

令和3年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

ローカル5Gを活用した操船支援情報の提供
および映像監視による港湾内安全管理の取組み

成果報告書

令和4年3月25日

株式会社 ZTV

目次

1. 実証概要	1
1.1 背景・目的	1
1.2 実証の概要	4
1.2.1 各実証の概要及び目標	6
1.2.2 実施体制	7
2. 実証環境の構築	9
2.1 実施環境	9
2.2 ネットワーク・システム構成	14
2.2.1 ネットワークの全体構成	14
2.2.2 システム構成	16
2.3 システム機能・性能・要件	36
2.3.1 システム全体の性能・要件	36
2.4 免許及び各種許認可	56
2.4.1 実験試験局免許概要	56
2.4.2 道路占用許可	61
2.5 その他要件	61
2.5.1 セキュリティ対策	61
2.6 実証環境の運用	63
2.6.1 ヘルプデスク	63
3. ローカル 5G 電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）	64
3.1 実証概要	64
3.2 実証環境	65
3.3 実証内容	78
3.3.1 ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定	78
3.3.2 電波伝搬モデルの精緻化	200
3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化	250
3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発	250
3.3.5 その他のテーマ	250
3.3.6 技術実証における追加提案	250
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）	251
4.1 実証概要	251
4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標	257
4.3 実証環境	268
4.4 実証内容	271
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	271

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	318
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	340
4.4.4	継続利用の見通し・実装計画	349
4.4.5	課題実証における追加提案	359
5.	普及啓発活動の実施	365
5.1	映像制作への協力	365
5.2	実証視察会の実施	365
5.3	その他普及啓発活動	365
6.	実施体制	366
6.1	コンソーシアム構成・コンソーシアム内の役割	366
6.2	情報保全体制	369
6.3	コンソーシアム参加企業一覧	372
6.3.1	株式会社 ZTV(提案者)	372
6.3.2	国立鳥羽商船高等専門学校	375
6.3.3	シンクレイヤ株式会社	376
6.3.4	日本電気株式会社	378
6.3.5	沖電気工業株式会社	380
6.3.6	株式会社ティーブイエスネクスト	381
6.3.7	株式会社アラヤ	383
6.3.8	株式会社地域ワイヤレスジャパン	386
6.3.9	株式会社グレープ・ワン	389
6.3.10	一般社団法人日本ケーブルテレビ連盟	390
6.3.11	協同海運株式会社	391
6.3.12	株式会社東洋信号通信社	392
6.3.13	三重県	393
6.3.14	四日市港管理組合	393
6.4	再委託について	394
7.	スケジュール	400

1. 実証概要

1.1 背景・目的

1) はじめに

株式会社 ZTV は、三重県、滋賀県、和歌山県、京都府の 4 府県 38 市町村の 300,000 世帯にケーブルテレビ、高速インターネット、固定電話サービスを提供しています。

(2021 年 12 月末時点)。2016 年より地域 BWA、2020 年よりローカル 5G を業界でも先陣を切って導入するなど無線事業にも積極的に取り組んでいます。

今回の開発実証では港湾内課題解決に向けて地域の関係者と連携し、ローカル 5G を活用した安全な港湾管理および操船支援モデルの取組みを行いました。

2) 背景・目的

港湾は多様な産業活動・国民生活を支える重要な物流・生産基盤であると同時に、人々が集う交流拠点でもあります。特に資源小国である日本において、輸出入を支える港湾は非常に重要な施設です。これまでも、港湾技術の発展が国民生活の安全・安心の確保や日本の経済発展に貢献してきました。引き続き新技術等を活用して、港湾の生産性を向上させていくことが、国際協力の維持・強化の観点から重要です。

世界の主要港では積極的 AI、IoT、自動化技術の活用に対し投資が進められ、新技術の活用した情報共有や最適化を進められています。一方、日本の港湾では、十分に新技術を活用しきれていない状況です。今後、国際集荷等で港湾間競争の更なる激化や労働力不足が懸念される中で、新技術を活用し港湾の生産性を向上させていく必要があります。

国土交通省は日本の港湾の中長期戦略として「PORT2030」を公表しております。

「PORT2030」は、2030 年頃の我が国経済・産業・人々の暮らしを支えるために港湾が果たすべき役割や主要施策を掲げており、港湾が果たすべき役割の 1 つとして AI や IoT を活用した港湾の建設・維持管理・運営サイクル全体のスマート化、強靱化が挙げられています。

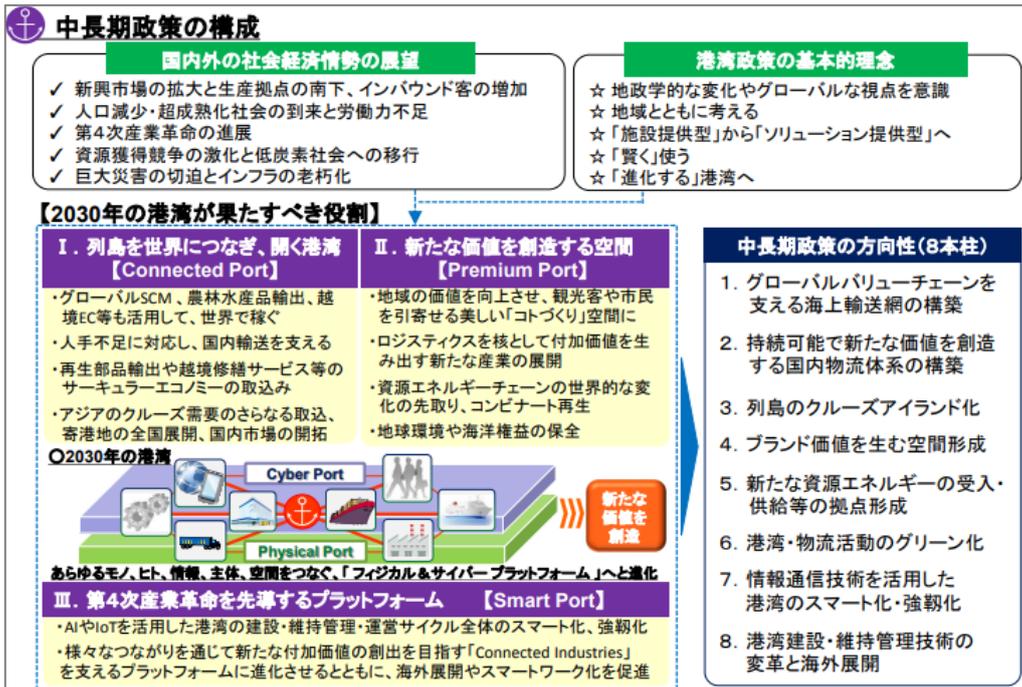


図 1.1-1 国土交通省「PORT2030」中長期政策の構成
 (出典：国土交通省「港湾の中長期政策「PORT2030」の概要より抜粋)

また、昨今では、老朽化した船舶のデジタル化対応、船員（熟練者）の高齢化、人材不足と他業種同様の問題が深刻化しており、早急に業務量の軽減や安全な運航への取組みが重要となっています。

本実証では、港湾・船舶関係事業者もコンソーシアムに加わり、ローカル 5G・AI 技術を活用した実証を行います。喫緊の港湾課題として、着岸時の港湾での事故対策、停泊している船の安全監視が不十分、労働力不足といった課題が発生しております。

本実証では、新技術を活用した港湾のスマート化、強靱化を見据え喫緊課題の解決を図りました。

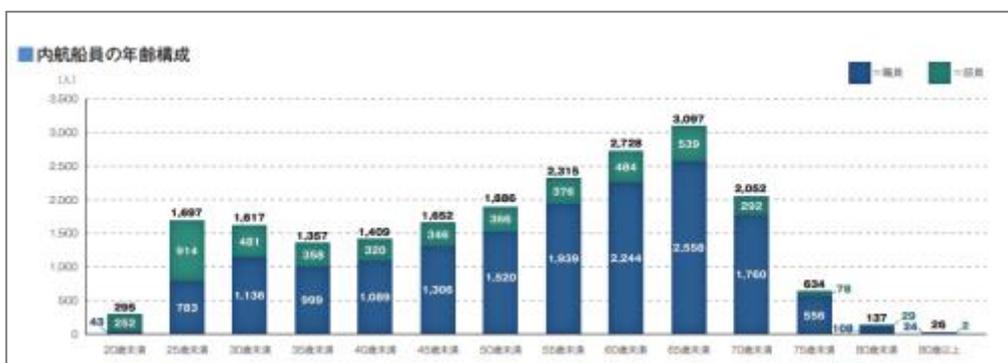
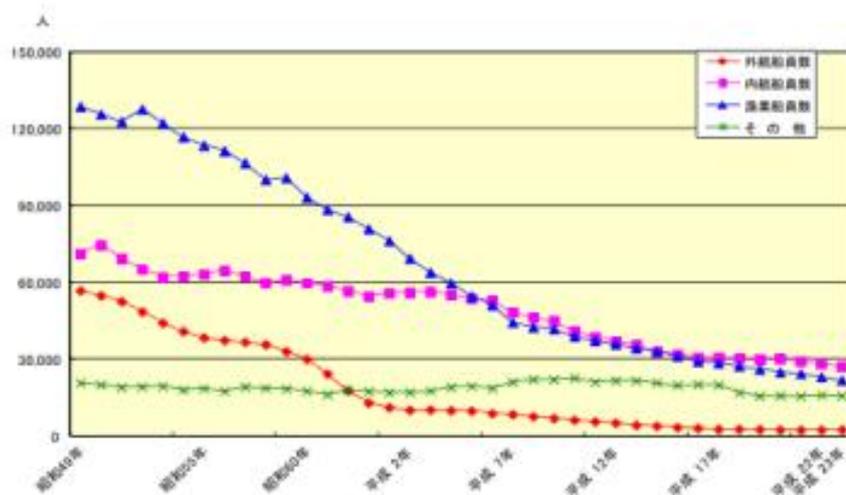


図 1.1-2 内航船員の年齢構成
 (出典：日本内航海運組合総連合会「内航海運の活動より抜粋 (令和元年度版)」)

(単位:人)

	昭和49年	昭和55年	昭和60年	平成2年	平成7年	平成17年	平成18年	平成19年	平成20年	平成21年	平成22年	平成23年
外航船員数	56,833	38,425	30,013	10,084	8,438	2,625	2,650	2,545	2,370	2,312	2,369	2,408
内航船員数	71,269	63,206	59,834	56,100	48,331	30,762	30,277	30,059	30,074	29,228	28,160	27,251
漁業船員数	128,831	113,830	93,278	69,486	44,342	28,444	27,347	26,101	24,921	24,320	23,060	21,749
その他	20,711	18,507	17,542	16,973	20,925	19,926	16,907	15,590	15,773	15,526	15,896	15,757
合計	277,644	233,770	200,667	152,643	122,038	81,757	77,181	74,295	73,138	71,388	69,485	67,165



○海事局調べによる(平成17年までは船員統計による)。
○船員数は乗組員数と予備船員数を合計したものであり、我が国の船舶所有者に雇用されている船員である。
○その他は引船、はしけ、官公署船に乗り組む船員数である。
○船員数は外国人船員を除いた数字である。

図 1.1-3 我が国の船員数の推移

(出典:国土交通省 統計情報より抜粋)

1.2 実証の概要

1) 実証の概要

今回の提案を行うにあたり、操船事業者および港湾管理者それぞれの分野において専門である企業、団体に現在の業務における課題について聞き取りを行い、以下 5 つの課題を抽出しました。

- ①. 港湾内における安全な航行や着岸に必要な十分な情報を得る手段がない
- ②. 港湾内の停泊中の船舶やその周辺の十分な安全監視ができていない
- ③. 港湾内の着岸管理業務の労働環境改善
- ④. 暗い環境（夜間または見通しの悪い天候時）でカメラによる十分な船舶の位置監視ができていない
- ⑤. 自動（無人）操船に対応した港湾のスマート化
（国土交通省「PORT2030」参照）

上記①～③の各課題に対応する解決策として、次の①～③を提案します。

また、追加提案として④を提案します。（課題⑤は中期的な取り組みが必要となる全体を包含する課題となりますので、本提案と密接に関係するものの、実証としては対象外としております）

- ①. 港湾内航行中船舶に対する「港湾内映像およびA Iによる船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供
- ②. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+A I映像解析により自動化
- ③. 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+A I映像解析により自動化
- ④. サーマルカメラとA Iでの映像解析を活用した暗い環境での監視

全体システム概要を図 1.2-1 に示します。

鳥羽商船高等専門学校の所有する練習船「鳥羽丸」（以下「鳥羽丸」とする）にローカル 5G 受信端末、フライングビューカメラ（船舶自体の俯瞰映像を作成するカメラおよびシステム）を設置します。

鳥羽丸の停泊する棧橋・艇庫周辺にローカル 5G 基地局・受信端末、4K カメラ、気象計測装置を設置、および港湾内を見渡すことが出来るホテルの屋上にローカル 5G 基地局・受信端末、4K カメラを設置します。

艇庫内の監視室に映像集約ダッシュボードシステム、AI 解析装置を整備します。

ローカル 5G のコアシステムはクラウド上に整備します。

船上の映像、陸上の映像や気象情報等をローカル 5G 経由で監視室まで伝送します。

伝送された映像および気象情報は監視室の映像集約ダッシュボードシステム、AI 解析装置により、ダッシュボードでの閲覧できる状態に加工され、監視室内のモニターに表示されます。

また、上記とおなじダッシュボードの映像を陸上のローカル 5G 基地局から船上のローカル 5G 受信端末を通じて送信し、船内の操舵室および会議室に設置するモニターに表示させます。

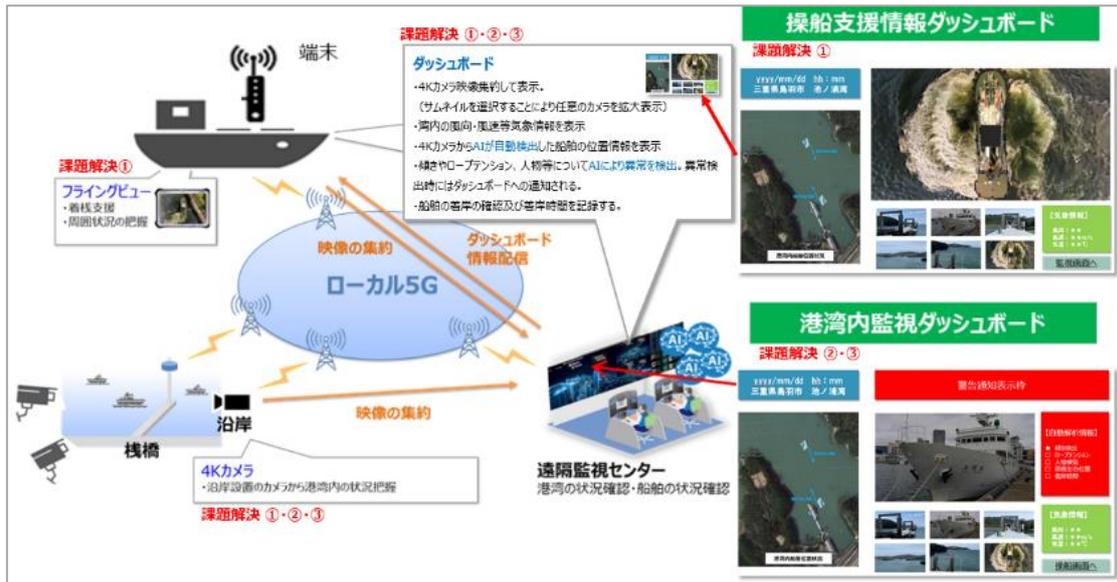


図 1.2-1 全体システム概要

1.2.1 各実証の概要及び目標

本開発実証では、課題解決システムの実証（以下、課題実証）と港湾におけるローカル5Gの性能評価等の技術実証（以下、技術実証）、情報一元管理システム（以下、ダッシュボード）及び横展開に関する検討を行った各実証の概要及び実証目標を以下に示します。

(1) 課題解決システムの実証（課題実証）

港湾現場の作業の効率化、安全性の向上を目的とし、ダッシュボード技術及びローカル5Gを活用した「港湾作業の効率化」及び「遠隔操船支援」と「港湾監視」を実現し、港湾環境におけるダッシュボードシステムの活用方策を確立することを目標とする。

現在、世界の主要港では積極的にAI、IoT、自動化技術の活用に対し投資が進められ、新技術の活用した情報共有や最適化を進められています。一方、日本の港湾では、十分に新技術を活用しきれていない状況です。本実証では、課題解決システムとして「ローカル5Gを活用した操船支援情報の提供および映像監視による港湾内安全管理の取組み」を実現することで、これらの課題の解決に向けて行うものである。

本実証においては、

- ① 港湾内航行中船舶に対する「港湾内映像およびAIによる船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供
- ② 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI映像解析により自動化
- ③ 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化
- ④ サーマルカメラとAIでの映像解析を活用した暗い環境での船舶監視の4方式にて実証にあたった。

詳細は、「4.4.5 課題実証における追加提案」に記載する。

(2) ローカル5Gの性能評価等の技術実証（技術実証）

港湾内における課題解決システムを稼働させるため、通信インフラに求められる伝送スループットや伝送遅延といったローカル5Gの性能を評価するため、4.6GHzから4.9GHzまでの周波数帯のローカル5G設備を構築し、測定データを取りまとめた。

また、測定データから海上での電波伝搬損失特性を明らかにし、ローカル5Gによる港湾管理システムの実現におけるローカル5Gの技術基準などの整備に資する知見を得ることを目標とした。

(3) 実装及び横展開に関する検討

ローカル5Gによる港湾監視の枠内において、コンソーシアムメンバー内における利用者と提供者の定義を明確にすることにより、実装及び実証モデルの横展開に資する具体的な方策を明らかにすることを目標とした。

具体的には、実証地域において、本実証用に構築したローカル5G等を活用した課題解決

システムについて、実証終了後も継続的に利用するとともに、課題解決等を図っていくための事業モデルの構築と実装計画の策定（持続可能な事業モデル等の構築・計画策定）、ローカル5G等を活用した課題解決システムについて、同様の課題を抱える他地域における実装や検討に資するような標準的な普及モデルについての検討（横展開に資する普及モデルに関する検討）を行いました。

詳細は「4.4.4 継続利用の見直し・実装計画」に記載する。

1.2.2 実施体制

1.2.2.1 コンソーシアム

本コンソーシアムは、株式会社 ZTV を代表者とし、代表者以外の組織を共同事業社とする体制とした。本調査検討における各構成員の役割を以下に示します。

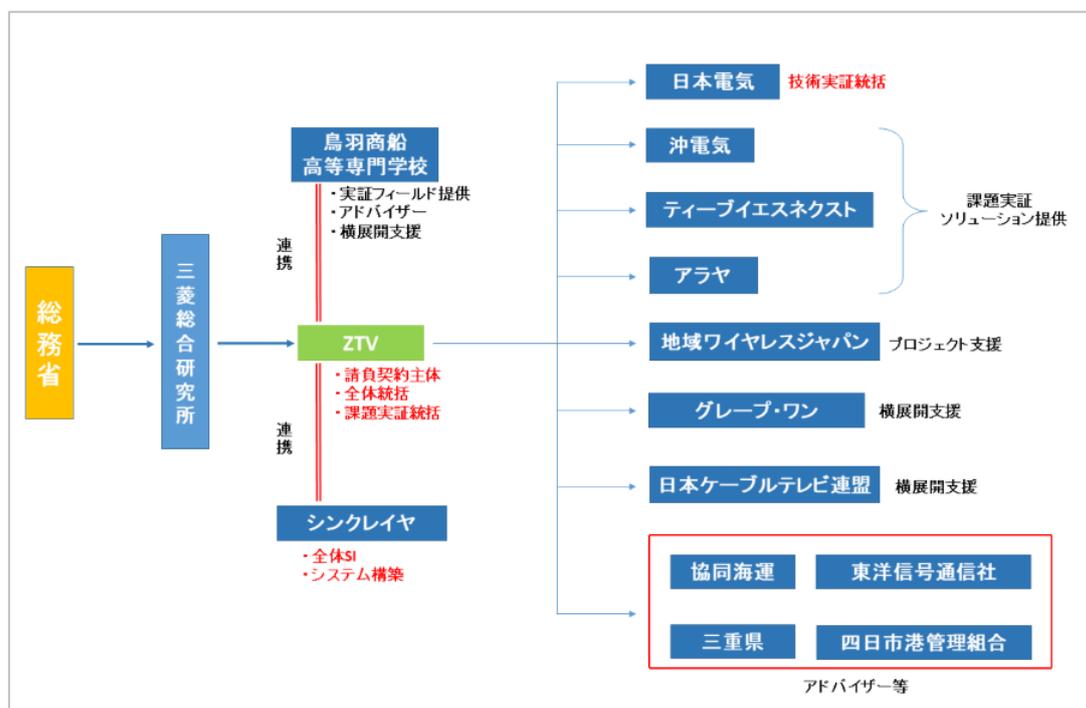


図 1.2.2.1-1 コンソーシアム構成員及び実施体制

表 1.2.2.1-1 構成員の役割

構成員	枠割り
株式会社 ZTV	全体統括管理、船体設計および課題実証主体
国立鳥羽商船高等専門学校	実証場所の提供、操船側アドバイザーおよび横展開支援
シンクレイヤ株式会社	全体 SI およびシステム構築
日本電気株式会社	技術実証統括、ローカル 5G 環境構築
沖電気工業株式会社	フライングビューシステム環境構築
株式会社ティーブイエスネクスト	ダッシュボード、4K カメラ環境構築・設置
株式会社アラヤ	AI 解析等ソリューション提供
株式会社地域ワイヤレスジャパン	全体支援
株式会社グレープ・ワン	横展開支援
一般社団法人日本ケーブルテレビ連盟	横展開支援
協同海運株式会社	船舶側アドバイザー、横展開支援
株式会社東洋信号通信社	港湾側アドバイザー、横展開支援
三重県庁	港湾側アドバイザー
四日市管理組合	港湾側アドバイザー、横展開支援

1.2.2.2 スケジュール

全体の実施スケジュールについて、以下に示します。

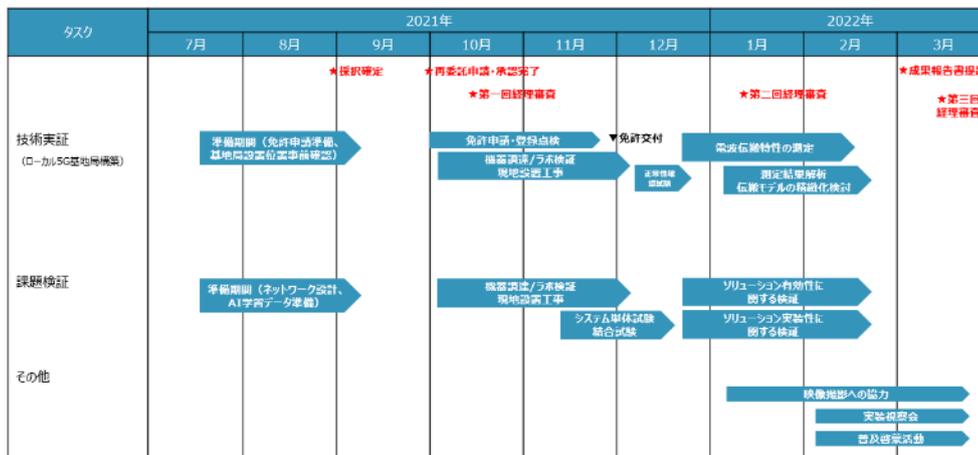


図 1.2.2.2-1 実施スケジュール

スケジュールは、項目ごとに積み上げたタスクを集約し、全体のスケジュールとして構成した。

2. 実証環境の構築

2.1 実施環境

三重県鳥羽市池ノ浦湾内及び鳥羽商船高等専門学校が所有する艇庫・棧橋周辺を実証エリアとしました。

三重県には国際拠点港湾の四日市港があり、今回の課題解決への取組みの有力候補地ではありますが、検証を行うためには、湾内および船舶にローカル5G基地局や4Kカメラなどの設備の設置や、海上および陸上の多くの地点での測定等の作業が多数発生するため、24時間365日止まることなく稼働する四日市港においては通常業務への影響を考慮し、開発実証を行うには相応しくないと判断しました。

三重県鳥羽市池ノ浦湾は鳥羽商船高等専門学校が所有する鳥羽丸以外の船舶が検証を予定するエリアにほとんど入港しないこともあり、今回の取組みに適していると判断しました。

検証を行う池ノ浦湾内は事実上大型船の夜間の運航ができませんが、鳥羽丸が停泊する棧橋には照明が設置されており、夜間でも棧橋周辺や停泊状況の確認は行えるため、今回の課題における検証を行うことは可能です。

艇庫・棧橋周辺のエリアカバーを目的とし、艇庫へ設置する基地局と湾内のエリアカバーを目的とし、ホテル（三重県伊勢市「旅荘 海の蝶」）屋上へ設置する基地局との2基で基地局を構成しました。



図 2.1-1 池ノ浦湾内 実証実施環境

出所) Google Map (<https://www.google.co.jp/maps/>) より

鳥羽丸を係留する棧橋は浮棧橋となっており、光・LAN ケーブル等の通信線を新規配線することは難しく、通信手段としては無線以外に選択肢がありません。また、港湾内周辺は電源の取得等都合から機器を設置出来る場所にも制限があります。(図 2.1-2 ①)

艇庫には操船情報等を監視・管理するための監視室が併設されており、操船支援情報と港湾監視情報を表示するためのダッシュボード等設備を設置します。(図 2.1-2 ②、③)

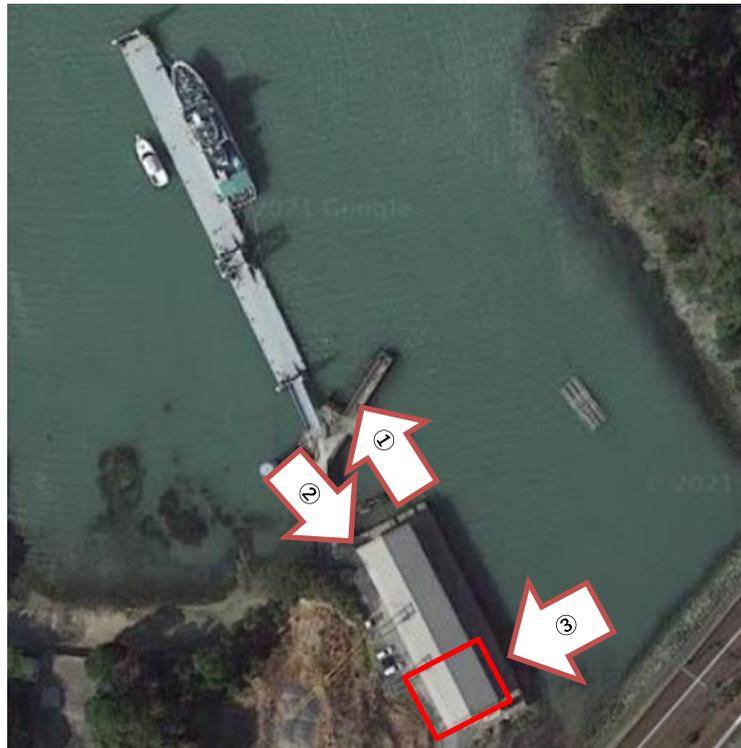


図 2.1-2 艇庫・棧橋外観



図 2.1-3 ①方向 (鳥羽商船高等専門学校 浮棧橋)



図 2.1-4 ②方向 (鳥羽商船高等専門学校 艇庫)



図 2.1-5 ③方向 (監視室)

池ノ浦湾全体をカバーするため、旅荘 海の蝶屋上にもローカル 5G 機器を構築致します。



図 2.1-6 旅荘 海の蝶



図 2.1-7 ①方向 旅荘 海の蝶外観



図 2.1-8 ②方向 旅荘 海の蝶屋上

本実証を行う船舶として、鳥羽商船高等専門学校所有の鳥羽丸を使用します。
(図 2.1-9)

主 要 目	
造船材料	鋼
資 格	第4種船
航行区域	近海区域（非国際航海）
長さ（全長）	40.00 m
長さ（垂線間）	35.00 m
幅（型）	8.00 m
深さ（型）	3.30 m
満載喫水（型）	2.80 m
総トン数	244 t
試運転最大速度 （試運転状態、100%負荷）	13.80 ノット
航続距離	約2,300浬
定 員	乗組員9名、教官3名 学生44名、計 56名
造船所	三井造船株式会社 玉野造船所
竣 工	1994年8月19日



図 2.1-9 鳥羽丸 主要目及び外観

2.2 ネットワーク・システム構成

港湾内課題解決に向けて、ローカル 5G を活用した安全港湾管理および操船支援モデルの実現を検証するためのネットワークシステムについて、4.6-4.9GHz 帯域 (Sub6) の周波数帯を活用した。

なお屋外環境での実証を想定しているため、屋外利用が可能な 4.8-4.9GHz 帯を対象周波数帯に対応したローカル 5G 基地局と端末を設置し、ローカル 5G ネットワーク環境及び本実証のためのシステム環境を構築しました。

2.2.1 ネットワークの全体構成

本実証においては、三重県鳥羽市池ノ浦湾の実証環境に 4.8-4.9GHz 帯域 (Sub6) を利用した Stand Alone 方式のローカル 5G システムを使用します。ローカル 5G システムの関連装置 (CU/DU、UPF 等) は、鳥羽商船高等専門学校の監視室 (艇庫) に設置し、インターネット回線を通じてコア設備 (NEC クラウドコア) と接続します。

操船支援情報及び港湾監視情報を提供するダッシュボード上には 4K カメラ映像、フライングビュー映像、AI 検知情報、港湾内を航行中の船舶の位置情報及び港湾内の気象情報が表示されます。

2.2.2 システム構成

2.2.2.1 ローカル 5G システム構成

本実証においては、艇庫及びホテル屋上の 2 ヶ所へ基地局を設置します。本実証において、4K カメラ及びフライングビューの映像配信（アップロード）、船舶に向けたダッシュボード情報の配信（ダウンロード）を行いました。システム構成イメージを下図に示します。

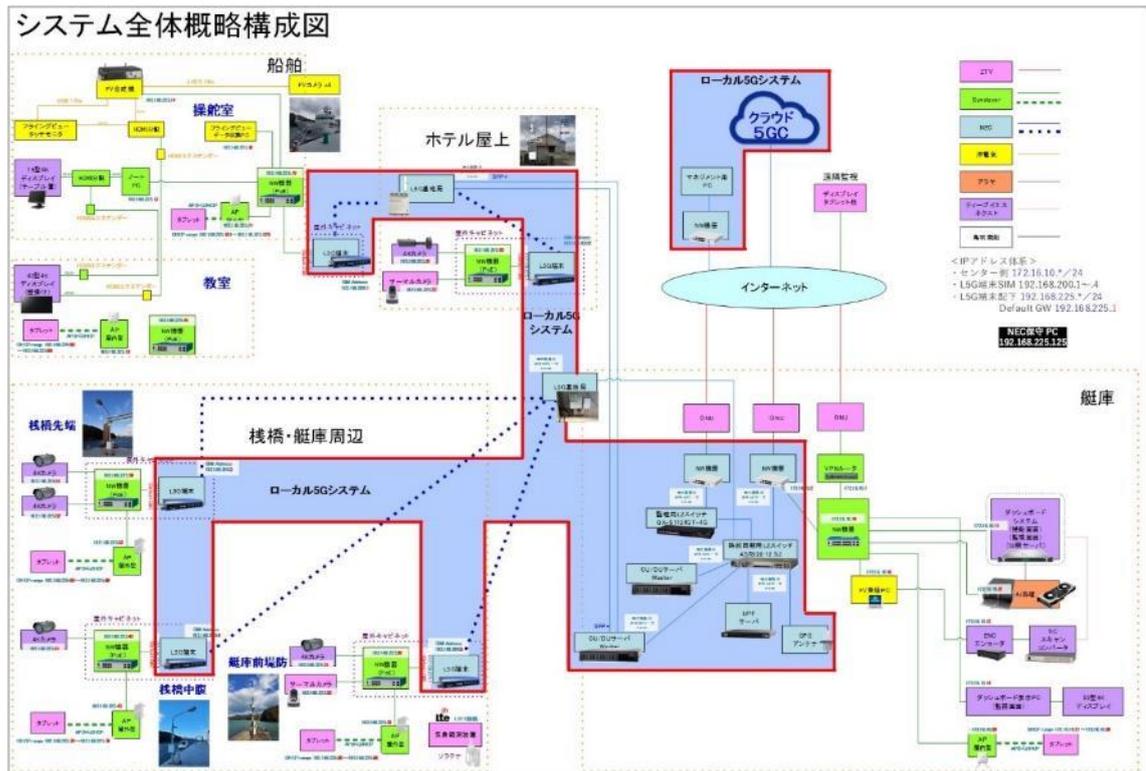


図 2.2.2.1-1 ローカル 5G 無線機器(Sub6)システム構成イメージ (赤枠部)

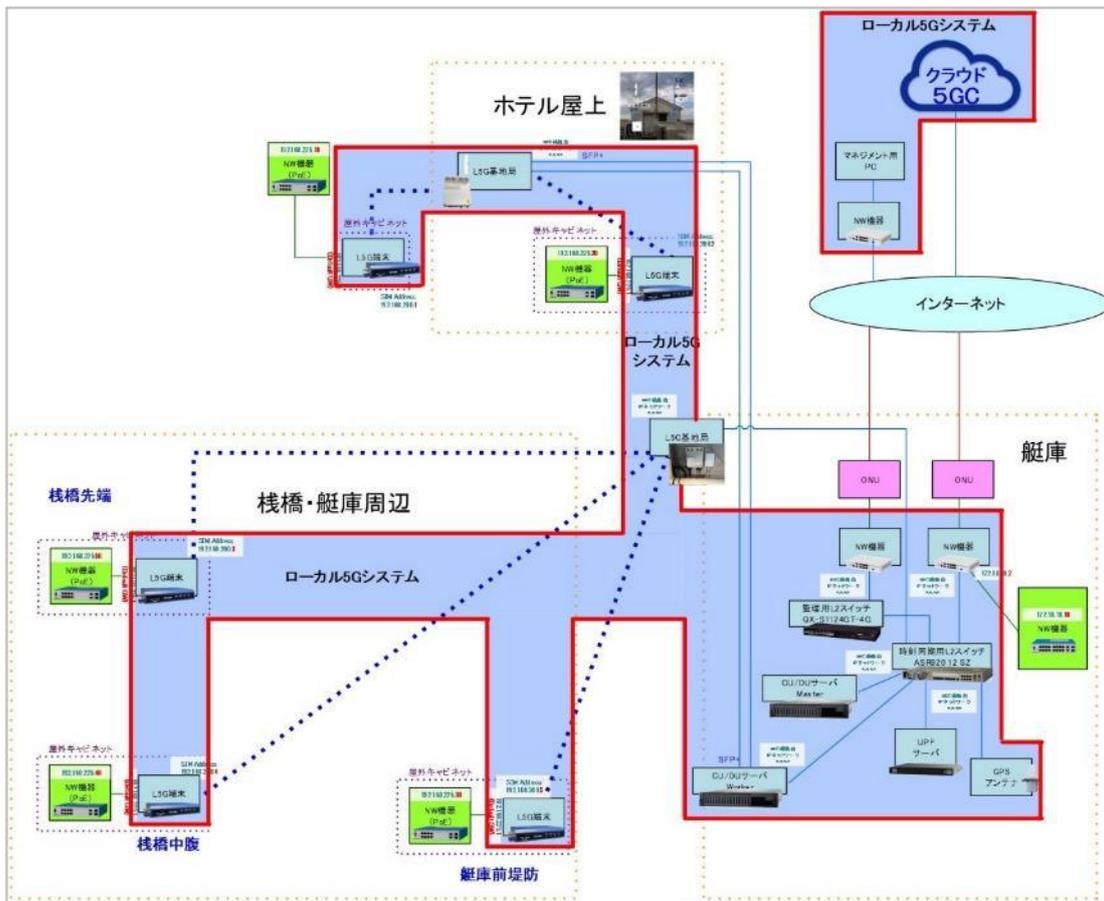


図 2.2.2.2-2 ローカル 5G 無線機器(Sub6)システム構成イメージ (赤枠部抜粋)

本実証のネットワークシステムにおいては、4.7GHz 帯に対応する NEC 社製 Stand Alone 方式 (以下「SA 方式」という。) のローカル 5G 基地局を 2 局設置した。また、本実証のネットワークシステムにおける端末は、4.7GHz 帯に対応する IDY 社製端末を 5 台設置しました。使用する機器の一覧を以下に示します。

表 2.2.2.1-1 使用機器一覧

項目	詳細	
ローカル 5G 基地局等無線通信システム	機能と役割	NEC 社製 4.85GHz RU 装置 (品名 : MB5400-R7790-81) を使用。ローカル 5G の 4.7GHz 帯の無線通信が可能。帯域幅が 100MHz のため、高速通信が可能
	数量	2 局
	設置形態	固定
端末	機能と役割	IDY 社製 IR730B-001 を使用。5G NR と高度化されたアプリケーションに対応した 5G ハイスピードエッジゲートウェイ。
	数量	5 台
	設置形態	固定
コアネットワーク	機能と役割	NEC 社製 CU/DU を使用。基地局制御とベースバンド処理。
	数量	1 台
	設置形態	固定

ローカル 5G の性能評価のために利用するアプリケーションの概要を以下に示します。

表 2.2.2.1-2 ローカル 5G 性能評価用アプリケーション

項目	詳細	
ローカル 5G 性能評価用アプリケーション	概要	オープンソースソフトウェアとして開発されている、ネットワークパフォーマンス測定ツールである iPerf を使用。
	役割と機能	ネットワークの伝送速度及び遅延を測定するツール。クライアントサーバ 型の構成を取る。
	数量	サーバ (1 台)、クライアント (1 台)
	設置形態	サーバ (固定)、クライアント (可搬)

アンテナは、湾内をカバーできる場所として艇庫上部と旅荘 海の蝶屋上に設置した。

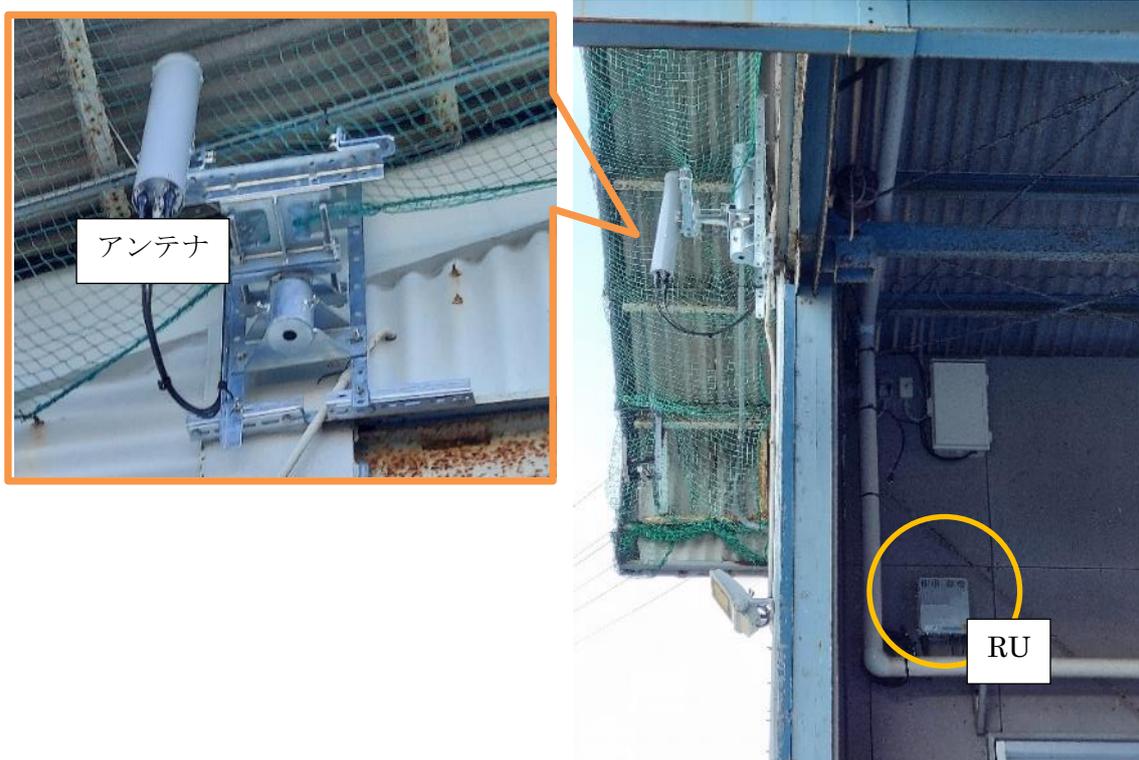


図 2.2.2.1-2 ローカル 5G 無線機器 (艇庫)



図 2.2.2.1-2 ローカル 5G 無線機器 (旅荘 海の蝶)

艇庫内には検証用の機器を収容するラックを設置した。ラック内には、ネットワーク機器、ローカル 5G システム、ダッシュボードシステム用サーバ、AI システム機器などを収容し、実証期間中稼働をさせた。



図 2.2.2.1-3 機器収容ラック (艇庫)

また、艇庫外には、ローカル 5G 設備における時刻同期のための GPS アンテナを設置した。



図 2.2.2.1-4 GPS アンテナ（艇庫）

ローカル 5G 無線機器（Sub6）は 5G システム、ネットワーク機器、5G 対応端末、マネジメント用 PC から構成され、各装置の役割と機能は下表の通りです。

表 2.2.2.1-3 ローカル 5G システム（基地局）の概要

	基地局(MB5400-R7790-81)
製造ベンダ	日本電気株式会社
台数	2 台
設置場所（屋内/屋外）	屋外
同期/準同期	同期
UL : DL 比率	2:7
周波数帯	4.7GHz 帯
SA/NSA	SA
UL 周波数	4.8~4.9GHz
DL 周波数	
UL 帯域幅	100MHz
DL 帯域幅	
UL 中心周波数	4849.98MHz
DL 中心周波数	
UL 変調方式	QPSK、16QAM、64QAM
DL 変調方式	QPSK、16QAM、64QAM、256QAM
MIMO	"DL : MIMO (2Tx, 2Rx)

表 2.2.2.1-4 ローカル 5G 無線機器 (Sub6) システム構成

項目	装置名	数量	設置形態	調達先	役割	機能
5G システム	5GC	1	クラウド	日本電気株式会社	5G コアネットワーク (C-Plane 機能)	端末のモビリティ管理など
	UPF	1	固定	日本電気株式会社	5G コアネットワーク (U-Plane 機能)	データパケットの転送
	CU/DU	1	固定	日本電気株式会社	5G 基地局(集約部/デジタール部)	基地局制御とベースバンド処理
	RU	2	固定	日本電気株式会社	5G 基地局(無線部)	5G 基地局の無線機能
ネットワーク機器	L3SW	2	固定	日本電気株式会社	ネットワーク中継装置	5G システムとサーバの中継
	L2SW	1	固定	日本電気株式会社	ネットワーク中継装置	5G システム装置間の中継
	GPS アンテナ	1	固定	日本電気株式会社	GPS 受信アンテナ	同期
5G 対応端末	DTU	5	固定	日本電気株式会社	5G 対応モバイルルータ	デバイス接続

池ノ浦湾の艇庫と、ホテル屋上に設置した基地局のエリアカバレッジの算出要素と、エリアカバレッジは下記の通りです。詳細については、「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)」に記載致します。

表 2.2.2.1-5 基地局のエリアカバレッジの算出要素

項目	地上高	アンテナタイプ、利得	その他
基地局	5m (艇庫基地局) 30m (ホテル屋上基地局)	セクタアンテナ (半値角 55 度) 17.5dBi	<ul style="list-style-type: none"> ・TX : 33.6dBm ・RF Cable Loss : 2dB ・地形による電波の遮蔽、およびフェージングによる受信電力、スループットの変動と受信側のアンテナの状況により到達範囲が変わります ・ホテル屋上の基地局のエリアカバレッジは、艇庫の基地局と同程度とし算出しました



図 2.2.2.1-5 審査基準に基づくカバーエリア及び調整対象区域（艇庫基地局）

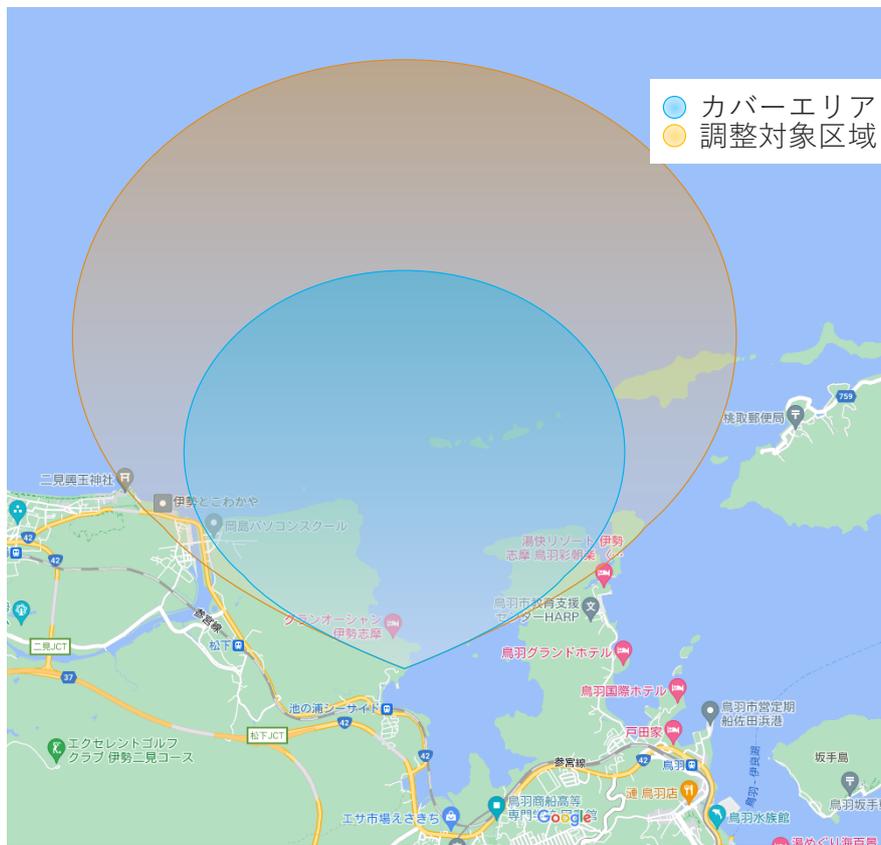


図 2.2.2.1-6 審査基準に基づくカバーエリア及び調整対象区域（海の蝶屋上基地局）

ローカル 5G システムのネットワーク性能は下表の通りです。

表 2.2.2.1-6 ローカル 5G システムのネットワーク性能

性能項目	仕様値	備考
接続数	RU : 64 端末/RU 5GC : 10,000 端末/5GC	設計値
最大スループット	RU : アップリンク (UL) 64 Mbps/RU ダウンリンク (DL) 689 Mbps/RU UPF : 4 Gbps/UPF	RU : 設計に基づく物理レイヤ理論値 UPF : 設計値

<参考>

2.2.1 章、2.2.2 章にて使用する 5G システム関連の専門用語について説明します。

表 2.2.2.1-7 用語一覧

用語	読み方	説明
SA(Stand Alone)	エスエー	5G システムの構成のうち、4G LTE のコアネットワークに頼らず、5G 基地局と 5G コアネットワークで実現する構成のこと。 5G 基地局と 4G コアネットワークを組み合わせた構成を NSA(Non Stand Alone)と呼ぶ。
5GC(5G Core)	ファイブジーシー	5G のアクセス網を収容するコアネットワークのこと。5G においては U-Plane 機能(UPF)と C-Plane 機能群が分離されており、本実証実験においては C-Plane 機能群を指す。 本実証実験ではクラウド上に配置された 5GC をサービスとして利用する。
UPF(User Plane Function)	ユーピーエフ	コアネットワークのうち U-Plane 機能を提供する装置。
C-Plane(Control Plane)	シープレーン	通信の確立を行うための制御信号および一連の制御処理のこと。
U-Plane(User Plane)	ユープレーン	利用者が送受信するユーザデータ信号および送受信処理のこと。
CU(Central Unit)	シーユー	無線基地局のデータ処理を行う集約基地局。 本実証では DU との一体型装置を使用する。
DU(Distributed Unit)	ディーユー	電波の送受信を行うリモート局。本実証では CU との一体型装置を使用する。
RU(Radio Unit)	アールユー	無線基地局装置の無線子局。
DTU(Data Transfer Unit)	ディーティーユー	通信サービスで利用されるデータ転送装置。
L2SW	エルツースイッチ	ネットワークを中継する機器。MAC アドレスでパケットの中継先を判断する。
L3SW	エルスリースイッチ	ネットワークを中継する機器。IP アドレスでパケットの中継先を判断する。

2.2.2.2 フライイングビューシステム構成

フライイングビューは、4台の広角カメラと映像合成部、表示部で構成されており、カメラの映像から周囲360度の俯瞰映像を合成し、表示された映像を自由な視点から見ることで、広域のシームレスな映像をモニタリングする事が可能です。

システム構成イメージを下図に示します。

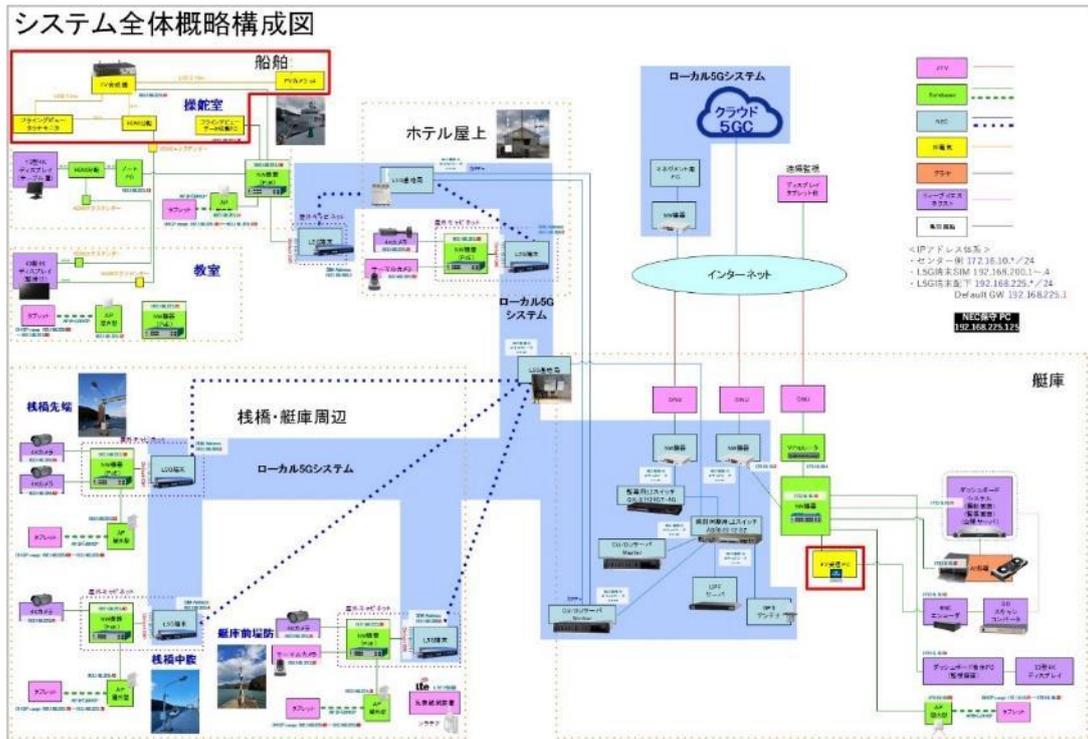


図 2.2.2.2-1 システム構成イメージ (フライイングビュー) (赤枠部)

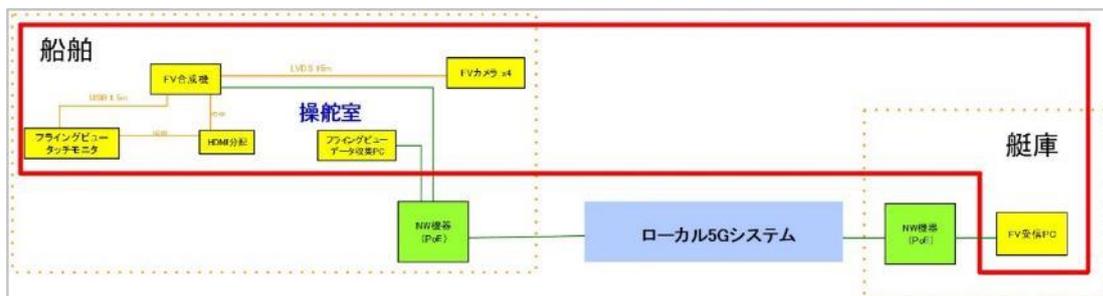


図 2.2.2.2-2 システム構成イメージ (フライイングビュー) (赤枠部抜粋)

フライングビュー映像は船舶内に設置されたディスプレイおよびダッシュボードにて確認することが出来ます。

フライングビューの機能性能は下表の通りです。

表 2.2.2.2-1 フライングビュー機能性能

項目	装置名	数量	設置形態	調達先	役割	機能
フライングビューカメラ		4	固定	OKI	周囲映像撮影用	HD (1280x800)
フライングビュー合成機	YS6010X	1	固定	OKI	俯瞰映像の生成	ライブ映像表示
フライングビュー受信 PC	PC (windows10)	1	固定	Panasonic	俯瞰映像表示	遠隔視点操作

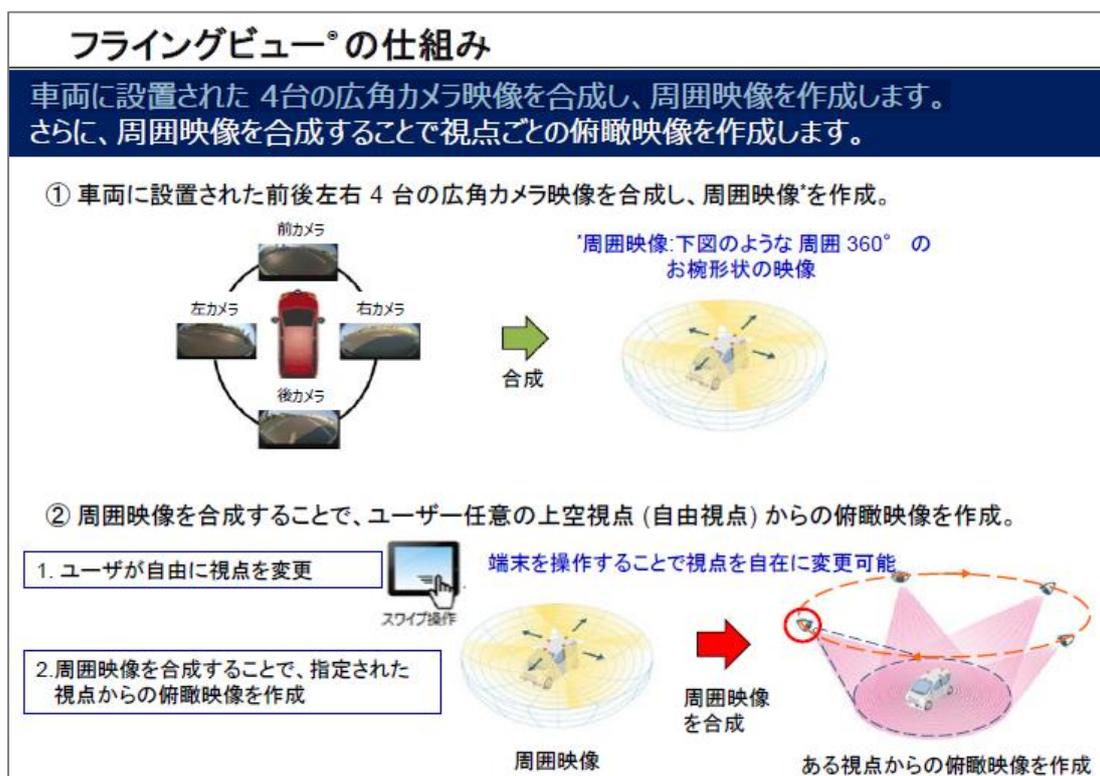


図 2.2.2.2-2 フライングビューの仕組み



図 2.2.2.2-3 フライングビュー映像

2.2.2.3 4K カメラ

本実証で使用するカメラは、4K の優れた解像度と極めて高い感度を両立しており、広範囲の監視を可能に致します。さらに、高効率な動画圧縮方式にも対応しているため、伝送時に必要な帯域幅とストレージサイズを大幅に抑えることが可能です。

システム構成イメージを下図に示します。

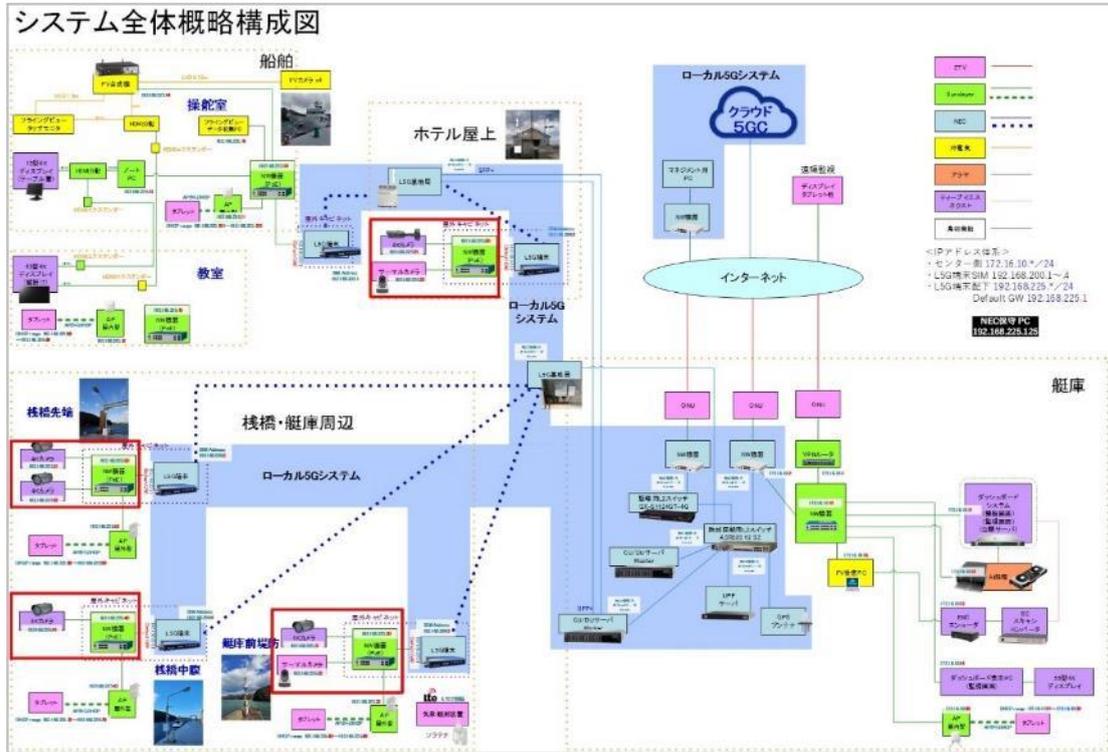


図 2.2.2.3-1 システム構成イメージ (4K カメラ) (赤枠部)

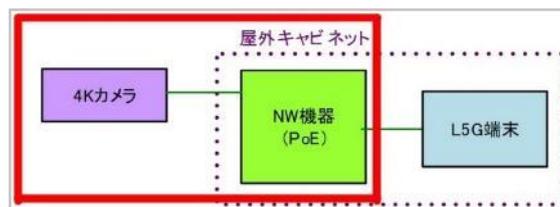


図 2.2.2.3-2 システム構成イメージ (4K カメラ) (赤枠部抜粋)

4K カメラ・サーマルカメラの機能性能は下表の通りです。

表 2.2.2.3-1 4K カメラ・サーマルカメラ機能性能

項目	装置名	数量	設置形態	調達先	役割	機能
4K カメラ	PNO-9080R	5	固定	Hanwha	港湾内監視	4K/12 メガピクセル 解像度
サーマル カメラ※	M364	2	固定	FLIR	船舶位置 情報	

※追加検用

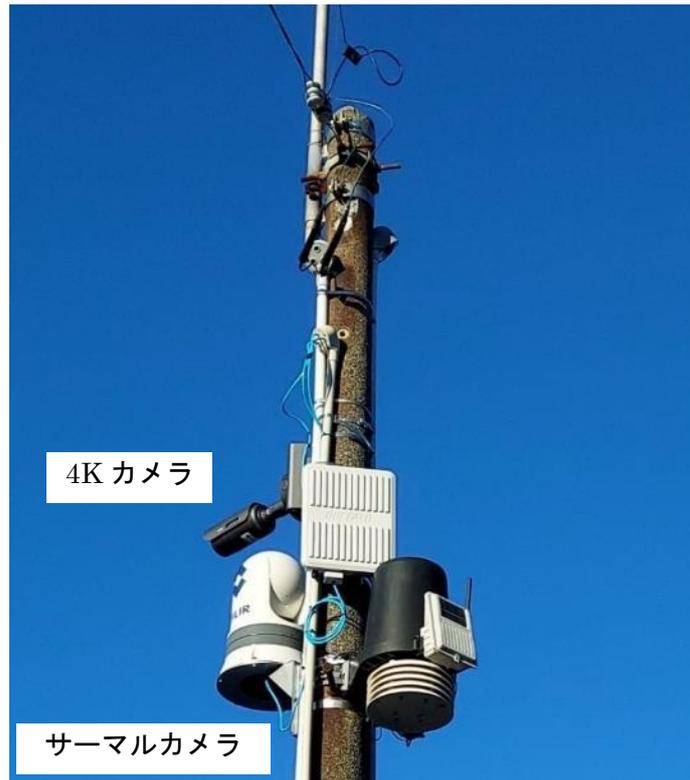


図 2.2.2.3-2 4K カメラ・サーマルカメラ (艇庫前堤防)



図 2.2.2.3-3 4K カメラ (栈橋先端)



図 2.2.2.3-4 4K カメラ (栈橋中腹)



図 2.2.2.3-5 4K カメラ・サーマルカメラ (旅荘 海の蝶屋上)

2.2.2.4 ダッシュボードシステム構成

ダッシュボードでは、操船支援情報と港湾監視情報の2パターンを表示します。

操船支援ダッシュボードにおいては、船舶自体の俯瞰映像および港湾内に設置した4Kカメラ映像、AIにより検出した港湾内を航行中の船舶の位置情報、港湾内の気象情報を一元的に表示します。

港湾監視ダッシュボードにおいては、港湾内に設置した4Kカメラ映像、AIにより検出した港湾内を航行中の船舶の位置情報、港湾内の気象情報及びAIが自動検知した港湾内の情報を表示します。

システム構成イメージを下図に示します。

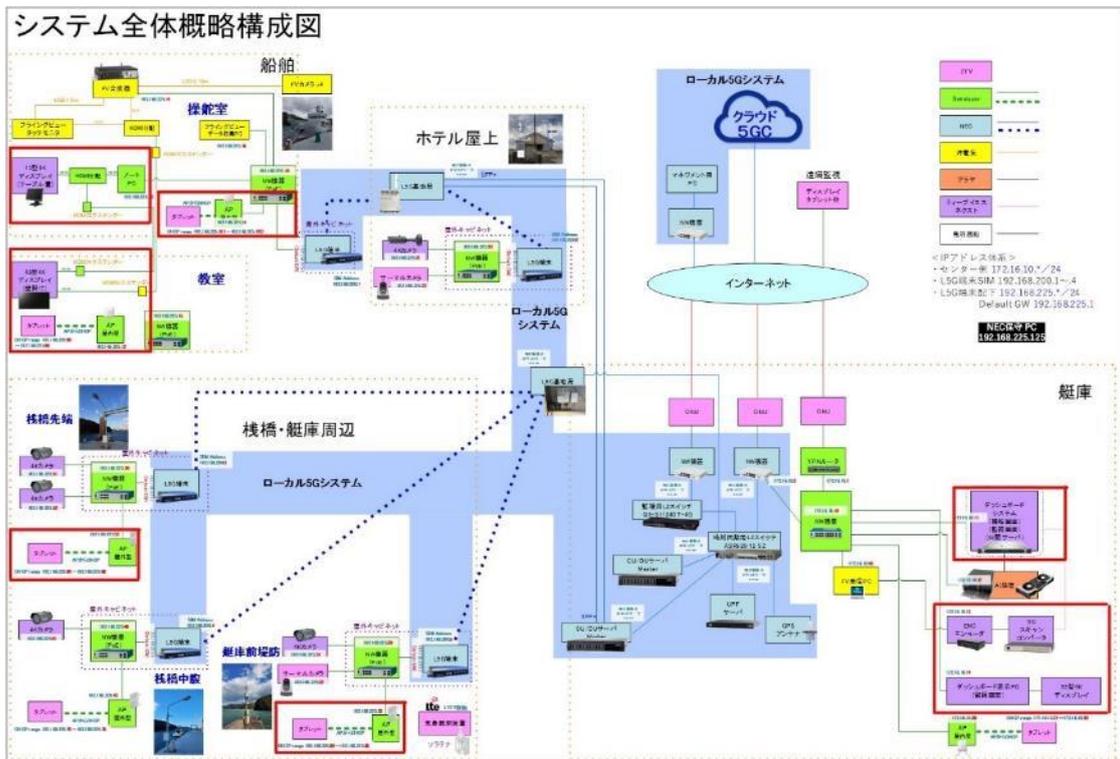


図 2.2.2.4-1 システム構成イメージ (ダッシュボード) (赤枠部)

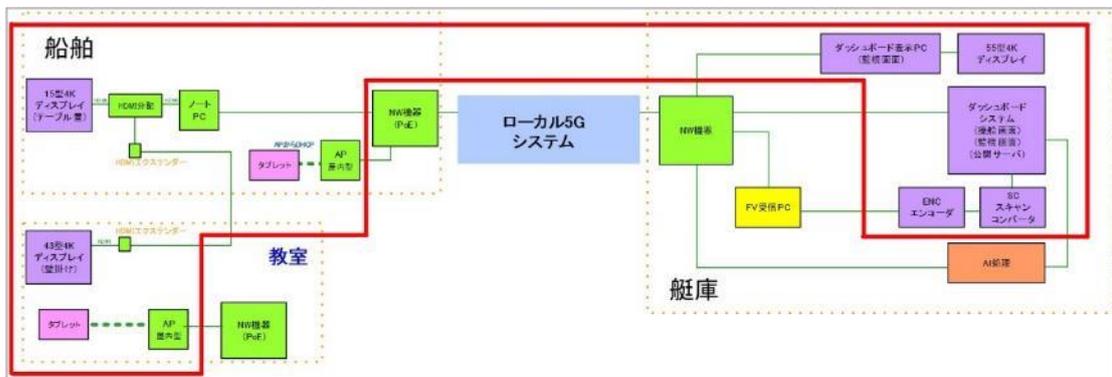


図 2.2.2.4-1 システム構成イメージ (ダッシュボード) (赤枠部抜粋)

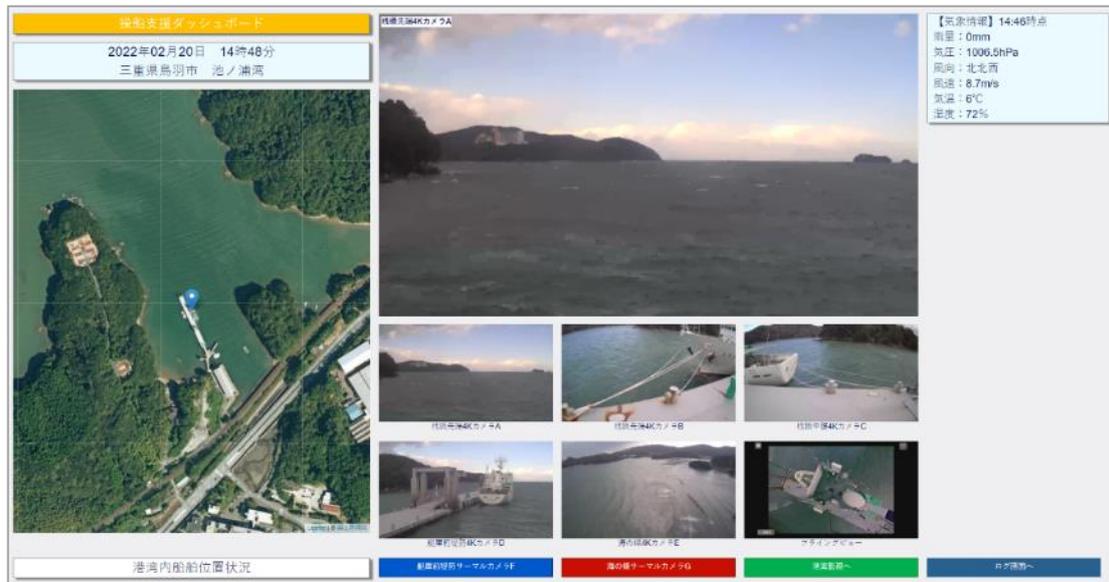


図 2.2.2.4-2 ダッシュボード画面（操船）

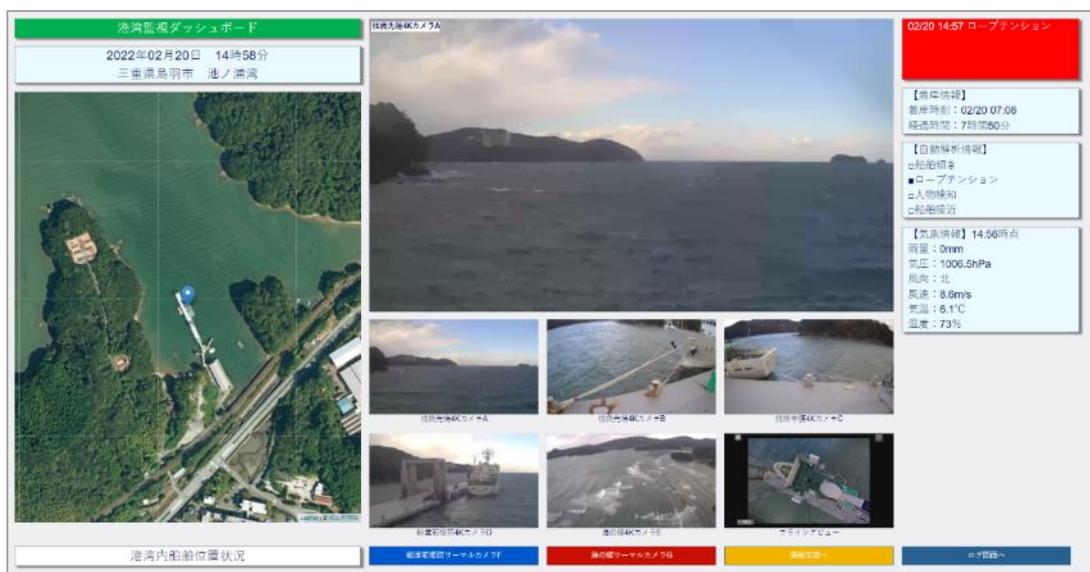


図 2.2.2.4-3 ダッシュボード画面（監視）

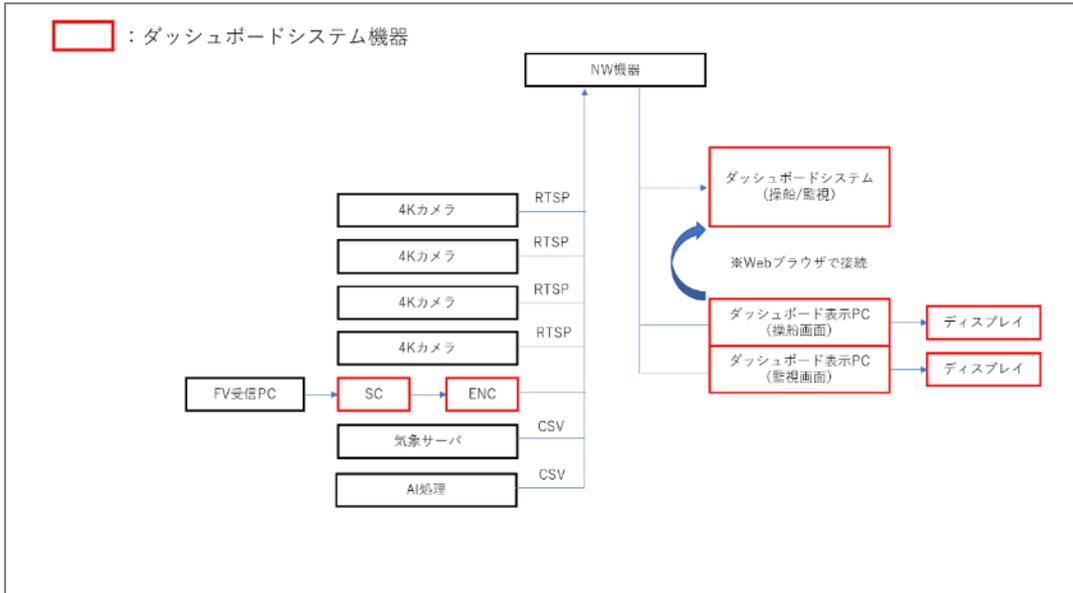


図 2.2.2.4-4 ダッシュボードシステム構成(赤枠部)

ダッシュボードシステムはダッシュボードサーバー、ダッシュボード表示用 PC、エンコーダー、スキャンコンバーターから構成されます。

各機器の役割と機能は下表の通りです。

表 2.2.2.4-1 ダッシュボードシステム構成

項目	装置名	数量	設置形態	調達先	役割	機能
ダッシュボードシステム	ダッシュボードサーバー	1	固定	TVSnext	ダッシュボード画面の生成	IP カメラ、気象情報、AI 情報、AIS 情報を取得し、画面を生成する
	表示用 PC	2	固定	TVSnext	ダッシュボード画面の表示	ダッシュボード画面の表示
	ENC	1	固定	TVSnext	エンコーダー	HDMI 信号を RTSP へ変換
	SC	1	固定	TVSnext	スキャンコンバーター	PC 表示画面をトリミング

2.2.2.5 AI システム構成

4K カメラからの映像を元に、船舶の傾き、ロープテンション、人物検知、前後左右位置などの解析を行い、異常が確認された際には、警告をダッシュボードに対して出力します。また、4K カメラ映像から港湾内を航行中の船舶の位置情報を検出し、ダッシュボードに対して出力します。

システム構成イメージを下図に示します。

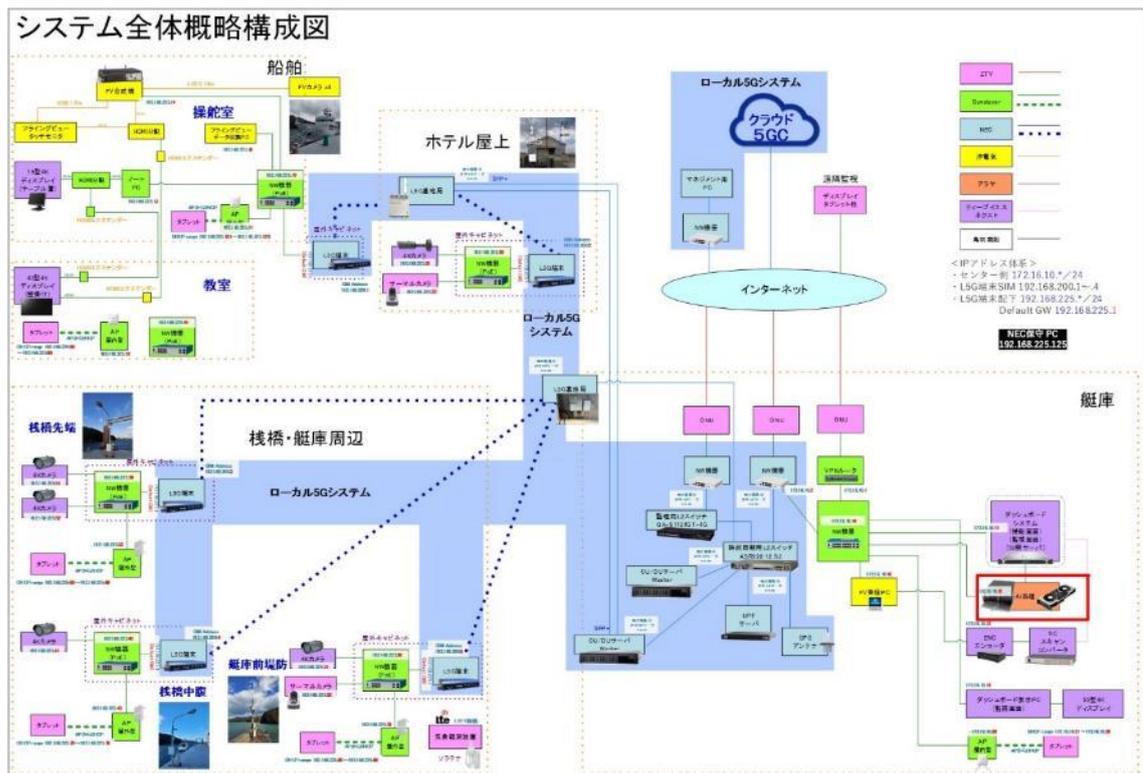


図 2.2.2.5-1 システム構成イメージ (AI 解析) (赤枠部)

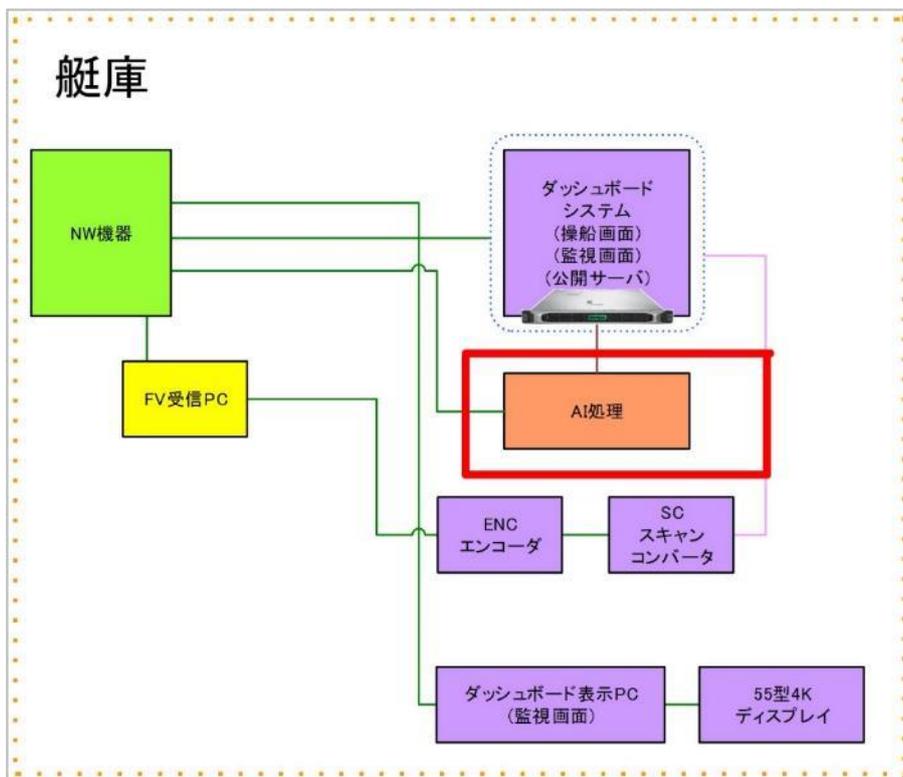


図 2.2.2.5-2 システム構成イメージ (AI 解析) (赤枠部抜粋)

AI 解析装置は、AI 解析サーバから構成され、解析信号をダッシュボードに対して出力します。各装置の役割と機能は下表の通りです。

表 2.2.2.5-1 AI システム構成

項目	装置名	数量	設置形態	調達先	役割	機能
AI 解析サーバ	DeepLearningBox	1	固定	ジーデップ アドバンス	AI 解析	AI 解析を行う

2.2.2.6 気象観測装置

港湾内の風速・風向等、気象データをダッシュボードシステムへ配信するための気象観測装置を艇庫・棧橋周辺に設置しました。観測データはダッシュボード上に表示されます。観測データはキャリア LTE 網を通じてクラウドネットワークより取得します。

観測出来る気象データは下表の通りです。

表：2.2.2.6-1 観測出来る気象データ

項目	単位
測定日時	yyyy/mm/dd hh:mm:ss
風速	m/s
風向	度（北を起点とした時計回り 360 度表記）
最大瞬間風速	m/s
最大瞬間風速の風向	度（北を起点とした時計回り 360 度表記）
気温	℃
湿度	%
気圧	hPa
照度	lx
1 分降雨量	mm/h
10 分降雨量	mm/h
紫外線 A (UV-A)	W/m ²
紫外線 B (UV-B)	W/m ²



図 2.2.2.6-1 気象観測装置画面

2.3 システム機能・性能・要件

2.3.1 システム全体の性能・要件

本実証の無線区間及びシステム全体として必要とされる通信性能において、艇庫の基地局と、ホテル屋上の基地局における通信性能を以下に示します。

表 2.3.1-1 艇庫の基地局において要求される通信性能

項番	送信データ	送信元	送信先	用途	通信性能		伝送遅延
					UL	DL	
1	4K カメラ映像	棧橋 4K カメラ	監視室	—	40 Mbps (5 Mbps x 4 台×2 ストリーム)	—	0.1 秒
2		映像配信サーバ	船舶 (大型 4K モニタ)	操船判断 (他船位置確認)	—	20 Mbps (20 Mbps x 1 台)	0.1 秒
3			船舶操舵室 (タブレット端末)	操船判断 (他船位置確認)	—	10 Mbps (10 Mbps x 1 台)	0.1 秒
4			監視室	操船者支援 傾き確認 不審者対処	—	—	—
5			棧橋 (タブレット端末)	現地/映像比較	—	10 Mbps (10 Mbps x 1 台)	0.1 秒
6	船上 FV 映像	船舶	監視室	操船支援	10 Mbps (10 Mbps x 1 台)	—	0.1 秒
合計					50 Mbps	40 Mbps	—

表 2.3.1-2 ホテル屋上の基地局において要求される通信性能

項番	送信データ	送信元	送信先	用途	通信性能		伝送遅延
					UL	DL	
1	棧橋付近以外の船上 FV 映像	船舶	監視室	操船支援	10 Mbps (10 Mbps x 1 台)	—	0.1 秒
2	4K カメラ映像	ホテル屋上 4K カメラ	映像配信サーバ	—	10 Mbps (5 Mbps x 1 台×2 ストリーム)	—	0.1 秒
3		映像配信サーバ	船舶 (大型 4K モニタ)	操船判断 (他船位置確認)	—	20 Mbps (20 Mbps x 1 台)	0.1 秒
4			船舶操舵室 (タブレット端末)	操船判断 (他船位置確認)	—	10 Mbps (10 Mbps x 1 台)	0.1 秒
5			監視室	操船支援	—	—	—
合計					20 Mbps	30 Mbps	—

今回の実証環境においてカメラからの映像伝送および、ダッシュボードへの映像を含む情報伝送に必要な1基地局あたりの最大スループットは上り50Mbps、下り40Mbpsを想定しました。(表2.3.1-1参照)

また、今回設置するローカル5G基地局と端末間のスループット性能は上り64Mbps、下り689Mbpsとなり、実証に必要な帯域を確保できております。(表2.2.2.1-6参照)

遅延性能0.1秒については、ローカル5G基地局と端末間の遅延時間になります。

ローカル5G基地局と端末間における仕様上の遅延時間性能は25msとなりますが、他の設備との接続箇所までのバッファを考慮して伝送遅延時間を0.1秒としました。

実証実施時に伝送遅延の所要性能(0.1秒)が実現できなかった場合の分析の実施をWBSに追加します。

5Gには、利用シナリオとして、高速・大容量化(eMBB)、超多数端末接続(mMTC)及び超低遅延・超高信頼性(URLLC)が存在し、URLLCは、そのうちの一つです。そして、各々の利用シナリオには、異なる目標値が定められており、3GPP TR 38.913では、例えば、伝送遅延(User plane latency)については、eMBBでは4msec、URLLCでは0.5msecとなっています。

本開発実証は、URLLCに関する実証を行うものではないため、「1ミリ秒程度」は目標値とならないと考えております。なお、eMBBやmMTCに関する実証でもないため、伝送遅延に関して標準規格等により予め定められた目標値も存在しないと考えます。

システム全体につきましては船舶事業者へのヒアリングによる許容遅延時間(表4.2-2、表4.2-3参照)を決定しております。

海上というこれまでに実績のない環境での運用となること、また、気象条件等によるローカル5Gの電波伝搬の影響についても実証結果を通じて評価注視していくこととなるため、今回の実証で海上および船上でのローカル5G活用の指標となるデータを収集し取り纏めを行いました。

2.3.1.1 ローカル 5G システム機器

ローカル 5G 無線機器 (Sub6) における、各装置の機能および性能諸元を以下に示します。

- UPF



図 2.3.1.1-1 UPF 外観

表 2.3.1.1-1 UPF 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 43.7(h) x 434.0(w) x 381.0(d) mm (1U)	
質量	約 7.43kg	
電源	AC120V, 50/60Hz	
消費電力	Max.311W, Typ.206.5W	
冷却方式	FAN 強制空冷	
運用温度	0℃ ~ 45℃	
運用湿度	5 ~ 90%RH (結露しないこと)	
Ether ポート	4 ports x 1GbE RJ45 x 1 2 ports x 10GbE SFP+ x 1	

- CU/DU



図 2.3.1.1-2 CU/DU 外観

表 2.3.1.1-2 CU/DU 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 87(h) x 446(w) x 711(d) mm (2U)	
質量	約 30kg	
電源	AC120V, 50/60Hz	
消費電力	Max.500W	
運用温度	10℃ ~ 35℃	
CPU	2 x Intel Xeon Gold 6230R	2.1G, 26C/52T
メモリ	512GB (16 x 32GB RDIMM)	
HDD/SSD	2 x 480GB SSD, RAID	
Network	4 ports x 1GbE RJ45 x 1 2 ports x 10GbE SFP+ x 4	
I/O	2 x USB2.0 port 3 x USB3.0 port	

- RU



図 2.3.1.1-3 RU 外観

表 2.3.1.1-3 RU 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 299(h) x 250(w) x 81(d) mm (電源ケーブル除く)	
質量	約 9kg 以下	
電源電圧	AC100/200V, 50/60Hz	
消費電力	最大 270VA	
運用温度	-20℃ ~ +50℃	
防塵・防水	IPX4	
無線アクセス方式	OFDMA	
対応周波数 帯域	4.8 ~ 4.9GHz (n79)	
送信電力 (空中線電力)	33.6dBm / Port	
アンテナタイプ	アンテナ分離型	工事設計認証で申請済みのアンテナを接続
Interface	OPT Interface : SFP+ (10 Gbps) x 1 FG 端子 : トルクスネジ(M5) x 1 AC 電源 : 防水コネクタ x 1 ANT Interface : N 型ジャック x 2	
Fronthaul Split Option	Lower Layer Split (Option 7-2x)	O-RAN 準拠
チャンネル帯域幅	100MHz	

- セクタアンテナ



図 2.3.1.1-4 セクタアンテナ外観

表 2.3.1.1-4 セクタアンテナ諸元

諸元・動作環境条件等		内容	備考
周波数帯域		4600-5000MHz	
偏波面		V/H 偏波	
定在波比		1.5 以下	使用周波数帯域内において
利得		17.5dBi 以上	初期チルト時
水平面内指向性		55°±10°	3db 半値角
垂直面内指向性		7°±1°	3db 半値角
ビームチルト	初期チルト	10°	
	可変範囲	0.5°ステップで±5°	V/H 偏波同時可変
RET		脱着式 RET 内蔵、AISG ver.2.0 実装	
RET 部コネクタ		AISG2.0 準拠	
耐電力		1 端子あたり 120W	
入出力インピーダンス		50Ω	公称値
耐風速		75m/s	
RF 入出力端子		N・J×2 個	
質量		3.8kg 以下	
寸法		φ105×550mm	コネクタ除く

- L3SW



図 2.3.1.1-5 L3 Switch 外観

表 2.3.1.1-5 L3 Switch 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 43(h) x 165(w) x 210(d) mm	
質量	約 1.2kg	
電源	AC100±10%, 50/60Hz±5%	
消費電力	Max.36VA(19W)	
冷却方式	FAN 強制空冷	
運用温度	0℃ ~ 45℃	
運用湿度	90%RH 以下 (結露しないこと)	
Ether ポート	10/100/1000BASE-T x 10	

- L2SW



図 2.3.1.1 6 L2 Switch 外観

表 2.3.1.1-6 L2 Switch 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 44(h) x 444.5(w) x 286.54(d) mm (1U)	
質量	約 6kg	
電源	AC100-240V, 50/60Hz	1+1 Redundancy
消費電力	Max.150W, Typ.130W	
冷却方式	FAN 強制空冷	
運用温度	-40 ~ 70℃ @ 高度 300m	
運用湿度	5% ~ 95%RH (結露しないこと)	
Ether ポート	4 x SFP+, 4 x SFP, 8 x RJ45(1Gbps/PoE)	
同期	PTP / IEEE1588v2 (G.8275.1 Profile)を使用	GPS アンテナ接続によりグラウンドマスタとして動作

- GPS アンテナ



図 2.3.1.1-7 GPS アンテナ外観

表 2.3.1.1-7 GPS アンテナ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	H126 x 81 mm	
質量	0.3kg	
アンテナ利得	3.5 dBiC	
アンプ利得	40dB	
コネクタ種別	N Female	
運用温度	-40 °C ~ 85 °C	

- DTU



図 2.3.1.1-8 DTU 外観

表 2.3.1.1-8 DTU 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 24.8(h) x 125(w) x 77.9(d) mm	
質量	380g 以下	本体のみ
電源電圧	入力 : AC100-240V、出力 : DC12V	DC5-16V 対応
消費電力	Max.20W	
運用温度	-10 °C ~ +50 °C	
対応周波数 帯域	<ul style="list-style-type: none"> ・ 4G band : 1/3/8/18/19/26/28/39/41/42 ・ 5G band : n77/n78/n79 	
Interface	<ul style="list-style-type: none"> ・ 10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T RJ-45 x 2 	

2.3.1.2 フライングビュー機器

フライングビュー機器における、各装置の機能および性能諸元を以下に示します。

- フライングビュー本体



図 2.3.1.2-1 フライングビュー外観

表 2.3.1.2-1 フライングビュー諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 75(h) x 360(w) x 230(d) mm	
質量	7kg 以下	本体のみ
電源電圧	12/24VDC	
消費電力	45W (動作時) / 2.6W (待機時)	平均消費電力、 カメラ 4 台
運用温度	-30℃ ~ +60℃	
防水・防塵	IP66	
カメラ入力	4ch	専用カメラ (HD)
モニター出力	1ch	専用モニタ
通信	WLAN/LAN	
録画	俯瞰映像録画/自由視点録画	

- カメラ

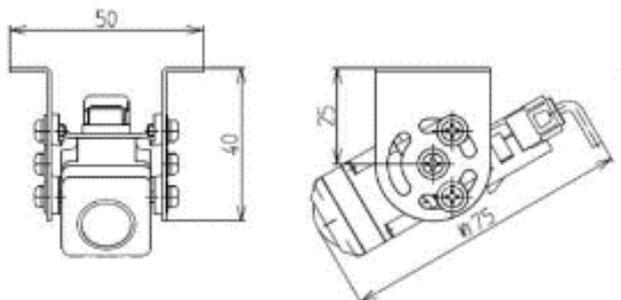


図 2.3.1.2-2 カメラ外観 (取付金具含む)

表 2.3.1.2-2 カメラ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 28.4(h) x 23(w) x 23(d) mm	
運用温度	-30℃ ~ +85℃	
防水・防塵	IP67	
解像度	HD (1280x800)	
画角	水平 192.8°/垂直 129.8°	
インターフェース	FPD-LinkIII	

- 受信装置



図 2.3.1.2-2 受信装置外観

表 2.3.1.2-3 受信装置諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
映像 OS	Windows10	
モニター	10.1 型 WUXGA	
俯瞰映像表示	最大 2 視点	
遠隔視点操作	あり	
装置状態管理	あり	

2.3.1.3 4K カメラ機器

4K カメラ機器における、各装置の機能および性能諸元を以下に示します。

- 4K カメラ



図 2.3.1.3-1 4K カメラ外観

表 2.3.1.3-1 4K カメラ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
電源	PoE(IEEE802.3af, Class3), 24VAC, 12VDC	
消費電力	PoE: Max 12.95W, typical 11.77W 12VDC:Max 11.55W, typical 10.45W 24VAC:Max 14.08W, typical 12.43W	
運用温度	-40℃ ~ 60℃	
最大ビデオ解像度	4072(H)x3046(V)	
最大フレーム/秒	H.265/H.264: Max. 20fps@4000x3000, Max. 30fps@4096x2160	

2.3.1.4 ダッシュボードシステム機器

ダッシュボードシステムにおける、各機器の機能および性能諸元を以下に示します。

- ダッシュボードサーバー



図 2.3.1.4-1 ダッシュボードサーバー外観

表 2.3.1.4-1 ダッシュボードサーバー諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 195(H) x 440(W) x 480(D) mm	
質量	約 25kg	
電源	AC100V, 50/60Hz	
消費電力	Max.350W	
CPU	Intel Xeon スケーラブルプロセッサ	
メモリ	32GB	
HDD/SSD	2 x 480GB SSD, RAID	
Network	2 ports x 1GbE RJ45 x 1	

- 表示用 PC



図 2.3.1.4-2 表示用 PC 外観

表 2.3.1.4-2 表示用 PC 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 22.8(h) x 359.5(w) x 238(d) mm	
質量	約 1.95kg	バッテリー含む
電源	AC100-240V	
消費電力	最大**W	
運用温度	5 °C ~ +35 °C	
運用湿度	20% ~ 80%RH (結露しないこと)	
OS	Windows10 Pro	
CPU	インテル(R) Core(TM) i7 プロセッサ	
メモリ	16GB	
GPU	NVIDIA GeForce GT730 以上	
NIC	1GbE RJ45 x 1	

- ENC (エンコーダ)



図 2.3.1.4-3 ENC 外観

表 2.3.1.4-3 ENC 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 150(h) x 82(w) x 40(d) mm	
質量	約 0.6kg	
電源	DC 12V2A	
消費電力	約 9.6W	

- SC (スキャンコンバーター)



図 2.3.1.4-4 SC 外観

表 2.3.1.4-4 SC 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 422(h) x 44(w) x 300(d) mm	
質量	約 5.2kg	
電源	AC 90V ~ AC 250 V	
消費電力	最大 40W	

AI 処理部

AI 処理部は、船舶、棧橋艇庫周辺、および、ホテル屋上がそれぞれ備えるカメラ映像を映像サーバから取り込み、AI 画像認識に基づく港湾・船舶の状況を監視・観測するための処理を行い、処理結果をダッシュボードシステムに送信する機能を備えます。

AI 処理部は、各カメラからの映像を映像サーバからのネットワークストリームデータ受信し、所定の監視・観測タイミングに応じて AI 処理を行います。具体的には、AI 処理部と映像サーバとの映像転送は RTSP (Real Time Streaming Protocol) を使用します。RTSP とは、TCP/IP ネットワーク上で音声や動画などのストリーミング伝送を行うための制御データの送受信をするプロトコル (通信手順) の一つであり、映像サーバに蓄積し各カメラからの映像をリアルタイムな映像ストリームとして取得します。

AI 処理部のハードウェア構成を下図と下表に示します。AI 処理部は、通常のシステム開発で用いるワークステーションに AI 処理を専用に行う GPU (Graphic Processing Unit) カードを備えた構成とします。CPU (Central Processing Unit) 性能、および AI 処理を行う GPU カードは、本検討で設置する各カメラ映像に対して、AI 画像認識処理を所定の観測・監視時間 (例えば 10 分間隔) で実行するのに必要な性能を備えたものを使用しました。なお、本 AI 処理部は AI 処理実行用のハードウェアのみを備える構成とし、データストレージ等の機能 (RAID ストレージ) は備えないものとした。

表 2.3.1.5-1 AI 処理部ハードウェア構成主要諸元

項目	仕様	備考
寸法	約 W344 x L423 x H505mm	
質量	約 18.1kg	
電源	高効率高負荷対応 静音電源 100V 入力	
消費電力	Max.1500W	
CPU	Core i9 10980XE 3.0GHz	18core/36thread
Memory	128GB DDR4-3200 Quad-Channel	32GBx4 構成
SSD	1.9TB	MTBF200 万 h
GPU カード	Geforce RTX 3090 x 2	24GB x 2



図 2.3.1.5-1 AI 処理部構成外観（筐体、GPU カード）

ワークステーションで構成する AI 処理部の機能構成を下図に示します。AI 処理部は、主に LAN で構成するデータ送受信 IF と、主に GPU 部分で処理を行う AI 処理コア部と、主に CPU 部分とで構成します。データ送受信 IF は、映像サーバから送信される映像ストリームの受信する機能、受信した映像ストリームをフレーム単位での画像切り出しを行う機能、および、AI 処理部の入力となる画像データを生成する機能を備えます。また、AI 処理部の各モデルの出力結果に基づき得られた処理結果をダッシュボードへ送信します。AI 処理コア部は、AI 画像認識に基づくアルゴリズムの処理を組み合わせることで港湾管理支援を行う各種 AI アルゴリズム機能を備えます。判定処理部は、AI 処理コア部で実行した AI 画像認識結果に基づき港湾・船舶の状態を判断・決定する機能を備えます。

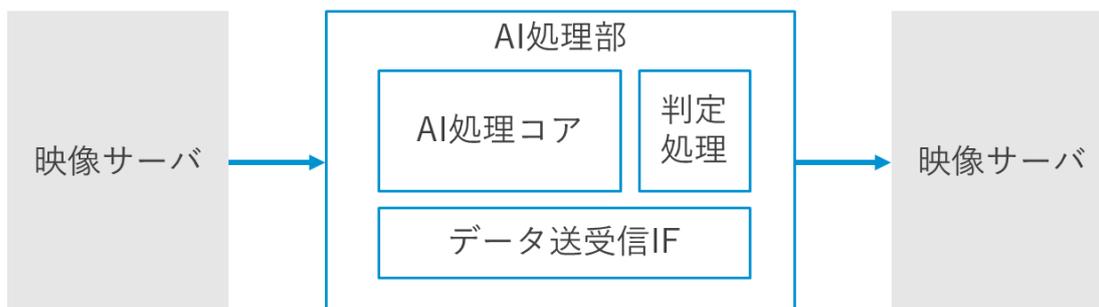


図 2.3.1.5-2 AI 処理部機能構成

2.3.1.5 ネットワークシステム機器

ネットワークシステム機器における、各装置の機能および性能諸元を以下に示します。

- VPN ルータ



図 2.3.1.6-1 VPN ルータ外観図

表 2.3.1.6-1 VPN ルータ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 42(h) x 220(w) x 239(d) mm	
質量	約 1.5kg	
電源	AC100~120V, 50/60Hz	
消費電力	Max.14.5W(28VA), 0.28A	
運用温度	0℃ ~ 45℃	
CPU	PowerPC	
メモリ	Flash ROM 32MB, RAM 256GB	
Network	8 ports x 1GbE RJ45 L2 スイッチ	
VPN 機能	IPsec (VPN 機能 : NAT トラバースアル, XAUTH) + AES128/256, 3DES, DES +IKE/IKEv2,PPTP, L2TP/IPsec, L2TPv3, L2TPv3/IPsec, IPIP トンネル	

- スイッチ (栈橋・艇庫、ホテル)



図 2.3.1.6-2 スイッチ外観図

表 2.3.1.6-2 スイッチ (栈橋・艇庫、ホテル) 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	44(h) x 210(w) x 259.7(d) mm	
質量	約 1.9kg 以下	
電源	AC100~120V, 47~63Hz	
消費電力	Max.165W 以下(PoE 7供給電時)	
運用温度	0℃ ~ 50℃	
CPU メモリー	128MB	
Network	10 ports x 1GbE RJ45	

- アクセスポイント（屋外型）



図 2.3.1.6-3 アクセスポイント（屋外型）外観図

表 2.3.1.6-3 アクセスポイント（屋外型）諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	280(h) x 220(w) x 65(d) mm	
質量	1336g (アンテナ・突起部除く)	
電源	PoE IEEE802.3at 対応	
消費電力	Max. 18.3W (-30℃~55℃) 13.84W (0℃~55℃)	
運用温度	-30℃ ~ 55℃	
無線性能	IEEE802.11ac/n/a/g/b	

- アクセスポイント（監視室）



図 2.3.1.6-4 アクセスポイント（監視室）外観図

表 2.3.1.6-4 アクセスポイント（監視室）諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	200(h) x 175(w) x 45(d) mm	
質量	約 800g (本体のみ)	
電源	PoE IEEE802.3at 対応	
消費電力	Max. 18W	
運用温度	0℃ ~ 50℃	
無線性能	IEEE802.11ac/n/a/g/b	

- タブレット



図 2.3.1.6-5 タブレット外観図

表 2.3.1.6-5 タブレット諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	7.5(h) x 250.6(w) x 174.1(d) mm	
質量	490g	
運用温度	0℃ ~ 35℃	
無線性能	IEEE802.11ac/n/a/g/b	

- PC



図 2.3.1.6-6 PC 外観図

表 2.3.1.6-6 PC 諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	約 19(h) x 359(w) x 226(d) mm	
質量	約 2.04kg	バッテリー含む
電源	AC100-240V	
消費電力	最大 90W	
運用温度	5℃ ~ +35℃	
運用湿度	20% ~ 80%RH (結露しないこと)	
OS	Windows10 Pro	
CPU	インテル(R) Core(TM) i7 プロセッサ	
メモリ	16GB	
内蔵無線 LAN	IEEE802.11ax (Wi-Fi 6)	

- HDMI 分配器



図 2.3.1.6-7 HDMI 分配器外観図

表 2.3.1.6-7 HDMI 分配器諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	25(h) x 140(w) x 92.5(d) mm	
質量	332g	
消費電力	5V2A	
運用温度	5℃ ~ 40℃	
運用湿度	0% ~ 80%RH (結露しないこと)	

2.3.1.6 気象観測装置

気象観測装置における機能および性能諸元を以下に示します。

- 気象観測装置「ソラテナ」



図 2.3.1.7-1 気象観測装置「ソラテナ」外観

表 2.3.1.7-1 気象観測装置諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	直径最大部：約 14cm 高さ：20cm	
質量	約 1kg	
通信	IoT-SIM	
電源電圧	AC100V (DC5V/太陽光パネルなど)	

2.3.1.7 サーマルカメラ（追加提案）

追加提案項目で使用するサーマルカメラ機器における、各装置の機能および性能諸元を以下に示します。

- 赤外線サーマルカメラ



図 2.3.1.8-1 サーマルカメラ外観図

表 2.3.1.8-1 サーマルカメラ諸元

諸元・動作環境条件等	内容	備考
寸法	365.5(h) x 254(w)	
質量	6.75kg	
運用温度	-25℃ ~ 55℃	
塩水噴霧	IEC60945	
解像度	640 x 512	
無線性能	IEEE802.11ac/n/a/g/b	



図 2.3.1.8-2 サーマルカメラ映像

2.4 免許及び各種許認可

本調査検討を進めるにあたり、取得した免許の詳細について以下に示します。

2.4.1 実験試験局免許概要

実験試験局免許とは、総務省令電波法施行規則第4条第1項第12号にて「科学若しくは技術の発達のための実験、電波の利用の効率性に関する試験又は電波の利用の需要に関する調査を行うために開設する無線局であって、実用に供しないもの」と定義されており、こうした目的のために開設し、実験や試験、調査を行うことができる免許である。

また、本調査検討において、実験試験局免許を取得した事由を以下に示します。

● 電波伝搬モデルの精緻化

ローカル 5G システムのエリア構築に関する技術の確立と他システムとの干渉調整を柔軟にするため、ローカル 5G の適切な技術基準等の改定に向けた検討を行います。

電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）（以下、審査基準）において、4.6GHz から 4.9GHz までの周波数を使用する場合における伝搬等に関する計算式が示されているが、その改訂に資する検討として、海上において移動局が利用され、電波がより遠くに届きやすい利用環境において、電波伝搬モデルの精緻化を行います。

上記を踏まえ、本調査検討においては、港湾内のローカル 5G によるエリア構築の実現及び遠隔作業支援実現に向けた電波伝搬特性などの検証のため、4.6GHz から 4.9GHz 帯の実験試験局免許を取得しました。

タスク	2021年7月				8月				9月				10月				11月				12月				2021年1月					
	1W	2W	3W	4W	1W	2W	3W	4W	1W	2W	3W	4W	1W	2W	3W	4W	1W	2W	3W	4W	1W	2W	3W	4W	1W	2W	3W	4W		
L5G干渉調整要否確認					★東海総通へ事業計画提出・干渉調整の要否確認																									
L5Gシステム設計					現地調査、設置位置・指向方向協議等																									
実験計画書作成									実験計画書作成、総通・本省チェック、内容修正																					
実験試験局免許申請													★ドラフト版提出				★内容の仮承諾受領													
電波発射、実験開始																	申請書作成、総通・本省チェック、内容修正								★ドラフト版提出				★本提出	★免許取得
																									結合テスト・技術実証・課題実証				★電波発射	

図 2.4.1-1 実験試験局申請スケジュール

表 2.4.1-1 4.7GHz 帯免許（基地局・端末）申請概要

基地局（艇庫）

免許人の氏名又は名称	株式会社 ZTV
免許人の住所	三重県津市あのみつ台 4-7-1
無線局の種類	実験試験局
免許の番号	海実第 4172 号
免許の年月日	令 4 年 1 月 7 日
免許の有効期限	令 4 年 3 月 31 日まで
識別信号	ゼットティヴィとばしかたかみちょうろーかるふあいぶじーじっけん
無線設備の設置場所又は移動範囲	三重県鳥羽市堅神町崎山 61-1
電波の型式	99M9X7W
周波数及び空中線電力	4849.98MHz 4.58W

基地局（旅荘 海の蝶）

免許人の氏名又は名称	株式会社 ZTV
免許人の住所	三重県津市あのみつ台 4-7-1
無線局の種類	実験試験局
免許の番号	海実第 4173 号
免許の年月日	令 4 年 1 月 7 日
免許の有効期限	令 4 年 3 月 31 日まで
識別信号	ゼットティヴィいせしふたみちょうまつしたろーかるふあいぶじーじっけん
無線設備の設置場所又は移動範囲	三重県伊勢意思二見町松下 1693-1
電波の型式	99M9X7W
周波数及び空中線電力	4849.98MHz 4.58W

端末局

免許人の氏名又は名称	株式会社 ZTV
免許人の住所	三重県津市あかつ台 4-7-1
無線局の種別	実験試験局
免許の番号	海実第 4174 号～海実大 4178 号
免許の年月日	令 4 年 1 月 7 日
免許の有効期限	令 4 年 3 月 31 日まで
識別信号	ゼットティヴィとばしょうせんろーかるふあいぶじーじっけん 1 ～5
無線設備の設置場所又は移動範囲	常設場所 三重県鳥羽市堅神町崎山 61-1 移動範囲 三重県鳥羽市池ノ浦湾周辺（港及び海上を含む）
電波の型式	99M9D1A 99M9D1B 99M9D1C 99M9D1D 99M9D1F 99M9D1X 99M9D7W 99M9G1A 99M9G1B 99M9G1C 99M9G1D 99M9G1F 99M9G1X 99M9G7W
周波数及び空中線電力	4849.98MHz 4.58W

● 機器諸元

ローカル 5G システムの諸元、送信電力算出式について以下に示します。

表 2.4.1-2 RU 諸元

項目	諸元
局数	2
周波数	中心周波数 4849.98MHz、4,800~4,900MHz
帯域幅	100M
伝搬の型式	X7W
変調方式 (UL)	QPSK、16QAM、64QAM
変調方式 (DL)	QPSK、16QAM、64QAM、256QAM
空中線電力 (最大送信出力)	33.6dBm
設置場所	三重県鳥羽市堅神町 鳥羽商船高等専門学校艇庫 三重県伊勢市二見町松下 1693-1 旅荘海の蝶屋上
移動範囲	池の浦湾内

表 2.4.1-3 セクタアンテナ諸元

項目	諸元
周波数帯域幅	4,600-5,000MHz
偏波面	V/H 偏波
利得	17.5dBi 以上
水平面内指向性	55°±10°
垂直面指向性	7°±1°

本実証に伴う電波伝搬損失の根拠を以下に示します。

電波伝搬モデルでは、基地局と伝搬損失を算定する地点との距離 d_{xy} によって、以下の①～③の3つの場合に分けられており、①の区間では、伝搬損失が伝搬距離の2乗に比例し、③の区間では、伝搬損失が伝搬距離の約3.5乗に比例します。

- ① d_{xy} が 0.04km 以下
- ② d_{xy} が 0.04km を超えて 0.1km 未満
- ③ d_{xy} が 0.1km 以上

一方、海面における電波伝搬では、遮蔽物が殆どなく、基地局から移動局に直接波と海面における反射波が到達するため、大地反射の2波モデルに近い伝搬損失の距離特性となることが想定されます。大地反射の2波モデルでは、ブレイクポイントまでの距離 D_b は、基地局アンテナ高 h_t 、移動局高 h_r 、及び波 λ より、以下の式により計算ができる。

$$D_b = 4 h_t \cdot h_r / \lambda$$

図 2.4.1-1 に審査基準（開放地）と大地反射の2波モデルに基づく伝搬損失の距離特性の計算例（艇庫基地局を想定）を示します。

精緻化対象のパラメータ K においては、40m を超える範囲で、審査基準と大地反射の2波モデルの伝搬損失の値の差を反映させることを想定します。

また、精緻化対象のパラメータ K には、調整対象区域を定めるための干渉電力の計算の際に、さらに 3dB を加えることを想定します。

直接波と海面における反射波が存在するとき、干渉電力は、両者の位相差によって強め

合うポイントと弱めあうポイントが存在するが、干渉電力を過小評価して干渉調整を行うと、干渉妨害が生じる恐れがあるため、干渉電力が強くなるポイントを基準とします。

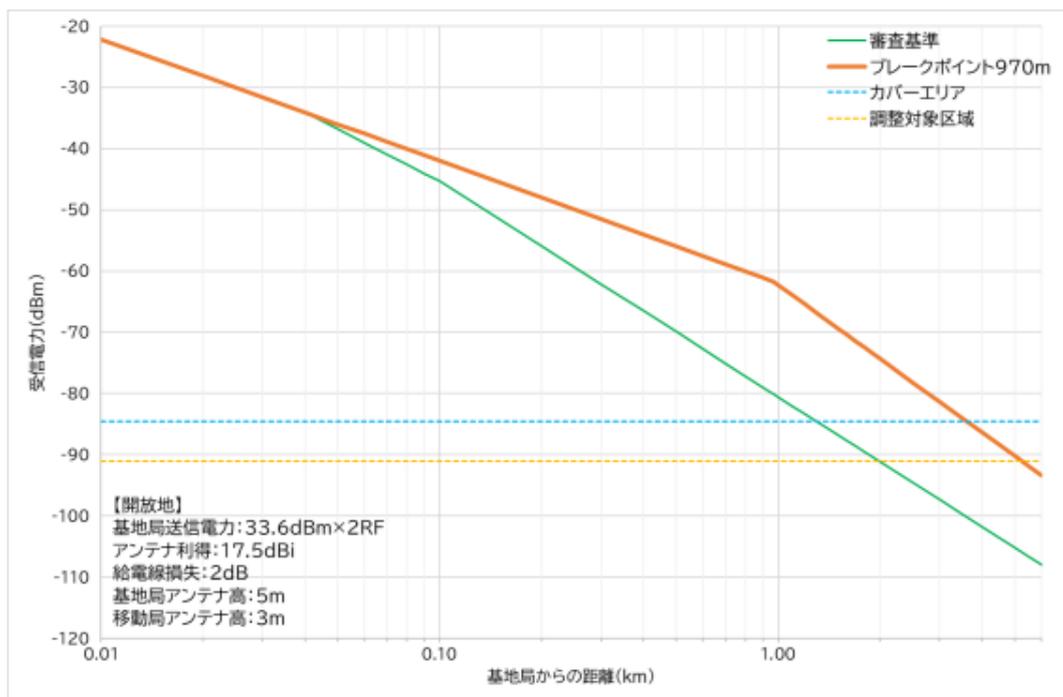


図 2.4.1-2 審査基準と大地反射の2波モデルに基づく伝搬損失距離特性の計算例

2.4.2 道路占用許可

本実証実験では、株式会社 ZTV にてローカル 5G 基地局設置のために必要な光ファイバーケーブルを新設する区間における、道路占用申請及び許可の取得を行いました。道路占用許可受領に当たっては、光ファイバーケーブルを電力柱、NTT 柱へ共架するため共架承諾を対象の電柱所有者から得た上で、該当の道路管理者へ道路占用申請を行い、実証試験開始までに占用許可を受領しております。

上記の他には必要となる各種許認可はございません。

2.5 その他要件

2.5.1 セキュリティ対策

本実証にて使用する基地局、コア設備等のローカル 5G システム機器は、以下の事業者が供給します。なお、基地局は、3GPP の標準化仕様に準拠し、製品提供可能な無線インタフェースを具備します。

表 2.5.1-1 ローカル 5G システム機器の開発供給計画認定に関する情報

認定の日付	令和 3 年 2 月 16 日
開発供給計画認定番号	2021 開 1 総経第 0001 号-1
認定開発供給事業者の名称	日本電気株式会社

本実証環境のローカル 5G システムは、本実証開始前に NEC ラボ環境で検証・評価を行った機器を用いて構築します。なお、ローカル 5G システムと外部のネットワーク (NEC、NEC クラウドコア) の間に VPN (IPsec) を確立することでセキュアな通信を実現します。

また、サプライチェーンリスクに対応するため、ローカル 5G システム機器に日本 (国産)、米国のサプライヤー製品を利用します。

表 2.5.1-2 ローカル 5G システム機器のサプライヤー製品一覧

機器	装置名称	製造者 (国名)	備考
5GC	5G Core	日本電気株式会社 (日本)	
UPF	User Plane Function	日本電気株式会社 (日本)	
CU	Central Unit	日本電気株式会社 (日本)	
DU	Distributed Unit	日本電気株式会社 (日本)	
RU	Radio Unit	日本電気株式会社 (日本)	
DTU	Data Transfer Unit	IDY 株式会社 (日本)	
L3SW	Layer 3 SWitch	日本電気株式会社 (日本)	
L2SW	Layer 2 SWitch	Cisco (米国)	
GPS アンテナ	Global Positioning System Antenna	GPS Source (米国)	

NEC では、ネットワークに対するリスク対策として下記取り組みを進めています。



図 2.5.1-1 NECのネットワークに対するリスク対策

本実証環境のインターネットからのセキュリティについて、VPN ルータにより LAND 攻撃(IP ヘッダーの始点 IP アドレスを偽装した攻撃)や不正なフォーマットの packets を送る攻撃を検出し、期待しない通信を遮断します。不正アクセスを検知した時には、指定したメールアドレスに通知が届くようになります。また、遠隔監視のためのアクセスは VPN (IPsec) 接続のみアクセスを許可し、インターネットから内部ネットワークへのセキュアな通信を実現しました。

また、その他ネットワークへのインターネットからのアクセスに関しても同様に VPN (IPsec) 接続のみアクセスを許可し、セキュアな通信を図り、利用する VPN ルータは、国産のサプライチェーン・マネジメントの管理された製品を選定しました。

公開サーバには、ファイアーウォール機能を有効化し、不正なアクセス防止策を講じます。アクセスポイント経由で無線 (Wi-Fi) 接続する端末につきましては、MAC アクセス制限を設けることで、不正なアクセス防止策を講じました。

2.6 実証環境の運用

2.6.1 ヘルプデスク

・実証開始前

実証参加者等に対するシステム利用に関する研修を実施、適切な方法により、実証目的及び実証内容等の説明を行いました。

・実証期間中

ヘルプデスクを設置し、実証参加者等からの問合せ等に対応するとともに、不具合が発生した場合に備え、迅速な対応体制を整備し、原因を特定し対処します。実証環境に係る不具合や問合せ等は株式会社 ZTV が記録することとし、実証成果の取りまとめにも記載しました。

ヘルプデスクの体制は図 2.6.2-1 の通りです。

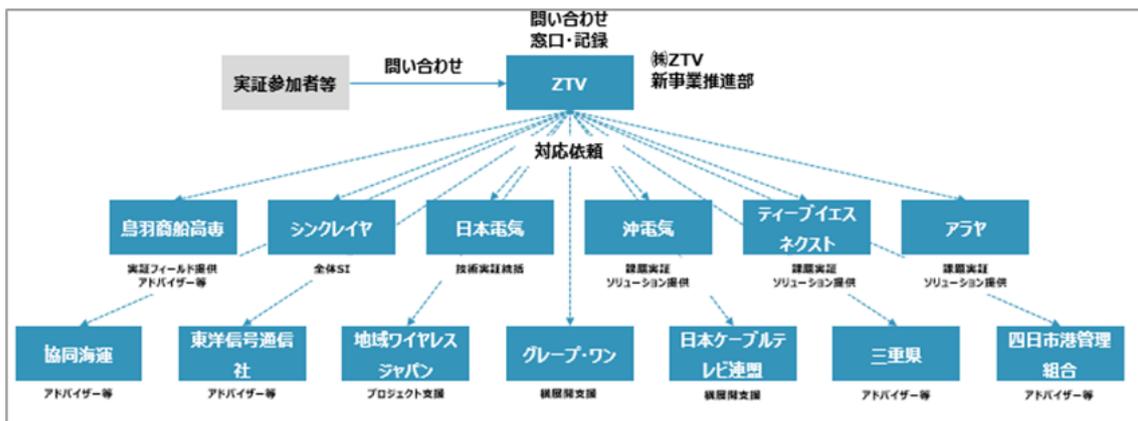


図 2.6.2-1 ヘルプデスク体制図

3. ローカル 5G 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

表 3.1-1 に技術実証の概要を示します。

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	×

様々な分野における利用用途や利用環境で柔軟にローカル 5G システムを構築できるようにすることが期待されている中で、本実証では、港湾内での安全安心な運航を目的とした、船上および陸上からの映像伝送による港湾管理および船舶操船者向けの情報提供のために構築したローカル 5G の実証環境において、以下について実施しました。

- ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定

港湾内における電波伝搬特性の測定を行い、カバーエリア及び調整対象区域のエリア端の確認を行いました。また、カバーエリア内における伝送スループット等の伝送性能の測定を行いました。

- 電波伝搬モデルの精緻化

ローカル 5G システムのエリア構築に関する技術の確立と他システムとの干渉調整を柔軟にするため、ローカル 5G の適切な技術基準等の改定に向けた検討を行いました。電波法関係審査基準（平成 13 年総務省訓令第 67 号）（以下、審査基準）において、4.6GHz から 4.9GHz までの周波数を使用する場合における伝搬等に関する計算式が示されていますが、その改訂に資する検討として、海上において移動局が利用され、電波がより遠くに届きやすい利用環境において、電波伝搬モデルの精緻化を行いました。

なお、実証提案前に、陸上での電波伝搬モデルの精緻化について実施可能性を検討しましたが、実証を行う池ノ浦湾の周囲の陸上では、電波伝搬特性の測定が困難なことから、目標としないこととしました。池ノ浦湾の周囲の陸地には、通行できる道路が殆どなく、真冬の特に寒い時期における電波伝搬特性の測定には危険が伴うことから、陸地での測定は困難と判断しました。

3.2 実証環境

港湾を実証環境としました。具体的には、池ノ浦湾の棧橋及びその周辺の海上（三重県鳥羽市）において実証を行いました。実証環境の概要は、以下の通りです。

- 棧橋と共に、艇庫が設置されており、艇庫に基地局（艇庫基地局）を設置しました。
- また、棧橋から池ノ浦湾の入り口に向かって左側の陸地の上に建っているホテル（旅荘 海の蝶）の屋上にも基地局（ホテル屋上基地局）を設置しました。
- 棧橋の基地局アンテナの近辺に監視カメラ映像送信用のローカル 5G の移動局を設置しました。
- ホテル屋上の基地局アンテナの近辺にも監視カメラ映像送信用のローカル 5G の移動局を設置しました。
- 湾内では船舶が航行し、湾内を航行する船舶のうち、鳥羽丸にローカル 5G の移動局を設置しました。
- 湾内の海面は、日時により潮位変化があり、基地局アンテナの実効的な高さは、潮位に応じて変化しました。
- 移動局が設置された鳥羽丸は、湾内を航行する際に、気象条件による波の影響を受けて、前後左右に揺れることがありました。

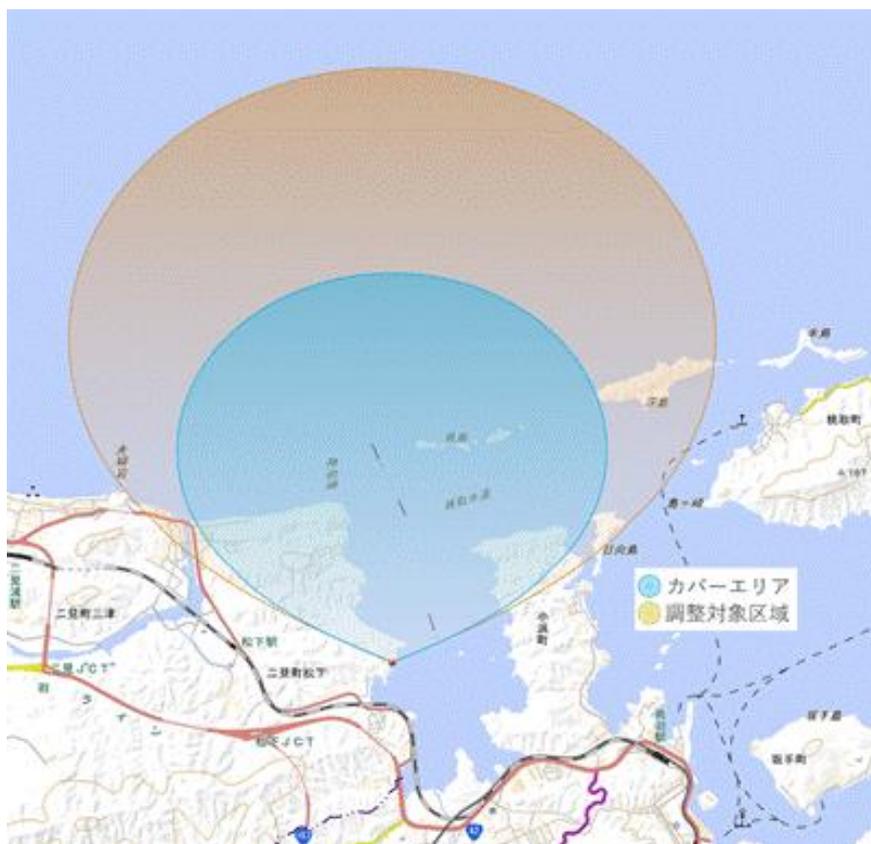
この実証環境は、ローカル 5G を活用した操船支援情報の提供および映像監視による港湾内安全管理を行うシステムを実装する場所であり、また、本実証の成果を横展開する港湾も棧橋や艇庫があり、同様な環境であることから、本提案の実証に最適な環境でした。

図 3.2-1 及び図 3.2-2 に実証環境において、審査基準に基づいて計算した、艇庫基地局及びホテル屋上基地局のカバーエリア及び調整対象区域のイメージ図をそれぞれ示します。また、表 3.2-1 及び表 3.2-2 にそれぞれの計算条件を示します。なお、図 3.2-2 のホテル屋上基地局については、基地局アンテナの設置方向として検討した 2 通りの設置パターンを示します。この 2 通りの設置パターンについて、実施計画の検討段階において、さらに検討を行い、ホテル屋上基地局の基地局アンテナは、池ノ浦湾の北側をカバーするため、図 3.2-2(a)に示すように、湾の外側に向けることとしました。



図 3.2-1 審査基準に基づくカバーエリア及び調整対象区域（艇庫基地局）

国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成



(a) 基地局アンテナを湾の外側に向ける場合



(b) 基地局アンテナを栈橋に向ける場合

図 3.2-2 審査基準に基づくカバーエリア及び調整対象区域 (ホテル屋上基地局)

国土地理院 (URL:<https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成

表 3.2-1 カバーエリア及び調整対象区域の計算条件及び結果 (艇庫基地局)

艇庫基地局	
基地局の空中線電力	33.6dBm/Ant ×2
送信アンテナ利得	17.5dBi
給電線損失※1	2.0dB
アンテナ半値角	55 度
使用する周波数	4849.98MHz
受信アンテナ利得	0.0dBi
基地局アンテナ高※1	5.0m
移動局アンテナ高※1	3.0m
カバーエリア(開放地)※2	最大 1304m
調整対象区域(開放地)※2	最大 1981m

※1 実施計画策定段階における概算値

※2 実施計画策定段階における計算値 (人体損失を含めて計算)

表 3.2-2 カバーエリア及び調整対象区域の計算条件及び結果（ホテル屋上基地局）

ホテル屋上基地局	
基地局の空中線電力	33.6dBm/Ant ×2
送信アンテナ利得	17.5dBi
給電線損失※1	2.0dB
アンテナ半値角	55 度
使用する周波数	4849.98MHz
受信アンテナ利得	0.0dBi
基地局アンテナ高※1	30.0m
移動局アンテナ高※1	3.0m
カバーエリア(開放地) ※2	最大 3605m
調整対象区域(開放地) ※2	最大 5478m

※1 実施計画策定段階における概算値

※2 実施計画策定段階における計算値（人体損失を含めて計算）

図 3.2-3~図 3.2-12 にローカル 5G 基地局と端末の設置場所、設置状況を示します。



図 3.2-3 ローカル 5G 基地局と端末の設置場所 (艇庫)

国土地理院 (URL:<https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成



図 3.2-4 ローカル 5G 基地局と GPS アンテナの設置状況 (艇庫_屋外)



(ア) ラック全体図



ルータ

L 2 SW

A SRサーバ

(イ) ラック上段

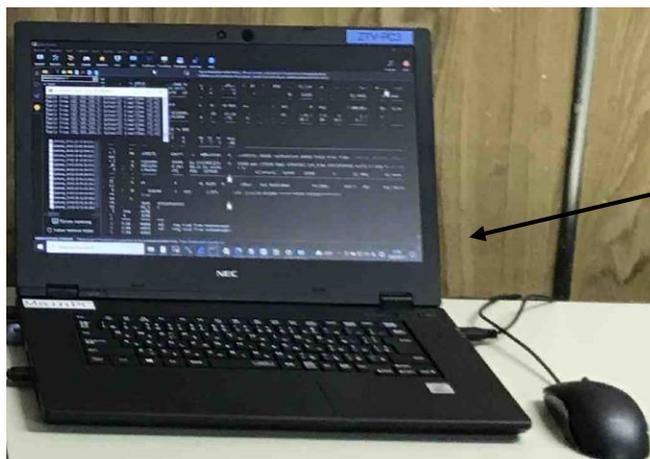


UPF

CU/DUサーバ

CU/DUサーバ

(ウ) ラック下段



監視用PC

(エ) 監視用PC

図 3.2-5 ローカル 5G 基地局と端末の設置状況 (艇庫_屋内)



図 3.2-6 ローカル 5G 基地局と端末の設置場所 (旅荘 海の蝶)

国土地理院 (URL:<https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成



図 3.2-7 ローカル 5G 基地局と端末の設置状況 (旅荘 海の蝶)



図 3.2-8 ローカル 5G 端末設置状況 (鳥羽丸_技術実証で使用端末)



図 3.2-9 ローカル 5G 端末設置状況 (艇庫前堤防)

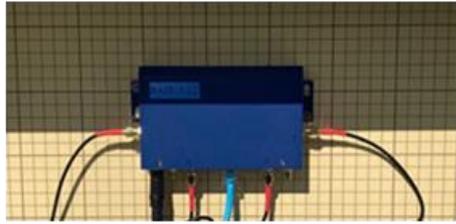


図 3.2-10 ローカル 5G 端末設置状況（栈橋中腹）



図 3.2-11 ローカル 5G 端末設置状況（栈橋先端）



図 3.2-12 ローカル 5G 端末設置状況（旅荘 海の蝶）

図 3.2-13 と図 3.2-14 に本実証で使用するアンテナ（VH65A-3545RTD）の外観図と放射パターンを示します。また表 3.2-3 にアンテナのチルト角、図 3.2-15 に AISG チルト角制御装置、表 3.2-4 に給電線損失と送信アンテナ利得を示します。

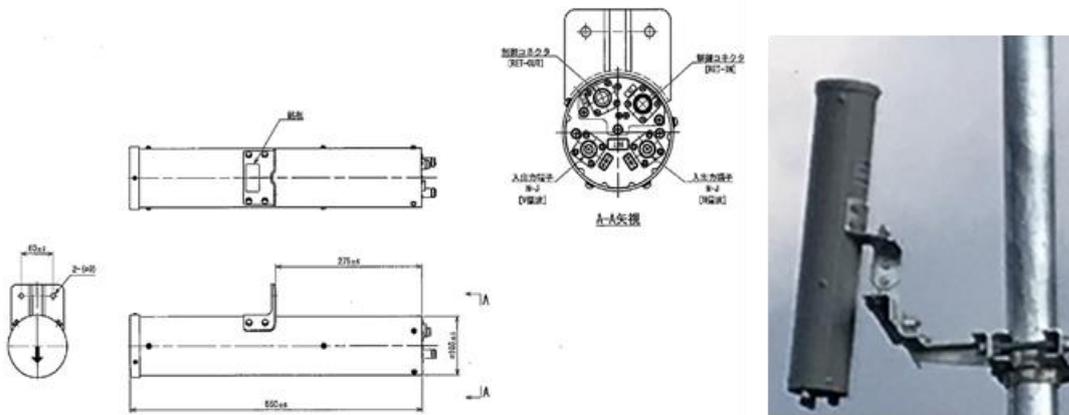


図 3.2-13 アンテナ（VH65A-3545RTD）の外観図

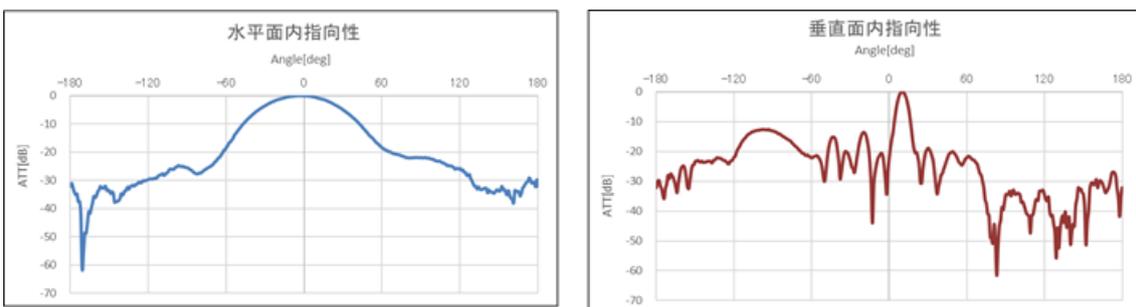


図 3.2-14 放射パターン

表 3.2-3 チルト角

	チルト角	アンテナのチルト角※1	機械チルト※2	電気チルト※3
艇庫基地局	0度	下向き10度	上向き5度	上向き5度
ホテル屋上基地局	下向き4度	下向き10度	上向き5度	上向き1度

※1：初期チルト角

※2：アンテナ金具にて設定するチルト角

※3：AISGチルト角制御装置にて設定を行うチルト角

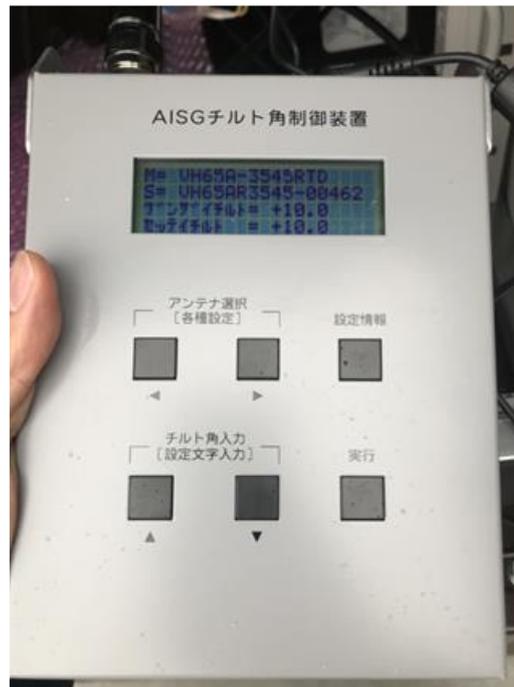


図 3.2-15 AISG チルト角制御装置の外観図（初期チルト 10 度）

表 3.2-4 給電線損失と送信アンテナ利得

	給電線損失	送信アンテナ利得
艇庫基地局	4.4dB	17.5dBi（公称値）
ホテル屋上基地局	1.8dB	17.5dBi（公称値）

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

審査基準に記載されているエリア算出法（以下、エリア算出法）に基づき、基地局ごとにカバーエリア及び調整対象区域の図を作成するとともに、それぞれのエリア端における実際の受信電力を測定しました。その際、当該算出式のカバーエリア及び調整対象区域の閾値と異なっている場合は、それぞれの閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認を行いました。

また、カバーエリア内の 20 以上の測定点において、受信電力及び伝送性能（アップリンク（以下、UL）/ダウンリンク（以下、DL）別の伝送スループット、伝送遅延等）を測定しました。測定の結果、ローカル 5G を用いたソリューションの所要性能を実現できない場合、実測データに基づき必要なローカル 5G を構築する方策（必要な帯域幅及び送信電力等）を導出することとしました。

3.3.1.1 実証目標

3.2 で説明したローカル 5G 実証環境を用いて、カバーエリア及び調整対象区域における受信電力、並びにカバーエリアにおける伝送スループット及び伝送遅延を測定することとしました。伝送スループットと伝送遅延の所要性能は、以下の通りとし、この所要性能の詳細については、表 2.3.1-1 及び表 2.3.1-2 に記載の通りです。

- UL の伝送スループット：50Mbps（艇庫基地局）、20Mbps（ホテル屋上基地局）
- DL の伝送スループット：40Mbps（艇庫基地局）、30Mbps（ホテル屋上基地局）
- 伝送遅延：0.1 秒

表 2.3.1-1 及び表 2.3.1-2 に記載した課題解決システムの所要性能は、伝送スループットと伝送遅延の何れも、ローカル 5G に求められる伝送性能であることから、課題解決システムの所要性能がローカル 5G の所要性能となりました。

3.3.1.2 評価・検証項目

以下の評価・検証を行いました。

- エリア算出法に基づき、基地局ごとにカバーエリア及び調整対象区域の図を作成しました。
- 基地局ごとのカバーエリア及び調整対象区域のエリア端における実際の受信電力を測定しました。
- 当該算出式のカバーエリア及び調整対象区域の閾値と異なっている場合は、それぞれの閾値が実測される基地局からの距離の確認を行いました。
- カバーエリア内の 20 以上の測定点において、受信電力及び伝送性能（UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延等）を測定しました。
- 測定の結果、ローカル 5G を用いたソリューションの所要性能を実現できない場合、

実測データに基づき必要なローカル 5G を構築する方策（必要な帯域幅及び送信電力等）を導出しました。

スループットと伝送遅延の測定では、システム全体ではなく無線伝送部分の性能を測定することとしました。その具体的な方法については、3.3.1.3（評価・検証方法）で説明します。

3.3.1.3 評価・検証方法

以下のように評価・検証を行いました。

(1) エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域の図の作成

エリア算出法に基づき、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々についてカバーエリア及び調整対象区域の図を作成しました。カバーエリアと調整対象区域は、測定ルートとする鳥羽丸の運航ルートに沿って配置した 100m メッシュで作図しました。

基地局及び移動局のアンテナ高は、表 3.3.1.3-1 に示す海面からの高さとして、審査基準に基づくエリア算出法や電波伝搬モデルの精緻化仮説に基づく受信電力の計算等を行いました。

表 3.3.1.3-1 基地局及び移動局のアンテナ高

	海面からの高さ	標高	内訳		
			国土地理院のデータに基づく基地局設置場所の標高	地表から基地局アンテナまでの高さ	鳥羽における潮位表基準面の標高
艇庫基地局	9.4m	-	2.5m	5.7m	-1.156m
ホテル屋上基地局	69.8m	-	26.2m	42.4m	
移動局	9.26m	8.1m	-	-	

(2) カバーエリア及び調整対象区域のエリア端における受信電力の測定

栈橋から池ノ浦湾の内外において定められた鳥羽丸の運航ルートを測定ルートとして、鳥羽丸を航行させて、受信電力の測定を行いました。図 3.3.1.3-1 及び図 3.3.1.3-2 に実施計画策定時の測定ルートとなる鳥羽丸の運航ルートと、審査基準に基づいて計算したカバーエリア及び調整対象区域を重ねて示します。図 3.3.1.3-1 は、艇庫基地局から電波発射した際の鳥羽丸の運航ルートで、方角は真北 343 度、距離は栈橋から 6km です。図 3.3.1.3-2 は、ホテル基地局から電波発射した際の鳥羽丸の運航ルートで、方角は真北 3 度、距離はホテルから 10km です。ホテルから 10km までの運航ルートで調整対象区域のエリア端が確認できない場合は、ホテルから 10km の地点を超えて、測定を行いました。図 3.3.1.3-2 では、例として 15km まで直進する運航ルートを点線で示します。

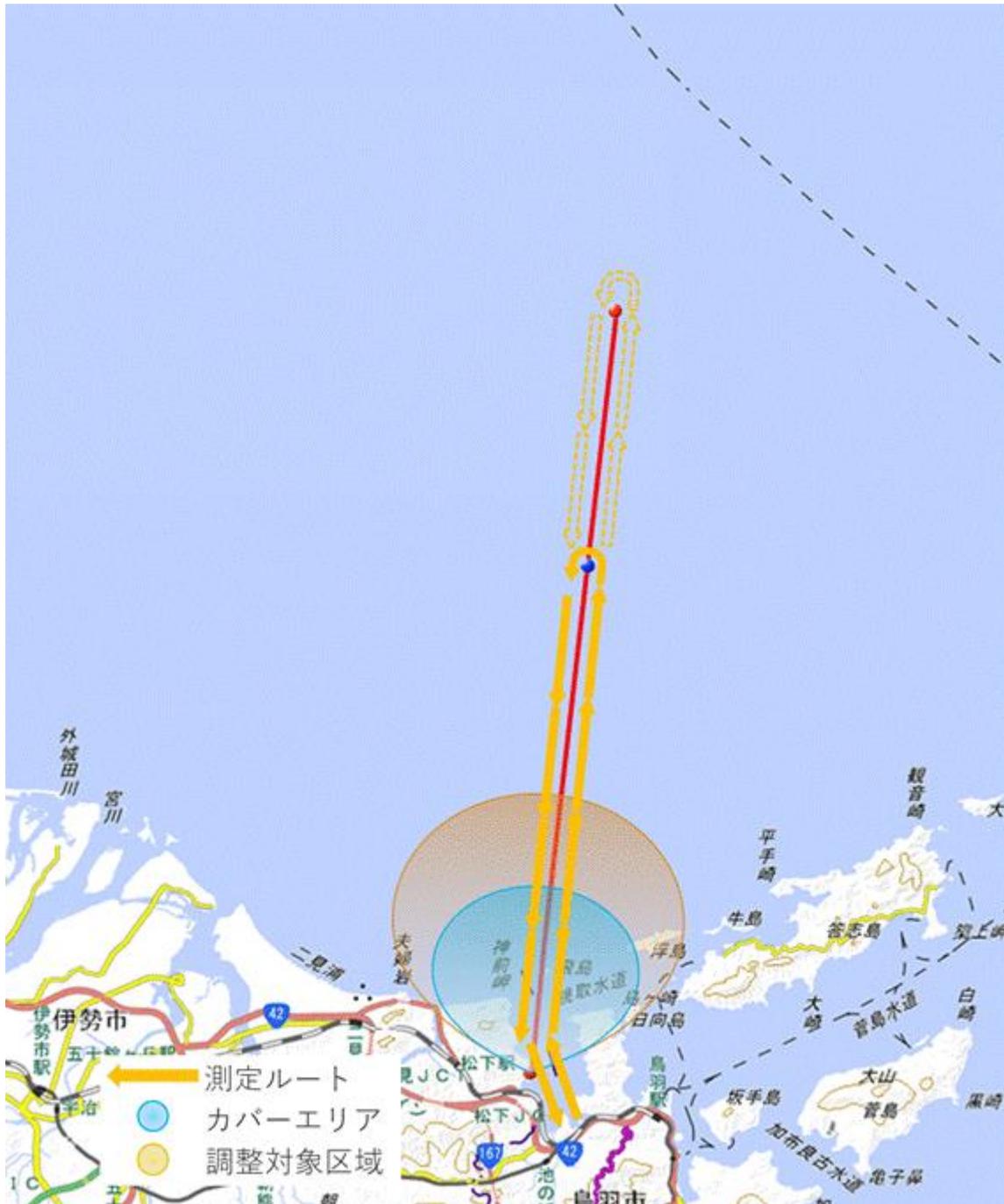


図 3.3.1.3-2 測定ルート（ホテルから 10km までの鳥羽丸運航ルート、実施計画策定時）
 国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成



図 3.3.1.3-3 艇庫基地局からの見通し



図 3.3.1.3-4 ホテル基地局からの見通し

受信電力の測定には、エリアテスタなどの測定機材を用いて、SS-RSRP (SS-Reference Signal Received Power) を測定しました。船舶を湾内の所定の場所に静止させることは困難であるため、移動しながらの受信電力測定となりました。受信電力の測定データは、測定機材に付属の GPS により取得した位置データ及び時刻と共に記録しました。

受信電力は、潮位変化や気象条件により変化の影響を受けることが想定されるため、同一の運航ルート上で、複数回の測定を行い、各々の測定時の条件を記録しました。

測定ルート上で、各々の基地局のカバーエリア及び調整対象区域のエリア算出法に基づくエリア端における実際の受信電力を測定データから取得しました。この実際の受信電力は、エリア算出法に基づくエリア端の位置の前後最大 10m 程度の受信電力の中央値としました。

エリア算出法に基づくエリア端における実際の受信電力が、カバーエリア及び調整対象区域の閾値と異なっている場合は、測定ルート上でカバーエリア及び調整対象区域の閾値が実測される地点 (受信電力の測定値が、それぞれの閾値とほぼ等しくなる地点) を特定し、その地点の基地局からの距離の確認を行いました。

測定した SS-RSRP 受信電力は、審査基準に定められているカバーエリア及び調整対象区域の基準値と比較できるように、以下の式の受信電力に換算しました。

$$\text{受信電力 (換算値)} = \text{SS-RSRP 受信電力} + \text{帯域幅換算値}(35.2\text{dB}) - \text{人体損失}(8\text{dB})$$

人体の影響を受けない条件で受信電力測定を実施したため、受信電力 (換算値) は、人体損失(8dB)を減じた値としました。

(3) 伝送性能の測定

艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、以下のように、カバーエリア内の 20 以上の測定点において、受信電力及び伝送性能 (UL/DL 別の伝送スループット、伝送遅延) を測定しました。

- 鳥羽丸の運航ルートを測定ルートとして鳥羽丸を航行させて、エリアテスタなどの測定機材を用いて受信電力を測定する際に、伝送スループットと伝送遅延の測定を行いました。
- 伝送スループットの測定は、端末 (又は端末を模擬した試験装置) に接続したパソコンの測定アプリ等を用いて行いました。
- 伝送遅延の測定は、端末に接続したパソコンで ExPing を用いて、パソコンとサーバ間の伝送遅延を測定しました。
- 伝送スループットと伝送遅延の測定データは、GPS による位置情報またはデータ取得時刻と合わせて記録し、同じ場所で取得した受信電力データ及び位置と対応付けられるようにしました。

- カバーエリア内の測定ルート上で、基地局に比較的近い地点と比較的遠い地点を含み、基地局からの距離が異なる 20 以上の測定点を選定しました。
- 選定した測定点の前後最大 10m 程度の受信電力の中央値と共に、伝送スループット及び伝送遅延の測定データを取得しました。

測定データは、取得データに応じて潮位や気象条件などの測定条件に分けて伝搬距離対受信電力特性などの形で整理しました。そして、測定条件の違いによる受信電力や伝送スループットの差異分析等を行いました。

図 3.3.1.3-5 及び図 3.3.1.3-6 に、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、実施計画策定時に想定したカバーエリア内の測定点を示します。

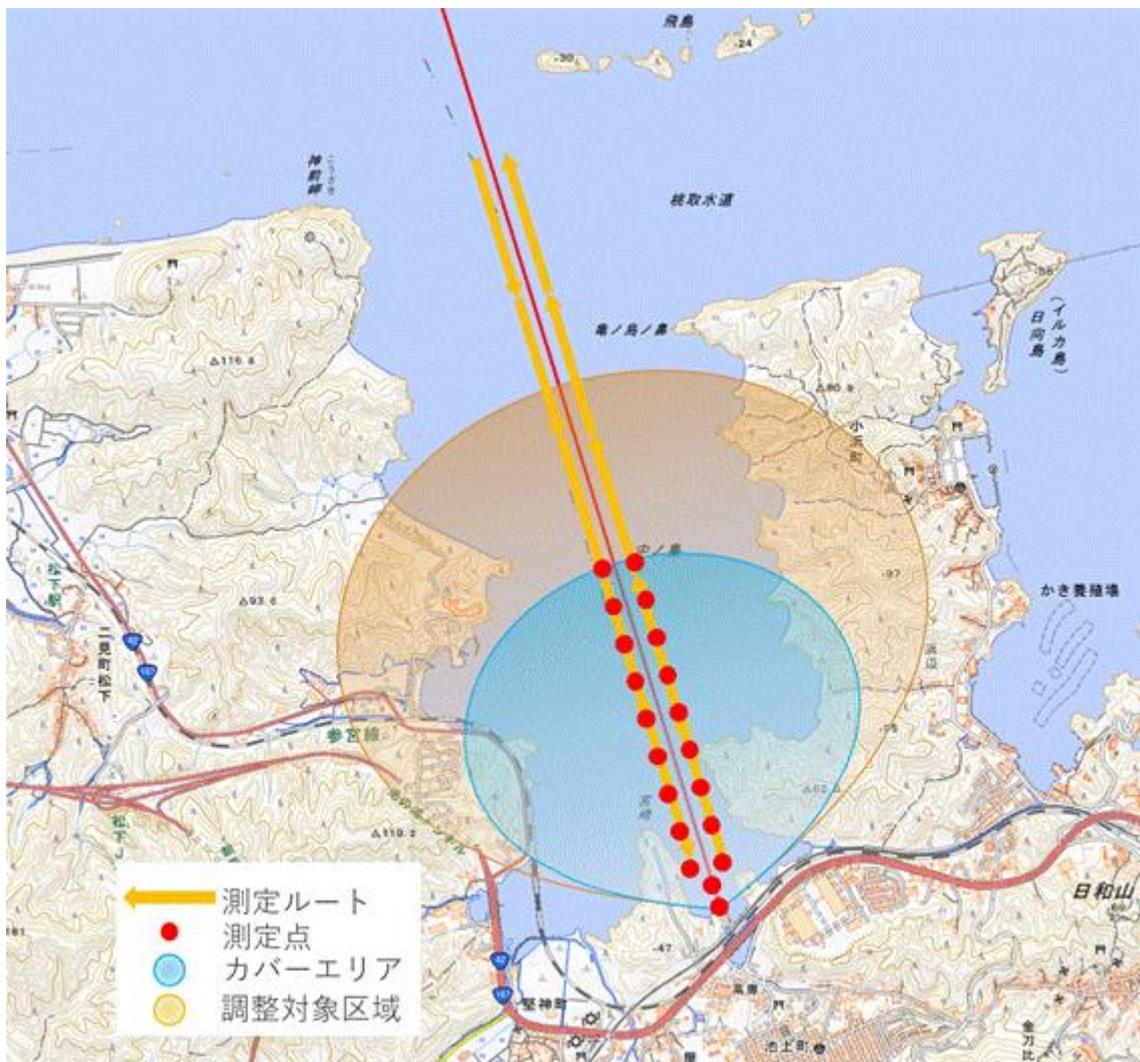


図 3.3.1.3-5 カバーエリア内の測定点 (棧橋から 6km までの鳥羽丸運航ルート、実施計画策定時)

国土地理院 (URL:<https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成



図 3.3.1.3-6 カバーエリア内の測定点（ホテルから 10km までの鳥羽丸運航ルート、実施計画策定時）

国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成

受信電力の測定に用いる測定機器の情報(メーカー、品番等)、測定にあたっての主な設定、測定方法についての詳細は、以下の通りです。

- 表 3.3.1.3-2 と図 3.3.1.3-7 に受信電力の測定機器のメーカー及び品番等を示します。測定用アンテナは、オムニアンテナです。

表 3.3.1.3-2 受信電力の測定機器のメーカー・品番等

測定機器	メーカー	品番	備考
エリアテスタ	アンリツ(株)	ML8780A	
測定ユニット	アンリツ(株)	MU878070A	sub-6GHz
測定用アンテナ：	アンリツ(株)	Z-1911B	オムニアンテナ
台座、	アンリツ(株)	Z1707A	ケーブル付き
GPS アンテナ	アンリツ(株)	Z1601A	ケーブル付き

- 受信電力測定時のエリアテストの設定は、以下の通りです。
 - 測定対象：SSS (Secondary Synchronization Signal)
 - 測定項目：SS-RSRP
 - チャンネル帯域幅：100MHz
 - 測定周期：40msec



図 3.3.1.3-7 受信電力測定機材 (エリアテスト ML8780A、アンテナ Z-1911B)

- 測定機器を船に搭載し、エリアテストのアンテナを船のデッキから高さ 2m の測定台上に設置し、測定しました。測定台の素材は、スチールと木材です。
- GPS アンテナを用いて緯度経度情報も同時に取得しました。緯度経度情報の補正を行うために、測定日ごとに、基地局設置場所 (艇庫基地局付近) において、GPS から取得した緯度経度と国土地理院より取得した緯度経度を比較しました。
- 受信電力の測定では、他の実証での測定結果を合わせて横断的に比較・評価・とりまとめを行えるようにするため、1つの測定点では、定在波の影響を避けるため、 10λ (λ は波長) の範囲で複数の位置を定めて、測定点あたり合計 1000 サンプルの測定結果を統計処理することが望まれています。しかし、船上で所定の場所で停止または減速して測定を行うことが困難であるため、測定ルート上に定めた測定点の前後最大 10m 程度で取得する 100 サンプルのデータを統計処理し、中央値、 σ 、上位 10% 値、下位 10% 値を算出しました。
- また、各測定点で取得した 100 サンプルの受信電力の偏差のセットを、10カ所の測定点分 (即ち、10 セット) を合わせて、1000 サンプルの偏差から、 σ 、上位 10% 値、下位 10% 値の算出も行いました。これにより、中央値が一定の条件で 1000 サンプルのデータを取得して統計処理した場合と同様な精度の上位 10% 値や下位 10% 値が得られる可能性があります。

鳥羽丸の移動速度は時速 20km 程度になるため、鳥羽丸の移動速度を仮に時速 18km とすると、20m 移動するのに 4 秒かかり、その間に 40msec の周期で SS-RSRP を取得する

ことで 100 サンプルのデータが得られます。実際の移動速度は変動しますが、測定点ごとに統計処理するデータは、100 サンプルに揃えることとしました。

鳥羽丸の移動速度は、池ノ浦湾内では、時速 3～8km となり、棧橋付近では、時速 0～2km となるため、100 サンプル取得する間に移動する距離は、その移動速度に比例して変わることになりました。

カバーエリアや調整対象区域のエリア端となる棧橋から 1km 以上離れた場所では、20m 程度の移動距離では中央値がほぼ一定であり、棧橋付近でも、鳥羽丸が減速するため、100 サンプル取得する距離での中央値がほぼ一定であると考えられます。

測定ルートは、図 3.3.1.3-1 及び図 3.3.1.3-2 に示した通りで、3.3.2 で説明する電波伝搬モデルの精緻化のために測定データを用いることができるように、以下の点に留意して選定しました。

- 精緻化を行うために実施する測定点の選択方法については、エリア算出式は干渉調整等を行うためのエリア端を示すことが主たる目的であるため、エリア端周辺での十分な測定が実施できるように、棧橋から 6km までの測定ルート（図 3.3.1.3-1）に加えて、6km までの測定ルートで調整対象区域のエリア端が確認できない場合には、ホテルから 10km までの測定ルート（図 3.3.1.3-2）を利用することとしました。
- ホテルから 10km までの測定ルート（図 3.3.1.3-2）でも調整対象区域のエリア端が確認できない場合に備え、10km を超える測定ルートによる測定を行いました。具体的には、他の船舶が航行する際はルート変更が必要な場合もありましたが、ホテルから 10km までの地点から測定ルート上をさらに直進して受信電力の測定を継続し、エリア端の受信電力となる場所を特定しました。
- カバーエリアや調整対象区域は置局点に対し全方位で作図する必要があるため、精緻化後のエリア算出式の評価としては、ある一方向だけではなく、できるだけ全方位での実測が望まれますが、鳥羽丸の運航ルートが湾内で安全に航行できる海上に限られるため、全方位での測定は行いませんでした。実証では、鳥羽丸の運航ルート上のカバーエリアや調整対象区域のエリア端の方位での測定を行いました。従って、既存のエリア算出式に基づくエリア端、3.3.2 で説明する精緻化後の算出式に基づくエリア端、及び実際のエリア端における受信電力は、何れも測定ルート上で測定を行うこととなりました。

受信電力測定用のアンテナ設置場所及び設置状況、アンテナ高を図 3.3.1.3-8 から図 3.3.1.3-10 に示します。



図 3.3.1.3-8 受信電力測定用のアンテナ設置場所（赤丸箇所）



2.0m



鳥羽丸デッキより高さ 2.0m の位置に、
アンテナ (Z-1911B) と GPS (Z1601A)
を設置。高さは、巻き尺を使用して調整。

図 3.3.1.3-9 測定台及びアンテナと GPS の設置状況



図 3.3.1.3-12 受信電力測定の実験状況

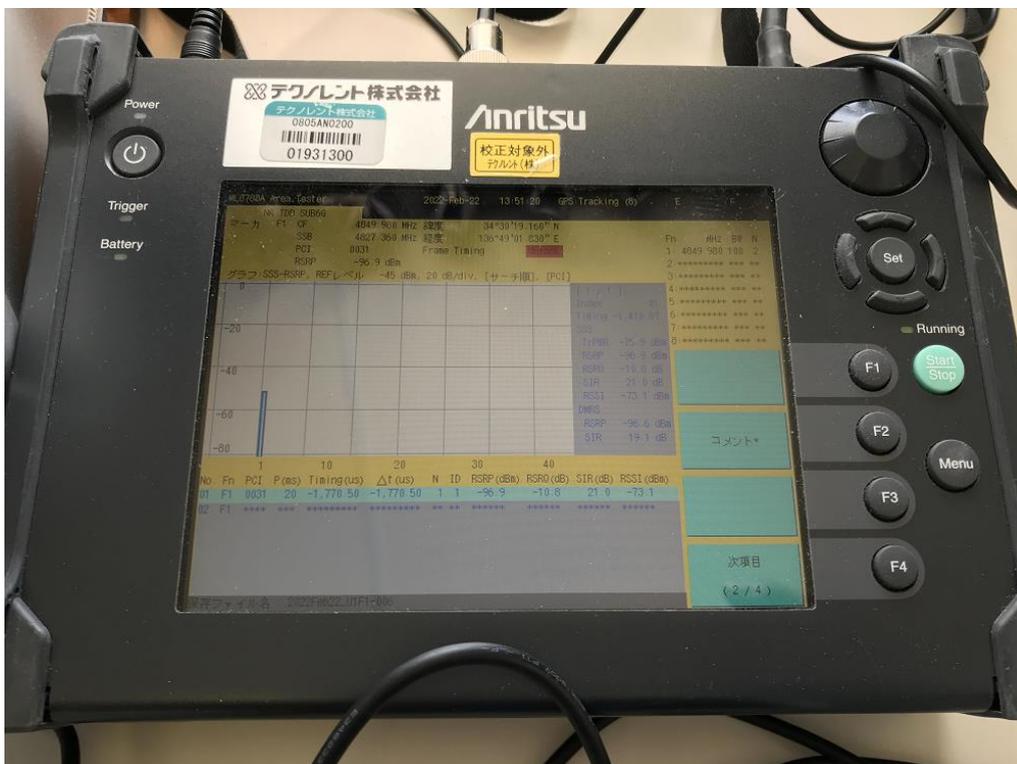


図 3.3.1.3-13 受信電力測定用機器の測定画面

受信電力測定用のアンテナ設置場所から艇庫基地局への見通しを図 3.3.1.3-14 と図 3.3.1.3-15、及びホテル屋上基地局への見通しを図 3.3.1.3-16 と図 3.3.1.3-17 に示します。



(ア) 0m



(イ) 100m



(ウ) 200m



(エ) 300m



(オ) 400m



(カ) 500m



(キ) 600m



(ク) 700m



(ケ) 800m



(コ) 900m



(サ) 1000m



(シ) 1200m



(ス) 1400m



(セ) 1600m



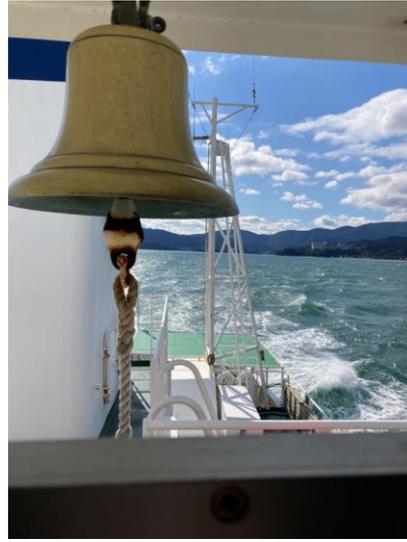
(ソ) 1800m



(タ) 2000m



(チ) 2500m



(ツ) 3000m※1



(テ) 3500m※1



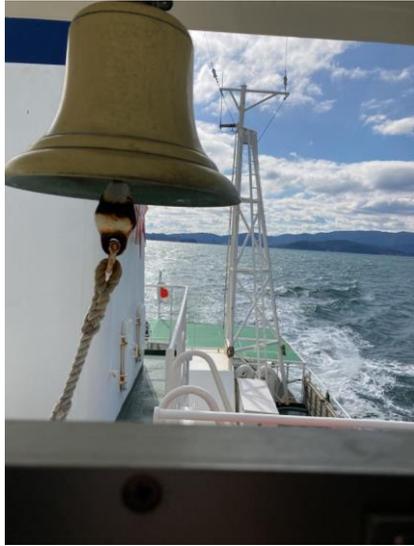
(ト) 4000m※1



(ナ) 5000m※1



(ニ) 6000m※1



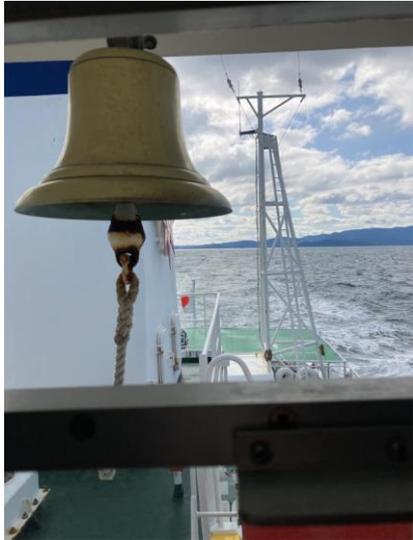
(ヌ) 7000m※1



(ネ) 8000m※1



(ノ) 9000m※1



(ハ) 10000m※1



(ヒ) 11000m※1



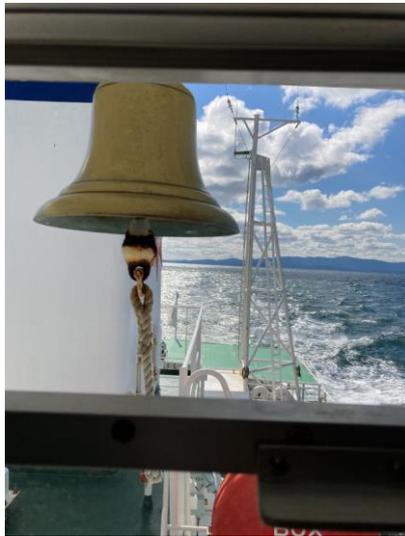
(フ) 12000m※1



(〜) 13000m※1



(ホ) 14000m※1



(マ) 15000m※1



(ミ) 16000m※1



(ム) 17000m※1



(メ) 18000m※1



(モ) 19000m※1



(ヤ) 20000m※1

図 3.3.1.3-14 受信電力測定用のアンテナ設置場所から艇庫基地局への見通し
(艇庫測定3の往路)

※1：波風の強さと風向きにより、沖での鳥羽丸デッキ上は危険のため、操舵室内から見通しの撮影を行いました。



(ア) 19000m



(イ) 18000m



(ウ) 17000m



(エ) 16000m



(オ) 15000m



(カ) 14000m



(キ) 13000m



(ク) 12000m



(ケ) 11000m



(コ) 10000m



(サ) 9000m



(シ) 8000m



(ス) 7000m



(セ) 6000m



(ソ) 5000m



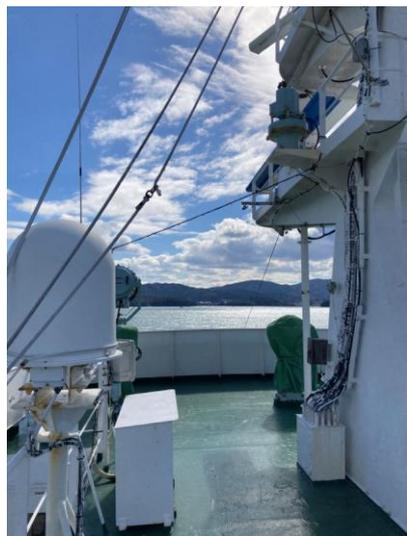
(タ) 4000m



(チ) 3500m



(ツ) 3000m



(テ) 2500m



(ト) 2000m



(ナ) 1800m



(ニ) 1600m



(ヌ) 1400m



(ネ) 1200m



(ノ) 1000m



(ハ) 900m



(ヒ) 800m



(フ) 700m



(ヘ) 600m



(ホ) 500m



(マ) 400m



(ミ) 300m



(ム) 200m



(メ) 100m



(モ) 0m

図 3.3.1.3-15 受信電力測定用のアンテナ設置場所から艇庫基地局への見通し
(艇庫測定3の復路)



(ア) 0m



(イ) 100m



(ウ) 200m



(エ) 300m



(オ) 400m



(カ) 500m



(キ) 600m



(ク) 700m



(ケ) 800m



(コ) 900m



(サ) 1000m



(シ) 1200m



(ス) 1400m



(セ) 1600m



(ソ) 1800m



(タ) 2000m



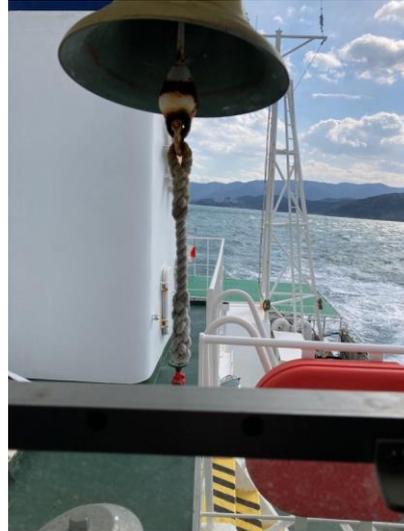
(チ) 2500m



(ツ) 3000m



(テ) 3500m※1



(ト) 4000m※1



(ナ) 5000m※1



(ニ) 6000m※1



(ヌ) 7000m※1



(ネ) 8000m※1



(ノ) 9000m※1



(ハ) 10000m※1



(ヒ) 11000m※1



(フ) 12000m※1



(ヘ) 13000m※1



(ホ) 14000m※1



(マ) 15000m※1



(ミ) 16000m※1



(ム) 17000m※1



(メ) 18000m※1



(モ) 19000m※1



(マ) 20000m※1



(ユ) 21000m※1

図 3.3.1.3-16 受信電力測定用のアンテナ設置場所からホテル屋上基地局への見通し
(ホテル屋上測定3の往路)

※1：波風の強さと風向きにより、沖での鳥羽丸デッキ上は危険のため、操舵室内から見通しの撮影を行いました。



(ア) 20000m※1



(イ) 19000m※1



(ウ) 18000m※1



(エ) 17000m※1



(オ) 16000m※1



(カ) 15000m※1



(キ) 14000m※1



(ク) 13000m※1



(ケ) 12000m※1



(コ) 11000m※1



(サ) 10000m※1



(シ) 9000m※1



(ス) 8000m※1



(セ) 7000m※1



(ソ) 6000m※1



(タ) 5000m※1



(チ) 4000m



(ツ) 3500m



(テ) 3000m



(ト) 2500m



(ナ) 2000m



(ニ) 1800m



(ヌ) 1600m



(ネ) 1400m



(ノ) 1200m



(ハ) 1000m



(ヒ) 900m



(フ) 800m



(ヘ) 700m



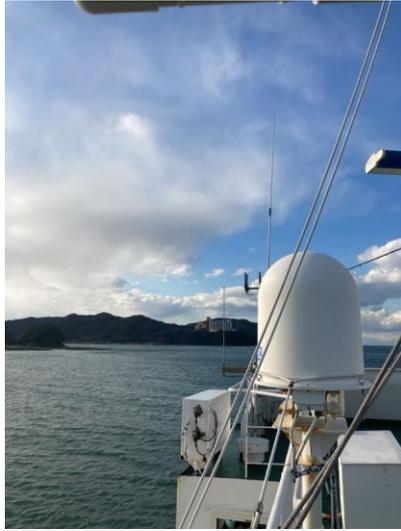
(ホ) 600m



(マ) 500m



(ミ) 400m



(ム) 300m



(メ) 200m



(モ) 100m



(ヤ) 0m

図 3.3.1.3-17 受信電力測定用のアンテナ設置場所からホテル屋上基地局への見通し
(ホテル屋上測定3の復路)

※1：波風の強さと風向きにより、沖での鳥羽丸デッキ上は危険のため、操舵室内から見通しの撮影を行いました。

伝送スループット及び伝送遅延の測定に用いる測定機器の情報(メーカ、品番等)、測定にあたっての主な設定、測定方法についての詳細は、以下の通りです。

- 図 3.3.1.3-18 に伝送スループット及び伝送遅延の測定系を示します。

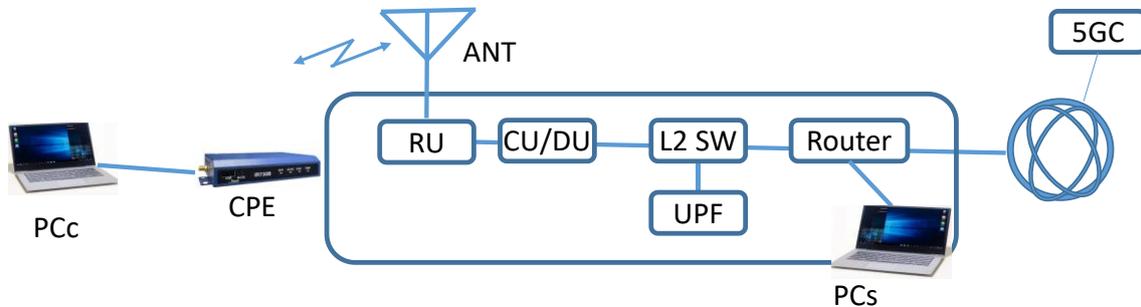


図 3.3.1.3-18 伝送スループット及び伝送遅延の測定

- 表 3.3.1.3-3 に伝送スループット及び伝送遅延に用いる測定機器のメーカ及び品番等を示します。

表 3.3.1.3-3 測定機器のメーカ・品番等

測定機器	メーカ	品番	備考
DTU	IDY 株式会社	iR730B	
PC (パソコン)	NEC 株式会社	PC-VKM17XZG9	
PC (パソコン)	Panasonic 株式会社	CF-SV1RFLVS	
アプリ Iperf	フリーソフト		スループット測定用
アプリ ExPing	フリーソフト		伝送遅延測定用

- 伝送スループットは、DTU に接続したパソコンに Iperf を搭載し、目標の伝送スループット (帯域幅) に設定し、ネットワーク内のパソコン間との間での伝送スループットを測定しました。
- スループット測定は、測定点ごとの測定時間を 40 秒間として、1 秒毎のサンプル取得で合計 40 サンプルを取得して平均化し、伝送スループットを算出しました。
- 伝送スループットの測定において、パソコンの性能が影響を与えないことを確認するため、伝送スループットの測定に用いた 2 台のパソコンを直接接続した状態でも伝送スループットを測定しました。
- 伝送遅延は、DTU に接続したパソコンに ExPing を搭載し、ネットワーク内のパソコン間の伝送遅延の測定を実施しました。
- 伝送遅延の測定は、測定点ごとの測定時間を 40 秒間として、周期 200m 秒、タイムアウト時間を 1000m 秒に設定して遅延時間データを取得し、取得した遅延時間を平均化して遅延時間を算出しました。

- 無線区間の影響を除いた伝送遅延のデータを取得することで無線区間の遅延量を明確にするため、実証計画段階では、図 3.3.1.3-19 に示すように、CPE に接続していたパソコン (PCc) を、L2/L3SW 等に直接接続した状態で、PCc と PCs の間で同様に遅延時間を測定する計画でしたが、この方法を見直し、図 3.3.1.3-18 に示した測定系で、無線区間の影響を除いた伝送遅延の測定を行うこととしました。具体的には、Router に接続されたパソコン (PCs) より、Router 及び UPF 各々に対する PING (Packet INternet Groper) の往復遅延時間を測定することとしました。このようにして、無線区間を介した場合の伝送遅延から、無線区間の影響を除いた伝送遅延を減算することで、無線区間の伝送遅延を求めました。

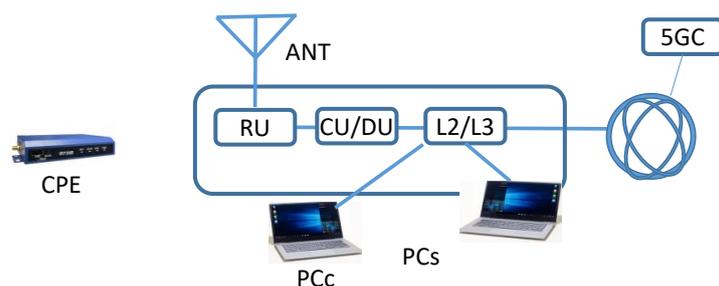


図 3.3.1.3-19 無線区間の影響を除いた伝送遅延の測定系 (実証計画段階)

スループット測定と伝送遅延測定用のアンテナ設置場所及び設置状況を図 3.3.1.3-20 から図 3.3.1.3-22 に示します。

スループット測定及び伝送遅延測定用のアンテナの高さは、受信電力測定用のアンテナ高と同じとしました。



図 3.3.1.3-20 スループット測定及び伝送遅延測定用のアンテナ設置場所 (黄色丸箇所)



図 3.3.1.3-21 スループット測定及び伝送遅延測定用のアンテナ設置状況



図 3.3.1.3-22 スループット測定及び伝送遅延測定用のアンテナからの見通し

スループット測定及び伝送遅延測定用機器の設置状況及び測定状況、測定画面を図 3.3.1.3-23 から図 3.3.1.3-25 に示します。



図 3.3.1.3-23 スループット測定及び伝送遅延測定用機器の設置状態



図 3.3.1.3-24 スループット測定と伝送遅延測定の測定状況

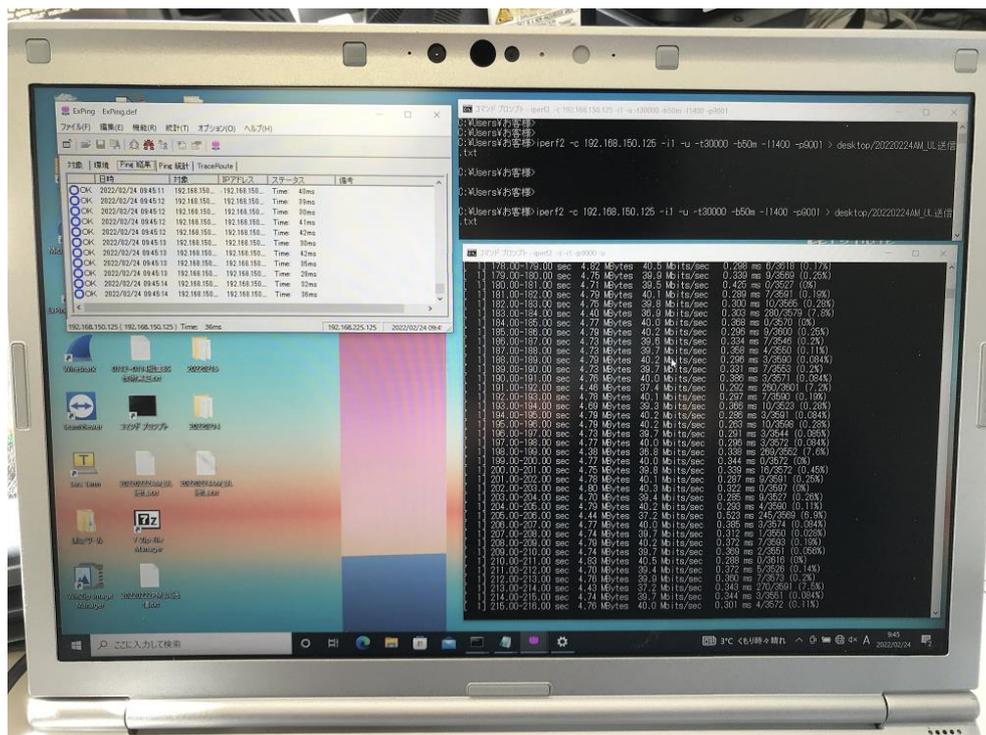


図 3.3.1.3-25 スループット測定と伝送遅延測定用機器の測定画面

スループット測定と伝送遅延測定用のアンテナ設置場所から艇庫基地局への見通しを図 3.3.1.3-26、及びホテル屋上基地局への見通しを図 3.3.1.3-27 に示します。



(ア) 7000m※1



(イ) 5000m※1



(ウ) 3000m※1



(エ) 2000m※1



(オ) 1000m※1



(カ) 500m※1

図 3.3.1.3-26 スループット測定と伝送遅延測定用のアンテナ設置場所から艇庫基地局への見通し（艇庫測定4の復路）

※1：往路の見通しは良好でした。復路の見通しは写真の通り、鳥羽丸デッキ上の設備が航路方向にあり、波の影響等で変化しますが、遮蔽物となる場合があります。



(ア) 3500m※1



(イ) 3000m※1



(ウ) 2000m



(エ) 1600m



(オ) 1400m



(カ) 1200m※1

図 3.3.1.3-27 スループット測定と伝送遅延測定用のアンテナ設置場所から
ホテル屋上基地局への見通し（ホテル屋上測定3の復路）

※1：往路の見通しは良好でした。往路の見通しは写真の通り、鳥羽丸デッキ上の設備が航路方向にあり、波の影響等で変化しますが、遮蔽物となる場合があります。湾内では、デッキの別の設備が遮蔽物となる場合があります。

(4) 所要性能を実現するための方策の検討

伝送性能の測定の結果、所要性能を実現できない場合には、実測データに基づき、所要性能を実現できるローカル 5G を構築する方策（必要な帯域幅及び送信電力等）を検討しました。具体的には、測定した受信電力と伝送スループットや伝送遅延との関係进行分析し、所要性能の実現に必要な帯域幅及び送信電力等を導出しました。

3.3.1.4 実証結果及び考察

(1) エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域の図の作成

艇庫基地局とホテル屋上基地局の各々について、測定計画時点の測定ルートに沿って 100 mメッシュを配置して、エリア算出法に基づき受信電力を計算し、カバーエリアと調整対象区域の作図を行いました。その結果を図 3.3.1.4-1 及び図 3.3.1.4-2 に示します。



図 3.3.1.4-1 エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域（艇庫基地局）
国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成



図 3.3.1.4-2 エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域（ホテル屋上基地局）
 国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成

(2) カバーエリア及び調整対象区域のエリア端における受信電力の測定

図 3.3.1.3-1 及び図 3.3.1.3-2 で示した実施計画策定時の測定ルートに対して、実際に測定時に鳥羽丸を航行させた測定ルートは、以下に示す受信電力の測定結果となりました。

- 受信電力が調整対象区域のエリア端の閾値を下回る場所まで測定を行ったため、艇庫基地局では棧橋から約 20km、ホテル屋上基地局ではホテルから約 20km まで測定ルートを延長して、受信電力を測定しました。
- 表 3.3.1.4-1 及び図 3.3.1.4-3 に受信電力の測定を行ったときの潮位、波高等の条件を示します。条件データ内の方角は、測定に用いる鳥羽丸内設備の方位計を用いました。波高は、鳥羽丸の船員、又は測定員の目視。風速と湿度は、鳥羽丸内設備の総合気象観測装置、傾斜は鳥羽丸内設備の傾斜計、潮位は気象庁が公表するデータから取得しました。また傾斜とは、鳥羽丸が進行方向右に傾いた角度を「+」、鳥羽丸が進行方向左に傾いた角度を「-」で示します。条件データを取得した鳥羽丸内設備の方位計及び傾斜計、総合気象観測装置を図 3.3.1.4-4 に示します。

表 3.3.1.4-1 受信電力測定時の潮位、波高等の条件

項番	項目	艇庫測定1	艇庫測定2	艇庫測定3	艇庫測定4	ホテル屋上測定1	ホテル屋上測定2	ホテル屋上測定3
1	日時	1月17日	2月22日	2月24日	2月25日	1月18日	1月18日	2月22日
		13:00-16:48	9:41-12:15	9:41-12:13	9:41-12:04	9:10-13:55	14:00-16:00	13:38-16:15
2	B S	艇庫	艇庫	艇庫	艇庫	ホテル屋上	ホテル屋上	ホテル屋上
3	航路の方角	真北343度	真北343度	真北343度	真北343度	真北3度	真北3度	真北3度
4	波高 [m]							
	・艇庫(0km)	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2
	・湾内(1.2km)	0.5	0.2	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5
	・湾内(3.0km)	0.7	0.4	0.6	0.5	0.8	0.7	0.7
	・外洋(6.0km)	1.0	0.7	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
	・外洋(10.0km)	1.2	1.0	0.8	0.8	1.5	1.5	1.2
	・外洋(15.0km)	1.5	1.0	0.8	0.8	1.8	1.7	1.2
	・外洋(20.0km)	—	1.0	0.7	0.7	—	—	1.3
5	風速							
	・艇庫(0km)	4.6knot	8.1knot	17.2knot	13.1knot	8.2knot	7.8knot	17.0knot
	・湾内(1.2km)	9.5knot	12.4knot	17.0knot	16.4knot	14.1knot	13.0knot	21.9knot
	・湾内(3.0km)	21.3knot	18.6knot	18.6knot	19.2knot	19.7knot	22.3knot	22.5knot
	・外洋(6.0km)	24.4knot	28.3knot	21.7knot	22.1knot	26.9knot	25.2knot	26.3knot
	・外洋(10.0km)	30.4knot	27.1knot	19.2knot	20.1knot	31.4knot	30.8knot	25.2knot
	・外洋(15.0km)	29.2knot	24.8knot	18.6knot	18.0knot	32.7knot	27.9knot	25.9knot
	・外洋(20.0km)	—	28.2knot	19.2knot	13.5knot	—	—	20.9knot
6	湿度							
		58.6%	58.6%	59.7%	66.2%	58.6%	58.6%	58.6%
7	傾斜	-5~+5	-5~+5	-5~+5	-5~+5	-15~+20	-15~+20	-10~+5
8	天気	曇のち晴	晴のち曇	晴	晴	晴	晴	曇
9	潮位(気象庁)[cm]※標高							
	・0時	-114	-8	20	12	-121	-121	-8
	・1時	-98	-40	10	16	-115	-115	-40
	・2時	-67	-63	-4	15	-90	-90	-63
	・3時	-27	-71	-16	10	-52	-52	-71
	・4時	12	-63	-23	4	-9	-9	-63
	・5時	43	-41	-21	0	30	30	-41
	・6時	58	-9	-12	-1	56	56	-9
	・7時	57	24	4	3	64	64	24
	・8時	41	50	21	10	54	54	50
	・9時	18	62	35	19	31	31	62
	・10時	-6	56	43	27	3	3	56
	・11時	-23	34	40	31	-20	-20	34
	・12時	-27	1	27	29	-32	-32	1
	・13時	-20	-33	6	20	-30	-30	-33
	・14時	-1	-61	-19	5	-15	-15	-61
	・15時	22	-76	-42	-14	8	8	-76
	・16時	43	-77	-60	-34	34	34	-77
	・17時	54	-63	-70	-53	53	53	-63
	・18時	51	-39	-71	-66	59	59	-39
	・19時	32	-10	-64	-74	49	49	-10
	・20時	0	15	-50	-73	22	22	15
	・21時	-40	33	-32	-65	-17	-17	33
	・22時	-79	39	-14	-50	-59	-59	39
・23時	-108	31	2	-32	-96	-96	31	



(ア) 0.2m



(イ) 0.5m



(ウ) 1.0m



(エ) 1.2m



(オ) 1.3m

図 3.3.1.4-3 波高



(ア) 方位計



(イ) 傾斜計



(ウ) 総合気象観測装置

図 3.3.1.4-4 鳥羽丸内設備

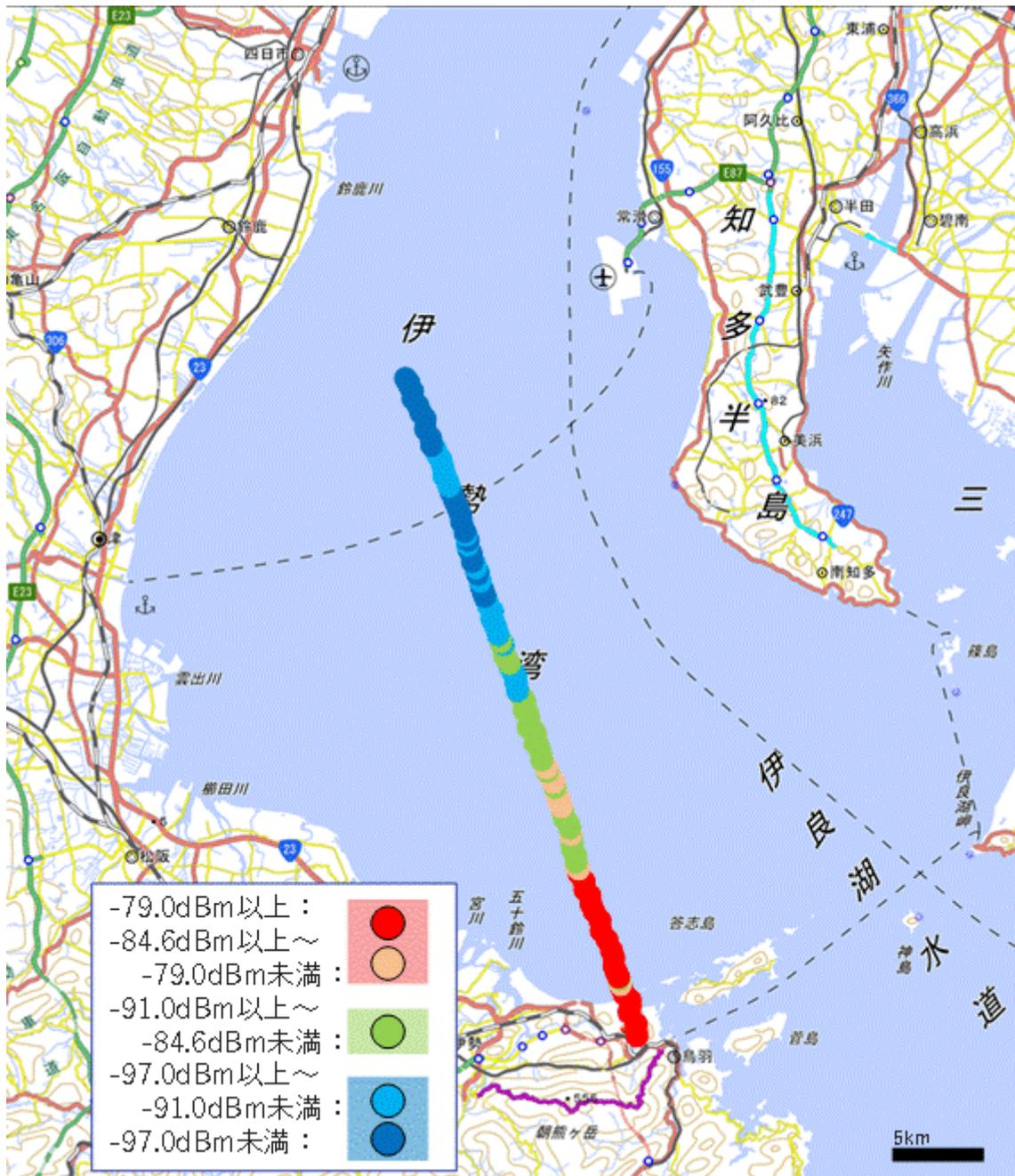
以下の通り、受信電力の測定結果（中央値）の艇庫基地局及びホテル屋上基地局を、図 3.3.1.4-5 及び図 3.3.1.4-6 に示します。また図 3.3.1.4-7 及び図 3.3.1.4-8 に、エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域と測定結果（中央値）を重ねて示しました。重ねることにより、エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域との比較が困難となるため、測定結果を西にずらして描画しました。

- 4 秒間（100 サンプル）ごとに受信電力の中央値を求め、国土地理院の地図へプロットしました。
- 表 3.3.1.4-2 に GPS の緯度経度測定の実測値と机上値の誤差を示します。測定は、測定日ごとに基地局設置場所（艇庫基地局のアンテナ下）に GPS アンテナを設置し、測定を行いました。

表 3.3.1.4-2 GPS の緯度経度測定の実測値と机上値の誤差

測定日	GPSデータ記録時間		GPSの緯度経度の実測値と机上値の誤差		
	開始時間	記録時間(秒)	最大(m)	最小(m)	平均(m)
1月17日	10:30:53	51	4.35	2.27	3.40
1月18日	8:40:59	84	7.32	1.84	4.25
2月22日	16:47:10	69	17.66	13.46	15.83
2月24日	12:41:12	17	13.63	8.42	11.51
2月25日	15:24:01	62	18.89	2.82	7.04

本実証では、測定距離が 10km を超えることにより、上記誤差を補正する効果は小さいと判断し、補正は行いませんでした。



(ア) 艇庫測定 1 (往路、潮位 22cm、波高 1.0m)



(イ) 艇庫測定 1 (復路、潮位 22cm、波高 1.0m)



(ウ) 艇庫測定 2 (往路、潮位 34cm、波高 1.0m)



(エ) 艇庫測定 2 (復路、潮位 34cm、波高 1.0m)



(才) 艇庫測定 3 (往路、潮位 40cm、波高 0.7m)



(カ) 艇庫測定 3 (復路、潮位 40cm、波高 0.7m)



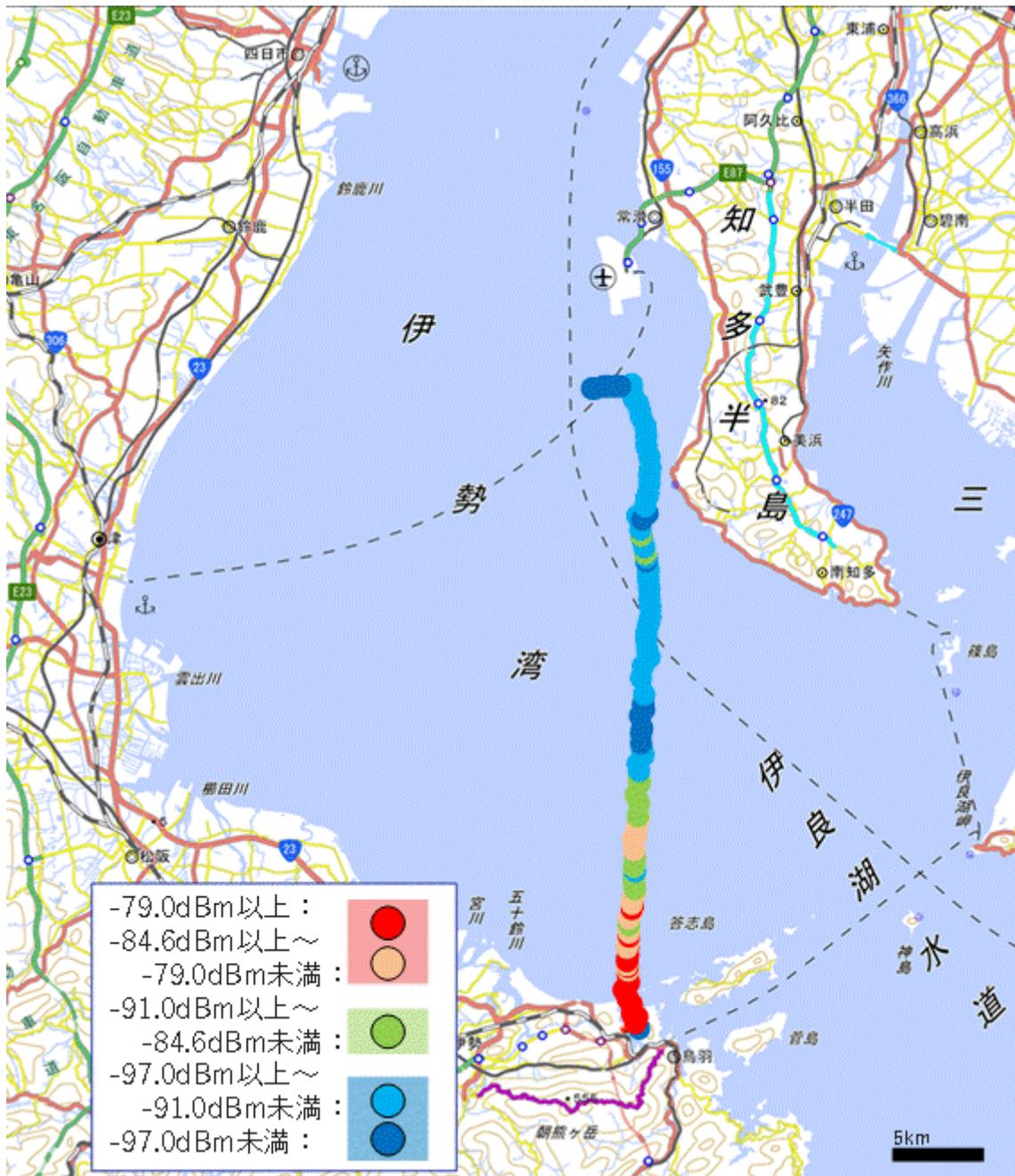
(キ) 艇庫測定 4 (往路、潮位 31cm、波高 0.7m)



(ク) 艇庫測定 4 (復路、潮位 31cm、波高 0.7m)

図 3.3.1.4-5 受信電力の測定結果 (艇庫基地局)

国土地理院 (URL: <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成



(ア) ホテル屋上測定 1 (往路、潮位-26cm、波高 1.0m)



(イ) ホテル屋上測定1 (復路、潮位-26cm、波高 1.0m)



(ウ) ホテル屋上測定 2 (往路、潮位 8cm、波高 1.7m)



(エ) ホテル屋上測定 2 (復路、潮位 8cm、波高 1.7m)



(オ) ホテル屋上測定 3 (往路、潮位-76cm、波高 1.3m)



(カ) ホテル屋上測定 3 (復路、潮位-76cm、波高 1.3m)

図 3.3.1.4-6 受信電力の測定結果 (ホテル屋上基地局)

国土地理院 (URL:<https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成



(ア) 艇庫測定 1 (往路、潮位 22cm、波高 1.0m)



(イ) 艇庫測定 1 (復路、潮位 22cm、波高 1.0m)



(ウ) 艇庫測定 2 (往路、潮位 34cm、波高 1.0m)



(工) 艇庫測定 2 (復路、潮位 34cm、波高 1.0m)



(才) 艇庫測定 3 (往路、潮位 40cm、波高 0.7m)



(カ) 艇庫測定 3 (復路、潮位 40cm、波高 0.7m)



(キ) 艇庫測定 4 (往路、潮位 31cm、波高 0.7m)



(ク) 艇庫測定 4 (復路、潮位 31cm、波高 0.7m)

図 3.3.1.4-7 エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域と測定結果の比較
(艇庫基地局)

国土地理院 (URL: <https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成



(ア) ホテル屋上測定 1 (往路、潮位・26cm、波高 1.0m)



(イ) ホテル屋上測定1 (復路、潮位-26cm、波高1.0m)



(ウ) ホテル屋上測定 2 (往路、潮位 8cm、波高 1.7m)



(エ) ホテル屋上測定 2 (復路、潮位 8cm、波高 1.7m)



(オ) ホテル屋上測定 3 (往路、潮位-76cm、波高 1.3m)



(カ) ホテル屋上測定3 (復路、潮位-76cm、波高 1.3m)

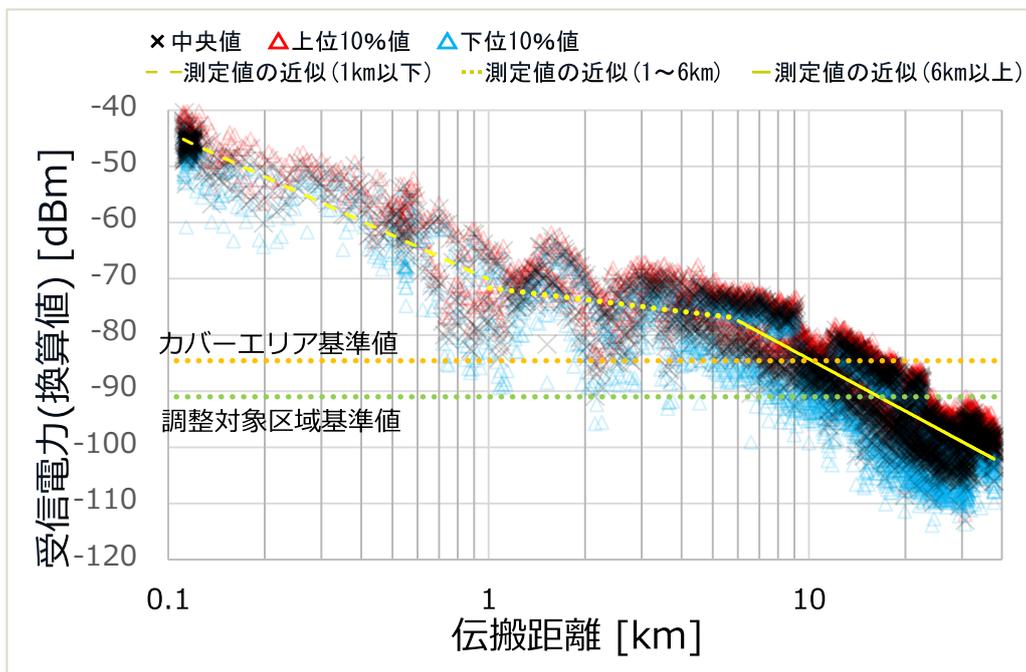
図 3.3.1.4-8 エリア算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域と測定結果の比較 (ホテル屋上基地局)

国土地理院 (URL:https://www.gsi.go.jp) のデータを使用して作成

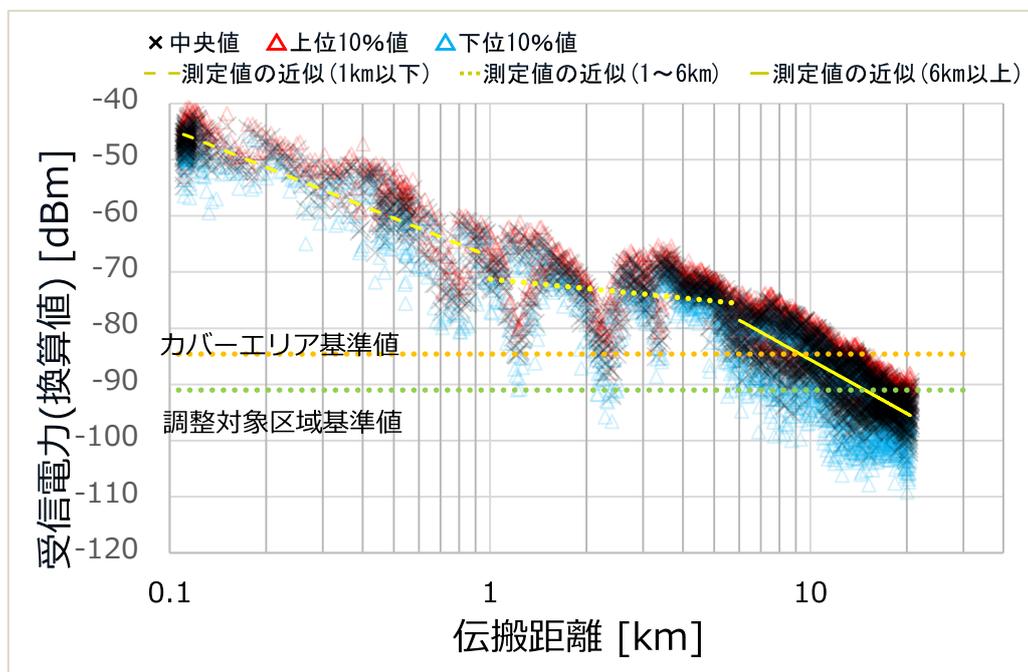
以下、取得した受信電力データについて、各種の統計処理を行った結果を示します。

図 3.3.1.4-9 及び図 3.3.1.4-10 に、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、受信電力の中央値、上位 10% 値及び下位 10% 値を示します。上記の通り 4 秒間 (100 サンプル) ごとに中央値を求めると共に、上位 10% 値及び下位 10% 値を算出しました。近似直線

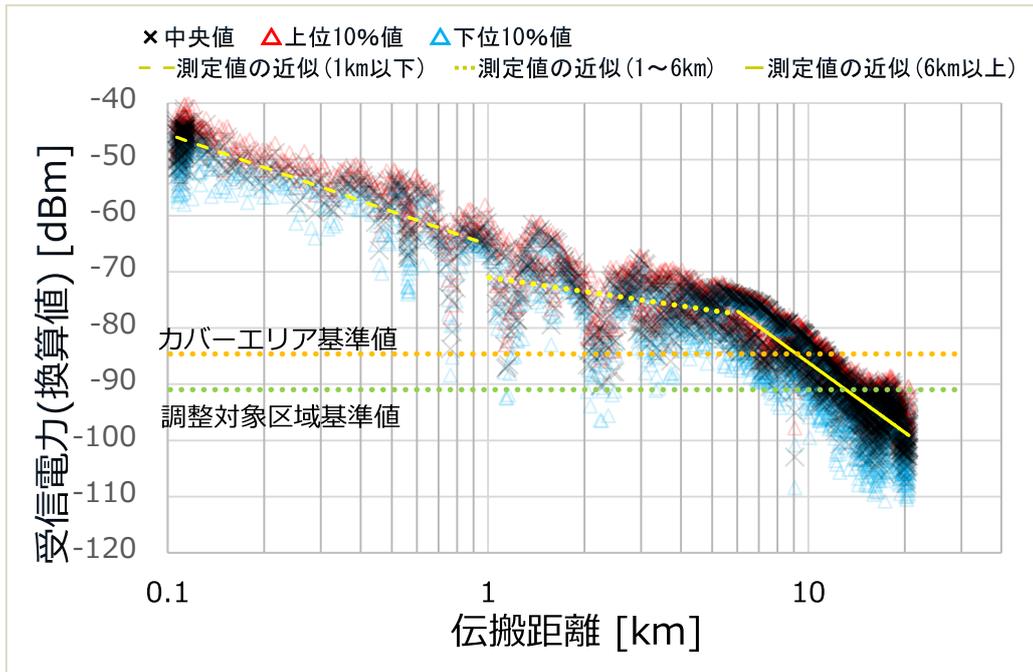
は、艇庫基地局では、1km 以下、1km～6km、6km 以上に分け、ホテル屋上基地局では、1km 以下、1km～2km、2km 以上に分けて示しました。



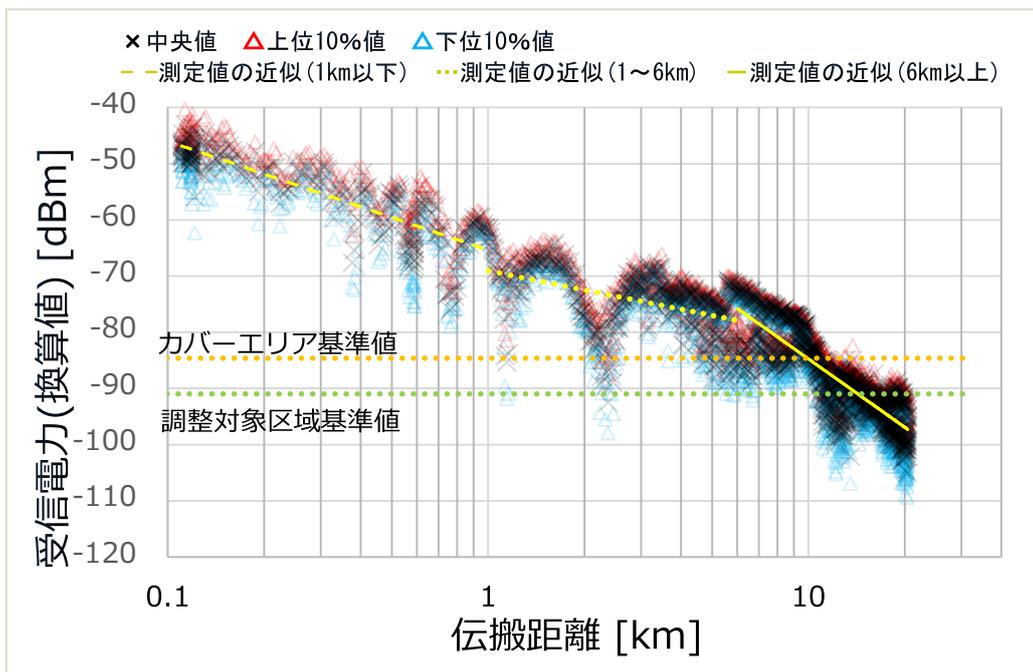
(ア) 艇庫測定 1 (潮位 22cm、波高 1.0m)



(イ) 艇庫測定 2 (潮位 34cm、波高 1.0m)

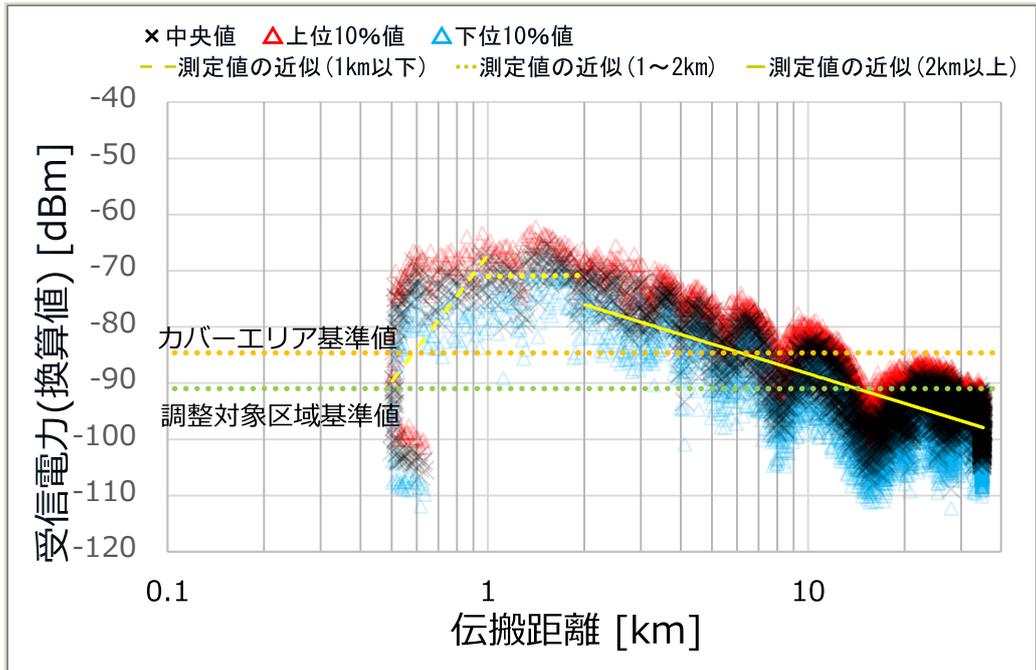


(ウ) 艇庫測定 3 (潮位 40cm、波高 0.7m)

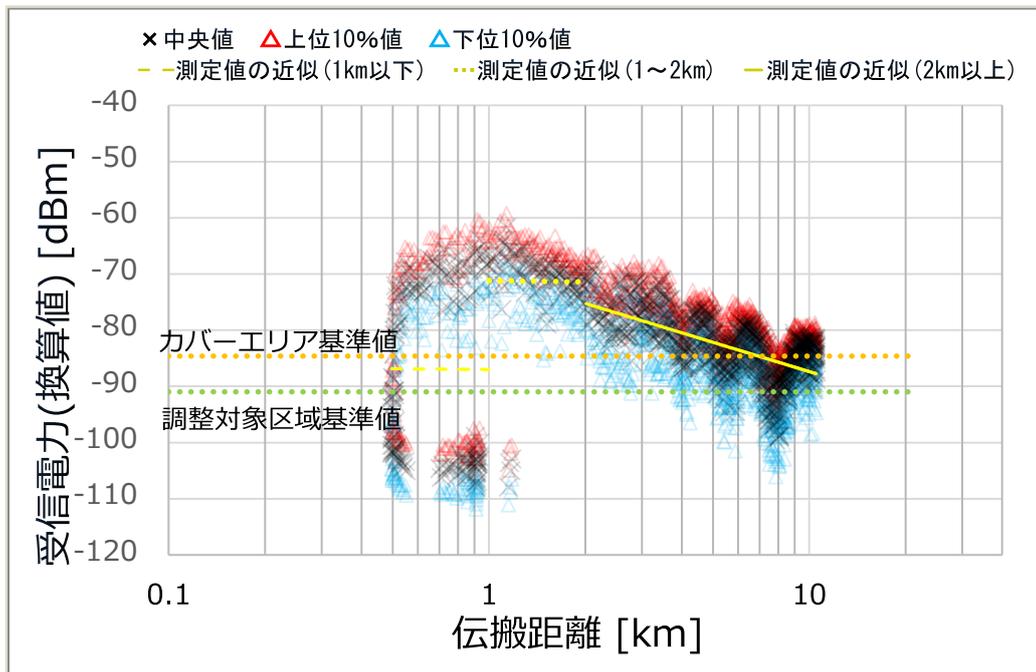


(エ) 艇庫測定 4 (潮位 31cm、波高 0.7m)

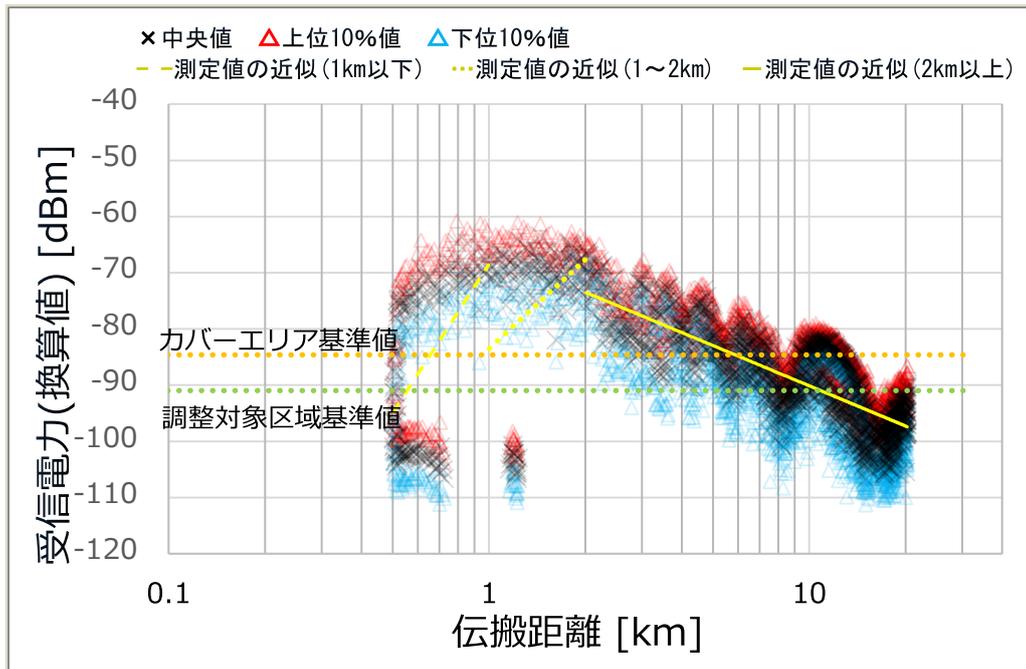
図 3.3.1.4-9 受信電力の中央値、上位 10%値及び下位 10%値 (艇庫基地局)



(ア) ホテル屋上測定 1 (潮位-26cm、波高 1.0m)



(イ) ホテル屋上測定 2 (潮位 8cm、波高 1.7m)

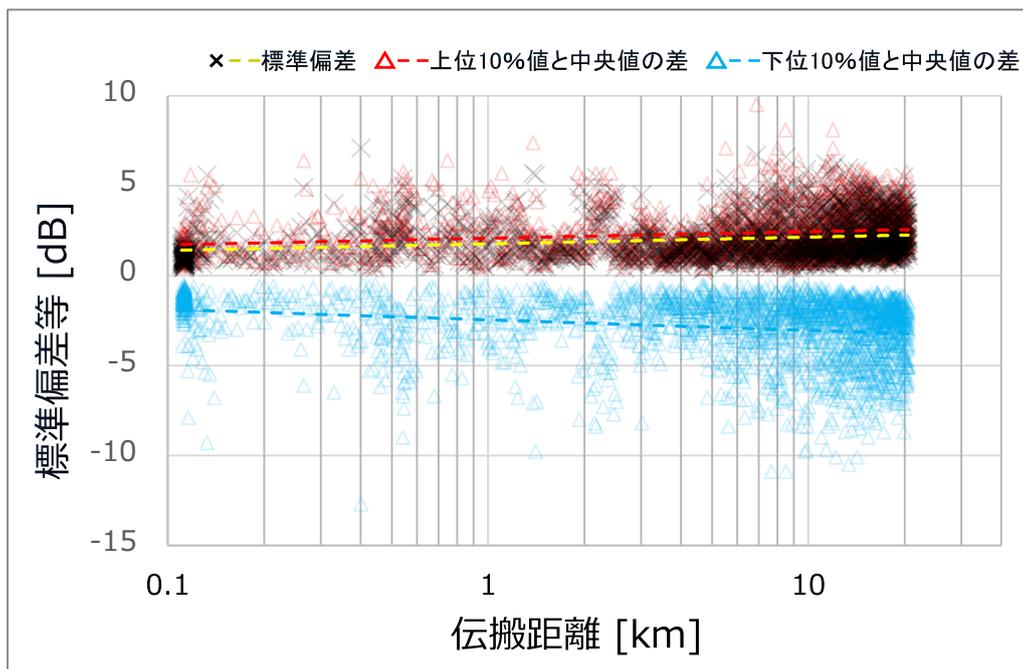
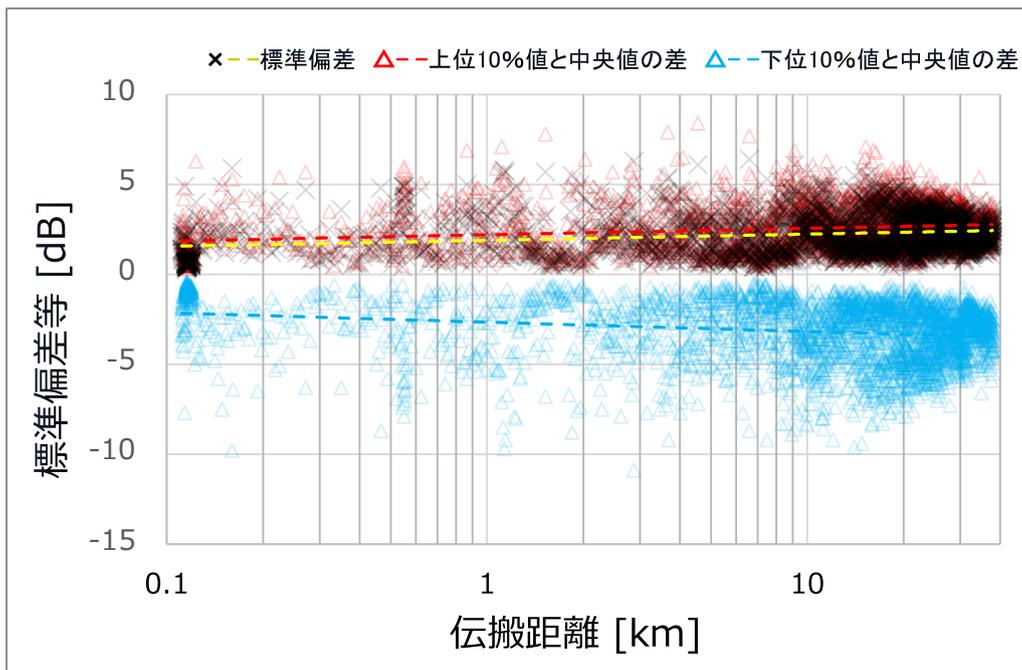


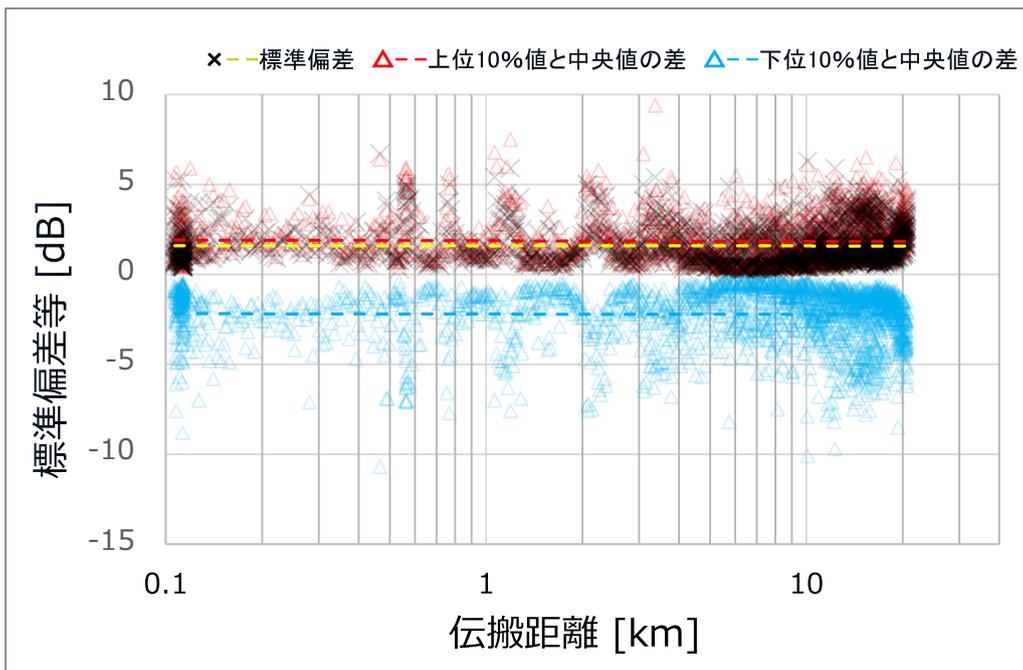
(ウ) ホテル屋上測定 3 (潮位-76cm、波高 1.3m)

図 3.3.1.4-10 受信電力の中央値、上位 10%値及び下位 10%値 (ホテル屋上基地局)

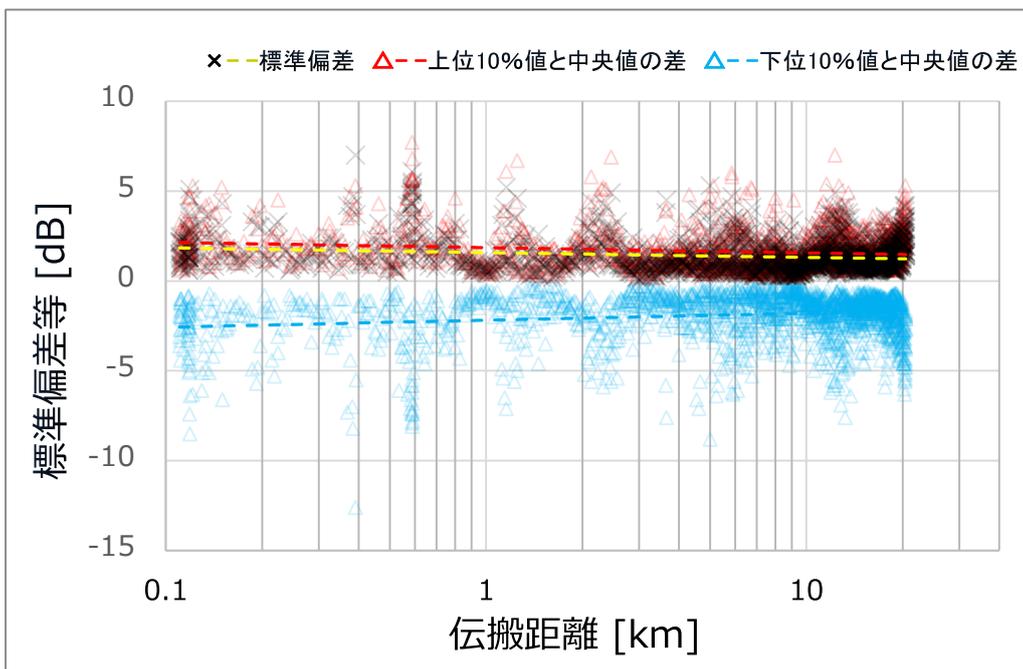
図 3.3.1.4-11 及び図 3.3.1.4-12 に、同様に 4 秒間 (100 サンプル) ごとに統計処理を行い、平均値に対する標準偏差 (σ)、上位 10%値と中央値の差、及び下位 10%値と中央値の差を求めた結果を示します。また、表 3.3.1.4-3 に各々の近似直線の 10km の値を読み取った値とその平均値を示します。

受信電力の標準偏差や上位 10%値と中央値の差は、ばらつきが大きく、5dB を超える測定点が多数ありますが、各々の近似直線の 10km の値を読み取った値の平均値としては、艇庫基地局では、標準偏差が 1.8dB、上位 10%値と中央値の差が 2.1dB、下位 10%値と中央値の差が-2.6dB となり、ホテル屋上基地局では、標準偏差が 3.0dB、上位 10%値と中央値の差が 3.4dB、下位 10%値と中央値の差が-4.2dB となりました。このようにホテル屋上基地局では、艇庫基地局よりも標準偏差等が大きくなりました。その原因としては、基地局アンテナ高の違いが考えられます。



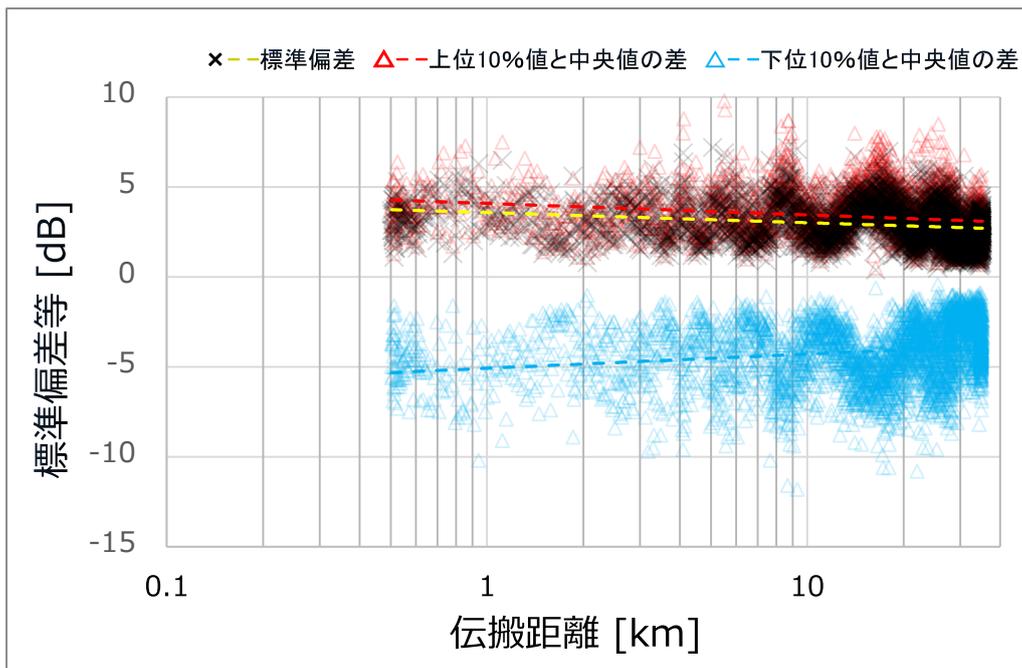


(ウ) 艇庫測定 3 (潮位 40cm、波高 0.7m)

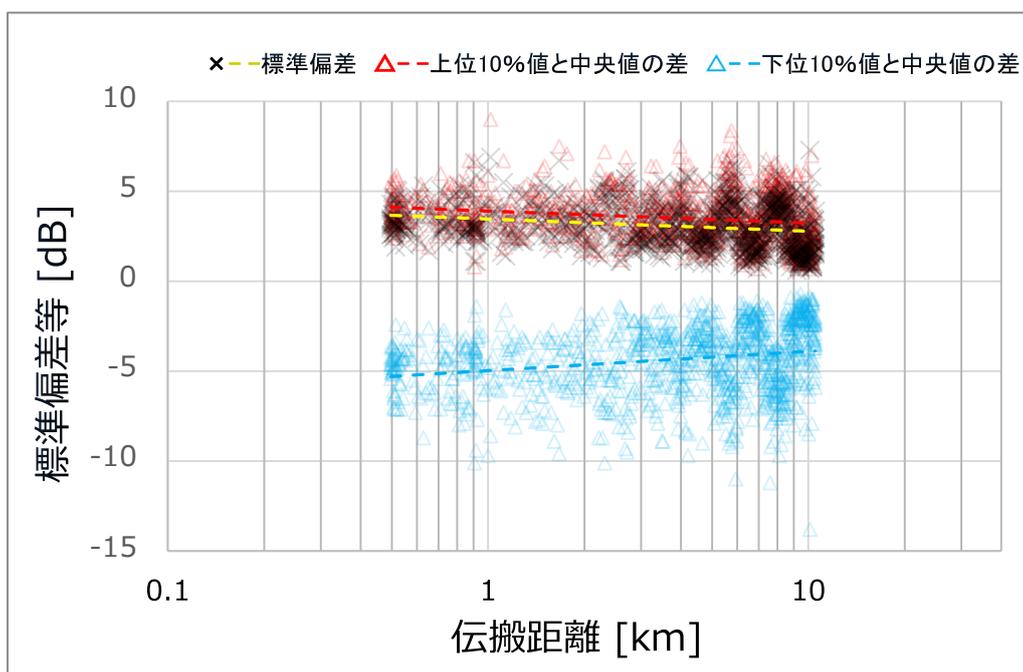


(エ) 艇庫測定 4 (潮位 31cm、波高 0.7m)

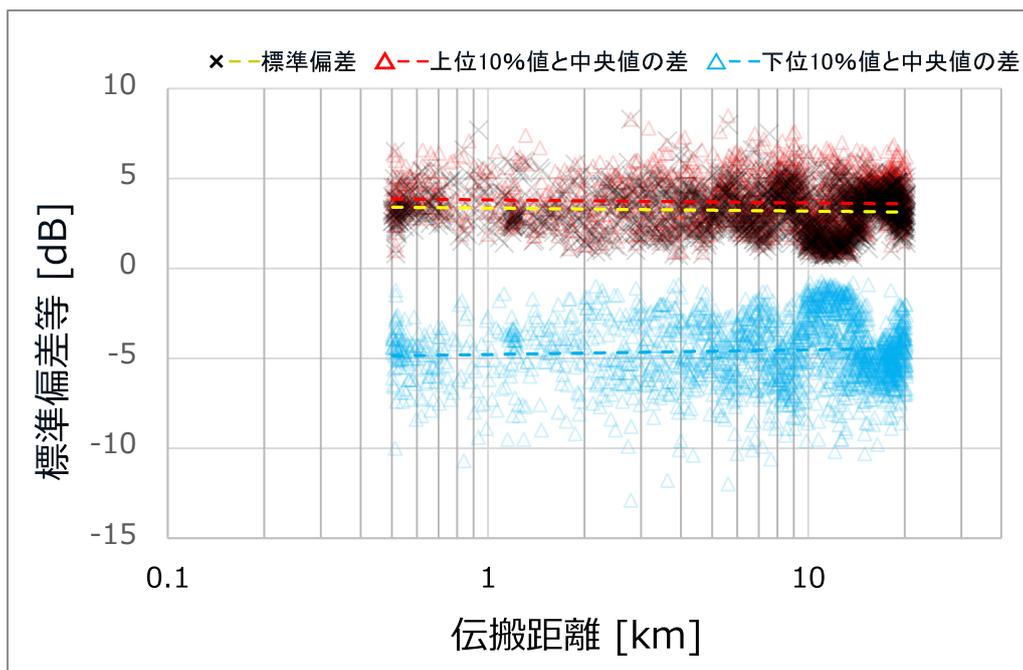
図 3.3.1.4-11 受信電力の統計処理結果 (艇庫基地局)



(ア) ホテル屋上測定 1 (潮位-26cm、波高 1.0m)



(イ) ホテル屋上測定 2 (潮位 8cm、波高 1.7m)



(ウ) ホテル屋上測定 3 (潮位-76cm、波高 1.3m)

図 3.3.1.4-12 受信電力の統計処理結果 (ホテル屋上基地局)

表 3.3.1.4-3 受信電力の統計処理結果 (10km 地点)

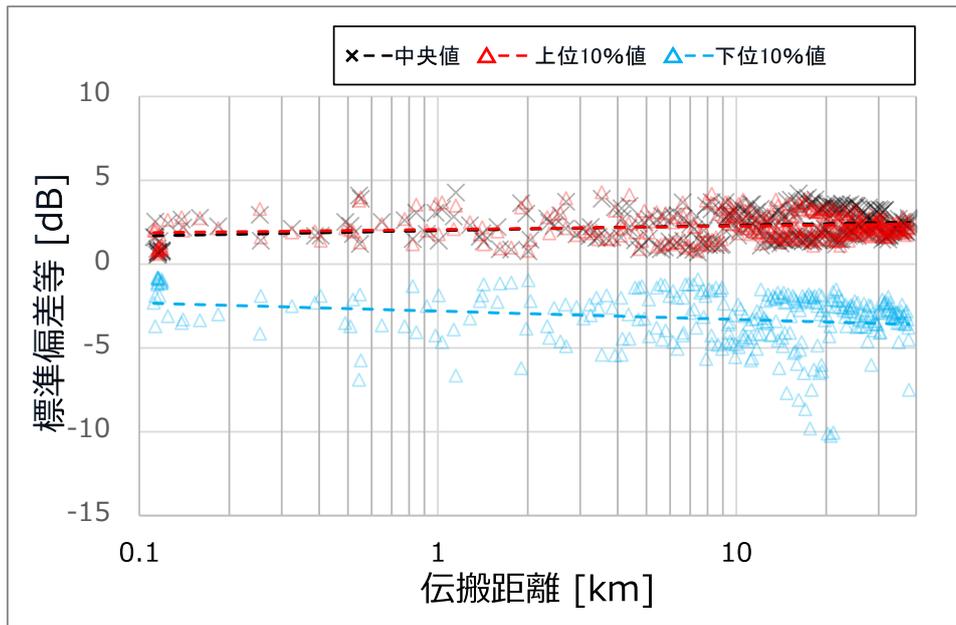
	標準偏差[dB]	上位10%値と中央値の差[dB]	下位10%値と中央値の差[dB]
艇庫測定1	2.2	2.5	-3.2
艇庫測定2	2.1	2.4	-3.0
艇庫測定3	1.6	1.8	-2.2
艇庫測定4	1.3	1.6	-1.8
艇庫測定 (平均)	1.8	2.1	2.6
ホテル屋上測定1	3.0	3.5	-4.3
ホテル屋上測定2	2.8	3.2	-3.9
ホテル屋上測定3	3.2	3.6	-4.5
ホテル屋上測定 (平均)	3.0	3.4	-4.2

図 3.3.1.4-13 及び図 3.3.1.4-14、受信電力の σ 、上位 10%値、下位 10%値の計算精度に関する評価を行った結果を示します。上記の受信電力の 100 サンプルのデータの統計処理による σ 等の値と比較するため、以下のように、受信電力の 1000 サンプルの偏差の統計処理により、標準偏差 (σ)、偏差の上位 10%値、及び偏差の下位 10%値 (負の値となる) を計算しました。

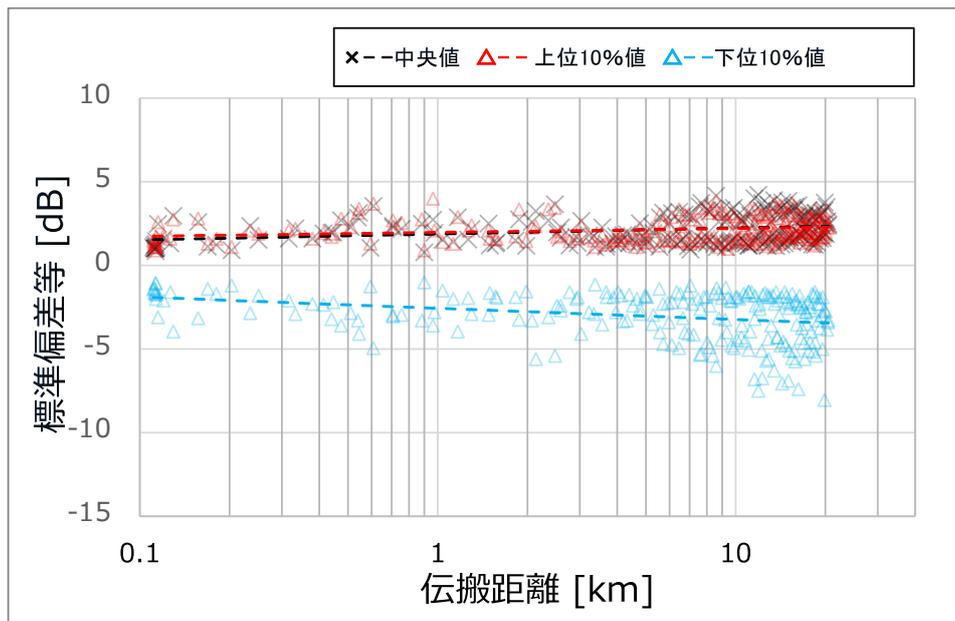
- 4 秒毎の受信電力の 100 サンプルのデータより、100 サンプルの中央値に対する偏差及び平均値に対する偏差 (中央値や平均値より大きいサンプルは正の値、中央値や平均値より小さいサンプルは負の値) を計算しました。

均値より小さいサンプルは負の値となる) を求め、さらに、取得した順番に 40 秒毎の 1000 サンプルのデータにまとめました。

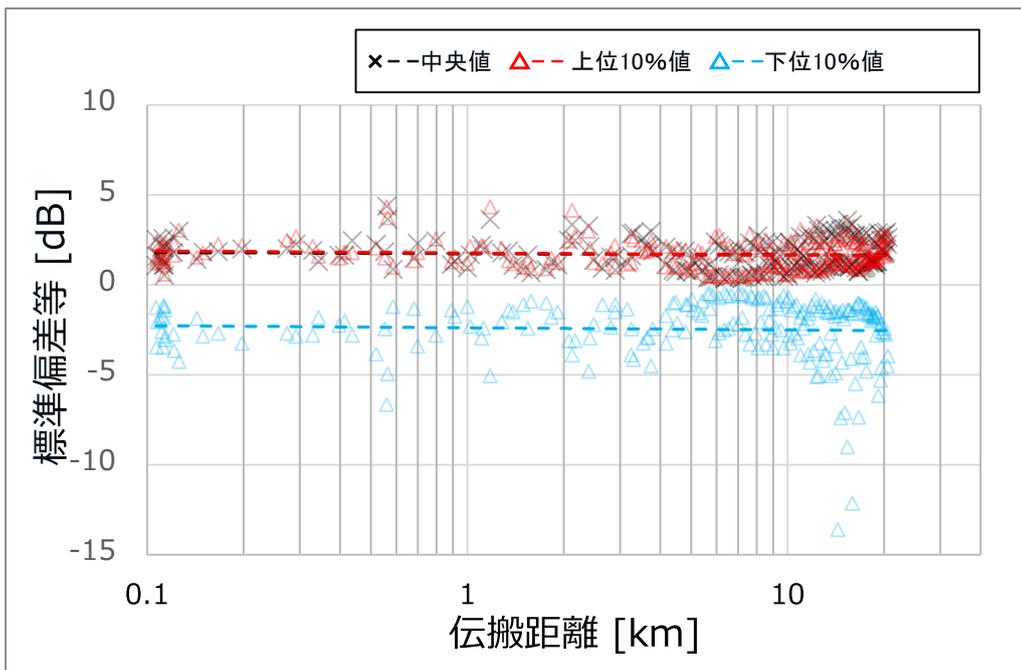
- 上記の 1000 サンプルの平均値に対する偏差より、標準偏差 (σ) を求めました。
- また、上記の 1000 サンプルの中央値に対する偏差より、偏差の上位 10% 値及び下位 10% 値を求めました。
- 40 秒のデータ毎に取得場所の中間地点 (緯度・経度) を求め、中間地点を測定点と見做しました。中間地点は、1000 サンプルのデータを取得時間順に並べて 500 サンプル目のデータを取得した地点としました。



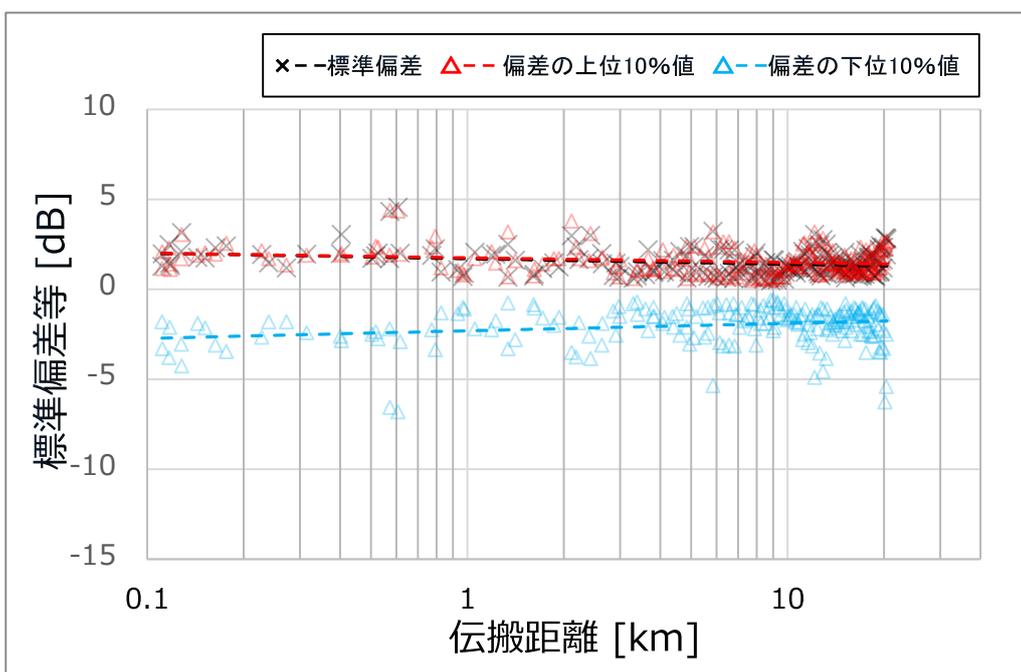
(ア) 艇庫測定 1 (潮位 22cm、波高 1.0m)



(イ) 艇庫測定 2 (潮位 34cm、波高 1.0m)

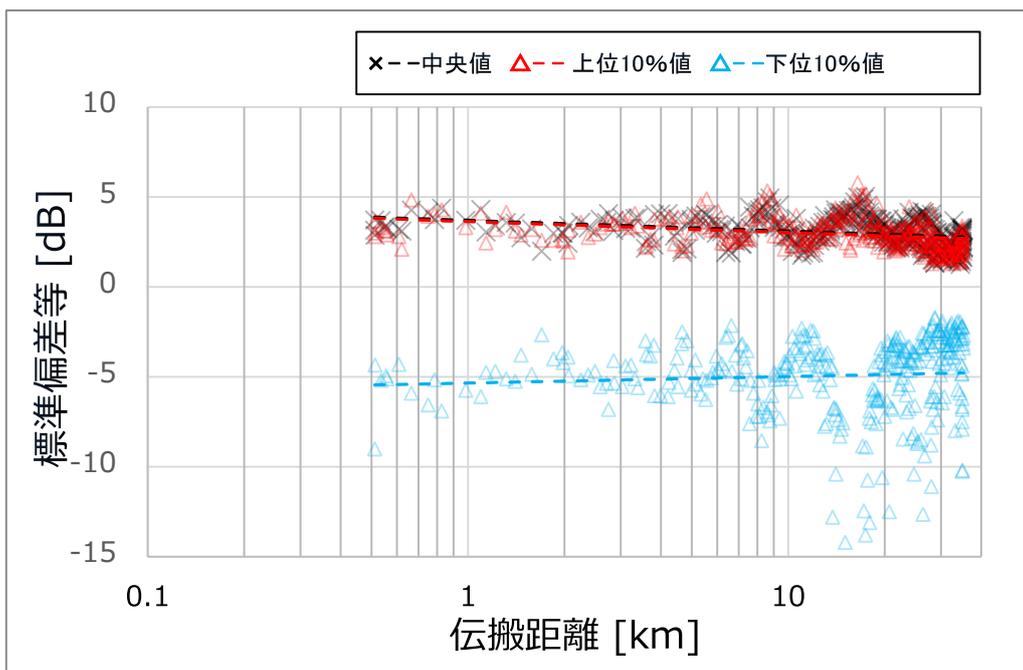


(ウ) 艇庫測定 3 (潮位 40cm、波高 0.7m)

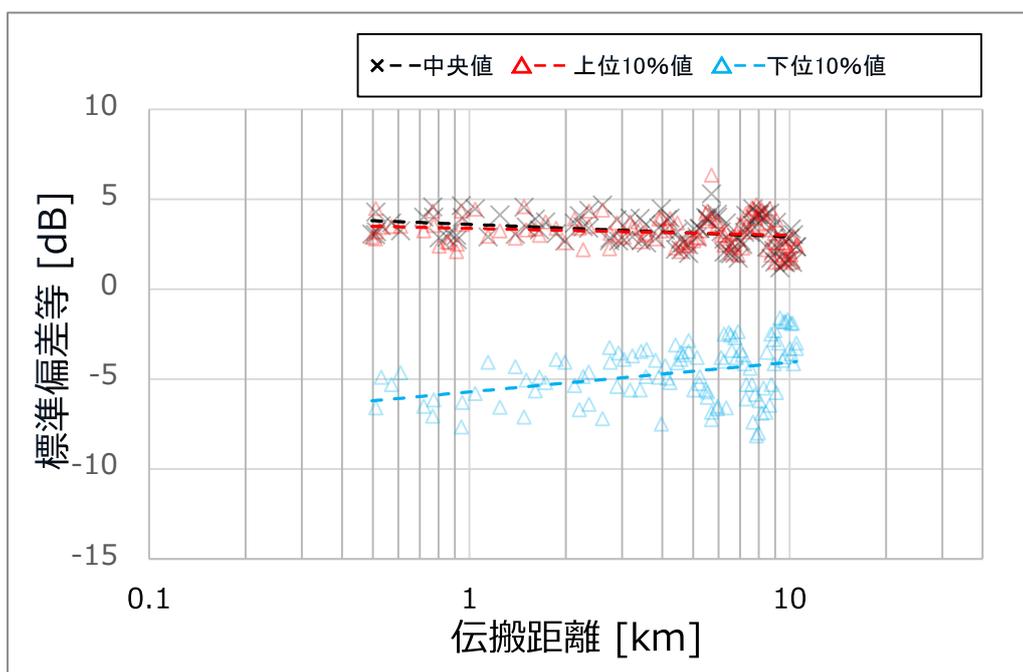


(エ) 艇庫測定 4 (潮位 31cm、波高 0.7m)

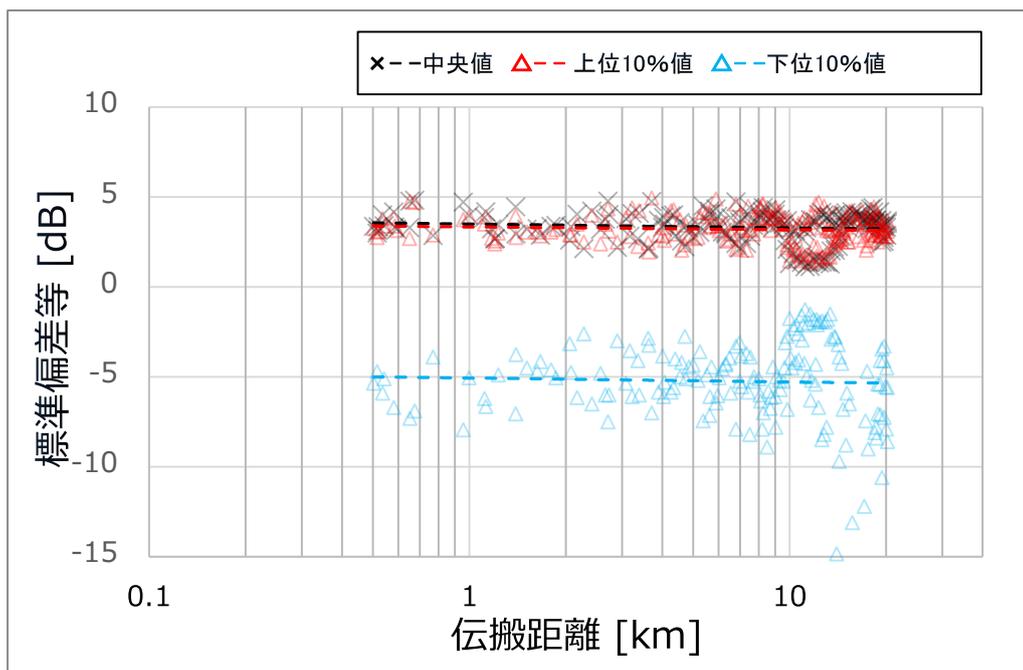
図 3.3.1.4-13 受信電力の統計処理結果に対するサンプル数の影響 (艇庫基地局)



(ア) ホテル屋上測定 1 (潮位-26cm、波高 1.0m)



(イ) ホテル屋上測定 2 (潮位 8cm、波高 1.7m)



(ウ) ホテル屋上測定 3 (潮位-76cm、波高 1.3m)

図 3.3.1.4-14 受信電力の統計処理結果に対するサンプル数の影響 (ホテル屋上基地局)

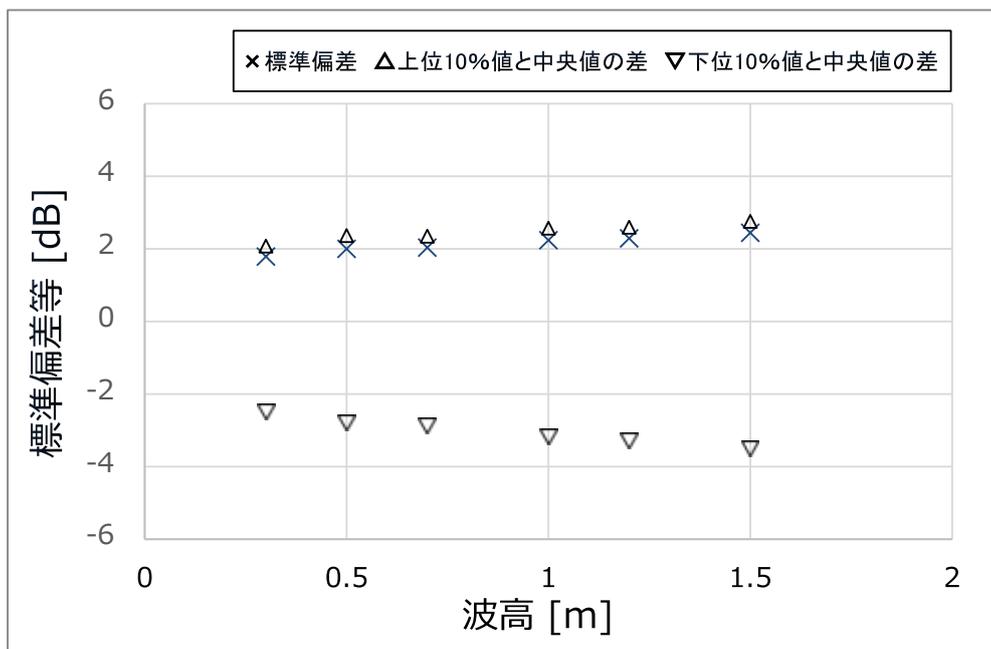
また、表 3.3.1.4-4 に図 3.3.1.4-13 及び図 3.3.1.4-14 の各々の近似直線の 10km の値を読み取った値とその平均値を示します。

図 3.3.1.4-13 及び図 3.3.1.4-14 を、それぞれ図 3.3.1.4-11 及び図 3.3.1.4-12 と比較すると共に、表 3.3.1.4-4 を表 3.3.1.4-3 と比較し、100 サンプルで統計処理を行った場合と、1000 サンプルで統計処理を行った場合で、標準偏差等に殆ど差がないことが確認できました。このことから標準偏差等に関して、100 サンプルのデータの統計処理で 1000 サンプルのデータの統計処理と同程度の精度が得られると考えられます。

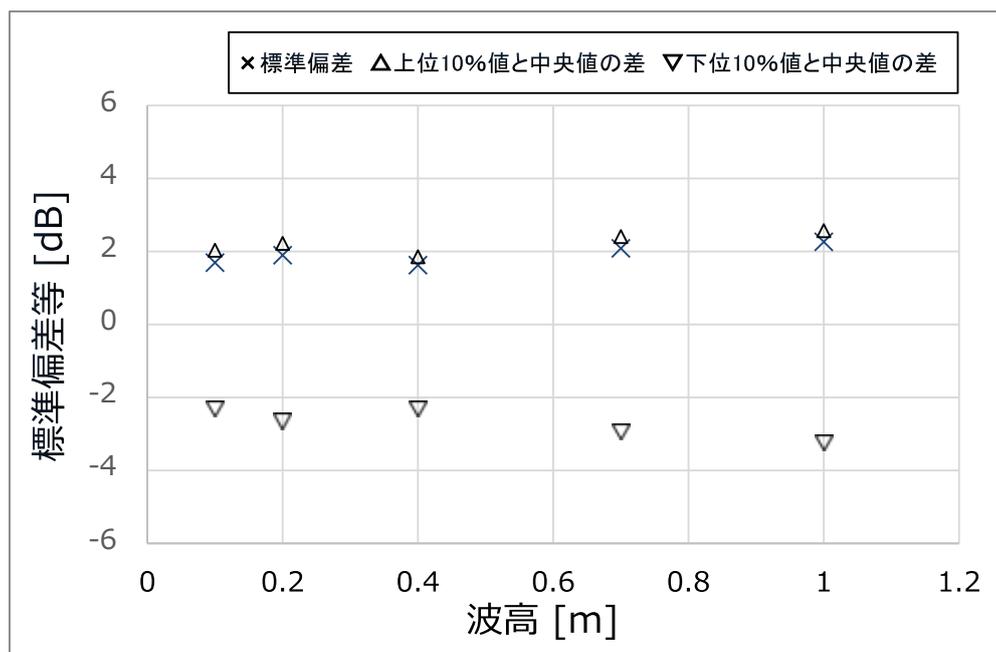
表 3.3.1.4-4 受信電力の 1000 サンプルでの統計処理結果 (10km 地点)

	標準偏差[dB]	偏差の上位10%値 [dB]	偏差の下位10%値 [dB]
艇庫測定1	2.3	2.3	-3.3
艇庫測定2	2.2	2.2	-3.2
艇庫測定3	1.7	1.7	-2.5
艇庫測定4	1.4	1.5	-1.9
艇庫測定 (平均)	1.9	1.9	-2.7
ホテル屋上測定1	3.1	3.0	-5.0
ホテル屋上測定2	2.9	3.0	-4.0
ホテル屋上測定3	3.3	3.2	-5.3
ホテル屋上測定 (平均)	3.1	3.1	-4.8

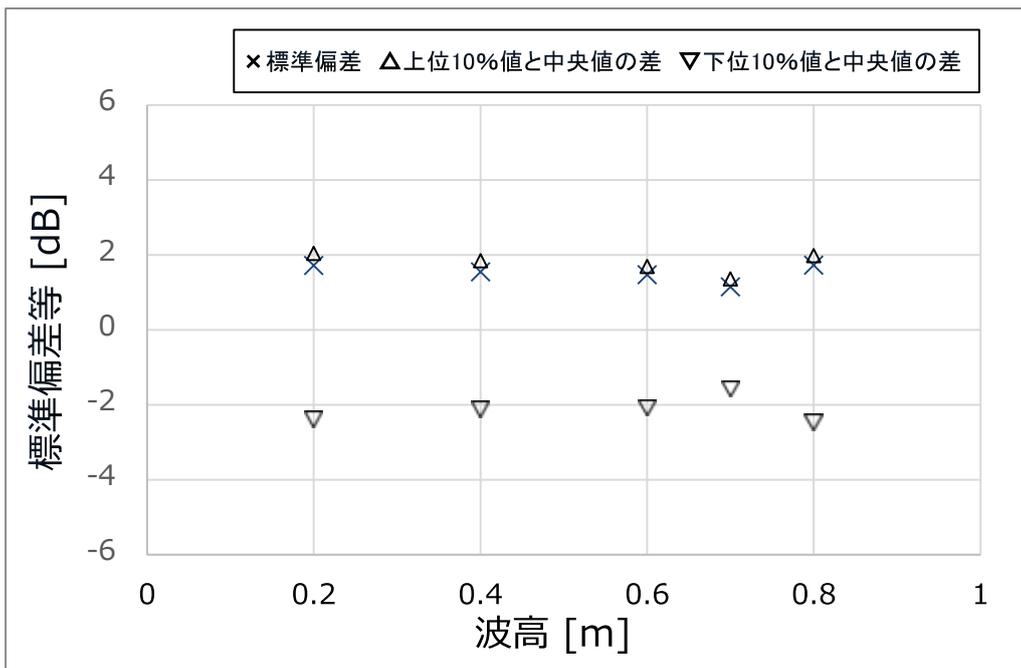
図 3.3.1.4-15 及び図 3.3.1.4-16 に、受信電力の変動に対する波高の影響評価を行った結果を示します。先に算出した、標準偏差 (σ)、上位 10%値と中央値の差、及び下位 10%値と中央値の差の平均値を求め、波高との関係进行评估しました。標準偏差等の平均値は、測定ルートにおいて、波高が異なる区間があれば、波高が同一と見做すことができる区間に分けて算出しました。艇庫基地局では、波高が高いほど、標準偏差や上位 10%値と中央値の差などが僅かに大きくなる傾向が認められますが、ホテル屋上基地局では、標準偏差や上位 10%値と中央値の差などにおいて、波高による大きな違いは認められませんでした。



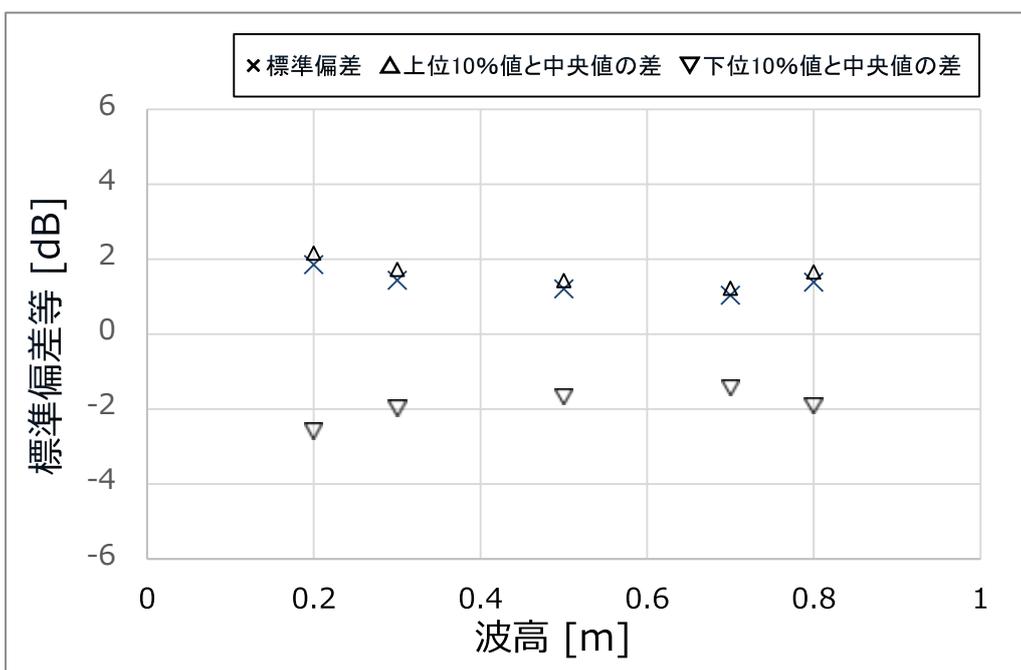
(ア) 艇庫測定 1 (潮位 22cm、波高 1.0m)



(イ) 艇庫測定 2 (潮位 34cm、波高 1.0m)

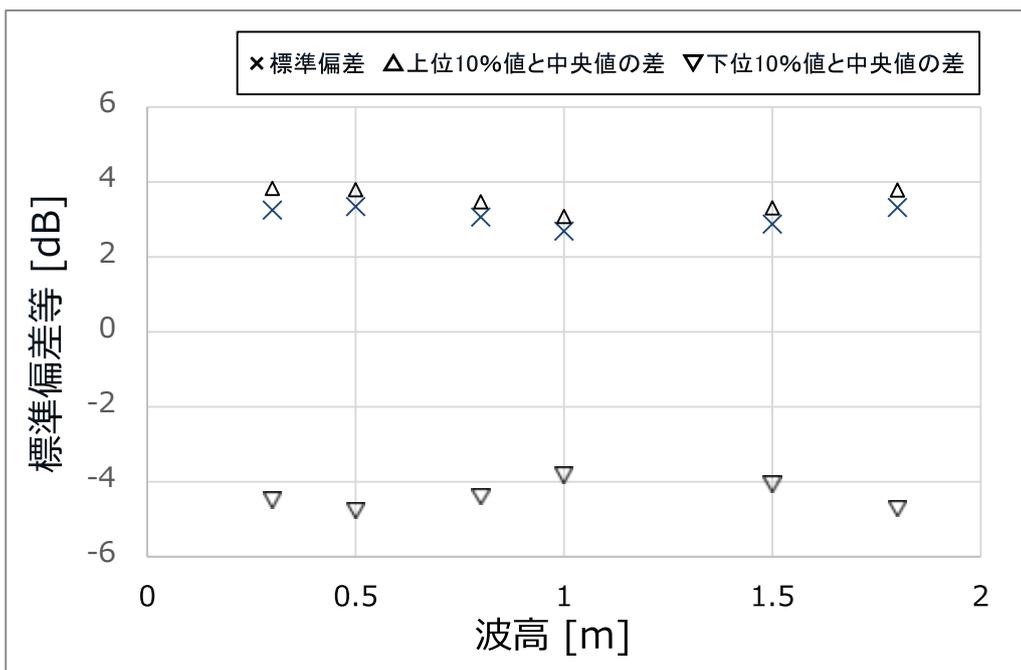


(ウ) 艇庫測定 3 (潮位 40cm、波高 0.7m)

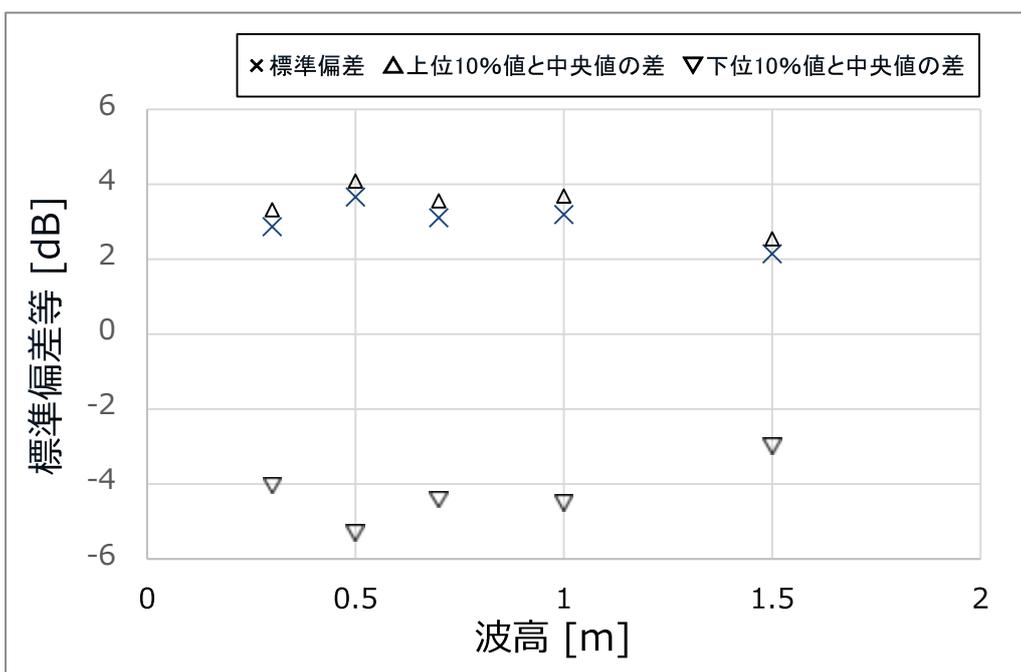


(エ) 艇庫測定 4 (潮位 31cm、波高 0.7m)

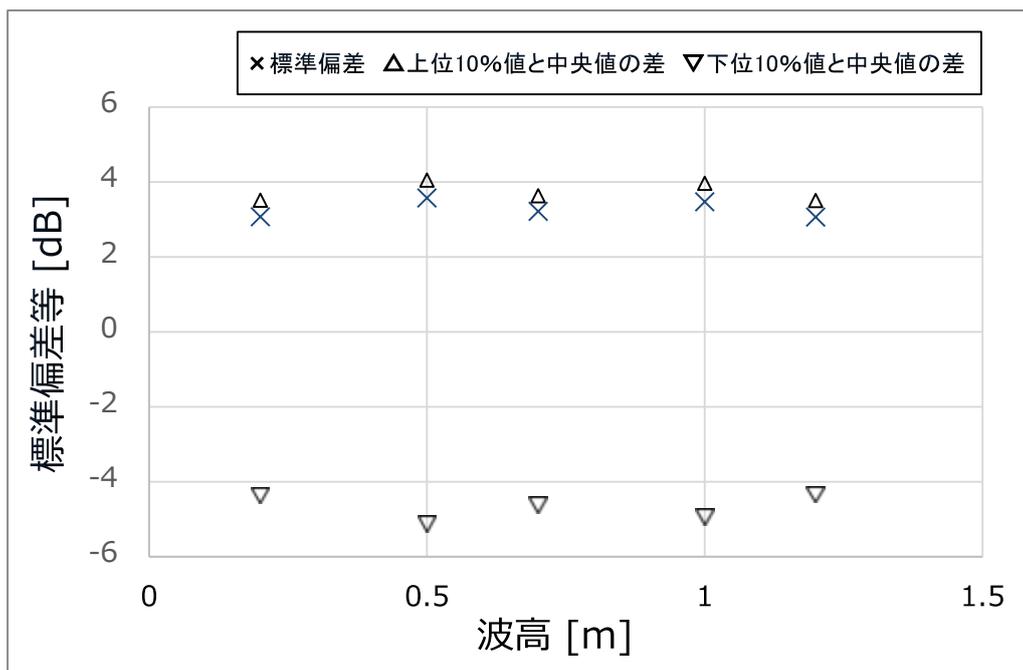
図 3.3.1.4-15 受信電力の標準偏差等に対する波高の影響 (艇庫基地局)



(ア) ホテル屋上測定 1 (潮位-26cm、波高 1.0m)



(イ) ホテル屋上測定 2 (潮位 8cm、波高 1.7m)



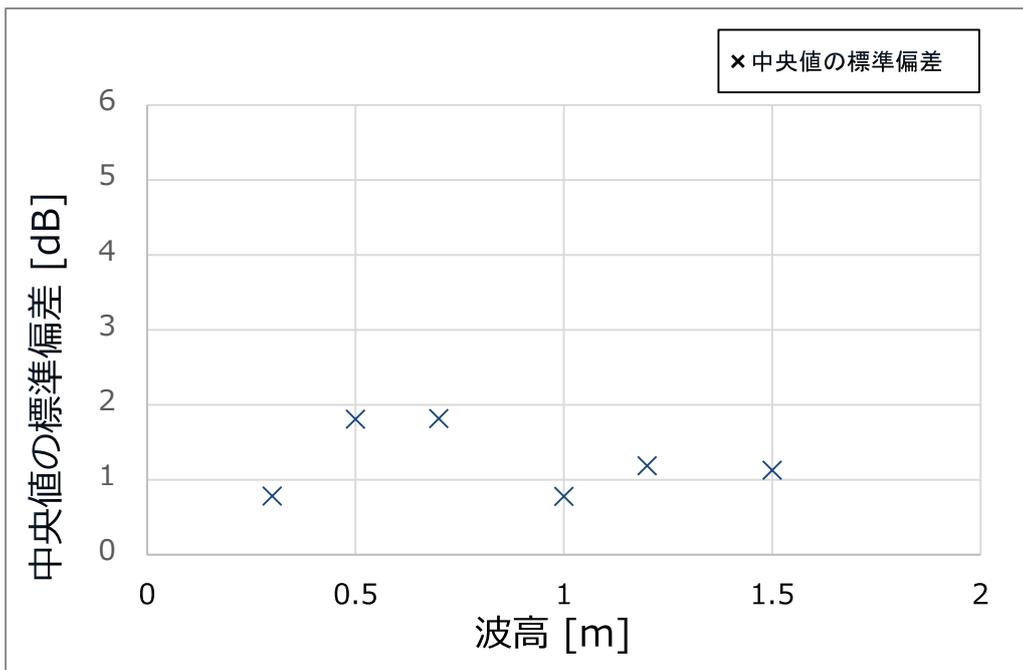
(ウ) ホテル屋上測定 3 (潮位-76cm、波高 1.3m)

図 3.3.1.4-16 受信電力の標準偏差等に対する波高の影響 (ホテル屋上基地局)

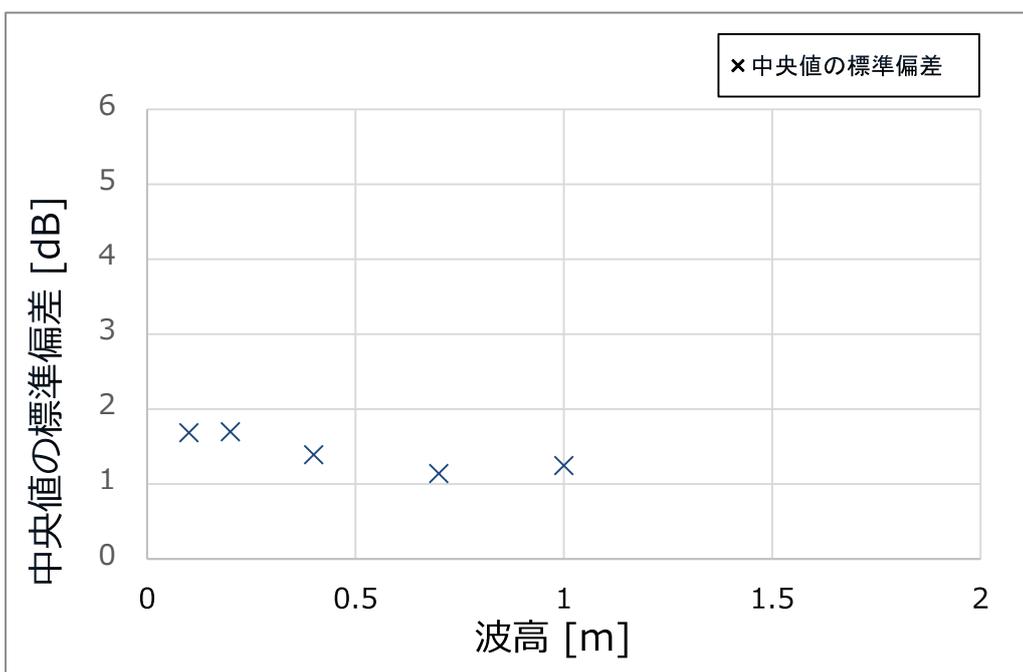
図 3.3.1.4-17 及び図 3.3.1.4-18 に、100 サンプルごとに求めた受信電力の中央値を用いて、短区間中央値変動と波高との関係性を評価した結果を示します。波浪は、通常、約 1 秒から約 30 秒の周期をもっていることとされていることから、4 秒間で取得した 100 サンプルの間の受信電力の変動を、その中央値と上位 10% 値の差などで評価しても、波による変動の大きさは十分に評価できないと考えられます。そこで、波浪の周期が約 30 秒の場合でも、その影響を評価できるように、連続した 40 秒間で取得した受信電力のデータにより、以下のように、受信電力の変動の大きさと波高の関係性を評価しました。

- 連続して取得した 10 カ所の測定点毎に中央値の標準偏差 (10 カ所の中央値の平均値に対する標準偏差) を算出し、その平均値を求めました。
- 標準偏差の平均値は、測定ルートにおいて、波高が異なる区間があれば、波高が同一と見做すことができる区間に分けて算出しました。

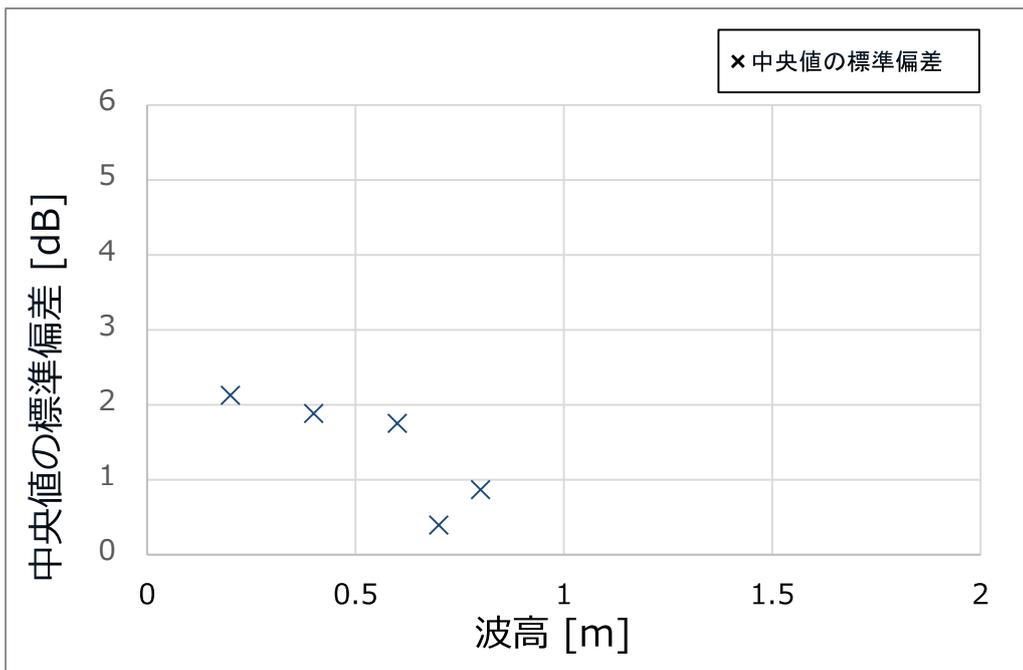
短区間中央値変動の標準偏差は、艇庫基地局とホテル屋上基地局で大きな差はなく、約 3dB となりました。エリア設計においては、この短区間中央値変動の標準偏差と測定点毎の瞬時値変動の標準偏差より、これらを合成した変動を考慮することが望ましいと考えられます。



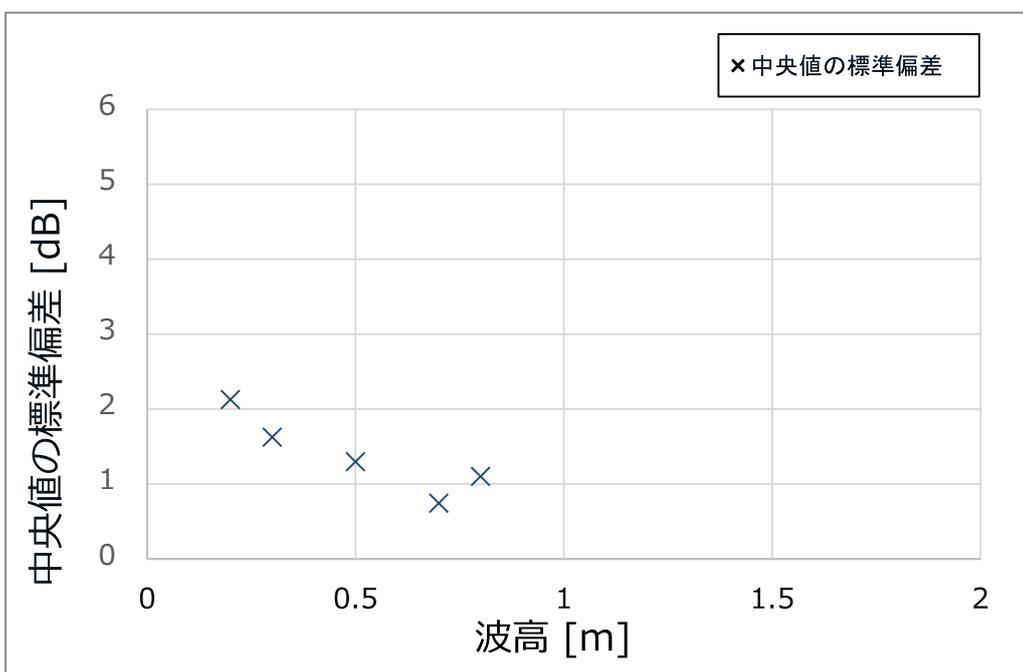
(ア) 艇庫測定 1 (潮位 22cm、波高 1.0m)



(イ) 艇庫測定 2 (潮位 34cm、波高 1.0m)

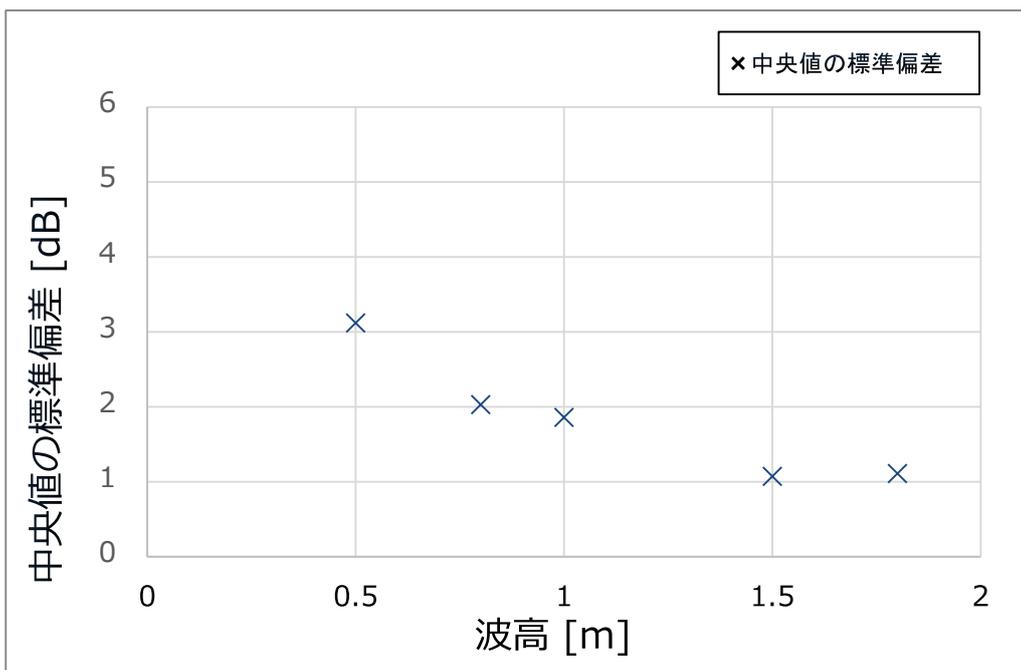


(ウ) 艇庫測定 3 (潮位 40cm、波高 0.7m)

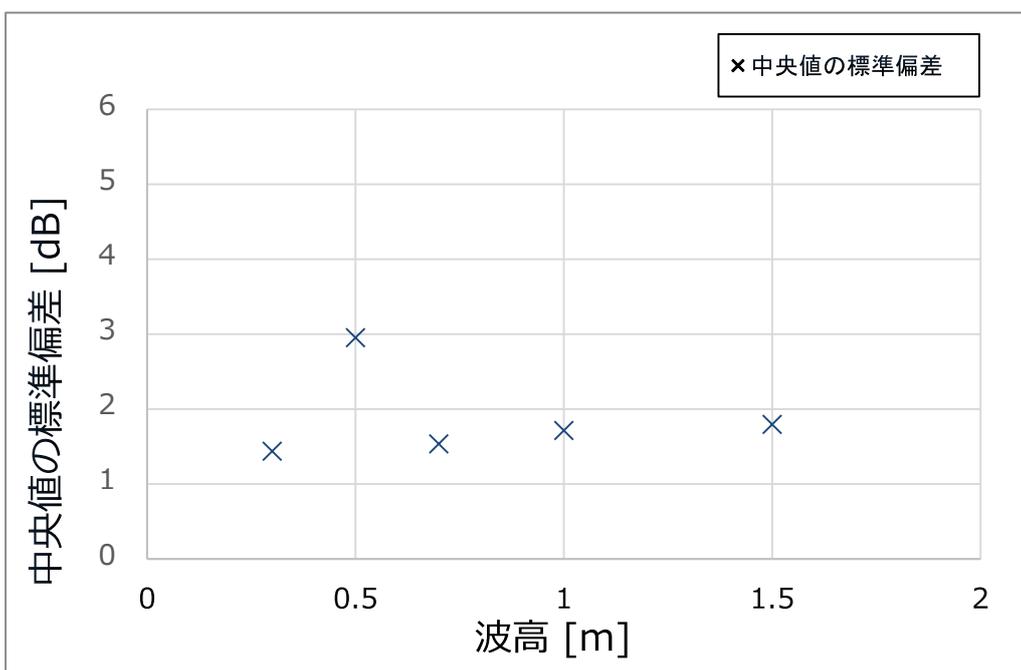


(エ) 艇庫測定 4 (潮位 31cm、波高 0.7m)

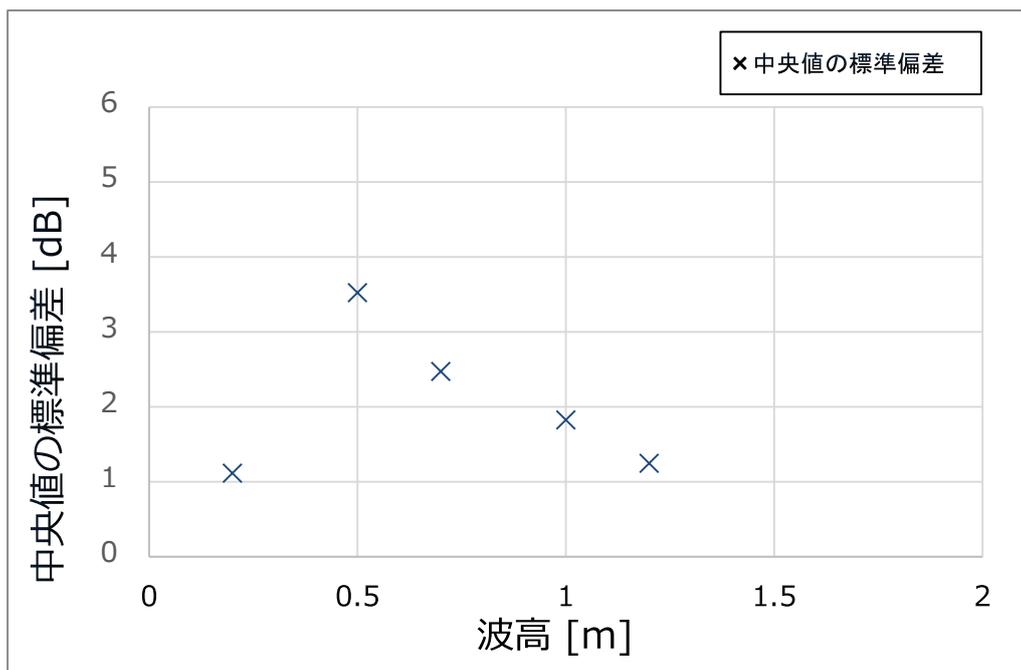
図 3.3.1.4-17 受信電力の短区間中央値変動の標準偏差 (艇庫基地局)



(ア) ホテル屋上測定 1 (潮位-26cm、波高 1.0m)



(イ) ホテル屋上測定 2 (潮位 8cm、波高 1.7m)



(ウ) ホテル屋上測定 3 (潮位-76cm、波高 1.3m)

図 3.3.1.4-18 受信電力の短区間中央値変動の標準偏差 (ホテル屋上基地局)

表 3.3.1.4-5 及び表 3.3.1.4-6 に、カバーエリアと調整対象区域の各々について、エリア算出法に基づくエリア端における実際の受信電力と閾値が実測される地点の評価を行った結果を示します。これらの表の数値は、以下のように求めました。

- 潮位と波高は、各々の測定時に折り返し地点における潮位 (標高基準) と波高としました。
- エリア算出法に基づくエリア端は、エリア算出法の 1~10km における計算値の近似直線と基準値が交わる地点とし、その地点までの基地局からの距離と、その地点に最も近い測定点の受信電力測定値を求めました。
- 実測によるエリア端は、艇庫基地局では 6km 以上、ホテル屋上基地局では 2km 以上での測定値の近似直線が基準値と交わる地点として、その地点までの基地局からの距離を求めました。

図 3.3.1.4-7 及び図 3.3.1.4-8 においても、表 3.3.1.4-5 及び表 3.3.1.4-6 においても、エリア算出法に基づくカバーエリアや調整対象区域のエリア端の基地局からの距離は、測定値に基づくエリア端の距離に比べて大幅に短く、エリア算出法と実測の間には大きな乖離があることが判りました。

表 3.3.1.4-5 カバーエリアのエリア端までの距離

	潮位 [cm]	波高 [m]	エリア算出法に基づく エリア端		実測による エリア端
			基地局からの距離 [km]	受信電力測定値 [dBm]	基地局からの距離 [km]
艇庫測定 1	22	1.0	1.7	-73.5	10.2
艇庫測定 2	34	1.0	1.7	-69.0	9.3
艇庫測定 3	40	0.7	1.7	-69.4	9.2
艇庫測定 4	31	0.7	1.7	-69.8	9.9
ホテル屋上 測定 1	-26	1.0	6.2	-78.9	6.1
ホテル屋上 測定 2	8	1.7	6.2	-82.8	6.9
ホテル屋上 測定 3	-76	1.3	6.2	-78.0	5.9

表 3.3.1.4-6 調整対象区域のエリア端までの距離

	潮位 [cm]	波高 [m]	エリア算出法に基づく エリア端		実測による エリア端
			基地局からの距離 [km]	受信電力測定値 [dBm]	基地局からの距離 [km]
艇庫測定 1	22	1.0	2.6	-79.2	16.5
艇庫測定 2	34	1.0	2.6	-68.4	14.8
艇庫測定 3	40	0.7	2.6	-75.2	13.1
艇庫測定 4	31	0.7	2.6	-74.0	14.3
ホテル屋上 測定 1	-26	1.0	9.8	-83.8	14.2
ホテル屋上 測定 2	8	1.7	9.9	-87.5	16.2
ホテル屋上 測定 3	-76	1.3	9.8	-89.8	10.9

(3) 伝送性能の測定

伝送性能の測定は、艇庫測定 3、艇庫測定 4、及びホテル屋上測定 3 で受信電力の測定と合わせて実施しました。伝送スループットと伝送遅延は、以下のように測定点を定めて計算しました。

- 4 秒毎の受信電力のデータを、取得した順番に 40 秒毎のデータにまとめました。
- 40 秒のデータ毎に取得場所の開始点、中間地点（緯度・経度）、終了点を求め、中間地点を測定点と見做しました。中間地点は、1000 サンプルのデータを取得時間順に並べて 500 サンプル目のデータを取得した地点としました。
- 各々の測定点（上記の開始点から終了点までの場所）で取得した伝送スループット及びパケットロス率を平均化し、各々の測定点での値としました。
- 伝送遅延についても、同様に、各々の測定点で取得した伝送遅延を平均化し、各々の測定点での値としました。
- 40 秒間連続して受信電力、伝送スループット、伝送遅延の何れかが取得できていない測定点は、測定点として扱わず、評価・分析に用いないこととしました。

a) 伝送スループットの測定結果 (1)

図 3.3.1.4-19 及び図 3.3.1.4-20 に、UL 及び DL の各々について、伝送スループットの測定に用いた 2 台の PC を直接接続して測定した伝送スループットとパケットロス率の時系列データを示します。送信レートは、伝送スループットの所要性能に比べて十分大きな値に設定し、UL は、(100Mbps)、DL は、(500Mbps) としました。このようにして、UL で 100Mbps、DL で 500Mbps 程度の伝送スループットの測定には、パソコンの性能が十分であることを確認しました。

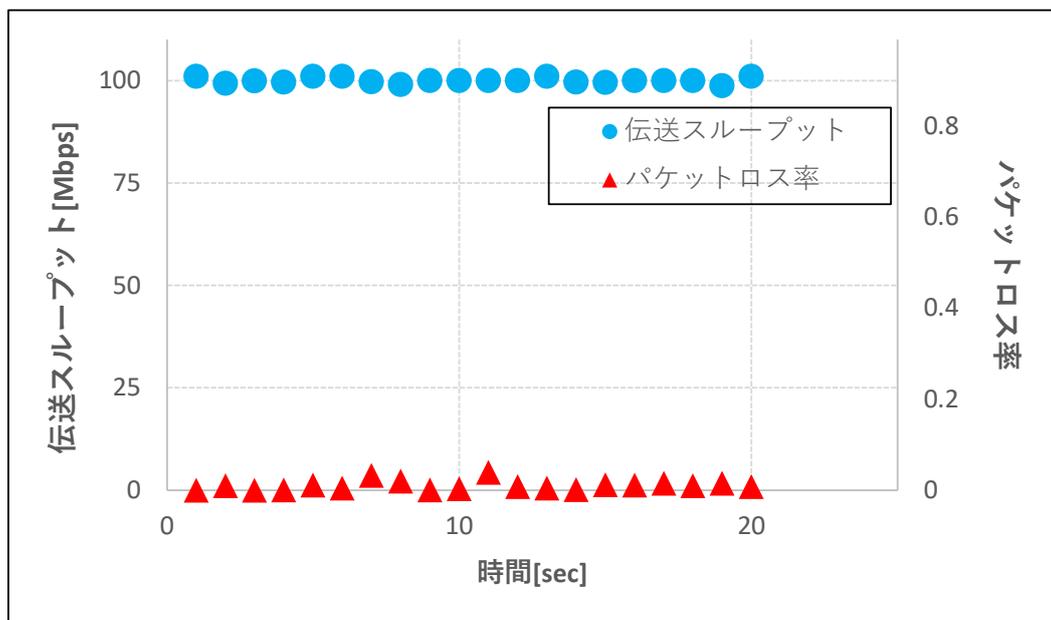


図 3.3.1.4-19 無線区間の影響を除いた測定系における伝送スループットとパケットロス率 (UL)

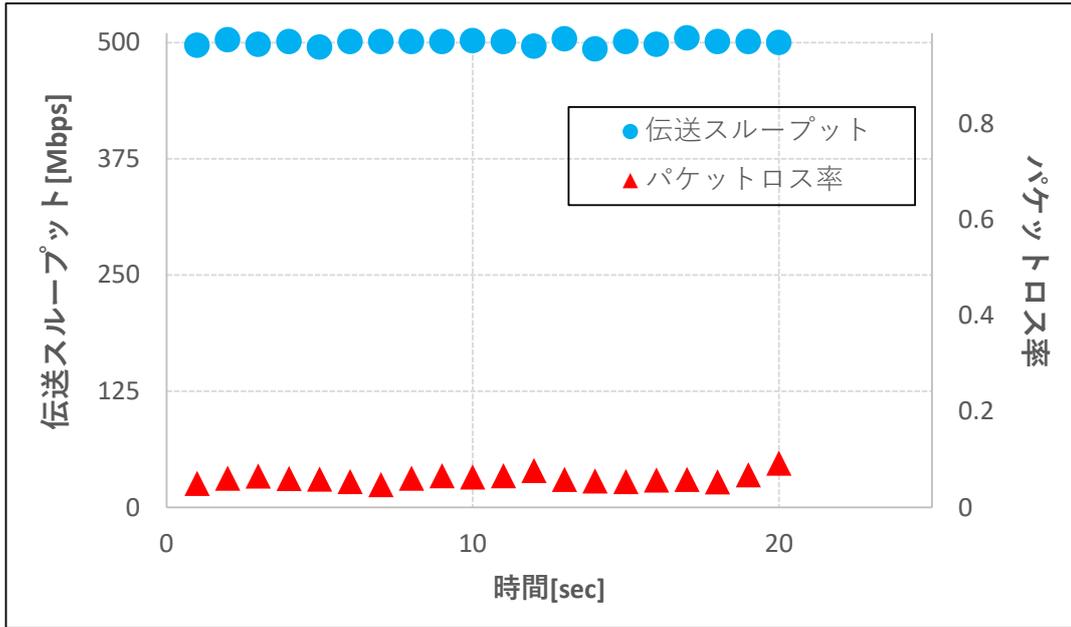
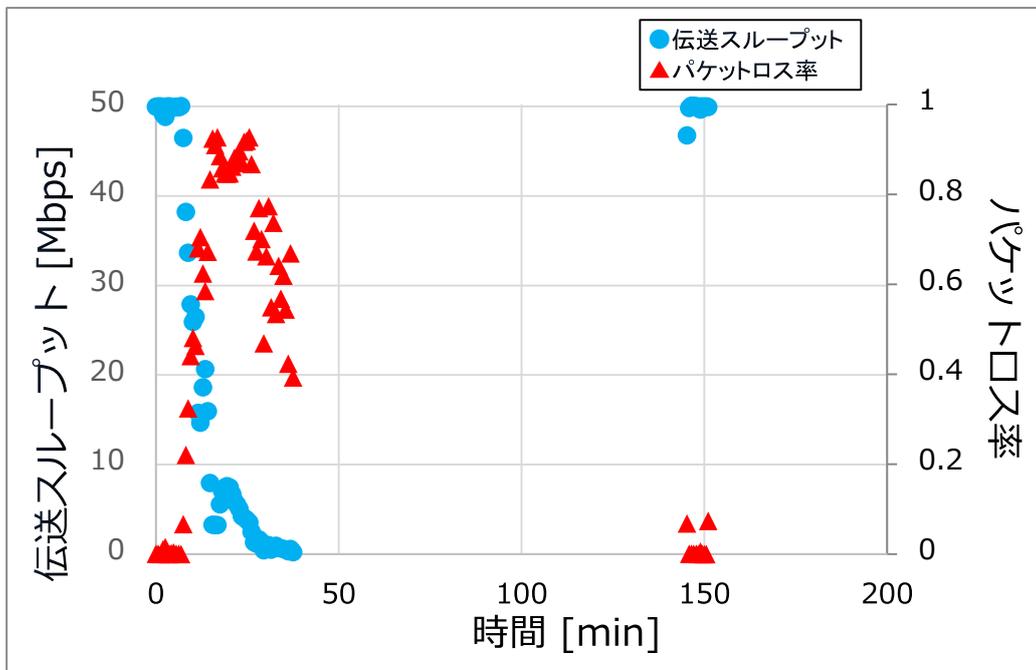


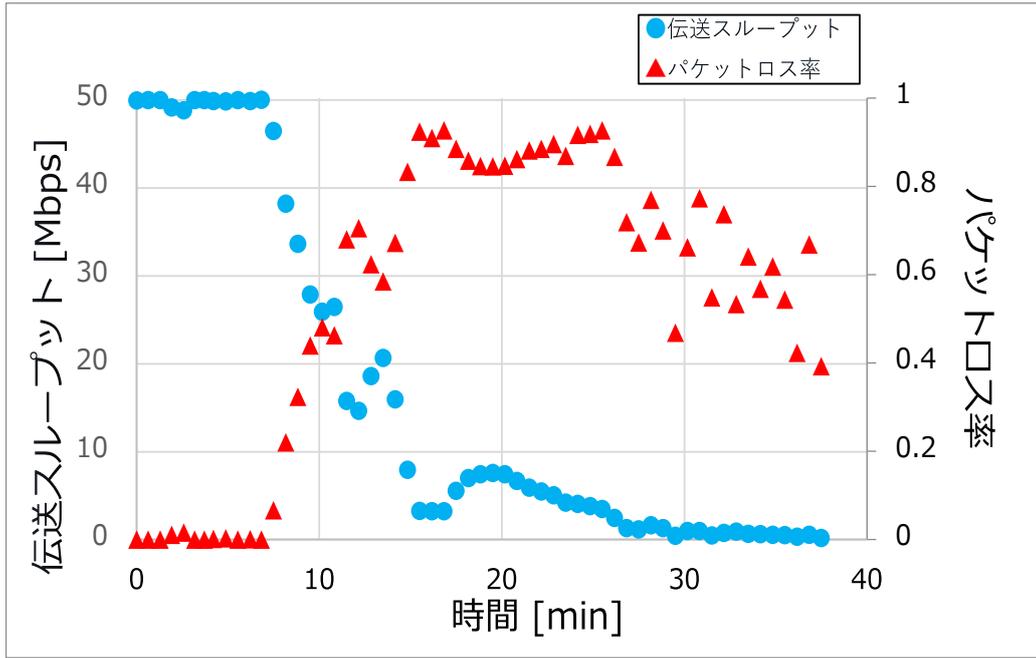
図 3.3.1.4-20 無線区間の影響を除いた測定系における伝送スループットとパケットロス率 (DL)

b) 伝送スループットの測定結果 (2)

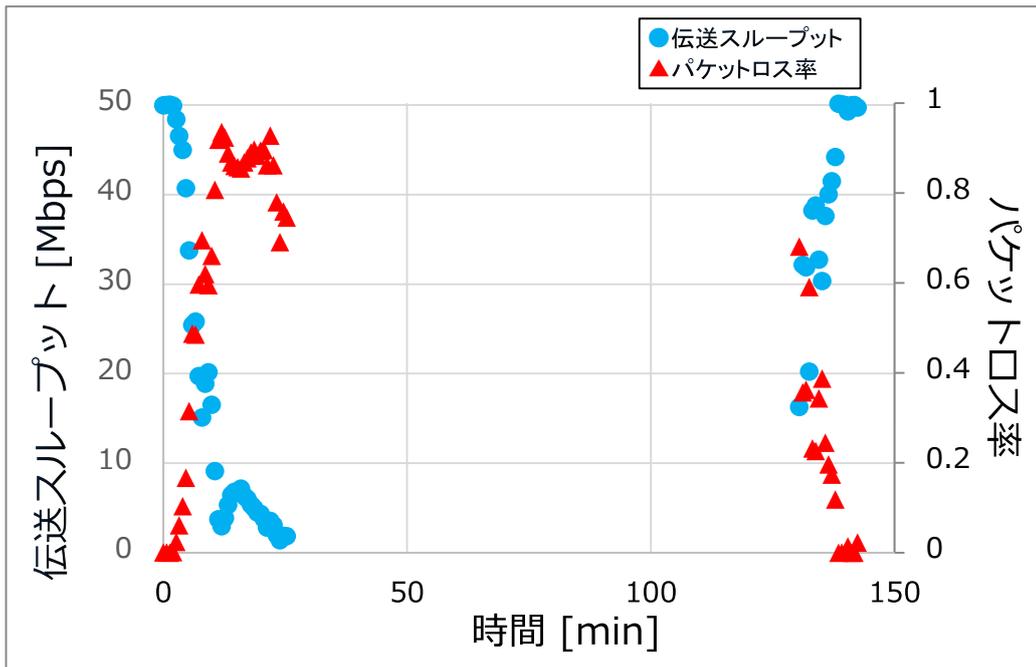
図 3.3.1.4-21 及び図 3.3.1.4-22 に、UL 及び DL の各々について、伝送スループットとパケットロス率の時系列データを示します。



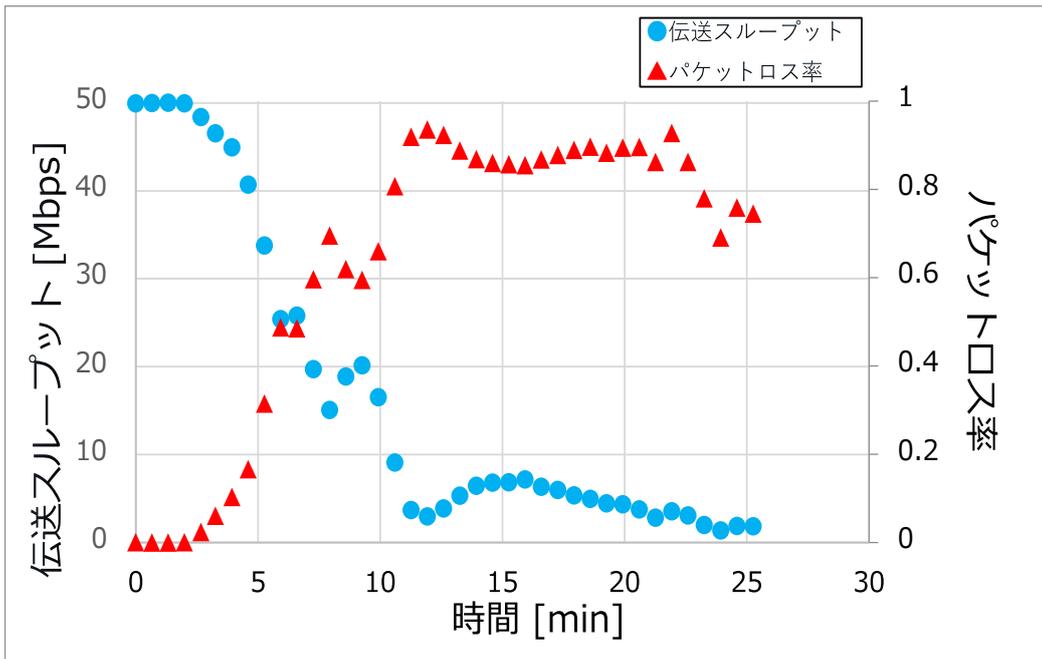
(ア) 艇庫測定 3 (送信レート 50Mbps)



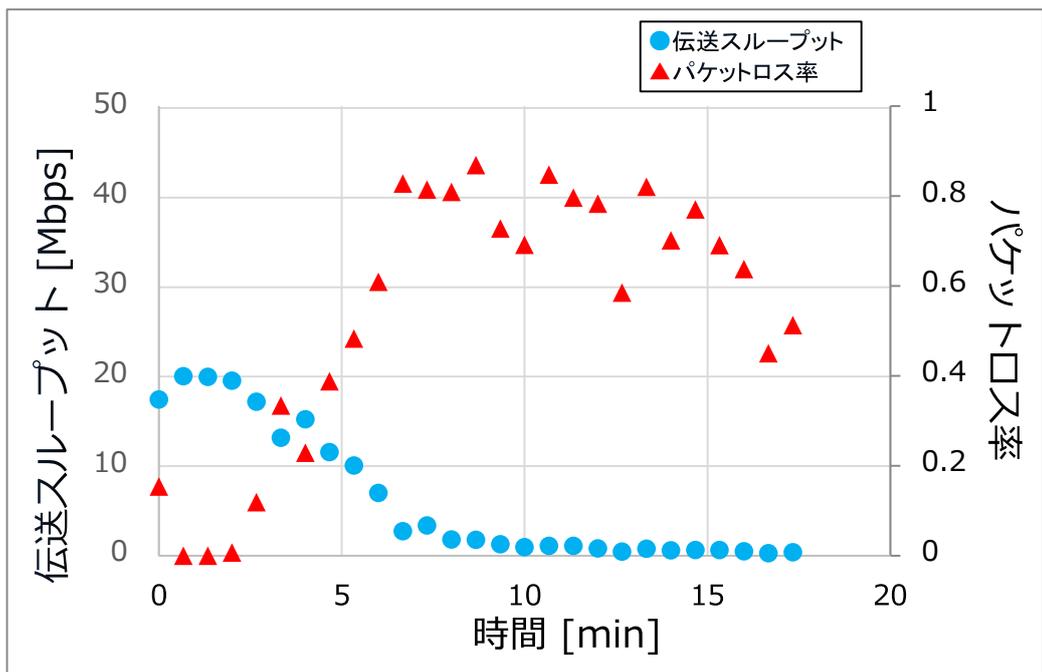
(イ) 艇庫測定 3 の拡大図 (送信レート 50Mbps)



(ウ) 艇庫測定 4 (送信レート 50Mbps)

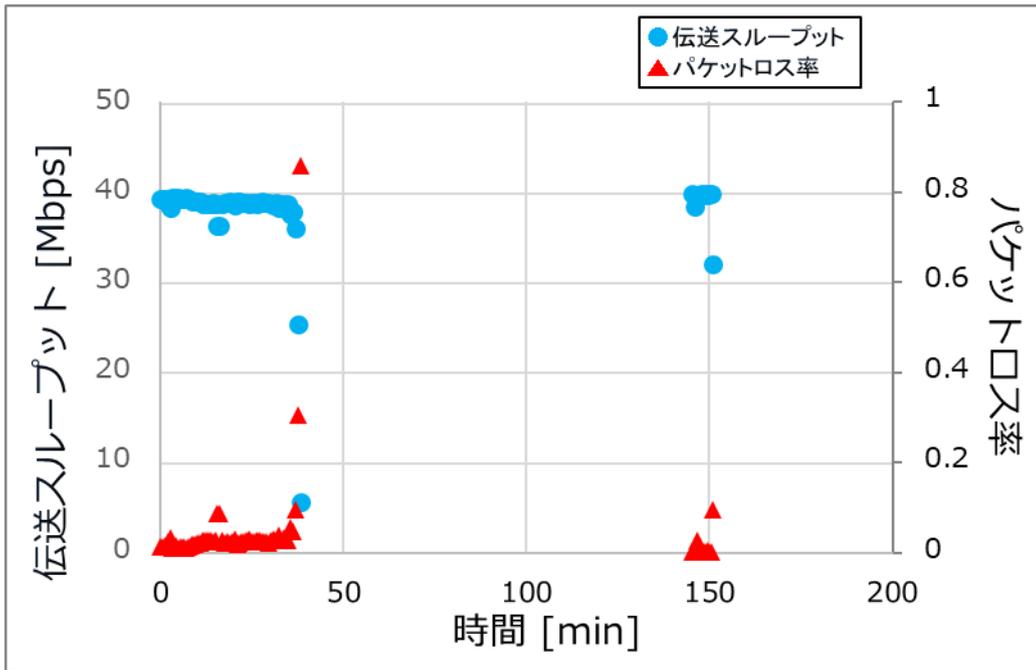


(エ) 艇庫測定 4 の拡大図 (送信レート 50Mbps)

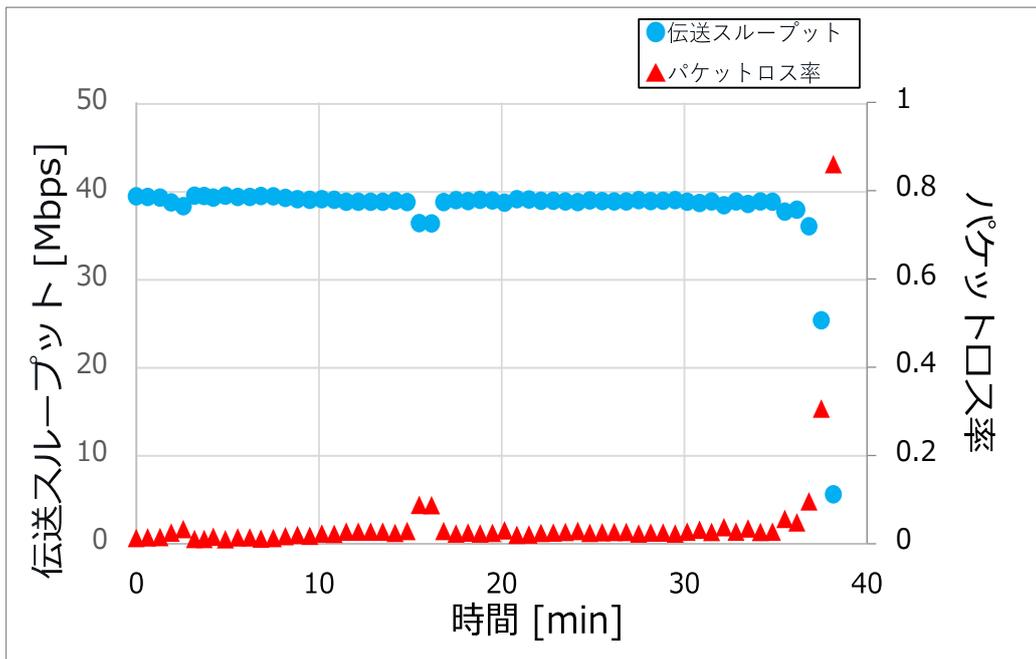


(オ) ホテル屋上測定 3 (送信レート 20Mbps)

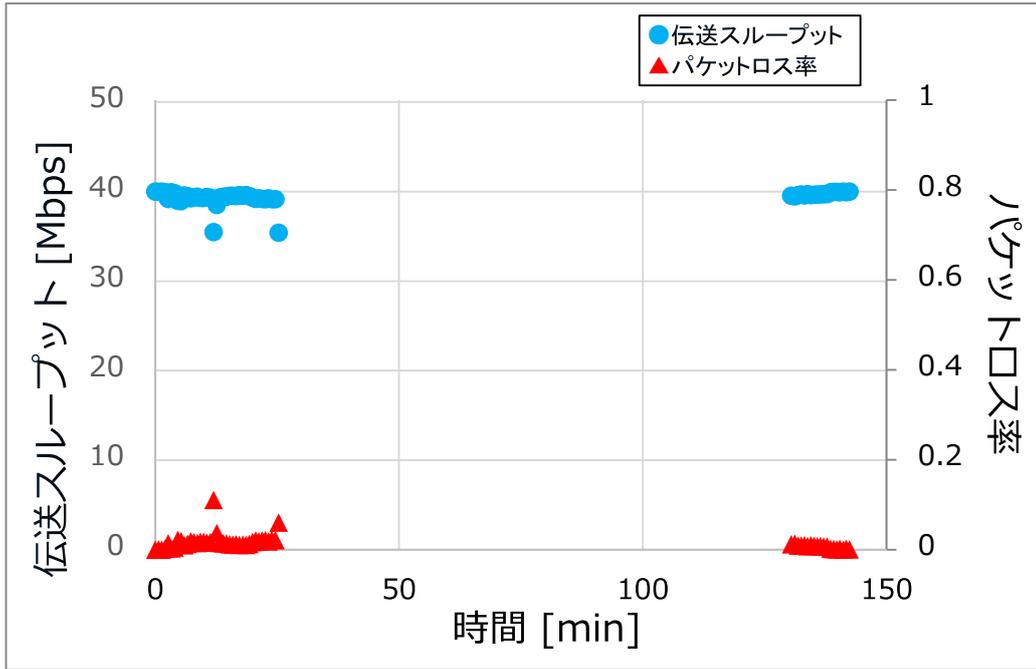
図 3.3.1.4-21 伝送スループットとパケットロス率の時系列データ (UL)



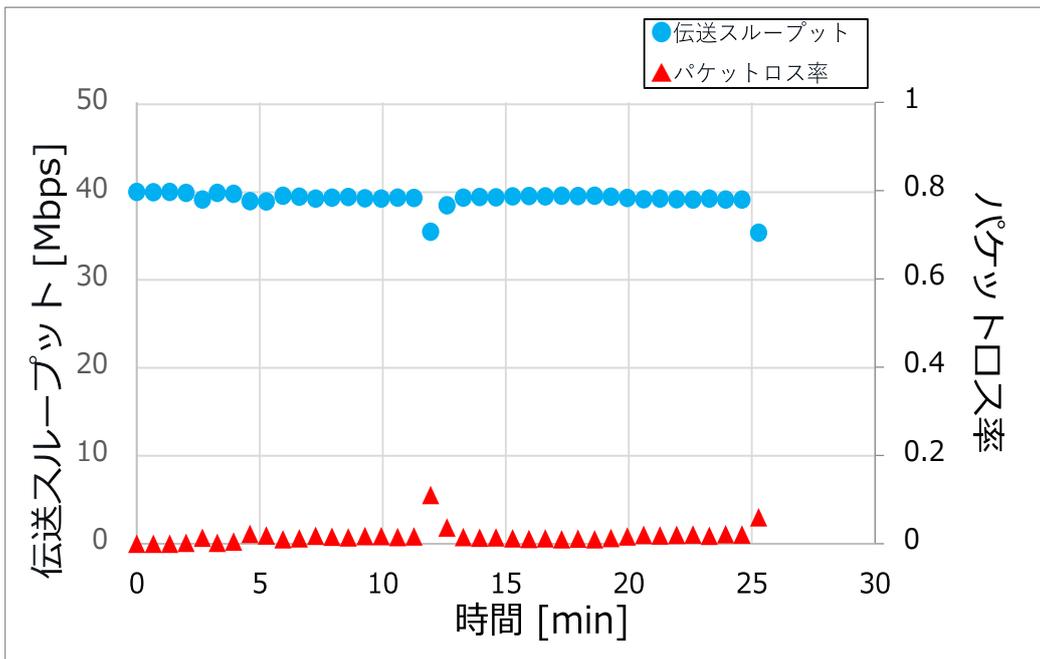
(ア) 艇庫測定 3 (送信レート 40Mbps)



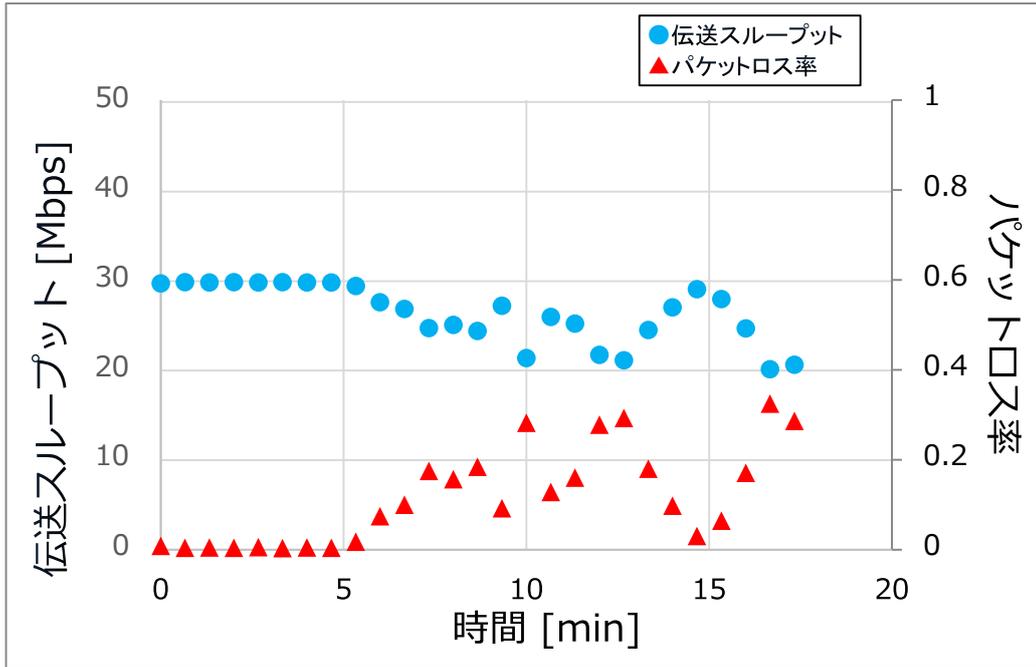
(イ) 艇庫測定 3 の拡大図 (送信レート 40Mbps)



(ウ) 艇庫測定 4 (送信レート 40Mbps)



(エ) 艇庫測定 4 の拡大図 (送信レート 40Mbps)

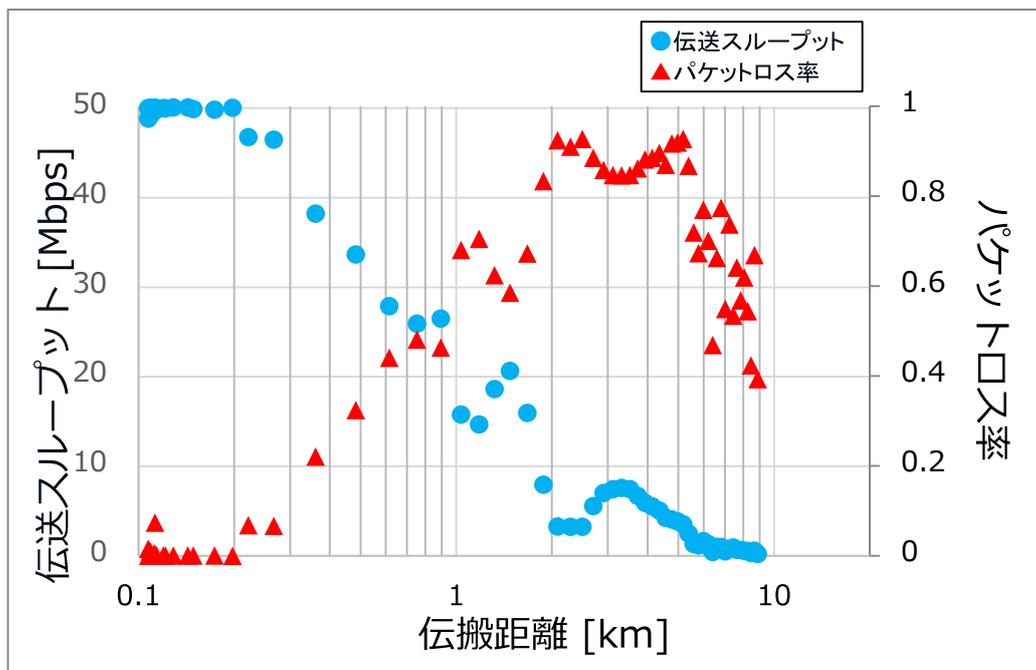


(オ) ホテル屋上測定 3 (送信レート 30Mbps)

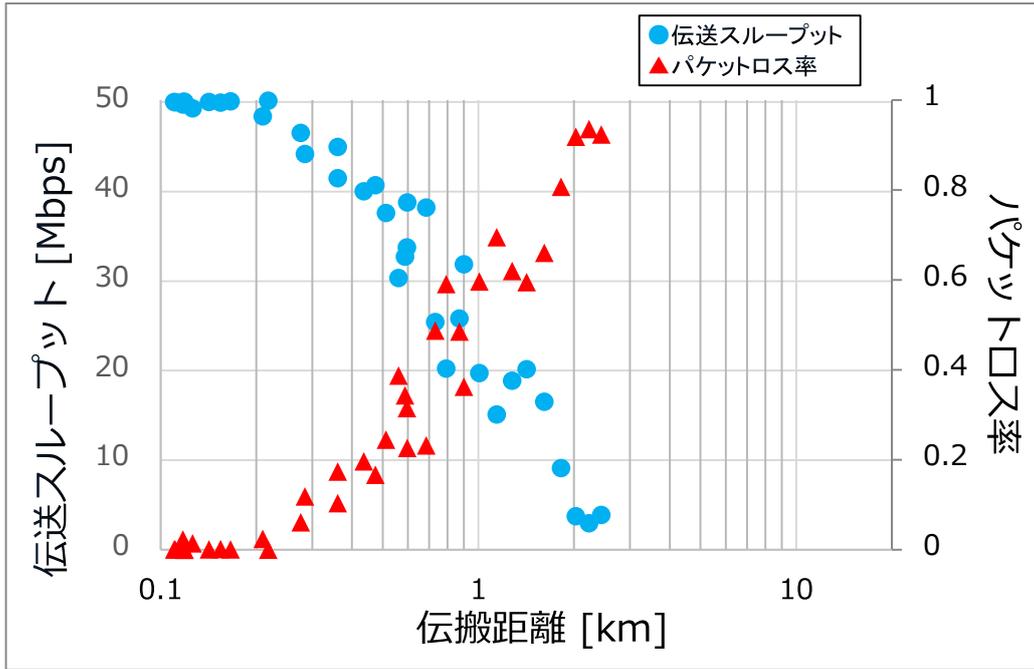
図 3.3.1.4-22 伝送スループットとパケットロス率の時系列データ (DL)

c) 伝送スループットの測定結果 (3)

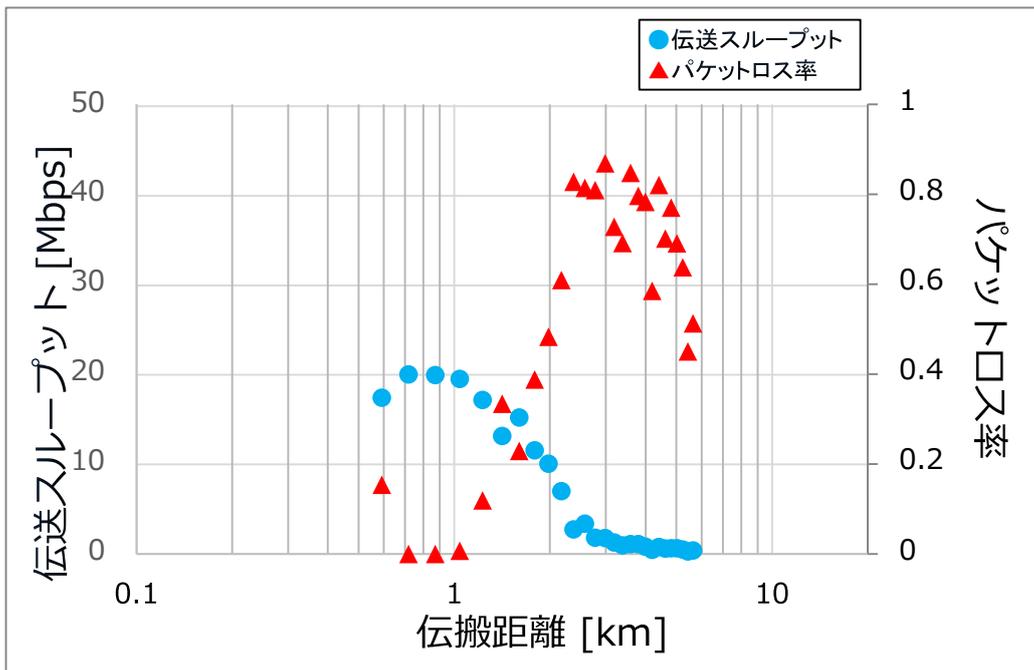
図 3.3.1.4-23 及び図 3.3.1.4-24 に、UL と DL の各々について、伝送スループット及びパケットロス率と、基地局から測定点までの距離との関係を示します。



(ア) 艇庫測定 3 (送信レート 50Mbps)

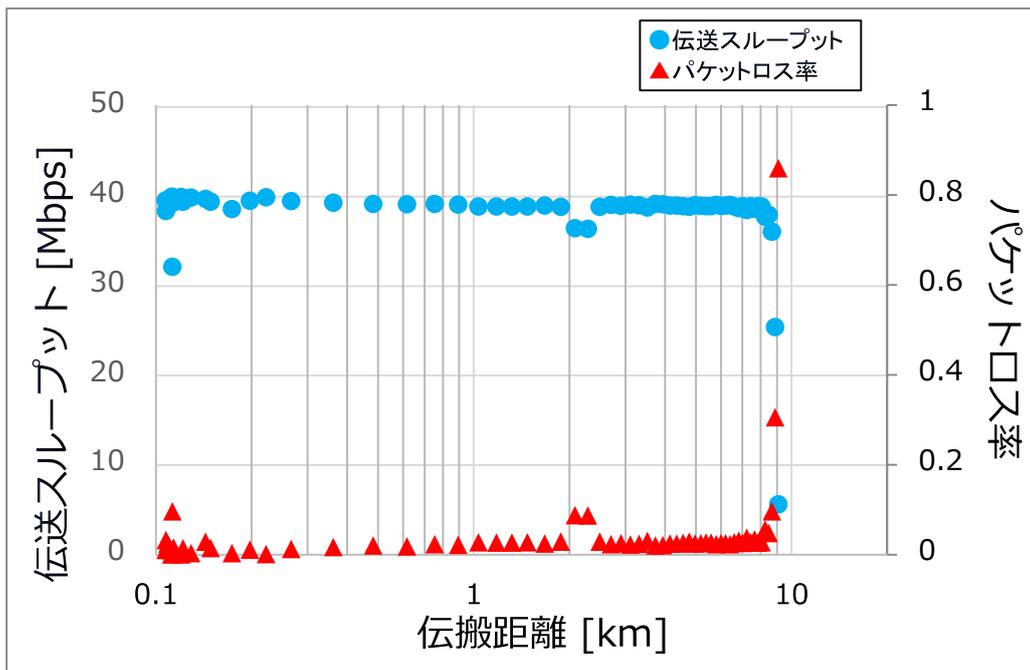


(イ) 艇庫測定 4 (送信レート 50Mbps)

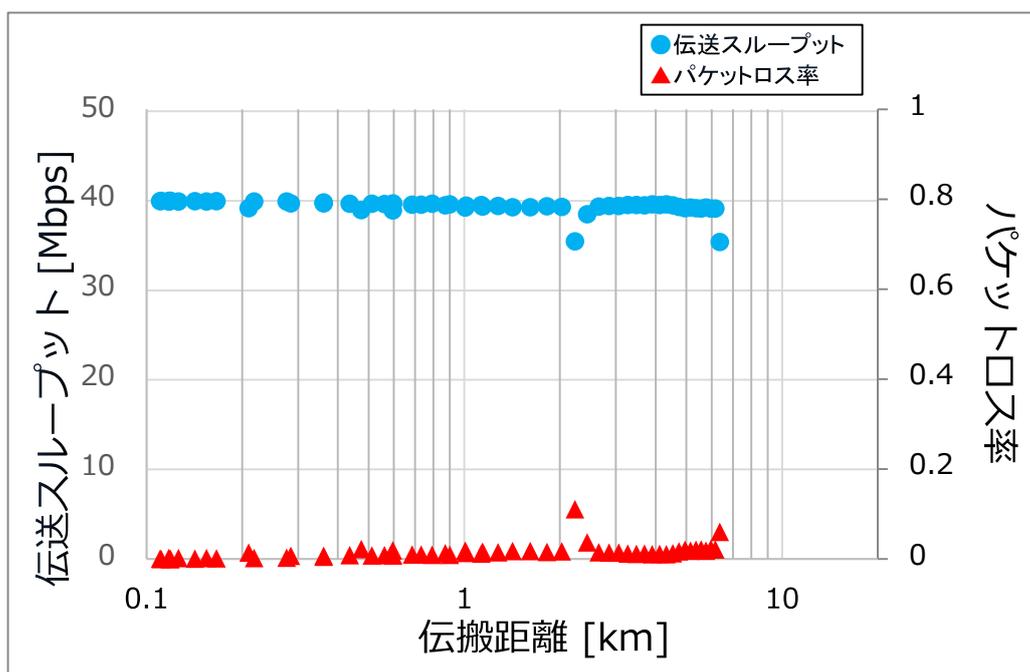


(ウ) ホテル屋上測定 3 (送信レート 20Mbps)

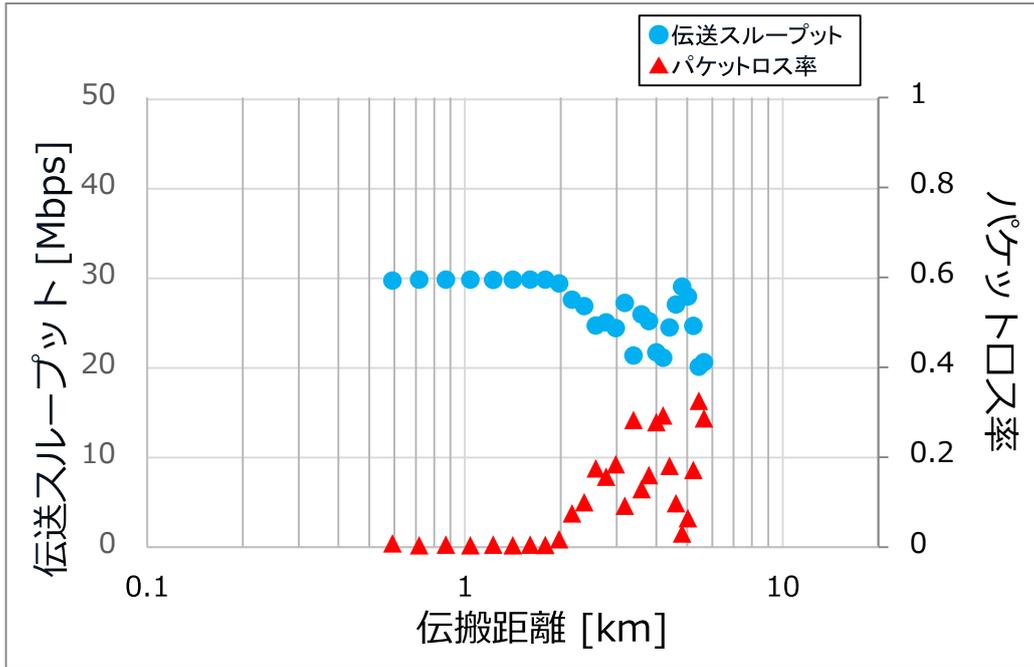
図 3.3.1.4-23 伝送スループットとパケットロス率の距離特性 (UL)



(ア) 艇庫測定 3 (送信レート 40Mbps)



(イ) 艇庫測定 4 (送信レート 40Mbps)

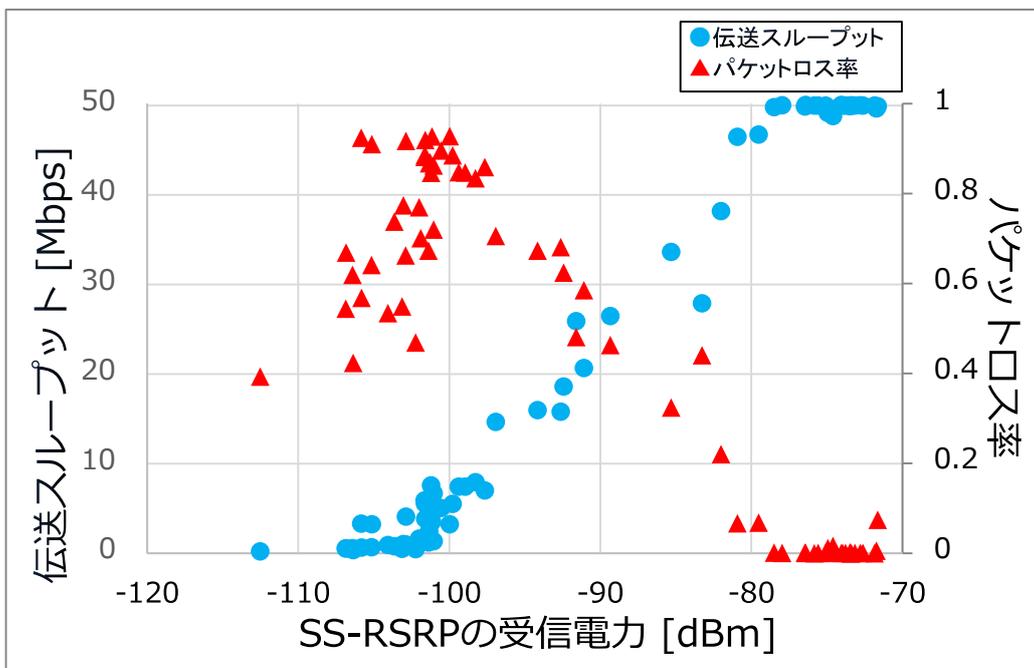


(ウ) ホテル屋上測定 3 (送信レート 30Mbps)

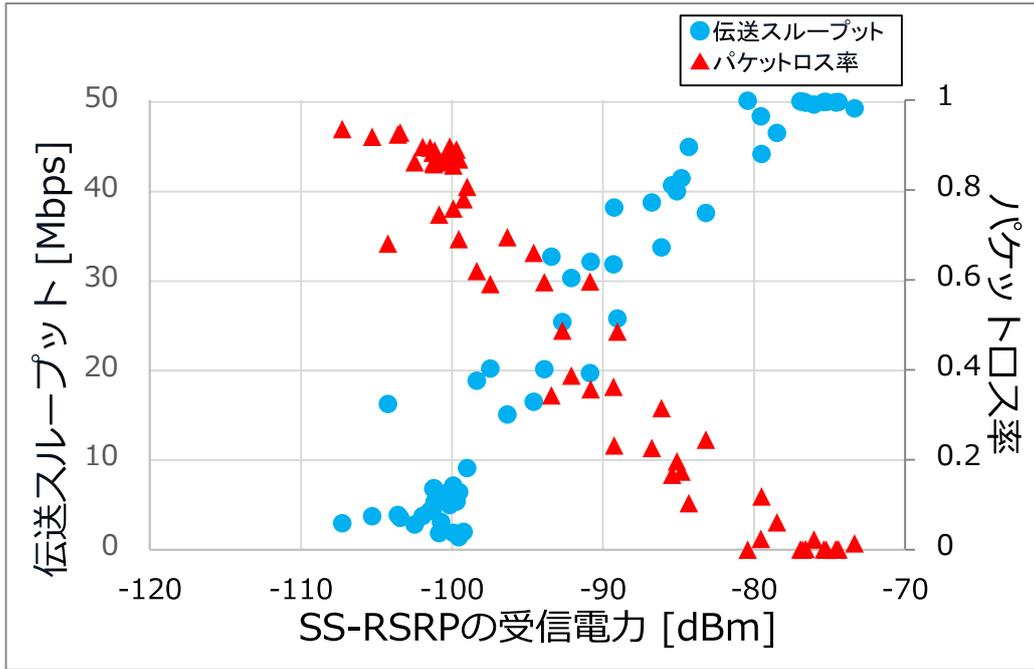
図 3.3.1.4-24 伝送スループットとパケットロス率の距離特性 (DL)

d) 伝送スループットの測定結果 (4)

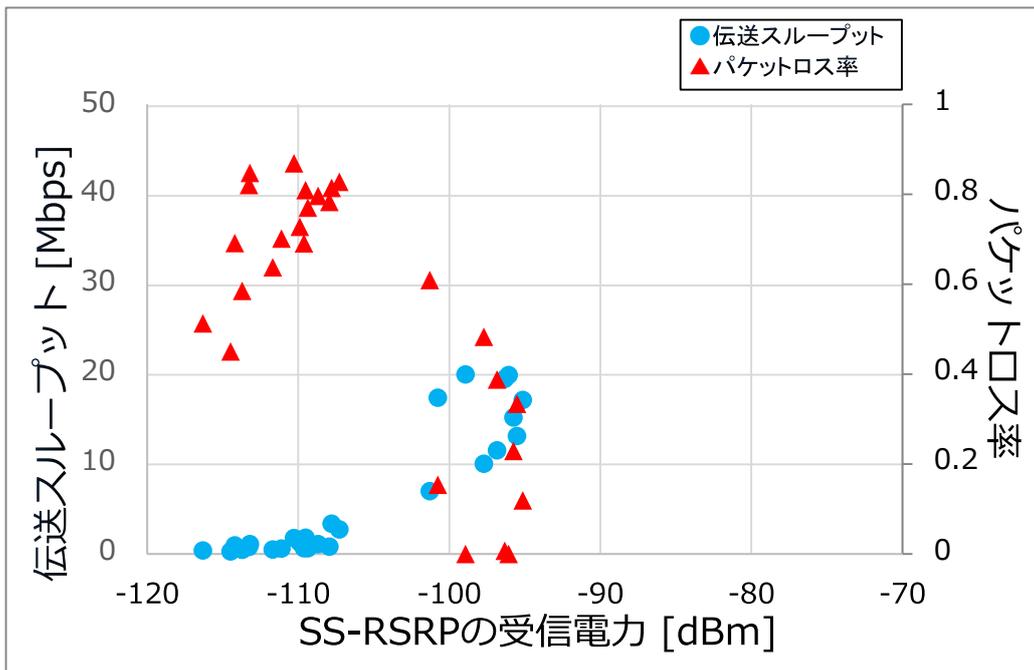
図 3.3.1.4-25 及び図 3.3.1.4-26 に、UL と DL の各々について、伝送スループット及びパケットロス率と、測定点における受信電力との関係を示します。



(ア) 艇庫測定 3 (送信レート 50Mbps)

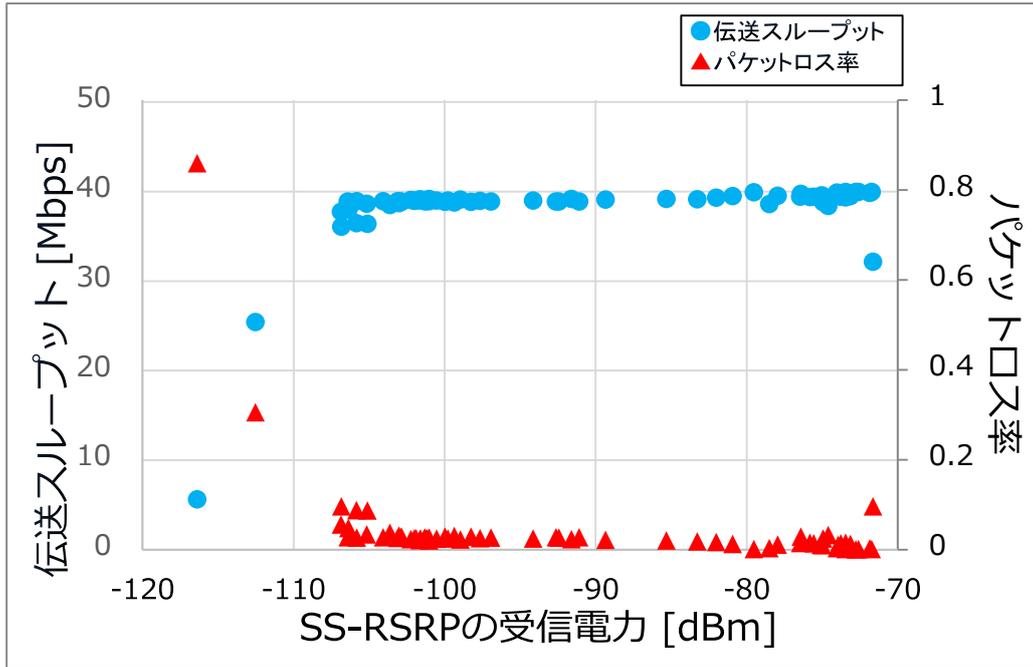


(イ) 艇庫測定 4 (送信レート 50Mbps)

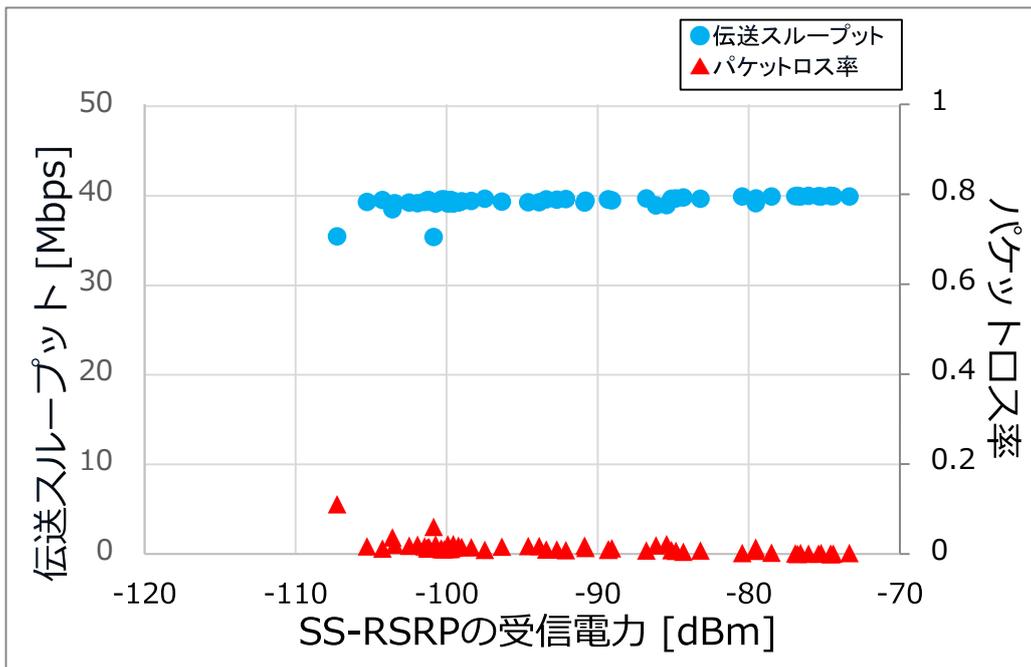


(ウ) ホテル屋上測定 3 (送信レート 20Mbps)

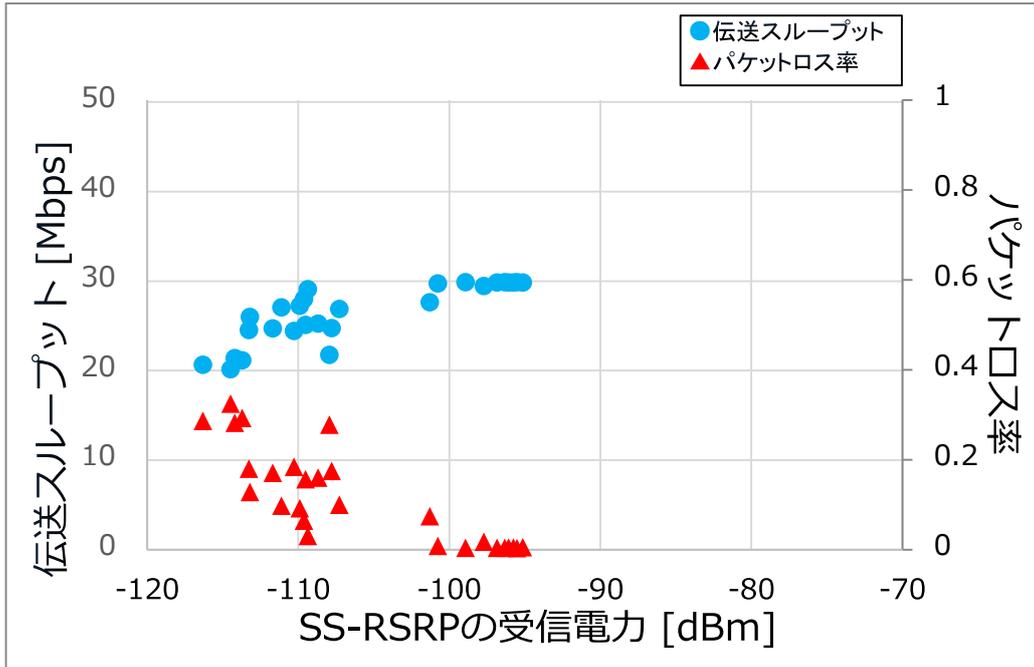
図 3.3.1.4-25 伝送スループットとパケットロス率の受信電力特性 (UL)



(ア) 艇庫測定 3 (送信レート 40Mbps)



(イ) 艇庫測定 4 (送信レート 40Mbps)

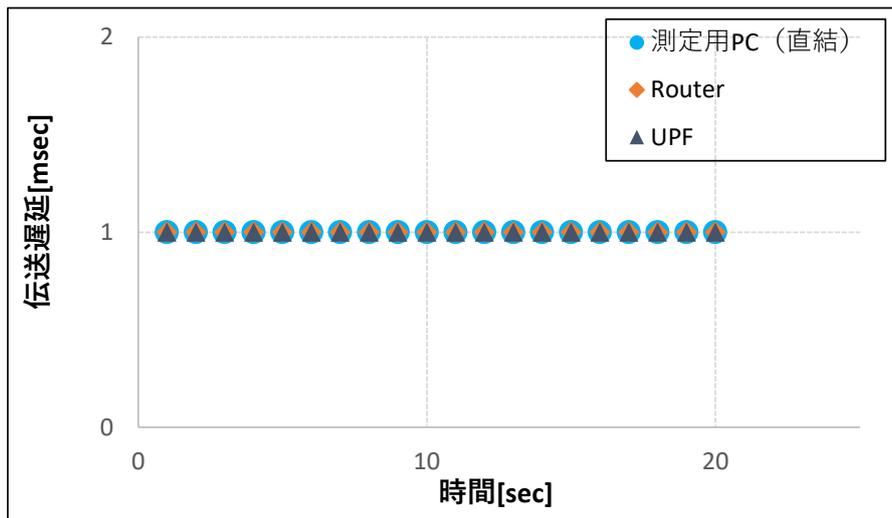


(ウ) ホテル屋上測定 3 (送信レート 30Mbps)

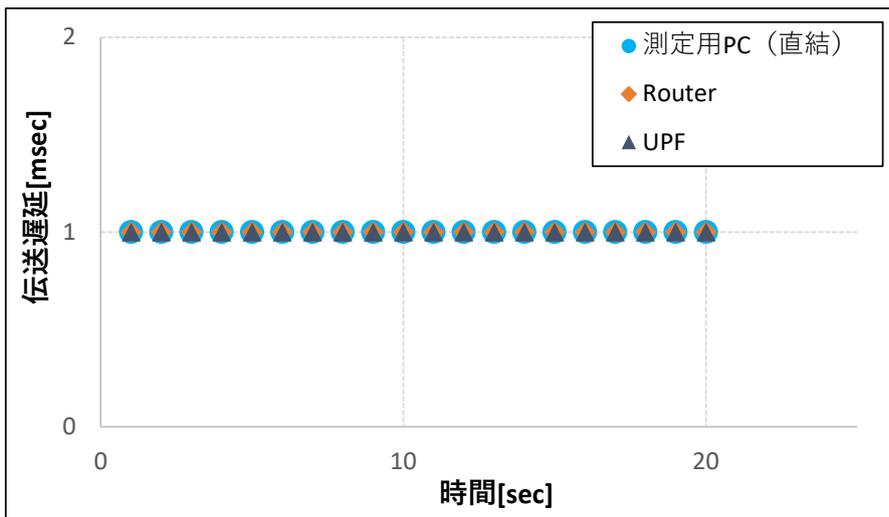
図 3.3.1.4-26 伝送スループットとパケットロス率の受信電力特性 (DL)

e) 伝送遅延の測定結果 (1)

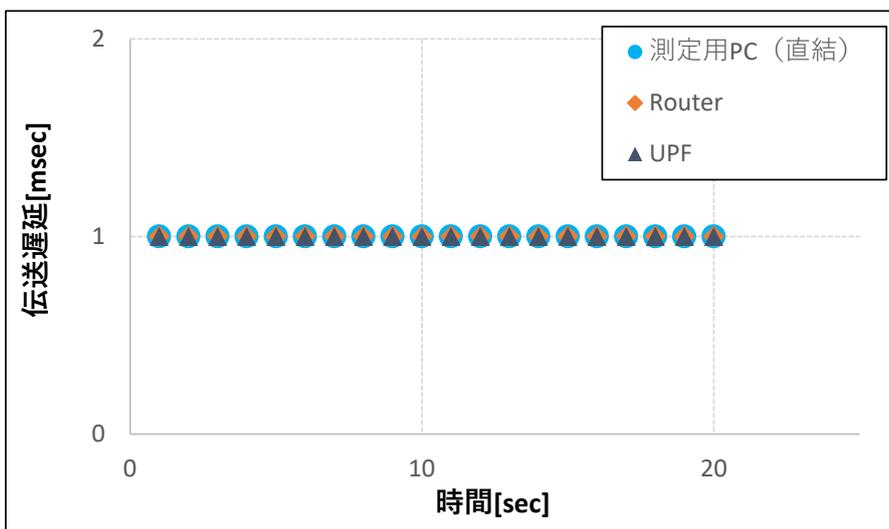
図 3.3.1.4-27 に無線区間の影響を除いた測定系における伝送遅延の測定結果を示します。UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態、UL20Mbps、DL30Mbps の負荷をかけた状態、及び無負荷で測定しました。



(ア) UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態



(イ) UL20Mbps、DL30Mbps の負荷をかけた状態

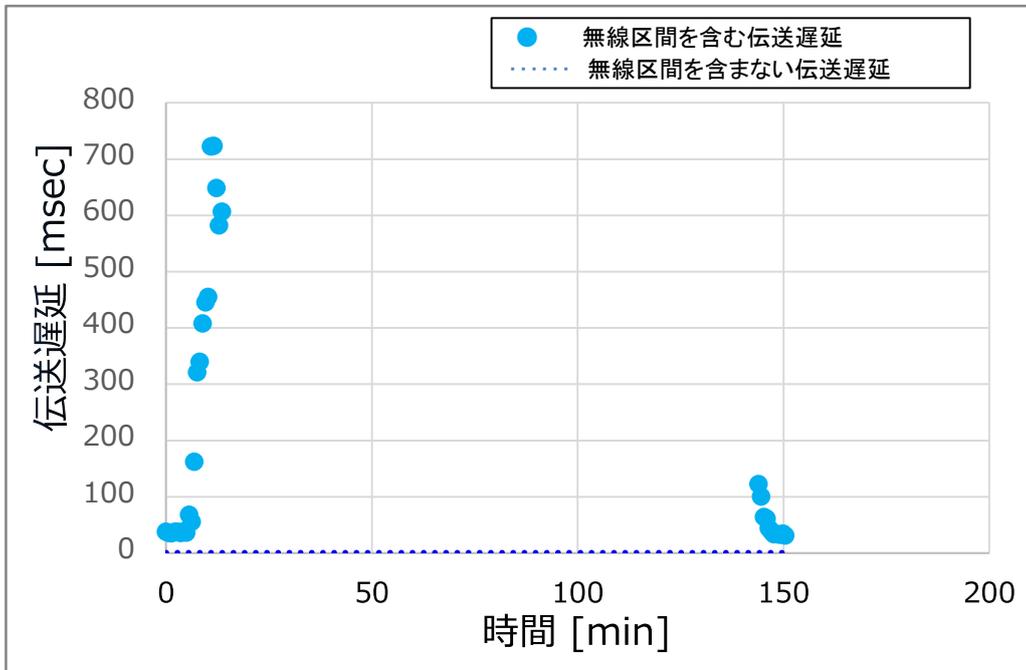


(ウ) 無負荷

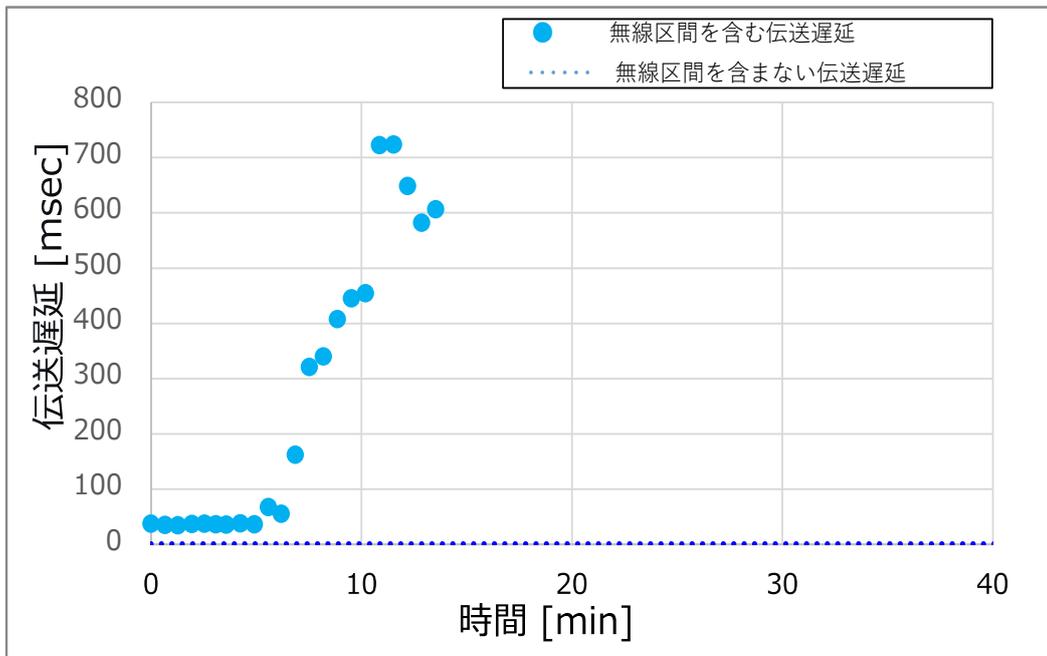
図 3.3.1.4-27 無線区間の影響を除いた測定系における伝送遅延

f) 伝送遅延の測定結果 (2)

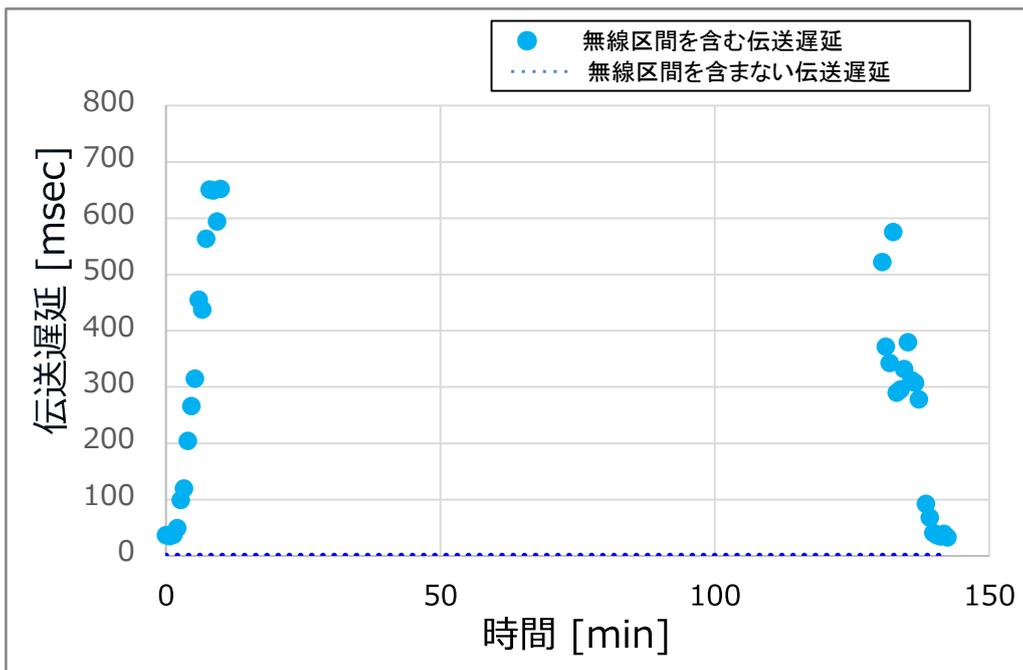
図 3.3.1.4-28 に艇庫基地局（艇庫測定 3）及びホテル屋上基地局（ホテル屋上測定 3）の伝送遅延の時系列データを示します。ホテル屋上基地局に関して、復路は 5G 端末が接続しなかったため、往路のみの時系列データを示します。



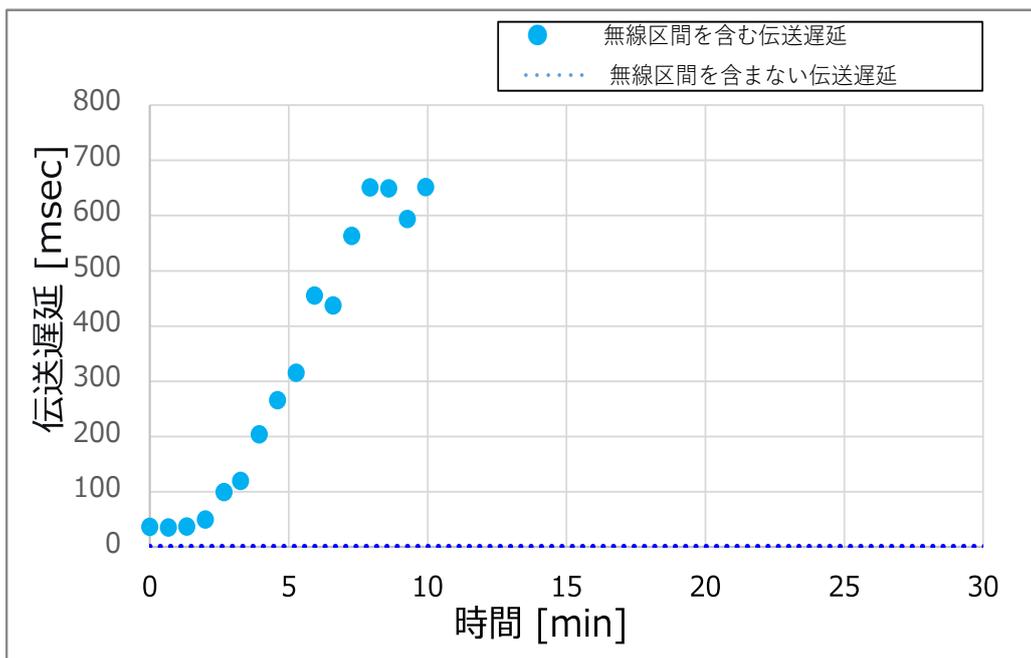
(ア) 艇庫測定 3 (UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態)



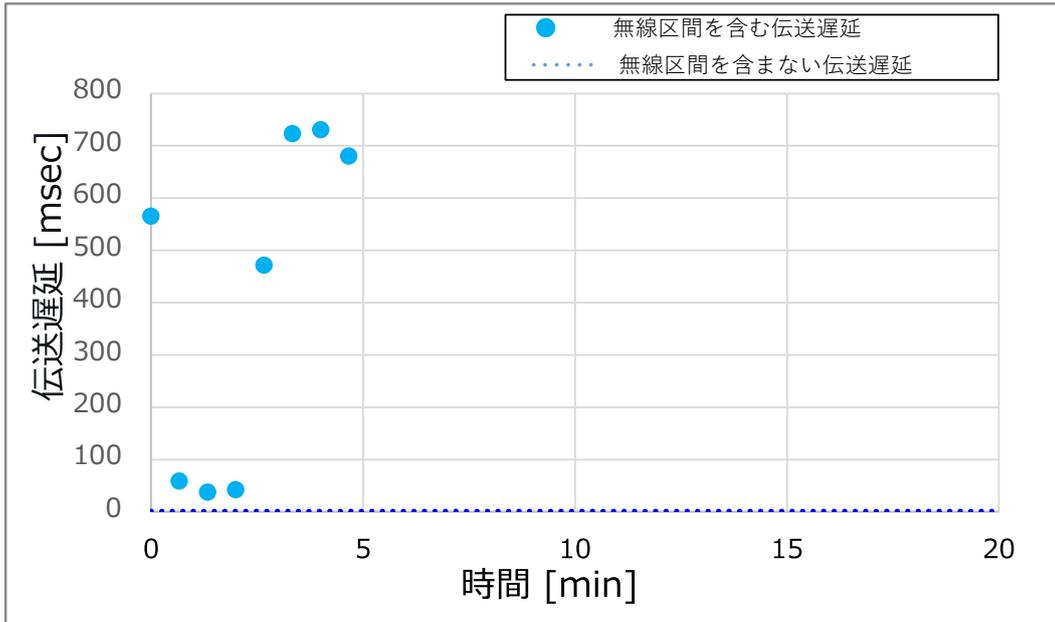
(イ) 艇庫測定 3 の拡大図 (UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態)



(ウ) 艇庫測定 4 (UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態)



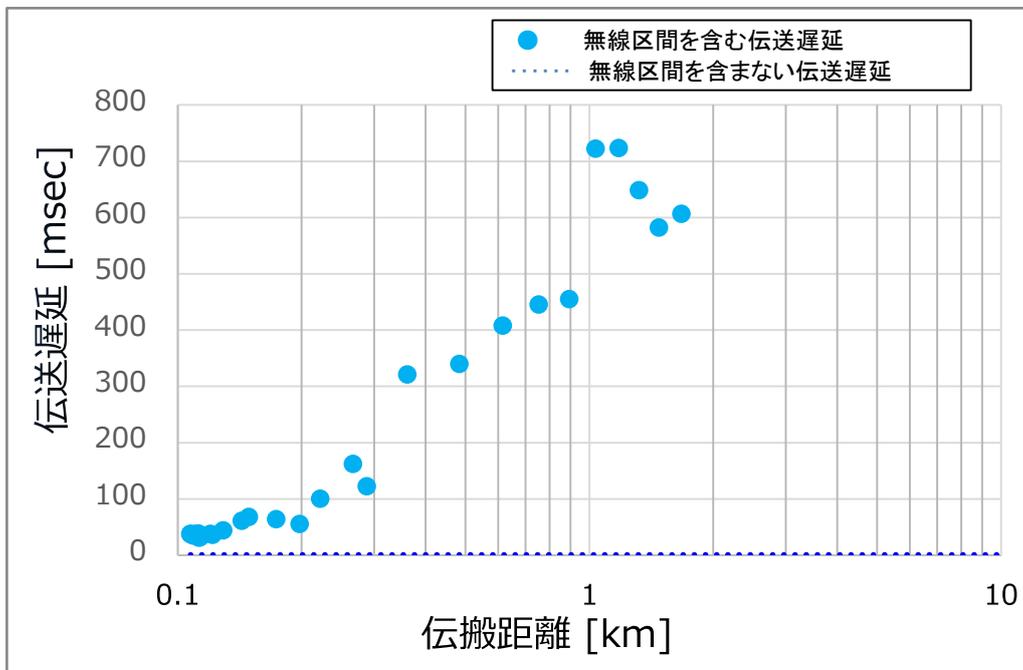
(エ) 艇庫測定 4 の拡大図 (UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態)



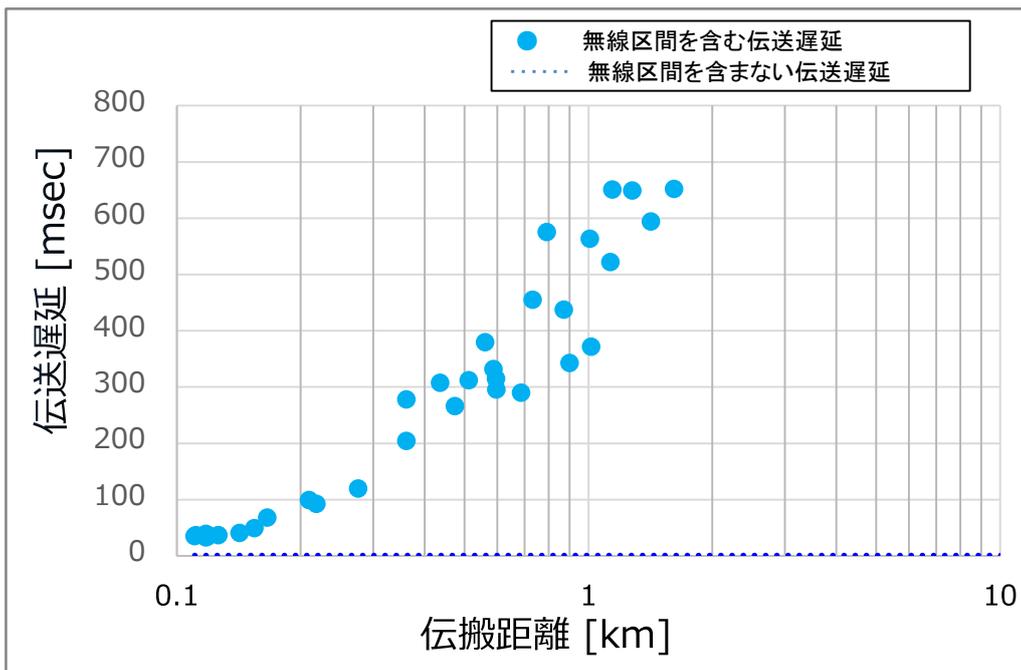
(オ) ホテル屋上測定 3 (UL20Mbps、DL30Mbps の負荷をかけた状態)
 図 3.3.1.4-28 伝送遅延の時系列データ

g) 伝送遅延の測定結果 (3)

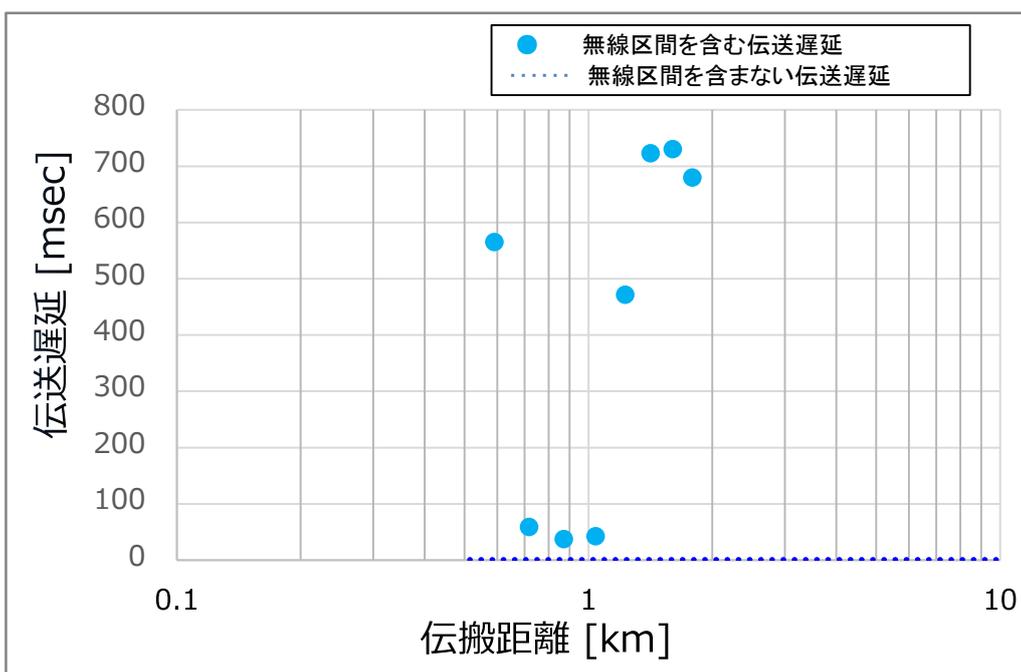
図 3.3.1.4-29 に伝送遅延の距離特性を示します。



(ア) 艇庫測定 3 (UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態)



(イ) 艇庫測定 4 (UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態)

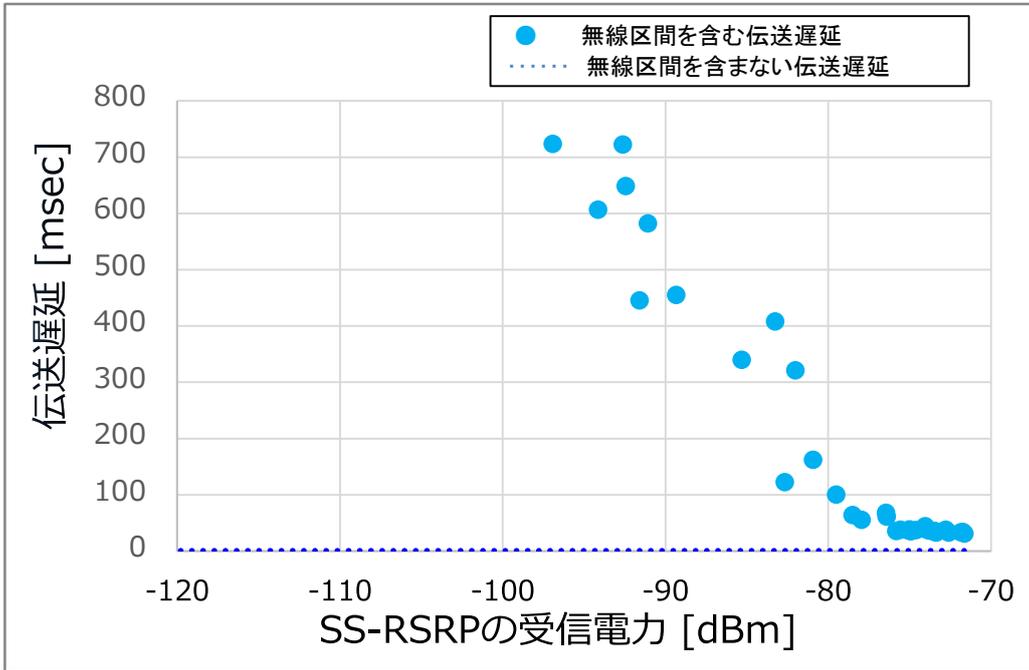


(ウ) ホテル屋上測定 3 (UL20Mbps、DL30Mbps の負荷をかけた状態)

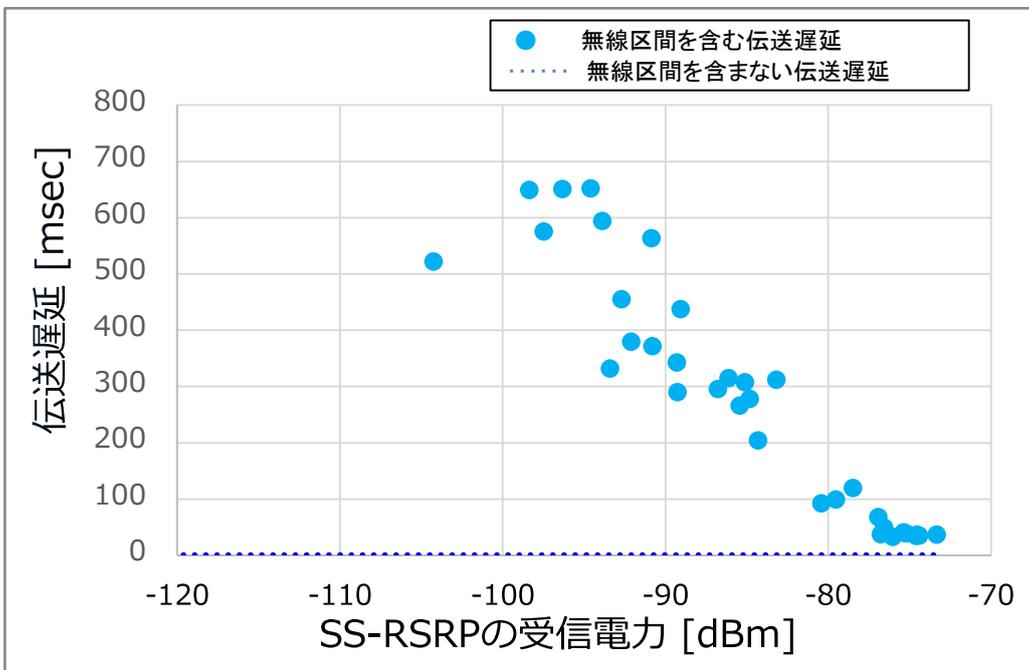
図 3.3.1.4-29 伝送遅延の距離特性

h) 伝送遅延の測定結果 (4)

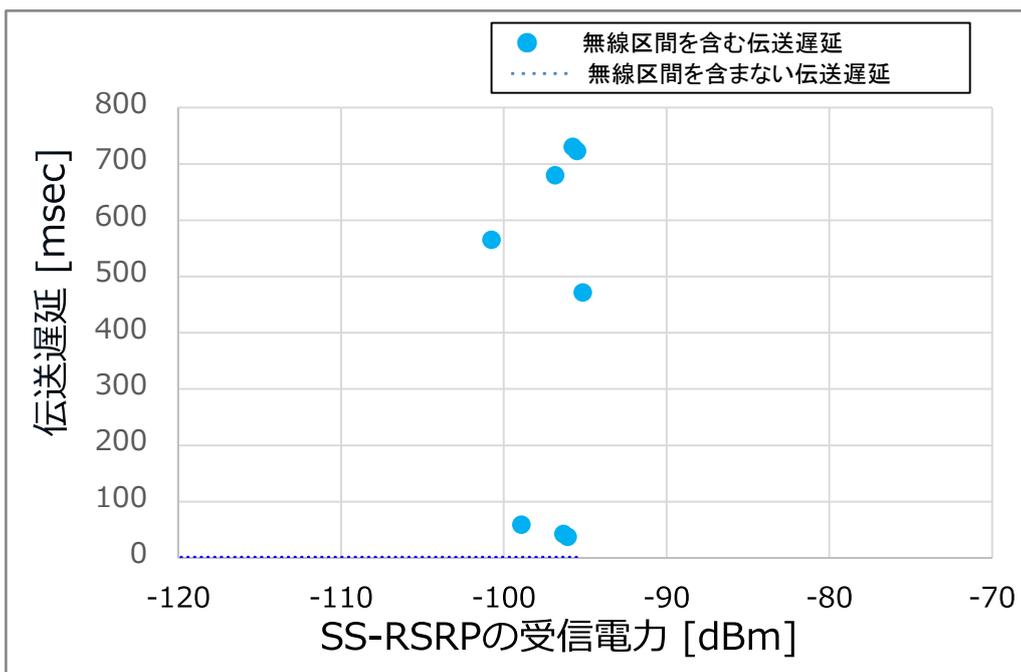
図 3.3.1.4-30 に伝送遅延の受信電力特性を示します。



(ア) 艇庫測定 3 (UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態)



(イ) 艇庫測定 4 (UL50Mbps、DL40Mbps の負荷をかけた状態)



(ウ) ホテル屋上測定 3 (UL20Mbps、DL30Mbps の負荷をかけた状態)

図 3.3.1.4-30 伝送遅延の受信電力特性

(4) 所要性能を実現するための方策の検討

伝送性能の測定において、艇庫基地局の伝送スループットに関しては、ULでは、SS-RSRP受信電力が-80dBm以上の測定点で50Mbpsの所要性能を実現でき、DLでは、SS-RSRP受信電力が-105dBm以上の測定点で40Mbpsの所要性能を実現できました。また、DLとULの両方で伝送スループットの所要性能が達成できる受信電力の測定点では、100msec以下の伝送遅延の所要性能も実現できました。

一方、ホテル屋上基地局の伝送スループットに関しては、SS-RSRP受信電力が-95dBmを超える測定点がなく、ULでは、SS-RSRP受信電力が-100dBm～-95dBmの測定点の一部で20Mbpsの所要性能を実現でき、DLでは、SS-RSRP受信電力が-100dBm以上の測定点で30Mbpsの所要性能を実現できました。また、100msec以下の伝送遅延の所要性能は、艇庫基地局と同様に伝送スループットの所要性能が達成できる受信電力の測定点で実現できました。

このように所要性能を実現できたため、帯域幅及び送信電力等を見直す必要はありませんが、同様な電波伝搬環境で横展開を行う際に所要性能を実現する方策としては、以下の点が挙げられます。

- ローカル5G端末を用いる業務区域において、所定の受信電力が得られるようにエリア設計を行い、その所定の受信電力が得られる範囲でローカル5G端末を利用する。今回の実証で構築したシステムでは、艇庫基地局の場合、ULで50Mbpsを達成するためにSS-RSRP受信電力が-80dBm以上になる場所で利用することが必要で、DLで40Mbpsを達成するためには、SS-RSRP受信電力が-105dBm以上になる場所で利用することが必要である。エリア設計においては、このような基準を満足できるように、基地局配置、アンテナ高、チルト角などの設計・調整を行う。
- 伝送遅延の所要性能を実現するために、伝送スループットが所要性能を超えて限界値に近づくように利用しないようにする。そのために受信電力と伝送スループットの限界値との関係を把握し、伝送スループットが端末を利用する場所での限界値に近づくことがないようにすることが望ましい。

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

様々な分野における利用用途や利用環境で柔軟にローカル5Gシステムを構築できるよう、ローカル5Gシステムのエリア構築に関する技術の確立と他システムとの干渉調整を柔軟に行えるようにすることが求められています。その中で、本実証は、港湾管理者や運航管理者が、港湾内を航行する船舶及び棧橋付近のカメラ等との間の映像伝送等を行うためのローカル5Gのエリア構築と他システムとの干渉調整を適切に実施できるようにすることを実証目的としました。

港湾管理者や運航管理者にとっては、船舶が航行する湾内の所定の区域（業務区域）における所要の伝送スループットの確保（ローカル 5G の所要性能）が必要であり、そのためには、他の免許人による干渉妨害を受けない良好な電波環境が確保できることが重要な前提となります。本実証の実証環境である池ノ浦湾においては、船舶が発着する栈橋の他に、海苔の養殖場や釣りいかだで釣りを行える場所があり、このような別々の事業者が同一の湾内でローカル 5G の免許申請を行うことも想定されます。

良好な電波環境の確保のために、ローカル 5G の免許申請者は近接するローカル 5G 等の免許人との間で干渉調整を行うことが必要とされています。しかし、海上では、遮蔽物が少ないために、遠くまで電波が届きやすく、また、海面による電波の反射の影響が大きいため、場所によって干渉電力が大きくなることが予想されます。

このため、調整対象区域とカバーエリアに乖離があり、本来必要な干渉調整が行われないうことにより、良好な電波環境の確保が阻害される恐れがあることから、電波伝搬モデルの精緻化が必要です。また、効率的に基地局を設置してサービスエリアの構築を行うためにも、電波伝搬モデルの精緻化が必要です。

このような環境における電波伝搬モデルの精緻化においては、遮蔽物が少ない海上で自由空間伝搬により電波が到達する範囲や海面における電波の反射の影響を定量的に把握し、電波伝搬モデルの精緻化の対象となるパラメータとその条件に応じた適正な値を明らかにすることが技術的課題です。

(2) 実証目標

本実証では、遮蔽物が少ない海上で自由空間伝搬により電波が到達する範囲を明らかにすると共に、海面における電波の反射の影響を定量的に把握し、電波伝搬モデルの精緻化の対象となるパラメータとその条件に応じた適正な値を明らかにすることとしました。審査基準の電波伝搬モデルにおいては、パラメータ **K** を精緻化することを実証目標としました。

公募要領の別紙 1 「技術実証実施要領」における表 2（精緻化の対象パラメータと精緻化の方向性、実施環境の要件）において、各々の精緻化の対象パラメータに関して、「実施環境の要件」が示されています。本実証では、4.7GHz 帯で精緻化の対象パラメータを **K** としますが、その「実施環境の要件」と本実証環境の対応関係は、以下の表 3.3.2.1-1 のようになり、本実証環境は、実施環境の要件を全て満足します。

表 3.3.2.1-1 「実施環境の要件」と本実証環境の対応関係

実施環境の要件	本実証環境
基地局設置場所が屋外である	栈橋の艇庫付近において、基地局を屋外に設置し、ホテル屋上にも基地局を屋外に設置する
基地局と測定点の距離が 100m 以上確保できる	基地局を設置する栈橋の艇庫付近から湾内にかけて、また、ホテル屋上から池ノ浦湾の外側を含め、鳥羽丸の運航ルート上で測定点まで 100m を大きく超える距離を確保できる
斜面や植生、水面等の地形情報データにより算入し難い地形の影響が存在する	鳥羽丸が運航する池ノ浦湾内及びその外海は、水面の影響が存在する

3.3.2.2 実証仮説

審査基準では、4.6GHz から 4.9GHz までの周波数を使用する場合における伝搬等に関する計算式により電波伝搬モデルが示されています。この審査基準における電波伝搬モデルでは、基地局と伝搬損失を算定する地点との距離 d_{xy} によって、以下の①～③の 3 つの場合に分けられており、①の区間では、伝搬損失が伝搬距離の 2 乗に比例し、③の区間では、伝搬損失が伝搬距離の約 3.5 乗に比例します。

- ① d_{xy} が 0.04km 以下
- ② d_{xy} が 0.04km を超えて 0.1km 未満
- ③ d_{xy} が 0.1km 以上

一方、海面における電波伝搬では、遮蔽物が殆どなく、基地局から移動局に直接波と海面における反射波が到達するため、大地反射の 2 波モデルに近い伝搬損失の距離特性となることが想定されます。大地反射の 2 波モデルでは、ブレイクポイントまでの距離 Db は、基地局アンテナ高 ht 、移動局高 hr 、及び波長 λ より、以下の式により計算できます。

$$Db = 4 ht \cdot hr / \lambda$$

図 3.3.2.2-1 及び図 3.3.2.2-2 に審査基準（開放地）と大地反射の 2 波モデルに基づく伝搬損失の距離特性の計算例を示します。精緻化対象のパラメータ K においては、40m を超える範囲で、審査基準と大地反射の 2 波モデルの伝搬損失の値の差を反映させることを想定しました。

伝搬距離 40m を超える範囲で、審査基準と大地反射の 2 波モデルの伝搬損失の値の差を精緻化対象のパラメータ K に反映させる上記の仮説は、本実証環境に特有の条件に依存しておらず、基地局アンテナ高及び移動局高に依存するもので、他の港湾でも原理的に不変であるため、この仮説の方法により汎用的な精緻化ができる可能性があります。

また、実証計画段階では、精緻化対象のパラメータ **K** には、調整対象区域を定めるための干渉電力の計算の際に、さらに **3 dB** を加えることを想定しました。直接波と海面における反射波が存在するとき、干渉電力は、両者の位相差によって強め合うポイントと弱めあうポイントが存在しますが、干渉電力を過小評価して干渉調整を行うと、干渉妨害が生じる恐れがあるため、干渉電力が強くなるポイントを基準とすることとしました。しかし、この点に関しては、実証実施段階で見直すこととし、その内容は、3.3.2.5 (2) で説明します。

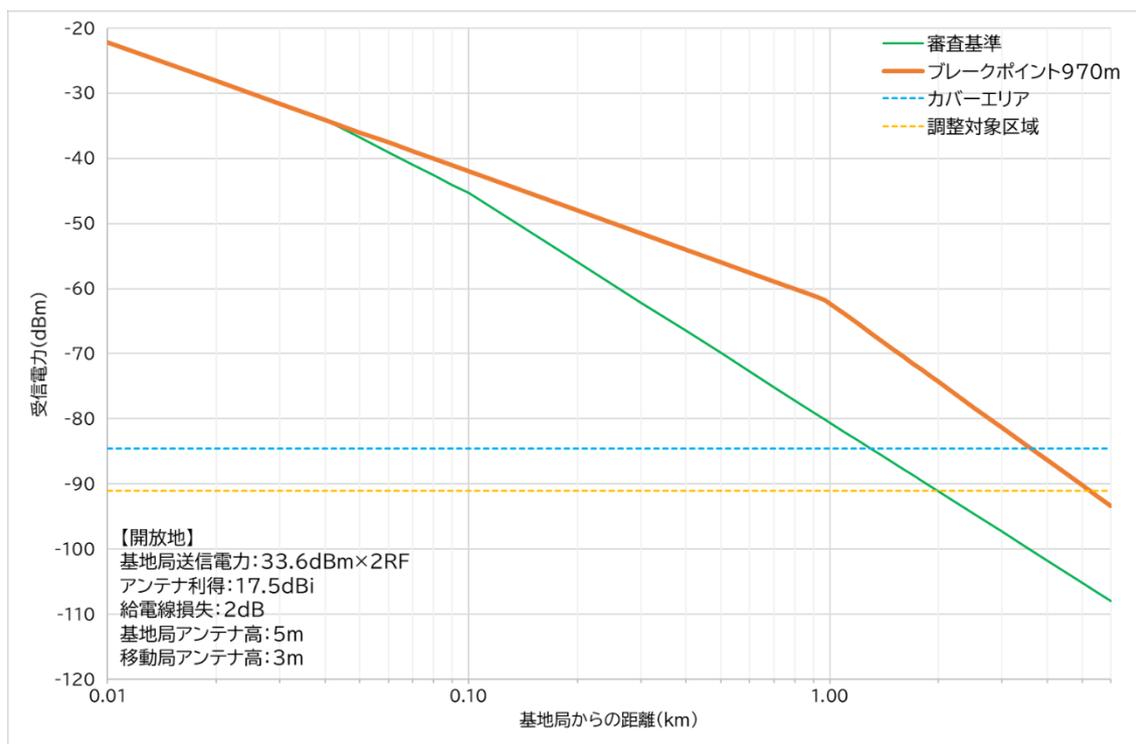


図 3.3.2.2-1 審査基準と大地反射の2波モデルに基づく伝搬損失距離特性 (艇庫基地局) (実施計画時)

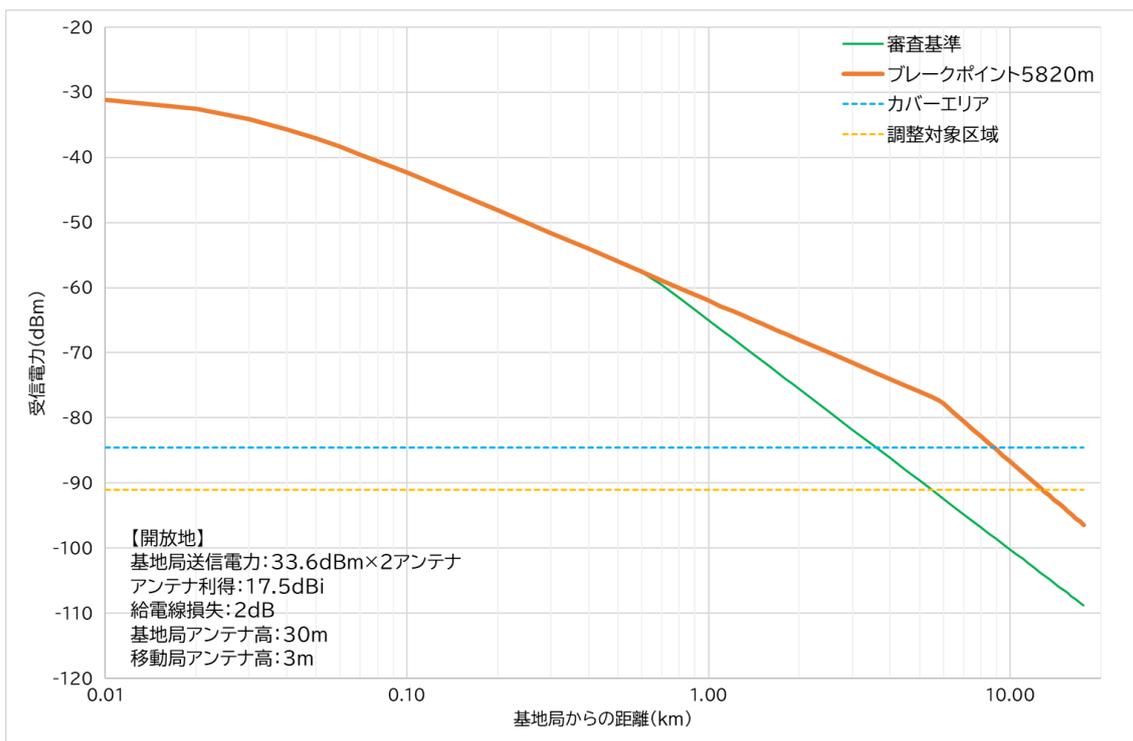


図 3.3.2.2-2 審査基準と大地反射の2波モデルに基づく伝搬損失距離特性（ホテル屋上基地局）（実施計画時）

図 3.3.2.2-3 及び図 3.3.2.2-4 に、以上で説明した、40m を超える範囲で審査基準と大地反射の2波モデルの伝搬損失の値の差をパラメータ K に反映させる仮説に基づいて計算したカバーエリアおよび調整対象区域の例を、鳥羽丸の運航ルートと重ねて示します。



図 3.3.2.2-3 仮説に基づくカバーエリアと調整対象区域の例（艇庫基地局）
（実施計画時）

国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成

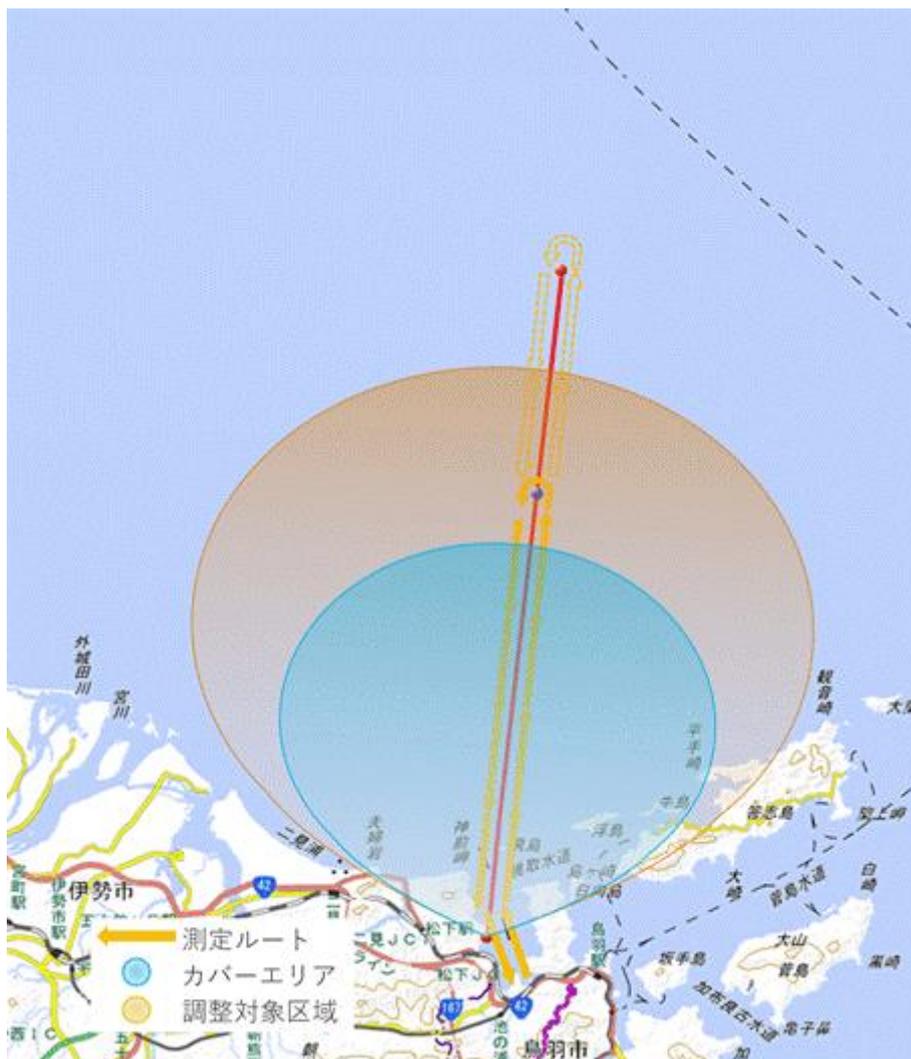


図 3.3.2.2-4 仮説に基づくカバーエリアと調整対象区域の例（ホテル屋上基地局）
（実施計画時）

国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成

本実証環境では、以下のように潮位や波の高さが精緻化対象のパラメータ K に影響を与える可能性があるため、受信電力の測定を行う際は、その時刻における潮位や風速のデータを取得しました。

- 潮位が変化した場合には、上記のブレイクポイントまでの距離 Db を計算する際の基地局アンテナ高 ht が、潮位変化に応じた値となるため、精緻化対象のパラメータ K に影響を与える可能性があります。
- 波の高さが変化した場合には、海面における反射波が影響を受けて、干渉電力の変動の大きさが変化する可能性があります。

3.3.2.3 評価・検証項目

以下の評価・検証を行いました。

- 目標設定
 - 精緻化の対象とするエリア算出法のパラメータを明確化しました。

- エリア設計
 - 精緻化の対象パラメータの値について、実証環境の環境条件に基づき精緻化の仮説を立てました。
 - 仮説に基づきパラメータの値を修正した算出式を用いて、カバーエリア及び調整対象区域を作図しました。

- 測定
 - エリア設計で作図したカバーエリアおよび調整対象区域内において、基地局からの距離が異なる 20 以上の地点で測定しました。その際、エリア設計に用いた算出式のカバーエリア及び調整対象区域の閾値と異なっている場合は、それぞれの閾値が実測される基地局相当の無線局からの距離の確認を行いました。

- 分析・考察
 - エリア設計の作図と実測データを比較し、その差分の要因を分析しました。
 - 差分の考察に基づきパラメータを精緻化しました。精緻化後のパラメータを用いた屋内外のカバーエリア及び調整対象区域を作図し、実測に近い結果が得られていることを示します。

3.3.2.4 評価・検証方法

以下のように評価・検証を行いました。

(1) 目標設定

3.3.2.1 (2)に記載の通り、精緻化の対象とするエリア算出法のパラメータを明確化しました。

(2) エリア設計

3.3.2.2 に記載の通り、精緻化の対象パラメータの値について、実証環境の環境条件に基づき精緻化の仮説を立てました。

また、仮説に基づきパラメータの値を修正した算出式を用いて、以下のような手順で、艇庫基地局及びホテル屋上基地局のカバーエリア及び調整対象区域を作図しました。

- カバーエリアと調整対象区域は、測定ルートとする鳥羽丸の運航ルートに沿って配置した 100m メッシュで作図することとし、カバーエリア及び調整対象区域となる可能性のある範囲における受信電力の計算地点を一定間隔で決めました。
- 各計算地点において、基地局の送信電力、基地局の給電線損失、アンテナ利得（基地局アンテナから移動局への水平角と俯角を計算して、アンテナ特性から各方向の利得を算出して補正）及び仮説に基づく伝搬損失の算出式より、受信電力を計算しました。
- 各計算地点に関して、計算した受信電力の値をカバーエリア及び調整対象区域の閾値と比較して、カバーエリア、調整対象区域及びそれ以外の区域に区分し、図面上に色分けして表示しました。

(3) 測定

艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、エリア設計で作図したカバーエリアおよび調整対象区域内において、基地局からの距離が異なる 20 以上の地点で受信電力の測定を行い、エリア設計に用いた算出式のカバーエリア及び調整対象区域の閾値と異なっている場合は、受信電力の測定ルート上で、カバーエリア及び調整対象区域のそれぞれの閾値が実測される地点の基地局からの距離の確認を行いました。

このうち受信電力の測定については、3.3.1（ローカル 5G の電波伝搬特性等の測定）において、審査基準の算出法に基づくカバーエリア及び調整対象区域のエリア端における受信電力の測定を行い、また、カバーエリア及び調整対象区域のそれぞれの閾値が実測される地点の受信電力も測定するため、電波伝搬モデルの精緻化の検討では、これらの測定データを利用しました。ここで、仮説に基づくエリア設計により作図したカバーエリアおよび調整対象区域内において、3.3.1 で受信電力の測定データを取得した地点が 20 の地点に満たない場合、仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の測定地点が 20 以上となるように測定点を追加して、受信電力の測定データを取得しました。

一方、カバーエリア及び調整対象区域のそれぞれの閾値が実測される地点の基地局からの距離の確認については、3.3.1において実施するため、その結果を参照することとしました。

なお、3.3.1における受信電力の測定と電波伝搬モデルの精緻化のための受信電力の測定を効率的に行うため、3.3.1における受信電力の測定では、仮説に基づく調整対象区域においても十分な測定データが得られるように測定ルートを選定することで、追加の受信電力の測定を改めて行う必要が生じないようにしました。

上記の基地局からの距離が異なる 20 以上の地点での受信電力の測定は、3.3.1.3 に記載したように、船舶を湾内の所定の場所に静止させることは困難であるため、移動しながらの測定とし、測定ルート上で選定した測定点の前後最大 10m 程度の受信電力の中央値としました。

上記の 20 以上の地点では、周辺の様子(遮蔽物・反射物)がわかる写真を撮影し、電波伝搬に影響を及ぼす可能性のあるものについて情報収集を行いました。

図 3.3.2.4-1 及び図 3.3.2.4-2 に、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、現時点で想定する、仮説に基づくカバーエリアと調整対象区域の測定点を示します。図 3.3.2.4-2 では、ホテルから 10km までの地点で、仮説に基づく調整対象区域のエリア端に到達しないため、ホテルから 15km までの間にも測定点を配置しました。



図 3.3.2.4-1 仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の測定点（栈橋から 6km までの鳥羽丸の運航ルート）

国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成

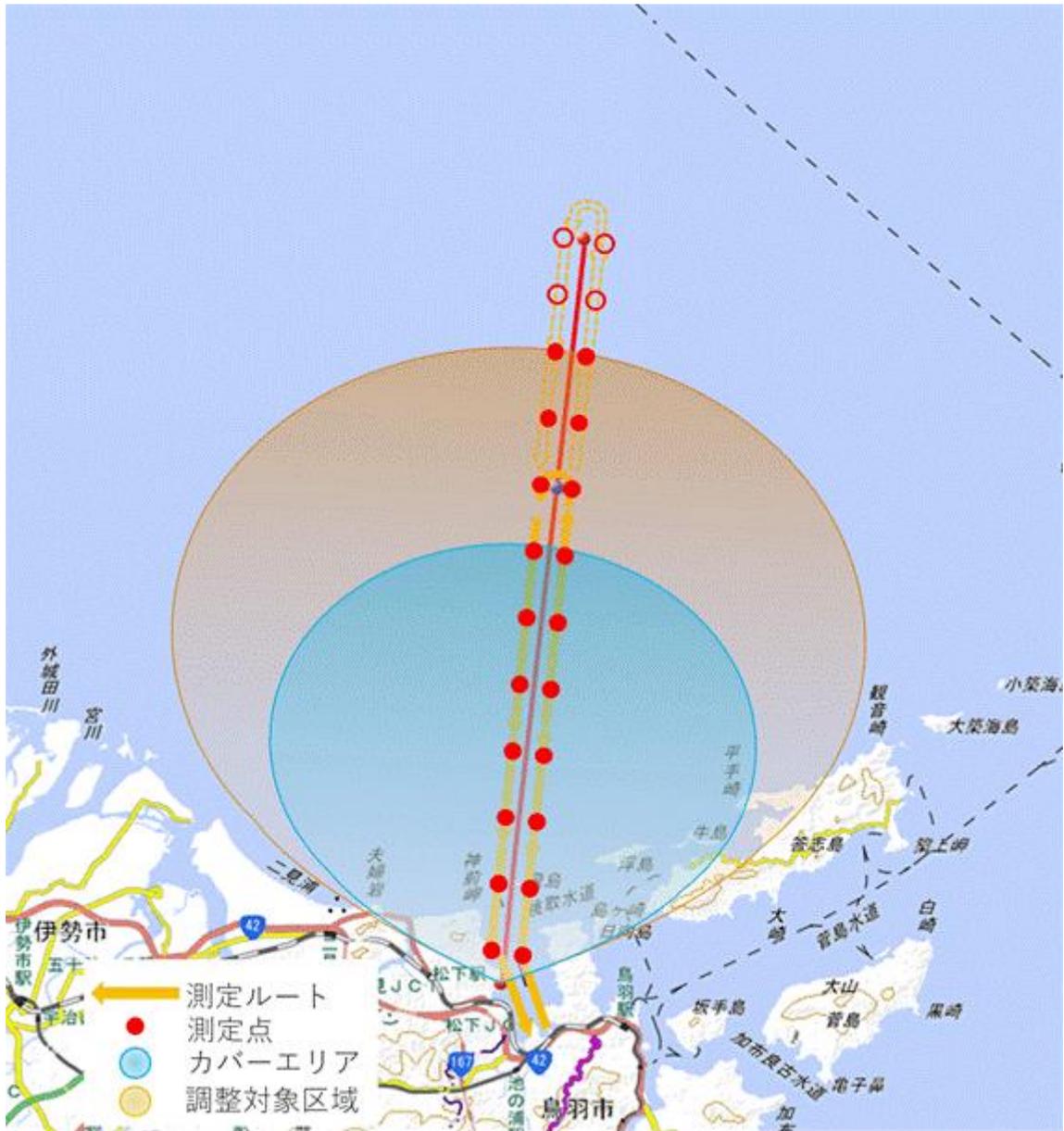


図 3.3.2.4-2 仮説に基づくカバーエリアおよび調整対象区域の測定点（ホテルから 10km までの鳥羽丸の運航ルート）

国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成

(4) 分析・考察

艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、エリア設計の作図と実測データを比較し、その差分の要因を分析しました。そして、差分の考察に基づきパラメータを精緻化しました。精緻化後のパラメータを用いた屋内外のカバーエリア及び調整対象区域を作図し、実測に近い結果が得られていることを示します。

以上に説明した評価・検証において、実証エリアにおいて基地局を設置する場所等の地形情報(標高)としては、国土地理院のデータを使用しました。また、潮位は、気象庁が公表するデータを取得しました。また、波高は、測定に用いる鳥羽丸の船員、又は測定員の目視。風速は、鳥羽丸内設備の総合気象観測装置を用いました。なお、鳥羽丸の運航コースは、何れの基地局からも見通し内にあり、水路の割合はほぼ 100%となりました。

3.3.2.5 実証結果及び考察

(1) 目標設定

3.3.2.1 (2)に記載の通り、精緻化の対象とするエリア算出法のパラメータを明確化しました。

(2) エリア設計

精緻化仮説では、以下の式により K の値の計算することとしました。

$$K = L3(Db) \cdot L1(Db)$$

$L1(d)$: ①の計算式による伝搬距離 d の伝搬損失の値

$L3(d)$: ③の計算式による伝搬距離 d の伝搬損失の値

但し、 $d < 40\text{km}$ において $\alpha = 1$

Db : ブレークポイントまでの距離

審査基準では、3.3.2.2 で説明した①、②、③の区間に分けて伝搬損失の計算式が定められており、ここでは、その①の計算式と③の計算式を用いました。

審査基準に定められている③の区間の伝搬損失の計算式に係数 α があり、伝搬距離が 20km 以下では $\alpha = 1$ 、伝搬距離が 20km を超える部分では α が 1 よりも大きな値となりますが、精緻化仮説では、伝搬距離が 20km を超えて本実証で測定を行った 40km 未満の部分においても $\alpha = 1$ とすることとしました。これは、表 3.3.1.4-5 及び表 3.3.1.4-6 に示したように、審査基準に基づくエリア算出法のエリア端は、実測によるエリア端と大きな乖離があり、伝搬距離が 20km を超えるところで α を 1 よりも大きな値とすると、特に図 3.3.1.4-10 (ア) のように調整対象区域のエリア端が 20km を超えるような場合に、エリア算出法の③の計算式による受信電力と実測との乖離がさらに拡大してしまうためです。

ブレイクポイントまでの距離 Db は、3.3.2.2 に示した通りです。なお、審査基準における伝搬損失の計算では、②又は③で得られる伝搬損失 L が①より小さな値の場合、伝搬損失 L は①の値に変更することになっているため、ブレイクポイントの距離まで①の計算式の値となります。

当初、調整対象区域を定めるための干渉電力の計算の際に、直接波と海面における反射波が強め合う影響を考慮して、精緻化対象のパラメータ K にさらに 3 dB を加えることを検討していましたが、 K にさらに 3dB を加えるのではなく、調整対象区域のエリア端付近における受信電力の変動の大きさを評価して、干渉電力を基準値と比較する際のマージンを検討することとしました。これは、上記のように②又は③で得られる伝搬損失 L が①より小さな値の場合、伝搬損失 L は①の値に変更するため、③の式における K の値に 3dB を加えても、受信電力の計算値に十分反映されないことが想定されるためです。

図 3.3.2.5-1 及び図 3.3.2.5-2 に、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、審査基準と精緻化仮説に基づいて計算した受信電力距離特性を示します。また、表 3.3.2.5-1 にこれらの受信電力距離特性における K の値の計算について示します。

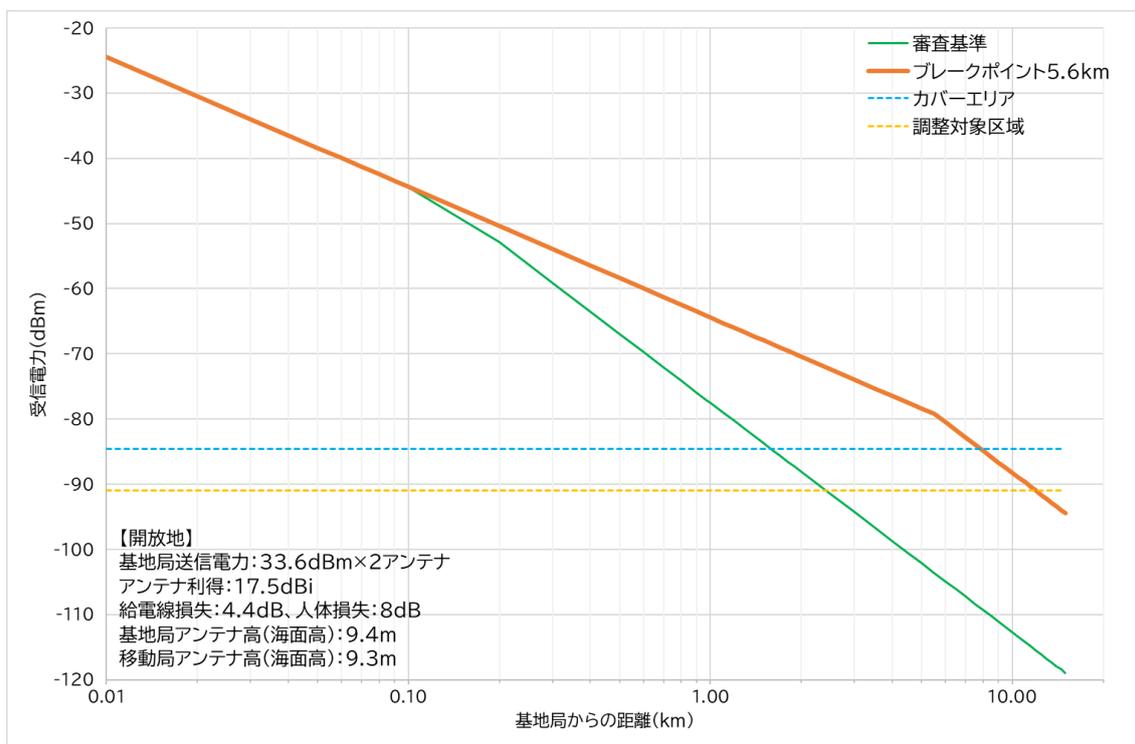


図 3.3.2.5-1 審査基準と精緻化仮説の受信電力距離特性 (艇庫基地局)

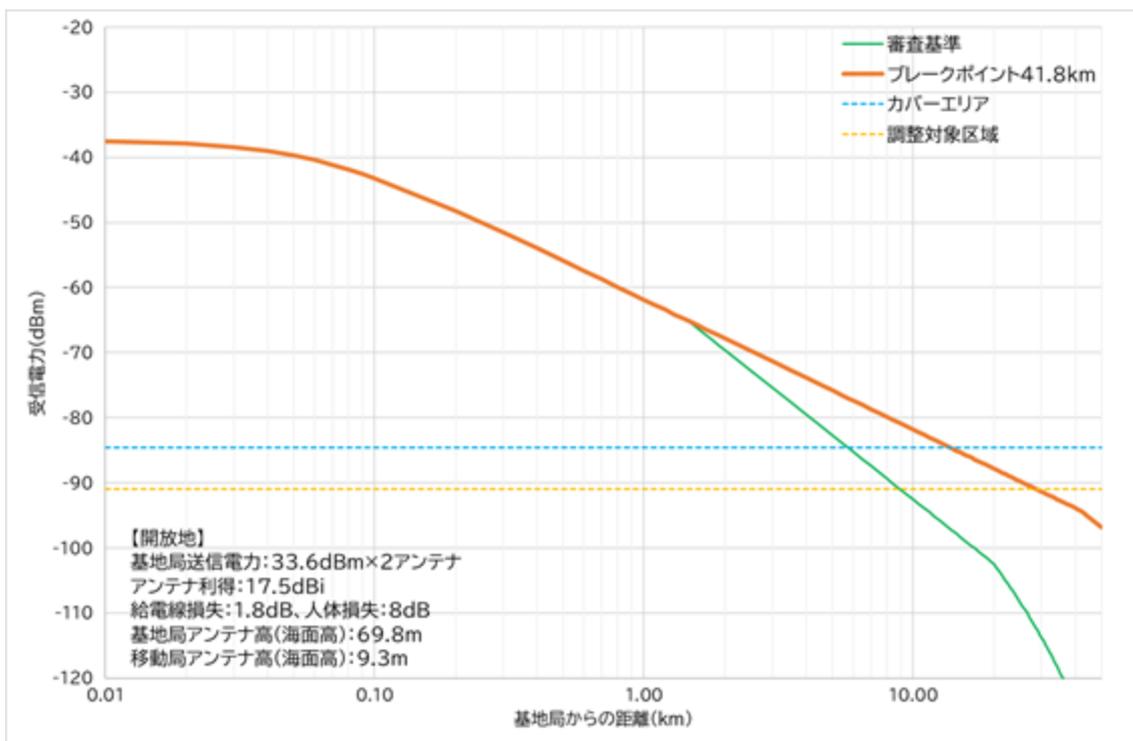


図 3.3.2.5-2 審査基準と精緻化仮説の受信電力距離特性（ホテル屋上基地局）

表 3.3.2.5-1 Kの値の計算

	艇庫基地局	ホテル屋上基地局
基地局アンテナ高（海面からの高さ）	9.36 m	69.8 m
移動局アンテナ高（海面からの高さ）	9.26 m	9.26 m
ブレイクポイント距離	5.6 km	42 km
①の計算式によるブレイクポイントにおける伝搬損失の値	121.1 dB	138.5 dB
③の計算式によるブレイクポイントにおける伝搬損失の値	145.6 dB	157.2 dB
Kの値	24.5 dB	18.7 dB

図 3.3.2.5-3 及び図 3.3.2.5-4 に、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、精緻化仮説に基づいてカバーエリアと調整対象区域の作図を行った結果を示します。

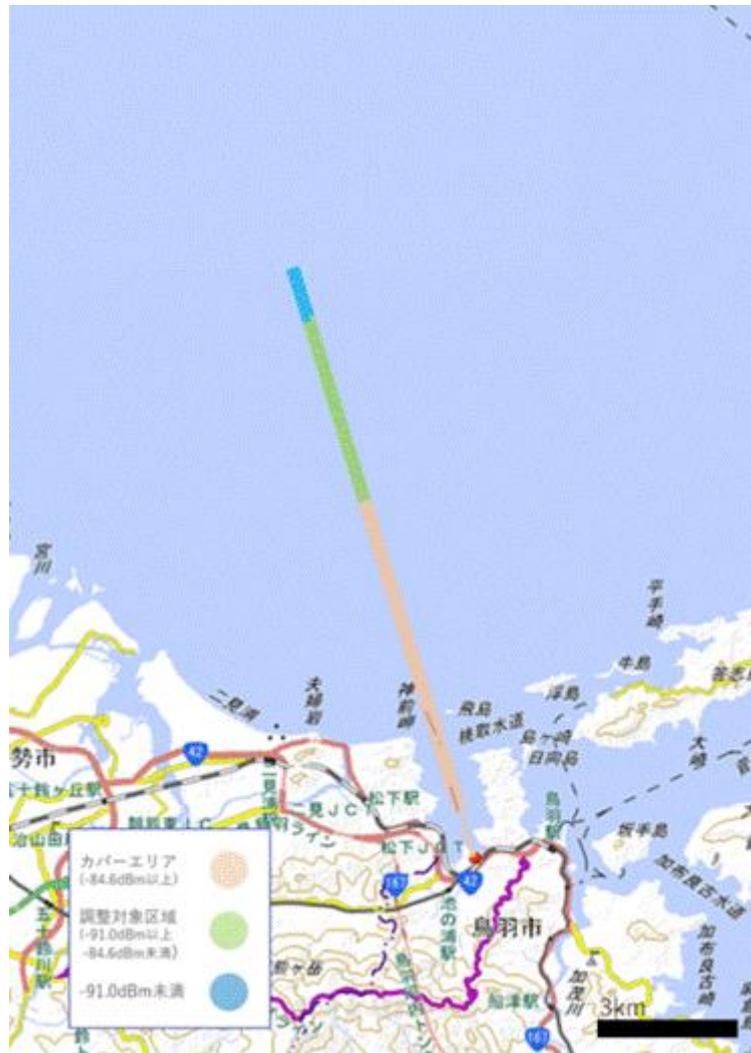


図 3.3.2.5-3 仮説に基づくカバーエリア及び調整対象区域（艇庫基地局）

国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成



図 3.3.2.5-4 仮説に基づくカバーエリア及び調整対象区域（ホテル屋上基地局）

国土地理院（URL:<https://www.gsi.go.jp>）のデータを使用して作成

(3) 測定

図 3.3.2.5-5 及び図 3.3.2.5-6 に、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、精緻化仮説に基づくエリア設計によるカバーエリアと調整対象区域を測定値と重ね合わせて示します。また重ねることにより、仮説に基づくカバーエリア及び調整対象区域との比較が困難となるため、測定結果を西にずらして描画しました。



(ア) 艇庫測定1 (往路、潮位 22cm、波高 1.0m)



(イ) 艇庫測定 1 (復路、潮位 22cm、波高 1.0m)



(ウ) 艇庫測定 2 (往路、潮位 34cm、波高 1.0m)



(エ) 艇庫測定 2 (復路、潮位 34cm、波高 1.0m)



(才) 艇庫測定 3 (往路、潮位 40cm、波高 0.7m)



(カ) 艇庫測定 3 (復路、潮位 40cm、波高 0.7m)



(キ) 艇庫測定 4 (往路、潮位 31cm、波高 0.7m)



(ク) 艇庫測定 4 (復路、潮位 31cm、波高 0.7m)

図 3.3.2.5-5 仮説に基づくカバーエリア及び調整対象区域と測定値の比較
(艇庫基地局)

国土地理院 (URL:<https://www.gsi.go.jp>) のデータを使用して作成



(ア) ホテル屋上測定 1 (往路、潮位-26cm、波高 1.0m)



(イ) ホテル屋上測定 1 (復路、潮位-26cm、波高 1.0m)



(ウ) ホテル屋上測定 2 (往路、潮位 8cm、波高 1.7m)



(エ) ホテル屋上測定 2 (復路、潮位 8cm、波高 1.7m)



(オ) ホテル屋上測定 3 (往路、潮位-76cm、波高 1.3m)



(カ) ホテル屋上測定3 (復路、潮位-76cm、波高1.3m)

図 3.3.2.5-6 仮説に基づくカバーエリア及び調整対象区域と測定値の比較 (ホテル屋上基地局)

国土地理院 (URL:https://www.gsi.go.jp) のデータを使用して作成

表 3.3.2.5-2 及び表 3.3.2.5-3 に、精緻化仮説に基づくエリア設計と実測によるカバーエリアと調整対象区域のエリア端までの距離を示します。仮説に基づくエリア設計によるエリア端は、精緻化仮説に基づく 6km 以上における計算値の近似直線と基準値が交わる地点とし、その地点までの距離と、その地点に最も近い測定点の受信電力測定値を求めました。

表 3.3.2.5-2 仮説に基づくエリア設計と実測によるカバーエリアのエリア端までの距離

	潮位 [cm]	波高 [m]	仮説に基づくエリア設計による エリア端		実測による エリア端
			基地局からの距離 [km]	受信電力測定値 [dBm]	基地局からの距離 [km]
艇庫測定 1	22	1.0	8.6	-88.6	10.2
艇庫測定 2	34	1.0	8.6	-86.4	9.3
艇庫測定 3	40	0.7	8.6	-79.3	9.2
艇庫測定 4	31	0.7	8.6	-78.1	9.9
ホテル屋上 測定 1	-26	1.0	16.0	-101.6	6.1
ホテル屋上 測定 2	8	1.7	16.4	-88.8	6.9
ホテル屋上 測定 3	-76	1.3	16.1	-99.9	5.9

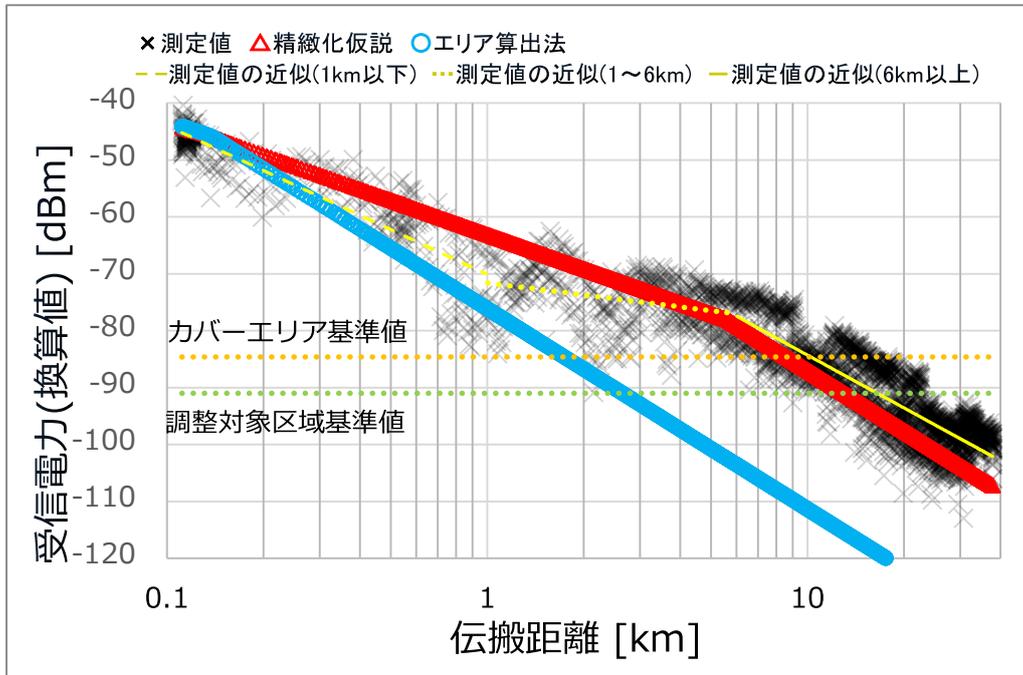
表 3.3.2.5-3 仮説に基づくエリア設計と実測による調整対象区域のエリア端までの距離

	潮位 [cm]	波高 [m]	仮説に基づくエリア設計による エリア端		実測による エリア端
			基地局からの距離 [km]	受信電力測定値 [dBm]	基地局からの距離 [km]
艇庫測定 1	22	1.0	13.1	-88.0	16.5
艇庫測定 2	34	1.0	13.1	-91.2	14.8
艇庫測定 3	40	0.7	13.1	-92.3	13.1
艇庫測定 4	31	0.7	13.1	-94.8	14.3
ホテル屋上 測定 1	-26	1.0	33.6	-93.6	14.2
ホテル屋上 測定 2	8	1.7	35.1	-88.8	16.2
ホテル屋上 測定 3	-76	1.3	34.2	-95.0	10.9

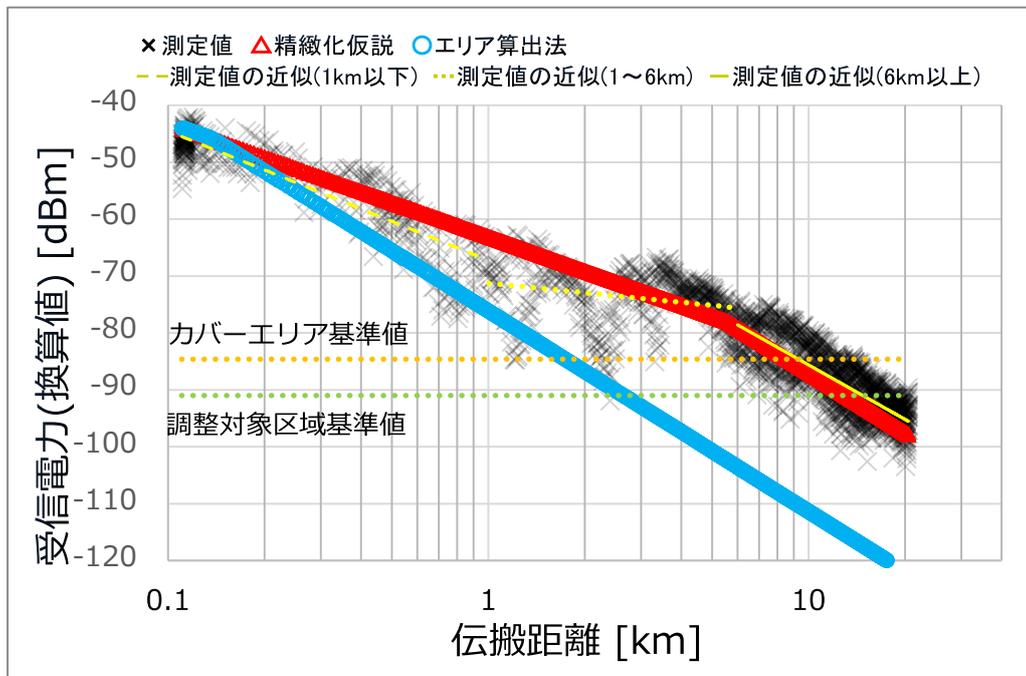
図 3.3.1.4-7 及び図 3.3.1.4-8 に示したエリア算出法と測定値に基づくエリア端には大きな乖離がありましたが、図 3.3.2.5-5 及び図 3.3.2.5-6 では、精緻化仮説と測定値のエリア端の乖離が小さくなりました。一方、表 3.3.2.5-2 及び表 3.3.2.5-3 に示したように、艇庫基地局では、精緻化仮説から求めたエリア端までの距離は、測定値から求めたエリア端の距離に近い値となりましたが、ホテル屋上基地局では、精緻化仮説から求めたエリア端までの距離が、測定値から求めたエリア端の距離に近い値とはなりません。これは、測定値から求めたエリア端の距離は、その近似直線から求めているためと考えられます。

(4) 分析・考察

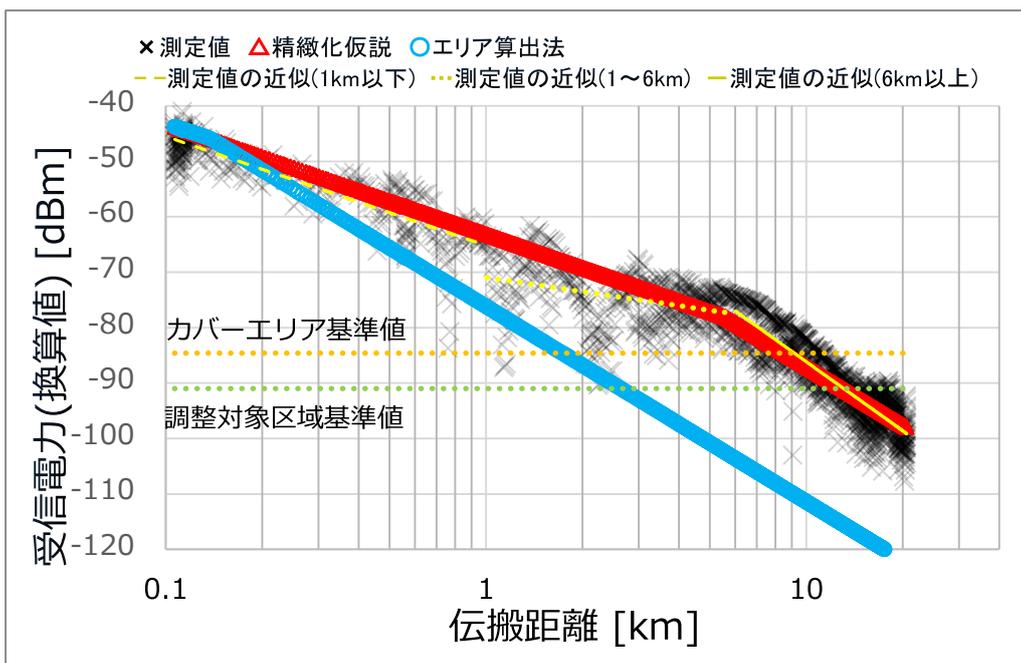
図 3.3.2.5-7 及び図 3.3.2.5-8 に、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、受信電力の測定値、精緻化仮説及びエリア算出法による計算値を比較した結果を示します。



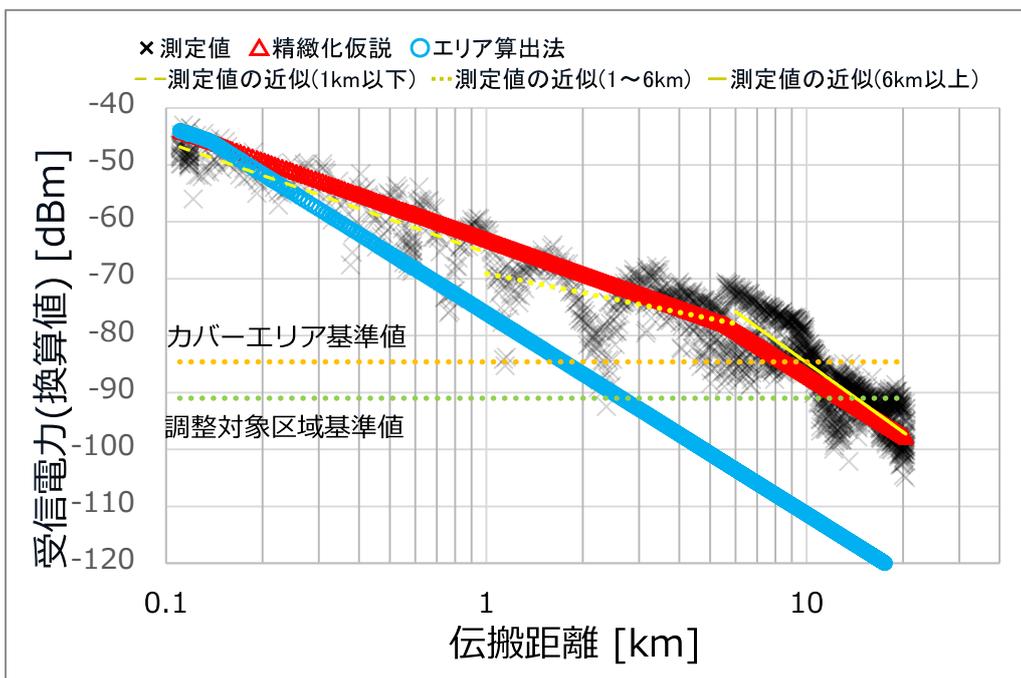
(ア) 艇庫測定 1 (潮位 22cm、波高 1.0m)



(イ) 艇庫測定 2 (潮位 34cm、波高 1.0m)

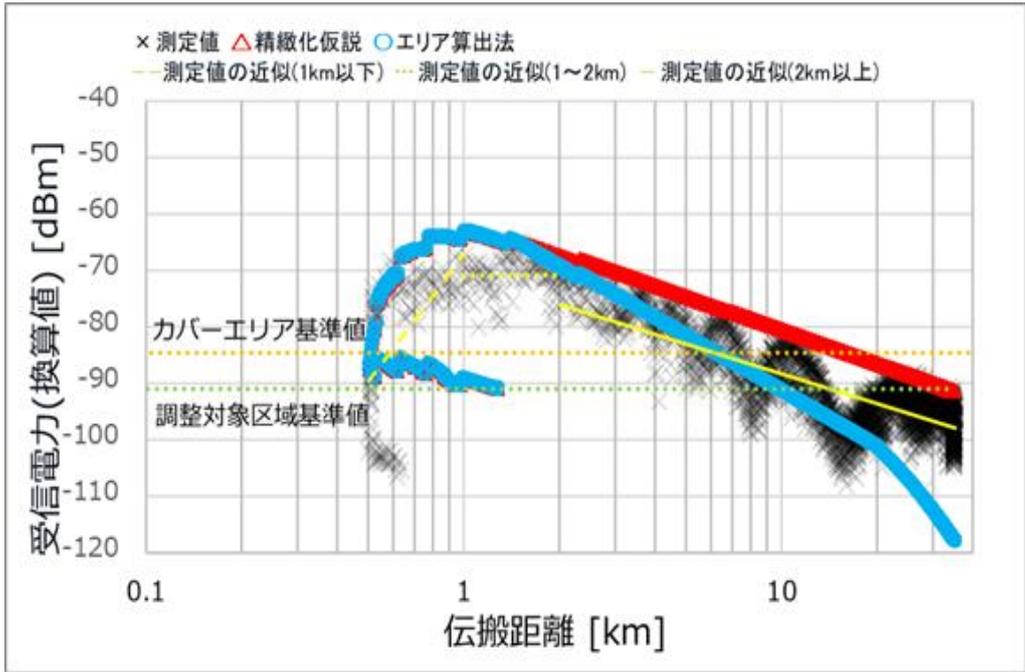


(ウ) 艇庫測定 3 (潮位 40cm、波高 0.7m)

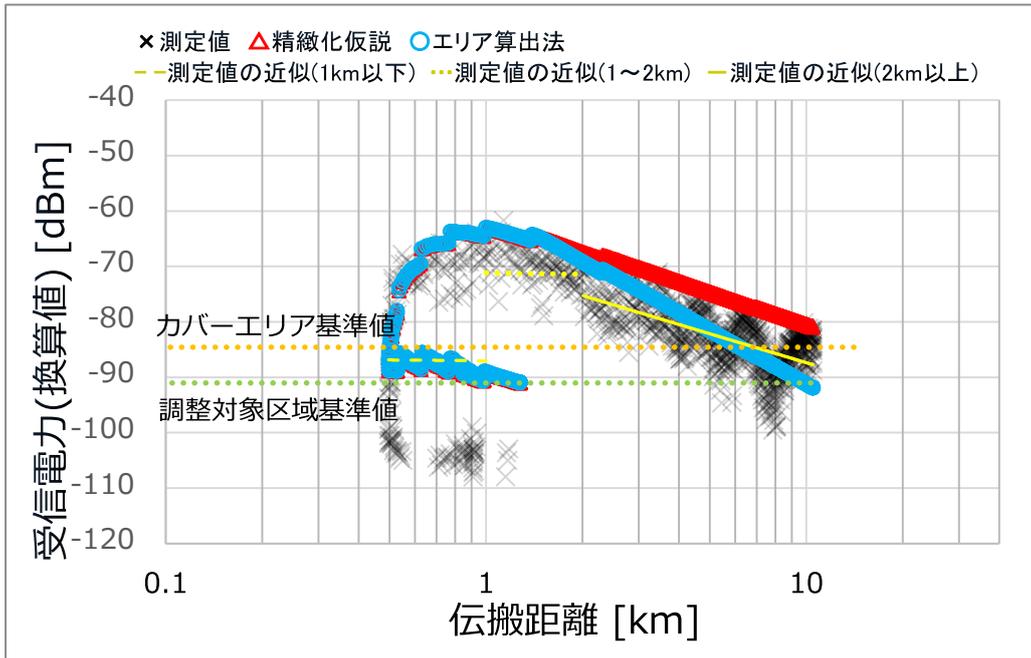


(エ) 艇庫測定 4 (潮位 31cm、波高 0.7m)

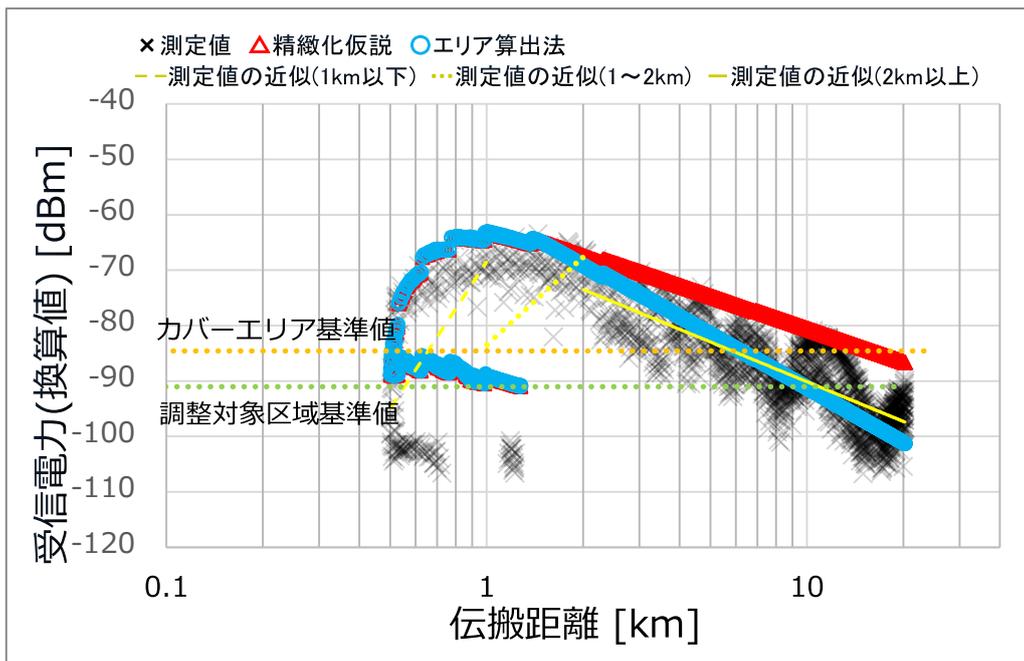
図 3.3.2.5-7 受信電力の測定値、精緻化仮説及び審査基準の比較 (艇庫基地局)



(ア) ホテル屋上測定 1 (潮位-26cm、波高 1.0m)



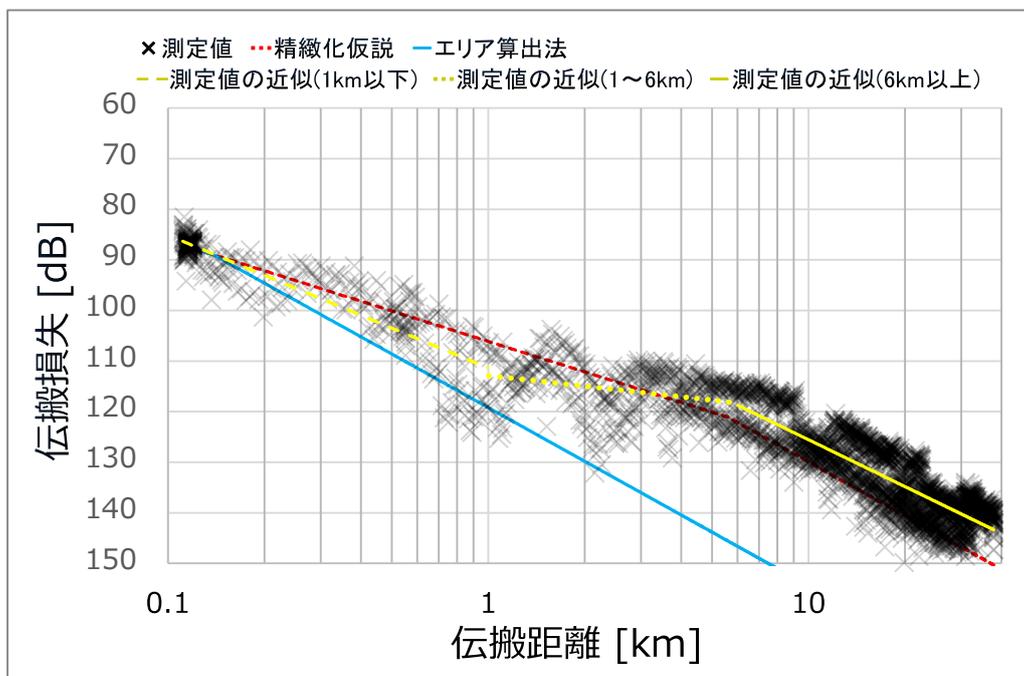
(イ) ホテル屋上測定 2 (潮位 8cm、波高 1.7m)



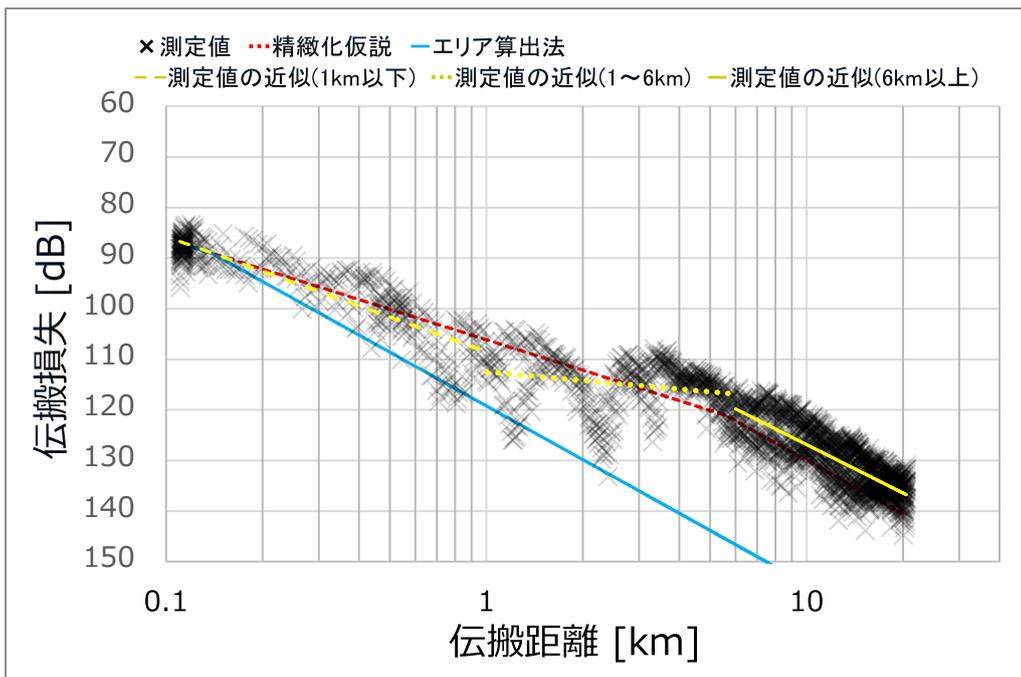
(ウ) ホテル屋上測定 3 (潮位-76cm、波高 1.3m)

図 3.3.2.5-8 受信電力の測定値、精緻化仮説及び審査基準の比較 (ホテル屋上基地局)

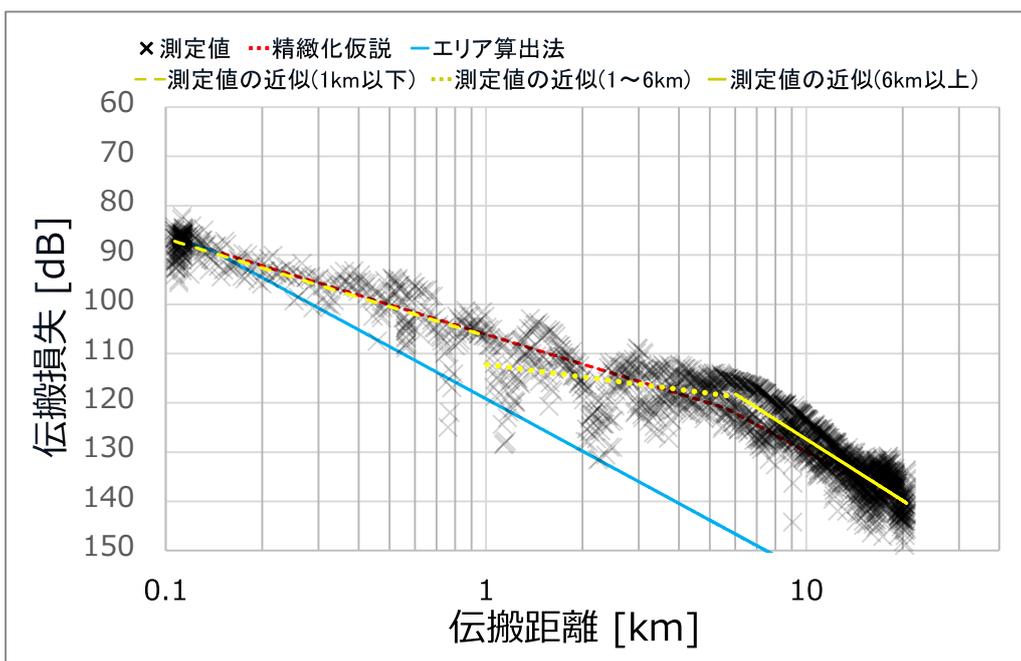
図 3.3.2.5-9 及び図 3.3.2.5-10 に、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、伝搬損失の測定値、精緻化仮説及びエリア算出法による計算値を比較した結果を示します。



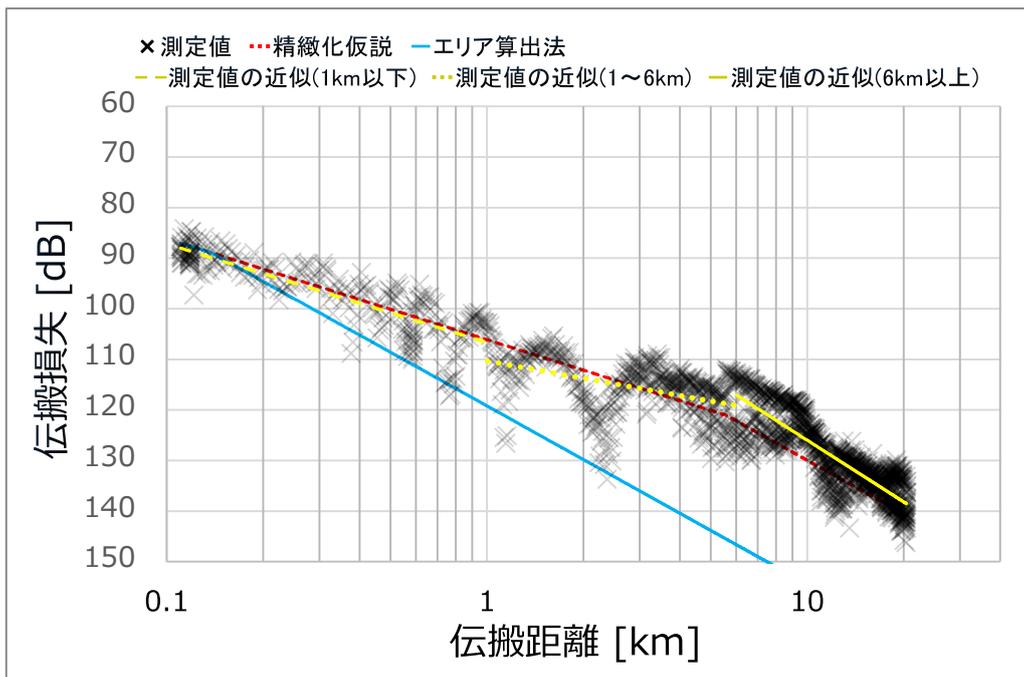
(ア) 艇庫測定 1 (潮位 22cm、波高 1.0m)



(イ) 艇庫測定 2 (潮位 34cm、波高 1.0m)

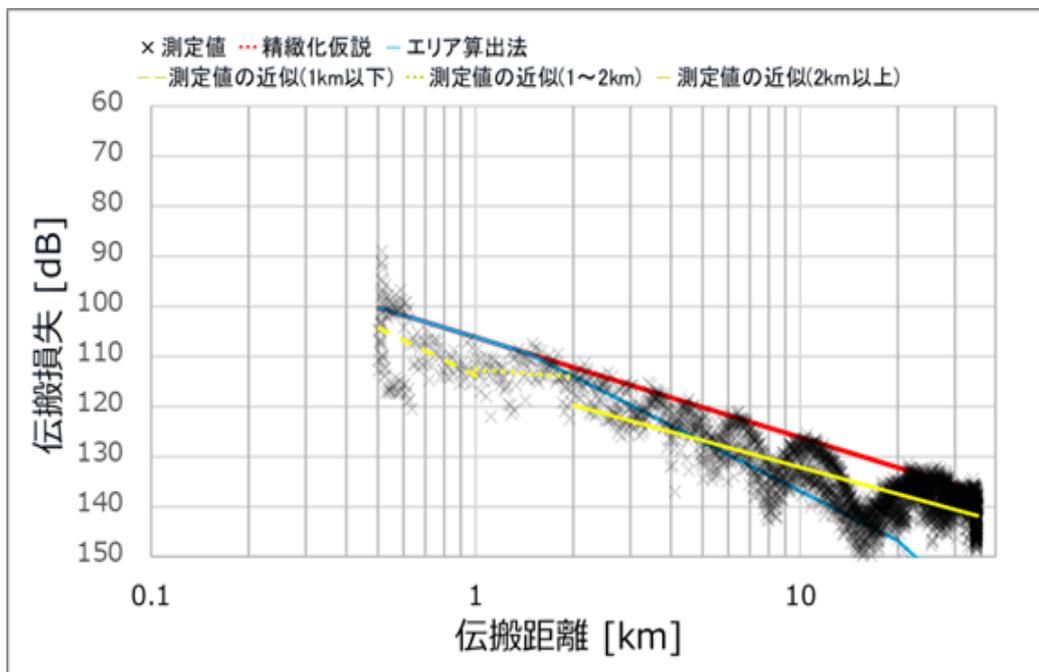


(ウ) 艇庫測定 3 (潮位 40cm、波高 0.7m)

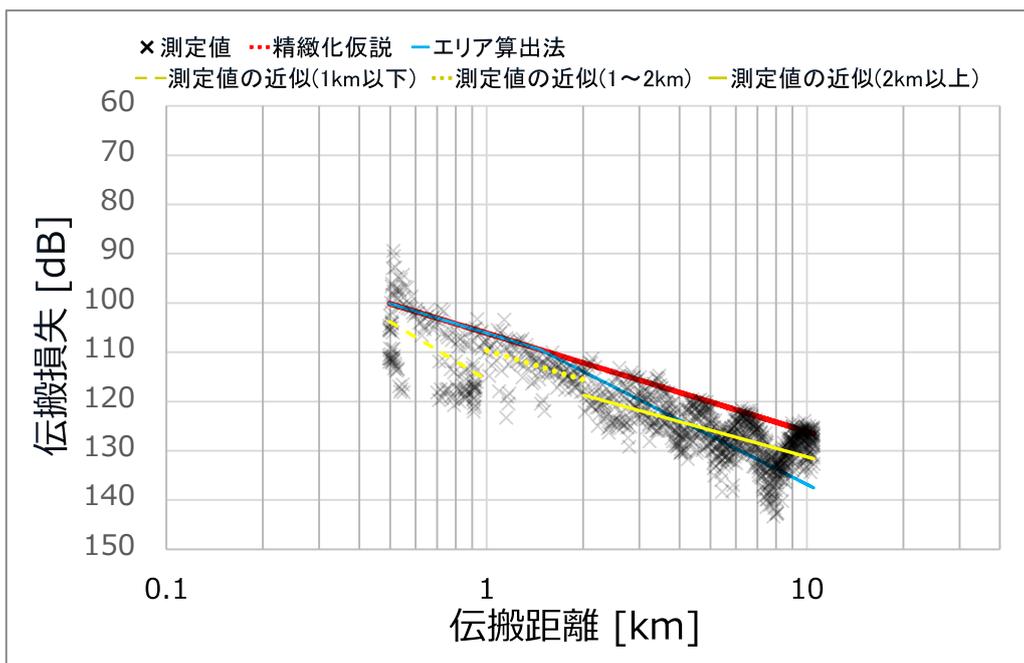


(エ) 艇庫測定 4 (潮位 31cm、波高 0.7m)

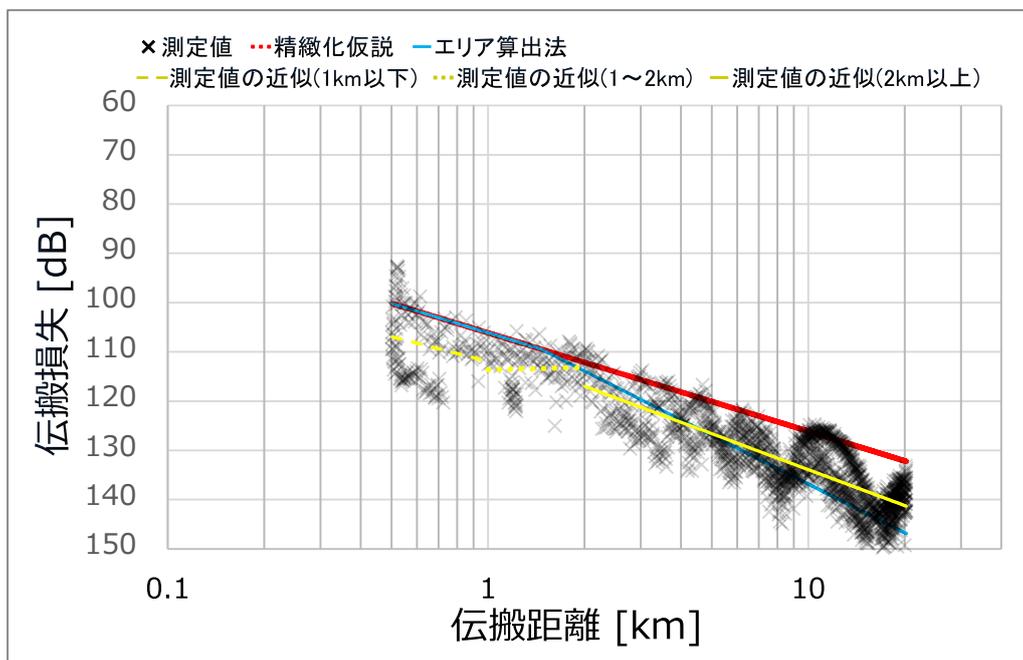
図 3.3.2.5-9 伝搬損失の測定値、精緻化仮説及び審査基準の比較 (艇庫基地局)



(ア) ホテル屋上測定 1 (潮位-26cm、波高 1.0m)



(イ) ホテル屋上測定 2 (潮位 8cm、波高 1.7m)



(ウ) ホテル屋上測定 3 (潮位-76cm、波高 1.3m)

図 3.3.2.5-10 伝搬損失の測定値、精緻化仮説及び審査基準の比較 (ホテル屋上基地局)

表 3.3.2.5-4 に測定値に対する精緻化仮説及びエリア算出法（審査基準）の RMSE を示します。RMSE を伝搬距離 1km 未満、1km～6km、6km 以上に分けて計算しました。艇庫基地局では、精緻化仮説の RMSE がエリア算出法よりも小さくなっています。一方、ホテル屋上基地局では、エリア算出法の RMSE が精緻化仮説よりも小さくなっています。この点に関しては、エリア端付近での受信電力の変動と合わせて、以降にさらに考察を行います。

表 3.3.2.5-4 測定値に対する精緻化仮説及びエリア算出法（審査基準）の RMSE

	潮位 [cm]	波高 [m]	精緻化仮説			エリア算出法（審査基準）		
			1km 未満	1km～ 6km	6km 以上	1km 未満	1km～ 6km	6km 以上
艇庫測定 1	22	1.0	5.6	5.9	5.7	4.9	19.5	31.1
艇庫測定 2	34	1.0	4.6	5.9	3.9	5.6	20.7	26.4
艇庫測定 3	40	0.7	3.9	5.9	3.5	6.0	19.4	24.9
艇庫測定 4	31	0.7	4.5	5.5	4.0	6.7	19.8	26.4
ホテル屋上測定 1	-26	1.0	9.7	8.5	8.4	9.7	8.5	12.0
ホテル屋上測定 2	8	1.7	10.5	7.1	8.3	10.5	7.1	5.0
ホテル屋上測定 3	-76	1.3	10.7	9.7	10.5	10.7	9.7	5.3

表 3.3.2.5-5 に測定値に対する精緻化仮説及び異なる K の値とした場合の RMSE を示します。係数を r として、元の仮説通りの K の値を K0 としたとき、 $K = r \times K0$ として仮説に基づく計算値を求め、測定値との RMSE を求めました。ここでは、伝搬距離によって分けて RMSE を計算しました。r を 0.6 や 0.8 に小さくすると RMSE は大きくなる一方で、1.2 や 1.4 に大きくしても、RMSE は小さくならない結果となりました。これは、K の値を大きな値としても、3.3.2.5 (2) の K の値の計算方法で説明した「伝搬損失 L が①より小さな値の場合、伝搬損失 L は①の値に変更することになっているため、ブレイクポイントの距離まで①の計算式の値」となることによると考えられます。これは、K の値で精緻化を行うことの限界を示しており、精緻化仮説による計算値を測定値にさらに近づけるためには他のアプローチが必要であることから、以降にマージン補正について考察を行います。

表 3.3.2.5-5 測定値に対する精緻化仮説及び異なる K の値とした場合の RMSE

	潮位 [cm]	波高 [m]	r = 1 (精緻化仮説) (全区間)	r = 0.6	r = 0.8	r = 1.2	r = 1.4
艇庫測定 1	22	1.0	5.72	12.81	8.91	4.74	5.86
艇庫測定 2	34	1.0	4.57	10.47	6.94	4.81	5.41
艇庫測定 3	40	0.7	4.19	9.17	5.88	5.41	6.28
艇庫測定 4	31	0.7	4.47	10.46	6.86	4.95	5.69
ホテル屋上測定 1	-26	1.0	8.43	7.01	8.06	8.43	8.43
ホテル屋上測定 2	8	1.7	8.61	8.61	8.61	8.61	8.61
ホテル屋上測定 3	-76	1.3	10.46	9.65	10.46	10.46	10.46

図 3.3.2.5-12 及び図 3.3.2.5-13 に、艇庫基地局及びホテル屋上基地局の各々について、潮位による受信電力の変動を、測定値、精緻化仮説及びエリア算出法（審査基準）で比較した結果を示します。毎時の推算潮位より、エリア端の通過時刻の潮位を調べ、その潮位での精緻化仮説と審査基準に基づく受信電力を算出しました。

艇庫基地局とホテル屋上基地局の何れにおいても、エリア算出法と精緻化仮説では、潮位による受信電力の変化は殆ど認められません。一方、受信電力の測定値では、潮位による僅かな変化が認められます。この点の分析を行うため、図 3.3.2.5-11 に平面大地の 2 波モデルを用いて、艇庫基地局の受信電力の距離特性を、基準潮位及び潮位を 50cm 増減させた条件で計算した結果を示します。この計算結果より、以下のことが考えられます。

- 艇庫基地局の計算結果は、約 6km のブレイクポイントの手前で、受信電力の変動に大きな山と谷があり、測定値と比較すると、その山と谷の位置は一致しないものの、全体的な傾向は合っている。
- この潮位変動による山と谷の位置の変化によって、同一地点における受信電力が変動するため、潮位による僅かな受信電力の変化は、測定誤差ではなく、直接波と反射波が合成される際の位相差の変化によるものである可能性がある。
- 潮位が 50cm 増減すると、山と谷の位置が大きく変化するため、基地局アンテナ高の計算誤差は、計算値と測定値で山や谷の位置が一致しない原因となる。また、基地局アンテナ高の精度が 50cm 程度では、山と谷の位置を正確に予測できない。
- 実際に海面からの基地局アンテナ高を計算する際には、基地局アンテナを設置する建物が建てられている場所の標高、建物高、潮位など、誤差が積み重なるため、50cm より高い精度で基地局アンテナ高を求めて山と谷の位置まで正確に予測することは現実的でない。

以上の考察より、潮位変動によって受信電力が変化し、その影響を考慮した精緻化が行える可能性はあるものの、エリア設計に活かすことは容易でないと考えられます。

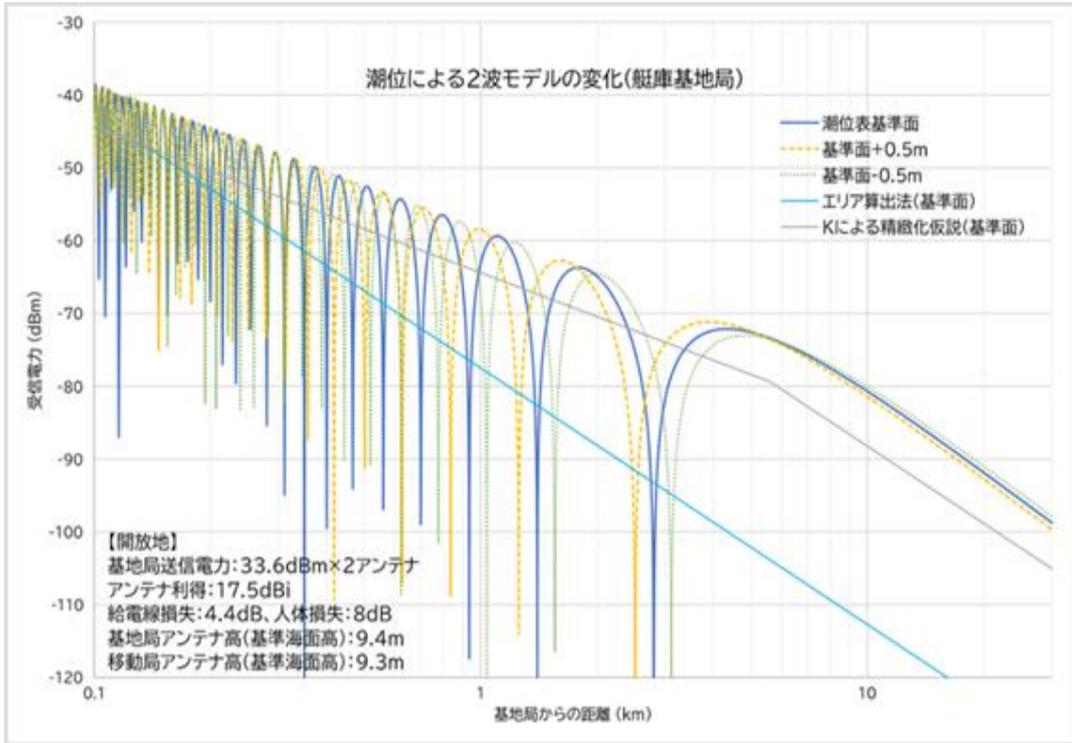
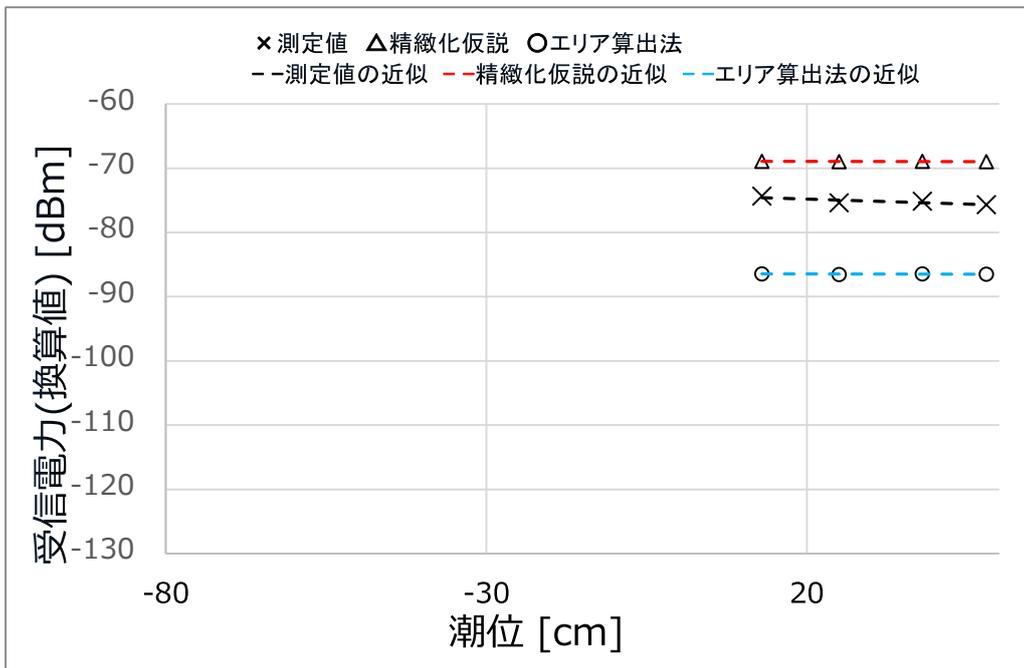
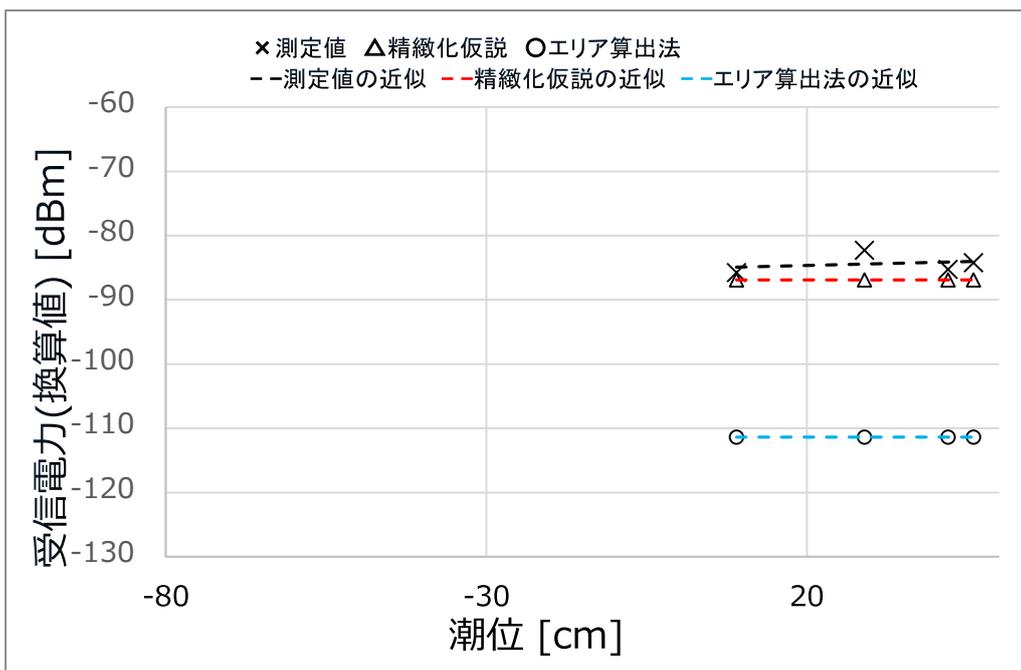


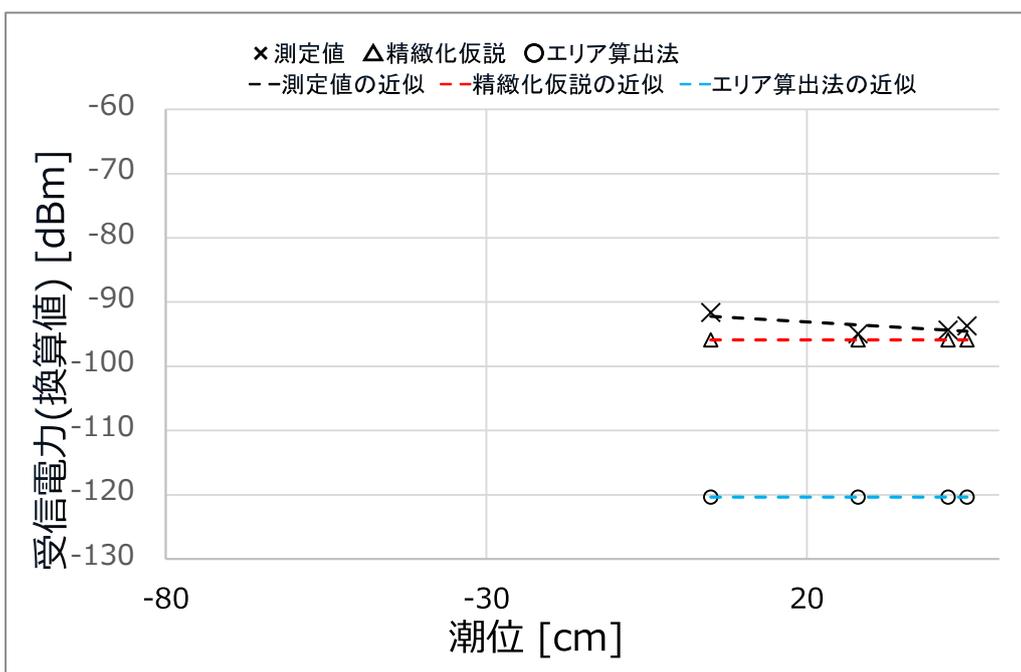
図 3.3.2.5-11 潮位による 2 波モデルの変化 (艇庫基地局)



(ア) 伝搬距離 2km

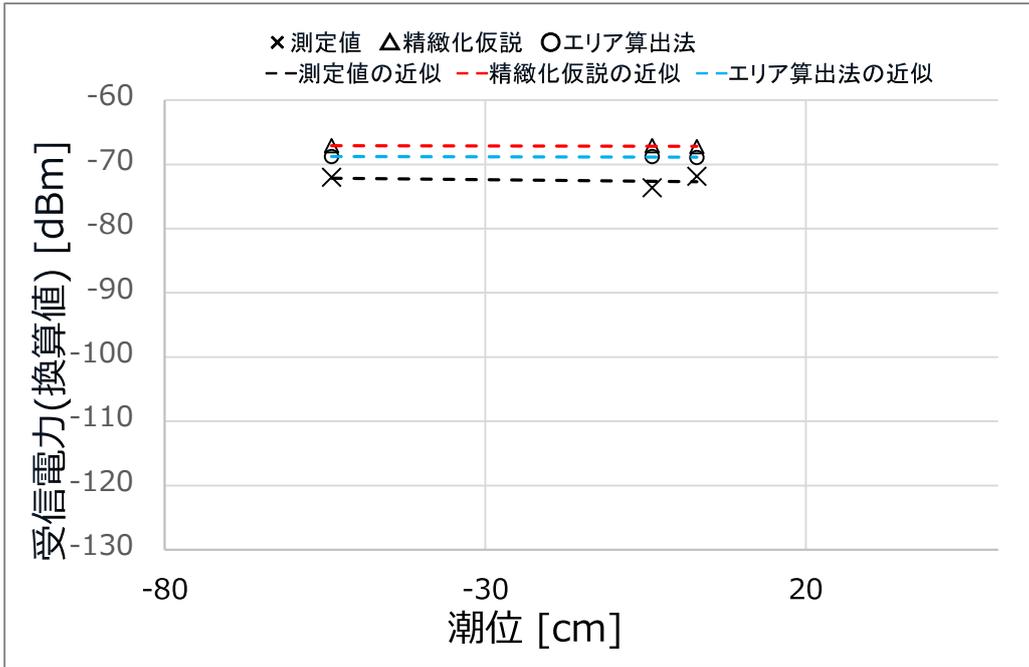


(イ) 伝搬距離 10km

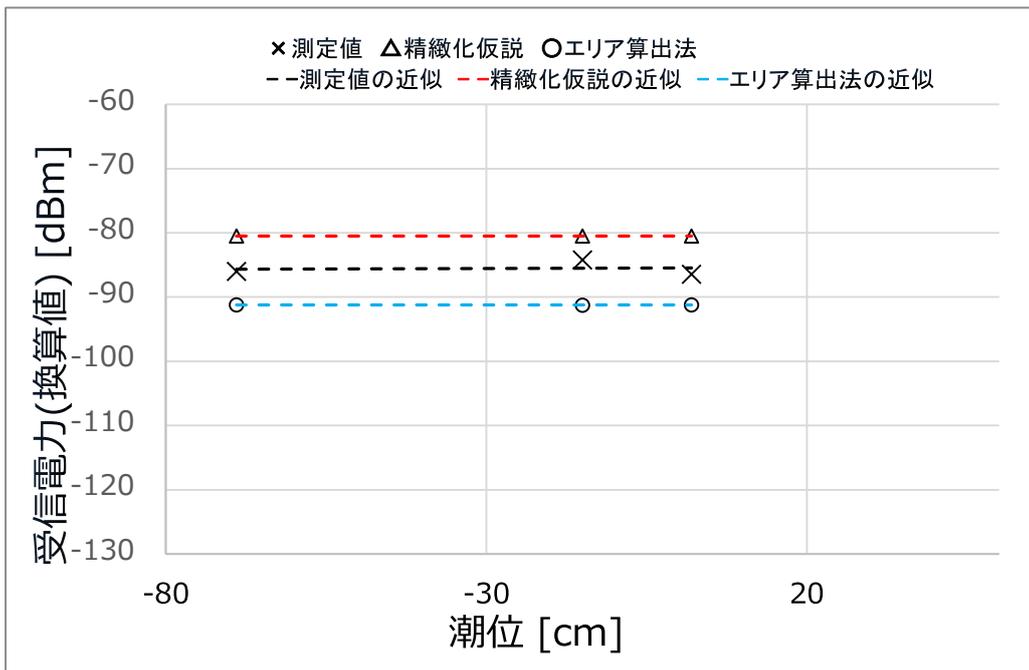


(ウ) 伝搬距離 18km

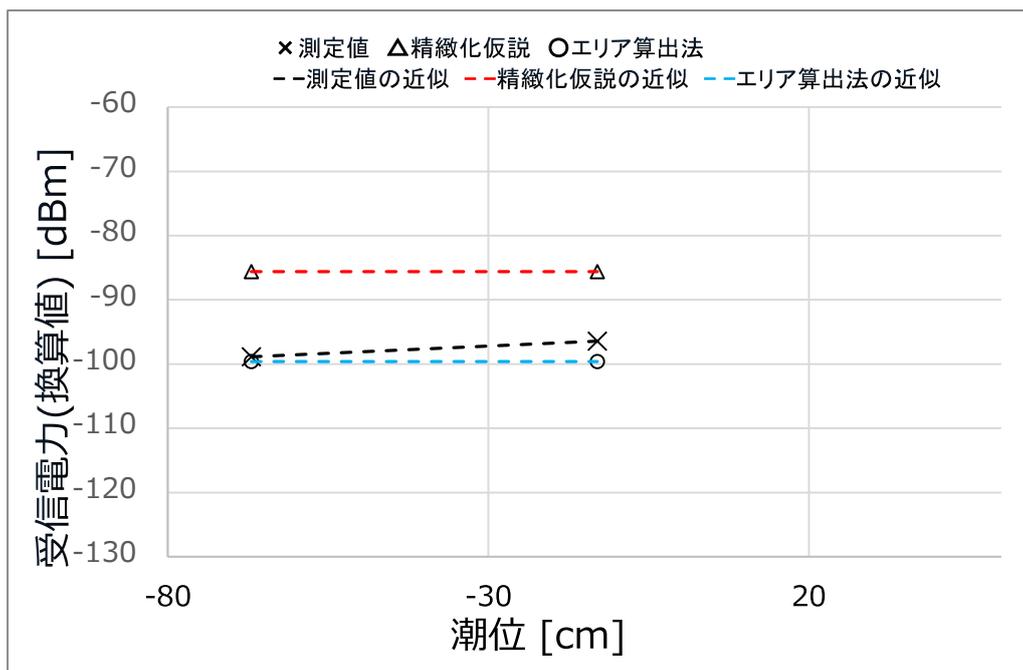
図 3.3.2.5-12 潮位による受信電力の変動 (艇庫基地局)



(ア) 伝搬距離 2km



(イ) 伝搬距離 10km



(ウ) 伝搬距離 18km

図 3.3.2.5-13 潮位による受信電力の変動 (ホテル屋上基地局)

図 3.3.2.5-12 に艇庫基地局からの潮位による受信電力の変動を、図 3.3.2.5-13 にホテル屋上基地局からの潮位による受信電力の変動を示していますが、それぞれの図で比較対象としているエリア算出法及び精緻化仮説の値は基準潮位での計算となっているため、各潮位におけるブレイクポイント、パラメータ K、受信電力の計算結果を表 3.3.2.5-6 及び表 3.3.2.5-7 に示します。また、表 3.3.2.5-6 及び表 3.3.2.5-7 では、基準潮位における各項目の計算結果も ()内に示します。この計算結果より、潮位の差による精緻化パラメータ K の変動は実用に影響を与えるほど大きくないことがわかります。

表 3.3.2.5-6 潮位による受信電力の差分 (艇庫基地局)

(ア) 伝搬距離 2km

測定回	潮位 [cm]	ブレイクポイント [km]	パラメータ K[dB]	エリア算出法による受信電力[dBm]	精緻化仮説による受信電力[dBm]
艇庫測定1	13	5.45 (5.60)	24.42 (24.48)	-86.88 (-86.76)	-69.10 (-69.10)
艇庫測定2	48	5.04 (5.60)	24.24 (24.48)	-87.28 (-86.83)	-69.15 (-69.15)
艇庫測定3	38	5.16 (5.60)	24.49 (24.48)	-87.18 (-86.82)	-69.15 (-69.15)
艇庫測定4	25	5.31 (5.60)	24.36 (24.48)	-86.97 (-86.74)	-69.08 (-69.08)

() は基準潮位による値

(イ) 伝搬距離 10km

測定回	潮位 [cm]	ブレイク ポイント [km]	パラメータ K[dB]	エリア算出法による 受信電力[dBm]	精緻化仮説による 受信電力[dBm]
艇庫測定1	9	5.50 (5.60)	24.44 (24.48)	-111.46 (-111.38)	-87.03 (-86.90)
艇庫測定2	46	5.06 (5.60)	24.25 (24.48)	-111.84 (-111.40)	-87.59 (-86.92)
艇庫測定3	42	5.11 (5.60)	24.27 (24.48)	-111.79 (-111.40)	-87.52 (-86.91)
艇庫測定4	29	5.26 (5.60)	24.34 (24.48)	-111.64 (-111.37)	-87.30 (-86.88)

() は基準潮位による値

(ウ) 伝搬距離 18km

測定回	潮位 [cm]	ブレイク ポイント [km]	パラメータ K[dB]	エリア算出法による 受信電力[dBm]	精緻化仮説による 受信電力[dBm]
艇庫測定1	5	5.54 (5.60)	24.46 (24.48)	-120.43 (-120.38)	-95.97 (-95.90)
艇庫測定2	45	5.08 (5.60)	24.26 (24.48)	-120.82 (-120.39)	-96.56 (-95.91)
艇庫測定3	42	5.11 (5.60)	24.27 (24.48)	-120.79 (-120.39)	-96.52 (-95.91)
艇庫測定4	28	5.27 (5.60)	24.34 (24.48)	-120.65 (-120.39)	-96.31 (-95.91)

() は基準潮位による値

表 3.3.2.5-7 潮位による受信電力の差分（ホテル屋上基地局）
（ア）伝搬距離 2km

測定回	潮位 [cm]	ブレイク ポイント [km]	パラメータ K[dB]	エリア算出法による 受信電力[dBm]	精緻化仮説による 受信電力[dBm]
ホテル屋上 測定1	3	41.63 (41.78)	18.67 (18.69)	-69.52 (-69.51)	-67.73 (-67.73)
ホテル屋上 測定2	-4	41.99 (41.78)	18.71 (18.69)	-69.15 (-69.16)	-67.41 (-67.41)
ホテル屋上 測定3	-54	44.56 (41.78)	18.97 (18.69)	-69.00 (-69.06)	-67.29 (-67.29)

（ ）は基準潮位による値

（イ）伝搬距離 10km

測定回	潮位 [cm]	ブレイク ポイント [km]	パラメータ K[dB]	エリア算出法による 受信電力[dBm]	精緻化仮説による 受信電力[dBm]
ホテル屋上 測定1	2	41.68 (41.78)	18.68 (18.69)	-91.21 (-91.21)	-80.49 (-80.49)
ホテル屋上 測定2	-15	42.55 (41.78)	18.77 (18.69)	-91.19 (-91.21)	-80.48 (-80.48)
ホテル屋上 測定3	-69	45.34 (41.78)	19.04 (18.69)	-91.09 (-91.18)	-80.45 (-80.45)

（ ）は基準潮位による値

（ウ）伝搬距離 18km

測定回	潮位 [cm]	ブレイク ポイント [km]	パラメータ K[dB]	エリア算出法による 受信電力[dBm]	精緻化仮説による 受信電力[dBm]
ホテル屋上 測定1	-13	42.45 (41.78)	18.76 (18.69)	-99.58 (-99.59)	-85.59 (-85.59)
ホテル屋上 測定2	-	-	-	-	-
ホテル屋上 測定3	-67	45.24 (41.78)	19.03 (18.69)	-99.50 (-99.59)	-85.59 (-85.59)

（ ）は基準潮位による値

艇庫基地局では、エリア算出法により計算されるカバーエリア等のエリア端が 1km～3km の間にありますが、測定値では、6km を超えたところでカバーエリア等のエリア端となっており、測定値の近似直線が精緻化仮説とほぼ一致しています。また、精緻化仮説の RMSE がエリア算出法よりも小さくなっています。

一方、ホテル屋上基地局では、エリア算出法により計算されるカバーエリア等のエリア端が 6km～10km となっており、測定値の近似直線とは比較的良好一致し、エリア算出法の RMSE が精緻化仮説よりも小さくなっています。しかし、測定値は、近似直線を中心として数デシベルの幅の変動があり、精緻化仮説による計算値は、その変動の上側の値と概ね一致する傾向が認められます。その傾向を確認するため、図 3.3.2.5-8 に示したホテル屋上測定 1 のエリア端付近を拡大した伝搬損失距離特性を図 3.3.2.5-14 に示します。この図において、近似直線ではなく、測定値の変動からエリア端を判定した場合、カバーエリアのエリア端は約 12km、調整対象区域のエリア端は約 25km となり、精緻化仮説により計算されるエリア端の距離に、より近くなります。

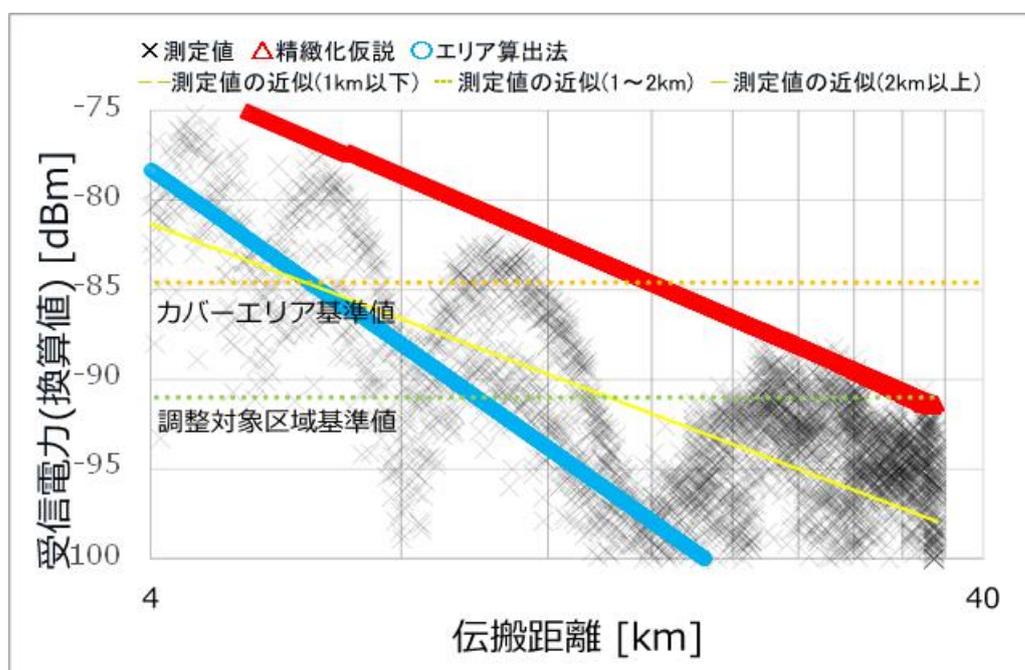


図 3.3.2.5-14 ホテル屋上測定 1 のエリア端付近の拡大図

以上の評価結果より、精緻化仮説は、艇庫基地局とホテル屋上基地局の何れの場合も有効であると考えられます。

さらに、利用者間の干渉調整の要否を判断するために、この精緻化仮説に基づいて計算される受信電力(干渉電力)を基準値と比較することを想定すると、必要な干渉調整が行われないように、精緻化仮説により計算された受信電力にマージン補正を加えることが考えられます。

このマージン補正の必要性は、図 3.3.2.5-7 及び図 3.3.2.5-8 より、艇庫基地局とホテル屋上基地局で異なります。基地局による違いとしては、艇庫基地局では、ブレイクポイントが約 6km で、エリア端がブレイクポイントよりも遠くなり、ホテル屋上基地局では、ブレ

ークポイントが約 40km で、エリア端がブレイクポイントよりも近くなっている点が挙げられます。エリア端がブレイクポイントより遠い艇庫基地局では、図 3.3.2.5-7 のように精緻化仮説が測定値の近似直線にほぼ一致しますが、測定値の変動により、さらに 6dB 程度のマージン補正が必要と考えられます。一方、エリア端がブレイクポイントより近いホテル屋上基地局では、図 3.3.2.5-8 より、測定値の変動を考慮してもマージン補正が必要ないと考えられます。

以上のマージン補正の考え方は、本実証での 2 つの基地局での測定結果より導いたものであり、ブレイクポイントとエリア端の位置関係によってマージン補正の要否が異なる理由や適切なマージン補正の値については、今後の課題と考えられます。

(5) まとめ

以上の検証の通り、カバーエリアと調整対象区域のエリア端の前後において、受信電力の測定値がエリア算出法による計算値よりも、精緻化仮説による計算値に近いことから、精緻化仮説は有効であると考えられます。

表 3.3.2.5-8 にこの結論から導かれるパラメータ **K** に関する精緻化の案を示します。ここで、①の計算式は、審査基準において伝搬距離が 0.04km 以下の場合の伝搬損失として記載されている計算式であり、③の計算式は、伝搬距離が 0.1km 以上の場合の伝搬損失として記載されている計算式です。

表 3.3.2.5-8 パラメータ **K** に関する精緻化の案

影響要因	条件	K [dB]
水面	伝搬路の殆どが水面の場合	$K = L3(Db) - L1(Db)$ $Db = 4 ht \cdot hr / \lambda$ $L1(d) : \text{①の計算式による伝搬距離 } d \text{ の伝搬損失の値}$ $L3(d) : \text{③の計算式による伝搬距離 } d \text{ の伝搬損失の値}$ <p style="text-align: center;">但し、$d < 40\text{km}$ において $\alpha = 1$</p> $ht : \text{基地局アンテナ高}$ $hr : \text{移動局高}$ $\lambda : \text{波長}$

今後の課題とその検討に資する実証方法としては、以下の点が挙げられます。

- 利用者間の干渉調整の要否を判断するために、精緻化仮説に基づいて受信電力（干渉電力）を計算する際に加えるべきマージン補正について、エリア端が大地反射2波モデルのブレイクポイントよりも近い場合に 6dB 程度とすることを示しましたが、その根拠や値の妥当性については、今後の課題として残りました。この課題の検討に資するため、以下のような実証を行うことが考えられます。
 - 5mや20mなど、今回の実証とは異なる基地局アンテナ高で、平面大地の2波モデルのブレイクポイントの手前とブレイクポイントを超える場所に分けて、今回精緻化を行った電波伝搬モデルの計算値と測定値の比較を行い、マージン補正の適正值と基地局アンテナ高との関係を分析する。
 - 基地局アンテナ高を5mなど低くした場合において、小型船を用いて、移動局アンテナ高も今回の実証とは異なる5mなどとして、同様にマージン補正の適正值について調べる。

- 平面大地の2波モデルによって潮位変動による受信電力の変化を予測し、電波伝搬モデルをさらに精緻化できる可能性はあるものの、エリア設計に生かすことは容易でなく、その適否は、今後の課題として残りました。カバーエリアや調整対象区域のエリア端を計算するための電波伝搬モデルの精緻化という観点では、潮位の変動によってそれぞれのエリア端が最大でどこまで遠くなるかが重要です。この課題の検討に資するため、以下のような実証を行うことが考えられます。
 - 海上で受信電力の測定を行い、受信電力が大きくなる場所や落ち込む場所にエリア端が重なることを想定して、それらの場所での測定値と平面大地の2波モデルの計算値の比較を、潮位が異なる条件で実施し、平面大地の2波モデルによる潮位変動の影響の推定精度を評価する。
 - エリア端がブレイクポイント付近に重なる場合を中心に、潮位変化や基地局アンテナ高の計算誤差の影響を調べることで、エリア端の最大距離の推定精度を評価する。また、ブレイクポイントの手前やブレイクポイントを超えた場所でも同様の評価を行う。

3.3.3 電波反射板によるエリア構築の柔軟化

本テーマには取り組まない

3.3.4 準同期 TDD の追加パターンの開発

本テーマには取り組まない

3.3.5 その他のテーマ

本テーマには取り組まない

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

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

国土交通省が掲げる港湾の中長期政策（PORT2030）に向けて、以下の課題が顕在化している。これらの課題を総合的に解決するため、情報一元管理可能なダッシュボードシステムと超高速・超低遅延・同時多数接続という特徴を持つローカル 5G を組み合わせた検証が必要と考える。

表 4.1-1 港湾に於ける当面の課題と本事象で解決する課題

	課題		本実証で解決策
①	操船の課題	港湾内における安全な交通や着岸に必要なとなる十分な情報を得る手段がない	港湾内航行中の船舶に対する「港湾内映像および AI による船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」による解決
②	港湾の課題	港湾内の停泊中の船舶やその周辺的安全監視ができていない	港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI 映像解析により自動化
③		港湾内の着岸管理業務の労働環境改善対策	船舶の着岸確認、記録を高精細映像+映像解析により自動化

本事象で解決する各課題に対する実証概要は以下のとおりです。

課題①：港湾内における安全な交通や着岸に必要なとなる十分な情報を得る手段がない。

現 状：港湾内の船舶航行において、安全な交通や着岸は最も基本的かつ重要なテーマの 1 つとなっています。当然ながら、他船や着岸場所の接触事故を防ぐためには、操船者が船舶周辺および港湾内情報を十分にかつリアルタイムに把握（視認）することが欠かせません。しかしながら、実際には操船者は十分な情報を得られているとは言えず、他船への追突事故、防波堤接触、陸上構造物との接触等の削減が課題となっています。

事故事例



図 4.1-1 事故事例



写真 4.1-1 鳥羽丸操舵室



写真 4.1-2 鳥羽丸 船尾

(操船者は、船員による目視とトランシーバーによるやり取りで位置情報を把握する)

解決策：この課題を解決するために、ローカル 5G の大容量無線通信網を活用し、操船者が港湾内の着岸場所および近接エリアの様子を高精細映像でリアルタイムに視認できる仕組みを整備します。あわせて、自船舶の俯瞰映像（フライングビュー）を提供します。これにより、操船者は湾内の様子および船舶周辺の様子を瞬時に把握することができ、より安全な操船が可能となります。

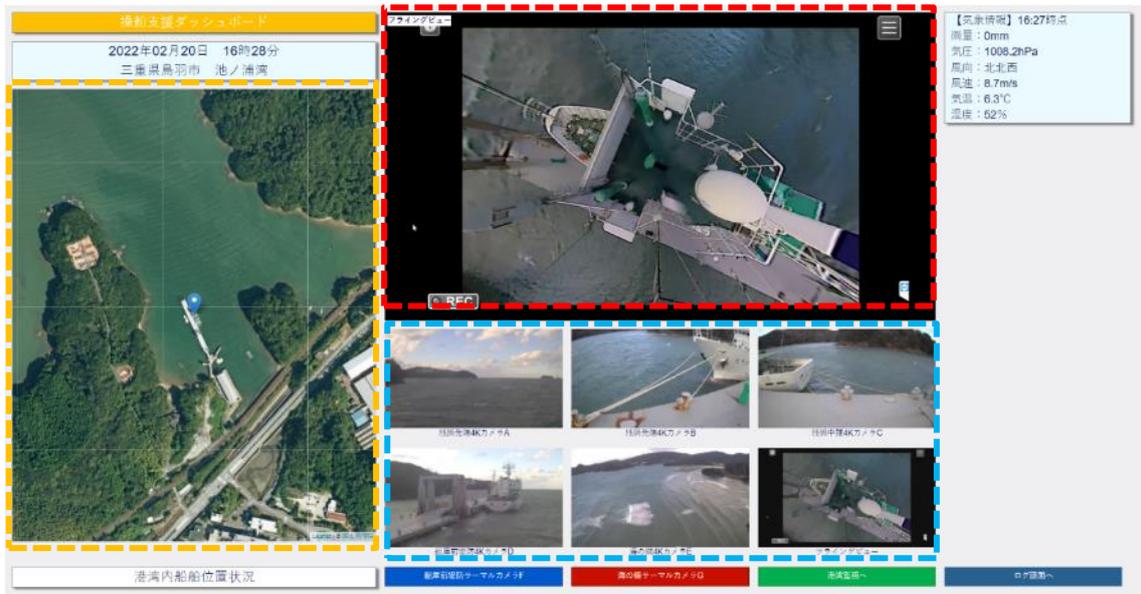


図 4.1-2 操船支援ダッシュボードイメージ

赤点線枠：船舶俯瞰映像（フライングビュー）

青点線枠：港湾内の高精細カメラ映像（4K 映像）

黄点線枠：港湾内の船舶位置情報

[追加提案]

夜間または濃霧等による暗環境の場合、十分に鮮明な映像を確保できないことも想定されるため、課題解決に向けてサーマルカメラを利用した課題実証を実施致します。



図 4.1-3 艇庫前堤防 4K カメラ（夜間撮影）※ナイトモード：OFF

課題②：港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全監視ができていない。

現状：停泊中の船舶におけるリスクとして、外部者・不審者の侵入、悪天候時の大きな揺れによる近隣船舶や岸壁との衝突による船体破損や係留ロープへの過度なテンションによる破断などがあります。これらの船舶および周辺監視を実際に行うには、現状では監視員を配置し（例えば24時間×365日）、目視での監視運用以外には手段がないのが実態です。そのため、これらの安全監視ができるための効率的な仕組みが求められています。

解決策：港湾内の適切な場所に設置した高精細カメラ映像をローカル5G通信により伝送し、AIによる映像解析で異常検出とアラート発報を自動化します。

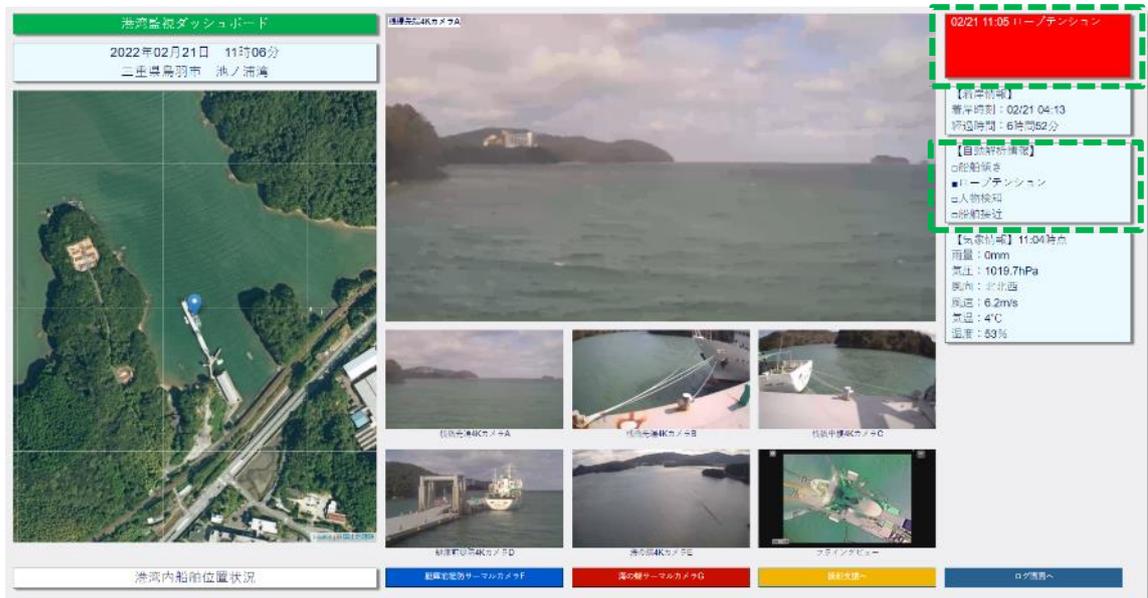


図 4.1-3 港湾監視ダッシュボード

緑点線枠：港湾監視情報および検知メッセージ

課題③：港湾内の着岸管理業務の労働環境改善対応。

現状：本課題は、比較的大規模な港湾における港湾管理業務の技術導入による省人化です。大規模港湾では、24時間365日稼働をしており、港湾管理者も24時間体制で着岸の案内および確認・記録業務を行っています。

解決策：船舶からの連絡対応や目視（またはカメラ映像）による案内・確認を行っていますが、これを高精細映像+AI解析により最適化します。目視による確認、記録をAIによる映像解析で自動化します。

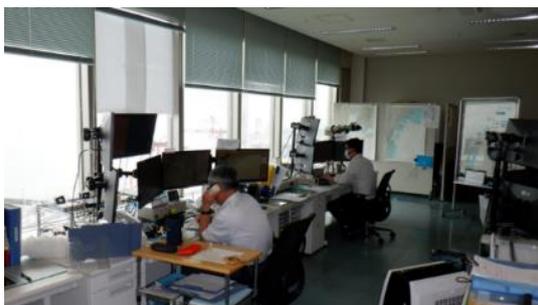


写真 4.1-3 港湾管理業務の様子



写真 4.1-4 目視確認用の双眼鏡

これらの課題①から③を含めた本実証概要図は以下の通りです。

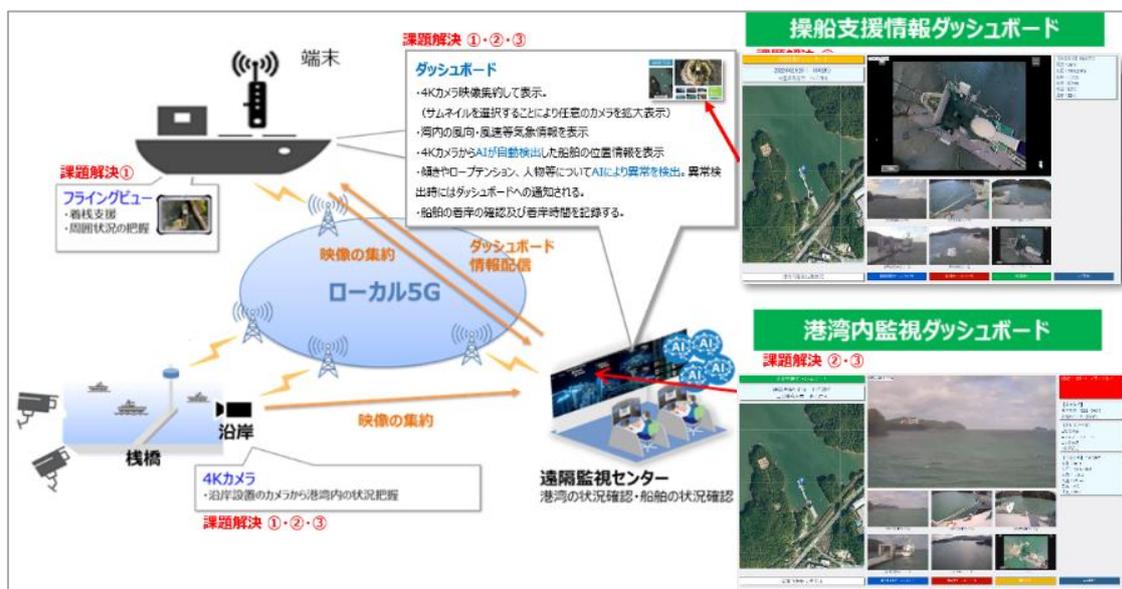


図 4.1-4 実証概要図

上述の課題③は、中長期的な取り組みとも密接に関係し、以下に掲げる将来の港湾の在り方につながる重要なステップであると考えています。

国土交通省の中長期政策である「PORT2030」(※1)では、「情報通信技術を活用した

港湾のスマート化」が重要施策とされており、港湾業務の高度化が求められています。また、自動操船については2025年までの実用化の目標が示されており、自動操船や無人操船に対応した港湾のスマート化も求められると想定しています。港湾のスマート化では、船舶と港湾の迅速な情報連携やそれを支える安全かつ柔軟な港湾内の通信インフラ整備が必須になります。そのため、本実証では中長期的な港湾のスマート化に必要な実証データも得られると考えています。

(※1)「PORT2030」

国土交通省では港湾の中長期政策「PORT2030」、無人運航船プロジェクトが進められています。2030年頃の将来を見据え、我が国の経済・産業の発展及び国民生活の質の向上のために港湾が果たすべき役割や、今後特に推進すべき港湾政策の方向性等を、「港湾の中長期政策『PORT 2030』」として取りまとめており、「情報通信技術を活用した港湾のスマート化」は重要施策の一つとして掲げられています。

7. 情報通信技術を活用した港湾のスマート化・強靱化

- 世界最高水準の生産性を有する「AIターミナル」を形成、ICTの革新に合わせ進化
- 港湾の手続、その他物流情報を完全電子化、手続の省力化、データの利活用を通じた効率化

- センシング技術やドローン等のIoTを活用した迅速な被災状況の把握、早期復旧
- 施設被害を解析・予測により緊急物資・救援部隊の輸送円滑化や物流機能の維持に寄与




図 4.1-5 PORT2030 情報通信技術を活用した港湾のスマート化・強靱化
(出典：国土交通省 Web サイト掲載資料より抜粋)

4.2 背景となる課題を踏まえた実装シナリオ・実証目標

PORT2030 で目指すべき港湾のスマート化に向けて、現状の課題として主に 3 点が掲げられます。本事象では、それらを解決すべき課題として取り組みました。

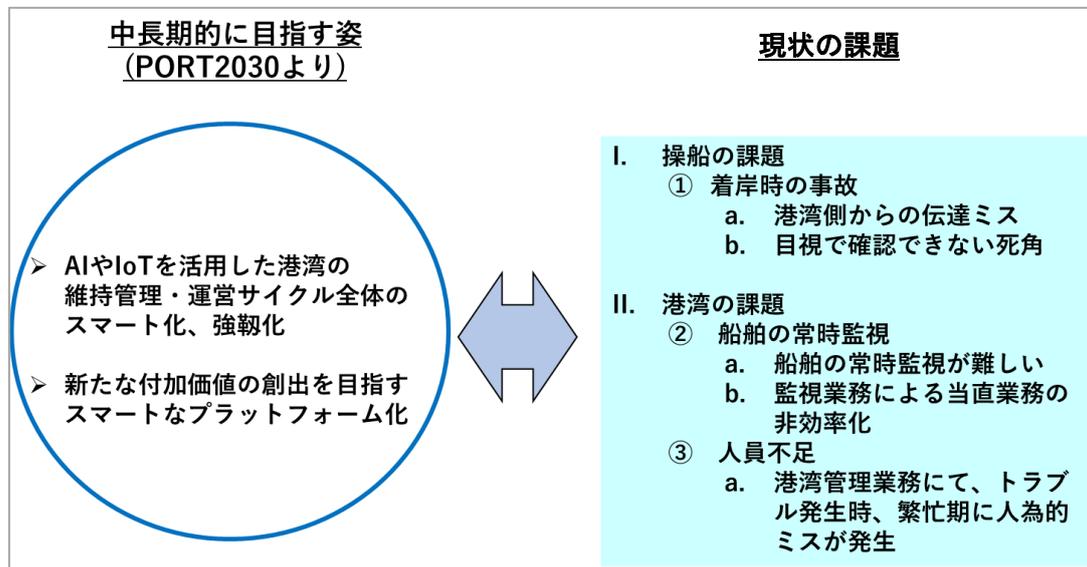


図 4.2-1 港湾業務での課題

各課題に対する実装シナリオ及び実証目標は以下の通りです。

操船課題①に対する解決策

港湾内航行中の船舶に対する「港湾内映像および AI による船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供。

港湾課題②に対する解決策

港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像＋AI 映像解析により自動化。

港湾課題③に対する解決策

船舶の着岸確認、記録を高精細映像＋AI 映像解析により自動化。

上記課題における各種課題抽出及び対策検討につきましては、以下のプロセスを基に検討を実施致しました。

- ・現状業務を分類分けシート作成
- ・業務ヒアリング
- ・業務負担状況の分析し、課題解決項目の決定
- ・業務改善基準の策定
- ・課題解決状況のヒアリング
- ・業務改善結果（費用軽減に繋がる費用積算含む）
- ・新たな解決策による解決の可能性分析

以下に、課題①～③について、ローカル 5G を活用した本実証の詳細を記載します。

①. 港湾内航行中の船舶に対する「港湾内映像および AI による船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供。

- ・ユーザーとなる事業者

船会社（本実証コンソーシアムでは主として、鳥羽商船高等専門学校。協同海運も検証に参画）。

- ・課題

港湾内における船舶の操船には海上衝突予防法、港則法、各港湾の航行安全対策に従い厳格なルールが定められています。入港から出港まで、港湾管理者と情報を共有することで、円滑な港湾の運営が保たれていますが、これらの手段は音声でのやり取りが多くを占めている状況です。

上記やり取りに不都合が生じるなど情報共有がうまく図れないと、運航スケジュールに影響がおよび、遅延や欠航に至ることで機会損失につながる可能性も想定されます。

船舶の着岸は、操船において重要な作業であり、乗組員一丸となり対応を行うこととなります。ベテラン操船者であっても急変する気象状況などの周囲の状況や、他の乗組員との連絡ミスや連絡不備などにより必要な情報が得られず、予期しない事象が発生し、結果として事故につながる場合があります。また、操船者は直接目視および船上カメラで状況を確認しますが死角となるポイントが発生していることも事故発生の原因になっています。

事故の規模によっては船舶や岸壁、周辺施設を損傷することもあり、それらの修理が発生すると操船の停止など大きな損害につながります。

これらのことから港湾内の情報を得ることは操船業務において必要不可欠ではありますが、現在は、情報を一元的に管理、閲覧するシステムが存在しません。

- ・解決策

港湾内の映像、気象情報を一元的に表示するダッシュボードを開発し（図 4.2-2 参照）、操船側からダッシュボードを見られるようにすることで、現在の操船業務における課題点となる安全な操船のための情報の収集および共有化により解決を図ります。

- ・本ソリューションの必要性

操船は、詳細映像や多種のデータを常時得て判断できることが望ましいが、それらは多岐にわたり、また、発信元も複数に分かれている。

全てを確認するためには移動等含めたタイムラグが発生するため、一元化できるシステムが必要。

- ・達成目標

港湾内の映像、気象情報を一元的に表示するダッシュボードを開発。

（図 4.2-2 参照）

- 本実証達成基準項目

1. 操船側からダッシュボードの閲覧
2. 操船のための情報の収集および共有化が図れること

- ローカル 5G の必要性

本実証のダッシュボード生成においては、4K の高精細カメラを設置し、大容量データのアップリンク伝送を行います。また、港湾では諸外国の船舶が行き交うため、セキュアな環境で安定的に送信する必要があります。地域に必要な港湾エリアに迅速にセキュアな 5G 環境を構築する観点において、ローカル 5G の活用が適していると考えました。

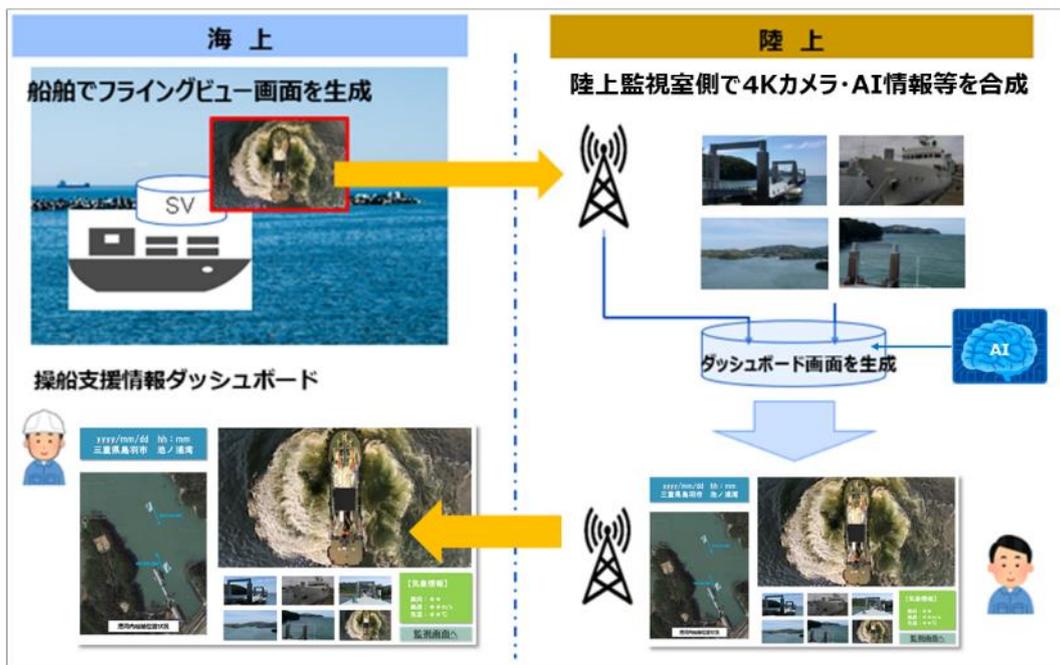


図 4.2-2 ダッシュボード生成イメージ

②. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI映像解析により自動化。

- ・ユーザーとなる事業者

船会社（本実証コンソーシアムでは、主として鳥羽商船高等専門学校。協同海運も参画）および港湾管理者（本実証コンソーシアムでは、主として鳥羽商船高等専門学校、東洋信号通信社も参画）。

- ・課題

船員法施行規則に「停泊中の当直基準」が規定されており、停泊中の船舶には船舶の舷側に設けた出入口で当直する義務があるため、当直者は船舶の状況の監視を常時行う必要があります。一方、当直乗組員は荷役当直や船内事務など他の業務も並行して行うため負担も多く、24時間365日見落としなく監視を行うことは多大な労力を伴います。船舶監視業務により、当直乗組員は荷役当直や船内事務に専念できず、労働生産性が悪く、休憩を十分にとることが難しいなど、労働環境が芳しくないことも課題になっています。

- ・解決策

4Kの高精細カメラ映像をAI解析することにより、港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の迅速な異常検知する船舶離着岸監視ダッシュボードを生成。異常検知の自動化を実現することにより、当直業務の最適化を図ります。

- ・本ソリューションの必要性

4Kカメラとサーマルカメラに映し出される映像をAI解析することで、港湾内で発生した異常を24時間365日自動で通知することが可能となる。

これに伴い、夜間や防風時等に於いても遠隔で港湾内の情報を得ることが出来るため、港湾内で作業されている方々の負担削減のためにも必要であると考えます。

- ・達成目標

4Kの高精細カメラ映像によるAI解析。

- ・本実証達成基準項目

1. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の迅速な異常検知する船舶離着岸監視。
2. ダッシュボードを生成。異常検知の自動化。

- ・ローカル5Gの必要性

本実証では4Kの高精細カメラ映像をAIで解析することで、異常検知の自動化を実現します。大容量データである4Kの高精細カメラ映像アップリンク伝送は、大容量通信が可能なローカル5Gが適しています。また、港湾では諸外国の船舶が行き交うため、セキュアな環境で安定的に送信する必要があります。地域で必要な港湾エリアに迅速にセキュアな5G環境を構築する観点において、ローカル5Gの活用が適していると考えました。

③. 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化

- ・ユーザー企業

港湾（本実証コンソーシアムでは鳥羽商船高等専門学校および四日市港管理組合）

※四日市港で実証は実施しません。

- ・課題

港湾内の船舶の安全を守ることは港湾管理者の重要な使命であり、その日々の努力によって日本の流通、経済は支えられています。

国際戦略港や国際拠点港などの大型港湾は24時間365日休むことなく稼働しており、港湾管理者も24時間体制で船舶からの連絡対応や目視およびカメラ映像による港湾や船舶の状況監視の実施が不可欠ですが、業務の集中、予期せぬトラブル等により、平時の業務が滞ると離着岸の遅れなど船舶側にも影響が及ぶことや、管理業務の見落としなどのミスが発生しております。

24時間365日安全に港湾業務が遂行されるためには、業務の再配分や最適化を図る必要があります。

- ・解決策

高精細映像をAI解析することで、現在目視で実施している着岸確認、記録業務を自動化し、港湾管理業務の最適化を図ります。

- ・達成目標

高精細映像をAI解析。

- ・本ソリューションの必要性

船舶操船システムとして最も重要なのは、図4.2-4の海難発生隻数にも表れているように、人為的要因に起因する発生比率をできるだけ少なくすることが必要となる。

これらの目的達成のためには、人間的要素と機械的要素間を連携するのが要となる。具体的には、

1. ヒューマンエラーが発生しにくい環境を作る。
2. ヒューマンエラーが発生しても、機械側でそれを検知し、その対策をとれるようにする。

以上のような支援を本ソリューションが補う事で、港湾作業の健全発展に必要となる。

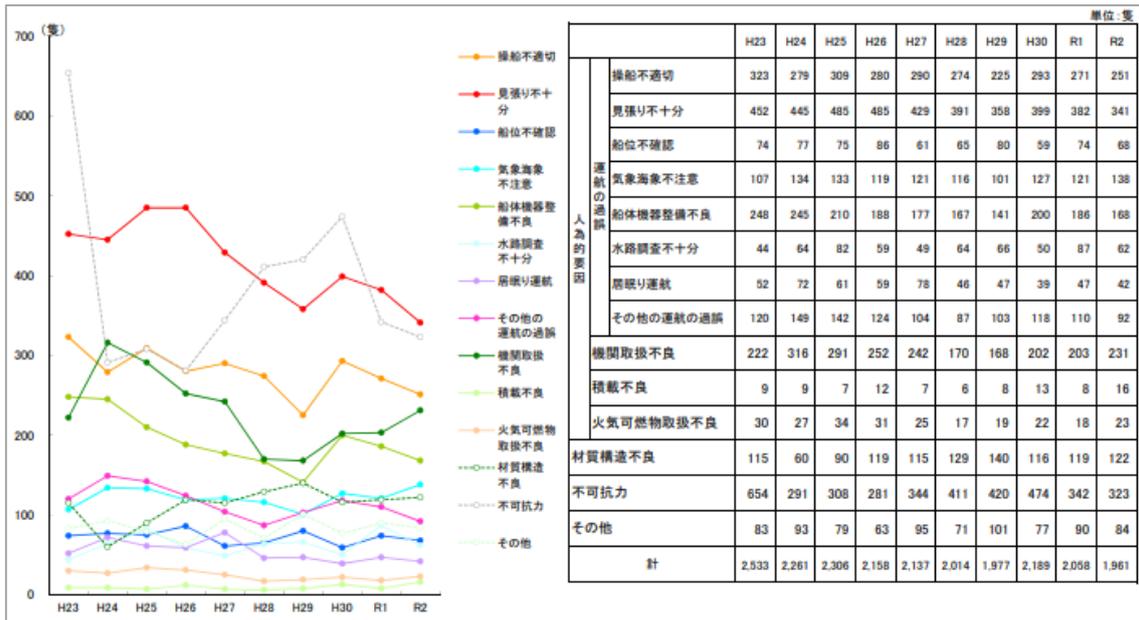


図4.2-4 原因別海難発生隻数（出典：海上保安庁）

・本実証達成目標項目

1. 着岸確認、記録業務を自動化
2. 港湾管理業務の見落としなどのミス回避支援

・ローカル5Gの必要性

大容量データである4Kの高精細カメラ映像アップリンク伝送は、大容量通信が可能なローカル5Gが適しています。また、港湾では諸外国の船舶が行き交うため、セキュアな環境で安定的に送信する必要があります。地域に必要な港湾エリアに迅速にセキュアな5G環境を構築する観点において、ローカル5Gの活用が適していると考えます。

事事故例



図 4.2-4 事事故例

表 4.2-1 事故による被害額

事故	損害額	内容
プロペラ巻き込み	130,000 円	潜水作業によるロープ除去作業見込額
岸壁損傷	10,000,000 円	岸壁のラバー（防舷材）破壊
船舶損傷	3,000,000 円	岸壁のラバー破壊程度の船体損傷修理見込額（損傷程度による）

目視とダッシュボードへの表示に大きな遅延が発生することは、刻一刻と変化する海上での環境において許容できません。船舶事業者へのヒアリングから許容される遅延時間を項目、船舶の状況別にまとめました。なお、当該気象情報は、棧橋周辺に設置する観測装置の値であり、航行中に即時性を求めるものでは無いことから、湾内航行時の許容時間を1分以内としました。

表 4.2-2 許容遅延時間（操船支援ダッシュボード）

項目	湾内航行時	離着岸時	係留時
フライングビュー	1.0 秒以内	0.5 秒以内	0.5 秒以内
港からの映像	1.0 秒以内	1.0 秒以内	1.0 秒以内
船の場所俯瞰表示	1.0 秒以内	1.0 秒以内	1.0 秒以内
気象情報	1 分以内	1.0 秒以内	1.0 秒以内

同様に、AI 監視においても遅延の許容時間を確認し、まとめました。

表 4.2-3 許容遅延時間 (AI 監視)

項目	湾内航行時	離着岸時	係留時
人物検知	—	3.0 秒以内	3.0 秒以内
船の傾き	—	1.0 秒以内	1.0 秒以内
ロープテンション	—	1.0 秒以内	1.0 秒以内

【実装シナリオ (フォアキャスト型、ロードマップ)】

本実証において構築する設備は、事業完了後の 2022 年度以降も鳥羽商船高等専門学校と連携して実証地域での運用を継続し、AI 解析精度やダッシュボードの利便性の向上など横展開に向けた反映を行っていくことを予定しています。また、設備設置対象が船舶及び浮き桟橋であることとカメラ増設など固定化が困難であり、伝送網の迅速に構築には無線網が最適であると判断しております。今回の実証で使用するローカル 5G 基地局はレンタルのため、当該設備の契約延長もしくは他の設備への移行を検討します。

現在、ローカル 5G 基地局は初期費用、ランニング費用共に高額であることから、継続利用のためにも費用の軽減につながる対策が必要であると考えます。

また、現行のローカル 5G 制度では、他者土地利用に移動局を用いることは認められていません。本実証の結果をもとに、海上 (他者土地利用相当) における移動局利用を可能とする制度的な手当を要望していきたいと考えております。

2022 年度以降は本コンソーシアムの日本ケーブルテレビ連盟、ZTV、協同海運、東洋信号通信社にて横展開を図ります。

それぞれの事業者の横展開方法は以下となります。

- ・日本ケーブルテレビ連盟

日本ケーブルテレビ連盟に加盟する正会員オペレータ(349 社)向けに説明会・個別説明を実施することで本実証モデルの普及を働きかけます。

- ・ZTV

三重県内の事業者を中心に本実証モデルの普及を個別に働きかけます。

- ・協同海運

船会社をケーブルテレビ事業者に紹介します。

- ・東洋信号通信社

全国の港湾に対し、本実証モデルの普及を個別に働きかけます。

		2021(実証)	2022	2023以降
①	船舶へのダッシュボード提供			
②	異常検知の自動化			
③	着岸確認、記録の自動化			

図 4.2-4 実装ロードマップ

図 4.2-4 で示した課題①から③に関する解決方法に対するそれぞれの実装シナリオと実装目標について、次のように整理しました。

表 4.2-4 実装シナリオ

課題		解決策	実装方法	実装目標
①	着岸時の事故	港湾内航行中の船舶に対する「港湾内映像およびAIによる船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供	<ul style="list-style-type: none"> ・設計/構築 当該システムを設計し、港湾内の映像、気象情報を一元的に表示可能なシステムを構築する。 ・導入試験 当該システムを利用開始に際して、機能試験および運用試験を行う。 ・教育/訓練 当該システムを利用する作業担当者に対して必要となる教育/訓練を行う。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 操船側からダッシュボードの閲覧 2. 操船のための情報の収集および共有化が図れること
②	船舶の常時監視	港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI映像解析により自動化	<ul style="list-style-type: none"> ・設計/構築 当該システムを設計し、高精細映像をAI解析可能なシステムを構築する。 ・導入試験 当該システムを利用開始に際して、機能試験および運用試験を行う。 ・教育/訓練 当該システムを利用する作業担当者に対して必要となる教育/訓練を行う。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の迅速な異常検知する船舶離着岸監視 ダッシュボードを生成。 異常検知の自動化
③	人員不足	船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化。	<ul style="list-style-type: none"> ・設計/構築 当該システムを設計し、高精細映像をAI解析可能なシステムを構築する。 ・導入試験 当該システムを利用開始に際して、機能試験および運用試験を行う。 ・教育/訓練 当該システムを利用する作業担当者に対して必要となる教育/訓練を行う。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 着岸確認、記録業務を自動化 2. 港湾管理業務の見落としなどのミス回避支援

1. グローバルバリューチェーンを支える海上輸送網の構築

- ・東南アジア等へのシャトル航路を戦略的重要な航路として、主要港からの高航路サービスと強化
- ・国際コンテナ航路増進について更なる機能強化、国内外からの集積を促進
- ・国際フェリー・RO-RO航路など多様な速度帯での重要なサービスを提供

2. 持続可能で新たな価値を創造する国内物流体系の構築

- ・自動積卸機、自動決済、GPSによるシャーシ管理システムを実装した「次世代高規格ユニットロードターミナル」の形成
- ・内航海運の生産性向上を進めるため、田・地域・改革に意欲的な運航事業者による連携体制の構築、先進的取組の促進
- ・産地と連携した農林水産品の輸出・移転促進のための港湾強化

3. 列島のクルーズアイルランド化

- ・国際クルーズ拠点と合わせ、フライ&クルーズ等の我が国発着クルーズを拡大、港の観光コンテンツを充実、訪日外国人旅行客の満足度向上のための施策を展開

4. ブランド価値を生む空間形成

- ・官民資金を活用したマリナー開発や長期の水域利用と一体となった臨海部空間の再開発、水上交通による回遊性の強化
- ・様々な観光資源の共有・磨き上げ、快適な観光の提供を通じた訪日外国人旅行客の満足度向上、地域への経済効果の最大化

5. 新たな資源エネルギーの受入・供給等の拠点形成

- ・設備更新と合わせたインフラの改良・強化、共同輸送の促進、大型船受入拠点の最適配置
- ・新エネルギーの供給、海洋資源の開発・利用のための活動・支援拠点の形成

6. 港湾・物流活動のグリーン化～CO₂排出源・吸収源対策～

- ・洋上風力発電、輸送機械の低炭素化やブルーカーボン活用等による「カーボンフリーポート」の実現
- ・シンガポールとの連携によるLNG供給の国際ネットワークの構築、その推進のためのLNGパンカリング拠点の形成

7. 情報通信技術を活用した港湾のスマート化・強化

- ・世界最高水準の生産性を有する「AIターミナル」を形成、ICTの革新に合わせた進化
- ・港湾の手続、その他物流情報を完全電子化、手続の省力化、データの利活用を通じた効率化
- ・センシング技術やドローン等のIoTを活用した迅速な被災状況の把握、早期復旧
- ・施設被害を解析・予測により緊急物資・救援部隊の輸送円滑化や物流機能の維持に寄与

8. 港湾建設・維持管理技術の変革と海外展開

- ・CIM（※）やAR（拡張現実）の導入等による港湾分野のe-Constructionの推進、点検業務の効率化・迅速化、港湾建設における安全性向上

図 4.2-6 「PORT2030」主な施策_港湾のスマート化・強化
 (出典：国土交通省 Web サイト掲載資料より抜粋)

4.3 実証環境

港湾内に 4K 高精細カメラを 5 台 (A~E) 設置し、艇庫・棧橋周辺や湾内の高精細映像をローカル 5G ネットワークを利用して艇庫内に設置するダッシュボードシステム及び AI 解析サーバーへライブ配信します。各カメラの設置位置を図 4.3.1 - 図 4.3.6 に示します。



図 4.3-1 4K 高精細カメラ設置位置及び撮影方向 (艇庫・棧橋周辺)
(Google Earth)



図 4.3-2 4K カメラ設置位置 (A・B)



図 4.3-3 4K カメラ設置位置 (C)

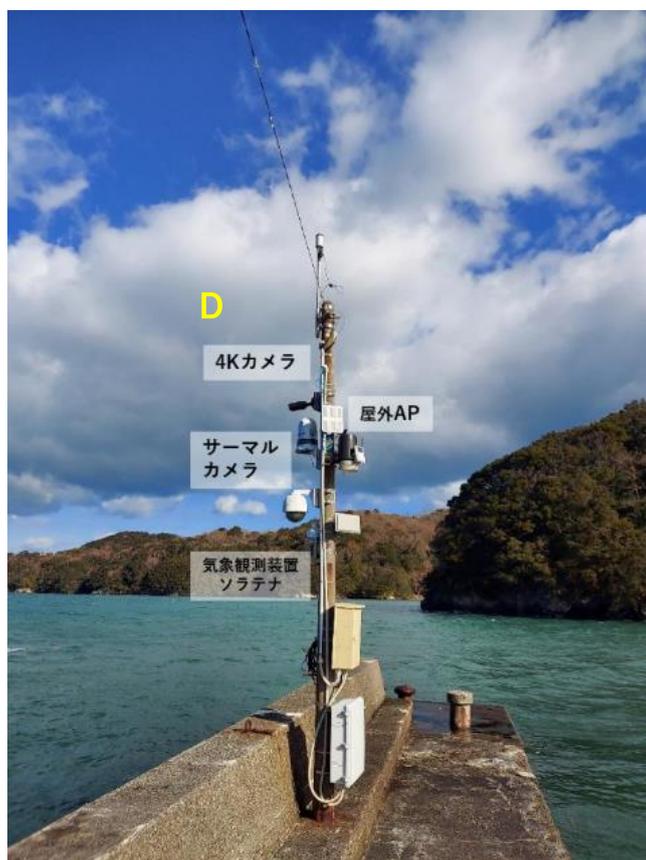


図 4.3-4 4K カメラ設置位置 (D)



図 4.3-5 4K 高精細カメラ設置位置及び撮影方向（旅荘 海の蝶）



図 4.3-6 4K カメラ設置位置（E）

図 4.3-2 及び図 4.3-6 で示したカメラ A、E は港湾内を航行する船舶の位置情報を AI にて自動検出させること及び港湾内の映像情報を操船者へライブ配信することを目的に設置します。カメラ B,C,D は離着岸時の操船支援及び船舶の離着岸検知や停泊中の船舶・港周辺の異常の有無を AI にて自動検出させることを目的に設置しました。

実証に使用する鳥羽丸には操船支援を目的とした船舶俯瞰映像配信のためのフライングビューを設置します。

また、操船及び船舶航行の可否判断に必要となる港湾内の風向・風速気象情報をダッシュボードへ表示させるための気象観測装置を艇庫・棧橋周辺に設置しました。

4.4 実証内容

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

● 検証項目

各課題における課題解決システムの効果検証項目を以下に示します。なお効果検証は、課題解決システムの利用者視点から実証を行いました。なお、4K カメラに於いては、以下の有線接続時に於ける課題を解決するため、カメラを無線接続して使用致しました。

<地理的条件>

・実証環境の棧橋は、浮き棧橋であることと船舶との間の固定化は困難であり、伝送網を迅速に構築するには無線網が最善であると判断。

<気象条件>

- ・夜間帯の暗環境や日中帯であっても激しい降雨、降雪による視認性の大幅な低下。
- ・天候の急激な変化や海面の陽光の反射により明度の状態が不安定になる。

<棧橋・艇庫を有線カメラにした際の課題>

- ・有線の付設などが無いため、伝送網の構築に時間を要する。
- ・天候等による断線リスク。
- ・塩害等によるケーブル交換に伴う管理コスト。

<棧橋・艇庫を無線カメラにした際の課題>

- ・有線の付設などが無いため、伝送網の構築に時間を要する。
- ・天候等による断線リスク。
- ・塩害等によるケーブル交換に伴う管理コスト。

表 4.4.1-1 効果検証項目

#	課題		評価観点	効果検証項目
①	操船の課題	港湾内における安全な交通や着岸に必要なとなる十分な情報を得る手段	港湾内の映像、気象情報を一元的に表示するダッシュボードの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・操船側からダッシュボードの閲覧 ・操船のための情報の収集および共有化が図れること
②	港湾の課題	港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全管理	4K の高精細カメラ映像による AI 解析	<ul style="list-style-type: none"> ・港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の迅速な異常検知する船舶離着岸監視ダッシュボードを生成 ・異常検知の自動化。
③		港湾内の着岸管理業務の労働環境改善	目視で実施している着岸確認、記録業務の自動化	<ul style="list-style-type: none"> ・着岸確認、記録業務を自動化 ・港湾管理業務の見落としなどのミス回避支援

4.4.1.1 効果検証

(1) 評価・検証項目

課題 ①：港湾内における安全な交通や着岸に必要なとなる十分な情報を得る手段
 解決策：港湾内の映像、気象情報を一元的に表示するダッシュボードの開発。

操船を支援するための情報を提供するダッシュボードを活用し、以下 4 点の効果検証を実施しました。

- ・船舶周辺映像（フライングビュー）
- ・湾内高精細映像
- ・船舶位置情報
- ・気象情報

表 4.4.1.1-1 機能説明（操船支援）

名称	機能説明
船舶周辺映像 （フライングビュー）	船舶マストに設置する 4 方向のカメラを合成処理することで、俯瞰での映像がリアルタイムに確認できる。 離着岸時の全方位の状況把握が容易となり、操船作業の業務軽減が図れる。
湾内高精細映像	港に複数設置した 4K カメラ映像から、港全体や停泊予定場所の状況（波の高さ、他船の状況、港湾の様子）が一元的に把握できる。
船舶位置情報	AI 解析で船舶の位置や進行方向を地図上にリアルタイム表示。目視および AIS だけでは不足する情報を補完することで、他船との接触等の事故を回避する。
気象情報	港に設置した気象観測装置の情報をリアルタイムに表示。港の映像と同時に確認できることで、判断に要する時間の短縮、精度の向上が図れる。

課題②：港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全。

解決策：港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像（4K）+AI 映像解析により自動化。

港湾設置の 4K カメラ映像を AI 解析し、以下 3 点の効果検証を実施しました。

- ・人物の立ち入り検知
- ・船舶の傾き検知
- ・ロープテンション状況の計測

表 4.4.1.1-2 機能説明 (船舶監視)

名称	機能説明
人物の立ち入り検知	港湾内の侵入禁止区域において、人が立ち入ったことを検知し通知することで、不審者の侵入を防ぐ。
船舶の傾き検知	停泊中船舶の傾きを検知して通知することで、重量バランスの調整を促し、岸への接触事故や積載物の落下を事前に防ぐ。
ロープテンション状況の計測	係留ロープのテンション状況を可視化することにより、入出港時や停泊中におけるスナックバックなどの事故を防止する。

課題③：港湾内の着岸管理業務の労働環境改善。

解決策：船舶の着岸確認、記録を高精細映像（4K）＋AI 映像解析により自動化。

港港湾設置の 4K カメラ映像を AI 解析し、以下 3 点の効果検証を実施しました。

- ・船舶の位置座標の推定
- ・船舶と岸/船舶同士の距離推定
- ・船舶の離着岸検知

表 4.4.1.1-3 機能説明 (港湾管理業務)

名称	機能説明
船舶の位置座標の推定	船舶の位置座標をカメラから推定することで、船舶が港湾に入ってきたことや他船との距離を可視化して、接触事故を防止する。
船舶と岸壁/船舶同士の距離推定	船舶と岸壁や船舶同士の距離を推定することにより、船舶離着岸時の安全性確保を行う。
船舶の離着岸検知	船舶の着岸および離岸を判断し、停泊時間の計測漏れを回避する。

(2) 評価・検証方法

ダッシュボードシステムを活用した操船支援情報の提供及び映像監視による港湾内安全管理の各課題に基づく実証を通じて、現状の課題解決について定量的かつ定性的な面から測定し効果検証を行いました。

定量面では、現状の操船作業における工数や AI アルゴリズムごとによる正確性等を測定した。

定性面では、AI システムを含むダッシュボード設備を通じて、各課題に対して港湾従事者のアンケートを通じて安全、品質等に関する定性面に関する確認を実施しました。

なお、検証に当たっては、定量化に必要な計測を行うとともに、課題解決システムの利用における操船作業社及び有識者によるアンケートを実施することで、課題や改善点に係る検討を行いました。

<アンケート調査結果>

1. アンケート調査期間：2022年2月24日 - 2022年3月7日
2. アンケート対象：3社（鳥羽商船高等専門学校、東洋信号通信社、協同海運）
3. アンケート実施方法：船舶/港湾関係者によるヒアリングシートによる聞き取り
4. アンケート集計分析：ヒアリングシートから項目区分け状況からの分析
（現状からの業務改善率等の算出）

表 4.4.1.1-4 アンケート内容

項目	入力	備考
作業者所属		
作業実施日	年 月 日	
作業開始時間	時 分	
作業終了時間	時 分	
危険防止判断できたか	a. 問題なくできた b. わかりにくかった c. できなかった	
船舶着岸状況時間判断ができたか	a. 問題なくできた b. わかりにくかった c. できなかった	
船舶傾き状況判断ができたか	a. 問題なくできた b. わかりにくかった c. できなかった	
船舶ロープテンション状況判断ができたか	a. 問題なくできた b. わかりにくかった c. できなかった	
業務改善効果	a. 効果あり b. 変わらない c. 効果なし	

①. 港湾内航行中船舶に対する「港湾内映像およびAIによる船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供

船舶の着岸までにおいて、操船支援ダッシュボードの性能を活用することで、これまでの操船作業で不足となっていた情報が補完され、業務が改善されているか操船者にヒアリング確認を実施しました。

具体的には、以下の情報が港湾内の安全な操船と着岸に寄与したかを鳥羽商船高等専門学校の操船従事者の職員・生徒を中心に選定し、その結果を結果評価シート（表4.4.1.1-5）用いて確認を行いました。

協力対象者：操船に従事する職員

※新型コロナウイルスの影響により、本システムの完成時期が遅れた。

本システム完成の遅れに伴い、学校が休学期間に入ったため、生徒への協力は得ることは出来なかった。

実施期間：2022年2月24日 - 2022年3月7日

表 4.4.1.1-5 操船/港湾監視支援ダッシュボードによる操船支援の運用検証結果評価項目

実証実験 検証項目				
項目	支援	検証		最終目標
		大項目	中項目	
船舶周辺映像 (フライングビュー)	船舶支援ダッシュボード	安全	フライングビューの映像が確認できる	情報表示
			着岸時に全方位の状況把握が確認できる	情報表示
		運用コスト	フライングビューを活用して着岸に要した時間	同等
			フライングビューを活用して着岸に要した人数	*名
	港湾監視支援ダッシュボード	安全	フライングビューの映像が確認できる	情報表示
			着岸時に全方位の状況把握が確認できる	情報表示
		運用コスト	フライングビューを活用して着岸に要した時間	同等
			フライングビューを活用して着岸に要した人数	*名
湾内高精細映像	船舶支援ダッシュボード	安全	港に複数設置した 4K カメラ映像が確認できる	情報表示
			港全体や停泊予定場所の波の高さが確認できる	情報表示
			港全体や停泊予定場所の他船の状況が確認できる	情報表示
			港全体や停泊予定場所の港湾の様子が確認できる	情報表示
		運用コスト	湾内高精細映像が表示されてから着岸に要した時間	同等
			港湾監視支援ダッシュボード	安全
	港全体や停泊予定場所の波の高さが確認できる	情報表示		
	港全体や停泊予定場所の他船の状況が確認できる	情報表示		
	港全体や停泊予定場所の港湾の様子が確認できる	情報表示		
	運用コスト	湾内高精細映像が表示されてから着岸に要した時間		同等
		船舶位置情報		安全
	AI 解析で船舶の進行方向を地図上で表示が確認できる		情報表示	
作業時間	検知してから地図上に表示されるまでの所要時間		1 秒	
	港湾監視支援ダッシュボード		安全	AI 解析で船舶の位置が地図上で表示が確認できる
AI 解析で船舶の進行方向を地図上で表示が確認できる				情報表示
運用コスト	検知してから地図上に表示されるまでの所要時間		1 秒	
	気象情報	船舶支援ダッシュボード	港に設置した気象計測機の風向きが確認できる	情報表示
港に設置した気象計測機の風速が確認できる			情報表示	
港に設置した気象計測機の気温が確認できる			情報表示	
港に設置した気象計測機の情報と港の映像を同時に確認できる			情報表示	

		運用コスト	港に設置した気象計測機の情報と港の映像で判断に要した時間	向上
	港湾監視支援ダッシュボード	安全	港に設置した気象計測機の風向きが確認できる	情報表示
			港に設置した気象計測機の風速が確認できる	情報表示
			港に設置した気象計測機の気温が確認できる	情報表示
			港に設置した気象計測機の情報と港の映像を同時に確認できる	情報表示
		運用コスト	港に設置した気象計測機の情報 と港の映像で判断に要した時間	向上
ローカル 5G	船舶支援ダッシュボード	運用	船舶での FV(フライングビュー)画面と船舶支援ダッシュボード画面を比較した際の画質劣化の有無 (目視で判断できる範囲)	画像判断できること
			ローカル 5G 端末以降の構成 (船舶) による画質劣化の影響の有無	画像判断できること
			ローカル 5G 端末以降の構成 (棧橋) による画質劣化の影響の有無	画像判断できること
			ローカル 5G 端末以降の構成 (船庫) による画質劣化の影響の有無	画像判断できること
			ローカル 5G 端末以降の構成 (監視室) による画質劣化の影響の有無	画像判断できること
			同一ローカル 5G 基地局からの同時複数 IP 配信時の画質への影響の有無	画像判断できること
			動画配信サーバからの配信ビットレートによる画質への影響の有無	画像判断できること
			船舶内 FV (フライングビュー)と船舶支援ダッシュボード表示比較/伝送遅延の有無 (目視で判断できる範囲)	画像判断できること
			ローカル 5G 端末以降の構成 (船舶) による伝送遅延の多寡	画像判断できること
			ローカル 5G 端末以降の構成 (棧橋) による伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと
			ローカル 5G 端末以降の構成 (船庫) による伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと
			ローカル 5G 端末以降の構成 (船庫) による伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと
			ローカル 5G 端末以降の構成 (監視室) による伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと
			同一ローカル 5G 基地局からの同時複数 IP 配信時の伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと
動画配信サーバからの配信ビットレートによる伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと			

※現状の内容については、実証実験前に事前ヒアリングを行い、その結果を記載

②. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI映像解析により自動化

港湾内船舶や周辺の安全監視運用のAI解析の精度検証を実施しました。

従来方式により計測したそれぞれの所要時間を比較することで効果の検証を行うと共に、課題解決システムの利用における職員への聞き取り調査を行いました。

具体的には、港湾監視ダッシュボードの情報が港湾内の安全な操船と着岸に寄与したかを鳥羽商船高等専門学校の操船従事者の職員・生徒を中心に選定し、その結果を結果評価シート（表4.4.1.1-6）用いて確認しました。

協力対象者：操船に従事する職員

※新型コロナウイルスの影響により、本システムの完成時期が遅れた。

本システム完成の遅れに伴い、学校が休学期間に入ったため、生徒への協力は得ることは出来なかった。

実施期間：2022年2月24日 - 2022年3月7日

表 4.4.1.1-6 港湾監視支援ダッシュボードによる港湾内船舶や周辺の安全監視運用検証結果評価シート

【凡例】 ○：問題なし △：わかりにくい（一部課題あり） ×：出来なかった（実用不可）

実証実験 検証項目				
項目	支援	検証		最終目標
		大項目	中項目	
人物の立ち入り検知	港湾監視支援ダッシュボード	安全	侵入禁止エリア立ち入り検出	検出できること
			検知してから AI 映像解析してダッシュボード表示が確認できる	表示確認できること
		運用コスト	検知してから AI 映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	3 秒
船舶の傾き検知	港湾監視支援ダッシュボード	安全	船舶の傾き検知	検知できること
			検知してから AI 映像解析してダッシュボード表示が確認できる	表示確認できること
		運用コスト	検知してから AI 映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	3 秒
ロープテンション状況の計測	港湾監視支援ダッシュボード	安全	係留ロープのテンション異常検知	検知できること
			検知してから AI 映像解析してダッシュボード表示が確認できる	表示確認できること
		運用コスト	検知してから AI 映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	1 秒

※現状の内容については、実証実験前に事前ヒアリングを行い、その結果を記載

③. 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化

船舶の位置座標、船舶間距離、船舶離着岸検知のAI解析の精度検証を実施します。従来方式により計測したそれぞれの所要時間を比較することで効果の検証を行うと共に、課題解決システムの利用における職員への聞き取り調査を行いました。

具体的には、港湾内の安全な操船と着岸に寄与したかを鳥羽商船高等専門学校の操船従事者の職員・生徒を中心に選定し、その結果を結果評価シート（表4.4.1.1-7）用いて確認しました。

協力対象者：操船に従事する職員

※新型コロナウイルスの影響により、本システムの完成時期が遅れた。

本システム完成の遅れに伴い、学校が休学期間に入ったため、生徒への協力は得ることは出来なかった。

実施期間：2022年2月24日 - 2022年3月7日

表 4.4.1.1-7 港湾監視支援ダッシュボードによる港湾内着岸管理業務の労働環境改善検証結果評価シート

【凡例】 ○：問題なし △：わかりにくい（一部課題あり） ×：出来なかった（実用不可）

実証実験 検証項目				
項目	支援対象	検証		最終目標
		大項目	中項目	
船舶の位置座標の推定	操船支援ダッシュボード	安全	船舶の港湾位置の表示	表示確認できること
			船舶の位置座標を AI 解析で推定して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒
			検知してから AI 映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	3 秒
	港湾監視支援ダッシュボード	安全	船舶の港湾位置の表示	表示確認できること
			船舶の位置座標を AI 解析で推定して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒
			検知してから AI 映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	3 秒
船舶と岸/船舶同士の距離推定	操船支援ダッシュボード	安全	船舶間距離測定結果表示	表示確認できること
			船舶の岸/船舶同士の距離を AI 解析で計測して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒
			船舶の位置座標を AI 解析で推定した結果と従来方式(AIS)との精度を比較する	同等
	港湾監視支援ダッシュボード	安全	船舶間距離測定結果表示	表示確認できること
			船舶の岸/船舶同士の距離を AI 解析で計測して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒
			船舶の位置座標を AI 解析で推定した結果と従来方式(AIS)との精度を比較する	同等
船舶の離着岸検知	操船支援ダッシュボード	安全	船舶の着岸を検知できる	検知できること
			船舶の着岸時間計測結果表示	表示確認できること
			船舶の着岸を AI 解析で検知して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒
	港湾監視支援ダッシュボード	安全	船舶の離岸を検知できる	検知できること
			離岸状況結果表示	表示できること
			船舶の離岸を AI 解析で検知して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒

※現状の内容については、実証実験前に事前ヒアリングを行い、その結果を記載

(3) 実証結果及び考察

①. 港湾内航行中船舶に対する「港湾内映像および AI による船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供。

課題 ①「港湾内における安全な交通や着岸に必要な情報を得る手段」において、現状の操船システムと課題解決システムを活用した場合の比較では、当初予定していた通り、安全面における向上が確認できたが、一方で新たな課題も確認された。

コストにおいては、ダッシュボードシステムを活用した着岸に於いては、現時点で十分な経験などが無いため、操船に係る作業員の人数や着岸に関する作業内容等に於いて大幅な改善は見受けられなかった。

現時点で、実際の作業に於ける時間等の改善は見受けられなかったが、港湾内航行中の船舶内にて、着岸港の詳細映像や気象情報等が常時確認できる点は、船舶運航における事故回避に対して有意義な情報となる事は確認出来た。

操船作業の失敗は、大事故に直結する。本実証を通じて、港湾に於ける操船支援システムを更に活用するためには、先ず本システムに慣れることが第一条件であることが確認できた。今後時間を要するが、これらの課題が解決された場合、安全面の向上が期待できる。

表 4.4.1.1-8 効果確認項目（操船支援）

検証項目	チェック項目				e その他 (自由意見)
	a. 業務量の見直し	b. 最適化された 業務内容	c. 1日あたりの見 直し時間	d. 事故回避貢 献度	
① 船舶周辺映像 (FLV)	変わらない	無	無	有	目視でしか確認出来ない場所（屋外など）が遠隔で確認出来るのは、安全上で有効
② 湾内高精細映像	変わらない	無	無	有	必要な情報を得ることが出来る
③ 船舶位置情報	変わらない	無	無	有	虚偽が無くなる
④ 気象情報	変わらない	無	無	有	知りたいときに確認出来るのが良い

表 4.4.1.1-9 操船/港湾監視支援ダッシュボードによる操船支援の運用検証結果評価シート

【凡例】 ○：問題なし △：わかりにくい（一部課題あり） ×：出来なかった（実用不可）

		実証実験 検証項目			実証実験 結果			
項目	支援	検証		最終目標	現状	本実証	結果 (比較)	補足
		大項目	中項目					
船舶周辺映像 (フライングビュー)	船舶支援ダッシュボード	安全	フライングビューの映像が確認できる	情報表示	—	○	向上	
			着岸時に全方位の状況把握が確認できる	情報表示	・目視 ・声	○	向上	
		運用コスト	フライングビューを活用して着岸に要した時間	同等	5分	同等	変化なし	
			フライングビューを活用して着岸に要した人数	*名	—	9名	変化なし	
	港湾監視支援ダッシュボード	安全	フライングビューの映像が確認できる	情報表示	—	○	向上	
			着岸時に全方位の状況把握が確認できる	情報表示	・目視 ・声	○	向上	
		運用コスト	フライングビューを活用して着岸に要した時間	同等	5分	同等	変化なし	
			フライングビューを活用して着岸に要した人数	*名	9名	同等	変化なし	
湾内高精細映像	船舶支援ダッシュボード	安全	港に複数設置した4Kカメラ映像が確認できる	情報表示	—	○	向上	
			港全体や停泊予定場所の波の高さが確認できる	情報表示	—	○	向上	
			港全体や停泊予定場所の他船の状況が確認できる	情報表示	—	○	向上	
			港全体や停泊予定場所の港湾の様子が確認できる	情報表示	—	○	向上	
		運用コスト	湾内高精細映像が表示されてから着岸に要した時間	同等	5分	○	変化なし	
	港湾監視支援ダッシュボード	安全	港に複数設置した4Kカメラ映像が確認できる	情報表示	—	○	向上	
			港全体や停泊予定場所の波の高さが確認できる	情報表示	—	○	向上	
			港全体や停泊予定場所の他船の状況が確認できる	情報表示	—	○	向上	
			港全体や停泊予定場所の港湾の様子が確認できる	情報表示	—	○	向上	
		運用コスト	湾内高精細映像が表示されてから着岸に要した時間	同等	5分	同等	変化なし	
船舶位置情報	船舶支援ダッシュボード	安全	AI解析で船舶の位置が地図上で表示が確認できる	情報表示	—	○	向上	
			AI解析で船舶の進行方向を地図上で表示が確認できる	情報表示	—	×	—	
		作業時間	検知してから地図上に表示されるまでの所要時間	1秒	—	即時 ~1分	—	
	港湾監視支	安全	AI解析で船舶の位置が地図上で表示が確認できる	情報表示	—	○	向上	

	援ダッシュボード		AI 解析で船舶の進行方向を地図上で表示が確認できる	情報表示	—	×	—	
		運用コスト	検知してから地図上に表示されるまでの所要時間	1 秒	—	×	—	
気象情報	船舶支援ダッシュボード	安全	港に設置した気象計測機の風向きが確認できる	情報表示		○	向上	
			港に設置した気象計測機の風速が確認できる	情報表示		○	向上	
			港に設置した気象計測機の気温が確認できる	情報表示		○	向上	
			港に設置した気象計測機の情報と港の映像を同時に確認できる	情報表示	—	○	向上	
		運用コスト	港に設置した気象計測機の情報 と港の映像で判断に要した時間	向上	—	○	向上	
	港湾監視支援ダッシュボード	安全	港に設置した気象計測機の風向きが確認できる	情報表示	—	○	向上	
			港に設置した気象計測機の風速が確認できる	情報表示	—	○	向上	
			港に設置した気象計測機の気温が確認できる	情報表示	—	○	向上	
			港に設置した気象計測機の情報と港の映像を同時に確認できる	情報表示	—	○	向上	
		運用コスト	港に設置した気象計測機の情報 と港の映像で判断に要した時間	向上	—	○	向上	
ローカル 5G	船舶支援ダッシュボード	運用	船舶での FV(フライングビュー)画面と船舶支援ダッシュボード画面を比較した際の画質劣化の有無 (目視で判断できる範囲)	画像判断できること	—	無	—	
			ローカル 5G 端末以降の構成 (船舶) による画質劣化の影響の有無	画像判断できること	—	無	—	
			ローカル 5G 端末以降の構成 (桟橋) による画質劣化の影響の有無	画像判断できること	—	無	—	
			ローカル 5G 端末以降の構成 (船庫) による画質劣化の影響の有無	画像判断できること	—	無	—	
			ローカル 5G 端末以降の構成 (監視室) による画質劣化の影響の有無	画像判断できること	—	無	—	
			同一ローカル 5G 基地局からの同時複数 IP 配信時の画質への影響の有無	画像判断できること	—	無	—	
			動画配信サーバからの配信ビットレートによる画質への影響の有無	画像判断できること	—	無	—	

		船舶内 FV (フライングビュー)と船舶支援ダッシュボード表示比較/伝送遅延の有無 (目視で判断できる範囲)	画像判断できること	—	有	—	10 秒
		ローカル 5G 端末以降の構成 (船舶) による伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと	—	フリーズ 無	—	
		ローカル 5G 端末以降の構成 (棧橋) による伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと	—	フリーズ 無	—	
		ローカル 5G 端末以降の構成 (船庫) による伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと	—	フリーズ 無	—	
		ローカル 5G 端末以降の構成 (船庫) による伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと	—	フリーズ 無	—	
		ローカル 5G 端末以降の構成 (監視室) による伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと	—	フリーズ 無	—	
		同一ローカル 5G 基地局からの同時複数 IP 配信時の伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと	—	フリーズ 無	—	
		動画配信サーバからの配信ビットレートによる伝送遅延の多寡	画像フリーズしないこと	—	フリーズ 無	—	

※現状の内容については、実証実験前に事前ヒアリングを行い、その結果を記載

②. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI 映像解析により自動化。

課題 ②「港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全」においては、現状は現地作業者が目視又は現地（現場）で確認を行っていた場合と課題解決システムを活用した場合の比較では、人物の立ち入り検知等を自動で検知可能となった事により、港湾内に於ける安全活動に有効との意見を頂けた。また、無線化により遠隔地からの監視も可能となり、今後の検討しいでは、更なる活用も期待できる。

本実証を通じて、港湾に於ける操船支援システムを更に活用するためには、ダッシュボードシステムのレイアウト等が自由に変更できると良いなどの意見を頂いた。これらの課題が解決された場合、安全面において一層の向上が期待できる。

表 4.4.1.1-10 効果確認項目（船舶監視）

検証項目	チェック項目			
	a. 業務量の見直し	b. 1日あたりの見直し 時間	c. 事故回避貢献度	d その他 (自由意見)
① 人物の立入検知	変わらない	無	○	不審人物監視が画面上で確認出来るの役立つ
② 船舶の傾き検知	—	—	—	—
③ ロープテンション状況	変わらない	無	○	当直時の負担が減るかも

表 4.4.1.1-11 港湾監視支援ダッシュボードによる港湾内船舶や周辺の安全監視運用検証結果評価シート

【凡例】 ○：問題なし △：わかりにくい（一部課題あり） ×：出来なかった（実用不可）

実証実験 検証項目					実証実験 結果			
項目	支援	検証		最終目標	現状	本実証	結果 (比較)	補足
		大項目	中項目					
人物の立ち入り検知	港湾監視支援ダッシュボード	安全	侵入禁止エリア立ち入り検出	検出できること	・目視 ・当直	○	向上	
			検知してからAI映像解析してダッシュボード表示が確認できる	表示確認できること	—	○	向上	
		運用コスト	検知してからAI映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	3秒	—	○	即時 ～1分	ダッシュボードシステムの更新間隔に影響
船舶の傾き検知	港湾監視支援ダッシュボード	安全	船舶の傾き検知	検出できること	目視	—	—	
			検知してからAI映像解析してダッシュボード表示が確認できる	表示確認できること	—	—	—	
		運用コスト	検知してからAI映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	3秒	—	—	—	
ロープテンション状況の計測	港湾監視支援ダッシュボード	安全	係留ロープのテンション異常検知	検出できること	目視	○	向上	
			検知してからAI映像解析してダッシュボード表示が確認できる	表示確認できること	—	○	向上	
		運用コスト	検知してからAI映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	1秒	—	○	即時 ～1分	ダッシュボードシステムの更新間隔に影響

※現状の内容については、実証実験前に事前ヒアリングを行い、その結果を記載

③. 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化。

課題 ③「港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全監視ができていない」に於いては、従来（現状）と課題解決システムを活用した場合の比較では、労働環境の大幅な改善は見受けられなかったが、現状目視等で行っている作業からデータ化による作業負担の見直しが出来を確認できた。

なお、船舶同士の距離測定については、池ノ浦湾内で他船の通行が無いため、実環境下での確認は出来なかった。

本実証を通じて、港湾内における課題解決システムを更に活用するためには、港湾内を監視するための高精細カメラの設置は必須であり、また国内の地理的条件等による影響を最小限にするためにも無線接続の構成が必要となることが確認できた。

これらの課題が解決された場合、安全面においての向上が期待できる。なお、項目ごとの評価シートを以下に示します。

表 4.4.1.1-12 効果確認項目（港湾管理業務）

検証項目	チェック項目			
	a. 業務量の見直し	b. 1日あたりの見直し時間	c. 事故回避貢献度	d その他（自由意見）
① 船舶の位置座標の推定	変わらない	無	○	虚偽が無くなる
② 船舶と岸/船舶同士の距離測定	—	—	—	—
③ 船舶の着岸確認	変わらない	無	○	時間管理に有効

表 4.4.1.1-13 港湾監視支援ダッシュボードによる港湾内着岸管理業務の労働環境改善検証結果評価シート

【凡例】○：問題なし △：わかりにくい（一部課題あり） ×：出来なかった（実用不可）

実証実験 検証項目				実証実験 結果				
項目	支援対象	検証		最終目標	現状	本実証	結果 (比較)	補足
		大項目	中項目					
船舶の 位置座 標の推 定	操船支援 ダッシュ ボード	安全	船舶の港湾位置の表示	表示確認できること	—	○	向上	
			船舶の位置座標を AI 解析で推定して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒	—	○	1 分	
			検知してから AI 映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	3 秒	—	○	1 分	
	港湾監視 支援ダッ シュボ ード	安全	船舶の港湾位置の表示	表示確認できること	—	○	向上	
			船舶の位置座標を AI 解析で推定して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒	—	○	1 分	
			検知してから AI 映像解析してダッシュボードに表示されるまでの所要時間	3 秒	—	○	1 分	
船舶と 岸/船 舶同 士の 距離 推定	操船支援 ダッシュ ボード	安全	船舶間距離測定結果表示	表示確認できること	—	×	—	
			船舶の岸/船舶同士の距離を AI 解析で計測して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒	—	×	—	
			船舶の位置座標を AI 解析で推定した結果と従来方式 (AIS)との精度を比較する	同等	—	○	AIS システム停止時でも 確認可能	
	港湾監視 支援ダッ シュボ ード	安全	船舶間距離測定結果表示	表示確認できること	—	×	—	
			船舶の岸/船舶同士の距離を AI 解析で計測して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒	—	—	—	
			船舶の位置座標を AI 解析で推定した結果と従来方式 (AIS)との精度を比較する	同等	—	○	AIS システム停止時でも 確認可能	
船舶の 離着岸 検知	操船支援 ダッシュ ボード	安全	船舶の着岸を検知できる	検知できること	—	○	向上	
			船舶の着岸時間計測結果表示	表示確認できること	—	○	向上	
			船舶の着岸を AI 解析で検知して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒	—	○	1 分	
	港湾監視 支援ダッ シュボ ード	安全	船舶の離岸を検知できる	検知できること	—	○	1 分	
			離岸状況結果表示	表示できること	—	○	向上	
			船舶の離岸を AI 解析で検知して高精細映像に表示されるまでの所要時間	1 秒	—	○	1 分	

※現状の内容については、実証実験前に事前ヒアリングを行い、その結果を記載

4.4.1.2 機能検証

ダッシュボードシステムを活用した操船支援の提供及び港湾内安全管理の各課題に於ける実証を通じて、評価・分析し、実装に必要となる機能について検証を行いました。

(1) 評価・機能検証

①. 港湾内航行中船舶に対する「港湾内映像およびAIによる船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供。

操船者及び港湾関係者が安全に港湾業務を行うため、ダッシュボードシステムでは次の項目を重要項目機能とした。

- ・ダッシュボードに表示される、船舶俯瞰映像（フライングビュー）、4K高精細映像、気象情報等の解像度、処理時間の評価・検証。
- ・AI解析について、船舶位置推定の評価を行いました。具体的には、船舶の検出率、検出された船舶位置の絶対誤差を計算し、定量的評価を行います(表 4.4.1.2-1)。また、実際に数件の船舶位置推定結果を確認し、定性的評価も行いました。

②. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI映像解析により自動化。

港湾内船舶や周辺の安全監視運用のAI解析の精度を重点機能とした。

- ・AI解析について、人の立ち入り検知、船舶の傾き検知、ロープテンションの異常検知、船舶同士の接近検知の4項目について、評価を行いました。具体的には、人立ち入り検知、船舶の傾き検知、ロープテンションの異常検知、船舶の接近検知については、正解率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、調和平均(F1)の4つを計算し定量的評価を行いました。船舶の傾き検知については、船舶の角度推定結果に対し正解値との絶対誤差を計算し定量的評価を行います(表 4.4.1.2-1)。また、全ての項目について実際に数件の判定結果を確認し、定性的評価も行いました。

③. 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化

港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全監視のAI解析の精度を重点機能とした。

- ・AI解析について、船舶の着岸検知の評価を行いました。具体的には、船舶の着岸判定結果について、正解率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、調和平均(F1)の4つを計算し定量的評価を行いました(表 4.4.1.2-1)。また、実際に数件の船舶の着岸判定結果を確認し、定性的評価も行いました。

表 4.4.1.2-1 各アルゴリズムに対する評価指数

テーマ	評価指標
船舶位置推定	船舶の検出率、船舶位置の絶対誤差
人の立ち入り検知	正解率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、調和平均(F1)
船舶の傾き検知	船舶角度の絶対誤差
ロープテンションの異常検知	正解率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、調和平均(F1)
船舶同士の接近検知	
船舶の着岸検知	

(2) 評価・検証方法

①. 港湾内航行中船舶に対する「港湾内映像および AI による船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供。

・フライングビュー、4K 高精細映像、気象情報の表示デバイス（PC、タブレット）別の動作確認を実施しました。

表 4.4.1.2-2 検証項目

検証項目	チェック項目	備考
ダッシュボードとの比較 (PC)	a. フライングビュー画面との画質劣化の有無 b. 映像画面の停止（フリーズ）の有無 c. 映像画面のノイズの有無	湾内航行中 船舶内
ダッシュボードとの比較 (タブレット)	a. フライングビュー画面との画質劣化の有無 b. 映像画面の停止（フリーズ）の有無 c. 映像画面のノイズの有無	湾内航行中 船舶内
ダッシュボードとの比較 (タブレット)	a. フライングビュー画面との画質劣化の有無 b. 映像画面の停止（フリーズ）の有無 c. 映像画面のノイズの有無	監視室
ダッシュボードとの比較 (タブレット)	a. フライングビュー画面との画質劣化の有無 b. 映像画面の停止（フリーズ）の有無 c. 映像画面のノイズの有無	栈橋・艇庫

・AI 解析について、船舶位置推定の定量的/定性的評価を行いました。定量的評価を行うためには、入力画像とその画像内に映る正確な船舶の緯度・経度情報(Grand Truth)が対となった評価データを作成する必要があります。しかし、コロナ過等により限られた時間の中で有ることと、実証環境に設置されたカメラより取得される実画像に対して、その中に映る船舶の正確な緯度・経度情報をアノテーションするのは極めて困難でした。また、実際の環境で発生する事象や事故などを今回の検証環境で再現することは難しいこともあり、3DCG データを活用しております。そこで、本実証では、オープンソースの統合型 3DCG 作成ソフト Blender[<https://www.blender.org>]を活用し、実証環境を模した CG 画像と正確な位置情報を作成し、評価データとして利用します(表 4.4.1.2-3)。この評価データに対し当該アルゴリズムを実行し、その結果に対し船舶の検出率、推定された船舶位置の正解値との絶対誤差を計算することで、船舶位置推定の定

量的評価を実施しました（表 4.4.1.2-4）。

表 4.4.1.2-3: 船舶位置推定の評価データの詳細

テーマ	評価データ
船舶位置推定	CG 画像と画像内船舶の位置情報(120 セット) (CG 画像は、実証環境を模して、1~4 隻の船舶が映る画像を作成した。)

表 4.4.1.2-4: 船舶位置推定の評価指標の詳細

テーマ	評価指標
船舶位置推定	船舶の検出率 (船舶の推定座標と正解座標の距離が、ある閾値 d よりも小さいときにその船舶の推定を正しいものとし、推定が正しく行われた割合を計算します。ただし本実証では、閾値 d を 30 に設定しました。)
	船舶座標の絶対誤差 (船舶の推定座標と正解座標の絶対誤差を計算しました。)

②. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI 映像解析により自動化

人物の立ち入り検知、船舶の傾き検知、ロープテンション状況の計測について AI 解析の正確性等の精度検証を実施しました。

・AI 解析について、人の立ち入り検知、船舶の傾き検知、ロープテンションの異常検知、船舶同士の接近検知 の 4 項目について、定量的/定性的評価を行いました。各項目の評価方法を以下に示します。

➤ 人の立ち入り検知

実証環境に設置されたカメラより取得される実画像に対し、手作業で各画像に人が存在しているか否かをラベル付けし、評価データとして活用しました(表 4.4.1.2-5)。この評価データに対し当該アルゴリズムを実行し、その結果に対し正解率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、調和平均(F1)を計算することで人立ち入り検知の定量的評価を行いました(表 4.4.1.2-6)。

➤ 船舶の傾き検知

船舶傾き検知の定量的評価を行うには、船舶が傾いた画像と傾いていない画像をそれぞれ用意する必要があります。しかし、実証環境にて船舶が傾くことは稀であり、現場に設置されたカメラからこのような映像を取得するのは難しいと判断致しました。そこで、本実証では Blender を活用し、船舶が傾いた CG 画像と傾いていない CG 画像を作成し、評価データとして利用しました(表 4.4.1.2-5)。この評価データに対し当該アルゴリズムを実

行し、角度推定結果に対し正解値との絶対誤差を計算することで船舶の傾き検知の定量的評価を行いました（表 4.4.1.2-6）。

➤ ロープテンションの異常検知

ロープテンションの異常検知について定量的評価を行うためには、ロープが正常な状態の画像と、ロープが切れるなど異常な状態にある画像をそれぞれ一定数用意する必要があります。しかし、実証環境にてロープが異常状態になることは稀であり、現場に設置されたカメラからこのような映像を取得するのは難しいと判断致しました。そこで、本実証では、実データから取得したロープが正常な状態の画像と、これを画像編集ソフトウェア Adobe Photoshop[<https://www.adobe.com/jp/products/photoshop.html>]を活用してロープを異常状態に合成した画像を評価データとして活用しました。この評価データに対し当該アルゴリズムを実行し、その結果に対し正解率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、調和平均(F1)を計算することでロープテンションの異常検知について定量的評価を行いました。

➤ 船舶同士の接近検知

船舶同士の接近検知について定量的評価を行うためには、船舶同士の距離が正常な状態の画像と、船舶同士が接近した画像をそれぞれ一定数用意する必要があります。しかし、池ノ浦湾の環境から船舶同士が接近する画像を実証環境に設置されたカメラより取得するのは難しいと判断いたしました。そこで、本実証では、Blender を活用し、船舶同士の距離が正常な状態の CG 画像と、船舶同士が接近した CG 画像を作成し評価データとして利用しました。この評価データに対し当該アルゴリズムを実行し、その結果に対し正解率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、調和平均(F1)を計算することで船舶同士の接近検知の定量的評価を行いました。

表 4.4.1.2-5 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺における異常検知の評価データ

テーマ	評価データ
人の立ち入り検知	実証環境に設置されたカメラより取得した実画像(120 枚) <ul style="list-style-type: none"> - 映像取得期間: 2022/01/31~2022/02/07 - ラベル数: 人あり: 60 枚、人なし:60 枚
船舶の傾き検知	CG 画像と正解角度情報(120 セット) <ul style="list-style-type: none"> - Roll 範囲: -20~20 度 - Pitch 範囲: -10~10 度
ロープテンションの異常検知	実証環境に設置されたカメラより取得した実画像と、これをロープ異常状態に合成した画像(120 枚) <ul style="list-style-type: none"> - 映像取得期間: 2022/02/03 - ラベル数: ロープ異常: 60 枚、ロープ正常:60 枚
船舶同士の接近検知	CG データと正解情報(120 セット) <ul style="list-style-type: none"> - ラベル数 船舶間距離正常:60 枚、船舶間距離異常:60 枚

表 4.4.1.2-6 定量的評価指標の詳細

評価指標名	評価指標詳細
正解率(Accuracy)	AIによる判定が正しかった割合。
適合率(Precision)	AIが異常と判断したもののうち、本当に異常であった割合。
再現率(Recall)	実際に異常であったものの中で、AIが異常と判断できた割合。
調和平均(F1)	適合率と再現率の調和平均。
絶対誤差	AIによる予測値と正解値の誤差。

③. 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化

・AI解析について、船舶の着岸検知の定量的/定性的評価を行いました。定量的評価を行うには、船舶が着岸している画像と離岸している画像がそれぞれ一定数必要です。しかし、新型コロナウイルス感染拡大の影響により実証環境における船舶の出航日が減ったため、離岸している画像を現場に設置されたカメラから取得するのは難しいと判断致しました。そこで、本実証では、Adobe Photoshop を活用し、船舶が離岸している状態の合成画像を作成し評価データとして活用しました(表 4.4.1.2-7)。この評価データに対し当該アルゴリズムを実行し、その結果に対し正解率(Accuracy)、適合率(Precision)、再現率(Recall)、調和平均(F1)を計算することで船舶の着岸検知の定量的評価しました(表 4.4.1.2-6)。

表 4.4.1.2-7: 船舶の着岸検知の評価データ

テーマ	評価データ
船舶の着岸検知	実証環境に設置されたカメラより取得した実画像と、それを合成したデータ(120枚) - 映像取得期間: 2022/02/03 - ラベル数: 着岸データ: 60枚、離岸データ:60枚

(3) 実証結果及び考察

①. 港湾内航行中船舶に対する「港湾内映像およびAIによる船舶位置情報(操船支援ダッシュボード)」と「船舶俯瞰映像(フライングビュー)」の提供

安全においては、従来(現状)では目視による確認が多く、4Kカメラ等による映像確認は実施していなかったことから、離れた場所でも船舶の状態が確認出来るため、悪天候時等に於いても室内から港湾内の情報が安全に得ることが出来るようになった。

一方で、ダッシュボードで表示される映像に約10秒の遅延が生じていることを確認した。

本実証を通じて、港湾内における課題解決システムを更に活用するためには、表示され

るカメラ映像などの遅延が発生しない事が必要となる。これらの課題が解決された場合、安全、コスト面において一層の向上が期待できる。

AI 解析に関する、船舶位置推定の定量的評価結果を表 4.4.1.2-8 に示します。

CG 画像および実データに対し当該アルゴリズムを活用して船舶位置を推定した結果を図 4.4.1.2-1(a)(b)に示します。

表 4.4.1.2-8: 船舶位置推定の定量的評価結果

テーマ	検出率	絶対誤差
船舶位置推定	95.9%	7.4m

(小数点第 2 位以下は四捨五入)

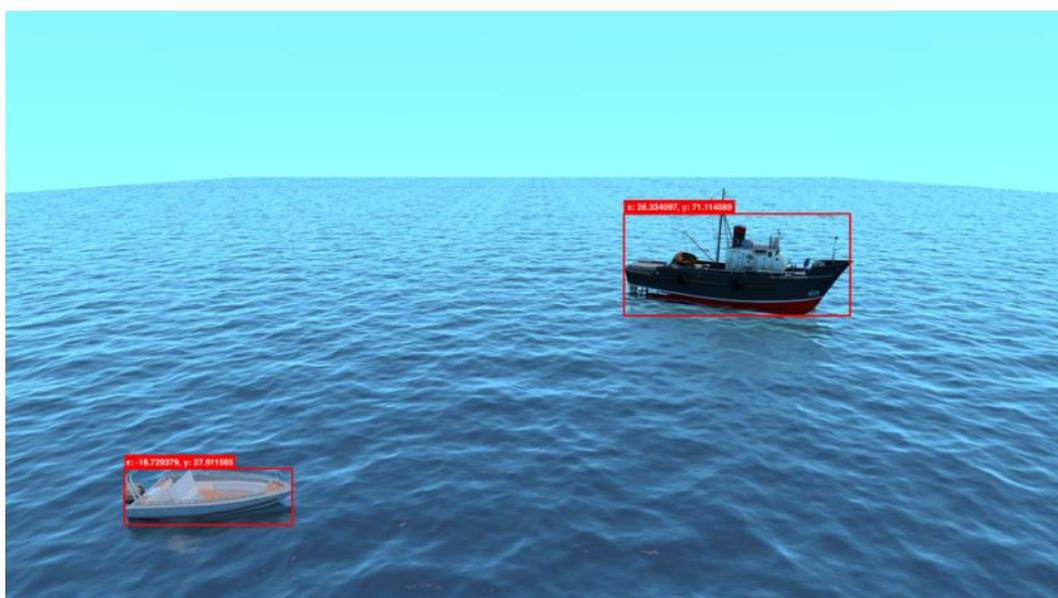


図 4.4.1.2-1 CG 画像に対する船舶位置の推定結果

検出された船舶が赤枠で可視化され、その上部に座標が表示されています。

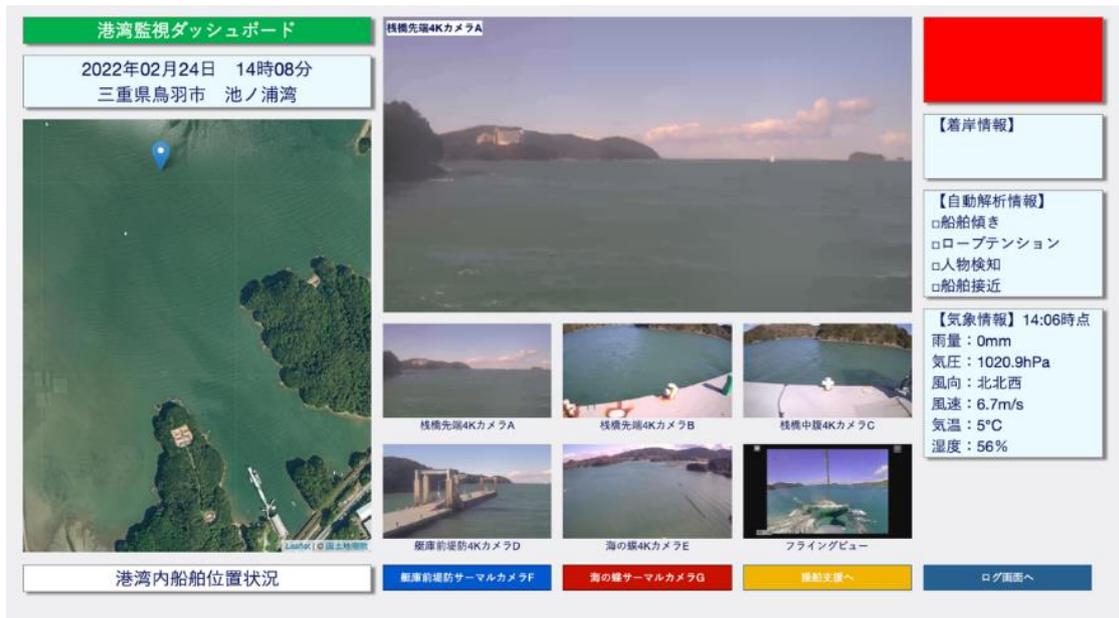


図 4.4.1.2-2 課題実証において実際の船舶位置推定結果を表示したダッシュボード画面

左側に推定された船舶位置が表示されています。

以上より、当該アルゴリズムは、CG 画像内の船舶を 95.9%以上の精度で検出でき、検出された船舶の位置を平均 7.4m の誤差で推定できることがわかった。また、CG 画像に対する船舶位置推定結果(図 4.4.1.2-1)より、当該アルゴリズムは船舶を正しく検出し、位置を推定できていることが確認できました。課題実証において実際の船舶位置推定結果を表示したダッシュボード画面(図 4.4.1.2-2)より、当該アルゴリズムは実画像に対しても船舶位置を推定できることが確認できました。

今回の実証実験における定量評価では、CG 画像に対して船舶の検出率および絶対誤差を計算し評価を行いました。一方で、実画像に対してどの程度の精度で船舶位置を推定できるかについて検証はできていないという課題があります。実画像に対する評価データの作成方法を確立し、実画像に対しても同様の評価を行うことが必要であると考えられ、今後の課題です。

<1> 操船/港湾監視支援ダッシュボードによる操船支援の安全性
 ダッシュボードシステムにより、港湾内における一元的な操船支援を実現

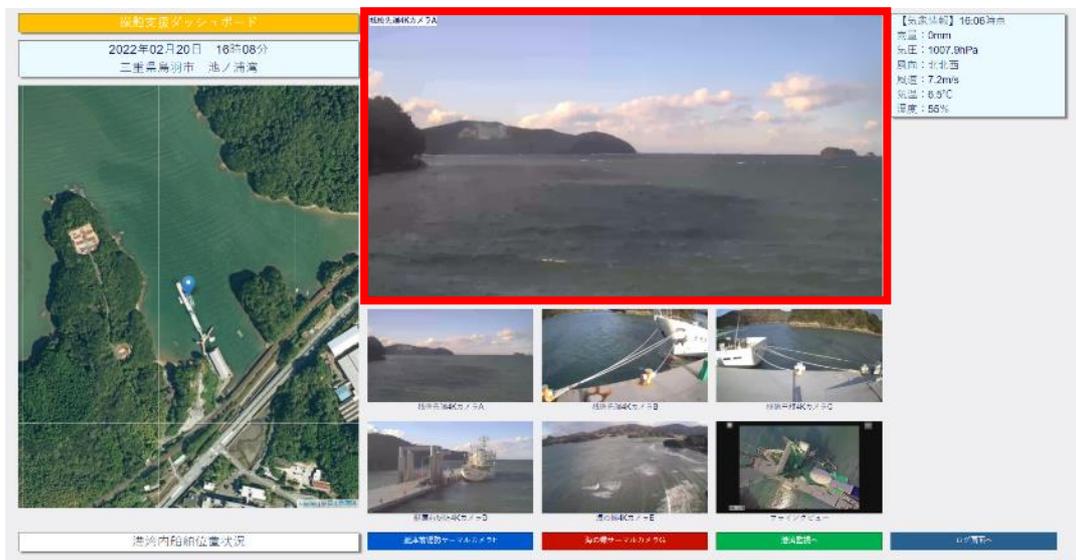


図 4.4.1.2-3 ダッシュボード画面（栈橋先端 4K カメラ A 選択時（赤枠））



図 4.4.1.2-4 ダッシュボード画面（栈橋先端 4K カメラ B 選択時（赤枠））



図 4.4.1.2-5 ダッシュボード画面（栈橋中腹 4K カメラ C 選択時（赤枠））

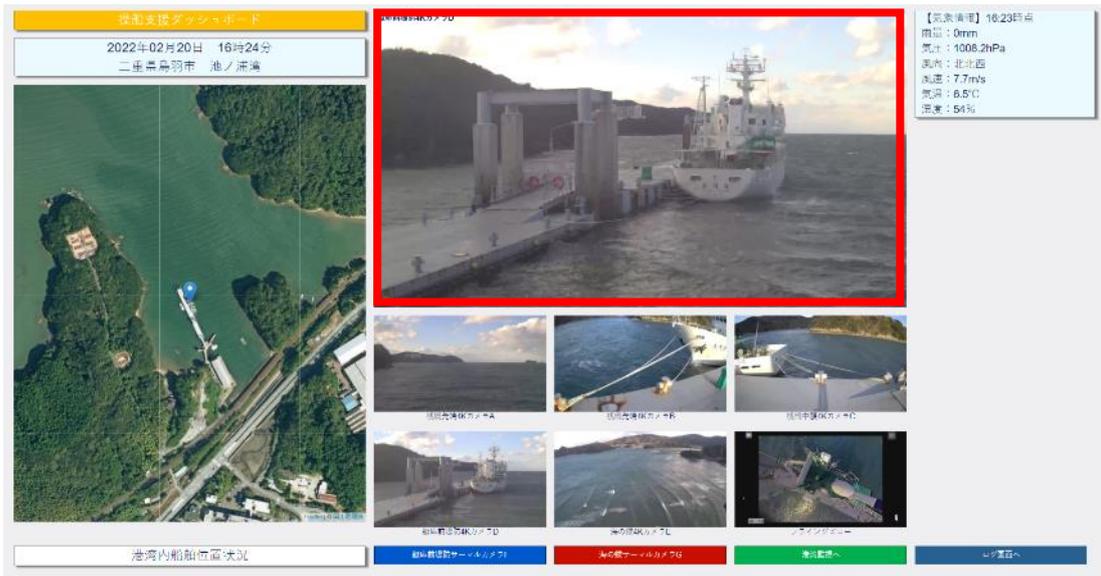


図 4.4.1.2-6 ダッシュボード画面（艇庫前堤防 4K カメラ D 選択時（赤枠））



図 4.4.1.2-7 ダッシュボード画面（海の蝶 4K カメラ E 選択時（赤枠））

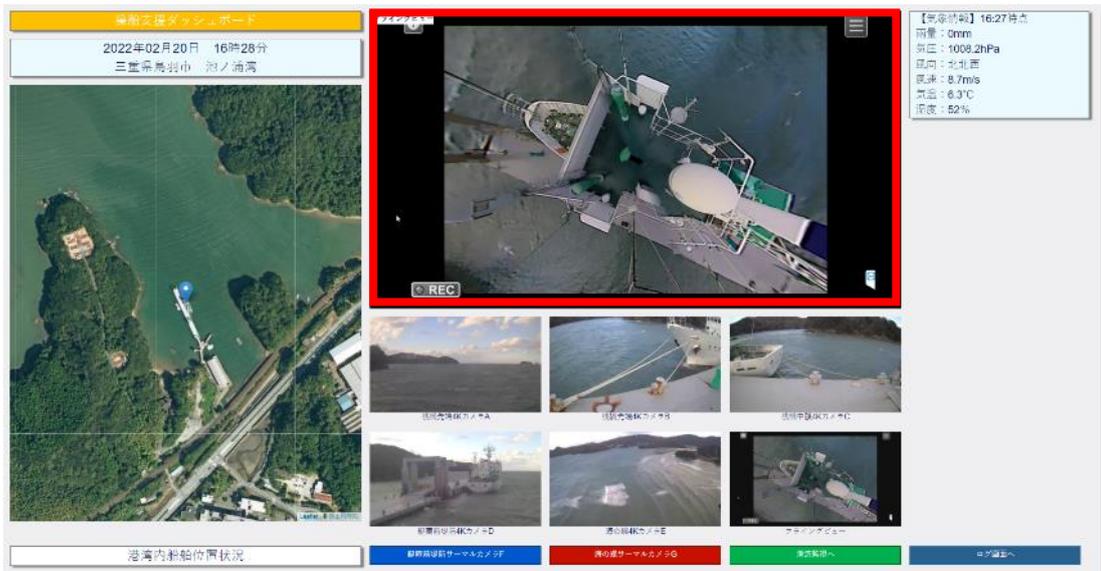


図 4.4.1.2-8 ダッシュボード画面（フライングビュー 選択時（赤枠））



図 4.4.1.2-9 ダッシュボード画面（船舶位置情報（赤枠））



図 4.4.1.2-10 ダッシュボード画面（気象情報（赤枠））



図 4.4.1.2-11 ダッシュボード画面（艇庫前堤防サーマルカメラ F）

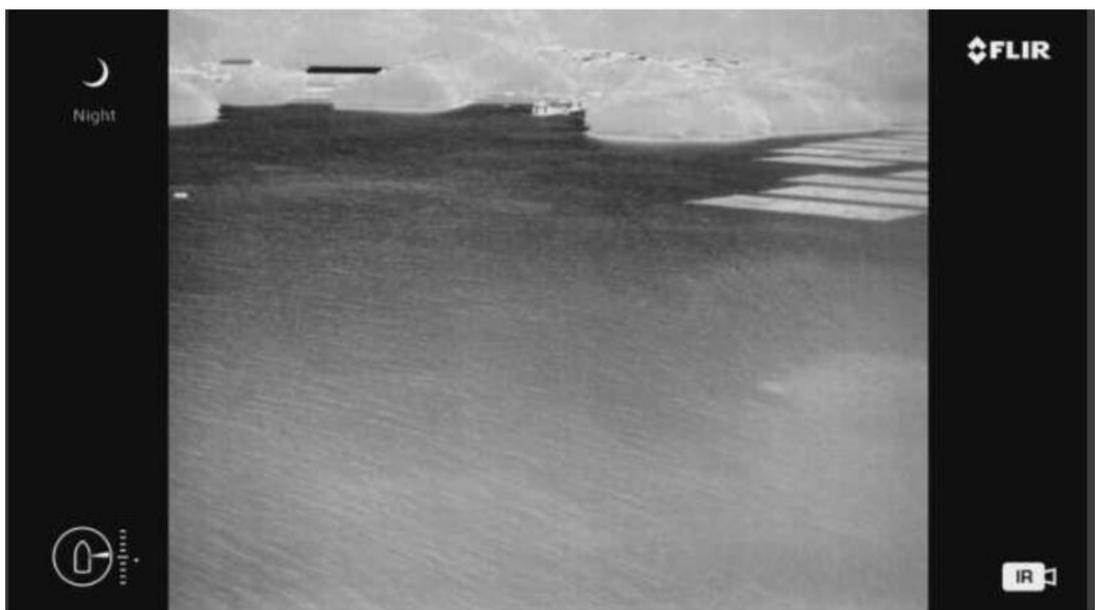


図 4.4.1.2-12 ダッシュボード画面（艇庫前堤防サーマルカメラ G）

ログ一覧											
取得日時	台帳履歴		ローテーション		人物追加		台帳修正		台帳削除		
	開始日時	警告	開始日時	警告	開始日時	警告	開始日時	警告	開始日時	警告	数
2022/02/21 10:34:01	2022/02/20 10:33:59		2022/02/20 10:33:43	○	2022/02/20 10:33:02		2022/02/20 10:32:54				
2022/02/21 15:54:01	2022/02/20 15:53:56		2022/02/20 15:53:44	○	2022/02/20 15:53:00		2022/02/20 15:52:52				
2022/02/21 15:44:01	2022/02/20 15:43:56		2022/02/20 15:43:40	○	2022/02/20 15:43:00		2022/02/20 15:42:51				
2022/02/21 15:43:01	2022/02/20 15:42:56		2022/02/20 15:42:42	○	2022/02/20 15:42:00		2022/02/20 15:41:51				
2022/02/21 15:42:01	2022/02/20 15:41:56		2022/02/20 15:41:40	○	2022/02/20 15:41:00		2022/02/20 15:40:51				
2022/02/21 15:19:01	2022/02/20 15:18:55		2022/02/20 15:18:32	○	2022/02/20 15:18:07		2022/02/20 15:18:24				
2022/02/21 15:16:01	2022/02/20 15:15:54		2022/02/20 15:15:33	○	2022/02/20 15:15:56		2022/02/20 15:15:24				
2022/02/21 15:15:01	2022/02/20 15:14:54		2022/02/20 15:14:32	○	2022/02/20 15:14:06		2022/02/20 15:14:24				
2022/02/21 15:13:01	2022/02/20 15:12:54		2022/02/20 15:12:33	○	2022/02/20 15:12:56		2022/02/20 15:12:24				
2022/02/21 15:12:01	2022/02/20 15:11:54		2022/02/20 15:11:32	○	2022/02/20 15:11:59		2022/02/20 15:11:24				

[最初へ](#)
[前へ](#)
[1 / 2870](#)
[次へ](#)
[最終へ](#)

[詳細表示へ](#)
[実行ログへ](#)

図 4.4.1.2-13 ダッシュボード画面（ログ画面）

②. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI 映像解析により自動化

課題②「港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全」において、現状は現地作業者が目視又は現地（現場）で確認を行っていた場合と課題解決システムを活用した場合の比較では、人物の立ち入り検知等を自動で検知可能となった事により、港湾内に於ける安全活動に有効との意見を頂けました。また、無線化により遠隔地からの監視も可能となり、今後の検討しだいでは、更なる活用も期待できます。

一方で、新型コロナウイルスの猛威によって構築時間等が限定的となった関係から、ロープテンションや船舶の傾きに関するデータが十分取得出来ませんでした。ただし、十分な時間を掛ければ、更に精度の高い AI システムを構築できる可能性も期待できます。

コストに於いては、更なる AI の精度向上が実現できれば、当直時等に於ける夜間の不審物監視等に対して遠隔監視を実現できるため、監視員の労働負担を削減できると考えます。

本実証を通じて、港湾内における課題解決システムを更に活用するためには、AI の解析向上が必要となることが確認できました。これらの課題が解決された場合、安全、コスト面において一層の向上が期待できます。

また、AI 解析に関する、人の立ち入り検知、ロープテンションの異常検知、船舶同士の接近検知の定量的評価結果を表 4.4.1.2-9 に、船舶の傾き検知の定量的評価結果を表 4.4.1.2-10 に示します。

表 4.4.1.2-9: 人の立ち入り検知、ロープテンションの異常検知、船舶同士の接近検知の定量的評価結果

テーマ	正解率 (Accuracy)	適合率 (Precision)	再現率(Recall)	調和平均(F1)
人立ち入り検知	99.2%	100.0%	98.3%	99.2%
ロープテンションの異常検知	94.2%	98.2%	90.0%	93.9%
船舶同士の接近検知	91.7%	100.0%	83.3%	90.9%

(小数点第 2 位以下は四捨五入)

表 4.4.1.2-10: 船舶傾き検知の定量的評価結果

テーマ	Roll の絶対誤差	Pitch の絶対誤差
船舶傾き検知	0.50 度	1.52 度

(小数点第 3 位以下は四捨五入)

また、各テーマの評価について、考察を以下に示します。

➤ 人立ち入り検知

人立ち入り検知について、定量的評価の結果 99%を超える正解率で検知できることが確認できました。また、定性的評価について、実画像に対し人立ち入り検知を実行した結果を図 4.4.1.2-14 に示します。



図 4.4.1.2-14 人立ち入り検知の実行結果

検出された人物が赤枠で可視化されています。

この結果より、当該アルゴリズムは、監視範囲内(栈橋上)の人物を正しく検出できていることが確認できました。一方で、本評価実験では、1 件の検出ミスが確認されました。この画像を図 4.4.1.2-15 に示します。



図 4.4.1.2-15 本評価実験で確認された検出ミス

監視範囲(栈橋上)に人が映っているが、AI はこれを検知できませんでした。

この画像の監視範囲にグレーの作業着を着た人物が映っていますが(画像中心付近)、本実証で作成したアルゴリズムはこれを検出することができませんでした。これは、人物の着ている衣服の色と栈橋の色が似ていることが原因として考えられます。このような、本実証で作成したアルゴリズムが苦手なデータを学習データに追加し、再学習することで更なる高精度化を図ることが今後の展望です。

▶ 船舶の傾き検知

船舶の傾き検知について、定量的評価の結果、Roll の絶対誤差 0.50 度、Pitch の絶対誤差 1.52 度で推定できることが確認できました。また、定性的評価について、CG 画像に対し船舶の傾き検知を実行した結果を図 4.4.1.2-16 に示します。



図 4.4.1.2-16 CG 画像に対する船舶の傾き推定結果

船舶の x,y,z 軸が、赤・緑・青色で可視化されています。

この結果より、当該アルゴリズムは、CG 画像に対して船舶の角度を推定できていることが確認できました。一方で、当該アルゴリズムは、実画像の多くで角度を推定することができませんでした。これは、今回の実証において、新型コロナウイルスの影響によりカメラ設置予定場所である鳥羽商船高等専門学校内への立ち入りが制限されたことで、カメラの設置作業が大幅に遅れ、実画像を活用したモデル学習を実施できず、CG 画像で代替したことが原因として考えられます。実画像を活用したモデル学習や Domain Adaptation などを実施し、実環境においても高精度な船舶の傾き検知を実現することが今後の課題です。

➤ ロープテンションの異常検知

ロープテンションの異常検知について、定量的評価の結果、94.2%の正解率でロープテンションの異常状態を検知できることが確認できました。また、定性的評価について、実画像と合成画像に対しロープテンションの異常検知を実行した結果を図 4.4.1.2-17 に示します。



図 4.4.1.2-17 実画像と合成画像に対してロープテンションの異常検知を実行した結果

この結果より、当該アルゴリズムは、ロープテンションの異常状態を検知できていることが確認できました。

一方で、本評価実験では 7 件の誤判定が確認されました。これは、新型コロナウイルスの影響によりカメラ設置予定場所である鳥羽商船高等専門学校内への立ち入りが制限されたことで、カメラ設置作業が大幅に遅延したことに伴い、十分なチューニング期間が確保できず、天候や映像品質の状況によってはアルゴリズムが意図した通りに動作しなかったことが原因として考えられます。今後、より長期間、多くのデータでチューニングを行い、更なる精度向上を実現することが今後の課題です。

➤ 船舶同士の接近検知

船舶同士の接近検知について、定量的評価の結果、91.7%の正解率で船舶同士の接近を検知できることが確認できました。また、定性的評価について、CG 画像に対し船舶同士の接近検知を実行した結果を図 4.4.1.2-18 に示します

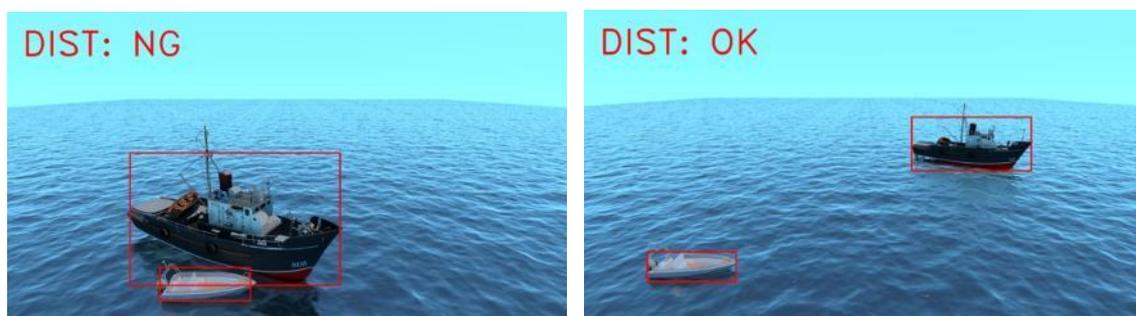


図 4.4.1.2-18 CG 画像に対して船舶同士の接近検知を実行した結果

検出された船舶が赤枠で可視化され、距離の状態が左上に赤文字で表示されます。

この結果より、当該アルゴリズムは、CG 画像において船舶同士の接近を検知できていることが確認できました。

今回の実証実験では、CG 画像を活用した評価を行いました。一方で、実画像を活用した評価は実施できていないという課題があります。実画像を活用した評価データの作成方法を確立し、同様の評価を行う必要があると考えられ、今後の課題です。

<2> 精細映像+AI映像解析により自動化

高精細映像+AI映像解析により港湾における操船支援の自動化を実現



図 4.4.1.2-19 ダッシュボード画面（人物検知）

ログ一覧										
取得日時	船舶検知		ロープテンション		人物検知		船舶接近		着岸/離岸	
	AI処理開始時刻	警告	AI処理開始時刻	警告	AI処理開始時刻	警告	AI処理開始時刻	警告	着岸/離岸時刻	着岸/離岸
2022/02/25 17:04:01	2022/02/25 17:03:46		2022/02/25 17:03:49		2022/02/25 17:03:08	○	2022/02/25 17:03:31			
2022/02/25 17:03:01	2022/02/25 17:02:46		2022/02/25 17:02:49		2022/02/25 17:02:08	○	2022/02/25 17:02:31			
2022/02/25 16:55:01	2022/02/25 16:54:46		2022/02/25 16:54:49	○	2022/02/25 16:54:08		2022/02/25 16:54:30			
2022/02/25 16:46:01	2022/02/25 16:45:45		2022/02/25 16:45:48	○	2022/02/25 16:45:08		2022/02/25 16:45:50			
2022/02/25 16:24:01	2022/02/25 16:22:27		2022/02/25 16:22:27		2022/02/25 16:22:07	○	2022/02/25 16:22:27			
2022/02/25 16:23:01	2022/02/25 16:22:27		2022/02/25 16:22:06		2022/02/25 16:22:07	○	2022/02/25 16:22:27			
2022/02/25 16:22:01	2022/02/25 16:21:44		2022/02/25 16:21:14		2022/02/25 16:21:25	○	2022/02/25 16:21:41			
2022/02/25 16:13:01	2022/02/25 16:12:43		2022/02/25 16:12:13		2022/02/25 16:12:20	○	2022/02/25 16:12:41			
2022/02/25 16:12:01	2022/02/25 16:11:43		2022/02/25 16:11:13		2022/02/25 16:11:25	○	2022/02/25 16:11:41			
2022/02/25 16:07:01	2022/02/25 16:06:43		2022/02/25 16:06:13		2022/02/25 16:06:24	○	2022/02/25 16:06:40			

図 4.4.1.2-20 ダッシュボード画面（人物検知ログ）



図 4.4.1.2-21 ダッシュボード画面（ロープテンション）

ログ一覧										
取得日時	船舶検知		ロープテンション		人物検知		船舶検知		警告/検知	
	AI検知開始時刻	警告	AI検知開始時刻	警告	AI検知開始時刻	警告	AI検知開始時刻	警告	警告/検知時刻	警告/検知
2022/02/25 9:18:01	2022/02/25 9:17:04		2022/02/25 9:17:07	○	2022/02/25 9:17:33	○	2022/02/24 14:52:59			
2022/02/25 9:17:01	2022/02/25 9:16:04		2022/02/25 9:16:07	○	2022/02/25 9:16:33		2022/02/24 14:52:59			
2022/02/25 9:16:01	2022/02/25 9:15:04		2022/02/25 9:15:07	○	2022/02/25 9:15:33	○	2022/02/24 14:52:59			
2022/02/25 9:15:01	2022/02/25 9:14:04		2022/02/25 9:14:07	○	2022/02/25 9:14:33		2022/02/24 14:52:59			
2022/02/25 9:14:01	2022/02/25 9:13:04		2022/02/25 9:13:07	○	2022/02/25 9:13:33		2022/02/24 14:52:59			
2022/02/25 9:13:01	2022/02/25 9:12:04		2022/02/25 9:12:07	○	2022/02/25 9:12:33		2022/02/24 14:52:59			
2022/02/25 9:12:01	2022/02/25 9:11:04		2022/02/25 9:11:07	○	2022/02/25 9:11:33		2022/02/24 14:52:59			
2022/02/25 9:11:01	2022/02/25 9:10:04		2022/02/25 9:10:07	○	2022/02/25 9:10:33	○	2022/02/24 14:52:59			
2022/02/25 9:09:01	2022/02/25 9:08:03		2022/02/25 9:08:07	○	2022/02/25 9:08:33		2022/02/24 14:52:59			
2022/02/25 9:07:01	2022/02/25 9:06:03		2022/02/25 9:06:07	○	2022/02/25 9:06:33		2022/02/24 14:52:59			

図 4.4.1.2-22 ダッシュボード画面（ロープテンションログ）

③. 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化

課題③「港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全監視」については、従来（現状）と課題解決システムを活用した場合の比較では、労働環境の大幅な改善は見受けられませんが、現状目視等で行っている作業からデータ化による作業負担の見直しが確認できました。

一方で AI 解析の誤検知などで、船舶が着岸している状態でも離岸したと検知する場面もあり、AI の更なる精度向上が必要と判明しました。

本実証を通じて、港湾内における課題解決システムを更に活用するためには、港湾内を監視するための高精細カメラの設置は必須であり、また国内の地理的条件等による影響を最小限にするためにも無線接続の油構成が必要となることが確認できました。

これらの課題が解決された場合、安全、コスト面において一層の向上が期待できます。なお、項目ごとの評価シートを以下に示します。

AI 解析に関する、船舶の着岸判定について、定量的評価結果を表 4.4.1.2-11 に示します。

実画像および合成画像に対し当該アルゴリズムを活用し、船舶の着岸判定をした結果を図 4.4.1.2-23 に示します

表 4.4.1.2-11 船舶の着岸判定の定量的評価結果

テーマ名	正解率 (Accuracy)	適合率 (Precision)	再現率(Recall)	調和平均(F1)
船舶の着岸判定	97.5%	95.2%	100.0%	97.6%

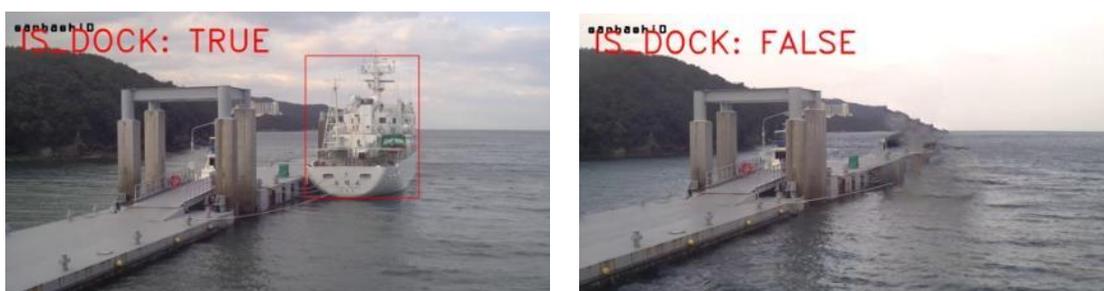


図 4.4.1.2-23 実画像と合成画像に対し、着岸判定を行った結果

検出された船舶が赤枠で可視化され、AI 判定結果が左上に赤文字で表示されています。

以上より、当該アルゴリズムは、実画像および合成画像に対し 97.5%の正解率で着岸判定ができることが確認できました。また、定性評価について、図 4.4.1.2-23 より、当該アルゴリズムは実画像および合成画像に対し、船舶の着岸状態を判定できることが確認できました。

<3> 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化
 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析による自動化による労働改善



図 4.4.1.2-20 ダッシュボード画面（船舶位置情報）

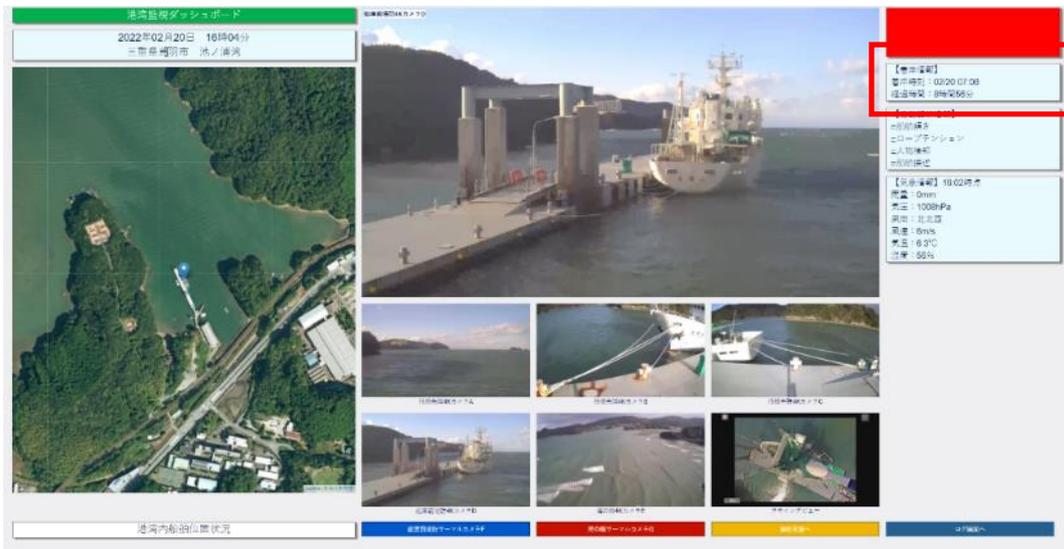


図 4.4.1.2-21 ダッシュボード画面（着岸情報）

ログ一覧										
取得日時	船舶検知		ロープテンション		人物検知		船舶接近		着岸/離岸	
	AI処理開始時刻	警告	AI処理開始時刻	警告	AI処理開始時刻	警告	AI処理開始時刻	警告	着岸/離岸時刻	着岸/離岸
2022/02/20 7:38:01	2022/02/20 7:36:53		2022/02/20 7:37:31	○	2022/02/20 7:36:58		2022/02/20 7:36:54			
2022/02/20 7:31:01	2022/02/20 7:29:53		2022/02/20 7:30:31	○	2022/02/20 7:29:57		2022/02/20 7:29:54			
2022/02/20 7:30:01	2022/02/20 7:28:53		2022/02/20 7:29:31	○	2022/02/20 7:28:57		2022/02/20 7:28:54			
2022/02/20 7:29:01	2022/02/20 7:27:53		2022/02/20 7:28:31	○	2022/02/20 7:27:57		2022/02/20 7:27:54			
2022/02/20 7:17:01	2022/02/20 7:15:52		2022/02/20 7:16:30	○	2022/02/20 7:15:57		2022/02/20 7:15:53			
2022/02/20 7:16:01	2022/02/20 7:14:52		2022/02/20 7:15:30	○	2022/02/20 7:14:57		2022/02/20 7:14:53			
2022/02/20 7:15:01	2022/02/20 7:13:52		2022/02/20 7:14:30	○	2022/02/20 7:13:57		2022/02/20 7:13:53			
2022/02/20 7:09:01									2022/02/20 7:08:01	○
2022/02/20 7:08:01									2022/02/20 7:07:01	
2022/02/20 7:06:01	2022/02/20 7:04:52		2022/02/20 7:05:29	○	2022/02/20 7:04:56		2022/02/20 7:04:53			

図 4.4.1.2-22 ダッシュボード画面（着岸ログ）

本実証の各課題を実現するための KGI と KPI について、下記の通り纏めました。

表 4.4.1.2-12 各課題における KGI と KPI

	課題①	課題②	課題③
KGI	港湾内映像および AI による船舶位置情報と船舶俯瞰映像の提供	AI 解析による異常検知の自動化	AI 解析による船舶の着岸確認、記録の自動化
KPI	<ul style="list-style-type: none"> 船舶俯瞰映像（フライングビュー）の解像度・処理時間 4K 高精細製造の解像度・処理時間 気象情報の処理時間 船舶位置の絶対誤差 	<ul style="list-style-type: none"> 人立ち入り検知の正解率、適合性、再現率、調和評価の定量的評価 船舶傾き検知の正解率、適合性、再現率、調和評価の定量的評価 ロープテンションの異常検知の正解率、適合性、再現率、調和評価の定量的評価 船舶方向検知の正解率と絶対誤差の定量的評価 実際との定性的評価 	<ul style="list-style-type: none"> 船舶着岸検知の正解率、適合性、再現率、調和平均の定量的評価 実際との定性的評価

4.4.1.3 運用検討

(1) 検討項目

各課題における課題解決システムの運用検証項目を以下に示します。なお、運用検証は、課題解決システムの運用者の視点から検討を行いました。

表 4.4.1.3-1 運用検証

課題	評価観点	運用検討項目
①. 港湾内航行中船舶に対する「港湾内映像およびAIによる船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供	船舶の現状の着岸フローとダッシュボードおよびフライングビューを利用した着岸フローの工数に対する効果	<ul style="list-style-type: none"> 船舶の入港、気象情報を1つのダッシュボードから情報収集が可能となり、それらにかかる時間の見直し 湾内の気象海象状況について、機械による収集データだけでなくリアルタイムな映像を確認することによる認識向上 港湾管理者とダッシュボードによる同じ情報、映像を共有することで入港手続き時の聞き間違いや聞き漏らしなどのミス削減 湾内における他船の状況（どのあたりに停泊しているか、移動しているか）が把握できることで、着岸の支障がないかの判断活用
②. 港湾内に停泊中の船舶およびその周辺の異常検知を高精細映像+AI映像解析により自動化	港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全に対する検証	<ul style="list-style-type: none"> 船舶監視当直業務の工数見直し
③. 船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化	港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全監視に対する検証	<ul style="list-style-type: none"> 港湾管理業務の工数見直し

(2) 検討方法

ローカル 5G を活用した操船支援情報提供および映像監視による港湾内安全管理設備の導入の各課題に基づく実証を通じて、現在の状況及び課題解決システムについて定量的かつ定性的な面から測定すると共に以下の方法で検討を行いました。

a) 現状運用業務の洗い出し

現在の港湾監視業務について、運用担当者等へのヒアリングや資料閲覧、実施調査等により作業工程ごとに業務内容の洗い出しを行いました。

b) 現状とローカル 5G を活用した操船支援システム運用の比較・課題

評価・検証項目に提示した項目が港湾内移動時および離着岸作業時の運用フローにおいて、活用されるポイントの確認を行いました。

また、ダッシュボードの活用によりこれまでの運用フローにはない手順等の発生についても確認を行い、課題の抽出と解決策の検討を行いました。

現在の港湾作業の流れ（図 4.4.1.3-1）及び港湾管理業務フロー（図 4.4.1.3-2）と船舶と海岸局の制動連絡のタイミング（表 4.4.1.3-1）について、表記します。

これらの運用フローから確認出来るように、船舶は着岸まで非常に多くの工程が発生しています。

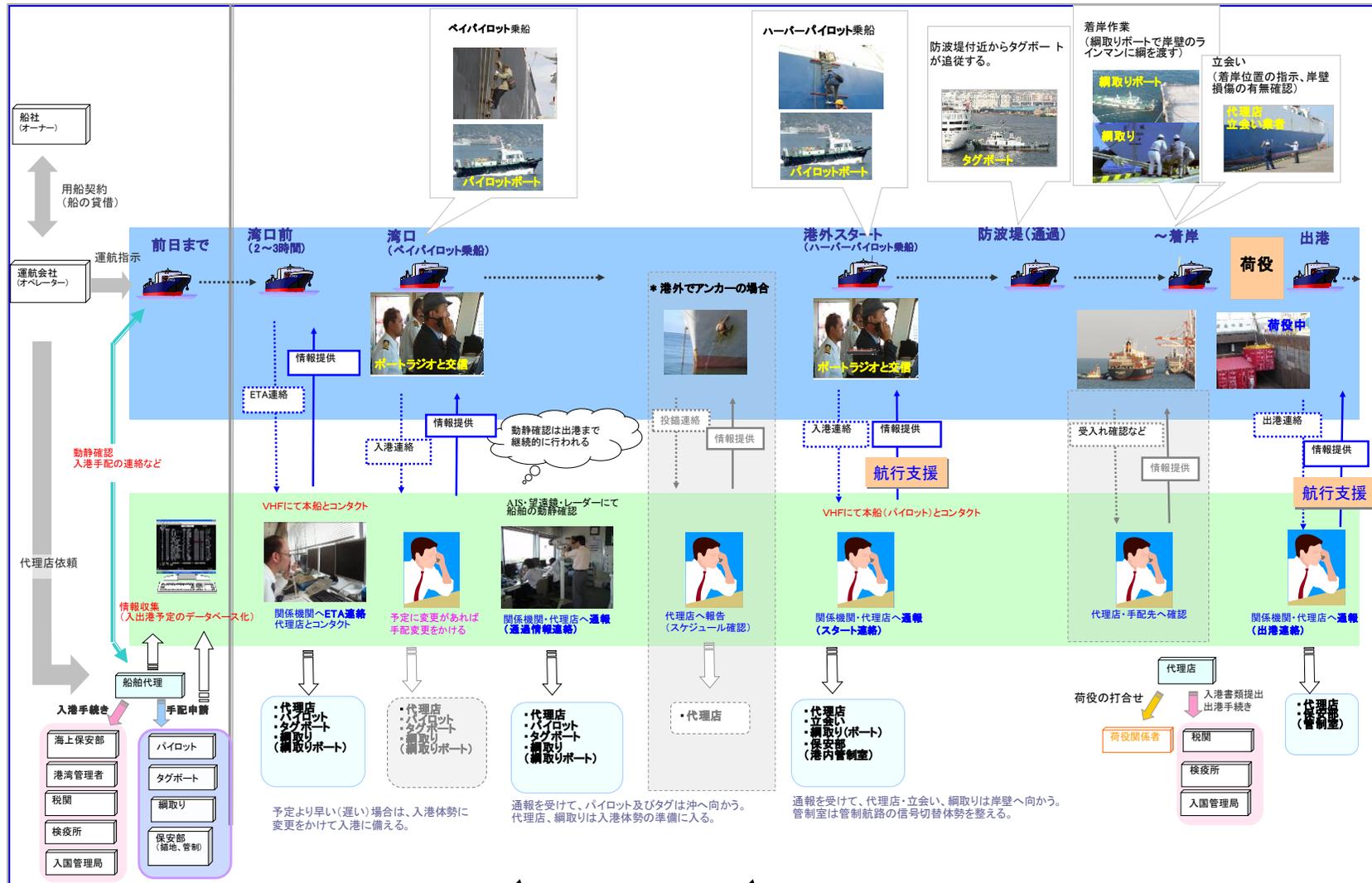


図 4.4.1.3-1 港湾作業の流れ



図 4.4.1.3-2 港湾管理業務フロー

表 4.4.1.3-2 船舶と海岸局（ポートルラジオ）の動静連絡のタイミングと情報内容

区分	通報時期	本船からの 通報事項	ポートルラジオからの 情報提供等
入港	・ 航路/錨地到着 2~3 時間前	・ 航路/錨地到着予定時刻 ・ 入港時の喫水	・ バース情報 ・ 運航支援者への手配情報 ・ 航行支援情報 ・ 海上工事情報等
	・ 投錨終了時	・ 投錨時刻 ・ 投錨位置 ・ 抜錨予定時刻	・ バース情報 ・ 運航支援者への 手配情報
	・ 抜錨開始時	・ 航路入航予定時刻	・ バース情報 ・ 運航支援者への手配情報 ・ 航行支援情報
	・ 着岸時	・ 着岸時刻	・ 離岸前通報を要請
出港	・ 出港 30 分前	・ 出港予定時刻 ・ 出港時の喫水	・ 航行支援情報
	・ シングルアップ ／離岸時	・ シングルアップ／離岸通報	・ 航行支援情報
移動	・ 離岸 30 分前	・ 離岸予定時刻 (移動経路)	・ バース情報 ・ 航行支援情報
	・ シングルアップ ／離岸時	・ シングルアップ／離岸通報	・ 航行支援情報
	・ 着岸時	・ 着岸時刻	・ 離岸前通報を要請

(3) 検討結果及び考察

本実証で構築したダッシュボードシステムは、港湾管理業務における船舶と海岸局（ポータルラジオ）間の動静連絡である航行支援情報（他船情報や気象、海象等、船舶の航行に必要な情報）に対して活用および貢献できると考える。



図 4.4.1.3-3 港湾管理業務フロー（ダッシュボード活用部分）

具体的には、入港から出港までの間で航行支援情報をダッシュボードシステムから一元的に情報を得ることが可能となります。それに伴い、現在の運用方法である音声通信による聞き間違いなどの人為的ミスの削減や、各種情報を必要なタイミングで確認することが可能となります。

また、着岸中もロープテンションや人物検知等を AI で自動検知することで、港湾作業者の負担削減効果も期待されます。

なお、このような期待される成果を上げるためには、AI 検知の精度を向上させる必要があります。

表 4.4.1.3-3 各項目の活用可否

項目	活用可否	課題	対応策
船舶位置情報	活用可	何れも AI を介した検知のため、AI 解析精度が重要	十分な学習および高性能サーバーの導入
湾内異常検知	活用可		
着岸確認	活用可		
気象情報	活用可	気象情報装置が持つ情報が多いため、どの情報を表示させるかの選定が必要	提供者と利用者の間で十分なコミュニケーション
船舶俯瞰映像	活用可	映像の見せ方	カメラ設置場所検討

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) 構築モデル普及の必要性

海運は古来より貿易だけでなく漁業や観光、レジャーなど日本の経済にとって非常に重要なインフラとして位置付けられています。

国土交通省では PORT2030 における港湾のスマート化、強靱化および 2025 年の無人運航船（その先には 2040 年に無人運航船 50%を目指す民間プロジェクト MEGURI2040）など将来の港湾・船舶のあるべき姿を提示しており、日本のこれからの発展には海運は欠かすことが出来ないインフラであることが理解できます。24 時間 365 日休むことなく動き続ける海運業は多くの港湾関係者、操船事業者にて支えられています。

港湾内の船舶操船、港湾管理における運用には、事故や運航の停止が起こらないために厳格なルールを定め、また、必要に応じて適宜内容の見直しが行われています。

しかしながら、海運業界においても他業種同様に少子高齢化による人手不足、設備更新に伴うデジタル化への対応などが問題となり、早急に対策を進める必要性があります。

一方、プレジャーボート等を扱うマリンレジャー業界においては、2019 年と 2020 年を比較してボート免許の取得者が 20%近い増加、ボート販売台数は前年同様（生産が追い付かない。供給不足は当面続く）など、好調な状況となっています。これはコロナの影響から密を避けることが可能な海というアウトドアの需要が急激に高まったことが理由と推測されます。

市場の拡大に伴い、船舶や港湾における安全安心への要望が増加することは確実で、マリーナを運営する港湾管理者だけでなく船舶所有者からの需要も期待できると考えます。日本国内には、国際戦略港、国際拠点港と呼ばれる大規模港湾から、漁港、マリーナを含む中小規模港湾まで多種多様な港湾が存在しますが、安全安心への取組みはどの港においても一様に重要です。

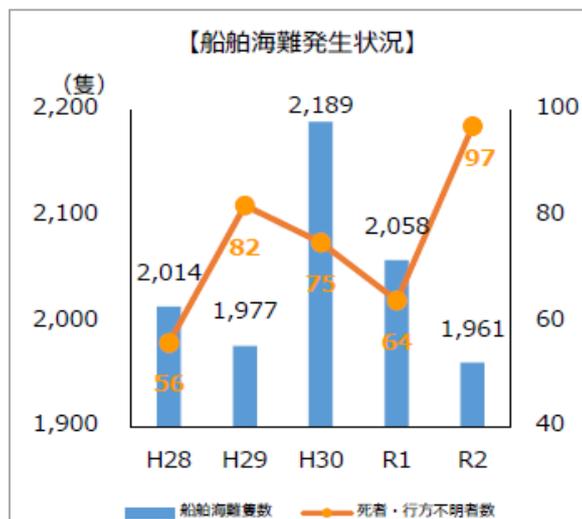


図 4.4.2.1-1 船舶海難発生状況

2) 想定される具体的な主体及びターゲット（地域・市場・ユーザ等）

本実証における活用モデルは、同様の課題を抱える日本全国の港湾・船舶会社がターゲットとなります。

本コンソーシアムメンバーの ZTV、協同海運、東洋信号通信社、日本ケーブルテレビ連盟にて全国の港湾及び船舶会社等に対して横展開を図ります。

地域 : 港湾施設がある地域

市場 : 全国

ユーザー等 : 港湾の管理関係者

表 4.4.2.1-1 港湾数一覧

(2021年4月1日現在)

区 分	総数	港 湾 管 理 者				計	都道府県 知 事
		都道府県	市町村	港務局	一部事 務組合		
国際戦略港湾	5	1	4	0	0	5	—
国際拠点港湾	18	11	4	0	3	18	—
重 要 港 湾	102	82	16	1	3	102	—
(うち避難港)	(35)	(29)	(6)	(0)	(0)	(35)	—
地 方 港 湾	807	504	303	0	0	807	—
(うち避難港)	(35)	(29)	(6)	(0)	(0)	(35)	—
計	932	598	327	1	6	932	—
5 6 条 港 湾	61	—	—	—	—	—	61
合 計	993	598	327	1	6	932	61



図 4.4.2.1-2 国際拠点港及び重要港湾位置図

表 4.4.2.1-2 入港船舶表 (2020 年)

都道府県	合計		外航商船				内航商船			
			500GT以上		5GT以上~500GT未満		500GT以上		5GT以上~500GT未満	
	隻数	総トン数	隻数	総トン数	隻数	総トン数	隻数	総トン数	隻数	総トン数
総計	3,115,099	3,513,668,804	86,912	1,779,370,460	2,015	603,732	233,299	675,068,822	1,129,206	174,330,916
国際戦略港湾計	113,878	790,816,104	26,656	610,975,512	54	26,891	26,422	103,423,415	48,519	17,684,068
国際拠点港湾計	409,014	1,103,105,853	33,755	664,921,720	722	267,116	80,479	245,966,110	227,189	52,654,312
重要港湾計	846,451	1,112,228,654	24,464	442,220,379	899	190,476	87,016	255,950,754	286,170	59,670,929
地方港湾計	1,745,756	507,518,193	2,037	61,252,849	340	119,249	39,382	69,728,543	567,328	44,321,607

3) 対象となるシステム(普及に資するソリューションやビジネスモデル等のパッケージ)
 今回の開発実証における課題解決として実施する以下3点のシステムを構築し普及を図ります。

- ①港湾内航行中の船舶に対する「港湾内映像およびAIによる船舶位置情報（操船支援ダッシュボード）」と「船舶俯瞰映像（フライングビュー）」の提供
- ②高精細映像+AI映像解析による停泊中の船舶およびその周辺の異常検知監視システム（またはサービス）
- ③船舶の着岸確認、記録を高精細映像+AI映像解析により自動化するシステム（またはサービス）

・ダッシュボードシステム（操船支援）

港湾内の映像、気象情報を一元的に表示します。

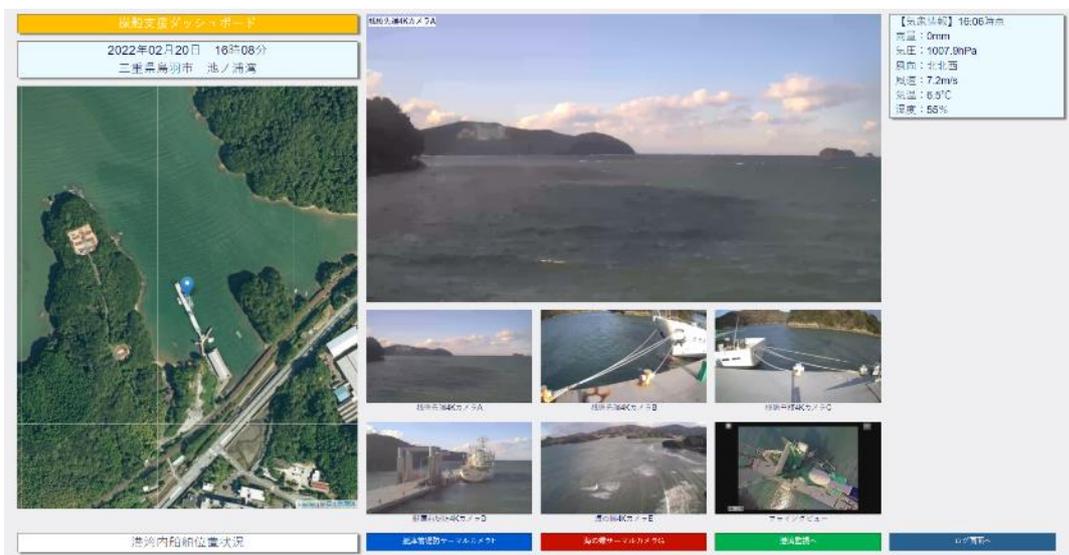


図 4.4.2.1-3 ダッシュボード画面（操船支援）

- ・ダッシュボードシステム（港湾管理）
4K 高精細カメラ映像による AI 解析

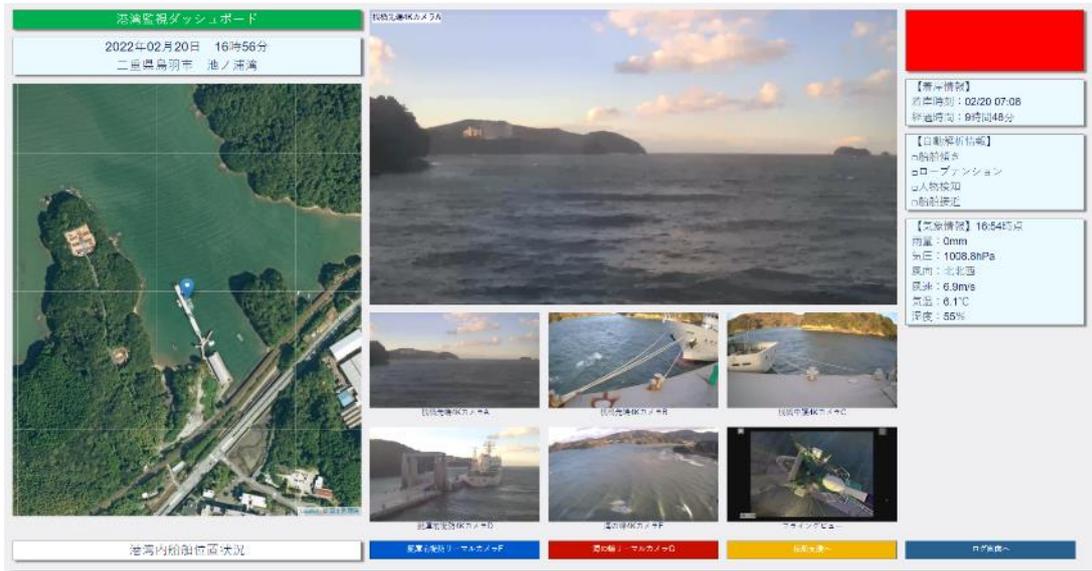


図 4.4.2.1-4 ダッシュボード画面（港湾管理）

- ・ダッシュボードシステム（港湾監視）
目視で実施している着岸確認、記録業務の自動化

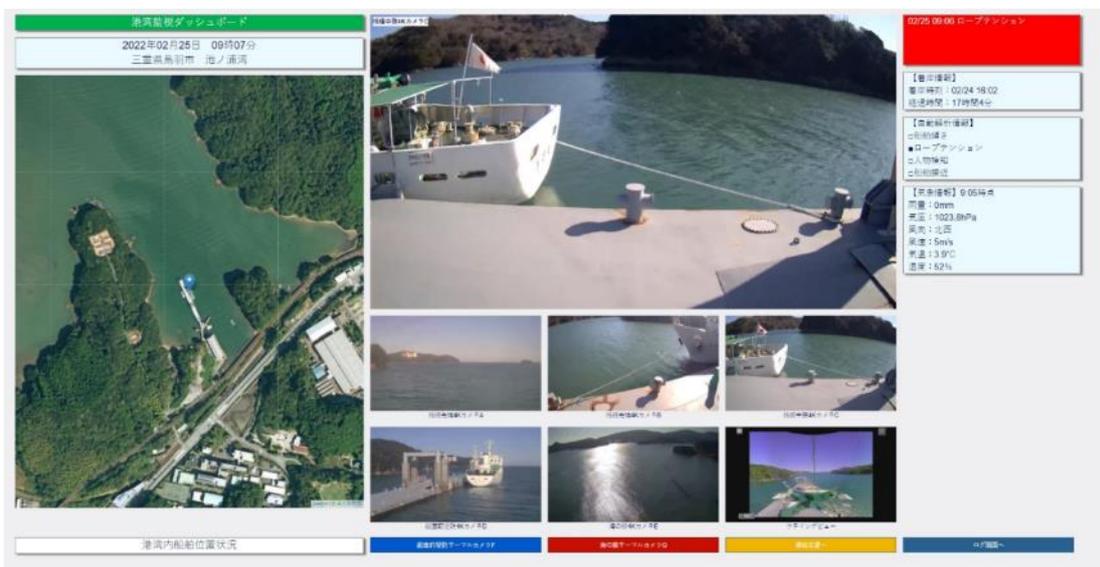


図 4.4.2.1-5 ダッシュボード画面（港湾監視）

・ローカル 5G

4K の高精細カメラを設置し、大容量データのアップリンク伝送を行います。また、港湾では諸外国の船舶が行き交うため、セキュアな環境で安定的に送信する必要があります。地域に必要な港湾エリアに高速かつセキュアな通信環境が求められる観点から、ローカル 5G の活用が適しています。

・4K 高精細カメラ

4K の高精細カメラを使用することで、従来の HD カメラよりも高画質な映像を撮影することができます。また、4K で撮影しておくことで、カメラをパンしたりズームしたりしても画質の劣化を気にする事が無くなります。これは、港湾内の状況を確認監視する際に於いて重要なポイントとなります。

・船舶周辺映像（フライングビュー）

船舶マストに設置する 4 方向のカメラを合成処理することで、俯瞰での映像がリアルタイムに確認できます。

離着岸時の全方位の状況把握が容易となり、操船作業の業務軽減が図れます。

・サーマルカメラ

夜間または濃霧等による暗環境の場合、4K 高精細カメラだけでは十分に鮮明な映像を確保できないことも想定されます。24 時間どのような状況でも港湾内の状況を確認するために 4K 高精細カメラとサーマルカメラを併用することで、昼夜問わず監視が可能な環境を構築致します。

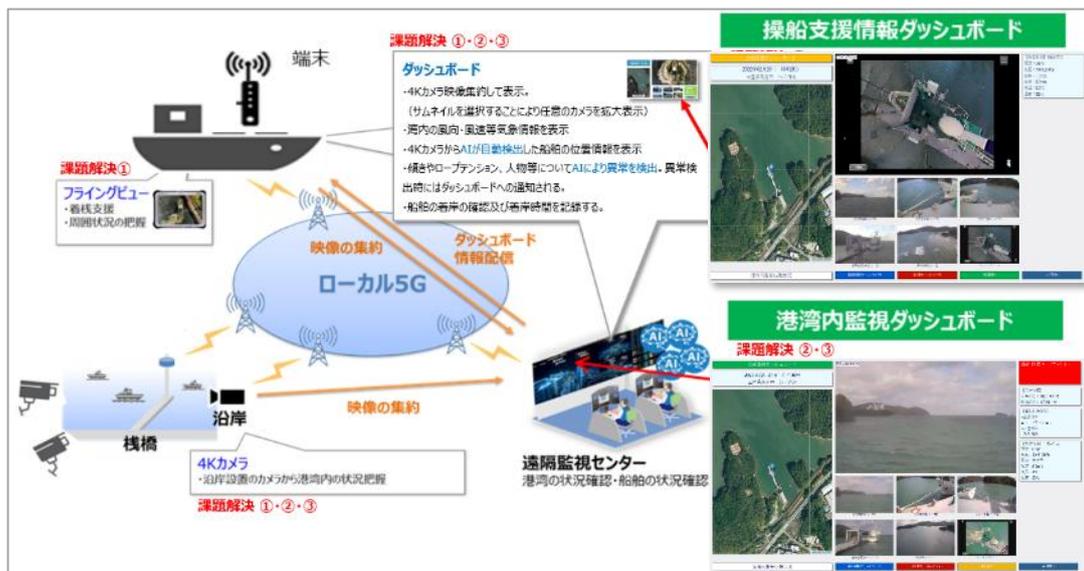


図 4.4.2.1-6 ローカル 5G 活用構築モデル

4) 詳細の前提条件（実証地域やユーザ等の固有な要因や実証環境との関係等）

海上を伝搬する電波は陸上に比べ相当遠方まで到達することが確認できています。海上に向けて電波発射を行うと、近隣だけでなく遠方の港湾や対岸の施設まで電波が到達することになるため広範囲での干渉調整が発生すると考えられます。

大型船舶の入港により湾内のローカル 5G の電波が遮蔽され、その周辺においてサービスが利用できない場所が発生することが想定されます。安定した利用のためには湾内を十分にカバーできるための基地局もしくは電波を中継できる機器や反射板などの設置とそれらの場所が長期間利用できることが必要です。

一般的なローカル 5G の設置場所と比較し、港湾は気象環境による影響が大きくなります。強風や塩害、寒冷等に耐えられる設備、また、これらが起因する障害に対して迅速な復旧対応を取れるための体制づくりが必要です。基地局までのアクセス、電源や光ファイバのインフラ設備についても一般的な場所に比べ障害発生時には復旧までに時間を要すると想定されますので、設備の冗長や遠隔での対応などの体制も考慮が必要です。

年間を通じて気象状況が悪い港湾の場合、良い所と比べ前述の条件は厳しくなります。設備強化のための初期および維持における追加投資が必要になることが想定されます。

基地局を設置および運用するためには様々な条件があります。

立地的な観点から次の条件をまとめました。

【地理的な条件】

- ・港湾内設備、海上船舶に安定的に電波を到達させる必要があるため、対象設備の受信アンテナ設備より高い場所、見通しの良い場所からの電波発射ができること。
- ・他のローカル 5G エリアへの干渉影響を与える不要な電波が到達しない、また、過剰な設備にならないよう効率的にエリアカバーができることを考慮した設置場所であること。
- ・災害等により設置場所が孤立しない場所であること。
- ・運用開始後に基地局を設置する施設や土地の改修や閉鎖などによる無線設備の移設が発生しないよう、長期間にわたり利用できる場所であること。

【気象的な条件】

- ・暴風や着雪により無線設備全般に負荷がかかるため、港湾、船舶における最大風速や最大降雪を考慮した設備強度が確保できること。また、その発生頻度が年間を通じて多い地域については通常設備に補強を行うこと。
- ・雷発生回数の多い地域では、落雷による機器故障や発火が発生する可能性も高くなるため、避雷針やアースの設置、耐雷性能の高い設備を採用すること。

【保守的な条件】

- ・故障発生時に緊急駆付けが可能な場所および体制が構築できること。
- ・現地作業が不可能な場合には予備系統への切替や復旧作業が遠隔でできること。

なお、本事業モデルの適用範囲は、設備の設置・管理の関係上、港湾管理者の有無や維持に必要なコスト負担が可能な一定以上の規模の港が対象となります。本事業のモデル構築に際して、現時点では、以下のような役割を想定しています。

- ・免許申請 : 各地域のケーブルテレビ事業者
- ・エリア構築 : システムインテグレータ
- ・運用保守 : ケーブルテレビ事業者又はシステムインテグレータ
- ・サービス利用者 : 港湾管理者

5) 標準モデル（機能要件・非機能要件、ネットワークシステム構成、業務・処理フロー、運用ノウハウ、実装方法・手順）

実証の検証で取り扱うシステムの運用を通じて、必要とされる性能と仕様を明確化することで、特定のベンダに制限されない汎用性のあるシステムとしての構築が可能となり、導入や維持における選択肢を広げ、港湾の規模や費用負担額に応じた適切な運用が可能となることを確認しましたので、その概要を以下に記載致します。

▶ 機能要件：

課題解決システムの機能要件は以下の通りとなります。

①ダッシュボードシステムが有する以下の情報を無線接続により遠隔で確認出来る

- ・4K カメラ映像の表示
⇒ 優れた解像度と極めて高い感度を両立しており、広範囲での映像監視を可能にします。
- ・船舶位置情報の表示
⇒ AI 解析で船舶の位置地図上にリアルタイム表示することで、船舶と監視室双方で位置情報の共有が可能となり、着岸作業等での効率が改善されます。
- ・フライングビュー画像の表示
⇒ 船舶マストに設置する4方向のカメラを合成処理することで、着岸業務で重要とされる船舶周辺の状況確認が俯瞰映像でリアルタイムに可能となります。
- ・ダッシュボード画面を遠隔地で共有
⇒ 遠隔地からの監視が可能となることで、港湾に常駐できない場合などで監視不在となることを回避できます。

②港湾作業に支障の無い程度の映像遅延

⇒ 現状の港湾作業では音声による情報共有が主流となりますが、こちらに遅延の少ない港湾及び船舶の高精細映像情報を追加します。これにより、音声だけでは把握できない詳細な情報の共有が可能となり、情報伝達にかかる時間の短縮や業務情報の伝達間違いを防ぎます。

また、ダッシュボードシステムに一元化された情報が配信されることで、刻々と変化する港湾の状況が航行中の船舶上でリアルタイムに得られるようになります。岸壁周辺の波の状況による入港のタイミングの調整や着岸作業時の岸壁との距離把握など操船業務全般における効率の大幅な向上につながります。

③4K カメラ映像からの AI 解析による警告表示、記録自動化

⇒ 警告表示

港湾内に整備する 4K カメラによる高精細映像を AI が解析することで、これまでに見落とされていた可能性や、今後発生のおそれがあるインシデントについてダッシュボードシステム上で通知を行います。

港湾管理者は通知のあった項目に対して、監視室内からダッシュボードシステム上の映像を確認し現在の状況を把握することができます。これまでであれば、確認のために現地まで駆けつけていたインシデントについても、ダッシュボード上で確認が完了する場合もあり、業務負荷の軽減につながります。

⇒ 記録自動化

港湾内に整備する 4K カメラによる高精細映像を用いて AI 解析を行います。AI 解析により船舶の着岸検知および着岸経過時間の計測の自動化および記録を行います。

岸壁・栈橋使用料は船舶のサイズおよび着岸時間により変動するため、正確な船舶の離着岸を洩れなく把握する必要があります。しかしながら、港湾管理業務は周辺のステークホルダーとの連絡、調整、データ入力など多忙で、離着岸の確認漏れや着岸時刻の記録誤りが発生する可能性もあります。記録自動化により業務負荷の軽減と記録誤りによる徴収漏れを防ぐことができます。

なお、本システムによる AI 解析による警告表示及び記録自動化の機能は以下の通りとなります。

表 4.4.2.1-3 AI 解析機能一覧

名称	機能説明
人物の立ち入り検知	港湾内の侵入禁止区域において、人が立ち入ったことを検知し通知することで、不審者の侵入を防ぐ。
船舶の傾き検知	停泊中船舶の傾きを検知して通知することで、重量バランスの調整を促し、岸への接触事故や積載物の落下を事前に防ぐ。
ロープテンション状況の計測	係留ロープのテンション状況を可視化することにより、入出港時や停泊中におけるスナップバックなどの事故を防止する。
船舶の位置座標の推定	船舶の位置座標をカメラから推定することで、船舶が港湾に入ってきたことや他船との距離を可視化して、接触事故を防止する。
船舶と岸壁/船舶同士の距離推定	船舶と岸壁や船舶同士の距離を推定することにより、船舶離着岸時の安全性確保を行う。
船舶の離着岸検知	船舶の着岸および離岸を判断し、停泊時間の計測漏れを回避する。

➤ 非機能要件：

課題解決システムの非機能要件は以下の通りとなります。

これらについては、実装時において費用対効果も踏まえた検討事項となります。

①障害対策やバックアップ等の冗長構成

⇒ 各機器の冗長化及び UPS 等の設置による停電対策を行う事で、即時の設備交換が困難な海上でのサービス停止リスクを軽減できます。

②セキュリティ対策

⇒ 屋外に設置される機器については物理的な攻撃も考慮が必要です。ネットワーク機器については外部からの侵入対策機器の導入や平時からのセキュリティ対策アップデート等リスク低減の取組みが必要です。

③障害時対応

⇒ 停止許容時間や影響範囲、重要度などに合わせて保守契約の内容（オンサイト、センドバック）検討が必要となります。

➤ ネットワークシステム構成

課題解決システムを構成させるための基本的なネットワーク構成を以下に記載します。

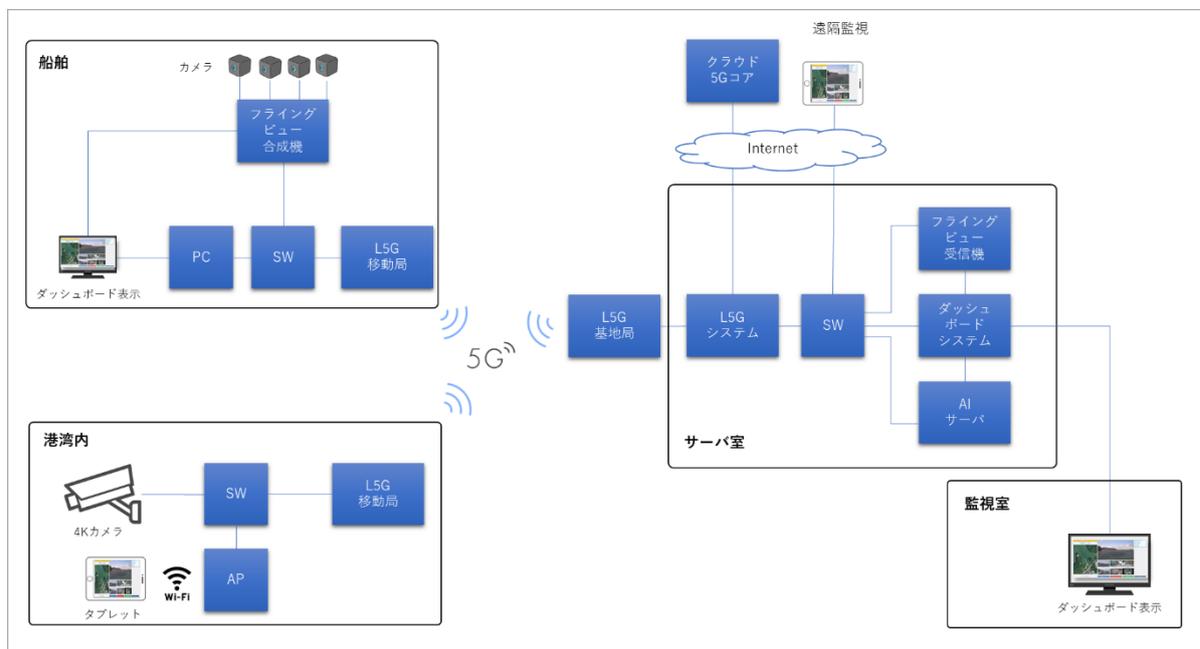


図 4.4.2.1-7 ネットワークシステム構成

・サーバー室

ダッシュボードシステムサーバやAI サーバー、フライングビュー受信機を設置します。カメラ映像、AI 検知結果、気象情報をダッシュボードシステムで一元化して各箇所に設置されたモニター及び各種端末に対して表示を行います。

AI サーバーは港湾内に設置した 4K カメラの映像を解析し、異常検知を行います。

ローカル 5G のコアシステムを設置し、船舶及び港湾内に対して電波の送出を行います。

・監視室

ダッシュボードシステムで一元化された情報が表示されます。

監視室から、船舶や港湾等の情報を遠隔監視することが可能です。

・船舶

フライングビュー合成機と4台の小型カメラで作成した船舶俯瞰映像をローカル5G経由で、監視室のフライングビュー受信機に送ります。

ローカル5G回線を使用して船舶内でも監視室と同じダッシュボード画面を確認することが可能です。

・港湾内

港湾内に設置した4Kカメラの映像をローカル5Gの上り回線を使用して監視室に送ります。

また、港湾内に整備されたネットワーク(Wi-Fi)を経由することで、港湾内に於いてもタブレット等でダッシュボード画面を確認することが可能です。

➤ 業務・処理フロー

他港湾に本システムを実装するための業務・処理フローは以下の通りとなります。

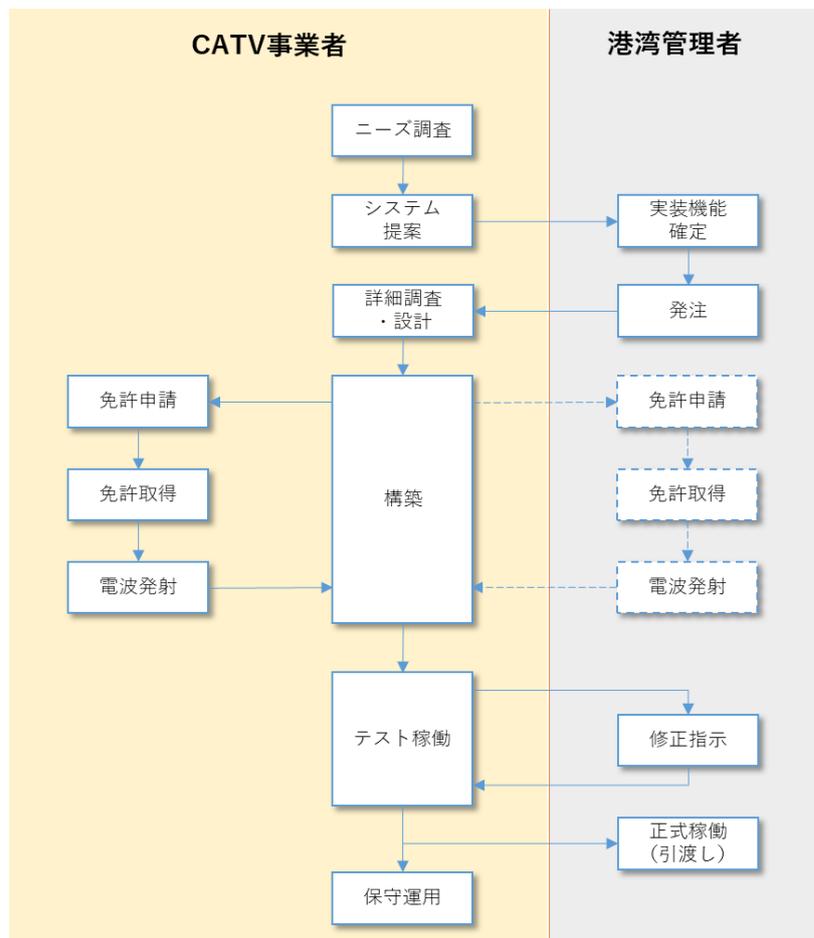


図 4.4.2.1-8 業務・処理フロー

- ・システム提案、実装機能確定

基本となるシステムの提案を行いつつ、顧客毎に求める要件を取り込んだシステムを検討します。

- ・詳細調査・設計

基地局および 4K カメラの設置場所や方向の特定、利用帯域等各種機器に割当てのパラメータ検討などシステムを稼働させるために必要となる設計を行います。

- ・免許申請

CATV 事業者が免許人となる場合は記載の通りです。港湾管理者もしくは協力会社が免許人となる場合（点線部）には、CATV 事業者が取得に向けた支援を行います。

- ・テスト稼働

映像表示遅延、AI 解析精度、操作性等ユーザの求める性能が発揮できているかの確認を行い、不足する場合には改善します。

➤ 契約の在り方について

現状ローカル 5G を構築する際、通信事業者のように法規制の知識や技術的な専門知識を有する必要があります。そのため、Wi-Fi 等の無線インフラと比較した場合、機器の所有権や関係者間の契約の在り方が異なる事が想定されます。このため、事前に予備機を準備しておくことや、保守契約の在り方等についてメーカ等と事前に調整する必要があります。

➤ 維持に必要なコストの算出

ローカル 5G 構築時には、システム構築時等に発生する一時費用とシステムを継続して運用するための継続費用が発生します。

ローカル 5G 構築に必要な概算初期金額（一時費用+継続費用）算出するために必要な項目を以下に記載します。

表 4.4.2.1-3 ローカル 5G 構築に必要なコストの算出項目

#	費用区分	内容	数量
①	一時費用	ローカル 5G 基地局	必要数
②	一時費用	機器設置	必要数
③	一時費用	ケーブル類	必要数
④	一時費用	その他機器（SW 等）	必要数
⑤	一時費用	調査・設計費	1 式
⑥	一時費用	免許申請	必要数
⑦	継続費用	通信環境	端末数
⑧	継続費用	機器保守費	必要数

- ・追加コストの確認

実測にて港湾内に電波未到達エリア（カバーエリア）が確認された場合、ローカル 5G 基地局の追加が必要となります。なお、その際には前項に於ける計算方法でコストを試算します。

- ・運用に適切な性能か（能力不足/過剰となっていないか。）

使用できる帯域は有限のため、上り/下りともに伝送できるトラフィックには上限があります。特に本システムに於いては、4Kカメラの映像が多数アップロードされるため、港湾内に設置するカメラ台数によっては、帯域を考慮する必要があります。

- ・経年変化によるシステムの安定性

港湾という過酷な環境下での安定性については実証データが無いため、継続したデータ取得が必要になります。

- ・年間を通じた運用手順。

通期の気象情報を加味する事などが必要となります。

6) 体制・事業スキームのモデル（免許人・ネットワークシステム構築・運用等の役割分担の在り方含む）

本実証事業における体制に関して、以下に示します。

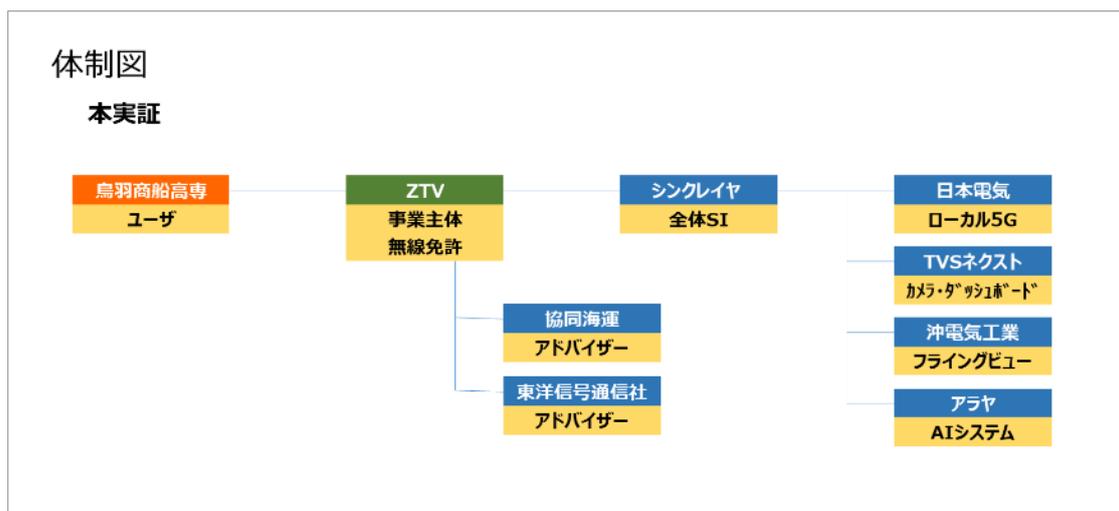


図 4.4.2-9 体制図（鳥羽商船高等専門学校）

ZTV サービス提供エリアにおける体制に関して、以下に示します。

本実証事業と同様の体制を維持し、コンソーシアムメンバー内の港湾管理業務および操船事業者から港湾関連者の紹介や共同での提案を行います。

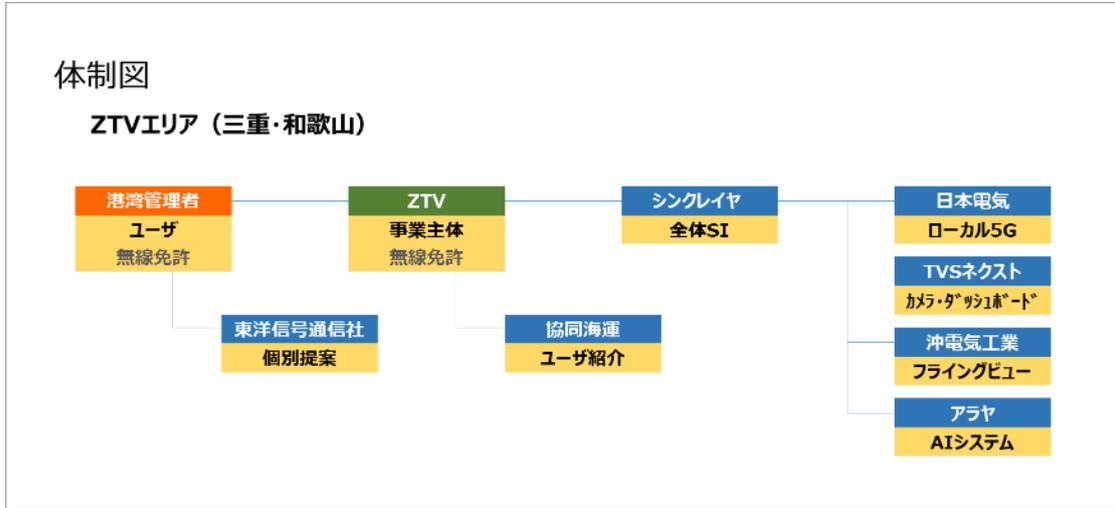


図 4.4.2-10 体制図 (ZTV エリア)

ZTV エリア外における体制に関して、以下に示します。

各地域のCATV事業者が主体となって対応致します。

ローカル5Gの構築支援については港湾の所在する地域のCATV事業者が行いますが、リソースが不足するなどの条件が整わない場合は当社（ZTV）含め他CATV事業者が対応することを想定しています。

AI、ダッシュボードシステムについては実証で得られたリソースを活用することで、構築までの期間及びコストについてのメリットが大きいと判断し、コンソーシアムメンバーによる体制の継続が最適と考えます。

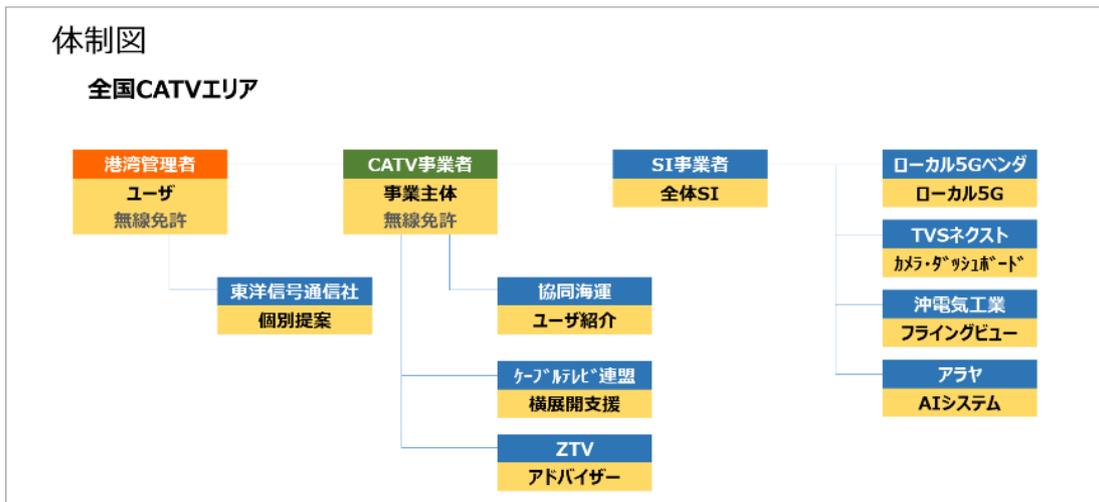


図 4.4.2-11 体制図 (全国 CATV エリア)

本システムの横展開を推進する立場である日本ケーブルテレビ連盟および ZTV のビジネスモデルは次の通りです。

日本ケーブルテレビ連盟：全国の CATV 事業者によって本システムが普及することが目的となるため、横展開の取組みにおいての利益は求めません。

ZTV：他 CATV 事業者に対してのアドバイスや技術支援における対価を得ることを想定しています。支援する内容等については継続運用先や他の港湾関係者、CATV 事業者へのヒアリングを行い、詳細を確定させます。

各事業者の役割について、以下に示します。

表 4.4.2.1-5 各事業者の役割

役割	役割詳細	本実証 (鳥羽商船高等専門学校)	ZTV サービスエリア (三重、和歌山)	全国 CATV サービスエリア
事業主体 ユーザ提案、サポート	地域の港湾・船舶会社への提案	ZTV	ZTV	地域 CATV 事業者
無線免許	シミュレーション、干渉調整等実施。無線免許申請。無線従事者選任	ZTV	ZTV もしくは港湾管理者	地域 CATV 事業者 もしくは 港湾管理者
全体 SI	ローカル 5G、ダッシュボード等のシステム全体統合	シンクレイヤ	シンクレイヤ	SI 事業者
ローカル 5G	港湾内で求められるローカル 5G 性能から適切なスペックの機器を提案し構築	日本電気	ローカル 5G ベンダ	ローカル 5G ベンダ
AI システム	AI システムで使用する機器および解析システムの構築	アラヤ	アラヤ	アラヤ
4K カメラ・ダッシュボード	ダッシュボードシステム構築および必要となる 4K カメラの性能や設置場所の選定	ティーブイエス ネクスト	ティーブイエス ネクスト	ティーブイエス ネクスト
フライングビュー	フライングビューカメラ取付、キャリブレーション	沖電気工業	沖電気工業	沖電気工業
普及展開	全国の主要港湾に対し、本実証モデルの普及を個別に働きかけを行う	東洋信号通信社 (アドバイザー)	東洋信号通信社	東洋信号通信社
導入事業者紹介	船舶関連事業者（船会社、荷役業者、代理店業者）をケーブルテレビ事業者に紹介	協同海運 (アドバイザー)	協同海運	協同海運
横展開支援	加盟する正会員オペレータ向けに説明会・個別説明を実施	—	—	日本ケーブルテレビ連盟 および ZTV

(参考) ケーブルテレビ事業者について。

ローカル 5G および地域 BWA 構築運用実績のある事業者が多数あります。

陸上無線技術士や電気通信主任技術者等、無線通信業務を行うにあたり国に対して選任の届出が必要な資格所有者がおり、技術面の運用を支えることができます。

自主制作の番組（コミュニティチャンネル）を制作し 365 日放送、河川カメラ、生中継などにも取り組んでおり、カメラ設置場所の選定や、映像配信についての技術力を有しています。

法人向けサービスとして光ファイバ専用線、データセンタ設備を 24 時間 365 日の体制で運営しており、ユーザ側で本システムで整備するコア設備、サーバ等の運営保守が困難であればケーブルテレビ事業者で一括管理することも可能です。

ケーブルテレビ事業者間の相互に接続された光ファイバネットワークにより、サービスエリア外の港湾であっても柔軟な構築が可能です。

7) 導入効果（ターゲットの特長を踏まえ課題解決等に資する導入効果及び有用性等）

本モデルに於ける主たる導入効果は以下の通りとなります。

- ・安全操船
- ・船員の負担軽減
- ・事故の抑制

本開発実証では小規模の港湾で検証を実施しましたが、より規模の大きな港湾を想定したシミュレーションを行うことで、多方面への導入効果が期待できます。

操船側では、着岸時の港湾の様子が十分に可視化されていないため、船の追突事故、防波堤接触、陸上構造物との接触等が発生しています。これに対し、港湾内の着岸場所および近接エリアの様子を映像でリアルタイムに操船側で見る仕組みを整備することで安全な操船につながります。あわせて、自船舶の俯瞰映像（フライングビュー）を提供します。これにより、操船者は湾内の様子および船舶周辺様子を瞬時に把握できるようになります。

港湾側では、港湾内の停泊中の船舶やその周辺の安全監視を AI 映像解析により実施することで船員（当直）の負担を軽減します。また、港湾内の着岸管理業務での AI 映像解析は最適化による業務効率化につながるだけでなく、業務負荷の軽減に貢献します。

これらをパッケージ化する事で、ダッシュボードシステムでの一元化システムを実現し、港湾における「安全操船」「船員の負担軽減」「事故の抑制」に対して効果を得ることが可能となります。

(参考)

また中期的には、海運業以外における停泊中の船舶監視としての市場も考えられます。中小規模の漁港などにローカル 5G 基地局を整備し、4K カメラを任意の場所に設置。クラウドで画像や AI 処理を行い、ユーザ（漁船所有者）は自宅の PC やタブレット、スマートフォンから港や船の状況をリアルタイムに確認できるようになります。台風や地震などの自然災害による被害の確認にも目視で行うには、現地へ向かうための時間が必要となる

ことや災害に巻き込まれる危険があります。

漁港から離れた場所から所有する漁船の状況確認を行い、正常であれば港へ向かう必要は無く、前述の危険を回避できます。

8) 課題と対応策（技術面・運用面、対応策、運用に必要なノウハウ等）

普及モデルを展開するにあたっての課題と対応策を以下に示します。

① 技術面の課題と対応策

ローカル 5G を展開するにあたって、下表（表 4.4.2.1-5）のような免許申請、干渉調整などを、ケーブルテレビ事業者のような専門知識を有していない利用者が行うには専門的用語も多いため難易度が高くなります。ケーブルテレビ事業者の多くはローカル 5G および地域 BWA 構築運用実績があり、また、陸上無線技術士や電気通信主任技術者等、無線通信業務を行うにあたり国に対して選任の届出が必要な資格所有者がいます。その為、各地域のケーブルテレビ事業者が全国の港湾におけるローカル 5G 構築・運用のサポートを実施することで対応致します。

表 4.4.2.1-6 技術面の課題と対応策

課題	対応策
免許申請	各地域のケーブルテレビ事業者が全国の港湾におけるローカル 5G 構築・運用のサポート
エリアシミュレーション（干渉調査）	
端末評価	
電波伝搬	
スループット	
遅延測定	

② 運用面の課題と対応策

港湾監視システムを活用するにあたり、現時点で以下のような課題が生じます。また、それらに対する解決策について記載します。なお、詳細については 4.4.3 に記載致します。

表 4.4.2.1-7 運用面の課題と対策

課題	対応策
無線通信区間 <上りトラフィック輻輳>	影響を及ぼさない範囲でのビットレートやフレームサイズの適用
フライングビュー <カメラ設置場所>	一般船では本事象のような設置制限は少ないと想定
フライングビュー <ノイズ対策>	専用のケーブルやシールドを施す等の事前対策
ダッシュボードシステム <映像表示遅延>	ブラウザを使わないダッシュボードアプリケーションの開発など
ダッシュボードシステム <システムの性能向上>	継続的な改善と開発
ダッシュボードシステム <システムへの習熟>	運用者からのヒアリングと柔軟な設計調整
ダッシュボードシステム <AI 解析処理時間>	サーバスペックおよび学習機能の向上
ローカル 5G 受信環境 <船舶の受信アンテナ設置場所>	受信端末の設置場所および台数の検討
ローカル 5G 受信環境 <安定運用>	端末停止時には、外部からの強制再起動等の検討

システム導入運用コスト	クラウド化等による導入・運用費用通減と新サービスによる新たな売上確保
ローカル 5G の海上利用	制度整備検討の判断材料となるデータ提供
船舶へのシステム実装	船舶の状態（新造船又は既設船）による適切な対応

③ 運用に必要なノウハウ

本モデルの提案はケーブルテレビ事業者から港湾関係事業者に対して行いますが、そのためにはケーブルテレビ事業者が本モデル実施のために必要なノウハウ（必要機器、構築・運用方法等）を理解する必要があります。

本コンソーシアム参加の港湾関係者（鳥羽商船高等専門学校、協同海運、東洋信号通信社）の知見をもとに、操船業務および港湾業務に必要なサービス仕様をまとめ、日本ケーブルテレビ連盟が全国ケーブルテレビ事業者に全国説明会、個社説明を実施することでノウハウの展開を図り、導入意向のあるケーブルテレビ事業者においては、本実証実験の成果を参照の上でサービスの導入と運用体制を検討し、地域の港湾管理事業者等に対して導入の提案を行います。

表 4.4.2.1-8 運用に必要なノウハウ（必要機器）

項目	詳細
ローカル 5G 性能	電波発射強度によるエリアカバー範囲や基地局 1 局あたりの通信速度
カメラ性能	利用目的ごとのカメラの種類（4K カメラ、サーマルカメラ、フライングビューカメラ）や解像度、スループット等の性能情報
サーバ仕様	現状で求める性能（AI 解析能力や速度、ダッシュボード映像の解像度や表示遅延）および将来拡張性を想定したサーバーの仕様
塩害対策	一般的な場所と比べ、厳しい環境下での設置となるため長期運用において影響が出ないための対策方法

表 4.4.2.1-9 運用に必要なノウハウ（構築・運用）

項目	詳細
許認可関連	無線局免許、無線従事者選任等のローカル 5G を運用するにあたり許認可や申請が必要となる項目や資格
機器設置 L5G	不要な場所まで電波を到達させない最適なエリアカバーを行うために必要な基地局の設置高さやアンテナ方向。 過剰な設備にならないための必要基地局数。
機器設置 カメラ	利用目的（AI 解析、高精細映像、着岸支援、視認性向上）別の設置場所やカメラ方向、解像度等のパラメータ
船内機器設置	船長及び操船者の業務を妨げない場所へのダッシュボードモニターやネットワーク機器等の設置方法。 防水性や強度を維持した状態でのネットワークケーブル、給電ケーブルの敷設方法
構築スケジュール	気象条件の影響を受けにくいスケジュール。業務に影響を与えないスケジュール。 設計から構築、運用開始に要する期間
不具合対応	停電時や機器故障、伝送路事故などにより機器や光ファイバが停止した場合の復旧手順、または、停止を回避するための冗長構成。 早期復旧のための保守体制や遠隔からの支援体制

4.4.2.2 普及展開方策の検討

1) 横展開の主体

本実証は鳥羽商船高等専門学校にて実施しました。2022年度以降も鳥羽商船高等専門学校では本実証で開発したシステムを継続運用し、品質の向上や追加する機能の検討を進めます。実証終了後ローカル 5G 設備が利用できなくなるため、一旦は代替手段を用いて運用を行います。

2022年度はZTVが主体となり本コンソーシアムメンバーの協同海運、東洋信号通信社支援のもと船舶事業者、港湾管理者に本実証で開発したシステムの紹介やニーズ調査を行います。その結果を基に操船および港湾事業者毎に最適化したシステムの提案を行います。

また、日本ケーブルテレビ連盟にて全国のケーブルテレビ事業者への導入事例やニーズ調査取りまとめなど情報共有を行い、全国での普及展開を図ります。

2) 横展開方法

各事業者の横展開方法は次の通りとなります。

・日本ケーブルテレビ連盟

日本ケーブルテレビ連盟に加盟する正会員オペレータ向けに説明会・個別説明を実施することで本実証モデルの情報展開を実施します。ケーブルテレビ事業者は地域の港湾・船舶会社に普及を働きかけます。日本ケーブルテレビ連盟では2か月に1回程度無線利活用委員会や支部長会を開催しており、そういった機会を利用して本案件の周知、および活用できると思われる省庁の交付金等の予算施策の情報も周知してまいります。(令和4年度は「5G投資促進税制」を周知。今後、国土交通省港湾局関連(「クルーズを安心して楽しめる環境づくりへの取り組み」等)についても周知を検討します。)実際のシステム構成や運用ノウハウ等をケーブルテレビ事業者の目線で説明を行い、多くの事業者が取り組めるよう支援をしてまいります。

・ZTV

2022年度は協同海運、東洋信号通信社と共に三重県内の船舶事業者、港湾管理者に本実証で開発したシステムの紹介やニーズ調査を行います。その結果を基に操船および港湾事業者毎に最適化したシステムの提案を行います。

・協同海運

船舶関連事業者(船会社、荷役業者、代理店業者)をケーブルテレビ事業者に紹介します。

・東洋信号通信社

全国の主要港湾に対し、本実証モデルの普及を個別に働きかけます。港湾管理者からポータルラジオ業務を受託している大規模港湾(約20か所)があります。

3) 5G ソリューション提供センターへの成果物提供

5G ソリューション提供センターへの成果物提供について、港湾内におけるローカル 5G 基地局及び受信端末の最適な設置位置・方法の検討に資する情報を集約し、資

料を提供します。

港湾内は陸上とは利用環境が異なり、基地局や受信端末を設置する位置や設置方法に制限があります。また、海面での電波反射や潮位変動に伴う基地局・受信端末間の実効高の変動などから陸上とは異なる電波伝搬特性を考慮した基地局の置局及び受信端末の設置が必要となります。

しかしながら、港湾内におけるローカル 5G の活用については活用事例があまりなく、最適な場所への基地局の置局、端末の設置に資するための情報が不足しています。

本実証ではシステムの構築や技術実証における電波伝搬特性の把握を通じて港湾内でローカル 5G を活用するための基地局及び受信端末の設置位置・方法の最適化を検討し、標準化を図ります。標準化により、事前設計に関する工数の削減や適正な性能をもった機器の選定が可能となりコストの低廉化及び導入スケジュールの短縮が期待でき、容易な社会実装につながります。

また、本実証で開発する港湾管理支援に向けた AI による画像検知モデルについて、5G ソリューション提供センターを通じた横展開に向けた検討を行います。以下に 5G ソリューション提供センターにおける、システムと体制面で整理した全体像イメージを示します。大きく①横展開性の高いモデル構築、②展開しやすい体制/オペレーションの整備がプラットフォームに必要になると考えます。

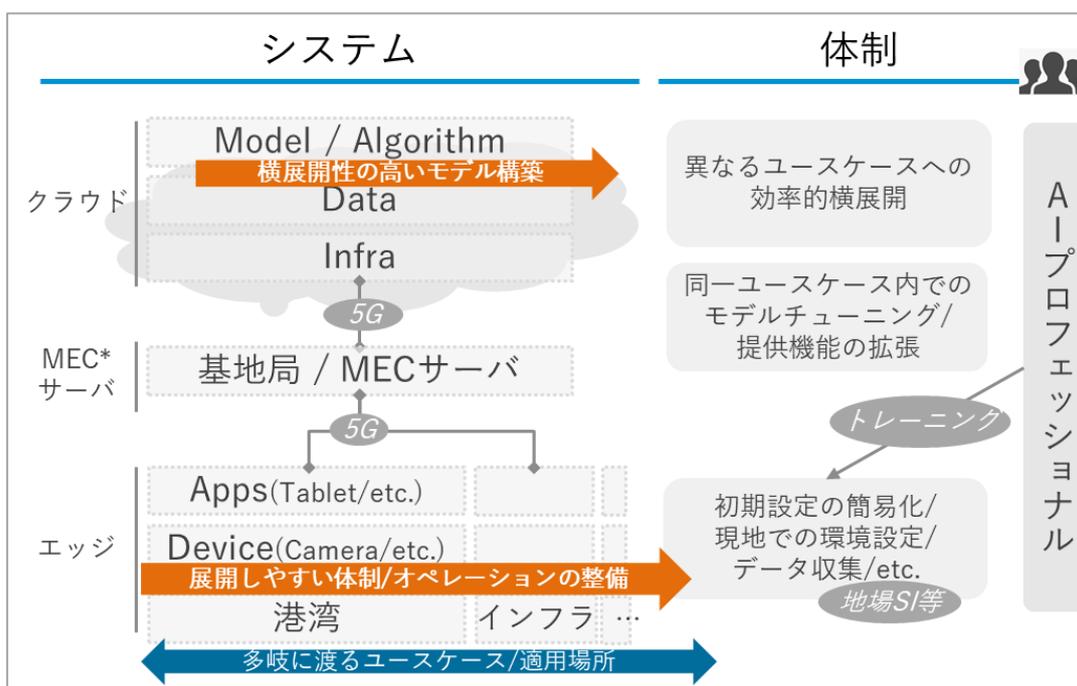


図 4.4.2.2-1 普及展開方策

①横展開性の高いモデル構築について

本検証において、対象港湾それぞれのテーマにおけるデータ取得して AI モデルを開発しますが、設置したカメラ位置や画角、港湾の状態（護岸、レイアウト、船舶種類など）

AI になっているため、港湾ごとに学習データの取得は必要となります。環境の変化はAI による予測結果の精度に大きく影響を与えますが、他港湾へ展開する場合は、展開先の環境が異なることが考えられるため、AI モデルの汎用化が必要になってきます。AI モデルの汎用性向上のために、本取り組みにおいても以下の様な有効と考えられるアプローチを実施します。

- ・ 公開データセットの利用
 - 公開されているフェリーやタンカー等の大型船に関連したデータセットを学習に用いることで、データのバリエーションを増やします。
- ・ CG データの利用
 - 学習データとして、CG で作成した実証フィールドでの停泊・往來が想定される船舶を用います。

特に CG データの利用については、実写画像を忠実に再現した CG 画像を作成することができれば、以下のような利点があると考えます。

- (1) 予め人が予測（アノテーション）するよりも精緻に真の結果を作成できます。
 - 人手でアノテーションをする場合、作業者のミスなどにより画素単位で間違いが生じる可能性があり、モデルの精度悪化に繋がる懸念があります。一方で CG での真の結果の作成においてはこの間違いは起こり得ず、精緻にアノテーションすることが可能となります。
- (2) 予め人が予測（アノテーション）する際に発生する作業コストを削減できます。
 - 人手でアノテーションする場合、実写画像 1 枚あたり 3～10 分程度の時間がかかることが想定されます。画像 1 枚におけるアノテーションの所要時間を 5 分とすれば、1000 枚の画像のアノテーションには 80 時間ほどかかることとなります。一方で CG 画像のアノテーションは自動で行われ、人手でのアノテーションが不要となるため作業コストの削減が期待できます。
- (3) モデルの学習や評価で用いるデータセットの作成のため、現地において実際の船舶の往來を待つ必要がありません。
 - CG なら 2 週間程度でデータセットを作成できます。また、現地において、様々な種類の船舶画像を取得する必要がありませんので、画像データ量の準備にかかる工数を減らすことが可能と考えます。これにより AI 予測を実施するまでの期間短縮にもつながると考えます。

②展開しやすい体制/オペレーションの整備について

共同利用型プラットフォームを通じて他港湾へ展開を行うにあたり、データ整備と環境設定を考慮した効率的横展開が必要になると考えます。横展開の推進にあたっては、AI プ

ロフセッションによる地場 SI や展開先港湾へ AI の特性や利用に向けたトレーニング提供も必要ではないかと考えます。本取り組みでは、展開先においてもスムーズな利用を可能にするために初期設定の簡易化として、マニュアルの整備についても実施します。また、展開に向け、最適な環境設定や保守を行う体制についても検討を行います。

③継続運用するための課題

鳥羽商船高等専門学校では本実証で開発したシステムを継続運用するための課題と、各事業者の役割について、下記に記載する。なお詳細内容等については、4.4.2.1 及び 4.4.4 を参照ください。

表 4.4.2.2-1 継続利用するための課題一覧

機能	課題	解決方法
無線制度	現在の商用免許では海上での固定端末の利用が認められない	無線制度の見直し
無線免許	鳥羽商船高等専門学校において免許の申請や無線従事者の選任が必要	ZTV による支援または業務請負
無線区間のトラフィック	帯域を占有する機器が多数存在することによる輻輳の発生。品質の低下。	機器毎に必要な帯域を特定しバランスの取れた設定を行う。
フライングビュー	期待する受像画面が得られない。船上の他設備のノイズによる映像の乱れ	最適なカメラ設置個所の調査設計
ダッシュボードシステム	表示される映像の遅延	システム設計の見直しおよび設備の増強
AI 解析	精度不足（正確さ、解析に要する時間）	適切な学習および設備の増強
ローカル 5G	受信性能および安定性	アンテナ設置場所の見直し。遠隔での調査復旧対応の確立。

表 4.4.2.2-2 本実証での各事業者の役割

役割	役割詳細	本実証 (鳥羽商船高等専門学校)
事業主体 ユーザ提案、サポート	地域の港湾・船舶会社への提案	ZTV
無線免許	シミュレーション、干渉調整等実施。無線免許申請。無線従事者選任	ZTV
全体 SI	ローカル 5G、ダッシュボード等のシステム全体統合。必要帯域の特定。	シンクレイヤ
ローカル 5G	港湾内で求められるローカル 5G 性能から適切なスペックの機器を提案し構築	日本電気
AI システム	AI システムで使用する機器および解析システムの構築	アラヤ
4K カメラ・ダッシュボード	ダッシュボードシステム構築および必要となる 4K カメラの性能や設置場所の選定	ティーブイエス ネクスト

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

本実証では、港湾内課題解決に向けて、ローカル 5G を活用した安全港湾管理および操船支援モデルの実現に関して検証を行いました。本ダッシュボードシステムと AI 監視の性能要件に対する評価結果を以下に示します。

表 4.4.3-1 ダッシュボードシステムの性能要件に対する評価結果

項目	機能	性能要件		性能評価
伝送スループット	ローカル 5G	最大 UL	64Mbps	▲
		最大 DL	689Mbps	○
許容遅延時間	フライングビュー	湾内航海時	1.0 秒	5 秒
		離着岸時	0.5 秒	5 秒
		係留時	0.5 秒	5 秒
	港からの映像	湾内航海時	1.0 秒	10 秒
		離着岸時	1.0 秒	10 秒
		係留時	1.0 秒	10 秒
	船の位置表示	湾内航海時	1.0 秒	10 秒
		離着岸時	1.0 秒	10 秒
		係留時	1.0 秒	10 秒
	気象情報	湾内航海時	1 分以内	60 秒
		離着岸時	1.0 秒	60 秒
		係留時	1.0 秒	60 秒

表 4.4.3-2 AI 監視の性能要件に対する評価結果

項目	機能	性能要件		性能評価
許容遅延時間	人物検知	離着岸時	3.0 秒	60 秒
		係留時	3.0 秒	60 秒
	船の傾き	湾内航海時	1.0 秒	60 秒
		離着岸時	1.0 秒	60 秒
	ロープテンション	湾内航海時	1.0 秒	60 秒
		離着岸時	1.0 秒	60 秒

表 4.4.3-1 および表 4.4.3-2 の各機能の性能評価結果を踏まえ、以下の視点での課題及び解決策について記載します。

無線通信区間	<上りトラフィック輻輳>
フライングビュー	<カメラ設置場所> <ノイズ対策>
ダッシュボードシステム	<映像表示遅延> <システムの性能向上> <システムへの習熟> <AI 解析処理時間>
ローカル 5G 受信環境	<船舶の受信アンテナ設置場所> <安定運用>
システム導入運用コスト	導入・運用費用低減の検討 本システムを活用した新サービス クラウド型とオンプレミス型のメリット
ローカル 5G の海上利用 船舶へのシステム実装	

- 無線通信区間

<上りトラフィック輻輳>

- ① 課題

本実証では、ローカル 5G(2 基地局)の上り回線を使用して、4K カメラ×5 台、フライングビュー×1 台、サーマルカメラ×2 台の計 8 台のカメラ映像をローカル 5G での伝送を行った際に、帯域を圧迫し映像に影響が及ぶことが確認されました。

- ② 解決策 (解決済み)

カメラ設置事業者 (シンクレイヤ、ティーブイエスネクスト) と調査を行い、ダッシュボードシステムや AI 解析に影響を及ぼさない範囲でのビットレートやフレームサイズの変更を行う事で、無線区間の上り帯域の圧迫は解消され、映像の品質も改善されました。

- ③ 検証項目の精査

商用での導入にあたっては、システムに求められるビットレートやフレームサイズについて、どの程度の帯域を消費するか事前に十分な時間をかけて設計することが重要となります。

また、導入後も最適な品質維持のための確認と調整を行う必要があります。

- フライングビュー

<カメラ設置場所>

- ① 課題

今回使用した船舶は練習船のため商用の船舶と比べ各種レーダーなどカメラ映像の障害となるものが多数あり、カメラの設置場所選定は非常に難しく限られていました。そのため今回設置した場所からは岸壁の接地面を見ることは困難でした。

- ② 解決策 (解決済み)

本実証でフライングビュー映像が船内及び陸 (事務所) での確認が有用である事は確認が来ています。今後提供を行う一般の船舶においては、練習船と比較してカメラ設置場所の確保が困難となることは少ないため、船舶所有者や操船者が希望する俯瞰映像を提供可能です。

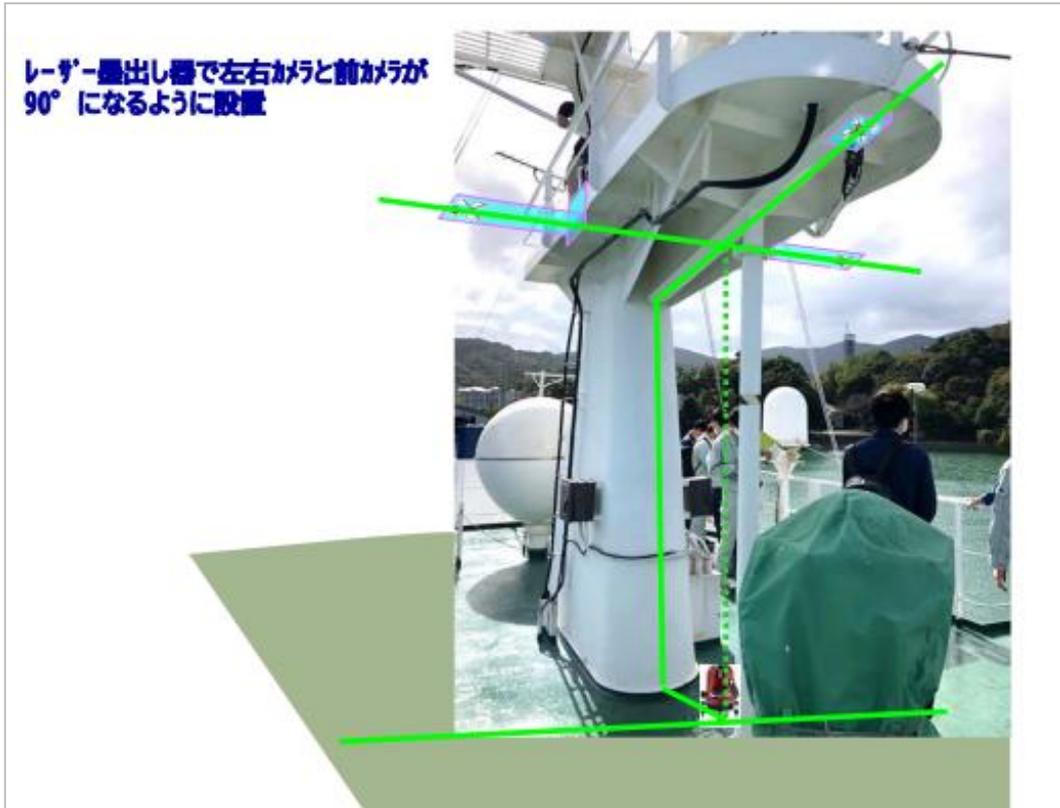


図 4.4.3-1 フライングビューカメラ設置方法案

<ノイズ対策>

① 課題

船舶レーダーのマイクロ波（図 4.4.3-2 赤枠内）がフライングビューのカメラ映像を伝送するケーブルにノイズとして影響を与え、俯瞰合成映像が正常に表示されない事象が発生することが確認されました。（図 4.4.3-3 異常時 赤丸内）

② 解決策

フライングビュー提供事業者（沖電気工業）と調査を行い、本実証ではアルミ箔によってマイクロ波を遮断することにより、事象が改善することを確認できました。このことから、外部電波の遮断効果を高めた専用のケーブルや、ケーブルを覆う電磁波シールドを使用するなどの事前対策を行う事で支障のない運用が可能となります。

商用導入時にカメラ設置場所がマイクロ波の影響を受ける可能性のある場合には専用ケーブルや電磁波シールドによる対策を行います。

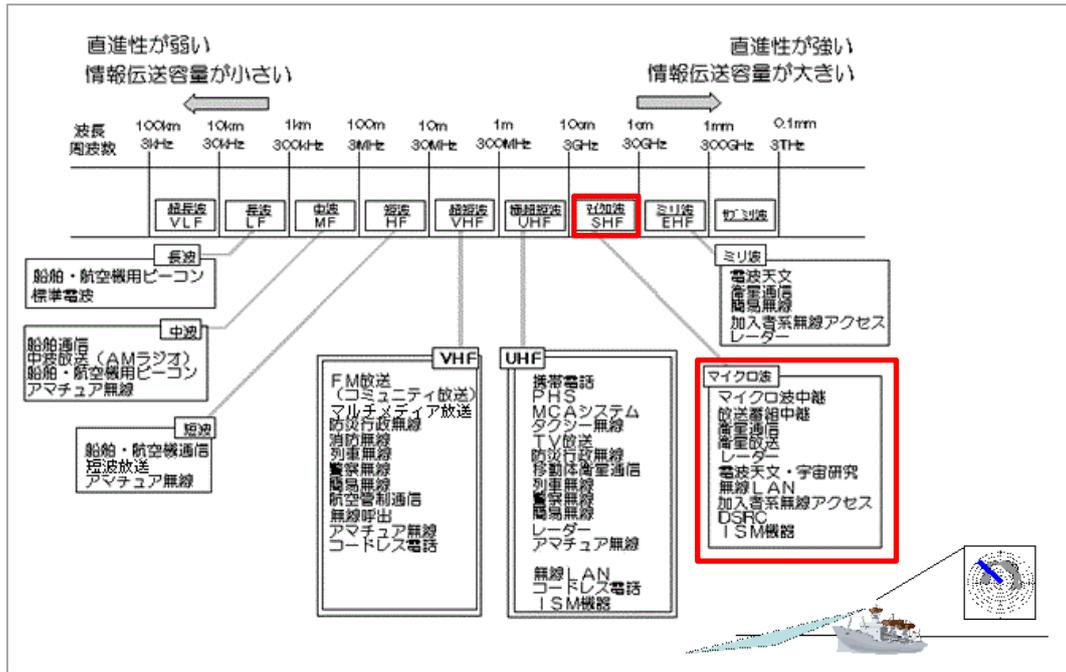


図 4.4.3-2 周波数ごとの主な用途と電波の特長



正常時

異常時 (赤丸部分)

図 4.4.3-3 フライイングビュー画像比較

● ダッシュボードシステム

<映像表示遅延>

① 課題

本実証ではダッシュボードシステムに表示される 4K カメラ映像で 10 秒程度、フライングビューカメラ映像で 5 秒程度映像の遅延が確認されました。

② 解決策

ダッシュボードシステム開発事業者 (ティーブイエスネクスト) より以下の 2 点が遅延発生 の要因であることと、その改善方法について確認しました。本遅延はローカル 5G によるものではないためダッシュボードシステムの改修で改善が可能となります。

- ・ダッシュボードシステム表示用 PC のウェブブラウザ上で H.264 データをデコードすることによる遅延
- ・ビデオ管理システム (VMS) サーバーでダッシュボードシステム表示用 PC のウェブブラウザ配信用のデータをキャッシュすることによる遅延

※VMS サーバーを経由する理由は、

1. 複数のダッシュボード PC からの同時アクセスに耐えられるようにするため
2. カメラに直接アクセスしてしまうと PC 単位でトラフィックが発生し、ローカル 5G の上り帯域の上限から数台の PC しか同時アクセスできないため

このことから「ブラウザを使わないダッシュボードアプリケーション」、「接続デバイス (PC 等) がカメラに直接アクセス」を取り入れることで遅延が改善されます。

実装時には接続するデバイスやカメラの台数、解像度、求める遅延時間等の要件から必要な方法を採用し、最適なシステムの構築を行います。

<システムの性能向上>

① 課題

本実証で検証項目としてあげたものは、操船の安全安心、港湾監視・監理の業務負荷軽減につながるため、全て必要性が高いと考えております。性能向上はそれらのさらなる確実性を高めることを目的としています。本実証では検証期間が限られたため、今回達成できなかった機能についての改善を検討する時間が足りませんでした。

実証終了後に開発や改善を継続するためのリソース (費用) についても手配が必要となります。

② 解決策

達成できなかった項目は、時間をかけることでクリアできるものと、設計の見直しが必要となるものに分けられるため、次年度はコンソーシアムメンバーで検討を行い、必要性の高いものについて精査をすすめます。

必要性の高いものについては継続運用環境において開発や改善を行うための予算の計上を検討します。

<システムへの習熟>

① 課題

操船の安全安心の向上、港湾管理および監視の業務負荷軽減のために本システムの運用に慣れる必要があります。そのためにはユーザインタフェースの改善と業務プロセス変更が発生します。それぞれの課題点は次の通りです。

ユーザインタフェースの改善：全利用者それぞれのスキルに対応できるようなカスタマイズが発生しますので開発に係るコストと期間が多く必要となります。

業務プロセス変更：ベテランから初心者までが使いこなすため一定のレベルまでのスキルの向上とマニュアルが変更されることへの柔軟な対応が求められます。対応できない利用者には労力が増えることとなります。

② 解決策

双方の利点を最大限に活かすためにも導入する港湾事業者から丁寧にヒアリングを行います。また、導入後も柔軟に調整ができるバッファをもった設計を行います。

<AI 解析処理時間>

① 課題

本実証環境の AI 解析は 1 分毎の処理を行っているため、リアルタイムでの検知となっていない。

② 解決策

処理間隔を短くするためには次の方法が有効であることを AI 開発事業者（アラヤ）から回答がありました。

- ・設計を見直し解析方法を改善する
- ・繰り返しの学習により解析精度を向上させる
- ・処理能力の高いサーバーを導入する

③ 検証項目の精査

設計の期間や機械学習の時間を十分に設ける事でリアルタイムでの検知も可能となりますので、実装時にはこの様な時間を設け対応を行います。

サーバーのスペックに関しては、性能が高くなるほど費用/サイズ/消費電力も大きくなるため最適なものを選択できるように十分な時間を設け、選定を行うようにいたします。

● ローカル 5G 受信環境

<船舶の受信アンテナ設置場所>

① 課題

本実証では、ローカル 5G のアンテナの位置の問題で、船舶の向きが【港⇒沖方向】に比べ【沖⇒港方向】では端末の電波受信状況が悪いことが確認できました。船上に設置されているレーダー、煙突等が【沖⇒港方向】では港からのローカル 5G の電波を遮ることになり受信感度が悪くなります。一旦圏外になると復旧するためには電波環境の良い港（基地局設置場所）の近くまで戻る必要がありました。

② 解決策

ローカル 5G 回線が必要となる条件に適した場所にアンテナを設置することや設置台数を複数にすることで安定した受信環境が構築できます。

今後提供を行う一般船舶においては、練習船と比べレーダー等の設置は多くないことから、アンテナ設置場所の確保が困難となることは少なく、船舶所有者や操船者が希望する条件での通信環境で運用が可能です。

次年度の開発実証において引き続き海上を実証フィールドとした取組みを計画します。採択されましたら、船上での適切な設置場所についての検証を行います。

③ 検証項目の精査

アンテナ設置台数の増加はコストに影響します。過剰な設備にならないためには求める通信環境について十分な時間をかけて検討することや運用後も受信状況の調査を行い設置場所の変更を検討するなど柔軟な対応が必要となります。

<安定運用>

① 課題

実証期間中にローカル 5G 基地局配下の全端末への通信が停止し、復旧までに長時間を要することが数回発生しました。

② 解決策

現時点で原因や対策は確定していませんが、本実証ローカル 5G 機器ベンダ（日本電気）が継続的に調査をしており、上記課題については原因の追究と対応策に関して検討をおこなっております。

根本的な解決に向けた対応と並行して、外部からの強制再起動や電源の入れ直しなどによる復旧の方法についてもベンダ、SI（シンクレイヤ）と議論を行い、導入の準備を進めています。

③ 検証項目の精査

原因及び対応策が分かれば実装に向けて対応を行う事で端末の通信停止等の事象を回避する事が出来ます。早期解決に向けベンダとも密に連携を取っています。

● システム導入運用コスト

① 課題

本システムの導入および運用コストは高額となります。特に、財政的に厳しい中小規模港湾においては、本システムのみでは投資に見合うリターンを得ることは難しいため、導入と運用両方の費用面での改善が必要となります。

② 解決策

導入・運用費用の低減および新しいサービスによる売り上げ増によりシステム採用への障壁を下げます。

導入・運用費用低減：クラウド化によりダッシュボードシステムや AI 解析のためのサーバーおよび周辺機器の購入や現地での設置のための調査、システム構築などの初期費用と電源空調などのファシリティ、スケールアップやリプレースなどシステム維持に必要な運用費用を減らすことが可能です。また、ローカル 5G 機器をリースに対応させることで初期費用負担の軽減が図れます。

新サービス：本システムを活用した新サービスを提供します。

・小型船舶向けダッシュボード端末レンタル

中小規模の港湾およびヨットハーバーに停泊中の漁船やプレジャーボートなどの小型船舶に対してローカル 5G を活用した映像や情報提供が受信できる端末を貸出すことで、船舶の大小に関わらず操船に関する港湾全体の船舶位置や気象情報等を得ることが可能となり安全性の向上につながります。港湾関係者は端末の貸出しによる収入を得られます。

・船舶所有者による遠隔からの状況確認サービス

漁船やプレジャーボート所有者向けに自宅の PC やタブレット、スマートフォンから港や船の状況をリアルタイムに確認できるサービスを提供します。

台風や地震などの自然災害による被害の確認を目視で行うには、現地へ向かうための時間が必要となることや災害に巻き込まれる危険があります。港から離れた場所から所有する漁船やボートの状況確認を行い、正常であれば港へ向かう必要は無く、前述の危険を回避できます。

③ 検証項目の精査

クラウド型とオンプレミス型のメリットについて検討しました。

・クラウド

他の港湾とのシステムシェアによる構築運用コストの低減が見込めます。システム性能の増強が必要な時にも対象部分のみスケールアップが可能となり、過大な設備投資が発生しません。しかしながら、一定以上の規模や性能の向上を求める場合にはランニングコストの増加につながりクラウド型のメリットが減ることになります。

・オンプレミス

大規模港湾のため専用に運用したい場合や遅延低減のためサーバーを港湾施設に設置を希望する場合、独自機能を実装したい場合など、クラウド型では他の利用者への影響などから対応が不可となることや、ランニングコストに影響を及ぼすことが想定される項目について柔軟に対応が可能です。

クラウドおよびオンプレミスの良いところを抽出する形で、当初は初期投資を抑えるためにクラウドを採用し、一定の規模までは拡張を行い、規模感や需要増によってオンプレミスでの利用が優れていると判断したときは、移行を提案します。

● ローカル 5G の海上利用

① 課題

本システムの提供場所となる海上は公共の場所のため他者土地利用に該当します。現行のローカル 5G の制度では、他者土地においてローカル 5G 端末の移動局を用いることは認められていません。本実証では海上でのローカル 5G が利用できるよう、実験試験局免許を取得し検証を実施しました。

今後、実装展開を推進するためには、海上でのローカル 5G の他者土地利用が可能となる必要があります。ローカル 5G の柔軟な運用が可能となるよう現行制度の見直しが求められます。

② 解決策

総務省より発表された「デジタル田園都市国家インフラ整備計画」において、2022 年度にローカル 5G の柔軟運用を可能とする制度整備検討が示されました。その中に海上での利用に関する検討項目が含まれています。

本事業の技術実証では、海上の多地点での電波伝搬および通信品質の測定を多数実施しました。机上シミュレーションと実測値の差異や海面状況による電波強度変化など制度整備検討の判断材料として活用いただけるデータを提供いたします。

次年度の開発実証において引き続き海上を実証フィールドとした取組みを計画します。採択となりましたら制度整備検討の判断材料に資する情報の収集と提供を行います。

- 船舶へのシステム実装

- ① 課題

船舶操舵室は操船に必要な設備で多くの場所を占めており、5G アンテナ、カメラ、モニター、ネットワーク機器等の追加設置や配線は、操船業務に影響を与えないことが非常に重要です。

また、船舶は浸水対策の観点から密閉性を高めた構造となるため、デッキや他の部屋からの映像や通信ケーブルの入線についても一般の建造物とは異なり敷設ルートや穴をあける場所についても制限されます。それに伴うコストも増加します。

今回の練習船（鳥羽丸）を始め、導入から時間の経過した船舶については設備改修も多く行われていますが、図面等に反映されていないことも多く、現地調査を行う事でしか状況を把握できない事もありました。

- ② 解決策

本システム導入の対象は新造船と既設船の大きく2つに分けられます。

新造船であれば、当初からシステムの組み込みが可能となるため設置場所や配線の問題を回避できます。船舶の更新サイクルは20年以上と長期間になるためそのタイミングを逃さないよう操船および港湾管理に関わる事業者（協同海運、東洋信号通信社）、ライティングビュー提供事業者（沖電気工業）と連携して、船舶所有者からの情報収集と提案を行います。

既設船については船舶毎に状況が異なるため、都度の調査からシステムの導入が可能かを判断します。この時点で設置に係る凡その費用感を提示し、導入の意思を再確認します。また、船舶のリプレースとは別にIT対応などで船内の改修が行われる可能性もあるため、新造船同様に情報収集を行い、同調してシステムの導入、もしくは、将来的に配線等が容易となるような準備を進めておくことで、コスト面、整備面の問題を回避します。

4.4.4 継続利用の見通し・実装計画

● 実証終了後の継続利用

本実証で構築したダッシュボードシステムでは 4K の高精細カメラ映像による港湾内の情報の提供や AI 解析による異常検知の自動化を実現しました。これらに用いられる高精細カメラ映像のアップリンク伝送は、大量のトラフィックを伝送することが可能なローカル 5G が適しています。また、港湾では諸外国の船舶が行き交うため、セキュアな環境で安定的に送信するためにはローカル 5G が必要となります。

課題解決システムの実証およびローカル 5G の性能技術実証の結果からは、操船支援情報の提供および映像監視による港湾内安全管理を導入することにより、港湾作業に於ける安全性向上の効果が確認できています。

フィールド提供の鳥羽商船高等専門学校では実証終了後も一部機能については運用を継続します。

- ・ダッシュボードシステム
 - ・カメラ（4K カメラ、フライングビュー、サーマルカメラ）
- ※ホテル屋上施設については実証終了後に全ての設備を撤去します。

総務省より発表された「デジタル田園都市国家インフラ整備計画」において、ローカル 5G の柔軟運用を可能とする制度整備検討が示されました。その中に海上での利用に関する検討項目が含まれています。2022 年度中に検討が行われ、次年度に制度の改定が実施されることを前提としまして、2023 年度中のローカル 5G 環境での運用につなげます。

また、次年度の開発実証においても海上を実証フィールドとした取組みを計画し、海上での利用検討に資する情報の収集と提供を行います。

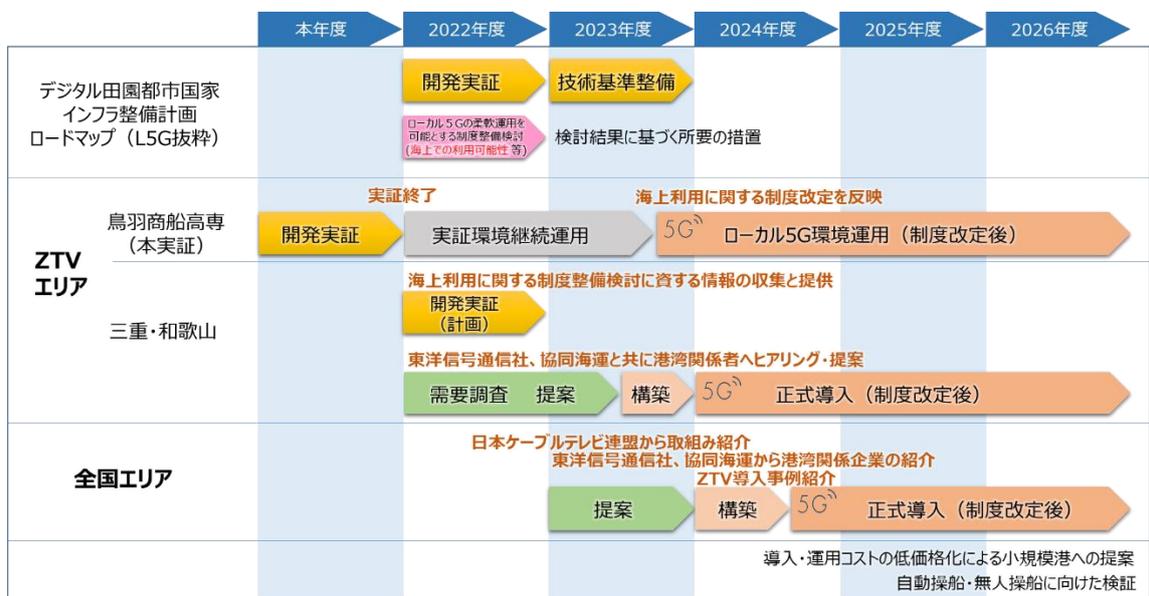


図 4.4.4-1 実証終了後の継続利用に関するロードマップ

● 実装計画での課題点

前章（4.4.3）で本事業の取組みにおいて確認された課題および解決策についての検討を行いました。その解決策のスケジュールについて次の図にまとめました。

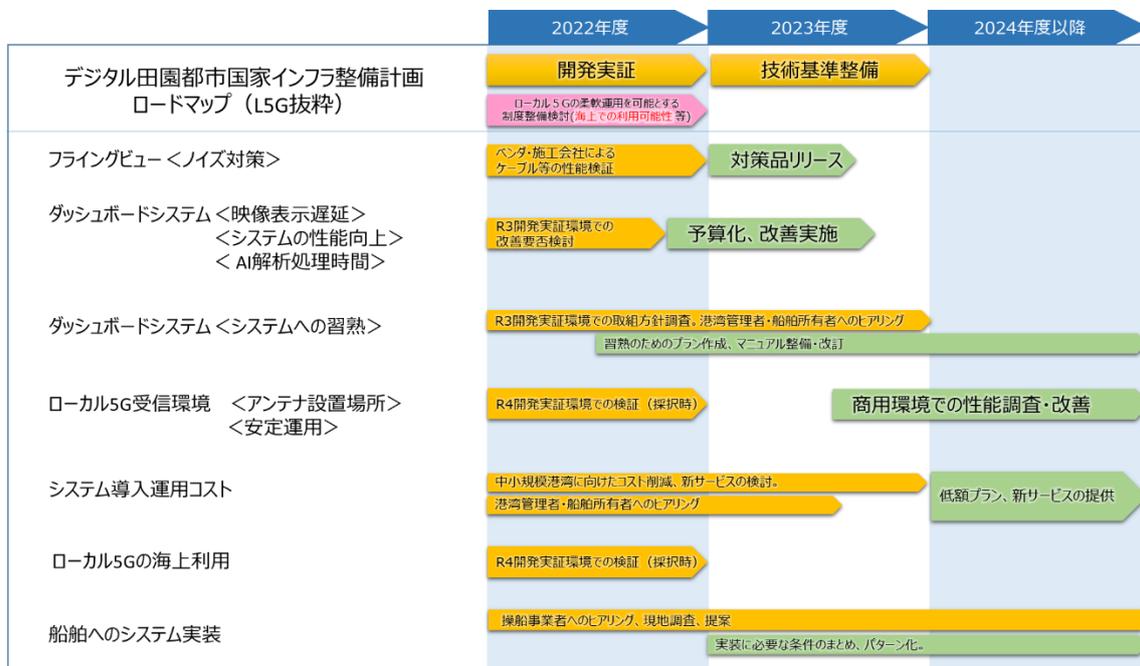


図 4.4.4-2 課題解決スケジュール

● コスト試算

今回の実証は、鳥羽商船高等専門学校の学校設備を使用しての実証ではありましたが、商用で使用される港湾でも今回同様の整備ができることが重要であることを位置付けしています。

なお、港湾の規模等の違いによりシステムの設置場所の再設計が必要となることから、前提として最低限のシステムを構築する場合のコストを試算しました。

表 4.4.4-1 ローカル 5G 導入費用の目安

費用区分	内容		金額	備考	
導入費用	5G システム	基地局 (sub6)	8,000,000 円	1 式	
		端末	1,000,000 円	5 台	
		NW 機器	4,000,000 円	構築費込	
		免許申請	200,000 円		
		構築	4,000,000 円		
		調査、設計、検査等	6,000,000 円		
		ダッシュボードシステム	サーバー	20,000,000 円	開発、デザイン、デバイス最適化、動作テスト
運用費用	5G システム	AI 解析	20,000,000 円	アノテーション、アルゴリズム学習・実装、テスト	
			4K カメラ	1,300,000 円	構築費込 5 台
			サーマルカメラ	3,000,000 円	構築費込 1 台
			フライングビュー	7,500,000 円	構築費込 1 式
			保守	720,000 円/年	
			コア利用料	360,000 円/年	
		SIM 利用料	60,000 円/年	端末 5 台	
		場所代	600,000 円/年		
		電気代	60,000 円/年		
		上位接続回線	180,000 円/年		
	ダッシュボードシステム	保守	500,000 円/年	ハードウェア、ソフトウェア、QA 対応	
	AI 解析	保守	500,000 円/年	ハードウェア、ソフトウェア、QA 対応	
	電波利用料	基地局 (sub6)	5,900 円/年		
		端末	1,850 円/年	5 台	

港湾の規模や現地の状況に伴い基地局や端末及びカメラ等の数量や費用は変化します。予備機、冗長構成の構築については追加の費用が発生します。

● 事業モデル

事業モデルの検討に際して、ビジネスモデルキャンバス（BMC）を用いて事業モデル（図 4.4.4-3）と事業構造（図 4.4.4-4）を検討しました。

パートナー	主要活動	価値提案	顧客との関係	顧客セグメント
<ul style="list-style-type: none"> システムインテグレータ 港湾管理業務受託企業 操船事業者 ローカル 5G ベンダ ダッシュボードシステム開発会社 AI 開発会社 業界団体 5GSC 	<ul style="list-style-type: none"> 無線免許取得もしくは取得支援 ダッシュボードシステムの構築、運用、保守 	<ul style="list-style-type: none"> 操船時の安全安心の向上による事故削減 港湾管理および監視における業務の負荷軽減 	<ul style="list-style-type: none"> 港湾所在地を拠点とする企業 	<ul style="list-style-type: none"> 港湾管理会社 船舶所有企業 <p>（将来的には） 中小規模港湾における漁船、プレジャーボート所有者</p>
コスト構造 <ul style="list-style-type: none"> 導入コスト ランニングコスト 		収益の流れ <ul style="list-style-type: none"> 初期：システム構築 ランニング：運用サポート、保守 		

図 4.4.4-3 事業モデル検討結果

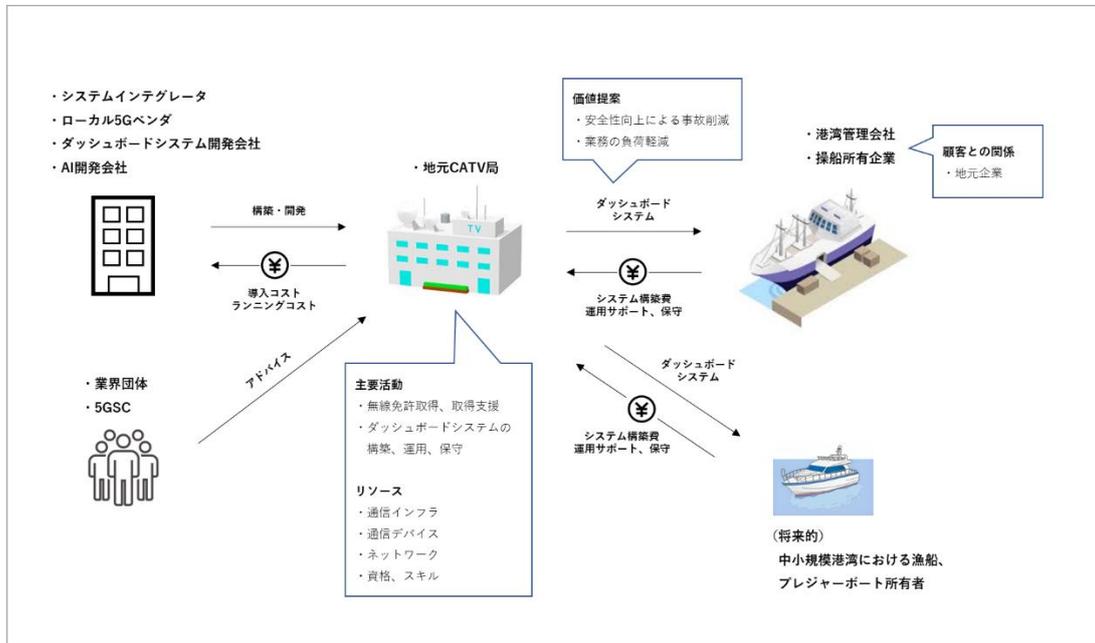


図 4.4.4-4 事業構造

下記に、ビジネスモデルキャンパスの 9 つの要素と本事業における関係性を下記の表 4.4.4-2 に記載致します。

表 4.4.4-2 ビジネスモデルキャンパス要素と本事業の関係性

	項目	要素	本事業
1	価値提案	・港湾関係者の課題の解決し、ニーズを満たすダッシュボードシステム（価値）の提供	・操船時の安全安心の向上による事故削減 ・港湾管理および監視における業務の負荷軽減
2	顧客セグメント	・全国の港湾関係企業への製品（価値）の提供	・港湾管理者 ・船舶所有企業
3	主要活動	・製品（価値）を提供するために CATV 局が主体的に行う活動	・無線免許取得もしくは取得支援 ・ダッシュボードシステムの構築、運用、保守
4	リソース	・本事業を実現するために必要となる物理資産および知的財産など	・通信インフラ（ローカル 5G） ・通信デバイス（受信端末、タブレット等） ・ネットワーク ・資格、スキル
5	パートナー	・本事業を成功させる為に共に活動する事業パートナー	・システムインテグレータ ・港湾管理業務受託企業 ・操船事業者 ・ローカル 5G ベンダ ・ダッシュボードシステム開発会社 ・AI 開発会社 ・業界団体 ・5GSC
6	コスト構造	・本事業を提供、運用するために CATV 局が必要とするコスト	・導入コスト ・ランニングコスト
7	チャンネル	・全国に存在する港湾に対して本事業を提供する窓口となる事業者	・地元 CATV 局
8	収益の流れ	・本事業における収入の流れと内訳	・初期：システム構築 ・ランニング：運用サポート、保守
9	顧客との関係	・本事業の継続的なサービスを提供するための方法	・港湾所在地を拠点とする企業による迅速なサポート対応

本システムを横展開するにあたり、ローカル 5G、AI、ダッシュボードの構築から運用までの仕様を共通化し、下記のような基本構成イメージのパッケージを設計、構築します。定型的な環境に於いては、パッケージを採用することにより個別の開発と比較し短時間で安価にシステムを提供することが可能となります。また、導入後の運用についても負担が軽減されます。

なお、個別開発が必要になった際には、パッケージと個別開発を組み合わせる形で提供を致します。

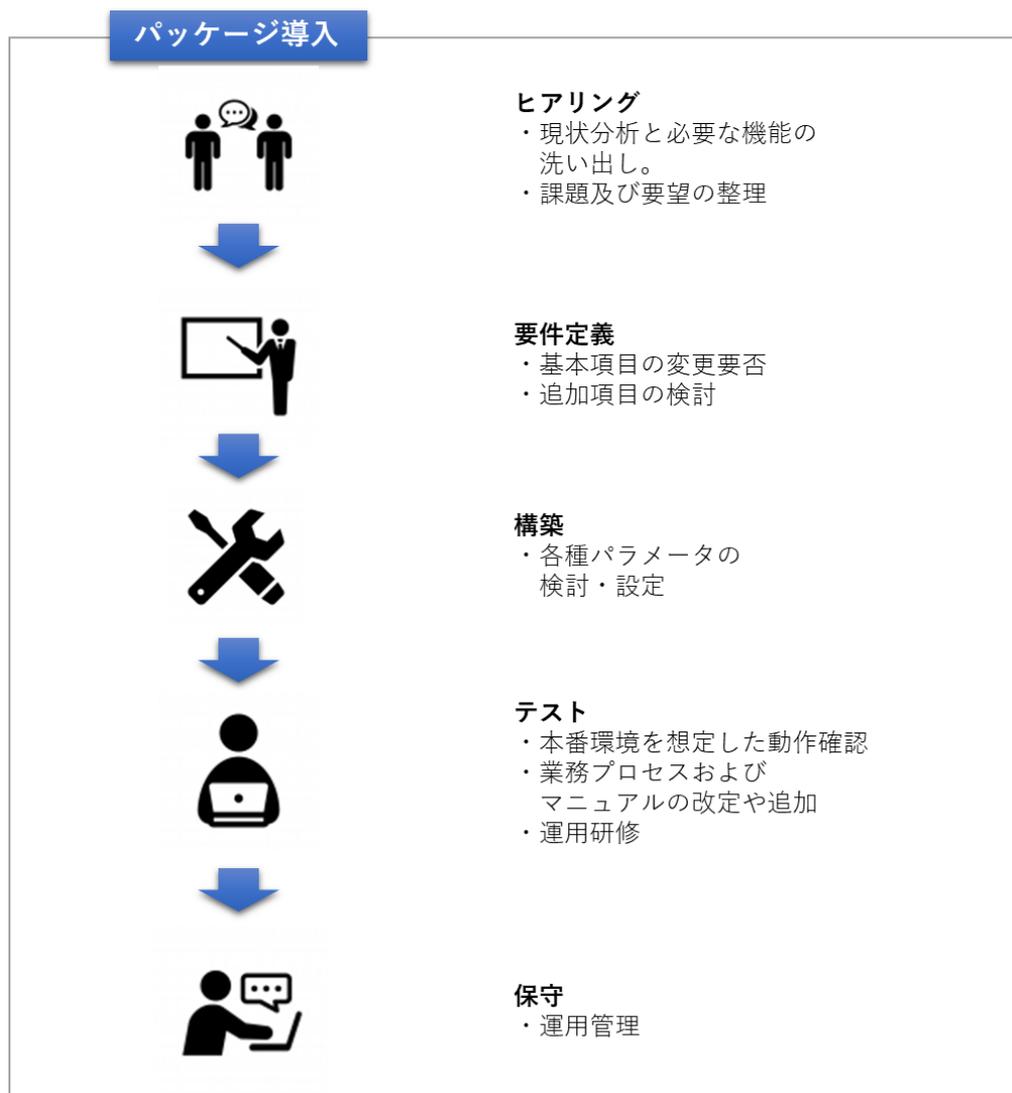


図 4.4.4-5 パッケージイメージ

現システムでは、実証モデルを前提としたダッシュボードシステム導入による費用対効果の分析を実施しました。

本システムの費用対効果の試算結果を以下に示します。

表 4.4.4-2 費用対効果試算

コスト	収益
<ul style="list-style-type: none"> ・導入コスト 約 7,500 万円 ・運用コスト 約 300 万円/年 	<ul style="list-style-type: none"> ・事故削減 ※平成 24 年の 1 隻あたりの損害額：3 億円 (海上保安庁試算)

コストとして、表 4.4.4-1 に記載した構成でダッシュボードシステムの構築および運用を行う場合は導入に 7,500 万円、運用に年間 300 万円の費用が発生すると想定します。

収益については、事故削減による効果のみを算出しました。実証期間中に事故等の事象は起こっていない事から、実際の被害額の算定は行うことはなく、平成 24 年の海難による損害額から 1 隻あたりの被害額である 3 億円を対象としました。ただし、この被害額は大規模港湾に入港する大型船（総トン数 100t 以上）が対象となることから、全ての港湾に対して該当するものではありません。そのため、収益性を上げるためには、大型船が入港する大規模港湾での導入が適していますので、そちらに対しダッシュボードシステムの導入を目指します。

しかしながら、船舶種類別の船舶海難隻数では、プレジャーボートの運航不能及び漁船の衝突割合が最も多くなっています。(図 4.4.4-7、図 4.4.4-8)

その内、衝突（乗揚含む）の割合に関しては、何れも海難全体の 20%を占めています。なお、漁船の衝突に至った原因で最も高い割合を占めたのは見張り不十分による衝突事故が 78%を占めています。(図 4.4.4-9)

また、漁船においては一人乗り操業等も伴い、他の種類の船舶と比較して見張り不十分による衝突割合が高くなっています。船体が大きく洋上でも容易に識別できる貨物船やタンカーなどの大型船舶との衝突も多い中で、自船の位置や針路などを容易に伝えることができる船舶自動識別装置（AIS）を搭載している漁船が少なく、事故防止への対策が十分に図られていません。その理由として、大型船には AIS の搭載が義務づけられていますが、その他船舶についてニーズはあるものの AIS が高価であるため現時点で普及には至っていないのが現状です。(図 4.4.4-10)

プレジャーボートの新艇価格は安価なタイプでも約 1,000 万円からで、衝突などによる破損の修理費は 1 隻あたり一般的に 10～100 万円が必要となることから、船舶は購入及び修理等に高額な費用が必要となります。また、他の船舶との衝突による死亡事故や、定置網や養殖施設への乗揚げなどによる漁業施設損壊の場合には過去に数千万円規模の非常に高額な賠償金が発生したこともあります。

本システムが船舶の運航の安全安心の向上に資する事で前述のような事故発生防止に繋がり、結果的に修理費や損害賠償費用が削減されることで船舶所有者にとって十分な費用対効果を生み出します。

このことから、船舶の位置情報や港湾周辺の様子、気象情報がリアルタイムに確認でき

る本システムの中小規模港湾への導入の意義は高いと考えます。

本システムのコストは、設備のパッケージ化（簡素化）やクラウド等を活用することによりある程度の低減は期待できますが、港湾の規模が小さくなるほど、ローカル 5G 導入のための初期費用を捻出することは難しいと考えます。

初期費用の抑制を目的とした、ローカル 5G 機器のリースによる本システムの提供ができるよう検討を行います。

中小規模の港湾およびヨットハーバーに停泊中の漁船やプレジャーボートなどの小型船舶に対してローカル 5G を活用した映像や情報提供が受信できる端末を貸出すことで、船舶の大小に関わらず操船に関する港湾全体の船舶位置や気象情報等を得ることが可能となり安全性の向上につながります。また、港湾関係者は機器の貸出しによる収入を得ることも可能になると考えます。

次に、漁船やプレジャーボート所有者向けに自宅の PC やタブレット、スマートフォンから港や船の状況をリアルタイムに確認できるサービスを提供します。

台風や地震などの自然災害による被害の確認を目視で行うには、現地へ向かうための時間が必要となることや災害に巻き込まれる危険があります。港から離れた場所から所有する漁船やボートの状況確認を行い、正常であれば港へ向かう必要は無く、前述の危険を回避できます。

以上により、システムの初期投資を抑え、新たなサービスを提供することで中小規模の港湾においても導入を行う事が可能となります。

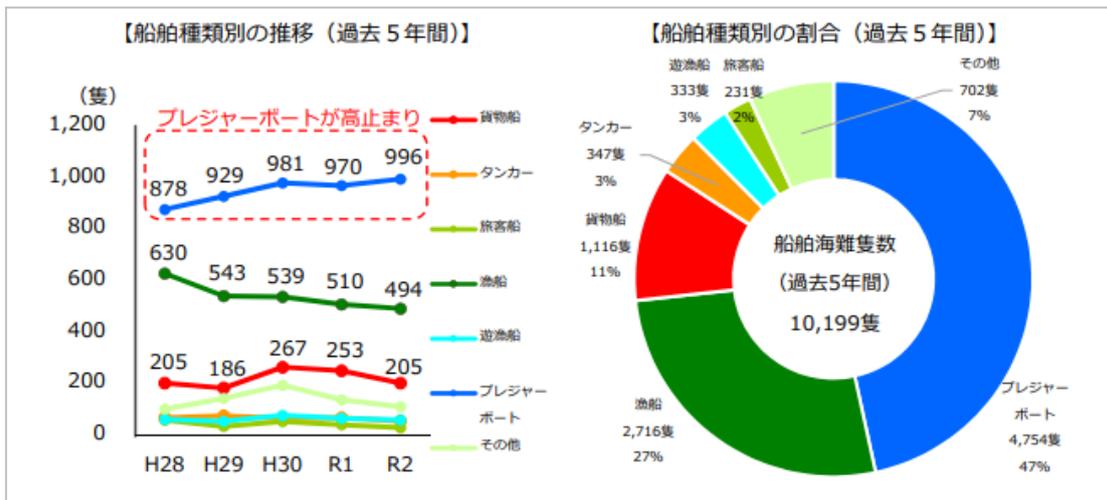


図 4.4.4-6 船舶種類別の船舶海難隻数
 （出典先：海上保安庁 令和2年海難の現状と対策より抜粋）

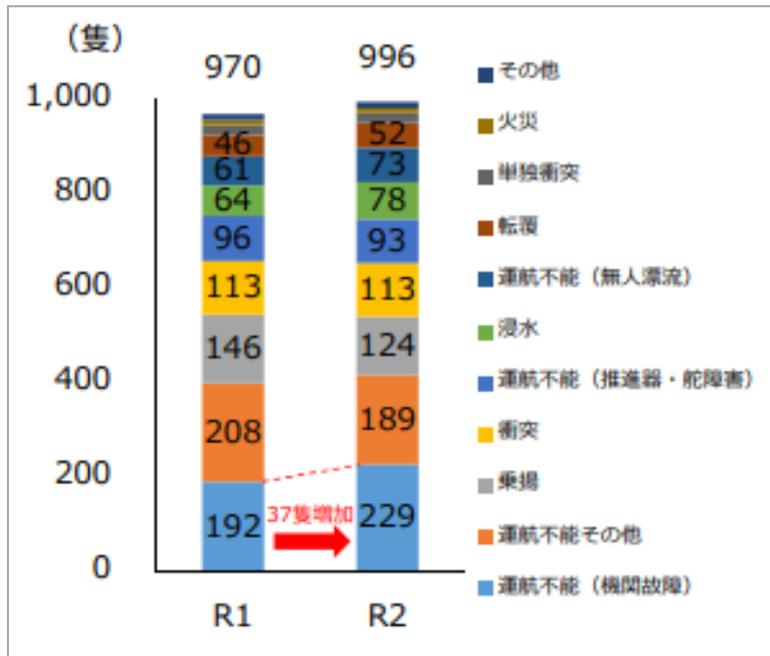


図 4.4.4-7 プレジャーボート海難種類別発生状況
 (出典先：海上保安庁 令和2年海難の現状と対策より抜粋)

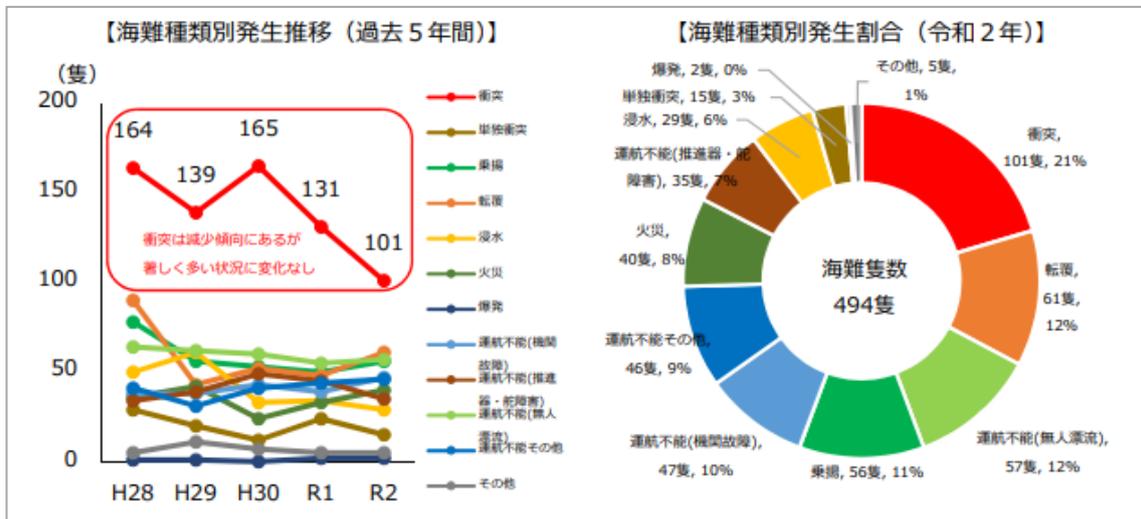


図 4.4.4-8 漁船海難の傾向
 (出典先：海上保安庁 令和2年海難の現状と対策より抜粋)

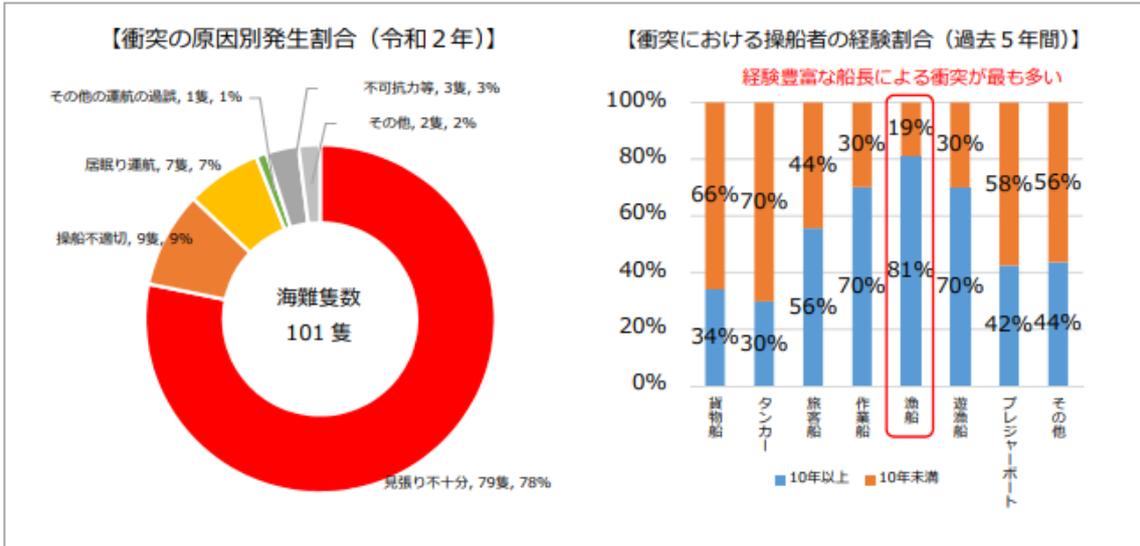


図 4.4.4-9 漁船海難の傾向（衝突）
 出典先：海上保安庁 令和2年海難の現状と対策より抜粋

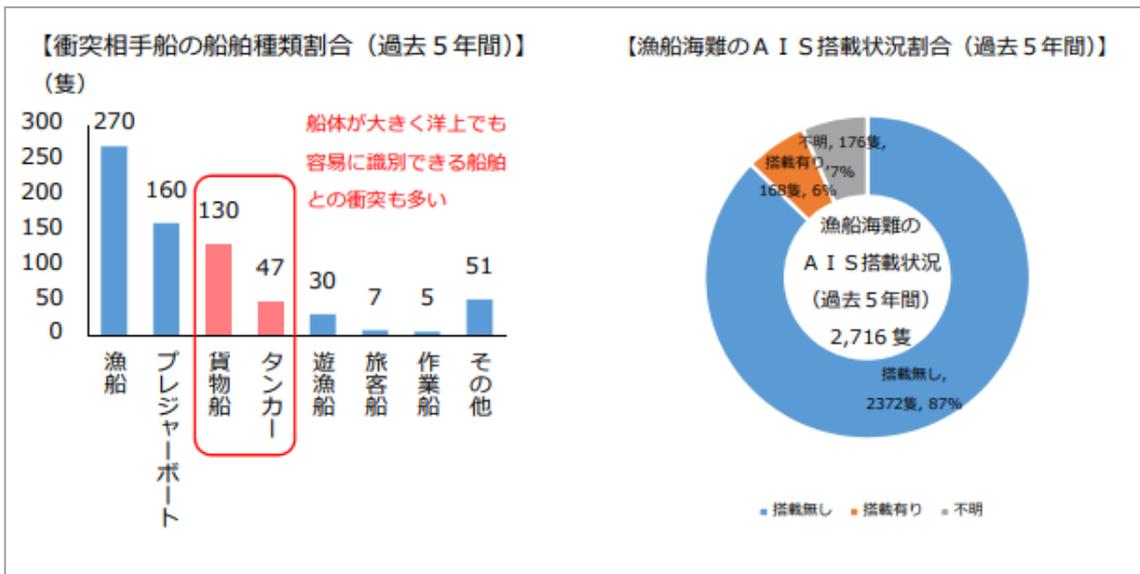


図 4.4.4-10 漁船海難の傾向（衝突）
 出典先：海上保安庁 令和2年海難の現状と対策より抜粋

4.4.5 課題実証における追加提案

本実証で実施する①港湾内航行中の船舶に対する「港湾内映像およびAIによる船舶位置情報(操船支援ダッシュボード)」と「船舶俯瞰映像(フライングビュー)」の提供について、特に照明等の無い海上について、夜間または濃霧等の暗環境ではAI解析が難しい課題があります。暗環境でもAI解析を可能とする実証を追加で提案しました。

サーマルカメラは時間帯、気象状況による影響を受けにくく安定した映像の収集に適しており、将来的な市場展開において必要性は高いと考えます。

しかしながら、サーマルカメラは一般のカメラと比べ非常に高額となるため、必須条件となることで導入へのハードルが高くなることも想定されます。

港湾の規模、照明施設の整備状況、地域性にもよりますが既存設備の活用で解決が図れる可能性もありますので、導入の指標となるよう本実証においてサーマルカメラが必要となる条件を検討しました。

カメラの設置位置は下図のとおりです。

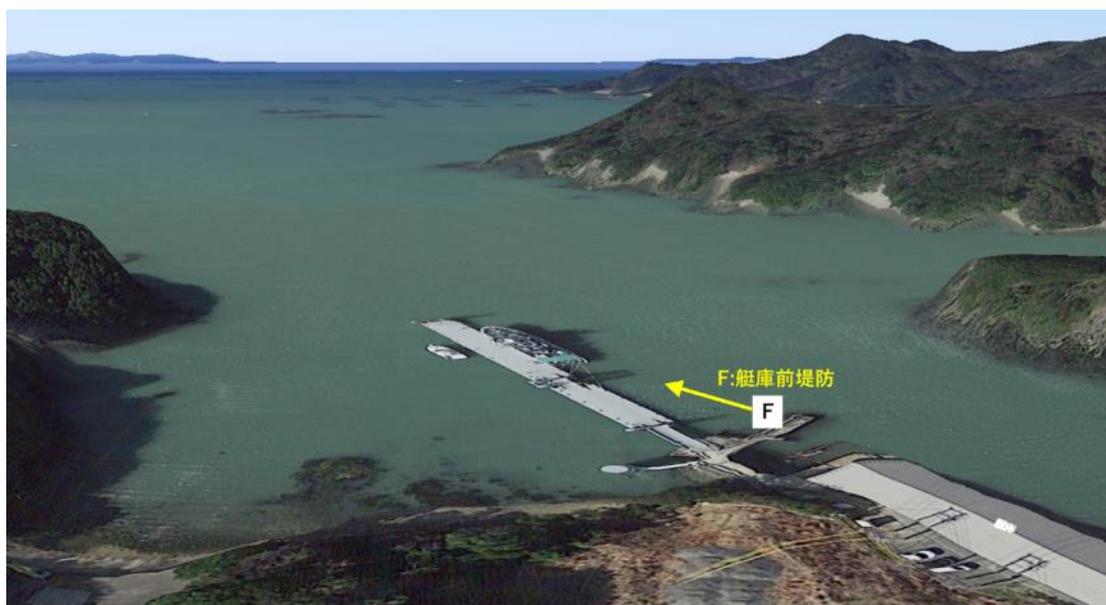


図 4.4.5-1 サーマルカメラ設置位置(栈橋周辺)



図 4.4.5-2 サーマルカメラ設置位置 (栈橋周辺)



図 4.4.5-3 サーマルカメラ設置場所 (ホテル屋上)



図 4.4.5-4 サーマルカメラ設置位置（ホテル屋上）

(1) 評価・検証項目

暗環境におけるサーマルカメラ映像を活用した AI 解析の有用性を確認するために評価実験を行いました。今回の実証環境では、湾内の夜間航行が禁止されているため、航行中の船舶は対象とせず、棧橋に停泊している船舶を対象に AI 解析を行い、サーマルカメラ映像の有用性を評価しました。

(2) 評価・検証方法

可視光カメラ映像とサーマルカメラ映像に対し、それぞれ AI で船舶検出タスクを解き、その検出精度を比較しました。

【評価に活用するデータ】

- ・可視光カメラ映像（船舶あり：60 枚，船舶なし：60 枚*，図 4.4.5-5(a)(b)）
 - * ただし、船舶なし映像は実データからの取得が難しいため、合成データを利用しました。
- ・サーマルカメラ映像（船舶あり：60 枚，船舶なし：60 枚，図 4.4.5-5(c)(d)）

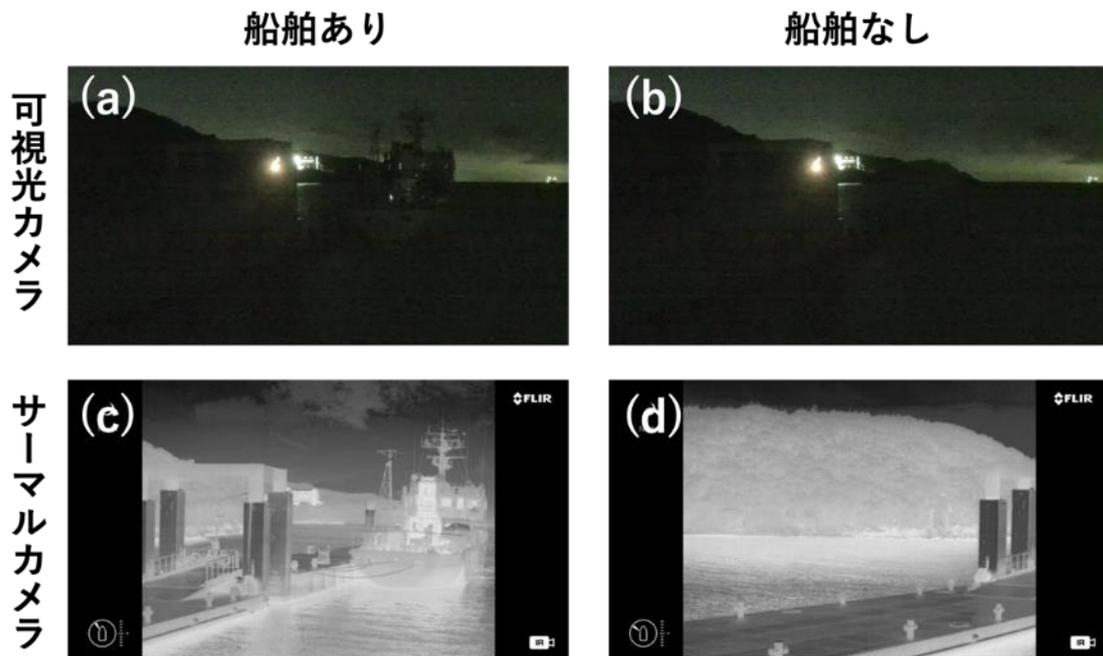


図 4.4.5-5: 評価実験に活用したデータ。

- (a) : 可視光カメラの船舶あり映像
- (b) : 船舶なし映像
- (c) : サーマルカメラの船舶あり映像
- (d) : 船舶なし映像

【評価項目】

船舶検出タスクの精度を以下の項目を評価します。

- ・ 正解率 (Accuracy)
- ・ 適合率 (Precision)
- ・ 再現率 (Recall)
- ・ 調和平均 (F1)

(3) 実証結果及び考察

可視光カメラ映像およびサーマルカメラ映像を活用した船舶検出タスクの精度を表 4.4.5-1 に示します。ただし、可視光カメラにおいて、AI の船舶あり判定は 0 件であったため、適合率と調和平均は計算できませんでした。

また、可視光カメラ映像およびサーマルカメラ映像に対し、船舶検出を実施した結果の一部を図 4.4.5-6 に示します。

表 4.4.5-1 可視光カメラおよびサーマルカメラに対する船舶検出の評価結果

	可視光カメラ	サーマルカメラ
正解率 (Accuracy)	50.0%	90.0%
適合率 (Precision)	計測不可	100.0%
再現率 (Recall)	0.0%	80.0%
調和平均 (F1)	計測不可	88.9%

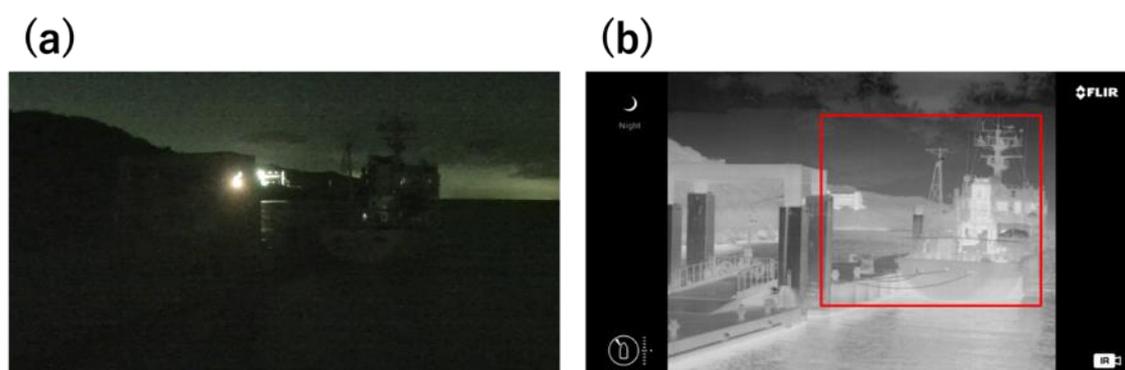


図 4.4.5-6

可視光カメラ映像 (a) およびサーマルカメラ映像 (b) に対する船舶検出結果を可視化した画像

いずれも画像内に船舶が写っていますが、サーマルカメラ映像のみ船舶が正しく検出され赤枠で可視化されています。

以上の結果より、船舶検出タスクの正解率(Accuracy) は、サーマルカメラ映像の場合 90.0%であるのに対し、可視光カメラ映像の場合は 50.0%と大きく正解率が下がることが確認できました。また、船舶検出の結果を可視化した画像(図 4.4.5-6)を確認すると、サーマルカメラ映像の場合は船舶が正しく検出できているのに対し、可視光カメラ映像の場合は船舶が検出できていないことが確認できました。なお、照明等を設置することで、可視光カメラでも夜間の船舶の検出が可能となると考えますが、降雨時や濃霧、降雪時などでは視界不良となります。また、費用対効果を検討した結果、可視光カメラ数十万円に対して、サーマルカメラが数百万円と機器の価格差を考えると非常に高額であることが確認で

きます。しかしながら、表 4.2-1（事故による被害額）で提示したように、船舶の事故被害はカメラの価格差以上に高額となることから、事故抑制の面からも費用対効果は有るものと判断致します。



図 4.4.5-7 夜間降雨時のカメラ映像（可視光カメラ）



図 4.4.5-8 夜間降雨時のカメラ映像（サーマルカメラ）

これらの結果より、夜間に港湾内の船舶の着岸や位置推定などの船舶検出をベースとした AI 監視を行う場合は、暗環境且つ天候不良でも比較的明るい映像を取得できるサーマルカメラのような機器が必要である可能性が示唆されました。

今回の実証環境は夜間航行が禁止されているため、カメラから比較的近距离に位置する、画像内に大きく映る船舶を対象に実験を行いました。一方で、夜間航行が行われる環境では、今回の実験で対象とした船舶より遠くに位置する、画像内により小さく映る船舶も検出する必要があると考えられます。しかし、一般に販売されているサーマルカメラの多くは、解像度が低く、画像内に小さく映る船舶を検出することが難しい可能性があります。より正確にサーマルカメラの港湾監視支援に対する有効性を確認するために、このような環境下でも同様の実験を行うことが必要であり今後の課題です。

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作への協力

本実証コンソーシアムは、三菱総合研究所がローカル 5G の普及の観点から行う本開発事業に関する映像制作に関して、三菱総合研究所の指示に従い、実証映像の素材提供や関係者へのインタビューの撮影等に協力を行いました。

5.2 実証視察会の実施

本実証コンソーシアムは、ローカル 5G の導入に関心のある企業や、地方公共団体、関係省庁等に対する普及啓発の一環として、オンラインでの実証視察会を 3 月 18 日に実施しました。

資料、報告書については、別途提出いたします。

5.3 その他普及啓発活動

本実証コンソーシアムは、実証成果のその他普及啓発活動(テレビ・新聞・WEB 記事等におけるインタビュー対応、学会参加、イベント開催等)に積極的に取り組みました。

実施結果については次の通りです。

- ・ 9/1 ZTV : HP プレスリリース
- ・ 9/13 海事プレス : 記事掲載 (ZTV プレスリリースを参照に作成)
- ・ 9/14 シンクレイヤ : HP プレスリリース
- ・ 9/24 cba ニュース (通信事業者向け専門誌) : 記事掲載 (シンクレイヤプレスリリースを参照して作成)
- ・ 9/30 ZTV : 東海地域デジタル化推進フォーラム勉強会内で取組み紹介
- ・ 10/21 住友商事 (地域ワイヤレスジャパン) : CEATEC2021 ONLINE 「ローカル 5G 普及推進ワークショップ 2021」内で取組み紹介
- ・ 11/24 ZTV : CRI オンラインセミナーにて開発実証取組み紹介

6. 実施体制

6.1 コンソーシアム構成・コンソーシアム内の役割

図 6.1-1 の実証体制図に記載の通り、産官学連携の上で実証実験を実施しました。鳥羽商船高等専門学校教授をはじめとして、官庁、民間各社の実務者より専門家としてのアドバイスを受つつ、分野別課題実証調整事業者と協力し、実証の成果を高める工夫をします。また、図 6.1-3 の契約関係図に記載の通り、ZTV より各社に無線環境・操船支援情報システムの構築を委託することで、実証環境を整備しました。また、週 1 回程度、コンソーシアム内で各社の担当事項のスケジュール予実、コスト予実、リスク報告、承認依頼事項等の情報共有を行う場を設け、実証手段や内容、結果についての協議を通じて、実証の成果を高めました。

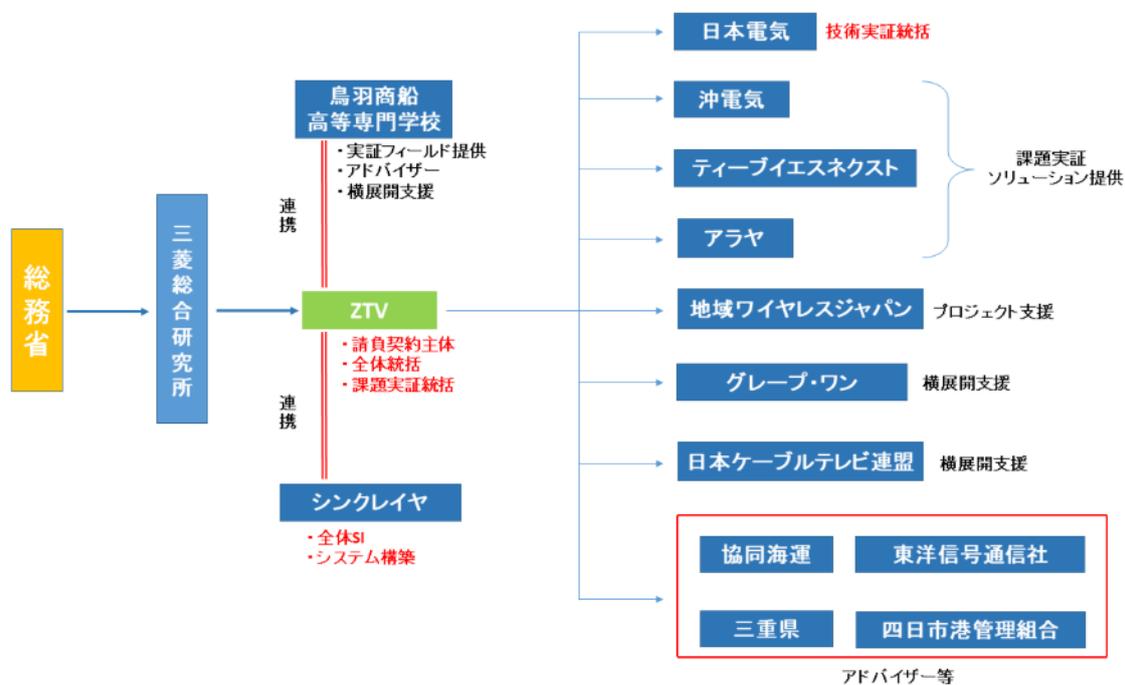


図 6.1-1 実証体制図

本実証プロジェクトにおいて、図 6.1-2 に記載の通り、課題実証・技術実証それぞれに責任者を選任の上、各実証を統括する総合プロジェクトマネジメントとして、ZTV より責任者を擁立します。コンソーシアム内各担当者については、下図に記載の通りです。

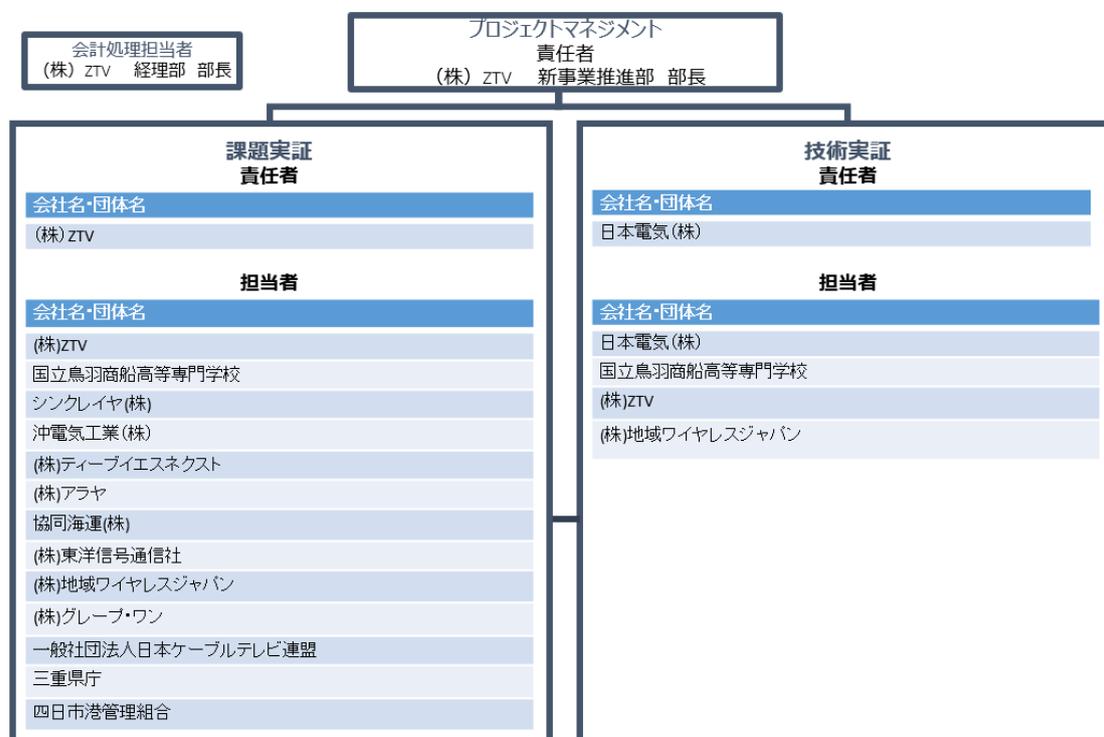


図 6.1-2 コンソーシアム内体制図

※プロジェクトマネージャー

本実証コンソーシアムの代表機関である株式会社 ZTV において、プロジェクトの進捗管理等の経験豊富かつ能力を有するプロジェクトマネージャーを設置しました。プロジェクトマネージャーは、事業の進捗管理等、事業を統括するとともに、三菱総合研究所並びに総務省の求めに応じて事業の内容の説明等を行う責任を持ちます。

※課題実証担当者

本実証コンソーシアムにおける課題実証の遂行を担当する課題実証担当者を設置しました。課題実証担当者は、課題実証に必要な実証環境構築の機器手配、実証場所の選定と調整、課題実証の遂行、自治体との連携等を行う責任を持ちます。

※技術実証担当者

三菱総合研究所との間でローカル 5G の電波伝搬特性等に関する技術的検討に関する連絡を担当する技術実証担当者を設置しました。技術実証担当者は、三菱総合研究所並びに総務省の求めに応じて当該検討の内容の説明等を行う責任を持ちます。

※会計処理担当者

事業の遂行における支出を適切に管理可能な体制を確保するため、会計処理担当者を設置しました。会計処理担当者は、本実証コンソーシアム内の全ての支出経費に関連した証書等の整理・とりまとめの責任を持ちます。

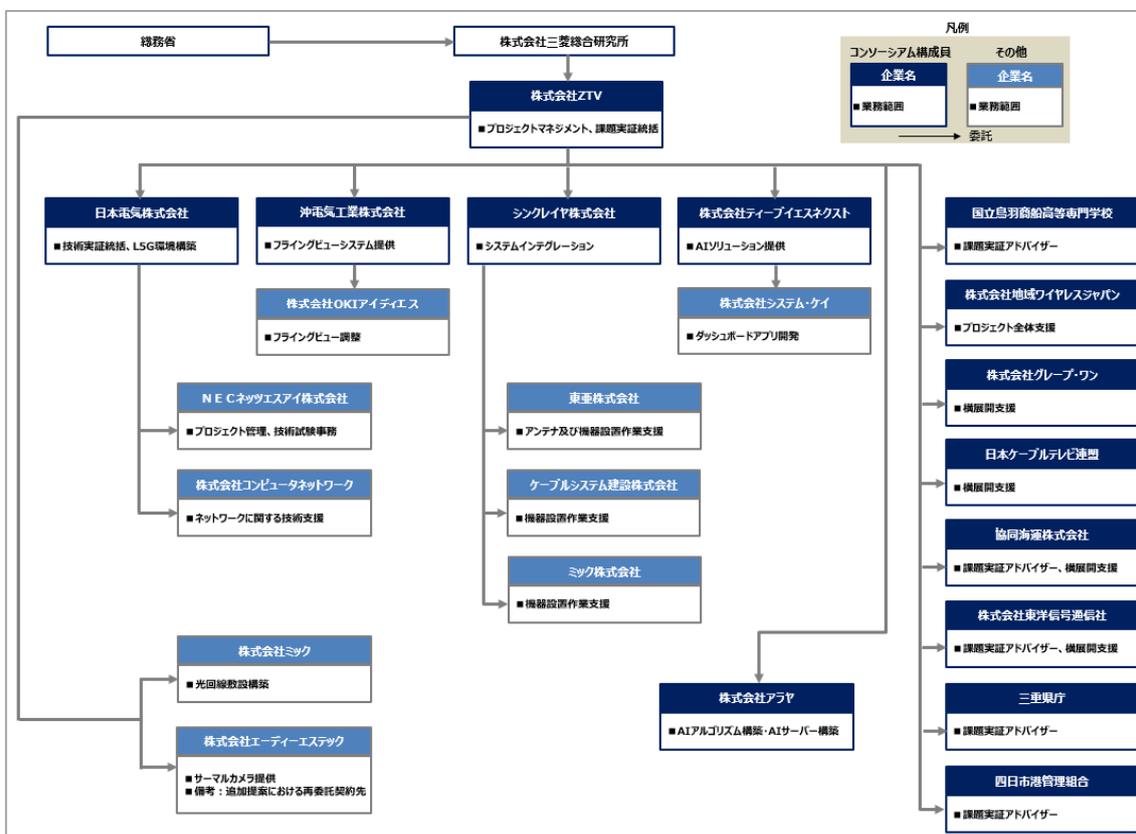


図 6.1-3 契約関係図

各社報告内容として、各社担当事項(下表)のスケジュール予実・コスト予実・リスク報告・承認依頼事項等を想定しており、毎週木曜日に定例会を実施しました。

表 7.1-1 コンソーシアムにおける役割

会社・組織名	役割
ZTV	全体統括管理、MRI窓口、全体設計 ※課題実証主体
鳥羽商船高等専門学校	実証フィールド提供、船舶側アドバイザー、横展開支援
シンクレイヤ	全体SI、システム構築
日本電気	技術実証統括、ローカル5G環境構築 ※技術実証主体
沖電気	フライングビューシステム環境構築
ティーブイエスネクスト	ダッシュボード、4Kカメラ環境構築・設置
アラヤ	AI解析等ソリューション提供
地域ワイヤレスジャパン	全体支援
グループ・ワン	横展開支援
日本ケーブルテレビ連盟	横展開支援
協同海運	船舶側アドバイザー、横展開支援
東洋信号通信社	港湾側アドバイザー、横展開支援
三重県	港湾側アドバイザー
四日市港管理組合	港湾側アドバイザー、横展開支援

6.2 情報保全体制

本契約の履行に際し知り得た情報の保護及び開発実証事業の確実かつ健全な遂行のため、三菱総合研究所又は総務省が必要かつ相当と考える履行体制を整えました。本実証における履行体制には、以下の事項が含まれます。

・実証コンソーシアムは、契約を履行する業務に従事する法人・個人（以下「業務従事者」という。）として、本件業務を実施するにあたって必要な経験、資格、業績等を有する者を確保します。

・業務従事者は、履行に必要若しくは有用な、又は背景となる経歴、知見、語学（母語及び外国語能力）、文化的背景（国籍等）を有します。

・実証コンソーシアムは、本契約の履行に際し知り得た保護すべき情報（契約を履行する一環として実証コンソーシアムが収集、整理、作成等した情報であって、三菱総合研究所が保護を要しないと確認したものを除く。）その他の非公知の情報（三菱総合研究所から提供した情報を含む。以下「保護すべき情報等」という。）について、適切に管理します。

・実証コンソーシアムは、保護すべき情報等の取扱いについては、次の履行体制を確保し、これを変更した場合には、遅滞なく三菱総合研究所に通知します。

- 1.三菱総合研究所が保護を要しないと確認するまでは保護すべき情報として取り扱う履行体制
- 2.三菱総合研究所の同意を得て指定した取扱者以外の者に取扱わせない履行体制
- 3.三菱総合研究所が許可した場合を除き、実証コンソーシアムを構成する団体や企業（以下「実証コンソーシアム構成員」という。）に係る親会社や実証コンソーシアム構成員に対して指導、監督、業務支援、助言、監査等を行う者を含む一切の実証コンソーシアム構成員以外の者に対して伝達又は漏えいさせない履行体制

・実証コンソーシアムは、契約の履行中、履行後を問わず情報の漏えい等の事故や疑い、将来的な懸念の指摘があったときは、直ちに必要な措置等を講ずるとともに三菱総合研究所に報告します。また、三菱総合研究所から求められた場合は、情報の管理の履行状況等を報告するとともに、三菱総合研究所による調査が行われる場合は、これに協力します。

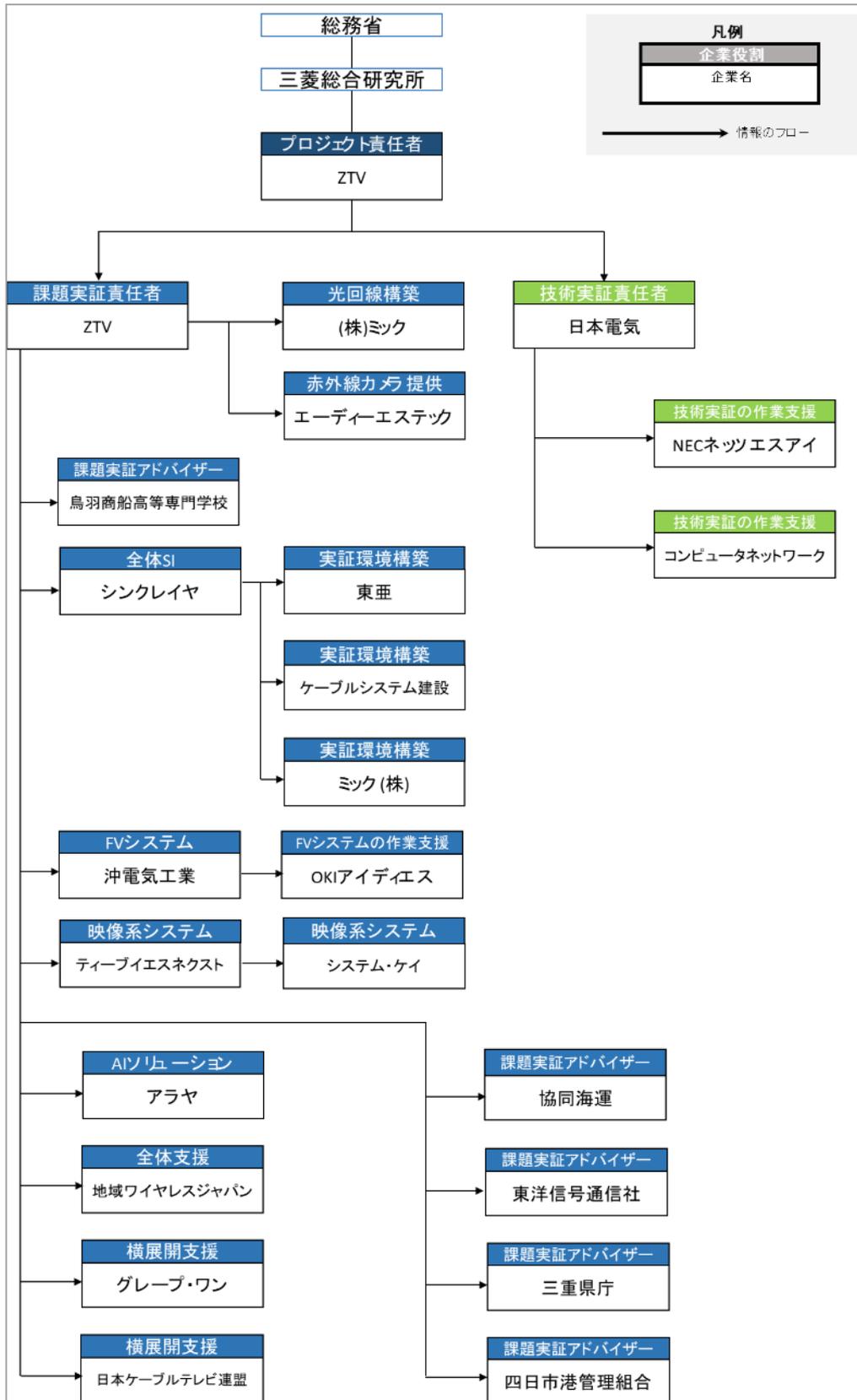


図 6.2 情報保全の履行体制図

6.3 コンソーシアム参加企業一覧

6.3.1 株式会社 ZTV(提案者)

会社概要	
社名	株式会社 ZTV
本社所在地	三重県津市あかつ台四丁目 7 番地 1
設立	1990 年 10 月 1 日
従業員数	364 名(2021 年 6 月 1 日現在)
事業内容	1. 放送事業 有線テレビジョン放送、コミュニティチャンネル放送、行政放送、放送番組・録音・録画物の製作販売、広告代理店業務 2. 通信事業 法人・行政機関へのネットワーク回線やインターネット接続回線の提供、データセンターサービスの提供、無線サービスの提供 3. 建設事業 電気工事業、電気通信工事業 4. 不動産事業 5. 山林事業 6. 太陽光発電事業
代表者	代表取締役社長 田村 欣也

■ 地域 BWA 関連の実績

「地域 BWA を活用した防災情報伝達手段の高度化」(2017 年 6 月～2018 年 3 月末)
 (参照: http://www.chiiki-wimax.jp/images/upload/20171120095136_01.pdf)

[事業概要]

消防庁が実施する「戸別受信機等の情報伝達手段に係る実証事業」を三重県御浜町で実施する。防災行政無線の放送内容を、音声および文字情報で 150 台のタブレットに即時配信する。併せて該当する地域 BWA 基地局に非常用電源を設置し、停電時に於いても情報伝達が可能な状態にする。また、情報伝達だけでなく自治体職員間および防災組織や福祉事業者との双方向通信が可能な機能も実装し、災害発生時の連絡手段として運用する。

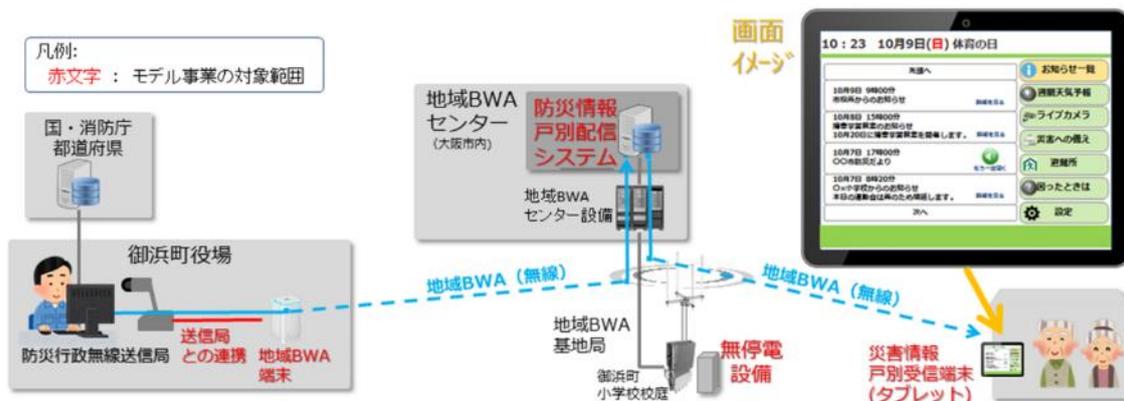


図 7.3.1 戸別受信機等の情報伝達手段に係る実証事業概要

[導入の背景(地域の課題)]

三重県御浜町は熊野灘を望む紀伊半島先端部に位置し、台風での被害が多く、また東南海地震の津波被害も想定される自治体であり防災への意識が非常に高い。防災行政無線のデジタル化を昨年完了し、デジタル戸別受信機とテレビを利用する IP-BOX を配布しているが、それぞれ「音声でしか伝達できない」「停電時に利用できない」という弱点があった。このため、地域 BWA と市販の汎用タブレットを利用したシステムによって、それぞれの弱点を克服することを検討し、消防庁の高度化事業で実現することとなった。

[システム・端末・サービスの概要]

- ・防災情報の戸別配信システムを新規に開発し、既存の防災行政無線送信システムおよび J-Alert 装置より入手した情報をタブレット 150 台に対して同時配信する。
- ・配信は音声(即時および履歴からの呼び出し)および文字情報で行なう。5ヶ国語(日・英・中2種・韓)に対応し、文字情報と音声を翻訳する。
- ・職員間および防災組織や福祉施設との情報共有のためにテキストでのオンラインチャット機能も実装した。
- ・配信には地域 BWA 閉域回線を使用し、端末を外部の攻撃から遮断する。
- ・タブレット端末は 10 インチの汎用品を採用し、コスト低減に努めた。
- ・システムはユミルリンク株式会社(阪神電気鉄道子会社)、閉域網は阪神ケーブルエンジニアリング株式会社で準備し、3社共同の形でサービスの提供を実現した。

[地域 BWA を活用した理由、メリット]

地域 BWA では閉域網を構築することが可能であり、これにより端末を外部の攻撃から遮断することができる。

また、独自施設であるため、自家発電施設の追加も比較的容易である。

■ ローカル 5G 関連の実績

「4K 映像のリアルタイム伝送や IoT などにローカル 5G を活用」(参照:月刊ニューメディア 2021 年 2 月号 通巻 457 号 p40)

[積雪期の路面状況を 4K 撮影しコミュニティチャンネルで放送]

ZTV は 2020 年 10 月 29 日、東海総合通信局と近畿総合通信局から商用のローカル 5G 用無線局免許(ミリ波帯)を付与された。エリア内の関西地区は、ケーブルテレビ以外の業界も含めて関西で初めての免許付与となった。ZTV はローカル 5G の基地局を 3 つの用途で設置する。第 1 はケーブルテレビのコミュニティチャンネル番組用の幹線道路を 4K 撮影した映像の伝送、第 2 は一般住民向けのローカル 5G 体験スペース用、第 3 は集合住宅への FWA 用だ。

第 1 の用途の 4K 映像伝送用の基地局は、滋賀県米原市に設置。米原市は豪雪地帯で、降雪が冬季の交通に与える影響は大きい。そのため長浜方面に向かう幹線道路に 4K の高精細情報カメラを設置し、道路の状況を撮影。映像をローカル 5G でリアルタイムで伝送させる。「4K カメラの映像信号は 5G 端末から 5G 基地局に伝送し、弊社の彦根の局舎を

経由して東京の業界統一コアに送ります。コアから同じルートで弊社の局舎に折り返してきた信号を自主放送設備からコミュニティチャンネルの番組として放送します。番組は4分割画面に各地点の道路を撮影した4Kカメラ映像を映すというイメージです(図1)」(株式会社ZTV 新事業推進部 兼 秘書室 部長)。ケーブルテレビの視聴者は、通勤で利用する幹線道路面の状況を鮮明な4K映像によって自宅から確認できる。ミリ波帯ローカル5Gの基地局には、アンカーバンドの地域BWAの基地局も必要となるため併設した。4Kカメラは長浜市内などにも設置する予定だ。

第2の用途のローカル5G体験スペースは、三重県津市の文化芸術創造拠点「津市久居アルスプラザ」に開設された施設で、住民はローカル5Gのサービスを実際に体感できる。体験スペース内にローカル5G基地局を設置し、施設内の端末で5Gを体験できるようにする。

第3の用途のFWA用基地局からは、長浜市の集合住宅に実証実験も兼ねたFWAの接続サービスを提供する。ただし、株式会社ZTV代表取締役社長で日本ケーブルテレビ連盟で5G施策を主導する無線利活用委員長を務めている田村欣也氏は、FWA用途ではミリ波帯より電波が障害物を回り混むことができるSub6帯のローカル5Gが本命と考え、「Sub6帯の免許交付後、直ちにFWAの商用サービスを開始する予定です」と述べる。

【構成イメージ】

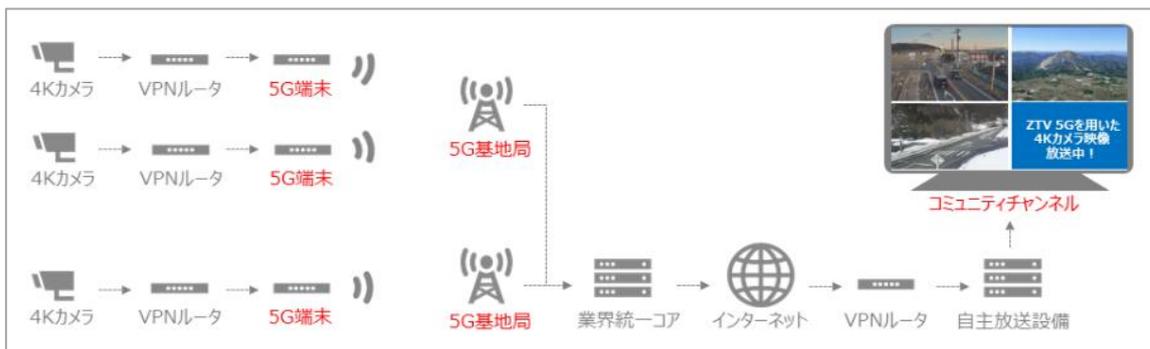


図 7.3.1-2 ローカル 5G を用いた 4K カメラ映像伝送の仕組みと番組イメージ

6.3.2 国立鳥羽商船高等専門学校

組織概要	
社名	国立高等専門学校機構 鳥羽商船高等専門学校
本社所在地	三重県鳥羽市池上町 1-1
設立	1881年8月20日
従業員数	136名
事業内容	「人間性豊かな教養人となること」、「創造性豊かな技術者となること」、「国際性豊かな社会人となること」の三つを教育目標に掲げ、人間力にあふれた、創造性豊かで国際的に通用する、高度な実践的技術者の育成を行っている。本校には、本科(商船学科、電子機械工学科、制御情報工学科の3学科。平成31年に電子機械工学科及び制御情報工学科を改組し、情報機械システム工学科を開設。)と、その上に専攻科(生産システム工学専攻、海事システム学専攻の2専攻)が設置されている。
代表者	校長 和泉 充

6.3.3 シンクレイヤ株式会社

会社概要	
社名	シンクレイヤ株式会社
所在地	愛知県名古屋市中区千代田二丁目 21 番 18 号
設立	1962 年 5 月 2 日
従業員数	単独 170 名(2020 年 12 月 31 日現在) 連結 303 名(2020 年 12 月 31 日現在)
事業内容	1. ケーブルテレビシステム及び情報通信システム関連の設計、施工、保守及びコンサルタント 2. ケーブルテレビシステム機器、情報通信システム機器及びそれらの周辺機器の製造、購入及び販売 3. ケーブルテレビシステム、情報通信システムの導入に関する情報の提供、教育及び指導
代表者	代表取締役社長 山口 正裕

■ シンクレイヤの事業はテレビ放送の伝送分野からスタートし、社会の変化と共に領域を広げてきました。発展の源は常に、人びとのニーズにあります。そのニーズに応えるために、常に最先端の技術に挑戦し、そこで得た技術と知識によって、事業領域を拡大してきました。現在では、重要な社会インフラとして発展したケーブルテレビにおいて、放送・インターネットシステムを中心に、機器の開発・製造・販売、海外通信機器の販売、システム設計・施工、保守、コンサルタントに従事しております。システムインテグレート業務においては、下記取り組みを積極的に行っております。

1. 機器インテグレーション

～機器の開発・製造・輸入・販売～

ネットワーク構築に最適な技術を組み合わせた機器の開発から販売までを行っております。ケーブルテレビ事業者をはじめとする放送・通信事業者のニーズや、シンクレイヤ独自のソリューションに合わせた機器を国内技術部門にて開発し、自社工場で生産、全国の事業者の販売しています。また、グローバルな標準化が進む通信機器については海外ベンダーとパートナーシップを組み、輸入・販売しています。ネットワーク構築に必要なセンター用の大型装置から家庭用の小型端末まで、豊富に製品群を取り揃えております。

2. トータル・インテグレーション

～システム的设计・施工・保守・コンサルティング～

光ファイバーや同軸ケーブルを用いたネットワーク全体の設計・各種申請・施工までを一貫して対応しています。施工部門やシステムエンジニアリング部門にて、最適なシステム設計を行い、工事専門子会社や協力工事業者と連携を取り、適切な管理・技術指導の下、高性能で高品質なネットワーク設備を事業者提供しています。また設備が安定して稼働するよう、システムの統合管理システムを自社開発し、事業者のネットワークを維持管理しています。

3. 品質向上と次世代システムへの取り組み

弊社が提案する Remote R-PON Technology により、FTTH に HFC から FTTH へのマイグレーションを網羅し、4K/8K 放送から XGS-PON/10G-EPON といった超高速通信に

対応した、シンクレイヤ独自のネットワークアーキテクチャソリューションです。なお、従来のセンター集約型システムが抱える課題を解決するため、Remote PHYやRemote OLTを伝送路上に分散設置することにより、センターの省スペース化/省電力化やリスク分散への対応、通信の高速化/品質確保を実現します。また、より高い信頼性を満たす冗長化された伝送路とその監視、センター機器・端末機器の情報及び加入者情報の一括管理が可能な統合管理システムを備え、これらの連携により様々な運用・サービスに対応可能な安心・安全・信頼性の高いネットワークシステムを実現します。

シンクレイヤは、テレビ放送黎明期には「きれいなテレビ放送を家庭に伝送したい」という思いから、類まれなるアイデアと技術で製品の開発・販売を行ってきました。また、国内でのインターネット市場の立ち上がり時には、常時接続、高速通信が可能なケーブルインターネットシステムの構築にいち早く着手し、多くの実績を残してきました。第四次産業革命とも言われる現代社会は、4K8K 放送による高度なテレビ放送や、急増する通信トラフィックに応じる超高速なインターネット・インフラなど加速度的に進化を続け、より便利に豊かに変化しています。デジタル化の波を受け、放送と通信が融合される時代、そのどちらの技術にも多くのノウハウと実績を活用し、「サステナビリティ」持続可能なシステム・ネットワークを支えるため、斬新なシステム構築と機器を自社開発できるだけでなく、国内外を問わず多くのベンダーと連携し、包括的にシステム・インテグレーションできる企業を目指します。

6.3.4 日本電気株式会社

会社概要	
社名	日本電気株式会社
本社所在地	東京都港区芝五丁目7番1号
設立	1899年7月17日
従業員数	単独 20,589名(2021年3月末現在) 連結 114,714名(2021年3月末現在)
事業内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 社会公共事業 地方公共団体、医療機関、電力会社などに向け、ITシステムやネットワークシステムなどを提供するとともに、日本全国の支社・支店を統括して各地域に密着した事業を展開しています。 2. 社会基盤事業 政府、官公庁や放送局などに向け、大規模ミッションクリティカルシステムやネットワークシステムといった、人々が安心して快適に生活できるための社会インフラを提供しています。 3. エンタープライズ事業 製造業、流通・サービス業、金融業などの民需向けにITソリューションを提供し、お客さまの新サービス立ち上げなどに貢献しています。最先端のデジタル技術を活用し、お客さまとの共創を通じて、人やモノ、プロセスを企業・産業の枠を超えてつなぎ、バリューチェーン全体で新たな価値を生み出します。 4. ネットワークサービス事業 国内の通信事業者向けに、ネットワーク構築に必要な機器や運用管理のための基盤システム、運用サービスなどを提供しています。さらに、IoT/5G時代に向けてネットワークへのニーズが多様化する中、テレコムキャリア市場で培ったネットワークの強みをサービスプロバイダや製造業、流通・サービス業、自治体などの市場に展開していきます。 5. グローバル事業 海外市場を対象として、生体認証ソリューション、サービスプロバイダ向けソフトウェア・サービス、大型蓄電システムなどを提供しています。AI、IoT関連の先端技術を活用し、安全・安心で効率・公平な都市の実現をはじめとする社会課題の解決に貢献していきます。
代表者	副会長 新野 隆 執行役員社長 兼 CEO 森田 隆之

■ローカル 5G 関連の実績

- ・「NEC、TBS とともに日本初の「ローカル 5G」を活用した災害時の同時配信に成功」
(2020年3月26日) https://jpn.nec.com/press/202003/20200326_03.html

NEC は、TBS と IIJ と共同で、災害時に「ローカル 5G」を活用して地上波の同時配信を行う実証実験に日本で初めて成功しました。災害等による停電でテレビ受信機が使用できない場合でも、スマホ等での緊急報道番組の視聴を可能にし、尚且つ「ローカル 5G」の活用で地域に特化した災害情報の提供も可能になります。

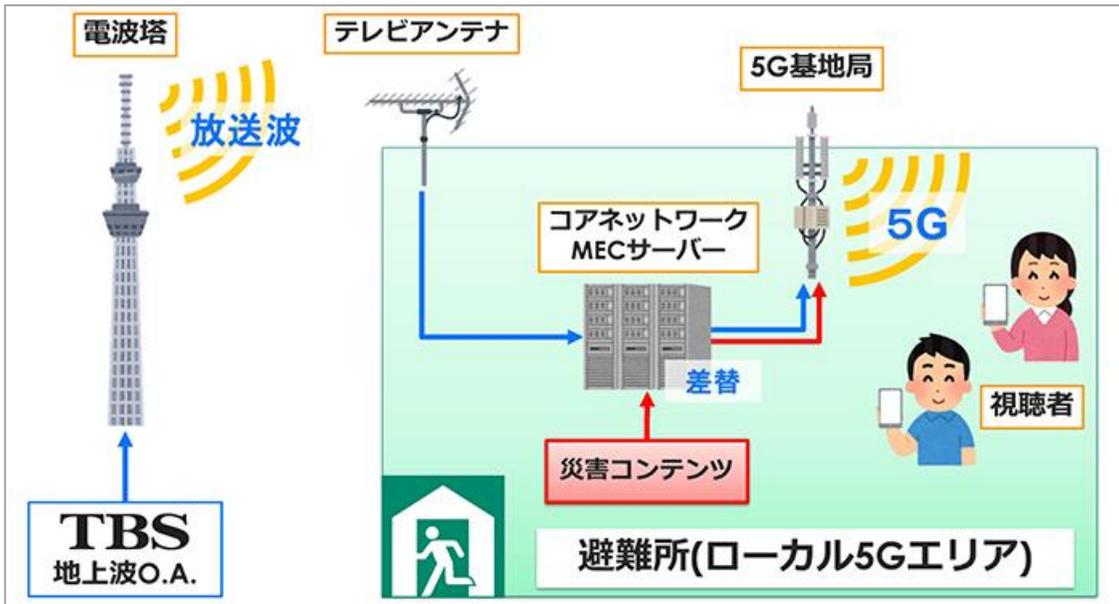


図 7.3.4-1 日本初の「ローカル 5G」を活用した災害時の同時配信に成功事例

6.3.5 沖電気工業株式会社

会社概要	
社名	沖電気工業株式会社
本社所在地	東京都港区虎ノ門 1-7-12
設立	1949年11月1日
従業員数	単独 4,395名(2021年3月31日現在) 連結 15,639名(2021年3月31日現在)
事業内容	情報通信、メカトロシステム、EMS、プリンターなどの各分野における製造・販売およびこれらに関するシステムの構築・ソリューションの提供、工事・保守・その他サービスなど
代表者	代表取締役社長執行役員 鎌上 信也

- 総務省「地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証に係る工場分野におけるローカル 5G 等の技術的条件等に関する調査検討の請負」を受託（2020年9月）

上記の公募において、群馬県、太陽誘電株式会社と共同で提案を行い、採択されました。電子機器等を生産する OKI 本庄工場（埼玉県本庄市）と、電機部品を生産する太陽誘電玉村工場（群馬県佐波郡）の 2 箇所で、ローカル 5G の電波伝搬特性を検証するとともに、それぞれの工場において、ローカル 5G の特長を活かした高精細画像伝送等によるユースケースを構築し、その効果、機能、運用面などの観点から検証することによって、工場におけるローカル 5G を核としたソリューション構築の知見・ノウハウを蓄積いたしました。

- ローカル 5G 支援サービスの販売開始（2020年11月）

DX の社会実装を推進すべく、お客さまのローカル 5G の導入を支援する「ローカル 5G 支援サービス」の販売を開始しています。本サービスを活用することで、企業や自治体は無線局免許申請などの手続きや専門的知識を必要とせず、スムーズなローカル 5G の導入を支援します。

OKI の強みである AI エッジ技術とローカル 5G を組み合わせる「AI エッジ×5G」により、お客さまの DX を推進します。

また、自社施設への導入によりローカル 5G の運用における知見を高め、さらなるサービス向上につなげるべく、本庄工場（埼玉県本庄市）にローカル 5G 実験試験局を開設し、製造現場、ならびに工場敷地内に設置された ITS テストコースへローカル 5G を導入し、「AI エッジ×5G」の社会実装に向けた実証実験を行いました。

6.3.6 株式会社ティーブイエスネクスト

会社概要	
社名	株式会社ティーブイエスネクスト
本社所在地	愛知県名古屋市中区上前津 2-14-15
設立	1979年4月27日
従業員数	120名
事業内容	1. コンテンツ制作 企画・演出、撮影、編集、MA、Blu-ray Disc・DVD Disc制作、メディア変換、インターネットライブ・配信 2. システムインテグレーション 放送・ネットワークシステムの開発及び設計・施工、ソフトウェア・ハードウェア機器の販売 3. 業務支援 放送領域のコンサルティング、動画・映像制作セミナー、放送機材レンタル、イベント用機材レンタル、制作スタッフの人材派遣、システム保守・管理
代表者	代表取締役社長 川崎 三千夫

■ 複数箇所と多言語配信に対応したオンライン配信についての実績

[配信概要]

- ・自動車メーカーと回線キャリアの2社での共同記者会見
 (東京を拠点とし、全国のメディアに向けて双方向に配信)
- ・自動車メーカーの決算説明会
 (愛知を拠点とし、全国の販売会社に向けて双方向に配信)

[要件仕様]

1. 全国各地の複数拠点からの発信に対応できる。(リモート出演・多元中継など)
2. 異なるライブ配信サービスを組み合わせる。(双方向[Zoom ウェビナー]と一方向[YouTube ライブ]の同時配信など)
3. マルチ言語化に対応できる。(同通配信対応)

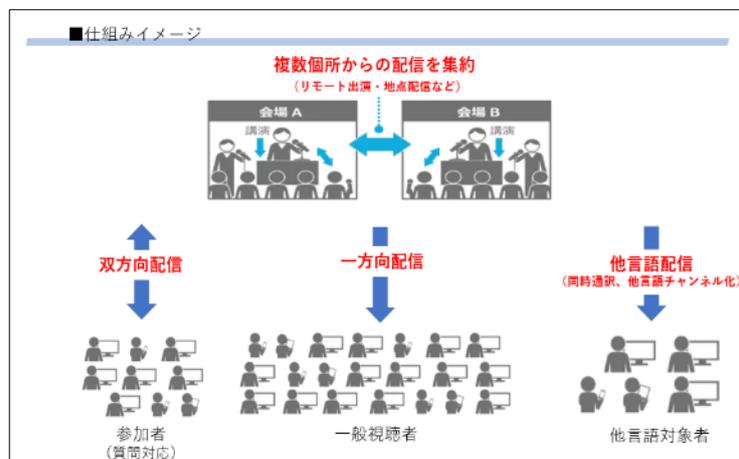


図 7.3.6-1 配信構成図

■ 複数箇所に対応したオンライン配信についての実績

[配信概要]

- ・回線キャリアが主催するコンテストにて北海道、東京、熊本の3拠点の様子を配信

[要件仕様]

- 1.全国各地の複数拠点からの発信に対応できる。(リモート出演・多元中継など)
- 2.一方的な配信ではなく、1つの番組として構成された内容とする。(オープニング、エンディング、テロップなどの演出を含む)

[配信構成図]

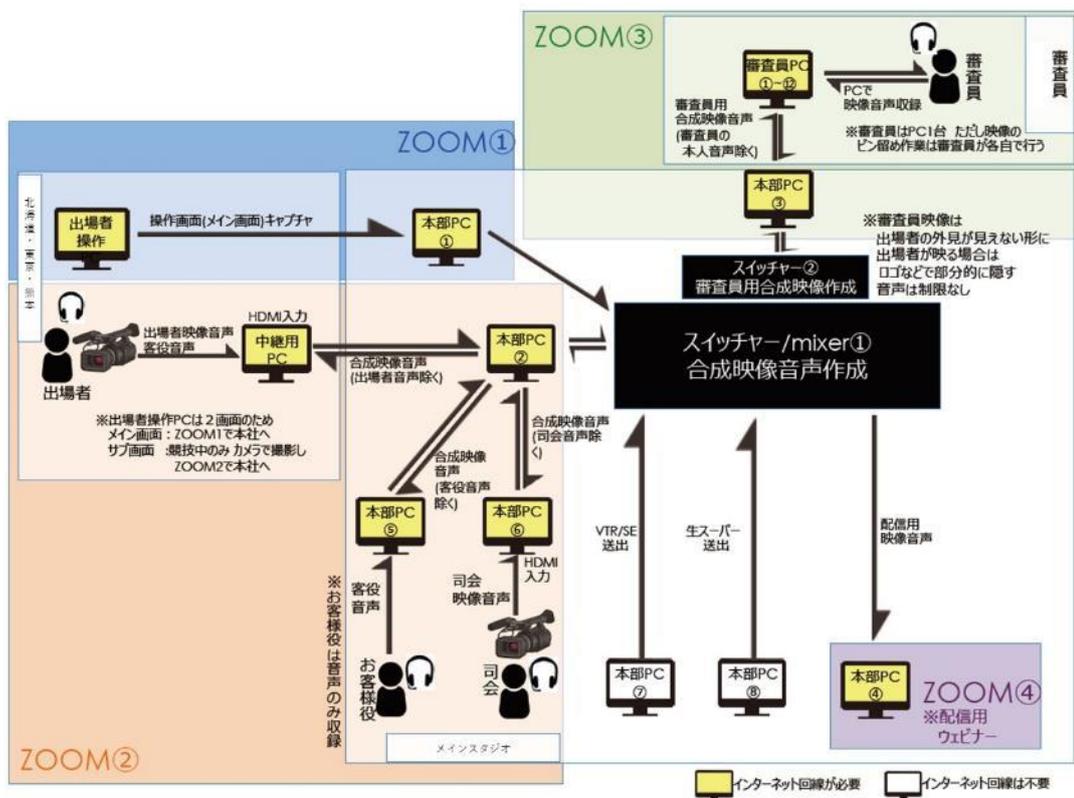


図 7.3.6-2 配信構成図

■ 自社配信プラットフォームを使用したオンライン配信についての実績

[配信概要]

- ・海洋生物の研究者による授業を市内の5つの小学校に配信
- ・高校の開校式の模様を配信

[要件仕様]

- 1.視聴制限(パスワードが必要)を設けた配信とする。
- 2.生放送の後、1週間の見逃し配信を行う。
- 3.配信の他、現地での撮影(機材レンタル、カメラマン派遣)も行う。

[自社配信プラットフォーム]

- ・あっ！LIVE

<https://tvs-alive.com/frontend/about.html> (紹介ページ)

6.3.7 株式会社アラヤ

会社概要	
社名	株式会社アラヤ
本社所在地	東京都港区赤坂 1-12-32 アーク森ビル 24 階
設立	2013 年 12 月
従業員数	65 名(2020 年 12 月 1 日現在)
事業内容	AI アルゴリズム・プロダクト開発(ディープラーニング事業・エッジ AI 事業・自律 AI 事業)
代表者	代表取締役 金井 良太

■総務省「令和 2 年度地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」における実績

株式会社アラヤ（以下「アラヤ」）は、“No.14 防災業務の高度化及び迅速な住民避難行動の実現”をテーマとした、栃木市において実施するローカル 5G を活用した防災分野における実証実験（以下「本実証実験」）に参加し、栃木県の河川において高精細映像配信と AI を活用した水位推定システムの実証を実施しました。

※“No.14 防災業務の高度化及び迅速な住民避難行動の実現”

<https://go5g.go.jp/carrier/l5g/>

アラヤは、4K カメラを用いた河川の監視カメラ画像から、河川の水位を推定する AI モデルの構築を行うことで、河川のはん濫・浸水害の監視をサポートし、自治体の迅速・的確な避難情報の発令に貢献しました。具体的には、画像のどのピクセルが河川に分類されるかを予測することで、画像内における河川面積を推定します。また、距離推定モデル等の水位に相関がある情報に基づくモデルを加えることで、汎化的かつ高精度な水位予測をします。

河川の氾濫を AI による映像解析で検知できるよう、AI 水位検知システム構築に取り組みました。取り組み成果として、3つの対象河川のうち 2 河川で目標精度を超える水位推定に成功、残りの 1 河川についても目標精度非達成の要因を特定（夜間における精度悪化）し、様々な課題への解決手法に対して示唆を得ました。

	精度目標	精度評価結果 (最終精度)	セグメンテーション モデルの精度(単位:比率)	精度目標より高精度 精度目標より低精度
巴波川	±0.1m	±0.0374m	0.9739	要因理解 <ul style="list-style-type: none"> データセットが十分 適切なアルゴリズム選択 <ul style="list-style-type: none"> セグメンテーションOK 回帰モデルOK
永野川(南側)		±0.036m	0.9336	
永野川(北側)		±0.1532m	0.7684	<ul style="list-style-type: none"> 回帰モデルOK(∵南側でOK) セグメンテーションNG <ul style="list-style-type: none"> 実際の画像をみると、夜間データが精度悪化要因か

図 7.3.7-1 AI 水位検知システム

本取り組みにおいては、必ずしも多様な水位時の画像を用意できるわけではないため、データを補う工夫をとして、実写画像をベースにしたCGデータの活用により、高精度なモデルを構築致しました。また、横展開性を考慮した開発として、公開データセットやCGデータを利用したデータのバリエーション増加対応を行いました。

■国/行政プロジェクトの関連実績

「革新的 AI エッジコンピューティングをテーマとする NEDO 研究開発プロジェクトを受託」(2018 年)

<http://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2018/08/10/3331.html>

KDDI 株式会社 (本社: 東京都千代田区、代表取締役社長: 高橋 誠、以下 KDDI)、株式会社アラヤ (本社: 東京都港区、CEO: 金井 良太、以下 アラヤ) は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (以下 NEDO) が推進するプロジェクト「高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発」の研究開発項目の 1 つである「革新的 AI エッジコンピューティング技術の開発 (以下 本研究開発)」に対して提案を行い、採択されました。また、国立大学法人 東京大学 大学院情報理工学系研究科 國吉研究室 (以下 東京大学 國吉研究室) は、アラヤの再委託としてプロジェクトに参画します。

本研究開発は、ネットワーク圧縮による演算量削減を中心とした実装技術および自律学習機能の高度化の研究開発を推進し、リソース制約が大きい、端末 (=エッジ) 側への高度自律的学習機能の搭載を実現することを目的としています。空の自動運転実現に向けて自律制御が求められるドローンへの適用により実証・評価します。

ドローンの自律制御を実現するためには、ドローンの"目"となるカメラやセンサ情報を、ドローンの機体側で解析し、瞬時の判断に基づく飛行制御に繋げることが必要です。一方、物体識別、姿勢推定、動態追跡、地上の被覆分類など、複数の学習アルゴリズムを同時に実装することが要求され、機体のサイズや電力といったリソース制約のある中でこうした要求を実現することが大きな技術課題として挙げられます。

そのため、本研究開発において、以下 4 つに取り組み、5G 時代における AI エッジコンピューティング技術基盤の確立およびドローンによる空の自動運転の実現に向けた研究開発を進めていきます。

- [1]AI エッジコンピューティング技術の研究開発
- [2]人工意識による高度自律的学習機能の研究開発
- [3]AI エッジコンピューティングに基づくドローン制御技術の開発
- [4]5G 通信環境によるエッジクラウド連携技術

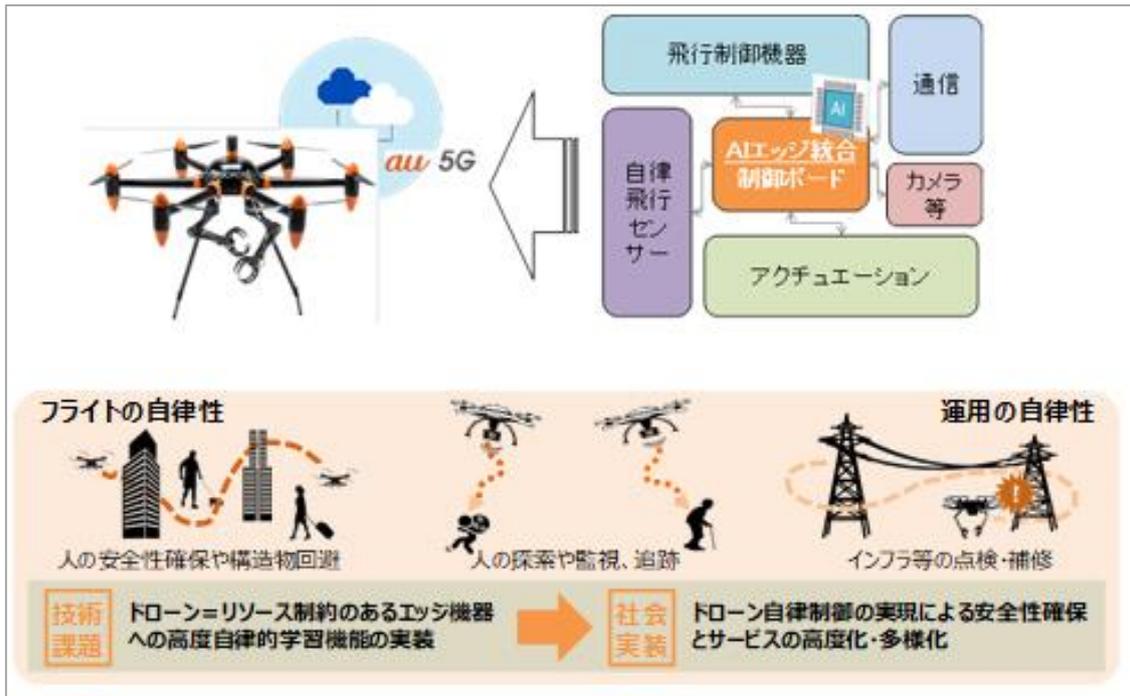


図 7.3.7-2 革新的 AI エッジコンピューティング技術の開発

出所)「革新的 AI エッジコンピューティングをテーマとする NEDO 研究開発プロジェクトを受託」(2018 年)

<http://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2018/08/10/3331.html> より作成

6.3.8 株式会社地域ワイヤレスジャパン

会社概要	
社名	株式会社地域ワイヤレスジャパン
本社所在地	東京都千代田区岩本町 1-3-9 ハクセイビル 4 階
設立	2015 年 12 月 7 日
従業員数	11 名
事業内容	<p>1. ケーブルテレビ業界の無線事業推進</p> <p>ケーブルテレビ事業者は、従来の有線インフラを使った事業に加え、無線事業の展開も進めています。当社は、ケーブルテレビ事業者の業界団体である(一社)日本ケーブルテレビ連盟より委託を受け、ケーブルテレビ業界の無線事業の推進・支援を行っています。</p> <p>2. MVNO 事業プラットフォーム(「ケーブルスマホ」)の運営・支援</p> <p>ケーブルテレビ事業者が提供する携帯電話(「ケーブルスマホ」)のプラットフォームを運営しています。このプラットフォームでは、通信キャリアからの回線賃借、端末調達、割引通話サービス等の携帯電話およびそれに付随するサービスを、100 を越えるケーブルテレビ事業者に提供しています。ケーブルテレビ事業者は、このプラットフォームを利用することにより、煩わしい交渉等の手間をかけることなく、簡単に携帯事業を展開することができます。</p>
代表者	代表取締役 小竹 完治

■総務省 「令和 2 年度 地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」における実績

株式会社地域ワイヤレスジャパンは、総務省の入札案件「令和 2 年度 地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」の防災分野を落札し、請負者として開発実証を遂行しました。災害時においてローカル 5G 等の無線通信システムを用い、河川の高精細映像配信と AI を活用した水位予測及び防災情報の一元化による地方公共団体の防災業務の高度化の実現及び地域住民向けの河川の高精細映像配信による迅速な避難行動を実現に向けた実証実験を行いました。

【実証成果】

- ・高精細カメラの河川映像及び AI 分析により、河川リモート監視及びアラート発報を実現するとともに、水位情報等を一元管理した防災ダッシュボードを構築し、自治体の避難情報等の発令判断の迅速化の実現を確認できました。
- ・地域住民に対する災害情報配信として、既存の防災情報に加え、河川映像が加わることで住民の避難意識の向上効果を確認できました。
- ・高精細映像伝送を目的とした大容量データ通信におけるアップリンクリソース制御方式の効用を示すデータを取得し、スループット向上と遅延時間短縮の効果を確認しました。
- ・基地局からの距離や周囲の建造物による遮蔽や回折等の影響により、スループット、遅延特性の劣化、基地局への接続不可等といった状況が発生するが、アンテナ高を高くする等による伝搬状況の改善、アンテナ指向性の最適化による受信状況の改善が挙げられます。

分野	件名	請負者	実証地域
農業	1 自動トラクター等の農機の遠隔監視制御による自動運転等の実現	東日本電信電話株式会社	北海道岩見沢市
	2 農業ロボットによる農作業の自動化の実現	関西ブロードバンド株式会社	鹿児島県志布志市
	3 スマートグラスを活用した熟練農業者技術の「見える化」の実現	日本電気株式会社	山梨県山梨市
漁業	4 海面養殖業における海中の遠隔監視（海中の可視化）等の実現	株式会社レイヤーズ・コンサルティング	広島県江田島市
	5 地域の中小工場等への課題解決モデルの横展開の仕組みの構築の実現	沖電気工業株式会社	群馬県及び隣接地域
工場	6 MR技術を活用した遠隔作業支援の実現	トヨタ自動車株式会社	愛知県豊田市
	7 目視検査の自動化や遠隔からの品質確認の実現	住友商事株式会社	大阪府大阪市
	8 工場内の無線化の実現	日本電気株式会社	滋賀県栗東市
モビリティ	9 自動運転車両の安全確保支援の仕組みの実現	一般社団法人ICTまちづくり共通プラットフォーム推進機構	群馬県前橋市
インフラ	10 遠隔・リアルタイムでの列車検査、線路監視等の実現	中央復建コンサルタンツ株式会社	神奈川県横須賀市
観光・eスポーツ	11 観光客の滞在時間と場所の分散化の促進等に資する仕組みの実現	株式会社十六総合研究所	岐阜県大野郡白川村
	12 eスポーツ等を通じた施設の有効活用による地域活性化の実現	東日本電信電話株式会社	北海道旭川市 東京都千代田区
	13 新たな観光体験の実現	日本電気株式会社	奈良県奈良市
防災	14 防災業務の高度化及び迅速な住民避難行動の実現	株式会社地域ワイヤレスジャパン	栃木県栃木市
防犯	15 遠隔巡回・遠隔監視等による警備力向上に資する新たなモデルの実現	総合警備保障株式会社	東京都大田区
働き方	16 デザイン制作における遠隔協調作業などの新しい働き方に必要なリアルコミュニケーションの実現	東日本電信電話株式会社	新潟県新潟市 東京都渋谷区
医療・ヘルスケア	17 へき地診療所における中核病院による遠隔診療・リハビリ指導等の実現	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所	愛知県新城市
	18 専門医の遠隔サポートによる離島等の基幹病院の医師の専門外来等の実現	株式会社NTTフィールドテクノ	長崎県長崎市 長崎県五島市
	19 中核病院における5Gと先端技術を融合した遠隔診療等の実現	特定非営利活動法人滋賀県医療情報連携ネットワーク協議会	滋賀県高島市

図 7.3.8-1 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証

注) 出典元を一部編集（地域ワイヤレスジャパン該当箇所をハイライト）

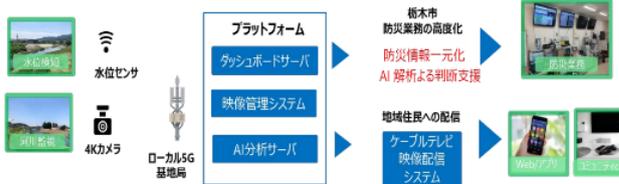
出所) 総務省ウェブサイト「課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」に係る令和 2 年度成果及び令和 3 年度実施方針の公表 令和 2 年度の成果概要 別紙 1 2 ページ目、https://www.soumu.go.jp/main_content/000745725.pdf、2021 年 7 月 4 日取得

実証目標

災害時において、ローカル 5 G 等の無線通信システムを用いて、河川の高精細映像配信とAIを活用した水位予測及び防災情報の一元化による地方公共団体の防災業務の高度化を実現すること及び地域住民向けの河川の高精細映像配信による迅速な避難行動を実現する。

コンソーシアム：(株)地域ワイヤレスジャパン、ケーブルテレビ(株)、栃木市、日本電気(株)、住友商事マシネックス(株)、(株)アラヤ、(株)グレイブ・ワン、(国研)情報通信研究機構、(一社)日本ケーブルテレビ連盟、小山工業高等専門学校
 実証地域：栃木県栃木市 巴波川・永野川 流域
 周波数：4.8~4.9GHz (SA構成)、28GHz (NSA構成) 利用環境：屋外

実証イメージ



実証概要

課題実証	高精細カメラ×AI分析の河川氾濫監視による自治体防災業務の高度化、地域住民への河川のリアルタイム映像の配信による避難意識向上、インターネットサービス提供の併用による自治体負担コスト低減の仕組みの構築
技術実証	災害時におけるアップリンクリソースの4Kカメラ帯域への優先割当、及び電波伝搬測定

実証成果

- 高精細カメラの河川映像及びAI分析により、河川リモート監視及びアラート発報を実現するとともに、水位情報等を一元管理した防災ダッシュボードを構築し、自治体の避難情報等の発令判断の迅速化の実現を確認できた。
- 地域住民に対する災害情報配信として、既存の防災情報に加え、河川映像が加わることで住民の避難意識の向上効果を確認できた。
- 高精細映像伝送を目的とした大容量データ通信におけるアップリンクリソース制御方式の効用を示すデータを取得し、スループット向上と遅延時間短縮の効果を確認した。
- 基地局からの距離や周囲の建造物による遮蔽や回折等の影響により、スループット、遅延特性の劣化、基地局への接続不可等といった状況が発生するが、アンテナ高を高くする等による伝搬状況の改善、アンテナ指向性の最適化による受信状況の改善が挙げられる。

図 7.3.8-2 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証

出所) 総務省「課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」に係る令和 2 年度成果及び令和 3 年度実施方針の公表 令和 2 年度の成果概要 別紙 1 16 ページ目、https://www.soumu.go.jp/main_content/000745725.pdf、2021 年 7 月 4 日取得

6.3.9 株式会社グレープ・ワン

会社概要	
社名	株式会社グレープ・ワン
本社所在地	東京都千代田区岩本町1丁目3番9号
設立	2019年8月5日
従業員数	9名
事業内容	1. ローカル 5G サービスプラットフォーム事業 2. 地域広帯域移動無線アクセス(地域 BWA)サービスプラットフォーム事業 3. ローカル 5G 及び地域 BWA 対応の端末及び基地局機器の運用、保守、販売、等
代表者	代表取締役社長 柴垣 圭吾

■ ローカル 5G 等の通信関係をはじめとした、先進的・先端的な取り組みについての実績

1. 「特定高度情報通信技術活用システムの開発供給及び導入の促進に関する法律」(令和2年法律第37号、以下「法律」)等に基づく開発供給計画について経済産業大臣及び総務大臣より認定を受けております。

事業者名	開発供給計画認定番号
株式会社グレープ・ワン ノキアソリューションズ&ネットワークス合同会社	2020 開 1 総経第 0003 号-2
株式会社グレープ・ワン フォックスコン・ジャパン株式会社	2021 開 1 総経第 0003 号-1

2. 総務省令和2年度地域課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証では、案件 No.7、No.14 で L5G システムを提供しております。

6.3.10 一般社団法人日本ケーブルテレビ連盟

組織概要	
社名	一般社団法人 日本ケーブルテレビ連盟
本社所在地	東京都中央区京橋 1 丁目 12 番 5 号 京橋 YS ビル 4 階
設立	1980 年 9 月 9 日
従業員数	41 名
事業内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. ケーブルテレビ倫理の確立とその高揚のための研究、研修、普及促進及び指導 2. 会員相互の連絡と共通問題の処理 3. ケーブルテレビ事業の経営に関する調査、研究及び開発並びに技術に関する調査、実験、研究及び開発 4. ケーブルテレビ自主放送に関する調査、研究及び開発 5. ケーブルテレビ自主放送の用に供した録音物又は録画物の記録・収集及び保存 6. ケーブルテレビ事業に関する諸問題に関し、関係機関との連絡及び折衝 7. ケーブルテレビ事業に関する啓発、宣伝及び情報の収集並びに機関紙の発行 8. ケーブルテレビ事業従事者の教育、訓練及び研修 9. ケーブルテレビ関係者の福祉、親睦及び融和 10. ケーブルテレビ事業者の電気通信事業に関する調査、研修及び情報提供 11. ケーブルテレビ事業者が地上デジタル放送等を行うための、放送視聴制御用の IC カード(以下「CAS カード」という。)及び LSI(以下「ACAS チップ」という。)の運営・監理、並びに地上デジタル放送ネットワークでのケーブルテレビ自主放送を行うための放送視聴制御(CAS)を活用したコンテンツ権利保護(RMP)に関わる事項の運営・管理 12. 前号に掲げる CAS カード又は ACAS チップ等の普及・発展を目的とする事業 13. 知的財産権の権利処理に係る管理業務 14. その他連盟の目的を達成するために必要な事業
代表者	理事長 渡辺 克也

6.3.11 協同海運株式会社

会社概要	
社名	協同海運株式会社
本社所在地	三重県四日市市尾上町 7 番地 6
設立	1962 年 6 月 8 日
従業員数	20 名
事業内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 内航海運業 主に四日市港から、中部電力(株)碧南石炭火力センター向け発電用石炭の二次内航輸送(年間 100 万トン)業務に取り組んでおり、その他穀物・鋼材・重機等の伊勢・三河湾内輸送も担っています。安全運航を第一とする、安全海上輸送に務めております。 2. 貨物利用運送事業(内航) 荷主の依頼を受け、伊勢・三河湾内の海上貨物(発電用石炭・穀物・鋼材・重機他)運送の取次業務を行っています。 3. 内航船舶代理店業 関係業者(船舶・荷役業者・荷主など)と船舶荷役・網取、放しなど港湾作業についての調整と関係先への手配を行っています。 4. 賃貸事業 本社内と隣接地に倉庫を所管しており、地域密着の強みを生かした倉庫賃貸事業に務めています。 5. 船員派遣業 関連船舶会社への船員派遣
代表者	代表取締役社長 西村 譲治

6.3.12 株式会社東洋信号通信社

会社概要	
社名	株式会社東洋信号通信社
本社所在地	神奈川県横浜市鶴見区大黒ふ頭 22 番横浜港流通センター8F 1812 室
設立	1932 年 7 月 1 日
従業員数	300 名
事業内容	<ol style="list-style-type: none"> 1. 船舶動静に関する情報提供業務 2. 港湾の管理、運営に関する企画、立案及びその業務受託 3. 各種計測機器の販売修理 4. 一般印刷業、新聞雑誌図書発行並びに諸官庁提出様式類販売 5. 警備に関する業務 6. 介護保険法に基づく通所介護事業等 7. 船舶代理店業務
代表者	代表取締役社長 小島 信吾

- ローカル 5G 等の通信関係をはじめとした、先進的・先端的な取り組みについての実績
船舶交通の安全・効率運航に関する分野の自律型船舶の衝突回避アルゴリズムに基づく意思決定支援ツールについて、第 14 回 IALA シンポジウム(4/12 ~ 16)で発表

【発表の概要】

IMO Resolution A.857(20)によると、VTS は、船舶交通の安全性と効率性を向上させ、海洋環境を保護するために運用される。このサービスは、交通と相互に作用し、VTS エリア内で展開する交通状況に対応する能力を備えなければならない。意思決定支援ツールとは、VTS オペレータが日常的または非日常的な状況で意思決定を行うことを支援する手段である。特に、進行する船舶交通の状況や緊急事態に関する決定に直面している VTS オペレータにとっては有用である。意思決定支援ツール (DST) は、VTS オペレータを支援することで状況認識を高めるために VTS センターで使用される。このようなツールは、運用、戦術、戦略レベルでの VTS オペレータの意思決定行動を支援することができる。

近年、自律航行船の研究が盛んに行われている。このテーマは、自律型、無人型、遠隔操作型の船舶を対象に、自動衝突回避アルゴリズムを直接適用することを目指している。DST は、コース変更や減速が行われる操船空間において、リスクと経済的選好から最適な操船方法を常に計算する。DST は、衝突の危険性を含む交通状況を VTS オペレータに通知、対象船舶に対して情報提供など適切な行動を促すことができる。DST の実用的な効果はフルミッションシミュレータによる検証を経て実際の VTS サイトで実証試験が行われている。

注) IMO : 国際海事機関 (International Maritime Organization)

IMO : Resolution A.857(20) : Guidelines for Vessel Traffic Services

VTS : Vessel Traffic Services

DST : Decision Support Tool

6.3.13 三重県

組織概要	
名称	三重県庁
所在地	三重県津市広明町13番地
設立	1876年
従業員数	4296人（令和2年4月1日時点）
事業内容	地方行政
代表者	三重県知事 一見 勝之

6.3.14 四日市港管理組合

組織概要	
名称	四日市港管理組合
本社所在地	三重県四日市市霞二丁目1-1
設立	昭和41年（1966年）4月1日
従業員数	95名
事業内容(計画)	<p>1. 港湾法の規定による港湾管理者の業務※（ただし、組織団体が協議して定める公有水面に係る港湾法第12条第1項第3号の2に規定する業務を除く。）</p> <p>※ 港湾法第12条に規定される港湾管理者の業務は、港湾計画の作成、港湾区域及び港湾施設の維持管理、建設及び改良に関する港湾工事、必要な規制等を行うことと定められています。</p> <p>2. 1.のほか、規約第1条※の目的を達成するため必要な事務</p> <p>※ 規約第1条「この組合は、四日市港の整備と利用の促進を図るとともに、適正で能率的な管理運営を行なうことを目的とする。」</p>
代表者(管理者)	三重県知事 一見 勝之

6.4 再委託について

本実証を行うにあたって、以下の第三者への再委託を行いました。なお、再委託先各社との情報保全の履行体制については、項目 7.2 の通り、本コンソーシアム内の各社より情報保全の履行体制構築に関する同意書の受領又は各社の情報管理規程の受領を行いました。

表 7.5-1 再委託関係図

【ZTV からの再委託先】

■ZTV からの再委託先①

No.	項目	
1	会社名	鳥羽商船高等専門学校
2	所在地	三重県鳥羽市池上町 1-1
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：実証フィールドの提供
4	再委託の業務に従事する者の適格性	豊富な専門知識に加え、実証可能なフィールドの提供ができる環境を有しているため。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■ZTV からの再委託先②

No.	項目	
1	会社名	シンクレイヤ株式会社
2	所在地	愛知県名古屋市中区千代田二丁目 21 番 18 号
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：システムインテグレーション、ネットワーク構築、基地局設置工事
4	再委託の業務に従事する者の適格性	システムインテグレーションからケーブルテレビ業務まで多岐にわたり専門知識を有する。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■ZTV からの再委託先③

No.	項目	
1	会社名	日本電気株式会社
2	所在地	東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：ローカル 5G 設計、システム構築、電波伝搬測定業務
4	再委託の業務に従事する者の適格性	5G における専門知識を有する。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■ZTV からの再委託先④

No.	項目	
1	会社名	沖電気工業株式会社
2	所在地	東京都港区虎ノ門 1-7-12
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：フライングビューの提供
4	再委託の業務に従事する者の適格性	俯瞰映像関連の知識を有する。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■ZTV からの再委託先⑤

No.	項目	
1	会社名	ティーブイエスネクスト株式会社
2	所在地	愛知県名古屋市中区上前津 2-14-15
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：ダッシュボードシステム設計・構築
4	再委託の業務に従事する者の適格性	映像関連業務の知識を有する。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■ZTV からの再委託先⑥

No.	項目	
1	会社名	株式会社アラヤ
2	所在地	東京都港区赤坂 1-12-32 アーク森ビル 24 階
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：AI 開発
4	再委託の業務に従事する者の適格性	AI に関する専門知識を有する。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■ZTV からの再委託先⑦

No.	項目	
1	会社名	株式会社地域ワイヤレスジャパン
2	所在地	東京都千代田区岩本町 1-3-9 ハクセイビル 4 階
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：プロジェクトの支援
4	再委託の業務に従事する者の適格性	昨年度の開発実証への参加経験がある。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■ZTV からの再委託先⑧

No.	項目	
1	会社名	株式会社東洋信号通信社
2	所在地	神奈川県横浜市鶴見区大黒ふ頭 22 番横浜港流通センター 8F 1812 室
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：課題解決に関するアドバイス・検証
4	再委託の業務に従事する者の適格性	港湾管理・運用業務に関する専門知識を有する。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■ZTV からの再委託先⑨

No.	項目	
1	会社名	株式会社ミック
2	所在地	三重県松阪市上川町 3670-15
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：光ファイバ敷設構築
4	再委託の業務に従事する者の適格性	光ファイバ敷設構築に関する知識を有する。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■ZTV からの再委託先⑩

No.	項目	
1	会社名	株式会社エーディーエステック
2	所在地	千葉県船橋市印内町 568-1-1
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：サーマルカメラの構築
4	再委託の業務に従事する者の適格性	サーマルカメラの提供が可能。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

【シンクレイヤからの再委託先】

■シンクレイヤからの再委託先①

No.	項目	
1	会社名	東亜株式会社
2	所在地	三重県松阪市丹生寺町字向山 8-1
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：、基地局（アンテナ）設置及び取付金具、支持金物製作設置を行う。
4	再委託の業務に従事する者の適格性	アンテナ設置等における専門的かつ高度な知識や技術力を有する
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■シンクレイヤからの再委託先②

No.	項目	
1	会社名	ケーブルシステム建設株式会社
2	所在地	名古屋市中区千代田二丁目 21 番 18 号
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：システム正常性確認
4	再委託の業務に従事する者の適格性	通信確認、映像確認等の諸作業の知見・経験を有する
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■シンクレイヤからの再委託先③

No.	項目	
1	会社名	ミック株式会社
2	所在地	土岐市妻木平成町 2-41
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：屋内配線作業、機器設置作業等
4	再委託の業務に従事する者の適格性	ラック設置及び屋内機器設置作業など設置環境整備作業の知見・経験を有する
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

【日本電気からの再委託先】

■日本電気からの再委託先①

No.	項目	
1	会社名	NEC ネットエスアイ株式会社
2	所在地	東京島文京区後楽2丁目6番1号
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：プロジェクト管理、機器調整、測定業務、その他技術試験事務に係る業務を行う。上記業務は経験を有する技術者による円滑な遂行が必要不可欠であり委託を行う。 また、測定データ整理・報告書編集・体裁整理等を行う。フィールドにて取得したデータ整理および報告書編集を効率的に遂行するため委託を行う。
4	再委託の業務に従事する者の適格性	同社はローカル 5G プロジェクト遂行、機器調整、測定業務の経験を有しており、上記業務の委託先として適している。
6	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

■日本電気からの再委託先②

No.	項目	
1	会社名	株式会社コンピュータネットワーク
2	所在地	東京都中野区東中野 3-20-10 イドムコ中野ビル 5F
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：ネットワーク構成に関する技術支援を行う。業務を効率的に遂行するためにネットワーク設計経験者のアサインが必要であり、委託を行う。
4	再委託の業務に従事する者の適格性	同社は自治体ネットワークを中心とした設計・構築経験を有しており、上記業務の委託先として適している。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

【沖電気工業からの再委託先】

■沖電気工業からの再委託先

No.	項目	
1	会社名	株式会社 OKI アイディエス
2	所在地	群馬県高崎市双葉町 3-1
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：フライングビューの現調およびキャリブレーション
4	再委託の業務に従事する者の適格性	OKI100%出資の子会社であり、フライングビュー開発の拠点のため、適格な企業である。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

【ティーブイエスネクストからの再委託先】

■ティーブイエスネクストからの再委託先

No.	項目	
1	会社名	株式会社システム・ケイ
2	所在地	北海道札幌市東区北 15 条東 1 丁目 2 番 24 号
3	再委託する業務範囲とその必要性	業務範囲：ダッシュボードシステム開発
4	再委託の業務に従事する者の適格性	IP カメラシステムの開発実績、経験があるため、適任である。
5	情報保全のための履行体制	責任者を選定。情報管理規定については三菱総合研究所の指示に従う。

