

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証

【開発実証事業】

ローカル5Gを活用したAI画像認識
によるブリ養殖の効率化に向けた実証

成果報告書

令和5年3月

株式会社ZTV

目次

1.	実証概要	1
1.1	背景・目的	1
1.1.1	はじめに	1
1.1.2	背景・目的	1
1.2	実証の概要	5
1.2.1	技術実証	6
1.2.2	課題実証	7
2.	実証環境の構築	11
2.1	対象周波数帯	11
2.2	実施環境	11
2.3	ネットワーク・システム構成	16
2.4	システム機能・性能・要件	24
2.5	その他	35
2.5.1	実証システムの拡張性等	35
2.5.2	実証システムの安全性確保のための対策	35
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）	37
3.1	実証概要	37
3.2	実証環境	38
3.3	実施事項	40
3.3.1	電波伝搬モデルの精緻化	40
3.3.2	エリア構築の柔軟性向上	59
3.3.3	準同期 TDD の追加パターンの開発	78
4.	ローカル5G活用モデルに関する検討（課題実証）	79
4.1	実証概要	79
4.1.1	背景となる課題	79
4.1.2	本実証におけるローカル5G活用モデル	84
4.1.3	実証内容の新規性・妥当性	109
4.1.4	実証目標	111
4.2	実証環境	114
4.3	実施事項	118
4.3.1	ローカル5G活用モデルの有効性等に関する検証	118
4.3.2	ローカル5G活用モデルの実装性に関する検証	173
4.3.3	ローカル5G活用モデルの実装に係る課題の抽出および解決策の検討	212

4.3.4	ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開.....	214
5.	普及啓発活動の実施.....	231
5.1	映像制作.....	231
5.2	実証視察会の実施.....	231
5.3	その他普及啓発活動.....	235
6.	実施体制.....	236
6.1	実施体制の全体像.....	236
6.2	実施体制内の役割.....	236
7.	スケジュール.....	238

1. 実証概要

1.1 背景・目的

1.1.1 はじめに

株式会社 ZTV は、三重県、滋賀県、和歌山県、京都府の 3 県 1 府 40 市町村の約 320,000 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(2023 年 1 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。

「令和 3 年度 課題解決型ローカル 5G 等の実現に向けた開発実証」においては、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開発実証に取り組みました。今回の開発実証では「ローカル 5G を活用したブリ養殖の効率化」に向けて取り組みを行いました。

1.1.2 背景・目的

日本は豊かな海に囲まれた島国であり、その恵みでもある水産物を消費する大規模な市場が存在し、また、多くの人が水産業に従事しています。

国内の水産物消費規模は縮小傾向で、漁船漁業による生産量も年々減少していますが、海面養殖業は生産量全体の 25%程度を 20 年以上維持しています。この 30 年間で国内の海面養殖の事業者数は三分の一、従事者数は二分の一と大きく減少していますが、産出額はほぼ横ばいで一事業者および一人あたりの産出額は増加しています。また、一事業者あたりの養殖施設面積が大きいほど労働時間あたりの生産性も高いことから、効率化を目指した事業者の統合も想定されます。大規模化と従事者の減少により一人あたりの業務量や漁船の操船に係る負担と、事故が発生した際の損害額は大きくなることが懸念されます。

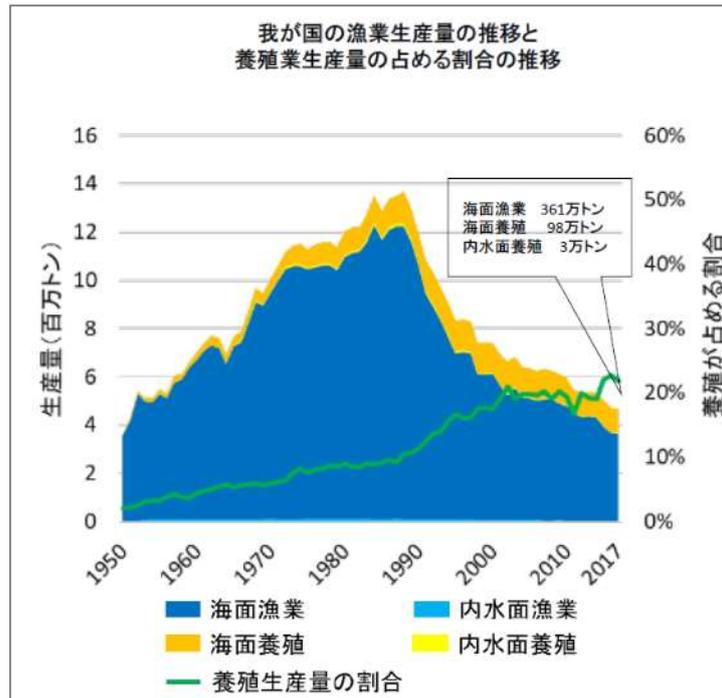


図 1-1 我が国の漁業生産量の推移と養殖業生産量の占める割合の推移
(水産庁「養殖業成長産業化総合戦略について」より)

○魚類養殖業の産出額、養殖業者数、労働者数及び生産性の推移

	1973年	1978年	1983年	1988年	1993年	1998年	2003年	2008年	2013年	2018年	対1998年 増減(%)
産出額 (百万円)	45,235	142,850	191,183	233,903	258,903	258,801	213,597	208,641	214,868	263,766	-8
養殖業者数 (経営体)	2,841	3,473	4,373	3,786	3,148	3,519	2,822	2,191	1,612	1,392	-63
労働者数(人)	N/A	N/A	N/A	13,657	11,027	12,606	12,804	8,432	6,901	7,062	-48
一経営体当たりの 産出額 (百万円/経営体)	15.92	41.13	43.72	61.78	82.24	73.54	75.69	95.23	133.29	189.49	116
一人当たりの産出額 (百万円/人)	N/A	N/A	N/A	17.13	23.48	20.53	16.68	24.74	31.14	37.35	82

図 1-2 魚類養殖業の産出額、養殖業者数、労働者数および生産性の推移
(養殖業成長産業化推進協議会「我が国の養殖業と成長産業化に向けた論点整理」より)

水産庁による次期水産基本計画の『増大するリスクも踏まえた水産業の成長産業化の実現』では水産業の成長産業化のための課題が挙げられています。

【課題（抜粋）】

- ・ 国内外の市場維持および需要の拡大のための生産量の増加。(図 1-3)
- ・ ICT 等を活用した養殖管理システムの高度化による餌代の削減や省人化、省力化。(図 1-4, 図 1-5)
- ・ 新規漁業者の確保・育成や外国人材受け入れ・確保による人材不足対策。(図 1-5)



図 1-3 ブリ類・マダイの成長産業化イメージ
(水産庁「養殖業成長産業化総合戦略について」より)

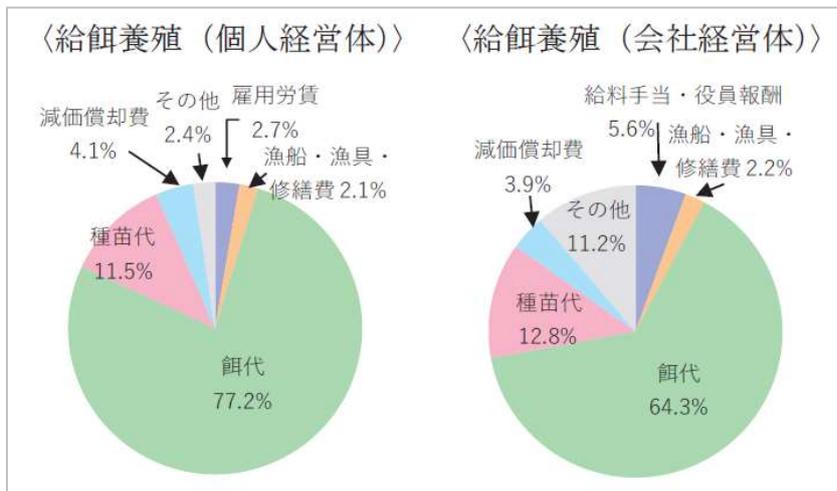


図 1-4 海面養殖業における漁労支出の構造
(水産庁「令和2年度 水産白書」より)



図 1-5 養殖就業者数の推移について
(水産庁「令和3年度 水産白書」より)

国内における水産物消費全体の規模は縮小傾向にあります。ブリについては30年前と比較して1割程度増加しています。

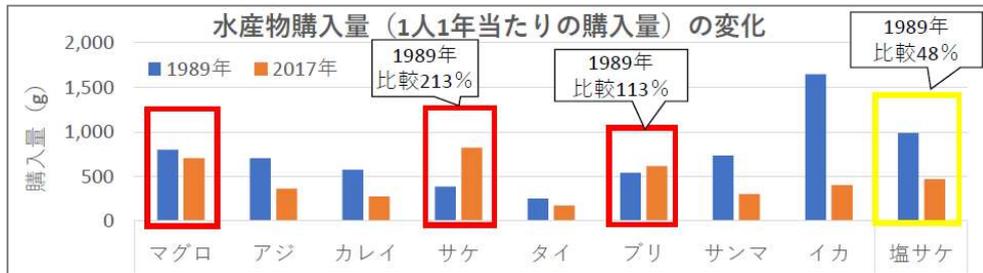


図 1-6 水産物購入量（1人1年あたりの購入量）の変化
 (養殖業成長産業化推進協議会「我が国の養殖業と成長産業化に向けた論点整理」より)

また、以前は養殖に対して消極的だったイメージの向上が見られるようになり、現在では天然物よりも養殖物が高値で取り引きされるようになりました。

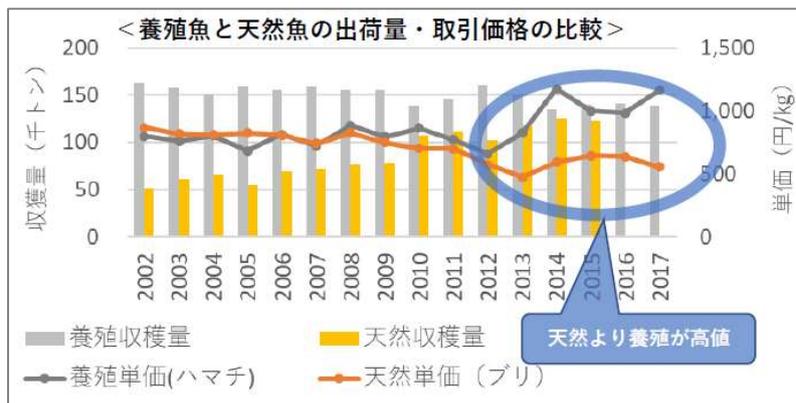


図 1-7 養殖魚と天然魚の出荷量・取り引き価格の比較
 (養殖業成長産業化推進協議会「我が国の養殖業と成長産業化に向けた論点整理」より)

農林水産省では、ブリを戦略的養殖品目と位置づけ、国内だけでなく海外輸出にも積極的に取り組み、新たなマーケットの開拓も進められています。生産量目標も2018年の14万トンから2030年には24万トンまで増加することを目指しており、ブリ養殖への重要性が高まっています。しかしながら、ブリ養殖は出荷まで2年以上の期間が必要であり、長期飼育のリスク対策のためには成育状況や病気の把握とコントロール、水温や酸素量などの養殖環境、台風など自然災害への迅速な対応が重要です。また、人手不足や餌代の高騰も深刻化しており、ICTやAIを活用した省力化やコスト削減が求められます。

戦略的養殖品目	2030年生産目標	2030年輸出目標	対象マーケット	生産方向
ブリ類 	24万トン	1,600億円	◆北米市場の拡大、アジア・EU市場、国内需要創出 等	□生産性向上による生産拡大、養殖管理の徹底やHACCP導入 等

図 1-8 戦略的養殖品目「ブリ類」の2030年生産目標等
 (水産庁「養殖業成長産業化総合戦略について」より)

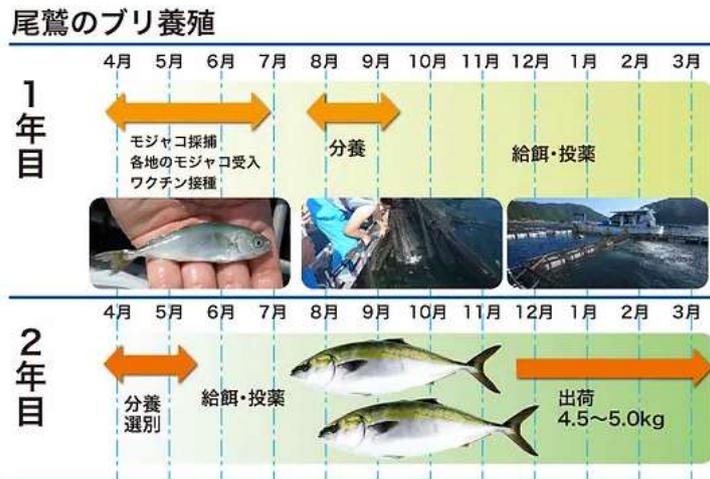


図 1-9 ブリ養殖スケジュール
(尾鷲物産株式会社ホームページより)

1.2 実証の概要

実証フィールド提供の尾鷲物産株式会社へのヒアリングと前項までの水産養殖業における課題点を踏まえ、以下内容をブリ養殖業成長のための重要ポイントとしました。

1. 給餌量、育成状況の把握による生け簀内環境の最適化
2. 労働力減少に対応するための業務効率化
3. 船舶操船状況の遠隔確認

本実証が目指すゴールはブリ養殖における労働力不足の解消、漁獲量の向上、競争力の強化、安全性の向上となります。

本実証において取り組む課題は

1. 給餌業務：餌の食べ具合を目視で確認し停止を判断します。与えすぎると食べずに残った餌により海が汚れ、無駄な餌代が発生します。給餌量に関連する成長状況、環境データの管理ができていません。
2. 操船確認業務：操船には経験や高度な技術が求められるため、新人・外国人雇用時の教育や操船の支援、事故防止のための監視が必要です。

その解決策として、以下取り組みを行います。

1. 餌の食べ具合を 4K 高精細カメラで撮影しローカル 5G で陸上の AI サーバまで伝送します。映像を AI が解析し、魚の活性状況等を判断し必要量になったら自動で餌やりを停止します。また海洋ブイ（環境測定専用端末）にて取得した環境データ等を蓄積して与える餌の

量・タイミング等にも反映します。

2. 船上に取り付けた 4K 高精細カメラ映像を港でベテラン職員が確認します。遠隔より必要に応じて操船者にアドバイス等を行います。

本実証において課題が解決することにより、適切な給餌量となり餌の海底への沈殿等もなくなり SDGs (Sustainable Development Goals) へも貢献します。



図 1-10 持続可能な開発目標 (SDGs) における本実証関連目標
(外務省「持続可能な開発目標 (SDGs) 達成に向けて日本が果たす役割」より)

1.2.1 技術実証

本実証では、遮蔽物や起伏の少ない海上において、電波が陸上より長距離に届くこと、海上における潮位変動が 1～2 m あり、陸上基地局と船上端末との相対的な高さが変動することから、エリア精緻化によって海上での安定したローカル 5G 活用を検討しました。

遮蔽物や起伏の少ない海上に対し、現行のエリア算出法で近距離区間に適用される自由空間の電波伝搬モデルをベースとして、陸上基地局のアンテナ高と船上の端末高から、2 波モデルブレイクポイントを距離閾値とする精緻化の導出を目標としました。

実証での実施事項として、

- ・ 自由空間に近い電波伝搬にて到達するカバーエリアのローカル 5G 電波伝搬特性等の測定
- ・ 潮の満ち引き (潮位変動) による基地局アンテナと移動局端末との相対的な高さ変化の影響を考慮した、電波伝搬モデルの精緻化
- ・ 湾対岸への電波漏洩を軽減するため、アンテナのチルト角による、エリア構築の柔軟性向上

を実施しました。

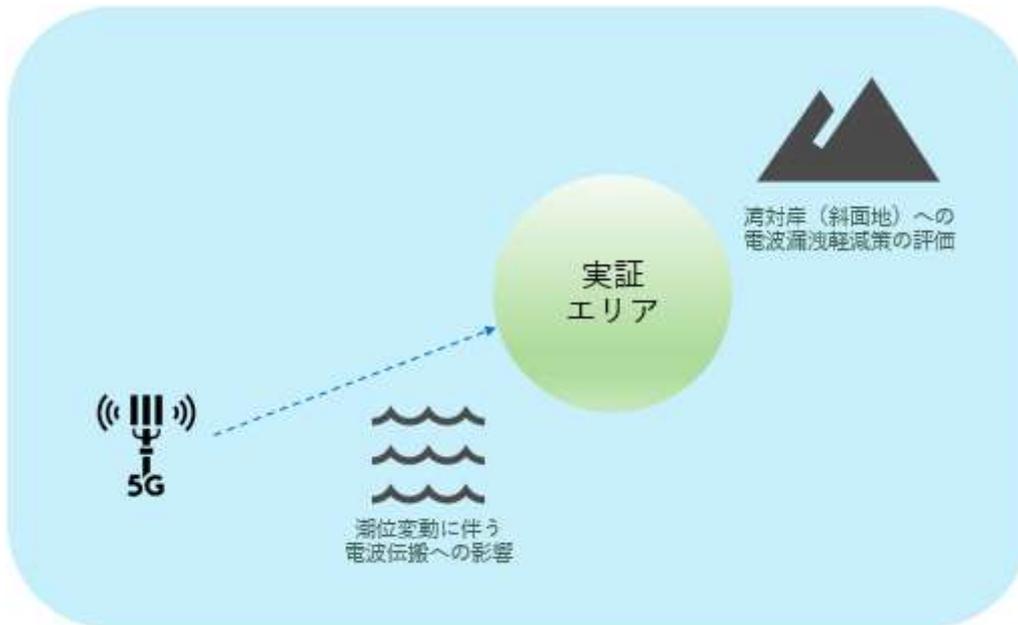


図 1-11 技術実証イメージ

1.2.2 課題実証

(1) ブリ養殖業務

1) 給餌自動制御

・現状（尾鷲物産）

ブリは一回の餌の量が多いため、生け簀に給餌機を設置するのではなく船から直接与えています。本実証フィールドの養殖事業者である尾鷲物産では10～15トンの餌を港で毎回複数の船に分散して搭載し、生け簀を6時間かけて巡回し6万匹のブリに給餌しています。現在は、餌の食べ具合（活性状態）を従業員が目視で確認し、規定量もしくはそれ以上食べないと判断したら手動で給餌を停止します。また、餌の食べ具合の判断は人が行っており、経験値によって給餌停止タイミングにばらつきが出ます。

・解決方法

既に利用されているマダイ用AIをブリ用にカスタマイズして使用します。鳥羽商船高等専門学校（ezaki-lab）が開発したマダイの海面養殖自動給餌装置は、活性状態をカメラで撮影し、AIが解析を行い、必要量に達したと判断したら給餌を停止するシステムですが、これをブリ養殖向けにカスタマイズを行います。4K高精細カメラでリアルタイムに生け簀の状態を撮影し、ローカル5Gで陸上に伝送された映像を用いて精度の高いAI解析を行い、適切な給餌の停止判定を行います。

これにより、

- ・ 漁労収入の60%以上を占める餌代の削減が見込めます。
- ・ 業務難度が下がるため、経験の浅い新人や日本語を母語としない外国人材でも従事で

きます。

- ・ 餌の食べ残しによる海洋汚染が抑止できるため環境負荷の低減が図れます。



図 1-12 ブリ給餌業務解決策イメージ

2) 成育管理

- ・ 現状（尾鷲物産）

1ヶ月に一度水中の様子を確認し、成育状態から餌の量を確定します。体重の30%の餌を1か月かけて与えています。また、月12%成長するために、餌の量をプログラムしています。餌の食べ具合、尾数、環境データは個別に収集されていますが、統合的な解析ができていません。

- ・ 解決方法

アイエスイーが開発する養殖管理システムおよび海洋モニタリングを活用します。カメラ、スマートブイなどを用いて今年度は次の情報を継続して収集・記録します。

- ・ 成育状態（大きさ、重さ）
- ・ 前日までの餌の食べ具合（活性状況）、食べた量
- ・ 気象状況など自然環境のデータ（水温や溶存酸素量）
- ・ 生け簀内の尾数、斃死数

将来は、これらに希望する出荷日および出荷量・サイズの情報を追加し、データを蓄積する事によりAIが解析を行い適切な餌の量や与えるタイミングを指定できるようになり、漁獲量の増加や計画的な生産が行えるようになります。

（今年度～来年度はデータの蓄積を行い、そのデータを基にAI解析を行えるようにして完全な給餌と成育を連動させた自動化を目指します）

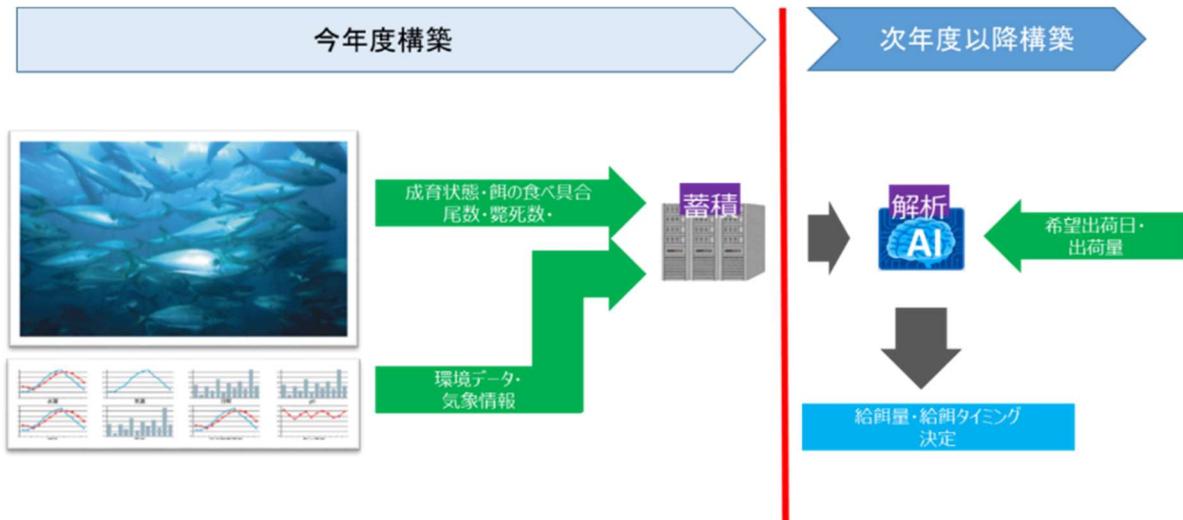


図 1-13 成育管理における今年度構築部分と来年度以降構築部分

(2) 操船確認業務

・現状（国内）

船舶種類別では漁船の事故がプレジャーボートに次いで多く発生しています。また、事故内容別のトップは衝突事故で、原因の大多数が見張り不十分によるものです。事故の発生は、業務が停止してしまうだけでなく、生け簀の損傷など損害が大きくなることから安全性向上への取り組みが重要となります。安全監視のための従業員を増員し乗船させることで、安全性は向上しますが、同時にコスト増加につながります。

・解決方法

船舶に 4K 高精細カメラを設置し、ローカル 5G で映像を陸上に伝送し、それらの状況を遠隔でベテランの従業員が確認を行います。映像を基に乗組員に指示を与えることで、事故を未然に防ぎます。また、将来の完全無人化での給餌業務の実現に向けた遠隔操船や自動操船に必要な情報の収集を行います。

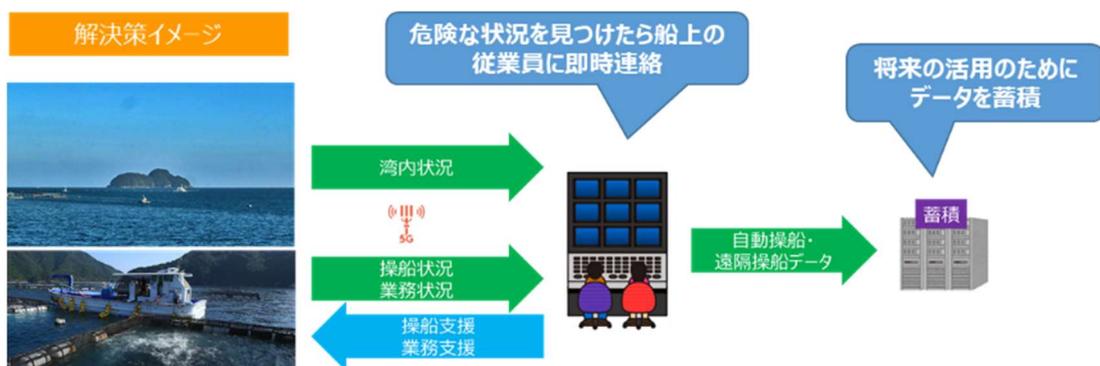


図 1-14 操船確認業務 解決イメージ

今回構築するソリューションの全体イメージは以下の通りです。

- ① AI を活用した遠隔自動給餌
- ② 養殖データ管理および海洋データの取得・管理
- ③ 操船確認（給餌業務の無人化実現に向けた情報収集を含む）

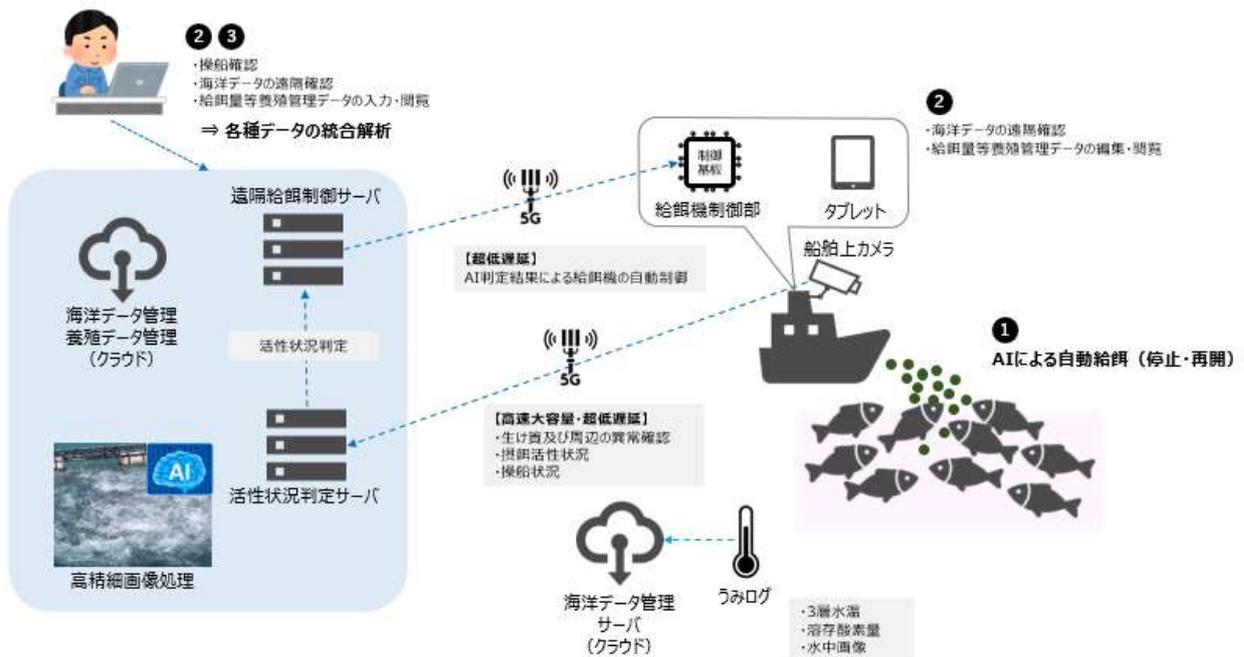


図 1-15 ソリューション全体イメージ

2. 実証環境の構築

2.1 対象周波数帯

本実証では、4.6-4.9GHz帯(sub6)のローカル5G周波数帯を利用しました。屋外環境での実証となるため、屋外利用が可能な4.8-4.9GHz帯を対象周波数帯としました。

2.2 実施環境

本実証では、三重県尾鷲(おわせ)市内の尾鷲物産株式会社が所有するブリ養殖生け簀周辺を実証フィールドとし、海上におけるローカル5G電波伝搬特性の技術実証並びに養殖業におけるローカル5Gを活用した課題実証を行いました。

本実証場所として当フィールドを選定した理由は以下の通りです。

- ・湾の北側、南側が斜面に囲まれており、海上における電波伝搬特性だけでなく、海上から斜面に向けた電波伝搬の検証が可能。
- ・ローカル5G基地局1局で複数の養殖生け簀を対象としたエリア構築が可能であることや、株式会社ZTVの所有する既存の局舎、光ファイバを流用できることから次年度以降の継続利用も踏まえ、安価に環境構築が可能である。



図 2-1 実証フィールド(三重県尾鷲市内)
(国土地理院地図)

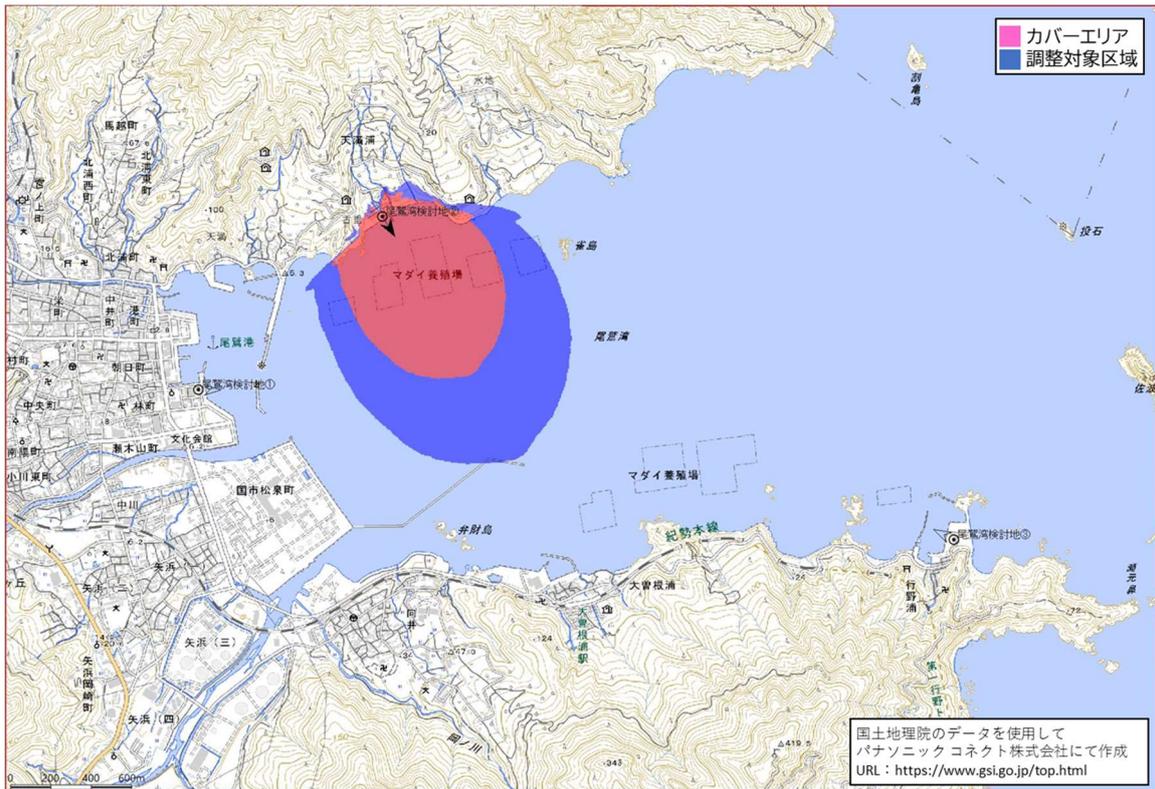


図 2-2 基地局のカバーエリア（電波法関係審査基準による）

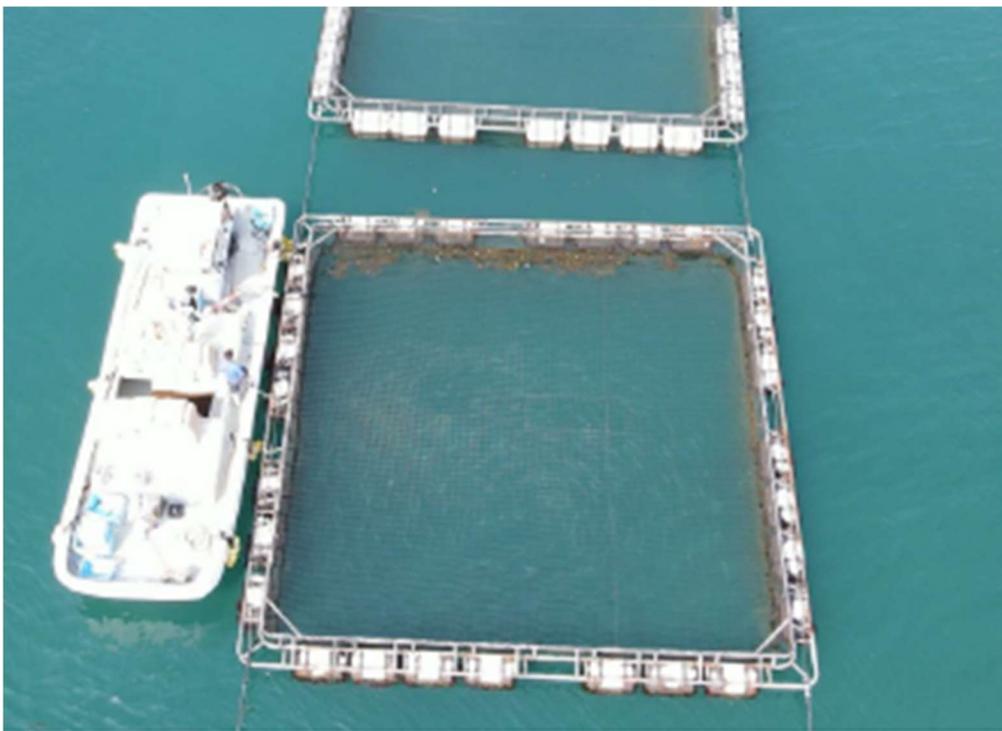


図 2-3 尾鷲湾内 給餌船とブリ養殖生け簀

湾北側の陸上に位置する三重県水産研究所 尾鷲水産研究室敷地内にローカル 5G 基地局を設置し、養殖生け簀を対象としたローカル 5G による通信環境を構築しました。



図 2-4 ローカル 5G 基地局（三重県水産研究所 尾鷲水産研究室）

ローカル 5G の集約装置および課題実証で使用するサーバ等の機器は ZTV 東紀州放送局内に設置しました。

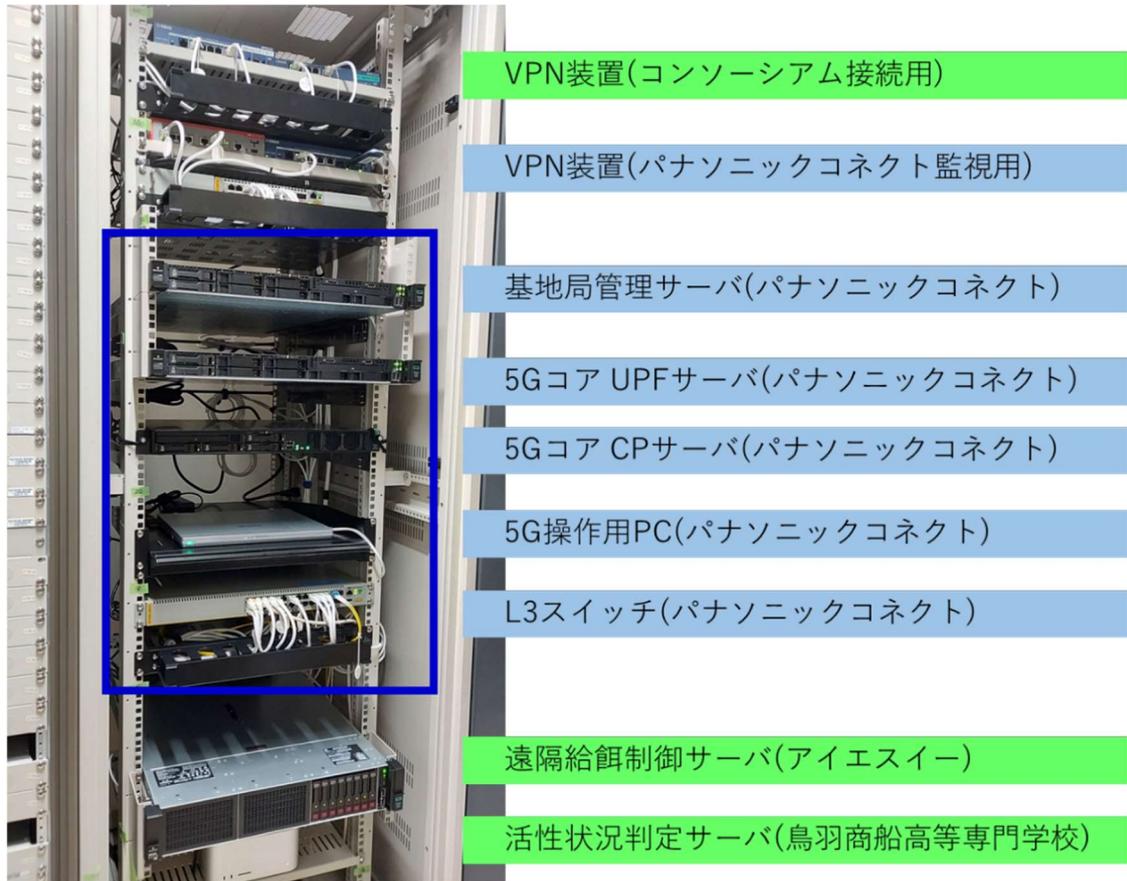


図 2-5 ZTV 東紀州放送局

ローカル 5G 受信機は給餌船に設置し、給餌業務および給餌船の操船確認にローカル 5G を活用しました。

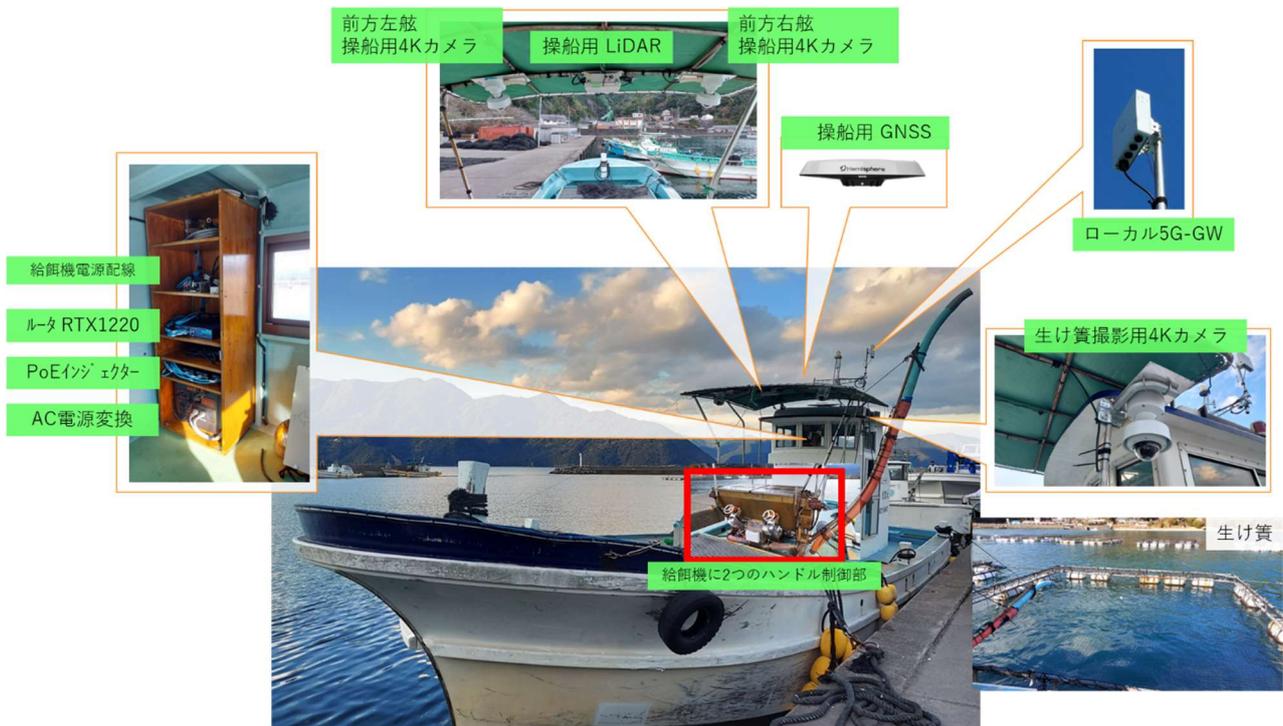


図 2-6 給餌船 (第三十六 光智丸)

給餌機の2つのハンドル操作部を自動制御する機器を設置し、AI による活性判定と連携する養殖生け簀への自動給餌の環境を構築しました。

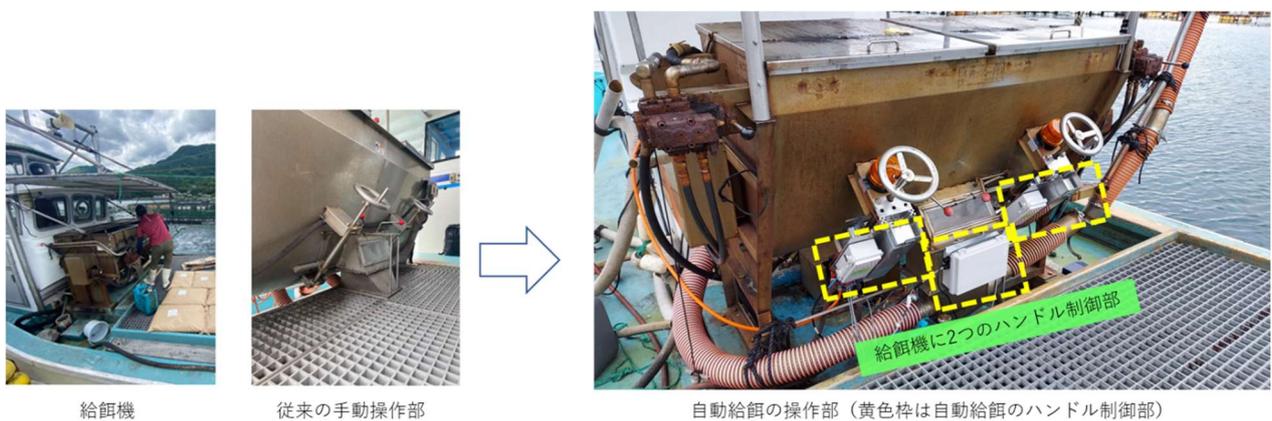


図 2-7 給餌機と操作部

2.3 ネットワーク・システム構成

本実証においては、4.8~4.9GHz帯（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した。

ローカル 5G 基地局は、三重県水産研究所 尾鷲水産研究室（三重県尾鷲市）敷地内に屋外ポールを建柱して柱上設置し、ZTV 東紀州放送局内（三重県尾鷲市）に設置するローカル 5G コアネットワーク関連装置との間を光ファイバによる専用線で接続します。実証船舶には 5G 受信機（5G-GW）や 4K カメラを設置し、給餌時の活性状況や給餌船操船状況は一カル 5G ネットワークを通じて、ZTV 東紀州放送局内に設置する各種サーバへリアルタイムに伝送します。ZTV 東紀州放送局内には活性状況判別のための AI サーバ、給餌船給餌機を遠隔制御するため制御サーバを設置し、給餌時活性状況の AI 判定結果に基づく給餌機の自動制御を実現します。生け簀周辺には海洋データを自動計測するためのセンサーを設置しました。

システム全体の構成イメージを下図に示します。

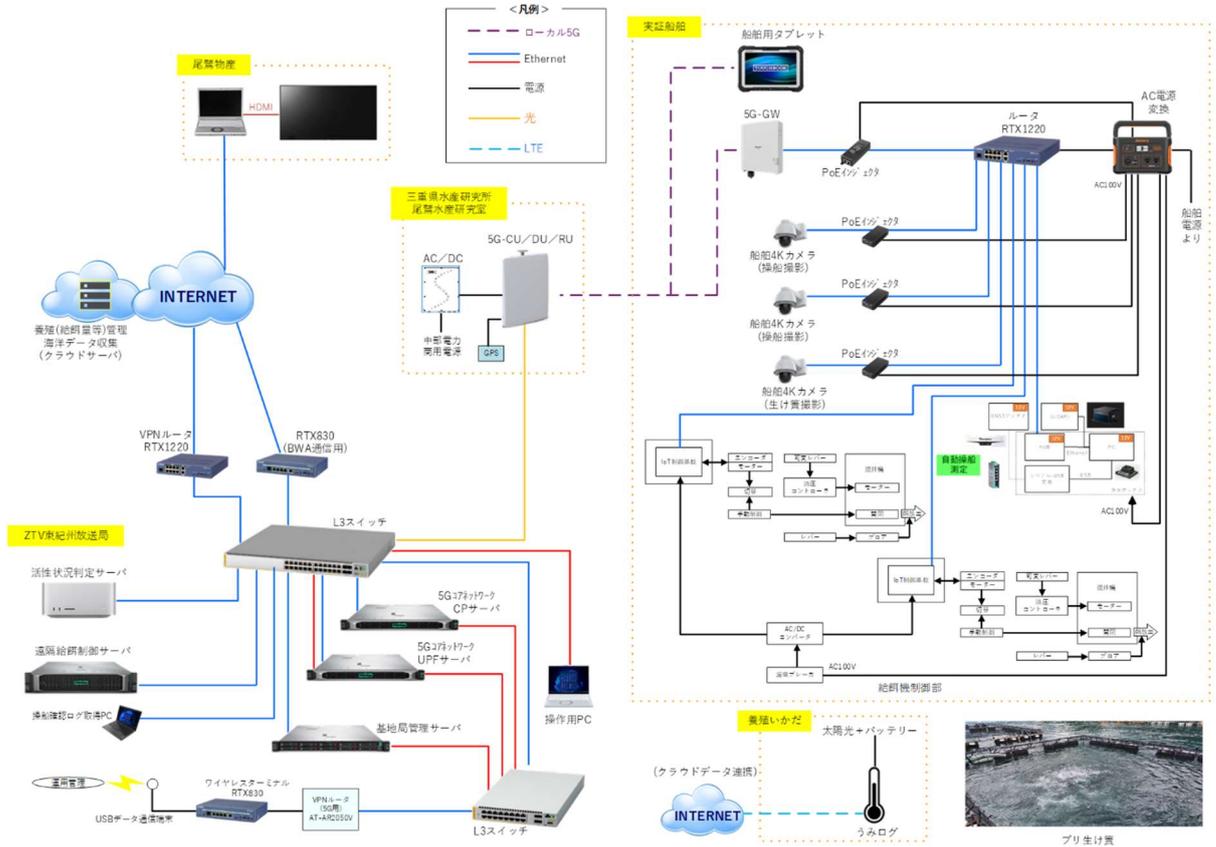


図 2-8 システム全体概略構成図

本実証では、4.8-4.9GHz 帯域を利用した Stand Alone 方式 (SA) の、Panasonic Connect 社製 ローカル 5G システムを使用します。オンプレ型のローカル 5G システムで、基地局 (gNB) 1 局を三重県水産研究所尾鷲水産研究所の敷地内屋外に設置し、5G コアネットワーク (5GC) サーバ類と ZTV 東紀州放送局内で接続します。ローカル 5G システムの構成を下図に示します。

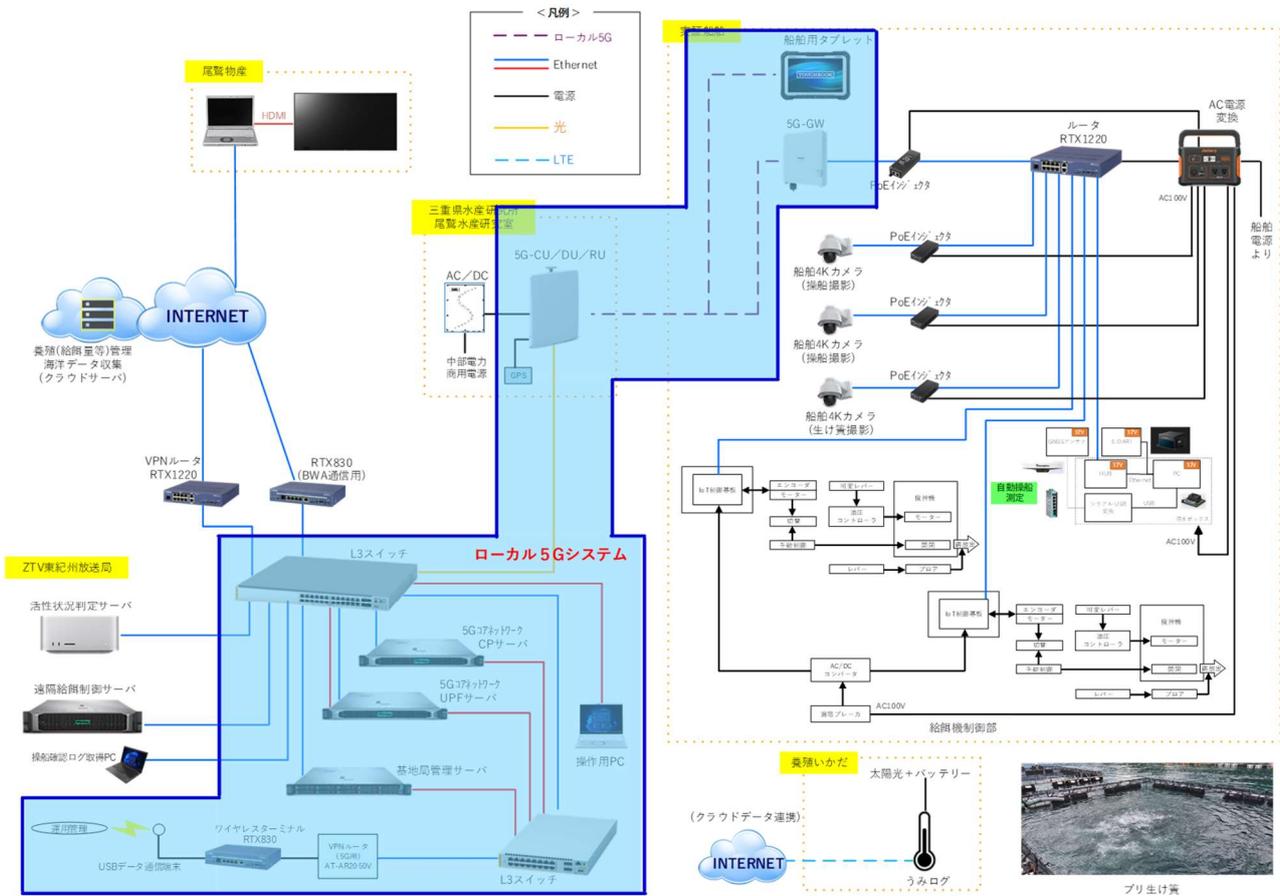
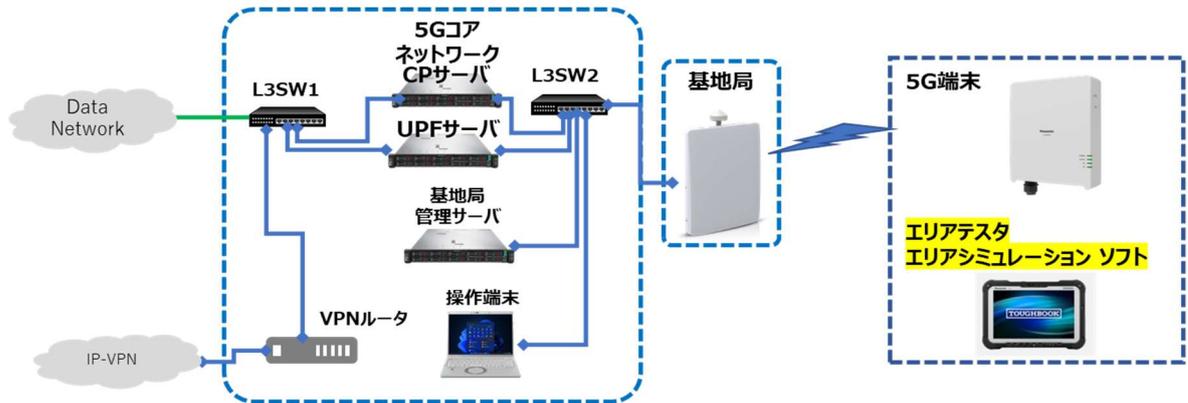


図 2-9 ローカル 5G システム構成図

ローカル 5G システム・無線機器の各装置の機能と役割を下表に示します。

表 2-1 ローカル 5G システム 無線機器構成

項目	装置名	数量	設置形態	調達先	機能	役割
5Gシステム	基地局	1	固定	Airspan Networks Ltd.	ローカル5G (Sub6) 基地局 CU/DU/RU一体型RAN	周波数4.8-4.9GHz 帯域100MHz の高速無線通信を実施。
	基地局管理サーバ	1	固定	HPE	基地局管理ソフトを搭載するサーバPC	基地局の設定と状態管理
	5Gコアネットワークサーバ	2	固定	パナソニック	C-PlaneとU-Planeのオンプレ型5Gコアネットワーク	基地局と端末とインターネットおよび閉域網との通信回線網
	操作端末	1	固定	パナソニック	操作作用端末 (Windows)	基地局等の管理操作作用端末
	L3SW	2	固定	アライバ	ネットワーク中継器	5Gシステムの装置間とサーバ間を中継
	VPNルータ	1	固定	アライバ	VPN (IPsec) 接続の仮想網	遠隔監視のためセキュアな接続通信
5G端末	5Gゲートウェイ	2	固定	パナソニック	5G移動局端末でネットワーク中継器	船舶上の設備へ、高速無線通信を中継

基地局のカバーエリア（電波法関係審査基準による）を下図に示します。

表 2-2 基地局のカバーエリア算出諸元

基地局 諸元	内容
アンテナ地上高	6m (ポールに設置)
アンテナタイプ	セクタアンテナ (内蔵アンテナ) 半値角 水平 65度 (垂直 8度) 利得 18dBi
送信出力	Tx 27dBm (0.5W)、RF Cable Loss 0dB

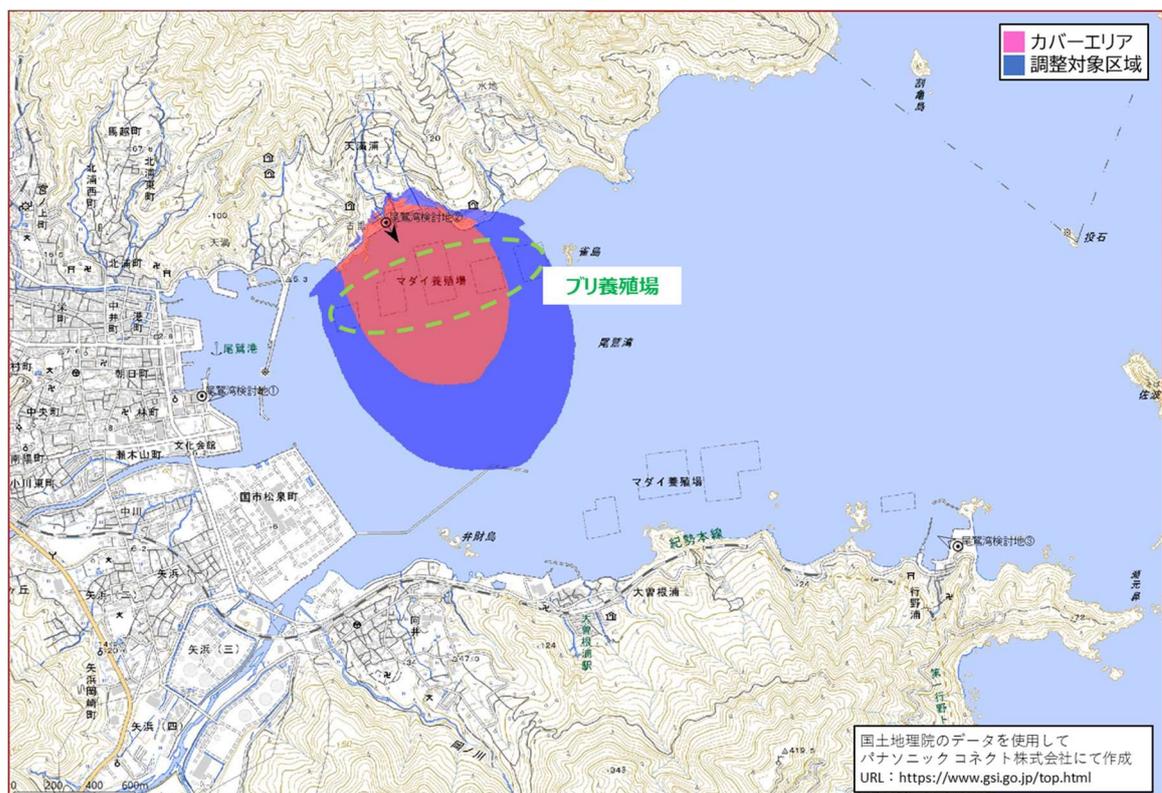


図 2-10 基地局のカバーエリア

ローカル 5G システムの無線部特性およびネットワーク性能は下表の通りです。

表 2-3 ローカル 5G システムの無線部特性

無線部諸元	内容
無線局数	基地局 1 局
周波数帯・帯域幅	周波数4.8-4.9GHz 帯域100MHz (99M9 X7W 4849.98MHz)
通信方式	直交周波数分割多元接続方式 (DX1N OFDM)
運用形態	SA方式 オンプレ型
アンテナ地上高	6 m (ポールに設置)
アンテナタイプ	セクタアンテナ (内蔵アンテナ) 半値角 水平 65度 (垂直 8度) 利得 18dBi
送信出力	Tx 27dBm (0.5W)、RF Cable Loss 0dB

表 2-4 ローカル 5G システムのネットワーク性能

項目	内容
接続数	基地局： 16端末 5GC： 100端末 (本件ライセンス条件)
最大スループット (同期/準同期)	(物理レイヤ理論値) 基地局： DL 800 / 340Mbps UL 90 / 180Mbps

(1) 給餌自動化システム

ブリ養殖における給餌時の活性状況を撮影するために、給餌船舶上(養殖生け簀方向)へ4Kカメラを設置し、ローカル5Gネットワークを通じてZTV東紀州放送局内の活性状況判定サーバへリアルタイムに高精細映像を伝送します。伝送された高精細映像から、活性状況判定サーバにてAIが活性状況を自動判定し、遠隔給餌制御サーバを介して船舶上の給餌機制御部へ判定情報を伝達し、給餌機を自動制御します。

給餌機は既存設備を流用し、現状はハンドルを使って人力で操作しているものを遠隔・電子的に制御できるように改造を行います。

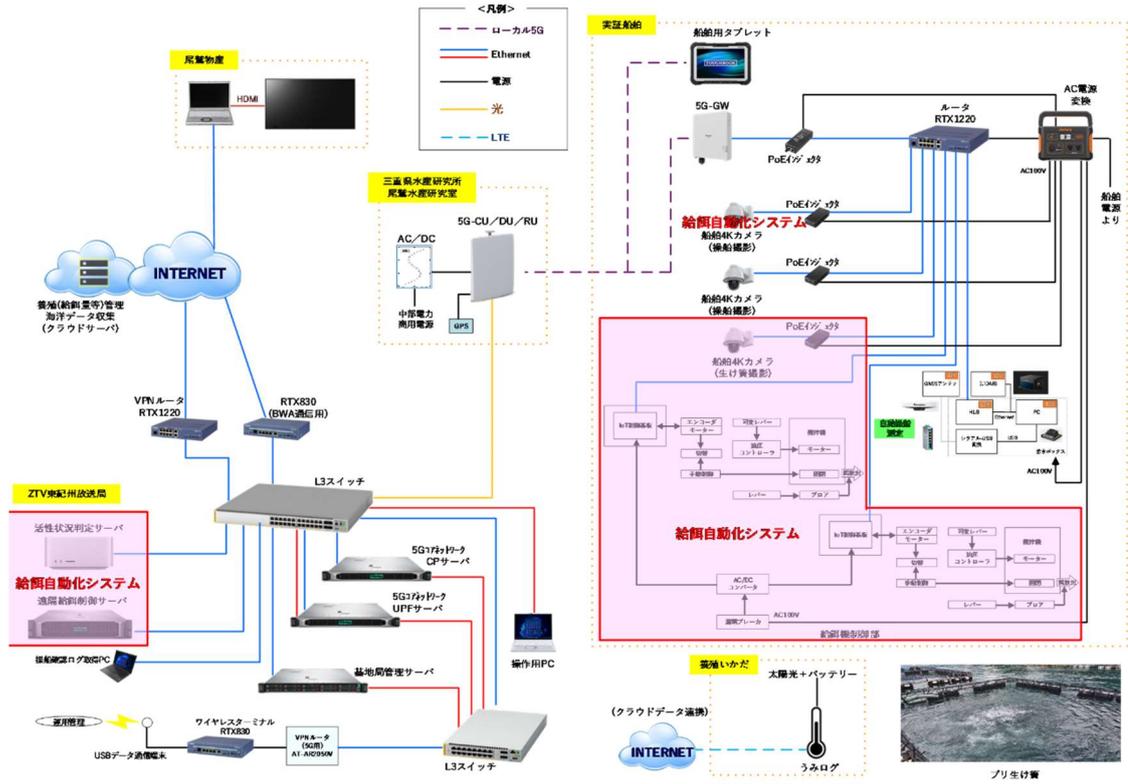


図 2-11 給餌自動化システム構成 (赤枠箇所)

表 2-5 給餌自動化システムシステム構成

項目	装置名	数量	設置形態	調達先	機能
4Kカメラ	P3248-LVE Network Camera	1	固定	AXIS	生け簀撮影
活性化状況判別サーバ	Mac Studio	1	固定	Apple	AI解析
遠隔給餌制御サーバ	HPE ProLiant DLサーバ	1	固定	HP	給餌制御 育成管理
AI開発用PC	Mac Book Pro	2	固定	Apple	AI解析開発
給餌自動化システム	遠隔給餌システム	1	固定	アイエスイー	自動給餌制御



図 2-10 うみログ設置位置
(国土地理院地図)

(3) 操船確認システム

生け簀周辺での給餌船の操船状況を確認するための4Kカメラ2台を船舶へ設置します。撮影された高精細映像はローカル5Gネットワークを通じて、船舶所有者である尾鷲物産事務所内へ伝送され、映像を大型モニターリアルタイムに映し出すことで、事務所内で操船状況の確認が可能となります。当システムは給餌業務における安全管理への活用その他、将来的な自動操船に向けたデータの収集に活用します。

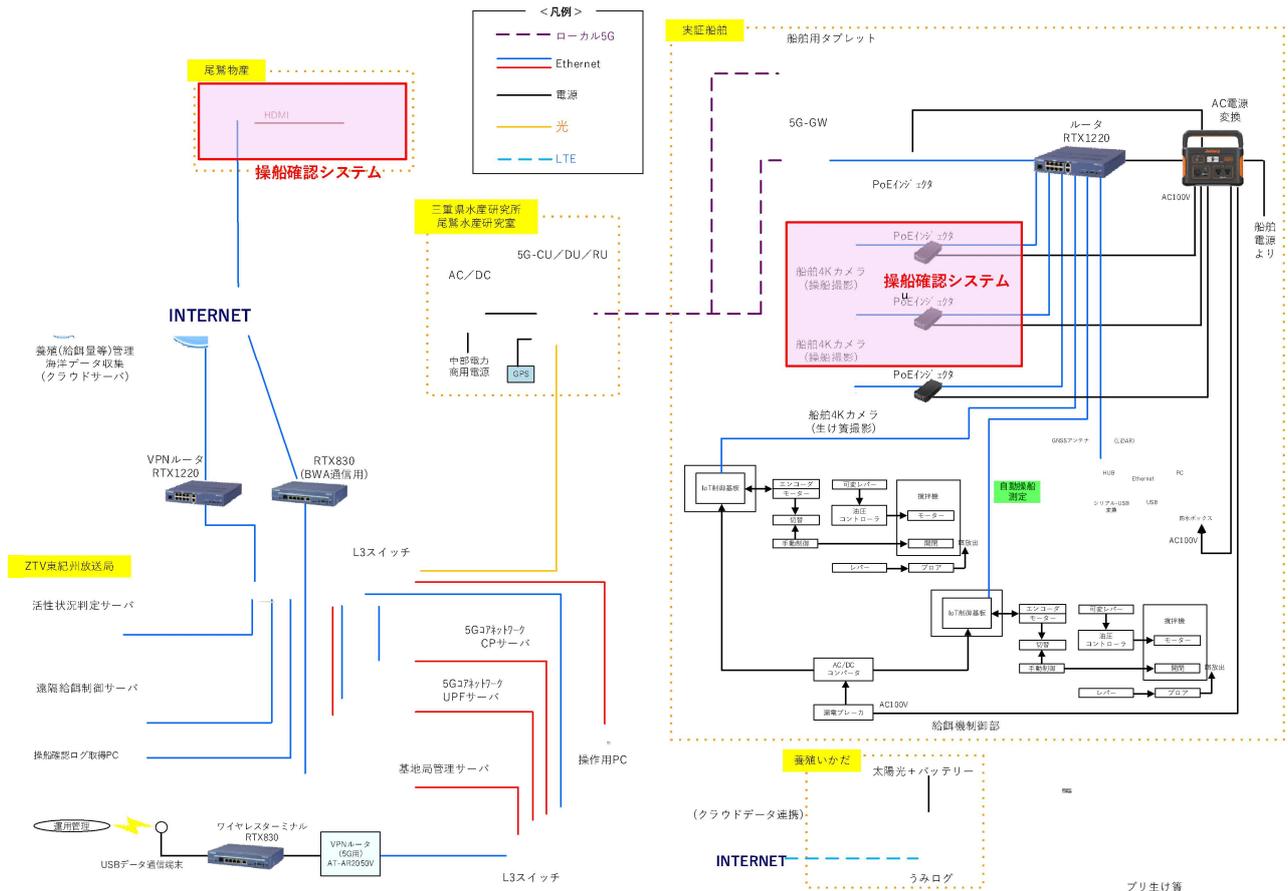


図 2-11 操船確認システム構成 (赤枠箇所)

表 2-7 操船確認システム

項目	装置名	数量	設置形態	調達先	機能
4Kカメラ	P3248-LVE Network Camera	2	固定	AXIS	操船確認撮影
尾鷲物産ノートPC	Let's note	1	固定	Panasonic	操船確認用
尾鷲物産液晶テレビ	55インチテレビ	1	固定	Panasonic	操船確認用

2.4 システム機能・性能・要件

本実証のローカル 5G 無線区間に必要とされる通信性能を以下に示します。

表 2-8 ローカル 5G 無線区間に必要な通信性能

項番	送信データ	送信元	送信先	用途	通信性能		フレームレート	伝送遅延
					UL	DL		
1	4Kカメラ映像	生け簀撮影用4Kカメラ	遠隔給餌制御サーバ	給餌活性判別	15Mbps	—	10fps以上	1秒以下
2	4Kカメラ映像	操船確認用4Kカメラ	尾鷲物産PC	操船確認	15Mbps	—	10fps以上	1秒以下
3	4Kカメラ映像	操船確認用4Kカメラ	尾鷲物産PC	操船確認	15Mbps	—	10fps以上	1秒以下
4	海洋データ 給餌量等	養殖（給餌量）管理、 海洋データ収集（クラウド）	タブレット	海洋データ 給餌量管理	1Mbps	5Mbps		1秒以下
5	給餌機制御情報	遠隔給餌制御サーバ	給餌機制御システム	給餌機制御	—	1Mbps	—	1秒以下
合計					16Mbps	6Mbps		

商用化時には湾内に 5 隻程度の給餌船が同時に稼働するため、単体運用の 5 倍程度のトラフィックが発生することが想定されます。

本実証では画質、フレームレート等の変更による AI 判定や自動操船への影響度合いを測定し、実運用時の適正なパラメータについても検証します。

(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。

● 5G コアネットワーク サーバ

■ 主要諸元

- SAモデル
- 5Gコアをオンプレ設置



サーバ外観図

図 2-12 5G コアネットワークサーバ

表 2-9 5G コアネットワークソフトウェア

項目	内容
仕様	ローカル5G SA Sub6対応。3GPP Rel. 15 準拠
構成	オンプレ型、Cプレーン/Uプレーン一体型

表 2-10 5GC CP サーバ

項目	内容
性能	Core i3-9100 3.6GHz x2, 8GB x2, SSD 800GB x2
装置電源 (消費電力)	約371 W
動作温度範囲	温度：10 ～ 35 ° C、湿度：8 ～ 90 %
装置サイズ/重量	W434×D424×H44mm / 7.9kg

表 2-11 5GC UPF サーバ

項目	内容
性能	XeonG 5218 2.3GHz x2, 32GB x2, SSD 800GB x2
装置電源 (消費電力)	約843 W
動作温度範囲	温度：10 ～ 35 ° C、湿度：8 ～ 90 %
装置サイズ/重量	W435×D707×H43mm / 最大16.3kg

● 基地局管理サーバ



図 2-13 基地局管理サーバ

表 2-12 基地局管理サーバ

項目	内容
仕様	gNB管理サーバ、gNodeB監視制御用
設定管理項目	各種無線パラメータ設定。障害管理、構成管理、ソフトウェア更新など
装置電源 (消費電力)	約433W (100V時)
動作温度範囲	温度：10 ～ 35 ° C、湿度：8 ～ 90 %
装置サイズ/重量	W435×D707×H43mm / 最大16.3kg

- レイヤ3スイッチ①



図 2-14 レイヤ3スイッチ

表 2-13 レイヤ3スイッチ

項目	内容
種別	スイッチレイヤ3スイッチ
最大ポート数	18
通信速度	1000Mbps/ 10Gbps/ 40Gbps
VLAN機能	ポートベースVLAN、プロトコルVLAN、IEEE8021QタグVLAN × 4094個、マルチプルVLAN
最大消費電力	140W

- レイヤ3スイッチ②



図 2-15 レイヤ3スイッチ

表 2-14 レイヤ3スイッチ

項目	内容
種別	スイッチレイヤ3スイッチ
最大ポート数	28
通信速度	10Mbps/ 100Mbps/ 1000Mbps/ 10Gbps
VLAN機能	ポートベースVLAN、プロトコルVLAN、IEEE8021QタグVLAN × 4094個、マルチプルVLAN
最大消費電力	43W

- VPNルーター



図 2-16 VPN ルーター

表 2-15 VPN ルーター

項目	内容
種別	VPNルーター
適用回線	ADSL CATV FTTH
インターフェース	10/ 100/ 1000BASE-T (WAN x1) (LAN x4)
通信プロトコル	TCP/ IP、PPP、PPPoE、IPv4、IPv6
セキュリティ	IPsec、L2TP、GRE、SPI、パケットフィルタリング
最大消費電力	14W
装置サイズ/重量	W210×D220×H43mm/1.5kg

- 操作端末



図 2-17 操作端末

表 2-16 操作端末

項目	内容
仕様	インテル® Core™ i5-1145G7 プロセッサ キャッシュ8MB、最大4.40 GHz
メインメモリ	16 GB LPDDR4x SDRAM
ストレージ	SSD : 256 GB (PCIe)
ワイヤレスWAN	5G<E対応
最大消費電力	約85W
装置サイズ/重量	W308.6×D235.3×H18.2mm/約1.144kg

● ローカル 5G 基地局

- 主要諸元
- 屋外SAモデル
 - All in oneタイプ
(CU/DU/RU一体型)



図 2-18 ローカル 5G 基地局

表 2-17 ローカル 5G 基地局

項目	内容
仕様	3GPP Rel. 15 準拠
適用バンド	N79 (4.8~4.9GHz/中心周波数4.84998GHz)
帯域幅	100MHz
MIMO	2T2R
送信出力	4 W (2W/Port) 【本実証の設定値 0.5W】
アンテナ	内蔵：利得18dBi、指向性（水平65° / 垂直8°）
基地局同期方式	GPS
端末同期パターン	同期、準同期（パターン1）
最大通信速度 （理論値）	同期：DL (2x2) 800Mbps UL (1x1) 90Mbps 準同期：DL (2x2) 340Mbps UL (1x1) 180Mbps
バックホール回線	1Gbps SFP
同時通信端末台数	16 台
電源（消費電力）	DC-48V (70-90W)
環境性能	IP66
動作温度範囲	-40℃~55℃
装置サイズ/重量	H500mm×W280mm×H170mm/12kg
同梱品	GPSアンテナ、取り付け金具

- 5G-ゲートウェイ

■ 主要諸元

- 屋外モデル
- NSA/SA、sub6/mmWに対応
- ローカル/キャリアの両周波数に対応

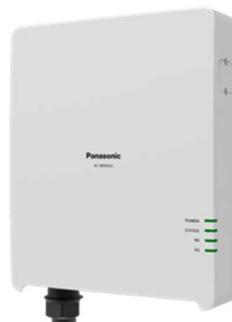


図 2-19 5G ゲートウェイ

表 2-18 5G ゲートウェイ

項目	内容	
仕様	3GPP Rel. 15 準拠	
適用 バンド	5G	n77/78 (3.7GHz) 、 n79 (4.5GHz) 、 n257 (28GHz)
	4G	B1、 B3、 B8、 B18、 B19、 B21、 B42、 B39、 B41
帯域幅	100MHz / 200MHz / 400MHz	
MIMO	5G (sub6) / 4G : DL 4x4MIMO、 UL SISO 5G (mmW) : DL/UL 2x2MIMO	
基地局同期パターン	同期、準同期 (パターン 1)	
外部IF	5G/2.5G/1G/100Mbps×1、 USB3.0×1	
電源 (消費電力)	PoE+ / DC12V (25.5W)	
環境性能	IP66	
動作温度範囲	-10℃ ~ 50℃	
装置サイズ / 重量	H246mm × W206mm × H65.5mm / 1.6kg	
同梱品	取り付け金具、取説	

- タブレット PC (ローカル 5G 対応)



図 2-20 タブレット PC

表 2-19 タブレット PC

項目	内容
仕様	インテル® Core™ i5-10310U プロセッサー キャッシュ6MB、動作周波数1.70 GHz
メインメモリ	8 GB LPDDR4x SDRAM
ストレージ	SSD : 256 GB (PCIe)
ワイヤレスWAN	5G<E対応 (nanoSIMカード + eSIM対応)
最大消費電力	約110W
装置サイズ/重量	W279×D188×H23.5mm/ 約1.21 kg (大容量バッテリーパック [20]装着時 : 約1.29 kg)

● VPN ルータ



図 2-21 VPN ルータ

表 2-20 VPN ルータ

諸元・動作環境条件等	内容
寸法	約 42 (h) x 220 (w) x 239 (d) mm
質量	約1.5kg
電源	AC100~120V
消費電力	14.5W (28VA) 、 0.28A
動作温度範囲	0°C ~ 45°C
動作湿度範囲	15% ~ 80%RH (結露しないこと)

● 活性状況判定サーバ



図 2-22 活性状況判定サーバ

表 2-21 活性状況判定サーバ

諸元・動作環境条件等	内容
寸法	約 9.5 (h) x 19.7 (w) x 19.7 (d) mm
質量	約2.7kg
電源	AC100～240V
消費電力	370W
動作温度範囲	10℃ ～ 35℃
動作湿度範囲	5% ～ 90%RH (結露しないこと)

- 遠隔給餌制御サーバ



図 2-23 遠隔給餌制御サーバ

表 2-22 遠隔給餌制御サーバ

諸元・動作環境条件等	内容
寸法	約 9.5 (h) x 19.7 (w) x 19.7 (d) mm
質量	約2.7kg
電源	AC100～240V
消費電力	370W
動作温度範囲	10℃ ～ 35℃
動作湿度範囲	5% ～ 90%RH (結露しないこと)

- 開発用 PC



図 2-24 開発用 PC

表 2-23 開発用 PC

諸元・動作環境条件等	内容
寸法	約 1.68 (h) x 35.57 (w) x 24.81 (d) mm
質量	約2.1kg
電源	AC100~240V
動作温度範囲	0°C ~ 35°C
動作湿度範囲	0% ~ 90%RH (結露しないこと)

- 4K 高精細カメラ



図 2-25 4K 高精細カメラ

表 2-24 4K 高精細カメラ

諸元・動作環境条件等	内容
解像度	3840x2160
フレームレート	最大25/30フレーム/秒 (50/60 Hz)
寸法	直径149 x 104mm
質量	約800g
電力	IEEE802.3af/802.3at Type1 Class3 最大11.8W
動作温度範囲	-40°C ~ 50°C
動作湿度範囲	10% ~ 100%RH (結露可)

- ルータ



図 2-26 ルータ

表 2-25 ルータ

諸元・動作環境条件等	内容
寸法	約 42 (h) x 220 (w) x 239 (d) mm
質量	約1.5kg
電源	AC100~120V
消費電力	14.5W (28VA) 、 0.28A
動作温度範囲	0°C ~ 45°C
動作湿度範囲	15% ~ 80%RH (結露しないこと)

- AC 電源変換



図 2-27 AC 電源変換

表 2-26 AC 電源変換

諸元・動作環境条件等	内容
寸法	約190.5 (h) x 299.7 (w) x 191.5 (d) mm
質量	約6.8kg
入力電源	DC24V/7.5A Max (12-30V対応)
出力電源	2x AC100V/5A 60H 合計500W (瞬間最大1000W)
定格容量	リチウムイオン電池31.9Ah/22.2V (708.18Wh)
動作温度範囲	-10°C ~40°C

- 大型モニタ



図 2-28 大型モニタ

表 2-27 大型モニタ

諸元・動作環境条件等	内容
寸法	約 680 (h) x 1210 (w) x 1388 (d) mm
質量	約22.5kg
電源	AC100
消費電力	205W

● みログ



図 2-29 うみログ

表 2-28 うみログ

諸元・動作環境条件等	内容
LTE回線モデム	LTE/4G回線、無線LANルータ機能
IoT制御基板	定期的に海洋データを配信、GPSによる位置情報取得
水中カメラ	イメージセンサー：1.2.9” プログレッシブCMOS、解像度：1920×1080、夜間撮影可能：30mまで有効な赤外線照射器内蔵、最大深度：10m
ソーラーバッテリー	ソーラーDC12V 5W / バッテリーDC12V 7.2Ah
ボックス	サイズ：W320mm×H370mm×L229mm 重量：5kg
水温センサー	3層水温測定、ケーブル長17m
溶存酸素 (DO) センサー	方式：燐光式、範囲：0～200%飽和度、分解能：0.01%、制度±2%、ケーブル長：20m

2.5 その他

実施環境の構築にあたり、要件を全て満たす旨を以下表に示します。

2.5.1 実証システムの拡張性等

表 2-29 各種要件と要件を満たす旨の説明内容

要件	説明内容
今後の技術発展を柔軟に取り込めるよう、国際規格やオープンな技術に依拠し、普及段階において機能拡張が可能な設計とすること。	基地局、コア設備等のローカル5Gシステム機器は、3GPP標準化仕様に準拠し、標準の通信インターフェースを具備し、ソフトウェアによる機能改善が可能です。 その他システムにおいても同様に標準の通信インターフェースを具備し、ソフトウェアによる機能改善が可能です。
5G基地局については、3GPPで策定作業が進められている5G無線アクセスの仕様の最新の標準化状況を踏まえた無線インターフェースを用いること。	5G基地局は3GPP標準化仕様に準拠し、標準の通信インターフェースを具備します。

2.5.2 実証システムの安全性確保のための対策

(1) 特定高度情報通信技術活用システム

表 2-30 各種要件と要件を満たす旨の説明内容

要件	説明内容
基地局、コア設備等については、特定高度情報通信技術活用システムの開発供給および導入の促進に関する法律（令和2年法律第37号）に基づく開発供給計画認定1を受けた実績を有する事業者が開発供給した機器であること。同認定を受けた実績のない事業者が開発供給した機器にあっては、「ローカル5G導入に関するガイドライン」に記載の「サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策」を講じていると認められること。	基地局、コア設備等のローカル5Gシステムを開発供給する事業者：パナソニック コネクト（株）は、開発供給計画認定は現時点未取得ですが、申請予定です。ローカル5Gコア設備、基地局に日本（国産）、米国の製品を利用します。調達仕入先管理や脆弱性検査を実施し、「サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策」を講じます。

(2) その他の実証システム

表 2-31 各種要件と要件を満たす旨の説明内容

要件	説明内容
<p>事業で導入するシステムについては、「IT調達に係る国等の物品等または役務の調達方針および調達手続に関する申合せ」（関係省庁；令和3年7月一部改正）等に留意し、サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策を講ずること。</p>	<p>調達仕入先管理や脆弱性検査を実施し、「サプライチェーンリスク対応を含む十分なサイバーセキュリティ対策」を講じます。</p>
<p>特に、クラウドサービスの利用など、外部のネットワークへの接続やデータ伝送を伴う場合、個人情報の管理等を含め、情報の流通経路全般に渡るセキュリティが適切に確保されるよう、情報の流通経路全般を見渡した形で、必要なセキュリティ対策等を実施すること。</p>	<p>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パケット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す。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することで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す。Webサーバには、ファイア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。</p>
<p>必要に応じて機能改善を行えるように進めること。</p>	<p>基地局、コア設備等のローカル5Gシステムは、3GPP標準化仕様に準拠し、標準の通信インターフェースを具備し、ソフトウェアによる機能改善が可能です。</p>
<p>横展開が容易に実現可能となる仕組みを検討すること。</p>	<p>ローカル5Gシステムはコア設備の共用が可能のため、地域内で複数のブリ養殖事業者への展開時にはローカル5G導入コストの削減が見込めます。また、今回導入する自動給餌システムは新たな給餌機の導入を必要とせず、既存給餌機の改造にて実現できることから、容易な横展開が可能です。</p>

3. ローカル5Gの電波伝搬特性等に関する技術的検討（技術実証）

3.1 実証概要実証概要

ローカル5Gによる柔軟な運用の実現および低廉かつ安心安全なローカル5Gの利活用の実現に向け、新たな利用場面と利用環境となりえる、無線電波に対し遮蔽物が少ない海上において、次の観点で電波伝搬等に関する技術的検討を実施しました。

- ・ 電波伝搬モデルの精緻化として、潮の満ち引き（潮位変動）による基地局アンテナと移動局端末との相対的な高さ変化の影響を考慮し、さらにローカル5Gの普及促進を踏まえ無線局の簡易な申請を可能とするため、現行パラメータ対象ではない精緻化の検討
- ・ エリア構築の柔軟性向上として、湾対岸への電波漏洩を軽減するためアンテナチルト角を調整
- ・ 上記を通じて、自由空間に近い電波伝搬にて到達する海上におけるローカル5G電波伝搬特性等の詳細なデータを取得



図 3-1 尾鷲湾 海上でのローカル5G実証



ローカル5G基地局

ローカル5G基地局のビーム方向
方位・チルト角を調整

図 3-2 写真：ローカル5G基地局と眺望

3.2 実証環境

2章に記載した実証環境に加え、下記の事項を実施しました。

- ・ 同環境において、電波伝搬特性等の測定のため、ローカル 5G 用エリアテスタを使用
- ・ パナソニックコネクト（株） 佐江戸事業場にて、無線設備ローカル 5G システムの構築・システム検証および性能確認
- ・ 電波伝搬シミュレーションに関し、商用ソフトのエリアシミュレーションに加え、総務省委託研究で実績のある(株)パナソニックシステムネットワークス開発研究所のレイトレースシミュレーションソフトを機能改善して活用
- ・ 高精度測位（RTK 測位）を試行導入し、受信アンテナの高さ方向を含む位置精度確認

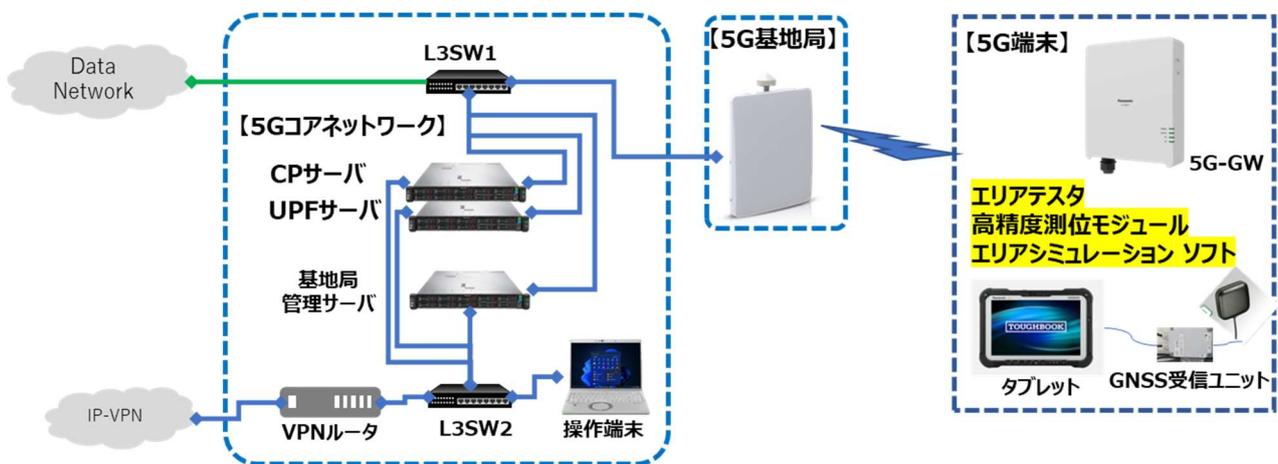


図 3-3 実証環境のシステム構成



図 3-4 写真：サーバ・スイッチ類のラック

尾鷲湾海上では、湾内にある養殖漁場（基地局から 1-2km 付近）の生け簀周りにて作業する小型船を尾鷲物産様が運航いただき、技術実証の電波測定を実施しました。

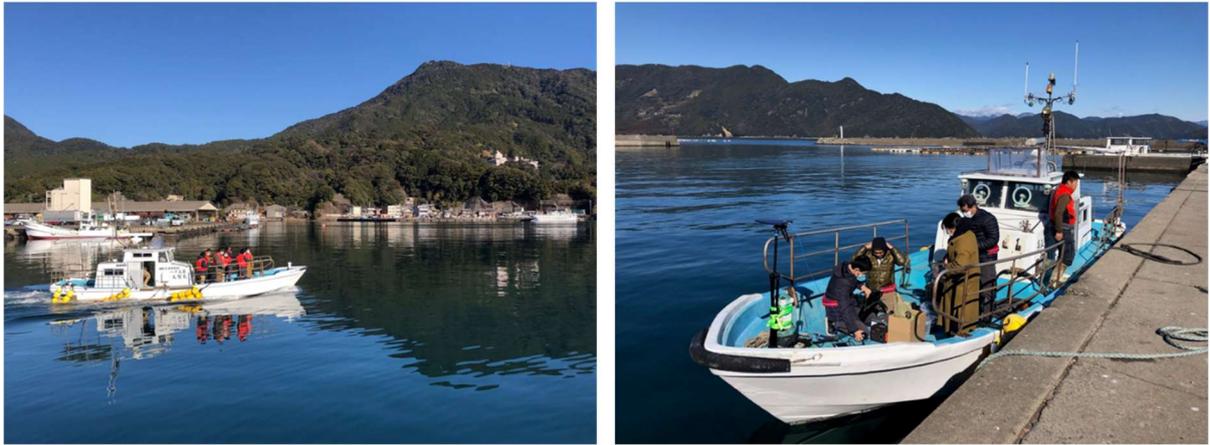


図 3-5 写真：技術実証測定を実施した船



図 3-6 写真：海上での電波測定機材



図 3-7 写真：海上での電波測定の様子

3.3 実施事項

3.3.1 電波伝搬モデルの精緻化

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

海上でローカル 5G を活用するためのエリア設計に寄与することを目的に、陸上とは異なり遮蔽物が少なく自由空間に近い電波伝搬モデルにおいて、潮の満ち引き（潮位変動）に伴う相対的な高さ変化の影響を考慮して、現行パラメータ対象ではない精緻化を検討し、海上におけるローカル 5G 電波伝搬特性等の詳細なデータを取得します。

三重県尾鷲湾の潮位変動は、2023 年 1 月でおよそ-0.3m から 1.7m と約 2m の差異があり、影響を計測する実施環境として適しています。潮位変動によって基地局アンテナ高さ（空中線高）と端末との相対的な高さが増える影響のもと、その相対的な高さが小さい時（30m 以下、特に 10m 以下）に補正パラメータとなり自由空間伝搬との差異が大きくなる伝搬減衰計算値と、計測データとの相関を検証します。一般的な地方漁港では、周囲に大きな建物はなく、設置できるアンテナ高は 10m 以下になると推察されます。

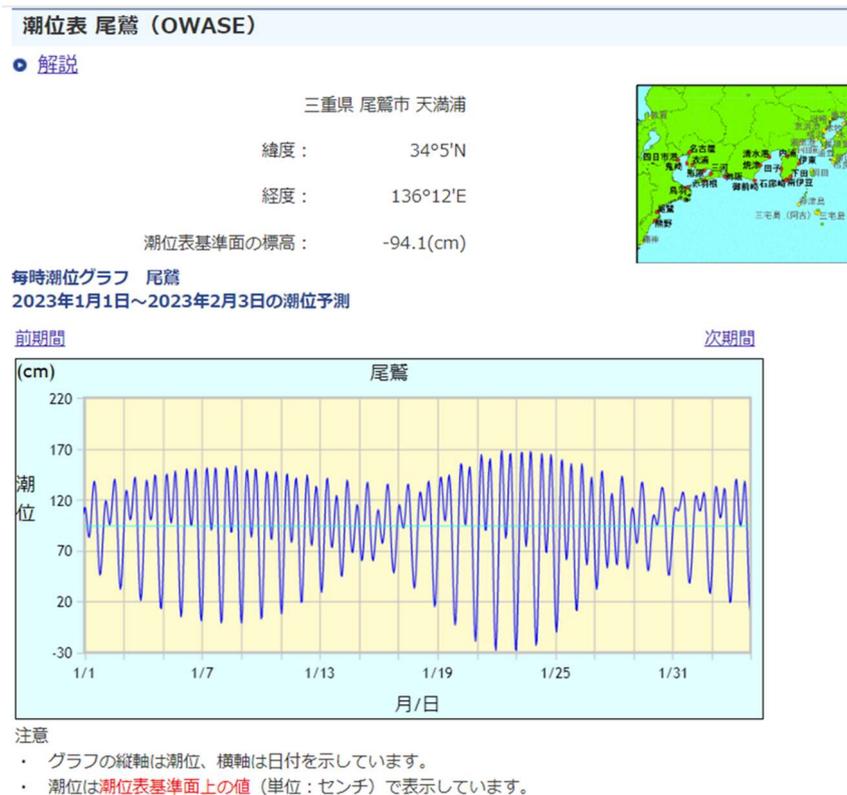


図 3-8 2023 年 1 月 尾鷲港 潮汐観測

(気象庁 | 潮汐・海面水位のデータ 潮位表 尾鷲 (OWASE) 2023 年 1 月 (jma. go. jp))

2) 実証目標

海上にてローカル 5G のエリア設計に寄与するため、現行パラメータを対象とせず、現行のエリア算出法にも特定の距離区間で適用されている、自由空間の電波伝搬モデルをベースとして、基地局のアンテナ高さ（空中線高）と端末高さから導かれる 2 波モデルのブレイクポイントを距離閾値とする、海上での算出モデルの提案を目標とします。この際、ローカル 5G の普及促進を踏まえ無線局を簡易に申請できるよう、簡易化した導出にします。

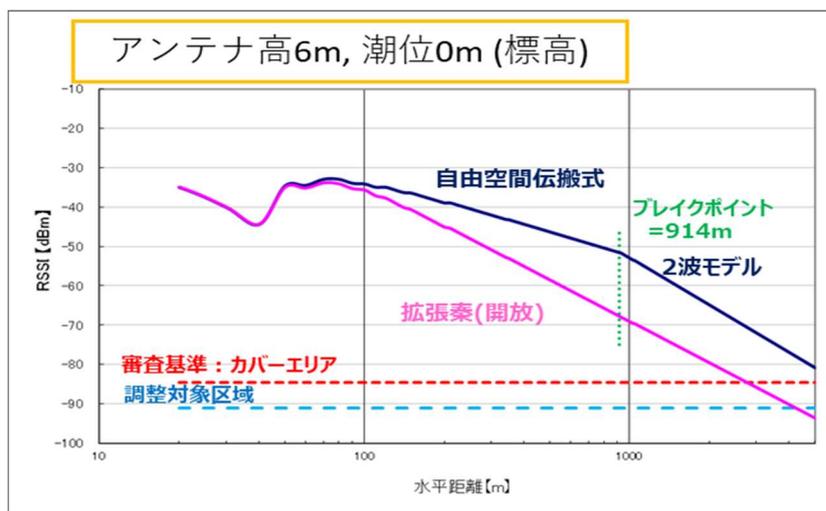


図 3-9 拡張系（開放）と自由空間伝搬との、電波強度（RSSI）の計算値比較

アンテナ（高さ H_b ）と端末（高さ H_m ）との距離 d [m] を伝搬する無線（波長 λ [m]）に対し、ブレイクポイントは、2 波モデル伝搬損失の対数グラフにおいて近似曲線の傾斜が $1/d^2$ (=自由空間伝搬) から $1/d^4$ になる距離 $D_b = 2\pi H_b H_m / \lambda$ としています。第 1 フレネルゾーン距離 D_f とする文献もあります（「UWB 信号の見通し内伝搬損失距離特性」東京電機大学大学院工学研究科・独立行政法人通信総合研究所、電波研連 F 分科会、2003 年 12 月（前出））。

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

令和 2 年度ローカル 5G 開発実証の No. 4 では、潮位の影響により RSRP 値が 5dB 程度変動するため、マージンを考慮する必要があるという実測からの結果考察のみ（広島でも測定時最大潮位差は 80cm 程度）でした。潮位に対する影響を実測しているが、1m 超の潮位差でのデータ収集がされておらず、本件は 1m 超の潮位差での計測から検証します。

令和 3 年度の No. 11 では、エリア端の測定が目的で直線的な航路上でデータ収集であり、潮位変動が 50cm 程度であればパラメータ K にはほとんど影響を与えないという考察でした。実際潮位変動は本実証場所の尾鷲湾では 1-2m にもおよびます。

本件提案の、三重県尾鷲湾の潮位変動は、2023 年 1 月でおよそ 0.5m から 2.5m と約 2m の差異があり、影響を計測する実施環境として適しています。潮位変動によって基地局アンテナ高さ（空中線地上高）と端末との相対的な高さが変化する影響のもと、基地局アンテナ高さが小さい時（30m 以下、特に 10m 以下）に補正パラメータあり自由空間伝搬との差異が大きくなる伝搬減衰計算値と、計測データとの相関を検証します。

(2) 実証仮説

海上では遮蔽物が少なく、自由空間の電波伝搬モデルに近いと考えられます。現行、審査基準のエリア算出法は、短距離での自由空間伝搬をベースに距離が離れると補正される拡張秦式で、また基地局アンテナ高さ（空中線地上高）が30m以下でも補正パラメータあり、特に10m以下では自由空間の伝搬損失計算値と差異が大きくなります。その場合に海上で潮位変動が1-2mあると顕著になると考えられます。

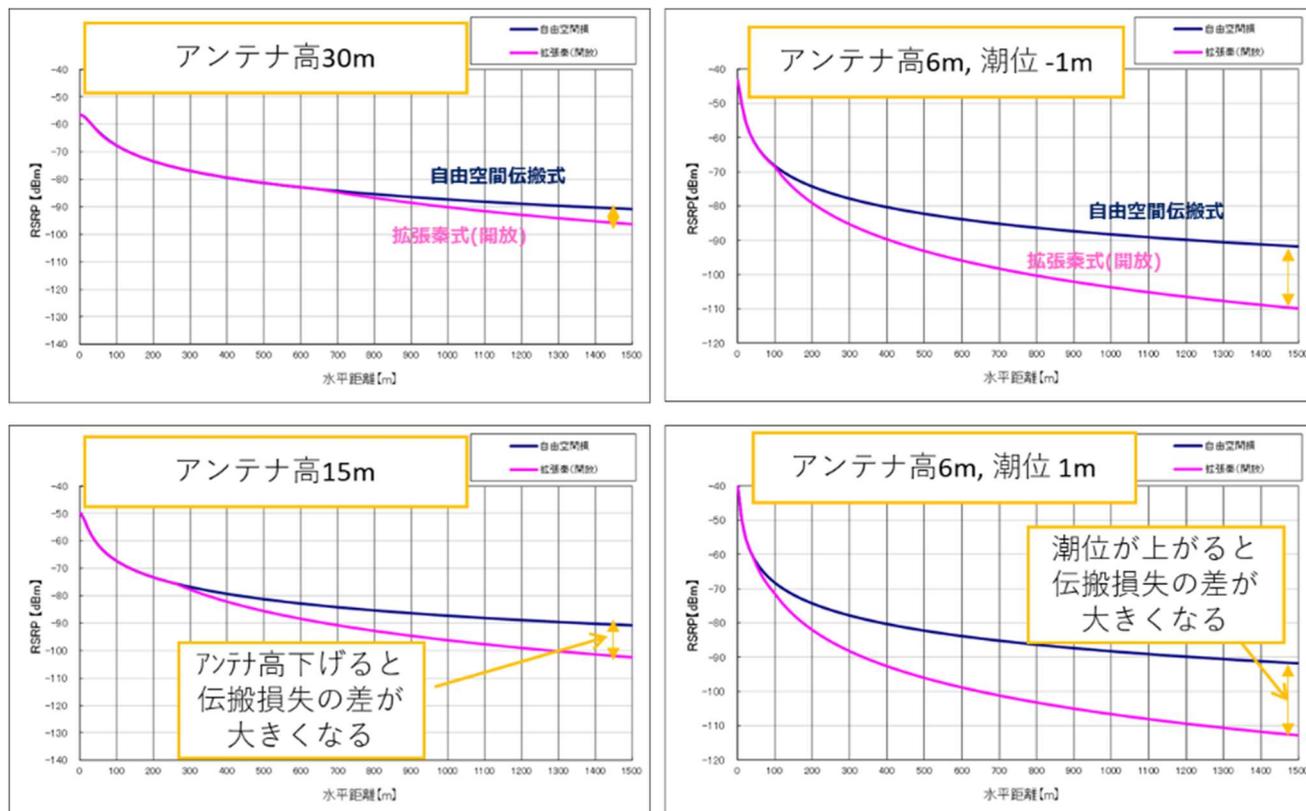


図 3-10 アンテナ高による自由空間伝搬式と拡張秦式の比較

精緻化の仮説としては、遮蔽物の少ない海上では、現行のエリア算出法：拡張秦式においても近距離区間で用いる自由空間の電波伝搬モデルを、距離を延長して適用することとします。

表 3-1 ローカル 5G 基地局の無線部特性

無線諸元	内容
周波数帯・帯域幅	周波数 4.8-4.9GHz 帯域 100MHz
アンテナ地上高	6 m (ポールに設置)
アンテナタイプ	セクタアンテナ (内蔵) 半値角 水平 65度 垂直 8度 利得 18dBi
送信出力	Tx 27dBm (0.5W)、RF Cable Loss 0dB

現行の算出法（審査基準）に基づいた、基地局のカバーエリアと調整対象区域を示します。なお、本実証のユースケースでは、端末を人が持たない運用のため、現行の算出法（審査基準）から人体吸収損を除いた場合の、基地局のカバーエリアと調整対象区域のエリア図を示します。

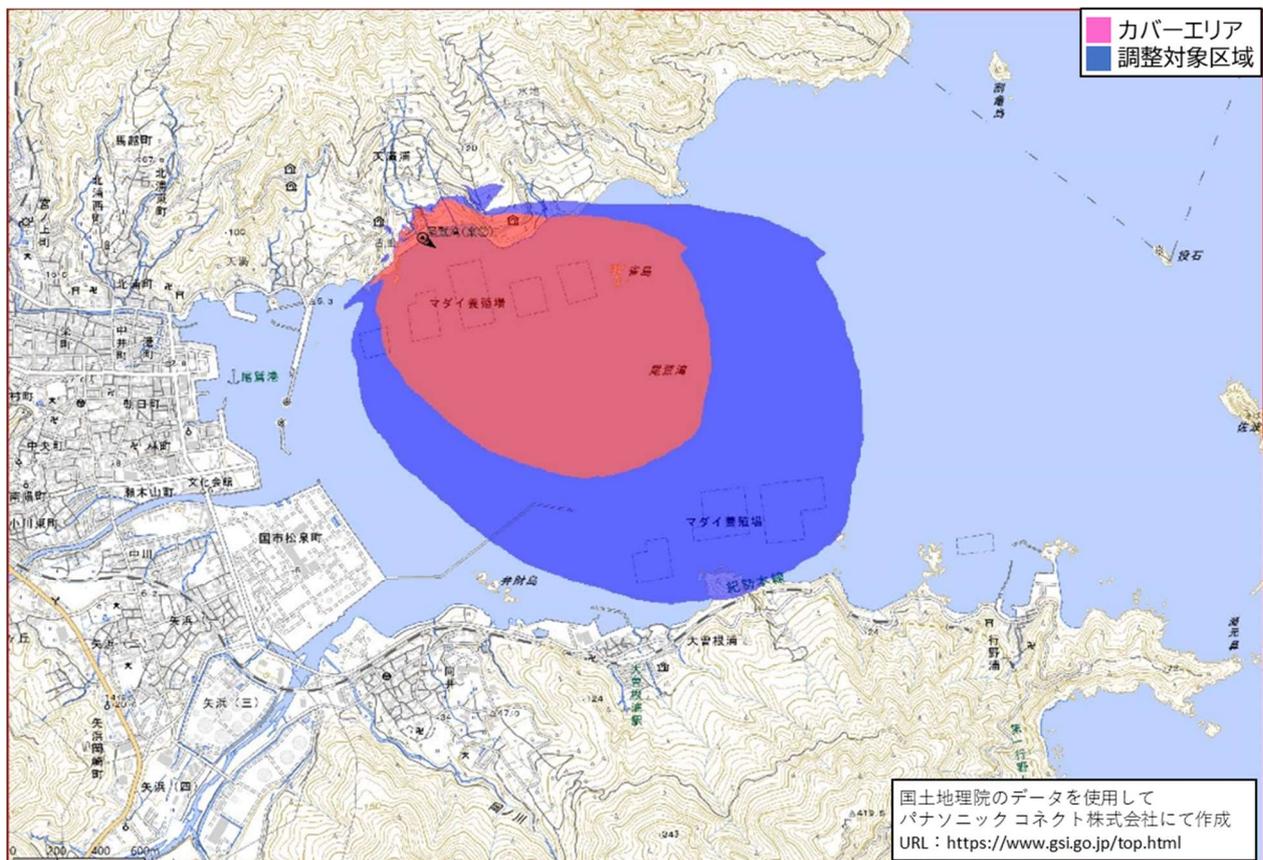


図 3-11 算出法（人体吸収損 なし） エリア図

以後、本実証ユースケースでの精緻化には人体吸収損なしとして検討を進めます。

本件実証環境である海上では遮蔽物なく平坦なため、ローカル 5G 基地局からの電波が自由空間伝搬すると 10km 近く到達すると考えられ、尾鷲湾内の業務区域となる養殖場生け簀 (1-2km 付近) を大きく越えてしまい、海上測定を実施する小型船で沿海遠くに向かうのは難しいため、ローカル 5G 基地局のアンテナビーム方向にチルト角 (5 度) を設定します。そのチルト角 5 度での自由空間の電波伝搬モデルでのエリアシミュレーション図を示します。

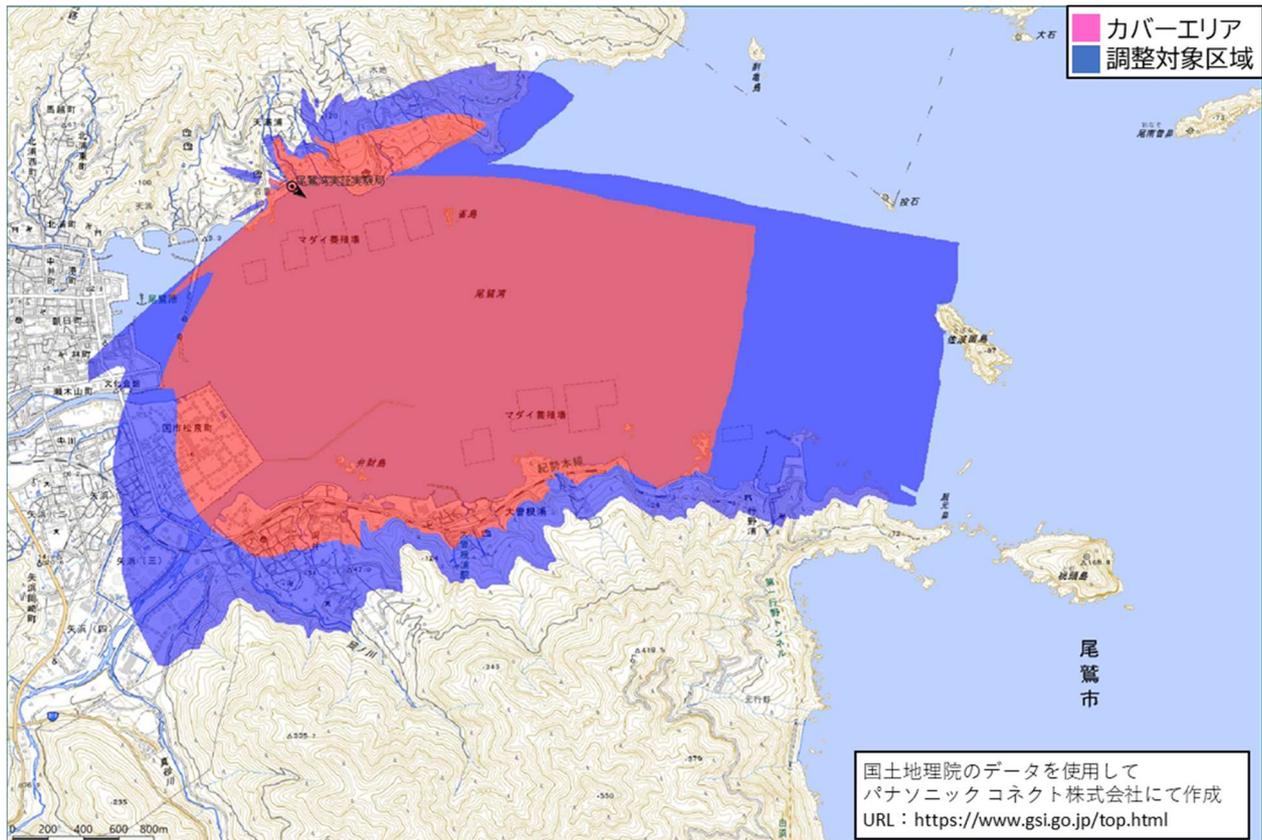


図 3-12 仮説エリア図

本精緻化仮説において、基地局のアンテナ高さ（空中線高）と端末高さから導かれる 2 波モデルのブレイクポイントを距離閾値として、遠距離では 2 波モデルを導入します。

アンテナ（高さ H_b ）と端末（高さ H_m ）との距離 d [m] を伝搬する無線（波長 λ [m]）に対し、ブレイクポイントは、2 波モデル伝搬損失の対数グラフにおいて近似曲線の傾斜が $1/d^2$ (=自由空間伝搬) から $1/d^4$ になる距離：

$$D_b = 2\pi H_b H_m / \lambda$$

としています。また第 1 フレネルゾーン距離：

$$D_f = 4 H_b H_m / \lambda$$

とする記述もあります（「UWB 信号の見通し内伝搬損失距離特性」東京電機大学大学院工学研究科・独立行政法人通信総合研究所、電波研連 F 分科会、2003 年 12 月）。

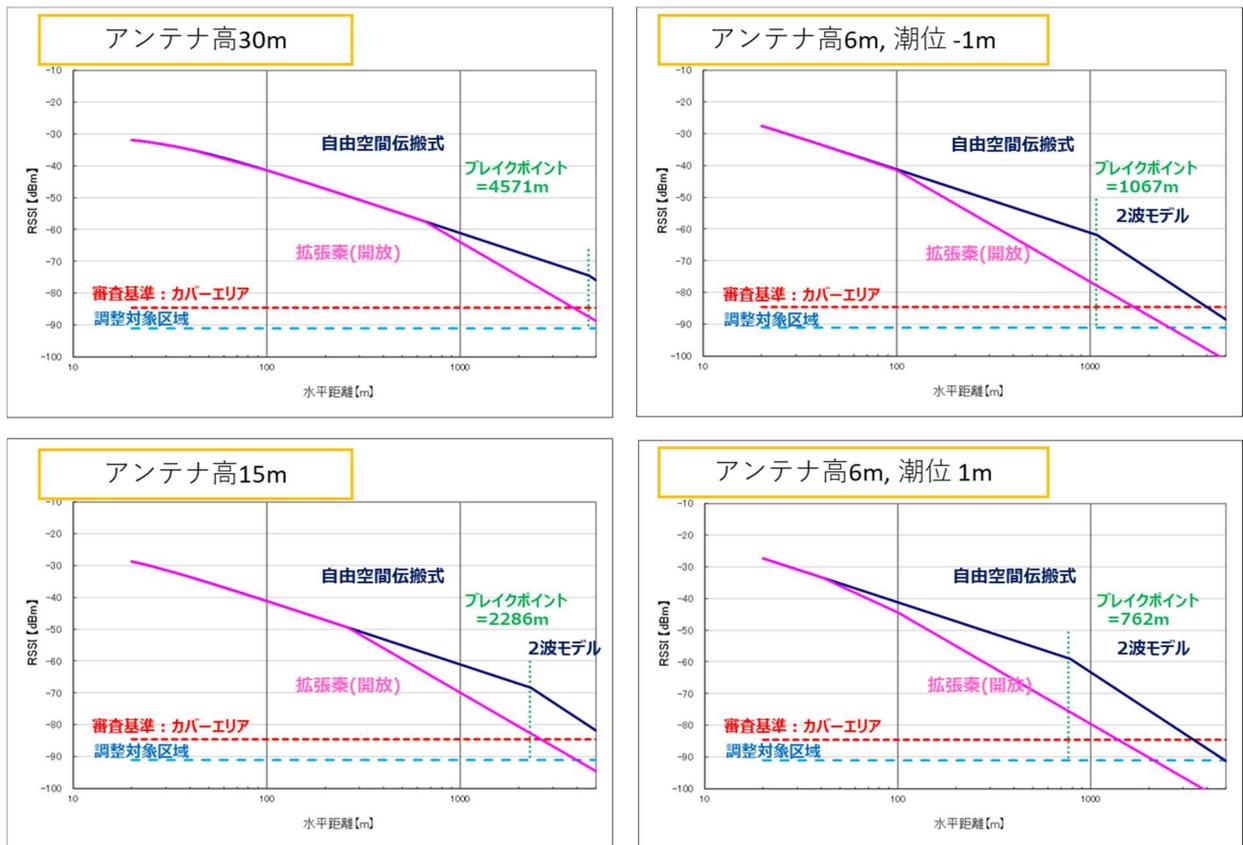


図 3-13 仮説=自由空間伝搬式/ブレイクポイントと、算出法=拡張秦式の比較

(3) 評価・検証項目

本実証で評価検証する電波伝搬特性の項目は、受信電力：SS-RSRP です。

測定日の内で潮位の高い満潮、および、低い干潮の時間帯に、基地局からカバーエリア端/調整区域端へ向けて、アンテナパターンの変動の少ない直線上の航路（2方向以上、下図の黄色線例）で、カバーエリア端と調整対象区域端を含む連続地点で、受信電力（RSRP）を海上船にて計測します。

潮位変動の少ない短時間で、エリアテスタを用い数百 msec 毎測定、測定地点 1 サンプルデータを約 0.5-2m の間隔幅で、直線航路上（障害物は回避）を低速度で運航して測定します。

加えて、30 地点以上の各測定地点で船を泊め、位置変動を記録しながら（小型海上船のため 10 ㍓範囲に停止することは困難なため）、変動幅を加えた各 1000 サンプル以上の電波強度測定を実施します。

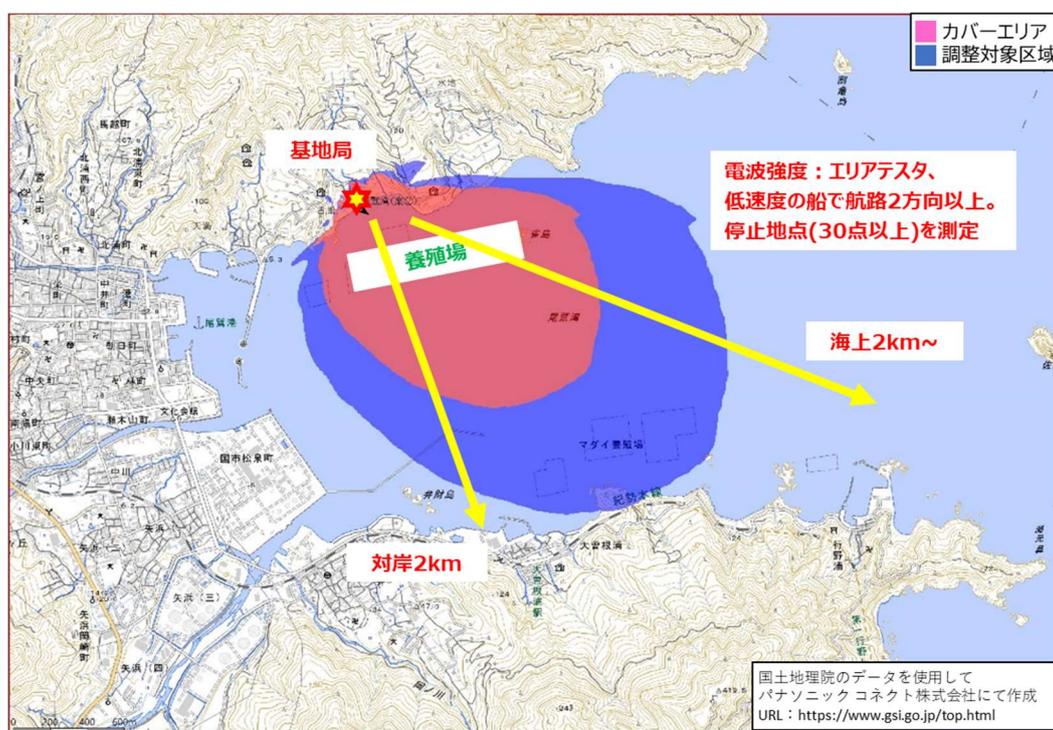


図 3-14 エリアテスタによる受信電力（RSRP）測定と航路（黄色線）

(4) 評価・検証方法

ローカル 5G の電波伝搬特性等の計測実施により、上記仮説を検証します。

電波法関係審査基準の算出法および仮説算出法に基づき、カバーエリアおよび調整対象区域の図を作成し、算出法エリア図内および仮説エリア図内で、受信電力 (RSRP) を測定します。その際、当該算出式のカバーエリアおよ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す。

エリアテストを用い、航路上を低速度で移動しながら、連続地点 (30 地点以上) において、受信電力 (RSRP) を測定します。

本実証はまず潮位変動に着目し、波の少ないタイミングで、波の影響が誤差範囲程度と想定して、測定を実施します。なお本件尾鷲湾は養殖場の場で、波は比較的穏やかです。

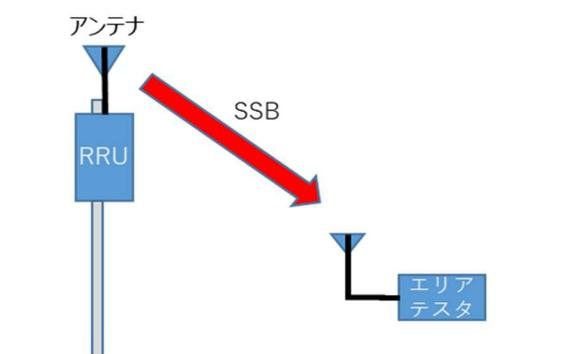


図 3-15 RSRP 測定系

受信電力 (RSRP) はエリアテストを使用し、基地局から送信される SSB の電力を測定します。

潮位の影響を検証するには、移動する船上での受信端末の特に高さ方向の位置精度が重要です。受信端末付近に GNSS アンテナを設置して GNSS 受信ユニットの 1 周波 RTK による高精度測位 (RTK 測位) を試行し、受信アンテナ位置の高さ方向を含む位置を確認します。

1) 測定機器

- ・ 5G 対応エリアテスト (VIAVI OneAdvisor 800 ONA-800A) …測定間隔約 200ms
- ・ 高精度測位 (Panasonic) …RTK 測位精度 (水平±2cm, 垂直±3cm) , 測定間隔 100ms

2) 試験手順

a. 長コース

上記測定機器を観測船に設置し、往路は基地局から方位 110° 方向へ一定速 (約 6 ノット) で航行し、エリアテストで測定限界点 (基地局から約 6km、RSRP で約-125dBm) まで受信電力 (RSRP) を連続的に測定します。復路は同一コースを途中 20 地点で停止し、各地点で 1000 サンプル以上の受信電力を測定します。航行中に高精度測位により測定した位置情報は、エリアテストの測定結果の時刻との照合により、測定地点と受信電力測定結果の紐づけに使用します。

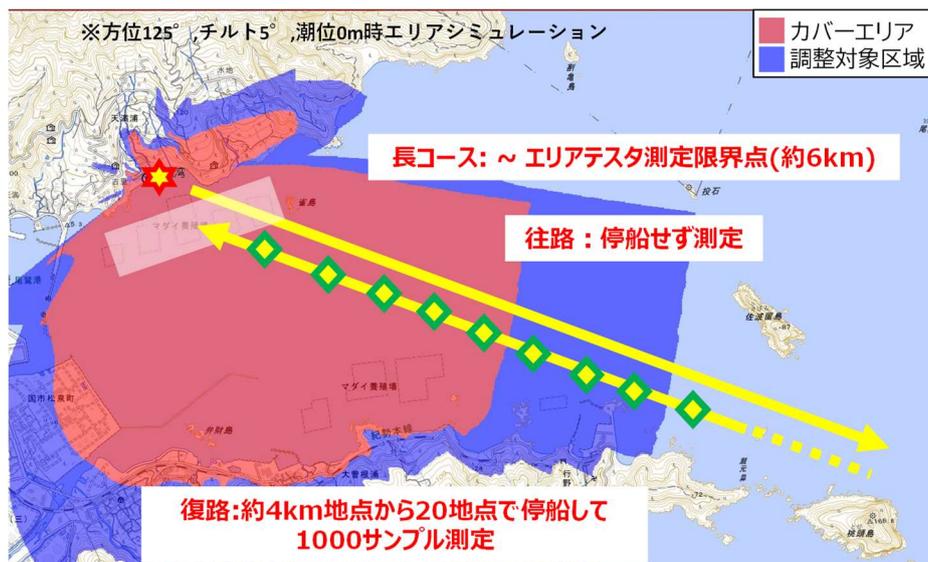


図 3-16 長コース航路図

b. 短コース

上記測定機器を観測船に設置し、往路は基地局から方位 162° 方向へ一定速 (約 6 ノット) で航行し、対岸付近航行可能点 (基地局から約 1.8km) まで受信電力 (RSRP) を連続的に測定する。復路は同一コースを途中 11 または 12 地点で停止し、各地点で 1000 サンプル以上の受信電力を測定する。航行中に高精度測位により測定した位置情報は、エリアテストの測定結果の時刻との照合により、測定地点と受信電力測定結果の紐づけに使用します。

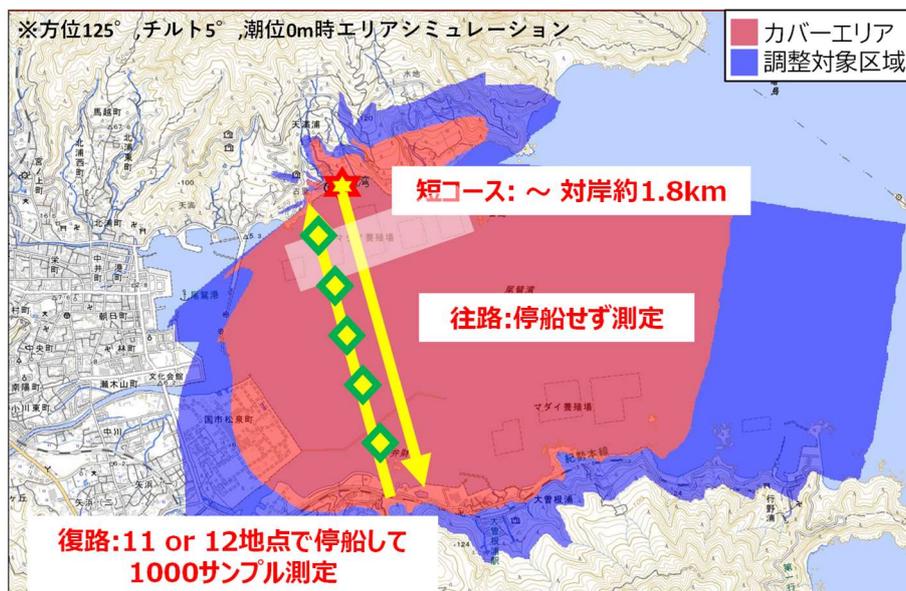


図 3-17 短コース航路図

※なお、船は潮流・風の影響で静止困難なため、1000 サンプル以上の測定点では位置情報の統計データも評価します。

(5) 実証結果および考察

1) 測定結果

a. 長コース

測定日時：満潮時（2023年1月26日 午前9時11分ごろ、潮位155cm）、干潮時（2023年1月25日 午後2時17分ごろ、潮位62cm）

◆定速航行測定

受信電力（RSRP）対基地局-移動局間距離の測定結果を示します。図に示すように満潮時と干潮時とも2波モデルの特徴（ブレイクポイント以内では2次の減衰、以遠では4次の減衰）を示しています。また、ブレイクポイントは満潮時⇒干潮時で180m後退することが認められ、それによりブレイクポイント以遠の受信電力が満潮時に対して干潮時に約1.5dB上昇しています。これは、潮位変動によりカバーエリアが変動することを示しています。

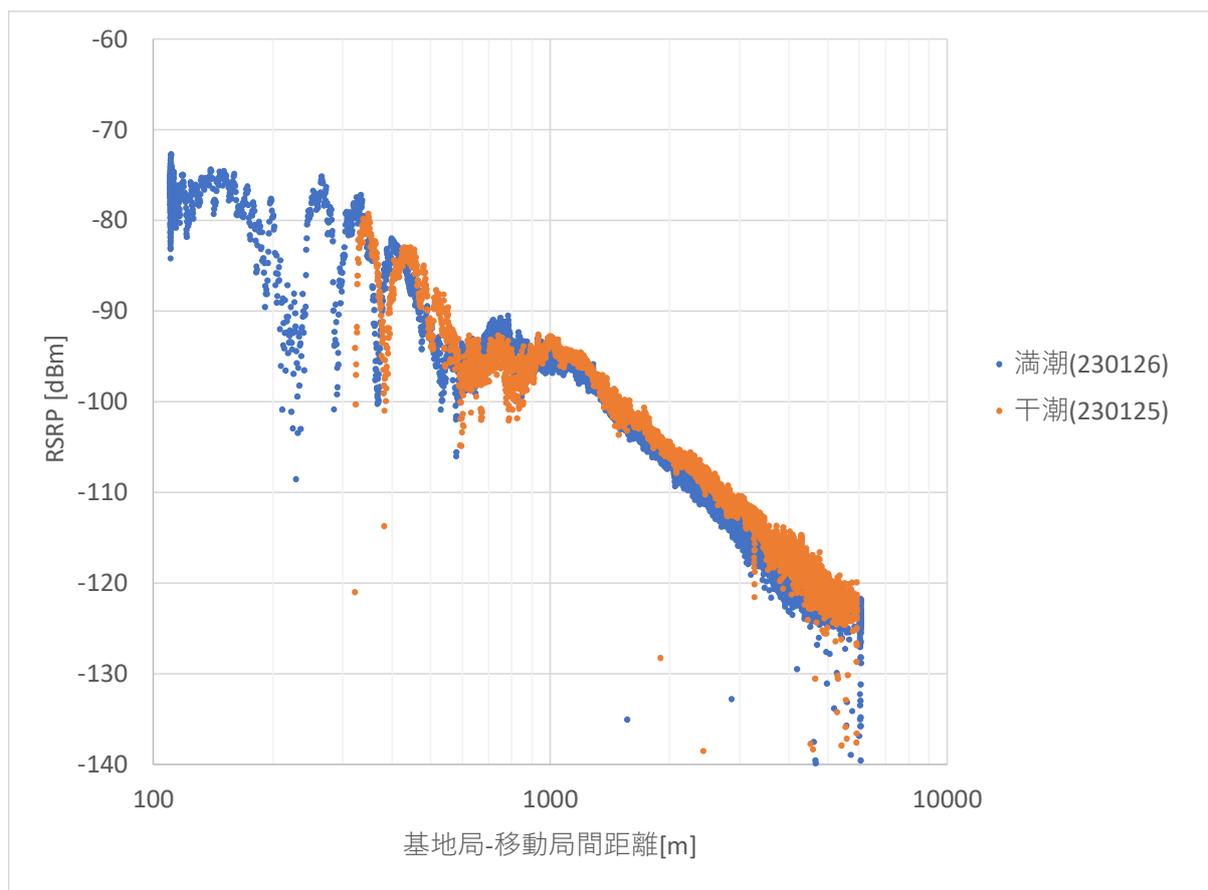


図 3-18 受信電力（RSRP）対基地局-移動局間距離

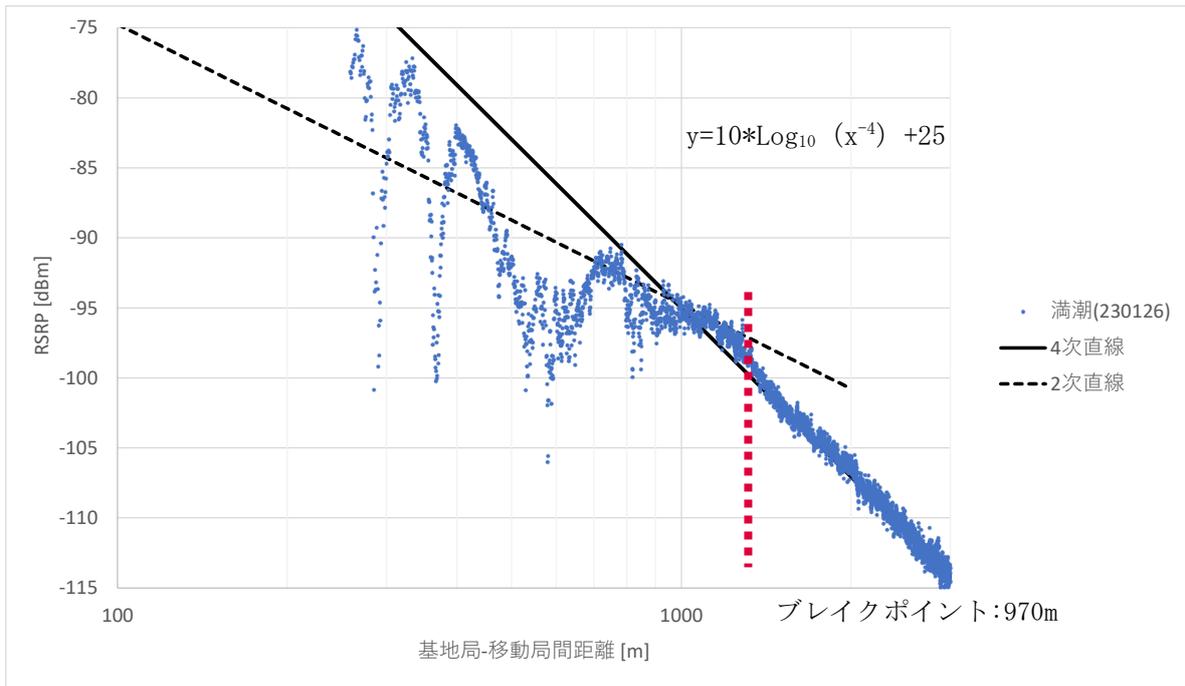


図 3-19 満潮時ブレイクポイントと近似直線（長コース）

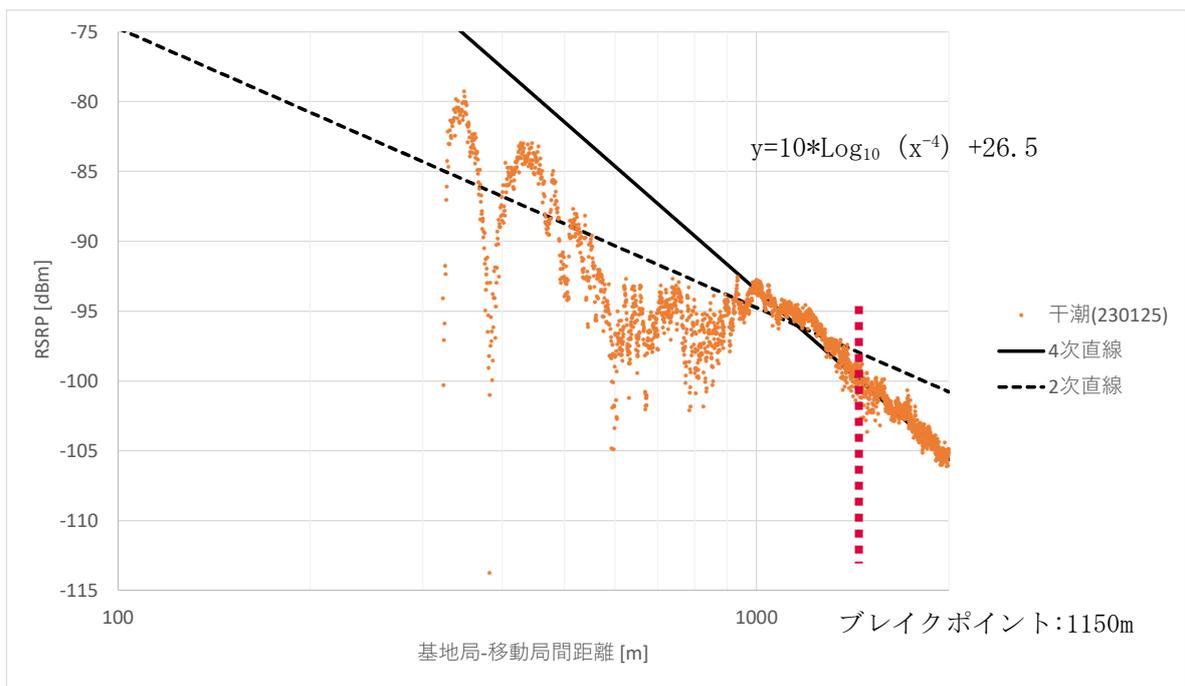


図 3-20 干潮時ブレイクポイントと近似直線（長コース）

ここで、カバーエリア端 (RSSI=-84.6dBm)、調整区域端 (RSSI=-91dBm) の距離について近似直線の式 (図 3-19・図 3-20 参照) を用いて計算すると、干潮・満潮の差は表 3-2 になります。

表 3-2 カバーエリア端・調整区域端の干潮・満潮差

	満潮時 (潮位 155cm)	干潮時 (潮位 62cm)	差分
カバーエリア端	3100 m	3400 m	300m
調整区域端	4500 m	4900 m	400m

今回計測した干潮時の潮位は 62cm のため、さらに潮位が低い場合 (例えば 0cm) には、カバーエリア端・調整区域端はさらに数百 m 遠方に伸びると予想されます。

◆停船測定

海上の測定点の情報を表 3-3 に示します。海上で停船して評価するため、同一地点 ID でも位置は異なります。

表 3-3 海上測定点情報

干潮 /満潮	地点 ID	緯度 [°]	経度 [°]	距離 [m]	方位 [°]	位置変動 平均値 [m]
満潮	1	34.07834	136.2157	296	118	6.2
満潮	2	34.07779	136.2182	527	112	4.0
満潮	3	34.0775	136.2198	675	110	0.1
満潮	4	34.07694	136.2213	827	111	3.2
満潮	5	34.07659	136.223	991	110	6.7
満潮	6	34.07582	136.2248	1174	111	6.6
満潮	7	34.07536	136.2268	1370	110	9.3
満潮	8	34.07456	136.2287	1563	111	17.8
満潮	9	34.07421	136.2309	1768	110	11.1
満潮	10	34.07362	136.2326	1936	110	20.0
満潮	11	34.07273	136.235	2181	110	13.0
満潮	12	34.07211	136.2372	2395	110	5.6
満潮	13	34.07158	136.2389	2556	110	11.9
満潮	14	34.07063	136.2409	2773	111	5.3
満潮	15	34.07033	136.2431	2974	110	6.2
満潮	16	34.06955	136.2454	3198	110	5.4
満潮	17	34.06865	136.247	3370	111	14.0
満潮	18	34.06823	136.2494	3599	110	5.4
満潮	19	34.06759	136.2509	3754	111	14.9

満潮	20	34.06743	136.2531	3951	110	7.8
満潮	21	34.07796	136.2136	192	160	8.6
満潮	22	34.07701	136.214	302	161	5.8
満潮	23	34.07614	136.2144	407	160	5.1
満潮	24	34.07505	136.2145	526	163	7.7
満潮	25	34.07422	136.215	627	162	6.6
満潮	26	34.07321	136.2152	738	163	4.1
満潮	27	34.07216	136.2156	861	163	4.6
満潮	28	34.07137	136.2161	958	162	7.6
満潮	29	34.07011	136.2164	1101	163	8.7
満潮	30	34.06851	136.2174	1298	161	8.1
満潮	31	34.06673	136.2178	1498	162	11.8
満潮	32	34.0647	136.2183	1726	163	7.3
干潮	1	34.07888	136.2158	278	106	7.3
干潮	2	34.07779	136.2182	529	112	0.3
干潮	3	34.0775	136.2197	667	110	0.6
干潮	4	34.07697	136.2213	832	110	0.9
干潮	5	34.07685	136.2233	1010	107	11.3
干潮	6	34.07634	136.2253	1196	108	28.7
干潮	7	34.07512	136.2267	1365	111	9.8
干潮	8	34.07457	136.2289	1580	111	10.0
干潮	9	34.07428	136.2309	1766	109	1.7
干潮	10	34.07338	136.2331	1990	110	11.2
干潮	11	34.07292	136.2353	2199	110	6.8
干潮	12	34.07237	136.2372	2378	110	9.1
干潮	13	34.07159	136.2391	2579	110	7.4
干潮	14	34.0708	136.2411	2783	110	7.8
干潮	15	34.07032	136.2433	2988	110	8.2
干潮	16	34.06947	136.2458	3239	110	15.3
干潮	17	34.0692	136.2467	3322	110	13.9
干潮	18	34.0682	136.2487	3540	111	10.5
干潮	19	34.06815	136.2512	3756	110	8.7
干潮	20	34.06696	136.2534	3989	111	17.3
干潮	21	34.07829	136.2134	153	161	14.5
干潮	22	34.07756	136.2138	241	159	12.2
干潮	23	34.07628	136.2144	393	159	12.9
干潮	24	34.07552	136.2142	467	165	14.1

干潮	25	34.07413	136.2152	643	161	15.8
干潮	26	34.07333	136.2153	728	162	14.6
干潮	27	34.07237	136.2154	832	164	12.6
干潮	28	34.07048	136.2162	1056	163	11.2
干潮	29	34.06856	136.2164	1265	165	13.5
干潮	30	34.06669	136.2176	1495	163	11.8
干潮	31	34.06469	136.2176	1709	165	10.6

各地点での測定結果を表 3-4（満潮時）と表 3-5（干潮時）に示します。

表 3-4 海上測定結果（満潮時）

測定点 ID	算出式による 受信電力 [dBm] 開放地	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位 10% 値	下位 10% 値
1	-63.1	-51.9	-51.9	0.8	-51.0	-53.0
2	-73.6	-73.6	-70.7	5.0	-66.1	-79.8
3	-78.2	-61.3	-61.4	0.7	-60.7	-62.3
4	-81.6	-64.2	-64.2	1.0	-63.1	-65.7
5	-84.7	-63.9	-63.9	0.5	-63.3	-64.5
6	-87.4	-64.9	-64.8	1.2	-64.3	-65.4
7	-89.9	-67.2	-67.3	1.2	-66.4	-68.6
8	-92.1	-67.8	-67.8	0.4	-67.3	-68.3
9	-94.1	-69.9	-69.9	0.5	-69.3	-70.6
10	-95.5	-71.5	-71.5	0.5	-71.0	-72.2
11	-97.5	-73.1	-73.2	1.2	-72.3	-74.3
12	-98.9	-74.4	-74.4	0.4	-73.9	-74.9
13	-100.0	-75.5	-75.5	0.9	-74.9	-76.1
14	-101.2	-76.6	-76.6	0.5	-75.9	-77.3
15	-102.3	-78.4	-78.4	0.9	-77.7	-79.2
16	-103.5	-80.1	-80.1	0.9	-79.0	-81.3
17	-104.3	-80.3	-80.3	0.8	-79.5	-81.4
18	-105.3	-81.6	-81.6	0.9	-80.6	-82.9
19	-106.0	-82.4	-82.4	1.1	-81.3	-83.9
20	-106.8	-82.6	-82.5	1.1	-81.4	-84.0
21	-58.0	-50.8	-51.0	2.7	-49.9	-52.9
22	-66.2	-56.3	-56.3	1.4	-55.8	-56.8
23	-71.0	-62.3	-62.2	0.8	-61.3	-63.4
24	-75.5	-74.9	-74.4	2.8	-71.9	-78.3
25	-78.4	-66.2	-66.2	0.7	-65.3	-67.2
26	-81.4	-65.7	-65.6	0.4	-65.2	-66.1

27	-83.8	-66.0	-66.0	0.3	-65.6	-66.4
28	-85.5	-65.8	-65.8	0.4	-65.4	-66.4
29	-87.8	-67.6	-67.6	0.4	-67.1	-68.1
30	-90.3	-69.7	-69.7	0.9	-69.2	-70.1
31	-92.7	-71.9	-72.2	3.6	-70.0	-79.0
32	-95.0	-74.1	-74.2	3.5	-72.2	-80.0

表 3-5 海上測定結果（干潮時）

測定点 ID	算出式による 受信電力 [dBm] 開放地	実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位 10% 値	下位 10% 値
1	-62.4	-56.4	-56.4	1.6	-54.8	-58.9
2	-73.2	-71.7	-71.5	3.5	-68.9	-77.5
3	-77.6	-66.0	-66.0	1.3	-64.7	-68.1
4	-81.3	-65.9	-65.8	0.9	-64.8	-67.0
5	-84.8	-62.9	-62.9	0.6	-62.2	-63.8
6	-87.7	-64.0	-64.0	1.2	-63.4	-64.8
7	-89.7	-65.2	-65.2	1.0	-64.6	-65.9
8	-92.2	-67.0	-67.1	1.0	-66.5	-67.8
9	-93.9	-69.2	-69.2	0.5	-68.6	-69.9
10	-95.9	-70.8	-70.7	0.5	-70.1	-71.4
11	-97.5	-71.4	-71.4	0.5	-70.9	-72.1
12	-98.7	-73.6	-73.7	1.5	-72.7	-76.0
13	-100.0	-82.3	-79.4	4.1	-75.1	-85.4
14	-101.2	-76.5	-76.6	1.9	-75.5	-78.3
15	-102.4	-77.0	-77.0	0.9	-76.0	-78.3
16	-103.6	-78.6	-78.5	0.8	-77.6	-79.5
17	-104.0	-78.8	-79.0	2.2	-77.6	-83.0
18	-105.0	-86.7	-86.6	3.3	-85.0	-88.6
19	-106.0	-84.8	-84.6	1.5	-83.1	-86.7
20	-106.9	-87.7	-88.0	5.6	-86.1	-96.7
21	-53.7	-52.3	-51.4	4.8	-48.4	-58.5
22	-61.2	-56.2	-55.6	7.5	-52.2	-70.4
23	-70.2	-57.7	-57.6	0.8	-56.7	-58.7
24	-73.5	-66.5	-66.1	1.8	-64.2	-68.8
25	-78.5	-69.6	-69.6	1.7	-67.9	-72.1
26	-80.8	-66.9	-66.9	0.8	-66.1	-68.0
27	-83.2	-66.6	-66.7	1.3	-65.9	-68.1
28	-87.1	-67.3	-67.4	0.8	-66.8	-68.1
29	-90.2	-69.8	-69.7	0.4	-69.2	-70.3
30	-92.7	-71.6	-71.8	3.8	-69.3	-78.2
31	-95.0	-73.8	-74.0	4.5	-71.5	-83.9

◆定点測定

今回計測した干潮時の潮位は 62cm のため、さらに潮位が低い場合（例えば 0cm）には、カバーエリア端・調整区域端はさらに数百 m 遠方に伸びると予想されます。実証測定の船を出港できない夜間にはさらに潮位が低くなるため、夜間も測定可能な無人の定点観測器を用いて、満潮（2023 年 2 月 7 日 午前 7 時 15 分ごろ、潮位 156cm）、干潮（2023 年 2 月 7 日 午前 0 時 35 分ごろ、潮位 -1cm）を含む RSRP 測定を実施しましたが、測定場所の受信電力が測定限界付近のため、有効なデータを取得することができませんでした（図 3-21）。

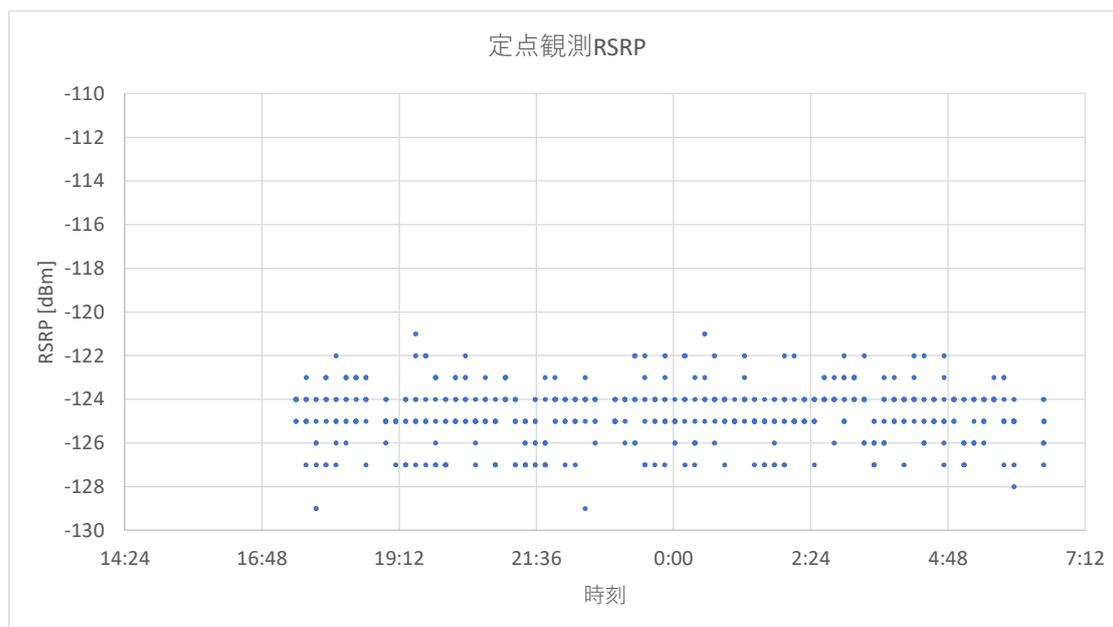


図 3-21 定点観測測定結果

b. 短コース

測定日時：満潮時（2023年1月27日 午前9時42分ごろ、潮位148cm）、干潮時（2023年1月26日 午後3時3分ごろ、潮位57cm）

受信電力（RSRP）対基地局-移動局間距離の測定結果を示します。距離が1.8km弱と短く、コース上に障害物となる構造物（栈橋の橋脚）が存在するため、参考値とします。特に干潮時のデータでは、測定船の位置ゆらぎのため、上記構造物の影響により距離1.3km以遠において、受信電力の大きなばらつきが生じています。

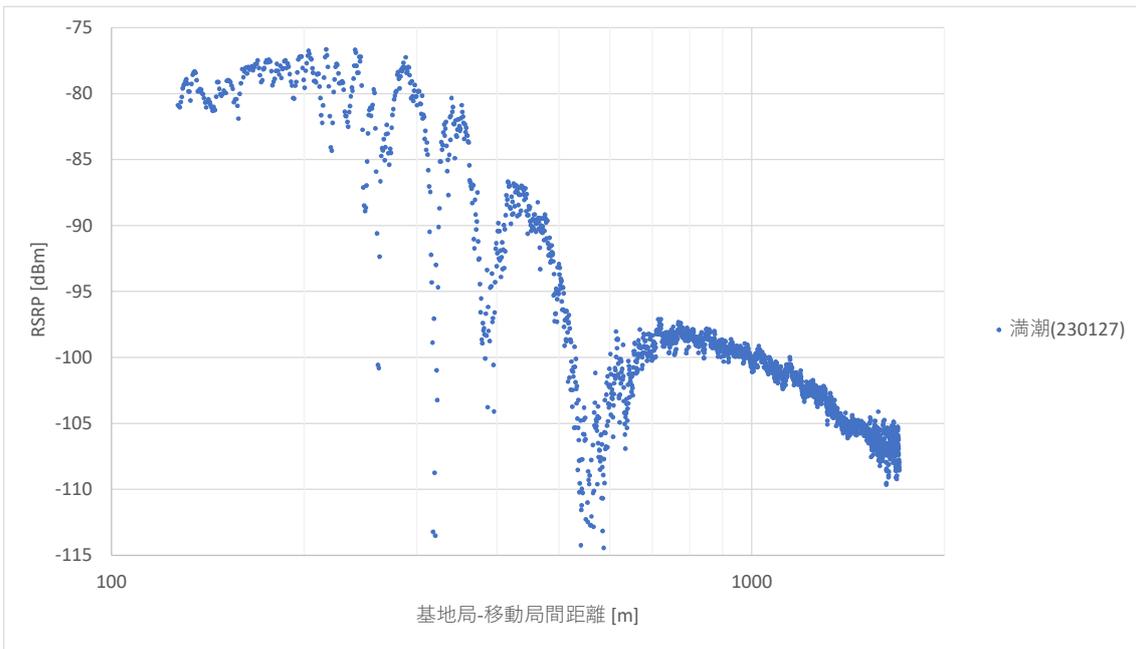


図 3-22 満潮時受信電力-距離特性（短コース）

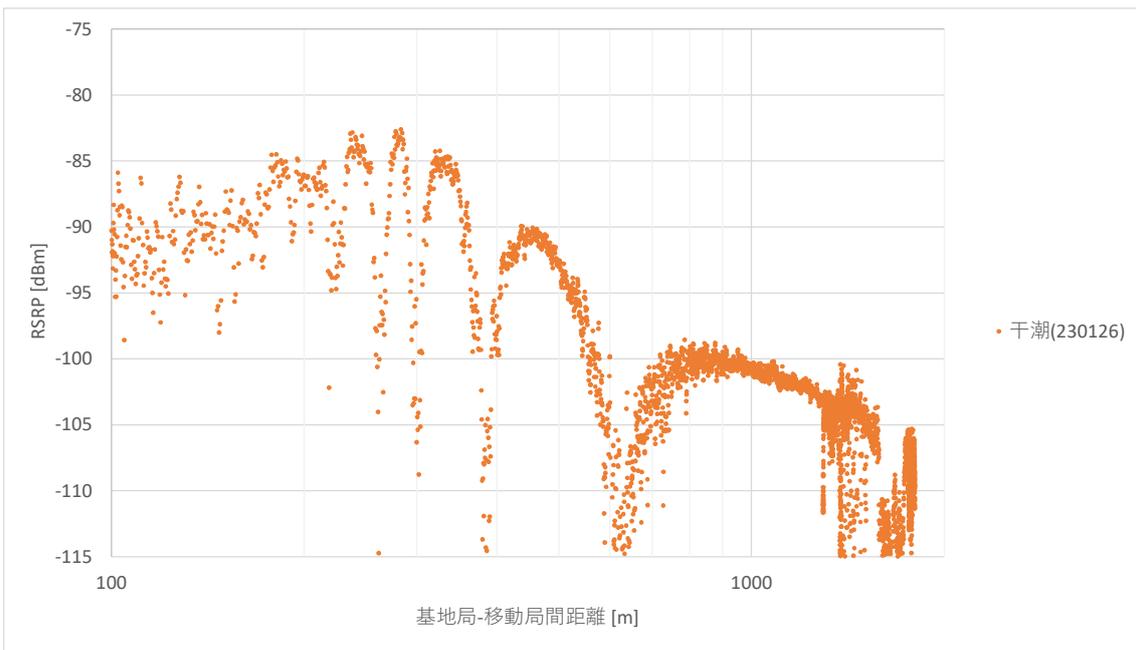


図 3-23 干潮時受信電力-距離特性（短コース）

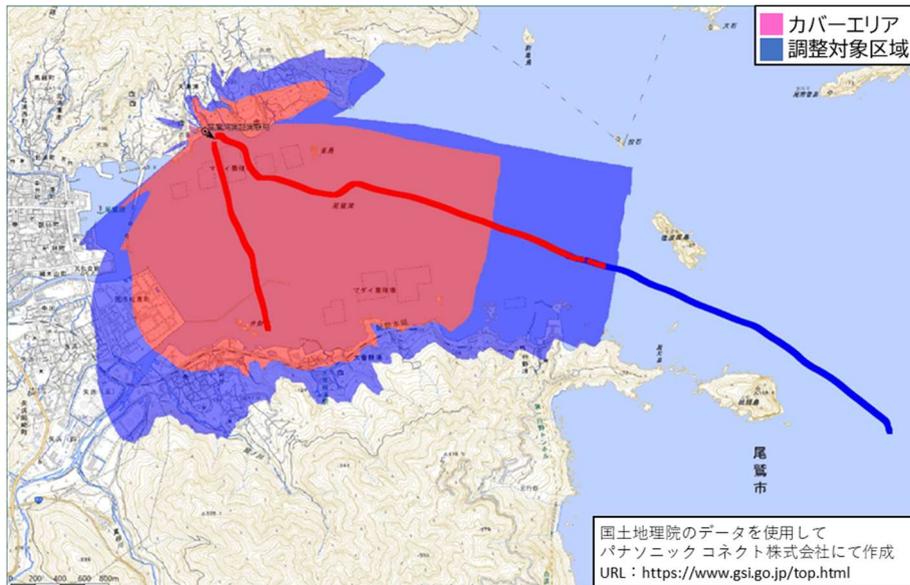


図 3-24 測定結果をプロットした仮説エリア図：満潮時

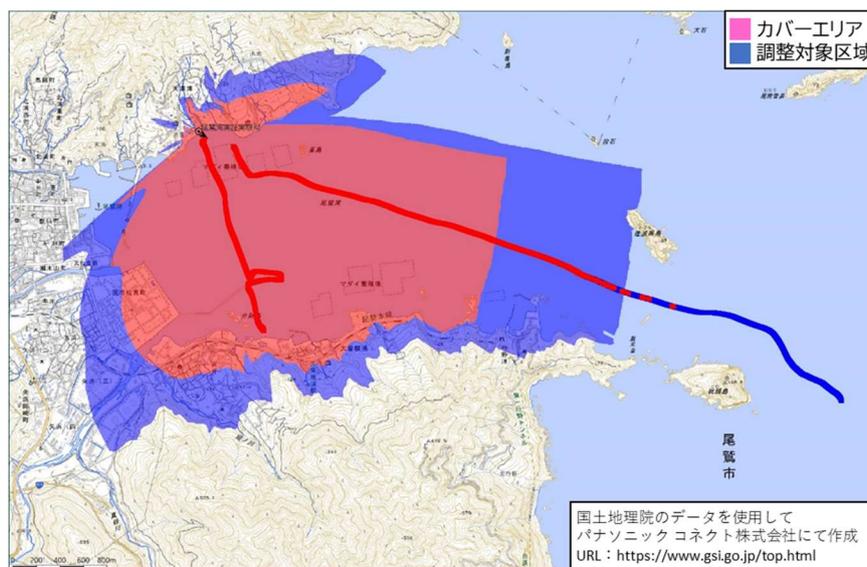


図 3-25 測定結果をプロットした仮説エリア図：干潮時

2) 考察

本件電波伝搬モデルの精緻化による考察として、ローカル5Gの新たな利用場面と利用環境となりえる海上においては、電波法関係審査基準にある受信電力を算出する際の計算式 L_0 = 自由空間伝搬損失式を現行同様に用いて、次の点を付記することを提案します。

- 1) 自由空間伝搬損失式 L_0 を、送受信間距離 d_{xy} が現状より長距離でも用いる。
- 2) アンテナ高が例えば 10m 程度と低い場合、送受信間距離 d_{xy} が 2 波モデルのブレイクポイント距離より遠い区間に対して、2 波モデルによる距離 4 乗分の 1 減衰を適用する。または、現行算出式 L_H を調整 (K) して適用してもよい。
- 3) 算出結果に対する付記として、潮位差が (例えば) $\pm 1\text{m}$ と大きい場合はエリア端/調整区域端が (例えば) $\pm 300\text{ m}$ / $\pm 400\text{ m}$ 程変動しうる。

提案したモデルによって計算した受信電力 (RSRP) の実測値との比較を図 3-26 に示します。ブレイクポイントより近距離では 2 次式とよく一致しており、4 次式についても傾向は一致しています。4 次式における実測値の差分は、基地局のアンテナパターン (ゲイン) の誤差、基地局送信電力の誤差等と考えられます。このように、モデルと実測値については数 dB の差が生じることが想定されるため、エリア構築にあたっては、幅を持った事前設計が必要と考えます。

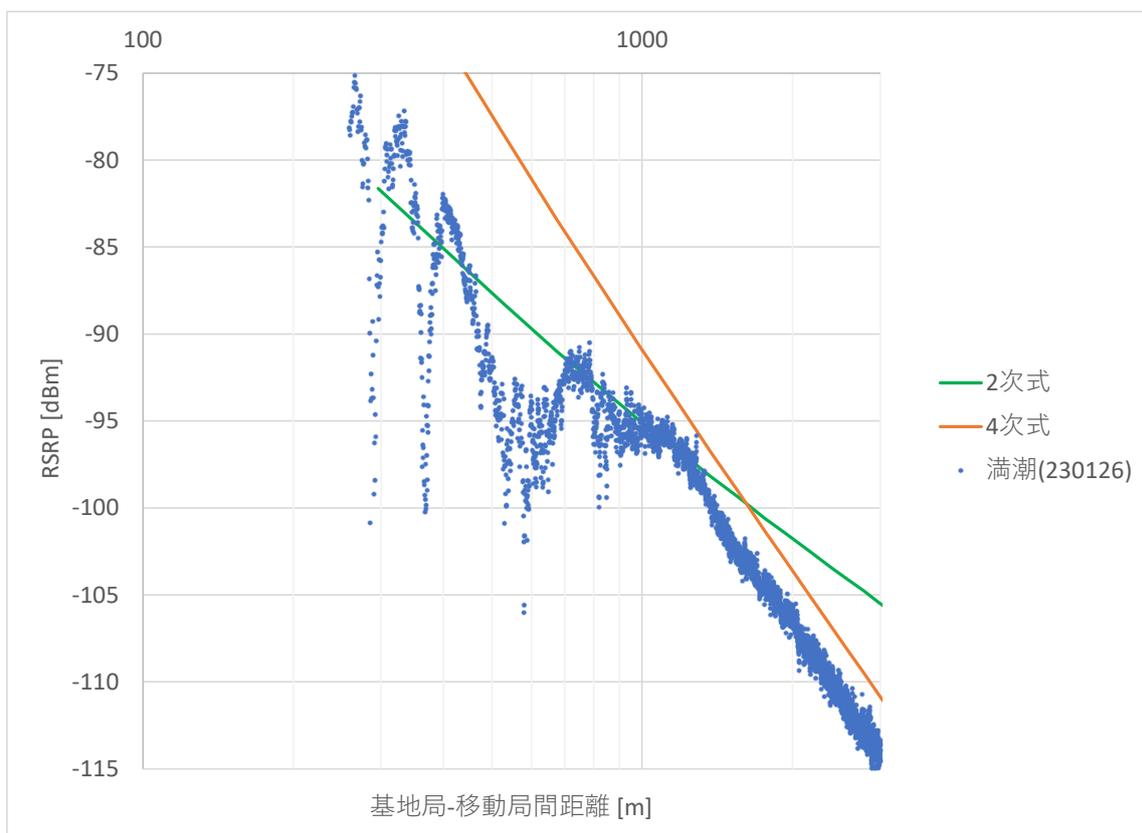


図 3-26 受信電力-距離特性のモデル式と実測値差分

3.3.2 エリア構築の柔軟性向上

(1) 実証の目的・目標

1) 背景となる技術的課題と実証目的

海上では遮蔽物が少なく、その地理的特性から中継器や分散アンテナ、電波反射板などを設置したエリアの柔軟構築には制限が大きく、現実的ではありません。しかしながら、ローカル 5G の制度特徴として業務区域外（つまり他者土地だが、現行では海上は他者土地）への電波漏洩の軽減には十分に考慮する必要があります。よって、海上における有効な電波漏洩の軽減手段を検討します。

本実証では、三重県水産研究所 尾鷲水産研究室の敷地内屋外に設置するローカル 5G 基地局から近く、対象とするブリ養殖の尾鷲漁場：幅 1.2km を業務区域としつつ、およそ 2km 離れた対岸への電波漏洩を軽減することを実証目的とします。

現行の算出法（審査基準）に基づいた、基地局のカバーエリアと調整対象区域の算出法エリア図に、無線カバー対象の業務区域（緑破線のエリア）を示します。今回の実証では、端末を人が持たない運用のため、人体吸収損は発生しないと想定します。

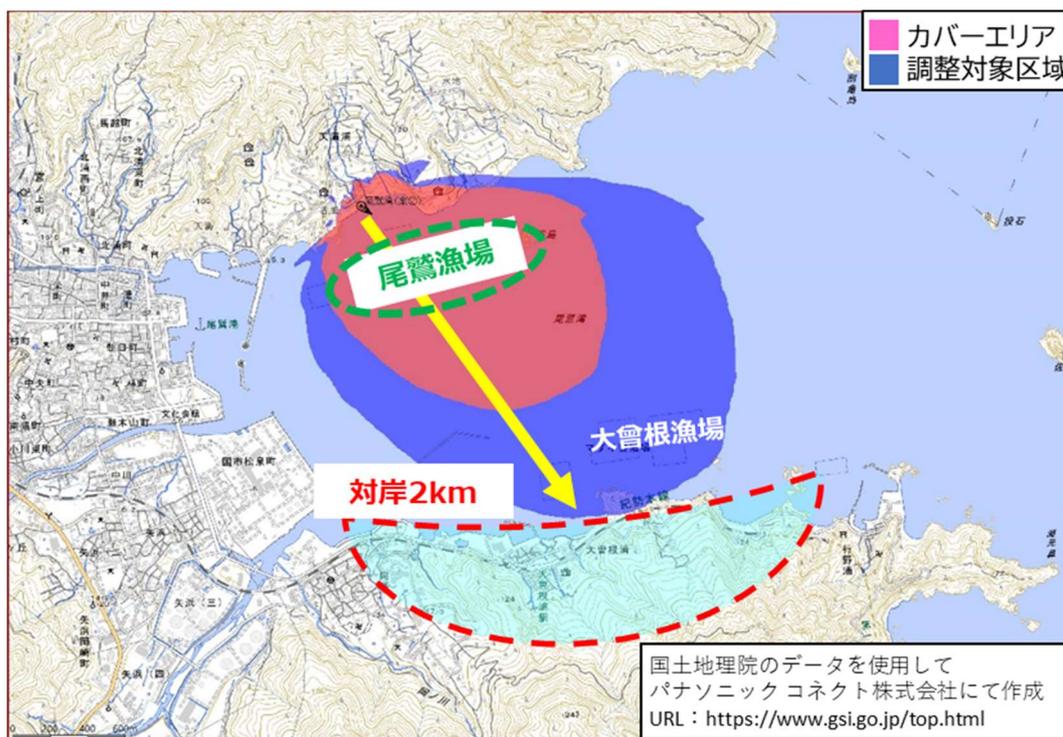


図 3-27 算出法（審査基準）での基地局のカバーエリアと業務区域（緑破線）

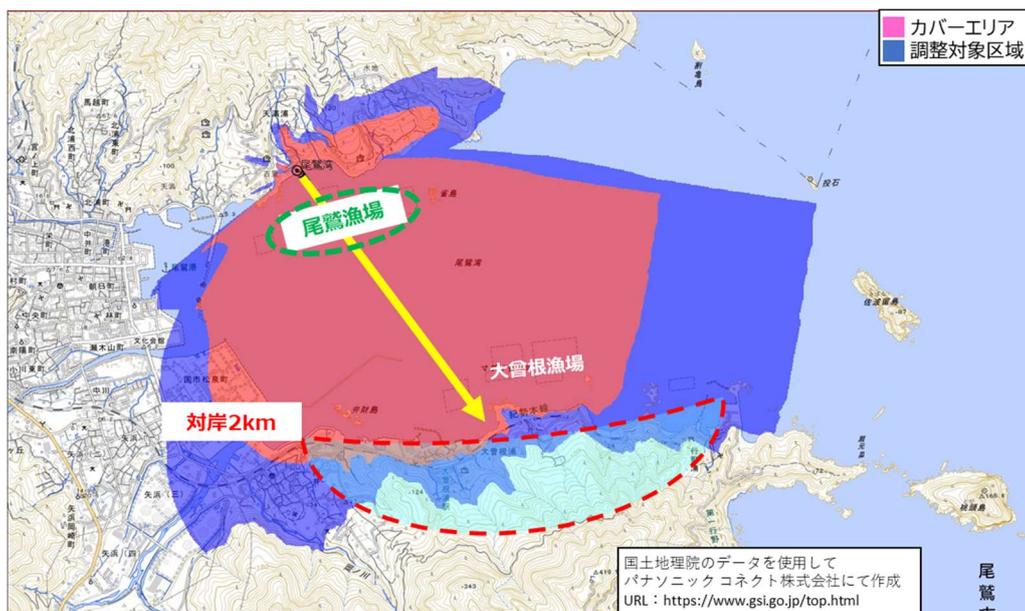


図 3-28 自由空間伝搬（2波モデル）でのエリアシミュレーション

また自由空間伝搬（2波モデル）でのエリアシミュレーションでも、基地局から対岸陸上には山の斜面にも電波漏洩する計算となります。さらに基地局からの電波が海面反射して、対岸陸上斜面に届くと考えられ、対岸への電波漏洩を軽減するエリア構築の目的根拠は、引き続き有効です。

よって、自己土地の前方（電波放射方向）の海上に業務区域があり、海を隔てた対岸陸上および山間部を他者土地とする場合（現行では海上も他者土地）に、海上の反射波の影響を考慮し、業務区域の確保および対岸陸上への電波漏洩を軽減する手段を検討します。

2) 実証目標

本実証では、三重県水産研究所 尾鷲水産研究室の敷地内屋外に設置するローカル 5G 基地局から、対象とするブリ養殖場：幅 1.2km をカバーエリアとしつつ、およそ 2km 離れた対岸陸上（山斜面を含む）において、海上の反射等の影響ある電波伝搬エリアの広がり把握し、調整対象区域となる電力強度-91dBm 以下に軽減することを実証目標とします。

3) 過年度技術実証からの発展性・新規性

海上から対岸陸上での電波伝搬特性等の計測例は少ないと考えております。ただし、大学・研究機関において論文発表・教科書の事例はあり、2波モデル伝搬や粗面散乱を記し、アンテナ高が数十 m と高いと潮位変動の影響はほとんどない、とありました。

- [参照] * 「離島等の中・長距離海上電波伝搬に適した無線アクセスシステム構築のための調査検討 報告書」
総務省 九州総合通信局、2009 年 3 月
- * 「国内最長の海上長距離無線 LAN 通信システムにおける電波伝搬特性」
大学情報システム環境研究、2012 年 6 月 VOL. 15

(2) 実証仮説

漁業（海上）におけるローカル 5G の活用については、間に障害物が少なく、エリアへの見通しという点で陸上よりも有利です。また、海上から陸上（自己土地相当から他者土地相当）へ向けるとは、その地形差から電波が広がりにくいと想定されます。よって、基地局のアンテナ（空中線）のチルト角を下げることにより、対象カバーエリア（養殖場 幅 1.2km、下図 緑破線内）における受信品質をある程度確保しつつ、対岸陸上（距離 2km、下図 赤破線内水色領域）への電波漏洩を軽減することを実証仮説とします。ただし、エリア算出法において、人体吸収損を省きます。

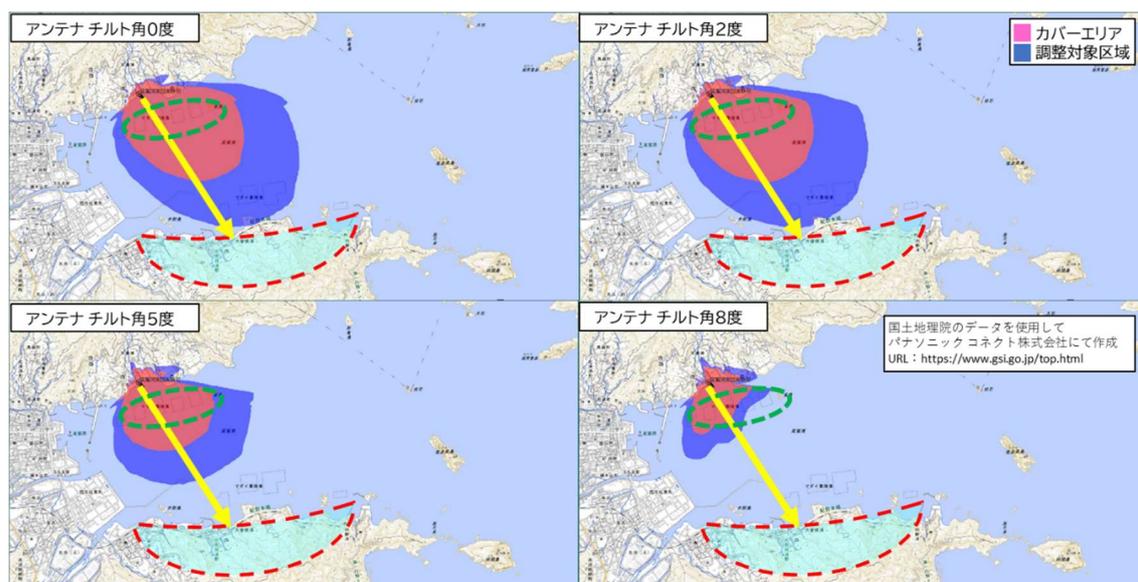


図 3-29 基地局のチルト角によるエリア図（チルト角 0°、2°、5°、8°）

人体吸収損無のエリア図では、チルト角 5° にすることで、対岸への漏洩を軽減できて、業務区域である養殖場をカバーエリアに含みます。また自由空間伝搬損失（2波モデル）によるエリアシミュレーション図では、チルト角 8° でも対象の養殖場をカバーエリアに含む計算になります。

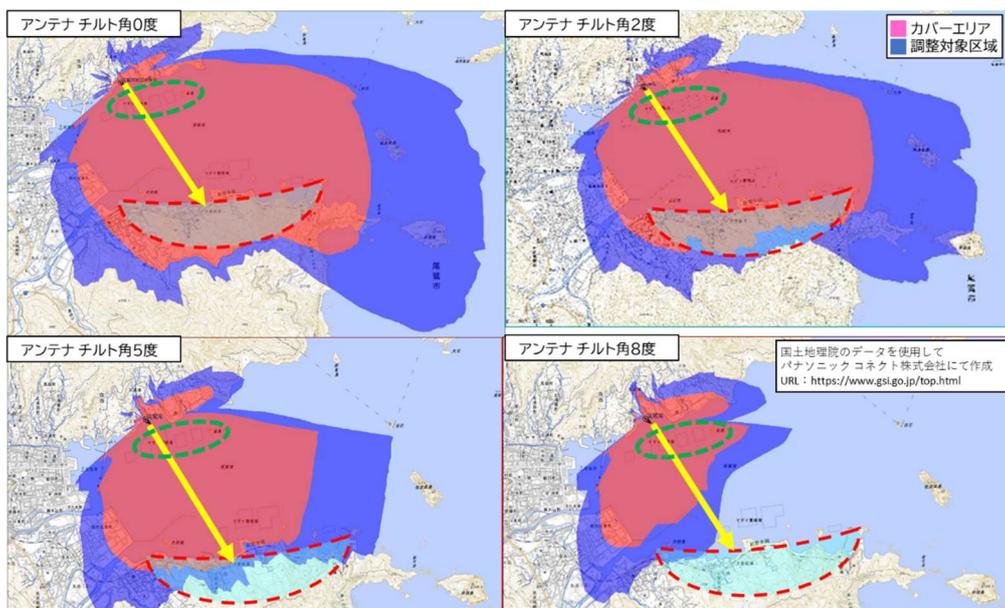


図 3-30 自由空間伝搬でのエリアシミュレーション図（チルト角 0°、2°、5°、8°）

エリア構築に基地局の送信電力を下げる方策もありますが、本件課題実証のカバーエリア対象が基地局から見て横方向に長く、横方向を確保したまま対岸方向の電波を軽減するために、チルト角調整が有効と考えます。

基地局の無線部特性、アンテナパターンを示します。

表 3-6 ローカル 5G 基地局の無線部特性

無線諸元	内容
周波数帯・帯域幅	周波数 4.8-4.9GHz 帯域 100MHz (99M9 X7W 4849.98MHz)
アンテナ地上高	6 m (ポールに設置)
アンテナタイプ	セクタアンテナ (内蔵アンテナ) 半値角 水平 65度 垂直 8度 利得 18dBi
送信出力	Tx 27dBm (0.5W)、RF Cable Loss 0dB

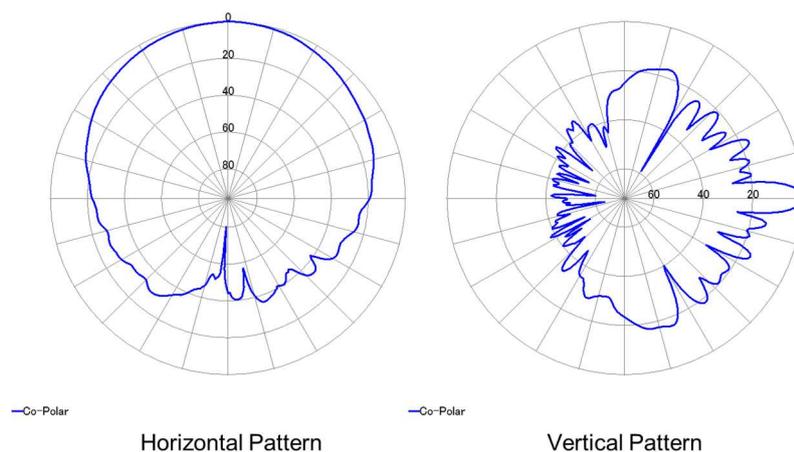


図 3-31 ローカル 5G 基地局のアンテナパターン

海面反射の影響を確認すべく技術実証測定するため、基地局アンテナビームのチルト角に関して、対岸陸上・山斜面へのレイトレースシミュレーションにて確認したところ、チルト角 8 度で海面反射ある山斜面の標高の高い場所は、公道のない山間部深く、測定に立ち入りできないため、またチルト角 5 度で測定実施した際、端末がアタッチ接続する地点が少なく、8 度では伝送速度/遅延を測定できる地点がないと見込んだため、よって、チルト角を 8 度から 2 度に変更します。

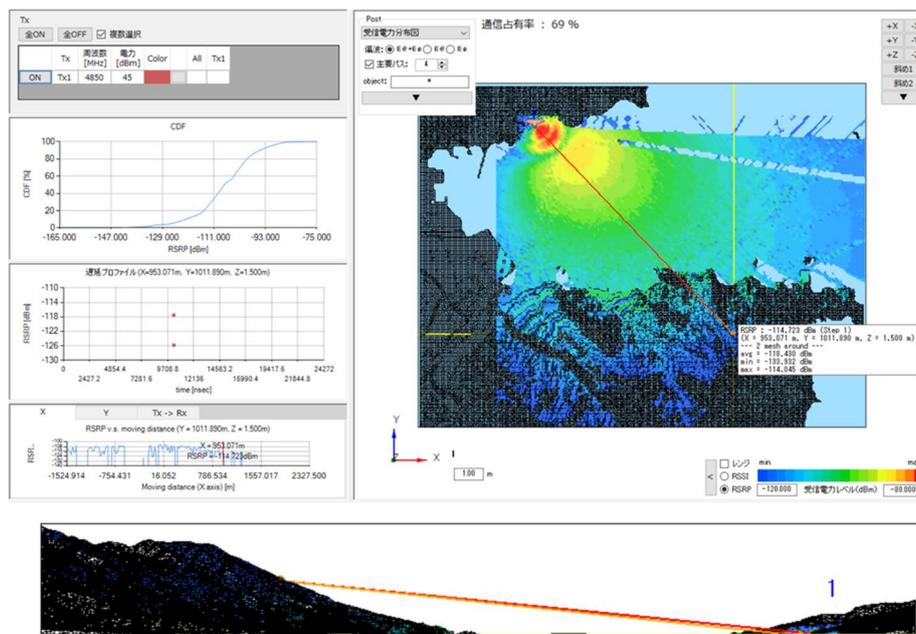


図 3-32 海面反射影響を見るレイトレースシミュレーション

チルト角 2度→5度の電波強度差分[dB]

チルト角 2度→8度の電波強度差分[dB]

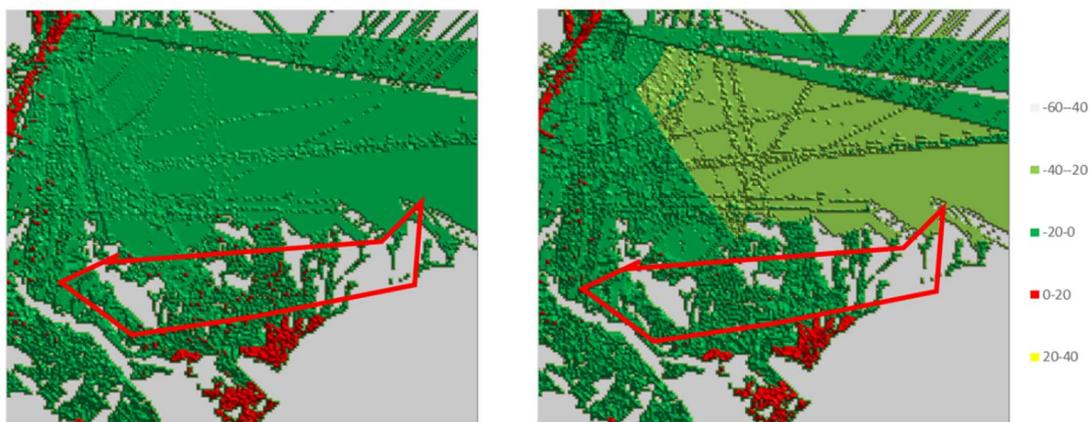


図 3-33 チルト角による海面反射影響の電波強度差分（赤線内が到達可能な対岸・山間部）

レイトレースシミュレーションから海面反射による電波強度差分が強く観測できそうな地点（赤色セル）は、チルト角 2 度から 5 度では、山間部に道あって到達可能な赤線枠内に散在しているが、チルト角 8 度では枠内になく、道ない林間部のみで立ち入り困難でした。

(3) 評価・検証項目

本実証で評価検証する項目は以下です。

- ・ 受信電力 (SS-RSRP) ※RSSI=RSRP + 35.2
- ・ 通信品質
- ・ UL/DL スループット
- ・ 伝送遅延

基地局から対岸陸上および海上業務区域の 30 地点以上にて、チルト角 2 パターン: 2 度と 5 度で測定を実施します。海上の反射等の影響ある電波伝搬のため、下図のエリアより広がると考えられることから、下図の調整対象区域外の山斜面を含め、現地調査により立ち入り実施可能な地点から決めます。

また各チルト角パターンの測定からエリア端/区域端の距離とその移動を確認します。



図 3-34 写真：測定風景

(4) 評価・検証方法

電波法関係審査基準の算出法および仮説算出法に基づき、カバーエリアおよび調整対象区域の図を作成し、対岸陸上の測定点において、受信電力 (RSRP) を測定します。また、端末での伝送性能 (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) を測定します。

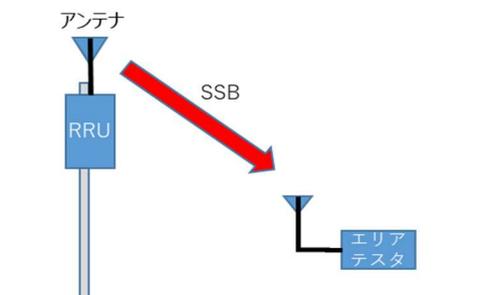


図 3-35 RSRP・通信品質測定系

受信電力 (RSRP) はエリアテスタを使用し、基地局から送信される SSB の電力および通信品質を測定します。

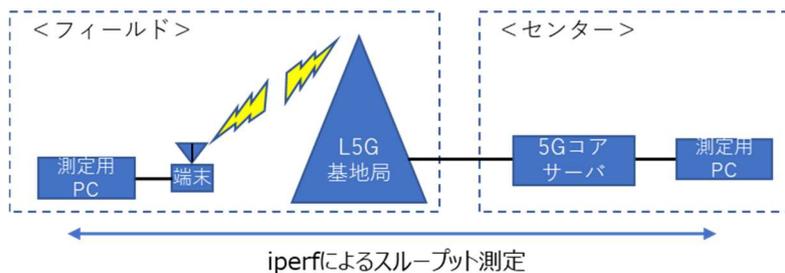


図 3-36 スループット・伝送遅延測定系

端末 UE 下位側および 5G コアサーバの上位側にそれぞれ測定用 PC を接続し、iperf により DL および UL のスループットを、また伝送遅延を測定します。

1) 測定機器

- ・ 5G 対応エリアテスタ (VIAVI OneAdvisor 800 ONA-800A) …測定間隔約 200ms
- ・ 高精度測位 (Panasonic) …RTK 測位精度 (水平±2cm, 垂直±3cm) , 測定間隔 100ms
- ・ スループット測定用 PC (Panasonic FZ-G2ABHBLAJ) …ローカル 5G 対応

2) 試験手順

a. 海上コース測定

3.3.1 章の電波伝搬モデルの精緻化と同じ海上測定コース (長コース・短コース) 上を基地局から離れる方向に一定速 (約 6 ノット) で航行し、エリアテスタによる受信電力・通信品質測定、高精度測位による位置測定、測定用 PC による連続的なスループット測定 (長コースは UL、短コースは DL) を実施します。以上の測定を基地局アンテナのチルト角 5° および 2° において実施し、チルト角の変更によるエリアの拡大・縮小、スループットの増減について確認します。

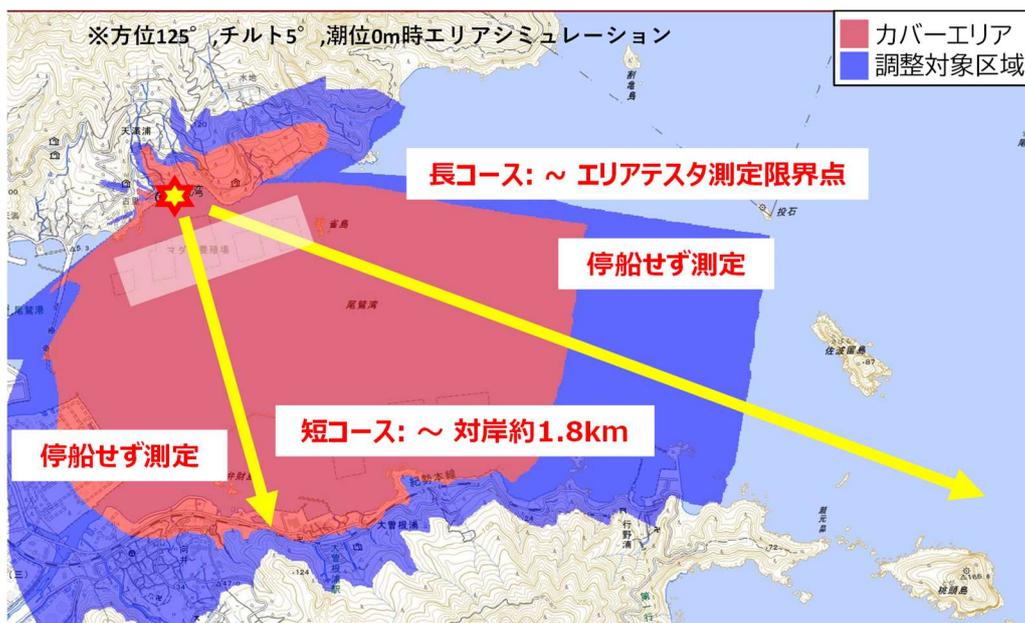


図 3-37 海上コース

b. 地点測定

図 3-38 に示す対岸陸上 26 地点（地点 ID1～26）、海上 6 地点（地点 ID27～32）において、エリアアテスタによる受信電力・通信品質測定、高精度測位による位置測定を実施します。また、基地局に接続可能な地点では、上記に加えてスループット測定用 PC による UL/DL のスループット測定および伝送遅延測定（Ping 送信）を実施します。以上の測定を基地局アンテナのチルト角 5° および 2° において実施し、チルト角の変更によるエリアの拡大・縮小、スループットの増減について確認します。



天狗倉山山頂より

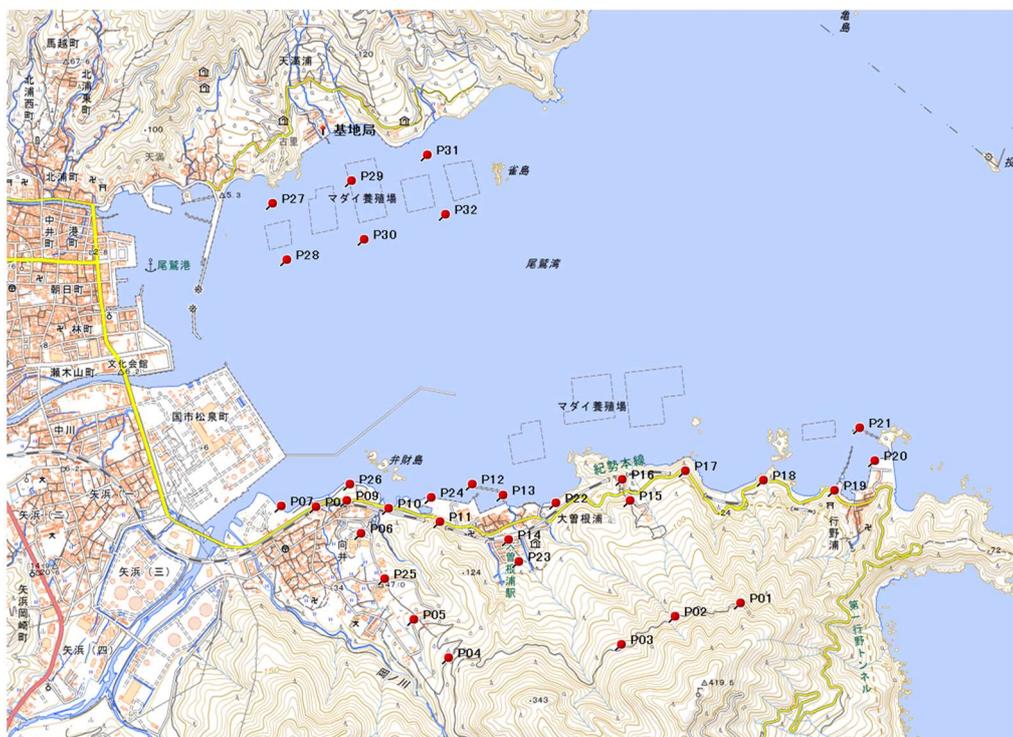


図 3-38 地点測定

(5) 実証結果および考察

1) 測定結果

a. 海上コース測定

◆受信電力特性

受信電力 (RSRP) -距離特性について、図 3-39 (長コース)、図 3-40 (短コース) に示します。基地局アンテナのチルト角を変更することで同一距離における受信電力の変動が認められます。さらに、図中の近似式から算出したカバーエリア端や調整区域端距離を表 3-7 に示します。これらの結果から、基地局アンテナのチルト角を変更することで、カバーエリア端や調整区域端の距離を制御できることを確認しました。

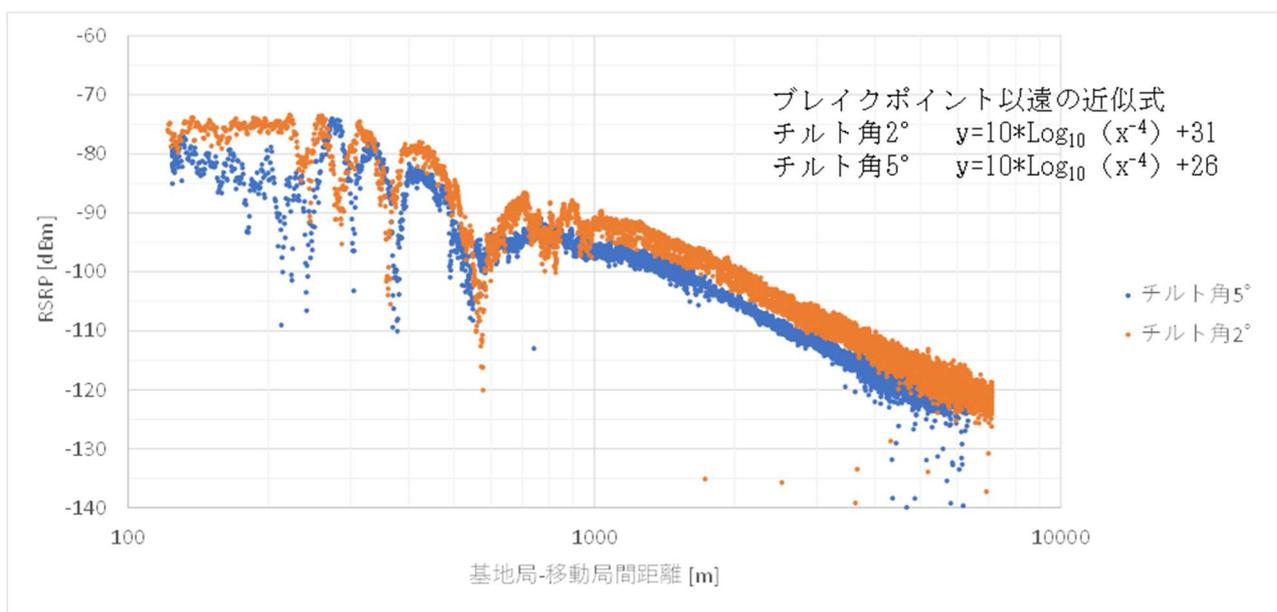


図 3-39 受信電力-距離特性 (長コース)

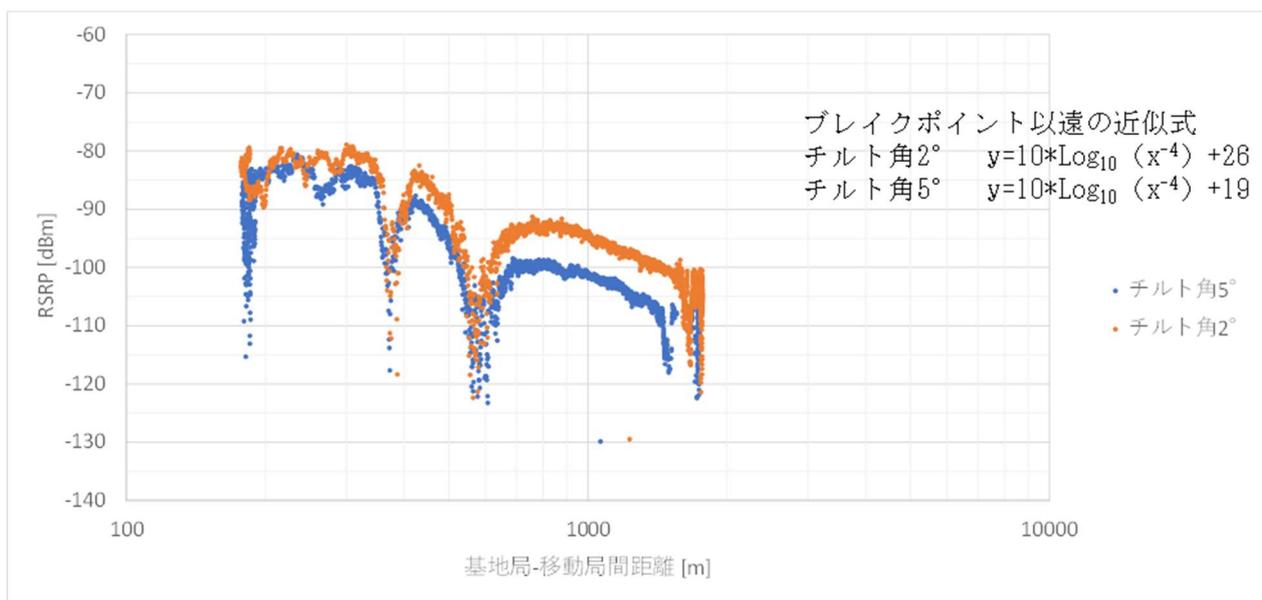


図 3-40 受信電力-距離特性 (短コース)

表 3-7 カバーエリア・調整区域距離

方位角*	カバーエリアの閾値を実測した距離		調整対象区域の閾値を実測した距離	
	チルト角 2°	チルト角 5°	チルト角 2°	チルト角 5°
110°	4400 m	3300 m	6400 m	4800 m
162°	3300 m	2200 m	4800 m	3200 m

(*) 方位角は基地局の真北を 0° とします

◆UL スループット特性

長コースにおける UL スループット-距離特性を図 3-41 に示します。チルト角を 2° ⇒5° に変更することで通信可能な範囲（スループットが 0 にならない範囲）を 4km⇒2.4km と制御できることを確認しました。

一方、図 3-42 に示す UL スループット-受信電力（RSRP）特性、図 3-43 に示す UL スループット-SINR 特性については両チルト角でほぼ同等の特性を示しており、同一受信電力では同等のスループットが得られることが裏付けられました。

なお、高いスループット（40Mbps 以上）でデータのばらつきが大きくなっている原因については、スループット測定が 1 秒間隔でタイムラグがあるため、基地局近傍のフェージングが生じる距離において、200ms で測定される受信電力とのズレが生じるためと考えます。また、UL スループット-SINR 特性（図 3-43）において、チルト角 5° の SINR=4~6dB 時に全体傾向から外れた値の集団がありますが、これは測定器の影響と考えます（同一レベルの RSRP において SINR が約 15dB 低く表示される現象あり）。

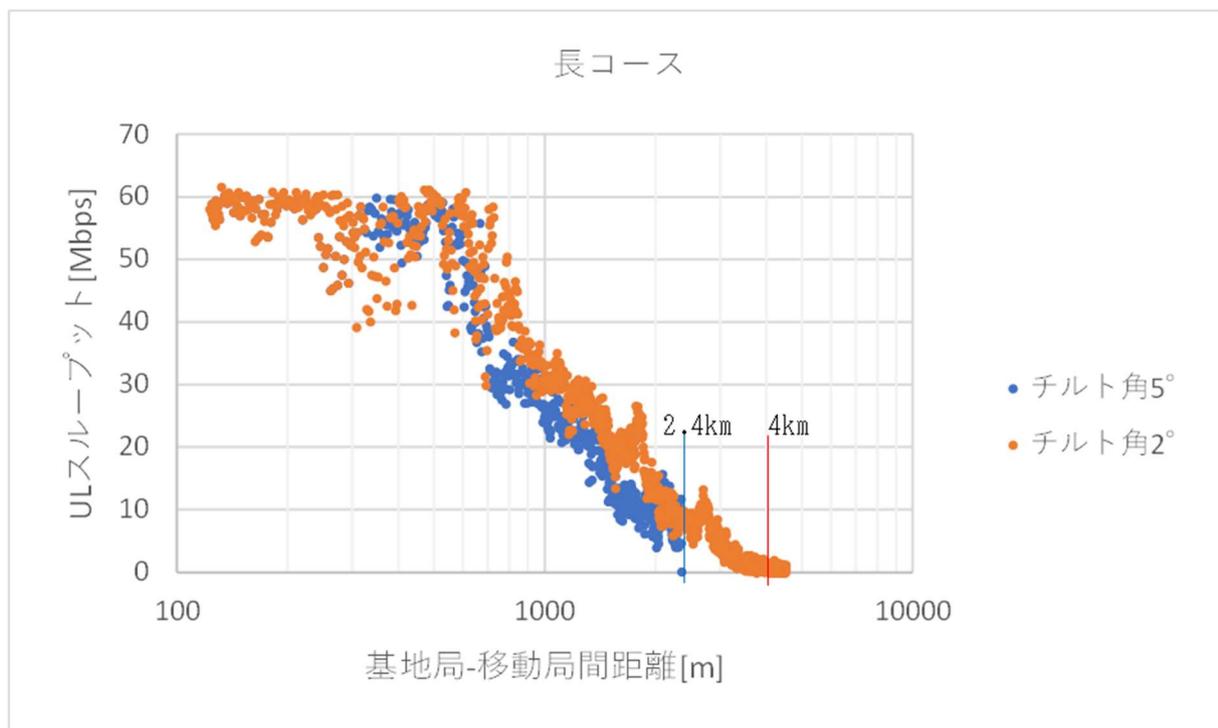


図 3-41 UL スループット-距離特性（長コース）

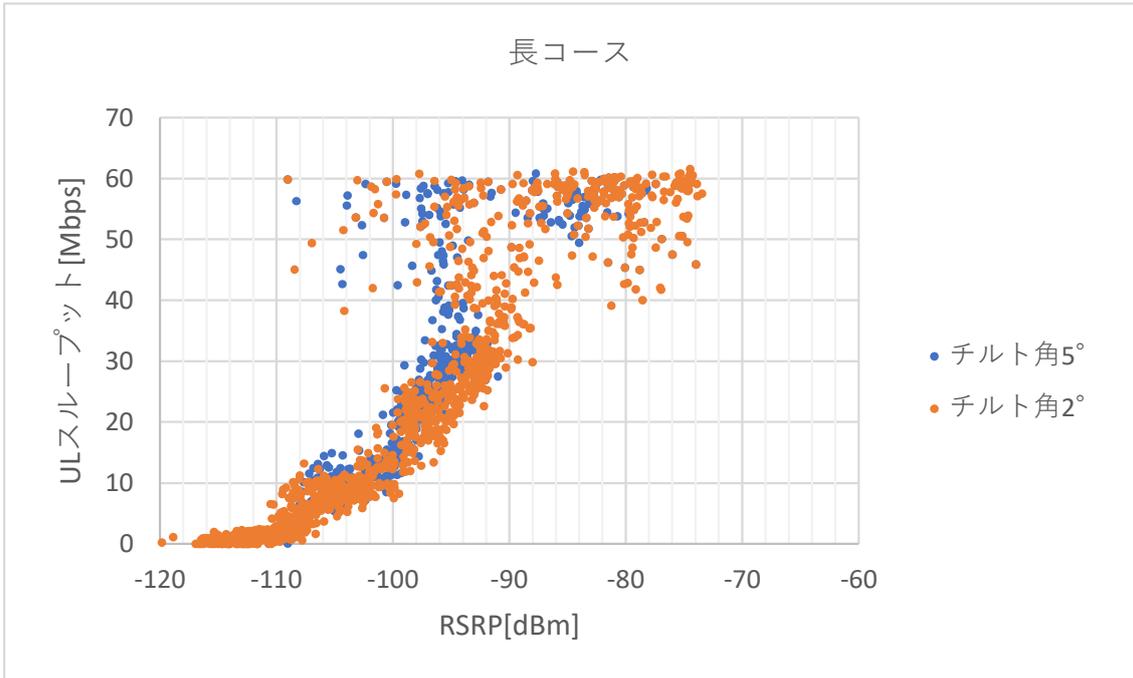


図 3-42 ULスループット-受信電力特性 (長コース)

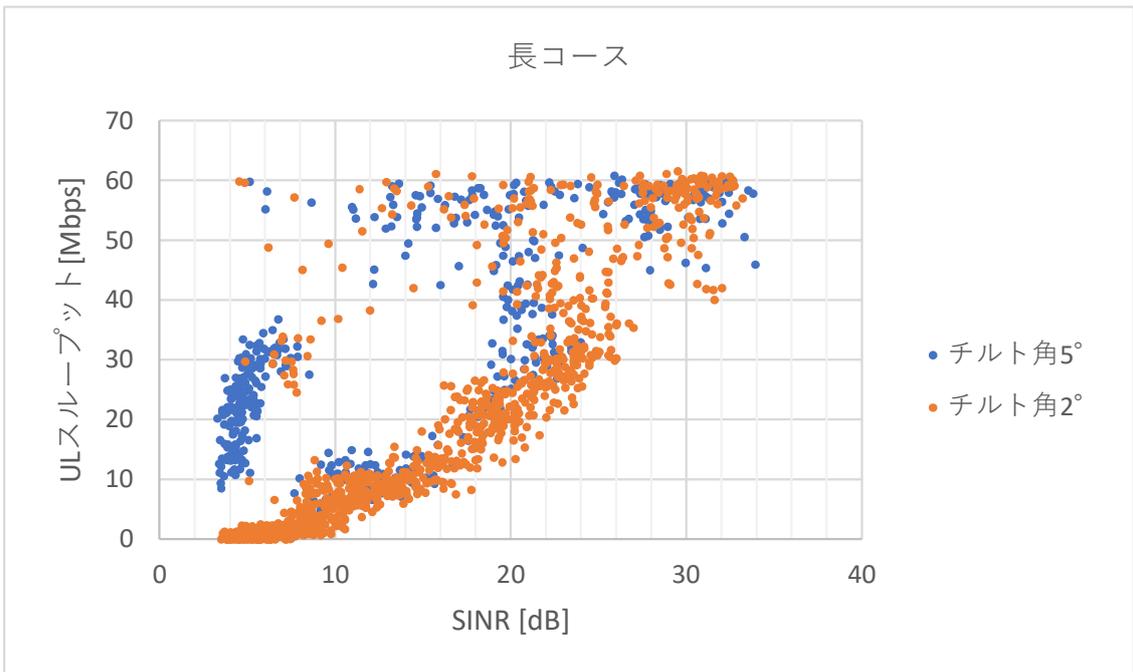


図 3-43 ULスループット-SINR 特性 (長コース)

◆DL スループット測定

短コースにおける DL スループット-距離特性を図 3-44 に示します。チルト角を $2^{\circ} \Rightarrow 5^{\circ}$ に変更することで同一距離でのスループットが減少しており、DL においてもチルト角によるエリア制御が実現できることを確認しました。

なお、UL スループットと比較すると高いスループット時のデータのばらつきが大きくなっていますが、基地局の特性（フルスループット時に伝送速度の変動が生じる）に起因するものです。

図 3-45 に示す DL スループット-受信電力 (RSRP) 特性、図 3-46 に示す DL スループット-SINR 特性では、上記基地局の特性によりばらつきが大きくなっていますが、UL スループットと同様、同一受信電力 SINR では同等のスループットが得られることを確認しました。

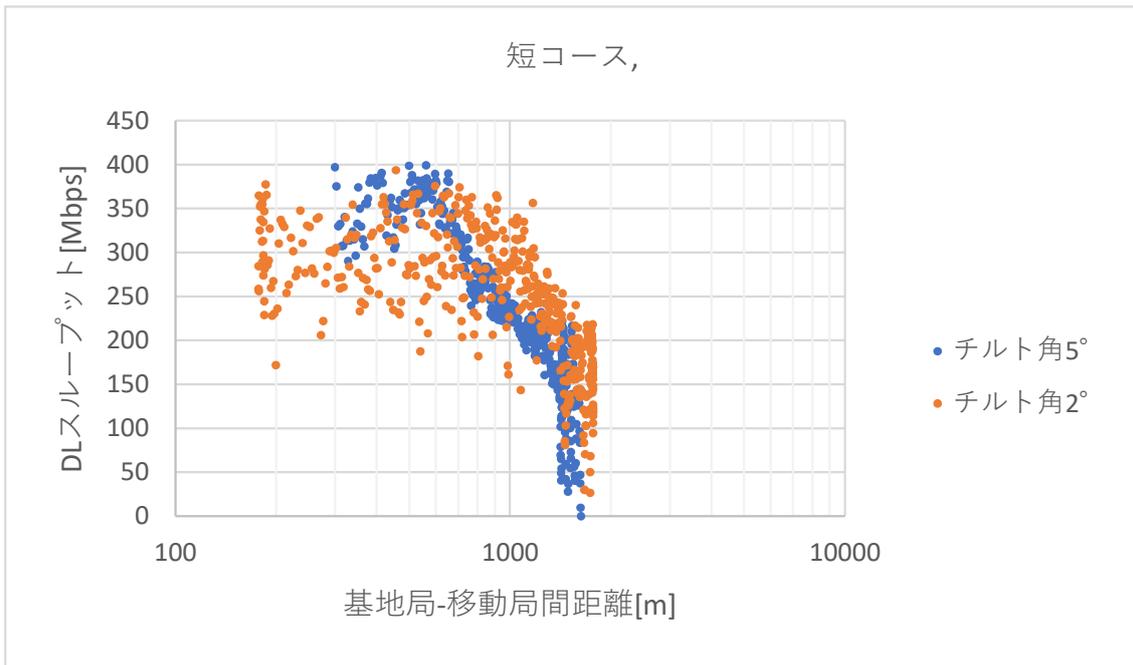


図 3-44 DL スループット-距離特性 (短コース)

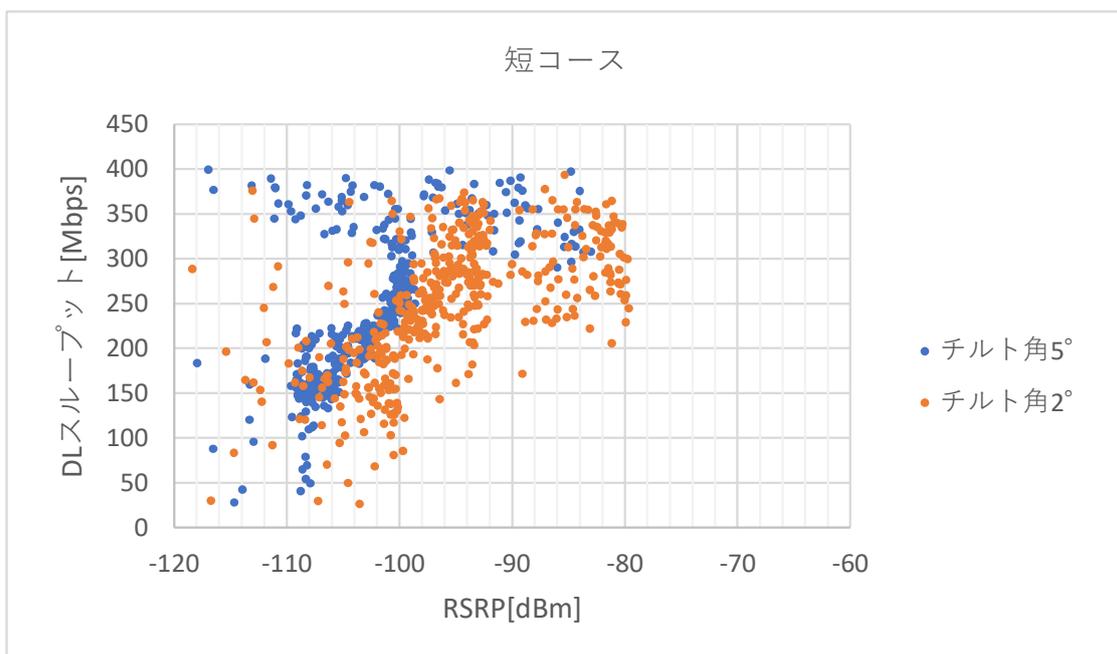


図 3-45 DL スループット-受信電力特性 (短コース)

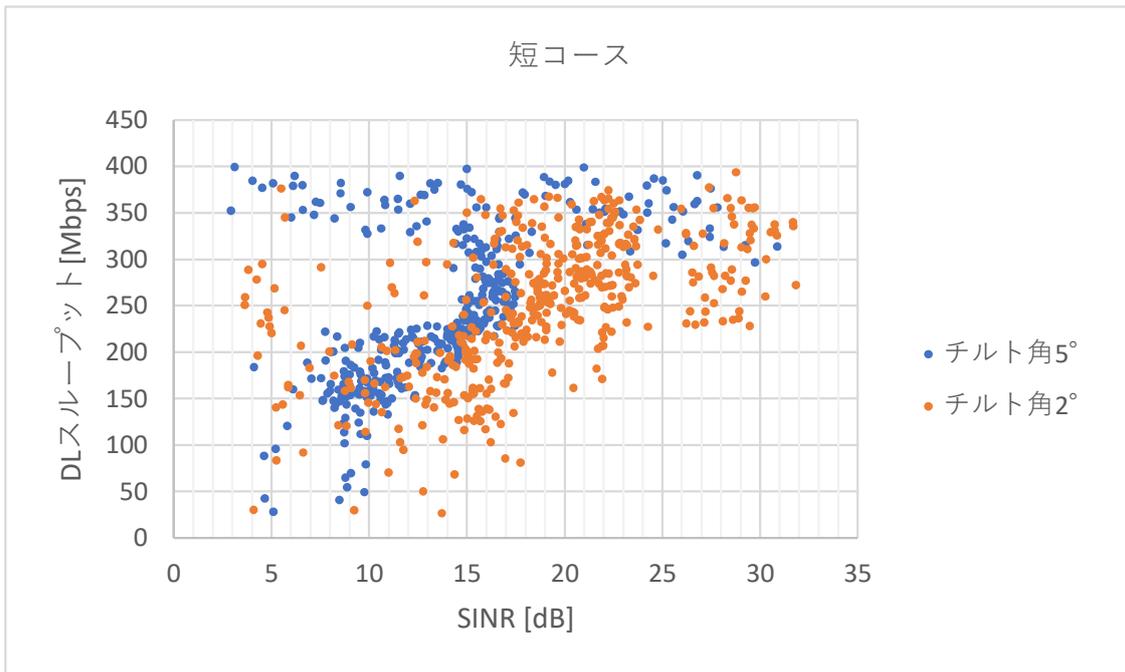


図 3-46 DL スループット-SINR 特性 (短コース)

b. 地点測定

測定地点の情報を表 3-8 に示します。

表 3-8 測定地点情報

地点 ID	緯度 [°]	経度 [°]	海拔 [m]	距離 [m]	方位 [°]
1	34.05896	136.2355	257	3096	137.7
2	34.05852	136.232	227	2927	143.0
3	34.05722	136.229	205	2893	149.0
4	34.05667	136.2197	124	2617	166.2
5	34.05825	136.2179	77	2411	169.0
6	34.06213	136.215	25	1946	174.4
7	34.06311	136.2113	2	1835	184.7
8	34.0635	136.2128	7	1784	180.2
9	34.06363	136.2146	11	1777	174.9
10	34.06327	136.217	7	1849	168.3
11	34.06282	136.2192	13	1948	162.7
12	34.06421	136.221	4	1864	156.3
13	34.06389	136.2226	4	1959	152.7
14	34.06194	136.2234	17	2184	153.6
15	34.06322	136.2297	64	2391	139.4
16	34.06448	136.2291	59	2249	138.2
17	34.06503	136.2325	41	2423	131.8
18	34.06439	136.2366	16	2761	127.6
19	34.06406	136.2405	11	3074	124.1
20	34.06541	136.2429	3	3187	119.6
21	34.0666	136.2418	5	3028	118.4
22	34.06331	136.2253	7	2139	147.6
23	34.06083	136.2235	33	2299	154.9
24	34.06361	136.2194	6	1870	161.4
25	34.06026	136.216	44	2164	172.3
26	34.06432	136.2143	2	1699	175.8
27	34.07704	136.2112	0	322	208.5
28	34.07459	136.2112	0	575	195.4
29	34.07778	136.2146	0	256	141.4
30	34.07527	136.2155	0	535	153.7
31	34.07832	136.2197	0	643	102.6
32	34.07596	136.2191	0	703	125.0

各測定地点における受信電力 (RSSI) の評価結果を表 3-9 (チルト角 5°) と表 3-10 (チルト角 2°) に示します。

表 3-9 受信電力 (RSSI) 評価結果 (チルト角 5°)

測定点 ID	算出式による 受信電力 [dBm]	チルト角 5° _実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位 10% 値	下位 10% 値
1	-111.7	-80.9	-80.4	2.5	-78.0	-84.1
2	-113.1	-83.2	-82.7	2.7	-80.4	-86.3
3	-115.3	-83.3	-83.1	1.9	-81.2	-86.0
4	-107.1	-87.0	-86.8	3.3	-85.0	-89.4
5	-103.2	-87.3	-87.1	2.1	-85.7	-89.0
6	-95.0	-81.0	-81.0	0.9	-80.1	-82.2
7	-93.6	-83.1	-83.1	1.0	-82.0	-84.4
8	-92.6	-79.3	-79.3	0.7	-78.5	-80.3
9	-92.8	-75.9	-76.0	1.1	-75.1	-77.5
10	-92.0	-86.6	-86.5	3.2	-84.8	-89.2
11	-93.1	-80.1	-79.8	1.3	-78.1	-81.5
12	-90.6	-82.5	-82.5	0.9	-81.5	-83.7
13	-91.2	-85.8	-85.7	1.5	-84.5	-87.2
14	-95.2	-83.5	-83.5	1.7	-82.3	-84.9
15	-99.3	-86.6	-86.4	2.3	-84.8	-88.8
16	-97.1	-99.8	-99.9	8.6	-97.6	-110.5
17	-96.1	-85.5	-85.0	2.9	-82.7	-88.2
18	-95.9	-76.7	-76.7	0.5	-76.0	-77.4
19	-97.0	-86.6	-86.5	2.0	-85.0	-88.3
20	-97.9	-81.0	-81.0	1.3	-79.8	-82.7
21	-97.1	-74.7	-74.8	0.6	-74.2	-75.5
22	-93.2	-83.1	-83.0	1.1	-81.9	-84.6
23	-97.6	-87.8	-87.7	3.8	-86.0	-90.0
24	-91.0	-81.2	-81.2	1.1	-80.2	-82.3
25	-98.9	-83.1	-83.0	1.4	-81.5	-84.8
26	-91.2	-82.1	-82.0	1.0	-81.0	-83.2
27	-75.4	-76.8	-76.4	4.4	-83.9	-73.7
28	-77.6	-84.1	-83.5	2.4	-87.3	-81.1
29	-55.4	-60.9	-58.9	5.8	-67.8	-54.9
30	-69.8	-66.6	-66.1	4.0	-72.1	-63.2
31	-72.2	-62.5	-62.3	1.7	-64.8	-60.5
32	-72.7	-61.8	-61.7	1.1	-63.2	-60.4

表 3-10 受信電力 (RSSI) 評価結果 (チルト角 2°)

測定点 ID	算出式による 受信電力 [dBm] (開放地)	チルト角 x°_実測値 [dBm]				
		中央値	平均値	標準偏差	上位 10%値	下位 10%値
1	-105.5	-76.3	-76.2	1.1	-74.9	-77.7
2	-102.4	-78.0	-78.0	1.7	-76.6	-80.0
3	-101.8	-74.0	-73.9	1.2	-72.9	-75.2
4	-98.3	-86.9	-86.8	3.7	-84.9	-89.3
5	-95.1	-79.2	-79.2	0.6	-78.4	-80.1
6	-91.7	-77.0	-77.0	0.6	-76.3	-77.7
7	-92.9	-76.8	-76.8	0.4	-76.3	-77.4
8	-91.7	-81.9	-81.6	1.3	-80.1	-83.1
9	-90.4	-73.8	-73.8	0.5	-73.2	-74.5
10	-89.2	-78.6	-78.6	1.2	-77.4	-80.2
11	-88.7	-74.3	-74.3	0.5	-73.7	-75.1
12	-86.6	-76.6	-76.6	0.6	-76.1	-77.2
13	-86.6	-82.5	-82.4	1.2	-81.2	-84.0
14	-88.8	-81.6	-81.4	1.3	-80.3	-83.0
15	-89.8	-85.4	-85.2	2.3	-83.4	-87.5
16	-88.3	-88.7	-88.4	4.0	-86.7	-94.5
17	-88.4	-80.8	-80.5	2.0	-78.6	-83.6
18	-89.6	-70.7	-70.7	1.0	-70.2	-71.3
19	-91.1	-80.5	-80.5	1.3	-79.2	-82.2
20	-91.9	-72.2	-72.2	1.4	-71.5	-73.1
21	-91.2	-68.4	-68.4	0.9	-68.0	-68.8
22	-87.1	-74.4	-74.4	1.1	-73.7	-75.1
23	-90.2	-80.8	-80.8	0.9	-79.8	-82.0
24	-87.7	-76.6	-76.5	0.7	-75.8	-77.4
25	-93.2	-79.0	-78.9	0.7	-78.2	-79.8
26	-89.9	-72.2	-72.4	1.4	-71.4	-74.2
27	-75.5	-70.5	-70.5	1.3	-69.2	-72.6
28	-79.2	-77.6	-76.5	3.4	-73.3	-82.2
29	-53.5	-61.9	-55.4	7.5	-49.7	-70.6
30	-66.8	-63.7	-63.4	5.1	-60.6	-72.9
31	-68.5	-57.8	-57.7	1.1	-56.5	-59.2
32	-68.1	-58.3	-58.2	1.2	-56.8	-59.9

また、受信電力 (RSRP)、受信品質 (SINR)、UL/DL スループット、伝送遅延の測定結果を表 3-11 に示します。地点 ID10, 13 についてはチルト角を 2° でのみ基地局に接続することが可能となっており、チルト角の変更によってカバーエリアを制御できていることを確認しました。

受信品質 (SINR)、スループット、伝送遅延については、チルト角を 2° ⇒5° に変更した場合に

においても、ほぼ全ての地点において一定の品質を保っていることを確認しました。

なお、同程度の受信電力 (RSRP)・受信品質 (SINR) であっても、スループットが取得できる地点とできない地点がありますが (例えばチルト角 2° 時の地点 ID3 と 9)、両者の違いは伝搬遅延の差と考えます。基地局までの距離が長く伝搬遅延が大きくなると、基地局接続時のランダムアクセス処理が正常に完了できないため、基地局に接続することができません。下記のデータから接続可能な範囲はおよそ 2km 以下と考えます。

表 3-11 各地点の測定結果まとめ

地点ID	基地局からの距離 [m]	RSRP [dBm]			SINR [dB]			スループット(UL) [Mbps]			スループット(DL) [Mbps]			伝送遅延 [ms]		
		5°	2°	差分	5°	2°	差分	5°	2°	差分	5°	2°	差分	5°	2°	差分
		平均値	平均値	2°→5°	平均値	平均値	2°→5°									
1	3107	-115.6	-111.4	-4.2	4.6	6.6	2.1									
2	2938	-117.9	-113.2	-4.7	4.0	5.6	1.6									
3	2903	-118.3	-109.1	-9.2	4.0	8.4	4.4									
4	2626	-122.0	-122.0	0.0	3.6	3.6	0.0									
5	2417	-122.3	-114.4	-8.0	3.6	5.1	1.5									
6	1951	-116.2	-112.2	-4.0	4.4	6.1	1.8	6.8	8.2	-1.4	126.0	189.0	-63.0	23.9	26.2	-2.3
7	1839	-118.3	-112.0	-6.3	3.9	6.3	2.4	8.0	4.2	3.7	93.7	167.0	-73.3	24.6	23.5	1.2
8	1789	-114.5	-116.8	2.3	4.6	4.4	-0.3	3.6	5.2	-1.6	84.9	75.3	9.6	24.6	23.9	0.7
9	1781	-111.2	-109.0	-2.2	6.7	8.2	1.5	5.2	14.0	-8.9	201.0	202.0	-1.0	23.2	27.9	-4.6
10	1853	-121.7	-113.8	-7.9	3.6	5.2	1.6		2.8			129.0			23.6	
11	1952	-115.0	-109.5	-5.4	4.7	8.0	3.3	9.0	14.8	-5.8	166.0	208.0	-42.0	22.6	24.1	-1.5
12	1867	-117.7	-111.8	-5.9	4.0	6.4	2.5	2.4	6.3	-3.9	100.0	175.0	-75.0	26.2	25.7	0.5
13	1961	-120.9	-117.6	-3.3	3.6	3.9	0.3		1.4			32.9			23.0	
14	2188	-118.7	-116.6	-2.0	3.9	4.2	0.4									
15	2393	-121.6	-120.4	-1.3	3.6	3.7	0.1									
16	2250	-135.1	-123.6	-11.5	3.1	3.5	0.3									
17	2423	-120.2	-115.7	-4.4	3.7	4.6	0.8									
18	2759	-111.9	-105.9	-6.0	6.4	11.1	4.7									
19	3072	-121.7	-115.7	-6.0	3.6	4.4	0.8									
20	3184	-116.2	-107.4	-8.8	4.3	9.7	5.4									
21	3025	-110.0	-103.6	-6.4	7.1	13.2	6.1									
22	2141	-118.2	-109.6	-8.6	3.9	7.6	3.7									
23	2303	-122.9	-116.0	-6.9	3.6	4.4	0.8									
24	1874	-116.4	-111.7	-4.6	4.3	6.5	2.2	11.9	12.5	-0.6	164.0	218.0	-54.0	20.5	23.2	-2.7
25	2169	-118.2	-114.1	-4.0	4.0	5.0	1.1									
26	1703	-117.2	-107.6	-9.6	4.1	9.5	5.3	10.9	7.7	3.2	164.8	198.0	-33.2	23.3	22.7	0.7
27	323	-111.6	-105.7	-5.8	6.4	10.8	4.4	24.1	8.6	15.5	195.4	181.8	13.6	25.8	24.7	1.1
28	577	-118.7	-111.7	-7.0	3.9	6.3	2.4	16.3	22.3	-6.0	29.3	222.6	-193.2	25.7	27.8	-2.1
29	257	-94.1	-90.6	-3.5	20.3	22.1	1.7	52.5	56.0	-3.5	278.2	274.6	3.7	24.1	21.8	2.4
30	537	-101.3	-98.6	-2.7	15.2	16.6	1.4	29.2	37.3	-8.0	239.7	270.0	-30.3	25.3	28.4	-3.1
31	642	-97.5	-92.9	-4.6	17.1	22.5	5.4	40.1	43.9	-3.9	190.5	270.3	-79.8	22.5	23.0	-0.4
32	703	-96.9	-93.4	-3.6	19.3	22.4	3.1	35.3	55.5	-20.2	255.8	270.6	-14.8	24.3	22.0	2.2

灰色網掛け部分は測定用PC (5G端末) が基地局に接続不能

※基地局～移動局間の距離によってランダムアクセス処理が正常に完了できない問題については、基地局パラメータの設定により、ある程度緩和することが可能です。本技術実証においても、当初の設定ではランダムアクセスが可能な範囲が基地局～移動局間距離で 600m 程度でしたが、下記のパラメータ変更によって上記の結果のとおり 2km まで広げることができました。

ランダムアクセス時の基地局動作概要

ランダムアクセス時、基地局は移動局からの RACH(Random Access Channel) 信号を検出する必要があります。基地局は RACH 受信タイミング時間(検出窓)内に移動局の送信信号を検出する必要があります。よって、基地局～移動局間の距離が長い場合、移動局の信号の遅延が増大し、検出窓内に受信できなくなります。

パラメータ (Zero Correlation Zone Config) による調整

この検出窓の長さは基地局のパラメータ (Zero Correlation Zone Config) によって決まり、本技術実証では検出窓長が最大になる設定に変更し、ランダムアクセス可能な範囲を広げています。

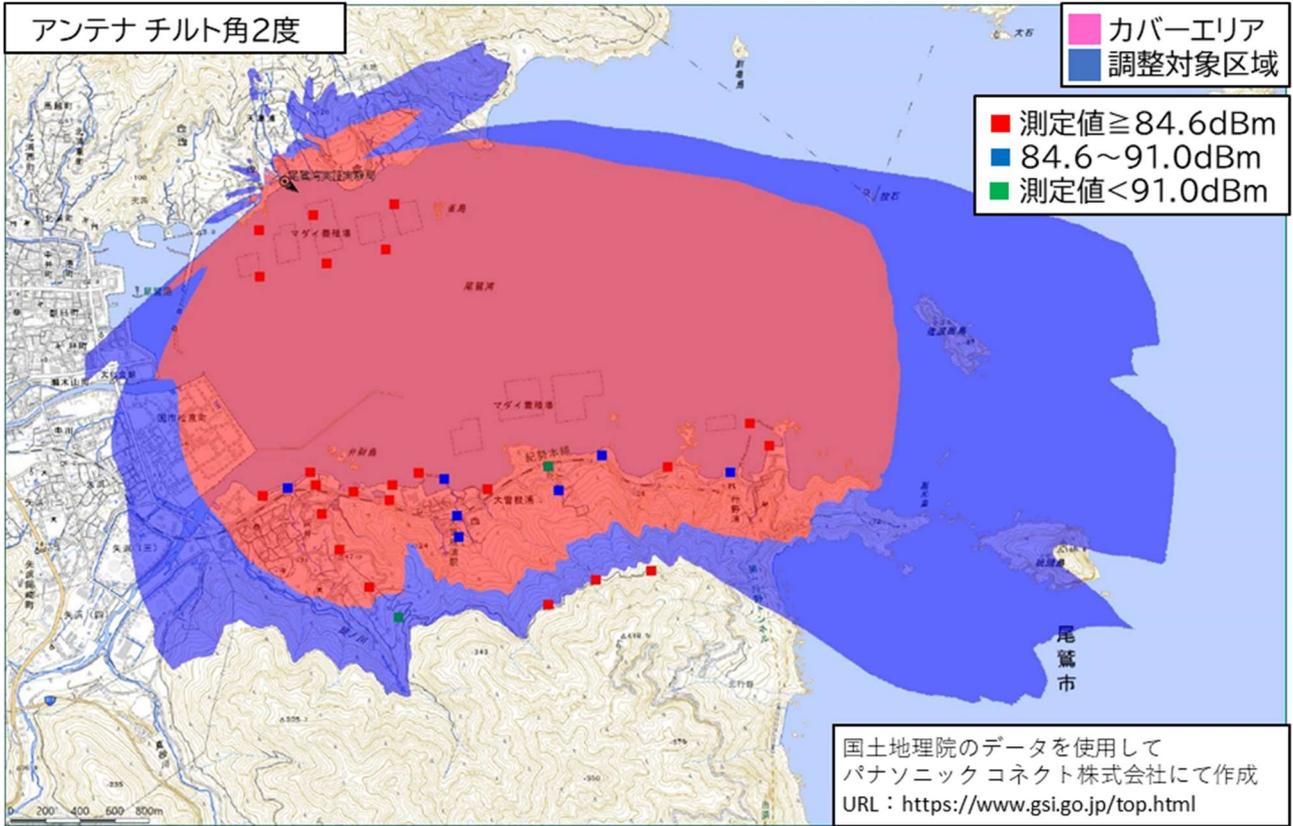


図 3-47 受信電波強度の測定値をエリア図にプロット：チルト角 2 度

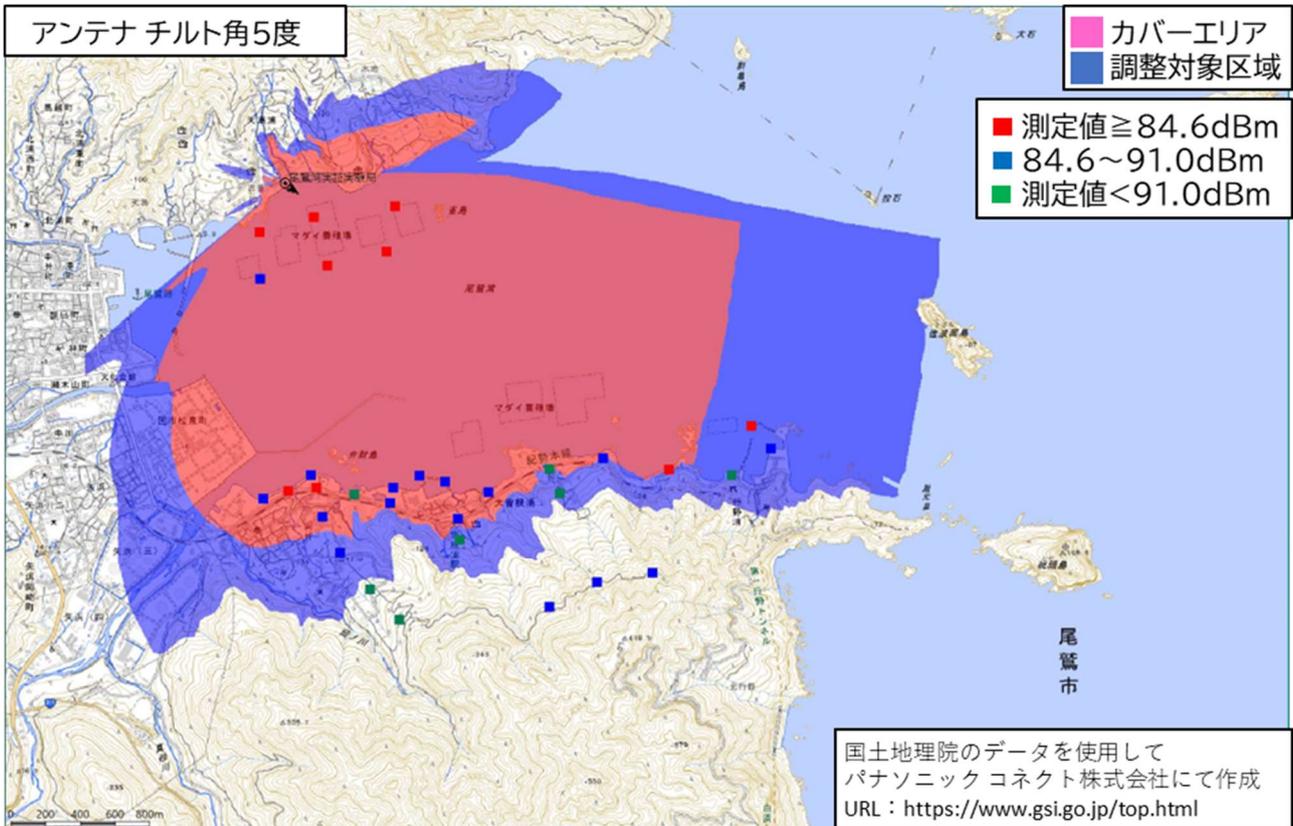


図 3-48 受信電波強度の測定値をエリア図にプロット：チルト角 5 度

2) 考察

海面反射による山斜面への電波伝搬影響を確認するため、弊社内製ソフトでレイトレースシミュレーションにて算出した計算値と、本技術実証での測定値とを比較すると、チルト角 5 度と 2 度とも近い受信電波強度値で、差分も同様の傾向となりました。

表 3-12 各地点測定値とレイトレースシミュレーション計算値の比較

測定点ID	基地局 距離[m]	標高[m]	測定値(RSRP)	レイトレースシミュレーション値(RSRP)		測定値(RSRP)	レイトレースシミュレーション値(RSRP)			
			5度 測定値	5度 計算値	周囲2セル最小	周囲2セル最大	2度 測定値	2度 計算値	周囲2セル最小	周囲2セル最大
1	3096	257	-115.6	-116.0	-129.1	-115.0	-111.4	-109.7	-128.9	-109.0
2	2927	227	-117.9	-116.4	-124.6	-113.7	-113.2	-111.0	-124.5	-108.6
3	2893	205	-118.3	-115.4	-120.5	-113.4	-109.1	-109.5	-121.6	-109.2
4	2617	124	-122.0	-116.4	-123.3	-108.2	-122.0	-120.4	-120.4	-104.2
5	2411	77	-122.3	-116.5	-118.4	-106.4	-114.4	-108.6	-115.4	-102.9
6	1946	25	-116.2	-118.4	-129.5	-102.5	-112.2	-113.4	-119.5	-100.9
7	1835	2	-118.3	-114.6	-114.6	-100.7	-112.0	-110.8	-117.2	-98.9
8	1784	7	-114.5	-112.9	-122.1	-102.0	-116.8	-114.0	-114.0	-99.9
9	1777	11	-111.2	-110.2	-122.0	-100.1	-109.0	-108.4	-117.6	-98.6
10	1849	7	-121.7	-123.2	-123.2	-100.5	-113.8	-114.6	-121.1	-97.5
11	1948	13	-115.0	-109.9	-129.4	-99.7	-109.5	-106.8	-125.9	-97.0
12	1864	4	-117.7	-109.8	-111.1	-100.2	-111.8	-106.7	-108.0	-97.1
13	1959	4	-120.9	-103.7	-105.3	-99.3	-117.6	-100.6	-102.2	-96.2
14	2184	17	-118.7	-117.4	-121.6	-99.0	-116.6	-113.8	-116.5	-96.4
15	2391	64	-121.6	-110.3	-112.1	-105.3	-120.4	-111.5	-113.4	-97.2
16	2249	59	-135.1	(N/A)			-123.6	(N/A)		
17	2423	41	-120.2	-110.3	-114.1	-99.3	-115.7	-105.1	-124.0	-94.5
18	2761	16	-111.9	-102.9	-124.5	-100.3	-105.9	-108.0	-118.5	-96.0
19	3074	11	-121.7	-117.3	-117.3	-101.0	-115.7	-96.2	-106.3	-95.9
20	3187	3	-116.2	-112.6	-123.3	-105.4	-107.4	-102.4	-111.1	-99.5
21	3028	5	-110.0	-111.2	-120.4	-109.7	-103.6	-105.3	-114.5	-103.8
22	2139	7	-118.2	-102.1	-107.7	-101.0	-109.6	-96.2	-101.8	-95.7
23	2299	33	-122.9	-115.9	-115.9	-99.9	-116.0	-114.5	-114.5	-97.3
24	1870	6	-116.4	-108.5	-110.9	-98.8	-111.7	-95.7	-110.1	-95.7
25	2164	44	-118.2	-112.6	-120.9	-102.9	-114.1	-109.6	-114.7	-100.8
26	1699	2	-117.2	-113.4	-119.0	-98.7	-107.6	-111.5	-117.6	-96.4

レイトレースシミュレーションでは、国土地理院の標高データを読み込み地面/海面を三角形メッシュで面を作成したマップを用いて、反射係数を考慮した電波伝搬をイメージング法レイトレースで実行しました。

上の表で、測定点4番や8番は、レイトレースによるとチルト角2度より5度の方が海面反射（海面の反射減衰は浅い角度では0.8程度とした）のために2-4dB電波強度強く、測定値差分も0-2dBで同様の傾向でした。よって海面反射によって山斜面への電波を0-2dB強めることはありましたが、シミュレーション計算値よりは低く、海面反射の影響は少ないと考えられます。

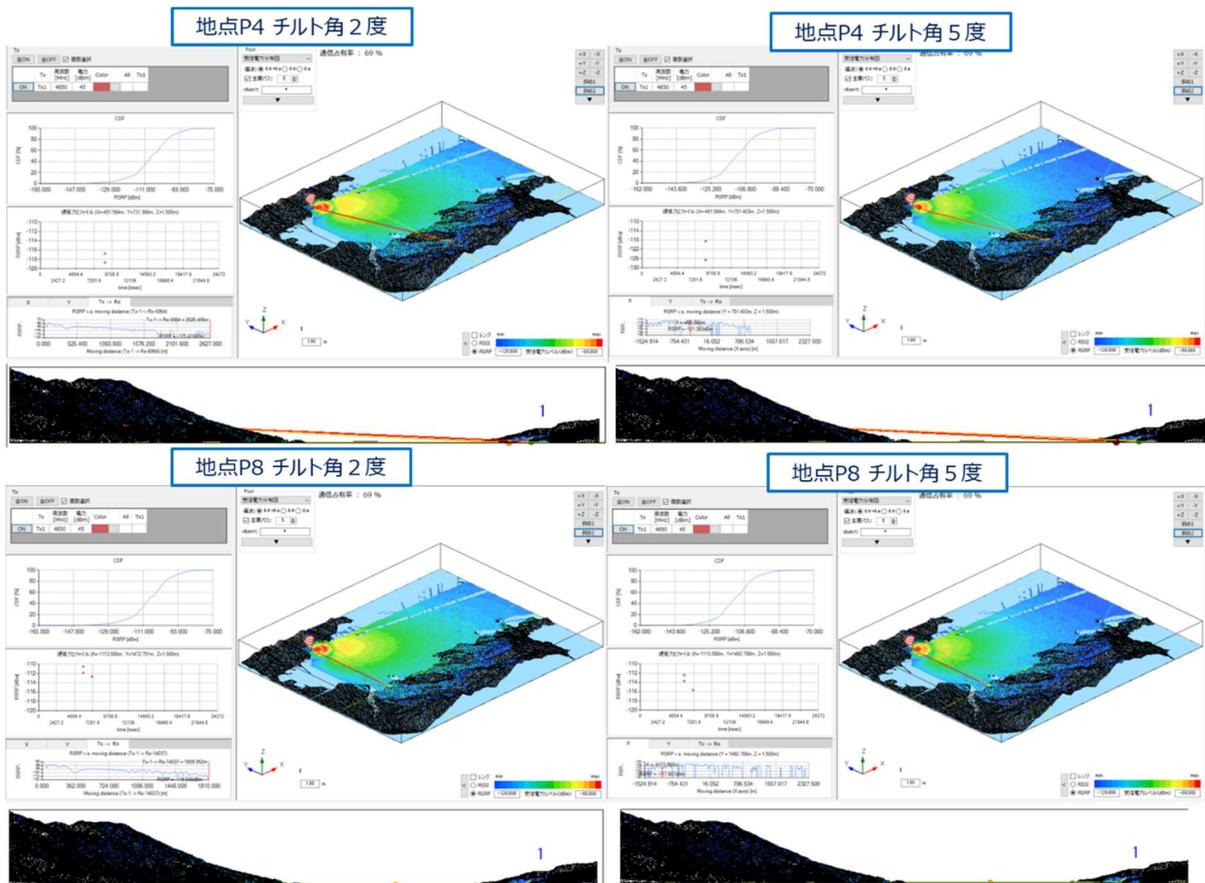


図 3-49 海面反射によるレイトレースシミュレーション

3) まとめ

上記の実証実験の結果、基地局アンテナのチルト角を調整することによって、受信電力を制御し、カバーエリア・調整区域の範囲調整が可能であることが示されました。具体的には、表 3-11 の測定結果において、アンテナチルト角を $5^{\circ} \Rightarrow 2^{\circ}$ とすることで、カバーエリア内（地点 ID27～32）のスループット（UL:8.6Mbps 以上、DL:29.3Mbps 以上）を確保した上で、調整区域（地点 ID1～26）の受信電力（RSRP）をほぼ全地点で減少（1.3～11.5dB）させることができます。よって、エリア構築の柔軟性向上に向けて本手法は有効であると考えます。また、エリア構築においては、受信電力強度だけでなく、基地局～移動局間の距離による遅延への対応が必要であるという知見も得られ、その対処方法として基地局パラメータの調整が有効であることも明らかになりました。

3.3.3 準同期 TDD の追加パターンの開発

このテーマは取り組まなかった。

4. ローカル 5G 活用モデルに関する検討（課題実証）

4.1 実証概要

4.1.1 背景となる課題

(1) 国内における水産業の傾向

国内の水産物消費規模は縮小傾向で、漁船漁業による生産量も年々減少していますが、海面養殖業は生産量全体の 25%程度を 20 年以上維持しています。この 30 年間で国内の海面養殖の事業者数は三分の一、従事者数は二分の一と大きく減少していますが、産出額はほぼ横ばいで一事業者および一人あたりの産出額は増加しています。また、一事業者あたりの養殖施設面積が大きいほど労働時間あたりの生産性も高いことから、効率化を目指した事業者の統合も想定されます。大規模化と従事者の減少により一人あたりの業務量や漁船の操船に係る負担と、事故が発生した際の損害額は大きくなることが懸念されます。

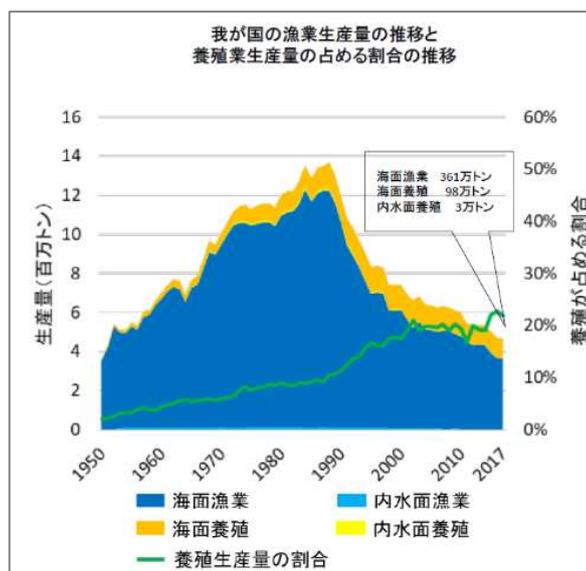


図 4-1 我が国の漁業生産量の推移と養殖業生産量の占める割合の推移
(水産庁「養殖業成長産業化総合戦略について」より)

○魚類養殖業の産出額、養殖業者数、労働者数及び生産性の推移

	1973年	1978年	1983年	1988年	1993年	1998年	2003年	2008年	2013年	2018年	対1998年 増減(%)
産出額 (百万円)	45,235	142,850	191,183	233,903	258,903	258,801	213,597	208,641	214,868	263,766	-8
養殖業者数 (経営体)	2,841	3,473	4,373	3,786	3,148	3,519	2,822	2,191	1,612	1,392	-63
労働者数(人)	N/A	N/A	N/A	13,657	11,027	12,606	12,804	8,432	6,901	7,062	-48
一経営体当たりの 産出額 (百万円/経営体)	15.92	41.13	43.72	61.78	82.24	73.54	75.69	95.23	133.29	189.49	116
一人当たりの産出額 (百万円/人)	N/A	N/A	N/A	17.13	23.48	20.53	16.68	24.74	31.14	37.35	82

図 4-2 魚類養殖業の産出額、養殖業者数、労働者数および生産性の推移
(養殖業成長産業化推進協議会「我が国の養殖業と成長産業化に向けた論点整理」より)

水産庁による次期水産基本計画の『増大するリスクも踏まえた水産業の成長産業化の実現』では水産業の成長産業化のための課題が挙げられています。

【課題（抜粋）】

- ・ 国内外の市場維持および需要の拡大のための生産量の増加。（図 4.1-3）
- ・ ICT 等を活用した養殖管理システムの高度化による餌代の削減や省人化、省力化。（図 4.1-4, 5）
- ・ 新規漁業者の確保・育成や外国人材受け入れ・確保による人材不足対策。（図 4.1-5）



図 4-3 ブリ類・マダイの成長産業化イメージ
(水産庁「養殖業成長産業化総合戦略について」より)

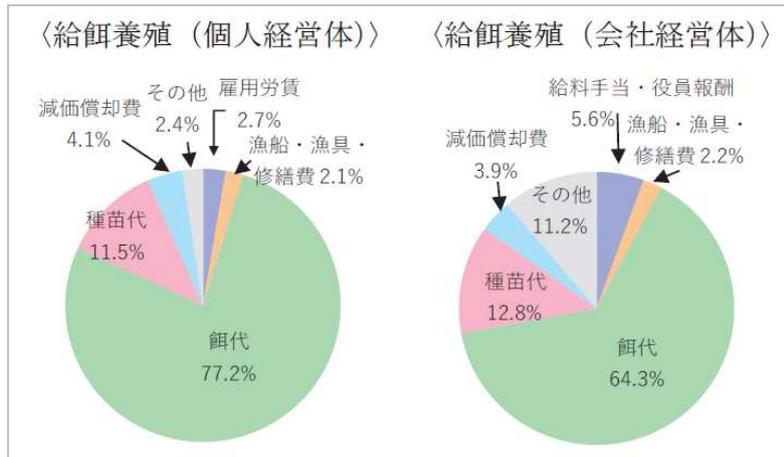


図 4-4 海面養殖業における漁労支出の構造
(水産庁「令和2年度 水産白書」より)



図 4-5 漁業就業者数の推移について
(水産庁「令和3年度 水産白書」より)

(2) 海上養殖の種類

海上養殖は大きく給餌と無給餌の2種類に分けられます。給餌は魚類、無給餌は貝類および藻類となります。給餌方法は手まき給餌と機械給餌があり、機械給餌は生け簀にタイマー式の自動給餌機を設置する方式と給餌船が生け簀に横付けし給餌機を操作して行うものがあります。

餌を大量に勢いよく食べるブリ類については給餌船からの給餌が適しています。

主な種類	給餌養殖			無給餌養殖
	手まき給餌	機械給餌		
		自動給餌機	給餌船	
	稚魚	マダイ	ブリ類、マグロ	カキ、ワカメ、ノリ等
				

図 4-6 海上養殖別の給餌方法

(3) ブリ養殖の傾向

国内における水産物消費全体の規模は縮小傾向にありますが、ブリについては30年前と比較して1割程度増加しています。

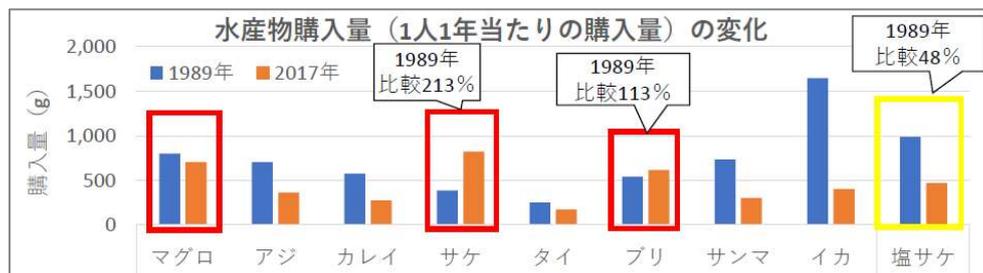


図 4-7 水産物購入量（1人1年あたりの購入量）の変化

(養殖業成長産業化推進協議会「我が国の養殖業と成長産業化に向けた論点整理」より)

国内における水産物消費全体の規模は縮小傾向にありますが、ブリについては30年前と比較して1割程度増加しています。また、以前は養殖に対して消極的だったイメージの向上が見られるようになり、現在では天然物よりも養殖物が高値で取り引きされるようになりました。



図 4-8 養殖魚と天然魚の出荷量・取引価格の比較
(養殖業成長産業化推進協議会「我が国の養殖業と成長産業化に向けた論点整理」より)

農林水産省では、ブリを戦略的養殖品目と位置づけ、国内だけでなく海外輸出にも積極的に取り組み、新たなマーケットの開拓も進められています。生産量目標も2018年の14万トンから2030年には24万トンまで増加することを目指しており、ブリ養殖への重要性が高まっています。

しかしながら、ブリ養殖は出荷まで2年以上の期間が必要であり、長期飼育のリスク対策のためには成育状況や病気の把握とコントロール、水温や酸素量などの養殖環境、台風など自然災害への迅速な対応が重要です。また、人手不足や餌代の高騰も深刻化しており、ICTやAIを活用した省力化やコスト削減が求められます。

戦略的養殖品目	2030年生産目標	2030年輸出目標	対象マーケット	生産方向
ブリ類 	24万トン	1,600億円	◆北米市場の拡大、アジア・EU市場、国内需要創出 等	□生産性向上による生産拡大、養殖管理の徹底やHACCP導入 等

図 4-9 戦略的養殖品目「ブリ類」の2030年生産目標等
(参考：水産庁「養殖業成長産業化総合戦略について」より)

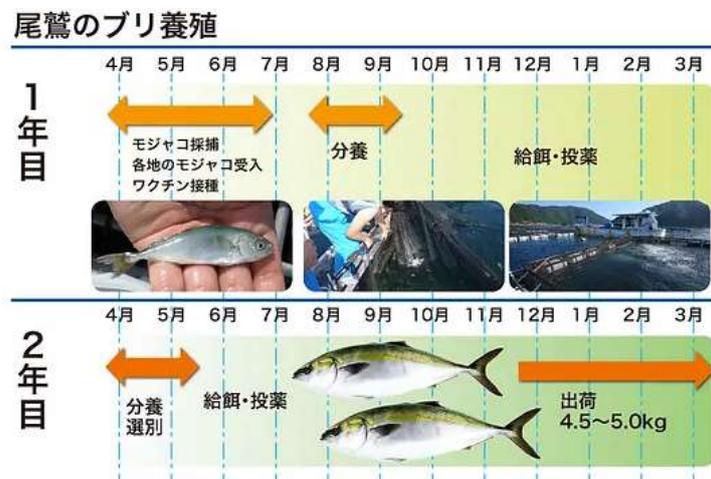


図 4-10 ブリ養殖スケジュール
(尾鷲物産株式会社ホームページより)

実証フィールド提供の尾鷲物産株式会社へのヒアリングと前項までの水産養殖業における課題点を踏まえ、イシューツリーの作成を行いました。



図 4-11 イシューツリー

イシューツリーを踏まえたブリ養殖業成長のための重要ポイントは次の通りです。

1. 労働力減少に対応するための業務効率化
2. 給餌量、育成状況の把握による生け簀内環境の最適化
3. 船舶操船状況の遠隔確認

本実証が目指すゴールはブリ養殖における労働力不足の解消、漁獲量の向上、競争力の強化、安全性の向上となります。

ゴール達成に向けて本実証において取り組む課題は

1. 給餌業務：餌の食べ具合を目視で確認し停止を判断。与えすぎると食べずに残った餌により海が汚れる。無駄な餌代が発生する。給餌量に関連する成長状況、環境データの管

理ができていない。

2. 操船確認業務：操船には経験や高度な技術が求められるため、新人への教育や操船の支援、事故防止のための監視が必要。

その解決策として以下取り組みを行いました。

1. 餌の食べ具合を高精細カメラで撮影しローカル 5G で陸上の AI サーバまで伝送。映像を AI が解析し、必要量になったら自動で給餌を停止。水中カメラでブリの状態を撮影。環境データ等を蓄積。与える餌の量・タイミングを判定。
2. 船上に取り付けた 4K 高精細カメラ映像を港でベテラン職員が確認します。遠隔より必要に応じて操船者にアドバイス等を行います。

本実証において課題が解決することにより、適切な給餌量となり餌の海底への沈殿等もなくなり SDGs (Sustainable Development Goals) へも貢献します。



図 4-12 持続可能な開発目標 (SDGs) における本実証関連目標
(外務省「持続可能な開発目標(SDGs)達成に向けて日本が果たす役割」より)

4.1.2 本実証におけるローカル 5G 活用モデル

(1) ローカル 5G を用いたソリューション

今回構築するソリューションの全体イメージは以下の通りです。

- ① AI を活用した遠隔自動給餌
- ② 養殖データ管理および海洋データの取得・管理
- ③ 操船確認 (給餌業務の無人化実現に向けた情報収集を含む)

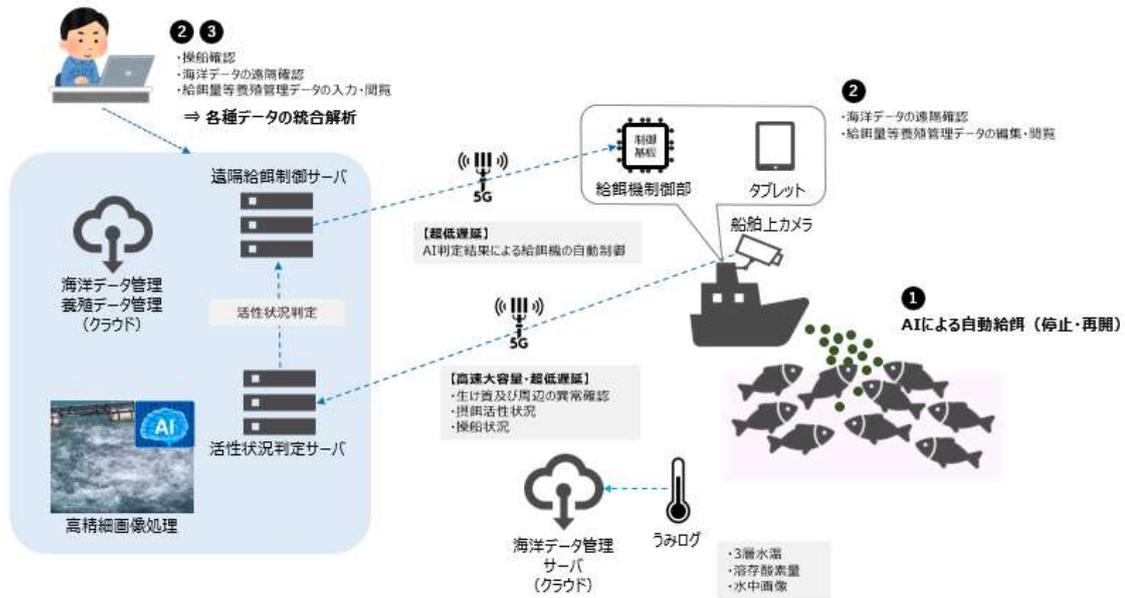


図 4-13 ソリューション全体イメージ

1) 給餌業務

a. 給餌自動制御

● 現状 (尾鷲物産)

本実証においてフィールドとなる尾鷲物産株式会社は年間約 500,000 尾 (2,500 トン) のブリを出荷する三重県内でも有数のブリ養殖事業者です。

海上養殖における給餌方式にはタイマー式の自動給餌装置を用いるものと、給餌船から直接給餌を行う方式の 2 種類あります。ブリは一回の餌の量が多いため、自動給餌装置では毎回餌を補充することになり非効率のため、船から直接餌を与える方式が主流となっています。

尾鷲物産では 210 台の生け簀を所有し、その生け簀 1 台あたり約 4,000 尾のブリが養殖されています。1 つの生け簀に対して週に 2,3 回の頻度で給餌を行います。給餌量は季節や水温や魚体重、生け簀の飼育尾数に応じて変動しますが 1 回あたり約 200~500 kg となります。給餌を行う日は所有する 8 隻の給餌船に餌を搭載し、早朝から約 6 時間かけて生け簀を巡回します。

現在は、餌の食べ具合 (活性状態) を従業員が目視で確認し、規定量もしくはそれ以上食べないと判断したら手動で給餌を停止します。



図 4-14 ブリ養殖生け簀



図 4-15 給餌状況



図 4-16 既存給餌機（攪拌機）

● 給餌作業の詳細手順

- ① 餌（ドライペレット）を攪拌機に投入
- ② ブロワー → 攪拌機 → 攪拌機シャッター の順番で起動
- ③ ブリの餌の食べ具合を見ながらレバー（攪拌機の回転数）やハンドル（シャッターの開閉）を操作して餌の送出量を調整。
 - ・ 給餌時間は生け簀によってばらつきがあり 10 分で終わることや、30 分かかる時もあります。
 - ・ 給餌の間、従業員は給餌機の操作と生け簀の様子を集中して見ている必要があります。
 - ・ 給餌規定量に達する、もしくは途中で食べていないと判断したら給餌終了。
- ④ 攪拌機シャッター → 攪拌機 → ブロワー の順番に停止

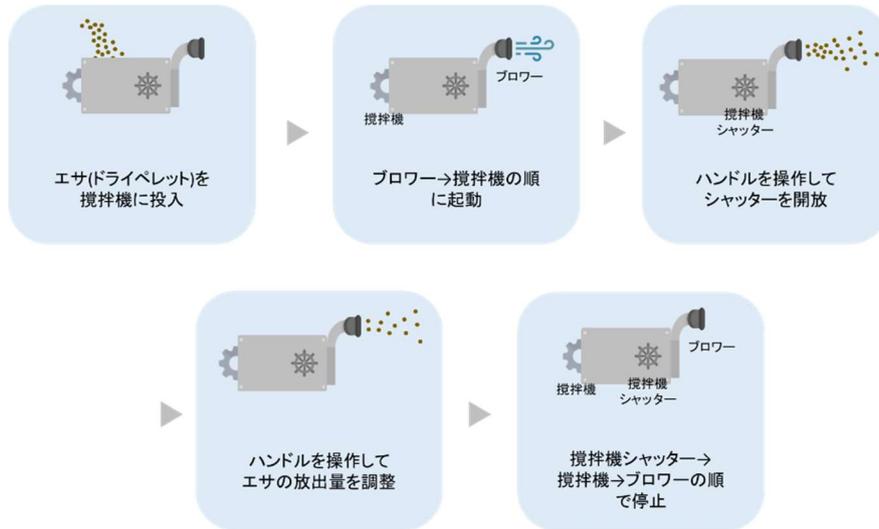


図 4-17 給餌作業の詳細手順



図 4-18 従来の給餌方法

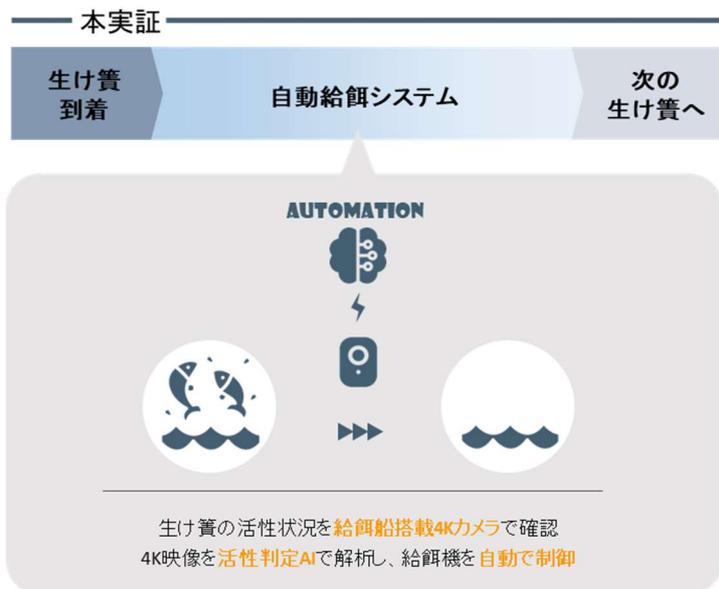


図 4-19 本実証での給餌方法

本実証では、尾鷲物産が所有する給餌船 8 隻の内 1 隻とローカル 5G でエリアカバーを行うブリ養殖生け簀を対象に実証を行います。

・AI 判定による自動給餌システム

鳥羽商船高等専門学校 (ezaki-lab) が開発したマダイの海面養殖自動給餌装置は、餌を食べる状況 (活性状態) をカメラで撮影し、AI が解析を行い、必要量に達したと判断したら給餌を停止するシステムです。

・AI 判定および給餌停止プロセス (マダイの給餌活性判別)

給餌を撮影した映像が 3 秒間毎に 1 枚 AI サーバにアップロードされ活性状態の判定を行います。活性状態は 高活性/低活性/非活性 の 3 段階に分類されます。

マダイ養殖における給餌停止までのプロセスは、高活性と判定されれば給餌を継続し、低活性または非活性であると連続で 3 回判定されると 1 回目の給餌停止を行います。そして、誤検出や給餌不足の可能性を考慮して、1 分後に給餌を再開し、同様の停止処理が 5 回行われた場合に、飽食状態となったと判断して給餌を終了します。



図 4-20 活性状況判定 AI 概要

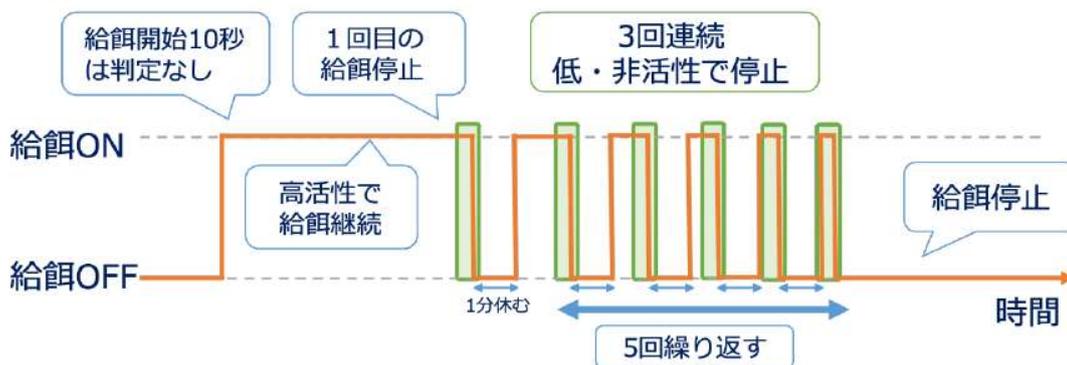


図 4-21 機械式タイプの給餌制御停止プロセス（マダイ給餌）

● マダイ養殖とブリ養殖の給餌方式の違い

マダイ養殖は給餌量が少ないため、生け簀に設置するタイマー式の自動給餌機による機械タイプを使用するのが標準的な運用となっています。給餌機への補充は数日に1回の頻度で間に合います。

ブリ養殖でも機械タイプの給餌機を利用することは可能ですが、一回あたりの給餌量が多いため、毎回生け簀にある給餌機に餌を補充する必要があります。生け簀までは船で向かう必要があります、また、給餌機への餌の搭載は重労働です。

そのため、ブリ養殖では生け簀に設置する機械式ではなく船に搭載した給餌機から行う給餌方法が現在でも一般的となっています。

給餌方法	機械式自動給餌	給餌船	(本実証)自動給餌システム
給餌可能量	△ 給餌量の少ないマダイに利用	○ 給餌量の多いブリやマグロに対応	○ 給餌量の多いブリやマグロに対応
作業効率	○ タイマーによる無人給餌	△ 給餌機を手動で操作	○ 給餌機の操作業務削減
イメージ			

図 4-22 給餌方法比較

● AI解析に必要とするデータ集積の日数について

AI解析に使用する識別器の作成にはマダイ養殖で蓄積した情報を転移学習として用いることで、

一つの条件あたり 1 日分のデータが収集できれば識別可能になる見込みです。

本開発実証の実験対象となる生け簀は全て同じ形状をしていますので、一つの識別器を作成することで全ての生け簀に流用することが可能です。

天候や時間帯による日の差し方で判定に影響が及ぶことを考慮して、晴れ、曇り、雨についてそれぞれ 100 から 150 枚程度の画像データの収集を行います。

魚体サイズによる判定の誤差を減らすため、成育状況に応じて使い分けられるよう大小 2 種類の識別器を作成します。

従業員のフィードバックについては、学習過程から知見を反映させます。代表する方の給餌パターンを実装することで統一的な AI 判定が期待できます。

これらトータルの開発日数として 1 週間程度が必要となります。



図 4-23 識別器作成フロー

● AI 判定に使用する画像等の条件

マダイ養殖の給餌自動化（機械式給餌機）においては使用する映像をサーバまで伝送するために LTE 回線を使用しています。

マダイ養殖では、生け簀に設置したカメラの解像度を低く（400 pixel × 400 pixel）、撮影間隔も長く（3 秒に 1 回）、撮影範囲も生け簀の一部に限定したものを使用して最低限の品質にすることで低速通信環境での稼働が可能となっています。

しかしながら、ブリはマダイと比べ魚体のサイズが大きく、給餌の際も生け簀内を広範囲に動くことや、機械式に比べ船からの給餌は餌の飛散面積が広がります。

マダイで使用する映像の条件では給餌状態を正確に判定できず、AI の処理が遅れてしまい給餌機を停止するまでの時間が長くなります。その間餌を送出し続け、無駄が発生します。

ブリ養殖での給餌自動化のための AI 判定には 4K 画質の高精細映像を 1 秒に 1 回以上の頻度で

遅延なく伝送する必要があり、そのためには高速大容量の通信回線が必須となります。

4K 高精細映像の伝送にローカル 5G を使用することで、AI 解析の間隔も短くなり、判定までの時間の短縮が期待できます。



図 4-24 判定用画像条件の違い（マダイ養殖-ブリ養殖）

また、高精細映像を取得できるようになることで、これまでは見えていなかった海中の様子も船上のカメラから確認することが可能となります。餌を食べずに海底に落ちていく状態を確認できるようになれば、将来的には新たな活性判定の手法としても期待できます。

本実証では養殖ブリへの給餌の際に生け簀内を広範囲に激しく動きまわる様子を給餌船に搭載したカメラが撮影した映像をローカル 5G で陸上のサーバまで伝送し AI 解析に用います。

このような環境での検証実績がこれまでにないため画質、映像更新頻度の差による判定精度や時間への影響を比較する指針がありません。今回の実証ではマダイ養殖の AI 解析で採用している映像品質条件でも検証を行い、4K 高精細、ベテラン従業員との違いがあるのかについても確認しました。

● 自動給餌装置の仕組み

本実証では既存の船に搭載された給餌機を改修しました。

餌の送出量を調整する攪拌機の扉を開閉させるハンドルを操作するモーターと遠隔から開閉操作を行うための制御基板を取り付けます。

全国のブリ養殖で導入されている給餌船に搭載されている給餌機への導入の際も、大掛かりな設備追加等は不要で、簡単な改修で済みます。

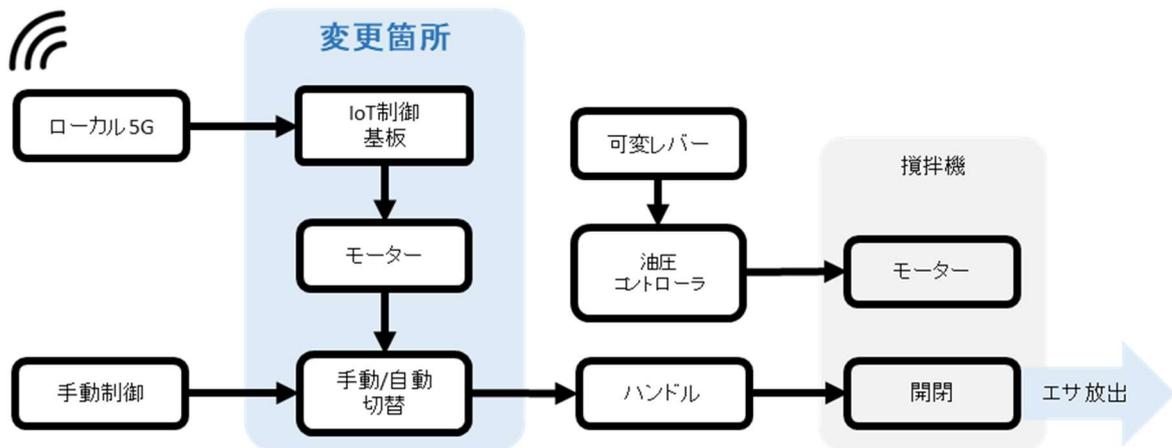
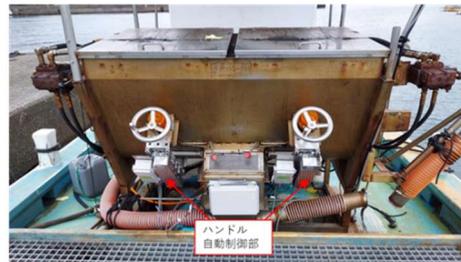


図 4-25 給餌機の改造概要



(改造前)



(改造後)

図 4-26 給餌機操作部

AI は餌の食べ具合 (活性状況) を常時解析し、餌の送出量をコントロールする指令を出します。指令を受けた給餌機側ではハンドルの制御を行います。

扉を一定の開度にした状態で給餌を開始し、高活性であれば開度を維持、低・非活性であれば扉を閉めます。その後高活性になれば扉を一段階開きます。低・非活性が続くと最終的には扉が完全に閉じられ給餌が終了します。

一度の低・非活性判定で餌の送出を完全に止めるのではなく、餌の量を段階的に削減や増加させることで従業者が行う給餌作業と遜色のない自然な給餌を行う事ができます。

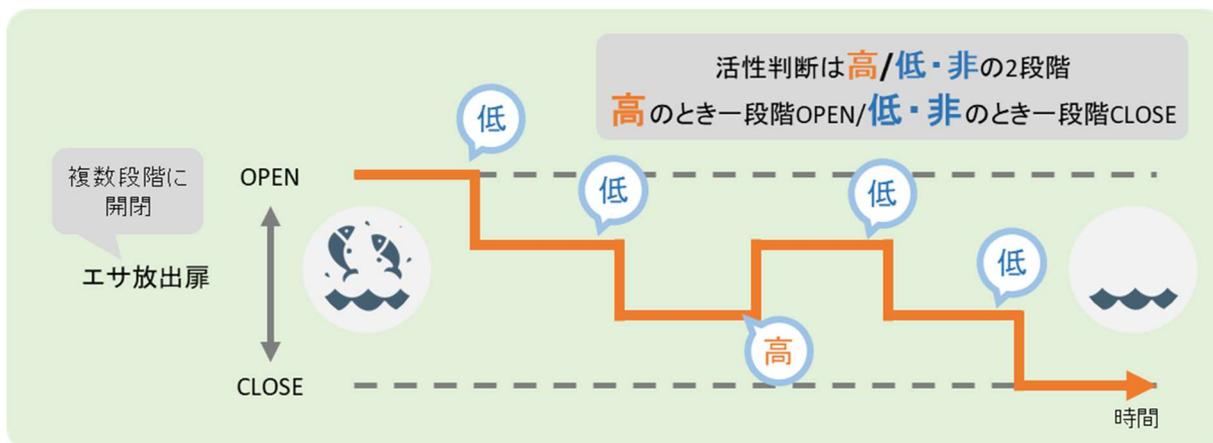


図 4-27 本実証で実現する段階的なシャッター開度による自然な給餌

自動給餌が可能となることで

- ベテラン従業員と同等の給餌が行えることで、タイマー式給餌機などで見られる餌の食べ残しによる海洋汚染が抑止できるため環境負荷の低減が図れます。
- 業務難度が下がるため、経験の浅い新人や日本語を母語としない外国人材でも短期間で従事できるようになり、2ヶ月以上必要な新人教育が不要となります。
- 給餌機に張り付いて対応する必要がなくなるため、安全確認や休息による従業員の労働負荷削減が図れます。
- ブリ養殖生産コストの60%以上を占める餌代(2,100円/尾/2年)の削減が見込めます。

船上4K高精細カメラと水中ドローンを活用して、人間と自動給餌機による給餌業務による水中の餌の食べ残しについての比較を行います。

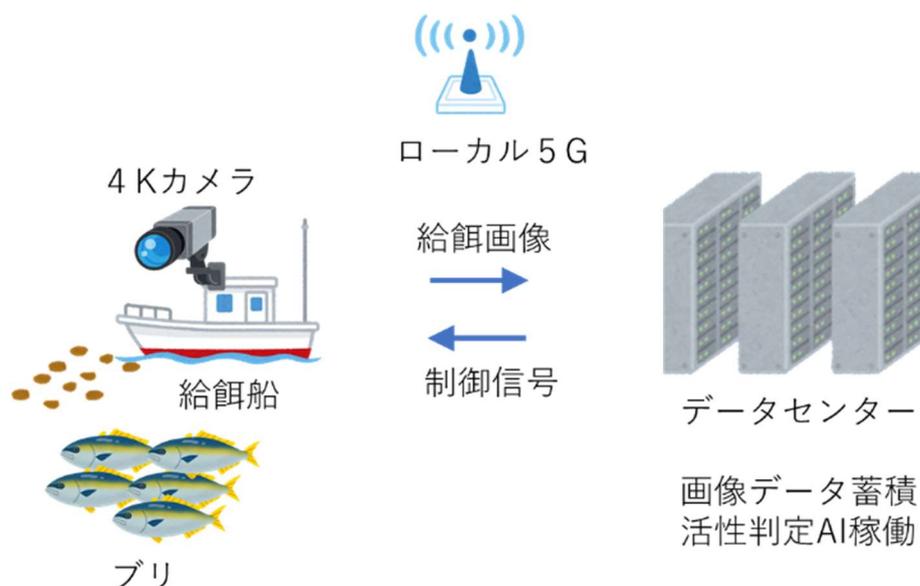


図 4-28 自動給餌イメージ

b. 成育管理

- 現状（尾鷲物産）

1ヶ月に一度水中の様子を確認し、成育状態から餌の量を確定します。体重の30%の餌を1か月かけて与えています。また、月12%成長するために、餌の量をプログラムしています。

給餌量は、船上で紙に記録を行い、帰港後 excel に手入力で管理を行っています。

海洋データは給餌作業時に測定を行い、水温や溶存酸素量の判定を行います。

これらは個別に収集されていますが、統合的な管理や解析ができていません。

● 海洋データの必要性

養殖場において高水温や赤潮が発生した条件での給餌は、ブリに多大な負荷をかけることになり、最悪の場合斃死に至ります。給餌前に状況を確認することができれば給餌作業を中止に出来、結果として斃死数の低減につながられることとなります。年間10日程度の給餌作業停止が発生しています。

高水温や赤潮が発生していることを養殖場に向かう前に検知できるようになれば、餌の積み込みや現地までの操船等の不要な業務を回避できるため、大きな業務削減とコスト削減になります。

また、赤潮による被害で生け簀内のブリが全滅する可能性もあるため、発生を早期に確認することは非常に重要です。

● 導入するシステム

アイエスイーが開発した養殖魚の生産管理システムおよび海洋モニタリングシステムを用いて次の情報を継続して収集・記録します。

- ・ 生け簀毎の給餌量
- ・ 生け簀内の尾数、斃死数
- ・ 生け簀周辺の海洋データ
- ・ 成育状態（大きさ、重さ）

これに希望する出荷日および出荷量・サイズの情報を追加し、データを蓄積する事により将来はAIが解析を行い適切な餌の量や与えるタイミングを指定できるようになり、漁獲量の増加や計画的な生産が行えるようになります。

● 給餌量の記録、管理

アイエスイーが開発した養殖管理ツールを活用します。これまでは手書きの記録を事務所へ戻ってからで手動で入力していた業務が作業中に任意のデバイスから行えることとなります。データはクラウド上に記録されます。

また、このデータはアイエスイーが開発する養殖管理システムとも連携することでこれまでは個別に管理されていた情報が一元化されます。

ホーム画面

▼野村 元 (神前浦)

イケス名	受け入れ日	収容時尾数	現在尾数	前回魚体重	前回給餌量	種苗名	最終更新
k21-1	---	---	---	---	---	---	2022/03/28 17:26
沖	2021-06-12	15,000 尾	15,000 尾	4.0 kg	550.0 kg	マダイ	2022/03/29 16:42
真ん中	2021-06-12	15,000 尾	15,000 尾	4.0 kg	2.0 kg	マダイ	2022/03/29 09:06
たか	---	---	---	---	---	---	2022/03/28 18:29

図 4-29 養殖管理システムイメージ

【データ入力】 印刷

2022/06/16

給餌量 kg
 飼料
 この日の尾数 尾
 魚体重 kg
 全長 cm
 放養密度 kg/m3

【データ出力】

2022/06/09 ~ 2022/06/16

年月日	尾数 (尾)	魚体重 (kg)	全長 (cm)	放養密度 (kg/m3)	斃死・ひん死 (尾)	給餌量	購入日	飼料
2022-06-09								
2022-06-10								
2022-06-11								
2022-06-12								
2022-06-13								

図 4-30 養殖管理システムデータ入力イメージ

- 海洋データの収集、登録

本実証ではアイエスイーが開発した海洋データ収集装置「うみログ」を使用し、クラウドに収集を行います。

この装置では溶存酸素量 (DO)、水温、生け簀周辺の映像を定期的に収集します。

現在は給餌作業前に従業員がセンサーを生け簀内に投入しデータを計測していますが、現地まで行くことなく、リアルタイムに海洋データが確認できます。



図 4-31 うみログ

尾鷲物産以外の三重県内の養殖業者の事例として、赤潮の被害で養殖魚が全滅する被害がありました。海洋データの情報をリアルタイムに把握し、即時対策（生け簀の移動）を行うことで被害を最小限に食い止められることが期待できます。

- 魚体サイズの計測、管理

尾鷲物産が導入している NEC が開発した養殖魚サイズ測定自動化サービスを使用します。

ブリの成長には給餌量や海洋データとの関連性は非常に高いため、それらの情報を連携することは非常に重要ですが、現時点では実施できていません。

- データの一元化

個別に収集管理している給餌量、海洋データ、魚体サイズ等のデータをアイエスイーが開発する養殖管理システムに集約を行います。これまでは、データの入力や月末の棚卸作業などに従業員一人あたり 1 ヶ月 20 時間程度発生している業務が大幅に削減できることが期待できます。

自動給餌システムが正しく稼働し、システムを使用していない生け簀のブリと同じように成育しているかの精度判定にも活用します。

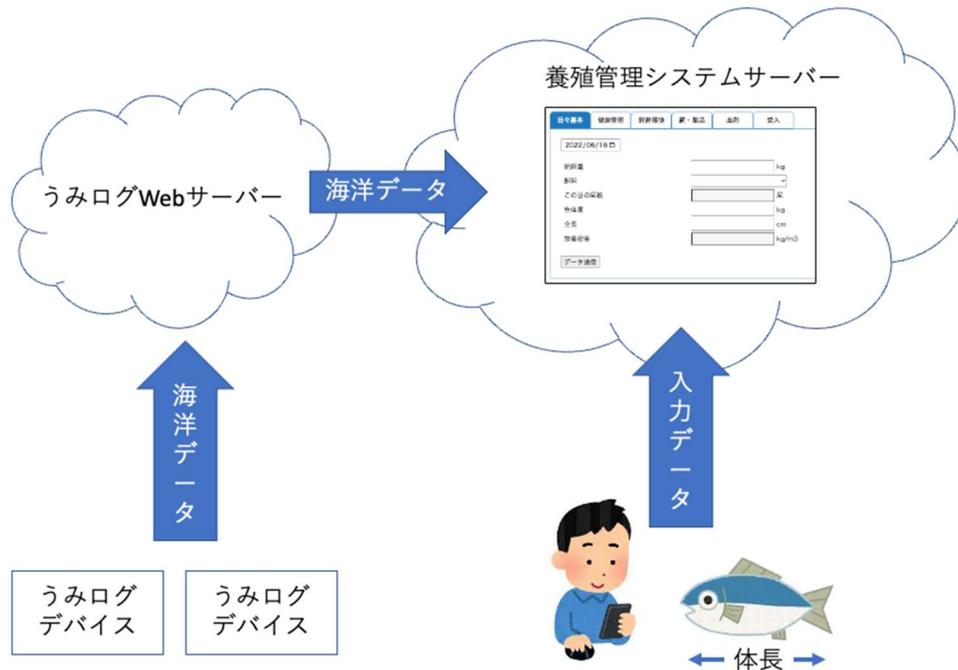


図 4-32 養殖データの一元管理

将来的には AI が収集したデータの解析を行い漁獲量の増加や計画的な生産につなげます。

- ・ 海洋データと活性状況（餌の食べ具合）の関連性から適切な餌の量や与えるタイミングの指定。
- ・ 希望する出荷日および出荷量・サイズにあった給餌方法の提案。

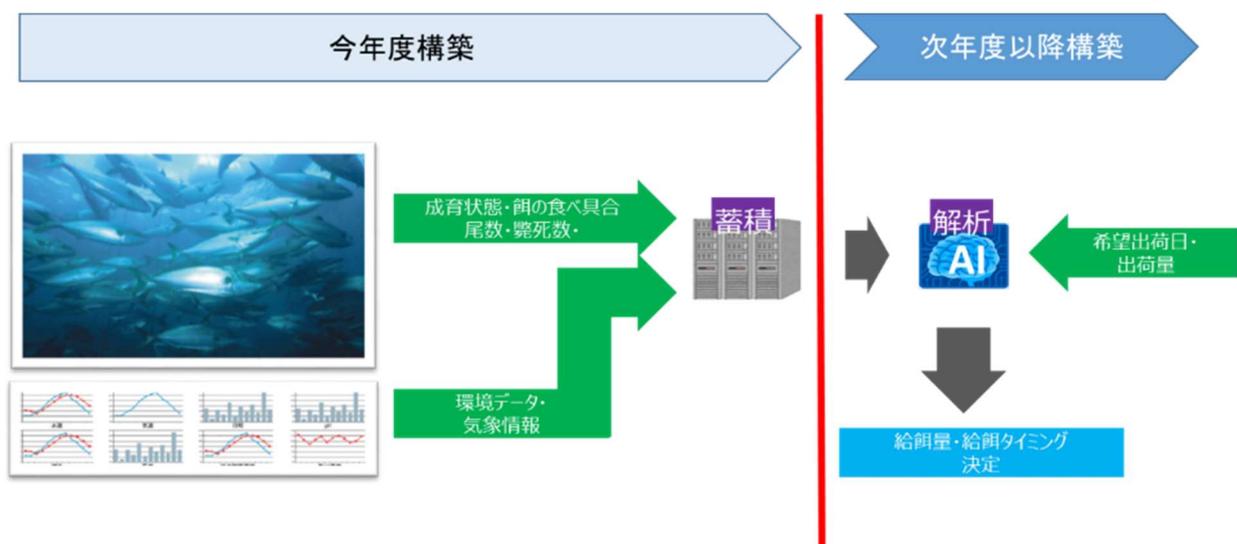


図 4-33 成育管理における今年度構築部分と来年度以降構築部分

システムの導入によりコストの削減もしくは損害の回避が期待できるものを次の表にまとめました。(尾数、人件費単価等は参考値です)

表 4-1 本実証システムの導入によるコストの削減&損害の回避規模

項目	条件	想定削減額・被害額
餌代	200,000尾×27円 (1%削減)	540万円 (2年間)
データ入力業務	10時間×25人×3,000円	75万円 (1ヶ月)
新人教育	2ヶ月(40日)×2.1万円	84万円 (新人1名)
給餌作業中止判定	8隻×20,000円×10日	160万円 (1年間)
赤潮被害	200,000尾(生け簀50台) ×6,000円(1尾あたりの被害額)	12億円

本年に入り燃料費、飼料代共に大幅な上昇をしており、今後もこの傾向が続くと想定されます。

軽油 153 円/L (昨年比 +18 円)

飼料 7,000 円/20kg (昨年比 +1,500 円)

また、近年の温暖化に伴い赤潮や高水温のリスクは高まってきています。

今まで以上にコスト削減、赤潮被害回避への取り組みが必要になりますので、本システムの活用は非常に重要な役割を果たします。

2) 操船確認業務

● 現状

船舶種類別では漁船の事故がプレジャーボートに次いで多く発生しています。また、事故内容別のトップは衝突事故で、原因の大多数が見張り不十分によるものです。

事故の発生は、業務が停止してしまうだけでなく、生け簀の損傷など損害が大きくなることから安全性向上への取り組みが重要となります。

安全監視のための従業員を増員し乗船させることで、安全性は向上しますが、同時にコスト増加につながるため現実的ではありません。

● 解決方法

生け簀周辺での給餌船の操船状況を確認するための 4K カメラ 2 台を船舶へ設置しました。撮影された高精細映像はローカル 5G ネットワークを通じて、船舶所有者である尾鷲物産事務所内へ伝送され、映像を大型モニターリアルタイムに映し出すことで、事務所内でベテラン従業員が操船状況の確認を行います。

映像を基に乗組員に指示を与えることで、事故の予防に役立てます。

また、将来の完全無人化での給餌業務の実現に向けた遠隔操船や自動操船に必要な情報の収集を行います。

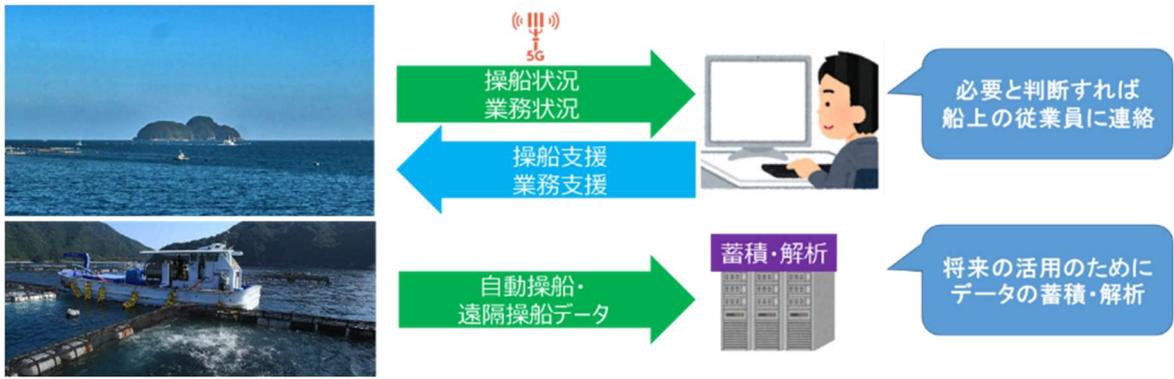


図 4-34 操船確認システムイメージ

本実証では小型給餌船が対象となります。小型船は大型船と比べ操船者が船全体を目視可能なため、令和3年度実証事業で開発したダッシュボードシステムやAI検知などの大型船を想定したシステムのような大掛かりな設備は使用せず、船上に設置したカメラ映像を陸上で確認するだけのシンプルな構成とすることで構築や維持に係る費用の抑制ができ、また、操船確認を行うために求められる機器操作等のスキルやそれを習得するためのトレーニングにかかる労力もそれほど必要としないため、機械が苦手なベテラン（年配）職員でも抵抗なく受け入れられることが期待できます。

給餌養殖の最終的な到達点は、操船業務も含めた完全無人による給餌作業となり、今後は以下のような展開を想定しています。

- | | |
|------------|-------------------------------------|
| 現状 | 給餌船に職員1名が搭乗して、1隻の船で生け簀一台ごと回りながら給餌作業 |
| STEP1（本実証） | 給餌船に職員1名が搭乗、1隻の船で生け簀一台ごと回りながら自動給餌 |
| STEP2 | 複数の給餌船を職員1名＋自動操船で、複数の生け簀に同時に自動給餌 |
| STEP3（最終） | 複数の無人船が生け簀を回り、自動給餌を行い帰港。 |



図 4-35 給餌作業の無人化 STEP

上記の達成には給餌の自動化だけでなく、給餌船自体の自動操船（無人操船）が不可欠となるため、本実証では将来的な導入に必要な情報の収集についても取り組みます。

今回の2台のカメラは船舶の進行方向（前方左右）に設置しており、将来の自動操船において操船者と同等の視認性を確保することを想定した配置となっています。

港湾内での給餌船の自動操船においては、船上からのカメラ映像に加えて湾内複数個所からの

港全体の詳細な映像の取得がミッションクリティカルであり、カメラの設置が柔軟に行えるローカル 5G が非常に優れています。

【参考】

持続可能なスマート・ゼロエミッション水産業とは、

- 太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーによって発電
- 発電電力は陸上に設置した蓄電ステーションや電動漁船・電気自動車の蓄電池に貯蔵
- 漁船は自律航行機能を装備し蓄電池に蓄えられた電力のみを用いて操業
- 漁船は陸上側に設置された運航管理センターからの指示に基づいて自動航行・操業
- 養殖場や定置網等の漁場の様子はカメラや各種センサーによって陸上から常時監視
- 必要に応じて運航管理センターから漁船、漁場へ指示
- 収穫した魚は蓄電ステーションから供給される電力によって貯蔵・加工
- 貯蔵・加工された魚を電気自動車にて市場、消費者に輸送

というシステムの集合体として行う水産業の事です。



図 4-36 スマート・ゼロエミッション水産業のイメージ
(資料作成:東京海洋大学)

それぞれ、今後も継続して開発の必要な要素技術が多数存在していますが、重要な要素技術の一つとして、上記に挙げたシステム間にて情報を共有するための通信システムがあります。特に船舶や漁場は水上を航行、設置されるものであることから、通信回線としては無線技術（ローカル 5G 等）の開発が必須の技術です。そこで、本実証実験では自動航行漁船、漁場の遠隔監視に必要な通信の技術的な検証を行うことを目的とします。

自動操船に関する現在の取り組み状況は次の通りです。現在の自動航行技術は AL3～AL4 程度と

なります。

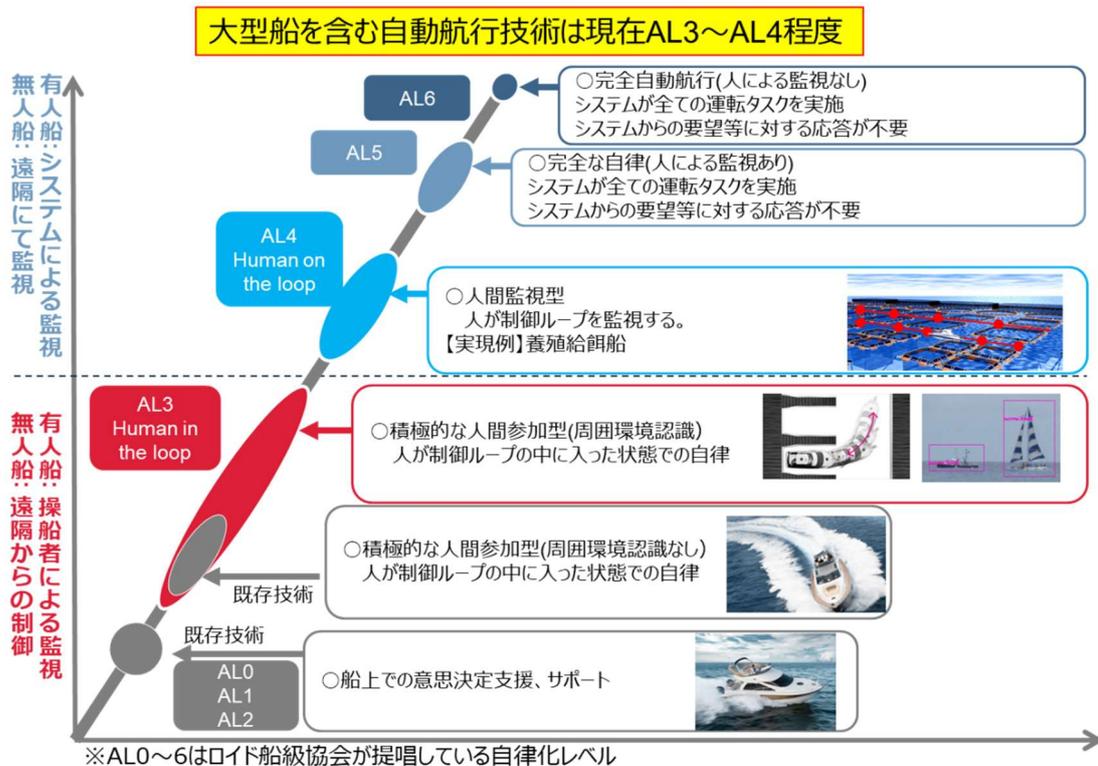


図 4-37 自動運航技術概要
(資料作成：ヤンマー)

表 4-2 自律化レベル概要

自律化レベル	概要
AL 0	自動化なし
AL 1	船上での意思決定支援：船の運航は、船員が意思決定。船上の最適な航路表示等の支援ツールが船員の意思決定に影響を与える。
AL 2	船上および陸上での意思決定支援：船の運航は、船員が意思決定。船上または陸上から機器製造者による機器メンテナンス、航路計画に関する支援ツールが船員の意思決定に影響を与える。
AL 3	積極的な人間参加型：船の運航は、人間の監視の下で自律的に実行される。船上または陸上から提供されデータにより、重要な決定は人間によってなされる。
AL 4	人間監視型：人間の監視の下で自律的に実行される。重要な決定については人間によりなされる。
AL 5	完全な自律：船舶のシステムが決定したことについて、人による監視がほとんど行われなない。
AL 6	完全な自律：船舶のシステムが決定したことについて、全く監視がなされない。

(国土交通省海事局「課題の整理と検討の方向性 (自動運航船)」より)

給餌船サイズの船においてはLiDAR、カメラ、レーダを用いて環境認識を行っていますが比較的障害物が少ない環境での航行が多く、養殖場のような狭隘部での航行は実現していないため、さ

らなる情報の収集が必要となります。今回は次の表のステップ1に取り組みます。

表 4-3 自動操船ステップ

	ステップ1	ステップ2	ステップ3
機能	船上では人が操船。陸上で船上からの画像を熟練者が見て、操船支援	船上では人が操船。陸上から送られた画像やセンサ情報をもとに危険信号を船に送る	船上から送られた画像やセンサ情報をもとに自動操船
船上	人主体で指示によって操船	人主体で危険信号に基づいて操船	人なし
陸上	常に監視、支援	危険信号を監視（負荷軽減）	危険信号を監視（負荷軽減）

カメラの設置場所、設置台数を検討するにあたり、船橋からの視界に関しては、国土交通省「船橋からの視界および船橋に設ける窓の要件を定める告示」を参照しました。これによると、場所と角度の関係は以下の表の通りとなります。

表 4-4 船橋内から水平線が視認できる角度

場所	角度
監視場所	正船首方向から左右いずれにも百十二・五度
操だ場所	正船首方向から左右いずれにも六十度
ウイング	正船首方向から当該ウイング側に百八十度、反対げんのウイング側に四十五度

（国土交通省「船橋からの視界および船橋に設ける窓の要件を定める告示」より）

船上の監視場所に要求される正船首方向から左右いずれにも百十二・五度の視界を確保することが望ましいと考えられることから、最低でも2台の4Kカメラの設置が必要となります。

一般に、人が動画で認識できるフレーム数は5~6fpsとのことであるため、上記映像を陸上まで伝送できる通信環境の確保としてローカル5Gが最適となります。

水産業（養殖業）における自動操船の達成に必要な条件と課題については次の通りです。

達成に必要な条件



課題



図 4-38 水産業（養殖業）における自動操船の達成に必要な条件と課題

自動運航船を安全に運航するためには、船舶に搭載したカメラによって撮影した画像を用いるだけでなく、航行予定海域全体を監視することができる位置にカメラを設置して、その画像を基に操船を行うことも効果的です。遠隔からの監視については、本実証では実施をしません。給餌船の自動操船検証を行う際には重要な検証項目となります。



図 4-39 航行予定海域全体の監視状況

(参考) 半径 1NM (1852m) の範囲を陸上から遠隔監視することを考えた場合、解像度・画角と最大監視距離における 1pixel に含まれる距離の関係は以下の表の通りです。

表 4-5 解像度・画角と最大監視距離における 1pixel あたりの距離

解像度		60° (水平方向)	120° (水平方向)
FHD	1920 x 1080	1 m	2 m
4K	3840 x 2160	0.5 m	1 m
8K	7680 x 4320	0.25 m	0.5 m

一般に、AI を用いて画像中から物体を検出させるためには 10 pixel 程度以上の大きさが必要になることから、水平方向に画角 60° のカメラを用いても検出できる障害物は、8K カメラを用いても 2.5m 程度、FHD カメラの場合には 10m 程度、の大きさとなってしまう、漁場でよく使用される漁具や旗竿等を検出させるためには、より画角を絞ったカメラを用意する必要があります。

(2) ローカル 5G 活用モデル (当初仮説)

1) 実証環境の継続について

実証フィールド提供事業者の尾鷲物産では、実証の結果内容を踏まえ次年度以降の継続利用を予定しています。

養殖ブリは出荷の目安となる 4.5kg 以上のサイズになるまでに 2 年の期間を必要とします。成長段階に応じて餌の量や与える間隔も異なり、それぞれのタイミングによって適切な対応が求められます。

本実証で開発する給餌判定や成長状況を把握するシステムは、特定の育成期間だけに限定して利用するのではなく、稚魚から出荷までの 2 年間全体を通して活用することが望ましいと考えています。そのことからシステムの完成のためには 2 年以上の継続したデータ収集や解析を事業終了後も行う必要があります。

システムを活用することによる餌代の削減および労働負荷の軽減に加え、生産量の増加による事業収支の向上が見込めるため、本システムの継続運用に加え、未対応の生け簀についてもシステムの導入のための設備投資が可能となります。

尾鷲のブリ養殖

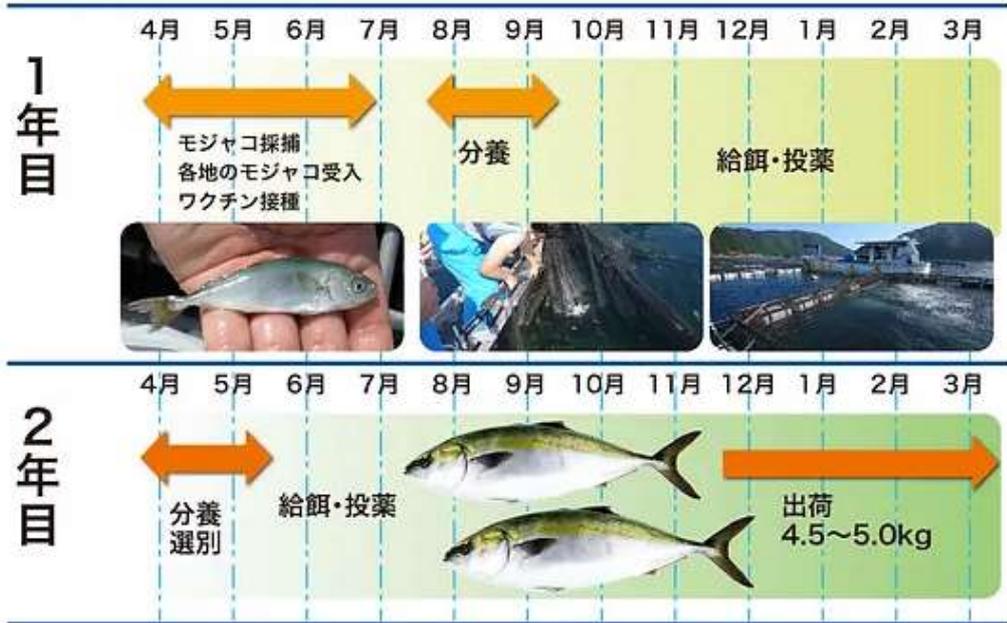


図 4-40 ブリ養殖スケジュール
(尾鷲物産株式会社ホームページより)



図 4-41 開発ロードマップと養殖サイクル

2) 横展開について

全国のブリ養殖事業者は三重県から南の太平洋側に集中しています。事業者数としては 640 あり、比較的設備投資への体力がある上位 20%を当初の横展開先の対象と想定しています。ただし、事業規模の大小を問わず今回と同様の課題に直面していますので、将来的にはシステム費用の低廉化等も進み、小規模の事業者にも事業展開が期待しています。

導入メリットとしては、

- ・ コスト削減 → AI 自動給餌による適切な給餌量に伴う、餌代等削減
- ・ 生産量増加 → 状態監視による適切な成育判定
- ・ 労働力不足解消 → 新人や外国人材の登用

が見込めますので、投資に見合う利益が得られると考えています。

導入推進のための取り組みとしては、次を想定しています。

- ・ コンソーシアムメンバーである水産系商社のニチモウとシステム開発会社のアイエスイーと地域のケーブルテレビ事業者が主体となり養殖事業者への提案や販売を行います。
- ・ 地域のケーブルテレビ事業者が通信環境の構築（免許申請他）や運用をサポートし、養殖事業者の負担を軽減します。
- ・ 初期費用を抑えられるよう、リース会社の採用やサブスクリプション型サービスの導入について検討します。
- ・ 導入済み近隣事業者のシステム（ローカル 5G のコアシステム、AI サーバ等）を共有化することによるコスト削減を行います。
- ・ デジタル推進（DX）の観点から自治体とも連携を進めます。
- ・ 水産庁との連携を図ります。

既に水産庁に本事業概要の説明も行き、公募採択された際には水産庁の掲げる 2030 年にブリ養殖生産量を約 1.7 倍にすることに寄与するよう水産庁のご担当者アドバイザーとして会議等に出席いただき連携を図ることを依頼しております。また、海上での通信手段も現在は限られており、ローカル 5G を利用する事に対しての期待もされている状況です。

養殖業の生産性向上

- ◆ 2030年に、**ブリ類の生産量を約1.7倍**（14万トン（2018）→24万トン）に、**マダイの生産量を約1.8倍**（6万トン（2018）→11万トン）とすることを目指す。
- ◆ 2021年度までに**赤潮発生予測情報等を共有する養殖業の高度化を10か所以上の養殖海域での実施・普及**を目指す。

課題

- 沖合養殖においては、**環境負荷の軽減**を図りつつ、**一層のコスト削減、省力化及び養殖に適した静穏域の確保**が課題。
- 陸上養殖においては、**施設設備のインシャルコストや電気等のランニングコストが高額であること、飼育水の確保が必要であること**などが課題。
- 衛星情報等のデータを活用した**赤潮発生予測情報**を養殖業者に提供する**システムの実用化**が課題。
- 省力化やコストの低減、生産の増加に対応した**飼料の確保**や魚粉由来でない**飼料の開発**（代替タンパクの多様化）が課題。

対応方向

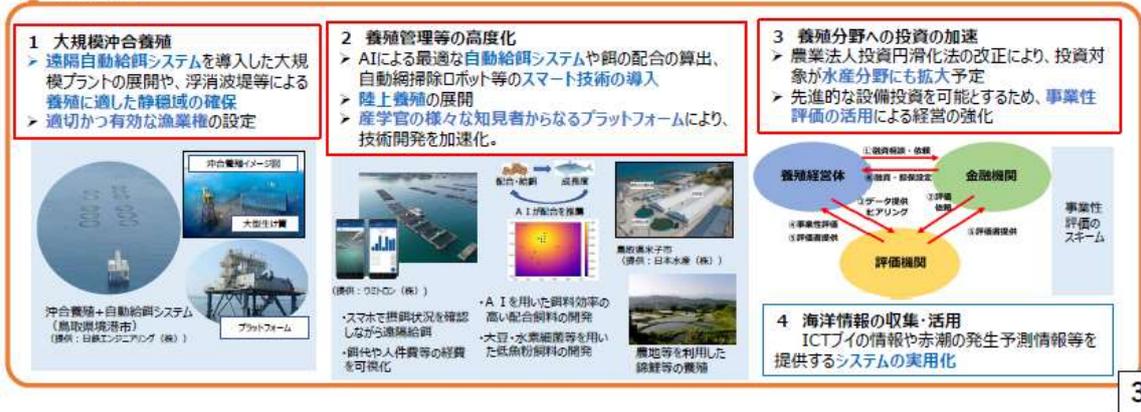


図 4-42 養殖業の生産性向上
(水産庁「スマート水産業の展開について」より)

次年度の横展開として、本実証フィールド提供の尾鷲物産が関連する愛媛県愛南町の水産会社に向けて、当社と尾鷲物産が主体となり導入に向けた提案を行います。

ローカル 5G の構築運用については地元のケーブルテレビ事業者が担当します。

(3) ローカル 5G の必然性・必要性

本システムが稼働するエリアは陸上から 100 メートル以上離れた海上にあるブリ養殖の生け簀とその周辺になります。この場所において給餌業務自動化のための AI 判定に使用する生け簀のブリが餌を食べる様子の映像を取得することになりますが、映像は高精細であるほど解析の精度が高くなります。また、刻一刻と変化する餌を食べる状況を捉えた映像を停止や遅延することなく伝送する必要があります。

現在導入可能な各通信方式について、上記条件を満たせられるか検討を行いました。

➤ BWA (4G)

上り回線の通信速度が最大 10Mbps で大容量伝送および低遅延での利用には適さない。

➤ Wi-Fi

養殖生け簀まで陸上から 100 メートル以上離れており、安定した電波の到達は期待できない。また、多数の船が往来する環境となるため、他の Wi-Fi の干渉も考えられる。

➤ キャリア 5G

海上に向けた整備が行われておらず、ユーザの希望する場所における細やかなエリアカバーが

困難であり、また、複数の利用者が共有する上り回線となるため大容量伝送は期待できない。また、複数の給餌船が同時に本システムを利用するために通信を行う事を想定すると帯域を十分に確保できることも重要です。

このことから、本取り組みには、ローカル 5G 方式が不可欠となります。



図 4-43 本実証におけるローカル 5G の必然性・必要性

また、給餌船が自動操船を行うための課題として、

- ・ スペースにおける課題：自動操船のための設備(PCやネットワーク等の環境認識処理装置)のスペースが船内に確保できない。
- ・ コストにおける課題：運用する船の数が増えた場合、設備費が正比例して増加する。
- ・ 必要な電源が確保できない可能性。

があり、解決するためには陸上まで高精細映像を低遅延で伝送する必要があります。

4.1.3 実証内容の新規性・妥当性

(1) 実証内容の新規性

本実証ではローカル 5G を利用した給餌船による海上養殖場での水上カメラと AI を組み合わせた給餌自動化について取り組みを行います。

海上養殖の生け簀を対象とする実証実験は令和 2 年度開発実証におけるカキ養殖や、和歌山県でのマグロ養殖でも実施されましたが、どちらも水中の状態監視を目的としており、給餌業務の自動化は実施されておりました。

給餌自動化については、マダイ養殖を対象としたタイマー式給餌機を用いたものが開発されていますが、ブリ養殖で使用するには給餌機に搭載できる量が少ないため適していません。

本システムは船に搭載された給餌機を改修することで自動化に対応するものとなります。この方式であれば船や給餌機を新調する必要がありません。

その他過去の開発実証やそれ以外の実証事業においてもローカル 5G を活用した海上養殖場での給餌船による給餌自動化については例がなく、本実証は新規性のある取り組みになります。

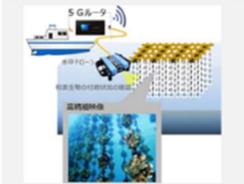
対象	カキ養殖 ※1	マグロ養殖 ※2	マダイ養殖	ブリ養殖 (本実証)
内容	水中ドローンによる海中の状態監視	水中ドローンによるマグロの状態監視	タイマー式給餌装置による給餌自動化	給餌船に取り付けた4KカメラとAIを組み合わせた給餌自動化
通信方式	ローカル5G	キャリア5G	LTE	ローカル5G
イメージ				

図 4-44 養殖業における無線通信活用事例

※1 令和2年度開発実証「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」より

※2 近畿大学、NTT ドコモ「5G を活用し水中ドローンによる完全養殖クロマグロの状態監視の実証実験を実施」より

(2) 過年度実証事業との関連性

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いて海上養殖場をフィールドとした「No. 4 海中の状況を可視化する仕組み等の実現」が実施されています。共通点としては、実証フィールドがどちらも海上の養殖場となります。

令和2年度の実証事業は給餌を必要としないカキ養殖場における水中の状態監視を目的とした取り組みです。

本実証は船からの給餌業務が必要となるブリ養殖が対象となり、水上カメラとAIによる給餌の自動化を目的とした取り組みです。そのため、実証の取り組み内容については関連性や共通点はありません。

4.1.4 実証目標

本実証における目標を次の通りとしました。

表 4-6 本実証目標

項目（削減効果）	内容	目標	達成時期
AI判定	給餌作業の映像から、活性状況（餌の食べ具合）を推定し、給餌量の制御を行う。判定の精度を職員と比較する。	活性状況判定精度99%以上	実証期間中に完了
給餌機制御	AIからの指令を受けて、給餌機に取り付けられた制御装置が正しく稼働する。	100%正常稼働すること	実証期間中に完了
餌の食べ残し削減（餌代削減）	AI判定を利用した給餌機の停止制御により、従業員と同じ精度で給餌を行えるようになることで、見落としやミスにより与えすぎていた餌の削減を目指す。	ベテラン従業員作業と比較し遜色ないこと	実証終了後に完了（年間を通じて結果を判定）
斃死数削減（⑤赤潮被害）	海洋データによる養殖場の水質把握により、異常の検知を早期に行う事が可能となり、ブリの斃死数の削減を目指す。	昨年までの平均斃死数と比較し削減されている	実証終了後に完了（年間を通じて結果を判定）
給餌業務量削減	給餌作業を自動化することで、給餌機の操作および生け簀の常時監視が不要となり、従業員の肉体的、精神的な負担を軽減する。	従業員聞き取りを行い、軽減していること	実証期間中に完了見込み
データ入力作業削減（②データ入力業務）	給餌量、水温、溶存酸素量等の手書きで収集しているデータをタブレット等で入力、データを一元管理する。	現在の事務作業1時間/日を半減する。	実証期間中に完了見込み
新人教育の期間削減（新人教育）	2カ月（40日）程度を要する一人で給餌業務が可能となる期間を削減する。もしくは教育が不要となる。	教育方法、期間の見直しが可能となる	実証終了後に完了（来年度の新人への適用）
給餌業務時間削減（給餌作業中止判定）	海洋データから、高水温や赤潮発生を遠隔から検知することで、給餌業務を中止するかの判断が餌積み込み作業や出港前にできるようになり、それらの時間が不要となる。	遠隔取得と現地確認による高水温、赤潮の判定	実証終了後に完了（年間を通じて結果を判定）
操船確認業務	給餌船から伝送される高精細映像の確認による操船における安全性の向上。将来的な自動操船に向けたデータの収集。	導入要求のある地域の地理的な特性を考慮した自動操船システムを導入する際のシステム設計基礎データ、陸上側・船舶側それぞれに要求する機能の切り分け設計、自動操船を行う際のセンサーの要件決定等に活用できるデータの収集。	実証期間中に完了

本実証において実証フィールドとなる尾鷲物産に聞き取りを行い、システム導入において削減が期待できる費用および回避できる被害額を確認しました。

なお、人件費や餌代等について尾鷲物産の実際の単価や数量ではないため、あくまでも推定による金額となっています。そのため、①～⑤の金額は今回の実証において達成を目指す（達成を期待する）数値ではありません。

また、実証期間内だけでは効果が確認できない項目もあるため実証終了以降も継続して検証が必要となります。

実証期間中に判明した削減効果については、想定との違いについて見直しを行い、実装展開におけるコスト削減や被害回避による効果の参考情報となるよう活用します。

① 餌代削減（2年間総額）

1匹あたりの原価 4,500円

餌代 2,700円（原価の6割）

ブリ1尾あたりの餌を削減

1%の場合 27円

5%の場合 135円

生け簀 50台（200,000尾）に対して餌の削減を行えると

1%の場合 $200,000 \times 27 = 540$ 万円

5%の場合 $200,000 \times 135 = 2,700$ 万円

の削減が可能となる。

② データ入力業務

現在、従業員一人あたり事務所内で1時間/日（20時間/月）の入力作業が発生

これをモバイルによる現地入力や自動化を行う事で作業時間を削減

人件費 3,000円/時間（★）と想定して

50%削減（10時間） $3,000 \times 10 = 30,000$ 円 × 従業員 22人 = 660,000円

100%削減（20時間） $3,000 \times 20 = 60,000$ 円 × 従業員 22人 = 1,320,000円

③ 新人教育

給餌作業を一人でこなせるまでの教育期間は2ヶ月（40日）

教育係の人件費を 2万円/日（★）

給餌船の燃料費 1,000円/日 と想定して

教育時間が不要となるため 84万円/人 の削減

④ 給餌作業中止判定

中止日数 10日/年

給餌準備+燃料費 2万円/日（★）と想定

準備前に中止の判定ができることで不要な作業を削減

給餌船 8 隻 × 20,000 円 × 10 日 = 160 万円削減

⑤ 赤潮被害

生け簀 50 台 200,000 尾

1 尾あたりの卸価格 6,000 円 (★) と想定

200,000 尾全滅すると $200,000 \times 6,000 = 12$ 億円の損害

(★) 人件費、飼料代等については社内情報となるため参考値となります。

4.2 実証環境

尾鷲湾内北側陸地に位置する三重県水産研究所 尾鷲水産研究室敷地内にローカル 5G 基地局を 1 局設置し、尾鷲物産株式会社が所有するブリ養殖生け簀設置エリア 2 箇所の尾鷲漁場と大曾根漁場にて養殖生け簀計約 70 台の一部を対象に、ブリ養殖業における課題解決を目的とした実証実験を行いました。



図 4-45 実証フィールド（三重県尾鷲市内）
（国土地理院地図）

ローカル 5G 基地局から大曾根漁場まで届くために、基地局のチルト角を 0° 、高さ 7.5m のローカル 5G による通信環境を構築しました。



図 4-46 ローカル 5G 基地局（三重県水産研究所 尾鷲水産研究室）

給餌船には給餌時にブリ養殖生け簀を撮影するための 4K 高精細カメラ 1 台と、給餌船の進行方向を撮影するための 4K 高精細カメラ 2 台を設置しました。

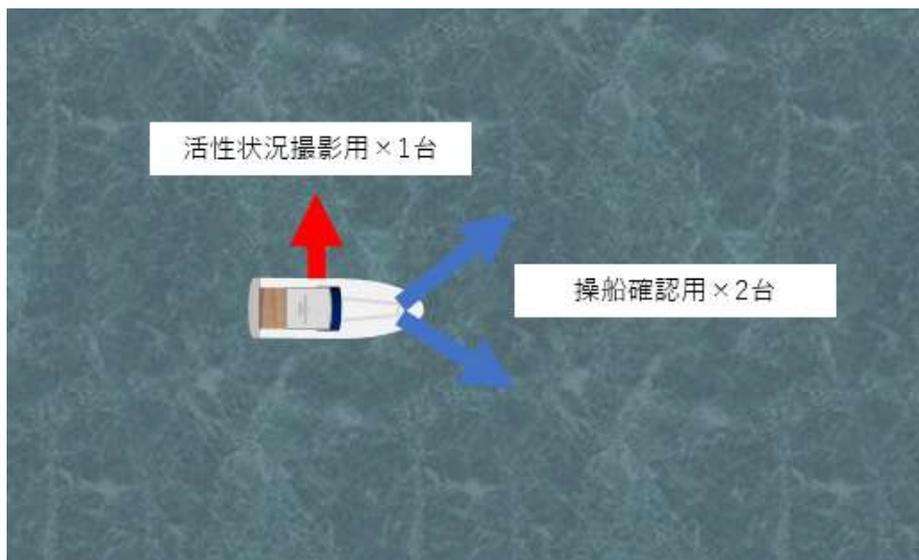


図 4-47 給餌船 4K 高精細カメラ設置概要



図 4-48 給餌船 活性状況撮影用 4K 高精細カメラ



図 4-49 給餌船 操船確認用 4K 高精細カメラ

三重県尾鷲市では、(株)ZTV がケーブルテレビサービスの提供を行っており、本実証システムを構築するにあたり、ZTV が所有する既設の伝送路設備および局舎施設の一部を流用します。本実証における課題実証エリアと各システム関連設備の設置場所との関係を下図に示します。



図 4-50 課題実証エリアと各設備設置位置関係
(国土地理院地図)

実証対象の生け簀周辺には海水温、溶存酸素量、水中画像の取得を目的に海洋データ取得センサー「うみログ」を設置しました。



図 4-51 うみログ設置位置
(国土地理院地図)



図 4-52 うみログ設置

4.3 実施事項

4.3.1 ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する検証

(1) 機能検証

ローカル 5G を活用したブリ養殖効率化への取り組みを通じて有効性等に関する検証を行います。

検証に当たっては、海上における 4.8～4.9GHz 帯 (Sub6) を用いたローカル 5G システムの検討を行い、その結果を踏まえて整理を行います。また、ブリ養殖現場において求められる高い要件 (精度、リアルタイム性、実装の柔軟性等) およびローカル 5G の特性を生かした将来的な拡張性も踏まえ、必要な機能についても評価・検証を実施しました。

1) 検証項目

a. 給餌業務

ア) 給餌自動制御

現在のブリ養殖システムの構成図と本システムの構成図を以下に示します。

現在の養殖場では、餌の食べ具合 (活性状態) を従業員が目視で確認し、規定量もしくはそれ以上食べないと判断したら手動で給餌を停止しますが、今回の実証では、船舶に設置した 4K 高精細映像とローカル 5G および AI 技術を組み合わせることによる、給餌の自動制御化を行います。

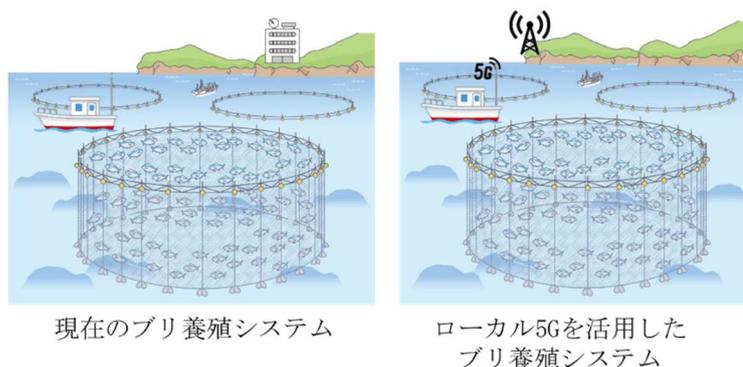


図 4-53 ブリ養殖システム概要構成図
(農林水産庁 ホームページより)

本システムで検証する自動給餌システムの概要構成を以下に示します。

本実証では、船舶に取り付けられた 4K 高精細カメラの映像をローカル 5G で AI サーバまで伝送し、給餌中のブリの画像に対して AI を用いて活性判定を行い、摂餌をしなくなれば自動で給餌を停止する機能を実装しました。

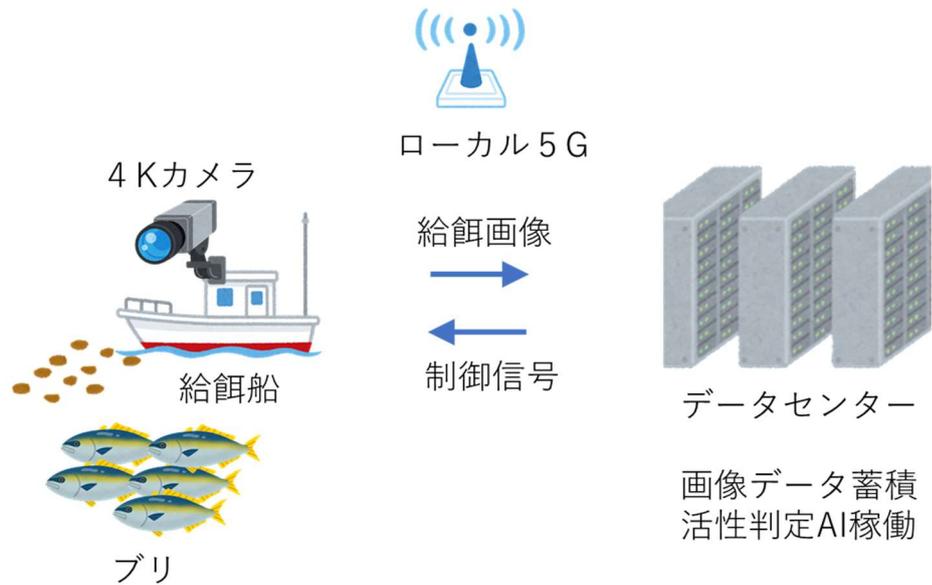


図 4-54 自動給餌システムの概要

本実証で構築する給餌制御システムを利用するにあたり、以下の項目を重要機能とし、各要素が求める性能を有しているかを確認しました。

また、ローカル 5G と LTE における比較検討も実施しました。

表 4-7 機能検証（給餌自動制御）

機能	検証要素	検証項目	備考
ローカル5G	基本通信条件	受信強度、通信速度、遅延	下り/上り
	基地局間に障害物	受信強度、通信速度、遅延	下り/上り
	輻輳時	受信強度、通信速度、遅延	下り/上り
4Kカメラ	画質	カメラ映像	ローカル 5G（複数条件）とLTEで比較
	遅延	時間	ローカル 5G（複数条件）とLTEで比較
AIサーバ	判定処理時間	AIサーバが映像を取り込んでから活性状況を判定するまでにかかる時間	活性判定による確認
	判定精度	映像品質別（気象条件影響, 解像度変更, ローカル5G通信条件）の活性状況判定の正確さ	従業員による映像確認との比較
給餌機制御	処理時間	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御（モーターによるシャッターの開閉）までの時間	手動とAIの差
	正確性	決められた動作ができているか	低活性なら1段階シャッターを閉める、高活性なら1段階開ける

イ) 成育管理

現在は、給餌業務の結果を船上で紙に記録し、帰港後 Excel に手作業で入力を行っています。

本実証では、船舶から LTE に接続したモバイル端末（スマートフォンまたはタブレット）を用いてクラウド上にある給餌量管理ツールへの登録を行う機能を構築します。これにより、船舶上から任意のタイミングで養殖業務に必要な各種データの入力が可能となります。

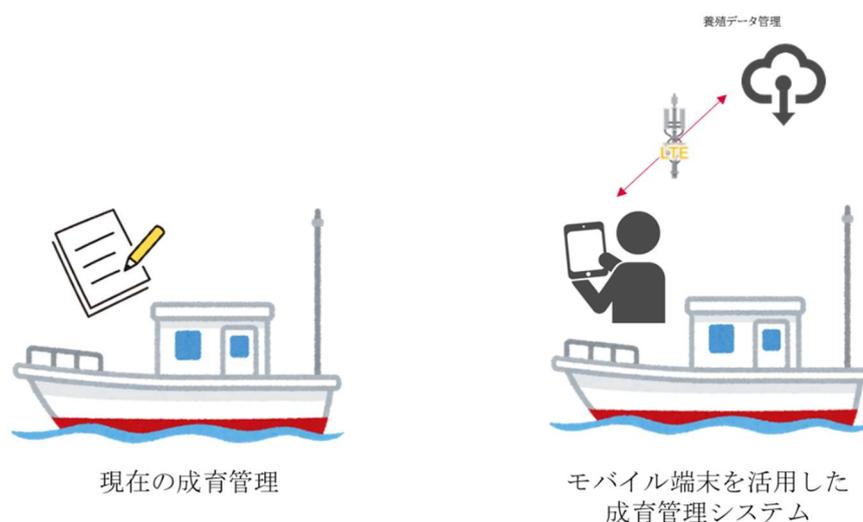


図 4-55 成育管理システム概要構成図

また、ブリの成育に重要な情報となる水温や溶存酸素量の確認については、現在は給餌作業時に生け簀内にセンサーを投入し収集を行っています。本実証では海洋データの遠隔収集および収集データを管理するシステム（うみログ）を導入し、現地に行くことなく情報の把握が可能となります。

本実証で構築する成育管理システムを利用するにあたり、以下の項目を重要機能とし、各要素が求める性能を有しているか確認を行いました。

表 4-8 機能検証（成育管理システム）

機能	検証要素	検証項目
成育管理システム	成育状態（大きさ）	記録の反映
	餌の食べ具合	記録の反映
	生け簀内の尾数、斃死数	記録の反映
	うみログデータ	記録の反映
うみログ	自然環境（水温、酸素量）	データの正確性

b. 操船確認業務

船舶種類別では漁船の事故がプレジャーボートに次いで多く発生しています。

船舶確認業務では、船舶に 4K 高精細カメラを設置し、ローカル 5G で映像を陸上に伝送し、給

餌作業や操船の状況を遠隔でベテランの従業員が確認を行いました。

あわせて、将来の完全無人化での給餌業務の実現に向けた遠隔操船や自動操船に必要な情報の収集を行いました。

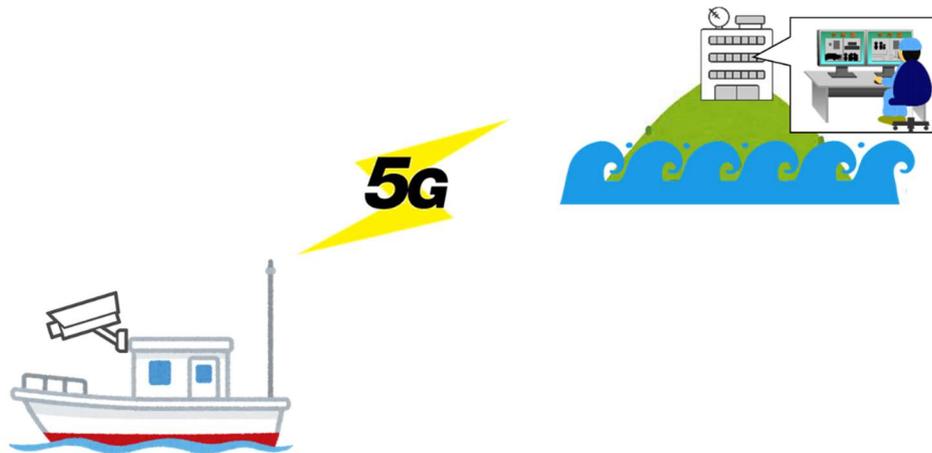


図 4-56 操船確認業務システム概要構成図

操船確認業務を使用するにあたって、以下の項目を重要機能としました。

表 4-9 機能検証（操船確認業務）

項目	検証要素	検証項目
4Kカメラ ローカル5G	映像の鮮明さ	視認性
	表示映像のフレームレート	視認性
	遅延時間	表示に要する時間
	悪天候下	視認性
	船舶動揺時の画角	視認性

2) 検証方法

a. 給餌業務

ア) 給餌自動制御

AI 判定に用いる映像はローカル 5G を経由して、給餌船から陸上の解析サーバまで伝送されます。ローカル 5G、4K カメラ、AI サーバおよび給餌制御装置それぞれの性能を確認します。

AI 判定に使用する映像伝送の所要帯域を確保できない(輻輳状態)場合の品質の変化、解像度、遅延の機械計測による比較、目視による比較も実施しました。

従業員が活性状態を確認するためには、連続的な画像の提示よりも、代表的な画像を提示し、給餌継続するか、停止するかを判断します。識別器を作成したのちに、連続動画に対して識別器が停止判定をする瞬間を提示し、適切かどうかを判断します。

また、パラメータ（解像度、フレーム数等）を変更した場合の性能も比較しました。

表 4-10 検証項目（給餌業務）

機能	検証要素	検証項目	検証方法
ローカル5G	基本通信条件	受信強度、通信速度、遅延	通信解析ソフトウェアを用いて測定
	基地局間に障害物	受信強度、通信速度、遅延	障害物がある時の速度を測定
	輻輳時	受信強度、通信速度、遅延	端末を2台以上設置した時の速度を測定
4Kカメラ	画質	カメラ映像	事務所のモニタにて確認
	遅延	時間	時刻差を確認
AIサーバ	判定処理時間	AIサーバが映像を取り込んでから活性状況を判定するまでにかかる時間	活性判定による確認
	判定精度	映像品質別（気象条件影響、解像度変更、ローカル5G通信条件）の活性状況判定の正確さ	従業員が同じ映像を確認して比較。
給餌機制御	処理時間	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御（モーターによるシャッターの開閉）までの時間	各機器のログを確認
	正確性	決められた動作ができているか	判定信号と実際の動作を比較

ブリ養殖での自動給餌を実現するために、機械学習における深層学習を用いて、高活性と低活性、非活性の3クラス分類を行う活性判定AIを利用します。



図 4-57 活性判定 AI イメージ図

また、生け簀ごとに制御アルゴリズムを作成することでAI解析精度が高くなることが期待できるため、計4つの生け簀を用いて、それぞれに「自動給餌のみの場合」、「自動給餌⇔手動給餌」、「手動給餌のみの場合」の各パターンにおけるブリの成育状態の差についても検証を行いました。

生け簀	1ヶ月	2ヶ月
A	自動給餌	
B	手動給餌	

図 4-58 給餌スケジュール

イ) 成育管理システム

入力された下記項目データが的確にサーバに蓄積されているか確認を行いました。

また、うみログと現地手動取得データの差について比較確認を行いました。

Web ページにて記録した情報は過去に遡って閲覧でき、CSV データとしてもダウンロードが可能です。これらを用いて、過去データとの突き合わせによる成育状態等の実績の比較や、今まで手書き記録を集計していた作業と労力や効率の観点で比較し、比較結果を併記、分析しました。

表 4-11 検証項目（成育管理システム）

機能	検証要素	検証項目	検証方法
成育管理システム	成育状態（大きさ）	記録の反映	過去データ含む記録の確認
	餌の食べ具合	記録の反映	過去データ含む記録の確認
	生け簀内の尾数、斃死数	記録の反映	過去データ含む記録の確認
	うみログデータ	記録の反映	過去データ含む記録の確認
うみログ	自然環境（水温、溶存酸素量）	データの正確性	うみログ取得データと現状の取得データとの数値比較

b. 操船確認業務

給餌船に設置した 4K 高精細映像を監視室までローカル 5G で伝送を行い、視認性および表示にかかる時間を実測します。所要帯域を確保できない（輻輳状態）場合の品質の変化、解像度、遅延の計測による比較、目視による比較も実施します。

また、パラメータ（解像度、フレーム数等）を変更した場合の状態も比較しました。

表 4-12 検証項目（操船確認業務）

項目	検証要素	検証項目	検証方法
4Kカメラ ローカル5G	映像の鮮明さ	カメラ設定変更	解像度を変更し、視認限界値の確認
	表示映像のフレームレート	カメラ設定変更	フレームレートを変更し、視認限界値の確認
	悪天候下	カメラ映像	悪天候時の視認限界値の確認
	船舶動揺時の画角	カメラ映像	船舶動揺時の視認限界値の確認
	遅延時間	時間	時刻差を確認

検証実験は、図 4-59 に示す尾鷲湾実施します。ローカル 5G 基地局前の生け簀から尾鷲物産松

本工場のある大曾根までの間の給餌船の航行が想定される海域を、網羅的に航行して各種通信状況の確認しながらデータ伝送特性検証を行うことを検討していましたが、時間的な制約から条件を絞って検証実験を行います。同時に給餌船から陸上に設置する操船確認業務システムに対して送信する映像のデータ量、遅延時間についても検証します。



図 4-59 調査海域

● 実験 1

図 4-60 に示すように尾鷲湾内において給餌船をジグザグに航行し、逐次、Round Trip Time を ping コマンドを連続的に送信することによって計測するとともに、図 4-60 中の航路上丸印で示す地点において、iperf を用いて通信速度、Jitter の計測も行います。



図 4-60 実験 1 航路

また、本検証実験の際に使用した機器構成図を図 4-61 に示します。本検証実験ではカメラ等は設置してありますが使用はしていません。

■ 課題実証のための試験

試験1: ツールを用いた計測(20点)

- ping: Round trip time
- iperf: Bandwidth, Jitter, Loss
- ローカル5G-GWの電波強度測定

試験2: ツールを用いた計測(11点)

- ping: Round trip time
- iperf: Bandwidth, Jitter, Loss
- ローカル5G-GWの電波強度測定

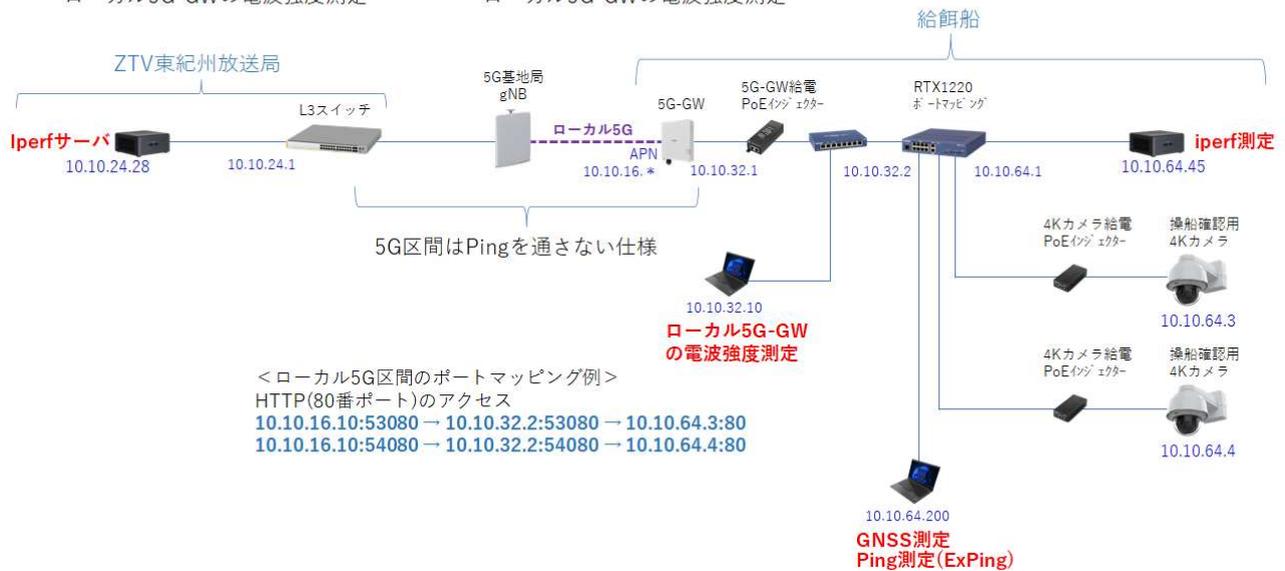


図 4-61 実験 1 機器構成図

- 実験 2

図 4-62 に示すように尾鷲湾内において給餌船を直線的に往復航行し、逐次、Round Trip Time を ping コマンドを連続的に送信することによって計測するとともに、図 4-62 中の航路上丸印で示す地点において、iperf を用いて通信速度、Jitter の計測も行います。実験 1 と実験 2 の結果を比較することにより、給餌船に設置したローカル 5G 受信アンテナの向いている方向と通信特性との関係を確認します。機器構成については実験 1、図 4-61 と同様です。

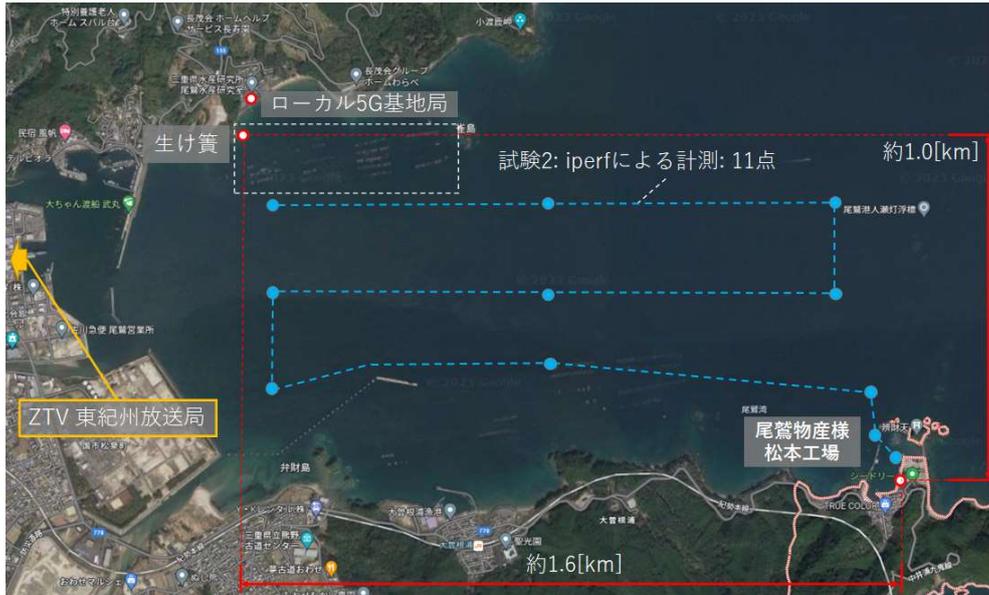


図 4-62 実験 2 航路

- 実験 3

図 4-63 に示すように尾鷲湾内において給餌船が生け簀から大曾根漁港に戻る際に航行する航路において、給餌船から動画等を送信することを想定し、実際にどれくらいの映像データとなるか、フレームレートは固定し、4K と FHD による違い、船速による違い、動画の圧縮率による違いを、データ量、画質、伝送遅延という観点から比較します。さらに LiDAR も搭載し航行中に計測するデータ量がどれくらいになるか検証します。本検証実験の際に使用した機器構成図を図 4-64、図 4-65 に示します。



図 4-63 実験 3 航路

また、本検証実験の際に使用した機器構成図を図 4-64 に示します。

■ 課題実証のための試験

試験3: Camera 2台、LiDAR、GNSSデータを連続的にデータ送信

- 画像の一部に時計を映して、時間遅れを計測
- 片方のCamera設定(圧縮率、解像度)を変更して、左右映像のデータ量の違いを計測する。

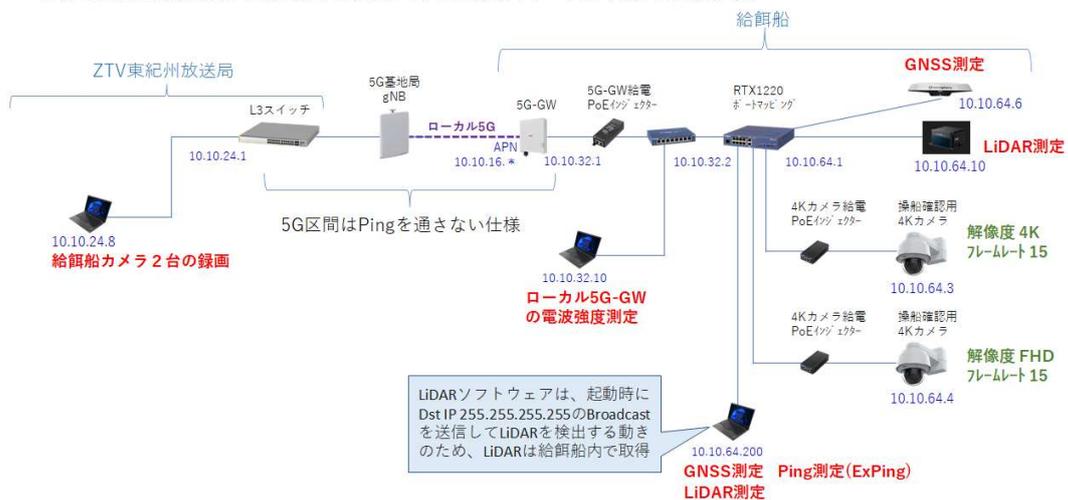
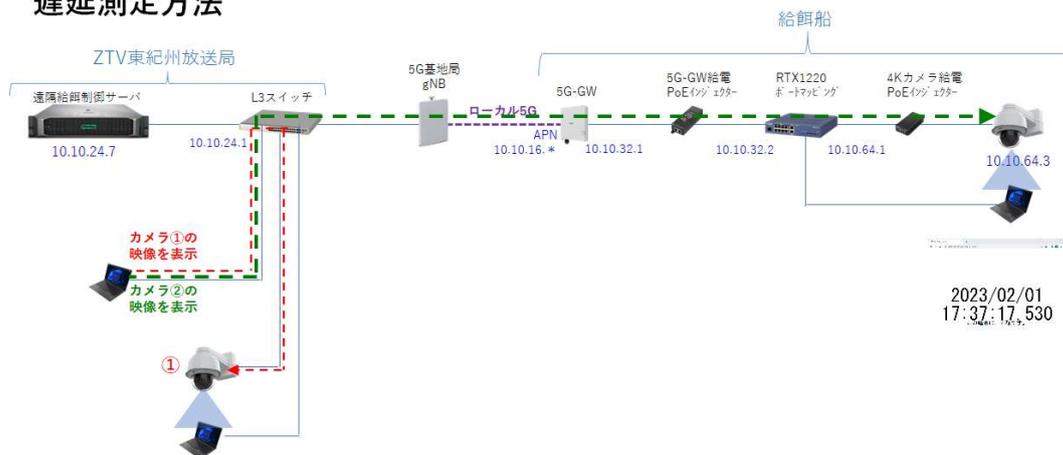


図 4-64 実験 3 動画特性検証試験機器構成図

データ伝送遅延時間の測定方法を図 4-65 に示します。

遅延測定方法



https://narikakun.net/tool/ntp_ms.html

1

図 4-65 実験 3 伝送遅延検証試験機器構成図

3) 検証結果および考察

a. 給餌業務

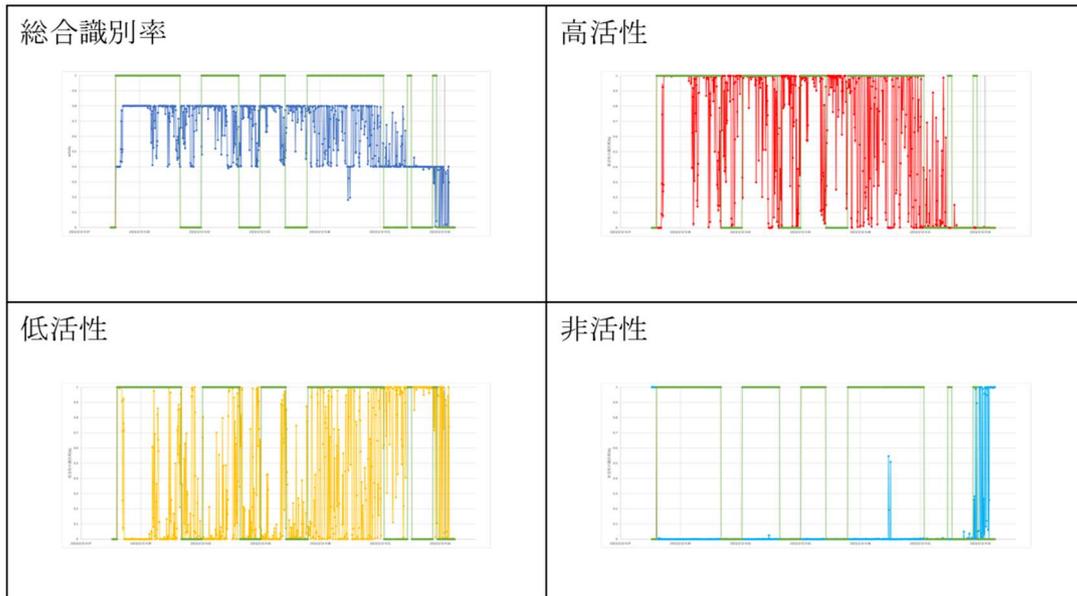
ア) 給餌自動制御

給餌自動制御における機能検証結果は次の通りです。

今回の実験では、給餌中の画像を「高活性」「低活性」「非活性」の3つの状態に分類し、「非活性」が3回連続して検出されれば給餌停止するように実装しました。2月13日は、給餌開始から魚の活性が高くなる場合は適切に給餌されており、本手法の有効性が確認されました。図4-66に示すグラフは、識別器が算出した高活性、低活性、非活性の確率値の変化を示しています。給餌開始から赤の高活性の確率が高く、給餌終了前に非活性の確率値が高くなってきていることがわかります。総合識別率はこの3つの確率値を重み付けして算出し、給餌停止の判断に用いています。なお、緑の線グラフは給餌中か給餌停止かを示しており、一度停止しても、再び給餌開始すると摂餌することがわかります。つまり、給餌は何度か繰り返して行い、非活性状態が多くなってくれば完全停止するという制御をすれば良いことがわかります。

一方、2月8日は気温等が低いなどの影響で、給餌開始時の活性が低く、初期段階での識別結果のほとんどが「低活性」もしくは「非活性」となりました。ただし、何度か給餌・停止を繰り返しているうちに、活性が上がってきた様子を示しています。上述した通り、給餌、停止を何度か繰り返すことで自動給餌ができることを示しています。

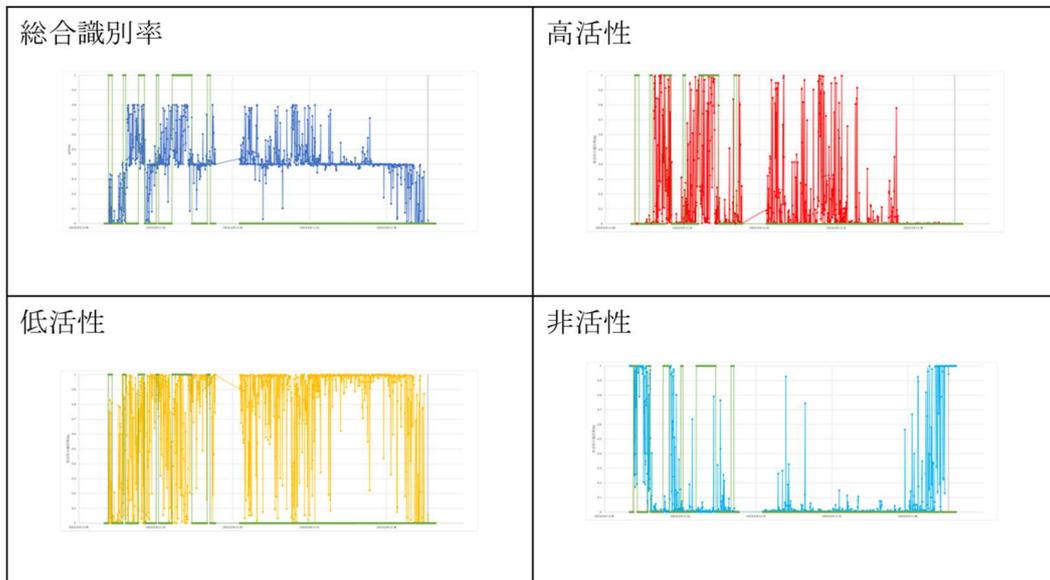
- 2月13日 給餌開始から活性が高い場合



横軸：時間 (sec)、縦軸：識別率 (%)

図 4-66 2023/2/13 活性判別状況

- 2月8日 給餌開始からなかなか活性が上がらない場合



横軸：時間 (sec)、縦軸：識別率 (%)

図 4-67 2023/2/8 活性判別状況

なお、識別器による識別率は、解像度 4K 高精細の画像の場合、高活性は 99.5%、低活性が 98.5%、非活性が 98.5%でした。ちなみに、640x360 サイズの画像を用いた際の識別結果として、高活性は 98.5%、低活性が 98.5%、非活性が 98.0%となり、高解像度の方が若干良い結果となりました。

このような場合、熟練の作業者の場合、餌を少なめに出して活性を上げてから通常の給餌を実施するというので、今後はこのような機能実装を進める必要があります。

表 4-13 識別器による判定結果（4K 画像）

判定結果\実際	高活性	低活性	非活性
高活性	199枚 (99.5%)	1枚 (0.5%)	0枚 (0.0%)
低活性	1枚 (0.5%)	197枚 (98.5%)	3枚 (1.5%)
非活性	0枚 (0%)	2枚 (1.0%)	197枚 (98.5%)

表 4-14 識別器による判定結果（640x360 画像）

判定結果\実際	高活性	低活性	非活性
高活性	197枚 (98.5%)	2枚 (1.0%)	0枚 (0.0%)
低活性	3枚 (1.5%)	197枚 (98.5%)	4枚 (2.0%)
非活性	0枚 (0%)	1枚 (0.5%)	196枚 (98.0%)

測定時の気象データと潮位は次の URL を参照しました。

気象データ参照サイト

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=53&block_no=47663&year=2023&month=02&day=10&view=

潮位データの参照サイト

<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/sokuho/genbo.php>

<測定時間の気象・潮位条件 1 >

2023年2月6日(月) 潮位 13時 133cm、14時 147cm、15時 168cm

気象 2023年2月6日 (1時間ごとの値)

時	気圧(hPa)		降水量 (mm)	気温 (℃)	露点 温度 (℃)	蒸気圧 (hPa)	湿度 (%)	風向・風速(m/s)		日照 時間 (h)	全天 日射量 (MJ/m ²)	雪(cm)		天気	雲量	視程 (km)	記号	
	現地	海面						風速	風向			降雪	積雪					
13	1017.6	1019.7	--	13.5	2.1	7.1	46	3.0	南南東	1.0				①		20.0	①	晴
14	1017.3	1019.4	--	13.7	2.9	7.5	48	2.8	東北東	0.4				◎		20.0	◎	曇
15	1017.1	1019.2	--	13.5	2.4	7.3	47	2.7	東北東	0.0				◎		20.0	◎	曇

検証方法と条件

- ・電波強度は給餌船のローカル 5G ゲートウェイにログインして取得しました。
- ・通信速度は ZTV 東紀州放送局と給餌船 5G-GW 配下にそれぞれ iperf サーバ・クライアントを設置して測定しました。

通信速度はローカル 5G 電波が安定して届くことが可能な通信性能の実効速度 DownLink200Mbps 以上、UpLink20Mbps 以上を基準にしました。

遅延は Ping で実施して 1.5 秒以内の基準にしました。1.5 秒以内にした根拠は、給餌船 4K 高精細映像を陸上の ZTV 東紀州放送局へ伝送し、遠隔給餌制御サーバで蓄積された

映像から AI 判定結果が出るまでに 1~1.5 秒以内のためです。AI 判定された結果で非活性が 3 回判定されたら、MQTT にて給餌機へ 100ms-200ms 以内で制御されます。

- ・電波強度は給餌船のローカル 5G ゲートウェイにログインして取得しました。
- ・AI 判定処理時間と AI 判定精度および給餌機制御は遠隔給餌制御サーバに取得された画像からの AI 解析された結果を確認しました。
- ・合否判定は、合格が○、不合格が×、条件ありの場合は△で記載しました。

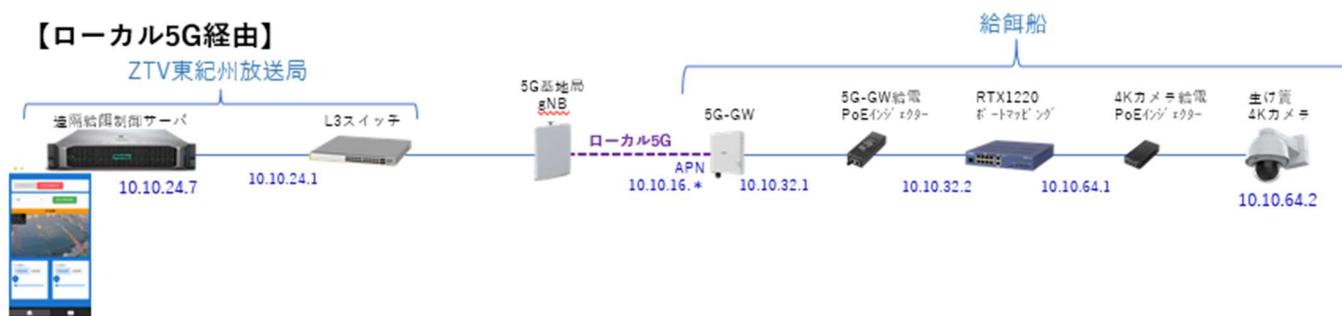


図 4-68 接続構成概要

表 4-15 検証結果評価シート（給餌業務）

機能	検証要素	小項目	検証項目	最終目標	本実証	結果	合否判定	備考
ローカル5G	基本通信条件	気象条件(晴天)時の生け簀A	受信強度	SS-RSRP -120dBm以上を確保できている。	尾鷲漁場 約-105dBm 大曾根漁場 約-106dBm	ローカル5G通信の電波環境の確保を確認した。	○	5G-GWの受信強度測定
			通信速度	DownLink Max. 200Mbps以上 UpLink Max. 20Mbps以上を確保できている。	尾鷲漁場 DownLink Max. 344Mbps UpLink Max. 57Mbps 大曾根漁場 DownLink Max. 299Mbps UpLink Max. 26Mbps	ローカル5G通信速度環境の確保を確認した。	○	iPerf測定
			遅延	1秒以内	尾鷲漁場 24ms 大曾根漁場 31ms	ローカル5G通信の遅延環境の確保を確認した。	○	Ping測定
		気象条件(晴天)時の生け簀B	受信強度	SS-RSRP -120dBm以上を確保できている。	尾鷲漁場 約-105dBm 大曾根漁場	ローカル5G通信の電波環境の確保を確認した。	○	5G-GWの受信強度測定
			通信速度	DownLink Max. 200Mbps以上 UpLink Max. 20Mbps以上を確保できている。	尾鷲漁場 DownLink Max. 352Mbps UpLink Max. 57Mbps 大曾根漁場 DownLink Max. 295Mbps UpLink Max. 29Mbps	ローカル5G通信速度環境の確保を確認した。	○	iPerf測定
			遅延	1秒以内	尾鷲漁場 28ms 大曾根漁場 39ms	ローカル5G通信の遅延環境の確保を確認した。	○	Ping測定
AIサーバ	判定処理時間	気象条件(晴天)時の生け簀A	AI判定処理時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	1.5秒以内で判定できている。	○	
			判定精度	AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上であることを確認した。	○
	判定処理時間	気象条件(晴天)時の生け簀B	AI判定処理時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	1.5秒以内で判定できている。	○	
			判定精度	AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上であることを確認した。	○
給餌機制御(シャッターの開閉制御)	処理時間	気象条件(晴天)時の生け簀A	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(モーターによるシャッターの開閉)までの時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	AI活性判定されてから給餌機のシャッター開閉が1.5秒以内に制御されている。	1.5秒以内で判定できている。	○	
			正確性	決められた動作ができているか	非活性ならシャッターを閉める	非活性ならシャッターを閉める	活性がおさまる(非活性)になるとシャッターが閉まることを確認した。	○
	処理時間	気象条件(晴天)時の生け簀B	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(モーターによるシャッターの開閉)までの時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	AI活性判定されてから給餌機のシャッター開閉が1.5秒以内に制御されている。	1.5秒以内で判定できている。	○	
			正確性	決められた動作ができているか	非活性ならシャッターを閉める	非活性ならシャッターを閉める	活性がおさまる(非活性)になるとシャッターが閉まることを確認した。	○

● 考察

活性が高い状態から飽食状態になり活性が低くなる場合には給餌停止が可能であることを確認しました。

春から秋までは給餌開始後、比較的速やかに高活性状態となるため、本手法が有効であると言えます。

ただし、冬場の気温が低い場合や、急激な水温変化が発生した場合など、摂餌が渋い状態から高活性となる状態まで持っていくためには、魚の状態を見ながら給餌機を細かく制御しなければならないため、本手法をさらに改善して活性を上げるための給餌機制御を実現する必要があります。

<測定時間の気象・潮位条件 2>

2023年2月10日（金） 潮位 9時 205cm、10時 191cm、11時 167cm

尾鷲 2023年2月10日（1時間ごとの値）

時	気圧(hPa)		降水量 (mm)	気温 (°C)	露点 温度 (°C)	蒸気圧 (hPa)	湿度 (%)	風向・風速(m/s)		日照 時間 (h)	全天 日射量 (MJ/m ²)	雪(cm)		天気	曇量	視程 (km)
	現地	海面						風速	風向			降雪	積雪			
9	1019.2	1021.3	1.5	7.0	6.6	9.7	97	0.6	南西	0.0				●		5.94
10	1018.7	1020.8	1.5	8.2	7.6	10.4	96	1.1	南西	0.0				●		11.6
11	1017.3	1019.4	1.0	9.3	9.2	11.6	99	0.9	西	0.0				●		5.03

記号	
●	雨

検証方法と条件

- ・電波強度は給餌船のローカル 5G ゲートウェイにログインして取得しました。
- ・通信速度は ZTV 東紀州放送局と給餌船にそれぞれ iperf サーバ・クライアントを設置して測定しました。

遅延は Ping で実施して 1.5 秒以内の基準にしました。1.5 秒以内にした根拠は、給餌船 4K 高精細映像を陸上の ZTV 東紀州放送局へ伝送し、遠隔給餌制御サーバで蓄積された

映像から AI 判定結果が出るまでに 1~1.5 秒以内のためです。AI 判定された結果で非活性が 3 回判定されたら、MQTT にて給餌機へ 100ms-200ms 以内で制御されます。

- ・AI 判定処理時間と AI 判定精度および給餌機制御は遠隔給餌制御サーバに取得された画像からの AI 解析された結果を確認しました。

- ・合否判定は、合格が○、不合格が×、条件ありの場合は△で記載しました。

表 4-16 検証結果評価シート（給餌業務）障害物

機能	検証要素	小項目	検証項目	最終目標	本実証	結果	可否判定	備考	
ローカル5G	基本通信条件	気象条件(雨天)時の生け簀A	受信強度	電波が安定して通信する目安のSS-RSRP -120dBm以上を確保できている。	尾鷲漁場 約-106dBm 大曾根漁場 約-107dBm	ローカル5G通信の電波環境の確保を確認した。	○	5G-GWの受信強度測定	
			通信速度	DownLink Max.200Mbps以上 UpLink Max. 20Mbps以上を確保できている。	尾鷲漁場 DownLink Max. 355Mbps UpLink Max. 57Mbps 大曾根漁場 DownLink Max. 305Mbps UpLink Max. 27Mbps	ローカル5G通信速度環境の確保を確認した。	○	iPerf測定	
			遅延	1秒以内	尾鷲漁場 23ms 大曾根漁場 30ms	ローカル5G通信の遅延環境の確保を確認した。	○	Ping測定	
		気象条件(雨天)時の生け簀B	受信強度	電波が安定して通信する目安のSS-RSRP -120dBm以上を確保できている。	尾鷲漁場 約-105dBm 大曾根漁場 約-105dBm	ローカル5G通信の電波環境の確保を確認した。	○	5G-GWの受信強度測定	
			通信速度	DownLink Max.200Mbps以上 UpLink Max. 20Mbps以上を確保できている。	尾鷲漁場 DownLink Max. 349Mbps UpLink Max. 57Mbps 大曾根漁場 DownLink Max. 301Mbps UpLink Max. 27Mbps	ローカル5G通信速度環境の確保を確認した。	○	iPerf測定	
			遅延	1秒以内	尾鷲漁場 28ms 大曾根漁場 37ms	ローカル5G通信の遅延環境の確保を確認した。	○	Ping測定	
	基地局間に障害物	気象条件(雨天)時の生け簀A	受信強度	電波が安定して通信する目安のSS-RSRP -120dBm以上を確保できている。	大曾根漁場 約-124dBm	大型貨物船舶が基地局と大曾根漁場の間を航行する時に2秒間程度-124dBmになったが通信に影響はなかった。	○	5G-GWの受信強度測定	
		通信速度	DownLink Max.200Mbps以上 UpLink Max. 16Mbps以上を確保できている。	大曾根漁場 DownLink Max. 304Mbps UpLink Max. 27Mbps	大型貨物船舶が基地局と大曾根漁場の間を航行する時でも、ローカル5G通信速度環境の確保を確認した。	○	iPerf測定		
		遅延	1秒以内	大曾根漁場 34ms	大型貨物船舶が基地局と大曾根漁場の間を航行する時でも、ローカル5G通信の遅延環境の確保を確認した。	○	Ping測定		
	AIサーバ	判定処理時間	気象条件(雨天)時の生け簀A	AI判定処理時間	AIサーバが映像を取り込んでから活性状況を判定するまでにかかる時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	1.5秒以内で判定できている。	○
				判定精度	AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上であることを確認した。	○
		判定処理時間	気象条件(雨天)時の生け簀B	AI判定処理時間	AIサーバが映像を取り込んでから活性状況を判定するまでにかかる時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	1.5秒以内で判定できている。	○
判定精度				AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上であることを確認した。	○	
給餌機制御(シャッターの開閉制御)	処理時間	気象条件(雨天)時の生け簀A	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(モーターによるシャッターの開閉)までの時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	AI活性判定されてから給餌機のシャッター開閉が1.5秒以内に制御されている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	○		
			正確性	決められた動作ができているか	非活性ならシャッターを閉める	非活性ならシャッターを閉める	活性が過ぎる(非活性)になるとシャッターが開閉することを確認した。	○	
	処理時間	気象条件(雨天)時の生け簀B	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(モーターによるシャッターの開閉)までの時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	AI活性判定されてから給餌機のシャッター開閉が1.5秒以内に制御されている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	○		
			正確性	決められた動作ができているか	非活性ならシャッターを閉める	非活性ならシャッターを閉める	活性が過ぎる(非活性)になるとシャッターが開閉することを確認した。	○	

● 考察

海洋の荒れた天候になる前に湾へ避難する大型の貨物船舶がローカル 5G 基地局と大曾根漁場との間を航行する時の影響を確認して、電波強度は2秒間程度のみ SS-RSRP -124dBm になりましたが、遅延は変わりなく通信環境に影響はありませんでした。

今回の障害となった船舶は貨物を積んでいなかったため、貨物を積んだ船舶やさらに大型の船舶が航行した時には一時的に通信できなくなる可能性はあるものと想定されます。

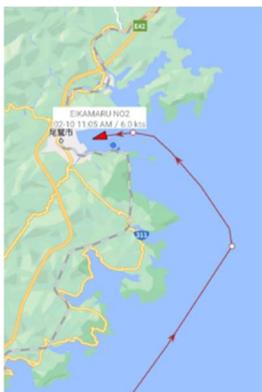


図 4-69 貨物船舶の航行ルートと写真

<測定時間の気象・潮位条件3>

2023年2月22日(水) 潮位 10時 160cm、11時 127cm

尾盤 2023年2月22日 (1時間ごとの値)

時	気圧(hPa)		降水量(mm)	気温(°C)	露点温度(°C)	蒸気圧(hPa)	湿度(%)	風向・風速(m/s)		日照時間(h)	全天日射量(MJ/m ²)	雪(cm)		天気	雲量	視程(km)	記号
	現地	海面						風速	風向			降雪	積雪				
10	1028.7	1030.8	--	8.3	-6.2	3.8	35	1.6	東北東	1.0				⓪		20.0	⓪ 晴
11	1027.7	1029.8	--	10.3	-4.9	4.3	34	3.7	東	1.0				⓪		20.0	

検証方法と条件

前提条件：LTE は BWA 機器を使用しました。BWA のカタログ仕様 DownLink 220Mbps、UpLink 10Mbps

- ・通信速度は ZTV 東紀州放送局と給餌船にそれぞれ iperf サーバ・クライアントを設置して測定しました。
- ・AI 判定処理時間と AI 判定精度および給餌機制御は遠隔給餌制御サーバに取得された画像からの AI 解析された結果を確認しました。
- ・合否判定は、合格が○、不合格が×、条件ありの場合は△で記載しました。

【BWA経由】



図 4-70 BWA 経由接続構成概要

表 4-17 検証結果評価シート（給餌業務）LTE との比較

機能	検証要素	小項目	検証項目	最終目標	本実証	結果	合否判定	備考
BWA	BWA	基本通信条件	通信速度	DownLink Max. 10Mbps以上 UpLink Max. 2Mbps以上を確保できている。	大曾根漁場 DownLink Max. 11Mbps UpLink Max. 3Mbps	BWA通信速度環境を確認した。	○	iPerf測定
AIサーバ	判定処理時間	【BWA】 気象条件(晴天)時の生け簀A	AI判定処理時間	帯域が飽和してAI判定が正常に行われない。	遠隔給餌制御サーバの画像取り込みが10~20秒以上かかりAI判定が正常に行われない。	AI判定が正常に行われない。	○	BWAでは正常に行われないことを確認しました
			判定精度	AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ		帯域が飽和してAI判定が正常に行われない。	正確なAI判定できない。	
	判定処理時間	【BWA】 気象条件(晴天)時の生け簀B	AI判定処理時間	帯域が飽和してAI判定が正常に行われない。	遠隔給餌制御サーバの画像取り込みが10~20秒以上かかりAI判定が正常に行われない。	AI判定が正常に行われない。	○	BWAでは正常に行われないことを確認しました
			判定精度	AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ		帯域が飽和してAI判定が正常に行われない。	正確なAI判定できない。	
給餌機制御(シャッターの開閉制御)	処理時間	【BWA】 気象条件(晴天)時の生け簀A	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(シャッターの開閉)までの時間	帯域が飽和してAI判定が正常に行われないため、給餌機の制御できない。	遠隔給餌制御サーバの画像取り込みが10~20秒以上かかりAI活性判定が正常に行われないため、給餌機の正常なシャッター開閉制御できない。	AI判定が正常に行われないため、給餌機の制御できない。	○	BWAではAI判定できないことで給餌機制御できないことを確認しました
			正確性	決められた動作ができているか		帯域が飽和してAI判定が正常に行われないため、給餌機の制御できない。		
	処理時間	【BWA】 気象条件(晴天)時の生け簀B	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(シャッターの開閉)までの時間	帯域が飽和してAI判定が正常に行われないため、給餌機の制御できない。	遠隔給餌制御サーバの画像取り込みが10~20秒以上かかりAI活性判定が正常に行われないため、給餌機の正常なシャッター開閉制御できない。	AI判定が正常に行われないため、給餌機の制御できない。	○	
			正確性	決められた動作ができているか		帯域が飽和してAI判定が正常に行われないため、給餌機の制御できない。		

● 考察

本実証環境では BWA 回線を圧迫して AI 判定に必要な生け簀画像の取り込みに約 10~20 秒以上かかり、AI 判定が正常に行われず給餌機の自動制御できない状態になりました。4K 高精細の画像を取り込むには安定したローカル 5G 回線が必要になることを確認しました。

<測定時間の気象・潮位条件 4 >

2023年2月24日(金) 潮位 10時 217cm、11時 179cm、12時 146cm

気象 2023年2月24日 (1時間ごとの値)

時	気圧(hPa)		降水量(mm)	気温(℃)	露点温度(℃)	蒸気圧(hPa)	湿度(%)	風向・風速(m/s)		日照時間(h)	全天日射量(MJ/m ²)	雪(cm)		天気	雲量	視程(km)
	現地	海面						風速	風向			降雪	積雪			
10	1017.1	1019.2	0.0	9.0	6.8	9.9	86	0.5	北西	0.0				●		15.3
11	1017.0	1019.1	0.5	9.6	7.2	10.2	85	0.7	南西	0.0				●		18.3
12	1016.2	1018.3	0.5	9.7	7.5	10.3	86	0.9	南南東	0.0				●		20.0

記号	
●	雨

検証方法と条件

- ・遠隔給餌制御サーバ側のカメラ画像取得プログラムを解像度 640x360 (画像取り込みは 16:9 で行っているため、640x360 で設定) に設定変更して実施しました。
- ・AI 判定処理時間と AI 判定精度および給餌機制御は遠隔給餌制御サーバに取得された画像からの AI 解析された結果を確認しました。
- ・合否判定は、合格が○、不合格が×、条件ありの場合は△で記載しました。

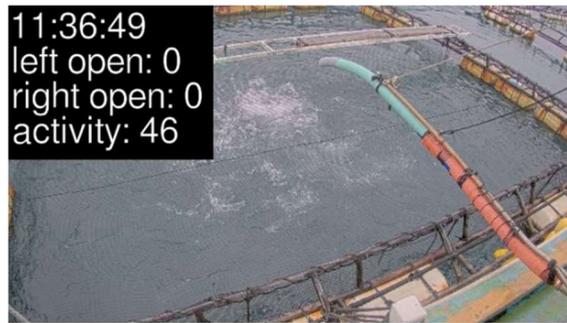


図 4-71 活性判定画面

表 4-18 検証結果評価シート（給餌業務）解像度比較

機能	検証要素	小項目	検証項目	最終目標	本実証	結果	合否判定
AIサーバ	判定処理時間	気象条件(雨天)時の生け簀A	AI判定処理時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	1.5秒以内で判定できている。	○
			AIサーバが映像を取り込んでから活性状況を判定するまでにかかる時間				
	判定精度		AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上であることを確認した。	○
			AI判定処理時間 AIサーバが映像を取り込んでから活性状況を判定するまでにかかる時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	1.5秒以内で判定できている。	○
給餌機制御(シャッターの開閉制御)	処理時間	気象条件(雨天)時の生け簀A	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(モーターによるシャッターの開閉)までの時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	AI活性判定されてから給餌機のシャッター開閉が1.5秒以内に制御されている。	1.5秒以内で判定できている。	○
			決められた動作ができているか	非活性ならシャッターを閉める	非活性ならシャッターを閉める	活性がおさまる(非活性)になるとシャッターが閉まることを確認した。	○
	判定精度		AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上であることを確認した。	○
			AI判定処理時間 AIサーバが映像を取り込んでから活性状況を判定するまでにかかる時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	AI活性判定されてから給餌機のシャッター開閉が1.5秒以内に制御されている。	1.5秒以内で判定できている。	○
処理時間	気象条件(雨天)時の生け簀B	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(モーターによるシャッターの開閉)までの時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	AI活性判定されてから給餌機のシャッター開閉が1.5秒以内に制御されている。	1.5秒以内で判定できている。	○	
		決められた動作ができているか	非活性ならシャッターを閉める	非活性ならシャッターを閉める	活性がおさまる(非活性)になるとシャッターが閉まることを確認した。	○	

● 考察

これまでは640x480の画像を用いて、主にマダイの活性判定を行ってきました。マダイは魚自体が赤色で目立つため、魚の動きを捉えやすく解像度が低くても活性判定が可能でした。解像度を変えると、活性判定には大きな傾向は変わりませんが、ブリは、日差しによって魚が見えたり、見えなかったりします。今後は偏光レンズを取り付けることにより、海面の反射を減らして、魚を確認しやすくする必要があります。

また、上述の通り活性を上げる段階において、給餌開始時に餌を食わずに生け簀外に流れ出てしまうことがあるため、4K画像で魚の動きは勿論、餌の動きを捉えて給餌制御を実現することが可能になると考えます。

そのため、高精細な画像を高頻度に転送できるローカル5G回線を用いた仕組みは有効であると言えます。

<測定時間の気象・潮位条件 5>

2023年2月27日（月） 潮位 10時 213cm

尾覧 2023年2月27日（1時間ごとの値）

時	気圧(hPa)		降水量 (mm)	気温 (°C)	露点 温度 (°C)	蒸気圧 (hPa)	湿度 (%)	風向・風速(m/s)		日照 時間 (h)	全天 日射量 (MJ/m ²)	雪(cm)		天気	雲量	視程 (km)	記号
	現地	海面						風速	風向			降雪	積雪				
10	1030.7	1032.8	--	12.0	-5.5	4.1	29	1.1	東	1.0				⓪		20.0	⓪ 晴
11	1030.4	1032.5	--	13.1	-5.5	4.1	27	2.7	東	1.0				⓪		20.0	
12	1030.1	1032.2	--	13.5	-1.6	5.4	35	6.4	東北東	1.0				⓪		20.0	

・通信速度は ZTV 東紀州放送局と給餌船 5G-GW 配下にそれぞれ iperf サーバ・クライアントを設置して測定しました。

通信速度はローカル 5G 電波が安定して届くことが可能な通信性能の実効速度 DownLink200Mbps 以上、UpLink20Mbps 以上を基準にしました。

遅延は Ping で実施して 1.5 秒以内の基準にしました。1.5 秒以内にした根拠は、給餌船 4K 高精細映像を陸上の ZTV 東紀州放送局へ伝送し、遠隔給餌制御サーバで蓄積された

映像から AI 判定結果が出るまでに 1~1.5 秒以内のためです。AI 判定された結果で非活性が 3 回判定されたら、MQTT にて給餌機へ 100ms-200ms 以内で制御されます。

・もう 1 台の 5G-GW から iperf で約 50Mbps の Uplink ヘトラフィックを送信して影響を確認しました。

・遅延は ZTV 東紀州放送局と給餌船の間を Ping で測定しました。

・AI 判定処理時間と AI 判定精度および給餌機制御は遠隔給餌制御サーバに取得された画像からの AI 解析された結果を確認しました。

・合否判定は、合格が○、不合格が×、条件ありの場合は△で記載しました。

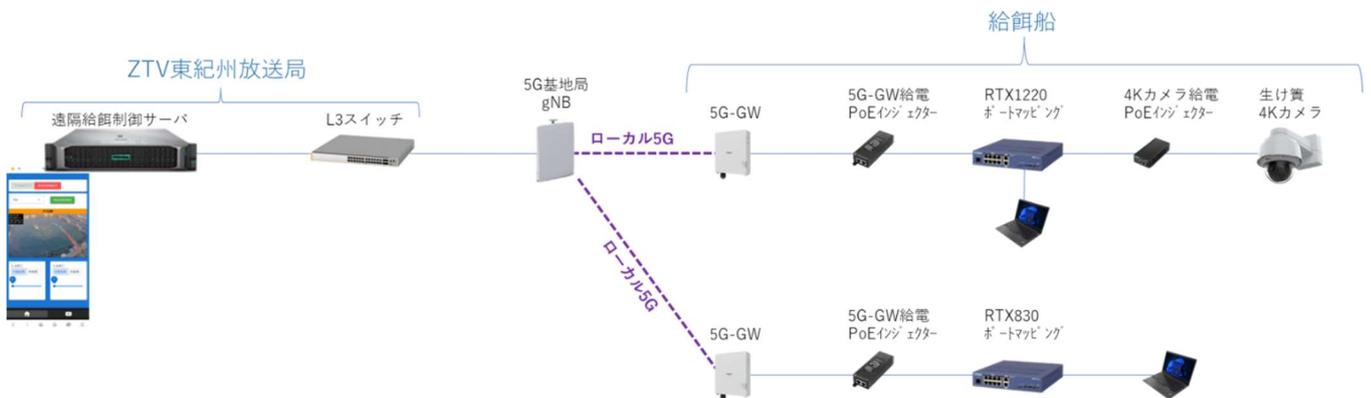


図 4-72 輻輳試験接続構成概要

表 4-19 検証結果評価シート（給餌業務）輻輳試験

機能	検証要素	小項目	検証項目	最終目標	本実証	結果	合否判定	備考
ローカル5G	基本通信条件	気象条件(晴天)時の生け簀A	受信強度	SS-RSRP -120dBm以上を確保できている。	尾鷲漁場 約-94dBm 大曾根漁場 約-117dBm	ローカル5G通信の電波環境の確保を確認した。	○	5G-GWの受信強度測定
			通信速度	DownLink Max.200Mbps以上 UpLink Max. 20Mbps以上を確保できている。	尾鷲漁場 DownLink Max. 360Mbps UpLink Max. 54Mbps 大曾根漁場 DownLink Max. 299Mbps UpLink Max. 26Mbps	ローカル5G通信速度環境の確保を確認した。	○	iPerf測定
			遅延	1秒以内	尾鷲漁場 30ms 大曾根漁場 34ms	ローカル5G通信の遅延環境の確保を確認した。	○	Ping測定
		気象条件(晴天)時の生け簀B	受信強度	SS-RSRP -120dBm以上を確保できている。	尾鷲漁場 約-94dBm 大曾根漁場 約-106dBm	ローカル5G通信の電波環境の確保を確認した。	○	5G-GWの受信強度測定
			通信速度	DownLink Max.200Mbps以上 UpLink Max. 20Mbps以上を確保できている。	尾鷲漁場 DownLink Max. 340Mbps UpLink Max. 50Mbps 大曾根漁場 DownLink Max. 295Mbps UpLink Max. 29Mbps	ローカル5G通信速度環境の確保を確認した。	○	iPerf測定
			遅延	1秒以内	尾鷲漁場 36ms 大曾根漁場 54ms	ローカル5G通信の遅延環境の確保を確認した。	○	Ping測定
AIサーバ	判定処理時間	気象条件(晴天)時の生け簀A	AI判定処理時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	1.5秒以内で判定できている。	○	
	判定精度		AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上であることを確認した。	○	
	判定処理時間	気象条件(晴天)時の生け簀B	AI判定処理時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	遠隔給餌制御サーバに保存された画像データから1.5秒以内にAI活性判定されている。	1.5秒以内で判定できている。	○	
	判定精度		AI判定精度 AI活性状況判定の正確さ	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上	活性状況判定精度99%以上であることを確認した。	○	
給餌機制御(シャッターの開閉制御)	処理時間	気象条件(晴天)時の生け簀A	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(モーターによるシャッターの開閉)までの時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	AI活性判定されてから給餌機のシャッター開閉が1.5秒以内に制御されている。	1.5秒以内で判定できている。	○	
	正確性		決められた動作ができているか	非活性ならシャッターを閉める	非活性ならシャッターを閉める	活性がおさまる(非活性)になるとシャッターが閉まることを確認した。	○	
	処理時間	気象条件(晴天)時の生け簀B	AIサーバからの活性状況判定の信号を受信してから制御(モーターによるシャッターの開閉)までの時間	1~1.5秒ごとに画像を取り込んだ間にAI判定できている。	AI活性判定されてから給餌機のシャッター開閉が1.5秒以内に制御されている。	1.5秒以内で判定できている。	○	
	正確性		決められた動作ができているか	非活性ならシャッターを閉める	非活性ならシャッターを閉める	活性がおさまる(非活性)になるとシャッターが閉まることを確認した。	○	

● 考察

ローカル 5G 基地局配下の 2 台の 5G-GW からトラフィック印加しても輻輳することなく、正常に AI 判定による給餌機制御、成育管理のシステム管理へのアクセスと入力、および操船確認の給餌船前方 2 台の映像をリアルタイムに陸上へローカル 5G の安定した伝送することを確認しました。

イ) 成育管理

成育管理における機能検証結果は次の通りです。

表 4-20 検証結果評価シート（成育管理システム）

機能	検証要素	小項目	検証項目	最終目標	現状	本実証	結果
成育管理	成育状態	デバイス種別	データ確認のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンで状態の確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	スマートフォン、タブレット、パソコンともにデータ確認が見やすくなった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するため、時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった
		複数端末から操作	データ確認のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンで状態の確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	スマートフォン、タブレット、パソコンともにデータ確認が見やすくなった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するため、時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった
		生け簀A	データ確認のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンで状態の確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	スマートフォン、タブレット、パソコンともにデータ確認が見やすくなった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するため、時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった
		生け簀B	データ確認のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンで状態の確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	スマートフォン、タブレット、パソコンともにデータ確認が見やすくなった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するため、時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった

機能	検証要素	小項目	検証項目	最終目標	現状	本実証	結果
成育管理	餌の食具合	デバイス種別	データ入力のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンにて簡単に摂餌状態を入力	紙記入のため手間とミスがおこりやすい	Webの健康管理にて摂餌状態を選択方式でデータ入力	摂餌状態を選択させることで、記入の手間が省けて、データ入力ミスや手間が省けた
			データ確認のしやすさ	現在や過去の摂餌状態を簡単な操作で確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	データ出力画面にて現在や過去の摂餌状態が簡単に確認できるようになった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するため、時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった
		複数端末から操作	データ入力のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンにて簡単に摂餌状態を入力	紙記入のため手間とミスがおこりやすい	Webの健康管理にて摂餌状態を選択方式でデータ入力	摂餌状態を選択させることで、記入の手間が省けて、データ入力ミスや手間が省けた
			データ確認のしやすさ	現在や過去の摂餌状態を簡単な操作で確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	データ出力画面にて現在や過去の摂餌状態が簡単に確認できるようになった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するため、時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった
		生け簀A	データ入力のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンにて簡単に摂餌状態を入力	紙記入のため手間とミスがおこりやすい	Webの健康管理にて摂餌状態を選択方式でデータ入力	摂餌状態を選択させることで、記入の手間が省けて、データ入力ミスや手間が省けた
			データ確認のしやすさ	現在や過去の摂餌状態を簡単な操作で確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	データ出力画面にて現在や過去の摂餌状態が簡単に確認できるようになった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するため、時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった
		生け簀B	データ入力のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンにて簡単に摂餌状態を入力	紙記入のため手間とミスがおこりやすい	Webの健康管理にて摂餌状態を選択方式でデータ入力	摂餌状態を選択させることで、記入の手間が省けて、データ入力ミスや手間が省けた
			データ確認のしやすさ	現在や過去の摂餌状態を簡単な操作で確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	データ出力画面にて現在や過去の摂餌状態が簡単に確認できるようになった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するため、時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった

機能	検証要素	小項目	検証項目	最終目標	現状	本実証	結果
成育管理	生け簀内の尾数、 斃死数	デバイス種別	データ入力のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンにて簡単に生け簀への受け入れ尾数や斃死数を入力でき現在尾数を自動集計	紙記入のため手間とミスがおこりやすい	Webの健康管理にて斃死数をデータ入力することで、現在尾数から自動集計することを確認	健康管理に斃死数を入れることで、現在尾数から斃死数をマイナシし、現在の生け簀の尾数が瞬時にわかるようになった
			データ確認のしやすさ	現在や過去の生け簀内の尾数や斃死数を簡単な操作で確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	データ出力画面にて現在や過去の生け簀内の尾数や斃死数が簡単に確認できるようになった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するための時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった
		複数端末から操作	データ入力のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンにて簡単に生け簀への受け入れ尾数や斃死数を入力でき現在尾数を自動集計	紙記入のため手間とミスがおこりやすい	Webの健康管理にて斃死数をデータ入力することで、現在尾数から自動集計することを確認	健康管理に斃死数を入れることで、現在尾数から斃死数をマイナシし、現在の生け簀の尾数が瞬時にわかるようになった
			データ確認のしやすさ	現在や過去の生け簀内の尾数や斃死数を簡単な操作で確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	データ出力画面にて現在や過去の生け簀内の尾数や斃死数が簡単に確認できるようになった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するための時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった
		生け簀A	データ入力のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンにて簡単に生け簀への受け入れ尾数や斃死数を入力でき現在尾数を自動集計	紙記入のため手間とミスがおこりやすい	Webの健康管理にて斃死数をデータ入力することで、現在尾数から自動集計することを確認	健康管理に斃死数を入れることで、現在尾数から斃死数をマイナシし、現在の生け簀の尾数が瞬時にわかるようになった
			データ確認のしやすさ	現在や過去の生け簀内の尾数や斃死数を簡単な操作で確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	データ出力画面にて現在や過去の生け簀内の尾数や斃死数が簡単に確認できるようになった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するための時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった
		生け簀B	データ入力のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンにて簡単に生け簀への受け入れ尾数や斃死数を入力でき現在尾数を自動集計	紙記入のため手間とミスがおこりやすい	Webの健康管理にて斃死数をデータ入力することで、現在尾数から自動集計することを確認	健康管理に斃死数を入れることで、現在尾数から斃死数をマイナシし、現在の生け簀の尾数が瞬時にわかるようになった
			データ確認のしやすさ	現在や過去の生け簀内の尾数や斃死数を簡単な操作で確認	紙記入のため見にくい	スマートフォンでも見やすいことを確認	データ出力画面にて現在や過去の生け簀内の尾数や斃死数が簡単に確認できるようになった
			反映表示される時間	表示や集計を含め、3秒以内に反映	手動で集計するための時間とミスが多い	1秒以内に反映されることを確認	集計に関しても、1秒以内であり、計算ミスもなくなった

機能	検証要素	小項目	検証項目	最終目標	現状	本実証	結果
成育管理	うみログ 水温・溶 存酸素量	デバイス種別	データ確認のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンで海洋データの状態を確認	手動観測のため、データ観測数が少なく、また紙への記入なのでミスも出る	30分に1回の自動観測データが、スマートフォンでも見やすいことを確認	手動観測による記入ミスも少なく、観測回数も多くなったため海洋データの変化を捉えられるようになった。
			反映表示される時間	自動観測によるリアルタイムな情報の表示	手動観測のため、時間とミスが多い	30分に1回の自動観測データをWebに送信	自動観測されれば瞬時にWebに反映されるため、リアルタイムな情報を確認できるようになった。
		複数端末から操作	データ確認のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンで海洋データの状態を確認	手動観測のため、データ観測数が少なく、また紙への記入なのでミスも出る	30分に1回の自動観測データが、スマートフォンでも見やすいことを確認	手動観測による記入ミスも少なく、観測回数も多くなったため海洋データの変化を捉えられるようになった。
			反映表示される時間	自動観測によるリアルタイムな情報の表示	手動観測のため、時間とミスが多い	30分に1回の自動観測データをWebに送信	自動観測されれば瞬時にWebに反映されるため、リアルタイムな情報を確認できるようになった。
		生け簀A	データ確認のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンで海洋データの状態を確認	手動観測のため、データ観測数が少なく、また紙への記入なのでミスも出る	30分に1回の自動観測データが、スマートフォンでも見やすいことを確認	手動観測による記入ミスも少なく、観測回数も多くなったため海洋データの変化を捉えられるようになった。
			反映表示される時間	自動観測によるリアルタイムな情報の表示	手動観測のため、時間とミスが多い	30分に1回の自動観測データをWebに送信	自動観測されれば瞬時にWebに反映されるため、リアルタイムな情報を確認できるようになった。
		生け簀B	データ確認のしやすさ	スマートフォン、タブレット、パソコンで海洋データの状態を確認	手動観測のため、データ観測数が少なく、また紙への記入なのでミスも出る	30分に1回の自動観測データが、スマートフォンでも見やすいことを確認	手動観測による記入ミスも少なく、観測回数も多くなったため海洋データの変化を捉えられるようになった。
			反映表示される時間	自動観測によるリアルタイムな情報の表示	手動観測のため、時間とミスが多い	30分に1回の自動観測データをWebに送信	自動観測されれば瞬時にWebに反映されるため、リアルタイムな情報を確認できるようになった。

● 考察

今まで成育管理の情報は人が手作業で行っており、労力や記入や集計ミスが多くありました。それを成育管理システムにより自動集計や自動観測することで労力とミスが減少しました。また、データはWebに一元管理されるため、関与するスタッフ全員がどこからでも情報を確認でき、その情報を成育管理に活かすことが可能となりました。

b. 操船確認業務

操船確認業務における機能検証結果は次の通りです。

2023年2月2日（木）に実施した基地局のチルト角/アンテナ設置高を変更した場合の大曾根漁場における5Gタブレットによるスループット計測実験結果は以下の通りです。

- ・条件：チルト角 / アンテナ高 = 2度 / 6m、0度 / 6m、0度 / 7.5m
いずれの場合も、端末5G-GWも5Gタブレットも接続OK
- ・5G-GWでの電波強度測定（連続でマクロを実行して測定）
電波強度は-110dBm～-114dBm程度で若干の向上は見られたものの大幅な変化は確認できず
- ・5Gタブレットでのスループット測定（UDP DL/UL）

DL：	230Mbps	（2度 / 6m）
	240Mbps	（0度 / 6m）
	255Mbps	（0度 / 7.5m）
UL：	17Mbps	（2度 / 6m）
	18Mbps	（0度 / 6m）
	23Mbps	（0度 / 7.5m）

給餌船の活用を考える上では給餌船からの映像等の情報を陸上側に送信する必要があるため、UL速度が重要です。本検証実験で使用したアンテナの設定では、最小17Mbps、最大23Mbpsでした。チルト角並びにアンテナ設置高変更は、基地局から約3km離れた大曾根漁場まで電波を効果的に飛ばすための変更でしたので、大曾根漁場よりも近い場所では通信環境は良くなると考えられます。そのため、図4-59に示す海域では20Mbps以上の通信速度が確保できると期待されますが、実際にどのような通信環境となるのか検証試験を実施しました。

検証実験は2023年2月14日および15日に実施しました。実験当日の潮位変化を図4-73、図4-74に示します。

毎時潮位グラフ 尾鷲
2023年2月14日の潮位予測

前期間

次期間

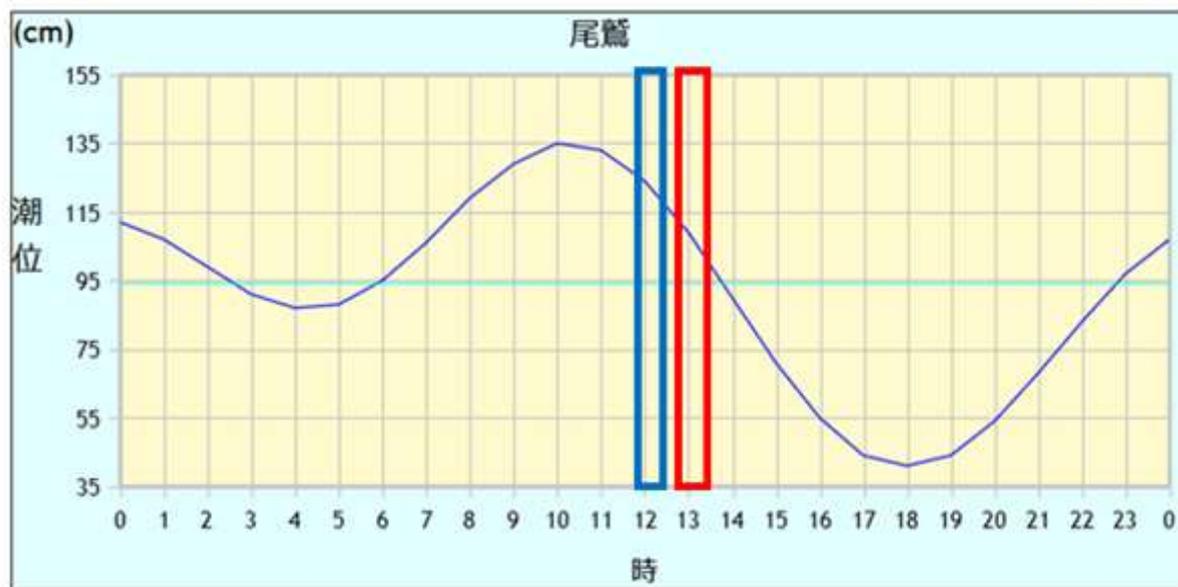


図 4-73 毎時潮位グラフ（令和 5 年 2 月 14 日）

毎時潮位グラフ 尾鷲
2023年2月15日の潮位予測

前期間

次期間

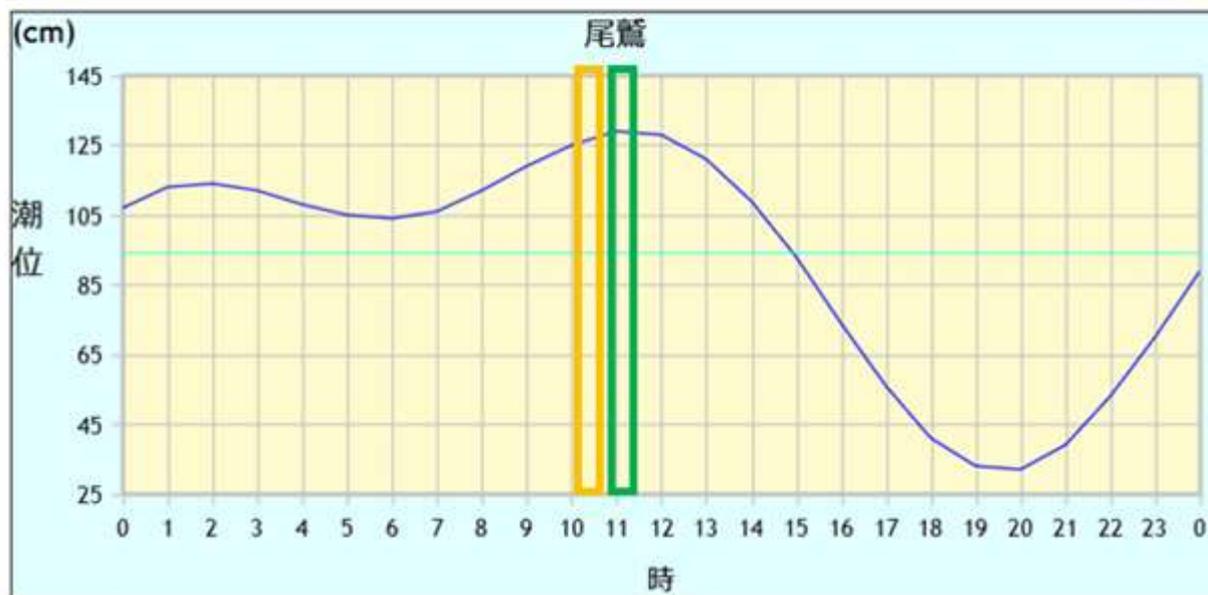


図 4-74 毎時潮位グラフ（令和 5 年 2 月 15 日）

給餌船を運航した時刻は潮位グラフ中の四角で囲った時刻です。2月14日は125cm程度から100cm程度まで潮位が下がり、2月15日は125cm付近で推移していましたので、実験期間中、潮

位の変化は25cm程度です。この潮位の変化が電波伝搬特性に与える影響を考えます。今回の検証実験に合わせて以下の条件

周波数：4849.98MHz
送信電力：27dBm
距離：2000m
送信側アンテナ高さ：7.5m
受信側アンテナ高さ：4.5m
送信側アンテナ利得：18dBi
受信側アンテナ利得：3dBi

で自由空間モデルおよび二波モデルとして計算しますと図4-75、図4-76となります。

(計算の際には(株)サーキットデザイン提供の計算ツールを使用しました。
<https://www.circuitdesign.jp/technical/radio-wave-propagation-characteristics/>)

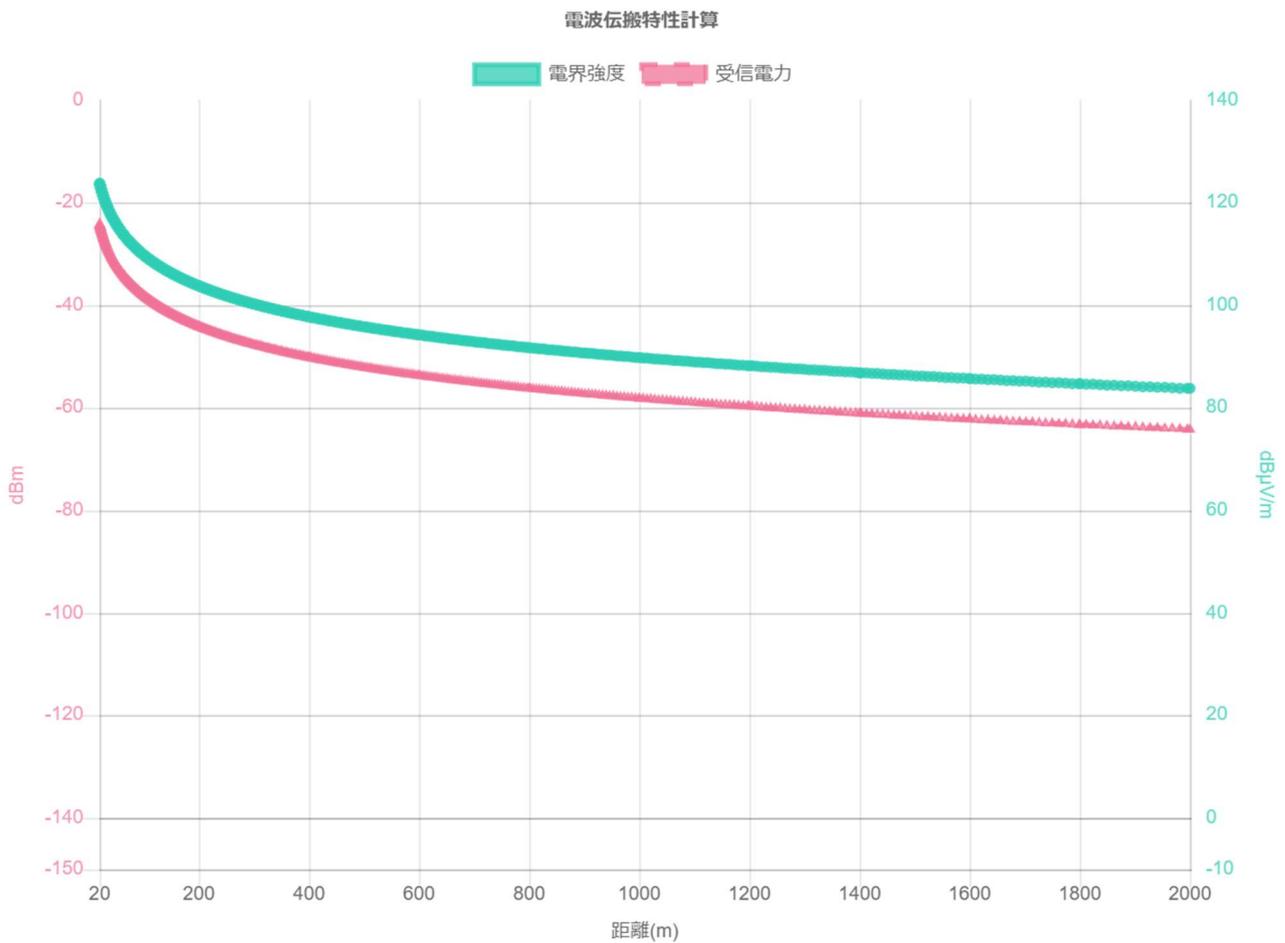


図 4-75 自由空間モデルによる電波伝搬特性

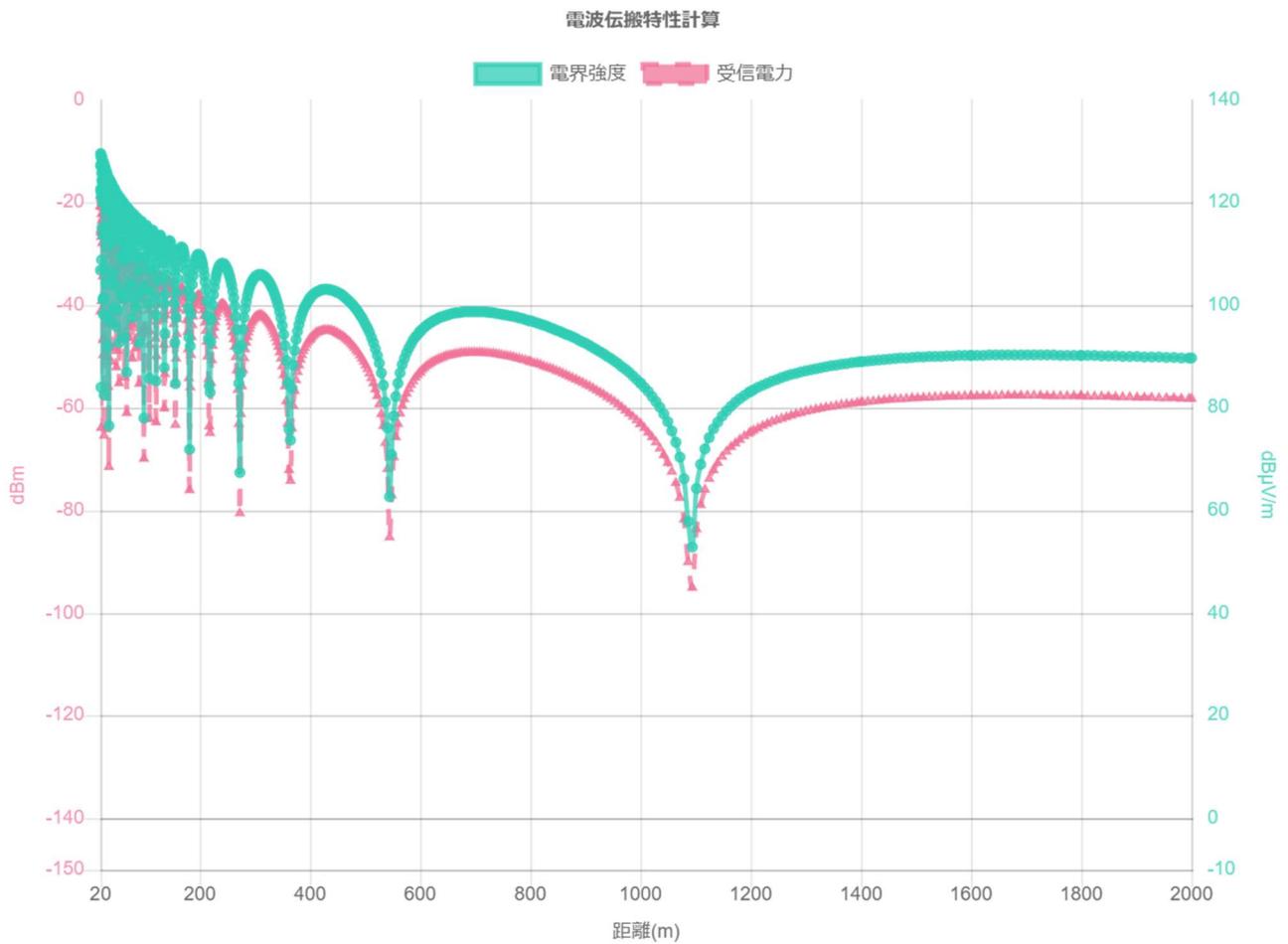


図 4-76 二波モデルによる電波伝搬特性

一方、潮位の変化を考慮して受信側アンテナが 30cm 下がった場合を考え

周波数：4849.98MHz

送信電力：27dBm

距離：2000m

送信側アンテナ高さ：7.5m

受信側アンテナ高さ：4.2m

送信側アンテナ利得：18dBi

受信側アンテナ利得：3dBi

で自由空間モデルおよび二波モデルとして計算しますと図 4-77、図 4-78 となります。

電波伝搬特性計算

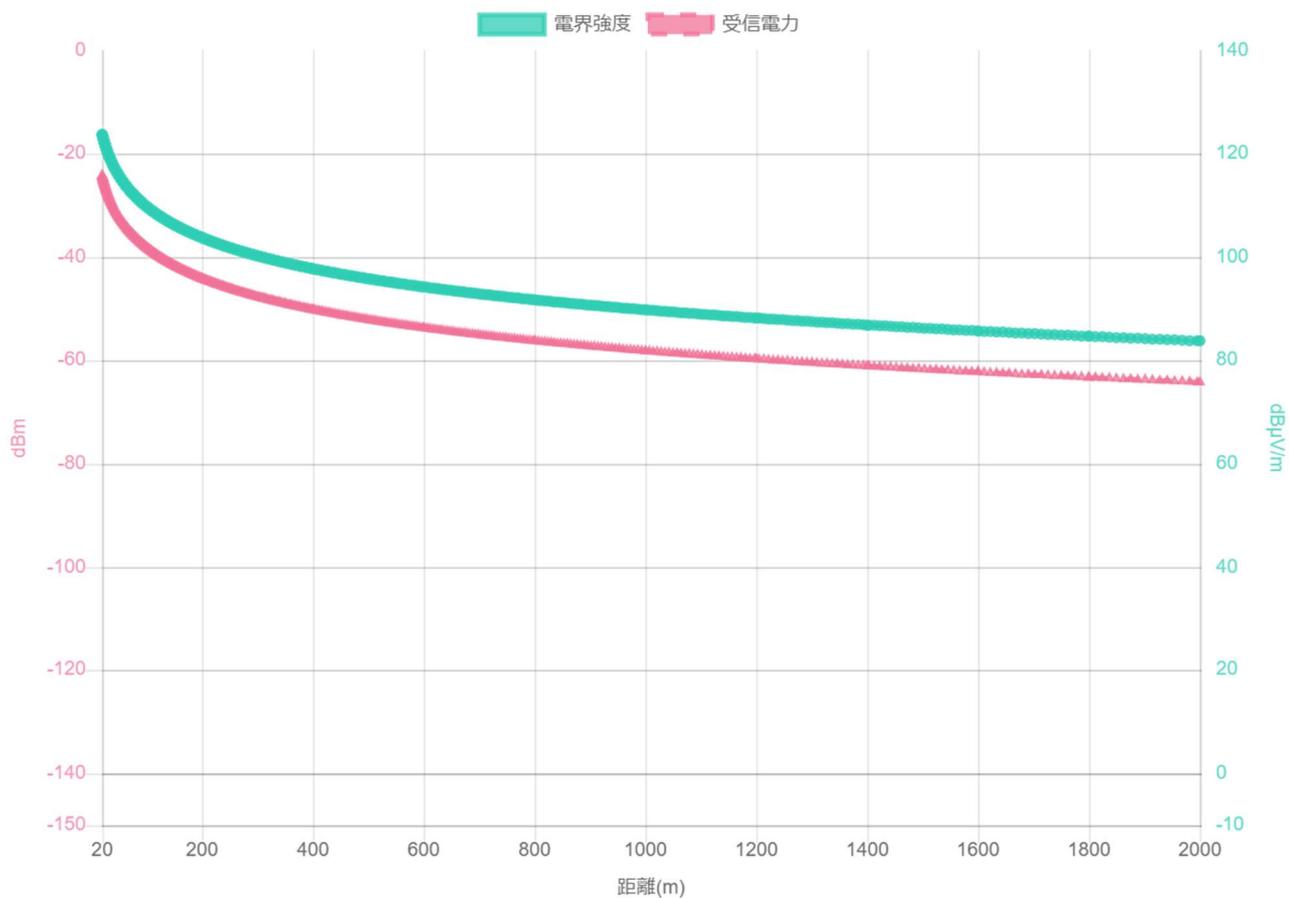


図 4-77 自由空間モデルによる電波伝搬特性

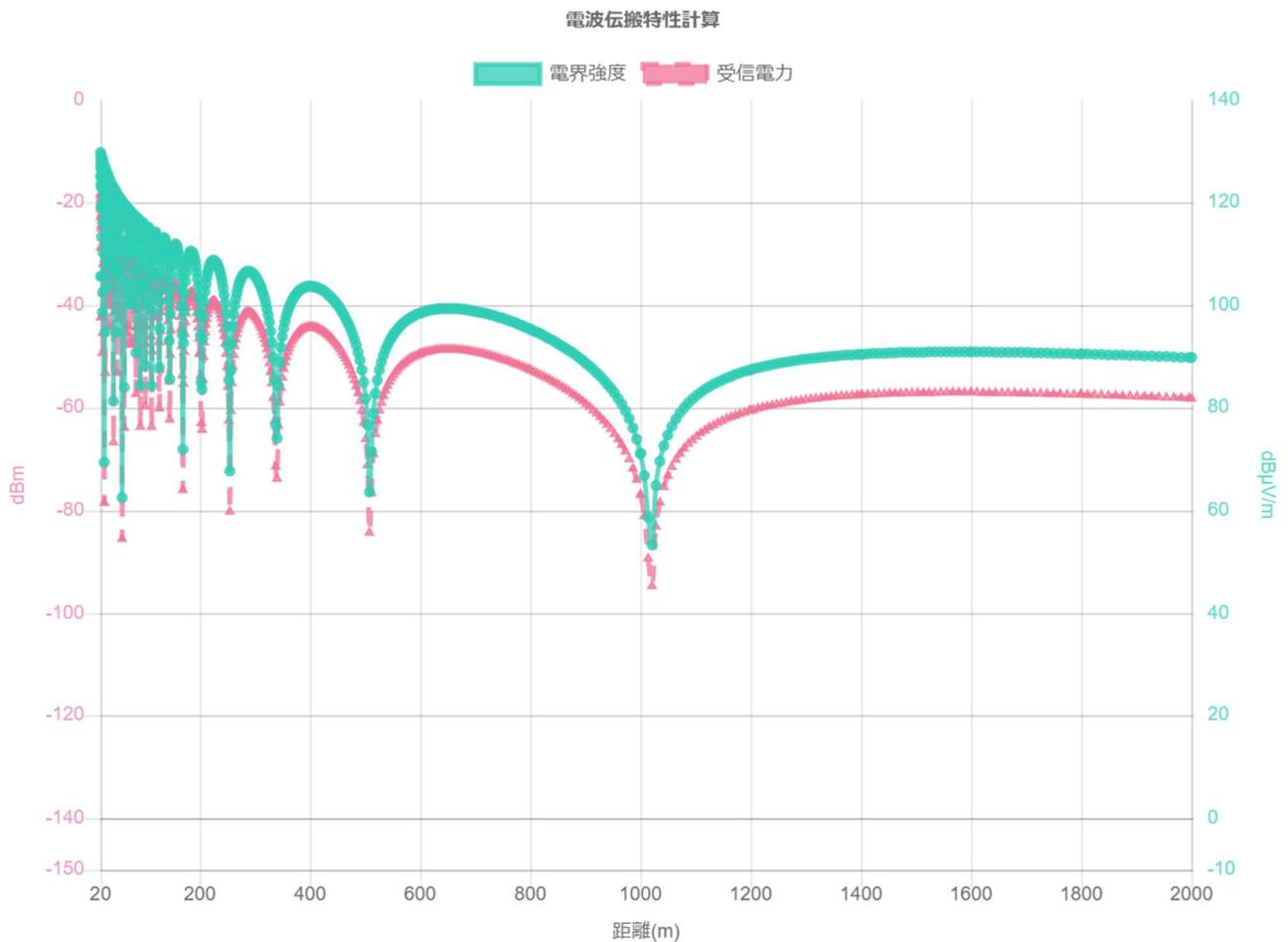


図 4-78 二波モデルによる電波伝搬特性

図 4-75 から図 4-78 を比較すると自由空間モデルはほとんど変わりません。一方、海面等による反射を考慮した二波モデルで計算すると通信距離に比例せず、所々で電界強度が低くなる地点が発生します。この電界強度の低くなる地点に関して、電界強度の低くなる地点の距離が、受信側アンテナの高さが低い方が近くなります。本検証実験においては、受信側アンテナは給餌船上に設置されており、潮位の変化だけでなく船体動揺の影響も受けるため常に動いている状態と考えられます。よって、電界強度の低くなる地点は図 4-76、図 4-78 に示される電界強度の低くなる地点間の帯域として考えた方が良いと思われます。

- 2023年2月14日(火) 1回目

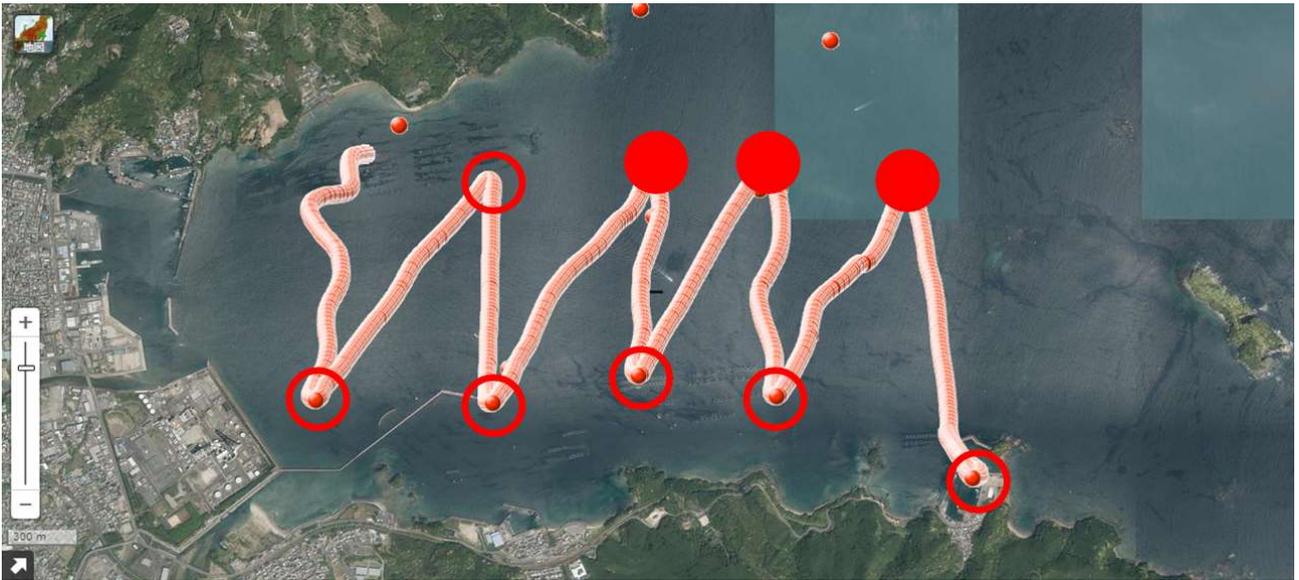


図 4-79 2月14日1回目検証実験航路

図 4-79 の○、●部分付近のデータが、それぞれ図 4-80 の○、●部分です。○部分は給餌船の向いている向きが変化する場所となりますが、この場所において RTT が遅くなる傾向が見られます。このことから基地局と給餌船に設置されているアンテナの向いている方向が影響すると考えられます。また、図 4-81 に示すように RTT と SS-RSRP 値に顕著な相関関係は見られませんでした。また●部分に関しては、基地局と給餌船の間に雀島が入る可能性があるため、この影響によって通信状況が悪化している可能性があります。

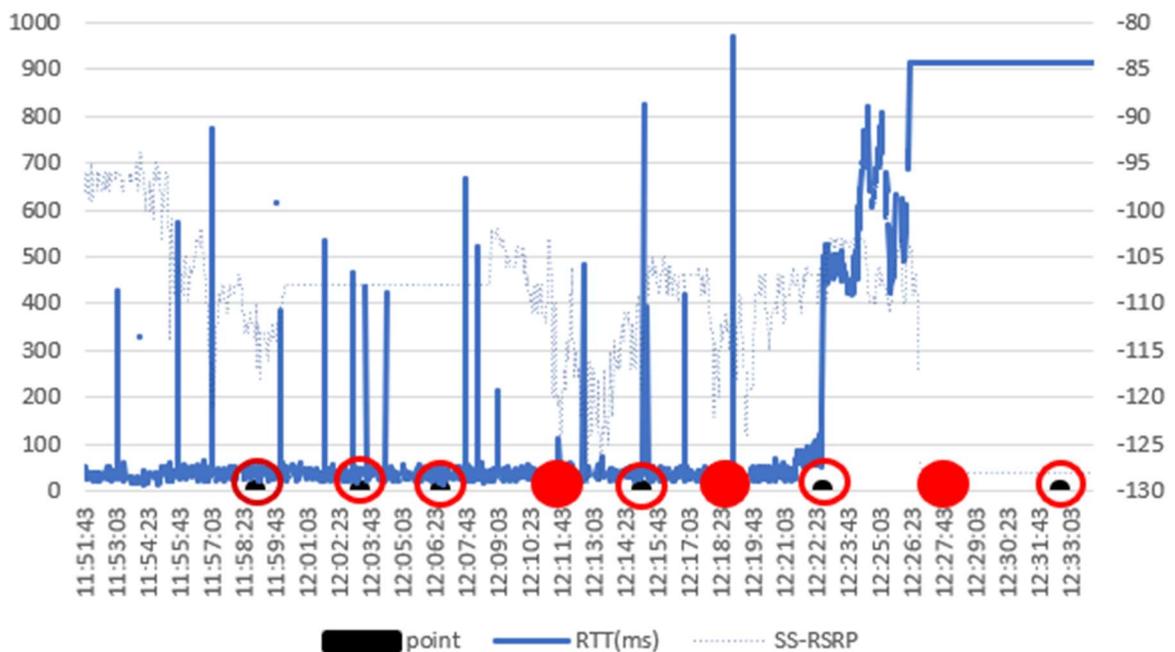


図 4-80 2月14日1回目検証実験 RTT および SS-RSRP

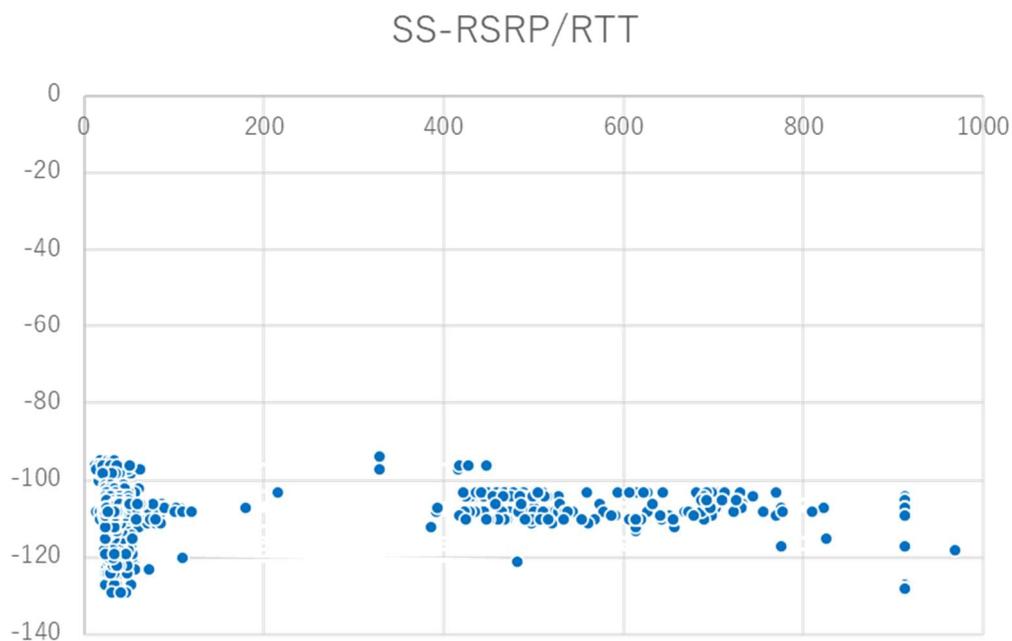


図 4-81 2月14日1回目検証実験 RTT と SS-RSRP の関係

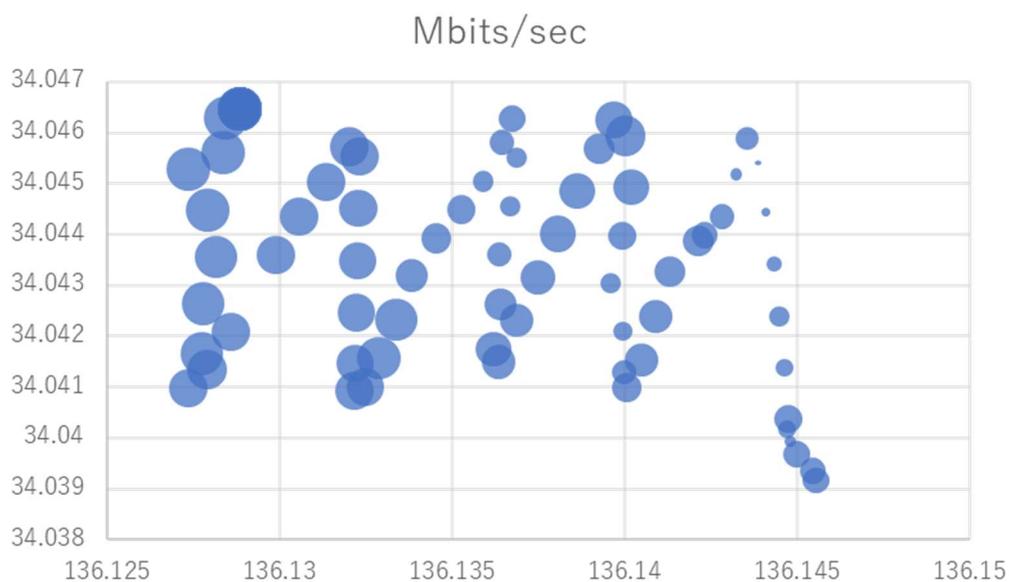


図 4-82 2月14日1回目検証実験時における通信速度

また、図 4-82 に航行場所と通信速度の関係を示します。円が大きい方が通信速度が速いことを示します。この結果より、通信速度と通信距離は比例関係にあるわけではなく、海面反射や島等の影響を受けていると考えられます。

- 2023年2月15日(火) 1回目

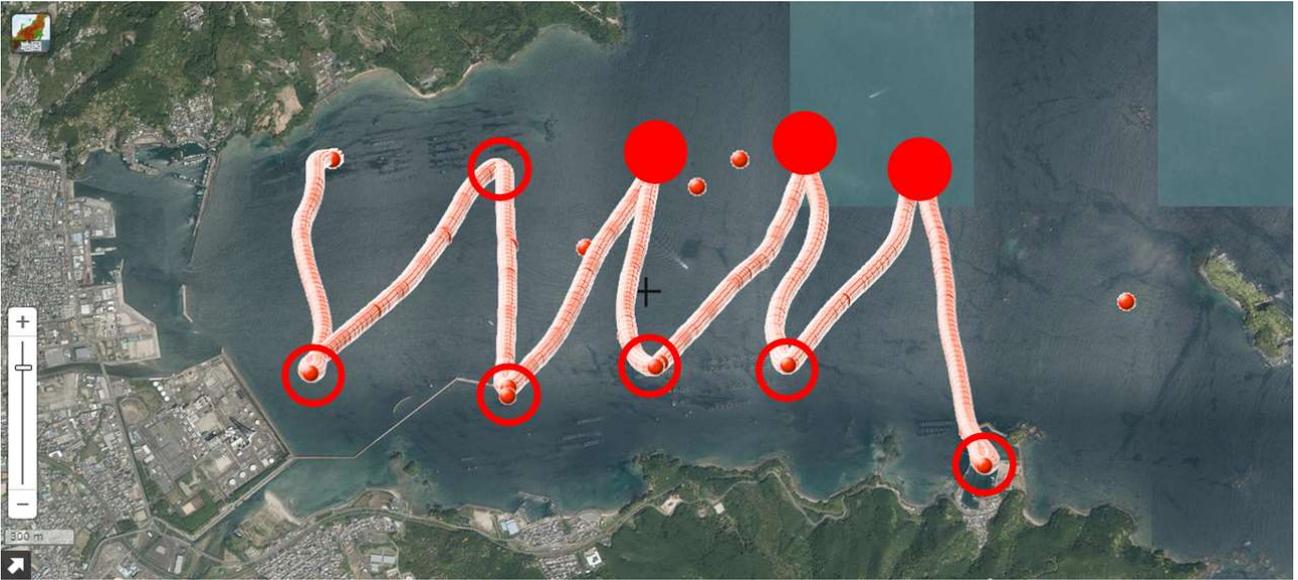


図 4-83 2月15日1回目検証実験航路

図 4-83 の○、●部分付近のデータが、それぞれ図 4-84 の○、●部分です。○部分は給餌船の向いている向きが変化する場所となりますが、2月14日の検証実験と同様に、この場所においてRTTが遅くなる傾向が見られます。このことから基地局と給餌船に設置されているアンテナの向いている方向が影響すると考えられます。また、図 4-85 に示すようにRTTとSS-RSRP値についても2月14日の検証実験と同様に顕著な相関関係は見られませんでした。また●部分に関しては、基地局と給餌船の間に雀島が入る可能性があるため、この影響によって通信状況が悪化している可能性があります。

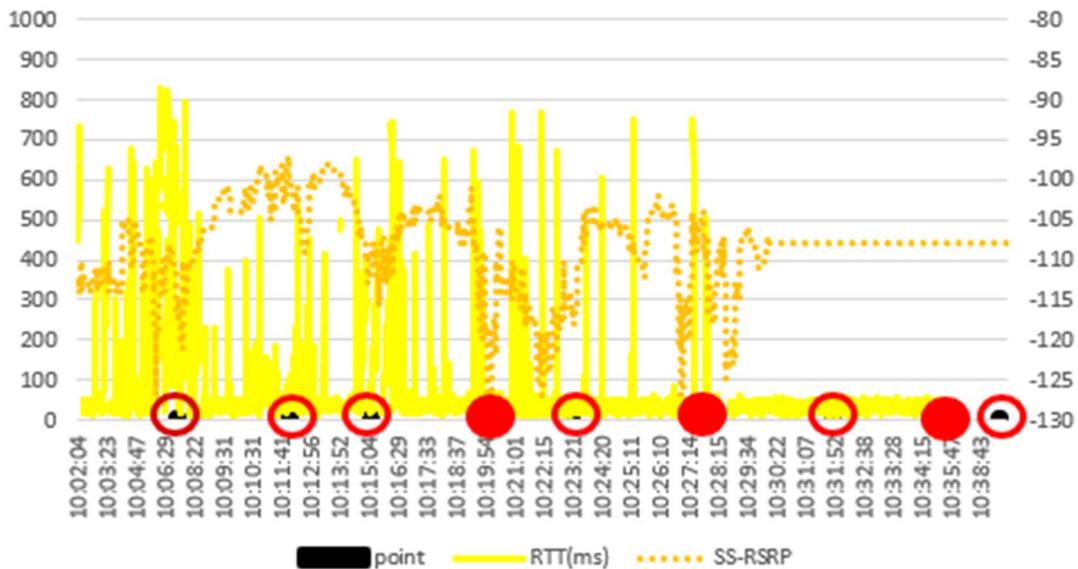


図 4-84 2月15日1回目検証実験RTTおよびSS-RSRP

SS-RSRP/RTT

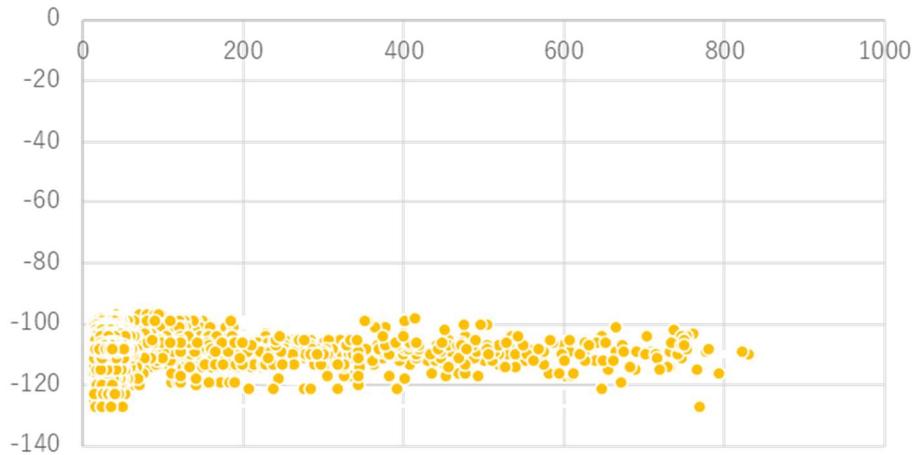


図 4-85 2月15日1回目検証実験 RTT と SS-RSRP の関係

- 2023年2月14日(水)2回目

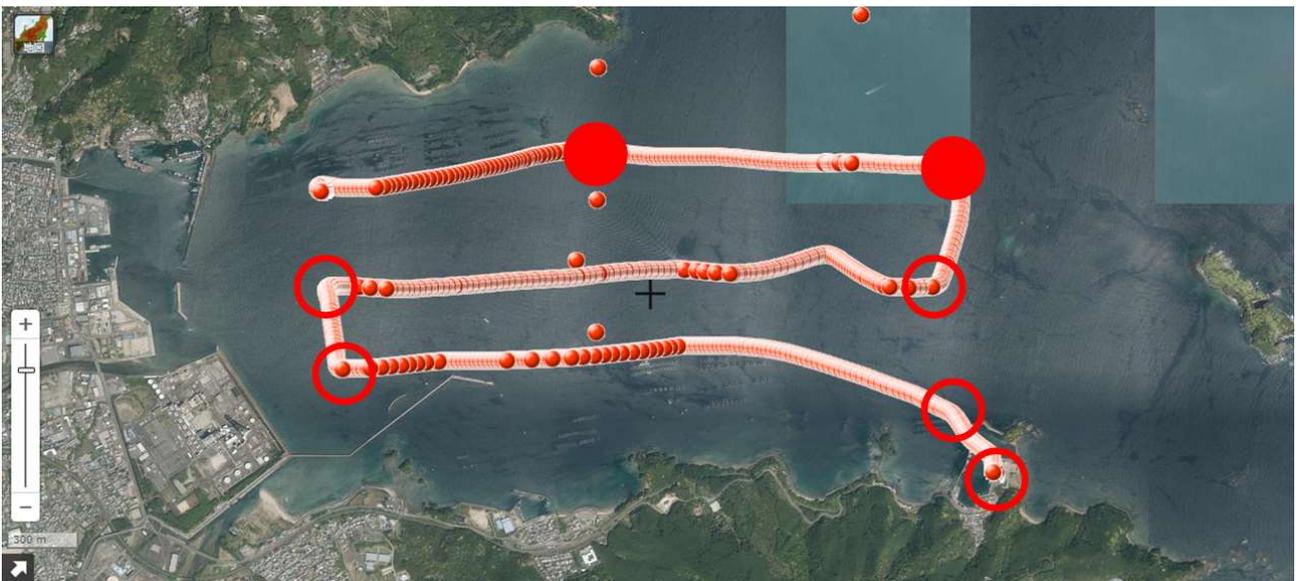


図 4-86 2月14日2回目検証実験航路

基地局と給餌船に設置されているアンテナ向いている方向の影響を検証するために、図 4-72 に示すジグザグ航行に加えて図 4-86 に示すような航路での検証実験も実施しました。図 4-72 と同様に○、●部分付近のデータが、それぞれ図 4-87 の○、●部分です。○部分は給餌船の向いている向きが変化する場所となりますが、この場所において RTT が遅くなる傾向が見られます。また、図 4-87 において RTT のグラフが欠落している部分は通信が途切れてしまった部分を示します。通信が途切れてしまった原因は不明です。また、図 4-88 に示すように本検証実験においても RTT と SS-RSRP 値に顕著な相関関係は見られませんでした。また●部分に関しては、基地局と給餌船の間に雀島が入る可能性があるため、この影響によって通信状況が悪化している可能性があります。

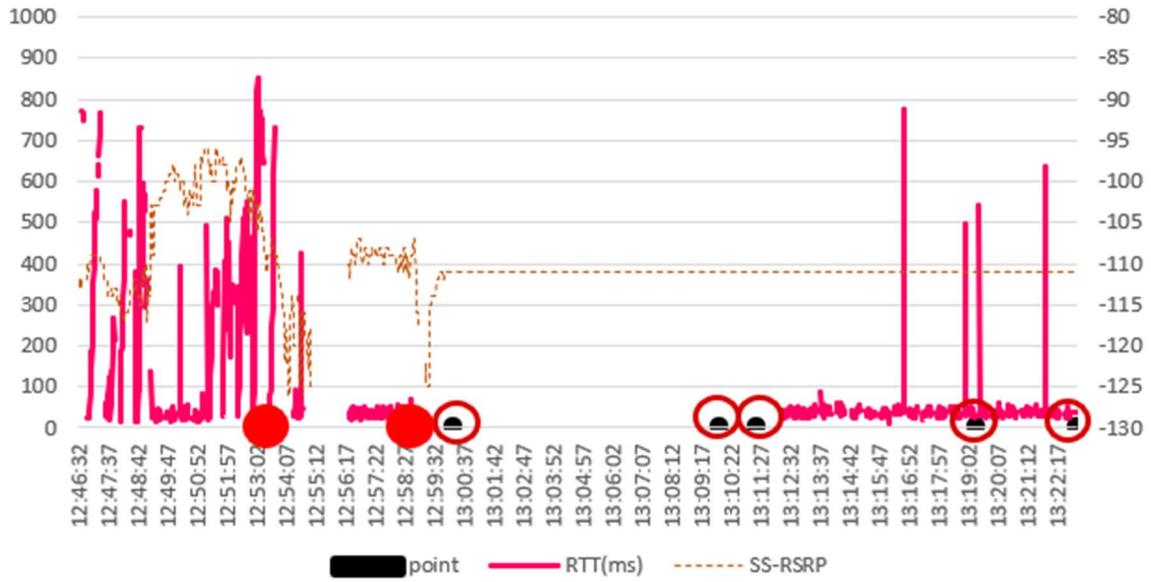


図 4-87 2月14日2回目検証実験 RTT および SS-RSRP

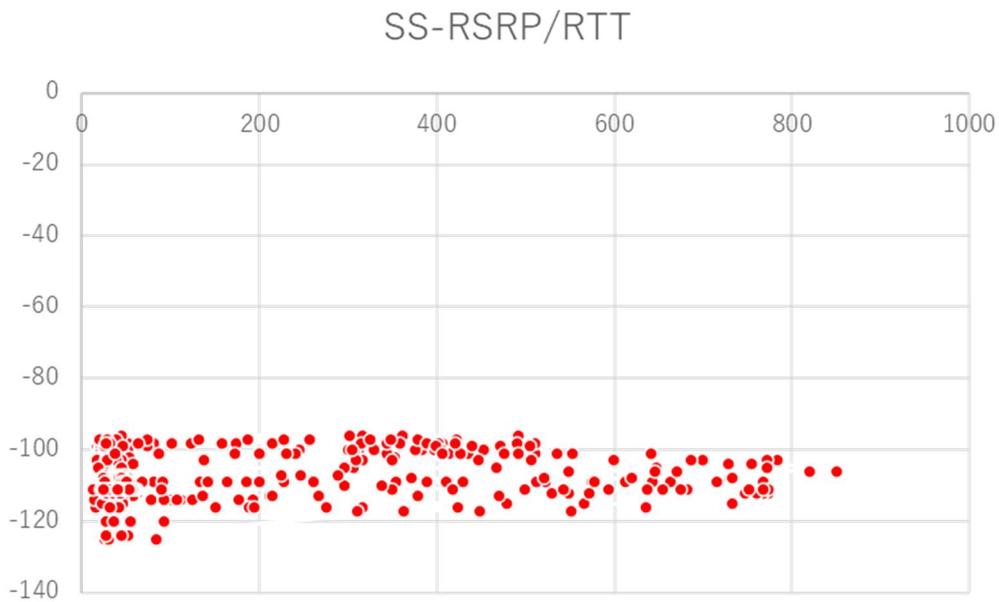


図 4-88 2月14日2回目検証実験 RTT と SS-RSRP の関係

- 2023年2月15日（水）2回目

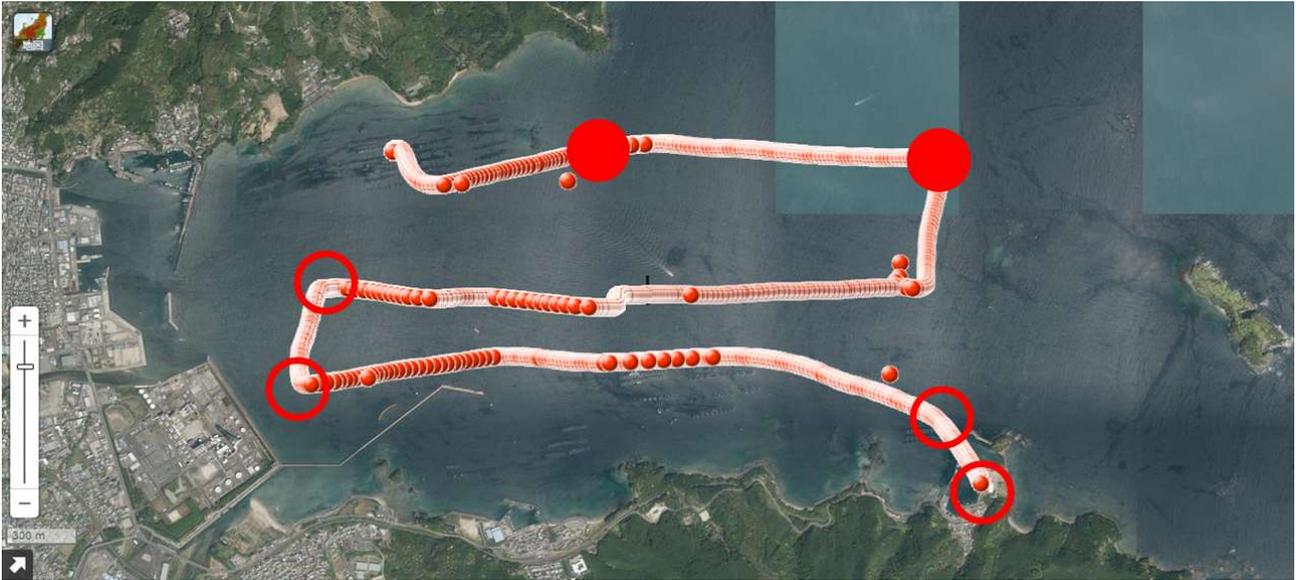


図 4-89 2月15日2回目検証実験航路

基地局と給餌船に設置されているアンテナ向いている方向の影響を検証に向けて、2月15日にも図 4-89 に示すような航路での検証実験も実施しました。これまでと同様に○、●部分付近のデータが、それぞれ図 4-90 の○、●部分です。○部分は給餌船の向いている向きが変化する場所となりますが、この場所において RTT が遅くなる傾向が見られます。また、図 4-91 において RTT のグラフが欠落している部分は通信が途切れてしまった部分を示します。通信が途切れてしまった原因は不明です。また、図 4-91 に示すように本検証実験においても RTT と SS-RSRP 値に顕著な相関関係は見られませんでした。また●部分に関しては、基地局と給餌船の間に雀島が入る可能性があるため、この影響によって通信状況が悪化している可能性があります。

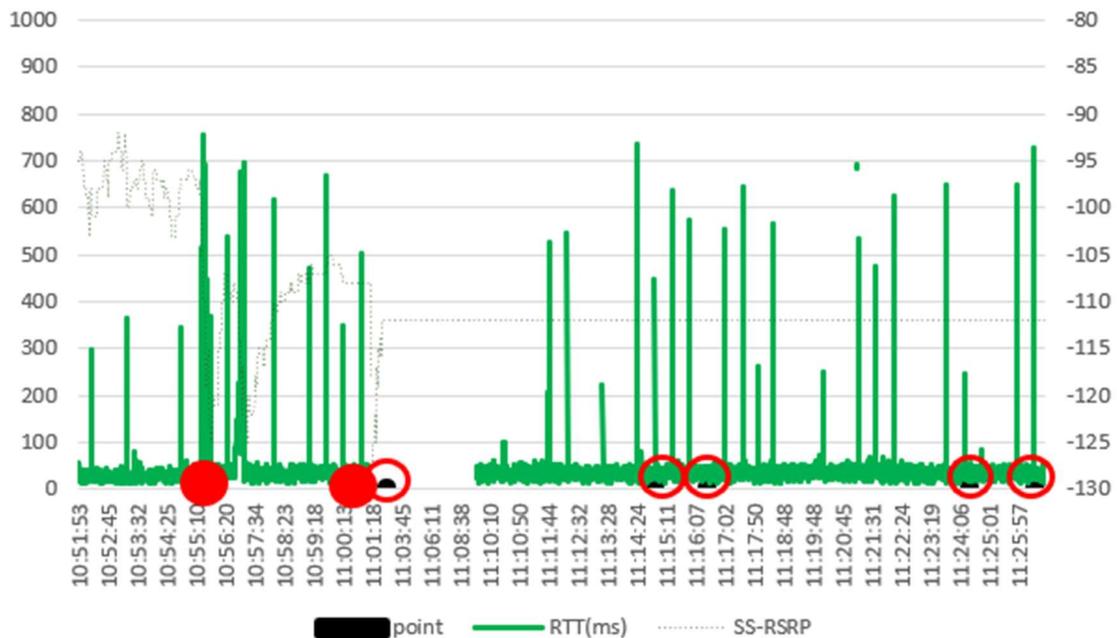


図 4-90 2月15日2回目検証実験 RTT および SS-RSRP

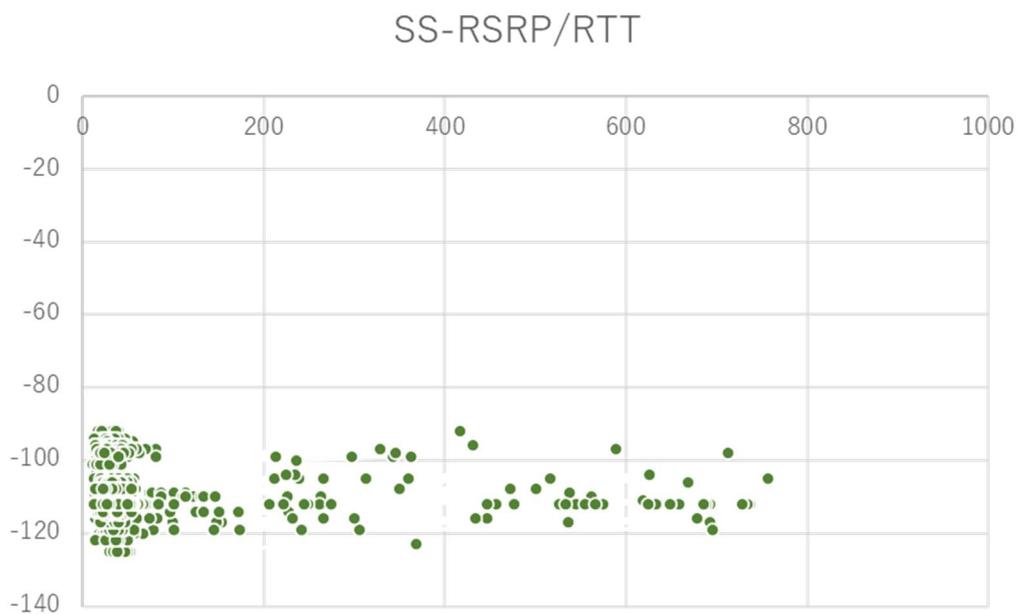


図 4-91 2月15日2回目検証実験 RTT と SS-RSRP の関係

最後に全四回の航行実験時における通信速度と jitter の変化を図 4-92、図 4-93 に示します。通信速度に関しては、最速では 60Mbps 程度の速度が出ていましたが、時間が経過する（通信距離が長くなる）と通信速度が低下する傾向が見られ 30Mbps 以下程度となってしまいました。Jitter に関しては一時的に遅くなる部分が発生していましたが、全体的には低い値にとどまっているといえます。

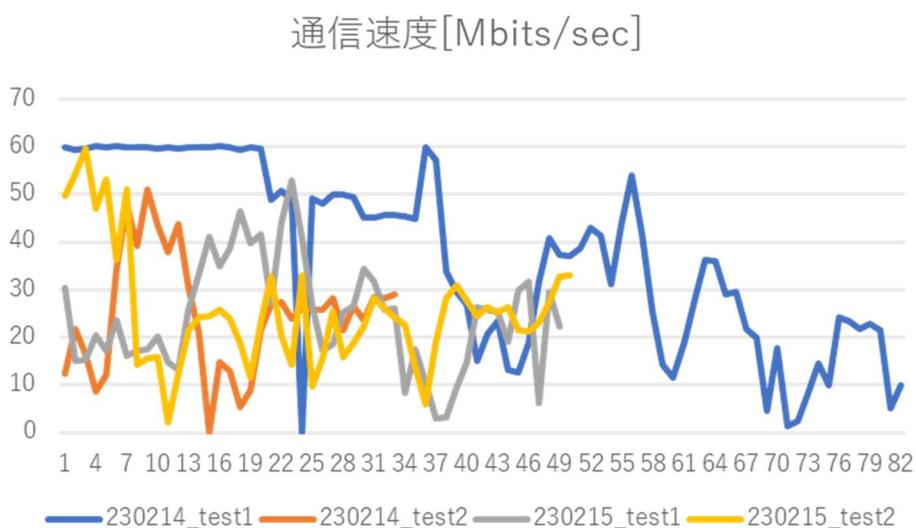


図 4-92 通信速度の時間変化

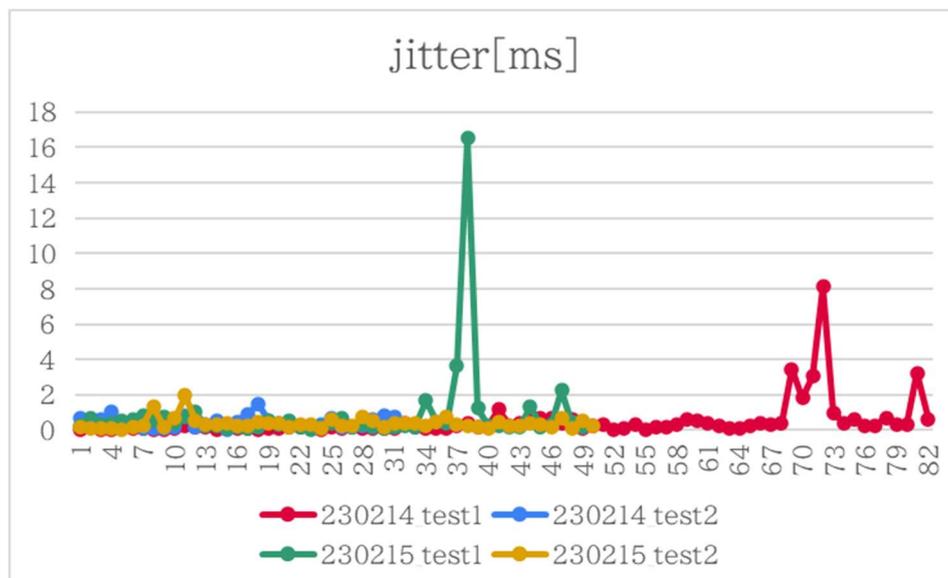


図 4-93 jitter の時間変化

● 考察

2月14日、2月15日に実施した検証実験結果を比較する限り、SS-RSRP と RTT に相関関係は見られず、アンテナ間の距離に比例しているわけではありません。給餌船側のアンテナの向いている向き、海面反射、島等の影響を受けていると考えられます。これらの関係を特定するためには、さらに詳細な調査が必要になると考えられます。

また、実験3として実施した検証実験で取得した映像データをまとめると以下の表のようになります。当初、フレームレートを変更することを計画しておりましたが、フレームレートよりも直接、データ量を操作することが可能となる圧縮率を変更することにして検証実験を行いました。いずれの実験においてもフレームレートは15fpsに固定しています。気象条件に関しては、両日とも晴天であったため、検証することができませんでした。

画質という観点からは、4K、FHDともに高圧縮画像では、画像がモザイク状となり陸上から操船状況を確認することは困難です。FHDでも低圧縮であれば操船状況を確認することはできると思われませんが、今回の検証実験では13Mbps以上のデータ量となっていました。給餌船の運航を考えると撮影される画角も十分ではなく、複数台のカメラを設置して映像送信を行う必要があると考えられます。このため、5G通信環境に対する設定の変更が必要になると考えられます。

表 4-21 検証項目（操船確認業務）

ファイルタイプ	船速(knots)	フレームあたりの移動距離(m)	ファイルサイズ(KByte)	時間(sec)	ビットレート(Mbit/s)	評価	参考LiDARデータ(KByte)
4K 低圧縮	10	0.359971202	8792178	873	78.84679142	FHDよりも高精細で画像の質としては撮船できると期待できる。	4238897
FHD 低圧縮	10	0.359971202	3773219	681	43.28674514	画像の質としては撮船できると期待できる。	
4K 低圧縮	5	0.179985601	11174497	1056	82.67117217	FHDよりも高精細で画像の質としては撮船できると期待できる。	6548441
FHD 低圧縮	5	0.179985601	1788829	1044	13.38623234	画像の質としては撮船できると期待できる。	
4K 高圧縮	5	0.179985601	320569	1094	2.289255313	画像がモザイク状となるがFHDと比較して解像度が高いためモザイクは小さい。撮船に支障がある場合があると考えられる。	8700682
FHD 高圧縮	5	0.179985601	45458	1097	0.323738036	画像がモザイク状となり撮船に支障がある。	
4K 高圧縮	10	0.359971202	195228	730	2.089340753	画像がモザイク状となるがFHDと比較して解像度が高いためモザイクは小さい。撮船に支障がある場合があると考えられる。	4436306
FHD 高圧縮	10	0.359971202	29447	720	0.319520399	画像がモザイク状となり撮船に支障がある。	

(2) 運用検証

1) 検証項目

各ユースケースにおける課題解決システムの運用における検証項目を以下に示します。

表 4-21 運用検証項目

ユースケース	評価観点	運用検証項目
給餌業務	給餌業務の自動化により削減や向上に貢献できる運用方法の確認	<ul style="list-style-type: none">・ 自動給餌マニュアルの作成・ 既存業務マニュアルや手順書の確認・ マニュアル外の個別作業内容の確認・ 研修、トレーニングの実施・ 既存業務との比較
成育管理	養殖管理システム導入により削減や向上に貢献できる運用方法の確認	<ul style="list-style-type: none">・ 成育管理マニュアルの作成・ 既存業務マニュアルや手順書の確認・ マニュアル外の個別作業内容の確認・ 研修、トレーニングの実施・ 既存業務との比較
操船確認業	安全性の向上に貢献できる運用方法の確認	<ul style="list-style-type: none">・ 操船確認マニュアルの作成・ 研修、トレーニングの実施

2) 検証方法

以下の項目について、ヒアリング等による情報の収集を行います。

- ・ 既存業務マニュアルや手順書の確認

ブリ養殖業務について、運用担当者へのヒアリングや資料閲覧、実施調査等により作業工程毎の業務内容の洗い出しを行います。

- ・ マニュアル外の個別作業内容の確認

マニュアル等には記載されない業務について、本実証で導入するシステムの運用に影響を及ぼすことがないかを担当者にヒアリングを行います。

- ・ システム構築・マニュアルの作成

上記結果を反映したシステムの構築およびマニュアルの作成を行います。

- ・ 研修、トレーニングの実施

正式運用に向けた研修、トレーニングを実施します。

参加者からのフィードバックを受け、システムおよびマニュアルの修正を行います。

・既存業務との比較

正式稼働後の運用によりこれまでの業務への影響を確認し、必要に応じてマニュアルの修正を行います。

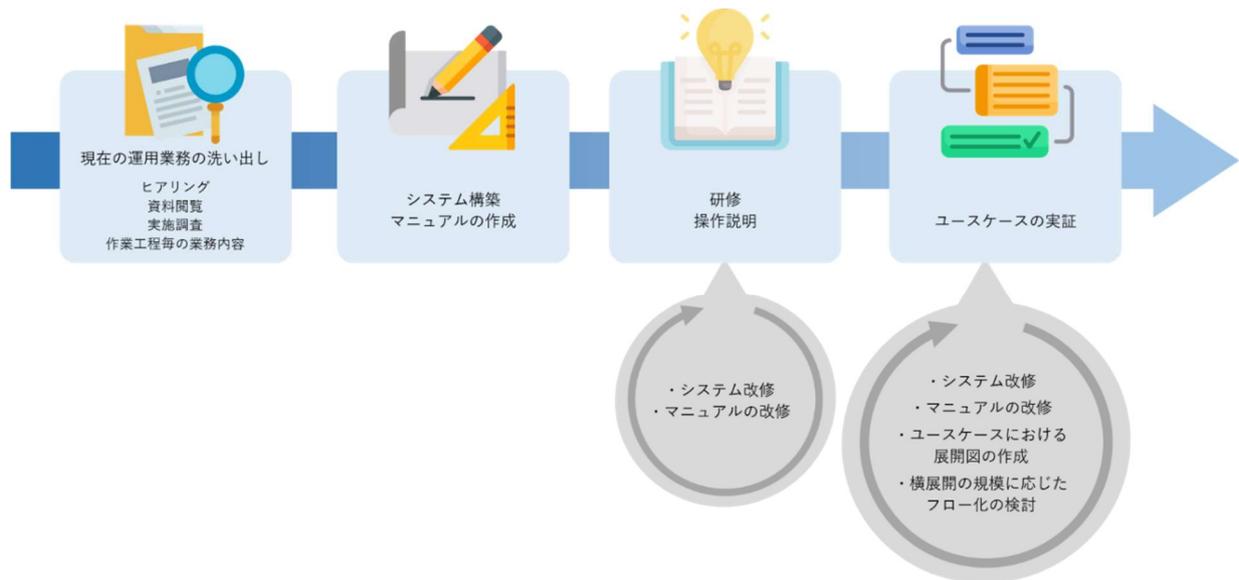


図 4-94 運用業務フロー

3) 検証結果および考察

a. 給餌業務

ア) 給餌自動化

- ・自動給餌マニュアルの作成

給餌自動化作業のマニュアルを作成しました。(別紙 自動給餌システムマニュアル参照)

- ・既存業務マニュアルや手順書の確認

従来の手動の給餌マニュアルの手順を確認しました。

- ・マニュアル外の個別作業内容の確認

自動給餌マニュアルの説明したうえで、マニュアル外の個別作業内容を確認しました。個別作業として、給餌初めから終わりまで、どの程度給餌口を開く調整部分の把握を行いました。

- ・研修、トレーニングの実施

1/13、1/18、1/23 に作成した自動給餌マニュアルの研修を実施しました。



図 4-95 研修の様子 (自動給餌)

- ・既存業務との比較

従来の手動給餌と今回の自動給餌の作業内容のフローを比較しました。

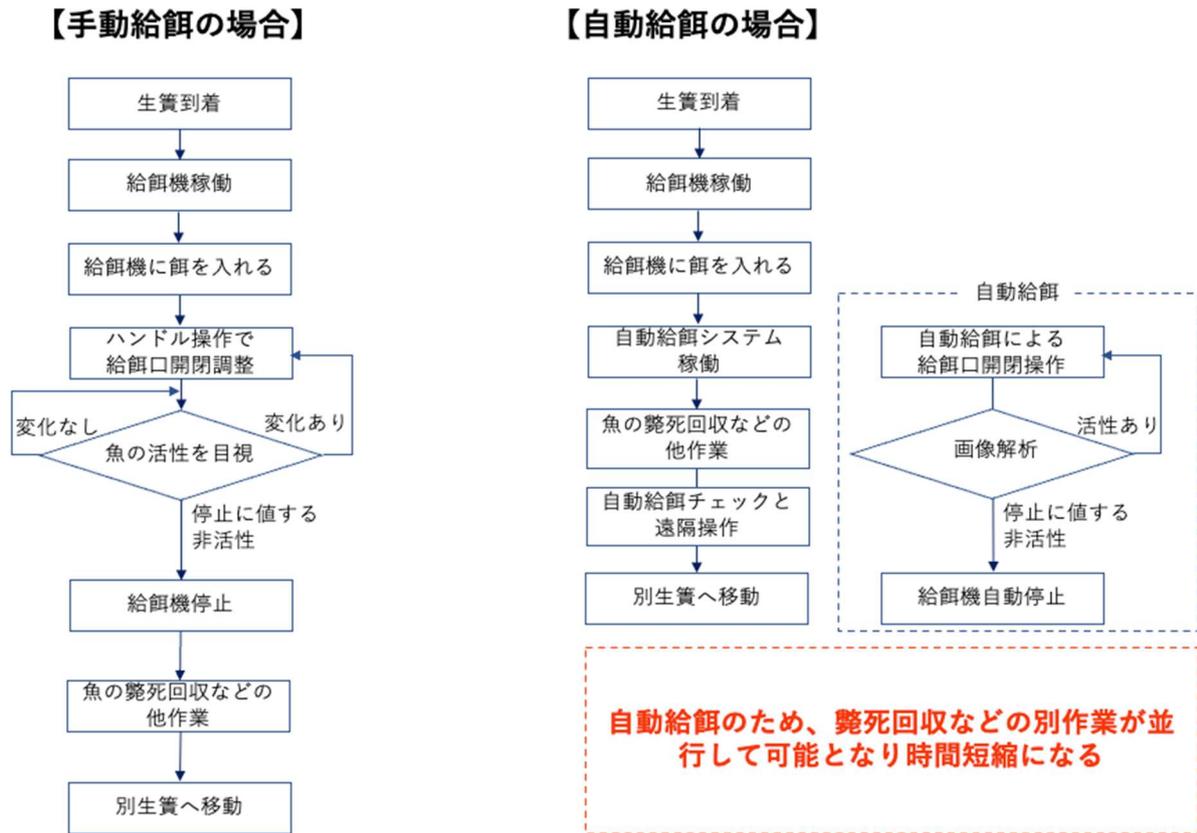


図 4-96 既存業務との比較（作業フロー）

● 目標達成状況

表 4-22 給餌業務における目標達成状況

評価・検証項目	最終目標	検証結果	合否	考察および対応策
マニュアル作成	自動給餌マニュアルの作成	自動給餌マニュアルを作成	○	自動給餌のマニュアル作成して目標を達成した
研修実施	研修、トレーニングの実施	研修の実施	○	研修、トレーニング実施して目標を達成した
既存業務との比較	業務への影響を 確認	作業内容フロー比較	○	従来と自動給餌フロー比較して目標を達成した

● 考察

自動給餌の Web 操作は、簡単な UI としたために、数回の指導で使用方法の定着を行うことができました。また、手動給餌では、ハンドル操作により給餌口の開閉微調整を頻繁に行うため、どうしても人がその場所を離れることができず、他作業は給餌後しかできませんでした。それを自動給餌にすることで、ハンドル調整作業が不要になったため、その場所を離れることができるようになり、他作業を並行してすることが可能となりました。作業時間の短縮につながったと考えます。さらに自動給餌はハンドル操作のアナログな開閉度合いを開閉レベルとして可視化することで、新人等経験の浅い人材への指導にも活用できると考えます。

イ) 成育管理

- ・成育管理マニュアルの作成

成育管理の運用マニュアルを作成しました。(別紙 養殖管理システムマニュアル参照)

- ・既存業務マニュアルや手順書の確認

従来の給餌の成育管理マニュアルの手順を確認しました。(記録写真)

2/22 (水) 33A・36A

週3給餌の適正給餌量							2月20日週分	
生簀 番号	一尾重量	尾数	設定 給餌量				斃死	餌の種類
□ 105	3.96	2,425	160					イロ-ライナー16
109	4.23	2,463	220					
112	3.92	2,225	220					
113	3.98	2,308	200					
□ 147	3.73	2,254	260					
* 148	3.86	2,341	200	160				
149	3.83	2,392	200	140				
150	3.73	1,884	140	140				
* 151	3.80	2,001	160	120				
合計		2,425	1,760					

大曾根 : 1M 4M 水温 DO

イロ-ライナー16	1,760	88
□	1,060	
☆	700	35

□ 1500 + 1060 = 2560 TB. 3 給 53
* 給. 35

-7

図 4-97 従来の給餌量記録方法

- ・マニュアル外の個別作業内容の確認

成育管理の運用マニュアルの説明したうえで、マニュアル外の個別作業内容を確認しました。給餌量や斃死数に加えて、魚病対策の薬投与などの記録を取ることも必要であるということを確認しました。

- ・研修、トレーニングの実施

12/14、1/13、2/7、2/22 に作成した成育管理の運用マニュアルの研修を実施しました。



図 4-98 研修の様子（成育管理システム）

・既存業務との比較

従来の給餌の成育管理との給餌量の削減効果を比較しました。

従来は、給餌をした漁業者が紙に給餌量や斃死数などを記載し、それを持ち帰り、管理者がその数値をエクセルに記録することを行っていましたが、成育管理システムにより、給餌をした漁業者が現場からスマートフォンで Web に入力することで、管理者がエクセルに入力する労力削減につながりました。

また、海洋観測機「うみログ」に関しては、従来水温などを漁業者が手動で測定していた労力を自動観測により削減することができました。

● 目標達成状況

表 4-23 成育管理における目標達成状況

評価・検証項目	最終目標	検証結果	合否	考察および対応策
マニュアル作成	養殖管理マニュアルの作成	養殖管理マニュアルを作成	○	養殖管理のマニュアルを作成して目標を達成した
研修実施	研修、トレーニングの実施	研修の実施	○	研修、トレーニング実施して目標を達成した
既存業務との比較	業務への影響を確認	作業内容フロー比較	○	従来と給餌量削減効果を比較して目標を達成した

● 考察

成育管理システム、海洋観測機ともに、簡単な Web 操作で入力や表示が可能であるため、漁業者への定着支援に関してもスムーズに行うことができました。今回の実証では、12 月以降の短期的なデータしか収集はできなかったことから、これを継続することで中長期的なデータを蓄積し、さらに分析することで、成育管理の効率化がもっと進むと考えます。

b. 操船確認業務

・操船確認マニュアルの作成

熟練者の検証を行い、事故を未然に防ぐための安全な操船を確認しました。

ただし、熟練者の見解と今回の測定を反映してマニュアル化するには今回の実証期間が短かったことから継続して行っていく必要があります。

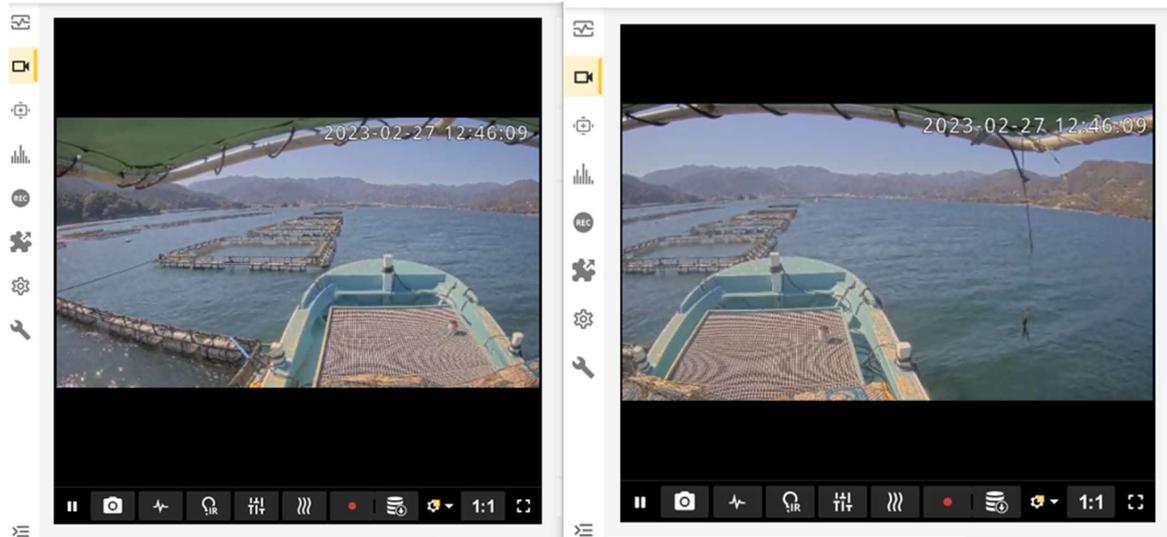


図 4-99 操船確認映像

・研修、トレーニングの実施

2/22 に作成した給餌船の操船における危険性と安全性を向上する運用の研修を実施しました。



図 4-100 操船確認研修の様子

● 目標達成状況

表 4-24 操船確認業務における目標達成状況

評価・検証項目	最終目標	検証結果	合否	考察および対応策
マニュアル作成	マニュアルの作成	熟練者の検証の安全な操船を確認。マニュアル化は継続が必要。	△	熟練者の安全確認をマニュアル化するには継続した期間が必要なため目標は未達成。
研修実施	研修、トレーニングの実施	研修の実施	○	研修、トレーニング実施して目標を達成した。

● 考察

給餌船の操船における危険性について安全性を向上できて新人への指導にも活用できると考えます。

これを継続して従業員からのヒアリングを行い、安全操船に対する意識が変わり、事故を未然に防ぐことになると考えます。

表 4-25 マニュアル作成内容

検証項目	必要事項	評価指数 (現状比較)	指標取得方法	検証方法	検証結果	合否
給餌自動化	給餌業務における作業工数	削減	作業マニュアルおよび作業員へのヒアリングから業務内容を細分化し、それぞれの業務量・時間を確定する。	細分化した業務から、自動給餌を導入することにより削減および追加となる箇所を判定する。	ハンドル操作の手作業が削減されて時間短縮された。	○
	給餌自動化による業務量削減が及ぼす効果	向上	給餌作業と同時に実施ができない業務の内容と必要時間を確定する。	自動給餌中に、これまでは同時に実施できていなかった業務を行い、給餌業務全体の向上が図れているかを確認する。	斃死回収など作業が並行して可能となり時間短縮された。	○
成育管理	作業員のデータ入力、月末棚卸確認等の工数	削減	作業員および管理者へのヒアリングを行い、養殖管理におけるデータ処理作業の業務内容と所要時間を確定する。	導入前の業務と比較し、入力ミス削減や時間短縮などに寄与できているか判定を行う。	管理者がエクセルに入力する労力および手動で測定していた自動観測の労力が削減されて時間短縮された。	○
	成育状況の見える化による生産性	向上	成育管理に必要な成育状態、給餌量、尾数・斃死数、海洋データのそれぞれの項目を収集する。	過去データと比較を行い、データと成育状況の関連性についての特定と、成育状況の予測精度について検証と判定を行う。	過去の海洋データを確認でき、成育状況を予測につながった。	○
操船確認業務	作業員の安全性	向上	給餌船の操船における危険性について、従業員からヒアリングを行い、操船中に確認する項目を確定する。	各項目において映像の有無が安全性向上に資するものであるか確認を行う。	周辺の船舶状況が確認できて安全性が向上した。	△ (継続必要)

(3) 効果検証

1) 検証項目

各ユースケース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、効果検証は本システムの利用者視点から検証項目を選定しました。

表 4-26 効果検証項目

ユースケース	評価観点	効果検証項目	指標取得方法	検証方法	期待される効果
給餌業務	適切な給餌の停止判定	<ul style="list-style-type: none"> 作業量の軽減 コスト削減 業務効率化 安全性向上 	<p>作業マニュアルおよび作業員へのヒアリングから業務内容を細分化し、それぞれの業務量・時間を確定する。</p> <p>給餌作業と同時に実施ができない業務の内容と必要時間を確定する。</p> <p>作業量の削減により捻出できる時間を活用することで安全性の向上に資する行動を確定する。</p>	<p>細分化した業務から、自動給餌を導入することにより削減および追加となる箇所を判定する。</p> <p>自動給餌中に、これまでは同時に実施できていなかった業務を行い、給餌業務全体の向上が図れているかを確認する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 作業員が給餌機を操作する作業軽減による周辺の安全性の向上。 活性状況見落としによる作業員の疲労低減による無駄な餌代の削減。 新人作業時間の人件費、燃料費の削減。
成育管理	情報の収集・記録	<ul style="list-style-type: none"> 業務効率化 コスト削減 省力化 	<p>作業員および管理者へのヒアリングを行い、養殖管理におけるデータ処理作業の業務内容と所要時間を確定する。</p> <p>成育管理に必要な成育状態、給餌量、尾数・斃死数、海洋データのそれぞれの項目を収集する。</p>	<p>導入前の業務と比較し、入力ミス削減や時間短縮などに寄与できているか判定を行う。</p> <p>過去データと比較を行い、データと成育状況の関連性についての特定と、成育状況の予測精度について検証と判定を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 給餌量の記録による業務時間の削減。 海水温度や酸素量データによる人件費・燃料費の削減。 給餌量・海洋データとブリの成育状態の把握により、人が行う給餌と遜色ない。
操船確認業務	遠隔地から乗組員に操船確認を提供	<ul style="list-style-type: none"> 安全性向上 	<p>給餌船の操船における危険性について、従業員からヒアリングを行い、操船中に確認する項目を確定する。</p>	<p>各項目において映像の有無が安全性向上に資するものであるか確認を行う。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 操船の状況が確認できることによる安全性向上。 周辺の船舶状況が確認できることによる安全性向上。

2) 検証方法

本課題解決システムについて定量的かつ定性的な面から効果検証を行いました。

定量面では、現状のブリ養殖現場での省人、省力、給餌量、運用コスト等について検証しました。

定性面では、現場作業員のインタビュー等を通じて作業負担、ストレス、安全性等について確認を行いました。

a. 給餌業務

ア) 給餌自動制御

4K 高精細カメラでリアルタイムに生け簀の状態を撮影し、ローカル 5G で陸上に伝送された映像を用いて精度の高い AI 解析を行い、適切な給餌の停止判定を提供。

表 4-27 効果検証方法

ユースケース	評価観点	効果検証項目	検証方法
給餌業務	適切な給餌の停止判定	<ul style="list-style-type: none">・作業量の軽減・コスト削減・業務効率化・安全性向上	ヒアリング、時間計測 成育管理システム記録

イ) 成育管理

カメラ、スマートブイなどを用いて次の情報を継続して収集・記録を提供。
以下 3 点の効果検証を実施します。

表 4-28 効果検証方法

ユースケース	評価観点	効果検証項目	検証方法
成育管理	情報の収集・記録	<ul style="list-style-type: none">・業務効率化・コスト削減・省力化	成育管理システム記録

b. 操船確認業務

船舶に設置した 4K 高精細カメラ映像を基に遠隔地から乗組員に操船確認を提供。

以下 2 点の効果検証を実施しました。

具体的には、以下の情報が安全な操船に寄与したかを操船者に確認しました。

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。

表 4-29 効果検証方法

ユースケース	評価観点	効果検証項目	検証方法
操船確認業務	遠隔地から乗組員に 操船確認を提供	<ul style="list-style-type: none">・安全性向上	航行映像確認

3) 検証結果および考察

a. 給餌業務

ア) 給餌自動制御

表 4-30 期待される効果（給餌自動制御）

項目	期待される改善内容
安全性向上	・周囲の安全確認を常に行える
人件費・燃費削減	・疲労削減 ・効率化
餌代削減	・最適な給餌判断

● 検証結果

・ヒアリング

1/13、1/18、1/23 に従業員 4 名へのヒアリング情報を確認し、下記のようなコメントリストにまとめました。



図 4-101 研修の様子（自動給餌）

表 4-31 ヒアリング項目（給餌自動制御）

項目	中項目	小項目	現状	実証	結果
給餌業務	適切な給餌の停止判定	作業量の軽減	作業者が水面および魚体を注視し、適時機械に飼料を投入する。	動画をもとにリアルタイムでAIによる適切な給餌を行う。機械への適時飼料の投入に関しては未検証。	AIにより魚の非活性時における給餌の停止は可能。高活性時に給餌量を増加させることに関しては実用レベルではないと判断。
		コスト削減	作業者が給餌状態を観察確認することで低活性時に過給餌にならないよう注意を払っている。	動画をもとにリアルタイムでAIによる適切な給餌を行う。	AIにより魚の非活性時における給餌の停止ができたことで海中への無駄な飼料の投棄が防げた。環境負荷も低減された。
		業務効率化	作業者が水面および魚体を注視し、適時機械に飼料を投入する。	魚の活性にしっかりと適応できるAIの構築。機械への飼料投入に関しては未実証。	上記のようにAIの精度が実用段階に達しなかった。現実証段階では作業の効率化は図られなかった。
		安全性向上	作業者は給餌機械の前に立ち、機械に飼料を投入する。この際機械の作動状況に注意せねばならない。	AIが適切に給餌判定を行うことで機械周辺から離れることができるか。機械への飼料投入に関しては未実証。	AIの給餌判定中において作業者は機械周辺から離れ安全な場所から状況の確認が行えた。

- ・修正することで改善が見込める項目の判定

疲労削減

作業の効率化

AI の精度の向上

- ・許容できる性能の範囲（遅延、情報量）

映像のタイムラグ 1 秒以内 AI の判断にかかる時間は 2 秒以内が望ましい。

- ・削減工数から削減が見込めるコストを試算

給餌作業員の人件費 1/6 程度。完全自動化により一人あたり 6 船分程度の管理が可能になると考えます。

- ・項目ごとの 業務量軽減、時間短縮 の一覧。

現段階では作業の効率化は図られませんでした。今回の実証期間が短かったことから継続して確認していく必要があります。

● 考察

AI の性能の向上は必須。給餌の開始から最も高活性時までの変化への対応、および、活性状況に応じた給餌量の段階的な増減（高活性時に給餌量を増加等）については本実証期間内では対応できていないため、実用レベルで稼働するためには今後も継続的に給餌データ収集と AI 判定精度向上を行う必要があります。

今回の実証では行わなかった「飼料の機械への導入」については船倉に直接飼料を積み込めるタイプの船で実験を行うとよいかもしれない。

カメラ画像が 1fps であったため情報量が少ないと思われましたが、AI が解析するうえでは問題ないと判断されました。

「業務内容を細分化し、それぞれの業務量・時間を確定する。」および「給餌作業と同時に実施ができない業務の内容と必要時間を確定する。」については、 現段階では作業の効率化は図られませんでした。今回の実証期間が短かったことから継続して確認していく必要があります。

イ) 成育管理

表 4-32 記載される効果（成育管理）

項目	期待される改善内容
業務時間短縮	・ 事務所での入力作業の削減
人件費・燃費削減	・ 生け簀状態の遠隔把握 ・ 給餌のタイミングや量等への判定活用
損害回避	・ 斃死回避対策の早期対応

● 検証結果

- ・ ヒアリング

12/14、1/13、2/7、2/22 に従業員 4 名へのヒアリング情報を確認し、下記のようなコメントリストにまとめました。



図 4-102 研修の様子（成育管理システム）

表 4-33 ヒアリング項目（成育管理）

項目	中項目	小項目	現状	実証	結果
成育管理	情報の収集・記録	業務効率化	漁場環境は現地で測定。	うみログの導入。	24時間環境の測定および記録。
		コスト削減	漁場に赴いて環境測定。	うみログの導入。	航行する燃料代、人件費の削減。
		省力化	漁場に赴いて環境測定。 給餌後各自パソコンにデータ入力。	うみログの導入。 養殖管理システムの導入。 ローカル5Gの構築。	パソコンおよび各自スマホにて漁場環境情報を取得。 現地で給餌後データ入力。
	斃死回避	斃死数削減	急な水温変化に対応できず魚病を発生させることもあった。	うみログの導入。	環境変化が適時認識できるので魚病に対し投薬等の先手を打てるようになった。

・修正することで改善が見込める項目の判定

うみログにクロロフィル量、濁度の特殊センサーの増設（赤潮対策）
養殖管理システムの項目の増加、棚卸（月次、年次決算）機能、育成管理 AI の搭載。

・許容できる性能の範囲（遅延、情報量）

うみログの測定間隔と能力に問題はない。情報量に関しては考察にて詳細。
養殖管理システムはアップデートに期待。

・削減工数から削減が見込めるコストを試算

給餌後パソコンへの入力業務削減。
現地に行かずとも状況がわかる。

・項目ごとの 業務量軽減、時間短縮 の一覧

情報収集・記録、斃死回避。
海洋データ・成育データを活用できたことで斃死数削減につながったかの関連性検証。
高水温時や大雨後に代表される魚にストレスがかかるような状況が迅速に得られたことで給餌の調整、中止が行えた。赤潮は発生しなかったため関連性は未検証。

● 考察

うみログの導入により迅速な海洋データが取得できるようになり、給餌や作業の予定が立てや

すくなり、仕事がスムーズに進むようになったと感じます。漁場にカメラが設置されていることで離れた場所からでも時化しているかどうかを確認でき、作業を中止、変更することができたので安全性が向上しました。

現状 30 分に 1 回間隔での環境測定であるが実際その間隔では大きな変化が見られないことが多いため間隔を広げる、もしくは任意の間隔に設定できるようにするとよいかもしれない。

過去のデータが 1 ヶ月分しか見られないため昨対比較ができるとよいと考えます。

今回導入しなかったクロロフィル量、濁度の特殊センサーがあると赤潮の発生時には大いに役立つと考えます。

養殖管理システムはパソコンやスマートフォンに馴染みのない人でも簡単に入力、扱いがしやすくこれまでの給餌量や状態が確認できるので情報の伝達にも最適であると考えます。使っていくうちに改善点が見つかると思われるのでその都度のアップデートに期待できます。

b. 操船確認業務

表 4-34 記載される効果（操船確認業務）

項目	期待される改善内容
安全性向上	・事故の抑止

● 検証結果

- ・ヒアリング

2/22 に従業員 4 名へのヒアリング情報を確認し、下記のようなコメントリストにまとめました。操船における危険性と安全性を向上する運用の研修を実施しました。



図 4-103 操船確認研修の様子

表 4-35 ヒアリング項目（操船確認業務）

項目	中項目	小項目	現状	実証	結果
操船確認業務	遠隔地から乗組員に操船確認を提供	安全性向上	操舵室にて船を操縦	当社事務所に航行映像を確認、指示。	達成

- ・修正することで改善が見込める項目の判定

自動で航行し目的地に到着できる。目的地での係留もしくは停泊。障害物の回避。

- ・許容できる性能の範囲（遅延、情報量）

遅延はないことが望ましい。

情報量は周囲 360 度の視覚と半径数十メートル程度の障害物感知能力。

- ・削減工数から削減が見込めるコストを試算

熟練者の確認の事故の抑止。事故が起きた時の被害コストの回避。

- ・項目ごとの 業務量軽減、時間短縮 の一覧。

熟練者の操船の状況確認。安全を確保した効率的な操船。

- ・安全性の判定

操船時に周辺の船舶状況が確認できて安全性が向上しました。

- 考察

操船中に確認する項目として周辺の船舶状況が確認できて安全性が向上しました。

ただし、自動航行ができて目的地にて船を係留、停泊する方法がなければ実用化は難しいと考えます。

表 4-36 記載される効果（操船確認業務）

項目	期待される改善内容
安全性向上	・事故の抑止

(4) ローカル 5G 活用モデルの有効性等に関する総評

1 つのローカル 5G 基地局から尾鷲湾の複数の養殖生け簀を大容量でセキュアなローカル 5G 通信でカバーしました。

自動給餌制御では、船舶の 4K 高精細カメラで撮影したブリ養殖の生け簀の映像を陸上へ伝送し、瞬時に AI 人工知能が分析した判定結果をもとに船舶の給餌機を遠隔で自動制御する仕組みを安定的なローカル 5G 通信で実現できました。

ローカル 5G 通信との比較で実施した BWA 通信では、AI 判定に必要な生け簀画像の取り込みに約 10～20 秒以上かかり、AI 判定が正常に行われず給餌機の自動制御できない状態になりました。成育管理では、自動給餌システムにより実施したブリ養殖の餌の量などを入力したデータをローカル 5G の安定した通信で伝送し、どこでも容易に可視化できる仕組みが実現できました。

今後のブリ養殖業の拡大のためには、自動給餌システムによる業務の負荷軽減や効率化向上の達成と、成育管理システムで一元化されるデータを基にした給餌計画を組み合わせる活用することが必要となります。

遠隔操船確認では、船舶に搭載した 2 台の 4K 高精細カメラの映像を陸上でリアルタイムに確認できる仕組みをローカル 5G 通信で行い、4K 高精細映像を陸上へリアルタイムに伝送することが実現できました。自動操船へのローカル 5G 活用を想定し、映像やセンサーデータの伝送に必要な情報の取得や今後の取り組み方針も検討しました。

今回の課題実証における自動給餌制御、成育管理、遠隔操船確認の 3 つのソリューションの安定した通信を実現するために、ローカル 5G の高速低遅延の通信環境の有効性が確認されました。

4.3.2 ローカル 5G 活用モデルの実装性に関する検証

(1) 経済性・市場性の検証

1) 検証項目

本実証が取り組む課題解決において、

- ・ 導入および運用にかかるコスト
- ・ 導入により得られる効果
- ・ 市場規模、成長性

について検証を行います。

a. 導入および運用にかかるコスト

ここでは、次の項目に細分化し、検証を行います。

表 4-37 導入および運用にかかるコストの検証項目

項目	詳細
導入費用	サービス提案から提供開始までに必要となる費用についての算出
運用費用	サービスの利用開始に伴い発生する費用について算出。
提供コスト削減方法	導入費用および運用費用についての削減方法についての検討。
最適な提供プラン	利用者が希望するプランを任意に選択できる仕組みについての検討。

導入費用および運用費用については次の表に記載された項目ごとに算出を行います。

表 4-38 検証を行うシステム導入および運用費用

内容	
5Gシステム	基地局単位（事業者単位）
	端末
	コア単位
	免許申請
	バックホール回線構築
成育管理システム（うみログ）	3層水温、溶存酸素量
活性状況判別	ソフトウェア（AI） サーバ&4Kカメラ
給餌自動化システム	給餌機制御部
	制御サーバ
	ソフトウェア
成育管理システム（養殖管理システム）	
遠隔操船確認システム	4Kカメラ×2
SI費等	
5Gシステム	運用支援・ライセンス
	電気代
	バックホール回線利用料
成育管理システム（うみログ）	保守
活性状況判別	保守
給餌自動化システム	保守
成育管理システム（養殖管理システム）	
電波利用料	基地局（sub6）
	端末

b. 導入により得られる効果

直接的、間接的それぞれにおいて次の表に記載された効果について検証を行います。

表 4-39 導入効果検証を行う対象

項目	詳細	
直接的な効果	餌代の削減	コストの6～7割を占める餌代の削減
	生産量向上	データを一元化することによる適正な成育管理による生産量の向上
	給餌業務時間削減	給餌作業中止判定による不要な作業の削減
	業務安全性向上	遠隔からの操船および業務支援による安全性等の向上
間接的な効果	SDGsへの貢献	適切なタイミングで給餌停止することにより、海上汚染の回避
	ワークライフバランスの両立	従業員業務負担軽減によるワークライフバランスの両立

養殖事業者からのヒアリングにより、導入における確認項目を次の通りとしました。

表 4-40 導入における効果確認項目

項目	説明
①餌代	給餌業務で消費される餌において適切な量をコントロールできなければ餌代の負担が増加する。自動化によりベテラン従業員と同等のコントロールが可能となることによる餌代の削減を確認。
②データ入力業務	給餌量、斃死数、魚体サイズ、海水温度等の業務において収集される情報が現在は手書きやバラバラに集計されているため、都度入力業務が発生している。入力業務がシステム化されることによるコスト削減の確認。タブレット等による現地（船上）入力や自動化を行う事でデータ入力作業時間を削減します。
③新人教育	新人や経験が浅い人が一通りの作業を理解し業務をこなせるようになるまではベテラン従業員がつきっきりでサポートを行う。教育にかける時間が削減できることによるコスト等の確認
④給餌作業中止判定	給餌前に生け簀周辺の海洋データを収集し給餌業務の実施判定を行うため、結果によっては作業が中止となる。事務所での中止判定が可能となることによるコストの抑制を確認。
⑤赤潮被害	赤潮が発生するとブリの健康に影響を及ぼし、最悪の場合大量死につながるため、早急な検知が重要となる。検知により対策ができた場合に回避できる損害を検討。

各項目における金額等の定義は次の通りです。

① 餌代

ブリ 1 匹あたりの生産原価が 4,500 円で、餌代は原価の 6 割の 2,700 円となります。

経験の豊かな従業員と浅い従業員が行う給餌業務では給餌機の操作スキルから給餌量の数%に差（無駄）が出ると考えられます。今回は 1%と 5%でブリ 1 匹あたりの餌代における差を試算したところ、

1%の場合 $2,700 \text{ 円} \times 1\% = 27 \text{ 円}$

5%の場合 $2,700 \text{ 円} \times 5\% = 135 \text{ 円}$ となります。

② データ入力業務

現在、従業員一人あたり事務所内で 1 時間/日（20 時間/月）の給餌業務関連のデータ入力作業が発生しています。従業員の人件費は 3,000 円/時間とします。（★）

③ 新人教育

新人が給餌業務を一人でこなせるまでの教育期間は2ヶ月（40日）を要します。教育係となる先輩従業員の人件費を2万円/日、給餌船の燃料費を1,000円/日とします。（★）

④ 給餌作業中止判定

給餌船が生け簀到着後に中止が判明する回数は年間で10日です。

給餌船への餌の搭載や操船などの従業員の人件費と燃料費を2万円/日とします。（★）

⑤ 赤潮被害

尾鷲湾内で尾鷲物産が所有するが生け簀50台、そこで養殖されているブリが200,000尾です。ブリ1尾あたりの卸価格を6,000円とします。（★）

※赤潮の発生が必ず被害につながるものではなく、また、尾鷲物産では赤潮による被害は出ていないため、最悪の事象が発生したと想定した場合の被害額算出となります。

（★）人件費、飼料代等については社内情報となるため報告書記載の金額は参考値となります。

c. 市場規模

日本国内の湾内において生け簀によるブリ養殖を行う事業者をターゲットとします。

事業者数は約640あり、ブリ養殖が可能な西日本地域に集中しています。

そのうち企業体は約260社で残りは個人経営となります。一定の事業規模であると推定される企業体の上位50%となる130社（事業者数全体の約20%）をソリューションの提供対象としました。本実証と同様の大規模事業者は全国でも10社程度となり、多くは中規模事業者になります。

給餌自動化は省人化およびコスト削減が期待できますが、ある程度の投資が必要となるため規模の小さい事業者がメリットを得られるためには大幅な導入コストの軽減が必要です。

d. 成長性

ブリ養殖事業者数は減少傾向にはありますが、生産量は増加傾向にあることと事業者の統合や業務効率化により、規模および売り上げの増加は期待できる産業となっています。

国の方針においても海外へのマーケット開拓を想定とした増産を打ち出しており、さらなる効率化が求められる産業となっています。

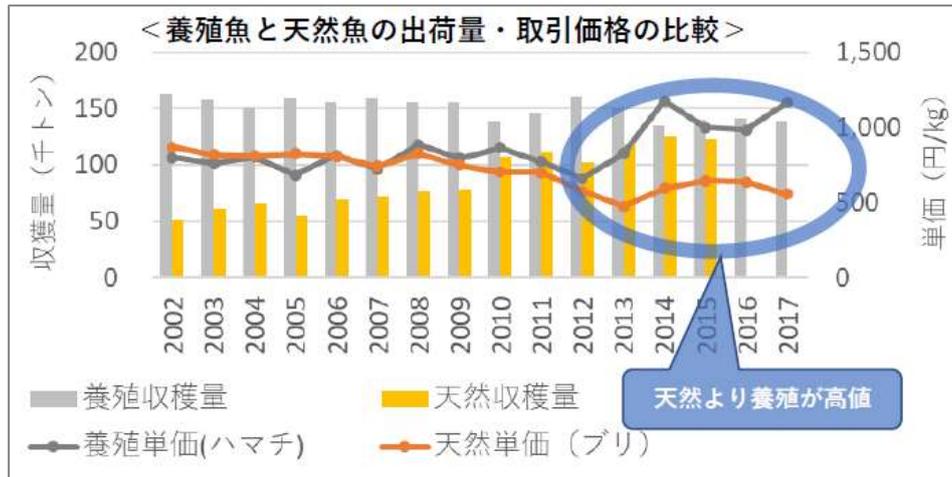


図 4-104 養殖魚と天然魚の出荷量・取引価格の比較
(養殖業成長産業化推進協議会「我が国の養殖業と成長産業化に向けた論点整理」より)

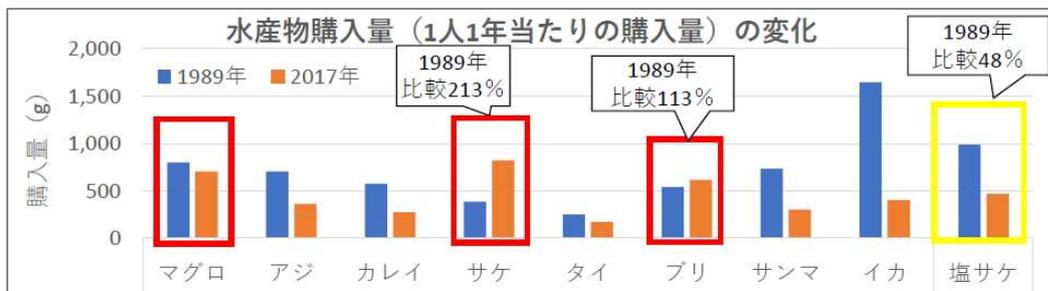


図 4-105 水産物購入量 (1人1年あたりの購入量) の変化
(養殖業成長産業化推進協議会「我が国の養殖業と成長産業化に向けた論点整理」より)

戦略的養殖品目	2030年生産目標	2030年輸出目標	対象マーケット	生産方向
ブリ類 	24万トン	1,600億円	◆北米市場の拡大、アジア・EU市場、国内需要創出 等	□生産性向上による生産拡大、養殖管理の徹底やHACCP導入 等

図 4-106 戦略的養殖品目「ブリ類」の2030年生産目標等
(参考：水産庁「養殖業成長産業化総合戦略について」より)

2) 検証方法

コスト検証についての方針

本実証で構築および運用を担当するコンソーシアムメンバーに対して、実施計画作成時および構築完了後において必要となるコストについてのヒアリングを実施しました。標準仕様化や設備共用が可能なシステムによる削減効果についても確認を行いました。

➤ 導入および運用費用

本実証で得られる費用に関する項目を機能、目的ごとに細分化します。

実装横展開を行うにあたり、細分化した情報を地域性など特定の環境によらない共通のものとの影響があるものについて明確化します。

・提供コスト削減方法

上記にて細分化および明確化したコスト構造を、それぞれの項目において削減可能な箇所およびその方法についての検討を行います。性能とコストがトレードオフとなることも想定されるため、ブリ養殖事業者が求める条件に合う設備が選べるよう複数のラインナップについても検討を行います。

システムを導入するにあたり、ローカル 5G 設備等については初期費用が高額となることが想定されるため、一部もしくは全ての設備をリースやサブスクリプション型で提供する方式を検討します。リースやサブスクリプション型の提供を行う場合の主体となる事業者や運用体制について検討します。

・最適な導入プラン

本実証で構築運用を行う要素毎（基地局、AI、成育管理、事業規模等）の組み合わせについてシミュレーションを行い、ブリ養殖事業者が希望する目的や事業規模、投資可能金額によって最適な組み合わせで利用できるプランが提示できるよう設計を行います。

ブリ養殖事業者が希望するものとしては次を想定しています。

- 生産性向上
- 自動給餌
- 海洋データ
- 成育管理

・導入効果検証についての方針

本実証のユーザ企業である尾鷲物産に対して実証期間中にソリューション導入による効果についてのヒアリングを実施しました。実施計画作成時に取りまとめたコスト面の削減や損害回避だけでなく、間接的な効果についてもコメントを集約します。

表 4-41 導入効果ヒアリング内容

項目	ヒアリング内容
餌代	自動給餌システムを利用することで、適切なタイミングで給餌を停止することにより制御遅れによる無駄な餌をどの程度コスト削減が期待できるか。 <ul style="list-style-type: none"> ・養殖ブリ1尾の生産原価 ・養殖原価に占める餌代 ・システムによる餌の削減率
データ入力業務	成育管理システムを活用することでデータ入力業務に要する時間についてどの程度削減が見込めるか。 <ul style="list-style-type: none"> ・従業員が一日あたりのデータ入力に要する時間 ・削減が期待できる時間 ・従業員の時間単価。
新人教育	新人等経験の浅い人材が一人で給餌業務を行えるようになるために必要となる教育コストの確認 <ul style="list-style-type: none"> ・新人教育で削減が期待できる時間。 ・ベテラン従業員の人件費。
給餌作業中止判定	生け簀到着後に水温や水質等の理由で給餌が中止となった場合に発生する損害額を算出。 <ul style="list-style-type: none"> ・年間あたりの給餌業務中止回数。 ・中止1回あたりで発生する無駄なコスト。
赤潮被害	赤潮発生により生け簀内のブリが全滅をした場合に逸する売り上げを確認。 <ul style="list-style-type: none"> ・ブリ1匹あたりの卸価格 ・所有する生け簀数

長期的な検証や、突発的な災害など実証期間中では検証が完了しない項目については実証事業完了後も継続を予定しています。

- ・市場規模、成長性検証についての方針

前述のコスト構造や直接的、間接的な効果についてコンソーシアムメンバーそれぞれの専門分野の視点からのご意見を収集、また、養殖事業に関するセミナーやイベント等へ参加して最新の情報を収集し、市場規模および成長性についての整理を行います。

コンソーシアムメンバーの水産系商社や開発事業者が取り引きのあるブリ養殖事業者や水産養殖に関連する団体等に向けて、本システムの現地視察会を開催し、ニーズや期待する機能、費用感などの聞き取りを行い、リアルな需要についての把握を行います。

尾鷲物産のグループ会社でもある大規模事業者に対して、尾鷲物産を通してヒアリングを行い、需要確認を行います。

実証終了後の1年間で発生する自然災害（赤潮、台風等）や新人教育などのイベントへの導入効果が見えてくる来年度後半以降でソリューション紹介や導入意向のヒアリングを検討します。

3) 検証結果および考察

検証結果は次の通りです。

a. コスト検証

導入運用に必要なコストについて、実証期間を通じて得られた情報、およびコンソーシアムメンバー内への確認を行い、取りまとめを行いました。

コスト削減についてもサブスクリプションモデル採用による初期導入費用の軽減やサーバ等設備の共通での運用、ローカル 5G 設備の本ソリューション以外での共用によるコスト案分についても検討を行った。

表 4-42 導入・運用・コスト削減

内容		導入費用 円 (税別)	運用費用 円/年 (税別)	コスト削減方法
5Gシステム	基地局単位 (事業者単位)	5,100,000	-	RL配下での共同利用
	端末	200,000	-	
	コア単位	17,700,000	-	利用者の増加による、1事業者あたりの負担低減
	免許申請	250,000	-	
	バックホール回線構築	300,000	-	
成育管理システム (うみログ)	3層水温、溶存酸素量	1,350,000	-	利用者の増加による、1事業者あたりの負担低減
活性化状況判別	ソフトウェア (AI)	2,800,000	-	標準仕様化による横展開
	サーバ&4Kカメラ	1,560,000	-	サーバ共用による1事業者あたりの負担低減
給餌自動化システム	給餌機制御部	4,160,000	-	標準仕様化による横展開
	制御サーバ	2,838,000	-	サーバ共用による1事業者あたりの負担低減
	ソフトウェア	5,096,000	-	標準仕様化による横展開
成育管理システム (養殖管理システム)		2,040,000	-	標準仕様化による横展開
遠隔操船確認システム	4Kカメラ×2	1,040,000	-	
SI費等		12,180,150	-	
5Gシステム	運用支援・ライセンス	-	4,800,000	利用者の増加による、1事業者あたりの負担低減
	電気代	-	60,000	
	バックホール回線利用料	-	900,000	
成育管理システム (うみログ)	保守	-	150,000	
活性化状況判別	保守	-	540,000	サーバ共用による1事業者あたりの負担低減
給餌自動化システム	保守	-	960,000	サーバ共用による1事業者あたりの負担低減
成育管理システム (養殖管理システム)		-	600,000	
電波利用料	基地局 (sub6)	-	5,900	
	端末	-	370	
合計		52,780,850	7,976,270	

コスト削減方法として、サブスクリプション型の提供モデルを検討しました。実装・運用の結果および関係者へのヒアリング結果から、地域性や既存の給餌船の仕様など特定の環境に影響する「給餌機の改修」および「養殖管理システム」は今回の実証にて導入したものを標準仕様とし、試算しました。最低利用期間は5年間とし、提供者としては5年間でペイ可能な試算としました。

① 5G システム

上記コスト検証から、利用者増加により減額（按分）できる費用は以下の通り。

表 4-43 5G システムサブスクコスト検討①（単位：円（税別））

項目	導入費用	月額運用費用
1事業者あたりのコスト	5,100,000	100,000
コア運営に係るコスト（按分対象）	17,700,000	300,000

基地局単位での提供となった場合に、コアを共用する利用事業者数に応じて、サブスクリプション型の提供金額（月額）を検討しました。

表 4-44 5G システムサブスクコスト検討②（単位：円（税別））

コアを共用する事業者数	1	2	3	4	5
1事業者あたりの提供額（月額）	780,000	483,000	383,000	334,000	304,000

港湾の管理など、本ソリューション以外での基地局共用の場合は、以下の通りとなります。

表 4-45 5G システムサブスクコスト検討③（単位：円（税別））

基地局1局を共用する事業者数	1	2	3	4	5
1事業者あたりの提供額（月額）	780,000	390,000	260,000	195,000	156,000

② 自動給餌システム

活性状況判別 AI および自動給餌機の制御部、制御ソフトウェアは今回導入仕様を標準仕様として横展開する想定で、サブスクリプション型の提供モデルを試算しました。

表 4-46 自動給餌システムサブスクコスト検討①（単位：円（税別））

項目	小項目	導入費用	運用費用（月額）	備考
活性状況判別	ソフトウェア（AI）	300,000	45,000	標準仕様として横展開
	サーバ	1,000,000		
	4Kカメラ	560,000		
給餌自動化システム	給餌機制御部	2,160,000	80,000	標準仕様として横展開
	サーバ	2,838,000		
	ソフトウェア	500,000		
自動給餌システム 月額利用料				248,000

③ 成育管理システム

「うみログ」は事業者ごとに1台を設置、養殖管理システムは今回導入仕様を標準仕様として横展開する想定で、サブスクリプション型の提供モデルを試算しました。

表 4-47 成育管理サブスクコスト検討①（単位：円（税別））

項目	導入費用	運用費用（月額）	備考
うみログ	1,350,000	12,500	
養殖管理システム	300,000	50,000	標準仕様として横展開
うみログ 月額利用料			35,000
養殖管理システム 月額利用料			55,000
成育管理システム（上記合計） 月額利用料			90,000

④ 遠隔操船確認システム

表 4-48 遠隔操船確認サブスクコスト検討①（単位：円（税別））

項目	導入費用	運用費用（月額）	備考
遠隔操船確認システム	1,560,000	-	
遠隔操船確認システム 月額利用料			41,300

● 考察

本実証で構築したソリューションを標準仕様としたこと、複数ユーザで設備を共用することによる費用案分により、本実証による構築コストの半分以下でソリューションの導入が可能となりました。

b. 導入効果検証

本実証のユーザ企業である尾鷲物産に対してヒアリングを行いました。

ヒアリングのタイミングと内容については、実証開始前に事業規模等の基本情報とソリューションが機能することにより期待できる削減や損害回避についての項目について確認を行いました。

表 4-49 実証実施前ヒアリング

項目	回答	
ヒアリング対象	尾鷲物産株式会社	
ヒアリング実施日	9月12日、1月5日	
事業規模	従業員数（ブリ養殖）	25名
	給餌船隻数	8隻
	生け簀数	280
	年間生産量	50万尾 2,500トン（グループ全体 80万尾）
	将来の増産計画	グループ全体で100万尾（5,000トン）目標

また、実証期間中にはソリューションの稼働状況から想定通りの結果が得られるかの見込みと削減や損害回避による費用視点での算出およびソリューション導入において希望する性能やコストについての確認を行いました。

表 4-50 実証期間中ヒアリング

	自動給餌システム	成育管理システム
ヒアリング対象	尾鷲物産株式会社	
ヒアリング実施日	2月9日、2月17日	
必要性	有	有
希望コスト	削減コストの6分の1以下	削減コストの6分の1以下
希望性能	労力の大幅削減。そのためには年間を通じて高精度の自動給餌判定や給餌量を段階的に制御できる機能が必要。	期待するデータを収集しており、業務にも活用できている。
導入時期	開発を継続して、上記の性能が早期に達成できたら検討	

希望コストを削減額の6分の1とする根拠については、魚体サイズ計測に係る費用を従業員による手作業から外部のシステムに切り替えた際に達成できた削減コストとなり、一つの指標としています。

表 4-51 導入効果検証

効果区分	項目	内容	結果
ヒアリング対象		尾鷲物産株式会社	
ヒアリング実施日		2月17日	
直接的な効果	餌代の削減	コストの6～7割を占める餌代の削減	AIにより魚の非活性時における給餌の停止ができたことで海中への無駄な飼料の投棄が防げた。
	生産量向上	データを一元化することによる適正な成育管理による生産量の向上	成育に関するデータの一元管理が可能となり、給餌計画などの検討にも活用が期待できる。
	給餌業務時間削減	給餌作業中止判定による不要な作業の削減	給餌作業の中止判定に活用できたことで時間とコスト両面の削減につながった。
	業務安全性向上	遠隔からの操船および業務支援による安全性等の向上	AIの給餌判定中において作業者は機械周辺から離れ安全な場所から状況の確認が行えた。
間接的な効果	SDGsへの貢献	適切なタイミングで給餌停止することにより、海上汚染の回避	無駄な飼料の投棄が防げるようになることで環境負荷が低減される。
	ワークライフバランスの両立	従業員業務負担軽減によるワークライフバランスの両立	負担軽減効果が継続できればワークライフバランスが両立できる。

ソリューションが機能することにより削減できる費用もしくは回避可能な被害額について尾鷲物産へのヒアリングと算出を行いました。なお、削減効果については検証期間が短いため想定によるものとなります。最終的な結果判定は継続運用を行う事で精度を高めていきます。

表 4-52 削減額と回避できる被害額

項目	ヒアリング結果	想定削減額・被害回避額	コメント
ヒアリング対象		尾鷲物産株式会社	
ヒアリング実施日		9月12日、12月19日、2月17日	
餌代	生産原価：4,500円 2年間のコスト 餌代：2,700円 生産原価の6割 削減率：1% 生け簀数：50台（200,000尾）	想定削減額 $200,000 \text{ 尾} \times 2,700 \text{ 円} \times 1\%$ =540万円/2年	ベテラン従業員と遜色ない精度で停止判定できている。長期運用によるデータがないため削減率は想定による数値です。
データ入力業務	従業員数：25人 入力時間：1時間/日（20時間/月） 削減時間：0.5時間/日（10時間/月） 時間単価：3,000円	想定削減額 $10 \text{ 時間} \times 25 \text{ 人} \times 3,000 \text{ 円}$ =75万円/月	業界全体としてデジタル化が達成できていないので導入によるメリットは大きく、需要もあると思われる。
新人教育	削減が期待できる日数：40日 ベテラン人件費：2万円 燃料費：1,000円/日	想定削減額 $40 \text{ 日} \times (2 \text{ 万円} + 1,000 \text{ 円})$ =840,000円	コスト面だけでなく削減できた時間を資格取得等の教育に充てることができるメリットもある。
給餌作業中止判定	中止回数：10回 船舶数：8隻 発生コスト：2万円	想定削減額 $8 \text{ 隻} \times 20,000 \text{ 円} \times 10 \text{ 日} =$ 160万円	実際に作業中止判定を行った。 また、ブリを別の生け簀に移動する際にも水温等海洋データが活用できる。
赤潮被害	卸価格：6,000円 生け簀数：50台（200,000尾）	被害回避額 $200,000 \text{ 尾} \times 6,000 \text{ 円} = 12$ 億円	赤潮発生により生け簀のブリが全滅をした場合に想定される被害額のため、導入による削減効果ではありません。

- 市場規模、成長性検証

1月に三重県内の水産業関連団体が参加するスマート水産業シンポジウムに参加し、水産業におけるスマート化の現状についての情報収集を行うとともに、本ソリューションの取り組みについても発信を行いました。

3月以降もシンポジウムおよび技術研修会等の開催が予定されており、コンソーシアムメンバーにて参加や発表を行います。

尾鷲物産へのヒアリングからはグループ会社では養殖業務担当の従業員の平均年齢が50歳を超えており今後は高齢化による労働力の低下やデジタルデバイスへの対応が苦手な従業員によるアナログ管理からデジタル化への移行も進んでいません。グループ全体の生産量は現在の80万尾(4,000トン)から100万尾(5,000トン)への増産を計画していることもありソリューションが活用できると考えています。

グループ以外の事業者に向けては、1年間で発生する自然災害(赤潮、台風等)や新人教育などのイベントへの導入効果が見えてくる来年度後半以降でソリューション紹介や導入意向のヒアリングを検討します。

- 考察

当初より事業規模の大小にかかわらず労働力低下、デジタル化対応、生産量増加が今後の養殖業界としての重要な課題であったが、尾鷲物産へのソリューション使用後のヒアリングから、本実証で取り組むソリューションが上記課題の解決につながることであり、さらには多くの事業者に対して需要が期待できることが確認できた。

(2) 運用スキーム・ビジネスモデルの検討

1) 検証項目

運用スキーム・ビジネスモデル作成にあたり次の項目について検討を行います。

a. 提供するソリューションにおける機能要件および非機能要件

- 機能要件

- ・ローカル5G
 - 高速通信および安定稼働
- ・給餌自動化システム
 - カメラ性能
 - AIサーバの判定性能
 - 給餌機制御

- ・ブリ養殖成育管理システム
 - 成育管理システム
 - 養殖管理
 - 海洋データ収集
- ・操船業務支援
 - カメラ性能
- ・自動操船（本実証においては将来の自動操船の導入に向けた参考のためのデータ収集となるため全ての要件を満たすものではありません）
 - カメラ性能、設置台数。
 - 通信性能

- 非機能要件

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。

- ・障害対策やバックアップ等の冗長構成
- ・セキュリティ対策
- ・障害時対応

b. 最適なネットワーク・システム構成

本実証におけるシステムの稼働に必要なネットワーク・システム構成について検討します。設計段階における構成は以下の通りです。

- ・ローカル 5G 構成
- ・サーバ室
- ・給餌船
- ・その他のネットワーク・システム

c. 設備・機器やデータ等の所有や継続的な運用・管理の方法

次のシステムについて検討します。

- ・ローカル 5G
- ・自動給餌システム
- ・成育管理システム
- ・操船業務支援システム

d. 運用体制・事業スキーム（免許人・ネットワーク・システム構築・運用やサービス提供

など関係者間の役割分担・費用分担も含めた関係者間の契約の在り方等)

次の役割について検討します。

- ・事業主体ユーザ提案、サポート
- ・無線免許
- ・全体 SI
- ・ローカル 5G
- ・AI システム
- ・給餌システム・成育管理システム
- ・普及展開
- ・導入事業者紹介
- ・横展開支援

e. 業務フロー

次の項目について手順を検討します。

- ・システム提案、実装機能確定
- ・詳細調査・設計
- ・免許申請
- ・既存業務マニュアルや手順書の確認
- ・マニュアル外の個別作業内容の確認
- ・システム構築・マニュアルの作成
- ・研修、トレーニングの実施
- ・既存業務との比較
- ・テスト稼働

2) 検証方法

a. 機能要件・非機能要件

実証環境において実装横展開時にも要件を満たす性能を有するかの確認を行います。

b. 最適なネットワーク・システム構成

実証環境の完成時には最適な構成となるよう、設計段階の構成から随時見直しを行います。事前にラボ等での検証を実施し、必要に応じて設計の変更を行います。

c. 設備・機器やデータ等の所有や継続的な運用・管理の方法

長期運用が前提のシステムとなるため、各社の専任担当者が定期的な打合せを行い、運用管理の方法について見直しを図れる体制やルールの作成を検討します。

事業規模や導入地域などの個別の要因により、変更される項目についても洗い出しを行い、明確化します。

d. 運用体制・事業スキーム

実証期間中に関係者間の役割分担や費用分担を明確化するため、ビジネスモデルキャンバスや事業構造を用いた体制を作成します。

具体的な実装までの導入期における資金確保やその運用についての具体的な方策について検討を行います。

上記2点の実施には次の取り組みを経たうえで作成を行います。

- ・ コンソーシアムメンバー内で情報を共有し十分に協議を行い、合意を得る。
- ・ 作成した体制およびスキームについてコンソーシアム構成員以外の水産会社、水産系商社など関連事業者や団体、潜在的ユーザ等への意見聴取や調査を行い、反映させる。

e. 業務フロー

業務フローについて実証フィールドとなる尾鷲物産および実装時の利用主体となるブリ養殖事業者への意見聴取を行い、ご意見を反映し最適化します。

事業規模や導入地域などの個別の要因により、変更される項目やフローについても検証し、作成します。

3) 検証結果および考察

a. 機能要件・非機能要件

● 機能要件

・ ローカル 5G

➤ 高速通信および安定稼働



有効性等に関する検証結果にも記載の通り、本実証における機能要件を満たす性能（高速通信・安定稼働）を確認。海面養殖におけるエリア環境の特徴から、横展開時にもフィールド条件が及ぼす影響に大きな差はなく、問題ない。

・ 給餌自動化システム

▶ カメラ性能



有効性等に関する検証結果にも記載の通り、求める通りの機能要件で AI 判定が実現できており、機能要件を満たす。横展開時にも求められる性能に差異はないため、問題ない。

・ AI サーバの判定性能



有効性等に関する検証結果にも記載の通り、目標値以内での AI 判定が実現できており、本実証においては機能要件を満たすことを確認した。

しかしながら、1 シーズンでの検証しか済んでおらず、異なる季節（活性状況や撮影画像に差がある）でも要件を満たす性能を有するかは、断定できず、実装横展開時において要件を満たすか否かは引き続き検証が必要。

・ 給餌機制御



有効性等に関する検証結果にも記載の通り、本実証においては目標値以内での給餌機制御が実現できており、最低限の機能要件を満たすことを確認。

しかしながら、短期間での構築・検証において、手動制御同様に多段階でのシャッター制御までは実現ができず、実装・横展開に向けての機能要件としては不十分なため、引き続き検証、実装化を進める必要がある。

・ ブリ養殖成育管理システム

▶ 成育管理システム



ユーザ企業である「尾鷲物産」へのヒアリングを通じて、必要とされる情報を網羅。事業者によって異なる情報はカスタマイズが可能な仕様とし、実装横展開時にも問題なく機能要件を満たす。

▶ 養殖管理



WEBブラウザによる入力・閲覧を基本操作とし、クラウド上でのシステム構築を採用。デバイスやネットワークに依存せず、任意のタイミングでの入力・閲覧を可能とし、実装横展開時における機能要件を満たす。

▶ 海洋データ収集



一定間隔での各種センサーで取得した情報のクラウド上への保存およびソーラーパネルによる装置の稼働が問題なくできており、機能要件を満たす。横展開時にも求められる性能に差異はないため、問題ない。

・ 操船業務支援

▶ カメラ性能

⇒給餌業務および操船業務において作業内容が把握できる 4K 高精細かつ遅延なく撮影できる性能が必要です。

・自動操船(本実証においては将来の自動操船の導入に向けた参考のためのデータ収集となるため全ての要件を満たすものではありません)

➤ カメラ性能、設置台数

⇒4m 先の船を 210pix より大きなサイズで撮影ができる性能を有する機能が必要です。全方位をカバーするために7台の高精細カメラを設置する必要があります。

・通信性能

⇒高精細カメラ7台分の通信量を毎秒1フレーム送信できる性能が必要です。

カメラのスペック、設置場所。

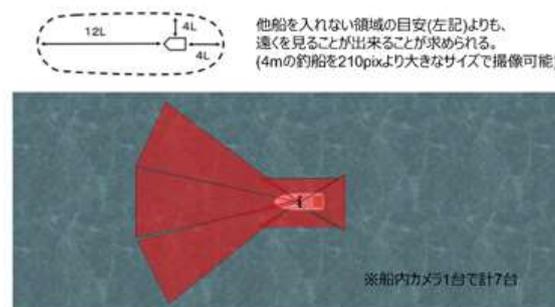


図 4-107 カメラのスペック、設置場所

● 非機能要件

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。

・障害対策やバックアップ等の冗長構成



陸上に設置するローカル 5G コア NW 設備や各オンプレサーバにおいては、障害対策として冗長構成が可能であることを確認。船舶上では設置スペース等の問題から、冗長構成ではなく、予備機器の配備による保守が妥当であることを確認した。

コストに大きく影響するため、実装横展開時には実装先との協議検討が必要。

・セキュリティ対策



ローカル 5G コア設備、自動給餌、AI 判定など主要サーバをオンプレ構成とすることで、閉域構成のローカル 5G ネットワークによるソリューションの稼働を実現。外部ネットワークからの侵入対策を講じた他、主要設備はセ

セキュリティ対策が施された施設へ設置。
実装横展開時も同構成での導入が可能。

・障害時対応

停止許容時間や重要度などに合わせてユーザ企業との障害時対応内容に関する協議検討が必要。



他エリアでの横展開時にもケーブルテレビ会社（登録電気通信事業者）が主体となるビジネスモデルを検討しており、従来の電気通信事業の役務提供における要件と大きな差異がないことから、問題ないと判断。

b. 最適なネットワーク・システム構成

本ソリューションにおけるシステムの稼働に必要なネットワーク・システム構成について検討しました。

ネットワーク・システム構成は以下の通りです。

・ローカル 5G 構成

養殖生け簀のエリアカバーを目的に最適な置局位置を選定し、ローカル 5G 基地局を設置します。給餌船との通信にローカル 5G を利用します。給餌船側ではローカル 5G の安定した送受信を行うために、船舶上部などに端末を設置します。

ローカル 5G コアシステムについては CATV 事業者のサーバ室内にオンプレ型のサーバを設置します。複数のユーザでコアシステムを共用することで運用コストの低減にもつなげます。

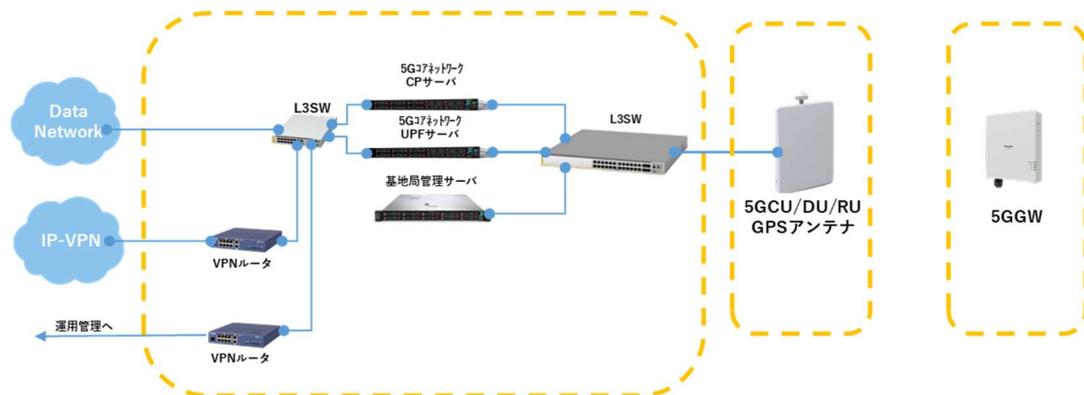


図 4-108 ローカル 5G 構成

・サーバ室

ローカル 5G コアネットワークシステムおよび給餌船からの高精細映像を蓄積するためのストレージ、給餌時の活性状況を AI 判定するためのサーバ、給餌船の給餌機を遠隔制御するためのサーバや各ネットワークを中継・ルーティングするためのスイッチを設置します。

サーバ室は無停電電源装置および発電機を整備することで停電によるサービスの停止やデータの損失を回避します。

AI 判定システムや給餌機制御サーバの稼働状況が必要なタイミングで確認できるよう遠隔からアクセス可能なネットワークを用意します。

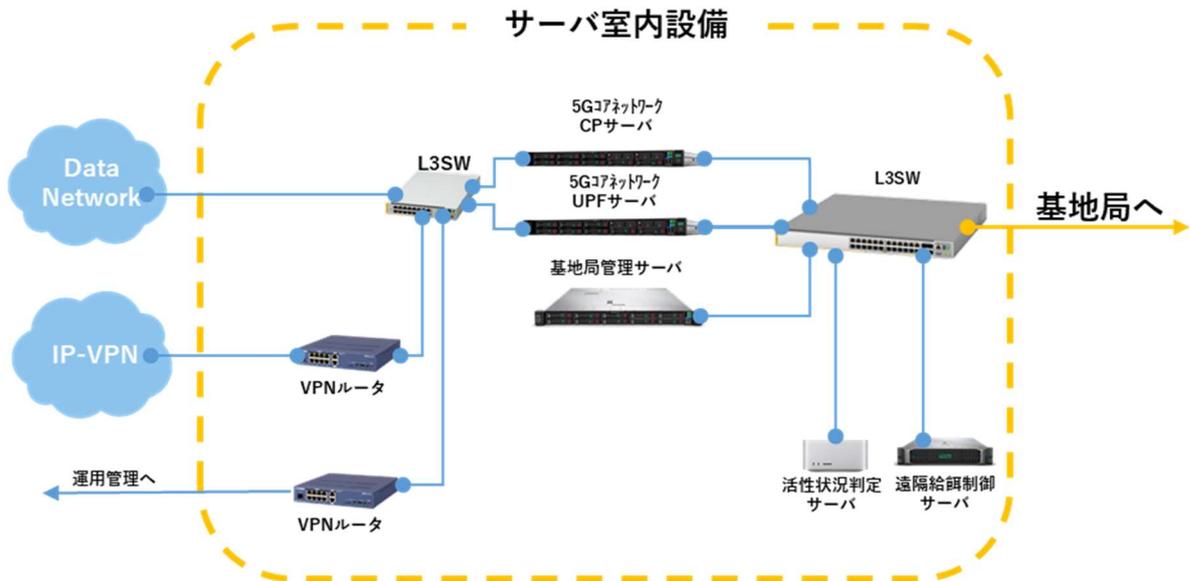


図 4-109 サーバ室設備構成

・給餌船

5G 端末および 4K カメラ、給餌機を遠隔制御するためのシステムを給餌船に設置します。

5G 端末は給餌船の屋根の上に設置することで全方位の電波を受信することが可能です。

4K カメラで撮影された各映像はローカル 5G ネットワークを通じてサーバ室へ伝送されます。伝送された映像はサーバ室内の活性状況判定サーバにて活性状況が AI 判定され、遠隔給餌制御サーバにてローカル 5G ネットワークを通じて給餌機の自動制御を行います。

給餌機については、遠隔制御が可能な新たな船舶や給餌設備を導入するものではなく、既存給餌機の可動部に機構を追加します。従来人力で操作が必要であった操作部の改造により、ネットワークによる遠隔制御を実現します。

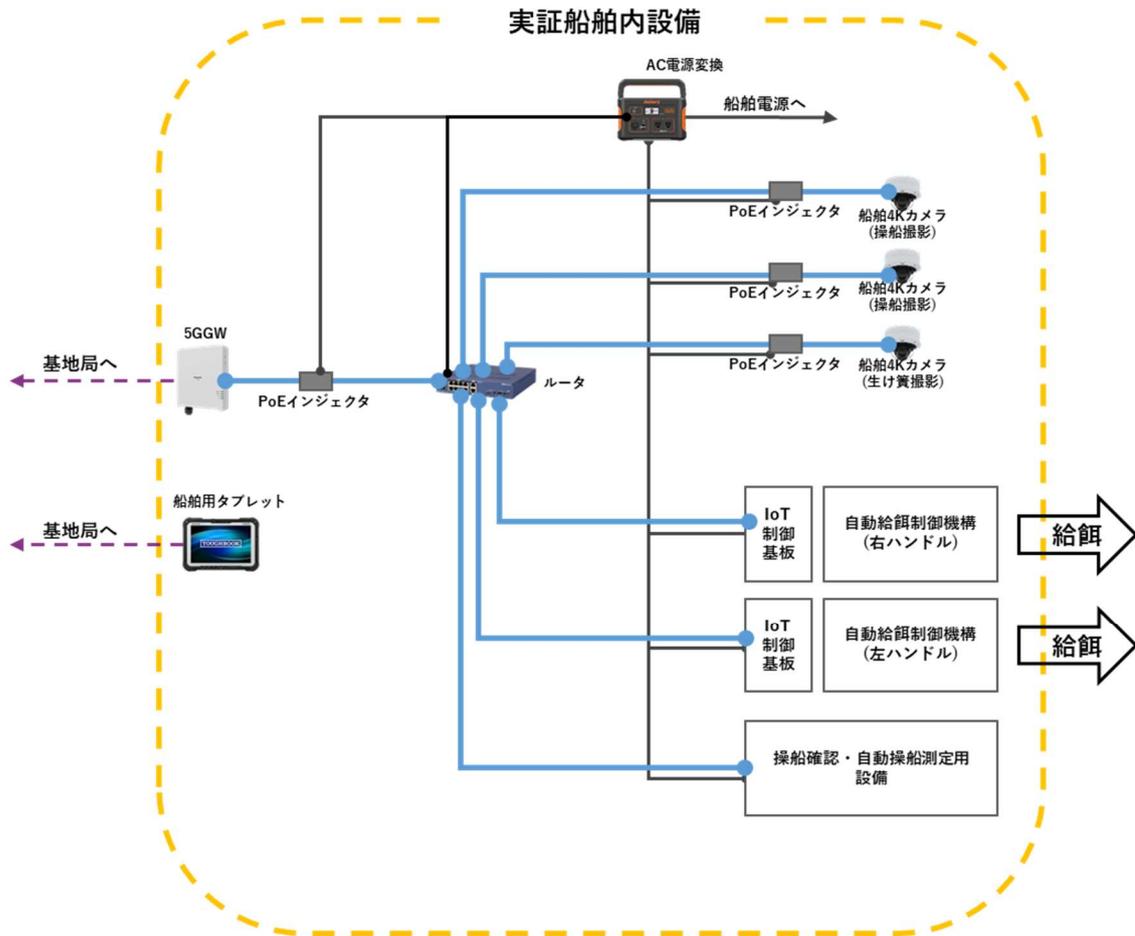


図 4-110 船舶内設備構成

・その他のネットワーク・システム

5G の特徴である、高速大容量・超低遅延のデータ通信を必要としない通信については、構成上、より安価に構築・利用が可能なネットワーク・サービスを選択します。

現在、海上で継続的に利用するための性能（防水、防錆、消費電力等）を備えたローカル 5G 端末が存在しないこと、および、海洋データを計測するためセンサー（うみログ）を用いて本実証で取得するデータには大容量通信を必要としないため、低消費電力で海上利用の実績があるキャリア LTE の端末を利用します。

タブレット端末等による給餌量の記録・管理およびうみログ取得データの閲覧については、低遅延通信は必要ないため、パブリッククラウドサービスを利用します。

将来的には、うみログに搭載する高精細カメラによる養殖魚の生け簀内での成育状況や餌の食べ具合、多数のセンサーによる海中の環境の変化が詳細かつ断続的に収集可能となると、成育管理における精度が大きく向上することになり、さらなる漁獲量の増加や業務の効率化につながることを期待できます。そのため高精細映像や海中の環境情報の収集には大容量通信が可能なローカル 5G が必須になると考えます。

これらが達成できるよう、海上利用が可能で低消費電力で稼働するローカル 5G 端末開発の要望をベンダに行って参ります。



図 4-111 海洋データ取得センサー（うみログ）構成

c. 設備・機器やデータ等の所有や継続的な運用・管理の方法

本実証において構築した設備・機器については実証終了後も継続使用を行います。コンソーシアムメンバーが事業終了後の運用に必要な体制を継続します。

次年度についてはそれぞれが所有する設備・機器に応じて費用負担を行います。

正式導入時の運用・管理体制については次の表の通りです。

表 4-53 本実証時に整備する各システム・機器と運用・管理区分

項目	対象となる設備等	実証終了後の取り扱い	運用・管理	費用負担
ローカル 5G	無線基地局	次年度も実験試験局として継続運用。	ZTV	ZTV、尾鷲物産
	コアシステム	継続運用	ZTV	ZTV、尾鷲物産
自動給餌システム	AI サーバ	継続運用。精度向上に向けた機能改善を検討。	鳥羽商船高専	尾鷲物産
	給餌機制御システム	継続運用	アイエスイー	尾鷲物産
成育管理システム	海洋データ収集	継続運用	アイエスイー	尾鷲物産
	データ管理	クラウド契約を継続。	アイエスイー	尾鷲物産
操船業務支援システム	4K 高精細カメラ	継続運用	尾鷲物産	

実装横展開時における運用管理および費用負担は以下の表の体制を想定しています。

表 4-54 横展開時に整備する各システム・機器と運用・管理区分

項目	対象となる設備等	運用・管理	費用負担
ローカル 5G	無線基地局・コアシステム	CATV 会社	ブリ養殖事業者
自動給餌システム	AI サーバ	鳥羽商船高専	ブリ養殖事業者
	給餌機制御システム	アイエスイー	ブリ養殖事業者
成育管理システム	海洋データ収集	アイエスイー	ブリ養殖事業者
	データ管理	アイエスイー	ブリ養殖事業者
操船業務支援システム	4K 高精細カメラ	ブリ養殖事業者	

d. 運用体制・事業スキーム

本実証のコンソーシアムメンバーを中心とした運用体制を実証終了後の継続環境でも維持します。実装横展開においては、地域の CATV 事業者が実装の主体となる体制を想定しています。

SI については、地域の CATV 事業者の持つ資産を最大限活用するためには、ケーブルテレビ事業において平時より提携を行っている SI 事業者との連携が即時性を求められる保守等において一番スムーズと考えます。

表 4-55 横展開時の役割

役割	役割詳細	本実証 (三重県尾鷲物産)	次年度サービ スエリア (愛媛)	全国 CATV サービスエリア
事業主体ユーザ 提案、サポート	ブリ養殖事業者への提案	ZTV	ZTV	地域 CATV 事業者もしくは 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	地元 CATV 事業者	地域 CATV 事業者
全体 SI	ローカル 5G、自動給餌システム等のシステム全体統合	シンクレイヤ	シンクレイヤ	地域 CATV 事業者と連携する SI 事業者もしくはシンクレイヤ
ローカル 5G	自動給餌システム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	パナソニックコネクト	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	鳥羽商船	鳥羽商船	鳥羽商船

	ムの構築			
給餌システム・ 成育管理システム	給餌システム・成育管理 システム構築および給 餌船等への設置	アイエスイー	アイエスイー	アイエスイー
普及展開	全国のブリ養殖事業者 に対し、本実証モデルの 普及を個別に働きかけ を行う	—	—	地域 CATV 事業者
導入事業者紹介	ブリ養殖事業者をケーブ ルテレビ事業者に紹介	—	尾鷲物産	アイエスイー ニチモウ
横展開支援	加盟する正会員オペ レーター向けに説明会・個 別説明を実施	—	—	日本ケーブルテレビ 連盟 および ZTV

e. 業務フロー

提案から運用までのフローとして次の手順となります。

・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り当てる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フロー図に記載の通りです。ブリ養殖会社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。

・既存業務マニュアルや手順書の確認

ブリ養殖業務について、運用担当者へのヒアリングや資料閲覧、実施調査等により作業工程毎の業務内容の洗い出しを行います。

・マニュアル外の個別作業内容の確認

マニュアル等には記載されない業務について、本実証で導入するシステムの運用に影響を及ぼ

すことがないかを担当者にヒアリングを行います。

- ・システム構築・マニュアルの作成

上記結果を反映したシステムの構築およびマニュアルの作成を行います。

- ・テスト稼働

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。

- ・研修、トレーニングの実施

正式運用に向けた研修、トレーニングを実施します。

参加者からのフィードバックを受け、システムおよびマニュアルの修正を行います。

- ・既存業務との比較

正式稼働後の運用によりこれまでの業務への影響を確認し、必要に応じてマニュアルの修正を行います。

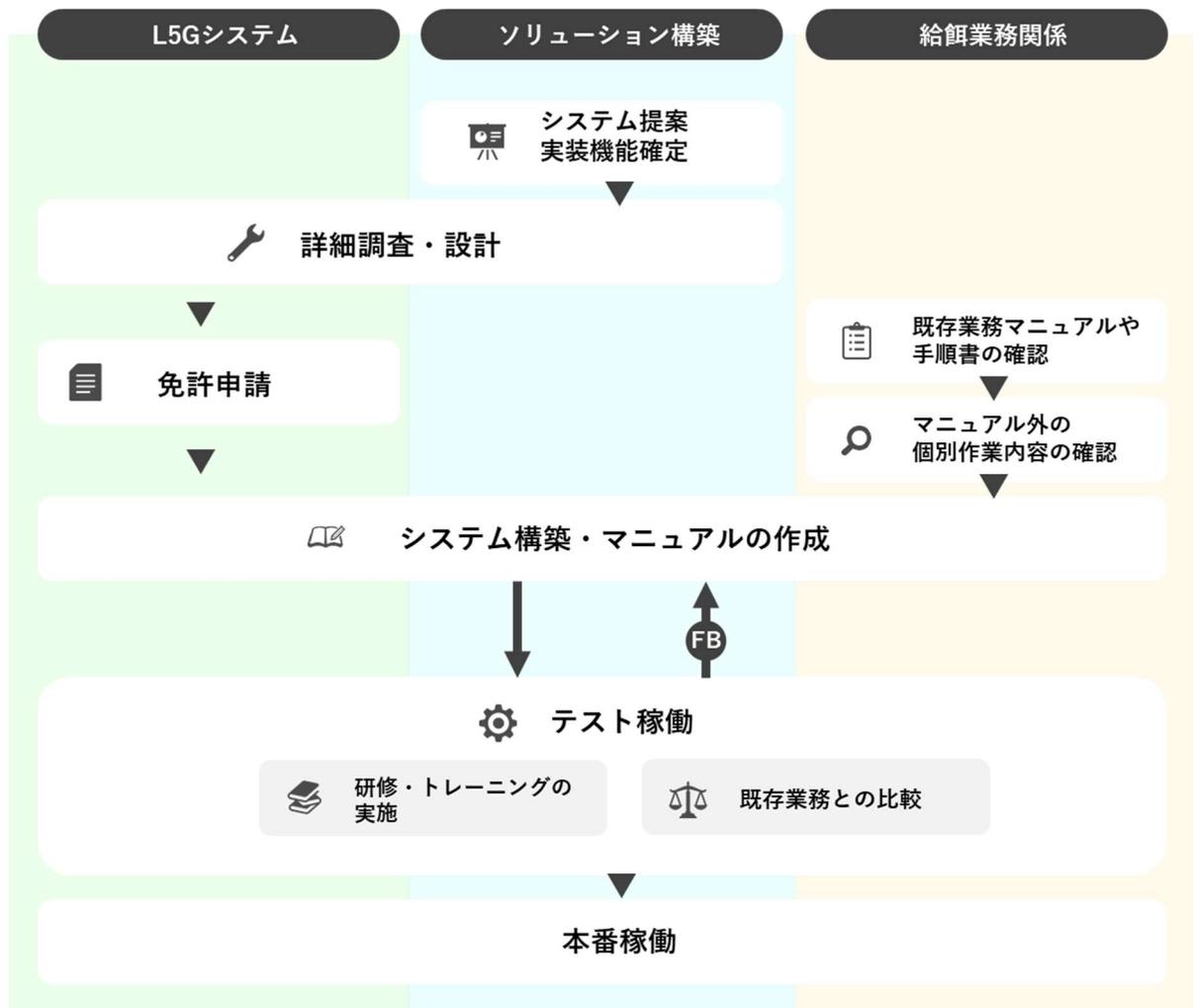


図 4-112 業務フロー

(3) ローカル 5G 活用モデルの構築

1) ローカル 5G 活用モデルの全体像

a. ターゲット

日本国内の全ブリ養殖事業者 640 社の中で企業体経営は 260 社存在し、その中でも比較的設備投資への余裕がある一定の事業規模を有する上位 50%となる 130 社（事業者全体の 20%）を当初の対象としました。ただし、事業規模の大小を問わず今回と同様の課題に直面していますので、将来的には小規模の事業者にも事業展開を進める計画です。

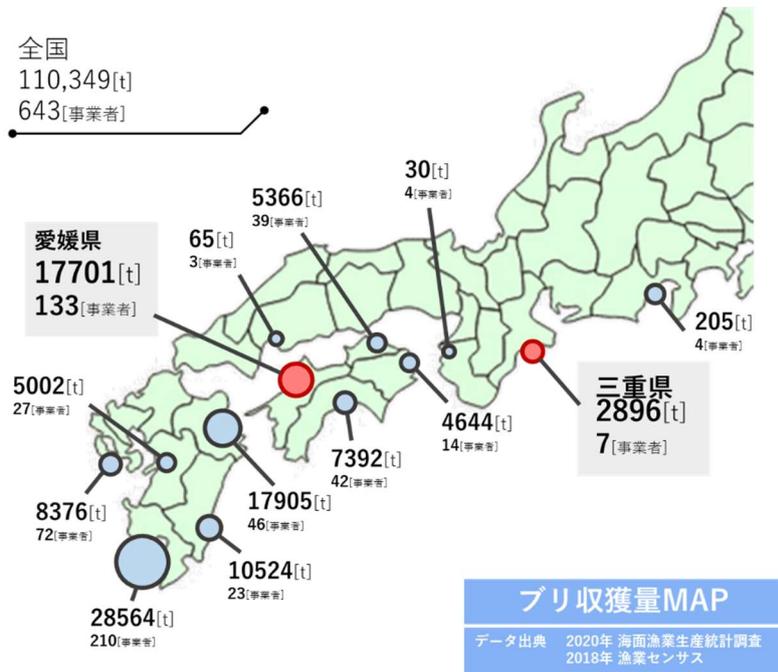


図 4-113 全国のブリ養殖収穫量と経営体数

現在横展開を想定しているのは、尾鷲物産のグループ会社となる愛媛県愛南町のブリ養殖事業者となります。

事業規模としては、年間生産量 30 万尾・1,500 トン、養殖業務従事者数 15 名です。

b. 対象となるシステム

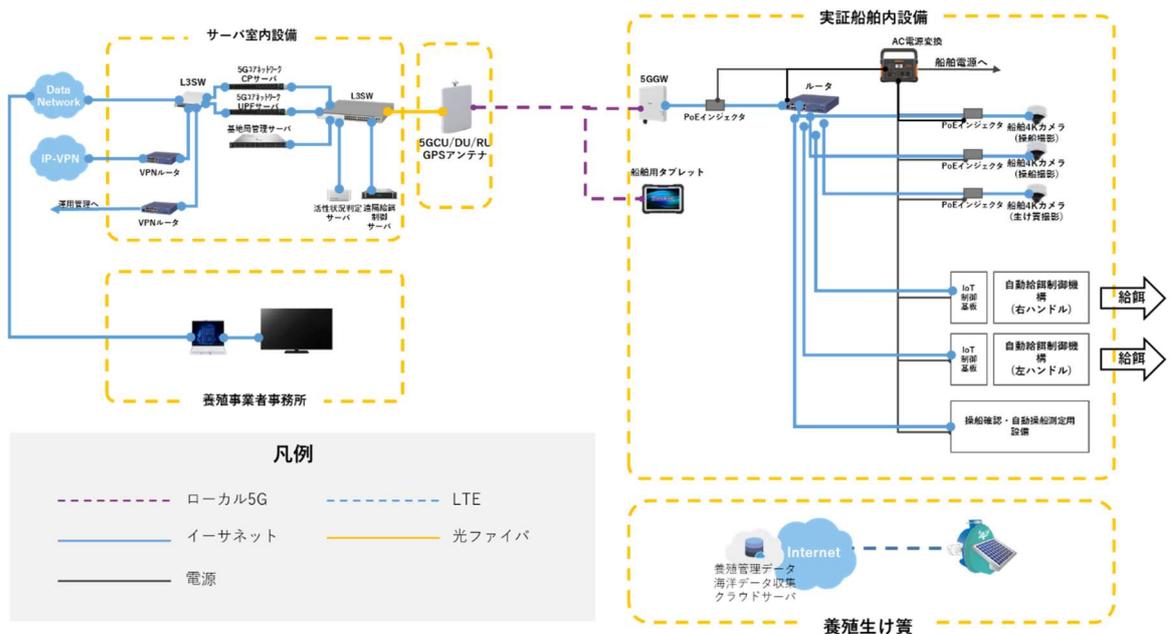


図 4-114 システム構成図

- 機能要件

- ・ローカル 5G

- 高速通信および安定稼働

- ⇒AI 解析および操船業務支援で使用する 4K 高精細カメラの映像伝送を遅延や停止等なく伝送が可能となる帯域の確保および、安定した稼働が可能な機能を有することが必要です。

- ・給餌自動化システム

- カメラ性能

- ⇒給餌状況を 4K 高精細かつ遅延なく撮影できる性能が必要です。

- AI サーバの判定性能

- ⇒学習により給餌状況の判定精度を向上させることが可能なシステム構成で、映像取得から 1 秒以内に給餌状況の判定を行うことが可能な処理能力を有する必要があります。

- 給餌機制御

- ⇒AI からの制御命令を適切に理解することができて、給餌機を段階的に切り替えることで給餌量を柔軟かつ正確に制御する機能が必要です。

- ・ブリ養殖成育管理システム

- 成育管理システム

- ⇒ブリ養殖で必要とされる情報全般をクラウド上に保存し、必要なタイミングで確認を行います。データの取り込みは複数あるシステムごとに異なるフォーマットや手順を間違いなく処理できる必要があります。

- 養殖管理

- ⇒養殖生け簀ごとの給餌量をスマートフォンやパソコンなどの特定のデバイスには依存せず、任意のタイミングで入力や確認が行える機能が必要です。

- 海洋データ収集

- ⇒一定間隔で海中の水温および溶存酸素量を取得し、クラウド上に情報を保存します。ソーラーパネルにより外部からの電源供給を受けずに長時間稼働する必要があります。

- 非機能要件

- ・障害対策やバックアップ等の冗長構成

- 各機器の冗長化および 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。

- ・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り組みが必要です。

- ・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。

c. ビジネスモデル

ブリ養殖事業者のある地域でサービス提供をしている地元 CATV 事業者がサービス提供主体となり、システムインテグレータやローカル 5G ベンダ、自動給餌機構築会社、AI 開発会社などのパートナーと一体になりながら無線局免許の取得（もしくは取得支援）と、ソリューションの構築・運用・保守を実施します。

本ソリューションのビジネスモデルを構造的に理解し、役割を明確化する目的でビジネスモデルキャンバスを作成しました。

表 4-56 ビジネスモデルキャンバス

パートナー ・システムインテグレータ ・ローカル 5G ベンダ ・自動給餌機構築会社 ・AI 開発会社 ・業界団体 ・5GSC	主要活動 ・無線免許取得もしくは取得支援 ・自動給餌システム、成育管理システム、操船確認の構築、運用、保守	価値提案 ・ブリ養殖の給餌自動化による業務負荷軽減、コスト削減 ・成育管理システムによる業務量削減、給餌業務および操船時の安全安心の向上	顧客との関係 ・ブリ養殖事業者の生け簀が整備される地域を拠点とする企業	顧客セグメント ・規模の大きいブリ養殖事業者 （将来的には） 中小規模のブリ養殖事業者へもアプローチする
	リソース ・通信インフラ ・通信デバイス ・ネットワーク ・資格・スキル		チャンネル ・地元 CATV 局	
コスト構造 ・導入コスト ・ランニングコスト		収益の流れ ・初期:システム構築 ・ランニング:運用サポート、保守		

本ソリューションに関わる事業者の関連を図にしました。

また、ビジネスモデルキャンバスの項目と要素について表を作成しました。

課題を持つブリ養殖事業者に対し、その地域でサービス提供を行う地元 CATV 事業者がローカル 5G 免許取得をしたうえで「給餌自動化」「成育管理」「操船確認」のソリューションを提供します。地域密着型という CATV 事業者の強みを生かし、構築から運用保守までをサポートします。

ローカル 5G システムの構築や AI・自動給餌システム開発、システムインテグレーションについては、表 4-58 の「パートナー」に記載の通り、システムインテグレータ、ローカル 5G ベンダ、AI 開発会社、自動給餌システム開発会社と連携してソリューションの構築を行います。

また CATV 業界団体や、漁協や漁連などの漁業団体、5GSC は本ソリューションの普及横展開に向けてのアドバイザーとして協力いただき、水産業のさらなる発展を目指します。



図 4-115 事業構造図

本ソリューションのビジネスモデルキャンパスの項目と要素は次の通りです。

表 4-57 ビジネスモデルキャンパスの項目と要素

項目	要素	本事業
1 価値提案	・ブリ養殖事業者の課題の解決し、ニーズを満たすダッシュボードシステム（価値）の提供	・給餌自動化 ・成育管理 ・操船確認
2 顧客セグメント	・全国のブリ養殖事業者への製品（価値）の提供	・大規模ブリ養殖事業者 ・（将来）中小規模ブリ養殖事業者
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 ・自動給餌システム他の構築、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ためにともに活動する事業パートナー	・システムインテグレータ ・ローカル5Gベンダ ・自動給餌システム開発会社 ・AI開発会社

			<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・導入コスト ・ランニングコスト
7	チャンネル	・全国に存在するブリ養殖事業者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	<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
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	・ブリ養殖生け簀所在地を拠点とする企業による迅速なサポート対応

2) 体制・役割分担

ローカル5G活用モデル毎の構築運用における役割分担を記載します。

本実証において構築した設備・機器については実証終了後も継続使用を行います。コンソーシアムメンバーが事業終了後の運用に必要な体制を継続します。

表 4-58 本実証時に整備する各システム・機器と運用・管理区分

項目	対象となる設備等	実証終了後の取り扱い	運用・管理	費用負担
ローカル5G	無線基地局	次年度も実験試験局として継続運用。	ZTV	ZTV、尾鷲物産
	コアシステム	継続運用	ZTV	ZTV、尾鷲物産
自動給餌システム	AIサーバ	継続運用。精度向上に向けた機能改善を検討。	鳥羽商船高専	尾鷲物産
	給餌機制御システム	継続運用	アイエスイー	尾鷲物産
成育管理システム	海洋データ収集	継続運用	アイエスイー	尾鷲物産
	データ管理	クラウド契約を継続。	アイエスイー	尾鷲物産
操船業務支援システム	4K 高精細カメラ	継続運用	尾鷲物産	

実装横展開時における運用管理および費用負担は以下の表の体制を想定しています。

表 4-59 横展開時に整備する各システム・機器と運用・管理区分

項目	対象となる設備等	運用・管理	費用負担	ユーザが準備するリソース
ローカル 5G	無線基地局・コアシステム	CATV 会社	ブリ養殖事業者	なし
自動給餌システム	AI サーバ	鳥羽商船高専	ブリ養殖事業者	給餌データ取得のための生け簀の提供
	給餌機制御システム	アイエスイー	ブリ養殖事業者	改修用給餌船の準備
成育管理システム	海洋データ収集	アイエスイー	ブリ養殖事業者	なし
	データ管理	アイエスイー	ブリ養殖事業者	なし
操船業務支援システム	4K 高精細カメラ	ブリ養殖事業者	ブリ養殖事業者	改修用給餌船の準備

本実証のコンソーシアムメンバーを中心とした運用体制を実証終了後の継続環境でも維持します。実装横展開においては、地域の CATV 事業者が実装の主体となる体制を想定しています。

表 4-60 横展開時の役割

役割	役割詳細	本実証 (三重県尾鷲物産)	次年度サービス エリア (愛媛)	全国 CATV サービスエリア
事業主体ユーザ 提案、サポート	ブリ養殖事業者への提案	ZTV	ZTV	地域 CATV 事業者もしくは 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	地元 CATV 事業者	地域 CATV 事業者もしくは ZTV
全体 SI	ローカル 5G、自動給餌システム等のシステム全体統合	シンクレイヤ	シンクレイヤ	地域 SI 事業者もしくはシンクレイヤ
ローカル 5G	自動給餌システム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	パナソニックコネクト	パナソニックコネクト等ローカル 5G ベンダ	パナソニックコネクト等ローカル 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	鳥羽商船	鳥羽商船	鳥羽商船
給餌システム・成育管理システム	給餌システム・成育管理システム構築および給	アイエスイー	アイエスイー	アイエスイー

ム	餌船等への設置			
普及展開	全国のブリ養殖事業者に対し、本実証モデルの普及を個別に働きかけを行う	—	—	地域 CATV 事業者
導入事業者紹介	ブリ養殖事業者をケーブルテレビ事業者に紹介	—	尾鷲物産	アイエスイー ニチモウ
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

3) 導入効果

本実証のユーザ企業に対して、検証結果および実証継続によりソリューションから得られる価値および希望額についてヒアリングを行いました。

希望額については削減が達成できる金額の6分の1以下となります。

表 4-61 想定コスト削減額およびユーザ希望額

項目	想定削減額	希望額 (年額換算)	コメント
餌代	想定削減額 200,000 尾×2,700 円×1%= 540 万円/2 年	540 万÷2 年÷6=45 万円	ベテラン従業員と遜色ない精度で停止判定できていると思われるが、長期運用によるデータがないため削減率は想定による数値です。
データ 入力業 務	想定削減額 10 時間×25 人×3,000 円= 75 万円/月	75 万×12 ヶ月÷ 6=150 万円	業界全体としてデジタル化が達成できていないので導入によるメリットは大きい。
新人教 育	想定削減額 40 日×(2 万円+1,000 円) =840,000 円	84 万÷6=14 万円	コスト面よりも削減できた時間を資格取得等の教育に充てることができる。
給餌作 業中止 判定	想定削減額 8 隻×20,000 円×10 日=160 万円	160 万÷6=27 万円	実際に作業中止判定を行った。 また、ブリを別の生け簀に移動する際にも水温等海洋データが活用できる。
合計		236 万円/年	

① 餌代削減 (2 年間総額)

1 匹あたりの原価 4,500 円

餌代 2,700 円 (原価の 6 割)

ブリ 1 尾あたりの餌を削減

1%の場合 27 円

生け簀 50 台 (200,000 尾) に対して餌の削減を行えると
1%の場合 $200,000 \times 27 = 540$ 万円
の削減が可能となる。

② データ入力業務

現在、従業員一人あたり事務所内で1時間/日 (20時間/月) の入力作業が発生
これをモバイルによる現地入力や自動化を行う事で作業時間を削減
人件費 3,000 円/時間 (★) と想定して
50%削減 (10 時間) $3,000 \times 10 = 30,000$ 円 \times 従業員 22 人 = 660,000 円

③ 新人教育

給餌作業を一人でこなせるまでの教育期間は2ヶ月 (40 日)
教育係の人件費を 2 万円/日 (★)
給餌船の燃料費 1,000 円/日 と想定して
教育時間が不要となるため 84 万円/人 の削減

④ 給餌作業中止判定

中止日数 10 日/年
給餌準備+燃料費 2 万円/日 (★) と想定
準備前に中止の判定ができることで不要な作業を削減
給餌船 8 隻 \times 20,000 円 \times 10 日 = 160 万円削減

⑤ 赤潮被害

生け簀 50 台 200,000 尾
1 尾あたりの卸価格 6,000 円 (★) と想定
200,000 尾全滅すると $200,000 \times 6,000 = 12$ 億円の損害
(★) 人件費、飼料代等については社内情報となるため参考値となります。

(4) 実装性を高める手法の検討および実行

1) 検証項目

実装性を高める手法として、次の項目について検討を行います。

・導入しやすさ

- 導入コストが適正な価格であること
- 費用対効果が得られること
- 多様なメニューから選択できること

- ▶ 標準化やデータベース化された情報を参照できること
 - ▶ 交付金等を活用できること。
- ・運用しやすさ
 - ▶ デジタル機器等への知識がなくても対応できること
 - ▶ メンテナンスが不要もしくはほとんど発生しないこと
 - ▶ 保守体制が確立していること
 - ・将来性
 - ▶ 対象エリアの拡大に合わせて設備の増強が容易であること
 - ▶ 機能拡張やカスタマイズが簡単に行えること
 - ・信頼性
 - ▶ 故障率が低いこと
 - ▶ 他社導入実績が豊富であること

2) 検証方法

・導入しやすさ

- ▶ 導入コストが適正な価格であること

(評価・検証方法) 本実証で採用するローカル 5G 設備やその他設備と同等スペックの機器や代替可能な機能を有する機器と比較を検討し、適正な価格であるかを検証します。

導入への障壁を下げるため、システム構築費を一括で支払うのではなくサブスクリプション型として導入することで初期費用の低減が可能となるメニューについて検証を行います。

(理由) 初期投資が大きいことが要因で導入への判断が遅れてしまい、成長のチャンスを逃すことや、業務課題が改善できない事による負のサイクルに陥ることを回避する必要があります。そのためにも、本システムはブリ養殖事業者が採用しやすい適正な価格帯での提供を目指します。

- ▶ 費用対効果が得られること

(評価・検証方法) 事業規模に比例するものとそうでないものについて分けた費用対効果を明確にします。そのうえで事業規模毎の適正な設備の構成を作成します。

(理由) 設備投資が必要となるため、事業規模の小さい事業者においてはメリットを得られない可能性があります。

- ▶ 多様なメニューから選択できること

(評価・検証方法) ブリ養殖事業者が求める機能のみを搭載した最小構成モデルのラインナップを検討します。

また、後日機能追加を行う場合に、事業者側で導入の時期や投資額の判断となる情報の提供が

できるよう、必要となる費用・期間についても算出を行います。

(理由) ブリ養殖事業者の事業規模や運用する環境などにより求める機能が異なることも想定されます。

➤ 標準化やデータベース化された情報を参照できること

(評価・検証方法) 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およ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。

(理由) 海上という特殊な条件下でのローカル 5G 環境を確実に構築するために、本実証で実施した取り組みの情報をデータベース化することで、適切な設計や効率的な作業の判断材料として活用され、不要な費用や労力発生を抑止につながります。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持った機器の選定が可能となりコストの低廉化およ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。

➤ 交付金等を活用できること。

(評価・検証方法) 海上養殖でのローカル 5G の導入が水産庁の交付金事業において活用できるよう、本実証が課題に取り組み必要性や結果を関係省庁に向けて働きかけを行います。

(理由) 交付金事業を活用することで、初期費用の負担が軽減され普及促進につながります。

・運用しやすさ

➤ デジタル機器等への知識がなくても対応できること

(評価・検証方法) 実証期間中に給餌業務に従事する従業員に聞き取りと実際の操作を通じて操作性の判定と、特定のユーザに偏らない汎用性のあるインターフェースを作成します。

作成したシステムの使用感を従業員に確認し、必要に応じて改善を行います。

(理由) 給餌量等のデータの記録や管理についても、直感的に入力作業ができるような仕組みや、海洋データが自動で記録されるシステムを構築することで入力ミスや長時間の業務とならない仕組みが必要です。

➤ メンテナンスが不要もしくはほとんど発生しないこと

(評価・検証方法) 実証期間中に停止が発生するメンテナンス内容やその時間を集計し、システムへの影響度合いを確認します。

回避もしくは影響を低減することが可能な方策を検討します。

収集するデータ等の解析と事業者への聞き取りを行い、システムの停止による影響の少ない時間帯を判定します。

(理由) 長期に渡り継続運用することが重要なシステムであり、メンテナンスによるシステムの停止による影響やコスト負担が極力発生しないことが求められます。

➤ 保守体制が確立していること

(評価・検証方法) ベンダごとの体制と復旧時間の目途を収集し取りまとめを行います。
複数のシステムに影響があった際の、復旧を優先する順位を決めます。

(理由) 故障などによりシステムの停止が長期間化すると、餌代の増加や生産量の減少など養殖事業への多大なダメージとなるため、異常発生時には速やかな対応が行える体制が必要です。

・将来性

➤ 対象エリアの拡大に合わせて設備の増強が容易であること

(評価・検証方法) 技術実証において実施するエリアの柔軟性についての結果を活用します。

導入当初はアンテナを下向きにして必要最小限の範囲でローカル 5G 環境を整備します。自動給餌システムのエリア拡大のタイミングでアンテナの角度を変更することで、追加コストを最小限にカバー範囲を広域化します。その際、既存エリアの品質に影響が出ないかの検証を行います。

複数の給餌船から同時利用が発生することを想定した、トラフィックの負荷試験を行います。

サーバについても同時アクセス時の負荷状況を確認し余力を判定します。

(理由) 自動給餌システム対応船の増加により、同時にシステムが稼働することがあってもローカル 5G の帯域が確保される必要があります。また、サーバの処理能力についても余裕が必要です。

➤ 機能拡張やカスタマイズが簡単に行えること

(評価・検証方法) 将来的に追加を期待する機能についてブリ養殖事業者へのヒアリングを行い、実証環境への機能拡張やカスタマイズの工数について検討を行います。

実装横展開時に需要がなくても、将来的に必要性の高いと考えられる機能であれば、後日追加が容易にできるような準備ができる要件を策定します。

(理由) ソリューション導入後の追加負担を極力抑えることが長期運用や横展開において重要です。

・信頼性

➤ 故障率が低いこと

(評価・検証方法) 実証期間中および終了後も継続して故障発生率の取りまとめを行います。

防錆処理が可能な機器については実装横展開時の費用対効果の検討を行います。通常使用による故障発生率だけでなく、海上での利用に耐えられる対策の検討を行います。

(理由) 想定外のコスト負担を抑制するためには故障率の低い設備が必要です。

➤ 他社導入実績が豊富であること

(評価・検証方法)

(理由) 導入実績が多数あることで設備共用やナレッジの蓄積などのメリットをユーザが享受できます。

3) 検証結果および考察

・導入しやすさ

表 4-62 検証結果および考察（導入しやすさ）

導入コストが適正であること	○	本実証における導入および運用コストについて取りまとめを行いました。導入および運用にかかるコストが高額となるため、ユーザの希望額に近づけるよう設備共用、サブスクリプション型のプランを策定しました。
費用対効果が得られること	△	本実証における導入および運用コストについて取りまとめを行いました。導入および運用にかかるコストが高額となるため、ユーザの希望額に近づけるよう設備共用、サブスクリプション型のプランを策定しました。
多様なメニューから選択できること	△	自動給餌システム、成育管理システムそれぞれ個別でのコスト試算を行いました。単独での導入も可能ですが、メリットを最大限に活かすには一体で使用する事が望ましいです。
標準化やデータベース化された情報を参照できること	○	本実証において取得できた情報については5Gソリューション提供センターおよびローカル5G導入手引書への提供を検討します。
交付金等を活用できること。	○	取り組みを外部に向けて発信することで来年度以降の交付金対象となることを目指します。

・運用しやすさ

表 4-63 検証結果および考察（運用しやすさ）

デジタル機器等への知識がなくても対応できること	○	ユーザ企業の実際の業務で使用することで改善点等の情報を収集しました。また、勉強会や使用感等のヒアリングを複数回実施しデータ入力インターフェースの改善を実施、それらを反映したマニュアルの作成も行いました。
メンテナンスが不要もしくはほとんど発生しないこと	△	実証期間内にサービス停止が伴うメンテナンスが発生しなかったため、影響度合いについては判断ができませんでした。不具合等発生によるメンテナンスに至らないようセンサーやモーターなどの稼働部品については定期的な点検を行う必要があります。
保守体制が確立していること	○	実証継続および横展開における運用保守についての体制を確認しました。実証継続はコンソーシアムメンバーを中心に対応する体制を確立します。横展開については地域のCATV事業者との連携も必要となるため、該当するエリアが出て来たら協議を行います。

・将来性

表 4-64 検証結果および考察（将来性）

対象エリアの拡大に合わせて設備の増強が容易であること	○	<p>自動給餌に必要な通信帯域については確保できており、給餌船の増加にも柔軟に対応可能です。</p> <p>今後、映像やセンサーにより大量のデータを使用する自動操船や、ブリ養殖目的以外での利用が開始され帯域の不足が見込まれる場合には非同期運用による上りトラフィックの増強も視野に入れる必要があります。</p>
機能拡張やカスタマイズが簡単に行えること	○	<p>実証を通じて継続的にカスタマイズを実施しました。</p> <p>AI 判定の精度向上に必要な画像データの取り込みをしやすい仕組み。</p> <p>成育管理データの入力システムのインターフェースの追加。等</p>

・信頼性

表 4-65 検証結果および考察（信頼性）

故障率が低いこと	△	<p>実証期間中の設備故障は発生しませんでした。実証終了後も継続して状況の確認を行い、故障が発生した場合には要因が環境（海上）によるものかそれ以外かを含め原因の特定と再発を防ぐ方法について検討します。</p>
他社導入実績が豊富であること	×	<p>現時点では実証環境のみとなるため、導入実績が集まるよう普及展開に努めます。</p>

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

(1) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題

表 4-66 ローカル 5G 活用モデルの実現や実装に係る構造的な課題

項目	課題
ローカル 5G 上りトラフィック輻輳	本実証で主に帯域を消費するシステムは次の通りです。 ・AI 解析用 4K 高精細カメラ 1 台 (左舷) ・操船確認および自動操船に向けたデータ収集用 4K 高精細カメラ 2 台 (前方左右) および LIDAR 将来複数の給餌船が同時に稼働することで、消費する帯域も大きく増加することが考えられます。
カメラ設置場所	給餌業務、操船確認のどちらも海上の決まったポイントを撮影する必要があるため、乗船員が映り込まないもしくは映り込みにくいことが理想ですが、できるだけ実際の従業員に近い視線である方が精度が高まるため、どの程度映り込みや設置する高さが許容されるかについては都度の調整が必要です。
システムの性能向上	ベテラン従業員同等の安定稼働には映像伝送、AI 解析処理、給餌機制御それぞれが遅延なく、また、連携して稼働することが必須です。異なるシステム間の連携処理についてはシステム全体を把握し、時間をかけた調整が必要になります。 活性状況に応じて給餌量を段階的に増減 (高活性時に給餌量を増加等) させることに関しては、長期的な給餌データ収集と AI 判定精度向上を行う必要があります。
システムへの習熟	習熟に必要な期間やトレーニングによる理解度など、一定のスキルへの到達に要するデータの収集を行い、導入することによるメリットを理解してもらうことによるモチベーションアップが必要です。
AI 解析処理時間	本実証では毎秒 1 枚以上の画像処理判定を行う設計となっているため、リアルタイム性は非常に高くなります。その分処理能力を多く消費するため判定精度の低下や処理の遅延等が発生しないかの検証と、発生した場合の対策について検討が必要です。
船舶のローカル 5G 受信アンテナ設置場所	安定した受信が可能な設置場所の特定が必要ですが、給餌業務や操船に影響を及ぼさないことが最優先されます。また、錆による故障や脱落などが起こらないための検討も必要です。 一旦圏外となってから復旧させるために移動する場所の特定も必要な情報です。
ローカル 5G の安定運用	サービス停止時のシステム稼働状況の確認ができる体制を構築する必要があります。 リモートでの再起動が可能な仕組みを実装・検討します。 リモートハンドや現地駆け付けまでの時間についての考慮が必要です。
電源の安定取得	給餌に使用する船は小型のため、電源の確保が困難です。 今回は船内のバッテリーを DC/AC 変換し、蓄電池を経由して使用しますが、給餌船毎に電源が取得できる方式も異なるため外部バッテリーやソーラーシステムの併用など、安定した電源取得方法の検討が必要です。
設置設備の錆対策	継続的に潮風にあたる環境となるため、防錆対策が重要です。長期間 (1 年以上) の運用においてどの程度の影響があるかを把握する必要があります。
取得データの反映、解析の精度向上	ブリ養殖は出荷まで 2 年を要するため、取得したデータを活用するためには得られた結果についても長期での収集が必要となります。事業終了後も継続した収集ができる体制の維持が必要です。
柔軟な給餌機制御	従業員は餌の食べ具合を確認しながら細かく給餌量をコントロールしています。現在のシステムは開始と停止の 2 段階となるため、さらに細かい給餌量のコントロールを行うためには従業員に近い柔軟な制御システムを構築する必要があります。
気象条件等外部要因による取得データの変動	気象条件や太陽の位置による水面の反射などで取得するデータに変動が発生することが想定されます。 実証環境での複数条件でのデータ収集を行い、要因毎の影響度の把握や、影響がおよびにくいデータの取得方法についての検証が必要となります。
期待する導入効果が得られない時の対策	業務の効率化、給餌コストの削減を実現するためには、局地的な導入ではなく、ユーザ企業が所有する生け簀を幅広く導入範囲として取り扱う必要があるため、所有する生け簀が複数エリアに点在する場合には、エリアカバーのためにローカル 5G に掛かるコストが大きくなり、費用対効果が得られない可能性があります。
運用	正確な活性状況 AI 判定および海洋データの取得を継続的に行うため、定期的にカメラや海洋データ取得センサーの清掃等、従来必要のなかった業務が必要となります。
制度的課題	今回の活用モデルについては特に制度上の課題はない。 将来的に、自動 (遠隔) 操船による無人での給餌業務を実現するためには、自治体や関連省庁との協議を含めたルールメイキングが必要。

普及方策	実装を検討する生け簀の場所によっては、周辺環境から、その場所へローカル 5G ネットワークを提供するためのローカル 5G 基地局の設置ができないケースも考えられるため、提案前に考慮が必要である。
ローカル 5G のカバーエリアと対象とする養殖生け簀の範囲について	健全なブリの成育を実現するためのシステム安定稼働の観点から、できる限り強電界にローカル 5G が使用できるよう、対象とするブリ養殖生け簀の位置からローカル 5G の置局位置を検討する必要がある。 一方、収支最適化の観点からは、基地局相当 1 局につき、より多くの事業者（養殖生け簀）を対象に使用してもらうことが重要であり、カバーエリアとしてどこまでの範囲を許容するかは線引きが必要である。

(2) ローカル 5G 活用モデルの実装に係る課題に対する解決策の検討

表 4-67 課題に対する解決策

項目	解決策
ローカル 5G 上りトラフィック輻輳	自動給餌におけるカメラ映像のトラフィックのみであれば問題なし。 自動操船に必要な映像やセンサーデータを断続的に送信する場合は帯域不足となる可能性がある。ブリ養殖以外での利用（港湾監視、コンシューマサービス等）が行われると更なる帯域不足も懸念される。スライシングによる柔軟なトラフィック制御が必要。
カメラ設置場所	実証環境では従業員が映り込まない高さにカメラを設置。 正確に AI 判定できたが気象状況や時間帯など複数の条件で判定精度を上げるには波の高さが確認しやすい場所（従業員の視線に近い場所）に設置することが望ましい。
システムの性能向上	SI 責任者がシステムの機能やスペックを十分理解し構築を行った。システムの稼働後はスケジュールを考慮しながら AI 判定精度や動作の安定性の向上を目指し各事業者担当と連携を行った。 活性状況に応じた給餌量の段階的な増減の判定については、本実証では期間が短いため、今後も継続的に給餌データ収集と AI 判定精度向上を行う必要がある。
システムへの習熟	ユーザ企業の業務担当者が実機を触り、その場でシステム開発者に対して質問や改善点等についての議論を繰り返し行う事で良好なコミュニケーションを維持しながら理解度向上および機能改善が図れた。
AI 解析処理時間	今回の実証では毎秒 1 枚の画像で処理を実施し、精度の高い判定結果を得られた。今後様々な条件下での利用が想定されるため引き続き検証を行う。 また、サーバのスペック上は同時に 10 台以上の処理能力を有するため複数の給餌船での稼働や他事業者とのサーバ共用による運用コスト削減も視野に検討を進める。
船舶のローカル 5G 受信アンテナ設置場所	今回の実証ではローカル 5G 受信端末を船舶上部に設置したことで障害物等のない通信環境が確保できた。オムニタイプのため船の旋回時にも通信に大きな影響はなかった。
ローカル 5G の安定運用	実証期間全体を通して一度だけ接続の不具合が発生したが、端末への設定の再投入で復旧した。必要な手順をまとめておくことで再発時には復旧までの時間短縮が期待できる。
電源の安定取得	船内のバッテリーのみでは電圧の変動や突然の停止などでシステムに影響を及ぼすことが懸念されるため、安定した運用を行うためには蓄電池との併用が理想。
設置設備の錆対策	カメラのハウジング部分にはフッ素加工による防錆処理を実施。実証期間が短いため効果は不明。他の設備については未対策だが、錆の発生は確認されていない。
取得データの反映、解析の精度向上	実証期間中に AI 判定の画像データを収集したが、精度向上には条件の異なるデータを大量に収集することが求められるため稼働後も継続したデータ収集が必要です。
柔軟な給餌機制御	給餌システムのコントロールを段階的に制御するプログラムを構築し、従業員の給餌業務と比較を行い、性能向上につなげます。
気象条件等外部要因による取得データの変動	実証期間中は気象条件に恵まれたこともあり、荒天での給餌データの取得および AI 判定精度の確認はできませんでした。季節により餌の食べ具合も異なることや、データは多いほど精度が向上するため、今後の給餌業務においても継続的に画像の収集を実施します。
導入効果	今回ユーザ企業の尾鷲物産を例にとっても、全ての生け簀を対象として、ローカル 5G によるエリアカバーを実現することは非効率である。実装・横展開時には無理に全ての生け簀を対象とせず、費用対効果から、より効率的な導入範囲を検討することが必要である。
運用	実証を継続し、清掃等のメンテナンスが必要な各種機器のメンテナンス周期を定めることや、カメラやセンサーのコーティング等によるメンテナンス周期の長期化について検討を行います。
制度的課題	将来的な自動（遠隔）操船による無人での給餌業務を実現に向けて、ルールメイキング

普及方策	も考慮した実証の継続を検討する。 各社個別への導入提案ではなく、自治体や漁連、組合などを経由し、ユーザ企業が保有する生け簀の場所の把握およびローカル 5G 基地局が設置できる場所の想定（事前交渉）を行った上で、各社個別に提案を行う。
ローカル 5G のカバーエリアと対象とする養殖生け簀の範囲について	自動給餌や操船確認等、導入するソリューションのシステム要件を満たすために最低限必要となる受信強度 (SS-RSRP) の策定および環境特有の条件（基地局相当-養殖生け簀間で航行する他の船舶等、電波遮蔽物の有無）の洗い出しによるマージンの設定基準など、ローカル 5G のカバーエリアと対象とする養殖生け簀の範囲について、ガイドライン化を検討する。

4.3.4 ローカル 5G 活用モデルの実装・普及展開

(1) 実装・普及展開シナリオ

自動給餌により給餌業務が簡略化することによる人件費の削減や AI 判定により適切かつ正確に給餌を停止することによる餌代の削減、成育管理システムの導入による業務の効率化・最適化を実現し、ブリ養殖にかかる原価コストの削減を目指す。

普及展開にあたり、特に小規模な事業者でも導入検討がしやすいよう、初期導入費用の抑制が可能なサブスクリプション型の提供モデルを検討する他、本実証システムのパッケージ化を行い更なる導入コストおよび運用コストの低廉化を図る。

また、当システムの高度化（完全自動化）に向けても、継続してデータの収集を行う。

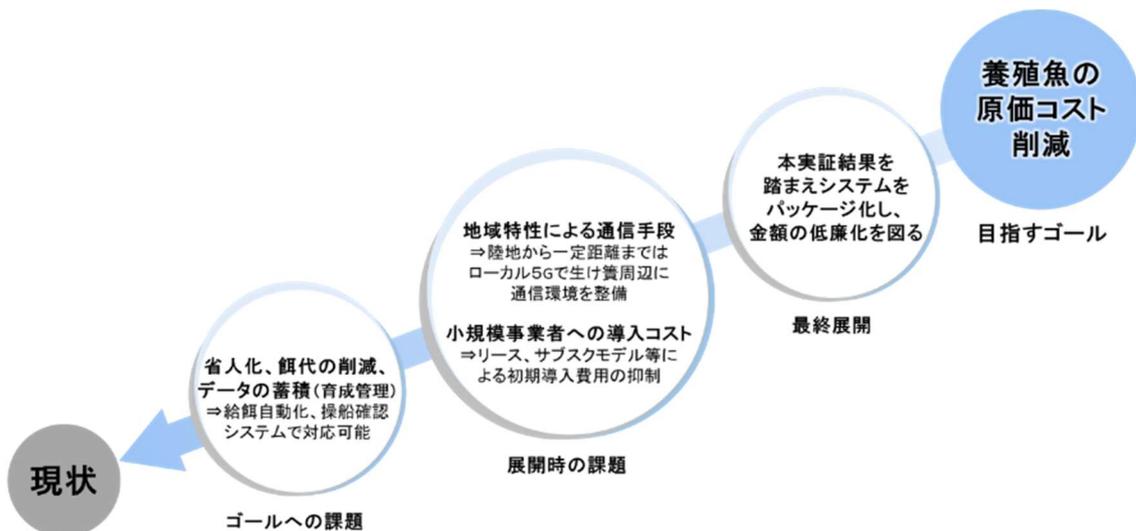


図 4-116 実装に向けたステップ

実装に向けたステップ（バックキャスト型）

- ・本実証の取り組みから、導入による具体的なメリットを横展開先（ユーザ）に提示
- ・ユーザが目指したいこと（解決したい課題）を確定
- ・実証では想定していなかった課題の抽出と対応策

- ・地域ごとの特性（地形、気象環境等）を考慮した本システムの機能やスケールを確定
- ・最終的なシステムの提案

(2) 実装計画

1) 実装計画の作成方法

以下の条件において提案、構築、運用、保守それぞれの体制とコストの検討を行います。

ソリューションの提供先としては本実証において構築した尾鷲物産向けのシステムを実装継続するものと、異なるエリアにおいて新規ユーザに向けて提供する実装横展開の2パターンとします。

- ・実装継続（尾鷲物産・三重県尾鷲市）
- ・横展開（新規ユーザ・上記と異なるエリア）

ソリューションにおいて共通で運用するものとして次を検討項目とします。

- ・免許
- ・ローカル 5G
- ・ネットワーク

ソリューション別のシステムとして次を検討項目とします。

- ・自動給餌システム
- ・成育管理システム
- ・操船確認システム

提供および運用保守体制について関連する事業者が自社の役割を理解するため、ビジネスモデルキャンバスおよび事業構造図等の全体を俯瞰できるものを作成し、理解度を高めます。

2) 実装計画の要約

■実装計画要約シート

開 05 代表機関名		株式会社 ZTV 新事業推進部			分野		漁業		
実証件名		ローカル 5G を活用した AI 画像認識によるブリ養殖の効率化に向けた実証							
実施体制		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>実装継続</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>横展開</p> </div> </div>							
		令和 4 年度 (2022)	令和 5 年度 (2023)	令和 6 年度 (2024)	令和 7 年度 (2025)	令和 8 年度 (2026)	令和 9 年度 (2027)	令和 10 年度 (2028)	令和 11 年度 (2029)
実装計画 (実装継続)	自動給餌システム	開発実証	継続運用・機能追加		正式導入 自社内への横展開				
	成育管理システム	開発実証	継続運用・機能追加		正式導入 自社内への横展開				
	操船確認システム	開発実証	継続運用・機能追加		正式導入 自社内への横展開				
	ローカル 5 G システム	開発実証 (実証試験)	実装 (実証試験)	実装 (商用免許)					
実装計画 (横展開)	自動給餌システム		システム提案・構築		他地域への横展開				
	成育管理システム		システム提案・構築		他地域への横展開				
	操船確認システム		システム提案・構築		他地域への横展開				
	ローカル 5 G システム		商用免許						
収支計画 (千円)	(1) ユーザから得る対価	0	0	88,650	58,450	58,450	58,450	58,450	58,450
	(2) 補助金・交付金	0	0	0	0	0	0	0	0
	(3) 収入 ((1)+(2))	0	0	88,650	58,450	58,450	58,450	58,450	58,450
	(4) ネットワーク設置費	0	1,000	76,000	0	0	0	0	0
	(5) ネットワーク運用費	0	5,000	2,100	18,900	18,900	18,900	18,900	18,900
	(6) ソリューション購入費	0	1,000	47,650	14,850	14,850	14,850	14,850	14,850
	(7) ソリューション開発費	0	3,000	16,000	0	0	0	0	0
	(8) 支出 ((4)+(5)+(6)+(7))	0	10,000	141,750	33,750	33,750	33,750	33,750	33,750
	(9) 収支 ((3)-(8))	0	-10,000	-53,100	24,700	24,700	24,700	24,700	24,700

<p>収入、支出の算定根拠</p> <p>・実装継続</p> <p>令和5年度は本年度の取組みの継続およびシステムのブラッシュアップにおける費用。コンソーシアムメンバー負担にて実施。担当は次の通り 全体統括：ZTV、ネットワーク全般：シンクレイヤ、L5G：パナソニックコネク、自動給餌・成育管理システム：アイエスイー、AI：鳥羽商船高専、データ収集用船舶：尾鷲物産。支出額1,000万円</p> <p>令和6年度年度以降は横展開先とのシステム共用（4ユーザで案分）による費用を見込んだコストと同額で算定。維持費原価375万円/年。ユーザ負担465万円/年</p> <p>・横展開（初期投資一括型）</p> <p>ローカル5Gコアシステムおよび自動給餌システムサーバを4ユーザで共用。4ユーザ分合計の収支。</p> <p>本実証で構築したシステムを標準仕様として構築費用原価を6,900万円、次年度からの維持費原価を1,500万円/年。2割の利益をのせてユーザに対して請求。</p> <p>1ユーザあたりの負担額は構築2,100万円、ランニング465万円/年。</p> <p>・横展開（サブスクリプション型）</p> <p>ローカル5Gコアシステムおよび自動給餌システムサーバを4ユーザで共用。4ユーザ分合計の収支。</p> <p>本実証で構築したシステムを標準仕様として構築費用原価を6,900万円、次年度からの維持費原価を1,500万円/年。2割の利益をのせてユーザに対して請求。</p> <p>1ユーザあたりのランニング負担額は880万円/年。導入4年目（令和10年度）で累積黒字化の見込み。</p>			
実装を確実にするための取組		どのようにして（手段、取組方法、アウトカム）	いつまでに
	提供コスト低減	AI識別器を他のエリア・事業者でも流用できるよう汎用性を高めることでコストの削減を目指す。	流用可能な設備、システムについては初期導入年度以降で削減を行う。
		サブスクリプション型提供モデルを開発することで導入のハードルを下げる。	成果報告書に記載。
		ローカル5Gコアシステム、自動給餌システムサーバを複数の養殖事業者で共有することにより、運用維持費を低減。	成果報告書に記載。
		ローカル5G基地局を港湾監視やコンシューマ向け高速インターネット接続などのプリ養殖事業以外のサービスに対して活用することにより、運用維持費を低減。	広域利用に向けた制度改定にあわせて検討を行う。
	ソリューション追加開発	AI判定精度向上に向けて年間を通じた給餌業務データの収集を行う。得られたデータを基に給餌業務に従事する職員による詳細な活性判定のためのフィードバックを行う。	2023年度以降で継続実施。
		操船確認システムを発展させ自動操船につながる実証を継続して実施する。	2023年度以降で継続実施。
	顧客開拓	尾鷲物産の関連会社に向けてソリューションの提案を実施。従業員の高齢化、デジタル未対応の課題があるため、稼働中のシステムを体験できる機会をセッティングしニーズのヒアリングとソリューション提案を行う。	2023年度中に実施を検討。
		ケーブルテレビ連盟加入事業者向けの説明会・個別説明の実施。	2023年度中の実施を検討。
		地域ごとのプリ養殖事業者（会社経営体）に向けたニーズ調査とソリューション提案を実施。	2023年度中の実施を検討。
上記提案先プリ養殖事業者に向けて稼働中のソリューション視察会の実施		2023年度中の実施を検討。	
運用面の改善	ユーザからのフィードバックによる自動給餌システムの操作性向上、成育管理システムのUI改善を実施。運用マニュアルの改訂。	2023年度以降で継続実施。	
ルールメイキングへの貢献	本ソリューションにおいては制度の改正等は発生しない。 将来的な自動操船において必要となる法令について改正等の必要性について整理を行う。	自動操船への取組み検討の開始に伴い実施。	
<p>計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）</p> <p>支出内容の見直しによる原価費用の削減</p> <p>ローカル5G整備や水産養殖関連の補助事業を活用した導入コスト削減</p>			

a. 実施体制

導入推進のための取組みおよび役割としては、次を想定しています。

- ・ 全国展開において主体となる事業者は地域のケーブルテレビ事業者であることを前提として本実証において主体であるZTVは後方支援がメインとなります。

- ・ 本実証でシステム開発を行う株式会社アイエスイーおよび水産系商社のニチモウ株式会社が主体となり養殖事業者への提案や販売を行います。
- ・ 地域のケーブルテレビ事業者が通信環境の構築（免許申請他）や運用をサポートし、養殖事業者の負担を軽減します。
- ・ SI を担当するシンクレイヤは全国エリアで稼働可能ですが、地域の CATV 事業者の持つ資産を最大限活用するためには、ケーブルテレビ事業において平時より提携を行っている SI 事業者との連携が即時性を求められる保守等において一番スムーズと考えます。ソリューションへの対応ができない SI 事業者であればシンクレイヤがメインで担当もしくは後方支援を行います。
- ・ 本実証で AI 判定識別器の開発を行う鳥羽商船高等専門学校が実装横展開においても担当します。また、鳥羽商船高等専門学校の江崎研究室（ezaki-lab）では、海上養殖に向けた AI 開発に長期に渡り取り組んでおり、今後の継続的な運用および保守についても対応できる体制が確保されます。

表 4-68 実施体制

役割	役割詳細	本実証 (尾鷲物産)	次年度サービスエ リア (愛媛)	全国 CATV サービスエリア
事業主体 ユー ザ提案、サポ ート	ブリ養殖事業者へ の提案	ZTV	ZTV	地域 CATV 事業者 もしくは 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	地元 CATV 事業者	地域 CATV 事業者 もしくは ZTV
全体 SI	ローカル 5G、自動給 餌システム等のシ ステム全体統合	シンクレイヤ	シンクレイヤ	地域 SI 事業者も しくはシンクレイ ヤ
ローカル 5G	自動給餌システム 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	パナソニックコネ クト	パナソニックコネ クト等ローカル 5G ベンダ	パナソニックコネ クト等ローカル 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	鳥羽商船	鳥羽商船	鳥羽商船
給餌システム・ 成育管理システ ム	給餌システム・成育 管理システム構築 および給餌船等へ の設置	アイエスイー	アイエスイー	アイエスイー
普及展開	全国のブリ養殖事 業者に対し、本実証 モデルの普及を個 別に働きかけを行 う	—	—	地域 CATV 事業者
導入事業者紹介	ブリ養殖事業者を ケーブルテレビ事 業者に紹介	—	尾鷲物産	アイエスイー ニチモウ
横展開支援	加盟する正会員オ ペレーター向けに説 明会・個別説明を実 施	—	—	日本ケーブルテレ ビ連盟 および ZTV

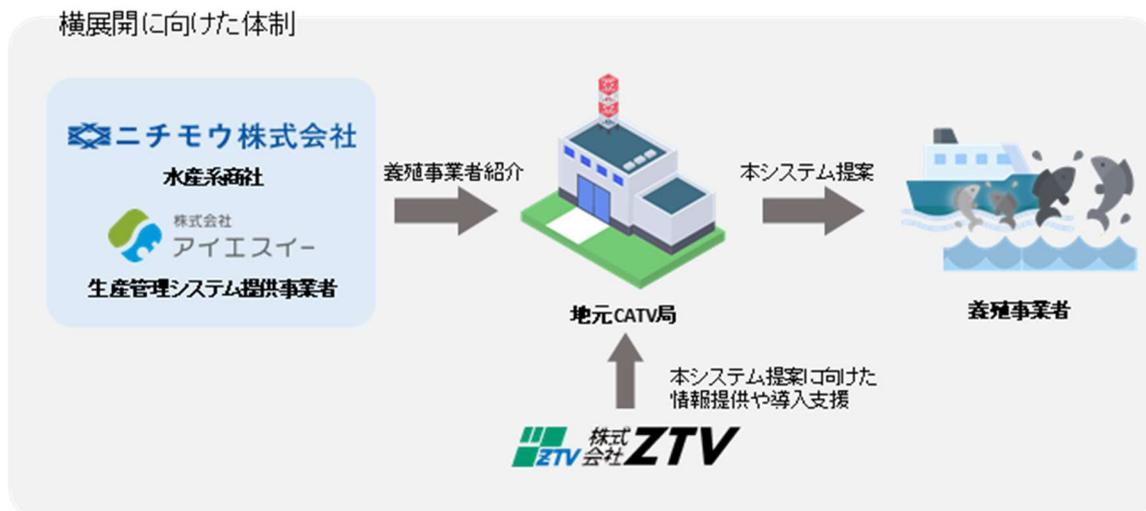


図 4-117 横展開に向けた体制

b. 実装計画（実施事項）

・実装継続時

本実証で導入した設備一式については、事業終了後も継続運用を予定しています。継続にあたり必要となる運用保守や機能・精度の向上において必要となる条件を次表に示します。

ZTV が引き続き主体となり、コンソーシアムメンバー各社との連携を図ります。

実装に向けた機能・精度向上を目指し、具体的には次のような取り組みを行います。

- AI 判定精度向上：季節や気象海象による海面の状況、また、ブリの成育段階毎の餌の食べ具合など通年で活性判定に必要な情報の収集を行うと共に、今年度は非活性のみであった判定を高活性、低活性など段階的な判定についても判定精度を向上させます。
- 給餌機機能向上：AI の判定状況に応じて給餌機のシャッター開閉を段階的に制御させること、および、正確な給餌停止による無駄な給餌量の削減率を向上させます。
- 給餌業務実施判断、赤潮等発生検知向上：うみログを使用した水温や塩分濃度等の海洋データと、平時からの餌の食べ具合等のデータを一元的に管理することで、給餌業務の実施/中止判定や赤潮発生の予測による事前対策、投薬の準備等の検知・判断精度を向上させます。
- 設備長期稼働：年間を通して長期間設備を稼働させることで、故障や不具合発生頻度の情報収集を行い、事象発生時の早期復旧に必要な手順の確立を目指します。

コンソーシアムメンバー各社の役割は次の通りとなります。

実装に向けて、ZTV が実験試験局免許の継続申請を行います。また、制度上ローカル 5G の海上利用が認められた際には速やかに商用免許への切り替えを実施します。制度改定に対応できるよう情報収集を行います。

パナソニックコネクとシンクレイヤは、ローカル 5G、ネットワークについて継続的に運用すべく次年度以降も継続して保守業務を行います。

アイエスイーは給餌システムの機能向上および継続運用に係る保守業務を次年度以降も継続して実施します。

鳥羽商船高専は AI システムの判定精度向上に向けたデータ収集と分析を継続して実施し、継続運用に向けて保守業務を実施します。

表 4-69 実施事項（実装継続）

項目	What	Who	When	How
免許	実験試験局免許の継続申請および商用免許への切り替え申請	ZTV	継続更新時期および制度改定後速やかに実施。	制度改定に対応できるような情報の収集。無線従事者の選定。申請書類作成。
ローカル 5G	継続運用に係る保守	パナソニックコネク	次年度以降継続して対応	安定運用を達成するための保守体制の確立
ネットワーク	継続運用に係る保守	シンクレイヤ	次年度以降継続して対応	安定運用を達成するための保守体制の確立
給餌システム	給餌システムの機能向上および継続運用に係る保守	アイエスイー	次年度以降継続して対応	安定運用を達成するための保守体制の確立
AI システム	AI 判定精度の向上および継続運用に係る保守	鳥羽商船高専	次年度以降継続して対応	年間を通じて複数条件での画像を収集解析し、AI 識別器の種類を増やし、精度を高める。

・横展開時

横展開時には、課題を持つブリ養殖事業者に対し、その地域でサービス提供を行う地元 CATV 事業者が主体となって本ソリューションを提供します。

CATV 事業者は運用開始までに、ローカル 5G 免許を取得するために現地調査や電波伝搬シミュレーション、法令関連調査、免許申請を行います。

ローカル 5G システムの構築にあたってはパナソニックコネクが、運用開始までに現地調査、コアネットワーク設計、基地局の構築といった構築業務を行います。また運用が開始した際には運用保守を行います。

ネットワークの構築・保守は、地域 SI 事業者あるいはシンクレイヤが担当し、運用開始までにネットワーク設計、機器配線整備、システム結合を行います。また運用が開始した際には運用保守を行います。

給餌システム・AI システムについては実証・実装環境同様にアイエスイー、鳥羽商船が担当し、運用開始までに自動給餌システムの構築や AI 識別器の作成を行います。また運用が開始した際には保守業務を行う他、AI の判定精度向上のためのデータ収集解析を継続的に実施します。

表 4-70 実施事項（横展開）

項目	What	Who	When	How
免許	免許取得に係る全般	地域 CATV 事業者もしくは ZTV	運用開始までに	現地調査、電波伝搬シミュレーション、法令関連調査、免許申請書類作成
ローカル 5G	構築、運用、保守	パナソニックコネク	運用開始までに	構築：現地調査、コアネットワーク設計、基地局構築 運用保守：体制の確立
ネットワーク	構築、保守	地域 SI 事業者もしくはシンクレイヤ	運用開始までに	構築：ネットワーク設計、機器配線整備、システム結合、 運用保守：体制の確立
給餌シス	給餌機改修、制	アイエスイー	運用開始までに	構築：給餌船調査、給餌機改修設

テム	御サーバ構築、 保守			計、機器組込み、サーバ連携、運用 試験、マニュアル作成、トレーニング 運用保守：定期的なメンテナンス、 体制の確立。
AI システ ム	AI 識別器作成、 精度向上、保守	鳥羽商船高専	運用開始までお よび開始後も継 続	構築：AI 判定に必要な画像データ の収集解析 運用保守：判定精度向上のための データ収集解析

関連する事業者が自社の役割を理解するため、ビジネスモデルキャンバスおよび事業構造図を作成しました。

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 ・ローカル 5G ベンダ ・自動給餌機構築会社 ・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 ・自動給餌システム、成育管理システム、操船確認の構築、運用、保守 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブリ養殖の給餌自動化による業務負荷軽減、コスト削減 ・成育管理システムによる業務量削減、 ・給餌業務および操船時の安全安心の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブリ養殖事業者の生け簀が整備される地域を拠点とする企業 	<ul style="list-style-type: none"> ・規模の大きいブリ養殖事業者 (将来的には) 中小規模のブリ養殖事業者へもアプローチする
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 		
リソース <ul style="list-style-type: none"> ・通信インフラ ・通信デバイス ・ネットワーク ・資格・スキル 		チャンネル <ul style="list-style-type: none"> ・地元 CATV 局 		

図 4-118 ビジネスモデルキャンバス

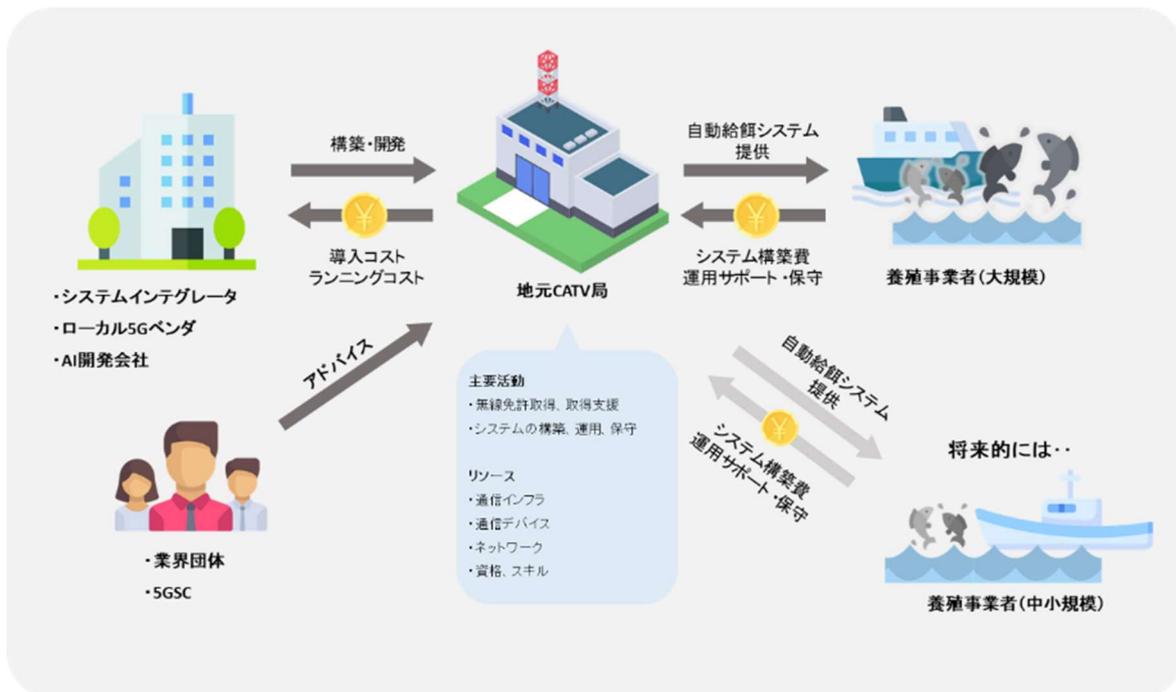


図 4-119 事業構造図

表 4-71 ビジネスモデルキャンパスの項目と要素

項目	要素	本事業	
1	価値提案	<ul style="list-style-type: none"> ・ブリ養殖事業者の課題の解決し、ニーズを満たすダッシュボードシステム（価値）の提供 	<ul style="list-style-type: none"> ・給餌自動化 ・成育管理 ・操船確認
2	顧客セグメント	<ul style="list-style-type: none"> ・全国のブリ養殖事業者への製品（価値）の提供 	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模ブリ養殖事業者 ・(将来) 中小規模ブリ養殖事業者
3	主要活動	<ul style="list-style-type: none"> ・製品（価値）を提供するためにCATV局が主体的に行う活動 	<ul style="list-style-type: none"> ・無線免許取得もしくは取得支援 ・自動給餌システム他の構築、運用、保守
4	リソース	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・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	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業を成功させるために共に活動する事業パートナー 	<ul style="list-style-type: none"> ・システムインテグレータ ・ローカル5Gベンダ ・自動給餌システム開発会社 ・AI開発会社 ・業界団体 ・5GSC
6	コスト構造	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業を提供、運用するためにCATV局が必要とするコスト 	<ul style="list-style-type: none"> ・導入コスト ・ランニングコスト
7	チャネル	<ul style="list-style-type: none"> ・全国に存在するブリ養殖事業者に対して本事業を提供する窓口となる事業者 	<ul style="list-style-type: none"> ・地元CATV局
8	収益の流れ	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業における収入の流れと内訳 	<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
9	顧客との関係	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業の継続的なサービスを提供するための方法 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブリ養殖生け簀所在地を拠点とする企業による迅速なサポート対応

c. 収支計画

ア) 収支計画

イニシャルおよびランニングコストについては、本実証において構築したシステムを標準仕様とし算出を行いました。

それぞれの項目の詳細については次の通りです。

- ・ローカル5G ローカル5G基地局の構築、電波発射

- ・ 給餌システム 船舶の改造、カメラ設置、AI 解析、海洋データ収集等のシステム構築
- ・ 成育管理 成育状況、海洋データ等を一元管理するポータルサイトの構築
- ・ 導入経費 ローカル 5G、給餌システム、成育管理各項目の導入に係る一般管理費等の経費全般。
- ・ 維持管理費

事業者へのヒアリングから、システムの活用により削減が想定されるコストが次の通りとなります。

表 4-72 システム活用による想定コスト削減額

項目	想定の間年削減額
餌代	270 万円
データ入力業務	900 万円
新人教育	84 万円
給餌作業中止判定	160 万円
合計	1,414 万円

各項目の詳細および算出根拠については、【表 4-47 削減額と回避できる被害額】参照

システム導入により約 1,400 万円の年間削減効果が期待できます。しかしながら、1 ユーザのみでシステムを構築、運用すると、提供費用が想定年間削減額を上回ってしまいます。

システムの採用には、想定年間削減額を下回る金額での提供が必須となりますので、複数ユーザでの設備共用によるコスト削減と、料金の支払い方法プランの検討を行いました。

システムの提供方式は 2 つのプランを検討しています。

- ・ プラン A：初期費用一括支払い型

初期構築に係る費用一式をブリ養殖事業者が負担する方式です。

大型の設備投資が可能な規模の大きい事業者が対象になると想定しています。

- ・ プラン B：サブスクリプション型

初期費用のうち、ローカル 5G および給餌システムに係るものを提供事業者負担により構築し、月額利用料としてブリ養殖事業者が支払う方式です。

初期投資を抑えることで、導入への障壁が下がり、早期の課題解決にもつながることを期待します。

初期費用重視型は原価に 2 割程度の利益をのせて養殖事業者に提供します。

サブスクリプション型は 1 システム (1 案件) あたり 4 年目で累積の黒字達成を想定しています。(24 年度構築、25 年度稼働開始案件は 28 年度に黒字化)

養殖事業者毎にシステムの構築を行うことを想定した収支計画となっていますが、AI や成育管理システムの仕様の標準化によりコスト削減が可能となることを想定した試算となります。

各表に記載される「個別負担」「ユーザ負担」の意味は次の通りです。

個別負担：ローカル5Gの基地局（RU）や給餌機に搭載する機器や改修については、他のユーザと共用ができないため、ユーザ毎に負担が発生します。

ユーザ案分：ローカル5Gのコアシステムや自動給餌システムに用いるサーバなど、センター側に設置することで複数ユーザが共用できる設備については、ユーザ数で案分できます。

今回は4ユーザの案分を想定した試算を行いました。

また、現状はローカル5Gがコストの6割程度占めており、結果システム全般のコストを押し上げているため、低価格化が進むことでコスト削減や提供価格の低減が見込めます。

表 4-73 1システムあたりのコスト（単位：千円）

項目	負担方針	主な機器等	初期費用総額	ランニング（月額）
ローカル5G	個別負担	RU	5,100	100
	ユーザ案分	コア	17,700	300
自動給餌システム	個別負担	給餌機改修	3,500	60
	ユーザ案分	サーバ	3,900	65
成育管理システム	個別負担	うみログ	1,650	62.5
	ユーザ案分	なし	0	0
操船確認システム	個別負担	カメラ	1,560	0
	ユーザ案分	なし		0
合計			33,410	587.5

ソリューション提供における支出（提供原価）は次の通りです。

表 4-74 支出検討（提供原価）（単位：千円）

支出（提供原価）		4ユーザ案分						
			令和6年度 (2024年)	令和7年度 (2025年)	令和8年度 (2026年)	令和9年度 (2027年)	令和10年度 (2028年)	令和11年度 (2029年)
ローカル5G	初期	個別負担	20,400	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	17,700	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	4,800	4,800	4,800	4,800	4,800
		ユーザ案分	0	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
自動給餌システム	初期	個別負担	14,000	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	3,900	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	2,880	2,880	2,880	2,880	2,880
		ユーザ案分	0	780	780	780	780	780
成育管理システム	初期	個別負担	6,600	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
操船確認システム	初期	個別負担	6,240	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
合計		68,840	15,060	15,060	15,060	15,060	15,060	

ローカル5Gコアシステムおよび自動給餌システムサーバを4ユーザが設備共用し、それ以外の

設備は各ユーザが個別に使用するという条件において、4ユーザ合計分の原価コストになります。
 ユーザへの提供価格（次表以降記載）は原価に2割程度の利益をのせた金額とします。
 2024年度に構築が完了し、稼働開始は2025年度当初からとする。

初期費用一括支払い型およびサブスクリプション型の収入（ユーザ支払額）は次の通りです。

表 4-75 収入検討（プランA）（単位：千円）

収入（ユーザ支払額）		プランA	初期費用一括支払い型	4ユーザ案分 4ユーザ合計				
			令和6年度 (2024年)	令和7年度 (2025年)	令和8年度 (2026年)	令和9年度 (2027年)	令和10年度 (2028年)	令和11年度 (2029年)
ローカル5G	初期	個別負担	24,800	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	21,240	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
		ユーザ案分	0	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400
自動給餌システム	初期	個別負担	16,800	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	4,800	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
		ユーザ案分	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
成育管理システム	初期	個別負担	8,000	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
操船確認システム	初期	個別負担	7,600	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
合計（4ユーザ）			84,000	18,600	18,600	18,600	18,600	18,600
合計（1ユーザあたり）			21,000	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650
【参考】ユーザ数1の場合のコスト			41,100	8,700	8,700	8,700	8,700	8,700

今回の算出条件として、ローカル5Gコアシステムおよび自動給餌システムサーバを4ユーザが設備共用します。それ以外の設備は各ユーザが個別に使用します。

ユーザへの提供価格は表4-75にて算出した提供原価に2割程度の利益をのせたものになります。

2024年度に構築が完了し、稼働開始は2025年度当初からを想定したものとなります。

初年度のユーザ負担は構築費用として4ユーザ総額8,400万円となり、1ユーザあたりでは2,100万円となります。

次年度以降はランニング費用として4ユーザ総額1,860万円/年となり、1ユーザあたりでは465万円/年となります。

仮に設備共用を行わず1ユーザのみでシステムを占有する場合は、初期費用4,110万円、ランニング費用870万円/年となります。

表 4-76 収入検討（プランB）（単位：千円）

収入（ユーザ支払額）			プランB サブスクリプション型 4ユーザ案分					
			令和6年度 (2024年)	令和7年度 (2025年)	令和8年度 (2026年)	令和9年度 (2027年)	令和10年度 (2028年)	令和11年度 (2029年)
ローカル 5G	初期	個別負担	0	10,800	10,800	10,800	10,800	10,800
		ユーザ案分	0	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800
	ランニング	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
自動 給餌 シス テム	初期	個別負担	0	6,800	6,800	6,800	6,800	6,800
		ユーザ案分	0	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
	ランニング	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
成育 管理 シス テム	初期	個別負担	0	5,200	5,200	5,200	5,200	5,200
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
操船 確認 シス テム	初期	個別負担	0	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
		ユーザ案分	0					
	ランニング	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
合計（4ユーザ）			0	35,200	35,200	35,200	35,200	35,200
合計（1ユーザあたり）			0	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800
【参考】ユーザ数1の場合のコスト			0	16,600	16,600	16,600	16,600	16,600

今回の算出条件として、ローカル 5G コアシステムおよび自動給餌システムサーバを 4 ユーザが設備共用します。それ以外の設備は各ユーザが個別に使用します。

ユーザへの提供価格は表 4-68 にて算出した提供原価に 2 割程度の利益をのせたものになります。

2024 年度に構築が完了し、稼働開始は 2025 年度当初からを想定したものとなります。

サブスクリプション型となるため、構築のみの初年度における初期費用は発生しません。

次年度以降はランニング費用として 4 ユーザ総額 3,520 万円/年となり、1 ユーザあたりでは 880 万円/年となります。

仮に設備共用を行わず 1 ユーザのみでシステムを占有する場合は、初期費用 0 円、ランニング費用 1,660 万円/年となります。

実証フィールド（尾鷲）での実証継続におけるユーザ支払額は次の通りです。

表 4-77 収入検討（実装継続）（単位：千円）

収入（ユーザ支払額）			実証フィールド実装継続 4 ユーザ案分 1 ユーザ分					
			令和6年度 (2024年)	令和7年度 (2025年)	令和8年度 (2026年)	令和9年度 (2027年)	令和10年度 (2028年)	令和11年度 (2029年)
ローカル 5G	初期	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
		ユーザ案分	0	4,400	4,400	4,400	4,400	4,400
自動 給餌 シス テム	初期	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
		ユーザ案分	0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
成育 管理 シス テム	初期	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	3,600	3,600	3,600	3,600	3,600
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
操船 確認 シス テム	初期	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
	ランニング	個別負担	0	0	0	0	0	0
		ユーザ案分	0	0	0	0	0	0
合計（4 ユーザ）			0	18,600	18,600	18,600	18,600	18,600
合計（1 ユーザあたり）			0	4,650	4,650	4,650	4,650	4,650

横展開ユーザとランニングに係る負担を案分することを想定しました。

ローカル 5G コアシステムおよび自動給餌システムサーバを 4 ユーザが設備共用し、1 ユーザ分の支払額となります。

初期費用については本実証において構築が完了しているため、初期費用一括型と同様のランニング費用の 1 ユーザ分である 465 万円が年間の負担額となります。

イ) ユーザにおける必要リソース（モデルケース）

ソリューション導入に必要なユーザのリソースは次の通りです。

表 4-78 ユーザにおける必要リソース（初期費用一括支払い型・4 ユーザ案分）

項目		イニシャルコスト (初年度)	ランニングコスト (次年度以降、年間)
ローカル 5G システム		11,700 千円	2,500 千円
a.	ローカル 5G システム運用業務 <i>(※自社で実施する場合)</i>	0 円	0 円
b.	ローカル 5G システムに係る運用業務委託 <i>(※他社に委託する場合)</i>	11,700 千円	2,500 千円
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション		10,700 千円	2,250 千円
a.	自動給餌ソリューション	6,400 千円	1,250 千円
	① 運用に係る環境整備等に係る経費 <i>(※自社で負担する費用)</i>	1,000 千円	100 千円

	②	ソリューション構築・運用委託費 <i>(※他社に委託する費用)</i>	5,400 千円	1,150 千円
b.	成育管理ソリューション		2,200 千円	1,000 千円
	①	運用に係る環境整備等に係る経費	200 千円	100 千円
	②	ソリューション構築・運用委託費	2,000 千円	900 千円
c.	操船確認ソリューション		2,100 千円	0 円
	①	運用に係る環境整備等に係る経費	200 千円	0 円
	②	ソリューション構築・運用委託費	1,900 千円	0 円

表 4-79 ユーザにおける必要リソース（サブスクリプション型・4 ユーザ案分）

項目		イニシャルコスト (初年度)	ランニングコスト (次年度以降、年間)
ローカル 5G システム		1,100 千円	4,900 千円
a.	ローカル 5G システム運用業務 <i>(※自社で実施する場合)</i>	0 円	0 円
b.	ローカル 5G システムに係る運用業務委託 <i>(※他社に委託する場合)</i>	0 円	4,900 千円
ローカル 5G 活用モデルに係るソリューション		2,300 千円	4,100 千円
a.	自動給餌ソリューション	1,000 千円	2,300 千円
	③	運用に係る環境整備等に係る経費 <i>(※自社で負担する費用)</i>	100 千円
	④	ソリューション構築・運用委託費 <i>(※他社に委託する費用)</i>	2,200 千円
b.	成育管理ソリューション	200 千円	1,400 千円
	①	運用に係る環境整備等に係る経費	100 千円
	②	ソリューション構築・運用委託費	1,300 千円
c.	操船確認ソリューション	200 千円	400 千円
	①	運用に係る環境整備等に係る経費	0 円
	②	ソリューション構築・運用委託費	400 千円

d. 実装を確実にするための取り組み

ア) 提供コスト低減

表 4-80 提供コスト低減のための取組

目的	担当	手段、取組方法、アウトカム	実施時期
提供コスト低減	鳥羽商船高専	AI 識別器を他のエリア・事業者でも流用できるように汎用性を高めることでコストの削減を目指す。	流用可能な設備、システムについては初期導入年度以降で削減を行う。
	ZTV	サブスクリプション型提供モデルを開	成果報告書に記載。

		発することで導入のハードルを下げる。	
	ZTV	ローカル 5G コアシステム、自動給餌システムサーバを複数の養殖事業者で共有することにより、運用維持費を低減。	成果報告書に記載。
	地域 CATV 事業者および ZTV	ローカル 5G 基地局を港湾監視やコンシューマ向け高速インターネット接続などのブリ養殖事業以外のサービスに対して活用することにより、運用維持費を低減。	広域利用に向けた制度改定にあわせて検討を行う。

イ) ソリューション追加開発

表 4-81 ソリューション追加開発のための取組

目的	担当	手段、取組方法、アウトカム	実施時期
ソリューション追加開発	コンソーシアムメンバー各社	AI 判定精度向上に向けて年間を通じた給餌業務データの収集を行う。得られたデータを基に給餌業務に従事する職員による詳細な活性判定のためのフィードバックを行う。	2023 年度以降で継続実施。
	ZTV、ヤママー、東京海洋大学	操船確認システムを発展させ自動操船につながる実証を継続して実施する。	2023 年度以降で継続実施。

ウ) 顧客開拓

表 4-82 顧客開拓のための取組

目的	担当	手段、取組方法、アウトカム	実施時期
顧客開拓	ZTV、尾鷲物産	尾鷲物産の関連会社に向けてソリューションの提案を実施。従業員の高齢化、デジタル未対応の課題があるため、稼働中のシステムを体験できる機会をセッティングしニーズのヒアリングとソリューション提案を行う。	2023 年度中に実施を検討。
	ケーブルテレビ連盟	ケーブルテレビ連盟加入事業者向けの説明会・個別説明の実施。	2023 年度中の実施を検討。
	ZTV、地域 CATV 事業者	地域ごとのブリ養殖事業者（会社経営体）に向けたニーズ調査とソリューション提案を実施。	2023 年度中の実施を検討。
	ZTV、尾鷲物産	上記提案先ブリ養殖事業者に向けて稼働中のソリューション視察会の実施	2023 年度中の実施を検討。

エ) 運用面の改善

表 4-83 運用面の改善のための取組

目的	担当	手段、取組方法、アウトカム	実施時期
運用面の改善	アイエス イー	ユーザからのフィードバックによる自動給餌システムの操作性向上を行う。成育管理システムのUI改善を実施。運用マニュアルの改訂。	2023年度以降で継続実施。

オ) ルールメイキングへの貢献

表 4-84 ルールメイキングへの貢献

目的	担当	手段、取組方法、アウトカム	実施時期
ルールメイキングへの貢献	ZTV、ヤンマー、東京海洋大学	本ソリューションにおいては制度の改正等は発生しない。 将来的な自動操船において必要となる法令について改正等の必要性について整理を行う。	自動操船への取り組み検討の開始に伴い実施。

e. 計画した収入を下回った場合の対応方法（資金調達など）

支出内容の見直しによる原価費用の削減

ローカル 5G 整備や水産養殖関連の補助事業を活用した導入コスト削減

5. 普及啓発活動の実施

5.1 映像制作

実証の取り組み成果に係る動画（3分）を作成しました。また、三菱総合研究所がローカル 5G の普及の観点から行う本事業に関する映像制作に関して、実証映像等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、2023年3月6日（月）に実証視察会を開催しました。

視察会実施場所は三重県尾鷲市の尾鷲湾内にある尾鷲物産株式会社が所有するブリ養殖生け簀です。

参加者は総務省、三菱総合研究所、ローカル 5G の導入に関心のある企業およびコンソーシアム各社となります。

本視察会では、「本事業の概要説明」「自動給餌等 現地視察会」「操船確認システムの視察」「質疑応答」と4つのパートに分けて、本実証にて構築したソリューションについて紹介しました。

「自動給餌等 現地視察会」パートにおいてはブリ養殖生け簀まで船で移動し、給餌機等設備の説明、AIによる自動給餌と従業員による手動給餌の視察を行いました。



図 5-1 給餌業務視察の様子



図 5-2 操船支援システム視察の様子

令和4年度ローカル5G開発実証事業(開05_尾鷲) 実証視察会プログラム

2023年3月6日

時刻	内容	備考
08:30	受付開始	会場：尾鷲商工会議所 3F 大ホール1 (三重県尾鷲市朝日町 14-45)
09:00	開会	司会
09:02	開会の挨拶	株式会社 ZTV 代表取締役専務
09:05	実証概要説明 構築システム説明	概要説明：株式会社 ZTV システム構成：シンクレイヤ株式会社 成育管理システム：株式会社アイエスイー 技術実証：パナソニックコネクタ株式会社
10:00	質疑応答	
10:15	尾鷲物産へ移動 (三重県尾鷲市林町 1-33)	弊社バスをご利用ください
10:25	乗船準備	ライフジャケットをご着用頂きます
10:30	現地視察	L5G 設備見学 給餌業務、自動給餌システム見学 成育管理システム見学
11:45	帰港	
11:50	尾鷲商工会議所へ移動 (三重県尾鷲市朝日町 14-45)	弊社バスをご利用ください
12:05	操船支援システム見学	現地視察時の映像確認
12:10	現地視察の質疑応答	
12:28	開会の挨拶	株式会社 ZTV 新事業推進部 部長
12:30	閉会(解散)	

※上記の内容は予告なく変更する場合がありますので予めご了承ください。

※電車でお帰りの方は

13:32 尾鷲駅発 名古屋行 JR 特急「南紀」をご利用ください。

図 5-3 実証視察会プログラム

令和4年度ローカル5G開発実証事業(開05_尾鷲) アクセスマップ

会場① 尾鷲商工会議所
(〒519-3611 三重県尾鷲市朝日町14-45)

【電車でお越しの方】
尾鷲駅 (JR紀勢本線)より徒歩10分

【お車でお越しの方】
尾鷲北ICより5分

会場② 尾鷲物産株式会社 本社
(〒519-3612 三重県尾鷲市林町1-33)
※本会場への移動はバスをご用意しますのでご利用ください。



図 5-4 アクセスマップ

5.3 その他普及啓発活動

取組んだ普及啓発活動は次の通りです。

表 5-1 普及啓発活動実績

時期	活動実績
2022年10月	日本ケーブルテレビ連盟無線利活用委員会にて、実証事業概要の説明
2022年11月	自社HPでのプレスリリース（ZTV、シンクレイヤ、ヤンマーHD、地域ワイヤレスジャパン、グレープ・ワン、鳥羽商船高専）
	みなと新聞 2022/11/7号掲載（取り組み紹介）
	水産経済新聞 2022/11/11号掲載（取り組み紹介）
	映像新聞 2022/11/14号掲載（取り組み紹介）
2022年12月	月刊「B-maga」12月号掲載（取り組み紹介）
	㈱新社会システム総合研究所セミナーにて実証事業概要の紹介（2022/12/20）
	日本ケーブルテレビ連盟主催の定例記者会見にて実証事業概要の紹介（2022/12/23）
2023年1月	「MM Report」1月号掲載（取り組み紹介）
	「電波技術協会報」1月号掲載（取り組み紹介）
	NHK津放送局「まるっと三重」放映（取り組み紹介）（2023/1/24）
	みえ ICT・データサイエンス推進協議会にて事業概要の説明（2023/1/25）
	ZTV コミュニティチャンネル「ホッと東紀州」放映（取り組み紹介）（2023/1/25）
	みえスマート水産業研究会シンポジウムにて取り組み紹介（2023/1/27）
2023年3月	みえスマート水産業技術研修会にて本実証の取り組みについて講演（2023/3/15）

6. 実施体制

6.1 実施体制の全体像

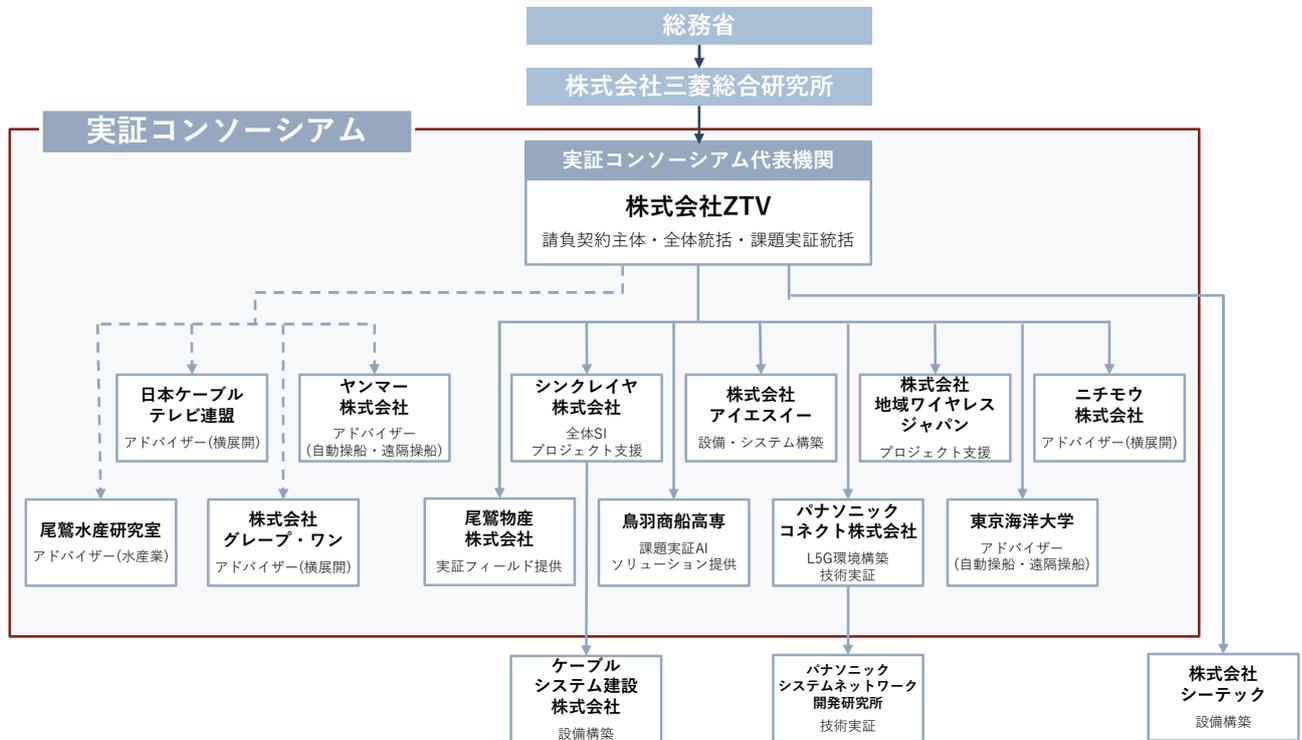


図 6-1 実施体制図

6.2 実施体制内の役割

本実証プロジェクトにおいて、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した。

本実証コンソーシアムにおいて、以下の事業者より各役割の責任者を設置しました。

プロジェクトマネージャー：株式会社 ZTV

課題実証担当者：株式会社 ZTV

技術実証担当者：パナソニックコネクト株式会社

会計処理担当者：株式会社 ZTV

▶ 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。

本担当者は、令和2年度、3年度に開発実証にも参画した同一の従事者を含めて構成し、本担当者の属する部署内には、以下の無線従事者資格を有する者がおり、これらの者を中心に電波伝搬特性等に関する技術的検討を実施します。

一陸：3名、二陸：1名、陸特一：7名、陸特二：2名、陸特三：8名

➤ 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・取りまとめの責任を持ちます。

表 6-1 コンソーシアム体制内の役割

会社・組織名	役割
株式会社ZTV	請負契約主体・全体統括・課題実証統括 ※課題実証主体
尾鷲物産株式会社	実証フィールド提供
シンクレイヤ株式会社	全体SI、プロジェクト支援
鳥羽商船高等専門学校	課題実証AIソリューション提供
株式会社アイエスイー	設備・システム構築
パナソニックコネクタ株式会社	ローカル5G環境構築・技術実証 ※技術実証主体
株式会社地域ワイヤレスジャパン	プロジェクト支援
東京海洋大学	アドバイザー（自動操船、遠隔操船）
ヤンマーホールディングス株式会社	アドバイザー（自動操船、遠隔操船）
三重県 水産研究所 尾鷲水産研究室	アドバイザー（水産業）
日本ケーブルテレビ連盟	アドバイザー（横展開）
ニチモウ株式会社	アドバイザー（横展開）
株式会社グレープ・ワン	アドバイザー（横展開）

令和4年度 課題解決型ローカル5G等の実現に向けた開発実証【開発実証事業】

ローカル5Gを活用したAI画像認識によるブリ養殖の効率化に向けた実証

2023年3月

代表機関名：株式会社 ZTV
