

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

プラントの遠隔監視によるガス漏れ等設備異常の効率的検知の実現

成果報告書概要版

---

令和4年3月25日

広島ガス株式会社

---

---

# 実証概要

# 実証概要

保安人材の負担を軽減しつつ、保安レベルのさらなる向上を図るため、プラント設備において、走行ロボットを用いた設備異常検知と中央制御室からの遠隔作業支援の有効性の検証、および、配管・遮蔽物が多い環境下での電波伝搬モデルの精緻化を実施

## 背景

### 保安レベルの持続的な向上

- ガス業界における保安レベルは非常に高水準にある。これは毎日の巡回とガス漏洩検査の徹底という作業員のたゆまぬ努力の結果、維持されている。
- 人による巡回では、広い構内で常時監視を続けることは不可能であり、検査直後に漏洩が発生する可能性もゼロではないなど作業員の心理的負担も大きくなっている。

### センシング、AI、ロボット等の技術の進展

- 赤外線カメラなどの最新技術を活用し、漏洩の兆候の捕捉が可能となってきており、最新技術を活用することで人間による検知の限界を超えることが可能になっている。
- 経済産業省の施策としても最新技術を活用したスマート保安導入によるガス工作物の巡視・点検・検査頻度の合理化が求められている。

|        |  |
|--------|--|
| 目的     | 設備異常の早期発見による保安レベルのさらなる向上<br>人間の五感と走行ロボット・AI等による異常検知を組み合わせた巡視点検業務の合理化   |
| 実証概要   | 課題実証: ガス工場構内での走行ロボット・AIによる <b>ガス漏れや設備劣化の検知</b> 、走行ロボットに搭載されたカメラを用いたメンテナンス作業時の <b>遠隔支援</b> の可否と有効性を検証<br>技術実証: <b>敷地内の金属構造物により自己土地の内外で大きく無線環境が異なるプラント環境</b> における電波伝搬モデルの精緻化や、自己土地での <b>反射による他者土地への干渉影響評価</b> を実施。 |
| 使用周波数等 | 周波数: 4.8-4.9GHz帯(100MHz) 構成: SA方式 利用環境: 屋外   |

---

# 実証環境の構築

# 実証環境

広島ガス株式会社 廿日市工場内にローカル5Gの基地局等無線通信システムを構築し、電波伝搬特性の検証ならびに工場内の課題解決に向けたソリューションについての課題実証を行った。

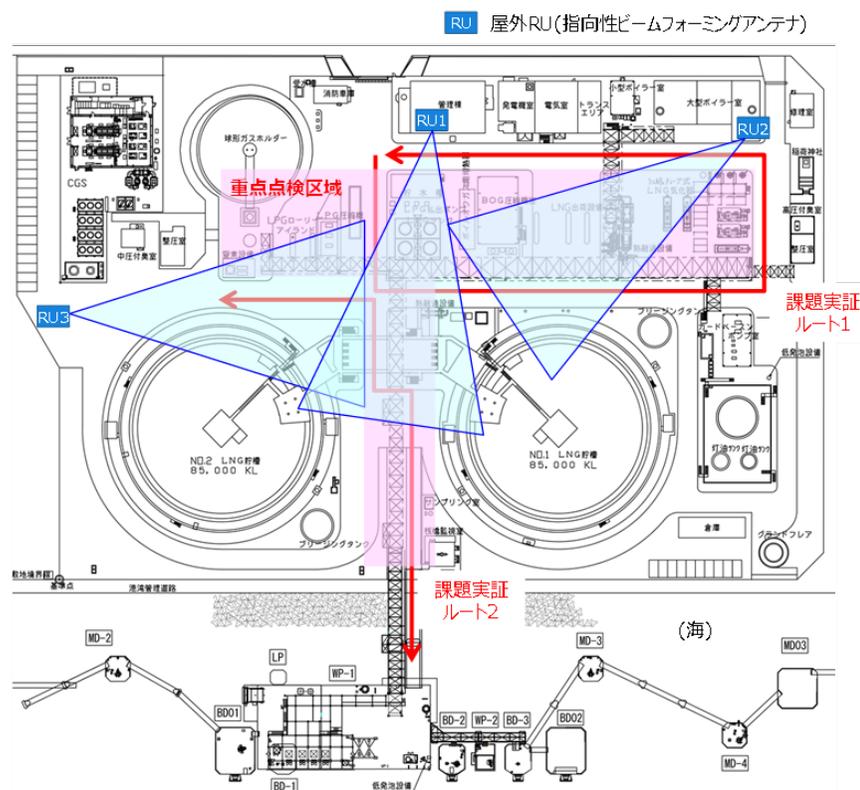
## ■実証環境の特徴

- 敷地内には貯蔵タンクや製造設備等の大型の金属構造物が多数存在し、大小の金属パイプ群が密に敷設されており、複雑な電波伝搬環境を構成している
- 敷地内の大部分が防爆エリアに指定されており、基地局の設置位置が制限される
- 陸上だけでなく海上にも一部の設備が設置されている
- 他者土地との境界に壁などの障害物がないため、他者土地へ干渉となる電波が漏洩しやすい

広島ガス 廿日市工場全景



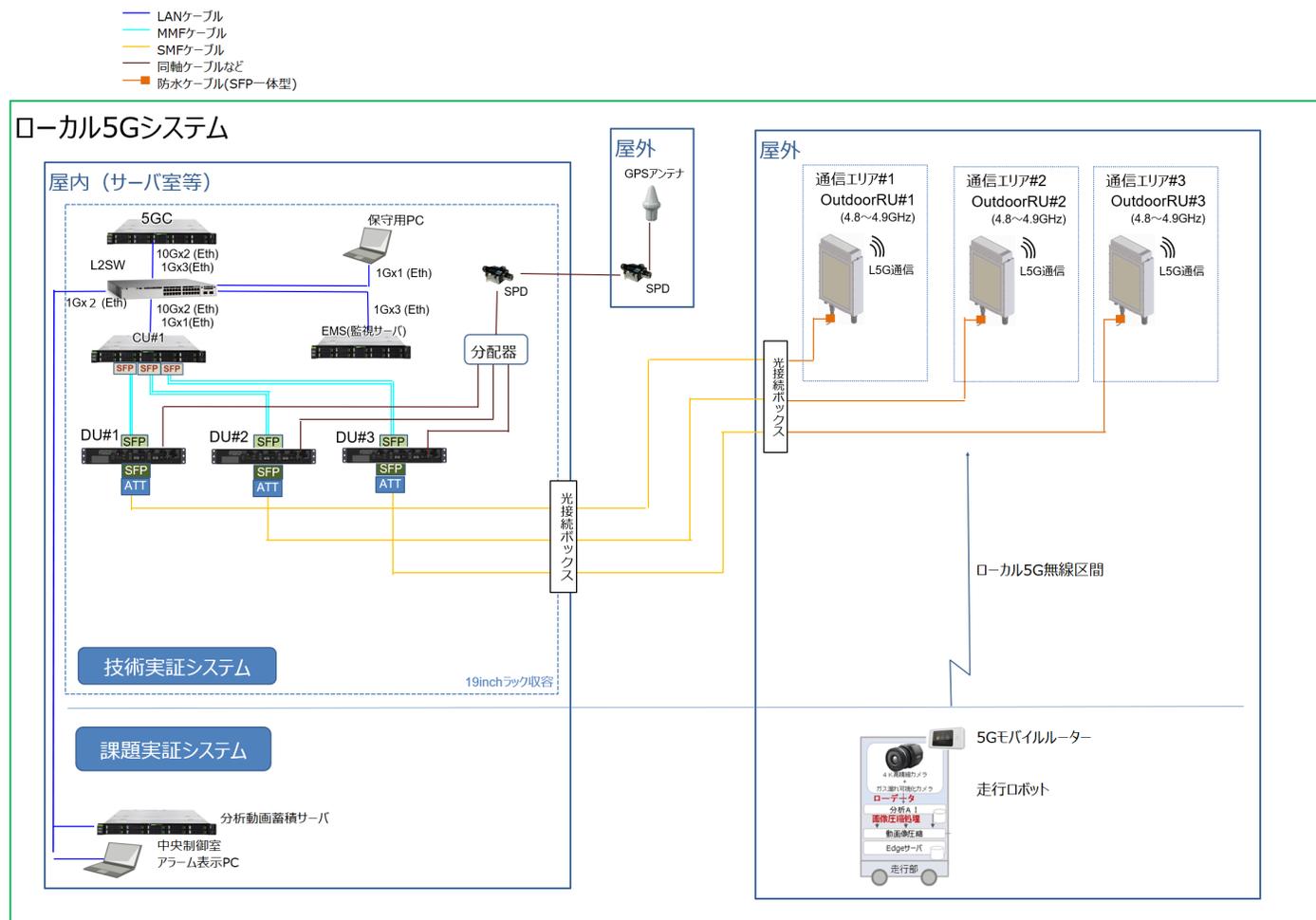
## RU設置場所とエリアカバレッジ



# ネットワーク・システム構成

■本実証で使用したネットワーク構成を以下に示す

- ローカル5Gシステムは、主にコアサーバー装置(5GC)、基地局装置(CU、DU、RU)及び監視装置(EMS)で構成される。
- 走行ロボットは、走行部、Edgeサーバ、カメラ(4Kカメラ、近赤外線カメラ、赤外線カメラ)、5Gモバイルルーターで構成される。
- 走行ロボットでは、各カメラで撮影した映像データをEdgeサーバで処理し、カメラ映像に応じた異常検知を行う。



# システム機能・性能・要件

## ■ローカル5Gシステム(基地局)の概要

本実証で使用した基地局の概要を以下の表に示す

| PW-320-DU PW331-48L4A-SRU |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| 製造ベンダ                     | 富士通                     |
| 台数                        | 3台                      |
| 設置場所<br>(屋内/屋外)           | 屋外                      |
| 同期/準同期                    | 同期                      |
| UL:DL比率                   | 1:4                     |
| 周波数帯                      | 4.8-4.9GHz              |
| SA/NSA                    | SA                      |
| UL周波数                     | 4.8-4.9GHz              |
| DL周波数                     |                         |
| UL帯域幅                     | 100MHz                  |
| DL帯域幅                     |                         |
| UL中心周波数                   | 4.85GHz                 |
| DL中心周波数                   |                         |
| UL変調方式                    | QPSK/16QAM/64QAM/256QAM |
| DL変調方式                    |                         |
| MIMO                      | DL 4Layer<br>UL 2Layer  |

## ■ローカル5Gの性能要件

課題実証のユースケースで使用する走行ロボットは検知対象のガス(LNG、LPG、都市ガス)に対応した複数のカメラを搭載した。外観検査用AIに使用する4Kカメラ、ガス漏洩による温度変化を検出する赤外線カメラ、およびガス漏洩による近赤外線スペクトル変化を検出する近赤外線カメラで撮影・圧縮した動画を伝送して効率的な検知を実現するには、ローカル5Gシステムに必要なUL伝送レートは50Mbps程度と考えた。データ伝送の内訳を下記の表に示す。

| カメラ種別  | データ伝送内容  | 伝送レート    |
|--------|--|----------|
| 4Kカメラ  | 映像データ(圧縮)を常に伝送。<br>Edgeサーバで外観の異常を検出するとアラートを伝送        | 30Mbps程度 |
| 赤外線カメラ | Edgeサーバでガス漏洩による温度低下を検出した場合にのみ、映像データを伝送<br>同時にアラートを伝送 | 20Mbps程度 |

将来的なプラント設備内のカバーエリアの拡大及び、走行ロボットの追加を視野に入れ、安定した通信で50Mbps程度のULが確保できる通信手段としてローカル5Gが適していると考えた。

# 免許及び各種許認可、その他要件

## ■ローカル5G免許

- 本提案においては広島ガス株式会社を免許人として、4.7GHz帯システム(4.8～4.9GHz帯)の実験試験局免許の取得を行った。
- 実証終了後は引き続き廿日市工場内にてローカル5Gの実運用を行う予定であるため商用局免許の取得に向けた無線局免許申請を行う。

## ■ローカル5G機器の開発供給計画認定

本システムの基地局、コア設備等については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ている。

- 認定の日付 : 令和3年3月15日  
開発供給計画認定番号 : 2021開1総経第0002号-1  
認定開発供給事業者の名称 : 富士通株式会社  
認定開発供給計画の概要 : 一般企業、自治体向けに、製造業(スマートファクトリーでの活用を想定)をはじめとして地域活性化のための様々な事業領域に適用可能なローカル5Gシステムに供する設備として各機器を開発供給した。

## ■サイバーセキュリティ対策

- 本提案で導入したシステムについては、「IT調達に係る国の物品等又は役務の調達方針及び調達手続に関する申合せ」(2018年12月10日関係省庁申合せ)等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講じている。
- また、本課題実証に際してローカル5G専用の閉域ネットワークを利用した。外部のネットワークへのデータ伝送を伴う接続は行っていないため、追加のサイバーセキュリティ対策は不要である。

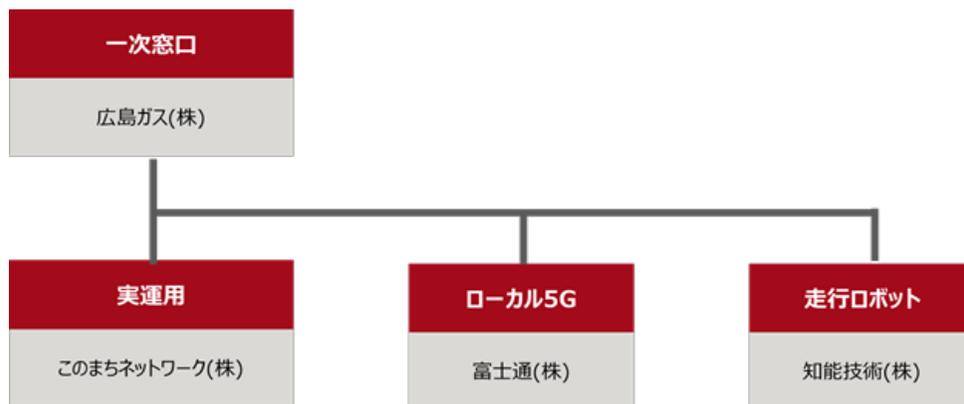
# 実証環境の運用

- ローカル5G運用に先立ち、実証参加者に対する保守・運用に関する説明会を実施し、システムの概要、電波送信・停止手順などの基本操作、障害発生時の対応方法などについて説明を行った。
- 実証期間中、ヘルプデスク窓口を設置し、実証参加者等からの問合せ等に対応するとともに、不具合が発生した場合に備え、迅速な対応体制を整備し、原因を特定し対処した。実証期間中の実証環境に係る不具合や問合せ等は記録し、実証成果の取りまとめを行った。

## 【運用・保守管理】

- 電波送信 … 停電等でシステム起動を行う際に必要なRU電波の送信操作
- 電波停止 … 停電等でシステム停止を行う際に必要なRU電波の停止操作
- 保守交換 … 装置故障時の原因調査、代替装置の準備・交換

## 実施体制



---

# 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)

# ローカル5Gの電波伝搬特性の測定 (1) エリア算出法の閾値の検証

## ■実施内容

エリア算出法の閾値の検証を下記の方法により行った

- エリア算出法によるカバーエリア端および調整対象区域端における実際の受信電力を測定
- エリア算出法における閾値と実測値の比較
- 閾値が実測される位置の確認

## ■結果

甘日市工場の立地条件に基づきS=12.3(郊外地)で求めたエリア算出法による値に比べ実測値が上回った。仮説ではS=0(市街地)に近い結果を想定したが、実際はS=32.5(開放地)寄りの結果が得られた。

下記はRU1の記載であり、RU2およびRU3でも同様の傾向の結果が得られた。

RU1のカバーエリアおよび調整対象区域の図 S=12.3(郊外地)

RU1のエリア算出式による値(S=12.3)と実測値

S=32.5(開放地)による調整対象区域の図(RU1)



| 測定点 ID | 算出式による受信電力 [dBm] | 実測値       |           |      |               |               | 誤差 Δ  |
|--------|------------------|-----------|-----------|------|---------------|---------------|-------|
|        |                  | 中央値 [dBm] | 平均値 [dBm] | 標準偏差 | 上位 10%値 [dBm] | 下位 10%値 [dBm] |       |
| S1-6   | -116.6           | -102.1    | -102.2    | 2.2  | -99.3         | -105.1        | -14.5 |
| S1-12  | -120.3           | -103.3    | -103.2    | 2.3  | -100.3        | -106.3        | -17.0 |
| S1-16  | -122.9           | -112.3    | -112.2    | 1.6  | -109.9        | -114.3        | -10.6 |
| S1-30  | -119.3           | -102.2    | -102.4    | 2.4  | -99.2         | -105.7        | -17.1 |
| S1-33  | -117.6           | -101.9    | -102.3    | 2.6  | -99.3         | -105.7        | -15.7 |
| S1-35  | -118.9           | -91.2     | -91.7     | 3.6  | -87.3         | -96.6         | -27.7 |
| S1-49  | -122.8           | -114.7    | -114.6    | 2.4  | -111.6        | -117.5        | -8.1  |
| S1-50  | -117.8           | -108.7    | -108.4    | 2.7  | -104.6        | -111.7        | -9.1  |
| S1-53  | -119.3           | -107.1    | -106.8    | 3.0  | -102.6        | -110.5        | -12.2 |
| S1-54  | -123.9           | -105.6    | -106.2    | 3.4  | -102.2        | -111.2        | -18.3 |
| S1-55  | -124.7           | -106.1    | -106.3    | 2.9  | -102.6        | -110.2        | -18.6 |
| S1-59  | -118.4           | -103.5    | -103.6    | 2.5  | -100.3        | -106.9        | -14.9 |
| S1-60  | -119.0           | -99.2     | -99.2     | 3.4  | -94.6         | -103.5        | -19.8 |



## ■考察

金属構造物が多い甘日市工場のような場所では「開放地」に近い形で敷地外まで電波が飛ぶことが分かったが、この点はローカル5Gを利用する別の事業者が隣接地に存在する場合の課題と考える。(対策案: 他のローカル5G事業者が隣接する場合はアンテナ高やチルト角の調整により敷地外への電波漏えいを抑える等)

# ローカル5Gの電波伝搬特性の測定 (2) カバーエリア内ローカル5G性能評価

## ■実施内容

カバーエリア内のローカル5Gの性能評価を下記の方法により行った

- 課題実証ルートを中心に29か所の測定点を設定
- 受信電力およびUL/DL別の伝送スループット、伝送遅延を測定
- 課題実証システムで要求される性能を実現できるかどうかを検証

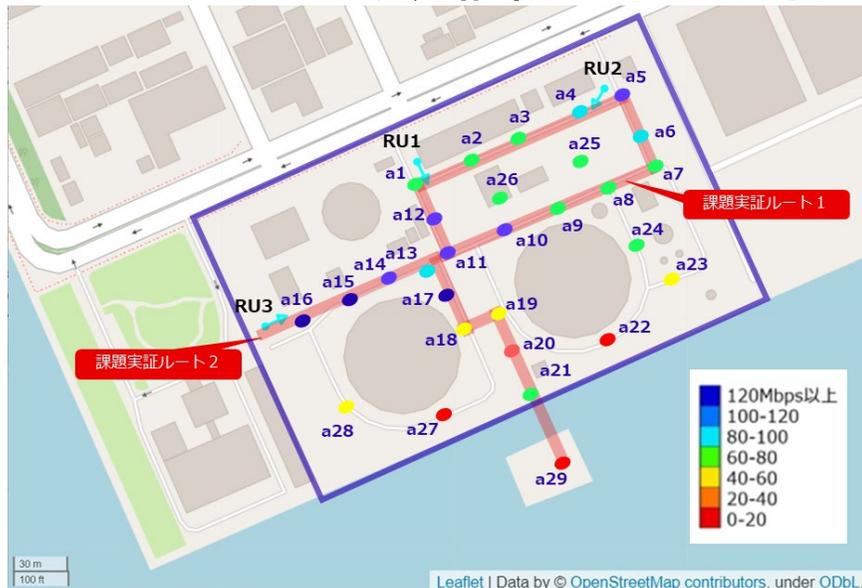
## ■結果

課題実証ルート上の各測定地点にて、一部の海側の測定点を除きローカル5Gの所要性能の目標値(ULスループット50Mbps以上)を満たすことを確認した。

DLスループットについてもULスループットと同様の傾向の結果が得られた。

また、全ての測定地点にて遅延時間の所要測定の目標値(500msec以内)を満たすことを確認した。

## ULスループットの測定結果によるプロット図



## ■考察

今回の実証では防爆エリア外のRU設置を前提とするなど低コストのローカル5Gエリア構築を意識したことで、敷地の南側(海沿い)にカバレッジホールが多く存在する形になっており、この点はエリア設計上の課題と考える。

(対策案: 海側のカバレッジホールをカバーする形でRUを増設する、または反射板を設置する)

# 電波伝搬モデルの精緻化：技術的課題、実証目標、実証前の仮説

## ■課題解決システム利活用環境における技術的課題

現行の電波法関係審査基準が規定するエリア算出法は、金属のような反射係数の高い構造物が多数存在する屋外環境の電波伝搬は想定しておらず、当該環境にローカル5Gのエリアを構築するケースに対応可能か十分に検証ができていない。具体的には、現行のエリア算出法で定義されている各種パラメータをどのように設定すれば高反射環境の電波伝搬を近似できるのか、新たなパラメータの導入を含めた当該環境に適したエリア算出法の修正が必要なのか等が明確化されておらず、調整対象区域の算出が精度良く行えていない。

## ■実証目標

屋外環境でどの程度実測と乖離しているかを確認する。また、現行のエリア算出法で規定されているパラメータのうち、周辺環境の影響を考慮するために基地局から100m以上の地点で適用されるSを対象として、屋外の高反射環境に適したSの値の導出を狙った電波伝搬モデルの精緻化を行う。

## ■実証前の仮説

自己土地と他者土地での電波伝搬が大きく異なることが想定される本実証環境で、下記の仮説のもとでSの選択基準の妥当性の検証を行う。

①パラメータSの値は、周辺環境ではなく自己土地内の伝搬環境に基づいて選択する方が実測との差分が小さい

②RU近傍の自己土地での反射による干渉漏洩は、現行のエリア算出式では表現困難

当該仮説の実証により、カバーエリアおよび調整対象区域のエッジまでの距離は縮減し、RU近傍の金属構造物による反射が想定される他者土地エリアではエッジ距離が伸長する見込み。

# 電波伝搬モデルの精緻化：仮説①の検証結果

## ■実施内容

自己土地内に大型の金属構造物が多数存在する廿日市工場の伝搬は、巨視的には市街地相当のSの値が妥当ではないかという仮説を基に検証を行った。

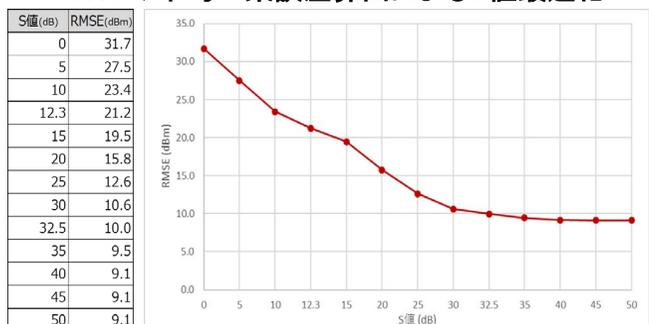
(1) 廿日市工場全体でパラメータSを最適化 (2) RUからの距離毎の伝搬環境と、伝搬損の距離特性の関係を評価

## ■結果

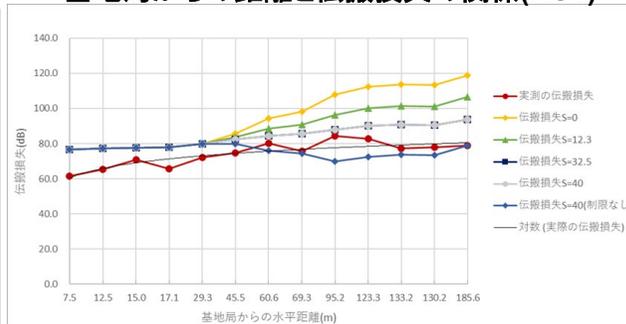
廿日市工場全体におけるパラメータSの最適化として、3RUのカバーエリアおよび調整対象区域のエッジ上に設定した測定地点における、エリア算出式の値と実測値の誤差 $\Delta$ を使用し、これらの二乗和が最小となるSの値を求めた結果を下記の図に示す。この結果、RU全体(3台)において最適化されたSの値は $S=40$ となった。同様の要領でRU1,RU2,RU3でそれぞれ最適化したSの値はRU1:30、RU2:30、RU3:40となった。(NLOS環境、LOS環境それぞれの測定地点に絞った結果も概ね同様の結果が得られた)

各RUは電波の指向方向に様々な大型金属構造物が存在し電波の伝搬環境が大きく異なり、特徴的に誤差 $\Delta$ が大きい地点も含む。そのため、RUの指向方向に存在する測定地点をグループに分け、グループ毎にRUからの距離に対するデータを抽出することによりパラメータSの精緻化検討を行った。その結果、自己土地内の伝搬環境に基づいてパラメータSを選択する方が実測との差分が小さいという仮説通りの結果が得られたが伝搬モデルは想定に反し、 $S=32.7$ (開放地)以上が適している結果が得られた。また、工場敷地内の伝搬環境の特徴毎に適切なS値の整理を行った。

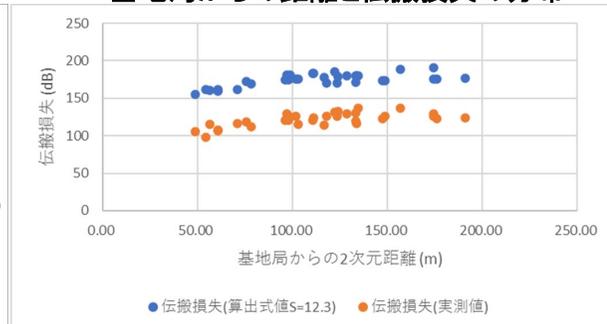
3RUの平均二乗誤差算出によるS値最適化



基地局からの距離と伝搬損失の関係(RU1)



基地局からの距離と伝搬損失の分布



## ■考察

廿日市工場で最適化した結果として開放地( $S=32.5$ )以上の値が得られたが、S値の適用条件を一部変更(100m以内の距離で100m以上と同様の条件でS値を適用)し試算したところ、より実測値に近い結果が得られており、この結果はエリア算出式の条件に見直しの余地があることを示唆するものとする。今後、同様の伝搬環境の特徴を持つ場所で100m以内/100m以降の実測結果と反射物との関係の精査を行い、条件の見直しの妥当性および適用可能なケースを検証する必要があるものとする。

# 電波伝搬モデルの精緻化：仮説②の検証結果

## ■実施内容

RU近傍に大型金属構造物が存在しないエリア付近の他者土地での受信電力との比較を行い、自己土地内の反射による他者土地への干渉影響の仮説妥当性の確認を行った。

- RUからの反射の影響を受けにくい測定点としてRU1裏面(管理棟屋上)に位置する測定点Aを設定した
- 反射の影響を受けると考えられるエリア付近の他者土地に位置する測定地点として、測定地点B(RU3近傍)、測定地点C(RU1近傍)、測定地点D(RU2近傍)を比較対象とした

## ■結果

仮説通り他者土地(RU後方)エリアのエッジ距離が伸長する実測結果が得られた。

## ■考察

右表が示す通りLOS/NLOSの違いやRUからの距離にかかわらずエリア算出式による値と実測値の差分はまちまちとなっている。直接波、反射波のパス毎にそれぞれ存在する構造物の影響と思われ、パス毎の受信電力を測定できれば反射波による受信電力への影響をより正確に把握しエッジ位置の伸長度を定量的に求めることができるものとする。

パス毎の受信電力の測定方法については、技術的な面を含め今後の検討課題であるとする。

反射の影響によりRU後方のエッジ位置がどの程度伸長するかについて、右記図に示すようにS=32.5の伝搬モデルにおけるRU正面方向の調整対象区域端に相当する距離を到達している実測結果が得られた。これはRUのごく近傍に大型金属構造物が存在し、電波が反射する方向が開けている場合、

指向性アンテナの指向方向に相当するエッジ位置の距離まで反射した電波が到達する可能性を示しているものと考えられる。今後、エッジ位置の伸長度合いを定量的に求めるために、仮説①の最適化により得られたS値(今回はS=32.5)のエッジ付近相当の距離の他者土地(RU後方)での測定を行い、他者土地への電波到達の傾向を検証する必要があるとする。

### 各測定地点における値の比較

|      | 近傍RU | RU正面付近の大型金属構造物 | エリア算出式値(dBm) | 実測値(dBm) | 差分(dB) | RUからの2次元距離(m) | 近傍RUへの見通し |
|------|------|----------------|--------------|----------|--------|---------------|-----------|
| 測定点A | RU1  | -              | -93.6        | -93.3    | -0.3   | 4.9           | 有り(LOS)   |
| 測定点B | RU3  | LNG貯槽          | -108.4       | -93.6    | -14.8  | 27.1          | 有り(LOS)   |
| 測定点C | RU1  | LNGタンク         | -120.3       | -103.3   | -17.0  | 60.8          | 無し(NLOS)  |
| 測定点D | RU2  | 金属パイプ群         | -121.4       | -111.2   | -10.2  | 56.5          | 無し(NLOS)  |

### 敷地外への電波反射経路



---

# 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

プラントが複数設置されるガス工場内を人間が常時監視することは不可能であることから、ガス漏れと設備劣化の兆候の早期発見による保安レベルのさらなる向上と、人間の五感と走行ロボット・AI等による異常検知を組み合わせた巡視点検業務の合理化を目指す。

## ローカル5G活用により解決したい課題と期待効果

### ■課題

人が現場で認識できない異常の早期発見（巡回業務、メンテナンス作業時など）

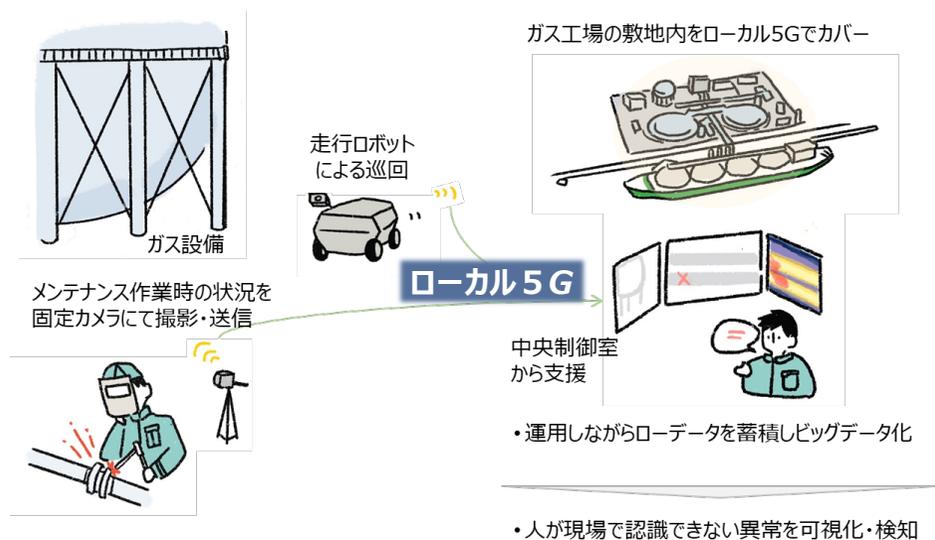
### ■ローカル5Gの必要性

配管・遮蔽物が多いプラント設備において、有線・定点カメラでは工場全体のカバーが困難  
⇒カメラシステムを組み合わせた走行ロボットからの高速通信にローカル5Gが最適

### ■期待効果

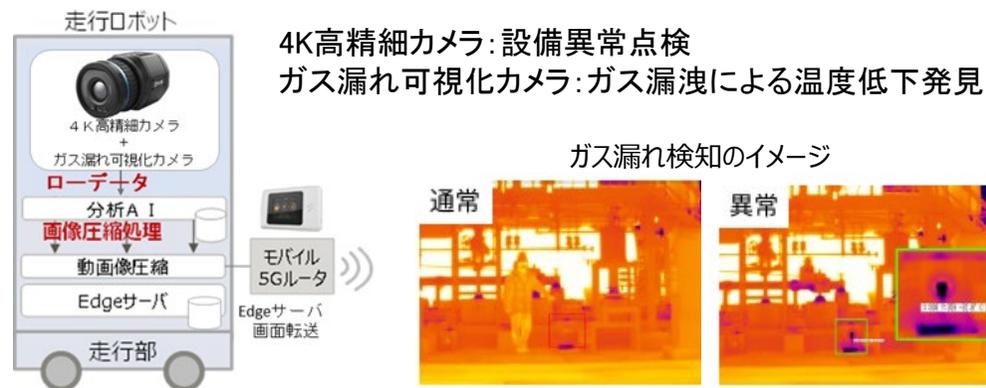
- ・保安レベルの更なる向上
- ・巡回業務の効率化・合理化

## 走行ロボットによる設備異常検知・遠隔作業支援



## 分析AI(ガス漏れ/設備劣化検知)を搭載した走行ロボット

映像のローデータをエッジで処理することで、異常を迅速に検知し、圧縮した映像とアラートを伝送



# 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

実証後の実運用、走行ロボットによる点検の一部代替を視野に入れつつ、①走行ロボットで取得した映像を用いたガス漏れ・設備劣化検知の可否と有効性、②ローカル5Gを用いた高速通信による中央制御室への異常の即時通知と異常エリアの早期特定の可否の検証を目標として実施

## ローカル5Gを用いたソリューションの実装シナリオ



### ■実証目標

保安レベルのさらなる向上に向け、以下の2点を検証する

- ①走行ロボットで取得した映像を用いた、ガス製造設備からのガス漏れ検知および設備劣化検知の可否と有効性
- ②ローカル5Gを用いた、高速通信による中央制御室への異常の即時通知と異常エリアの早期特定の可否

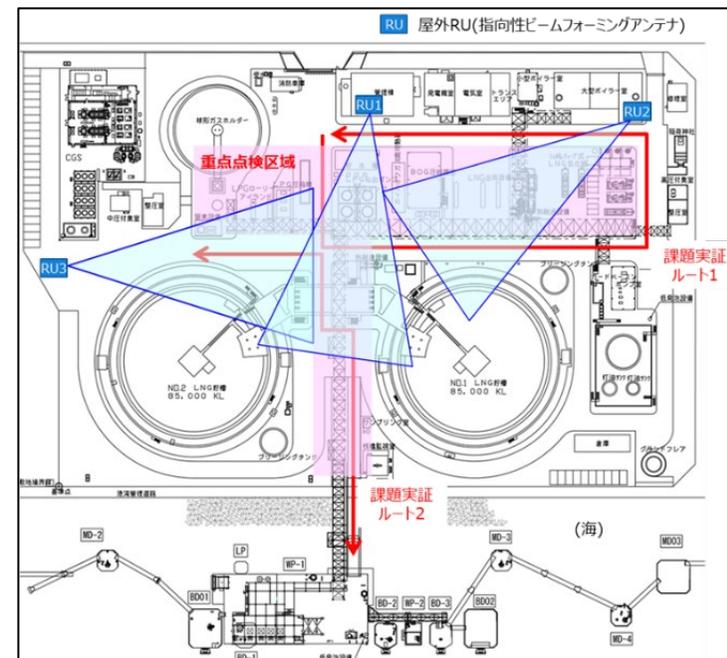
### ■本実証の位置づけ

- 本実証で走行ロボットで取得した映像から異常検知ができることが検証できた場合は、実証場所である廿日市工場での実運用を行い、その後、自社内の他工場に展開する予定。
- 本実証では、巡回作業員による点検をサポートすることを目標とするが、実運用以降では、巡回作業員による点検を走行ロボットによる点検で一部代替することも視野に入れている。

# 実証環境

## ■ 重点点検区域

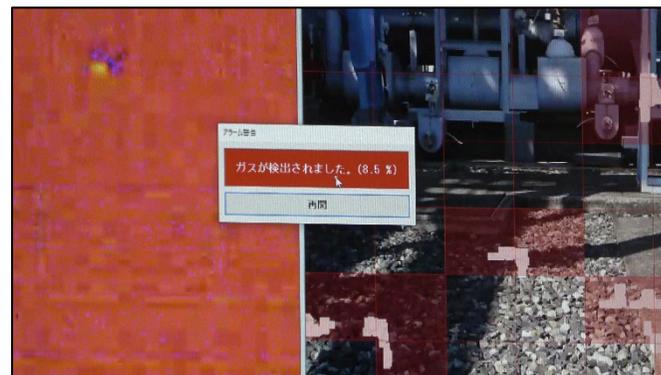
- 実証を行うプラントの俯瞰図と、走行ロボットとAIによる設備異常検知における移動経路を示す。
- LNGやLPGなどの重要設備が密集するエリアであることや、非防爆のロボットが走行・監視できる範囲から2ルート为重点点検区域として設定し、走行させた。
- 実証にあたっては今回、重点点検区域内に点検ポイントを6箇所設定し、ガスの漏洩や各種設備の劣化が検知可能か、また、異常発生時に中央制御室にアラート等がリアルタイムに発信可能か等を検証した。



## ■ 実証風景



走行ロボット



漏えい検知画面

# 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：効果検証

## ■ 各検証項目とその結果

### ■ 検証の観点・項目・目標

| 評価・検証の観点             | 評価・検証項目          | 実証での目標  |
|----------------------|------------------|---|
| 巡視・点検・検査頻度の合理化       | 走行ロボットでの点検にかかる時間 | 2時間以内に巡回を完了<br>●ガスの漏えい：気化ガス：13A・LPG、液化ガス：LNG・LPG<br>●外面上の劣化：錆や腐食など、ガス製造設備の外面上の劣化                        |
| 作業員の負担軽減             | 作業員の心理的負担        | ヒアリングした全ての作業員が、ロボット巡回を追加したことで心理的負担の低減を感じる   |
| 異常の早期発見              | 異常検知にかかる時間       | 一つの視野あたり30秒以内で異常を検知できること。   |
| 人や現状の検知器で検知できない異常の検知 | 各設備・配管の傷の検知      | 配管本体の錆、腐食などの劣化以上を検知できること  |
|                      | ガス漏れ箇所の判別        | 以下のガス漏えいを検知できること。<br>LEL20%以上のガス漏洩の検知：CH <sub>4</sub> (1vol%)、C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (0.36vol%) |

### ■ 実証結果と考察

- 重点点検区域における点検ポイント1か所あたり10秒以内での点検の完了と、点検作業を含めた総走行時間についても2時間以内の巡回完了を確認
- また、1視野あたり30秒以内での異常検知と、リアルタイムでの現地映像・アラートの中央制御室への伝送を確認、遠隔監視業務への新たな手段としての有効性を確認
- 今回疑似的に準備した「錆」に対する設備劣化とガスの漏えい箇所の可視化を確認、迅速な保安体制の構築に寄与できることを確認
- ソリューションの本格運用には、ガス漏れ検知のさらなる精度向上と設備劣化の検知バリエーションの拡大、走行ロボットの自律走行安定化が必要

# 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：機能検証

## (1)カメラによるガス漏れ検出

### 1. ロボット搭載前にカメラだけで性能評価



写真＊ ガス測定状況

### 2. ロボットにカメラを搭載し性能評価



写真＊ ロボット自動ガス測定状況

### ■結果

屋外で、検知対象から10m以上離れた場所より、メタン、ブタン、13Aガス(都市ガス)の検出及びガスが拡散する状況を可視化することができた。ただし、降雨時を模擬した環境では検出はできなかった。また、夜間を模した環境でも検出できなかった。また、強風でガス濃度が低下する環境下ではAIがガス映像を認識できないことが分かった。

### ■考察

対象までの距離が短くても検出できないガス種や濃度がある一方で、より離れた場所でも検出できた結果が出ていることは、屋外で強風が吹いている時間があり一定の条件でないためである。また、ガスの漏えい検知には光の拡散を利用するため、降雨時は水滴とガスが区別できず検出はできない。一方、同様に検出できなかった夜間は赤外線周波数を含むライトで設備を照射することによりガス漏れの検出が可能になると推察する。また、AIによる可視化においては、本実証実験中に大量の画像データを入手することができたため、引き続き開発し精度を高めて行く。

# 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：機能検証

## (2)カメラによる設備劣化異常検出

「ローカル5G活用により解決したい課題と期待効果」に記載のカメラシステムから高解像度の画像データを取得して設備劣化異常診断を行うAIモデルを開発し検証した結果の概要を以下に示す

### ・カメラの解像度

開発したAIモデルが入力として要求する画像サイズ = 600 × 600 pixels

➡ 実際にはより高解像度の4K画像を用いて検証を実施。  
設備劣化異常診断を行う上で検知が可能な解像度であることを確認。

### ・カメラの撮影距離

設備近接道路の最近接縁石から約1m離れた位置から検査を実施し、撮影距離による検知精度への影響を調査・確認。

➡ 特定の2地点で実施し、対象設備から10m離れた距離において、いずれもAIモデルが設備劣化の錆に反応して錆あり判定することを確認。

### ・異常検知の精度について

設備の劣化として「錆」を模した疑似環境を構築し、入力映像のリアルタイムでのAI判定を実施。

➡ 実施した2地点では100%に近い精度で見分けることができた。  
※より詳細な精度の検証を行うには、他の複数地点での検証が必要であると考えられる。

(a) 確度97.1 %で錆あり判定 (b) 確度98.0 %で錆あり判定



(a) (b)



画像中の紫着色部がAIモデルの着目点

# 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：運用検証

## ■ 各検証項目とその結果

### ■ 検証の観点と評価・検証項目

| 観点            | 評価・検証項目                              |
|---------------|--------------------------------------|
| 実運用に関する作業     | システムの管理(起動、停止、バッテリーの充電など)            |
|               | 異常検知のアラートの確認(アラート表示画面の分かりやすさ、監視体制など) |
|               | アラートを受けた際の対応方法(対応パターン、オペレーションなど)     |
| システムのメンテナンス作業 | 設置作業(メンテナンスエリアにおけるロボットの最適配置など)       |
|               | 機器の管理(現場作業員とサービス提供者の役割分担、連携のスキームなど)  |
|               | ローカル5Gエリアの保守(サービスレベルなど)              |

### ■ 実証結果と考察

- 走行ロボットの巡回に必要な起動停止サイクルが実行できることを確認するために、1. 保管場所から点検ルートスタート地点への移動手順、2. 自律した巡回(走行と監視)による点検業務の実施(電波が悪い所では手動操作)、3. 巡回終了後の自動停止、4. 保管場所への移動と次回巡回までのバッテリー充電等の一通りの運用についての手順の確認とマニュアル化を実施
- ガスの漏えい、設備劣化の点検における現地の映像と異常発生時のアラートが、高精細な動画像で中央制御室に電送されることを確認、後続作業発生時のフローへの落とし込みを実施
- ガスの漏えい・設備劣化以外の定期的な場内のメンテナンス作業時にも、走行ロボットを同行させ、中央制御室との映像の同期を図ることで、中央制御室から遠隔でのメンテナンス作業支援が行えることを確認
- 実運用に向けて、トレーラーが走行する時間帯と重ならないよう巡回時間帯の検討や点検業務の運用マニュアルの改訂が必要。
- 日本ガス協会保安規程参考例では、人による点検が前提となっているため、将来的に人による点検を一部走行ロボットで代替するには、当該規程の見直しが必要。

# 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

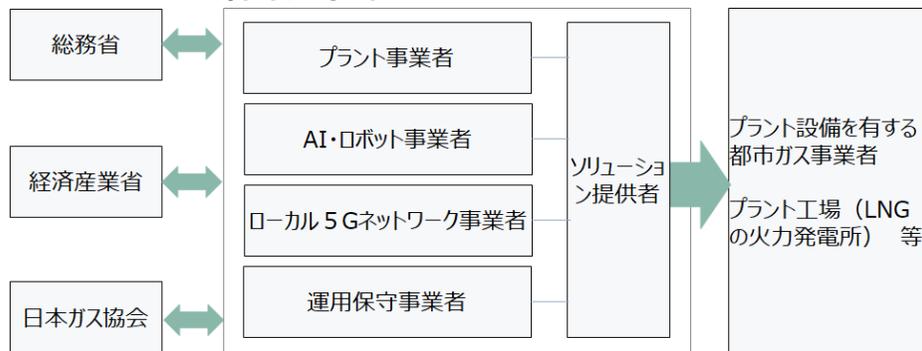
導入費用の負担が障壁となるため、ローカル5Gの基地局数(カバー範囲)等の異なるサービスを用意し、やりたいことや負担可能な費用に応じて選べるようにすることが望ましいと考える

## ソリューションのパッケージ

| ソリューション                   | 概要   |
|---------------------------|--|
| ① 走行ロボット・AIによる異常検知ソリューション | 赤外線カメラと4Kカメラを搭載した走行ロボットで点検エリアを走行、エッジAIでガス漏れと設備劣化を検知し、ローカル5Gで中央監視室に送信 |
| ② カメラによる遠隔作業支援ソリューション     | 4Kカメラで現場のメンテナンス作業の様子を撮影、ローカル5Gで中央監視室に送信し、中央監視室から現場作業員へのアドバイスを行う      |

ローカル5G設備の費用を考慮すると、②のみを導入することは考えにくい。①と②のパッケージ、または、①のみの利用を想定

## 体制・事業スキームのモデル



導入先の業務に通じたソリューション提供者が、ローカル5Gネットワーク、ロボット、AI、業運用保守といった必要な要素をパッケージして提供する体制が望ましいと考える

## ローカル5Gソリューションの導入モデルパターンと要件

|                    | 梅モデル                      | 竹モデル             | 松モデル               |
|--------------------|---------------------------|------------------|--------------------|
| ローカル5Gの基地局数(カバー範囲) | 局所エリア(最低、屋根のある玄関など1か所でOK) | 規定ルート            | 工場全体               |
| 通信速度               | 同期                        | 同期               | 準同期/非同期            |
| 走行ロボット(カメラ・AI搭載)   | ガス漏れ検知                    | ガス漏れ検知・設備劣化検知(錆) | ガス漏れ検知・設備劣化検知(錆ほか) |
| 価格                 | 低                         | 中                | 高                  |

## ローカル5Gソリューションの要件(上記竹モデル想定)

| 要素     | 要件   |
|--------|--|
| ローカル5G | 通信速度：上り50Mbps程度  |
| 走行ロボット | <ul style="list-style-type: none"> <li>点検ルートは自律走行可能(起動、停止し、保管場所への人で対応可)</li> <li>遠隔作業支援においては手動で動かせる</li> <li>衝突防止・回避(通行人、他の走行車両、メンテナンス上の設置物等)</li> </ul> |
| センサー   | <ul style="list-style-type: none"> <li>10m程度離れた位置からガス漏れ・設備異常を検出できること</li> <li>夜間でもガス漏れを検出できること</li> </ul>  |
| 分析AI   | <ul style="list-style-type: none"> <li>設備劣化について、錆、破損、変形を検出できること(断熱材はオプション)</li> <li>ガス漏れ検知と設備劣化の両方について、異常のある箇所が明確に示されること</li> </ul>                      |

# 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

ガスの漏えい検知AIの精度向上、AIで検知できる設備劣化対象の拡大、ロボットの自律走行安定化が実運用に向けた主な課題として抽出された

| 分類   | 主な課題                          | 解決策   |
|------|-------------------------------|---|
| 技術面  | ガス漏れ検知のさらなる精度向上               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・非冷却のセンサから冷却方式へのアップグレード</li> <li>・ガス漏れ検知AIのアルゴリズム改良</li> </ul> |
|      | 設備劣化の検知バリエーションの拡大(設備内部の劣化検知等) | 画像から温度変化(冷熱)の検出(今回採用した赤外線センサは温度変化を検出する用途には向いていないため、機器構成を見直す必要あり)                                      |
|      | 走行ロボットの自律走行安定化                | 制御方式に、SLAM*や三次元センサー等の他の方法を組み合わせる(走行ロボットのGPSアンテナ上部に遮蔽物がある場合、走行が不安定になるため)                               |
| 運用面  | 巡回時間帯の検討                      | 本番運用に向けてはトレーラーが走行する時間帯などを考慮して走行ロボットによる巡回時間帯を検討  |
|      | 点検業務の運用マニュアルの改訂               | 走行ロボットによる点検に加え、構内のメンテナンス現場にロボットを移動し、中央制御室から遠隔作業支援することも想定した運用手順を整理                                     |
| 制度面  | 日本ガス協会保安規程参考例の見直し             | 日本ガス協会への情報提供  |
| コスト面 | ローカル5Gソリューションの導入費用            | スモールスタートが可能なよう、価格帯を分けたソリューションの用意  |

\*SLAM:「Simultaneous Localization and Mapping」の略で、自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術の総称

---

# まとめ

# まとめ

本実証により、走行ロボットを用いた設備異常検知および遠隔作業支援の実運用に向けて、保安レベルのさらなる向上への有効性とプラントのような大型の金属構造物が多い環境下での電波伝搬特性を検証することができた

| 実証項目 | 主な成果   | 主な今後の課題  |
|------|--|--|
| 課題実証 | <ul style="list-style-type: none"><li>点検ポイント1か所あたり10秒以内での点検の完了と、点検作業を含めた総走行時間についても2時間以内の巡回完了を確認</li><li>また、1視野あたり30秒以内での異常検知と、リアルタイムでの現地映像・アラートの中央制御室への伝送を確認、遠隔監視業務への新たな手段としての有効性を確認</li><li>今回疑似的に準備した「錆」に対する設備劣化とガスの漏えい箇所の可視化を確認、迅速な保安体制の構築に寄与できることを確認</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>ソリューションの実運用には、ガス漏れ検知のさらなる精度向上と設備劣化の検知バリエーションの拡大、走行ロボットの自律走行安定化が必要</li><li>自社他工場や他事業者への展開には、設備ごとの違いに合わせたAIのチューニングも必要</li><li>ガス業界への普及に向けては、人による点検を前提とした日本ガス協会保安規程参考例の見直しも必要</li></ul> |
| 技術実証 | <ul style="list-style-type: none"><li>金属構造物が電波を遮へいし、受信電力が低下する都市部の電波伝搬モデルを想定していたが、金属構造物による反射の影響を受けることで受信電力が高くなり、「開放地」相当(以上)の電波伝搬モデルが当てはまることが分かった。</li><li>カバーエリア内のローカル5Gの性能評価では、一部の海側の測定点を除き、目標値(上りスループット50Mbps以上)を満たすことを確認した。</li></ul>                            | <ul style="list-style-type: none"><li>今回の実証では防爆エリア外のRU設置を前提とするなど低コストのローカル5Gエリア構築を意識したことで、敷地の南側(海沿い)にカバレッジホールが多く存在する形になっており、この点はエリア設計上の課題と考える。</li><li>本課題の対処方法としては、将来的に海沿いをカバーする形でRUの増設を行うことが考えられる。</li></ul>              |