

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

港湾・コンテナターミナル業務の遠隔操作等による  
業務効率化・生産性向上の実現

成果報告書概要版

---

令和4年3月25日

西日本電信電話株式会社

---

---

# 実証概要

# 背景・課題、目的

● 荷役の増加により期待が高まる港湾事業において、港湾業務の効率化・生産性向上や混雑緩和を目的に、港湾エリアの業務課題・ネットワーク課題、ローカル5Gの特性を踏まえ、港湾エリアの課題解決に取り組む

## 背景・課題

- サプライチェーンのグローバル化、コロナ禍影響等により、期待が高まる物流業界において、港湾事業の重要性は向上
- 一方、物流増加により、大型コンテナ船の寄港増加による荷役時間の長期化や、コンテナターミナルのゲート前混雑が深刻化
- ICTを活用したDXによる港湾業務の効率化が求められるが、ネットワークに関する課題が顕在

### 業務課題

- ＜荷役量増加等に伴う、慢性的な混雑の発生＞
  - ・ 夢洲では、コンテナ搬入車両の渋滞(最大5.2km)が発生  
数時間待ちの状態が度々発生し、輸送効率の悪化を引き起こしている ※1
  - ・ 対策にむけて、国土交通省では、AIターミナルを全国の港湾で推進中 ※2

【国土交通省AIターミナルの実現に向けた取り組み5点】



- ①暗黙知の定式化
- ②RTGの遠隔操作化・自動化
- ③コンテナ蔵置場所の最適化
- ④ダメージチェックの効率化
- ⑤ゲート処理の迅速化



### ネットワーク課題

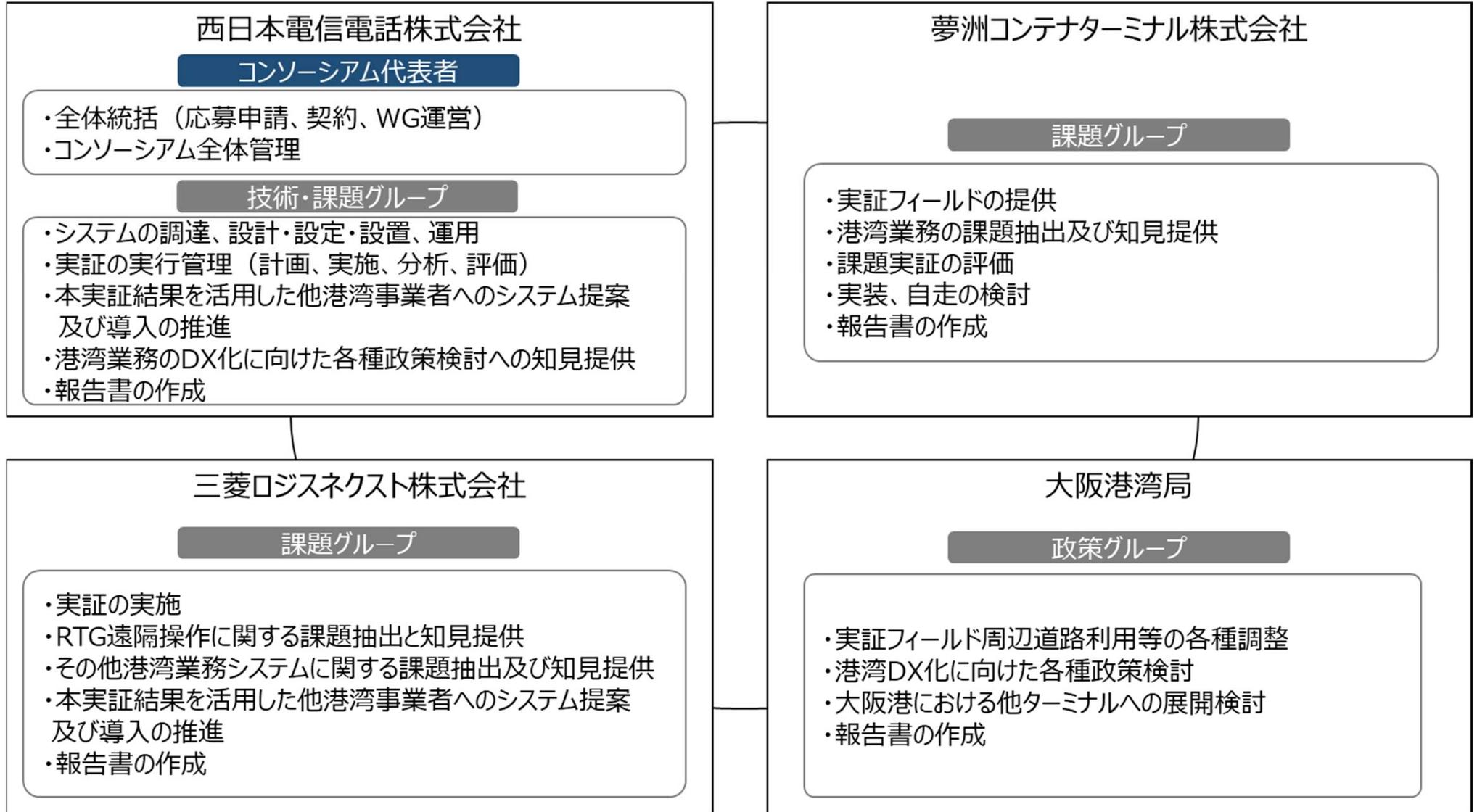
- ＜ネットワーク敷設＞
  - ・ **有線敷設**:埋立地が多く、地下に配管を通す有線敷設方式では、ネットワークの更改や追加等が困難で、高額な費用も発生
  - ・ **無線敷設**:Wi-Fiでは、電波到達距離が数10mとなるため、広大な港湾エリアのカバーには、非常に多くのアクセスポイントと電源が必要となる
- ＜電波干渉＞
  - ・ 港湾エリアにおいては、多くの船、車、人などが出入りするため、Wi-Fiの干渉が頻繁に発生

## 目的

- ローカル5Gの特性を活用した、港湾業務の業務効率化・生産性向上・混雑緩和等の課題解決
- 港湾におけるローカル5G活用の技術課題の明確化

# コンソーシアム体制

- 4社によるコンソーシアムを形成し、社会実装を見据えた実証体制を構築した



# 実証フィールド

- 日本で2ヶ所5港のみが指定されている、国際コンテナ戦略港湾であり、2025年大阪・関西万博予定地でもある、大阪港の夢洲での実証を実施した
- ローカル5G基地局をコンテナターミナル管理棟の屋上に2局、ゲート内に1局設置し、コンテナターミナルエリアをカバーした

## <夢洲全景>



## <電波カバーエリア図(イメージ)>



## <コンテナターミナル管理棟・ゲート>



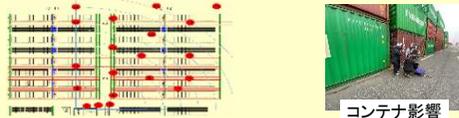
# 実証概要 (技術実証・課題実証)

## 技術実証

➤ 港湾エリアへのローカル5G活用における、4つの技術実証を行い、課題の明確化に取り組んだ

### ローカル5Gの電波伝搬特性の測定

- ✓ コンテナが積重なる環境での受信電力・電波品質等を測定し、電波特性を確認



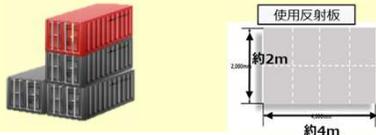
### 電波伝搬モデルの精緻化

- ✓ 特殊地形環境パラメータ「補正值:K」と地物(妨害物)パラメータ「補正值:S」に関する精緻化を実施。特に、「水面」に関する影響について確認。

$$\text{電波損失計算式} \\ \text{Loss(dB)} = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) - K - S$$

### 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

- ✓ 多数のコンテナが存在する環境下において、反射板の利用による効果を検証



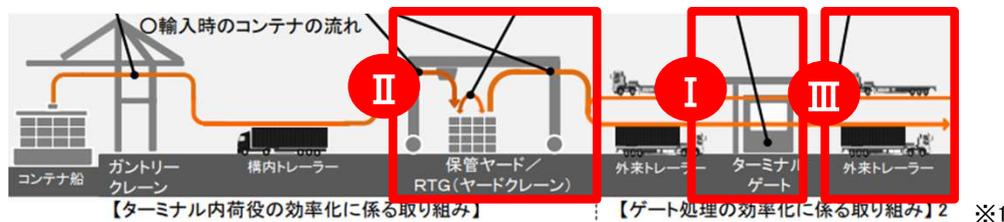
### 準同期TDDの追加パターン開発

- ✓ 同期局と準同期局の隣接運用が可能かの評価を検証



## 課題実証

➤ ゲート内・外の港湾業務の一連のフローを意識した、3つの課題実証を行い、業務効率化等に取り組んだ



### I. ダメージチェックの遠隔支援

- ✓ ローカル5G×スマートグラスを活用した、ダメージチェックの遠隔支援による業務効率化の実証



### II. RTG等の遠隔操作を見据えた有用性検証

- ✓ RTGの遠隔操作を見据え、ローカル5Gを活用した場合の実環境データを取得し、有用性の検証を実施



### III. 外來トレラーの待機列自動判別による混雑状況改善

- ✓ 車両情報取得システムによる、混雑可視化によるドライバーの行動変容検証および、関連港湾システムとの連携検証



---

# 実証環境の構築

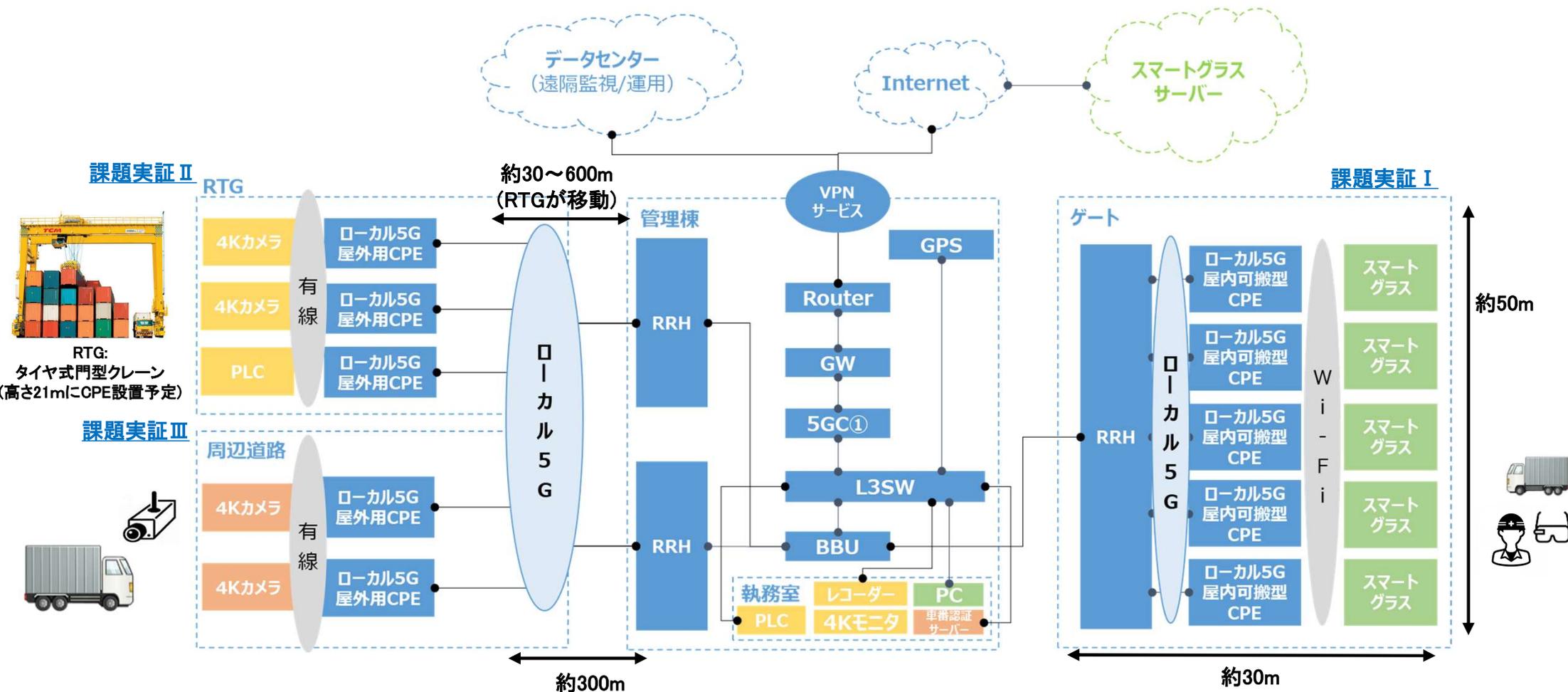
# 実施環境(エリアカバー図及び各種許認可)

- 3つの基地局により、課題実証及び技術実証で必要なエリアをカバーできるように設計を実施した
- ローカル5G 免許種類: 実験試験局免許 免許人: 夢洲コンテナターミナル株式会社
- 道路使用許可及び臨港道路等占用許可を取得し、周辺道路へのカメラ等設置を実施した



# ローカル5Gネットワーク及びシステム構成概要

- ローカル5Gの周波数帯は、4.8GHz～4.9GHz(100MHz幅)
- 技術実証では、準同期局の影響確認のため、追加で本コンソーシアム保有の機材を活用した干渉検証も実施した
- 免許人は、夢洲コンテナターミナル株式会社(2021年12月17日 取得)



技術実証(準同期関連)のため、  
本コンソーシアム保有の機材を活用





# ローカル5G システム機能・性能・要件

## ローカル5G基地局

	基地局A(型番)
製造ベンダ	Nokia社
台数	3台
設置場所(屋内/屋外)	屋外
同期/準同期	同期
UL:DL比率	1:4
周波数帯	4.7GHz帯
SA/NSA	SA
UL周波数	4.8~4.9GHz
DL周波数	
UL帯域幅	100MHz
DL帯域幅	
UL中心周波数	4.85GHz
DL中心周波数	
UL変調方式	64QAM
DL変調方式	256QAM
MIMO	4×2MIMO

## ローカル5Gコア装置

5Gコア装置	
多様な無線アクセスを収容し、使用端末の認証や移動しながらもデータ通信を接続するための移動制御などを提供する通信設備。 設備維持保守の簡便性を保つため、以下の各種C-plane、U-plane 機能を実装したもの。	
5Gコアネットワークファンクション	
AUSF (Authentication Server Function) : 認証機能	
AMF (Access and Mobility Management Function) : 端末管理(登録、接続)、モビリティ管理	
NRF (Network Repository Function) : サービス検出機能	
SMF (Session Management Function) : セッション管理	
PCF (Policy Control Function) : ポリシー制御	
UDM (Unified Data Management) : 加入者情報管理	
UPF (User Plane Function) : ユーザーデータの packets 転送、DN への接続点	
コア機能	
最大基地局収容数(4G、5G 合計)	100台
接続SIM 搭載端末数	10000台以下
実効スループット処理能力最大値	約2.5Gbps (※パケットサイズ1470 バイト測定時)
バックホール回線容量	10Gbps
APN/DNN 登録数	APN: 最大8 DNN: 最大4 (MultiAPN/MultiDNN 有効時)

---

# 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)

# 技術実証目標

- 以下4項目の実証結果を踏まえて課題解決システム利活用環境における技術的課題の解決に向けた知見を得る

## ローカル5Gの電波伝搬特性の測定

- 港湾エリアへのローカル5G(Sub6帯)エリア構築を検証
    - ①電波伝搬評価:コンテナが積み重なる環境での受信電力・電波品質を測定
    - ②アプリケーション評価:スマートグラスの通信要件をベンチマークとし、地上高1.5m地点にて利用可否を検証
- <目標値>
- ・スループット: UL10Mbps DL1Mbps
  - ・遅延: 900ms~2000ms

## 電波伝搬モデルの精緻化

- 特殊地形環境パラメータ「補正值:K」と地物(妨害物)パラメータ「補正值:S」に関する精緻化を実施

## 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

- 多数のコンテナが存在する環境下において、反射板の利用による効率的なローカル5G電波エリアの拡充が可能か検証、検討

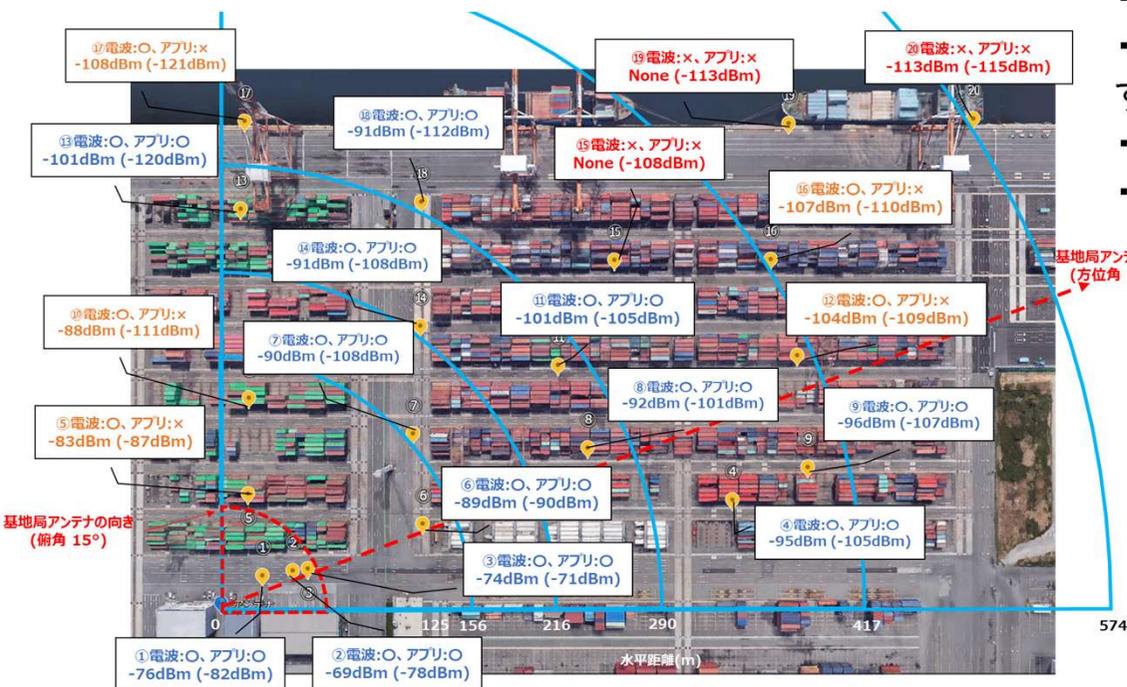
## 準同期TDDの追加パターン開発

- シミュレーションと実測にてローカル5G同期局と準同期局の隣接運用が可能か評価を実施し、新たな準同期局への展開を検討

# 技術実証：ローカル5Gの電波伝搬特性の測定

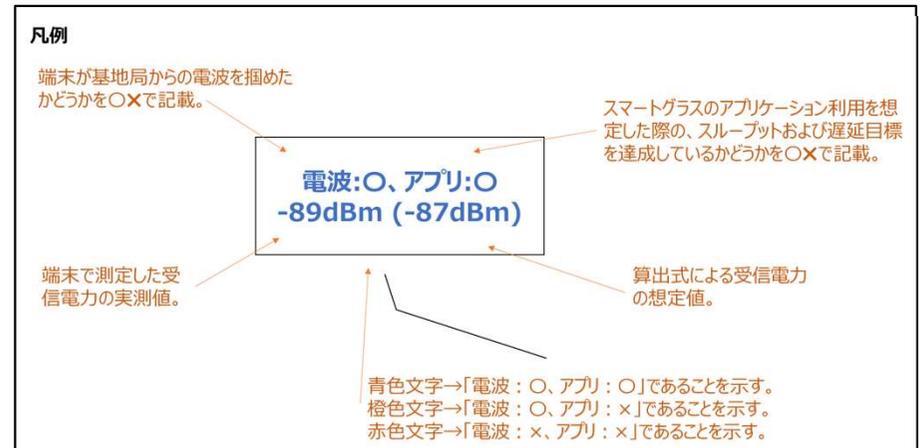
- 課題解決システム利活用環境における技術的課題
  - ・コンテナヤード内は日々コンテナ積み上げ高が変わるため、フィールドでの電波エリア構築に関する評価が必要である
- 実証目標
  - ・地上高1.5m地点にてスマートグラスの利用が可能であること
- 実証前の仮説
  - ・基地局からの死角となるポイントに関しては10dB程度の減衰が見られ、アプリケーションの利用が困難と想定される
- 実証内容
  - ・エリア内20地点で計測を実施した
  - ・受信電力、電波品質、伝送スループット、伝送遅延時間に関して評価を実施した

## <実測結果>コンテナヤード内俯瞰図と測定結果



## コンテナヤード内の伝搬に関するポイント

- ・コンテナレーン間は直接波ではなく反射波中心の伝搬となる
- ・死角地帯への伝搬効果はコンテナ壁面への入射角により変動する
- ・照明塔付近、岸壁エリア付近はSINR値が低くなる傾向にある
- ・4.9/5GHz、Wi-Fiとの干渉影響があると考えられる





# 技術実証：電波反射板によるエリア構築の柔軟化

- 課題解決システム利活用環境における技術的課題
  - ・エリアにはコンテナ裏等の死角が多数存在し、新たな通信ケーブルや干渉調整を必要としないエリア展開方法が必要である
- 実証目標
  - ・反射板の利用による受信電力やスループットの向上を明らかにする
- 実証前の仮説
  - ・反射板正面から±4度の範囲にて、87.5dB — 入射角依存値(0.1~6.0dB)程度の性能向上が可能と想定される
- 実証内容
  - ・エリア内24バリエーションで計測を実施した(反射板の有無、反射板との離隔距離、角度を調整)
  - ・受信電力、電波品質、伝送スループット、伝送遅延時間に関して評価を実施した

〈実測結果〉反射板のエリア改善効果としては基地局から見て鋭角である場合は受信電力向上の効果があると考えられる

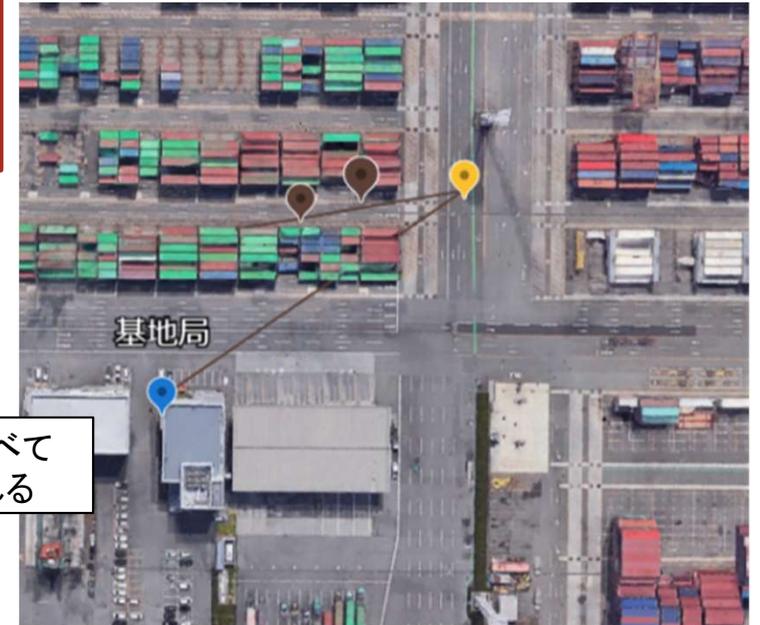
## ◆ 反射板①-1の場合

【各測定点での反射板角度変更時の受信電力変化】

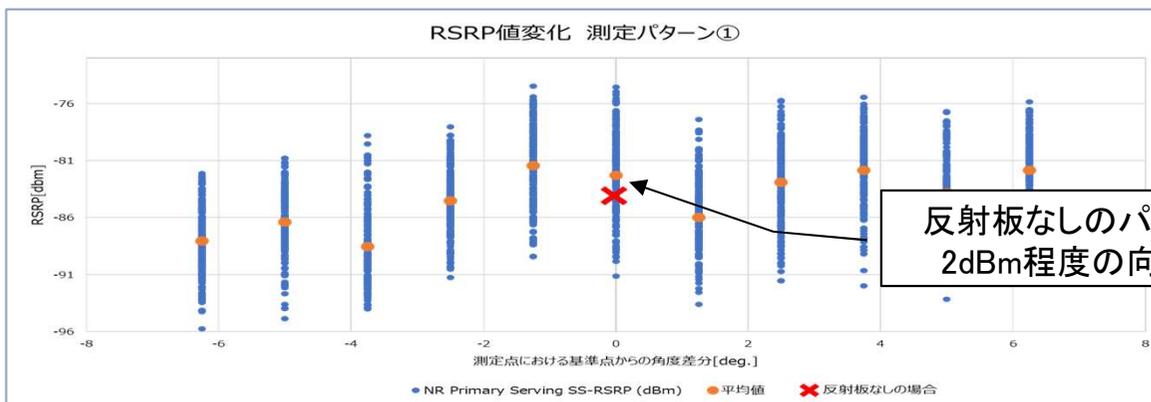
測定点ID	反射板 角度	端末 (測定器) の受信電力 実測値 [dBm] 平均値	反射板 角度(0°) の値との差
反射板①-1	+5°(反時計方向)	-81.81	0.01
反射板①-1	0°	-81.79	0.00
反射板①-1	-5°(時計方向)	-81.24	-0.55

反射板角度依存性は見られない

【測定ポイント: 反射板①-1】



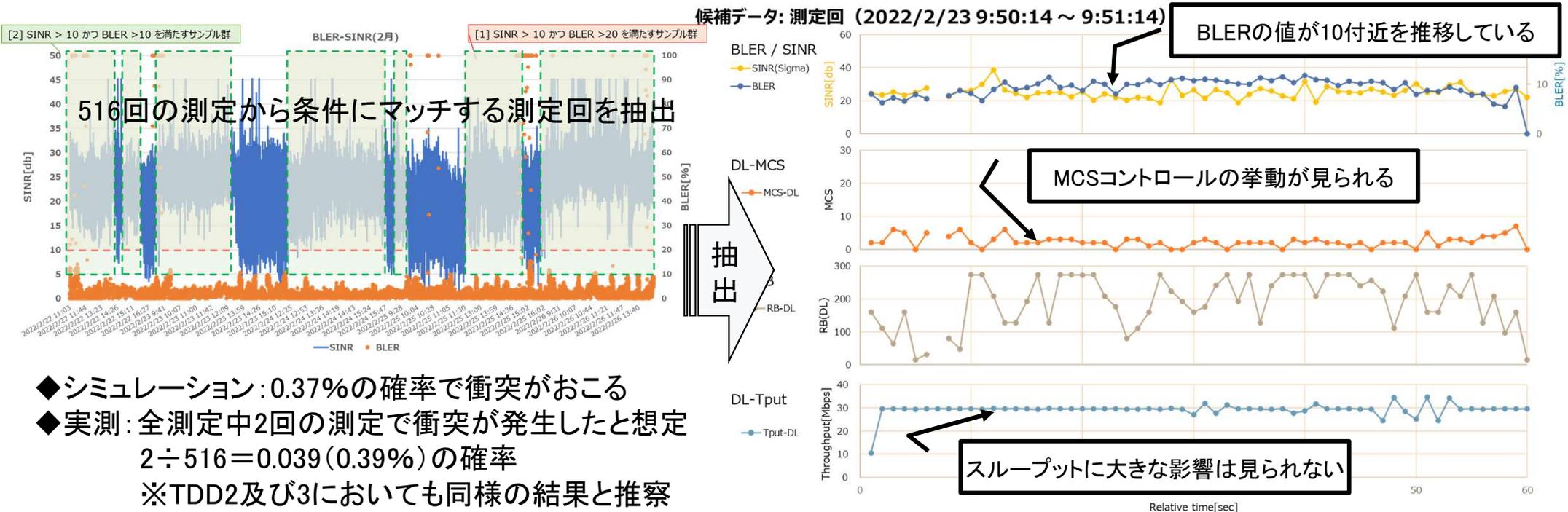
【測定点を1.25度ごとに変更した場合のRSRP変化】



反射板なしのパターンに比べて  
2dBm程度の向上が見られる

# 技術実証：準同期TDDの追加パターン開発

- 課題解決システム利活用環境における技術的課題
  - ・港湾内の利用ニーズとしてはUL通信を中心としたものが多い。準同期によりULスループットの向上が求められている一方で、通信の安定性という観点では他の5Gシステムとの共用要件を評価、確認しておくことが必要である
- 実証目標
  - ・隣接運用される同期局と準同期局(TDD1)間のサブキャリア衝突回数についてシミュレーション結果と実測結果を比較する
  - ・新たな準同期局への適用可否を検討する
- 実証前の仮説
  - ・2つのシステム間にてサブキャリアが同一となった場合に衝突が発生し、BLERが上昇するがスループットに影響は出ない
- 実証内容
  - ・モンテカルロシミュレーションにて想定衝突回数を算出した
  - ・準同期局を同期局から10m地点に設置して、サブキャリアの衝突が発生するか検証を実施した



# 仮説検証結果・得られた技術的知見

## ローカル5Gの電波伝搬特性の測定

- 港湾内のコンテナの積み上げ状況によって電波の受信電力に大きな影響が出る。見通しを遮断する妨害物となる一方で、積み上がり方によっては反射物としてエリアカバーを広げる要因ともなり得る。
- アプリケーションとしては影響が出ていないがIEEE802.11j(4.9/5GHz、Wi-Fi)との干渉が起こっていると想定される。コンテナヤード全体をエリアカバーする場合は岸壁エリアからの電波出力が推奨だが、他無線APの位置等含めた設置場所検討が要求される。

## 電波伝搬モデルの精緻化

- 港湾エリアに関しての各種パラメータは「K: 8.09」、「S: 56.24」と考えられる。
- 本実証エリアは見通し正面に妨害物が存在したが、開放地の補正值よりも遠方に電波は到達している。アンテナの指向性方向からずれている電波でも十分な強度を持って遠方まで到達したと推察する。
- 特殊地形に関する部分については水面反射による影響が十分にあったと考えた。水面への到達時入射角度は $89^\circ$ あり、利得を減衰させる方向であったが、海面積の広さや、海面までの距離が長かったことで反射物としての影響が大きく働いたと思われる。

## 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

- ラボの試験ではアルミ素材の反射板(1m×1m)の効果はビーム幅 $\pm 4^\circ$ で得られていた。
- コンテナの背面(死角)への電波強度値改善効果検証を実施したところ、基地局と反射板、端末の位置関係によっては端末受信電力向上効果があったと考えた。
- 港湾における反射板の有効性がある分野については、端末側が固定である渋滞監視のようなアプリケーションに適しているのではないかと推察する。

## 準同期TDDの追加パターン開発

- 同期局と準同期TDD1局が隣接しており、それぞれサブキャリアの割り当てが行われた場合、シミュレーションでは0.37%の確率でフレームの衝突が起こる結果となった。実測結果としては0.39%(516回中2回)の確率で衝突が起こっていると思われる。
- 30Mbps程度のスループット印加状況だと、スループットへの影響は起こらなかった。港湾で求められる通信要件では同期局と準同期TDD1局の隣接運用は可能と推察する。
- 端末数が増加すると同サブキャリアの割り当て確率が増し、それに伴いフレームの衝突回数も増数となると考えられる。
- TDD2及び3についても同様の結果になると推察する。

---

# 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)

# 課題実証の全体概要 (I ~ III)

● 港湾業務の業務効率化・生産性向上、混雑状況改善を目的に、3点の課題実証に取り組む (I ~ III)

## 目的

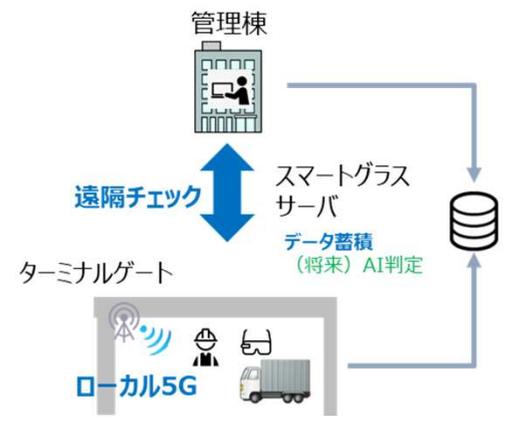
➤ ローカル5Gを活用した、港湾業務の業務効率化・生産性向上、混雑緩和

## 実証概要 (I ~ III)



**I. コンテナターミナルゲートでのダメージチェック遠隔化によるゲート待機列の軽減に関する実証**

✓ 管理棟からの駆け付け時間削減



**II. RTG等の遠隔操作を見据えたローカル5Gの有効性に関する実証**

✓ 危険作業の遠隔化による作業環境改善



**III. 外来トレーラーの待機列自動判別による周辺道路の混雑状況改善に関する実証**

✓ 周辺渋滞の解消や積荷時間削減



## アウトプット

➤ 効果・機能・運用の側面から評価を実施し、実装に向けた課題とその解決策について考察を行う

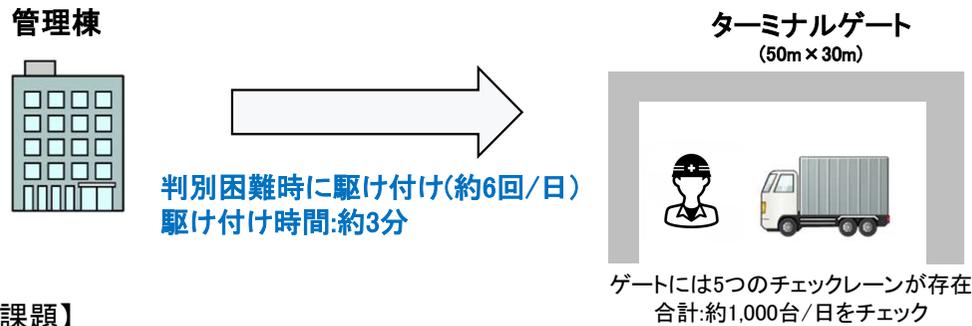
# 【概要】I. コンテナターミナルゲートでのダメージチェック遠隔化によるゲート待機列の軽減に関する実証

- ローカル5Gを活用した、ゲートでのコンテナダメージチェックの遠隔化・デジタル化の実証を実施した
- 課題は、駆け付け時間発生による周辺道路混雑の誘発、ノウハウの蓄積不足である

## 実証内容イメージ

- ローカル5Gを活用した、コンテナダメージチェックの遠隔化・デジタル化
  - ①スマートグラスを活用したダメージチェックの遠隔化による作業効率向上(遠隔化)
  - ②スマートグラスによる作業内容のデジタル化・データ蓄積(デジタル化)

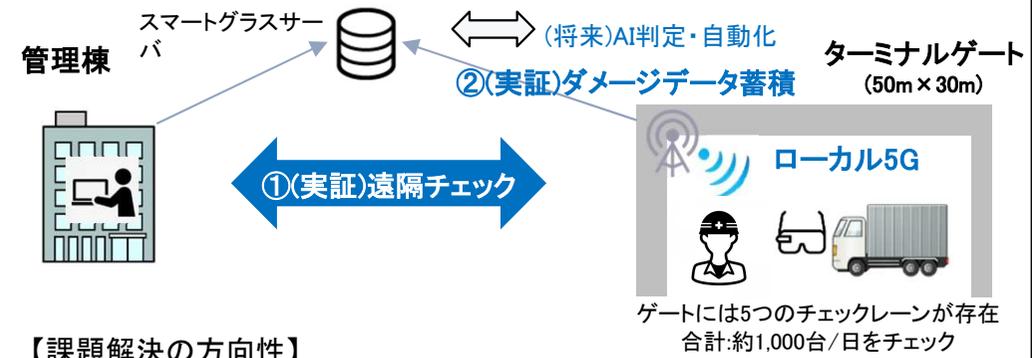
### 現状



#### 【課題】

- ✓ 管理棟からの駆け付け時間発生による、周辺道路混雑を誘発
- ✓ ノウハウの蓄積不足

### ローカル5G導入後(将来含)



#### 【課題解決の方向性】

- ✓ 遠隔チェックでの時間短縮による、渋滞緩和
- ✓ スマートグラスによるダメージ画像の蓄積(AI活用、若手への技能伝承)

## ローカル5Gの必要性

- ✓ 広範囲・大容量: 50m × 30mのゲート内で、最大5台のスマートグラス高精細映像伝送(アップロード)が可能な、広範囲・大容量NWが必要
- ✓ 高セキュリティ: コンテナのダメージチェックでは、情報の保護のため、高セキュリティNWが必要

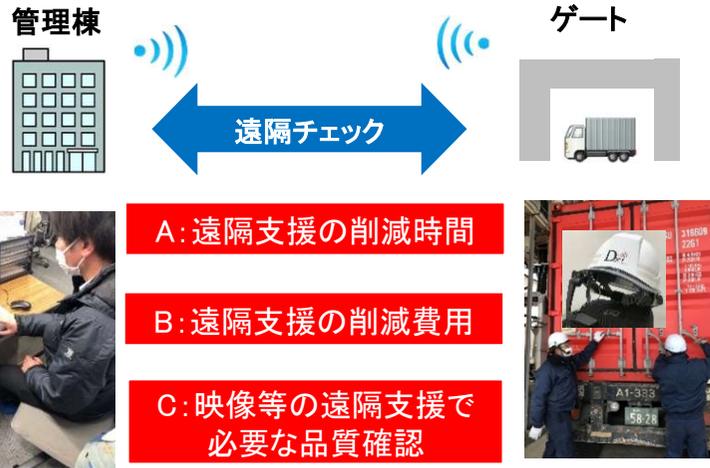
## 有効性等に関する主な検証内容

- ✓ 【効果】従来のコンテナダメージチェックとスマートグラス活用による遠隔化の比較により、生産性向上、削減費用等を定量的な評価項目として、効果を検証
- ✓ 【機能】スループット、同時接続、アンテナ見通し有無に関する測定により、遠隔でも目視と同品質でチェック可能であることを検証
- ✓ 【運用】機能操作性等の運用課題を抽出し、課題に対する対応策(運用マニュアル、運用フロー図など)を作成

# 【結果】I. コンテナターミナルゲートでのダメージチェック遠隔化によるゲート待機列の軽減に関する実証

- 生産性向上/年:24時間、削減費用/年:530万円を確認。他ゲートや他業務への拡大で、最大で約700時間、約2,160万円の効果が今後期待される
- アンケートにより目視チェックと変わらない、運用上問題ない画像品質を確認した
- 運用上必要なスループット、同時接続を確認。また、ダメージチェックで必要なコンテナ内(アンテナ見通し無)でも安定して利用可能であることを確認した

## 【効果検証(詳細は次ページ)】



## 【機能検証】



## 【運用検証】



	評価・検証項目	目標	結果	目標達成	考察・備考
【効果】	A.生産性向上/年	48時間/年	24時間/年	△	移動時間の削減効果を確認。システム準備時間が課題だが、運用習熟により達成見込み。
	B.削減費用/年※1	約1,060万円/年	約530万円/年	△	移動費用の削減効果を確認。システム準備時間が課題だが、運用習熟により達成見込み。
	C.品質(アンケート)※2	全9項目で4.0以上	7項目で4.0以上	△	目視チェックと変わらない画像品質を確認。未達成項目である運用面は習熟により達成見込み。
【機能】	D.スループットUL	UL:10Mbps	UL:65.9Mbps	○	スマートグラス1台あたりに運用上必要なスループットUL:10Mbpsを5レーンすべてで確認
	E.同時接続安定性	UL:50Mbps	UL:65.9Mbps	○	スマートグラス5台同時接続に必要なスループットUL:50Mbps(10Mbps×5台)を確認
		1時間の安定運用	1時間の安定運用を確認	○	スマートグラス5台同時接続で、1度も途切れることのない安定運用を確認。
	F.見通し無の接続可否	利用可	利用可	○	コンテナ内(アンテナ見通し無)でも、接続が途切れることなく、利用可能であることを確認
【運用】	G.運用課題の洗い出し・対策検討	課題の洗い出し・対策検討の完了	課題抽出・対策検討を完了	○	30名から課題を抽出し、課題に対応した4件の対応策(勉強会、マニュアル作成、フロー検討等)を実施

※1.算出に用いた従事者の単金は、非公開情報のため、本実証の算出で用いる単金は令和3年3月厚生労働省港湾労働関係資料を採用(<https://www.mhlw.go.jp/content/11606000/000748529.pdf>)

※2. 選択項目 5:とても良い、4:良い、3:普通、2:やや悪い、1:非常に悪い  
採点方法(選択項目×選択人数)÷アンケート回答者の総数

# 【参考】<効果検証> I . コンテナターミナルゲートでのダメージチェック遠隔化によるゲート待機列の軽減に関する実証

- 生産性向上/年:24時間<sup>※1</sup>、削減費用/年:530万円<sup>※2</sup>を確認。他ゲートや他業務への拡大で、最大で約700時間、約2,160万円の効果も今後期待される  
※ゲートは港湾の入り口でボトルネックとなり、ゲート業務の効率化は、港湾内全体の業務効率化に波及
- 港湾は非常に広い敷地となるため、移動時間を削減可能な、本ソリューション×ローカル5Gを展開することで、更なる効果が期待できると想定される

## 現状フローとの比較

- 実証期間が短く、1回当たりの削減時間は1分となったが、今後の運用習熟によるシステム接続や再ダメージチェックの円滑化で、約2分まで効率化が可能と想定
- 今後は、勉強会や運用フォローを継続的に実施し、運用習熟をめざし、さらなる効率化を図る。

	①ダメージチェック	②呼び出し	③駆け付け (管理棟→ゲート)	④システム接続・準備	⑤再ダメージチェック	合計
現状	 約2分	 約0.5分	 約3分	- 0分	 約3分	約8.5分
ローカル5G	 約2分	 約0.5分	- 0分	 約1分	 約4分	約7.5分 (今後の運用習熟で、約6.5分に短縮見込み)

※1 1回当たりの削減時間:1分×1日の実施回数:6回×20営業日×12ヶ月=24時間

※2 生産性向上/年:24時間 × 影響人数:96人 × 従事者単金:2,300円/時間=530万円

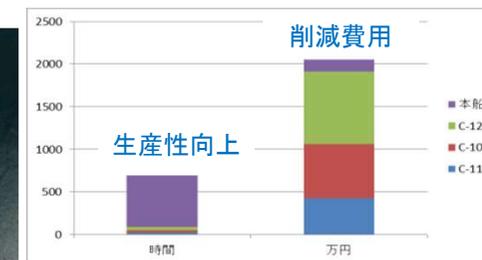
(算出に用いた従事者の単金は、非公開情報のため、算出には、令和3年3月厚生労働省港湾労働関係資料を採用  
<https://www.mhlw.go.jp/content/11606000/000748529.pdf>)

(ゲートは港湾の入り口でボトルネックとなり、ゲート業務の効率化は、港湾内従事者約96人の効率化に影響)

## 他ゲート、他業務への活用拡大

- 利用者アンケートから、管理棟から距離が遠い、他ゲートや、本船荷役でも活用希望のコメント有。  
※現状は、移動には車や自転車を活用している状況(管理棟から約5~6分)
- 他ゲートや他業務への活用拡大で、最大で約700時間、約2,160万円の効果(予測)も今後期待される。

<他ゲートへの拡大検討>

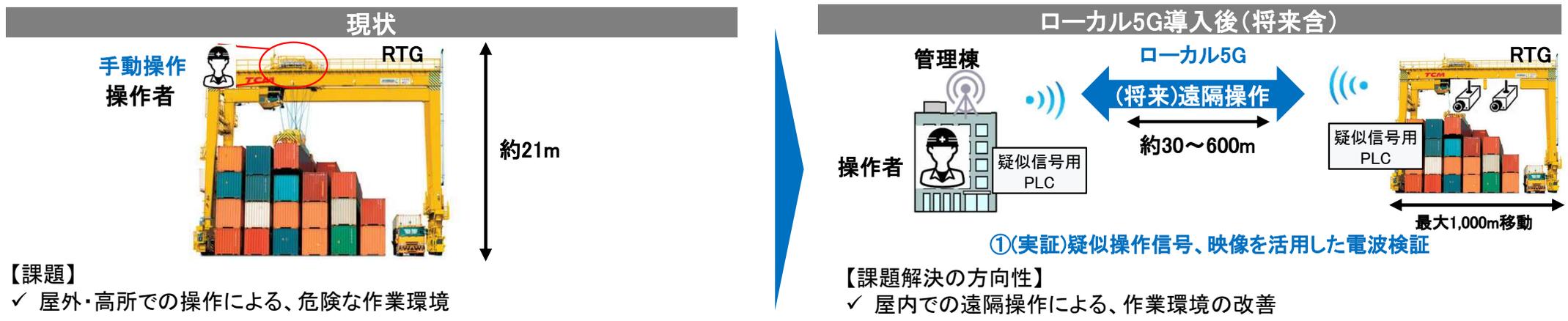


## 【概要】Ⅱ. RTG等の遠隔操作を見据えたローカル5Gの有効性に関する実証

- RTGの遠隔操作を見据え、ローカル5Gを活用した疑似的な遠隔操作等をおこない、ローカル5Gの有効性を検証した
- 課題は、屋外・高所での操作による、危険な作業環境である

### 実証内容イメージ

- 将来的なRTG等の遠隔操作を見据え、ローカル5Gの有効性の検証を実施
  - ・疑似操作信号と4Kカメラを用いた、ターミナルでの電波検証(5GHz帯無線アクセスシステムでの、遠隔操作の検証データと比較)



### ローカル5Gの必要性

- ✓ 大容量・低遅延: 遠隔操作には、高精細カメラ30台程度(操作・安全確認目的)が必要となるため、操作者⇔RTGで大容量・低遅延NW(アップロード)が必要
- ✓ 広範囲: RTGは最大1,000m移動し、コンテナや照明塔等の遮蔽物の影響も受けるため、広範囲かつ遮蔽物の影響を受けづらいNWが必要
- ✓ 高信頼・高セキュリティ・ライセンスバンド: 危険を伴う作業となるため、Wi-Fiとも干渉しない、高信頼・高セキュリティのライセンスバンドのNWが必要

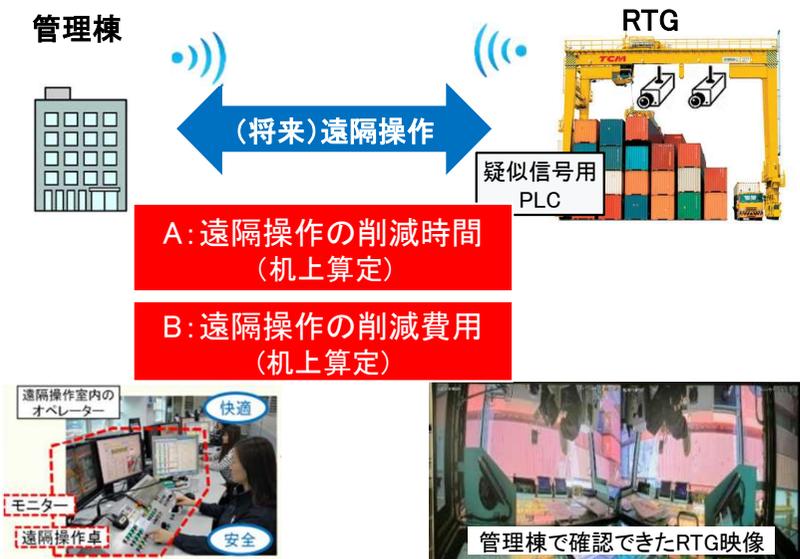
### 有効性等に関する主な検証内容

- ✓ 【効果】 遠隔操作による生産性向上・削減費用を先行事例をもとに算出し、効果を検証
- ✓ 【機能】 RTG遠隔操作が検証されている他無線ネットワーク(5GHz帯無線アクセスシステム)結果と比較検討を行い、ローカル5Gの有用性を検証
- ✓ 【運用】 ローカル5Gを活用した、遠隔操作を導入する場合の運用規定等の検討を実施  
(国土交通省策定の遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規程を基に検討)

# 【結果】Ⅱ. RTG等の遠隔操作を見据えたローカル5Gの有用性に関する実証

- 12測定ポイントでスループット、遅延時間を測定し、概ね目標値を達成。実導入に向けた置局ノウハウも蓄積できた
- 将来、複数RTG等の遠隔操作を見据えた場合、今回の置局・システム設計では対応困難なため、最適な置局設計や準同期導入等の継続検討を行う

## 【効果検証】



## 【機能検証(詳細は次ページ)】

### ヤード内の12測定ポイントで検証



D: 遅延時間確認 (PLC操作/RTG映像)  
(Delay time confirmation (PLC operation/RTG video))

## 【運用検証】



<目標値は、5GHz帯での遠隔RTG検証の実証結果をもとに設定>

	評価・検証項目	目標	結果	目標達成	考察・備考
【効果】	A.生産性向上/年	- ※1	▲15,840時間	—	実証フィールドで、先行事例通り、遠隔RTG導入により、約20%削減した場合の机上算定 ※導入費用は算定では考慮せず。※先行事例: <a href="https://www.city.yokohama.lg.jp/www/content/1574125434307/files/2-3.pdf">https://www.city.yokohama.lg.jp/www/content/1574125434307/files/2-3.pdf</a>
	B.削減費用/年(運用費、燃料費等)	- ※1	▲約0.6億円	—	
【機能】	C.スループット (現状のRTG遠隔操作には、1台あたり、機能要件として、UL:約10Mbps、DL:約5Mbpsが必要)	UL:15Mbps	10/12測定ポイントで達成	△	現状の機能要件よりも+5Mbpsである、UL:15Mbpsを10ポイントで確認。 (未達成は500m以上地点⑫であり、実導入時は300m範囲単位でのエリア設計想定のため、影響なしと史料)
		UL:10Mbps	11/12測定ポイントで達成	△	現状の機能要件である、UL:10Mbpsを11ポイントで確認。 (未達成は600m地点①であり、実導入時は300m範囲単位でのエリア設計想定のため、影響なしと史料)
		DL:5Mbps	12/12測定ポイントで達成	○	全ポイントで100~300Mbps※3のDLを測定。十分なDLがあるため、他アプリケーションの併用も検討可能。 また、準同期の導入により、ULをさらに上げることも可能。
	D.遅延時間	PLC操作信号 (疑似操作信号の送受信時間を確認)	60msec以下	2/12測定ポイントで達成	×
RTG映像		250msec以下	10/12測定ポイントで達成 ※4	△	現状の機能要件である、遅延250msec以下を10ポイントで確認。 (未達成は500m以上地点⑫であり、実導入時は300m範囲での設計想定のため、影響なしと史料)
【運用】	E.運用課題の洗い出し・対策検討	洗い出し・検討完了	課題抽出・対策検討を完了	○	有識者とディスカッションをおこない、現行のモデル運用規定に追加が必要だと考える項目の検討を実施

※1: 机上算定のため、目標を設けず  
※2: 国交省公表の「遠隔操作RTGの安全確保のためのモデル運用規定」の施設の維持管理部分

※3: 今回の実証システム上、最大300Mbpsまでしか測定できないため、実測300Mbps以上の測定ポイントがある可能性あり  
※4: 遠隔操作・検証で導入実績がある、低遅延エンコーダー・デコーダー・モニター等を導入した場合

# 【参考】<機能検証> II. RTG等の遠隔操作を見据えたローカル5Gの有効性に関する実証

- 基地局から約500m範囲内であれば、スループット・遅延ともに概ね目標達成。特に、約300m範囲内であれば、UL:30Mbps以上(最大60Mbps)を確認できた  
※RTG1台あたり遠隔操作には、約10MbpsのULが必要なため、今回の設定値では、約300m範囲内であれば、1アンテナで3台の遠隔操作が可能と想定
- 今後は、複数RTG等の遠隔操作を見据えた場合、今回の置局・システム設計や、干渉や複数台接続等の影響の継続検討を行う

## 実証結果



### <スループット>

- A) UL: 基地局からの距離600mを超えると、目標UL:10Mbps未達成
- B) UL: 基地局からの距離500mを超えると、目標UL:15Mbps未達成
- C) DL: どのポイントでも、目標DL:5Mbpsは達成

### <遅延>

- D) PLC遅延は目標未達が多いものの、75msec以内に収まっている。  
※距離影響はあまりみられない。  
※目標超過+15msec間に荷役巻上げが進む距離は、最速の場所で1.35cm(許容範囲とできるか継続検討)
- E) 映像遅延においても、距離500mを超える場合以外は、目標達成

### <5GHz無線帯との比較>

- 約300m範囲内であれば、UL・遅延とも5.0GHz帯の無線と同等の検証結果を確認
- ローカル5GはDLの余力があるため、今後準同期対応等でさらにULを上げることは可能
- ローカル5Gは、干渉や複数台接続等の影響確認が今後の課題

	300m範囲内での検証値	
	UL	遅延
5GHz無線	30Mbps	250msec以内
ローカル5G	30~60Mbps	250msec以内

<青枠: 目標達成ポイント 赤枠: 目標未達成ポイント>

No	目標	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	
1	アンテナからの距離(m)	-	610	400	350	250	280	480	430	130	60	250	320	570
2	電波強度:RSRP(dBm)	-	-109	-97.4	-100.5	-96.1	-95.8	-105.4	-108.4	-88.4	-89.4	-95.1	-94.3	-102.8
3	UL:RTG→管理棟(Mbps)	10Mbps	7.4	24.0	31.5	38.8	34.1	20.3	17.1	63.2	53.9	38.0	26.4	14.2
		15Mbps	7.4	24.0	31.5	38.8	34.1	20.3	17.1	63.2	53.9	38.0	26.4	14.2
4	DL:管理棟→RTG(Mbps)※1	5Mbps	86.8	116.7	257.8	283.4	240.6	181.6	270.4	276.7	262.9	274.1	195.7	106.1
5	4Kカメラ2台映像通信:10Mbps相当	疎通可否	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	PLC遅延:疑似操作信号(msec)	60msec	69	66	65	73	72	68	55	66	68	74	61	53
7	映像遅延※2(msec)	負荷:10Mbps	5,209	216.1	214.0	214.3	214.0	213.7	220.3	212.8	212.6	214.1	213.9	218.2
		負荷:15Mbps	5,520	216.2	213.7	214.1	213.8	214.7	220.7	212.0	212.9	213.5	214.2	2,130
8	無線区間遅延(msec)	負荷:10Mbps	5,009	16.1	14.0	14.3	14.0	13.7	20.3	12.8	12.6	14.1	13.9	18.2
		負荷:15Mbps	5,320	16.2	13.7	14.1	13.8	14.7	20.7	12.0	12.9	13.5	14.2	1,930

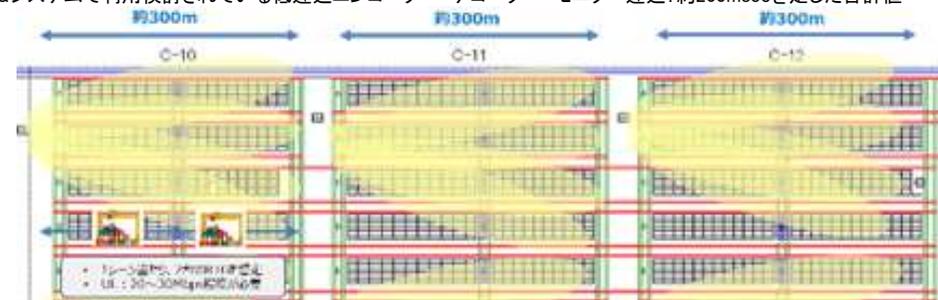
※1 今回の検証では、システム的な問題で300Mbpsまでの測定

※2 No.8で測定した無線区間遅延に、現状の遠隔RTGシステムで利用検討されている低遅延エンコーダー・デコーダー・モニター遅延:約200msecを足した合計値

## 今後の置局・システム設計

- 数十台のRTGを運用するためには、今回の実証結果から、管理棟への基地局設置でヤード全体をカバーするのではなく、各パース間に設置されている、照明塔(光配線は敷設済)へ設置し、1アンテナで1レーン(約300m)をエリアカバーする方法が最適と考える。

※1レーンあたりのRTG同時稼働数は2台と想定(上記より、1レーンあたりの必要用スループットULは、20~30Mbps)



### Ⅲ. 外来トレーラーの待機列自動判別による周辺道路の混雑状況改善に関する実証

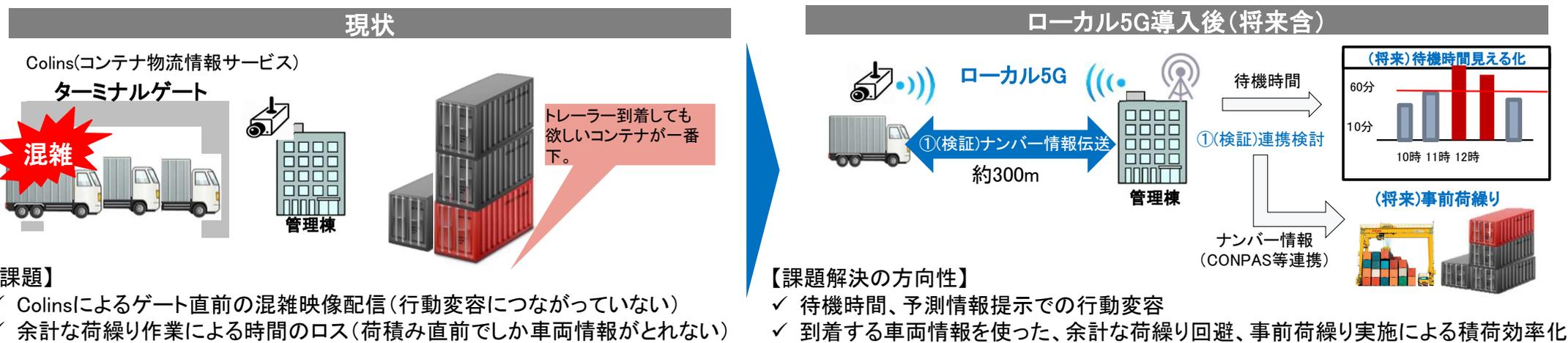
- ローカル5Gを活用した、外来トレーラーの平準化、港湾業務の効率化に取り組み、港湾エリアの混雑解消をめざす
- 将来的な混雑解消のための待機時間の見える化、新港湾情報システムとの連携の有効性の検証に取り組む
- 課題は、行動変容につながる混雑情報配信がない、余計な荷繰り作業による時間ロスである

#### 実証内容イメージ

- 周辺道路の混雑解消に向けて、ローカル5Gを活用した以下の実証を実施

・待機時間、予測の見える化に向けた、4Kカメラによるナンバー情報映像伝送（車番認証システム活用）

※実用化を想定し、今後導入予定の新港湾情報システム(CONPAS)、コンテナターミナルシステムとの連携についても、技術課題洗い出しなどの検討を実施



#### ローカル5Gの必要性

- ✓ 大容量・広範囲: 車両ナンバー読み取り(時速30km程度で移動)には、高精細カメラによる大容量のアップロード帯域のNWが必要
- ✓ 無線ネットワーク: 屋外かつ塩害等で有線ケーブル配線が困難

#### 有効性等に関する検証内容

- ✓ **【効果】** 待機時間の見える化が混雑回避の行動変容につながるかをトレーラー運転手へのアンケートにより、効果を検証
- ✓ **【機能】** 時速約30km程度で走行中の必要なナンバー情報が取得できるか、待機時間の見える化、待機時間の予測モデルの確立が可能かを検証
- ✓ **【運用】** 機能操作性や既存作業への運用影響等を、約50人へのアンケートで確認・実証

# Ⅲ. 外来トレーラーの待機列自動判別による周辺道路の混雑状況改善に関する実証

- ローカル5Gを用いて4Kカメラでトレーラーのナンバー情報を取得し、混雑の見える化の実現可否と混雑平準化の可能性を確認した
- 4Kカメラで捉えた映像の車両とナンバーの認識率、新港湾情報システム(CONPAS)との接続確認について目標を達成した



	評価・検証項目	目標	結果	目標達成	考察・備考
【効果】	A.混雑算出モデルの精度確認	予測精度:70%以上	予測精度:43.5%	×	一般道と違うゲート停止時間を考慮することで精度は上がる。混雑予測を時間ではなく、混雑度合いにすれば精度は上がる。
	B.混雑予測の実現可否	実現可能	実現可能	○	待機時間でなく混雑度合いの予測であれば、実現可能。
	C.削減作業時間 / 年	— ※1	約25,512時間 / 年	—	アンケートの結果から、23%が行動変容意志があるとして、車両800台、待機時間10分減少の人件費で算定。
	D.費用対効果 / 年	— ※1	約93百万円 / 年	—	
	E.実現可能性	実現可能性の確認	実現要望を確認できた	○	混雑を避ける行動変容に向けて提示が必要な情報が明確になった
【機能】	F.4Kカメラによる車両情報伝送	認識率 :99%以上	車両認識率:100% ナンバー認識率:99.8%※2	○	<b>車両認識率:</b> シャーシを車両として数え、車両が重複する事例があったが、方向検知により改善 <b>ナンバー認識率:</b> トレーラーの装飾により正確に読み取れない事例があったが、カメラ設置位置の変更と角度により改善可能
	G.4K映像のスループット	UL:20Mbps	UL:16.3Mbps	×	車番認証システム側の画像認識に必要な映像品質の伝送帯域は確保
	H.システム連携可否	データ伝送率:100%	データ伝送率:100%	○	車番認証システムで取得したデータはCONPAS格納の手順確立
【運用】	I.実装運用に向けた課題確認	課題の洗い出し	課題明確化完了	○	今後実装運用に向けて必要な開発項目と業務効率化につながる事前荷練り実現に向けた課題が明確になった

# (参考) III. 外来トレーラーの待機列自動判別による周辺道路の混雑状況改善に関する実証

- 4Kカメラで撮影した高精細なナンバー情報を広帯域でアップロードすることで、99%以上の認識目標を達成した
- ナンバー情報のCOMPASへの伝送は、目標達成できた。いずれTOSと連携することで事前荷繰りの実現を図る
- 混雑状況が見えることにより、混雑回避の行動変容の可能性が確認できた

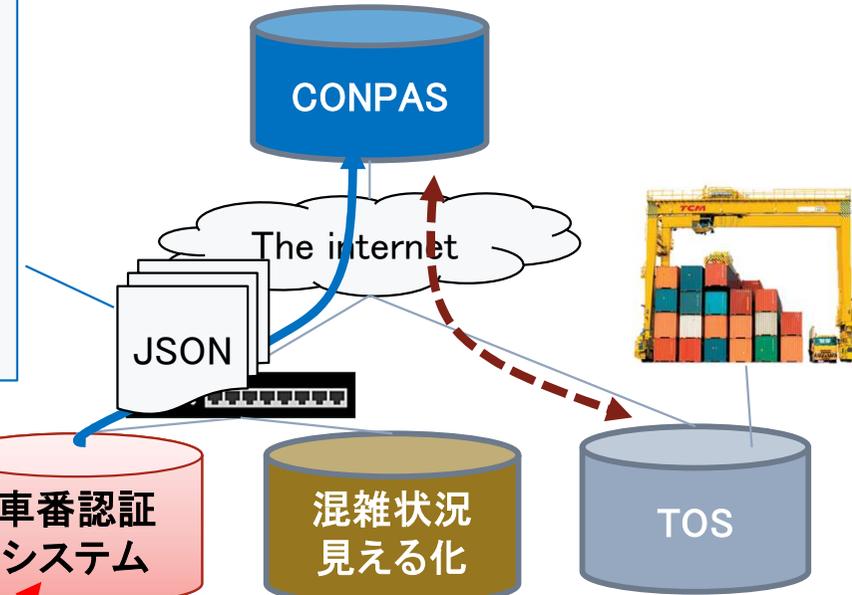
## 新港湾情報システムCOMPASへ車両情報伝送

日時	送信台数	受信台数	成功率
22/2/3 AM	45台	45台	100%

送信するコマンドにBasic認証のコマンドを埋め込み、Webブラウザでユーザ名とパスワードの入力を求める認証方式で実施

```

"method": "POST",
"url": "https://hpcstg.iriss.jp/api/v1/gate/number_plate",
"request": {
  "carg_desc": null,
  "carg_kbno": 0,
  "carg_rf": 0,
  "ndat_acno": 0,
  "ndat_stno": 2,
  "ndat_nidx": 14779,
  "ndat_rctm": "2022-02-03 11:30:17.508",
  "numb_area": "¥548c¥ubcc9",
  "numb_clas": "130",
  "numb_kana": "¥304f",
  "numb_seg": "1200",
  "patb_jf": 1,
  "patb_kf": 0,
  "patb_sf": 1
}
    
```

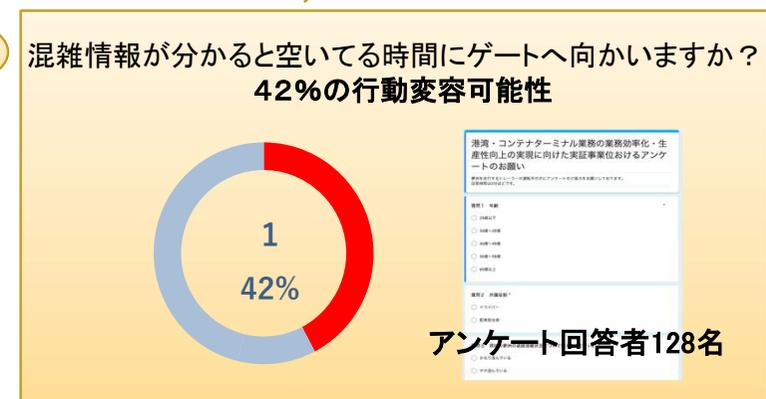
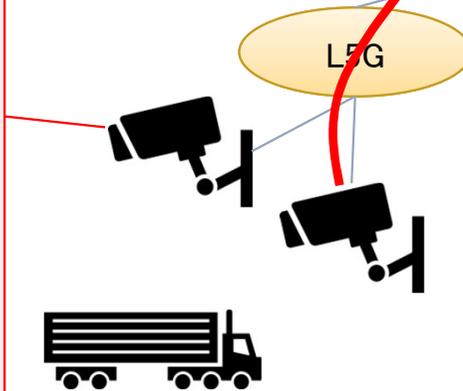


## 車両・ナンバー認識



日時	通過台数	車両認識率	ナンバー認識率
22/2/14 AM	125台	100%	100%
22/2/14 PM	143台	101.4%(※)	100%
22/2/15 AM	150台	101.3%(※)	100%
22/2/15 PM	121台	101.3%(※)	99.1%

※ヘッド部分とシャーシ部分を重複して認識していた。



COMPAS: Container Fast Pass system  
TOS: Terminal Operating System

# 継続利用・実装計画

- 2022年度も、本実証で導入したローカル5Gをはじめとした関連機器、ソリューションは継続利用する  
特に、既存無線のローカル5Gによる更改、一本化に向けて、NTT西日本が中心となり、引続き検証予定である
- 2023年度以降は、適用ユースケースの拡大や、実装の実現をめざす

## 実装計画

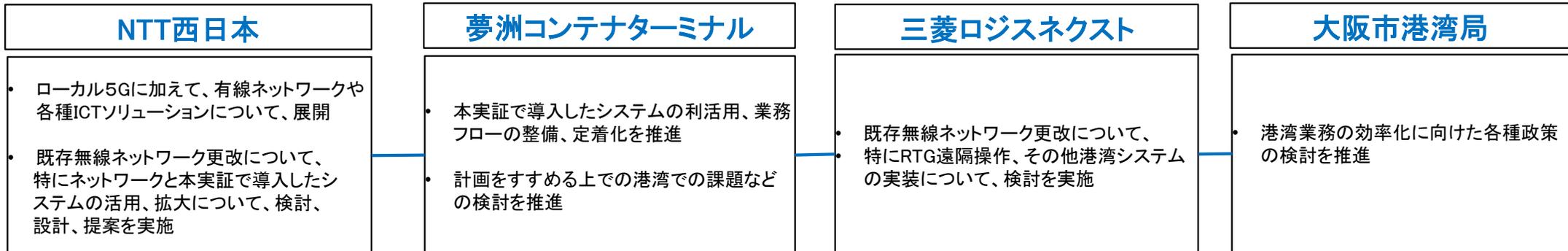
### <実装スケジュール>

- ✓ 2022年度 : システム等は継続利用。特に、既存無線のローカル5Gによる更改・1本化に向けて更なる検証を継続。
- ✓ 2023年度以降 : 適用ユースケースの拡大や、実装の実現をめざす。

システムソリューション	方針	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度
ローカル5Gシステム	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 既存無線ネットワークのローカル5Gによる更改・1本化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・既存無線ネットワークの公開に向けた検証を継続</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・無線ネットワークをローカル5Gにて更改</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・継続利用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>※低遅延、多数接続などの新たな機能を実装し、ユースケースを拡げていく</li> </ul>	
課題実証Ⅰ コンテナダメージチェック	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 複数ゲートや本船荷役等の様々な場所へ適用を展開</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ターミナルゲートでの利用定着化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コンテナ船からの荷下ろしにおけるダメージチェックに活用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・複数港湾におけるダメージチェック支援の集約</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ダメージチェックのAI化（自動化）</li> </ul>	
課題実証Ⅱ RTG遠隔操作シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 最適な設計や複数台の遠隔操作の検討を深化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RTG、ガントリー、AGV等への活用に関する検討実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・RTG等クレーン遠隔操作へのローカル5G適用</li> </ul>			
課題実証Ⅲ 車番認識・混雑可視化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 事前の車両情報取得による荷繰りへの展開を検討しAIターミナル構想の実現を図る</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・事前荷繰りへの活用検討実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・CONPASと連携した事前荷繰りの実現</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・混雑可視化における行動変容評価</li> </ul>		

### <推進体制>

- ✓ 引き続き、4者で連携し実装に向けた推進を図る



# 普及展開方針

- NTT西日本グループと三菱ロジスネクスト社との連携により、全国の物流拠点となる大規模港湾約90港を中心に普及展開を図る
- 普及展開に向けては、港湾エリアに導入済みの他無線ネットワークの更改タイミングを図り、提案を行う
- 他分野への展開として、プラント事業者へもNTT西日本が主体となり、横展開を実施していく

## 普及展開方針

### <港湾事業者への展開>

- ✓ NTT西日本グループと三菱ロジスネクスト社との連携により、全国の物流拠点となる大規模港湾 約90港を中心に提案し普及展開を図る

#### <想定ターゲット>

- ・ 大規模港湾: 約90港 ※ 日本には物流拠点となる大規模港湾が125港存在し、西日本エリアに約70%存在 (125港: 国際戦略港湾: 5、国際拠点港湾: 18、重要拠点港湾: 102)

#### <役割>

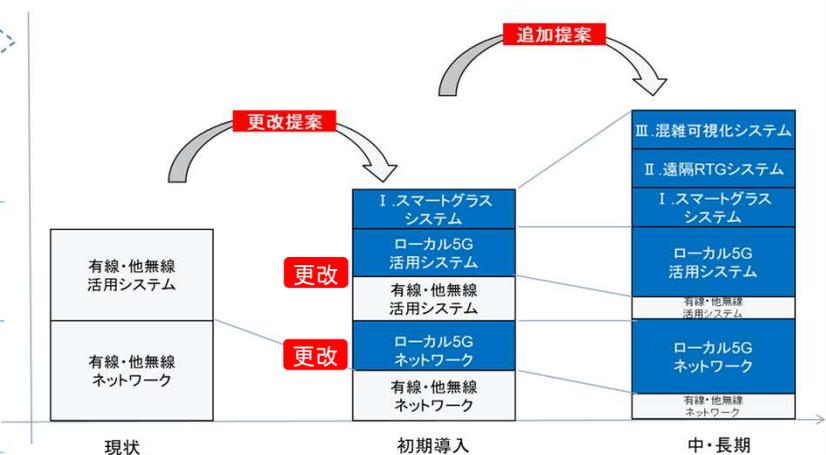
- ・ NTT西日本グループ : ローカル5Gネットワークの構築・保守・運用、各種ICTソリューション
- ・ 三菱ロジスネクスト : 港湾向けシステムの提案・提供



- ✓ 普及展開に向けては、港湾エリアに導入済みの他無線ネットワークの更改タイミングを図り、提案をおこなう。  
※ 夢洲コンテナターミナルエリアで来年度以降も継続実証し、他無線ネットワーク更改のファーストケースの創出をめざす。

### <普及計画案の概要>

	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
夢洲コンテナターミナルでの実証計画 (案)	・実証内容 (特に実証 I) の定着化 ・無線更改に向けた検証の継続	・港湾エリア無線ネットワークをローカル5Gに一本化	・RTG遠隔操作環境での活用	・コンテナダメージチェックのAI化 ・AIターミナルの実現へ
実証内容の展開	・実証結果をもとにした他港湾への提案、展開 ・夢洲コンテナターミナルにおける無線更改をもとにした他港湾への展開			
さらなるユースケース	・ゲート以外でのダメージチェック効率化 ・港湾ターミナル周辺事業者との連携によるユースケース創出 ・ゲート待機列の解消 (AIターミナルにおける目標)			



### <インフラ事業者(電気・ガス・水道)や化学プラント系事業者への展開> 他分野展開

- ✓ 港湾エリア同様に広大なエリアをもち、有線ネットワークの敷設が難しく、既存無線ネットワーク更改を検討している、インフラ事業者や化学プラントへの展開を推進する

---

# まとめ

# まとめ

- 実証の目的としていた、2点(課題、技術)について、概ね目標を達成した
- 広大なエリアをもつ港湾では、ローカル5G活用の有用性は高いため、普及展開に向けて引き続き検討を継続する

## ① 技術実証

### ➤ 目的:実証結果を踏まえて課題解決システム利活用環境における技術的課題の解決に向けた知見を得る

#### I. ローカル5Gの電波伝搬特性の測定

- ✓ 港湾内に積み上げられたコンテナは妨害物となる一方、積み上がり方によっては反射物としてエリアカバーを広げる要因となることが確認できた。

#### II. 電波伝搬モデルの精緻化

- ✓ 港湾エリアに関しての各種パラメータは「K: 8.09」、「S: 56.24」と推察することができた。

#### III. 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

- ✓ 基地局と反射板、端末の位置関係によっては端末受信電力向上効果があったことが確認できた。

#### IV. 準同期TDDの追加パターン開発

- ✓ 港湾で求められる通信要件では同期局と準同期TDD1局の隣接運用は可能と推察することができた。※TDD2及び3においても同様の結果と推察

## ② 課題実証

### ➤ 目的:ローカル5Gの特性を活用した、港湾業務の業務効率化・生産性向上・混雑緩和等の課題解決

#### I. コンテナターミナルゲートでのダメージチェック遠隔化によるゲート待機列の軽減に関する実証

- ✓ 生産性向上、費用削減効果等を確認。広大な港湾で移動時間を削減可能な、ローカル5G×本ソリューションは有効であることを示した。  
※各実証 I ~ III の生産性向上及び削減費用の詳細は下表を参照

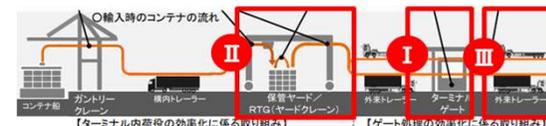
#### II. RTG等の遠隔操作を見据えたローカル5Gの有用性に関する実証

- ✓ 照明塔などを活用した各バース(約300m)ごとの置局設計が有効であるという知見が得られた。

#### III. 外来トレーラーの待機列自動判別による周辺道路の混雑況改善に関する実証

- ✓ 車両認識率100%、ナンバー認識率99.8%を確認。混雑見える化の実現と、見える化による混雑回避の行動変容の可能性が確認できた。

	実証 I	実証 II	実証 III ※1	合計
生産性向上/年	約700時間	約15,840時間	約25,510時間	約42,050時間
削減費用/年	約2,160万円	約6,000万円	約9,300万円	約17,460万円



## 今後

- 広大なエリアをもつ港湾では、ローカル5Gの活用可能性が高いことが確認できたため、今後は引き続き、港湾におけるローカル5G普及に向けて、活動を継続していく