

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

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

---

成果報告書概要版

令和5年3月

九州電力株式会社

---

## 実証概要

---

<b>実施体制</b> <small>(下線：代表機関)</small>	九州電力(株)、日本電気(株)、ニシム電子工業(株)、西日本プラント工業(株)、(株)正興電機製作所	<b>実施地域</b>	熊本県苓北町 (九州電力(株)苓北発電所)
<b>実証概要</b>	発電所においては、設備の高経年化や技術者の高齢化を背景とした人材不足に直面。加えて、火力発電所が位置する地域においては非常災害時、陸上での交通網遮断による孤立化リスクという課題も存在。 ▶ 発電所内の港湾施設付近にローカル5G環境を構築し、AI画像認証による車両の入退管理、自動走行ロボットによる車両誘導、ドローンによる巡視点検、高精細カメラによる不審船の監視の実証を実施。 ▶ 保安力の維持・向上と生産性の向上を両立させるスマート保安及び、迅速かつ確かな災害対策を実現。		
<b>主な成果</b>	▶ 車両の入退管理はAIによる <b>認識率100%</b> を達成、自動走行ロボット及びドローンの <b>設定経路逸脱率0%</b> を達成、高精細カメラの画質も目標値を達成。 ▶ ローカル5G環境下におけるソリューションの有効性が実証され、火力発電所の保安業務の効率化及び非常災害時の迅速な対応に寄与できることを確認。		
<b>技術実証</b>	▶ 広大で直線的な敷地内に金属構造物が多く存在する発電所エリアにおいて、金属構造物による遮蔽や反射の影響に考慮した電波伝搬モデルの精緻化や、不感地帯の解消を目的とした中継器によるエリア構築を実施。 ▶ 周波数：4.8-4.9GHz帯（100MHz） 構成：SA方式 利用環境：屋外		
<b>主な成果</b>	▶ 本実証環境のような発電所エリアにおいて、 <b>基地局の周囲が防波堤や金網等で囲まれている環境では前方400m程度が開けているような環境であっても</b> 、パラメータS値は開放地(32.5dB)と郊外地(12.3dB)の <b>中間値(22.5dB)</b> を定義することで <b>実際の伝搬環境に近い結果</b> を得ることができることを確認。 ▶ 中継器の使用用途としてアンテナの指向方向から外れる不感地帯の解消には中継器の導入は効果的であることを確認。		
<b>今後の展開</b>	今回の苓北発電所港湾における各ソリューションの磨き上げを行うため、 <b>令和5年度に引き続き実証を継続し、確実な実装を進めていく</b> 。（一部ソリューションは令和5年度に実装）また、更にその他の発電所へ横展開を計画し、九州電力の他発電所への展開を検討していく。		

## ①AI画像認証による車両の入退管理

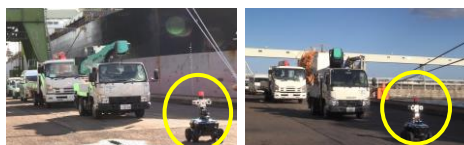
- ✓ AIカメラによる車両ナンバープレートの自動読取
- ✓ 事前登録した入場申請(予定)車両のナンバー情報との照合判定
- ✓ 入退場時間の記録



車番認識判定結果

②自動走行ロボットによる  
車両誘導（災害時のみ）

- ✓ 自動走行ルートを事前設定
- ✓ ロボットが障害物やヒト等を検知した場合は自動緊急停止



ロボット遠隔操作・映像

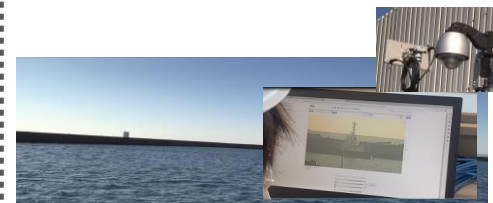
## ③ドローンによる巡視点検

- ✓ 自動飛行ルートを事前設定
- ✓ 発電所構内の設備（燃料油タンク、変圧器、メータなど）の映像を伝送

ドローン  
空撮映像ドローン  
遠隔操作

## ④高精細カメラによる不審船の監視

- ✓ 港湾部の撮影映像をリアルタイム伝送



4Kカメラ撮影映像

## 発電所内監視室

- ✓ AIカメラによる車番認識判定結果の確認
- ✓ 自動走行ロボット緊急時の手動遠隔操作、映像の目視確認
- ✓ 緊急時のドローン手動遠隔操作、空撮映像の目視確認
- ✓ 4Kカメラ撮影映像の目視確認



ローカル5G

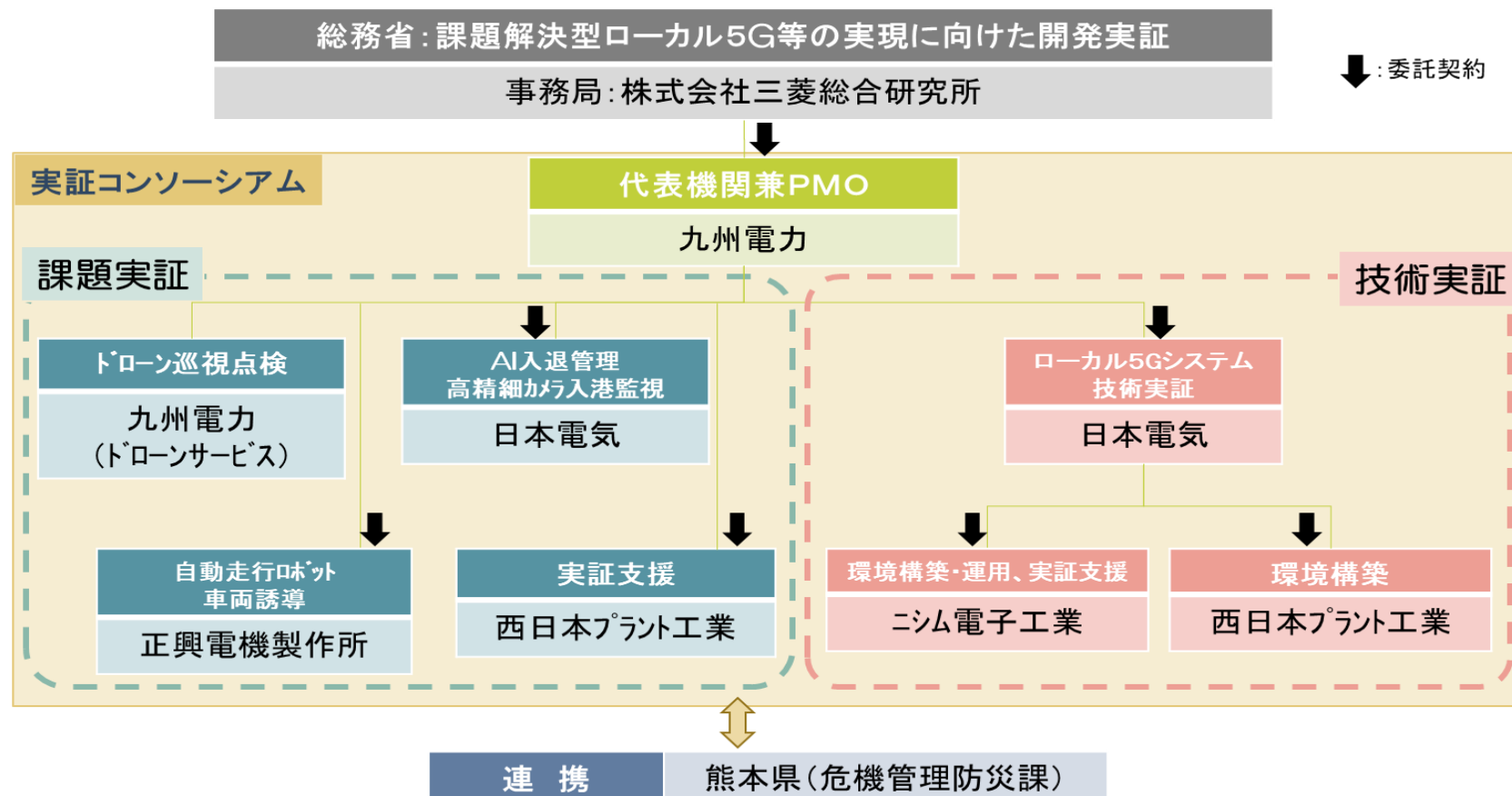
Wi-Fi

インターネット

## 地方公共団体

- ✓ ドローン空撮映像の目視確認
- ✓ 4Kカメラ撮影映像の目視確認

# 実施体制



コンソーシアム	役割
九州電力株式会社	全体統括、課題実証（ドローンによる巡視・点検）、導入効果の評価や実装・横展開の可能性評価、報告書の取り纏め等
日本電気株式会社	技術実証、課題実証の支援（AIの画像認証による入退管理、高精細カメラによる監視）
ニシム電子工業株式会社	実証環境構築、技術実証の支援
西日本プラント工業株式会社	実証環境構築、課題実証の支援
株式会社正興電機製作所	課題実証（自動走行ロボットによる車両誘導）

---

## 実証環境

---

# 対象周波数帯

本実証では、実証環境として、周波数4.7GHz帯(Sub6、SA方式)の実験試験局を設置

## 【実験試験局(基地局相当)】

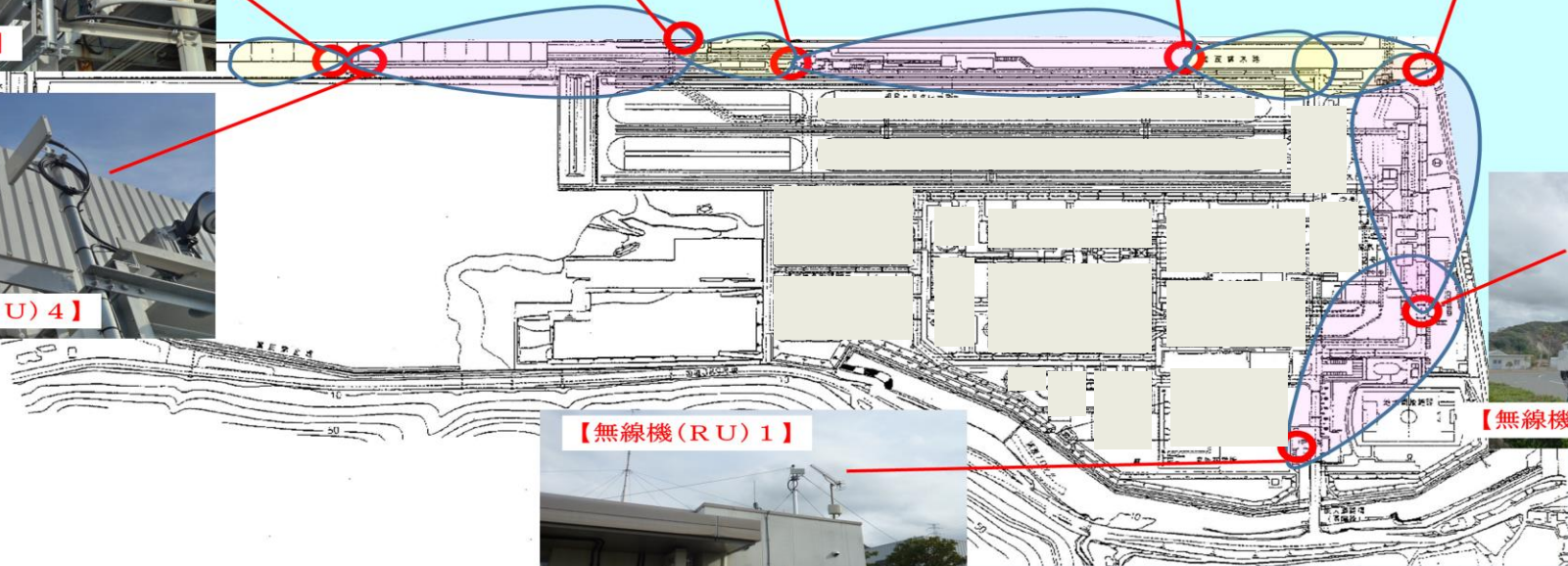
識別信号	装置メーカー	局数	周波数
きゅうしゅうでんりょくれいほくむせんたいいちじっけん	日本電気株式会社	1局	4.8～4.9GHz
きゅうしゅうでんりょくれいほくむせんたいにじっけん	日本電気株式会社	1局	4.8～4.9GHz
きゅうしゅうでんりょくれいほくむせんたいさんじっけん	日本電気株式会社	1局	4.8～4.9GHz
きゅうしゅうでんりょくれいほくむせんたいよんじっけん	日本電気株式会社	1局	4.8～4.9GHz

## 【実験試験局(陸上移動中継装置相当)】

識別信号	装置メーカー	局数	周波数
きゅうしゅうでんりょくれいほくれぴーただいいちじっけん	電気興業株式会社	1局	4.8～4.9GHz
きゅうしゅうでんりょくれいほくれぴーただいにじっけん	電気興業株式会社	1局	4.8～4.9GHz
きゅうしゅうでんりょくれいほくれぴーただいさんじっけん	電気興業株式会社	1局	4.8～4.9GHz
きゅうしゅうでんりょくれいほくれぴーただいよんじっけん	電気興業株式会社	1局	4.8～4.9GHz

# 実施環境

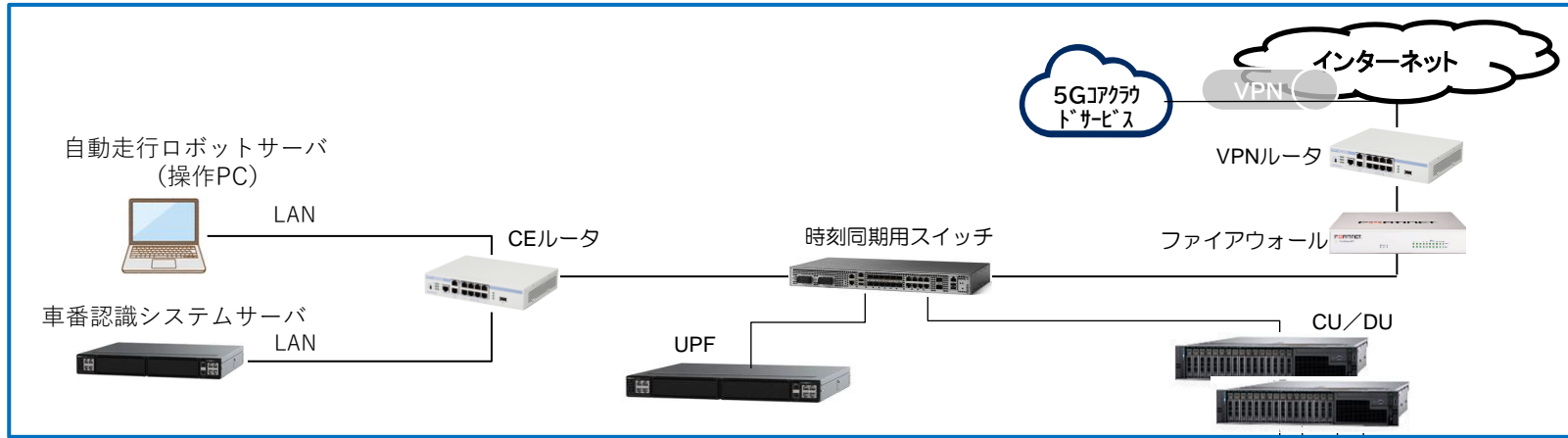
・苓北発電所内の実証エリアに無線機(RU)4台と中継器4台でローカル5Gエリアを構築



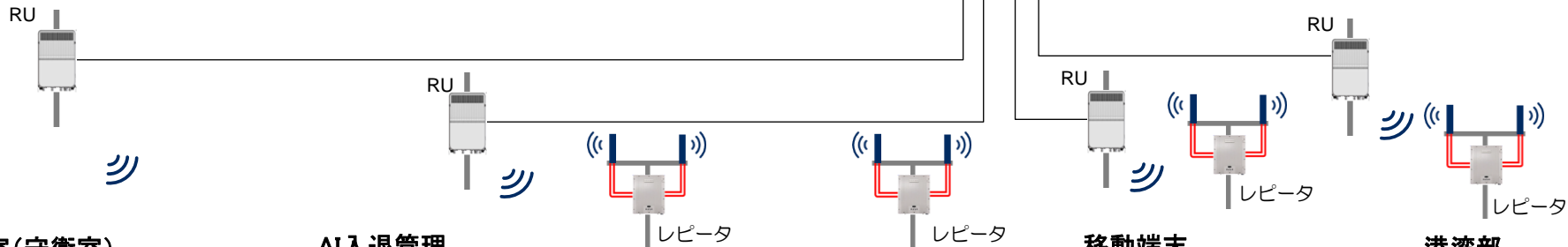
苓北発電所

# ネットワーク・システム構成

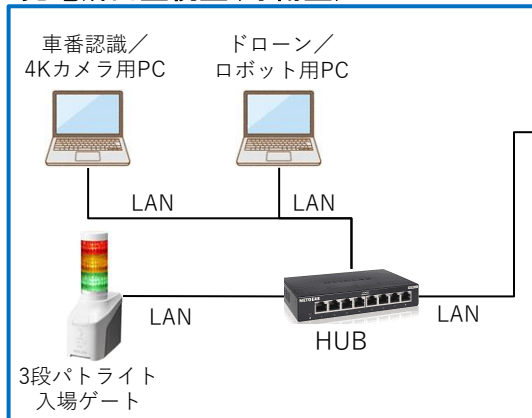
## 発電所内通信機械室



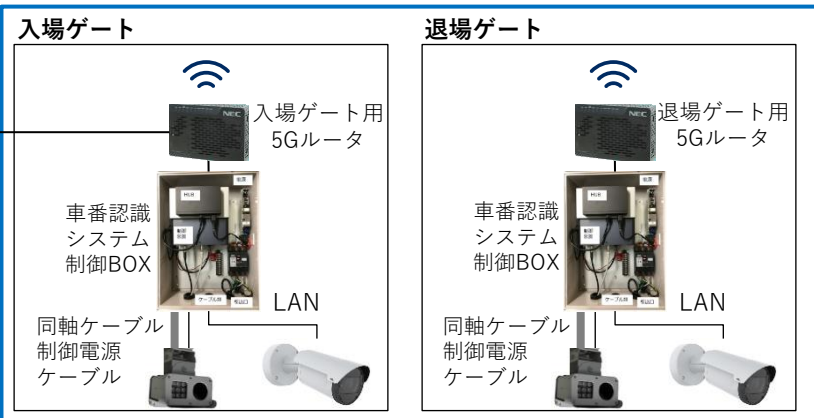
## 熊本県



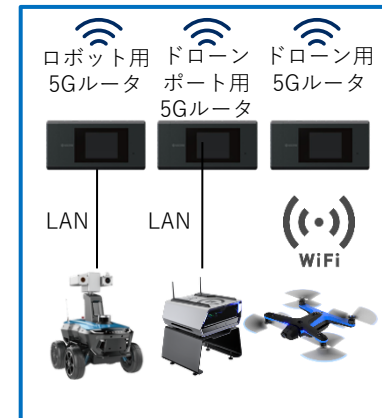
## 発電所内監視室(守衛室)



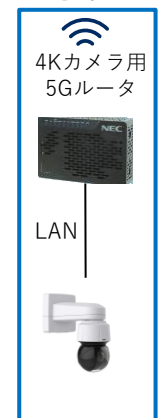
## AI入退管理



## 移動端末



## 港湾部





# システム機能・性能・要件

・ローカル5Gシステムの主な技術的諸元は、以下の通り

## <ローカル5Gシステム(基地局)の諸元>

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

## <ローカル5Gシステム(中機器)の諸元>

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

---

## 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)

---

# 技術実証テーマ I \_電波伝搬モデルの精緻化 (1/2)

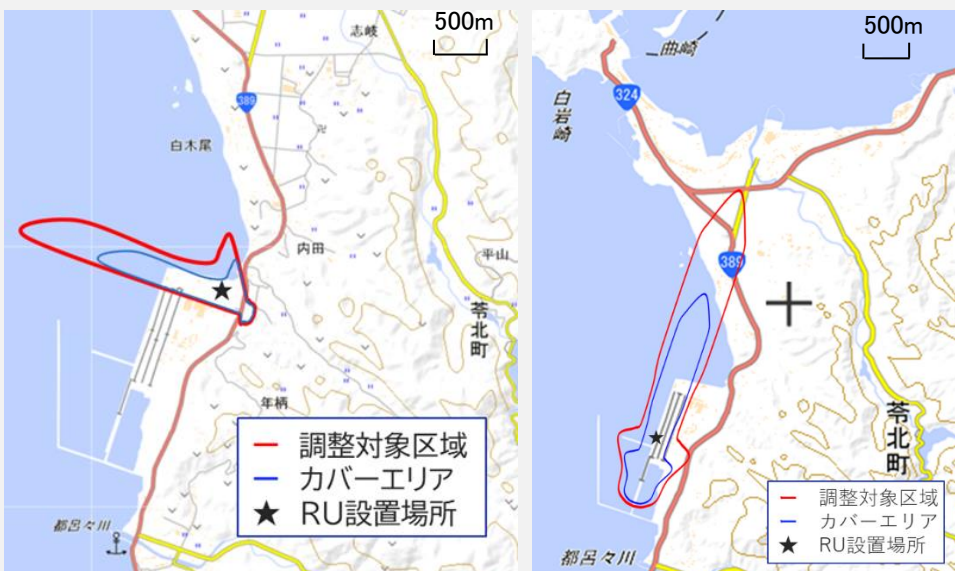
課題解決システム  
 活用環境にお  
 ける技術的課題

発電所内でローカル5Gを使用する場合、広大な敷地をカバーするため大送信電力の基地局が必要であるが、大送信電力の基地局を使用すると現在のエリア算出法では調整対象区域が広範囲に及ぶため、パラメータSを全方位で一律に定義すると、方角ごとにエリア算出法で求めたカバーエリア／調整対象区域端と、実際のエリア端に乖離が生じてしまう。  
 これによりローカル5Gの普及に支障をきたす恐れがあることが課題である。

上記課題の解決  
 のための目標

現在のエリア算出法のカバーエリアおよび調整対象区域の算出にあたって、開放地の条件を適用すると発電所設備のある方向の開放地についてはカバーエリアおよび調整対象区域の範囲が過大となることが想定されるため、適切なパラメータSの値を導出する。

仮説のエリア図

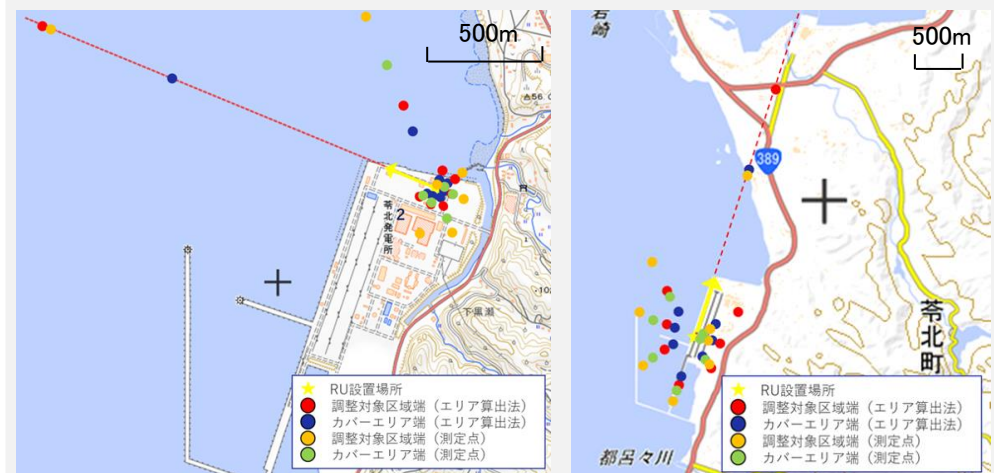


対象基地局A ※基地局の地上高4m  
 【出典：国土地理院 地理院地図】

対象基地局B ※基地局の地上高13m  
 【出典：国土地理院 地理院地図】

対象基地局Aはアンテナの正面方向から45度方向では基地局から300～400mの距離が開けた環境であるが、90度～315度方向では、周囲に樹木や建造物が散在する環境に設置されている。このため0度方向と45度方向を開放地と分類し、その他の方向(90度～315度)を郊外地と分類した。  
 対象基地局Bはアンテナの周囲全ての方向で300～400mの距離が開けた環境である。このため全方向を開放地と分類した。

仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域と実際に閾値が確認できた地点



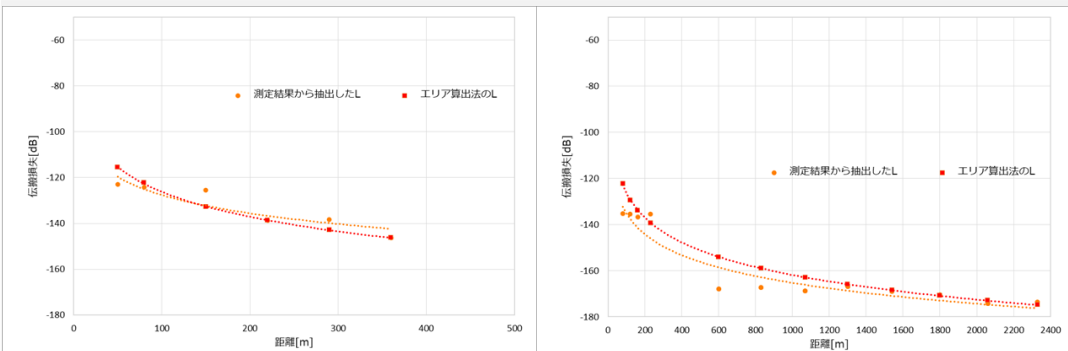
対象基地局A  
 【出典：国土地理院 地理院地図】

対象基地局B  
 【出典：国土地理院 地理院地図】

対象基地局Aはアンテナの正面方向のカバーエリア端については机上計算値よりも距離が短くなっている。これは0度方向の伝搬経路上に防波堤(6m程度)が存在するため、防波堤に遮蔽されることで伝搬距離が短くなったと推察する。  
 対象基地局Bはアンテナの正面方向のカバーエリア端および調整対象区域端については机上計算値よりも距離が短くなっている。これは0度方向の伝搬経路上で地上と海上の境となる箇所に消波ブロックが散在しているため遮蔽されていることと、1940m付近において海上から地上へ変わる箇所に大きな標高差(十数m程度)があるため電波が遮蔽されていることがエリア算出法から算出したエリア端までの距離よりも実際のエリア端までの距離が短くなった理由と推察する。

# 技術実証テーマ I \_電波伝搬モデルの精緻化 (2/2)

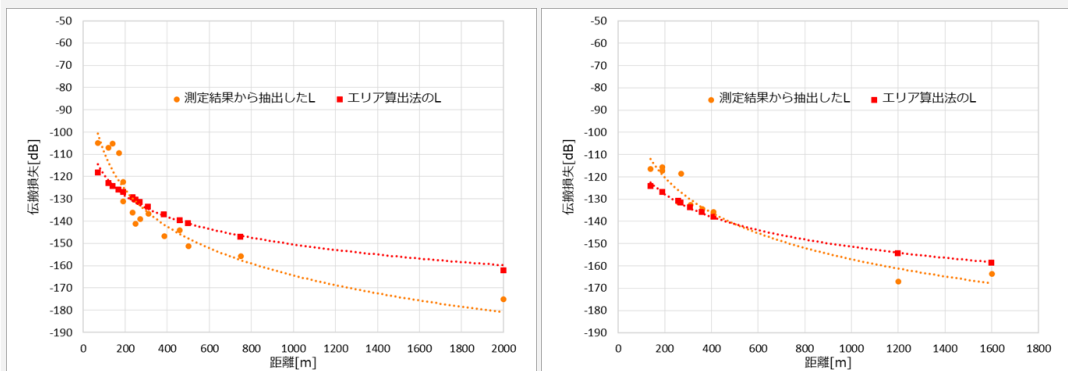
仮説値と測定結果の比較(伝搬損失の距離変動)



地上測定点

対象基地局A

海上測定点



地上測定点

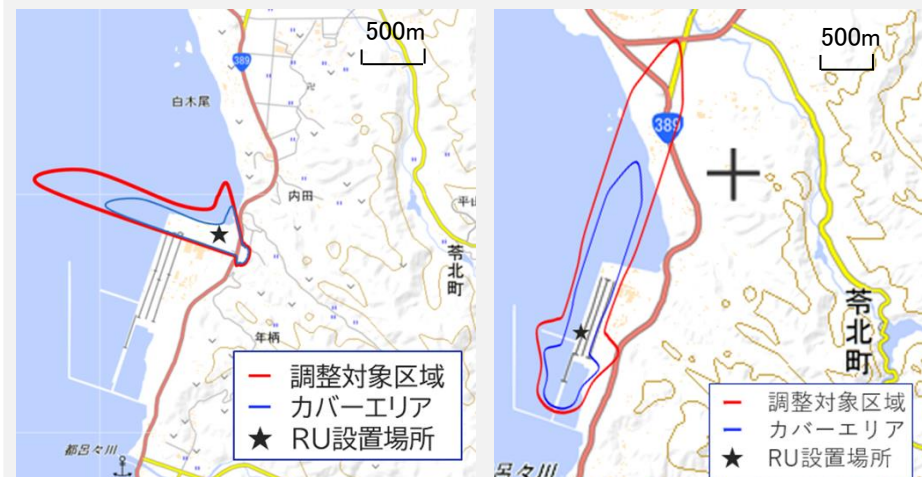
対象基地局B

海上測定点

対象基地局Aについては、仮説値(パラメータS値=32.5)と測定結果が概ね一致する結果となった。海上測定点において損失量が大きな箇所については基地局からの伝搬経路上に高さ10m程度の防波堤が存在するため、電波が遮蔽され一時的に伝搬損失が大きくなっていると考えられる。

対象基地局Bについては、仮説値(パラメータS値=32.5)と比較し、距離が200m以内の測定地点については伝搬損失が小さくなり、距離300m以上の測定地点については伝搬損失が大きくなる測定結果となった。

精緻化後のカバーエリアおよび調整対象区域図



対象基地局A【出典:国土地理院 地理院地図】 対象基地局B【出典:国土地理院 地理院地図】

対象基地局AにおけるパラメータSの精緻化結果として以下の通り報告する。  
 ・本実証を行った苅北発電所において特殊な環境下において対象基地局Aのような周囲100m程度に金属構造物が存在している環境であっても前方300~400m程度が開けているような環境であれば「開放地(パラメータS値=32.5)」と分類することで実際の伝搬環境に近い結果を得ることができると言える。

対象基地局BにおけるパラメータSの精緻化結果として以下の通り報告する。  
 ・本実証を行った苅北発電所のような特殊な環境下において対象基地局Bのような周囲が防波堤(高さ10m程度)や金網(高さ20m程度)等で囲まれている環境においては前方300~400m程度が開けているような環境であってもパラメータS値は開放地(パラメータS値=32.5)と郊外地(パラメータS値=12.3)の中間値(パラメータS値=22.5)を定義することで実際の伝搬環境に近い結果を得ることができると言える。

課題としては本実証結果からパラメータS値の提言を行うには測定データの観点から十分ではないと考えるため、類似した環境において少なくともさらに2~3例の検証を行い、本実証結果と同様の傾向が得られるかを確認する必要があると考える。

# 技術実証テーマⅡ\_エリア構築の柔軟化 (1/3)

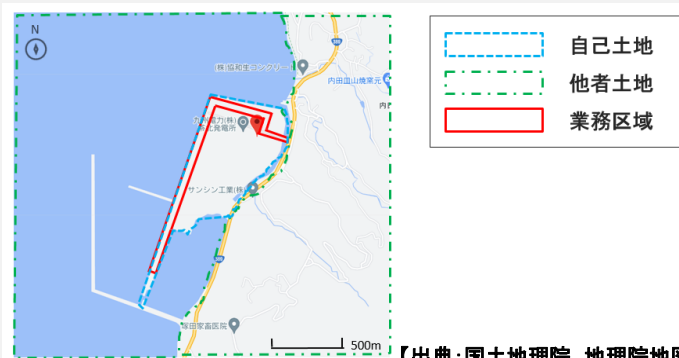
柔軟化の対象：■不感地対策 ■他者土地への電波漏洩軽減

解決方策 ■反射板 ■中継器 ■DAS ■LCX ■その他

**エリア構築の課題 技術的課題** 本ユースケースでは高解像度のカメラ映像伝送を行うため、高いスループットが必要であり、高電界なローカル5Gエリアを形成する必要がある。また、本実証環境のような複雑な区域をエリア構築する際には局所的な不感地帯が生じてしまう可能性がある。

**上記課題の 解決方策** 課題解決前：複数基地局のみでのエリア構築  
課題解決後：基地局のみでエリア構築した際に生じる局所的な不感地帯の解消に向け中継器を導入し、エリアを拡大

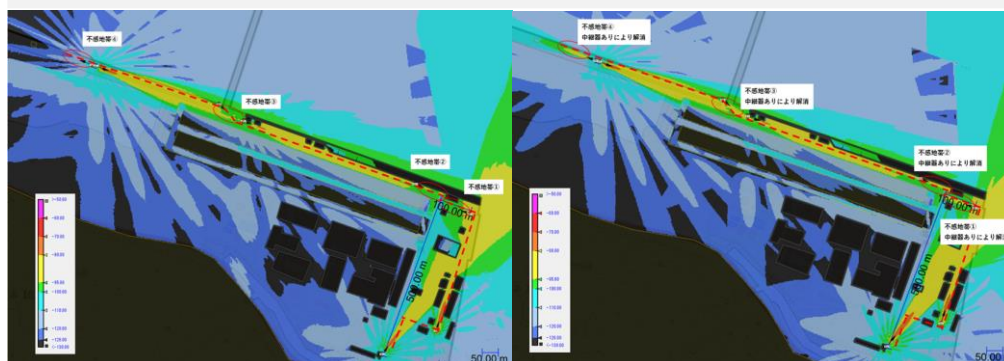
## 業務区域、カバーエリア、調整対象区域、自己土地、他者土地



〔業務区域図、自己土地図、他者土地図〕

## エリア構築のシミュレーション

方法：〔使用ツール名称：iBwave社のiBwave Design〕



〔課題解決前シミュレーション結果〕  
〔主要なパラメータ〕

パラメータ	値
Pt[dBm] 送信電力	基地局:33.6 中継器:10
Gt[dBi] 送信アンテナ利得	20(最大)
Lt[dBi] 基地局の総電損失	基地局:1.27/0.95/1.27 中継器:2.54
Gr[dBi] 受信アンテナ利得	0
f0[MHz] 使用周波数	中心周波数:4850MHz 周波数範囲:4800~4900MHz
Ht[m] 基地局の地上高	基地局:4m/13m/4.5m
Hm[m] 移動局の地上高	中継器:6m/6m/4.5m 1.5

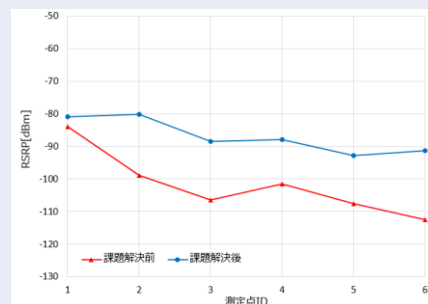
評価：〔実用性、優れる点、留意点等〕  
基地局のみのシミュレーション結果でユースケースに必要なSS-RSRP-95dBm以上のエリアが構築できず、-95dBm未満の不感地帯となることを確認した。また、各不感地帯近傍に中継器を設置することで不感地帯が解消できる見込みであることを確認することができた。

# 技術実証テーマⅡ\_エリア構築の柔軟化 (2/3)

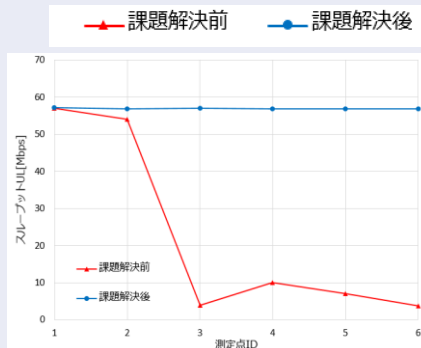
柔軟化の対象： ■不感地対策 ■他者土地への電波漏洩軽減

解決策 ■反射板 ■中継器 ■DAS ■LCX ■その他

## ①中継器1

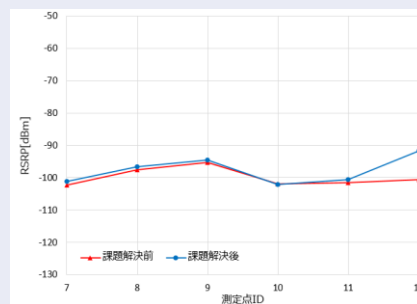


受信電力の距離変動

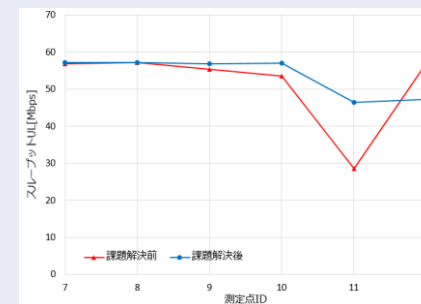


スループット(UL)の距離変動

## ②中継器2

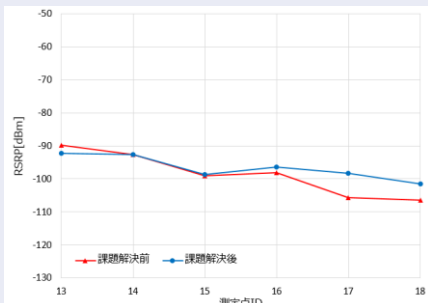


受信電力の距離変動

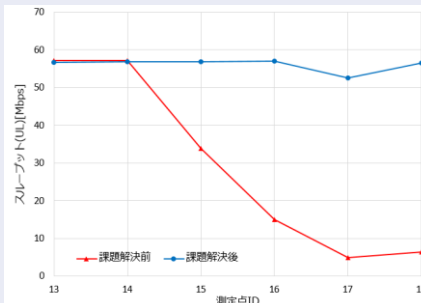


スループット(UL)の距離変動

## ③中継器3

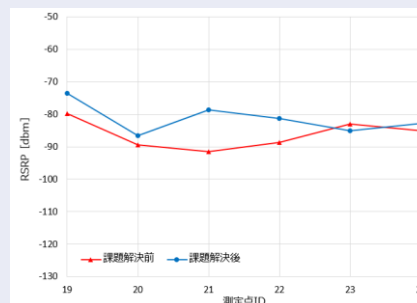


受信電力の距離変動

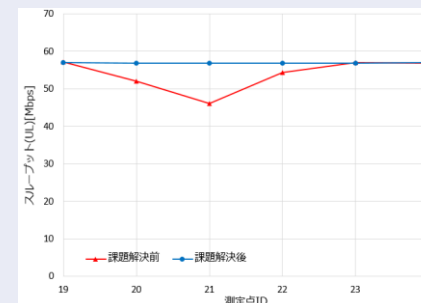


スループット(UL)の距離変動

## ④中継器4



受信電力の距離変動



スループット(UL)の距離変動

中継器設置箇所の4カ所において、課題解決前(基地局のみ)、課題解決後(中継器導入)でそれぞれ受信電力、SINR、スループット(UL/DL)、遅延時間の測定等を実施した。

※スループット(DL)、遅延時間、SINRについては顕著な差が見られないため、受信電力の距離変動、スループット(UL)の距離変動のみ抜粋。

中継器1では受信電力、スループット(UL)ともに大きく改善される結果となった。

中継器2では受信電力については最も離れた地点での改善が見られ、スループット(UL)は落ち込みが見られた地点で改善される結果となった。

中継器3では受信電力については離れた地点での改善が見られ、スループット(UL)は大きく改善される結果となった。

中継器4では受信電力については全体的に改善が見られ、スループット(UL)は落ち込みが見られた地点での改善を含め安定した結果となった。

実証結果

# 技術実証テーマⅡ エリア構築の柔軟化 (3/3)

柔軟化の対象： ■不感地対策 ■他者土地への電波漏洩軽減

解決方策 ■反射板 ■中継器 ■DAS ■LCX ■その他

各中継器の実証目的を下記に示す。その後実証結果から有効性、課題を考察する。  
 中継器1:アンテナの指向方向から外れる不感地帯を中継器によってエリア化する  
 中継器2:長距離の道路に生じる弱電界エリアに中継器を用いてエリアを拡張する  
 中継器3:周囲に建造物のあるエリアに中継器を用いて不感地帯をエリア化する  
 中継器4:指向性アンテナの後方に中継器を用いてエリアを拡張する

前ページの実証結果より、中継器1や3のように基地局アンテナの指向方向から外れた不感地帯のエリア化という用途では、RSRPが最大20dBm程度改善され、スループット(UL)については57Mbps程度まで改善されていることが確認でき、中継器の導入は効果的であると言える結果となった。

また、中継器2や4のように基地局アンテナの直線方向のエリアの拡張という用途では、スループット(UL)の落ち込みが見られた測定点で10Mbps程度改善するなど一定の導入効果は得られたが、中継器設置前の測定結果としてRSRPやスループットの劣化が想定より確認できなかったため、導入の効果としては弱い結果となった。本実証の結果から、中継器の使用用途としてアンテナの指向方向から外れる不感地帯の解消(アンテナの指向方向を変化させたい際)には効果的であると推察する。また課題として、直線方向(前方や後方)のエリア拡張を行う際には、実環境での伝搬特性を確認後、設置位置を再度検討する必要があると考える。

ローカル5Gにおける中継器の普及課題としては、より柔軟な免許申請制度の整備や、中継器としての電氣的性能向上が必要と考える。免許申請としては、総務省「新世代モバイル通信システム委員会」にて議論が行われているように、アンテナの設置場所変更にあたって「基地局免許申請時等に予め、複数の空中線設置予定地点において他者土地へ干渉を与えないことを確認できるのであれば、確認を行った予定地点に空中線を移設する場合に変更を届け出で認める」ことに中継器も加えた実現が必要であると考えます。

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

また電氣的性能としては、本実証で使用した中継器はEIRPが27.46[dBm/100MHz]であり、前ページに示したように不感地帯の中間から末端(測定点ID15-18)にかけてRSRPの落ち込みが始まる傾向が確認された。このため、同委員会にて隣接周波数および同一周波数との共用検討対象としているEIRP33[dBm/100MHz]程度まで中継器の電氣的性能が向上することで、より広域のエリア拡大が実現できると考える。



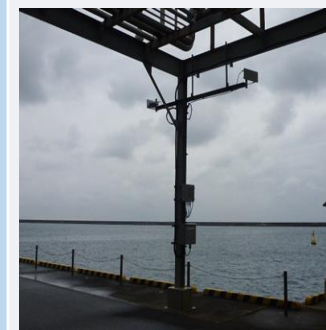
中継器外観



中継器1



中継器2



中継器3



中継器4

写真

## 実証の成果

- ・得られた知見
- ・課題解決への貢献
- ・シミュレーション精度向上への貢献
- ・さらなる課題の提案

---

## ローカル5G活用モデルに関する検討(課題実証)

---

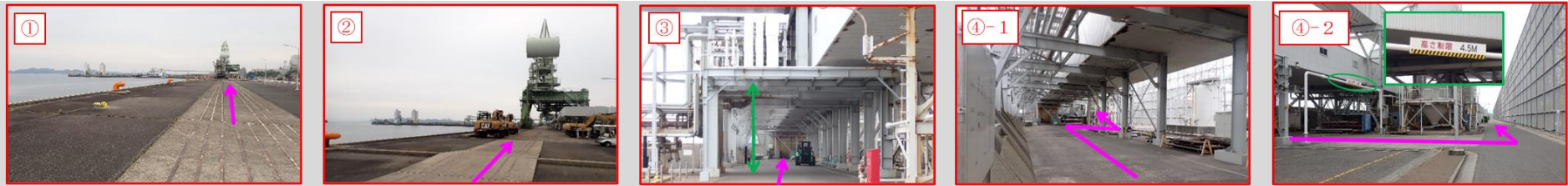


# 実証概要

ソリューション	具体的な実証内容	実証目標
車両のAI 入退管理	<p>【平常時】 発電所へ入退する車両をAIカメラを用いて車両ナンバープレートを自動認識し、事前に登録された情報と照合判定することでセキュリティ、入退管理を実施</p> <p>【大規模災害時】 港湾に入港する物資運搬船から出入りする支援物資運搬車両等の入退管理の活用 入港前に登録された車両情報と照合判定することで入退を管理</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・天候(雨、晴)、明暗(朝、夜) 関係なく車両認識判定率:100%               <ul style="list-style-type: none"> <li>■AIカメラの読み取り率:100%</li> <li>■事前登録情報との照合判定率:100%</li> </ul> </li> <li>・入退所管理業務の効率化               <ul style="list-style-type: none"> <li>■業務量の削減(日常、インシデント時の追跡)</li> <li>■諸経費の削減(人の稼働量、ペーパーレス効果)</li> </ul> </li> </ul>
自動走行 ロボットによる 車両誘導	<p>【大規模災害時】 多数の支援物資運搬車両を想定し、予め移動ルートを設定しロボットが自動で指定した場所(発電所入退ゲート)まで車両を誘導(約1.5km)</p> <p>(参考:平常時)※本課題実証外:令和3年ローカル5G開発実証ロボットを横展開で活用 ・発電所のスマート保安用ロボット(設備点検等)として使用を検討</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車両誘導における自立走行の確立               <ul style="list-style-type: none"> <li>■設定経路逸脱率(天候、朝夜):0%</li> <li>■障害物回避(緊急停止)失敗率:0%</li> <li>■遠隔でのロボット操作失敗率:0%</li> <li>■映像画質の品質:計算値と実測値が同等</li> </ul> </li> <li>・車両誘導の自動化による省力化               <ul style="list-style-type: none"> <li>■車両誘導削減時間の検証、誘導員の削減</li> </ul> </li> </ul>
ドローンによる 巡視点検	<p>【平常時】 障害物回避機能を搭載した自律飛行ドローンを使用し、発電所設備の点検を実施 また、リアルタイムでの映像伝送を保全業務で活用</p> <p>【大規模災害時】 ドローンで撮影した構内や港湾部の映像を必要に応じてリアルタイムで地方自治体へ映像伝送を行い、遠隔地から災害への支援状況を監視</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・遠隔操作・自立飛行による巡視の確立               <ul style="list-style-type: none"> <li>■設定経路逸脱率:0%</li> <li>■障害物回避(緊急停止)失敗率:0%</li> <li>■映像確認失敗率:0%</li> <li>■映像画質の品質:計算値と実測値が同等</li> </ul> </li> <li>・保全業務の高度化               <ul style="list-style-type: none"> <li>■巡視点検作業の高度化</li> </ul> </li> </ul>
高精細カメラによる監視	<p>【平常時】 港湾部に配備されたカメラで港湾エリアの不審船、侵入者を常時監視</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高精細カメラによる新たな監視の確立               <ul style="list-style-type: none"> <li>■映像画質の品質:計算値と実測値が同等</li> </ul> </li> <li>・監視業務の省力化               <ul style="list-style-type: none"> <li>■人による現場出勤回数(時間)の低減</li> </ul> </li> </ul>

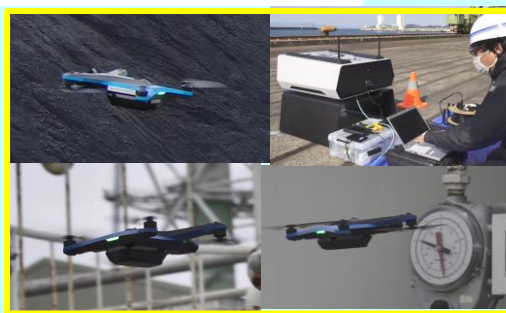
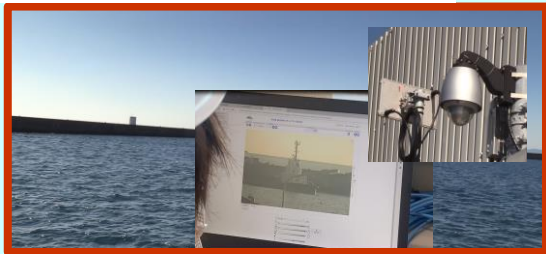
# 実証環境

・九州電力が保有する苓北発電所内にある港湾等施設エリアから正門エリアへのルートを対象に実施環境を構築



高精細カメラによる不審船の監視

ドローンによる巡視点検



着岸箇所 (290m)  
クッテ箇所 (150m)



自動走行ロボットによる車両誘導



AI画像認証による車両の入退管理

正門  
発電所構外へ

# 実証内容(ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証)

## 【検証方法】

ソリューション	機能検証	運用検証	効果検証
車両のAI入退管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 時間帯・天候等の環境変化時においてもナンバープレートを撮影したカメラ画像をAIにより文字認識できること</li> <li>✓ AIによる文字認識と事前登録ナンバーを自動照合判定できること</li> </ul>	<p>■検証ステップ1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・エンドユーザである発電所保安員からの意見・要望を十分に反映する必要があることから、導入前に現業務の実態調査を踏まえたヒアリングを実施(2022年9月)</li> </ul> <p>【課題実証前】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①保安業務における現状の課題</li> <li>②保安業務におけるポイント、重点監視項目</li> <li>③ソリューション導入により期待される効果</li> </ol>	<p>■省力化、高度化への効果</p> <p>(期待される効果)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・省力化:入退手続き時間の削減、ペーパーレス</li> <li>・高度化:ペーパーレス</li> </ul> <p>(検証内容)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・入退管理の対応時間、諸費用削減額の検証</li> <li>・人為的過失リスク削減の検証</li> </ul>
自動走行ロボットによる車両誘導	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 予め設定したルートを時間帯・天候等の環境条件が変化しても影響がないこと。影響がある場合は対策を明らかにすること</li> <li>✓ 遠隔からの操作(操作PC)による手動操縦が可能なこと</li> <li>✓ 遠隔箇所(操作PC)設置箇所へのリアルタイム映像配信が可能なこと</li> </ul>	<p>■検証ステップ2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各ソリューションの操作手順書、運用マニュアル、運用業務フローを整備</li> <li>・発電所所員と連携した模擬操作を実施し、発電所保安員が操作手順書、マニュアル等の有効性を検証</li> </ul>	<p>■省力化、高度化への効果</p> <p>(期待される効果)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・省力化:車両誘導業務の自動化</li> <li>・高度化:セキュリティの向上(車両位置の把握)</li> </ul> <p>(検証内容)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・車両誘導削減時間の検証</li> <li>・案内用看板、バリアードの設置時間削減の検証</li> </ul>
ドローンによる巡視点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 遠隔手動操作することにより構内や設備の状況を映像で確認可能なこと</li> <li>✓ 設定した飛行ルートを離陸から着陸まで障害物を避け、完全自律飛行し、異常の有無を映像で確認可能なこと</li> <li>✓ 監視箇所(監視用PC)へのリアルタイム映像配信が可能なこと</li> </ul>	<p>■検証ステップ3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各ソリューション実証後の今後の運用面の課題、改善要望等の把握を目的に、発電所所員向けにアンケート調査を実施し、今後の課題と対応策を検証(2023年2月)</li> </ul> <p>【課題実証後:アンケート項目】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①運用フローの見直し案について</li> <li>②ソリューション導入による運用変更点</li> <li>③ソリューション実運用化に向けた課題</li> </ol>	<p>■高度化への効果</p> <p>(期待される効果)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高度化:巡視点検の高度化</li> </ul> <p>(検証内容)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人が確認困難な箇所(高所や海上など)での巡視点検の検証</li> </ul>
高精細カメラによる監視	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 監視箇所(監視用PC)へのリアルタイム映像配信が可能なこと</li> </ul>		<p>■省力化への効果</p> <p>(期待される効果)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現場手動回数(時間)の削減</li> </ul> <p>(検証内容)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・監視業務の削減時間の検証</li> </ul>

# 実証内容(ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証)

## 【検証結果サマリ】

ソリューション名	評価・検証項目		目標	検証結果	目標達成状況	考察および対応策
AI入退管理	機能	1. 車両認識率	1. 車両認識率:[100%]	1. [100%]	1. [○]	目標値の車両認識率100%を達成
	運用	1. 操作性 2. 運用業務フロー	1. 「容易」であること 2. 適用可能	1. 良好(容易である) 2. 一部に課題	1. [○] 2. [△]	2:保安ルールに対応した防犯セキュリティ機能の追加が必要なことから、入退管理システムと連動するバゲードの設置を検討
	効果	1. ゲートカメラ画像による自動認証	1. 入門手続き時間の削減 2. ペーパーレス 3. セキュリティの向上	1. 年間の削減効果 有 2. 年間の削減効果 有 3. 発電所保安が向上	1. [○] 2. [○] 3. [○]	1,2,3:保安ルール対応策としてバゲードを設置することにより、削減効果が見込める。
自動走行ロボットによる車両誘導	機能	1. 自動走行 2. 障害物回避(緊急停止) 3. 遠隔操作の可否	1. 設定経路逸脱率:[0%] 2. 失敗率:[0%] 3. 失敗率:[0%]	1. 設定経路逸脱率:[0%] 2. 失敗率:[0%] 3. 失敗率:[0%]	1. [○] 2. [○] 3. [○]	目標値を全て達成
	運用	1. 操作性 2. 運用業務フロー	1. 「容易」であること 2. 「実運用に適用」されること	1. 良好(容易である) 2. 一部課題あり	1. [○] 2. [△]	2:GPS機能による走行機能変更および、走行速度向上に向けた性能向上検討を実施
	効果	1. 車両誘導業務の自動化 2. セキュリティの向上(遠隔での車両位置確認)	1. 発電所員又は警備員による車両誘導や案内用の看板やバリアード設置対応の削減 2. 操作PCでの車両位置確認による電話連絡の削減等	1. 5割程度の時間削減が可能 2. 削減が可能。また、外部応援者の対応が不要となるため、保安の維持が可能	1. [○] 2. [○]	1:従来であれば、入門許可申請手順の遂行、案内板、バリアードの設置、誘導員の配置などの業務が削減 2:操作PCによる遠隔から誘導車両の位置確認が可能により、電話連絡等の情報伝達業務が削減。また、外部応援者での対応が不要となる。
ドローンによる点検	機能	1. 設定経路逸脱率 2. 障害物回避 3. 映像確認	1. 設定経路逸脱率:[0%] 2. 失敗率:[0%] 3. 失敗率:[0%]	1. 設定経路逸脱率:[0%] 2. 失敗率:[0%] 3. 失敗率:[0%]	1. [○] 2. [○] 3. [○]	目標値を全て達成
	運用	1. 操作性 2. 運用業務フロー	1. 「容易」であること 2. 適用	1. 良好(容易である) 2. 実運用化のためには、雨天時のドローン対応が困難な課題への対応が必要	1. [○] 2. [△]	2:巡視点検の高度化・飛行ルートの精度向上および、ローカル5G対応や耐環境性能の向上を図るために、最適な最新ドローン技術動向を注視し、継続的な検討を実施 また、運用にあたって、機能以外の法令による制限に対する法令改正などを注視し、最適な運用検討を実施
	効果	1. 巡視点検の高度化	1. 人が確認困難な箇所(高所や海上など)での巡視点検の対応適用	1. 対応可	1. [○]	目標を達成
高精細カメラによる監視	機能	1. 画質	1. 解像度:3,840×2,160 フレームレート:30fps	1. 解像度:3,840×2,160 フレームレート:30fps	1. [○]	目標値を達成
	運用	1. 操作性 2. 運用業務シーン	1. 「容易」であること 2. 一部適用可能	1. 良好(容易である) 2. 一部課題有り	1. [○] 2. [△]	2:さらに運用精度を高める方策として、船舶自動追従機能等を追加
	効果	1. 高精細カメラ映像のリアルタイム伝送	1. 現場出勤回数(時間)の削減 2. セキュリティの向上	1. 年間1,250時間の監視業務の削減効果 有 2. セキュリティ向上策として可	1. [○] 2. [○]	1:船舶自動追従機能等の追加によりさらなる監視業務の効率化が見込める。

# 実証内容(ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証)

## 【総評】

- ✓ 非常災害対応時における自動走行ロボットによる物資輸送車両誘導において、誘導時間の短縮の課題は残るが、その他のソリューションについては、十分に適用可能である。なお、熊本県との災害協定に基づき、被災等において熊本県に高精細映像のリアルタイム伝送を計画、実施していくこととする。
- ✓ 平常時、ローカル5G環境下における、車両ナンバー認識率100%、ドローンの自立飛行による点検や、映像伝送の有効性、高精細カメラの画質や映像伝送の有効性が実装された。また、今後は確実な実装に向けて利用者と各種運用面の整備を図ることとする。

# 実証内容(ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証)

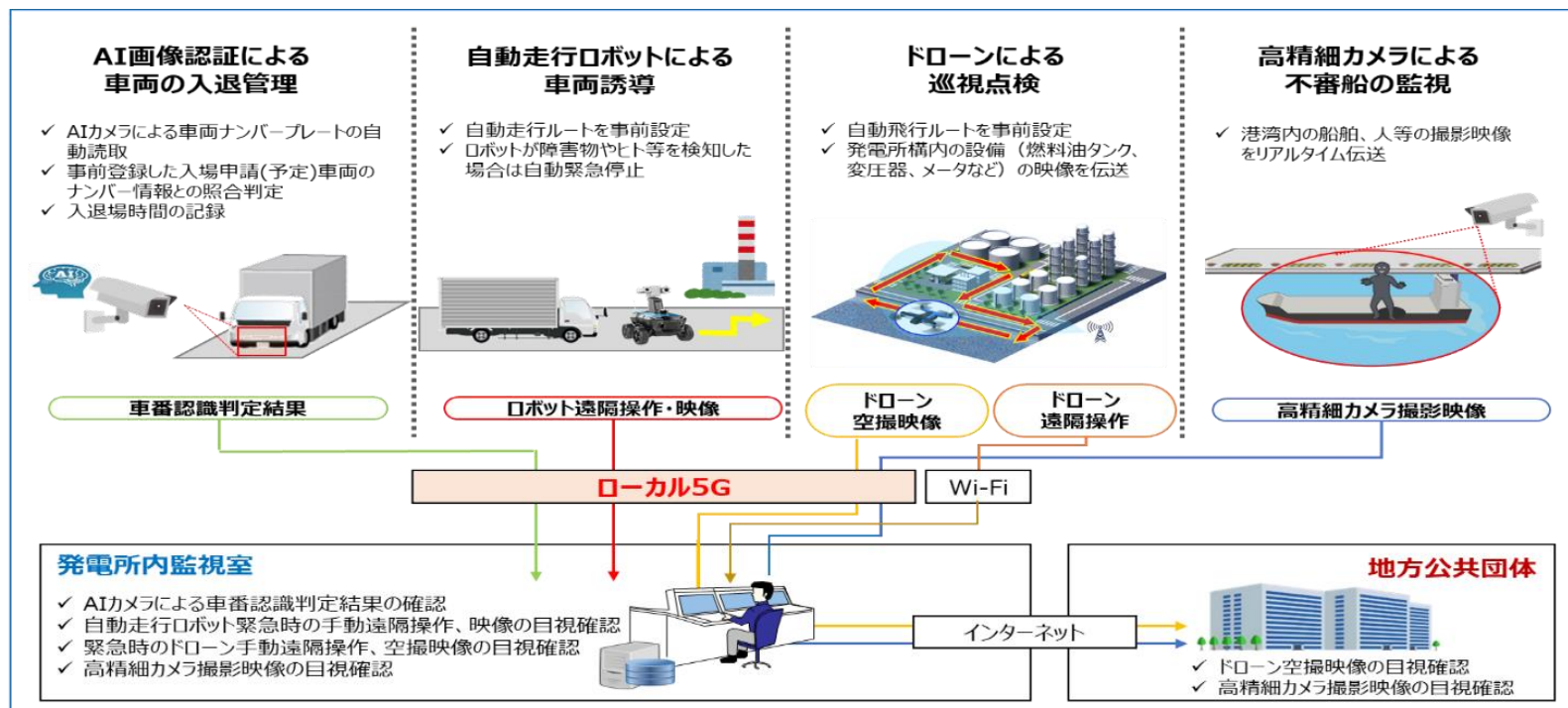
## 【ローカル5G活用モデルの全体像】

### (市場性について)

- ✓ 九州電力苓北発電所でのローカル5G活用モデルについて、機能面、運用面での磨き上げを行い、スマート保安への効果検証を踏まえ、確実に実装する。
- ✓ さらに、九州電力の関係本部が一体となり、九州域内の発電所に横展開することで本ローカル5G活用モデルの実装を進めていく。
- ✓ こうした九州域内での成果を活用モデルとして蓄積し、将来的には他の電力会社並びに同じような施設を持つプラント事業者への展開がさらなる市場として期待される。

## 【ローカル5G活用モデル】

### ①AI入退管理 ②自動走行ロボットによる車両誘導 ③ドローンによる巡視点検 ④高精細カメラによる監視



# 実証内容(ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証)

## 【実装性を高める手法】

- 広域かつ特殊な構造物や建屋が密集する発電所やプラント工場において実装性を高めるためには、局所的な不感エリアが多数発生するリスクに対し、いかに低コストで不感エリアを解消するか。その手法の確立が重要である。
- 今回の実証から実装性を高める不感エリア解消策として、中継器の有効性について考察を行った。

特殊な環境から不感エリアを生み出す具体例		要因	不感エリアの特徴
(本実証での検証)			
特殊な構造物	金網(防風ネット)やコンクリート岸壁 ※貯蔵物(石炭等)の飛散防止	電波遮蔽	広範囲な不感エリア(無線機から見て金網を挟んだ反対側のエリア)となる
		電波反射	電波の反射により、エリアが延びる可能性は有るが、電波どうしの干渉の影響で不感地点が発生する可能性がある
	原材料運搬用ベルトコンベアや建屋突起部	電波遮蔽	局所的な不感エリアとなる
大型重機や特殊車両	石炭荷揚げ装置(超大型重機の稼働時)	電波遮蔽	局所的かつ流動的な不感エリアとなる
(今後想定される要因)			
大型重機や特殊車両	工事や保修作業期間中の大型重機や大型クレーン車等の特殊車両	電波遮蔽	局所的かつ流動的な不感エリアとなる
建屋の構造	床面クレーニングによる吹き抜け(タービン建屋等)	電波透過	電波の反射により、エリアが延びる可能性は有るが、電波どうしの干渉の影響で不感地点が発生する可能性がある

## 【不感エリアの柔軟な解消策による実装性の向上策】

- 中継器は、送信出力が小さく利用可能エリアが狭いことは短所であるが、局所的な不感エリアは中継器を用いて十分にカバーできることが実証された。
- 必要となったエリアに配備すれば柔軟にエリア化が可能となり、光ケーブルの布設が不要であることから、大幅なコスト削減が図ることができ、初期投資の抑制策と、ローカル5Gの実装性を高める手法としては大変有効である。

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

ソリューション	課題	解決策	期限
車両のAI入退管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>AIカメラによる入退管理システムの導入効果をさらに向上させるために、システムによる判定結果に連動するバーゲートの設置という課題が存在</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>バーゲートの設置に向け、仕様・設計を検討</li> <li>バーゲートの設置に合わせ、AI入退管理システムと連携</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>令和6年度</li> <li>令和7年度</li> </ul>
自動走行ロボットによる車両誘導	<ul style="list-style-type: none"> <li>今回非常災害時時の自動走行の課題実証に採用したロボットは、平常時の自動設備点検機能を主に開発されたものであり、新たな自己位置推定機能と走行速度向上に向けた課題が存在</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>平常時の自動巡視点検機能など当ロボットが備えているスマート保安の機能を維持し、以下2つの機能変更を検討</li> <li>GPS機能による自己位置推定のへ機能変更</li> <li>走行速度の性能向上検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>令和5年度</li> <li>令和6年度</li> </ul>
ドローンによる巡視点検	<ul style="list-style-type: none"> <li>防爆エリアを考慮したドローンによる対応可否および運用体制を整理する課題が存在</li> <li>雨天時など天候によるドローンの運用体制等を整備する課題が存在</li> <li>発電所構内での自動巡視・点検に最適な最新のドローン技術動向を注視し、新機体の導入を継続的に検証し対応していく必要がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>防爆エリアを考慮したドローンによる巡視・点検の対応体制、飛行マニュアル等を整備</li> <li>雨天時等でドローンが飛行できないケースでの巡視・点検手法を整備</li> <li>飛行ルートの精度向上およびローカル5G対応や耐環境性能の向上を図るために、最適な最新ドローン技術動向を注視し、継続的な検討を実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>令和5、6年度</li> <li>令和5、6年度</li> <li>令和8年度</li> </ul>
高精細カメラによる監視	<ul style="list-style-type: none"> <li>高精細カメラによる不審物を容易に感知する仕組みとして、さらに運用精度を高める方策として、船舶自動追従等の機能を追加するという課題が存在</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>さらに運用精度を高める方策として、船舶自動追従機能等を追加</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>令和5年度</li> </ul>
ローカル5Gシステム	<ul style="list-style-type: none"> <li>高出力型基地局、RUとCU/DCの一体型や移動式中継器などコスト削減に向け、柔軟な調達に向けた新たな体制の構築という課題が存在</li> <li>ローカル5G無線機器類の調達コストの削減、エリア構築に必要なケーブル類(通信、電源)の設置工事費の削減という課題が存在</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>適切に基地局が最小数に抑えられたケースの無線機類の仕様、構成に着目し、多様な製造メーカーにも視野を広げ、ローカル5Gの技術革新および競走下における新機種種の発掘を継続実施</li> <li>広域かつ特殊な工作物や建物が密集する発電所やプラント工場では最も効率的な基地局配置による最小限のケーブル(通信、電源)設置設計による検討を継続実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>令和6年度</li> </ul>



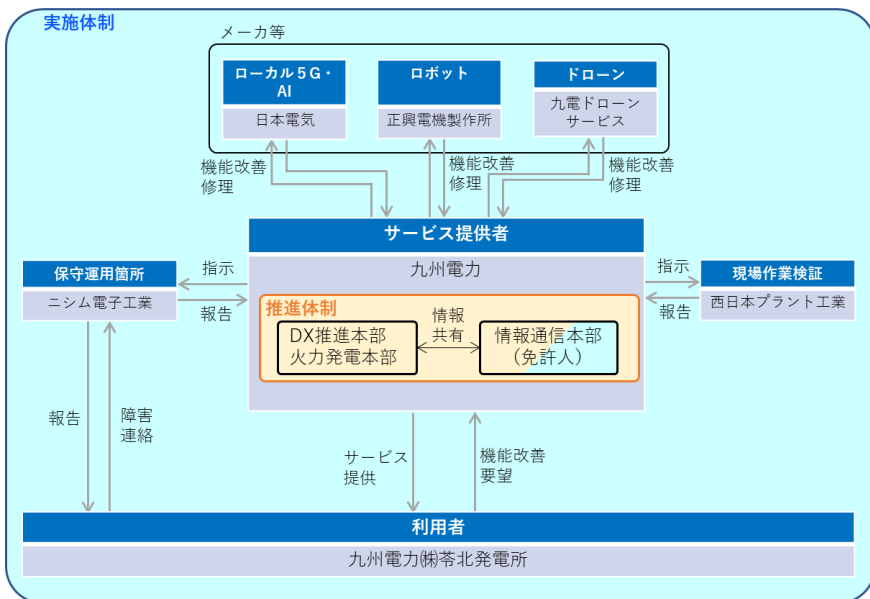
# 実証内容(ローカル5G活用モデルの実装・普及展開)

## 【実装・普及展開シナリオ】

- ✓ ローカル5Gの活用による苓北発電所でのスマート保安の実現を目指し、令和9年度のフル実装完了までコンソーシアム体制を維持し、継続して実装・拡張に取り組む。
- ✓ 今回のローカル5Gを九州電力苓北発電所で確実に実装し、さらにその他の発電所への横展開の計画を2023年度に着手し、2024年度からの実装に向け計画を進める。
- ✓ その端緒として、苓北発電所港湾〔SOLAS施設（国際船舶・港湾保安法に基づく保安対策の義務施設）〕における①AI画像認証による車両の入退管理、②自動走行ロボットによる車両誘導、③ドローンによる巡視点検、④高精細カメラによる不審船の監視について例えば、船舶自動追従機能を追加するなど各ソリューションの磨き上げを行い、2022年度に実証を継続していくこととする。
- ✓ 原子力発電所への横展開については、原子力DXへの取り組みの過程において、火力発電所での実装モデルを実績としてローカル5Gの高速・大容量、低遅延、同時多接続性、セキュリティ面での特性を踏まえ、最適な無線ネットワークの選択肢の一つとして議論を進めていくこととする。
- ✓ そうした社内での成果をモデルとし将来的には、ローカル5Gを主体とするネットワークとその通信基盤上で運用されるソリューションを組み合わせた提案型の無線ネットワークを他の電力会社並びに同じような施設を持つプラント事業者等への展開を2026年度以降を目指し進める。

# 実証内容(ローカル5G活用モデルの実装・普及展開)

## 【実装計画の実施にあたっての実施体制】



## 【実装計画の実施にあたっての役割】

会社名	各社の役割
九州電力 (実装主体) (免許人)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・火力発電部門のスマート保安実現に向けた実行内容の検討、年度／中長期計画の立案、計画、実施、評価</li> <li>・ローカル5Gインフラの整備に向けた立案、年度／中長期計画の立案、計画、実施、評価</li> <li>・各課題解決に向けた計画、実施、評価</li> <li>・ローカル5Gネットワークシステムの運用</li> </ul>
日本電気	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存ローカル5Gネットワーク機器の提供継続</li> <li>・エリア拡大に伴うローカル5G無線機類の調達 5G無線機、レピータ、CUDUサーバ、アンテナ装置類他</li> <li>・エリア拡大に伴うネットワークのシステム設計、現地調整</li> <li>・ローカル5Gネットワーク機器の保守実施</li> <li>・AI入退管理システムの機能改善等</li> </ul>
ニシム電子工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エリア拡大に伴うローカル5G基地局装置類設置工事</li> <li>・エリア拡大に伴うネットワーク機器類の設置工事</li> <li>・安全管理</li> </ul>
西日本プラント工業	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エリア拡大に伴う発電所構内のケーブル布設工事 (通信、電源)</li> <li>・エリア拡大に伴う電源工事、その他付帯工事 (支持物設置等)</li> <li>・安全管理</li> </ul>
正興電機製作所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動走行ロボットによる車両誘導に向けての課題検討</li> </ul>

# 実証内容(ローカル5G活用モデルの実装・普及展開)

## 【実装計画・支出計画（仮説による想定額）】

		令和4年度 (2022)	令和5年度 (2023)	令和6年度 (2024)	令和7年度 (2025)	令和8年度 (2026)	令和9年度 (2027)	
実装計画	AI入退管理	開発実証	課題対応		実装			
	自動走行ロボットによる車両誘導	開発実証	課題対応		実装			
	ドローンによる巡視点検	開発実証	課題対応(防爆エリア・雨天時の整理)		実装	課題対応 (新機体検証)	実装	
	高精細カメラによる監視	開発実証	課題対応	実装				
	ローカル5Gシステム	開発実証	実装					
	横展開			課題対応(エリア拡張)			実装	
				九州電力 他発電所への横展開				
						他社、他業界への横展開		
収支計画 (百万円)	(1)ユーザから得る対価	—	41	154	61	41	292	
	(2)補助金・交付金	—	0	0	0	0	0	
	(3)収入((1)+(2))	—	41	154	61	41	292	
	(4)ネットワーク設置費	—	20	109	20	20	270	
	(5)ネットワーク運用費	—	10	14	14	14	14	
	(6)ソリューション購入費	—	8	28	27	7	8	
	(7)ソリューション開発費	—	3	3	0	0	0	
	(8)支出((4)+(5)+(6)+(7))	—	41	154	61	41	292	
	(9)収支((3)-(8))	—	0	0	0	0	0	
収入、支出の算定根拠	・発電所の実装費用のみ机上							

---

## まとめ

---

# まとめ

## ■ 技術実証、課題実証の検証成果と今後の課題

	検証成果	今後の課題
技術実証	<p><b>【技術実証テーマⅠ：電波伝搬モデルの精緻化】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 金属構造物が多く存在する発電所エリアにおいて、基地局の周囲が防波堤や金網等で囲まれている環境では前方400m程度が開けているような環境であってもパラメータS値は開放地(S=32.5)と郊外地(S=12.3)の中間値(S=22.5)を定義することで実際の伝搬環境に近い結果を得ることを確認できた。</li> <li>✓ 防波堤や金網などが無い場合は開放地相当の結果であることが確認できた。</li> </ul> <p><b>【技術実証テーマⅡ：エリア構築の柔軟化】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 中継器の使用用途としてアンテナの指向方向から外れる不感地帯の解消（アンテナの指向方向を変化させたい際）には効果的であると推察する。</li> </ul>	<p><b>【技術実証テーマⅠ：電波伝搬モデルの精緻化】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 測定データの観点から、類似する環境において少なくともさらに2～3例の検証を行い、本実証結果と同様の傾向が得られるかを確認する必要があると考える。</li> </ul> <p><b>【技術実証テーマⅡ：エリア構築の柔軟化】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 事前シミュレーションでは基地局のみのエリア構築では不感地帯が生じることが確認できていたが、測定結果からは想定していたよりも受信電力等の劣化が見られず不感地帯が確認できなかった。直線方向のエリア拡張を行う際には、実環境での伝搬特性を確認後、設置位置を再度検討する必要があると考える。</li> </ul>
課題実証	<p><b>【機能検証】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 各ソリューションの機能検証については、全ての検証項目について目標をクリアし、ローカル5G環境下での実用に機能上、支障がないことを実証</li> </ul> <p><b>【運用検証】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 各ソリューションの運用検証については、システムの操作性、各種マニュアル、業務フロー等を実装に向け整備し、さらなる磨き上げを継続実施</li> </ul> <p><b>【効果検証】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 各ソリューションの効果検証については、一定の費用削減額、業務削減量を検証したが、さらなるコスト削減と、効果創出策が必要である。</li> </ul>	<p><b>【機能検証】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 自動走行ロボットの自己位置推定方法の機能改善、走行速度の向上策は継続検討</li> </ul> <p><b>【運用検証】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ ドローンによる巡視点検については、防爆エリアや雨天時などに対応した体制、手法マニュアルを整備</li> <li>✓ 高精細カメラについては、さらなる自動追従機能等を追加</li> </ul> <p><b>【効果検証】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ AI入退管理システムについては、バーゲードを設置し連携することでさらなる効果創出を図る</li> </ul>

## ■ 実装・普及展開（実装計画のサマリ）

### 実装計画

- ✓ AI入退管理は、令和5年度までバーゲード設置に向けた課題対応を行い、6年度に実装を完了
- ✓ 自動走行ロボットは、令和5年度にGPS機能による自己位置推定への機能変更、6年度に走行速度の性能向上の検討を行い、令和7年度に実装
- ✓ ドローンによる巡視点検は、令和5年度から6年度に防爆エリアや雨天時などに対応した体制、手法マニュアルを整備し、令和7年度に実装。また、飛行ルートの精度向上および、ローカル5G対応や耐環境性能の向上を図るための最新ドローン導入を令和8年度まで継続検討し、令和9年度に導入を計画
- ✓ 高精細カメラによる監視は、さらなる運用精度を高める方策として、船舶自動追従機能等を追加し、令和5年度に実装
- ✓ ローカル5Gシステムは、令和5年度に実装後、発電所全体へのエリア拡大を計画し、令和9年度に発電所構内全域で実装
- ✓ 横展開については、令和6年度から九州電力の他の発電所への展開を行い、その実績を踏まえ、令和8年度から他社、他業界への展開を目指す。