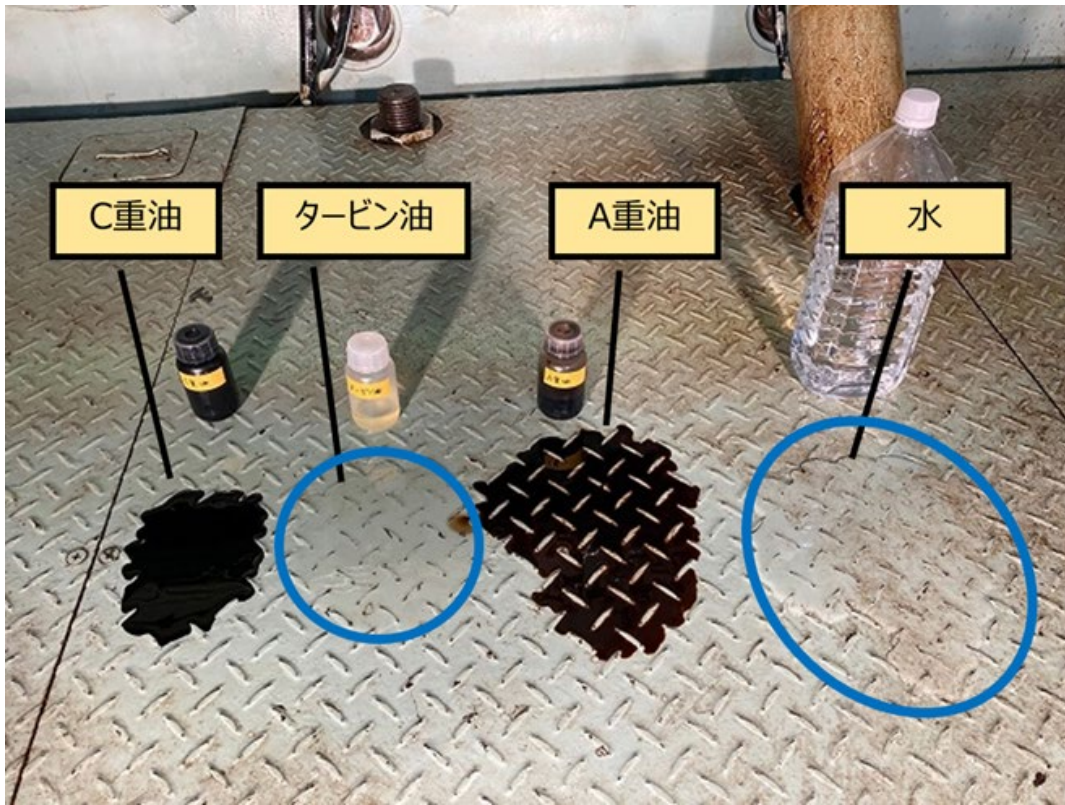


図 4.3-15 検知対象写真

図 4.3-16 にハイパースペクトルカメラによる撮影～結果表示アプリケーション（Web UI）による結果出力までのフローを示す。

ハイパースペクトルカメラで撮像したデータキューブは、撮像終了のタイミングで、制御 PC を介してクラウド（dOIC）上のデータ保存サーバに転送される。

データの転送を、画像処理・AI 危険度判定アプリケーションが検知し、データキューブから画像を生成し、漏油・漏水の検知及び危険度の判定、カラーマッピング等の画像処理を行い、処理結果をデータ保存サーバに格納する。

処理結果は、クラウド（dOIC）上の結果表示アプリケーション（Web UI）により表示、漏油・漏水検知、危険度判定結果を監視者あるいは保安員が確認できるようにした。



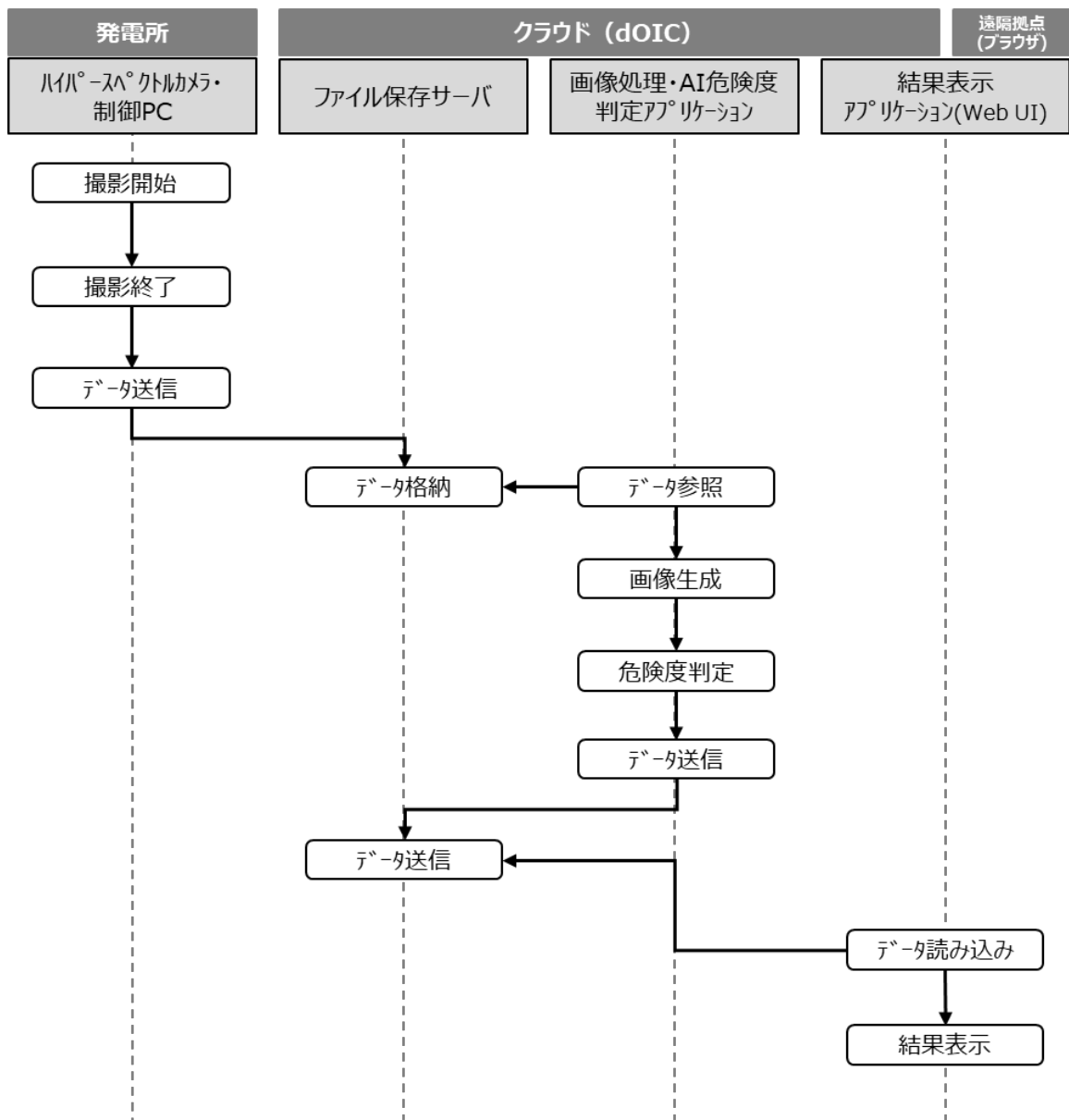


図 4.3-16 撮影～結果表示フロー

Web UIには、キャリア網を介するクラウドダイレクト接続（2.3.8章参照）可能な環境からのみアクセスすることが可能である。なお、動作環境としては、汎用的なブラウザ（Google Chrome）で動作するよう構築を行った。

ユーザインターフェースのメイン画面を図 4.3-17 に示す。撮像日時とハイパースペクトルカメラ撮像データを元に生成した画像上に、漏油・漏水が起こっている場所をカラーマッピングした画像、画像中の最大危険度を1ページ内に表示するようにした。

油・水の種類とカラーマッピング・危険度の対応については、実態をふまえ、表 4.3-2 の仕様とした。

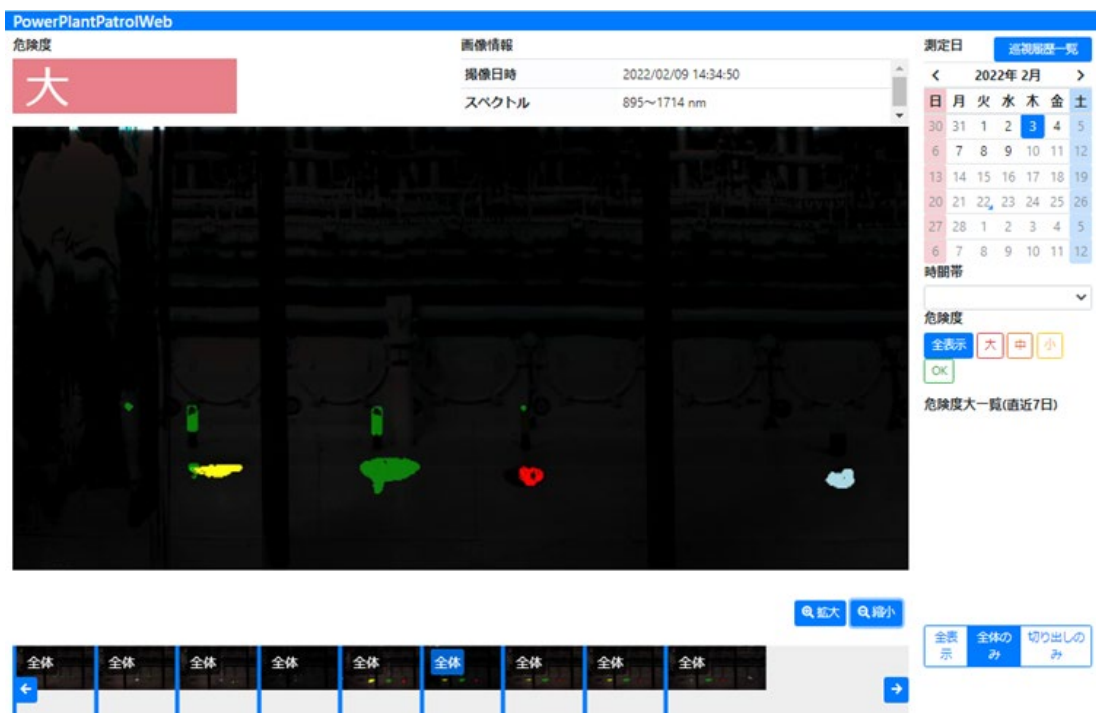


図 4.3-17 UI メイン画面

表 4.3-2 種類・カラーマッピング・危険度

種類	カラーマッピング	危険度
C重油	赤色	大
水	水色	中
A重油	黄色	小
タービン油	緑色	
なし	-	OK

監視員あるいは保安員の交代・引継ぎ、過去日・時間からの状況推移の確認の観点から、図 4.3-18 に示すように、さまざまな条件で絞り込みができるような仕様とした（①履歴一覧、②日付絞り込み、③時間帯絞り込み、④危険度絞り込み。①履歴一覧ボタン押下後の遷移画面を図 4.3-19 に示す）。また、危険度＝大に関しては、直ちに確認を行う必要があることから、直近7日間で危険度＝大と検知した日時を表示するようにした（図 4.3-18 ⑤の部分、日時リンクから当該時点の検知結果を表示）。



図 4.3-18 条件で絞り込み画面

PowerPlantPatrolWeb

危険度

大

巡視履歴一覧

2022/02/07 ~ 2022/02/09 検索 CSV出力

観測日時	全体危険度	全体危険度(AI)
2022/02/09 16:54:50	大	大
2022/02/09 16:41:50	大	大
2022/02/09 16:04:50	大	大
2022/02/09 14:34:50	大	大
2022/02/08 16:14:50	大	大
2022/02/08 14:44:50	中	中
2022/02/08 14:14:50	大	大
2022/02/08 13:44:50	大	大
2022/02/08 13:19:50	中	中
2022/02/08 13:04:50	中	中
2022/02/08 11:34:50	小	小
2022/02/08 11:14:50	小	小
2022/02/08 10:19:50	小	小
2022/02/08 08:54:50	小	小
2022/02/08 08:34:50	小	小

全体

切り出しのみ

図 4.3-19 遷移画面

### 4.3.3 巡視点検ロボット可視カメラ・赤外線カメラ映像の遠隔確認・遠隔操作

新巻岐発電所と遠隔拠点とを、ローカル5Gネットワーク・広域イーサ網・クラウド・クラウドダイレクト接続を介して接続可能な構成とすることにより、巡視点検ロボットに標準搭載されている可視カメラ・赤外線カメラによって撮影されたリアルタイム映像を遠隔拠点から確認、及び、ロボットの遠隔操作を行うことができるようにした。

構成概要を図 4.3-20 に示す。

遠隔監視拠点のPCブラウザ（クラウドダイレクト接続）から直接、巡視点検ロボットの可視カメラ・赤外線カメラにアクセスすることで映像の確認が可能である。また、遠隔監視拠点PCからロボットコントロールPCにリモートデスクトップ接続することで映像の確認に加え、遠隔操作が可能となる。

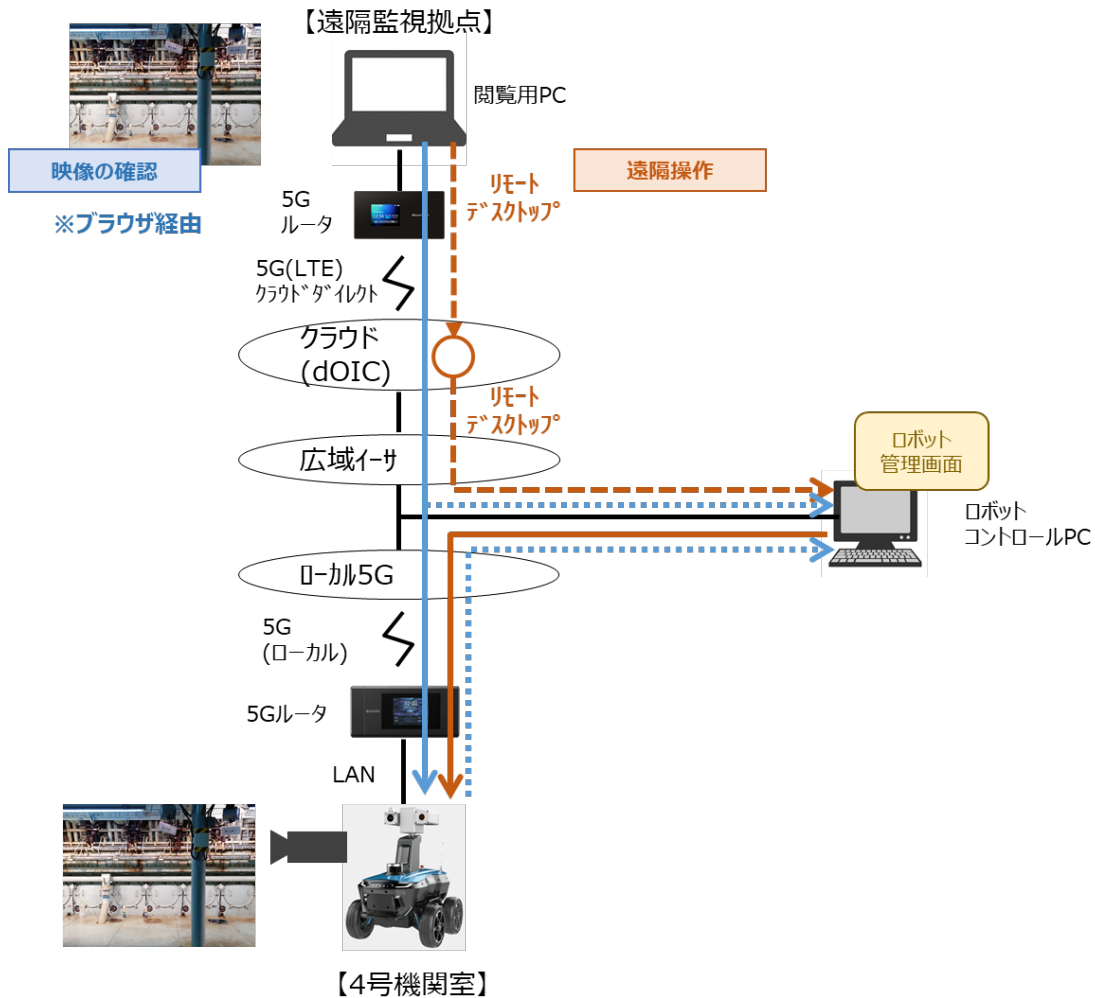


図 4.3-20 遠隔操作構成概要

## 4.4 実証内容

### 4.4.1 ローカル5Gを用いたソリューションの有効性等に関する検証

#### 4.4.1.1 効果検証

本実証ソリューションの導入効果検証として、本実証ソリューションの効果実測と、監視者および保安員へのインタビューおよびアンケートを集計し、定量的な分析及び費用対効果を導出することとした。

<実施項目>

- ・点検業務の稼働削減効果（スマート保安の実現）
- ・漏油・漏水の自動検知による品質向上（保安員確保のための課題解決）

なお、本実証ソリューションによる巡視点検ロボットの適用範囲としては、通常時の巡視点検に加え、台風や地震・津波といった災害発生に伴う予見不可能な有事の際に実施する事後点検がある。事後点検の主目的は設備の健全性確認であり、内容については日常巡視点検と大きな差異は無い。地震・津波発生後は設備状況の迅速な把握が求められるものの、設備の被災状況によっては容易に保安員が近づくことができないことも想定されることから、労働安全衛生の面でもロボット適用の効果は大いに期待できる。

漏油・漏水以外にも巡視点検時に検出する異常項目は存在するが、本実証における対応方針は以下の通りとした。

表 4.4-1 巡視点検時に検出する異常項目の実証での対応

異常項目	実証での対応
① 亀裂、破損、変形、変色	ロボット搭載カメラ及びクラウドAI等を用いれば画像情報、機械学習等を元に検知可能であるが、他案件でも同様の事例があり、本実証で行う検証項目としては優先順位が低い
② 漏気	亀裂、破損等で漏気が発生するため①と同様に本実証で行う検証項目としては優先順位が低い
③ 異臭	主に配管からの漏気、油脂類の異常加熱等により発生する二次的設備異常要因である。固定式ガスセンサー等での代替でも十分可能であり、ローカル5Gを用いる優位性が低い
④ 異常音	一口に異常音と言ってもその対象は幅広く、また、常時100dBを超えるディーゼル機関の騒音環境下で異常音を検知して警報を発するシステムの開発は容易ではない。 現在開発されている音響診断システムは、固定マイクにより集音した正常時の音響波形と計測波形を比較し、異常の有無を判定するものである。巡視ロボット搭載の集音マイクにより収集した音響波形を、クラウド上のAIにより異常有無を判定するシステムの開発は、可能性としては高いと考えられるものの、多種多様な個々のディーゼル機関の様々なケースの音響データを収集するとなると、膨大なデータ処理が必要となることが想定され、開発のハードルが高く、将来的な課題と整理した。



(1) 評価・検証項目

① 点検業務の稼働削減効果に関する評価・検証項目

点検業務において、漏油・漏水検知業務の稼働削減効果が得られているのか評価した。

表 4.4-2 点検業務の稼働削減効果評価

NO	評価対象	評価項目	評価項目の取得方法
1	漏油	異常検知に要する稼働時間	監視者および保安員にて、本ソリューション導入前後の縮減可能な項目について検証を実施。
2	漏水		

点検項目	点検内容	点検項目												
		1号機			2号機			3号機			4号機			
		1直	2直	3直	1直	2直	3直	1直	2直	3直	1直	2直	3直	
機開	機関本体、機付補機	異常、異臭、異常振動、過熱、漏油、漏水の有無												
	機関廻り配管	漏油、漏水、漏気、過熱の有無												
	過給機、空気冷却器	異常、異常振動、漏油、漏水の有無												
	ガバナ、リンク	ガバナ油量、リンクの摩耗・ガタの有無												
	燃料加減リンク	リンク機構注油(2直)												
	オイルミスト検知器	濃度異常の有無												
	給気温度自動調節装置	漏水、漏気の有無												
	発電機、励磁機	異常・異臭・振動、火花・汚れ(差圧)の有無												
	タコメータ	異常、振動、過熱の有無												
	計装盤	触受	油量、過熱の有無											
AVR盤		異常、異臭、表示灯断芯の有無												
各温度、圧力		温度、圧力異常の有無												
主軸受温度		温度異常の有無												
過給機回転数		回転数異常の有無												
潤滑油水分混入装置		水分混入の有無(2直数値記録)												
配管		漏油、漏水、漏気の有無												
重油ユニット(併機P、ストレーナ)		エンジン異常・振動・過熱、漏油、ストレーナ異常の有無												
燃料油清浄機		ドラフト異常、Vベルト状態、ドラフト振動・過熱の有無												
燃料油精製フィルター		エンジン異常・振動・過熱、漏油、ストレーナ異常の有無												
1F補機室	潤滑油ストレーナ	漏油、差圧異常の有無(2直差圧数値記録)												
	異常検知ストレーナ	漏油、差圧異常の有無												
	動弁注油タンク	レベルの異常、漏洩の有無												
	配管	漏油、漏水、漏気の有無												
	コイルセクタ、補機盤	異常、異臭、表示灯断芯の有無												
	低圧受電盤	異常、異臭、表示灯断芯の有無												
	電灯、動力機作盤	異常、異臭、表示灯断芯の有無												
	制御空気減圧弁ユニット	乾燥剤レベルの低下、漏気の有無												
	2F	C重油セントリフュージング	レベルの異常、漏洩の有無											
		C重油サージタンク	レベルの異常、漏洩の有無											
A重油サージタンク		レベルの異常、漏洩の有無												
一次冷却水ポンプ		レベルの異常、漏洩の有無												
二次冷却水ポンプ		レベルの異常、漏洩の有無												
燃料油清浄機		漏洩の有無												
燃料油清浄機フィルター		レベルの異常、漏洩の有無												
潤滑油ポンプ		漏洩の有無												
潤滑油サージタンク		レベルの異常、漏洩の有無												
潤滑油ポンプ		漏洩の有無												
3F	燃料油清浄機	漏洩の有無												
	燃料油清浄機フィルター	レベルの異常、漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
排油	燃料油清浄機	漏洩の有無												
	燃料油清浄機フィルター	レベルの異常、漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												
	燃料油清浄機ポンプ	漏洩の有無												

上記赤枠箇所がロボット巡視対象範囲となる。保安員が目視等で行っている巡視内容をロボット監視機能及びAIを利用し代替する。

図 4.4-1 新巻岐発電所デイリーチェックシート

【出典】九電送配電  
214

② 漏油・漏水の自動検知による品質に関する評価・検証項目

漏油・漏水の自動検知において、漏油・漏水場所／範囲の品質を評価する。

評価対象である漏油はディーゼルエンジンの稼働に必要となるC重油、A重油、タービン油を対象とした。また、評価対象である漏水はディーゼルエンジンの冷却に必要となる水を対象とした。

評価項目では複数回異常状態の検証実施し、A Iにおける正答率／適合率／再現率を元に異常検知品質の評価を行った。

表 4.4-3 自動検知による品質評価

NO	評価対象	評価項目	評価項目の取得方法
1	漏油	異常検知品質	漏油・漏水場所／範囲について、AIで正答率／適合率／再現率を取得。
2	漏水		

## (2) 評価・検証方法

### ① 点検業務の稼働削減効果に関する評価・検証方法

漏油・漏水検知業務の稼働削減効果の評価・検証する方法は以下のとおりである。

表 4.4-4 点検業務の稼働削減効果検証方法

NO	評価対象	評価項目	評価方法
1	漏油	異常検知に要する稼働時間	通常時実施している巡視点検チェック項目について導入ソリューションによる縮減が可能な項目数を割り出し、稼働削減効果を定量的に評価した。
2	漏水		

### ② 漏油・漏水の自動検知による品質向上に関する評価・検証方法

漏油・漏水場所／範囲の品質を評価・検証する方法は以下のとおりである。

表 4.4-5 自動検知による品質検証方法

NO	評価対象	評価項目	評価方法
1	漏油	異常検知品質	漏油・漏水量や場所におけるバリエーションに対して、正答率／適合率／再現率を定量分析することにより自動検知の品質を評価した。  ・漏油範囲
2	漏水		

#### 検証方法

- ・漏油・漏水の種類および実証条件については、「4.3 実証環境」を参照。
- ・漏油・漏水量：20cmおよび正常時（漏油・漏水なし）の検証を19回実施。

#### 評価方法

- ・漏油・漏水量に対する検知範囲について、以下のとおり評価を行う。

■ 50%以上：OK、50%未満：NG

巡視点検ロボット＋HSカメラによる点検～WebUIでの漏油（水）検知確認に

において、A Iによる下記指標参考に評価を行う

－ 正答率 (A c c u r a c y)

《メリット》最もシンプルで分かりやすい

《デメリット》クラスごとの評価データ数が著しく異なると不適切

実際・A I 判定結果ともに合致\* 1 / 試験回数

\* 1) 実際漏油かつ判定も漏油+実際漏油なしかつ判定も漏油なし

－ 適合率 (P r e c i s i o n)

《メリット》取りこぼしを発見できる

《デメリット》過検知を発見できない

実際・A I 判定結果ともに漏油 (漏油なし) / 判定上漏油 (漏油なし)

－ 再現率 (R e c a l l)

《メリット》過検知を発見できる

《デメリット》取りこぼしを発見できない

実際・A I 判定結果ともに漏油 (漏油なし) / 実際漏油 (漏油なし)

－ F 値 … 再現率と適合率の調和平均

《メリット》取りこぼし、過検知どちらも均等に判断できる

《デメリット》数値の解釈が難しくなる

$(2 \times P r e c i s i o n \times R e c a l l) / (P r e c i s i o n + R e c a l l)$

### (3) 実証結果及び考察

#### ① 点検業務の稼働削減効果に関する評価・検証結果

現在保安員が実施する現場巡視点検については五感を最大限活用し、機器の運転状態の確認、予防保全に資する機器の異常兆候の早期発見に努めている。また、直帯ごとの時間の制約はあるものの、機関室や煙突・取水設備・屋外変電所といった発電所共通設備も含めた巡視点検作業を実施している。保安員による巡視点検にかかる作業時間は人、状況により変化する為、「稼働項目うち20%削減」の目標を設定し、実証を通じ評価を行った。なお、20%という値は、漏油・漏水が検知できない場面も想定し、導入検討を進める上で削減したい割合として算出した。ロボット巡視点検機能のうち、ローカル5Gを用いた巡視項目とロボット本体が標準的に付帯する機能の区分について下記に記す。

表 4.4-6 HS カメラを搭載した巡視点検ロボットにて検知可能な範囲

監視項目	点検手法	ローカル 5G 適用	ロボット標準	五感による検知
漏油・漏水検知	HS カメラ	○	×	視覚
異音検知	集音マイク	×	○	聴覚
異臭検知	ガス検知器,O2 濃度計	×	× (ただし他所 実績有)	嗅覚
異常振動検知	—	×	×	触覚・聴覚
異常加熱検知	サーモカメラ	×	○	触覚(ただし部位 によっては困難)
計器指示値	ロボットカメラ	×	○	視覚

出典：実証コンソーシアム

\*異音検知については実証場所が高い騒音下にあることから、ロボット標準の集音マイクでは音の採取が不可。  
専用マイクの搭載が必要

漏油・漏水検知手法により巡視点検が削減可能な項目（稼働削減20%）を評価した。またHSカメラ+ロボット標準機能（表 4.4-7 記載のうちローカル5G適用以外のものを指す）により削減可能な項目についても参考で評価した。

表 4.4-7 稼働削減効果

適用検知手法	稼働削減効果
L5Gソリューション導入（HSカメラ）	28%
L5G+ロボットソリューション導入（HSカメラ+ロボット標準機能）	48%

評価方法については既存のデイリーチェックシートのうち各点検項目（機器）に設定された点検内容を細分化し、HSカメラやロボット標準機能により点検が可能なものをマトリックス上に分類し、表 4.4-8 及び表 4.4-9 にソリューション導入による稼働削減可能対象項目を示した。

今回点検チェックシートのうち、巡視点検ロボットの移動や走行ができない、2階設備の燃料タンク等、地下に配置している冷却水ポンプ、重油ドレンタンク類については、今回の点検範囲から除外した。

今後、設備の改修等で2階フロアや地下設備へのアクセスが出来れば保安員の点検業務の軽減につながるものとなる。

表 4.4-8 稼働削減効果の分析結果(L5G ソリューション導入効果)

○本ソリューション導入により点検可能  
 ×本ソリューション導入によっても対応不可  
 - 点検対象外

削減効果		
○	11	28%
×	28	72%
合計	39	

点検項目	点検内容	異音	異臭	異常振動	過熱	漏油	漏水	その他	
機関	機関本体、機付補機	異音、異臭、異常振動、過熱、漏油、漏水の有無	×	×	×	×	○	○	-
	機関廻り配管	漏油、漏水、漏気、過熱の有無	×	×	×	×	×	×	-
	過給機、空気冷却器	異音、異常振動、漏油、漏水の有無	×	-	×	-	○	○	-
	ガバナ、リンク	ガバナ油量、ビン・ボットの摩耗・ガタの有無	-	-	-	-	-	-	×
	燃料加減リンク	リンク機構注油(2直)	-	-	-	-	-	-	-
	オイルミスト検知器	濃度異常の有無	-	-	-	-	-	-	×
発電機	給気温度自動調節装置	漏水、漏気の有無	-	-	-	-	○	○	×
	発電機、励磁機	異音・異臭・振動、フィルター汚れ(差圧)の有無	×	×	×	-	-	-	×
	タコゼネ	異音、振動、過熱の有無	×	-	×	-	-	-	-
	軸受	油量、過熱の有無	-	-	-	×	-	-	×
	A V R 盤	異音、異臭、表示灯断芯の有無	×	×	-	-	-	-	×
計集盤	各温度、圧力	温度、圧力異常の有無	-	-	-	-	-	-	×
	主軸受温度	温度異常の有無	-	-	-	-	-	-	×
	過給機回転数	回転数異常の有無	-	-	-	-	-	-	×
	潤滑油水分混入装置	水分混入の有無(2直数値記録)	-	-	-	-	-	-	×
	配管	漏油、漏水、漏気の有無	-	-	-	-	-	-	×
1 F 補機室	重油ユニット(循環P、ストレナ他)	ポンプ 異音・振動・過熱、漏油、ストレナ差圧異常の有無	×	-	×	×	○	-	×
	燃料油清浄機	ギア油量、Vベルト状態、ポンプ 振動・過熱の有無	-	-	×	×	-	-	×
	燃料油精密フィルター	ポンプ 異音・振動・過熱、漏油、ストレナ差圧の有無	-	-	×	×	○	-	×
	潤滑油ストレナ	漏油、差圧異常の有無(2直差圧数値記録)	-	-	-	-	○	-	×
	異常検知ストレナ	漏油、差圧異常の有無	-	-	-	-	○	-	×
	動弁注油タンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	-	-	-
	配管	漏油、漏水、漏気の有無	-	-	-	-	○	×	×
	コントロールセンター、補機盤	異音、異臭、表示灯断芯の有無	×	×	-	-	-	-	×
	低圧受電盤	異音、異臭、表示灯断芯の有無	×	×	-	-	-	-	×
	電灯、動力操作盤	異音、異臭、表示灯断芯の有無	×	×	-	-	-	-	×
2 F	制御空気減圧弁ユニット	乾燥剤レベルの低下、漏気の有無	-	-	-	-	-	-	×
	C重油セトリングタンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	×	-	×
	C重油サービスタンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	×	-	×
	A重油サービスタンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	×	-	×
	二次冷却水膨張タンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	-	×	×
	二次冷却水膨張タンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	-	×	×
	配管	漏油、漏水、漏気の有無	-	-	-	-	×	×	×
	潤滑油清浄機	ギア油量、Vベルト状態、ポンプ 振動・過熱の有無	-	-	-	-	-	-	×
B 1 補機室	潤滑油精密フィルター	ポンプ 異音・振動・過熱、漏油、ストレナ差圧の有無	×	-	×	×	×	-	×
	潤滑油サンプタンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	-	-	×
	潤滑油サンプタンク	レベル記録(2直数値記録)	-	-	-	-	-	-	×
	潤滑油ポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	-	×	×	×	-	-
	潤滑油冷却器	漏洩の有無	-	-	-	-	-	-	×
	一次冷却水ポンプ	軸受油量の異常、異音、振動、過熱、漏水の有無	×	-	×	×	-	×	-
	一次冷却水冷却器	漏洩の有無	-	-	-	-	-	×	-
	二次冷却水ポンプ	軸受油量の異常、異音、振動、過熱、漏水の有無	×	-	×	×	-	×	×
	二次冷却水冷却器	漏洩の有無	-	-	-	-	-	×	-
	燃料弁冷却油タンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	-	×	×
	燃料弁冷却油ポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	-	×	×	×	-	-
	燃料弁冷却油冷却器	漏洩の有無	-	-	-	-	×	-	-
	過給機潤滑油タンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	×	-	×
	過給機潤滑油ポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	-	×	×	×	-	-
	過給機潤滑油冷却器	漏洩の有無	-	-	-	-	×	-	-
	重油ドレンタンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	×	-	×
	重油ドレンタンク	ドレン抜き(2直点検)	-	-	-	-	-	-	-
	重油ドレンポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	-	×	×	×	-	-
	潤滑油ドレンタンク	レベルの異常、漏洩の有無	-	-	-	-	×	-	×
	潤滑油ドレンポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	-	×	×	×	-	-
	空気圧縮機	異音、振動、過熱、ベルト状態、油量の異常	×	-	×	×	-	-	×
	空気だめ	圧力の異常、漏洩の有無	-	-	-	-	-	-	×
	空気だめ	ドレン抜き(2直)	-	-	-	-	-	-	-
	排水ビット、スラッジビット	レベル、スラッジ等堆積の有無	-	-	-	-	-	-	×
	配管	漏油、漏水、漏気の有無	-	-	-	-	×	×	-

表 4.4-9 稼働削減効果の分析結果(L5G+ロボットソリューション導入効果)参考

- 本ソリューション導入により点検可能
- ×本ソリューション導入によっても対応不可
- －点検対象外

削減効果		
○	32	48%
×	34	52%
合計	66	

点検項目		点検内容	異音	異臭	異常振動	過熱	漏油	漏水	その他
機関	機関本体、機付補機	異音、異臭、異常振動、過熱、漏油、漏水の有無	×	×	×	○	○	○	－
	機関廻り配管	漏油、漏水、漏気、過熱の有無	×	×	×	×	×	×	－
	過給機、空気冷却器	異音、異常振動、漏油、漏水の有無	×	－	×	－	○	○	－
	ガバナ、リンク	ガバナ油量、ピン・ボルトの摩耗・ガタの有無	－	－	－	－	－	－	×
	燃料加減リンク	リンク機構注油(2直)	－	－	－	－	－	－	－
	オイルミスト検知器	濃度異常の有無	－	－	－	－	－	－	○
	給気温度自動調節装置	漏水、漏気の有無	－	－	－	－	○	○	－
発電機	発電機、励磁機	異音・異臭・振動、フィルター汚れ(差圧)の有無	×	×	×	－	－	－	○
	タコペネ	異音、振動、過熱の有無	×	－	×	○	－	－	－
	軸受	油量、過熱の有無	－	－	－	○	－	－	○
	A V R 盤	異音、異臭、表示灯断芯の有無	×	×	－	－	－	－	○
計集盤	各温度、圧力	温度、圧力異常の有無	－	－	－	－	－	－	○
	主軸受温度	温度異常の有無	－	－	－	－	－	－	○
	過給機回転数	回転数異常の有無	－	－	－	－	－	－	○
	潤滑油水分混入装置	水分混入の有無(2直数値記録)	－	－	－	－	－	－	○
	配管	漏油、漏水、漏気の有無	－	－	－	－	－	－	×
1 F 補機室	重油ユニット(循環P、ストレナ他)	ポンプ異音・振動・過熱、漏油、ストレナ差圧異常の有無	×	－	×	○	○	－	○
	燃料油清浄機	ギア油量、Vベルト状態、ポンプ振動・過熱の有無	－	－	×	○	－	－	×
	燃料油精密フィルター	ポンプ異音・振動・過熱、漏油、ストレナ差圧の有無	－	－	×	○	○	－	○
	潤滑油ストレナ	漏油、差圧異常の有無(2直差圧数値記録)	－	－	－	－	○	－	○
	異常検知ストレナ	漏油、差圧異常の有無	－	－	－	－	○	－	○
	動弁注油タンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	－	－	－
	配管	漏油、漏水、漏気の有無	－	－	－	－	○	×	×
	コントロールセンター、補機盤	異音、異臭、表示灯断芯の有無	×	×	－	－	－	－	○
	低下受電盤	異音、異臭、表示灯断芯の有無	×	×	－	－	－	－	○
	電灯、動力操作盤	異音、異臭、表示灯断芯の有無	×	×	－	－	－	－	○
制御空気減圧弁ユニット	乾燥剤レベルの低下、漏気の有無	－	－	－	－	－	－	×	
2 F	C重油セッティングタンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	×	－	×
	C重油サービスタンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	×	－	×
	A重油サービスタンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	×	－	×
	一次冷却水膨張タンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	－	×	×
	二次冷却水膨張タンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	－	×	×
	配管	漏油、漏水、漏気の有無	－	－	－	－	×	×	×
B 1 補機室	潤滑油清浄機	ギア油量、Vベルト状態、ポンプ振動・過熱の有無	－	－	－	－	－	－	×
	潤滑油精密フィルター	ポンプ異音・振動・過熱、漏油、ストレナ差圧の有無	×	－	×	×	×	－	×
	潤滑油サンプタンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	－	－	×
	潤滑油サンプタンク	レベル記録(2直数値記録)	－	－	－	－	－	－	×
	潤滑油ポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	－	×	×	×	－	－
	潤滑油冷却器	漏洩の有無	－	－	－	－	－	－	×
	一次冷却水ポンプ	軸受油量の異常、異音、振動、過熱、漏水の有無	×	－	×	×	－	×	－
	一次冷却水冷却器	漏洩の有無	－	－	－	－	－	×	－
	二次冷却水ポンプ	軸受油量の異常、異音、振動、過熱、漏水の有無	×	－	×	×	－	×	×
	二次冷却水冷却器	漏洩の有無	－	－	－	－	－	×	－
	燃料弁冷却油タンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	－	×	×
	燃料弁冷却油ポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	－	×	×	×	－	－
	燃料弁冷却油冷却器	漏洩の有無	－	－	－	－	×	－	－
	過給機潤滑油タンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	×	－	×
	過給機潤滑油ポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	－	×	×	×	－	－
	過給機潤滑油冷却器	漏洩の有無	－	－	－	－	×	－	－
	重油ドレンタンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	×	－	×
	重油ドレンタンク	ドレン抜き(2直点検)	－	－	－	－	－	－	－
	重油ドレンポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	－	×	×	×	－	－
	潤滑油ドレンタンク	レベルの異常、漏洩の有無	－	－	－	－	×	－	×
潤滑油ドレンポンプ	異音、振動、過熱、漏油の有無	×	－	×	×	×	－	－	
空気圧縮機	異音、振動、過熱、Vベルト状態、油量の異常	×	－	×	×	×	－	×	
空気だめ	圧力の異常、漏洩の有無	－	－	－	－	－	－	×	
空気だめ	ドレン抜き(2直)	－	－	－	－	－	－	－	
排水ピット、スラッジピット	レベル、スラッジ等堆積の有無	－	－	－	－	－	－	×	
配管	漏油、漏水、漏気の有無	－	－	－	－	×	×	－	



上記のデイリーチェックシートをベースに、HSカメラを用いた漏油・漏水検知手法により目標とする稼働削減20%（全フロアの場合）を評価した。

表 4.4-10 漏油・漏水検知手法による稼働削減効果

	全フロア	1Fのみ
ハイパースペクトルカメラでの監視可能範囲	全 39 箇所	全 14 箇所
稼働削減可能な箇所 (○)	11 箇所(28%)	11 箇所(79%)
稼働削減できない箇所 (×)	28 箇所(72%)	3 箇所(21%)

全フロアでの稼働削減が可能な箇所は 11 箇所となり、目標とする 20%削減を超えることができた。対象フロアを 1F に限った場合であれば、漏油・漏水検知に係る稼働を 79%削減することができる。稼働が削減できない箇所としては、「ロボットが走行できない範囲」以外に、「機関廻りの配管」が検知できない結果となった。これは配管から漏油・漏水した液体が床面に蓄積しない箇所であったりと、工夫次第では検知させることは可能と考えられるが本実証においては、期間内での検証ができなかった為、稼働削減できない箇所として集計した。

またロボット標準機能（表 4.4-6 記載の異常加熱検知、計器指示値）との組み合わせにより削減可能な項目についても参考で評価した。

表 4.4-11 ロボット標準機能+ハイパースペクトルカメラでの稼働削減効果

	全フロア	1Fのみ
巡視点検ロボットでの監視可能範囲	全 136 箇所	全 65 箇所
稼働削減可能な箇所 (○)	32 箇所(23%)	32 箇所(48%)
稼働削減できない箇所 (×)	104 箇所(77%)	33 箇所(52%)

全フロアでの稼働削減が可能な箇所は 32 箇所となり、対象フロアを 1F に限った場合であれば、49%の稼働を削減することができる。稼働が削減できない箇所としては、「ロボットが走行できない範囲」以外に、「異音」や「異臭」「異常振動」が検知できない結果となった。「異音」に関しては巡視点検ロボットにも録音する機能が備わっているが、ディーゼル

エンジン機関の騒音が発生している為、その音の中から異音を検知することはできなかった。対処案としては、広い音の範囲を録音できる機材を用いることで対処可能と考える。また、「異臭」や「異常振動」においても、専用機器を追加で用いることで対処可能と考える。

以上のことから洗い出した項目について本実証の中で検知可能であることを確認したことで、巡視点検ロボット+ハイパースペクトルカメラの組み合わせにおいて、稼働削減効果があると判断した。今後、「異音」「異臭」「異常検知」の機材と組み合わせることで更なる稼働削減効果が見込める。また、巡視点検ロボットが搭載可能なエレベータを準備することで他のフロアでの巡視点検も可能となり、非常に高い稼働削減効果へとつながる。本実証では監視対象外として「-」の項目においては、巡視点検ロボット以外での代替案等を検討し、巡視点検業務の省力化をめざしていく。

② 漏油・漏水の自動検知による品質向上に関する評価・検証結果

表 4.4-12 に漏油（A重油、C重油、タービン油）・漏水を各20cm垂らした状態および正常（漏油・漏水なし）の状態での19回実証した結果を示す。

表 4.4-12 実証結果

回数	A重油	漏油 タービン油	C重油	漏水	正常 なし
1回目	○	○	○ 検知範囲が実態より狭い(40%)	○ 検知範囲が実態より狭い(50%)	○
2回目	○	○	○ 検知範囲が実態より狭い(40%)	○ 検知範囲が実態より狭い(70%)	○
3回目	○ 検知範囲が実態より狭い(50%)	○	○ 検知範囲が実態より狭い(40%)	○ 検知範囲が実態より狭い(70%)	○
4回目	○	○	○ 検知範囲が実態より狭い(90%)	○	○
5回目	○	○	○ 検知範囲が実態より狭い(90%)	○	○
6回目	○	○	○ 検知範囲が実態より狭い(80%)	○ 検知範囲が実態より狭い(90%)	○
7回目	○	○	○ 検知範囲が実態より狭い(40%)	○ 検知範囲が実態より狭い(90%)	○
8回目	○	○	○ 検知範囲が実態より狭い(40%)	○	○
9回目	○	○	○ 検知範囲が実態より狭い(40%)	○	○
10回目	○	○	○ 検知範囲が実態より狭い(40%)	○	○
11回目	○	○ 検出できず(容器蓋は検出)	○ 検出できず	○	○
12回目	○ 検知範囲が実態より狭い(10%)	○ 検出できず	○ 検知範囲が実態より狭い(90%)	○	○
13回目	○ 検知範囲が実態より狭い(30%)	○ 検出できず	○ 検知範囲が実態より狭い(20%)	○ 検知範囲が実態より狭い(50%)	○
14回目	○ 検知範囲が実態より狭い(50%)	○ 検出できず	○ 検出できず	○	○
15回目	○	○	○ 範囲が実態より狭い(80%)	○	○
16回目	○	○	○ 範囲が実態より狭い(70%)	○	○
17回目	○	○	○ 範囲が実態より狭い(70%)	○	○
18回目	○	○	○ 範囲が実態より狭い(50%)	○	○
19回目	○	○	○ 範囲が実態より狭い(50%)	○	○
検出	OK 17 NG 2	15 4	9 10	19 0	19 0

凡例  
・上段：検証結果  
・下段：備考

表 4.4-12 の実証結果を参考に実態と自動検知判定の漏油・漏水の有無を表 4.4-13 にまとめた。

表 4.4-13 結果まとめ

■漏油

		自動検知判定	
		漏油有	漏油無
実態	漏油有	41	16
	漏油無	0	19

■漏水

		自動検知判定	
		漏水有	漏水無
実態	漏水有	19	0
	漏水無	0	19

表 4.4-12、表 4.4-13 を参考に表 4.4-14 にA I 指標（正答率／適合率／再現率／F 値）を示す。

表 4.4-14 AI 指標

■AI指標

AI指標	漏油		漏水	
	有	無	有	無
正答率	79%		100%	
適合率	100%	54%	100%	100%
再現率	72%	100%	100%	100%
F値	86%	77%	100%	100%

■検知可パターン

異常検知が適切にできた様子以下の図 4.4-3 に示す。図 4.4-2 は実際に撮影した写真を示しており、図 4.4-3 はWEBUI画面を示している。

カラーマッピングはA重油が黄色、タービン油が緑、C重油が赤、水が水色になっている。

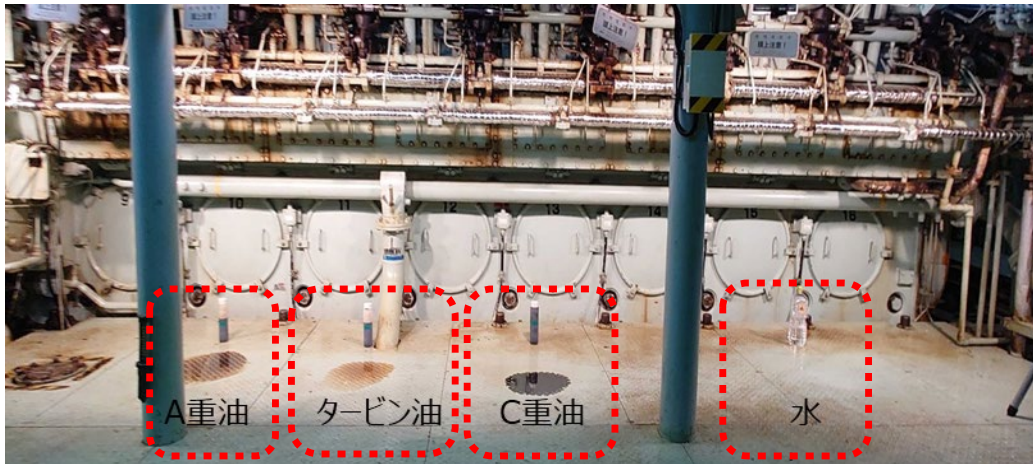


図 4.4-2 異常検知模擬写真（検知可パターン）

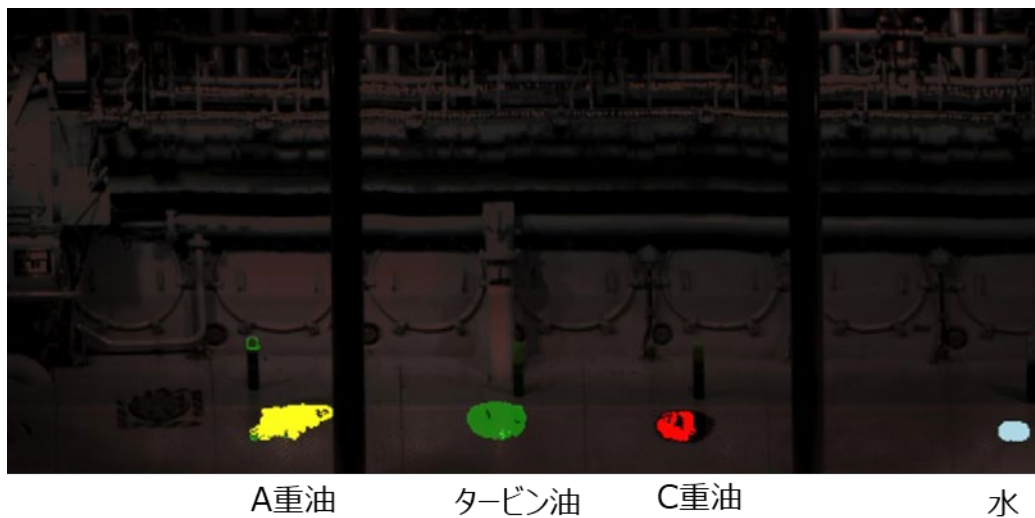


図 4.4-3 異常検知カラーマッピング（検知可パターン）

## ■ 検知不可パターン

異常検知が適切にできていない様子以下の図 4.4-5 に示す。図 4.4-4 は実際に撮影した写真を示しており、図 4.4-5 はWEBUI画面を示している。

水、A重油、C重油は一部分のみの検知しかできていない。タービン油に関しては検知できていない。

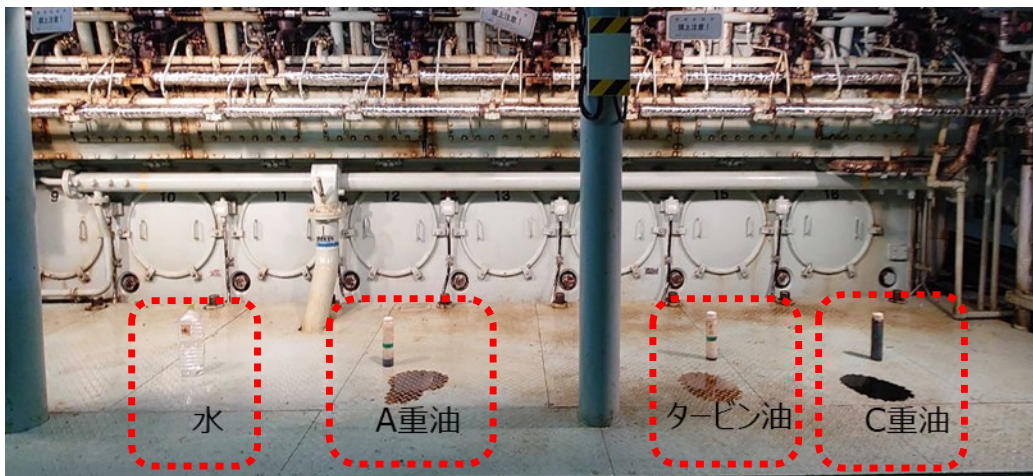
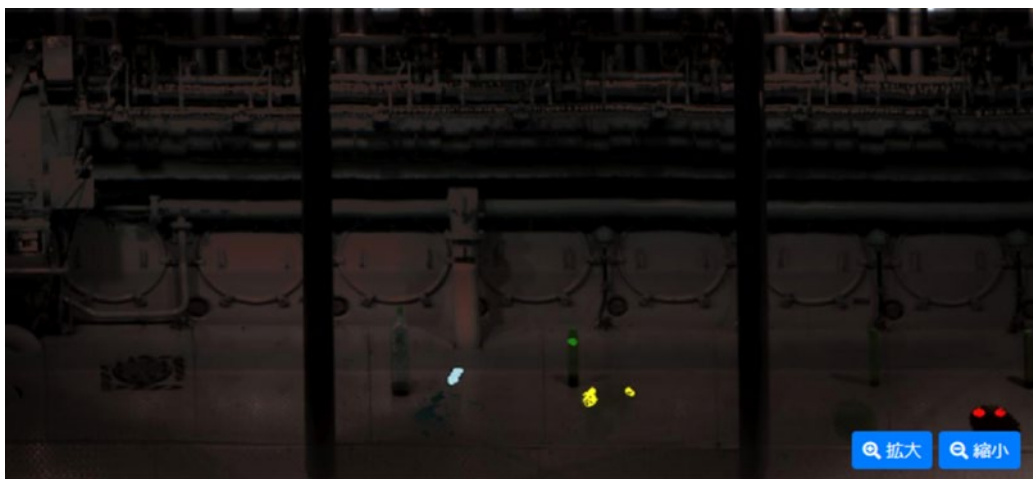


図 4.4-4 異常検知模擬写真（検知不可パターン）



水 A重油 タービン油 C重油

図 4.4-5 異常検知失敗例（カラーマッピング）

## ■考察

- 本実証において、以下のとおり計測した全ての箇所でも漏油・漏水を検知できているため、実証においても漏油・漏水における作業員の稼働削減につながることを確認した。

- 20cm以上の漏油であれば100%検知可能。

- 漏水は正答率が100%であり検知可能。

破損等により漏油・漏水が発生した場合は20cmを超える量が漏れる為、少量の漏油における検知精度は点検業務において大きな影響はない。

- 漏油に関して、特にC重油の検知範囲が狭かったことが判明した。  
なお、理由としては、以下の2点が考えられる。
  - ① 照明の輝度のバラつきがあった
  - ② 誤検知を除去するためにフィルターをかけていた

本実証では、「4.3 実証環境」の通りハロゲンライトを固定設置した。しかし、巡視点検ロボットに搭載することで輝度を均一にすることができ、且つ、影の誤検知を抑制するためのフィルターも不要となるため、更に検知精度の向上を期待できる。

また、油の粘度にも関係性があり、図 4.4-6 からわかる通り、粘度が大きい物質ほど照明の反射率も大きくなることから検知できていないものが多いと考察できる。今回の実証では予め準備していた油を滴下することで検証を行った為、油の温度が常温となり粘度が大きくなっている。しかし、実際の漏油では油の温度が高い為漏油時の粘度は小さくなり、より検知しやすい状況と考える。

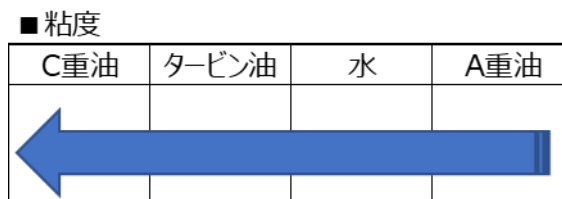


図 4.4-6 油種・水の粘度

- 巡視点検ロボットによるメータ点検や赤外線カメラによる温度上昇の確認においても問題なく異常を検知できることを確認。しかし、メータ点検においてはディーゼルエンジンの振動による影響があることから環境に応じた運用対処等が必要となる。(詳細は「項番 4.4.3 ローカル 5 G の実装に向けた課題の抽出」にて記載。)



#### 4.4.1.2 機能検証

機能検証として、以下の3項目について検証を行った。

- ① ハイパースペクトルカメラおよび可視カメラ+赤外線カメラのデータ送信が「上り50Mbps以上の通信速度」であることの検証
- ② 本実証ソリューションを使用して、AIによる漏油・漏水に関する危険度判定の精度の検証
- ③ 遠隔拠点から、発電所4号本館内に設置した巡視点検ロボットの遠隔操作がスムーズに、操作者のストレスなく行えるかの検証

## (1) 評価・検証項目

### ① データ通信速度：上り 50Mbps 以上に関する評価・検証項目

ハイパースペクトルカメラ及び巡視点検ロボットに搭載する可視カメラ＋赤外線カメラからそれぞれクラウド（dOIC）、ロボットコントロールPCへデータ送信を行う際の上りデータ通信速度を測定し、評価した。

なお、ユースケースを想定し、ハイパースペクトルカメラ単体で撮影を行うことはないため、下記2パターンのデータ通信速度について測定を行った。

表 4.4-15 データ通信速度（上り）評価

NO	評価対象	評価項目	評価項目の取得方法
1	ハイパースペクトルカメラ、可視カメラ＋赤外線カメラ	データ通信速度	ハイパースペクトルカメラ、可視カメラ＋赤外線カメラ撮影時、測定用PCにてデータ通信速度を取得する。
2	可視カメラ＋赤外線カメラ		可視カメラ＋赤外線カメラ撮影時、測定用PCにてデータ通信速度を取得する。

② A I による漏油・漏水に関する危険度判定の精度に関する評価・検証項目

漏油・漏水の A I による危険度判定の精度を評価・検証する。

表 4.4-16 AI による漏油・漏水の危険度判定精度評価

NO	評価対象	評価項目	評価項目の取得方法
1	漏油	危険度判定	危険度判定について、AI で正答率／適合率／再現率を取得する。
2	漏水		

③ 巡視点検ロボットの遠隔操作に関する評価・検証項目

発電所 4 号本館内に設置した巡視点検ロボットを、遠隔地にある監視拠点から操作する際に、巡視点検ロボットがスムーズに、かつ操作者がストレス無く操作が行えるかを検証・評価した。

表 4.4-17 遠隔操作評価

NO	評価対象	評価項目	評価項目の取得方法
1	ロボット動作	遠隔操作	ロボットの遠隔操作における監視者および保安員の体感。

## (2) 評価・検証方法

### ① データ通信速度：上り 50Mbps 以上に関する評価・検証方法

基本性能評価として、図 4.4-7 に示すように、ハイパースペクトルカメラ制御用 PC ～（ローカル 5G ネットワーク、広域イーサ網経由）～クラウド上のデータ保存サーバ間の伝送品質（アップリンクスループット、ダウンリンクスループット、ジッタ、パケットロス率）及び遅延量の計測をツール（iPerf、Ping）を用いて計測した。

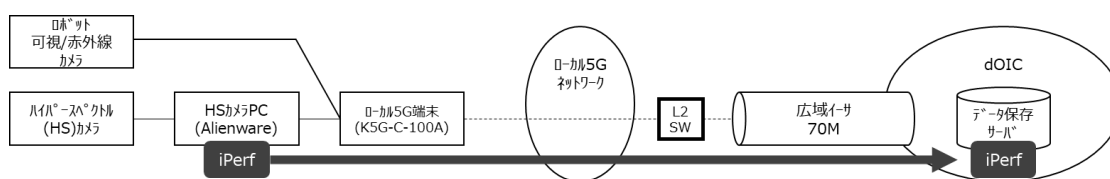


図 4.4-7 基本性能評価範囲

また、図 4.4-8 に示すように、ハイパースペクトルカメラ及び巡視点検ロボットに搭載する可視カメラ＋赤外線カメラからそれぞれクラウド（dOIC）、ロボットコントロール PC へデータ送信している際の伝送スループットについて、測定ツール（Wireshark）を用いて測定した。

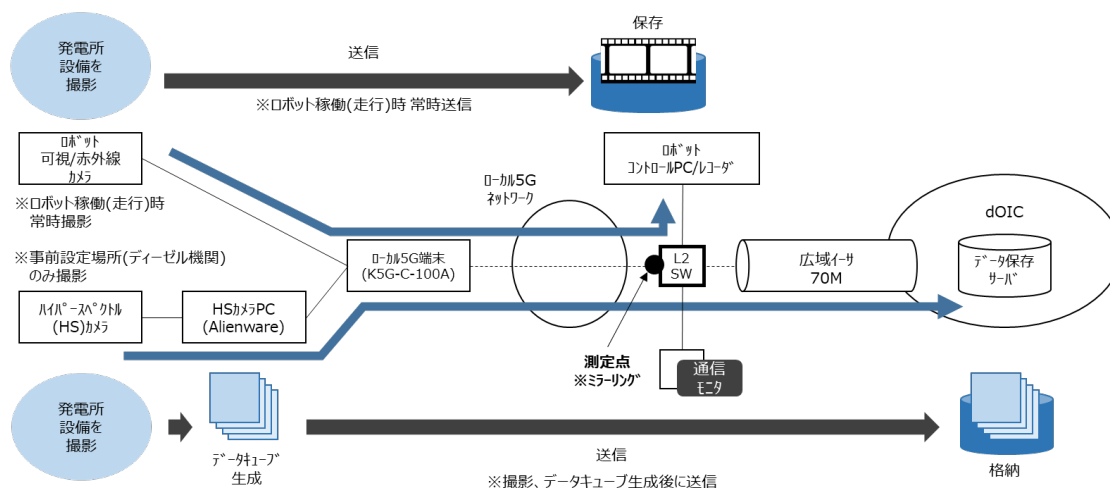


図 4.4-8 画像診断システム構成

② AIによる漏油・漏水に関する危険度判定の精度に関する評価・検証方法

漏油・漏水のAIによる危険度判定の精度を評価・検証する方法は以下のとおりである。

表 4.4-18 AIによる漏油・漏水の危険度判定の精度検証方法

NO	評価対象	評価項目	評価方法
1	漏油	危険度判定	以下の観点でAIによる自動検知結果を分析し、必要な熟練保安員数を導き出し、費用対効果を評価する。  ・正答率 ・適合率 ・再現率
2	漏水		

検証方法

- ・漏油・漏水の種類および実証条件については、「4.3 実証環境」を参照のこと。
- ・漏油・漏水量：20cmおよび正常時（漏油・漏水なし）の検証を19回実施。

評価方法

巡視点検ロボット+HSカメラによる点検～WebUIでの漏油（水）検知確認において、AIによる下記指標参考に評価を行う

ー 正答率（Accuracy）

実際・AI判定結果ともに合致\*1 / 試験回数

\*1) 実際：危険度高=判定：危険度高 等実際と判定が一致

大=C重油検出、中=水検出、  
小=C重油以外の油（A重油・タービン油）検出

ー 適合率（Precision）

実際・AI判定結果ともに合致 / 判定上の危険度

- － 再現率 (Recall)  
    実際・AI判定結果ともに合致／実際の危険度
  
- － F値 再現率と適合率の調和平均

### ③ 巡視点検ロボットの遠隔操作に関する評価・検証方法

巡視点検ロボットの遠隔操作に関する定量的な評価のために、遠隔操作拠点と巡視点検ロボット側との遅延時間を測定した。

具体的には、図 4.4-9 に示すように、遠隔操作を行う拠点にミリ秒まで表示可能な時計を用意し、巡視点検ロボットの可視カメラで同じ時計を撮影し、遠隔操作拠点のPCブラウザ上に表示された映像上の時刻との差分を確認した。

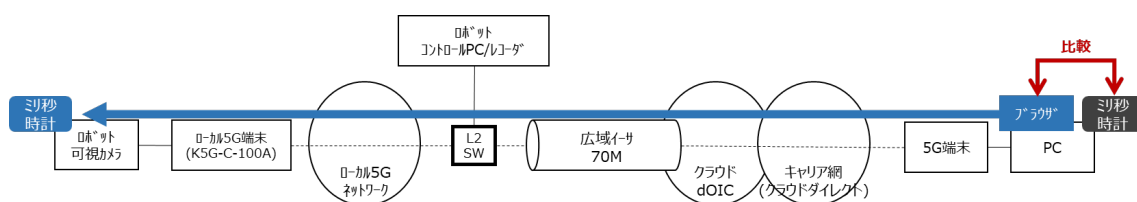


図 4.4-9 遠隔操作に関する評価検証方法

定性的な評価を行うために、正興電機古賀事業所（福岡県古賀市）からロボットの遠隔操作（走行開始／停止操作、可視カメラ・赤外線カメラ操作）を実際に行い、操作者にインタビューを行った。

### (3) 実証結果及び考察

#### ① データ通信速度：上り 50Mbps 以上に関する評価・考察

基本性能評価による測定結果を表 4.4-19 に示す。

ハイパースペクトルカメラ制御用 PC～（ローカル 5G ネットワーク、広域イーサ網経由）～クラウド上のデータ保存サーバ間において、トラフィックレートを 100Mbps と 200Mbps に設定し、3回測定を行ったところ、上りスループットとしてはいずれも 65.6Mbps を示した（参考値として、下りも同等のスループットが出ていることが確認された）。

測定区間内にある広域イーサ網が帯域保証型 70Mbps の仕様値であることから、想定範囲内の値であり、かつ、本実証ソリューションにおける要求性能値：上り 50Mbps を満たし、十分な帯域を確保できていることが分かる。

表 4.4-19 測定結果（データ通信速度）

測定端末#1	測定端末#2	試験ツール	試験区分	パケットサイズ(byte)※	送信時間(sec)	トラフィックレート(Mbps)	試験回数	bandwidth(Mbps)	jitter(msec)	パケットロス率(lost/total(%))	min(msec)	avg(msec)	max(msec)
HSカメラPC	dOICデータ保存サーバ	iperf 100M	上り	1444	60	100	1	65.60	0.15	0.34	--	--	--
			上り	1444	60	100	2	65.60	0.14	0.34	--	--	--
			上り	1444	60	100	3	65.60	0.12	0.34	--	--	--
							※avg	65.60	0.14	0.34	--	--	--
			下り	1444	60	100	1	65.62	0.33	0.34	--	--	--
			下り	1444	60	100	2	65.63	0.20	0.34	--	--	--
			下り	1444	60	100	3	65.08	0.40	0.34	--	--	--
							※avg	65.45	0.31	0.34	--	--	--
			上り	1444	60	200	1	65.60	0.08	0.42	--	--	--
			上り	1444	60	200	2	65.60	0.08	0.42	--	--	--
			上り	1444	60	200	3	65.60	0.11	0.42	--	--	--
							※avg	65.60	0.09	0.42	--	--	--
		下り	1444	60	200	1	65.08	0.33	0.61	--	--	--	
		下り	1444	60	200	2	65.07	0.41	0.64	--	--	--	
		下り	1444	60	200	3	65.63	0.26	0.61	--	--	--	
						※avg	65.26	0.33	0.62	--	--	--	
		ping	上り	1444	60	-	1	--	--	--	56.00	74.00	65.00
			上り	1444	60	-	2	--	--	--	58.00	78.00	66.00
			上り	1444	60	-	3	--	--	--	62.00	79.00	67.00
							※avg	--	--	--	58.67	77.00	66.00
			下り	1444	60	-	1	--	--	--	48.00	69.00	56.00
			下り	1444	60	-	2	--	--	--	50.00	68.00	57.00
			下り	1444	60	-	3	--	--	--	48.00	68.00	56.00
							※avg	--	--	--	48.67	68.33	56.33

また、ハイパースペクトルカメラ及び巡視点検ロボットに搭載する可視カメラ+赤外線カメラからそれぞれクラウド（dOIC）、ロボットコントロールPCへデータ送信している際の伝送スループットについて測定を行った結果を図 4.4-10 に示す。



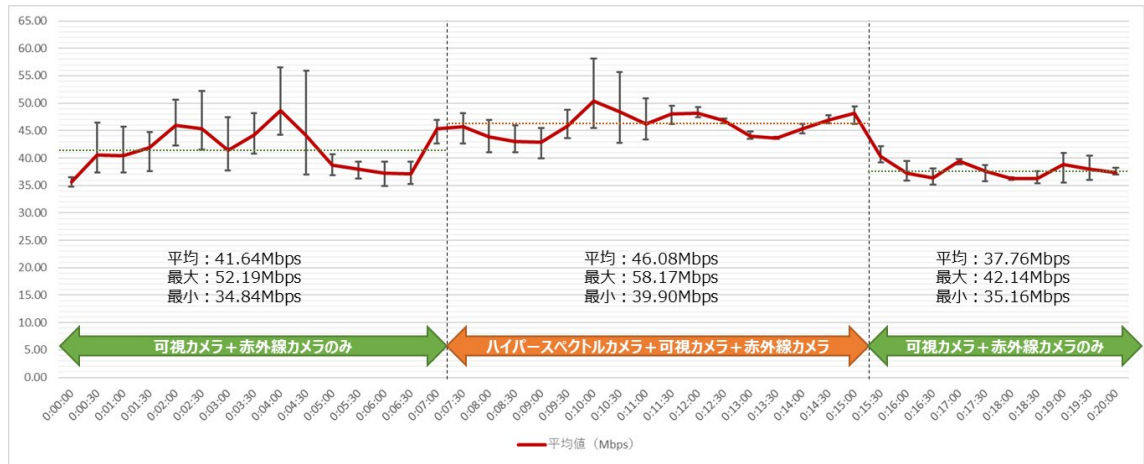


図 4.4-10 画像データ伝送速度測定

表 4.4-20 撮影データ送信の時間経過

経過時間	平均値 (Mbps)	最大値 (Mbps)	最小値 (Mbps)
0:00:00	35.60	36.52	34.84
0:00:30	40.54	46.46	37.38
0:01:00	40.44	45.73	37.38
0:01:30	41.94	44.71	37.62
0:02:00	46.02	50.64	42.24
0:02:30	45.36	52.19	41.59
0:03:00	41.39	47.43	37.68
0:03:30	44.27	48.18	40.83
0:04:00	48.61	56.47	44.25
0:04:30	44.10	55.87	36.95
0:05:00	38.66	40.71	36.82
0:05:30	37.94	39.32	36.19
0:06:00	37.28	39.32	34.85
0:06:30	37.11	39.35	35.26
0:07:00	45.32	46.99	42.69
0:07:30	45.69	48.17	42.63
0:08:00	43.86	47.00	41.03
0:08:30	42.96	45.96	41.03
0:09:00	42.87	45.52	39.90
0:09:30	45.79	48.73	43.67
0:10:00	50.33	58.17	45.48
0:10:30	48.44	55.72	42.77
0:11:00	46.22	50.83	43.43
0:11:30	48.05	49.48	46.20
0:12:00	48.22	49.33	47.45
0:12:30	46.80	47.25	46.31
0:13:00	43.97	44.80	43.45
0:13:30	43.66	43.84	43.45
0:14:00	45.31	46.17	44.51
0:14:30	46.95	47.78	46.36
0:15:00	48.11	49.40	46.18
0:15:30	40.36	42.14	39.24
0:16:00	37.18	39.40	35.89
0:16:30	36.43	38.07	35.16
0:17:00	39.42	39.78	38.83
0:17:30	37.57	38.71	35.82
0:18:00	36.20	36.56	35.99
0:18:30	36.27	37.65	35.42
0:19:00	38.79	40.91	35.49
0:19:30	37.98	40.37	35.96
0:20:00	37.39	38.18	36.98
平均	42.42		

図 4.4-11 に示すように、巡視点検ロボット走行開始から6分58秒後までの間、概ね15分31秒以後は可視カメラ\*赤外線カメラの撮影データ送信、6分59秒後～概ね15分30秒までの間は可視カメラ\*赤外線カメラの撮影データにハイパースペクトルカメラのデータキューブ送信が印加されたスループットである。時間に関しては、巡視点検ロボット走行時間の実測と、ハイパースペクトルカメラ制御PCに搭載したアプリケーションのログから確認した。

全体平均値で42.42Mbps、最大スループットとしてはハイパースペクトルカメラ+可視カメラ\*赤外線カメラデータ送信中の58.17Mbpsの結果となり、概ね要求性能を満たす結果となった。

なお、ハイパースペクトルカメラのデータキューブ送信を印加してもスループットの大幅な増加が見られなかった原因としては、ハイパースペクトルカメラ制御PCからクラウド(dOIC)上のデータ保存サーバへのデータ送信に関しては、Windowsのファイル共有(SMB; Server Message Block)を使用したこと、発電所側～クラウド(dOIC)区間のネットワーク遅延量が主要因と考えられる。

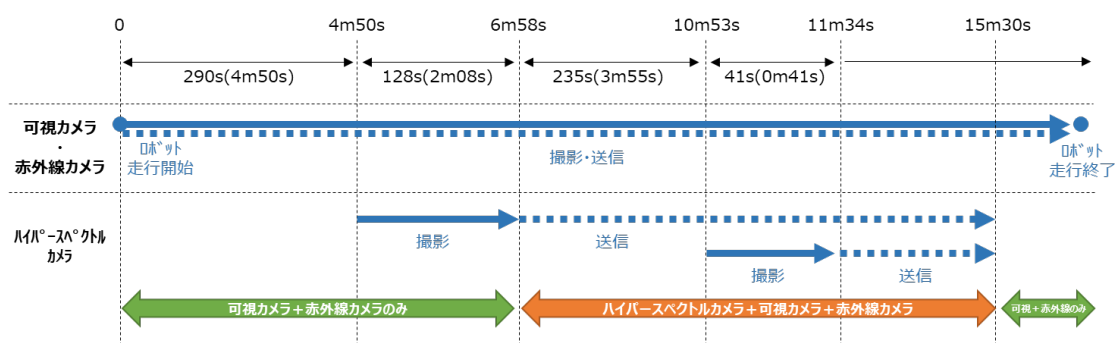


図 4.4-11 画像データ伝送速度診断

② AIによる漏油・漏水に関する危険度判定の精度に関する検証結果・考察

表 4.4-21 に実証結果を示す。

表 4.4-21 AIによる漏油・漏水に関する危険度判定

回数	漏油			漏水	正常	
	A重油 小 黄 緑色	タービン油 小 緑色	C重油 赤 赤色	水 中 水色	なし 緑 色なし	
1回目	○ 危険度:×(大)、マビッパ色:○、検知範囲:○	○	×	○	○	
2回目	× 危険度:○、マビッパ色:×、検知範囲:○	○	○	○	○	
3回目	× 危険度:○、マビッパ色:×、検知範囲:○	○	×	○	○	
4回目	× 危険度:×(大)、マビッパ色:×、検知範囲:○	○	○	○	○	
5回目	× 危険度:○、マビッパ色:×、検知範囲:○	○	○	○	○	
6回目	× 危険度:×(大)、マビッパ色:△、検知範囲:○	○	○	○	○	
7回目	× 危険度:×(大)、マビッパ色:△、検知範囲:○	○	×	○	○	
8回目	○ 危険度:○、マビッパ色:△、検知範囲:○	○	×	○	○	
9回目	○ 危険度:○、マビッパ色:△、検知範囲:○	○	×	○	○	
10回目	× 危険度:×(大)、マビッパ色:△、検知範囲:○	○	×	○	○	
11回目	× 危険度:○、マビッパ色:×、検知範囲:○	× 検出できず	× 検出できず	○	○	
12回目	× 危険度:○、マビッパ色:○、検知範囲:×	× 検出できず	○	○	○	
13回目	× 危険度:×(中)、マビッパ色:○、検知範囲:×	× 検出できず	×	○	○	
14回目	× 危険度:○、マビッパ色:×、検知範囲:○	× 検出できず	×	× 危険度:×(小)、マビッパ色:×、検知範囲:○	○	
15回目	○	○	○	○	○	
16回目	○ 危険度:○、マビッパ色:△、検知範囲:○	○	○	○	○	
17回目	○	○	○	○	○	
18回目	○ 危険度:○、マビッパ色:△、検知範囲:○	○	○	○	○	
19回目	× 危険度:○、マビッパ色:×、検知範囲:○	○	○	○	○	
検出	OK NG	13 6	15 4	17 2	18 1	19 0

表 4.4-21 の実証結果を参考に結果を表 4.4-22 にまとめた。

表 4.4-22 危険度診断結果

■ 危険度

		自動検知判定				
		危険度：大	危険度：中	危険度：小	正常	NG
実態	危険度：大	17	0	0	0	2
	危険度：中	0	18	1	0	0
	危険度：小	5	1	28	0	4
	正常	0	0	0	19	0

表 4.4-21、表 4.4-22 を参考に表 4.4-23 に A I 指標を示す。

表 4.4-23 危険度診断 AI 指標

■ AI指標

AI指標	危険度：大	危険度：中	危険度：小	正常
正答率	86%			
再現率	89%	95%	74%	100%
適合率	77%	95%	97%	100%
F値	83%	95%	85%	100%

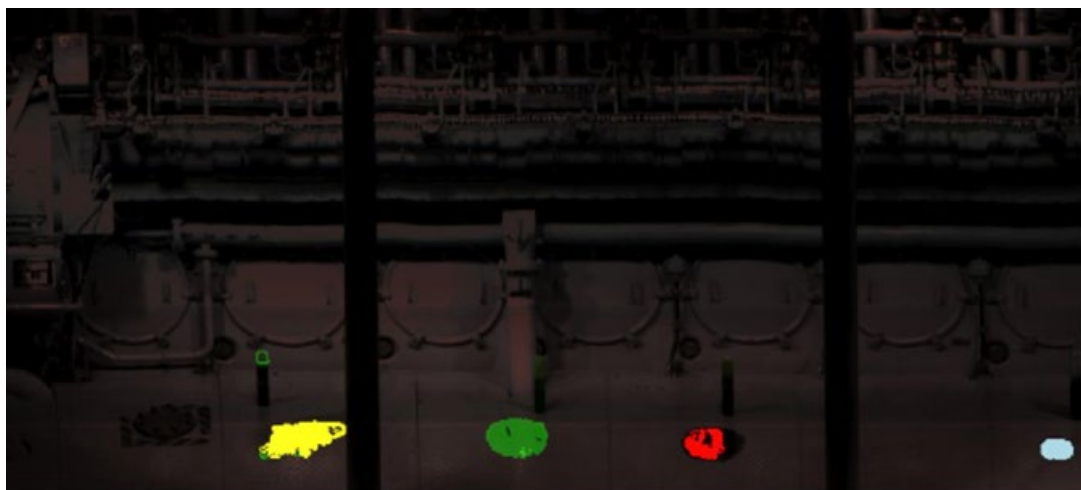
■検知可パターン

危険度判定かつカラーマッピングが適切に検出できた様子を以下の図 4.4-13 に示す。図 4.4-12 は実際に撮影した写真を示しており、図 4.4-13、図 4.4-14 はWEBUI 画面を示している。

カラーマッピングはA重油が黄色、タービン油が緑、C重油が赤、水が水色になっている。危険度判定はC重油が大、水が中、A重油とタービン油が小となっている。



図 4.4-12 異常検知模擬写真 (検知可パターン)



A重油 タービン油 C重油

図 4.4-13 異常検知成功結果 (カラーマッピング)

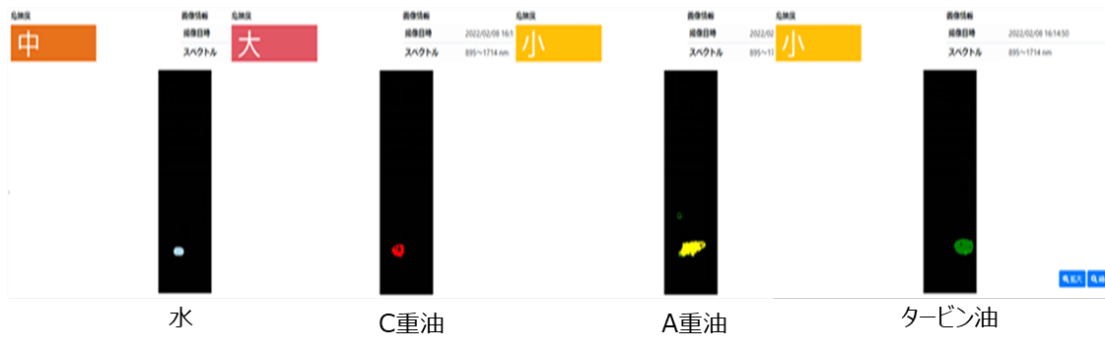


図 4.4-14 WEBUI 画像 (検知可パターン)

### ■検知不可パターン

危険度判定かつカラーマッピングが適切に検出できなかった様子を以下の図 4.4-16 に示す。図 4.4-15 は実際に撮影した写真を示しており、図 4.4-16、図 4.4-17 はWEBUI画面を示している。

タービン油が検知できておらず、本来A重油の危険度は小なのに対し、危険度中と表示されている。

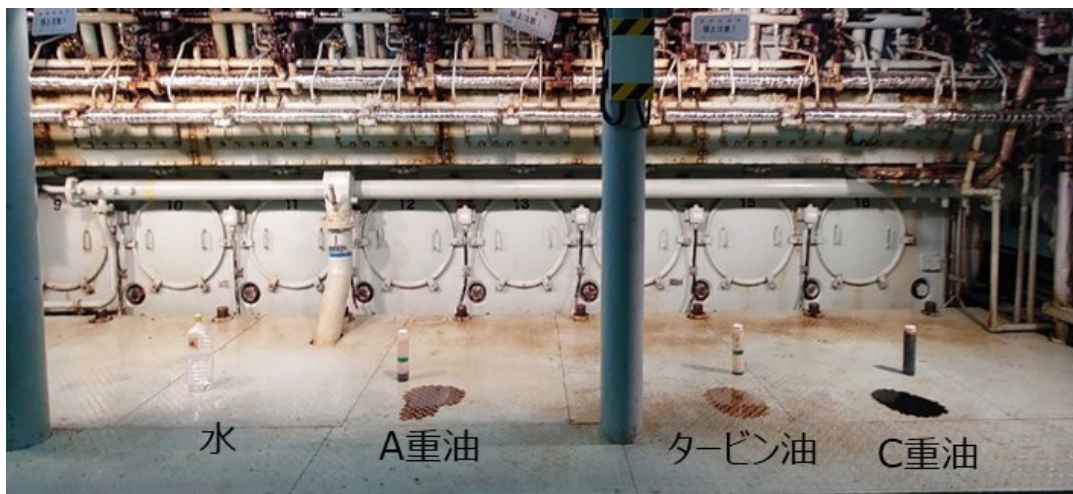


図 4.4-15 異常検知模擬写真（検知不可パターン）

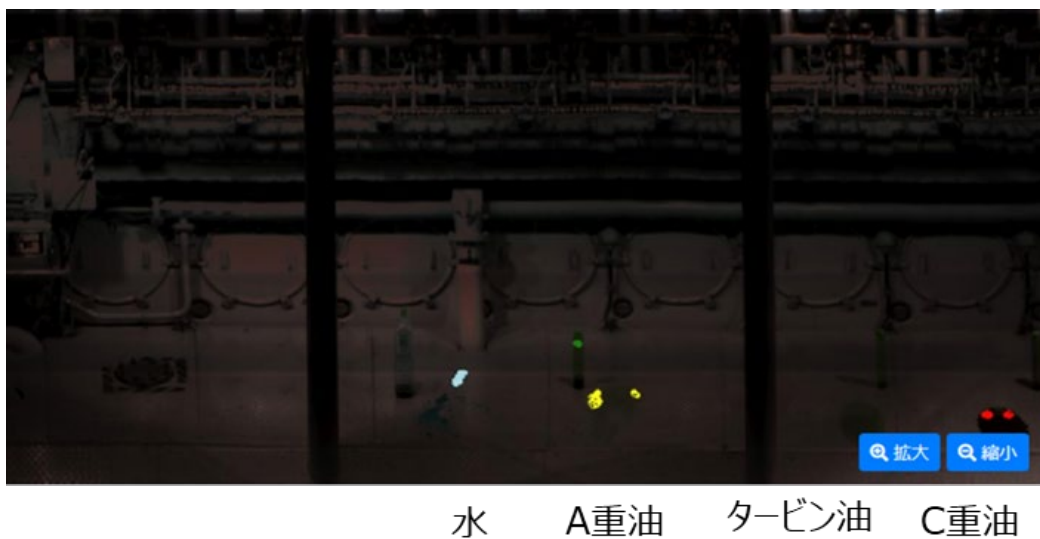


図 4.4-16 異常検知失敗例（カラーマッピング）



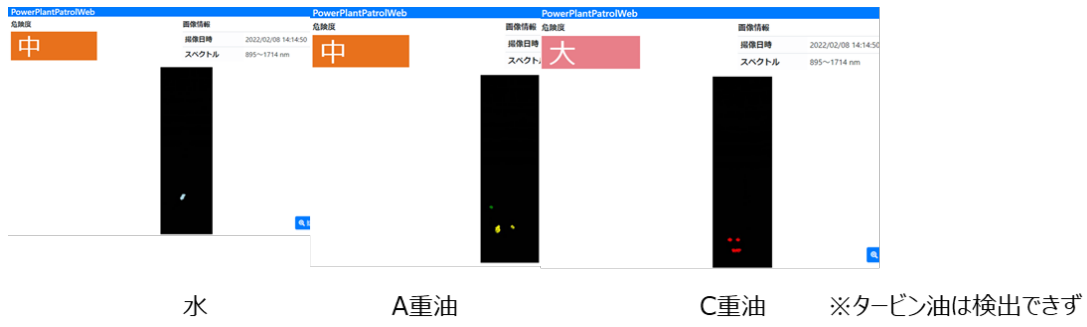


図 4.4-17 WEBUI 画像 (検知不可パターン)

## ■漏油・漏水のスペクトル波長

以下の図 4.4-18～図 4.4-21 にタービン油、A重油、C重油、水のスペクトル波長を示す。

### ■タービン油

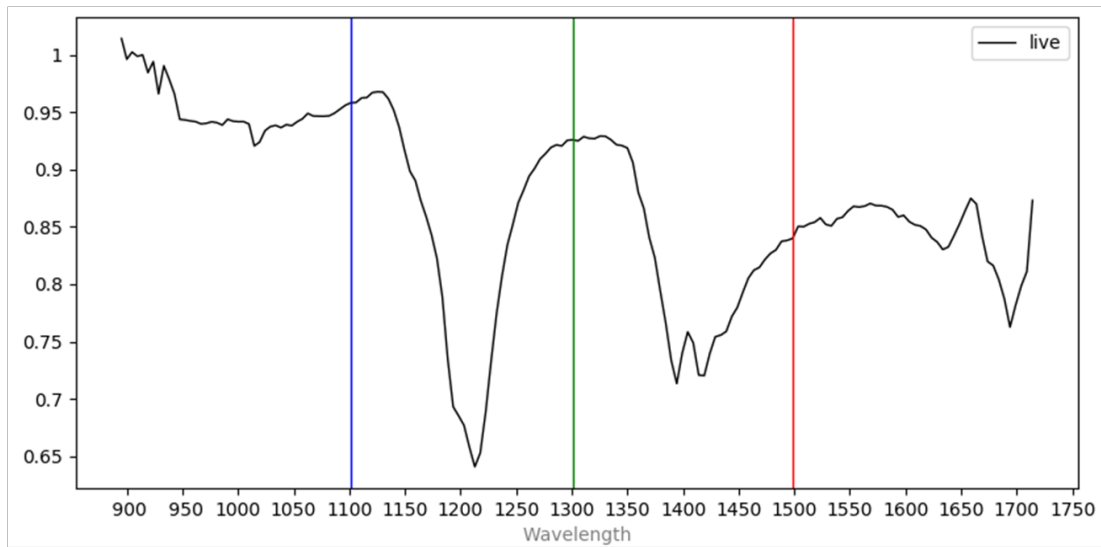


図 4.4-18 タービン油スペクトル波長

### ■A重油

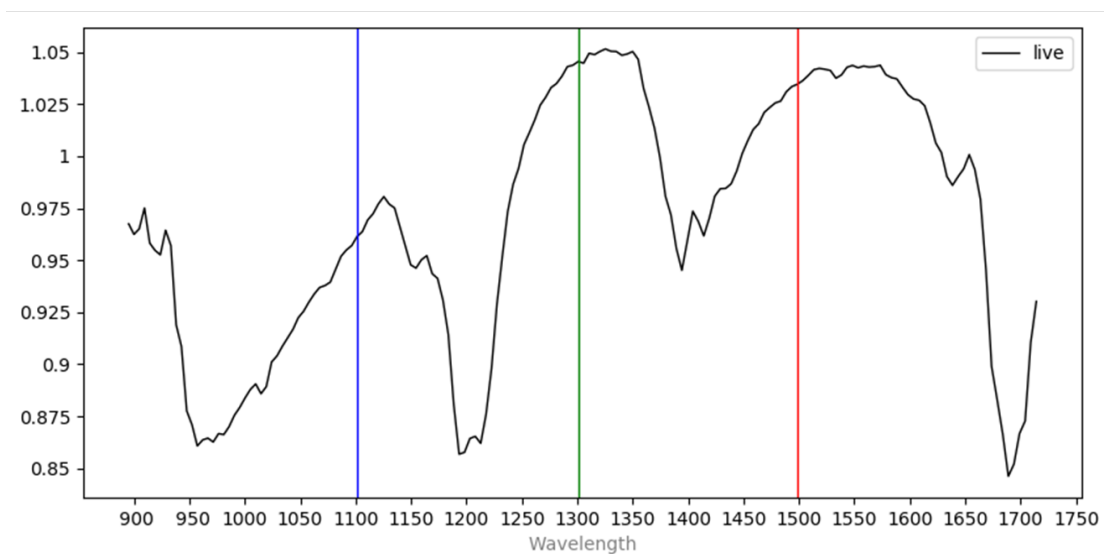


図 4.4-19 A重油スペクトル波長

## ■C重油

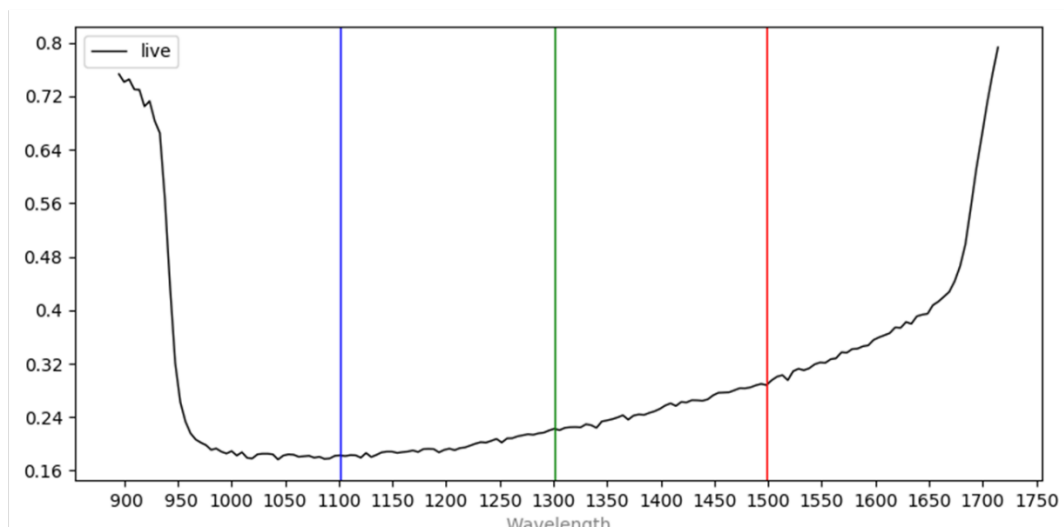


図 4.4-20 C 重油スペクトル波長

## ■水

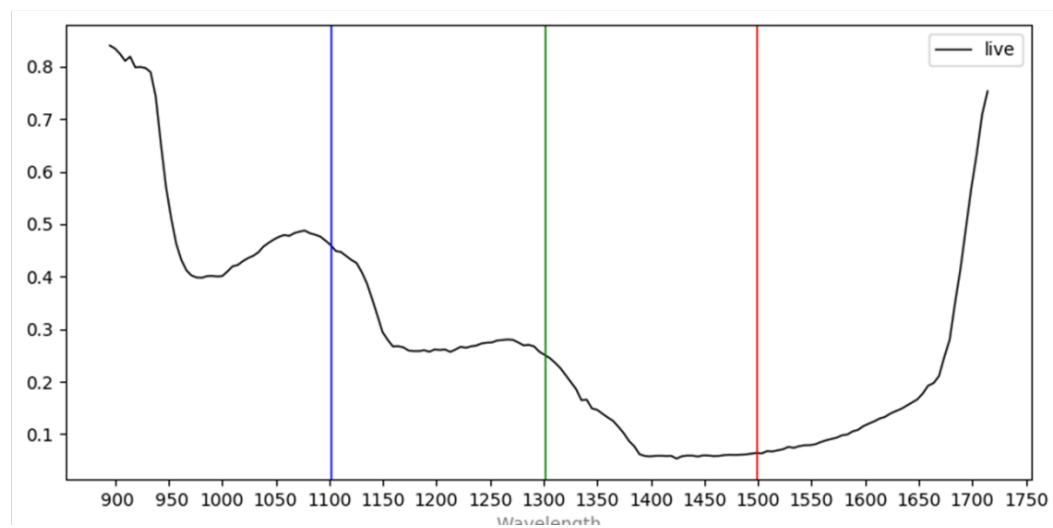


図 4.4-21 水スペクトル波長

## ■ 考察

- ・危険度大の適合率が77%

要因としては、学習データ不足が考えられる。今回は30回AIに与えた。今後は適合率が95%以上を得るように学習データを収集し、精度の向上に努める。

- ・カラーマッピングにおける誤判定（タービン油→A重油）

要因としては、A重油とタービン油は図 4.4-18、図 4.4-19 のようにスペクトル波長が似ている事、照明の輝度のバラつきがある事が考えられる。改善方法としては、今回はハロゲンライトを「4.3 実証環境」の通り固定設置したが、巡視点検ロボットに搭載することで輝度を均一にすることができる

③ 巡視点検ロボットの遠隔操作に関する評価・検証項目

遠隔操作拠点と巡視点検ロボット側との遅延時間の測定結果を表 4.4-24 に示す。

キャリア網（クラウドダイレクト接続）＝LTE／5Gにて5回測定し、それぞれ平均2.886秒、1.653秒の結果を得た。利用したキャリア網は、図 2.2-1 に示すキャリア網と同義であり、また測定時の構成については、図 4.4-9 に示す通りである。

表 4.4-24 遠隔操作拠点と巡視点検ロボット側との遅延時間

	キャリア網＝LTE @新三岐発電所 キュービクル室	キャリア網＝5G @正興電機 古賀事業所
1回目	2.608	1.421
2回目	2.727	1.618
3回目	2.804	1.226
4回目	3.009	2.648
5回目	3.281	1.352
平均	2.886	1.653

※単位：秒

ネットワークの基本性能（各区間足し合わせて約200～300ms程度）と比較すると遅延時間が増大しているが、4.3.3章に示すように、遠隔拠点からクラウド（dOIC）、クラウド（dOIC）からロボットコントロールPCへのリモートデスクトップによる接続構成としたためであると考えられ、接続構成・方法を見直すことにより、遅延時間を短縮することが可能と考えられる。

また、正興電機 古賀事業所（キャリア網＝5G）から巡視点検ロボットの遠隔操作として、ロボットの走行開始／停止操作、可視カメラ・赤外線カメラの操作を行った。遠隔操作実施の様子を図 4.4-22 に示す。



図 4.4-22 遠隔操作の様子

操作者へのインタビュー結果を図 4.4-23 に示す。

- 監視画面上から操作した際、操作ボタンを押してからロボットが実際に動き始めるまで1秒程度の時間差はあったが、遠隔地からの操作自体は問題なく出来た。
- 巡視点検ロボットのカメラでは、ロボットから障害物までの距離感がつかみにくいため、想定している場所での停止が難しい。カメラの角度合わせも同様。

図 4.4-23 遠隔操作インタビュー結果

巡視点検ロボットによる定時点検に加え、有事の際の臨時点検にも本実証ソリューションは有効であることが確認できた一方、ロボット標準搭載のカメラでは、確認したい（点検したい）対象物は十分に遠隔からの確認が行えるものの、ロボット自身は映らず、地図上への位置表示のみとなるため、操作感覚をつかむ点に課題があることも分かった。

#### 4.4.1.3 運用検証

電力会社の保有する設備については電気事業法やその他関連法令、保安規程によって定められた運用・保守要則を元に管理・運用がなされている。本実証においては新壱岐発電所構内でのローカル5G、巡視点検ロボット適用を想定していることから、新壱岐発電所則で定める基準類、マニュアル類を対象にソリューション導入に伴い改定が必要となる文書類の選定、改定内容の検討を行った。

また、ソリューション導入に伴い必要となる既設設備の改造箇所も多岐に渡ることから、発電所向けアンケートの結果等を踏まえ改造内容、改造箇所について検討を行った。

#### (1) 評価・検証項目

##### A 発電所則の改定

本実証事業でのソリューション導入を鑑みた場合、改定対象となる既存文書及び改定内容については下記が想定される。改定後の文書類が業務に適合できるか等の視点で評価・検証を行う。

表 4.4-25 発電所規定等図書改訂箇所

文書	改定・追記が想定される箇所
設備運転管理に関する文書類	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ソリューションを用いた運転管理の目的</li> <li>➤ ソリューションを用いた運転管理に関する手順書</li> <li>➤ ロボット自動点検記録フォーマット</li> <li>➤ ソリューションのネットワーク構成及びコア設備仕様及びシステム構成</li> </ul>
日常整備に関する文書類	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ソリューションを用いた業務・処理フロー及び体制図</li> <li>➤ ソリューション不具合発生時の連絡体制</li> </ul>
災害対応に関する文書類	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 災害発生前後のソリューションを用いた遠隔監視手順及び監視体制表</li> </ul>

## B 既設設備の改造

4. 4. 1. 1 効果検証のうち2回目アンケート結果記載の通り、ソリューション導入のため、ひいては現状保安員が実施する巡視点検箇所を全てソリューションによる監視で代替するためには、設備構造の大規模な改修が必要となる。また、導入ソリューションの稼働状態監視や、異常検知警報の発報を考慮した場合、既設監視制御装置の改造も必要となる。コンソーシアムと発電所協議の結果、下記の改造箇所が現時点で想定される。

表 4.4-26 既設設備改善箇所

改造の目的	既設設備改造が想定される箇所
ロボット走行可能とするための改造	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 機関2階部分昇降用スロープ設置</li><li>➤ 機関室 B1 階昇降用スロープ設置</li><li>➤ 機関室 1 階既設昇降階段移設</li><li>➤ 機関室入口扉自動開閉機能追加</li><li>➤ ロボット充電台常設設置</li></ul>
システム稼働監視のための改造	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 既設データロガー装置改造</li></ul>
運転監視・警報監視のための改造	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ 既設データロガー装置改造</li><li>➤ 既設警報監視盤改造（ハード警報取込み）</li></ul>

### (2) 評価・検証方法

改定対象文書が発電所則で定める基準・マニュアル類であることから、実際の業務に適合するか否かが大きな検証手法となる。これはユーザーサイドの観点から、

- 改定後の文書類に則り巡視点検業務が確実に遂行できるか
- 業務の手戻り等が発生しないか
- 業務内容の重複が無いか

以上の評価項目を基準にアンケート、インタビュー等を踏まえ検証を行った。

既設設備の改造箇所についても同様に、現状の設備構成に大きな変更を加えることなく、ユーザーサイドの意見を網羅する必要がある。アンケート及び発電所協議内容を元に評価・検証を行った。



### (3) 実証結果及び考察

#### A 発電所則の改定

新壱岐発電所 発電所則計9つの基準・マニュアル類の確認を行い、ソリューション導入に伴い整定・改廃が想定される文書のピックアップ作業を行った。総務省実証事業のうち、ローカル5Gを活用したソリューション展開に向け、発電所則対象文書のうち、制定改廃が必要と想定される文書について文書の詳細記載内容を確認した結果、発電所規則改訂箇所を表4.4-27に記す。

改定文書の調査結果は新壱岐発電所向けに説明・協議を行いコメント反映を行っている。なお、発電所規則類については非公開となっているため、本成果報告書における具体的な改定内容について記さない。

打合せ時コメントは下記の通り

- ローカル5Gソリューションによる設備異常検知、ソリューション本体設備の異常警報、ロボット稼働状態（自動巡視中か停止中か）については確実に保安員にお知らせする機能、既設設備改修が必要
- 自動巡視点検レポートの紙出力は不要と考えている。ロボット+ローカル5Gで確実に設備の異常が検知でき、保安員に知らせる（アラーム機能）があれば十分
- ロボットに固執せずローカル5G網を利用した固定カメラ（機関室2階、地下1階）の採用も考慮すべき
- 九州電力送配電では設備の巡視点検記録を自動的に保管・管理するシステムを構築している。ロボットによる巡視点検記録を既設システムに連動し、保管する機能追加が必要となる。既設・新設システム構成の明確化が必要

表 4.4-27 発電所規則類改定箇所（調査結果） 出典：コンソーシアム

No.	区分	文書名	該当頁	適用	改訂内容	備考
1	基準	内燃力運転管理基準	無し			
2	基準	保修管理基準	無し			
3	発電所則	運転管理マニュアル	3.共通設備編	新規	3.3 その他機器装置に「ローカル 5G 及び付帯設備」追加	既設発電設備改造が必要
			4.保護装置全般	新規	「漏油・漏水検知(L5G)」警報表示、整定一覧追加	
4	発電所則	安全衛生管理マニュアル	無し			
5	発電所則	エネルギー管理マニュアル	無し			
6	発電所則	日常整備業務マニュアル	別表 1 無し		ロボットメーカーに確認した結果、日常整備対象となる項目無し 1回/1年：簡易点検、機能確認試験、締め付け等確認 1回/3年：精密点検、バッテリー・タイヤ交換 上記メーカー点検のみ	
			別表 2 無し			
			別表 3 無し			
			別表 4 無し			
			別表 5 無し			
			様式 無し			
7	発電所則	地震・津波対応マニュアル	4.2	修正	設備被害状況の確認項目に、遠隔からの設備監視項目を追加	発電所則見直しが必要
			別紙 1	修正	L5G 機器による建物被害状況の確認(遠制所)を追加	発電所則見直しが必要
			別紙 3	修正	「地震・津波終息後のチェックリスト」に「機関室内ロボット臨時巡視点検結果」覧を追加	発電所則見直しが必要
8	発電所則	油濁防止緊急処置手順書	無し			構外流出時の対応のため

#### A) 運転管理マニュアル改定

発電設備の運転・維持管理のうち、各種設備仕様、運転指針等を記載した文書となる。既設設備のうち発電所共通設備（構内監視用 I T V や天井クレーン等）の機器毎に設備設置の目的、仕様、運用方針の記載があることから、ローカル 5 G ソリューション用に文書を作成し、文書への追加を行う。

また、設備警報名称、警報設定値、警報要因を記載した一覧表については設備運営上非常に重要な管理項目となることから、一覧表についても追加の対象とした。

警報名称：ローカル 5 G 設備異常

整定値：一括故障

警報要因：巡視点検ロボット異常（緊急停止、通信異常、バッテリー異常他）

ローカル 5 G 設備異常（通信異常、電圧低下他）

図 4.4-24 にコンソーシアムから九州電力に提案した運転管理マニュアルの改定案を示す。

## ローカル 5G 及び付帯設備

### 概要

標題設備はローカル 5G 用コア PC 設備、アンテナ子局、巡視点検ロボット、ロボット用 PC、ハイパースペクトルカメラ(以下 HS カメラ)、HS カメラ用 PC 及び遠隔監視用モニターで構成されている。ディーゼル機関廻りの自動巡視・自動報告の用途でシステム構築されており、各機器の配置は下記の通りとなっている。

設置場所	設置機器
4 号機関室	アンテナ子局 巡視点検ロボット(充電台含む) HS カメラ及びカメラ用 PC
屋外変電所電気室	ローカル 5G 用コア PC 巡視点検ロボット用 PC
運転センター制御室	遠隔監視用モニター

### (1) 運用

#### 【運転機能】

基本的に連続自動運転対応とし、巡視点検ロボット最大稼働 8 時間、充電時間 4 時間のインターバルの中で、駆動時間の最大化を図った運転制御となる。

監視対象は 4 号機関設備のうち機関、補機室としており、機関室廻りの設備異常(漏油・漏水)、サーモカメラによる設備熱監視、計器類データ収集を行う。

#### 【レポート機能】

保安員による巡視点検記録時間と整合を取るため、8:00、12:00、16:00、23:00 の計 4 回点検記録を自動出力する。(運用による出力抑止も可能) なお、設備異常診断結果については日報データ出力の他、異常検知時はアラームを遠隔監視用モニターに表示するものとする。

#### 【日常点検】

各機器機能に支障がない限り特に点検は無い。各当直にて機器稼働状態の確認を実施している。

#### 【月例点検】

上記同様である。

#### 【定期点検】

日常整備業務マニュアルに基づき実施する。

### (1) 注意事項

- 巡視点検ロボットによる設備異常診断において、必要となる光源(ライト)については常時点灯運用とすること。
- 災害発生等における巡視点検ロボット遠隔操作時は、運転モードを通常巡視点検モード⇒特別巡視点検モードに切替えを行い、確認が必要な個所についての個別点検を行うこと。なお巡航ルートについては事前に設定を行うものとする。  
(例：潤滑油ユニット点検モード、重油ユニット廻り点検モード等)

図 4.4-24 運転管理マニュアル改定案

出典：コンソーシアム

## B) 日常整備業務マニュアル改定

発電所付帯設備保守のため、日常、週間、月間、年間ベースでの整備業務を規定した文書である。整備に項目、整備に係るチェックシート、実施計画表を詳細に記載している。今回実証対象のソリューション機材については基本的には日常メンテナンスフリーであり、一部ロボットについては1回/1～3年のメーカー定期点検が推奨されている。発電所協議の結果、ソリューション機材については発電所の日常整備対象機材の対象外とし、納入メーカーによる定期点検のみを考慮することとした。既設発電所設備であるユニット制御装置や系統保護装置等も同様の扱いとなっている。よって日常整備業務マニュアルについては改定の対象外として整理した。

## C) 地震・津波対応マニュアル

大規模地震・津波等が発生し、発電ユニットの安定運転が困難となった場合における設備保全や需要家向け電力供給の迅速な再開を目的に整定されているマニュアル。災害発生時の連絡ルート、自主保安体制の構築、被災箇所の調査、報告等について記載がなされている。地震・津波発生当初、発電所は気象庁や海上保安部等の情報を基に作業従事者や関係者向けに避難指示を行った後、発電設備の被災状況について調査を行い、九州電力送配電支社向けに設備の被災状況を報告する必要がある。防災体制の確立やこれに伴う所員の出社判断を平行して行う必要があるが、当然安全に留意し行われる。災害発生当初、設備の被災状況によっては容易に人が近づけないことも想定される。設備の遠隔監視といった命題をベースとした本ソリューションについては、ロボット自走による被災状況の確認は元より、遠隔地より操作監視することにより、発電所所員による災害発生当初における設備確認・報告といったプロセスを削減できることから、最も優先度の高い「安全行動」に寄与すると言える。

本マニュアルでは災害発生時におけるソリューションを用いた設備状況の確認について文言の追加・修正を行うこととした。

## B 既設設備の改造

既設設備改造詳細について下記に記す。

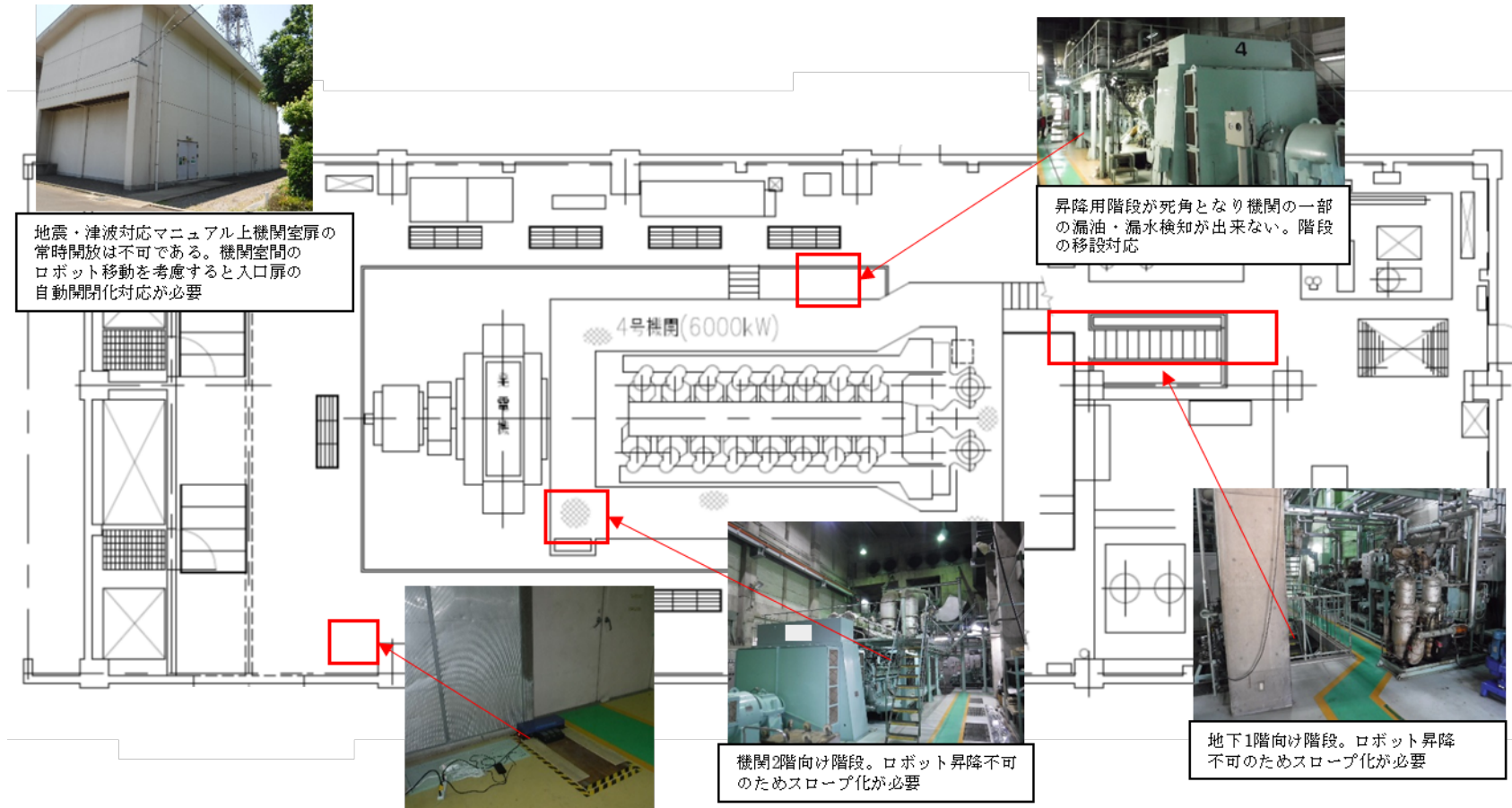


図 4.4-25 機関室内において設備改修が必要と想定される箇所

新巻岐発電所における発電プラントの監視制御概略構成図を図 4.4-26 に記す。図内朱書き部分についてはソリューションの本格導入時における想定構成品となる。

発電所側下記ニーズを可能な限り反映するが、実際の導入にあたっては既設システム仕様の詳細調査が必要となる。

- ローカル5Gソリューションによる設備異常検知、ソリューション本体の異常、ロボット稼働状態が保安員により確実に分かること
- ロボット巡視点検記録の既設システムとの連動
- 既設データロガー装置とロボット監視画面、漏油・漏水検知画面の連動

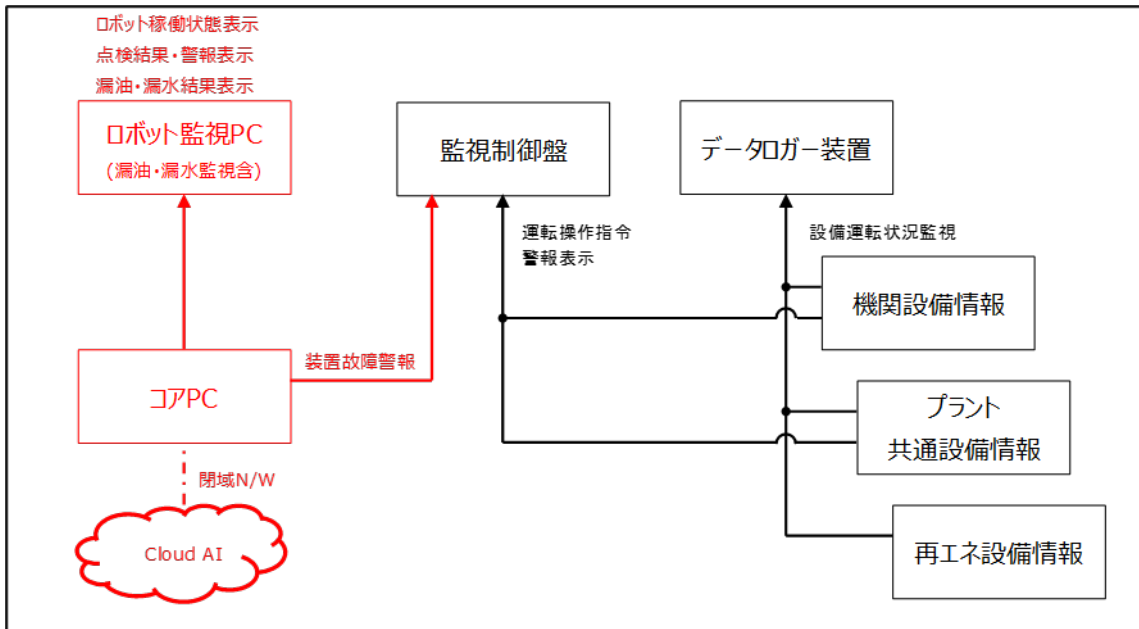


図 4.4-26 監視制御概略構成図 出典：コンソーシアム

## 4.4.2 ローカル5Gを用いたソリューションの実装性に関する検証

### 4.4.2.1 ローカル5G活用モデルの構築・検証

本実証のローカル5G活用モデルは、ローカル5Gとクラウド・AI解析を利用した巡視点検ロボットソリューションであり、正興電機が本ソリューションをアウトソーシングサービスとして提供し、ドコモがNW・システムの構築することを想定している。

また、九電送配電及び西技を含めたコンソーシアムメンバー4社にて、本ソリューションの実装性に関して検討した。

ターゲットは、全国の電力会社が所有する発電所1,386ヶ所(2021年3月時点)への展開を見据えている。また、電力会社のみではなく、他の領域への展開についても検討していく。

全国の発電所(特に離島の発電所)では、点検業務の品質維持、効率化の観点から自動化(スマート保安)が求められている。自動化の手段としてロボットによる遠隔巡視点検が有効な手段であるが、そのためには高速大容量かつ高セキュアな無線ネットワークが必要となる。

本ソリューションでは、点検業務の稼働削減(スマート保安の実現)及び漏油・漏水の自動検知による点検品質の向上(熟練保安員不足課題解決)が期待できる。

しかし、発電所は居住エリアから離れていることが多く、所有地であるのでキャリア5Gの早期エリア化が望めない事から、ローカル5Gを活用したモデルでの展開が有効である。

また、電力設備における電波を反射及び遮蔽する構造物はローカル5Gのエリア設計にも影響を与える可能性がある為、電力設備のみならず他業種のプラント・インフラ設備の室内へのローカル5Gエリア構築には、本実証で行った電波伝搬試験のノウハウが活用できる。

業務・処理フロー、運用ノウハウ、実装方法・手順は本実証の中で見直ししながら、効率的な運用方法を検討して、今後の展開につなげたいと考えている。



#### 4.4.2.2 普及展開方策の検討

本ローカル5G活用モデルの普及展開においては、正興電機が提供している巡視点検ロボットのサービスに加えて、本実証の成果を活用したサービスをパッケージ化し、全国の電力会社へ提案していく。本実証で正興電機がローカル5Gの免許人となったことで、これまでの電力会社へ監視制御システムや変電用機器、配電用機器を導入実績とあわせて、ロボットとネットワークを一体として提供できるようになり、発電所全体におけるローカル5G活用も期待できる。

発電所以外にも大型変電所での活用が想定できるが、その際は屋外での走行となる為、追加で搭載したハイパースペクトルカメラ、4KRGBカメラ、PC等の防水対策が必要となる。巡視点検ロボット自体はIP55に対応しており、ローカル5G端末（移動局）をロボット内に格納することで利用可能である。

また、本実証の結果をもとに同様の課題を持つ他業種（例えば、ガス、上下水道などインフラ産業など）のプラントなどで、本ソリューション有効性や展開についても検討していく。

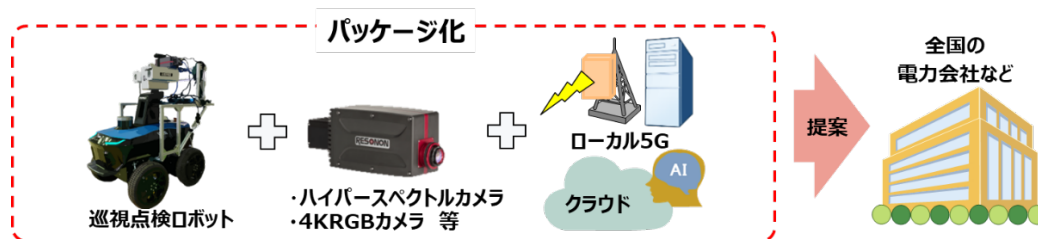


図 4.4-27 パッケージ構成

表 4.4-28 本パッケージの提案展開

整理項目	内容
<p>想定される 具体的な主体 及びターゲット</p>	<p>正興電機が本パッケージを全国の電力会社（全国発電所1386ヶ所）へ提案。提案では発電所に限らず、大型変電所も見据えた検討を行っていく。あわせて、他のインフラ業界への提案も検討していく。</p>
<p>対象となる システム</p>	<p>巡視点検ロボットとハイパースペクトルカメラ（又は4KRGBカメラ）、ローカル5G、クラウドによるAI解析を組み合わせたパッケージ</p>
<p>詳細の 前提条件</p>	<p>本実証では離島における内燃力発電所への導入を想定した実証内容となっており、その他発電所においては事前に走行ルートの確認等が必要となる。</p>
<p>標準モデル</p>	<p>離島における内燃力発電所での機能要件・非機能要件やネットワークシステム構成については、本パッケージを標準構成とするが、その他発電所においては巡視点検ロボットとローカル5Gを基本構成として、必要に応じて追加のカメラ等を搭載する。</p>
<p>体制・事業 スキームのモデル</p>	<p>免許人及びパッケージ提供者：株式会社正興電機製作所 ネットワーク・システムの構築、提供：株式会社NTTドコモ</p>
<p>導入効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・点検業務の稼働削減（スマート保安の実現）</li> <li>・漏油・漏水の検知とAIによる危険度判定による点検品質向上（保安員確保のための課題解決）</li> </ul>
<p>課題と対応策</p>	<p>4.4.3項に記述する課題及び対応策を踏まえつつ、その場所に応じた課題と対策を事前に検討する</p>

また、普及展開におけるネットワーク構成においてはローカル5G コア装置群をクラウド側へ集約させることで、コスト低減を図ることができると考える。ただし、クラウド側へ集約されることにより、5G 接続にかかる時間が大きくなる可能性がある為、事前の検証が必要と考える。

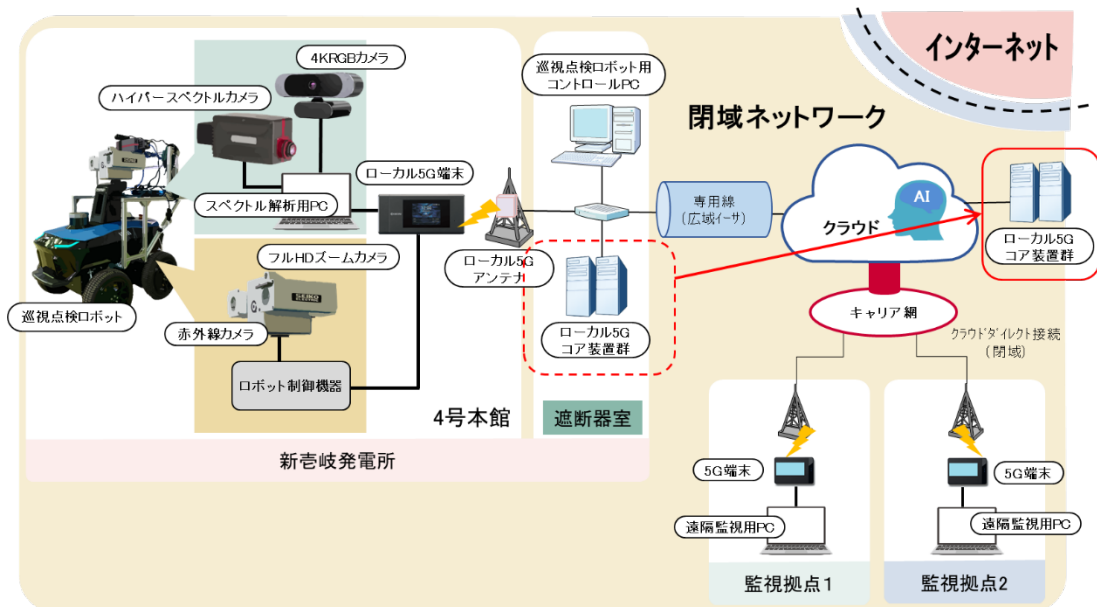


図 4.4-28 普及展開時におけるネットワーク構成

#### 4.4.3 ローカル5Gの実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

課題実証において下記の課題が発生しており、効果測定を継続するために暫定対応にて対応している。

- ① 建物構造に関わる課題
- ② 光量に関わる課題
- ③ ロボットへの荷重に関わる課題
- ④ 充電に関わる課題
- ⑤ その他課題

課題実証の効果測定においては暫定対応等の実施により影響はなかったが、実装の段階においては別途解決策の検討が必要となる。

## ① 建物構造に関わる課題

### a. 既設構造物による撮影への影響

事前のハイパースペクトルカメラでの撮影試験において、カメラと被写体である発電所設備との距離を一定にしなければ、スペクトルデータを正しく取得することができないことが判明した。

本実証においては片面高さ約2m×横幅約10mのディーゼルエンジンをハイパースペクトルカメラで撮影する為、ディーゼルエンジンから約2m離れた場所を巡視点検ロボットが通過する。この離れた場所からディーゼルエンジンの高さを網羅し、高い精度で漏油・漏水の検知する為には、ハイパースペクトルカメラに広角レンズを取り付け、焦点を合わせる必要がある。このことからカメラと被写体である発電所設備との距離を一定にしなければ、スペクトルデータを正しく取得することができないと判明した。

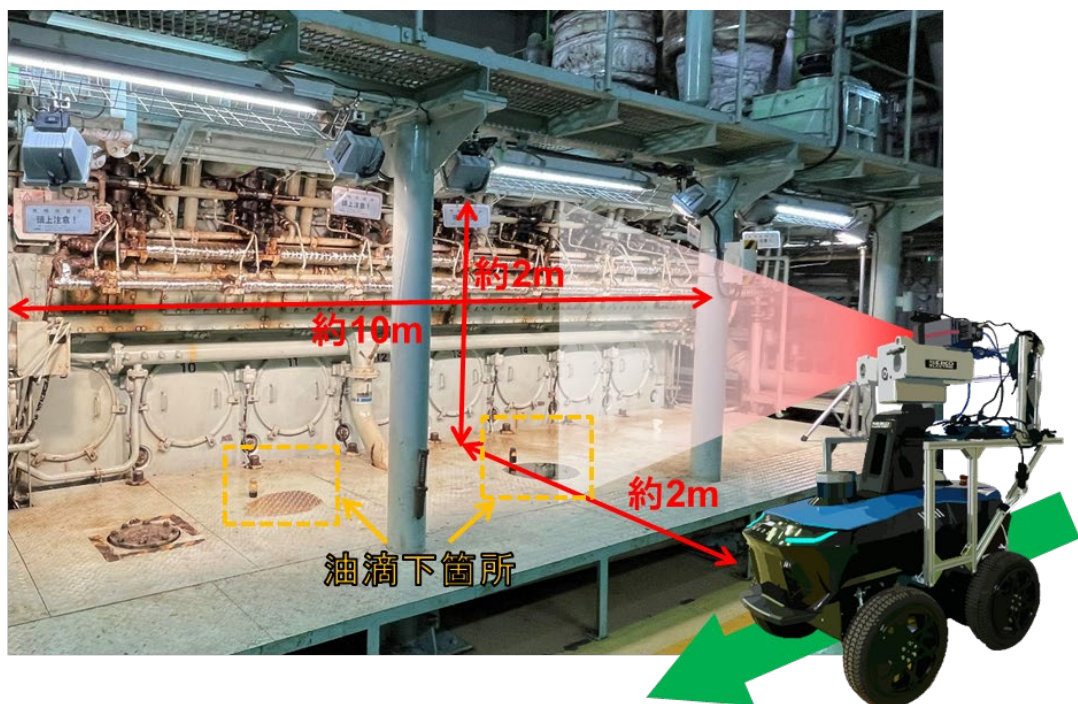


図 4.4-29 ディーゼルエンジン機関との距離

しかしながら、既設構造物があるため、被写体との距離を一定に保つことができない箇所（本実証においては、図 4.4-30～図 4.4-33 に示すような既設階段）が存在し、本実証においては漏油・漏水検知が行えない範囲として、撮影対象外とした。

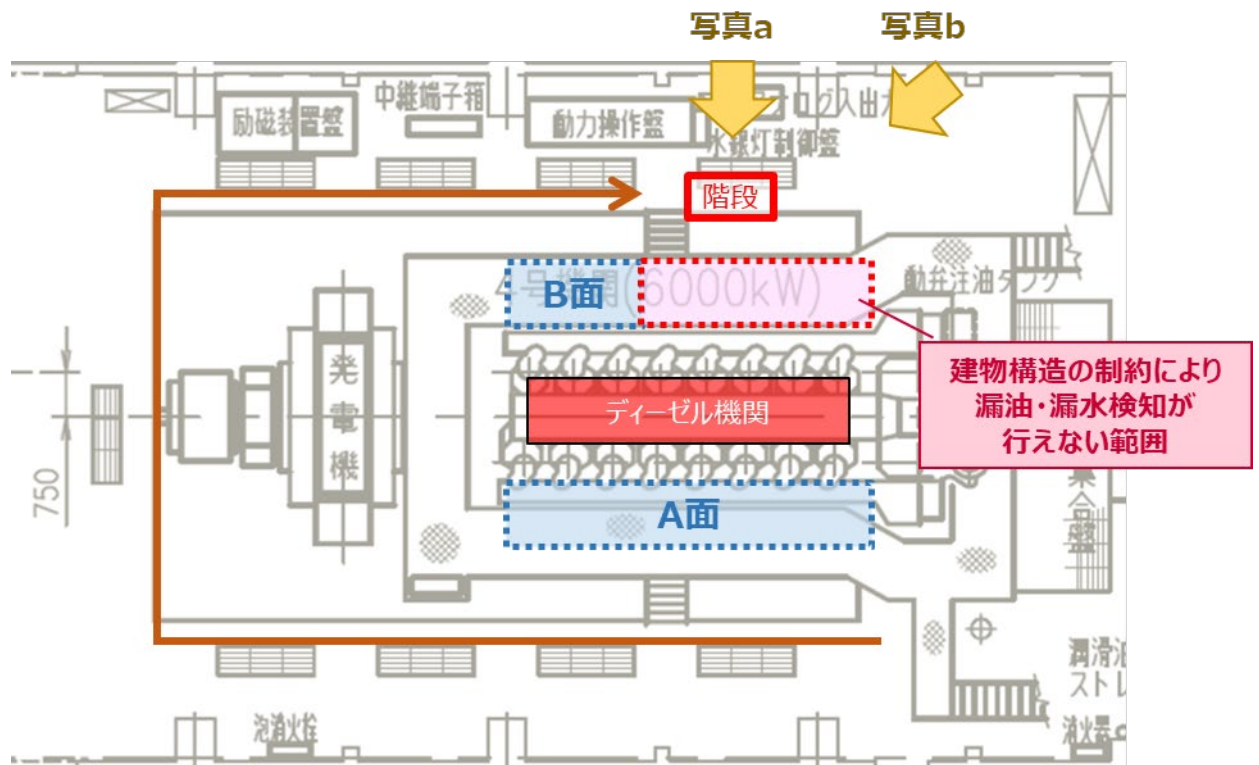


図 4.4-30 実証実験エリア



図 4.4-31 階段 (1)

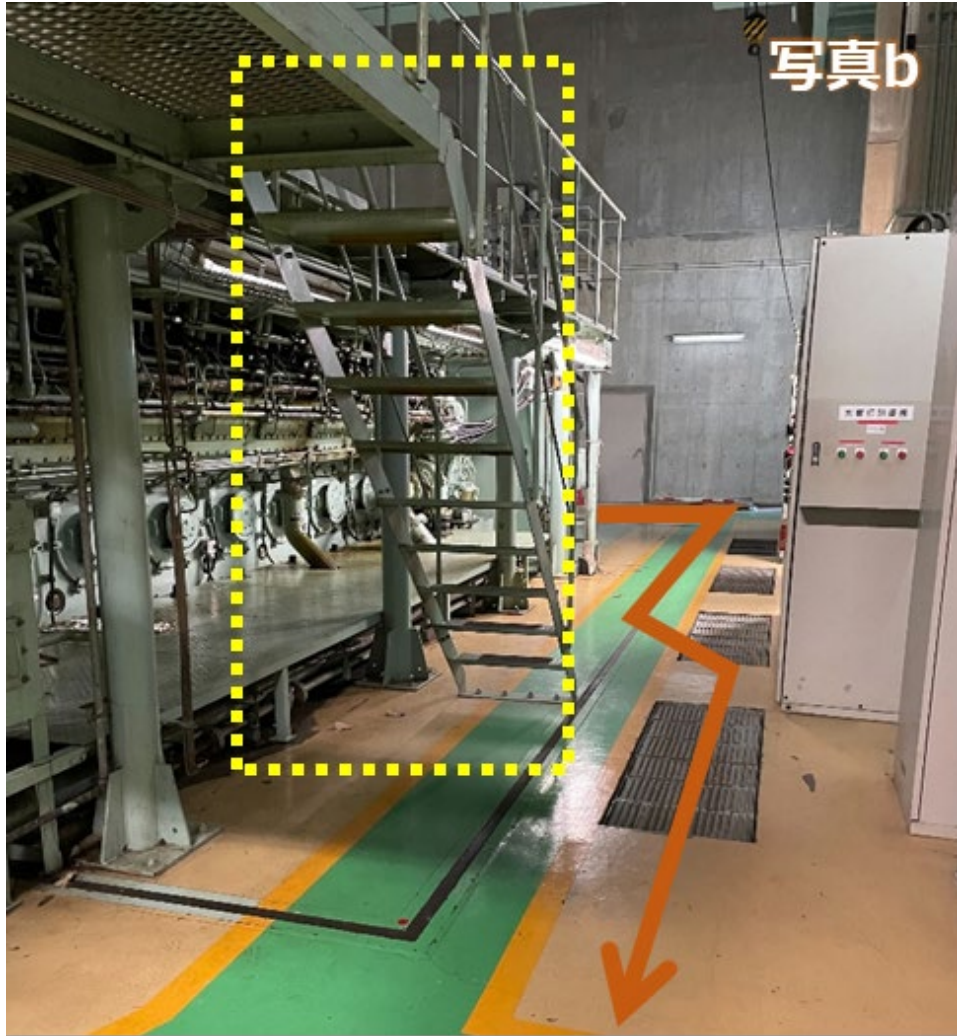


图 4.4-32 阶段（2）



図 4.4-33 階段（3）

この階段はディーゼルエンジン上部の点検において必要となるものであり、取り外すことはできないことから、実装においては撮影の影響を受けない場所への移動を検討する必要があると考える。特に建物建設時においては、ロボットの走行を意識した設計が必要となる。また、本実証場所である新壱岐発電所では撮影の影響を受ける既設構造物は階段のみであったが、他の発電所では階段以外の既設構造物が存在する可能性もあるため、事前に調査及び対処が必要と考える。



## b. 振動による撮影への影響

本実証中はディーゼルエンジン稼働している状態であり、ディーゼルエンジンからの振動は建物自体にも伝わっている。この振動を抑制する為、床面には防振ゴムが設置されており、建物全体への影響を最小限に抑える工夫がされている。しかし、巡視点検ロボットでのメータ点検においては振動の影響を受けることで、撮影された映像にブレが生じることがあった。特に床面にグレーチングが設置されている場所では振動の影響を大きく受け、メータ点検においても数値を認識しづらいことが判明した。本実証ではメータを撮影する角度の修正等で対処することができたが、点検箇所によっては振動による影響を防ぐ対処が必要と考える。

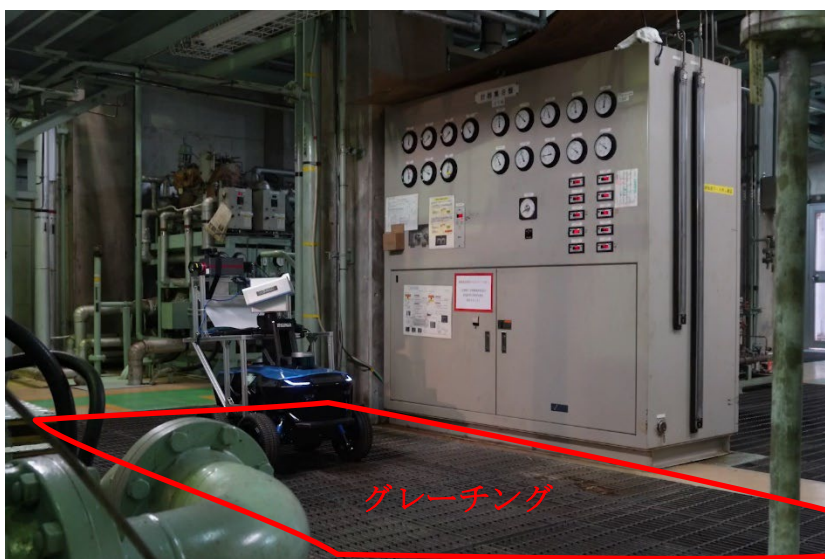


図 4.4-34 グレーチング上でのメータ点検の様子



図 4.4-35 振動がある状態での撮影 (アナログメータ)



図 4.4-36 振動がある状態での撮影 (デジタルメータ)

## ②光量に関わる課題

4. 3. 1章に示すように、ハイパースペクトルカメラによってスペクトルデータを取得するためには、光源が必要となる。本実証の4号本館においては窓が設置されておらず、外光は入らない構造となっている。建物自体の天井も高く、ディーゼルエンジン周辺に設置された蛍光灯が唯一の光源となる。また、室内の蛍光灯は普段から消灯されることもあり、実装時においては光源の確保が課題となる。

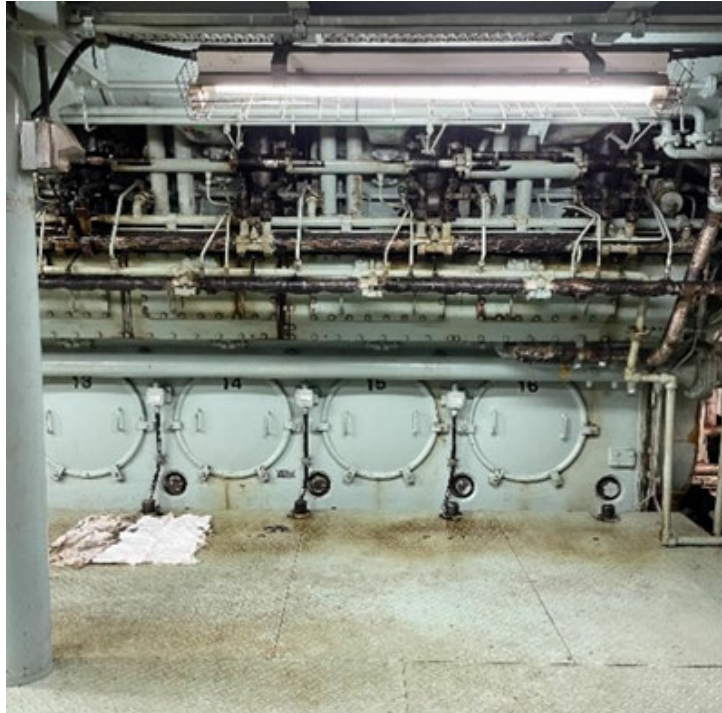


図 4.4-37 ハロゲンライト設置前



図 4.4-38 ハロゲンライト設置後

事前のハイパースペクトルカメラでの撮影試験においては下記の結果となった。

- ・ スタンド型 1500W のハロゲンライト 1 台  
スペクトルデータの取得 ×
- ・ スタンド型 1500W のハロゲンライト 2 台  
スペクトルデータの取得 △
- ・ スタンド型 1500W のハロゲンライト 3 台  
スペクトルデータの取得 ○

ハロゲンライトが 3 台あれば確実にスペクトルデータが取得できることが確認できたが、ハロゲンライトが 2 台の場合だと漏油した箇所によっては検知できないことがあった。原因として、ハロゲンライトの照射方法によって光量にバラツキの発生や、影が発生することで、検知精度に影響が出たものと考えた。ハロゲンライトの設置間隔、照射箇所を調整することで、ハロゲンライトが 2 台の場合においても問題なく検知できることが確認できた。

しかし、実際に巡視点検ロボットを走行させる場合、スタンド型のハロゲンライトでは巡視点検ロボットの動きに合わせてハロゲンライトも動かす必要があり、設置場所がずれることによる検知精度への影響も大きいと考えた。そこでディーゼルエンジン周辺に固定でハロゲンライトを設置し、検知精度を一定にすることができた。

ただしハロゲンライトをディーゼルエンジン周辺に設置する方法では、巡視点検ロボットの走行にあわせてハロゲンライトを点灯させる仕組みがなく、常時点灯させた場合は電力使用量が大幅に増えることから実装においては別の方法もあわせて検討する必要がある。

現在、ハロゲンライトに比べ、高額ではあるがハイパースペクトルカメラに適した LED ライトも販売されており、その LED ライトを用いて、ディーゼルエンジン周辺に取り付ける方法と巡視点検ロボットに取り付ける方法を検討する。LED ライト点灯のタイミングについては巡視点検ロボットから信号を出すことで点灯される仕組みを検討する。

### ③ロボットへの荷重に関わる課題

本実証ではハイパースペクトルカメラを巡視点検ロボットに搭載するにあたり、独自のフレームを制作した。フレームには下記の機材が搭載された。

■ハイパースペクトルカメラ 3 kg

■RGB 4Kカメラ 200 g

■ノートパソコン 2 kg

■バッテリー等 約2 kg

合計 約7.2 kg

これら機材を巡視点検ロボットに搭載したことにより、巡視点検ロボットが持つサスペンション部分への負荷が増え、巡視点検ロボットの後部が中心点より2度ほどフレームが沈み込む結果となった。

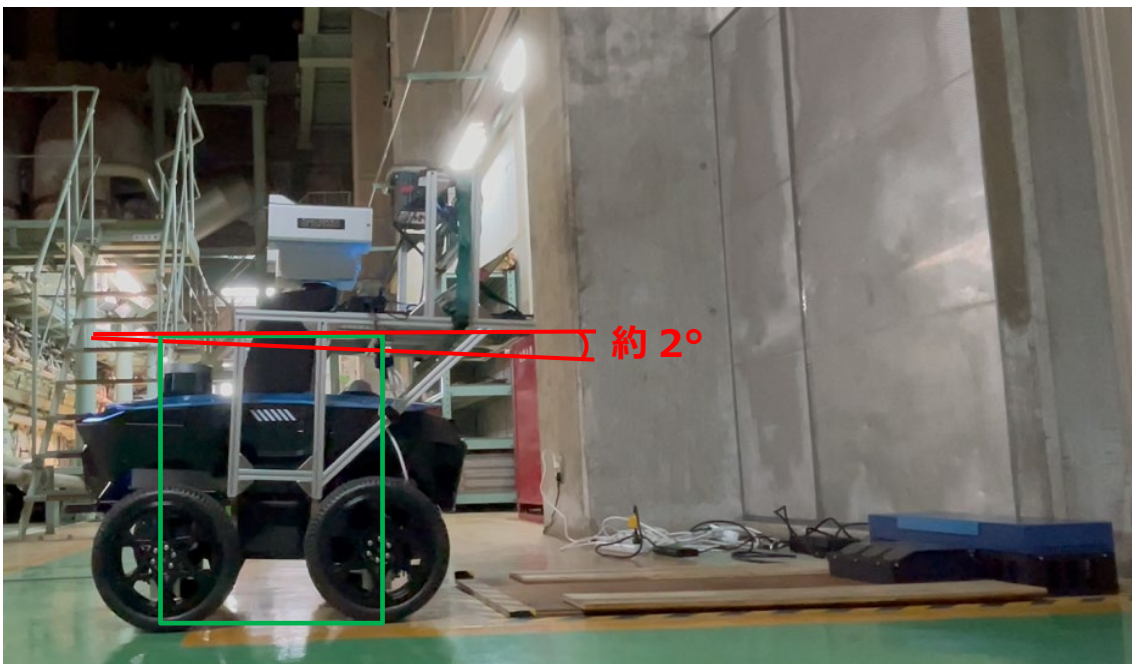


図 4.4-39 フレーム装着後の沈み込んだ状態で充電する様子

当初、想定していた沈み込みより深かった為、タイヤ面との接触が発生し、一部フレームを削ることで対処を行った。

また、巡視点検ロボットの充電時において、充電台とロボット側の接点が衝突し、充電できない事象が発生した。充電台の前に板を設置し、ロボット側の接点を高くすることで対処した。ただし、フレームの沈み込む角度によって板の高さが変わる為、注意が必要となる。

巡視点検ロボットの動作へも影響が発生した。4WS（四輪操舵）による方向転換においては床面の素材（特に防振ゴム上）によってまれにタイヤの回転数に影響が出ることがあった。暫定対処として防振ゴム上での方向転換を行わないように設定変更することで対処した。また、メータ点検では通常の状態と荷重が発生している状態とにおいて、カメラの角度に差が発生した為、メータ点検箇所の設定をし直した。

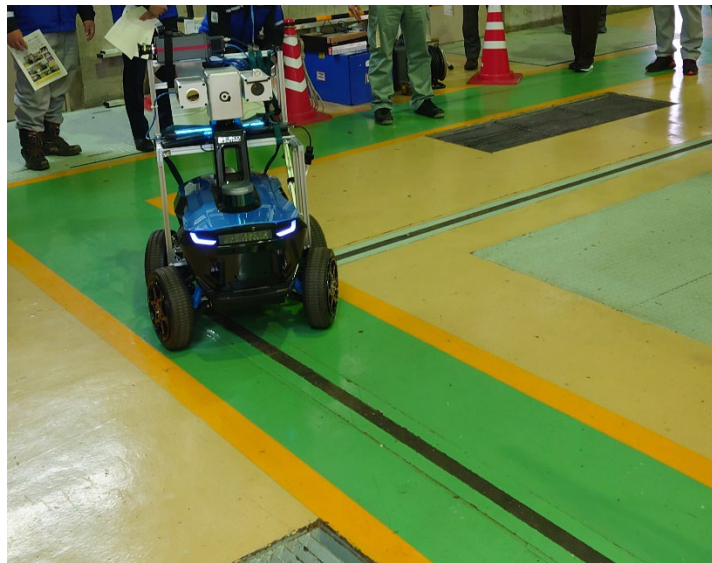


図 4.4-40 耐震ゴム上での方向転換をする様子

実装時においてはフレームに搭載する重量を最小限にする工夫を行うと共に、沈み込みを水平に保つ工夫が必要と考える。

#### ④ 充電に関わる課題

フレームに搭載した機器は追加で搭載したバッテリーで動作しており、巡視点検ロボット内部のバッテリーを使用していない。このことから、機器毎のバッテリーを手動で充電する必要がある。バッテリーを使用する機器はハイパースペクトルカメラ、ローカル5G端末（移動局）、PCである。



図 4.4-41 巡視点検ロボットに搭載されたバッテリー

実装時にはローカル5G端末（移動局）についてはUSB給電できる為、巡視点検ロボット内部に格納されたPCと接続することで給電することが可能。

ハイパースペクトルカメラはPoEによる給電が可能であるため、巡視点検ロボット内部のスイッチングハブをPoE対応に変更することにより対応可能と考える。ハイパースペクトルカメラで撮影したデータをクラウドに送信するためのPCは小型化を進めることで消費電力を抑えることが可能であり、巡視点検ロボット内部のバッテリーと接続できる方法もあわせて検討する。



## ⑤ その他課題

### a. 音に関する課題

巡視点検ロボットにはマイクが標準装備されており、走行ルート上に音声収集の点検ポイントを設定することで、発電所設備内の音声収集が可能になっている。現在、巡視点検ロボットに標準搭載されているマイクは、可視カメラのハウジング内にあり、指向性が弱いマイクとなっている。音声データについては、圧縮されたデータ(wav、mp3)になっている。指向性が弱いマイクの場合、特定箇所の音声収集が出来ないため、機器毎の音声収集が厳しく、音声解析ソフト等で異常を検知した際、人が現場で行き、異常箇所の特定が必要になってくる。音声データが圧縮データの場合、データ容量が小さいため、データ伝送は容易に出来るが、音声解析ソフト側の仕様によっては、解析出来ない場合があり、圧縮することにより、一部の音声は切り取られるため、音声情報のレベルが低下する。発電所設備内においても、発電機稼働時と非稼働時では音声レベルが異なるため、正常音と異常音の判別が難しい。

今後、マイクの設置位置や仕様の検討をすることで、音声収集レベルを高め、また、ローカル 5G を導入することで大容量データの伝送が可能になるため、実際の音に近い音声データにすることで、設備の早期異常判断が可能になると考える。

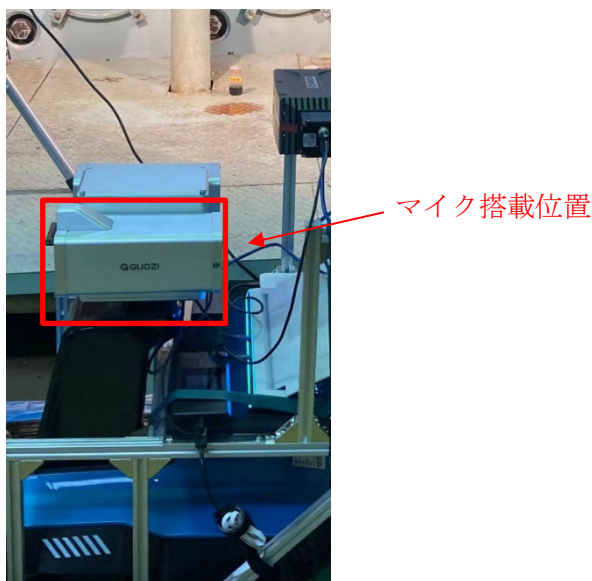


図 4.4-42 巡視点検ロボットの標準搭載マイク位置

b. ハンドオーバーに関する課題

本実証ではアンテナ 1 台構成で実施していた為、実装においては隣接する 3 号本館へ巡視点検ロボットを移動させる必要がある。その際は屋外に設置するアンテナや 3 号本館に設置するアンテナとのハンドオーバーを想定する必要がある。

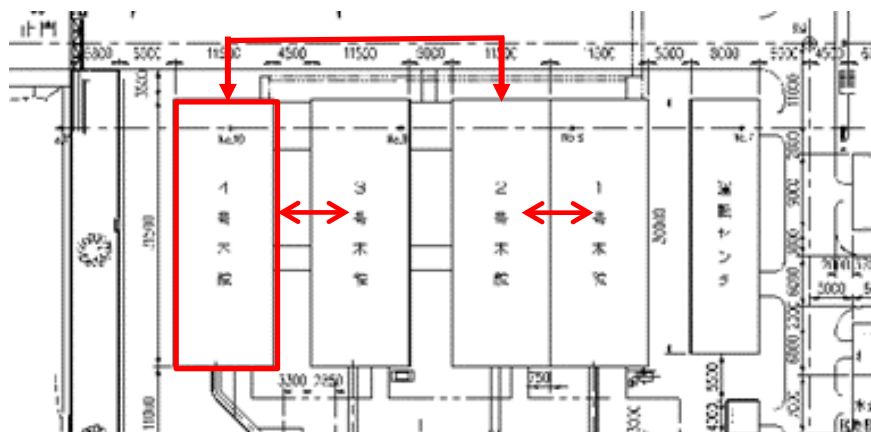


図 4.4-43 建物間を移動する場合のルート図

#### 4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

本実証においては実証場所となる新杵岐発電所にローカル5Gコア装置を設置し、実証を行った。令和4年度は、実証の成果を踏まえ、導入方針について検討を進める。

##### 4.4.4.1 継続利用に向けた主な課題と方向性

導入方針の検討にあたっては、特に以下2点については、継続利用・実装に向けて早期に解消する課題として挙げられる。

###### (1) ローカル5Gコア設備の管理及び運用体制の構築

本実証でのアンケート等によるヒアリングの結果、ローカル5Gコア装置を新杵岐発電所内部で管理、運営していくことは既設設備の改修項目が多岐に渡ること、離島でのメーカー等による保守体制も整っていないことから、実装を可能とするためには導入に向けた設備構築・改修及びローカル5Gコア装置を管理、運営する体制の確保が重要と考える。

現在、離島における光ファイバ設備の充実は進んでいる状況であり、実装にあたってはローカル5Gコア装置を九州本土内もしくはクラウド上に設置し、離島の社員がローカル5Gによる通信設備を意識せず、本来の発電設備の監視業務に専念できる状態が理想となる。また、コスト面からもローカル5Gコア装置を集約することで導入コスト及び運用コストの低減を図っていく。

###### (2) ソリューションの更なる改善・拡張

現時点においては巡視点検業務の省力化にはつながるものの、巡視点検業務をロボットだけで完結できないことから、本実証で抽出された課題や更なる巡視点検の稼働削減に向けた「異音」や「異臭」「異常振動」に関する課題の解決に取り組むことで、発電所での本ソリューションモデルの導入を進めていく。

###### (3) 横展開の方向性

上記2点に対応しながら、ローカル5Gを活用した標準モデルを更新する。その上で、九州電力送配電のエリアのみならず、全国の電力会社への同様の提案を進め、課題及び対策の共有、各電力会社の新たなる課題の抽出に努め、電力業界での導入促進につなげていく。

##### 4.4.4.2 実装計画

前項の課題と方向性を踏まえ、以下に実装計画について記載する。

① 対象期間

各年度の具体的な計画は下表のとおりである。

年度	計画
令和4年度	ローカル5Gコア装置の一元管理体制の検討及び導入方針の検討
令和5年度	ローカル5Gコア装置の導入及び試験エリアの導入 一部エリアでのローカル5Gの運用開始
令和6年度	ローカル5G運用エリアの更なる拡大
令和7年度	スマート保安としてのローカル5G運用体制の確立
令和8年度	ローカル5G運用エリアの拡大

② 収支計画（費用面）

下記については九州電力送配電が新壱岐発電所に本ソリューションを本格導入する場合の概略費用である。新設設備導入及び設備導入に向けた既設設備改修費用を含むが、ロボット本体やその一部付属品については、今回実証において既に調達済でありそのまま適用可能であることから、積み上げ費用から削減することが可能となる。

本格導入検討の場合、電力会社内でソリューション導入に向けた基本計画立案、設備費・工事費の積算、妥当性評価を行ったのちに、中長期計画として予算措置の準備が行われる。これについては設備運営に必要となる大型改良工事、修繕工事についても同様であり、優先度の検討を踏まえ、投入年度を決定する。

表 4.4-29 本格導入する場合の概略費用

項目	内訳	概算費用 (百万円)	備考
ローカル5G	5Gコア装置	50	構築費用含む
	アンテナ設置費用	6	1台あたり
	専用線（広域イーサ）費用	12	年額
巡視点検 ロボット	ロボット本体費用	35	設定費用含む
	振動センサー	25	AI費用含む
	集音マイク	5	AI費用含む

	ガス検知器	10	通知システム含む
	その他付帯設備（ライト他）	3	
既設改造	本館入口扉改造	20	設計費含む
	既設階段移設	5	〃
	2F 昇降装置設置	50	〃
	地階昇降装置設置	50	〃
	既設制御装置、データロガー装置改造	30	〃

### ③ 課題解決策の計画化

巡視点検業務における本実証で網羅できなかった範囲は、引き続き国の施策等との連携を想定し、追加の実証事業等にて検討を進めると共に、ローカル5Gコア装置の集約による離島エリア拡大時の導入コスト低減の解決をめざす。エリア拡大においては、島への光ファイバ敷設は進んでいるものの、専用線サービス（広域イーサ）のコストが高い為、公衆回線を利用したVPN回線サービスの活用によりコスト低減を図る必要がある。ただし、離島においてはVPN回線サービスが提供されていない場合も多く、実現方法について通信事業者との協議も必要となる。また、ロボットの導入においても高いコストとなる為、スマート保安実現に向けた国の補助があればエリア拡大につながると考える。

本ソリューションは、経済産業省産業保安グループが2025年を目標年次として実施する「電気保安のスマート化」の推進に貢献するためにも、全国の電力会社等に働きかけることでトータルでのコスト削減をめざす。具体的には巡視点検ロボットの大量生産によるコスト削減やローカル5G保守費用の削減等につなげていく。

本実証以後の市場展開見通しとそれに対する課題等及び対応策、分析方法を下表に示す。本実証をふまえ、九電送配電管轄にある内燃力発電所及びその他発電所における巡視点検業務への展開（フェーズ①）に向けた検討を行い、さらには、全国の電力会社が所有する発電所での巡視点検業務への展開（フェーズ②）、他業界（例：ガス・上下水道等インフラ産業等）での巡視点検業務等への展開（フェーズ③）に結び付ける。

表 4.4-30 解決策の検討

フェーズ	市場展開見通し	課題等	分析方法	具体的な対応策
① 目標： ～Y2023	九州内発電所（九電送配電管轄）での巡視点検業務への展開  ※「スマート保安」電気保安のスマート化…2025年をターゲットイヤーとした検討が進められている。	熟練保安員と同等の漏油・漏水検知精度の担保	巡視点検にかかる稼働時間、漏油・漏水検知精度、遠隔操作、運用の各観点において、保安員等へのインタビュー・アンケート及び実測による現状の巡視点検業務との比較検証	【標準化】 内燃力発電所での活用  【展開候補】 九州電力管内  【導入に向けての検討方法】 ・九州電力管内の老岐市以外の離島に対して、水平展開の可否の検討（想定する課題：利用できる周波数帯等） ・経産省と「スマート保安」への情報提供開始
		内燃力以外の発電設備における巡視点検項目への応用と異常検知精度の担保	九電送配電関係者へのインタビュー・アンケートを通じた巡視点検項目の洗い出しと本ソリューションの適用可能性・有効性の検討	【標準化】 内燃力発電所以外での活用  【展開候補】 九州電力管内  【導入に向けての検討方法】 ・九州電力管内の発電所に対し、水平展開の可否の検討（想定される課題：設備の種類別、規模、検知内容等）
② 目標： ～FY2024	全国の電力会社が所有する発電所での巡視点検業務への展開  ※「スマート保安」  電気保安のスマート化…2025年をターゲットイヤーとした検討が進められている。	他の電力会社が抱える課題・ニーズの洗い出し、ソリューションへの適用	九州内発電所における課題・ニーズをふまえて仮説を立て、他の電力会社へのインタビュー・アンケートを実施  課題・ニーズの洗い出しと本ソリューションの適用可能性・有効性の検討	【標準化】 全発電所での活用  【展開候補】 全国の電力会社  【導入に向けての検討方法】 ・全国の発電所に対し、水平展開の可否の検討（想定される課題：電力会社特有の課題等） ・「スマート保安」の実装に向けた実証の開始
③ 目標： FY2024以降	他業界（例：ガス・上下水道等インフラ産業等）での巡視点検業務等への展開	他業界が抱える課題・ニーズの洗い出し、ソリューションへの適用	他業界へのインタビューおよびアンケートを通じた課題・ニーズの洗い出しと本ソリューションの適用可能性・有効性の検討	【ソリューションの汎用化】 電気以外のインフラ設備  【標準化】 インフラ設備全体  【展開候補】 全国のガス会社、上下水道の企業等  【導入に向けての検討方法】 ・全国のガス会社、上下水道の企業に対し、水平展開の可否の検討（想定される課題：インフラ設備特有の課題等） ・電力業界における「スマート保安」の実装

## 5. 普及啓発活動の実施

### 5.1 映像制作への協力

実証コンソーシアムは、調査研究請負事業者が実施する、本実証事業に関する映像制作に対し、実証映像の素材提供や関係者へのインタビューの撮影等の協力を、調査請負事象者の指示に従って行った。

映像撮影は、主に新巻岐発電所構内での実証データ取得時（1月26日～2月9日）に行った。

取得した映像等の素材提供は、2月に提出した。

### 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の導入に関心のある企業や、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、下記日程にてオンラインでの実証視察会を開催した。なお開催においては社会情勢等を踏まえ、調査研究請負事業者との協議上決定し、他地域からのオンライン視察受け入れ対応した。

- ・ 2月1日10～12時：九州電力様説明会
- ・ 2月3日10～12時：オンライン視察会  
（総務省、経産省、九州・四国・東海総通局、専門員、MRI）
- ・ 2月3日14～15時：オンラインメディア発表会  
（日刊工業新聞、読売新聞、西日本新聞、日経新聞、他メディア）
- ・ 2月4日10～11時：九州電力様現地視察会（第一回）
- ・ 2月9日10～11時：九州電力様現地視察会（第二回）



図 5.2-1 視察会の様子（現地）



図 5.2-2 視察会の様子（リモート）



### 5.3 その他普及啓発活動

実証コンソーシアムは、実証成果について普及啓発活動に積極的に取り組みを行った。普及活動の手段としては、WEB配信、新聞、イベント参加等を下記の通り実施した。

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負」の一環としての取組・成果である旨を明示すると共に、あらかじめ調査研究請負事業者に対し情報提供を行った。

#### 【展示】

- ・ 第16回 再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム RENEWABLE ENERGY 2022

開催予定日：2022年1月26日（水）～28日（金）

主催：再生可能エネルギー協議会



図 5.3-1 【展示風景】

【掲載】

- 電気新聞（2021年9月21日 掲載）  
（電子版参考 URL：<https://www.denkishimbun.com/sp/149339>）
  
- 電波新聞（2021年12月16日 掲載）  
（電子版参考 URL：<https://dempa-digital.com/article/262899>）
  
- 日刊工業新聞（2022年2月11日 掲載）  
（電子版参考 URL：<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00626924>）
  
- 読売新聞（2022年2月4日 掲載）  
（電子版参考 URL：  
<https://www.yomiuri.co.jp/local/kyushu/feature/C0050392/20220211-OYTAT50000/>）

2022年度掲載予定

- ・ NTT技術ジャーナル
- ・ NTTドコモ テクニカル・ジャーナル
- ・ 電力系技術誌

## 6. 実施体制

今回、九電送配電が運用する、長崎県壱岐市新壱岐発電所の構内を実証実施場所とし、閉域内でのローカル5G構築、巡視点検ロボット設置、点検データ保存のためのクラウドサーバー構築（閉域）、データ解析用のAI環境構築が主な実証コンポーネントとなる。実証事業の主題となる「技術実証」やユーザーが抱える課題、ニーズを解消するための効果的な「課題実証」の確実な検証、実証結果を踏まえた課題の整理、普及展開方策の検討といった複数のタスクを確実に遂行するため、各分野に精通した各社をコンソーシアムとして構成し、実証事業を行った。コンソーシアムの実施体制については以下記載の通りである。

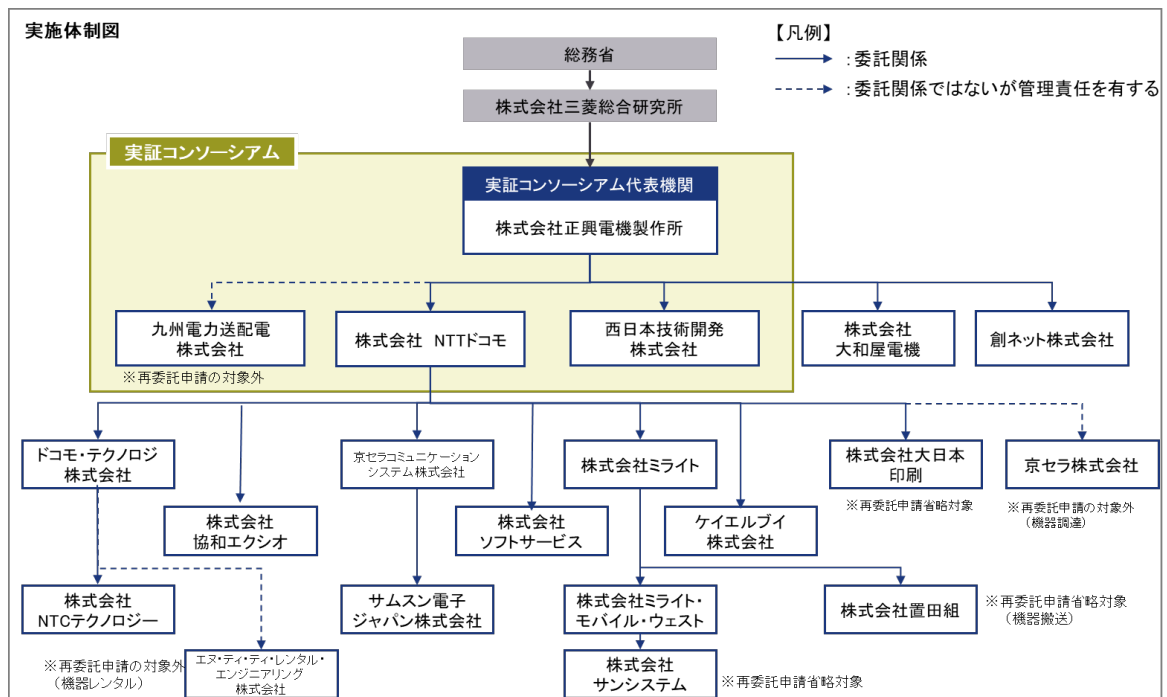


図 6-5.3-1 実証体制図

## 6.1 体制及び役割

### (1) コンソーシアム企業の役割

表 6.1-1 コンソーシアム企業の役割

企業・団体名	役割
株式会社正興電機製作所	コンソーシアム代表 (プロジェクトマネージャー、会計処理担当者) 課題実証 (実施) ローカル 5 G 免許申請者 巡視点検ロボット調達
九州電力送配電株式会社	課題実証 (課題提示、分析) 実証支援 (実証場所提供)
西日本技術開発株式会社	課題実証 (検討、実証支援) 報告書とりまとめ
株式会社 NTT ドコモ	技術実証 (技術実証担当者、実証環境構築、実施) 課題実証 (実証支援、実証環境構築) ローカル 5 G 構築 ネットワーク・クラウド環境構築、ソリューション開発

株式会社正興電機製作所 (コンソーシアム代表機関)

本社住所：〒812-0008 福岡市博多区東光 2 丁目 7 番 25 号

コア事業である電力、環境エネルギー分野の更なる事業拡大を推し進めるとともに、  
 情報と制御の独創技術で新製品・新事業の創出に取り組む総合電機メーカー

※ プロジェクトマネージャー

※ 会計処理担当者

九州電力送配電株式会社

本社住所：〒810-0004 福岡市中央区渡辺通二丁目1番82号

九州管内における一般送配電事業及び離島における発電事業を手掛ける一般送配電事業者

西日本技術開発株式会社

本社住所：〒810-0004 福岡県福岡市中央区渡辺通1丁目1番1号

エネルギー、環境、社会基盤整備等の総合的な分野で豊富な知見と実績を有する総合技術コンサルタント

株式会社NTTドコモ

本社住所：〒100-6150 東京都千代田区永田町2丁目11番1号山王パークタワー

キャリア5G サービスを提供中であるとともにローカル5G等の通信と映像のAI解析を統合した課題解決システムを使った実証、ローカル5Gの性能評価等の実証を実施可能な通信事業者

※ 技術実証担当者

## (2) コンソーシアム内部の契約関係

本実証事業においてはコンソーシアム代表機関である株式会社正興電機製作所を実証事業の主請負者として設定し、各コンソーシアム構成員とローカル5Gを活用した閉域ネットワーク構築及びソリューション開発、巡視点検ロボットシステム構築に係る役務、物品供給、工事を含めた契約を行う。契約を含めた実証事業体制を記載する。

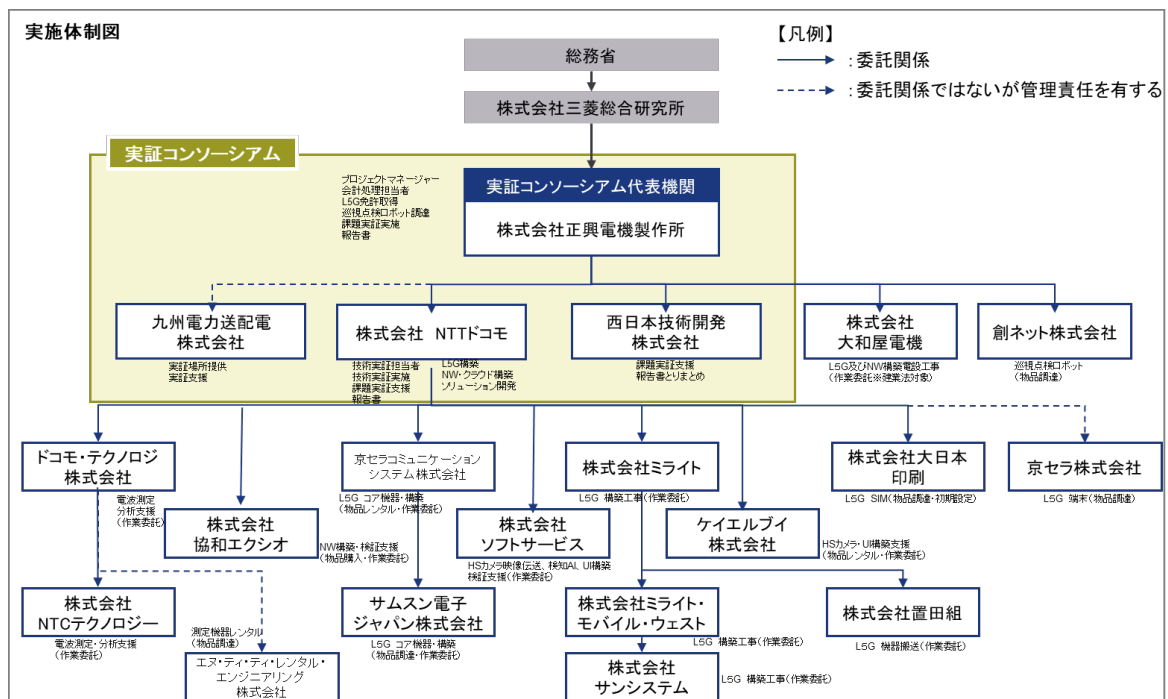


図 6.1-1 実証事業契約体系

本実証事業を実施するにあたり、再委託先が必要になるため、以下に関連する企業名と委託の形態、理由を記載する。

【再委託先】

西日本技術開発株式会社

再委託の 業務範囲	電力分野における課題解決システム実証における発電設備監視項目及び巡視点検項目の精査
再委託の理由 、適格性	九州電力送配電株式会社が保有する、全ての内燃力発電設備に対し、新規発電設備開発計画、新設発電設備の基本設計・詳細設計・工事監理、既設発電設備の保守・撤去・増設工事の基本設計、詳細設計、工事監理において、豊富な知見と経験を持っており、発電所内の監視項目、監視内容等の立案・提言を行ううえで最適な業者である。加えて、課題実証の効果検証や課題解決システム実装に向けた課題の抽出、課題解決の立案も含めた業務を西日本技術開発へ委託する。

株式会社 NTT ドコモ

再委託の 業務範囲	電力分野における課題解決システムの構築及び課題解決システム実証実施、技術実証における電波伝搬モデルの精緻化に関する試験及び結果取りまとめ
再委託の理由 、適格性	株式会社 NTT ドコモは、キャリア 5G サービスの提供事業者であり、5G 基地局の設計に秀でているとともに、5G 閉域網のクラウドサービスなど、5G に係る極めて有用な技術アセットを保有している。ローカル 5G に関しても、令和 2 年度のローカル 5G 開発実証の 4 案件に参画した他、ローカル 5G 構築支援サービスも推進しており、ローカル 5G 実証に関する豊富な経験と知見とを有している。以上の理由から、株式会社 NTT ドコモへの業務委託（環境提供）を実施する。

## 6.2 情報保全体制

本実証事業においては、正興電機製作所、九州電力送配電、西日本技術開発、ドコモ、の4者でコンソーシアムを立上げ、保護すべき情報等の取扱いについては下記の履行体制を確保するものとする。なお実証事業実施中にこの履行体制を変更する場合は遅滞なく調査研究請負事業者へ通知するものとする。

- ① 調査研究請負事業者が保護を要しないと確認するまでは、保護すべき情報として取り扱い、コンソーシアム内で周知徹底するための履行体制
- ② 調査研究請負事業者の同意を得て指定した取扱者以外の者に情報等を取り扱わせない履行体制
- ③ 調査研究請負事業者が許可した場合を除き、実証コンソーシアムを構成する企業、団体といった構成員に係る親会社や実証コンソーシアム構成員に対して指導、監督、業務支援、助言、監査等を含む者を含む一切の実証コンソーシアム構成員以外の者に対して伝達又は漏洩させない履行体制

また、実証コンソーシアムは、契約の履行中、履行後を問わず情報の漏洩等の事故や疑い、将来的な懸念の指摘があった場合は、直ちに必要な措置を講ずると共に、調査研究請負事業者へ報告を行う。さらに、調査研究事業者から求められた場合は、情報の管理の履行状況を報告するとともに、調査が行われる場合はこれに協力するものとする。



(1) 株式会社 正興電機製作所

正興電機製作所は、会社保有情報等の適切な活用・保全・運用に関し、当社役員・作業員全員が職務遂行上順守すべき基本的事項を規定し、全社的情報セキュリティ管理を実現することにより、経営管理の質的向上を図っている。株主および役員・従業員等に関する個人情報については、この規定よりも高度なものを求める部分については、さらに別途定める「特定個人情報取扱規則」「個人情報基本方針」「個人情報管理規則」「個人情報保護実施手順書」等に基づくものとする。

情報セキュリティ・個人情報保護委員会 連絡体制表は下図の通りである。

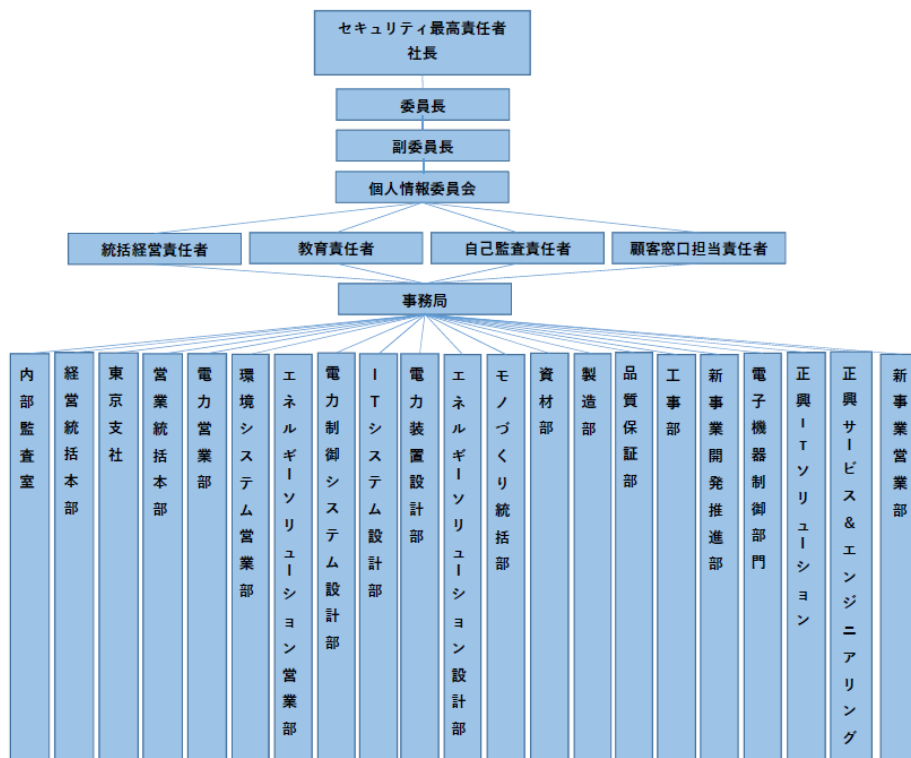


図 6.2-1 情報セキュリティ体制図 (正興電機製作所)

会社の情報セキュリティ統括について、セキュリティ管理を委嘱し、委嘱された役員（情報セキュリティ管理担当役員という。）は、会社の情報セキュリティ管理を統括するとともにその責任を負う。

また、部長は、所属部門において、アクセス権限者以外の者の立入禁止区域を制定することができる。

## (2) 九州電力送配電株式会社

九州電力株式会社及び九州電力送配電株式会社（以下「2社」という）は、エネルギーサービスの提供をはじめとする事業活動を継続するため、九電グループ全体の「情報セキュリティの確保」が経営上の重要項目であると認識し、九州電力株式会社社長を最高責任者とする推進体制のもと、2社内はもとよりグループ全社や取引先とも連携し、情報セキュリティの確保に向けた取組みを推進している。

### (法令順守)

- 1 情報セキュリティに関する法令、その他社会的規範及び2社の情報セキュリティ関係規定類を遵守する。

### (対策の実施)

- 2 情報資産を適切に管理し利活用を推進するため、必要となる経営資源を確保し、組織的・人的・物理的・技術的対策を講じることで、紛失・盗難等による情報漏えい等を防止するとともに、内部不正・サイバー攻撃等の脅威に適切に対処する。

### (定期的な検証・改善)

- 3 リスク管理を継続して実施するとともに、定期的に取り組を検証し、改善を図る。

### (新たな脅威への対応)

- 4 新たな脅威の動向をいち早く把握したうえで、速やかに措置を講じる。

### (教育・訓練の実施)

- 5 情報セキュリティ事故を防止するため継続して教育を行うとともに、情報セキュリティ事故の発生を前提とした訓練を実施する。

### (事故等発生時の対応)

- 6 情報セキュリティ事故等が発生した場合は、迅速な初動対応により被害の拡大防止を図ったうえで、原因究明並びに対策を講じ、再発防止を図るとともに、速やかに情報を開示する。

九州電力株式会社ではサイバーセキュリティ対策室を中核として、九州電力送配電株式会社を含む各所の情報セキュリティ責任者や情報セキュリティ管理者と連携しながら、全方位的（組織的・人的・物理的・技術的）な情報セキュリティ対策を講じている。

また、グループ会社へ情報セキュリティ対策における様々な支援を提供し、九電グループ全体の情報セキュリティレベルの維持・向上を図っている。

### 【組織的対策】

九州電力株式会社の社長をトップとする情報セキュリティ推進体制の下、各統括本部や事業所等のPDCAサイクルを展開し、各職場における情報セキュリティの取組状況の確認及び不適切な状況の是正を実施している。

### 【人的対策】

九電グループの従業員に対し、情報セキュリティ教育や標的型攻撃メール訓練等を実施している。今後も引き続き、情報セキュリティに関する意識、理解度及び対応力を向上するための教育・訓練を実施していく。

### 【物理的対策】

各支店にICカード対応のセキュリティゲートを設置するとともに、全営業所に機械警備システムを導入する等、執務室や建物への入室制限や施錠管理の徹底に必要な設備対策を実施している。

### 【技術的対策】

特定の企業を狙ったサイバー攻撃や新種のウィルス増大等、インターネット上の新たな脅威に備えて、セキュリティ対策を強化している。

また、USBメモリ等インターネットを経由しないデータの持ち込みについても、ウィルス感染防止を図っている。



図 6.2-2 情報管理体制 (九州電力)

(3) 西日本技術開発株式会社

西日本技術開発株式会社は推進体制、従業員等の責務等の全社統一的な情報セキュリティ対策に必要である要件を明確化し、情報資産の取り扱いを適切に管理するために、情報セキュリティ管理規定の基に下記表に示す体制にて管理を行っている。

表 6.2-1 情報セキュリティ最高責任者等の設置（西日本技術開発）

名 称	対象者	役 割
情報セキュリティ最高責任者	社長	<ul style="list-style-type: none"> <li>基本方針の決定</li> <li>情報セキュリティに関する管理体制、重要施策等の決定</li> </ul>
情報セキュリティ部門統括責任者	各部門長（各本部長、本部制以外の部は担当取締役）	<ul style="list-style-type: none"> <li>各部門の情報セキュリティ管理体制の構築、維持及び向上策（教育を含む）の統括</li> </ul>
情報セキュリティ責任者	各部長、東京事務所長、事業所長*、営業所長*	<ul style="list-style-type: none"> <li>各部及び出先機関の情報セキュリティ管理体制の構築、維持及び向上策（教育を含む）の実施</li> </ul>
情報セキュリティ管理者	各グループリーダー	<ul style="list-style-type: none"> <li>情報セキュリティ責任者の下、各グループの情報資産管理、セキュリティ維持及び向上策（教育を含む）の実施</li> </ul>

業務主幹箇所は、主管する業務の情報資産の管理状況を把握する。

情報資産を盗難、改ざん、悪用、破壊、滅失等から保護するため、以下の物理的・環境的対策を講じる。

1 情報資産保護対策

サーバなどの重要な情報処理機器や関係者外秘などの重要な書類を保管設置する場所の入退室区域は、建物入退出管理規程を設ける。当社が入居する建物内の各スペースを、「制限区域」、「特別指定制限区域」、「一般区域」、「共用スペース」の4つに区分し、それぞれの重要度に応じた入退室管理を行っている。

2 アクセスの記録

- (1) 「関係者外秘」に該当する電磁化情報へのアクセスは、記録ログを一定期間残すものとし有事の際には適時、適切かつ有効に利用されるようにする」
- (2) 「関係者外秘」に該当する非電磁化情報へのアクセスは、執務スペース内での利

用に制限するものとし、業務上やむを得ず社外に持ち出す場合は、情報セキュリティ部門統括責任者（情報セキュリティ責任者、又は情報セキュリティ管理者による代行可能）の許可を得て持ち出すこととし、持ち出し時及び返却時に記録を残すものとする。

### 3 盗難防止対策

業務主管箇所は、執務スペース、書棚等について、情報資産の盗難を防ぐための必要な対策を行う。

表 6.2-2 情報処理装置等のセキュリティ

情報セキュリティ対策の内容	
ネットワークの安全性の確保	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) サーバ・パソコンにウィルス対策ソフトを展開・管理する。</li> <li>(2) ファイアウォールにより外部からもたらされる不正アクセスに対策する。</li> <li>(3) Web フィルタリングによりブラックリスト等に登録されている有害 Web サイトへのアクセスを制限する。</li> <li>(4) ネットワーク接続制御により会社が認めた機器以外はネットワークに接続できないように制限する。</li> <li>(5) 内部感染検知によりウィルス等に感染したパソコンを検知して、ネットワークの遮断等を迅速に行う。</li> </ul>
情報処理装置等のセキュリティ	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) コンピューター等の会社所有の装置は、原則として社外に持ち出してはならない。業務上やむを得ず社外に持ち出す場合は、情報セキュリティ部門統括責任者（情報セキュリティ責任者、又は情報セキュリティ管理者による代行可能）の許可を得て持ち出すこととし、持ち出し時及び返却時に記録を残すものとする。</li> <li>(2) コンピューター等の社外への持ち出しは、業務処理上必要最小限の範囲にとどめ、紛失・盗難・ウィルス感染に注意するなど、責任を持ってセキュリティ管理を実施しなければならない。</li> <li>(3) 私用の情報システム及び電子媒体等は、原則として業務に使用してはならない。</li> <li>(4) 社内ネットワークに接続するコンピューター等は、必ずセキュリティ対策を講じなければならない。</li> <li>(5) 社外利用後のコンピューター等を社内ネットワークに接続する際は、必ずセキュリティ対策を講じ、安全であることを確認しなければならない。</li> <li>(6) 社外の情報保管サービスを活用する場合は、適正な事業者を選定しなければならない。</li> </ul>

#### (4) 株式会社NTTドコモ

株式会社NTTドコモは、公共性を有する電気通信事業者として、お客さま情報や管理情報の保護徹底を図ることが最大の責務と考え、代表取締役副社長に CPO（個人情報保護管理者） および CISO（情報セキュリティ管理責任者） という役職を付与し、副社長を委員長とする

「情報管理委員会」を定期的で開催し、個人情報保護対策を推進している。一元的な情報管理を推進すべく情報セキュリティ部を設置するとともに、各組織には情報管理責任者を置き、業務委託先に対しても組織ごと・施策ごとの業務受託責任者の設置を義務付け、情報管理における責任体制を構築、推進している。情報管理体制図を図 6.2-3 に示す。

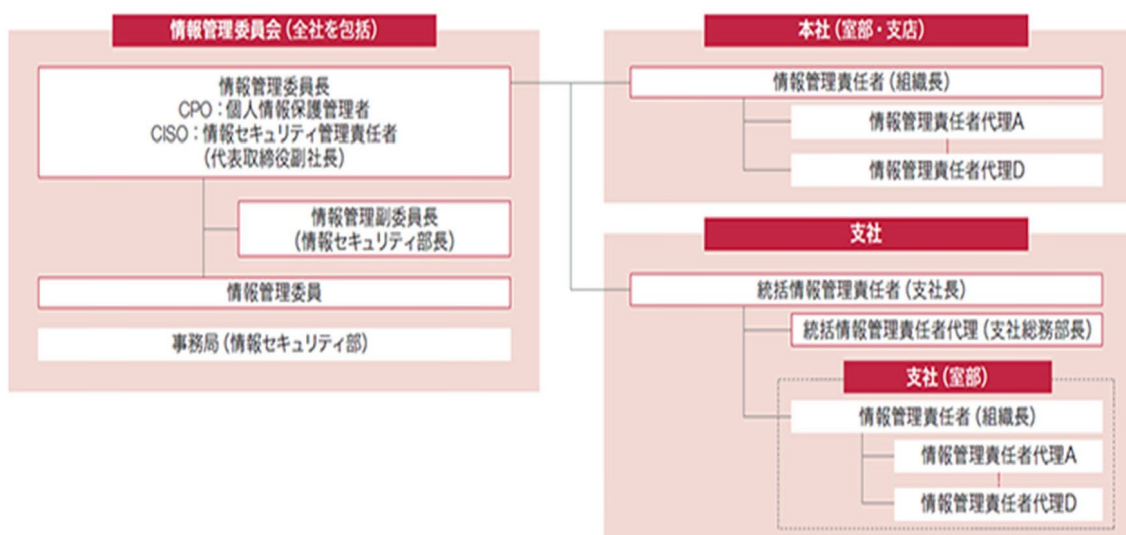


図 6.2-3 情報管理体制 (NTT ドコモ)

また、情報管理強化に努める上で、以下の安全管理措置を推進・展開している。

表 6.2-3 安全管理処置 (NTT ドコモ)

<p>① 組織的セキュリティ</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 情報セキュリティポリシーの制定</li> <li>2 情報管理に関する組織体制の整備</li> <li>3 情報セキュリティ基本方針の策定 規程・マニュアルの整備・運用</li> <li>4 情報資産の把握と運用管理</li> <li>5 監査・セキュリティチェックの実施・運用</li> <li>6 事故、違反への対処</li> </ol>
<p>② 人的セキュリティ</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 誓約書による秘密保持の義務付け</li> <li>2 業務委託契約先への情報管理遵守の義務付け</li> <li>3 従業者、業務委託先、販売代理店に対する研修・啓発の実施</li> <li>4 ハンドブック、DVD など研修ツールの策定と配布</li> </ol>
<p>③ 物理的セキュリティ</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 情報管理端末の台数制限、設置場所および権限付与者の継続的適正化</li> <li>2 可搬型機器の貸与、持ち出し管理の徹底</li> <li>3 大量顧客データ抽出端末の集約化と特別監視</li> <li>4 お客さま申込書など帳票類のペーパーレス化</li> <li>5 情報を取り扱う場所への入退室管理</li> </ol>
<p>④ 技術的セキュリティ</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1 アクセス制御、アクセスログ保存と定期的調査</li> <li>2 システム利用に対する生体認証の導入</li> <li>3 顧客情報検索条件の厳格化</li> <li>4 情報システム端末、通信路の暗号化</li> <li>5 不正持ち出し監視</li> <li>6 サイバー攻撃対策、システム監視</li> </ol>

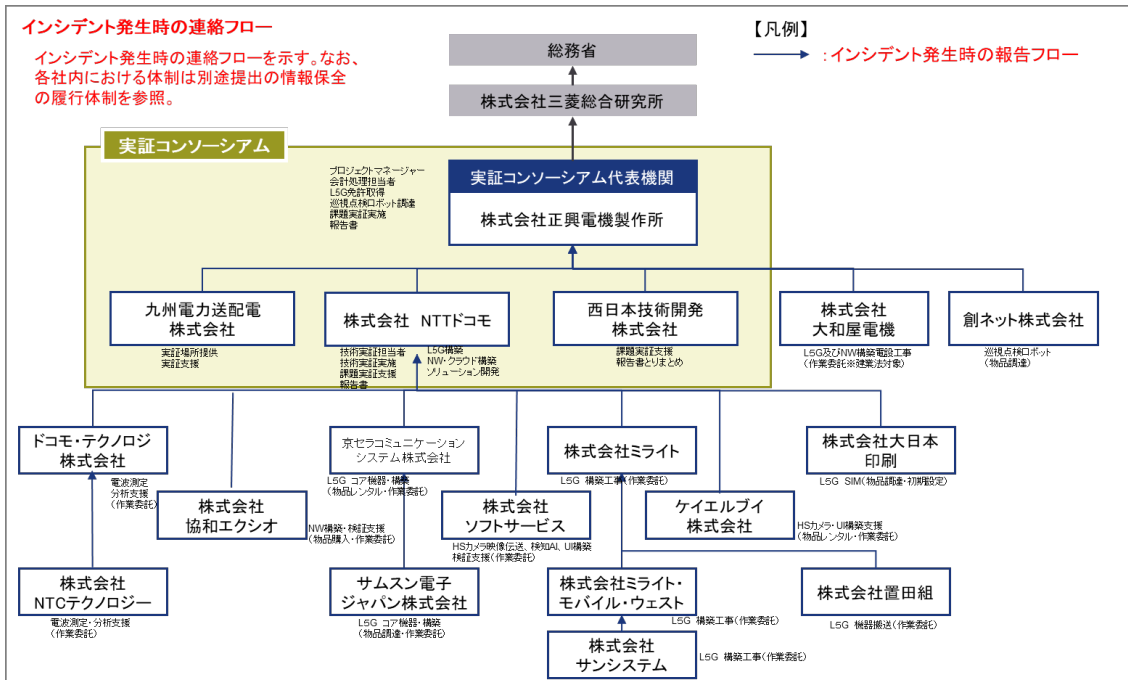


図 6.2-4 インシデント発生時の連絡フロー



## 7. スケジュール

本実証事業の実施スケジュールは下記の通りである。

### (1) 現地調査

令和3年6月の公募開示後直ちに九電送配電 内燃力部門と打ち合わせを行い、内燃力発電所巡視点検業務における課題のヒアリングを実施。また新壱岐発電所構内におけるローカル5Gエリア構築に向けて、光回線の引込み状況や基地局設置場所の確認、コアPCの設置場所候補等の調査を実施。

### (2) 免許申請

システム構築時に免許取得出来るよう、調査研究請負事業者との契約完了後、ローカル5G免許の申請を行い、11月25日に免許を取得した。

### (3) 事前品質及び性能確認

使用する装置は同型番のものを利用してベンダのラボ環境で品質確認、動作・性能試験を11月30日まで実施した。

### (4) ネットワーク構築、システム開発及び接続試験

調査研究請負事業者との契約完了後より技術実証、課題実証に向けたネットワーク構築及びシステム開発にかかる契約、物品調達、ローカル5G装置調達／環境構築（11月22日～12月17日）、専用線開通（固定VPN、12月14～16日）、閉域ネットワーク接続（1月17日）、クラウドサーバー構築（通常インスタンス構築：1月17～19日、CPU強化インスタンス構築：1月25～26日、CPU追加インスタンス構築：1月26日～2月2日）およびAIシステム開発／環境構築（開発：～12月28日、インストール・構築：1月25～2月2日）を行い、総合接続試験を1月26～27日及び2月2日に実施した。

### (5) 技術実証

技術実証に向けた準備作業を行い、技術実証を新壱岐発電所構内にて12月24～28日、および1月31日に実施した。

(6) 課題実証

課題実証に向けた事前検証作業として、構築UIに関するユーザーインタビュー及びアンケートを11月（1回目）、2月（2回目）を行い、改善点等のフィードバックを実施した。その後、新壱岐発電所構内における課題実証を1月26日～2月9日に実施した。実証フィールドと遠隔拠点（正興電機製作所古賀事業所、九電送配電）の双方にて課題実証の評価検証作業を2月2～9日に行った。

(7) 専門会合出席

技術実証、課題実証を踏まえ実証事業の方向性やローカル5Gの普及展開方策の検討のため下記専門会合に出席し、それに向けた資料作成、情報提供を実施した。

- ・ローカル5G等開発実証 課題実証専門会合（第1回）

開催日時：2021年12月22日（水）16：00～18：00

オンライン開催

- ・九州IoT実装推進ワーキンググループ

開催日時：2022年2月21日（月）13：30～17：00

オンライン開催

(8) 将来展開への課題検討

課題実証結果を踏まえ、本ソリューションの実装に向けた、技術面、運用面及び経済面の課題の抽出及び解決策の検討を実施した。

今後の普及展開として、将来実装が想定される電力会社のみでなく、ガス、水道等のインフラ産業へのインタビュー及びヒアリングを行い、実装に向けた新たな課題への対応検討を行う。

(9) 実証成果の取り纏め

上記で実施した実証成果を、報告書へ取り纏め、令和4年3月に提出。

No	大区分	小区分	備考	9月							10月							11月							12月							1月							2月							3月						
				6日	13日	20日	27日	4日	11日	18日	25日	1日	8日	15日	22日	29日	6日	13日	20日	27日	3日	10日	17日	24日	31日	7日	14日	21日	28日	4日	11日	18日	25日	1日	8日	15日	22日	29日	6日	13日	20日	27日	3日	10日	17日	24日	31日	7日	14日	21日	28日	
No 8	実証環境の構築	免許及び各種許認可	11月25日 取得予定 (九州総合通信局)	申請準備							△免許申請 ▲免許申請							免許取得△ 免許取得▲							△電波発射 ▲電波発射																											
		機器調達、事前動作確認	～11月末ラガ確認 12月6日納品																																																	
		ネットワーク構築（ローカル5G）	11月22日～12月17日 機器設置・設定															システム構築							単体試験																											
		ネットワーク構築（アクセス回線）	アクセス回線開通 (12/16開通) NW機器設置設定 (1/24開通)																						単体試験																											
		システム構築（巡視点検口ロボット）	12月ロボット設定・試験・調整 1月現地システム構築															△手配 ▲手配														単体・結合試験																				
		システム構築（AIソリューション（クラウド））	AI学習データ取得 結合試験 11月25日～1月28日 クラウド構築 ソリューション構築 12月13日～1月28日															学習データ取得							システム構築							単体・結合試験																				
	技術実証	電波伝搬特性等の測定	12月24～28日 1月31日															実証環境の構築							△実証開始 ▲実証開始														△報告書提出 ▲報告書提出													
		電波伝搬モデルの精緻化																																																		
	課題実証	有効性等に関する検証																実証環境の構築														△実証開始 ▲実証開始							△報告書提出 ▲報告書提出													
		実装性に関する検証																実証環境の構築														取りまとめ																				
実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討																	実証準備														取りまとめ																					
実装シナリオの見直し																															取りまとめ																					

図 7-1 スケジュール概要