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

成果報告書概要版

令和4年3月25日

株式会社　正興電機製作所

目次

背景・目的 ・・・ P.3
実証概要（全体像） ・・・ P.4
実証環境 ・・・ P.6
ネットワーク・システム構成 ・・・ P.7
システム機能・性能・要件、 ・・・ P.8
参考:ハイパースペクトルカメラでの漏油・漏水検知実現方法 ・・・ P.9
免許及び各種許認可、その他要件 ・・・ P.10
実証環境の運用 ・・・ P.11
技術実証の概要 ・・・ P.13
実証内容　a.ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定 ・・・ P.14
実証内容　b.Ｉ電波伝搬モデルの精緻化 ・・・ P.15
実証結果　a.ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定 ・・・ P.16
実証結果　b.Ｉ電波伝搬モデルの精緻化 ・・・ P.17
課題実証の概要 ・・・ P.19
背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標 ・・・ P.20
課題実証の環境 ・・・ P.21
実証内容 ・・・ P.22
まとめ ・・・ P.27

実証概要

背景・目的

■離島での内燃力発電所における電気保安業務の現状

生産年齢人口の減少に起因し、電気保安を担う人材の不足、発電設備等の高経年化が顕在化している。電力供給は社会活動の基盤となる重要なインフラであり、特に離島の電力供給を担う内燃力発電設備においては本土と異なり、代替となる主要電源が限定的である。

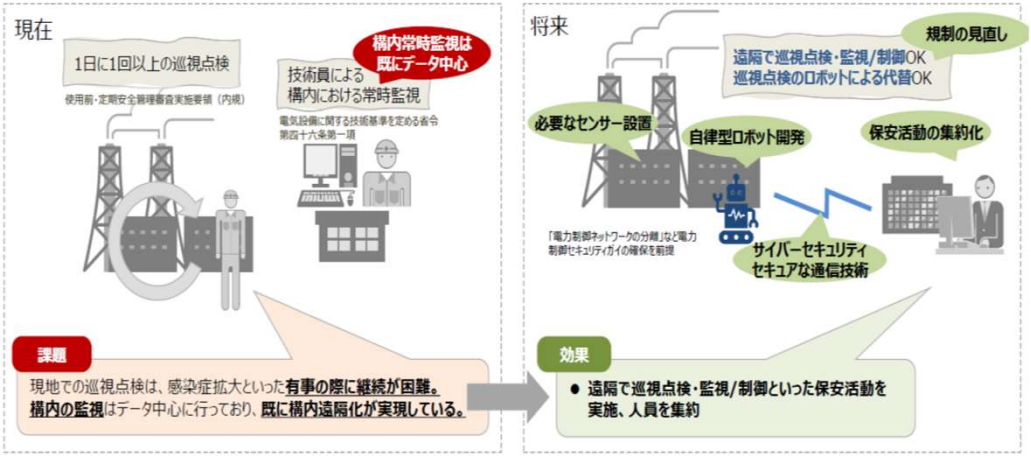
九州電力送配電管内 内燃力発電設備

	設備容量(kW)
九州	392,370
全国	764,298

設備容量ベースで
全国の内燃力発電所の
50%以上が九州にある

出典：九州電力送配電HP

離島発電所	✓ 島内再エネ導入量拡大により、需給調整業務が増加。より効率的な保守・運用が求められる ✓ 設備高経年化により高度な保守・監視手法が求められる
災害対応	✓ 台風、豪雨といった災害被害増。電力安定供給継続のため遠隔監視手法確立の重要性が増している
感染症対策	✓ 感染症拡大時、バックアップ保安要員の確保等により電力安定供給に努めている。保安業務の維持の安定・効率化、遠隔監視化への取組は必須の課題



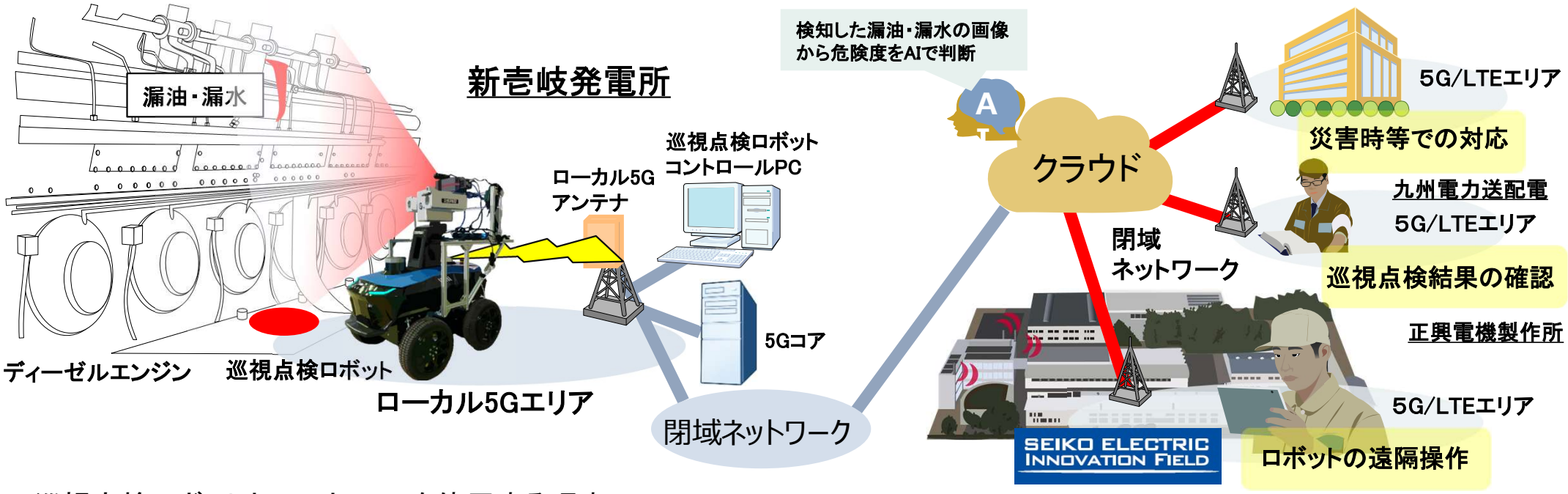
出典：経済産業省電気保安分野スマート保安APの概要

よって巡視点検業務の高度化、効率化、設備の遠隔監視手法の確立が重要な課題

実証概要（全体像）

【課題実証】
巡視点検ロボットが自動巡回し、特殊カメラとAIを利用して漏油・漏水の危険度判定を行えるか検証する。
合わせて、熱検知や計器類の映像確認などを閉域NWを介して遠隔から確認ができることを実証する。

【技術実証】
ローカル5Gの電波が遮蔽物のある電力設備内においてエリアの確保および伝送速度を実現できるか検証する。



＜巡視点検ロボットとローカル5Gを使用する理由＞

なぜ、固定カメラではダメなのか	・膨大な台数のカメラが必要になる ・状況に応じて見たい場所が異なる
なぜ、WiFiではダメなのか	・ロボットの運用においては安定した通信が必要 ・暗号危殆化により高いセキュリティを維持できない

実証環境の構築

実施環境

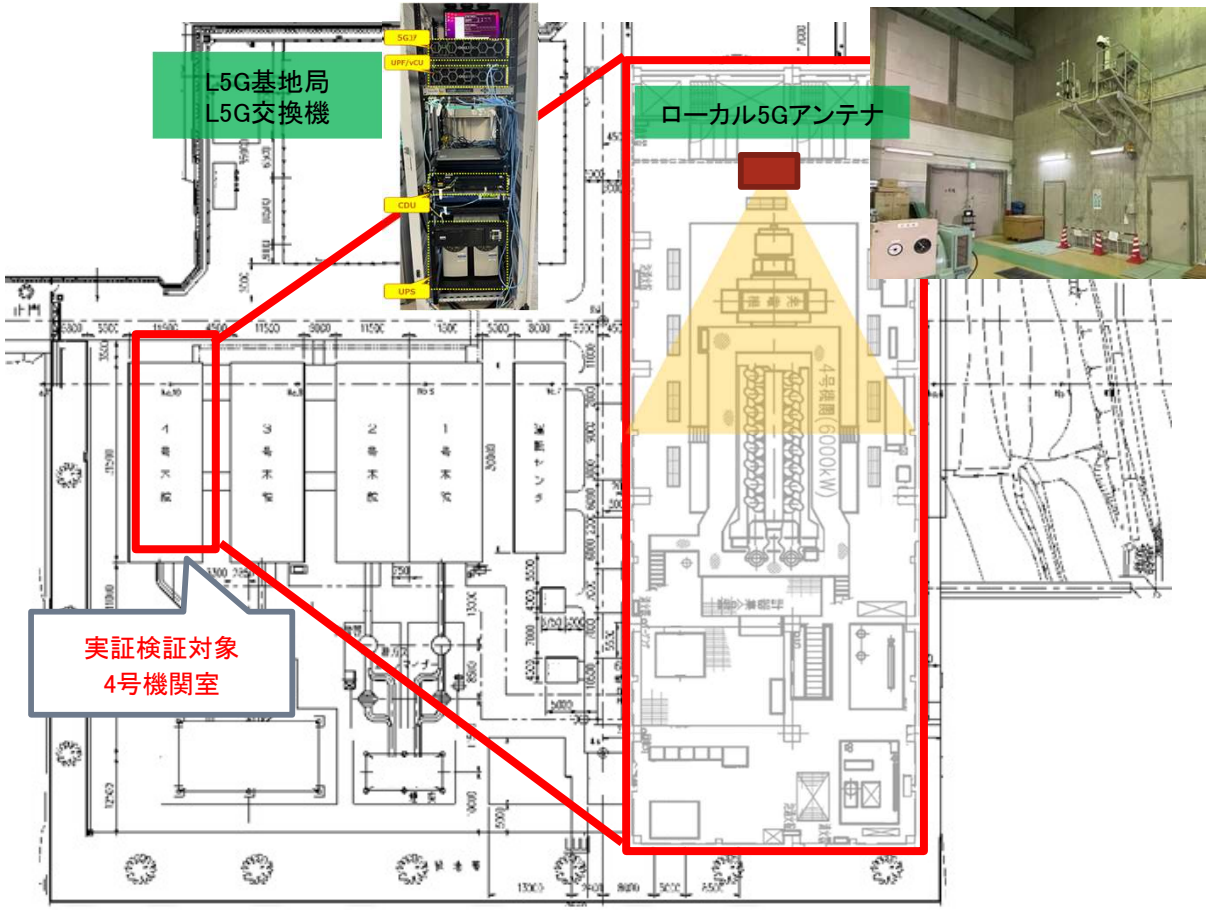
以下の要件から、壱岐島にある新壱岐発電所（長崎県壱岐市芦辺町）を選定

- 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を解決したい
- 不測の事態が発生した際、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
- 将来の「スマート保安」化を見据え、内燃力発電所の共通の課題を抱えている
- 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
- 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

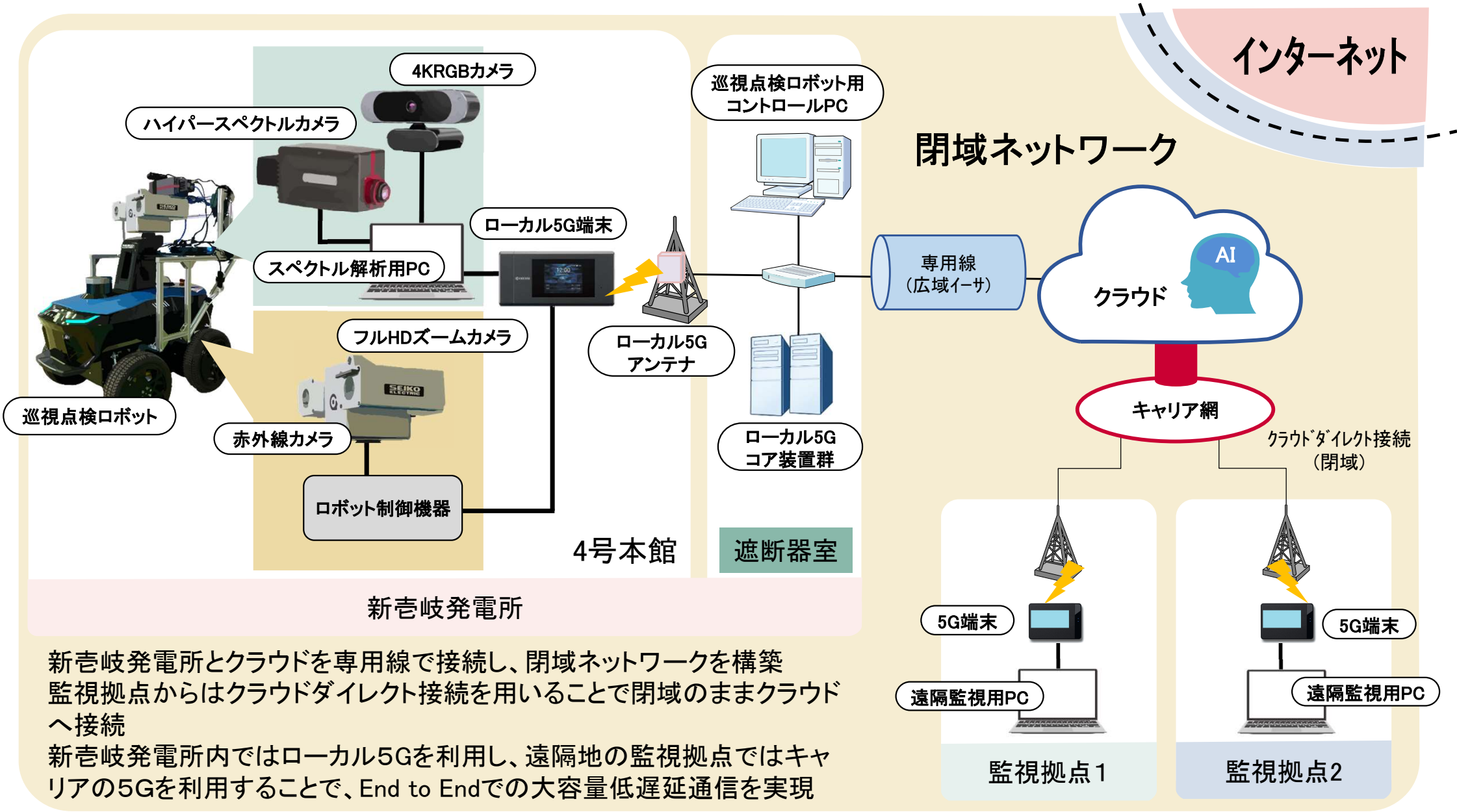
新壱岐発電所のロケーション

出典：国土地理院ウェブサイト

新壱岐発電所内のローカル5G設備設置場所



ネットワーク・システム構成

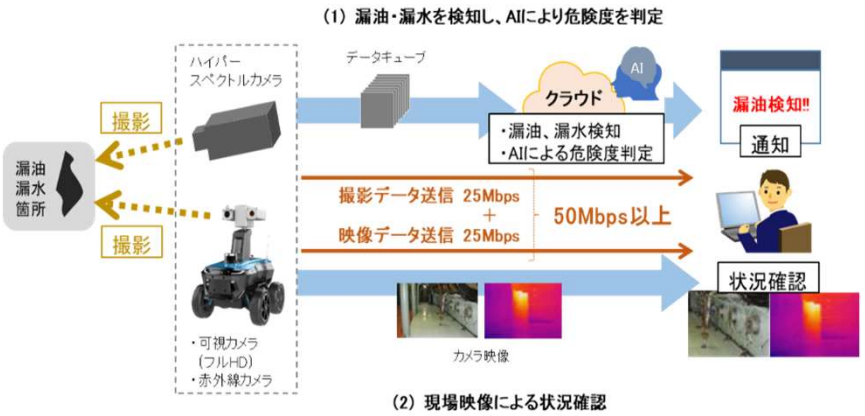


新壱岐発電所とクラウドを専用線で接続し、閉域ネットワークを構築
監視拠点からはクラウドダイレクト接続を用いることで閉域のままクラウドへ接続
新壱岐発電所内ではローカル5Gを利用し、遠隔地の監視拠点ではキャリアの5Gを利用することで、End to Endでの大容量低遅延通信を実現

システム機能・性能・要件

	要件	機能
ローカル5G設備	性能要件 上り：50Mbps以上をクリアできるスペックを有する装置であること	・同期方式を用いて上り100Mbps程度の速度を確保できる ・UPFを設置することでMEC環境及びクラウドとの接続が可能
巡視点検ロボット	・発電設備がある機関室内を安全に自動走行できる機器 ・設備の状態や計器の撮影・読み取りができるカメラを備えていること ・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	・3Dレーザーによる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）によるメータ読み取り機能を搭載 ・赤外線カメラによる閾値を設定した熱検知が可能
ハイパースペクトルカメラ	・発電所設備が片面高さ約2m×横幅約10mとなり、その範囲を1枚の画像として撮影でき、スペクトルデータの検出が可能であること ・取得したスペクトルデータを用い、AI連携による画像解析が可能であること	・ラインスキャン方式のカメラを使用することでパノラマ撮影が可能 ・ラインスキャン方式のカメラはスナップショット方式より高精細な撮影が可能

性能要件 上り:50Mbpsの算出根拠



ローカル5G設備

カテゴリ	スペック
設置場所	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
UL・DL周波数	4.8～4.9GHz
UL・DL帯域幅	100MHz
UL・DL中心周波数	4849.98MHz
UL・DL変調方式	64QAM
MIMO	2×2MIMO

巡視点検ロボット

カテゴリ	スペック
サイズ	627× 852 × 900
本体重量	70kg
最大速度	6.8km/h
駆動方式	四輪駆動
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光学30倍ズーム
赤外線カメラ	測温範囲-20 ～ 550℃
適用環境	全天候型（屋内・屋外）
保護等級	IP55

ハイパースペクトルカメラ

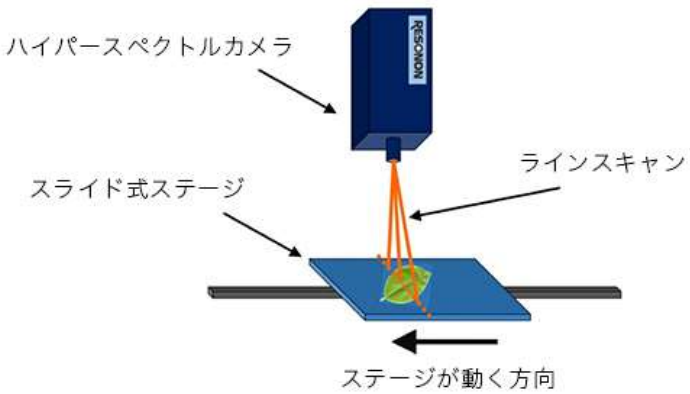
カテゴリ	スペック
サイズ	270×114×89
本体重量	3.21kg
測定波長範囲	900 ～ 1,700nm
波長分解能	9.7mm
波長チャンネル数	164
空間チャンネル数	320
フレームレート	最大520fps
ビット数	14
インターフェース	GigE
使用環境	5 ～ 40℃

参考:ハイパースペクトルカメラでの漏油・漏水検知実現方法

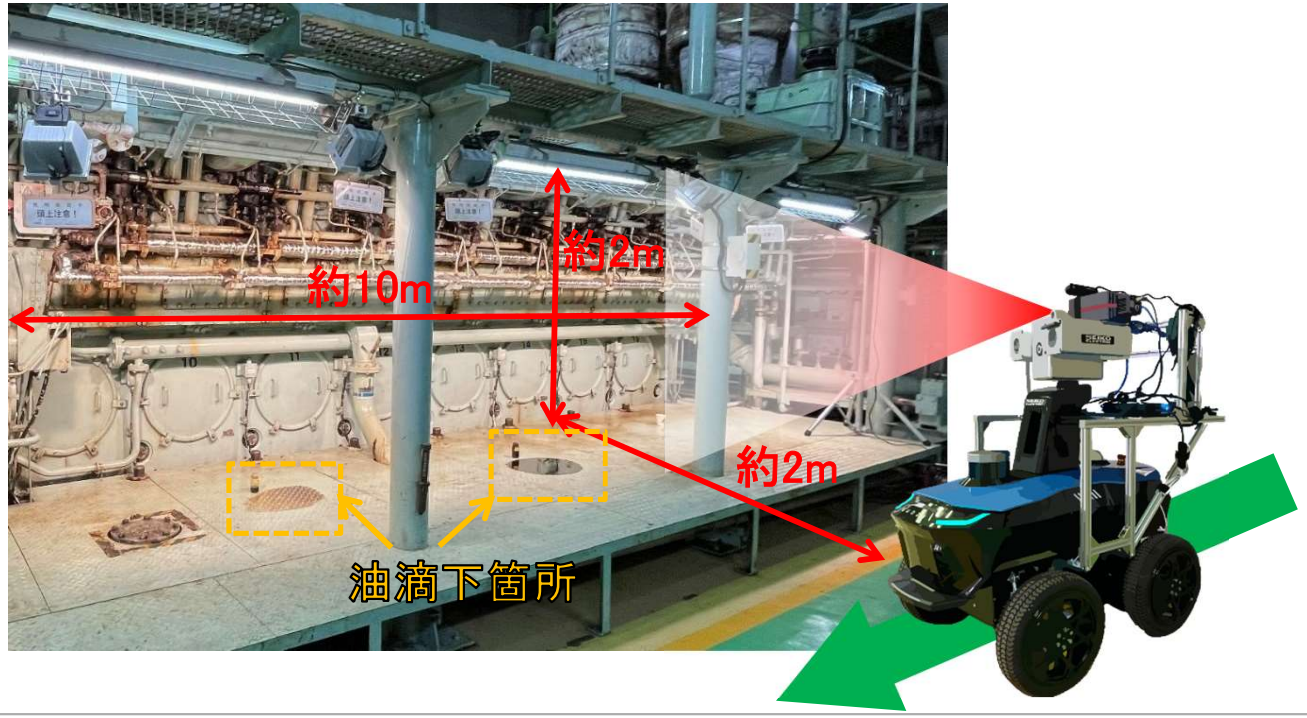
ハイパースペクトルカメラは光を波長ごとに分光して撮影するカメラであり、データキューブ(x, y方向の二次元の平面イメージが、分光された波長ごとに層を成しているキューブ状のデータ)と呼ばれる特殊なイメージを生成することが可能。100バンド以上の波長情報を取得(RGBカメラは3バンド、マルチスペクトルカメラは10バンド程度)することで、人間の目・RGBカメラでは評価困難な物性の違いを可視化して評価することができ、油種や、目視・RGBカメラでは判別が難しい水の検出が期待できる。

本実証では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Resonon社ラインスキャン形式カメラ「Pika NIR-320」を選定した。本実証ではディーゼルエンジンを走査させることができない為、巡視点検ロボットに搭載することで、等速走行しながらの撮影を可能とした。

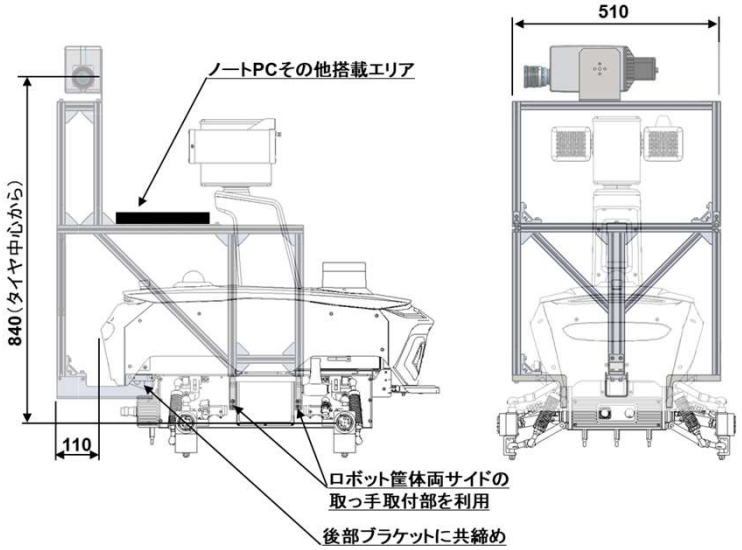
ラインスキャン形式　撮影の様子



出展:ケイエルブイ社資料より抜粋



ハイパースペクトルカメラの搭載方法



免許及び各種許認可、その他要件

■免許及び各種許認可

関係者	会社名	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	―

■その他要件

・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（1call）を実施（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End to Endでの動作確認を実施

実証環境の運用

■実証環境の運用

・発電所内工事・作業ルールに準じ、日々作業許可証による作業開始及び終了の徹底及びミーティングの実施

・作業内容や進捗・手順の確認、作業内容に対する危険予知及び対策を作業員全員に周知及び声出しにて注意喚起

・ローカル5Gは実験局免許での運用である為、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。

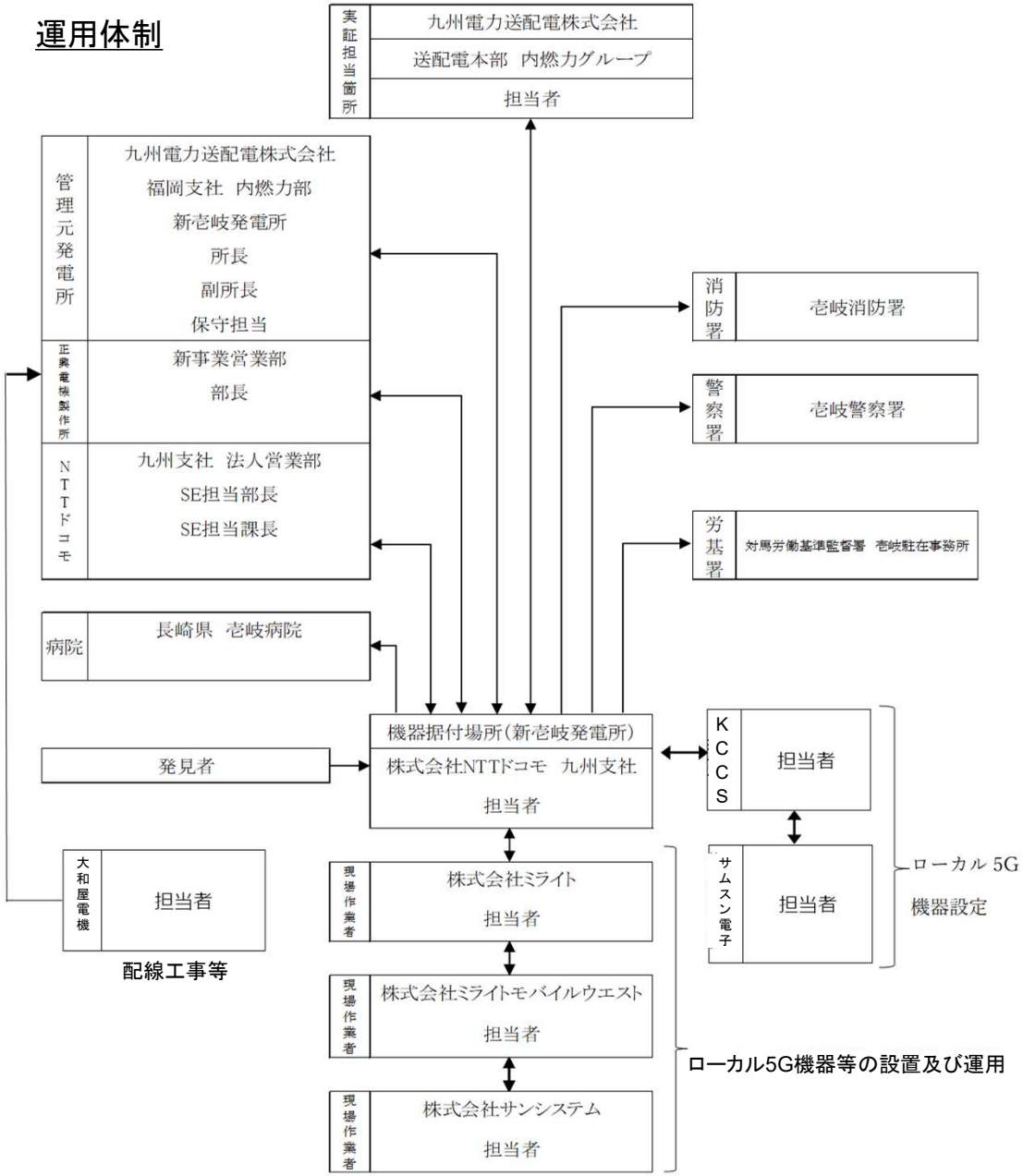
・ローカル5G装置を運用する専任者を配置し、実証実施期間中は現地常駐として、日単位で実証開始時に電波発射、実証終了時に停波を実施

・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

・巡視点検ロボットには障害物検知による自動停止する機能があるが、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の動作を確認

・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、発電所へ1日の作業終了を報告

運用体制



ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討
（技術実証）

技術実証の概要

■　課題解決システム利活用環境における技術的課題

発電所分野における本実証環境としては、発電所内を巡回するロボットが収集する高精細画像等を伝送するため、発電所内にアンテナを設置することとなる。そのため、発電所建屋、発電機、発電エンジン等の遮蔽または反射による電波伝搬特性への影響が課題となる。

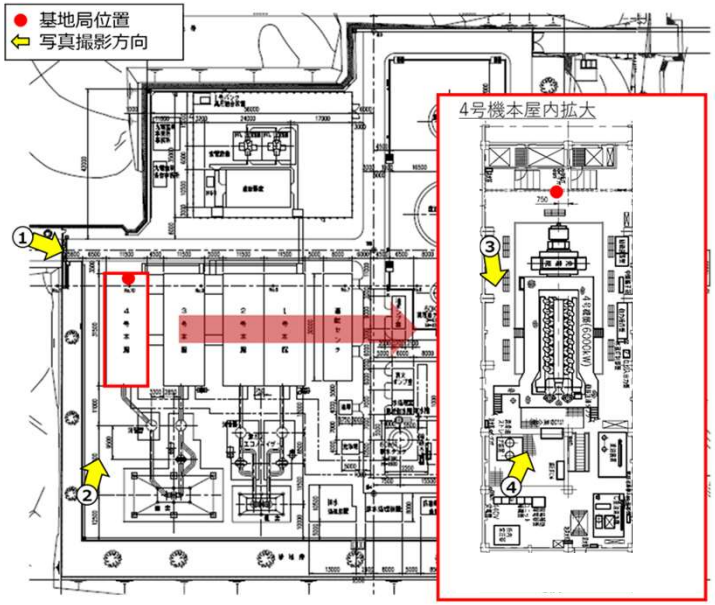
本実証環境は強固なRC造の外壁を対象としているため、遮蔽、反射環境における電波伝搬特性および屋内環境におけるエリア展開のあり方について検討する必要がある。

■　実証目標

a：適切な電波伝搬モデルの選定とともに、ローカル5G性能向上のための課題抽出と解決策を検討

b.Ⅰ：エリア算出法の適切性を評価するとともに、エリア算出式パラメータRの精緻化を検討

技術実証フィールド



実証内容　a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

■　計測指標

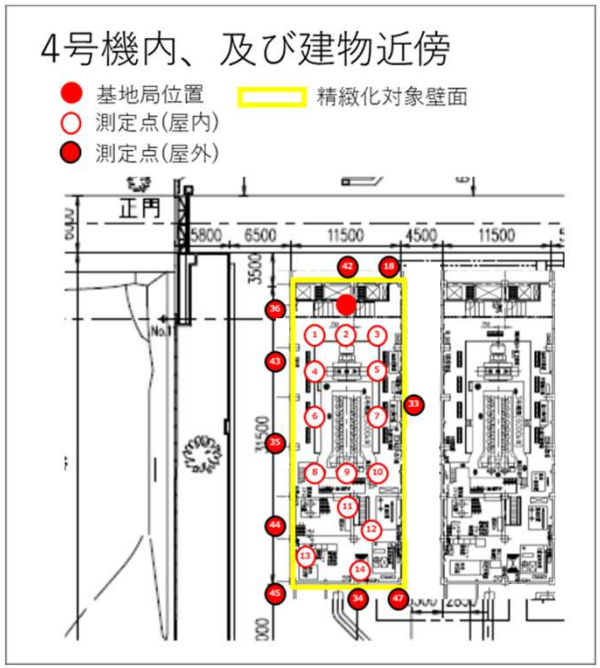
ローカル5Gの性能評価として、エリア形成の観点とユーザへのサービス提供品質の観点から評価を行うため、エリア算出法に基づくカバーエリア内の20地点以上において下記データを計測する。

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

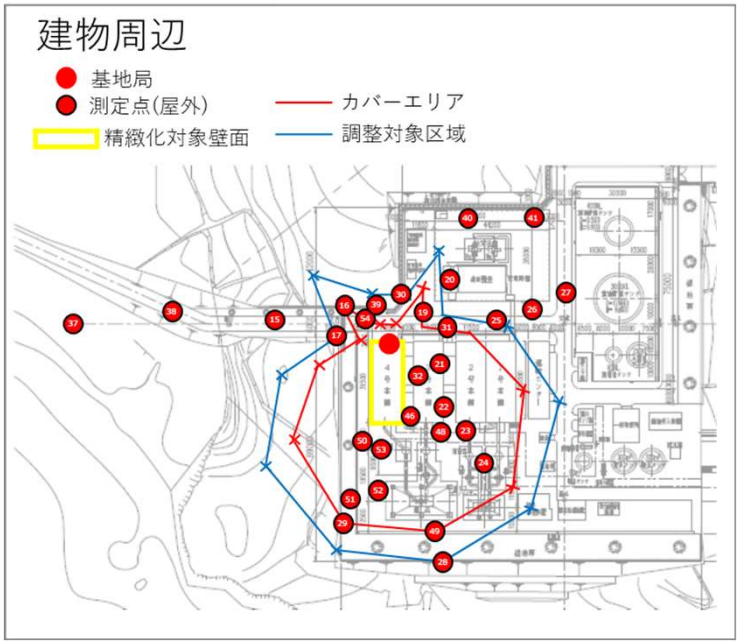
■　評価・検証方法

・エリア形成は、エリア算出法に基づくカバーエリア、調整対象区域と受信電力の測定結果で評価
・サービス提供品質は、課題実証と同じ目標値（UL伝送スループット50Mbps）の達成率を評価
・測定地点は、アンテナが設置される発電所建屋内と、その外壁20地点以上を選定した

測定地点



測定地点



実証内容　b.Ⅰ　電波伝搬モデルの精緻化

■　実証仮説

実証環境におけるパラメータR値を環境要因から推定し、エリア算出法に基づくエリア図を検討

・ホームの材質及び階上のフロア材質はコンクリートと想定される為、R値は31.4dBと推定※

※ITU-R P2109-1 Thermally-efficientモデルの50%値

■　計測指標

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

■　評価・検証方法

・仮説R値に基づくエリア図と、実測値から推定されるエリア図との比較結果を評価

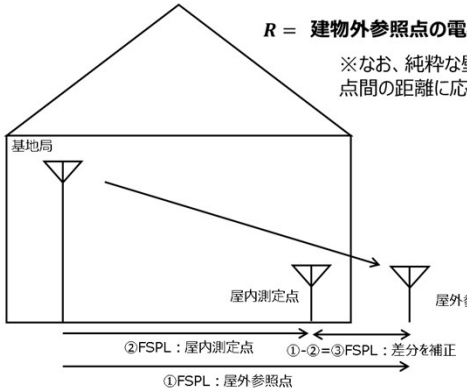
・対象壁面内外で実測した受信電力から、電界強度差分を建物侵入損として検証

・精緻化したR値を用いてエリア図を作成し、
　実測値エリア図との比較を行いその妥当性を評価

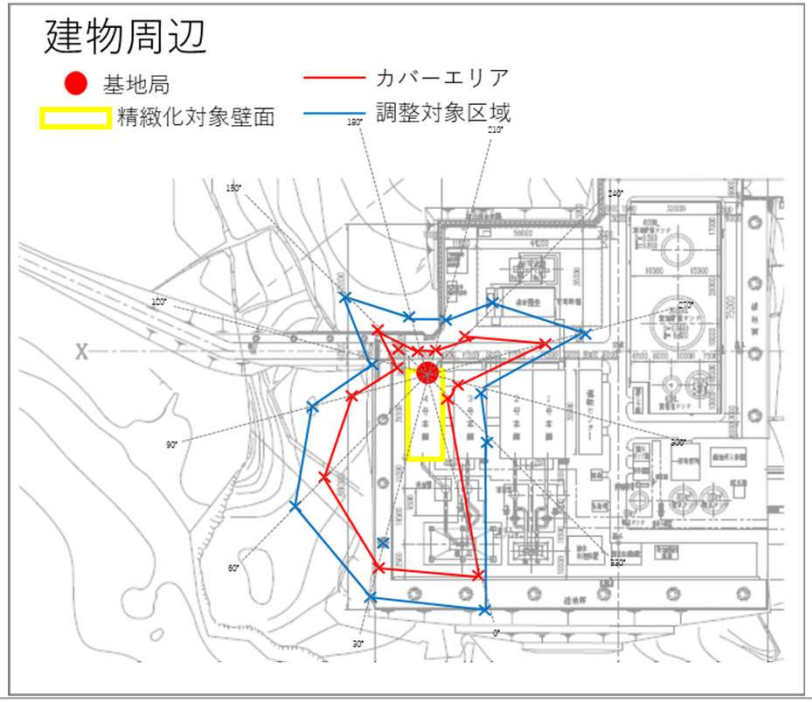
<u>実測値からのR値算出手法</u>

$R =$ **建物外参照点の電界強度　－　建物内部測定点の電界強度　（－　FSPL補正値）**

※なお、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。



※図はイメージしやすいよう2D距離でのFSPLを考慮しているが
実際は基地局アンテナ端と測定器アンテナ端の3D距離を考慮する。



実証結果　a. ローカル5Gの電波伝搬特性等の測定

■　分析結果

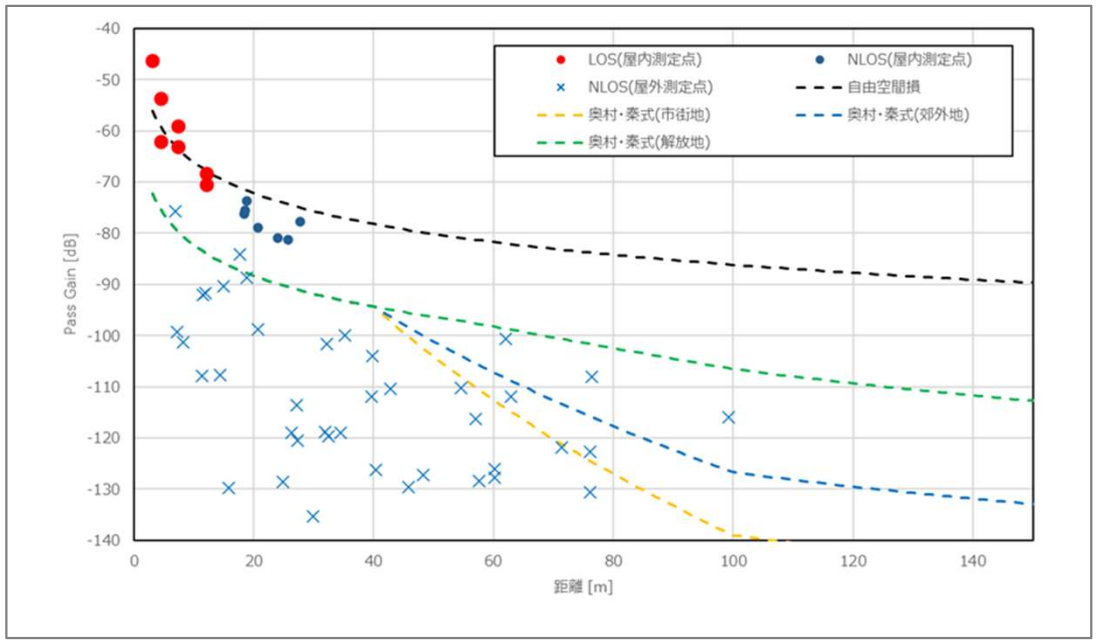
・実証環境における伝搬ロスから近似できる電波伝搬モデルは
　奥村・秦式（中小都市、市街地もしくは郊外地）である。
・ユーザへのサービス提供品質の観点では、カバーエリア内では良好な性能であり
　DL平均850Mbps程度 / UL平均100Mbps程度 / RTT平均30ms程度

■　考察結果

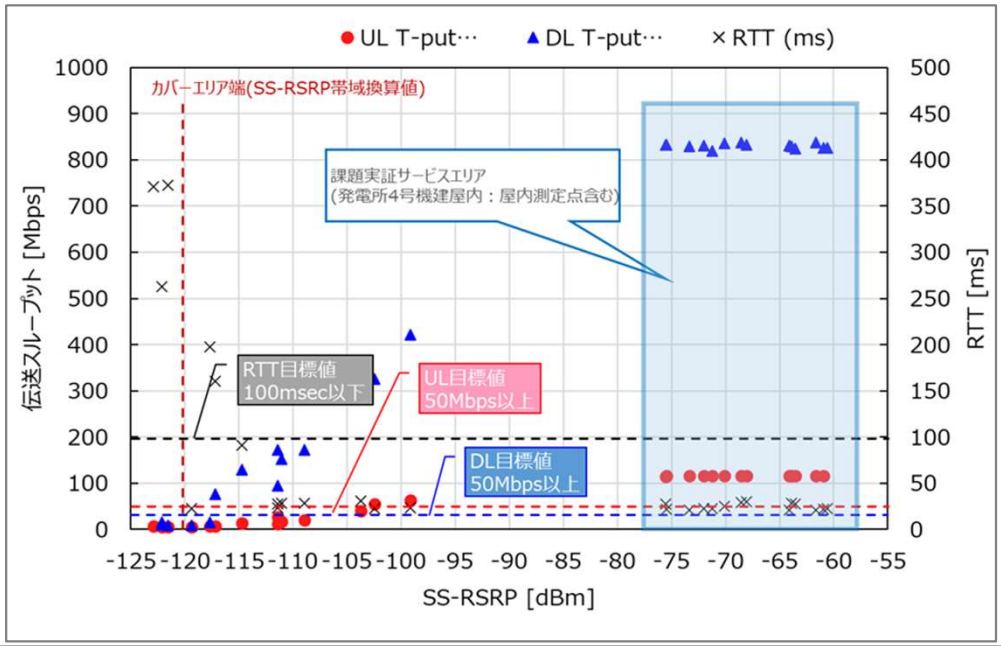
今回サービスエリア内において十分な受信電力値及び通信性能を得ることができ、UL伝送スループットで目標値として掲げている50Mbpsを達成することが出来た。

この結果から、発電所内環境においては本実証環境の様な発電設備の上からの吹き降ろしによる置局設計にて、発電所内を十分にカバーするエリア設計が行えることがわかる。

基地局からの伝搬ロスの距離特性



伝送スループットとSS－RSRPの関係



実証結果　b.Ⅰ　電波伝搬モデルの精緻化

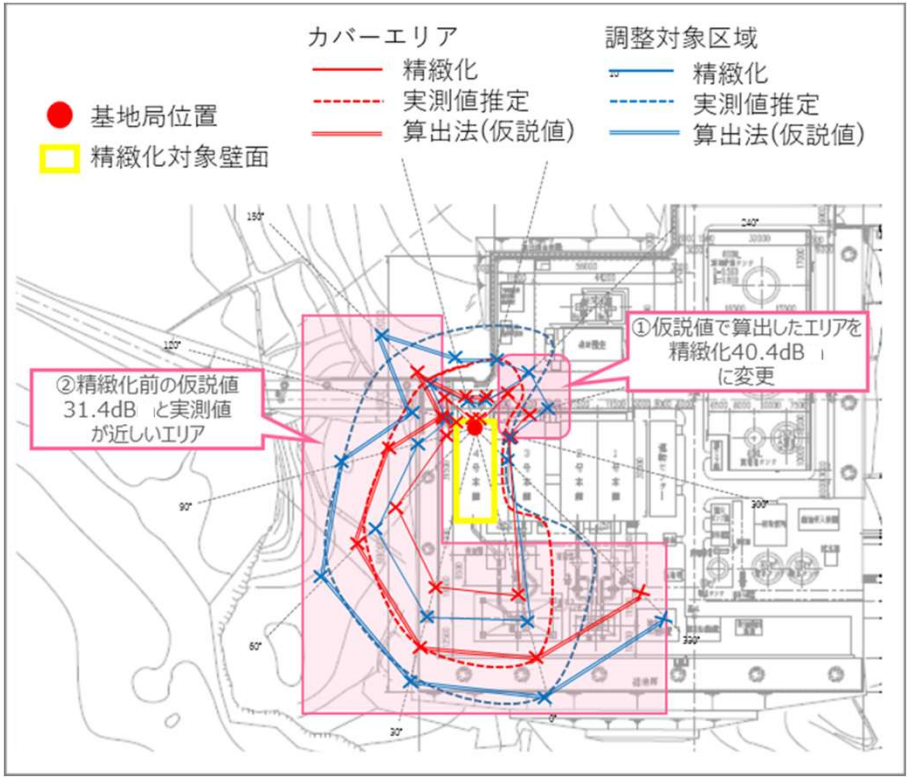
■　分析結果

・実測値から算出される精緻化値Rは40.4となる

■　考察結果

・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、発電所環境下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。

考察結果に基づくカバーエリア及び調整対象区域図



実証環境R値

周波数	建物	材質	厚さ	面積率	精緻化値R[dB]
4.7GHz	代表値				31. 4
	RC造で構成された開口部が少ない壁面	コンクリート	350 mm	99%	40.4
		金属開口部	200mm	1%	

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）

実証概要

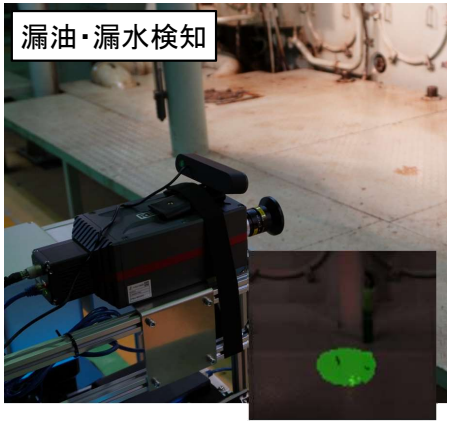
九電送配電（株）が運用を行う、新壱岐発電所4号機関室内にローカル5G基地局、巡視点検ロボットを配置し、従来発電所保安員が実施している巡視点検業務のロボットによる代替に関する検証を実施。ディーゼル機関設備の運転状態を巡視点検ロボット搭載のハイパースペクトルカメラにより撮影・分析し、異常兆候の早期発見、延いては電力の安定供給に資する課題解消を目的とした。

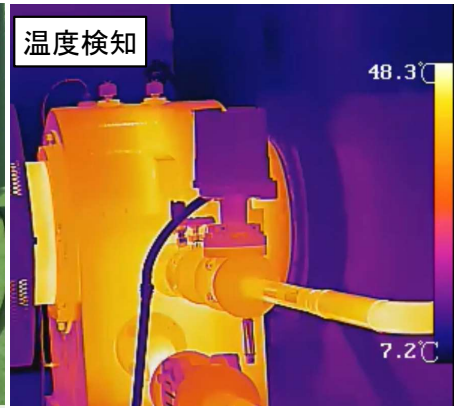
【検証１】事前にディーゼルエンジンの床面に4種類の液体（A重油、C重油、タービン油、水）を滴下しておき、その液体の検知及び種別の判定（漏油・漏水検知）

【検証２】ロボットに搭載された可視カメラにて各種計器を撮影し、計器が示す数値をデジタルデータとして取得及び整合性の確認（メータ点検）

【検証３】目視では困難な箇所の確認において、ズームカメラを使用することで設備のランプ等状態の確認、及び配管・ディーゼルエンジン等での温度上昇の確認（ランプ状態確認、温度検知）

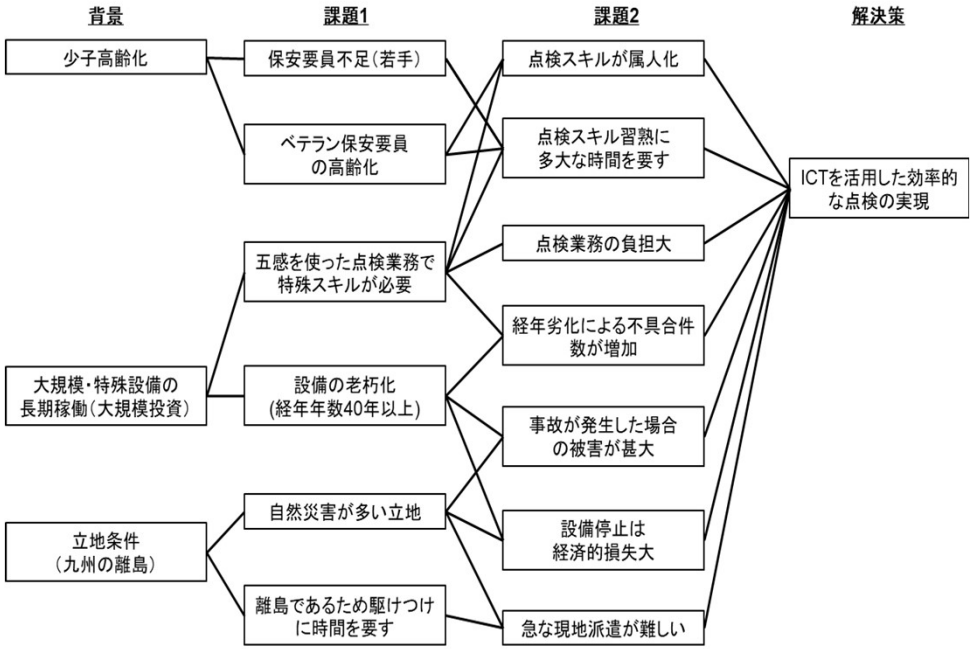
【検証４】緊急時等を想定し、巡視点検ロボットの遠隔操作・制御及び設備の遠隔監視





背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

課題解決ツリー(イシューツリー)



巡視点検項目の中から、ロボット監視機能及びAIを利用し代替可能範囲を選定

巡視点検項目

点検項目		点検内容
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、ﾋﾟﾝ・ﾎﾞﾙﾄの摩耗・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
	タコゼネ	異音、振動、過熱の有無
	軸受	油量、過熱の有無
	ＡＶＲ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
１Ｆ補機室	重油ﾕﾆｯﾄ(循環P、ｽﾄﾚｰﾅ他)	ﾎﾟﾝﾌﾟ異音・振動・過熱、漏油、ｽﾄﾚｰﾅ差圧異常の有無
	燃料油清浄機	ｷﾞｱ油量、Vﾍﾞﾙﾄ状態、ﾎﾟﾝﾌﾟ振動・過熱の有無
	燃料油精密フィルター	ﾎﾟﾝﾌﾟ異音・振動・過熱、漏油、ｽﾄﾚｰﾅ差圧の有無
	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
	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

出典:九電送配電資料

巡視点検項目の漏油・漏水の稼働削減効果検証とその品質検証において目標を設定

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		

漏油・漏水の検知実現および遠隔監視の実現により、巡視点検項目における20%の削減を目標とする

自動検知による品質検証方法

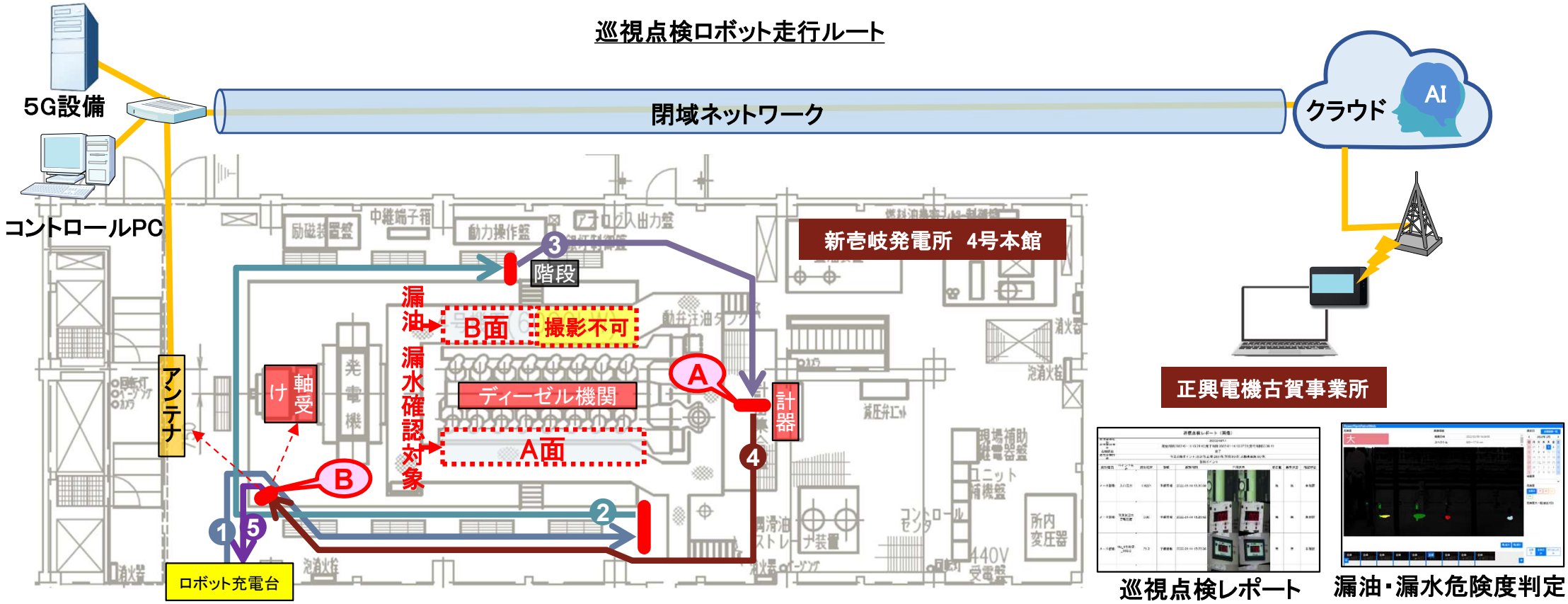
NO	評価対象	評価項目	評価方法
1	漏油	異常検知品質	漏油・漏水量や場所におけるバリエーションに対して、正答率／適合率／再現率を定量分析することにより自動検知の品質を評価。漏油範囲
2	漏水		

漏油・漏水のAIによる危険度判定の品質検証で50%以上の危険度適合率(大きさ関係なく)で検知できることを目標とする

課題実証の環境

巡視点検ロボットの可視カメラ・赤外線カメラで常時撮影をしながら、図中番号①～⑤のルートを走行

【検証1】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の等速度に落として走行
【検証2】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
【検証3】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
【検証4】正興電機製作所古賀事業所から映像、巡視点検レポート、危険度判定結果を確認。またロボットの遠隔操作を行う



実証内容

■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

1. 効果検証

（1）ハイパースペクトルカメラによる稼働削減効果

稼働削減目標　20%　⇒　稼働削減効果　28%

・測定した全ての箇所で漏油・漏水を検知可能と判断
作業員の稼働削減につながることを確認。

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（〇）	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%)

（2）メータ点検や赤外線カメラによる稼働削減

稼働削減目標　未設定　⇒　稼働削減効果　59%

・測定した全ての箇所でメータ点検や赤外線カメラによる温度上昇の確認が可能と判断。
・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。

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（〇）	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%)

巡視点検項目

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、ﾋﾟﾝ・ﾎﾞﾙﾄの摩耗・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	×	×	×	－	－	－	○
	タコゼネ	異音、振動、過熱の有無	×	－	×	○	－	－	－
	軸受	油量、過熱の有無	－	－	－	○	－	－	○
	ＡＶＲ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	－	－	－	－	－	－	×
1F補機室	重油ﾕﾆｯﾄ（循環P、ｽﾄﾚｰﾅ他）	ﾎﾟﾝﾌﾟ異音・振動・過熱、漏油、ｽﾄﾚｰﾅ差圧異常の有無	×	－	×	○	○	－	○
	燃料油清浄機	ｷﾞｱ油量、Vﾍﾞﾙﾄ状態、ﾎﾟﾝﾌﾟ振動・過熱の有無	－	－	×	○	－	－	×
	燃料油精密フィルター	ﾎﾟﾝﾌﾟ異音・振動・過熱、漏油、ｽﾄﾚｰﾅ差圧の有無	－	－	×	○	○	－	○
	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	×	×	－	－	－	－	○
	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重油セットリングタンク	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	－	－	－	－	×	－	×
	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	－	－	－	－	×	×	×
B1補機室	潤滑油清浄機	ｷﾞｱ油量、Vﾍﾞﾙﾄ状態、ﾎﾟﾝﾌﾟ振動・過熱の有無	－	－	－	－	－	－	×
	潤滑油精密フィルター	ﾎﾟﾝﾌﾟ異音・振動・過熱、漏油、ｽﾄﾚｰﾅ差圧の有無	×	－	×	×	×	－	×
	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、ﾍﾞﾙﾄ状態、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	－	－	－	－	×	×	－

実証内容

■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

2. 機能検証

（1）漏油・漏水のAIによる危険度判定の精度検証

危険度適合率（大きさ関係なく）77%

漏油・漏水において本実証により問題なく検知できることを確認。
更に学習データ増やすことで適合率は上がると想定。

また、ローカル5Gを使用したことで、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平均値 上り 42.42Mbps,最大 上り 58.17Mbpsとなり、安定した通信を実現。閉域ネットワークを介した遠隔操作においても、平均1.6秒の遅延ではあったが、ロボットの走行速度が2km/hであることから遠隔操作には支障はないことを確認

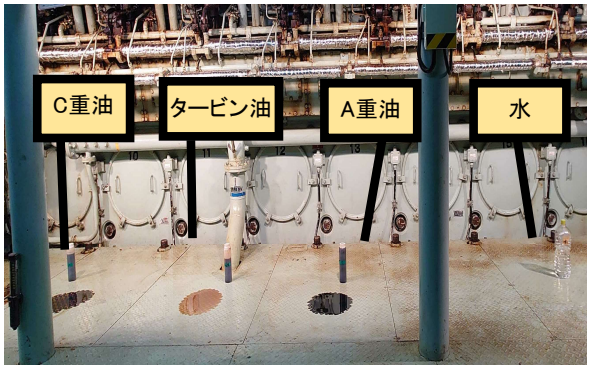
（専用線が東京経由であること、RDPを使用したことから、想定以上に遅延時間が大きくなった）

3. 運用検証

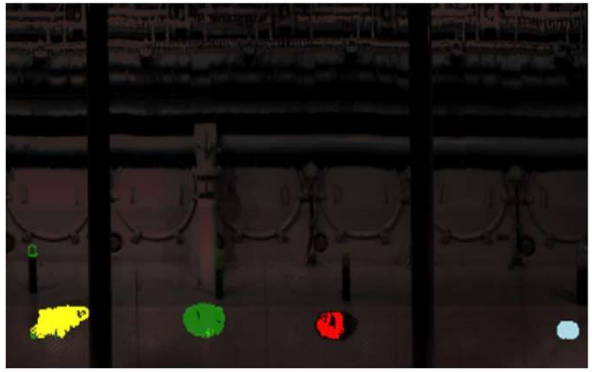
（1）業務運用マニュアル（業務・処理フロー、運用ノウハウ）への
組み込みを検証及びアンケートによる評価

運用中の発電所規則類を基に、ソリューション導入により改定が必要と想定される文書類（運転管理マニュアル、日常整備業務マニュアル、地震・津波対応マニュアル）の改定文書素案を作成。アンケートでも一定の評価を得た。

ハイパースペクトルカメラによる漏油・漏水検知結果

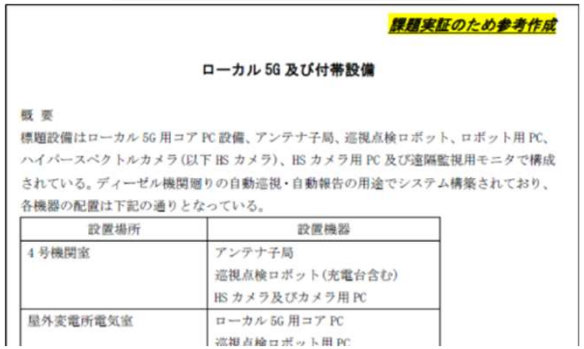


4KRGBカメラにて撮影



ハイパースペクトルカメラにて撮影後、カラーマッピングを実施

マニュアル改定イメージ



課題実証のため参考作成

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

実証内容

■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　ローカル5G活用モデルの構築・検証

九州の離島発電所への展開

ローカル5Gコア装置を新壱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、離島でのメーカ等による保守体制が整っていないことから管理、運営する体制の確保が重要。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。また同時にローカル5Gのコスト低減が進むことで実装を加速させていきたい。

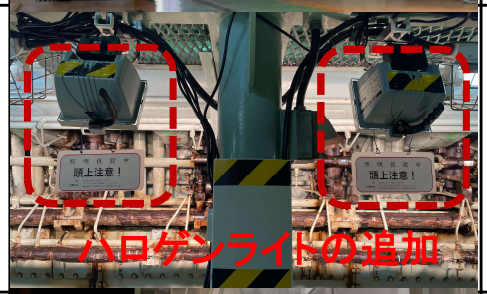
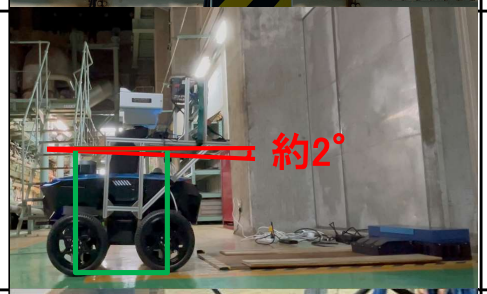
全国の電力会社への水平展開

広大な変電所等、既に無人化が進んでいる場所があり、本パッケージを適用できる箇所は多く想定されることから、全国の電力会社に向けて、提案活動を同時に進めていく。

整理項目	内容
想定される具体的な主体 及びターゲット	株式会社正興電機製作所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することを想定している。 ターゲットは全国の電力会社（全国発電所1386ヶ所）
対象となるシステム	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（本ローカル5G活用モデル）
詳細の 前提条件	今回の実証地域も含め、発電所、変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の早期のエリア化が望めないため、本ローカル5G活用モデルの適用領域となっている。
標準モデル	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、本実証で用いたシステムを展開することを想定している。 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検討する。
全国展開に向けた体制・事業 スキームのモデル	免許人及びアウトソーシングサービス提供者：株式会社正興電機製作所 NW・システムの構築、提供：株式会社NTTドコモ
導入効果	・点検業務の稼働削減（スマート保安の実現） ・漏油・漏水の検知とAIによる危険度判定による点検精度の向上（保安員確保のための課題解決）
課題と対応策	本ソリューションを導入した際の業務影響を実証を通じて検証し、効率的な運用を検討する。

実証内容

■ 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	主な内容		解決策
建物の構造に関わる課題	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。しかし、階段等の設構造物により、被写体との距離を一定に保つことができない箇所が存在。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。		実装においては設構造物を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。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。
光量に関わる課題	本実証場所においては窓が設置されておらず、外光は入らない構造。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。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。本課題は内燃力発電所に特化したのもではなく火力発電所においても同様の環境であることが多く、発電所共通の課題である。		追加でハロゲンライトを設置。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為、設置位置には注意が必要。将来的にはLED化し、ロボットへの搭載も検討が必要。
ロボットへの荷重に関わる課題	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んだ。これにより充電台での充電不可事象や巡視点検ロボットの動作影響が発生。		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。ロボットの動作においては、防振ゴム上での4WS（四輪操舵）による方向転換が不安定となった為、方向転換場所を調整することで対処。
ロボット以外の充電に関わる課題	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。		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。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。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。

まとめ

まとめ

＜本実証を終えての考察＞

■技術実証

実測値から算出される**精緻化値Rは40.4dB**であり、一般的な壁面より高い値となった。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。

■課題実証

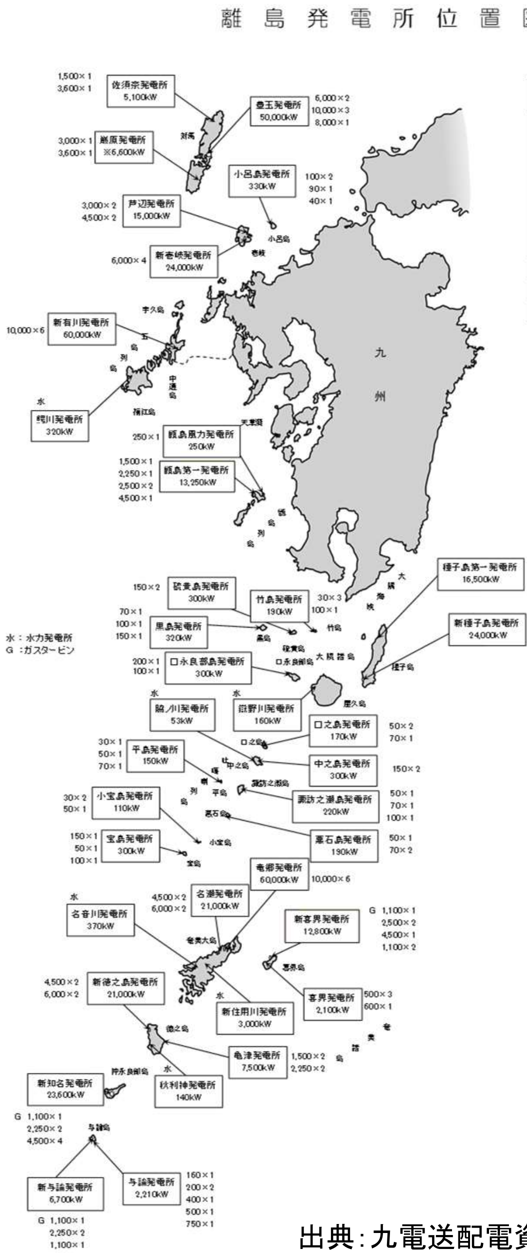
本実証においてこれまでRGBカメラによる検知が難しかった漏油・漏水を巡視点検ロボットとハイパースペクトルを組み合わせることで**漏油・漏水を検知できる仕組みを実現**した。あわせて、メータ点検や温度検知を巡視点検ロボットで自動化できることにより、巡視点検にかかる稼働を大きく削減できることが確認できた。

発電所での巡視点検ロボットの活用において、大容量映像の伝送や遠隔操作の観点に加え、高いセキュリティや通信の安定度が求められることから**ローカル5Gの活用が重要**と判断できる。

また、閉域ネットワークを使用してクラウドと接続することで離島における課題を遠隔地から解決できる為、**ローカル5Gとキャリア5Gとの組み合わせが有効**と考える。

九州離島内においては内燃力発電所数は39箇所、ユニット総合計132台(2021年4月現在)となり、新壱岐発電所同様、経年劣化等の課題への対処が必要となっている。

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。また同時にローカル5Gのコスト低減が進むことで実装を加速させていきたい。



設備名			発電所数	設備容量(kW)	台数
内燃力設備	常用	内燃力	30ヶ所	370.940	115
		ｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ	(3ヶ所)	3.300	3
		計	30ヶ所	374.240	118
	移動用	内燃力	2ヶ所	3.530	8
		ｶﾞｽﾀｰﾋﾞﾝ		14.600	6
		計	2ヶ所	18.130	14
	計		32ヶ所	392.370	132
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
			厳原※1	6.600	2
			計	61.700	10
	壱岐	壱岐	芦辺	15.000	4
			新壱岐	24.000	4
			計	39.000	8
	[illegible]	[illegible]	小呂島	330	4
	[illegible]	[illegible]	新有川	60.000	6
	計			161.030	28
鹿児島	川内	甑島	甑島第一	13.250	5
			計	13.250	5
	鹿児島	三島	竹島	190	4
			硫黄島	300	2
			黒島	320	3
			計	810	9
		十島	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
	熊毛	口永良部	口永良部島	300	2
		種子島	種子島第一	16.500	5
			新種子島	24.000	4
			計	40.500	9
	奄美	喜界島	喜界	2.100	4
			新喜界	12.800	6
			計	14.900	10
		奄美大島	竜郷	60.000	6
			名瀬	21.000	4
			計	81.000	10
		徳之島	新徳之島	21.000	4
			亀津	7.500	4
			計	28.500	8
		沖永良部	新知名	23.600	7
			計	23.600	7
		与論島	与論	2.210	6
			新与論	6.700	4
			計	8.910	10
	計			213.210	90
全支社計				374.240	118

出典：九電送配電資料