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

令和 4 年 3 月 25 日

西日本電信電話株式会社

目次

1. 実証概要 1

1.1 背景・目的 1

1.2 実証の概要 1

2. 実証環境の構築 3

2.1 実施環境 4

2.2 ネットワーク・システム構成 5

2.3 システム機能・性能・要件 11

2.4 免許及び各種許認可 23

2.5 その他要件 24

2.6 実証環境の運用 26

3. ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証） 27

3.1 実証概要 27

3.2 実証環境 29

3.3 実証内容 32

ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定 32

3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化 61

3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化 94

3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発 128

3.3.5 その他のテーマ 142

3.3.6 技術実証における追加提案 142

4. ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証） 143

4.1 実証概要 143

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標 147

4.3 実証環境 153

4.4 実証内容 159

4.4.1 ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証 162

4.4.2 ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証 312

4.4.3 ローカル 5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討 330

4.4.4 継続利用の見通し・実装計画 334

5. 普及啓発活動の実施 338

5.1 映像制作への協力 338

5.2 実証視察会の実施 339

5.3 その他普及啓発活動 343

6. 実施体制 346
7. スケジュール 348

1.　実証概要

1.1　背景・目的

我が国の輸出入の推移は、リーマンショックなどによる一時的な落ち込みはあったものの、過去数年は80兆円規模を誇っております。また、サプライチェーンのグローバル化やコロナ禍の影響も受け、物流業界への国際的な期待が高まっています。

この物流業界において、とりわけ重要な機能を担っているのが、物流の窓口であり、拠点でもある港湾事業です。

港湾事業については、国土交通省において、国際コンテナ戦略港湾が指定され、「民」の視点による戦略的な一体運営の実現等により公設民営化等を通じ、国際競争力の強化が図られてきました。2019年には国際コンテナ戦略港湾政策推進委員会により、「最終とりまとめフォローアップ」が公開され、取り組むべき重要な課題として、少子高齢化・人手不足が顕在化していくことを踏まえた港湾における労働環境の改善と、港湾エリアにおける慢性的な混雑問題への対処が示されました。

特に、大阪港においては、2025 年の大阪・関西万博が開催される予定であり、万博会期中はもちろん、準備期間を含めて混雑対策が重要な取り組み課題となっています。

また、港湾事業の更なる持続的発展に向けては、国際コンテナ戦略港湾への集積などの施策に加え、「AI ターミナル」と称される、様々な ICT を活用した新しい港湾への刷新が必要とされており、コンテナターミナルゲート処理の効率化、RTG（Rubber Tired Gantry crane：タイヤ式門型クレーン）の遠隔操作、荷繰りの最適化などの必要性が示されています。

このような背景のもと、本実証では、国際コンテナ戦略港湾にも指定されている大阪港を実証地とし、港湾事業の持続的発展に向けて抱えている課題を、ローカル 5G を活用することによって解決することを目的としており、本実証の後は、他の港湾事業者に対して、同様の提案、導入を推進することで、我が国における港湾事業全体への貢献を実現することを検証、評価したものです。

また、ローカル 5G の更なる普及に向けて、港湾エリアにおける電波伝搬モデルの精緻化と電波反射板によるエリア構築、準同期局が同期局に与える影響に関する技術実証についても検証、評価を行いました。

1.2　実証の概要

本実証では、港湾業務が抱える実課題を解決することを目的とした港湾エリアにおける、電波伝搬モデルの精緻化、電波反射板によるエリア構築の柔軟化及び準同期 TDD の追加パターン開発を目的とした技術実証と、港湾業務の効率化を目的とした課題実証の 2 つの実証に取り組みました。

技術実証における、電波伝搬モデルの精緻化では、コンテナターミナルという環境において、4.7GHz 帯の電波がどのように伝搬するかについて、シミュレーションと実測値との差分を検証しました。これにより、今後ローカル 5G を他の港湾に導入する際の電波伝搬シ

ミュレーションの精度向上が実現され、電波干渉、アンテナ設置位置検討の円滑化を実現できると考えます。

また、電波反射板によるエリア構築の柔軟化では、港湾エリアには、コンテナ裏等の死角等が多数存在するため、反射板を用いて、受信電力やスループットを向上させることができるかどうかの検証を行いました。

さらに、準同期 TDD の追加パターン開発に向けては、港湾業務でも運用が想定される、準同期局と同期局との干渉に関する検証を、本コンソーシアムメンバーである NTT 西日本が保有する準同期局を実証環境に持ち込み、実施しました。

課題実証では、港湾業務の効率化を目的とした、3 つの課題実証を通じて実課題の課題解決に向けた検証を実施しました。

1 つ目は、「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」です。ローカル 5G の特徴である、大容量通信、高セキュリティ、広範囲電波伝搬等を活用し、コンテナターミナルゲートにおけるコンテナのダメージチェックを遠隔化することで、作業効率を向上させ、コンテナターミナルゲートの処理能力がどの程度向上するかを検証しました。

2 つ目は、「RTG 等遠隔操作を見据えたローカル 5G の有効性に関する実証」です。1 つ目同様に、ローカル 5G の特徴を活用し、RTG 等の遠隔操作を実施する際に必要となる疑似操作信号および、映像データを生成し、将来的に RTG 遠隔操作を行う場合において、ローカル 5G を利用することの有効性を示すことを目的に検証を行いました。

3 つ目は、「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」です。こちらもローカル 5G の特徴を活用し、コンテナターミナルの周辺道路に車両情報を確認できる高精細カメラを設置し、確認した情報（車番）により、待機時間の見える化について検証しました。混雑時の入港を避けるなど、混雑回避に資する行動変容を促し、入港車両の平準化を実現することで、混雑状況の改善に資することを目的に検証しました。

また、今回の実証では、実装までは完了しませんが、将来的に周辺道路で取得した車両情報をコンテナターミナルシステムと連携することで、事前荷繰り作業が可能となり、効率的な積荷作業につながり、コンテナターミナルゲート周辺道路の外来トレーラー待機時間が減少し、周辺道路の混雑緩和につながる可能性についても検証を行いました。

2.　実証環境の構築

実証地は、大阪府大阪市此花区の人工島（夢洲）にある夢洲コンテナターミナル埠頭用地及びその周辺道路です。幅 1,350m、奥行き 500m（67.5ha）を有する埠頭用地には、多数のコンテナ、それらを荷役する機器（RTG、ガントリークレーン、トップリフター等）及び、トレーラーの出入り口であるコンテナターミナルゲートなどの多数な施設が存在します。

技術実証では、広大な埠頭用地独自の特徴的な環境下でローカル 5G の電波伝搬検証を実施し、課題実証においては港湾事業者が抱える実課題と、周辺地域の社会課題にもなっている周辺道路の慢性的な混雑について、ローカル 5G を活用した解決策の実証を効率的に実施できる環境となります。

図 2-1　実証地（大阪府大阪市此花区夢洲東 1 丁目 1 番地）
引用：大阪市オープンデータポータルサイト
(URL:https://data.city.osaka.lg.jp/data/dataset/data-00000414/resource/82da921e-05f7-43c0-ae04-9f1a8b3a9db3)

図 2-2　コンテナヤード内の様子

図 2-3　周辺道路の混雑状況

2.1　実施環境

実証地である夢洲コンテナターミナル埠頭用地は、平地であり、屋外を実証対象環境としています。

埠頭用地内のコンテナターミナル管理棟屋上（地上 20m）に基地局を 2 局（A,B）設置し、1 局はコンテナヤード内を走行する RTG（地上約 21m）に設置する CPE に向け、もう 1 局は

コンテナヤード内をカバーする電波を有効活用する形で周辺道路の電柱に設置した CPE と、ローカル 5G による通信環境を構築しました。

管理棟に隣接するコンテナターミナルゲートは、幅 50m、奥行き 27m の半屋外施設であり、ゲート内上部に基地局 1 局（C）を設置し、可搬型 CPE とローカル 5G による通信環境を構築しました。

図 2.1-1　管理棟

図 2.1-2　コンテナターミナルゲート

図 2.1-3　基地局設置位置と電波発射方向（イメージ）

2.2　ネットワーク・システム構成

本実証では、屋外の広大な夢洲コンテナターミナル埠頭用地に対する課題解決を目的としているため、ローカル 5G の周波数帯としては、広範囲のエリアカバーが期待できる 4.8～4.9GHz 帯を利用しました。

また、実証地では、既存の業務用無線ネットワークとして 5GHz 帯無線アクセスシステムを使用しておりましたが、干渉影響を最小限にする目的で、指向性アンテナを活用したエリア設計とすることで、アンテナ同士の正対を避けた構築が可能となり、結果、既存業務への干渉影響も確認されませんでした。

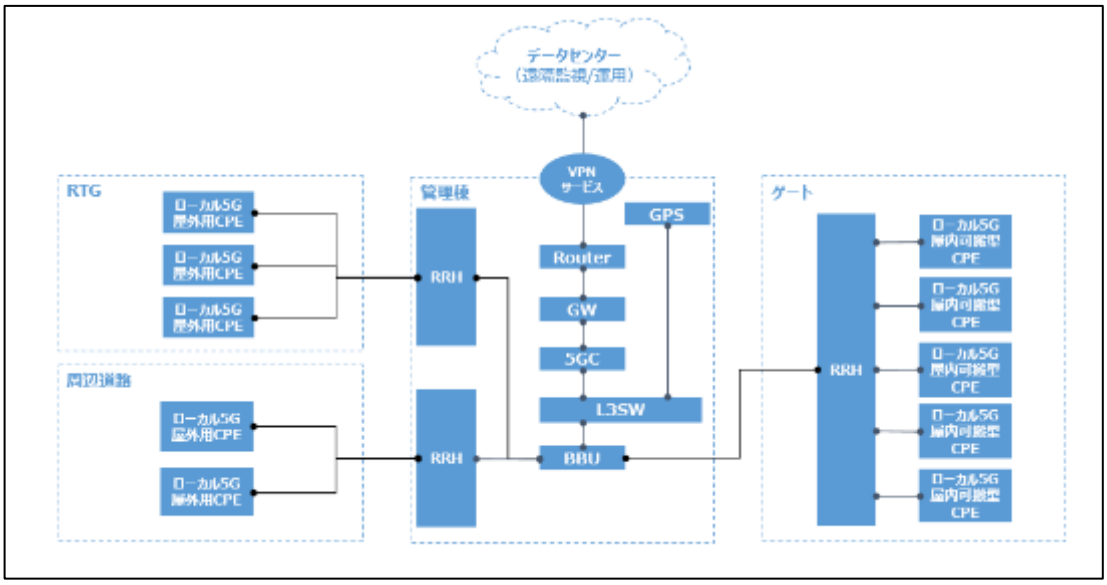


図 2.2-1　ローカル 5G ネットワーク概要

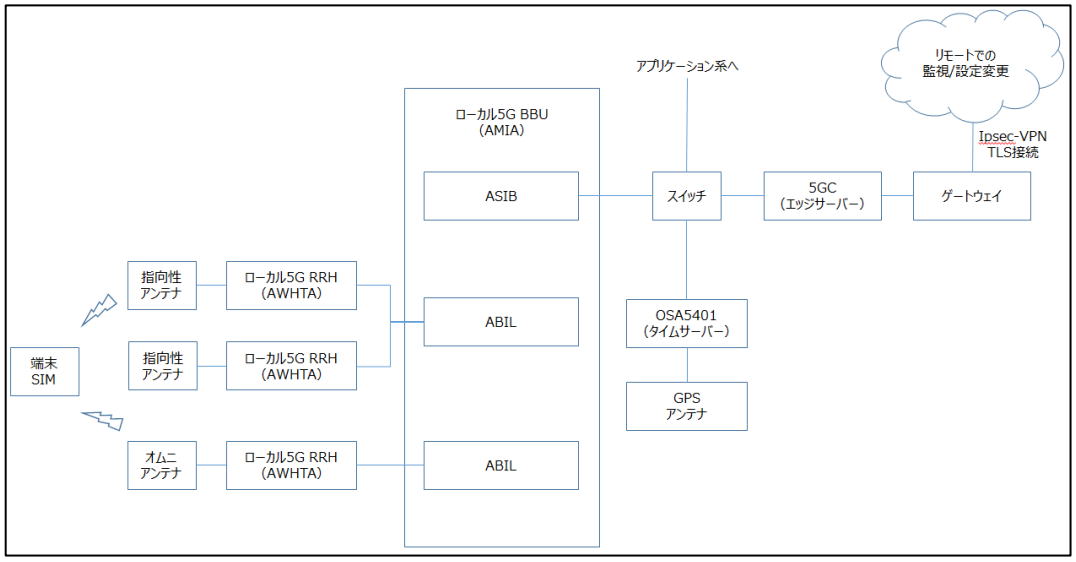


図 2.2-2　基本設計

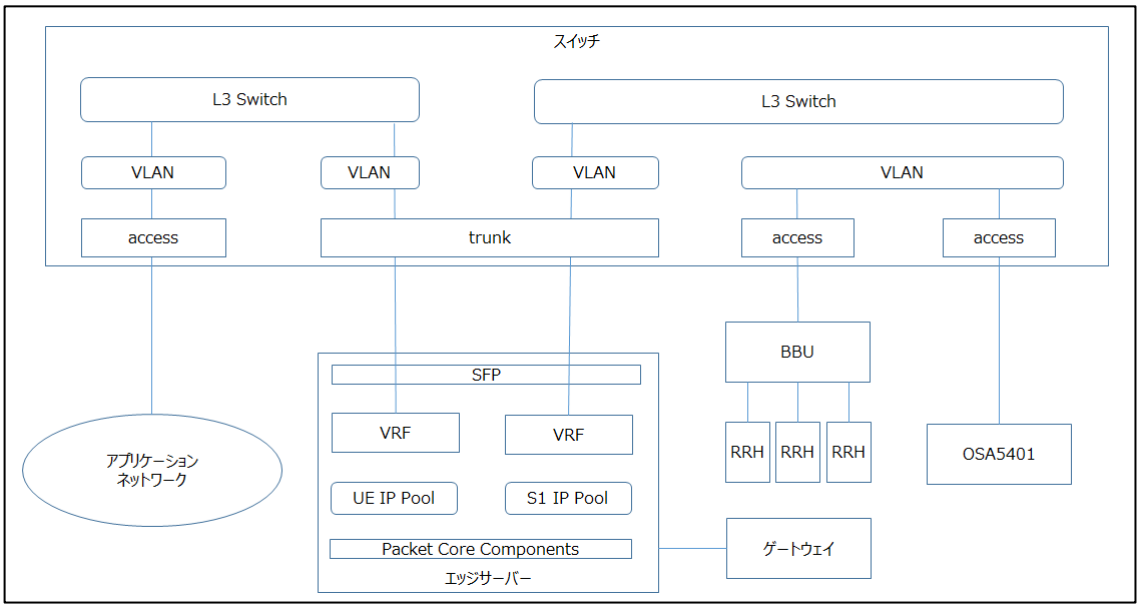


図 2.2-3　詳細設計

図 2.2-4　カバーエリア図

図 2.2-5　ローカル 5G 基地局（管理棟屋上）

図 2.2-6　ローカル 5G 基地局（コンテナターミナルゲート）

表 2.2-1　ローカル 5G システム（基地局）の概要

型番	DAAWHTA-80-N10
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	4.8～4.9GHz
UL 帯域幅	100MHz
DL 帯域幅	100MHz
UL 中心周波数	4.85GHz
DL 中心周波数	4.85GHz
UL 変調方式	64QAM
DL 変調方式	256QAM
MIMO	4×2MIMO

【ネットワークシステム構成図】

・コンテナダメージチェック遠隔支援システム（課題実証Ⅰで利用）

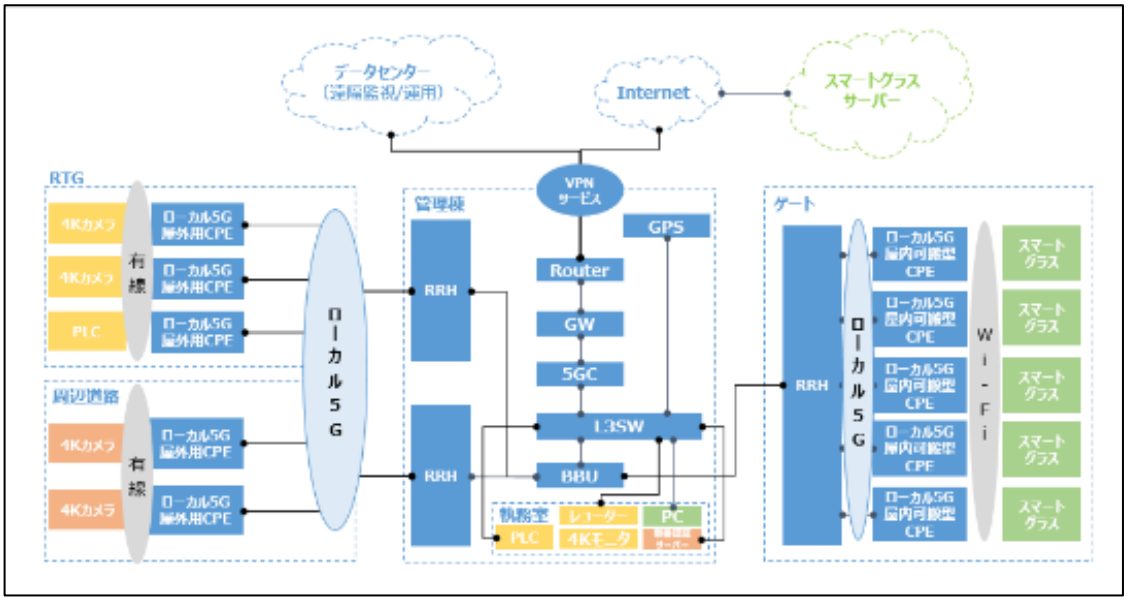
- ローカル 5G、スマートグラス、遠隔支援システム

・RTG 遠隔操作シミュレーションシステム（課題実証Ⅱで利用）

- ローカル 5G、4K カメラ、PLC（Programmable Logic Controller）

・車番認識システム（課題実証Ⅲで利用）

- ローカル 5G、4K カメラ、車番識別サーバー



緑：コンテナダメージチェック遠隔支援システム（課題実証Ⅰで利用）

黄：RTG 遠隔操作シミュレーションシステム（課題実証Ⅱで利用）

赤：車番認識システム（課題実証Ⅲで利用）

図 2.2-7 システム全体概要

【技術実証に用いる測定器】

技術実証においては以下の機器を用いて各種測定を実施しました。

表 2.2-2　技術実証に用いる測定機器

メーカ	試験機器	アンテナ指向性	測定項目
ローデシュワルツ	TSMA6	無指向性	・RSRP ・SINR ・伝送路符号効率 ・リソースブロック ・MIMO品質 ・ブロックエラーレート
アンリツ	MT1000A	対象外	・PER試験 ・往復遅延時間測定 ・片方向遅延時間測定 ・スループット測定
メリテック	Sigma-LA	対象外	・RSRP ・SINR ・伝送路符号効率 ・リソースブロック ・MIMO品質 ・ブロックエラーレート

2.3　システム機能・性能・要件

ローカル 5G ネットワークの機能・性能・要件及び各システム仕様等は以下の通りです。

【ローカル 5G ネットワーク】

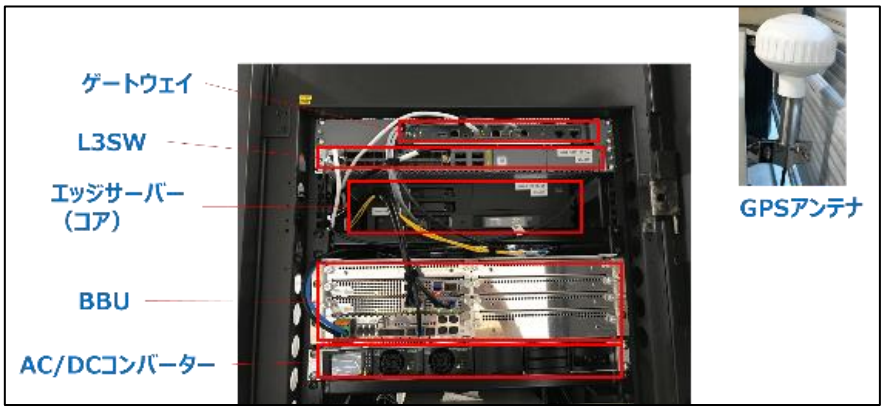


図 2.3-1　ローカル 5G サーバー装置

表 2.3-1　ローカル 5G ネットワーク システム機能・性能・要件

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です。 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です。	
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） ：ユーザーデータのパケット転送、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）
電源要件	
電源電圧	AC 100V～240V
最大消費電力	225W
環境要件	
温度範囲	0℃～55℃
相対湿度	10～95%（結露しないこと）

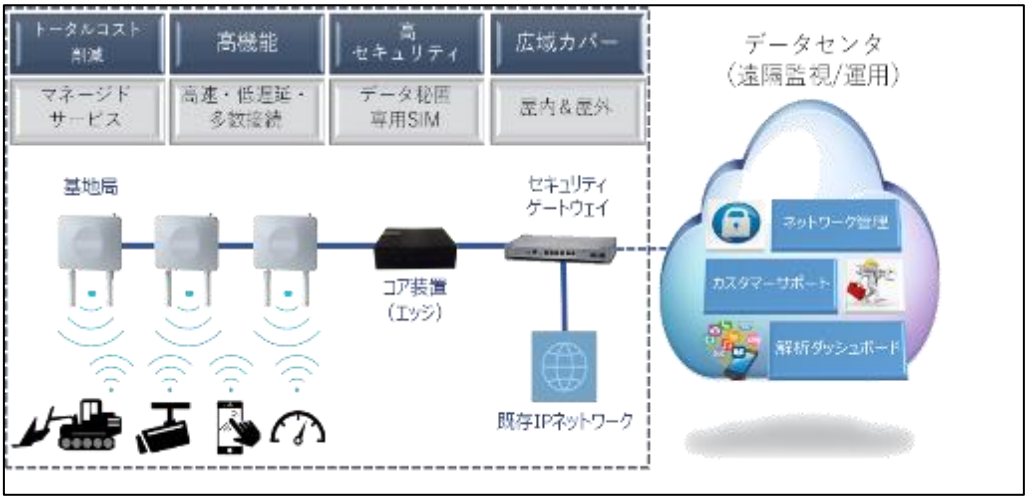


図 2.3-2　ローカル 5G ネットワークのデータセンター概要

表 2.3-2　CPE 仕様

	5G ODU RTL0306 (Askey 社)	5G ルーターRAKU+ (Compal 社)
対応周波数帯	Sub6：n79	Sub6：n79
チップセット	SDX55	SDX55
重さ	228g	400g
寸法 (W x H x D)	119 x 72 x 23.5 mm	170 x 100 x 29 mm

図 2.3-3　5G ODU RTL0306 (左) と 5G ルーターRAKU+ (右) の外観

表 2.3-3　ローカル 5G ネットワークシステム機器一覧

分類	機種名	数量	設置形態	設置場所	機能
ローカル 5G 基地局	5GC	1	固定	管理棟	C-plane/U-plane
	GW	1	固定	管理棟	保守クラウド等の通信用
	L3SW	1	固定	管理棟	L5G 機器間通信用
	BBU	1	固定	管理棟	Base Band Unit
	GPS	1	固定	管理棟	GPS からの信号受信装置
	RRH	2	固定	管理棟	Remote Radio Head
		1		ゲート	
ローカル 5GCPE	屋外用 CPE	3	固定	RTG	ローカル 5G 基地局とのデータ通信
		2		電柱等	
	屋内用 CPE	5	可搬	ゲート	

また、本コンソーシアムメンバーである NTT 西日本が保有する準同期局の仕様は、以下のとおりです。技術実施において準同期局が同期局へ与える影響について、干渉測定を実施しました。

表 2.3-4　本コンソーシアムが所有する準同期局装置（5G コア）仕様

項目	仕様	備考
CPU	インテル Xeon 4210R 2.4GHz×２	
ソフトウェア	アプレシアフリー5GC	
OS	Ubuntu® Server LTS	
電源	AC100-240 750W	
寸法（W x H x D）	482 x 42.8 x 808.5 mm	
重量	21.9kg	
Ethernet	GbEthernet　×１	UPF は×２
メモリ	16GB×2	

図 2.3-4 アプレシア 5G コア装置の外観等

表 2.3-5　本コンソーシアムが保有する基地局装置仕様

項目	仕様	
10GbE ポート	通信モード	10GBASE-R
	ポート数	8
25GbE ポート	通信モード	25GBASE-R
	ポート数	4
管理ポート	通信モード	10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T
ＵＳＢポート	規格	USB 3.0
	ポート数	2
CPU	Intel® Xeon® Gold(20 コア 40 スレッド)	
メモリ容量	256 GB	
ストレージ容量	512 GB	
接続制限距離	ApresiaAERO-RU100 接続制限距離	10 km(ApresiaAERO-CDU100 と ApresiaAERO-RU100 間の最大ケーブル長)
管理方式	SSH	
冷却方式	FAN ユニットの冷却 FAN による強制空冷	
FAN スロット	スロット数	4
	スロット位置	本体背面側
	吸排気方向	本体前面:吸気/背面:排気
	ホットスワップ	可能
電源スロット	スロット数	2
	スロット位置	本体背面側
	ホットスワップ	可能([1+1]冗長)
入力電圧範囲	AC100 V～120 V(±10%)	
	AC200 V～240 V(±10%)	
周波数	50/60 Hz(±3 Hz)	
入力電流	10 A 以下(入力電圧 AC100 V 時)	
	5 A 以下(入力電圧 AC200 V 時)	
ApresiaAERO-RU100 収容数	1 台	
消費電力	最大 800W 以下	

寸法（W x H x D）	440 x 88 x 710 mm
本体質量	25kg 以下
搭載ラック	19 インチラック

図 2.3-5 アプレシア RU 装置の外観

【コンテナダメージチェック遠隔支援システム（課題実証 I で利用）】

表 2.3-6　コンテナダメージチェック遠隔支援システム仕様

スマートグラスサーバー	
システムあたり最大同時接続数	20
データリアルタイム共有解像度	推奨：1280 x 768 最大：1920 x 1080
カメラ画像	QQVGA、QVGA、VGA、HD
音声ビットレート	32Kbps
通信帯域	256kbps 以上
CPU	Intel®Xeon プロセッサー E3-1226v3 3.30 GHz　以上
メモリ	8 GB 以上
HDD	250 GB（RAID1 構成）
ドライブ	DVD-ROM ドライブ
OS	Red Hat® Enterprise Linux®
スマートグラス	
オペレーティングシステム	Android8.0（AOSP）+ WearHF　ハンズフリーインターフェイス
チップセット	2.0GHz8 コア Qualcomm Snapdragon 625
メモリ	16GB 内蔵ストレージ、2GB RAM、MicroSD スロット
内蔵アプリケーション	ドキュメントナビゲーター、バーコードリーダー搭載カメラ、ビデオデコーダー、メディアプレーヤー
対応言語	英語、スペイン語、フランス語、ドイツ語、イタリア語、ポルトガル語、ロシア語、中国語、日本語、韓国語
Bluetooth	BT 4.1 LE

Wi-Fi	802.11 a/b/g/n/ac-2.4GHz および 5GHz
GPS/ロケーション	GPS、GLONASS、A-GPS
IMU	9-DOF、ソフトウェアにより強化された安定性
容量	3250mAh リチウムイオン、再充電/現場交換可能
バッテリー	通常使用でフルシフト（9~10 時間）の運用に対応
重さ	380g
堅牢化	2 メートルの落下に耐える耐衝撃性、IP66、MIL-STD-810G
専用キー	電源キー、アプリケーション専用アクションキー
ポート	3.5mm オーディオジャック、Micro USB 1 個、USB-Type-C 1 個
ブームアーム	頭部サイズに合わせた 6 段階調節、左目でも右目でも使用可能、不使用時は視界に入らないところまで移動可能
ディスプレイタイプ	20° の視野、1 メートル固定焦点 24 ビットカラーLCD、0.33 インチ対角、屋外使用に対応
解像度	WVGA（854 x 480）

マイクロフォン	4 個のデジタルマイクロフォンとアクティブノイズキャンセリング機能、産業騒音として一般的な 95dBA でも音声を正確に認識
スピーカー	91dB 内蔵ラウドスピーカー
カメラ	16MP の 4 軸光学式手ぶれ補正機能、LED フラッシュライト付き PDAF
ビデオ	最大 1080p@30fps コーデック：VP8、VP9、および H.264/H.265 HEVC のハードウェアコーディングサポート

表 2.3-7　コンテナダメージチェック遠隔支援システム機器一覧

分類	機種名	数量	設置形態	設置場所	機能
スマートグラス	Realwear HMT-1	6	可搬	ゲート	コンテナダメージチェック遠隔支援用

【RTG 遠隔操作シミュレーションシステム（課題実証Ⅱで利用）】

表 2.3-8　RTG 遠隔操作シミュレーションシステム仕様

PLC	
SDRAM	容量：256MB
カレンダ	秒～年、曜日計時（バッテリバックアップ）

バッテリ	メモリ保持用にバッテリ装着可能
Ethernet	10BASE-T、100BASE-TX 1 ポート
MECHATROLINK	・MECHATROLINK-Ⅲ 1 回線 2 ポート ・マスタ機能 ・スレーブ機能
USB	・USB 2.0 TYPE-A ホスト 1 ポート ・対応デバイス USB ストレージ
表示灯	・7SEG 表示器 ・ステータス表示 LED ・USB 状態表示 LED ・MECHATROLINK-Ⅲ状態表示 LED ・Ethernet 状態表示 LED
スイッチ	・ディップスイッチ：モードスイッチ ・STOP/SAVE スイッチ
コネクタ	・MECHATROLINK-Ⅲコネクタ ・Ethernet コネクタ ・USB コネクタ
4K カメラ	
屋内/屋	屋外対応
電源	DC12 V、 PoE（IEEE802.3af 準拠）
消費電力	DC12 V ： 930 mA／約 11.2 W PoE DC 48 V ： 240 mA／約 11.5 W（クラス 0 機器）
使用環境	使用温度範囲： －40 ℃ ～ ＋60 ℃[2] （電源投入時 ： －30 ℃ ～ ＋60 ℃） 使用湿度範囲： 10 % ～ 100 %（結露しないこと）
保存環境	保存温度範囲： －30 ℃～+60 ℃ 保存湿度範囲： 10 % ～ 95 %（結露しないこと）
モニター出力 （調整用）	VBS ： 1.0 V [p-p] ／75 Ω、コンポジット信号、ピンジャック NTSC もしくは PAL 出力可能（INITIAL SET スイッチを短く（1 秒以下）押すかまたはソフトウェアで変更）
外部 I/O 端子	ALARM IN 1（アラーム入力 1／白黒切換入力／自動時刻調整入力） 1 端子 ALARM IN 2（アラーム入力 2／アラーム出力） 1 端子 ALARM IN 3（アラーム入力 3／AUX 出力） 1 端子
オーディオ入力	端子形状：φ3.5 mm ステレオミニジャック マイク入力時 使用可能マイク ： プラグインパワー方式（感度 ： －48 dB±3 dB

	（0 dB=1 V／Pa、1 kHz）） 入力インピーダンス ： 約２kΩ　不平衡、供給電圧 ： 2.5 V±0.5 V ライン入力時 　入力レベル ： 約－10 dBV
オーディオ出力	φ3.5 mm ステレオミニジャック（モノラル出力） 出力インピーダンス：約 600 Ω 不平衡、 出力レベル ： －20 dBV
防水性	防塵・防水性能 JIS C 0920 保護等級 IP66（IEC60529）
耐衝撃性	IK10（IEC 62262）
耐風速性	風速 40 m/s 以下
寸法	［幅］130 mm［ 高さ］130 mm［ 奥行き］337 mm
質量	約 1.7 kg
仕上げ	本体ア ルミダイカスト／樹脂 シルバー 外郭ねじ：ステンレス（耐食処理） フロントパネル：ポリカーボネート樹脂（アドバンスド親水コート対応）クリア
撮像素子/有効画素数	約 1/1.8 型 CMOS センサー／約 840 万画素
走査面積/走査方式	7.68 mm（H） × 4.32 mm（V）／プログレッシブ
最低照度	カラー： 0.09 lx（50IRE、F1.5、最長露光時間 ： OFF（1/30 s）、AGC ： 11） 0.006 lx（50IRE、F1.5、最長露光時間 ： 最大 16/30 s、AGC ： 11） 白黒： 0 lx（50IRE、F1.5、最長露光時間 ： OFF（1/30 s）、AGC ： 11、IR LED 点灯時） 0.05 lx（50IRE、F1.5、最長露光時間 ： OFF（1/30 s）、AGC ： 11） 0.003 lx（50IRE、F1.5、最長露光時間 ： 最大 16/30 s、AGC ： 11）
インテリジェントオート（iA）	On／Off
スーパーダイナミック	On／Off、0 から 31 の範囲でレベル設定が可能
ダイナミックレンジ	最大 132 dB(スーパーダイナミック On、レベル 31、15 fps／12.5 fps)
最大ゲイン	0 から 11 の範囲でレベル設定が可能
暗部補正	0 から 255 の範囲でレベル設定が可能
逆光/強光補正	逆光補正（BLC）／強光補正（HLC）／Off、0 から 31 の範囲でレベル設定が可能 （スーパーダイナミック、インテリジェントオートが Off 時のみ）
霧補正	On／Off、 0 から 8 の範囲でレベル設定が可能（インテリジェント

	オート、コントラスト自動調整が Off 時のみ)
光量制御モード	屋外撮影／フリッカレス（50 Hz）／フリッカレス（60 Hz）／固定シャッター
シャッター速度	30 fps モード： 1/30 固定、3/120 固定、2/100 固定、2/120 固定、1/100 固定、1/120 固定、1/250 固定、1/500 固定、1/1000 固定、1/2000 固定、1/4000 固定、1/10000 固定 25 fps モード： 1/25 固定、3/100 固定、2/100 固定、1/100 固定、1/250 固定、1/500 固定、1/1000 固定、1/2000 固定、1/4000 固定、1/10000 固定
最長露光時間	30 fps モード： 最大 1/4000 s、最大 1/2000 s、最大 1/1000 s、最大 1/500 s、最大 1/250 s、最大 1/120 s、最大 1/100 s、最大 2/120 s、最大 2/100 s、最大 3/120 s、最大 1/30 s、最大 2/30 s、最大 4/30 s、最大 6/30 s、最大 10/30 s、最大 16/30 s 25 fps モード： 最大 1/4000 s、最大 1/2000 s、最大 1/1000 s、最大 1/500 s、最大 1/250 s、最大 1/100 s、最大 2/100 s、最大 3/100 s、最大 1/25 s、最大 2/25 s、最大 4/25 s、最大 6/25 s、最大 10/25 s、最大 16/25 s
カラー／白黒切換	Off／On（IR Light Off）／On（IR Light On）／Auto1（IR Light Off）／Auto2（IR Light On）／Auto3（SCC）
IR LED Light	High／Middle／Low／Off　最長照射距離 ： 40 m
ホワイトバランス	ATW1／ATW2／AWC
デジタルノイズリダクション	0 から 255 の範囲でレベル設定が可能
プライバシーゾーン	有効／無効（ゾーン設定　最大 8 か所）
画面内文字表示	On/Off、最大 20 文字（アルファベット、漢字、ひらがな、カタカナ、数字、記号）
動作検知（VMD）	有効／無効、4 エリア設定可能
妨害検知（SCD）	有効／無効、1 エリア設定可能
画像回転	0 °（Off）／90 °／180 °（上下反転）／270 °

表 2.3-9　RTG 遠隔操作シミュレーションシステム機器一覧

分類	機種名	数量	設置形態	設置場所	機能
RTG 遠隔操作シミュレーション	PLC	2	固定	RTG	遠隔操作信号生成・送信
	4K カメラ	2	固定	RTG	RTG 作業状況映像用
	NW ディスクレコーダー	1	固定	管理棟	
	モニター	1	固定	管理棟	
	CPE	2	固定	RTG	ローカル 5G ネットワークシステムで使用の CPE と同様

【車番認識システム（課題実証Ⅲで利用）】

表 2.3-10　　車番認識システム仕様

認証対象ナンバープレート	全国の四輪車両ナンバー（大型車、普通車、軽自動車）
認識対象外ナンバープレート	字光式プレート（点灯時）、アクリルカバー付きプレート、特殊車両プレート（外交官車両、駐留米軍車両、仮ナンバー、自衛隊車両）、人の目で読めないプレート（変形、汚れ、ナンバーフレームが文字と重なった場合など）
認識対象要素	陸運支局名・分類番号・仮名・一連番号
ナンバープレート認識率	ナンバープレート認識率 99%以上（設置環境により認識制度は異なります）
カメラ設置角度	水平角（30°）/上下角（20°）/回転角（20°）以内（設置環境依存有り）
撮影視野	中振（幅 33cm）の水平方向の車番幅が画像上で 100 ピクセル以上、車番の撮影角度を考慮して 150 ピクセル以上推奨（解像度が 1920×1080 の場合、推奨視野幅は 4.2m 以内）
接続可能クライアント台数	8 台（標準構成時）
サポートカメラ台数	走行車両認識：2 台（推奨） 一時停止車両認識：16 台 ※構成を拡張することで追加可能
登録ナンバー情報最大登録件数	20 万台（標準構成時）
ナンバー照合履歴	150 万台（標準構成時、最大 1,000 万台）
1 日あたり記録数	10 万台記録（標準構成時で計測、入退場オプション使用時 5 万台）

表 2.3-11　車番認証システム機器一覧

分類	機種名	数量	設置形態	設置場所	機能
車番認証システム	ParkingEyes4.1	1	固定	管理棟	ナンバー情報管理
	車番認識 LPR エンジンソフトウェア	1	固定	管理棟	ナンバー識別
	4K カメラ	2	固定	街路灯	ナンバー取得
	CPE	2	固定	街路灯	ローカル 5G ネットワークシステムで使用の CPE と同様

2.4 免許及び各種許認可

本実証で検証するローカル 5G について、4.8～4.9GHz 帯周波数を選定し、夢洲コンテナターミナル株式会社が免許人として実験試験局免許申請を実施しました。

免許申請に要した期間は、約 5.5 カ月間です。干渉調整が必要なローカル 5G 他事業者様との干渉調整に約 3 カ月間の期間を要したことから、調整区域及びカバーエリアの開示を義務付けるなどの取り組みによる効率的な干渉調整の実現が、今後のローカル 5G の普及に寄与すると考えます。

技術適合基準を満たしたローカル 5G 機器等を選定していたことから、申請書類の提出後は、約 1 カ月間で本免許交付まで至りました。

免許人：夢洲コンテナターミナル株式会社
免許　：実験局免許
実績　：本免許取得：2021 年 12 月 17 日

図 2.4-1 免許申請スケジュール

なお、実証地周辺の道路に関する許認可についても大阪市へ申請、認可の上、実施しました。

表 2.4-1 周辺道路へのカメラ設置に関わる許認可

許認可	申請先	許可内容
道路使用許可	大阪府此花警察署	配線及び通信線の維持管理に伴う、架空線張替、機器取り付け、引込申込工事の道路使用 2021 年 12 月 7 日取得
臨港道路等占用許可	大阪港湾局施設管理課	夢洲でのローカル実証実験に伴うカメラ設置工事の電柱への添架 2021 年 12 月 16 日取得

2.5 その他要件

サイバーセキュリティ対策及びその他要件等については、以下のとおりです。

【開発供給計画認定について】

本実証において使用する基地局やコア設備については開発供給計画認定番号「2020 開 1 総経第 0003 号－1（令和 2 年 12 月 2 日認定）」にて開発供給計画認定を受けているノキアソリューションズ＆ネットワークス合同会社（以下、Nokia）が製造している機器を使用しました。

また、株式会社日立国際電気（以下、日立国際電気）においても Nokia との共同申請の形式で 2021 年度中の開発供給計画の認定に向けて申請手続き中であり、日立国際電気が実施している特定高度通信技術活用システムの安全性・信頼性、供給安定性及びオープン性の確保措置に関しての総務省殿・経済産業省殿からの指摘事項に対してもやり取りを重ねています。

サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策についても「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」等を始めとする開発供給計画で定められた各種ガイドラインに留意しています。

また技術実証において、準同期局が同期局へ与える影響を確認する目的で活用した、本コンソーシアムメンバーである NTT 西日本が保有する準同期局については、準同期開発供給計画の認定に向けて対応済であり、APRESIA Systems 株式会社が実施している特定高度通信技術活用システムの安全性・信頼性、供給安定性及びオープン性の確保措置に関しての総務省殿・経済産業省殿からの指摘事項も対応済です。サプライチェーンリスク対応を含むサイバーセキュリティ対策についても「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」等を始めとする開発供給計画で定められた各種ガイドラインに留意しています。

【外部ネットワークへの接続について】

本実証において使用するローカル 5G ネットワークのコア装置は NDAC（Nokia Digital Automation Cloud）を利用し、クラウドサービスに接続するが、接続には、VPN（Virtual Private Network）を用い、またコア装置の運用監視機能に限定して利用するなど、サイバーセキュリティ対策を実施しています。

尚、NDAC のダッシュボード機能へのアクセスは、HTTPS による暗号化され、SIM 情報を管理しているデータベースは暗号化されており、必要なサイバーセキュリティ対策を実装しております。

【各種機材（測定器等を含む）の品質担保について】

各ベンダとの契約において品質の担保（出荷時の正常動作確認）まで含めると共に、受け入れ時の検収として正常動作を確かめました。

【システム全体の品質担保について】

日立国際社のラボ環境にて現地納入前にローカル 5G システム一式の動作確認を実施しました。日程としては、2021 年 12 月 27 日～2022 年 1 月 13 日で実施しました。

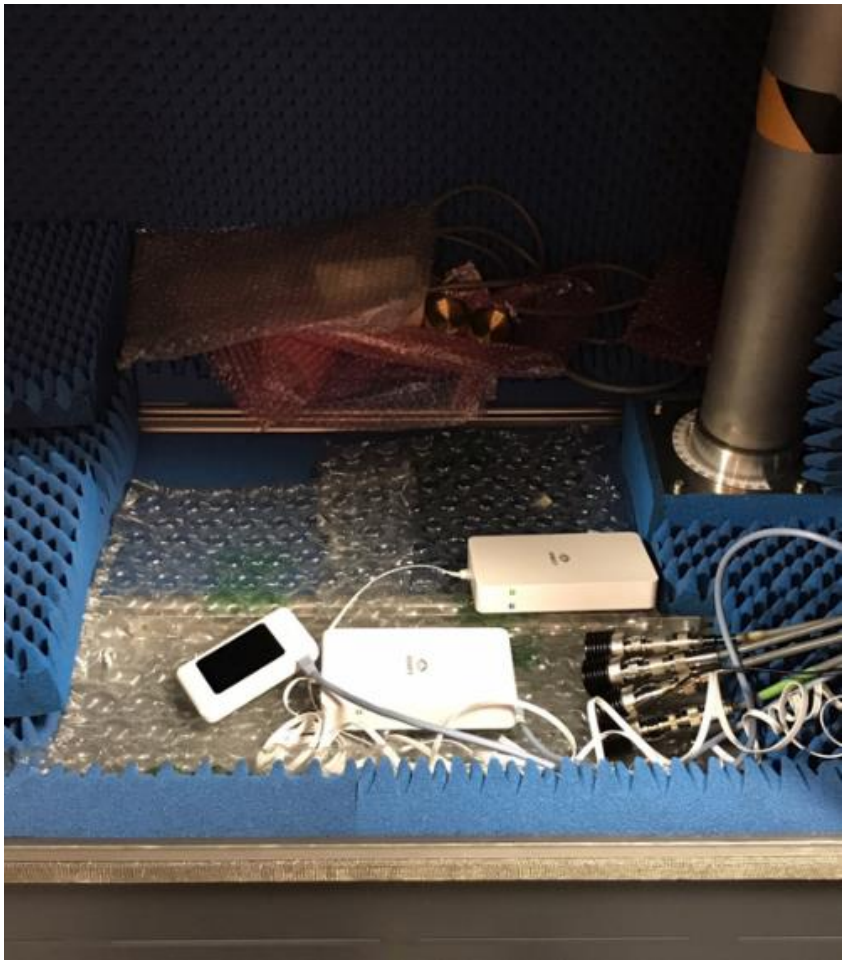


図 2.5-1　事前ラボ試験の様子（暗箱内）

【確認した機材・システム】

・ローカル 5G システム（端末 1 Call 試験まで実施）

・測定器（MT1000A、TSMA6、Sigma-LA）

2.6　実証環境の運用

実証環境については以下の保守・運用体制としました。
報告・依頼に関するリモート対応と、不具合時現地駆けつけを実施しました。
原則対応時間帯は平日 9:00～17:00 としましたが、緊急時にはこの限りではなく対応しました。

なお、ローカル 5G 電波の発射・停止についてはコンソーシアム内の有資格者が対応致しました。

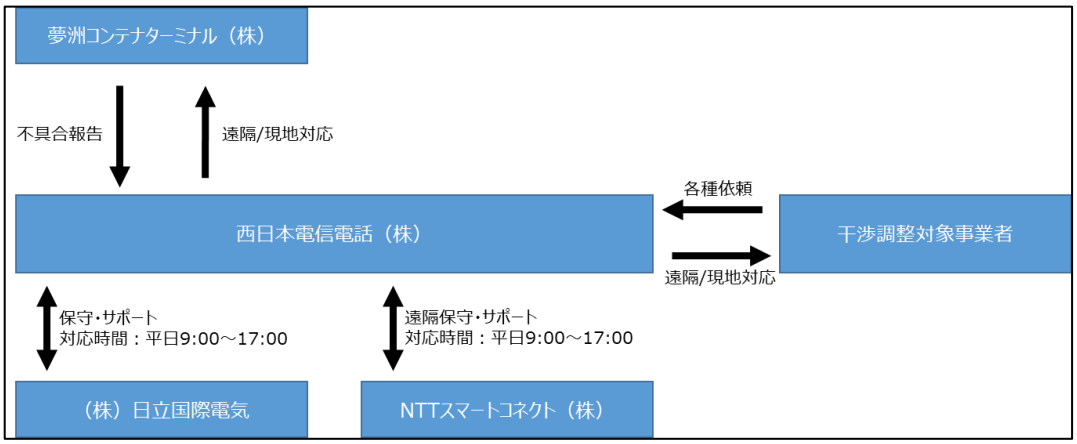


図 2.6-1 実証における運用体制

3.　ローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1　実証概要

本章では、ローカル 5G の電波伝搬特性に関する技術的検討（技術実証）に関する成果報告を行います。

実証地（夢洲コンテナターミナル埠頭用地）は非常に広大な土地であることから、ローカル 5G 電波周波数帯は Sub6 帯を選定しました。

また、課題解決システムの実証においては、複数ローカル 5G 端末での運用が想定されたことから、端末分散を目的として 3 基地局（5 セクターアンテナ、1 オムニアンテナ）の構成としております。

ローカル 5G システムの選定にあたっては、以下の 3 点に重きを置いて検討し Nokia 社の製品を選定致しました。

（１）設置場所が屋外でも対応可能であること
（２）アンテナ分離型の基地局装置であり、セクターアンテナとオムニアンテナを選択可能であること
（３）実証スケジュールと納入スケジュールがマッチしていること

実証においては、以下の 4 点を目標に取り組みました。

・　ローカル 5G の電波伝搬特性の測定

港湾エリアにおけるローカル 5G の伝搬特性に関して測定、考察を行いました。管理棟をローカル 5G 電波発出地点として、夢洲コンテナターミナル埠頭用地（約 1,350m×500m）全体をカバー可能なのか確認を実施しております。

また、港湾エリアの特徴として、コンテナが積みあがっているという状況が挙げられます。コンテナの高さは最大で 15mにもなり、地上で作業を実施するという環境においては、基地局の見通しも付かない地点がほとんどです。一方で、コンテナの素材は鉄、若しくはアルミとなるため電波反射の要因ともなり得ます。伝搬特性の測定においては、同心円状電波の状況を確認することによって、エリア構築におけるコンテナの影響についても考察を実施しております。

（テーマ別実証）

Ⅰ．電波伝搬モデルの精緻化：

港湾エリア（屋外）における電波伝搬モデルの精緻化を行いました。従来のエリア算出法では、環境パラメータとして「市街地」、「郊外地」そして「開放地」という大まかな 3 つの区分に分けられております。港湾エリアについては、干渉調整区域内に「市街地」、「郊外地」、「開放地」が入り混じる特徴的な環境であることから、港湾エリアのモデル化が必要であると考えました。また、従来モデルの地形影響パラメータとしては、「山岳」、「水面」そして「傾斜地形」等のパラメータが定められております。夢洲エリアに関しては、調整対象区域内に海面を挟んだエリアが存在するため、パラメータ「K」に関しても精緻化を実施致しました。

尚、実証地は屋外であり建物侵入損は考えられないことから、パラメータ「R」に関して

は今回の実証では検討しないことと致しました。

以上の観点を加味して測定ポイントを複数地点定め、ローカル 5G の電波受信電力等を測定することで電波伝搬モデルの精緻化を実施しました。

Ⅱ．電波反射板によるエリア構築の柔軟化：

反射板を活用した、効率的なローカル 5G のエリア構築モデル化の検討を行いました。前述の通り、実証地：夢洲コンテナターミナル埠頭用地は約 1,350ｍ×500ｍは非常に広大な敷地である一方で、地上から基地局を見通すことができない地点が多数存在します。見通しが付かない地点も含めて、ユースケースの実現に資するスループットを実現できるエリアカバーを展開するためには、複数のローカル 5G 基地局をコンテナヤード内に設置する必要があると想定しました。但し、その中で、コンテナヤード内に基地局を設置する際、インフラ設備（光ケーブルや電源）供給に地下での配線が必要となり、掘削工事等に莫大な金額や期間がかかります。電波反射板を活用することで、本来であれば電波が届かない場所においても他の設置用設備なく、エリア構築が可能になるのではないかと考えました。

反射板よって電波受信電力、通信品質、伝送性能が向上するのかを確認し、電波反射板の諸元・設置可能場所を加味したうえでエリア設計手法の検討を実施致しました。

Ⅲ．準同期 TDD の追加パターンの開発

港湾エリアにおけるローカル 5G のユースケースを踏まえ、準同期 TDD のパターン追加検討を実施しました。課題解決システムの実証ではラバータイヤガントリークレーン（以下：RTG）4K カメラを 2 台設置し高精細な映像伝送について検証を実施しております。システムの実運用を想定すると以下の 2 点がポイントとなります。

① 約 30 基の RTG が港湾内を網羅的に移動する

② カメラ約 20～30 台/RTG が遠隔操作には必要である

端末側からコア側に向けての通信（アップロード側通信）が多く発生することとなり、同期よりアップロードの比率が高い準同期 TDD の実現が求められます。但し、準同期 TDD によるローカル 5G 運用実現のためには、同期局との電波干渉影響について検討・確認を実施する必要がありました。

まず、机上によるシミュレーションを実施した上で、異なるメーカー（アプレシア社）の実機による干渉測定をおこないました。分析にあたっては、情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（令和 2 年 7 月）の干渉検討を踏まえて実施しております。

表 3.1-1　技術実証の概要

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

3.2　実証環境

本技術実証では、大阪府大阪市此花区の人工島（夢洲）を中心として、以下の６ポイントにおいて検証を実施いたしました。

＜夢洲内検証場所＞

- 夢洲コンテナターミナル埠頭用地
- 夢洲万博、IR 予定地
- 夢洲内周辺道路

＜舞洲内検証場所＞

- 舞洲岸壁エリア
- 南東端　大阪港湾局様所有エリア
- 大阪シティ信用金庫スタジアム周辺エリア

夢洲コンテナターミナル埠頭用地については、幅 1,350m、奥行き 500m(67.5ha)を有し、多数のコンテナ、それらを荷役する機器（RTG、ガントリークレーン、トップリフター等）及び、トレーラーの出入り口であるコンテナターミナルゲートなどの施設が存在します。図 2.2-1 に示す通り、縦の列（以下：バース）を C-10～C-12 と分け、横の行（以下：レーン）をアルファベット A～H で分類しております。C-11 バースについては辰巳商会様の業務地であり、トラックやクレーンの往来危険性が高いことも鑑み、必要最低限の測定をおこなうに留めました。基本的な実証地としては C-12 バースとしております。

夢洲万博、IR 予定地に関しては、現在工事や土壌関連作業中であることから、許可された日時、エリアでの測定となりました。

その他のエリアに関しましては、土地所有者様等に許可を得たうえで作業を実施しております。

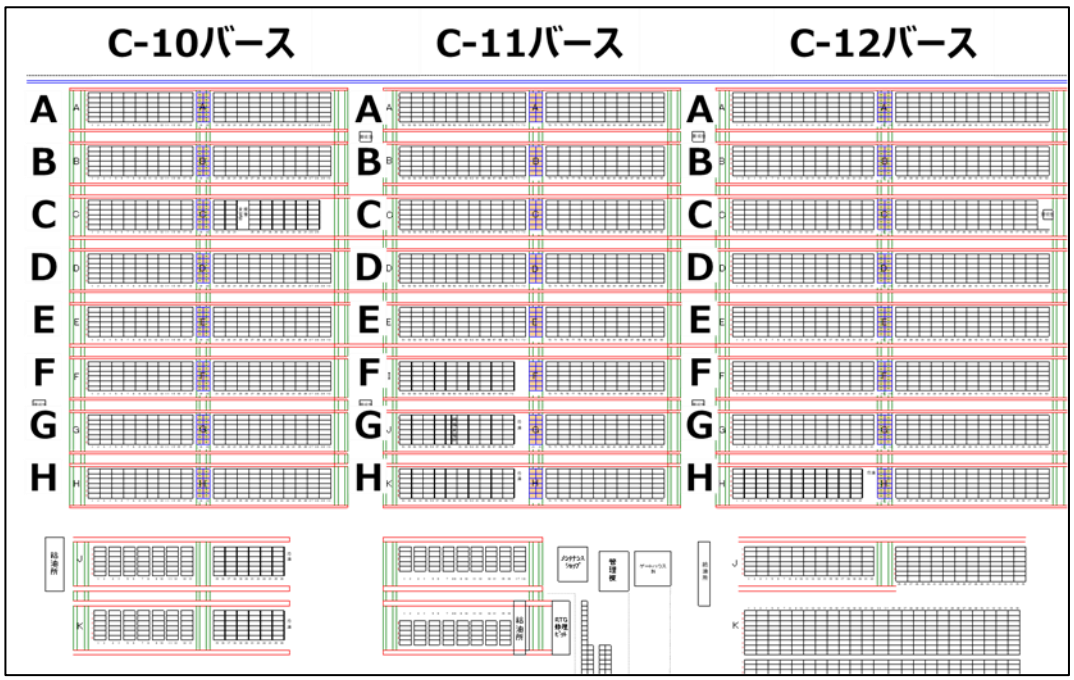


図 3.2-１コンテナヤード全体イメージ

前述の通り、実証に用いたローカル 5G 基地局システムは Nokia 社製品です。端末台数が増えてもスループットが確保できるよう、基地局数を 3 台としております。また、技術実証Ⅲに関しては以下の同期局、準同期 TDD1 局を使用して実証を行っております。

同期局：Nokia 社製

準同期 TDD1 局：Apresia　Systems 社製

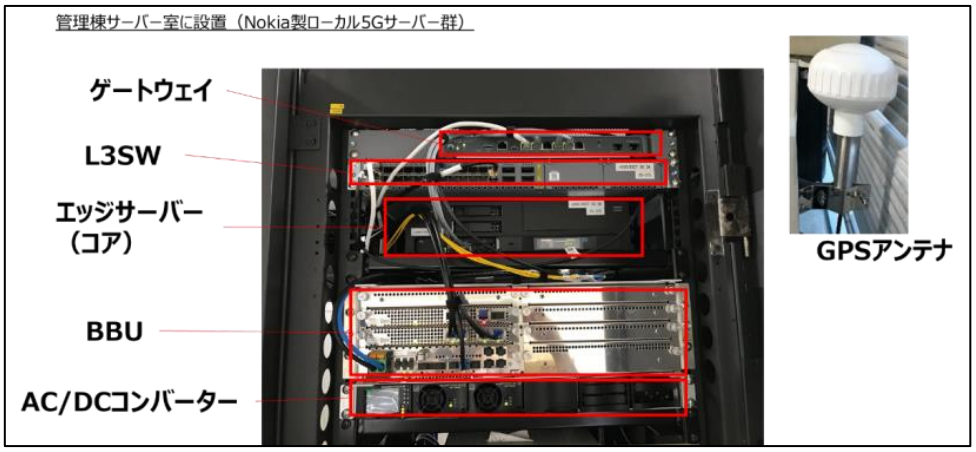


図 3.2-2　Nokia 製コア装置類設置状況

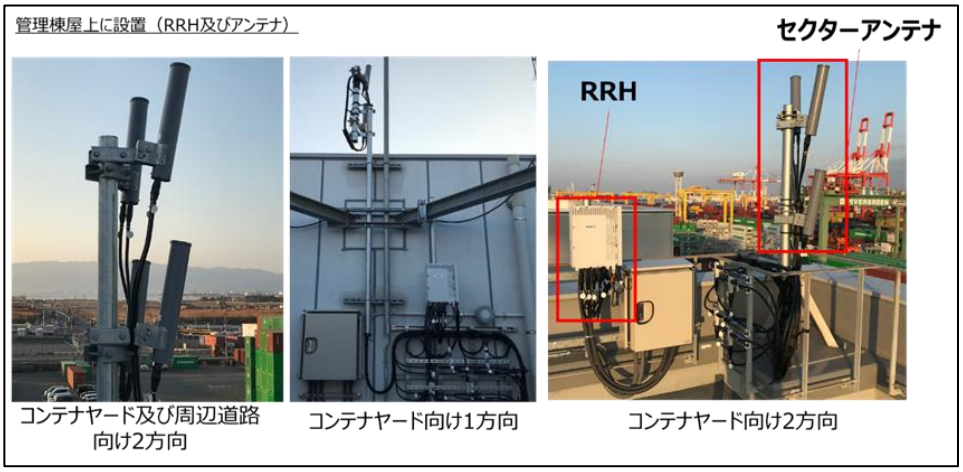


図 3.2-3　Nokia 製アンテナ装置類設置状況

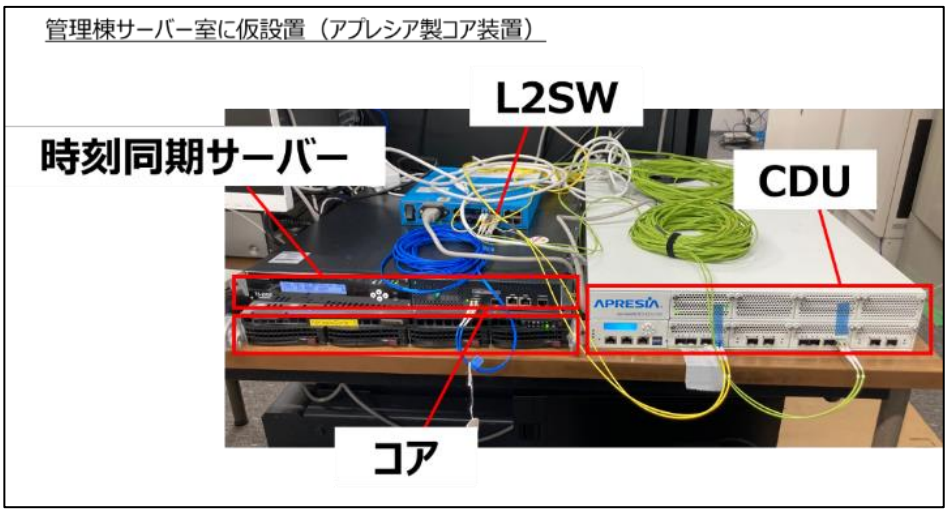


図 3.2-4　アプレシア製コア装置類設置状況

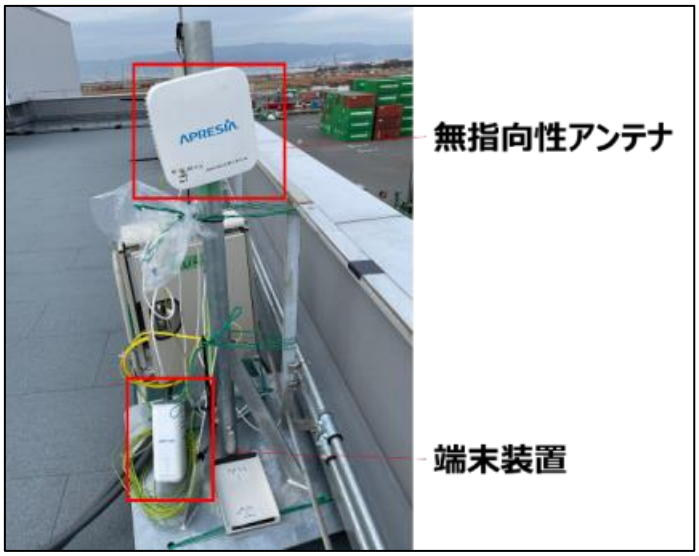


図 3.2-5　アプレシア製アンテナ装置類設置状況

3.3　実証内容

3.3.1　ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定

3.3.1.1　実証目標

課題解決システムの実証ではユースケースを想定し、以下 3 つの検証アプリケーションを利用しております。

ローカル 5G の電波伝搬特性の測定では、地上でのアプリケーション利用が想定されるスマートグラスを主要アプリケーションと定め、ローカル 5G の性能目標として以下の通り設定致しました。

表 3.3.1.1-1　課題解決システムでの利用アプリケーション

課題実証利用アプリケーション	スループット目標値	遅延目標値	備考
スマートグラス	上り：10Mbps 下り：1Mbps	900ms~2000ms	※電波伝搬特性実証で主要と定める
遠隔操作シミュレーション	上り：15Mbps 下り： 5Mbps	映像遅延：250ms以下 操作遅延：60ms以下	
車番認識システム	上り：20Mbps	－	

スマートグラスに関する利用シーンとしては、作業者のヘルメットにスマートグラスを装着しておき、有事の際やサポートが必要な時に、遠隔支援をするというものになります。スマートグラス装着者の映像・音声を管理棟側支援者に伝送（アップロード側通信）し、管理棟側支援者の音声をスマートグラス装着者へ伝送いたします。

スマートグラスの映像伝送所要要件としましては、FULL HD 画質、30fps となっているため、最大でも UL 方向に 10Mbps の通信が発生いたします。一方で DL 方向には音声通信しか発生いたしません（約 1Mbps）

3.3.1.2　評価・検証項目

港湾でのローカル 5G 伝搬特性について、実測値をもとに明確化しました。夢洲コンテナターミナル内管理棟屋上に設置した、1 つのローカル 5G 基地局からカバーする 20 か所の測定地点にて性能測定しました。

測定に関する評価項目は、受信電力（RSRP[dBm]）、通信品質（SINR［dB]）、伝送スループット（UL 及び DL[Mbps]）伝送遅延時間[ms]の 5 つとします。

＜アプリケーション KPI 評価項目＞

- 受信電力（RSRP［dBm]）
- 通信品質（SINR［dB]）
- 伝送スループット（UL）［Mbps]
- 伝送スループット（DL）［Mbps]
- 伝送遅延時間［ms]

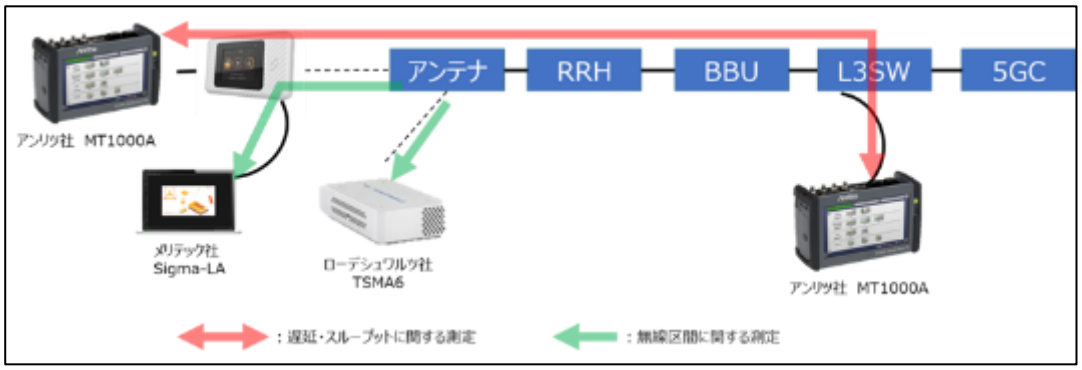


図 3.3.1.2-1　測定方法イメージ

各ポイント毎の試験時間は 3 分 20 秒間としました。ローデシュワルツ社 TSMA6 を用いて、複数ビームの受信電力と通信品質を測定いたします。尚、入手するデータ数は 1000 サンプル/箇所 としました。アンリツ社 MT1000A、Sigma-LA を用いて、端末が受けているパスデータ（受信電力、通信品質、伝送スループット（UL/DL）、伝送遅延時間）の測定を実施いたしました。この時取得したデータ数は 200 サンプル/箇所としました。

また、TSMA6 を用いて測定ポイントの位置測位も実施致しました。測定機器の仕様について記載致します。

表 3.3.1.2-1　エリアスキャナ：TSMA6 諸元

項目	諸元
製品名	TSMA6
製造者	Rode & Schwarz
備考	主な追加モジュール TSMA6 ウルトラコンパクトドライブテストスキャナ TSME30DC ダウンコンバータ TSMA6-BP バッテリパックユニット TSME-Z10 シングルポート広帯域アンテナ

表 3.3.1.2-2　GNSS Receiver(エリアスキャナ) 諸元

項目	諸元
製品名	GPS/GLONASS receiver
製造者	Rode & Schwarz
備考	マルチGNSS: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo Sensitivity Cold Start: -148 dBm, Tracking/Reaqusition: -160 dBm Acquisition Cold Start/Hot Start: 26s/ < 1 s Channels: 50

表 3.3.1.2-3　トラフィック試験機：MT1000A 諸元

項目	諸元
製品名	MT1000A
製造者	Anritsu
備考	測定モジュール：MU100010A (10Gマルチレートモジュール) プロトコルオプション：MU100010A-001(2.7G以下デュアルチャネル) GPSアンテナ：J1706A

表 3.3.1.2-4　Sigma-LA 諸元

項目	諸元
製品名	Sigma-LA
製造者	Meritech
備考	測定用PCにインストールして使用する。測定用PCにライセンスキーとなるドングルが必要

尚、コンテナヤード内の実測値との評価対象値として、現地同機種を用いたラボ試験の結果を用います。さらに、無線区間の遅延時間を算出するにあたりまして、装置間の遅延時間も個別に測定致しました。

図 3.3.1.2-2　無線区間の遅延に近づける方法

今回の実証地における RRH-BBU 区間の遅延時間は 0.5μsec として以降データに反映しております。

3.3.1.3 評価・検証方法

夢洲コンテナターミナル内測定値点（20 ポイント）にて、受信電力（RSRP[dBm]）、通信品質（SINR [dB]）、伝送スループット（UL 及び DL[Mbps]）伝送遅延時間[ms]をメリテック社 Sigma-LA 測定器、Anritsu MT1000A 測定器を用い測定しました。トラフィックが乗っている通信や無線 KPI の評価については、受信端末における測定値(受信電力、通信品質)を用いて分析を実施しました。

表 3.3.1.3-1　無線 KPI 一覧

測定項目	種類	ソース	説明
NR DL PDCP Tput	秒平均	UE	ダウンリンクPDCP層のスループット
NR UL PDCP Tput	秒平均	UE	アップリンクPDCP層のスループット
NR SS-RSRP	瞬時値	UE	参照信号の電力
NR SS-SINR	瞬時値	UE	ノイズと干渉に対する信号強度の比
NR DL MCS	瞬時値	UE	ダウンリンク伝送路符号の効率
NR UL MCS	瞬時値	UE	アップリンク伝送符号路の効率
NR DL RB	瞬時値	UE	ユーザーに割り当てられたダウンリンクリソースブロックの数
NR UL RB	瞬時値	UE	ユーザーに割り当てられたダウンリンクリソースブロックの数
NR RI	瞬時値	UE	MIMO品質（おおよそ有効なアンテナ数）
NR PDSCH BLER	瞬時値	UE	ブロックエラーレート
NE WB CQI	瞬時値	UE	受信品質指標

以下、測定実施方法イメージです。

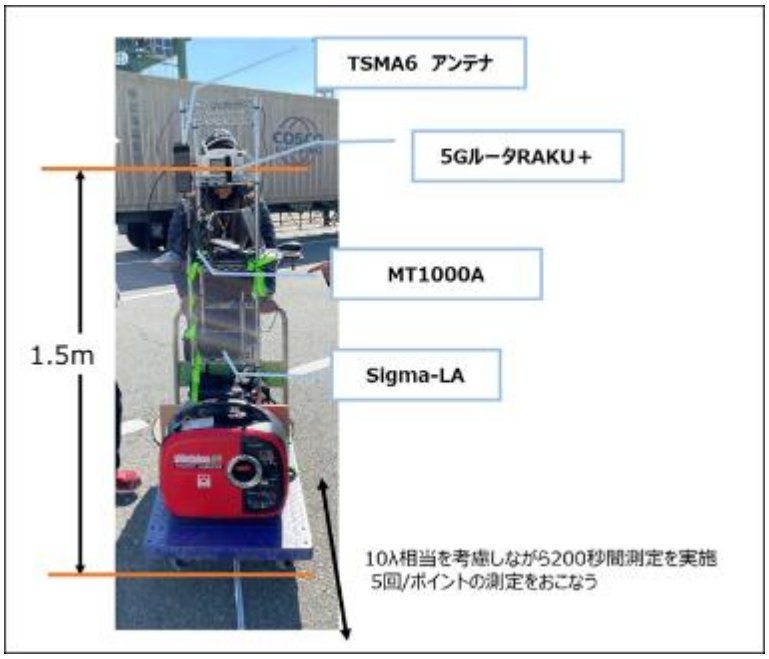


図 3.3.1.3-1　測定実施方法イメージ

現地測定データの比較検討材料として、ラボ検証データを用いました。ラボ検証環境のイメージを以下図 3.3.1.3-2 に示します。

天井に設置されている無指向性アンテナから水平距離で 3m、10m の地点にて測定を実施いたしました。10λの影響を考慮しつつ、200 秒間の測定を 5 回ずつ実施しております。

夢洲での測定における無線 KPI の評価に関する標準値として、ラボ結果を使用することとします。屋内ラボでの測定データについては表 3.3.1.3-2 に記載致します。

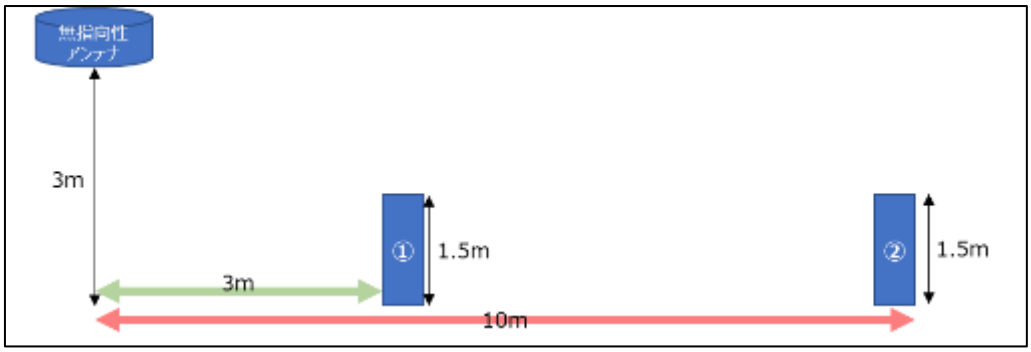


図 3.3.1.3-2　屋内ラボ環境での測定イメージ

表 3.3.1.3-2　屋内ラボ測定結果

測定項目	Nemo測定項目名称	測定機器	10m UL	10m DL	3m UL	3m DL
ｽﾙｰﾌﾟｯﾄ (bps)-平均ｽﾙｰﾌﾟｯﾄ（機器室側：UL）	–	ｱﾝﾘﾂ	97006000	–	95207000	–
ｴﾗｰﾌﾚｰﾑ-ｴﾗｰﾌﾚｰﾑ-ｶｳﾝﾄ（機器室側：UL）	–	ｱﾝﾘﾂ	29206(1.44%)	–	66888(3.3%)	–
ﾚｲﾃﾝｼｰ-ｽﾄﾘｰﾑ1-平均[us]（機器室側：UL）	–	ｱﾝﾘﾂ	25298.48	–	24411.754	–
ｼﾞｯﾀｰ-ｽﾄﾘｰﾑ1-平均[us]（機器室側：UL）	–	ｱﾝﾘﾂ	4775.015	–	4748.929	–
ｽﾙｰﾌﾟｯﾄ (bps)-平均ｽﾙｰﾌﾟｯﾄ（端末側：DL）	–	ｱﾝﾘﾂ	–	245,517,000	–	245,687,000
ｴﾗｰﾌﾚｰﾑ-ｴﾗｰﾌﾚｰﾑ-ｶｳﾝﾄ（端末側：DL）	–	ｱﾝﾘﾂ	–	19553(0.39%)	–	14232(0.32%)
ﾚｲﾃﾝｼｰ-ｽﾄﾘｰﾑ1-平均[us]（端末側：DL）	–	ｱﾝﾘﾂ	–	18,207	–	21,073
ｼﾞｯﾀｰ-ｽﾄﾘｰﾑ1-平均[us]（端末側：DL）	–	ｱﾝﾘﾂ	–	3,001	–	5,038
NR Primary Serving PCI	Physical cell identity (NR serving cell)	Nemo Outdoor	50	50	50	50
NR Primary Serving SS-RSRP (dBm)	RSRP (NR serving cell)	Nemo Outdoor	-62.83	-61.11	-55.49	-54.98
NR Primary Serving SS-SINR (dB)	SINR (NR serving cell)	Nemo Outdoor	43.23	43.49	43.48	43.16
NR UL PDCP Throughput (Mbps)	PDCP uplink throughput (NR)	Nemo Outdoor	95.98	0.00	93.74	0.00
NR DL PDCP Throughput (Mbps)	PDCP downlink throughput (NR)	Nemo Outdoor	0	243	0	273
NR Primary UL MCS (Avg)	PUSCH MCS CW0 (NR)	Nemo Outdoor	26.94	26.92	26.78	27.12
NR Primary DL MCS (Avg)	PDSCH MCS CW0 (NR)	Nemo Outdoor	0.00	23.01	0.00	13.42
NR Primary UL ResourceBlock (Avg)	PUSCH PRBs (NR)	Nemo Outdoor	268	4	268	4
NR Primary DL ResourceBlock (Avg)	PDSCH PRBs (NR)	Nemo Outdoor	16	80	16	271
NR Primary PDSCH BLER (%)	MAC downlink BLER (NR)	Nemo Outdoor	0	0	0	0
※上記は出力無しのため右2つの項目を記載	RLC downlink BLER (NR)	Nemo Outdoor	0.000	0.013	0.000	2.317
NR Primary WideBand CQI	WB CQI (NR)	Nemo Outdoor	15	15	15	15
NR Primary RI	Rank indicator (NR)	Nemo Outdoor	4	4	4	4

また、実証現地にて用いましたセクターアンテナの指向性パターンにつきましても以下に記載致します。

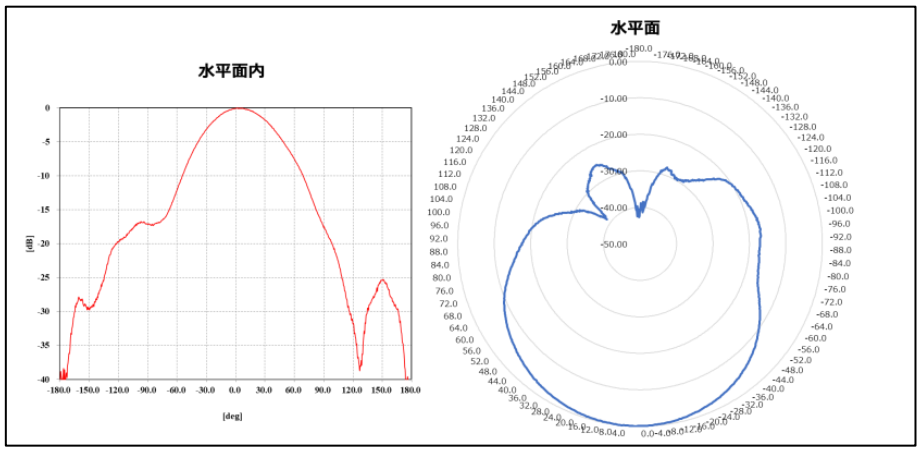


図 3.3.1.3-3　指向性アンテナパターン（水平面）

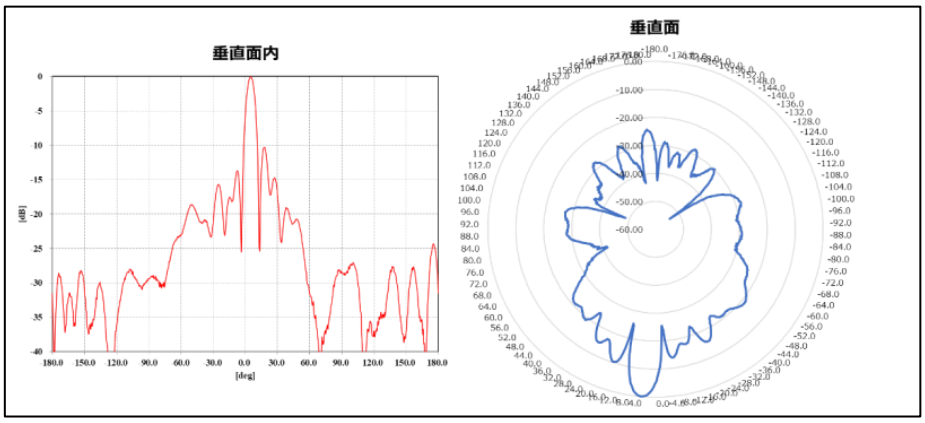


図 3.3.1.3-4　指向性アンテナパターン（垂直面）

3.3.1.4　実証結果及び考察

前述したコンテナヤード内 20 か所の詳細情報については表 3.3.1.4-1 に記載し、ヤード内俯瞰図とポイント位置については図 3.3.1.4-1 に記載します。また、地点にて測定した実測データについては図 3.3.1.4-2 で RSRP の結果と想定アプリケーションの利用可否を示し、その他アプリケーション KPI に関しての結果一覧を表 3.3.1.4-2 にまとめました。尚、適切な実測値を求めるにあたり、結果に対し中央値、平均値、上位 10%値、下位 10%値を算出し、測定地点でのバラツキについても考慮しております。一方で分析に用いる無線 KPI の結果を表 3.3.1.4-3 に記載致します。

更に、コンテナの積み上がり状況との相関性を確認するために、測定日のコンテナ全体の状況と測定点の前後コンテナ状況表 3.3.1.4-4～表 3.3.1.4-8 に示しました。

表 3.3.1.4-1　コンテナヤード内測定地点（20 ポイント）

測定地点	緯度	経度	方位角(°)	俯角(°)	測定地点標高(m)	測定地点地上高(m)	基地局標高(m)	基地局地上高(m)	見通し	基地局との距離(m)		想定受信強度(dBm)
										水平距離	3D距離	
1	34.651141	135.397701	142.58	34.501	6.9	1.5	7.2	18	LoS	24.443	29.66	-81.69
2	34.650984	135.39759	172.77	24.347	6.9	1.5	7.2	18	LoS	37.126	40.75	-78.21
3	34.650907	135.397532	180.81	20.427	6.8	1.5	7.2	18	LoS	45.377	48.422	-70.56
4	34.648696	135.39598	206.19	2.740	8.2	1.5	7.2	18	NLoS	323.887	324.26	-105.07
5	34.650906	135.398221	126.03	12.824	6.1	1.5	7.2	18	NLoS	77.315	79.293	-86.68
6	34.650212	135.397258	191.88	8.185	5.7	1.5	7.2	18	LoS	125.151	126.44	-90.31
7	34.649923	135.397802	171.13	6.746	5.2	1.5	7.2	18	LoS	156.401	157.49	-108.28
8	34.649169	135.396926	193.28	3.531	8.6	1.5	7.2	18	NLoS	244.716	245.18	-101.46
9	34.648228	135.395816	204.75	2.414	7.8	1.5	7.2	18	NLoS	377.228	377.56	-107.32
10	34.650547	135.39875	127.54	7.527	5.2	1.5	7.2	18	NLoS	140.009	141.23	-110.78
11	34.648999	135.39752	180.39	4.582	3.1	1.5	7.2	18	NLoS	257.04	257.86	-104.91
12	34.64786	135.396482	194.18	3.271	1.1	1.5	7.2	18	NLoS	395.445	396.09	-108.76
13	34.649884	135.39984	126.98	4.266	4	1.5	7.2	18	NLoS	264.07	264.8	-119.99
14	34.649489	135.398367	159.47	5.175	4.1	1.5	7.2	18	LoS	216.425	217.31	-107.73
15	34.648348	135.397846	175.11	3.861	1.4	1.5	7.2	18	NLoS	330.453	331.2	-108.45
16	34.647564	135.397217	184.06	2.991	1.9	1.5	7.2	18	NLoS	417.27	417.84	-109.88
17	34.649539	135.40031	127.81	3.648	3.2	1.5	7.2	18	LoS	321.546	322.2	-121.02
18	34.649023	135.399054	151.36	4.144	2.7	1.5	7.2	18	NLoS	289.819	290.58	-111.72
19	34.647034	135.397809	177.02	2.720	1.1	1.5	7.2	18	NLoS	475.665	476.2	-112.57
20	34.646162	135.396991	185.02	2.295	0.7	1.5	7.2	18	NLoS	573.958	574.42	-114.50

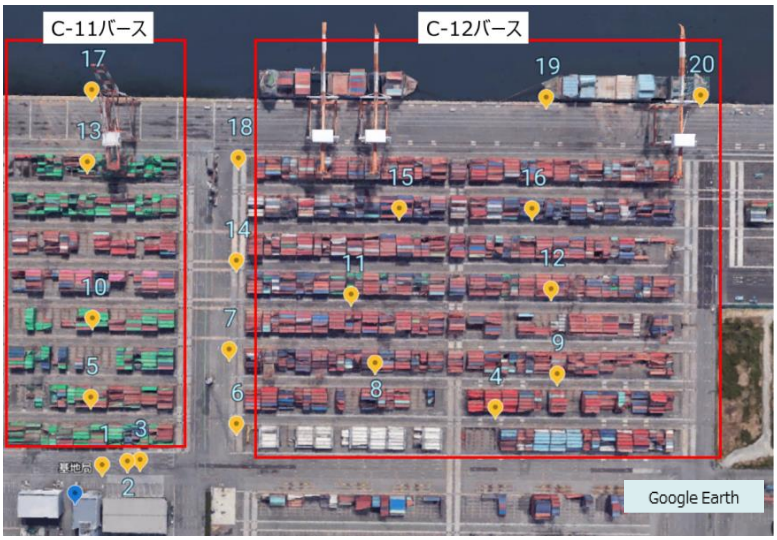
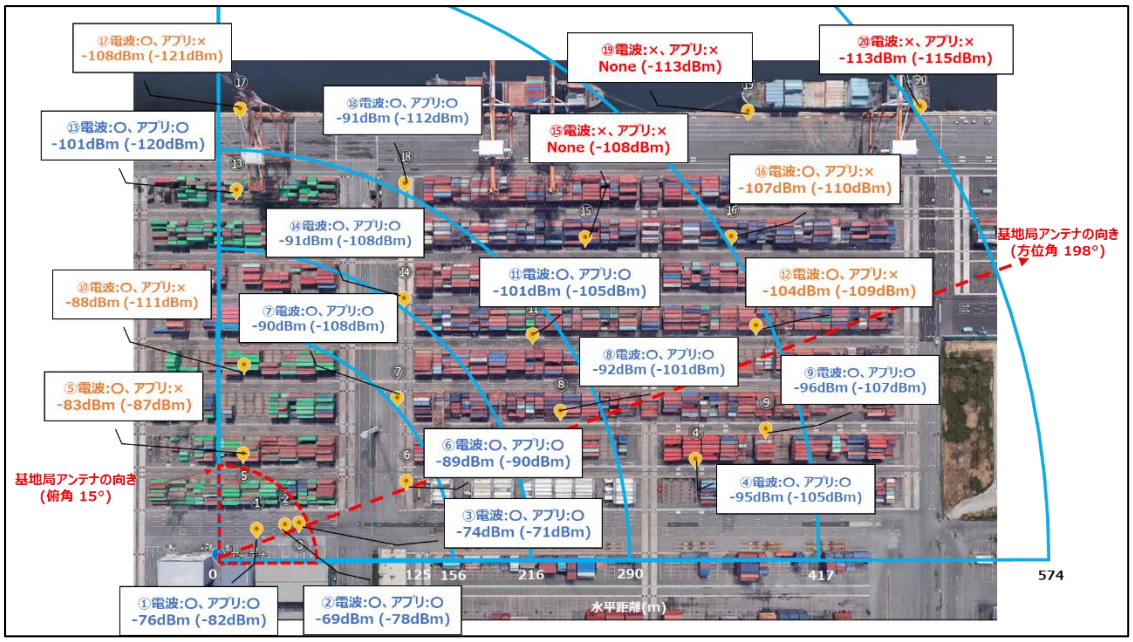


図 3.3.1.4-1　コンテナ俯瞰図と測定ポイント



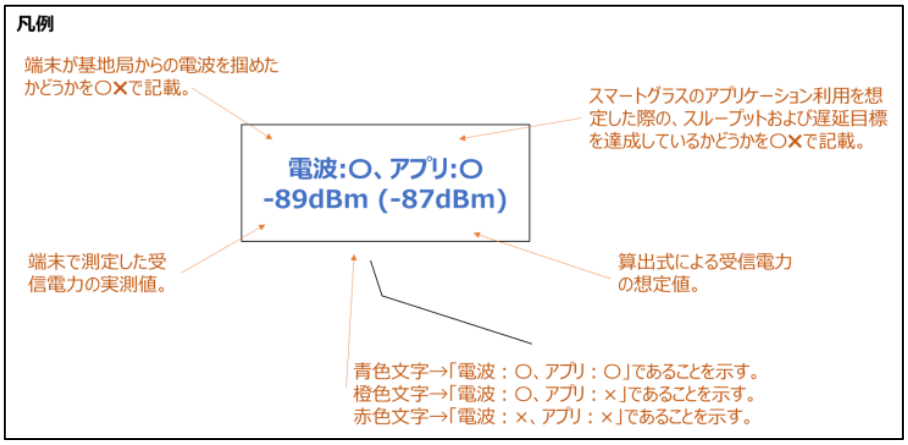


図 3.3.1.4-2　コンテナヤード内俯瞰図と測定結果

表 3.3.1.4-2　コンテナヤード内 20 ポイント測定結果
(N=1000)

測定ポイント	スループット [Mbps]-平均スループット（端末側：DL）	フレームロス-ストリーム1-フレーム（端末側：DL）	レイテンシ-ストリーム1-平均[msec]（端末側：DL）	ジッタ-ストリーム1-平均[msec]（端末側：DL）	スループット [Mbps]-平均スループット（機器室側：UL）	フレームロス-ストリーム1-フレーム（機器室側：UL）	レイテンシ-ストリーム1-平均[msec]（機器室側：UL）	ジッタ-ストリーム1-平均[msec]（機器室側：UL）
1	9.78	3.65	7.62	1.72	9.78	3.68	12.09	1.74
2	9.83	0.00	7.63	1.72	9.82	0.00	12.42	1.77
3	9.82	0.00	9.66	1.55	9.83	0.00	12.73	1.80
4	9.83	0.00	7.63	1.72	9.83	0.00	14.68	1.71
5	3.93	0.00	7.52	1.72	3.67	0.00	13.70	1.77
6	9.83	0.00	11.17	1.44	9.83	0.00	13.51	1.73
7	9.82	0.00	11.02	1.44	9.82	0.00	14.11	1.71
8	9.83	0.00	7.64	1.72	9.53	24.29	764.23	1.75
9	9.83	0.00	7.65	1.72	9.82	0.00	14.17	1.72
10	7.51	0.01	11.32	1.47	8.19	107.01	2430.18	2.23
11	9.72	10.06	7.76	1.74	9.31	46.17	897.59	2.01
12	6.97	125.99	9.84	2.35	2.64	614.85	7587.36	33.55
13	9.82	0.00	11.10	1.44	9.83	0.00	14.53	1.69
14	9.83	0.00	10.95	1.44	9.84	0.00	13.87	1.69
15	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)
16	6.66	29.89	9.64	1.69	2.61	511.91	9346.79	3.90
17	1.03	0.05	8.21	1.72	0.29	49.23	8050.92	3.59
18	9.82	0.00	10.23	1.49	9.82	0.00	14.30	1.68
19	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)
20	0.00	(データなし)	(データなし)	(データなし)	0.316	(データなし)	(データなし)	(データなし)

表 3.3.1.4-3　ポイント毎無線 KPI 項目結果
(N＝1000)

測定ポイント	NR DL PDCP Throughput (Mbps)	NR UL PDCP Throughput (Mbps)	NR Primary Serving SS-RSRP (dBm)	NR Primary Serving SS-SINR (dB)	NR Primary DL MCS (Avg)	NR Primary UL MCS (Avg)	NR Primary UL ResourceBlock (Avg)	NR Primary DL ResourceBlock (Avg)	NR Primary RI	NR Primary PDSCH BLER (%)	NR Primary WideBand CQI
1	9.62	9.62	-76.26	5.28	11.21	25.84	27.16	17.45	3.99	0.07	13.14
2	9.62	9.63	-69.14	16.57	12.01	25.24	36.54	16.02	3.99	0.04	14.78
3	9.61	9.62	-73.96	13.34	11.70	24.12	57.97	16.69	3.99	0.04	14.94
4	9.63	9.64	-95.35	11.16	15.98	18.00	182.72	21.98	2.00	0.00	11.91
5	9.62	9.63	-82.66	10.40	9.26	15.16	91.11	21.06	3.99	1.43	10.95
6	9.61	9.62	-88.60	1.11	8.77	17.79	80.66	33.23	3.09	0.88	11.95
7	9.62	9.64	-90.01	2.43	11.41	16.72	82.99	23.59	3.00	1.20	11.28
8	9.63	9.38	-92.11	8.05	12.71	11.77	154.98	24.95	2.64	0.37	10.48
9	9.62	9.63	-96.14	11.14	15.99	18.80	148.19	22.70	2.00	0.00	11.90
10	7.99	8.06	-88.11	7.43	9.78	16.82	90.51	22.57	2.99	1.36	11.07
11	9.63	9.30	-100.63	4.43	12.23	12.79	186.68	33.16	2.00	1.46	10.15
12	8.10	4.11	-104.12	6.85	8.06	2.73	39.23	46.44	2.00	9.49	9.00
13	9.52	9.56	-100.89	1.97	11.62	15.64	143.82	33.97	1.99	0.59	9.32
14	9.63	9.64	-90.67	5.03	11.81	15.13	83.58	23.11	3.00	0.43	10.11
15	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)
16	8.78	3.81	-107.39	3.86	9.74	3.94	225.80	38.43	1.93	4.26	8.24
17	8.55	3.85	-108.23	-1.76	7.94	1.14	(データなし)	40.94	2.00	31.78	7.41
18	9.62	9.63	-91.18	9.95	13.18	21.05	81.49	22.20	2.71	0.06	10.20
19	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)	(データなし)
20	(データなし)	(データなし)	-113.09	-3.80	0.00	(データなし)	(データなし)	30.00	(データなし)	100.00	(データなし)

表 3.3.1.4-4　測定日コンテナ状況(1)-1

測定地点全体
測定地点全体
測定地点 4 周辺環境（前面、背面）

表 3.3.1.4-4　測定日コンテナ状況(1)-2

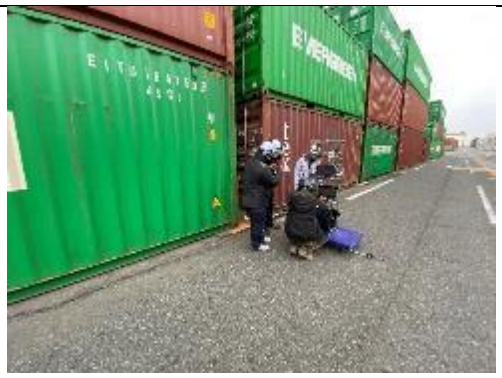
測定地点 5 周辺環境（前面、背面）	
	
測定地点 8 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 9 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 10 周辺環境（前面、背面）	

表 3.3.1.4-4　測定日コンテナ状況(1)-3

測定地点 11 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 12 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 13 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 15 周辺環境（前面、背面）	

表 3.3.1.4-4　測定日コンテナ状況(1)-4

測定地点 16 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 19 周辺環境（前面、背面）	

表 3.3.1.4-5　測定日コンテナ状況(2)

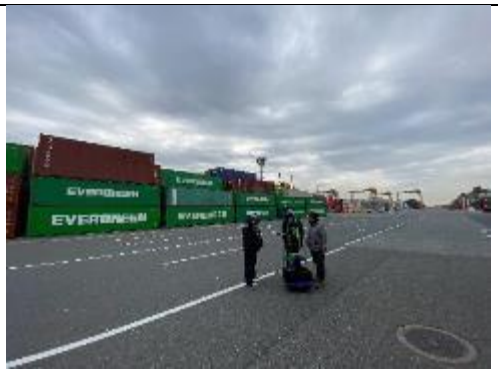
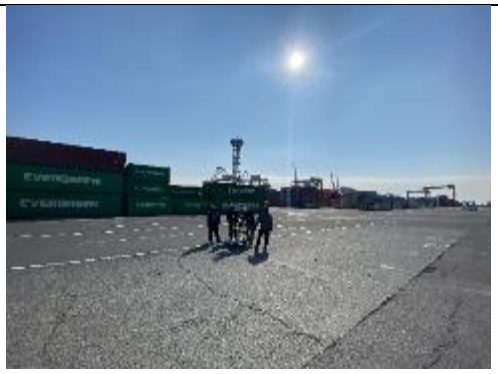
測定地点 1 周辺環境	
	
測定地点 2 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 3 周辺環境（前面、背面）	
	

表 3.3.1.4-6　測定日コンテナ状況(3)

測定地点 6 周辺環境（前面、背面）	

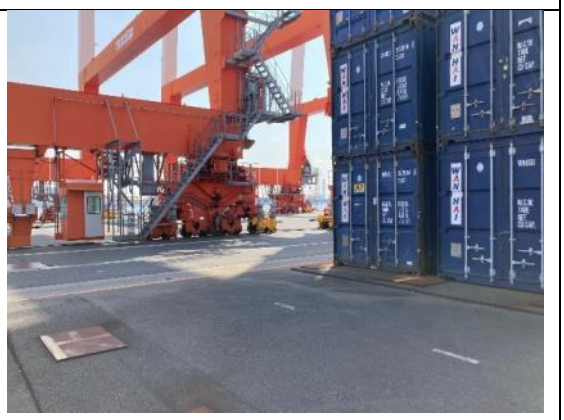
表 3.3.1.4-7　測定日コンテナ状況(4)-1

測定地点全体

表 3.3.1.4-7　測定日コンテナ状況(4)-2

測定地点全体（２）	
測定地点 17 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 20 周辺環境（前面、背面）	

表 3.3.1.4-8　測定日コンテナ状況(5)

測定地点 7 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 14 周辺環境（前面、背面）	
測定地点 18 周辺環境（前面、背面）	
	

各測定点の測定結果と電波状況に関する分析を実施致しました。以下の表で各ポイント毎の測定結果と想定値について比較致します。

表 3.3.1.4-9　測定値と想定値の比較

測定ポイント	測定値（平均値）					目標値					
						机上計算		"スマートグラス"アプリ利用条件			
	RSRP(dBm)	伝送スループット(Mbps)		伝送遅延(msec)		伝送スループット(Mbps)		伝送スループット(Mbps)		伝送遅延(msec)	
		UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL
1	-76.26	9.78	9.78	12.09	7.62	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
2	-69.14	9.82	9.83	12.42	7.63	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
3	-73.96	9.83	9.82	12.73	9.66	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
4	-95.35	9.83	9.83	14.68	7.63	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
5	-82.66	3.67	3.93	13.70	7.52	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
6	-88.60	9.83	9.83	13.51	11.17	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
7	-90.01	9.82	9.82	14.11	11.02	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
8	-92.11	9.53	9.83	764.23	7.64	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
9	-96.14	9.82	9.83	14.17	7.65	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
10	-88.11	8.19	7.51	2430.18	11.32	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
11	-100.63	9.31	9.72	897.59	7.76	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
12	-104.12	2.64	6.97	7587.36	9.84	10未満	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
13	-100.89	9.83	9.82	14.53	11.10	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
14	-90.67	9.84	9.83	13.87	10.95	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
15	（データなし）	（データなし）	（データなし）	（データなし）	（データなし）	(N/A)	(N/A)	10.00	1.00	900～2000	900～2000
16	-107.39	2.61	6.66	9346.79	9.64	10未満	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
17	-108.23	0.29	1.03	8050.92	8.21	10未満	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
18	-91.18	9.82	9.82	14.30	10.23	10.00	10.00	10.00	1.00	900～2000	900～2000
19	（データなし）	（データなし）	（データなし）	（データなし）	（データなし）	(N/A)	(N/A)	10.00	1.00	900～2000	900～2000
20	-113.09	0.00	0.00	（データなし）	（データなし）	(N/A)	(N/A)	10.00	1.00	900～2000	900～2000

表 3.3.1.4-10　各ポイント一次考察

測定ポイント	考察
1	測定ポイントはLOS環境であり、スループットおよび遅延は目標値と同様の値が測定されている。
2	測定ポイントはLOS環境であり、スループットおよび遅延は目標値と同様の値が測定されている。
3	測定ポイントはLOS環境であり、スループットおよび遅延は目標値と同様の値が測定されている。
4	目標値と同様のスループットが出ている。分析は図3.3.1.4-11を参照。
5	UL/DLスループットの測定値が目標値を下回っている。分析は図3.3.1.4-12を参照。
6	目標値と同様のスループットが出ている。分析は図3.3.1.4-13を参照。
7	測定ポイントはLOS環境であり、スループットおよび遅延は目標値と同様の値が測定されている。
8	目標値と同様のスループットが出ている。分析は図3.3.1.4-14を参照。
9	目標値と同様のスループットが出ている。分析は図3.3.1.4-15を参照。
10	UL/DLスループットの測定値が目標値を下回っている。また、UL遅延の測定値が目標値を下回っている。分析は図3.3.1.4-16を参照。
11	目標値と同様のスループットが出ている。分析は図3.3.1.4-17を参照。
12	DLスループットの測定値が目標値を下回っている。また、UL遅延の測定値が目標値を下回っている。分析は図3.3.1.4-18を参照。
13	目標値と同様のスループットが出ている。分析は図3.3.1.4-19を参照。
14	測定ポイントはLOS環境であり、スループットおよび遅延は目標値と同様の値が測定されている。
15	リンクが確立しませんでした。分析は図3.3.1.4-20を参照。
16	DLスループットの測定値が目標値を下回っている。また、UL遅延の測定値が目標値を下回っている。分析は図3.3.1.4-21を参照。
17	DLスループットの測定値が目標値を下回っている。また、UL遅延の測定値が目標値を下回っている。分析は図3.3.1.4-22を参照。
18	測定ポイントはLOS環境であり、スループットおよび遅延は目標値と同様の値が測定されている。
19	リンクが確立しませんでした。分析は図3.3.1.4-23を参照。
20	リンクが確立しませんでした。分析は図3.3.1.4-24を参照。

測定点①、②、③に関しては基地局からの距離が近く、KPI にも異常値は見られないため、実証地における基礎データとして扱うこととしました。一方で他のポイントについては、受信電波強度や、通信品質若しくは、アプリケーション KPI に通常値（想定値）とは異なる値が出ているポイントがあったことから、原因・要因の分析をおこないました。

考察に関しましては、以下に示します電波減衰の要因に基づいてグルーピングを実施しております。

電波減衰要因　凡例

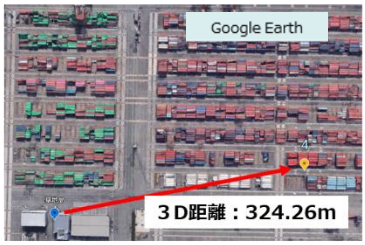
距離	**1．距離：**距離の長短による減衰
水平方向反射	**2．水平方向反射：**水平方向の反射による減衰
垂直方向反射	**3．垂直方向反射：**垂直方向の反射による減衰
前高後低	**4．前高後低：**基地局に正対する前面コンテナと背面コンテナの高低による減衰
岸壁後海	**5．岸壁後海：**基地局に正対する岸壁エリアで背面に反射対象なしによる減衰
ノイズ干渉	**6．ノイズ干渉：**ノイズ干渉比率高低による減衰

オレンジ：　測定地において減衰の要因として働いているもの
灰色：　測定地において減衰の要因として働いてないもの

図 3.3.1.4-3　考察に用いた電波減衰要因

測定地点④分析

俯瞰図



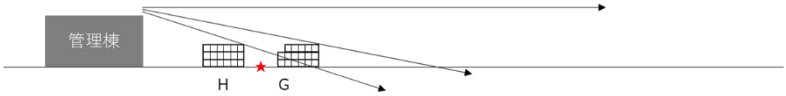
減衰要因

距離 | 水平方向反射 | 垂直方向反射 | 前高後低 | 岸壁後海 | ノイズ干渉

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-95.35	DL: 9.83 UL: 9.83	DL: 7.63 UL: 14.68	DL: 3.65 UL: 3.64	11.16

断面図



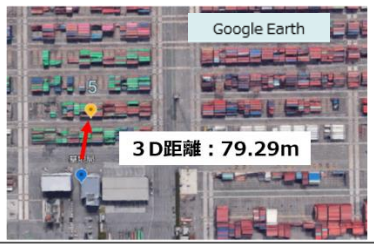
分析

④の測定ポイントは、C12バースG-H間にあり、基地局からの3D距離に応じ、深い不感地帯となってしまい（俯瞰図参照）、受信電力は-95 dBm でアプリケーションやトラフィック伝送に悪影響を与えかねない結果が出ておりますが、SINR = 11.16 dB というノイズ／干渉影響が少ない環境の為、スループットや遅延に大きな悪影響を与えていないことが分かります。

図 3.3.1.4-4　測定地点分析④

測定地点⑤分析

俯瞰図

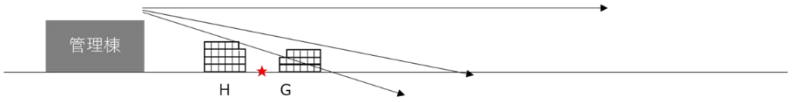


減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-82.66	DL: 3.93 UL: 3.67	DL: 7.52 UL: 13.70	DL: 0.00 UL: 0.00	10.40

断面図



分析

⑤の測定ポイントは、C11バースG-H間の為3D距離が 79.29m という比較的短くなっており、前高後低のコンテナ環境にありますが、受信電力は -83 dBmという比較的高い受信電力です。トラフィックや遅延に大きな悪影響を与えない環境の筈ですが、実際のスループットは DL,UL共に3Mbps台と著しく低いパフォーマンスとなっていますが、パケットロスは発生していません。

図 3.3.1.4-5　測定地点分析⑤

測定地点⑥分析

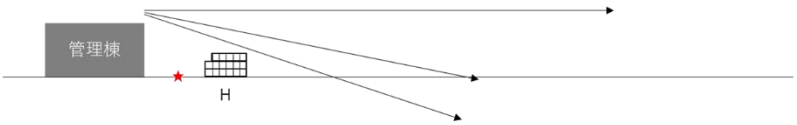
俯瞰図

減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-88.60	DL: 9.83 UL: 9.83	DL: 11.17 UL: 13.51	DL: 0.00 UL: 0.00	1.11

断面図



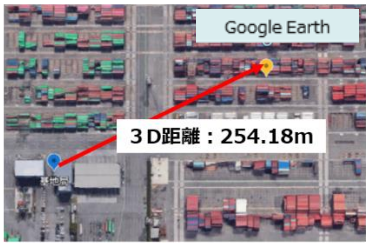
分析

⑥の測定ポイントは、LoS環境であり、かつ3D距離が 126.44m という比較的短い距離の為、受信電力は -89 dBm という比較的高い受信電力です。しかし、SINRが 1.11 dB という低い値を示しています。その影響は、DLの遅延に +3ms の遅延として現れています。

図 3.3.1.4-6　測定地点分析⑥

測定地点⑧分析

俯瞰図

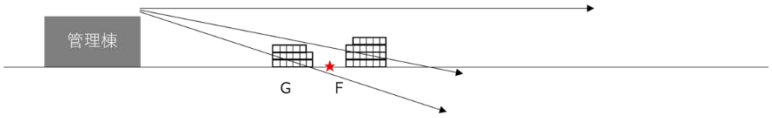


減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-92.11	DL: 9.83 UL: 9.53	DL: 7.64 UL: 764.23	DL: 0.00 UL: 24.29	8.05

断面図



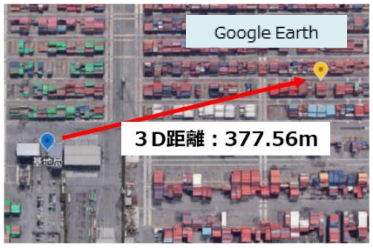
分析

⑧の測定ポイントは、C12バースF-G間にあり、基地局からの3D距離に応じて深い不感地帯となります。（俯瞰図参照） 比較的長い距離の為、受信電力は -97.12 dBm となり、アプリケーションやトラフィック伝送に悪影響を与えかねない結果が出ています。一方、SINR は 8.05 dB という比較的高い値を示しているものの、UL伝送に 764.23ms という大きな伝送遅延と 24.29 のパケットロスが発生しています。

図 3. 3. 1. 4-7　測定地点分析⑧

測定地点⑨分析

俯瞰図

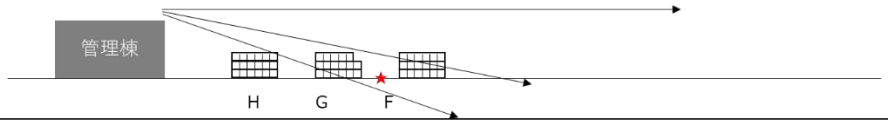


減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-96.14	DL: 9.83 UL: 9.82	DL: 7.65 UL: 14.17	DL: 0.00 UL: 0.00	11.14

断面図



分析

⑨の測定ポイントは、C12バースF-G間にあり、基地局からの3D距離に応じて深い不感地帯となっております。（俯瞰図参照） 377.56m という長い距離のため、受信電力は -96.14 dBm という低い受信電力で、アプリケーションやトラフィック伝送に悪影響を与えかねない結果が出ております。一方で SINRは比較的高い 11.14 dB という値であるため、DL/ULスループットに悪影響は出ていません。

図 3. 3. 1. 4-8　測定地点分析⑨

測定地点⑩分析

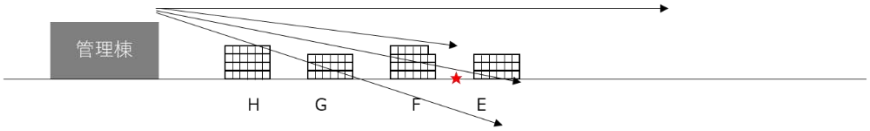
俯瞰図

減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-88.11	DL: 8.19 UL: 7.51	DL: 11.32 UL: 2430.18	DL: 0.01 UL: 107.01	7.43

断面図



分析

⑩の測定ポイントは、C11バースながらF-E間の極端な前高後低環境にあります。141.23m という比較的短い3D距離のため、受信電力は -88.32 dBm という高い受信強度です。しかし、SINRが 7.43 dB という低い値を示しています。その影響は、DL/ULスループットに悪影響、ULに107.01 のパケットロス、UL伝送に2430.18 msの大きな遅延、DL伝送には+3ms 程の遅延として現れています。

図 3. 3. 1. 4-9　測定地点分析⑩

測定地点⑪分析

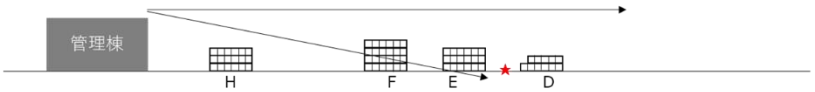
俯瞰図

減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-100.63	DL: 9.31 UL: 9.72	DL: 7.76 UL: 897.59	DL: 10.06 UL: 46.17	4.43

断面図



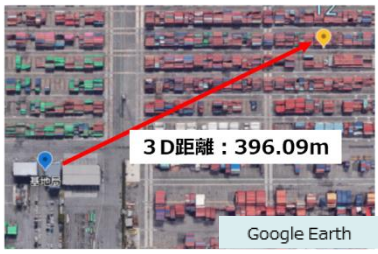
分析

⑪の測定ポイントは、C12バースD-E間にあり、測定ポイントの背面に反射する対象のコンテナがなく、かつ基地局からの3D距離も 257.86mという長い距離です。そのため受信電力は -101 dBm となり、リンクが不安定な受信電力となっています。SINR 4.43 dB という比較的ノイズ／干渉影響が大きな環境となり、パケットロスや遅延も発生しており、スループットにも僅かながら悪影響が発生しています。

図 3. 3. 1. 4-10　測定地点分析⑪

測定地点⑫分析

俯瞰図

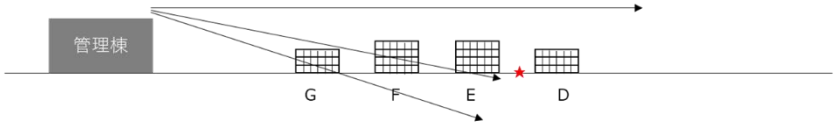


減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-104.12	DL: 6.97 UL: 2.64	DL: 9.84 UL: 7587.36	DL: 125.99 UL: 614.85	6.85

断面図



分析

⑫の測定ポイントは、C12バースD-E間にあり、前高後低かつ基地局からの3D距離も 396.09mという長い距離です。そのため、受信電力は -104.12 dBm となり、リンクが不安定な受信電力となっています。SINR 6.85 dB というノイズ／干渉影響が比較的大きな環境となり、DL/ULスループットと遅延に共に悪影響が出ています。

図 3.3.1.4-11　測定地点分析⑫

測定地点⑬分析

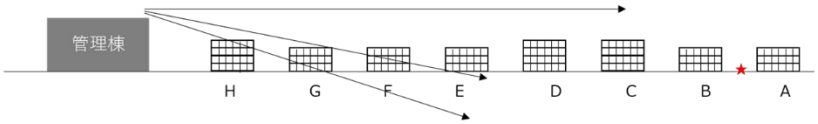
俯瞰図

減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-100.89	DL: 9.82 UL: 9.83	DL: 11.10 UL: 14.53	DL: 0.00 UL: 0.00	1.97

断面図



分析

⑬の測定ポイントは、C11バースB-A間にあり、前高後低かつ3D距離が 264.80mという長い距離です。受信電力は -100.89 dBm となり、アプリケーションやトラフィックに悪影響を与えるような受信電力となっています。SINR 1.97 dB というノイズ／干渉影響が大きな環境となり、実際にリンク DL遅延が 通常より平均 3ms 程度遅れている結果となっています。

図 3.3.1.4-12　測定地点分析⑬

測定地点⑮分析

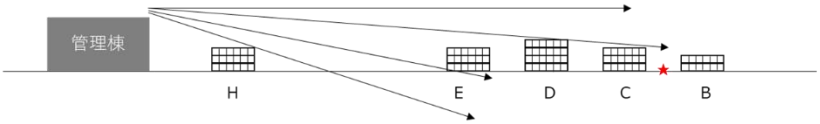
俯瞰図

減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
データなし	リンクなし	データなし	リンクなし	データなし

断面図



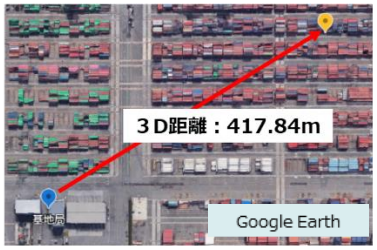
分析

⑮の測定ポイントは、C12レーンC-B列間にあり、前高後低かつ基地局からの3D距離も331.20mという長い距離であるため、受信電力はデータなしとなり、リンクが不安定な受信電力となっています。実際にリンクも終始確立していないような結果となっています。

図 3.3.1.4-13　測定地点分析⑮

測定地⑯分析

俯瞰図

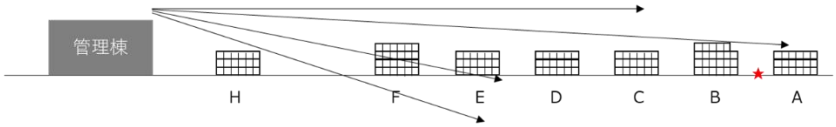


減衰要因

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-107.39	DL: 6.66 UL: 2.61	DL: 9.64 UL:9346.79	DL: 29.89 UL: 511.91	3.86

断面図



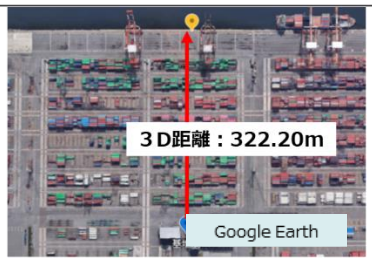
分析

⑯の測定ポイントは、C12バースA-B間にあり、更に前高後低であり、かつ基地局からの3D距離も417.84mという長い距離です。受信電力は -107 dBm となり、リンクが不安定な受信電力となっています。更には SINR 3.86というノイズ／干渉影響が大きく、リンクも不安定です。

図 3.3.1.4-14　測定地点分析⑯

測定地⑰分析

俯瞰図



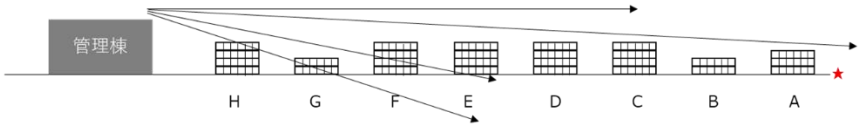
減衰要因

距離 | 水平方向反射 | 垂直方向反射 | 前高後低 | 岸壁後海 | ノイズ干渉

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
-108.23	DL: 1.03 UL: 0.29	DL: 8.21 UL:8050.92	DL: 0.05 UL: 49.23	-1.76

断面図



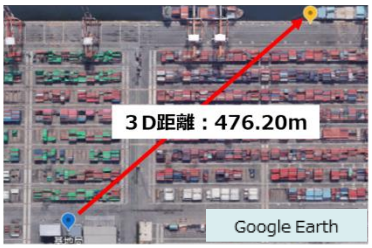
分析

⑰の測定ポイントは、C11バースA裏にあり、測定ポイントの背面に反射する対象のコンテナがなく、かつ基地局からの3D距離も 322.20mという長い距離です。受信電力は -108 dBm となり、リンクが不安定な受信電力となっています。SINR -1.76 dB というノイズ／干渉影響が大きな環境となり、実際にリンクも不安定でスループットも著しく低い結果となっています。

図 3.3.1.4-15　測定地点分析⑰

測定⑲分析

俯瞰図



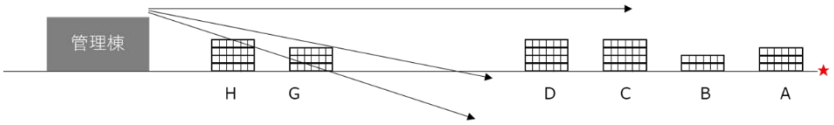
減衰要因

距離 | 水平方向反射 | 垂直方向反射 | 前高後低 | 岸壁後海 | ノイズ干渉

実測結果

RSRP	スループット	遅延	パケットロス	SINR
データなし	リンクなし	データなし	リンクなし	データなし

断面図



分析

⑲の測定ポイントは、C12バースA裏にあり、測定ポイントの背面に反射する対象のコンテナがなく、かつ基地局からの3D距離も 476.20mという長い距離です。受信電力はデータなしとなり、リンクが確立しない受信電力となっています。リンクが終始確立しない為SINRもデータなしとなり、実際にリンクも確立していません。

図 3.3.1.4-16　測定地点分析⑲

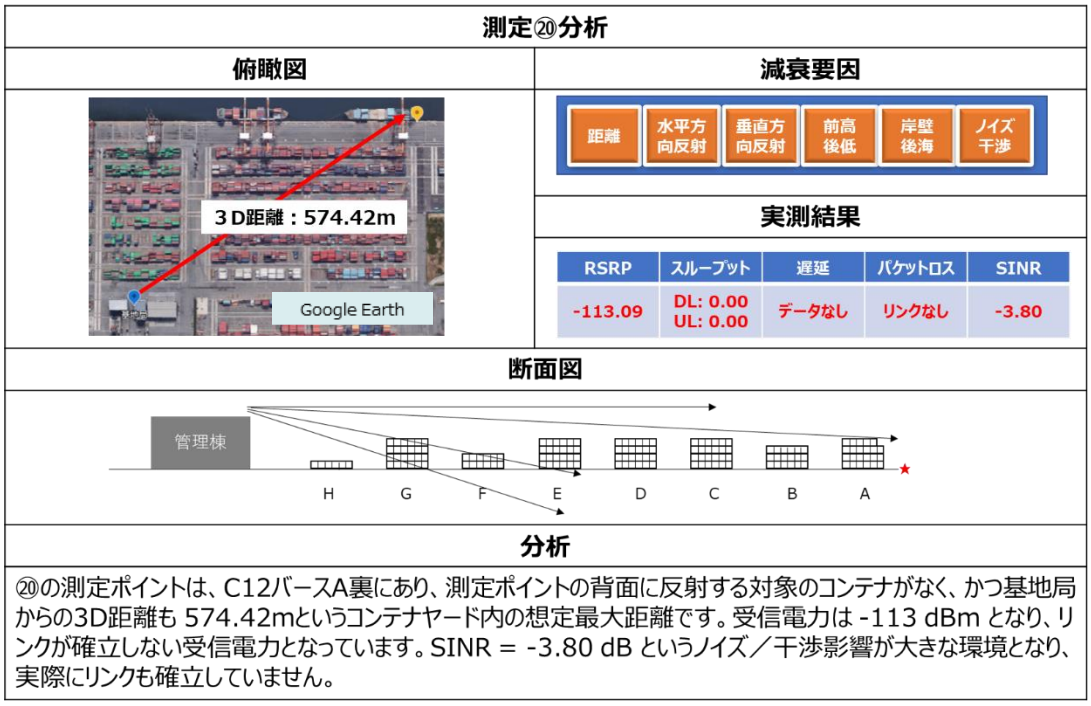


図 3.3.1.4-17　測定地点分析⑳

次に各ポイント分析部分の右上「電波伝搬要素」に関しましてグルーピングを実施し不感地帯発生の原因仮説を立てました。

C-12 バースに関しての電波伝搬要素としましては、以下の 4 点が挙げられます。

図 3.3.1.4-18　C-12 バースの電波伝搬要素

この要素に当てはまる測定ポイントとしましては

④、⑧、⑨、⑫、⑮、⑯、⑲、⑳：合計 8 ポイントです

C-12 はアンテナの指向方向に位置するバースであるものの、図 3.3.1.4-8 のように管理棟からは斜めに位置しております。基地局（管理棟）から近傍のエリアは見通しがとれる範囲も広い一方で、バースの遠方については、見通しが全く期待できない状況にありました。

その中で電波不感地帯発生要因は以下の 2 つを中心として発生していると想定しました。

【コンテナ間に入射する電波の角度による減衰】

- B-A 列等岸壁エリア側においては、基地局からの入射角が最も浅い為、測定ポイントまで到達する為には多くの反射回数が必要になり減衰量が多くなる
- 一方で H-G 列間に関しては入射角がレーン中最も深い為、少ない反射回数で効率よく測定ポイントに到達することが可能となる

【コンテナの積み上げ状況による減衰】

・　図 3.3.1.4-18 に赤丸で記載しているように、C-11 バース H レーンのコンテナが入射経路の遮蔽となることで背面不感地帯が発生する

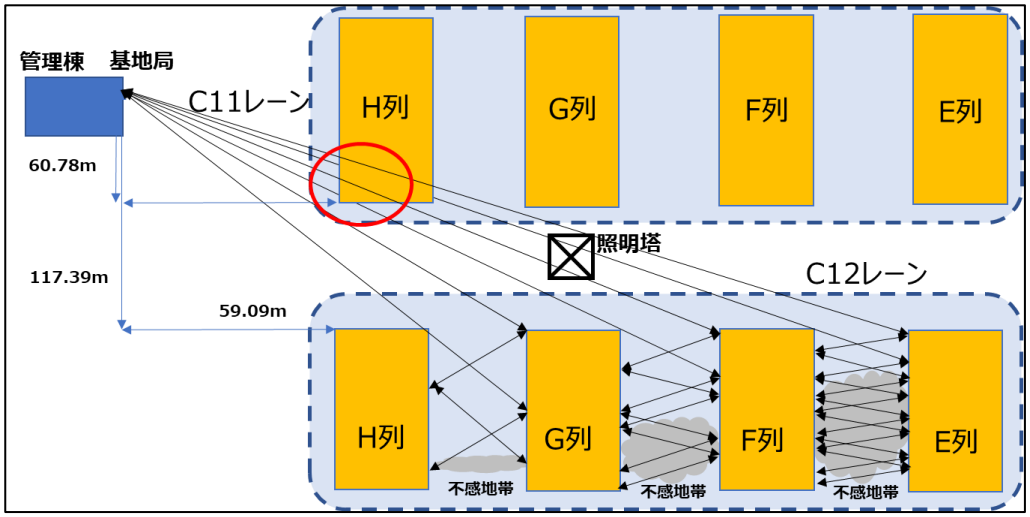


図 3.3.1.4-19　コンテナヤード（C-12）レーンの不感地帯発生要因イメージ

次に C-11 バースに関しての要因分析をおこなっております。C-11 に関する電波伝搬要素は 1 つだけとなりました。

図 3.3.1.4-20　C-11 バースの電波伝搬要素

この要素に当てはまるポイントは 5 地点ございます。⑤、⑩、⑬、⑯、⑰です。

C-11 バースに関しましては、管理棟から見て正対の位置にあるため、測定点に関しても距離的には近くに位置する傾向にあります。ですが、基地局からは正面に位置するコンテナしか見えず、端末測定位置の見通しは期待できません。前述の C-12 バースのように斜めにコンテナレーンに入射する経路も期待できない為、基本的に測定地点で受信出来ているビームに関してはコンテナ上部からの入射波であると想定しました。

C-11 バースの不感地帯が発生する要因としては、以下の 2 点が想定できました。

・　コンテナ間反射を繰り返すことによる減衰
　不感地帯手前コンテナが積み上がった状態の時、不感地帯背面コンテナへの電波入射角は浅くなります。（入射角：4.5°）、そのため測定ポイントに辿り着くには複数回の反射を繰り返すことが必要です。

・　管理棟からの直線距離が遠くなることによる、反射回数の増大
　　管理棟から離れるＧ列以降に関して、Ｇ列側にコンテナが積み上がった状態では入射角も更に浅くなり、測定ポイントに到達する上で必要となる反射回数は増え、減衰発生もより大きくなります。

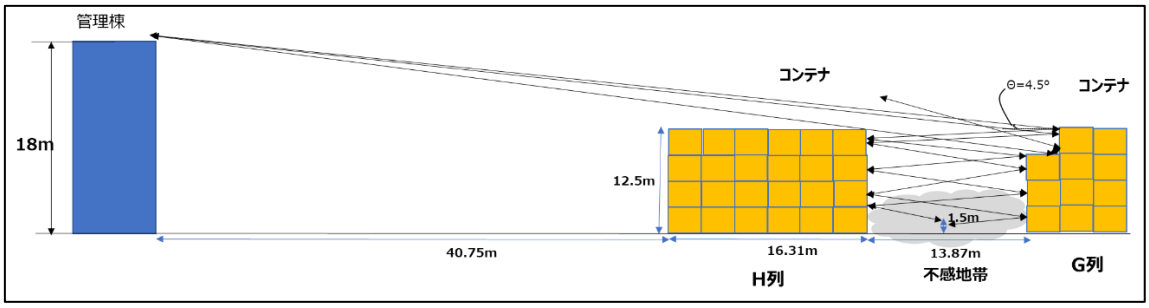


図 3.3.1.4-21　C-11 バースの不感地帯発生要因イメージ

最後に、測定箇所全体について通信品質という観点で状況を分析致しました。
図 3.3.1.4-22 に各測定ポイントに関する SINR の状況を示しております。

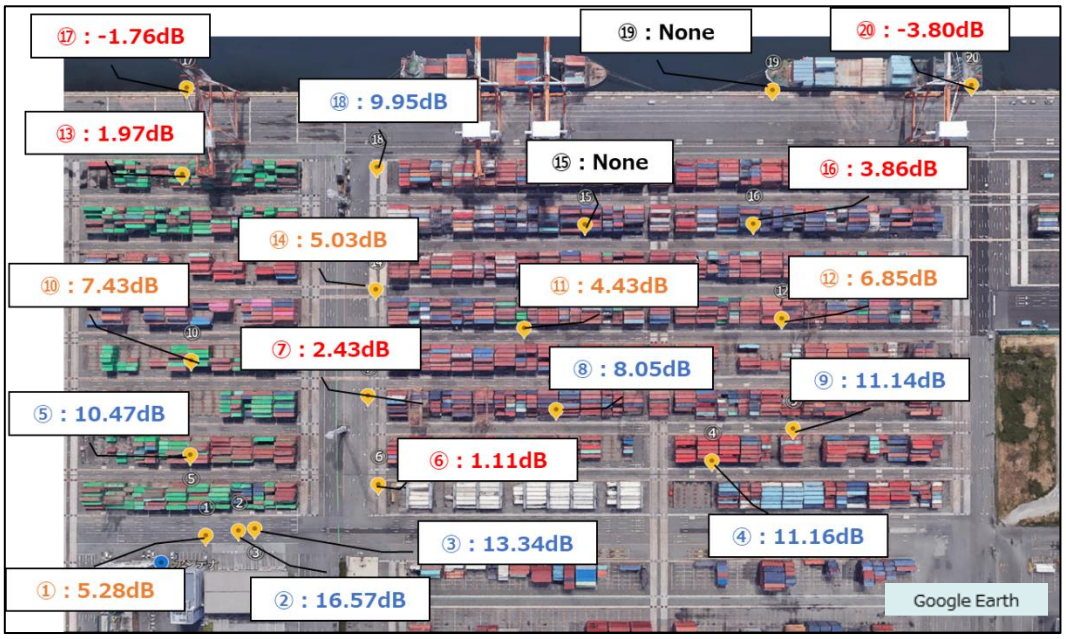


図 3.3.1.4-22　SINR 実測値（各ポイント毎）

SINR の値に関しまして、以下の傾向が表れていると考えられます。
・赤字で記載しているポイントについては、飛来電波影響とは考えにくい低 SINR が検出された
・照明塔近傍にて低 SINR が検出されることが多い
・岸壁エリア周辺にて低 SINR が検出されることが多い
管理棟方面ではなく、照明塔や岸壁エリアの近傍値にて SINR が低くなることから、IEEE802.11j（4.9/5GHz、Wi-Fi）の影響についても否定ができない状況かと考えております。前述の通り、アプリケーションとしては IEEE802.11j（4.9/5GHz、Wi-Fi）に影響は出

ておりません。しかしながら、電波的には干渉が起きており、Wi-Fi の通信には表れない範囲で影響が出ている可能性も考慮しながらエリア展開を実施する必要があると想定できます。

以上の結果から、コンテナヤードの地上付近全体でスマートグラスが利用できるようにするための方法を検討いたしました。なお、これまでの分析では測定ポイントを表す指標として具体的なバース名として「C-11 バース」および「C-12 バース」を使用しておりました。これらは見込める反射電波の特徴から、それぞれ「垂直面内の電波反射を考慮すべきポイント（C-11 バース)」、および「水平面内の電波反射を考慮すべきポイント（C-12 バース)」と置き換えることが可能と考えております。このことから、それぞれのポイントごとに推奨される基地局設置位置・方法を以下に示します。

【C-11 バース】

- 基地局設置高をより高い位置に取ること
- 基地局設置位置をよりコンテナヤード中央部に近づけること
- 不感地帯が発生しやすい岸壁エリア側に基地局を増設すること

【C-12 バース】

- C-12 バース側コンテナ間への入射角を深くするような位置に設置すること
- グリーンベルト帯に基地局を設置することが望ましい

どちらのバースに関しても改善影響を与えることが出来る設置位置を考察すると、

- 岸壁付近のバース間照明塔に設置すること

という部分が必須であると考えました。但し、IEEE802.11j（4.9/5GHz、Wi-Fi）に与える影響を考慮する必要があるため、AP 設置位置の確認やローカル 5G への更改も含めて検討することが望ましいと考えます。

3.3.2　電波伝搬モデルの精緻化

3.3.2.1　実証の目的・目標

（1）背景となる技術的課題と実証目的

夢洲コンテナターミナル埠頭用地は広大な敷地であるものの、アプリケーション要件としては敷地全体で網羅的なローカル5Gのエリア構築が必要となります。一方で、近傍エリアでは他事業者様がローカル5G（sub6帯）の免許を取得されており、今後も周辺の敷地でローカル 5G 免許取得が想定されるという状況です。そのため、他事業者様のローカル 5Gを利用したアプリケーションに影響を与えないような精度の高いカバー設計が要求されます。環境条件としては、海面に関する影響の「補正値K」と、市街地・郊外地・開放地に関する「補正値S」を同時に有しております。

多数の変数要素が存在する港湾エリアにおいて、電波伝搬モデルの精緻化をおこなうことにより、現実的なローカル5Gエリアシミュレーションに寄与します。

（2）実証目標

実証予定地である夢洲コンテナターミナル埠頭用地周辺環境条件に基づく、地形影響：「補正値K」及び、市街地/郊外地/開放地：「補正値S」を明確化致しました。

3.3.2.2　実証仮説

夢洲コンテナターミナル埠頭用地に関しては、電波伝搬に関する 2 つのパラメータに関する環境条件を有しております。

まず1つ目の対象パラメータは「補正値：K」です。特殊地形環境として、具体的には丘陵地、山岳地、傾斜地形、陸海混合通路、水面が含まれると定められております。今回の実証地である夢洲に関しては、ローカル 5G 基地局を設置している管理棟から北に約 650mの陸地が続いており、その後ろが大阪湾（約400m海面が続き、以降は再び陸地）となっております。管理棟から発出された電波が十分な距離を経て水面に到達するという点では、水面の反射効果はある程度期待できると想定しました。一方で、水面への入射角が深くなる事での反射効果の減衰、測定地点ごとに陸地と水面の割合が変動するという点から実測を始めるにあたっての基準値として「K=0」と設定しました。

2つ目の対象パラメータは「補正値：S」です。地物（妨害物）として、具体的には樹木、建物、植栽や、周辺の高さのある設備や建機等が当てはまると考えられております。コンテナターミナルの環境においては、コンテナが多数積み上がっているため、郊外地相当に当てはまると考えられます。また、積み上げられたコンテナに関しては地物（妨害物）となると想定しております。更に、基地局と RTG が同程度の高さであることから、こちらも建機（妨害物）に当てはまると想定しておりました。一方で、管理棟から西側の夢洲万博予定地については整地となっており、妨害物となる要素はなく、開放地相当であると考えました。このように、夢洲コンテナターミナル周辺環境については「郊外地」と「開放地」の中間に当てはまるのではないかという仮説のもと、港湾エリアに関する地形、地物に関してのパラメータ精緻化を実施しました。

図 3.3.2.2-1　夢洲周辺に関する環境条件

上述の仮説に基づき、カバーエリア及び調整対象区域を算出しました。算出に当たっては従来のエリア算出法（基地局と伝搬損失を算定する地点との距離が 100m を超えるパターン）を用いました。

L = LH = 46.3 + 33.9 log10(2000) + 10 log10(f/2000) − 13.82 log10(max(30, Hb)) + {44.9 − 6.55 log10(max(30, Hb))} (log10(dxy))^α − a(Hm) − b(Hb) + R − K − S

その際の各パラメータは以下の通りです。

f = 4850 (MHz)
Hb = 18 (m)
Ha = 1 (m)
a(Hm) = 0.057 (中小都市の場合)
b(Hb) = 20log10(Hb/30)　(基地局高に対して考慮する補正項、Hb < 30m の場合)
α = 1 (遠距離に対して考慮する係数、dxy ≦ 20km の場合)
R = 0 (屋外のため建物侵入損は発生しない)
K = 0 (通常、K は水面反射により電波伝搬損失低減が発生すると仮定)
S = 32.5(開放地、万博予定地の環境が大きく影響を与えると想定)

L = L = LH = 46.3 + 33.9 x 3.3 + 3.847 − 13.82 x 1.477 + (44.9 − 6.55 x 1.477) log10(dxy)^1 − 0.057 − 20 x (− 0.222) + 0 − 0 - 32.5

= 46.3 + 111.87 + 3.847 - 20.41 + (44.9 - 9.67) log10(dxy) - 0.057 + 4.44 + 0 - 0 - 32.5 = 141.61 + 35.23log(dxy) - 28.117

= 113.493 + 35.23 log10(dxy)

カバーエリアと調整対象区域は上記の電波伝搬損失によりローカル 5G 基地局からの同心円の距離により算出しました。

この時、カバーエリアと調整対象区域は、下図のカバーエリアと調整対象区域図で示すとおりとなります。

図 3.3.2.2-2　現状のエリア算出法によるカバーエリアと調整対象区域図

3.3.2.3　評価・検証項目

夢洲コンテナターミナル内管理棟屋上に設置した 1 つのローカル 5G 基地局から電波を発射し、干渉調整対象区域、カバーエリア区域端合計 21 ポイントで測定を実施いたしました。

測定ポイントを定めるにあたり、見通し状況現場調査時には、スマホアプリの「スーパー地形」を用いつつ、道路上の白線等の目印とレーザーポイント距離計を使用しました。位置情報の精度としては GNSS 位置情報使用上の誤差から 10λ[=0.62m]±2m に近づけました。

測定時に電波強度のバラツキがないことを確認することで、異常値を検出していないか確認しております。具体的には±20dBm の乖離が測定ごとに生まれていないかを確認しております。

現場調査時に想定した受信電力（RSRP[dBm]と、実測によって計測された受信電力（RSRP[dBm]）を比較することで精緻化対象パラメータの評価を実施しております。

尚、港湾エリアに関しては 4.9GHz～5.0GHz 帯の Wi-Fi の利用が想定されるため、通信品質（SINR）についても測定を実施し、電波強度値（RSRP）の正確性に関しても評価を実施しました。

【評価項目】

- 受信電力（RSRP［dBm］）
- 通信品質（SINR［dB］）

3.3.2.4 評価・検証方法

本前述した夢洲コンテナターミナル埠頭用地付近の、調整対象区域端、カバーエリア端と想定される 21 ポイントにて測定を実施いたしました。環境として陸地続きであること、海面を挟んでいること等の条件に応じてグルーピングを実施しております。測定値 21 ポイントの内訳は以下の 3 グループとなりました。尚、グループの測定地点の選定につきましては、基地局の見通し状況や、延長地点で閾値の測定が可能かという部分を考慮しております。

【測定地点】

1. 間に水面を挟んだ調整対象区域の限界地点 7 箇所 （測定グループ①）
2. 陸続きの調整対象区域の限界地点 7 箇所（測定グループ②）
3. 陸続きのカバーエリア限界地点 7 箇所 （測定グループ③）

測定方法としましては、ローデシュワルツ社 TSMA6 を用いて計測を実施しております。（測定イメージ：図 3.3.2.4-1） 測定器アンテナの高さは地上高 1.5mに固定しております。尚、定在波の影響を避けるため測定中は 10λの範囲で前後に移動しながらサンプルの取得をおこないました。ポイント当たり 200ms 周期にて合計 1000 サンプルの取得をおこなっております。尚、測定に使用しました、ローデシュワルツ社 TSMA6 の仕様についても示します。

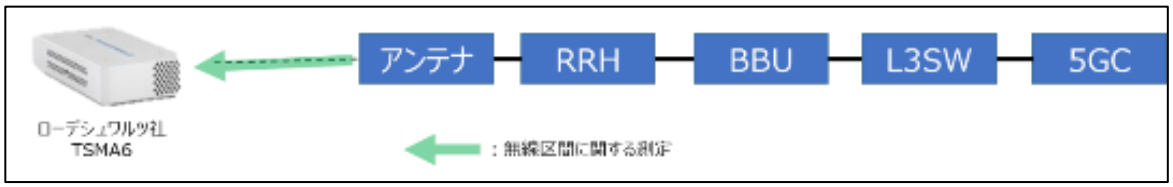


図 3.3.2.4-1 測定イメージ

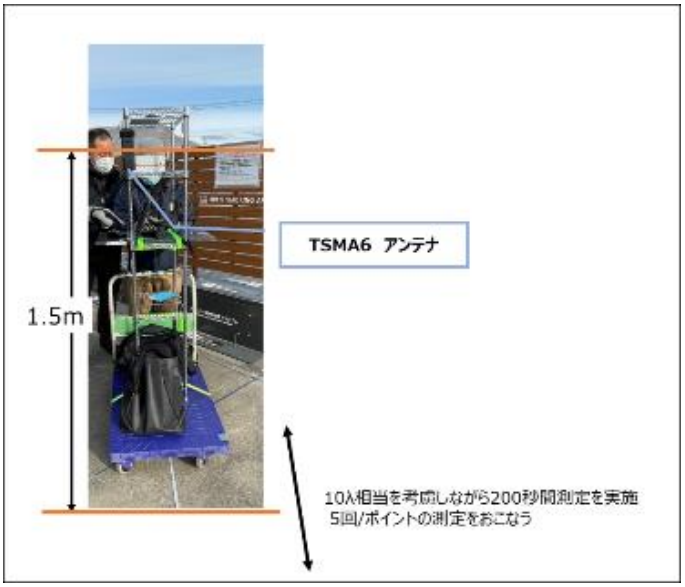


図 3.3.2.4-2　測定実施方法イメージ

電波環境の測定のため使用するエリアスキャナ諸元を表 3.3.2.4-1 に示す。

表 3.3.2.4-1　エリアスキャナ諸元

項目	諸元
製品名	TSMA6
製造者	Rode & Schwarz
備考	主な追加モジュール TSMA6 ウルトラコンパクトドライブテストスキャナ TSME30DC ダウンコンバータ TSMA6-BP バッテリパックユニット TSME-Z10 シングルポート広帯域アンテナ

電波環境の測定のため使用するエリアスキャナが有する GNSS Receiver 諸元を表 3.3.2.4-2 に示す。

表 3.3.2.4-2 GNSS Receiver 諸元

項目	諸元
製品名	GPS/GLONASS receiver
製造者	Rode & Schwarz
備考	マルチGNSS: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo Sensitivity Cold Start: -148 dBm, Tracking/Reaqusition: -160 dBm Acquisition Cold Start/Hot Start: 26s/ < 1 s Channels: 50

※理論上は水平、垂直方向に±13m の誤差が発生するが、その主たる要因は、電離層遅延量（2～10m の潜在的誤差）と対流圏遅延量（2.3～2.5m の潜在的誤差）であり、共に抑角に依存する。本実証の測定では以下 4 点に留意して測定することにより、±2m 以内の誤差に収めております。

- 衛星を 4 機以上受信する
- 衛星からの電波を直接受信する
- 受信機の時刻設定を正確に保つ
- WiFi 測位やアシスト GPS を ON にする（現場調査実施時）

サンプルの取得にあたりまして、実測データの妥当性については、以下の点を指標として確認しております。

- 測定ごとにサンプルデータに乖離がないか（±20dBm 以下に収まっているか）
- 同時に取得する SINR のノイズ比に異常値が見られないか（±5 以下に収まっているか）

従来のエリア算出法に基づいた電波伝搬損失値と、送信電力値との差分による予想受信電波電力値を算出しました。さらに、測定ポイントの計測値との比較を実施しました。適切な算出値を求めるにあたり、結果に対し中央値、σ、上位 10%値、下位 10%値を算出し、測定地点でのバラツキについても考慮しております。

具体的な精緻化の方法について記載致します。

【精緻化の方法】

① 補正値：S に関する精緻化を実施

TSMA 6 で測定したデータと、算出した想定値を比較しました。夢洲内測定ポイントのうち LoS(Line of Sight：見通し)環境にある地点を対象としております。

NLoS(Non-Line of Sight：見通し外)環境については算出後に想定されるフェージング及びシャドウイングのマージン内に収まるかどうかについて評価を実施します。

② 補正値：K に関する精緻化を実施

補正値：K に関する精緻化にあたりましては、補正値：S と同時に別の要因にて発生することから、S の値の精緻化を実施し、適用した後に補正値：K に関する精緻化を行い、夢洲側と大阪湾を挟んだ先の舞洲側の測定ポイントにて補正値の算出を行います。①と同様に、LoS 環境にある地点を対象として精緻化を進め、算出後に NLoS 環境にて想定されるフェージング及びシャドウイングのマージン内に収まるかどうかについて評価を実施します。

3.3.2.5 実証結果及び考察

実証測定地点の詳細な情報について記載いたします。前述しましたが、今回の測定ポイントは 3 グループに分類しました。

【測定グループ】

1. 間に水面を挟んだ調整対象区域の限界地点 7 箇所 （測定グループ①）
2. 陸続きの調整対象区域の限界地点 7 箇所（測定グループ②）
3. 陸続きのカバーエリア限界地点 7 箇所 （測定グループ③）

それぞれの測定地点と基地局の相関性（距離、見通し等）について、次の表、測定地点環境一覧に記載いたします。また、実証フィールド全体図と測定ポイントのイメージについては図 3.3.2.5-1～3.3.2.5-4 に記載致します。

また、測定ポイントからアンテナ方向の見通し状況については表 3.3.2.5-2～表 3.3.2.5-4に示しました。基地局から測定位置方向の見通し状況については表3.3.2.5-5に記載しております。尚、周辺環境（特にコンテナの積み上げ高）につきましては日々状況が変化するため2月22日の状況となっております。

用いましたセクターアンテナの指向性パターンは図3.3.2.5-6（水平面）と図3.3.2.5-7（垂直面）に記載致します。測定ポイントでの想定電波受信強度値については、本指向性パターンの利得情報を基に算出しております。

表 3.3.2.5-1　測定地点環境一覧

測定地点	緯度	経度	測定地点標高(m)	基地局アンテナの向きとの方位角差(度)	基地局アンテナの向きと俯角差(度)	見通し	距離	想定受信強度(dBm)
1-1-1	34.660724	135.40122	2.8	32.306	-8.884	NLoS	1078.10	-134.37
1-1-1(再測定)	34.660751	135.40121	2.8	32.177	-8.884	LoS	1078.10	-134.28
1-1-2	34.66093	135.40024	2.6	27.342	-8.871	NLoS	1076.29	-133.72
1-1-3	34.660997	135.39976	3.3	24.947	-8.911	NLoS	1078.80	-133.47
1-1-4	34.661088	135.39926	3.2	22.457	-8.906	NLoS	1079.05	-133.31
1-1-5	34.661229	135.39837	3.7	18.062	-8.939	NLoS	1085.81	-133.00
1-1-6	34.661281	135.39803	2.8	16.403	-8.893	NLoS	1087.01	-132.91
1-1-7	34.661261	135.39752	2	13.942	-8.849	NLoS	1085.03	-132.71
1-1-8	34.661393	135.39686	2.4	10.750	-8.887	LoS	1101.80	-132.83
1-1-8'	34.661554	135.39685	2.5	10.755	-8.910	LoS	1119.74	-133.14
1-2-1	34.657758	135.39239	2.7	-20.266	-8.596	LoS	861.27	-130.18
1-2-2	34.65738	135.3924	10.3	-21.880	-9.036	LoS	802.44	-129.66
1-2-3	34.656841	135.39219	10.3	-25.683	-8.989	LoS	764.98	-129.42
1-2-4	34.656186	135.39212	10.3	-29.767	-8.920	LoS	715.94	-129.18
1-2-5	34.6556	135.39208	10	-33.791	-8.836	LoS	679.47	-129.19
1-2-6	34.6553	135.39214	10.3	-35.673	-8.797	NLoS	642.97	-128.68
1-2-7	34.654976	135.39243	10.3	-36.627	-8.741	LoS	614.49	-127.85
1-3-1	34.657505	135.39403	2.9	-11.790	-8.434	LoS	764.81	-127.31
1-3-2	34.657287	135.39388	10.5	-13.638	-8.950	LoS	726.08	-127.10
1-3-3	34.65656	135.39342	10.4	-20.008	-8.904	LoS	700.82	-127.30
1-3-4	34.655889	135.39292	10.3	-27.083	-8.798	LoS	643.76	-127.04
1-3-5	34.655263	135.39271	10.2	-32.772	-8.700	LoS	599.49	-126.77
1-3-6	34.654824	135.393	10.9	-34.531	-8.664	LoS	553.12	-125.79
1-3-7	34.654525	135.39345	10.8	-34.278	-8.496	LoS	495.30	-124.10

図 3.3.2.5-1　測定地点全体

図 3.3.2.5-2　測定グループ①　測定ポイント

図 3.3.2.5-3　測定グループ②　測定ポイント

図 3.3.2.5-4　測定グループ③　測定ポイント

表 3.3.2.5-2　各測定ポイントにおける見通し状況（測定グループ①-1）

1－1－基地局方向	1－1－拡大
1－2－基地局方向	1－2－拡大
1－3－基地局方向	1－3－拡大
1－4－基地局方向	1－4－拡大

表 3.3.2.5-3　各測定ポイントにおける見通し状況（測定グループ①-2）

1－5－基地局方向	1－5－拡大
1－6－基地局方向	1－6－拡大
1－7－基地局方向	1－7－拡大

表 3.3.2.5-4　各測定ポイントにおける見通し状況（測定グループ②-1）

2－1－基地局方向	2－1－拡大
2－2－基地局方向	2－2－拡大
2－3－基地局方向	2－3－拡大
2－4－基地局方向	2－4－拡大

表 3.3.2.5-5　各測定ポイントにおける見通し状況（測定グループ②-2）

2－5－基地局方向	2－5－拡大
2－6－基地局方向	2－6－拡大
2－7－基地局方向	2－7－拡大

表 3.3.2.5-6　各測定ポイントにおける見通し状況（測定グループ③-1）

3－1－基地局方向	3－1－拡大
3－2－基地局方向	3－2－拡大
3－3－基地局方向	3－3－拡大
3－4－基地局方向	3－4－拡大

表 3.3.2.5-7　各測定ポイントにおける見通し状況（測定グループ③-2）

3－5－基地局方向	3－5－拡大
3－6－基地局方向	3－6－拡大
3－7－基地局方向	3－7－側面

測定グループ①方向（舞洲）	測定グループ②、③方向（夢洲）

図 3.3.2.5-5　基地局からの見通し状況（2 月 22 日状況）

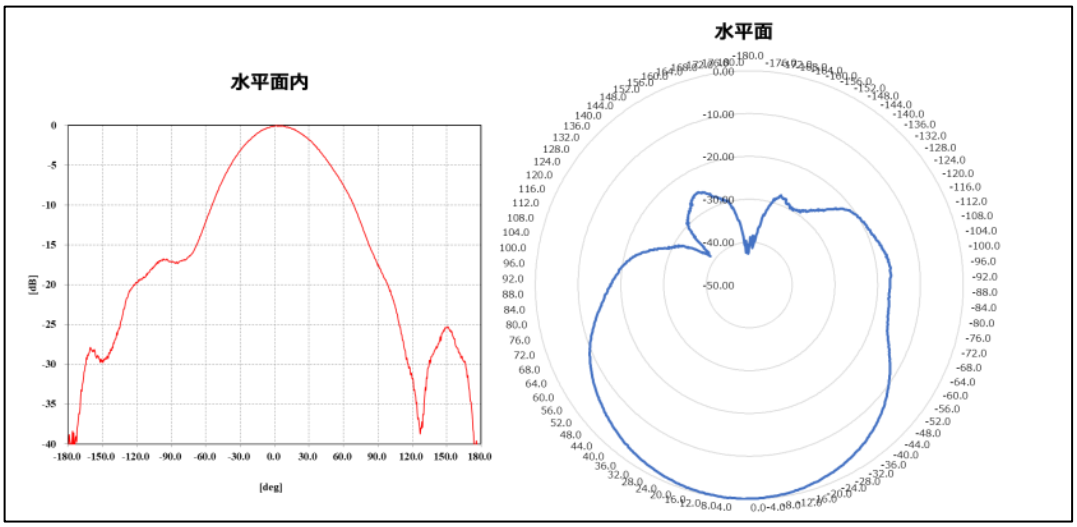


図 3.3.2.5-6　指向性アンテナパターン（水平面）

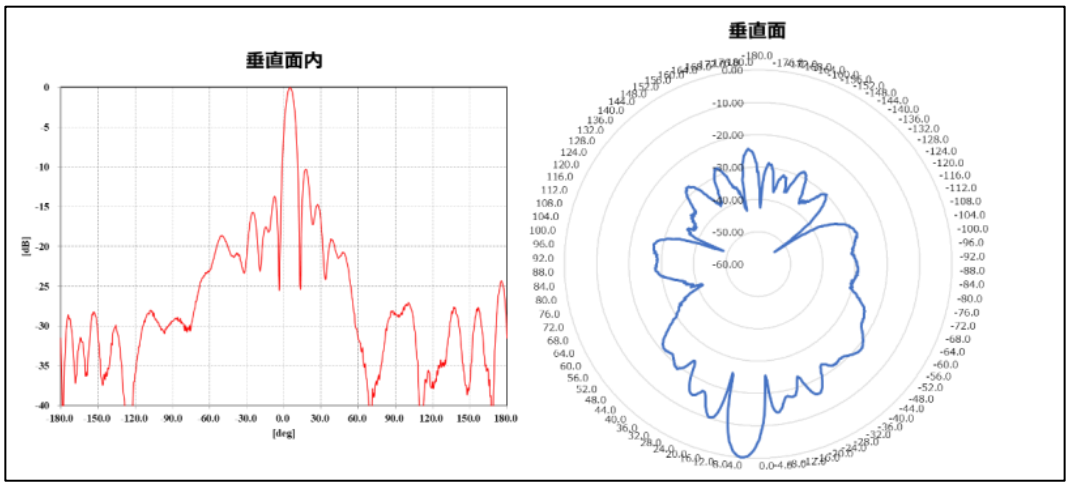


図 3.3.2.5-7　指向性アンテナパターン（垂直面）

測定グループ１～3 に関しましての実測データを表港湾内各ポイント測定結果に記載いたします。尚、表港湾内各ポイント測定結果には「実際に測定された受信電力の中央値」、「平均値」、「上位 10%値」そして「下位 10%値」を記載いたします。また分析に用いたデータ数は表 3.3.2.5-8 内のサンプル数を参照下さい。

表 3.3.2.5-8　測定ポイント実測結果一覧

測定地点	想定受信強度 (dBm)	受信電力 実測値 (dBm)						SINR 実測値 (dB)					
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	サンプル数	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	サンプル数
1-1-1	-134.37	-119.43	-119.48	1.45	-117.68	-121.60	11,789	-5.71	-5.70	2.27	-2.84	-8.60	11,639
1-1-1(再測定)	-134.28	-110.60	-110.80	1.48	-109.20	-112.40	9,711	5.30	5.14	1.68	7.10	3.10	9,711
1-1-2	-133.72	-115.78	-115.86	1.01	-114.64	-117.22	15,670	0.95	0.95	1.32	2.66	-0.76	30,276
1-1-3	-133.47	-124.04	-124.23	1.37	-122.71	-125.93	14,454	-8.31	-8.43	1.81	-6.29	-10.66	26,201
1-1-4	-133.31	-128.61	-128.71	3.00	-124.03	-132.90	5,071	-8.52	-8.67	2.70	-5.20	-12.34	33,800
1-1-5	-133.00	-117.02	-116.69	2.62	-112.83	-119.58	20,866	-4.90	-4.68	2.14	-1.78	-7.12	31,296
1-1-6	-132.91	-106.60	-106.65	1.25	-105.14	-108.30	25,068	7.89	7.74	1.91	10.13	5.34	32,886
1-1-7	-132.71	-116.00	-115.90	1.92	-113.29	-118.26	20,828	-0.16	-0.06	1.62	2.00	-1.81	29,607
1-1-8	-132.83	-116.50	-116.79	2.33	-114.50	-118.90	7,819	-0.20	-0.64	2.83	1.80	-2.80	7,819
1-1-8'	-133.14	-109.00	-109.09	0.97	-108.00	-110.10	9,183	1.50	1.69	1.70	3.20	0.60	9,183
1-2-1	-130.18	-108.50	-108.54	1.55	-106.50	-110.50	9,364	-2.10	-2.21	2.08	0.20	-4.90	9,364
1-2-2	-129.66	-106.60	-106.64	1.79	-104.30	-109.00	6,825	0.10	0.42	1.56	2.60	-1.40	6,825
1-2-3	-129.42	-100.00	-99.97	1.10	-98.60	-101.40	6,845	-1.60	-1.62	1.01	-0.30	-2.80	6,845
1-2-4	-129.18	-109.70	-109.65	1.47	-107.70	-111.60	9,159	-3.80	-3.81	1.55	-1.90	-5.70	9,159
1-2-5	-129.19	-108.20	-108.26	1.23	-106.70	-109.80	9,320	-7.20	-7.24	1.13	-5.90	-8.70	9,320
1-2-6	-128.68	-112.90	-112.97	1.41	-111.10	-114.80	5,381	0.00	-0.48	1.89	1.90	-2.90	5,381
1-2-7	-127.85	-114.20	-114.40	2.64	-110.98	-117.88	13,175	1.86	1.90	2.61	5.27	-1.33	36,690
1-3-1	-127.31	-106.60	-106.61	0.83	-105.60	-107.70	1,213	-3.40	-3.25	1.15	-1.70	-4.50	1,213
1-3-2	-127.10	-106.80	-106.94	1.20	-105.50	-108.60	5,011	0.20	0.18	1.08	1.50	-1.20	5,011
1-3-3	-127.30	-103.40	-103.39	0.75	-102.50	-104.30	7,350	0.20	0.18	1.08	1.50	-1.20	7,350
1-3-4	-127.04	-104.40	-104.48	0.76	-103.50	-105.50	7,685	0.90	0.89	1.08	2.30	-0.50	7,685
1-3-5	-126.77	-101.00	-101.39	3.89	-96.80	-106.90	11,623	-5.68	-5.64	1.92	-3.27	-8.03	11,623
1-3-6	-125.79	-98.60	-99.57	3.06	-96.50	-104.00	10,293	-2.96	-2.98	1.30	-1.37	-4.65	10,293
1-3-7	-124.10	-108.60	-108.58	1.29	-107.00	-110.20	7,507	-0.90	-0.79	1.95	1.70	-3.10	7,491

各測定点のデータの標準偏差の結果については、図 3.3.2.5-8 と図 3.3.2.5-9 に記載いたします。

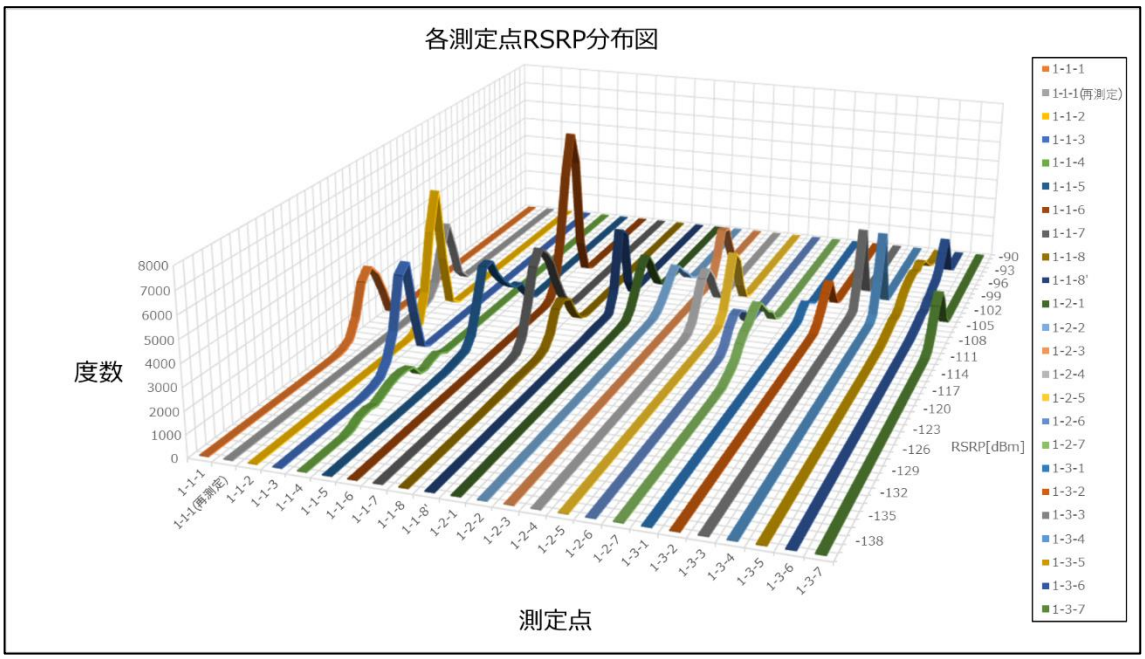


図 3.3.2.5-8　各測定点 RSRP 分布図

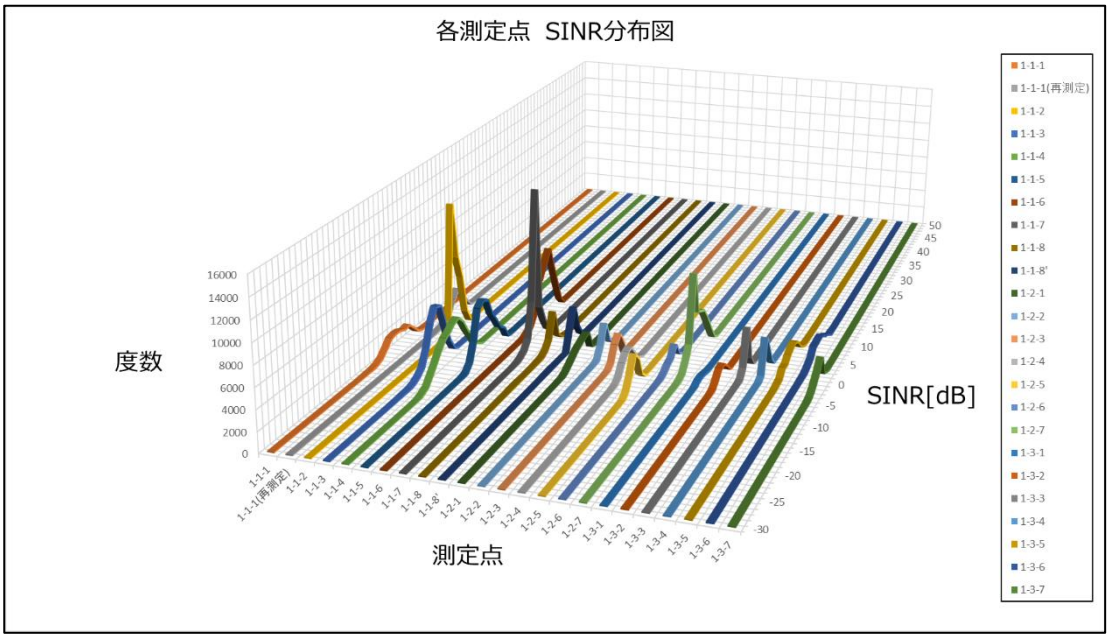


図 3.3.2.5-9　各測定点 SINR 分布図

まず、精緻化をおこなう土地条件について整理を行いました。測定グループ②、測定グループ③（夢洲側）の環境については開放地であると想定しております。図 3.3.2.5-10 に示すように一部整地されておらず、基地局の見通しに影響を与える妨害物は存在するものの、基本的に電波発出方向には高い樹木やコンテナ、クレーン等の妨害物はなく、開けている土地が約 600m 続いていることが分かります。

図 3.3.2.5-10　夢洲方面　実証環境

図 3.3.2.5-11　夢洲方面　俯瞰状況

舞洲方面の実証環境につきましては、図 3.3.2.5-12（見通し状況）と図 3.3.2.5-13（俯瞰状況）に記載します。基地局設置位置から舞洲方面に目を向けると、正面に空コンテナを積み上げているヤードが存在します。コンテナはもちろんのこと、本ヤード内にて RTG やトップリフターが妨害物として存在している環境でした。

図 3.3.2.5-12　舞洲方面見通し状況

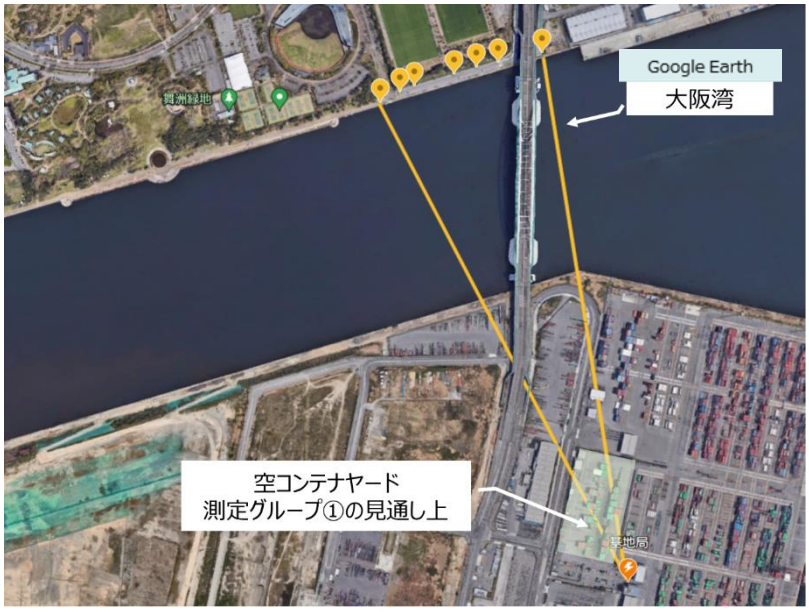


図 3.3.2.5-13　舞洲方面　俯瞰状況

建物専有面積率につきましては、エリア全体と妨害物との割合を考慮し、それぞれ以下の前提としました。

- 舞洲側建物専有面積率：15%
- 夢洲側建物専有面積率：5%

次に S に関しての精緻化を行いました。

【精緻化対象ポイント】

- 1-2-4　基地局との 3D 距離：495.25m　陸続き
- 1-3-4　基地局との 3D 距離：1348.58m　陸続き

共に LoS として基地局アンテナに対して見通しのつくデータであり、かつセンタービームと考えられる。それぞれの測定グループにおける代表測定ポイントとして選定した、2 カ所の測定ポイントから取得した、1-2-4 測定ポイント：9159 サンプル、1-3-4 測定ポイント：7685、計 16844 サンプルを対象に、 I = 1 から n = 16844 まで自由空間式に S = 32.5, K = 0 の補正を行った Pr 算出値との平均偏差を分析することとします。

$$1/16,844 \sum_{i=1}^{16,844} \{1/2(|Pr - xa^{-}| + |Pr - xb^{-}|)\}$$

より、S = 53.54［dB］を算出しました。

次に精緻化対象パラメータ：K についての分析を実施致しました。

Kが対象となる地点については、表3.3.2.5-6に示しております。現地環境としましては図3.3.2.5-12のようにアンテナ前面にRTGが存在し、その裏面には多数のコンテナが存在します。舞洲側に積み上げられているコンテナは中身が入っていないコンテナであり、港に往来するコンテナ船数が少なくなると積み上げ高が高くなる傾向にあります。そのため、正月や春節といった季節的な行事、イベントによる影響が大きくなります。測定日である１月末付近は非常にコンテナ数が多い状況にあり、各測定ポイントの見通し状況はすべてNLOSとなっておりました。

表3.3.2.5-9　精緻化対象ポイント一覧

No.	ID	測定ポイント名	洲	エリア	見通し	距離	ビーム位置	S適用対象	K適用対象	備考
1	1-1-1	舞洲調整区域端1-001	舞洲	調整区域	NLoS	1078.09	センタービーム	○	○	
2	1-1-1(再測定)	舞洲調整区域端1-001	舞洲	調整区域	LoS	1078.09	センタービーム	○	○	
3	1-1-2	舞洲調整区域端1-002	舞洲	調整区域	LoS	1076.28	センタービーム	○	○	
4	1-1-3	舞洲調整区域端1-003	舞洲	調整区域	LoS	1078.80	センタービーム	○	○	
5	1-1-4	舞洲調整区域端1-004	舞洲	調整区域	LoS	1079.04	センタービーム	○	○	
6	1-1-5	舞洲調整区域端1-005	舞洲	調整区域	LoS	1085.81	センタービーム	○	○	
7	1-1-6	舞洲調整区域端1-006	舞洲	調整区域	LoS	1087.00	エッジビーム	○	○	
8	1-1-7	舞洲調整区域端1-007	舞洲	調整区域	LoS	1085.02	エッジビーム	○	○	
9	1-1-8	舞洲調整区域端1-008	舞洲	調整区域	LoS	1101.79	センタービーム	○	○	
10	1-1-8'	舞洲調整区域端1-008'	舞洲	調整区域	LoS	1119.71	センタービーム	○	○	
11	1-2-1	夢洲調整区域端2-001	夢洲	調整区域	LoS	861.27	センタービーム	○		
12	1-2-2	夢洲調整区域端2-002	夢洲	調整区域	LoS	802.43	センタービーム	○		
13	1-2-3	夢洲調整区域端2-003	夢洲	調整区域	LoS	764.97	エッジビーム	○		
14	1-2-4	夢洲調整区域端2-004	夢洲	調整区域	LoS	726.08	エッジビーム	○		
15	1-2-5	夢洲調整区域端2-005	夢洲	調整区域	LoS	679.46	エッジビーム	○		
16	1-2-6	夢洲調整区域端2-006	夢洲	調整区域	NLoS	642.97	エッジビーム	○		
17	1-2-7	夢洲調整区域端2-007	夢洲	調整区域	NLoS	614.48	エッジビーム	○		
18	1-3-1	夢洲カバーエリア端3-001	夢洲	カバーエリア	NLoS	764.80	センタービーム	○		
19	1-3-2	夢洲カバーエリア端3-002	夢洲	カバーエリア	LoS	726.08	センタービーム	○		
20	1-3-3	夢洲カバーエリア端3-003	夢洲	カバーエリア	LoS	700.81	エッジビーム	○		
21	1-3-4	夢洲カバーエリア端3-004	夢洲	カバーエリア	NLoS	643.76	エッジビーム	○		
22	1-3-5	夢洲カバーエリア端3-005	夢洲	カバーエリア	NLoS	599.49	センタービーム	○		
23	1-3-6	夢洲カバーエリア端3-006	夢洲	カバーエリア	NLoS	553.11	エッジビーム	○		
24	1-3-7	夢洲カバーエリア端3-007	夢洲	カバーエリア	NLoS	495.29	エッジビーム	○		

一方で、2 月中旬になるとコンテナが少なくなるタイミングがございました。この時の状況と1月中旬の状況を図3.3.2.5-14で比較いたします。図に記載している通り、日によって積み上げがなくなったポイントで 2 つの LOS ポイントができております。舞洲スタジアム方向の新たな測定ポイントとしまして 1-1-8 を定め、測定 1-1-1 のポイントについては、再度測定を実施しました。このポイントについてはLOSとNLOS双方の結果を取得することが出来たため、その２つの結果を比較することとします。

図 3.3.2.5-14　見通し環境比較

1-1-1 測定ポイント：11789 サンプル、1-1-1（再測定）測定ポイント：9711 サンプル、合計 21500 サンプルにて i = 1 から n = 21500 までの平均偏差にて比較分析することとします。

$$1/21500 \sum_{i=1}^{21500} (|\ xi - \bar{x}|)$$

より、8.68 の平均偏差、標準偏差 σ=1.48 であることから、99.7% のカバーを考慮し、フェージング及びシャドウイングのマージンとしては 3σ = 4.44 を見込んで、13.12 dB とします。

以上より、同ポイントにおけるコンテナの遮蔽影響（フェージング、シャドウイング）については 13 dB 程度であることがわかりました。また、図 3.3.2.5-17 が示すように管理棟北東位置に設置しております基地局アンテナの位置からはコンテナの遮蔽影響と別に独立した RTG の遮蔽影響が考えられます。RTG に関しては、基地局アンテナから舞洲測定グループ方向の中央上方方向に正対するような位置に移動することなく常に留まっているため、コンテナの遮蔽影響と同程度の 13 dB を以降の本基地局アンテナと舞洲側受信電力から除算することにより、より正確かつ広く横展開可能なデータとすることを思考します。

次に、K に関しての分析を実施しました。測定標本データのうち、DICT 管理棟奥設置基地局アンテナから海を挟んだ 3D 距離で 1078.79m 離れた 1-1-1（再測定） 測定ポイント、LoS データとして基地局アンテナに対して見通しのつくデータとなる 1-1-1 測定ポイント、9711 サンプルを対象に i = 1 から n = 9711 まで自由空間式に S = 53.54, K = 0 の補正を行った Pr1 算出値と測定値との差分の平均偏差、

$$1/9711 \sum_{i=1}^{9711} (|Pr1 - \bar{x}|)$$

より、K = 15.43 [dB] を算出しました。

前述しました精緻化後の「K」と「S」に基づきまして、カバーエリア、調整対象区域双方のエリアマップを作図致しました。（図 3.3.2.5-15）

図 3.3.2.5-15　一次精緻化後の調整区域端とカバーエリア端

次に、精緻化したパラメータの整合性を確認するために実際の閾値が測定できるポイントにて測定を実施いたしました。この閾値が測定出来た地点の詳細情報については表 3.3.2.5-7 に記載致しました。また、測定結果につきましては表 3.3.2.5-9 に示します。

図 3.3.2.5-16　実測を行ったポイント情報

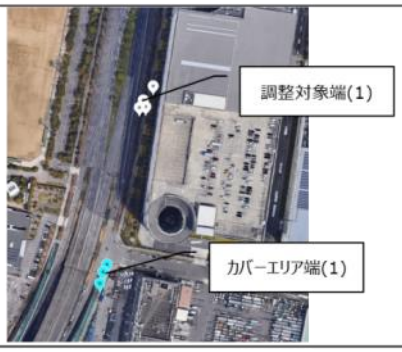
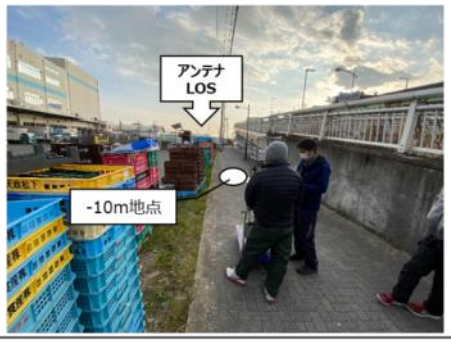
表 3.3.2.5-10　閾値測定ポイント情報

測定地点	緯度	経度	測定地点標高(m)	基地局アンテナの向きとの方位角差(度)	基地局アンテナの向きと俯角差(度)	見通し	距離	想定受信強度(dBm)
カバーエリア端(1)	34.662203	135.40205	6	33.214	-9.190	LoS	1259.72	-136.82
カバーエリア端(1)-10m	34.662108	135.40201	6	33.246	-9.183	LoS	1248.77	-136.69
カバーエリア端(1)+10m	34.662266	135.40209	6.1	33.267	-9.200	LoS	1267.54	-137.03
カバーエリア端(2)+10m	34.664146	135.39789	6.2	15.319	-9.283	NLoS	1406.78	-137.49
カバーエリア端(2)	34.663728	135.3979	6.5	15.407	-9.271	LoS	1360.28	-136.97
調整対象端(1)	34.663644	135.40246	6.5	32.523	-9.304	LoS	1423.66	-139.30
調整対象端(1)-10m(1)	34.663588	135.40248	6.5	32.691	-9.301	LoS	1418.48	-139.25
調整対象端(1)-10m(2)	34.663582	135.40242	6.4	32.474	-9.296	NLoS	1415.98	-139.22
調整対象端(1)+10m	34.663762	135.40256	6.5	32.707	-9.311	LoS	1439.05	-139.47
調整対象端(2)	34.664173	135.39833	6.3	16.948	-9.290	NLoS	1411.26	-137.63
カバーエリア端(フリゴ1)	34.659229	135.40917	2.7	65.253	-9.117	NLoS	1368.84	-144.94
カバーエリア端(フリゴ2)	34.659453	135.4077	3.1	60.617	-9.076	NLoS	1283.97	-142.62
カバーエリア端(フリゴ3)	34.659165	135.40965	3.1	66.609	-9.152	LoS	1398.98	-145.47
カバーエリア端+10m(フリゴ3)	34.659243	135.40969	2.9	66.417	-9.149	LoS	1407.10	-145.56
カバーエリア端(フリゴ4)	34.659541	135.40975	3.1	65.493	-9.172	LoS	1431.63	-145.63
カバーエリア端(工事ヤード1)	34.658402	135.38592	9.6	-40.342	-9.380	LoS	1311.75	-141.48
カバーエリア端+10m(工事ヤード1)	34.658952	135.38606	3.7	-37.882	-9.139	NLoS	1338.01	-140.50
カバーエリア端(工事ヤード2)	34.65673	135.38425	9.4	-50.587	-9.388	LoS	1348.53	-145.00

図 3.3.2.5-17　基地局から見た閾値実測ポイント状況(1)

図 3.3.2.5-18　基地局から見た閾値実測ポイント(2)

表 3.3.2.5-11　端末方向からの見通し状況 1

全体図	カバーエリア端(1)
	
カバーエリア端(1)拡大	カバーエリア端(1)周辺環境

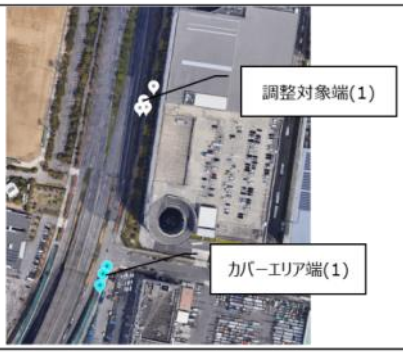
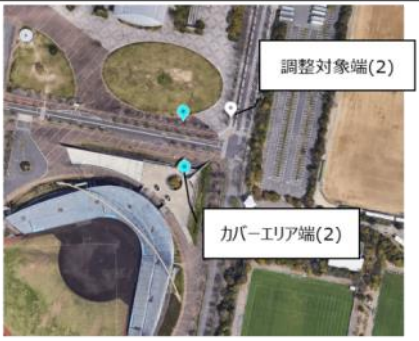
全体図	調整対象端(1)
	
調整対象端(1)拡大	調整対象端(1)周辺環境

表 3.3.2.5-12　端末方向からの見通し状況 2

全体図	カバーエリア端(2)
	
カバーエリア端(2)拡大	カバーエリア(2)周辺環境

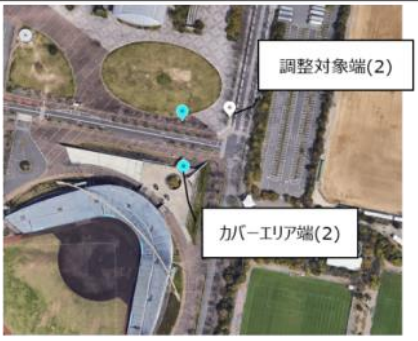
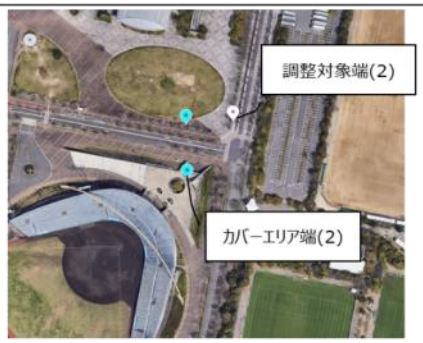
全体図	調整対象端(2)
	
調整対象端(2)周辺環境	

表 3.3.2.5-13　端末方向からの見通し状況 3

全体図	カバーエリア端(2)+10m
	
カバーエリア端(2)+10m周辺環境	

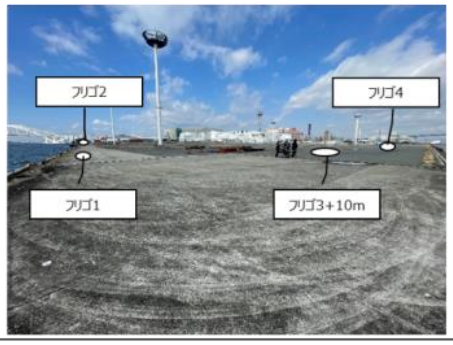
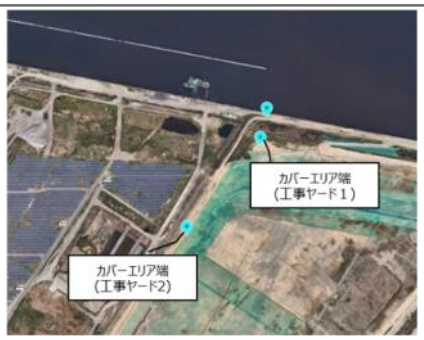
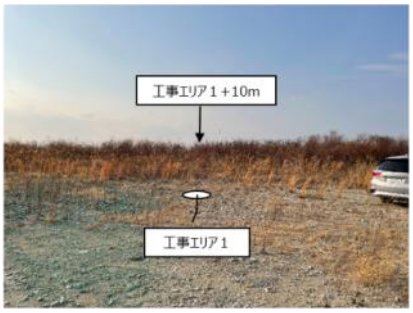
全体図	カバーエリア端(フリゴ１，２)拡大
カバーエリア端(フリゴ３，４)拡大	カバーエリア(フリゴ)周辺環境
	

表 3.3.2.5-14　端末方向からの見通し状況 4

全体図	カバーエリア端(工事ヤード１)拡大
	
カバーエリア端＋10m(工事ヤード１)	カバーエリア(工事ヤード１)周辺環境
	

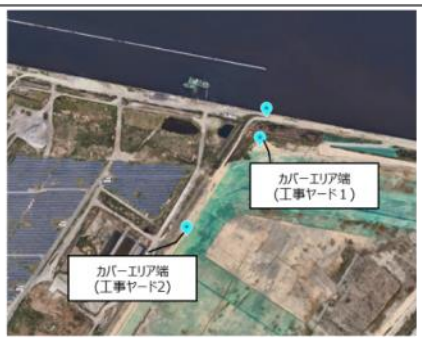
全体図	カバーエリア端(工事ヤード2)拡大
	

表 3.3.2.5-15 閾値実測結果

測定地点	想定受信強度(dBm)	受信電力 実測値 (dBm)						SINR 実測値 (dB)					
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	サンプル数	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	サンプル数
カバーエリア端(1)	-136.82	-120.31	-120.67	1.71	-118.92	-123.00	31,133	1.70	1.11	2.57	3.64	-2.28	31,202
カバーエリア端(1)-10m	-136.69	-123.07	-123.79	3.36	-120.21	-128.87	21,255	-2.29	-2.36	2.37	0.56	-5.40	21,308
カバーエリア端(1)+10m	-137.03	-123.96	-123.99	1.92	-121.50	-126.53	19,812	-1.53	-1.45	2.50	1.74	-4.74	19,846
カバーエリア端(2)+10m	-137.49	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	0	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	0
カバーエリア端(2)	-136.97	-112.80	-113.01	1.87	-110.70	-115.60	9,452	3.00	2.80	2.09	5.50	0.00	9,452
調整対象端(1)	-139.30	-127.65	-127.87	2.07	-125.42	-130.66	27,785	-6.84	-7.12	2.21	-4.51	-10.06	27,785
調整対象端(1)-10m(1)	-139.25	-124.43	-124.63	1.60	-122.74	-126.71	26,548	-4.55	-5.27	3.60	-1.17	-10.66	26,600
調整対象端(1)-10m(2)	-139.22	-130.39	-130.54	1.74	-128.43	-132.82	4,028	-10.29	-10.02	2.44	-6.43	-13.01	4,034
調整対象端(1)+10m	-139.47	-126.80	-126.95	1.69	-124.86	-129.28	18,294	-5.15	-5.29	1.80	-3.02	-7.80	18,302
調整対象端(2)	-137.63	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	0	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	受信電波なし	0
カバーエリア端(フリゴ1)	-144.94	-121.60	-121.91	2.52	-119.00	-125.40	5,371	-18.30	-18.42	2.68	-15.10	-21.80	5,371
カバーエリア端(フリゴ2)	-142.62	-119.80	-119.77	1.76	-117.60	-121.90	1,265	-7.30	-7.23	2.00	-4.60	-9.60	1,265
カバーエリア端(フリゴ3)	-145.47	-122.30	-122.60	2.48	-119.70	-126.00	9,528	-14.10	-14.32	2.82	-10.90	-18.10	9,528
カバーエリア端+10m(フリゴ3)	-145.56	-122.30	-122.60	2.48	-119.70	-126.00	9,114	-14.10	-14.32	2.82	-10.90	-18.10	9,114
カバーエリア端(フリゴ4)	-145.63	-121.80	-121.49	2.13	-118.50	-124.10	10,723	-13.30	-13.19	2.37	-10.10	-16.10	10,723
カバーエリア端(工事ヤード1)	-141.48	-107.60	-107.66	0.93	-106.50	-108.90	9,928	2.80	2.71	1.06	4.00	1.30	9,928
カバーエリア端+10m(工事ヤード1)	-140.50	-132.30	-132.08	2.53	-128.50	-135.40	2,123	-10.00	-9.87	2.55	-6.30	-13.20	2,123
カバーエリア端(工事ヤード2)	-145.00	-105.00	-105.09	1.09	-103.70	-106.60	7,535	13.80	13.72	1.53	15.50	12.00	7,535

本閾値実測ポイントも考慮した形で再度「S」、「K」の算出をおこないました。
図 3.3.2.5-19 のような位置関係となります。

図 3.3.2.5-19　一次算出値と閾値実測地の関係性

図を見ると測定地点と想定エリアで乖離が生まれていることが分かりました。この要因については閾値実測地点の周辺環境に依存していると想定しております。前出の閾値実測地点写真のように、標高や地上高の影響を受けることで乖離が生まれていると考えました。

その上で、改めて S の値を算出しなおしております。全ての測定標本データのうち、DICT 管理棟屋上設置の基地局アンテナから陸続きの 3D 距離で 495.25m 離れた 1-2-7 測定ポイントから、同様に 3D 距離で 1348.54m 離れたカバーエリア端(工事ヤード 2)測定ポイントまで、かつ LoS データとして基地局アンテナに対して見通しのつくデータ、15 カ所測定ポイ

ント、計 122833 サンプルを対象に i = 1 から n = 122833 まで 15 カ所それぞれの自由空間式、S=32.5, K = 0 とした算出値との平均偏差、

$$1/122833 \sum_{i=1}^{122833} \{(|Pr1 - \bar{x}|) + (|Pr2 - \bar{x}|) + (|Pr3 - \bar{x}|) + \ldots\ldots + (|Pr15 - - \bar{x}|)\}$$

より、S = 56.24 [dB] を算出しました。

続けて K の値を算出しなおしております。測定標本データのうち、DICT 管理棟奥設置基地局アンテナから海を挟んだ 3D 距離で 1101.79m 離れた 1-1-8 測定ポイントから、同様に 3D 距離で 1439.05m 離れた調整対象端(1)+10m 測定ポイントまで、かつ LoS データとして基地局アンテナに対して見通しのつくデータ、10 カ所測定ポイント、計 180922 サンプルを対象に i = 1 から n = 180922 までの S =56.24 とした算出値との平均偏差、更に RTG による遮蔽影響である 13dB のマージンを考慮し、

$$1/180922 \sum_{i=1}^{180922} (|Pr - \bar{x}|) + 13$$

より、K = 8.09 [dB] を算出しました。

最終的な算出値を用いたエリアカバー図につきましては以降の図 3.3.2.5-20、図 3.3.2.5-21、図 3.3.2.5-22 に記載いたします。港湾エリアの特性であるコンテナによる NLOS 環境や定在的に存在している RTG の減衰の影響も受けるため合計 3 パターンのカバー図となっております。

図 3.3.2.5-20　「補正値：S」のみを適用させたエリアカバー図

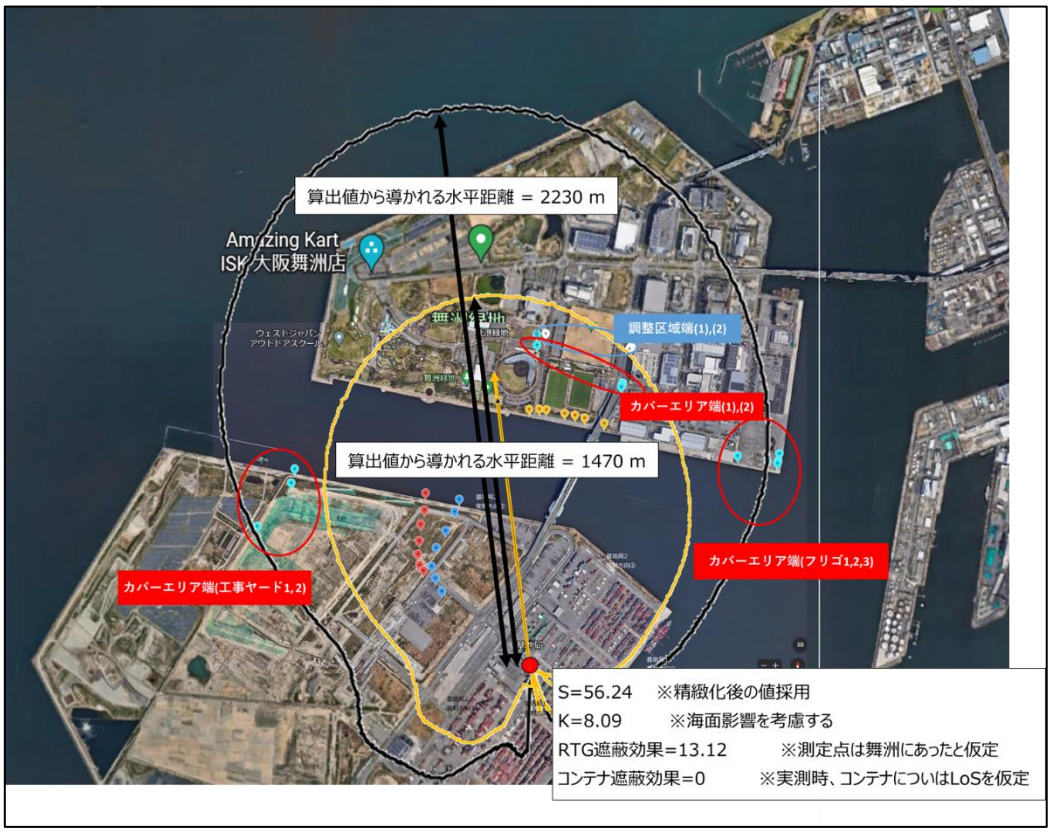


図 3.3.2.5-21　「補正値：K」、「補正値：S」、RTG 遮蔽を考慮した
エリアカバー図

図 3.3.2.5-22 「補正値：K」、「補正値：S」、RTG とコンテナの遮蔽を考慮したエリアカバー図

港湾エリアの地物（妨害物）影響に関しては当初の想定とは違い、「開放地：32.5」以上の電波到達距離となっていることが分かりました。本来、舞洲方面のような状況であればアンテナの指向性（俯角）とコンテナやクレーン（妨害物）の影響によって受信電力の低下が起こるはずです。今回の実測値の傾向としては受信電力の低下は見られるものの、妨害物に影響を受けない範囲の電波部分が想定よりも遠くまで飛んでおり、開放地以上のエリアを構築してしまったものと考えました。

特に夢洲カバーエリア端（工事ヤード）に関してはアンテナのエッジビームであるにも関わらず、強い電波強度のまま飛んでおりました。この理由として想定されるのは、地面反射角度の影響が想定できます。夢洲整地エリア（グループ②と③からカバーエリア端（工事ヤード）までの間）に関しては区画整備中で広範囲で掘削されているエリアも多く存在します。伴いまして、電波反射面が凹面鏡のように斜めになるポイントも多く存在することで、想定よりも遠くに電波が飛んでいた可能性も推察しました。一般的に考えられている開放地としましては、地面に凹凸はない環境なので夢洲工事エリア端周辺のような状況は特殊です。一方で、今回実証地で算出した「パラメータ：S」に関してはデータ数的にグループ②，③のデータを多く使用しておりますので、凹面鏡相当の影響があるデータの効果は薄く算出できております。そのため今回算出した「S=56.24」は広く適用可能な適切な値だと考えました。

「補正値：K」としては算出された 8.09[dB]が適切であると考えます。本実証地の特殊地形条件としては水面の影響となります。地形の条件としましては、以下 2 点がポイントとなっていると考えました。

- 基地局から海面までの間で、陸地が 600m 程度続いていること
- 水面（海面）が 400m 程度続いていることにより、海面積が大きいこと

陸地が 600m 続いていることにより、アンテナの最大利得範囲が放射状により広がった状態で海面付近に到達できることとなります。更に、海面積も広いため反射物としての影響も大きいと想定できます。放射状の広がった電波範囲の大きさと反射物の面積が大きいこと 2 つの要因により、当初想定していた「K = 0」よりも大きい補正値となるのであろうと推察しました。

一方で、アンテナから海面の 3D 距離と角度を考慮すると、海面への入射角は約 87°となり、こちらは利得を減衰させる要因となります。海面の波による乱反射の影響も起こるため、実測値ベースで算出できた「K =8.09」が適切であろうという結論に至りました。

測定受信電力の減衰量や、妨害物影響等を鑑みて推察値を算出しておりますが、以下の２点につきましては今後必要となる検証ポイントと認識しております。

- 「補正値：S」に「補正値：K」の要素が内包されている可能性の検討
- 妨害物（コンテナ、RTG）までの距離とマージン値との関係

この 2 点は、以下の方法で測定及び分析することで解決できると想定しております。

- 海面比率の違う測定グループでの測定
- 基地局から妨害物までの距離が異なる測定グループでの測定
- 妨害物ごとの減衰電力量の測定

以上の実測データを比較、組合せ分析を実施することで更なる精緻化が可能と考えております。

また、他の港湾の環境を確認、ヒアリングしてみると夢洲コンテナターミナル埠頭用地と同条件である以下のポイントが散見されました。

・基地局設置位置想定である管理棟相当の建物から四方数百ｍは陸地である
・コンテナの積み上げ高は 12.5m程度が最大であり、管理棟の地上高も 20m程度である

夢洲のように整地された土地が広がっているかという部分が重要な要素となりますが、見通し上にコンテナ等の積み上がりがある場合は「コンテナマージン：13dB」を活用することで、正確なカバーエリアが求められると考えております。

上述の部分より、今回精緻化した「補正値：K」、「補正値：S」は他の港湾においても適用可能な値であると想定しました。

3.3.3　電波反射板によるエリア構築の柔軟化

3.3.3.1　実証の目的・目標

（1）背景となる技術的課題と実証目的

港湾エリアにおいて、無線を利用したいエリアとしてはコンテナヤード内が一般的です。理由としましては、2 点ございます。1 点目はコンテナヤード内で掘削を伴う工事実施が困難ということが挙げられます。コンテナヤードケーブルを配線する場合は地下配線が一般的となり、掘削工事ができるエリア、時間帯が限定的となります。そのため、無線で配線レスの通信が求められる現状です。2 点目は無線を受信する端末等が常に動いている状態にあるという部分です。端末を搭載する想定のクレーン類、車、または作業車、それぞれがコンテナヤード内を動きながらアプリケーションを利用する環境のため、有線では動作範囲が限定的となってしまいます。

夢洲コンテナターミナル埠頭用地においては基地局性能を十分出せる地上高を有している、かつ設置の難易度が低い設備は管理棟（地上高：18m）以外にはございませんでした。また、コンテナの積み上げ高（最大 12.5m）との高低差が少ないことから、見通しがとれない「死角」が数多く生まれてしまう環境となっておりました。さらに、コンテナの積み上げ高は日々変動するため、死角の大きさについても日常的に変わってしまいます。その上で、エリア内を隈なく電波カバーするためには、基地局数の増設や電波出力の変更をおこなう必要があり、設置コストや隣接エリアとの干渉調整という新たな課題が生まれます。

このような課題を生まない電波拡充の方法として反射板が適応できるのではないかと考え、本実証を実施致しました。

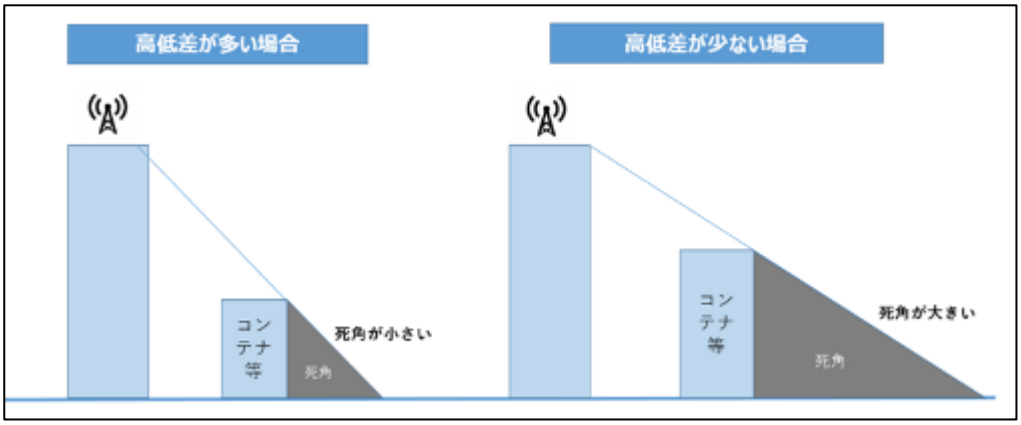


図 3.3.3.1(1)-1　コンテナ積み上げ高による死角の状況

（2）実証目標

夢洲コンテナターミナル内にて反射板を活用した電波エリア拡充に関する評価をおこないました。電波受信電力やスループットの向上が物理的な数値の向上となりますが、利用アプリケーションに関する目標としましては、スマートグラスの映像・音声伝送の可否を

ベンチマークとして実証をおこなっております。スマートグラスに関しましては、地上付近で利用が想定されるアプリケーションであるため、選定しておりますし、今回の課題解決システムの実証においても利用検証をおこないます。課題解決システムの実証の中では、トラックゲートのエリアでコンテナダメージチェックに関する用途に留まりますがコンテナヤード内でも利用可能性を確認できることで、活用シーンも広がると想定しております。

スマートグラスの利用に関する機能要件について記載いたします。また、スマートグラスを利用して業務をおこなうシーンはイレギュラー対応時となるため、同時利用端末は 1 台のみと考えました。

今回の港湾エリアでも 2000ms という遅延が許容可能なのかという部分については、別ヒアリングをおこない確認を実施いたします。

表 3.3.3.1(2)-1　目標とするアプリケーション要求仕様

要件内容	機能要件	備考
スループット	最大UL：10 Mbps 最大DL： 1 Mbps	FullHD画質、30フレームの場合を想定
遅延	900ms～2000ms	900ms：システム性能諸元値 2000ms：ユーザ許容範囲想定（過去の案件アンケート結果）

3.3.3.2　実証仮説

4.7GHz 帯においては、反射板を活用した電波カバー範囲の拡張に関する実績が少なかったため、定量的な効果把握のためラボでの検証を実施しました。定量的に期待する効果としては 8°の範囲で 87.5dB－入射角依存値（入射角：5°~65°（0.1~6.0dB））dB の効果を期待しました。

3.3.3.3　評価・検証項目

夢洲コンテナターミナル内管理棟屋上に設置した、1 つのローカル 5G 基地局からカバーするコンテナターミナル内 24 バリエーション（測定ポイント、角度、反射板有無等）にて測定を実施いたしました。評価項目としては評価項目は、受信電力（RSRP[dBm]）、通信品質（SINR [dB]）、伝送スループット（UL 及び DL[Mbps]）伝送遅延時間[ms]の 5 つとしました。また、無線区間の遅延の算出につきましては、個別に測定した装置間の遅延時間を除算することで近似値に近づけました。

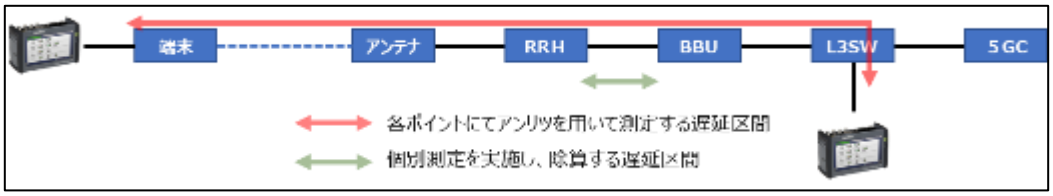


図 3.3.3.3-1　測定イメージ

3.3.3.4 評価・検証方法

夢洲コンテナターミナル内管理棟屋上に設置した、１つのローカル5G基地局からカバーするコンテナターミナル内20箇所（反射板から端末までの距離及び角度にバリエーションを加えるなど考慮する）の測定地点にて性能測定しました。

評価項目は、受信電力（RSRP[dBm]）、通信品質（SINR［dB]）、伝送スループット（UL及びDL[Mbps]）伝送遅延時間[ms]の５つとしております。

【評価項目】

- 受信電力（RSRP［dBm]）
- 通信品質（SINR［dB]）
- 伝送スループット（UL）［Mbps]
- 伝送スループット（DL）［Mbps]
- 伝送遅延時間［ms]

反射板については、アルミ板を使用して検証を実施しております。詳細については以下に記載いたします。

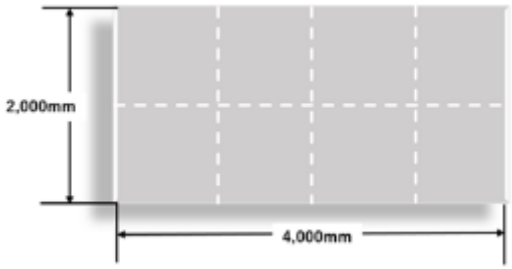


図3.3.3.4-1　使用した反射板イメージ

【アルミ板仕様と机上計算値概要】

- アルミ板８枚（縦、横、1m x 1m　８枚）をコンパネに貼り付け作成
- 素材：アルミ板
- 金属反射板の表面仕上げ精度、材質：A5052　MF
- 大きさ：2m x 4m
- 重量：約120 kg
- 設置自由度：5°
- 利得：87.5dB－入射角依存値（入射角：5°~65°　(0.1~6.0dB)）
- ビーム幅：1.95°

実施した測定のイメージを図 3.3.3.4-2 に示します。

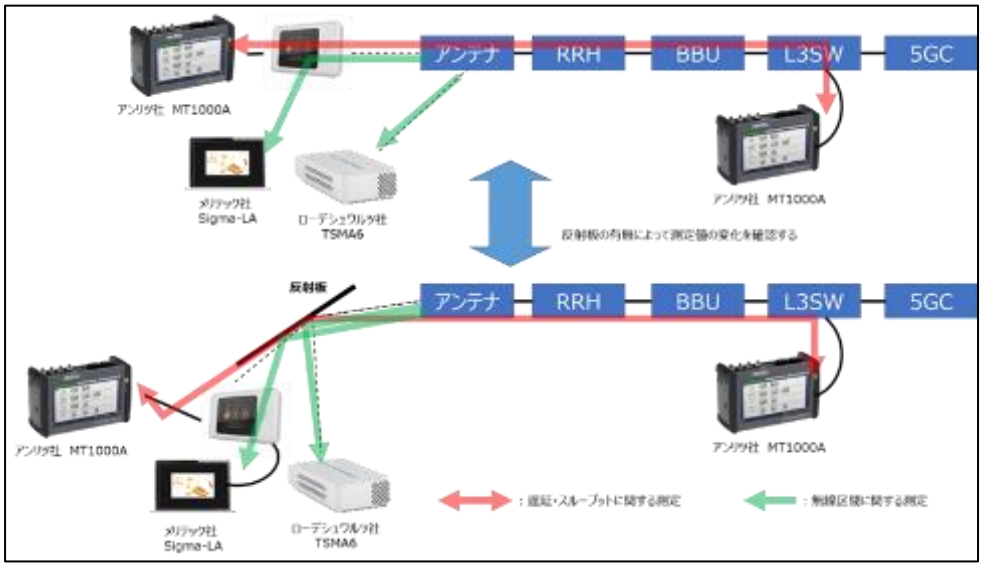


図 3.3.3.4-2　反射板検証測定イメージ

また、使用した測定器の情報についても記載いたします。

表 3.3.3.4-1　エリアスキャナ：TSMA6 諸元

項目	諸元
製品名	TSMA6
製造者	Rode & Schwarz
備考	主な追加モジュール TSMA6 ウルトラコンパクトドライブテストスキャナ TSME30DC ダウンコンバータ TSMA6-BP バッテリパックユニット TSME-Z10 シングルポート広帯域アンテナ

表 3.3.3.4-2　GNSS Receiver(エリアスキャナ) 諸元

項目	諸元
製品名	GPS/GLONASS receiver
製造者	Rode & Schwarz
備考	マルチGNSS: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo Sensitivity Cold Start: -148 dBm, Tracking/Reaqusition: -160 dBm Acquisition Cold Start/Hot Start: 26s/ < 1 s Channels: 50

表 3.3.3.4-3　トラフィック試験機：MT1000A 諸元

項目	諸元
製品名	MT1000A
製造者	Anritsu
備考	測定モジュール：MU100010A (10Gマルチレートモジュール) プロトコルオプション：MU100010A-001(2.7G以下デュアルチャネル) GPSアンテナ：J1706A

表 3.3.3.4-4　Sigma-LA 諸元

項目	諸元
製品名	Sigma-LA
製造者	Meritech
備考	測定用PCにインストールして使用する。測定用PCにライセンスキーとなるドングルが必要

実測に関しては反射板の設置位置（角度）を 6 パターン、端末位置を 2 地点定め、反射板の有無に関する条件も併せて 24 バリエーションで測定を実施しております。測定点の詳細情報と各種パラメータを表 3.3.3.4-5 に記載します。また、測定地点の俯瞰図を図 3.3.3.4-3 に記します。

表 3.3.3.4-5(1)　測定点詳細情報・パラメータ

測定点ID	反射板あり、なし(0=なし、1=あり)	基地局と端末との3D距離[m]	基地局と反射板との3D距離[m]	反射板と端末（測定器）との3D距離[m]	送信電力 Pt [dBm]	送信アンテナ利得 Gt [dBi]	基地局給電線損失 Lf[dBi]	受信アンテナ利得 Gr [dBi]	受信給電線損失 Lr[dBi]
反射板①-1	0	90.92			-5.00	12.51	0.00	2.30	0.00
反射板①-1	1		113.90	33.59	-5.00	7.25	0.00	2.30	0.00
反射板①-2	0	76.36			-5.00	15.12	0.00	2.30	0.00
反射板①-2	1		113.90	53.72	-5.00	7.25	0.00	2.30	0.00
反射板②-1	0	115.00			-5.00	7.25	0.00	2.30	0.00
反射板②-1	1		125.72	34.02	-5.00	2.81	0.00	2.30	0.00
反射板②-2	0	111.77			-5.00	8.90	0.00	2.30	0.00
反射板②-2	1		125.72	64.45	-5.00	2.81	0.00	2.30	0.00
反射板③-1	0	179.13			-5.00	-4.21	0.00	2.30	0.00
反射板③-1	1		141.99	59.09	-5.00	-0.45	0.00	2.30	0.00
反射板③-2	0	195.82			-5.00	1.16	0.00	2.30	0.00
反射板③-2	1		141.99	83.14	-5.00	-0.45	0.00	2.30	0.00
反射板④-1	0	193.96			-5.00	-8.08	0.00	2.30	0.00
反射板④-1	1		171.49	46.25	-5.00	-9.44	0.00	2.30	0.00
反射板④-2	0	206.26			-5.00	-4.21	0.00	2.30	0.00
反射板④-2	1		171.49	65.92	-5.00	-9.44	0.00	2.30	0.00
反射板⑤-1	0	175.79			-5.00	-8.08	0.00	2.30	0.00
反射板⑤-1	1		171.49	49.65	-5.00	-9.44	0.00	2.30	0.00
反射板⑤-2	0	172.69			-5.00	-8.08	0.00	2.30	0.00
反射板⑤-2	1		171.49	57.43	-5.00	-9.44	0.00	2.30	0.00
反射板⑥-1	0	115.00			-5.00	7.25	0.00	2.30	0.00
反射板⑥-1	1		147.93	49.85	-5.00	-4.88	0.00	2.30	0.00
反射板⑥-2	0	111.77			-5.00	8.90	0.00	2.30	0.00
反射板⑥-2	1		147.93	37.48	-5.00	-4.88	0.00	2.30	0.00

表 3.3.3.4-5(2)　測定点詳細情報・パラメータ

測定点ID	反射板あり、なし(0=なし、1=あり)	電波伝搬損失（基地局ー反射板間）Ld1[dB]	反射板への電波の入射角[°]	反射板からの反射角[°]	反射板での入射波の受信電力 Pri[dBm]	反射板での反射波の受信電力 Pro[dBm]	反射板利得 Grf[dBi]	電波伝搬損失（反射板ー端末間）Ld2[dB]	電波伝搬損失（基地局ー端末間）Ld3[dB]
反射板①-1	0								-85.14
反射板①-1	1	-87.26	13.39	13.39	-85.01	1.49	86.50	-76.66	
反射板①-2	0								-83.55
反射板①-2	1	-87.26	13.39	13.39	-85.01	1.49	86.50	-80.74	
反射板②-1	0								-87.24
反射板②-1	1	-88.12	25.79	25.79	-90.31	-3.81	86.50	-76.77	
反射板②-2	0								-86.98
反射板②-2	1	-88.12	25.79	25.79	-90.31	-3.81	86.50	-82.32	
反射板③-1	0								-91.15
反射板③-1	1	-89.18	61.64	61.64	-94.63	-13.13	81.50	-81.56	
反射板③-2	0								-91.95
反射板③-2	1	-89.18	61.64	61.64	-94.63	-13.13	81.50	-84.53	
反射板④-1	0								-91.84
反射板④-1	1	-90.82	58.94	58.94	-105.26	-23.76	81.50	-79.43	
反射板④-2	0								-92.38
反射板④-2	1	-90.82	58.94	58.94	-105.26	-23.76	81.50	-82.51	
反射板⑤-1	0								-90.98
反射板⑤-1	1	-90.82	38.95	38.95	-105.26	-19.76	85.50	-80.05	
反射板⑤-2	0								-90.83
反射板⑤-2	1	-90.82	38.95	38.95	-105.26	-19.76	85.50	-81.32	
反射板⑥-1	0								-87.24
反射板⑥-1	1	-89.53	26.23	26.23	-99.41	-12.91	86.50	-80.08	
反射板⑥-2	0								-86.98
反射板⑥-2	1	-89.53	7.61	7.61	-99.41	-12.01	87.40	-77.61	

図 3.3.3.4-3(1)　反射板測定パターン図

※凡例は次頁を参照下さい

図 3.3.3.4-3(2)　反射板測定パターン図

各パターンのそれぞれの端末位置では、以下 3 種類の実測を実施しております。

① 反射板を設置せずに端末設置位置で測定
② 反射板を設置し、入射角＝反射角となる条件で測定
③ 反射板の角度を変更し（±5°）測定を実施

また、死角エリアに関しての反射板効果を検討するために、コンテナレーン間を 1.25°間隔で並行移動して測定を実施いたしました。反射板中心位置からの距離は一定（同心円上を移動）としております。

図 3.3.3.4-4　エリア改善効果確認方法イメージ

また、死角エリアに関する電波改善程度の想定について記載いたします。コンテナの積み上げ高や状況は日々変動するため、前提条件としては以下の 3 点を定めております。

- コンテナの積み上げ高はすべて 5 段とする
- コンテナ表面に凹凸はなく、入射角・反射角は同様で一律に反射する
- コンテナの反射減衰量は「-2.03dB」とする

コンテナの反射減衰量に関しては「令和元年度:総務省請負ローカル 5G 実証実験報告書」の結果を参照しております。(図 3.3.3.4-5 コンテナの材質は「鉄」であることが多いため、一度の電波反射による減衰量は-.2.9dB であることがわかりました。一方で、参照データはミリ波（28.2~29.3GHz 帯）の結果であり、本実証のように Sub6 帯を用いたことによる減衰量は 3 割減となる（減衰量：-2.03dB）と想定しました。

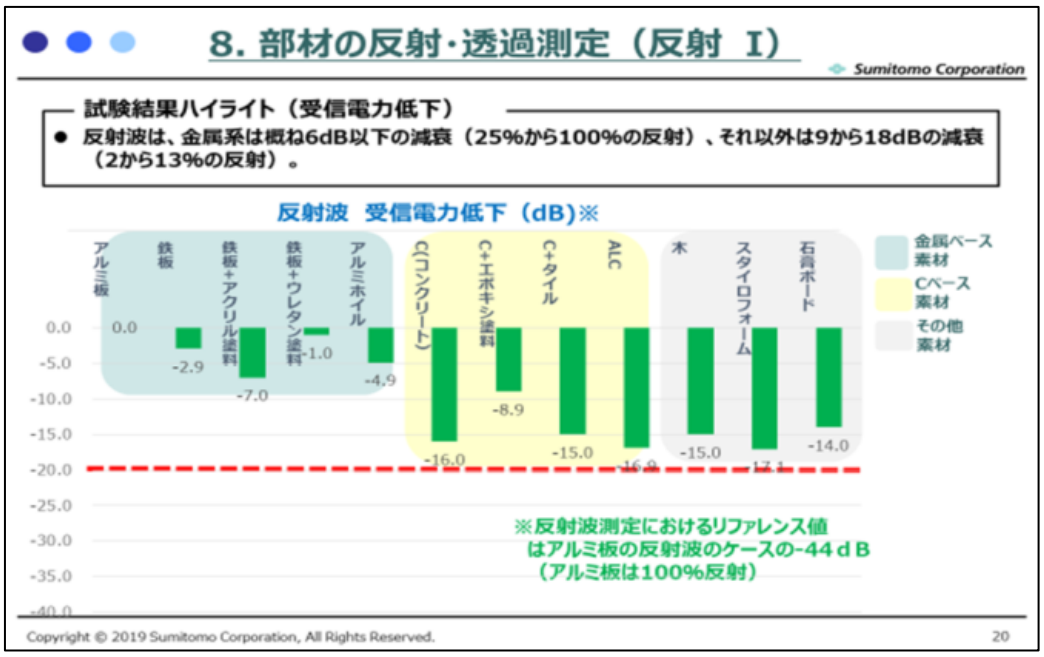


図 3.3.3.4-5　令和元年度総務省請負ローカル 5G 実証実験請負結果

基地局設置された管理棟前コンテナ 1 列目（H レーン―G レーン間）に関しての受信電波シミュレーションを実施しました。図 3.3.3.4-6 のようにコンテナが積みあがっている状態の場合は 1 度の反射では測定点まで到達いたしません。最も深く入射した場合でも 5 回の反射を経て到達することになります。当該測定地点における受信電波強度は、コンテナ側面の 5 回の反射による減衰量と、コンテナ間を往復する距離も含めた自由空間伝搬損失値の和となると考えました。

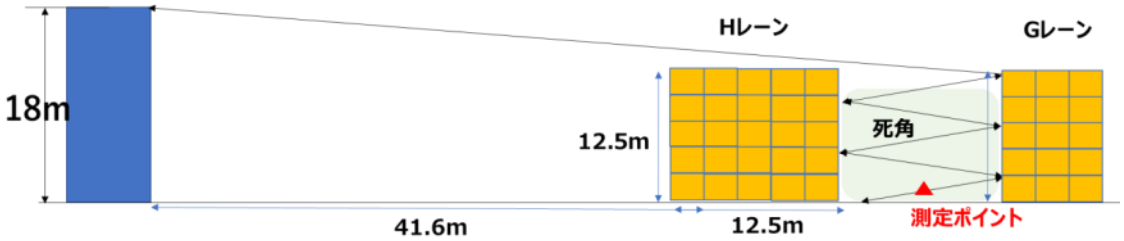


図 3.3.3.4-6　反射シミュレーション実施環境（想定）

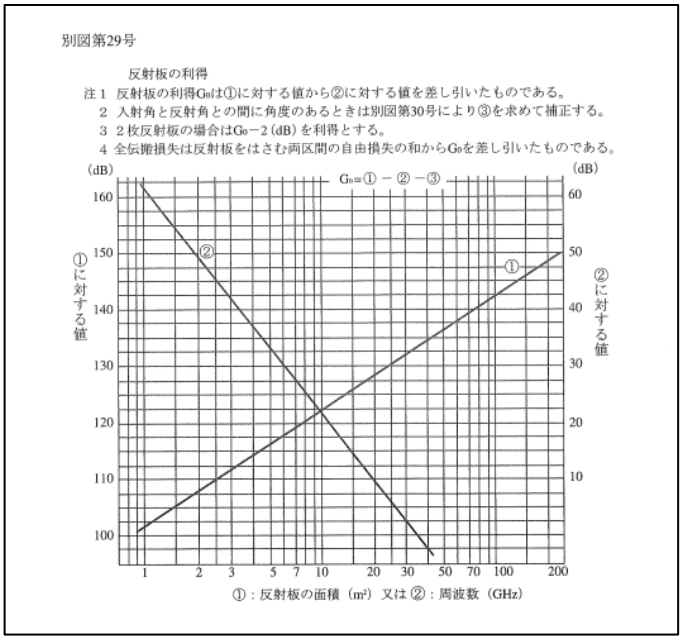
想定条件による当該測定ポイントの想定受信電力は以下の式で算出しました。

【期待される受信電波電力】：-5 + 16 + 2.3 -76.4-5 x（-2.06）= -73.4［dBm］

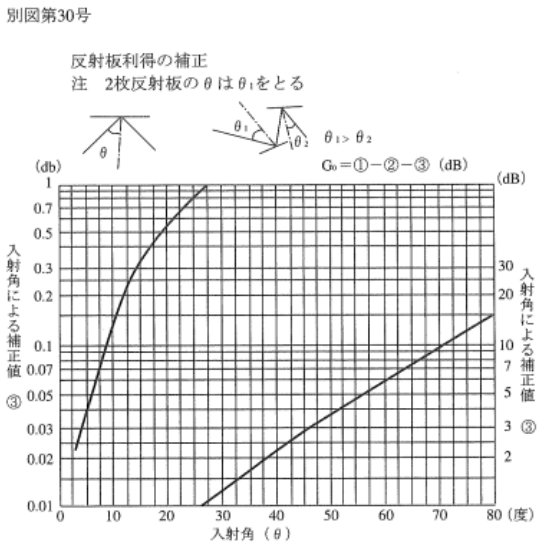
- コンテナ側面での反射による損失：-2.06[dB]
- 測定地点まで反射を経て到達する距離：130.37m
- 自由空間伝搬損失：76.4[dB]

この時、反射板による効果の影響（利得）としては 87.5dB－0.1（入射角 13.5°）=87.6dB と考えておりました。

本向上想定の値に関しての根拠としては、別図を参考としております。



別図　電波法関連審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）
別図第 29 号



別図　電波法関連審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）
別図第 30 号

3.3.3.5　実証結果及び考察

現地実測をおこなう前に、屋内ラボ試験を実施し、反射板の性能を評価しております。屋内ラボの試験構成につきましては図 3.3.3.5-1 に記載いたします。

※RU と端末、反射板の中心位置が同じ高さになるように設置

※反射板の大きさは 1m×1m で試験実施

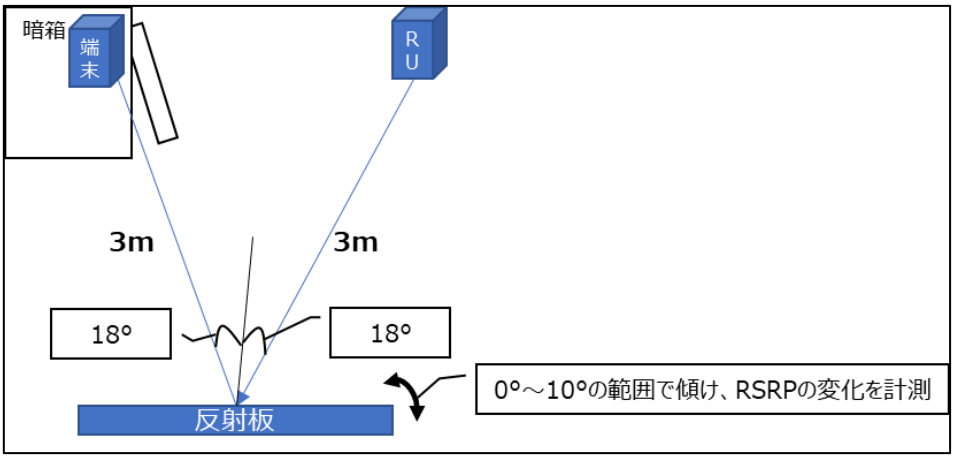


図 3.3.3.5-1 屋内ラボ試験構成

本試験の実測結果については、図 3.3.3.5-2 と図 3.3.3.5-3 に記載致します。

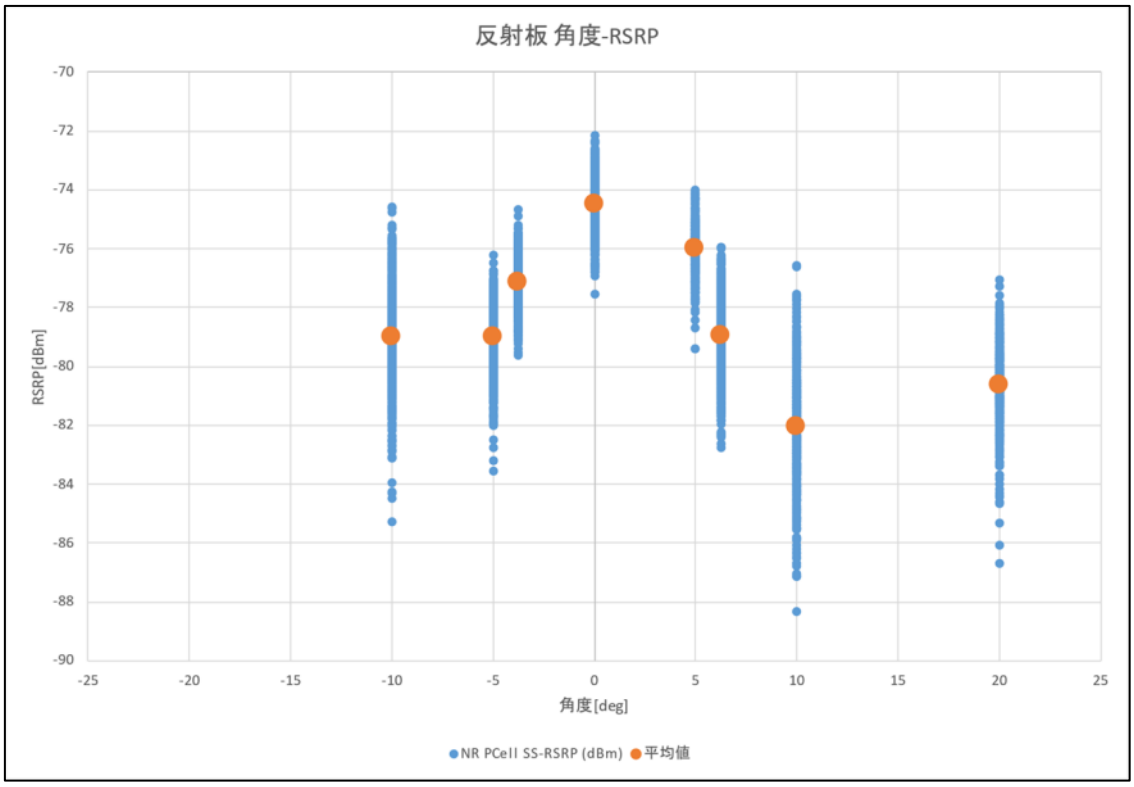


図 3.3.3.5-2　反射板ラボ試験結果（RSRP）　N=600（角度ごと）

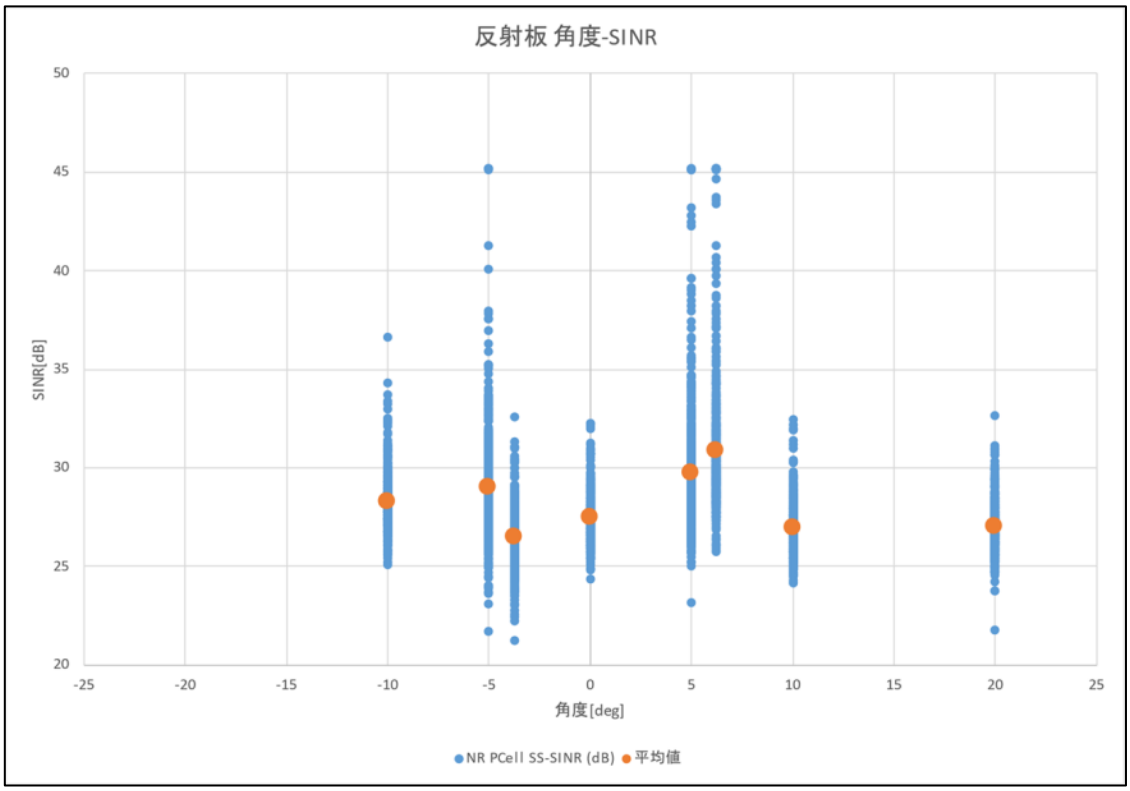


図 3.3.3.5-3　反射板ラボ試験結果（SINR）　N=600（角度ごと）

このラボ試験結果より、実証に用いました反射板の性能値については以下のように考えました。

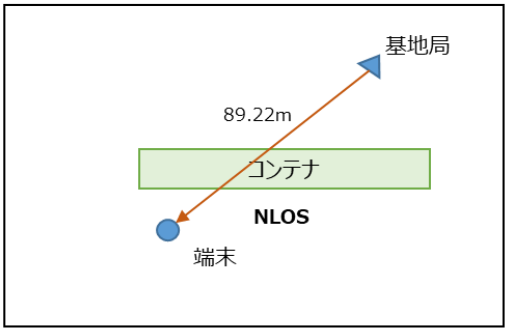
◆反射板ビーム幅：±4°

次に現地で実測をおこないました。測定ポイント全体につきましては表 3.3.3.4-5 に示しておりますが、ここでは測定ポイントと基地局、反射板との位置関係（水平面・垂直面）、測定時のコンテナ状況について図で記載いたします。

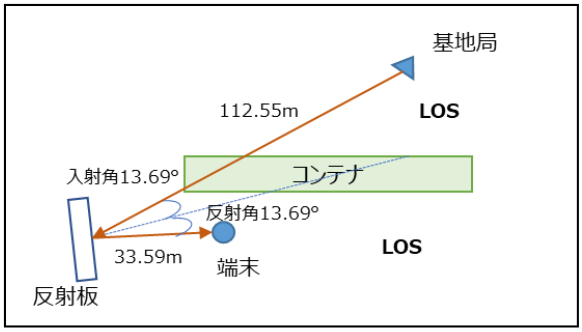
続けて、測定結果につきましても表として記載致しました。（表 3.3.3.5-1）

測定パターン①-1

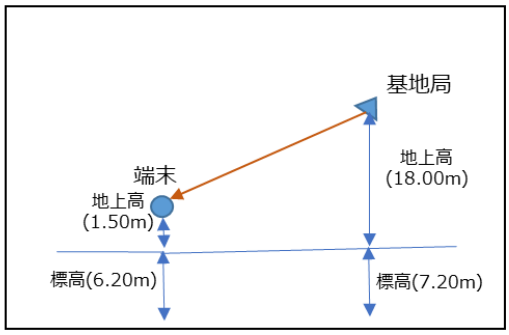
【水平面（反射板なし）】



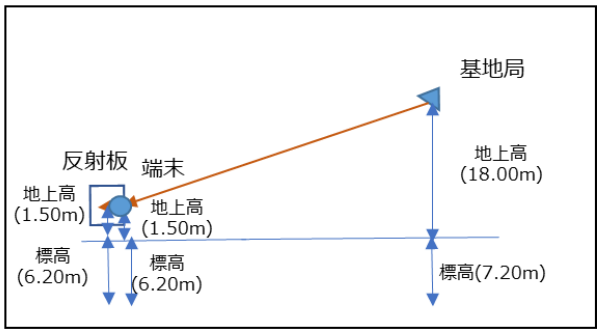
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

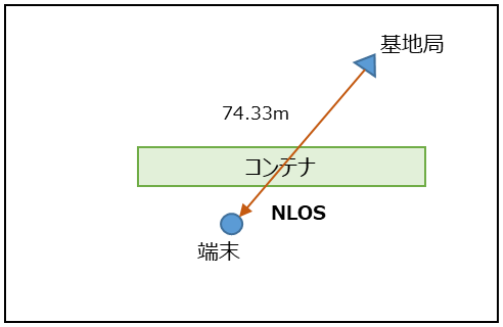


【垂直面（反射板あり）】

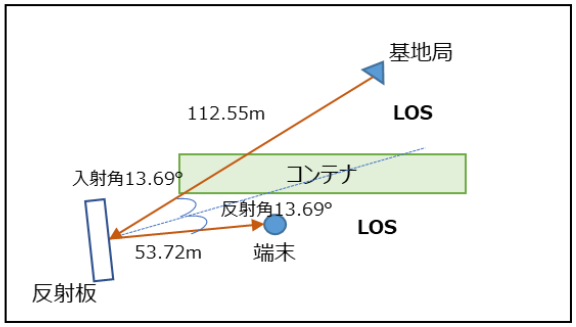


測定パターン①-2

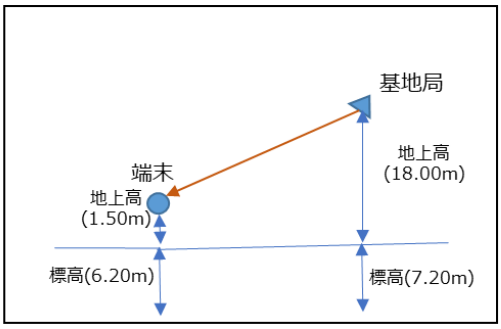
【水平面（反射板なし）】



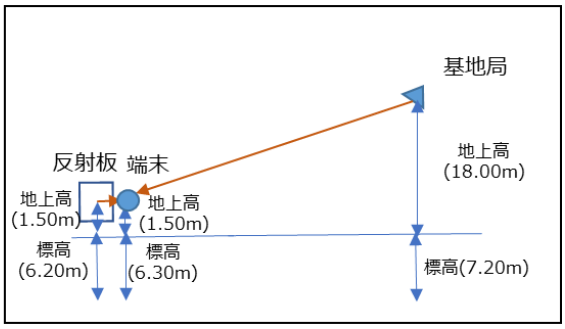
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

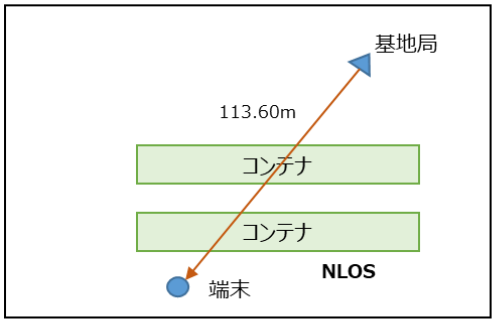


【水平面（反射板あり）】

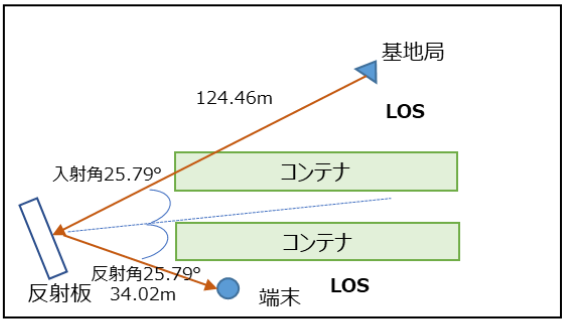


測定パターン②-1

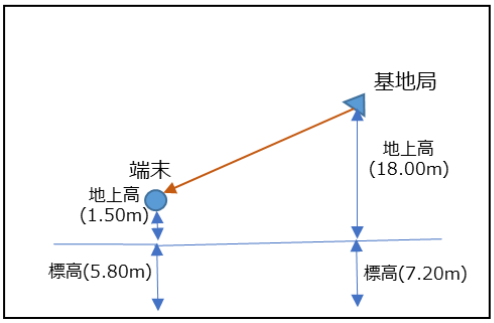
【水平面（反射板なし）】



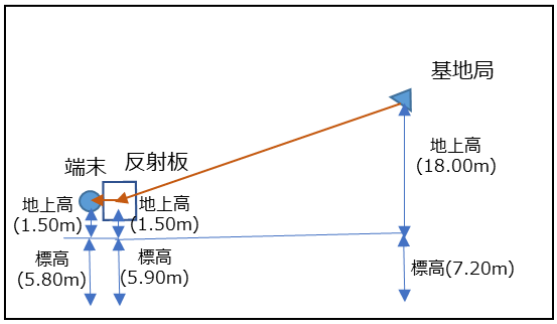
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

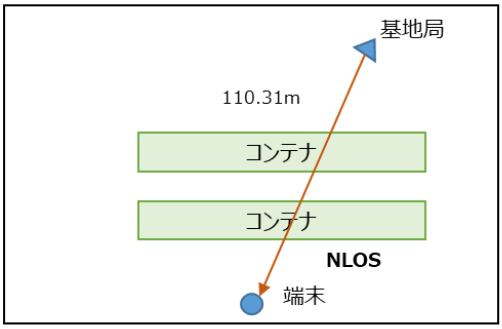


【水平面（反射板あり）】

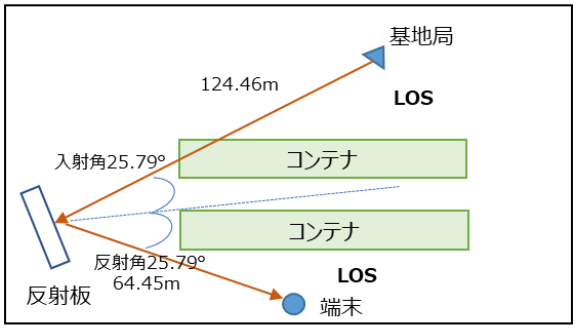


測定パターン②-2

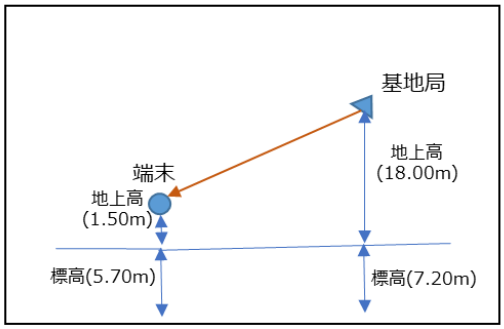
【水平面（反射板なし）】



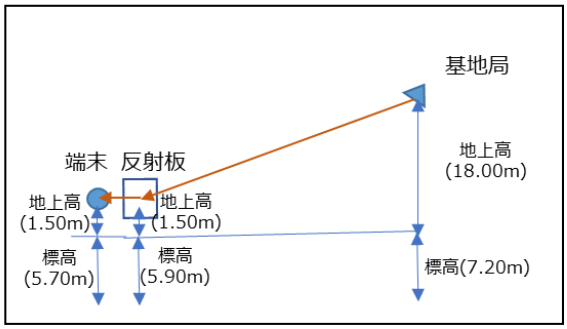
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

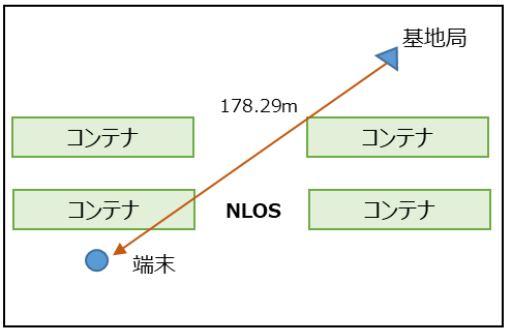


【水平面（反射板あり）】

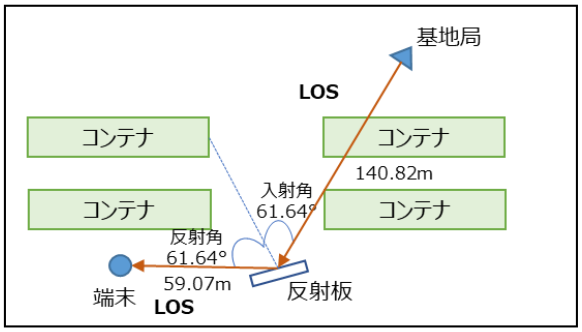


測定パターン③-1

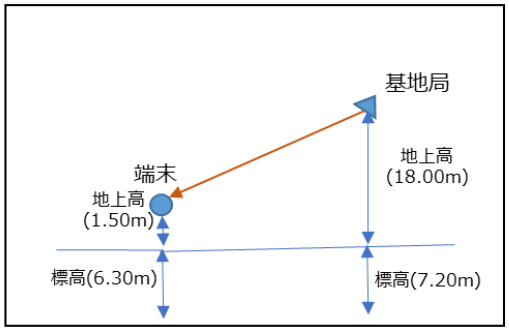
【水平面（反射板なし）】



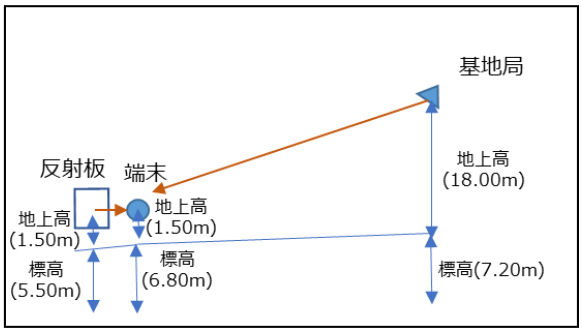
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

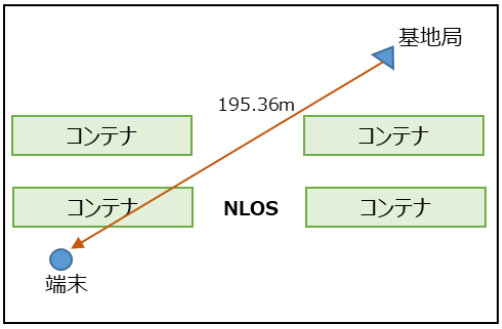


【水平面（反射板あり）】

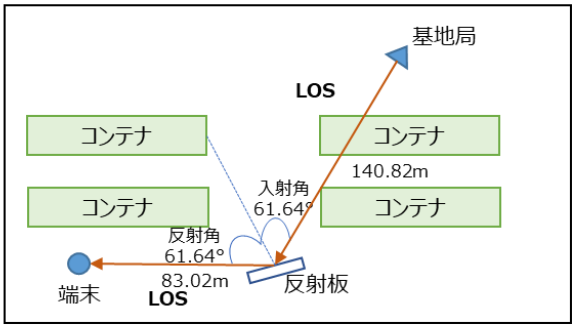


測定パターン③-2

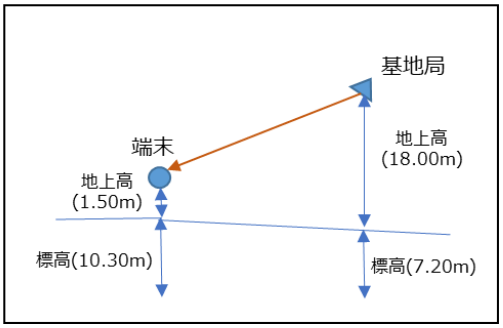
【水平面（反射板なし）】



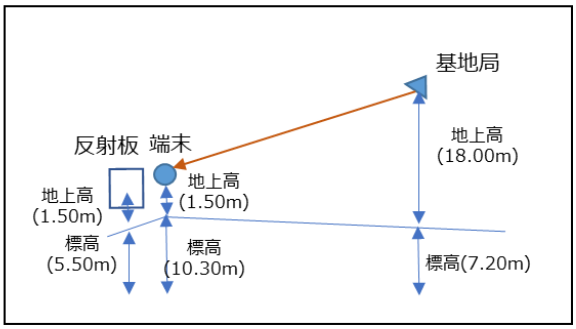
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

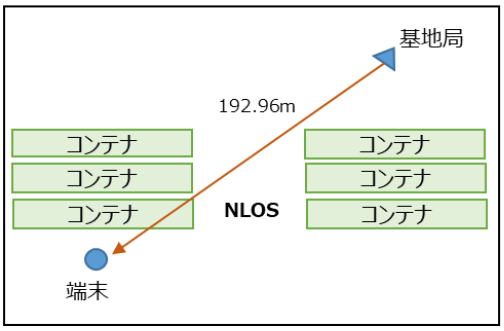


【水平面（反射板あり）】

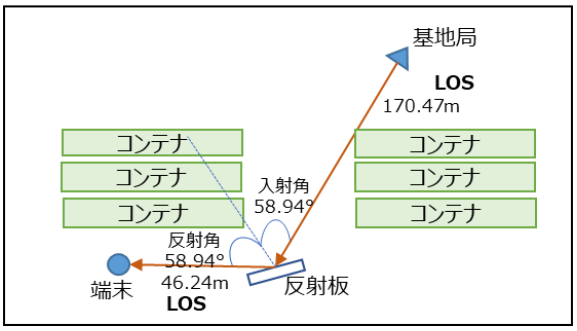


測定パターン④-1

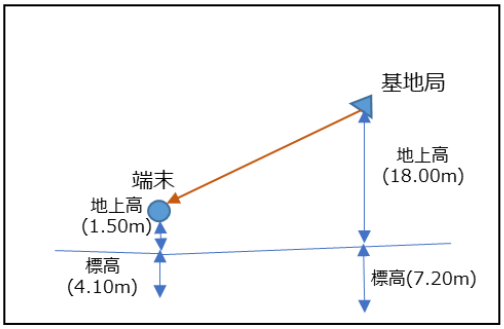
【水平面（反射板なし）】



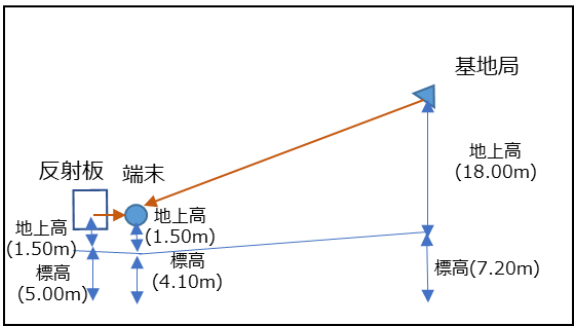
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

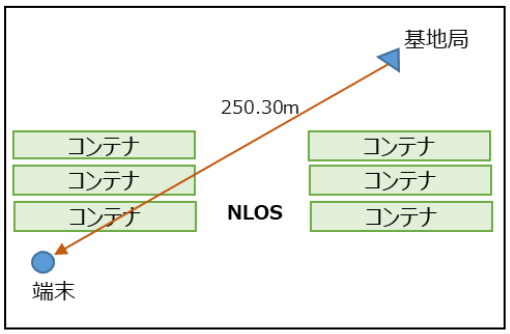


【水平面（反射板あり）】

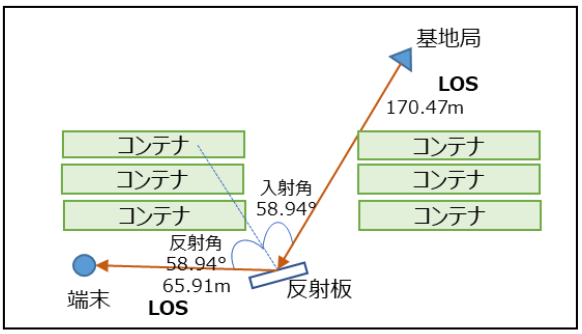


測定パターン④-2

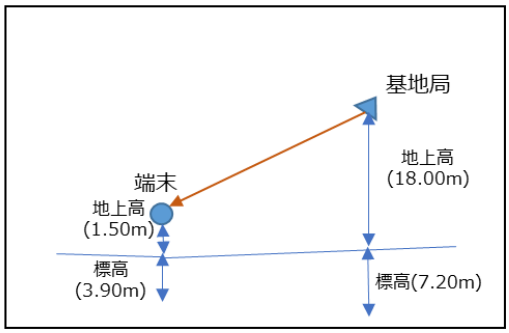
【水平面（反射板なし）】



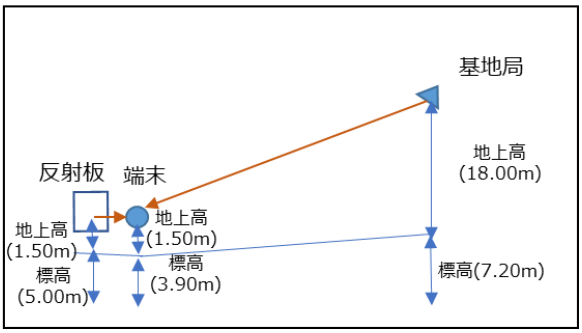
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

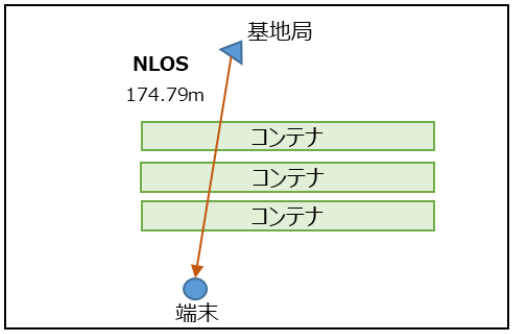


【水平面（反射板あり）】

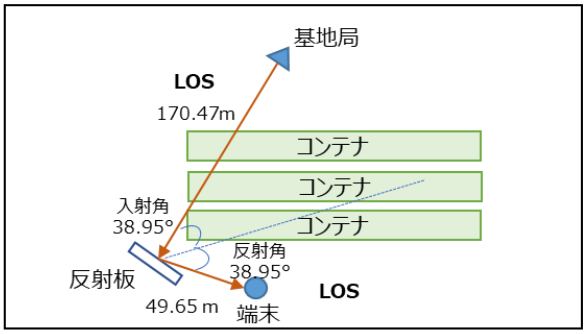


測定パターン⑤-1

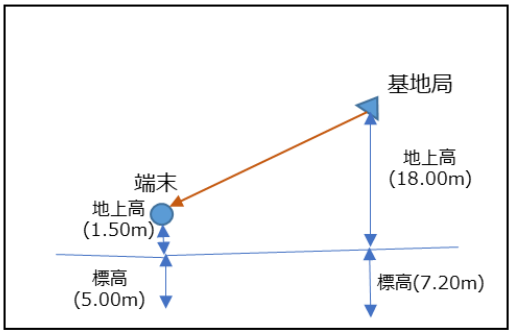
【水平面（反射板なし）】



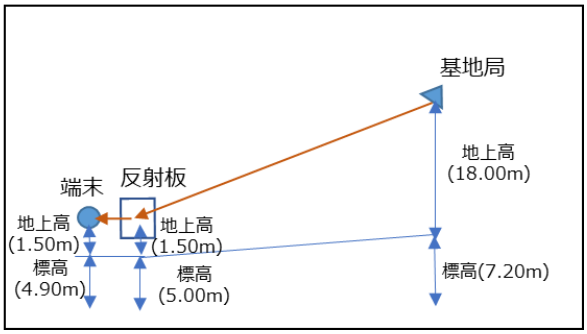
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

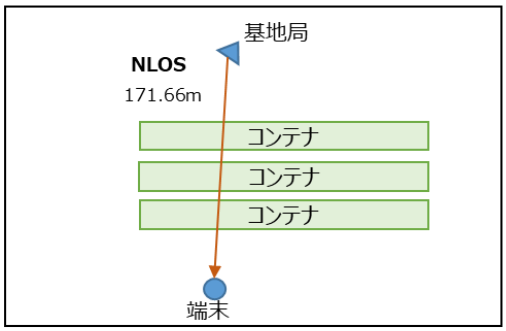


【水平面（反射板あり）】

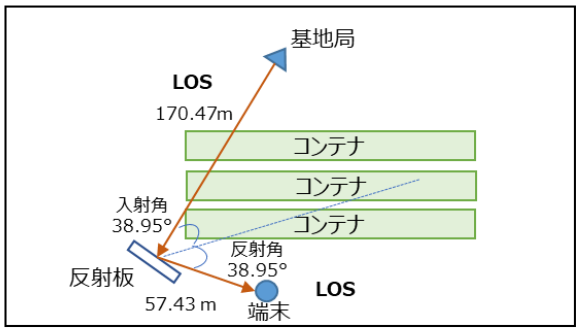


測定パターン⑤-2

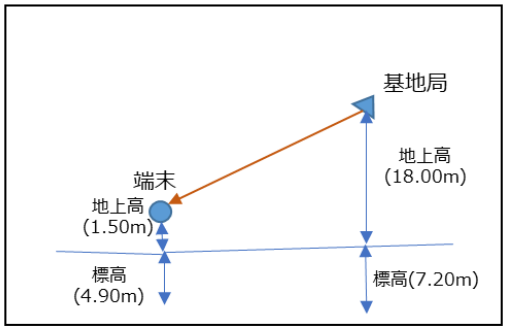
【水平面（反射板なし）】



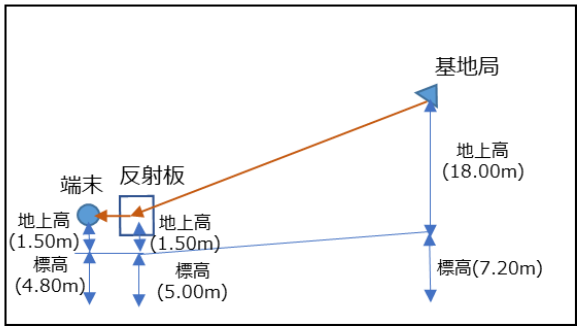
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

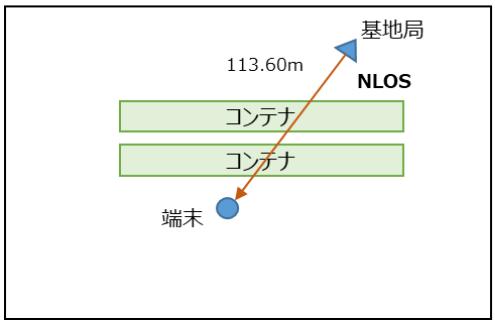


【水平面（反射板あり）】

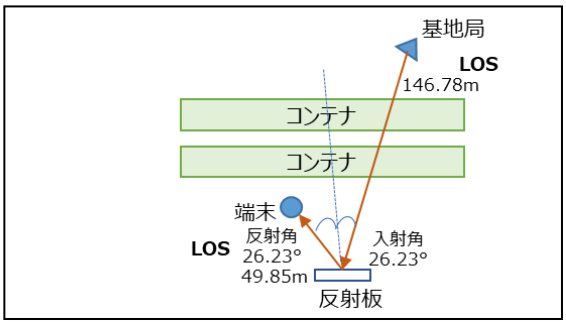


測定パターン⑥-1

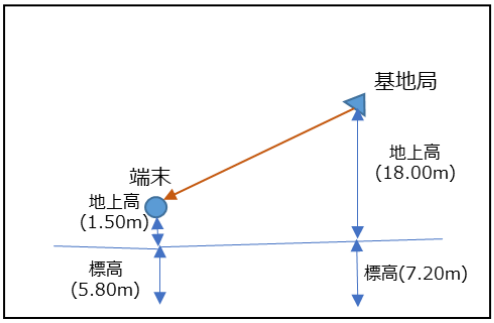
【水平面（反射板なし）】



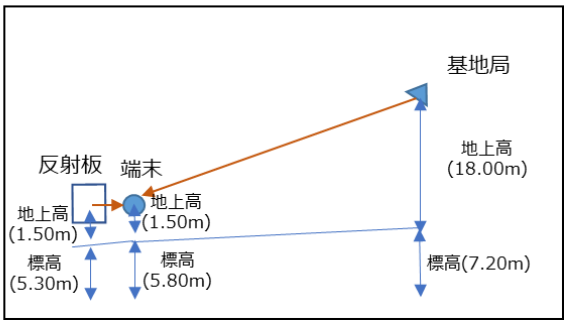
【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】

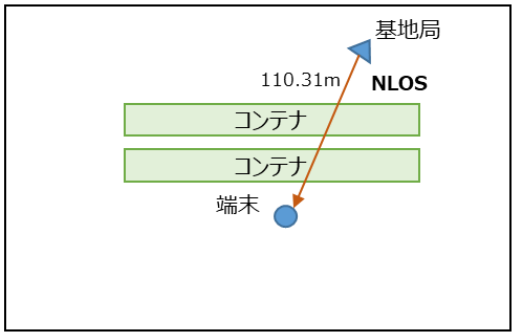


【水平面（反射板あり）】

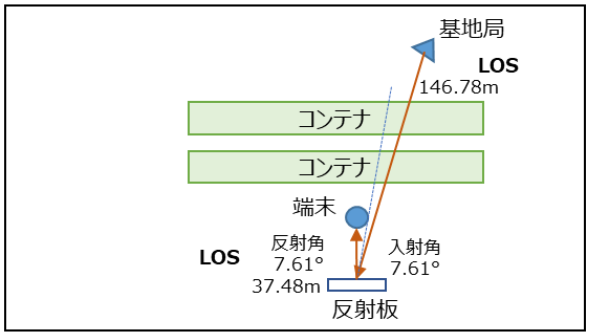


測定パターン⑥-2

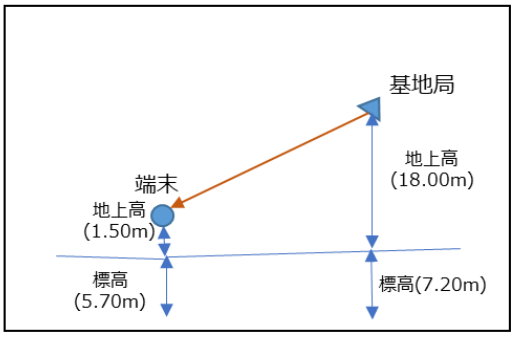
【水平面（反射板なし）】



【水平面（反射板あり）】



【垂直面（反射板なし）】



【水平面（反射板あり）】

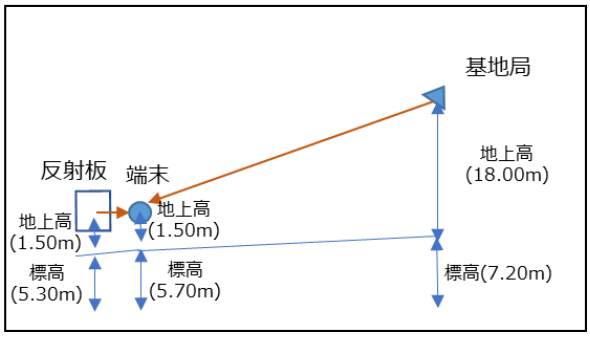
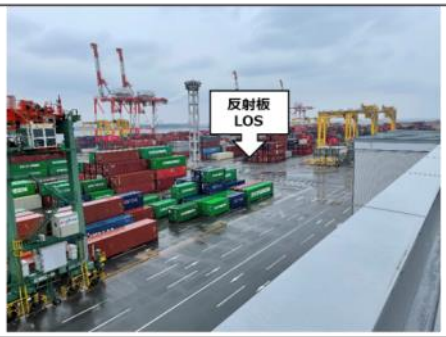


図 3.3.3.5-4　測定地点詳細（水平面・垂直面）

基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
	
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向

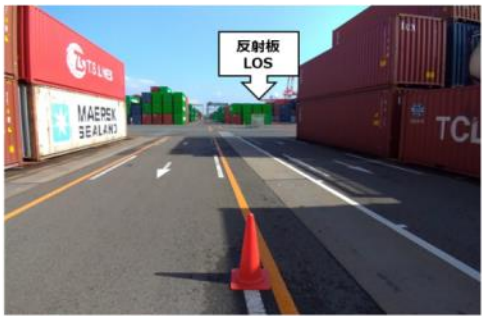
基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向

基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向

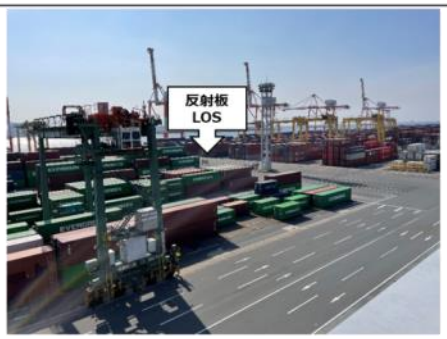
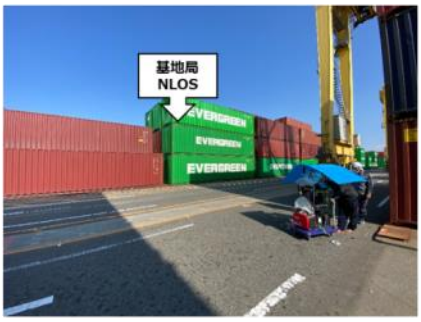
基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向

基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向

基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向

基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向
	

基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向

基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
	
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向
	

基地局からの見通し	反射板⇒基地局方向
端末⇒反射板方向	端末⇒基地局方向

図 3.3.3.5-5　測定時コンテナ状況

表 3.3.3.5-1(1)　測定結果（RSRP 比較）
N=300　（測定点 ID ごと）

測定点ID	反射板あり、なし (0=なし、1=あり)	算出式による 受信電力[dBm]	端末（測定器）の受信電力　実測値 [dBm]				
			中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
反射板①-1	0	-87.80	-83.74	-83.82	3.18	-79.67	-87.62
反射板①-1	1	-85.17	-82.44	-82.81	2.73	-79.51	-86.59
反射板①-2	0	-83.67	-81.27	-81.23	4.03	-75.92	-86.74
反射板①-2	1	-89.25	-79.87	-80.44	3.74	-76.36	-85.29
反射板②-1	0	-95.10	-88.39	-88.51	2.64	-85.34	-91.76
反射板②-1	1	-90.58	-90.16	-90.22	3.34	-86.06	-94.27
反射板②-2	0	-93.20	-87.12	-87.43	3.05	-83.78	-91.80
反射板②-2	1	-96.13	-86.34	-86.29	2.56	-82.97	-89.79
反射板③-1	0	-110.41	-94.96	-95.06	2.20	-92.41	-97.84
反射板③-1	1	-104.69	-94.09	-94.03	2.04	-91.45	-97.02
反射板③-2	0	-105.81	-98.28	-98.12	2.26	-94.63	-100.93
反射板③-2	1	-107.66	-98.26	-98.16	1.86	-95.74	-100.29
反射板④-1	0	-114.97	-94.55	-94.56	2.25	-91.64	-97.17
反射板④-1	1	-113.19	-94.90	-94.84	2.23	-91.92	-97.71
反射板④-2	0	-111.63	-97.36	-97.18	2.78	-93.46	-100.66
反射板④-2	1	-116.27	-97.33	-97.42	2.34	-94.95	-100.58
反射板⑤-1	0	-114.11	-95.69	-95.72	2.05	-93.09	-98.31
反射板⑤-1	1	-109.81	-97.38	-97.40	2.49	-94.31	-100.75
反射板⑤-2	0	-113.96	-97.60	-97.78	2.06	-95.37	-100.30
反射板⑤-2	1	-111.07	-98.25	-98.14	1.91	-95.78	-100.38
反射板⑥-1	0	-95.10	-90.02	-90.24	2.50	-87.02	-93.68
反射板⑥-1	1	-103.00	-89.52	-89.50	2.42	-86.31	-92.59
反射板⑥-2	0	-93.20	-84.84	-85.04	2.50	-81.88	-88.02
反射板⑥-2	1	-99.62	-85.98	-86.34	2.69	-83.45	-89.89

表 3.3.3.5-1(2)　測定結果（反射板値）
N=300　（測定地点 ID ごと）

測定点ID	反射板あり (1=あり)	反射板での入射波の受信電力　実測値 [dBm]					反射板での反射波の受信電力　実測値 [dBm]					反射板利得　実測値 [dBi]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値	中央値	平均値	標準偏差	上位10%値	下位10%値
反射板①-1	1	-90.30	-90.49	2.12	-87.80	-93.30	-5.78	-6.16	2.73	-2.85	-9.93	84.52	84.33	2.73	84.95	83.37
反射板①-2	1	-90.30	-90.49	2.12	-87.80	-93.30	0.87	0.30	3.74	4.37	-4.55	91.17	90.79	3.74	92.17	88.75
反射板②-1	1	-86.20	-86.30	1.31	-84.70	-88.00	-13.39	-13.45	3.34	-9.30	-17.50	72.81	72.85	3.34	75.40	70.50
反射板②-2	1	-86.20	-86.30	1.31	-84.70	-88.00	-4.02	-3.98	2.56	-0.66	-7.47	82.18	82.33	2.56	84.04	80.53
反射板③-1	1	-86.90	-88.28	3.84	-84.44	-94.01	-12.79	-12.73	2.04	-10.14	-15.72	74.11	75.55	2.04	74.30	78.29
反射板③-2	1	-86.90	-88.28	3.84	-84.44	-94.01	-14.06	-13.96	1.86	-11.54	-16.09	72.84	74.32	1.86	72.90	77.92
反射板④-1	1	-84.17	-85.30	3.25	-82.36	-90.93	-15.47	-15.41	2.23	-12.49	-18.28	68.70	69.90	2.23	69.87	72.64
反射板④-2	1	-84.17	-85.30	3.25	-82.36	-90.93	-14.81	-14.91	2.34	-12.44	-18.07	69.36	70.39	2.34	69.92	72.86
反射板⑤-1	1	-89.07	-89.43	1.98	-87.21	-92.07	-16.77	-16.79	2.49	-13.71	-20.14	72.29	72.64	2.49	73.50	71.93
反射板⑤-2	1	-89.07	-89.43	1.98	-87.21	-92.07	-16.16	-16.05	1.91	-13.69	-18.28	72.91	73.38	1.91	73.51	73.79
反射板⑥-1	1	-82.35	-82.57	2.38	-79.58	-85.62	-9.93	-9.91	2.42	-6.72	-13.00	72.42	72.66	2.42	72.86	72.62
反射板⑥-2	1	-82.35	-82.57	2.38	-79.58	-85.62	-8.37	-8.73	2.69	-5.85	-12.28	73.98	73.83	2.69	73.74	73.34

表 3.3.3.5-1(3)　測定結果（アプリケーション KPI）
N=300（測定点 ID ごと）

測定点ID	反射板あり、なし（0=なし、1=あり）	SIR/SINR 実測値 [dB]		UL伝送スループット 実測値 [Mbps]		DL伝送スループット 実測値 [Mbps]		UL伝送遅延 実測値 [msec]		DL伝送遅延 実測値 [msec]	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
反射板①-1	0	2.54	3.81	9.78	0.57	9.82	0.29	13.60	2.06	11.10	0.13
反射板①-1	1	4.79	2.95	9.82	0.29	9.72	0.98	12.83	0.72	11.26	0.17
反射板①-2	0	6.02	4.24	9.74	0.93	9.78	0.62	12.93	0.93	11.27	0.19
反射板①-2	1	6.83	2.65	9.74	0.81	9.76	0.81	12.71	0.51	11.22	0.22
反射板②-1	0	2.56	2.77	9.79	0.58	9.78	0.61	14.62	1.03	11.51	0.64
反射板②-1	1	1.77	2.70	9.79	0.45	9.78	0.55	16.18	2.20	11.25	0.66
反射板②-2	0	4.60	4.44	9.78	0.58	9.74	0.89	13.53	1.38	11.24	0.22
反射板②-2	1	6.35	1.95	9.81	0.40	9.75	0.87	13.33	0.63	11.16	0.31
反射板③-1	0	1.31	2.52	9.73	1.15	9.77	0.75	211.83	260.90	8.24	0.52
反射板③-1	1	2.21	1.82	9.74	0.83	9.79	0.54	14.86	4.28	7.66	0.10
反射板③-2	0	0.73	2.70	9.65	1.31	9.80	0.45	20.42	7.98	7.71	0.11
反射板③-2	1	1.50	2.42	9.73	0.92	9.82	0.28	18.16	6.55	7.72	0.09
反射板④-1	0	1.89	1.97	7.91	1.54	9.78	0.57	3701.78	2249.86	10.99	1.29
反射板④-1	1	1.48	2.11	9.76	0.73	9.74	0.91	14.44	0.78	11.05	0.10
反射板④-2	0	1.96	2.09	9.73	0.86	9.77	0.67	83.70	194.22	11.27	0.28
反射板④-2	1	1.17	2.02	9.31	1.16	9.77	0.66	1331.67	1622.31	10.65	1.41
反射板⑤-1	0	2.59	1.75	9.68	1.12	9.78	0.64	368.17	498.66	7.78	0.20
反射板⑤-1	1	1.74	2.50	6.81	3.75	8.98	2.70	3725.89	5337.17	8.13	0.75
反射板⑤-2	0	1.38	2.10	4.94	3.63	8.16	3.62	7058.62	5720.72	8.78	7.83
反射板⑤-2	1	1.52	2.09	3.73	3.35	7.40	4.21	7606.31	5627.09	11.86	0.97
反射板⑥-1	0	2.92	3.60	9.80	0.47	9.76	0.75	15.05	1.04	11.10	0.46
反射板⑥-1	1	2.01	2.73	9.79	0.62	9.78	0.62	14.34	0.86	11.00	0.21
反射板⑥-2	0	5.90	1.93	9.79	0.53	9.78	0.73	12.89	0.42	11.27	0.33
反射板⑥-2	1	2.49	3.25	9.80	0.58	9.75	0.92	13.31	1.22	11.25	0.27

表 3.3.3.5-1(4)　測定結果（無線 KPI）
N=300（測定点 ID ごと）

測定点ID	反射板あり、なし（0=なし、1=あり）	NR DL PDCP Tput [Mbps]	NR UL PDCP Tput [Mbps]	NR Primary Swrving SS-RSRP [dBm]	NR Primary DL SS-SINR [dB]	NR Primary Serving DL MCS [Avg]	NR Primary Serving UL MCS [Avg]	NR Primary Serving DL ResourceBlock [Avg]	NR Primary Serving UL ResourceBlock [Avg]	NR Primary RI	NR Primary PDSCH BLER [%]	NR Primary WideBand CQI
反射板①-1	0	9.55	9.61	-84.27	2.54	8.97	20.59	26.56	49.84	3.60	0.46	10.99
反射板①-1	1	9.57	9.66	-81.79	4.79	5.71	22.66	37.30	44.83	4.00	1.12	11.30
反射板①-2	0	9.61	9.69	-80.94	6.02	7.95	22.82	28.99	44.16	3.83	0.88	12.16
反射板①-2	1	9.63	9.68	-80.34	6.83	7.08	22.83	30.10	39.20	3.99	1.25	12.06
反射板②-1	0	9.54	9.65	-88.92	2.56	6.47	15.74	44.97	93.65	3.01	1.93	11.75
反射板②-1	1	9.52	9.58	-90.68	1.77	10.31	14.73	26.22	91.11	2.99	2.09	11.42
反射板②-2	0	9.56	9.69	-87.06	4.60	6.97	18.75	34.66	60.99	3.79	0.87	10.73
反射板②-2	1	9.51	9.62	-86.28	6.35	6.52	19.20	31.26	55.73	3.96	2.00	10.57
反射板③-1	0	9.58	9.60	-94.93	1.31	7.74	11.39	41.41	102.86	2.99	2.80	9.46
反射板③-1	1	9.58	9.58	-94.21	2.21	11.41	15.11	25.24	88.42	3.00	0.34	10.06
反射板③-2	0	9.58	9.43	-98.15	0.73	9.20	16.24	34.42	97.66	2.79	0.70	9.42
反射板③-2	1	9.56	9.53	-97.87	1.50	8.29	14.91	34.15	116.45	2.87	0.59	9.26
反射板④-1	0	9.53	8.28	-94.36	1.89	7.04	7.50	40.00	186.98	3.00	2.56	9.88
反射板④-1	1	9.57	9.61	-94.60	1.48	11.86	14.57	21.99	97.82	3.00	0.06	10.07
反射板④-2	0	9.55	9.58	-97.36	1.96	11.44	14.66	34.34	99.00	2.37	1.27	10.16
反射板④-2	1	9.55	9.45	-97.37	1.17	7.64	10.26	39.92	256.31	2.78	1.64	9.26
反射板⑤-1	0	9.54	9.45	-96.08	2.59	7.69	14.74	36.01	86.90	2.97	0.66	9.06
反射板⑤-1	1	9.42	7.38	-97.19	1.74	9.03	10.70	38.59	85.62	2.94	4.39	8.98
反射板⑤-2	0	9.38	6.58	-97.68	1.38	7.19	9.12	51.08	92.12	2.57	6.27	9.74
反射板⑤-2	1	9.22	5.37	-97.86	1.52	6.16	4.88	47.68	102.93	2.97	6.59	9.01
反射板⑥-1	0	9.50	9.63	-90.35	2.92	9.06	15.98	30.82	85.94	3.01	0.96	11.46
反射板⑥-1	1	9.41	9.61	-90.09	2.01	11.65	16.11	23.43	88.53	3.01	0.22	11.43
反射板⑥-2	0	9.56	9.62	-85.12	5.90	5.53	19.92	37.11	45.98	4.00	0.96	10.54
反射板⑥-2	1	9.53	9.60	-86.22	2.49	8.43	19.26	28.69	65.87	3.61	0.74	10.86

反射板の効果に関してラボ検証値との相関性を調べるため、RSRP の角度依存性を調べました。結果として表 3.3.3.5-2 に記載致しました。

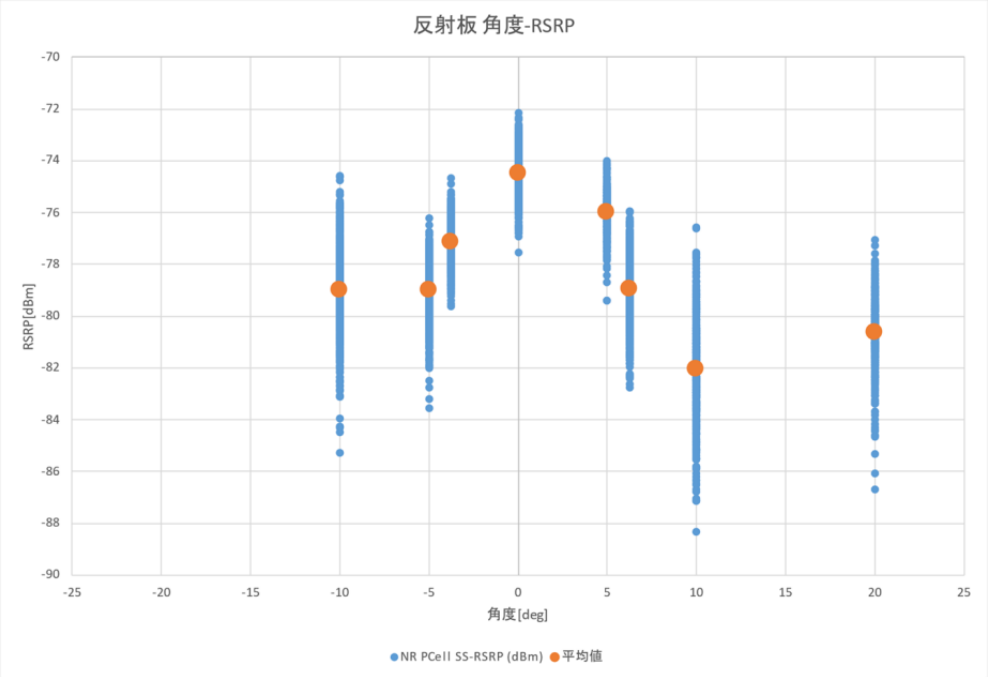


図 3.3.3.5-6　反射板角度依存性（ラボ結果再掲）

表 3.3.3.5-2　夢洲反射板測定結果（N=300）

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)	-81.67	-1.14
反射板①-1	0°	-82.81	0.00
反射板①-1	-5°(時計方向)	-80.69	-2.12
反射板①-2	+5°(反時計方向)	-81.83	1.40
反射板①-2	0°	-80.44	0.00
反射板①-2	-5°(時計方向)	-81.20	0.76
反射板②-1	+5°(反時計方向)	-91.00	0.78
反射板②-1	0°	-90.22	0.00
反射板②-1	-5°(時計方向)	-90.12	-0.10
反射板②-2	+5°(反時計方向)	-86.47	0.18
反射板②-2	0°	-86.29	0.00
反射板②-2	-5°(時計方向)	-86.35	0.06
反射板③-1	+5°(反時計方向)	-93.86	-0.17
反射板③-1	0°	-94.03	0.00
反射板③-1	-5°(時計方向)	-93.86	-0.18
反射板③-2	+5°(反時計方向)	-98.12	-0.04
反射板③-2	0°	-98.16	0.00
反射板③-2	-5°(時計方向)	-97.75	-0.41
反射板④-1	+5°(反時計方向)	-94.83	-0.01
反射板④-1	0°	-94.84	0.00
反射板④-1	-5°(時計方向)	-94.11	-0.73
反射板④-2	+5°(反時計方向)	-97.63	0.21
反射板④-2	0°	-97.42	0.00
反射板④-2	-5°(時計方向)	-98.88	1.45
反射板⑤-1	+5°(反時計方向)	-96.00	-1.40
反射板⑤-1	0°	-97.40	0.00
反射板⑤-1	-5°(時計方向)	-96.98	-0.42
反射板⑤-2	+5°(反時計方向)	-97.20	-0.94
反射板⑤-2	0°	-98.14	0.00
反射板⑤-2	-5°(時計方向)	-97.67	-0.46
反射板⑥-1	+5°(反時計方向)	-89.68	0.18
反射板⑥-1	0°	-89.50	0.00
反射板⑥-1	-5°(時計方向)	-90.29	0.79
反射板⑥-2	+5°(反時計方向)	-85.02	-1.32
反射板⑥-2	0°	-86.34	0.00
反射板⑥-2	-5°(時計方向)	-88.94	2.60

まず、想定していた端末受信電力値と実測値の結果を比較しました。反射板からの 3D 距離が遠くなれば、想定受信強度よりも強く受かる傾向が見られました。こちらの理由については、コンテナの積み上がりが疑似反射板の役目を果たしている。また、遠方に行けばコンテナの反射板面積が広がることで利得も向上しているのではないかと考えました。

次に、反射板の角度依存性について考察しました。屋内ラボ環境での結果と比較すると、想定していた角度による受信電力の差が生まれていない事がわかります。ラボ結果と同様であれば正対状態（0°）から±4°の範囲で -3dBm 程度の減衰が起こると考えておりました。現地実測では±5°の範囲であっても正対と受信電力に違いが出ない結果となりました。（表 3.3.3.5-2 参照）

ラボ環境と、現地環境の差分を考えてみると、以下の点によって現地環境では反射板の角度依存性が生まれていないものと推察できました。

- アンテナの指向性角度によって反射板到達電波強度が減衰しており、有効なパスとして端末側に返せていない

表 3.3.3.4-5(1)に示しておりますように、実証地の反射板に対する想定アンテナ利得は最大利得 16.0dB よりも低い値となっております。これはアンテナの指向性から反射板の位置が外れているためです。中心点周辺にみられる顕著なアンテナ利得の落ち込みは期待できないので、ラボのようなビーム幅の計測は出来なかったと考えました。

次に、死角エリアに関しての反射板効果を検討するために、コンテナレーン間を 1.25°間隔で並行移動して測定を実施致しました。反射板中心位置からの距離は一定（同心円上を移動）としております。この際、測定ポイントは反射板に最も近い位置、かつ基地局の見通しが無い地点で実施しております。

図 3.3.3.5-7　エリア改善効果確認方法イメージ

測定は４パターン実施しました。それぞれの俯瞰図については図 3.3.3.5-8 に記載いたします。結果は以降図 3.3.3.5-9 から示します。

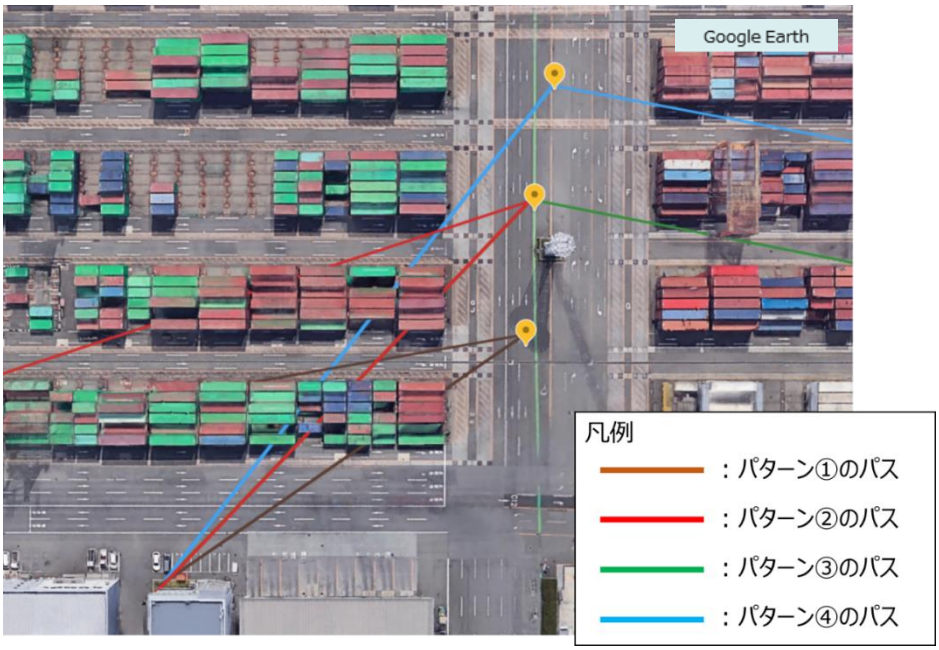


図 3.3.3.5-8　測定パターン俯瞰図

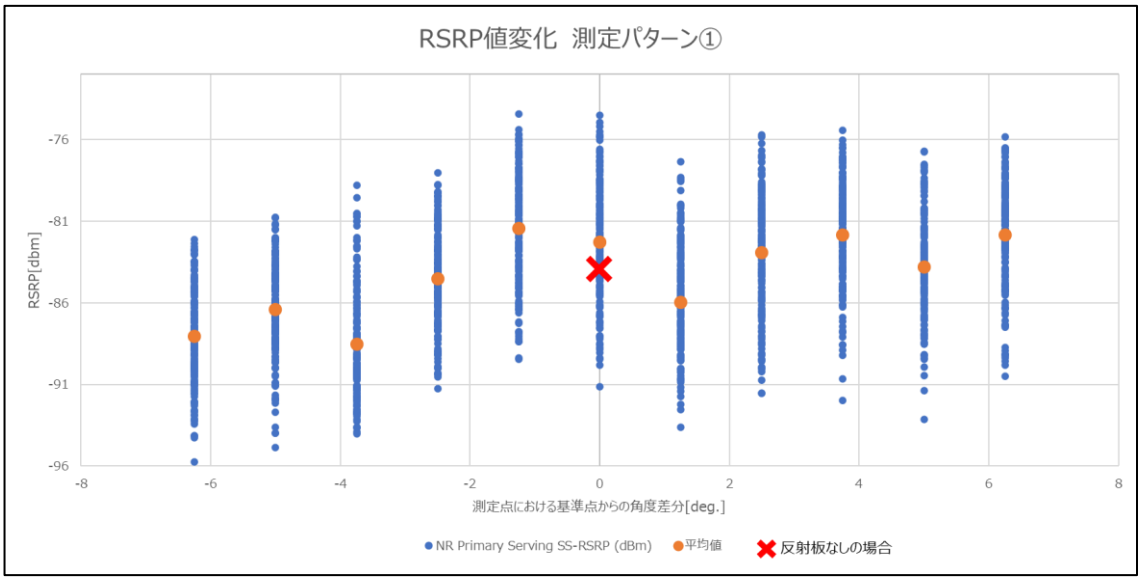


図 3.3.3.5-9　測定パターン①結果
N=180（1.25°ごとの測定）
N=300（反射板なしの場合の測定）

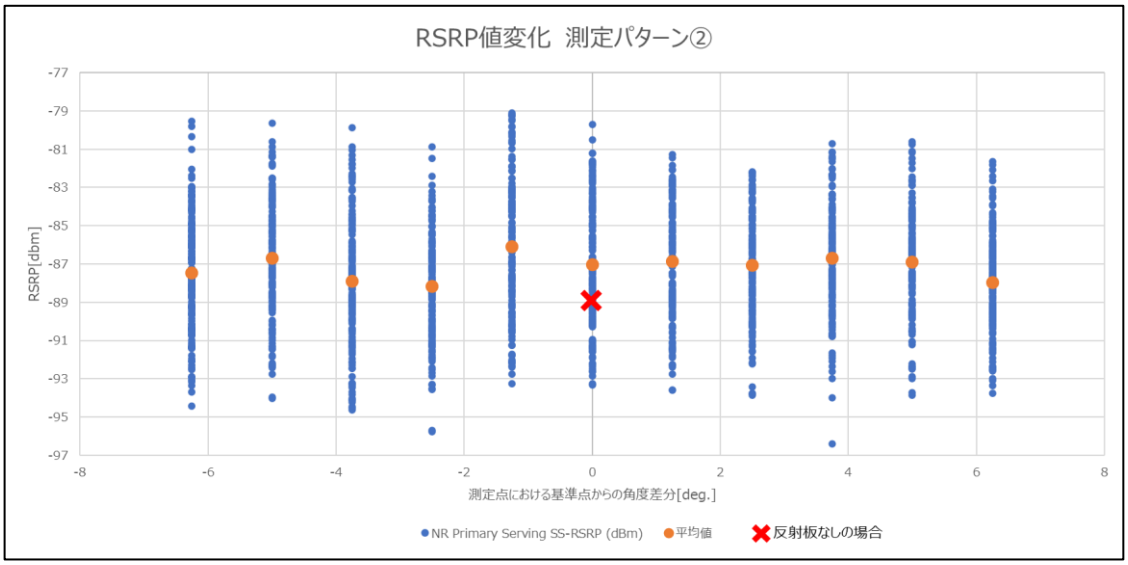


図 3.3.3.5-10　測定パターン②結果
N=180（1.25°ごとの測定）
N=300（反射板なしの場合の測定）

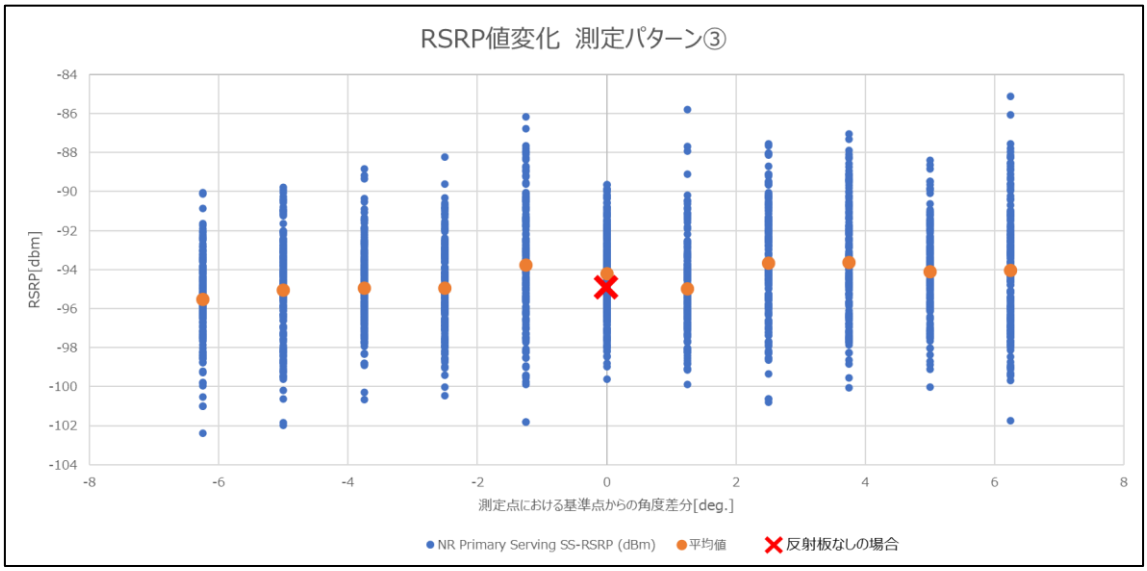


図 3.3.3.5-11　測定パターン③結果
N=180（1.25°ごとの測定）
N=300（反射板なしの場合の測定）

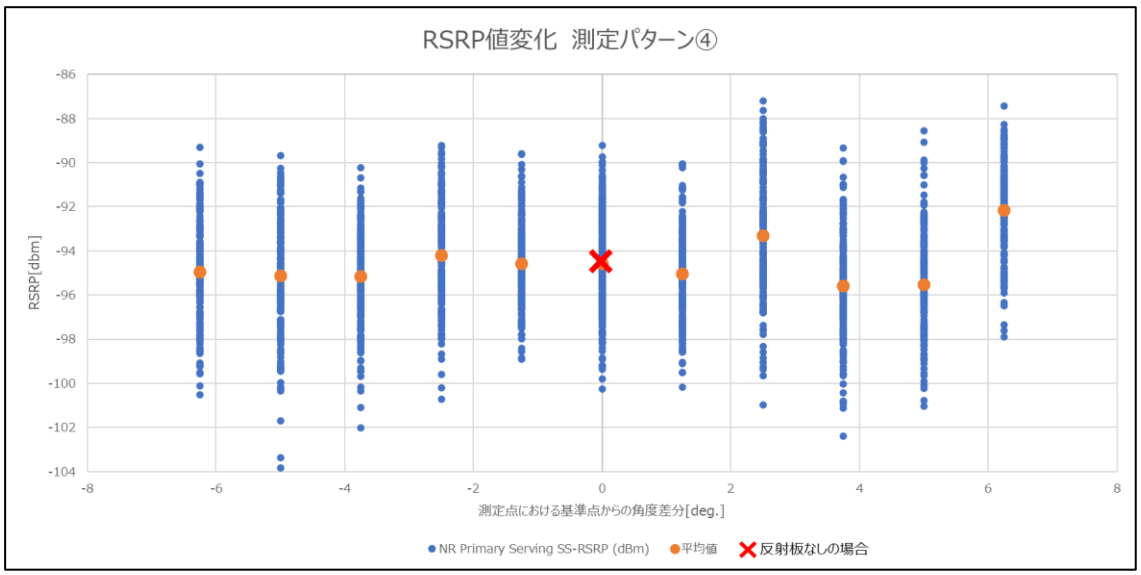


図 3.3.3.5-12　測定パターン④結果

N=180（1.25°ごとの測定）

N=300（反射板なしの場合の測定）

1.25° 毎の測定データ 4 パターンの受信強度平均値を見てみるとコンテナの列間においては受信強度が向上しているようなピークポイントが見当たらないことがわかります。

こちらについては前述のようにアンテナの指向性から反射板の位置が外れているためであることと、反射板全体からの反射波がエリアとして受けられているため差が顕著にあらわれたと仮定しました。

また、4 パターンの結果を比較した場合、パターン①と②に関しては反射板なしの場合に比べて 2dBm 程度の受信電力向上が見られました。パターン③と④に関しては反射板なし時と同程度の受信電力となっておりました。以上のことから、基地局-反射板-端末の位置関係によって反射板の優位性が現れると想定できます。パターン①と②に関しては C-11 バースに端末を設置しており、鋭角の形で反射板を設置していたことがわかります。（図 3.3.3.5-9 参照）このような状況であれば、基地局からの直接波は C11 バースの G レーンと H レーンのコンテナ間で反射を繰り返し端末設置位置にたどり着きます。コンテナは反射物ではあるものの、反射回数に応じて減衰すると考えております。①、②の測定地点に関しては反射板経由の反射波のほうが、直接波の受信電力よりも効果が出たのだと推察しました。

一方でパターン③とパターン④に関しましては C-12 バースに端末を設置しております。このような環境だと、反射板よりも端末設置位置背面のコンテナの方がアンテナの指向方向に近く利得が強く受けられる状況です。よって、反射板経由のパスよりも、コンテナに反射してのパスの方が端末に対して有効となるのだと考えました。

以上より、反射板のコンテナヤードにおけるレーン間の死角地帯エリア改善効果に関してはポイントによっては「受信電力の改善効果は有る」と考えました。前述のように基地局、反射板そして端末それぞれの位置関係が大きなポイントとなってまいります。

一方で、港湾における反射板の有用性については、あまり効果がないと言えます。理由としましては 2 点ございます。

- 設置場所の少なさ
- 安定性の薄さ

1 点目の設置場所の少なさに関しましては、トラックの往来と RTG の動きが理由となります。バース間やコンテナレーン間はスペースとしては広く、本実証サイズの反射板の設置は可能です。ですが、どちらもトラックやクレーンが通る道となっているため固定物を設置するのは不可能です。実証時は照明塔の延長線上にある歩行者レーン（グリーンベルト上）に仮設置をしておりました。こちらも通常時は歩行者往来通路となるので、安全面を考慮すると設置は難しいです。反射板有効エリアへ向けた常設は難しいと考えました。

2 点目の安定性に関しましては、日によってコンテナの積み上げ高が変動するという部分につながります。前述のようにレーンに積み上げられているコンテナに反射を繰り返すことでたどり着く電波が、反射板経由の電波よりも弱い場合に、有効性が現れます。コンテナ高さが変動するため、有効性が現れる日時、場所が限られ、変動すると想定できます。

1 点目と、2 点目の理由からコンテナヤードへの常設に関しましては、有効性が薄い改善方法であると考えました。

一方で反射板が有効であると考えるソリューションに関しましては、端末接続のニーズはあるが、周辺のエリアカバーの必要性がない渋滞監視カメラのようなアプリケーションへの展開（有効なパスの供給）が期待できるのではないかと想定しております。

他のエリア改善策との経済的比較に関しましては次の、表 3.3.3.5-3 と表 3.3.3.5-4 に記載しております。

他の評価方法と比べると電源やケーブルが不要という点では、価格も含めた反射板の設置容易性は高いと考えています。港湾では課題となった安全性、安定性をクリアできるような場所、施設であれば柔軟なエリアカバーが可能なのではないかと考察しました。

メタマテリアル反射板を活用した場合の想定を以降に述べさせて頂きます。結論の「港湾全体における反射板の有用性について効果が大きく期待できない」点については、メタマテリアル反射板を利用した場合であっても、改善を見込めないと推察致します。これは、反射板活用の障害が「設置の困難さ」および「コンテナ積み上げ高の日時変化」にあり、反射板の物理特性に依らないためです。一方、「端末接続のニーズはあるが、周辺のエリアカバーの必要性がない渋滞監視カメラのようなアプリケーションへの展開（有効なパスの供給）が期待できる」と述べた点については、メタマテリアル反射板を活用することでより柔軟に有効なパス供給エリアを設計することが可能となると考えられ、活用による効果が見込まれると推察致します。

また、ミリ波の活用につきましても電波エリアの拡充という方向性では、活用が難しいと想定します。コンテナ等で反射は期待できるものの、平面的な電波エリアの構築は Sub6 帯よりも劣ると推察します。一方でこちらもポイントソリューションという形であれば活用は可能と考えます。港湾での活用では中継通信や動かない端末との通信という役割が推奨されます。

表 3.3.3.5-3　設置の容易性比較

評価項目	電波反射板 （反射板材質：金属アルミ板）	簡易基地局	中継器	アンテナ張出
設置位置 （アクセス容易、面積）	設置面積が少なく、 電源、伝送路も不要	設置面積は電源、伝送路設備も必要なため 電波反射板より大きくなる	設置面積は電源設備も必要なため 電波反射板より大きくなる	屋内（ビル内）のため アクセスは容易、面積は ビル、工場のフロアー面積
電源の必要性	不要	必要	必要	必要
伝送路の必要性	不要	必要	不要	必要（光同軸ケーブル）
施工の容易性	容易	中程度	中程度	中程度
導入リードタイム	数か月	6か月程度	6か月程度	6か月程度
移設の容易性	容易（電源、伝送路が無く簡易）	困難（電源、伝送路含み移設が必要）	困難（電源移設が必要）	中程度（光同軸ケーブルの移設が必要）
総合評価	○	×	△	×
電波反射板が有効となる条件 や使い方	基地局、反射板、端末の位置関係によって有効性が変動する。ポイントとしての受信電力の改善であれば活用の道があると想定。			

表 3.3.3.5-4　設置のコスト比較

評価項目	電波反射板 （反射板材質：　金属アルミ板）	簡易基地局	中継器	アンテナ張出
設備費用	700,000	700,000	700,000	700,000
設備施工費用	800,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
付帯設備費用 （電源、コン柱等）	1,000,000	1,100,000	1,100,000	800,000
付帯設備施工費用 （電源、コン柱等）	2,400,000	2,000,000	2,000,000	1,400,000
伝送設備費用 （光、無線）	0	200,000	200,000	200,000
伝送設備施工費用 （光、無線）	0	400,000	400,000	400,000
運用・保守費用	定期点検　１回/年　５０万程度	定期点検　１回/年　５０万程度	定期点検　１回/年　５０万程度	定期点検　１回/年　５０万程度
備考 （付帯条件）	反射板材料費は支給物品と想定 反射板のサイズにより風圧荷重が大きく変わる為、必要コン柱本数が変更になる場合がある	簡易基地局に係る無線機等は支給物品と想定	中継器に係る無線機等は支給物品と想定	アンテナ張出に係るアンテナ等は支給物品と想定
総合評価	○	△	△	○
電波反射板が有効となる条件や使い方	コスト的には4種ともあまり変わらない状況。設置可能な場所に応じて選定が必要と考えられる			

3.3.4　準同期 TDD の追加パターンの開発

3.3.4.1　実証の目的・目標

（1）背景となる技術的課題と実証目的

ローカル 5G の普及に連れて、同期局と準同期局が隣接運用されることも想定されるため、隣接運用時における干渉影響を確認することが非常に重要となります。

本実証では、同期局と準同期 TDD１局との隣接運用時における、時分割複信（TDD）の準同期運用パターンの追加検討に資する干渉評価を実施します。また、準同期 TDD2,3 が同期局に与える影響については UL/DL 比率を考慮した考察をおこないました。

本実証の条件としましては、屋外（管理棟屋上）にローカル 5G 同期局と同一周波数帯のローカル 5G 準同期局を設置して検証を実施いたしました。それぞれの基地局離隔距離は 10m としております。

（2）実証目標

本提案では、シミュレーションと実測を通して同期局と準同期局（TDD1）との隣接運用時における干渉有無を確認し、両局が隣接して運用可能であることを示します。また、TDD1 の検証結果を踏まえて、TDD2,3 にも同様の検討が適用可能かの確認をおこないました。

3.3.4.2　実証仮説

隣接する同期局と準同期 TDD 局間でそれぞれデータ通信（スループット）が印加された状況下で、端末に割り当てられたサブキャリア周波数帯が同一である場合にフレーム衝突が発生すると想定しております。一方で、本実証環境で印加する帯域要件（UL:30 Mbps DL:30Mbps）では、衝突が発生した場合でもスループットには影響が起こらないと考えます。ただし、BLER 値や遅延に変動はあると想定しておりますので、RF チップ情報で KPI 情報の変動を読み取ることで発生確率を算出することを想定しました。

3.3.4.3　評価・検証項目

被干渉側を同期局、与干渉側を準同期局として実証をおこなっております。両基地局装置にスループットを印加した状態で被干渉側端末の RF チップ情報を読み取ることで衝突を検出しました。測定としては以下アンリツにて 5 つの評価項目と Sigma-LA にて無線 KPI 項目を実測しております。

【アプリケーション KPI 評価項目】

- 受信電力（RSRP［dBm］）
- 通信品質（SINR［dB］）
- 伝送スループット（UL）［Mbps］
- 伝送スループット（DL）［Mbps］
- 伝送遅延時間［ms］

無線 KPI 評価項目の説明は、表 3.3.4.3-1 に記します。

表 3.3.4.3-1　無線 KPI 項目

測定項目	種類	ソース	説明
NR DL PDCP Tput	秒平均	UE	ダウンリンクPDCP層のスループット
NR UL PDCP Tput	秒平均	UE	アップリンクPDCP層のスループット
NR SS-RSRP	瞬時値	UE	参照信号の電力
NR SS-SINR	瞬時値	UE	ノイズと干渉に対する信号強度の比
NR DL MCS	瞬時値	UE	ダウンリンク伝送路符号の効率
NR UL MCS	瞬時値	UE	アップリンク伝送符号路の効率
NR DL RB	瞬時値	UE	ユーザーに割り当てられたダウンリンクリソースブロックの数
NR UL RB	瞬時値	UE	ユーザーに割り当てられたダウンリンクリソースブロックの数
NR RI	瞬時値	UE	MIMO品質（おおよそ有効なアンテナ数）
NR PDSCH BLER	瞬時値	UE	ブロックエラーレート
NE WB CQI	瞬時値	UE	受信品質指標

3.3.4.4　評価・検証方法

検証の位置関係に関する情報を以下の図 3.3.4.4-1 に、用いた測定器類の構成と諸元についても記載致します。

図 3.3.4.4-1　屋上の基地局位置関係

【実証に用いた装置類】

表 3.3.4.4-1　実証に用いた基地局、端末情報

	基地局装置情報	端末装置
被干渉（同期）システム	・NOKIA NDAC ・中心周波数4.85GHz 100MHz幅 ・TDD同期局	・COMPAL RAKU+ ・Sub-6 SA ・TDD同期端末
与干渉（準同期）システム	・APRESIA CDU/RU-100 ・中心周波数4.85GHz 100MHz幅 ・TDD1準同期局	・APRESIA UE-100 ・Sub-6 SA ・TDD1準同期端末

表 3.3.4.4-2　Nokia 基地局仕様

送信側

項目	設定値	備考
空中線電力	16dBm/MHz(1W×4ポートの合計電力)	基地局出力は送信4MIMOのため×4ポート
空中線利得	16dBi 1素子（アンテナ4ポートに対してアンテナ2本で2ポートずつ接続）	
送信系各種損失	6.16dB（アンテナ2分配の場合）	ケーブル損失 ＋分配器損失
等価等方輻射電力（EIRP）	1W×4ポート、アンテナ2分配 16+16-6.16=25.84dBm/MHz	空中線電力＋空中線利得＋送信系各種損失の合計
空中線指向特性（水平、垂直）	水平60度、垂直8度	アンテナビーム半値幅
機械チルト	10度	
空中線高	（※対象のセクタアンテナの海抜高＋地上高になります）	免許諸元の海抜高＋地上高
送信帯域幅	99.28MHz（4.7GHz 帯）	占有周波数帯幅を記載
隣接チャネル漏洩電力	下記または-13dBm/MHz の高い値 -43.8dBc/98.28MHz （チャネル帯域幅MHz 離調） -43.8dBc/98.28MHz （2 ×チャネル帯域幅MHz 離調） ※参照帯域幅は当該チャネル帯域幅の最大実効帯域幅	実機の規格に合わせて修正 注3
スプリアス領域における不要発射の強度	-13dBm/100kHz（30MHz-1GHz） -13dBm/MHz（1GHz 以上） ※周波数帯の端から40MHz 以上の範囲に適用	実機の規格に合わせて修正 注3

受信側

項目	設定値	備考
許容干渉電力（帯域内干渉）	-117dBm/MHz （I/N=-6dB、NF=3dB）	注1 実機のNFは5dBでは3dBのため、 損失改善分を反映し-115dBm → -117dBm
許容干渉電力（帯域外干渉）	-52dBm（隣接20MHz 幅） -43dBm（上記以外）	注3
空中線利得	送信側と同じ	
受信系各種損失	送信側と同じ	
空中線指向特性（水平、垂直）	送信側と同じ	
機械チルト	送信側と同じ	
空中線高	送信側と同じ	

注1 ITU-R における共用検討に基づく（ITU-R TG5/1 Contribution 36, 2017-02-28）
注2 LTE-Advanced システムに対して実施された過去の共用検討に基づく
注3 3GPP の標準仕様に基づく
注4 同一周波数の干渉検討で考慮。隣接周波数の干渉検討においては、不要発射の強度の値が総合放射電力（空間に放射される電力の合計値）で規定されているため考慮しない

表 3.3.4.4-3　アプレシア基地局仕様

送信側

項目	設定値	備考
空中線電力	23dBm(200mW) / 1antenna 29dBm(800mW) / Total	
空中線利得	5dBi / port ※利得の詳細は[アンテナ利得(RU)]を参照	注1
送信系各種損失	空中線利得に含む	注1、4
等価等方輻射電力（EIRP）	34dBm / Total	注2
空中線指向特性（水平、垂直）	Omni	注1
機械チルト	N/A	注1
空中線高	N/A	注2
送信帯域幅	100MHz(99M7)　4.8~4.9GHz	
隣接チャネル漏洩電力	-62.66dBc/98.28MHz (4600.72-4699MHz) -47.64dBc/98.28MHz (4700.72-4799MHz) -49.04dBc/98.28MHz (4900.72-4999MHz) -63.82dBc/98.28MHz (5000.72-5099MHz)	注3
スプリアス領域における不要発射の	-52.01dBm/1kHz (9~150kHz) -42.06dBm/10kHz (0.15~20MHz) -55.62dBm/100kHz (30~1000MHz) -42.40dBm/1MHz (1000~4460MHz) -45.86dBm/1MHz (4940~12750MHz) -44.21dBm/1MHz (12750MHz~5倍高調波) -53.52dBm/300kHz (1884.5~1915.7MHz)	注3

受信側

項目	設定値	備考
許容干渉電力（帯域内干渉）	-114dBm/MHz (I/N=-6dB, NF=6dB)	注1
許容干渉電力（帯域外干渉）	-44dBm（隣接20MHz 幅） -35dBm（上記以外）	注3
空中線利得	送信側と同じ	注1
受信系各種損失	送信側と同じ	注1
空中線指向特性（水平、垂直）	送信側と同じ	注1
機械チルト	N/A	注1
空中線高	N/A	注2

注1 ITU-R における共用検討に基づく（ITU-R TG5/1 Contribution 36, 2017-02-28）

注2 LTE-Advanced システムに対して実施された過去の共用検討に基づく

注3 3GPP の標準仕様に基づく

注4 同一周波数の干渉検討で考慮。隣接周波数の干渉検討においては、不要発射の強度の値が総合放射電力（空間に放射される電力の合計値）で規定されているため考慮しない

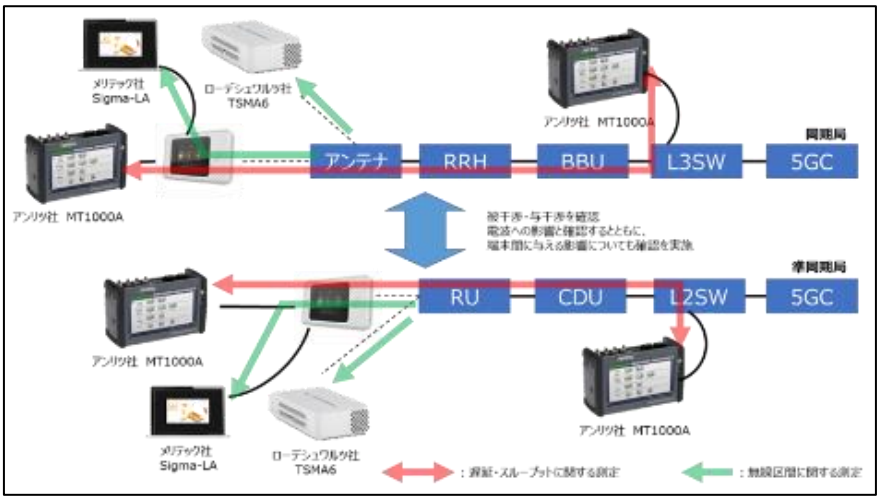


図 3.3.4.4-2　測定イメージ

表 3.3.4.4-4　エリアスキャナ：TSMA6 諸元

項目	諸元
製品名	TSMA6
製造者	Rode & Schwarz
備考	主な追加モジュール TSMA6 ウルトラコンパクトドライブテストスキャナ TSME30DC ダウンコンバータ TSMA6-BP バッテリバックユニット TSME-Z10 シングルポート広帯域アンテナ

表 3.3.4.4-5GNSS Receiver(エリアスキャナ) 諸元

項目	諸元
製品名	GPS/GLONASS receiver
製造者	Rode & Schwarz
備考	マルチGNSS: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo Sensitivity Cold Start: -148 dBm, Tracking/Reaqusition: -160 dBm Acquisition Cold Start/Hot Start: 26s/ < 1 s Channels: 50

表 3.3.4.4-6　トラフィック試験機：MT1000A 諸元

項目	諸元
製品名	MT1000A
製造者	Anritsu
備考	測定モジュール：MU100010A (10Gマルチレートモジュール) プロトコルオプション：MU100010A-001(2.7G以下デュアルチャネル) GPSアンテナ：J1706A

表 3.3.4.4-7　Sigma-LA 諸元

項目	諸元
製品名	Sigma-LA
製造者	Meritech
備考	測定用PCにインストールして使用する。測定用PCにライセンスキーとなるドングルが必要

実証の流れとしましては以下の流れで実施しております。

- 机上の予測
  モンテカルロシミュレーションのモデリングを実施し、準同期 TDD1 が同期局に与える影響について想定をおこないました
- 実機を用いた計測
  NOKIA 製の同期局とアプレシア製の準同期局を用いて、実測をおこないます。
- シミュレーション値と実測値の比較検討
  シミュレーションと実測の差分分析をおこないます。差についての原因、要因を分析することで同期局・準同期局共用条件下での性能評価も実施します。
- 準同期 TDD2,3 についての考察
  UL/DL の比率を考慮して、新たな準同期局が同期局に与えうる影響について考察をおこないます。

【机上の予測】

以下の条件でモンテカルロシミュレーションを実施しております。

【モンテカルロシミュレーションモデリング】

同期システム、準同期システムのサブキャリア間隔について

- 乱数は一様乱数を使用
- 2 つのシステム間にてサブキャリアが同一となる確率＝衝突発生確率

同期局・準同期局に関するシステム要件

- 共に中心周波数 4.85GHz 100MHz
- サブキャリア使用幅：Nokia 基地局　98.28MHz（30KHz 間隔）
  Apresia 基地局　98.28MHz（30KHz 間隔）
- アットランダムでサブキャリアアサイン
- 30KHz 間隔にて 100MHz 幅をフルで使用した場合、3276 使用可能
- それぞれ独立した 2 つのシステム間にてランダムにサブキャリアを使用

以上の条件を用いてシミュレーションをおこなった結果を以下の表に示します。

表 3.3.4.4-8　モンテカルロシミュレーション結果（DL）

試行回数	サブキャリア衝突回数	サブキャリア衝突確率
1000	3	0.300000%
10000	42	0.420000%
100000	352	0.352000%
1000000	3738	0.373800%
10000000	36613	0.366130%
100000000	366695	0.366695%

モンテカルロシミュレーションを実施した結果、右表の試行回数において基地局システム間のサブキャリア衝突が発生し、その確率は0.37%に限りなく近づいていくという結果が得られました。

【実機を用いた計測】

夢洲コンテナターミナルの管理棟屋上にて計測を実施しております。Nokia基地局（同期局）とアプレシア基地局（準同期TDD1局）の離隔距離は10mとしました。それぞれの基地局に接続する端末は基地局の近傍値に設置しております。

計測は1分間の測定を516回実施いたしました。事前に基地局メーカーへヒアリン具を実施し、以下の点を確認しております。

・スループット印加時にサブキャリアが割り当てられる
・端末に割り当てられたサブキャリアの開放にはスループット印加が終わってから数分のインターバルを経る必要がある

計測の実施に当たっては、サブキャリアの割り当てパターンの試行回数を増やす必要があったため、各実測に3分インターバルを設けてから再度スループットを印加し、測定をおこなっております。

3.3.4.5 実証結果及び考察

計516回の測定を実施いたしました。仮説としましては、「同期局と準同期TDD1局との間で同一サブキャリアが割り当てられた際に衝突が起きる。衝突が起きると、BLERの値が上昇するものの、スループットは低下しない」と考えておりましたので、以下の条件で候補となるデータの抽出をおこないました。BLERの上昇が無線環境の悪化に起因していると想定されるものを省くために、SINR値に関しても抽出条件に含めております。

【1回目のデータ抽出要件】

- BLERが20%を超えていること
- SINRの値が10を超えていること
- DLのスループット値が25Mbpsを超えていること

全データの内、上述の条件に当てはまるデータ数としては55個ございました。観測データから抽出したポイントイメージについては図3.3.4.5-1に示します。

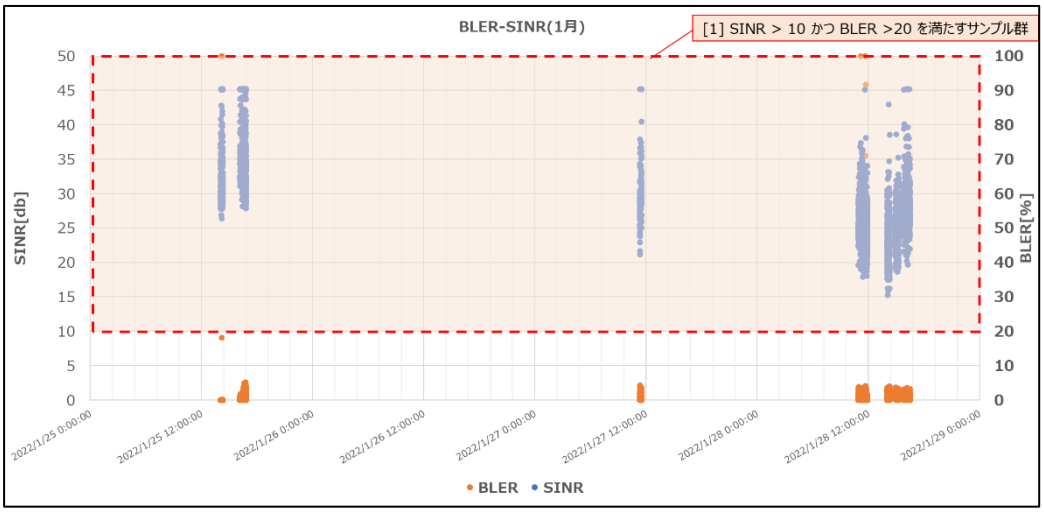


図 3.3.4.5-1(1)　1 回目の抽出項目イメージ（1 月）
N= 3600（60 回測定）

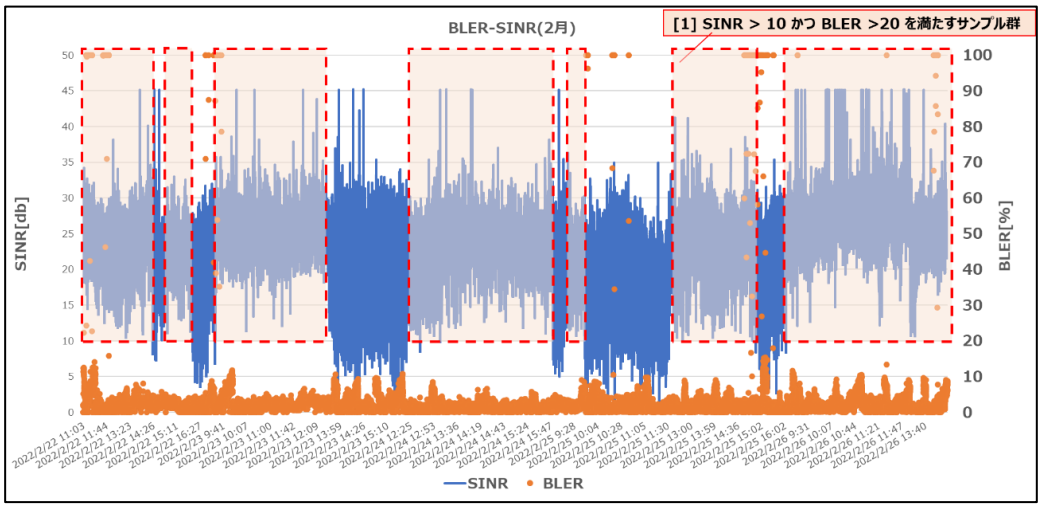


図 3.3.4.5-1(2)　1 回目の抽出項目イメージ（2 月）
N= 27720（462 回測定）

抽出データ全 55 パターンの中身を確認いたしました。ここの中での確認ポイントとしましては BLER が上がっているタイミング前後に関する無線 KPI の挙動になります。

- DL：MCS 値が BLER の上昇に伴って下がっているか
- 前後でスループットは変動していないか
- 測定時間（60 秒間）の内 BLER が上がっているタイミング

確認した結果、確認ポイント 1 点目の MCS 値の変動はほぼすべてのデータで確認できました。一方で、スループットは変動しており、BLER が上がるタイミングは測定開始後 10 秒以降であったことがわかりました。（図 3.3.4.5-2 参照）

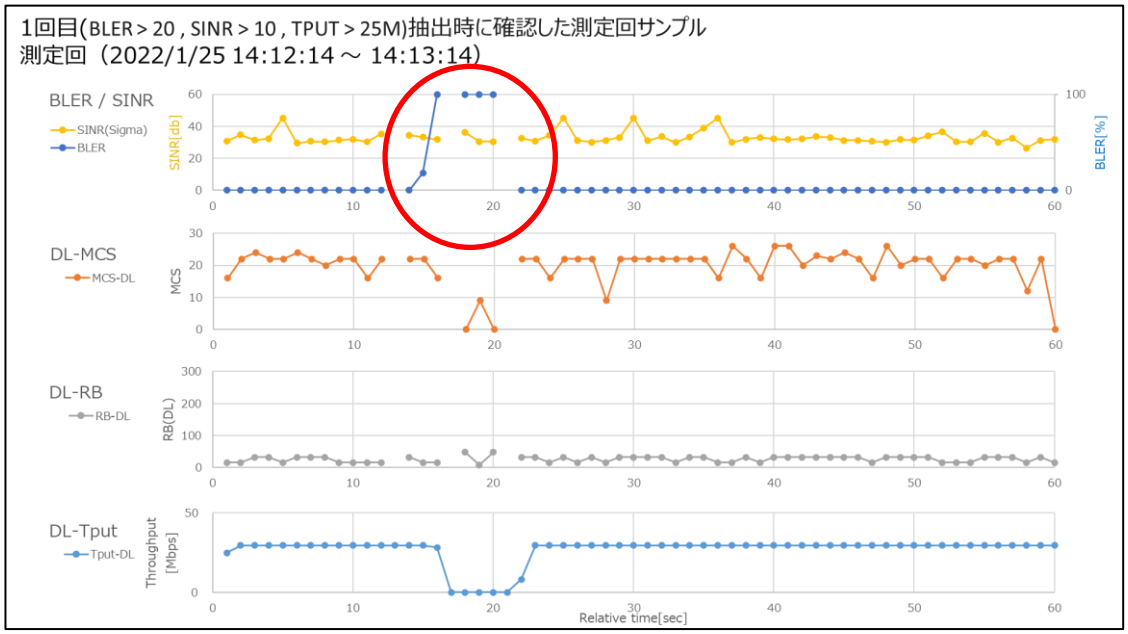


図 3.3.4.5-2　1 回目抽出データイメージ

サブキャリアが割り当てられるタイミングとしては、前述の通りスループットが印加された時になります。仮説が正しい場合、BLER が上がるタイミングは測定開始直後であると推察しましたので、1 回目の抽出データ内には衝突が起きているものは無かったと考えました。

次の条件で 2 回目のデータ抽出をおこなっております。

【2 回目のデータ抽出要件】

- BLER の値が 10 を超えていること
- SINR の値が 10 を超えていること

この要件につきましては、MCS を変動させる BLER の閾値は「10」であると同期基地局ベンダへのヒアリングで判明したため、BLER への要件を下げた形になっております。MCS コントロールの機能が正常動作していれば、10 を超すような BLER は頻発しないのではないかと想定しました。

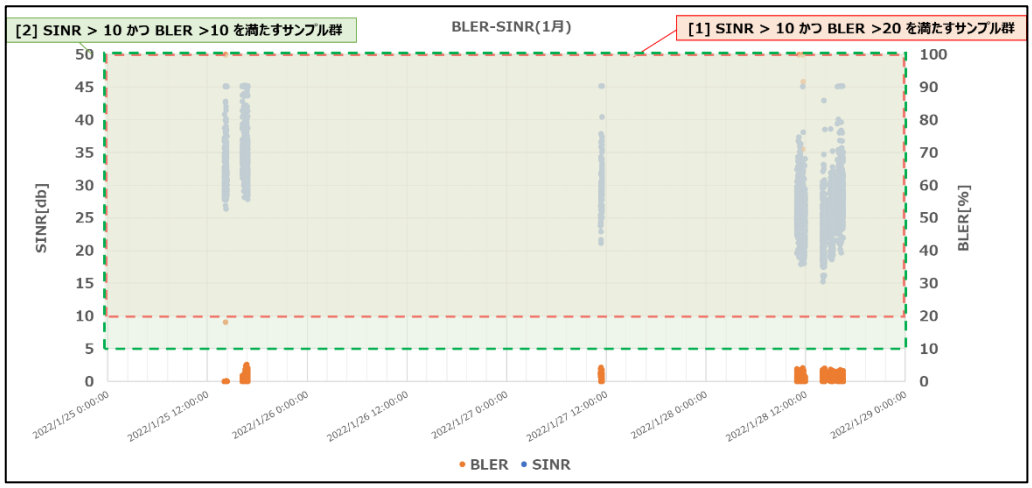


図 3.3.4.5-3(1)　2 回目の抽出項目イメージ（1 月）
N=3600　(60 回測定)

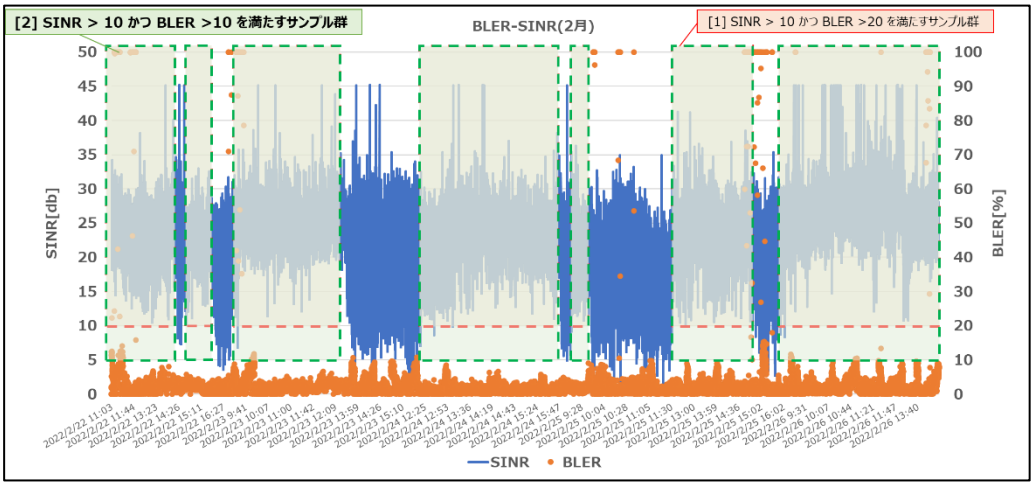


図 3.3.4.5-3(2)　2 回目の抽出項目イメージ（2 月）
N=27720（462 回測定）

2 回目の抽出要件に当てはまるデータ数は 373 個となりました。候補が多すぎるため、以下のフィルタリング要件を追加しております。

【追加したフィルタリング要件】

- 測定開始付近から BLER が 10 を超えている点

2 回目の抽出要件に当てはまるデータの内、測定開始付近から BLER が 10 を超えている点は 36 ポイントございました。その中で BLER 値が 100 付近まで上昇しているデータ類に着目しました。解析の結果、高 BLER 値は測定開始から 6 秒～8 秒程度継続しており、その後は低 BLER となっていることが判明しました。また、MCS 値とスループットに目を向けると、BLER が 100 まで上昇した直後に MCS 及びスループットが「0」となっておりました。このデータ類に関しては高 BLER（異常状態）を検知した基地局側がデータ通信を停止しているの

ではないかと考え、サブキャリア衝突候補からは除外することとしました。(図 3.3.4.5-4 参照)

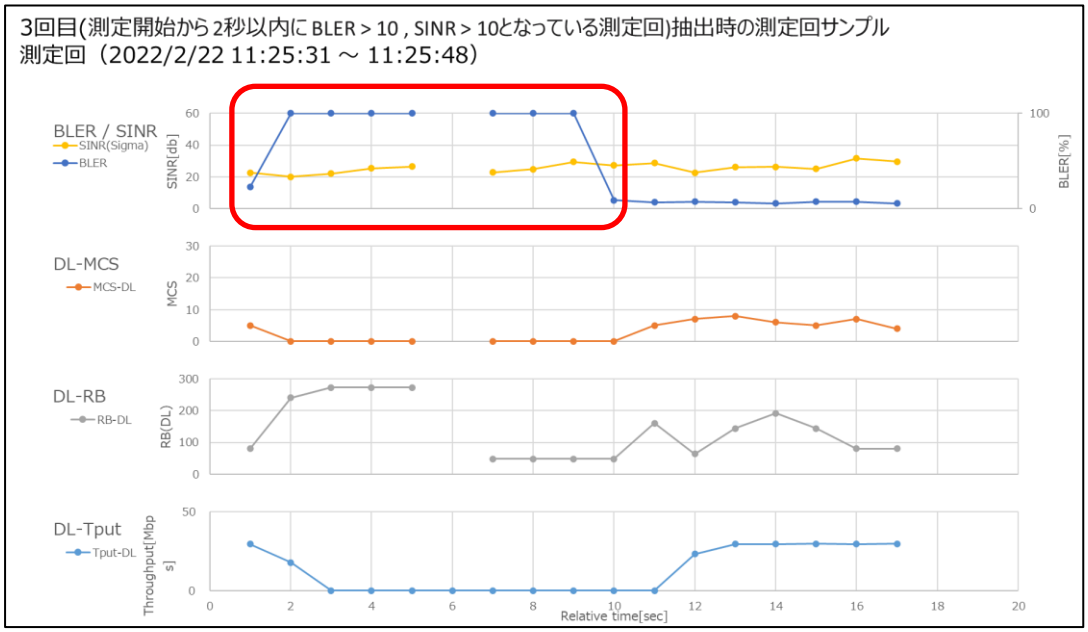


図 3.3.4.5-4　3 回目抽出データイメージ

前述の 36 ポイントの調査中に、測定中に BLER 値が 10 付近を維持しているデータを発見いたしました。この状態に着目しまして、類似事象が発生している測定回をピックアップしました。結果、合計 3 測定回を抽出することが出来ました。

この抽出した 3 測定に関しては、以下の 3 点が共通している部分となります。

- 測定開始付近から BLER 値が 10 近傍（±20%）となっている
- SINR は 10 より大きいものとなっている
- BLER が 10 近傍の状態を 60 秒間維持しているかつ、MCS 値も変動している

3 測定回データの内 1 測定回については SINR のバラツキが見られたため、無線環境の不安定さが BLER に反映されているものと判定し、残る 2 測定回が仮説に当てはまる事象が起こっているのではないかと想定しました。

それぞれの測定回のデータを以下に示します。また、比較対象として同測定環境での正常値相当にあたるデータに関しても示すこととします。

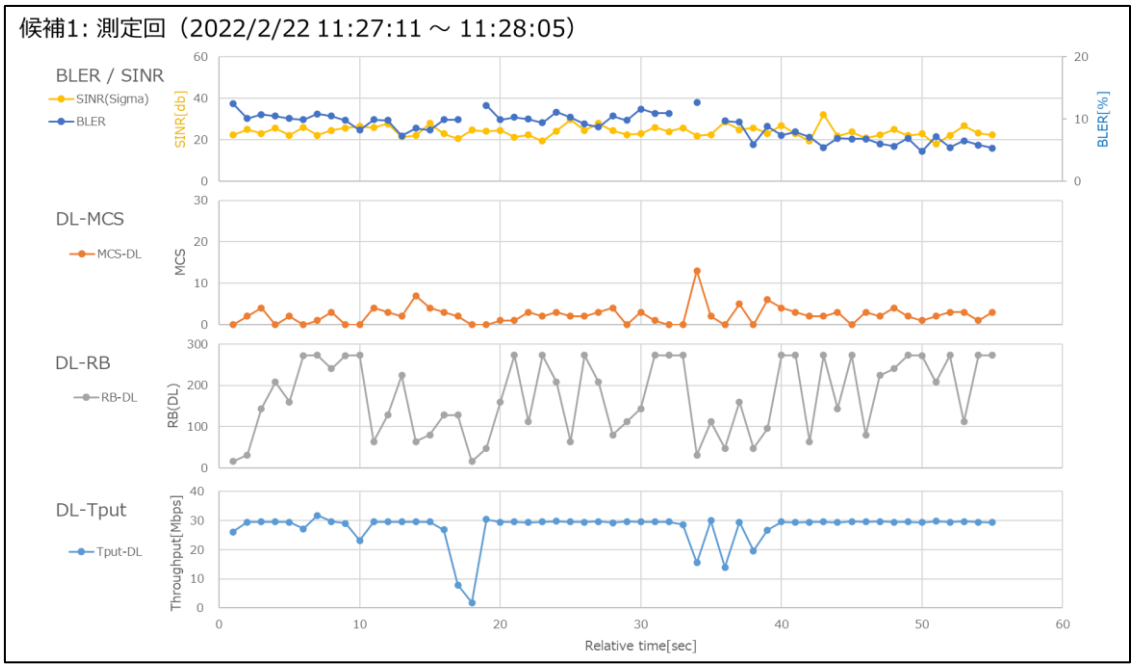


図 3.3.4.5-5　仮説候補データ①

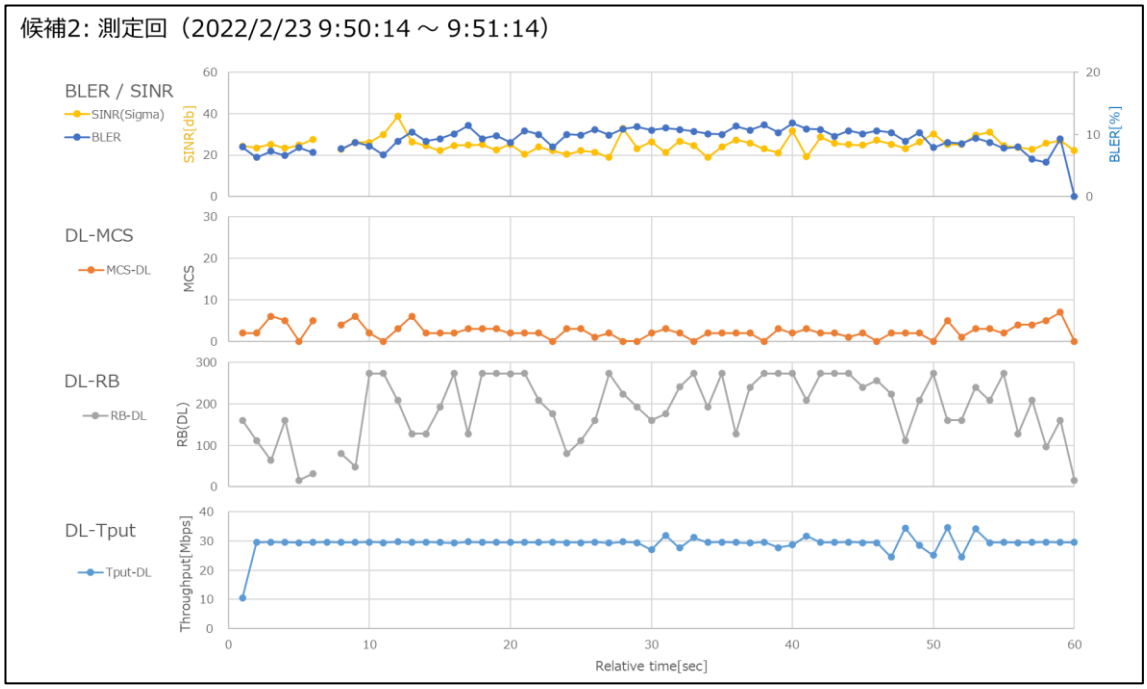


図 3.3.4.5-6　仮説候補データ②

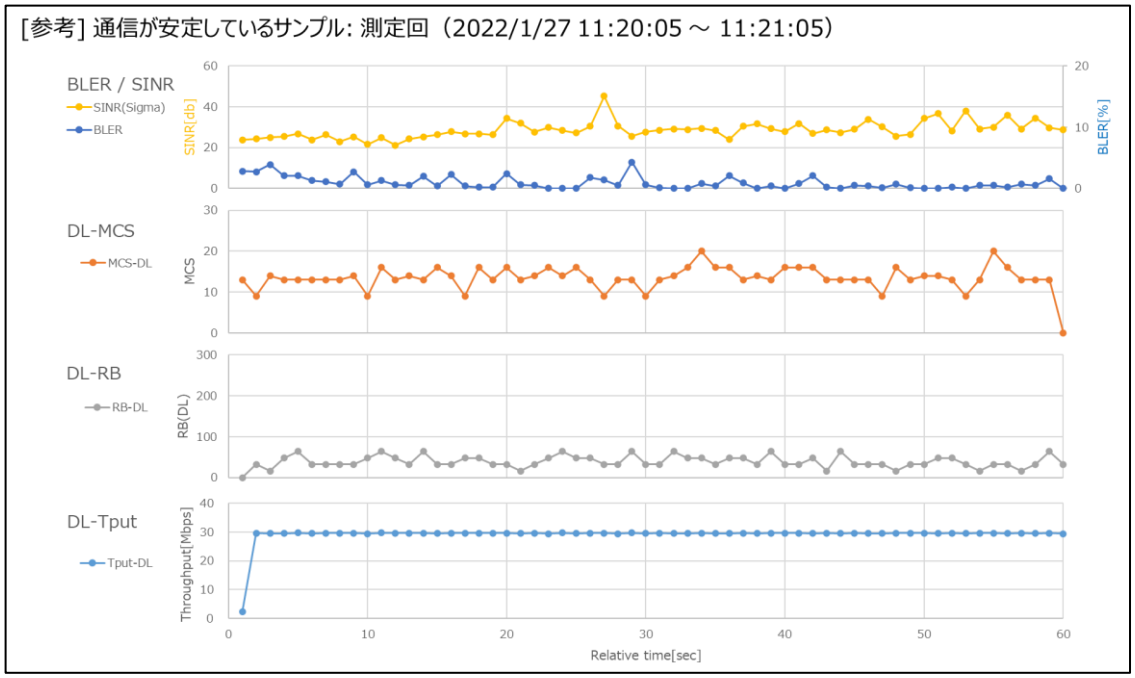


図 3.3.4.5-7　実証環境基礎データ

仮説対象データに着目してみますと、MCS のコントロールはおこなおうとしている挙動（値が上下を繰り返している）が見られます。ですが、BLER の値は MCS 値に関係せず常に 10 付近を停滞している状況でした。

以上のことから、この 2 測定回に関しては仮説通り

- 同期局と準同期 TDD1 局との間で同一サブキャリアが割当てられた為、衝突が起きた
- 衝突が起きたため、正常値に比べ BLER の値上昇するものの、スループットは低下しない

このケースに当てはまるものと考えました。

衝突が起こった割合を求めますと、測定回数合計 516 回中、2 回が該当するので、2÷516＝0.0039（0.39%）と、シミュレーション値に近い結果が得られました。

実測とシミュレーションの結果としましては、港湾において同期局と準同期 TDD 局を隣接（10m の距離で）運用するのは可能である。但し、フレームの衝突は発生しており、その確率は 0.38%程度である。一方で、スループットへの影響はなく利用しているアプリケーションとしては検知ができないほどの影響であると考えることが出来ました。

次に DL と UL に関するモデル化の違いについて机上検討を実施しました。検討の結果としましては、NR として複信方式（Duplex Mode）をフレーム構成で区別しないことからフレーム構成に伴う条件の違いは無いと考えられました。但し、サブキャリアのアサインメントに関しては、常に上流となる基地局側で当該サブキャリアが連続して使用する 12 個を除いた残りのサブキャリアからランダムにアサインされると考えられます。

上述の条件をモデリングに適用させたモンテカルロシミュレーション結果を以下に示します。

表 3.3.4.5-1　モンテカルロシミュレーション結果（TDD1:UL）

試行回数	サブキャリア衝突回数	サブキャリア衝突確率
1000	4	0.400000%
10000	32	0.320000%
100000	387	0.387000%

本シミュレーション結果から、UL に関するサブキャリアの衝突確率に関しましても、DL の結果に近しいものとなると推察しております。

また、準同期 TDD2、TDD3 に関しましても検討を実施しております。前述しておりますNR として複信方式をフレーム構成で区別しない事に関しましては、3GPP TS38-101-1 V.15.3.0 “NR: User Equipment (UE) radio transmission and reception”, Sep 18 2018 に記載されております。また、当該記載の中には準同期方式が上り下りの UL スロット比率を柔軟に変える事が出来る前提にもなっております。

以上の事から、準同期 TDD2、準同期 TDD3 に関しましても、同期局と準同期 TDD1 局のシミュレーションモデリングを適用可能と考えました。同様にサブキャリアの衝突確率につきましても、前述の結果と同様のものになると推察しております。

今回の計測環境では、同期局：端末 1 台接続　準同期局：端末 1 台接続　として計測をおこなっておりました。港湾内で利用を想定した場合は複数端末の利用が想定されます。同期局と準同期局が隣接しており、複数端末運用の場合、各端末からは同タイミングでの通信要求は発生すると考えられ、同一サブキャリアの割り当てが起こる頻度も台数に応じて増加するものと考えております。

3.3.5　その他のテーマ

本テーマには取り組まない

3.3.5.1　実証の目的・目標

（1）背景となる技術的課題と実証目的

（2）実証目標

3.3.5.2　実証仮説

3.3.5.3　評価・検証項目

3.3.5.4　評価・検証方法

3.3.5.5　実証結果及び考察

3.3.6　技術実証における追加提案

技術実証における追加提案には取り組まない

3.3.6.1　協力内容

3.3.6.2　評価・検証項目

3.3.6.3　評価・検証方法

3.3.6.4　実証結果及び考察

4.　ローカル 5G 活用モデルの創出・実装に関する調査検討（課題実証）

4.1　実証概要

我が国では、大型コンテナ船の寄港の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しており、大きな問題となっています。

国際コンテナ戦略港湾として指定されている、日本の重要な物流拠点である、大阪港でも同様の事象がおこっています。

本問題の解決に向けては、国土交通省により「AI ターミナル」の構想が提示され、2019 年には「実現に向けた目標と工程」が発表され、実現に向けた取組みが始まっています。

図 4.1-1　国土交通省による「AI ターミナル構想」

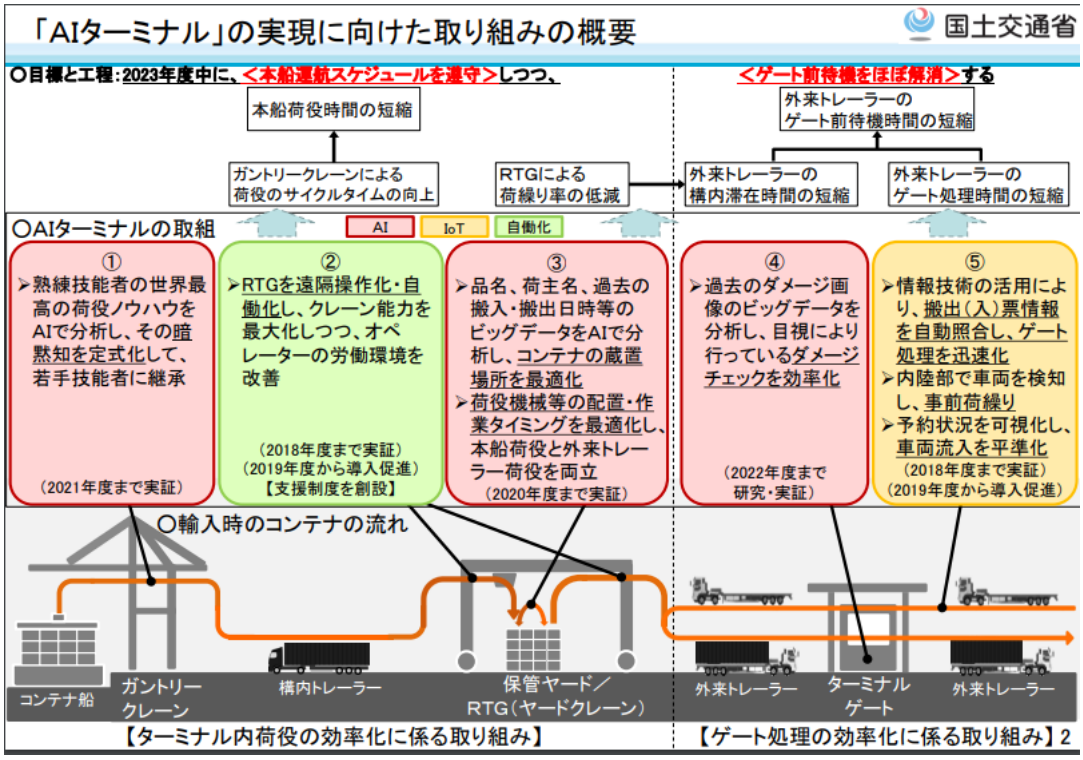


図 4.1-2. 国土交通省による「AI ターミナル構想」
（参考 URL：https://www.mlit.go.jp/report/press/port02_hh_000142.html）

国土交通省「AI ターミナル」の実現に向けた取り組みの中では、以下の５つの取り組みが挙げられています。（引用参考 URL：https://www.mlit.go.jp/common/001282683.pdf）

① 暗黙知の定式化

- 熟練技能者の世界最高の荷役ノウハウを AI により分析し、その暗黙知を定式化して、若手技能者に継承

② RTG の遠隔操作化・自動化

- RTG を遠隔操作化・自動化し、クレーン能力を最大化しつつ、オペレーターの労働環境を改善

③ コンテナ蔵置場所の最適化

- 品名、荷主名、過去の搬入・搬出日時等を AI で分析し、コンテナの蔵置場所を最適化
- 荷役機械等の配置・作業タイミングを最適化し、本船荷役と外来トレーラー荷役を両立

④ ダメージチェックの効率化

- 過去のダメージ画像を分析し、目視により行っているダメージチェックを効率化

⑤ ゲート処理の迅速化

- 情報技術の活用により、搬出票情報を自動照合し、ゲート処理を迅速化
- 内陸部で車両を検知し、事前荷繰り
- 予約状況を可視化し、車両流入を平準化

港湾業務における課題は、荷役量が増加したことにより業務量が増加しているのに対し、少子高齢化による働き手の不足といった、我が国が抱える社会課題に集約されます。

とりわけ、働き手不足に関しては、「2020 年度 港湾労働者不足に関する実態調査」に示される通り、深刻な課題となっており、労働環境の改善や危険作業の改善は急務となっています。

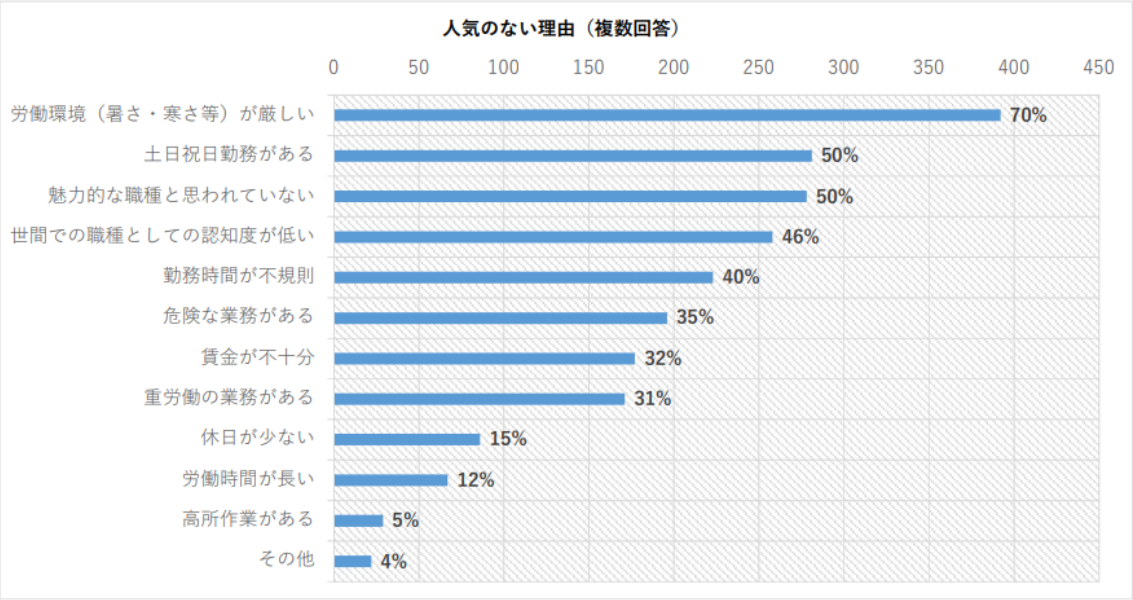


図 4.1-3　2020 年度 港湾労働者不足に関する実態調査
（参考 URL：https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001405656.pdf）

このような社会課題・業界課題と、「AI ターミナル」実現に向けた構想から、実業務の課題に落とし込むと、ターミナル内で取り組むべき内容と、ターミナル外で取り組むべき内容に分けることができます。

ターミナル内における取組課題は、荷役作業時間全体の短縮が求められており、①既存業務のデジタル化や将来的な AI による効率化といった業務内容の刷新に向けた取り組み、②RTG 遠隔操作のような将来の働き手不足に向けた取り組み、③コンテナ荷役の最適化によるコンテナヤード内滞留時間の削減に向けた取り組みなどがあります。

ターミナル外における取組課題は、ゲート前待機時間の短縮が求められており、④ゲート入港時のダメージチェック効率化に関する取り組み、⑤周辺道路を含めた混雑緩和に向けた取り組みがあります。

また、港湾エリアには、ネットワークを敷設する際の課題と、無線ネットワークにおける電波干渉という技術的な課題があります。

【ネットワーク敷設】

港湾エリアは敷地が非常に広大です。本実証予定地においても、縦 1,350m×横 500m という広大なエリアであり、有線によるネットワーク敷設には、大規模な投資が必要となります。また、有線で敷設した場合、その後コンテナヤード内の改修などを実施する際には、配管などの関係から、新しいネットワークの敷設前に、既存の有線ネットワークを撤去する必要があります。これは、全ネットワークを止めることを意味しているため、港湾業務の運用性（24 時間/365 日）を考えると有線ネットワークでの設備更改には大きな課題が残ります。

【電波干渉】

港湾エリアにおいては、非常に多くの外来トレーラーや、海外からの輸送船が日々入港します。その際、各トレーラーや外国船から発せられる Wi-Fi 等の電波の影響を受けるため、アンライセンスバンドの無線ネットワークでは干渉が多く安定性に欠けるという課題があります。

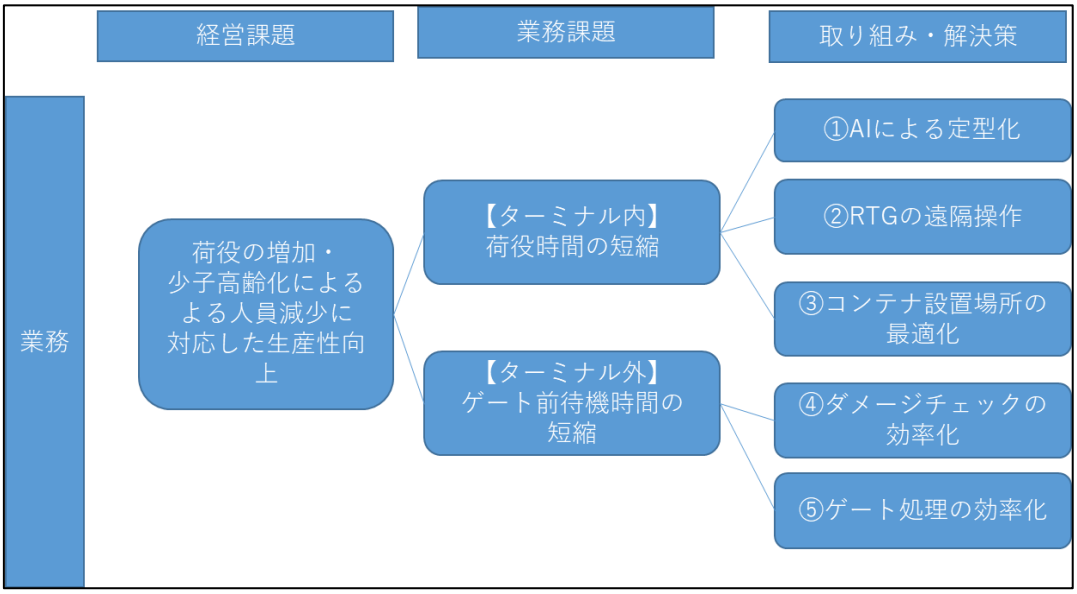


図 4.1-4 港湾業務におけるイシューツリー

そこで、本実証では、上記までの様々な課題に対して、ローカル 5G を活用した解決策を実証し、ローカル 5G の持つ高速大容量、高セキュリティ、広範囲電波伝搬といった特徴の有効性を示すことを目的とした検証をおこないます。

課題実証においては、国土交通省の「AI ターミナル」構想とローカル 5G の特性を踏まえ、大きく 3 つのテーマに対して実証を行い、港湾業務全体の生産性向上、品質向上を実現させる事を目的とします。

具体的なローカル 5G を活用した実証内容は、以下 3 点です。

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
Ⅱ. RTG 等遠隔操作を見据えたローカル 5G の有効性に関する実証
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

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

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

【課題】

コンテナターミナルゲートにおいて、安全なコンテナ輸送の実現を目的に、トレーラーに搭載されているコンテナに対して、ゲート通過時にダメージチェックを全台実施しています。その数は、1 日で約 1,000 台となっており、1 か所のコンテナターミナルゲートに、5 つのゲートが配置されており、各ゲート 2 名体制で、トレーラー1 台辺り約 2 分でダメージチェックを実施しています。コンテナターミナルゲートは港湾の入り口であり、ここでの処理能力が、コンテナターミナル全体におけるボトルネックとなっており、この処理を効率化することで、港湾業務全体の処理能力を向上させることができるため、改善効果が非常に大きい業務といえます。

現状のダメージチェック作業は、目視によりチェックしていますが、各ゲートの作業員では判断できないケースが、1 日に約 6 件発生しており、その都度、判断が可能な有スキル者が、管理棟から各ゲートに約 3 分かけて移動し、有スキル者によるチェックを実施しています。この作業が発生すると、1 回辺りで約 6 分の遅延（移動 3 分＋再チェック 3 分）が発生し、コンテナターミナルゲートの処理能力が低下されており、周辺道路の混雑にも影響を与えています。

また、現状では、目視によるチェックのみであることから、作業内容のデータ化・見える化がなされていません。そのため、作業内容の分析や、有スキル者のチェック方法の技能伝承などに課題があります。さらには、将来的なダメージチェックの AI による効率化に向けた基礎（学習）データの蓄積もできていない状況のため、ダメージチェック作業のデータ化・見える化は解決すべき課題と言えます。

【解決方針】

国土交通省の「AI ターミナル」の構想では、本ダメージチェックの作業を、AI により完全自動化することを目標にしています。ただ、多種多様なコンテナの周囲 6 面に加え、コンテナ内部まで、完全自動化で実現するのは、AI による画像処理技術の発展を考えても、技術面や投資規模などの面で、現時点では大きな課題を抱えていると考えています。

そのため、ダメージチェック作業に対して、現状でも即時に実現可能であり、かつ効

果が出ると想定される、スマートグラス（ウェアラブル端末）を用いた、有スキル者による遠隔でのダメージチェックを、ローカル 5G 環境下で実現し、作業時間の短縮はもちろん、将来的な AI によるチェック効率化を見据えた作業データ（映像データ）の蓄積に取り組みます。

【具体的実証内容と効果】

有スキル者の詳細なダメージチェック作業を、遠隔化することで、有スキル者の移動時間を削減し、1 回当たり約 2 分の削減効果を得ることができると試算しています。これら効率化効果により、港湾業務全体の処理能力向上と、ゲート待機列の緩和による周辺道路の混雑緩和も実現可能と考えています。

また、スマートグラス（ウェアラブル端末）を、ゲート監視作業員が装着し、コンテナダメージチェック作業をデータ化し蓄積します。このデータを分析することで、将来的に技能伝承に向けた動画マニュアル化や、作業内容の分析、改善策検討を可能とし、ダメージチェック作業の品質向上、作業効率化効果を得ることができると考えています。

【ローカル 5G の必要性】

本実証の対象となるコンテナターミナルゲートは、5 つのゲートを保有しており、約 50m×30mの大きさがあります。コンテナチェックでは、コンテナ側面や内部を全て確認する必要があり、確認箇所ごとに移動を伴う作業であることから、有線ではなく無線利用が可能なウェアラブル端末であるスマートグラスを活用する必要があります。無線ネットワークに求められる要件は、この 5 つゲートにおいて最大 5 台のスマートグラス映像をアップロード可能であることに加え、コンテナ情報を保護できるセキュリティ性能が求められます。

これらの要件に対し、ローカル 5G は、大容量通信、広範囲電波伝搬、高セキュリティ性という特徴を持ち、他の無線ネットワークより最適なネットワークであると考えています。

【実装シナリオ・目標】

2021 年度は、本実証を通じて、コンテナターミナルゲートにおけるダメージチェック作業について、遠隔化、デジタル化の有効性を示します。

2022 年度は、本実証結果をもとに、本実証を実施する大阪港における他のコンテナターミナルゲートへの展開と、他地域の港湾事業者への展開に向けた提案を、本コンソーシアムメンバーである NTT 西日本と三菱ロジスネクスト社により実施します。

2023 年度は、「AI ターミナル」の実現目標年度となっていることから、「AI ターミナル」の実現、導入状況を踏まえ、ローカル 5G システムと、遠隔での作業支援との統合ソリューションを NTT 西日本が主導となり展開します。

【その他】

遠隔作業支援のソリューションについては、NTT 西日本と株式会社ひびき精機（山口県下関市）にて、ローカル 5G（ミリ波 NSA）環境での実証を実施し、1 回辺りの作業を最大約 30%削減した実績があり、NTT 西日本グループの NTT スマートコネクト社より遠隔

作業支援サービスとして提供を開始しています。

図 4.2-1　(参考)ひびき精機での実証概要

Ⅱ．　RTG 等遠隔操作を見据えたローカル 5G の有効性に関する実証

【課題】

現状の RTG 操作は、高所にある運転室にて直接操作しています。RTG の操作は、熟練の技術が必要であり、高所かつ RTG 自体の振動などもあることから、作業環境の改善が、後継者確保の観点からも重要な課題となっています。

RTG の操作については、大きな方針として、「AI ターミナル」の構想の中でもあげられている、遠隔操作の実現があります。管理棟などのオフィス環境に設置された作業場から、RTG に取り付けられた複数台のカメラ映像を使い、対象のコンテナや周辺の状況を確認しながら遠隔操作を実施する仕組みとなっています。

国土交通省により「遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規程」(2019 年)が定められており、実装システムには、約 30 種のカメラやセンサーを取り付けることが規定されています。これまでの実証等で導入された RTG の遠隔操作システム（5GHz 無線ネットワーク活用等）においては、複数台のカメラ映像を同時に無線ネットワークで伝送することが難しく、RTG 側で複数台のカメラ映像を 1 画像に合成し伝送していたため、画像合成処理による遅延が発生していました。この遅延は、操作ができない程大きなものではありませんでしたが、コンテナの扱いには細心の注意が必要であることを考えると、現行システムより、さらに低遅延かつ安定した遠隔操作システムを実現することが求められています。

遠隔操作における遅延は、0 に等しければ等しいほど、安全性が高まると考えられます。この観点では、更なる遅延改善に取り組む必要性があり、ローカル 5G で特に高精細映像伝送の遅延を小さくできれば、操作性が向上することに対して検証を実施します。

【解決方針】

「遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規程」において、遠隔操作を実現するために利用するネットワークについては電波干渉の発生しにくい、高速データ通信で長距離通信が可能であることとの記載はありますが、周波数帯や推奨システム等は示されておりません。よって、ローカル 5G の活用により、現状のシステムに比べて、映像伝送の遅延改善、伝送する映像の高精細化、同一無線局による複数台の RTG 遠隔操作を実現でき、より安全に、より効率的に RTG の遠隔操作が可能となると想定しています。そのため、本実証では、ローカル 5G による RTG の遠隔操作システム実現の有効性について実証します。

【具体的実証内容と効果】

本実証では、RTG の遠隔操作において、ローカル 5G の有効性を示すことを目的とし、実際のフィールドにて、RTG の遠隔操作時における制御信号の伝送検証と、4K 高精細映像伝送の実現性検証を行います。

RTG の遠隔操作時における制御信号の伝送検証では、既存の遠隔操作システム非搭載の PLC と遠隔操作場所を想定した管理棟との間で、遠隔操作システムにおいて送受信される制御信号を疑似的に生成、送受信し、ローカル 5G において問題なく送受信できることを確認します。

映像伝送の低遅延化の実現検証では、RTG に 2 台の 4K カメラを設置し、実際に高トラフィックを伝送し、RTG 遠隔操作システム実装時におけるカメラ台数や各カメラに求められる画質なども考慮した上で、基地局構成などを踏まえた考察を行い、システム全体での映像伝送システムの検証、検討、提案を実施します。

制御信号の伝送検証、映像伝送の低遅延化の実現検証の結果と、実際に RTG の遠隔操作が実証されている他の無線ネットワーク（5GHZ 帯無線アクセスシステム）での実証結果を比較検討し、ローカル 5G の優位性を示すことをめざします。

また、本実証にてローカル 5G が RTG の遠隔操作に有効であることが示されれば、同じく港湾業務で利用されているガントリークレーン（岸壁に設置された船と陸間でコンテナを輸送するクレーン）への応用可能性も示すことができると考えています。ガントリークレーンは、RTG に比べ、より高所でコンテナを輸送するために、運転室も RTG より高所（地上から約 50m）に設置されています。そのため、作業環境の改善が重要な課題となっており、各種カメラによる遠隔支援が可能となれば、その効果は非常に大きいと考えています。

本実証にて、ローカル 5G の有効性が示されることで、今後順次導入が進むとされている遠隔操作 RTG システムに対して、ローカル 5G の導入を強く推進することができると考えており、さらには、将来的にガントリークレーンを含む、港湾業務で使われるあらゆるクレーンの遠隔制御の可能性を示すことができるため、本実証の意義や実証効果は大きく、将来の働き手不足への取り組みとも連動すると考えています。

【ローカル 5G の必要性】

映像伝送における広帯域性と、コンテナヤード全域にわたる RTG の移動範囲（最大 1,000m）をカバーできる電波伝搬性、遠隔操作に対する電波の安定性、高セキュリティ性を考えた際に、他の無線ネットワークと比較し、優れた性能を有するローカル 5G を用いて、本実証を行うことは、有力なユースケースの創出として、非常に有効であると考えて

います。

特にRTG遠隔操作においては、同時に複数台のカメラ映像をアップロードするため、帯域の確保が必要であり、大容量のネットワークを構築できるローカル5Gが必要となります。

一方、有線では広大かつ地下配線になるため、膨大な費用が必要となり現実的ではありません。

【実装シナリオ・目標】

2021 年度は本実証を通じて、RTG の遠隔操作において、ローカル 5G が有効であることを示します。

2022年度は、本実証を実施する大阪港にて導入を検討されているRTGの遠隔操作システムに、本実証で設置したローカル 5G の活用を検討、推進し、導入後には実運用に足ることを示します。また合わせて、他のRTG遠隔操作システム導入予定港湾に対して、ローカル5Gの利用を提案します。

2023 年度は、様々な港湾での活用を実現するとともに、実運用で得られたノウハウや、新たな課題に対して、新しい機能やソリューションを開発し、展開を図ります。

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

【課題】

大型コンテナ船の寄港の増加により、コンテナ積荷個数が増加し、荷役時間が長期化したことで、コンテナターミナルゲート前の混雑が深刻化しています。海上コンテナのドライバーは長時間待機しなければならない過酷な状況で、ドライバー離れ、ドライバー不足という業界への影響と周辺道路の混雑という社会課題も生み出しています。

さらに、本実証地のコンテナターミナルがある夢洲は大阪・関西万博の会場予定地であり、IR（Integrated Resort：統合リゾート）の誘致を図っている場所でもあります。そのため、現在の港湾業務に起因する混雑だけでなく、大阪・関西万博に関わる建設工事や、会期中における車両混雑が予測され、港湾業務に対する影響が懸念されており、コンテナターミナルを利用する運輸事業者からも懸念の声があがっている状況です。そうした懸念の解消に向けて、港湾業務の効率化によるコンテナターミナルゲートの待機時間短縮の実現、外来トレーラー流量の平準化が求められています。

現状の大阪港は Colins（Container Logistics Information Service：コンテナ物流情報サービス）によって、コンテナターミナルゲート前のトレーラー混雑状況のライブ配信は実施されていますが、ゲート通過までの所要時間、混雑の未来予測は提供されておらず、行動変容を促すまでに至っていない状況です。また、外来トレーラー情報は各ゲートに到着してから、情報を取得するため、搭載予定コンテナを巻き上げ可能な場所に移動させる荷繰りのやり直しが多数発生しており、推定で200分程度（1日あたり1000台の車両への積荷を行うのに対し、約5%の積み直しが発生し、1件あたりの積み直しに4分かかると想定）の作業が発生していると考えられます。

【解決方針】

混雑状況の見える化について、専用GPSを外来トレーラーに設置して混雑状況を見える化し、外来トレーラーのドライバーの行動変容を促し、外来トレーラーの平準化をめざすことが予定が示されている港湾があります。ただ、専用GPS配備の障壁として、導入費用、導入までの期間があげられます。本実証では、大容量通信、広範囲電波伝搬が可能なローカル 5G を活用しコンテナターミナルの周辺道路状況を高精度映像で取得し判別することで、混雑状況の見える化での行動変容による待機車両の平準化、将来的なコンテナターミナルオペレーションシステムとの連携でのヤード内作業効率化によるゲート前待ち時間の短縮で、トレーラードライバーの労働環境改善、周辺道路の混雑状況改善が可能かを確認します。

【具体的実証内容と効果】

周辺道路に往来する外来トレーラーを 2 台の 4K カメラにて常時撮影し、車両情報（ナンバー）を自動で取得することで混雑状況の見える化、混雑予測モデルの実現可否を確認し、外来トレーラーの流入量の平準化を実現可能な行動変容につなげることを目的とします。また、将来的には、待機時間のピーク 30%以上削減することを目標とし、本年度の実証以降も取り組むこととしています。

荷繰り作業については、取得した車両情報から、事前荷繰りを実施し、荷繰り作業を効率化することで、ゲート前待機時間の短縮にもつながると考えており、本実証では、今後導入予定の CONPAS（Container Fast Pass：新港湾情報システム）との連動可能性について、車両情報の読み取りに関する実証結果から、検討・考察します。これにより、将来的には、荷繰りによるヤード内積荷待機時間を 0 分となることを目標とし、本年度の実証以降も取り組むこととしています。

【ローカル 5G の必要性】

コンテナヤードに来る外来トレーラーの車両ナンバーを確実に識別するためには高精細なカメラで取得した映像が必要となります。ネットワーク配線が困難な道路等から、高精細な映像を識別システムへリアルタイム伝送するには無線による広範囲電波伝搬、大容量でのアップロードが必要となるため、ローカル 5G が最適な無線ネットワークであると考えています。

コンテナエリアの有線敷設には道路の掘削が必要となり、多大な費用がかかる要因となります。(架空敷設は不可) また、道路側においては電柱間、電灯間に新規配線が必要となり、現実的な方法ではないと想定されます。

また、本実証内での構築設計では、実証環境をより簡易に構築することを意識した上で、カメラの設置位置を割り出し、コンテナヤード内に設置する基地局からカバーできるように設計することで、他の課題実証も含め、効率的に実証を進めることが可能となっております。このような柔軟な設計ができることが無線の強みであり、更には、ローカル 5G の大容量である特性がうまく合致した、ローカル 5G でしか実現できない設計だと考えています。

【実装シナリオ・目標】

2021 年度は、本実証にて混雑状況の見える化と行動変容の検証と、事前に把握した車両情報の CONPAS 等港湾システムへの連携について考察し、実現性を示します。

2022 年度は、CONPAS と連携したコンテナターミナルシステムで事前に取得した車両情報を利用した荷繰りシステムの実現可能性を探ります。

2023 年度は、他港湾に向けて、混雑状況の見える化及び事前荷繰りシステムの仕組みを提案、導入を推進します。

4.3 実証環境

本提案の実証環境における基地局設置数は 3 局で、夢洲コンテナターミナル埠頭用地のほぼ中心部に位置する管理棟屋上（地上約 20m）にローカル 5G 基地局を 2 局、隣接するターミナルゲート内屋根部（地上約 5m）に 1 局を設置しました。

管理棟屋上の 2 基地局は、一方をコンテナヤーで内を走行する RTG に設置する CPE（地上約 21m）向け、もう一方をコンテナヤード及び技術実証（電波伝搬モデルの精緻化）で使用する舞洲向けとし、電波有効活用する形で周辺道路の電柱に設置する CPE（地上約 6m）に対し、ローカル 5G による通信を実施しました。

ターミナルゲート内に設置した基地局は、幅 50m、奥行き 27m のゲート内をエリアカバーし、可搬型の CPE とローカル 5G による通信を実施しました。

ローカル 5G コア装置等のサーバー群は、管理棟内のサーバー室に設置しました。

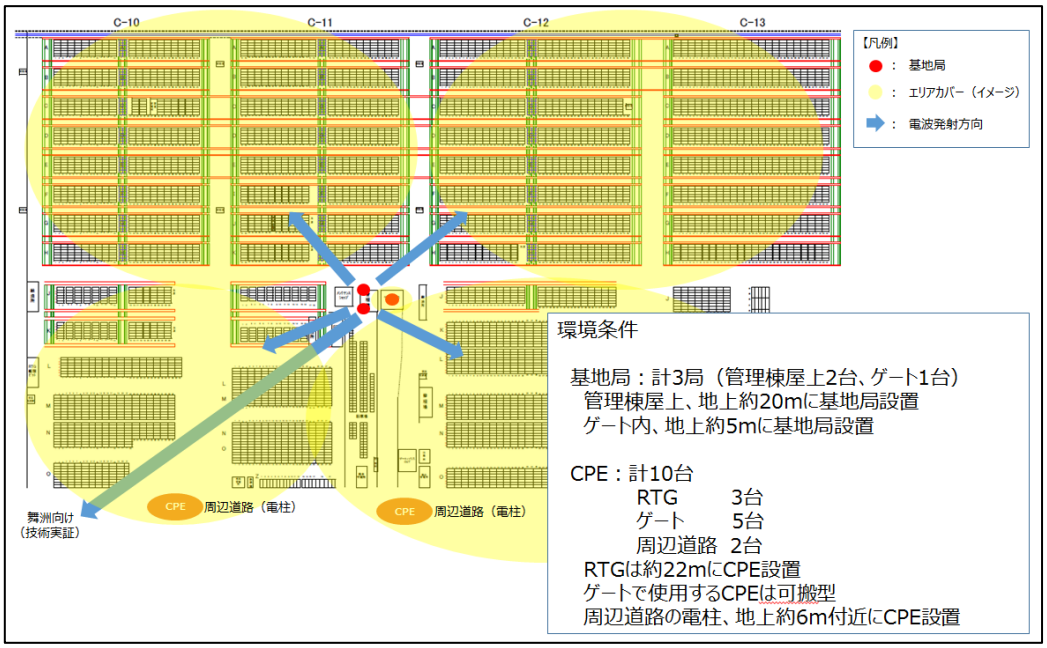


図 4.3-1　実証環境概要

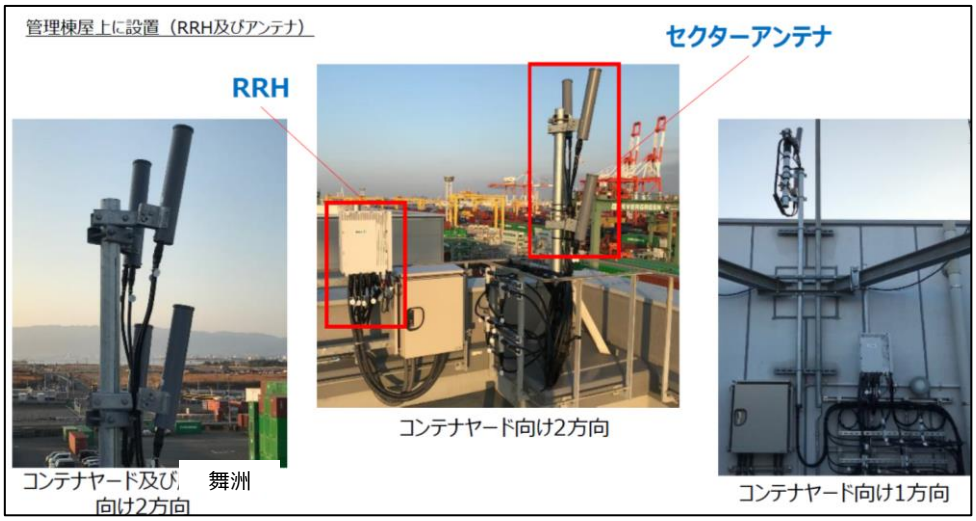


図 4.3-2　管理棟屋上に設置のローカル 5G 基地局

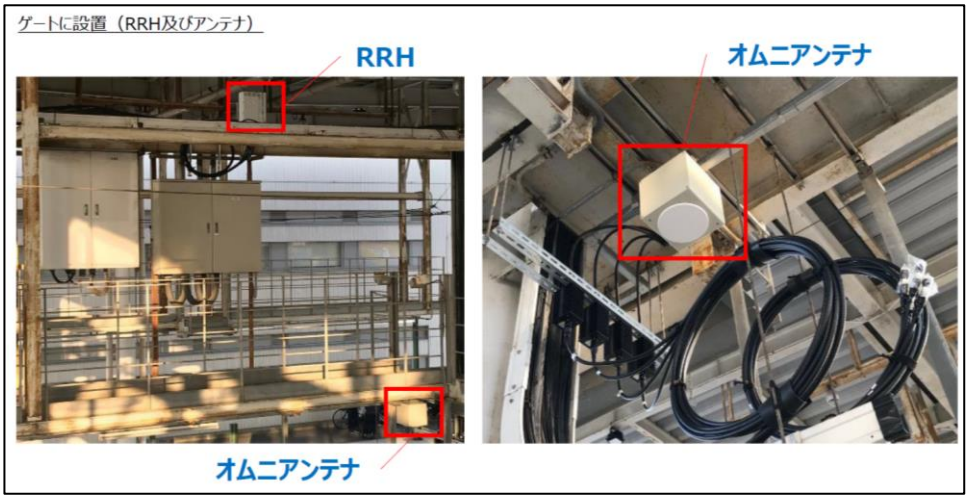


図 4.3-3　ゲートハウスに設置のローカル 5G 基地局

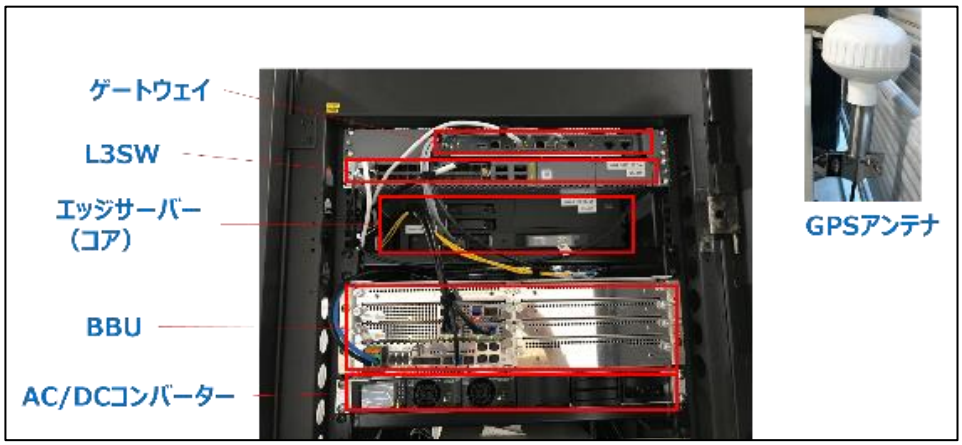


図 4.3-4 管理棟サーバー室に設置のローカル 5G 装置

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

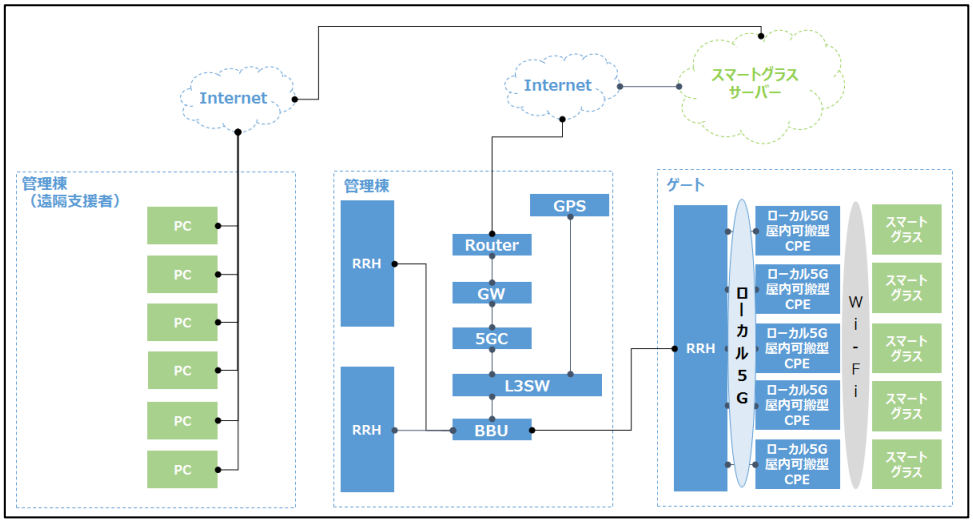


図 4.3-5 コンテナターミナルゲートでのダメージチェックシステム構成概要

図 4.3-6 スマートグラスと CPE

図 4.3-7　コンテナダメージチェックの遠隔支援イメージ

Ⅱ．　RTG 等遠隔操作を見据えたローカル 5G の有効性に関する実証

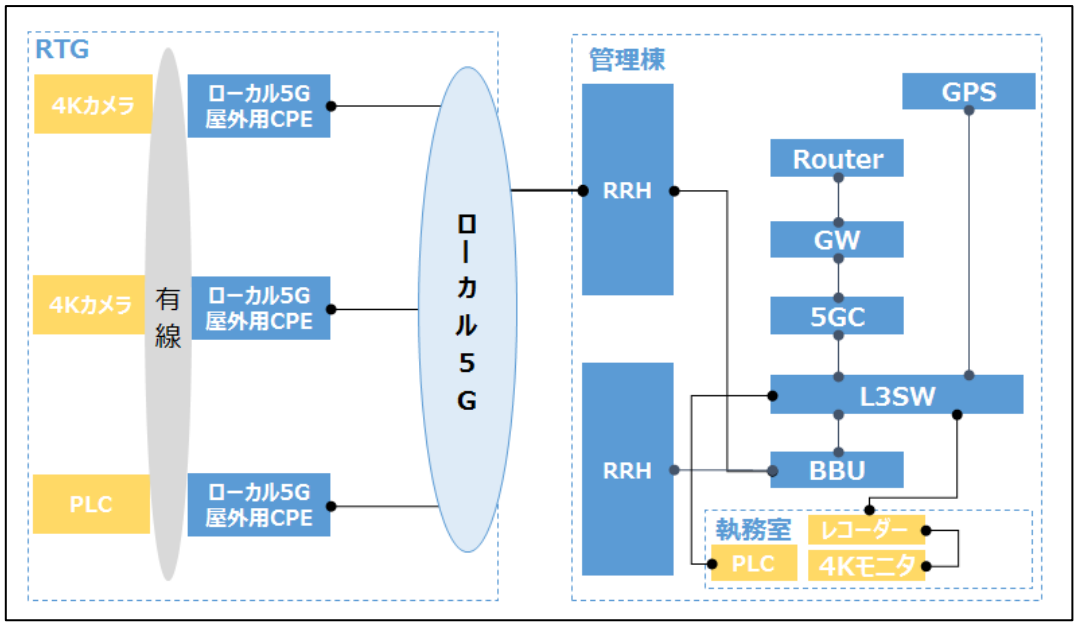


図 4.3-8　RTG 遠隔操作を見据えたローカル 5G 実証システム構成概要

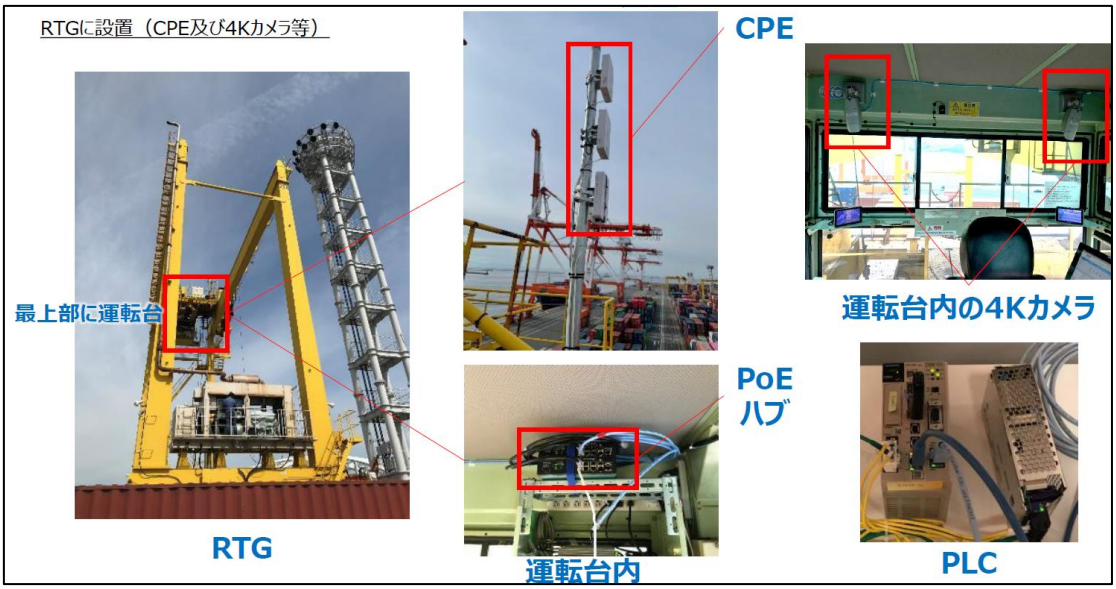


図 4.3-9　RTG に設置の装置類

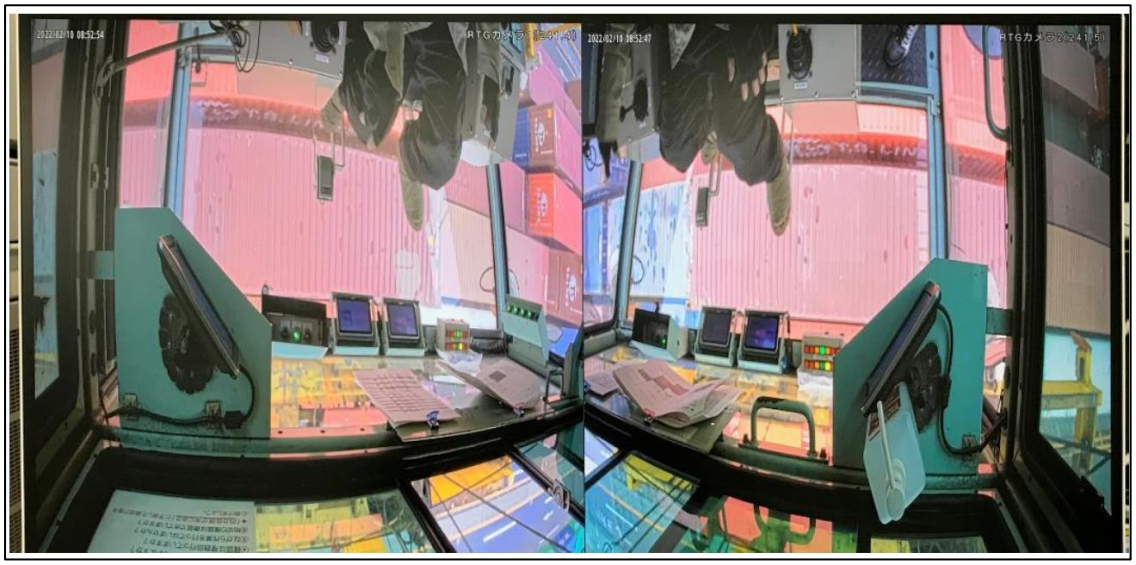


図 4.3-10　RTG 運手台内の 4K カメラモニター映像

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

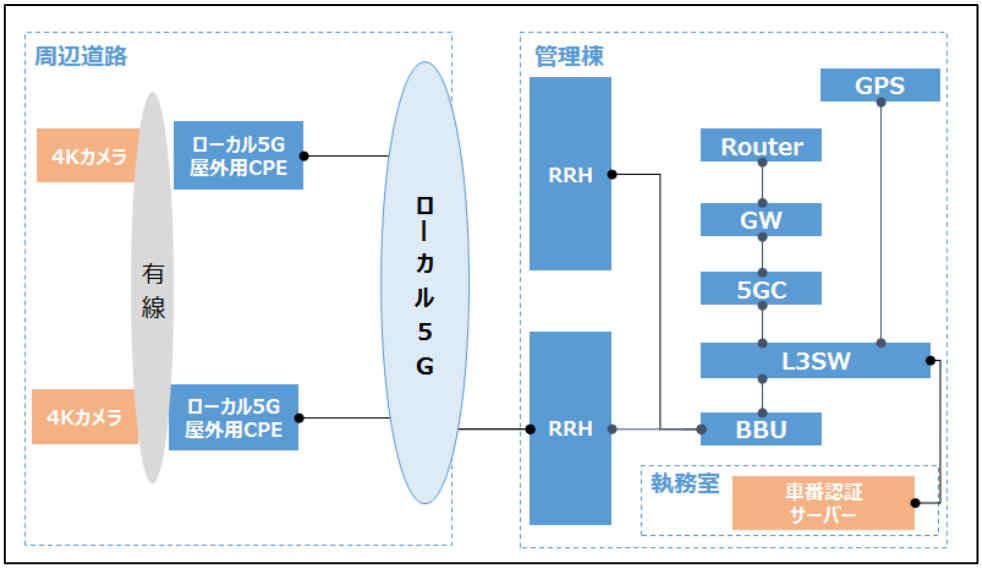


図 4.3-11　混雑状況改善に関する実証システム構成概要

図 4.3-12　周辺道路の電柱

図 4.3-13　混雑監視用の 4K カメラ、CPE 等設置電柱

4.4　実証内容

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

本実証では、大きく 2 つの実証を行い、コンテナターミナルゲートにおける業務の効率化をめざします。

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

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

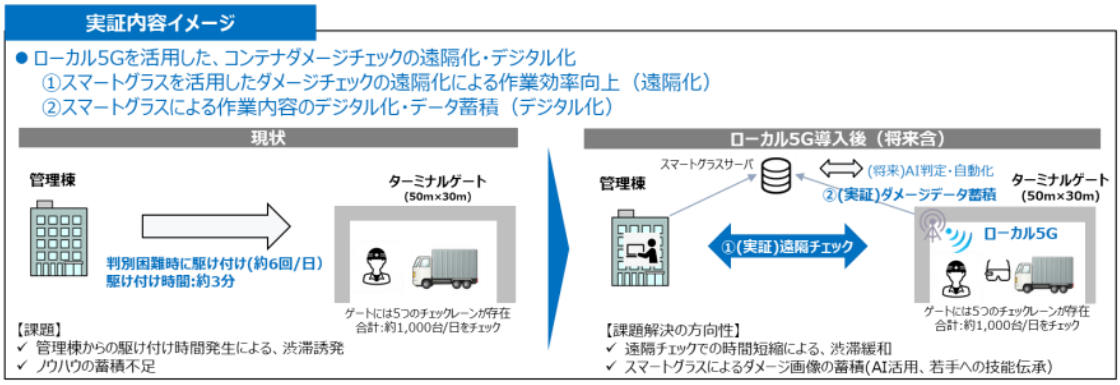


図 4.4-1　コンテナターミナルゲートでのダメージチェック遠隔化

①については、ローカル 5G の大容量通信を活用し、コンテナターミナルゲートにてコンテナダメージチェックを実施する作業員にスマートグラスを装着してもらい、遠隔からの

支援が可能な環境を構築します。これにより、都度有スキル者が、管理棟から該当のトレーラーに移動して支援する必要が無くなり、ダメージチェックの作業効率向上が期待できます。

②については、スマートグラスから取得できる映像を蓄積することで、直近では、作業内容の確認、指導による改善が期待でき、将来的にはコンテナダメージチェックの AI による効率化に向けた基礎（学習）データの蓄積が可能です。

Ⅱ． RTG 等遠隔操作を見据えたローカル 5G の有効性に関する実証

本実証では、以下の実証を行い、RTG の遠隔操作におけるローカル 5G の有効性を示します。

- 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）

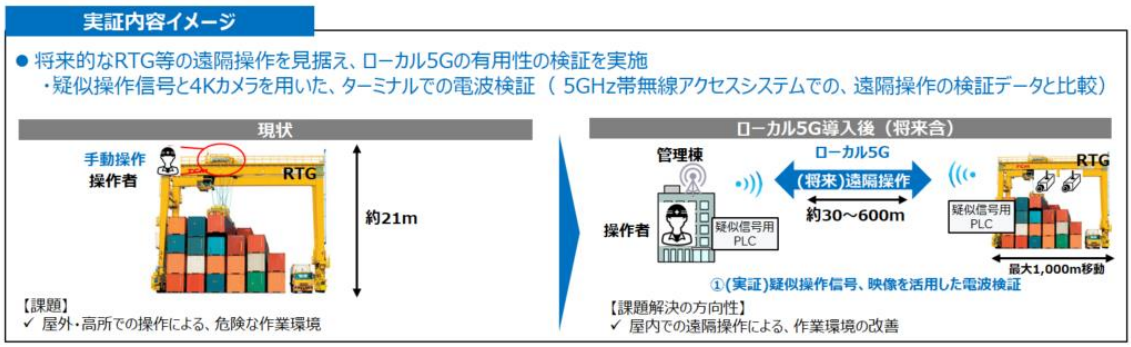


図 4.4-2　RTG における実証内容

具体的には、既存の遠隔操作システム非搭載 RTG に設置した PLC（Programmable Logic Controller、以下 PLC）と RTG を遠隔操作する想定の場所である管理棟に設置した PLC との間で、実際に RTG を遠隔操作する際に使用する操作・制御信号を、ローカル 5G において問題なく送受信できることを確認します。

また、RTG に 2 台の 4K カメラを設置し、実際に高トラフィックを伝送することで、RTG 遠隔操作システム実装時におけるカメラ台数や各カメラに求められる画質なども考慮し、システム全体での映像伝送システムの検証、検討、提案を実施します。

実証結果と、実際に RTG の遠隔操作が実証されている他の無線ネットワーク（5GHz 帯無線アクセスシステム）での実証結果を比較検討し、ローカル 5G の優位性を示すことをめざします。

なお、RTG については、ターミナル全域を移動するため、将来的に遠隔操作がすべての RTG に実装される場合、ターミナル全域でのローカル 5G 環境整備が必要になると考え、さらに、港湾エリアには、コンテナヤード内の遮蔽物（照明塔等）がエリアにより様々であり、その環境下での電波伝搬影響を確認する必要があります。

RTG の操作については、一つの誤りが人命にもかかわってくるため、実際の場所において検証することが必須となります。距離想定で伝送容量、遅延時間を測定するだけでは不十

分の為、エリア全体で実証することが必要となります。

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

本実証では、以下の実証を行い、周辺道路の混雑改善の可能性を示します。

- 待機時間の見える化に向けた、4K カメラによる車両情報映像伝送

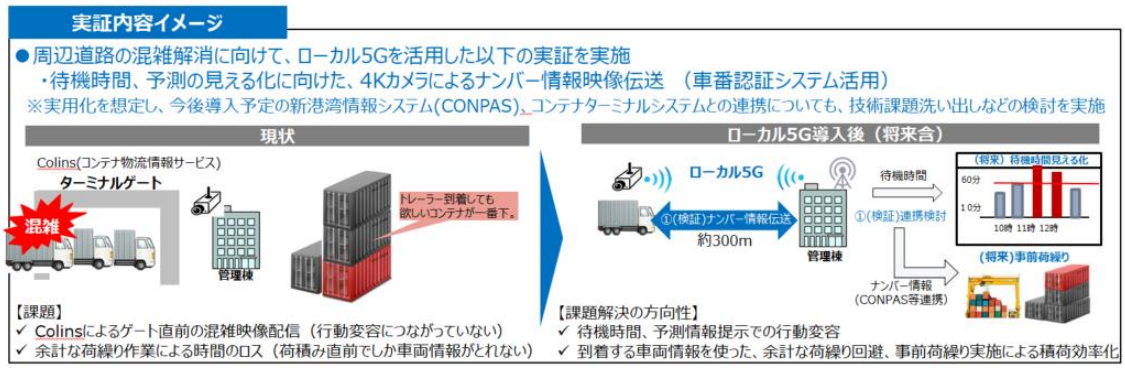


図 4.4-3　周辺道路における実証内容

具体的には、管理棟から直線距離で約 300m 離れた場所（始点）と約 160m 離れたゲート前（終点）へ 4K カメラを設置し、時速 30km～40km 程度で移動するトレーラーのナンバープレート画像を取得、伝送できるかを確認します。また取得したナンバープレート情報を画像解析し、車番を認識させます。

以上を踏まえ、「4.4.1.1：効果検証」、「4.4.1.2：機能検証」、「4.4.1.3：運用検証」の章立で、ローカル 5G を用いたソリューションⅠ～Ⅲ毎に、評価・検証項目、評価・検証方法、実証結果及び考察を記載します。

また、Ⅰ～Ⅲ全体の総合的な評価についても、本項の末尾に記載します。
具体的には、ヤード入構前（Ⅲ．混雑監視）　→　ゲート（Ⅰ．コンテナダメージチェック）　→　ヤード入構後（Ⅱ．RTG 遠隔操作）の一連の業務フローにおける効果についても考察します。

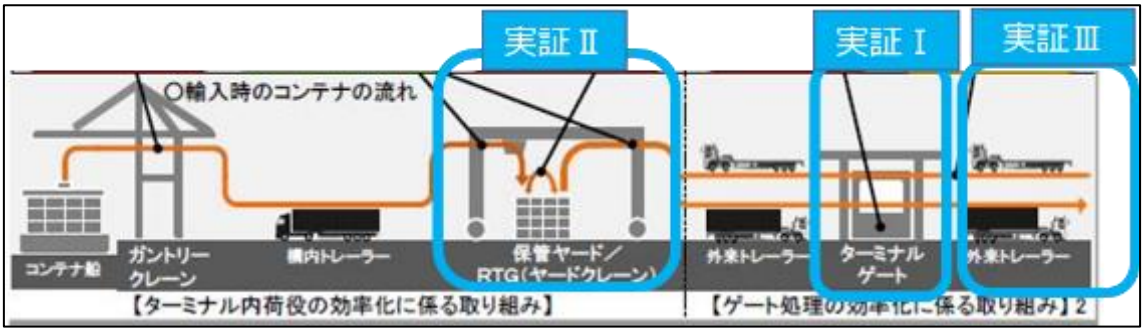


図 4.4-4　今回の実証ソリューションの関係性
引用：国土交通省　AI ターミナルの取り組み
(https://www.mlit.go.jp/common/001282683.pdf)

4.4.1　ローカル 5G を用いたソリューションの有効性等に関する検証

効果検証において、ローカル 5G を用いたソリューションⅠ～Ⅲ毎に、以下の通り「評価・検証項目」、「評価・検証方法」、「実証結果及び考察」を記載します。

4.4.1.1　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

（1）Ⅰ．評価・検証項目

以下の①～③の 3 つの評価・検証項目について、検証を実施しました。

・Ⅰ-①：生産性向上/年
・Ⅰ-②：費用削減/年
・Ⅰ-③：品質

（2）Ⅰ．評価・検証方法

評価・検証方法は以下の通りとなります。
なお、評価・検証方法については、現状との比較を基本として実施しました。

Ⅰ－①～③の評価・検証項目に対する評価・検証方法の概要は以下の表となります。

表 4.4.1.1-Ⅰ-1　　評価・検証方法の概要

定量・定性	(1) 評価・検証項目	(2) 評価・検証方法
定量	①生産性向上/年	<u>現状の方法との比較を実施</u> ・　有スキル者の駆け付けチェックが必要なケースの時間/年を比較 ・　現状については、現在業務の平均時間をもとに設定 ＜現状：目視チェック時間＞ ・　チェック 2 分＋呼び出し 0.5 分＋駆け付け 3 分＋再チェック 3 分＝約 8.5 分/回 ＜目標：ローカル 5G 活用場合の時間＞ ・　チェック 2 分＋呼び出し 0.5 分＋システム接続・準備 0.5 分＋再チェック 3.5 分=約 6.5 分/回 ※スマートグラスシステム接続・準備に 0.5 分程度かかると想定 ※遠隔からのチェックのため、再チェックは通常の目視と比較し、＋0.5 分程度を想定 ＜目標：生産性向上/年＞ ・　1 回当たりの削減作業時間 2 分×1 日の発生回数 6 回×1 ヵ月 20 営業日×12 か月=48 時間/年

定量	②削減費用/年	現状の方法との比較を実施 ※有スキル者の駆け付けチェックが必要なケースの費用/年を比較 ＜現状：目視チェック/年＞ ・ 再ダメージチェック総時間:約 204 時間×単金:約 2,300 円/時×96 人=約 4,500 万円 ＜目標：削減費用/年＞ ・ 生産性向上 48 時間/年（Ⅰ－①:目標より）×単金約 2,300 円/時×96 人=約 1,060 万円 ※実際の単金は非公開情報のため、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の数値を採用 https://www.mhlw.go.jp/content/11606000/000748529.pdf ※ゲートは港湾の入り口でありボトルネックとなるため、ゲート業務効率化は、港湾内業務の従事者 96 人に影響
定性	③品質	アンケートによる検証を実施 主なアンケート項目は以下 ・ 目視チェックと比較して画像品質は問題ないか ・ 映像伝送遅延は問題ないか ・ 蓄積したデータは技能伝承に活用できるか ・ 今後も継続して利用してみたいか　等 ＜目標：品質＞ ・ 全 9 項目で 5 段階評価の平均値が 4.0 以上 （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

Ⅰ－①～③の評価・検証項目に対する詳細は以下の通りとなります。

＜Ⅰ－①：生産性向上/年＞

【前提条件】

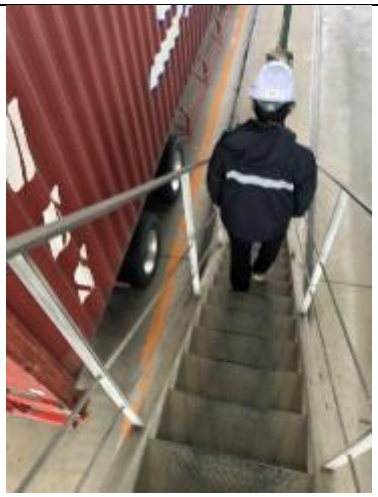
今回の実証フィールドである、夢洲コンテナターミナルの C-11 ゲート（主に空コンテナの搬入ゲート）には、5 レーンが存在します。5 レーンにおける搬出入処理には、現状 6 社の事業者が従事しており、過去実績から各社 1 回/日程度、管理棟から有スキル者が、ゲートに駆けつけてのダメージチェックを実施しています。

図 4.4.1.1-Ⅰ-1　C-11 ゲートの風景

管理棟から有スキル者が、ゲートに駆けつけてのダメージチェックを行っている、現状フローと各フローの時間は以下の通りとなり、合計：約 8.5 分の時間がかかっています。

表 4.1.1.1-Ⅰ-2 現状のダメージチェックフロー

	現状フロー	業務内容	時間
①ダメージチェック		コンテナ外部損傷、内部の汚れ、ドアの開閉、水漏れ等を目視で確認	約 2 分
②呼び出し		ゲートでの目視チェックで判断が付かない場合や、相談等がある場合は、管理棟にいる各事業者の有スキル者や今後の対応判断ができる人を呼び出し	約 0.5 分

③駆けつけ（管理棟→ゲート）		状況を確認するため、管理塔からゲートに向けて、駆けつけ	約 3 分
④再ダメージチェック		有スキル者が再チェックをおこない、今後の対応について判断をおこなう。	約 3 分
合計			約 8.5 分

上記の再ダメージチェック（合計：約 8.5 分/回）のフローを、6 事業者が約 1 日/回実施しているため、年間の再ダメージチェックの総時間は、以下の算定となります。

- 1 回あたりの再ダメージチェック時間：約 8.5 分
- 1 日あたりの管理棟からの駆けつけダメージチェック回数：約 6 回
  （6 事業者が 1 日 1 回）
- 1 年あたりの管理棟からの駆けつけダメージチェック回数：約 1,440 回
  （約 6 回×20 営業日×12 か月）

【現状】

- 年間の再ダメージチェックの総時間：約 204 時間（約 8.5 分×約 1,440 回=約 12,240 分）

＜Ⅰ－②：削減費用/年＞

【前提条件】

ゲートは港湾の入り口でありボトルネックとなります。ゲート業務の効率化が行われると、港湾内業務の従事者：96 人の効率化に影響するため、ゲート業務の効率化は非常に重要なポイントとなります。※96 人＝ゲート従事者：約 30 人＋管理塔従事社：約 9 人＋ヤード内従事者：約 37 人＋メンテナンス従事者：約 20 人

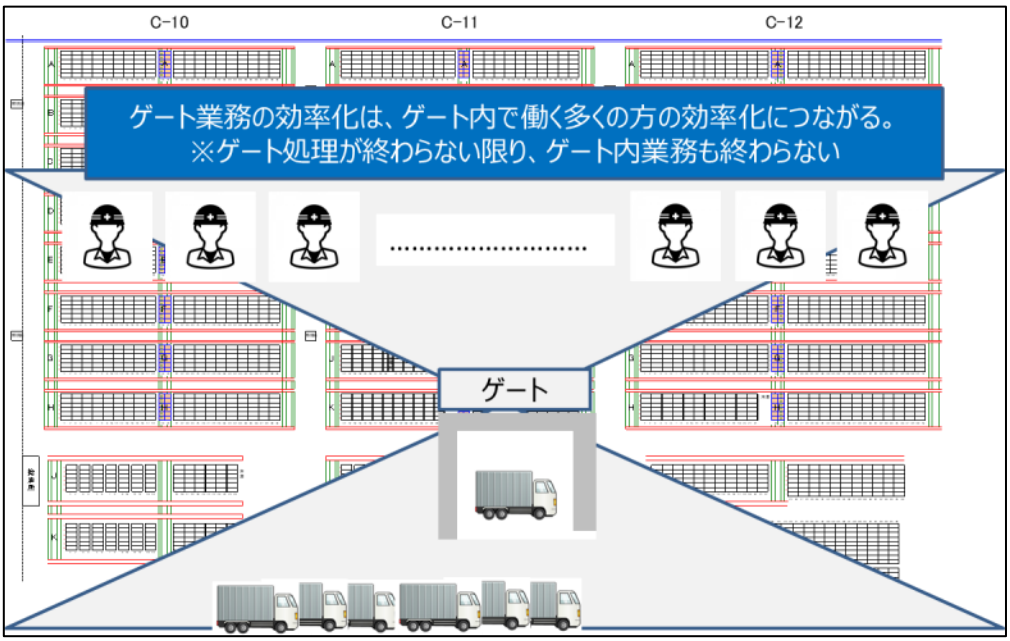


図 4.4.1.1-Ⅰ-2 ゲート業務の効率化影響

また、従事者の単金については、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の令和元年の港湾労働者における以下の公表数値をもとに算出しました。

- 1 月あたり賃金：373,100 円÷月所定労務時間:15 時間＝約 2,300 円

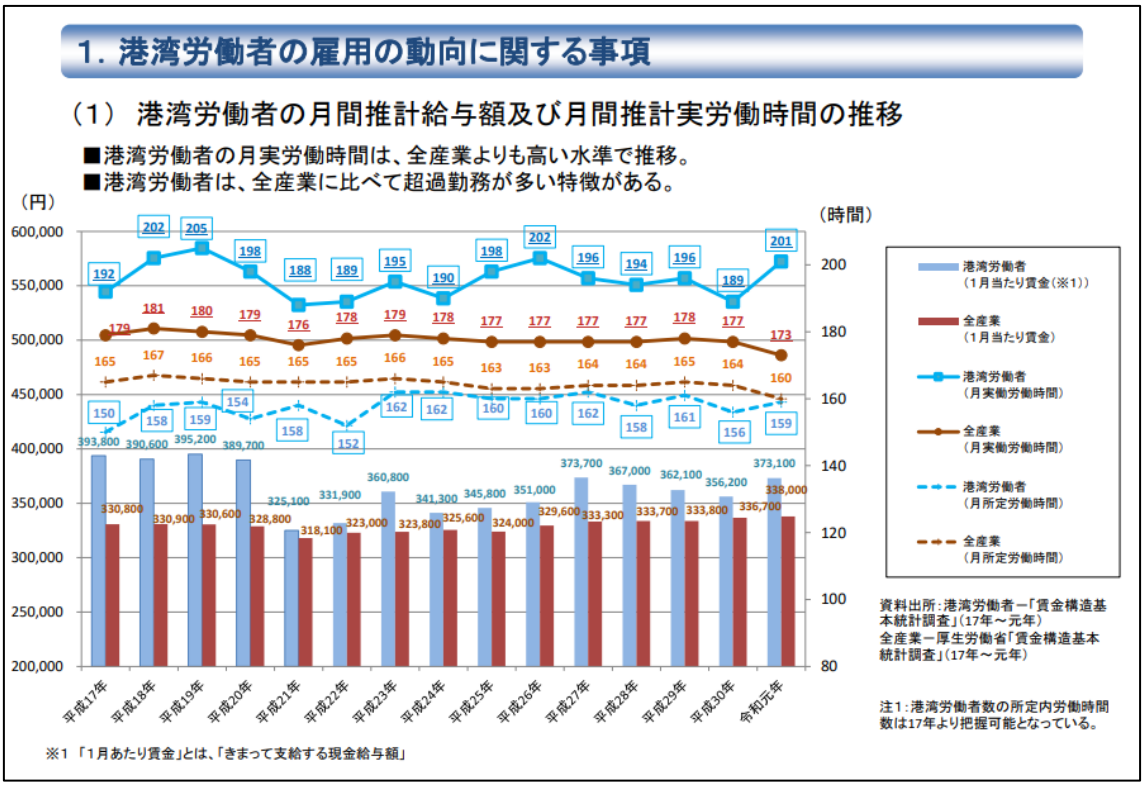


図 4.4.1.1-Ⅰ-3. 港湾労働者の雇用の動向に関する事項
（引用：令和 3 年 3 月厚生労働省港湾労働関係資料
https://www.mhlw.go.jp/content/11606000/000748529.pdf）

【現状】

上記より、現状の C-11 ゲートにおける、年間の再ダメージチェックの総費用は以下の通りとなります。

- 年間の再ダメージチェック総費用：約 4,500 万円
  （年間の再ダメージチェック総時間：約 204 時間×単金：約 2,300 円/時×96 人=約 4,500 万円）

＜Ⅰ－③：品質＞

遠隔でダメージチェックを行う場合において、品質の観点で重要なポイントとなる、以下の９項目について、事業者にアンケートを実施しました。

表 4.4.1.1-Ⅰ-3. アンケート項目

No	アンケート項目
1	音声はクリアに聞こえたか
2	会話はスムーズに行えたか
3	映像品質はダメージチェックに問題ないか
4	拡大のレベルは問題ないか
5	照度のレベルは問題ないか
6	映像の遅延を感じたか
7	操作は問題なくできたか
8	録画によるデータは、技能伝承等に活用できると感じるか
9	これからも継続して利用してみたいか

（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

スマートグラスに関するアンケート

本日は、お忙しい中お時間をいただき誠にありがとうございました。以下のアンケートにご協力お願いいたします。

1．音声はクリアに聞こえたか？

□とても良い　□良い　□普通　□やや悪い　□非常に悪い

2．会話はスムーズに行えたか？

□とても良い　□良い　□普通　□やや悪い　□非常に悪い

3．映像はクリアに見えたか？（ダメージチェックに問題ないか）

□とても良い　□良い　□普通　□やや悪い　□非常に悪い

4．拡大のレベルは問題ないか？

□とても良い　□良い　□普通　□やや悪い　□非常に悪い

5．照度のレベルは問題ないか？

□とても良い　□良い　□普通　□やや悪い　□非常に悪い

6．映像の遅延を感じたか？

□とても良い　□良い　□普通　□やや悪い　□非常に悪い

7．操作は問題なくできたか？

□とても良い　□良い　□普通　□やや悪い　□非常に悪い

8．録画により、蓄積した目線映像やコンテナデータは技能伝承等（育成、マニュアル化、データ検索等）に活用できると感じるか？

□とても感じる　□感じる　□普通　□感じない　□非常に感じない

9．これからも継続して利用してみたいか？

□とても感じる　□感じる　□普通　□感じない　□非常に感じない

10．その他スマートグラスを活用できそうな業務はあるか？（距離のある作業、映像と音声で確認したい作業など）
※具体的に、期待できる効果の記載を含め、自由に記述願います。

11．その他（何かあれば自由に記載ください）
※自由に記述願います。

図 4.4.1.1-Ⅰ-4.　スマートグラスに関するアンケート

【目標】

Ⅰ－①～③の評価・検証項目に対する実証目標は以下の通りとなります。

表 4.1.1.1-Ⅰ-4　実証目標

評価項目		実証目標
Ⅰ－①	生産性向上/年	48 時間/年
Ⅰ－②	削減費用/年	約 1,060 万円/年
Ⅰ－③	品質	全 9 項目で 4.0 以上

＜Ⅰ－①：生産性向上/年＞

以下で目標値を設定しました。

【現状：目視チェック時間】

・　チェック 2 分＋呼び出し 0.5 分＋駆け付け 3 分＋再チェック 3 分=約 8.5 分/回

【目標：ローカル 5G 活用した場合の時間】

・　チェック 2 分＋呼び出し 0.5 分＋準備 0.5 分＋再チェック 3.5 分=約 6.5 分/回

※スマートグラスシステム接続・準備に 0.5 分程度かかると想定

※遠隔からのチェックのため、再チェックは通常の目視と比較し、＋0.5 分程度を想定

【目標：生産性向上/年】

・　1 回当たりの削減作業時間 2 分×1 日の発生回数 6 回×1 ヵ月 20 営業日×12 か月=48 時間/年

＜Ⅰ－②：削減費用/年＞

以下で目標値を設定しました。

【目標：削減費用/年】

・　生産性向上目標:48 時間/年（Ⅰ－①より）×単金約 2,300 円/時×96 人=約 1,060 万円

＜Ⅰ－③：品質＞

以下で目標値を設定しました。

【目標：品質】

- アンケート全 9 項目で 5 段階評価の平均値が 4.0 以上
- 特にアンケート項目の中でも、今後の継続も見据えた効果検証として、重要な項目を以下の 3 つで定めました。

表 4.1.1.1-Ⅰ-5 アンケート内で特に重要視する 3 項目

No	アンケート項目
3	映像品質はダメージチェックに問題ないか
8	録画によるデータは、技能伝承等に活用できると感じるか
9	これからも継続して利用してみたいか

(3) Ⅰ．実証結果及び考察

Ⅰ－①～③の評価・検証項目に対する実証結果の概要は以下となります。

表 4.4.1.1-Ⅰ-6　実証結果・目標達成状況の概要

評価項目		実証目標	実証結果	目標達成
Ⅰ－①	生産性向上/年	48 時間/年	24 時間/年	未達成 ※ただし、今後の運用習熟により達成見込み
Ⅰ－②	削減費用/年	約 1,060 万円/年	約 530 万円/年	未達成 ※ただし、今後の運用習熟により達成見込み
Ⅰ－③	品質	全 9 項目で 4.0 以上	7 項目で 4.0 以上	未達成 ※ただし、今後の運用習熟により達成見込み

Ⅰ－①～③の評価・検証項目に対する実証結果および考察の詳細は以下の通りとなります。

＜Ⅰ－①：生産性向上/年＞

実証結果は以下の通りとなり、24 時間/年の生産性向上という結果となりました。目標としていた 48 時間/年の生産性向上は、未達成となりました。

しかしながら、未達成の要因となっている部分については、システム接続・準備などであり、今後の運用習熟により向上が期待できる部分のため、今後は目標達成見込みとなります。

なお、1 回あたりのダメージチェック平均時間の実証結果は以下の通りとなります。

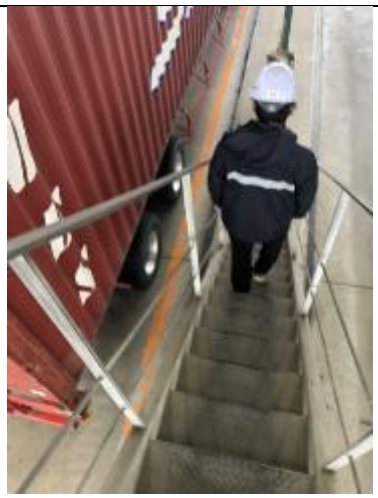
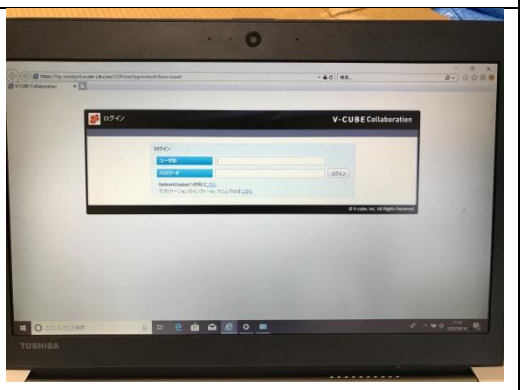
表 4.4.1.1-Ⅰ-7. 1 回当たりのダメージチェック平均時間の実証結果

	作業フロー	現状（平均）	ローカル5G結果（平均）	ローカル5G目標	目標達成
ダメージチェック	①ダメージチェック	2分	2分	2分	-
	②呼び出し	0.5分	0.5分	0.5分	-
	③駆けつけ（管理棟→ゲート）	3分	0分	0分	○
	④システム接続・準備	-	1分	0.5分	×
	⑤再ダメージチェック	3分	4.0分	3.5分	×
	合計	8.5分	7.5分	6.5分	×

現状フローとローカル 5G を活用した遠隔でのダメージチェック実証結果の各作業フロー別の時間比較は以下となります。

表 4.4.1.1-Ⅰ-8. 現状とローカル 5G 活用フローの実証結果の比較

	現状	ローカル 5G 活用実証結果
①ダメージチェック	 2 分	 2 分

② 呼び出し	 0.5 分	 0.5 分
③ 駆けつけ（管理棟→ゲート）	 3 分	― 0 分
④ システム接続・準備	― 0 分	 1 分

⑤ 再ダメージチェック	 3 分	 4 分
合計	8.5 分	7.5 分

【ローカル 5G を活用した実証結果】

- 1 回あたりの削減時間：1.0 分（現状 - 実証）
- 1 日あたりの管理棟からの駆けつけダメージチェック回数：6 回
- 1 年あたりの管理棟からの駆けつけダメージチェック回数：1440 回
  （6 回/日×20 営業日/月×12 か月）

上記より、今回の生産性向上/年の実証結果は以下となりました。

【生産性向上/年】

- 1.0 分×1440 回 = 1,440 分（24 時間）

【考察】

目標よりも時間がかかった作業フローは以下 2 つになり、目標に対して合計で＋1 分超過という結果になり、目標未達成となりました。

④　システム接続・準備：＋0.5 分　※対目標
⑤　再ダメージチェック：＋0.5 分　※対目標

④⑤については、運用者の習熟度が大きく作用する部分となります。（⑤の再ダメージチェックについても、品質は問題ないとのアンケート結果があるため、操作に時間がかかり、想定よりも時間がかかっていると判断）

2 回の勉強会、マニュアル配布、運用定着フォローを行いましたが、実証期間中では期間が短く、習熟に時間がかかり未達成となったと想定します。

この部分は今後の運用の習熟により、向上する部分だと考えており、定期的な勉強会や

運用フォローをすることで、達成可能な部分と想定するため、引き続き、継続的な運用フォローをおこなってまいります。
※4.3.3.運用検証も参照下さい

図 4.4.1.1-Ⅰ-5　定着化に向けた勉強会の様子

＜Ⅰ－②：削減費用/年＞

実証結果は以下の通りとなり、約 530 万円/年の削減費用という結果となりました。目標としていた約 1,060 万円/年の削減費用は、未達成となりました。

【ローカル 5G を活用した実証結果】

- 生産性向上/年（Ⅰ-①の実証結果より）：24 時間
- 従事者の単金：2,300 円
- ゲート内従事者：96 人

上記より、今回の削減費用/年の実証結果は以下となりました。

【削減費用/年】

- 24 時間×2,300 円×96 人= 約 530 万円/年

【考察】

Ⅰ-①の生産性向上/年の結果（目標:48 時間に対して、実証結果:24 時間）に依存するため、目標未達成となりました。

しかしながら、Ⅰ-①でも記載したとおり、この部分は今後の運用の習熟により、向上する部分だと考えており、定期的な勉強会や運用フォローをすることで、達成可能な部分と想定します。

但し、機能を十分に使いこなすまでには、遠隔支援側、ダメージチェック側で操作方法が異なる、ダメージチェックに関わる人数が数十名いることから、1～2 カ月程度の習熟期間は必要と考えております。

ユーザーインターフェースについては、機能が豊富であるが故に画面遷移や操作手順、音声コマンドが多数あり、視覚的に更に分かりやすい設計に改良する余地はあると考えますが、業務に必要な機能を絞り込み、利用者のリテラシーに合わせたマニュアル（動画を含めむ）や対面でのサポートなども非常に重要な要素と考えます。

＜Ⅰ－③：品質＞

実証結果は以下の通りとなり、9 項目中 7 項目で 4.0 以上という結果となり、目標としていた 9 項目中 9 項目で 4.0 以上の評価は、未達成となりました。

表 4.1.1.1-Ⅰ-9　アンケート結果

No	アンケート項目	点数
1	音声はクリアに聞こえたか	4.1
2	会話はスムーズに行えたか	4.0
3	映像品質はダメージチェックに問題ないか	4.0
4	拡大のレベルは問題ないか	4.3
5	照度のレベルは問題ないか	4.0
6	映像の遅延を感じたか	3.0
7	操作は問題なくできたか	3.5
8	録画によるデータは、技能伝承等に活用できると感じるか	4.25
9	これからも継続して利用してみたいか	4.75

（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

また、その他自由記述アンケート 2 項目に対する回答（抜粋）は以下の通りです。

【自由記述内容】

No. 10：その他スマートグラスを活用できそうな港湾業務はあるか。

・ 本船立ち合い時にダメージがあり、事務所から本船まで車で向かっているが、本船作業員にスマートグラスをかけさせることで、その移動時間と事故リスクを軽減できると思います ・ 特にピック用で使える空コンテナの選別ができたら便利だと思います ・ ヤード内でダメージ発見時の機械操縦者との通信 ・ 機械トラブルなどの時のメンテナンスさんとの通信

No. 11：その他自由記述

・ うまく使えば確実に時短につながる ・ 現場に行かなくても良くなるので、コロナ感染の観点で人との接触機会が減らせる ・ ダメージチェックでゲートに足を運ぶ必要がなくなれば、作業効率が上がり、一手間省けると思う ・ 録画だけでなく、写真を管理者側から撮れるようにしてほしい

また、実際のスマートグラスでのコンテナダメージチェックの映像は以下となります。

前提として、今回のスマートグラスシステムでは、コンテナのダメージ状態の確認ができるように、ズームレベルを 1～5、また屋外のため、その時々の天候に合わせて照度が変更できるように、露出レベルを-2～＋2、また夜間やコンテナ内などの暗い場所でも活用できるように、ライト機能を備えたシステムで検証をおこないました。

項目	機能
ズームレベル	カメラのズームイン／ズームアウトを 5 段階調節（1~5）できます。 ※1 ※2
露出レベル	カメラの光の取り込み度を 5 段階調節（-2~+2）できます。 暗い場所では露出レベルを上げ、逆にまぶしい場所では露出レベルを下げると、PC 対向拠点で表示されるビデオ映像が見やすくなります。 ※1 ※2
スマートグラス側表示画面	『ビデオ画面』／『共有中画面（本部資料・ホワイトボード）』の切り替えを行うことができます。
ライトスイッチ	スマートグラス側のフラッシュライトが点灯／消灯します。 ※2
マイク切り替え	スマートグラス側のマイクミュートの ON／OFF を切り替えます。
スマートグラス側録画操作	自拠点映像録画（ちょい録機能）の開始／停止を操作します。 ※2
更新ボタン	スマートグラスの操作状態を最新の状態に更新します。

※1　スマートグラス側画面が共有中画面（本部資料・ホワイトボード）表示中は操作できません。
※2　スマートグラス側画面がライブ停止中の場合は操作できません。

図 4. 4. 1. 1-Ⅰ-6 スマートグラスシステムの機能

図 4. 4. 1. 1-Ⅰ-7　ズームレベル 0（標準）の映像

図 4. 4. 1. 1-Ⅰ-8　ズームレベル 2（拡大）の映像

図 4.4.1.1-Ⅰ-9　ズームレベル 5（拡大）の映像

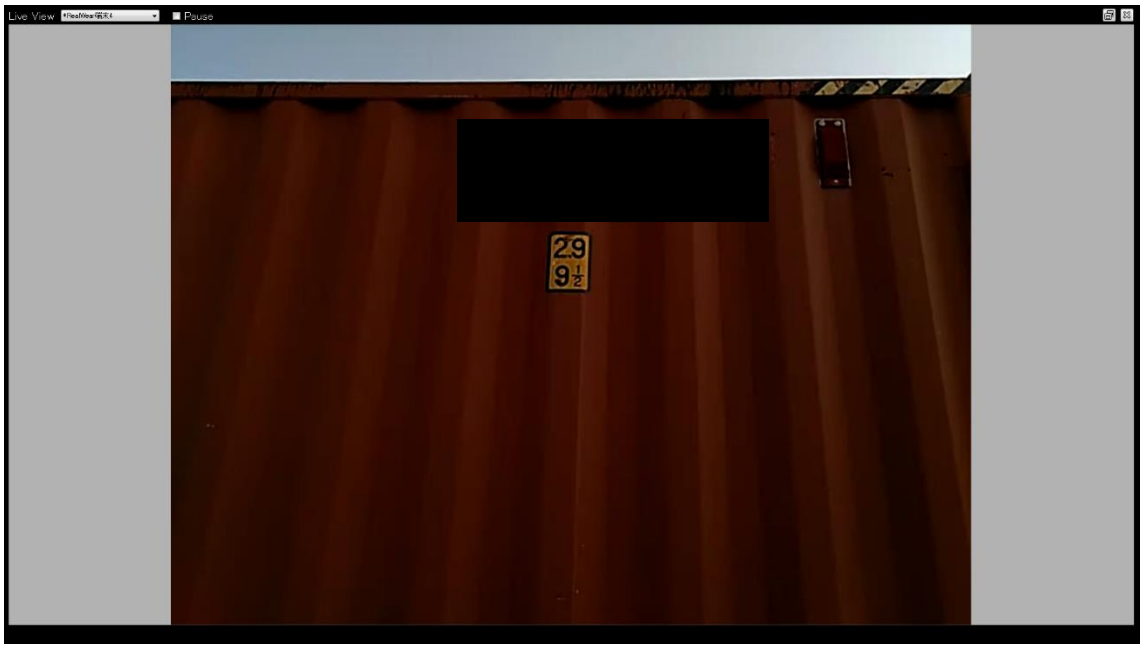


図 4.4.1.1-Ⅰ-10　照度レベル-2（暗）の映像

図 4.4.1.1-Ⅰ-11　照度レベル＋2（明）の映像

【考察】

事前に設定した、本アンケートの中でも、今後の継続性の観点からも特に重要と考える以下の項目については評価:4.0 以上を達成しており、港湾のダメージチェックにおいて、有益なソリューションであると想定します。

表 4.4.1.1-Ⅰ-12　アンケート重要 3 項目の結果

No	アンケート項目	点数
3	映像品質はダメージチェックに問題ないか	4.0
8	録画によるデータは、技能伝承等に活用できると感じるか	4.25
9	これからも継続して利用してみたいか	4.75

また、映像品質（画質・FPS）については、SVGA/30FPS の設定で、ダメージチェックについては、目視と同じレベルで実施可能とのコメントをもらっています。

一方、評価：4.0 以上を未達成だった項目は以下となります。

表 4.4.1.1-Ⅰ-13　アンケート未達成項目

No	アンケート項目	点数
6	映像の遅延を感じたか	3.0
7	操作は問題なくできたか	3.5

No.6 については、映像品質（画質・FPS）の調整により、今後達成可能な部分と想定します。

アンケート実施時は、ローカル 5G のスループット UL を最大限活用するため、画質設定は FullHD/ 30FPS としていました。

しかしながら、アンケート実施後に測定を行ってみると、実測値は以下となっており、FullHD/5FPS でスマートグラスのハードウェア側の処理が追い付かず、頭打ちとなっていることが確認されました。(FullHD/15FPS、30FPS については、30 フレームを出そうとエンコードを試みているものの、処理が追い付かず負荷が高い状態)

そのため、ネットワーク側は問題ないものの、ハードウェア側で遅延が発生していたと想定されます。

表 4.4.1.1-Ⅰ-14　スマートグラスの画質・FPS 設定別のスループット

10Mbps 設定/ FPS 優先		FPS		
		5	15	30
画質	SVGA	1.3Mbps	3.6 Mbps	4.2 Mbps
	HD	3.2 Mbps	5.2 Mbps	5.2 Mbps
	Full HD	5.2 Mbps	4.5 Mbps	4.1 Mbps

その後、アンケート回答者の数人に対して、画質/FPS を変更しながら、確認いただいたところ、SVGA/30FPS でも、ダメージチェックに問題ない画質であることがヒアリングにより判明し、遅延についても感じなくなったとのコメントをいただいております。

No.7 については、勉強会や運用フォローを実施したものの、今回の実証期間内では、全従事者が問題なくスムーズに操作できるレベルまで達成しなかったことが原因と考えます。

しかしながら、今後の定期的な勉強会や運用フォローをすることで、達成可能な部分と想定しますので、引き続き運用習熟に向けて勉強会等を実施して改善を図ります。

また、併せて、いつでも確認ができるように、動画マニュアルの作成も検討しております。動画マニュアルについては、2022 年 3 月 9 日に協業を開始している tebiki 社の現場向け動画教育プラットフォームの活用を検討しております。

図 4.4.1.1-Ⅰ-12　参考：動画教育プラットフォーム

【その他（ダメージデータ蓄積、AI 活用について）】

ダメージチェック画像を蓄積・活用した、将来的な AI 分析の可能性について、有識者である AI ベンダ 2 社とディスカッションを実施しました。

- 実施時期　：3 月上旬
- 内容　　：ダメージチェック画像約 40 枚を見ながら、将来的なダメージチェックの AI 分析について、可能性や課題の確認をおこなう。
- 有識者　　：AI ベンダ 2 社

以下が、AI ベンダ 2 社から出たコメントとなります。

（コメント抜粋）

- ダメージが多岐にわたる（ハンドルの曲がり、穴、シミ、傷など）ため、AI 検知のハードルはかなり高い
- コンテナの種類（色、形）が多岐にわたるため、正解の状況を学習させるハードルが高い
- 現状もダメージ判定基準が明確になっているのであれば対応可能性はあるが、人のノウハウによる判定で、決まっていないのであれば、まずは基準の明確化からおこなう必要があるので、長期的なスケジュールになると考える
- 新品との AI 比較であればできる可能性があるが、すでに付着している損傷などもあるため、AI 比較は難しい
- コンテナの種類（色、形）が多岐にわたるため、正解の状況を学習させるハードルが高い
- 現状もダメージ判定基準が明確になっているのであれば対応可能性はあるが、人のノウハウによる判定で、決まっていないのであれば、まずは基準の明確化からおこなう必要があるので、長期的なスケジュールになると考える

- AI では撮像環境が非常に重要になってくるが、ダメージチェックは、屋外で行われているため、撮影状況（日照環境、角度など）を一定に保つことが難しそう
- また撮影もコンテナの外観 6 面＋コンテナ内を取るには、大規模な撮像環境が必要になってくる
- コンテナのダメージチェックは混雑状況を作らないように、リアルタイム性が求められるため、解析スピードも求められる
- スマートグラスの映像からの判定は、撮像環境が一定に保たれないため、かなりハードルは高い
- 一部分だけ（コンテナのハンドルの曲がりなど）であれば、AI 分析可能かもしれないが、撮像環境や判定精度向上に向けてのシステムコストと費用対効果が見合うか検討する必要がある

以下に参考としてダメージ画像の一部を掲載致します。

図 4.4.1.1-Ⅰ-13 ダメージ１：フロアの泥汚れ

図 4.4.1.1-Ⅰ-14 ーメージ２：コンテナ内のパネルの傷

図 4.4.1.1-Ⅰ-15　ダメージ３：コンテナロッドの曲がり

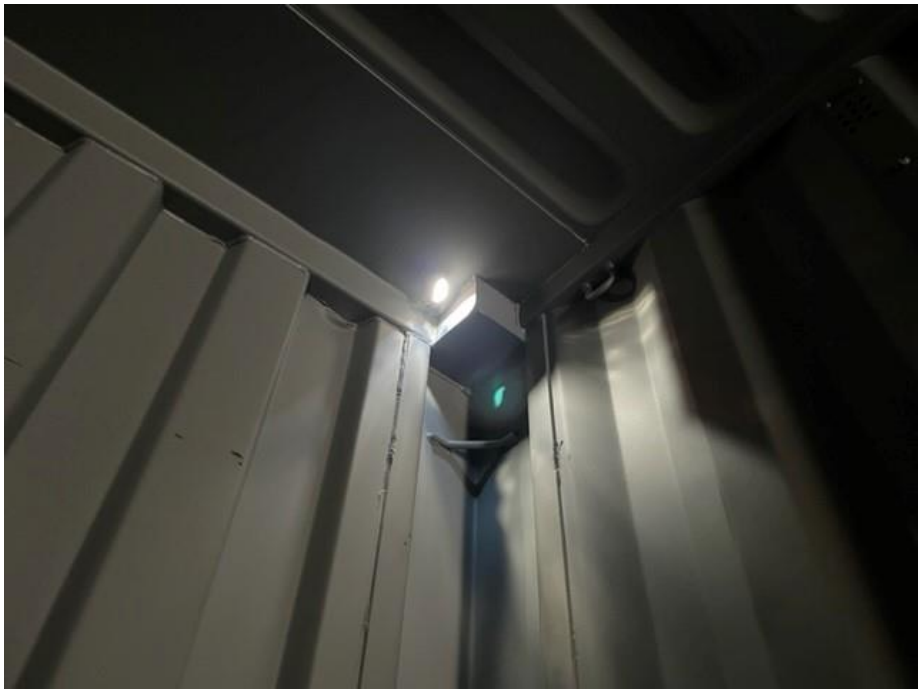


図 4.4.1.1-Ⅰ-16 ダメージ４：コンテナ天井の穴あき

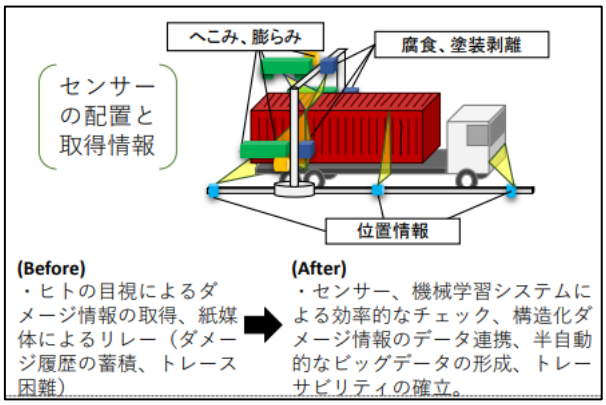
コンテナの多岐にわたるダメージチェックを AI 分析することは、現時点では非常にハードルが高いとのコメントをいただきました。

また今回のシステムでは、映像品質：SVGA/30FPS で 5 分録画の場合で約 180GB、FullHD/30FPS で 5 分録画の場合で約 360GB の容量となったため、映像で撮りためる場合、大規模なストレージも必要となってきます。

そのため、コンテナのダメージチェックの自働化に向けては、対象を限定してまずは進めていくことが良いと考えます。特に、天井部分については、荷役の際にクレーンと触れる部分となり、ダメージが多いかつ確認が難しいとの情報をもらっていますので、6 面＋コンテナ内の全面からではなく、天井部分に対象を限定し、4K カメラをつけての AI ダメージチェックの可能性を検証していくことが良いと考えます。

夢洲コンテナターミナル社では、本実証前からすでに天井部分のダメージを目視で確認するためにカメラを設置し、カメラ映像を目視で確認し、ダメージチェックを行っております。AI 精度をあげるために、今後はカメラの解像度を上げたり、複数台のカメラを設置したりすることも考えられるため、その場合は、ローカル 5G のネットワーク活用の可能性があると考えます。

また、国土交通省実施の官民研究開発投資拡大プログラム（PRISM）による、「港湾関連データ連携基盤展開を踏まえた生産性革命」の実証ではライダーセンサー情報をもとにコンテナのダメージチェック（凹み・膨らみ等）をおこなっています。各種センサーを取り付ける場合でも、ネットワークが必要になりますので、ローカル 5G ネットワークの活用の可能性があると考えます。



	ダメージ無（実際）	ダメージ有（実際）
ダメージ無（AI）	9602	1
ダメージ有（AI）	717	18
TOTAL	10319	19

図 4.4.1.1-Ⅰ-17 国土交通省　港湾関連データ連携基盤展開を踏まえた生産性革命
（引用：https://www8.cao.go.jp/cstp/prism/seika/ai_r2/ai5.pdf）

AI ダメージチェックについては、長期的な取り組みになると予想されるため、まずは現時点でも取り組み可能なスマートグラス等を用いた遠隔からのチェックなどによる、作業効率化から取り組むことが重要になると考えます。

【まとめ（今後の展開可能性など）】

＜他ゲートへの展開＞

今回の実証は、C-11 ゲートと呼ばれる管理棟から最も近いゲートでの実証を行いました。（管理塔から約 3 分）

しかしながら、アンケートのコメントにも見られたように、管理棟からの距離が遠い、C-10（管理塔から約 5 分）、C-12 ゲート（管理棟から約 6 分）や、本船荷役（管理棟から約 6 分）でもコンテナダメージチェック業務を行っており、移動には車や自転車を活用している状況です。

港湾は非常に広い敷地となるため、移動時間を削減できる本ソリューションを展開することで、更なる効果が期待できると考えます。

図 4.4.1.1-Ⅰ-18　管理棟と各ゲートの位置関係図
（引用：国土地理院地図を一部改変）

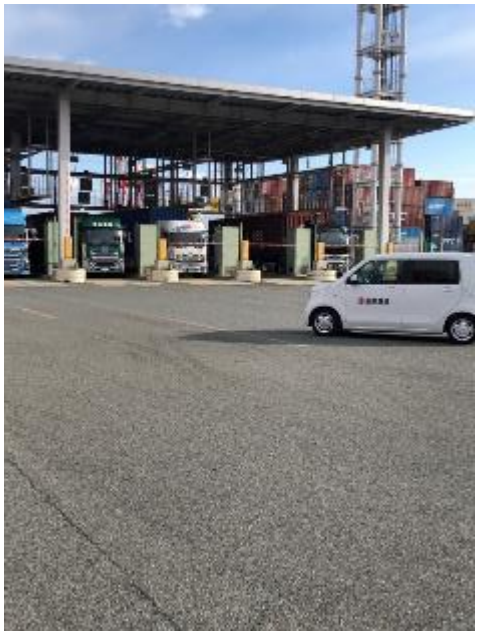


図 4.4.1.1-Ⅰ-19　管理棟からゲートへ車で駆け付けている様子

C-10、C-12、本船荷役まで本ソリューションを拡大したときの想定の生産性向上、費用削減の想定効果は以下の通りとなります。

表 4.4.1.1-Ⅰ-14　他ゲート、他業務へ拡大した場合の想定効果

	管理棟からの距離	移動時間	移動手段	年間の管理棟からの駆けつけ回数	生産性向上/年	削減費用/年
C-10	約300m	約5分	車、自転車	576回	▲28.8時間	約640万円
C-12	約400m	約6分	車、自転車	576回	▲38.4時間	約850万円
本船	約400m	約6分	車	9,120回	▲608時間	約140万円

＜C-10 ゲートへ拡大した場合の想定効果＞

- 事前の調査により、呼び出しは、1 事業者・1 ゲートあたり約 2 回/週
- 6 事業者の各ゲートへの駆けつけ回数：12 回/週（2 回/週×6 事業者）
- 1 年あたりの各ゲートへの駆けつけ回数：576 回（12 回/週×4 週×12 か月）
- 移動時間/年：5 分(移動時間)×576 回(駆けつけ回数)=2,880 分
- スマートグラス活用によるプラスでかかる時間/年：2.0 分×576 回=1,152 分
  ※2.0 分（準備：1 分＋再チェック：1 分）は現状の実証結果の値

上記より、C-10 ゲートへ拡大した場合の生産性向上/年は以下の通りとなります。

- 2,880 分 － 1,152 分＝1,728 分（28.8 時間）

また、C-10 ゲートへ拡大した場合の削減費用/年は以下の通りとなります。

- 28.8 時間　×　単金:2,300 円　×96 人（影響人数）=約 640 万円

＜C-12 ゲートへ拡大した場合の想定効果＞

- 事前の調査により、呼び出しは、1 事業者・1 ゲートあたり約 2 回/週
- 6 事業者の各ゲートへの駆けつけ回数：12 回/週（2 回/週×6 事業者）
- 1 年あたりの各ゲートへの駆けつけ回数：576 回（12 回/週×4 週×12 か月）
- 移動時間/年：6 分(移動時間)×576 回(駆けつけ回数)=3,456 分
- スマートグラス活用によるプラスでかかる時間/年：2.0 分×576 回=1,152 分
  ※2.0 分（準備：1 分＋再チェック：1 分）は現状の実証結果の値

上記より、C-12 ゲートへ拡大した場合の生産性向上/年は以下の通り。

- 3,456 分　－　1,152 分＝2,304 分（38.4 時間）

また、C-12 ゲートへ拡大した場合の削減費用/年は以下の通り

- 38.4 時間　×　単金:2,300 円　×96 人（影響人数）=約 850 万円

＜本船へ拡大した場合の想定効果＞

- 事前の調査により、呼び出しは、1 隻について、約 1 回/隻
- 2021 年度 隻数：1520 隻（見込み）
- 1 年あたりの本船への駆けつけ回数：1520 回
- 移動時間/年：6 分(移動時間)×1,520 隻(2021 年度隻数見込み)×6 事業者=54,720 (912 時間)
- スマートグラス活用によるプラスでかかる時間/年：2.0 分×9,120 回=18,240 分 (304 時間)
  ※2.0 分（準備：1 分＋再チェック：1 分）は現状の実証結果の値

上記より、本船へ拡大した場合の生産性向上/年は以下の通り。

- 54,720 分 － 18,240 分＝36,480 分（608 時間）

また、本船へ拡大した場合の削減費用/年は以下の通り

- 608 時間　×　単金:2,300 円　=約 140 万円
  ※ゲート業務ではないため、影響人数は積算せず

よって、C-10 ゲート、C-12 ゲート、本船まで拡大した場合、合計で最大、生産性向上/年：約 700 時間、削減費用/年：約 2,160 万円の効果が想定されます。

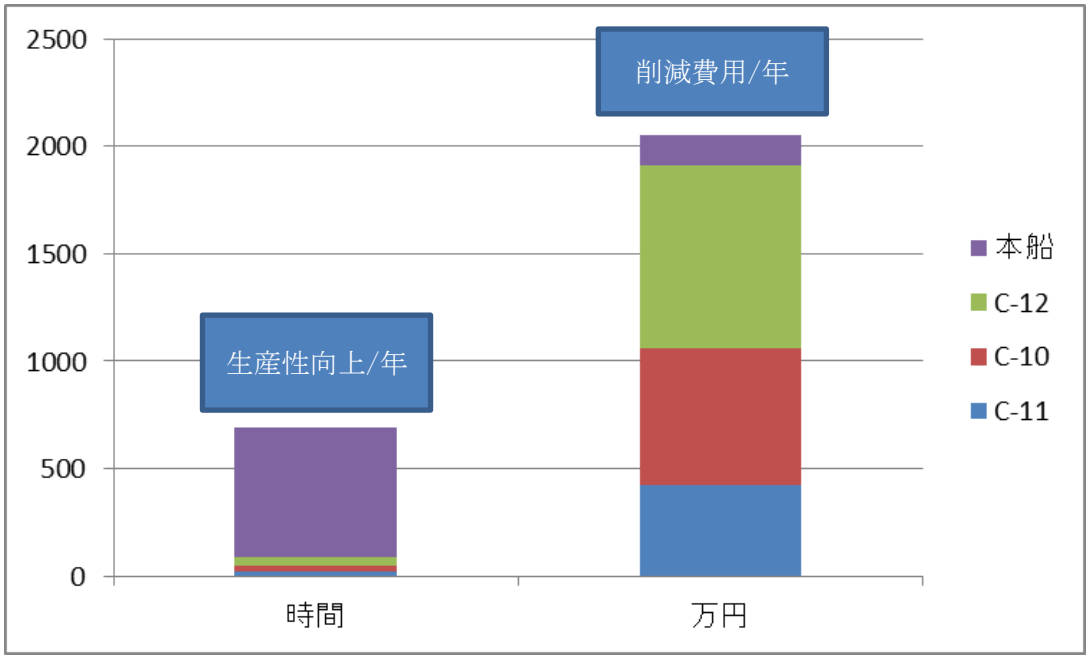


図 4.4.1.1-Ⅰ-19　他ゲート、他業務へ拡大した場合の想定効果

【まとめ】

夢洲コンテナターミナルにおける年間のコンテナ取扱数は、以下の通り増加（2020 年から 2021 年で約 1.1 倍）しているため、更なる効率化が求められてきます。

港湾は非常に広い敷地となるため、移動時間を削減できる本ソリューションを展開することで、更なる効果が期待できると考えます。

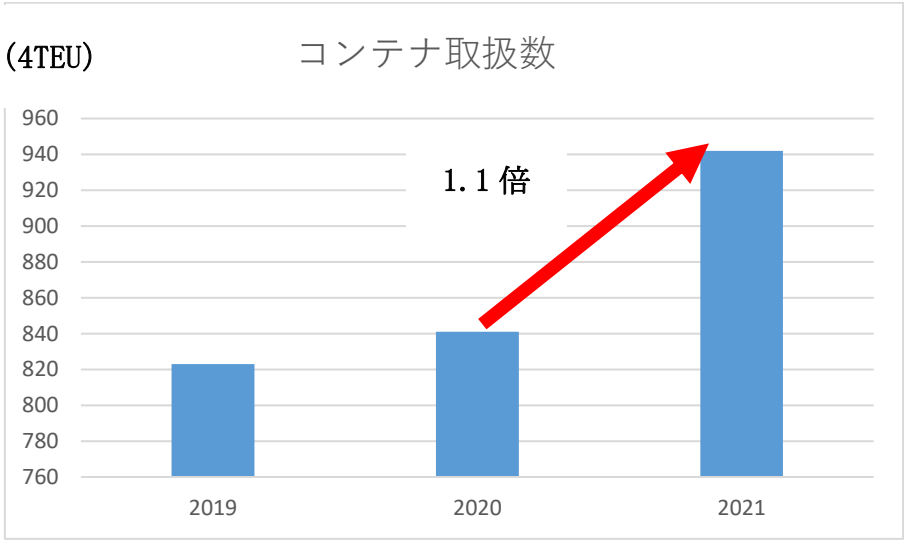


図 4.4.1.1-Ⅰ-20 夢洲コンテナターミナルにおける年間のコンテナ取扱数
（2021 年度は見込み）

Ⅱ．RTG 等遠隔操作を見据えたローカル 5G の有効性に関する実証

(4) Ⅱ．評価・検証項目

以下の①～②の 2 つの評価・検証項目について、検証を実施しました。

- Ⅱ-①：生産性向上/年
- Ⅱ-②：費用削減/年

(5) Ⅱ．評価・検証方法

評価・検証方法は以下の通りとなります。
なお、評価・検証方法については、現状との比較を基本として実施しました

Ⅱ－①～②の評価・検証項目に対する評価・検証方法の概要は以下の表となります。

表 4.4.1.1-Ⅱ-1　評価・検証方法の概要

定量・定性	(1) 評価・検証項目	(2) 評価・検証方法
定量	生産性向上/年 ※将来実装された場合	現状の方法との比較を実施（机上算定） ※将来的な RTG 遠隔操作実現時の場合での机上算定 【現状：RTG 操作時間/年】 ・ 220 時間/月・台×30 台×12 か月 ＝ 79,200 時間/年 【目標：ローカル 5G を活用した RTG 遠隔操作時間/年】 ・ 将来的な遠隔操作実現時の場合での机上算定のため、目標については、設けないこととします 【備考】 ・ 遠隔操作の導入時の効果については、国土交通省提示の先行事例のデータを参照し、約 20%で仮定します https://www.city.yokkaichi.lg.jp/www/contents/1574125434307/files/2-3.pdf

	削減費用/年 ※将来実装された場合	現状の方法との比較を実施（机上算定） ※将来的な遠隔操作実現時の場合での机上算定 ・　生産性向上/年×単金約 2,300 円/時で算定 【現状：RTG 操作に関する費用】 （作業費用） ・　RTG 稼働時間:79,200 時間/年 × 単金:2,300 円/時間 = 約 1.8 億円 （燃料費用） ・　RTG 稼働時間:79,200 時間/年 × 燃料費:1,640 円/時間 = 約 1.3 億円 【目標：ローカル 5G を活用した場合の削減費用/年】 ・　将来的な遠隔操作実現時の場合での机上算定のため、目標については、設けないこととします。 【備考】 ・　実際の単金は非公開情報のため、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の数値を採用 https://www.mhlw.go.jp/content/11606000/000748529.pdf

Ⅱ－①～②の評価・検証項目に対する詳細は以下の通りとなります。

＜Ⅱ－①：生産性向上/年＞

【前提条件】

今回の実証フィールドにおける、環境は以下の通りです。

- RTG 稼働台数：約 30 台（メンテナンス中などは除いた、平常稼働している台数）
- RTG1 台当たりの平均稼働時間/月：約 220 時間

【現状】

上記より、現状の 1 年間の実証フィールドにおける RTG 総稼働時間については、以下で算定しました。

RTG 総稼働時間

- 220 時間/月・台×30 台×12 か月 = 79,200 時間/年

＜Ⅱ－②：削減費用/年＞

削減費用については、今回の実証については、作業費用と燃料費用の 2 つの指標をもとに机上算定をおこないました。

作業費用

従事者の単金については、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の令和元年の港湾労働者における以下の公表数値をもとに算出しました。

- 1 月あたり賃金：373,100 円÷月所定労務時間:15 時間＝約 2,300 円

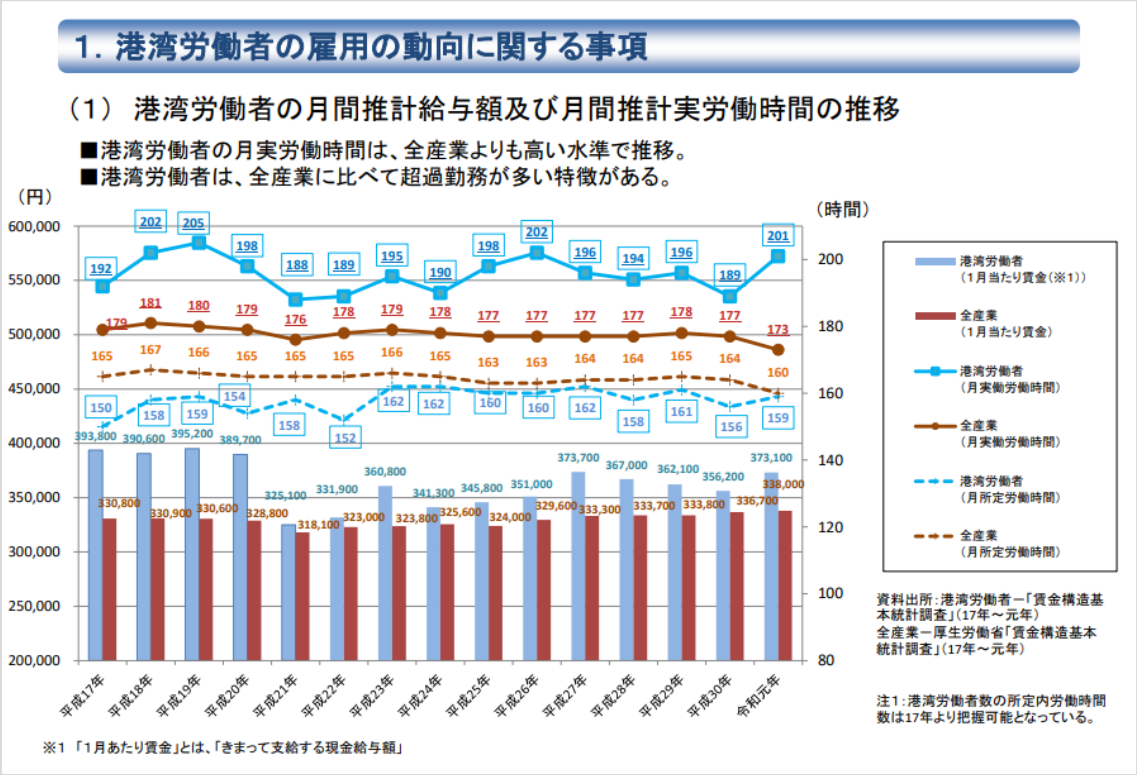


図 4.4.1.1-Ⅱ-1　港湾労働者の雇用の動向に関する事項
（引用：令和 3 年 3 月厚生労働省港湾労働関係資料
https://www.mhlw.go.jp/content/11606000/000748529.pdf）

【現状】

上記より、年間の RTG 作業費用は以下の推定で算定しました。

- RTG 作業費用

RTG 稼働時間:79,200 時間/年 × 単金:2,300 円/時間 ＝ 約 1.8 億円/年

燃料費用

【前提条件】

- RTG1 台の 1 時間当たりの燃料消費量：約 20 リットル/時間・台
- 1 リットルあたりの燃料単価：82 円（参考：2022 年 2 月時点の卸価格）
- RTG1 台の 1 時間当たりの燃料費用：約 20 リットル/時間・台 × 約 82 円/リットル＝約 1,640 円/時間

【現状】

上記より、年間の RTG 燃料費用は以下の推定で算定しました。

・　RTG 燃料費用
RTG 稼働時間:79,200 時間/年 × 燃料費用:1,640 円/時間 = 約 1.3 億円/年

【目標】

Ⅱ－①～②の評価・検証項目に対する実証目標は以下の通りとなります。

＜Ⅱ－①：生産性向上/年＞

将来的な遠隔操作実現時の場合での机上算定のため、今回の実証内では、目標については、設けないこととします。

＜Ⅱ－②：削減費用/年＞

将来的な遠隔操作実現時の場合での机上算定のため、今回の実証内では、目標については、設けないこととします。

(6) Ⅱ. 実証結果及び考察

Ⅱ－①～②の評価・検証項目に対する実証結果の概要は以下の表となります。

表 4.4.1.1-Ⅱ-2　実証結果の概要

評価項目		現状	実証結果	目標達成
Ⅱ-①	生産性向上/年	79,200 時間/年	63,360 時間/年 ※2	机上算定のため、目標を設けず
Ⅱ-②	削減費用/年	約 3.1 億円/年 ※1	約 2.5 億円/年 ※2	机上算定のため、目標を設けず

※1：今回の実証フィールドでの現状費用そのままではなく、単金など一般的な公表費用を一部用いた推定の値
※2：実証結果は、将来的な遠隔操作実現時の場合での机上算定

Ⅱ－①～②の評価・検証項目に対する実証結果および考察の詳細は以下の通りとなります。

＜Ⅱ－①：生産性向上/年＞

実証データは以下の通りとなり、約 15,840 時間/年の生産性向上という結果となりました。

表 4.4.1.1-Ⅱ-3　RTG 操作時間の実証結果

	現状	実証結果 （ローカル 5G）	差分
RTG 操作時間	79,200 時間	63,360 時間/年 ※1	▲15,840 時間/年

※1：実証結果は、将来的な遠隔操作実現時の場合での机上算定

今回の実証は PLC 疑似信号を用いた将来的な遠隔操作に向けた、機能検証が主な目的であったため、遠隔 RTG を導入した場合の削減効果については、以下、国交省提示の先行事例データを参照し、約 20%で仮定しました。

（引用部分：遠隔操作 RTG の操業開始後、事故は発生せず、安全性が向上しており、またターミナルオペレーターは、クレーン効率が 20%向上）

図 4.4.1.1-Ⅱ-2　国土交通省　香港港での既設ターミナルでの遠隔操作化導入事例
（https://www.city.yokkaichi.lg.jp/www/contents/1574125434307/files/2-3.pdf）

よって、先行事例通り 20%削減した場合において、将来的にローカル 5G を活用した RTG 遠隔操作を実現した場合の RTG 操作時間は以下の通りとなります。

・実証結果（机上算定）：79,200 時間/年　×　80%　＝ 63,360 時間/年

【考察】

少子高齢化が進む日本において、港湾業務の効率化は急務となります。先行事例を今回の実証フィールドにあてはめた場合、推定にはなりますが、約 15,840 時間/年もの効率化

となります。

また、遠隔操作については、危険作業の低減などのメリットもあげられています。導入費用なども考慮に入れることが前提となりますが、引き続き港湾における無線ネットワークの機能検証を続け、効果について検証を続けてまいります。

＜Ⅱ－②：削減費用/年＞

実証データは以下の通りとなり、約 0.6 億円/年の削減費用という結果となりました。

表 4.4.1.1-Ⅱ-4　削減費用の実証結果

	現状	実証結果 （ローカル 5G）	差分
削減費用/年	約 3.1 億円	約 2.5 億円※1	約 0.6 億円

※1：実証結果は、将来的な遠隔操作実現時の場合での机上算定

削減費用については、作業費用と燃料費用の 2 つの指標をもとに机上算定をおこないました。

また、Ⅱ－①同様に、遠隔 RTG を導入した場合の削減効果については、前述の国土交通省提示の先行事例データを参照し、約 20%で仮定しました。

表 4.4.1.1-Ⅱ-5　作業費用、燃料費用の実証結果（机上算定）

項目	削減費用	備考
作業費用	約 3,600 万円	先行事例通り、20%削減した場合で仮定
燃料費用	約 2,600 万円	先行事例通り、20%削減した場合で仮定
合計	約 6,200 万円	先行事例通り、20%削減した場合で仮定

【作業費用】

・ 79,200 時間/年　×　20%　×　2,300 円（時間単金）　＝　約 3,600 万円

【燃料費用】

・ 79,200 時間/年　×　20%　×　1,640 円（時間燃料単金）＝　約 2,600 万円

【考察】

先行事例を今回の実証フィールドにあてはめた場合、推定にはなりますが、約 6,200 万円/年もの効率化となります。ただし、遠隔操作用の RTG については、1 台あたり約 3 億円となるため、夢洲コンテナターミナルで運用中の全 30 台を置き換えた場合、約 90 億円もの費用が発生することになります。

そのため、国土交通省の補助事業（遠隔操作 RTG の導入に対する補助事業、補助率：１／３）なども活用しながらの導入検討が必要になると考えます。

遠隔操作ＲＴＧの導入に対する補助事業の公募について

令 和 ３ 年 ６ 月
国土交通省港湾局

１．事業概要

我が国のコンテナターミナルにおいて、「ヒトを支援するＡＩターミナル」を実現し、良好な労働環境と世界最高水準の生産性を創出するため、遠隔操作ＲＴＧ及びその導入に必要となる施設の整備に必要な費用に対する補助事業を実施する。

注１）ＲＴＧ：Rubber Tired Gantry crane の略で、タイヤ式門型クレーンのこと

２．対象事業

遠隔操作ＲＴＧ及びその導入に必要となる施設の整備
（※補助対象施設については、次頁参照）

３．対象事業者

次の各号のいずれかに該当する民間事業者に限る。ただし、国際戦略港湾における港湾運営会社及び特定外貿埠頭会社は除く。

一　一般港湾運送事業者
二　前号を含む複数の者の出資により設立され、前号と同様のコンテナターミナルの運営を行う者
三　コンテナターミナルを借り受けている者
四　前三号のいずれかと同等であると国土交通省が認める者

４．対象港湾

苫小牧港、仙台湾港、京浜港、新潟港、清水港、名古屋港、
四日市港、大阪港、神戸港、水島港、広島港、関門港、博多港

５．補助率

１／３以内

６．公募期間

令和３年６月２５日～８月１０日

図4.4.1.1-Ⅱ-3　国土交通省の補助事業(遠隔操作RTGの導入に対する補助事業、補助率：１／３）https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001410743.pdf

【まとめ】

効果検証については、今回は机上計算となりましたが、一定の効果が出ると想定します。(別途、導入費用等の検討要)

少子高齢化が進む日本において、港湾業務の効率化は急務と考えます。ローカル 5G のネットワークについて、RTG の遠隔操作だけの活用ではなく、港湾内の他クレーンの遠隔操作や、遠隔作業支援のネットワークとしても活用することで、さらなる効果が期待できると考えます。

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

（7）Ⅲ．評価・検証項目

ローカル 5G ネットワークを用いて、4K カメラで車両情報を取得し、車両情報から夢洲エリアにおける混雑算出モデルの精度、混雑の予測モデルの実現可否、混雑見える化による混雑改善について、以下のⅢ－①～⑤の検証を実施します。

- Ⅲ-①：混雑算出モデルの確認と算出モデル精度
- Ⅲ-②：混雑の予測の実現可否
- Ⅲ-③：削減作業時間/年
- Ⅲ-④：費用対効果/年
- Ⅲ-⑤：実現可能性

（8）Ⅲ．評価・検証方法

Ⅲ－①～⑤に対する評価・検証方法の概要は以下の表となります。

表 4.4.1.1-Ⅲ-1　評価・検証方法のサマリ

定量・定性	(1) 評価・検証項目	(2) 評価・検証方法
定量	①混雑算出モデルの確認と算出モデル精度	・　２つの 4K カメラで取得した車両情報のデータを学習し混雑算出モデルの作成ができるかを確認 ・　算出モデルの精度評価
定性	②混雑の予測モデル実現可否	・　得られたデータに周辺の環境情報を加味して、混雑の未来予測モデル実現可否について分析
定量	③削減作業時間/年 ※将来実装された場合	現状の混雑状況との比較を実施（机上算定） ※本実証では混雑の見える化で実現できたとするドライバーの待機時間減少で算定
定量	④費用対効果/年 ※将来実装された場合	現状の混雑状況との比較を実施（机上算定） ※混雑時間減少での人件費見合いのコストを確認
定性	⑤実現可能性	アンケートによる検証を実施（ドライバー:50 人目標） ・　ドライバー、運行担当者は、どのような情報を必要としているか、混雑状況の見える化を必要としているか確認

Ⅲ－①～⑤に対する評価・検証方法の詳細は以下となります。

＜Ⅲ－①：混雑算出モデルの確認と算出モデルの精度＞

・　検証期間：2022 年 2 月 24 日～3 月 14 日

・　検証方法：港湾エリア、4K カメラを用いての混雑算出モデルの作成を以下の手順に基づき実施します。

１．利用可能データ調査

混雑算出に有用だと考えられるデータを洗い出し、利用可能なデータを把握します。そのデータ対する現場の所感を調査し、機械学習に使用するデータを決定します。

２．基礎分析

対象データの目的変数に対して 1 項目の分布と、2 項目の相関を調査します。これにより目的変数の傾向と目的変数に対する各説明変数の関係を把握します。

３．混雑算出モデルの作成

混雑を測定したデータが無い為、2 点間の通過時間から混雑を推測するために補正方法を検討します。

４．混雑算出モデルの精度検証

算出した混雑の補正精度を検証するために、現地で下記二点間における通過時間を測定し、補正値と比較することで精度を検証します。

＜Ⅲ－②：混雑の予測モデル実現可否＞

・　検証期間：2022 年 2 月 24 日～2022 年 3 月 14 日

・　検証方法：検証期間のデータを学習データ・テストデータに分け、学習データを用いて予測モデルを作成します。なお目的変数はカメラ設置区間の通過時間とします。

・　評価方法：学習データで学習した予測モデルをテストデータと比較します。評価指標として RMSE（二乗平均平方根誤差）を用います。

＜Ⅲ－③：削減作業時間/年＞

・　検証方法：<u>現状の混雑状況との比較を実施（机上算定）</u>

本実証では混雑の見える化によるドライバーの待機時間減少を評価します。混雑の減少については、混雑の情報を見た場合にドライバーが混雑をさける行動変容を起こすかをアンケートで確認します。

＜Ⅲ－④：費用対効果/年＞

・　検証方法：<u>現状の混雑状況との比較を実施（机上算定）</u>

本実証では待機時間減少を人件費見合いの費用に換算してコストを確認します。

＜Ⅲ－⑤実現可能性＞

- 検証期間：2022 年 1 月 28 日～2022 年 2 月 18 日
- 検証方法：夢洲エリアを走行するトレーラーの運転手とその配車担当者の方々にアンケートの回答をしていただきました。アンケート結果から、必要としている情報、混雑状況の見える化が必要か確認します。

令和 4 年 1 月 21 日

ドライバーの皆さまへ

西日本電信電話株式会社
大阪港湾局

港湾・コンテナターミナル業務の業務効率化・生産性向上の
実現に向けた実証事業におけるアンケートのお願い

総務省「令和 3 年度課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」に採択された、港湾・コンテナターミナルの業務の業務効率化および生産性向上に向けた実証実験」において、渋滞見える化による行動変容の実現が可能かを検証するため、ドライバーの皆様にアンケートの実施をお願いしております。ドライバーの皆さまの貴重なご意見を参考にさせていただきたく存じます。

1．実施方法

以下の URL にサイトにアクセスしていただき回答をお願いします。

https://forms.gle/fuytaMf9sDpnXVwQ8

QR を読み込みアクセスお願いします。

※ 3 分程度で終わります。無記名での実施です。

2．実施期間

2022 年 1 月 26 日(水)～2 月 9 日（水）

3．本件の問い合わせ先

本アンケートに関するご質問等がございましたら、下記連絡先までお願い申し上げます。

西日本電信電話株式会社　エンタープライズビジネス営業部　松野・中村

(dreamisland-l5g@west.ntt.co.jp)

ご多忙の中、大変恐縮ではございますが、アンケートへご協力頂きますよう、何卒よろしくお願い申し上げます。

図 4. 4. 1. 1-Ⅲ-1　アンケート周知文

大阪府トラック協会様にご協力をいただき、トラック協会メンバーに配布しました。

令和４年 ２月 16 日

ドライバー・配車担当者の皆さまへ

西日本電信電話株式会社
大阪港湾局

【再依頼】港湾・コンテナターミナルの交通状況に関するアンケートのお願い
（３分程度終わります。無記名です。）

既にアンケートにご協力いただきましたドライバー・配車担当者の皆さま、貴重なご意見をいただき誠にありがとうございます。

重ねてのお願いで恐縮ですが、検証精度の向上のため、一人でも多くの方のお声を伺いたいと考え、アンケートの回答期限
しくお願いします。

1．実施方法

以下の URL のサイトにアクセス
https://forms.gle/fuytaMf9sDp
QR コードを読み込みアクセス

※QR コー
iphone の
android の

2．実施期間

2022 年 1 月 26 日(水)～2 月 1

3．本件の問い合わせ先

本アンケートに関するご質問等か
西日本電信電話株式会社　エン
(dreamisland-15g@west.ntt.co.j

ご多忙の中、大変恐縮ではござい
くお願い申し上げます。

【別紙１】 参考　QR コードの読み込み方法

● iPhone の場合

標準のカメラアプリを起動し、QR コードをフレーム内に写し読み取ります。Safari 等のブラウザの表示が出ましたら、タップします。

●android の場合

機種によっては、標準カメラに QR コードの読み取り機能があります。QR コードをフレーム内に写すと、URL が表示されますので、赤枠内をタップします。

標準カメラでの読み込みができない場合は、Google Lens アプリを利用します。右記の「レンズ」のアイコンをタップしてアプリを起動し、QR コードをフレーム内に写すと URL が表示されます。

●LINE アプリをインストールされている場合。

LINE アプリのアイコンを長押しし、メニューから QR コードリーダーを選択します。QR コードをフレーム内に写すと URL が表示されますのでタップします。

②タップ

①アイコンを長押し

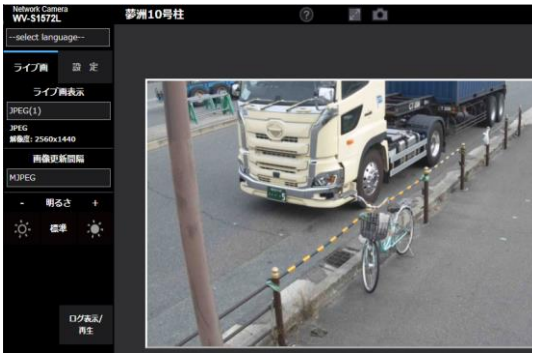
図 4.4.1.1-Ⅲ-2 アンケート再周知文

アンケート回答数をさらに増やすため、内容を端的によりわかりやすく変更、QR コードの読み込み方を補足して、DICT 様にご協力いただきターミナルゲートで手配りを実施しました。

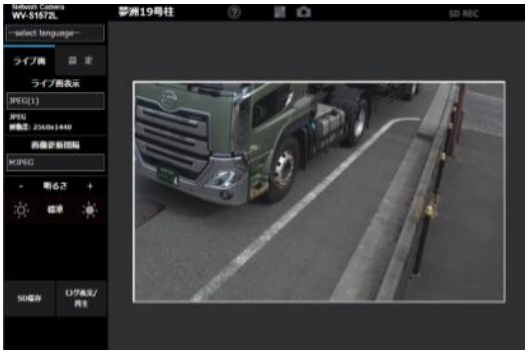
図 4.4.1.1-Ⅲ-3 Google form でのアンケート内容

Google form を利用してスマートフォンで隙間時間に投入できるように実施しました。

図 4.4.1.1-Ⅲ-4 車番認証システム Parkingeyes4.1



夢洲 10 号柱のカメラ映像



夢洲 19 号柱のカメラ映像

図 4.4.1.1-Ⅲ-5 4K カメラ映像

図 4.4.1.1-Ⅲ-6　4K カメラの映像設定内容

(9) Ⅲ 実証結果及び考察

＜Ⅲ-①　：混雑算出モデルの確認と算出モデルの精度＞

【利用可能データ調査】

本実証で混雑算出に利用できるデータの利用可否と仮説での有用性を調査しました。なお本実証ではカメラデータを用いた外来トレーラーの待機列自動判別を実施したため、カーナビ等の GPS を用いたデータの利用を想定から省いています。

表 4.4.1.1-Ⅲ-2　利用可能データ調査表

データ名	主要データ	利用可否	仮説での有用性	実証利用
カメラデータ	車番	○	○	○
	日時			
	車種			
	通過時間			
気象データ	気温	○	○	○
	雨量			
	湿度			
	紫外線量			
コンテナ残量	コンテナ残量	○	現地ヒアリングにより、港のコンテナ残量の増減は返却へ影響しないと判断。	×
寄港データ	寄港データ	○	現地ヒアリングにより、オー	×

			プンデータの寄港データに記載された情報通りに貨物船が寄港しているわけではなく、情報精度に難があると判断。	

【基礎分析】

1）対象データ

表 4.4.1.1-Ⅲ-3　対象データ表

データ名	取得期間	フィールド名
カメラデータ	2/24～3/14 （ゲート休業日の日曜日とローカル 5G 停波期間の 3/7.3/8 を除く）	入場日付、入場時刻、退場日付、退場時刻、滞留時間陸運支局名、分類番号、かな文字、一連番号、事業用、軽自動車、大板、場所番号、場所名、入場ゲート番号、入場ゲート名、入場カメラ番号、入場発報条件番号、入場時発報条件、入場画像ベースネーム 1、入場画像ベースネーム 2、退場ゲート番号、退場ゲート名、退場カメラ番号、退場発報条件番号、退場時発報条件、退場画像ベースネーム 1、退場画像ベースネーム 2、車両区分番号、車両区分名、車両情報、メモ、入場状態、退場状態、状態名、滞留時間超過
気象データ	2/24～3/14 （ゲート休業日の日曜日とローカル 5G 停波期間の 3/7.3/8 を除く）	年月日時気温(℃) 降水量(mm)、降水量有無、日照時間(時間)、日照時間有無

2）データクレンジング

基礎分析にあたり、分析の際に不要となるデータを削除します。

・　分析に無関係なデータの削除

システム上発生する混雑分析に関係しない下のフィールドを削除しました。

「入場画像ベースネーム 1」、「入場画像ベースネーム 2」、「退場画像ベースネーム 1」、「退場画像ベースネーム 2」

・　情報量がないデータの削除

全列が同値であった下のフィールドを削除しました。

「軽自動車」、「場所番号」、「場所名」、「入場ゲート番号」、「入場ゲート名」、「入場カメラ番号」、「入場発報条件番号」、「退場ゲート番号」、「退場ゲート名」、「退場カメラ番号」、「退場発報条件番号」、「車両区分番号」、「入場状態」、「退場状態」、「状態名」、「滞留時間超過」

・　欠損値、異常値の削除

入場と退場双方でナンバープレートを検知していない場合、通過時間を計測できないため、「入場日付」又は「退場日付」のどちらかが欠損値である行を削除しました。

全列が欠損値であった下のフィールドを削除しました。

「入場時発報条件」、「退場時発報条件」、「車両区分名」、「車両情報」、「メモ」

データの性質上追い抜きは発生しない、もしくは発生する場合追い抜かれた車両は混雑と関係なく停車していたと考えられるため、「退場時刻」が後方車より遅い車両データである行を削除しました。

・　文字列の表記ゆれの修正

対象データでは表記ゆれは無いことを確認しました。

3）単軸分析

対象期間の車両の通過台数と通過時間について単軸分析を実施しました。

通過台数（合計）：5,048 台
通過時間（平均）：409.6 秒
通過時間（中央値）：298 秒
通過時間（最大）：4,841 秒
通過時間（最小）：16 秒
通過時間（標準偏差）：670.3

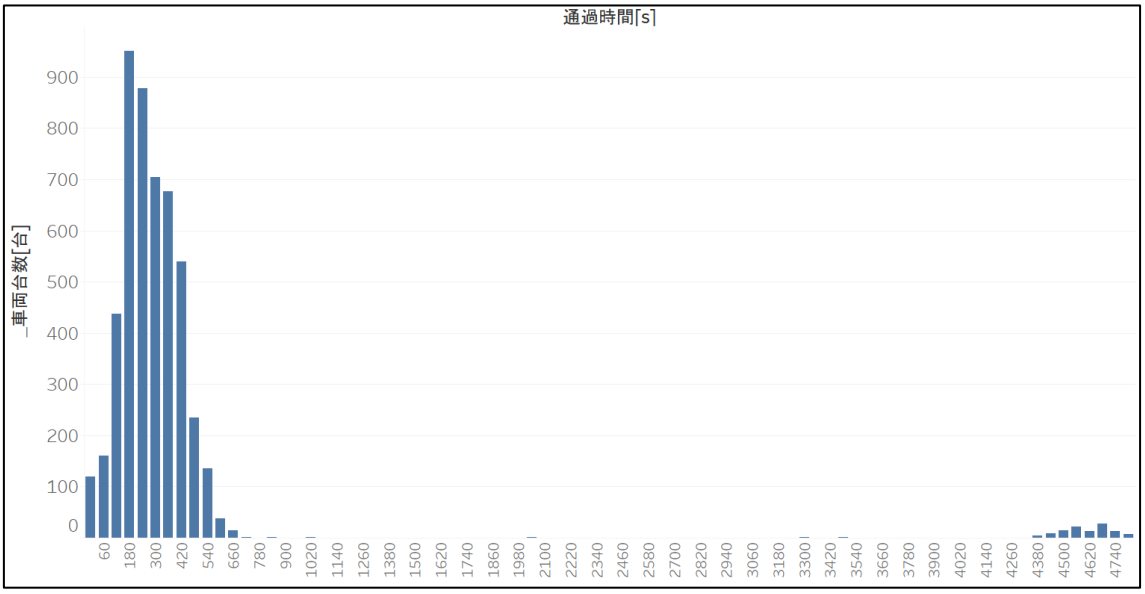


図 4.4.1.1-Ⅲ-7　通過時間データ

分析の結果、通過時間のデータは標準偏差が大きな偏った分布をとることが分かりました。最小通過時間が 16 秒であることから、対象区間は緩やかな混雑は常態的に発生していると考えられます。また、分布から大きく外れた 4000 秒台にデータがあることから、昼休憩時などのゲート未利用時に長時間の停滞が発生すると考えられます。

4） 二軸分析

対象期間の車両の通過台数と通過時間について二軸分析を実施しました。

・曜日

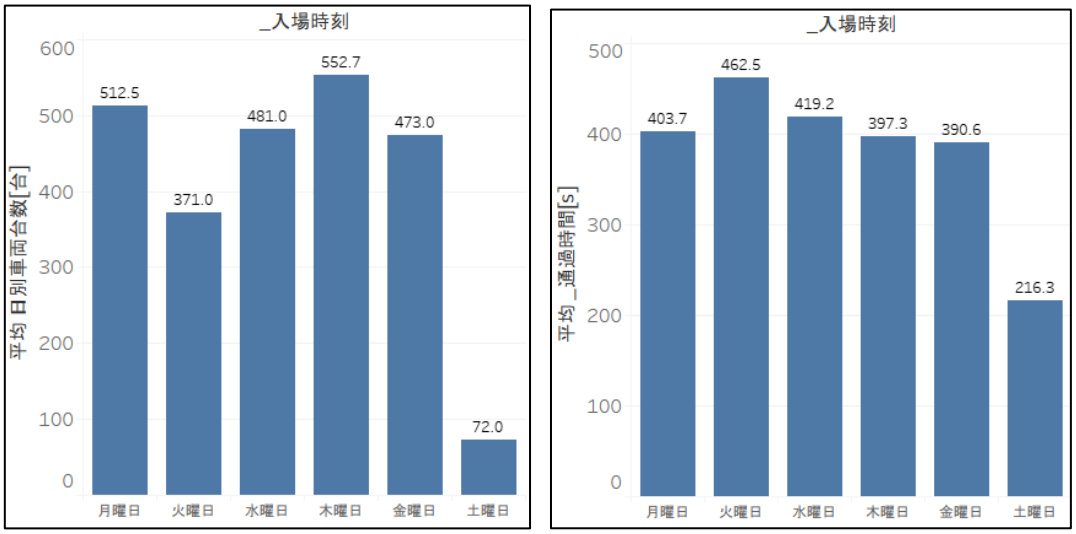


図 4. 4. 1. 1-Ⅲ-8　曜日別通過台数・時間の二軸分析

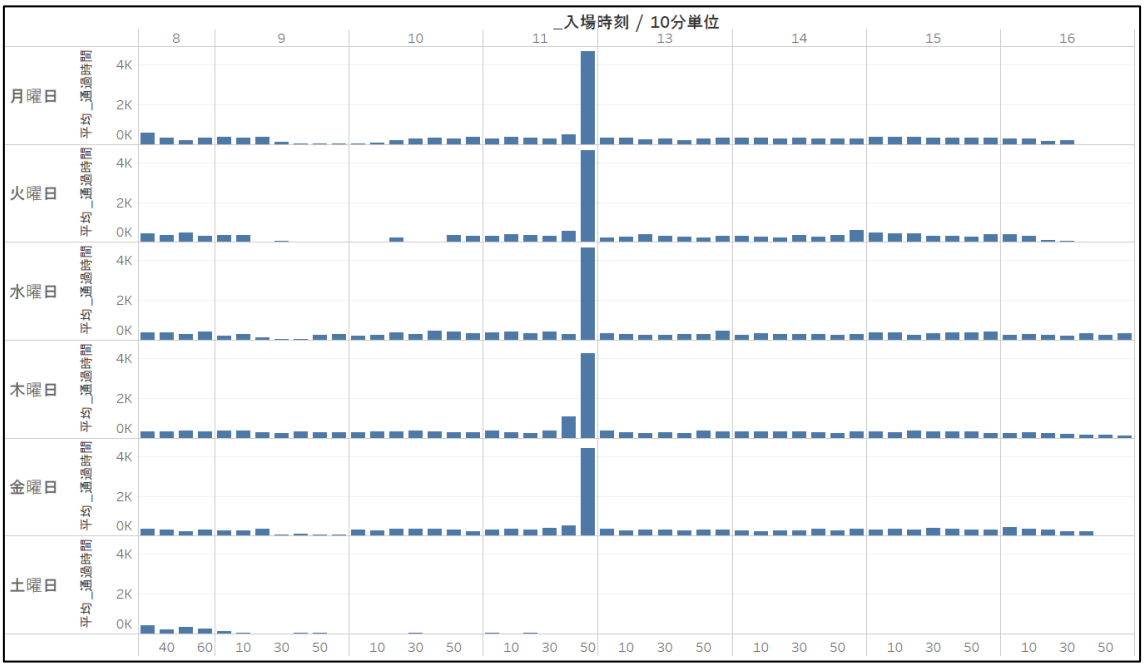


図 4. 4. 1. 1-Ⅲ-9　曜日別通過台数・時間の三軸分析

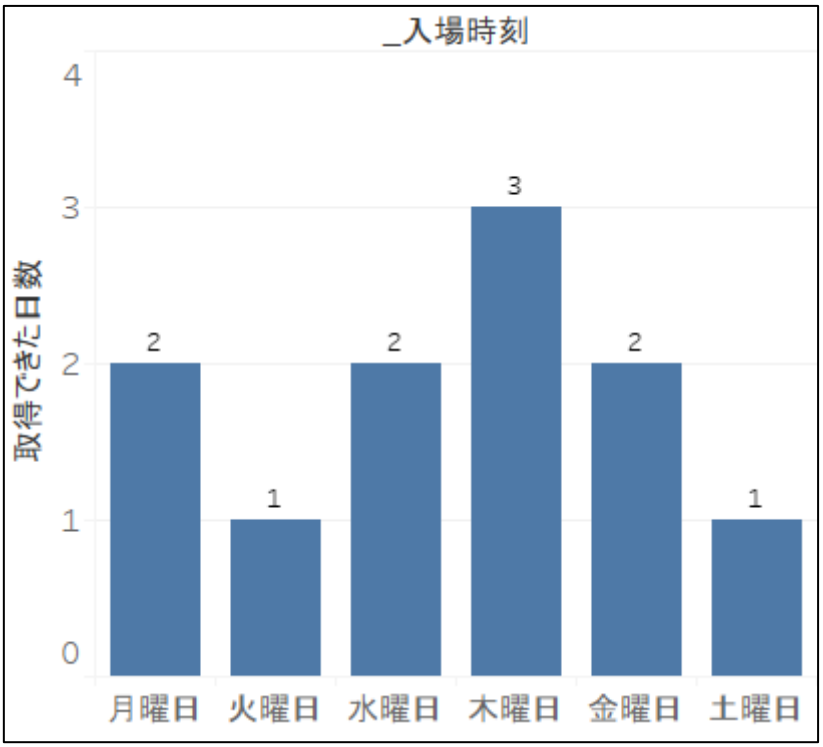


図 4.4.1.1-Ⅲ-10　取得データの曜日の分布

分析の結果、土曜日はゲートの稼働時間が平日と異なるため通過台数、通過時間ともに少なくなりました。傾向が大きく異なるため、予測の際は平日と土曜日でモデルを分けることで精度の向上が期待できます。

火曜日の通過台数が少ないのは、対象期間に取得できた火曜日のデータが 1 日分であったことが影響していると考えられます。

【時刻】

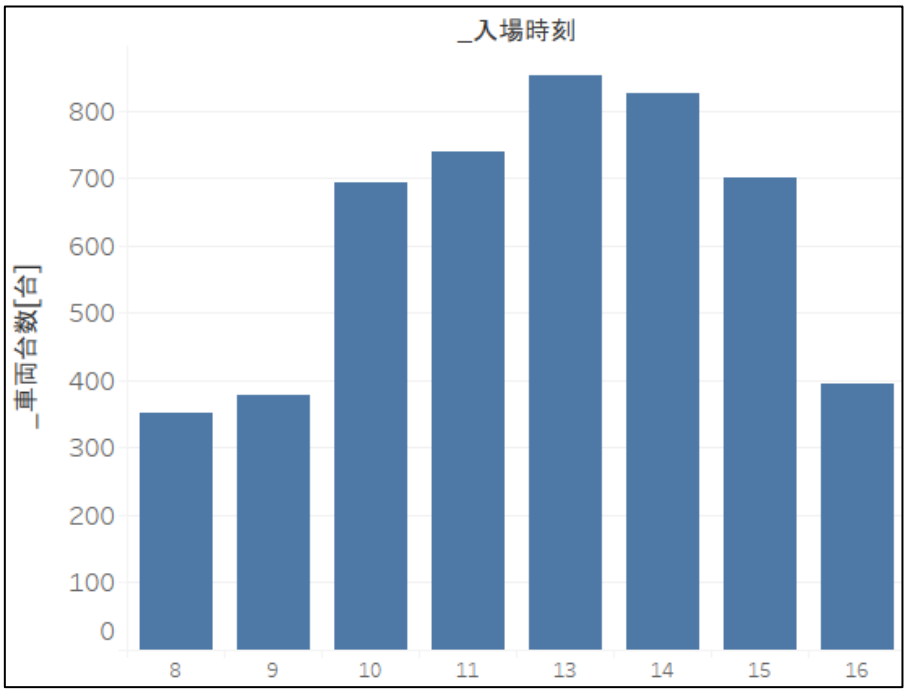


図 4.4.1.1-Ⅲ-11　時刻別通過台数の二軸分析

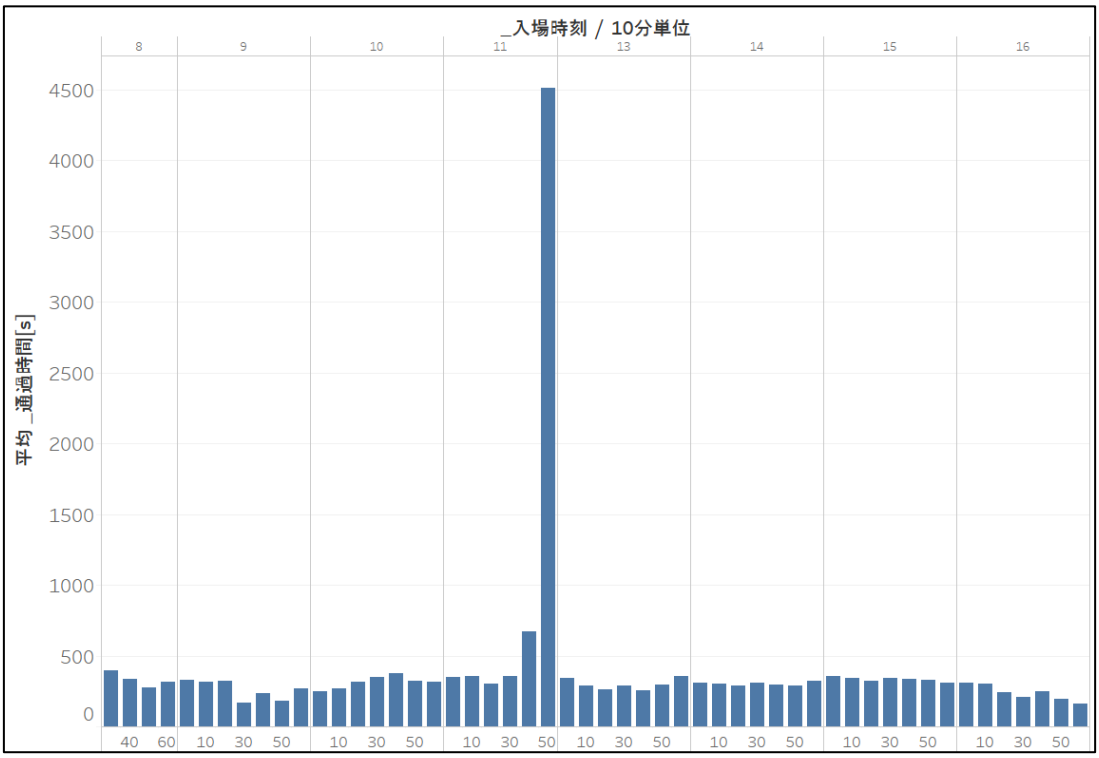


図 4.4.1.1-Ⅲ-12　時刻別通過時間の二軸分析

時刻と通過車両では 12 時を除いて正規分布に近い分布を取ることが分かりました。

また、平均通過時間は午前 11 時～12 時が長くなっており、これは 12～13 時の昼休憩にゲートの運用が止まるため、再開までの待ち時間が大きく影響していると考えられます。

【気象】

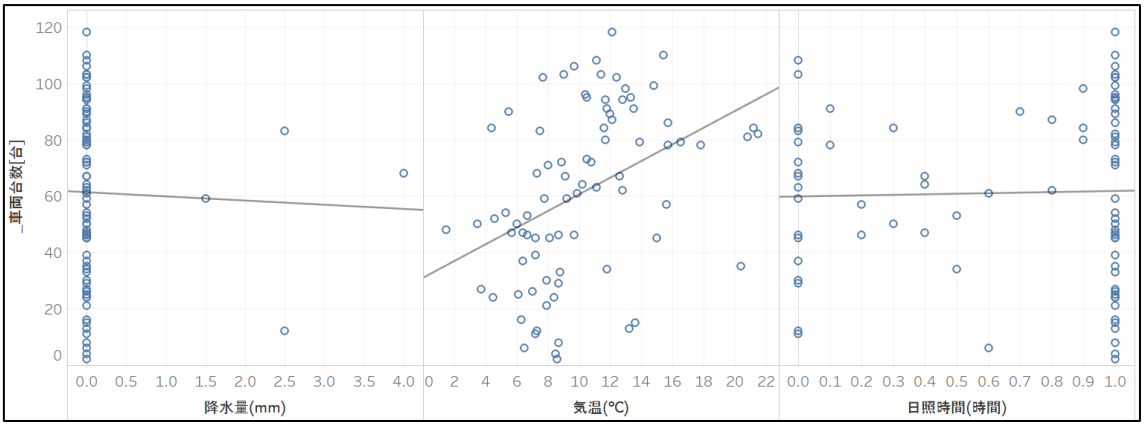


図 4.4.1.1-Ⅲ-13　気象データと車両台数の相関

気温と通過車両に少し相関が見られました。これは時刻と通過車両の関係から、午後にかけて車両数が多くなるため、時間との相関が大きい気温にも相関が生じたと考えられます。気温と通過車両との関係を正確に分析するには、年間のデータ収集による季節の気温変化の取得により、時間と気温の相関を弱めることが有効だと考えられます。

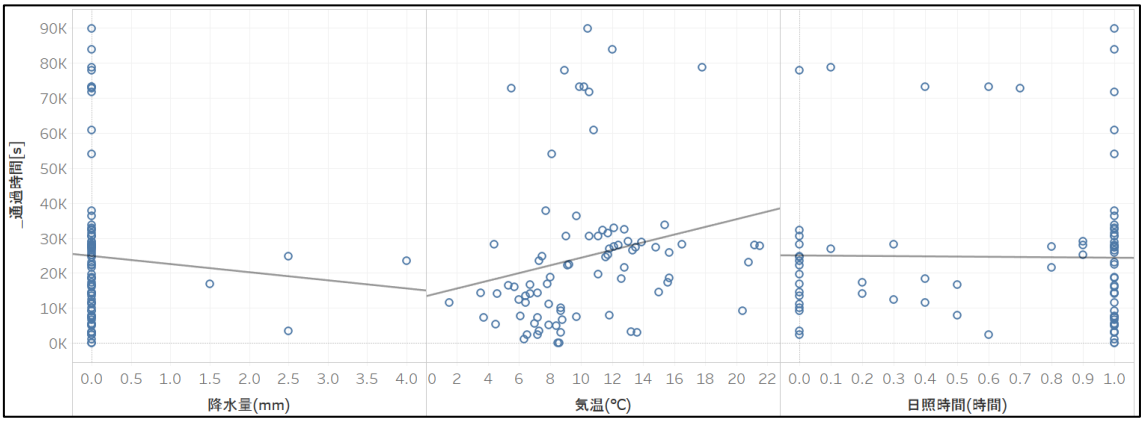


図 4.4.1.1-Ⅲ-14　気象データと平均通過時間の相関

気象データと通過時間には相関は認められませんでした。

【車両】

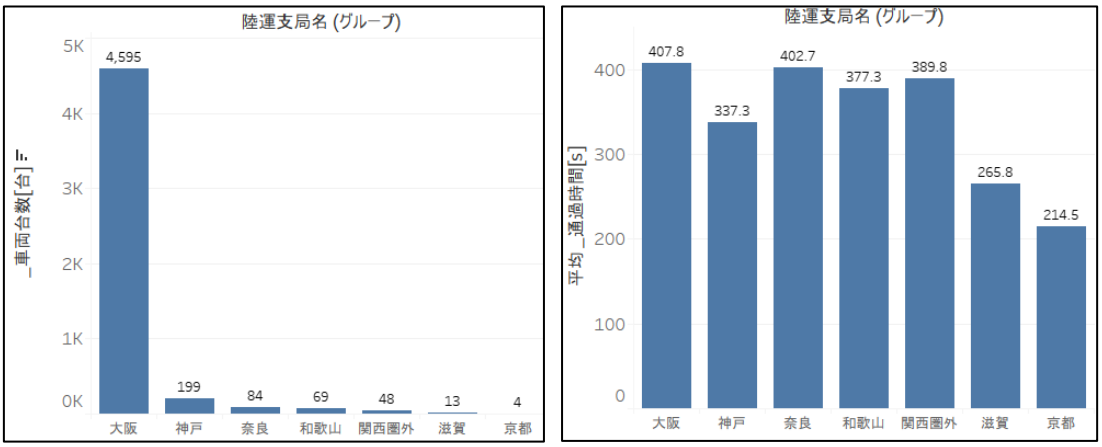


図 4.4.1.1-Ⅲ-15　陸運支局と車両台数・平均通過時間の相関

分析の結果、大阪（なにわ、堺、大阪、和泉）ナンバーが全体の 9 割以上を占めることが分かりました。また、陸運支局は通過時間に影響を与えないと考えられ、「滋賀」「京都」の平均通過時間の短さは母数が少ない為の事象であると考えられます。

5）考察

単軸分析と二軸分析の結果、通過台数と通過時間は共にカメラ測定エリアへの入場時刻の影響が大きいと考えられます。曜日や気象には大きく影響を受けていませんが、検証期間内に 1 日しか取得できなかった曜日があることや降雨が 1 日しかなかったことから、本実証での関係性の否定はできず、今後検証期間を延ばしての検証が必要だと考えられます。

【混雑算出モデルの作成】

混雑を可視化する為に、距離による補正と持続時間による補正を実施しました。

【距離による補正】

本検証で設置したカメラ間距離から、各地点における混雑の待ち時間を補正し算出します。

- 地点情報

  カメラ間距離　：約 300m

- 補正方法

$$\text{補正通過時間} = \text{カメラ間通過時間}\ [\mathrm{s}] \times \frac{\text{予測地点} - \text{カメラ間距離}}{\text{カメラ間距離}}\ [\mathrm{m}]$$

【持続時間による補正】

通過時間の分布から混雑を判別する閾値を設定し、閾値を超えた混雑が持続した時間を基に混雑長を補正し算出します。

$$\text{補正混雑長} = \text{持続時間}[\mathrm{s}] \times \frac{\text{カメラ間距離}}{\text{カメラ間通過時間}}\ [\mathrm{m/s}]$$

【混雑算出モデルの可視化】

混雑算出モデルによる各地点の待ち時間を可視化しました。車両位置での待機時間を表示します。

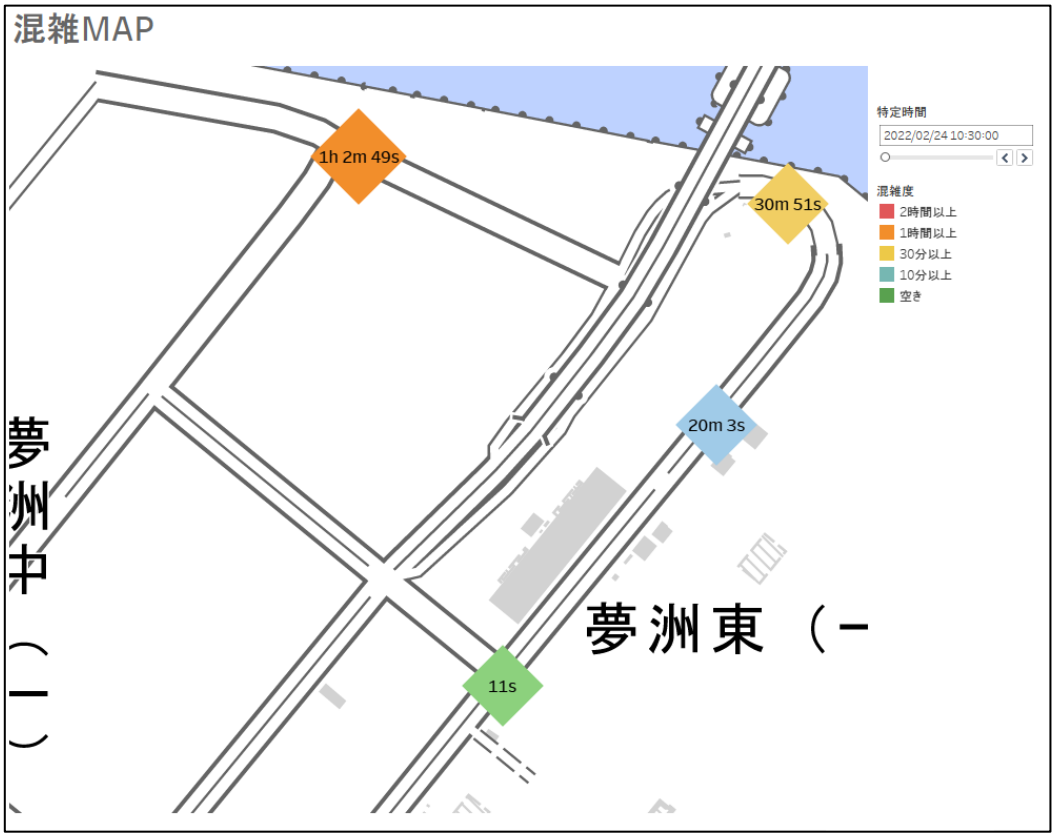


図 4.4.1.1-Ⅲ-16　混雑算出イメージ

【混雑算出モデルの精度検証】

補正した通過時間と正解データを比較し、精度を検証した。

- 検証期間　：　3/9　11:00-11:30、14:00-14:30
  3/14　11:00-11:30、14:00-14:30

- 評価指標　：　一致率＝補正値÷正解値×100[%]

- 精度　　：　43.5%

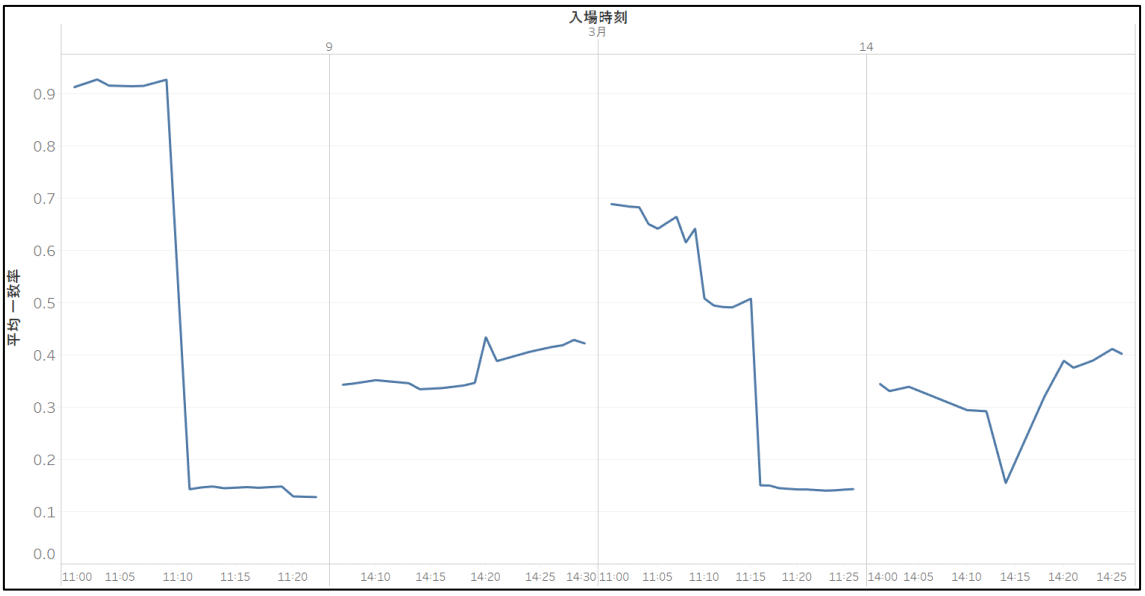


図 4.4.1.1-Ⅲ-17　混雑算出モデルの精度

分毎の平均一致率を見ると 11 時の後半に一致率が急激に低下している。

これはゲートの休憩時間に重なった車両の通過時間が影響していると考えられるが、補正値では距離による待機の早まりを考慮できなかったことが原因だと推察される。

＜Ⅲ－②：混雑の予測モデル実現可否＞

【データセット】

カメラデータと気象データを統合したデータを対象としました。

教師データ　　：2022 年 2 月 24 日～3 月 10 日（土日と 3/7、3/8 を除く 9 日分）

テストデータ　：　2022 年 3 月 14 日

【学習方法】

学習モデル　　：eXtreme Gradient Boosted Trees Regressor

目的変数　　：通過時間

説明変数　　：_入場時刻、陸運支局名、分類番号、かな文字、

一連番号、事業用、気温(℃)、降水量(mm)、日照時間(時間)

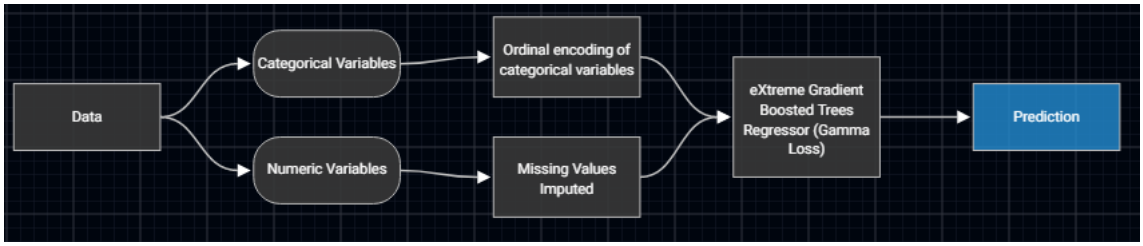


図 4.4.1.1-Ⅲ-18　学習モデル概要

【予測結果】
RMSE：406.1165
誤差率：70.4 %

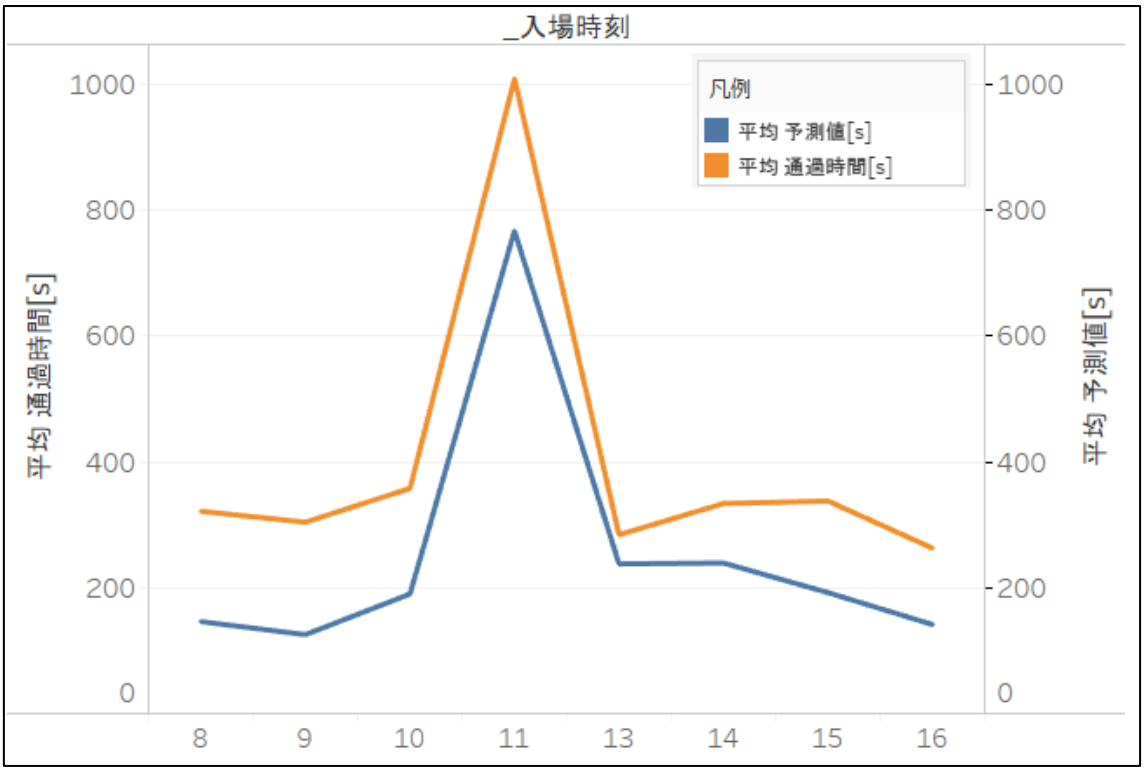


図 4.4.1.1-Ⅲ-19　予測値と実測値の比較

予測結果から、予測値では実測値より低い値を予測する傾向にありました。これは通過時間の基礎分析から、極端に大きい値をとる分散の大きいデータであることが影響したと考えられます。

【特徴量の影響】

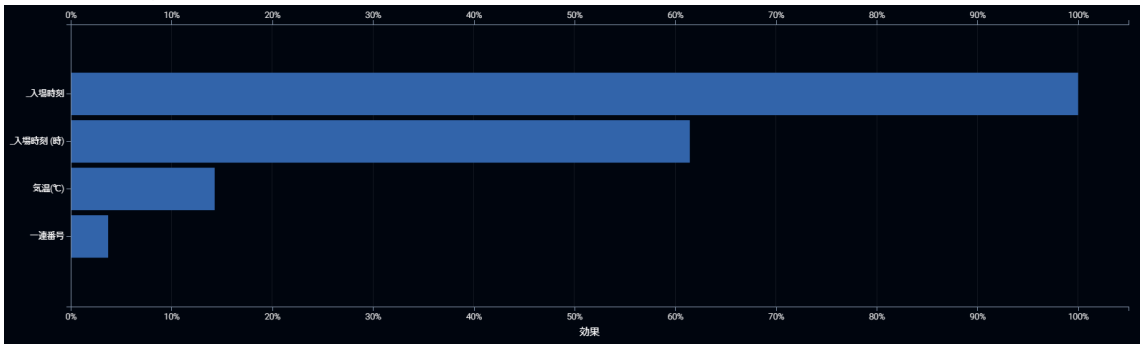


図 4.4.1.1-Ⅲ-20　特徴量の影響

モデルへの特徴量の影響を確認すると、最も影響の強い特徴量を 100%とした時、入場時刻が大半を占めていることが分かりました。このことから、本実証では入場時刻が通過時間への強い影響力を持っていると言えます。また、入場時刻以外の変数の影響が小さいことから、通過時間を予測するための変数が足りていないと推察されます。

【今後への提言】

今回の実証において待機時間の予測という数値を予測することについて学習する時間も短く、高い精度での結果を出すことができませんでしたが、平均通過時間の増減傾向は一致しているので混雑度合いの表示であれば高い精度が出せることがわかりました。

待機時間という数値を予測するための、基礎分析と予測モデルの作成により、本実証で収集したデータでは入場時刻が最も大きく通過時間への影響を持つことが分かりました。しかし、他のデータの影響が少ないことも確認できたため、本実証で収集したデータ範囲の修正とデータの追加が必要であると考えます。収集データに関する提言として、カメラの設置区間、追加データと収集期間に関して述べます。

カメラの設置区間に関して、本実証での 300m 区間のデータでは発生する混雑に対して十分な長さでなかった為、通過時間がゲートの処理速度に依存してしまうと考えられます。そのため、混雑の度合いにより通過時間の変化を観測するのに十分な距離を確保することが重要です。具体的には、発生する渋滞長と観測区間内の分岐を考慮した最大長を設置区間とすることを提言します。

混雑予測に必要な追加データに関して、周辺道路の交通情報（車両台数、混雑度、事故情報など）とカメラ設置区間外への車両の分岐率を収集することを提言します。これは周辺道路状況による影響や、観察区間内の車両の行き先などをデータ化することで、混雑に間接的に影響するデータから予測精度の向上につなげるためです。

データの収集期間に関しては、ウェブポータルサービスなどで月・曜日・時間の周期性を確認し、二周期分以上の期間でデータを収集することが必要です。二周期分必要な理由は、学習とテストにそれぞれ一周期分のデータが必要になるからです。

＜Ⅲ－③：削減作業時間/年＞

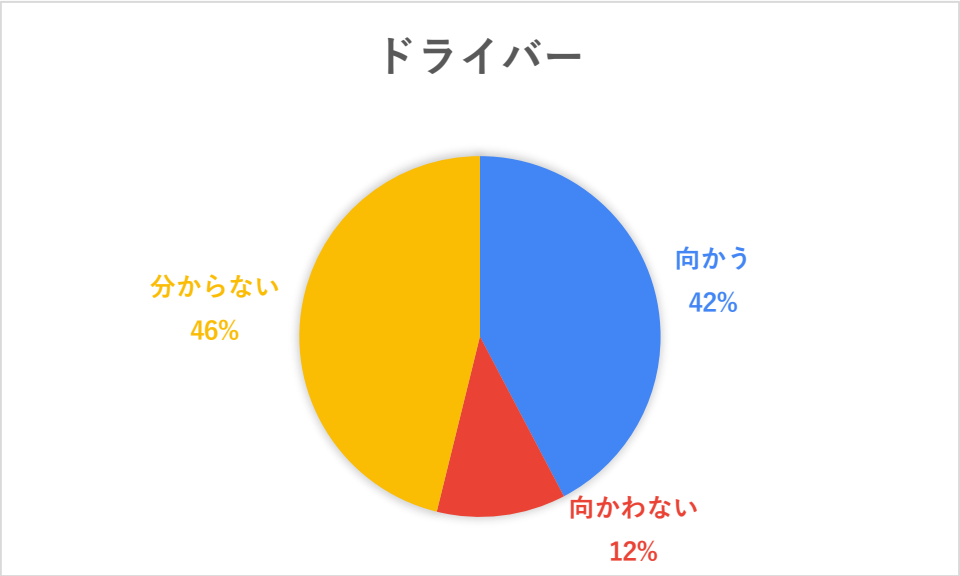
混雑状況が分かった場合にどれくらい混雑回避の行動変容が起きるかをアンケートで確認して、待機時間減少を机上検討しました。

【行動変容について（リアルタイム情報）】

現在の混雑情報が出発前に分かるとドライバーの 42%は、複数の配車指示があれば空いている荷物種別の方に向かう、配車担当者については 54%の方が変更の配車指示を行うことがわかりました。

表 4.4.1.1-Ⅲ-3　アンケート項目と選択肢

現在の混雑情報が出発前に分かると、混雑を避け空いている時間でゲートに向かいますか。	択一	①　向かう ②　向かわない ③　分からない



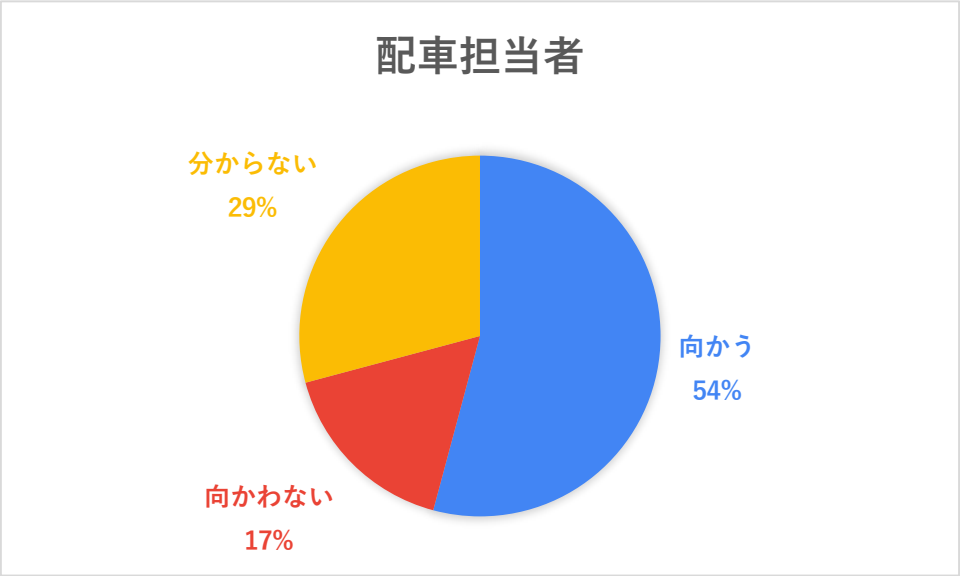
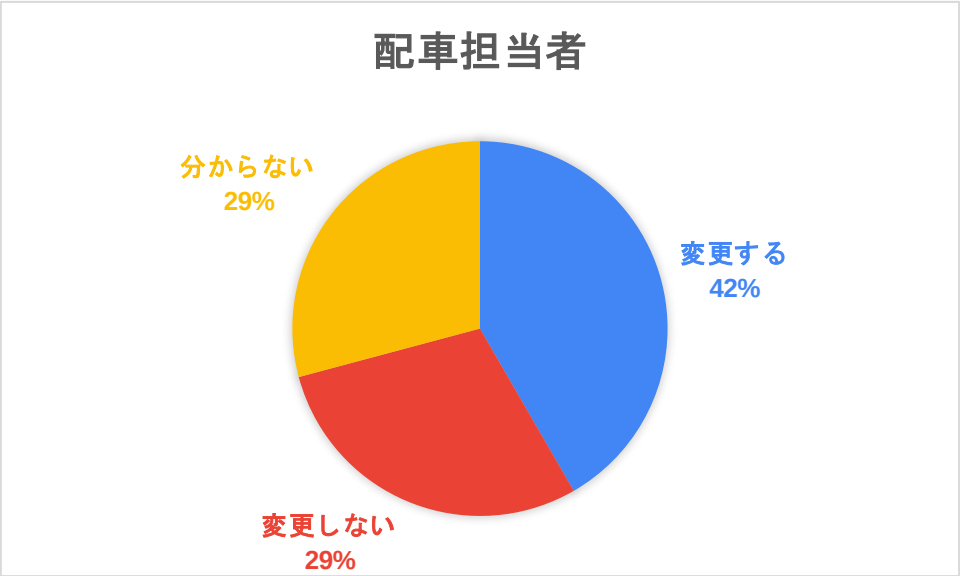


図 4.4.1.1-Ⅲ-21　行動変容アンケート結果
ドライバー n=104 / 配車担当者 n=24

【行動変容について（未来予測情報）】
配車担当者の 42%は、混雑の未来予測が分かれば空いている時間に予定を「変更する」することがわかりました。

表 4.4.1.1-Ⅲ-4　アンケート項目と選択肢

例えば、混雑の予測（1 日、2 日、3 日、1 週間等）を見ることができれば、空いている時間に予定を変更しますか？	択一	①　変更する ②　変更しない ③　分からない



分からないの内容	・ 仕事の内容次第なので分からない ・ その日の走りで帰ってくる車の状況がつかめない、その時時のタイミングでしか判断できないので今現在どうなのかで判断する ・ 待ち時間を運賃に加算する事が望ましい。他人の時間はタダでは無い。 ・ シャーシを次の運行に使用するのでスムーズなゲート対応をしてもらうのが必須です ・ 荷主次第で時間の都合を考える ・ 結局混雑していても、していなくてもシャーシにならないと次の仕事もいけない

図 4.4.1.1-Ⅲ-22　予測した混雑情報の活用についてのアンケート結果
配車担当者 n=24

【分からない内容の考察】
分からないと回答した方で「荷主次第で時間が決められない」という意見が多かったので、すいている時間への変更には、荷主の意見も影響することがわかりました。

【予測した混雑情報の活用について】

・ 行動変容率の仮定

これらのアンケート結果から、予測情報での配車担当者による、混雑避けた配車指示（行動変容意志 42%）。リアルタイム情報でのドライバーの行動変容意志（42%）、配車担当者の行動変容意志（54%）の平均をとって、46%の行動変容意志があるとするが、荷主次第で時間が決定したり、コンテナに積んでいる荷物の納期を加味しないといけなかったりと、行動変容したくてもできない配車担当者がいることを考慮して、半分程度の人が変更できたとして 23%の車両が減ったと仮定しました。

・ 削減される待機時間

実測値データから空トレーラー1 台あたりの平均待機時間を仮定する。
測定日時：2022 年 3 月 14 日（月）14 時～14 時半

測定距離：1160m

測定日時の時間内に通過した空トレーラーの台数は 35 台で、平均通過時間は 47 分 37 秒でした。混雑していないときの空トレーラーの速度を 30km/時と仮定すると、1160m の距離を通過するのに通常 2 分 19 秒かかります。

平均待機時間＝混雑時通過時間－通常時通過時間より約 45 分と算定されます。

空トレーラーの 1 日あたりの平均待機時間は約 45 分であるため、そのうち 23 ％（行動変容率）の約 10 分の待機時間がドライバーと配車担当者の行動変容によって減少すると考えられます。

1 台あたりの削減待機時間/日＝平均待機時間 45 分×行動変容率 23％×$\frac{1}{100}$＝10.35 分

1 日に夢洲コンテナターミナル(c11)を往来する空トレーラーの台数が現在約 800 台で、行動変容によって 23％が減少されることを加味すると、

800 台―（800 台×行動変容率 23％×$\frac{1}{100}$）＝616 台

1 台あたりの削減待機時間 10.35 分/日×616 台＝6375.6 分（106.3 時間）/日

年間での削減待機時間を計算すると、

削減待機時間 106.3 時間/日×20 営業日/月×12 ヵ月/年＝25512 時間 / 年

年間で 1063 日（25512 時間）分の待機時間が削減されると算定されました。

＜Ⅲ－④：費用対効果/年＞

1 台あたりの削減される待機時間 10.35 分/日から、年間の費用対効果を算出します。

国土交通省が提示しているドライバーの人件費は 1 時間 3,657 円(※)です。そのうちの削減される待機時間が 10.35 分とすると、1 台あたりの削減費用/時は

10.35（分）×$\frac{1}{60}$（時間）×3,657 円＝630.8 円/時

(※)小型車～トレーラーの全国平均値の基準外人件費で算出。

＜待機時間量について－国土交通省＞https://www.mlit.go.jp/common/001340659.pdf

1 日に夢洲コンテナターミナルを往来するすべての空トレーラーに待機時間が発生したと仮定しました。

1 台あたりの削減費用 630.8 円×616 台×20 営業日/月×12 ヵ月/年＝約 93 百万円/年

運送業者全体で約 93 百万円/年の費用が削減されると算定されました。

【考察】

Ⅲ－③で述べたように、ドライバーと配車担当者の行動変容により、理論値で削減待機時間/年が 25512 時間と算定され、費用対効果/年は 93 百万円と算定されました。

これらの結果から、コンテナターミナル全体の費用削減は待機時間削減と比例しており、ドライバーの待機時間を減らすことが費用削減だけでなく、混雑解消にもつながることが分かりました。

＜Ⅲ－⑤：実現可能性＞

アンケートで、ドライバー、運行担当者の皆様は、混雑状況の見える化を必要としているか確認し、システムの実現可否について確認しました。

【アンケート内容】

・　アンケート回答者の人数と年齢と役割について

混雑見える化実現に向けて、夢洲を走行するトレーラーのドライバーとその配車担当者へアンケートを実施しました。回答者は全員で 128 名、そのうちドライバーが 104 名、配車担当者が 24 名となりました。

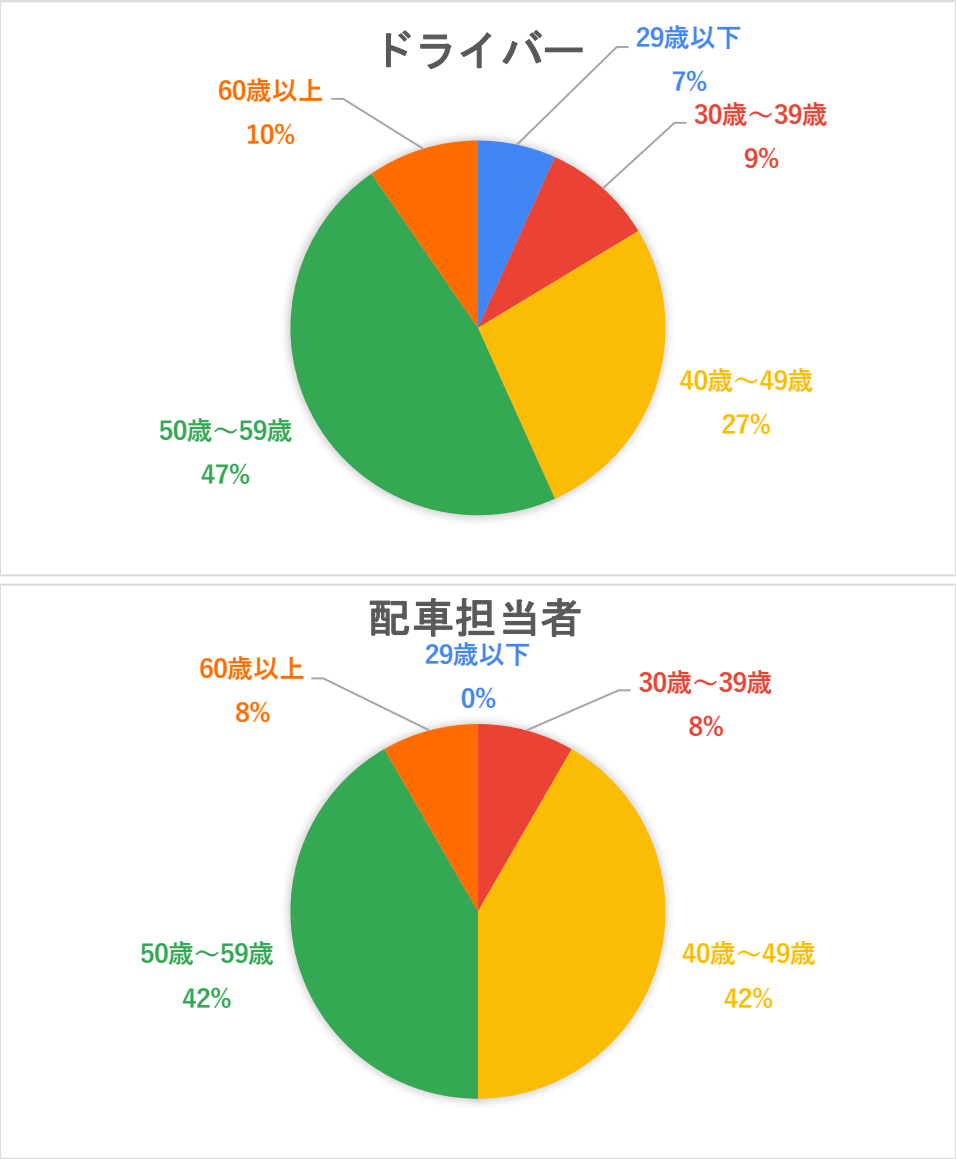


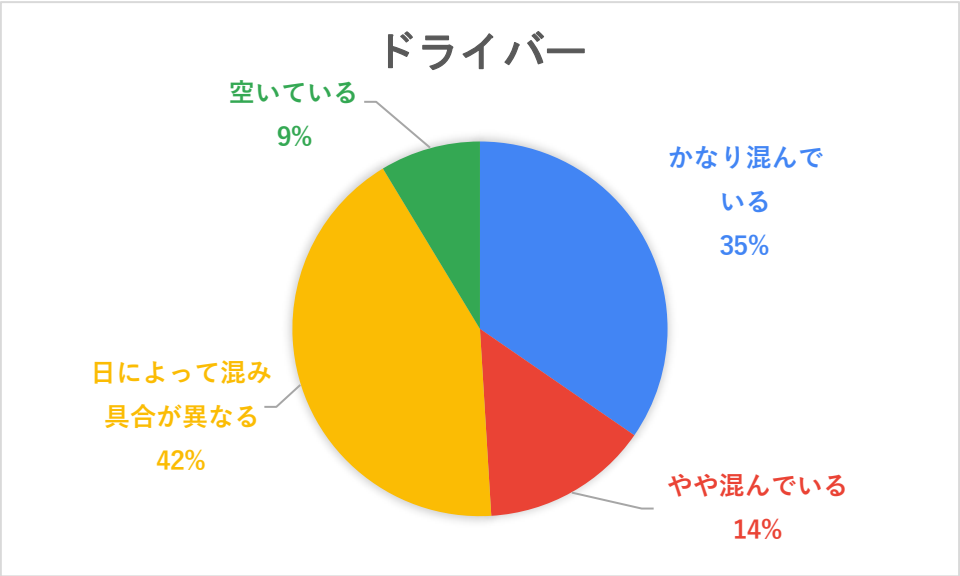
図 4. 4. 1. 1-Ⅲ-23　アンケート回答者の人数と年齢と役割
ドライバー n =104 ／ 配車担当者 n=24

【夢洲の交通状況について】

配車担当者は「かなり混んでいる」と回答した方の割合は全体の 83%でした、実際に夢洲を運転するドライバーは、「かなり混んでいる」「やや混んでいる」と回答した方が 49%のため、ドライバーの半数程度は混んでいると感じています。

表 4.4.1.1-Ⅲ-5　アンケート項目と選択肢

現状の夢洲の道路混雑状況について教えてください。	択一	①　かなり混んでいる ②　やや混んでいる ③　空いている ④　日によって違う



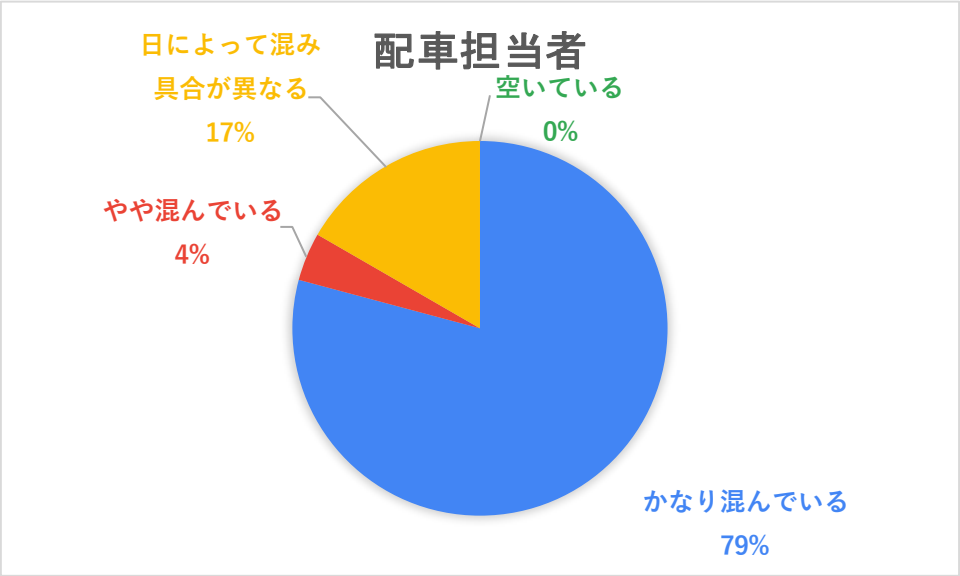


図 4.4.1.1-Ⅲ-24　夢洲の交通状況についてのアンケート結果
ドライバー n=104 / 配車担当者 n=24

【混雑の体感について】

実際に夢洲を走行するドライバーに着目し、並ぶ時間が 15 分でも混雑と感じる割合が 44%で、30 分並ぶと混雑と感じる割合が 35%となりました。

表 4. 4. 1. 1-Ⅲ-6　アンケート項目と選択肢

あなたが混雑と感じる体感を教えて下さい。	択一	①　15 分並ぶと混雑と感じる ②　30 分並ぶと混雑と感じる ③　1 時間並ぶと混雑と感じる ④　特に何も感じない

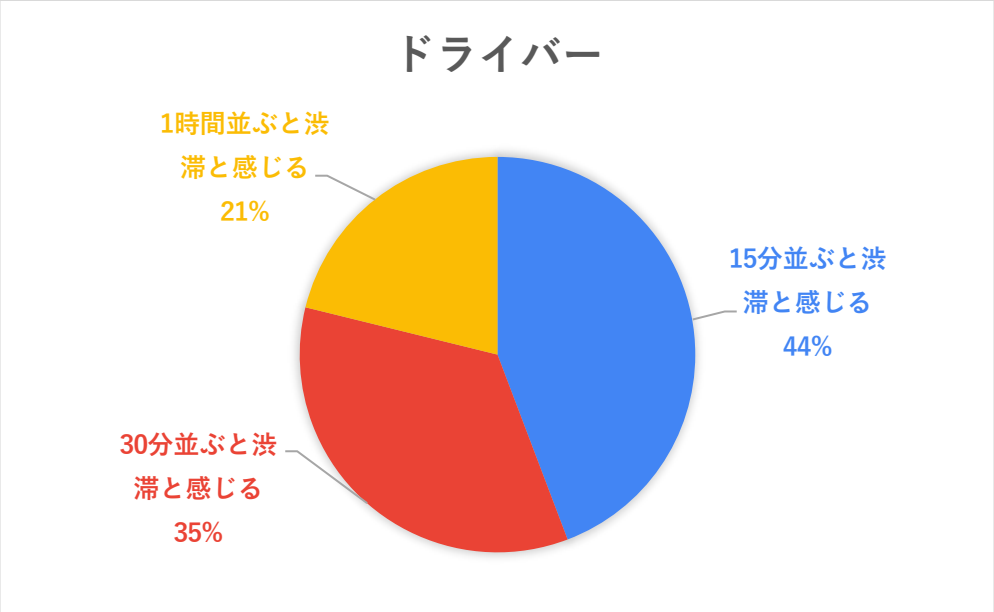


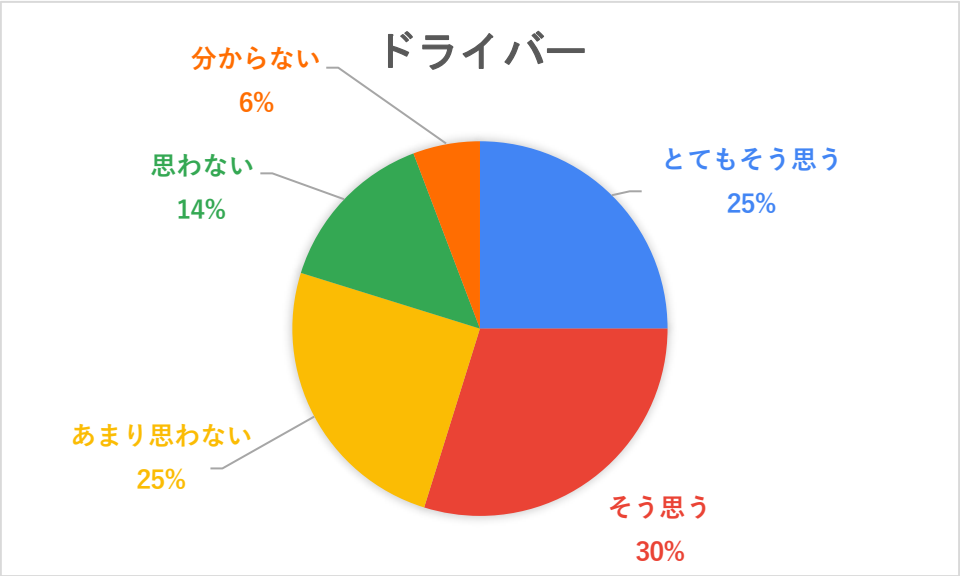
図 4. 4. 1. 1-Ⅲ-25　混雑の体感についてのアンケート結果
ドライバー n =104 ／ 配車担当者 n=24

【有用な混雑情報について】

混雑情報を「混雑の距離」での表示は有用と思う方と思わない方でだいたい半分に分かれました。有用と思うと答えた方の方が少し多いですが、「混雑の距離」での表示の有用性はあまり高くないことが分かりました。

表 4. 4. 1. 1-Ⅲ-７アンケート項目と選択肢

混雑情報を「混雑の距離」での表示は有用な情報といえますか。	択一	① とてもそう思う ② そう思う ③ あまり思わない ④ 思わない ⑤ 分からない



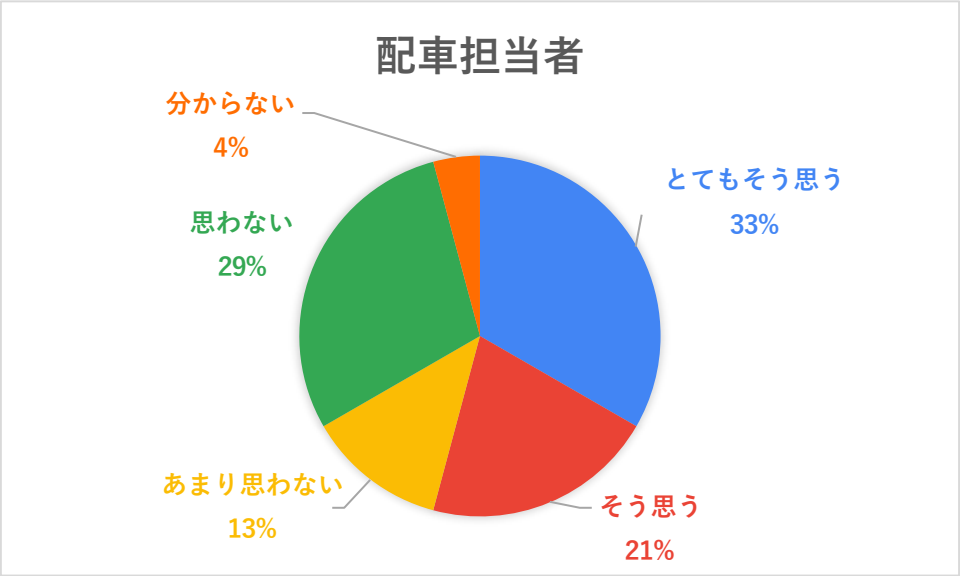
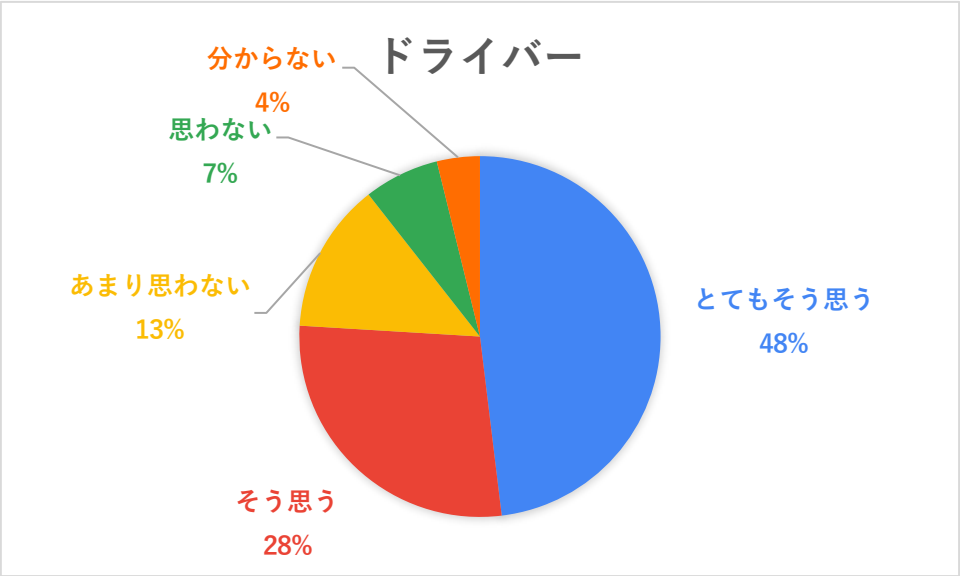


図 4. 4. 1. 1-Ⅲ-26　混雑情報「混雑の距離」での表示についてのアンケート結果
ドライバー n =104 ／ 配車担当者 n=24

「ゲート前での待ち時間」についてはドライバー・配車担当者ともに 70%を超え、有用性が高いことが分かりました。

表 4. 4. 1. 1-Ⅲ-8 アンケート項目と選択肢

混雑情報を「ゲート前での待ち時間」での表示は有用な情報といえますか。	択一	① とてもそう思う ② そう思う ③ あまり思わない ④ 思わない ⑤ 分からない



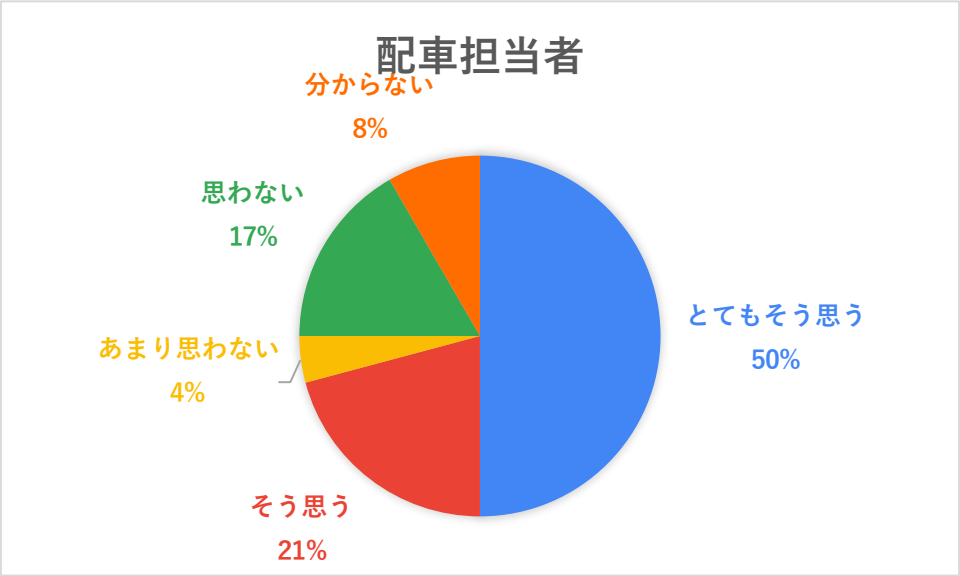
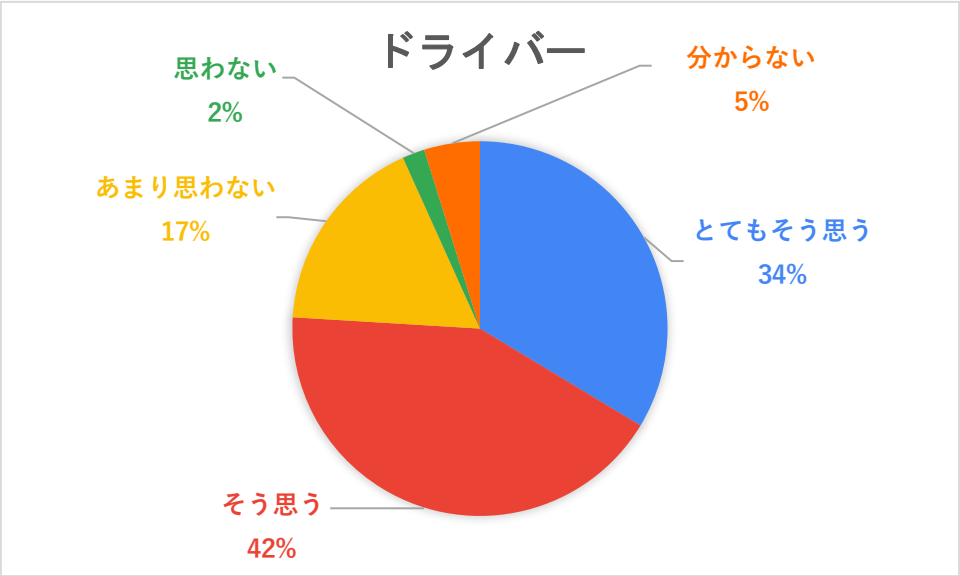


図 4. 4. 1. 1-Ⅲ-27　「ゲート前での待ち時間」での表示についてのアンケート結果
ドライバー n =104 ／ 配車担当者 n=24

「混雑度合い」について、ドライバーは約 70%、配車担当者は約 60%が有用と答えているので、「ゲート前での待ち時間」ほど有用性は高くないですが「混雑の距離」よりは、有用性があることが分かりました。

表 4. 4. 1. 1-Ⅲ-9 アンケート項目と選択肢内容

混雑情報を「混雑度合い（5 段階）」での表示は有用な情報といえますか。	択一	① とてもそう思う ② そう思う ③ あまり思わない ④ 思わない ⑤ 分からない



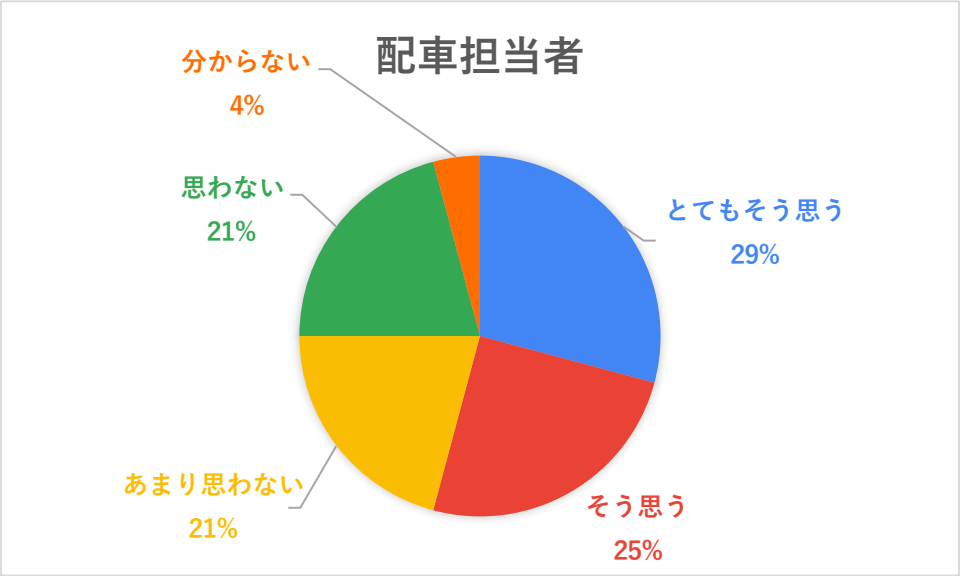
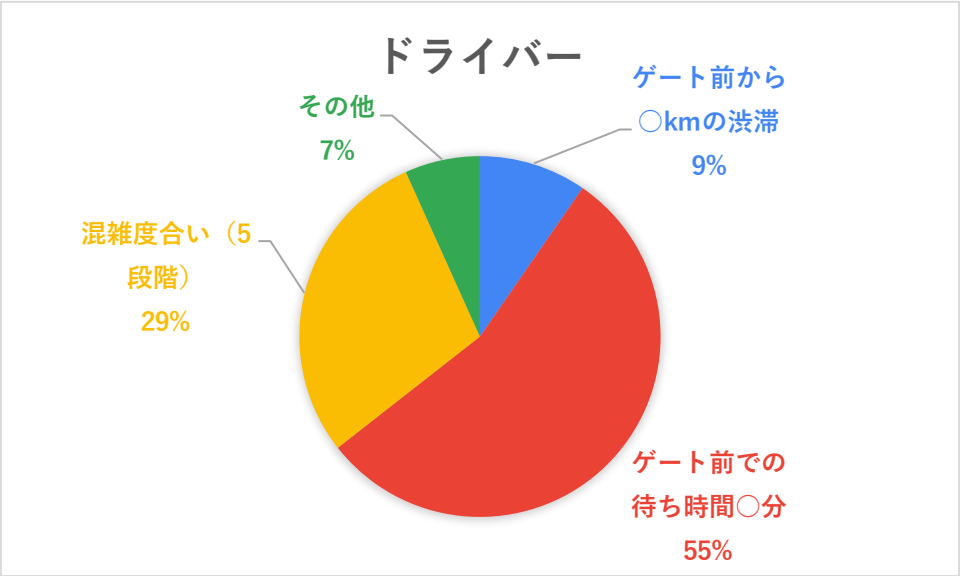


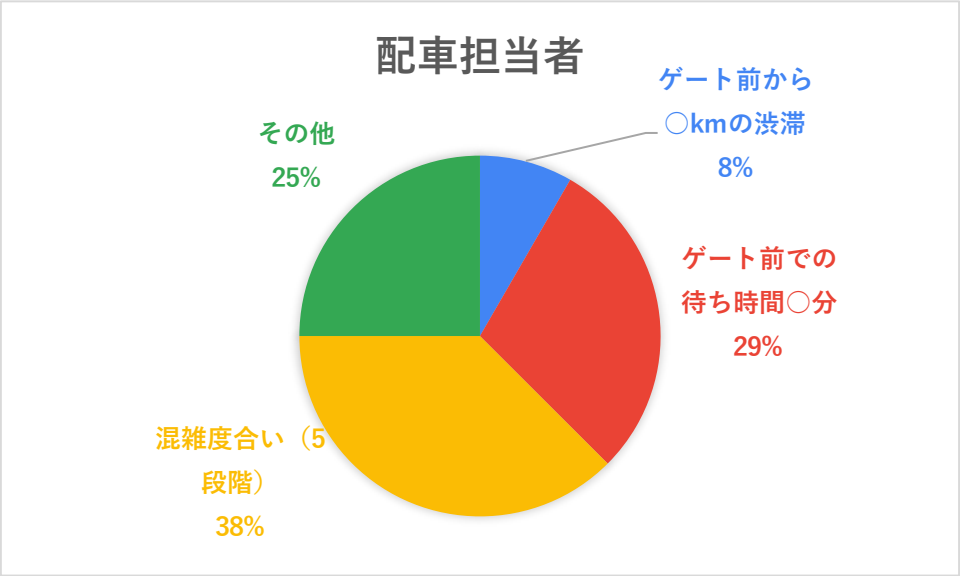
図 4.4.1.1-Ⅲ-28 「混雑度合い」での表示についてのアンケート結果
ドライバー n=104 / 配車担当者 n=24

ドライバーにとっては「ゲート前での待ち時間」が半数以上を占めていますが、配車担当者は「ゲート前での待ち時間」と「混雑度合い（5 段階）」での表示であまり差がないことが分かりました。

表 4.4.1.1-Ⅲ-10 アンケート項目と選択肢

現状の混雑情報で 1 番知りたいことを教えてください。	複数選択	① ゲート前から〇km 混雑 ② ゲート前での待ち時間 ③ 混雑度合い（5 段階） ④ その他





その他	ゲートアウトまでの予想時間 ヤード入って積み込み、ヤード出る時間 並びはトレーラー何台待ちか 待ち時間とその日にピック・返却に間に合うかどうか 待機場レーンのどこに並ぶのか 並びの最後尾の場所 実入り搬入、空返却の並びが右側なのか左側なのか

図 4. 4. 1. 1-Ⅲ-29　最適な混雑情報についてのアンケート結果
ドライバー n =104 / 配車担当者 n=24

【まとめ】

混雑状況の見える化で、利用者が一番知りたい情報は、「ゲート前での待ち時間」(55%) と「混雑度合い」(29%) であり、これら情報を提示することで、8 割の利用者の高い満足が得られることがわかりました。その他の意見について、これま

で必要な混雑情報は入場前だけでよいと考えていたが、入場後のヤード内積荷処理にかかる時間について少数であるが要望があることがわかりました。

4.4.1.2　機能検証

機能検証において、ローカル 5G を用いたソリューションⅠ～Ⅲ毎に、以下の通り「評価・検証項目」、「評価・検証方法」、「実証結果及び考察」を記載します。

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

(1)　Ⅰ．評価・検証項目

以下の①～③の 3 つの評価・検証項目について、検証を実施しました。

- Ⅰ-①：スマートグラスソリューションのスループット
- Ⅰ-②：同時接続に関する評価
- Ⅰ-③：見通し有無に関する評価

(2)　Ⅰ．評価・検証方法

評価・検証方法は以下の通りとなります。

Ⅰ－①～③の評価・検証項目に対する評価・検証方法のサマリは以下の表となります。

表 4.4.1.2-Ⅰ-1　評価・検証方法のサマリ

(1) 評価・ 検証 項目	(2) 評価・検証方法
①スマートグラスソリューションのスループット	iperf による評価・検証を実施 【目標：スループット】 ・　UL：10MBps（Full HD/30 フレーム） ※5 レーン、各レーンで測定

②同時接続に関する評価	<u>iperf および、同時接続の長期安定動作の評価・検証を実施</u> ・ 5 レーンでのダメージチェックを想定し、スマートグラス 5 台同時接続時の検証をおこなう 【目標：スループット】 ・ UL：50MBps（Full HD/30 フレーム×5 台） 【目標: 安定接続】 ・ 5 台同時接続の長期安定：1 時間
③見通し有無に関する評価	<u>iperf および実利用による評価・検証を実施</u> ・ コンテナ内部に入ってのアンテナの見通しがない部分についても評価をおこなう 【目標：接続可否】 ・ コンテナ内部で接続可

Ⅰ－①～③の評価・検証項目に対する現状・前提条件は以下の通りとなります。

<u>＜Ⅰ-①：スマートグラスソリューションのスループット＞</u>

今回の実証場所である C-11 ゲートは、5 ゲートが存在します。各ゲートにおいて、トラックによる空コンテナの搬入がありダメージチェックを行っています。そのため、今回はゲート①～ゲート⑤の各ゲートにおいて、iperf を実施し、スループットの測定を行いました。

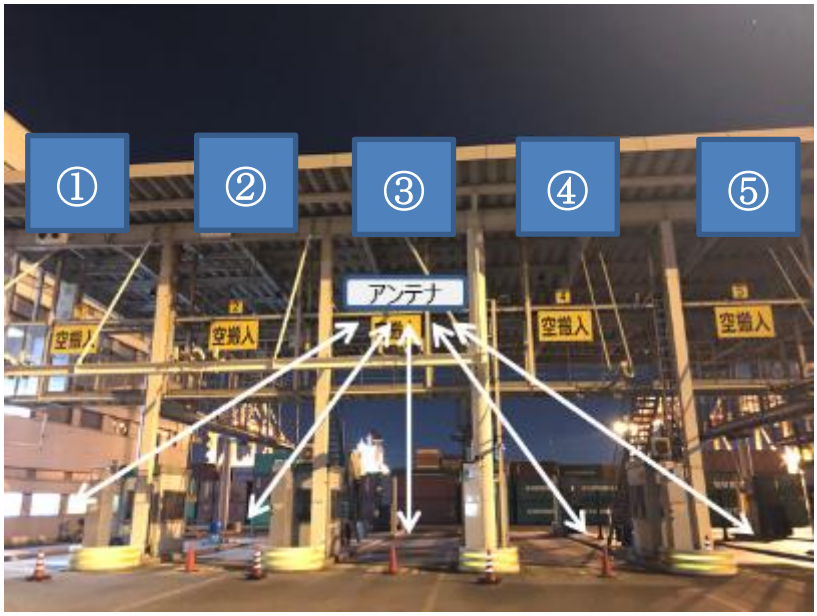


図 4.4.1.2-Ⅰ-1.　C-11 ゲートの写真

表 4.4.1.2-Ⅰ-2.各ゲートとアンテナからの距離

	ゲート①	ゲート②	ゲート③	ゲート④	ゲート⑤
アンテナからの距離	約 8m	約 6m	約 5m	約 6m	約 8m

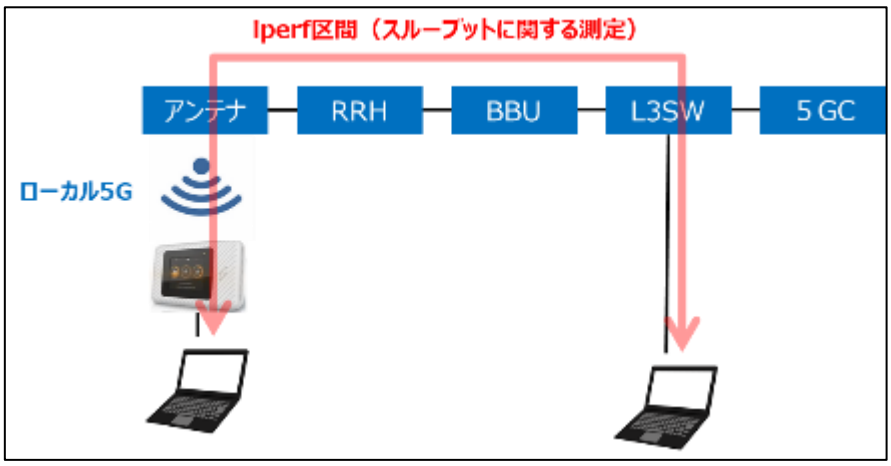


図 4.4.1.2-Ⅰ-2　iperf による測定方法のイメージ

＜Ⅰ-②：同時接続＞

今回の実証場所である C-11 ゲートは、5 ゲートが存在します。実導入では、同時に 5 台のスマートグラスソリューションを接続することを想定し、以下の構成でスループットと 5 台同時接続の安定稼働の検証を行いました。

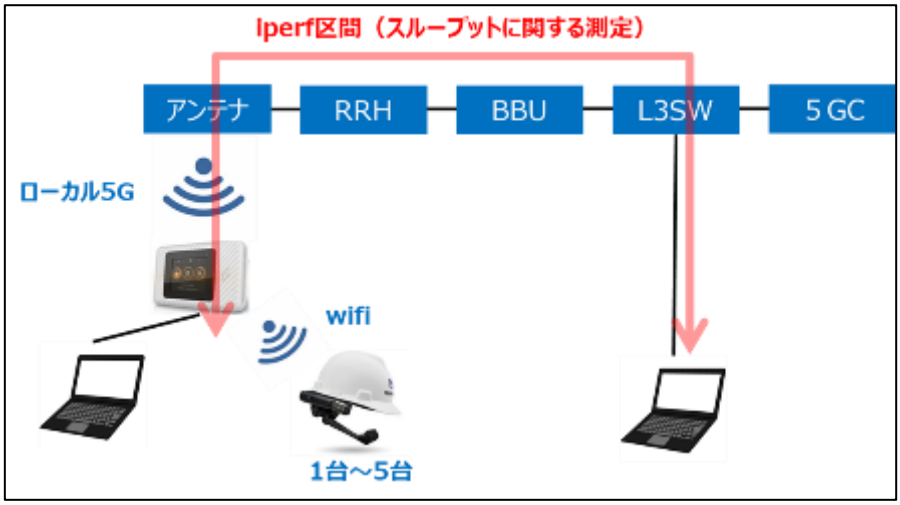


図 4.4.1.2-Ⅰ-3　測定方法：iperf によるスループット確認、5 台同時接続動作検証

＜Ⅰ-③：見通し有無の場合の評価＞

コンテナのダメージチェック業務では、コンテナ内部についても確認を行っています。具体的には、コンテナに穴が開いてないかについて、コンテナ内に実際に作業員が入り目

視で内部チェックするほか、ドライコンテナと呼ばれるコンテナについては、コンテナの扉を閉めて、外光が入り込むかどうか確認をおこなうことで、チェックを行っています。

一方、リーファーコンテナ（冷凍コンテナ）については、冷蔵・冷凍機能が付いており、事前に冷蔵・冷凍機能の正常性については、他フローで確認済みのため、扉を開けて作業員が入り、内部の目視チェックはするものの、扉を閉めてまでの確認は行わない運用となっています。（穴が開いている場合、冷蔵・冷凍機能チェックで事前 NG となるため）

今回、実際の運用を想定し、業務で扱う 2 種類のコンテナ内部に入った状態（CPE からアンテナが見えない状態）でも、ローカル 5G を活用したスマートグラスが利用可能か検証をおこないました。

表 4.4.1.2-Ⅰ-3　コンテナ内のダメージチェック業務

	ドライコンテナ	リーファーコンテナ
コンテナ概要	工業製品や日用品などをはじめ一般貨物を常温で輸送するに適したコンテナ。	冷凍・冷蔵貨物の輸送に使用される特殊コンテナ。生鮮食品等の輸送に使われる。冷凍機を内蔵し、断熱材で囲うことで、コンテナ内部を一定の温度(プラス 20 度～マイナス 20 度)に保つ。
コンテナイメージ		
コンテナ内部のダメージチェック方法	・扉を開けての目視チェック ・扉を閉めての採光チェック	・扉を開けての目視チェック

図 4.4.1.2-Ⅰ-4　コンテナ内のダメージチェック業務イメージ 1

図 4.4.1.2-Ⅰ-5 コンテナ内のダメージチェック業務イメージ 2

測定については、各コンテナ内に実際に入り、iperf を用いたスループット確認、動作検証をおこないました。

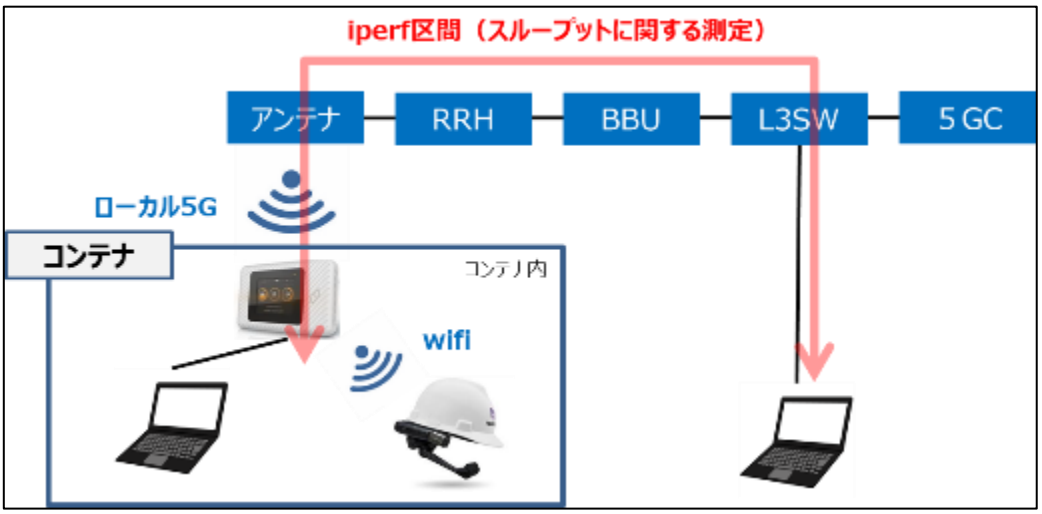


図4.4.1.2-Ⅰ-6 測定方法：コンテナ内における iperf によるスループット確認、動作検証

Ⅰ－①～③の評価・検証項目に対する目標値は以下の通りとなります。

表 4.4.1.2-Ⅰ-4　実証目標値

評価項目			実証目標
Ⅰ－①	スループット UL		UL:10Mbps
Ⅰ－②	同時接続	スループット	UL:50Mbps
		同時接続安定性	1 時間の安定運用
Ⅰ－③	見通し無接続	ドライコンテナ内	利用可
		冷凍コンテナ内	利用可

＜Ⅰ－①：スループット UL＞

今回用いるスマートグラスソリューションについては、画質：FullHD、FPS：30 フレームの場合のスループット UL：10Mbps が理論上、最大となるため、本数値を 1 台あたりのスループット目標値として設定しました。

＜Ⅰ－②：同時接続に関する検証＞

(スループット：UL)

今回の実証場所であるC-11ゲートにおいては、5レーンのゲートが存在します。そのため、同時に5台のスマートグラスソリューションを接続することを想定し、以下を目標値として設定しました。

・スループットUL：10Mbps/台　× 5台 ＝ 50Mbps

(同時接続安定性)

現状のコンテナダメージチェックにおいて、管理棟から有スキル者が駆けつけてのダメージチェックは、合計で約5分（接続・準備：約1分、再ダメージチェック：約4分）となりますが、今後の長期実運用を想定し、同時接続時における安定稼働時間（1度も途切れることなく稼働している時間）の目標を1時間で設定しました。

＜Ⅰ－③：見通し有無に関する検証＞

コンテナダメージチェックの運用で実際に行われる、コンテナ内に入ってのダメージチェックでは、アンテナと見通しが取れなくなるため、接続が途切れる可能性があります。

実運用を想定し、ドライコンテナ、リーファーコンテナともに、コンテナ内でも通信可能であることを、今回の目標として設定しました。

(3) Ⅰ．実証結果及び考察

Ⅰ－①～③の評価・検証項目に対する実証結果のサマリは以下の表となります。

表 4.4.1.2-Ⅰ-5.　実証結果・目標達成状況のサマリ

<table>
<tr><th colspan="3">評価項目</th><th>実証目標</th><th>実証結果</th><th>目標達成</th></tr>
<tr><td>Ⅰ－①</td><td colspan="2">スループット UL</td><td>UL:10Mbps</td><td>65.9Mbps
※5 レーン平均</td><td>達成</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ⅰ－②</td><td colspan="2" rowspan="2">同時接続</td><td>UL:50Mbps</td><td>65.9Mbps
※5 レーン平均</td><td>達成</td></tr>
<tr><td>1 時間の安定運用</td><td>1 時間の安定運用を確認</td><td>達成-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Ⅰ－③</td><td rowspan="2">見通し無の場合の接続</td><td>ドライコンテナ内</td><td>利用可</td><td>利用可
(UL：24.1Mbps を確認)</td><td>達成</td></tr>
<tr><td>リーファーコンテナ内</td><td>利用可</td><td>利用可
(UL：30.2Mbps を確認)</td><td>達成</td></tr>
</table>

実証結果および考察の詳細は以下の通りとなります。

＜Ⅰ-①：スループット：UL＞

実証結果は以下の通りとなります。

表 4.4.1.2-Ⅰ-6.　各レーンのスループット：UL の実証結果

	目標	ゲート①	ゲート②	ゲート③	ゲート④	ゲート⑤
アンテナからの距離	-	約 8m	約 6m	約 5m	約 6m	約 8m
RSRP	-	-89dBm	-88dBm	-87dBm	-89dBm	-91dBm
UL	10.0Mbps	52.3Mbps	72.3Mbps	80.9Mbps	73.2Mbps	51.1Mbps

図 4.4.1.2-Ⅰ-7.　C-11 ゲートの位置関係

【考察】

アンテナからの距離に応じて、RSRP、スループット(UL)ともに低下しているが、スマートグラスを活用する上では十分なスループット（1 台当たり 10Mbps 以上）をすべてのレーンにおいて確認しました。

また実際に、ゲート①～ゲート⑤において、ローカル 5G を活用したスマートグラスの動作確認をおこない、正常に安定運用することを確認しました。

以下、参考として各ゲートからの見通しの風景を記載します。

図 4.4.1.2-Ⅰ-8　ゲート 1 からのアンテナ見通し

図 4.4.1.2-Ⅰ-9　ゲート 2 からのアンテナ見通し

図 4.4.1.2-Ⅰ-10 ゲート 3 からのアンテナ見通し

図 4.4.1.2-Ⅰ-11 ゲート 4 からのアンテナ見通し

図 4.4.1.3-Ⅰ-12 ゲート 5 からのアンテナ見通し

＜Ⅰ－②：同時接続に関する評価＞

実証結果は以下の通りとなります。（Ⅰ－①の実証結果を再掲）

表.4.4.1.2-Ⅰ-7 各レーンのスループット：UL の実証結果

	目標	ゲート①	ゲート②	ゲート③	ゲート④	ゲート⑤
アンテナからの距離	-	約 8m	約 6m	約 5m	約 6m	約 8m
RSRP	-	-89dBm	-88dBm	-87dBm	-89dBm	-91dBm
UL	50.0Mbps	52.3Mbps	72.3Mbps	80.9Mbps	73.2Mbps	51.1Mbps

【考察（スループット：UL）】

Ⅰ－①の各ゲートでのスループットの結果より、アンテナからの距離に応じて、RSRP、スループット(UL)ともに低下しているが、ゲートにおいてスマートグラスを活用する上で、5 台同時接続が可能な、十分なスループット（5 台合計：50Mbps 以上）を確認しました。

また、1 時間の同時接続に対する安定性の検証結果は以下となります。

表 4.4.1.2-Ⅰ-8　各レーンのスループット：UL の実証結果

同時接続数	1 台	2 台	3 台	4 台	5 台
1 時間の安定運用	○	○	○	○	○

【考察（同時接続の安定性）】

5 台同時接続を実施して、1 時間の安定運用の検証をおこない、実証中に 1 度も途切れることなく、5 台の安定運用を確認しました。

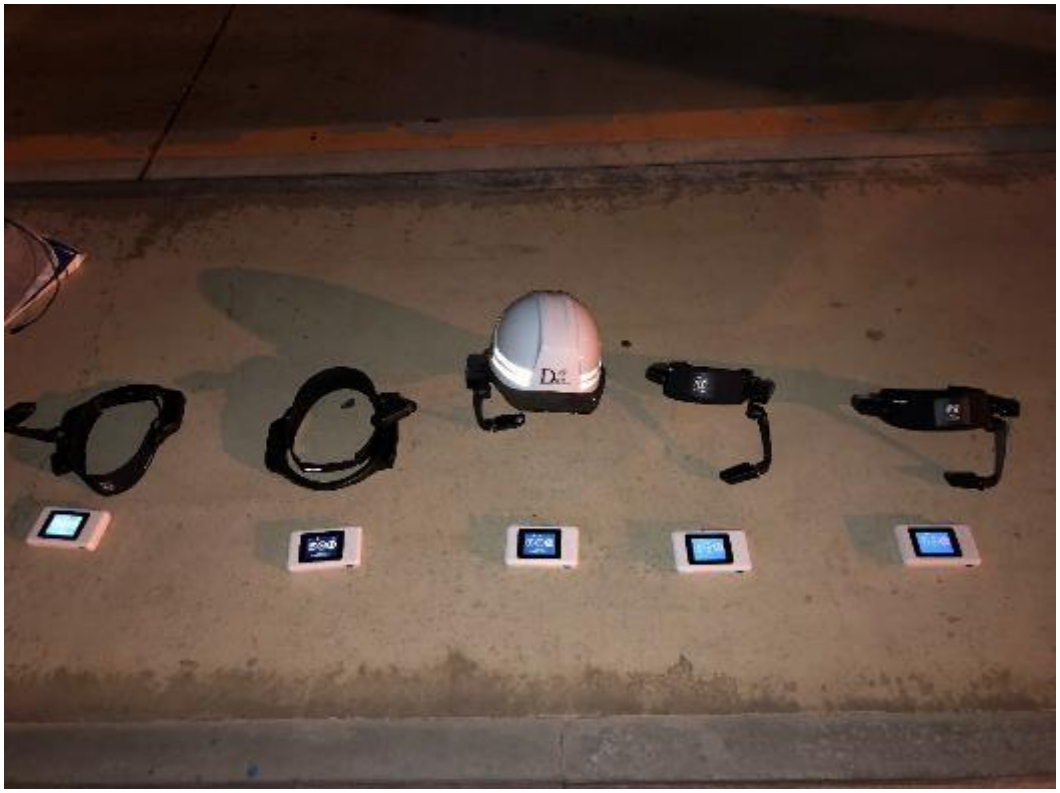


図 4.4.1.3-Ⅰ-14. 同時接続実証の様子

＜Ⅰ―③：見通し有無に関する評価＞

実証結果は以下の通りとなります。

表 4.4.1.2-Ⅰ-9. 各コンテナ内での接続結果

	コンテナ	
	ドライ	リーファー
RSRP	-98dBm	-96dBm
UL	24.1Mbps	30.2Mbps
接続可否	接続可	接続可

【考察】

ドライコンテナでは通常の運用を想定し、扉を完全に閉めてのスループット検証および、動作検証を行いました。実証結果としては、スループットは低下するものの、動作に十分なスループットを確認し、また実際の動作検証でも途切れることなく使用可能という結果を得ました。

一方、リーファーコンテナは、通常の運用ではドライコンテナと異なり扉を閉めてのダメージチェックは行わないため、扉を開けたままのスループットおよび、動作検証を行いました。実証結果としては、扉を開けたままのダメージチェックにおいて、動作に十分な

スループットを確認し、また実際の動作検証でも途切れることなく使用可能という結果を得ました。

【まとめ（今後の展開や課題）】

コンテナダメージチェックにおいて、ローカル5Gを活用したスマートグラスソリューションにおいて、十分な機能要件を確認しました。

具体的には、実際の運用を想定した、5台同時接続でも、動作に影響のない十分なスループットを確認しました。また、コンテナ内の見通しのない場所においても、動作をすることを確認しましたので、実際の運用での活用は問題ないと考えます。

今後の課題としては、運用の定着化であると考えます。本課題については、定期的な勉強会や運用フォローの実施を行うことで解決を考えています。

また、今後は、港湾での業務効率化の最大をめざして、他ゲートや他業務での活用を見据え、ローカル5Gネットワークエリアの拡大などを引き続き検討してまいります。

Ⅱ．RTG等遠隔操作を見据えたローカル5Gの有効性に関する実証

(4) Ⅱ．評価・検証項目

以下のⅡ-①～②の2つの評価・検証項目について、検証を実施しました。

・Ⅱ-①：スループット
・Ⅱ-②：遅延時間

(5) Ⅱ．評価・検証方法

評価・検証方法の概要、詳細は以下の通りとなります。

Ⅱ－①～②の評価・検証項目に対する評価・検証方法の概要は以下の表となります。

表 4.4.1.2-Ⅱ-1.　評価・検証方法の概要

(1) 評価・検証項目	(2) 評価・検証方法
①スループット	<u>iperf による評価・検証を実施</u> ・ RTG は最大約 1,000m 移動するため、ローカル 5G 基地局からの距離も変動する。ヤード内 4 隅 x 3 ヤードのスループットを iperf により値を取得し、評価する ・ 停止中だけでなく、障害物の多いレーンで動作中のデータについても取得し、評価する 【目標数値（機能要件）】 ・ RTG→管理棟（UL）：15Mbps/台、10Mbps/台 ※現状遠隔操作に求められる機能要件は、約 10Mbps/台だが、＋5Mbps の 15Mbps も目標値として設定 ・ 管理塔→RTG(DL)：5Mbps/台（疑似信号含む） ※過去に実施した 5GHz 帯無線アクセスシステムでの検証データを参考に目標設定
②遅延時間	<u>測定器およびストップウォッチによる検証を実施</u> ・ RTG は最大約 1,000m 移動するため、ローカル 5G 基地局からの距離も変動する。ヤード内 4 隅 x 3 ヤードの遅延時間を測定器およびストップウォッチにより値を取得し、評価する ・ 停止中だけでなく、障害物の多いレーンで動作中のデータについても取得し、評価する 【目標数値（機能要件）】 ・ 映像（カメラ to モニター）：250msec 以下 ・ 操作（往復）：60msec 以下 ※過去に実施した 5GHz 帯無線アクセスシステムでの検証データを参考に目標設定

Ⅱ－①～②の評価・検証項目に対する現状・前提条件は以下の通りとなります。

【前提】

ヤード内の RTG が動作する可能性があるエリア 12 ポイントを測定ポイントとして、①スループット、②遅延時間を測定しました。

なおアンテナは管理棟に設置しており、各測定ポイントのアンテナからの距離は 60m～610m となります。

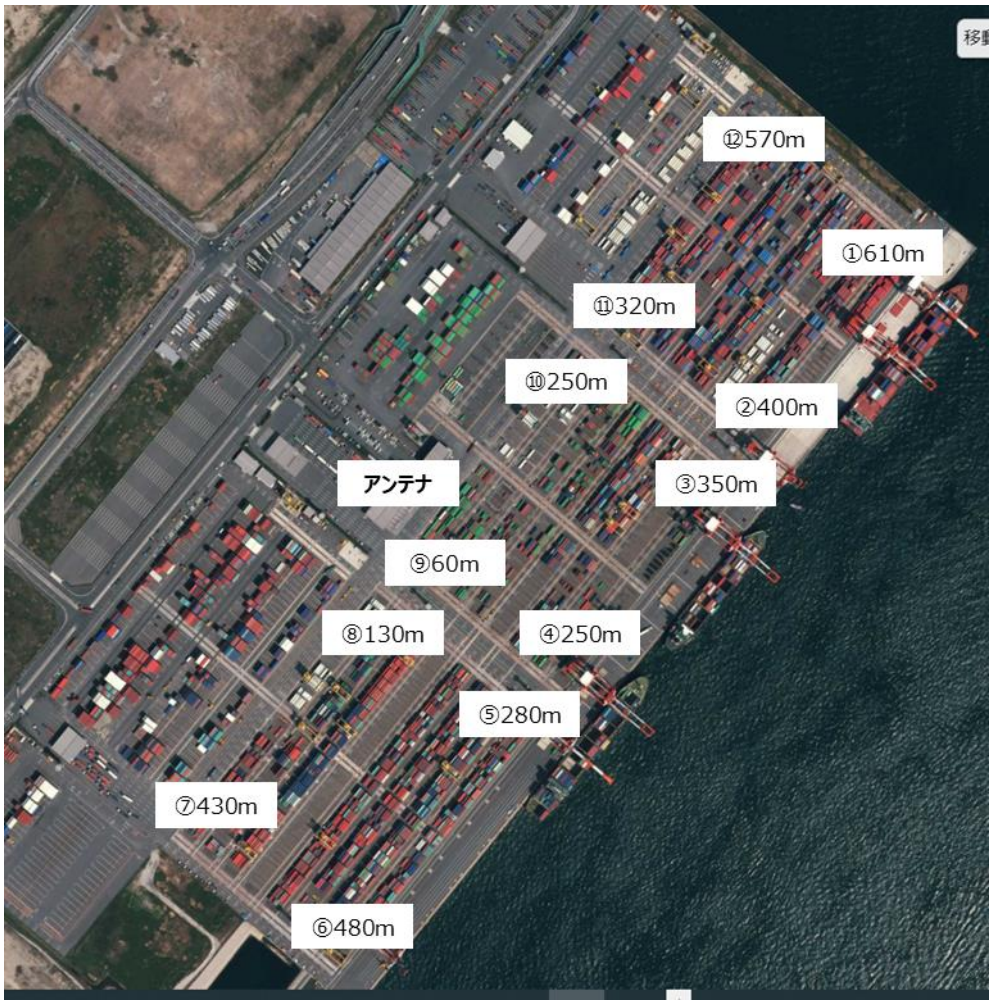


図 4.4.1.2-Ⅱ-1.　測定ポイント（12 ポイント）
（引用：国土地理院地図を一部改変）

表 4.4.1.2-Ⅱ-2.　各測定ポイントのアンテナからの距離

ポイント	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
アンテナからの距離（m）	610	400	350	250	280	480	430	130	60	250	320	570

＜Ⅱ―①：スループット＞

ヤード内の 12 ポイントにおいて、iperf を用いて、測定を実施しました。

なお、RTG 側については、地上高約 21m 部分の RTG 上部に CPE を設置して測定を実施しております。

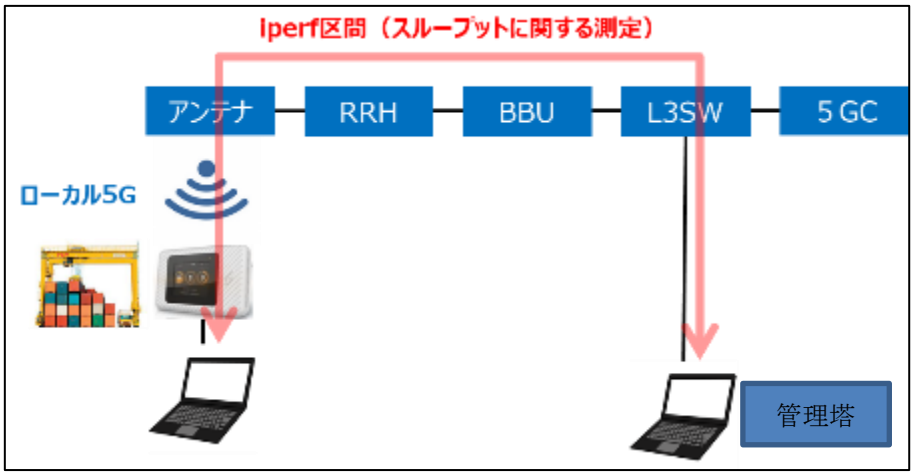


図 4.4.1.2-Ⅱ-2. 測定方法：iperf によるスループット検証

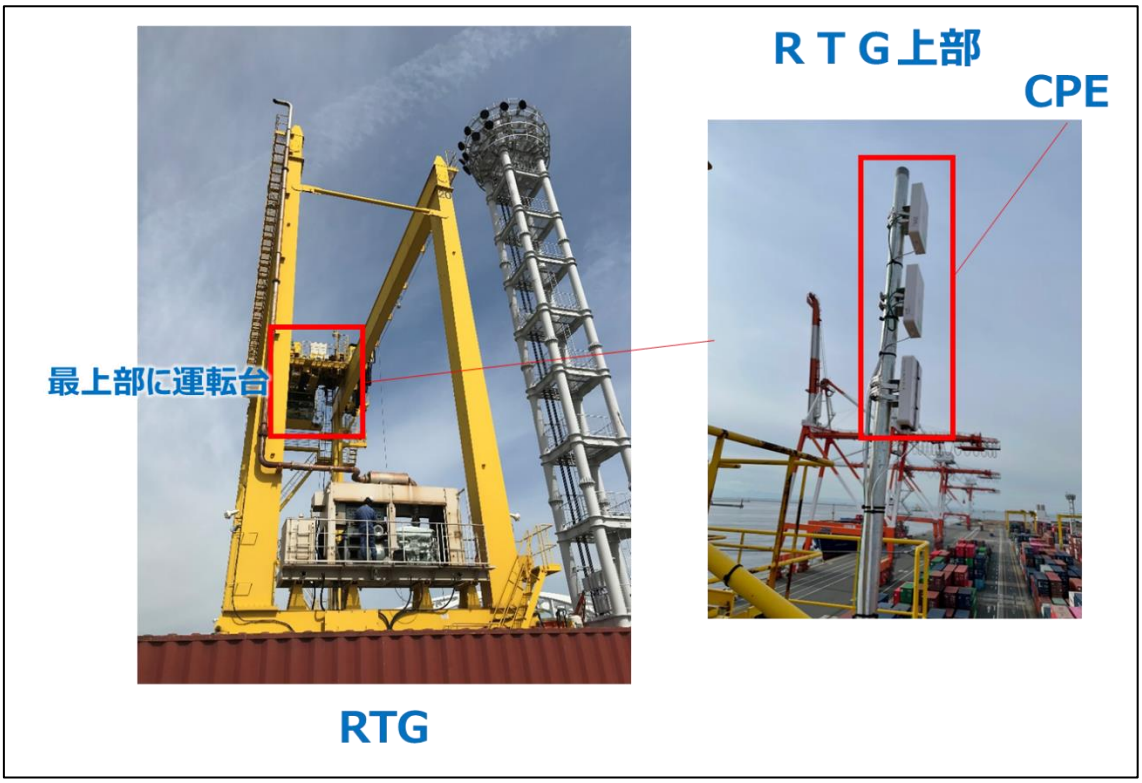


図 4.4.1.2-Ⅱ-3. RTG 側に設置した CPE

＜Ⅱ－②：遅延時間＞

【無線区間遅延：CPE～L3SW】

今回、無線区間の遅延時間についても、遅延時間分析のために測定を行いました。具体的には、測定器（アンリツ MT1000A）を用いて、10Mbps、15Mbps の負荷をかけた場合の遅延時間を測定しました。

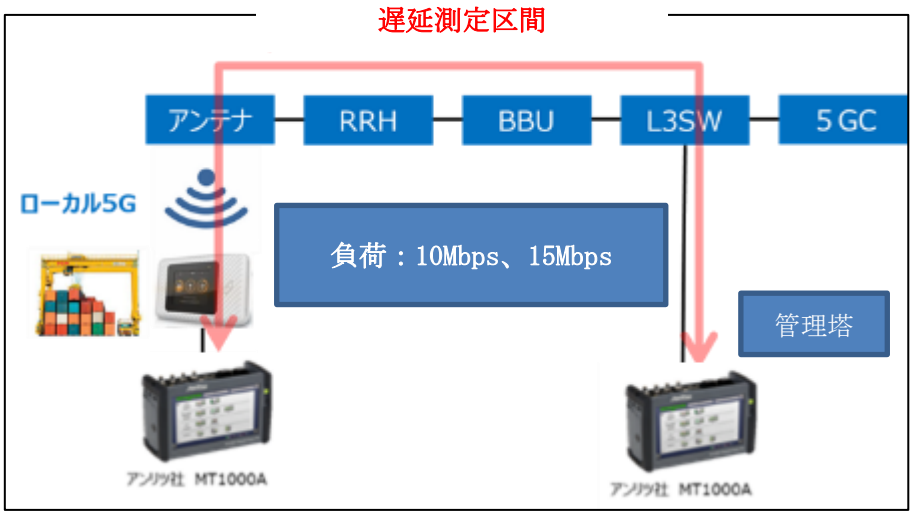


図 4.4.1.2-Ⅱ-4 測定方法：測定器による無線区間遅延の測定

図 4.4.1.2-Ⅱ-4 測定の様子（RTG 高さ 21m 部分での測定）

【PLC 操作信号遅延】

前提として、今回の実証では、本番の遠隔操作を想定した、仮想荷役動作データを組み込んだ、PLC ソフトを作成（データ容量は 1Mbps 程度）しました。

本検証システムに組み込んだ仮想荷役動作データは以下の通りとなります。

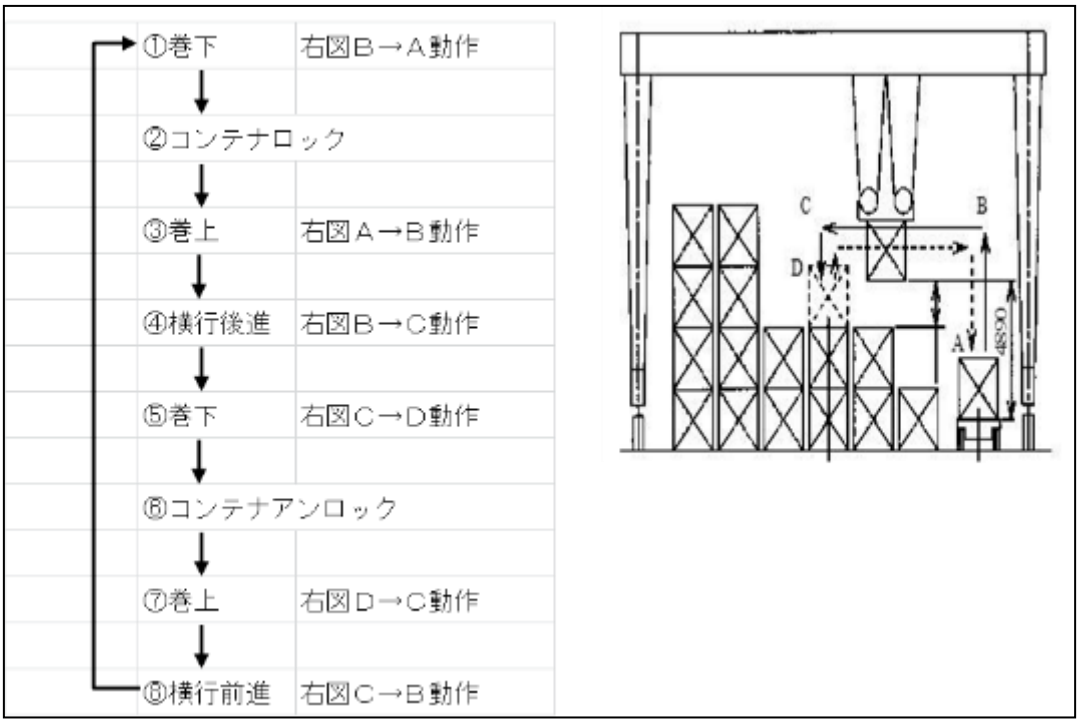


図 4.4.1.2-Ⅱ-5 今回準備した仮想荷役動作データ

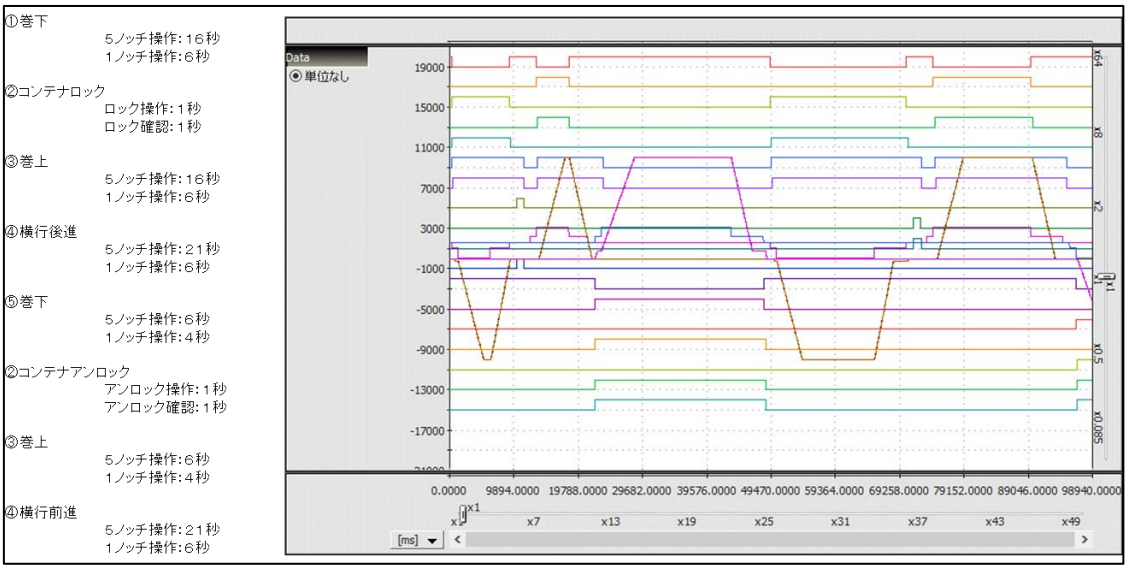


図 4.4.1.2-Ⅱ-6 今回準備した仮想荷役動作データ

図 4.4.1.2-Ⅱ-7　今回準備した仮想荷役動作データ搭載した PLC

PLC 遅延の測定については、PLC 側のトレースデータ（データを指定したタイミングでサンプリングし、メモリに格納したデータ）をエクセルでまとめて計測を行いました。（トレースデータは、0.02 秒ごとに設定。約 30 秒間の平均値）

具体的には、前述の動作を想定した疑似操作信号をタイマおよびリレーシーケンスにて遠隔側ＰＬＣ内（管理棟）にて作成し、ＲＴＧ側へ送信。

ＲＴＧ側ＰＬＣで受信信号に応じた疑似動作を行い、そのフィードバック信号を遠隔側へ送信。そのトレースデータの往復の計測を行いました。

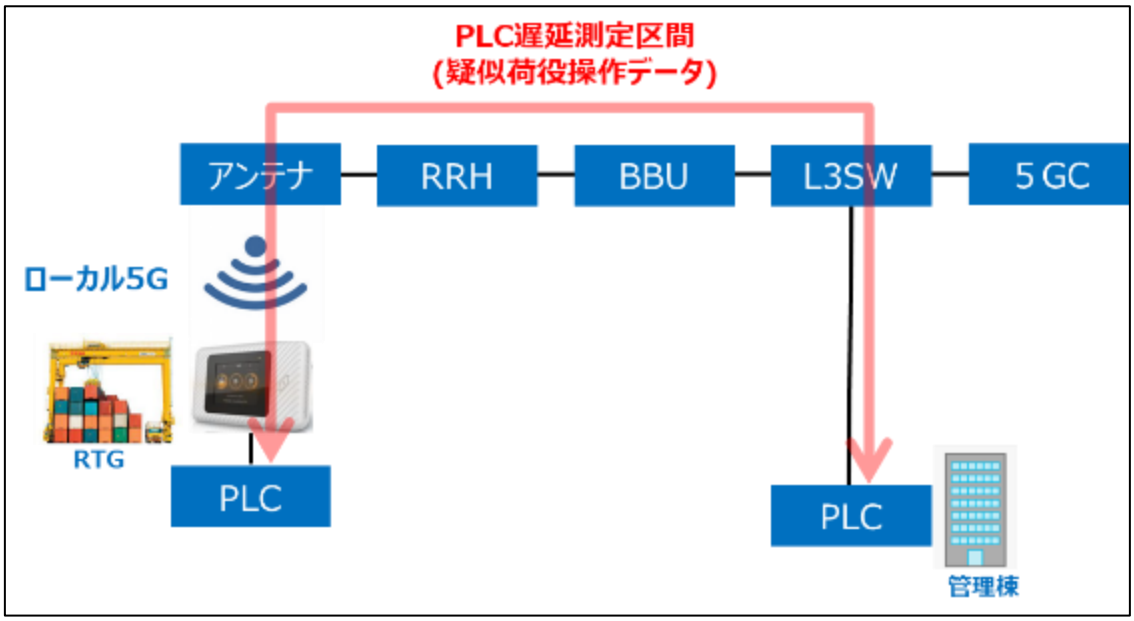


図 4.4.1.2-Ⅱ-8　測定方法：PLC による PLC 操作データ遅延測定

実際の測定での、PLC トレースデータイメージは以下となっており、MW30009：管理棟側 PLC（送信）、MW30209：管理棟 PLC（フィードバック）となっています。

以下の例でいうと、往復で 0.06sec の PLC 遅延となります。

- 管理棟側 PLC で、荷役操作信号を作成・RTG へ送信

MW30009：-9338、DATE/TIME：0.08sec

- 管理塔側 PLC で、RTG 側 PLC で受信したフィードバック信号を受信

MW30209：-9338、DATE/TIME：0.14sec

よって、PLC の往復遅延は 0.14sec － 0.08sec ＝ 0.06sec

表 4.4.1.2-Ⅱ-3　測定方法：PLC トレースデータを用いた遅延測定イメージ

No.	DATE/TIME	MW30009	MW30209	
0	0.00	-9342	-9357	
1	0.02	-9341	-9344	
2	0.04	-9340	-9344	
3	0.06	-9339	-9344	
4	0.08	-9338	-9341	
5	0.10	-9337	-9341	
6	0.12	-9336	-9341	
7	0.14	-9335	-9338	往復で 0.06sec の遅延
8	0.16	-9334	-9338	
9	0.18	-9333	-9338	
10	0.20	-9332	-9335	
11	0.22	-9331	-9335	
12	0.24	-9330	-9335	
13	0.26	-9329	-9332	往復で 0.06sec の遅延
14	0.28	-9328	-9332	
15	0.30	-9327	-9332	

【映像遅延】

RTG 内に設置した 2 台のカメラの遅延時間を測定するために、ストップウォッチを用いた遅延測定を実施しました。

1）ストップウォッチ 2 個 A、B を同時に並べて始動させる
2）ストップウォッチ 2 個 A、B を並べて写真撮影し、初期ズレ時間を確認する
3）ストップウォッチ A を RTG 設置の 4K カメラに写し込む
4）管理棟側でモニターに映ったストップウォッチ A とストップウォッチ B を写真撮影する
5）４）と２）のズレ時間を確認し、遅延時間を測定する。

なお、今回の測定で使用したカメラのスループットについては、1 台あたり約 5Mbps となり、2 台合計で約 10Mbps となります。

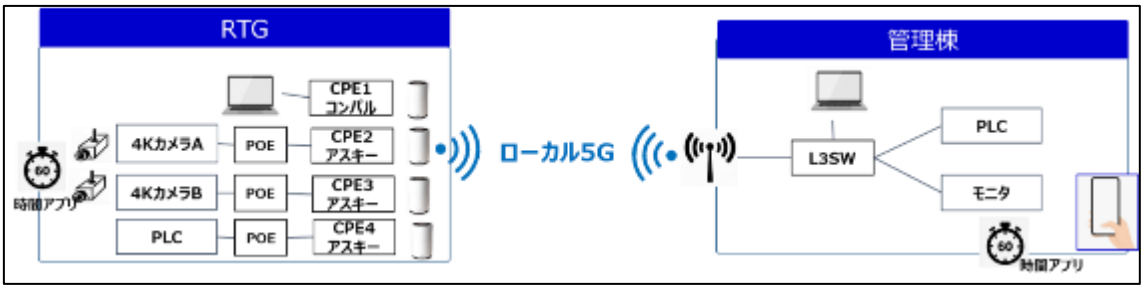


図 4.4.1.2-Ⅱ-9　測定方法：ストップウォッチによる映像遅延の測定イメージ

図 4.4.1.2-Ⅱ-10　測定方法：ストップウォッチによる映像遅延の測定イメージ

Ⅱ－①～②の評価・検証項目に対する目標値は以下の通りとなります。

表 4.4.1.2-Ⅱ-4　実証目標

評価項目			実証目標
Ⅱ－①	スループット	RTG→管理棟（UL）	15Mbps/台（現状の遠隔操作＋5Mbps）
			10MBps/台（現状の遠隔操作と同等）
		管理塔→RTG(DL)	5Mbps/台
Ⅱ－②	遅延時間	PLC 操作（往復）	60msec 以下
		映像（カメラ to モニター）	250msec 以下

＜Ⅱ―①：スループット＞

RTG→管理塔（UL）については、現状の遠隔 RTG システムで求められる機能要件である、UL：10Mbps と、現状システムよりも＋5Mbps 多い、15Mbps の 2 つを目標値として設定しました。

また、管理塔→RTG(DL)については、PLCデータの送受信に十分な5Mbpsを目標値として設定しました。

なお、本目標値については、実際に遠隔RTGで導入・検証が行われているデータを基にした値になります。

＜Ⅱ－②：遅延時間＞

過去のRTG遠隔操作検証結果および、建設業界における他の実証結果※1を参考に、設定しました。

・PLC遅延（往復）：60msec
・映像遅延（カメラ to モニター）:250msec

本遅延内であれば、過去のRTG操縦者の官能検証結果より、遠隔操作に問題ない遅延レベルであることが確認できております。

※1 次世代高速通信5Gを用いた重機の遠隔操縦の高度化-大林組
https://www.obayashi.co.jp/technology/shoho/083/2019_083_33.pdf

(6) Ⅱ. 実証結果及び考察

Ⅱ－①～②の評価・検証項目に対する実証結果の概要は以下の表となります。

表 4.4.1.2-Ⅱ-5 実証結果の概要

評価項目			実証目標	実証結果	目標達成
Ⅱ－①	スループット	RTG→管理棟（UL）	15Mbps/台	10/12 測定ポイントで15Mbps以上を確認	概ね目標達成
			10Mbps/台	11/12 測定ポイントで10Mbps以上を確認	概ね目標達成
		管理塔→RTG(DL)	5Mbps/台	12/12 測定ポイントで5Mbps以上を確認	目標達成
Ⅱ－②	遅延時間	PLC操作（往復）	60mse以下	2/12 測定ポイントで60msec以下を確認	目標未達成
		映像（カメラ to モニター）	250msec以下	10/12 測定ポイントで250msec以下を確認 ※低遅延エンコーダー・デコーダー等を導入した場合	概ね目標達成

Ⅱ－①～③の評価・検証項目に対する実証結果および考察の詳細は以下の通りとなります。

なお、本項の末尾でも記載させていただいておりますが、今回の置局設計やシステム設定では、目標未達項目を確認しました。今回のノウハウを活かし、将来的には、今回の管理棟屋上に基地局を設置する置局設計ではなく、ヤード内にある照明塔に基地局を設置する置局設計となることを想定しております。

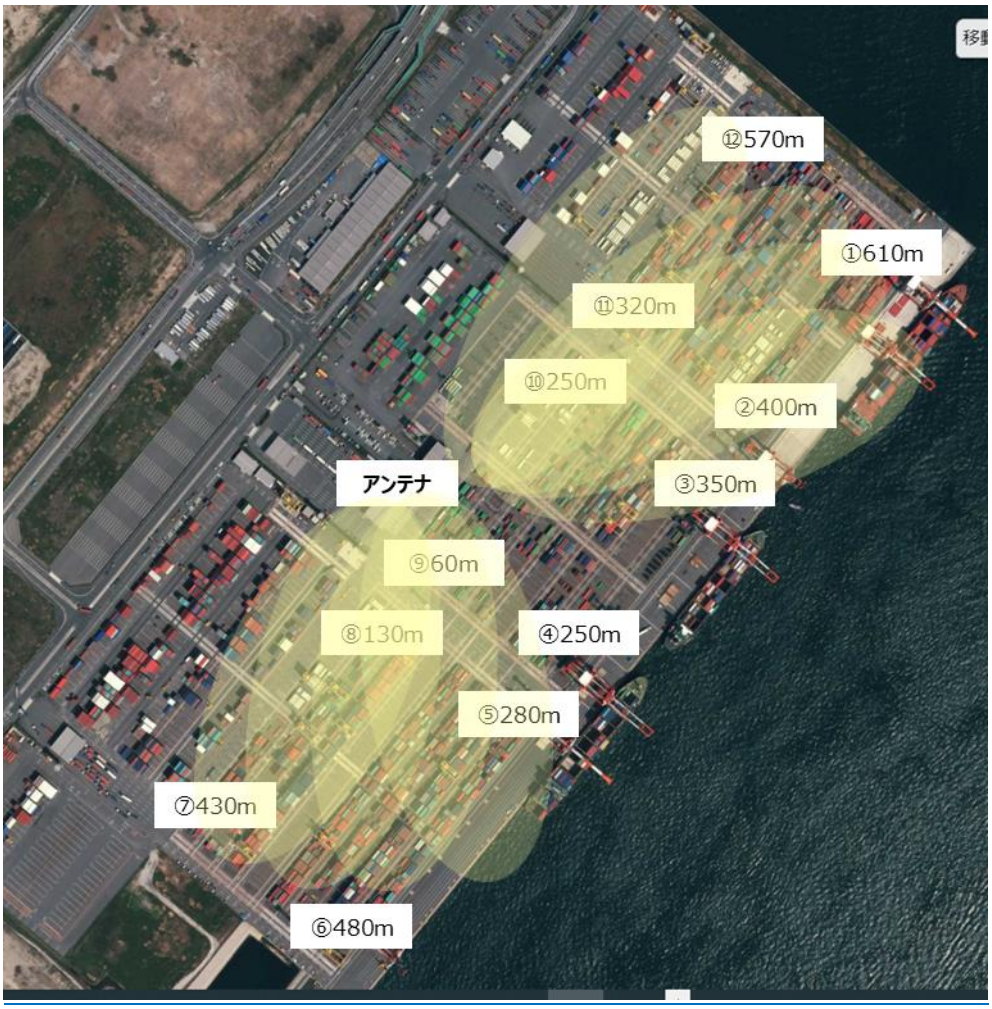
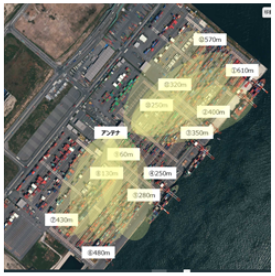


図 4.4.1.2-Ⅱ-11　アンテナからの電波イメージ
（引用：国土地理院地図を一部改変）

表 4.4.1.2-Ⅱ-6. 各ポイントにおける測定結果詳細

- 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。
  ※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おこなう。

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

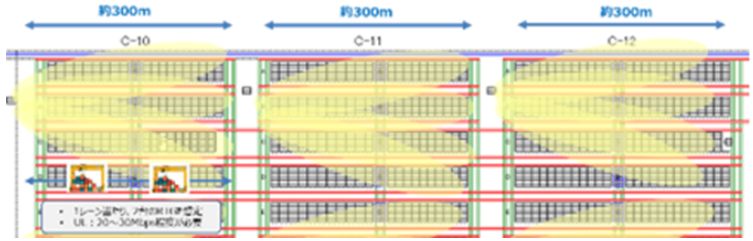
<青枠：目標達成ポイント 赤枠：目標未達成ポイント>

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	A 7.4	24.0	31.5	38.8	34.1	20.3	17.1	63.2	53.9	38.0	26.4	B 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	C 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	D 69	66	65	73	72	68	55	66	68	74	61	53
7	映像遅延※2（msec）	負荷:10Mbps	250msec	E 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	250msec	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、各バ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）



【考察】

＜スループット＞

（目標に対する考察）

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

基地局から約 500m 範囲内であれば、スループットは、UL・DL ともに目標達成という結果となりました。
特に、約 300m 範囲内であれば、スループット UL：30Mbps 以上を確認しております。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します。そのため、今後は、1 バースの横幅が他の港湾も含め約 300m であるため、約 300m 範囲ごとに無線のカバーエリアを作っていくことが良いと考えます。

＜遅延時間＞

【目標に対する考察】

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

※距離には比例していない。

※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

※低遅延エンコーダー・デコーダー・モニターを導入の場合

【無線区間遅延：CPE～L3SW に対する考察】

測定器（アンリツ MT1000A）を用いて、10Mbps、15Mbps のデータ負荷をかけた場合の遅延時間の測定結果は以下となります。
負荷 10Mbps の場合は、①を除いて、つまり、基地局からの距離が約 600m 以内であれば、約 20msec 以内の遅延時間となっています。
負荷 15Mbps の場合は、①②を除いて、つまり、基地局からの距離が約 500m 以内であれば、約 20msec 以内の遅延時間となっています。

表 4.4.1.2-Ⅱ-7. 無線区間遅延の検証結果

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
アンテナからの距離（m）		610	400	350	250	280	480	430	130	60	250	320	570
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
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

【PLC 遅延に対する考察】

疑似操作信号を組み込んだ PLC を用い操作操作信号の往復遅延時間を測定した結果は以下となります。

全てのポイントで、約 75msec 以内で PLC の操作信号が返ってきた結果となりました。目標としていた 60msec は、2 ポイントのみの達成となり、その他は未達という結果となりました。

本 PLC の測定については、実証期間の関係から、他の検証と並行して測定をしていたため、少なからず他のネットワーク負荷の影響があったと考えられます。港湾という場所は、24 時間/365 日業務をしており、かつ危険なエリアも多く、測定期間が限られているため、今回の実証期間内に、PLC 遅延のデータについては再測定することができませんでしたが、他のネットワーク負荷がない場合であれば、無線区間遅延の検証結果から、60msec 以内の遅延で、概ねすべてのポイントで目標達成が出来ていた可能性があると考えます。（無線区間遅延については、他のネットワーク影響がない状態で測定）

また、目標未達成の場合でも、すべてのポイントにおいて、約 75msec 以内という結果になっています。目標としていた 60msec よりも、＋15msec となります。この 15msec という値の間に荷役巻上げが進む距離は、荷役の制御速度から計算すると、最速の場所で 1.35cm となります。この 1.35cm が実運用で許容できる範囲なのかについては、継続して検討をおこなっていきたいと思います。

表 4.4.1.2-Ⅱ-8. 疑似操作信号を用いた、遠隔操作信号の往復遅延時間の結果

	目標	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
アンテナからの距離（m）	-	610	400	350	250	280	480	430	130	60	250	320	570
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
PLC遅延:疑似操作信号（msec）	60msec	69	66	65	73	72	68	55	66	68	74	61	53

表 4.4.1.2-Ⅱ-9. 実際の PLC 遅延測定データ抜粋

No.	DATE/TIME	MW30009	MW30209	遅延（往復）
1	0.00	-4856	-4859	
2	0.02	-4855	-4859	
3	0.04	-4854	-4856	0.06sec
4	0.06	-4853	-4856	
5	0.08	-4852	-4856	
6	0.10	-4851	-4853	0.06sec
7	0.12	-4850	-4853	
8	0.14	-4849	-4853	
9	0.16	-4848	-4850	0.06sec
10	0.18	-4847	-4850	
11	0.20	-4846	-4850	
12	0.22	-4845	-4847	0.06sec

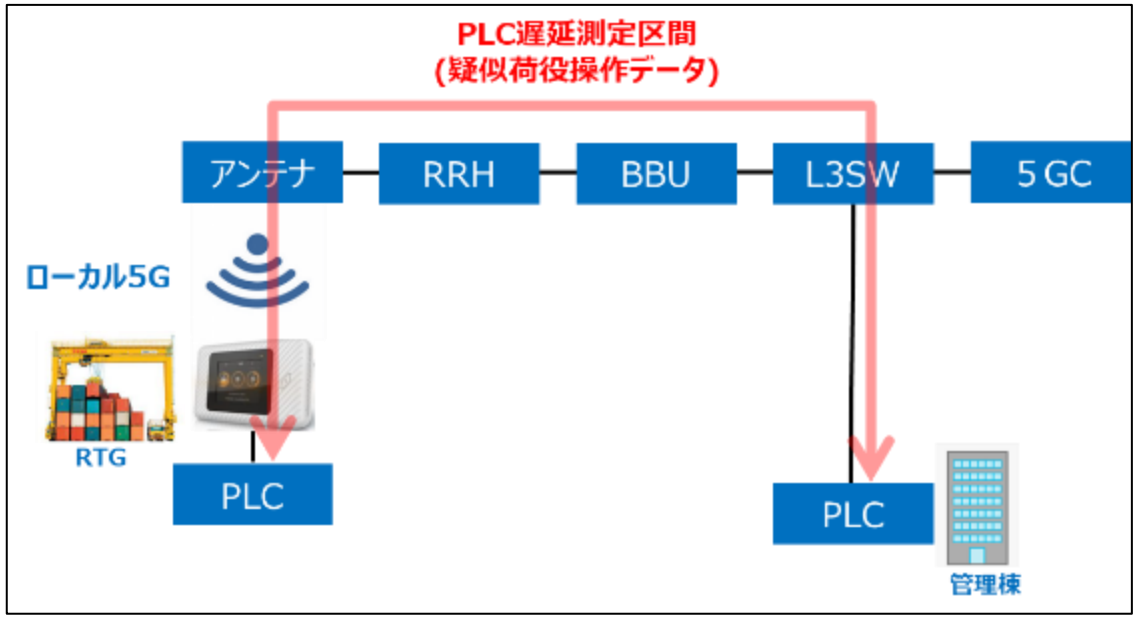


図 4.4.1.2-Ⅱ-12. PLC 遅延測定のイメージ

【映像遅延に対する考察】

映像遅延については、ストップウォッチを用いて、時間差分を確認する方法で検証を進めていきました。その結果は以下の通りとなります。結果から分かる通り、すべてのポイントで約 250msec 以上の遅延となってしまっており、目標未達となっております。

これは、今回の検証で準備したカメラやエンコーダー・デコーダー、モニターが遠隔操作を想定したシステムとなっておらず、一般的な映像システムであったため、システムの遅延時間が大きく目標未達という結果となりました。（実際に有線でカメラとレコーダーを直結した場合で測定した遅延は、約 500～1,000msec の揺らぎを確認。つまり、図 4.1.3-Ⅱ-13 における①＋③で約 500～1,000msec のシステム遅延を確認）

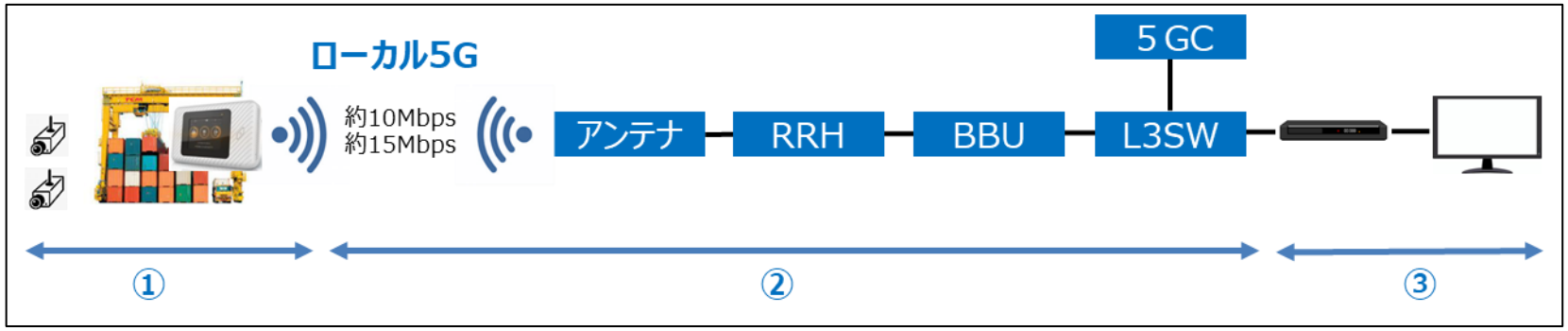


図 4.4.1.2-Ⅱ-13. 遅延測定のイメージ

表 4.4.1.2-Ⅱ-10. ストップウォッチ検証による、映像遅延結果

	目標	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
アンテナからの距離（m）	-	610	400	350	250	280	480	430	130	60	250	320	570
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
映像遅延（msec）※今回のストップウォッチ検証	250msec	-	710	1050	1000	560	590	760	780	773	946	620	860

※①ポイントについては、カメラ 2 台の映像伝送ができなかったため、値なし。

図 4.4.1.2-Ⅱ-14. 実際のストップウォッチによる測定の様子

そのため、本結果をもとに、実際に遠隔操作 RTG に知見が深い有識者へのヒアリングをおこないました。ヒアリングにより、現状の遠隔操作 RTG では、低遅延エンコーダー・デコーダー、モニターを導入しており、本映像システムの遅延は、約 200msec という情報を得ました。その情報をもとに、本情報および、検証で測定済みの無線区間遅延データを基に、机上ではありますが、以下で映像遅延を算定しなおしました。

その結果が以下になります。

・映像遅延（msec）＝　②：無線区間遅延測定結果（msec）　＋　（①＋③）：低遅延映像システム遅延 約 200msec

表 4.4,1.2-Ⅱ-11. 低遅延映像システムを導入した場合の映像遅延（机上算定）

<青枠：目標達成ポイント 赤枠：目標未達成ポイント>

		目標	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
アンテナからの距離（m）		-	610	400	350	250	280	480	430	130	60	250	320	570
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
映像遅延※1（msec）	負荷:10Mbps	250msec	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	250msec	5.520	216.2	213.7	214.1	213.8	214.7	220.7	212.0	212.9	213.5	214.2	2,130
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

上記の表のとおり、低遅延映像システムを導入した場合の映像遅延については、距離 500m を超える場合以外は、目標達成となっております。

【その他】

＜RTG 移動時の検証について＞

（検証方法について）

・移動時のデータを測定するため、以下の動作をおこない、連続的な接続検証をおこないました。

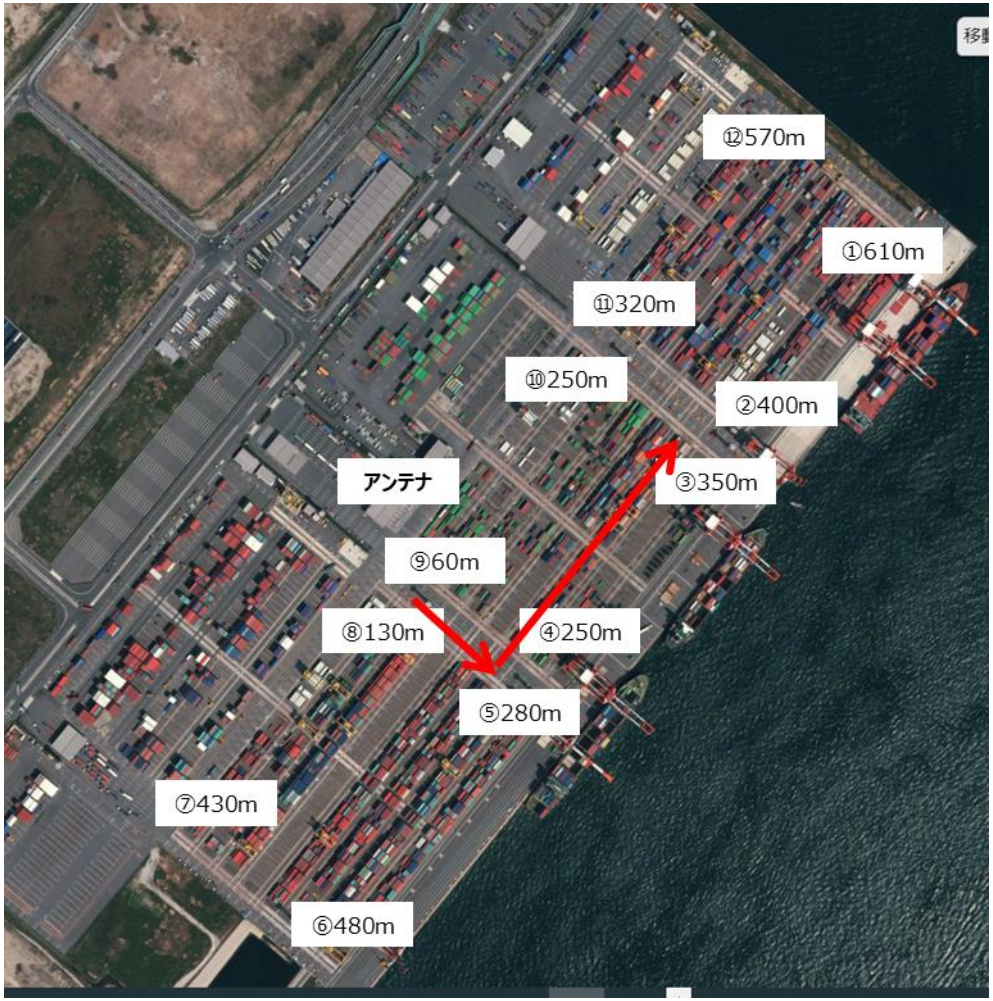


図 4.4.1.2-Ⅱ-15. 移動時のデータ測定
（引用：国土地理院地図を一部改変）

【結果・考察】

⑧⇒②への移動において、⑧と④付近および、④付近から②の途中までは安定したスループット UL を確認しましたが、今回の置局設計では、④付近と②の間でネットワークが途切れてしまうことを確認しました。

本事象は、2 本のセクターアンテナの不感地帯に本エリアがなってしまっていると思慮します。

今回のノウハウを活かし、将来的な実運用時には、管理棟への基地局設置ではなく、各バ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）をカバーする方法を考えています。

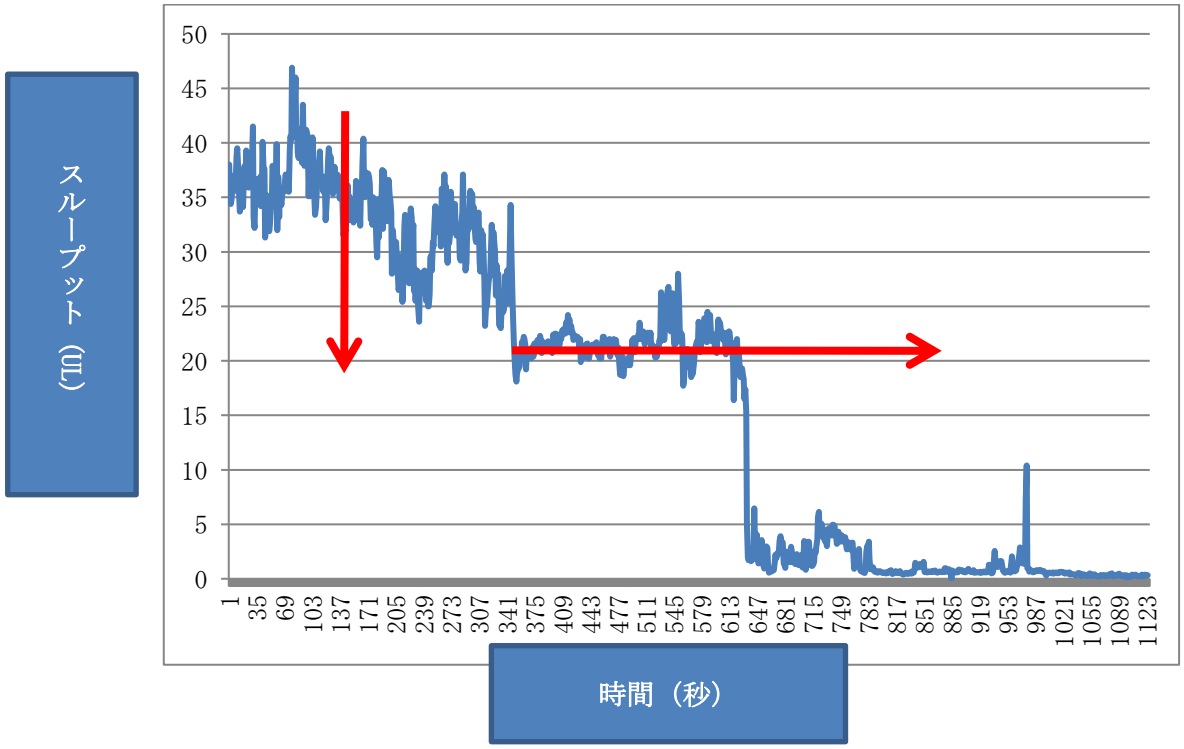


図 4.4.1.2-Ⅱ-16. 移動時のスループットグラフ

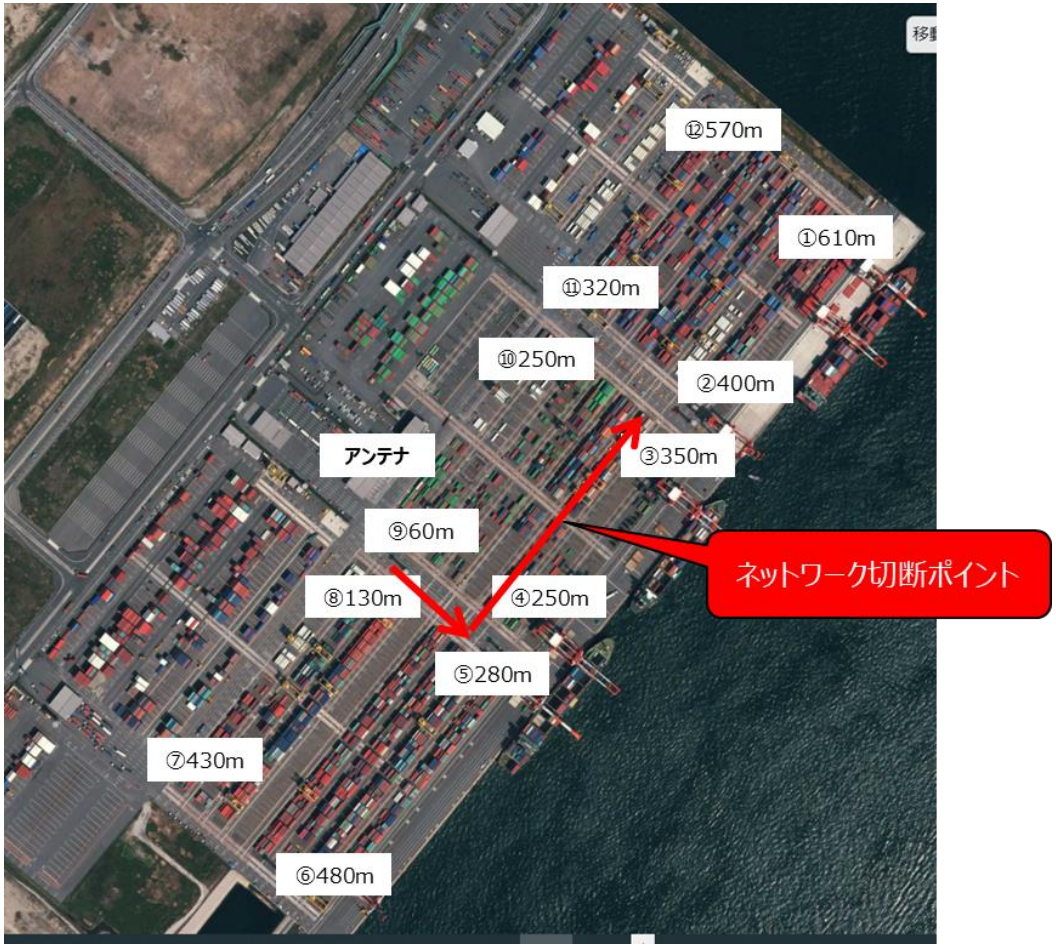


図 4.4.1.2-Ⅱ-17. 移動時のデータ測定（ネットワーク切断ポイント）
（引用：国土地理院地図を一部改変）

【まとめ（今後の展開について）】

今回の置局設計やシステム設定では、目標未達項目を確認しました。
今回のノウハウを活かし、将来的には、今回の管理棟屋上に基地局を設置する置局設計ではなく、ヤード内にある照明塔に基地局を設置する置局設計での展開を予定しております。

＜実運用に向けた置局設計について＞

夢洲コンテナターミナルのRTGは合計30台あります。今回の検証結果から、30台すべてのRTGを遠隔操作するためには、管理棟への基地局設置ではなく、各バ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）をカバーする方法が最適と考えます。

（前提）

・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

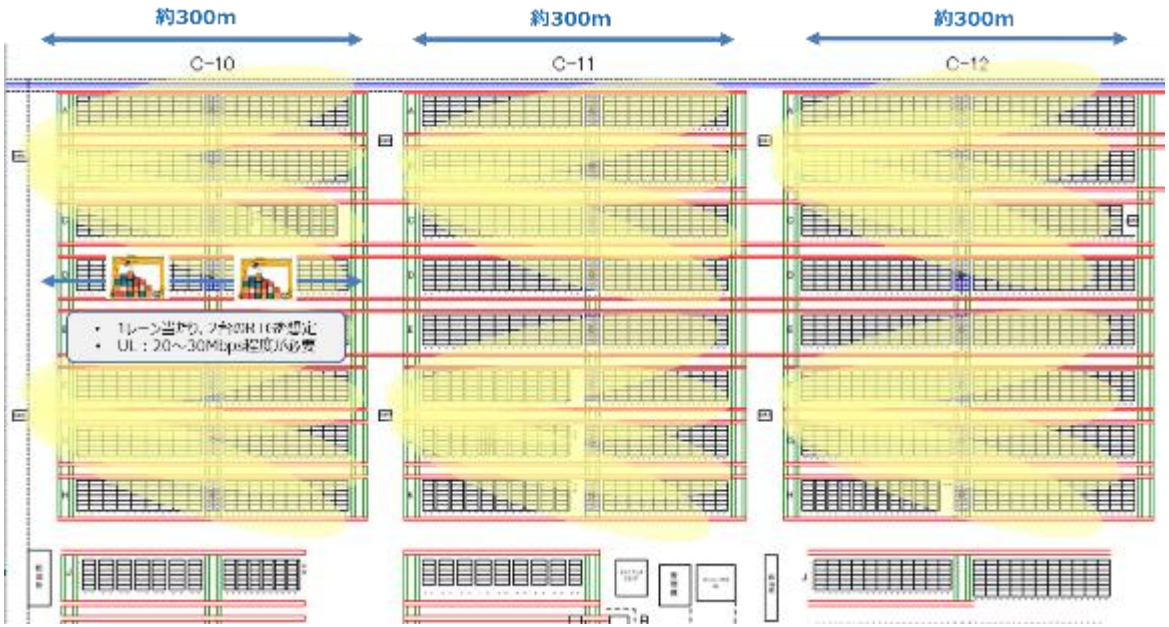


図 4.4.1.2-Ⅱ-18. 実運用に向けた置局設置（案）

＜実運用に向けたカメラ運用案について＞

現状の RTG 遠隔操作では、約 30 万画素のカメラ 30 台を搭載し、RTG 内で複数のカメラ映像を 1 枚の画像にして伝送しており、約 10Mbps のアップロード帯域が必要となってきます。現状も、遠隔操作には問題ありませんが、高精細カメラの映像伝送ができれば、コンテナナンバーの読み取りが可能となり、ミスの減少や効率化につながる可能性があります。

今回の検証では、実際の RTG 遠隔操作用のシステムを揃えることは困難であったため、4K カメラを 2 台準備し、2 台別々に伝送することで、現状と同じ、約 10Mbps のアップロード帯域を作り、まずは高精細カメラの映像伝送の検証を行いました。

検証結果からわかる通り、今回のシステムでは、2 台の高精細カメラ伝送は、基地局から約 500m 以内であれば、映像伝送が確認できました。

また、基地局 1 台に対して、約 300m の範囲であれば、UL：約 30Mbps のため、今回の構成と同じカメラであれば、理論上約 6 台までつけることは可能となりますが、実際の RTG 運用では、約 30 台のカメラが必要となり、また基地局 1 台で複数台の RTG を遠隔操作することが求められ

るため、現実的ではないことが分かりました。

今後の実運用に向けては、まずアップロード帯域をさらに確保するため、ローカル 5G システムの準同期対応が求められます。そのうえで、現状と同じく、約 30 万画素のカメラ 30 台を搭載し、RTG 内で複数のカメラ映像を 1 枚の画像とし遠隔操作を実施し、追加機能として、アップロード帯域が確保できているため、コンテナナンバー読み取りカメラ 1 台を高精細カメラとすることで、現状の課題を解決できると考えるため、引き続き、検証を継続してまいります。

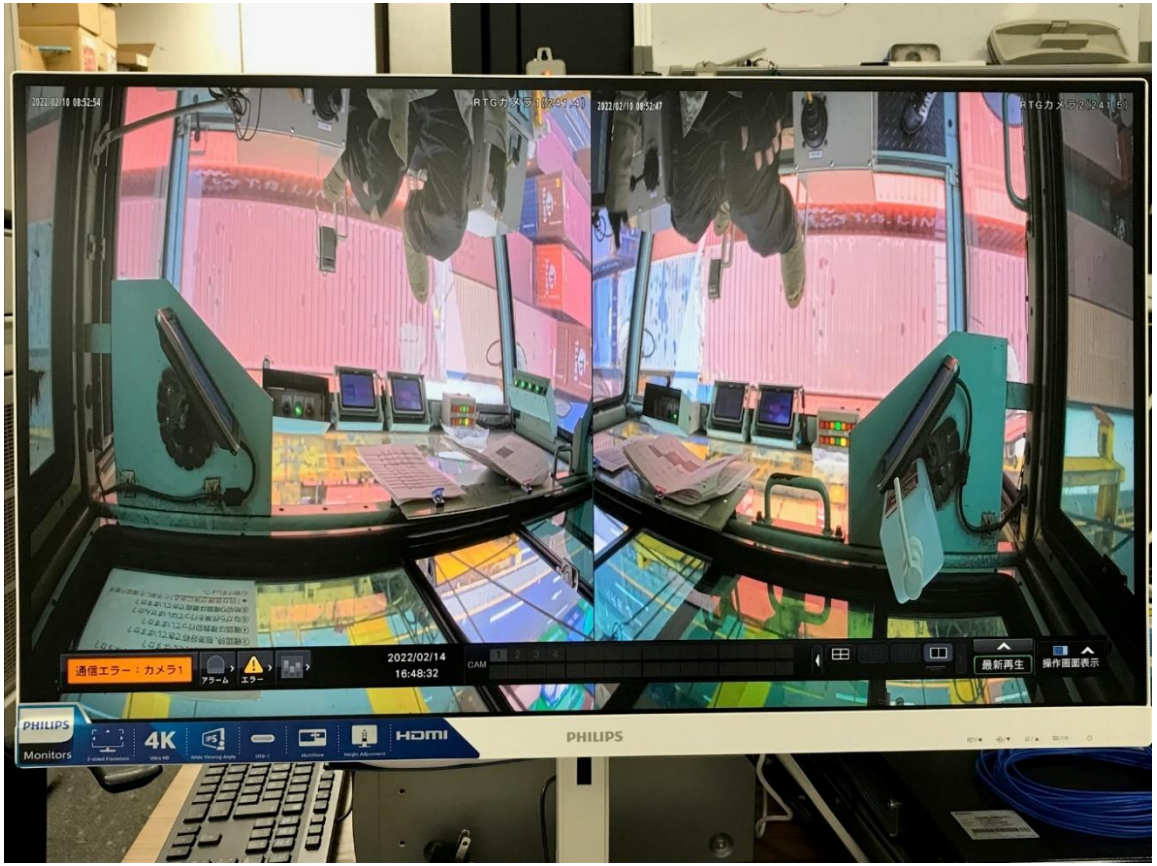


図 4.4.1.3-Ⅱ-16. 実際の RTG に設置したカメラからの映像

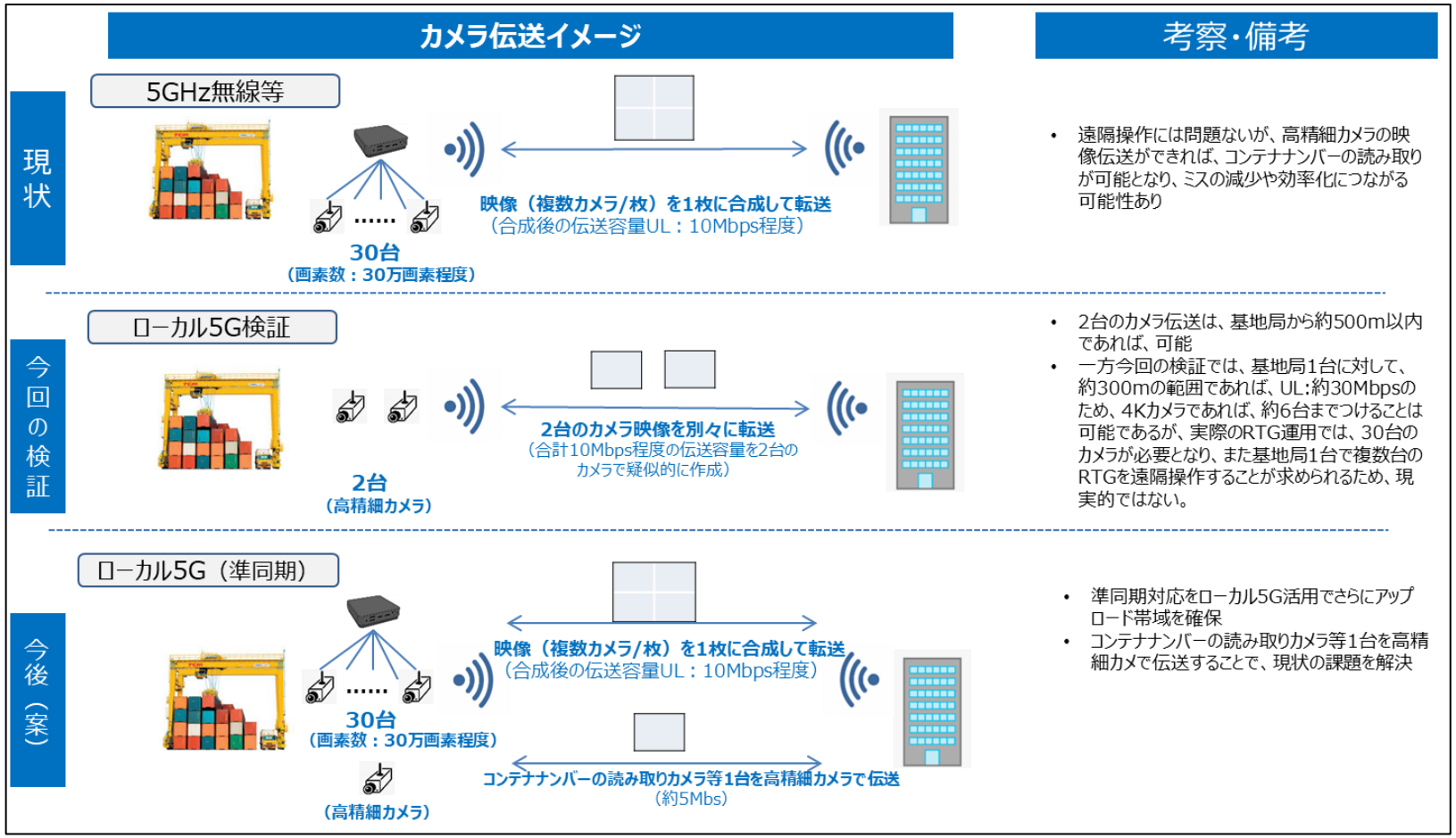


図 4.4.1.2-Ⅱ-19. RTG 遠隔操作における現状とローカル 5G のカメラ伝送の比較比較イメージ

＜実運用に向けた今後について＞

現状の RTG 遠隔操作では、一般的に 2 本のネットワークを利用する形態となっています。（①PLC 制御データ：無線、②カメラ映像データ：有線（漏洩同軸））

現時点で構内全体に有線ネットワークを敷設してない港湾では、港湾業務は 24 時間/365 日実施をしているため、カメラ映像データ用に有線ネットワークを敷設することは、構築中の業務停止が必要となるため、運用影響が大きく、導入のハードルが高いと考えます。

一方、ローカル 5G については、構内配線が必要ない（もしくは最小限）であるため、業務の運用影響を最小限で導入が可能と考えます。

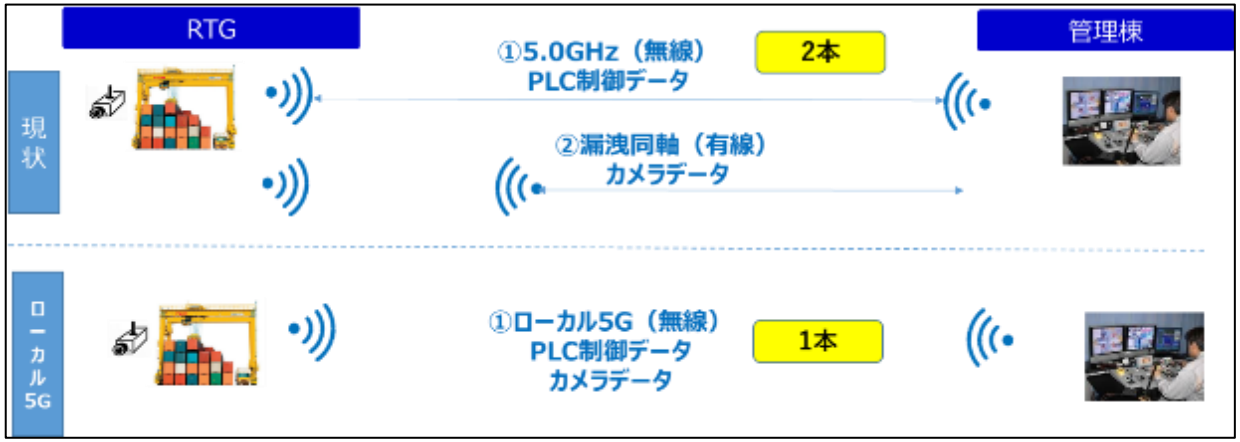


図 4.4.1.2-Ⅱ-20. RTG 遠隔操作における現状とローカル 5G の比較イメージ

今回の実証では、期間が短期間であったこともあり、スループットや遅延等の検証に留まりました。

遠隔 RTG の導入は、トラブル時には大事故につながる可能性があるため、今後、ローカル 5G の実導入に向けては、複数台の基地局を設置した場合の干渉や気象条件を考慮した検証、実際の遠隔 RTG を導入しての検証や複数台 RTG での検証など、引き続き機能検証をしていくことが求められると考えます。

今後は、構築のお客様影響についても考慮しながら、継続してローカル 5G を活用した RTG 遠隔操作について検討をおこなっていきます。

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

(7) Ⅲ．評価・検証項目

以下のⅢ-①～③の評価・項目について、検証を実施しました。

【Ⅲ-①：4K カメラによる車両情報取得・伝送】

１）車両認識率の確認

・4K カメラ前を通過するトレーラーのナンバーを取得し、車両として認識しているかを確認します。

＜ナンバー認識率の確認＞

・4K カメラで取得したナンバーに誤りがないかを確認します。

【Ⅲ-②：4K 画像のスループット】

２）4K カメラ

・iperf を用いて、夢洲 19 号柱と管理棟との間で 4K カメラの映像データをローカル 5G の帯域にのせたスループットを確認します。

【Ⅲ-③：システム連係】

３）CONPAS への疎通確認

・車番認証システムと CONPAS が疎通できているかを確認します。

４）CONPAS への伝送（データ格納）

・車番認証システム上で取得したトレーラーのナンバー情報を CONPAS へ送信し、CONPAS 側で受信できたかを確認します。

(8) Ⅲ．評価・検証方法

評価・検証方法の概要、詳細は以下の通りとなります。
また、評価・検証方法については、現状との比較を基本として、実施しました。

Ⅲ－①～③に対します評価・検証方法の概要は以下の表となります。

表 4.4.1.2-Ⅲ-1 評価・検証内容

ソリューション	(1) 評価・検証項目	(2) 評価・検証方法
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	①4K カメラによる車両情報取得・伝送	時速 30Km 程度で走行中の車両のナンバーデータが伝送され、取得できるかを確認します 【目標数値】 認識率：99%以上 ※太陽光、雨の影響などの外部環境ごとのデータも確認
	②4K 画像のスループット	iperf による評価・検証を実施 【目標数値（機能要件）】 ・UL：20Mbps
	③システム連携	今後導入予定である CONPAS とのデータ連携に向けた技術課題の洗い出しの検証を実施

Ⅲ－①～③に対する評価・検証方法の詳細は以下となります。

＜Ⅲ－①：4K カメラによる車両情報取得・伝送＞
・検証期間：2022 年 2 月 14 日～2022 年 2 月 15 日（AM・PM それぞれ 1 時間実施）
・検証方法：
-車両認識率の確認
4K カメラ映像を録画し、録画データを「正」として、車番認証システムで取得したナンバー情報と比較します。

-ナンバー認識率の確認
4K カメラから車番認証システムに伝送したナンバー情報の画像データとその画像データを車番認証システム上で分析したナンバー情報を比較します。

・検証構成：

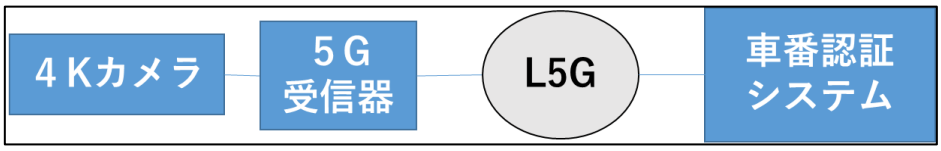


図 4.4.1.2-Ⅲ-1　検証構成図

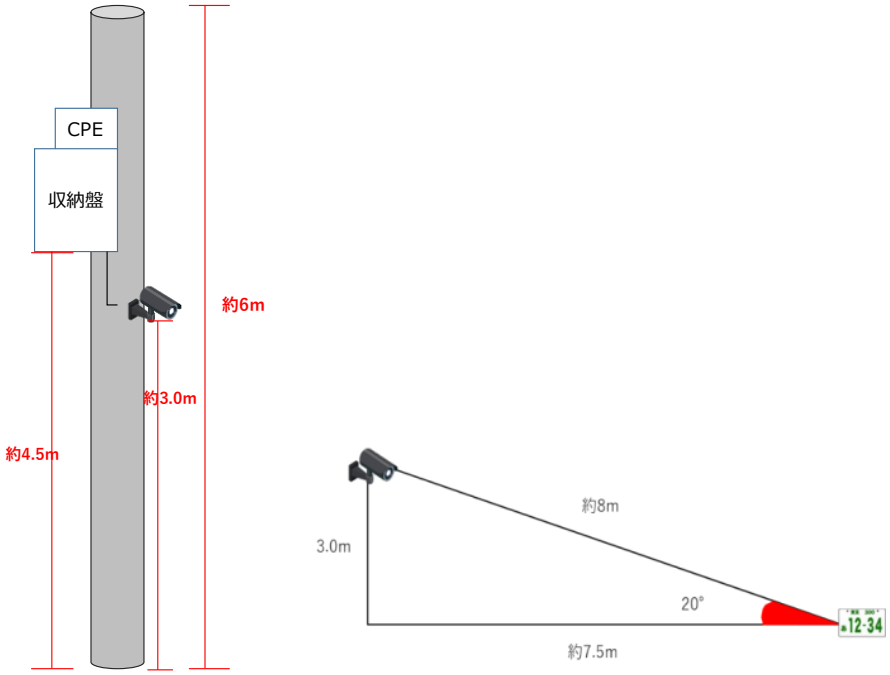


図 4.4.1.2-Ⅲ-2　電柱への設置物の構造

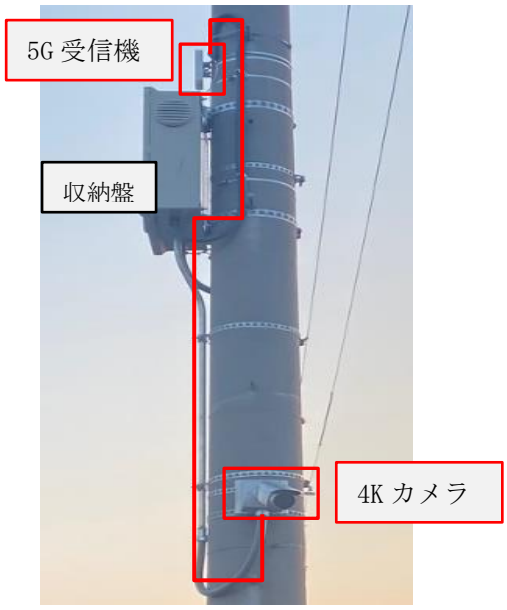


図 4.4.1.2-Ⅲ-3　電柱への設置の接続状況

-夢洲 19 号柱の地上から高さ 3m の地点に 4K カメラを 1 台設置します。4K カメラとナンバープレートの角度は 20°とし、4K カメラとナンバーとの距離は約 8m となります。

-4K カメラと 5G 受信器を LAN ケーブルで接続し、ローカル 5G 受信を可能な状態にします。

-4K カメラで取得したトレーラーのナンバー情報をローカル 5G の帯域で車番認証システムに伝送する構成としました。

図 4.4.1.2-Ⅲ-4　車両認識率分析

図 4.4.1.2-Ⅲ-5　ナンバー認識率分析

＜Ⅲ－②：4K 画像のスループット＞

- 検証期間：2022 年 2 月 16 日　15 時
- 検証方法：夢洲 19 号柱と管理棟サーバー室間のローカル 5G の帯域値を、iperf を用いて測定する。
- 検証回数：3 回
- 検証構成：

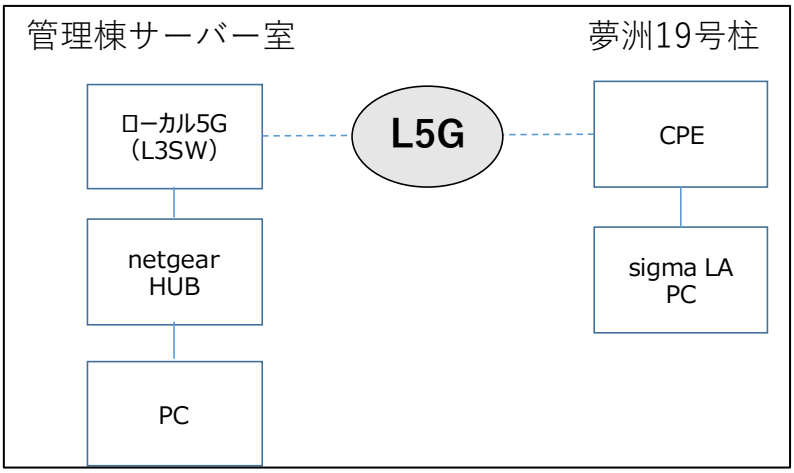


図 4.4.1.2-Ⅲ-6　検証構成図

-管理棟サーバー室にローカル 5G アンテナから有線で PC に接続する。
-夢洲 19 号柱では 5G 受信機 CPE と有線で PC（sigma LA(※)インストール済）を接続する。
（※）sigma LA は通信ログデータの取得、モニターリング、保存ができる windows のアプリケーションです。
-sigma LA の PC 上で操作し、iperf で測定する。

（電柱と管理棟との距離）　夢洲 19 号柱：約 180m

図 4.4.1.2-Ⅲ-7　電柱と管理棟との距離

＜Ⅲ－③：システム連携＞

1）CONPAS への疎通確認

・　検証期間：2022 年 2 月 3 日
・　検証方法：車番認証システムから 4K カメラと CONPAS サーバーへ向けて ping 送信を行うことにより測定します。

2）CONPAS への伝送（データ格納）

車番認証システム上でナンバー情報送信した際の送信ログを確認し、CONPAS 側での受信ログと突合し、差異がないかを確認します。

・検証構成：

図 4.4.1.2-Ⅲ-8　検証構成図

-夢洲 19 号柱の地上から高さ 3m の地点に 4K カメラを 1 台設置します。
-4K カメラと 5G 受信器を LAN ケーブルで接続し、ローカル 5G 受信を可能な状態にします。
-4K カメラで取得したトレーラーのナンバー情報をローカル 5G の帯域で車番認証システムに伝送します。
-車番認証システムで取得したナンバー情報を、インターネットを介して CONPAS へ送信する構成としました。
-今回は実証実験のため、CONPAS は仮の受け口を構築しました。
-仮で構築した CONPAS 側の接続情報

▼ FQDN

https://hpcstg.jriss.jp/

▼ IP アドレス

133.242.238.171

▼ ナンバープレート情報の送信先

POST /api/v1/gate/number_plate

3）連携に必要な機能洗い出し（事前試験）

- 検証期間：2021 年 12 月 22 日
- 検証方法：CONPAS 有識者（阪神国際港湾株式会社、株式会社社会システム総合研究所）と車番認証システム側の技術者（アイテック株式会社）を交えたディスカッションを実施します。

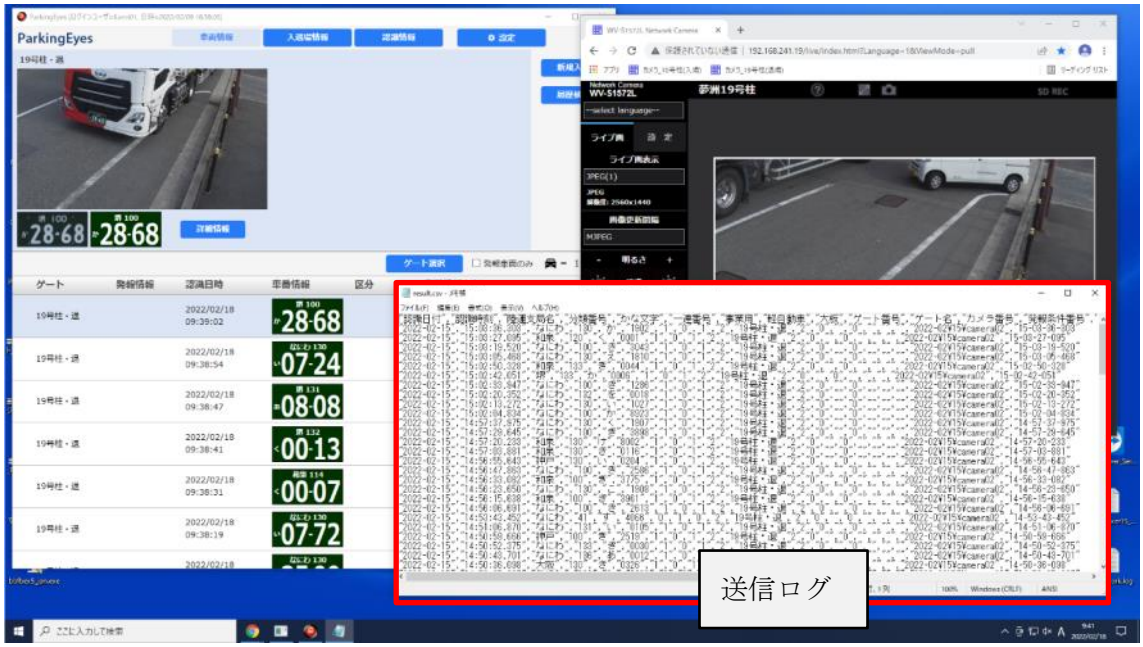


図 4.4.1.2-Ⅲ-9　CONPAS への伝送状況

(9) 実証結果及び考察

実証結果の概要、詳細は以下の通りとなります。

＜Ⅲ－①：4K カメラによる車両情報伝送取得・伝送＞

表 4.4.1.2-Ⅲ-2 車両情報伝送結果

検証項目	目標	結果	
車両認識率	99%以上	100%(※)	達成
ナンバー認識率	99%以上	99.8%(※)	達成

(※) 4 回分の実測値の平均値を算出。

車両認識率、ナンバー認識率ともに目標達成できました。

表 4.4.1.2-Ⅲ-3 車両認識結果

検証日時	通過台数	認識台数	認識率	天候
2022 年 2 月 14 日 AM	125 台	125 台	100%	晴れ
2022 年 2 月 14 日 PM	143 台	145 台	101.4%(※)	晴れ
2022 年 2 月 15 日 AM	150 台	152 台	101.3%(※)	晴れ
2022 年 2 月 15 日 PM	121 台	125 台	101.3%(※)	晴れ

(※)認識率が 100%を超えている理由

図 4.4.1.2-Ⅲ-10 のように、トレーラーのシャーシ管理番号をナンバー情報として捉えて認識してしまい、車両でないものを車両と認識してしまっているため。

図 4.4.1.2-Ⅲ-10　シャーシ部分を重複認識例

表 4.4.1.2-Ⅲ-4 車両認識結果

検証日時	取得台数	認識台数	認識率	天候
2022 年 2 月 14 日 AM	125 台	125 台	100%	晴れ
2022 年 2 月 14 日 PM	143 台	143 台	100%	晴れ
2022 年 2 月 15 日 AM	150 台	150 台	100%	晴れ
2022 年 2 月 15 日 PM	121 台	120 台	99.1%	晴れ

車両認識率								
		車番認証システム上の取得履歴						
録画データ	>>	認識日付	認識時刻	陸運支局名	分類番号	かな文字	一連番号	ナンバー認識率
1902		2022/2/15	15:03:36	なにわ	130	か	1902	TRUE
1		2022/2/15	15:03:27	和泉	120	く	1	TRUE
3043		2022/2/15	15:03:20	なにわ	100	き	3043	TRUE
1810		2022/2/15	15:03:05	なにわ	130	え	1810	TRUE
44		2022/2/15	15:02:50	和泉	133	き	44	TRUE
6		2022/2/15	15:02:42	堺	133	か	6	TRUE
1286		2022/2/15	15:02:34	なにわ	100	き	1286	TRUE
18		2022/2/15	15:02:20	なにわ	132	を	18	TRUE
1027		2022/2/15	15:02:13	なにわ	130	い	1027	TRUE
8923		2022/2/15	15:02:05	なにわ	100	か	8923	TRUE
1907		2022/2/15	14:57:38	なにわ	130	く	1907	TRUE
3898		2022/2/15	14:57:30	なにわ	100	き	3898	TRUE

図 4.4.1.2-Ⅲ-11　2/15PM での測定結果の例（1 部抜粋）

（車両誤認識の例）

ナンバー横の突起によりナンバー情報が 4 桁映らない。

図 4.4.1.2-Ⅲ-12　ナンバーを読み取れず車両として認識できてない例

ナンバー情報は 4 桁取得しているが、陸運支局名、分類番号、かな文字が取得できない。

図 4.4.1.2-Ⅲ-13　ナンバー情報が正確に読み取れない

（ナンバー誤認識の例）

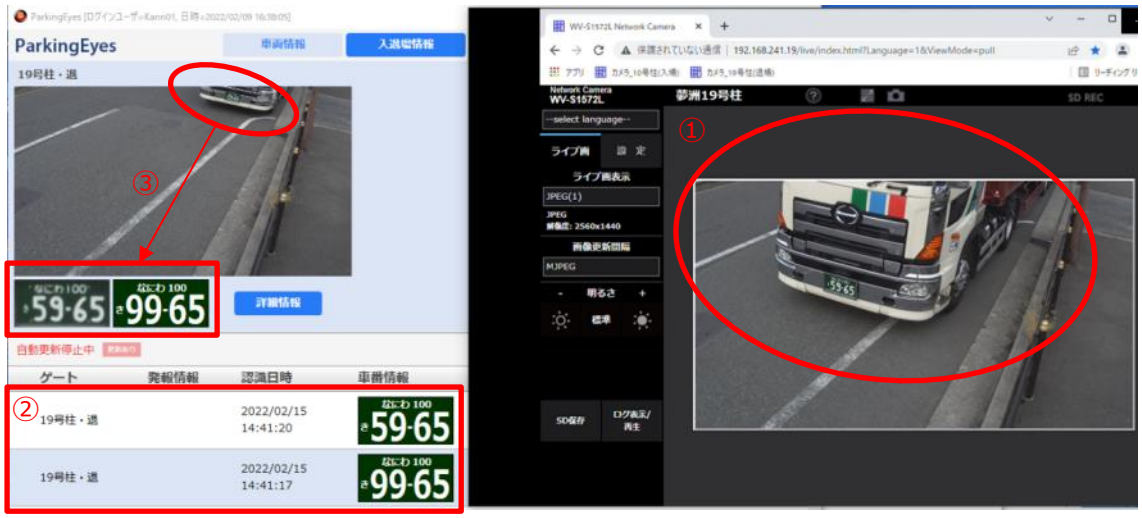


図 4.4.1.2-Ⅲ-14　ナンバー誤認識のパターン

① 4K カメラに写った瞬間にナンバー情報を取得し、認識精度が落ちました。
② 4K カメラの中央にトレーラーが来ると再度、正確なナンバー情報として取得します。

③ 誤認識した誤ったナンバー情報と再度認識した正しいナンバー情報の 2 つが伝送される。1 台のトレーラーから 2 台のナンバー情報として取得してしまう。

【シャーシ管理番号を誤認識することの改善】

車両認識率においては、トレーラーのシャーシ管理番号をナンバー情報と捉えてしまい、車両でないものを車両と誤認識してしまうことで、認識率が 100%を上回ってしまいました。ナンバー認識率においては、4K カメラと車両ナンバーの角度により正確に 4 桁の数字が見えない車両があり 100%までは達成できませんでした。

車両とナンバーの認識率を 100%に近づけるためには、それぞれ対策を実施します。車両認識率においては、トレーラーの運転席部分（ヘッダ）とコンテナを乗せる部分（シャーシ）の間が広い車両に限り、シャーシの管理番号をナンバー情報として認識してしまうことがありました。追加検証で、ナンバー以外の番号を認識しているケースの「6 件」のうち「4 件」は認識ログ上で方向情報が判定不可になっていたことから、方向検知機能をオンにすることで除外できることがわかりましたが、残り 2 件については除外することができない事例でした。

図 4.4.1.2-Ⅲ-15　シャーシ管理番号をナンバー情報と誤認識してしまう例

【ナンバー情報 4 桁を正確に取得できないことの改善】

トレーラー車体自体の装飾の影響でナンバー情報 4 桁が正確に取得できないことがありました。これに関しての対策として、トレーラー自体の装飾を取り外すか、4K カメラの設置位置を低くし、角度もナンバーの正面に近づけるこでで、ナンバー認識率を上げることができると考えられます。

ナンバー誤認識においては、4K カメラにトレーラーが映る画面上部を通過する瞬間から取得をし始め、誤認識してしまうものが 1 件ありました。これは車番認証システム上のマスク設定を変更しました。マスク設定とは、マスク指定した(図 4.4.1.2-Ⅲ-17 の紫の)部分を通過してもナンバー情報を取得しないようにします。その幅を広くすることにより、画面に映った瞬間にナンバー情報を取得することを避け、解決しました。

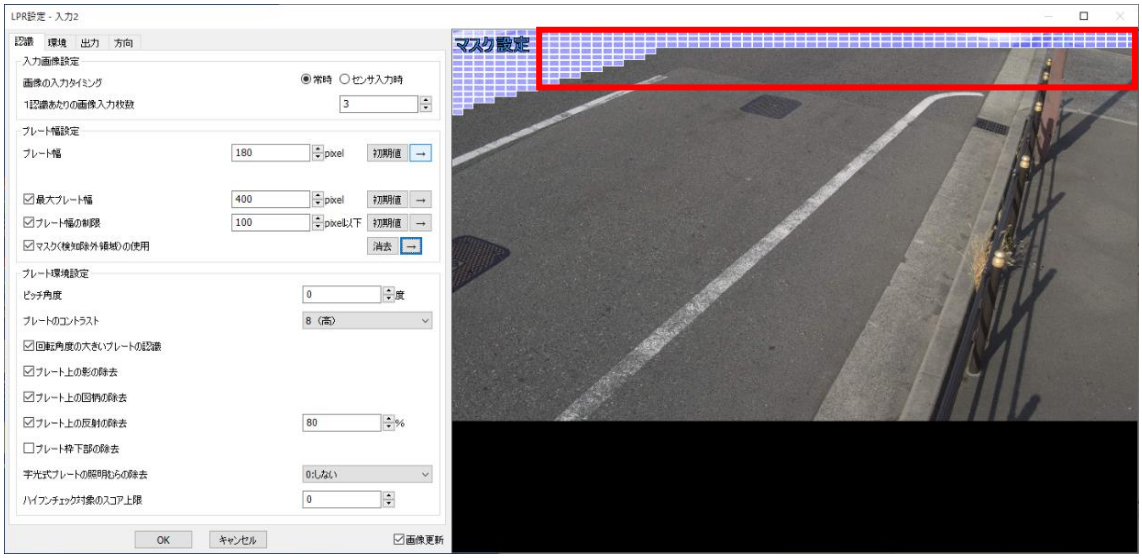


図 4.4.1.2-Ⅲ-16　マスク設定変更前

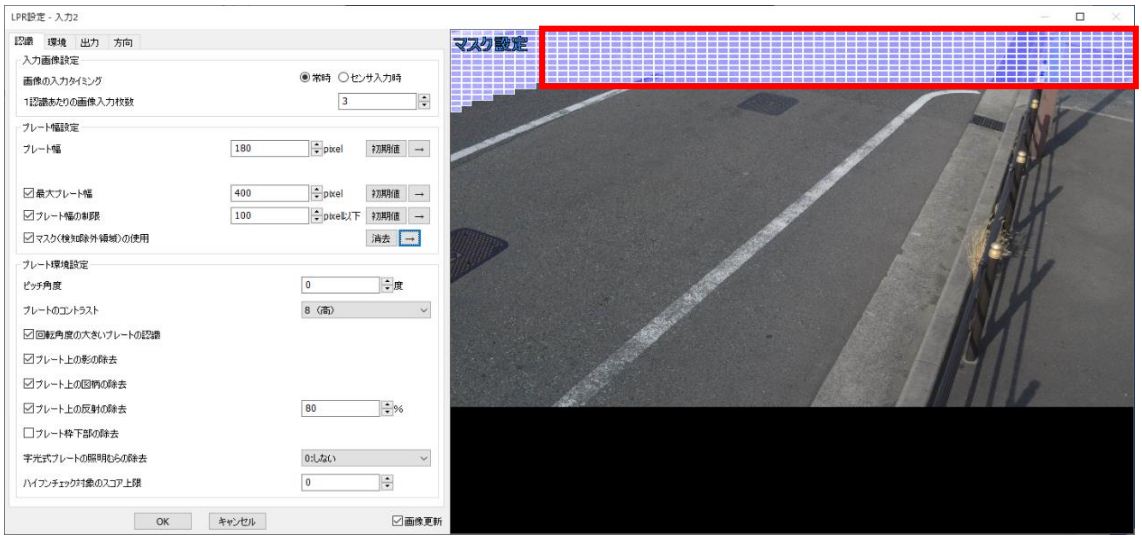


図 4.4.1.2-Ⅲ-17　マスク設定変更後

また、検証期間中の天候は晴れのみで、雨天での検証は実施できませんでした。

＜Ⅲ－②：4K 画像のスループット＞

【目標達成状況】：未達成

【現状との比較】

目標が UL：20Mbps と比較して、3 回測定した結果の平均値は 16.3Mbps という結果で目標達成には至りませんでした。

表 4.4.1.2-Ⅲ-5　3 回分のスループットデータ

	ULスループット	SS-RSRP (dBm)		ULスループット	SS-RSRP (dBm)		ULスループット	SS-RSRP (dBm)
1回目	9.854	-98.71	2回目	9.649	-98.23	3回目	9.797	-97.78
	9.42	-99.97		6.665	-98.32		14.999	-93.4
	10.266	-98.21		9.443	-97.21		14.107	-93.73
	9.946	-99.17		7.819	-99.39		15.067	-93.34
	10.289	-100.78		8.86	-98.04		15.079	-91.67
	9.992	-101.44		6.745	-96.46		16.051	-91.1
	9.569	-103.6		6.082	-100.82		21.172	-89.95
	9.226	-102.2		8.06	-96.87		20.909	-90.23
	9.603	-100.18		15.056	-91.2		18.783	-90.67
	9.386	-98.32		27.242	-87.6		17.182	-90.27
	9.546	-99.28		25.665	-85.87		16.005	-91.39
	9.511	-98.59		25.539	-86.09		14.416	-91.41
	10.815	-96.36		25.47	-88.16		17.822	-91.56
	11.238	-93.87		24.453	-87.72		22.807	-91.52
	9.98	-95.81		24.282	-88.46		20.475	-91.74
	11.329	-92.86		24.716	-89.15		16.028	-92.54
	11.055	-93.45		26.602	-89.41		15.879	-92.97
	11.032	-93.22		27.906	-88.05		13.57	-92.64
	11.341	-93.99		28.912	-85.6		17.319	-92.77
	14.29	-92.7		26.899	-85.23		19.617	-92.61
	18.337	-91		26.316	-87.95		20.292	-93.19
	16.451	-92.64					20.498	-91.03
	17.102	-92.2		24.727	-90.27		24.43	-89.93
	13.273	-90.8		20.086	-91.81		24.247	-90.23
	13.444	-91.83		15.399	-92.5		25.265	-89.95
	13.25	-90.69		15.719	-88.85		24.35	-93.12
	16.165	-93.19		13.57	-91.86		26.214	-92.3
	15.17	-91.81		11.981	-92.47		26.511	-89.4
	15.147	-92.31		13.078	-89.75			
平均	11.93	-95.83	平均	18.11	-91.55	平均	18.89	-91.87

＜Ⅲ－③：システム連携＞

1）連携に必要な機能洗い出し

【目標達成】：達成

【実施内容】

連携に必要な情報が明確になり、車番認証システム側と CONPAS 側双方での対応を実施しました。車番認証システム側のアイテック株式会社では、オプション機能である外部連携機能を活用し、JSON 形式による認証データの TCP/IP 送信、データコンバート用中継ソフトウェアを利用することで、４K カメラで取得したナンバー情報を JSON 形式に変換し、CONPAS に送信できるようにしました。CONPAS 側では、CONPAS サーバーを扱っている（株）社会システム総合研究所で、CONPAS の受け口を仮構築し、JSON 形式でのデータを実証期間中のみ受け取れるようにしました。

```
{
    "carg_desc":"株式会社○Ｘ社有車"
    ,"carg_kbno":1
    ,"carg_rf":1
    ,"ndat_acno":2
    ,"ndat_gtno":1
    ,"ndat_nidx":182
    ,"ndat_rctm":"2020-07-13 12:27:08.908"
    ,"numb_area":"練馬"
    ,"numb_clas":"331"
    ,"numb_kana":"と"
    ,"numb_seq":"0270"
    ,"patb_jf":1
    ,"patb_kf":0
    ,"patb_sf":0
}
```


データ名	型	説明
carg_desc	String	車番情報。最大256文字(改行は2文字。CRLF)
carg_rf	Int32	登録フラグ。1=登録、0=未登録
ndat_acno	Int32	発報条件番号。1～9999
ndat_gtno	Int32	ゲート番号。1～9999
ndat_nidx	Int64	データ識別子。1～2^32-1。拡張用
ndat_rctm	Datetime	認識日時。yyyy-MM-dd HH:mm:ss.fff形式
numb_area	String	陸運支局名。1～5文字。認識失敗時「?」
numb_clas	String	分類番号。1～3文字。認識失敗時「?」
numb_kana	String	かな文字。1文字。認識失敗時「?」
numb_seq	String	一連番号。4文字。3桁以下のナンバーは先頭0埋め。認識失敗時「????」(センサモードのみ)
Patb_jf	Int32	事業用フラグ。1=事業用、0=普通
Patb_kf	Int32	軽自動車フラグ。1=軽自動車、0=普通
Patb_sf	Int32	大板フラグ。1=大板、0=中板

図 4.4.1.2-Ⅲ-18　車番認証システムから送信する JSON 形式ファイル

セキュリティ面のユーザの認証には Basic 認証を採用し、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としました。

ユーザ名: accesscontrol_conpas　　パスワード: aifood30hsig

車番認証システムから CONPAS への送信プログラムは以下のコマンドで送信します。

Curl -X POST -H "Content-Type: application/json" -d <ここに Json データ> -H "Authorization: Basic YWNjZXNzY29udHJvbF9jb25wYXM6YWlmb29kMO9oc2ln"
https://hpcstg.jriss.jp/api/v1/gate/number_plate

【結果】

車番認証システム側で、取得したナンバー情報を JSON 形式で CONPAS へ伝送することができました。

2）CONPAS への疎通確認

【目標達成】：達成

```
C:¥Users¥ParkingEyes>ping 133.242.238.171

133.242.238.171 に ping を送信しています 32 バイトのデータ:
133.242.238.171 からの応答: バイト数 =32 時間 =26ms TTL=46
133.242.238.171 からの応答: バイト数 =32 時間 =27ms TTL=46
133.242.238.171 からの応答: バイト数 =32 時間 =27ms TTL=46
133.242.238.171 からの応答: バイト数 =32 時間 =27ms TTL=46

133.242.238.171 の ping 統計:
    パケット数: 送信 = 4、受信 = 4、損失 = 0 (0% の損失)、
ラウンド トリップの概算時間 (ミリ秒):
    最小 = 26ms、最大 = 27ms、平均 = 26ms
```

図 4.4.1.2-Ⅲ-19　CONPAS への ping による疎通確認

【結果】

図 4.4.1.2-の通り、CONPAS への疎通の確認が取れました。

3）CONPAS への伝送（データ格納）

【目標達成】：達成

車番認証システムと CONPAS の連携には JSON 形式でデータの受け渡しを行いました。

20220203_1130.log - メモ帳

ファイル(F)　編集(E)　書式(O)　表示(V)　ヘルプ(H)

```
2022-02-03 11:30:39.172 >> 2022/02/03-11:30:39:172 和泉 130 く 1200 のタスクを実行
2022-02-03 11:30:39.293 >> 2022/02/03-11:30:39:292 和泉 130 く 1200 のタスクを実行
2022-02-03 11:30:54.816 >> 2022/02/03-11:30:54:816 なにわ 111 け 0003 のタスクを実行
2022-02-03 11:30:54.930 >> 2022/02/03-11:30:54:930 なにわ 111 け 0003 のタスクを実行
2022-02-03 11:30:55.478 >> 2022/02/03-11:30:55:478 なにわ 130 う 8002 のタスクを実行
2022-02-03 11:30:55.605 >> 2022/02/03-11:30:55:605 なにわ 130 う 8002 のタスクを実行
2022-02-03 11:31:14.460 >> 2022/02/03-11:31:14:460 ログのクリンナップ
2022-02-03 11:31:45.629 >> 2022/02/03-11:31:45:629 ? 151 い 0502 のタスクを実行
2022-02-03 11:31:45.754 >> 2022/02/03-11:31:45:754 ? 151 い 0502 のタスクを実行
2022-02-03 11:32:00.099 >> 2022/02/03-11:32:00:099 神戸 130 う 3018 のタスクを実行
2022-02-03 11:32:00.220 >> 2022/02/03-11:32:00:220 神戸 130 う 3018 のタスクを実行
2022-02-03 11:34:35.663 >> 2022/02/03-11:34:35:663 なにわ 130 か 0038 のタスクを実行
2022-02-03 11:34:35.782 >> 2022/02/03-11:34:35:782 なにわ 130 か 0038 のタスクを実行
2022-02-03 11:35:06.465 >> 2022/02/03-11:35:06:465 堺 130 く 0444 のタスクを実行
2022-02-03 11:35:06.714 >> 2022/02/03-11:35:06:709 堺 130 く 0444 のタスクを実行
2022-02-03 11:35:20.266 >> 2022/02/03-11:35:20:266 なにわ 135 い 0055 のタスクを実行
2022-02-03 11:35:20.392 >> 2022/02/03-11:35:20:392 なにわ 135 い 0055 のタスクを実行
2022-02-03 11:35:30.713 >> 2022/02/03-11:35:30:713 なにわ 135 あ 1001 のタスクを実行
2022-02-03 11:35:30.822 >> 2022/02/03-11:35:30:822 なにわ 135 あ 1001 のタスクを実行
2022-02-03 11:36:01.148 >> 2022/02/03-11:36:01:148 なにわ 100 か 9620 のタスクを実行
2022-02-03 11:36:01.261 >> 2022/02/03-11:36:01:261 なにわ 100 か 9620 のタスクを実行
2022-02-03 11:36:12.970 >> 2022/02/03-11:36:12:970 和泉 130 か 2233 のタスクを実行
2022-02-03 11:36:13.092 >> 2022/02/03-11:36:13:092 和泉 130 か 2233 のタスクを実行
2022-02-03 11:36:23.477 >> 2022/02/03-11:36:23:477 なにわ 100 か 8380 のタスクを実行
2022-02-03 11:36:23.598 >> 2022/02/03-11:36:23:598 なにわ 100 か 8380 のタスクを実行
2022-02-03 11:37:44.279 >> 2022/02/03-11:37:44:279 なにわ 100 か 9385 のタスクを実行
2022-02-03 11:37:44.398 >> 2022/02/03-11:37:44:398 なにわ 100 か 9385 のタスクを実行
2022-02-03 11:38:01.408 >> 2022/02/03-11:38:01:408 なにわ 131 か 0403 のタスクを実行
2022-02-03 11:38:01.526 >> 2022/02/03-11:38:01:526 なにわ 131 か 0403 のタスクを実行
2022-02-03 11:38:16.412 >> 2022/02/03-11:38:16:412 なにわ 130 あ 1222 のタスクを実行
2022-02-03 11:38:16.537 >> 2022/02/03-11:38:16:537 なにわ 130 あ 1222 のタスクを実行
```

図 4.4.1.2-Ⅲ-20　車番認証システム側送信ログの結果（一部抜粋）


```
{
    "method": "POST",
    "url": "https:¥/¥/hpcstg.jriss.jp¥/api¥/v1¥/gate¥/number_plate",
    "request": {
        "carg_desc": null,
        "carg_kbno": 0,
        "carg_rf": 0,
        "ndat_acno": 0,
        "ndat_gtno": 2,
        "ndat_nidx": 14779,
        "ndat_rctm": "2022-02-03 11:30:17.508",
        "numb_area": "¥u548c¥u6cc9",
        "numb_clas": "130",
        "numb_kana": "¥u304f",
        "numb_seq": "1200",
        "patb_jf": 1,
        "patb_kf": 0,
        "patb_sf": 1
    },
    "header": {
        "content-length": [
            "237"
        ],
        "authorization": [
            "Basic YWNjZXNzY29udHJvbF9jb25wYXM6YWlmb29kMO9oc2ln"
        ],
        "content-type": [
            "application¥/json"
        ],
        "accept": [
            "*¥/*"
        ],
        "user-agent": [
            "curl¥/7.55.1"
        ],
        "host": [
            "hpcstg.jriss.jp"
        ],
        "php-auth-user": [
            "accesscontrol_conpas"
        ],
```


図 4.4.1.2-Ⅲ-21　CONPAS 側受信ログの結果（一部抜粋）

車番システム側送信ログデータ		>>	CONPAS側受信ログデータ	
Time	ナンバー情報		Time	ナンバー情報
2022/02/03-10:48	6121		2022/2/3 10:48	6121
2022/02/03-10:48	5271		2022/2/3 10:48	5271
2022/02/03-10:49	4011		2022/2/3 10:48	4011
2022/02/03-10:51	0018		2022/2/3 10:51	0018
2022/02/03-10:52	1111		2022/2/3 10:51	1111
2022/02/03-10:56	0001		2022/2/3 10:56	0001
2022/02/03-10:56	0103		2022/2/3 10:56	0103
2022/02/03-10:57	1960		2022/2/3 10:56	1960
2022/02/03-10:57	7300		2022/2/3 10:56	7300
2022/02/03-10:57	0358		2022/2/3 10:57	0358
2022/02/03-10:57	1012		2022/2/3 10:57	1012
2022/02/03-10:57	1508		2022/2/3 10:57	1508
2022/02/03-10:58	6039		2022/2/3 10:57	6039
2022/02/03-11:02	5027		2022/2/3 11:01	5027
2022/02/03-11:02:	1000		2022/2/3 11:02	1000
2022/02/03-11:02	5555		2022/2/3 11:02	5555
2022/02/03-11:03	1040		2022/2/3 11:03	1040
2022/02/03-11:04	0502		2022/2/3 11:04	0502
2022/02/03-11:05	0358		2022/2/3 11:05	0358
2022/02/03-11:05	6866		2022/2/3 11:05	6866
2022/02/03-11:06	0606		2022/2/3 11:05	0606
2022/02/03-11:06	5275		2022/2/3 11:05	5275
2022/02/03-11:06	4867		2022/2/3 11:06	4867
2022/02/03-11:06	2578		2022/2/3 11:06	2578

図 4.4.1.2-Ⅲ-22　送信ログと受信ログの突合結果（一部抜粋）

【結果】

検証期間中に車番認証システムで取得したナンバー45 台分は、CONPAS 側でも 45 台分のデータを受け取ることができ、データ格納率 100%という結果となりました。

CONPAS とのデータ連携に向けて、車番認証システム上で取得できたナンバー情報をシステムの外部連携機能を活用し JSON 形式でデータ転送することにより CONPAS へ 100%伝送・データ格納することができました。

4.4.1.3　運用検証

運用検証において、ローカル 5G を用いたソリューションⅠ～Ⅲ毎に、以下の通り「評価・検証項目」、「評価・検証方法」、「実証結果及び考察」を記載します。

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検証

Ⅰについては、当初は、アンケート形式での運用検証を想定しておりましたが、実際に利用者の方に、集まって頂き、運用面の課題や対応策について検討をおこなった方が直接の生の声を集約できかつ多くの意見が集まり、今後の運用定着化につながると判断し、今回の検証ではアンケートではなく、勉強会等の中で実運用面での意見集約と、対応策の検討を行いました。

(1) Ⅰ．評価・検証項目

以下の①②の 2 つの評価・検証項目について、検証を実施しました。

・Ⅰ－①：運用における意見集約
・Ⅰ－②：運用定着化に向けた施策の検討と実施（マニュアル作成等）

(2) Ⅰ．評価・検証方法

評価・検証方法は以下の通りとなります。

Ⅰ－①②の評価・検証項目に対する評価・検証方法の概要は以下の表となります。

表 4.4.1.3-Ⅰ-1.　評価・検証方法の概要

評価項目		評価・検証方法
Ⅰ-①	運用における意見集約	勉強会等を実施し、意見を集約する。
Ⅰ-②	運用定着化に向けた施策の検討と実施（マニュアル作成等）	Ⅰ-①で出た意見に対して、対応策を実施する

＜Ⅰ-①：運用における意見集約＞
・検証期間：2021 年 12 月下旬～2022 年 1 月中旬
・検証方法：ローカル 5G とスマートグラスの活用により、従来とはダメージチェック業務が大幅に異なるオペレーションとなることから、ローカル 5G 活用の実証前から事前に関係各社と打ち合わせをおこない、運用定着に向けての意見集約をおこなう。

・参加者　：夢洲コンテナターミナル株式会社
荷役業務（ダメージチェック）に従事する事業者 6 社

＜Ⅰ-②：運用定着化に向けた施策の検討と実施（マニュアル作成等）＞
・検証期間：2022 年 1 月下旬～3 月
・検証方法：Ⅰ-①で出た意見に対して、対応策を検討し、運用定着に向けたマニュアル作成等の改善施策を実施する。

Ⅰ－①②の評価・検証項目に対する実証目標は以下の通りとなります。

表 4.4.1.3-Ⅰ-2　実証目標

評価項目		実証目標
Ⅰ-①	運用における意見集約	実運用する場合の課題等の洗い出し・意見集約をおこなう
Ⅰ-②	運用定着化に向けた施策の検討と実施（マニュアル作成等）	Ⅰ-①で出た意見に対して、対応策を実施・完了する。

(3) Ⅰ．実証結果及び考察

Ⅰ－①②の評価・検証項目に対する実証結果の概要は以下の通りとなります。

表 4.4.1.3-Ⅰ-3　実証結果及び考察の概要

評価項目		実証目標	実証結果	目標達成
Ⅰ-①	運用における意見集約	実運用する場合の課題等の洗い出し・意見集約をおこなう	合計 30 人に参加いただき、意見を集約しました。	達成
Ⅰ-②	運用定着化に向けた施策の検討と実施（マニュアル作成等）	Ⅰ-①で出た意見に対して、対応策を実施・完了する。	4 点の対応策を実施しました。	達成

＜Ⅰ-①：運用における意見集約＞

- 勉強会の実施：2 回
  - 実証への導入をスムーズに実施するために、勉強会を 2 回実施し、実運用に向けた課題の集約を行いました。※1 回目については、ローカル 5G 設備構築前のため、デモは Wi-Fi を活用
- 勉強会日時：2021 年 12 月 20 日、2022 年 1 月 18 日
- 参加人数：合計 30 人
- 内容：
  - 実証内容の説明
  - スマートグラスの使用方法の説明・デモ
  - スマートグラスの利用体験
  - 運用に向けた意見集約
- 勉強会で出た主なコメント；
  - ゲート側の作業者の操作が難しいので、導入ハードルが高い。
  - セキュリティについて情報が欲しい。
  - 今日の勉強会である程度利用方法は分かったが、忘れてしまうこともあり、また、本日参加していないメンバーに向けて、マニュアルやフローが欲しい。
  - 運用後も、疑問点が出てくると思うので、定期的にフォローしてほしい。

図 4.4.1.3-Ⅰ-1　勉強会の様子

＜Ⅰ-②：運用定着化に向けた施策の検討と実施（マニュアル作成等）＞

ローカル 5G とスマートグラスの活用により、従来とは大幅に異なるオペレーションとなることから、実証前から事前に関係各社と打ち合わせをおこない、出てきたコメントに対して、運用定着に向けて、４点の施策を実施しました。

本内容については、他港湾等で本ソリューションを展開・運用定着化させるためにも重要な観点と考えます。

１）運用方法の変更（1 月）

当初は、スマートグラス着用者（コンテナダメージチェックを実施するゲート作業者）がズームや照度変更などの操作をする想定を考えていましたが、勉強会でゲート作業者がすぐに使いこなすことは難しいとのコメントがあったため、管理者側ですべての操作を行い、ゲート作業者は、スマートグラスを装着するだけの運用に変更を行いました。

本変更を行うことで、シンプルな運用となり、導入に対するハードルが下がりました。

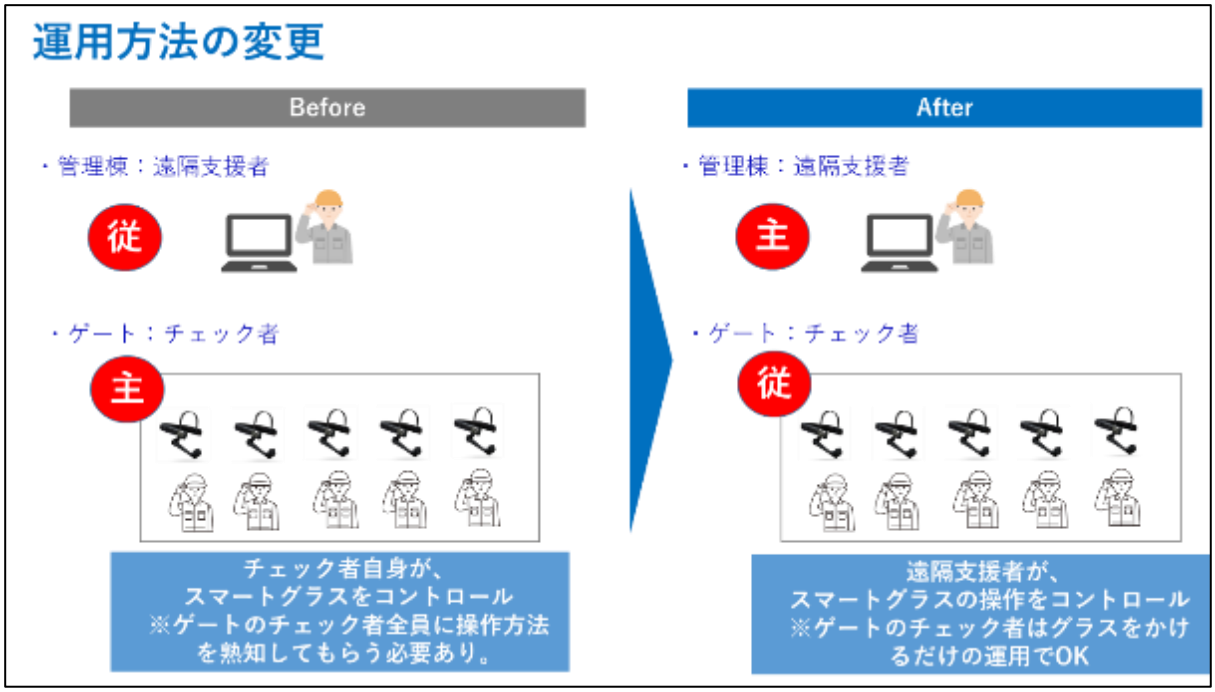


図 4.4.1.3-Ⅰ-2　運用方法の変更イメージ
（管理者で一括操作ができるように運用方法を変更）

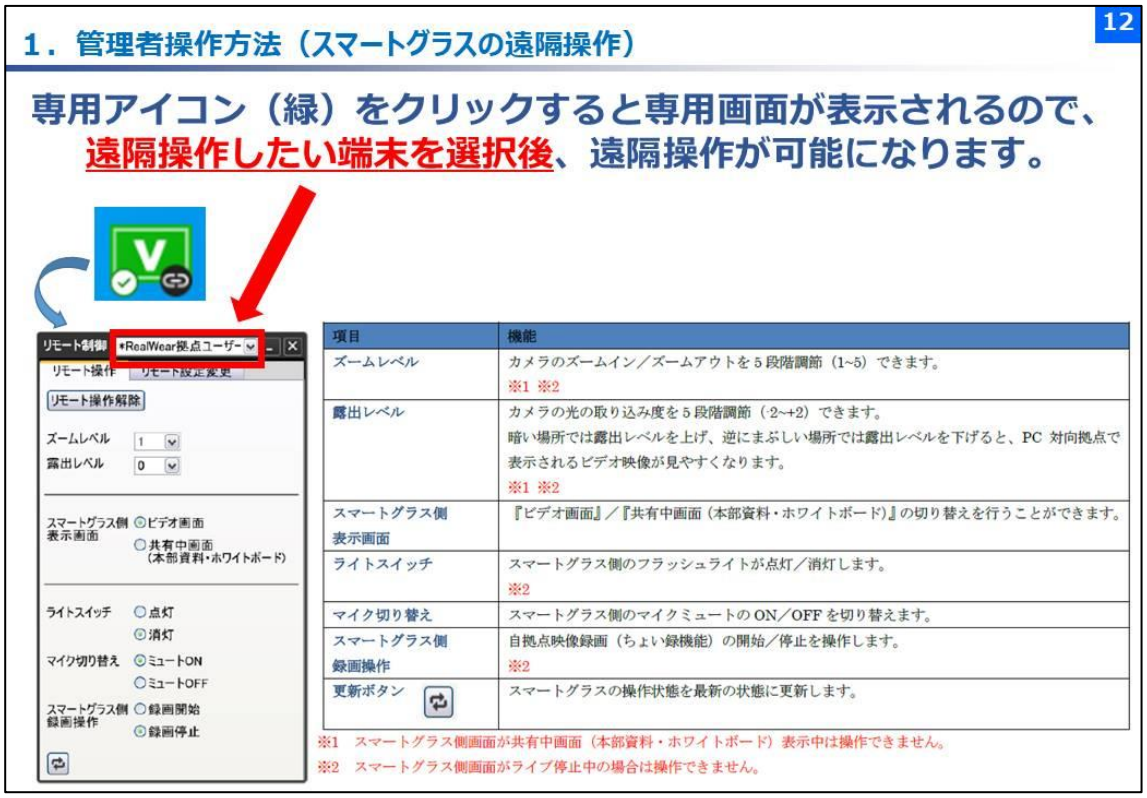


図 4.4.1.3-Ⅰ-3　管理者での一括操作方法のマニュアル

2）　セキュリティ情報の提供

今回使用するソリューションについては、クラウドを活用するソリューションとなります。導入する事業者より、運用に向けてセキュリティに対するコメントがあったため、運用する事業者 6 社のシステム担当者に対して、本ソリューションのセキュリティ情報について、説明・確認いただいた後、各端末にアプリインストールを行いました。

今後、実運用をおこなうにあたってもクラウドシステムについては、セキュリティ情報について、提供・説明等が必要になると考えます。

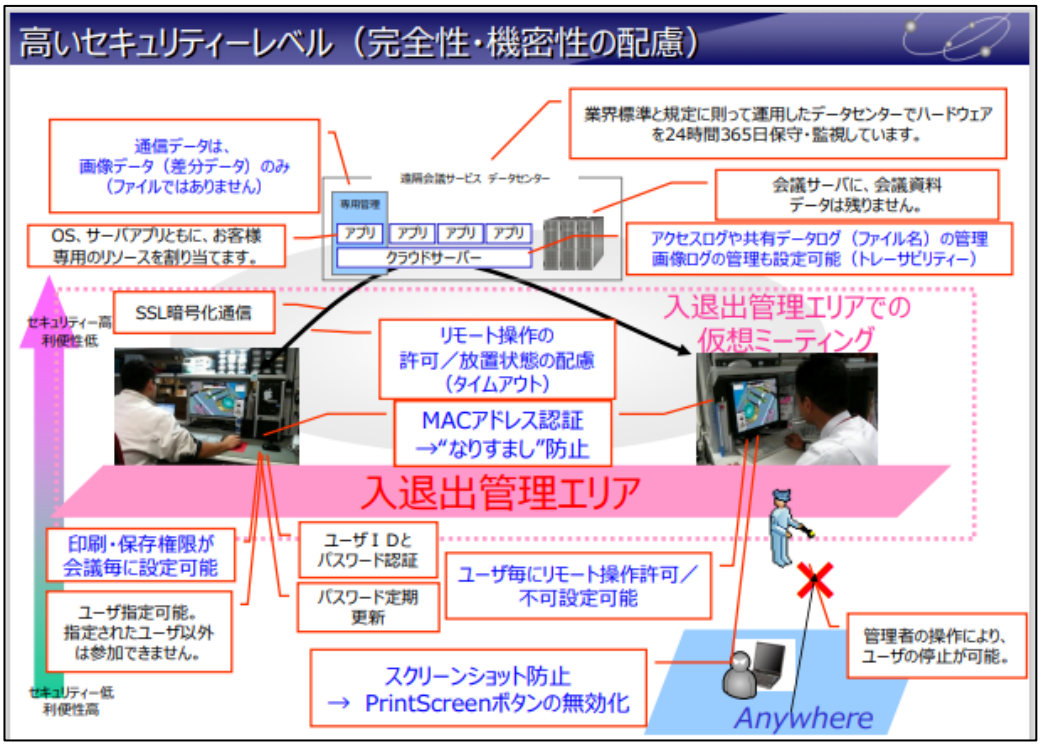


図 4.4.1.3-Ⅰ-4　本ソリューションのセキュリティに関する情報 1

■ セキュリティー対策

アカウント／機能概要	一般ユーザ
システムへのログイン認証	・ユーザＩＤ／パスワード認証 ・ＰＣ端末はMACアドレスによる端末認証の併用が可能
会議接続認証	参加型（予約） ・会議ID／会議キーによる接続認証 ※会議名は非公開
ＤＢ管理	ユーザ情報 ユーザＩＤ（社員番号など）、氏名、所属 ※人事マスターDBとの連携は、LDAPによる対応が可能
会議中のセキュリティー	(1)ファイル転送／配信は不可 (2)PrintScreenキーによるスクリーンショット無効化 (3)リモート操作のセキュリティー ・資料（コンテンツ）の公開元に許可が必要。 ・公開停止や遠隔操作解除などの操作後や、30分経過後には、遠隔操作は都度解除される。 (4)ホワイトボードへの画面保存は、資料提供者（公開側の拠点）しかできない。 (5)会議資料の印刷／保存権限は、会議毎に「開催者のみ」か「全員」から選択することが可能。 （ただし、オプションユーザはシステム設定となるため、選択は不可）
アクセス履歴管理	(1)いつ、誰が（WindowsログインID／ユーザID）、接続したかを記録。 (2)いつ、誰が（WindowsログインID／ユーザID）、何のデータ（ファイル名）を共有したかを記録。
通信セキュリティー	(1)SSL通信。　RC4(128bit) またはAES256bitによる暗号化。 (2)中国暗号化規制を考慮し、IEコンポーネントの暗号化モジュールを利用。
IaaS	・AWSを利用（EC2）＊契約顧客単位で仮想サーバーを構築し提供（シングルテナント） ・AWS WAS(Workload security)を標準搭載
取得済みのセキュリティ認証	ISO/IEC 27001 ISO/IEC 27017に準拠の「プライベート認証」<社団法人日本能率協会審査で認証を取得>

図 4.4.1.3-Ⅰ-5　本ソリューションのセキュリティに関する情報 2

3）マニュアル・フロー作成、配布（1 月中旬）

運用定着化に向けて、マニュアル・フローを見ながら習熟していきたいとのコメントがあったため、ポイントを整理し、図を多用した、初めて操作する方でも利用ができることを意識した、マニュアル・フローを作成し、利用者の方へ配布を行いました。

図 4.4.1.3-Ⅰ-6　本ソリューションの利用マニュアル 1

図 4.4.1.3-Ⅰ-7　本ソリューションの利用マニュアル 2

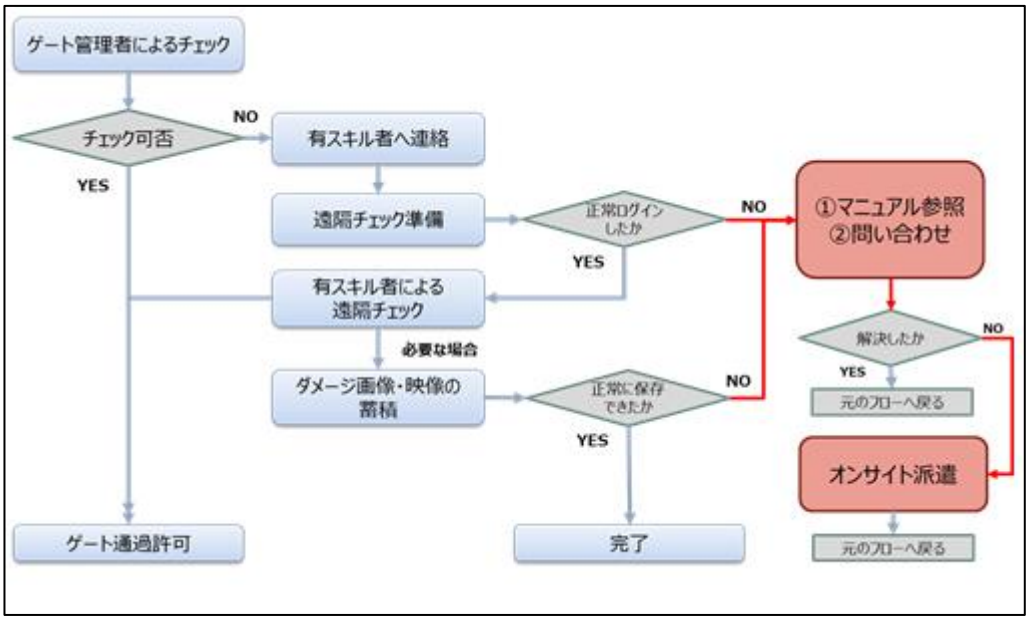


図 4.4.1.3-Ⅰ-8 本ソリューションの利用フロー（概要）

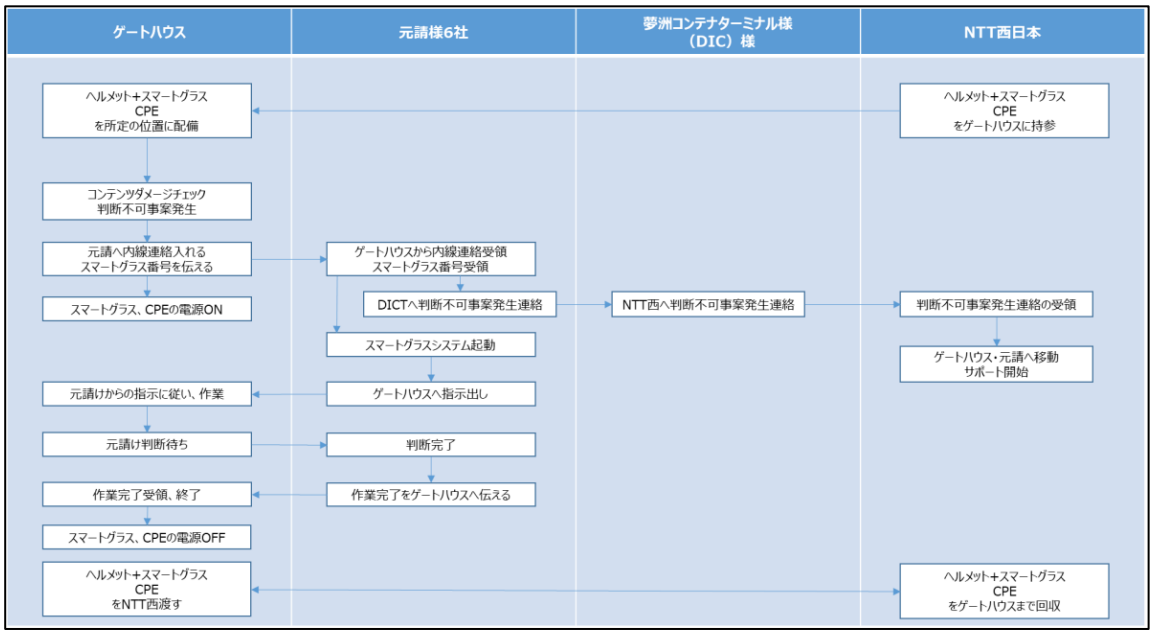


図 4.4.1.3-Ⅰ-9 本ソリューションの利用フロー（詳細）

4）運用定着フォロー（1 月中旬～）

実際に利用する、事業者 6 社について、運用後も継続的にフォローいただきたいとのコメントがあったため、運用後も個社別にフォローに周り、起動～終了までのデモの実施や、質問受付など、定着運用に向けたフォローを実施しました。

図 4.4.1.3-Ⅰ-10　運用フォローの様子

【まとめ】

ローカル 5G とスマートグラスの活用により、従来とは大幅に異なるオペレーションとなることから、関係各社から意見を聞きながら、運用定着に向けて、４点の施策を実施しました。

しかしながら、今回の実証期間では短く、すべての関係者の運用定着には至りませんでした。今後も、引き続き意見を聞きながら、運用定着に向けてフォローを実施していきます。

なお、本内容については、他港湾等で展開・運用定着化させるためにも重要な観点と考えます。

Ⅱ．RTG 等遠隔操作を見据えたローカル 5G の有効性に関する実証

Ⅱの運用検証においては、有識者とのディスカッションにより、ローカル 5G を活用した RTG 遠隔操作システムを運営する上で、国土交通省が定める「遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規定」も参考にしながら、必要な項目についての洗い出しを実施しました。

(4) Ⅱ．評価・検証項目

以下の①の評価・項目について、検証を実施しました。

- Ⅱ-①：RTG 遠隔操作システムの実装に向けた運用検証

(5) Ⅱ．評価・検証方法

評価・検証方法は以下の通りとなります。

Ⅱ－①の評価・検証項目に対する評価・検証方法のサマリは以下の表となります。

表 4.4.1.3-Ⅱ-1　評価・検証方法のサマリ

(1) 評価・ 検証項目	(2) 評価・検証方法
① RTG 遠隔操作システムの実装に向けた、運用検証	RTG 遠隔操作システムの有識者とのディスカッション

Ⅱ－①に対する評価・検証方法の詳細は以下となります。

＜Ⅱ－①：RTG 遠隔操作システムの実装に向けた運用検証＞
・検証期間：2022 年 2 月 21 日～3 月 1 日
・検証方法：湾業務は 24 時間/365 日、荷役運用しており、システム停止をした場合、ターミナル運営に支障をきたし、国内外の物流に甚大な影響を与えかねません。
そのため、実際に港湾にローカル 5G を活用した遠隔 RTG システムを導入する場合の運用について検 討を行いました。
今回の運用検証では、港湾業務・システムおよび RTG に関する有識者と意見交換を行うことで、実装・運用に向けての課題の確認を行います。
・有識者　　：三菱ロジスネクスト株式会社

【目標】
Ⅱ－①の評価・検証項目に対する目標は以下の通りとなります。

表 4.4.1.3-Ⅱ-2　評価・検証方法

評価項目		実証目標
Ⅱ-①	RTG 遠隔操作システムの実装に向けた、運用検証	ローカル 5G を活用した遠隔操作 RTG を導入する場合の必要検討項目の洗い出し、対応策の検討実施を完了

(6) Ⅱ．実証結果及び考察

Ⅱ－①の評価・検証項目に対する実証結果は以下の通りとなります。

Ⅱ－①の評価・検証項目に対する評価・検証方法のサマリは以下の表となります。

表 4.4.1.3-Ⅱ-3. 実証結果のサマリ

評価項目		実証目標	実証結果	目標達成
Ⅱ-①	RTG 遠隔操作システムの実装に向けた、運用検証	ローカル 5G を活用した遠隔操作 RTG を導入する場合の必要検討項目の洗い出し、対応策の検討実施	検討項目の洗い出し、対応策の検討を行いました。	達成

遠隔操作 RTG の運用については、平成 31 年 3 月に国土交通省港湾局より、「遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規定」が公表されています。

国土交通省
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
Press Release

平成３１年　３月２９日
港湾局技術企画課

「遠隔操作 RTG※の安全確保のためのモデル運用規程」を策定

コンテナターミナルにおいて遠隔操作 RTG を導入する際に設置者が整備等を行う運用規程の参考として、「遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規程」を策定しました。

※RTG：“Rubber Tired Gantry crane”（または Rubber Tyred Gantrycrane）の略で、タイヤ式門型クレーンのこと。

近年、大型コンテナ船の寄港の増加により、1 寄港当たりのコンテナ取扱数量が増大しており、コンテナ船の着岸時間が長くなっているため、ターミナル荷役能力を向上させ、荷役時間の短縮を図る必要があります。また、我が国においては、労働人口の減少や高齢化により、将来的な港湾労働者の不足が懸念されており、港湾労働者の確保に向けて、労働環境の改善が必要となっています。

これらの課題に対応するため、我が国港湾のコンテナターミナルにおいて、遠隔操作 RTG の導入が見込まれているところであり、2017 年には、港湾法施行令等の関係法令を改正し、遠隔操作 RTG を技術基準対象施設に追加したところです。これにより、遠隔操作 RTG の設置者は、運用規程の整備を行うことが標準となりました。

このため、国土交通省港湾局では、設置者が運用規程の整備等を行う際に、参考とすることができるモデルとして、「遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規程」を策定しました。

○公表資料
・遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規程

図 4.4.1.3-Ⅱ-1. 国土交通省　遠隔操作 RTG の安全操作のためのモデル運用規定
(https://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000165.html)

本モデル運用規定の中では、「安全確保の基本的考え方と実施すべき事項」について、大きく以下の４点が挙げられています。

（１）安全確保に係る責任者の決定
（２）リスクアセスメント及びその結果に基づく措置の実施
（３）施設の維持管理

（４）教育・研修

ローカル 5G を用いた遠隔操作をおこなう場合、上記４点の中で最も大きく関わってくる部分は、（３）施設の維持管理と考えます。

なお、施設の維持管理については、「遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用既定」では、以下を適切におこなうように記載されています。

（３）施設の維持管理 遠隔操作 RTG の維持管理は、非遠隔 RTG について実施する維持管理に加え、非遠隔 RTG に比較して追加的な措置が考えられるセンサ、カメラ、モニター等を対象に維持管理を適切に行う必要がある。 その際、システム管理者、機材メーカー等の関係者と協力し、点検対象を明確化するとともに、その点検方法等の詳細についても、十分な議論の上、決定することが望ましい。

また、遠隔操作 RTG に設置されるカメラ・センサ等の例は以下のように記載されています。

■遠隔操作 RTG に設置されるカメラ･センサ等の例

	機器・名称	用途･視角	スペック	スペック選択理由
1	全体カメラ	RTG全体画面 （クレーン内下面） 水平９８度、垂直８１度	f ＝ 2.1	対象物との距離検討の結果
2	センターマークカメラ	走行停止位置の確認 水平６３度、垂直５３度	f ＝ 6.0	対象物との距離検討の結果
		走行停止位置の確認 水平５８度、垂直４５度	f ＝ 4.3	
3	トロリーカメラ	段積みコンテナ高さ検出	f ＝ 3.43～ f ＝ 122	スプレッダ巻高さにより 着床面の拡大画像を見るため
4	スプレッダーカメラ （アンロック時）	水平102度、垂直73度	FAMOS 102°	耐衝撃50Ｇの仕様
5	走行路カメラ	走行路画像 水平７７度、垂直６２度	f ＝ 3.0	対象物との距離検討の結果
6	縦走行路カメラ	レーン替え走行画像 水平８８度、垂直７２度	f ＝ 2.5	対象物との距離検討の結果
7	地切りカメラ	シャーシ横画像 水平７７度、垂直６２度	f ＝ 3.0	対象物との距離検討の結果
		シャーシ横画像 水平８８度、垂直７２度	f ＝ 2.5	
8	スプレッダーカメラ （ロック時）	水平40度、垂直31度	FAMOS 40°	耐衝撃50Ｇの仕様 コンテナロック時の着床面を拡大してみるため狭角仕様
9	走行路ベイ 確認カメラ	ベイ現在位置の確認 水平８８度、垂直７２度	f ＝ 2.5	対象物との距離検討の結果
10	スプレッダー上部 確認カメラ	ﾛｰﾌﾟｽﾗｯｸﾞ等の確認 水平８８度、垂直７２度	f ＝ 2.5	対象物との距離検討の結果
11	シャーシ上部 確認 カメラ	シャーシ上のコンテナ 上部確認 水平８８度、垂直７２度	f ＝ 2.5	対象物との距離検討の結果
12	コンテナ番号 確認カメラ	コンテナ番号の確認 水平８８度、垂直７２度	f ＝ 2.5	対象物との距離検討の結果
13	シャーシヘッド 確認カメラ	シャーシヘッドの確認 水平６３度、垂直５３度	f ＝ 6.0	対象物との距離検討の結果
14	ＧＰＳアンテナ	RTG位置情報	対象衛星： L1、L2、L5、G1、G2	RTG自動直進で基準線とのズレ量を計算する時にRTGの向きが判別できるようにアンテナを2個設置する
15	GPS基準局	RTG位置情報	精度 水平：±3mm 垂直：±5mm	GPS移動局の測位精度を上げるため、基準局から移動局に補正情報を送るために設置する

図 4.4.1.3-Ⅱ-2　遠隔操作 RTG に設置されるカメラ・センサ等の例 1
（国土交通省　遠隔操作 RTG の安全操作のためのモデル運用規定より抜粋）
（https://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000165.html）

	機器・名称	用途･視角	スペック	スペック選択理由
16	通信アンテナ	無線通信	無線規格： IEEE802.11a/b/g/n/j対応	電波干渉の発生しにくい周波数 納入実績のある製品
17	画像伝送用無線機	画像伝送	無線規格： IEEE802.11a/b/g/n/j対応	電波干渉の発生しにくい周波数 納入実績のある製品
	画像転送 ／データ通信用 無線機	画像／データ伝送	通信方式： TDD時分割複信方式	電波干渉の発生しにくい周波数 国内納入実績のある製品 高速データ通信（250Mbps）で、長距離通信が可能
18	２Dレーザーセンサ	コンテナ蔵置プロファイル用	最大測定：26m 角度：190°	使用実績
19	２Dレーザーセンサ	対RTGを感知	検出保証：30m 角度：190°	使用実績
20	衝突防止センサ	走行路衝突防止	検出保証：30m 角度：190°	使用実績
21	磁気センサ	GPS位置情報とのズレ量比較	ｽﾞﾚ量確認用	従来の磁気誘導式自動直進で使用（実績あり）
22	進入許可ランプ	シャーシ運転手の進入可否指示	-	-
23	接触防止柵	有人・無人の分離柵	据置きタイプ、サンポール(74本)	-
			固定式、スチール製ピラー(68本)	-
24	１Ｄレーザーセンサ	コンテナ蔵置用	測定距離：５．３ｍ	使用実績
25	１Ｄレーザーセンサ	シャーシ検出用	測定距離：５．３ｍ	使用実績
26	小旋回角度検出センサ	小旋回方向のスプレッダ角度検出	強磁性体（歯幅3mm以上）	対象物とのサイズ検討の結果
27	ケーブル外れ検出センサ	スプレッダバスケットの ケーブル外れ検出	静荷重特性 250N/24hにて異常なき事	対象物との荷重検討の結果
28	画像転送 ／データ通信用 無線機	画像／データ伝送	通信方式： TDD時分割複信方式	電波干渉の発生しにくい周波数 国内納入実績のある製品 高速データ通信（250Mbps）で、長距離通信が可能
29	エンコーダ	カメラ画像変換	符号化方式：MPEG4 AVC/H264	低遅延機能、車両搭載実績
30	デコーダ	カメラ画像変換	符号化方式：MPEG4 AVC/H264	低遅延機能、車両搭載実績
31	サーバ	TOSデータ処理用	OS：WindowsServer2016 CPU：XeonE3-1220v5 メモリ：8GB HDD：SAS 600GB DB：SQLServer2016 UPS、液晶モニタ含む	使用実績
32	遮断機	シャーシ流入制御	-	-

図 4.4.1.3-Ⅱ-3　遠隔操作 RTG に設置されるカメラ・センサ等の例 2
（国土交通省　遠隔操作 RTG の安全操作のためのモデル運用規定より抜粋）
（https://www.mlit.go.jp/report/press/port05_hh_000165.html）

今回は、遠隔操作 RTG に設置されるカメラ・センサ等の例に記載があり、ローカル 5G に関わる、「No. 16 通信アンテナ」「No. 17 画像伝送用無線機・画像転送用無線機」の維持管理において、考慮が必要な検討項目を洗い出しました。

今回の実証環境における「No. 16 通信アンテナ」「No. 17 画像伝送用無線機・画像転送用無線機」は以下が該当します。

（管理塔側）

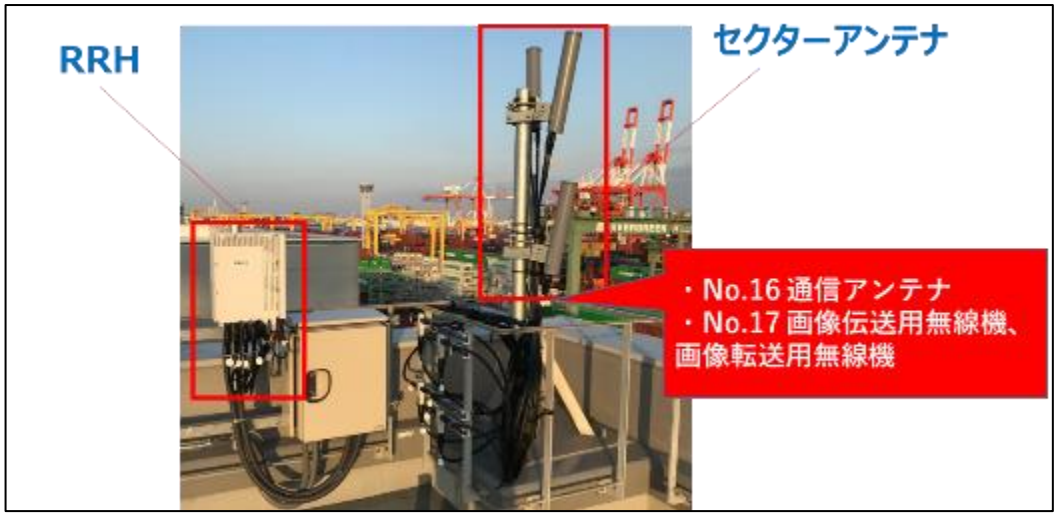


図 4. 4. 1. 3-Ⅱ-4　管理棟に設置の通信・無線機器

（RTG 側）

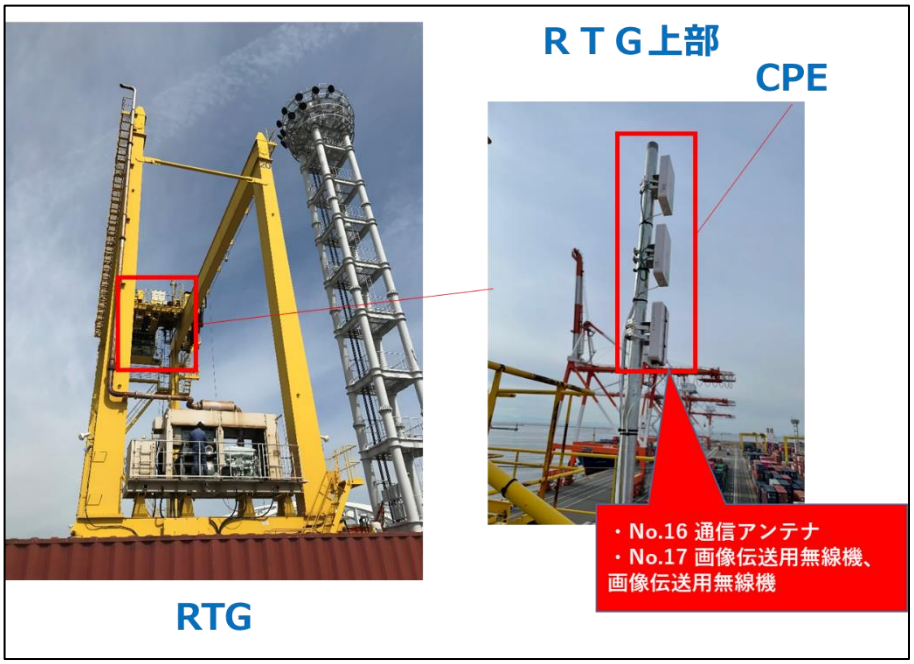


図 4. 4. 1. 3-Ⅱ-5　RTG に設置の通信・無線機器

以下より、ローカル 5G を用いた遠隔操作をおこなう場合の保守・運用についての検討案を記載します。

前提として、港湾業務は 24 時間/365 日、荷役運用しており、システム停止をした場合、ターミナル運営に支障をきたし、国内外の物流に甚大な影響を与えかねません。そのため、ローカル 5G システムの保守・運用について、以下の 5 点を検討しておく必要があると考えます。

１．定期メンテナンス(ソフトウェアバージョンアップ、停電対応等)
２．遠隔保守システム
３．24 時間 365 日の連絡・保守体制
４．故障による予備物品の確保
５．バックアップ回線の準備（冗長化）

１）定期メンテナンス（ソフトウェアバージョンアップ、停電対応等）
脆弱性やソフトウェアバージョンアップにおいては、ローカル 5G システムの停止が必要になります。港湾管理者およびシステムベンダーの間で、停止計画や手順などを追加で検討する必要があると考えます。

図 4.4.13-Ⅱ-6　定期メンテナンスのイメージ

２）遠隔保守システム
システムトラブル時には、早期復旧のため、遠隔からの復旧対応が必要になると考えます。（物理的な故障でない場合）
そのため、遠隔からのシステム再起動やアラート確認ができる保守システムが必須になり、トラブル時の運用者も合わせて検討する必要があると考えます。

図 4.4.1.3-Ⅱ-7 遠隔保守のイメージ

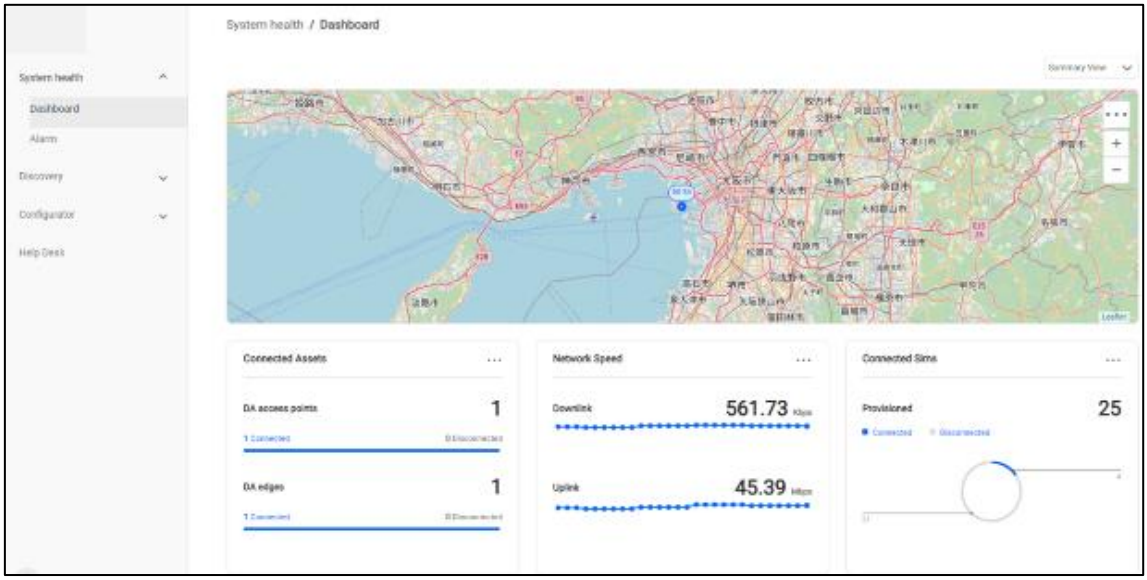


図 4.4.1.3-Ⅱ-8　夢洲コンテナターミナルで使用している遠隔保守システム

３）２４時間３６５日の連絡・保守体制

前述の通り、港湾業務は基本的に 24 時間 365 日おこなわれています。そのため、ローカル 5G システム保守についても、システムベンダーと夜間や祝日などの対応や契約、連絡・保守フローを導入前に検討しておくことが重要と考えます。

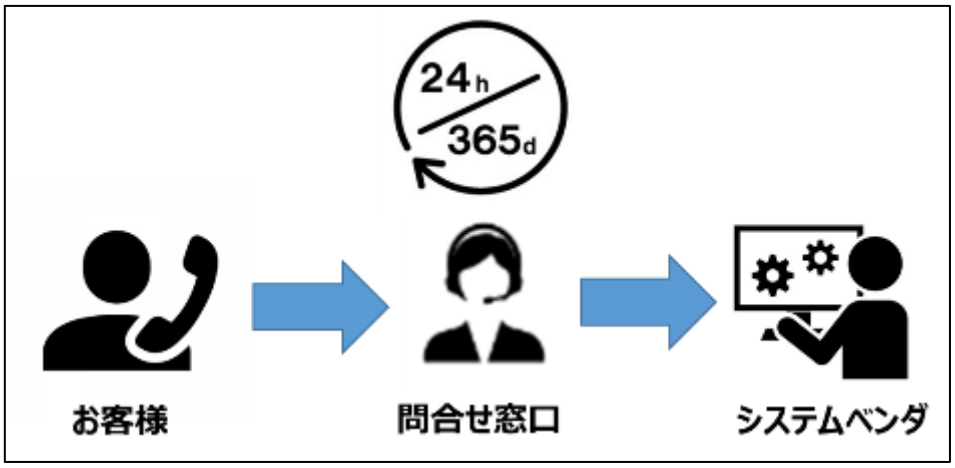


図 4.4.1.3-Ⅱ-9　24 時間 365 日の連絡体制のイメージ

４）故障による予備物品の確保

物理的な物品故障の場合、早期復旧に向けて、オンサイトでの保守対応が求められます。

特に、港湾では潮風などによる塩害も想定されるため、故障対応が通常の場所よりも、必要になる場面が増えると想定します。

しかしながら、ローカル 5G は免許制となっており、設置する機器の製造番号など、免許申請書類への記載が必要です。

そのため、早期復旧させるためには、予め予備物品含めての免許申請が必要になると想定します。故障時の物品交換の免許申請フローについては、総通局含め、引き続き最適な方法を検討をしてまいります。

図 4.4.1.3-Ⅱ-10　予備物品の確保イメージ

５）　バックアップ回線の準備（冗長化）

ローカル 5G のネットワークがシステムトラブル等により、疎通が取れなくなった場合、キャリア 5G など他のネットワークへ切り替えることができるようなシステム設計が推奨されます。

しかしながら、ローカル 5G とキャリア 5G では周波数帯が異なるため、対応端末が異なることや、SIM が異なることや、冗長化を組むことによる費用の増大化が課題となると想定されます。

運用当初は、ローカル 5G ネットワーク故障により遠隔 RTG が停止した場合、現状通り、人間が RTG を動作しての荷役に切り替える運用が想定されます。

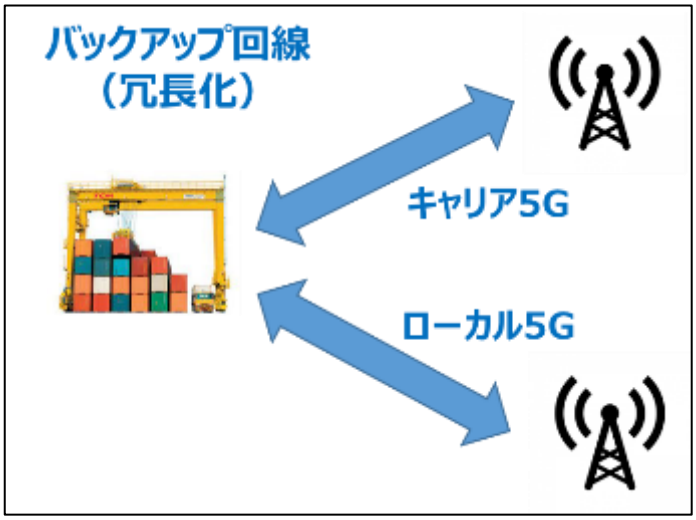


図 4.4.1.3-Ⅱ-11　バックアップ回線（冗長化）イメージ

【まとめ】

有識者にコメントをもらいながら、平成 31 年 3 月に国土交通省港湾局より、公表された「遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規定」の中の「施設の維持管理」の項目について、ローカル 5G を活用した RTG の遠隔操作の実運用をした場合の課題を洗い出し、ローカル 5G システムの保守・運用について、5 点の検討をおこないました。

本内容については、他港湾等で展開・運用定着化させるためにも重要な観点と考えます。

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

（1）Ⅲ．評価・検証項目

混雑状況の見える化システムには、分析に必要な車両情報（ナンバー）を自動的に抽出し、取得した車両情報から混雑状況を演算し、利用者向けに自動配信を目指すもので、運用者の手を介さない仕組みです。よって今回の運用検証に向けては、混雑状況の見える化システム自体の操作性、運用体制等の検証ではなく、システム運用開始に向けて対応すべき課題の検証を行いました。

また、システム利用者については使い慣れた端末で情報を閲覧するだけであるため、操作性、利便性の検証ではなく、今後のシステム実現に向けての利用要件の確認を実施しました。

（2）Ⅲ．評価・検証方法

実施するⅢ－①、Ⅲ－②に対する評価・検証方法の概要は以下の表となります。

表 4.4.1.3-Ⅲ-1 評価・検証内容

ソリューション	(1)評価・検証項目	(2)評価・検証方法
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	①混雑状況の見える化システムの実装･運用検証 ･混雑状況の見える化システムの運用について ･事前荷繰りシステムの運用について	新･港湾情報システム CONPAS 有識者とのディスカッション ・混雑状況の見える化、事前荷繰りの導入運用には、今後の全国の港湾へと導入が進む CONPAS との棲み分けや連携が必要となるため。
	②混雑状況の見える化システム実現に向けた確認 -知りたい混雑情報 -混雑予測情報 -混雑情報の入手手段 -混雑削減に向けて利用者が考えるアイデア	アンケートによる検証を実施 （目標：50 名以上） ・システム利用者である運転者、配車担当者からの要望を確認

Ⅲ－①、②に対する評価・検証方法の詳細は以下となります。

＜Ⅲ－①：混雑状況の見える化システム実装・運用検証＞
・検証期間：2022 年 2 月 10 日　14 時 30 分～15 時 30 分
・検証方法：混雑状況の見える化、事前荷繰りの運用には、今後の全国の港湾へと導入が進む新・港湾情報システム CONPAS との棲み分けや連携が必要となります。今回の運用検証では、国交省が開発した CONPAS の有識者と意見交換を行うことで、実装・運用に向けての課題の確認を行います。

【CONPAS 有識者】
-阪神国際港湾 株式会社
-株式会社 社会システム総合研究所

＜Ⅲ－②：混雑状況の見える化システムへの実装・運用検証＞
・検証期間：2022 年 1 月 26 日 ～2 月 18 日
・検証方法：システム利用者である運転者、配車担当者のシステムへの混雑状況の見える化システムへの要望について確認して、将来の実装に向けての必要要素の洗い出しを行います。

(3) Ⅲ. 実証結果及び考察

＜Ⅲ－①：混雑状況の見える化システム実現に向けた確認検証＞

1）混雑状況の見える化システムの運用フローについて

混雑状況の見える化システムは、ローカル 5G、４K カメラ、車両認証システムと混雑モデル化のエンジンで実現されます、これらのシステムが連携する運用フローについて確認を実施しました。

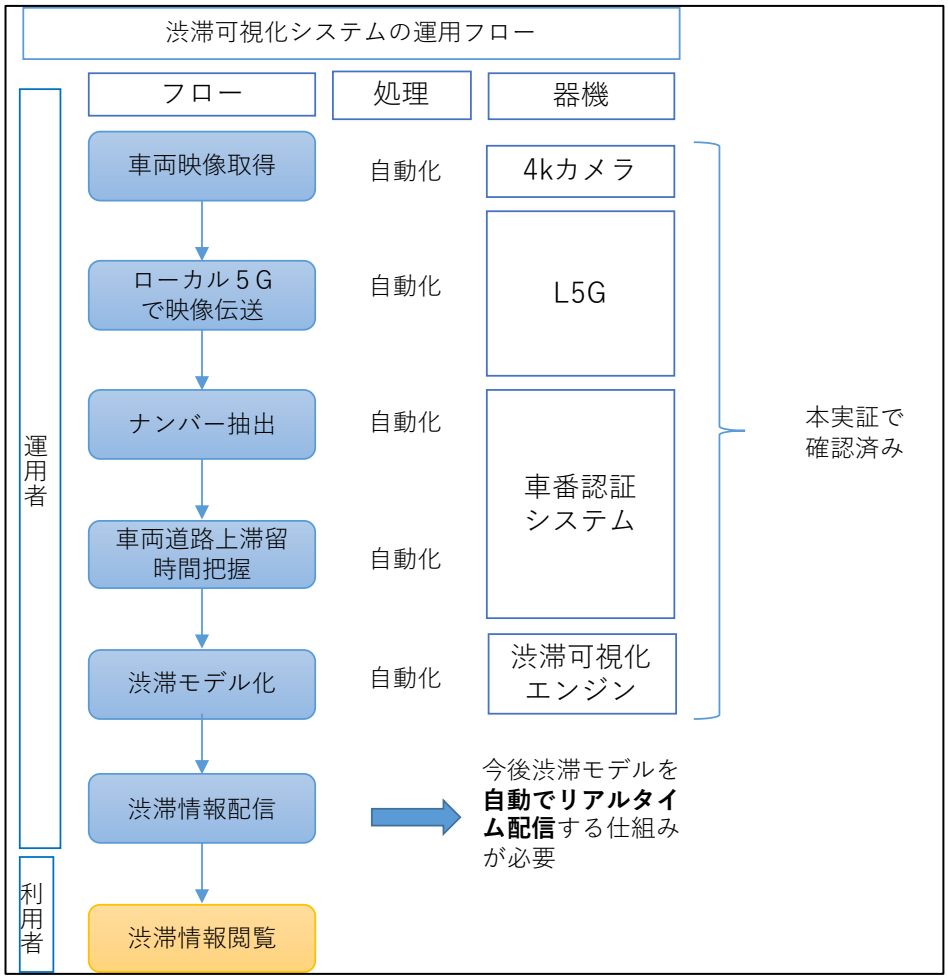


図 4.4.1.3-Ⅲ-1　混雑状況の見える化の運用フロー

【結果】

混雑システムの運用について、本実証で概ね自動化できることを確認できました。運用については、4K カメラ、システム類の死活監視が運用者の作業として残ります。今後はより多くのデータを学習させることでの混雑モデルの精度向上、混雑情報を必要とする利用者の要望が高い方法での混雑情報の配信の仕組みを構築する必要があります。

以下の実装・運用についての検証は、新・港湾情報システム CONPAS 有識者にご協力頂き、実装に向けての課題確認を行いました。

＜有識者＞

-阪神国際港湾 株式会社様

-株式会社 社会システム総合研究様

＜コンソーシアムメンバー＞

-大阪港湾局

-西日本電信電話株式会社

2）新港湾情報システム CONPAS との連携について

阪神港では、コンテナターミナルのゲート前混雑の解消やコンテナトレーラーのターミナル滞在時間の短縮を図り、コンテナ輸送の効率化及び生産性向上を目的として今後導入予定の新港湾情報システム CONPAS（Container Fast Pass）に、コンテナ情報及び位置情報の共有化の新機能を付加予定です。この位置情報の共有化の仕組みは、GPS 付きの専用端末を車両に搭載することで実現され、車両の位置情報から混雑状況を確認可能となっています。

今回実証した混雑状況の見える化システムは、CONPAS の混雑情報を共有化できる機能と競合して実装ができないのか、それとも共存できるものなのか検証を行いました。

【結果】

CONPAS で利用する GPS 付き専用端末は、位置把握だけでなく作業指示、行先指示など港湾業務効率化及び生産性向上の実現に向けて必須の器機であり、車両の把握のためにカメラに置き換えることはありません。混雑状況の共有という部分について、機能が重複していました。但し、CONPAS は令和５年度からの運用開始予定で、全車両 CONPAS 車両化するには時間がかかるため、過渡期における非 CONPAS 車両の情報を取得にカメラでの混雑状況の見える化システムは暫定活用できることがわかりました。実装については、暫定活用であるため利用期間での費用対効果を考えたうえで導入判断が必要です。

表 4.4.1.3-Ⅲ-2　混雑状況の見える化に向けた取り組み比較

		今回実証した 混雑状況の見える化 システム	CONPAS
車両情報取得方法		４K カメラ	GPS 付き専用端末
	メリット	・ 少ないカメラ設置台数で混雑状況の見える化が可能 ・ 短期間で設置可能 ・ 各車列パターン毎へ数台のカメラ設置で済むため費用は安価	・ 夢洲外の場所でも、車両の位置がわかる ・ 車両情報以外の情報についても把握が可能 ・ 取得情報を活用することで新たな機能検討が可能、拡張性が高い
	デメリット	・ カメラ設置位置以外の場所での車両の状況、車両のナンバー以外の情報がわからない	・ 車両への GPS 付き端末の配布に期間を要する ・ 1台1端末であるため、設置費用高額

情報伝送方法		ローカル 5G	キャリア LTE
	メリット	・ 通信費が不要	・ 初期費用が安価。
	デメリット	・ 夢洲以外の基地局新設には、高額な初期費用が掛かる	・ 車両単位での通信料が必要

3）事前荷繰りシステムの運用について

ヤード内の荷役業務の効率化を実現する、事前荷繰りの実現に向けた運用フローを検討し、実装に向けての検証を行いました。今回はフロー中の②の車両情報（ナンバー）をCONPAS へ格納する機能実証を行い、正しく格納できることを確認できています。

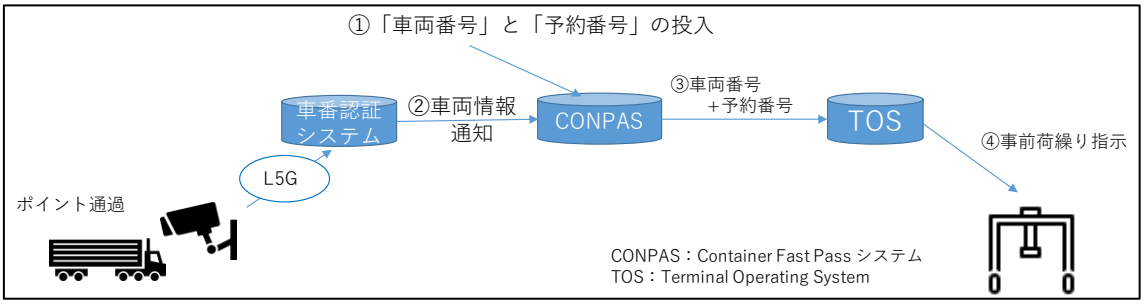


図 4.4.1.3-Ⅲ-2 非 CONPAS 車両の事前荷繰りの実施フロー

【結果】

上記のフローで、事前荷繰りの実現は可能であることが確認できました。

但し、今後の事前荷繰り実現に向けては、フロー上①の車両番号と予約番号の紐づけに、情報投入作業が必要となります。情報投入の仕組みについての技術的問題はないですが、情報取扱い上の課題があることがわかりました。車両番号と予約番号を CONPAS に投入してもらうには、CONPAS 利用申請が必要ですが、カメラ活用の対象となる非 CONPAS 車両は CONPAS 利用申請をしてないので、この投入行為ができません。CONPAS 利用申請は、車両への専用端末設置がセットなため、申請判断に時間が掛かることがわかりました。

次に、GPS 付きの CONPAS 端末搭載が完了した際に、４K カメラで取得した車両情報の活用ができるかの検証を行いました。

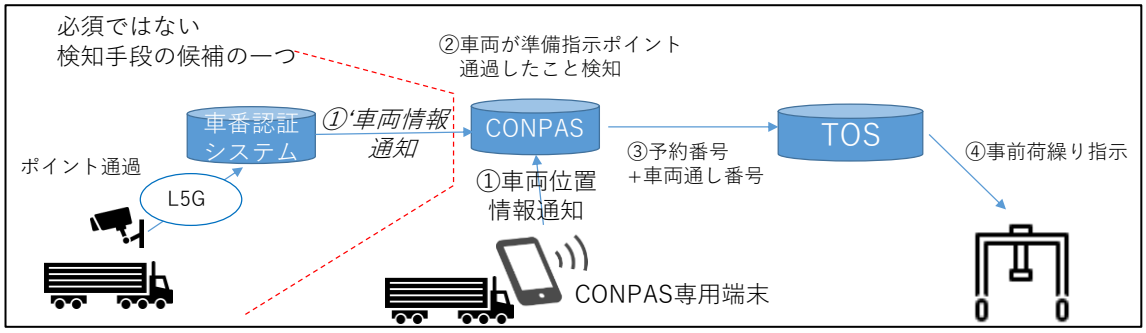


図 4.4.1.3-Ⅲ-3 CONPAS 搭載車両の事前荷繰り実施フロー

【結果】

上記フローで CONPAS 端末搭載車の事前荷繰りは実現可能であること、車番認証システムも事前荷繰り実施のトリガーとして活用できることが確認できました。CONPAS 端末搭載車両は GPS で位置情報を取得し、CONPAS 内で特定ポイントを通過したことを検知する仕組みは開発可能ですが、開発完了までの間又は、開発の代わりに 4K カメラと車番認証システムを使うやり方も可能です。例えば待機場の入口にカメラを置くなど、通過ポイントは待機場でなくてもよいですが、ポイント通過からトレーラーの順番の変更がないことが重要です。

＜Ⅲ－②：混雑状況の見える化システムへの要望検証＞

システム利用者であるドライバー、配車担当者へ混雑状況の見える化システムへの要望について確認し、将来の実装に向けての必要要素の洗い出しを行いました。ドライバー（104 名）、配車担当者（24 名）にご協力いただきました。

4）知りたい混雑情報の種別

表 4.4.1.3-Ⅲ-3　アンケート項目と選択肢

どの車両種別の混雑情報が知りたいか教えてください。	複数選択	①空コンテナ搬入車両 ②コンテナ引取車両（コンテナなし） ③実入りコンテナ搬入車両

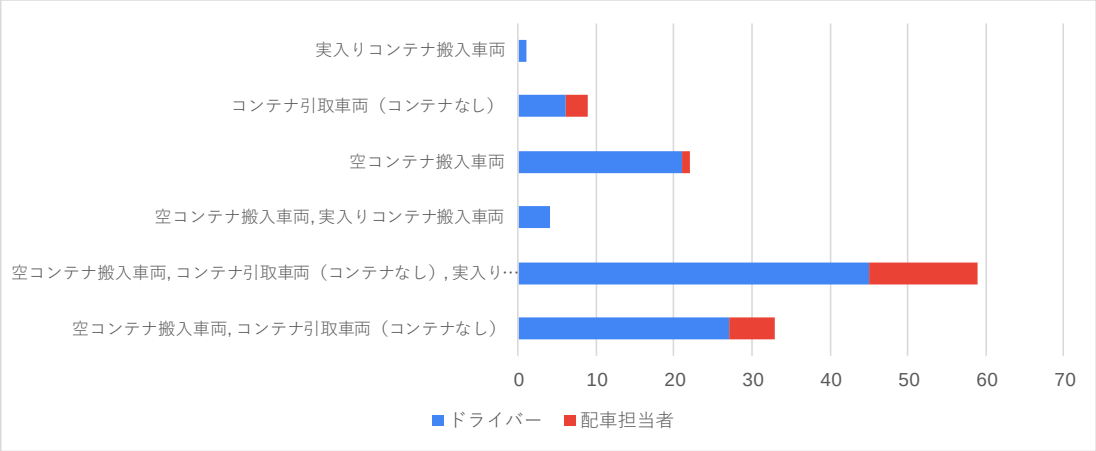


図 4.4.1.3-Ⅲ-4　知りたい混雑情報の種別について
ドライバー n=104 / 配車担当者 n=24

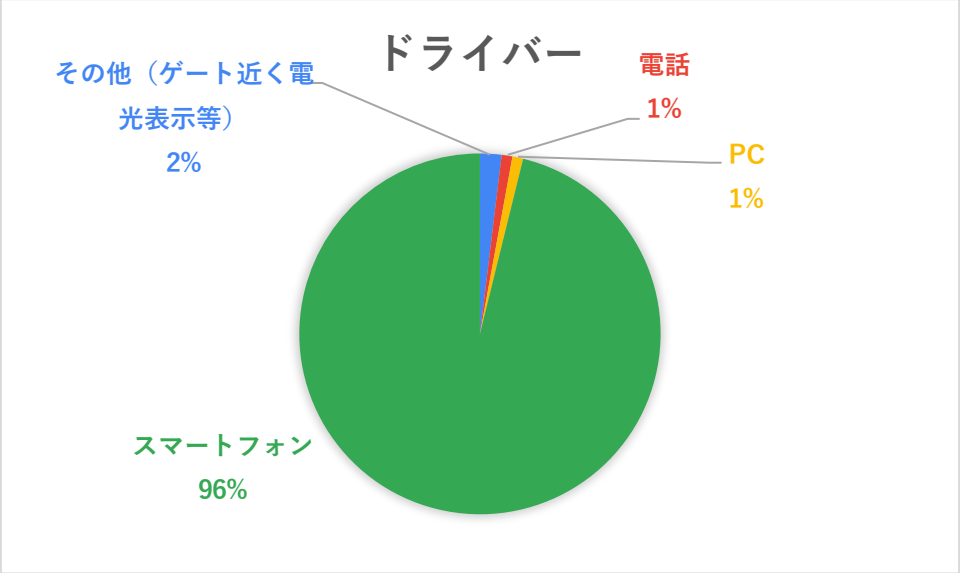
【結果】

一人のドライバーが、複数の積荷種類を取り扱っていることから、最も混雑が長い空コンテナ搬入車両の情報だけではなく、①空コンテナ搬入車両、②コンテナ引き取り車両（コンテナなし）、③実入りコンテナ搬入車両のすべての情報を見られるようにすることが重要とわかりましました。混雑状況の見える化に向けて 4K カメラの設置は、それぞれの車両ルート上に設置が必要とわかりました。

5）混雑情報を知りたい媒体について

表 4.4.1.3-Ⅲ-4　質問項目と選択肢

混雑情報をどの媒体で１番知りたいか教えてください。	択一	①電話 ②スマートフォン ③PC ④その他



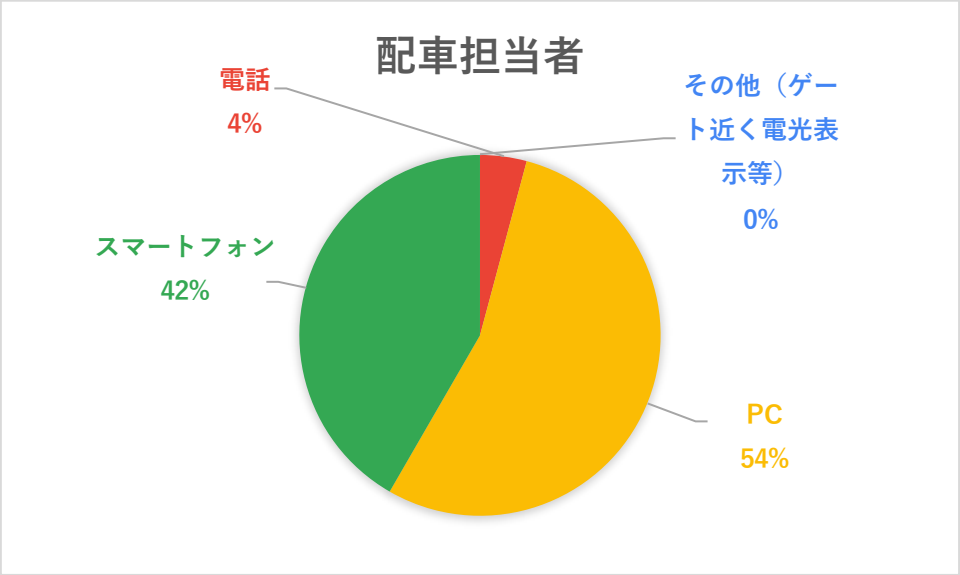


図 4.4.1.3-Ⅲ-5　混雑情報を知りたい媒体について
ドライバー n=104 / 配車担当者 n=24

【結果】

ドライバーの皆様は、96%でスマートフォン希望、外出先からの閲覧のため結果は想定通りでした、配車担当者の皆様も、PC とスマートフォンを合わせると 96%となりました。今後の混雑みえる化の仕組みとしては、web ブラウザで確認できる形が最適であることが確認できました。

6）混雑状況の見える化以外に、混雑に緩和につながるアイデア

表 4.4.1.3-Ⅲ-5　アンケート項目と選択肢

混雑緩和につながると思うアイデアはありますか。	記述式	

129 名中 90 名の方から、混雑解消に向けたアイデアをいただきました。

【結果】

混雑解消に向けて、実際に夢洲内で車両を運行されている皆様の声として、沢山のアイデアをいただけました。大まかに分類を実施しますと「ゲート時間の延長」「ゲートの増設」「柔軟なゲート変更」「システム導入での業務効率化」「信号機の時間調整」「待機場所の増設」「道路の拡張」「ヤードの分散」「誘導員の増強」「車両ルートの見直し」「ゲート処理の効率化」となりました。過去に検討された、すでに取り組みを開始しているものなども混同しておりますので、コンソーシアムで今後の対応について明確にしていきます。

7）混雑状況の見える化、事前荷繰りシステム実現に向けたまとめ

【混雑状況の見える化実現に向けた追加の開発項目】

混雑状況の見える化システムの実現に向けて、本実証で技術的確認できなかった部分として①知りたい混雑情報の種別、②混雑状況の配信機能があります。これらについては、利用者のニーズ調査を参考にして、今後の以下の開発に向けての仕様が明確になりました。

-混雑見える化の対象： 最も混雑が長い空コンテナ搬入車両の情報だけではなく、①空コンテナ搬入車両、②コンテナ引き取り車両(コンテナなし)、③実入りコンテナ搬入車両のすべての情報を見られるようにすることが必要

-混雑状況の配信：スマートフォン、PC での閲覧を想定した web ベースでの配信で 9 割のドライバー、運行担当者は満足できる

【カメラを用いた混雑状況の見える化システムの導入】

夢洲コンテナターミナルにおいて４K カメラを利用した混雑状況の見える化システムは、CONPAS 専用端末が全車両に導入されるまでの暫定対応として活用が可能であることが確認できました。L5G 環境下で、カメラを利用して低コストで混雑状況を見える化を実現できますが、阪神港での CONPAS は追加開発で同じ機能を持つため、暫定対応になるので費用対効果を考えて導入を決める必要があることが確認できました。

【事前荷繰りのシステムの導入】

事前荷繰りのシステムも技術的に実現できることが確認できました。CONPAS は、事前荷繰りのトリガーをひくためには、特定ポイントを通過したことを検知する仕組みを開発する必要があり、開発完了までの間、または開発の代わりにカメラは事前荷繰指示を出すトリガーの一つとして活用できることが確認できました。

【最後に（実証Ⅰ～Ⅲのまとめ）】

今回、港湾業務の課題に対してターミナルゲート内・外において、3 つの実証を行いました。

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
Ⅱ. RTG 等遠隔操作を見据えたローカル 5G の有効性に関する実証
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

図 4.4.1.4-Ⅰ-Ⅱ-Ⅲ-1.　今回実証をおこなった 3 ソリューション

港湾の混雑は、ゲート外の処理効率を上げるだけでは意味がありません。例えば、いくらゲート外の業務が効率化されたとしても、ゲート内業務が効率化されなければ、そこがボトルネックとなって、トータル的な業務効率化にはつながりません。

以下、机上にはなり、導入・運用コストを別途考慮しなければなりませんが、今回の実証Ⅰ～Ⅲ合計の生産性向上/年は、約 42,050 時間、削減費用/年は、約 17,460 万円となります。

表 4.4.1.4-Ⅰ-Ⅱ-Ⅲ-1　3 ソリューションの合計効果

	実証Ⅰ	実証Ⅱ	実証Ⅲ	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

※1　実証Ⅰについては、他ゲート・他業務まで拡大した場合

上記は、実証Ⅰ～Ⅲの個別の導入効果の合計になりますが、お互いのソリューションが相互に連携しなければ、上記のような最大限の効果を発揮することは困難だと考えます。（例えば、実証Ⅲの混雑状況を自動判別し、実証Ⅱの遠隔 RTG の配置を決めるなど）

引き続き、港湾業務のトータル的な効率化に向けて、継続的に取り組んでまいりいます。

4.4.2　ローカル 5G を用いたソリューションの実装性に関する検証

4.4.2.1　ローカル 5G 活用モデルの構築・検証

（1）想定されるユーザー

コンテナターミナルを中心とした港湾業務については、コンテナターミナルの運営事業者、船舶を運行する船舶事業者、コンテナターミナル周辺において倉庫等を運営するロジスティクス事業者、トレーラー等を運行する運送事業者等が存在し、各事業者に対して、様々なシステムを提案、導入、保守運用しているメーカー、SIer 等の事業者が存在します。

本実証における課題実証においては、課題実証Ⅰ（ターミナルゲートでのコンテナダメージチェック）、課題実証Ⅱ（RTG 遠隔操作に向けたシミュレーション）が、主にコンテナターミナル運営会社における課題解決となっており、課題実証Ⅲ（周辺道路の混雑可視化）については、コンテナターミナルに関わる様々な事業者と、周辺環境に対する課題解決となっています。

そのため、本実証で用いたシステムの主なターゲットについては、課題実証Ⅰ・Ⅱがコンテナターミナル運営事業者となり、課題実証Ⅲについては、コンテナターミナル運営事業者に加え、自治体やロジスティクス事業者となります。

コンテナターミナル事業者については、国内における物流拠点となる大規模港湾が 125 港存在（国際戦略港湾が 5 港、国際拠点港湾が 18 港、重要拠点港湾が 102 港）しております。そのため、課題実証Ⅰ・Ⅱについては、当初は大規模港湾とされる 125 港が主なユーザーとなると想定しています。

また、無線ネットワークの敷設について、コンテナターミナル同様の課題を抱えている他業種として、ライフライン系（電気・ガス・水道）のインフラ事業者や、湾岸エリアに工場が設置されることが多い、化学プラント系事業者があげられます。

コンテナターミナル同様に、キャリア 5G の普及優先度が高くない湾岸エリアであり、かつ広大な土地をカバーする必要がある事に加え、現状一般的に使われている PHS の停波など、新たな無線ネットワークとして、ローカル 5G への期待が高い事業者と言えます。

さらに、港湾同様 5GHz 帯の無線ネットワークも現状多く利用されており、次期更改においては、ローカル 5G を視野に入れている事業者も多いと推測します。現に本実証開始後から、港湾事業、インフラ事業者、化学プラント事業者からの本実証に関する問い合わせが多く入っている状況です。

問い合わせが多い、港湾・ライフライン系のインフラ事業者、化学プラント系の事業者の特徴・属性と、化学プラントへのローカル 5G 活用イメージは、以下の通りとなります。

表 4.4.2.1-1　問い合わせが多い事業者・ターゲットの特徴
（港湾・ライフライン系のインフラ事業者、化学プラント系の事業者）

	エリア・業務	ネットワーク
特徴	・広大なエリアを持つ（一辺:500m 以上） ・湾岸エリアや郊外エリアなど、キャリアネットワークが現状行き届きづらいエリアに位置している ・点検業務が多い（広大なエリアを目視で実施している） ・セキュリティが高い業務を行っている（セキュリティが高いシステムが必要） ・防爆エリアが存在し、wifi を設置しづらい ・24 時間/365 日の業務をしている（ネットワーク更改等での業務ダウンの時間を最小限にしたい）	・有線ネットワークの敷設・変更は地下配線や、長距離配線が必要なため困難 ・5.0GHz 無線などを導入しているが、導入から時間が経っており、次期更改では、ローカル 5G を検討

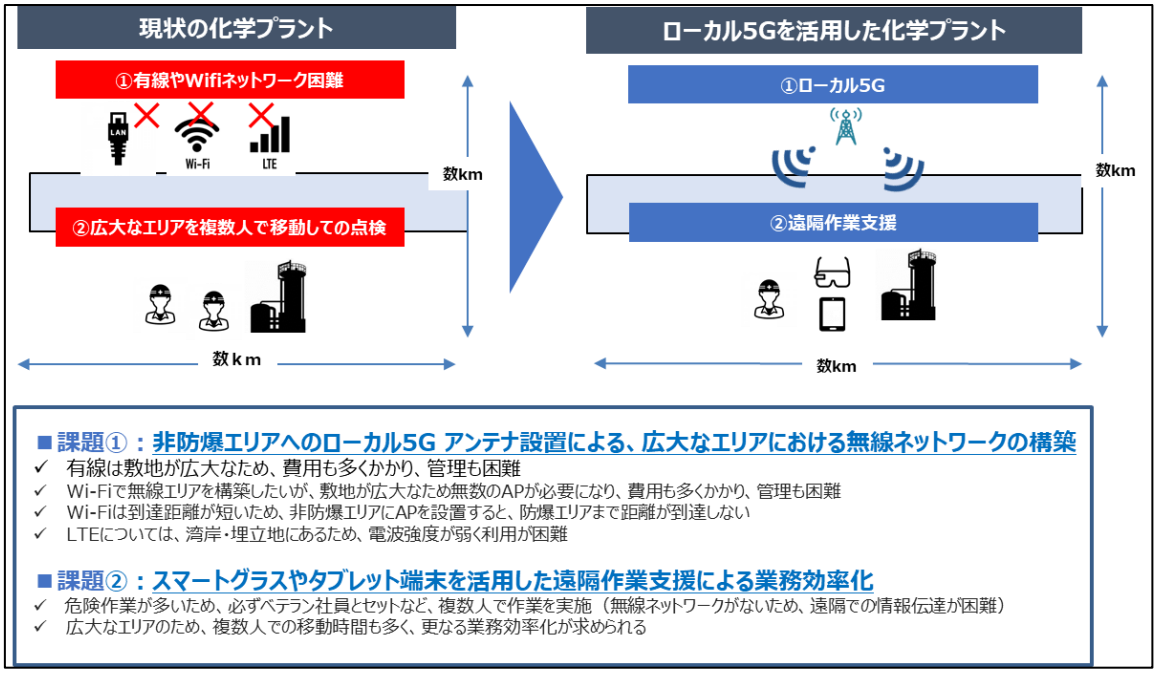


図 4.4.2.1-1　化学プラントへのローカル 5G 活用イメージ

【他港湾へのヒアリング】

今後、普及展開が想定される他港湾へ、2022 年 2 月～3 月にかけて、ヒアリングを行いました。ヒアリングによりいただいたコメントを記載します。

・他港湾へのヒアリングコメント

（港湾エリアにおけるネットワーク課題について）
・現状、敷設している無線が届かない場合があり、機器がだんまり停止をしていることがある。
・くまなく安定して、送受信をできるようにしたい。
・ネットワークの更改においては、24 時間/365 日の業務を止めることはできないため、業務停止影響が最小限となるような更改をおこないたい。有線よりは無線に魅力を感じる。
※有線ケーブルなどを、ヤード内の地下配線などすることは、新規にターミナルを構築するのであればよいが、既存の運営中のターミナルにおいては、業務影響が大きすぎて、現実的ではない。
・既存の 5GHz 無線などを導入しているが、導入から時間が経っており、更改時期のため、ローカル 5G を検討している

（コンテナダメージチェックについて）
・画像や映像を残して記録できることは、価値に感じる
・本船側のダメージチェックでは、動くコンテナを見るため固定のカメラ等では難しいと考えるため、見たいところを見られるスマートグラスは有効に感じる
・ダメージチェックは、搬入、搬出、荷揚など港湾内で何度も行っているため、効率化はしていきたい。
・AI ダメージチェックについては、できればよいが、技術的にできるかどうかは疑問

（RTG 等の遠隔操作について）
・現状の遠隔操作は、一般的に映像を有線ネットワーク、制御を無線ネットワークとしているため、費用やメンテナンスの観点からも 1 本化していきたい。
・ネットワーク新規敷設、更改のときには、ローカル 5G も視野に入れており、興味は高い。
・映像の品質は、高解像度であれば良いが、操作に問題ないレベルの画質であればよい。８K までは必要ないと考える。

（混雑問題について）
・トレーラーについては、日々の変動が多く、事前計画を立てることが難しいため、混雑になっている。
・上記の変動をシステム等も利用して、いかに平準化するかがポイントではないか。
・ゲートの効率化だけできても、ヤード内で滞留ができると意味がない
・ゲート入構前と後で、トータルで連携して効率化ができるシステムが必要

・ヒアリングをもとにした考察

ヒアリングからも、他港湾でも同様の課題を想定通り抱えているため、活用モデルの横展開は有益と考えます。特に、既存の無線ネットワークの更改をきっかけとして、次期無線ネットワークとしてローカル 5G を検討するケースが多いと考えます。

そのため、ターゲットに向けた提案は、まずは既存の無線ネットワークの更改をキーとして提案することが重要と考えます。

既存の無線ネットワークの更改であれば、費用についてもある程度計画されているため

検討いただきやすく、また、既存無線ネットワークを活用しているアプリケーションの巻き取り提案も可能なため、お客様にとっても有益だと考えます。

課題としては対応端末があげられます。既存の無線ネットワークで動作しているシステムをローカル 5G で更改するためには、システムの端末がローカル 5G に対応する、もしくは CPE 等を間に挟んでの運用になります。できるだけ故障ポイントを少なくするためには、システムの端末がローカル 5G に対応することが望まれます。端末のローカル 5G 対応化についても、コンソーシアムメンバーで一体となって、各種メーカーに継続して働きかけを行っていきたいと思います。

引き続き、日本の港湾の課題解決のために、ローカル 5G および活用ソリューションの展開に向けて検証・検討を進めてまいります。

（２）ローカル 5G を活用したシステム・サービス

【本実証で検証を行った 3 ソリューションについて】

ローカル 5G ネットワークと、スマートグラスを活用したビデオ会議サービス（課題実証Ⅰ）、RTG を遠隔操作するシステム（課題実証Ⅱ）、車番認識及び港湾における荷繰り作業を管理するシステム（CONPAS）連携（課題実証Ⅲ）については、引き続き検討を進め、有効性が確認できた場合には、ローカル 5G×ソリューションの港湾 DX のパッケージ化による展開を検討・予定しています。

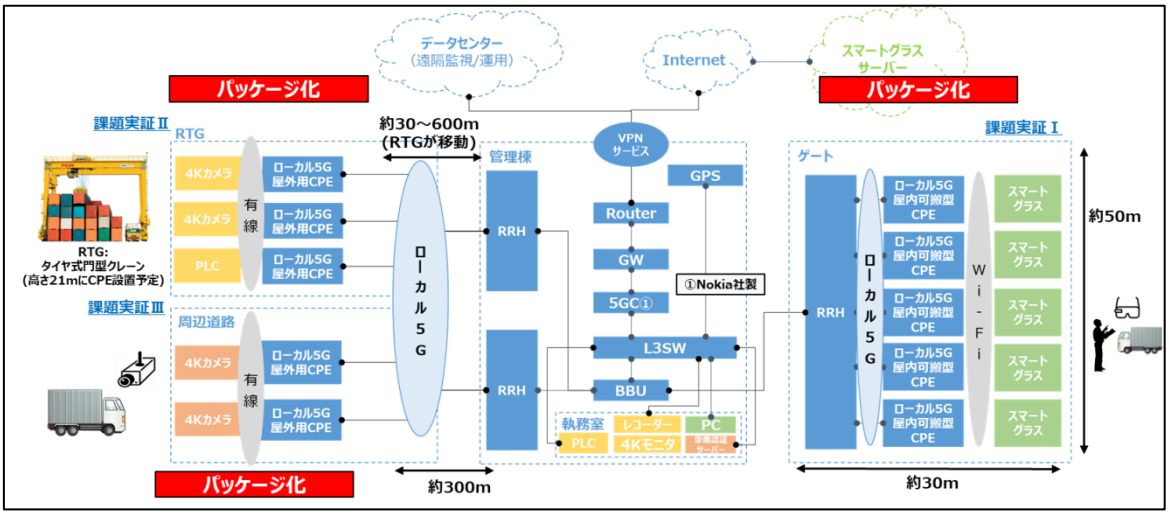


図 4.4.2.1-2 ローカル 5G×ソリューションのパッケージイメージ

ローカル 5G はあくまで手段であり、ローカル 5G を活用して何ができるか（効率化・技術伝承・危険作業回避など）が重要であると考えます。そのため、普及展開に際しては、ローカル 5G ネットワーク単体ではなく、ソリューションとのパッケージ化が必要と考えたため、パッケージ化による展開を検討・予定とさせていただいております。

本パッケージの提案については、前述したとおり、既存無線ネットワークの更改タイミングをもって、提案を進めてまいります。

特に、スマートグラスを活用したビデオ会議サービス（課題実証Ⅰ）については、他の 2 つのソリューションよりも、初期費用が小さく、導入・検討期間も短く、ローカル 5G 以外のネットワークでも併用可能なソリューションのため、導入ハードルが低いと想定するため、まずは本ソリューションを軸に展開を検討していきます。

表 4.4.2.1-2　3 ソリューションの導入ハードル比較

	初期投資費用	導入・検討期間	他ネットワークとの併用	導入ハードル
Ⅰ．スマートグラス	小	短期	可能	低
Ⅱ．遠隔 RTG	大	長期	要検討	高
Ⅲ．混雑の見える化	中	長期	可能	高

また、現状の既存の有線・無線ネットワークの更改および、スマートグラスを活用したビデオ会議サービスで、ローカル 5G ネットワークが初期導入されれば、その後中・長期的に遠隔 RTG や混雑の見える化システムなどの導入ハードルも下がると想定し、徐々にローカル 5G ネットワーク部分の役割を大きくしていく段階を踏んだシステム・パッケージ提案を想定しております。

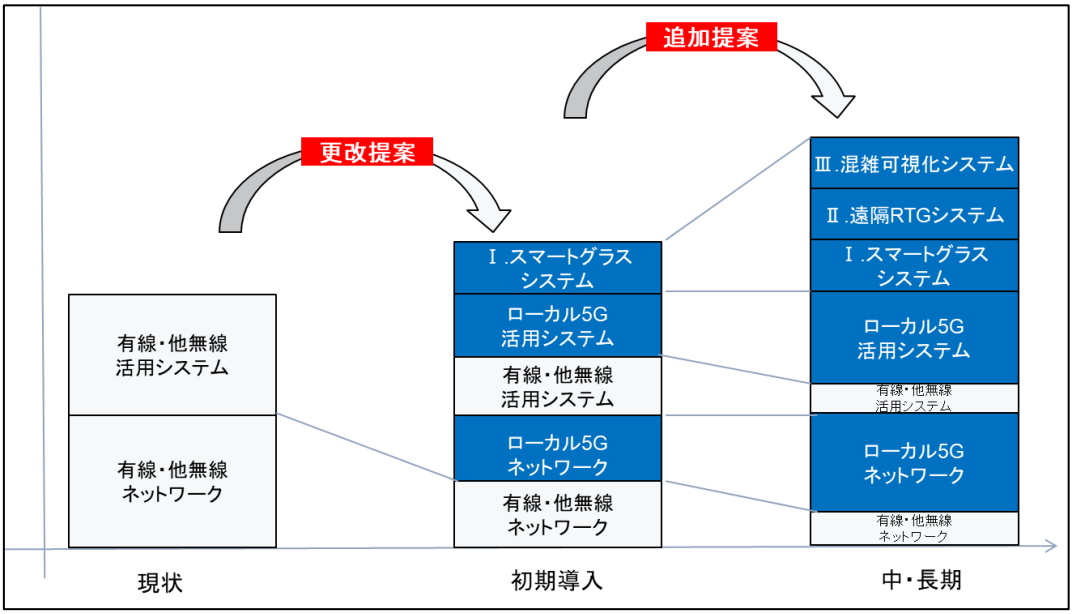


図 4.4.2.1-3 ローカル 5G 活用システムの段階的な導入イメージ

（3）ローカル 5G を活用したシステムの要件

課題実証Ⅰ・Ⅱ・Ⅲにて実証したシステムについて、それぞれに求められる要件を以下に示します。

【課題実証Ⅰ】

① 機能要件

- ゲートと管理棟等の有スキル者の作業場所とが映像と音声によるコミュニケーションができること
- 支援を受けるゲート作業員の目線の映像が、リアルタイムに撮影、伝送されること
- 支援を行う有スキル者からの指示が的確に伝わるよう、作業指示内容を静止画等により、ゲート作業員に伝達可能であること
- 映像によるダメージチェックを実現するために、映像品質を満たすこと
- ゲート作業員の操作性、安全性の観点から、映像コミュニケーションに使う端末は、ハンズフリーであり、完全ワイヤレスであること
- 複数ゲート（本実証では、1 か所に 5 つのゲートが存在）で同時利用可能であること
- 複数ゲートを 1 名の有スキル者が支援できること
- 屋外での利用を想定し、IP-66 以上を満たすこと

② 非機能要件

- 可用性

システム障害時は、有スキル者の駆け付けによるダメージチェックを実施することで、過度なサービスレベルをシステムに求めることはしないが、障害時の対応体制、復旧手順等について、ローカル 5G ネットワークと、映像コミュニケーションシステム、スマートグラス（ハードウェア）それぞれに対して確立できていること

- 拡張性

利用端末の増設、利用箇所の増加（岸壁等でのダメージチェック利用等）に対して、映像コミュニケーションのアカウント追加や、スマートグラスの増設等に、柔軟に対応できること

- 運用性

ローカル 5G ネットワークおよび映像コミュニケーションシステムについては、24 時間 365 日のシステム障害監視とし、障害発生時の情報伝達フローが確立できていること

- セキュリティ

港湾事業者が定める情報セキュリティレベルを満たすこと

③ 業務フロー等

- スマートグラスによるコンテナダメージチェックの業務フローを以下に示す

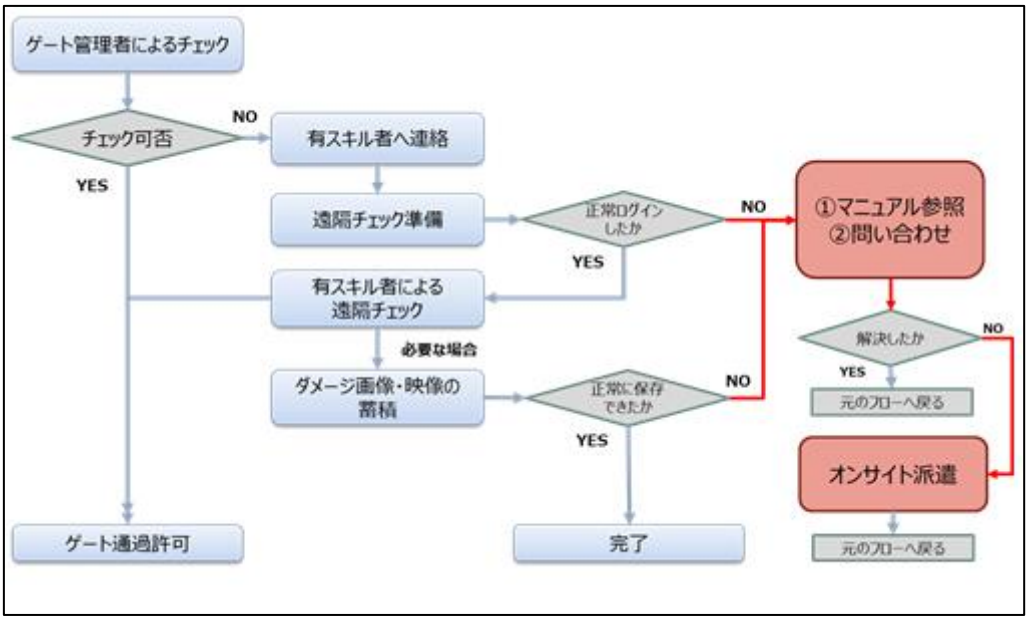


図 4.4.2.1-4 コンテナダメージチェックフロー（概要）

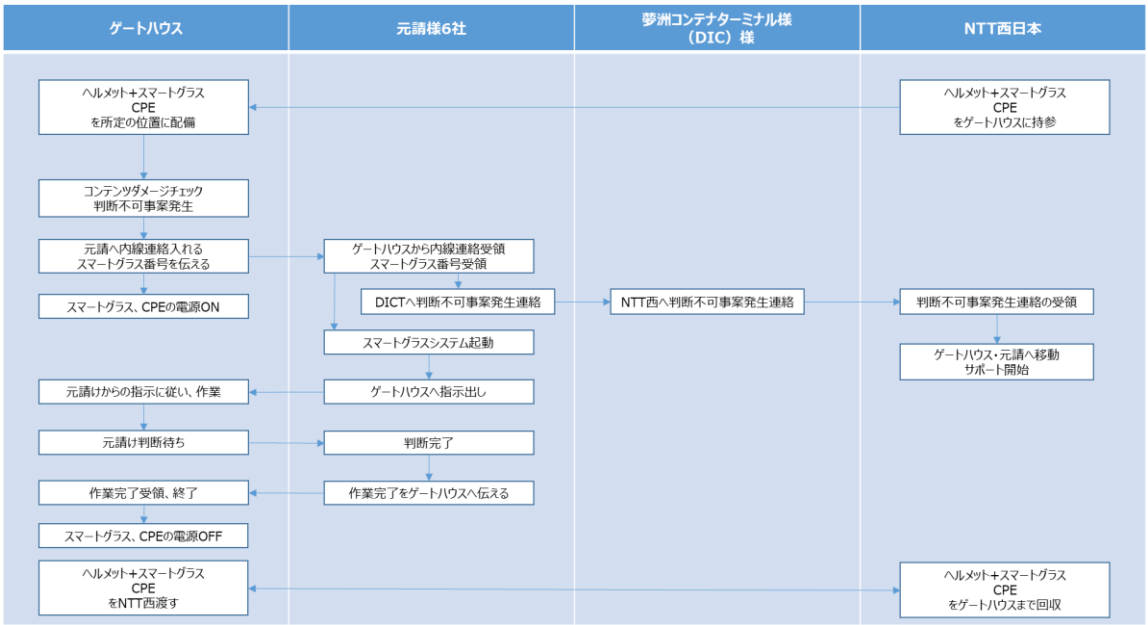


図 4.4.2.1-5 コンテナダメージチェックフロー（詳細）

【課題実証Ⅱ】

システム全体に求める要件に関しては、国土交通省が定める「遠隔操作 RTG の安全確保のためのモデル運用規程」を満たすこととし、ローカル 5G ネットワークに関しては、以下を満たすこととする

－通信帯域 UL　　：　10～15Mbps 以上/台

－遅延　　：　250msec 以下/台

ただし、上記ローカル5Gネットワークに求める要件はあくまで案であり、今回の検証のみでは干渉や気象条件の詳細な検討、実際の遠隔 RTG を用いての検証および複数台の操作検証までを実施していないため、引き続き検討が必要と考えます。

また、ネットワークのみだけでなく、遠隔RTGシステム全体としての要件を考慮する必要があると考えます。

【課題実証Ⅲ】

① 機能要件

- 起点･終点で車両情報を取得のためのHD画質以上のカメラを2台以上用意すること。
- カメラからは、MotionJPEGでの映像出力ができること。
- 周辺道路やトレーラー待機所において、カメラ映像から車番を認識できること
- 上記に対応するローカル5Gネットワークに関しては、以下を満たすこととする

  －通信帯域UL　　：　15Mbps以上/台
- 認識した車番情報を、港湾システムにJSON形式でデータ転送できること
- 認識した車番情報から、周辺道路全体における混雑状況を推測し可視化できること

②非機能要件

- 可用性

  システム障害時における対応体制、復旧手順等について、ローカル5Gネットワークと車番認識システムそれぞれに対して確立できていること
- 拡張性

  港湾システムのバージョンアップ等の際に、車番認証システムにて、データ連携対応ができること
- 運用性

  ローカル5Gネットワークおよび車番認証システムについては、24時間365日のシステム障害監視とし、障害発生時の情報伝達フローが確立できていること
- セキュリティ

  港湾事業者が定める情報セキュリティレベルを満たすこと

③ 業務フロー

車番認証システムによる混雑状況可視化の運用フローについて以下に示す

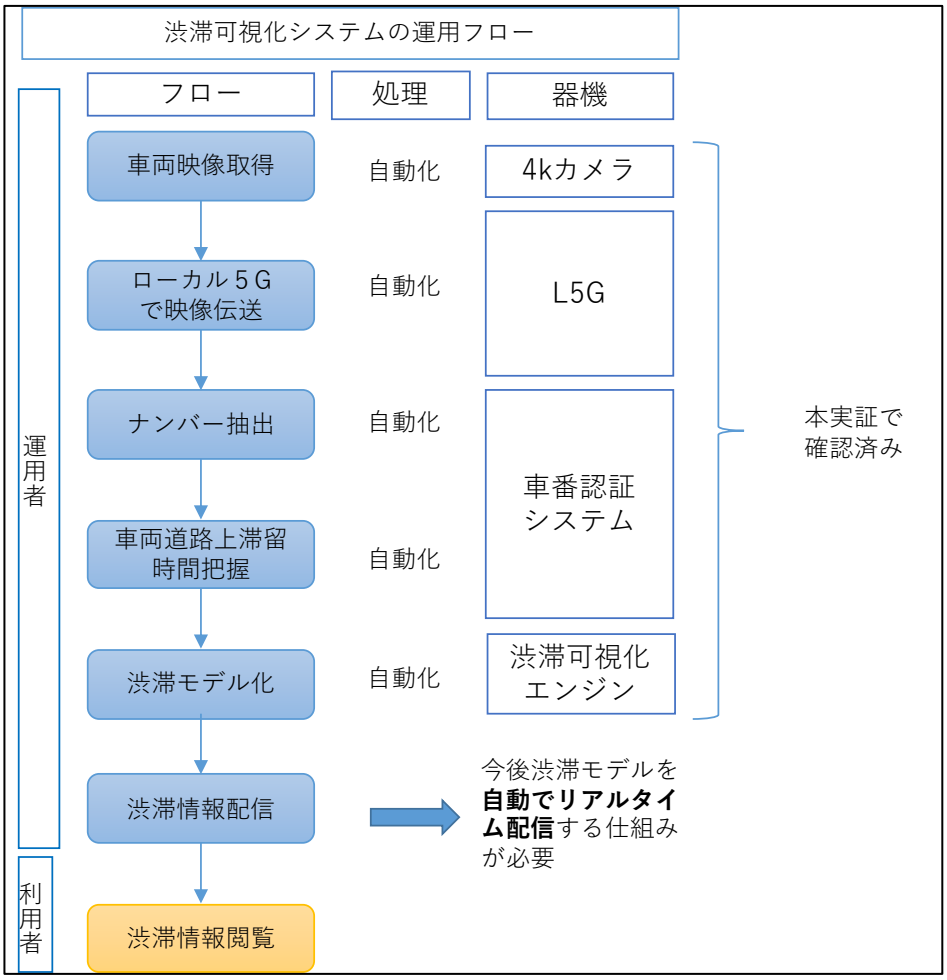


図 4.4.2.1-6　混雑状況可視化システムの運用フロー

（４）本実証で確認できたローカル 5G を活用したシステムの導入効果

以下に実証Ⅰ～Ⅲで確認できた、定量・定性評価について記載します。

※詳細については、各実証の効果検証を参照

【定量】

表 4.4.2.1-3 定量効果

	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

※１　実証Ⅲの定量効果は、夢洲でのトレーラー全体の効果

【定性】

表 4.4.2.1-4 定性効果

	定性評価 （主に実証に関わった方からのコメントを記載）
実証Ⅰ	・ 本船立ち合い時にダメージがあり、事務所から本船まで車で向かっているが、本船作業員にスマートグラスをかけさせることで、その移動時間と事故リスクを軽減できると思います。 ・ 特にピック用で使える空コンテナの選別ができたら便利だと思います。 ・ ヤード内でダメージ発見時の機械操縦者や機械トラブルなどの時のメンテナンスさんとの通信に利用できると思う ・ うまく使えば確実に時短につながる ・ 現場に行かなくても良くなるので、コロナ感染の観点で人との接触機会が減らせる ・ ダメージチェックでゲートに足を運ぶ必要がなくなれば、作業効率が上がり、一手間省けると思う ・ 家からチェックができるようになるので、緊急時や在宅勤務時に助かり勤務の幅が広がる
実証Ⅱ	・ 遠隔操作ができるようになると、危険作業の提言につながる ・ トイレ等の心配がなくなる ・ 有線、無線の 2 本構成から、無線 1 本化できれば、機器費用や運用費用の面でメリットとなる ・ ネットワークの更改においては、24 時間/365 日の業務を止めることはできないため、業務停止影響が最小限となるような更改をおこないたい。有線よりは無線に魅力を感じる。 ※有線ケーブルなどをヤード内の地下埋設配線などすることは、新規にターミナルを構築するのであればよいが、既存の運営中のターミナルにおいては、業務影響が大きく、現実的でない ・ 既存の 5GHz の代替として切り替えられる可能性がある
実証Ⅲ	・ 混雑情報について、「混雑の距離」は欲しい情報でない、ほしいのは、「ゲート前での待ち時間」と「混雑度合い（5 段階）」 ・ （ドライバー）リアルタイムで混雑情報が分かれば、空いているゲートに向かう ・ （運行担当者）混雑状況の翌日以降の予測がわかれば、空いている日に予定を変更する

上記より、各ソリューションともに、一定の導入効果が確認できたと考えております。

（５）ローカル 5G を活用したシステム・ソリューションの展開に向けた体制

港湾事業者向けの展開に関しては、本コンソーシアムメンバーである、NTT 西日本と三菱ロジスネクストの連携により進めていきます。

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

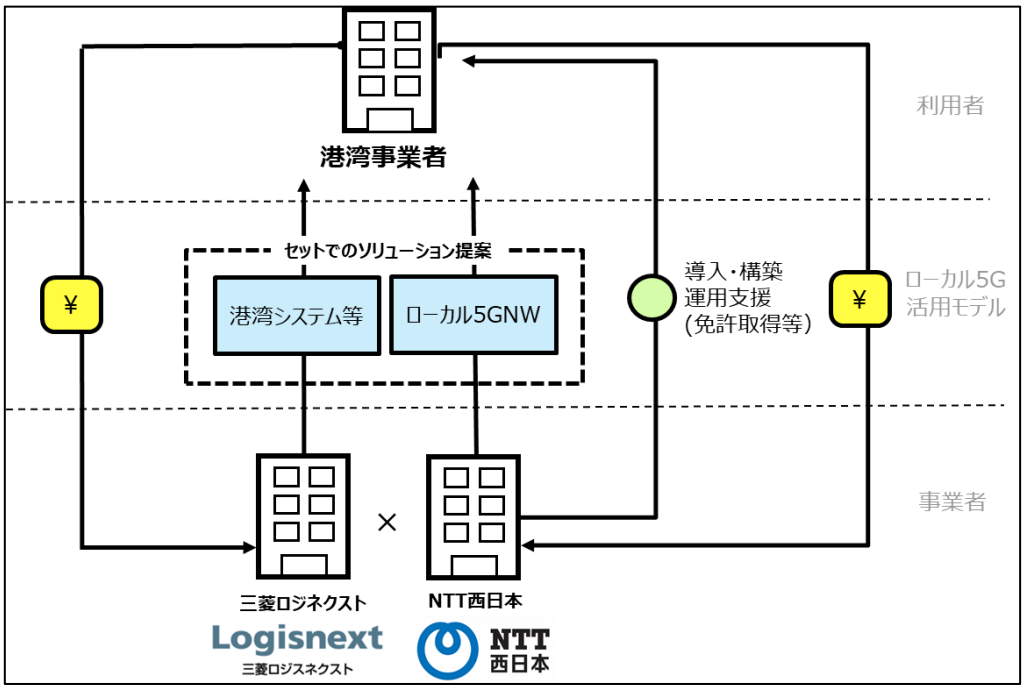


図 4.4.2.1-7　展開に向けた体制案

（６）本実証を踏まえたローカル 5G を活用したシステムの導入に向けた課題と対応策

ローカル 5G の導入・運用については、ターゲット事業者への提案・設計から運用において、以下の課題を確認しており、それぞれに対して、本事象を通じて得られた知見から対応策を記載します。

【提案・設計】

・課題

他の無線規格に比べてアンテナ等の機材が高額であり、免許が必要な無線規格なため、構築後の増設等が簡易には行えない。そのため、高いエリア設計の精度が求められる。

・対応策

本実証事業（他テーマの技術実証結果含む）で得られた基礎データから、高精度な電波伝搬シミュレーションを実現し、必要十分な基地局設計を実現することが求められる

【免許申請】

・課題

免許申請において、エリア設計や干渉調整など、専門的な知識が必要であり、一般事業業者（非通信事業者）による申請は非常に困難

・対応策

ローカル5Gに関する知見を有する事業者にて､免許申請に必要な情報の整備を行い、干渉調整における事業者対応、各地域の総合通信局様との対応の円滑化により対処する。

また、利用機材が固定されるサービス利用型のローカル5Gシステムを活用することにより、各種申請に必要な情報のテンプレート化を実現することで、免許申請に関わる効率化を実現する。

【運用】

・課題

本実証におけるRTGの遠隔操作のように、ローカル5Gの高信頼性が求められる利用シーン（ミッションクリティカルな利用シーン）において、安定した通信の実現が求められる。

・対応策

本実証で得られたデータから、ローカル5Gを構成する各装置に関する更なる安定性の実現を、メーカーと連携して進める。

また、ローカル5Gネットワークに不具合が生じた際のバックアップ回線も含めて設計構築することで、障害時に通信切断時間を最小限にする。

合わせて、システム全体として、ネットワーク障害時の安全性担保を実装する。

【その他】

ローカル5G導入事業者に対して、障害発生時おける現地駆け付けなどの保守体制を確立することが望ましいが、本コンソーシアムにおいては、NTT西日本における西日本エリア30府県における保守体制を活かし、安心安全なローカル5Gシステムの提案、導入を推進する。

（7）5Gソリューション提供センター（仮称）との連携案について

ここでは、総務省が進めている、「5Gソリューション提供センター（仮称)」との連携案について記載をいたします。

今回の実証では、3つのソリューションの検証を実施しましたが、幅広い業種へソリューション展開可能かつ、ある程度短期的に実装・連携が可能と考える、「スマートグラスを活用したビデオ会議サービス（課題実証Ⅰ)」の連携案に絞って記載をさせていただきます。

5Gソリューション提供センター（仮称）とは、様々なICT事業者が5Gソリューションをオンラインで提供でき、多くの利用企業等が有益に活用できるハブ機能を提供するものとして提案されております。(検討中)

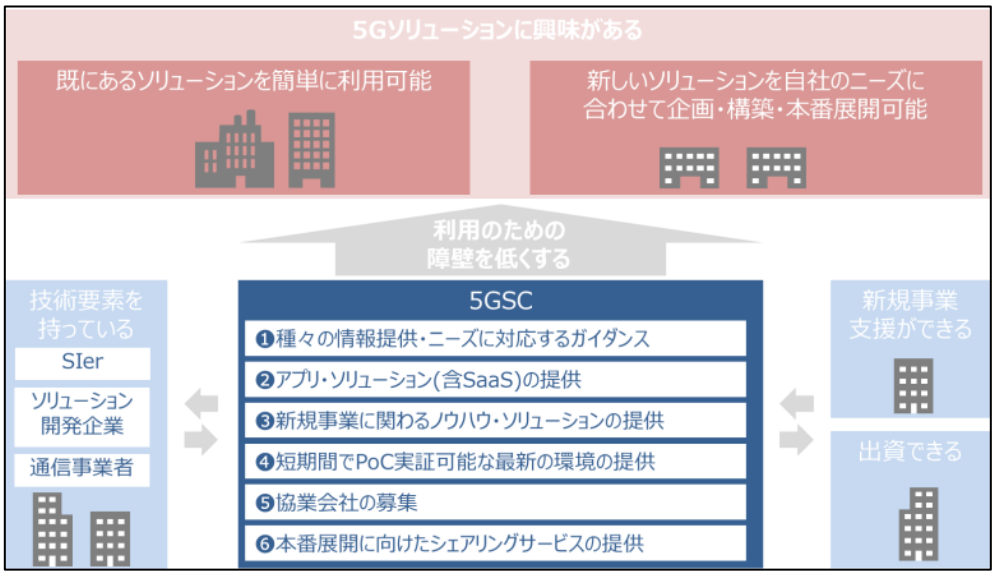


図 4.4.2.1-8 5G ソリューションセンター（仮称）の概念図
（引用：5G ソリューションセンター検討の事務局資料）

以下で、検討中の 5G ソリューションセンターとスマートグラスを活用したビデオ会議サービスの連携案を示します。

【ビジネス企画】

・導入ユースケース概要・結果：

本報告書の 4.4.1.1 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」で記載をさせていただいておりますが、広大なエリアをもつユーザーについては、移動時間の削減が大きく可能となり、より提供価値が高いと考えます。

・想定ソリューション提供モデル：

港湾については、4.4.2.1 の「（５）ローカル 5G を活用したシステム・ソリューションの展開に向けた体制」で推進を進めてまいります。

・5G ソリューションセンター（仮称）を活用したモデルを含む想定ビジネススキーム、活用方法イメージ

5G ソリューションセンター（仮称）にサービスを提供するアプリケーションを配置し、本アプリケーションを複数の異なる企業で活用する連携案を提案いたします。設備・運用面からも、複数の異なるユーザーでアプリケーションをシェアリングすることで、コストについても抑えることができると考えます。

また、5G ソリューションセンター（仮称）では、アプリケーションやサービスの提供だけではなく、本サービスのデモ環境や、コンサルティングができる人材を配置し、より多くのお客様の課題解決ができることを望みます。

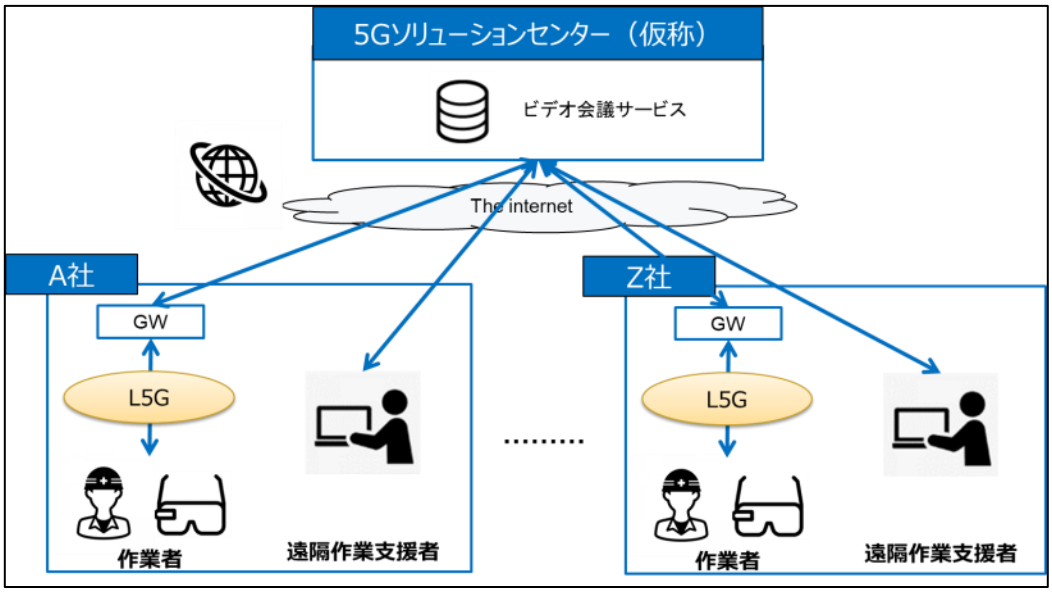


図 4.4.2.1-9　5G ソリューションセンターとスマートグラスを活用した
ビデオ会議サービスの連携案

【スキルセット】

・ユーザー企業側で求められる条件：

本報告書の 4.4.1.4 運用検証「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」で記載をさせていただいておりますが、効果を最大化するためには、運用定着に向けたフォロー体制が必須だと考えますので、定期的なフォロー運用者や、本ソリューションのヘルプデスク等が求められると考えます。

また、その他の要件についても、4.4.2.1 の（３）ローカル 5G を活用したシステムの要件にて、記載をさせていただいております。

【コスト】

・ソリューション提供における想定されるコスト

ユーザーの要件や条件により大きく異なるため、あくまでも参考イメージとなりますが、スマートグラス：１、アカウント：２（作業者側、遠隔作業支援者側）で、初期：約 40 万円～、年間：約 80 万円～と想定いたします。なお、本想定コストにはローカル 5G やその他のシステムとの連携. コスト等などは含まれておりません。

5G ソリューションセンター（仮称）が提供するビデオ会議サービスを提供することで、複数社が活用可能になると想定します。また、設備・運用面からもシェアリングできる部分が一定あると考えるため、コストについても抑えることができると考えます。

【その他】

・実証に関する可能性・課題/解決の方向性：

本ソリューションは、港湾エリアだけでなく他分野でも十分活用の可能性があると考えます。実際、ローカル 5G ではなく、他ネットワークの活用にはなりますが、製造業・建設業等で導入実績が多く存在します。

具体的なユースケースとしては、遠隔地の設備点検、製品の品質検査、新工場立ち上げ、技能伝承のための育成などがあげられます。

また、昨今の新型コロナウイルス等で移動制限がなされている場合でも遠隔地とリアルタイムでコミュニケーションが取れるため、移動費の削減だけではなく、密を避けながらのコミュニケーションが可能となり、ソリューションとしてのニーズも高まっているものとなります。

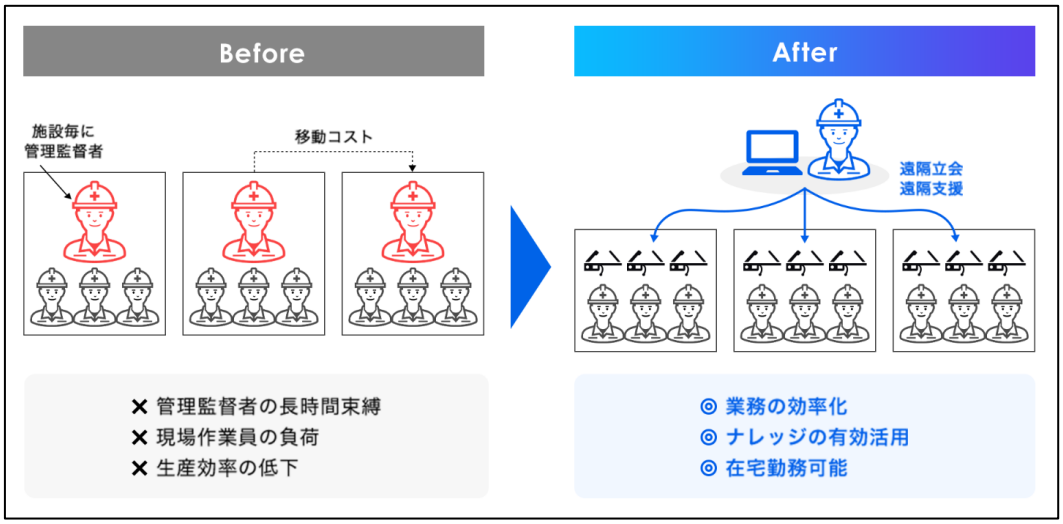


図 4.4.2.1-10 スマートグラスを活用したリモート作業支援ソリューションのイメージ

4.4.2.2 普及展開方策の検討

ローカル 5G を港湾事業に展開していく上では、ローカル 5G（無線ネットワーク）の提案、設計、構築、運用を担える事業者と、ローカル 5G を活用したシステム（アプリケーション）を提案、設計、構築、運用できる事業者の両面が必要となります。

本実証では、このような状況を鑑み、無線ネットワークを担える事業者として NTT 西日本、港湾事業者向けのアプリケーションを担える事業者として三菱ロジスネクストの 2 社がコンソーシアムに参画しています。

今後の普及展開として、NTT 西日本と三菱ロジスネクストとの連携により、まずは、大規模港湾、全国 125 港のうち、西日本エリアの約 90 港に対して、本実証で効果を確認したローカル 5G とローカル 5G を活用したシステムをセットで展開し、ローカル 5G の港湾エリアでの普及を検討し、進めてまいります。

【展開計画】

2022 年度については、本実証で得られた結果をもとに、他港湾に対してローカル 5G 及びローカル 5G を活用したシステムの提案を進めます。

また、現在検討中である、夢洲コンテナターミナルにおける既存無線ネットワークの更改

に向けて、ローカル 5G での無線ネットワーク一本化をめざし、本実証結果をもとにしたうえで、継続した検証を実施予定であり、その結果をもとに、他港湾への展開も推進していきます。

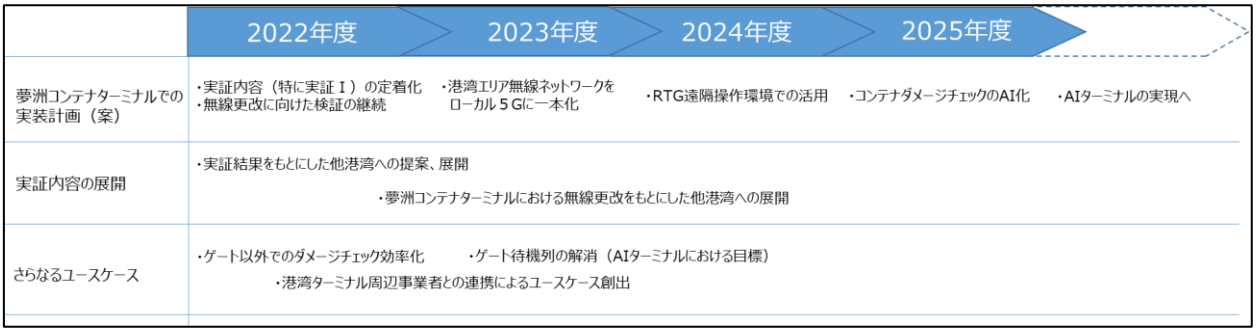


図 4.4.2.2-1　本実証の展開計画案

【役割案】

ネットワークを担う NTT 西日本と、港湾システムを担う三菱ロジスネクストにて、以下の役割にて展開計画を推進します。

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

上記 2 社により展開することについて、各社が持つ強みについて、以下に示します。

・　NTT 西日本（及び NTT 西日本グループ各社）

光ファイバーネットワークをはじめとした、高速大容量ネットワークを普及展開し、日本におけるブロードバンドネットワークの整備、運用を担ったきたノウハウがある事が強みです。また、Wi-Fi や LPWA 等の無線ネットワークについても、これまで様々な形で提案、導入を推進してきております。

ローカル 5G に関しては、28GHz 帯を用いた製造業における実証実績や、4.7GHz 帯を用いた医療分野、建設分野、競技場等での実証実績を持っており、ローカル 5G に関する設計、構築、運用のノウハウを有しております。

また、ローカル 5G の今後の展開を考えた際に、土地や建物に紐づくため、地域に根ざした導入・運用支援が非常に重要だと考えております。NTT 西日本は、西日本エリア 30 府県に事業所を持つため、地域に根差した、提案、構築、運用が可能です。

・　三菱ロジスネクスト

RTG に代表されるような港湾における荷役機器や、港湾事業の基幹システムと言えるコンテナターミナルシステムを扱っており、港湾の規模を問わず、全国の港湾事

業者に対して、数多くの導入実績（大規模港湾の約 50%に荷役機器の納入実績あり）を有しております。

長年にわたり、港湾事業をシステムや機器の面から支えており、港湾事業における業界知識、業界課題を熟知しており、ローカル 5G と港湾システムを合わせた提案、普及展開において、大きな強みを有しております。

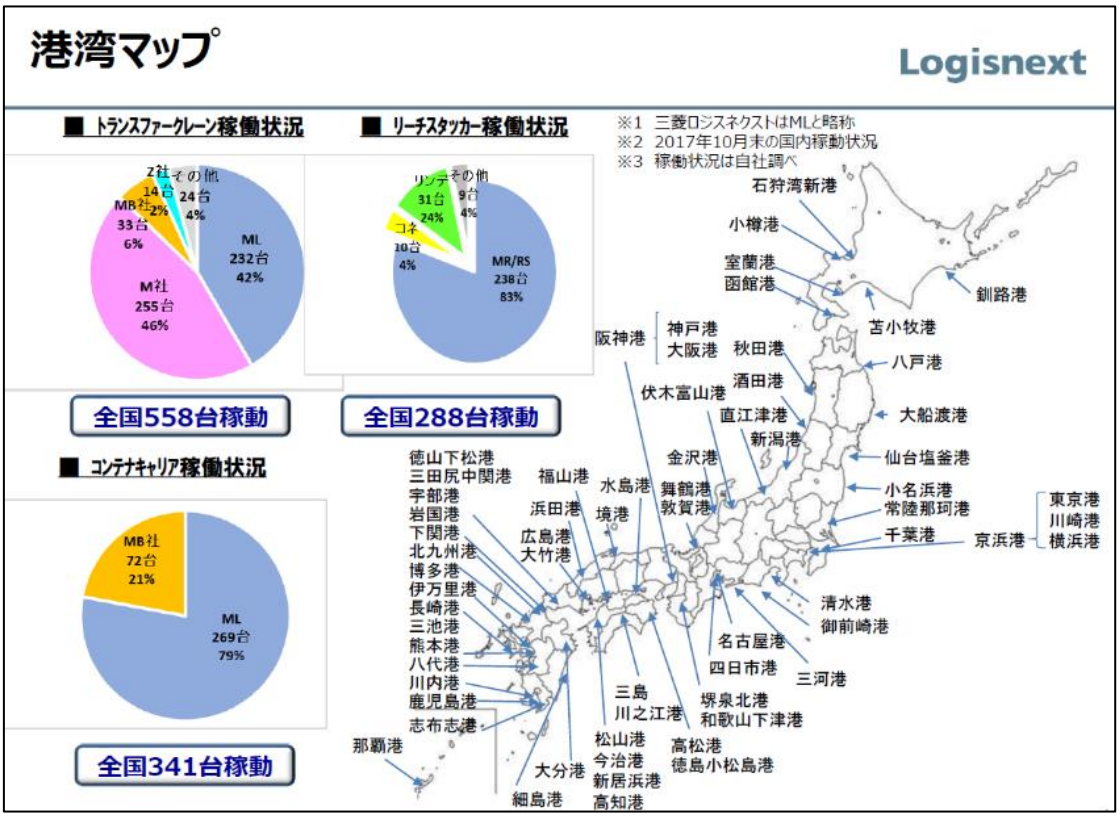


図 4.4.2.2-2　三菱ロジスネクスト社 大規模港湾への荷役機器等の導入実績(2017 年時点)

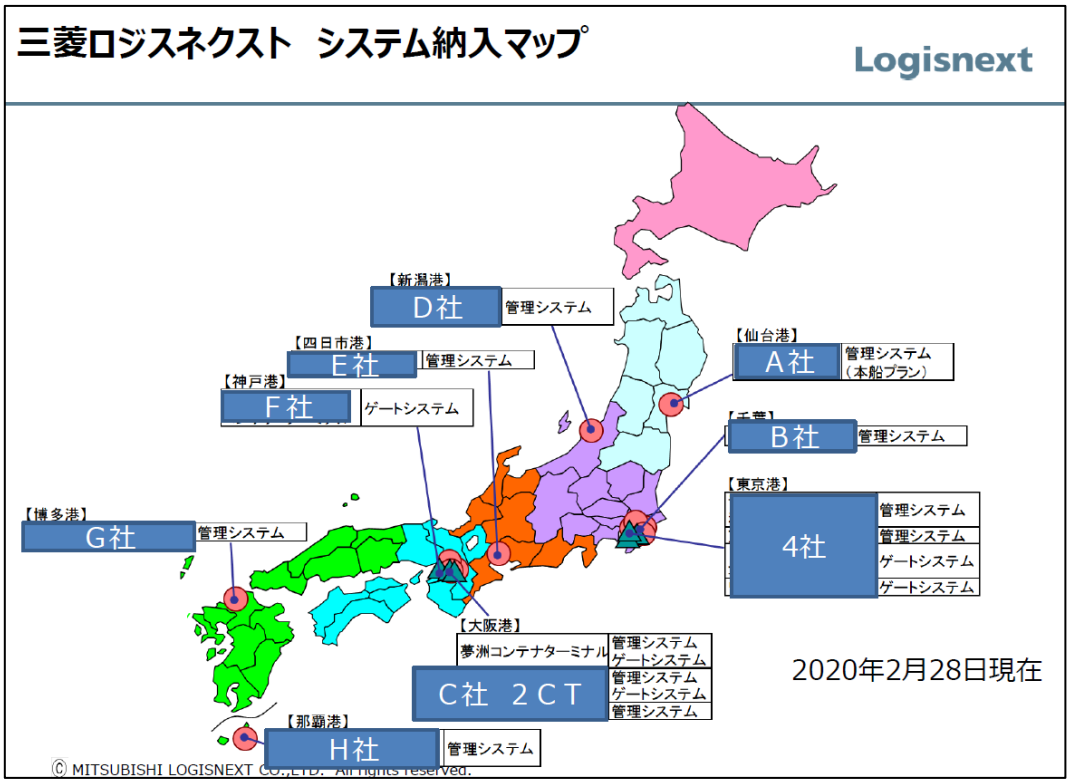


図 4.4.2.2-3　三菱ロジスネクスト社による大規模港湾への
港湾システム導入実績(2020 年時点)

【他分野への普及展開】

本実証で得られた知見は、港湾事業者と同様な課題を抱える他分野への展開も可能であると考えています。具体的には、港湾エリアと類似した特徴を持つ、化学プラント事業者です。

化学プラント事業者に関しては、港湾事業者と同様に、屋外における広大なエリアを有し、有線ケーブルを用いたネットワーク環境の構築に関して導入コスト、運用管理面で課題があり、また、危険物を取り扱うことから、防爆エリアが存在するため、無線アクセスポイントが設置できる場所も限定されるといった特徴があります。

さらに、港湾エリア同様に、作業環境の改善や、人手不足解消という課題も有しており、遠隔操作や、遠隔での監視、作業支援へのニーズを有しています。

このようなプラント事業者が抱える課題について、高速大容量な無線ネットワークであるローカル 5G への期待は大きく、本コンソーシアムメンバーである、NTT 西日本にもすでに複数の提案依頼が入っております。

NTT 西日本では、ガス、水道、化学メーカー等のプラント事業者をお客様として多く抱えており、これまで多様なネットワークの提案、提供、運用を担ってきた実績があります。

今後は、本実証の結果をもとに、様々なプラント事業者に対して、ローカル 5G とローカル 5G を活用したシステムの提案により、ローカル 5G のさらなる普及展開を図ります。

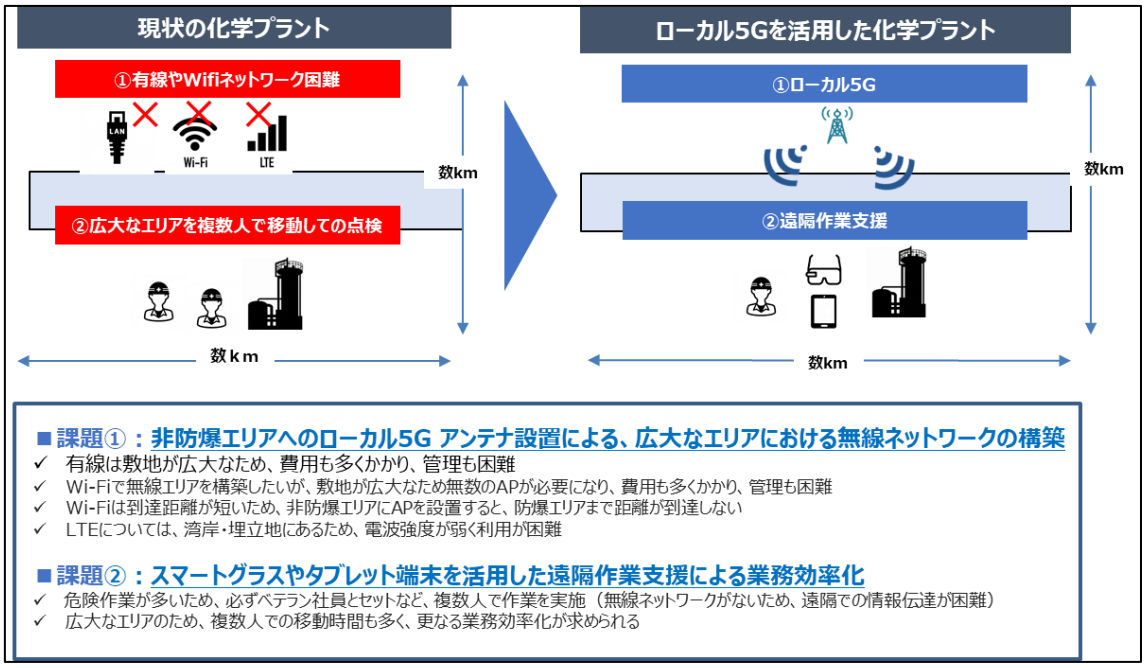


図 4.4.2.2-4　化学プラントへのローカル 5G 活用イメージ

4.4.3　ローカル 5G の実装に向けた課題の抽出及び解決策の検討

本実証において検証した課題解決については、概ね目標としていた結果が得られたと考えていますが、今後の普及展開を考えた際には、さらなる改善が必要であると考えています。

今後、ローカル 5G を活用した各種システムを実装、普及展開していく上では、以下 5 点の課題があると考えています。

① 既存の他無線ネットワーク（5GHz 無線等）の巻き取り・１本化
② 港湾エリアにおける最適な置局設計
③ スマートグラスソリューションの運用定着化
④ 予備品の対応（塩害対応等）
⑤ 利用型の推進

① 既存の他無線ネットワーク（5GHz 無線等）の巻き取り・１本化

今回の実証エリアを始め、他の港湾およびプラントでは 5GHz 無線帯の既存ネットワークが多く使われていることが、実証および、実証のヒアリング（詳細は、表 4.4.2.1-1 及び同項に記載の他港湾へのヒアリングを参照下さい）より判明しました。既存無線ネットワークの次期更改については、ローカル 5G で既存無線を巻き取り、一本化することで、設備および運用コストを削減したいというニーズが確認できています。また、巻き取り・1 本化の提案ができれば、RTG 等の遠隔操作までは現状考えていないが、既存無線ネットワークの更改は検討しているユーザーへのアプローチも可能なため、対象ターゲットが増えると考

えられます。

しかしながら、5GHz 帯を含む他無線ネットワークを巻き取るためには、端末側がローカル 5G に対応する必要があるという課題があります。

本課題の解決に向けては、まずは、実証終了後、2022 年度において、夢洲コンテナターミナルエリアにおいて、コンソーシアムメンバーである三菱ロジスネクスト社と連携し、実際に利用中の 5GHz 帯の端末やアプリケーションに対して、求められるネットワーク条件についての洗い出しを行います。その後、CPE 経由での構成で、5GHz 帯対応端末の制御が問題ないかを実際のフィールドを用いて、技術検証を行う予定となっております。端末自体がローカル 5G に対応することは、長期の時間がかかると想定されるため、まずは現状でも可能な方法で確認することで、早期の普及展開の可能性があると考えております。また、並行して、端末メーカーへの働きかけについても NTT 西日本が中心となって、推進をおこなう予定です。

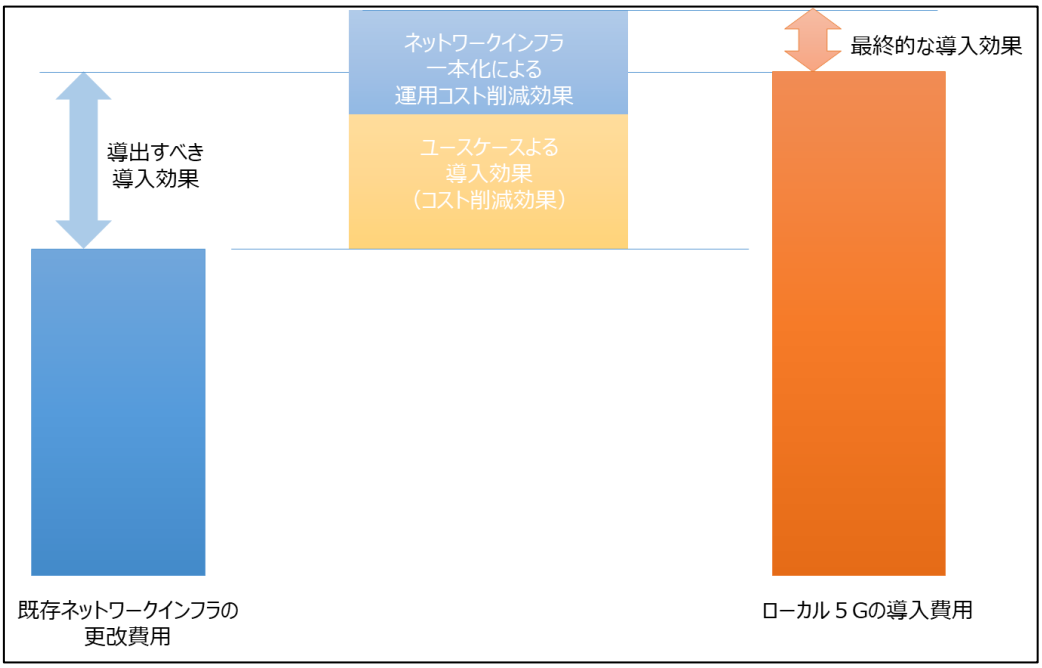


図 4.4.3-1　ローカル 5G 導入に関する導出すべき効果イメージ

② 港湾エリアにおける置局設計

港湾エリアでは、24 時間/365 日の業務運用を行っているため、業務を停止せずかつ、利用するアプリケーション要件を満たす置局設計が課題となってきます。利用するアプリケーションやお客様要望によって置局設計は異なるとは思いますが、業務影響を少なくするためには、配線や工事等の関係から電源等を確保しやすく、どこの港湾でも存在する管理棟の屋上もしくは、照明塔へ設置をする方法が解決策と考えます。特に、RTG 等の遠隔操作を見据えた場合には、照明塔へ基地局を設置し、港湾の標準的な 1 区間（1 バース）である、約 300m 単位での置局設計がよいと考えます。

なぜならば、今回の実証結果より、基地局から約 300m 範囲内であれば、スループット UL：30Mbps 以上を確認しており、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するからです。そのため、今後は、1 バースの横幅が他の港湾も含め約 300m であることも踏まえ、約 300m 範囲ごとに無線のカバーエリアを作っていくことが良いと考えます。

照明塔へ基地局を設置した場合のエリア設計や課題等については、実証終了後、2022 年度において、夢洲コンテナターミナルエリアにて、コンソーシアムメンバーである三菱ロジスネクスト社と連携し、進めてまいります。

また、遠隔操作用の RTG には、1 台あたり約 3 億円の費用が必要、また受注生産が基本であることから、導入については、コストや導入スケジュールの将来的な見通し計画が重要になります。この課題に関しては、実例として遠隔操作 RTG を導入された港湾事業者様に今後ヒアリングを実施するなど、本実証で机上算定した生産性向上及び削減費用額との差分検証により、具体的な費用対効果を明らかにするとともに、導入スケジュールの将来的な見通し計画においても、収支などを織り交ぜた提案が重要と考えます。

② スマートグラスソリューションの運用定着化

スマートグラスソリューションについては、広大なエリアを持つ港湾では、移動時間を削減できるため、非常に有効だと考えますが、運用定着化が大きな課題だと考えます。

今回の実証でも勉強会や運用フォローを実施したものの、実証期間内では、全従事者が問題なくスムーズに操作可能な運用が定着するレベルまで達することはできませんでした。

本課題については、大きく 2 つの解決策を検討しております。

1 つ目は、引き続きの運用フォローです。運用フォローについては、すでに現状も行っておりますが、定着化するまでは現地に常駐しすぐに疑問点について回答できる体制を整えていきます。港湾業務は現地現物の業務も多いため、ソリューションの導入・定着のハードルを下げるためには、現地対応がある程度必要と考えるためです。

2 つ目は、動画マニュアルの作成です。紙媒体でのマニュアルはすでに作成・配布済みですが、さらなる定着化のため、よりイメージが湧きやすい、動画マニュアルの作成も、本実証後に検討しております。動画マニュアルの作成については、NTT 西日本が主体となり進めます。また、活用サービスは、2022 年 3 月 9 日に NTT 西日本と協業を開始している tebiki 社の現場向け動画教育プラットフォームの活用を検討しております。作成した動画マニュアルで定着化をすることができれば、本動画マニュアルを他港湾へソリューションとセットで提供することで、普及展開の観点でもスムーズな定着化が見込まれます。

図 4.4.3-2　tebiki 社との協業のお知らせ

④　予備品の対応（塩害対応等）

港湾業務は 24 時間/365 日で業務をおこなっているため、物理的な物品故障の場合、早期復旧に向けて、オンサイトでの保守対応が求められます。

今回の実証期間中は発生しませんでしたが、特に、港湾では潮風などによる塩害も想定されるため、故障対応が通常の場所よりも、必要になる場面が増えると想定します。

しかしながら、ローカル 5G は免許制となっており、交換設置する機器の製造番号など、免許申請書類への記載・申請が必要であるという制度的な課題があり、承認が下りるまで機器交換の時間が長期化すると想定されます。

解決策としては、予め予備物品を購入し、予備物品を含めての免許申請を行っておくことが考えられますが、予備物品の追加コストが発生するため、制度的な課題がクリアできれば、保守契約の中で、先出センドバック対応などで復旧を優先（同じ型番の機器）し、復旧後、事後で変更申請を行うフローが考えられます。

本解決策については、制度変更が伴うため、故障時の物品交換の免許申請フローについて、引き続き、総務省や総通局等と最適な方法について、NTT 西日本が中心となり、検討を推進してまいります。

⑤　利用型の推進

ローカル 5G については、小規模な構成による実地検証（PoC）を実施し、その後本格導入を実施することで、②で示した港湾エリアの置局設計にも資すると考えています。このような導入展開を考える際、ローカル 5G システムにおける拡張性や、導入各社において投資とならない利用型（買い切り形でない、サブスクリプションモデル）のローカル 5G の展開が必要だと考えています。

本コンソーシアムメンバーである、NTT 西日本やそのグループ会社においては、様々なネットワークを利用型で展開、普及させてきた実績があります。本実証において得られた知見をもとに、導入事業者の要望に合ったローカル 5G サービスの提供形態を検討、模索します。

また、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での課題である費用対効果の明確化については、PoC で更なるデータを蓄積し、検証、分析することで机上算定となった本実証との差分を明らかにし、将来的な港湾システムとの連携をとおした効率化、行動変容の可能性を具体化することは必要と考えます。

4.4.4　継続利用の見通し・実装計画

本実証で導入したローカル 5G 関連を含む各種機材、ソリューションについては、次年度以降も継続して利用します。必要な費用（保守費、利用料）については、継続性・自走性の観点から、本実証の実施フィールドである、夢洲コンテナターミナルにて、実証の効果が一定確認されたことから、負担する予定となっておりますが、今後の既存無線の更改に向けては、今回の短期間の検証だけでなく、引き続きの検証が必要であり、また横展開を見据えた際により多くのデータ計測や、知見の獲得、さらなるユースケース創出が必要であることから、コンソーシアムメンバーでの負担も予定しております。

夢洲コンテナターミナルでの、2022 年からの 5 年間における、本実証で導入した機材やソリューションの展開計画案の概要について、以下に示します。

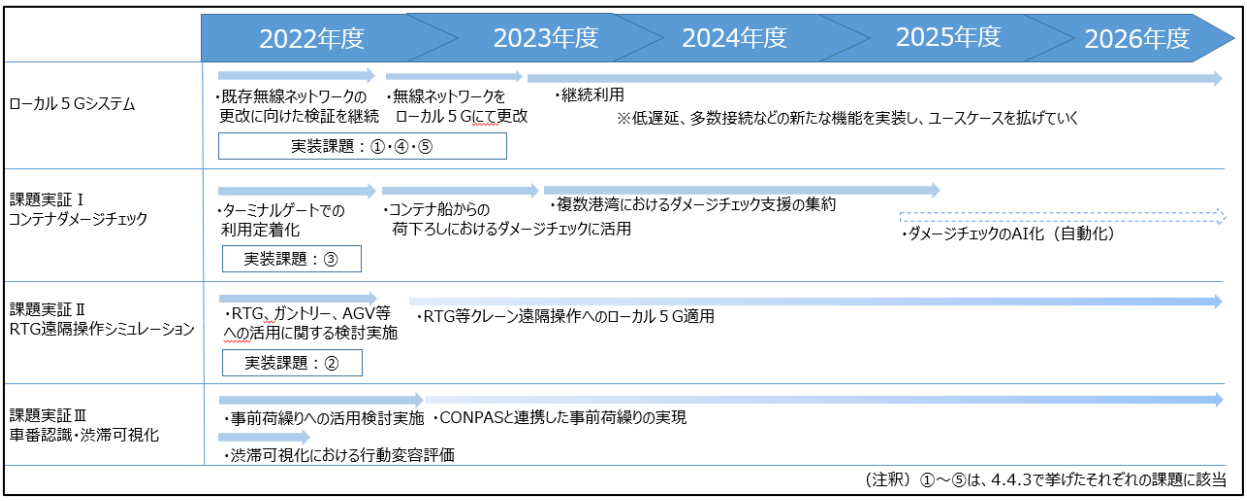


図 4.4.4-1　2022 年度から 5 年間における展開計画案の概要

まずは、既存無線ネットワーク更改時期をターゲットに、コンテナダメージチェック（ローカル 5G×スマートグラス）のソリューションから展開（提案）を図ります。

導入から 1 年～2 年間で費用対効果を実感(同時に活用フィールドを拡大、効果を最大化)頂き、並行して RTG 遠隔操作についての導入を提案致します。

RTG 遠隔操作については、遠隔操作用の RTG に更改する必要があり、現状では受注生産のため、中長期的な取り組みが必要と考えておりますので、段階を踏んだ展開を想定しております。

また、前項で抽出した実装課題については、以下のように取り組みます。

① 既存の他無線ネットワーク（5GHz 無線等）の巻き取り・１本化
2022 年度の既存無線ネットワーク更改に向けた継続検証をとおして、端末を含めた港湾システムとの連携や制御について支障がないことを確認の上、2023 年度内にローカル 5G への更改を決定する計画です。

② 港湾エリアにおける置局設計
既存無線ネットワーク更改に向けた継続検証の中では、将来的な RTG 等遠隔操作を見据えた検討も進める予定で、置局設計シミュレーションや他港湾実績、同様の検証結果をもとに港湾エリアにおける置局設計モデルのベースを構築し、今後の展開に役立てたいと考えております。

③ スマートグラスソリューションの運用定着化
コンテナダメージチェックにおけるスマートグラス活用については、運用フロー等の変更に伴う定着化を 2022 年度に実施予定です。

④ 予備品の対応（塩害対応等）及び⑤ 利用型の促進
継続の検証期間を利用して、予備機の在り方については効率的な申請方法などを総通局様にご相談させて頂き、利用型の促進については、港湾における小規模構成の実地検証モデルを作ることで提案・展開しやすい環境を整えて参ります。

また、本展開計画を推進していく体制について、以下に示します。

・NTT 西日本
－ローカル 5G に加えて、有線ネットワークや各種 ICT ソリューションについて、港湾事業への展開を推進
－夢洲コンテナターミナル社にて検討中の既存無線ネットワークの更改について、コンソーシアムメンバーである三菱ロジスネクスト社と連携し、特にネットワークと本実証で導入したシステムの活用、拡大について、検討、設計、提案を実施

・三菱ロジスネクスト
－港湾事業における RTG に代表されるクレーン等の機材や、その他港湾事業向けシステムについての展開を推進
－夢洲コンテナターミナル社にて検討中の既存無線ネットワークの更改について、コンソーシアムメンバーである NTT 西日本と連携し、特に RTG 遠隔操作、その他港湾システムの実装について、検討、設計、提案を実施

・夢洲コンテナターミナル
－本実証で導入したシステムの利活用、業務フローの整備、定着化を推進
－計画をすすめる上での港湾での課題などの検討を推進

・大阪市港湾局
－港湾業務の効率化に向けた各種政策の検討を推進
－大阪港における他ターミナルへの展開の検討

次に、課題実証Ⅰ・Ⅱ・Ⅲについて、それぞれのソリューションに関する継続利用における詳細（予定）を示します。

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

・継続有無　　：継続
・継続利用の手段（マネタイズ）　：コンソーシアムメンバーにて負担
・資産、保守、運用体制
　-資産　　：夢洲コンテナターミナル社にて管理
　-保守・運用体制　　：NTT 西日本を代表とし各システムベンダーと連携して実施
・今後の展開スケジュール案
　-2022 年度　　：ターミナルゲートでの利用定着化
　-2023 年度　　：コンテナ船からの荷下ろし等、別作業への活用検討、推進
　-2024 年度　　：ダメージチェック作業の集約等、更なる効率化の検討、推進
　-2025 年度以降　　：ダメージチェックの AI 化の検討、推進

Ⅱ．　RTG 等遠隔操作を見据えたローカル 5G の有効性に関する実証

・継続有無　　：継続
・資産、保守、運用体制：コンソーシアムメンバーにて負担
　-資産　　：夢洲コンテナターミナル社にて管理
　-保守・運用体制　　：NTT 西日本を代表とし各システムベンダーと連携して実施
・今後の展開スケジュール案
　-2022～23 年度　　：RTG、ガントリークレーン等への活用を検討
　-2024 年度以降　　：遠隔操作 RTG へのローカル 5G 活用を推進

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

・継続有無　　：継続
・資産、保守、運用体制：コンソーシアムメンバーにて負担
　-資産　　：夢洲コンテナターミナル社にて管理
　-保守・運用体制　　：NTT 西日本を代表とし各システムベンダーと連携して実施
・今後の展開スケジュール案
　-2022 年度　　：事前荷繰りの実装に向けた検討
　　混雑可視化における行動変容の評価検討の深化
　-2023 年度以降　　：CONPAS と連携した事前荷繰り指示トリガーとしてカメラ活用

最後に、ソリューションⅠを継続利用・実装する場合の収支シミュレーションのイメージを記載します。ソリューションⅡについては、遠隔操作用の RTG が 1 台約 3 億円すること、ソリューションⅢについては、システム全体の効果や今後確認する事項も多いため、効果が確認できておりかつ、ある程度短期間で導入可能なソリューションⅠに絞って記載します。

2022 年度は、今年度に導入したソリューションの利用定着化をめざします。2023 年度より、他 2 つのゲート及び本船荷役へ展開する場合、エリアを拡大する必要があるため、基地局の追加や追加のスマートグラスの購入が必要になるため、費用が増加します。2024 年度以降は、引き続きの運用で業務改善効果により、2026 年度に収支としては黒字化になる算定です。（ただし、詳細な現場調査やエリアシミュレーションによって、今後収支については精緻化していく必要があります。）

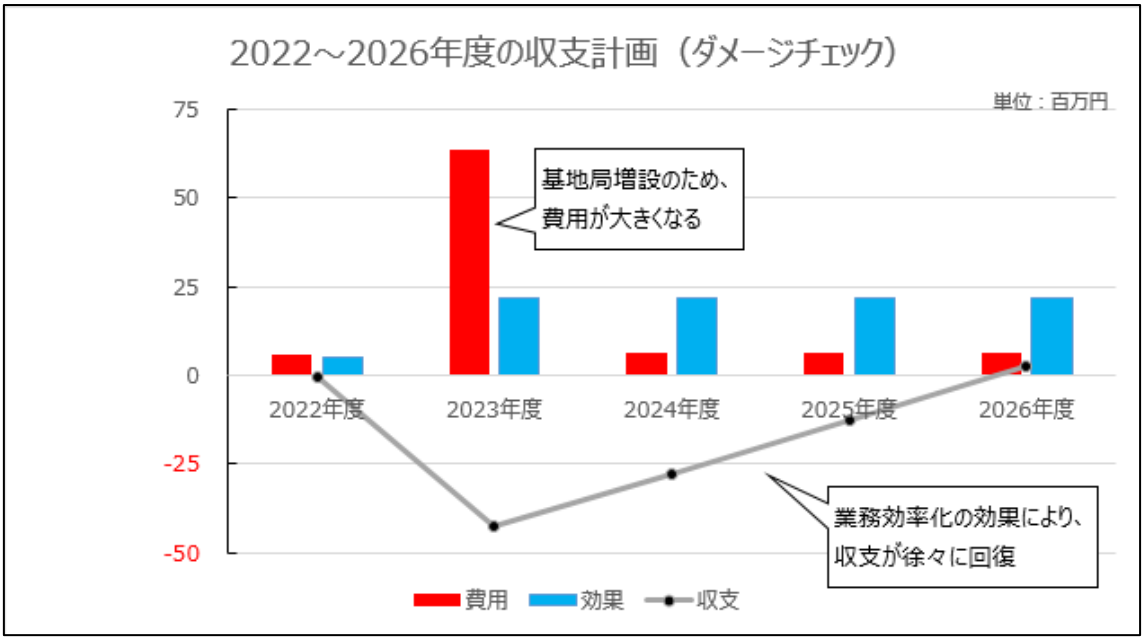


図 4.4.4-2　ソリューション I における収支イメージ

本実証では、効果が確認でき、短期間で導入可能なソリューション I に絞り収支計画を記載しましたが、本来、ソリューションⅡ及びⅢにおいても同様の計画を示すべきと考えております。ただし、現時点では生産性向上や削減効果について、机上算定に留まっていることから、2022 年度以降の継続実証や RTG 遠隔操作を導入された港湾事業者様への更なるヒアリング、利用型の推進を実施していく中で、ソリューションⅢについてもデータ蓄積、机上算定との差分分析を行うことで費用対効果が明確になり、収支計画についても記載が可能になると想定しております。

その段階になれば、普及展開についても更に詳細な計画策定が可能になり、個別港湾事業者様の実情に合わせた提案、導入計画をもってローカル 5G とソリューションのパッケージを推進していけるものと考えております。

5.　普及啓発活動の実施

5.1　映像制作への協力

本コンソーシアムでは、MRI 様制作の映像について、素材の提供をさせて頂きました。
（提供の映像素材）

１．港湾の風景
２．スマートグラスでのダメージチェック
３．２に遠隔で指示する様子
４．4K カメラでの RTG 動作の検証シーン
５．４の管理棟の様子
６．車両が待機している様子
７．コメント撮影

図 5.1-1(1)　提供映像素材イメージ

図 5.1-1(2)　提供映像素材イメージ

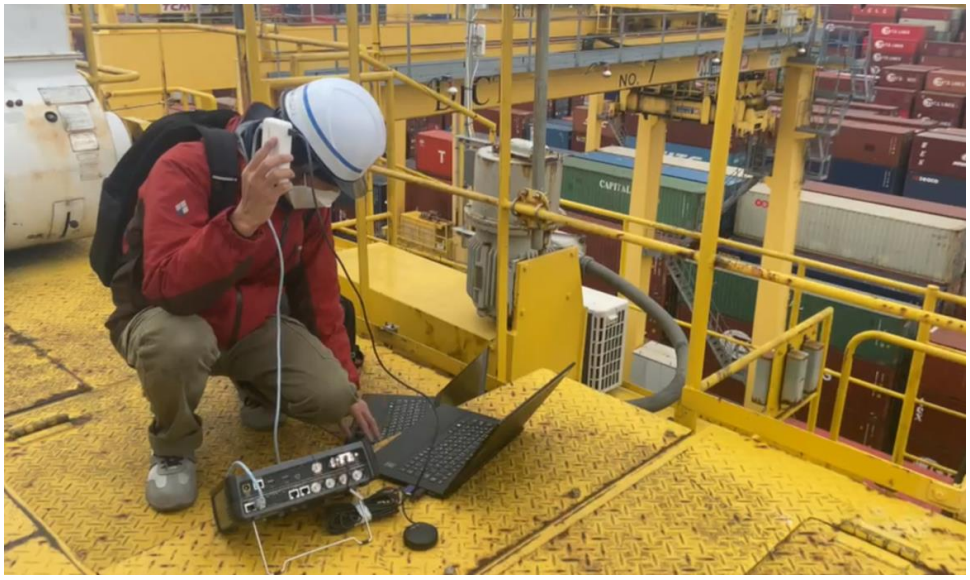


図 5.1-1(3)　提供映像素材イメージ

図 5.1-1(4)　提供映像素材イメージ

図 5.1-1(5)　提供映像素材イメージ

5.2　実証視察会の実施

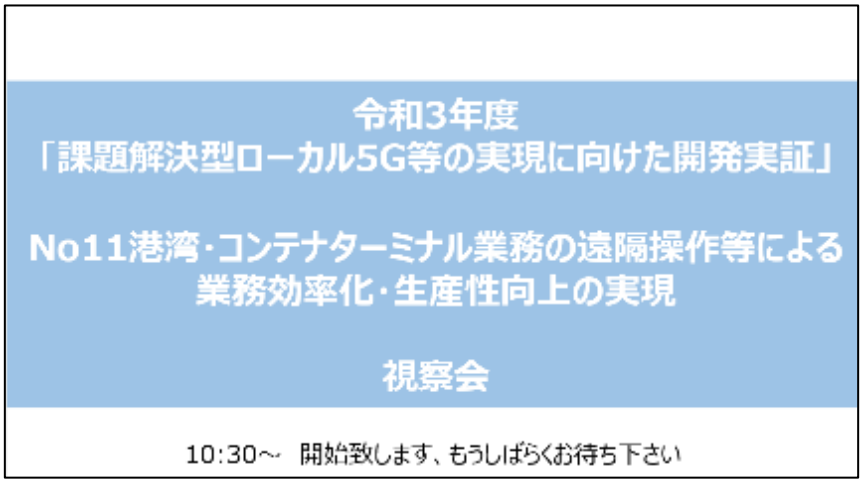
2022 年 2 月 24 日に視察会を実施致しました。

現地とオンラインのハイブリット開催とし、67 名の参加を頂きました。

視察会の内容としては、コンソーシアムの紹介、特に、実証地である夢洲コンテナターミナル株式会社様の事業紹介や代表機関である西日本電信電話株式会社の取組みについてご説明させて頂き、実証内容及び進捗をご報告させて頂きました。

質疑では、免許申請内容や RTG 遠隔操作等へのローカル 5G 適用について、ご質問頂きました。

現地のご紹介では、オンライン中継形式で、ローカル 5G 設備、コンテナヤード内の荷役機器、それぞれの役割、コンテナダメージチェックの遠隔支援デモ、RTG 運転台に設置した 4K 映像、混雑見える化システム及び電柱設置の装置について、ご説明致しました。



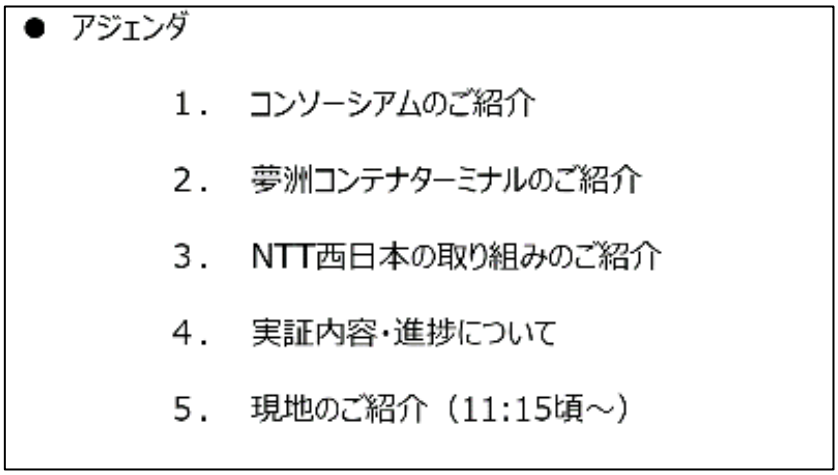


図 5.2-1.　視察会アジェンダ

表 5.2-1　視察会参加者　※順不同

企業団体	現地/オンライン	参加者数
総務省様	オンライン	5名
近畿総合通信局様	現地	3名
	オンライン	12名
株式会社スリーダブリュー様	オンライン	1名
住友商事株式会社様	オンライン	1名
日立システムズFS様	オンライン	2名
株式会社日立システムズ様	オンライン	1名
NEC様	オンライン	1名
富士通株式会社様	オンライン	1名
東芝インフラシステムズ株式会社様	オンライン	4名
兵庫県様	オンライン	1名
九州総合通信局様	オンライン	3名
四国総合通信局様	オンライン	3名
信越総合通信局様	オンライン	6名
中国総合通信局様	オンライン	2名
東北総合通信局様	オンライン	2名
日本電気株式会社様	オンライン	3名
日鉄ソリューションズ株式会社様	オンライン	1名
株式会社日立国際電気様	オンライン	4名
富士通ネットワークソリューションズ株式会社様	オンライン	1名
日本電気通信システム株式会社様	オンライン	1名
日本無線株式会社様	オンライン	1名
JRCモビリティ株式会社様	オンライン	1名
日清紡ホールディングス株式会社様	オンライン	1名
国土交通省様	オンライン	3名
近畿地方整備局様	オンライン	3名
計		67名

図 5.2-2(1)　視察会風景

図 5.2-2(2)　視察会風景

図 5.2-2(3)　視察会風景

図 5.2-2(4)　視察会風景

5.3　その他普及啓発活動

実証期間中に実施した、啓発活動は、全 33 の取り組みになります。
内訳としては、メディア掲載 23 件（コンソーシアムで確認できた範囲）、講演 3 件、視察会 3 件、取材 3 件、ニュースリリース 1 件となります。

表 5.3-1　普及啓発活動実績一覧

No.	活動月	分類	媒体/企業団体
1	2021年10月	取材	海事プレス様
2	2021年10月	取材	マリタイムデイリーニュース様
3	2021年1月	ニュースリリース	ホームページ掲載
4	2021年1月	メディア掲載	ビジネスネットワーク.jp
5	2021年1月	メディア掲載	BIGLOBEニュース
6	2021年1月	メディア掲載	ニコニコニュース
7	2021年1月	メディア掲載	dメニューニュース
8	2021年1月	メディア掲載	マピオンニュース
9	2021年1月	メディア掲載	グノシー
10	2021年1月	メディア掲載	エンタメプラス
11	2021年1月	メディア掲載	infoseekニュース
12	2021年1月	メディア掲載	NEWS COLLECT
13	2021年1月	メディア掲載	マイナビニュース
14	2021年1月	メディア掲載	gooニュース
15	2021年1月	メディア掲載	NewsPicks
16	2021年1月	メディア掲載	建通新聞
17	2021年1月	メディア掲載	All About NEWS
18	2021年1月	メディア掲載	産経ニュース
19	2021年1月	メディア掲載	読売新聞オンライン
20	2021年1月	メディア掲載	iza（イザ！）
21	2021年1月	メディア掲載	時事ドットコム
22	2021年1月	メディア掲載	Logistics Today
23	2021年1月	メディア掲載	日本経済新聞
24	2021年1月	メディア掲載	LNEWS
25	2021年1月	メディア掲載	日経産業新聞
26	2021年2月	メディア掲載	読売新聞
27	2022年2月	講演	舞鶴商工会議所様セミナー
28	2022年2月	講演	中部経産局様
29	2022年2月	取材	日本海運集会所様
30	2022年2月	視察会	総務省様向け視察会
31	2022年3月	講演	九経連様向けセミナー
32	2022年3月	視察会	博覧会協会様向け視察会
33	2022年3月	視察会	建設業界様向け視察会

NTT西日本
あなたへ～with you, with ICT.

法人のお客さま　個人のお客さま　企業情報　お問い合わせ一覧　English　サイト内検索

LINEで送る　ツイート

News Release

大阪・関西万博開催予定地である夢洲のコンテナターミナルにおいてローカル5Gを活用した業務効率化・生産性向上に向けた実証実験の開始について

2022年1月17日
西日本電信電話株式会社
夢洲コンテナターミナル株式会社
三菱ロジスネクスト株式会社
大阪市

西日本電信電話株式会社、夢洲コンテナターミナル株式会社、三菱ロジスネクスト株式会社、大阪市の4者による実証コンソーシアムは、実証提案「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」が総務省「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」※1に採択されました。

ついては、関西エリアにおける港湾業務で初となるローカル5GのSub6帯（4.8GHz帯～4.9GHz帯）※2（以下、ローカル5G）を活用した港湾業務の効率化・生産性向上に向けた実証実験を大阪・関西万博予定地の夢洲で実施します。

図 5.3-1　No.2　本実証ニュースリリース

引用：西日本電信電話株式会社ホームページ　ニュースリリース
（URL：https://www.ntt-west.co.jp/news/2201/220117a.html）

6. 実施体制

本実証では西日本電信電話株式会社を全体統括及び技術実証、課題実証リーダーとし、夢洲コンテナターミナル株式会社、三菱ロジスネクスト株式会社と取り組みました。

政策は大阪港湾局がリーダーとして、西日本電話株式会社、夢洲コンテナターミナル株式会社及び三菱ロジスネクスト株式会社で取り組みました。

・プロジェクトマネージャー：
西日本電話株式会社　関西支店　ビジネス営業部　SE 担当課長
・技術実証担当者：
西日本電話株式会社　関西支店　ビジネス営業部　SE 担当
・会計担当：
西日本電話株式会社　関西支店　ビジネス営業部　法人営業担当

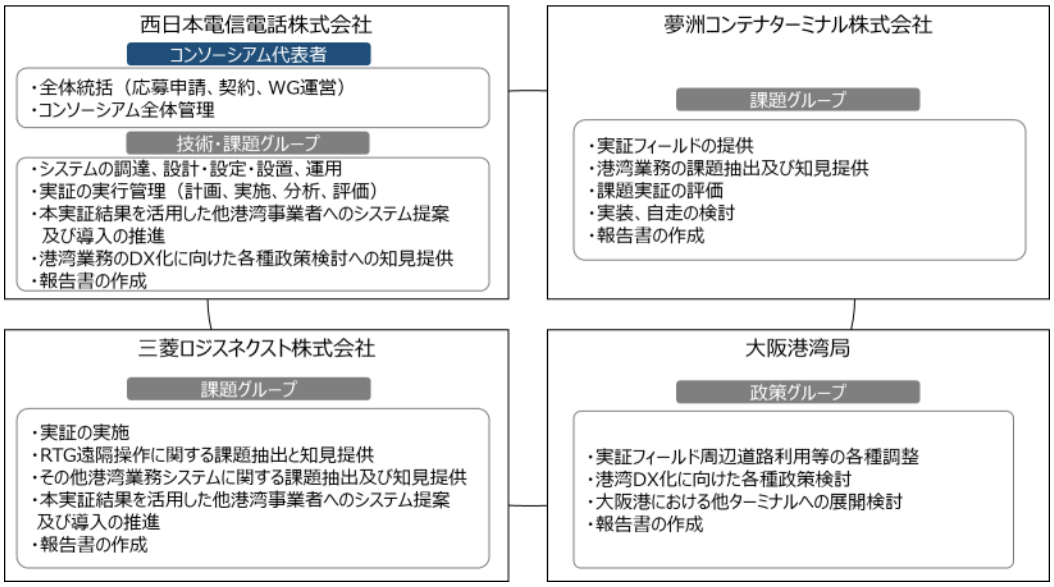


図 6-1　コンソーシアム体制図

本実証のコンソーシアムメンバーは、西日本電信電話株式会社、夢洲コンテナターミナル株式会社、三菱ロジスネクスト株式会社、大阪港湾局で構成されており、本実証の検証後の実装まで見据えた実証体制としました。

全体統括及び課題実証、技術実証リーダーとして、西日本電信電話株式会社がプロジェクトの管理を行いつつ、それぞれの実証を中心となって進めました。

【西日本電信電話株式会社】

- 全体統括（応募申請、契約、WG 運営）
- コンソーシアム全体管理
- システムの調達、設計・設定・設置、運用
- 実証の実行管理（計画、実施、分析、評価）

- 本実証結果を活用した他港湾事業者へのシステム提案及び導入の推進
- 港湾業務の DX 化に向けた各種政策検討への知見提供
- 報告書の作成

【夢洲コンテナターミナル株式会社】

- 実証フィールドの提供
- 港湾業務の課題抽出及び知見提供
- 課題実証の評価
- 実装、自走の検討
- 報告書の作成

【三菱ロジスネクスト株式会社】

- 実証の実施
- RTG 遠隔操作に関する課題抽出と知見提供
- その他港湾業務システムに関する課題抽出及び知見提供
- 本実証結果を活用した他港湾事業者へのシステム提案及び導入の推進
- 報告書の作成

【大阪港湾局】

- 実証フィールド周辺道路利用等の各種調整
- 港湾 DX 化に向けた各種政策検討及び知見提供
- 大阪港における他ターミナルへの展開検討
- 報告書の作成

7. スケジュール

実証スケジュールに関して、免許申請、技術実証（ローカル 5G システム構築含む)、課題実証の観点での全体スケジュールは以下の通りです。

詳細は、別添の No11_WBS をご参照下さい。

【免許申請】

12 月中旬の免許交付を目標に、6 月中旬には近畿総通局殿へ免許申請の事前相談（頭出し）を行い、電波干渉調整が必要な他事業者様へのご相談を開始致しました。

8 月初旬から電波干渉調整を開始し、10 月 29 日に完了致しました。

電波干渉調整後、11 月から申請資料の作成を開始し、近畿総合通信局殿に数回の資料確認を頂いた後、11 月 30 日に申請を完了致しました。

最終的に、12 月 17 日に、免許人が夢洲コンテナターミナル株式会社である、実験試験局免許の交付を近畿総合通信局殿からして頂きました。

【技術実証】

3 月 4 日の成果報告書一次報告をマイルストーンにおき、1 月中旬～2 月末までの約 1 カ月半の実証期間を確保すべく、機器等調達調整を採択後、速やかに実施致しました。

12 月 13 日から環境構築工事である、電源、配線工事等を進め、12 月 28 日には完了いたしました。

コロナ禍影響による、半導体不足の影響などもありながら、12 月 27 日から 1 月 13 日の間で、事前のラボ検証を順次進め、接続性と品質の確認を実施致しました。

1 月 17 日には、現地に装置類が到着し、1 月 20 日には、電波発射及び端末との通信接続試験を完了致しました。

1 月 20 日以降で、コンテナターミナル業務状況と逐次、調整の上、限られた時間内で測定を実施致しました。進め方としては、実証 0 の電波伝搬測定から開始し、次に実証Ⅰである、精緻化の測定を実施致しました。コンテナターミナル内に立ち入れる時間は、実証 0 を優先し、立ち入れない時間帯は、実証Ⅰを進めることで効率的に測定を進めました。

その間、測定メンバーからコロナ罹患者が出た影響もあり、縮小体制で進める時期もありましたが、土日等の時間を活用することで、スケジュールのリカバリーと、実証Ⅱの反射板及び実証Ⅲの準同期開発の測定を 2 月 27 日まで実施致しました。

実証 0 及びⅠから測定データの精査と分析、考察を加え、並行して、実証Ⅱ及びⅢについても、測定データの精査と分析、考察を進めながら、成果報告書を作成致しました。

【課題実証】

1 月 20 日の電波発射後、速やかに実証をスタートさせました。

実証Ⅰのコンテナターミナルゲートでのダメージチェック遠隔支援化によるゲート待機列の軽減については、コンテナターミナルゲートの環境等を考慮し、各ゲートでのスループット測定及びコンテナ内における通信確認などを実施しました。

並行して、スマートグラス勉強会を複数回実施し、スマートグラス機能の理解促進を図りながら、作業者の声を日々拾いながら運用フローやマニュアルを作成し、定着化を図り

ました。2 月中頃からは、運用の中で実証を進めました。

実証ⅡのRTG等遠隔操作を見据えたローカル5Gの有効性に関する実証については、業務に支障を与えないように、港湾業務が比較的落ち着いている、土曜日や日曜日、昼間休憩時に測定スケジュールを設定し、実証を進めました。

予め設定していた 12 の測定ポイントにおいて、RTG を移動させながら、実測を行うことでより運用に近い形でのデータ取得が可能になりました。

実証Ⅲの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については、一つ目の電柱が 1 月 18 日に構築完了し、車番認識率の確認をスタートさせました。並行して、新港湾情報システム CONPAS との連携を確認しました。二つ目の電柱は、電力工事の関係から、2 月 18 日に構築しましたが、春節の影響で高く積まれたコンテナが遮蔽物となり、電波環境が悪く、通信ができない状況となったため、急遽、夢洲コンテナターミナル構内の構内柱にローカル 5G 受信機のみを移設する工事を手配、2 月 22 日には、混雑見える化実証をスタートできる環境が整いました。

それぞれの実証において、2 月 25 日までにデータ取得を終え、以降は、分析、考察の上、成果報告書の作成に取り組みながら、更なるデータ収集により、成果報告書の完成度を高めていきました。