

地域課題解決型ローカル5G等の実現に向けた  
開発実証に係る漁業分野におけるローカル5G等の技術的  
条件等に関する調査検討の請負  
(海中の状況を可視化する仕組み等の実現)

成果報告書

令和3年3月31日

株式会社レイヤーズ・コンサルティング

# 目次

<b>1. 全体概要</b> .....	<b>1</b>
1.1 背景・目的 .....	1
1.2 実施事項及び実証目標 .....	4
1.2.1 課題実証の概要 .....	4
1.2.2 技術実証の概要 .....	4
1.3 実施体制 .....	5
1.3.1 実施体制図 .....	5
1.3.2 コンソーシアムの詳細 .....	5
1.4 実証のスケジュール .....	7
1.5 免許申請の概要 .....	7
<b>2. 実証地域</b> .....	<b>9</b>
2.1 実証地域の概要 .....	9
2.2 実証環境 .....	13
2.3 地域課題等 .....	16
<b>3. 実証環境</b> .....	<b>23</b>
3.1 ネットワーク構成 .....	23
3.1.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム .....	23
3.1.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム .....	25
3.1.3 ローカル5Gシステム .....	28
3.2 システム機能・性能・要件 .....	28
3.2.1 キャリア5Gシステム .....	30
3.2.2 水中ドローン .....	32
3.2.3 センサー .....	42
3.2.4 養殖漁場環境の分析システム .....	51
3.2.5 ローカル5Gシステム .....	56
3.3 実証環境の計画 .....	57
3.4 実証参加者への説明 .....	60
<b>4. 課題解決システムの実証</b> .....	<b>63</b>
4.1 前提条件 .....	63
4.2 実証目標 .....	63
4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析 .....	63
4.3.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム .....	63
4.3.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム .....	76
4.4 課題解決システムに関する効果検証 .....	86
4.4.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム .....	86

4.4.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム	98
4.5 課題解決システムに関する機能検証	100
4.5.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム	100
4.5.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム	120
4.6 課題解決システムに関する運用検証	125
4.6.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム	125
4.6.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム	135
4.7 まとめ	137
<b>5. ローカル5Gの性能評価の技術実証</b>	<b>147</b>
5.1 前提条件	147
5.1.1 技術実証の対象とするユースケース	147
5.1.2 ユースケースに基づく性能要件の基本的な考え方	147
5.1.3 実証環境	147
5.1.4 基本的な諸元	151
5.2 実証目標	163
5.2.1 技術的課題	163
5.2.2 実証目標	164
5.2.3 実施事項と各実施事項に必要な各種データ	165
5.3 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等	166
5.3.1 実施概要	166
5.3.2 評価・検証項目	168
5.3.3 評価・検証方法	169
5.3.4 類似の調査 比較対象とする類似調査のサーベイ結果、比較の視点等	173
5.3.5 性能評価結果	174
5.3.6 技術的課題の解決策	178
5.3.7 技術的課題の解決策	178
5.3.8 更なる技術的課題等	182
5.4 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等	182
5.4.1 評価・検証項目	182
5.4.2 計測指標及びその妥当性	183
5.4.3 評価・検証方法	183
5.4.4 検証結果	188
5.4.5 技術的課題の解決策	193
5.5 その他ローカル5Gに関する技術実証	195
5.5.1 評価・検証方法の詳細	196
5.5.2 計測の仕様	196
5.5.3 検証結果	203
5.5.4 自身で設定したテーマ・視点等に係る項目	210
5.5.5 検証結果を踏まえた考察（自身で設定したテーマ・視点への対応等）	210
5.5.6 技術的課題の解決策	210
5.5.7 更なる技術的課題等	211

5.6	まとめ	223
<b>6.</b>	<b>実装及び横展開に関する検討</b>	<b>226</b>
6.1	前提条件	226
6.2	持続可能な事業モデル等の構築・計画策定	227
6.3	横展開に資する普及モデルに関する検討	229
	通信機器企業の観点からローカル5Gのビジネスモデルケース確立	229
6.4	共同利用型プラットフォームに関する検討	230
6.4.1	本事業の課題解決システムを他の地域等で実装するために5Gソリューション提供センター（仮称）が具備すべき機能	230
6.4.2	本事業の課題解決システムについて5Gソリューション提供センター（仮称）を通じた横展開のあり方	241
6.4.3	課題解決システムが公開するAPI仕様ないしはPFとのインターフェース仕様	245
6.5	地域における特定産業分野における免許技術要件に対する制度のあり方への提言	245
6.6	実証枠の先にあるカキ養殖事業の事業収益性への示唆	245
6.6.1	事業化への道筋	246
6.6.2	経済性	247
6.6.3	展開拡張の実務課題	249
6.6.4	漁業であることへの相互理解（心因的コミットメントの醸成）	251
6.7	まとめ	252
<b>7.</b>	<b>会合等の開催（該当する活動がある場合）</b>	<b>254</b>
<b>8.</b>	<b>まとめ</b>	<b>258</b>
8.1	全体概要	258
8.2	課題実証	259
8.2.1	水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム	259
8.2.2	映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム	260
8.3	技術実証	262
8.3.1	ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等	262
8.3.2	ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等	263
8.3.3	その他ローカル5Gに関する技術実証	263
8.4	実装・横展開に関する検討	265
<b>9.</b>	<b>参考資料</b>	<b>266</b>



# 1. 全体概要

## 1.1 背景・目的

一次産業における課題は、「資源の増大」、「生産性向上・所得向上」、「担い手の維持・発展」等が挙げられる。

特に水産業の抱えている課題で最も深刻となっているのが漁業生産量の減少である。水産庁の水産白書の報告によれば、かつては世界一の水産大国だった日本も、現在では諸外国に比べて大きく衰退している。ここ数十年の間で、世界の漁業・養殖業を合わせた生産量は増加しているのに対し、日本は大幅に減少している。(図1 漁業生産額の推移)

平成元年をピークに漁獲生産量は減少、漁業生産額も魚離れの影響もあり減少していたが、近年は消費者ニーズの高い養殖魚種の生産の進展等があり持ち直しを見せ始めている。

日本の漁業生産量が減少した原因だが、これには「排他的経済水域の設定」が大きく影響しており、自国内以外の他国の海で漁獲がしにくくなったと推察する。

さらに、世界の魚介争奪戦で「買い負けた」ことなども原因のひとつと考える。

担い手の観点では、高齢化と後継者不足が言える。どの業界にも言えることだが、少子高齢化や人口減少などにより、水産業全体の高齢化と後継者不足が進んでいる。

特に、水産業では漁村から都会への若者流出が顕著である。水産業を行う若手がいなければ、今後ますます水産業の低迷が進むことは明らかである。

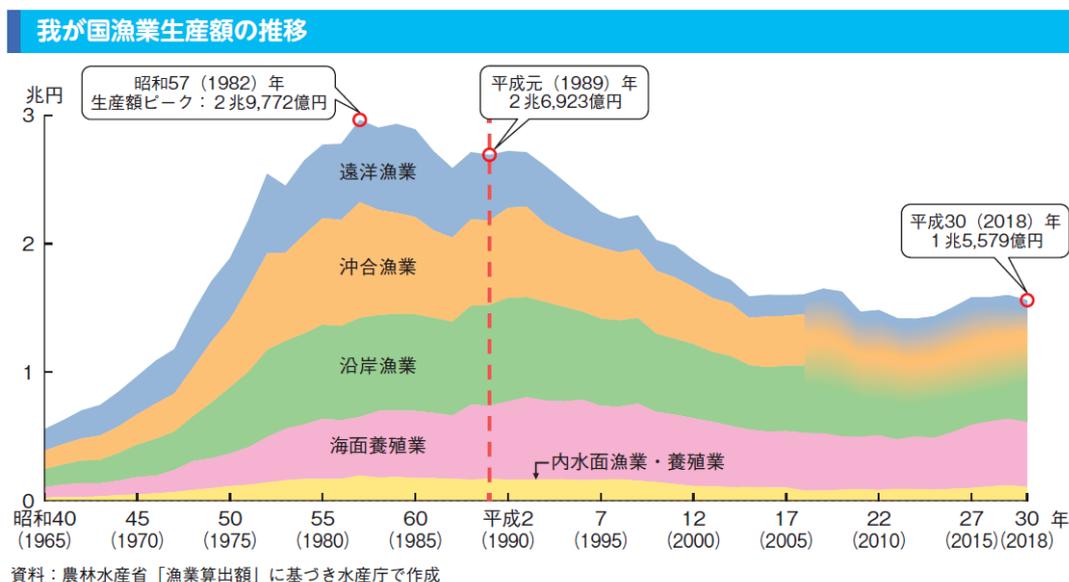


図1 漁業生産額の推移

出所：水産庁水産白書令和元年度 概要資料より抜粋

これらの課題を「5Gの大容量通信による遠隔監視、低遅延通信による遠隔制御」を核としたICT化により解決する一次産業DXに取り組んだ。

例えば漁業分野においては、海洋環境と資源変動との関係が十分に解明されていないことも多く、資源評価に必要な情報収集が求められている。

IoT機器、センサー等を利用した「リアルタイムセンシング」により多種多様な定点情報

の可視（データ）化された環境情報を確保することで海洋環境の良否判断ができることに加え、水中でも活動できるロボットとして代表的な水中ドローンを活用し、これまで入手困難であった海中のビジュアルを高精細かつリアルタイムに把握することが可能となる。

これら2つの技術を組み合わせた「データ×ビジュアル」により、海洋環境の悪化を把握することで、「資源の増大」や「生産性向上・所得向上」の課題解決に効果を上げられると考える。

更に、これらで得た「データ×ビジュアル」と一次産業に連綿と伝えられてきた「匠の知識」とを融合させ、的確な情報がタイムリーに展開されることが「担い手の維持・発展」等に寄与できると考える。

日本における漁業分類は、漁業（海面漁業・内水面漁業）と水産養殖業（海水面養殖・内水面養殖）に大別される。中でも特に海水面養殖は、水質を悪化させる海底の堆積物の除去が難しく、また、密集して生育するため、付着性の生物が養殖水産物や施設等に付着することで、潮通しを悪くしたり餌を奪ったりする等、生育に影響を与える事象が生じやすい。

そのため海水面養殖では、人手等により定期的に海中状況を把握するなど対策を講じてきているが、海中状況をリアルタイムに把握することは難しく、結果として「へい死」が生じ、生産性が低下することが課題となっている。

広島県の主要産業であるカキ（牡蠣）養殖量においては、1950年代から1960年代にかけて急増していき、1988年の17万5千トンがピークとなっているが、1998年には8万7千トンまで減産し現在は10万トン前後で推移しており、生産量の低下が課題となっている。  
(図2 カキ生産量の推移参照)

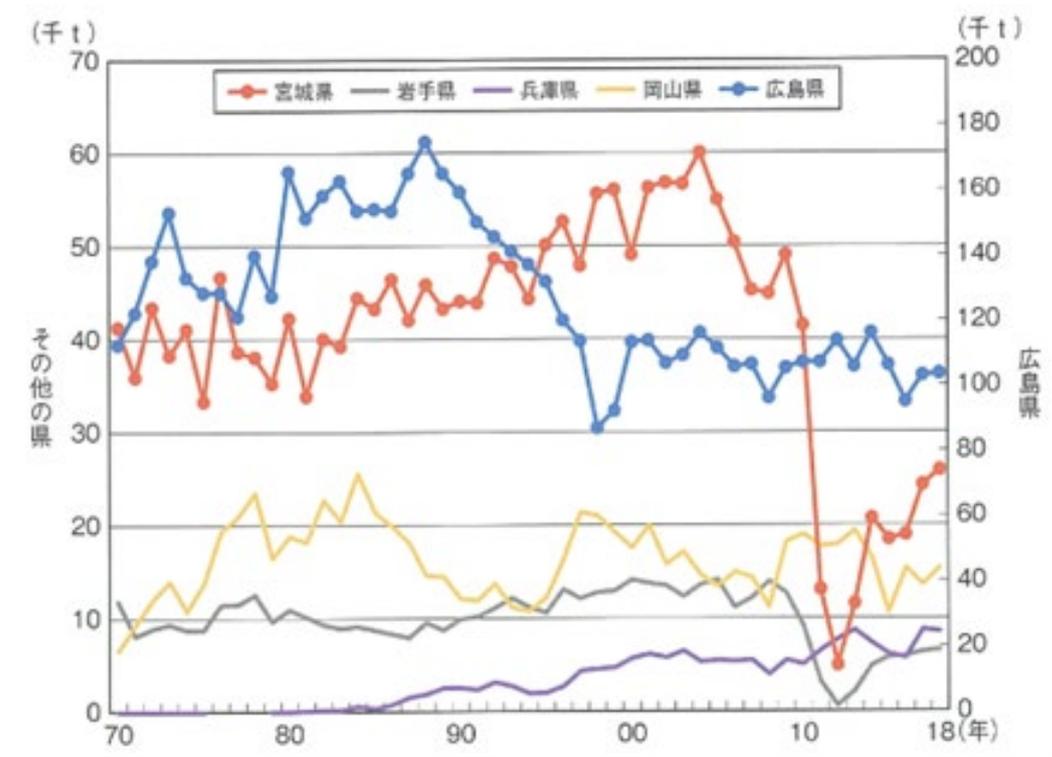


図 2 カキ生産量の推移

出所：養殖ビジネス 2020年4月号より抜粋

養殖場の環境、カキと競合する付着生物、カキや付着生物の排泄物やそれらの落下による底質悪化等、海の中の状況を広範囲にダイバー等で確認する事は困難である。

また海中センサーによる水質モニタリングは定点観測が主な状況で、広範囲にモニタリングを行うためには、沢山のブイを配備することになり船舶の航行路に支障がでる。

また海中に沈める手段もあるが、モニタリングデータの取得のため引き上げての作業が生じるため困難である。特に人手での水質計測は非常に手間が掛かる事から、頻繁に多くの地点で実施することは容易ではない。

異なる地点間の水質の比較や、局所的な水質変化を把握できるような高密度、高頻度での水質計測は広くは実施されておらず、一部自治体や港湾管理組織などが調査を行っているが、人的稼働とコストを鑑みると漁場環境が適切に把握されていないのが現状である。

養殖中におけるこれら影響の低減のために、水中の可視化、環境データの取得が重要となり、水中における状況把握にロボット(水中ドローン)の活用が期待されている。本事業では養殖場における高精細映像による可視化に合わせて、センサーによる環境データの取得が可能なシステムを構築し、その実現に向けた実証実験を行った。

また、海上におけるローカル5Gの通信品質を確認し、海上におけるエリア構築について考察するとともに、ローカル5Gとキャリア5Gの共用検討を目的とした。

## 1.2 実施事項及び実証目標

### 1.2.1 課題実証の概要

陸上の遠隔地から海中の状況を可視化するために水中ドローンを操縦し、更にドローンが撮影する映像を遠隔地に伝送するため、映像伝送に対して効果が期待される大容量・低遅延の5G技術を活用した「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」を構築した。

映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析では、水中ドローン搭載（あるいは外付け）のセンサーを用いる事で海水温、塩分濃度、貧酸素濃度の環境データを取得することが可能となるため、一定の海域において、水中ドローンで取得した映像と、センサーで取得した環境データを組み合わせ、且つローカル5Gが持つ大容量、低遅延の技術を活かした養殖場環境の分析システムを構築し、このシステムを使い、取得する映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析評価を行った。

### 1.2.2 技術実証の概要

海上の必要な場所に水中ドローンが必要とするスループットの通信品質を提供できるかの検証を実施する。陸上に設置したローカル5Gシステムによるエリア構築、本ユースケースに最適なシステム構成についても検証、考察を行った。また、4.7GHz帯の海上における電波伝搬においては、海面反射(マルチパス・フェージング)による影響が考えられる為、その影響の調査、検証を必要とする。さらに、ローカル5Gの普及においては、キャリア5Gと同一エリア内で共存することが想定され、特に今後ローカル5Gに割り当てられる予定の4.7GHz帯(4.6-4.9GHz帯)と近接する周波数帯(4.5GHz帯)のキャリア5Gの干渉影響が考えられる為、ローカル5Gのキャリア5Gへの与被干渉による影響を測定、考察を行った。

下記の3点の実証目標を記す。

- (ア) 基地局から半径500m以内での海上におけるローカル5Gの通信品質を確認し、本ユースケースにおけるローカル5G整備の適用性を確認した。
- (イ) ローカル5Gのサービスエリアに対する電波伝搬シミュレーションツールを利用したシミュレーションの結果、及び(ア)で実施の測定結果に基づき、海上におけるエリア構築に対する考察を行い、設計手法における課題、留意点の洗い出しを行った。
- (ウ) ローカル5Gとキャリア5Gの共存環境における与被干渉による影響を測定、考察を行い、ローカル5Gとキャリア5Gの共存環境における無線設計手法における課題、留意点の洗い出しを行った。

### 1.3 実施体制

#### 1.3.1 実施体制図

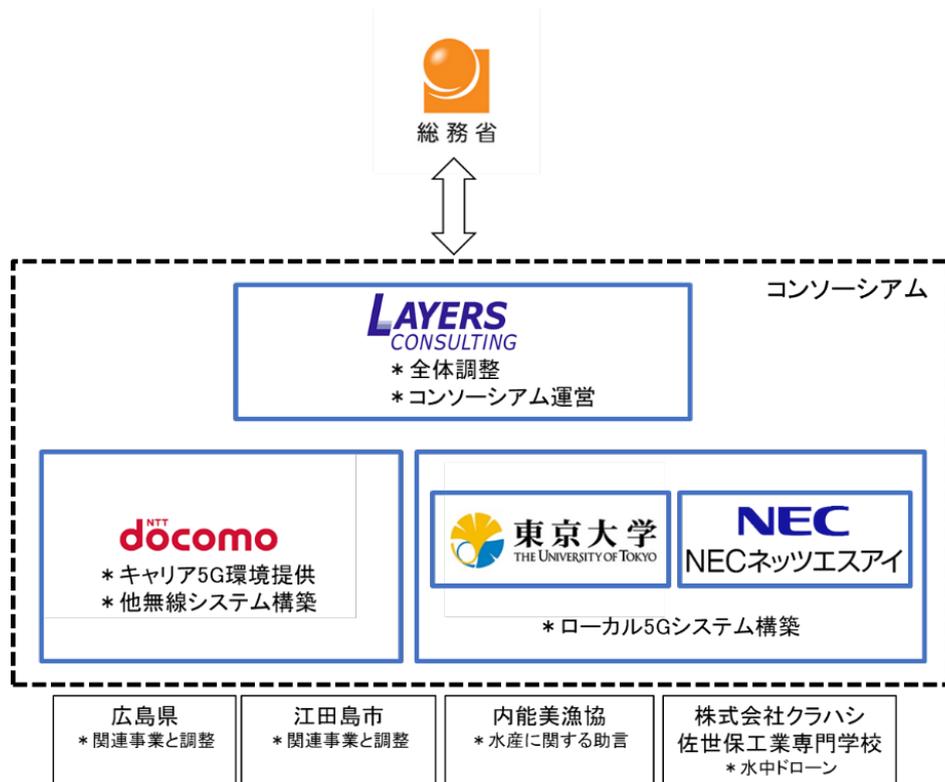


図 3 実施体制図

#### 1.3.2 コンソーシアムの詳細

企業・団体名	役割
レイヤーズ・コンサルティング	全体調整窓口およびコンソーシアム運営
NEC ネットエスアイ株式会社	課題実証および、技術実証に利用するローカル5Gシステム（基地局および移動局）環境の提供、技術実証における電波伝搬試験実施、試験データの取得
国立大学法人東京大学	ローカル5Gシステム技術開発、および自治体、関係省庁、行政部門との調整。通信事業者との電波干渉等の調整、免許申請その他行政諸手続き
株式会社NTTドコモ	技術実証におけるキャリア5Gシステム（基地局および移動局）環境の提

	供、水中ドローンの遠隔制御及び映像伝送システムの環境提供、技術実証における実証実験の実施、試験データの取得
広島県	水産業におけるアドバイスおよび課題解決システムの評価検証における協力。
江田島市	水産業におけるアドバイスおよび実証場所である能美海上ロッジの提供
内能美漁業協同組合	実証エリアである江田島湾内の江田内漁場での実証協力。また課題設定および課題解決システムの評価検証における協力。
株式会社クラハシ	水産業におけるアドバイスおよび水中ドローンの調達及びセンサー搭載等のカスタマイズ。
佐世保工業専門学校	水中ドローン選定におけるアドバイスおよび試験及び海洋での実証協力。

#### 1.4 実証のスケジュール

調達（キャリア5G）については、水中ドローンの発注時期の遅れの影響に伴い、納期が遅れたことにより、構築時期が約1カ月程度後ろ倒しとなった。また、課題実証においても、上述の構築時期の影響や天候の影響により、工程の遅れはあったものの、2月上旬に予定していた全ての工程を完了した。

項目	令和2年			令和3年		
	10月	11月	12月	1月	2月	3月
調達 (キャリア5G)		▲水中ドローン発注→構築				
調達・免許申請 (ローカル5G)	▲干渉調整			▲免許申請	▲予備免許取得	▲免許取得
NW構築・工事 (キャリア5G)			▼機器設置 ▼電波発射 ▲電源・光回線工事			撤去工事
NW構築・工事 (ローカル5G)			▲事前構築/検証	▼フィールド構築・工事 ▲電波発射		
課題実証			▼水中ドローン単体での予備実証	▲本番実証		▼報告書提出
技術実証		▲無線設計・試験設計		▲実証 ▲確認 ▲実証		

#### 1.5 免許申請の概要

NEC ネットエスアイ株式会社にて広島県江田島市能美町中町1265（能美ロッジ）をフィールドとし、ローカル5G活用の実験試験の実施を目的に実験試験局免許申請を実施した。

表1 実験局免許申請

名称	基地局相当装置/ 移動局相当装置	製造	備考

ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん1	基地局相当装置	東京大学	構成検討用として利用。本実証に利用せず
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん2	移動局相当装置	NEC マグナスコ ミュニケーシ ョンズ	ローカル5Gの性能 評価の技術実証で利 用
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん3			
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん4			
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん5			
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん6	移動局相当装置	富士通コネク テッドテクノ ロジーズ	通信確認用に利用
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん7			
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん8	基地局相当装置	東京大学	ローカル5Gの性能 評価の技術実証で利 用
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん9	移動局相当装置	IDY	ローカル5Gの性能 評価の技術実証で利 用
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん10			
ねっつえすあいえだじまろー かる5Gじっけん11	基地局相当装置	東京大学	ローカル5Gの性能 評価の技術実証で利 用

## 2. 実証地域

### 2.1 実証地域の概要

広島湾は島々や岬で大きく閉鎖された湾であり、以下のような地理的特徴を有する地域であることから、古くからカキ養殖が盛んに行われてきており、450年以上の歴史を持っており、全国でも有数のカキの産地である。その特徴は以下である。

- ・ 閉鎖された湾であるため、カキ幼生や餌となるプランクトンが他海域に拡散しない。
- ・ 波浪が小さく適度な潮の流れのため生育しやすく、カキ筏が壊れにくい。
- ・ 天然のカキは潮間帯に生息するが、広島湾岸周辺には河川からの流出土砂によって干潟が形成され、更に干満潮の差は最大で4m前後と瀬戸内海の中でも大きいいため干潟面積が大きいことから、古くからカキが生息している。

その中で本課題解決システムを構築する江田島市は、カキの生産量が平成26年において、県内生産量の24%を占めており、全国的にも国内生産量の15.2%で県内でも有数の産地の1つである。

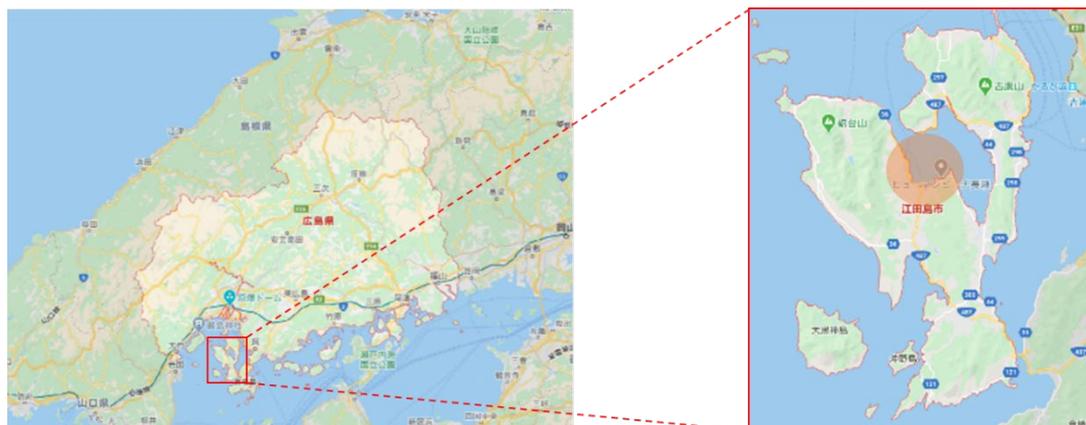


図4 江田島の地図

江田島市のカキ養殖漁業経営体数は年々減少しており、平成25年は69経営体と、平成18年から26.6%減少している(図5)。江田島市の漁場従事者について、平成25年の年齢構成をみると、65歳以上の男性は全体の38.8%(図6)、女性は42.9%(図7)であり、後継者不足が深刻な状況である。

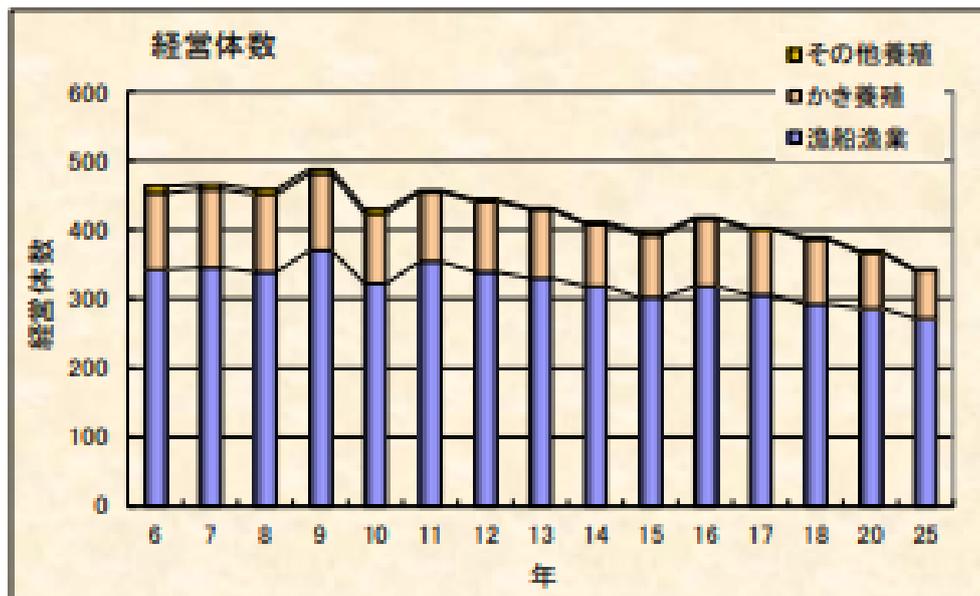


図5 江田島市漁船漁業経営体数とカキ養殖漁業経営体数の推移  
出所：江田島市 HP

[https://www.city.etajima.hiroshima.jp/cms/files/uploads/04\\_keikakuan.pdf](https://www.city.etajima.hiroshima.jp/cms/files/uploads/04_keikakuan.pdf)  
2021年2月2日取得

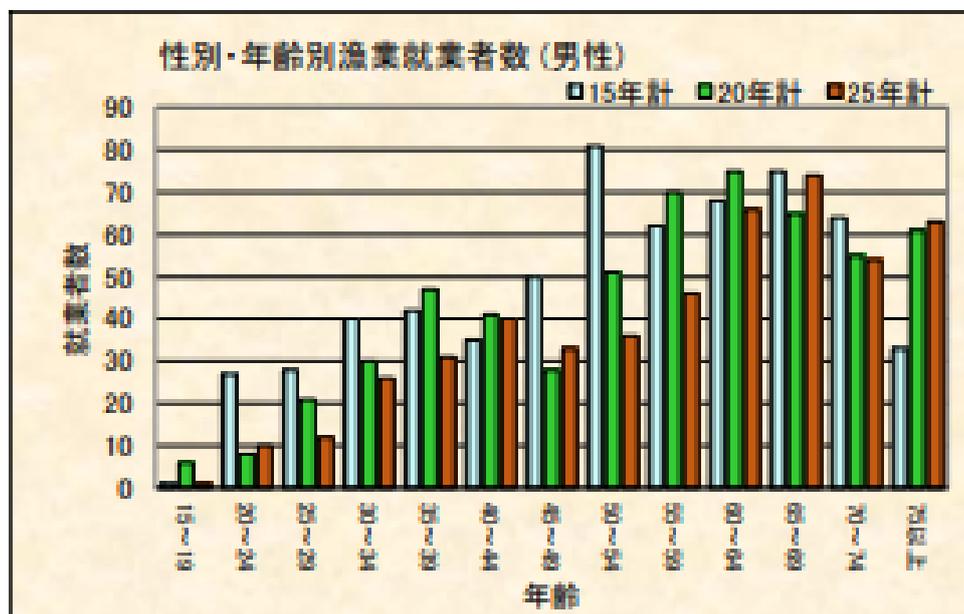


図6 江田島市の漁場従事者の性別・年齢別漁業就業者数（男性）  
出所：江田島市 HP

[https://www.city.etajima.hiroshima.jp/cms/files/uploads/04\\_keikakuan.pdf](https://www.city.etajima.hiroshima.jp/cms/files/uploads/04_keikakuan.pdf)  
2021年2月2日取得

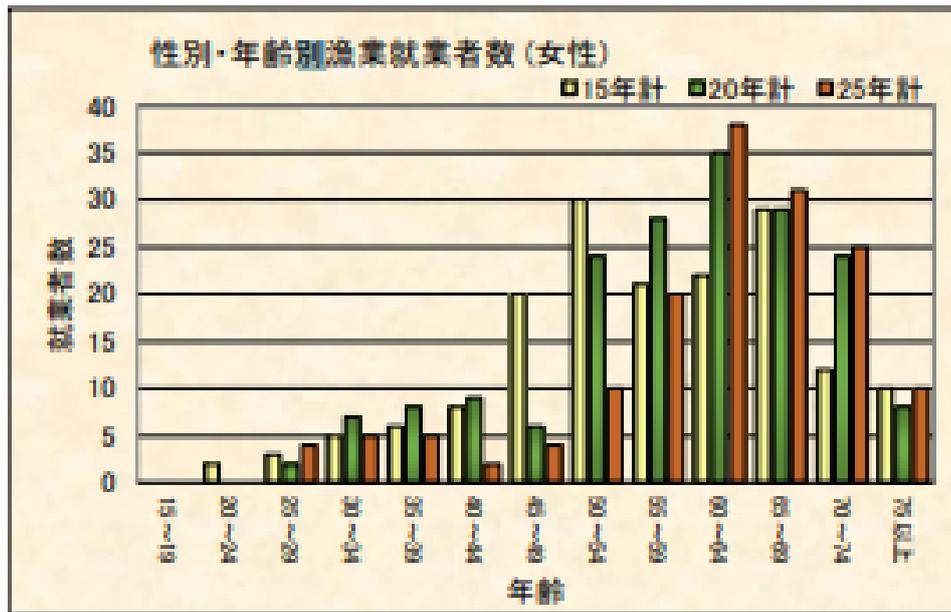


図 7 江田島市の漁場従事者の性別・年齢別漁業就業者数(女性)  
出所：江田島市 HP

[https://www.city.etajima.hiroshima.jp/cms/files/uploads/04\\_keikakuan.pdf](https://www.city.etajima.hiroshima.jp/cms/files/uploads/04_keikakuan.pdf)  
2021年2月2日取得

上述の通り、カキの生産量では全国的にみて高い状態の江田島のカキであるが、生産量の減少傾向にある江田島市ではカキの生産性低下の要因であるへい死・成長阻害の問題に対して、市、漁協・漁協者、関係団体が連携し、様々な取り組みを行っている。

Ⅲ 生産量の維持			
【施策展開の方向】			
近年のかき養殖は採苗不調に加え、身入りの遅れ、へい死の増加、食害などがかき養殖を行う上での課題として挙げられます。			
こうした課題や環境変化に対応した養殖に取り組むとともに、生産環境の維持と漁場周辺環境の改善に努めながら、かきの安定生産に取り組みます。			
(1) 採苗の安定化と生産量の維持			
⑦ 採苗情報の確保、採苗技術の向上	市	漁協・漁業者等	関係団体等
◆ かきの安定した生産を行うためには、広島湾北部海域への親貝筏の設置とともに、リアルタイムな採苗情報の入手に努めます。	●	◎	○
◆ 採苗情報の入手と併せて、良質な種苗を確実に採取するため、採苗技術の向上に努めます。	○	◎	○
⑧ へい死・成長阻害対策等	市	漁協・漁業者等	関係団体等
◆ かきのへい死や成長阻害、食害に対応するため、養殖漁場毎の育成状況を把握し、その原因究明を行うなど、広島県の研究機関等と連携した取組を支援します。	●	◎	○
◆ かきの身入りを促進させるために、過密養殖の解消や筏の配置・移動など、シーズンを通じてかきの安定生産に努めます。	○	◎	○
◆ 海水温の上昇など、養殖環境の変化に対応するため、広島県の研究機関等と連携した取組を推進します。	○	◎	○

図 8 江田島市のかき生産量維持に向けた取り組み

出所：江田島市 HP

[https://www.city.etajima.hiroshima.jp/cms/files/uploads/04\\_keikakuan.pdf](https://www.city.etajima.hiroshima.jp/cms/files/uploads/04_keikakuan.pdf)

2021年2月2日取得

## 2.2 実証環境

現在広島県の実証事業として推進している「ひろしまサンドボックス」があり、複数あるテーマのうち「スマートかき養殖 IoT プラットフォーム事業」の中でカキ養殖の課題解決に一丸となり取り組んでいる内能美漁業協同組合があり、同組合に引き続き協力が得られる関係および環境のため、江田内漁場を実証環境とした。



図 9 ひろしまサンドボックス HP より抜粋

出所：ひろしまサンドボックスウェブサイト、<https://hiroshima-sandbox.jp/>  
2021年3月2日取得

表 2 実証養殖漁場の概要

漁場名	江田内
所在地	広島県江田島市能美町高田 3479-1
代表者	内能美漁業協同組合 柳川 清治
実証を行った面積	約 130,000 平方メートル (アンテナから中心角 60 度で沖合約 500m 範囲内)
平均水深	約 20m
干満差	約 4m (大潮時の最大干満差)
実証を行った作目	マガキ





図 12 江田内漁場 漁業実証対象区画図

出所：広島県 HP 海面漁業権（共同・区画）連絡図

<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/88/1237480266748.html>、2021年3月2日  
取得



図 13 衛星写真から確認できるカキ筏

## 2.3 地域課題等

カキの養殖過程において、様々な要因によりへい死が生じている。  
生産性の低下が課題となっているものは代表的に以下の4つに大別出来る。

- ① 環境の変化
- ② 競合する付着生物
- ③ 養殖場環境の悪化
- ④ 食害

### ① 環境の変化（温暖化による水温上昇）による影響

環境の変化には冷夏や暖冬といった一過性のものと、温暖化といった慢性的な問題がある。  
平成元年から平成30年までの30年間の平均に対し、2020年は長雨が続いた7月は平均を下回っているが、平均よりも高水温が続いていることが分かる。（図14参照）

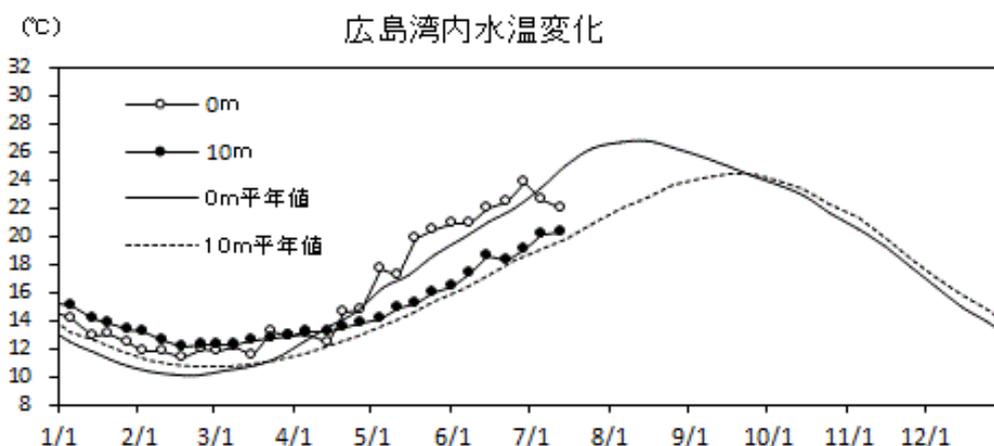


図 14 広島湾内水温変化

出所：広島市水産振興センター、2021年3月2日取得

広島湾のこうした海の異変により、カキは例年以上に早く卵を持ち始めるという事象が起こっている。早く生まれたカキの幼生は水温や餌などの条件が整わず、死んでしまったり、採苗不良になる恐れがある。また、水温が高いと実入りに影響が出る恐れがあり、生産性低下に繋がる。

### ② 競合する付着生物による影響

カキに被害をもたらす付着生物として「ムラサキガイ（図15参照）」「フジツボ（図16参照）」といった貝類や、「ホヤ類」、「フサコケムシ類（図17参照）」、「カサネカンザシ」などの水生動物があり、このような生物がカキの貝殻を覆うことで潮の流れを妨げ、飼料や酸素の供給を妨害してカキの成長を阻害し、死に至らせることが分かっている。

以下のような対策が取られている。

- ・ 防除：生物が付着し難い深い層に移す
- ・ 駆除：日干しやバーナーで焼く



図 15 ムラサキイガイ

出所：ウィキペディアウェブサイト、

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%A0%E3%83%A9%E3%82%B5%E3%82%AD%E3%82%A4%E3%82%AC%E3%82%A4>、2021年3月2日取得



図 16 フジツボ

出所：ウィキペディアウェブサイト、

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%B8%E3%83%84%E3%83%9C>  
2021年3月2日取得



図 17 フサコケムシ

出所：北里大学海洋生命科学部ウェブサイト

<https://www.kitasato-u.ac.jp/mb/study/course/lab/engan/about/index.html>

2021年3月2日取得

これらの付着性生物の状況を把握するために行う養殖物を引き上げての確認作業や、対策が漁業者の負担となっている。また、これらを引き上げる際にカキが落下する恐れや、落下物の堆積により養殖場環境を悪化させる恐れがある。

### ③ 養殖場環境の悪化による影響

カキの排泄物や落下したカキや付着生物などの堆積物による底質悪化の主な原因は、堆積物の分解の過程で発生する「硫化水素」とされる。

水中の有機物の分解に関わる微生物は、溶存酸素を必要とする「好気性微生物」と、溶存酸素を必要としない「嫌気性微生物」とに大別される。

海水の表層は、空気中の酸素によって溶存酸素が豊富にあるため、水中に入ってきた有機物はまず好気性微生物によって酸化分解される（好気性分解）。

有機物の主成分は炭素 (C)、水素 (H)、酸素 (O) と、窒素 (N)、硫黄 (S) などで、好気性微生物は水中の酸素を使ってそれらを主に二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>)、水 (H<sub>2</sub>O) などの無機物に分解する。

有機物の量が多く、溶存酸素が不足すると、「好気性微生物」に代わって「嫌気性微生物」による分解が行われる（嫌気性分解）。

この場合の最終生成物はメタン (CH<sub>4</sub>)、アンモニア (NH<sub>3</sub>)、硫化水素 (H<sub>2</sub>S) などである。

特に、堆積した底泥の内部では溶存酸素の供給が少ないために「嫌気性分解」が主となることから、堆積物が増えることにより毒性の強い「硫化水素」が増えることとなる。(図 18 参照)

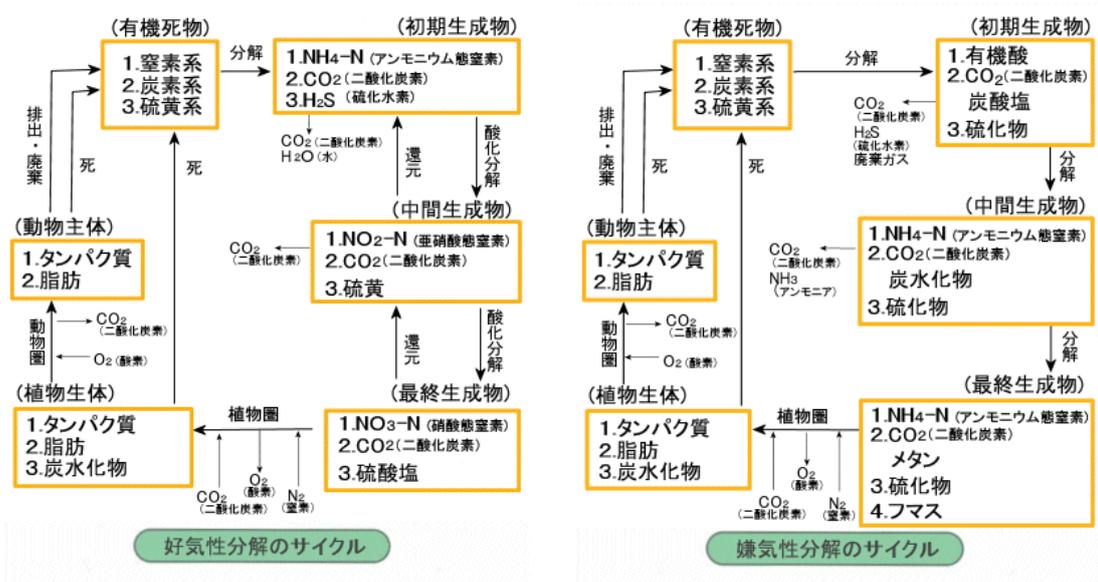


図 18 有機物の分解サイクル

出所：江戸川河川事務所ウェブサイト

<https://www.ktr.mlit.go.jp/edogawa/study/woodbook/woodbook/word03/sbbunkai.htm>

2021年3月2日取得

また、有機物を分解する過程で溶存酸素が消費された結果、溶存酸素量が著しく低下した「貧酸素水塊」が発生する。酸素が少ない領域が生まれ、この「貧酸素水塊」が周辺に生息する生物の酸欠を招くことにより「へい死」を引き起こしていることが考えられる。(図19参照)

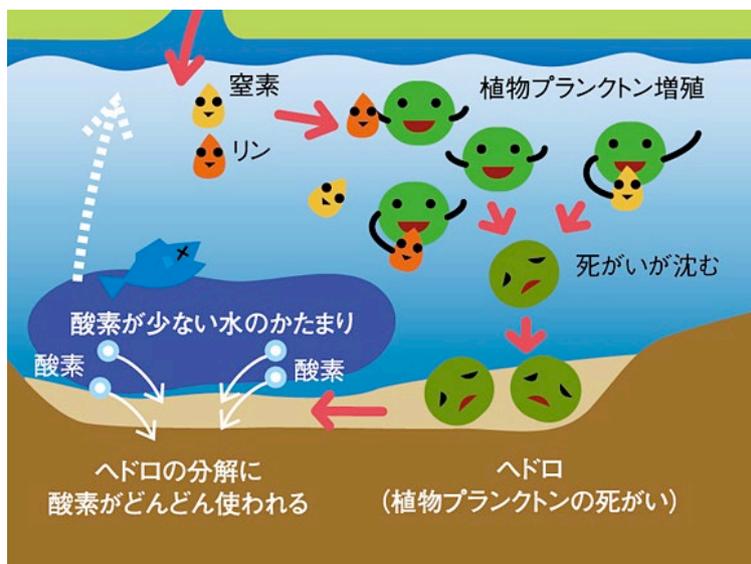


図 19 貧酸素水塊の発生イメージ

出所：中部環境事務所（環境省）

<http://chubu.env.go.jp/wildlife/fujimae/preservation/index.html>

2021年3月2日取得

「貧酸素水塊」とは酸素が少ない水のかたまりで、魚介類が生存する為には3 mg/L 以上が必要であり、良好な状態を保つためには5 mg/L 以上であることが望ましいとされている。また、「好気性微生物」が活発に活動するためには2 mg/L 以上が必要であり、それ以下になると「嫌気微生物」による分解が進む。

この堆積物を除去することで水質の改善が見込めるが、その方法として「海底耕耘」があげられる。(図 20 参照)

「海底耕耘」とは金属製の爪のついた漁具を海底に降ろし、主に底曳き漁船等で曳航することにより、海底のゴミを回収すると共に海底の堆積物を攪拌させることであり、これにより堆積物である有機物を物理的に除去することと、海水が攪拌されることにより底質に酸素を供給し「好気性微生物」の活動を促進させることと、海底に蓄積された栄養塩を海中に還元し、食物連鎖の基礎となる植物プランクトンの増殖を促進させる等の漁場環境の改善が期待できる。

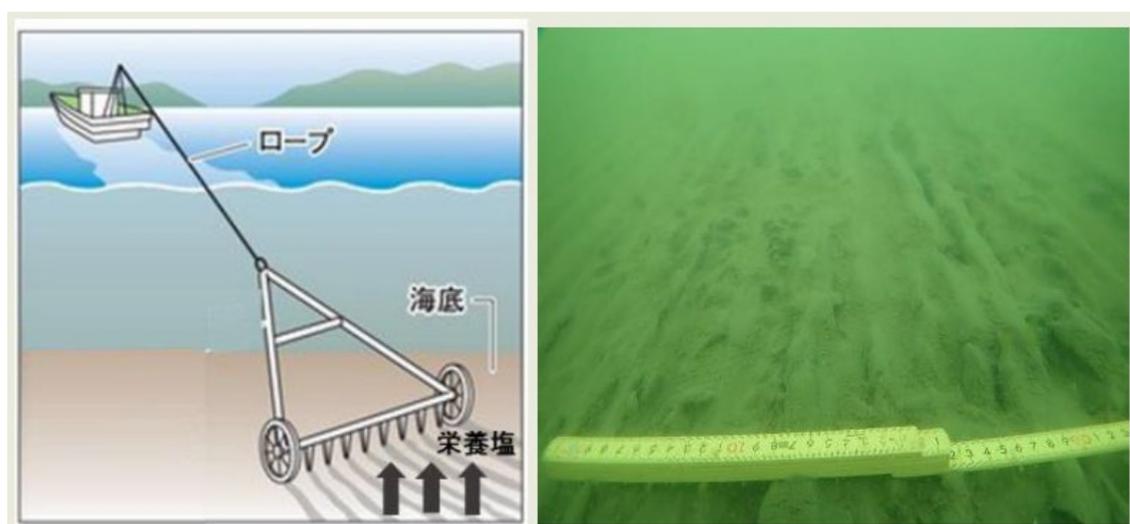


図 20 海底耕耘と耕耘後の海底のイメージ

出所：岡山県 海底耕うんによる漁場生産力向上の試み報告資料より抜粋  
2021年3月2日取得

#### ④ 食害による影響

本垂下連中のカキは食物連鎖により様々な生物により食べられてしまう。クロダイは食害を及ぼす代表格であり、瀬戸内海ではチヌと呼ばれる。かつては高級魚で、広島県内では1975年、漁獲量を増やそうと稚魚の放流が始まったが、消費者の魚離れなどで価格が下落し、近年では漁業者は積極的に取らなくなったため、クロダイが増えカキの食害が増えるという悪循環が発生している。

主な食害対策としては以下のような防除があげられるが、効果は限定的である。

#### 【主な防除策】

- ・ 網を張る
- ・ 時期をずらす
- ・ 連を束にする

- ・ 水面を叩く

【食害をもたらす魚類】

- ・ クロダイ
- ・ フグ類
- ・ ウマヅラハギエイ類



図 21 カキ筏の下に生息するクロダイ

出所：中国新聞ウェブサイト

<https://www.chugoku->

[np.co.jp/column/article/article.php?comment\\_id=346545&comment\\_sub\\_id=0&category\\_id=788](https://www.chugoku-np.co.jp/column/article/article.php?comment_id=346545&comment_sub_id=0&category_id=788)

2021年3月2日取得

カキの養殖過程における課題と対策、対策の問題点について以下にまとめた。

表 3 カキの養殖過程における課題と対策

	課題	課題への対策	対策の問題点
①	環境の変化（高水温等）	海中センサー情報による低水温帯への深吊り	海中センサーでは広範囲にモニタリングすることは困難
②	付着生物との競合	日干し	付着生物確認作業の負担や確認作業によるカキの落下
		低水温帯への深吊り	付着生物確認作業の負担や確認作業によるカキの落下
③	養殖場環境の悪化（貧酸素水塊等）	海底耕耘	海底の貧酸素状態の把握

④	食害	垂下連を束ねる	養殖場海中の生物の生息状況の把握
		養殖時期をずらす	

上述の通りカキの生育中における養殖場の環境、カキと競合する付着生物、カキや付着生物の排泄物や落下による底質悪化等、海の中の状況を広範囲に確認することが可能となれば、カキのへい死を低減させる事が可能であると推察するが、例えば、潜水士（ダイバー等）で確認する事はダイバーの人的リソースや潜水エリア、潜水時間の制約など容易なものではない。

また、海中センサーによる水質モニタリングは定点観測が主な状況で、広範囲にモニタリングを行う事は困難である。特に人手での水質計測は非常に手間がかかる事から、頻繁に多くの地点で実施することは容易ではなく、異なる地点間の水質の比較や、局所的な水質変化を把握できるような高密度、高頻度での水質計測は広くは実施されておらず、一部自治体や港湾管理組織などが調査を行っているが、人的稼働とコストを鑑みると漁場環境が適切に把握されていないのが現状とされている。

養殖中におけるこれら影響の低減のために、水中の可視化、環境データの取得が重要となり、水中における状況把握にロボット(水中ドローン)の活用が期待されている。本事業では養殖場における高精細映像による可視化に合わせて、センサーによる環境データの取得が可能なシステムを構築し、取得する映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析、その実現に向けた課題解決システムに関する効果検証、機能検証、運用検証を行った。

### 3. 実証環境

#### 3.1 ネットワーク構成

陸上（遠隔地）からの水中ドローンの遠隔操作による海中の状況の把握を実現するため、映像伝送に対し効果が期待される大容量・低遅延の5G技術を活用した「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」を構築し、課題解決を行った。

「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」概要図を下に示す。

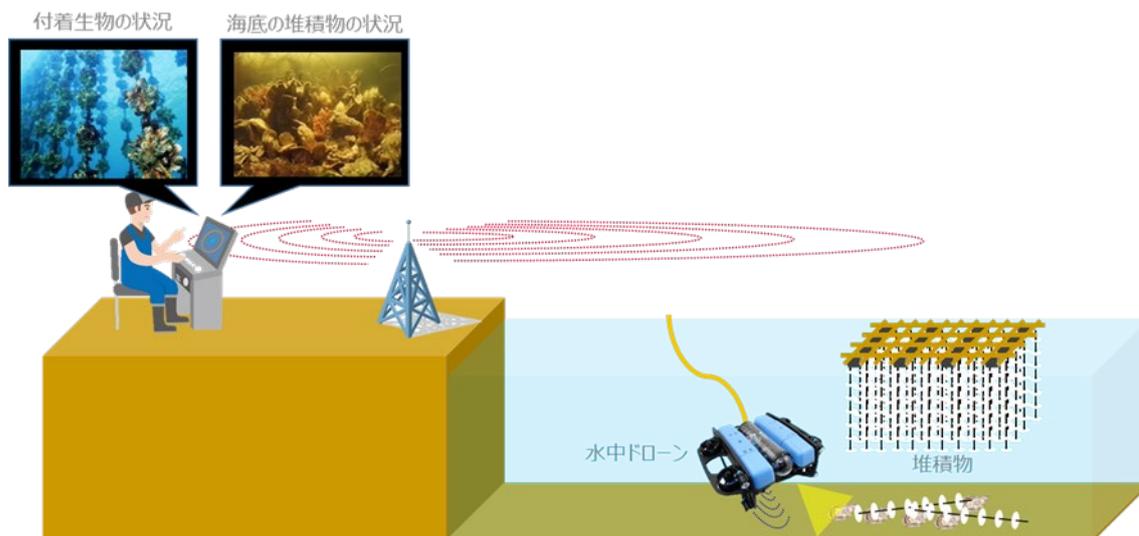


図 22 「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」概要図

##### 3.1.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム

本課題解決システムの構成を以下に示すが、本実証を行った2021年2月時点で調達可能な水中ドローンの全てに共通する基本的な接続構成は本実証にて使用したFIFISH V6 Plusを例に下図23に表すとおりである。

水中ドローン本体とコントローラー（操縦装置）、水中機器用に特別に設計された自然浮力を持ち、完全な耐水性、強度がある物で、水中ドローンとコントローラーをつなぐ通信線（以下、テザーケーブル）から成るものである。コントローラー側にスマートフォン、タブレットを接続することで、水中ドローンが撮影する映像を目視しながら操縦するのが基本構成となる。また完全防水となるのは水中ドローンとテザーケーブルまでであり、コントローラーは基本的に船舶の上や陸上から操縦するため完全防水ではない。

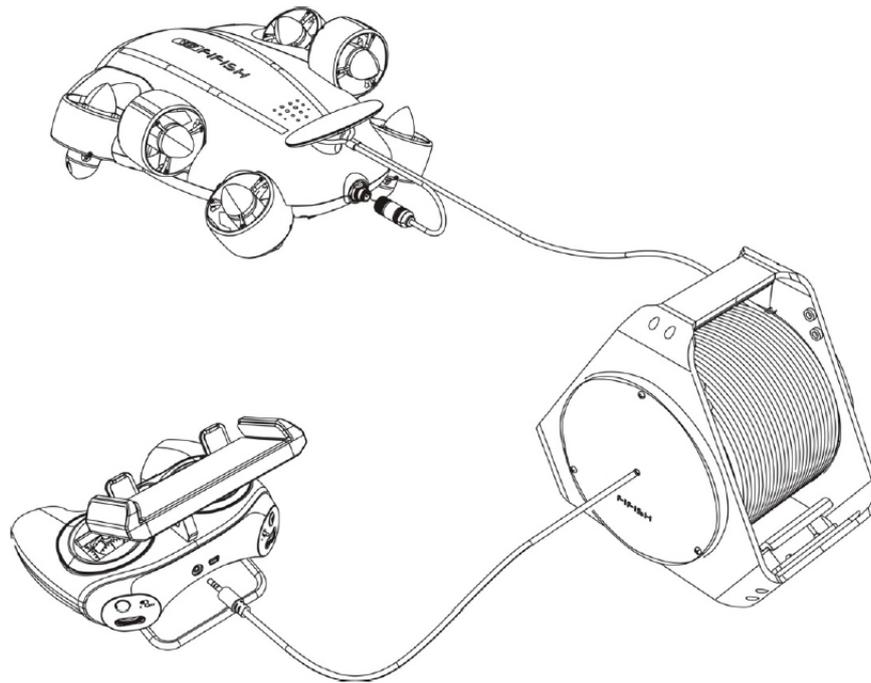


図 23 FIFISH V6 Plus の基本的な接続構成

出所：QYSEA FIFISH V6 Plus クイックスタートガイドより抜粋  
2021年3月2日取得

水中ドローンとコントローラー間は、完全に閉域な通信環境となる接続構成となっており、このため本課題解決システムでは、テザーケーブルとコントローラー間を閉域な5Gネットワークを構築する構成とした。

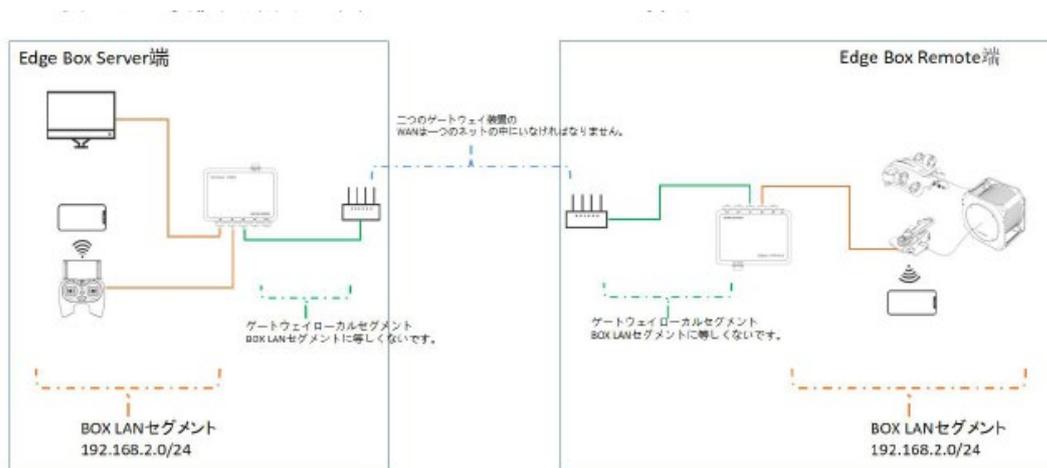


図 24 FIFISH V6 Plus の遠隔利用における接続構成

出所：QYSEA FIFISH V6 Plus Edge Box Server 取扱説明書より抜粋  
2021年3月2日取得

FIFISH V6 Plus を用いた構成を以下に示す。図左側が遠隔操縦を行うコントローラーと水中ドローンの映像を表示するためのパソコン、遠隔から映像をリアルタイム伝送かつ安定制御するための Edge BOX Server から成り、閉域な 5G ネットワークを介して遠隔地の Edge BOX Server を経由して水中ドローン本体へつながる構成となる。また、Edge BOX Server 間の通信には安定的な映像伝送、制御を実現するため、TCP での通信を行う仕様となっている。

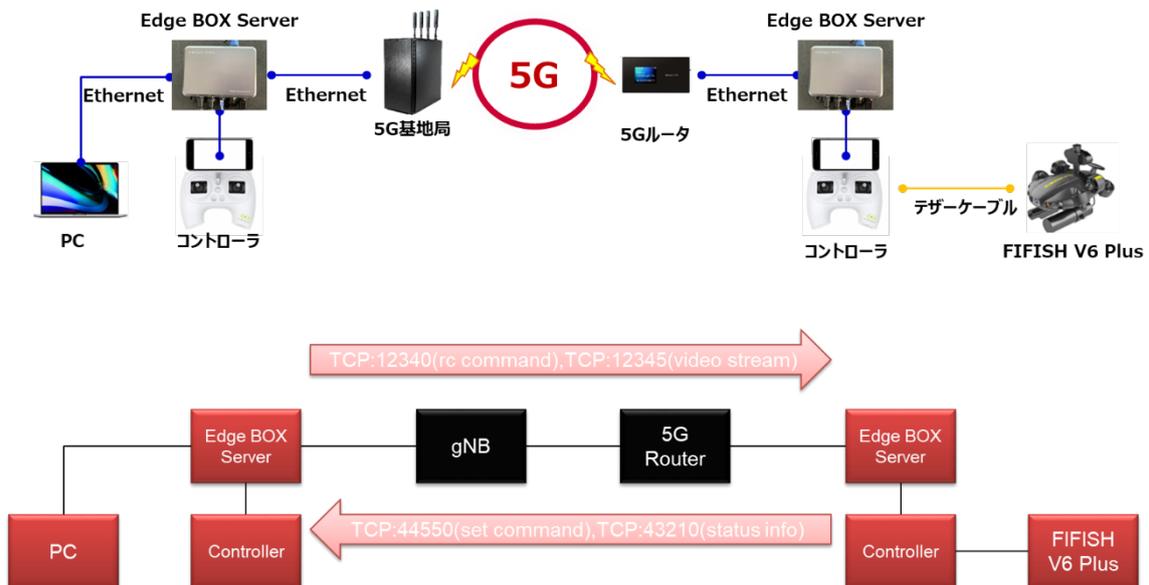


図 25 FIFISH V6 Plus を利用したネットワーク構成

### 3.1.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム

本システムの構成は、海上、海中に分かれる。遠隔地には水中ドローンの制御および映像の表示・保存、センサー情報の表示を行うための制御用 PC、コントローラーがあり、海上・海中には水中ドローンと追加で搭載されるセンサー部が存在する。

制御用 PC と水中ドローンは長距離のデータ伝送を可能とするため、Ethernet 規格の信号線を長距離伝送用の 2Wire の電力線通信 (HomePlug) に変換するモジュール(以下、テザーインターフェイス)によって構成される。

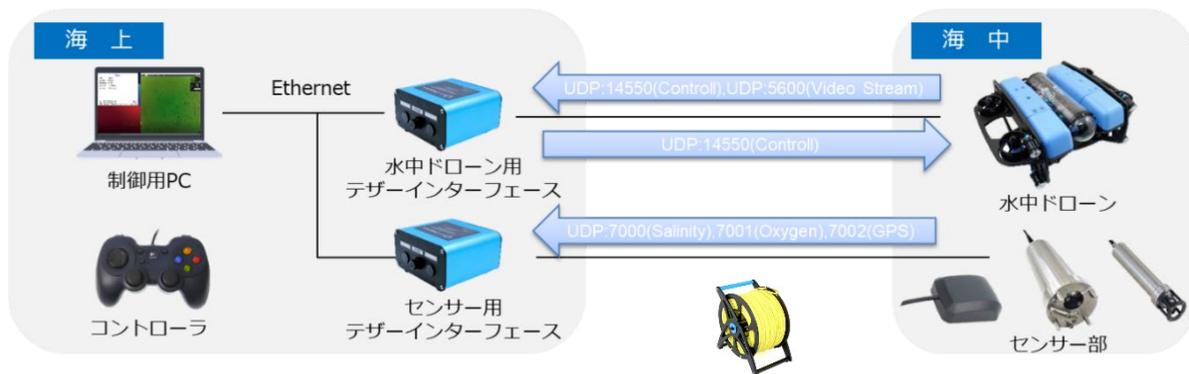


図 26 直結状態でのネットワーク構成

これらの機器に加え、ローカル 5 G 等により遠隔から制御を行う場合は、有線による Ethernet 区間である制御用 PC とテザーインターフェース間を無線化することにより本システムは構成される。

テザーインターフェースから水中ドローン間の海中は、電波が利用出来ないため有線での通信となる。

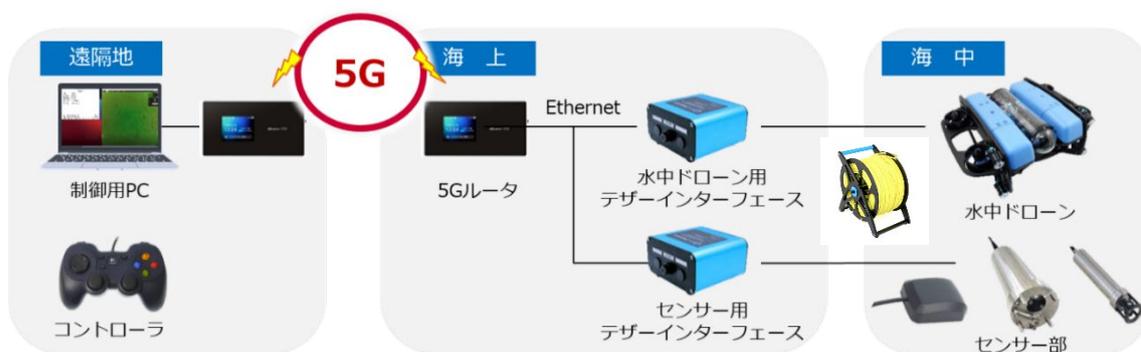


図 27 ローカル 5 G でのネットワーク構成

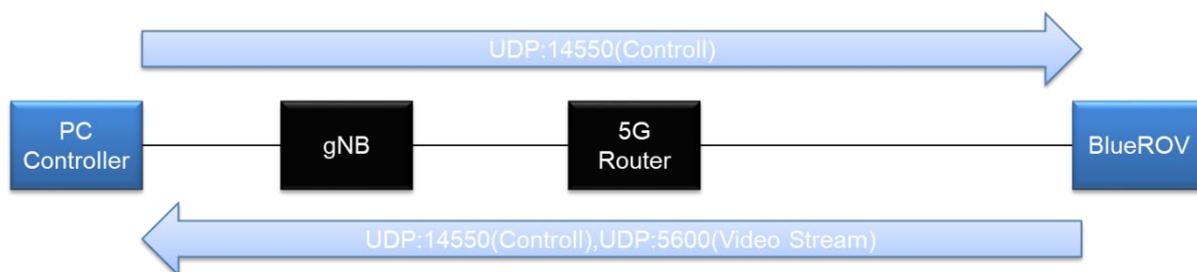


図 28 BlueROV2 を利用したネットワーク構成

### 3.1.3 ローカル5Gシステム

本調査検討で構築するローカル5Gシステムは、汎用サーバーで動作する5Gシステム（5Gコア機能）を採用し、基地局も各種カスタマイズが可能なソフトウェアベースのSDR（Software Defined Radio）の採用した。

なおローカル5Gにおいては、「展開のしやすさ」がローカル5G普及において必要な要件であると考え、本実証では汎用サーバーで動作する5Gシステム、ハードウェア実装された基地局に比較し、制御がしやすいソフトウェアベースの基地局を使用した5Gシステムを採用している。ネットワーク設計においても展開のしやすさを考慮するにあたり、5Gコア／基地局を一体型で設置をする構成としている。

下記の構成で構築した。

表 4 ローカル5G主要構成システム一覧

構成システム	数量
基地局	1式
コアネットワーク	1式
移動機端末	6台

#### ■SDRボードを使用した5G基地局：

5G無線基地局(gNB)の5G NR (New RAT) 無線信号生成に、SDR(software defined radio)のPCIeボードを使用した構成とした。

SDRの使用によりソフトウェアで、周波数、周波数帯域、変復調方式が任意に変更できる。サブ6バンドで100MHzの帯域幅のeMBB対応の無線信号を生成するgNB基地局を構成した。

#### ■5Gコアネットワークシステム：

5Gモバイルネットワークのコアについては、汎用サーバー上にオンプレミスで構成した。

#### ■移動機端末

CPE：4台（NEC マグナス製（評価版））

スマホ型：2台（富士通コネクテッドテクノロジーズ製（評価版））

CPE：2台（IDY製）

### 3.2 システム機能・性能・要件

ローカル5GはSAとして構成をし、下記の2パターン仕様のシステムを構築した。

- ねつつえすあいえだじまるーかる5Gじっけん8

※「その他ローカル5Gに関する技術実証」にて利用の基地局

非公開情報を含むため諸元情報を削除

※非同期にて運用

非公開情報を含むため図 29 を削除

#### 図 29 ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 8 の空中線系統図

#### ● ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 11

※「ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価等」にて利用の基地局

非公開情報を含むため諸元情報を削除

※非同期にて運用

非公開情報を含むため図 30 を削除

#### 図 30 ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 11 の空中線系統図

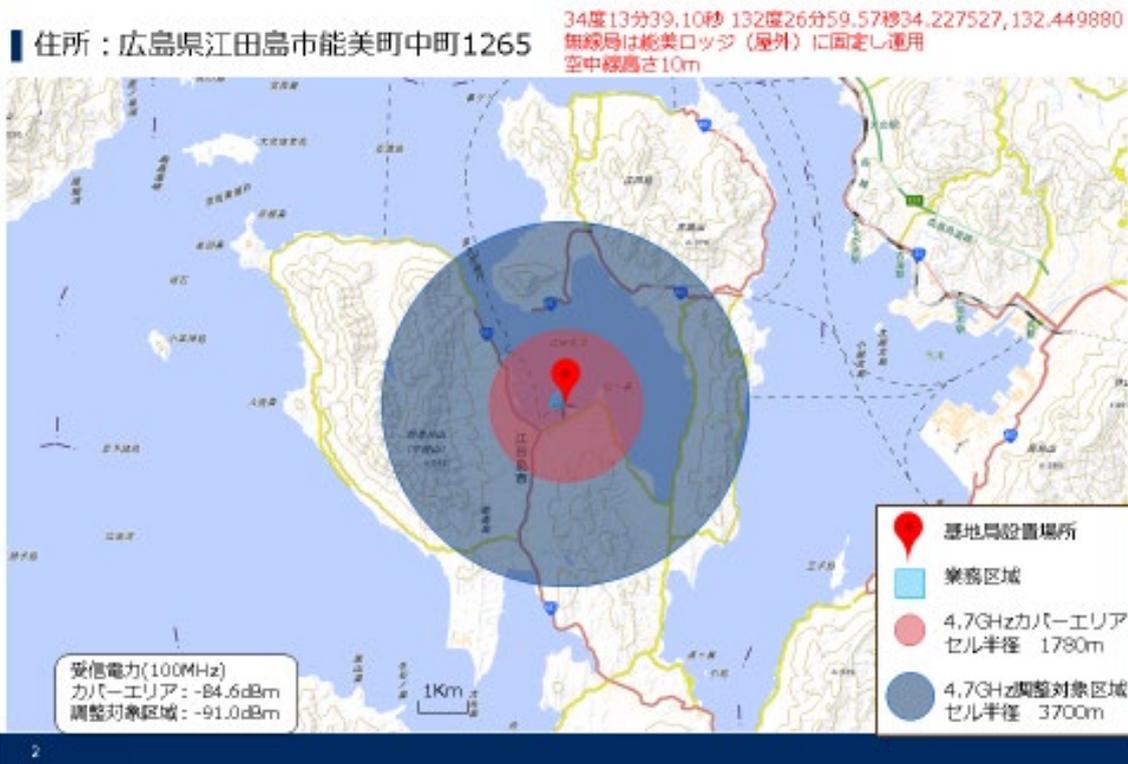
なお、利用周波数については 4.75 GHz を中心とする 100MHz 幅を利用した。現在（2021 年 3 月末）4.7GHz 帯でのローカル 5 G においては、4.6GHz～4.7GHz が屋内利用限定、4.8GHz～4.9GHz が屋内外利用可能な周波数帯として制度化されている。下記①、及び②は、総務省より令和 2 年 12 月に最終改定がなされた「ローカル 5 G 導入に関するガイドライン」から抜粋した。

① 4.6～4.8GHz の周波数帯を使用する場合、屋内での設置のみ可能である。その場合であっても、北海道、新潟県及び石川県では基地局の等価等方輻射電力が 3dBm/MHz 以下、北海道、新潟県及び石川県を除く地域では基地局の等価等方輻射電力が 17dBm/MHz 以下であって、別紙 1 の地域に設置されていないこと。

② 4.8～4.9GHz の周波数帯を使用する場合、屋内及び屋外での設置が可能である。その場合であっても、基地局の等価等方輻射電力が 48dBm/MHz 以下であって、以下(ア)～(イ)の使用条件を満たす必要がある。(ア) マクロセル基地局 1 を設置する場合（屋内に設置する場合を除く。）は、別紙 2 の地域に設置されていないこと。(イ) スモールセル基地局 2 を設置する場合（屋内に設置する場合を除く。）は、別紙 3 の地域に設置する場合は 4.6～4.8GHz における不要 発射の値が-16dBm/MHz 以下となっていること。

本実証で利用の実験試験局免許申請当時(2020 年 10 月)は制度化前であったこと、また、キャリア 5 G とローカル 5 G のより条件の厳しい共存環境下での検証とするにあたり、4.75 GHz を中心とする 100MHz 幅を利用して構成した。

## 基地局設置場所、業務区域及びカバーエリア等：4.7GHz帯



### 3.2.1 キャリア 5Gシステム

可搬型キャリア 5G装置の 5G 基地局装置及び LTE 基地局装置（NSA 構成のため）の諸元は以下の通りである。

『非公開情報を含むため一部文章を削除』



図 31 キャリア 5Gカバーエリア

### 3.2.2 水中ドローン

5Gによる遠隔操作に必要なとなる伝送帯域及び遅延等の通信性能については、過去の別の実証※のデータから想定した。

#### ■通信性能

下記の映像伝送条件での必要な通信性能は以下を想定。

- ・ 上り伝送帯域：約 2,000kbps～4,000kbps
- ・ 下り伝送帯域：10kbps～50kbps
- ・ 遠隔から問題なく操作可能なエンドツーエンド遅延：100ms 未満

#### <映像伝送条件>

- ・ コーデック : H.264
- ・ 解像度 : FHD (1080p)
- ・ フレームレート : 30fps

#### 【\*過去の实証概要】

2019年11月に、国立大学法人東京大学大学院情報学環中尾研究室とNTTドコモが広島県江田島市のカキ養殖場において、28GHz帯（帯域幅：366MHz）の5Gと水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験を行った。海上に停泊させた小型船舶に実験用5G移動局を設置し、5G移動局装置に有線で接続した水中ドローンをカキ養殖場の海中へ入れ、水中ドローンのカメラで撮影した海中のHD映像を陸上の実験用5G基地局に向けて無線伝送しつつ、並行してタイムラグのない水中ドローンの操縦信号を5G基地局から5G移動局に向けて無線伝送した。船舶は、カキ養殖場の筏設置場所に合わせて基地局から100m～150mの範囲に停泊させた。

WiFi制御機器（スマホからWiFi制御する水中ドローンなど）の制御範囲を5G通信により透過的に拡張する通信制御方式の研究開発

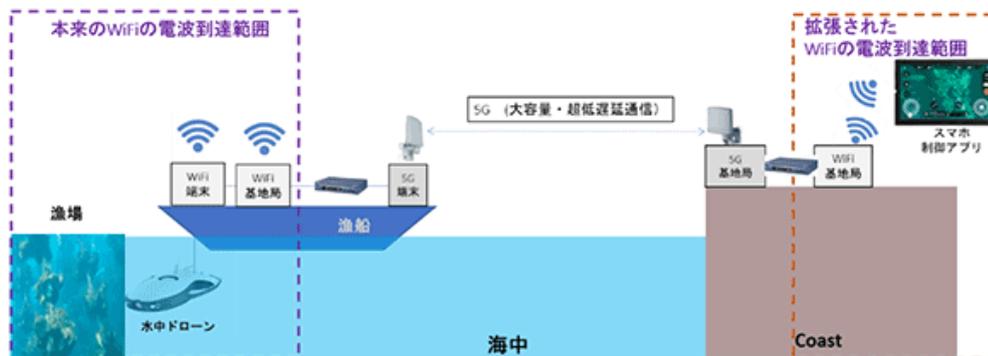


図 32 過去実証の概要図

出所：NTTドコモニュースリリース

[https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news\\_release/topics\\_191127\\_00.pdf](https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/info/news_release/topics_191127_00.pdf)

2021年3月2日取得

■別の実証で用いた水中ドローン

PowerVision 社 PowerRay



図 33 水中ドローン (PowerRay) の外観図

出所 : [powervision](http://powervision.com) ウェブサイト

<https://www.powervision.me/jp/product/powerray>

2021 年 3 月 2 日取得

- ・ サイズ : 465x270x126mm
- ・ 重さ : 3.8kg (空気中で)
- ・ 最大深度 : 30m
- ・ 最大前進速度 : 1.5m/s (静水中)
- ・ 最長動作時間 : 4h (低速) 1.5h (中速) 0.5h (高速)
- ・ 充電時間 : 2.5h
- ・ ビデオ解像度 : UHD : 25fps (default)
- ・ ビデオ解像度 : FHD : 30/60fps

■本実証で用いた水中ドローン

QYSEA 社 FIFISH V6 Plus



図 34 FIFISH V6 Plus の外観

出所：QYSEA ウェブサイト

<https://www.qysea.com/products/fifish-v6-plus/>

2021年3月2日取得

海中探査に適した以下の4つの機能を有し、特に養殖中のカキ等に衝突しない機能を有していることから本製品を選定し、1式導入した。

- ・ オプションでマニピレーターを搭載可能
- ・ ソナーにより構造物を検知し衝突を防止
- ・ ソナーにより海底からの距離と前進速度を維持
- ・ オプションで遠隔から操作可能な装置と接続可能

**【主な諸元】**

- ・ サイズ : 383×331×143mm
- ・ 重量 : 4kg
- ・ 最大速度 : 1.6m/s
- ・ 駆動時間 : 4～8時間
- ・ 最大深度 : 100m
- ・ ビデオ解像度 : UHD:25/30fps
- ・ ビデオ解像度 : FHD:25/30/50/60/100/120fps
- ・ ビデオ解像度 : HD:25/30/50/60/100/120/200/240fps

### 【特徴】

業務利用目的として製品化されている背景があり、そのため小型で運搬しやすく、耐久性に優れている。また、バッテリーは内蔵型であり、使用後は真水で流水する程度のため、メンテナンス性においても優れている。

### 【本実証における使用用途】

ソナーによる衝突防止機能を有していることとビデオ解像度も UHD まで対応していることから養殖中のカキへの衝突を回避でき、カキの生育に影響を与える付着生物の状況を確認することができる。また、保守・メンテナンス性においても検証した。

表 5 FIFISH V6 Plus 導入時の構成品一覧

基本構成				
機器名	実写真	調達先	数量	性能
FIFISH V6 Plus		シー・エフ・デー販売	1	水中ドローン本体
テザーケーブル (100m)		シー・エフ・デー販売	1	接続ケーブル
FIFISH Live APP		シー・エフ・デー販売	1	コントローラー (スマートフォンは別)
オプション構成				
機器名	実写真	調達先	数量	性能
Edge Box Server		シー・エフ・デー販売	1	遠隔制御 送信中継装置
Edge Box Remote		シー・エフ・デー販売	1	遠隔制御 受信中継装置

- 本実証で用いた水中ドローン  
BlueRobotics 社：BlueROV2



図 35 BlueROV2 の外観

出所：Bluerobotics ウェブサイト  
<https://bluerobotics.com/store/rov/bluerov2/>  
2021年3月2日取得

海中探査に適した以下の機能を有し、映像観察と同時に複数の環境データ取得が可能な機能を有していることから、本製品を選定し、2式導入した。

- ・ オプションでマニピレーター、GPS を搭載可能
- ・ 保守物品が豊富
- ・ 潜航浮上用スラスタ 4 個搭載可能で海洋での利用に適している
- ・ センサーと同期して安定的な航行モード（航行針路一定、深度一定等の保持機能）
- ・ 海洋環境調査センサを複数搭載可能
- ・ 仕様がオープンでありカスタマイズが容易

【主な諸元】

- ・ サイズ：457×338×254mm
- ・ 重量：約 10kg
- ・ 最大速度：1m/s
- ・ 駆動時間：2～3 時間
- ・ 最大深度：100m
- ・ ビデオ解像度：FHD:30fp

【特徴】

海洋調査などの研究利用目的として製品化されている背景があり、海洋環境調査センサ

一を複数搭載することができることから、さまざまな環境データを収集することができる。また、保守物品が豊富であることから、保守・メンテナンス性に優れている。

【本実証における使用用途】

仕様がオープンであり、海洋環境調査センサーや GPS を搭載するためのカスタマイズが容易であることから、貧酸素水塊の発生状況を把握する目的で使用。 保守・メンテナンス性においても検証した。

表 6 BlueROV2 導入時の構成品一覧

基本構成				
機器名	実写真	調達先	数量	性能
BlueROV2 Pro		株式会社セキド	2	水中ドローン 本体
テザーケーブル		株式会社セキド	2	接続ケーブル
Fathom-X Tether Interface (FXTI)		株式会社セキド	2	LAN-USB 変換アダプタ

Lithium-ion Battery Charger		株式会社セキド	2	バッテリー 充電器
Lithium-ion Battery		株式会社セキド	4	バッテリー
Logitech GamePad F310r		株式会社セキド	2	コントローラー
MacBook Pro			2	PC
<b>オプション構成</b>				
機器名	実写真	調達先	数量	性能

<p>Ping Sonar Altimeter and Echosounder</p>		<p>株式会社セキド</p>	<p>1</p>	
<p>Ping360 Scanning Imaging Sona</p>		<p>株式会社セキド</p>	<p>1</p>	
<p>LED Light</p>		<p>株式会社セキド</p>	<p>2</p>	
		<p>株式会社セキド</p>	<p>4</p>	

<p>Heavy Thruster Guards</p>	 <p>The image shows two black plastic thruster guards with circular cutouts. Next to them are several small metal screws and a metal spring.</p>	<p>株式会社セキド</p>	<p>2</p>	
<p>Newton Subsea Gripper</p>	 <p>The image shows a black hydraulic gripper with a long handle and a circular gripping mechanism. A separate black ring component is shown above the main tool.</p>	<p>株式会社セキド</p>	<p>2</p>	

### 3.2.3 センサー

下記の環境センサー及び GPS センサーを水中ドローンに接続し、「水温」、「塩分濃度」、「溶存酸素濃度」の環境データに加え、GPS センサーによる「緯度」、「経度」を測定し、映像と共に取り込めるようにした。

信頼性の高い JFE アドバンテック製のセンサーから、今回の実証内容である海底堆積物による水質悪化（貧酸素水塊）の発生状況を把握するため、DO（溶存酸素）、塩分濃度、水温の3つのセンサーを環境データ測定に採用した。



図 35 有線式 DO センサー ARO-CAD 外観

出所：JFE アドバンテックウェブサイト

<https://www.jfe-advantech.co.jp/products/ocean-yusen.html>

2021年3月2日

#### 【測定項目：DO】

- ・ センサータイプ : 燐光式
- ・ 測定範囲 : 0～200%
- ・ 分解能 : 0.01%
- ・ 精度 : ±2%
- ・ 寸法 : φ70mm×173mm



図 37 有線式水温塩分センサー A7CT-CAD 外観  
出所：JFE アドバンテックウェブサイト

<https://www.jfe-advantech.co.jp/products/ocean-yusen.html>

2021年3月2日

【測定項目：電気伝導度】

- ・ センサータイプ : 7 電極式
- ・ 測定範囲 : 0.5~70mS/cm
- ・ 分解能 : 0.001mS/cm
- ・ 精度 : ±0.01mS/cm
- ・ 寸法 : φ54mm×235mm

【項目：水温】

- ・ センサータイプ : サーミスタ
- ・ 測定範囲 : -3~45℃
- ・ 分解能 : 0.001℃
- ・ 精度 : ±0.01℃ (0~35℃)

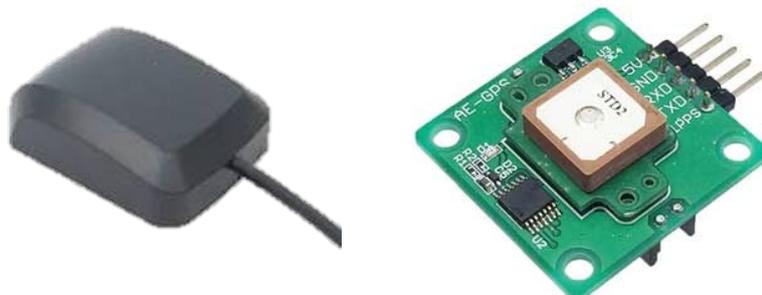


図 38 GPS モジュール外観

出所：スイッチサイエンス HP

<https://www.switch-science.com/>

2021年3月2日

GPS センサーには、MT3333 内蔵 GPS モジュール GNSS 受信器キットを使用。

**【詳細スペック】**

- GPS モジュール：GYSFDMAXB(太陽誘電)
- 搭載 GPS 受信チップ：MT3339(MediaTek)
- 受信周波数：1575.42MHz(L1, C/A コード)
- 受信チャンネル数：66(アキュイジション)、22(トラッキング)
- 対応測位衛星システム：GPS(米国)、QZSS(日本)
- 受信(トラッキング)感度：-164dBm(typ.)
- 測位精度：2m(typ. 緯経度の水平位置)@-135dBm
- 出力データ形式：NMEA0183V3.01 準拠
- 測地系：WGS1984(デフォルト)
- 基板サイズ：30×30×13.5mm(電池ボックス実装時)
- 重量：約 11g(バックアップ電池装着時)

GPS センサーは海中での衛星信号の受信が出来ないため、使用方法としては下図 (図 39) の通り行った。GPS センサーを水中ドローンに有線で接続し、GPS センサー部は海面に浮遊させ緯度・経度を測定し、映像と共に取り込めるようにする。GPS センサーから目視の利かない深度に潜航して操作を行う場合の自己位置の特定や今回の実証内容である貧酸素水塊の発生場所の特定を行うために採用する。

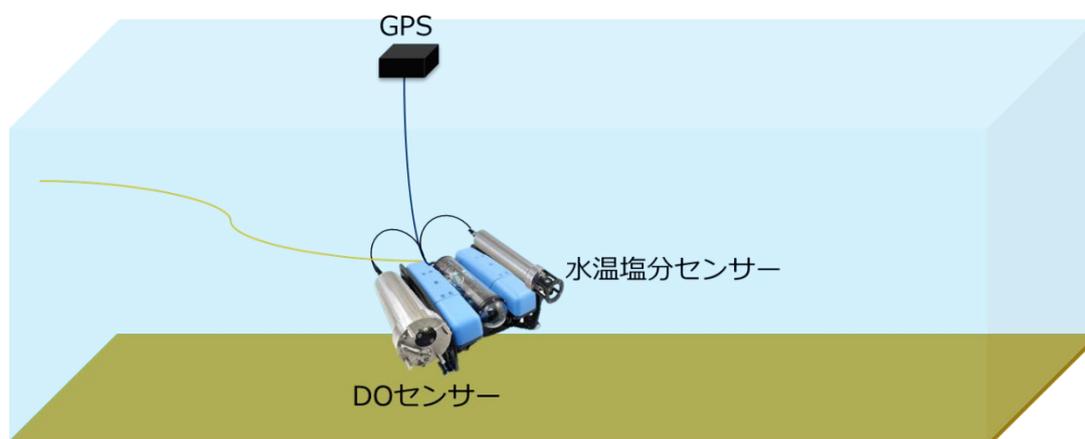


図 39 GPS センサーを使用した水中ドローン

溶存酸素 (DO) センサー、水温塩分センサー、GPS センサーが取得データについては、汎用性の高く、拡張性に優れた Raspberry Pi を用いた構成で取得を行った (図 40 参照)

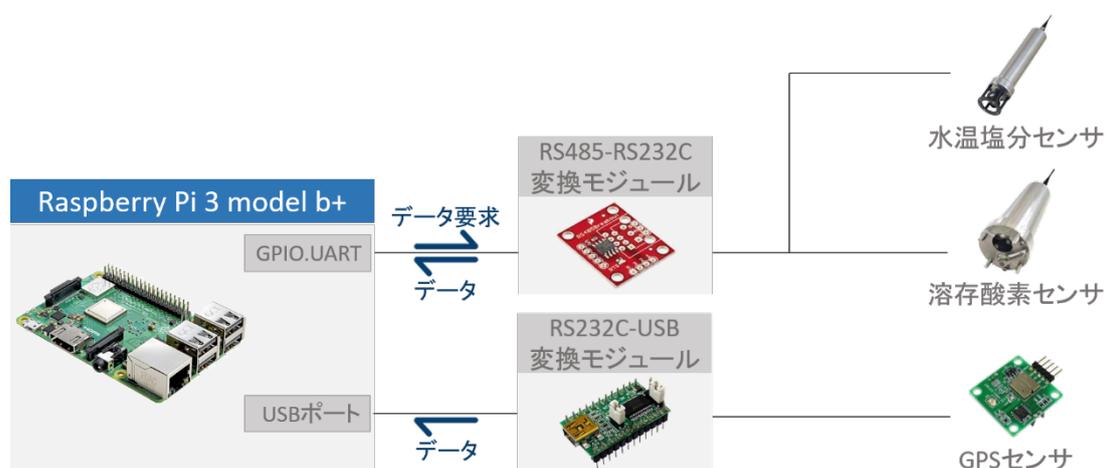
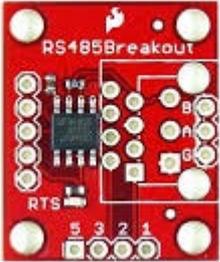


図 40 センサー部の構成

表 7 センサー用オプションの構成品一覧

センサー用オプション				
機器名	実写真	調達先	数量	性能
DO センサー (ARO-CAD)		JFE アドバン テック株式会 社	1	溶存酸素セ ンサー本体
水温塩分センサ ー(A7CT-CAD)		JFE アドバン テック株式会 社	1	水温塩分セ ンサー本体
GPS モジュール		株式会社スイ ッサイエンス	1	GPS センサ ー本体
Raspberry Pi3		株式会社スイ ッサイエンス	1	

<p>USB-RS232C 変換 モジュール</p>		<p>株式会社スイ ッサイエンス</p>	<p>1</p>	
<p>RS485-RS232C 変 換モジュール</p>		<p>株式会社スイ ッサイエンス</p>	<p>1</p>	
<p>拡張スキッド</p>		<p>株式会社セキ ド</p>	<p>1</p>	
<p>アクリルチュー ブ</p>		<p>株式会社セキ ド</p>	<p>2</p>	

エンドキャップ		株式会社セキド	2	
エンドキャップ		株式会社セキド	2	

センサー部は、水温塩分センサーと溶存酸素センサー、GPS センサーの 3 つのセンサーとそれらのセンサーを処理する Raspberry pi、3 つのセンサーからの信号を Raspberrypi が扱えるように信号を変換するモジュールによって構成される。

センサー制御部回路を図 41 に、試作機の外観の様子を図 42 に示す。



図 41 センサー制御部回路



GPS モジュール  
+ センサー制御部

図 42 センサーユニット部の試作外観

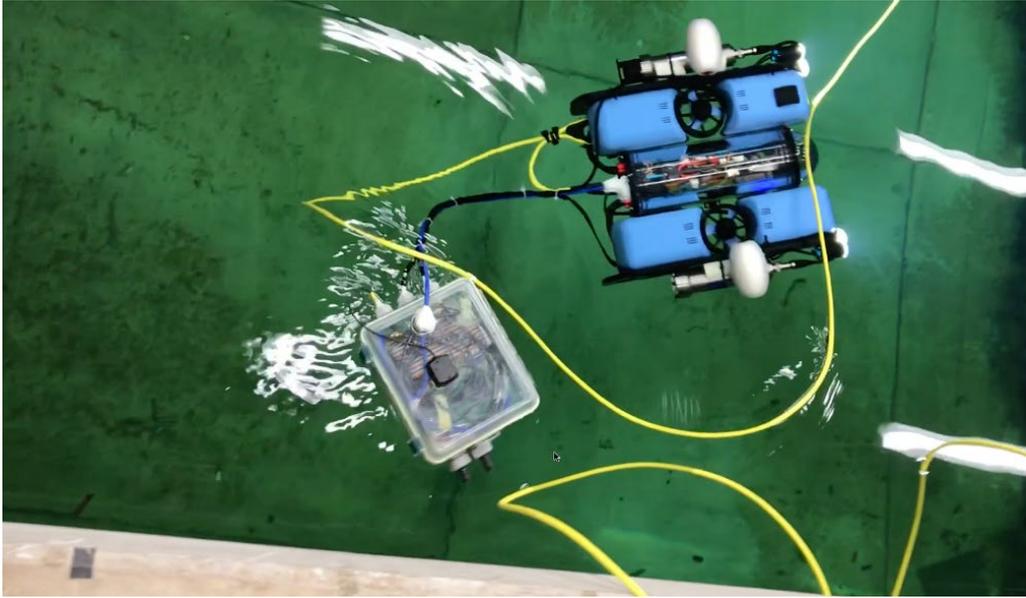


図 43 実験用水槽での試験運転中の様子

### 3.2.4 養殖漁場環境の分析システム

養殖漁場環境分析システムは、水中ドローン搭載のカメラで撮影した海底の堆積物の状況に関する高精細映像と、水中ドローン搭載のセンサーで取得した海水の水温、塩分濃度、溶存酸素の環境データによる漁場環境推定モデルを実装したシステムを構築した。

#### ■漁場環境推定モデル

漁場環境推定モデルとは、(図 44 参照) 水中ドローンに搭載するセンサーが取得する溶存酸素濃度、塩分濃度のデータを基に、補正処理を行う。この補正では、飽和溶存酸素濃度は共存する塩分濃度の影響を受け、塩分濃度が高くなるほど飽和溶存酸素濃度は低くなる(図 45 参照) ため、塩分濃度を算出してその値から溶存酸素濃度の減少分を補正し溶存酸素濃度を算出する。次に溶存酸素濃度と海水温を演算するのだが、溶存酸素量は水温が低いほど、また圧力が大きいほど多くなる。1 気圧、25℃の条件下では、8.11mg/L の酸素が溶け込むと考えられており、水中の飽和溶存酸素量と水温の関係はグラフ(図 46) に示す通りである。この関係から酸素飽和度を算定することが漁場環境の推定モデルである。

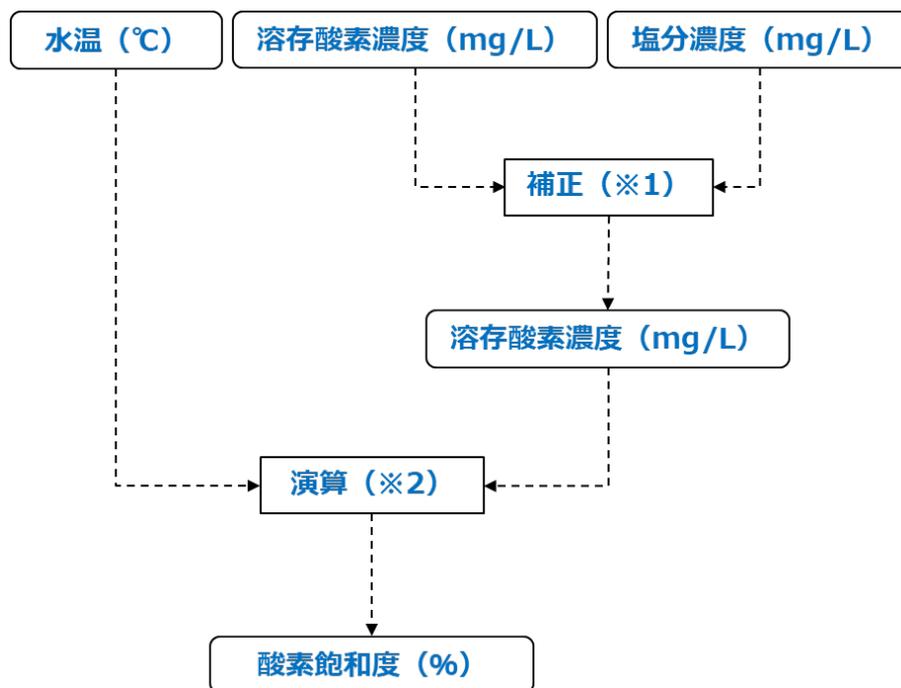


図 44 漁場環境推定モデル

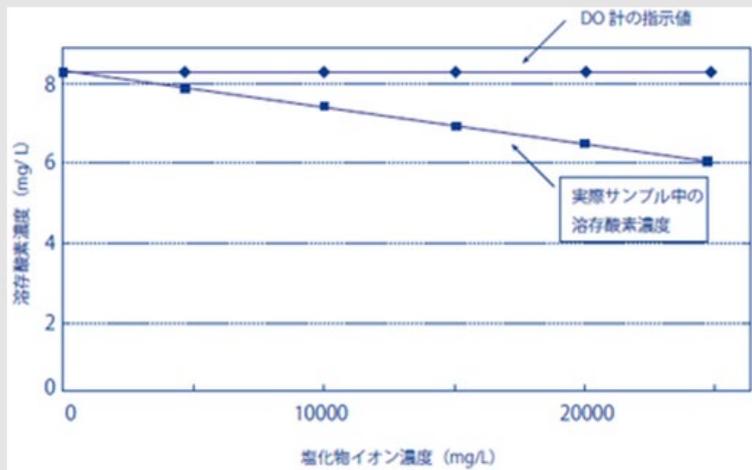
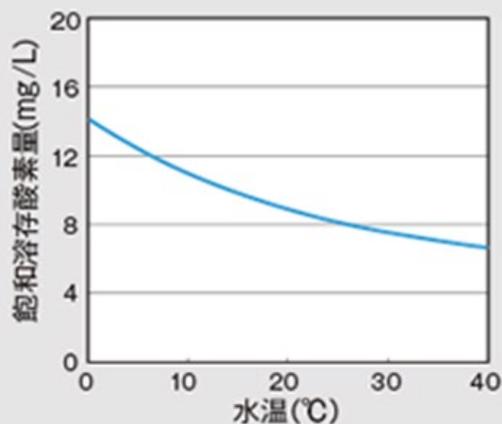


図 45 溶存酸素濃度と塩分濃度の関係

出所：LAQUA ウェブサイト

<https://www.horiba.com/jp/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/the-story-of-ph-and-water-quality/the-basis-of-do/measurement-of-dissolved-oxygen-levels-by-the-diaphragm-electrode-method/>

2021年3月2日取得



飽和溶存酸素量(mg/L)と水温(°C)(気圧1気圧において)

°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L	°C	mg/L
0	14.16	11	10.67	22	8.53	33	7.22
1	13.77	12	10.43	23	8.38	34	7.13
2	13.4	13	10.2	24	8.25	35	7.04
3	13.05	14	9.98	25	8.11	36	6.94
4	12.7	15	9.76	26	7.99	37	6.86
5	12.37	16	9.56	27	7.86	38	6.76
6	12.06	17	9.37	28	7.75	39	6.68
7	11.76	18	9.18	29	7.64	40	6.59
8	11.47	19	9.01	30	7.53		
9	11.19	20	8.84	31	7.42		
10	10.92	21	8.68	32	7.32		

図1 水中の飽和溶存酸素量と水温の関係

図 46 飽和溶存酸素量と水温の関係

出所：LAQUA ウェブサイト

<https://www.horiba.com/jp/application/material-property-characterization/water-analysis/water-quality-electrochemistry-instrumentation/the-story-of-ph-and-water-quality/the-basis-of-do/measurement-of-dissolved-oxygen-levels-by-the-diaphragm-electrode-method/>

2021年3月2日取得

養殖漁場環境の分析システムを用いて、養殖漁場における海水の環境データと海底の堆積物の状況を把握できるか検証を行い、カキの主要なへい死要因である、貧酸素水塊の発生状況の把握、及びそれらの発生場所の特定を行った。

水中ドローンに搭載するセンサーデータは、上述する推計モデルに利用するが、他方、コントローラー側の制御用パソコン上にもリアルタイムに配信することが可能であり、潜航中の水中ドローンがいる海域、その場所のリアルタイムな水温、溶存酸素量、塩分濃度の把握が可能となる。これは、センサー部から制御用パソコンへ送られてくるセンサーのデータを処理し、処理したデータを画面上に表示しながら（図 47）、csv ファイルにタイムスタンプとセンサーデータを記録する。（表 8）

プログラム実行時のイメージを図 48 に示す。

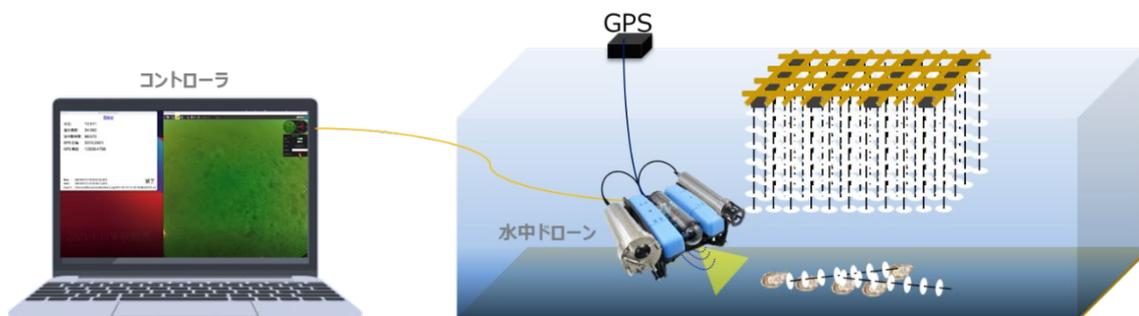


図 47 養殖漁場環境の分析システムイメージ

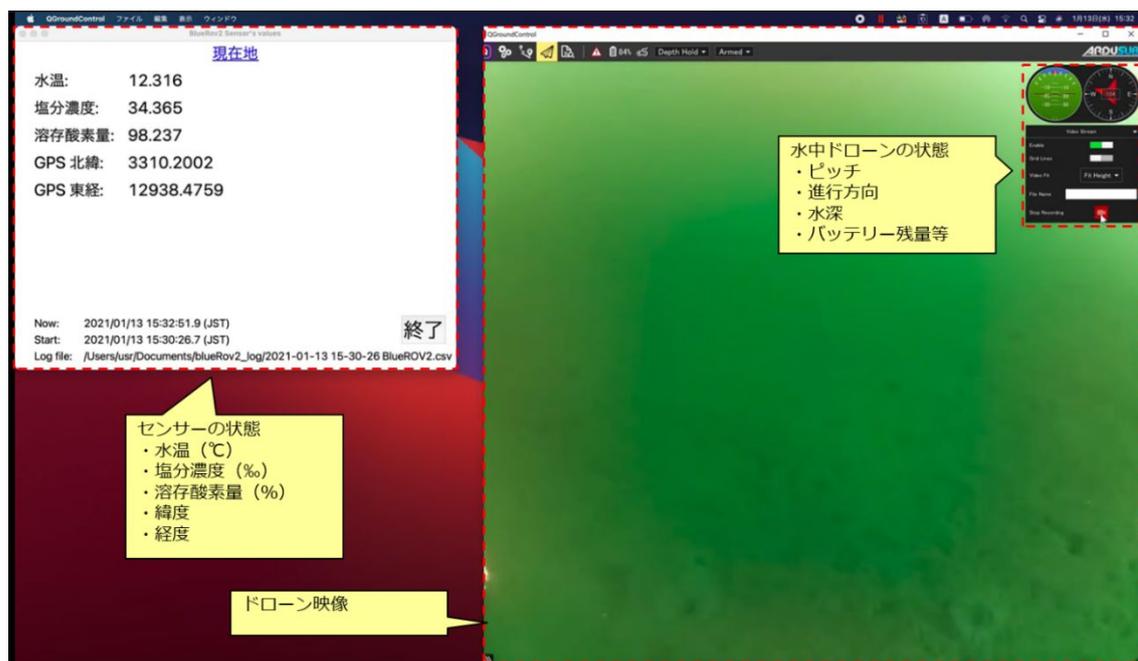


図 48 制御用パソコン画面

表 8 生成された CSV サンプルデータ

Timestamp	waterTemperature	salinity	dissolvedOxygenAmount	gps. latitude	gps. longitude
2021/1/8 12:07	13.279	33.031	104.883	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.279	33.031	104.845	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.279	33.031	104.845	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.279	33.03	104.99	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.279	33.03	105.031	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.279	33.03	105.031	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.279	33.029	104.994	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.279	33.029	104.994	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.28	33.028	104.807	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.28	33.026	104.884	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.28	33.026	104.884	3309.0186	12944.954
2021/1/8 12:07	13.28	33.026	104.842	3309.0186	12944.954

海中のセンサーデータの取得が正常に行うことができるかどうかを確認するために、バケツに海水と海中センサーを入れてのデータ取得実験を行った。

最初は海水のみがバケツに入っており、お湯を追加後 5 分間放置し、また海水を追加した時に実行したプログラムによって生成された csv ファイルのデータから、水温、塩分、溶存酸素濃度の時系列での値のグラフを以下の通りであり、正常に動作していることが確認できる。

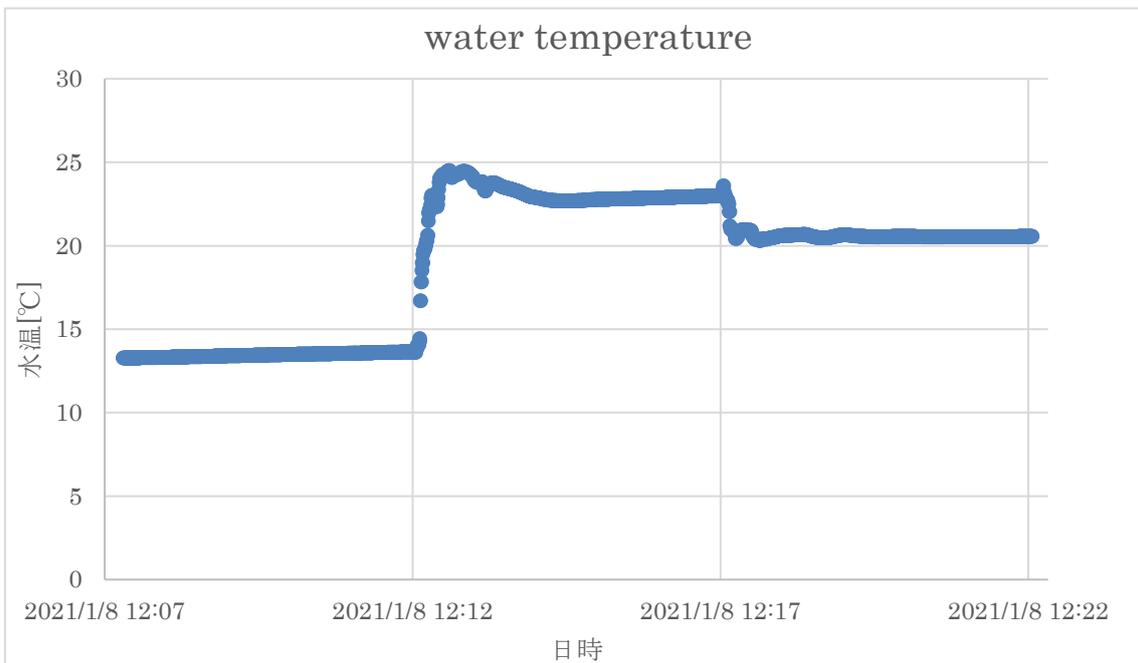


図 49 水温の時系列データのグラフ

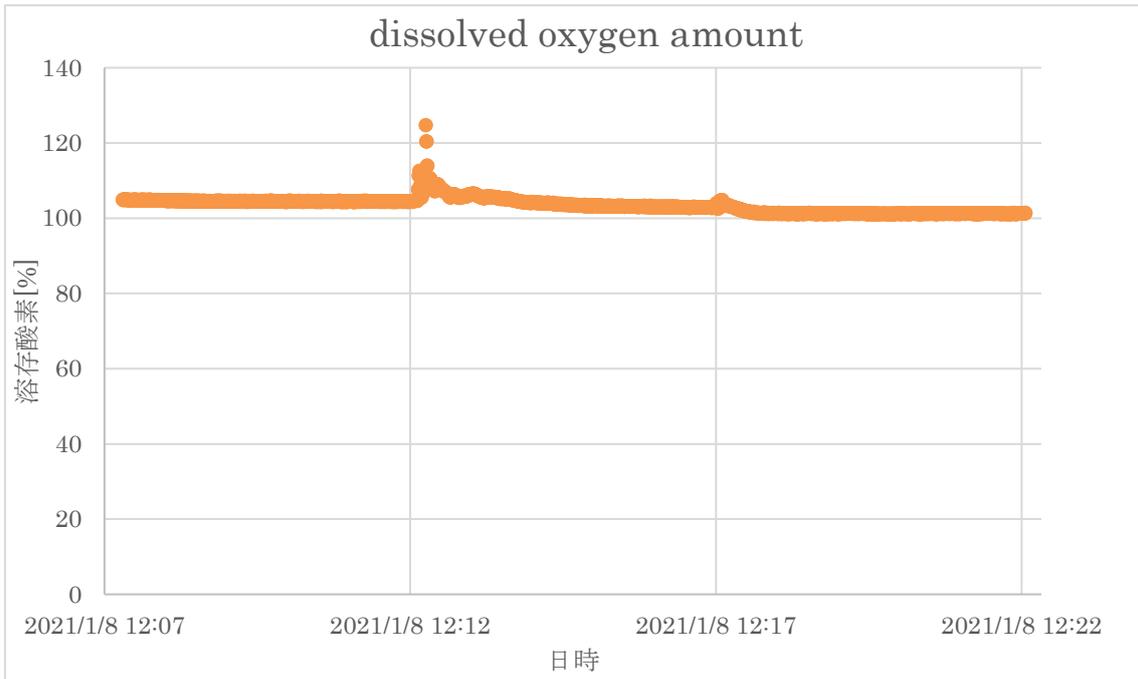


図 50 溶存酸素の時系列データのグラフ

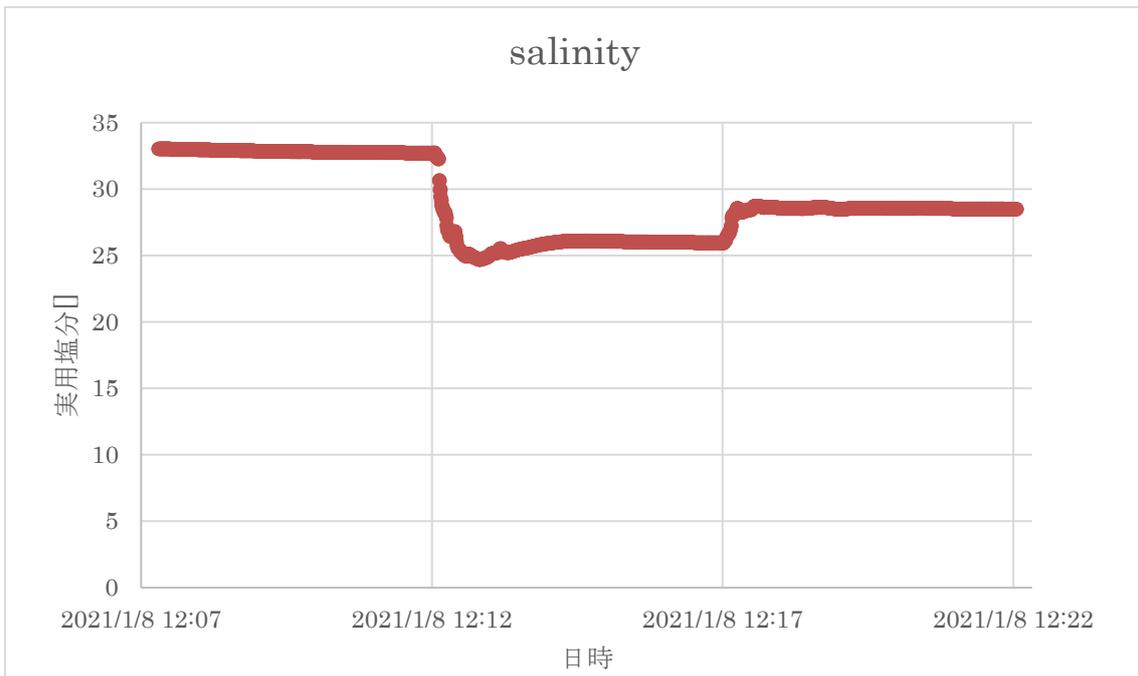


図 51 塩分濃度の時系列データのグラフ

### 3.2.5 ローカル 5 G システム

#### < 5 G コアネットワーク >

3GPP 5 G Release 15 対応

AMF, SMF, UPF, AUSF, UDR, UDM, PCF, NSSF を機能として保有

接続数については非公表 (ソフトウェアベースの為構成により変動)

#### < 基地局 >

SDR ボードは、汎用インテルサーバの PCIe スロットに挿入し、オープンソース Linux で動作する。

非公開情報を含むため図 52 を削除

#### 図 52 SDR カード

SDR ボード 1 枚の仕様 :

- ・ 無線信号 3GPP Release15
- ・ 信号形式 FDD/TDD
- ・ 無線周波数帯域 200KHz から 56MHz
- ・ 無線周波数範囲 70MHz から 6.0GHz
- ・ MIMO サポート 4×4
- ・ 変調方式 最大 256QAM(DL)、最大 64QAM(UL)

本実証では、ローカル 5 G で利用が認められた 100MHz 幅の帯域での実証であるため、本 SDR カードを 2 枚利用した。その場合、仕様として MIMO サポートは 2×2 となる。

### 3.3 実証環境の計画

上記ネットワーク構成を下記の場所に設置し、海上における5Gエリアを構築する。

現在無人の建物で、今回の実証のために江田島市の協力により特別に使用許可を頂いているため、構築期間・運用期間を含めプロジェクト専用で利用可能な環境となっている。また、この建物は2022年1月に解体工事が着工され、2023年3月解体完了する予定となっている。

【設置場所】 広島県江田島市能美町中町1265（能美ロッジ）

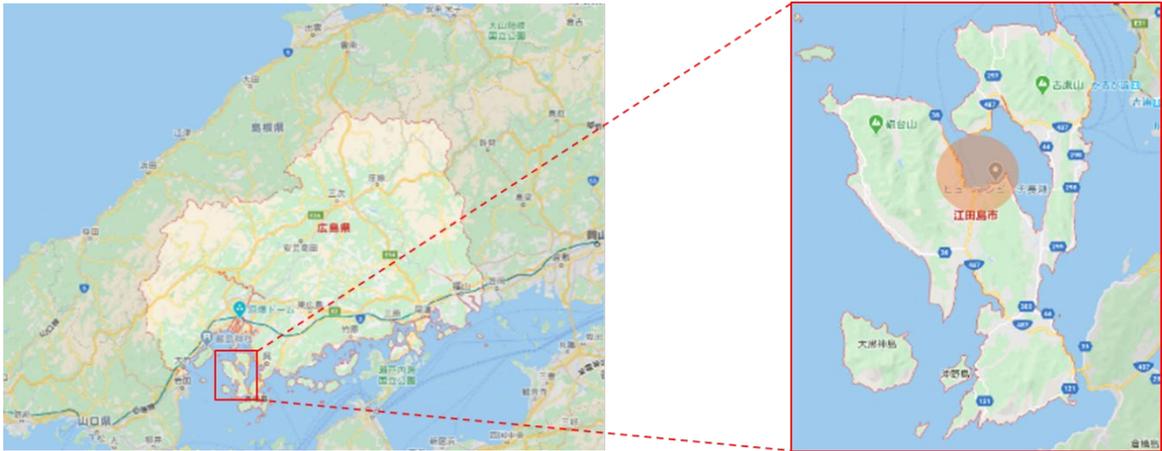


図 53 能美海上ロッジの場所



図 54 ローカル5G基地局を設置する能美海上ロッジ

ローカル5Gアンテナ設備、キャリア5G基地局装置の設置場所を以下の図に示す。

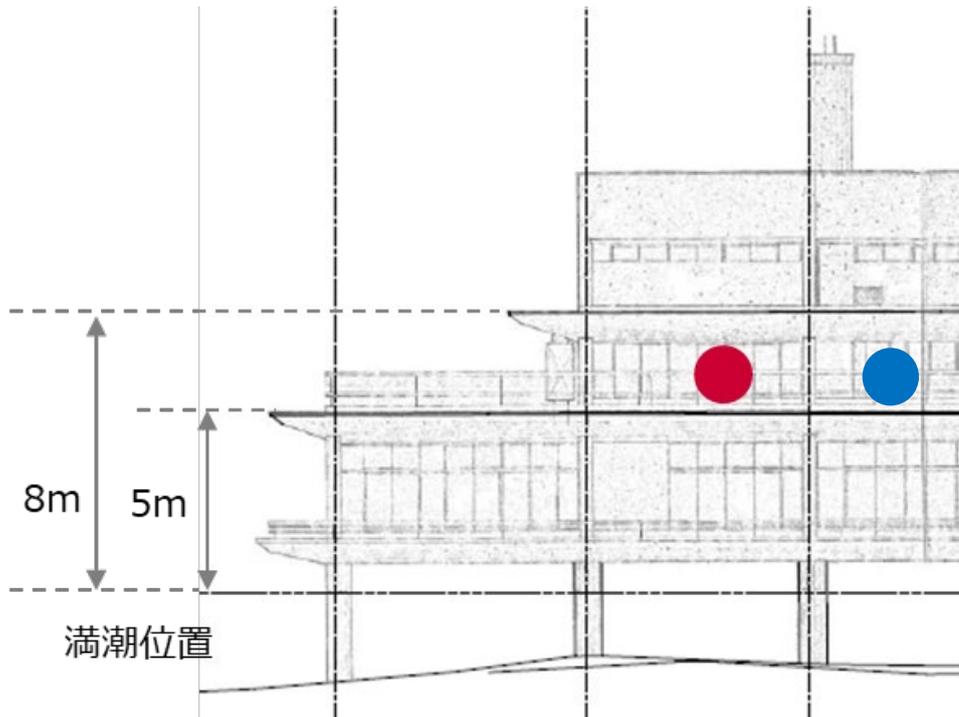


図 55 ローカル5Gアンテナ設置場所(赤丸)、キャリア5Gアンテナ装置場所(青丸)

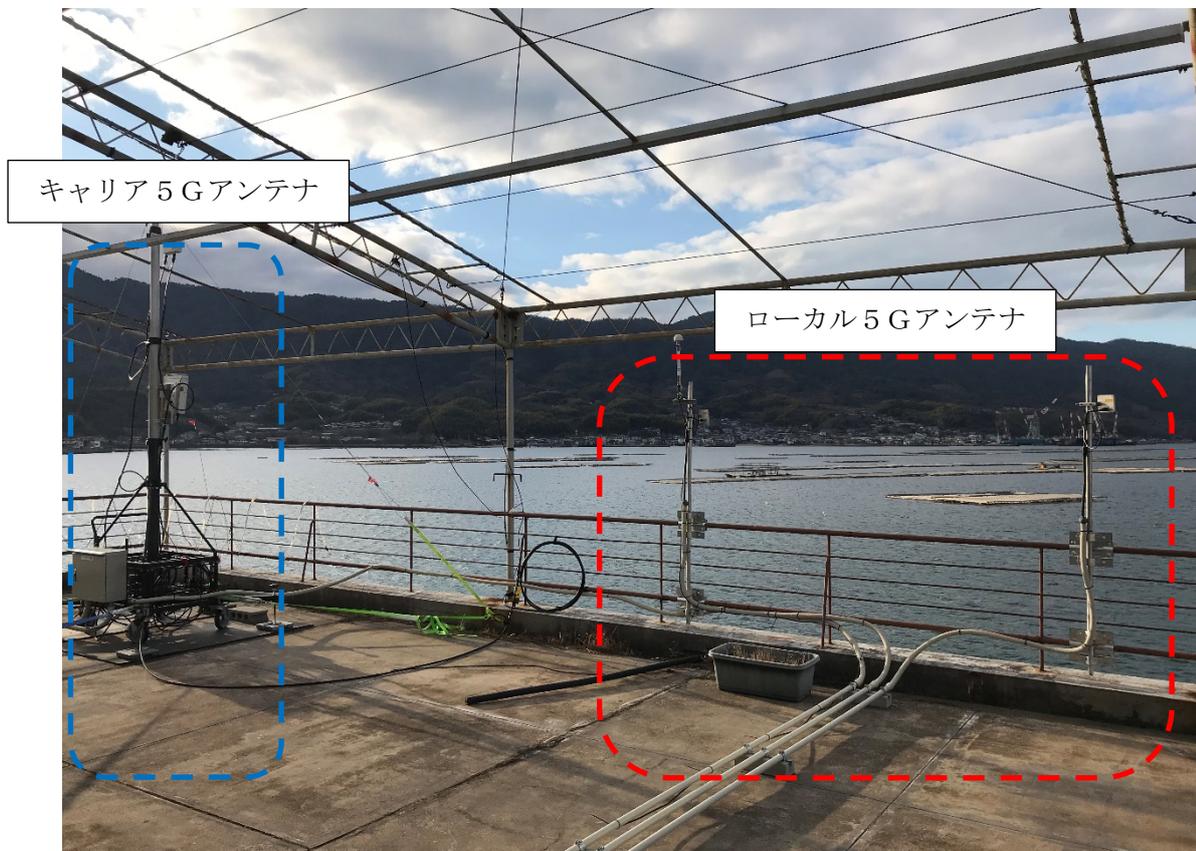


図 56 ローカル5Gアンテナとキャリア5G基地局の設置状況

以下の図は、キャリア 5 G の可搬型基地局設備である。

固定型基地局と同等の機能を有するものであるが、5 G の普及促進にあたり NTT ドコモが準備する移動可能な基地局である。本開発実証また 5 G を活用したソリューションのデモンストレーションに有用なものである事から、本実証においても可搬型の基地局を配置し、技術実証等の運用に活用した。

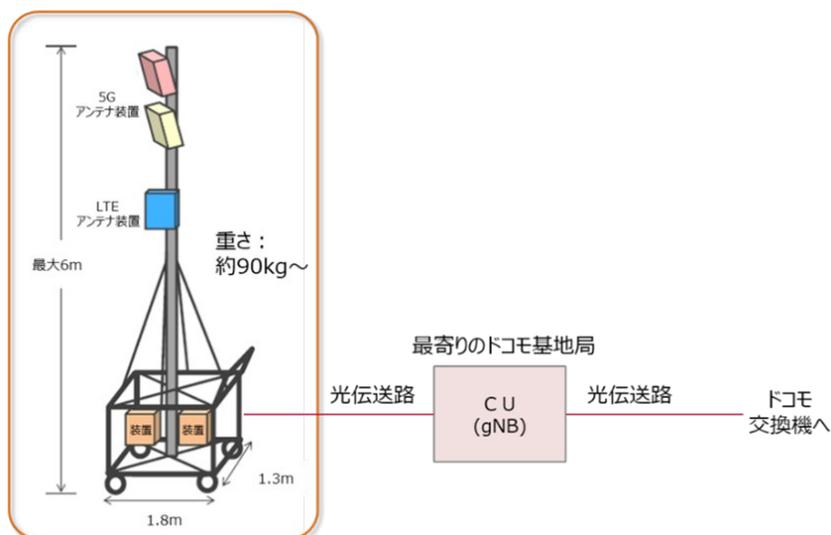


図 57 可搬型キャリア 5 G 基地局装置の接続図

### 3.4 実証参加者への説明

従来の養殖中のカキの確認作業の手法は、サンプリングによる「点」での調査に留まるが、「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」では水中ドローンによる映像を用いた「面」での調査となり、直接的な比較による定量評価が難しいことから、本システムの実装効果については定性評価を行うため、漁場関係者へ説明会の場を設け、ヒアリングを実施した。なお、説明会場は広島県立水産海洋技術センターの協力の元、実施した。



図 58 広島県立水産海洋技術センター

#### ■説明会のカリキュラム

表 9 説明会カリキュラム

No	項目	内容	説明者
1	本実証事業の概要説明	本事業の背景、目的の説明	NTT ドコモ 中国支社 法人営業部 中島 亮
2	水中ドローン概要説明	水中ドローンの機能の説明	佐世保工業専門学校 長嶋 豊 博士
3	水中ドローン運用手順説明	水中ドローンの稼働前の作業、 操作方法、稼働後の作業の説明	佐世保工業専門学校 長嶋 豊 博士
4	水中ドローン操作実習	海中での水中ドローン操作実習	佐世保工業専門学校 長嶋 豊 博士
5	高精細映像による ディスカッション	水中ドローンにて撮影した高精細 映像によるディスカッション	NTT ドコモ 中国支社 法人営業部 中島 亮
6	説明会アンケート	水中ドローンの評価アンケートの 実施	NTT ドコモ 中国支社 法人営業部 中島 亮

■説明会参加名簿

表 10 説明会参加者名簿

『表 10 には非公開情報を含むため削除』

上述するカリキュラムに記載した座学を、広島県立水産海洋技術センター内の会議スペースを借用し実施した。(図 59)



図 59 説明会場（広島県海洋水産技術センター）

広島県立水産海洋技術センター屋内での操作実習に先立ち、佐世保工業専門学校の長嶋博士に水中ドローンの運用等に関するレクチャーを実施した。(図 60)



図 60 水中ドローンの運用説明

広島県立水産海洋技術センター屋外にある筏の操作実習に先立ち、佐世保工業専門学校の長嶋博士に水中ドローンの運用等に関するレクチャーを実施した。(図 61)



図 61 水中ドローンの操作実習

## 4. 課題解決システムの実証

### 4.1 前提条件

カキ養殖の課題としては、採苗率の低下と、へい死による生産性の低下が大きな問題であるが、ビジュアル化によって解決できる課題として、付着生物と、海底の堆積物による漁場老化にテーマを絞り生産性向上、資源増大に寄与するシステム化の検討を実施した。

1次産業における課題としては、1.1 背景・目的で記した通り「所得向上・担い手の維持・発展」もあるが、生産性向上、資源増大に寄与することが実現できれば、本実証の成果として得られる知見を利用し、漁業関係者の所得向上、更には、システムを活用した担い手の維持・発展につなげられると推察した為である。

遠隔による海中状況の可視化を行う事により、陸上（遠隔地）からの水中ドローンの遠隔操作による海中状況の把握を実現するため、映像伝送に対し効果が期待される大容量・低遅延の5G技術を活用した「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」を構築した。

また、映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析では、水中ドローン搭載（あるいは外付け）のセンサーで環境データを取得することが可能となるため、遠隔での海中の状況の可視化システムを使い、陸上（遠隔地）からの水中ドローンの遠隔操作により、広範囲な海域において、水中ドローンで取得した高精細映像と、水中ドローン搭載のセンサーで取得した環境データを組み合わせた養殖場環境の分析システムを構築した。

また漁場老化については、真珠の養殖等の海面養殖にも共通の課題であり、養殖場環境の分析システムは他地域・多品目への汎用性・拡張性が期待できると考察する。

### 4.2 実証目標

水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システムを使い、ローカル5Gを活用して陸上から水中ドローンを遠隔操作し、海中の状況を可視化できることにより、「養殖するカキの生育に影響を与える付着生物の状況」をリアルタイムで把握できるとともに、漁業者の労働環境の改善が実現し、結果としてカキの海面養殖における生産性の低下の歯止めに繋がられるかの実証を行った。

また、映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システムを使い、取得する映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析実証を行った。

### 4.3 課題解決システムに関する検証及び評価・分析

#### 4.3.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム

##### 4.3.1.1 評価項目・方法

「3.2.2 水中ドローン」に記載の過去の実証から水中ドローンの遠隔操作においては、遅

延に大きく左右されることが分かっている。ローカル5Gを用いて、遠隔地の陸上から水中ドローンを操縦することが可能であるか、遅延を測定し、評価・検証を行うとともに、複数台の水中ドローンの同時利用を想定し、スループットが十分出せるかどうかの検証を行った。

また、カキ養殖における作業負担の軽減、効果的な対策の判断へつながるか評価を行うため、水中ドローン搭載のカメラで撮影する高精細映像によりカキ筏への付着生物及び海底の堆積物の状況確認が可能であるか検証を行い、検証結果を評価・分析を行った。

#### ■検証内容

ローカル5Gにおける基地局の通信性能を測定し、遠隔地から操縦する水中ドローンの反応を確認する。さらに水中ドローンから送信される高精細映像により、垂下連に付着する生物の把握を行った。

また、同様にカキ筏周辺の海底の堆積物の状況確認の検証を行った。

- ・ 3台の水中ドローンの遠隔地からの操作、及び水中ドローンに搭載したカメラを用いた映像伝送を行い、通信性能的に実用に耐え得るかどうかの検証を行った。
- ・ 水中ドローンの高精細映像により、付着生物の確認が行えるかどうかの検証をビデオ解像度毎に行った。

#### ■評価・分析

陸上（遠隔地）からの水中ドローンの遠隔操作に対するローカル5Gの通信性能、及び水中ドローンの高精細映像によるカキに対する付着生物の把握について、漁業関係者の評価を収集・分析して総合的に評価を行った。

表 11 「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」の

評価項目	評価方法
スループットの確認（※1、※2）	水中ドローン3台同時利用におけるスループットを評価。 （ローカル5Gの基地局装置上で計測 ※3）
ビデオ解像度毎のスループットの確認（※4、※5）	各ビデオ解像度毎のスループットを確認し評価。（コントローラーのパソコン（Macbook）上で計測）
付着生物の確認（※5）	各ビデオ解像度毎の映像から付着生物の種類が確認できるかどうかを評価・検証（※6）
堆積物の状況の確認（※5）	各ビデオ解像度毎の映像から海底の堆積物の状況が確認できるかどうかを評価・検証（※6）
総合評価	高精細映像によるカキに対する付着生物の把握について、関係者の評価を収集・分析して総合的に評価（※7）

※1：水中ドローンはFIFISH V6 Plus×1台とBlueROV×2台を使って測定

※2：水中ドローンのビデオ解像度はFHD:30fpsで測定

※3：遠隔操作における通信性能要件（通信速度と遅延）について評価を行った

※4：水中ドローンはFIFISH V6 Plus×1台を使って測定

- ※5：水中ドローンのビデオ解像度はHD:30fps/FHD:30fps/UHD:30fps で測定
- ※6：漁業関係者に録画映像を観て頂き、付着生物および堆積物の状況が映像により把握が可能かどうか定性的に評価を行った
- ※7：水中ドローンの映像による確認が垂下連を引き上げて目視で確認する作業の代替手段となりうるかどうか、また作業の効率化に繋がるかどうかを、コスト・稼働面等から総合的に定性評価を行った評価結果

<スループットの確認>

■3台同時利用

表 12 実証内容概要

実施日時	2021年1月29日（金）
実施場所	江田内漁場
検証内容	3台同時のスループットを測定
NW環境	ローカル5G
水中ドローン機種	FIFISH V6 Plus×1台、BlueROV×2台
映像設定	FHD（30fps）

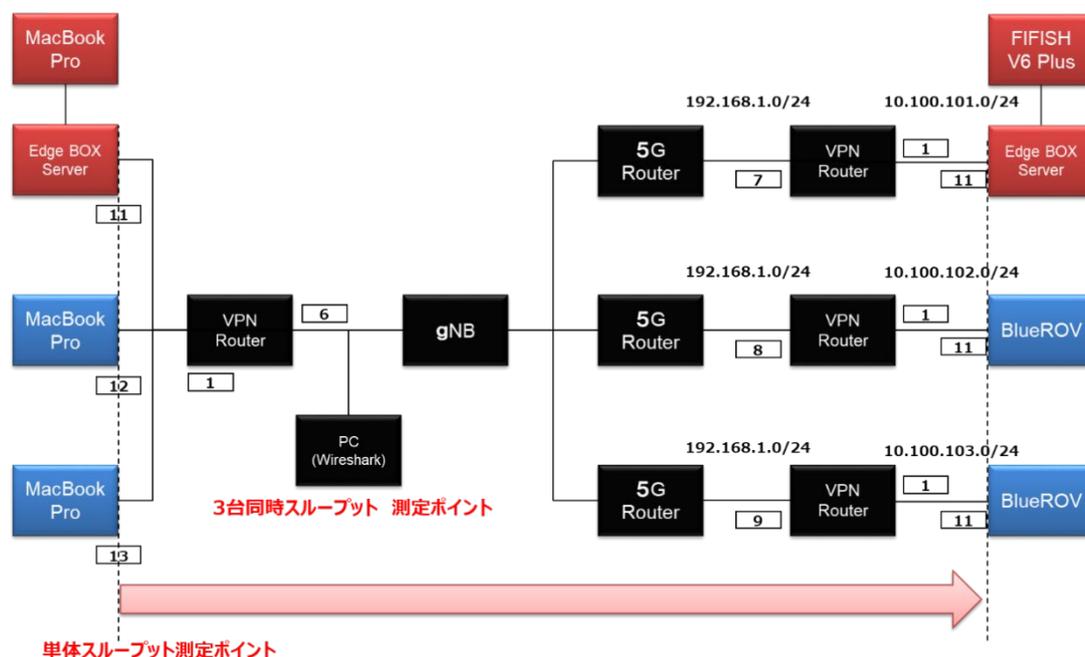


図 62 実証ネットワーク構成

ローカル5G環境下でBlueROVを2台(FHD/30fps)、FIFISH V6 Plusを1台(UHD/30fps)の合計3台の水中ドローンから高精細映像を配信させ、スループットの測定を行った。

結果は、ローカル 5 G 上で 3 台同時に通信をさせた状態での合計スループットは、約 60Mbps 前後で推移する結果となった。(図 63)

また、3 台同時に通信をさせた状態において、それぞれの水中ドローンのスループットは、BlueROV において約 12Mbps 前後で推移し (図 64)、FIFISH V6 Plus では約 32Mbps 前後で推移する結果となった (図 65)。

ローカル 5 G の UL は 100Mbps 程度であり、本実証構成の水中ドローン 3 台を同時に動作させるために必要なスループットを十分に満たしていることが測定結果から得られた。

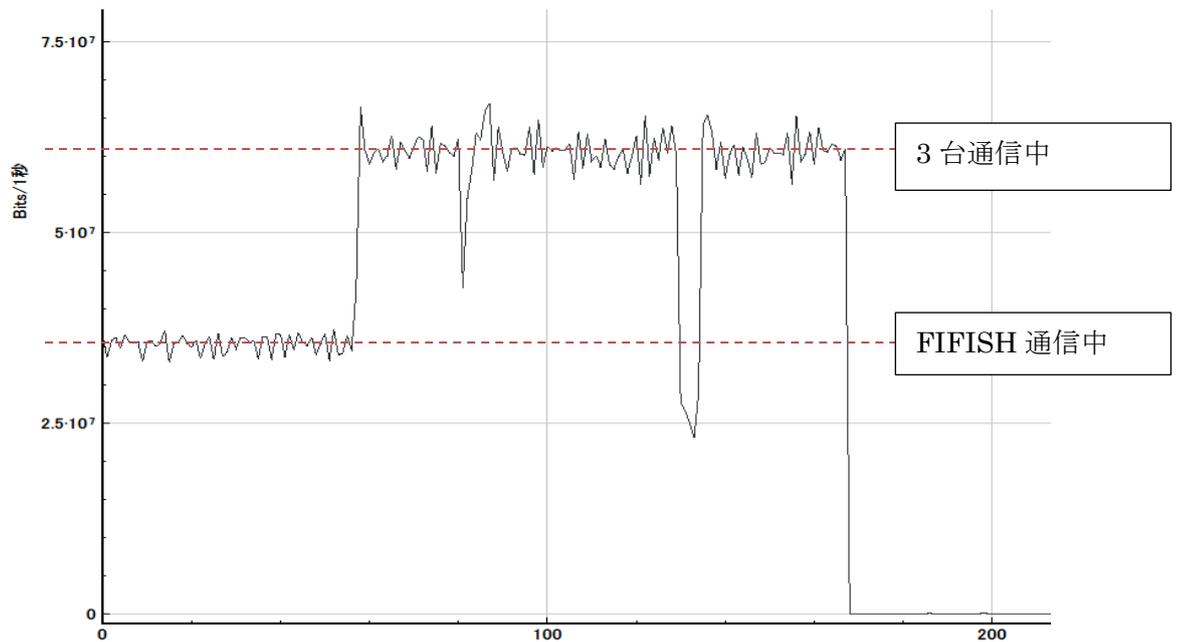


図 63 3 台同時のローカル 5 G 装置側スループット結果

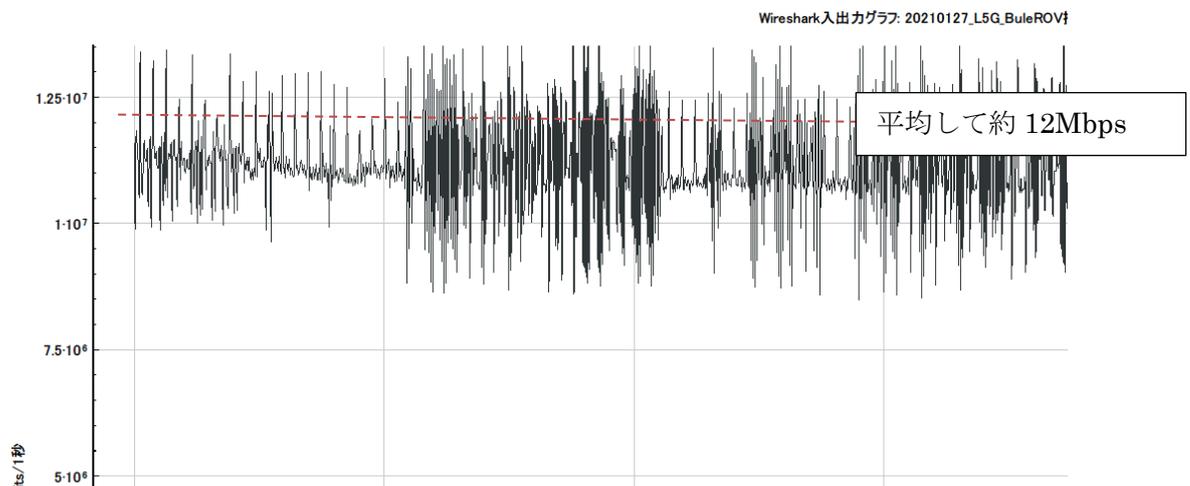


図 64 3 台同時の BlueROV 側単体のスループット結果

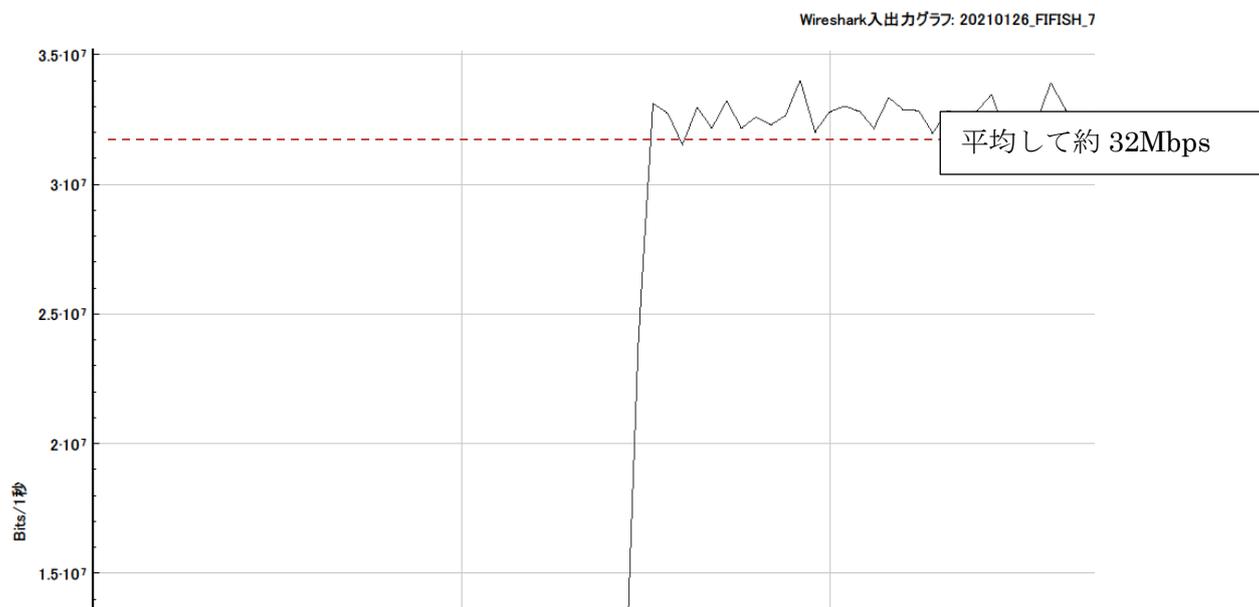


図 65 3 台同時 FIFISH V6 Plus 側単体スループット結果

<ビデオ解像度毎のスループットの確認>

■BlueROV

- ・ FHD : 30fps

ローカル 5 G 環境下で必要なスループットの確認を行うため、BlueROV と PC をローカル接続し、FHD/30fps の高精細映像の配信において、どの程度のスループットとなるか測定を行った。結果は、ローカル接続状態では、全体としては 12Mbps 前後で推移する結果となった。

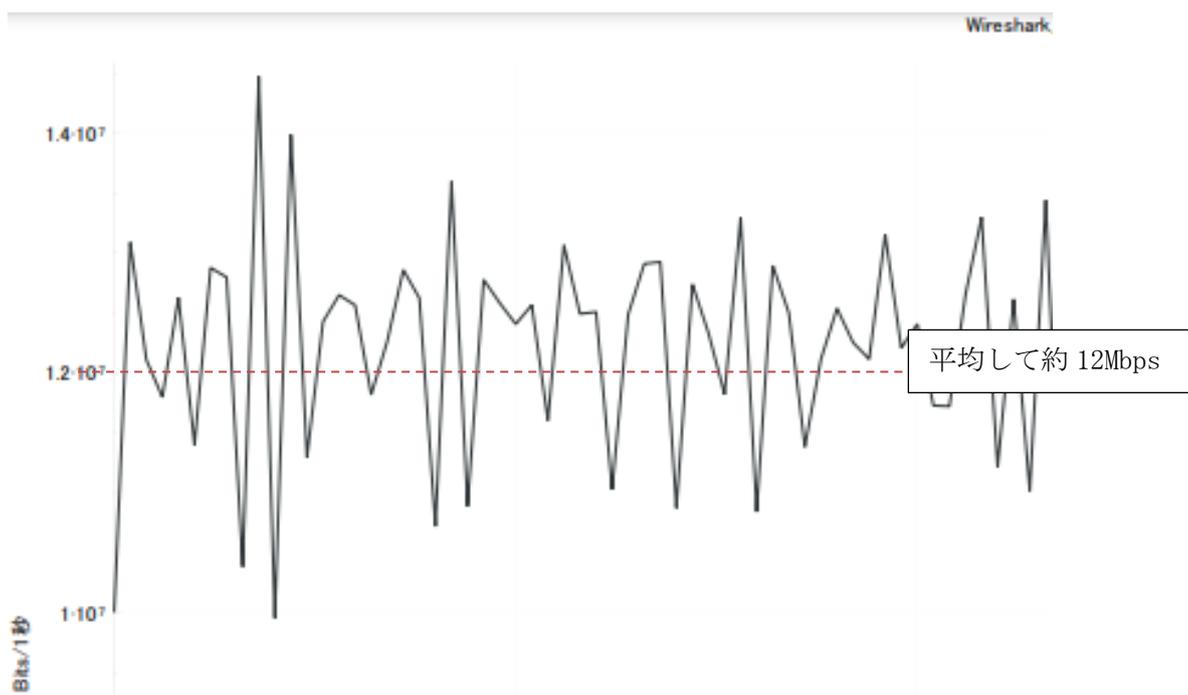


図 66 BlueROV FHD, 30fps スループット測定データ

表 13 BlueROV FHD, 30fps 遅延測定データ

遅延 (ms)		
最小	最大	平均
2	22	9

## ■FIFISH

### ・HD : 30fps

ローカル5G環境下で必要なスループットの確認を行うため、FIFISH V6 Plus と PC をローカル接続し、HD/30fps の高精細映像の配信において、どの程度のスループットとなるか測定を行った。結果は、ローカル接続状態では、スループットが全体としては8.5Mbps 前後で推移する結果となった。このことから FIFISH V6 Plus をローカル5G で利用するためには、最低限 8.5Mbps 程度のスループットが必要であることが測定結果から得られた。

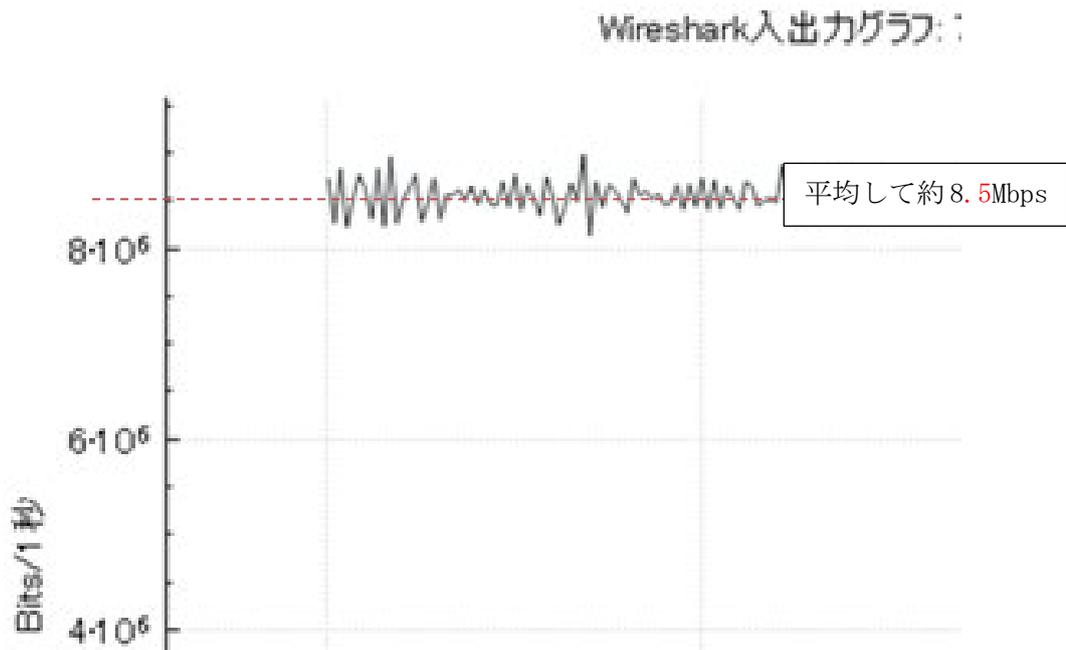


図 67 FIFISH /HD/30fps スループット測定データ

表 14 FIFISH /HD/30fp 遅延測定データ

遅延 (ms)		
最小	最大	平均
0.14	2.08	0.33

### ・FHD : 30fps

ローカル5G環境下で必要なスループットの確認を行うため、FIFISH V6 Plus と PC をローカル接続し、FHD/30fps の高精細映像の配信において、どの程度のスループットとなるか測定を行った。結果は、ローカル接続状態では、スループットが全体としては32Mbps 前後で推移する結果となった。このことから FIFISH V6 Plus をローカル5G で利用するためには、最低限 32Mbps 程度のスループットが必要であることが測定結果から得られた。

FIFISH V6 Plus のFHD/30fps におけるスループットは、BlueROV で配信した FHD の高精細映像よりもスループットが高レートとなったが、これは FIFISH V6 Plus の映像配信の仕様が高画質を優先した設計のためである。

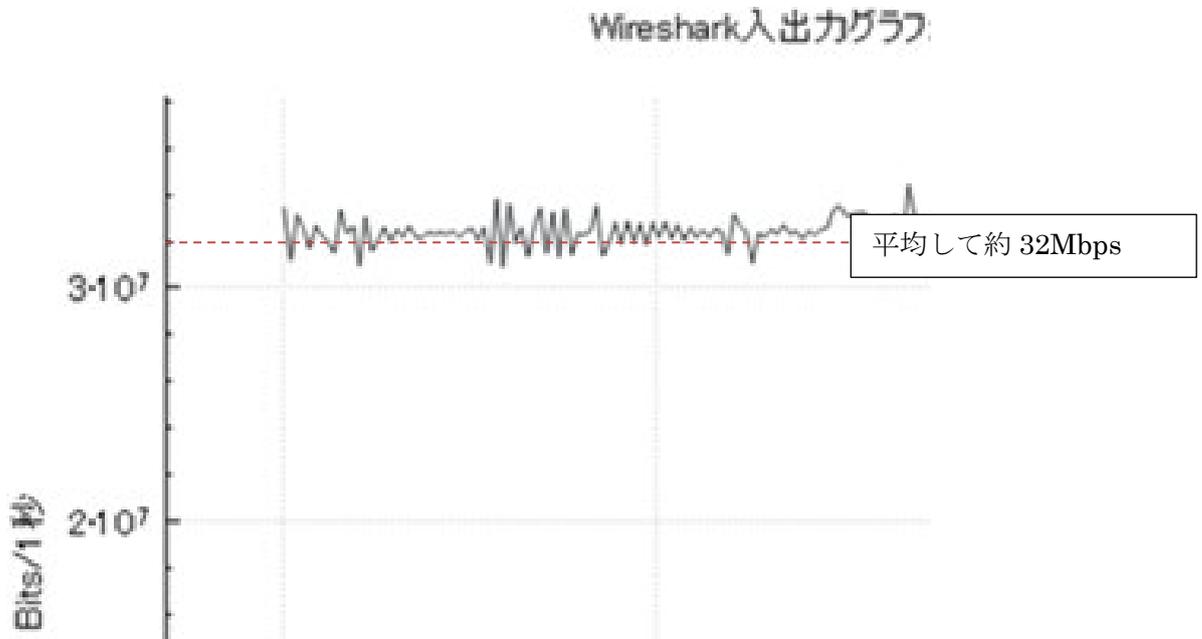


図 68 FIFISH /FHD/30fps スループット測定データ

表 15 FIFISH /FHD/30fp 遅延測定データ

遅延 (ms)		
最小	最大	平均
0.12	0.74	0.32

- UHD : 30fps

ローカル 5 G 環境下で必要なスループットの確認を行うため、FIFISH V6 Plus と PC をローカル接続し、UHD/30fps の高精細映像の配信において、どの程度のスループットとなるか測定を行った。結果は、ローカル接続状態では、スループットが全体としては 32Mbps 前後で推移する結果となった。

FIFISH V6 Plus の UHD/30fps におけるスループットが FHD/30fps と同程度の結果となったことは、EdgeBOX の処理能力、発熱を考慮し、圧縮率を高める仕様に基づいた結果となった。



図 69 FIFISH /UHD/30fps スループットデータ

表 16 FIFISH /UHD/30fp 遅延測定データ

遅延 (ms)		
最小	最大	平均
0.14	2.08	2.08

### <付着生物の確認>

水中ドローンで撮影した垂下連のカキの映像を漁業関係者に観覧頂き、付着生物に対するアンケートを実施した。

HD、FHD、UHD 毎の高精細映像の観覧頂いたが、どの映像についても「映像が思っていたよりきれいだった」、「映像がクリアなので付着生物がよく分かった」などの意見が多く寄せられた。

但し、付着生物の詳細な状況や、魚類による食害を確認するためには垂下連に対して接近した映像を取得する必要がある、接近した状態を維持するための水中ドローン操作技術が求められることと、垂下連に対して接近しすぎることにより水中ドローン本体もしくはテザーケーブルが潮に流され垂下連へ絡んでしまうリスクがあり、課題が残った結果となり、また、現在調達可能な水中ドローンの場合では本体の大きさ（横幅）があり、垂下連と垂下連の間を潜航することが困難であり、カキ筏の側面に位置する垂下連しか確認できないことが課題として残った。

表 17 漁業関係者への付着生物の確認に関するアンケート結果

アンケート内容	水中ドローンで撮影した付着生物の状況の映像をご覧になった感想を教えてください。特に付着生物の状況が確認できるか、またその有効性についてご意見を下さい。
漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 近づけば確認ができた。ただ操作精度を高める必要がある。</li><li>・ 映像が思っていたよりきれいだった。調査に使えると思った。</li><li>・ 大きなものは見てわかるが、角度の調整や細かいものはどれぐらい見られるかがわからない。</li><li>・ 映像はクリアなので付着生物はよく分かった。</li><li>・ どういう種類の生物が付着しているか、全体の状況が確認できるといった。</li><li>・ 思ったよりも鮮明な映像が見えるが、水中のカキや低質の状態を確認できることも有効である</li></ul>



図 69 観覧してもらった垂下連の撮影動画

撮影日：2020年12月15日

撮影場所：江田内

水中ドローン：FIFISH V6 Plus

<堆積物の状況の確認>

水中ドローンにて撮影した海底の堆積物の映像を漁業関係者に観覧頂き、堆積物に対するアンケートを実施した。

HD、FHD、UHD 毎の高精細映像の観覧頂いた、付着生物の確認と同様にどの映像についても「映像がきれいであった。」、「海域毎の海底の堆積物の状況を目視できるのは、良い確認方法だと思う。」、「底泥の巻き上げがなく、クリアな映像が撮れている。」などの声が寄せられた。

海底の堆積物の状況においては比較的に大きな対象物を特定することが目的のため、HDの解像度であっても十分に状況が確認できることから、FHDの解像度も必要ないとの意見が大半であった。

表 18 漁業関係者への海底堆積物の確認に関するアンケート結果

アンケート内容	水中ドローンで撮影した海底の状況の映像をご覧になった感想を教えてください。また、海底の映像を確認することの有効性についてご意見を下さい。
漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海底も映像がきれいであった。</li> <li>・ カキ筏の外側のものしか見えないのは、少し残念。食害防止のパトロールに走らせたり、海底清掃の場所決めなどに役に立つではないか。</li> <li>・ 海域毎の海底の堆積物の状況を目視できるのは、良い確認方法だと思う。</li> <li>・ 海底底質が視覚化できる。漁礁機能の推定、ダイバーを使わずに低予算でできる。</li> <li>・ 思ったほど底泥の巻き上げがなく、クリアな映像が撮れている。</li> <li>・ 漁礁への魚の謂集状況はわかるのではないかと思った。</li> <li>・ 海底の漁礁の状態を観察することが有効である。</li> </ul>



図 70 観覧してもらった堆積物の撮影動画①

撮影日：2020年12月15日/2021年1月14日  
 撮影場所：江田内、水中ドローン：FIFISH V6 Plus



図 71 観覧してもらった堆積物の撮影動画②

撮影日：2020年12月15日/2021年1月14日

撮影場所：江田内、水中ドローン：FIFISH V6 Plus

#### <総合評価>

水中ドローンにて撮影した垂下連の養殖カキへの付着生物の状態、海底の堆積物の高精細映像の漁業関係者からの評価は、HD、FHD、UHDの解像度にもかかわらず高精細映像による付着生物、海底の堆積物の把握することができるという評価が得られた。

解像度が高い画像の方がより詳細な判別が可能であるが、HDの解像度でも十分に付着生物の判別が出来ることから、UHDの解像度までは必要なく、特にUHD解像度を表示できるデバイスはこの社会において主流になりつつあるが、準備・導入のコストを鑑みて一般的ではないところと推察すると、社会的に見て浸透している動画解像度であるFHDの解像度が最適という結果に至った。

但し、付着生物の詳細な状況や、魚類による食害を確認するためには垂下連に対して接近した映像を取得する必要があるが、接近した状態を維持するための水中ドローン操作技術が求められることと、垂下連に対して接近しすぎることにより水中ドローン本体もしくはテザーケーブルが潮に流され垂下連へ絡んでしまうリスクがあり、課題が残った結果となった。(垂下連に対しては衝突防止のソナーは効果がない事が判明)

また、現在調達可能な水中ドローンの場合では本体の大きさ(横幅)があり、垂下連と垂下連の間を潜航することが困難であり、カキ筏の側面に位置する垂下連しか確認できないことが課題として残った。

#### 4.3.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム

##### 4.3.2.1 評価項目・方法

水中ドローン搭載のカメラで撮影した「海底の堆積物」の状況に関する高精細映像と、水中ドローン搭載のセンサーで取得した海水の「水温」、「塩分濃度」、「溶存酸素濃度」等の環境データによる「漁場環境推定モデル」を実装して取り込んだ「養殖漁場環境の分析システム」を使うことにより、養殖漁場における海水の環境データと海底の堆積物の状況を把握できるか検証を行い、カキの主要なへい死要因である、貧酸素水塊の発生状況の把握、及びそれらの発生場所が特定できるかの検証結果を評価・分析した。

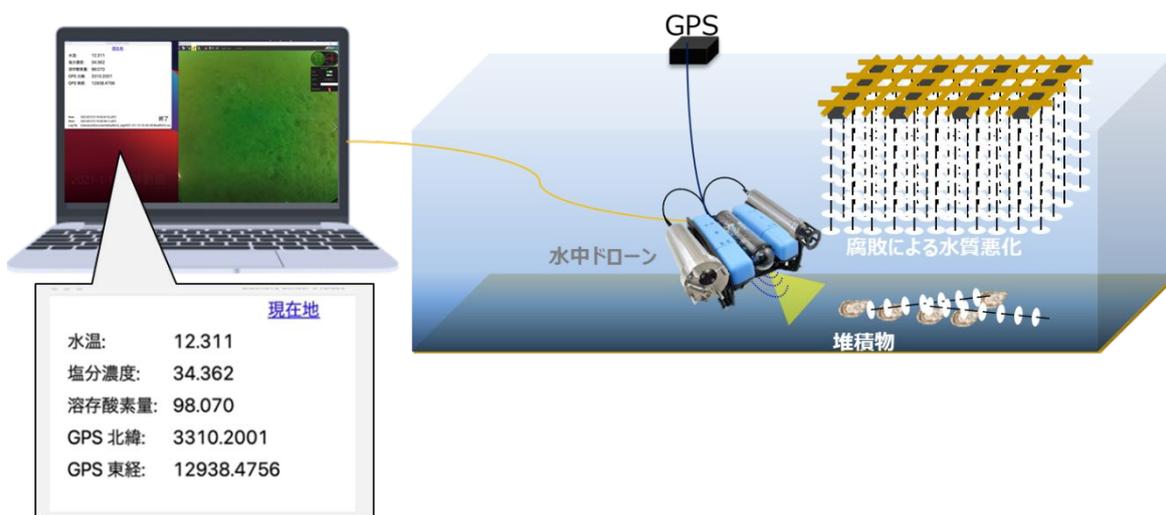


図 72 養殖漁場環境の分析システムイメージ

高精細映像と合わせて制御用 PC の画面上にセンサーデータをリアルタイムに表示

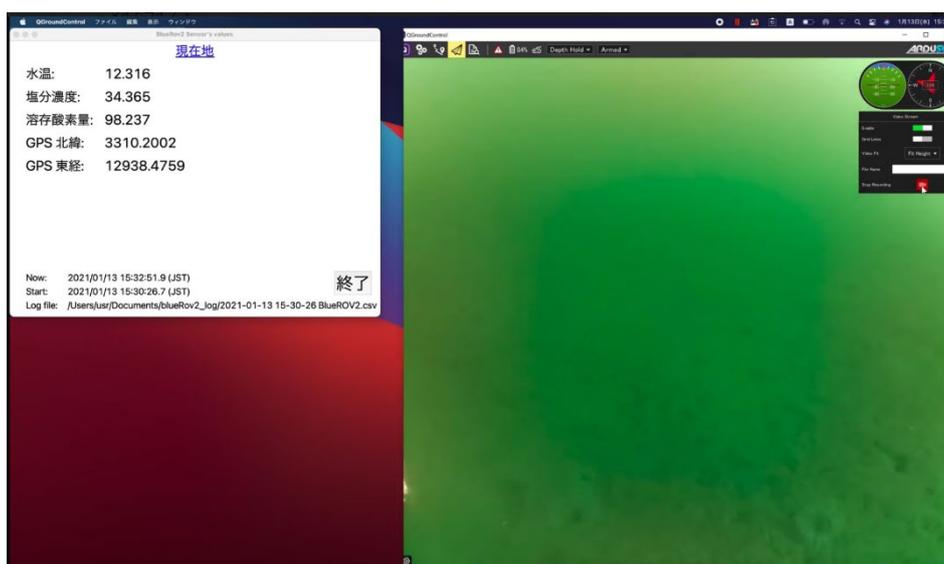


図 73 制御用パソコンの画面

■ 検証内容

水中ドローンの航行可能な範囲で海中・海底を捜査し、ドローン搭載のカメラで撮影した高精細な海中映像と水中ドローンに搭載のセンサーにより、海水の「水温」、「塩分濃度」、「溶存酸素」等の環境データから、貧酸素水塊等の発生状況の把握、及びそれらの発生場所が特定できるか確認した。

表 19 実証概要

実施日時	2021年2月5日（金）
実施場所	長崎県佐世保市船越町 マルモ水産カキ筏付近
水深	約10m
天候	曇り、波なし

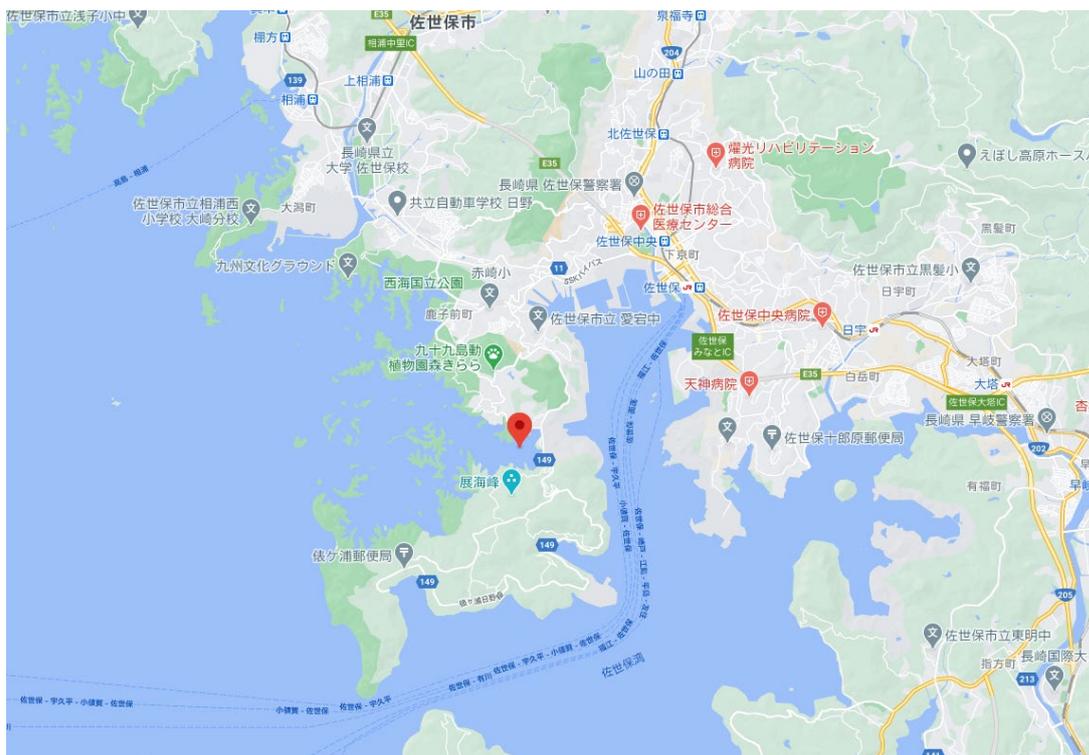


図 74 測定場所：長崎県佐世保市船越町

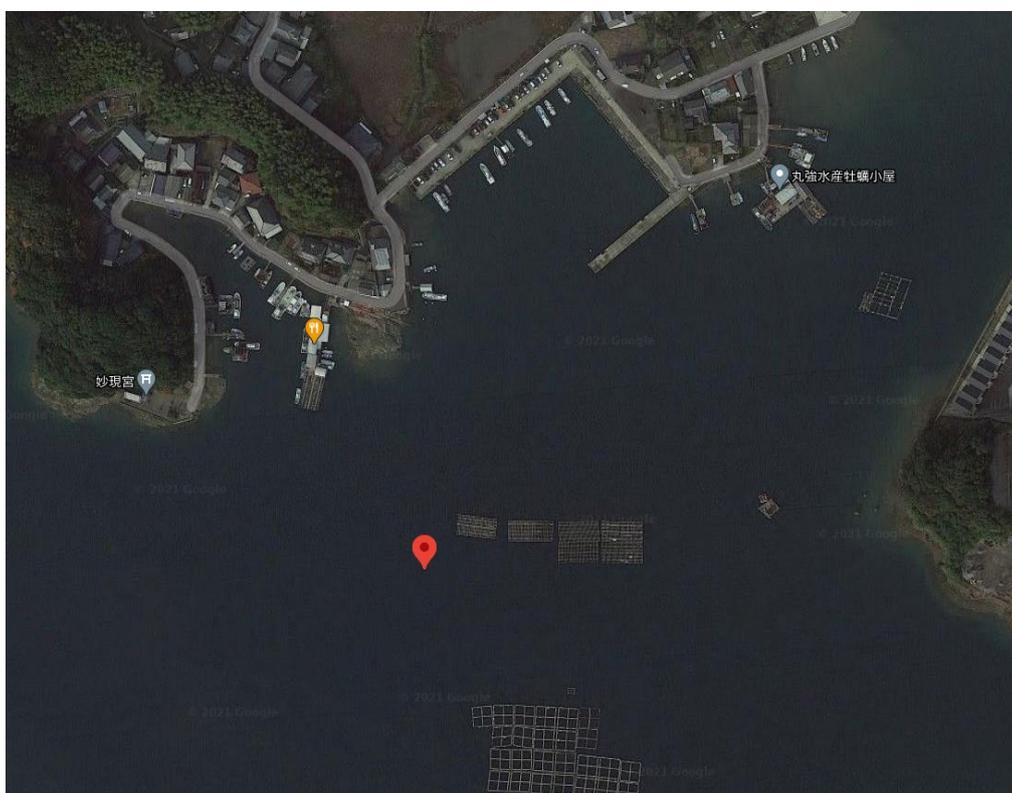


図 75 測定場所：マルモ水産カキ筏付近

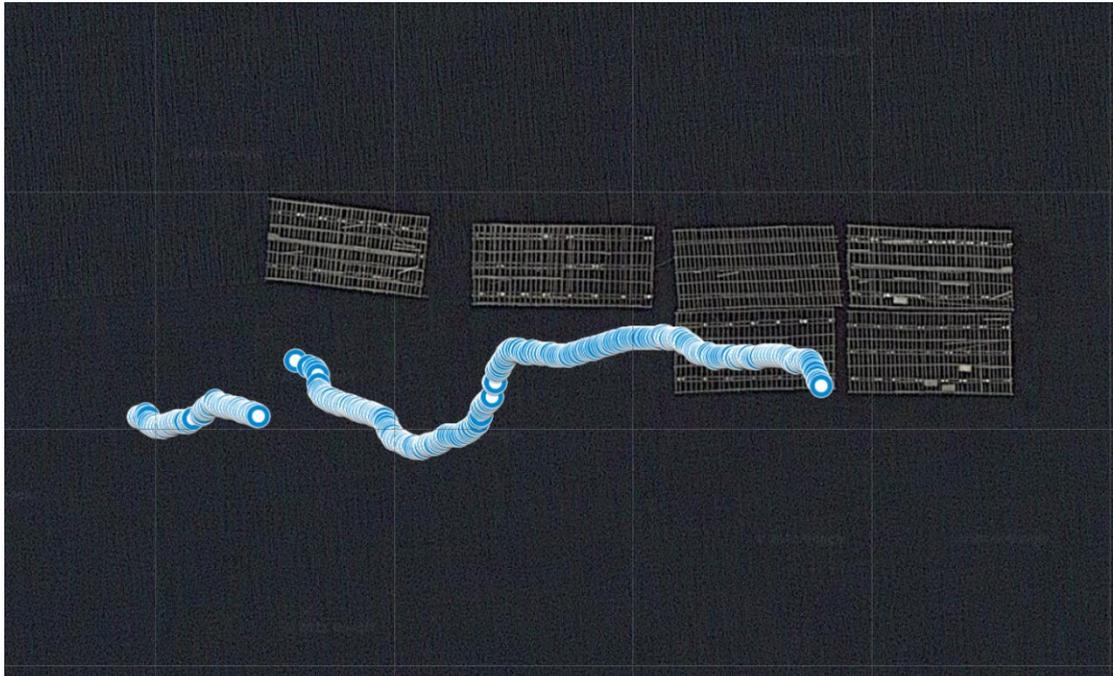


図 76 水中ドローンの航行ルート（青色ポイント）



図 77 測定場所：マルモ水産カキ筏付近の写真



図 78 測定中の様子

■評価・分析

水中ドローン搭載のカメラで撮影した高精細な海中映像と水中ドローンに搭載のセンサーにより、海水の「水温」、「塩分濃度」、「溶存酸素」等の環境データから、貧酸素水塊等の発生状況、及びそれらの発生場所が特定できるかどうかを分析して「漁場環境推定モデル」について総合的に評価を行った。

表 20 「養殖漁場環境分析システム」の検証および評価・分析

評価項目	評価方法
水温の測定（※1）	周辺に設置済みの水温センサー（※2）と比較し評価・検証
塩分濃度の測定（※1）	周辺に設置済みの塩分濃度センサー（※2）と比較し評価・検証
溶存酸素の測定（※1）	別で用意するD0センサー（※3）と比較し評価・検証
総合評価（※4）	養殖場環境の分析システムについて、関係者の評価を収集・分析して総合的に評価

※1：BlueROV と BlueROV 搭載の有線式 D0 センサー、有線式水温塩分センサーを使い測定センサーの測定値は本体にロギングすると共に、高精細映像と合わせてコントローラの画面上にリアルタイム表示させるよう開発

※2：周辺に設置済みのセンサーは測定場所が変更となったため以下のセンサーと比較  
 水温について：塩分水温センサー（JFE Advantech A7CT-CAD）と比較  
 塩分濃度について：一般的な海水の塩分濃度と比較

※3：リファレンス用に別センサーを準備

※4：※1で取得した水温、塩分濃度、溶存酸素データから「貧酸素水塊分布図」を作成し  
 評価

#### 4.3.2.2 評価結果

水中ドローンに搭載の塩分水温センサーより水温と塩分濃度、及び飽和溶存酸素量に対する割合を計算した結果、以下の通りであった。

＜水温の測定＞

水中ドローン（BlueROV）のセンサーと塩分水温センサー（JFE Advantech A7CT-CAD）による水温の測定の結果は以下の表の通り。±0.5℃程度の誤差はあるが、概ね正しい値であると判断。

表 21 水温と塩分濃度、溶存酸素量の最低、最高、平均

測定データ	単位	最低	最高	平均
BlueROV 水温	℃	12.32	12.37	12.35
A7CT-CAD 水温	℃	12.57	12.91	12.87

＜塩分濃度の測定＞

塩分水温センサー（JFE Advantech A7CT-CAD）による塩分濃度の測定の結果は以下の表の通り。測定場所が変更となり比較用のセンサーが無かったが、一般的な海水の塩分濃度が3.1%～3.8%であることから概ね正しい値であると判断。

表 22 塩分濃度

測定データ	単位	最低	最高	平均
A7CT-CAD 塩分濃度	‰	34.27	34.29	34.28

＜溶存酸素の測定＞

DO センサー（JFE Advantech ARO-CAD）による水温データの測定の結果は以下の表の通り。

表 23 溶存酸素量

測定データ	単位	最低	最高	平均
ARO-CAD 溶存酸素量	%	106.00	108.54	107.03

DO センサーの検証として別センサーを準備し精度について検証を実施した。



図 79 DO センサーの検証



図 80 比較用の DO センサー (左 ARO-CAD、右 AROW2-USB)

2つのセンサー（ARO-CAD, AROW2-USB）の比較結果は以下（図 81）の通りであった。

海面付近を航行中は水中ドローンのスラストが巻き込んだ空気によるキャビテーションにより塩分濃度、溶存酸素量共に不安定な値を示しているが、海底付近を航行中は溶存酸素量は 112%-114% で公称値の±2%以内でほぼ一致。

また、溶存酸素量が 100%を超えている理由については検証を行った海域の水深は 3m 程度と浅く、日光が十分に届く環境であったことから植物プランクトンや海藻の光合成による過飽和状態であったと考えられる。また、海面近くであったことからにより高い溶存酸素量が検出されているものと推測。

（ARO-CAD, AROW2-USB では 0-200%の範囲で溶存酸素量を測定可能）

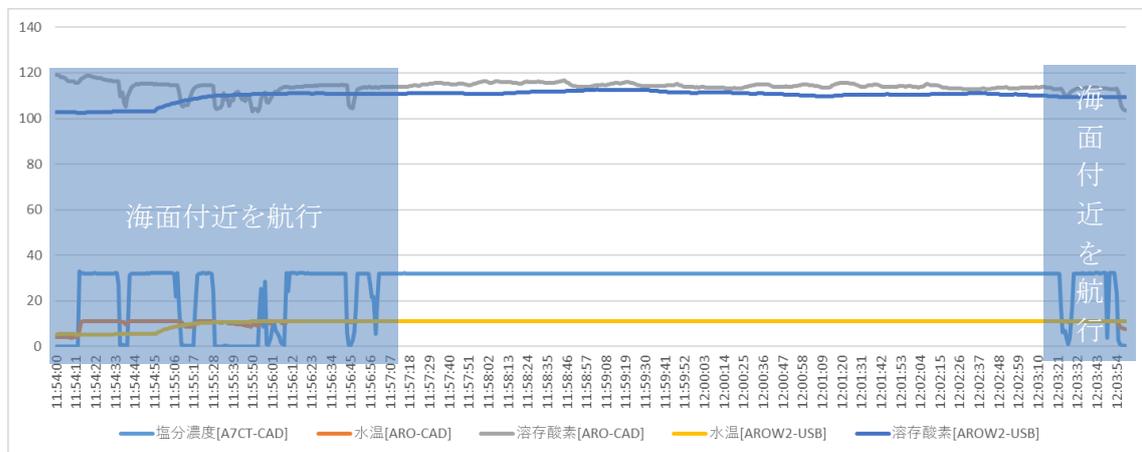


図 81 DO センサーの比較結果

<総合評価>

測定データからの溶存酸素量を基に図を作成し貧酸素水塊発生状況を確認した結果、以下の通りであった。

表 23 の通り周辺の溶存酸素量は 106%以上で飽和酸素濃度を超える状態であり貧酸素状態が発生している状態は確認できなかった。これは低水温の環境でバクテリアの活性が低いことと、海底の有機物の堆積が顕著な場所が見られなかったことが原因と考えられる。

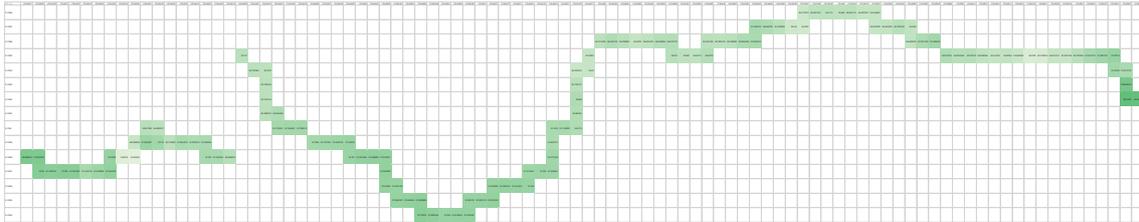


図 82 貧酸素水塊図 (1m メッシュでの溶存酸素量の表示結果)

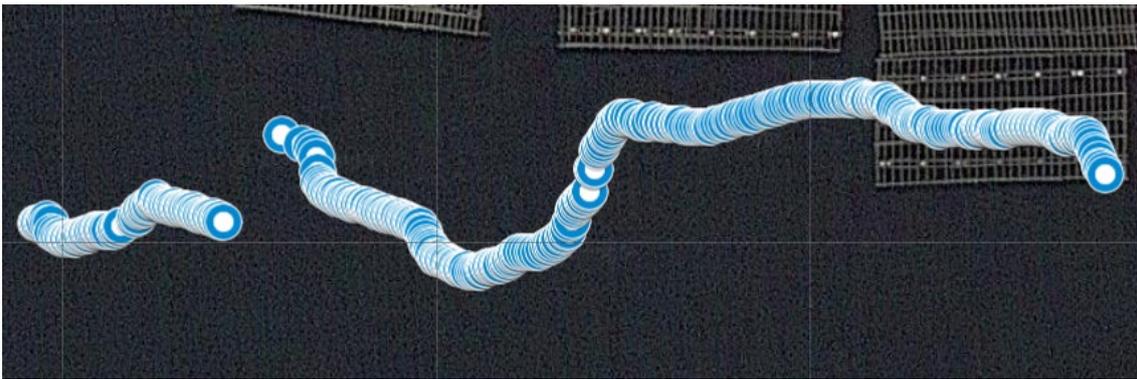


図 83 水中ドローンの航行ルート (青色ポイント)

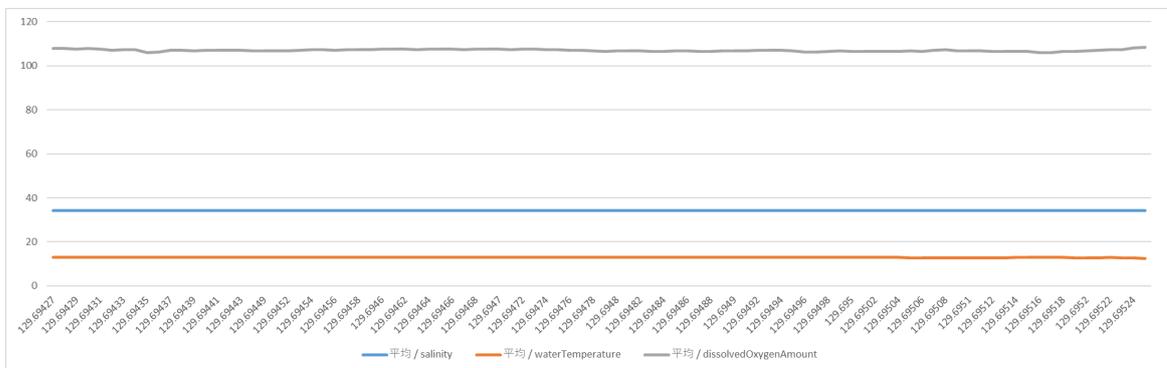


図 84 水温と塩分濃度、溶存酸素量の緯度毎のグラフ

今回の実証では貧酸素状態の発生は確認できなかったが、図 84 の通り溶存酸素量の低い場所が存在していれば場所の特定は可能であることを確認した。

今回の結果からは顕著な溶存酸素の変動が見られなかったが、センサー搭載の水中ドローンのデータから水質の状況を点ではなく面で可視化が可能であり、高精細映像からその原因を特定できると言える。

漁業関係者からの評価は、「映像と環境データの組み合わせにより、漁場の様子が視覚で判別できることにより、新たに見えてくる情報が沢山ある」とのコメントを頂戴した。これまでは水質の状況を点でしか捉えることができなかったが、映像と環境データの組み合わせにより、海底の状態の可視化できることから、あるべき海底の状態の知見が溜まることでより効果的な対策が可能になる。また、漁礁や養殖環境の可視化から得られる情報による新たな発見に期待が伺えた。

<b>漁業関係者コメント</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 水中ドローンの活用により、稼働をかけずに広範囲な環境データの可視化、データ収集を行うことが可能になる。これらの情報から貧酸素水塊を特定することが容易になる。</li><li>・ 水質の状況を映像と環境データにより可視化できることで、海底をどういう状態にしなければならないかという知見が溜まる。</li><li>・ 海底の状態が可視化されることで、新たなことが見えてくる期待感がある。</li><li>・ カキ養殖では、同一海域でも筏の設置場所によってカキの生育状態が異なる。映像と環境データによる水質の状況の可視化ができることでカキの生育と養殖環境の関係性を検証することができる。</li><li>・ 海底調査などのダイバーによる調査では、費用が発生するため、確実に結果の出る調査しかできない。水中ドローンを活用した海中、水質の可視化であれば、チャレンジが可能となり、漁礁や漁場環境における新たな情報収集に役立てる。</li></ul>
------------------	--

#### 4.4 課題解決システムに関する効果検証

##### 4.4.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム

###### 4.4.1.1 評価項目・方法

本システムの実装効果について、定量・定性評価を通じて検証を実施した。

現状垂下連の確認作業は、サンプリングで数本の垂下連を引き上げて調査を行う「点」での調査となっているが、「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」では水中ドローンによる映像を用いた「面」での調査となり、直接的な比較による定量評価が難しいことから、本システムの実装効果について主に漁業者へのヒアリングによる定性評価による効果検証を実施した。

表 24 「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」の導入による効果検証

評価項目	評価方法
労働環境の改善に対する検証 (※1)	垂下連一本を水中ドローンで確認するのに掛かる時間を測定し、手動での確認に掛かる時間の差を検証。
高精細映像と目視の違いの検証 (※2)	垂下連の状態を水中ドローンの高精細映像により確認を行った事と引き上げて確認する事の見え方の違いの検証
可視化システムにおける作業生産性の検証	現在の垂下連の引き上げに伴う漁船運航、ダイバー稼働、作業時間、回数と可視化システムの差異を検証。
可視化システムにおける新たな作業負荷の検証	可視化システムを運用するにあたって必要となってくる新たな作業負荷について実証のオペレーションを通して検証。
可視化システムにおける水質や養殖魚に対する負荷の検証	関係者に新たな懸念があるかどうかヒアリングを行った。

※1：手動での確認に掛かる作業時間については、漁業関係者から事前にヒアリングを行った

※2：水中ドローンはFIFISH V6 Plusを使って検証

###### 4.4.1.2 評価結果

<労働環境の改善に対する検証>

従来の養殖中のカキの確認作業における労働環境の状況や作業コストに関して漁業関係者へヒアリングを実施した。

養殖中のカキの確認作業は、主に身入り調査とへい死の調査を目的として年間を通して行われており、繁忙期である冬場においては、毎日行われている。

身入り調査とは、カキの生育を確認する調査作業である。カキの中にグリコーゲンが多量に蓄積した状態を「身入り」と言い、商品価値を決定する重要な要素である。収穫はこの「身入り」が良い晩秋～冬季にかけて行われる。作業時間は、1回あたり1時間程度行われ、作業コストとしては、作業用クレーンを運搬する船舶燃料として1回あたり約80リッ

トルの軽油燃料が使われている事がヒアリングの結果得られた。

表 25 現労働環境の状況、作業時間等のヒアリング結果

ヒアリング項目	回答
実施目的	身入り調査のため
作業時間	1 時間程度
作業人数	1～3 名
作業経費	軽油：約 80 リットル
年間作業回数	4 月～11 月：2 回/月、12 月～3 月：毎日
筏ひとつに対する確認割合	3 本（両端、真ん中）



図 85 クレーンにて垂下連を引き上げる様子

それに対して、この養殖中のカキの確認作業を水中ドローンで行う場合は、ケーブル等の接続、PC の準備など動作確認を合わせて約 10 分、養殖カキの確認作業も約 30 分と、現労働環境と比較すると約 20 分の労働環境の改善につなげることが可能となる。

表 26 水中ドローン (FIFISH V6 Plus) の準備・確認に要する作業時間

作業内容	確認方法	作業時間
ケーブル接続	本体、テザーケーブル、PC 間をそれぞれ接続する。	2 分
PC ソフト起動	PC にインストールされている専用ソフトを起動する	5 分
動作確認	コントローラーで各ボタンの動作を確認する	3 分
養殖カキの状態確認	水中ドローンをカキ筏周辺で航行させ、養殖カキの	30 分

	状態を確認する	
--	---------	--

表 27 現労働環境に対する水中ドローンを活用した作業とのメリット・デメリット

ヒアリング項目	回答
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ クレーンや手で垂下連を引き上げる際、養殖中のカキが落下する心配がない。</li> <li>・ クレーンを航行させる必要がないため、小型船で航行が可能のため、燃料の削減（約 40 リットル）、作業時間の短縮につながる。</li> <li>・ 従来不可能であった海底の調査ができる。</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水中ドローンでは、垂下連への接近することが難しいことから、カキ筏の中央部に位置する垂下連のカキの身入りの確認ができない。</li> <li>・ PC、スマートフォンでの複雑な操作、準備に時間を要する。</li> <li>・ 水中ドローンのコストが高い。</li> </ul>

現労働環境においては、クレーンや手作業で垂下連を引き上げ、目視にて養殖カキの状態を確認しなければならないが、この引き上げ作業の際に一部の養殖カキが引き上げの影響により、海中に落下し無駄になることが起きている。また、この落下した養殖カキが海底に堆積することにより、貧酸素水塊の原因にもなる可能性も生まれている。

水中ドローンの活用により、引き上げ作業を行うことなく養殖カキの状態の確認が可能であることから、この落下するカキによる生産性の低下や貧酸素水塊の発生要因について、防止することが可能である。

さらに、現労働環境では作業場所のカキ筏まで引き上げ作業に必要なクレーンを航行させるが、水中ドローンの活用により、クレーンが必要なくなるため、小型船での作業が可能となり、航行に必要な燃料費の削減にもつなげることができる。

これらから、水中ドローンの活用による費用対効果について検証を行った。表 28 より養殖中のカキの確認作業は年間をとおして 136 回実施しており、最大 3 名での作業を考慮すると、この作業に費やす作業時間は、約 408 時間である。本検証から水中ドローンを活用した場合の作業時間は 1 回あたり 20 分の削減効果が見込まれるため、陸上に 1 名、海上 2 名で作業を実施した場合、年間約 136 時間の作業時間が削減される。

平成 28 年水産庁の報告「水産基盤整備事業費用対効果の分析のガイドライン」によれば、漁業者の 1 時間あたりの平均労務単価は、1,628 円であることから年間約 22 万円の削減効果となる。また、上述のとおり水中ドローンの活用により小型船で作業が可能となることで、漁業関係者のヒアリングによると作業 1 回あたり約 40 リットルの燃料の削減が見込めるといふ。年間の作業に換算する 5,440 リットルの削減となり、2021 年 1 月の軽油平均価格 114 円で試算すると年間約 62 万円の削減効果となる。水中ドローンの活用による作業時間の削減効果、作業コストの削減効果を合わせると、年間約 69 万円の費用対効果が期待できることが分かる。

表 28 現労働環境に対する水中ドローンの活用による費用対効果

検証項目	検証要素	費用対効果
人件費	1回あたりの作業削減時間：20分	約22万円
	1回あたりの作業人数：3名	
	年間作業回数：136回	
	労務単金：1,628円/時間	
作業経費	1回あたりの削減できる燃料：40リットル	約62万円
	年間作業回数：136回	
	燃料単価：114円/リットル	

一方、水中ドローンの活用において、水中ドローン本体もしくはテザーケーブルが潮で流され、垂下連へ絡んでしまうリスクがあるため、垂下連への接近することが困難であることから、カキ筏の中央部に位置する垂下連の養殖カキの確認ができないという課題が残った。

また、水中ドローンの操作面において、漁業分野へ水中ドローンの活用を考慮すると、直観的でわかりやすい操作性が求められることが分かった。

#### <高精細映像と目視の違いの検証>

水中ドローンにて撮影した垂下連の養殖カキへの付着生物の状態、海底の堆積物の高精細映像を漁業関係者に観覧して頂き、アンケートを実施した。どちらの映像においても、「映像がきれいだった」、「映像がクリアなので付着生物、海底の堆積物がよく分かった」などの意見が寄せられた。

これらの結果から水中ドローンの高精細映像をとおした養殖カキの状態把握、海底の堆積物の把握など得られる情報は目視と比較しても同等であり、漁業分野への活用において有効性があると言える。

一方、付着生物の確認においては、水中ドローン本体もしくはテザーケーブルが潮で流され、垂下連へ絡んでしまうリスクがあるため、垂下連への接近することが困難であることから、カキ筏の側面に位置する垂下連のカキの付着生物の確認に留まった。

現在調達可能な水中ドローンでは本体の大きさ、有線ケーブルを有する形状の問題からカキ筏のように水中ドローンにとっての障害物が密集した環境下における接近映像の取得には適していないと言える。



図 86 観覧してもらった養殖カキへの付着生物と海底の堆積物の高精細映像 ①



図 87 観覧してもらった養殖カキへの付着生物と海底の堆積物の高精細映像 ②

表 29 養殖カキの付着生物に対する漁業関係者へのアンケート結果

アンケート内容	<p>水中ドローンで撮影した付着生物の状況の映像をご覧になった感想を教えてください。特に付着生物の状況が確認できるか、またその有効性についてご意見を下さい。</p>
漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 近づけば確認ができた。ただ操作精度を高める必要がある。</li> <li>・ 映像が思っていたよりきれいだった。調査に使えると思った。</li> <li>・ 大きなものは見てわかるが、角度の調整や細かいものはどれぐらい見られるかがわからない。</li> <li>・ 映像はクリアなので付着生物はよく分かった。</li> <li>・ どのような種類の生物が付着しているか、全体の状況が確認でき</li> </ul>

	<p>と思った。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>思ったよりも鮮明な映像が見えるが、水中のカキや低質の状態を確認できることも有効である</li> </ul>
--	---

表 30 海底堆積物に対する漁業関係者へのアンケート結果

アンケート内容	<p>水中ドローンで撮影した海底の状況の映像をご覧になった感想を教えてください。また、海底の映像を確認することの有効性についてご意見を下さい。</p>
漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>海底も映像がきれいであった。</li> <li>カキ筏の外側のものしか見えないのは、少し残念。食害防止のパトロールに走らせたり、海底清掃の場所決めなどに役に立つではないか。</li> <li>海域毎の海底の堆積物の状況を目視できるのは、良い確認方法だと思う。</li> <li>海底底質が視覚化できる。漁礁機能の推定、ダイバーを使わずに低予算でできる。</li> <li>思ったほど底泥の巻き上げがなく、クリアな映像が撮れている。</li> <li>漁礁への魚の謂集状況はわかるのではないかと思った。</li> <li>海底の漁礁の状態を観察することが有効である。</li> </ul>

<可視化システムにおける作業生産性の検証>

可視化システムにおける作業生産性について、漁場関係者へアンケートを実施した。表 25 のとおり、カキ養殖、漁業全般において、水中ドローンを利用することで作業効率化につながるという意見がほとんどであった。カキ養殖については、水中ドローンの高精細映像を介して付着生物、へい死の状態確認できることで従来のクレーンや手作業で垂下連を引き上げての確認作業よりも効率が上がることが主な要因としてあがったが、カキ筏の中央部の養殖カキの確認ができない点は課題として挙げられていた。

漁業全般については、従来ダイバーによる調査など海中の映像の可視化は費用や頻度の面においてハードルが高かったが、水中ドローンにより身近になることで、漁業分野における漁礁機能の推定や海底底質調査、海藻の繁茂状況の確認などこれまでダイバーを利用していた調査などの新たな利用価値が挙げられていた。

表 31 作業効率化に対する漁業関係者へのアンケート

アンケート内容	水中ドローンを利用することで作業効率化につながるかどうか感想を教えてください。 (選択肢) <カキ養殖> <input type="checkbox"/> つながる <input type="checkbox"/> どちらかといえばつながる <input type="checkbox"/> どちらでもない <input type="checkbox"/> どちらかといえばつながらない <input type="checkbox"/> つながらない <漁業全般> <input type="checkbox"/> つながる <input type="checkbox"/> どちらかといえばつながる <input type="checkbox"/> どちらでもない <input type="checkbox"/> どちらかといえばつながらない <input type="checkbox"/> つながらない
---------	--

<カキ養殖>

表 32 作業効率化に対する漁業関係者へのアンケート結果

選択項目	回答数
つながる	3
どちらかといえばつながる	5
どちらでもない	1
どちらかといえばつながらない	2
つながらない	0

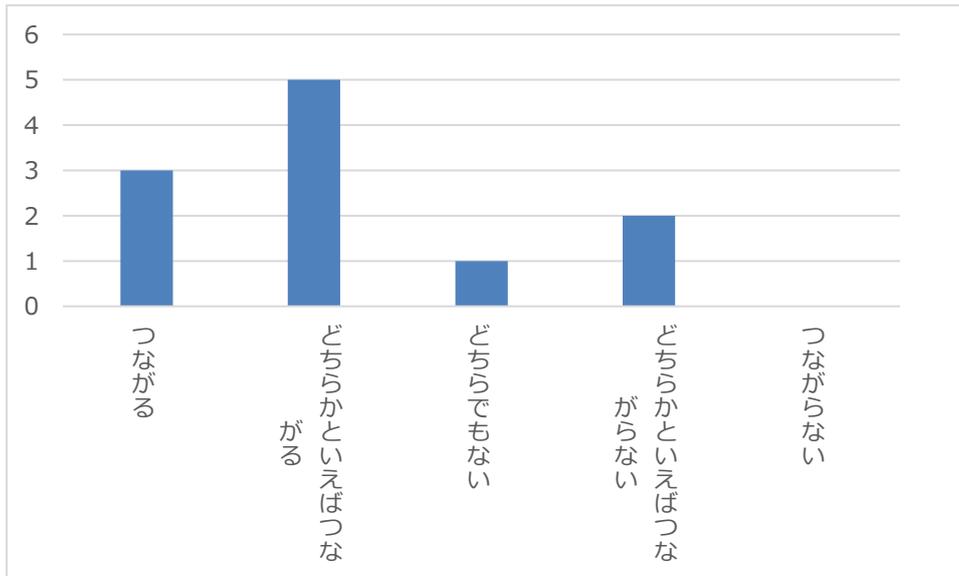


図 88 作業効率化に対する漁業関係者へのアンケート結果

<漁業全般>

表 33 作業効率化に対する漁業関係者へのアンケート結果

選択項目	回答数
つながる	2
どちらかといえばつながる	7
どちらでもない	2
どちらかといえばつながらない	0
つながらない	0

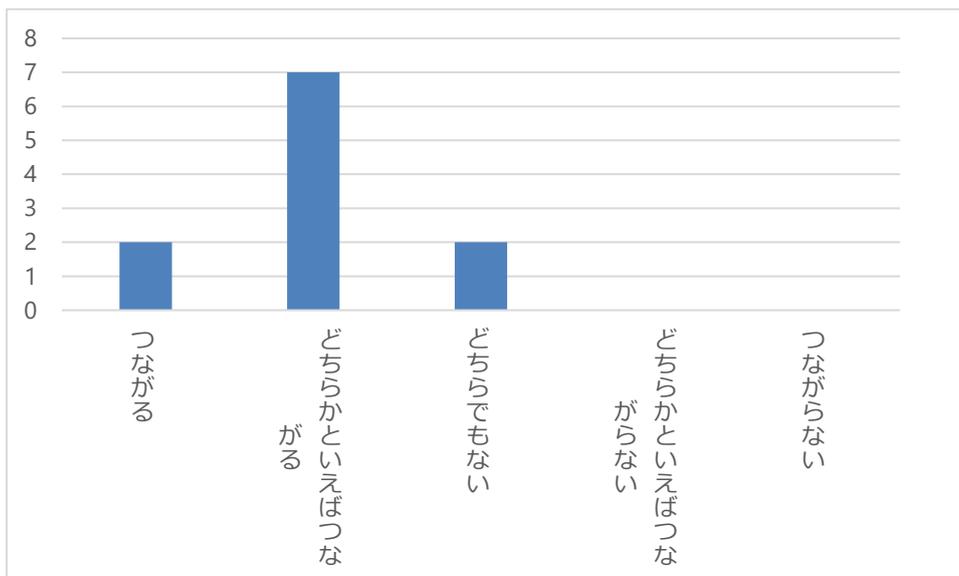


図 89 作業効率化に対する漁業関係者へのアンケート結果

表 34 作業効率化に対する漁業関係者へのアンケート結果

アンケート内容	作業効率化につながる具体的な利用シーンを教えてください。（自由記述）
漁業関係者コメント	<p>&lt;カキ養殖&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水揚げしなくても、かきのへい死状況が分かる。付着物（深度毎）</li> <li>・ 水中での付着物や生育状態をリアルタイムに観測できるは有意義と感じる。</li> <li>・ 成長の推定作業にクレーンを使わなくてもよい。付着物の様子を観察できる</li> <li>・ かきのへい死や食害の状況を確認できる。</li> <li>・ へい死状態を確認する必要があると思うが、筏内部ほど死んでいる。内部の状況は分かりにくそう（有線が障害）</li> <li>・ カメラに収めることはできたが、どれだけ近づけるかと思う。</li> </ul> <p>&lt;漁業全般&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 漁礁の機能低下の状況が分かる。</li> <li>・ 動かないものをとらえるなら良いと思う。逃げるものは難しいと思う。</li> <li>・ 海底の堆積物の状況はなかなか把握できないので、良い手段となり得る。</li> <li>・ 漁礁の設置場所の調査にダイバーが不要になる。数値データと画像データがセットになるのは大きなメリット。</li> <li>・ ナマコ等海底生物の観測には有効。</li> <li>・ 海底低質、海底構造物の確認、状況把握、漁礁の埋まりこみ、海藻の繁茂状況の確認などに使えそう。</li> </ul>

表 35 作業負担に対する漁業関係者へのアンケート

アンケート内容	<p>水中ドローンを利用することの負担について感想を教えてください。（選選択肢）</p> <p><input type="checkbox"/>負担になる   <input type="checkbox"/>どちらかといえば負担になる   <input type="checkbox"/>どちらでもない  <input type="checkbox"/>どちらかといえば負担にならない   <input type="checkbox"/>負担にならない</p>
---------	--

表 36 作業負担に対する漁業関係者へのアンケート

選択項目	回答数
負担になる	2
どちらかといえば負担になる	3
どちらでもない	3

どちらかといえば負担にならない	2
負担にならない	1

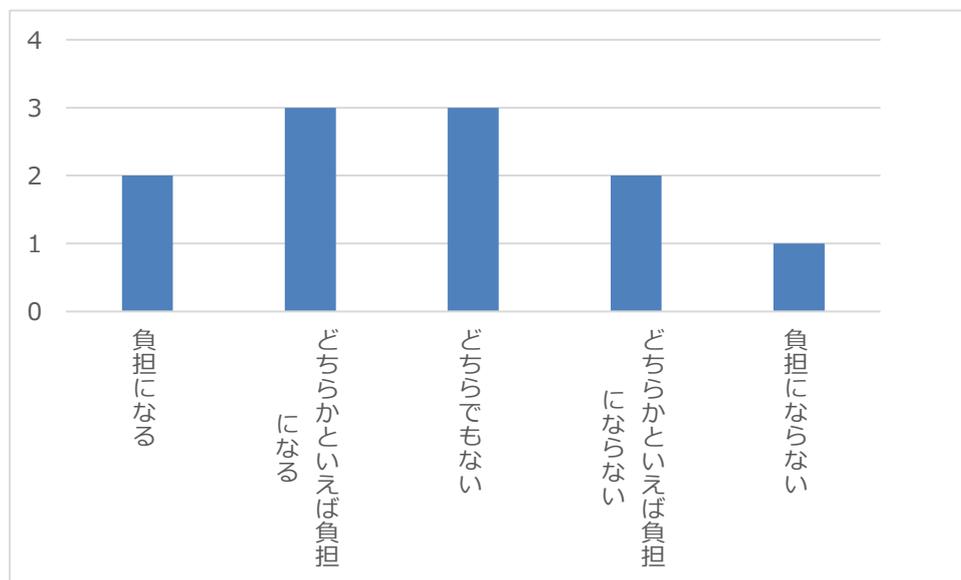


図 90 作業負担に対する漁業関係者へのアンケート結果

表 37 作業負担に対する漁業関係者へのアンケート

アンケート内容	具体的にどのあたりが負担になるかを教えてください。（自由記述）
漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ネットワーク設定</li> <li>・実際に使用しないとわからないが、漏水やコードの絡み、バッテリーなどを考慮しなければならない。</li> <li>・維持管理、センサーのメンテナンス、運用前の準備、バッテリーの保管、ネットワーク設定</li> <li>・ネットワーク設定が難しい</li> <li>・事前設定、メンテナンス</li> </ul>

<可視化システムにおける水質や養殖魚に対する負荷の検証>

可視化システムにおける環境負荷について、漁場関係者へアンケートを実施した。

表 39 のとおり、水中ドローンによる水質、養殖魚の影響については、影響がないという意見がほとんどであった。但し、適切な運用がなされていない場合の事故によるバッテリー発火などの環境汚染や海中での魚に対する影響、養殖魚に対する接触による魚への傷つけなどの想定も挙げられており、実際のユースケースにおいて、一定のルールの下、利用する必要があると考えられる。

表 38 環境負荷に対する漁業関係者へのアンケート

アンケート内容	水中ドローンの活用により、水質や養殖魚に対して影響があるかご意見を下さい。 (選択肢) <漁業全般> <input type="checkbox"/> 影響がある <input type="checkbox"/> どちらかといえば影響がある <input type="checkbox"/> どちらでもない <input type="checkbox"/> どちらかといえば影響がない <input type="checkbox"/> 影響がない
---------	---

表 39 環境負荷に対する漁業関係者へのアンケート結果

選択項目	回答数
影響がある	0
どちらかといえば影響がある	0
どちらでもない	2
どちらかといえば影響がない	2
影響がない	7

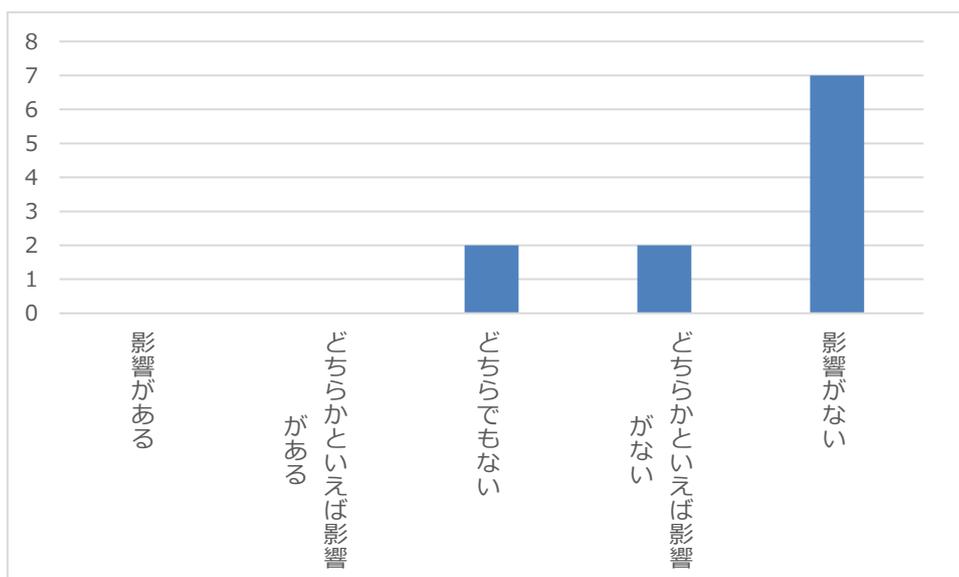


図 91 環境負荷に対する漁業関係者へのアンケート結果

表 40 環境負荷に対する漁業関係者へのアンケート結果

アンケート内容	どのような影響が考えられるかを具体的に教えて下さい。（自由記述）
漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 魚類がドローンの音や波で逃げる。</li> <li>・ 養殖いけすは魚種によるかも。泳ぐのが速かったり、傷つきやすい魚は難しそう。</li> <li>・ 物理的な衝突等なければ問題ない。</li> <li>・ 水中でバッテリーが発火した際には何らかの影響がありそう。事故がなければ問題ない。</li> <li>・ 水質や養殖魚への影響はないと思うが、何とも言えない。</li> </ul>

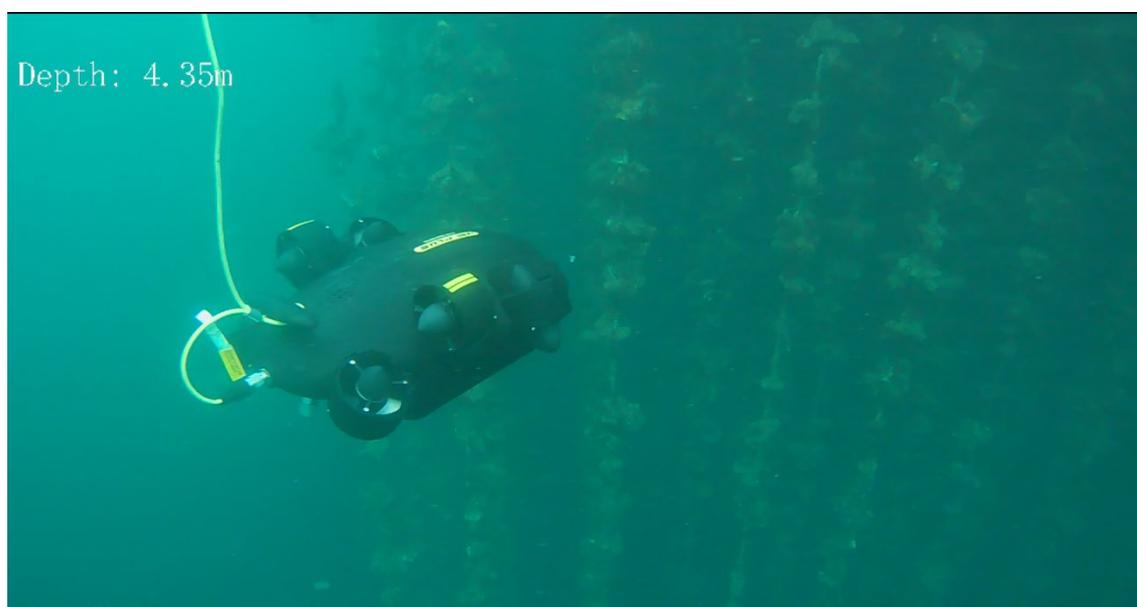


図 92 海中での水中ドローンの様子

#### 4.4.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム

##### 4.4.2.1 評価項目・方法

本システムの実装効果について、定量・定性評価を通じて検証を実施する。

表 41 「養殖漁場環境分析システム」の効果検証

検証項目	検証方法
へい死率の削減の検証	海底の状況と水質データによる環境分析がへい死率低減に有効かについて、分析結果を基に効果についてヒアリング（※1）
貧酸素水塊の発生場所の迅速な特定の検証	環境データから作成する貧酸素水塊分布図を基に、効果についてヒアリング

※1：漁業関係者に分析結果を元にディスカッションを行い定性的に評価を行った（広島県水産海洋技術センター・内海漁業協同組合）

##### 4.4.2.2 評価結果

###### <へい死率の削減の検証>

従来の水質モニタリングは人手もかかることから点での調査に留まっていたが、水中ドローンの活用により広範囲に調査が可能になるため、これまで発生源の特定が困難であった貧酸素水塊を調査が可能となることが期待できる。また、原因の特定が可能となる事で海底耕耘などの対策を行う等の結果、カキ養殖におけるへい死率の減少につなげることが期待できる。

###### <貧酸素水塊の発生場所の迅速な特定の検証>

映像と環境データ、位置情報の組み合わせにより、海底の状態、海域を一目で判別できるため、貧酸素水塊が発生していればその発生場所の特定が可能であるという評価を得られた。また海底の状態の可視化ができれば、あるべき海底の状態の知見が溜まることで、より効果的な対策が可能となる事が期待できる。

漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水中ドローンの活用により、稼働をかけずに広範囲な環境データの可視化、データ収集を行うことが可能になる。</li> <li>・ 水質の状況を映像と環境データにより可視化できることで、海底をどういう状態にしなければならないかという知見が溜まる。</li> <li>・ 海底の状態が可視化されることで、新たなことが見えてくる期待感がある。</li> <li>・ カキ養殖では、同一海域でも筏の設置場所によってカキの生育状態が異なる。映像と環境データによる水質の状況の可視化が</li> </ul>
-----------	--

できることでカキの生育と養殖環境の関係性を検証することができる。

- 海底調査などのダイバーによる調査では、費用が発生するため、確実に結果の出る調査しかできない。水中ドローンを活用した海中、水質の可視化であれば、チャレンジが可能となり、漁礁や漁場環境における新たな情報収集に役立てる。

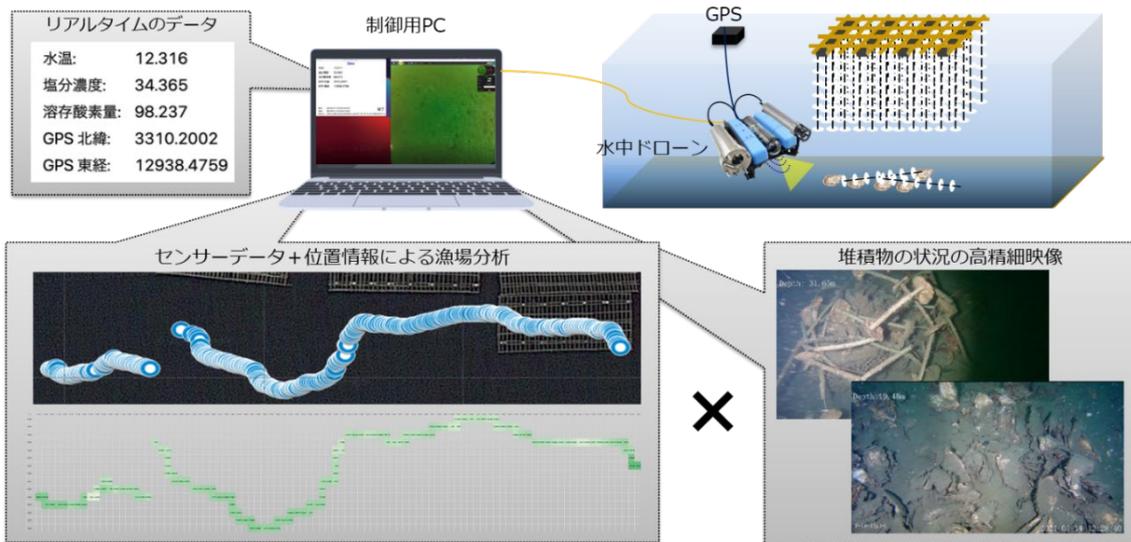


図 93 養殖漁場環境の分析システムイメージ

#### 4.5 課題解決システムに関する機能検証

##### 4.5.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム

###### 4.5.1.1 評価項目・方法

4. 3、4. 4にて評価した情報に基づき、性能・スペック、拡張性、運用保守性、コスト・汎用性等の観点から、実装時により適切な機能を提言する。

表 42 「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」の機能検証

評価項目	評価方法
通信速度	1台の水中ドローンを遠隔からコントロール可能な通信速度を算出。問題なく操作できる最低限の通信速度について評価・検証
通信範囲	1台の水中ドローンを遠隔からコントロール可能な通信範囲を算出。陸上の基地局からのカバーエリア等について評価・検証
カメラ性能（※1）	観測対象物を映像から確認するために必要な解像度について評価・検証
潜航機能（※2）	観測対象物を捉えるにあたっての操作性について評価・検証
位置即位機能（※3）	GPS等による位置情報の測位について、機能と有効性について評価・検証
その他（※2）	マニピレーター等のオプション機能についての有効性を評価・検証

※1：水中ドローンはFIFISH V6 Plusを使って検証

※2：水中ドローンはFIFISH V6 PlusとBlueROVを使って検証

※3：水中ドローンはBlueROVを使って検証

<通信帯域・通信範囲の確認>

沖合に船で水中ドローンを運び、陸側から遠隔操作を行った環境下でコントローラの PC 上で送受信の最大スループット、遅延を測定。映像と操作が問題なく行える通信帯域について検証を実施した。

表 43 通信帯域・通信確認の実施概要 (2021 年 1 月 14 日)

実施日時	2021 年 1 月 14 日 (木)
実施場所	江田内漁場
検証内容	遠隔で操作可能な通信帯域・通信範囲の測定
NW 環境	キャリア 5G
水中ドローン機種	FIFISH V6 plus
映像設定	FHD (30fps)

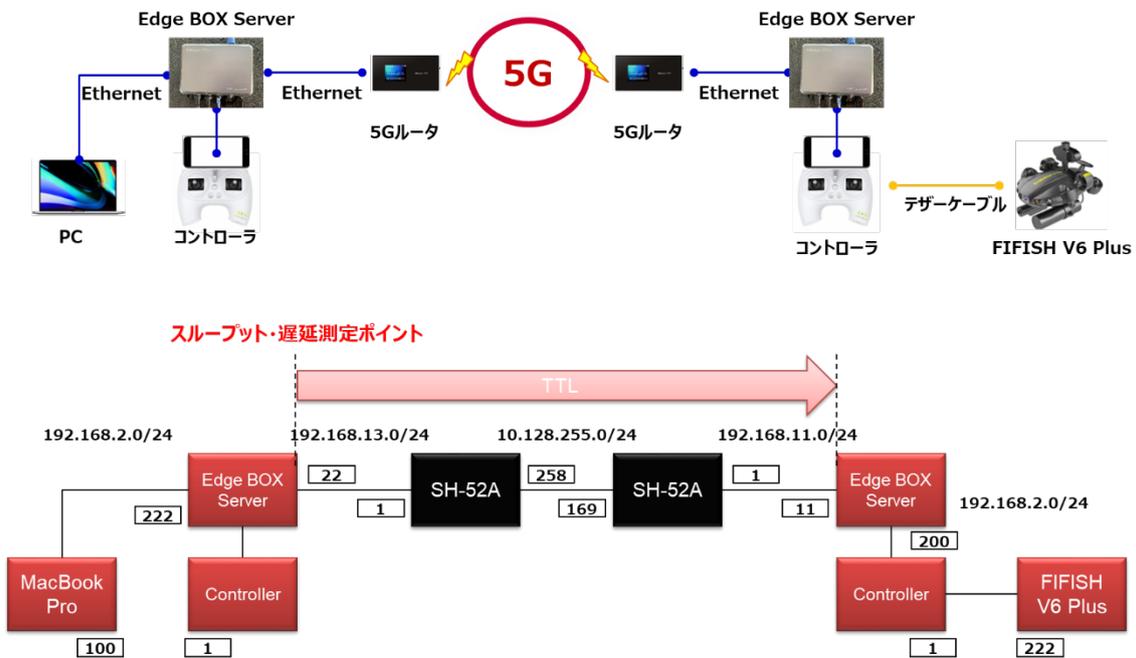


図 94 通信帯域・通信確認のネットワーク構成 (2021 年 1 月 14 日)

また、通信帯域/通信範囲評価に加え、FIFISH V6 Plus としては遠隔操縦の一連のシステム運用を行ったため、利用感の定性的な評価も併せて行った。

4.5.1.2 評価結果

100m および 200m 地点での定点測定をそれぞれ 2 回及び、100m~300m までの移動しながらの測定を 2 回、計 6 回の測定を行った結果より評価を行った。

<通信速度>

4 か所での定点での通信速度：約 15Mbps

表 44 通信帯域・通信確認の各地点における測定結果

地点名	緯度	経度	基地局からの距離	平均スループット	平均遅延
地点 A	34.227	132.448	約 100m	約 15Mbps	約 88.2ms
地点 B	34.227	132.448	約 100m	約 17.5Mbps	約 83.2ms
地点 C	34.228	132.447	約 200m	約 12.5Mbps	約 94.7ms
地点 D	34.228	132.448	約 200m	約 15Mbps	約 105.3ms

FIFISH V6 Plus では FHD(30fps)の解像度での直結状態での平均スループットが約 30Mbpsであったことからすると、パケットロスが発生しており、映像も時折ノイズが発生する状態であり、全てのデータを送り切れていない状況であった。

同じ場所でのスピードテストアプリによる測定ではアップロードで 100Mbps 程度を示していたが、動画データ等の大量のデータを転送する場合においては TCP ウィンドウサイズによりパケットの送受信のバッファにより一度に送信できるデータが制限されており、またこの TCP ウィンドウサイズには通信遅延が大きく影響するため、回線帯域があるにもかかわらずスループットが出ないという結果となったと考えられる。

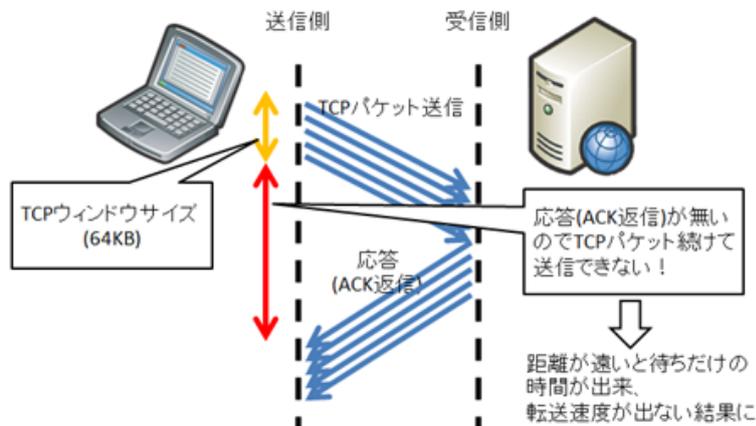


図 95 遅延と転送速度の関係

ある一定サイズ(TCP ウィンドウサイズ)の TCP パケットを送ってしまうと、相手からの応答が無いと次のパケットを送れなくなってしまうので、待ち時間が出来てしまいスループット(転送速度)が出ないようである。

【地点 A での測定結果】



図 96 地点 A (100m) の座標

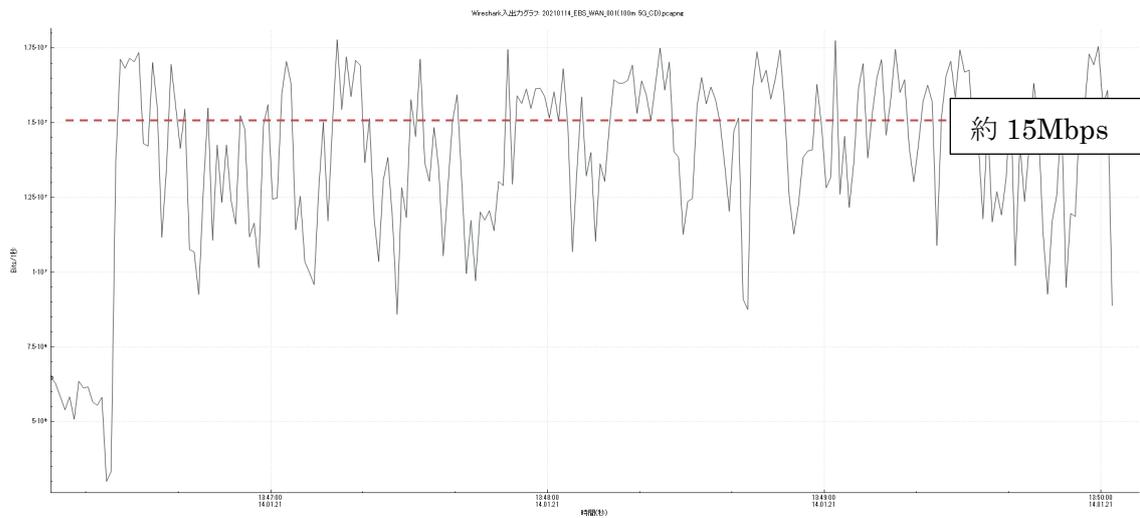


図 97 地点 A (100m) でのスループットグラフ



【地点 C での測定結果】



図 100 測定地点 C (200m) の座標

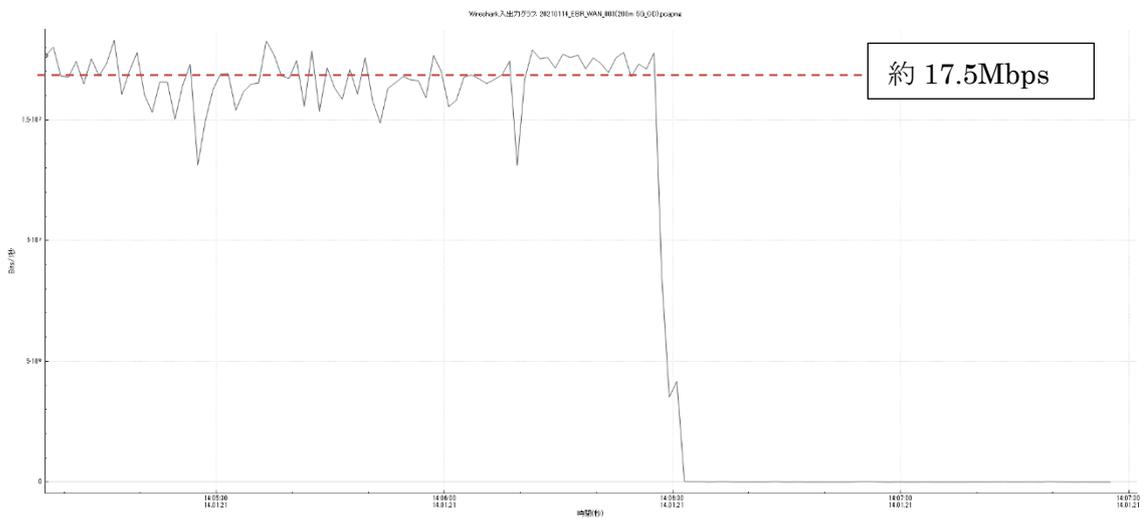


図 101 測定地点 C (200m) でのスループット

【地点 D での測定結果】



図 102 測定地点 D (200m) の座標

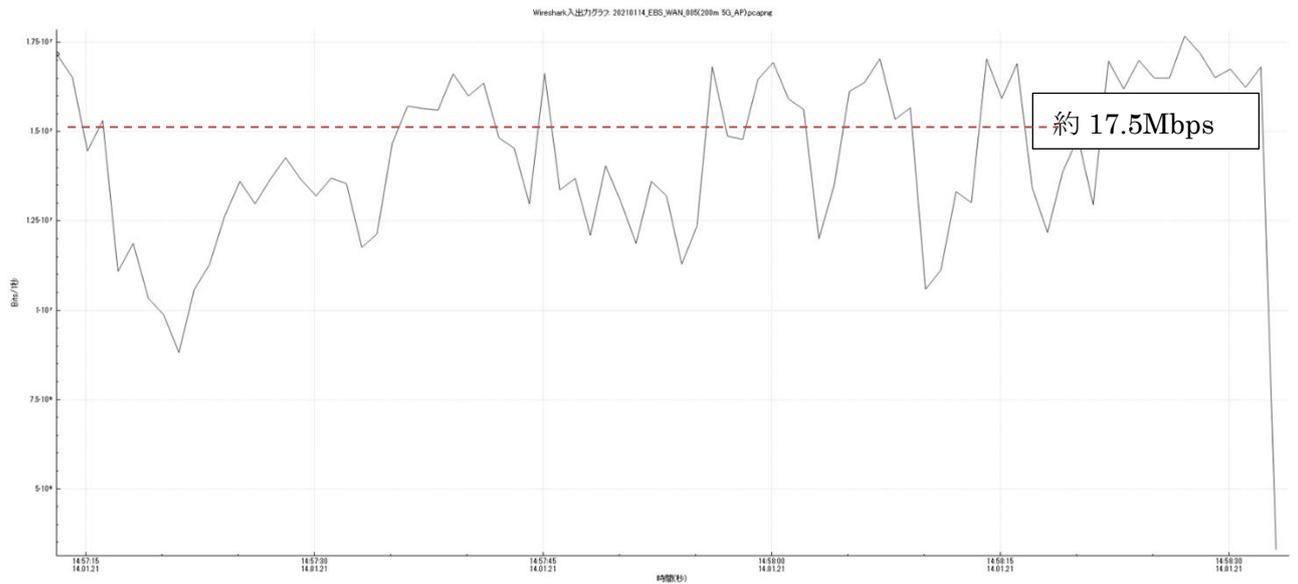


図 103 測定地点 D (200m) でのスループット

<通信範囲>

基地局から 100m 地点から 300m 地点まで移動しながら、スループットを測定した結果について以下に記す。

【地点 E までの測定結果】



図 104 測定地点 E (300m) の座標

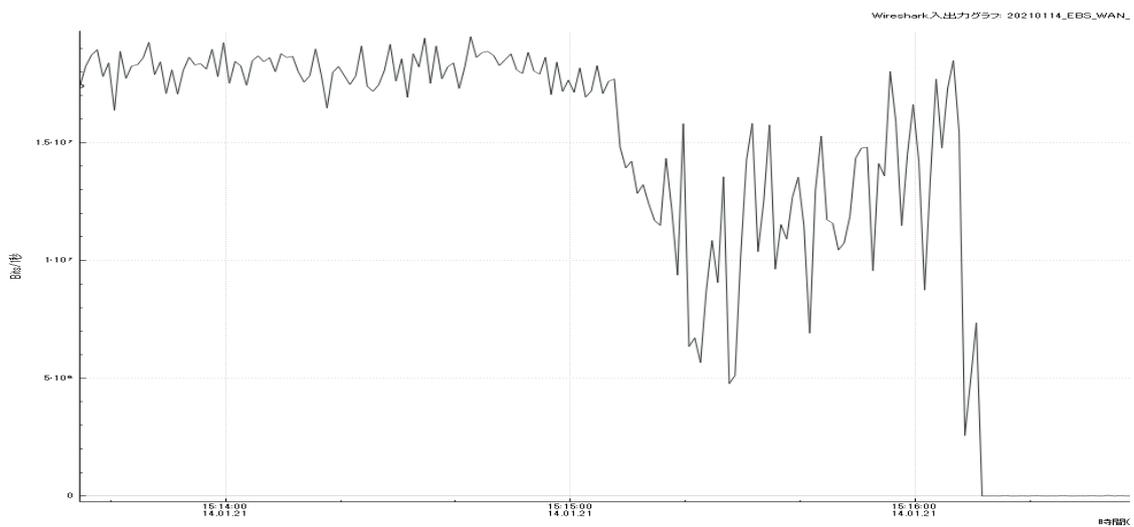


図 105 測定地点 E (300m) までの間のスループット

【地点 F までの測定結果】

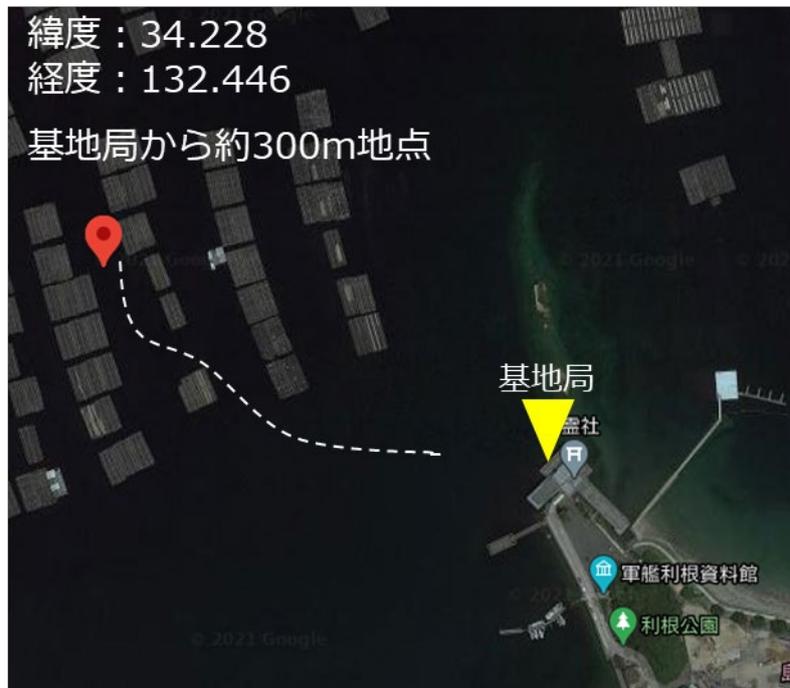


図 106 測定地点 F (300m) の座標

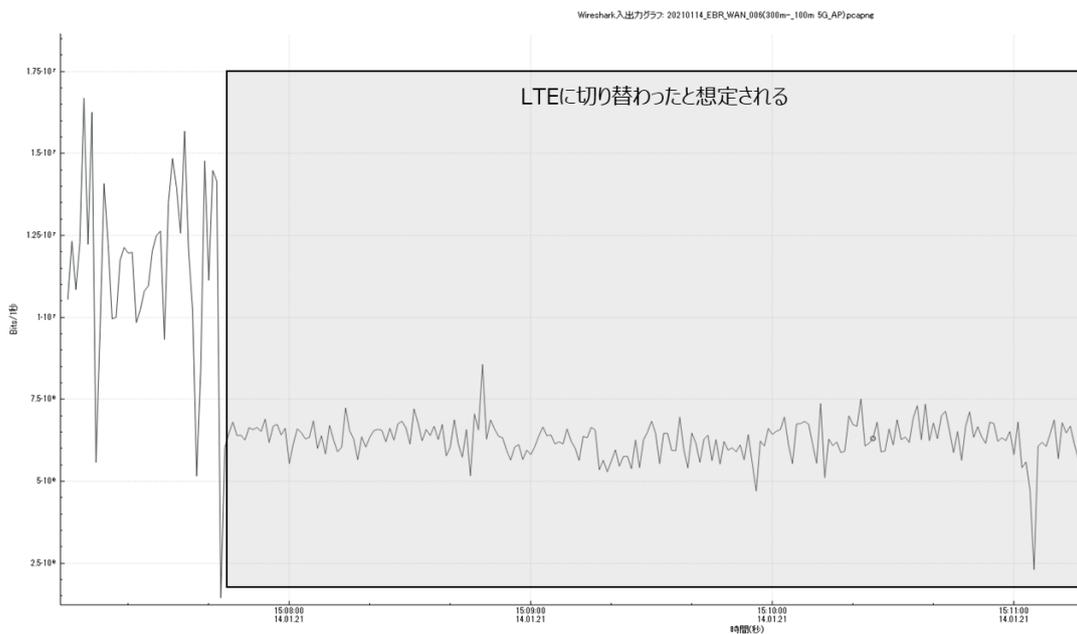


図 107 測定地点 E (300m) までの間のスナップショット

地点Eまでの測定では、約250m地点を境に通信が途絶えており、地点Fまでの測定では、約250m地点を境にLTEに通信が切り替わっていることが分かる。

今回キャリア5Gは下図のようにエリアが形成されており、結果から考察するとほぼ設計上の推定エリアと一致する。

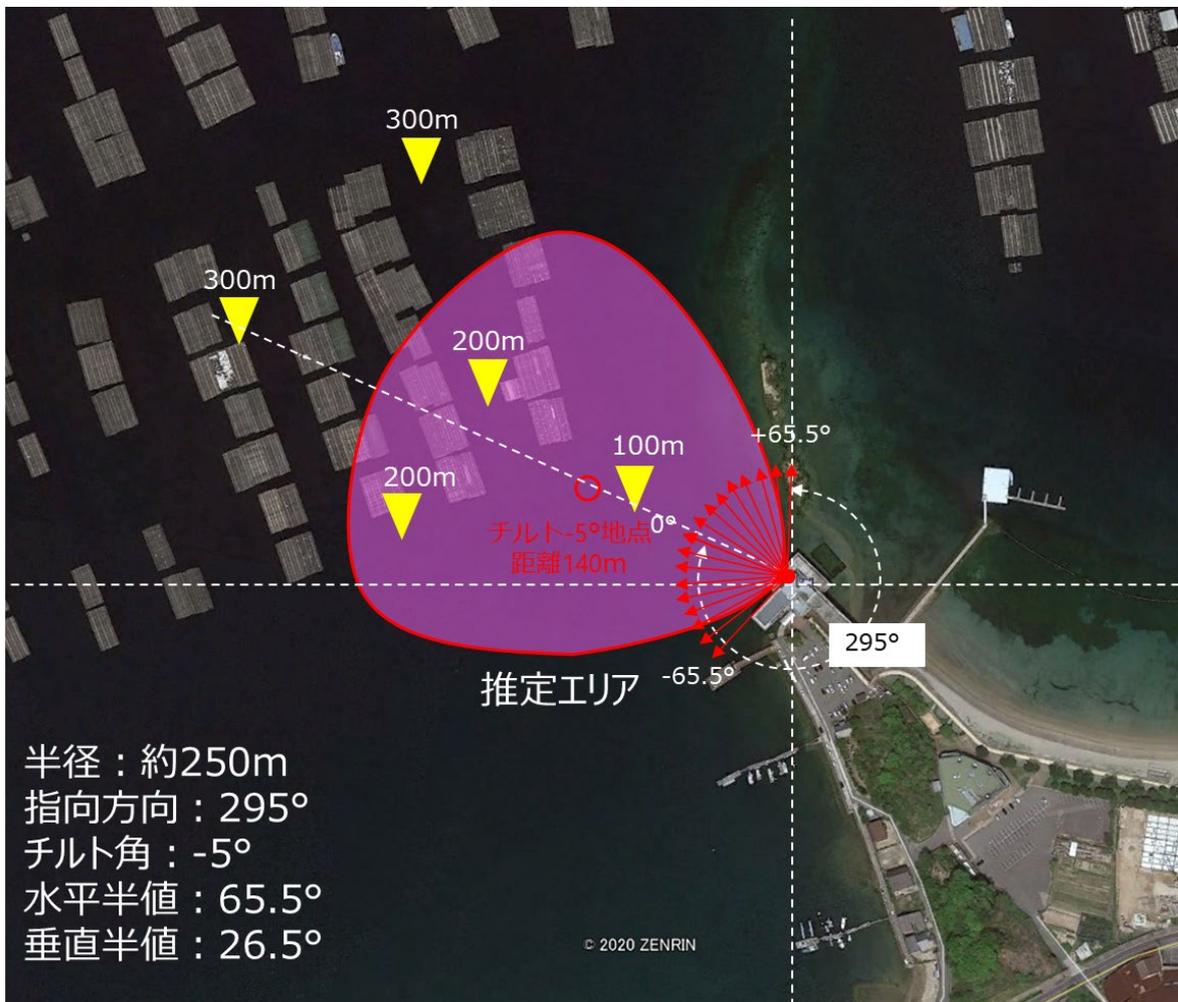


図 108 推定エリア図

LTEに切り替わった状態においてはスループットが約7Mbps程度となり、遅延も約150ms程度となり、映像取得及び遠隔での操作も不能であった。

以上のことから水中ドローンからの映像伝送においては遅延が重要であり、5Gエリア内であれば概ね目標である100ms以下を実現できており、スループットも約15Mbps程度で通信できているため、5Gで在圏出来る範囲であれば、スループット・遅延共に問題なく、利用が概ね可能であると言える。

また、別日でローカル5G環境において同様の実証を実施した。  
アンテナから100m地点から300m地点へ移動しながらスループットの測定を行った。

表 45 通信帯域・通信確認の実施概要 (2021年2月18日)

実施日時	2021年2月18日(木)
実施場所	江田内漁場
検証内容	遠隔で操作可能な通信帯域・通信範囲の測定
NW環境	ローカル5G
水中ドローン機種	BlueROV
映像設定	FHD(30fps)

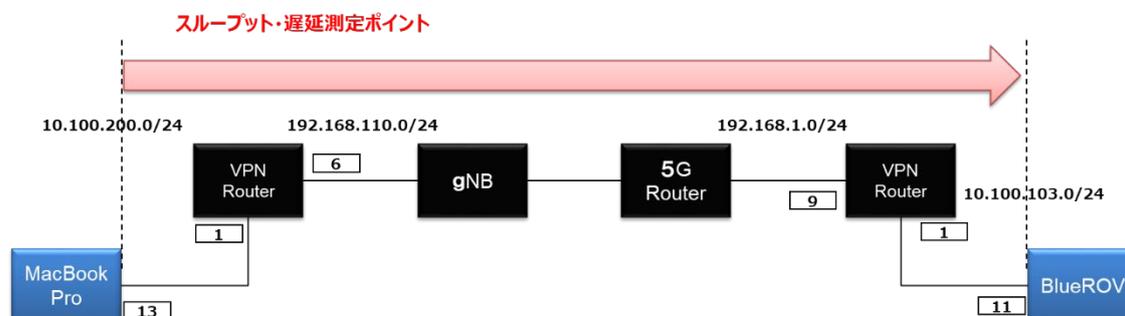


図 109 通信帯域・通信確認のネットワーク構成 (2021年2月18日)

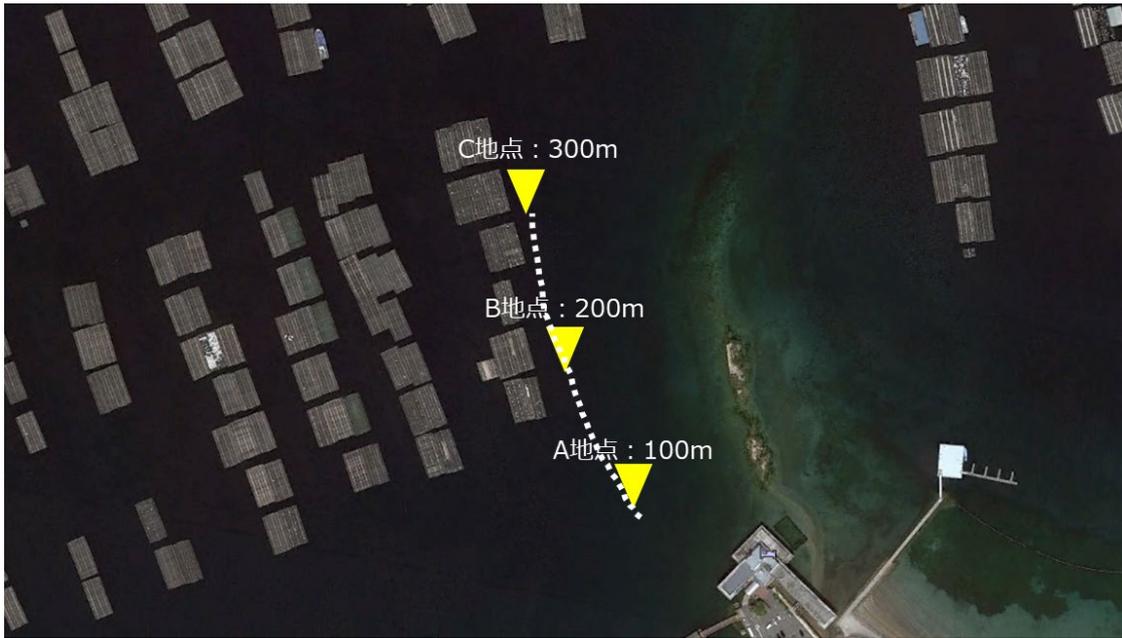


図 110 ローカル 5 G での測定ルート

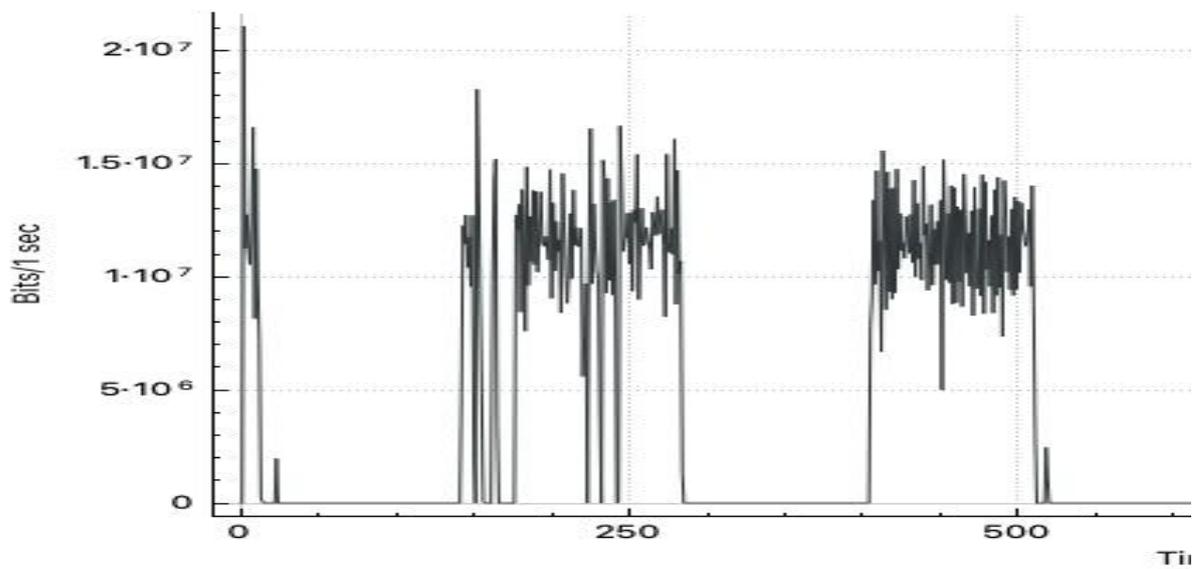


図 111 ローカル 5 G でのスループットの変動

ローカル 5 G では通信可能範囲においては平均して約 12.5Mbps の速度で通信していることが図 111 から分かる。

以上のことからローカル 5 G においても在圏出来る範囲であれば、遠隔での利用が概ね可能であると言える。

<カメラ性能>

水中ドローンで撮影した垂下連のカキの映像を漁業関係者に観覧頂き、付着生物に対するアンケートを実施した。

HD、FHD、UHD 毎の高精細映像の観覧頂いたが、どの映像についても「映像が思っていたよりきれいだった」、「映像がクリアなので付着生物がよく分かった」などの意見が多く寄せられた。

解像度が高い画像の方がより詳細に判別が可能であるが、HD の解像度でも十分に付着生物の判別が出来ることから、UHD の解像度までは必要なく、特に UHD 解像度を表示できるデバイスはこれからの社会において主流になりつつあるが、準備導入のコストを鑑みて一般的ではないところと推察すると、社会的に見て浸透している動画解像度である FHD の解像度が最適という結論に至った。



図 112 解像度 HD の撮影動画



図 113 解像度 UHD の撮影動画

＜潜航機能＞

可視化システムの漁業関係者への説明会において、潜航機能についての評価を行った。

BlueROV には、ジャイロやコンパスが搭載されており、深度固定機能 (DepthHold Mode)、方位固定機能 (Stabilize Mode) という水中ドローンを操作しやすくするための補足機能が備わっている。海中においては、潮流の影響を受けやすく、航行する方位を維持すること、撮影する対象物を捉え続けることが困難である。そこで、これらの機能を用い、方位や深度を維持することで操作しやすくなる。

可視化システムの操作性に関する漁業関係者へアンケートにおいても、「操作を習熟するには一定の時間を要する」というコメントはあるものの、「方位固定機能を利用することで操作性が高まった」、「水中ドローンは海流の影響により大きく流されるため、深度固定機能、方位固定機能を使いこなす必要がある」といったコメントがあった。

これらのことから水中ドローンには、深度固定機能や方位固定機能などの操作を補足するための潜航機能が有効であることが確認できた。

表 46 操作性に関する漁業関係者へのアンケート結果

アンケート内容	操作性についての感想を教えてください。（自由記述）
漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"><li>・方位固定機能だと操作性が良かった。</li><li>・慣れの問題だと思うが、ある程度習熟が必要だと感じた。</li><li>・動かすだけなら簡単であるが、操作ボタンを覚えるのに時間がかかりそう。</li><li>・思った以上に簡単に操作できた。</li><li>・慣れれば、問題なさそう。</li><li>・旋回、移動がききすぎる。海流によって、大きく流されると感じた。養殖場を観察するためには、深度、姿勢保持を使いこなす必要があると感じた。</li></ul>

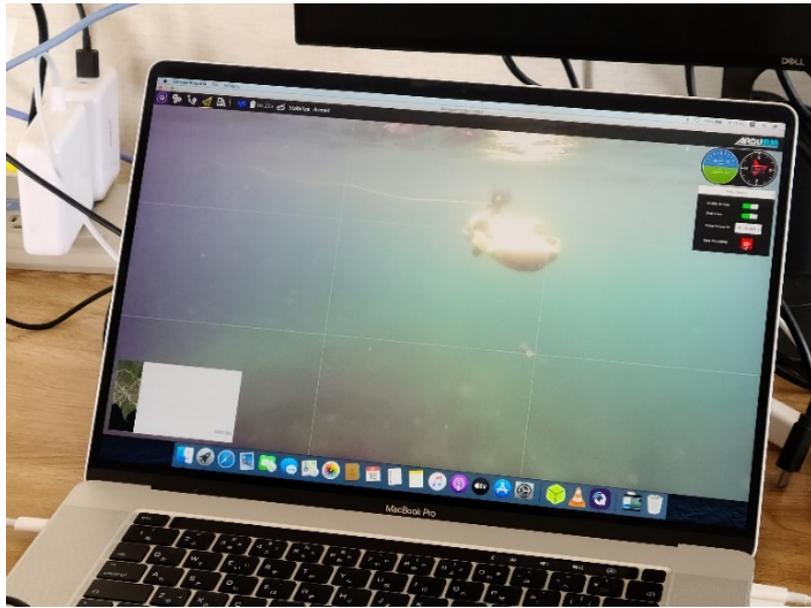


図 114 BlueROV 遠隔操作動作時のコントローラー画面

<位置測位機能>

今回のシステムでは下図のように GPS センサーを水中ドローンに接続し、緯度・経度を測定可能とした。但し、GPS の信号は水中では受信できないため、センサー部は海面に出ている必要があり、浮力のあるボックスを用意し、水面に浮かせる構成とした。

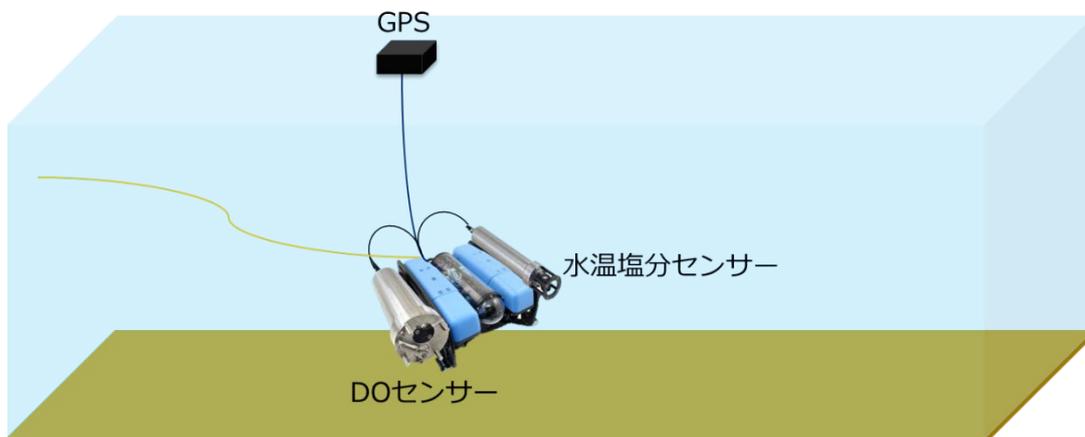


図 115 位置情報取得の構成イメージ

この仕組みのメリットは、水中での位置情報を取得する最もシンプルな構成であることであるが、実際に運用しての課題について以下に記す。

(1) 誤差について

GPS のレシーバー部分はフロートケースに収納された状態で海面に浮かんでおり、水中ドローン本体はケーブルで接続されているが、水中ドローンの動きに対して海面のレシーバ部分が正確に追従してこないため、下図のように位置情報に誤差が生じ

てしまう

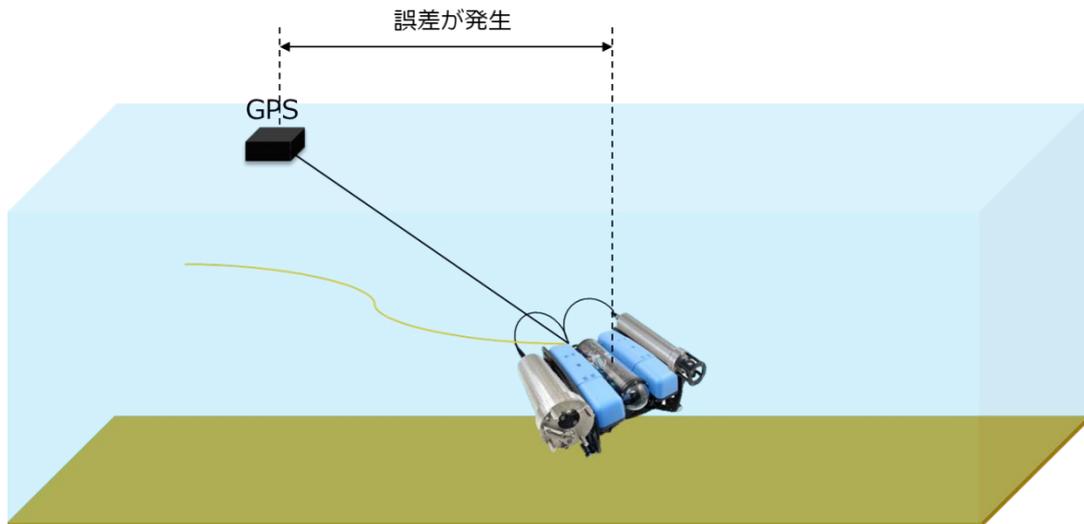


図 116 位置情報取得の誤差発生イメージ

## (2) 取り回しの煩雑さ

ケーブルが水中にどのような角度に入っているかが予想し難いため、障害物に絡まってしまう恐れがある。特に養殖筏周辺で航行させた際は特に注意が必要である。また、水中ドローンの移動に際してケーブルとフロートが抵抗となる事と、潮流によって常に一定方向に力を受けていることからドローンの動きに影響が出てしまう。更に、GPS のケーブルの長さ以上の水深に水中ドローンを潜らせることが出来ないため、使用する海域によってケーブルの長さを調節する等の工夫が必要であった。

水中における位置情報の把握方法として一般的に「慣性航法」というものがある。

慣性航法とは加速で検出する加速度を積分することで速度を計算し、速度を積分することで距離を求め、移動距離と方向のベクトルを細分点ごとに合成していくことで、基点からの移動距離を算出する方法である。ただし、長時間運用することで誤差が蓄積するという欠点がある。

慣性航法装置 INS ( Inertial Navigation System) は実用化されているが、主に飛行機や大型船舶に搭載されるものであり、非常に高価なため採用は難しい。

現実的な方法としては下図のような音波を用いた位置情報の把握のための技術が存在する。

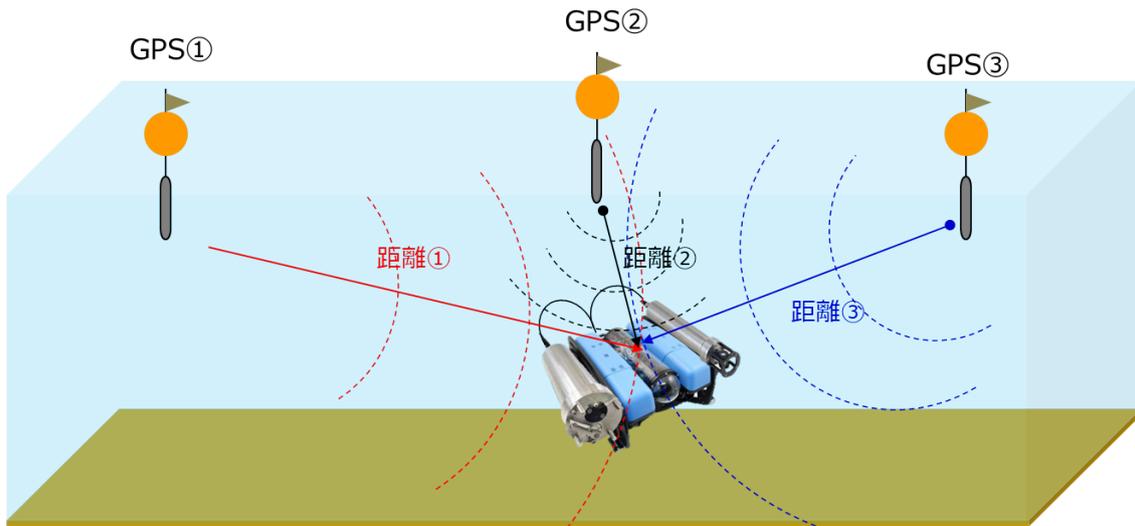


図 117 音波を用いた位置情報把握のイメージ

水中測位に用いられる音響機器によって位置を測定する方法で、海面に浮かべた複数のブイと信号（音波）のやり取りを行うことで自己位置を特定する。

特定の音響信号を受け取ると応答信号を発信する装置を用いることで、音速を  $c$ 、信号を発信してから応答信号が返ってくるまでの時間を  $t$  とすると、距離  $r$  は  $r=ct/2$  と計算できる。

ブイ自体は GPS により自己の位置（緯度・経度）を持っており、3 点以上のブイを用いることで海中における水中ドローンの自己位置の特定が可能となる。

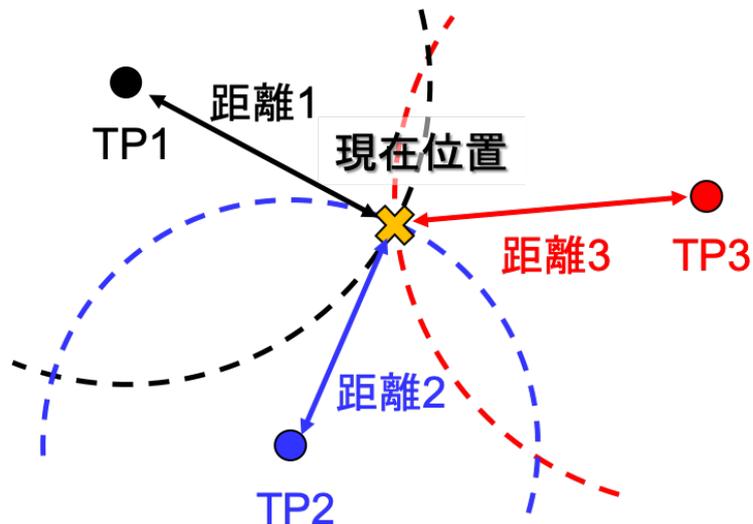


図 118 3点即位による現在地の測定イメージ

この音波を用いた位置情報の把握の仕組みも以下の問題があり、水中の自己位置の特定については課題が多いのが現実である。

- 装置が高価
- 事前に海上にブイを設置しておく必要がある
- 数 m の誤差が発生する

この水中での位置測位機能を使った装置については、ノルウェーの Water Linked 社が実用化を行っており、水中 GPS 開発キットとしてリリースしている。

## UNDERWATER GPS OPERATING PRINCIPLE

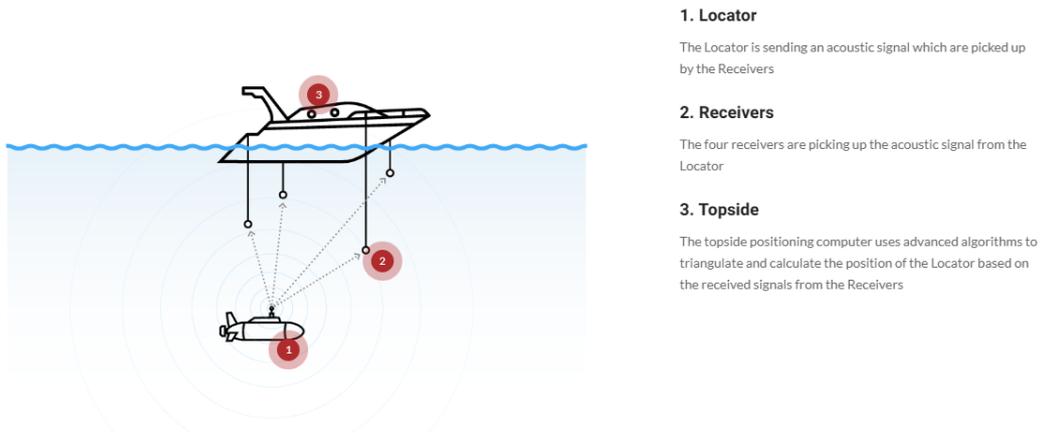


図 119 Water Linked 社製 水中 GPS イメージ

出所：Water Linked 社 HP

<https://waterlinked.com/underwater-gps/>

2021 年 3 月 2 日取得



図 120 Water Linked 社製 水中 GPS 開発キット (Locator-U1)

出所：Water Linked 社 HP

また、この Water Linked1 社の開発キットを使い、QYSEA 社が QYSEA U-QPS (Underwater Quick Position System) としてソリューションを開発済みである。

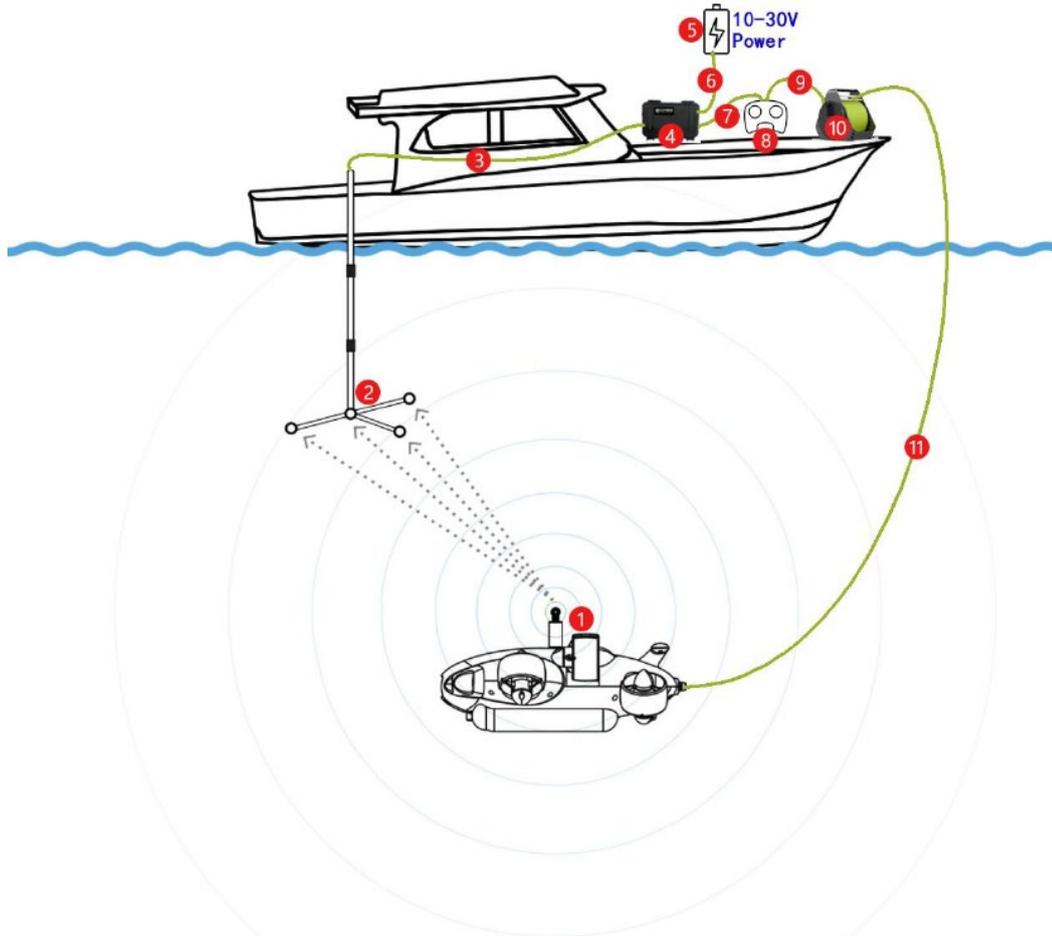


図 121 QYSEA U-QPS イメージ図

出所：FIFISH PRO PLUS 水中 GPS システムカタログより抜粋

1. ロケーター + FIFISH V6 Plus
2. アンテナ
3. アンテナケーブル
4. 本体
5. 電源 (10-30V DC)
6. 電源ケーブル
7. FIFISH ネットワークケーブル
8. FIFISH コントローラー
9. コントローラーケーブル
10. スプール

## 11. テザーケー

### <その他>

マニピレーターについては落下物の採取はもちろんであるが、底質調査時も活用が期待できる。現状船上から採泥器を測定ポイントに投下しており、海底が岩場であったりすると採取ができなかったりする場合があるが、水中ドローンのマニピレーターを使い最適な場所まで運び投下することが可能となる。



図 122 ロケーター + FIFISH V6 Plus  
出所：FIFISH PRO PLUS 水中 GPS システムカタログより抜粋

## 4.5.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム

### 4.5.2.1 検証項目・方法

4. 3、4. 4 にて評価した情報に基づき、性能・スペック、拡張性、運用保守性、コスト・汎用性等の観点から実装時により適切な機能を提言する。

表 47 「養殖漁場環境分析システム」の機能検証

検証項目	検証方法
センサーの機能 (※1)	測定データについて 4. 3 で検証した水中ドローン搭載のセンサーで取得した環境データから、「水温」、「塩分濃度」、「溶存酸素」の値について、養殖漁場環境の分析が行えるだけの分解能であるか算定を行った。 「貧酸素水塊分布図」の結果から有識者へのヒアリングを行い、センサーの機能とコストのバランスについて評価・分析を行った。

※1： BlueROV 搭載の有線式 DO センサー、有線式水温塩分センサーについて検証

### 4.5.2.2 検証結果

#### <センサー機能>

水温、塩分濃度については 100m 四方程度の局所的な海域での調査において大きな変動が発生する事は考えられないことから、飽和溶存酸素量を補正する値として水中ドローンに搭載せず、センサー単体で測定する方法でも問題ないと判断。

今回の実証の中では貧酸素状態を確認する事は出来なかったが、貧酸素水塊を発見するためには周辺の海水と比べ溶存酸素量が低い状態が測定可能であれば要件は満たされる。

すなわち絶対値ではなく、溶存酸素量の変動に対する反応が重要であることから、分解能については特に問題ならないとも言える。

本実証で用いた JFE Advantech 製の DO センサー (ARO-CAD/AROW2-USB) の精度は±2%、分解能は 0.01%と、分解能が特に高いが、比較的安価なセンサーでも精度が満たされれば (誤差が少ないものであれば) 問題ないと考える。

※数万円程度の DO センサーで精度：±2%、分解能 0.1%程度

また、今回はセンサーが搭載可能した水中ドローンの実証のため BlueROV を採用し、センサーの周りの回路はマイコンを使って独自での作成を行ったが、漁場における実用レベルにおいてはメーカー及びベンダーのサポートが必要になると考える。

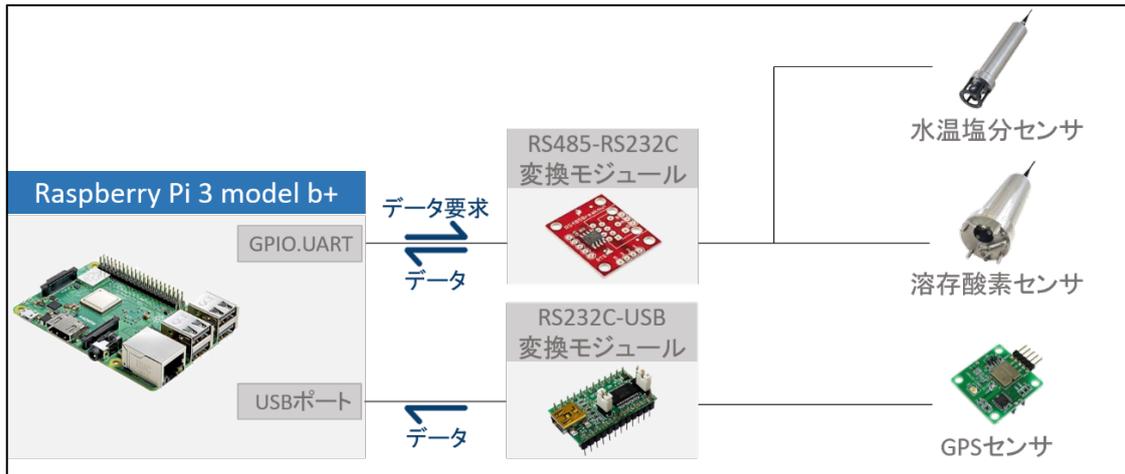


図 123 センサー部の構成



図 124 センサー制御部回路

メーカーのサポートという点においては QYSEA 社では FIFHS V6 Plus へ搭載可能なセンサーを開発中であり、前述の通り絶対的な精度がそこまで要求されないことから、センサー実装のハードルやアフターサポート等を考慮すると、水中ドローンのオプションとしてセンサーが用意されることは、今回の課題解決システムとして水中ドローンへのセンサー

の実装における最適解であると言える。



図 125 センサー部収納のための増設部分

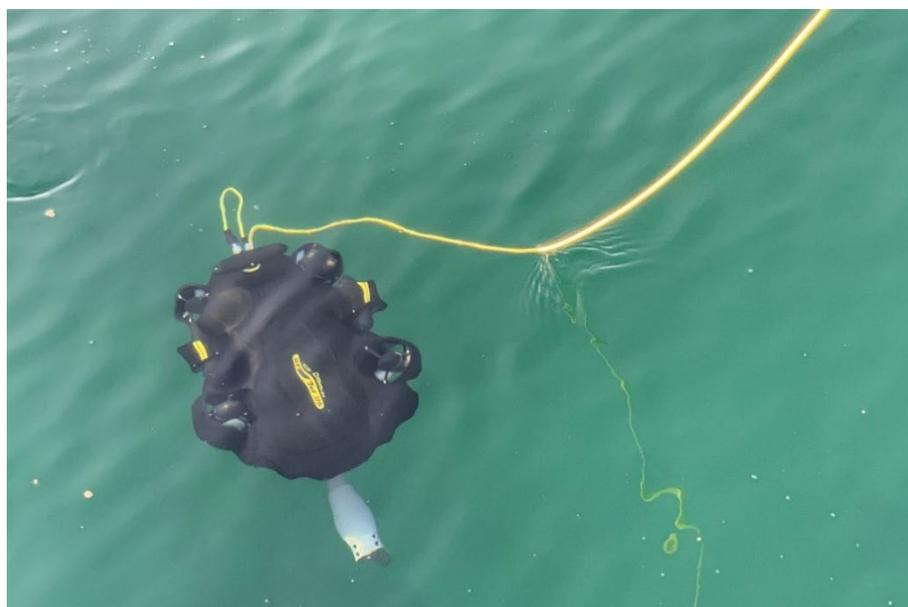


図 126 センサー搭載した FIFISH V6 Plus



図 127 センサー搭載した FIFISH V6 Plus



図 128 開発中のセンサー (PH)



図 129 開発中のセンサー (溶存酸素)



図 130 開発中のセンサー（塩分濃度）

<貧酸素水塊分布図に対する有識者へのヒアリング結果>

これまで取り組みを実施した実績がなく比較する対象は存在しないため、費用対効果は測れないが、貧酸素水塊分布図のように一定の海域において面での情報があれば、海底耕耘などの対策によりあるべき海底の状態を保つことができるようになる可能性はあるという評価を得られた。また、このように海底状態を面で可視化できることで知見が溜まり、新たな対策が可能になること、従来のダイバー調査のように確実に結果が出るだけでなく、新たなチャレンジが可能になることが期待できる。

<p>漁業関係者コメント</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水中ドローンの活用により、稼働をかけずに広範囲な環境データの可視化、データ収集を行うことが可能になる。</li> <li>・ 水質の状況を映像と環境データにより可視化できることで、海底をどういう状態にしなければならないかという知見が溜まる。</li> <li>・ 海底の状態が可視化されることで、新たなことが見えてくる期待感がある。</li> <li>・ カキ養殖では、同一海域でも筏の設置場所によってカキの生育状態が異なる。映像と環境データによる水質の状況の可視化ができることでカキの生育と養殖環境の関係性を検証することができる。</li> <li>・ 海底調査などのダイバーによる調査では、費用が発生するため、確実に結果の出る調査しかできない。水中ドローンを活用した海中、水質の可視化であれば、チャレンジが可能となり、漁礁や漁場環境における新たな情報収集に役立てる。</li> </ul>
------------------	---

## 4.6 課題解決システムに関する運用検証

### 4.6.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム

#### 4.6.1.1 評価項目・方法

4. 3、4. 4 にて評価した情報に基づき、実運用のオペレーションとの比較分析等を実施することで、課題解決システムの実装時の適切な運用方法と課題を提言する。

##### (1) 事前準備

- 通信環境の設定について  
P2Pでの通信を行ったために通信装置間での設定における技術的側面での課題の抽出・解決策について、机上での検証を行った。

##### (2) 使用時

- 接続確認について  
水中ドローンからコントローラー間に通信装置等が複数接続されることから、接続が確立できない場合における問題個所の特定、対処における技術的側面での課題の抽出・解決策について、机上での検証を行った。
- 水中ドローンの操作について  
実用レベルで水中ドローン进行操作可能になるまでの訓練等について、特殊な訓練や研修を行った必要があるかどうか等、実証の中で漁業関係者による検証を行った。

##### (3) 水中ドローンの保守・メンテナンス

- 清掃・メンテナンス  
使用後の清掃や定期的なメンテナンスに掛かる稼働や、求められる専門知識、コストについて洗い出しを行った。

表 4 8 水中ドローン (BlueROV) の運用オペレーション

作業手順	作業内容
バッテリー充電	専用のバッテリー充電器にて作業前にバッテリーを充電する 
防止チェック	バッテリーを装着後、漏水防止の水密チェックをする

		
<p>ケーブル接続</p>	<p>本体、テザーケーブル、PC 間をそれぞれ接続する。</p> 	
<p>PC ソフト起動</p>	<p>PC にインストールされている専用ソフトを起動する</p> 	
<p>動作確認</p>	<p>コントローラーで各ボタンの動作を確認する</p> 	
<p>養殖カキの状態確認</p>	<p>水中ドローンをカキ筏周辺で航行させ、養殖カキの状態を確認する</p> 	

真水による清掃	使用後、真水で海水や砂などきれいに洗浄を行い、保管する 
---------	--

表 4 9 「海中状況可視化システム」の運用検証

評価項目	評価方法
通信設定 (※1)	通信設定を行ったために必要となるスキルレベルについて評価・検証
接続性 (※1)	装置間の接続性 (手順や複雑さ) について評価・検証
操作性 (※1)	水中ドローン自体の操作性について2機種で比較して評価・検証
保守性・メンテナンス性 (※1)	実際の運用における稼働・コストについて評価・検証
評価項目	
通信設定 (※1)	通信設定を行ったために必要となるスキルレベルについて評価・検証
接続性 (※1)	装置間の接続性 (手順や複雑さ) について評価・検証
操作性 (※1)	水中ドローン自体の操作性について2機種で比較して評価・検証
保守性・メンテナンス性 (※1)	実際の運用における稼働・コストについて評価・検証

※1：水中ドローンはFIFISH V6 PlusとBlueROVを使って検証

#### 4.6.1.2 評価結果

##### <通信設定>

可視化システムの通信設定について、漁場関係者へアンケートを実施した。表 51 のとおり、漁業関係者においては、通信設定を行うために必要とされる I C T機器の作業について、苦手意識がある方の割合が大きかった。これは、漁業関係者の業務において、日頃から I C T機器の設定などを行うことが少ないことが考えられる。

表 5 0 通信設定に関する漁業関係者へのアンケート

アンケート内容	I C T機器 (PC、スマートフォン、タブレットなど) の設定などの作業について、苦手意識はありますか？ (選択肢) <input type="checkbox"/> とても苦手 <input type="checkbox"/> どちらかといえば苦手 <input type="checkbox"/> どちらでもない <input type="checkbox"/> どちらかといえば苦手ではない <input type="checkbox"/> 苦手ではない
---------	--

表 5 1 通信設定に関する漁業関係者へのアンケート結果

選択項目	回答数
とても苦手	2
どちらかといえば苦手	3
どちらでもない	3
どちらかといえば苦手ではない	2
苦手ではない	1

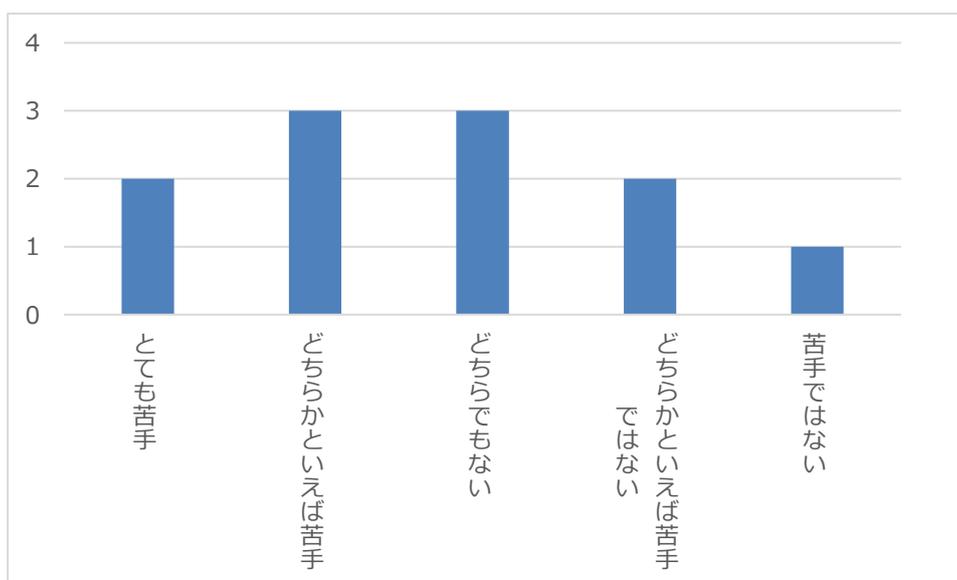


図 131 通信設定に関する漁業関係者へのアンケート結果

<接続性>

可視化システムの接続性について、漁場関係者へアンケートを実施した。

表 53 のとおり、漁業関係者においては、通信機器設定マニュアルを元に、実際に水中ドローンの遠隔通信設定を行うことは困難であるという方の割合が大きかった。

水中ドローンの本体設定、遠隔通信設定には、PC を利用したネットワーク設定、必要に応じたパラメータの変更が必要である。

このことからローカル 5 G と合わせ、水中ドローンの導入・運用においてはベンダーを介した導入・保守のモデルが望ましいと考える。また、水中ドローンの普及については、より直観的な設定や接続など工夫する必要があると考える。

表 5 2 接続性に関する漁業関係者へのアンケート

アンケート内容	通信機器設定マニュアルを見て、実際に設定ができそうか感想を教えてください。 (選択肢) <input type="checkbox"/> できる <input type="checkbox"/> どちらかといえばできる <input type="checkbox"/> どちらでもない <input type="checkbox"/> どちらかといえばできない <input type="checkbox"/> できない
---------	---

表 5 3 接続性に関する漁業関係者へのアンケート結果

選択項目	回答数
できる	0
どちらかといえばできる	3
どちらでもない	3
どちらかといえばできない	4
できない	1

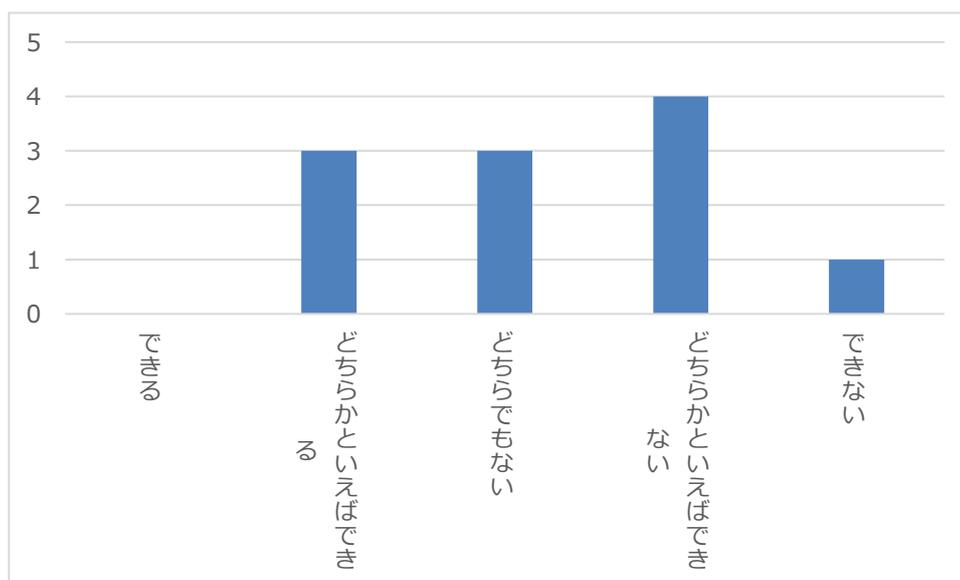


図 132 接続性に関する漁業関係者へのアンケート結果

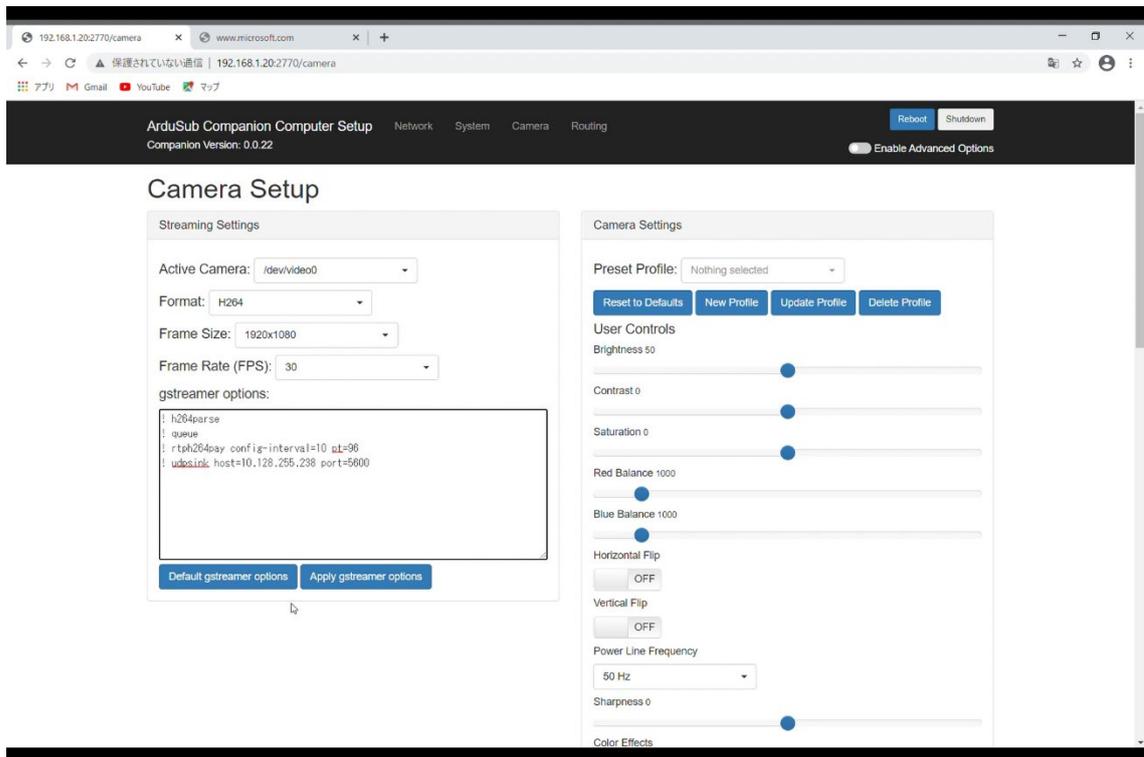


図 133 BlueROV のカメラ設定画面

### <操作性>

可視化システムの操作性について、漁場関係者へアンケートを実施した。

表 55 の通り、漁業関係者においては、水中ドローンの操作を行うことは簡単であるという方の割合が大きかった。これは、水中ドローンの操作がゲームパッドによって操作する仕様になっており、直観的な操作が可能になっているからだと考える。

水中ドローンは操作性が直観的であり、利便性が高い一方、海上の利用という点において危険もはらんでいる。水中ドローンの普及においては、空中のドローンと同様に本実証の養殖カキのように漁業関係者の所有物への影響や海上における船舶の安全性の確保のために、定められている船舶安全法などの各種関連法などを踏まえた資格・認定制度や航行計画などの届出を行う仕組みづくりが必要であると考えます。

表 5 4 操作性に関する漁業関係者へのアンケート

アンケート内容	水中ドローンを操作してみた感想を教えてください。 (選択肢) <input type="checkbox"/> とても簡単 <input type="checkbox"/> どちらかといえば簡単 <input type="checkbox"/> どちらでもない <input type="checkbox"/> やや難しい <input type="checkbox"/> 難しい
---------	--

表 5 5 操作性に関する漁業関係者へのアンケート結果

選択項目	回答数
とても簡単	1
どちらかといえば簡単	6
どちらでもない	1
やや難しい	3
難しい	0

表 48 操作性に関する漁業関係者へのアンケート結果

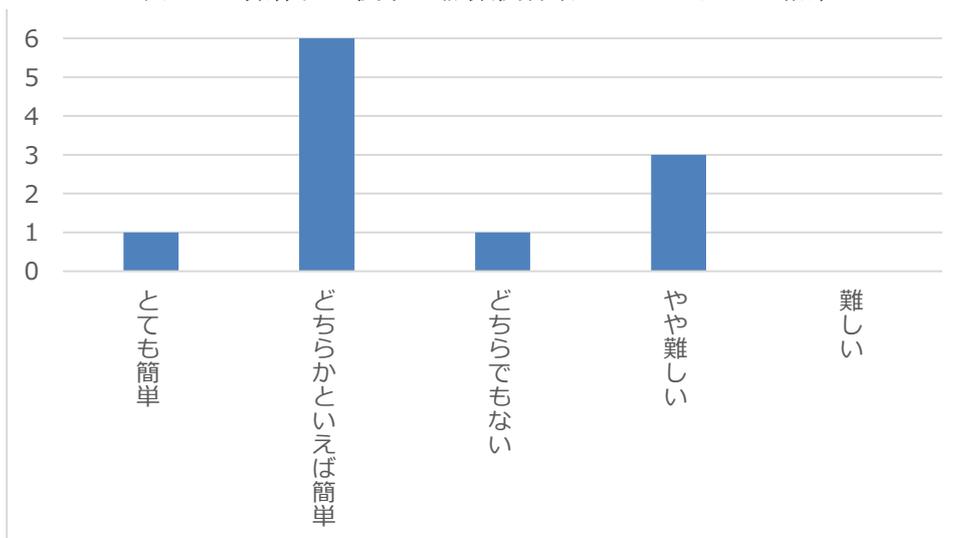


表 49 操作性に関する漁業関係者へのアンケート結果

アンケート内容	操作性についての感想を教えてください。(自由記述)
漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"> <li>・方位固定機能だと操作性が良かった。</li> <li>・慣れの問題だと思うが、ある程度習熟が必要だと感じた。</li> <li>・動かすだけなら簡単であるが、操作ボタンを覚えるのに時間がかかりそう。</li> <li>・思った以上に簡単に操作できた。</li> <li>・慣れれば、問題なさそう。</li> <li>・旋回、移動がききすぎる。海流によって、大きく流されると感じた。養殖場を観察するためには、深度、姿勢保持を使いこなす必要があると感じた。</li> </ul>



図 134 海上を航行する水中ドローン

<保守性・メンテナンス性>

可視化システムについて、漁場関係者へアンケートを実施したところ、水中ドローンの運用における負担について、「保守性・メンテナンス性」が課題であることが分かった。具体的には、漏水対応、バッテリー接続などの「事前準備」や「ネットワーク設定」が負担になるとの回答が多く挙げられた。

BlueROV については、バッテリーは交換方式を採用していることから、利用の都度充電したバッテリーを接続し、専用耐圧容器に取り付け、漏水確認のために、水密チェックをしなければならない。一方、FIFISH V6 Plus においては、バッテリーは内蔵型であり、付属の電源ケーブルを用いて、内蔵バッテリーへ充電することができるため、バッテリーの交換や漏水確認などの作業の必要がない。水中ドローンにより各種特徴はあるものの、普及においては、このような保守性を考慮した設計である必要がある。

また、両水中ドローンにおいても遠隔利用を行った場合に、ネットワーク設定、必要に応じたパラメータの変更設定が必要であり、相応のスキルを要する。

これらから水中ドローンの保守、メンテナンスにおいては、ベンダーを介した導入・保守のモデルが望ましいと考える。

表 50 作業負担に対する漁業関係者へのアンケート

アンケート内容	具体的にどのあたりが負担になるかを教えて下さい。（自由記述）
漁業関係者コメント	<ul style="list-style-type: none"><li>・ネットワーク設定</li><li>・実際に使用しないとわからないが、漏水やコードの絡み、バッテリーなどを考慮しなければならない。</li><li>・維持管理、センサーのメンテナンス、運用前の準備、バッテリーの保管、ネットワーク設定</li><li>・ネットワーク設定が難しい</li><li>・事前設定、メンテナンス</li></ul>

【漏水チェックの様子】

漏水を防止するため、バッテリーを接続後にふたを閉め 0 リングのチェック後チェック用のプラグに真空ポンプの先端を取り付け、10mmHg 程度減圧し 10 分程度放置し、0.5mmHg 以上下がってなければ、回路部の密閉性があることを確認する。

この作業は使用前に毎回実施する必要がある。



図 135 BlueROV バッテリー交換後の漏水チェック作業

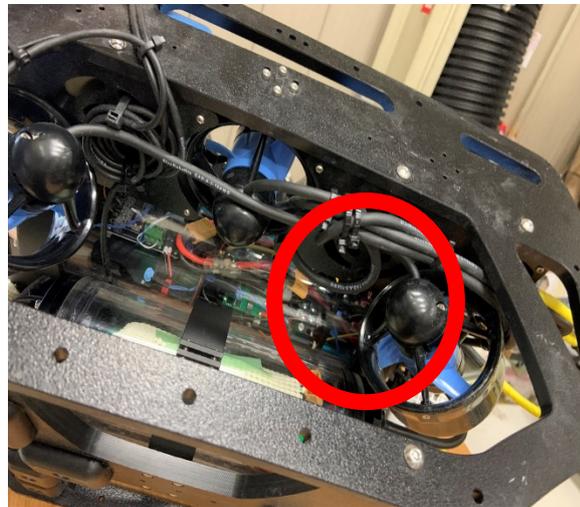
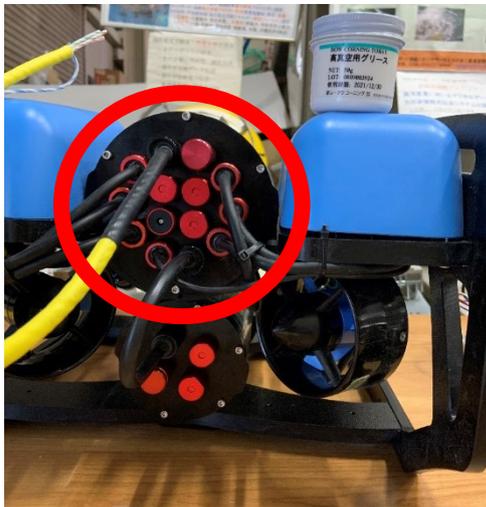


図 136 真空ポンプによる漏水チェック作業

## 4.6.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム

### 4.6.2.1 評価項目・方法

4. 3、4. 4 にて評価した情報に基づき、実運用のオペレーションとの比較分析等を実施することで、課題解決システムの実装時の適切な運用方法と課題を提言する。

(1) センサーの扱いについて

- ・ 水中ドローンへの搭載について

水中ドローンへのセンサー搭載における難易度や、必要とされるスキルについて、洗い出しを行った。

(2) センサーの保守・メンテナンス

- ・ 使用後の清掃・メンテナンス
- ・ センサーの校正の定期メンテナンス

使用後の清掃や定期的なメンテナンスに掛かる稼働や、求められる専門知識について洗い出しを行った。

表 51 「養殖漁場環境分析システム」の運用検証

評価項目	評価方法
センサーの搭載 (※1)	通信設定を行ったために必要となるスキルレベルについて評価・検証
保守性・メンテナンス性 (※1)	清掃・メンテナンス・校正等に掛かる稼働や専門知識、コストについて評価・検証

※1： BlueROV 搭載の有線式 DO センサー、有線式水温塩分センサーについて検証

### 4.6.2.2 評価結果

#### <センサーの搭載>

BlueROV にセンサーを搭載するためのカスタマイズを行ったが、BlueROV 自体のコンピュータに Raspberry Pi が採用されており、目的に応じてセンサーの追加やカメラやアーム等のデバイスの追加が容易であり、必要なカスタマイズが可能であることから、今回の目的の水温、塩分濃度、溶存酸素のデータの取得を行うためのカスタマイズを行うことが可能であった。

カスタマイズの自由度が高いというメリットがあるが、回路は独自に作成する必要があるため専門的な知識が必要となるため、設定やトラブルに対してもそれなりの知識やスキルが要求されるため誰でも気軽に扱えるものではない。

特にアンケート結果からも漁業関係者にとってはこのあたりのハードルは相当高いと思われることが課題である。

<保守性・メンテナンス性>

技術的には水中ドローンのカスタマイズによりセンサーの搭載は可能であるが、接続する装置が増えることでのトラブルのリスクが増えることや、センサー自体の扱いがデリケートであることが現場での扱いを難しくさせると考えられる。

特に DO センサーは燐光式という光に反応する幕が使用されており、傷がついたり直接日光にさらしてしまうことで精度が下がってしまうため、保管時にもキャップを付ける等の保護が必要となる。

また、精度を保つためには定期的に校正等のメンテナンスが必要であり、現場でその作業を行うための手順や標準液等も市販されてはいるが、実際に行うにあたっては専門の知識が必要となるため、容易ではない。

このことから水中ドローン本体のオプションとしてセンサーの保守もメーカーで受けられる製品が求められるところである。

#### 4.7 まとめ

本ユースケースにおける水中ドローン自体の評価（機能・性能・コスト）と水産業への活用の可能性、またローカル5G等による遠隔で利用出来ることによる新たな活用シーンについて考察を行った。

水中ドローンというカテゴリは、「無人潜水艇：UUV（Unmanned Underwater Vehicles）」と、遠隔操作無人探査機：ROV（Remotely Operated Vehicles）の二つに分類される。UUVについては魚雷や潜水艦、有人の潜水艇と軍事目的での開発と共に歴史があり、前述の「慣性航法装置」と共に発展してきた歴史がある。一方現在では石油やガス産業で海洋掘削施設を建造する前に海底を調査する等の目的で開発がされてきている。

日本においては、海洋研究開発機構（JAMSTEC）が研究開発を行っている深海巡行自律型無人潜水機として、「うらしま」「ゆめいるか」「じんべい」「おとひめ」が有名である。



図 137 深海巡航探査機「うらしま」

1998年からJAMSTECが開発を進め、運用している自律型の深海探査ロボット

出所：国立研究開発法人 海洋研究開発機構 HP

<http://www.jamstec.go.jp/>

2021年3月2日取得

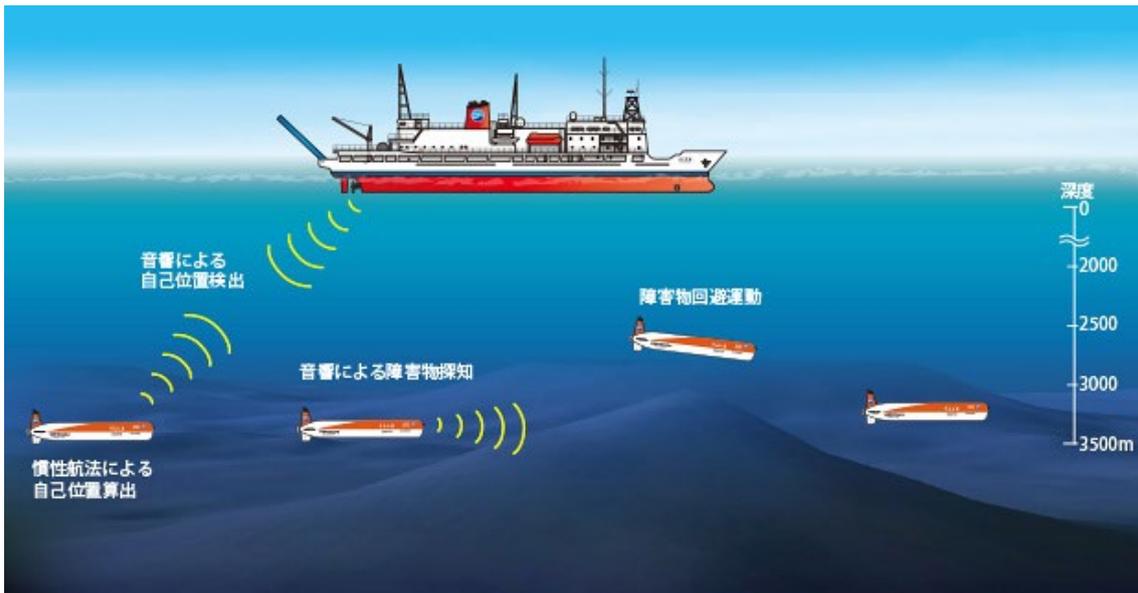


図 138 慣性と音響の航法を交互に利用して航行する「うらしま」

1998 年から JAMSTEC が開発を進め、運用している自律型の深海探査ロボット

出所：国立研究開発法人 海洋研究開発機構 HP

<http://www.jamstec.go.jp/>

2021 年 3 月 2 日取得

JAMSTEC では漁業分野における開発も行っており、養殖場における魚の状態の観察や給餌の自動化、またソナーで魚影を追いかけてながら水中の状況を把握しつつ効率的に漁を実施する等の活用が検討されている。

また、海洋資源調査目的では「次世代海洋資源調査技術（海のジパング計画）」の中で自立型無人探査機の活用に関する研究開発がなされている。

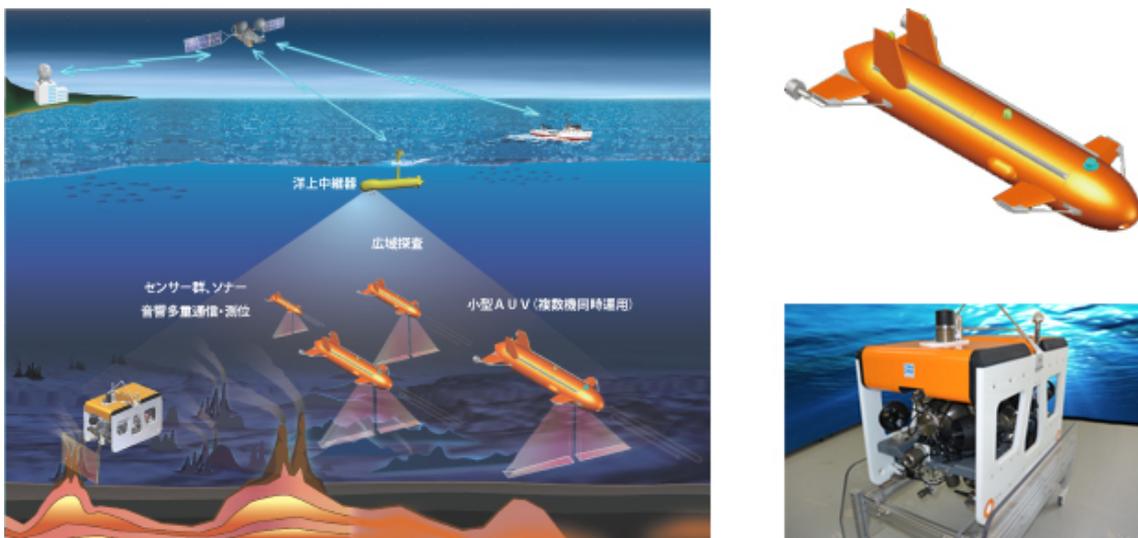


図 139 小型 AUV 複数機運用による広範囲海域調査のイメージ

出所：海洋技術安全研究所 HP

<https://www.nmri.go.jp/news/toics/innovation.html>

## 2021年3月2日取得

しかしながら研究開発が目的であることと、非常に高額であることから民生転用が出来ていないのが現状である。

一方のROVについては、現在普及価格帯で様々なメーカーによる開発・販売がなされており、中国をはじめ世界各国で多くのベンチャー企業が登場している。ROVの活用が期待されるのはまずは水中映像の取得である。水中ドローンを使えば、陸上に居ながらスマートフォンなどで気軽に海中探索や撮影が可能である。特に船底やプロペラ、港湾、ダムなどの水中での点検作業においては、これまで専門の潜水士に調査を依頼する必要があったが、特にダムなどは水深が深く調査面積も広いことから、潜水士の潜水深度と潜水時間に制限があり、安全上の問題から調査できない場合もあったが、このような課題に対して水中ドローンを活用することで、コストを抑えかつ潜水士が潜水できない箇所の調査も可能となる。

本実証においては、漁業分野、特にカキ養殖における水中ドローン活用した遠隔での映像取得によるユースケースの実証を行った結果として、以下考察を述べる。

高精細映像によるカキに対する付着生物の把握については、FHDの解像度で十分に活用可能であった。今回使用した水中ドローンの特性上、FHD解像度の映像伝送に必要な通信速度がFIFHS V6 Plus：約30Mbps、BlueROV：約15Mbpsと想定以上の通信速度が必要であったが、ローカル5GのUL通信性能的に十分要件を満たしていることと、UL:DL比の変更が可能なローカル5Gの有効性が期待できる点でもある。

水中ドローンの映像による付着生物の確認においては、カキ養殖ならではの課題として垂下連自体が非常に絡みやすい構造となっており、水中ドローン及びケーブルが垂下連に絡まってしまうリスクが課題である。この点についてはFIFISH V6 Plusの衝突防止のソナーも機能しなかった。また、筏の中心の様子を捉えることは不可能であることから現状の人手により引き上げる作業を全て置き換えることは難しいが、現状人手で行っている作業を補完する意味でも十分に有効であることが確認できた。

この点においては同じ海面養殖でも鯛やハマチ等の給餌養殖であれば、絡むような突起や障害物がない事から活用に適していると考えられる。

例えば網の破れの点検や、付着している海藻類や貝類の状況から潮通しが悪くなっているかどうかの確認や、死んで沈んでいる魚の回収や、海底に堆積している食べ残しの餌の確認による最適な給餌量の確認や、魚の糞や食べ残しの餌等の堆積物による水質の悪化の状況の確認等への活用が期待できる。



図 140 給餌養殖イメージ



図 141 養殖生け簀の網の点検や生け簀のアンカーの点検の様子

出所：SEKIDO ウェブサイト

<https://sekido-rc.com/>

2021年3月2日取得

水中ドローンの映像による海底の堆積物の確認においては、海底の障害物は少なく上記のような課題は無かった。海底の状況を映像によって確認するという取り組みはほとんど実施されておらず、数地点のサンプルの映像であったが漁業関係者にとっても想像と違う状況や想像を超える状況であったとの意見が多くあり、海底清掃や海底耕耘等の対策の必要性を認識するに十分な結果が得られた。

また海上で直接操作する場合は直射日光下で画面が見え難いことや、操作者以外が状況を確認する事が難しい状況であったが、遠隔からの操作では会議室等で複数の関係者が映

像を確認し操作を行ったことで議論が活発に行われていた。録画した映像を後で見ての検証では撮り直しがなかなか難しいため、ある程度の知見を持つ専門家が現場に居る必要があるが、遠隔で確認が出来ることによって、現場には水中ドローンを投入し、海中のテザーケーブルを裁く人が居ればよいだけとなり、専門家が現場まで出向く必要が無くなり、また関係者でリアルタイムに情報を共有しながらの作業ができる事は非常に有効であるという評価であった。



図 142 海底に堆積する垂下連の残骸や垂下連から落ちたカキの状況



図 143 モニターを囲んでの遠隔での操作風景

課題解決システムの実証における水中ドローンについての考察として、今回用いた2機種  
の差分について比較した結果を以下にまとめる。

表 52 水中ドローンの機能比較

	FIFISH V6 Plus	BlueROV	備考
センサー搭載	△ メーカーのオプション有 (PH/DO/塩分濃度センサーを開発中)	○ 出力のインターフェースを持つセンサーであれば基本的にどのようなセンサーでも対応可能。	BlueROVの方が汎用性に富むが、実装フェーズでは保守等に課題が残る。また、センサー搭載のためのカスタマイズが大掛かりであることからFIFISHを推奨。
位置情報	○ メーカーのオプション有	△ 開発することで可能	FIFISHはオプションとして製品化されているがBlueROVは開発が必要。BlueROVは販売店の保守となる。BlueROVはオープンソース化されておりスキルがあれば自らトラブルシューティング可能。
保守	○ メーカー保守	△ 販売店の独自の保守 (本体のみ)	BlueROVは水密状態のチェックが毎回必ず必要となり煩雑。チェックを行わないと水没して全損するリスク有。(FIFISHは必要なし)
使用前確認	○ コネクタの状態確認 接続状態確認 充電状態確認等	× コネクタの状態確認 接続状態確認 充電状態確認 水密状態の確認等	BlueROVはテザインターフェースとPC間のEthernet区間を無線化するだけで校正がシンプル。
5Gでの使用	△ 別途機器が必要 (Edge Box Server)	○ 設定変更のみで対応可能	FIFISHは専用の装置が必要で校正が複雑。FIFISHは通信が不安定な状態でも映像が比較的安定したが、BlueROVでは通信状態が悪くなると映像にブロックノイズが出るなど、映像品質にダイレクトに影響を受ける。
5Gでの使用	○ TCPでの通信 (不安定な状態でも安定して映像伝送可能)	△ UDPでの通信 (通信状態に映像品質が影響を受ける)	BlueROVもカメラモジュールを変更すれば4Kに対応可能。
ビデオ解像度	○ 最大：UHD (4K)	△ 最大：FHD (2K)	

通信速度	△ 最大約 30Mbps (FHD/30fps)	○ 最大約 15Mbps (FHD/30fps)	TCP で通信を行うため FIFISH の方が速度が必要。
本体サイズ	○ 383x331x143mm	△ 457x338x254mm	FIFHS の方が圧倒的に小型で軽量。
本体重量	○ 4 kg	△ 10 kg	FIFHS の方が圧倒的に小型で軽量。
最大稼働時間	△ 4~8 時間 (バッテリー : 156Wh)	○ 4~6 時間 (バッテリー : 266Wh)	BlueROV はバッテリーを交換可能であるため連続で使用が可能。 FIFISH のバッテリーは内蔵であり交換不可。
使用可能範囲	- 300m	- 300m	テザーケーブルの線長制限
最大深度	- 100m	- 100m	耐圧容器の制限
コントローラー	○ 専用コントローラー + スマートフォン (Android/iOS)	△ PC (Windows/Mac) + ゲームパッド	BlueROV は必ず PC が必要となるため装備が大きくなる。また描画性能等は PC の性能に左右される。 ※HDMI で出力可能。
深度保持機能	○	○	機能的には差はほとんどないが、FIFISH の方が小型である分機動性は高い。
方向保持機能	○	○	機能的には差はほとんどないが、FIFISH の方が小型である分機動性は高い。
回転機能	○	△ カメラチルト機能有	機能的には差はほとんどないが、FIFISH の方が小型である分機動性は高い。

「海中の状況の可視化システム」、「養殖漁場環境の分析システム」共に、ローカル 5 G による遠隔での利用を前提とした場合、ネットワーク構成の拡張性が重要となってくるが、この点においては Ethernet 区間をローカル 5 G ネットワークでブリッジさせることが可能な BlueROV が有利であったが、リアルタイム映像伝送においては BlueROV が UDP による映像配信を行う仕様であることから、揺らぎ等の通信品質に対しては映像が乱れる影響が顕著に発生する結果となった。

また「養殖漁場環境の分析システム」における水中ドローンへのセンサー搭載においては拡張性がある BlueROV しか選択肢がなかったところではあるが、FIFISH V6 Plus について

はメーカーによる水中ドローンのオプションとしてセンサー開発が進んでおり、カスタマイズ不要で既製品としてこのような分析が可能でかつ遠隔で操作可能な水中ドローンにより現場への導入のハードルが下がると共に、価格の低廉化により広く水産分野において普及が期待される。

また、水中の位置情報取得機能についてもメーカーによるオプションとして提供されており、このようにメーカーのソリューションとしてパッケージ化されることが普及においては必要不可欠であると考ええる。

水中ドローンは活用の入り口に立ったばかりで、水中において電波が伝搬しない事、水深が深い場所では可視光線も届きにくいといった課題が存在するため、技術の進歩により水中ドローン自体の小型化・高性能化は進んでいるものの、依然としてその動作には制限があり、活用には工夫が必要なのが現実である。そのような中でも海上にあるコントローラ一部分においては比較的制限も少ないため、5Gネットワークと組み合わせる事で映像取得から配信までのタイムラグを無くす等、リアルタイム性を付加する事でのユースケースは非常に注目されており、水中ドローン市場全体の拡大と共にこのようなパッケージ化され、かつ費用対効果の高いソリューションの登場が真の市場拡大にとって重要と考える。

本実証を通じて得た知見を基に、水中ドローンと5Gネットワークの組み合わせによるソリューション創出と水産業への貢献に継続して取り組んでいく。

## 5. ローカル5Gの性能評価の技術実証

### 5.1 前提条件

#### 5.1.1 技術実証の対象とするユースケース

本実証場所では、カキ筏が陸上より約1.5km以内の場所に設置されている。今回実証で利用のローカル5Gにおいては、本仕様書に定義の500m以内の場所におけるローカル5Gの通信品質を調査、検証することで、将来の実装においては、複数台のローカル5G基地局の設置や、現段階（2020年度末）ではリリースされていないリピータ等の技術により、カキ筏を網羅する事を想定した。なお、通信品質の指標においては、本ユースケースにおいて活用する水中ドローンが求める通信品質（表60）と定義した。また、4.7GHz帯の海上における電波伝搬においては、海面反射（マルチパス・フェージング）による影響が考えられる為、その影響の調査、検証を必要とする。さらに、ローカル5Gの普及においては、キャリア5Gと同一エリア内で共存することが想定され、特に今後ローカル5Gに割り当てられる4.7GHz帯（4.6-4.9GHz帯）と近接する周波数帯（4.5GHz帯）のキャリア5Gの干渉影響が考えられる為、ローカル5Gのキャリア5Gへの与被干渉による影響を測定し、考察を行った。

また、本実証で構成のローカル5Gはモバイルコア、基地局の機能をオンプレミスで構築している。一般にすべての構成をオンプレミスで構成するには、コスト高の傾向となるが、本実証では、3.1.3章に記載の通り、ソフトウェアで基地局機能を実装することが出来るSDRボードを使用した5G基地局を採用したため、専用のローカル5G機器を採用するのに比較してコストを抑えて実装することが出来た。

#### 5.1.2 ユースケースに基づく性能要件の基本的な考え方

海上に設置されたカキの筏で5G通信を受信し、5G端末に接続された水中ドローンの映像を遠隔で確認、水中ドローンの遠隔コントロールを実施するソリューションにおいては下記の性能要件を求める。

表60 ユースケースに基づく性能要件

性能要件の指標	要件の根拠	性能値	
受信電力(RSSI)	電波法審査基準 (総務省)	-84.6dBm カバーエリア -91.0dBm 干渉調整エリア	
スループット	上り	水中ドローンからの映像信号(FHD (H.264) 30FPS)	6Mbps~12Mbps
	下り	水中ドローンの遠隔操作用の信号	10Kbps~50Kbps
遅延	水中ドローンが求める遅延の指標	100ms 未満	

#### 5.1.3 実証環境

実証環境として、能美ロッジへ5Gシステムとしてコア、基地局（ソフトウェア無線）及び、スループット測定用サーバとしてPCを設置し、船上へローカル5G端末、及び測定器、

スループット測定用のクライアント PC を設置した。また、遠隔からのメンテナンス用として、モバイルルータを 5 G コアへ接続し、東京大学からの遠隔のメンテナンスを可能とした。

海上をローカル 5 G のサービスエリアとする類似のユースケースで実証地域以外の地域での利用においても有益な成果を得るために、前提条件として留意する点として下記の整備手法を検討した。

- ・電源の確保：海上では、電源の確保が難しい為、今回整備のように陸上に基地局を設置する整備が必要である。

- ・塩害対策：海近くでの整備においては、塩害対策が必須である。今回実証においては、基地局、サーバ類は室内に設置する対策を講じた。基地局とアンテナ部を離れて設置をすることになる為、接続する同軸ケーブルでのケーブルロスを含み無線部分の設計が必要である。

- ・外部ネットワークの確保が難しい事への配慮：ローカル 5 G を構成する 5 G コアの設置においては、遠隔に設置する構成も考え得るが、一般に十分な帯域（本ユースケースにおいては、表 60 に整理）を持つ外部ネットワークが整備される事は困難である為、今回実証においては、5 G コアを含む全てのローカル 5 G 構成システムをオンプレミスで整備した。なお、一般的にオンプレミスで全ての装置を実装することはコストが上がる事が懸念されるが、今回採用の 5 G コア、基地局は汎用サーバ上にソフトウェア実装が可能であるため、専用ハードウェアを必要とする構成に比べ、コスト低く実装する事ができる特徴を持つ。

また、技術実証を実施するにあたり、下記ア～ウについて留意した。

#### ア ITU 及び 3GPP における 5 G の標準化に関する検討等

今後将来においても、様々な 5 G 端末がリリースされるにあたり、拡張性、接続性を確保する為、3GPP 準拠の 5 G コア、基地局を採用した。また、情通審委員会の検討においては、海上をローカル 5 G のエリアとする検討が現段階ではなされていない為、検討の基となる整備の課題を整理した。

#### イ 既存の無線システムに影響を与えないための施策

法律で規定された周波数で利用する事を前提とし、免許申請の過程で干渉調整先が提示の隣接チャンネルへの漏れこぼしへの指標においては、実フィールドへ持ち込む前に、シールドルームで測定器を用いてその指標以下であること確認した。

#### ウ 測定器類、測定環境等への準備について

測定機器類については下記をコンソーシアムとして準備した。それぞれの目的も記載する。

- ・エリアテスタ

船に固定し、移動局相当装置と共に移動しながら測定をする測定器である。測定項目としては RSRP や SIR などの項目となり、基地局からの送信電波を解析し、表示、記録するものである。GPS 受信機を内蔵するため正確な時間が記録できる。測定結果は内蔵のコンパクトフラッシュカードに記録される。記録周期は 1 秒ごとに設定し、技術実証の

内容に合わせて測定時間を決定し測定を実施する。



図 144 エリアテスタ（アンリツ製 ML8780A）

- ・ スペクトラムアナライザ

基地局相当装置及び移動局相当装置のスペクトラムを計測し、キャリア 5 G とローカル 5 G の相互に干渉が起きていないかの確認を行う。また、正常に基地局相当装置や移動局相当装置からの電波放射が行われているかの確認やトラブルシューティングを行う際に使用する。今回選定した測定器はリアルタイムスペクトラムアナライザとなっており、ローカル 5 G の 100MHz 帯域電波のすべてをリアルタイムで確認するために帯域幅拡張オプションを用いている。



図 145 スペクトラムアナライザ（アンリツ製 MS2090A）

・ CPE

ローカル 5 G の移動局相当装置となり、水中ドローンと接続されるほか、実際の通信状況を測定するために用いられる。スループットの測定及びラウンドトリップタイムの計測をパソコンなどの端末経由で測定する。



図 146 CPE（NEC マグナス製）



図 147 CPE (IDY 製)

### 5.1.3.1 NW・システム構成

ローカル 5 G システム構成は図 148 として構成した。

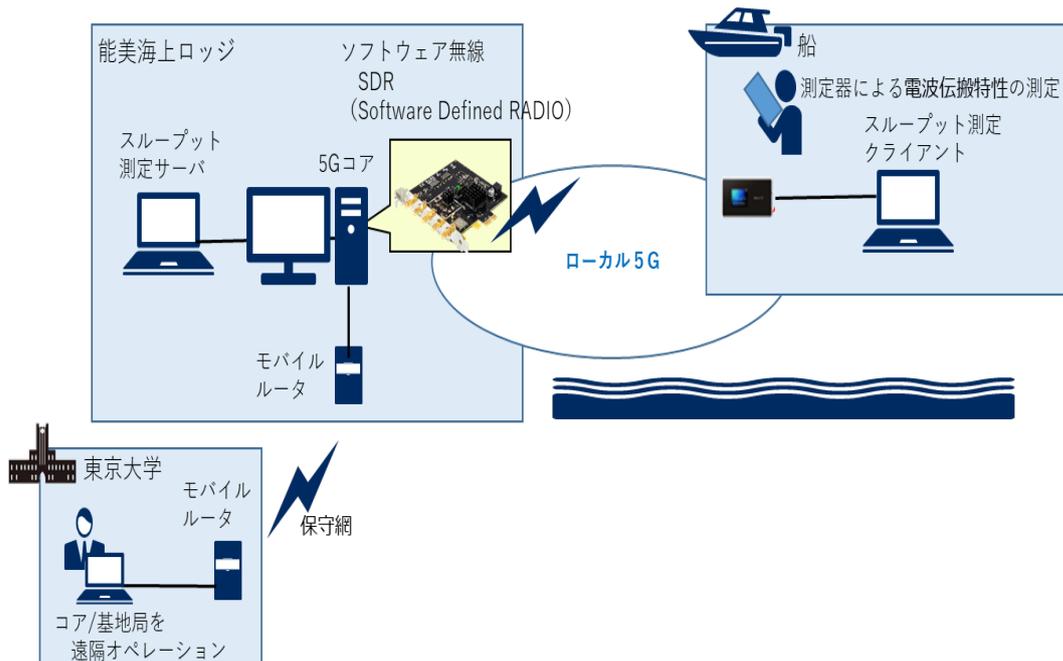


図 148 実証環境の全体像

### 5.1.4 基本的な諸元

ローカル 5 G システム

- コア ※表 61 参照
- 基地局 (ソフトウェア無線)
- ねつつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 8

※「その他ローカル5Gに関する技術実証」にて利用の基地局

表6-1 ねっつえすあいえだじまろーかる5Gじっけん8の諸元

非公開情報を含むため諸元情報を削除

※非同期にて運用

非公開情報を含むため図149を削除

図149 ねっつえすあいえだじまろーかる5Gじっけん8の空中線系統図

- ねっつえすあいえだじまろーかる5Gじっけん11

※「ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等」にて利用の基地局

表6-2 ねっつえすあいえだじまろーかる5Gじっけん11の諸元

非公開情報を含むため諸元情報を削除

※非同期にて運用

非公開情報を含むため図150を削除

図150 ねっつえすあいえだじまろーかる5Gじっけん11の空中線系統図

- アンテナ



図151 アンテナの外観

表 6 3 アンテナの諸元  
非公開情報を含むため表 63 を削除

非公開情報を含むため図 152 を削除

## 図 152 アンテナパターン

### 5.1.4.1 使用周波数帯（4.7GHz 帯、28GHz 帯）

4.75GHz を中心とする 100MHz の周波数帯を利用して構成した。

### 5.1.4.2 屋内外環境

本実証のユースケースにおいて、屋外利用の環境として構成した。現在（2021年3月末）4.7GHz 帯でのローカル 5G においては、4.6GHz～4.7GHz が屋内利用限定、4.8GHz～4.9GHz が屋内外利用可能な周波数帯として制度化されている。下記①、及び②は、総務省より令和 2 年 12 月に最終改定がなされた「ローカル 5G 導入に関するガイドライン」から抜粋した。

① 4.6～4.8GHz の周波数帯を使用する場合、屋内での設置のみ可能である。その場合であっても、北海道、新潟県及び石川県では基地局の等価等方輻射電力が 3dBm/MHz 以下、北海道、新潟県及び石川県を除く地域では基地局の等価等方輻射電力が 17dBm/MHz 以下であって、別紙 1 の地域に設置されていないこと。

② 4.8～4.9GHz の周波数帯を使用する場合、屋内及び屋外での設置が可能である。その場合であっても、基地局の等価等方輻射電力が 48dBm/MHz 以下であって、以下(ア)～(イ)の使用条件を満たす必要がある。(ア) マクロセル基地局 1 を設置する場合（屋内に設置する場合を除く。）は、別紙 2 の地域に設置されていないこと。(イ) スモールセル基地局 2 を設置する場合（屋内に設置する場合を除く。）は、別紙 3 の地域に設置する場合は 4.6～4.8GHz における不要発射の値が-16dBm/MHz 以下となっていること。

本実証で利用の実験試験局免許申請当時（2020年10月）は制度化前であったこと、また、キャリア 5G とローカル 5G のより条件の厳しい共存環境下での検証とするにあたり、4.75GHz を中心とする 100MHz 幅を利用して構成した。

### 5.1.4.3 遮蔽物・反射物の概要（静止・移動、素材等）

本実証環境においては、漁場に向けて図 153 のとおり、特記すべき遮蔽物は存在しない環境で実証を行った。反射物については、背面方向に空中線取り付け柱が存在する。ただし、一般的な取り付け手法であるため、その取り付け手法を採用した。



図 153 アンテナ整備の環境

#### 5.1.4.4 基地局の台数（L5G間、C5G間共用条件の前提等）

ローカル5G、キャリア5Gの基地局はそれぞれ1局とし、計2局の5G構成を構築した。

#### 5.1.4.5 同期・非同期運用

現在（2021年3月）において、同期・非同期に関する運用の方針は以下の通りである。

同期運用の場合はキャリア5Gシステムとの同期（GPS信号を用いキャリア5Gシステムから指定された送信タイミングに合わせ、送受信を行う）を取ることにより、キャリア5Gへの影響を最小限に抑える。この同期運用を行わない場合は送受信のタイミングをお互いに独立して行うこととなり、干渉が発生する可能性が高くなる。

## TDDシステムの同期・非同期について

同期・非同期の定義

- 同期 = 無線フレーム開始タイミング 及び 上下リンク通信パターンが一致
- 非同期 = 上記いずれかが揃っておらず、基地局間・移動局間干渉を生じうる

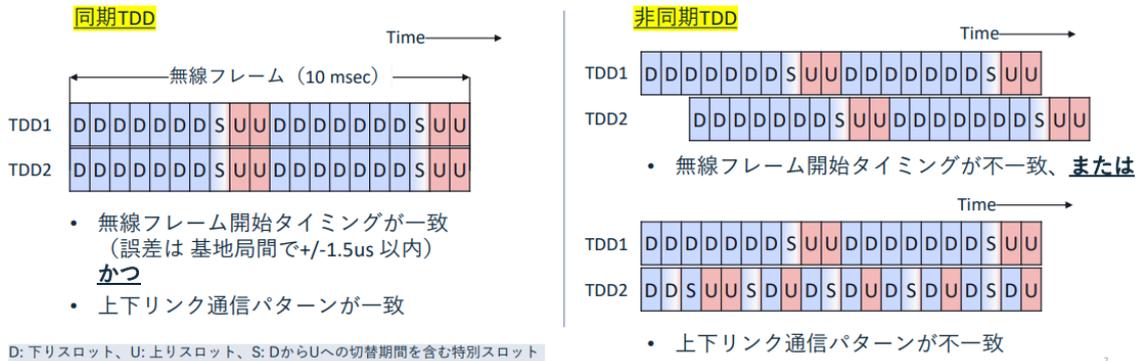


図 154 ローカル5G作業班 2020年3月16日 資料 12-2 より引用

また、同期と非同期の折衷案として準同期手法も存在する。今回提案のシステムのようにダウンロード速度よりもアップロード速度が必要な側面が今後ローカル5Gには求められるシーンが想定されるため、同期では満足なシステムを構築できないが、非同期システムにした場合キャリアや他のローカル5G事業者との調整が困難になる場合に、準同期を使用したシステムが活用できると考えられる。

## 準同期(Semi-synchronous)TDDの提案

非同期運用の目的である上りリンク速度増大・低遅延を実現しつつ、同期局を保護できる手法を提案

### 具体的な運用方法

- ポイント1: 無線フレームタイミングをそろえる
- ポイント2: パターン1(同期用)とパターン2(非同期用)を定義し、いずれかを選択
- パターン2は、パターン1の下りリンクリソースの一部を上りリンクで置き換えた最適なパターン

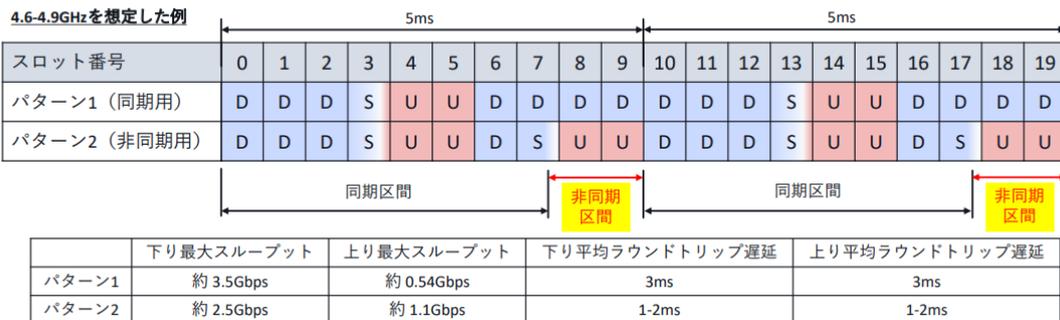


図 155 ローカル5G作業班 2020年3月16日 資料 12-2 より引用

今回の実証では、キャリア5Gとローカル5Gの干渉による影響を確認するため、同期

や準同期を採用するのではなく、最も厳しい条件である非同期の環境を構築した。

#### 5.1.4.6 DU 比

ローカル 5 G の特徴としてユースケースに適応させることが出来るカスタマイズ性が特徴である。特に本実証で採用の基地局はソフトウェアで実装され、チューニングが容易にできることが特徴である。本実証の DL:UL=2:7 の比率でチューニングを実施し、ローカル 5 G のカスタマイズ性を実証した。

#### 5.1.4.7 SA/NSA 構成

SA/NSA の構成は下図のシステム構成の違いがある。

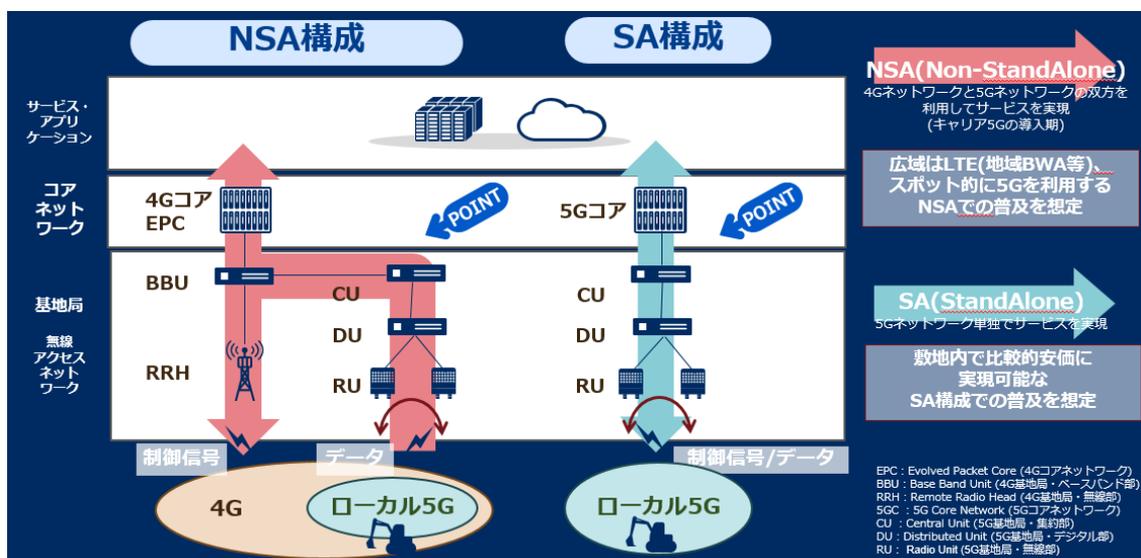


図 156 SA/NSA の構成

ローカル 5 G においては、NSA 構成の場合、アンカーとなる LTE 環境を構成する必要があり、構成にコストがかかることから、SA 構成を選択し、構成した。

#### 5.1.4.8 設置環境（アンテナ高、装置の設置場所等）

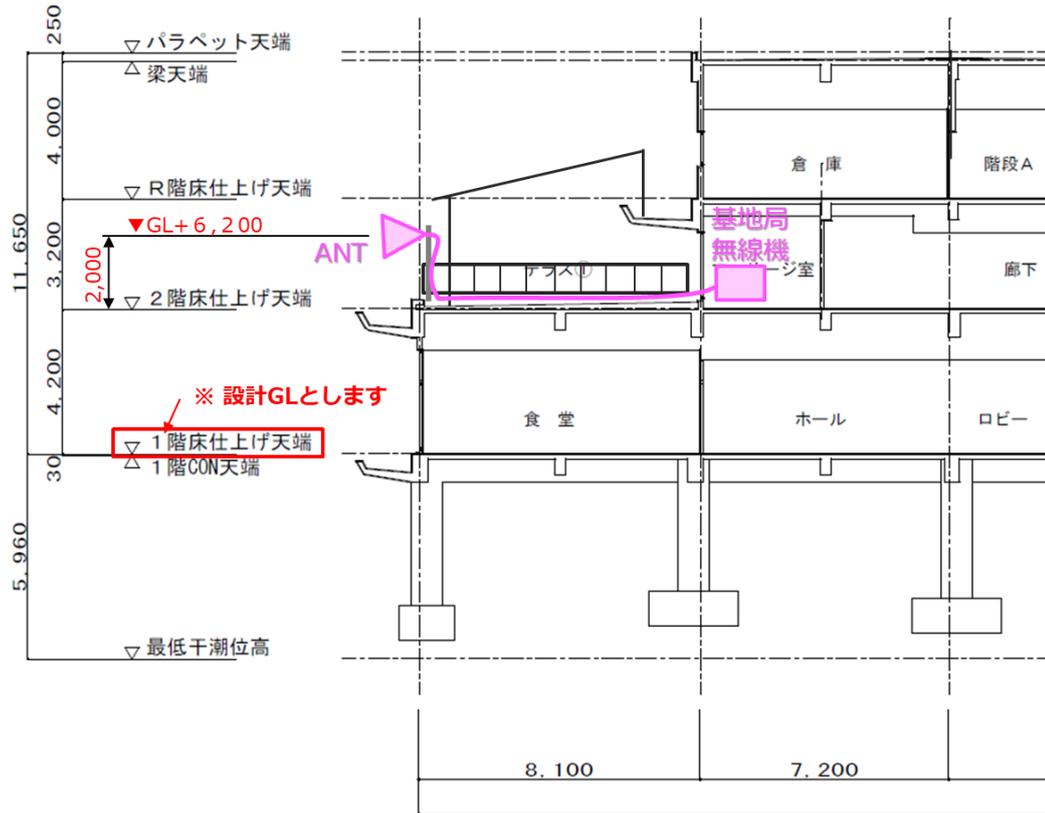


図 157 アンテナ設置高さ

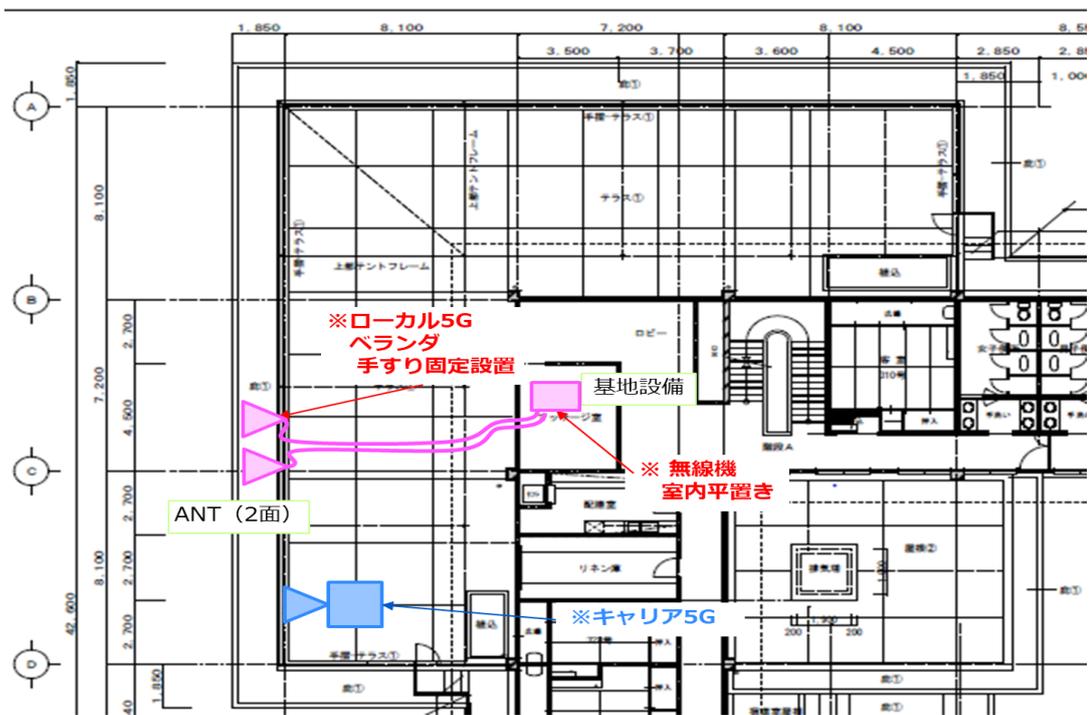


図 158 アンテナ設置図面



図 159 アンテナ設置場所

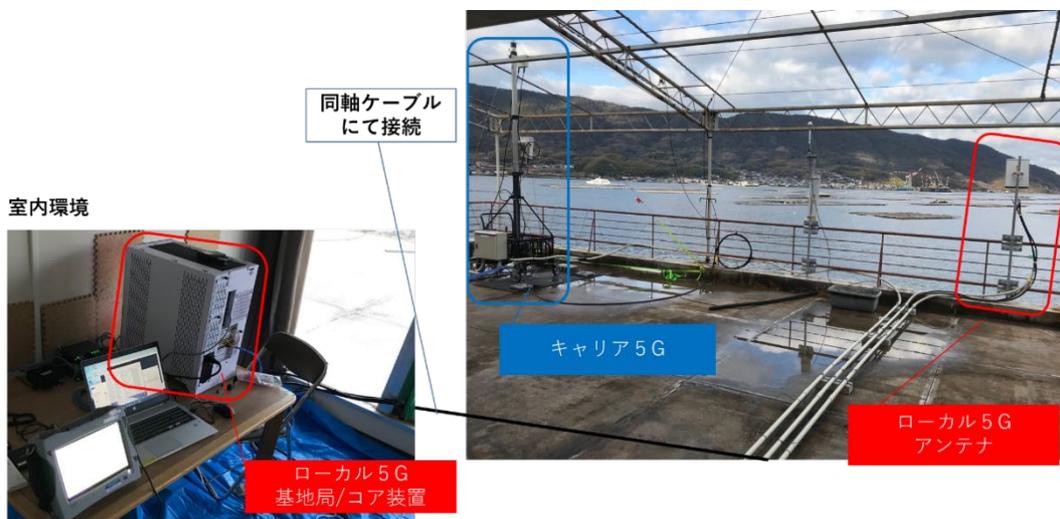


図 160 基地局/アンテナ設置の状況

5.1.4.9 端末の台数、静止・移動環境

- 端末

表 6 4 利用の端末の種別

	メーカー	台数
スマホ型	富士通コネクテッドテクノロジー	2 台
CPE 型	NEC マグナス	4 台
	IDY	2 台

- 富士通コネクテッドテクノロジー製端末

表 6 5 富士通コネクテッドテクノロジー製端末の諸元

非公開情報を含むため表 65 を削除



図 161 富士通コネクテッドテクノロジー製端末の外観

- NEC マグナス製端末

表 6 6 NEC マグナス製端末の諸元

非公開情報を含むため図 66 を削除



図 162 NEC マグナス製端末の外観

➤ IDY 製端末

表 6 7 IDY 製端末の諸元  
非公開情報を含むため表 67 を削除



図 163 IDY 端末の外観

- 保守網 5Gコアと有線でモバイルルータに接続し、遠隔の東京大学からのメンテナンスを可能とした。

#### 5.1.4.10 計測等の評価・試験環境構成

- 測定器

製 ML8780A エリアテスト



図 164 ML8780A の外観

- 通信測定環境

通信の上り、下りのスループット測定環境として、OSS である Libre Speed を実装し、利用した。実装の場所は下記の赤丸の箇所。各端末に接続の PC より、Libre Speed にアクセスし、スループットを計測した。

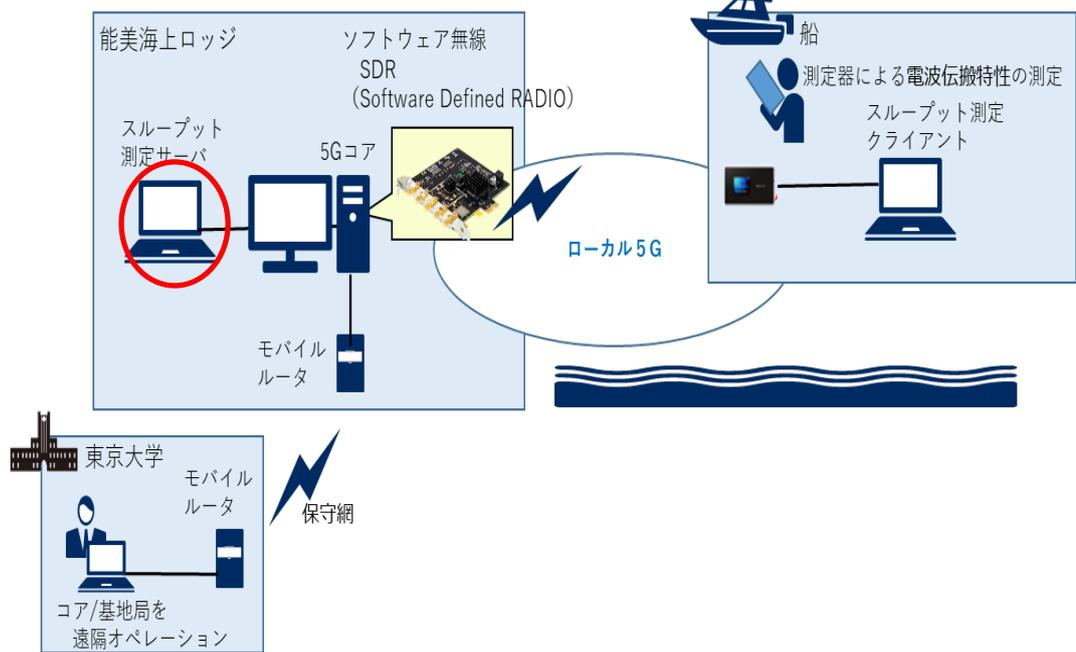


図 165 Libre Speed の実装場所

## LibreSpeed Speedtest

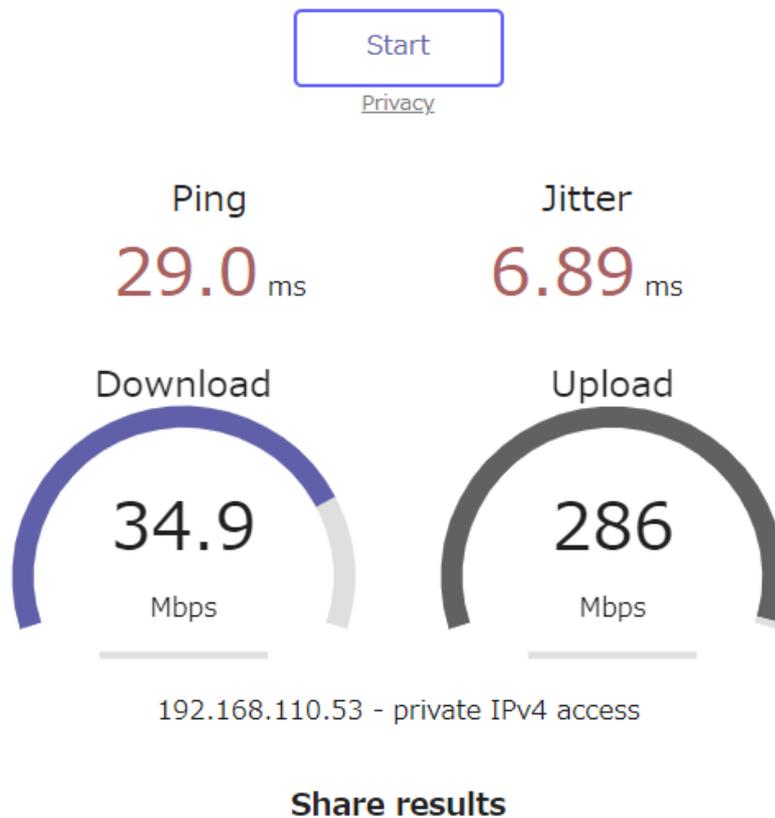


図 166 Libre Speed の実行イメージ

通信品質における遅延については、下図の間の遅延を ping コマンドを利用して測定した。各端末に接続の PC から Libre Speed を構築したサーバ向けに Ping を実行し、遅延を測定した。

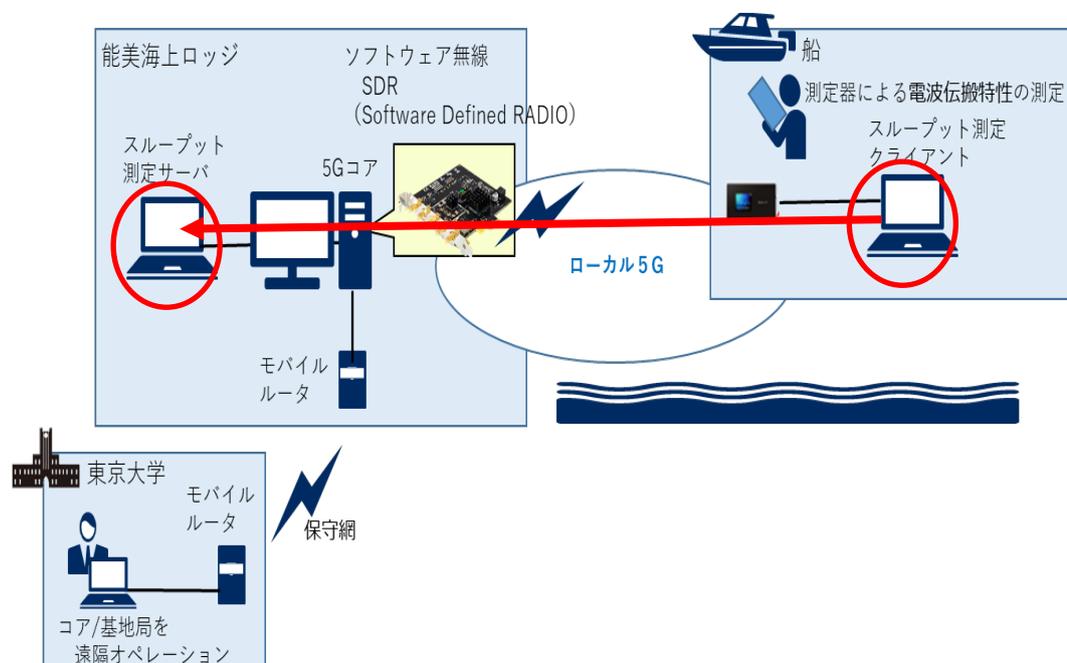


図 167 Ping の実行イメージ

## 5.2 実証目標

本技術実証は 4.7GHz 帯を活用したローカル 5 G システムを漁業に活用するにあたり、ローカル 5 G サービスエリアの設計、構築、キャリア 5 G との共存環境における運用に対する知見を得る事を目標とする。詳細を本章に記載する。

### 5.2.1 技術的課題

#### 5.2.1.1 技術実証の背景となる技術的な課題

ローカル 5 G は、携帯電話事業者による全国向けの第 5 世代移動通信システムとは別に、地域の企業や自治体等の様々な主体が、自らの建物や敷地内でスポット的に柔軟にネットワークを構築し、利用可能とする無線システムである。ローカル 5 G ネットワークを必要とするソリューションに対し、必要な通信品質、受信電力を提供できるサービスエリアを作る必要がある。サービスエリア構築においては、設計、構築後のエリア測定によるサービスエリアの確認を必要とする。本技術実証では漁場を対象とし、遠隔から水中ドローンの制御、及び映像監視を実施するユースケースにおいて、サービスエリアを構築する。それに対して設計、構築後のエリア測定、及び設計と構築におけるそのギャップが明らかになっておらず、現実に即したサービスエリア設計ができない事が課題である。また、ローカル 5 G は広く全

国展開されたキャリア 5 G のサービスエリア上で利用する事が想定されるが、ローカル 5 G、キャリア 5 G の共存環境において、それぞれの通信環境に影響がないか、実フィールドで確認ができていないことが課題である。

#### 5.2.1.2 課題に対するアプローチ、検証仮説等

漁場を対象とし、遠隔から水中ドローンの制御、及び映像監視を実施するユースケースにおいて、ソリューションが満足する通信環境をローカル 5 G で設計、整備することに際し、設計フェーズにおいて基地局の電波出力、アンテナパターンを基にしたシミュレーションを実施する。そのシミュレーション結果とフィールドで通信品質の測定結果を比較し、設計フェーズにおける手法が妥当であること、及び本実証システムの諸元値における実際のローカル 5 G の性能を確認する。また、ローカル 5 G とキャリアの共存環境において、実際の通信を実施することでの互いの通信に影響を与えないことと想定しているが、実測することで、その仮説を証明する。

#### 5.2.2 実証目標

4.7GHz 帯における電波伝搬特性の解明、及び同周波数帯を用いた端末からの高精細映像伝送等を想定したローカル 5 G の性能評価等の技術実証を実施する。ローカル 5 G のサービスエリアは漁場における筏付近、基地局（アンテナ設置場所）から半径 500m 以内とし、ローカル 5 G に対応した端末から水中ドローンを接続するソリューションをユースケースとすることで、高精細映像が通信するに十分な通信品質を確保する事を目標とし、実証した。その際、キャリア 5 G とローカル 5 G の同時利用環境において、相互の通信に影響が無いことを確認する。

##### 5.2.2.1 技術基準の見直し等に資する新たな知見

技術基準の見直し等に資する新たな知見においては、5.3 章に記載した。ローカル 5 G のエリア構築やシステム構成の検証において、総務省より提示のエリア算出に基づく業務区域、カバーエリア、干渉調整エリアを想定し、受信電力を実測することでそれらを比較検証し、技術基準の見直し等に資する新たな知見が得られるかアプローチした。

## 基地局設置場所、業務区域及びカバーエリア等：4.7GHz帯

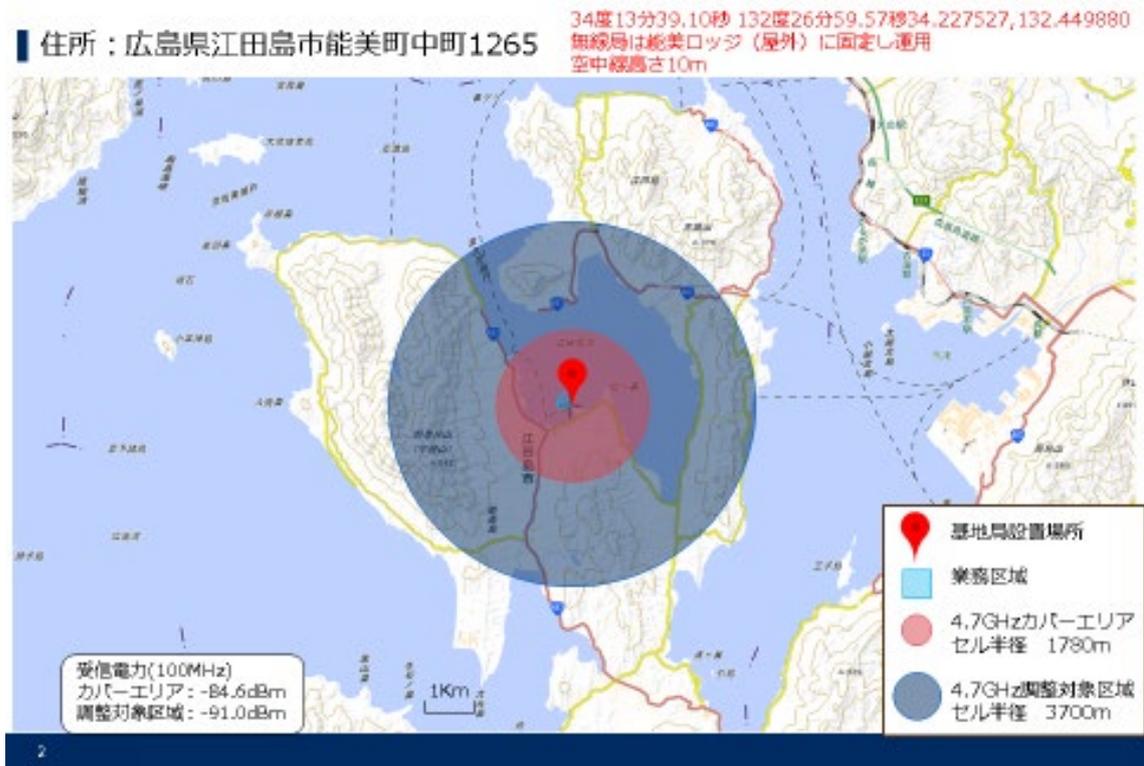


図 168 カバーエリア

### 5.2.3 実施事項と各実施事項に必要な各種データ

本実証では、下記3点の実証を実施した。各実施事項に必要な各種データを記載する。

#### ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

ローカル5Gエリアでの性能測定を行い、本ユースケースがローカル5Gに求める性能を満たすことができるか、基地局からの距離の影響を測定、結果の考察を行った。

##### 必要なデータ

- ・通信品質（スループット、SIR）
- ・受信電力（RSRP）
- ・伝送遅延時間

#### ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

シミュレーションの結果、及び5.3で実施の測定結果に基づき、海上におけるエリア構築に対する考察を行い、設計手法における課題、留意点の洗い出しを行った。

##### 必要なデータ

- ・総務省より提示のエリア算出に基づく業務区域、カバーエリア、干渉調整エリアのシミュレート
- ・基地局、アンテナパターンに基づく受信電力のシミュレート
- ・5.3で測定の受信電力

その他ローカル5Gに関する技術実証

ローカル5Gとキャリア5Gの共存環境における与被干渉による影響を測定、考察を行い、ローカル5Gとキャリア5Gの共存環境における無線設計手法における課題、留意点の洗い出しを行った。

- ・受信電力を面測定した結果のマッピング
- ・ローカル5Gとキャリア5Gをそれぞれの通信状態、非通信状態のパターンにおけるスループット

以下個別に論じていく。

### 5.3 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

#### 5.3.1 実施概要

本実証のユースケースにおいて、ローカル5Gに求められる性能要件を整理した。

ローカル5Gエリアでの性能測定を行い、本ユースケースがローカル5Gに求める性能を満たすことができるか、基地局からの距離の影響を測定、結果の考察を行った。

なお、本ユースケースがローカル5Gに求める性能は下記を想定している。

表68 ユースケースに基づく性能要件

性能要件の指標	要件の根拠	性能値	
受信電力(RSSI)	電波法審査基準 (総務省)	-84.6dBm カバーエリア -91.0dBm 干渉調整エリア	
スループット	上り	水中ドローンからの映像信号(FHD (H.264) 30FPS)	6Mbps~12Mbps
	下り	水中ドローンの遠隔操作の信号	10Kbps~50Kbps
遅延	水中ドローンが求める遅延の指標	100ms 未満	

また、利用する5Gシステムの諸元値とアンテナパターンに基づくシミュレーション、業務区域及びカバーエリアを下記に示す。

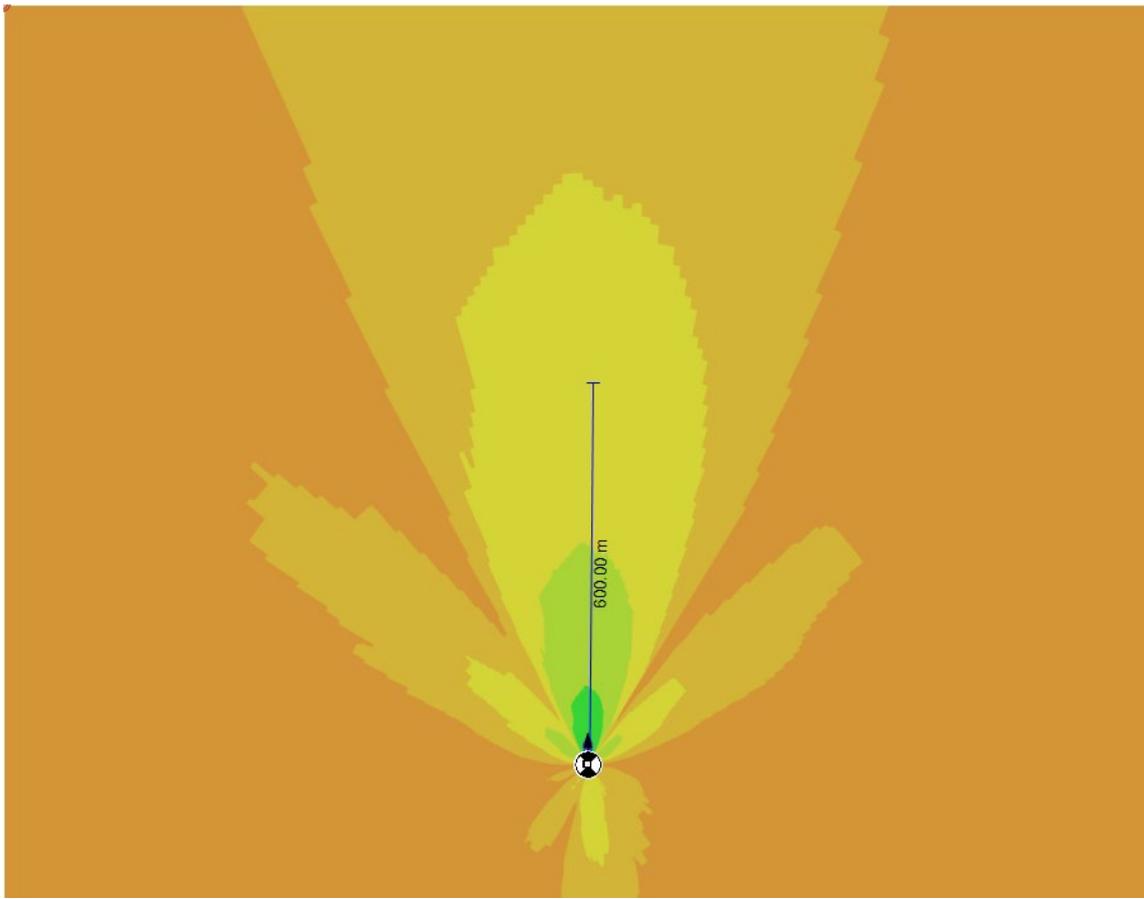


図 169 シミュレーションの結果

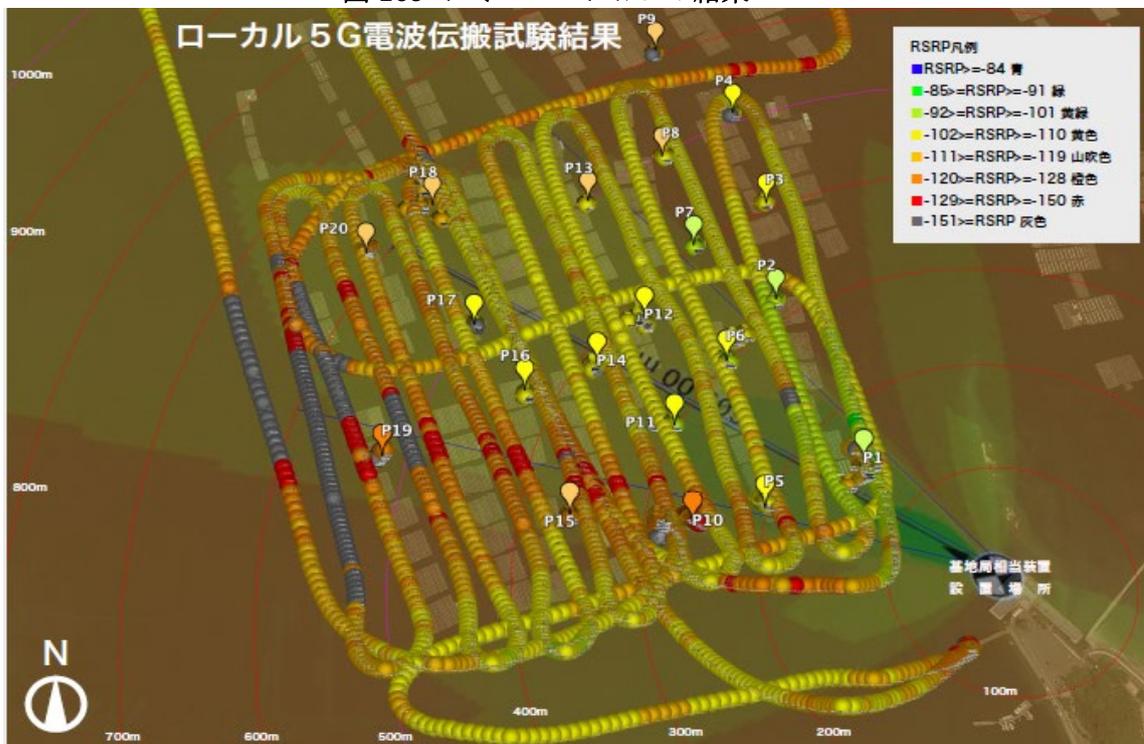


図 170 業務区域及びカバーエリア

また、海面に対する電波発射は、海面反射(マルチパス・フェージング)による影響が考えられる。海面反射における類似の研究においては、5 GHz 帯、通信帯域幅 20MHz で 20km 等長距離の通信への影響について研究があるが、カキの筏が設置される数百 m という今回の近距離において海面反射の影響があるかどうか不明であった。仮にその影響があるとする、基地局と測定場所の距離、高低差に変化があった状況において、受信電力、通信品質の測定の結果に差が出ることを想定した。この仮説を検証するにあたり、緯度経度が同じ場所において、海面の高さ(潮位)が異なる環境下で、受信電力、通信品質を測定し、その結果を比較することが有用と考えられる。

#### 評価・検証項目

基地局からの距離が異なる 20 箇所を測定場所と設定し、下記の検証項目に対する測定を行った。

- ・通信品質 (スループット)
- ・受信電力 (RSRP、SIR)
- ・伝送遅延時間

### 5.3.2 評価・検証項目

ア) 基地局から半径 500m 以内での海上におけるローカル 5 G の通信品質を確認し、本ユースケースにおけるローカル 5 G 整備の適用性を確認する。

本ユースケースでは、地上に設置の基地局・アンテナから、海上のカキの筏に向けてローカル 5 G のサービスエリアを作る必要がある。必要な場所に必要な通信品質を満たす無線ネットワークを整備することができるか、アンテナ設置の位置、向き、端末の位置による通信品質の違いを測定、記録し、必要な知見を整理する。また、海上ならではの海面反射の影響があるか実フィールドでの測定により検証し、海面反射による影響を考慮してローカル 5 G の整備が必要であるか検証を行った。

#### 5.3.2.1 計測指標及びその妥当性

半径 500m 以内にある 20 箇所程度の地点で以下のデータを測定して性能を評価し、技術的課題を整理し解決策について考察を行う。

##### ・受信電力

船上へ品質測定器を持ち込み、海上 20 箇所程度の地点での受信電力を測定する。複数回測定を実施し、平均値を測定データとして採用する。

##### ・伝送スループット

海上 20 箇所程度の地点でのスループットを複数回計測し、平均値を測定データとして採用する。

なお、漁場での利用を考慮し、潮位変動による性能変化について調査する。具体的には、潮位の異なる環境下において、上記手法において受信電力と伝送スループットを測定する。

### 5.3.3 評価・検証方法

基地局から距離が異なる 20 箇所を測定場所と設定する。海上の船上で測定器を用いて受信電力 (RSRP、SIR) を測定した。また、測定ツールとしてスピードテストツールを利用して通信品質 (スループット)、及び伝送遅延時間を測定する。それぞれ複数回測定した。また、海面反射(マルチパス・フェージング)による影響を調査検討するにあたり、潮位が異なる環境下で同様の測定をし、結果を比較することでその影響の考察を行った。

なお、船上から計測を実施するが、船が潮流により流され、位置を固定して測定が困難であることから、筏に船を一時的に係留し、受信電力と伝送スループットを測定した。

#### 5.3.3.1 評価・検証方法の詳細

船上に移動局 (端末)、及び測定器を下図の通り設置し、測定を行った。測定の手順は下記の通り。

1. 測定要員として 2 名を船上に配置
2. Google Map にマッピングした測定位置を基に船を測定位置に配置
3. 船は移動しないよう、カキ筏に一時的に固定する
4. 測定器にて受信電力を記録
5. 通信品質 (スループット、遅延) の測定を実施

移動局は水上面から0.7mの高さに設置

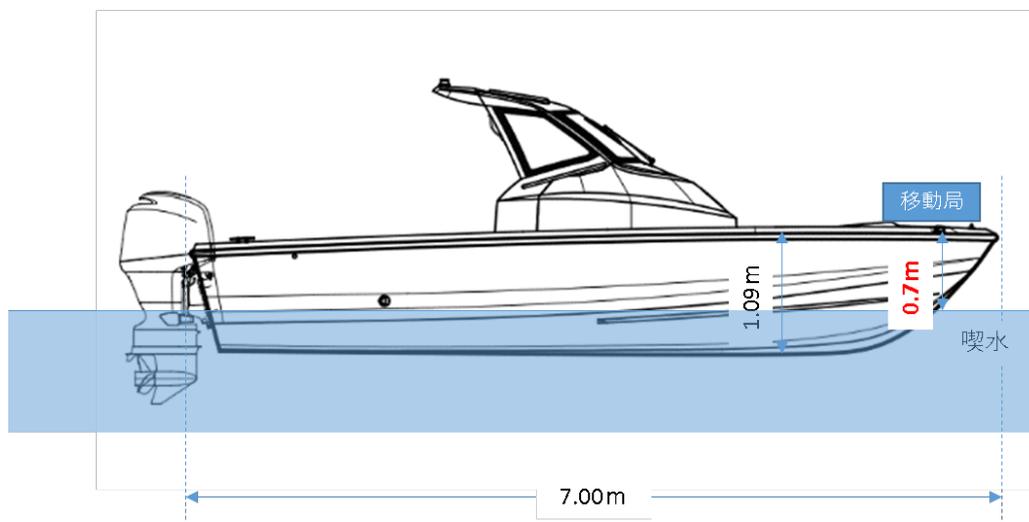


図 171 移動局設置の船のイメージ

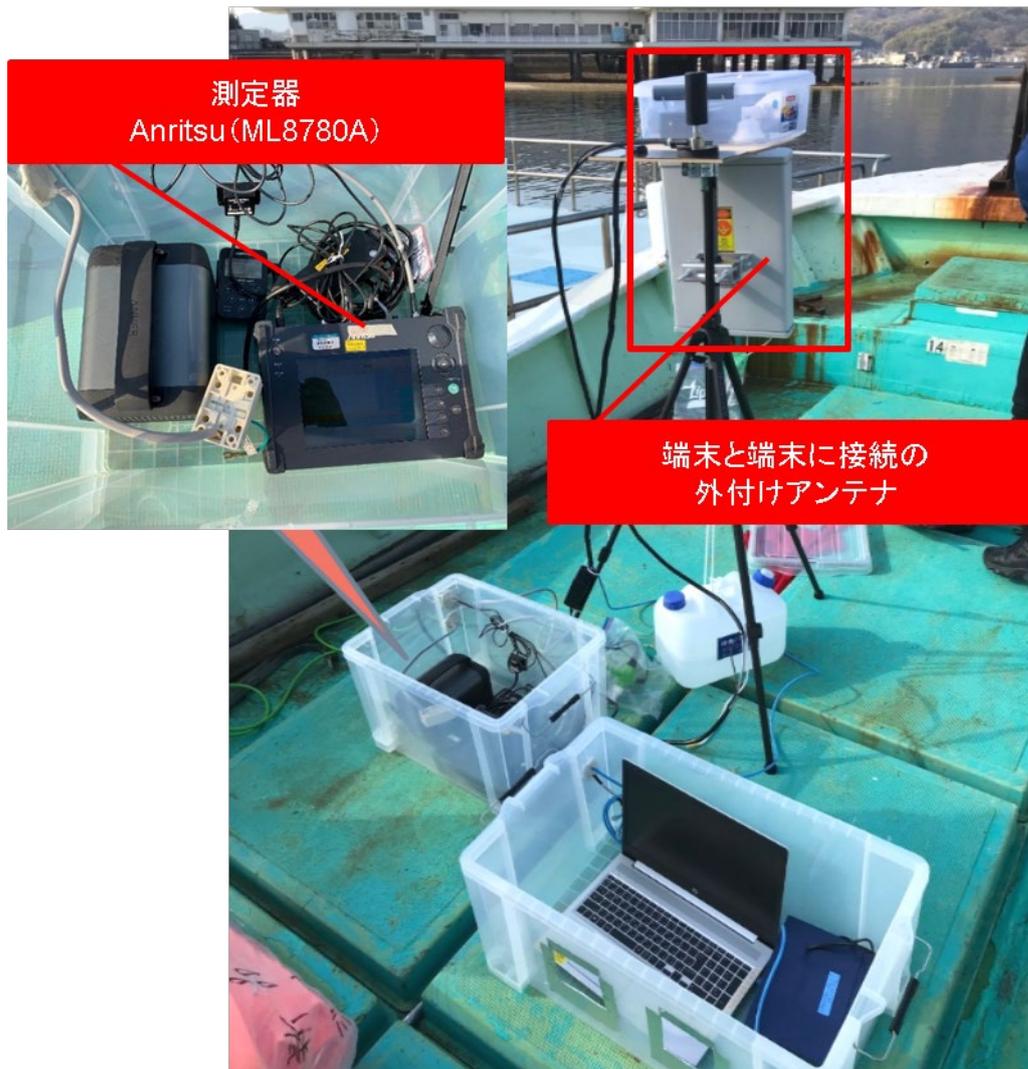


図 172 端末及び測定器の設置の様子

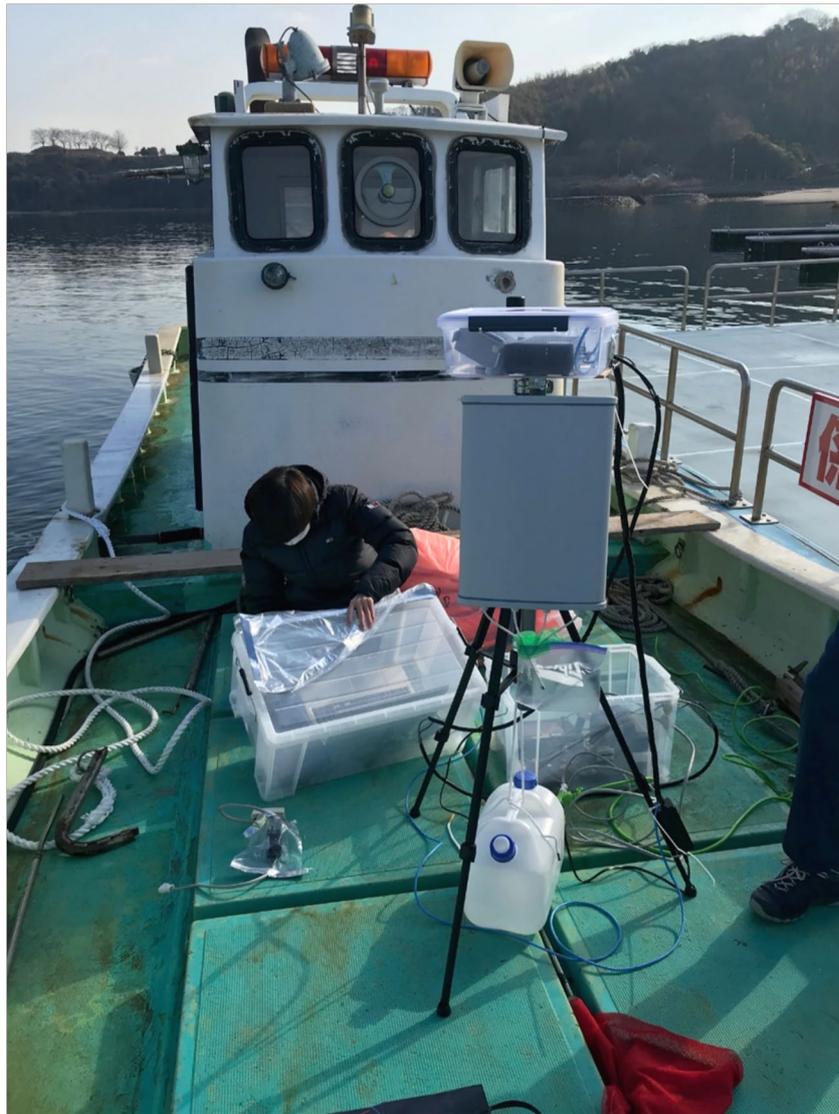


図 173 測定の様子

### 5.3.3.2 計測の仕様（計測ポイント、計測頻度、単位等）

計測にあたってはアンリツ株式会社製エリアテスタ ML8780A（5 GNR TDD sub-6GHz 測定ユニット MU878070A を接続）を使用し、RSRP（単位：dBm）、SIR（単位：dB）などのデータを取得する。なお測定の設定は1秒単位にて測定し、1秒以内に測定された値は平均値として記録するように設定を行った。

スループットの測定は各箇所3回実施し、平均値を利用した。

RTT（ラウンドトリップタイム）はWindows標準のPingツールを使用し30回の測定の最大値、最小値を利用した。

表 6 9 測定指標、単位、測定機器等の情報

測定項目	測定指標	測定手法	測定する値 (単位)	測定機器
受信電力	RSRP (※)		dBm	ML8780A

		エリアテスタ		
通信品質	スループット	SpeedTest ツール	Mbps	CPE
遅延	遅延時間	Ping	msec	WindowsPC (Ping)

※海面反射の影響を確認するため、同じ測定ポイントに対し、潮位が異なるタイミングで計4回の測定を実施。その結果を比較するにあたり、RSRPとSIRの値を利用した。

### 5.3.3.3 詳細の前提条件（送信電力、計測位置等）

非公開情報を含むため諸元情報を削除

計測位置は半径500m付近までのサービスエリア、干渉調整区域付近に20か所の計測位置を定め測定を実施した。ポイント番号と緯度経度を下表に記載する。

ポイント番号	北緯	東経
1	34° 13' 42	132° 26' 54
2	34° 13' 47	132° 26' 52
3	34° 13' 50	132° 26' 51
4	34° 13' 53	132° 26' 50
5	34° 13' 40	132° 26' 51
6	34° 13' 45	132° 26' 50
7	34° 13' 49	132° 26' 49
8	34° 13' 52	132° 26' 48
9	34° 13' 56	132° 26' 47
10	34° 13' 40	132° 26' 49
11	34° 13' 43	132° 26' 48
12	34° 13' 46	132° 26' 47
13	34° 13' 50	132° 26' 45
14	34° 13' 45	132° 26' 46
15	34° 13' 40	132° 26' 45
16	34° 13' 44	132° 26' 43
17	34° 13' 46	132° 26' 42
18	34° 13' 50	132° 26' 40
19	34° 13' 41	132° 26' 39
20	34° 13' 48	132° 26' 38

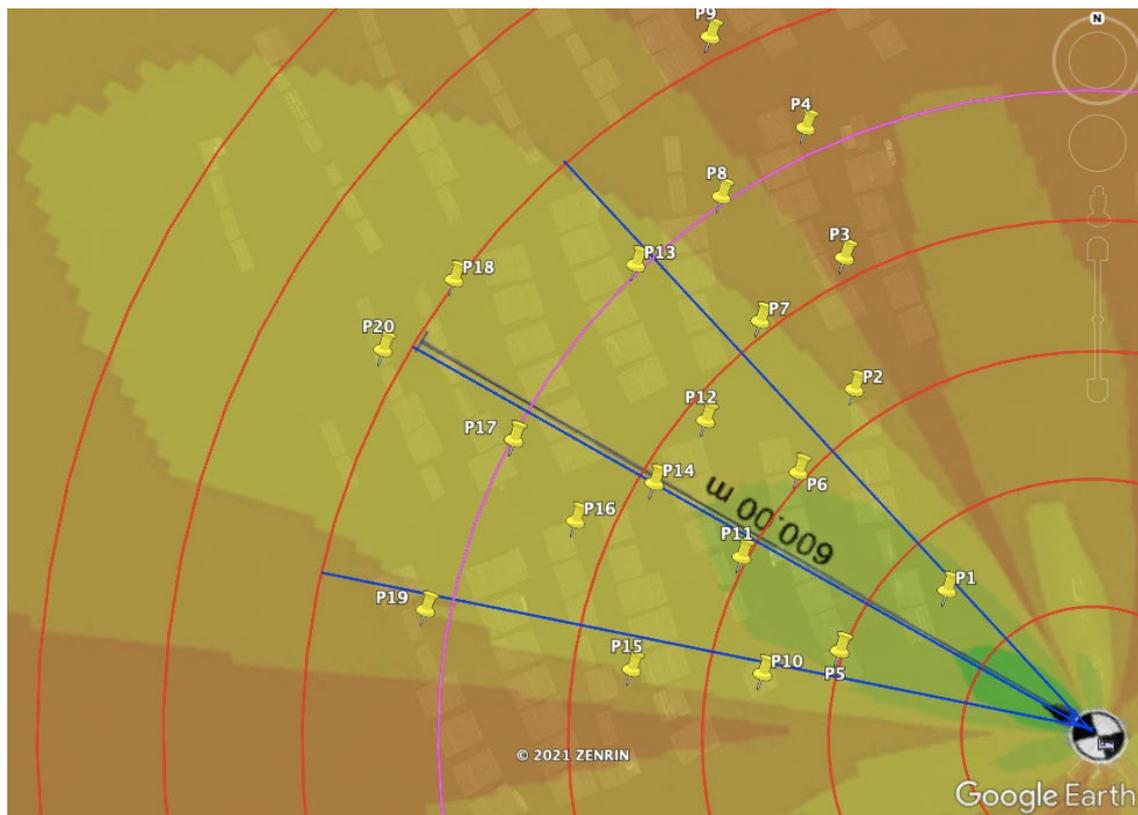


図 174 シミュレーション図に投影した測定ポイント図

#### 5.3.3.4 実施事項

基地局から半径 500m 以内での海上におけるローカル 5 G の通信品質を確認し、本ユースケースにおけるローカル 5 G 整備の適用性を確認した。

本ユースケースでは、地上に設置の基地局・アンテナから、海上のカキの筏に向けてローカル 5 G のサービスエリアを作る必要がある。必要な場所に必要な通信品質を満たす無線ネットワークを整備することができるか、アンテナ設置の位置、向き、端末の位置による通信品質の違いを測定、記録し、必要な知見を整理する。また、海上ならではの海面反射の影響があるか実フィールドでの測定により検証し、海面反射による影響を考慮してローカル 5 G の整備が必要であるか検証を行った。

#### 5.3.4 類似の調査 比較対象とする類似調査のサーベイ結果、比較の視点等

本ユースケースにおける特異点となる海上における類似の調査研究については、5 GHz 帯を利用した長距離通信の研究（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 平成 21(2009)年 3 月 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会）があり、下記に比較、検討のポイントを整理した。

表 7 0 海上電波伝搬試験結果の各無線アクセスシステムの評価

	周波数帯別無線アクセスシステム	通常電波伝搬距離	アンテナ偏波	潮位
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	2.4GHz 帯	数 km	垂直	◎
			水平	◎
			円	◎
	2.5 GHz 帯	数 km	垂直	◎
			水平	◎
			円	◎
	5.0GHz 帯	数 km	垂直	△
			水平	△
			円	○
2.5 GHz 帯	1km 程度	垂直 (SD)	×	
本実証の構成	4.7GHz 帯	500m 程度	45 度	-

潮位：安定度評価 (RSSI)=◎…安定している、○…ほぼ安定している、△…一部不安定、×…不安定

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の研究においては、潮位の異なるタイミングでスループット、RSSI を比較し、安定度を評価しており、本研究においても同様に潮位の異なるタイミングでスループット、RSSI を比較検討することとした。

### 5.3.5 性能評価結果

性能評価の結果として下記を記載する。

- ・受信電力 (マップ上のプロットと集計結果)
- ・通信品質 (伝送スループット、伝送遅延時間、エラーレート)

#### 5.3.5.1 受信電力 (マップ上のプロット、集計結果等)

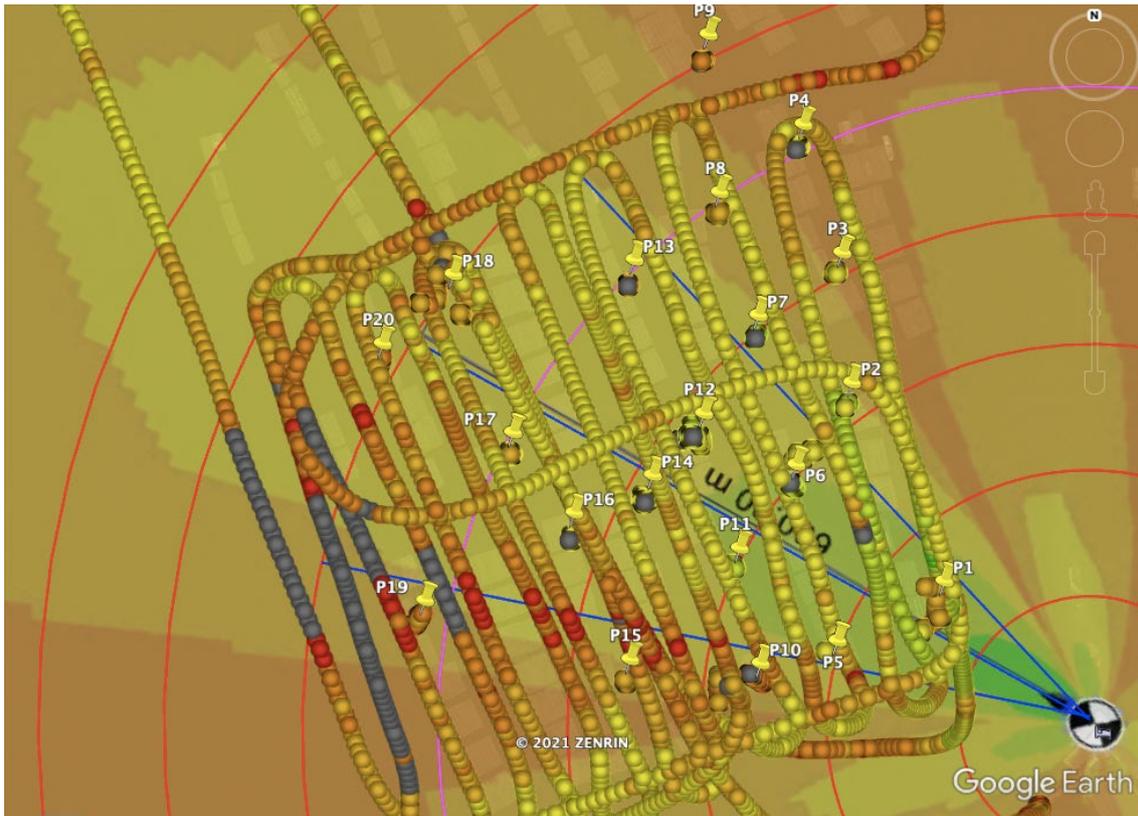


図 175 受信電力のエリアマッピング



図 176 エリアマッピングの凡例

ポイント	北緯	東経	基地局からの距離(m)	基地局からの見たチル	測定回数(回)	RSRP (dBm)	標準偏差

ト 番 号			角度 (TN)		ト角度			
1	34° 13' 42	132° 26' 54	310	151	3.8	1167	-100.5	2.55
2	34° 13' 47	132° 26' 52	315	315	1.8	133	-99.3	1.04
3	34° 13' 50	132° 26' 51	331	402	1.4	216	-110.5	1.69
4	34° 13' 53	132° 26' 50	334	503	1.1	179	-109.7	1.12
5	34° 13' 40	132° 26' 51	285	204	2.8	180	-108.3	0.78
6	34° 13' 45	132° 26' 50	310	296	1.9	952	-103.3	2.02
7	34° 13' 49	132° 26' 49	320	398	1.4	171	-100.2	0.58
8	34° 13' 52	132° 26' 48	325	498	1.2	537	-112.1	2.32
9	34° 13' 56	132° 26' 47	331	601	0.9	268	-117.3	1.50
10	34° 13' 40	132° 26' 49	278	257	2.2	357	-122.6	4.15
11	34° 13' 43	132° 26' 48	295	301	1.9	221	-103.0	1.30
12	34° 13' 46	132° 26' 47	307	378	1.5	1226	-104.9	2.35
13	34° 13' 50	132° 26' 45	314	497	1.2	335	-116.2	3.74
14	34° 13' 45	132° 26' 46	298	387	1.5	583	-105.4	1.12
15	34° 13' 40	132° 26' 45	276	360	1.6	166	-118.4	2.08
16	34° 13' 44	132° 26' 43	290	424	1.4	309	-108.5	0.69
17	34° 13' 46	132° 26' 42	296	496	1.2	455	-109.8	0.96
18	34° 13' 50	132° 26' 40	305	605	0.9	1347	-116.1	2.83
19	34° 13' 41	132° 26' 39	280	520	1.1	196	-125.9	4.33
20	34° 13' 48	132° 26' 38	298	614	0.9	183	-116.7	4.07

### 5.3.5.2 通信品質（伝送スループット、伝送遅延時間）

非公開情報を含むため下表の一部を加工

測 定 ポ イ ン ト	ス ル ー プ ット上り	ス ル ー プ ット下り	遅 延 (最大/最小)	日 時	潮 位 (c m)	測 定 に 供 す る 移 動 局
1-1	259.3	31.9	97/12	2/22 10:20	22	A
1-1	58.7	84.5	88/17	2/22 10:26	22	B
1-2	237.0	153.3	99/17	2/22 13:10	-6	A
1-2	54.6	96.2	71/18	2/22 13:13	-6	B
1-3	270.3	163.3	99/12	2/23 12:16	-1	A
1-3	114.6	95.6	89/17	2/23 12:13	-1	B
1-4	295.3	182.3	93/17	2/23 14:05	-28	A
1-4	94.7	90.6	88/16	2/23 14:02	-28	B
2-1	133.3	85.4	95/14	2/22 14:06	-1	A
2-1	24.6	78.7	86/10	2/22 14:12	-1	B

3-1	112.0	89.7	98/19	2/22 14:22	-1	A
4-1	18.3	78.9	42/18	2/22 14:36	-1	A
5-1	42.2	99.1	92/17	2/23 10:45	54	A
5-1	0.2	59.6	144/17	2/23 10:44	54	B
6-1	133.7	35.7	98/11	2/22 10:37	22	A
6-1	81.8	76.5	74/17	2/22 10:34	22	B
6-2	144.7	106.7	94/16	2/22 13:28	-6	A
6-2	37.0	54.2	71/17	2/22 13:36	-6	B
6-3	240.0	122.0	96/17	2/23 11:23	26	A
6-3	36.4	76.6	37/17	2/23 11:20	26	B
6-4	245.0	123.3	67/18	2/23 14:20	-28	A
6-4	25.7	62.3	42/18	2/23 14:23	-28	B
7-1	157.3	88.1	98/17	2/22 13:57	-1	A
7-1	25.6	72.7	93/16	2/22 13:54	-1	B
8-1	91.9	81.6	93/17	2/22 15:03	9	A
9-1	35.3	82.7	93/16	2/22 14:51	9	A
10-1	0.1	0.3	565/18	2/23 10:28	54	A
10-2	0.0	0.5	406/19	2/23 15:22	-19	A
11	104.9	106	97/18	2/22 16:57	29	A
11	0.1	38.1	2110/21	2/22 16:55	29	B
12-1	111.7	37.5	77/14	2/22 10:45	22	A
12-1	34.1	4.0	62/17	2/22 10:49	22	B
12-2	117.3	48.9	94/17	2/22 16:40	21	A
12-2	49.1	17.3	87/17	2/22 16:30	21	B
12-3	114.3	87.3	42/17	2/23 11:40	26	A
12-3	0.1	4.3	139/18	2/23 11:38	26	B
12-4	151.7	96.0	187/18	2/23 14:40	-28	A
12-4	0.1	48.4	45/14	2/23 14:39	-28	B
13	108.6	75.3	96/17	2/22 15:16	9	A
14	114.3	73.2	94/17	2/22 16:17	21	A
16	78.3	72.5	55/17	2/22 15:52	21	A
17	49.6	69.1	89/18	2/22 15:39	9	A
18-1	68.0	67.4	97/16	2/22 15:28	9	A
18-1	17.2	25.6	87/18	2/22 15:25	9	B
18-2	121.3	89.4	45/14	2/23 12:00	-1	A
18-3	142.3	91.0	58/19	2/23 15:00	-19	A
20	30.3	32.6	57/14	2/23 10:10	54	A

測定ポイントの枝番は測定回数とする。

### 5.3.6 技術的課題の解決策

#### 5.3.6.1 類似調査の結果及び性能評価結果を踏まえた考察（仕様毎固有のテーマ・視点への対応等）

漁場における特異点として、海面反射(マルチパス・フェージング)による影響が考えられる為、その影響の調査、検証を実施した。基地局、アンテナの設置場所からの距離が異なる4ポイントを設定し、潮位が異なるタイミングにより、基地局、アンテナからの距離が変化することにより、受信電力としてRSRP及びSIRの値の変化を測定、評価を実施した。

### 5.3.7 技術的課題の解決策

本項の実証では、下記の2点を技術的な課題と捉え実証を行った。

①漁場における水中ドローンによる水中環境の可視化ソリューションのユースケースを想定し、遠隔制御用、水中環境の可視化が実現可能な性能を満たすことができるか

②漁場という特殊環境下において、ローカル5G活用の整備、活用において技術的に考慮すべきことがあるか

本項の20ポイントにおける測定結果において、上記課題①において、性能のKPIとして設定した下表の性能を満たすことを表71にて確認した。

表71 ユースケースに基づく性能要件

性能要件の指標		要件の根拠	性能値
受信電力(RSSI)		電波法審査基準 (総務省)	-84.6dBm カバーエリア -91.0dBm 干渉調整エリア
スループット	上り	水中ドローンからの映像信号(FHD (H.264) 30FPS)	6Mbps~12Mbps
	下り	水中ドローンの遠隔操作用の信号	10Kbps~50Kbps
遅延		水中ドローンが求める遅延の指標	100ms 未満

非公開情報を含むため下表の一部を加工

測定ポイント	基地局からの距離	アンテナからみた方向	スループット上り	KPIへの適合	スループット下り	KPIへの適合	遅延(最大/最小)	KPIへの適合	測定に供する移動局	KPIへの適合(総合)
1-1	151	10	259.3	○	31.9	○	97/12	○	A	○
1-1	151	10	58.7	○	84.5	○	88/17	○	B	○
1-2	151	10	237.0	○	153.3	○	99/17	○	A	○
1-2	151	10	54.6	○	96.2	○	71/18	○	B	○
1-3	151	10	270.3	○	163.3	○	99/12	○	A	○
1-3	151	10	114.6	○	95.6	○	89/17	○	A	○

1-4	151	10	295.3	○	182.3	○	93/17	○	A	○
1-4	151	10	94.7	○	90.6	○	88/16	○	B	○
2-1	315	15	133.3	○	85.4	○	95/14	○	A	○
2-1	315	15	24.6	○	78.7	○	86/10	○	B	○
3-1	402	31	112.0	○	89.7	○	98/19	○	A	○
4-1	503	34	18.3	○	78.9	○	42/18	○	A	○
5-1	204	-15	42.2	○	99.1	○	92/17	○	A	○
5-1	204	-15	0.2	×	59.6	○	144/17	×	B	×
6-1	296	10	133.7	○	35.7	○	98/11	○	A	○
6-1	296	10	81.8	○	76.5	○	74/17	○	B	○
6-2	296	10	144.7	○	106.7	○	94/16	○	A	○
6-2	296	10	37.0	○	54.2	○	71/17	○	B	○
6-3	296	10	240.0	○	122.0	○	96/17	○	A	○
6-3	296	10	36.4	○	76.6	○	37/17	○	B	○
6-4	296	10	245.0	○	123.3	○	67/18	○	A	○
6-4	296	10	25.7	○	62.3	○	42/18	○	B	○
7-1	398	20	157.3	○	88.1	○	98/17	○	A	○
7-1	398	20	25.6	○	72.7	○	93/16	○	B	○
8-1	498	25	91.9	○	81.6	○	93/17	○	A	○
9-1	601	31	35.3	○	82.7	○	93/16	○	A	○
10-1	257	-22	0.1	×	0.3	○	565/18	×	A	×
10-2	257	-22	0.0	×	0.5	○	406/19	×	A	×
11	301	-5	104.9	○	106	○	97/18	○	A	○
11	301	-5	0.1	×	38.1	○	2110/21	×	B	×
12-1	378	7	111.7	○	37.5	○	77/14	○	A	○
12-1	378	7	34.1	○	4.0	○	62/17	○	B	○
12-2	378	7	117.3	○	48.9	○	94/17	○	A	○
12-2	378	7	49.1	○	17.3	○	87/17	○	B	○
12-3	378	7	114.3	○	87.3	○	42/17	○	A	○
12-3	378	7	0.1	×	4.3	○	139/18	×	B	×
12-4	378	7	151.7	○	96.0	○	187/18	×	A	×
12-4	378	7	0.1	×	48.4	○	45/14	○	B	×
13	497	14	108.6	○	75.3	○	96/17	○	A	○
14	387	-2	114.3	○	73.2	○	94/17	○	A	○
16	424	-10	78.3	○	72.5	○	55/17	○	A	○
17	496	-4	49.6	○	69.1	○	89/18	○	A	○
18-1	605	5	68.0	○	67.4	○	97/16	○	A	○
18-1	605	5	17.2	○	25.6	○	87/18	○	B	○
18-2	605	5	121.3	○	89.4	○	45/14	○	A	○
18-3	605	5	142.3	○	91.0	○	58/19	○	A	○
20	614	-2	30.3	○	32.6	○	57/14	○	A	○

②においては、海面反射の影響を考慮し、4点のポイントにて潮位が異なるタイミングでスループット、受信電力の測定を実施した。

天気	晴れ		晴れ		晴れ		晴れ	
気温 (°C)	15.3		18.2		14.4		14.6	
風速 (m/s)	0.7	西南 西	6.2	南西	2.1	北西	2.3	西
潮位 (cm)	22		-6		-1		-28	
	RSRP	SIR	RSRP	SIR	RSRP	SIR	RSRP	SIR
RSRP AVG (dBm)	-95.7	13.1	- 92.1	18.9	- 103.9	10.1	- 110.9	7.4
RSRP 分 散	2.5	4.9	3.0	1.1	8.2	2.1	16.2	14.4
DL (Mbps )	31.9		153. 3		163.3		182.3	
UL (Mbps )	259.3		237. 0		270.3		295.3	

ポイント1 測定結果

天気	晴れ		晴れ		晴れ		晴れ	
気温 (°C)	15.3		18.2		13.6		14.6	
風速 (m/s)	0.7	西 南西	6.2	南 西	4.3	北 北東	2.3	西
潮位 (cm)	22		-6		26		-28	
	RSRP	SIR	RSRP	SIR	RSRP	SIR	RSRP	SIR
RSRP AVG (dBm)	- 100.9	13. 3	- 99.2	15. 6	-104.5	12. 5	-108.9	9.2
RSRP 分 散	3.1	1.3	1.2	0.3	1.8	0.7	15.2	8.8
DL (Mbps )	35.7		106. 7		122.0		123.3	
UL (Mbps )	133. 7		144. 7		240		245	

ポイント6 測定結果

天気	晴れ		晴れ		晴れ		晴れ	
気温 (°C)	17.1		18.7		13.6		14.6	
風速 (m/s)	1.3	西 南西	7.7	南 南西	4.3	北 北東	2.3	西
潮位 (cm)	7		21		26		-28	
	RSRP	SIR	RSRP	SIR	RSRP	SIR	RSRP	SIR
RSRP AVG (dBm)	- 104.9	11. 0	- 103.4	12. 6	-108.1	10. 5	-104.1	13. 8
RSRP 分 散	7.7	5.5	7.0	2.0	1.8	1.0	5.5	2.6
DL (Mbps )	37.5		48.9		87.3		96.0	
UL (Mbps )	111. 7		117. 3		114.3		151.7	

ポイント 12 測定結果

天気	晴 れ		晴 れ		晴れ		晴れ	
気温 (°C)	17. 1		18. 7		14.4		14.2	
風速 (m/s)	1.3	西 南西	7.2	南 西	2.1	北 西	4.7	西 南西
潮位 (cm)	7		9		-1		-19	
	RSR P	SIR	RSR P	SIR	RSRP	SIR	RSRP	SIR
RSRP AVG (dBm)	- 118.9	0.5	- 114.2	3.7	-115.6	3.5	-116.6	2.4
RSRP 分 散	10. 9	8.5	4.2	2.9	9.3	8.1	8.5	8.5
DL (Mbps )	66. 4		67. 4		89.4		91.0	
UL (Mbps )	67. 5		68. 0		121.3		142.3	

ポイント 18 測定結果

潮位が異なる測定結果においては、上表のとおり、最小、最大の性能値に性能の差が表れ

た。

漁場、海面に向けて電波発射をする場合には、その差が潮位等自然環境に依存し、差が表れる事を意識し、必要な性能を確保するにあたり、設計時にマージンを考慮して設計をすることが必要であることを明らかにした。

その要因を明らかにするにあたり、その影響が海面反射の影響であることと結論づけるには、十分とは言えないデータ母数であり、さらなる技術的な課題として整理を行うことが必要であると考ええる。

### 5.3.8 更なる技術的課題等

本項の実証の結果のとおり、漁場においては、KPI で定めた 141 の要件に対し、129 か所で適合した。全体の 8.5%が KPI に適合していなかった。他のエリアで応用させるにはその要因を明らかにする必要があると考える。現在その差を発生させる要因として、下記を考える。

- ・海面反射
- ・潮位
- ・気温
- ・湿度
- ・波
- ・風
- ・船の動揺

自然環境が複雑に関係する事から、これらの要素がどのようにローカル 5 G の利用に影響するか要素分解するために、環境データと組み合わせたより多くのデータを取得し、多角的に分析することが必要と考える。

## 5.4 ローカル 5 G のエリア構築やシステム構成の検証等

シミュレーションの結果、及び 5.3 章で実施の測定結果に基づき、海上におけるエリア構築に対する考察を行い、設計手法における課題、留意点の洗い出しを行った。

ローカル 5 G のエリア設計、免許申請、整備設計等の整備計画においては、免許取得できるまでに実フィールドで電波発射する事が出来ない為、事前に実フィールドに即した受信電力のシミュレーションの結果を元に実施する事が必要である。本項目では海上におけるローカル 5 G エリア構築において、シミュレーションの結果と実フィールドでの実測との比較において、海上におけるローカル 5 G エリア構築に対する知見を整理した。

### 5.4.1 評価・検証項目

評価にあたってはローカル 5 G システムを構築し、その基地局からの実効輻射電力を用いた計算式を用いたエリアシミュレーション図を作成し、実測値と比較することでサービスエリアの妥当性を求めた。

エリアシミュレーション図を作成するにあたっては総務省が提供するエリア算出法およびシミュレーションソフトウェアメーカー独自の伝搬アルゴリズムを用いた双方の式を用いて算出している。

#### 5.4.2 計測指標及びその妥当性

計測にあたってはアンリツ株式会社製エリアテスタ ML8780A（5 G NR TDD sub-6GHz 測定ユニット MU878070A を接続）を使用し、RSRP、SIR などのデータを取得し評価・検証に用いた。通信量や外来波などの通信状況に左右される RSSI ではなく、報知チャンネルから受信電力を計算する RSRP を利用することにより安定した受信電力の測定をすることができる。

#### 5.4.3 評価・検証方法

事前に作成した机上結果と実測値の比較を行い、カバーエリアおよび調整対象区域の閾値との差異を確認する。カバーエリア及び調整対象区域は下記の表に記載する。

表 7 2 カバーエリアおよび干渉調整区域の閾値

性能要件の指標	閾値の根拠	性能値
受信電力 (RSSI)	電波法審査基準 (総務省)	-84.6dBm カバーエリア -91.0dBm 干渉調整エリア

なお、受信電力 (RSSI)（ここでの受信電力 (RSSI) は基地局相当装置のチャンネル全電力相当とする）の値は基地局相当装置と移動局相当装置が常に通信状態でないと通信状況によって測定値が変化してしまうため、上記の電波法審査基準との差異を比較する際は RSSI を RSRP 相当に変換した値を用い評価することとする。

表 7 3 受信電力 (RSSI) と RSRP の読み替え表

	受信電力 (RSSI)	RSRP
カバーエリア	-84.6dBm	-119.7dBm
干渉調整エリア	-91.0dBm	-126.1dBm

受信電力 (RSSI) と RSRP の換算式は下記の通りとする。

$$SSRP = \text{受信電力(RSSI)} - 10\text{Log}(12 \times \text{リソースブロック数})$$

※リソースブロック数=273 とする。

机上でカバーエリア、及び干渉調整区域を算出する際に利用した基地局、アンテナの利得は下図の通りである。

- ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 11

※「ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価等」にて利用の基地局

表 7 4 ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 11 の諸元

非公開情報を含むため諸元情報を削除

※非同期にて運用

非公開情報を含むため図 177 を削除

図 177 ねつつえすあいえだじまろーから 5G じっけん 11 の空中線系統図

この閾値に基づき、基地局設置場所、カバーエリア、干渉調整エリアをマッピングしたものは下図の通りである。

### 基地局設置場所、業務区域及びカバーエリア等：4.7GHz帯

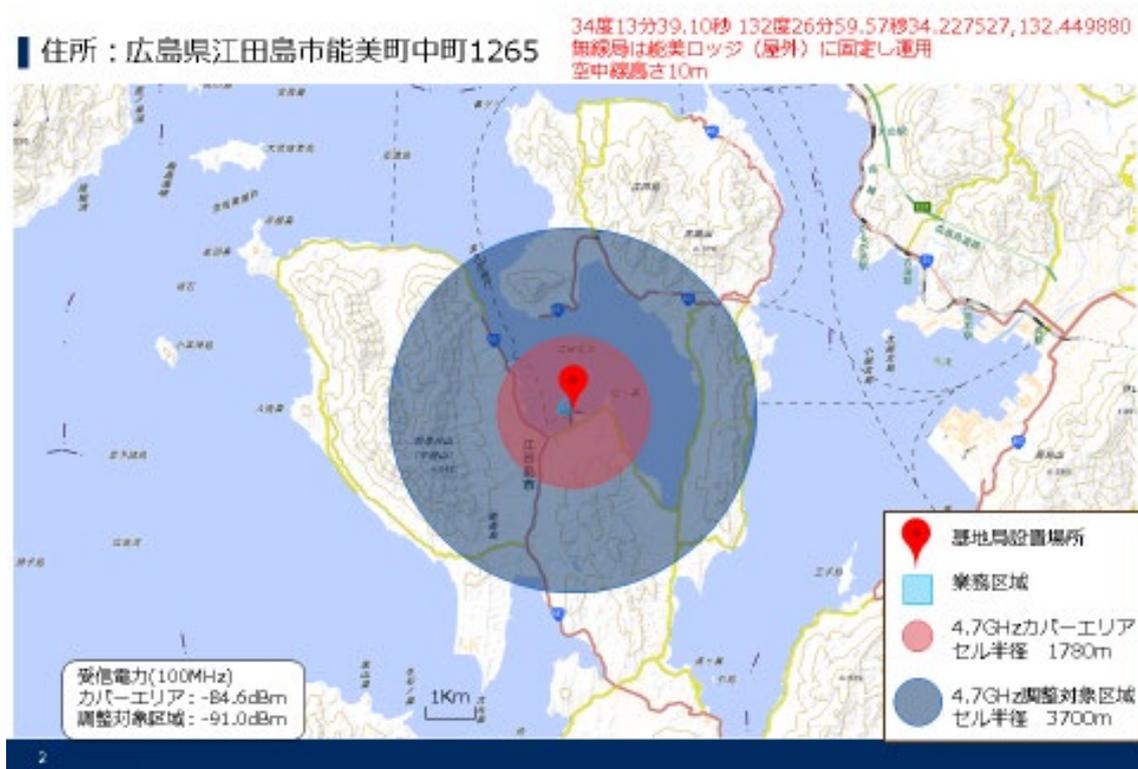


図 178 カバーエリアと干渉調整対象エリア

#### 5.4.3.1 評価・検証方法の詳細

カバーエリアおよび干渉調整エリアの算出に当たっては総務省が提供するエリア算出法、および市販の電波伝搬シミュレーションソフトウェアの出力結果を利用する。エリア算出法は下記に記載の伝搬式にて算出を実施する。

実施内容は下記の通り。

1. 総務省が提供するエリア算出法による
2. 市販ソフトウェア iBwave Design v. 14. 0. 3. 180 による受信電力のシミュレート
3. 5. 3 章の実証と 2 の結果の受信電力の比較、評価を実施

・総務省が提供するエリア算出法

電波法審査基準に記載の下記計算式により受信電力を算出する。

$$Pr = Pt + Gt - Lf + Gr - L - 8$$

Pr [dBm] : 受信レベル (受信レベル)

Pt [dB] : 送信電力 (基地局の空中線電力)

Gt [dBi] : 送信アンテナ利得

Lf [dB] : 基地局の給電線損失

Gr [dBi] : 受信アンテナ利得

L [dB] : 伝搬損失※Lは屋外見通し伝搬として下記計算式にて計算する。

$$L = 20 \log_{10}(4 \pi d / \lambda)$$

d (m) : 基地局から陸上移動局までの距離

$\lambda$  (m) : 指定周波数 (4750MHz) の波長

### 基地局設置場所、業務区域及びカバーエリア等：4.7GHz帯

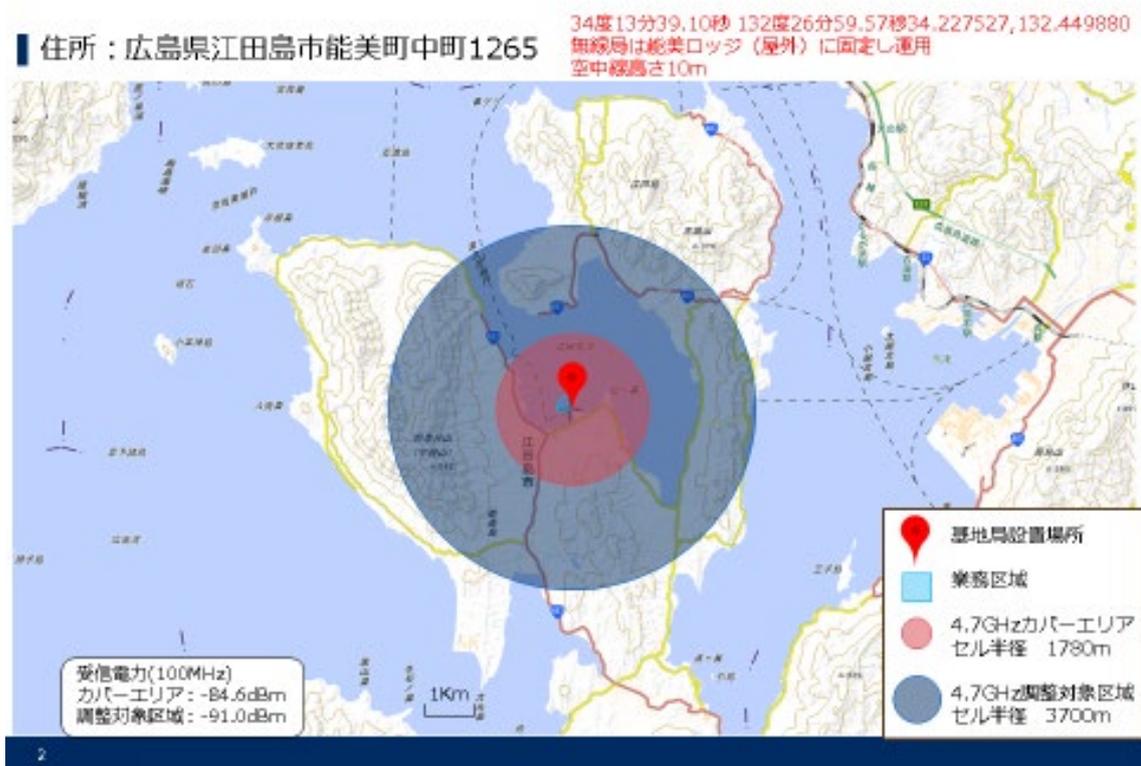


図 179 カバーエリアと干渉調整対象エリア

・市販ソフトウェアにおける算出

算出法：Fast Ray Tracing 法

ソフトウェア名：iBwave Design v.14.0.3.180

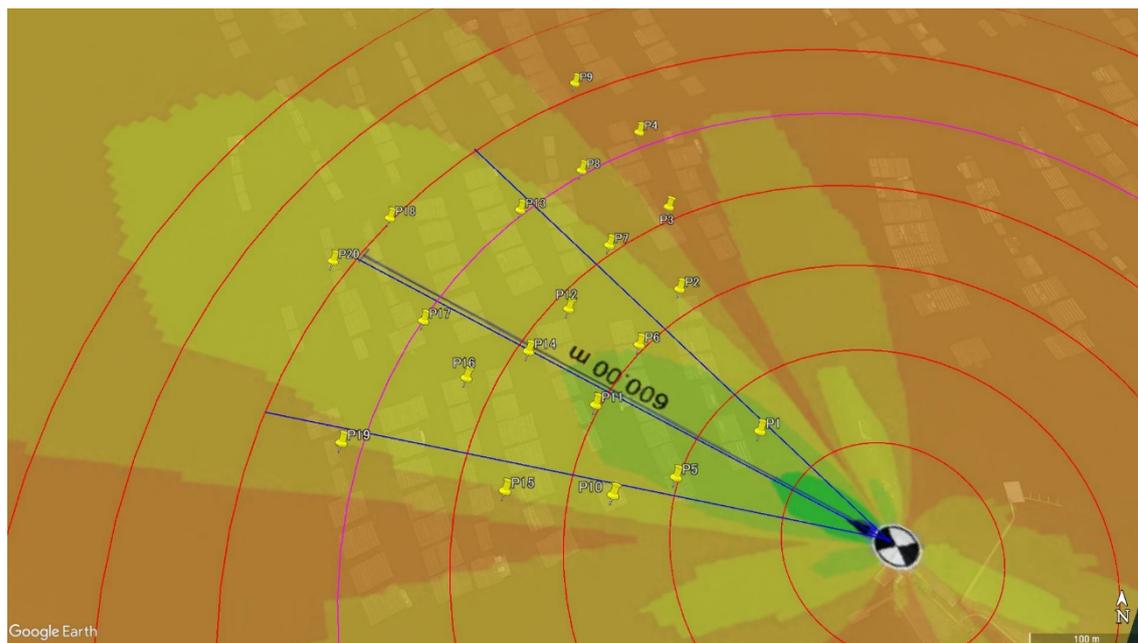


図 180 市販ソフトにおけるエリア算出シミュレーション

#### 5.4.3.2 計測の仕様

20 か所の測定ポイントの詳細を下記に記載する。下記の 20 か所については主にサービスエリア内を想定している。

ポイント番号	北緯	東経	基地局からの角度 (TN)	基地局との距離(m)	基地局から見たチルト角度	測定回数(回)	RSRP (dBm)	標準偏差
1	34° 13' 42	132° 26' 54	310	151	3.8	1167	-100.5	2.55
2	34° 13' 47	132° 26' 52	315	315	1.8	133	-99.3	1.04
3	34° 13' 50	132° 26' 51	331	402	1.4	216	-110.5	1.69
4	34° 13' 53	132° 26' 50	334	503	1.1	179	-109.7	1.12
5	34° 13' 40	132° 26' 51	285	204	2.8	180	-108.3	0.78
6	34° 13' 45	132° 26' 50	310	296	1.9	952	-103.3	2.02
7	34° 13' 49	132° 26' 49	320	398	1.4	171	-100.2	0.58
8	34° 13' 52	132° 26' 48	325	498	1.2	537	-112.1	2.32
9	34° 13' 56	132° 26' 47	331	601	0.9	268	-117.3	1.50
10	34° 13' 40	132° 26' 49	278	257	2.2	357	-122.6	4.15
11	34° 13' 43	132° 26' 48	295	301	1.9	221	-103.0	1.30
12	34° 13' 46	132° 26' 47	307	378	1.5	1226	-104.9	2.35
13	34° 13' 50	132° 26' 45	314	497	1.2	335	-116.2	3.74
14	34° 13' 45	132° 26' 46	298	387	1.5	583	-105.4	1.12

15	34° 13' 40	132° 26' 45	276	360	1.6	166	-118.4	2.08
16	34° 13' 44	132° 26' 43	290	424	1.4	309	-108.5	0.69
17	34° 13' 46	132° 26' 42	296	496	1.2	455	-109.8	0.96
18	34° 13' 50	132° 26' 40	305	605	0.9	1347	-116.1	2.83
19	34° 13' 41	132° 26' 39	280	520	1.1	196	-125.9	4.33
20	34° 13' 48	132° 26' 38	298	614	0.9	183	-116.7	4.07

下記にサービスエリアと干渉調整区域の境界面、干渉調整区域と干渉調整外区域の境界面のポイントを記載する。

ポイント番号	北緯	東経	基地局からの角度(TN)	基地局との距離(m)	基地局から見たチルト角度	測定回数(回)	RSRP (dBm)	標準偏差
サ1	34° 13' 58	132° 26' 41	322	750	0.8	477	-106.4	1.32
サ2	34° 13' 50	132° 26' 51	330	400	1.4	693	-110.3	1.20
サ3	34° 13' 47	132° 26' 59	2	260	2.2	156	-114.0	3.34
サ4	34° 13' 44	132° 26' 22	280	950	0.6	244	-120.7	2.63
サ5	34° 13' 37	132° 26' 42	260	425	1.3	616	-110.0	2.35
サ6	34° 13' 35	132° 26' 51	242	235	2.4	226	-103.5	1.34
干1	34° 14' 17	132° 26' 20	320	1550	0.4	157	-116.9	2.38
干2	34° 13' 02	132° 26' 42	330	840	0.7	285	-116.1	1.81
干3	34° 13' 56	132° 26' 59	0	560	1.0	193	-119.0	2.69
干5	34° 13' 35	132° 26' 33	260	660	0.9	252	-114.6	3.54
干6	34° 13' 31	132° 26' 41	242	505	1.1	213	-121.8	3.09

※サ x = サービスエリアと干渉調整区域の境界面、干 x = 干渉調整区域と干渉調整区域外の境界面

共通項目としては下記となる。

測定器：アンリツ株式会社製エリアテスタ ML8780A（5 GNR TDD sub-6GHz 測定ユニット MU878070A を接続）

RSRP：外れ値を除くため測定結果の上下 10%を削除したデータを平均

測定時間：1 秒間に 1 回測定のため、測定回数＝測定時間（秒）となる

標準偏差：標本自体の標準偏差 sd を求めるため下記式にて算出している

$$sd = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

n = サンプル数

X<sub>i</sub> = 測定値

#### 5.4.4 検証結果

サービスエリアを中心とした20か所の机上シミュレーションと実測値との比較を下表に示す。

ポイント番号	北緯	東経	基地局からの角度 (TN)	基地局との距離 (m)	基地局から見たチルト角度	シミュレーション結果 RSRP (dB m) (iBwave)	シミュレーション結果 RSRP (dB m) (ITU P. 1411)	実測値 RSRP (dB m)	SIR 値 (dB)
1	34° 13' 42	132° 26' 54	310	151	3.8	-95.9	-104.0	-100.5	12.8
2	34° 13' 47	132° 26' 52	315	315	1.8	-107.3	-111.9	-99.3	14.4
3	34° 13' 50	132° 26' 51	331	402	1.4	-120.3	-125.5	-110.5	8.3
4	34° 13' 53	132° 26' 50	334	503	1.1	-123.2	-143.4	-109.7	8.3
5	34° 13' 40	132° 26' 51	285	204	2.8	-100.0	-107.6	-108.3	10.3
6	34° 13' 45	132° 26' 50	310	296	1.9	-100.9	-109.8	-103.3	12.8
7	34° 13' 49	132° 26' 49	320	398	1.4	-108.7	-115.9	-100.2	14.3
8	34° 13' 52	132° 26' 48	325	498	1.2	-113.2	-121.3	-112.1	6.0
9	34° 13' 56	132° 26' 47	331	601	0.9	-123.2	-129.0	-117.3	2.2
10	34° 13' 40	132° 26' 49	278	257	2.2	-106.6	-113.6	-122.6	-3.0
11	34° 13' 43	132° 26' 48	295	301	1.9	-100.7	-109.5	-103.0	15.0
12	34° 13' 46	132° 26' 47	307	378	1.5	-103.4	-111.5	-104.9	12.5
13	34° 13' 50	132° 26' 45	314	497	1.2	-107.8	-115.3	-116.2	1.9
14	34° 13' 45	132° 26' 46	298	387	1.5	-103.0	-111.3	-105.4	10.7
15	34° 13' 40	132° 26' 45	276	360	1.6	-113.8	-118.5	-118.4	1.1
16	34° 13' 44	132° 26' 43	290	424	1.4	-104.7	-113.2	-108.5	9.0
17	34° 13' 46	132° 26' 42	296	496	1.2	-105.0	-113.7	-109.8	8.0
18	34° 13' 50	132° 26' 40	305	605	0.9	-106.6	-115.5	-116.1	2.8
19	34° 13' 41	132° 26' 39	280	520	1.1	-110.8	-119.2	-125.9	-5.6
20	34° 13' 48	132° 26' 38	298	614	0.9	-106.4	-115.3	-116.7	1.8

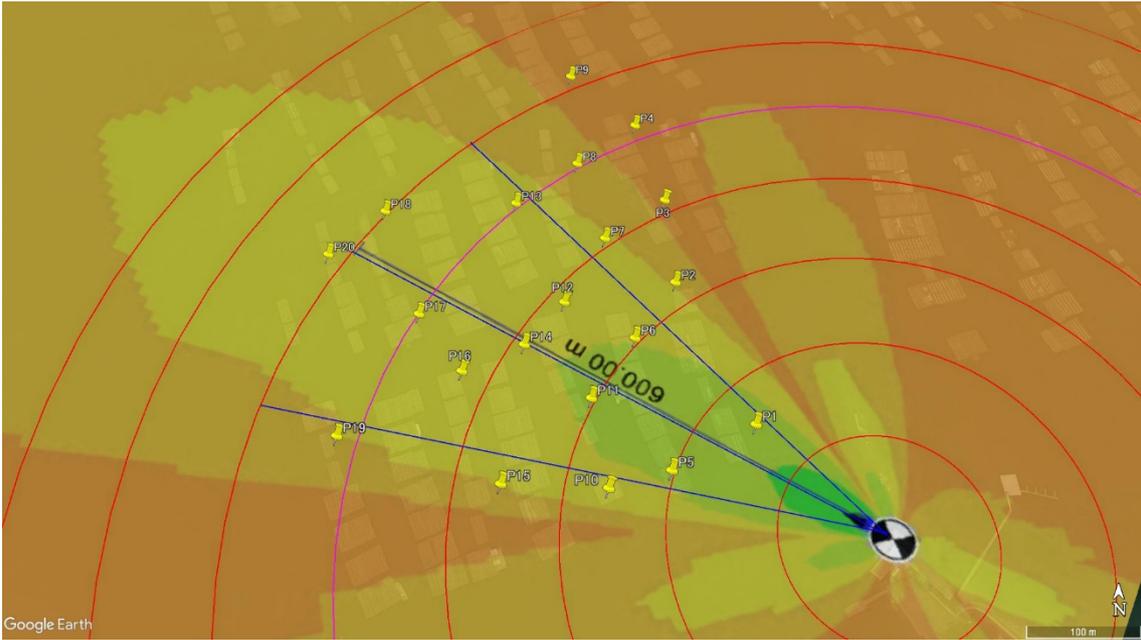


図 181 20 か所の測定ポイント配置図



図 182 20 か所の測定ポイント配置図および測定結果



図 183 凡例

下記にサービスエリアと干渉調整区域の境界面、干渉調整区域と干渉調整外区域の境界面のポイントの机上シミュレーションと実測値との比較を下表に示す。

ポイント番号	北緯	東経	基地局からの角度 (TN)	基地局との距離 (m)	基地局からの見たチルト角度	シミュレーション結果 RSRP (dBm) (iBwave)	シミュレーション結果 RSRP (dBm) (ITU P. 1411)	実測値 RSRP (dBm)	SIR 値 (dB)
サ 1	34° 13' 58	132° 26' 41	322	750	0.8	-114.6	-122.4	-106.4	6.8
サ 2	34° 13' 50	132° 26' 51	330	400	1.4	-117.2	-124.4	-110.3	6.2
サ 3	34° 13' 47	132° 26' 59	2	260	2.2	-117.4	-124.9	-114.0	4.3
サ 4	34° 13' 44	132° 26' 22	280	950	0.6	-116.5	-124.4	-120.7	-0.8
サ 5	34° 13' 37	132° 26' 42	260	425	1.3	-117.7	-126.0	-110.0	6.4
サ 6	34° 13' 35	132° 26' 51	242	235	2.4	-114.6	-121.8	-103.5	8.2
干 1	34° 14' 17	132° 26' 20	320	1550	0.4	-120.7	-127.7	-116.9	2.5
干 2	34° 13' 02	132° 26' 42	330	840	0.7	-121.5	-130.9	-116.1	1.8
干 3	34° 13' 56	132° 26' 59	0	560	1.0	-121.7	-131.1	-119.0	0.5

干5	34° 13' 35	132° 26' 33	260	660	0.9	-121.5	-153.3	-114.6	.6
干6	34° 13' 31	132° 26' 41	242	505	1.1	-120.6	-146.5	-121.8	-1.5

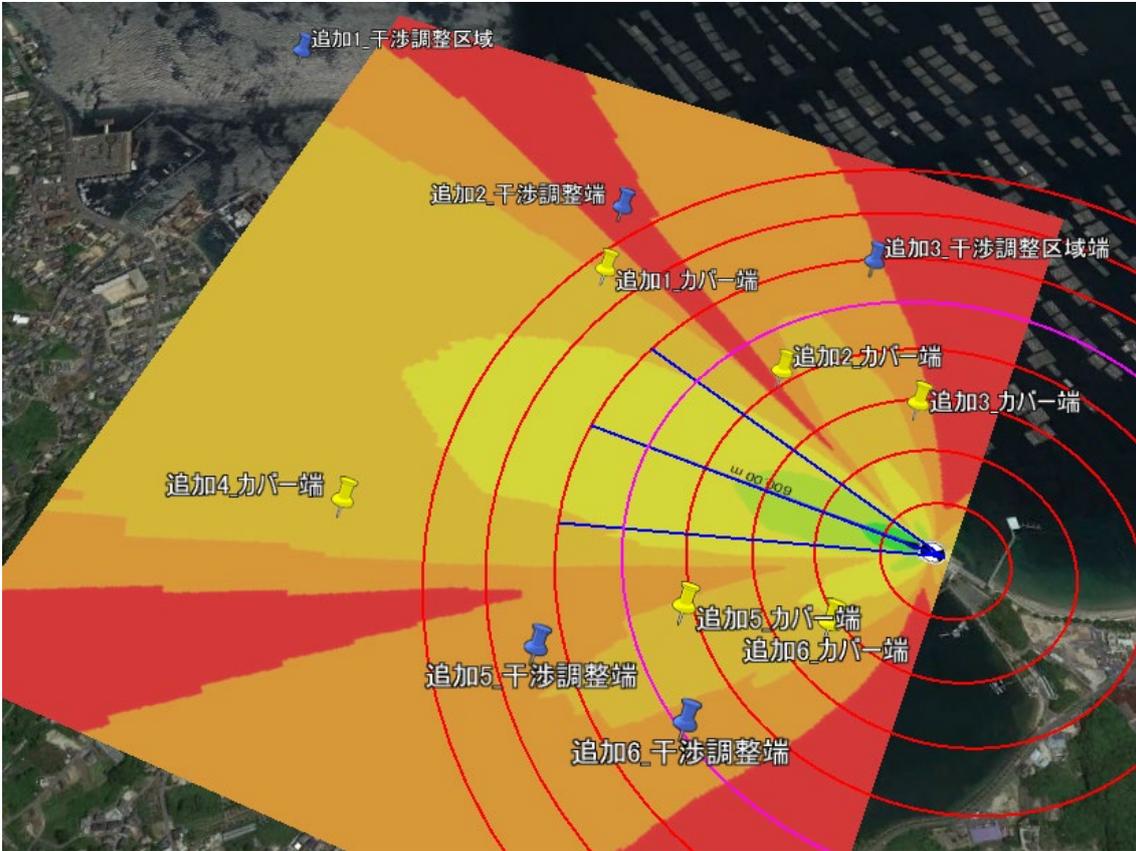


図 184 サービスエリアと干渉調整区域の境界面、干渉調整区域と干渉調整外区域の境界面のポイント

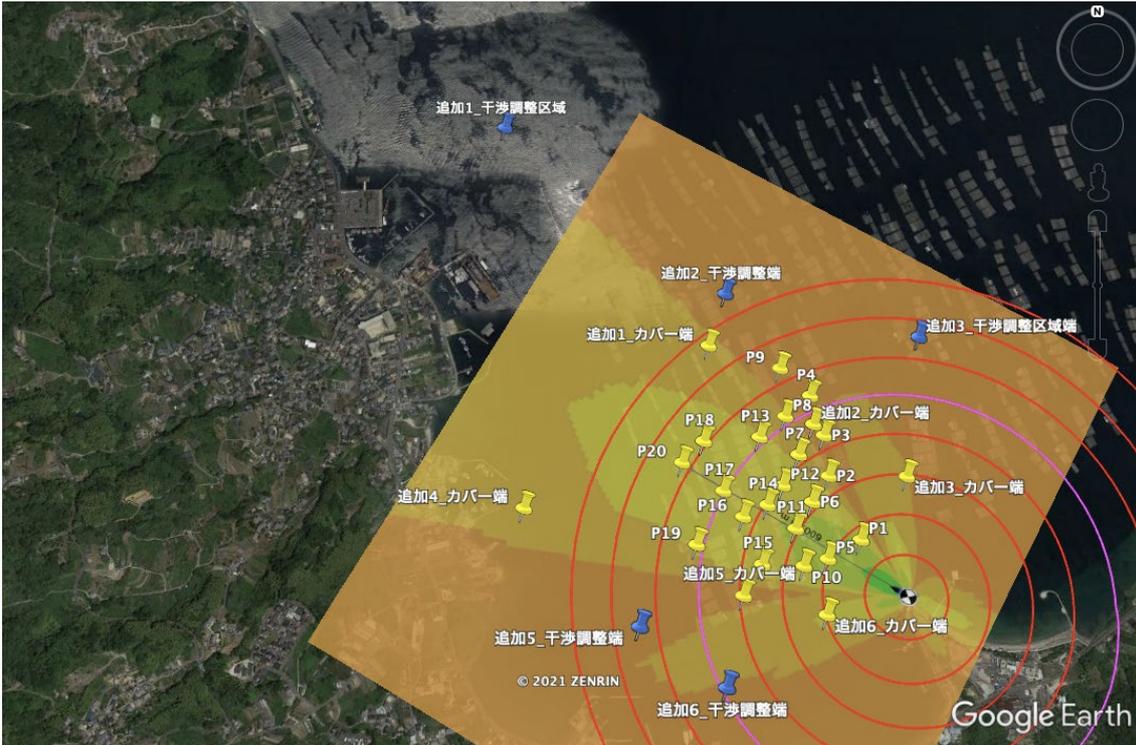


図 185 サービスエリア相当の 20 箇所とサービスエリアと干渉調整区域の境界面、干渉調整区域と干渉調整外区域の境界面のポイントの位置づけ

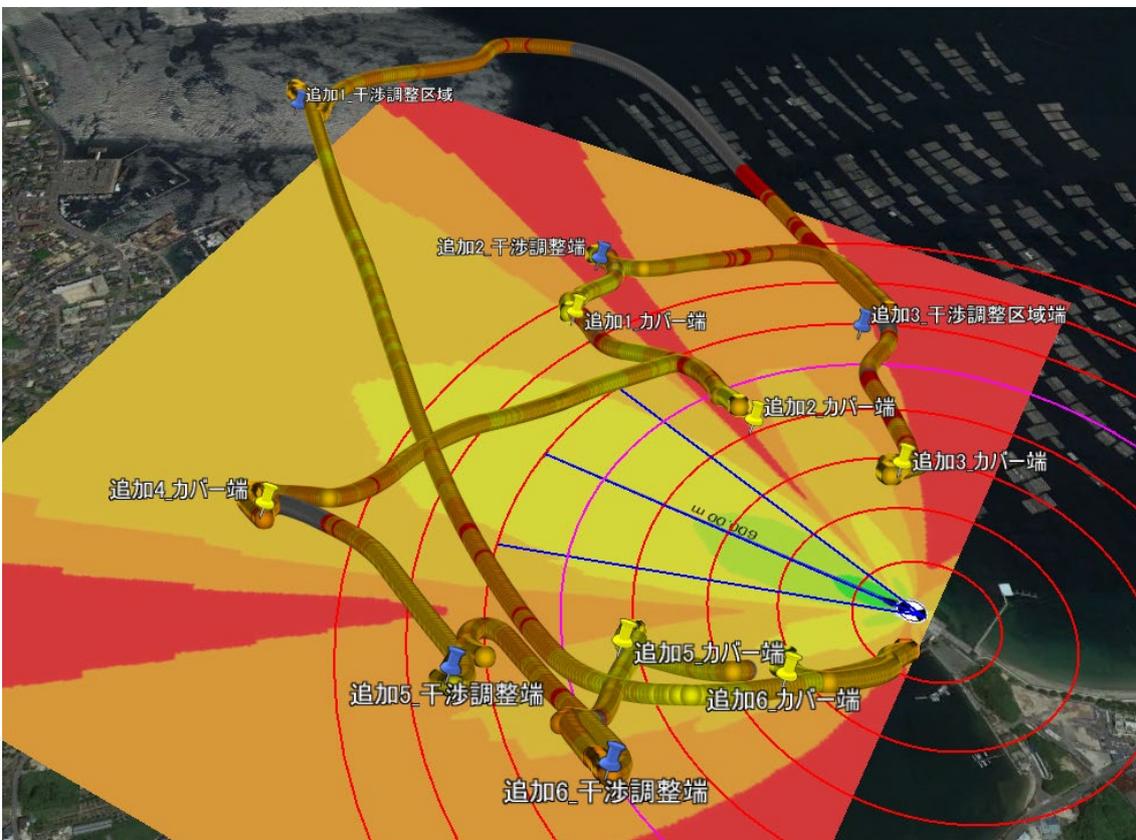


図 186 サービスエリアと干渉調整区域の境界面、干渉調整区域と干渉調整外区域の境界面のポイントに実測結果を重ね合わせた図



図 187 凡例

机上シミュレーションと実測結果を比較したところ、概ね机上計算結果と実測値が一致することが検証された。しかしながら一部の標準偏差による分析の結果においては、値が分散する事象が確認された。今回、この結果の要因は明らかになっていないが、漁場でのローカル5Gの利用においてはこの変動があることを考慮し、マージンとして設計をする必要があることを検証できた。潮位変化の観測で受信電力 RSRP に 5dB 程の変化があったこと、及び RSRP の値が分散する事象が確認されたことに対し、想定される要因として、漁場における船の揺れにより、船に固定された移動局のアンテナが基地局に対して揺れたこと、及び潮位変動により、アンテナと端末との距離、水平方向に変化が発生したことが考えられる。

#### 5.4.4.1 仕様毎固有のテーマ・視点等に係る項目

本実証においては、漁場におけるローカル5Gの活用が特異点であり、下記の2つの課題を設定した。

- ①漁場においては、アンテナ設置場所より障害物等がなく、見通しが利くエリアでのエリア設計手法
- ②漁場でのローカル5G整備において、免許取得等がローカル5G普及において展開しにくさの要因となる可能性の検討
- ③漁場における最適なローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検討

#### 5.4.5 技術的課題の解決策

5.4.4.1で設定の課題に対する検証結果における考察、及び更なる技術的な課題を本項で整理する。

#### 5.4.5.1 検証結果を踏まえた考察（仕様毎固有のテーマ・視点への対応等）

5.4.4.1 項における①については、本実証により、机上シミュレーションと実測において受信電力に大きな差が現れなかったことから、今回採用したソフトウェア iBwave Design v.14.0.3.180 を利用した算出法について、Fast Ray Tracing 法は、漁場における設計においても、有効であると判断した。ただし、船の揺れ等、受信電力に影響を与える要因が存在するため、設計時のマージンは考慮したい。

②について、本実証の結果、シミュレーションツールを利用したカバーエリア、干渉調整エリアのシミュレーションが、実測と比較し、大きな差が表れなかったことから、海上においてもこの設計手法が有効であることを実証した。

また、本実証では下図のとおり、アンテナパターンを考慮しない干渉調整エリアは半径 3.7km と非常に広いエリアとなる。ローカル 5G の免許取得においては、広いエリアを対象とする干渉調整を必要とするため、干渉調整先が多くなり、手間や時間がかかる。そこで、総務省より提示のエリア算出に基づく業務区域、カバーエリア、干渉調整エリアを想定することに合わせ、基地局の出力、アンテナパターンに基づくシミュレーションの結果による干渉調整エリアを決定することが、新たな技術基準として有効であると考えた。

③漁場における最適なローカル 5G のエリア構築やシステム構成において、本項目の実証の結果から、潮位変化の観測で受信電力 RSRP に 5dB 程の変化があったこと、及び RSRP の値が分散する事象が確認できたことから、システム、及びサービスエリアの設計をする際には、5dB 程のマージンを考慮した設計をすることが必要となる。また、この要因の可能性として、波による端末のアンテナ指向性に影響したためと仮説を立てたが、この仮説においては、例えばカキ筏の上に端末を固定する場合、波による揺れを吸収できる仕組みにより設置をすることで、安定した通信環境を作る事ができると考えた。これは仮説と共に更なる実証を必要とする。

## 基地局設置場所、業務区域及びカバーエリア等：4.7GHz帯

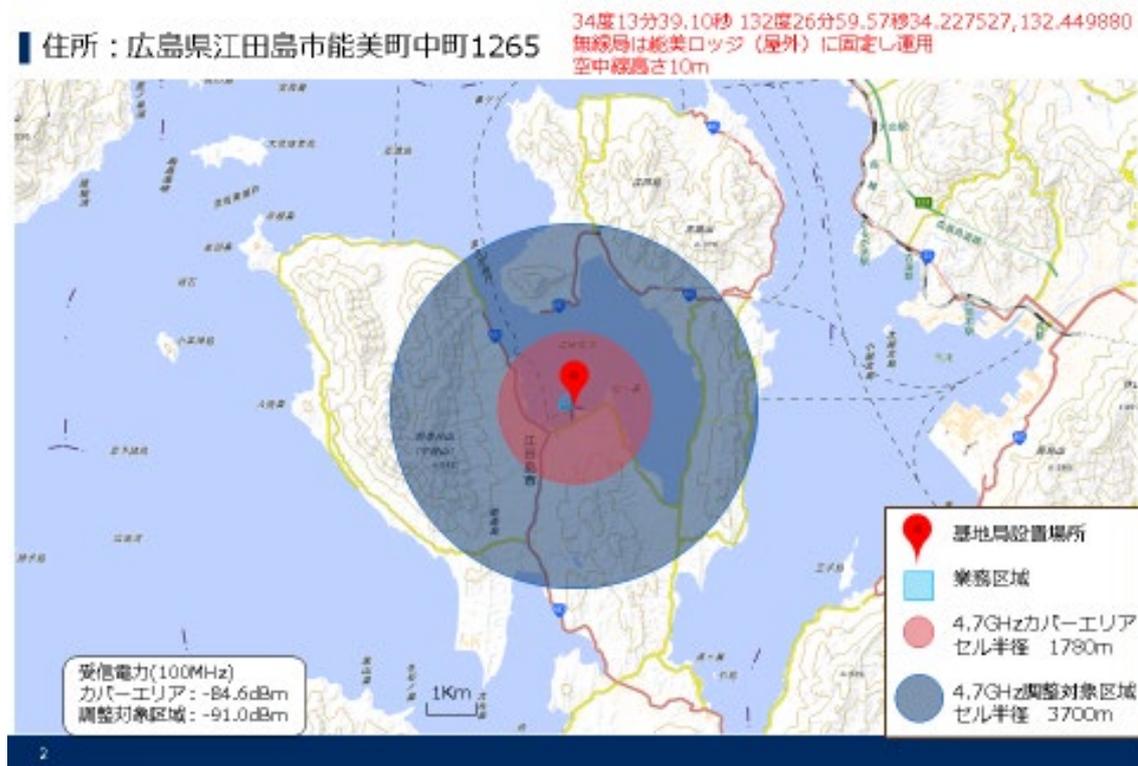


図 188 アンテナパターンを用いない干渉調整区域

### 5.4.5.2 更なる技術的課題等

5.4.5.1 で整理の②の課題解決においては、実フィールドにおいて他システムに影響を与えない事を本実証の 5.5 章でキャリア 5 G とローカル 5 G との影響を確認したように、実際に干渉影響が想定されるシステムを設置し、測定を行う事が有効である。特に今後ローカル 5 G の普及においては周波数等の条件が異なるローカル 5 G 同士の干渉影響が考えられることから、複数台のローカル 5 G を整備し、ローカル 5 G 同士の影響がないか確認することで明らかにすることができると考える。

### 5.5 その他ローカル 5 G に関する技術実証

海中養殖物状況の把握業務に関する課題解決のシステムの実証用に、ローカル 5 G に割り当てられた 4.7GHz 帯 (4.6-4.9GHz 帯) と近接する周波数帯 (4.5 GHz 帯) のキャリア 5 G を構築する。海上がキャリアの 5 G でエリア化されており、5 G スマホを持った漁業関係者が船で通過する状況を想定し、キャリア 5 G、ローカル 5 G の共存環境における相互の性能における影響を確認し、実運用に対する考察を行った。

このような場合、4.5 GHz 帯のキャリア 5 G と 4.6-4.8GHz 帯のローカル 5 G との間の干渉が想定される。そこで、ローカル 5 G 局と、キャリア 5 G との共存可能性検証を実施する。

検証手法、及び検証項目を下記の通り計画する。なお、キャリア 5 G とローカル 5 G の共存環境においては、ローカル 5 G の展開性を考慮し、キャリア 5 G との非同期等の運用をも検討する。その共存運用環境においては、ローカル 5 G のキャリア 5 G への与干渉による

影響を測定、考察を行う。

ローカル5Gとキャリア5Gの共存環境における与被干渉による影響を測定、考察を行い、ローカル5Gとキャリア5Gの共存環境における無線設計手法における課題、留意点の洗い出しを行った。

本項目は、仕様書に示された、ア及びイに示す調査検討事項以外に、ローカル5Gの技術的課題を独自の一つ以上、その提案根拠とともに提案し、新たな知見を得る、という項目に該当する。ローカル5Gを整備する環境は、全国エリアに整備が進むキャリア5Gのエリアに重なり整備する事が一般的となる事が考えられる。その環境において、実フィールドでローカル5G、キャリア5Gが互いに通信品質に影響を及ぼすことがないか実証を実施した。

### 5.5.1 評価・検証方法の詳細

非公開情報を含むため諸元情報を削除

検証に用いる指標として、ユーザー影響を最も顕著に表現すると考えられる“スループットへの影響度合い”を採用した。

### 5.5.2 計測の仕様

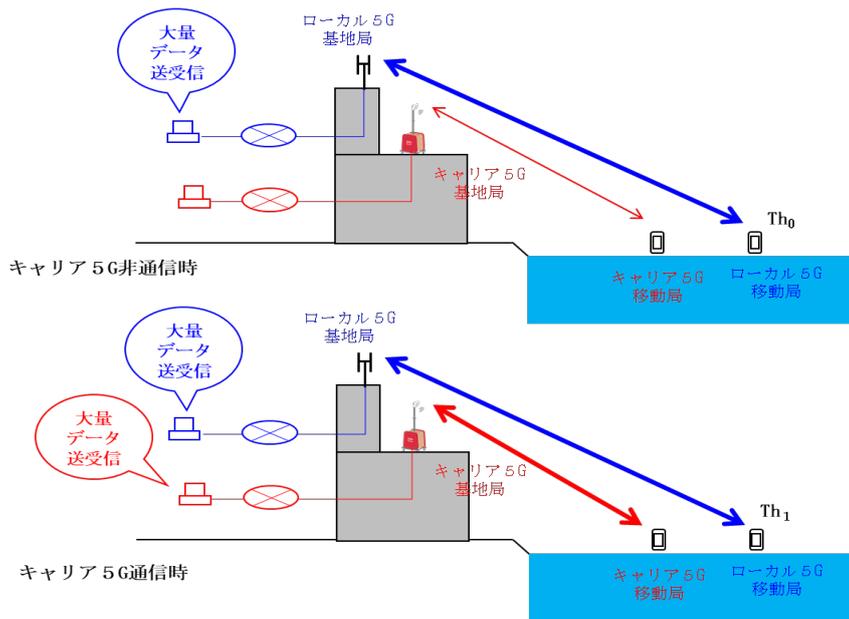
面測定にて受信電力をプロットしたエリアマッピングにおいて、ローカル5G、キャリア5Gともに強電界となる地点を6か所を選定した。

選定した6か所で下記の手順で測定を実施した。

1. パターン1～3において、ローカル・キャリア共にスループット測定を開始
2. その間スペクトラムアナライザで受信電力を測定
3. 各パターン3回程度の実施を想定

	ローカル5G	キャリア5G
パターン1：	通信状態	非通信状態
パターン2：	通信状態	通信状態
パターン3：	非通信状態	通信状態

下図は試験のイメージ。



キャリア5G通信時、非通信時におけるローカル5Gへの影響評価⇒Th<sub>0</sub> とTh<sub>1</sub> の比較で評価

図 189 試験イメージ

ローカル5Gのエリアマッピング

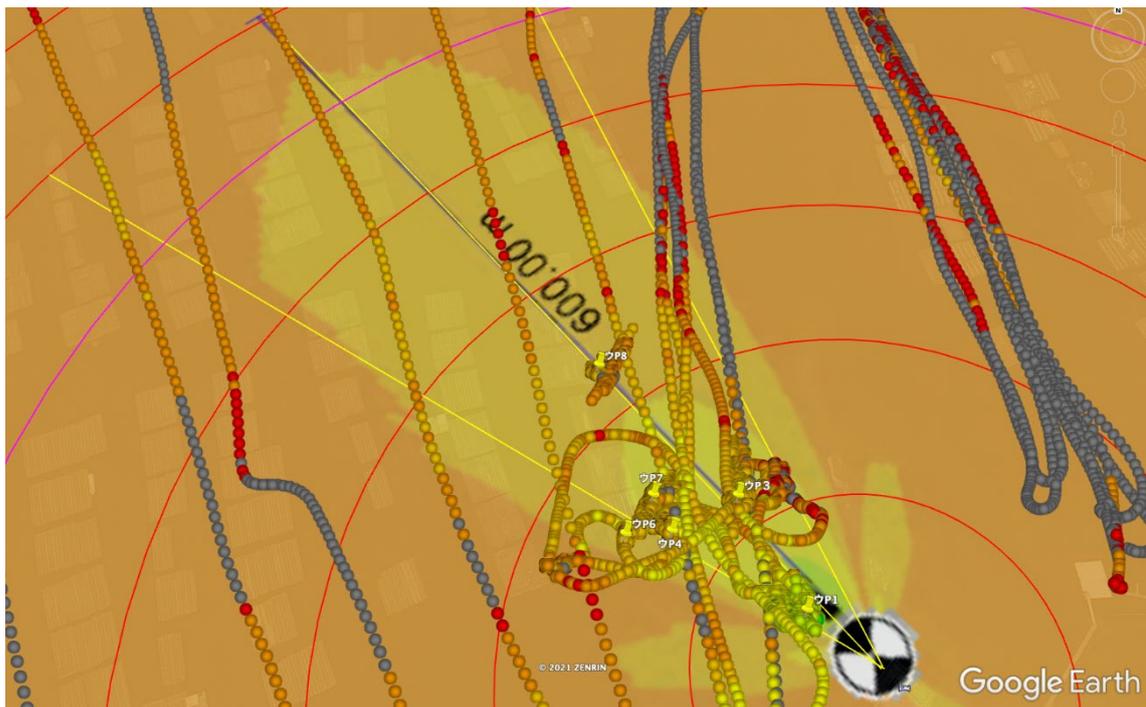


図 190 ローカル 5G のエリアマッピング



図 191 凡例

キャリア 5G のエリアマッピング

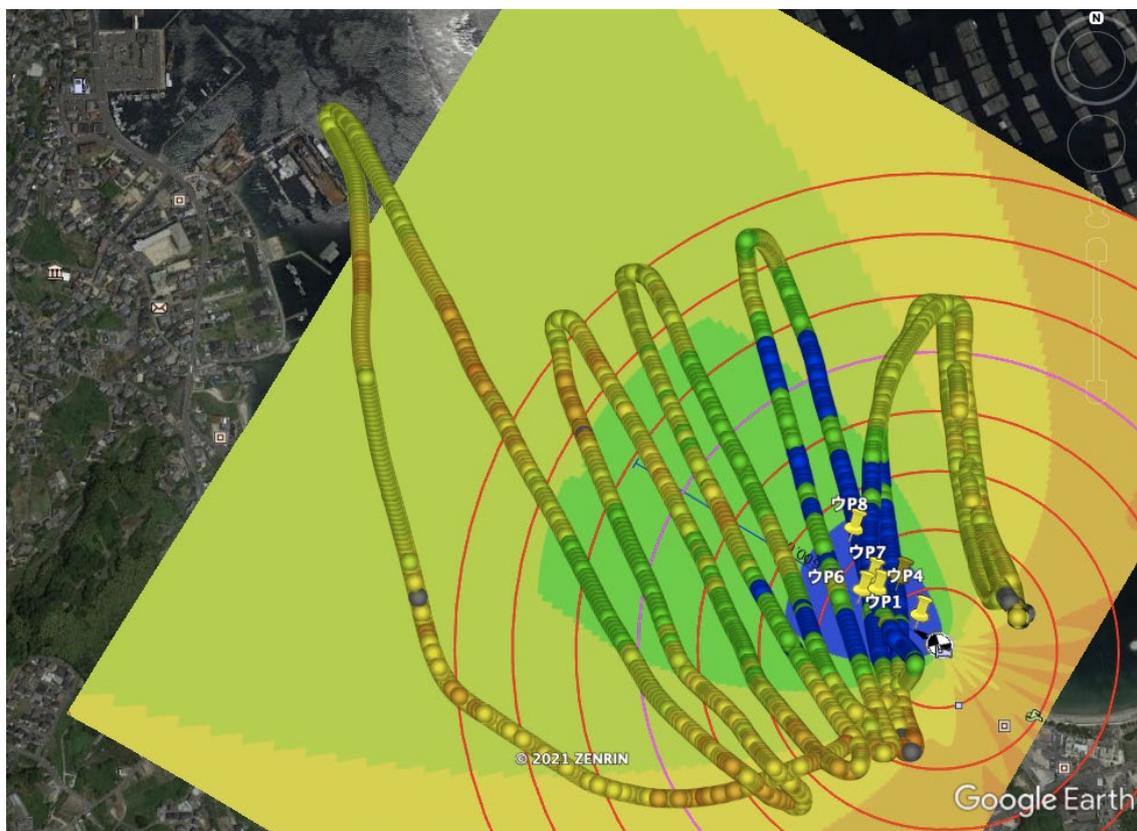


図 192 ビーム 0

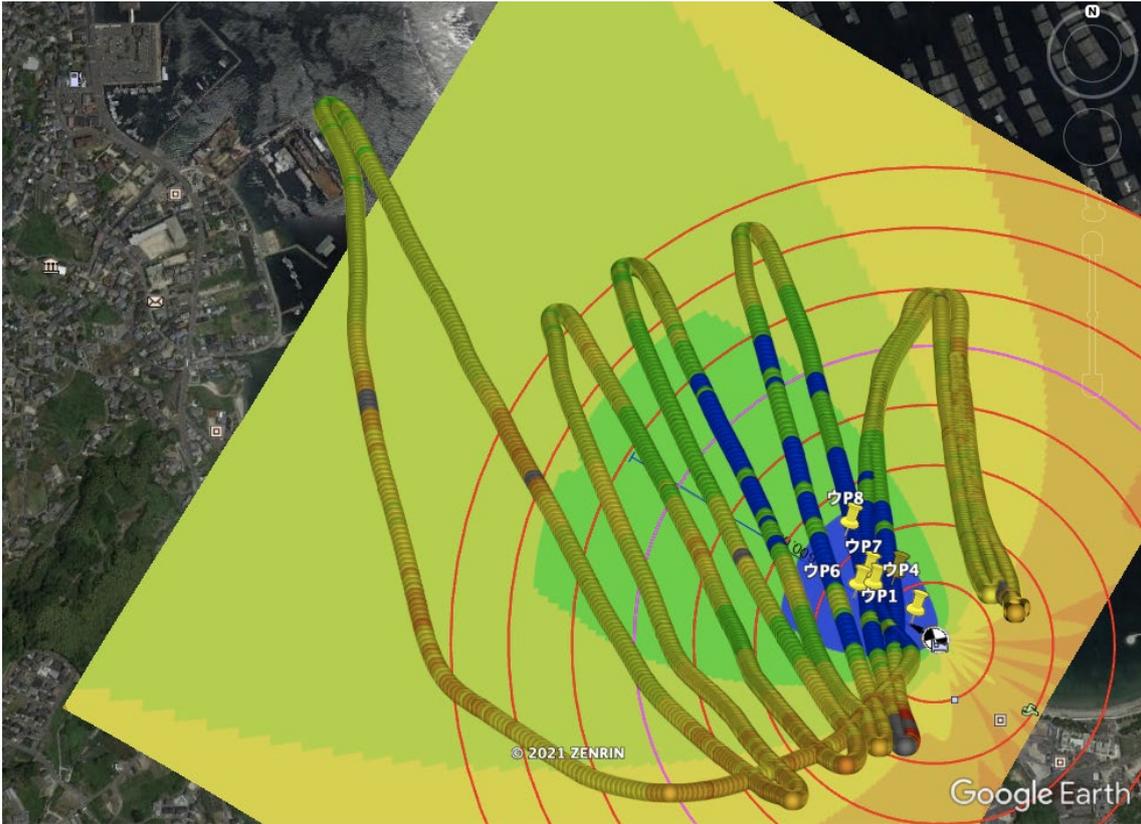


図 193 ビーム 1

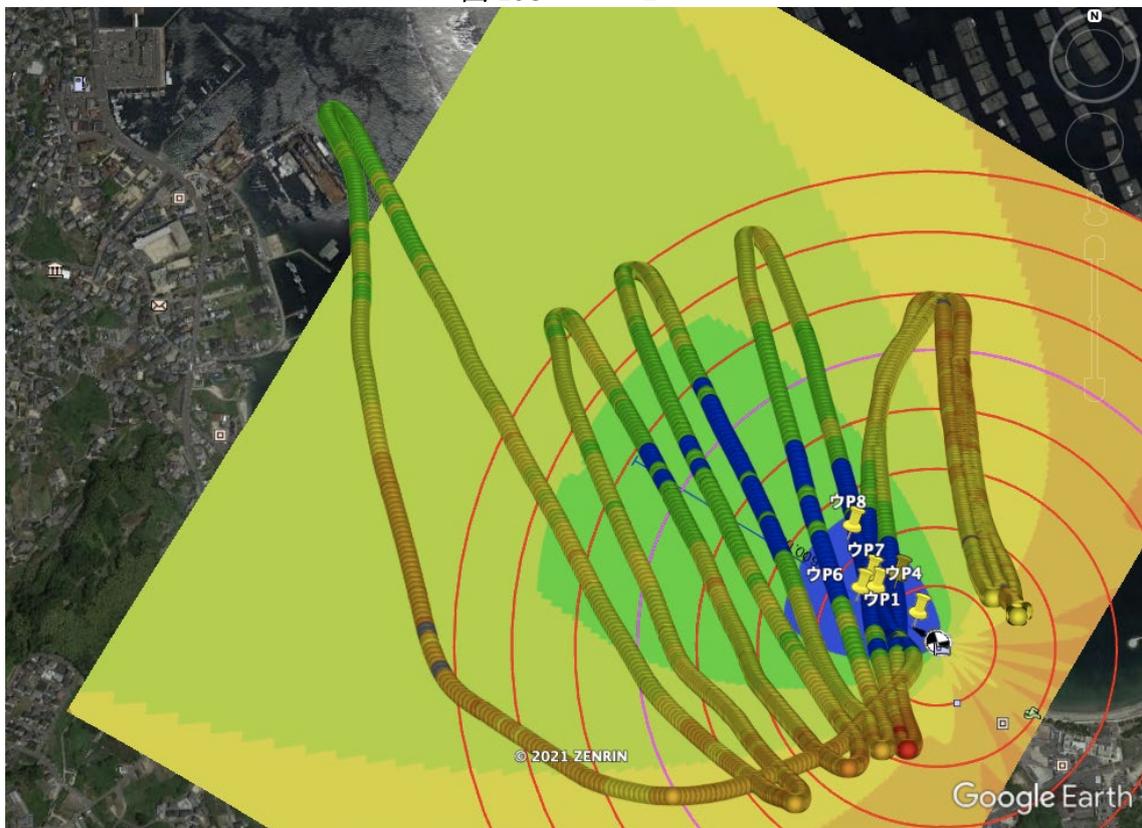


図 194 ビーム 2

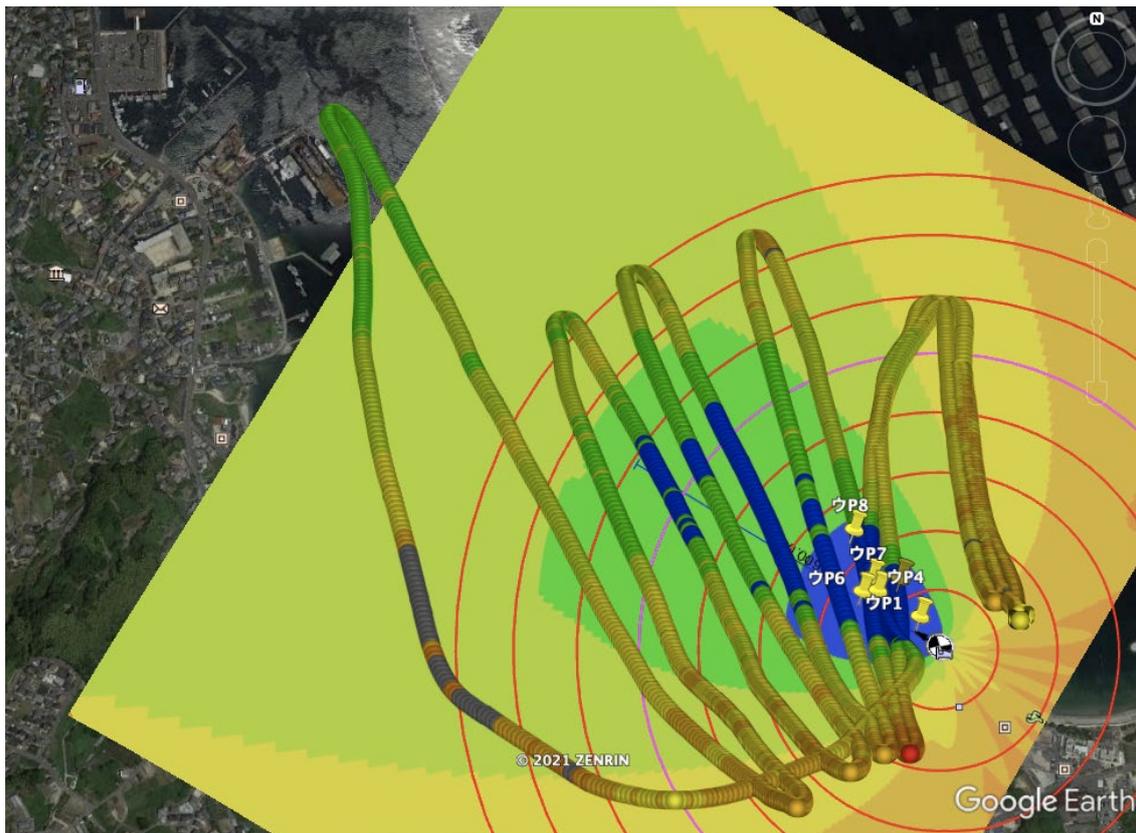


図 195 ビーム 3

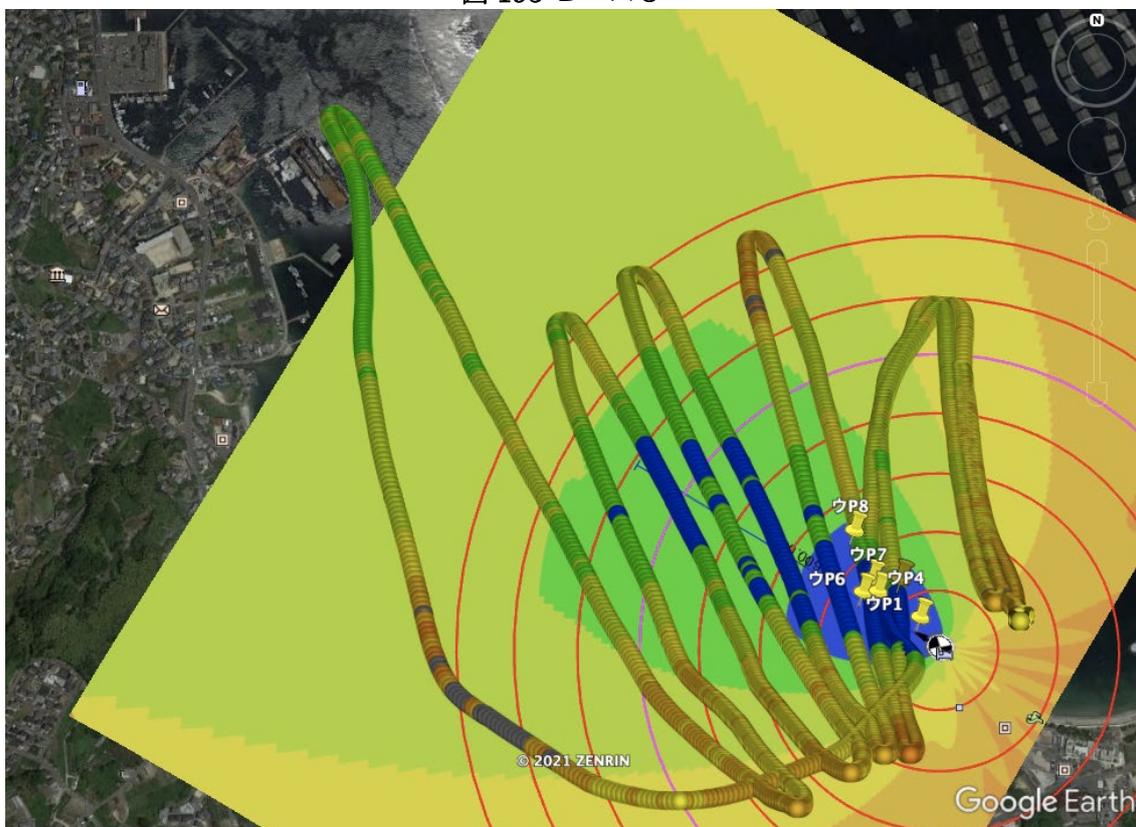


図 196 ビーム 4

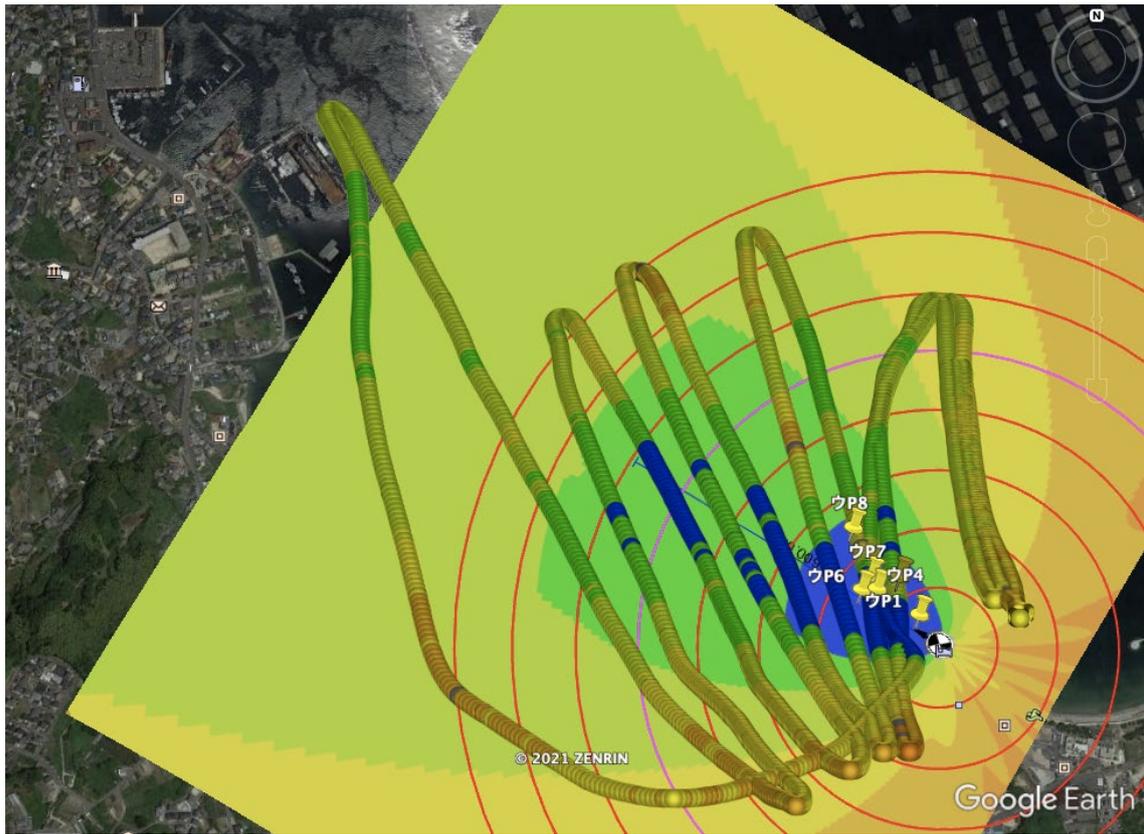


図 197 ビーム 5

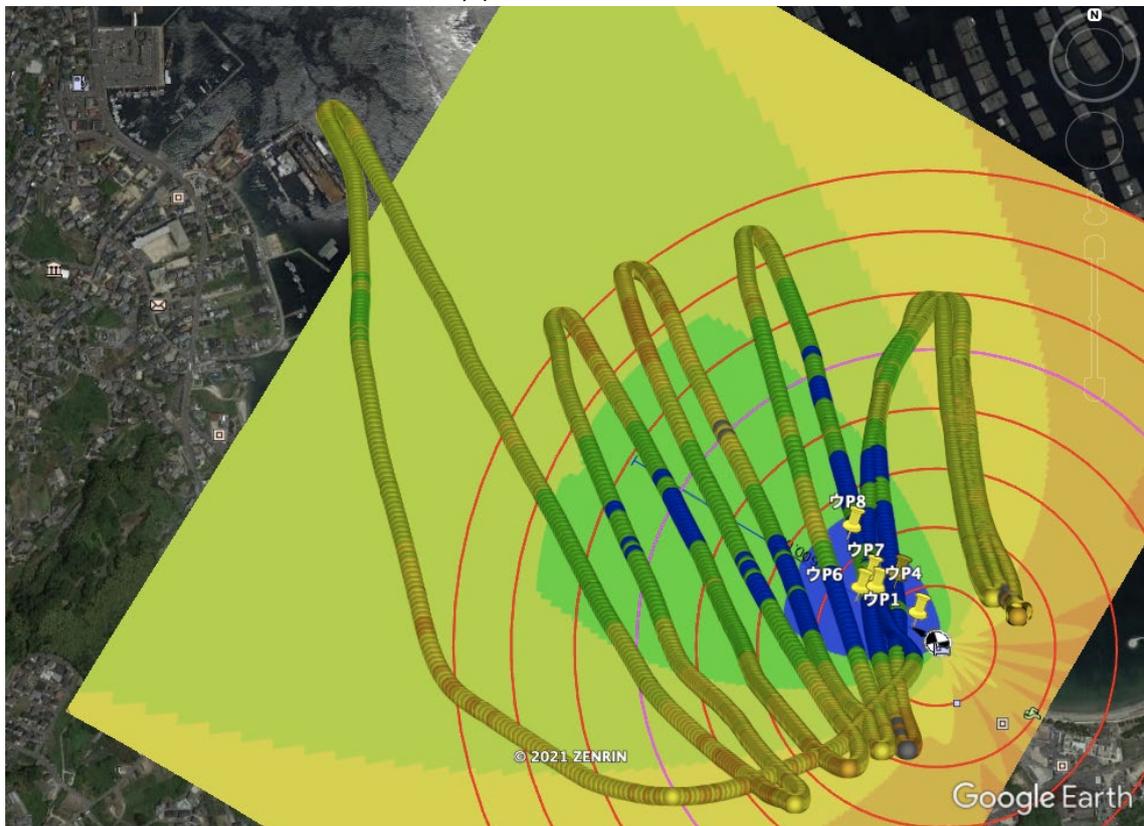


図 198 ビーム 6

上記のローカル5Gとキャリア5Gの受信電力のエリアマッピングから、強電界エリアを選択し、下図、下表の通り、ポイントを6か所選定した。  
スループットの計測結果を分析するにあたり、ローカル5Gの測定データを下表の通り、整理した。

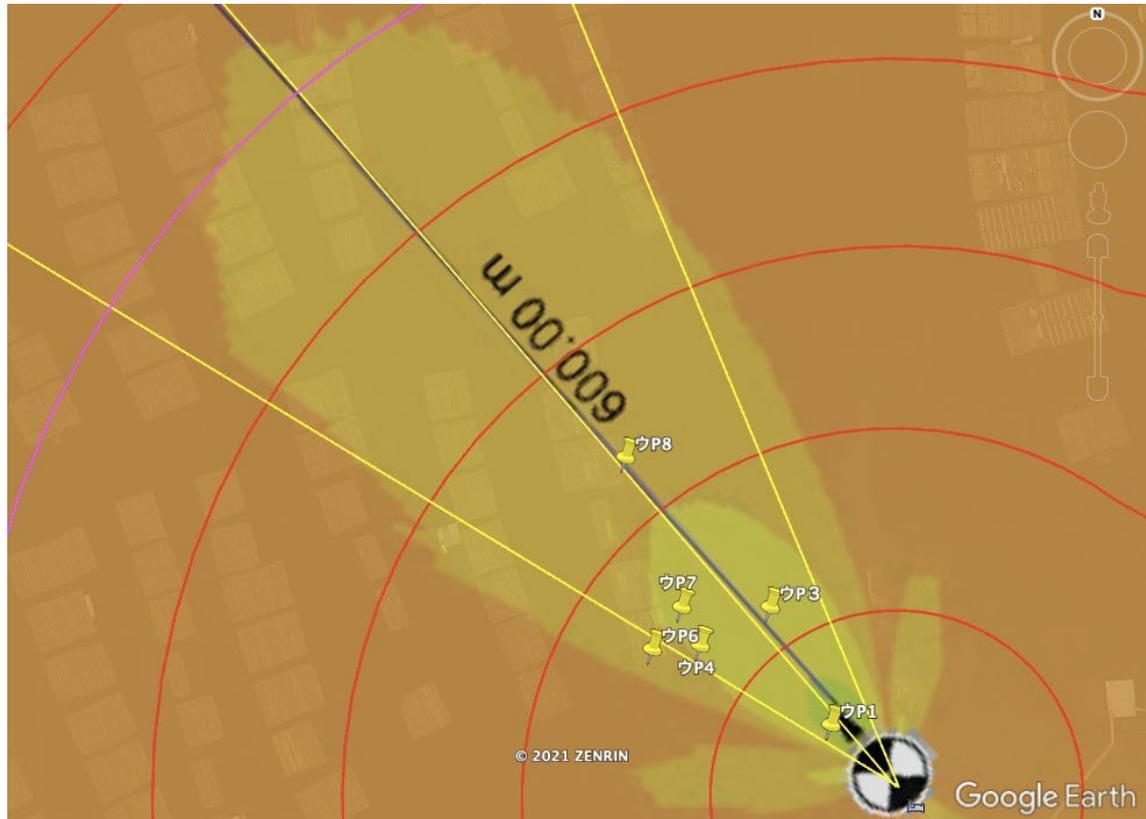


図 199 受信電力のエリアマッピング

ポイント番号	北緯	東経	基地局からの角度 (TN)	基地局との距離 (m)	基地局から見たチルト角度	測定回数 (回)	RSRP (dBm)	標準偏差
1	34° 13' 40"	132° 26' 57"	300	47	12.0	296	-102.4	2.55
4	34° 13' 41"	132° 26' 55"	300	128	4.5	450	-115.8	1.35
6	34° 13' 41"	132° 26' 54"	296	150	3.8	111	-112.1	0.78
3	34° 13' 42"	132° 26' 56"	321	114	5.0	117	-115.8	2.01
7	34° 13' 42"	132° 26' 54"	307	148	3.9	433	-115	1.44
8	34° 13' 44"	132° 26' 53"	319	226	2.5	436	-121.4	2.00

### 5.5.3 検証結果

シミュレーション結果と受信電力のマッピングは下図の通り。シミュレーションの結果と実測の結果がほぼ一致することを確認し、本実証項目におけるローカル5Gの強電界エリアを特定した。

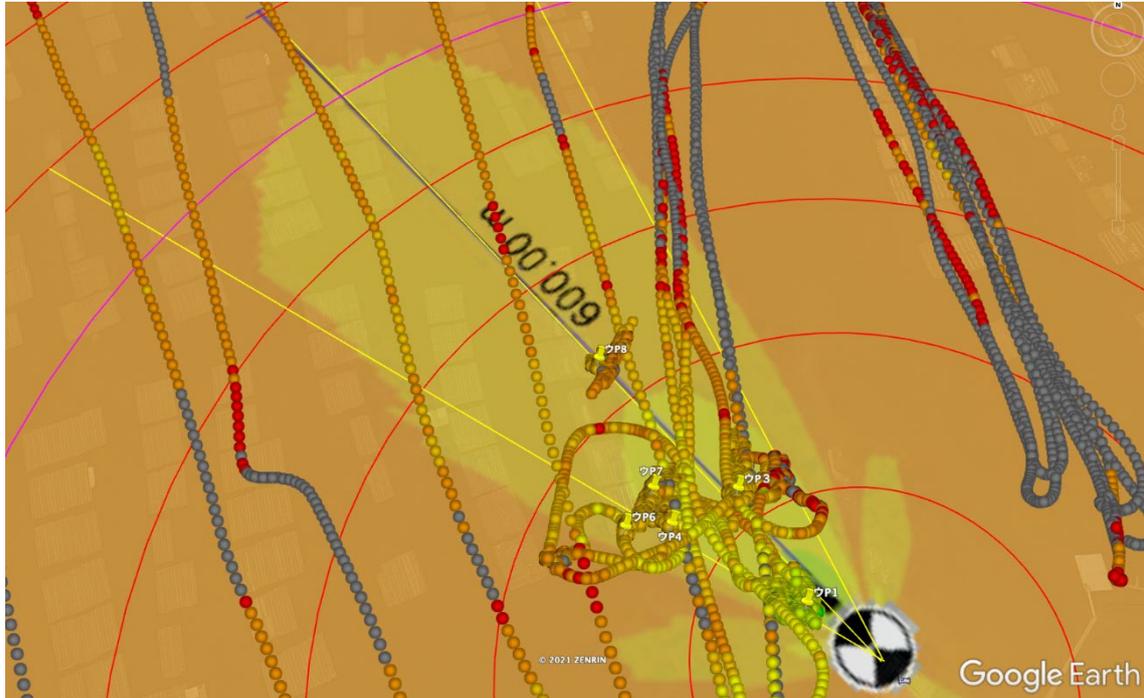


図 200 シミュレーションの結果と実測の結果

ローカル5Gとキャリア5Gの電波を、スペアナを利用し、確認。想定通りの周波数を使い通信をしていることを確認した。

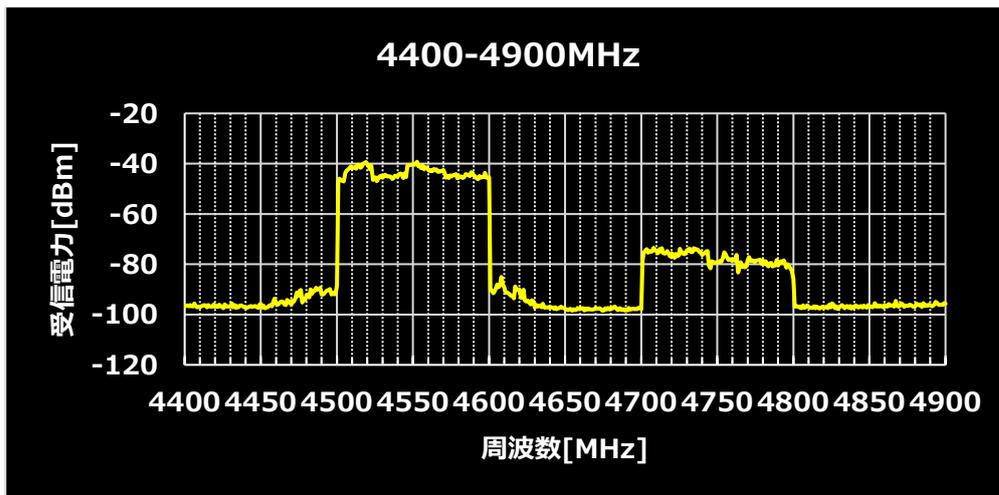


図 201 キャリア 5G の電波の様子

下図はキャリア5Gの電波発射を確認した結果である。

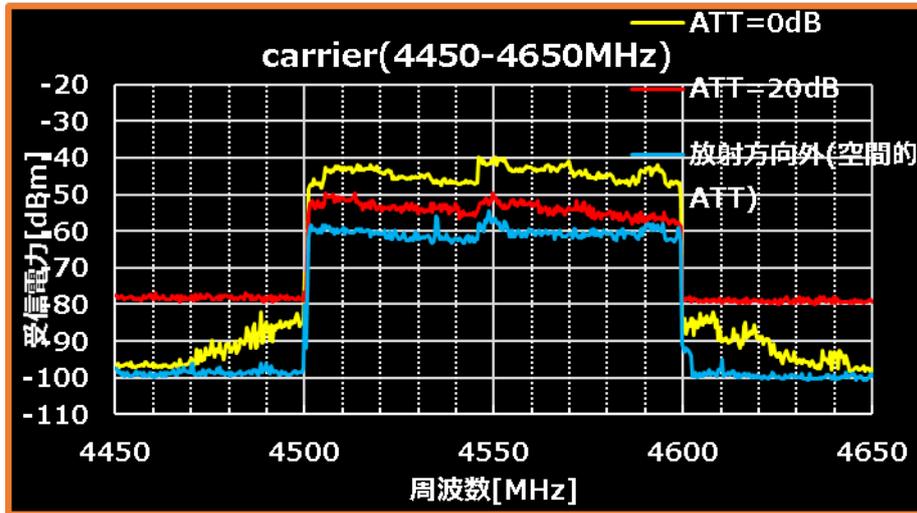


図 202 キャリア 5G の電波の様子

下記はローカル 5 G の電波発射状況を確認した結果である。

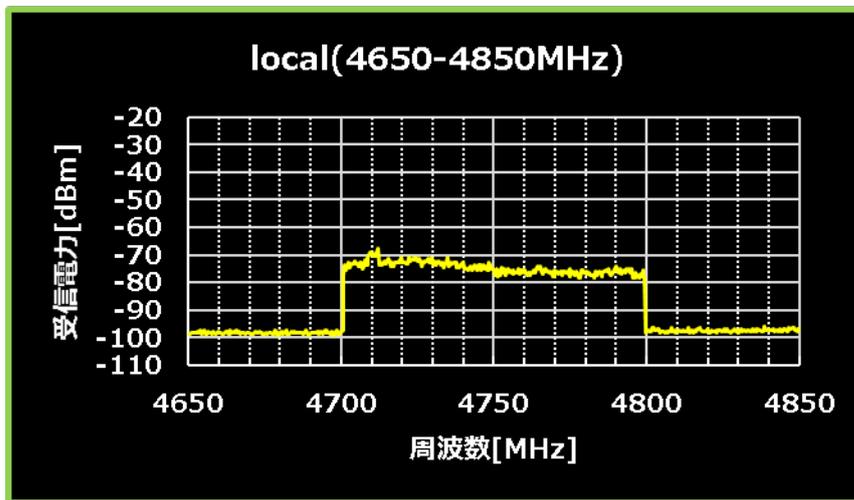


図 203 ローカル 5G の電波の様子

● ダウンロードの測定結果

下記はキャリア 5 G のみで通信した場合のダウンロードの測定結果とキャリア 5 G とローカル 5 G を同時に通信した場合のダウンロードの測定結果を比較。複数回の

データ測定において、その分布が比較の2つの場合においてほぼ一致する事が確認できた。

#### キャリア5G測定結果

項目	最小値	25%	50%	75%	95%
DL_キャリアのみ	96.40Mbps	217.25Mbps	255.58Mbps	293.91Mbps	349.05Mbps
DL_合同_キャリア	93.70Mbps	224.98Mbps	269.97Mbps	314.96Mbps	379.68Mbps

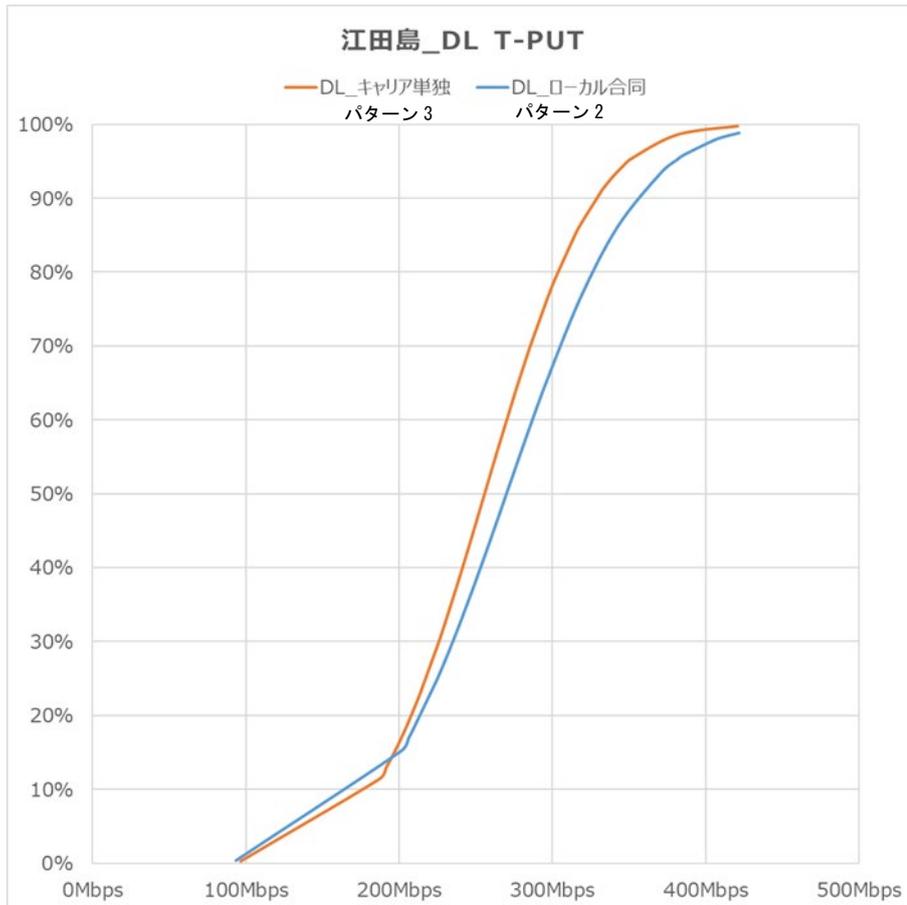


図 204 パターン3、パターン2のダウンロードの比較

下記はローカル5Gのみで通信した場合のダウンロードの測定結果と、キャリア5Gとローカル5Gを同時に通信した場合のダウンロードの測定結果を比較したものである。複数回のデータ測定において、その分布が比較の2つの場合においてほぼ一致する事が確認できた。

#### ローカル5G測定結果

項目	最小値	25%	50%	75%	95%
DL_ローカルのみ	28.00Mbps	59.86Mbps	95.64Mbps	131.41Mbps	182.89Mbps
DL_合同_ローカル	26.80Mbps	72.11Mbps	104.19Mbps	136.26Mbps	182.41Mbps

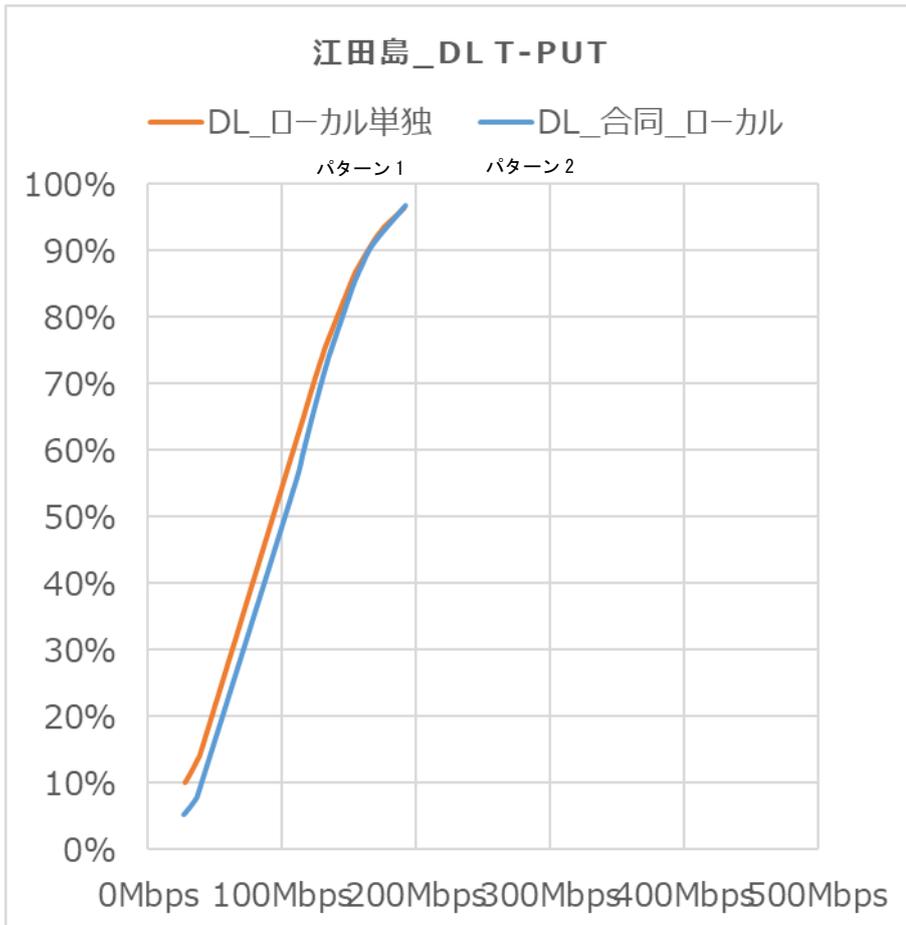


図 205 パターン1、パターン2のダウンロードの比較

- アップロードの測定結果  
 下記はキャリア5Gのみで通信した場合のアップロードの測定結果とキャリア5Gとローカル5Gを同時に通信した場合のダウンロードの測定結果を比較したものである。複数回のデータ測定において、その分布が比較の2つの場合においてほぼ一致する事が確認できた。

項目	最小値	25%	50%	75%	95%
UL_キャリアのみ	96.10Mbps	106.90Mbps	111.05Mbps	115.20Mbps	121.17Mbps
UL_合同_キャリア	98.60Mbps	109.52Mbps	114.27Mbps	119.02Mbps	125.85Mbps

キャリア5G測定結果

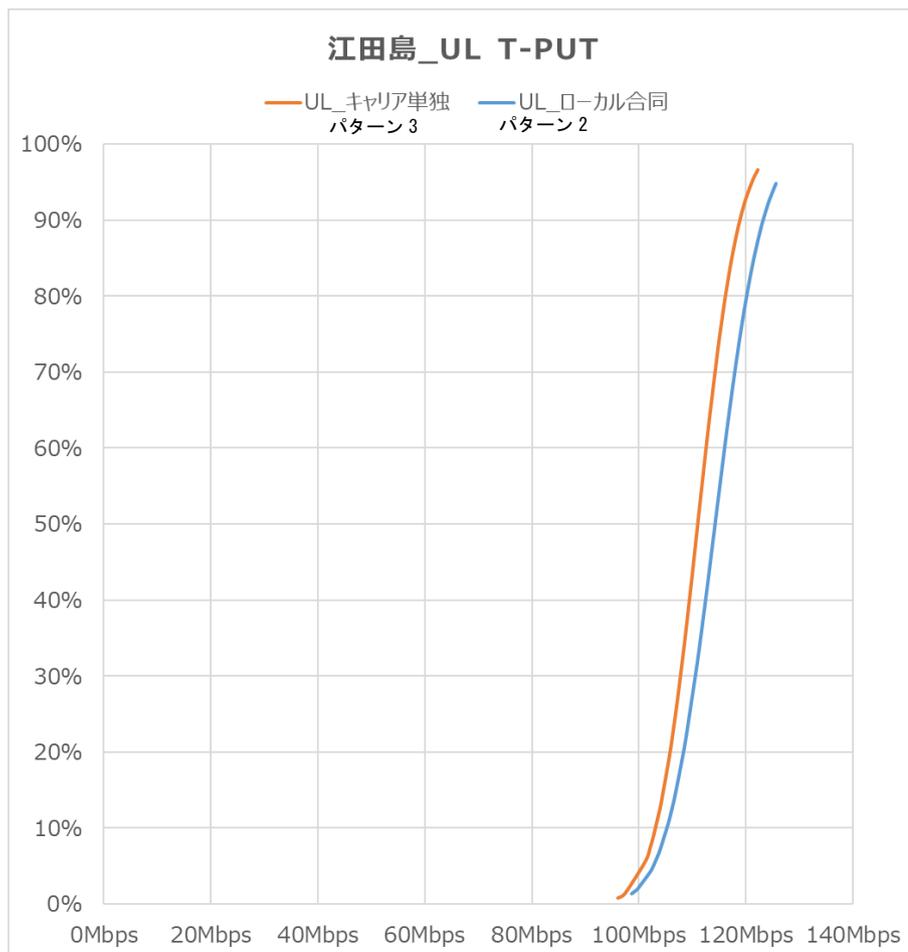


図 202 パターン3、パターン2のアップロードの比較

下記はローカル5Gのみで通信した場合のアップロードの測定結果とキャリア5Gとローカル5Gを同時に通信した場合のダウンロードの測定結果を比較したものである。複数回のデータ測定において、その分布が比較の2つの場合においてほぼ一致する事が確認できた。

項目	最小値	25%	50%	75%	95%
UL_ローカルのみ	92.60Mbps	163.44Mbps	184.57Mbps	205.70Mbps	236.10Mbps
UL_合同_ローカル	58.50Mbps	164.04Mbps	185.65Mbps	207.27Mbps	238.38Mbps

ローカル5G測定結果

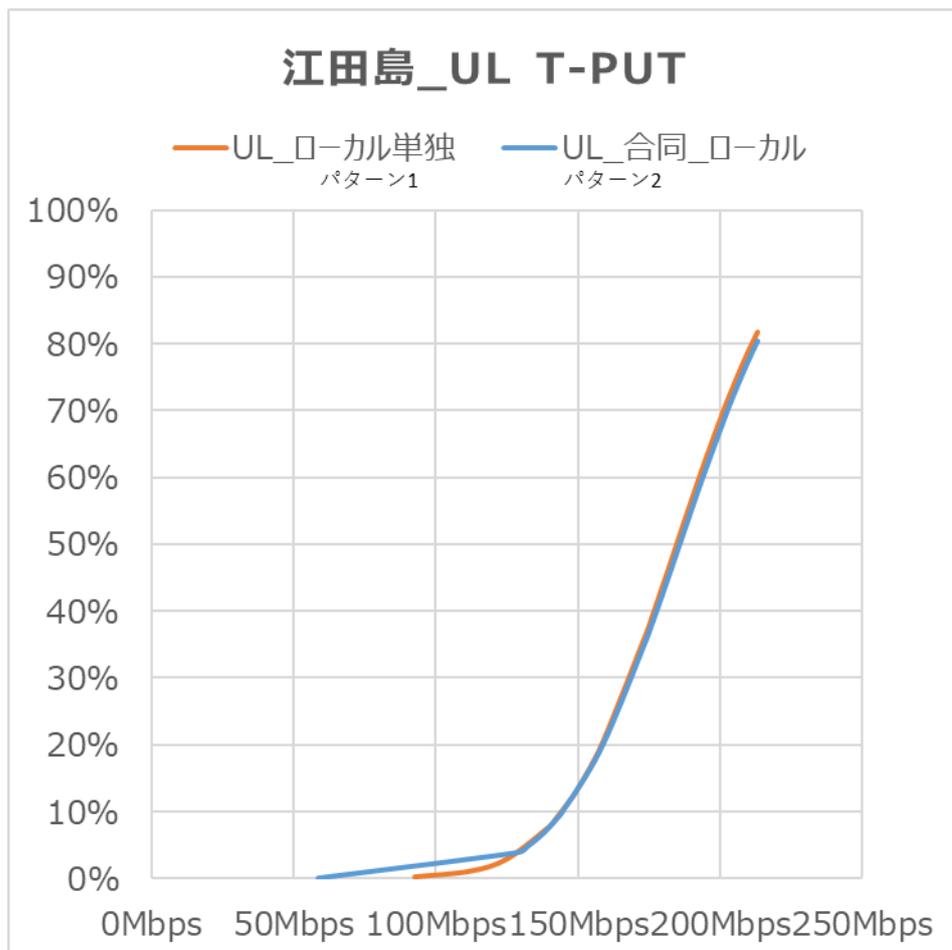


図 203 パターン1、パターン2のアップロードの比較

● 遅延 (RTT) の測定結果

下記はキャリア5Gのみで通信した場合の遅延の測定結果とキャリア5Gとローカル5Gを同時に通信した場合のダウンロードの測定結果を比較したものである。複数回のデータ測定において、その分布が比較の2つの場合においてほぼ一致する事が確認できた。

キャリア5G測定結果

項目	最小値	25%	50%	75%	95%
RTT_キャリアのみ	132.65ms	145.72ms	153.52ms	161.31ms	172.53ms
RTT_合同_キャリア	130.76ms	142.86ms	151.63ms	160.39ms	173.00ms

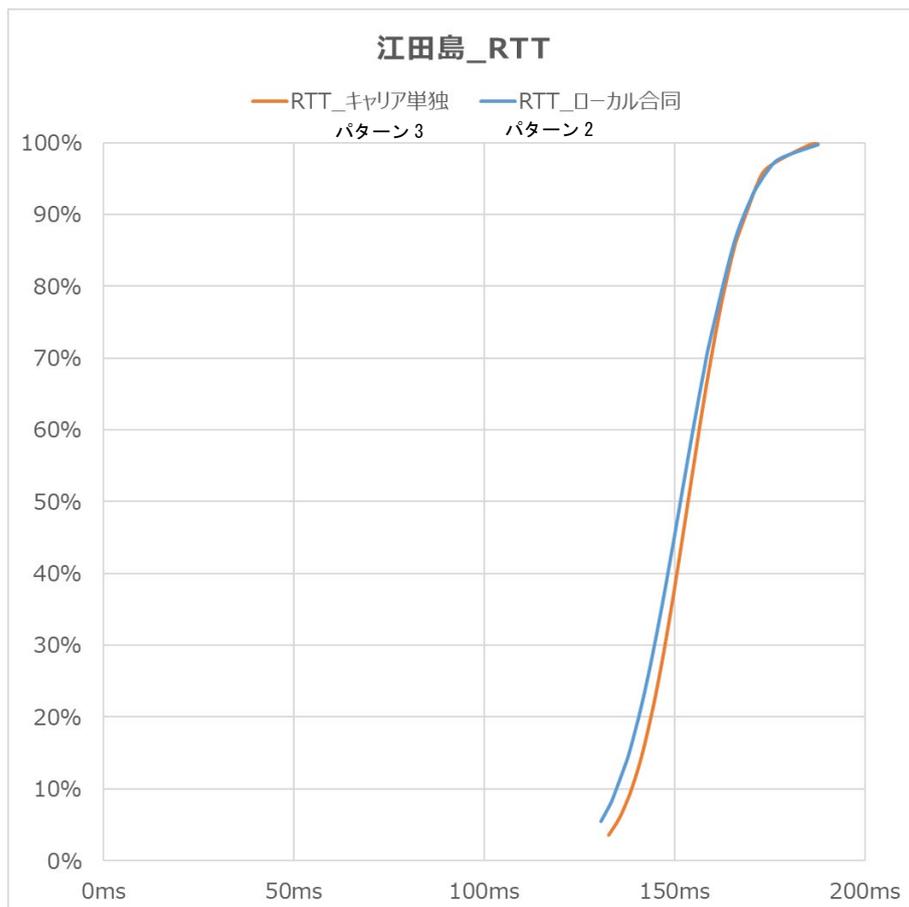


図 204 パターン3、パターン2のRTTの比較

下記はローカル5Gのみで通信した場合の遅延の測定結果とキャリア5Gとローカル5Gを同時に通信した場合のダウンロードの測定結果を比較したものである。複数回のデータ測定において、その分布が比較の2つの場合においてほぼ一致する事が確認できた。

ローカル5G測定結果

項目	最小値	25%	50%	75%	95%
RTT_ローカルのみ	23.00ms	26.32ms	28.13ms	29.94ms	32.54ms
RTT_合同_ローカル	26.00ms	27.16ms	28.38ms	29.60ms	31.36ms

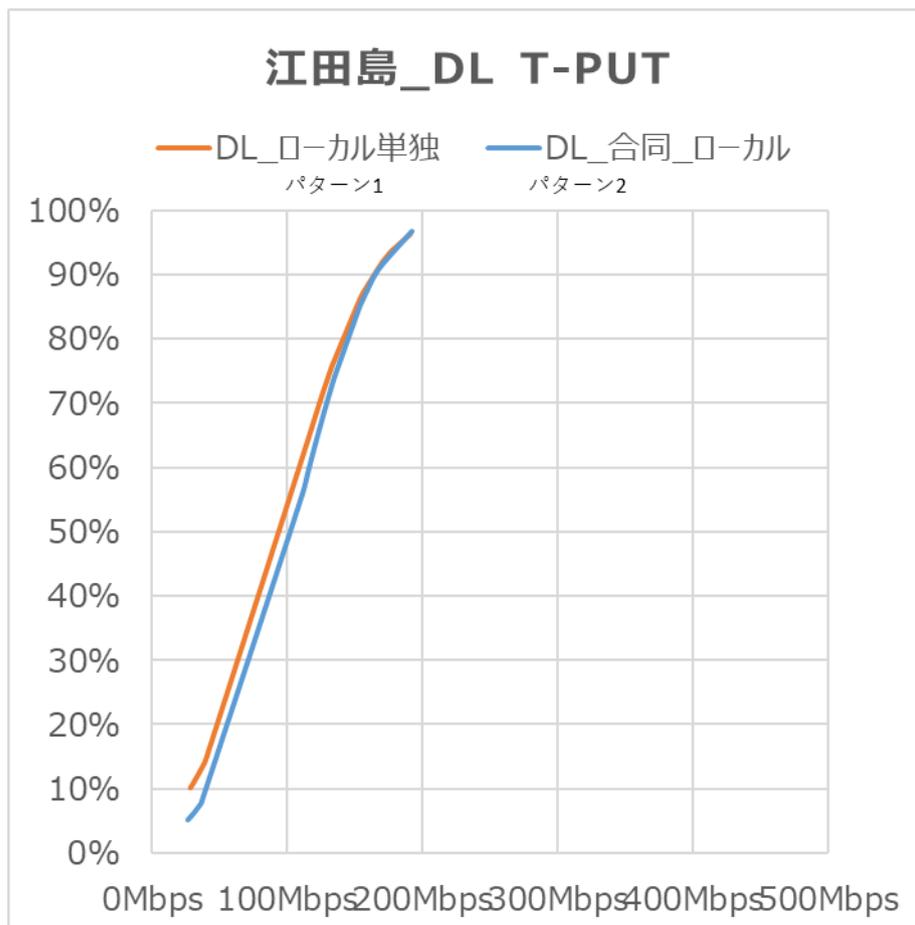


図 202 パターン 1、パターン 2 の RTT の比較

#### 5.5.4 自身で設定したテーマ・視点等に係る項目

測定の結果の分析においてキャリ 5 G、ローカル 5 G ともに、パターン 1~3 のスループット（上り、下り）、遅延（RTT）の結果においては差が認められず、今回利用の周波数においては、相互影響は認められなかった。

#### 5.5.5 検証結果を踏まえた考察（自身で設定したテーマ・視点への対応等）

ローカル 5 G 整備においては、現状キャリア 5 G が干渉調整対象となり、その干渉調整において、今後干渉調整を実施するにあたり、それを知見に基づき簡易化させる上で、ひとつの指標となるデータが取得、整理できたと考える。

#### 5.5.6 技術的課題の解決方策

本項では、ローカル 5 G の広い展開の為、設計、免許申請時に発生する干渉調整における

技術的根拠に基づく知見をためることを技術的な課題として設計した。下記の条件下において相互影響がなかったことの知見は干渉調整の要件を定めるにあたり、有効な知見を得られたと考える。

### 5.5.7 更なる技術的課題等

本項では、広く全国展開が想定されるキャリア 5 G とローカル 5 G が互いの性能に影響をさせることがないか確認を行い、下記の状況下で相互影響がないことを確認した。これにより、ローカル 5 G を広く展開させるにあたり、キャリア 5 G とローカル 5 G の干渉調整が簡易化されることが望ましい。ただし、一定の条件において実証を行ったため、さらなるパターンを考え、キャリア 5 G 提供者とローカル 5 G 提供者が互いに共通の知見を貯めていくことが重要であると考ええる。

そこで、さらに 5 G システム間で発生し得る干渉影響を、実測データを用いた机上検討により、これらのシステム間の共用条件の考察を行った。

#### 5.5.7.1 干渉影響検討の前提条件

検討対象である 4.7GHz ローカル 5 G バンドは、4600-4800MHz が屋内限定バンド、4800-4900MHz が屋外でも運用可能なバンドとなっている。一方、キャリア 5 G は、屋内外問わず 4500-4600MHz で運用されている。従って、4.7GHz 帯ローカル 5 G を屋外で利用する場合に想定される干渉発生パターンは、以下の 5 通りと考えられる。

ここでは、4.7GHz 帯ローカル 5 G を屋外利用することを前提に、以下の 5 通りの干渉パターンについて、実測データを踏まえて机上検討し、共用条件を考察する。

屋外ローカル 5 G とキャリア 5 G との干渉発生パターン（隣接周波数）

想定される干渉発生パターン①：屋外ローカル 5 G @4850MHz ⇔ 屋内キャリア 5 G @4550MHz

想定される干渉発生パターン②：屋外ローカル 5 G @4850MHz ⇔ 屋外キャリア 5 G @4550MHz

屋外ローカル 5 G と他のローカル 5 G との干渉発生パターン（隣接及び同一周波数）

想定される干渉発生パターン③：屋外ローカル 5 G @4850MHz ⇔ 屋内ローカル 5 G @4750MHz

想定される干渉発生パターン④：屋外ローカル 5 G @4850MHz ⇔ 屋内ローカル 5 G @4850MHz

想定される干渉発生パターン⑤：屋外ローカル 5 G @4850MHz ⇔ 屋外ローカル 5 G @4850MHz

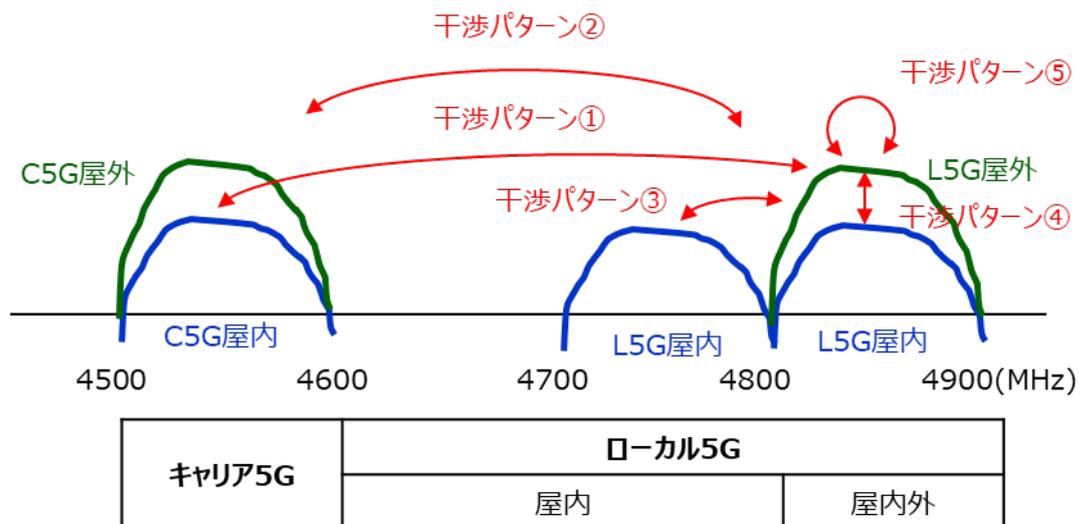


図 206 想定される干渉発生パターン

4. 7GHz 帯ローカル5Gシステムは TDD システムであるため、互いに同期モードで運用していれば、隣接周波数帯においてガードバンド無しで運用しても、干渉問題は生じない。しかし、TDD の特徴の 1 つである非同期運用を行う場合は、干渉問題が発生する可能性がある。そのため、情報通信審議会報告書 1では、完全な非同期ではなく、いくつかのスロットにおいてのみ同期モードとの送受信方向が逆転する準同期パターンを設定することで、干渉発生確率を低減し、非同期モード（準同期）での運用をしやすいように検討を行っている。当該報告書によれば、準同期においては、基地局間干渉は同期モード（下図パターン1）から準同期モード（下図パターン2）、移動局間干渉は準同期モード（下図パターン2）から同期モード（下図パターン1）にしか生じない。

ここでは、検討対象システムである屋外ローカル5Gが、非同期モードとして、より現実的な準同期モード（下図パターン2）で運用することを前提に共用検討を行う。前提条件と検討すべき干渉シナリオを以下に示す。

<sup>1</sup> 情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（2020年7月14日）第3.2章

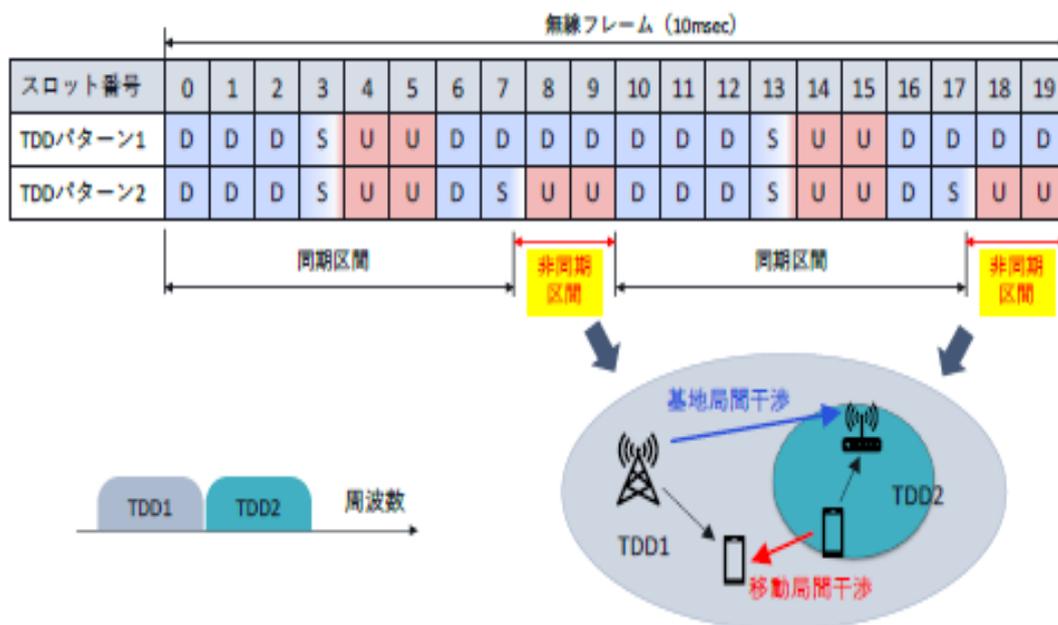


図 207 2.4.7GHz 帯における同期パターン

表 7.5 共用検討の前提条件

項目	検討対象システム (屋外ローカル 5 G)	他のシステム
運用周波数 (中心周波数) (MHz)	4850	キャリア 5 G : 4550 他のローカル 5 G : 4750 (屋内)、4850
送信帯域幅 (MHz)	100	100
運用場所	屋外	屋外及び屋内
同期パターン	準同期 (図 211 パターン 2)	同期 (図 211 パターン 1)

表 7.6 検討する干渉シナリオ

干渉発生 パターン#	干渉シナリオ		備考
	与干渉	被干渉	
①	C 5 G 基地局@4550MHz (屋内) 同期	L 5 G 基地局@4850MHz (屋外) 準同期	基地局間干渉
	L 5 G 移動局@4850MHz (屋外) 準同期	C 5 G 移動局@4550MHz (屋内) 同期	移動局間干渉
②	C 5 G 基地局@4550MHz (屋外) 同期	L 5 G 基地局@4850MHz (屋外) 準同期	基地局間干渉
	L 5 G 移動局@4850MHz (屋外) 準同期	C 5 G 移動局@4550MHz (屋外) 同期	移動局間干渉
③	L 5 G 基地局@4750MHz (屋内) 同期	L 5 G 基地局@4850MHz (屋外) 準同期	基地局間干渉
	L 5 G 移動局@4850MHz (屋外) 準同期	L 5 G 移動局@4750MHz (屋内) 同期	移動局間干渉
④	L 5 G 基地局@4850MHz (屋内) 同期	L 5 G 基地局@4850MHz (屋外) 準同期	基地局間干渉
	L 5 G 移動局@4850MHz (屋外) 準同期	L 5 G 移動局@4850MHz (屋内) 同期	基地局間干渉
⑤	L 5 G 基地局@4850MHz (屋外) 同期	L 5 G 基地局@4850MHz (屋外) 準同期	基地局間干渉
	L 5 G 移動局@4850MHz (屋外) 準同期	L 5 G 移動局@4850MHz (屋外) 同期	基地局間干渉

### 5.5.7.2 共用検討手法

共用検討においては、情報通信審議会報告書 2と同様に、基地局間の干渉シナリオについては1対1対向モデル、移動間の干渉シナリオについては1対1対向モデル、及び、モンテカルロシミュレーションによる確率計算を実施する。以下に各手法における設定を示す。

表 7 7 対 1 対向モデルの設定

項目	基地局—基地局間干渉	移動局—移動局間干渉
電波伝搬式	自由空間伝搬	
検討モデル	正対モデル	
水平離隔距離	3m	1m
考慮する損失	建物侵入損：16.2dB	建物侵入損：16.2dB 人体吸収損：8dB

表 7 8 確率計算モデルの設定

項目	パラメータ
計算ソフトウェア	SEAMCAT 5.3.0
試行回数	2万回
検討エリア半径	100m
保護エリア半径	-
移動局台数	可変値とした
移動局高度	1.5m

<sup>2</sup> 情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告（2020年7月14日）第4.2章

干渉確率	3%以下（累積 97%値で許容干渉レベル以下）
伝搬モデル	自由空間伝搬
考慮する損失	建物侵入損 : 16.2dB 人体吸収損 : 8dB

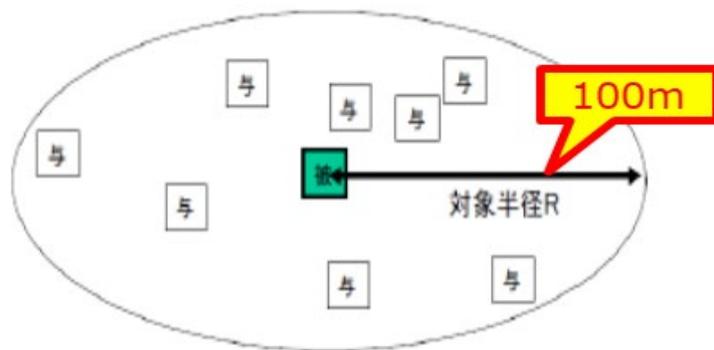


図 208 モンテカルロシミュレーションの計算モデル

### 5.5.7.3 屋外ローカル5Gとキャリア5Gとの共用検討（干渉パターン①&②）

検討対象である屋外ローカル5Gの運用バンドは4800-4900MHzとなる。一方、キャリア5Gは、屋内外問わず4500-4600MHzで運用されている。従って、屋外ローカル5Gとキャリア5Gとの間には、200MHzのガードバンドが存在することになる。

一般的には200MHzの離調があるシステム同士が干渉問題を発生することは考えられないため、干渉パターン①&②については、大きな問題が発生することは想定されないと言える。

### 5.5.7.4 屋外ローカル5Gと他のローカル5Gとの共用検討（干渉パターン③～⑤）

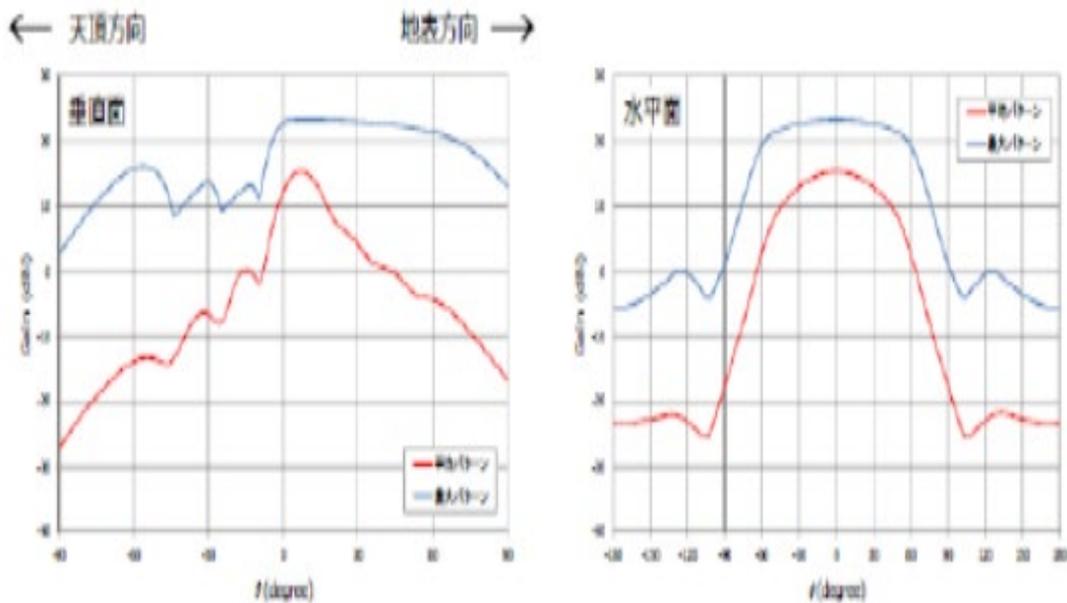
干渉パターン③～⑤の共用検討に用いたパラメータを以下に示す。

表79 基地局の共用検討パラメータ等

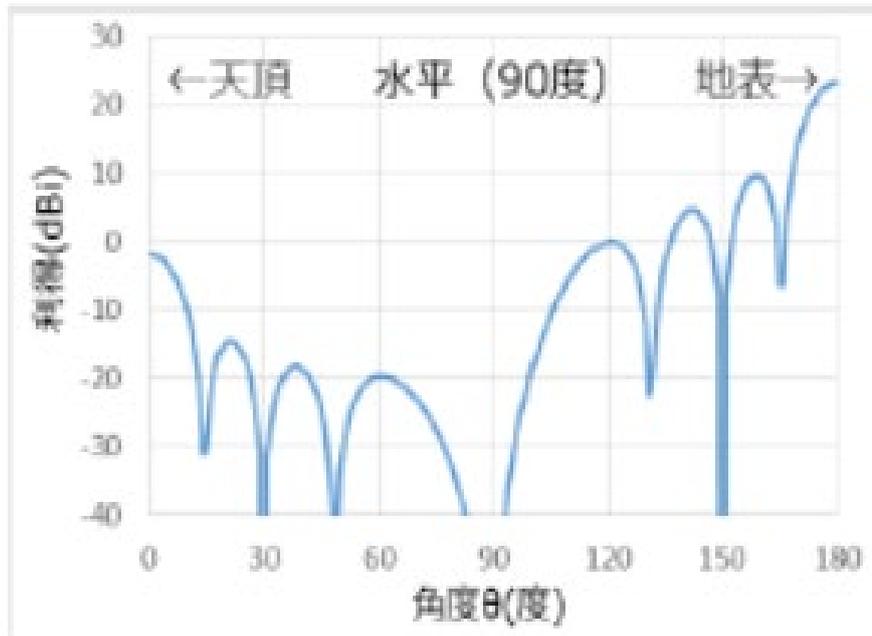
非公開情報を含むため表79を削除

非公開情報を含むため図209を削除

図209 検討対象ローカル5G基地局の空中線指向特性



(a) 屋外スモールセル基地局の空中線指向特性



**(b) 屋内基地局の空中線指向性特性 (チルト 90 度 (下向き))**

図 210 他ローカル 5G 基地局の空中線指向性特性  
非公開情報を含むため図 210 を削除

非公開情報を含むため表 80 を削除

表 80 移動局の共用検討パラメータ等<sup>3</sup>

<sup>3</sup> 情報通信審議会情報通信技術分科会新世代モバイル通信システム委員会報告 (2020 年 7 月 14 日) 第 4.4.2 章 (P128-133)

表 8 0

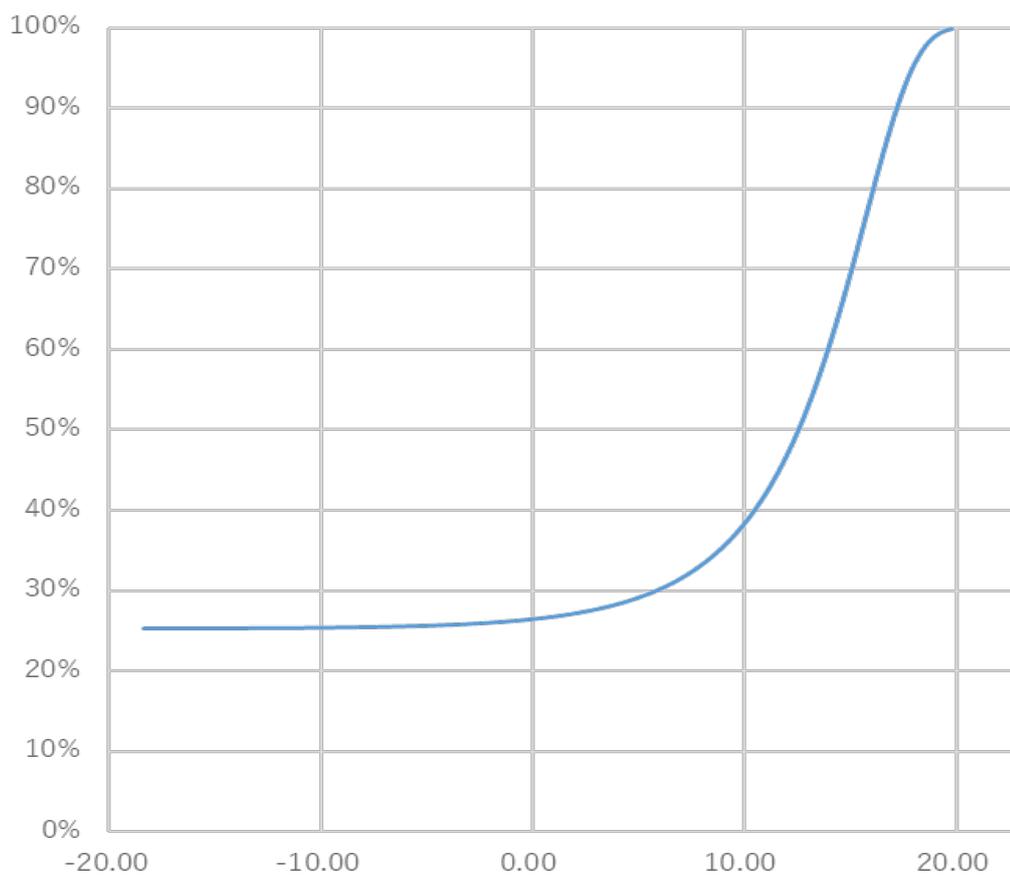


図 211 共用検討に用いた移動局送信電力累積分布<sup>6</sup>

干渉パターン③～⑤の干渉シナリオは、以下の通り。

<sup>6</sup> 江田島海上フィールドにおいて取得した実測値

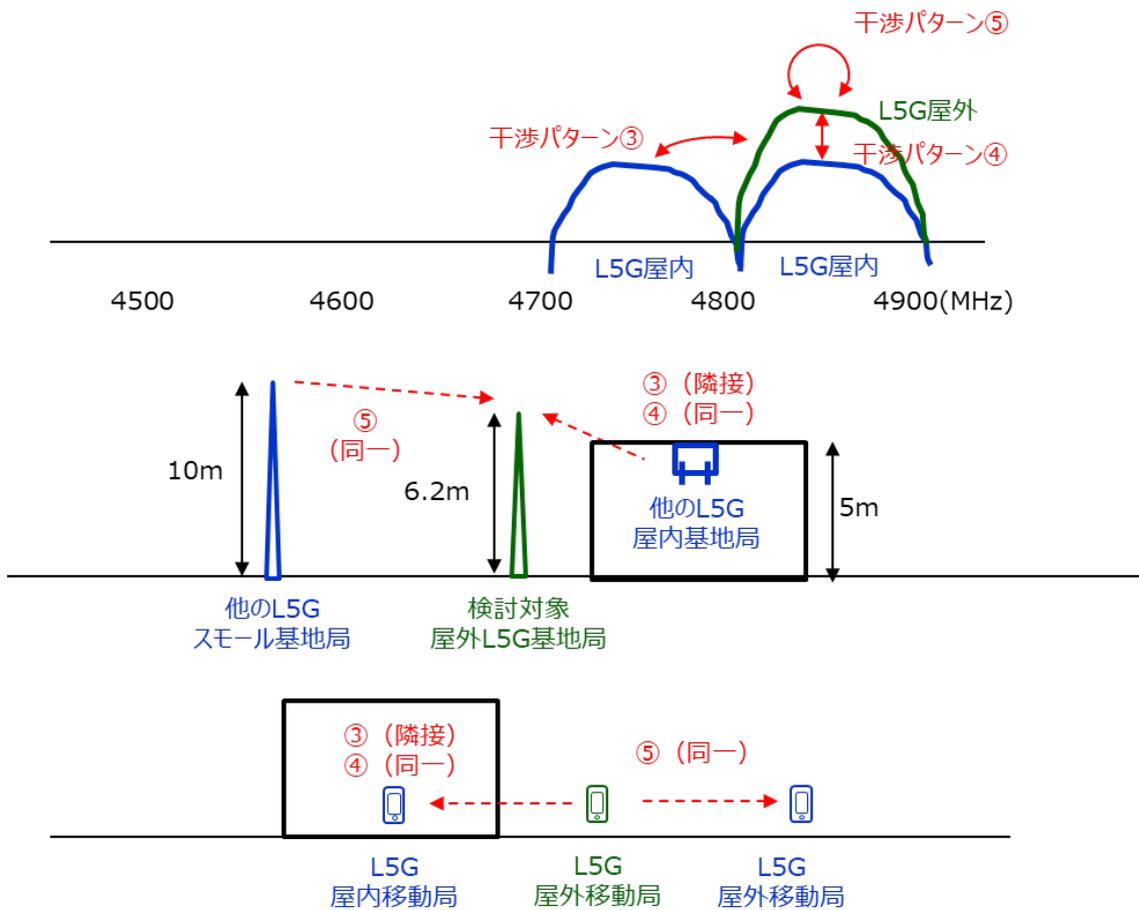


図 212 干渉パターン③～⑤における干渉シナリオ  
(青：同期、緑：準同期)

基地局—基地局間干渉の場合

基地局—基地局間干渉の場合の1対1対向モデルによる検討結果を表81に示す。検討結果からは、以下のことがわかる。

- 準同期モード屋外ローカル5G基地局が、隣接帯域において屋内で運用中の他の同期モードローカル5G基地局と共存する場合(干渉シナリオ③)、1対1対向モデル計算結果からは、大きな問題は生じないと考えられる。
- 準同期モード屋外ローカル5G基地局が、同一帯域において屋内で運用中の他の同期モードローカル5G基地局と共存する場合(干渉シナリオ④)、離隔距離約70mを確保する必要がある。準同期モード屋外ローカル5G基地局を運用する場所の周囲70m以内の建物内で、他のローカル5G基地局が同期モードで運用中かどうかを事前に確認することが望ましい。
- 準同期モード屋外ローカル5G基地局が、同一帯域において屋外で運用中の他の同期モードローカル5G基地局と共存する場合(干渉シナリオ⑤)、干渉影響が大きすぎるため、近隣で共存することは困難であると考えられる。同一帯域において、他の同期モードローカル5G基地局と屋外で共存するには、互いに見通し外となるよ

うな十分な離隔距離が確保できる環境で運用することが望ましい。

表 8 1 基地局—基地局間干渉の場合の 1 対 1 対向モデルにおける検討結果

	与干渉	帯域内干渉			帯域外干渉		
	ANT	与干渉量	所要改善量	所要離隔距	与干渉量	所要改善量	所要離隔距
	パターン	[dBm/MHz]	[dB]	離[m]	[dBm]	[dB]	離[m]
③	-	-119.4	-9.4	-	-71.7	-24.7	--
④	-	-89.8	20.2	69.0	-71.8	-24.8	-
⑤	平均	-55.0	55.0	31,889.0	-37.0	10.1	180.0
	最大	-43.8	66.2	56,285.0	-25.8	21.2	317.0

移動局—移動局干渉の場合

移動局—移動局間干渉の場合の 1 対 1 対向モデルによる検討結果を表 82 に、確率計算モデルによる検討結果を表 83 に示す。検討結果からは、以下のことがわかる。

- ◇ 準同期モード屋外ローカル 5 G 移動局が、隣接帯域において屋内で運用中の他の同期モードローカル 5 G 移動局と共存する場合（干渉シナリオ③）、確率計算結果からは、大きな問題は生じないと考えられる。しかし、1 対 1 対向モデルでは、より送信 EIRP の大きい端末 X の場合は、所要離隔距離 5.4m という計算結果となっていることから、事前に、周囲で他のローカル 5 G 移動局が運用していないことを確認した上で、運用することが適切である。
- ◇ 準同期モード屋外ローカル 5 G 移動局が、同一帯域で運用中の他の同期モードローカル 5 G 移動局と共存する場合（干渉シナリオ④&⑤）、他の移動局の存在場所に関わらず、近隣で共存することは困難であると考えられる。他の同期モードローカル 5 G 移動局と共存するには、互いに見通し外となるような十分な離隔距離が確保できる環境で運用することが望ましい。

表 8 2 移動局—移動局間干渉の場合の 1 対 1 対向モデルにおける検討結果

	与干渉	帯域内干渉			帯域外干渉		
	移動局	与干渉量	所要改善量	所要離隔距	与干渉量	所要改善量	所要離隔距
	種類	[dBm/MHz]	[dB]	離[m]	[dBm]	[dB]	離[m]

③	端末 X	-96.4	14.6	5.4	-43.4	-3.4	-
	端末 Y	-119.4	-8.4	-	-66.4	-26.4	-
④	端末 X	-63.4	47.6	241.0	-43.4	-3.4	-
	端末 Y	-86.4	24.6	17.1	-66.4	-26.4	-
⑤	端末 X	-47.2	63.8	1,556.0	-27.2	12.9	4.4
	端末 Y	-70.2	40.8	110.2	-50.2	-10.2	-

表 8 3 移動局—移動局間干渉の場合の確率計算モデルにおける検討結果

	与干渉移動局 種類	移動局 1 台の時の所要改善量 (97%値)	所要改善量が 0 になる移動局台数
③	端末 X	-19.8	75
	端末 Y	-42.5	13,000
④	端末 X	13.5	1
	端末 Y	-9.4	9
⑤	端末 X	29.8	1
	端末 Y	6.7	1

#### 5.5.7.5 共用検討まとめ

検討対象である屋外ローカル 5 G が準同期モードで運用する場合、他の 5 G システムとの共用条件は以下のようにまとめられる。

- ✧ キャリア 5 G とはガードバンドが 200MHz あるため、共存のための方策を事前検討する必要は無いと考えられる。
- ✧ 他のローカル 5 G に関しては、他のローカル 5 G の運用状況に応じて以下の共用条件となる。
- ✧ 他のローカル 5 G が隣接帯域において屋内で運用中の場合（干渉シナリオ③）は、基地局間干渉で自らが干渉影響を被ることはないと考えられるが、移動局間干渉で、

自らが送信 EIRP の大きい移動局で運用する場合は、他のローカル 5 G 移動局へ影響を与える可能性がある。従って、EIRP の小さい移動局で運用するか、事前に周囲で他のローカル 5 G 移動局が運用していないことを確認した上で、運用することが適切である。

- ◇ 他のローカル 5 G 基地局が、同一帯域において運用中の場合、他のローカル 5 G の運用状況に関わらず、近隣で共存することは干渉量が大きくなりすぎて困難である。従って他の同期モードのローカル 5 G 移動局と同一帯域で共存するには、互いに見通し外となるような十分な離隔距離が確保できる環境で運用することが望ましい。

## 5.6 まとめ

本実証場所では、カキ筏が陸上より約 1.5Km 以内の場所に設置されている漁場で、基地局、アンテナ設置個所から 500m 以内の場所において、水中環境の可視化を目的とした水中ドローンの活用を目的としたローカル 5 G の活用を、漁業、漁場におけるユースケースと設定してローカル 5 G 設計、整備に関係する技術実証を実施した。また、漁場における特異点として、海面反射(マルチパス・フェージング)による影響が考えられる為、その影響の調査、検証を実施した。さらに、ローカル 5 G の普及においては、キャリア 5 G と同一エリア内で共存することが想定され、特に今後ローカル 5 G に割り当てられる 4.7GHz 帯 (4.6-4.9GHz 帯) と近接する周波数帯 (4.5 GHz 帯) のキャリア 5 G の干渉影響が考えられる為、ローカル 5 G のキャリア 5 G への与被干渉による影響を測定、考察を行った。

上記を実証するにあたり、下記の 3 点の実証を実施し、実証結果を得た。

### ユースケースに基づくローカル 5 G の性能評価等 (5.3)

ローカル 5 G エリアでの性能測定を行い、本ユースケースがローカル 5 G に求める性能を満たすことができるか、基地局からの距離の影響を測定、結果の考察を行った。また漁場における特異点として、海面反射の影響の有無を確認するにあたり、同じポイントで、異なる潮位のタイミングで通信品質、受信電力を確認し、その比較を実施した。

取得したデータ

- ・通信品質 (スループット)
- ・受信電力 (RSRP、SIR)
- ・伝送遅延時間

実証結果

アンテナから 500m と設定したサービスエリアにおいて、アンテナパターンに基づき、下記の通信品質を満たす通信ができることを実証できた。また、海面反射の影響の有無を確認するにあたり、同じポイントで、異なる潮位のタイミングで通信品質、受信電力を確認し、その比較した結果として、約 5dBm の差を確認した。この結果は海面反射の影響と特定することは出来なかったが、今後漁場においてエリア設計を実施する際にはこのマージンを考慮して設計することが必要である知見を得た。

表 8 4 ユースケースに基づく性能要件

性能要件の指標	要件の根拠	性能値
---------	-------	-----

受信電力 (RSSI)		電波法審査基準 (総務省)	-84.6dBm カバーエリア -91.0dBm 干渉調整エリア
スループット	上り	水中ドローンからの映像信号 (FHD (H.264) 30FPS)	6Mbps～12Mbps
	下り	水中ドローンの遠隔操作の信号	10Kbps～50Kbps
遅延		水中ドローンが求める遅延の指標	100ms 未満

#### ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等 (5.4)

シミュレーションの結果、及び(5.3)で実施の測定結果に基づき、海上におけるエリア構築に対する考察を行い、設計手法における課題、留意点の洗い出しを行った。

取得したデータ

- ・総務省より提示のエリア算出に基づく業務区域、カバーエリア、干渉調整エリアのシミュレート
- ・基地局、アンテナパターンに基づく受信電力のシミュレート
- ・(5.3)で測定の受信電力と上記シミュレーションの結果の比較データ

実証結果

総務省より提示のエリア算出に基づく業務区域、カバーエリア、干渉エリアの端点の測定において、実際の測定値と比較し、おおむね設計値と近似する結果となることを明らかにした。また、基地局、アンテナパターンに基づく市販のツールによるシミュレーションの結果は、実測の値にほぼ一致することが分かり、漁場におけるローカル5Gのエリア設計手法においても、有効であることを確認した。ただし、受信電力の実測において、その実測結果にゆらぎがあることを確認した。この要因を明確に特定することはできていないが、漁場においてローカル5Gのエリア設計をするにあたり、このマージンが発生することを考慮する必要がある知見をえた。

#### その他ローカル5Gに関する技術実証 (5.5)

ローカル5Gとキャリア5Gの共存環境における与被干渉による影響を測定、考察を行い、ローカル5Gとキャリア5Gの共存環境における無線設計手法における課題、留意点の洗い出しを行った。

取得したデータ

- ・受信電力を面測定した結果のマッピング
- ・ローカル5Gとキャリア5Gをそれぞれの通信状態、非通信状態のパターンにおけるスループット

実証結果

本実証の検証環境、システムにおいては、ローカル5G及びキャリア5Gが5m程度の距離での整備においても互いの通信に影響を及ぼさない事を確認した。

これら実証結果を受け、下記の知見を得るに至った。

漁場におけるローカル5Gの整備においては、海面反射かその他の影響により、海上での利

用で受信電力にゆらぎが発生するため、そのゆらぎをマージンとしてエリア設計に含める必要がある。ローカル5G、キャリア5Gにおいては、今回のシステム諸元において互いの通信に影響を与える事が無いため、5m程度の距離での整備でも問題ない。

なお、更なる技術的な課題として下記を整理した。

漁場、海上における受信電力のゆらぎが何の条件で発生することになるか確認することが、今後漁場、海上におけるローカル5Gの活用において有用な知見となると考える。

## 6. 実装及び横展開に関する検討

### 6.1 前提条件



自治体および各生産者にて、自社の養殖区画におけるローカル5Gのエリア化について、課題解決システムの費用対効果を基に総合的に検討した。

本実証で使用した機材は、ローカル5G基地局の機材・ソフトウェア一式（以下ローカル5G基地局機材と記載する）、水中ドローンについてはQYSEA社のFIFISH V6 Plus（以下FIFISHと略す）が1台、BlueRobotics社のBlueROV2が2台である。実証終了後にこれらをどう活用するか、水中ドローン3台それぞれについて現状での活用予定主体は以下の3主体となる。

1. FIFISH: NTTドコモ社がメーカーであるQYSEA社\*1と提携し、ソリューションパッケージの開発に活用
2. BlueROV2: NTTドコモ社が今回実証のやり取りで交渉を進めた広島県水産海洋技術センター\*2にて活用する予定
3. BlueROV2: ローカル5G基地局機材一式と併せて、レイヤーズ・コンサルティング社が従来新規事業関連で協業体制にある岡山県和気町\*3の総務部まち経営課に譲渡予定。一方、現コンソーシアムの東京大学での継続研究としての利用も考えられる。今回の実証場所である能美ロッジを2021年4月以降も2021年内いっぱい目途に継続使用できることを江田島市と調整しており、本最終報告書でまとめているように本実証で種々検証したのもをもっと広範な方たちで継続し、実証システムを現地でのローカル5G研究に活用することも検討している。

各主体の意向は、以下に個別に記載する。

1. QYSEA社: NTTドコモ社は、FIFISH V6 Plusの提供メーカーであるQYSEA社、国内代理店であるシー・エフ・デー販売社の協力の元、本実証にて課題となった環境センサー、GPSのソリューションパッケージの開発に取り組むと共に、5Gネットワークとの組み合わせによるユースケースの拡大に向けて、漁業分野を中心としたさまざまな分野への展開を検討していく予定。
2. 広島県水産海洋技術センター: 広島県水産海洋技術センターは、地域の水産業に密着した技術開発、技術相談、依頼試験などを行うことで広島県の水産業を支援しており、BlueROVを活用して、カキ養殖の課題解決に加え、これまで調査が困難であった海中、海底の調査や海洋生物の生態調査などを中心に活用していく予定。
3. 岡山県和気町まち経営課: 行政機関として、防災上必要な町内河川の堆砂の調査、河川の生態系の調査、自然災害時の河川での遭難者探査等への活用を検討している。

次節に記載しているように、ローカル5Gの基地局設置の諸工事等に千万円単位の経費が必要となることから、次年度予算が既に議会で承認され確定しているなか、予備費等で賄えるか、あるいはローカル5G基地局設置は次々年度（令和4年度）以降の導入とし、令和3年度は水中ドローンを上記した用途に試験活用することを先行で進めるか検討いただいている。

また、東京大学、NEC ネットエスアイにおいては、共同研究をベースとし、本実証で活用の能美ロッジを江田島市より継続して借用、ローカル5Gのサービスエリアの設計、整備手法についての継続研究の実施を2021年度に計画している。

\*1 : [https://www.cfd.co.jp/product/rov/fifish\\_v6\\_plus/](https://www.cfd.co.jp/product/rov/fifish_v6_plus/)

\*2 : <https://www.pref.hiroshima.lg.jp/soshiki/32/suigi-top.html>

\*3 : <https://www.town.wake.lg.jp/kurashiKosodate/sisetu/yakubaHoncho/>

## 6.2 持続可能な事業モデル等の構築・計画策定

本実証後に、構築し使用した実証システムを同じカキ養殖に継続して利用することを下記のように検討を行った。

今回の実証の設定は、廃屋である建屋を利用することから、事後に撤去し建て替えることが決まっていた条件で当該地の利用を許諾いただいた経緯があるため、継続利用を検討する場合は、異なる海域で今回の実証と同じことを実施できることが重要であると位置づけている。継続利用の場合、オペレーション費用が発生する。つまり、継続利用のためのライセンス料やシステム運用費用の負担をどうするかということになる。

また、システムの設置場所を変えることに伴い、免許を取り直すことや設置場所の再設計が必要となり、免許申請費用や再設計費用が掛かる。

以上から、継続利用の費用項目（条件）について下記のように整理を行った。

表 8 5 ローカル5G導入費用の目安

### ローカル5G導入／運用費用の目安

本ローカル5G導入／運用費用は今回広島実証で利用のシステムではありません。  
現時点（令和2年12月現在）の一般的なシステムとしての目安となります。  
今回広島実証で利用のシステムは、まだ商用実装用ではありませんが、将来的に広くローカル5Gの普及を目指す上で、コスト低減を狙うことができる構成としております。

			令和2年12月現在 価格帯	備考
導入費用	5Gシステム	モバイルコア	数百万円	今回システムは1体型で汎用サーバで実現であり、将来のコスト削減に貢献します。
		基地局	数百万円	
		端末	数十万円	チップの価格が世界的に下がる事が想定されることで、価格低減されることを想定しています。
		SIM	数千円/枚	
		NW機器	数百万円	
導入支援	エリア設計	百万円		
	免許申請	百万円/一か所		
	設計	数百万円		
	センター装置構築	百万円		
	基地局構築	数百万円/1か所	今回システムは1体型で汎用サーバで実現であり、将来のコスト削減に貢献します。	
運用費用	SIM	SIM	数百円/月	
		保守費	数十万円/月	今回システムは1体型で汎用サーバで実現であり、将来のコスト削減に貢献します。
		基地局保守	数万円/月	今回システムは1体型で汎用サーバで実現であり、将来のコスト削減に貢献します。
		NW機器保守	数万円/月	
		運用支援費	運用支援	数万円/月

上記継続利用の費用項目（条件）に基づき、継続利用について広島県および漁協関係者の意向を確認した。

2020年12月17日に漁協関係者と広島県にヒアリングを行った結果、システムのカバーエリアが狭いことから漁協内の一部の生産者に対してしか当該システムを供せられない点、また導入・運用に際して新たに払うべきコストを考えると、継続利用は厳しいという回答があった。従って、本実証場所での継続利用は困難と判断せざるを得ず、他の地域での継続利用、更にはカキ養殖に限定しないシステム・機材の活用の可能性に検討範囲を拡張して、検討を進めている。

但しここで、「仮に」この江田島の周辺の別の漁協などが、本実証後に本システムを継承出来ていたとするとどうなっていたかについての仮想案に言及しておく。

もしそのようなほぼ同一海域で本システムが引き継いでいた場合は、次年度に何をすべきかということであるが、それは8.4末尾に触れているように、沿岸養殖漁業で本システムを横展開していくために、沿岸地域での陸水接続地域、海洋上の筏・漁場における電波伝播特性の知見を、地形機構、気象条件、波浪状況のバリエーションの違う状況下で蓄積していくことではないだろうか。今回の実証は実質冬季の3週間の実施に留まったことから、実地に展開拡張する際に求められる機器スペックを幅広い環境下で絞り込むことや、水中ドローンが操縦中に垂下連に絡んだ場合の対処法などを経験則としてナレッジ蓄積していくために、今後一定期間、季節ごとの状況下での運用、カキの生育段階の各ステップごとでの運用を同一海域で展開できれば、本実証で得られた知見をそのまま拡張していくことができる。

そうなれば、その後、更に瀬戸内海とは異なる海洋環境下での運用など、想定される状況設定を比較的網羅的に実証することで経験値を高めていくステップへ実証を拡張していくことができる。このような機器の性能スペックの汎用化と、作業時の経験則に基づき求められる運転上のスペック出しは、実用展開に必要なことになる（6.6.3参照）。

さて本論に戻る。実際には広島県・江田島市での近隣海域での次年度以降の継続活用は難しいと判断せざるを得なかったために、他のオプションで利活用を考えなければならない。

レイヤーズ・コンサルティングが長年に亘り岡山県、および県内地公体と各種協業を継続している強いパイプがあるため、岡山県のカキ養殖事業者や他の養殖事業者等を筆頭に継続利用を打診した。分野別課題実証調整事業者と相談した結果、継続活用に於ける順守すべき条件の優先順位として、カキ養殖→他の海洋養殖→その他海洋・河川・湖沼等での活用という順番で、継続利用の対象を検討した。

今年度の実証の設えでは、カキ養殖やその他海洋養殖においては、今回の実証地域に於ける協力漁協からの反応と同じく、システムのカバーエリアが狭く、対象範囲内の一部の地域しか利用できないという課題があるため、優先順位の低い「その他海洋・河川等での活用」という方向性での検討を進めている。

現時点では、岡山県和気町と協議を開始しており、水中ドローンの使用目的として和気町

が想定しているものとして、河川の生態系の調査、ダム・池・河川の堆砂の調査、河川清掃のための水中観察、河川・ため池等での行方不明者の捜索、等を念頭に協議を進めている。

一方、現コンソーシアムの東京大学での継続研究としての利用も考えられる。今回の実証場所である能美ロッジを2021年4月以降も2021年内いっぱい目途に継続使用できることを江田島市と調整しており、本最終報告書でまとめているように本実証で種々検証したものをもっと広範なかたちで継続し、実証システムを現地でのローカル5G研究に活用することも検討している

### 6.3 横展開に資する普及モデルに関する検討

#### 通信機器企業の観点からローカル5Gのビジネスモデルケース確立

現在、ローカル5Gの通信機器は5Gモジュールの価格を中心として構成モジュールの価格が高価であることから、初期投資だけでも数千万円の設備投資を必要とする。構成モジュールの価格が低減することや、今後多くの製品や市場に多くのシステムが展開される中で、価格は下がっていくことは想定されるが、現在において展開、普及を妨げる要因の一つであると考えられる。これは、漁業分野への展開において共通の課題である。そこで本実証では、ローカル5Gの広い普及を実現するため、下記の観点で展開性に優位性のある構成で実証環境を構成し、これが、推進対応方策となり得ると考えた。

- ・ソフトウェア基地局の採用

汎用サーバにSDRを実装し、基地局の制御を全てソフトウェアで実装した。それにより、専用ハードウェアによる基地局の実装が不要となり、コストを下げ、整備することに成功している。

- ・SA構成の採用

NSA構成に比較し、アンカーとなるLTEシステムが不要となることで、シンプルな構成を取ることができ、コストを下げ、整備することに成功している。

- ・モバイルコア、基地局の一体型システム

通常構成においては、モバイルコア、基地局はそれぞれ専用のハードウェアで実装されるため、コストが大きくなる傾向がある。今回実証における構成では、一台の汎用サーバ上にモバイルコア、基地局ソフトウェアを実装する構成を採用し、コストを下げ、整備することに成功している。

これらの構成により、1千万円程度の構成とすることに成功している。これらのコスト低減だけでなく、ビジネスモデルにおいて、どのようにローカル5Gを整備し、運用出来るか検討した。要件としては、ローカル5G整備、運用コストを一つのカキ養殖事業者に負担させることは難しいこと、コスト削減や価値を提供することにより、ローカル5G整備、運用コストを捻出できることとした。下図が本実証にてカキの養殖に5G活用による課題解決、価値提供するビジネスモデルとして検討した結果である。このビジネスモデルにおいては、ローカル5Gを活用するソリューションの提供により、これまで熟練の匠の知見と経験に基づくカキ養殖から、データを根拠にしたカキ養殖にシフトすることでのコスト低減、効率的な生産を実現する価値を新たに創造し、そのサービスを対価としてローカル5Gの整備、

運用を担う企業を新たに配置している。例えばこの新たに配置の企業は、ローカル5G整備、運用とサービス、ソリューションを提供する企業が連携してサービス実現することも想定した。なお、通信機器企業として今回の実証に参画の NEC ネットエスアイはローカル5Gシステム提供、運用サービスの提供だけでなく、ローカル5Gと組み合わせた様々な分野における課題解決や価値提供をミッションとしており、ローカル5Gの広い展開に向けて今後も検討を進める。

ローカル5Gを活用し地域の生産、環境に「サステナブル」なビジネスモデル(コンセプト)  
海中環境の可視化(水中の可視化、環境データの取得)を基にした牡蠣ブランド作り

課題:ローカル5Gや水中ドローン、環境センサ等のIoT活用をどのように持続的に生産コスト削減、価値向上につなげるか?

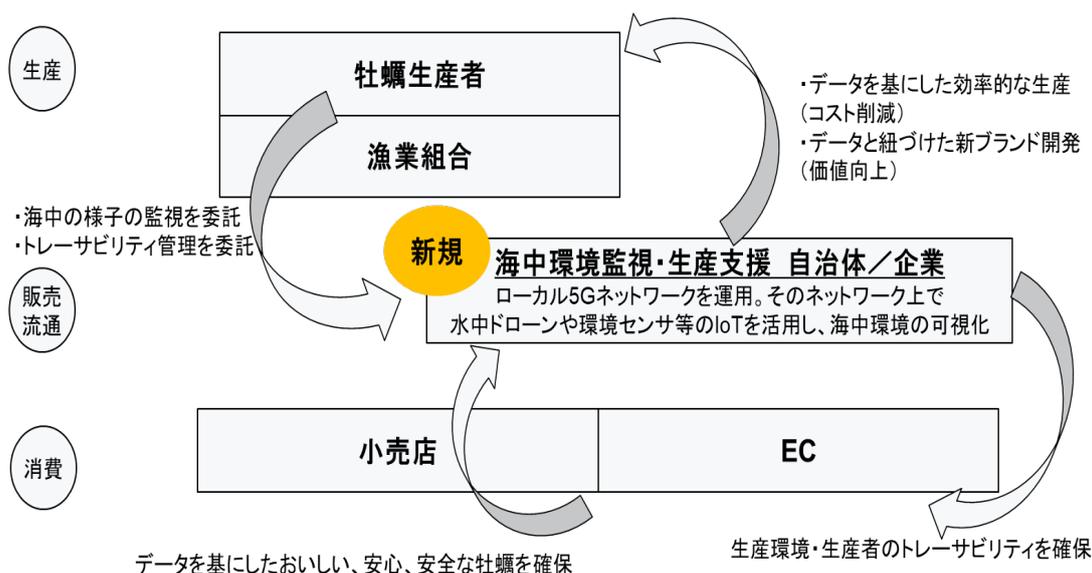


図 217 ビジネスモデル

6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討

6.4.1 本事業の課題解決システムを他の地域等で実装するために5Gソリューション提供センター(仮称)が具備すべき機能

本事業が目指す次世代通信を活用したスマート漁業としての共同利用が可能なプラットフォームのあり方について、まずは具備すべき機能について検討を行った。

次世代通信を活用しあらゆる分野や地域において浸透し、徹底的に使いこなされている「Beyond 5G Ready」な環境の実現に向け、多様なステークホルダーによるローカル5Gを活用したユースケースの横展開を促進する取り組みが期待されており、その実現方法の一つとして、「Beyond 5G推進戦略-6Gへのロードマップ」がある。本ロードマップでは、図 218 に示すようなクラウド型の共通プラットフォーム「5Gソリューション提供センター(仮称)」が考えられている。

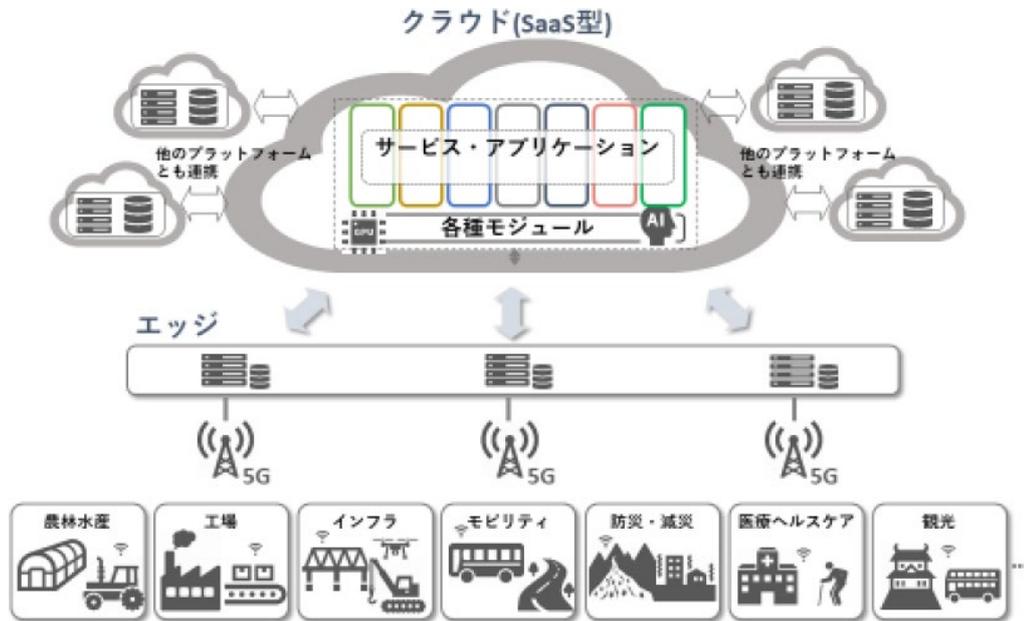


図 218

共同利用型プラットフォームに具備すべき機能であるが、遠隔監視に関する機能が必要不可欠であると考えた。本実証で行った沿岸における養殖業において作業場は海上にあるため、現地状況を確認するには船舶等を用いて目的の漁場へ出向く必要があり、時間と費用が掛かる工程である。天候不順による海のしげがあれば船舶を利用する点では危険を伴う場合も考えられる。この場合に遠隔地からの監視、観測が可能となることでそのリスクを最小化でき、かつ必要な時に海産物の状態を把握する事が可能となる。

本実証はカキ養殖をスコープとしているが、漁業の分類は、淡水漁業、沿岸漁業、沖合漁業、遠洋漁業、深海漁業などに分けられることがある。日本標準産業分類では漁業（海面漁業・内水面漁業）と水産養殖業（海水面養殖・内水面養殖）に大別される。なお養殖業の中でも、水産物によって養殖手法、生産工程も異なっている。

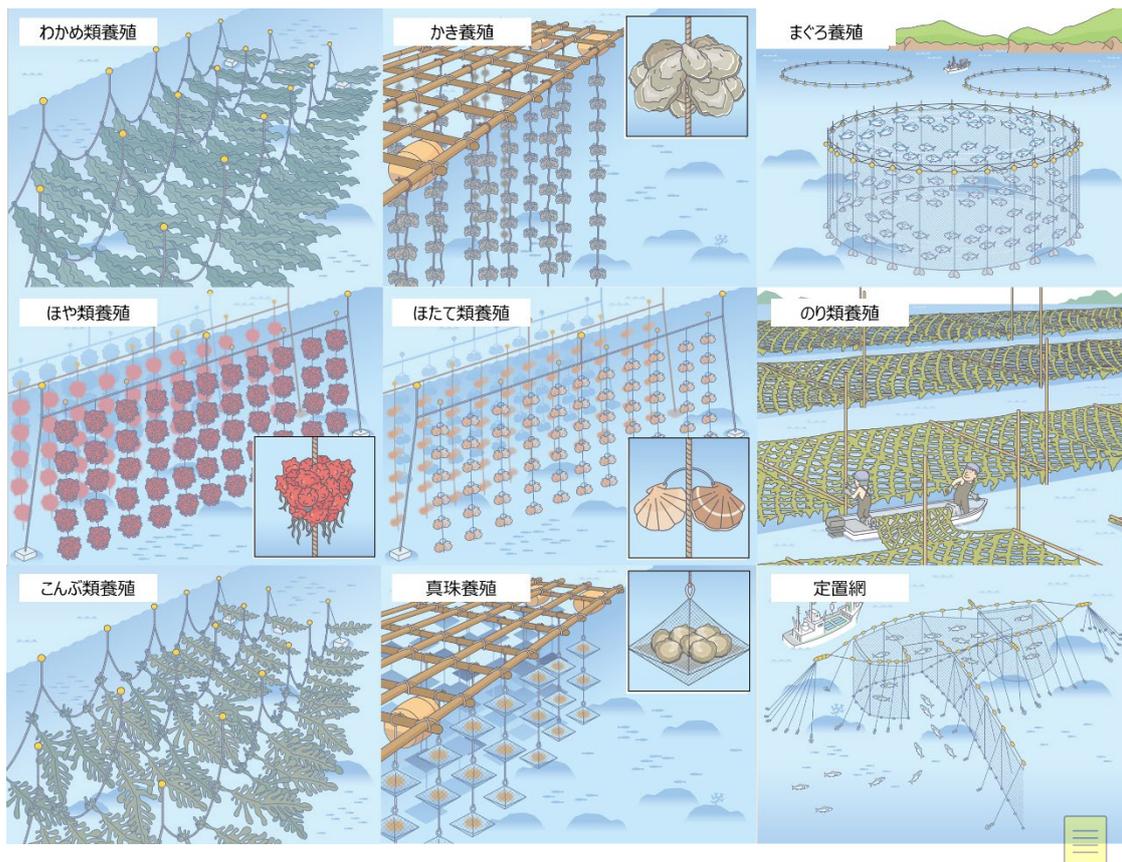


図 219 海面養殖の種類

異なる海産物でも、生育状況を遠隔地より観察し状況に応じた対策を講じるという観点で同様であると考えた。この場合には、海中の状況を可視化可能な高解像度のカメラとその撮影した静止画像や映像をリアルタイムに伝搬し、表示、観測、監視する仕組みが必要である。更に、観測を行う拠点は一つではなく、複数拠点から観測が可能なネットワークの仕組みも必要である、漁業分野で見れば各漁業組合、漁師、自治体の水産に携わる機関など情報の共有化も同時に行う必要があり、こういった受け皿となる仕組み作りを進めていく事が重要であると考えた。この受け皿となる仕組みは日本の水産業が抱える課題の解決に資する有益なものとする事も重要である。

水産業の課題としては、漁業生産量の減少、高齢化と後継者不足、水産市場における問題意識の低さなどが既知としてあるが、漁業生産量の減少は世界的に見ても減少傾向にあり、日本自国における漁獲量を維持し続けることは重要な事である。

表 8 5 全国各地に広がる完全養殖魚の一例

## 全国各地に広がる完全養殖魚（一例）

産地	魚種	ブランド名
栃木県那珂川町	トラフグ	温泉トラフグ
宮城県女川湾、雄勝湾、志津川湾	ギンザケ	伊達の銀
静岡県御前崎市	クエ	御前崎クエ
岐阜県奥高山市	チョウザメ	チョウザメ奥飛騨キャビア
岐阜県飛騨市	トラフグ	飛騨トラフグ
和歌山県東牟婁郡串本町、鹿児島県大島郡瀬戸内町（アーマリン近大）	クロマグロ	近大マグロ
大分県津久見市	ヒラメ	かぼすヒラメ
長崎県対馬	アワビ	ひとくち蝦夷アワビ
熊本県天草市	クロマグロ	天空マグロ
宮崎県小林市	チョウザメ	小林チョウザメ
沖縄県久米島	クルマエビ	久米島の車海老

出所：大和総合研究所ウェブサイト、201\*年3月2日取得

近年、日本の研究機関や大学等が共同で完全養殖を研究しており、「近大マグロ」は有名な例である。現在では、全国各地に完全養殖魚の研究が広がり技術的に確立されている魚種としては、ヒラメ、マダイ、トラフグ、ギンザケ、クルマエビなどが挙げられる。（表 85 全国各地に広がる完全養殖魚（一例））

このように、自然環境下での養殖は現在も行われているが、気候や海中状況、海中性質など、詰まるところ漁師の経験と勘が大きく影響している所があり、近年の温暖化などの気候変動を原因とする漁獲量への影響は深刻であり、一刻も早い対策が求められている。

各地で広がる完全養殖魚の通り、このことから海中の状況や、漁師の感、水産物の生態を解明していくことや、数値化する事は現在の技術力ではそう難しいものではないと考える。こうした取り組みの受け皿として、以下の機能を具備する共同利用型プラットフォームが必要であると考え、水産関連団体、研究機関、漁師、民間企業等の関係者が利用できる事が必要であると考察した。

具体的な機能は、以下に挙げるものである。

- 機能①：遠隔地からのリアルタイムな映像表示における監視、観測機能
- 機能②：遠隔地からのカメラ映像の操作
- 機能③：各種センサーデータの統一的な管理、海図マージ機能
- 機能④：映像等の素材から分析評価する機能

機能①は、漁場とは離れた場所での監視、観測を可能とする映像データを配信する機能が必要と考える、この機能は特に遅延の少ない性能が求められる。例えば漁港に近い水産加工場内で漁業関係者がモニタリングを行う場合や、各自治体に配置される水産技術センター等が海産物の様子を観測する場合に、必要となる機能である。

海中における海産物の様子を観測する点では、海流が一定ではない環境下ではプランクトンや生物の死がい、ごみなどが浮遊している状況にあるため、安定的に映像を確認するためには、従前より利用される映像フォーマットのSD (480p)、HD (720p) など比較的にデータ量、スループットが少なく済む映像フォーマットよりも、本事業で行ったカキを含めて他養殖の貝類、ノリ類の状態を把握するために、5 Gの高速大容量の通信を活かしたより解像度の高い映像が望ましいと考える。

一例として本事業の中で水中ドローンが撮影するHDフォーマットの映像と、UHDフォーマットの映像を、静止画で書き出した画像をサンプルとして比較した。HDフォーマットでは、カキおよびカキに付着する生物の輪郭部、また画像全体のコントラストが低く、背後にある垂下連の状態については、付着性生物の存在を確認できるまでである。

他方、UHDフォーマットの画像では、画像全体のコントラストが高く、描写がはっきりしているため、付着生成物の状況は明らかであり、クロダイ等の魚による食害があれば容易に確認ができる事と、カキ殻の開閉状態も把握することが可能である。

遠隔地で漁場の環境を監視、観測する場合には、モニターのサイズ、解像度は大きなものが有利であり、この場合には特に映像の解像度の優位性は明らかである。(図 220 参照)

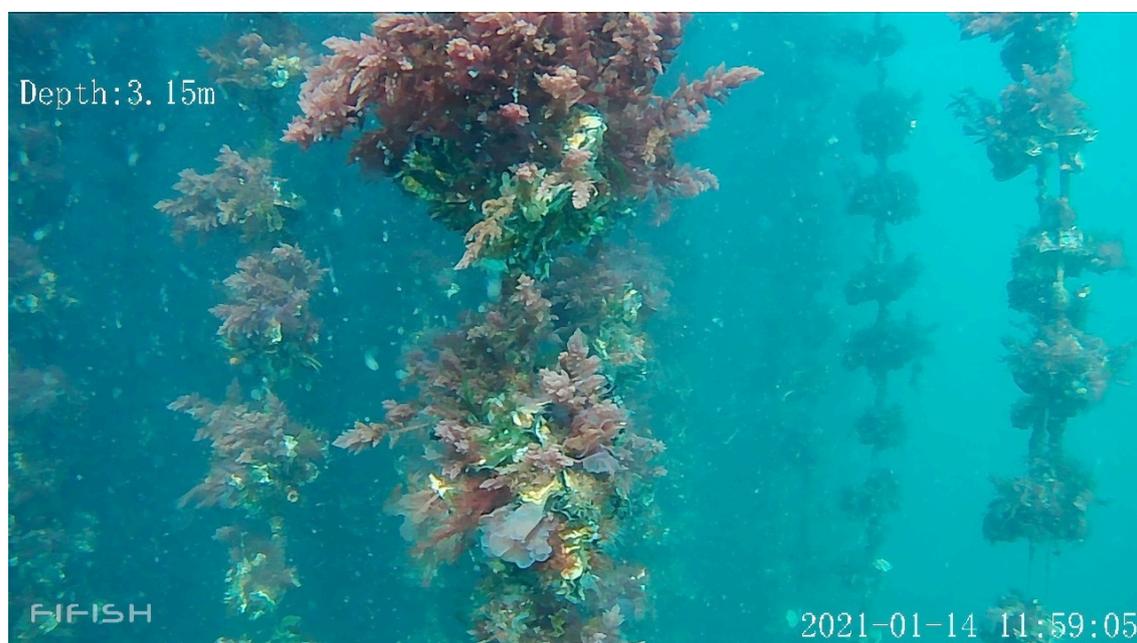


図 220 FIFISH 撮影素材 解像度 HD フォーマット

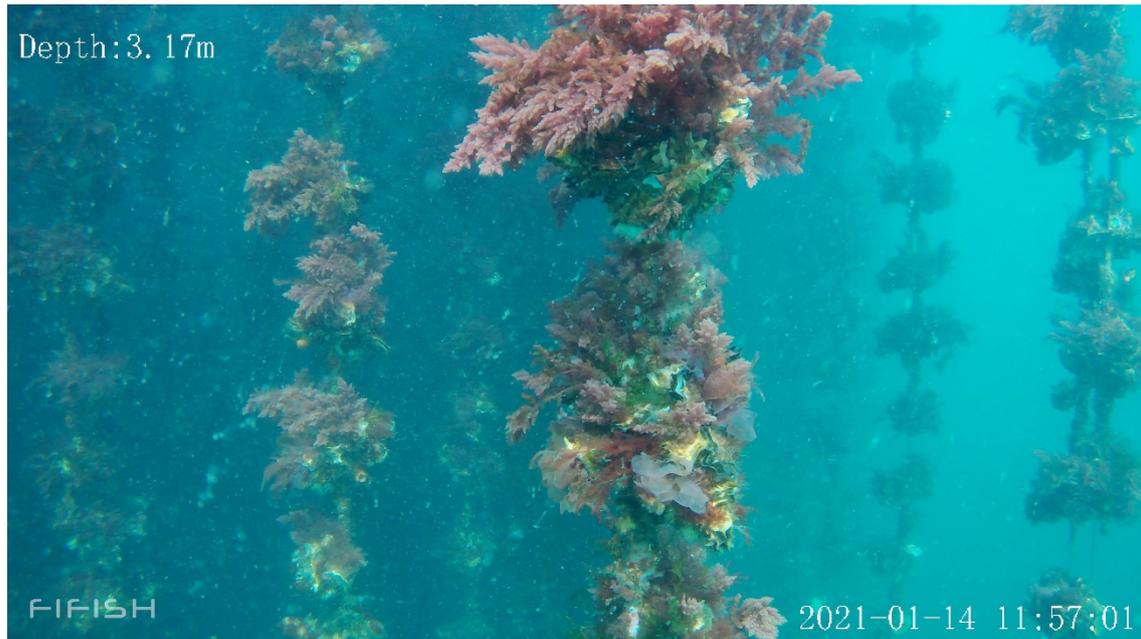


図 221 FIFISH 撮影素材 解像度 UHD フォーマット

上述する通り、海産物の生育状況をより詳細に観測するという観点では、昨今主流となる FHD (1080p)、QHD (1440p/2K)、UHD (2160p/4K) といった高解像度の映像が有効と考えた。

その理由としては、広い漁場においては、観測における作業の効率化が必要であり、広い視野で確認し、必要に応じ細部を確認するという作業の流れを鑑みると、高解像度（きれいな映像）であることはごく自然な考えである。

また将来的にみて人手ではなく ICT を活用したロボットによる観測監視を行おうとした場合などに、映像を解析した結果を漁業関係者にメッセージングする機能を有するものであれば、解析に必要な映像素材は高解像度であるほうがより精緻に分析ができるためである。本事業で行った水中ドローンから伝搬される映像であるが、共同型プラットフォーム上に保存することも必要であるが、高解像度の映像であるとファイルサイズも大きくなるため、データ量が肥大化する。蓄積データの肥大化を防ぐにあたり、定期的なファイル管理が必要となることも検討課題として挙げておく。

観測機能について補足すると、監視を行うだけでは大きな変化を見逃す場合も想定されるので、特定の事象に変化した場合にアラートを発報する仕組みが有効に働くと考えた。後述する機能④に該当するが、これは将来的な一次産業の後継者の問題に寄与するものと考え、漁師の経験の数値化や AI を活用した映像解析を行う仕組みを実装することで将来的に一次産業を担う人材の助けになると考える。漁業の経験が少ない人がそれを認知した場合でも、状況が把握しやすかつ汎用的に動作する機能を実装することも、プラットフォームの検討に有効であると考察した。

機能②は、漁場内の養殖物の状態を定点でなく自由視点で監視、観測するために必要とな

る機能である。本実証では複数台の水中ドローンを潜航させ、水中ドローンに搭載する高精細なカメラで海中の様子を撮影し、5Gを用いて伝搬させ、遠隔地にあるモニターに表示をさせた。また、遠隔地から水中ドローンを操縦する事でカメラの視点を変更させ、かつ同漁場内の異なる垂下連への移動を行った。

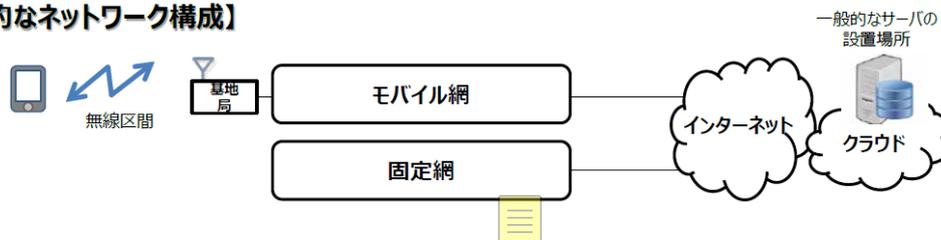
この操縦には機能①と同様に遅延が少ない要件が求められる。特に海中における潮の流れが速い場合など、水中ドローンが流される可能性がある。また、水中ドローンを単体で見た場合に、海中での無線通信技術が確立されておらず、現在の調達できる水中ドローンはコントローラーユニットとの間はテザーケーブルで接続されているため、海中における潜航を行う場合にテザーケーブルが垂下連と絡まる可能性も考えられる。この事からも目的とする対象物を捕捉するため、更には、海中における周囲の状況に応じたリアルタイムな操縦が必要になるためである。

本実証では、カキが対象作物であるが、ほかの貝類やノリの養殖でも養殖技法が似ている事を考えると適用可能であると考えられる。また沖合で養殖するマグロといった養殖魚にも活用できると考えた。これには本実証の準備を行う中で水中ドローンを潜航させていたが、近くにいる魚が水中ドローンを潜航している状況でも逃げる様子などは見受けられず、岩などの藻などを捕食し続けている様子が伺えたためである。無論、魚を追い回すなどはしていないが、警戒心が強い魚では逃げる可能性もあると思う。魚種によって、また養殖方法によって、水中ドローンの活用の仕方は変わると推察するが、海中の様子を自由視点で観測するには、遅延なくリアルタイムに操縦する機能は必要である。共通プラットフォーム上に機能を具備する場合においては、5Gの無線通信以外で遅延が発生する場合も考えられる。たとえば、操縦を行う場所とプラットフォーム間の通信環境である。これは機能①など他機能にも言えることであるが、通信事業者が提供する光ファイバ通信を利用したインターネットサービスであれば、広く普及しているため利用するうえで影響が少ないと考える。他方、それ以外の通信手段を利用する場合には、留意が必要である。また、制御を行うデバイス(PC等)にも適正に演算処理できるスペックを有するデバイスを選定するなど、気を付ける必要があると考える。

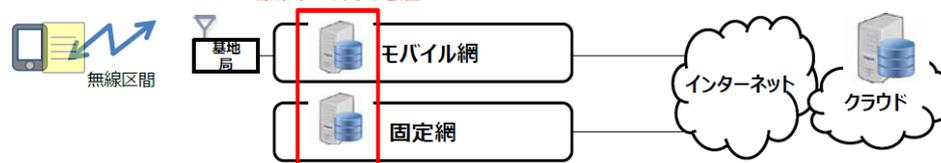
共通プラットフォームに関してどうかであるが、より遅延を少なく処理する場合には、クラウド上であれば、プラットフォームを利用するユーザーごとに仮想マシン（VM）を配置すると、プラットフォーム側に負荷が大きくなるため、コンテナによるアプリケーションレベルで分離境界を生成し、独立して効率よく一貫性を保ちながら機能することも必要であると考えられる。クラウド上に構築したプラットフォームでも、実際に現地から利用場所とクラウドとの物理的な距離が遠くでは遅延を広げる要因になってしまう、このため現在各所で検討されているエッジコンピューティング技術がある。（図 222 参照）

- エッジコンピューティングは**端末により近い場所にサーバを分散配置**するネットワークアーキテクチャである
- 一般的な構成と比較し**リアルタイム性向上、NW負荷低減、セキュリティ強化の付加価値**が見込まれている
- MECは「Mobile Edge Computing」もしくは「Multi-access Edge Computing」の略である。  
前者はモバイル網にサーバを配置する技法を示す用語として使用されてきたが最近**は後者の認知が高まっている**

## 【一般的なネットワーク構成】



## 【エッジコンピューティング・MEC】より端末に近い場所（エッジ）に設置



9

図 222 エッジコンピューティングのイメージ

出所：総務省 第 59 回 IP ネットワーク設備委員会プレゼン資料より抜粋

クラウド上に配置する共通プラットフォームであっても、MEC の技術を最大限活用することで距離遅延を低減することが可能となる。検討されている MEC は、一般的なクラウドのネットワークアーキテクチャと比較し、リアルタイム性向上、NW 負荷低減、セキュリティ強化の付加価値が見込まれている。

本事業のように海上をエリア化とするユースケースにおいては、5G通信を最大限活用し共同利用型プラットフォームと連携する上では、より設計思想に近い部分となるが、機能を具備する検討の中で必要となる要件が関係してくる事になり、これはプラットフォーム検討に有効に働くと考える。

機能③は、海中の状態を数値化するセンサーデータの観測である。現在はブイ等を固定するなど定点観測する海中センサーに関する研究や実証実験が行われているが、取得するデータを定期的に変送するまでは商用化に至っていない状況である。この点に関しては、海上における通信エリアの問題とセンサーデバイスの電源の問題があとと思われる、太陽電池を用いた防水型の IoT 機器での運用も想定されるが、他方、通信エリアの問題では、ワイヤレス M2M 技術した利用した観測データの送受信が可能となると推察するが、本項目の分析観点とは異なるためここでは省略する。

各種センサーからアップロードされるデータをプラットフォームで取得した後に、成型、加工し統一的に見やすい状態にすることが必要であると考察する。取得されたデータを後日確認する場合には、センサーデータ毎にファイルが別に管理されているよりは、まとめられたデータ構造である方が好ましい。例えば、スプレッドシート上に時間経過に合わせて取得データがプロットされていると見やすくなる。

これには段階的に処理する仕組みが必要であると考え。センサーが取得するデータ形式はセンサーの特性に応じて異なる。例えば、センサーのデータ取得周期、時間を考えてみると、1秒周期で取得するセンサー、1時間周期で取得するセンサーなど様々なデータ取得周期は様々である。またはある周期で取得できず欠損を含むことも考えられる。

次に、データ形式の違いも考慮する必要がある、数値、記数法など開発するメーカーやセンサー特性によって異なってくる。詰まるところRAWデータの違いである。一般的に取得した際にはデータレイクしておくことになる。次にデータを必要なフォーマットもしくはデータ構造に展開することになるが、ここで前処理の技術を具備することが有効であると考察する。(図 223 前処置イメージ)

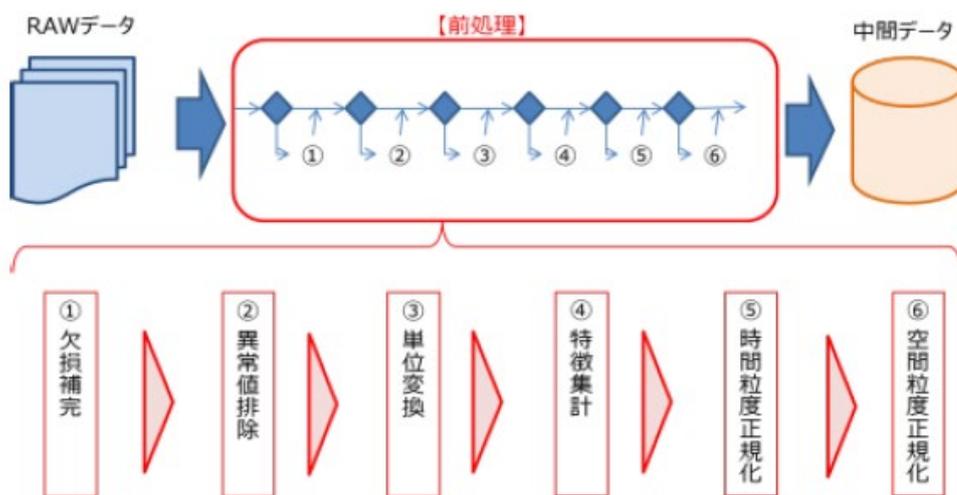


図 223 前処理加工のイメージ

出所：出典：総務省 IoT 共通基盤の確立・実証 課題Ⅲ  
多様な IoT サービスに活用可能な IoT データ形式共通化・正規化・抽出技術の確立

上図にある通り、RAW データを前処理の工程の中で見やすい、扱いやすいデータに変化させていくものである。加工されたデータは蓄積されデータベース上で管理されるものである。例えば後々の分析を行う際に、統一化されているデータであれば、簡易な SQL 等のコードで抽出可能になると想定している。

センサーデータを活用する機能としては、海の地図（海図）にプロットし、指定漁場に環境データ情報をマージするものである。貧酸素濃度や塩分濃度、海水温がマージされた海図

は漁業関係者などに開示し、養殖における対策を講じる情報として得てもらう事を想定している。カキの養殖におけるへい死の要因にも上げられる貧酸素水塊による生産量の影響があり、魚種でも影響があるものである。水中ドローンが潜航するたびにセンサーからデータを取得し更新を行っていく機能は、他地域で沿岸養殖などを行う漁業者にも有用な情報となると考えた。

センサーデータを活用する点では課題もある。センサーが取得するデータがどこで計測されたものであるかという、位置情報である。海中における GPS は利用できず、海中における位置情報の把握に関する研究は進んでいるが、商用化され容易に利用できるものはないと思われる。例えば、水中ドローンが遠隔地との通信を行うために海面上にアンテナを設ける事になるが、そのアンテナ部の位置座標を捉えることは可能であるが、水中ドローンはケーブルで接続されており、潜航によりアンテナ部の下の海中にいるとは限らず、そのため、地図上にプロットする場合に誤差や誤りを補正することが必要である。もしくは、得られるデータを面で扱う方法もある。海図上に 100m 四方のメッシュに分け、アンテナ部の座標をセンサーの取得位置と扱うことも想定されるが、これは機能の実装等を検討する上でも有効に働くと考えた。

機能④は、水中ドローンで取得する映像を分析するものである。

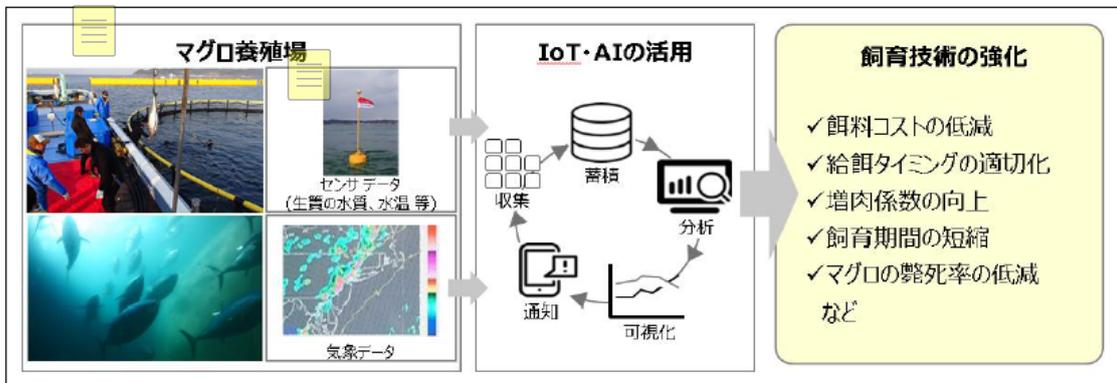
水産分野でも広がる漁業関係者の高齢化、そして担い手の減少、若い世代の育成また養殖事業の作業効率化、環境変化による収穫量の減少の観点より、高度な ICT を活用する仕組みについて検討した。

水中ドローンによる高精細映像データの取得、センサーデータの取得が可能となる中で遠隔地にいるオペレーターとなる漁業関係者が情報を監視する上では、漁業を営んできた経験で適正な判別、判断が可能になり、適当な対策を講じるというオペレーションフローが成り立つと推察するが、上述する観点を鑑みると効率化に寄与しているとは言い難い。

前項で触れた通り、ICT 技術の向上が目覚ましい現在においては、経験や勘の数値化、詰まるところロボット化は難しい事ではなくなっている。

一つの例としてマグロ養殖で行われた実証実験がある。この実験では、IoT センサーと AI (人工知能) を組み合わせており、マグロの稚魚を買付け、洋上の生簀の中で約 3 年かけて育成した後に水揚げ、出荷しているが、生簀内の環境が日々刻々と変化する中で給餌の量・方法・タイミング等は経験則に基づいて見極めており、その最適化が課題である。この課題に対して、IoT 技術を備えたセンサーと可視化アプリケーションを導入して水温などのデータを取得、可視化し、AI を駆使してデータの相関性・関連性を分析した。これにより、自然環境の中でマグロ育成にとって最適な状態を見出し、給餌量やタイミングの最適化や生簀環境の改善を目指すものであり、また、養育個体数の把握の効率化と正確性向上を図るため、機械学習による画像解析技術を活用した個体数の自動カウントを実現したものである。(図 224)

【給餌最適化のイメージ】



【養育個体数自動カウントのイメージ】

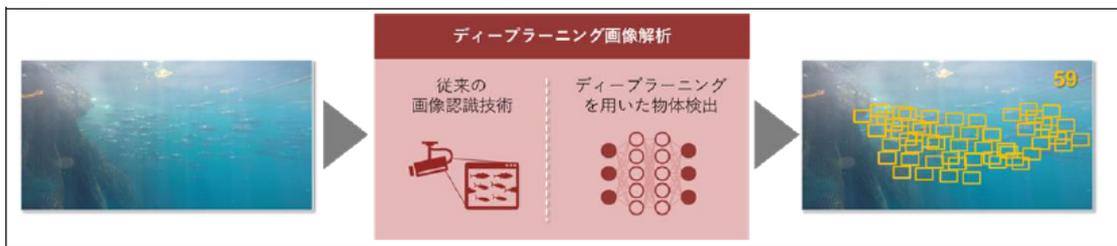


図 224

出所：双日株式会社ウェブサイト、双日ツナファーム鷹島のマグロ養殖事業における IoT・AI 実証実験について、2021年3月2日取得

カキの養殖においても、センサー、水中ドローン搭載カメラといったハードの活用と上述した実験例の通り、機械学習、AI による解析技術といったソフトウェアを掛け合わせる事で、カキの生育状況を観察する中で、特定個体の殻の成長を画像から判別して収穫日時を特定することが可能になると推察した。これにより、カキ筏を引き上げて確認する作業の効率化に寄与出来るほか、付着性生物の判別による対策方法提示も可能となると考察した。

また貧酸素水塊の発生によるへい死を低下させるためのセンサー情報と、気象情報、養殖物の生育状態、過去の海中のデータを組み合わせる事で、より高度な貧酸素水塊図の生成を想起した。

## 6.4.2 本事業の課題解決システムについて5Gソリューション提供センター（仮称）を通じた横展開のあり方

本事業の課題解決システムについて共同利用型プラットフォーム（5Gソリューション提供センター（仮称））を通じた横展開の在り方を検討した。

本報告書の3章に記載した課題解決システム（海中の状況を可視化する仕組み）においては、海上以外からの離れた場所への高精細なリアルタイムな映像の配信と、遠隔地から水中ドローンを遠隔制御が可能であることが分かった。

これには、5G通信の特徴である大容量、低遅延が大きく寄与したと考える。

また、海中において、潜航と同時に観測する海水温、塩分濃度や貧酸素濃度を潜航中の水中ドローンによりリアルタイムに取得し、取得したデータを操縦するコントローラー画面上に表示することも可能となり、海中の状況の可視化を実現することが結果として得られたことになる。（下図 225）

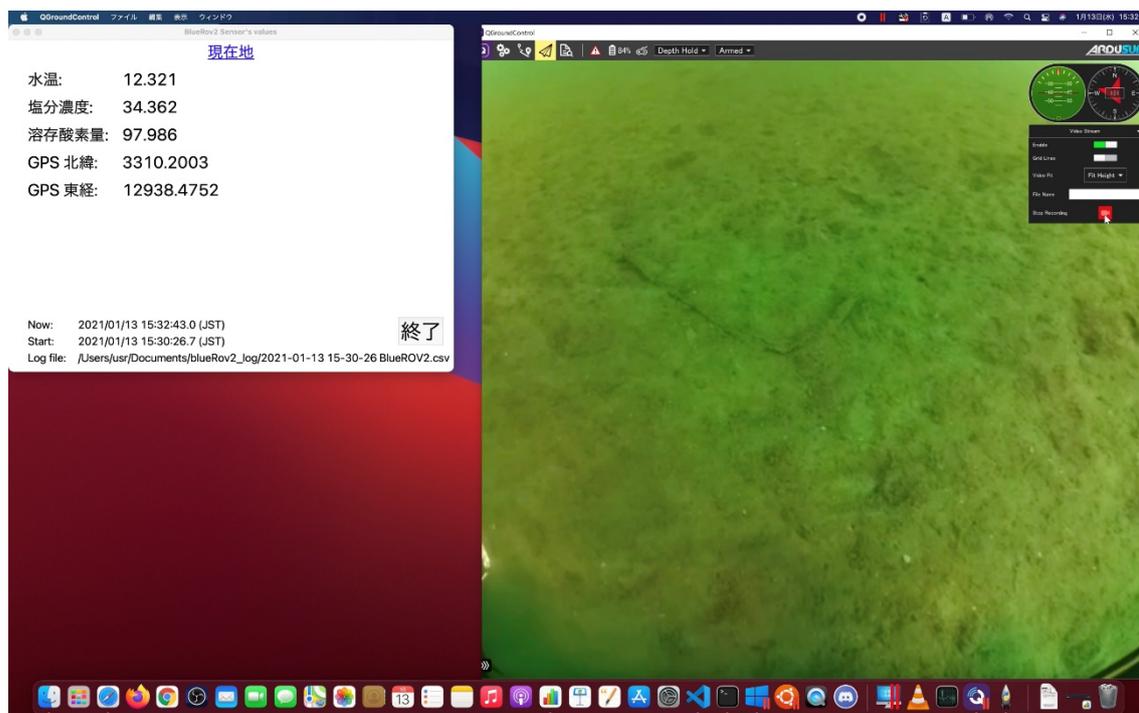


図 225 水中ドローンに搭載するセンターの取得情報を遠隔地のモニター表示

このことから季節、天候、時間、潮流といった自然環境下で変化する海中の状況を可視化したデータと、水揚げされる海産物の収穫量の推移などの情報を蓄積し、また前項で述べた水中ドローンで撮影する海中内の高解像度の映像を伝搬し、利用する拠点にリアルタイムに配信し、拠点からの遠隔制御を行うという場面において、共同利用型プラットフォーム（5Gソリューション提供センター（仮称））の活用を広げていくには、段階的に利用範囲

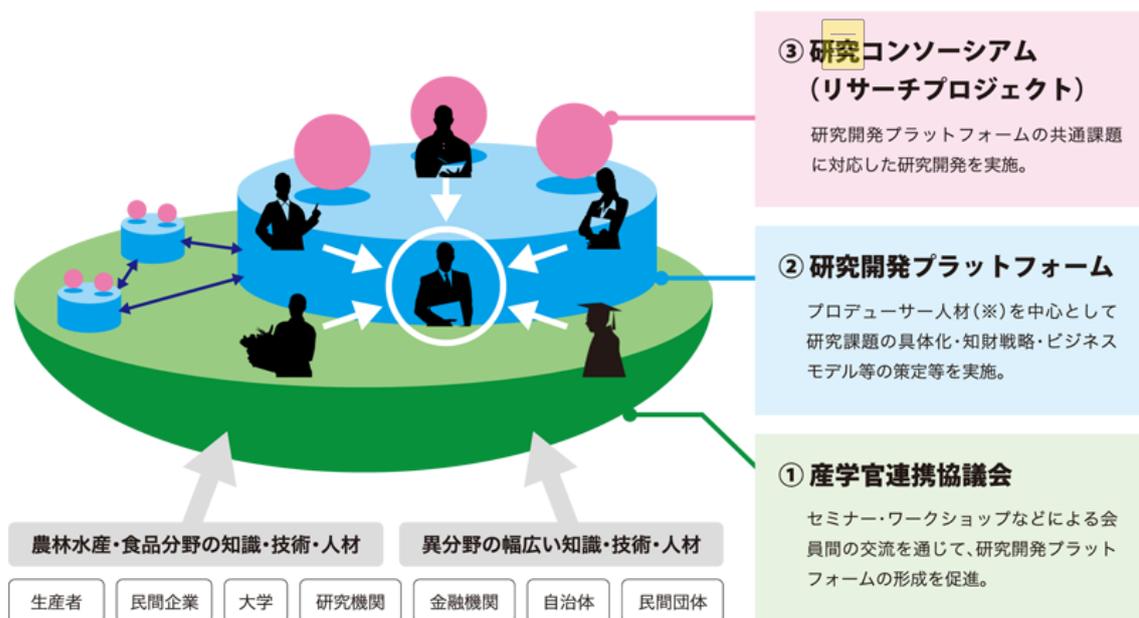
の拡張を進める事が5Gソリューション提供センター（仮称）を通じた横展開の在り方の検討に有効に働くと考察する。

まずは活用の中心となるプレイヤー（本事業では漁師、漁協、水産加工会社、水産センター）がいる自治体内でデータの蓄積や5G環境の整備を行い、5Gソリューション提供センター（仮称）が具備する機能のオペレーションが浸透する必要があると考える。

プラットフォームの視点を水産業でみると、現在では農林水産省が推進する、「知」の集積と活用の場（図226）をテーマに産学官連携協議会が設立されており、160を超えるプラットフォームが立ち上がっている。この「知」の集積と活用の場のプラットフォームでは、テーマごとに産学官が参加するプラットフォームとなっており、テーマにむけた研究開発を進めている。このプラットフォームと同様に5Gソリューション提供センター（仮称）においても、用途目的に応じて管理されるものと想像している5G、更には次世代無線通信技術を活用し分野横断的にあらゆるヒト・モノが活用される環境を構築し、知見や技術の展開を図っていくには、目的用途を明確化し、必要とする情報を展開することが重要であると考ええる。

5G等の次世代通信技術を活用する上では、大容量、低遅延での情報の伝搬が可能であり、あらゆる環境下から多種多様な情報の伝搬が行われるとすれば、得る側も与える側も適切な情報管理が行われないと煩雑になることが想定される。日本における産業技術、文化、生活等の発展、向上に資するプラットフォームという意味を持たせるとすれば、競争原理を働かせることも副次的には必要であるとも考える。協創であり競争となる思想が有益に働くと考察する。

### 『「知」の集積と活用の場』



(※)プロデューサー人材とは、民間等での研究開発を通じた商品化・事業化の経験等を有する、研究開発プラットフォームの執行責任者

図 226 「知」の集積と活用の場

自治体内での浸透が行われていく中で次に何を展開するかは、本事業で取り組んだ海中の状況を可視化する仕組みとすれば、課題解決システムそのものを、ソリューションとして提供することもあるうる。展開先となる自治体、団体等の有する課題を把握してカスタマイズすることも考えられる。その反対に汎用的に利用できる仕組みであることも重要である。課題解決システムの横展開に向けては、本課題解決システムを5Gソリューション提供センター上に実装するという手段が考えられるが、本実証事業で行った5G通信を活用し、水中ドローンを用いた海中の可視化という一つのユースケースを広めて、知ってもらふ事を最初のステップとして行う事から始める事が必要である。特に、陸上で行う5Gのエリア化とは異なり、養殖場となる海上をエリア化するという特異的な環境である5Gアンテナの設置場所条件、基地局設備の保全条件の面においてもユースケースを構築していくことは、近い将来、沿岸部で養殖業を営む組合や団体で、5Gを用いた新たなスマート漁業に取り組む場合に、有用に働くと考察する。

Beyond 5G推進戦略で掲げる展開戦略にある“「Beyond 5G Ready」な環境の早期実現“で提唱されている通りに、構築したユースケースについては、中堅・中小企業や地方公共団体等による利用開始のハードルを大幅に引き下げることによりその横展開を促進し、地域産業等のデジタル化（デジタル・トランスフォーメーション）を図る必要があると言われている。またユースケースを拡大していくために、多様性を確保したユーザーオリエンテッドな形であることも重要である、この事からも本課題解決システムを一つのアプリケーションとして5Gソリューション提供センター（仮称）上に実装するよりも、実証実験を通じて得られた知見をドキュメントにしたり、使用機材、環境等をカタログとする手法を用いて、ガイドブック形式での横展開の在り方が好ましいと考察した。（図 227）

◆ 開発実証を通じて有効性が実証されたユースケース（モデル）について、当該実証モデルの導入手順書（ガイドブック）の頒布に加え、当該モデルで使用するアプリケーション自体についても、他の同種の課題を抱える地域等がオンラインで低廉かつ容易に入手し利用できる**よう**、当該アプリケーションを管理するための5Gソリューション提供センター（仮称）のサーバを構築し、ユーザ企業や自治体等に当該サーバから自らのサーバ等にアプリケーションをダウンロードするための機能（ユーザ管理機能、アプリ提供機能、コンテンツ管理機能等）を構築。導入手順書（ガイドブック）についても当該センターを通して頒布。【令和3年度予算要求中】

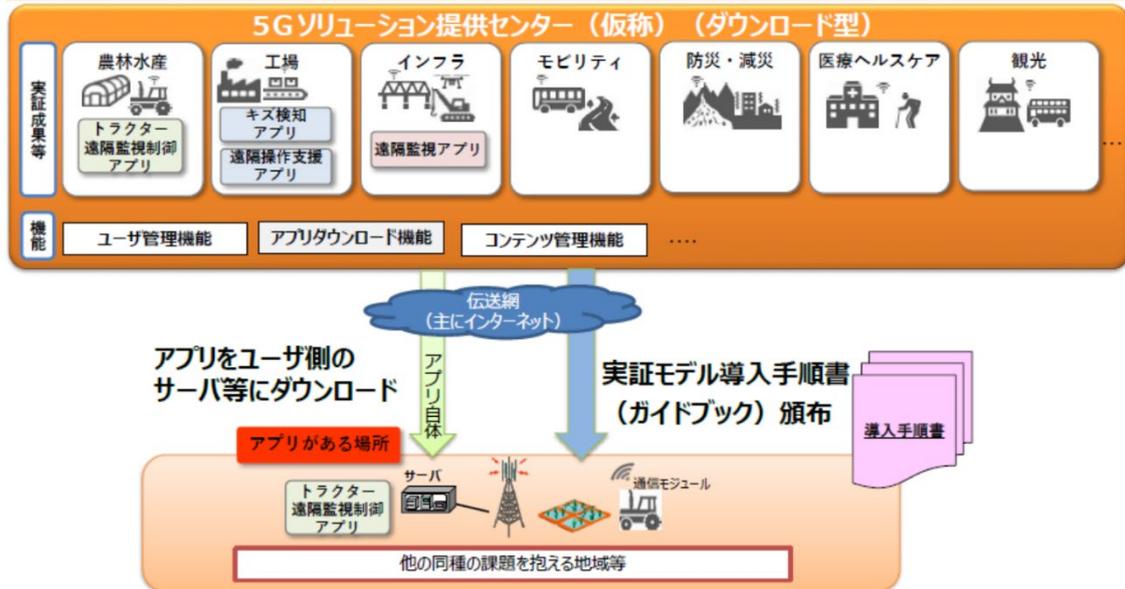


図 226 5Gソリューション提供センター（仮称）

出所：総務省

### 6.4.3 課題解決システムが公開する API 仕様ないしは PF とのインターフェース仕様

本実証の成果物として本報告書に記載、あるいは参考資料として添付するものうち、以下の案が共同利用型プラットフォーム検討に向けて提示可能である。

上述した通り、提示可能である書類については、仕様書やカタログになる。

表 8 6

報告物	内容
システム構成図	システム構成の全体像
水中ドローンカタログ (FIFISH)	QYSEA 社が提供する FIFISH V6 Plus に関する説明内容
水中ドローンカタログ (BlueROV)	Blue Robotics 社が提供する BlueROV に関する説明内容

### 6.5 地域における特定産業分野における免許技術要件に対する制度のあり方への提言

本実証においては、特定産業分野におけるローカル 5 G の活用として、一次産業である牡蠣養殖を対象に免許を取得し、実証を行った。漁場に向けてローカル 5 G の電波を発射するにあたり、本実証では実験試験局の免許を取得した為、移動局相当装置については、移動範囲を限定した上で移動可能な装置として免許されている。本来、海上における移動局の扱いは、自己土地、他者土地におけるローカル 5 G の免許の整理において、土地の所有が明確に整理出来ない事が理由の一つとなり、他者土地の扱いと同様に固定通信のみの通信に限定されている。本実証のユースケースにおいては、牡蠣の筏の付近で移動局がローカル 5 G の電波を受け、その先につながる水中ドローンを制御し、映像を遠隔に送信する。牡蠣の筏の位置は、海上の上で常に固定されていることではなく、漁業組合が管理する漁場の範囲において、位置を変えて固定される。この事情を考えると、商用局免許として取得し、実用化するには、固定通信として移動局の場所を特定して免許申請し、運用することは困難である。漁業組合が漁場のエリアを管理していることから、漁場においては、例えば漁業組合が管理するエリアとして、その範囲に限り、移動可能な移動局として免許申請が出来ることを提言したい。

また、本実証の結果、潮位が異なるタイミングにおいて、若しくは海上ならではの特性により、5dBm 程の受信電力の揺れが見られた。更なる要因の調査、受信電力の揺れ幅の分析が必要ではあるが、この受信電力の揺れを考慮してマージンを取った免許申請が出来る事が必要と考える。

### 6.6 実証枠の先にあるカキ養殖事業の事業収益性への示唆

カキ養殖事業の利益確保・高利益化において、事業として見た際の全体のバリューチェーンの前半部分である養殖業務は理想的にはどう位置付けられるべきか、何が経営を左右する主たる影響因子になり得るか、ビジネスコンサルティングの視点から考察する。この観点から、実証時に得られる様々な情報や実証からの直接的帰結に基づき、本実証で強化

されたカキ養殖を収益事業として経営していくために、事業化への昇格要因・検証要因の検証結果を取りまとめる。

本実証結果を得て、本章 6.4 共同利用型プラットフォームに関する検討で述べた「5G ソリューション提供センター（仮称）」での事業展開を前提とする場合、プラットフォームに連結する本実証の諸機材を、実運用に資するに当たり求められる性能まで高めていく課題と、図 157 で例示された共通プラットフォームで提供される農林水産業パーツとして機能すべき要件を備えるために整備すべき課題とに二分される。そうして個別具体的な機材性能・稼働がクリアすべき課題と、システムとして当該プラットフォームに接続されたいうえで満たすべき条件をクリアすべき課題のそれぞれを解決していくことで、本システムを事業化させ収益化するうえで考えるべきポイントが挙げられる。

### 6.6.1 事業化への道筋

本文書中で枠組みを規定しているように、広くカキ養殖事業が持つ種々の事業課題のなかで、特に水中ドローンと 5G を組み合わせることで、付着生物、漁場老化に対する対処を講じるうえでの従来の人力作業への代替手段開拓への道筋をつけることを本実証は目指している。

本実証結果を踏まえて具体的な事業化へ至るうえでの課題としては、

1. 本実証が実現するシステムを、カキ養殖に限定した場合にどの養殖場においても汎用的に機能する標準スペックを固め、漁業者が簡易に導入できるようにすること、
2. 漁業者が本システムの導入を思いついたとき、比較的簡易に本システムを提供する事業者群にアプローチできること、
3. さらに一般的なカキ養殖の漁業者が、本システムを使いこなせるための簡便な教示を得られる研修機会が広く流布し、その受講後に比較的簡易に運用していくことができる操作性他の技術的な垣根を低くできるか

という諸点であると考える。

1. については、6.4 で述べたように、「5G ソリューション提供センター（仮称）」で提供される SaaS 型サービスを構成する海面養殖向けユニットとしての水中ドローンとローカル 5G の機材が満たすべき性能を、まずは事業化に際して広くカキ養殖において導入された場合に、汎用性のある機能スペックを固めていくことが求められる。

例えば本実証は冬季の 3 週間程度の期間で実施したこともあり、通年で様々な気象条件の下、カキの育成過程の全体に亘る期間を通じて、必要なスペックを固めていく検証作業が必要となろう。また水中ケーブルの垂下連への衝突など、本実証期間が短期間であったが故に現場で起こり得る仮想的な種々の局面への対策を実地に経験値として蓄える必要が残っていると考える。更に例えば本実証で各種センサー搭載に当たり高い気密状態を保持したが、専門的技術者でない漁業者への横展開に際しては、そういった機器運転時の高度な技術的準備などは機器の出荷時にメーカーサイドで調整して出荷されるなど、運用者側に技術的負担が掛からない流通の仕組みを講じることも求められる。最後に、機器の流通性が一定程度合い高まることで、需給バランスから漁業者のカキ養殖事業の収益構造において十分ペイする価格レンジにコストが収まるように、当該システム利用の利用率の需要予測に基づ

く値付けと、利用率の推移を誘導していくことも求められるであろう。

キャリア5G網がいま現在整備途中であることを勘案すれば、ローカル5G基地局の設置、水中ドローンの購入など複数機器の購入と組立て、更に養殖現場へ導入し活用できるように設定を行う必要があるため、複数の事業者と渡り合う必要がある。必ずしもこれらの機器群や関連領域への知見がない漁業従事者にとって、アクセシビリティの心理的障壁をなるべく感じさせないように、システム全体を納入し、使用について必要なインストラクションを行い、そもそもの現場への導入すべき機器・整備すべきソフトウェア等のチューニングを行うコンサルティング機能も併せて提供できる窓口となる事業者の整備も求められる。その窓口事業者が、導入を希望する漁業者に「5Gソリューション提供センター（仮称）」に紐づく当該サービスユニットを繋ぎ、当該漁業者の養殖場所での導入の総合的なコーディネートを行う役目を担うとする。

その事業者の整備は、2. で掲げた、漁業者が導入に興味を持ち実際に検討したいと思った際に、アプローチを容易にすることにも繋がる。

1. に関連して記載したように、機器・システムの一定量の流通を前提に、後に記載する経済性の視点から、容易に出費できる範囲の価格帯での流通を早期に実現させるようにすること、必要に応じては導入初期にはなんらかの補助金制度を設立して利用を促進することも含めて検討しなければならない。

更に専門性を持たない漁業者が使いこなせるようになることが、本システム利用を促進するうえでの必要条件であることから、3. に関して、上述したように現場海域への導入検討時に漁業者の活用シーンに最適化された機器スペックを推奨し、ローカル5G基地局設置等に必要の手続きをガイドし、免許申請等の実務をサポートすること、また実地に運用を始めたのちはメンテナンスをサポートし、気象や天変地異の変化に対する突発的な事象への対処についての種々のサポートを提供する体制も構築することも検討しなければならない。

総括すると、

1. 水中ドローンメーカー、ローカル5Gサーバー組上げに必要な機器・部品群（サーバーそのものも含む）を提供するメーカーのリストアップ、彼らを本事業へ巻き込むための仕組み（協議会等何某かのコンソーシアム形式）の制定
2. 上記メーカーやそのコンソーシアムが、システム全体を導入する漁業者の導入希望者に対し、必要な設えを現場状況、経済的観点からコンサルティングできる機能を持つこと、あるいは別事業者がその機能を提供すること
3. 漁業者が導入に際して初期投資する利便をどう図るかの検討。これは補助金的な公金補助や、上記メーカーやコンソーシアム、導入コンサルティング業者によるローンに対する税制補助など、種々の可能性を検証しなければならない
4. 運用時のメンテナンスや、海洋という環境から想定される各種天変地異に対する対策、補助の仕組みなどを想定し対策を講じておくこと  
等が想定される。

## 6.6.2 経済性

前節で列挙したように日本のカキ事業者に広く展開していくためには、

1. 日本のカキ事業者に広く活用されるようになっている（近未来）状況下で、既存の事業運営に比しての人力削減等の機械化メリットが具体的明示的にどう訴求されるかの便益の明瞭な提示
2. そのような一般に広く使用されている状況になる場合に求められる機器・システムのスペックの理想像を固め、それに向けてメーカー、システムベンダーなど関連する提供事業者間での開発目標の明確なスケジュール、仕様を最終的にそこに落ち着かせるまでの段階的な里程碑の策定と合意、それを総合的にPMOしていくプレイヤーの選定と事業化への着手
3. 汎用的に活用されるようになっている段階で、従来のカキ事業の単位面積（あるいは単位筏数）当たりの経済効率の優位性をシミュレーションして示すことが求められる。

第1の点に関しては、本実証を開始する時点で標榜していたように、潜水夫が月1回程度潜水することで、その際に人力で対応できる範囲内で、カキ筏の付着生物の状況やカキのへい死状況、海底堆積物などについて目視していたことが、水中ドローンを活用することで、高頻度（回数）かつ広範囲で行えるようになるメリットが挙げられる。

また併せて、海水温、塩分濃度、溶存酸素濃度について水中ドローン搭載のセンサーが計測できることで、貧酸素水塊の分布状況を図示化できるほどの従来の計測よりも長時間、広範囲での計測が可能になることが挙げられる。

これらのメリットは、カキの品質劣化の兆候を素早く見極め、被害を最小限に食い止められる（＝歩留まりの向上による高収益化）こと、高頻度かつ広範囲での連続的な環境モニタリングは、水質等の環境変化をリアルタイムに養殖海域の多くの海域に亘ってチェックすることができることであり、カキ生産高の増加に大きく寄与することが期待される。

これらの便益を広く日本のカキ事業者が享受できるために、専門的知識を持たない漁業者が本システムを導入し運用することの心理的障壁を低くする事業者コンソーシアムを作り、尚且つ事項3で言及するような、既存のカキ事業の事業収益構造よりも高収益化が図れる経済性を訴求できるようにすることが肝要となる。

その意味で実証機器・システムの機能については、本実証を終了した現段階で得られた結果だけから各種機器スペックを規定するのではなく、本実証でまだ検証しきれていない気象条件他の種々の条件下での実証も更に重ねたうえで、広く日本のカキ養殖事業へ展開するための汎用スペックを決めなければならない。またそのように機器スペックを固めていくことと並行して、各機器の市場価格についても、今後のカキ養殖事業者への本格展開を総務省主導で進めた場合の使用率の推移の目標値を年限ごとに設定し、その青写真の下で、カキ養殖事業者の収益構造のなかでの初期投資、ランニングコスト、本投資により享受されるべき経済的便益等を総合的にシミュレーションして、機器単体からシステム全体、保守やコンサルティングなど付帯するサービスの値付けも含め総合的にシミュレーションを行ったうえで、補助金やローン金利優遇など諸施策の検討を進めていく必要がある。

第3の経済的優位性として留意すべきポイントとしては、本実証の事業化への壁をブレークスルーするために、本システム導入の経済的優位性を早期に確立することが必要にな

るであろう。これは前節で列挙した事業化に際しての3つの課題の内、最初の2つに強く関連する。

本実証でもたらされる便益を享受するうえで、ローカル5G、運用システム、水中ドローン他の機器など、ハード・ソフトそれぞれに分類される種々の必要なものを提供している企業が多岐に亘ることから、それらを垂直統合して提供できる、可能であれば1業種に絞りこんで提供できる体制を整える方向性や、あるいは窓口となる1業種を絞って、他の業者にもわたる機器・ソフトの提供を、使用者である漁業者側から見て見えやすくする状況を作ることが必要となる。例えば後者の場合、窓口企業の候補としては、ハード機器・ソフトの提供企業群の中に系列企業が複数社占められるような企業群も考えられるし、株式会社レイヤーズ・コンサルティングを始めとする所謂ITコンサルティングを提供しているコンサルティング会社が、昨今DX導入検討から実際の実務支援まで幅広くこなしているため、適合し得る。

このような導入の障壁を減じる方策と並行して、漁業者が導入を決意する際の出費額の総額が、人力で潜水夫などが対応していた経費に比して安価に感じられる範囲に収まる経済性訴求が求められる。

これについては、レイヤーズ・コンサルティングが種々のコンサルティングサービスを展開するうえで、各界の専門家集団をTGP(Technical Gate Keepers)として最新の技術知見の源として意見照会する相談相手としているが、本実証に関する将来展望に関わる諸点について国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産技術研究所の研究員に意見照会を試みた。彼らに因ると、平均的なカキ養殖の収益のKPI(Key Performance Index)として、養殖筏一基当たりの年間売上高は5-7千万円に上るようである。例えばこういった収益構造を詳らかに机上に展開し、旧来手法である潜水夫による人力での作業の代替手段としての本システム導入において、その初期費用からランニングコストに至る費用効率の対比を新旧手法で当該作業分で精緻に比較し、その費用面での優位性が発揮されるためのシステム導入に関わる諸費用の望ましい価格を規定し、それに比して各種ベンダーの価格との差異を検証し、必要であれば補填の方策を含め経済視点での本システムの本格導入の道筋を検討していく必要があるであろう。

### 6.6.3 展開拡張の実務課題

前節で述べたように、本実証期間は冬季3週間であったことから、実地に展開拡張する際に求められる機器スペックを幅広い環境下で絞り込むことや、水中ドローンが操縦中に垂下連に絡んだ場合の対処法などを経験則としてナレッジ蓄積していくために、今後一定期間、季節ごとの状況下での運用、カキの生育段階の各ステップごとでの運用、更に瀬戸内海とは異なる海洋環境下での運用など、想定される状況設定を比較的網羅的に実証することで経験値を高めていく必要があるだろう。このような機器の性能スペックの汎用化と、操業時の経験則に基づき求められる運転上のスペック出しは、実用展開に必要なことになる。

こうした性能面での精緻化と併せて留意すべきこととして、現地漁業者との実際のやり取りを経ての実感から、昨今の漁業従事者の特性として、最新のICTツールなどへの関心は極めて高い一方で、彼らの領域への適用等実務面での導入には若干慎重な姿勢が感じ

られる（次節 6.6.4. 参照）。

特に本実証のシステムのように、非常に先進的な諸技術といくつかのハード・ソフトの組み合わせからなる場合に、使用への興味関心は強く喚起されるであろうが、現実にどう使いこなせるのかについて教示・指南の機会や、そもそもどういう事業者にアクセスすればよいのかというアクセシビリティの容易さを丁寧に提供していく必要があるであろう。

本実証先の漁業者のように既に十分な知識伝達が済んでいるような場合を除いて、初見で本システムの導入への興味を喚起するためには、以下の諸点の整備を進めていく必要があると考える。これは、6.6.1. の冒頭で掲げた 3 つの課題の最後の項目に関りが深い。

1. 自分たちの養殖場に導入する際の、地形・海洋状況などへの適合性、採算性等に関する懇切なコンサルティングの提供
2. 導入に際して、技術面での教示・教育の機会が簡易に捉えられるような研修等の仕組みが明瞭に提示されること
3. 故障した際、悪天候や不意の事故等（例えば海中で養殖筏と水中ドローンがぶつかったり、絡まったりするなど、初見で想起されるような仮想的トラブルの諸ケース）への対応体制の整備、メンテナンスの仕組み・体制が紹介の初動時に明確に安心材料として理解されるほどに整備されていること

等がカギとなるであろう。また、これらについての実施の諸費用の概算も知りたいポイントであろう。

また今時点で、内能美漁協とのコミュニケーションから浮上してきた課題としては、漁業組合という加入漁業者の共同体という位置づけから、本システムを組合として導入する際には、管轄している全組合員の利に供することが求められるため、本実証の課題としては、ローカル 5 G という設定を前提とする場合に、通信が行き渡るエリアのカバレッジを 100% に広げられるスペックの整備が早急に求められる。

と書くのは容易いが、むやみにローカル 5 G の出力を上げることは、本実証で検証を進めているように、キャリア 5 G との干渉はいまのところ問題にならないようではあるが、通信行政上からも野放図に拡張することは難しい。そうすると現況出力程度のスペックで、複数システムを 1 漁業が導入する場合を前提にした場合に、経済性や漁業の管轄オペレーションの手間や効率性などを検証する必要がある。その意味では、次のステップとして、今回の内能美漁協とは異なる海域で漁業管轄エリア全体をカバーしてオペレーションできるようにする設えを種々の可能性から有力な複数候補に絞って実地にオペレーションし、その経済性、運用工数・効率、漁業者の受容度などを検証していくことが求められるのではないかと。元々機器スペックを実用段階用に固めていくうえでも、今回とは異なる環境下での実証が必要になるであろうことは記載したとおりであるが、このような次ステップで想定すべき他海域での追加実証については、カキ養殖事業者にとっては経済効率筆頭に従来の事業の営みの構造変革を迫られることになるため、実証漁業を募る段階で参加への見返りとして享受し得るメリットを明確化したうえで臨まなければならない。このメリットの標榜のためには、引き続き漁業者と密にコミュニケーションを取り、公平性以外にも彼らが本システムを導入することへの期待値を探り、それが関与しうる種々の課題群に対するソリューションになり得るかの検証が必要となる。

#### 6.6.4 漁業であることへの相互理解（心因的コミットメントの醸成）

本実証では、昨今各種産業に広く深く浸透し始めているデータサイエンス（DS）活用の例に漏れず、カキ養殖事業の基本的フローの各々のステップで必要な作業に従事するうえで、水中の事象が対象であるが為つぶさにすべてを目の当たりに確認して進めることができなかつたが故に、伝統的に従事者の勘と経験で行ってきた管理運営の種々の業界知見を、数量的定量化してベスト・プラクティスとして当該領域・産業内で十分活用してもらえるように供することが、本システムが機能していくうえで必要な水先案内人として漁業者にインパクトを与えることを企図している。

それは第一に、従来は月に1回程度潜水夫が潜って、カキ養殖の垂下連を目視し、海洋生物の付着、カキのへい死、海底の堆積物の確認をしていた頻度の低さ、人的労力の過重さに比して、水中ドローンを投下し高精細画像・動画を陸上で確認することができる。しかも人力よりもはるかに広く、相対的に対象エリアの中をまんべんなく網羅に近く確認できるようになったことが挙げられる。また、当該箇所海水の水温、塩分濃度、溶存酸素濃度という環境データが、水中ドローンが水中を掃海するが如くに縦横に通過する海中で原則連続的に観測できることなども、人力と定点的に観測機器を潜水させて計測していた散発的な環境データ取得に比して、密に連続的に海域の状況を把握できるインパクトとして理解されているようである。

本実証のシステムが、ここまで述べたような勘と経験の領域に適用されるうえで、必要なモデリング等の抽象化・理想化は不可避である一方で、この後さらに実用段階に進めていくうえで、今後オーナーポジションを占める漁業者の“自分事”感を醸成していくためには、後述するように漁業者が勘と経験の歴史の中で重視しているポイントと、本実証及びその実用化過程で、DS領域やICT領域で重視されるべきと双方の専門家が認識するポイントに差異が生ずる可能性がある。そのような場合に、今後の実証場を提供してくれる漁業者たちの意欲・興味を減じないようにする実証提供側のコミットメントも重要と捉える。

実証に当たって、漁業者から提起されたポイントを列挙していきたい。

1. 本実証の対応範囲（カバレッジ）が、漁業組合としてカキ養殖を行っているエリア全域をカバーできないこと

この現状スペックに対する指摘ポイントを考えるに当たり、本事業者である漁業者が組合という組織構造の体をなしているが故に、加盟している漁業者それぞれの公平性を確保しなければならないという設立主体の根本的価値との非整合に行き当たった。

現行スペックのローカル5Gの電波伝播範囲が、カキ養殖海域に比して比較的小さいということは、こうした公平性を確保するうえでのカバー範囲問題に抵触したのみならず、実際に本実証後に実証関連の機器・システムを現プレーヤーである内能美漁協に譲渡する議論においても、実証現場である能美ロッジの代替地を検討していく段階で、海岸に面した地域で十分な電源が確保できる候補地を宛がうことができなかつた原因にもなった。

また更に広島県におけるカキ養殖の習慣として、時期によって漁協の管轄を超えて筏を移動させるということがあり、真に年間を通して活用できるようにするために広島湾全体で5Gが使える必要があることも本格的に本実証機器・システムを漁業者に展開していくうえで要検討課題になっている。

2. 水中ドローンが、メーカー純正品に各種センサーを取り付けるなど、種々のカスタマイズをしているが故に、例えば気密性の確保のために講じるべき稼働時の技術的なオペレーションが、技術的素養・基盤を持たない漁業者に心理的に過度の障壁となり得ること

も、漁業者との現地での意見交換の場での代表的な反応として挙げられた。

これは本実証は専門性を实地に試す意図と設えであることから、实地に技術的素養・知見・基盤を持たないユーザーに移管する際にはどうしても起こり得る齟齬・軋轢であり、それをどう緩和しユーザーの心理を懐柔していくか、実務的な経験値が求められると感じている。

より具体的には、本実証が海洋を環境基盤に据えている認識を外部提供者としても常に保持する姿勢、また実証は常に最終成果物たる海洋生物を相手にしている認識を忘れないことが、大いに鍵になりそうである。今回の実証でも既に各種気象条件の悪化などで種々の行程が延期されるなど、机上や研究室レベルでは遭遇しない現実環境の種々の要因の影響を現に被っている。今後の実証の中核においても、正にカキ養殖場という本番環境の現実の各種設定が、実証に思わぬ影響を及ぼさぬとも限らない。本実証における広島県・内能見漁協の漁業従事者は言うまでもなく、今後の実用化の諸プロセスにおいて実証フィールドを提供してくれる漁業者と、現実の諸問題に遭遇するたびに常に胸襟広く情報を共有し、問題について双方から忌憚なく解決を模索する協業体制を堅固に構築しながら、進めていくことが成功要因として強く推奨されるであろう。

上記した本実証で提起せられた漁業者からのフィードバックについても、当該漁業者とは密に度重なる協議を経て、实地に至るまでに理解を獲得できた経験値からも、単に技術保有側が一意的に使用法について教示し、ツール・システムを提供するというスタンスではなく、ユーザーができること、したいことを明確に関知し汲み取り、その標準的なものを実現できる設計は用意する。またそのうえで、实地に使用するに当たり、ユーザーたる漁業者の使い勝手、一旦使用に供したうえで浮上する深掘りされたニーズに対応するかたちで、一定程度合いフレキシブルに事後対応していくことでそれらの実現を手助けしていく地道な相互協業の積み重ねが求められると言えよう。

## 6.7 まとめ

本章で既に詳述してきたが、本実証で得られた水中ドローンとローカル5Gによるカキ養殖事業の人力代替の課題解決システムを实地にカキ養殖事業者に横展開していく手段として、クラウド型の共通プラットフォーム「5Gソリューション提供センター（仮称）」を軸に据えた方式を考える際、

1. 本実証で先鞭をつけたかたちになった、実際に使えるシステムとしての詳細な必要性能スペックを、本実証とは違う環境下でも実証することで汎用的に確定させていくこと、

2. 個別ユニットの性能スペックを固めることと並行して、「5Gソリューション提供センター（仮称）」に紐づくSaaS型サービスとして展開するための、使用者たる漁業者が技術的専門性を保有しなくとも導入活用できるための最終製品としての仕上がりを決め、その状態で出荷展開できるように事業者集団に対して適切なガイダンスを行っていくこと、

3. 導入者たる漁業者の活用環境下で適切に稼働するためのコンサルティング、使用方法の教示を行う教育システム、使用中のメンテナンス体制の整備等、実用段階で稼働が円滑に進むための体制整備が求められる。

各々の項目ごとに必要な活動内容については既述の通りである。

実際には、6.6.3で言及したように、来年度以降どのような期間で、どのようなスピードと展開率を指標にして横展開していくのか、大きな里程標を含む全体構想を策定し、それに基づいて各年度ごとの活動目標を決めていく必要があるであろう。次年度からしばらくは、今回の実証のように単独ないしは数を限った漁業者と実証を進めていき、「5Gソリューション提供センター（仮称）」始動プランへと合流させていく青写真を描く必要がある。

少なくとも次年度は、上記した機器スペックを明確に定めていくこと必要があること、そしてそれは恐らく本実証の広島県江田島市・内能美漁協のようなカキ養殖の盛んな地域での協働パートナーとなる漁業者を選定し、そこで第二の実証を行っていく必要があるであろう。同時に運用上のトラブルシューティングを作成するための種々の環境下でのトラブル例への対処も経験値として蓄積していく必要がある。そうやって本実証の機器の実地運用版を確定させつつ、「5Gソリューション提供センター（仮称）」へ組み込んで、システムとして横展開しやすいバンドリングを行っていくことになるであろう。

## 7. 会合等の開催（該当する活動がある場合）

本実証実験で得られた結果に対して、水産業に携わる専門の知識を有する第三者からの評価、示唆が必要であると考え、本コンソーシアムとは別に、実証フィールドとなる広島県、広島市、海洋技術センター、漁業組合の有識者からなる協議会を設けた。

協議会の開催趣旨は、実験結果に対する公平な評価を得る事であり、また、実証実験の遂行にあたり、既に実験計画があるものの、専門的な見地から分析評価に対する助言をいただくことである。また実際に実証フィールドにお越しいただくなど、遠隔からの水中ドローンの操縦を体験いただくことで、課題解決システムと水産分野への感応度を検討いただくことも期待する。

協議会では、課題解決システム自体の評価以外に、持続可能な事業モデルへの助言、さらに横展開に資する普及モデルへの助言が得られる意見交換が可能な場としても開催した。

なお、新型コロナウイルスへの感染拡大防止の観点から、頻繁に開催ができなかったのが残念であるが、必要に応じてオンライン会議、メールを活用し助言などをいただいた。

協議会で得た評価、会議模様は以下に写真も貼付し報告する。

### <開催実績>

日時：2020年12月17日

場所：広島県水産海洋技術センター

参加者：11名

議題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証概要、水中ドローンの概要、操作説明</li> <li>・水中ドローン操縦体験</li> <li>・質問紙を活用した海中の状況の可視化システムの評価</li> </ul>
模様・結果	<p>&lt;模様&gt;</p> <p>地域の水産業に密着した技術開発を行っている広島県水産海洋技術センターにて、実証環境の地域に詳しい漁業組合の関係者や県の漁業関係者などに集まって頂き、本実証の説明や水中ドローンの概要、操作の説明、操縦体験をして頂き、可視化システムの評価を行った。詳細は、「3.4 実証参加者への説明」へ記載のとおり。</p> <p>&lt;結果&gt;</p> <p>海中の高精細映像は、効率的であるとともに情報量が多く、非常に有効であるとの評価を頂戴した。詳細は、「4. 課題解決システムの実証」の『漁業関係者アンケート結果』へ記載のとおり。</p> <p>&lt;その他参考資料&gt;</p>

BlueROV2 広島県海洋技術センター様 チェックリスト 2020/12/17日/ 時記録

N0	チェック項目	数量	レ備
1	ROV 外観、ネジ緩みないかドライバーで確認、耐圧容器(エンクロージャ)高真空グリース確認	1	
2	ROV 漏水チェック 制御回路容器ペネトレーター外し、Oリングに高真空グリース確認 10 infg 遠レバーを引いてメモリに合わせる、15分後 9 infg 以上ならシール状態は OK	1	
3	ROV 漏水防止用 耐圧容器 (2本:制御部 + 電池部) ビニルテープ巻き付け、ソフトパテ封入	2	
4	黄色のテザーケーブル 20m程度 必要距離確保	1	
5	ワイヤレスゲームコントローラ:単3-BAT2本 確認 アスター電圧記録 (V) 裏面ボタン位置確認	1	
6	FXTI 通信インターフェースボード + PC側Ethernet ケーブル ROV側2本(青、白)接続	1	
7	ケーブルふらつき分のケーブルタイ 結束	1	
8	QGroundControl操縦ソフトインストール済PC準備 >> 起動 >> QGCソフト起動	1	
9	BlueROV2 Li-PO電池 (Li-ION) 確認 アスター電圧記録 (V)、予備電池電圧 (V)	1	
10	BlueROV2 電池接続 (起動ランプ、音確認) >> 耐圧容器蓋固定 ネジ緩み・防水確認	1	
11	電池用耐圧容器ペネトレータを外し、真空計を取付けて、 10 infg 遠レバーを引いてメモリに合わせる、15分後 9 infg 以上ならシール状態は OK	1	
12	FXTI用5V電源 FXTIボードへ接続 >> ACアダプターをコンセントへ接続	1	
13	照明固定 インシュロック等で固定強化	1	
14	PC立ち上げ、QGC設定環境の確認、通信リンク正常か確認	1	
15	ROV内画像確認、	1	
16	コントローラで各ボタンの動作確認 異常ないか確認、(プロペラ風向き確認)	1	
17	ROVを水槽へ静かに吊るして降ろし、バラスト確認(ロボットの浮き・沈み具合、左右のバランス)	1	
18	ROV操縦確認 :前進・後進、左右・旋回、潜航・浮上 操作と反応状況を確認 (ビデオ記録)	1	
19	ビデオカメラ撮影 + 三脚 水槽ソバへ設置 落下防止紐固定	1	
20	ROV内 HDカメラの記録 録画はwin10装備 ウィンドウズ キー+ALTキー+Rキー録画開始	1	
21	実験終了後は、存在付で回収し、残水を手拭きで拭き取り、風力を取り除いて、タオルで耐圧容器等を拭き 湿気がないか確認	1	
22	LiPo電池チャージャーで、電圧不足電池 はチャージする	1	
23	乾燥材 (シリカゲル) 必要に応じて容器内へ入れること有り	4	
24	ウェス(タオル) 撮影後 水拭き取り	1	
25	撮影用ロープ + 3本爪 ロープ + ROV吊チェーン固定	1	

図 227 BlueROV 動作前事前チェックリスト

# BlueROV2 オペレーションマニュアル

## 目次

### バッテリーの交換方法

2. 電池カバーをロック解除ボタンを押して開きます。

電池カバーはロック解除ボタンを押さなければ開きません。



4. バッテリーエンクロージャーからバッテリーを取り外します。

図 228 BlueROV 動作前事前チェックリスト

### BlueROV2 コントローラ 全機能説明 & 操作法



図 229 BlueROV コントローラ操作方法

— 水中ドローン利用による実証アンケート —

本日は実証へのご参加ありがとうございます。今後の仕業養種（漁業全般）への水中ドローンの活用可能性について、評価を行うべくアンケートのご協力をお願い致します。

1. 水中ドローンの評価について

〈1〉操作性

①実際に水中ドローンを操作してみた感想を教えてください。  
とても簡単 どちらかといえば簡単 どちらでもない やや難しい 難しい

②操作性についての感想を教えてください。（自由記述）

〈2〉作業効率

①水中ドローンを利用することで作業効率化につながるかどうか感想を教えてください。

<仕業養種>

つながる どちらかといえばつながる どちらでもない  
どちらかといえばつながらない つながらない

<漁業全般>

つながる どちらかといえばつながる どちらでもない  
どちらかといえばつながらない つながらない

②作業効率化につながる具体的な利用シーンを教えてください。（自由記述）

<仕業養種>

<漁業全般>

〈3〉作業負担

①水中ドローンを利用することの負担について感想を教えてください。  
負担になる どちらかといえば負担になる どちらでもない  
どちらかといえば負担にならない 負担にならない

②具体的にどのあたりが負担になるかを教えてください。（自由記述）

図 230 漁業関係者への評価アンケート

日時：2021年3月3日

場所：広島県水産海洋技術センター

参加者：4名

議題	・養殖漁場環境の分析システム
模様・結果	<p>&lt;模様&gt;</p> <p>2020年12月17日と同様、広島県水産海洋技術センターにて、実証環境の地域に詳しい漁業組合の関係者や県の漁業関係者などに集まって頂き、養殖漁場環境の分析システムの評価を行った。</p> <p>&lt;結果&gt;</p> <p>養殖漁場環境の分析システムは、水中ドローンの活用により広範囲に海中状況の可視化と共に環境センサーのデータの可視化が可能になるため、貧酸素水塊など海洋汚染に対し、効果的な対策が可能である。</p> <p>詳細は、「4.4.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム」へ記載のとおり。</p>

## 8. まとめ

### 8.1 全体概要

実証地域である広島県の主要産業であるカキ養殖量は、生産量の低下が課題となっている。「生育中のカキへの付着生物による潮通しの妨げや餌の競合の影響」、「海底堆積物による養殖環境の悪化（貧酸素水塊）の影響」などにより引き起こされるカキの「へい死」が主たる原因と言われている。養殖場の環境、カキと競合する付着生物、カキや付着生物の排泄物やそれらの落下による底質悪化等、海の中の状況を広範囲にダイバー等で確認する事は困難である。

また海中センサーによる水質モニタリングは定点観測が主な状況で、広範囲にモニタリングを行うためには、沢山のブイを配備することになり船舶の航行路に支障がでる。

また海中に沈める手段もあるが、モニタリングデータの取得のための引き上げの作業が生じるため困難である。特に人手での水質計測は非常に手間が掛かることから、頻繁に多くの地点で実施することは容易ではない。

異なる地点間の水質の比較や、局所的な水質変化を把握できるような高密度、高頻度での水質計測は広くは実施されておらず、一部自治体や港湾管理組織などが調査を行っているが、人的稼働とコストを鑑みると漁場環境が適切に把握されていないのが現状である。

養殖におけるこれら影響の低減、改善のために、水中の可視化、環境データの取得が重要となり、水中における状況把握にロボット(水中ドローン)の活用が期待されている。本事業では養殖場における高精細映像による可視化に合わせて、センサーによる環境データの取得が可能なシステムを構築し、その実現に向けて広島県江田島市で実証実験を行った。

また、高精細映像を地上に伝送し、地上からリアルタイムに水中ドローンを遠隔操縦するためには、大容量伝送低遅延の5G通信が必要であるため、海上におけるローカル5Gの通信品質を確認し、海上におけるエリア構築について考察するとともに、ローカル5Gとキャリア5Gの共用検討を目的とした。



図 231 実証場所 江田内漁場 俯瞰図

## 8.2 課題実証

課題実証では下記2つのシステムを構築した。

陸上の遠隔地から海中の状況を可視化するために水中ドローンを操縦し、更にドローンが撮影する映像を遠隔地に伝送するため、映像伝送に対して効果が期待される大容量・低遅延の5G技術を活用した「水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム」を構築した。

水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システムを用い、ローカル5Gを活用して陸上から水中ドローンを遠隔操作し、海中の状況を可視化できることにより、「養殖するカキの生育に影響を与える付着生物の状況」をリアルタイムで把握できるとともに、漁業者の労働環境の改善が実現し、結果としてカキの海面養殖における生産性の低下の歯止めを繋げられるかの実証を行った。

また、映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析では、水中ドローン搭載（あるいは外付け）のセンサーを用いる事で海水温、塩分濃度、溶存酸素濃度の環境データを取得することが可能となるため、一定の海域において、水中ドローンで取得した映像と、センサーで取得した環境データを組み合わせ、且つローカル5Gが持つ大容量、低遅延の技術を活かした養殖場環境の分析システムを構築し、このシステムを用い、取得する映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析評価を行った。

それぞれの実施内容と結果を8.2.1～8.2.2で述べる。

### 8.2.1 水中ドローンを活用した遠隔での海中の状況の可視化システム

過去の実証から水中ドローンの遠隔操作においては、操縦信号の遅延に大きく左右されることが分かっている。ローカル5Gを用いて、遠隔地の陸上から水中ドローンを操縦することが可能であるか、遅延を測定し、評価・検証を行うとともに、複数台の水中ドローンの同時利用を想定し、スループットが十分出せるかどうかの検証を行った。

また、カキ養殖における作業負担の軽減、効果的な対策の判断へつなげるかの評価を行うため、水中ドローン搭載のカメラで撮影する高精細映像によりカキ筏への付着生物及び海底の堆積物の状況確認が可能であるかの検証を行い、検証結果の評価・分析を行った。

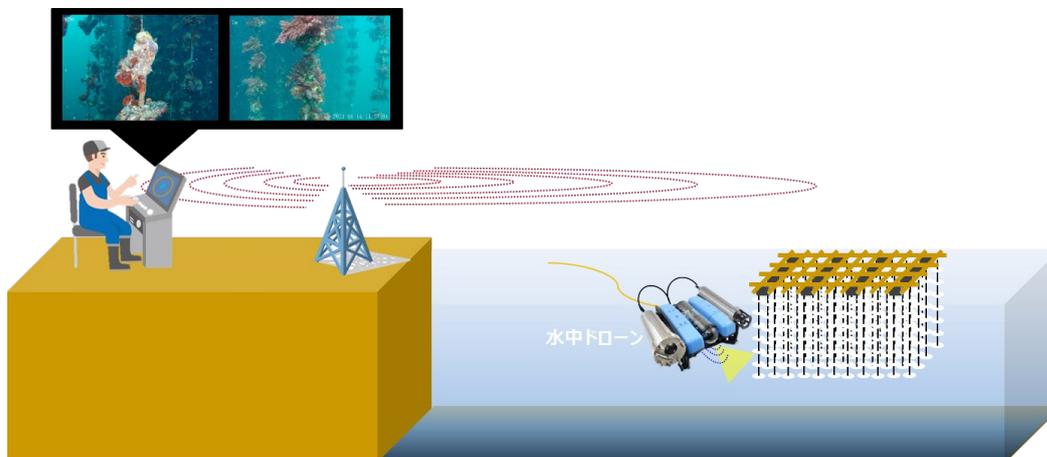


図 232 遠隔での海中状況の可視化システムイメージ

結果に関して、以下に考察を述べる。

高精細映像によるカキに対する付着生物の把握については、FHD の解像度で十分に活用可能であった。今回使用した水中ドローンの特性上、FHD 解像度の映像伝送に必要な通信速度が FIFHS V6 Plus : 約 30Mbps、BlueROV : 約 15Mbps と想定以上の通信速度が必要であったが、ローカル 5 G の UL 通信性能的に十分要件を満たしていることと、UL:DL 比の変更が可能なローカル 5 G の有効性が期待できる点でもある。水中ドローン 1 台あたり、15Mbps から 30Mbps の UL 帯域が必要であることから、200Mbps 程度の UL 帯域があれば、6 台程度の水中ドローンを同時に収容可能であると考えられ、ローカル 5 G の基地局の数を増やすことなく水中ドローンの複数同時運用をスケールさせることが可能となる。

水中ドローンにて撮影した垂下連の養殖カキへの付着生物の状態、海底の堆積物の高精細映像の漁業関係者からの評価は、HD、FHD、UHD のいずれの解像度にもかかわらず、高精細映像による付着生物、海底の堆積物の把握することができるという評価が得られた。

解像度が高い画像の方がより詳細な判別が可能であるが、HD の解像度でも十分に付着生物の判別が出来ることから、UHD の解像度までは必要なく、特に UHD 解像度を表示できるデバイスはこれからの社会において主流になりつつあるが、準備・導入のコストを鑑みて一般的ではないと推察すると、社会的に見て浸透している動画解像度である FHD の解像度が最適という結論に至った。

また、本システムの実装効果について、主に漁業者へのヒアリングによる定性評価による効果検証を実施した。それにより水中ドローンを用いることで、一生産者あたり年間約 84 万円の費用削減が可能との試算結果となった。水中ドローンの高精細映像による付着生物の確認作業が効率化できることに加え、従来のクレーン船に代えて小型船で済むことや、養殖場の種々のノウハウを保持した知見者が現場に行かなくても済む等、コスト効果が高いという評価が得られた。

## 8.2.2 映像と環境データを組み合わせた養殖漁場環境の分析システム

水中ドローン搭載のカメラで撮影した「海底の堆積物」の状況に関する高精細映像と、水中ドローン搭載のセンサーで取得した海水の「水温」、「塩分濃度」、「溶存酸素濃度」等の環境データによる「漁場環境推定モデル」を実装して取り込んだ「養殖漁場環境の分析システム」を使うことにより、養殖漁場における海水の環境データと海底の堆積物の状況を把握できるか検証を行い、カキの主要なへい死要因である、貧酸素水塊の発生状況の把握、及びそれらの発生場所が特定できるかの検証結果を評価・分析した。

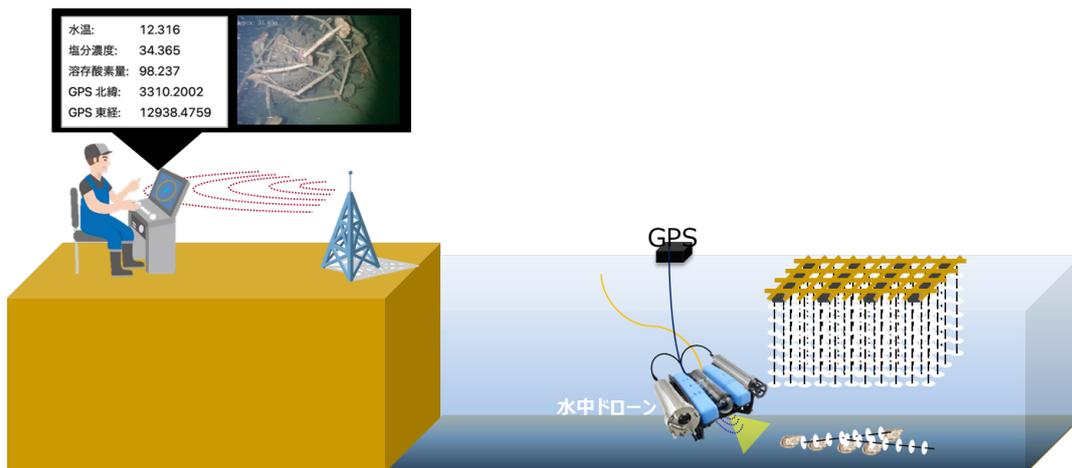


図 233 養殖漁場環境の分析システムイメージ

今回の結果からは顕著な溶存酸素の変動は見られなかったが、センサー搭載の水中ドローンのデータから水質の状況を点ではなく面で可視化することが可能であり、高精細映像からその原因を特定できると言える。

漁業関係者からの評価は、「映像と環境データの組み合わせにより、漁場の様子が視覚で判別できることにより、新たに見えてくる情報が沢山ある」とのコメントを頂戴した。これまでは水質の状況を点でしか捉えることができなかったが、映像と環境データの組み合わせにより、海底の状態を可視化できることから、あるべき海底の状態の知見が溜まることで、より効果的な対策が可能になる。また、漁礁や養殖環境の可視化から得られる情報による新たな発見に期待が伺えた。

また、漁業関係者からのヒアリングによると、従来の水質モニタリングは人手もかかることから点での調査に留まっていたが、水中ドローンの活用により広範囲に調査が可能になるため、これまで発生源の特定が困難であった貧酸素水塊の調査が可能となることが期待できる。また、原因の特定が可能となる事で海底耕耘などの対策を行う等の結果、カキ養殖におけるへい死率の減少につなげることが期待できる。

映像と環境データ、位置情報の組み合わせにより、海底の状態、海域を一目で判別できるため、貧酸素水塊が発生していればその発生場所の特定が可能であるという評価を得られた。また、海底の状態の可視化できれば、あるべき海底の状態の知見が溜まることで、より効果的な対策が可能となる事が期待できる。

### 8.3 技術実証

技術実証では、下記3つの項目について検証を行った。ア) 海上の必要な場所に、水中ドローンが必要とするスループットの通信品質を提供できるかの検証を実施した。イ) 4.7GHz帯の海上における電波伝搬においては、海面反射(マルチパス・フェージング)による影響が考えられる為、その影響の調査、検証を実施した。ウ) ローカル5Gの普及においては、キャリア5Gと同一エリア内で共存することが想定され、特に今後ローカル5Gに割り当てられる予定の4.7GHz帯(4.6-4.9GHz帯)と近接する周波数帯(4.5GHz帯)のキャリア5Gの干渉影響が考えられる為、ローカル5Gのキャリア5Gへの与被干渉による影響を測定、考察を行った。それぞれの実施内容と結果は8.3.1~8.3.3節で述べる

#### 8.3.1 ユースケースに基づくローカル5Gの性能評価等

基地局から距離が異なる20箇所を測定場所と設定する。海上の船上で測定器を用いて受信電力(RSRP、RSRQ)を測定した。また、測定ツールとしてスピードテストツールを利用して通信品質(スループット)、及び伝送遅延時間を測定する。それぞれ複数回測定した。また、海面反射(マルチパス・フェージング)による影響を調査検討するにあたり、潮位が異なる環境下で同様の測定をし、結果を比較することでその影響の考察を行った。

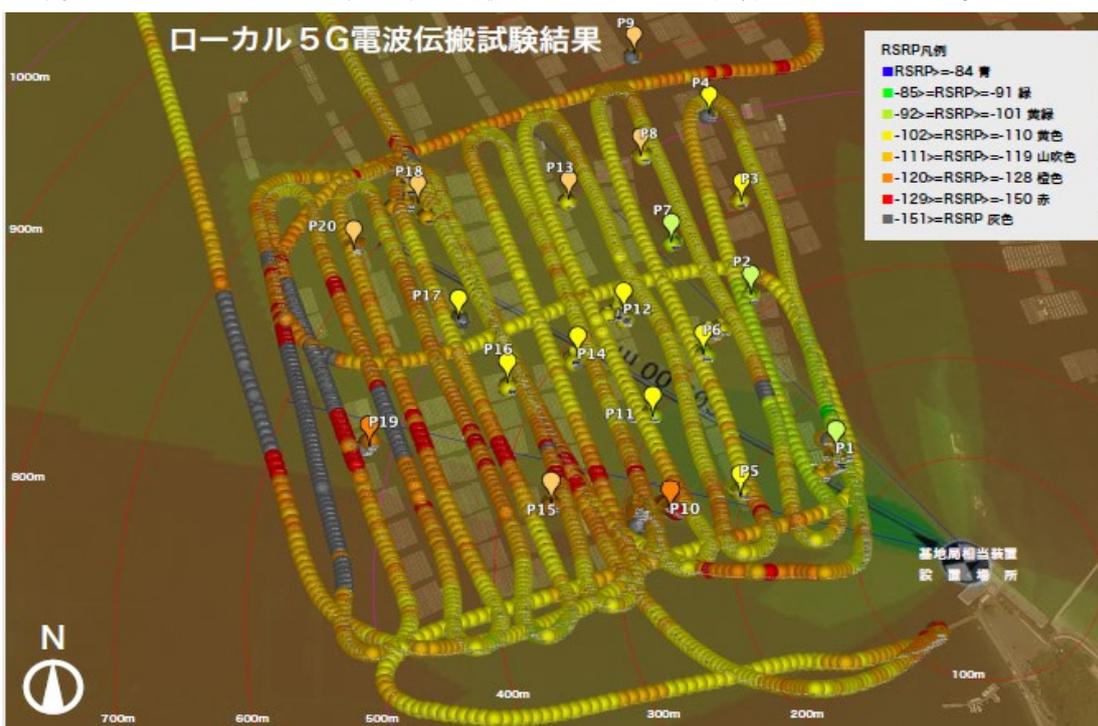


図 234 業務区域

結果として、アンテナから500mと設定したサービスエリアにおいて、アンテナパターンに基づき、下記の通信品質を満たす通信ができることを実証できた。また、海面反射の影響の有無を確認するにあたり、同じポイントで、異なる潮位のタイミングで通信品質、受信電力を確認し、その比較した結果として、約5dBmの差を確認した。この結果は海面反射の

影響と特定することは出来なかったが、今後漁場においてエリア設計を実施する際にはこのマージンを考慮して設計することが必要である知見を得た。

表 8 7 ユースケースに基づく性能要件

性能要件の指標		要件の根拠	性能値
受信電力(RSSI)		電波法審査基準 (総務省)	-84.6dBm カバーエリア -91.0dBm 干渉調整エリア
スループット	上り	水中ドローンからの映像信号(FHD (H.264) 30FPS)	6Mbps~12Mbps
	下り	水中ドローンの遠隔操作用の信号	10Kbps~50Kbps
遅延		水中ドローンが求める遅延の指標	100ms 未満

### 8.3.2 ローカル5Gのエリア構築やシステム構成の検証等

シミュレーションの結果、及び 8.3.1 で実施の測定結果に基づき、海上におけるエリア構築に対する考察を行い、設計手法における課題、留意点の洗い出しを行った。

ローカル5Gのエリア設計、免許申請、整備設計等の整備計画においては、免許取得がされるまでに実フィールドで電波発射する事が出来ない為、事前に実フィールドに即した受信電力のシミュレーションの結果を元に実施する事が必要である。本項目では海上におけるローカル5Gエリア構築において、シミュレーションの結果と実フィールドでの実測との比較において、海上におけるローカル5Gエリア構築に対する知見を整理した。

結果として、机上シミュレーションと実測結果を比較したところ、概ね机上計算結果と実測値が一致することが検証された。しかしながら一部の標準偏差による分析の結果においては、値が分散する事象が確認された。今回、この結果の要因は明らかになっていないが、漁場でのローカル5Gの利用においてはこの変動があることを考慮し、それをマージンとして設計をする必要があることを検証できた。想定される要因として、漁場における船の揺れにより、船に固定された移動局のアンテナが基地局に対して揺れたことが考えられる。構築したローカル5Gのエリアは沿岸から海洋に向けた扇形の形状となっており、必然的に指向性の高いセクターアンテナを利用する必要があり、電波の受信感度がアンテナの方向と仰角にセンシティブになることが原因と考えられる。

### 8.3.3 その他ローカル5Gに関する技術実証

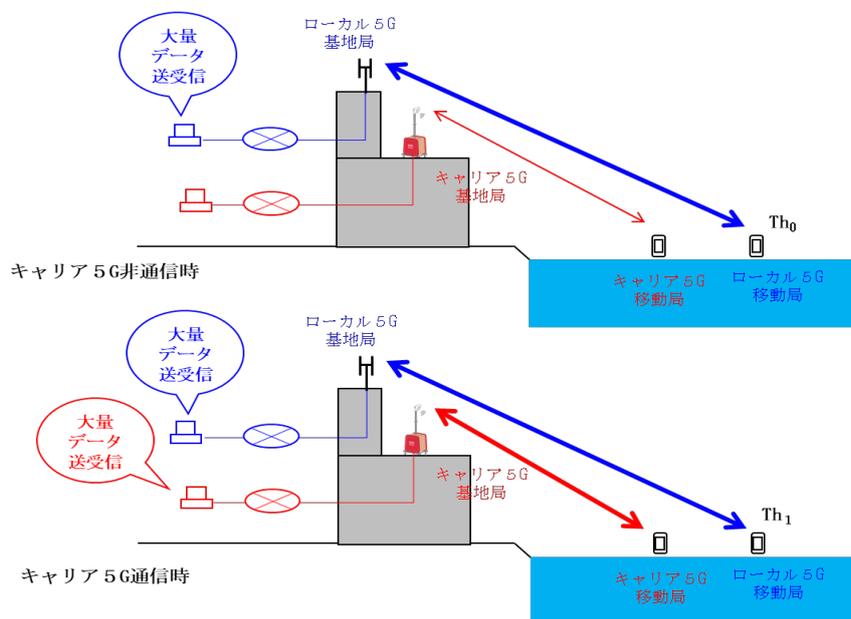
海中養殖物の状況把握業務に関する課題解決のシステムの実証用に、ローカル5Gに割り当てられた4.7GHz帯(4.6-4.9GHz帯)と近接する周波数帯(4.5GHz帯)のキャリア5Gを構築する。海上がキャリアの5Gでエリア化されており、5Gスマホを持った漁業関係者が船で通過する状況を想定し、キャリア5G、ローカル5Gの共存環境における相互

の性能における影響を確認し、実運用に対する考察を行った。

通信状況により電波電力が変わることで電波環境が変わる事による、共存環境における与被干渉による影響の測定、考察を行う。下記のパターンで受信電力 (RSRP、RSRQ) とスループット (上り、下り) を測定することを想定している。

表 8 8 共存可能性検証パターン

	ローカル 5G	キャリア 5G
パターン 1 :	通信状態	非通信状態
パターン 2 :	通信状態	通信状態
パターン 3 :	非通信状態	通信状態



キャリア 5G 通信時、非通信時におけるローカル 5G への影響評価⇒Th0 と Th1 の比較で評価

図 235 共存可能性検証イメージ

測定の結果の分析においてキャリア 5G、ローカル 5G とともに、パターン 1~3 のスループット (上り、下り)、遅延 (RTT) の結果においては差が認められず、今回利用の周波数においては、相互影響は認められなかった。ローカル 5G 整備においては、現状キャリア 5G が干渉調整対象となり、その干渉調整において、今後干渉調整を実施するにあたり、それを知見に基づき簡易化させる上で、ひとつの指標となるデータが取得、整理できたと考える。

これにより、ローカル 5G を広く展開させるにあたり、キャリア 5G とローカル 5G の干渉調整が簡易化されることが望ましい。ただし、一定の条件において実証を行ったため、さらなるパターンを考え、キャリア 5G 提供者とローカル 5G 提供者が互いに共通の知見を蓄積していくことが重要であると考え。

## 8.4 実装・横展開に関する検討

本実証で得た水中ドローンとローカル5Gによるカキ養殖事業の人力代替の課題解決システムを、実地にカキ養殖事業者に横展開していく手段として、クラウド型の共通プラットフォーム「5Gソリューション提供センター（仮称）」を軸に据えた方式を考える際、

1. 本実証で先鞭をつけたかたちになった、実際に使えるシステムとしての詳細な必要性能スペックを、本実証とは違う環境下でも実証することで汎用的に確定させていくこと、

2. 個別ユニットの性能スペックを固めることと並行して、「5Gソリューション提供センター（仮称）」に紐づくSaaS型サービスとして展開するための、使用者たる漁業者が技術的専門性を保有しなくとも導入活用できるための最終製品としての仕上がりを決め、その状態で出荷展開できるように事業者集団に対して適切なガイダンスを行っていくこと、

3. 導入者たる漁業者の活用環境下で適切に稼働するためのコンサルティング、使用方法の教示を行う教育システム、使用中のメンテナンス体制の整備等、実用段階で稼働が円滑に進むための体制整備が求められる。

各々の項目ごとに必要な活動内容については、対応する節で既述した通りである。

実際には、6.6.3で言及したように、来年度以降どのような期間で、どのようなスピードと展開率を指標にして横展開していくのか、大きな里程標を含む全体構想を策定し、それに基づいて各年度ごとの活動目標を決めていく必要があるであろう。次年度からしばらくは、今回の実証のように単独ないしは数を限った漁業者と実証を進めていき、「5Gソリューション提供センター（仮称）」始動プランへと合流させていく青写真を描く必要がある。

少なくとも次年度は、上記した機器スペックを明確に定めていくこと必要があること、そしてそれは恐らく本実証の広島県江田島市・能美漁協のようなカキ養殖の盛んな地域での協働パートナーとなる漁業者を選定し、そこで第二の実証を行っていく必要があるであろう。同時に運用上のトラブルシューティングを作成するための種々の環境下でのトラブル例への対処も経験値として蓄積していく必要がある。そうやって本実証の機器の実地運用版を確定させつつ、「5Gソリューション提供センター（仮称）」へ組み込んで、システムとして横展開しやすいバンドリングを行っていく必要がある。

同時に、沿岸養殖漁業に対する横展開のために、沿岸地域での陸水接続地域、海洋上（筏、漁場）における電波伝播特性の知見を蓄積し、他地域に応用することが必要である。今回は沿岸地域の一箇所を選定して実験を行ったが、地形、気候、気象条件、波浪状況のバリエーションにおける電波伝播特性は取得できておらず、来年度、このような様々な条件下でのローカル5G運用の知見と経験を蓄積するための実証実験が望ましい。

## 9. 参考資料

- ・各機関より HP にてプレスリリースを実施した。

日付：2020/11/20

件名：「地域課題解決型ローカル 5 G 等の実現に向けた開発実証に係る漁業分野におけるローカル 5 G 等の技術的条件及び利活用に関する調査検討」の開始について

内容：下記 URL の通り

URL： <https://www.layers.co.jp/news/pressrelease20201120/>

[https://www.nttdocomo.co.jp/info/notice/chugoku/page/201120\\_00.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/notice/chugoku/page/201120_00.html)

<http://www.iii.u-tokyo.ac.jp/news/2020112013080>

<https://www.nesic.co.jp/news/2020/20201120.html>

- ・ FIFISH システム構成図

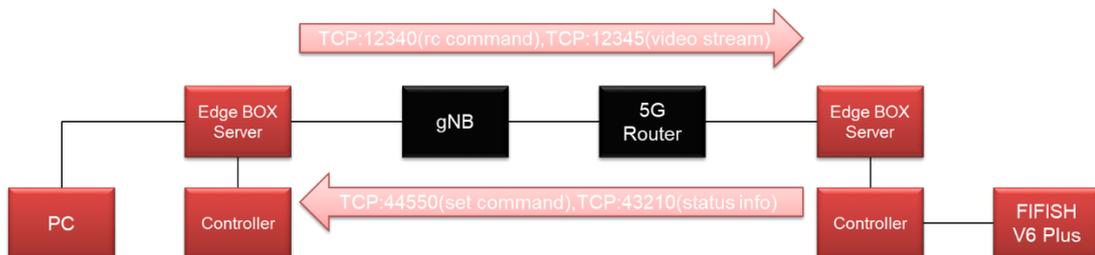
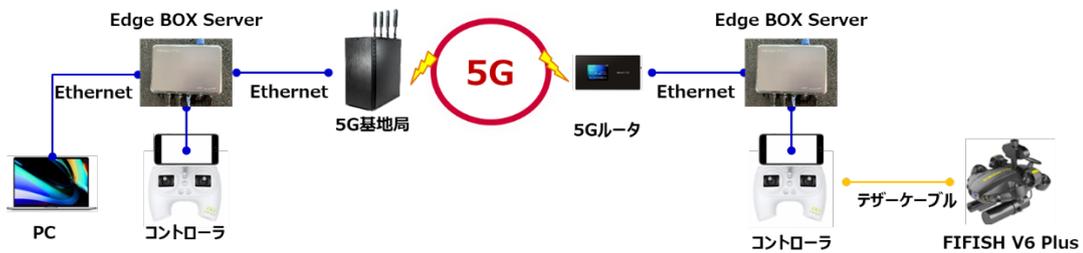
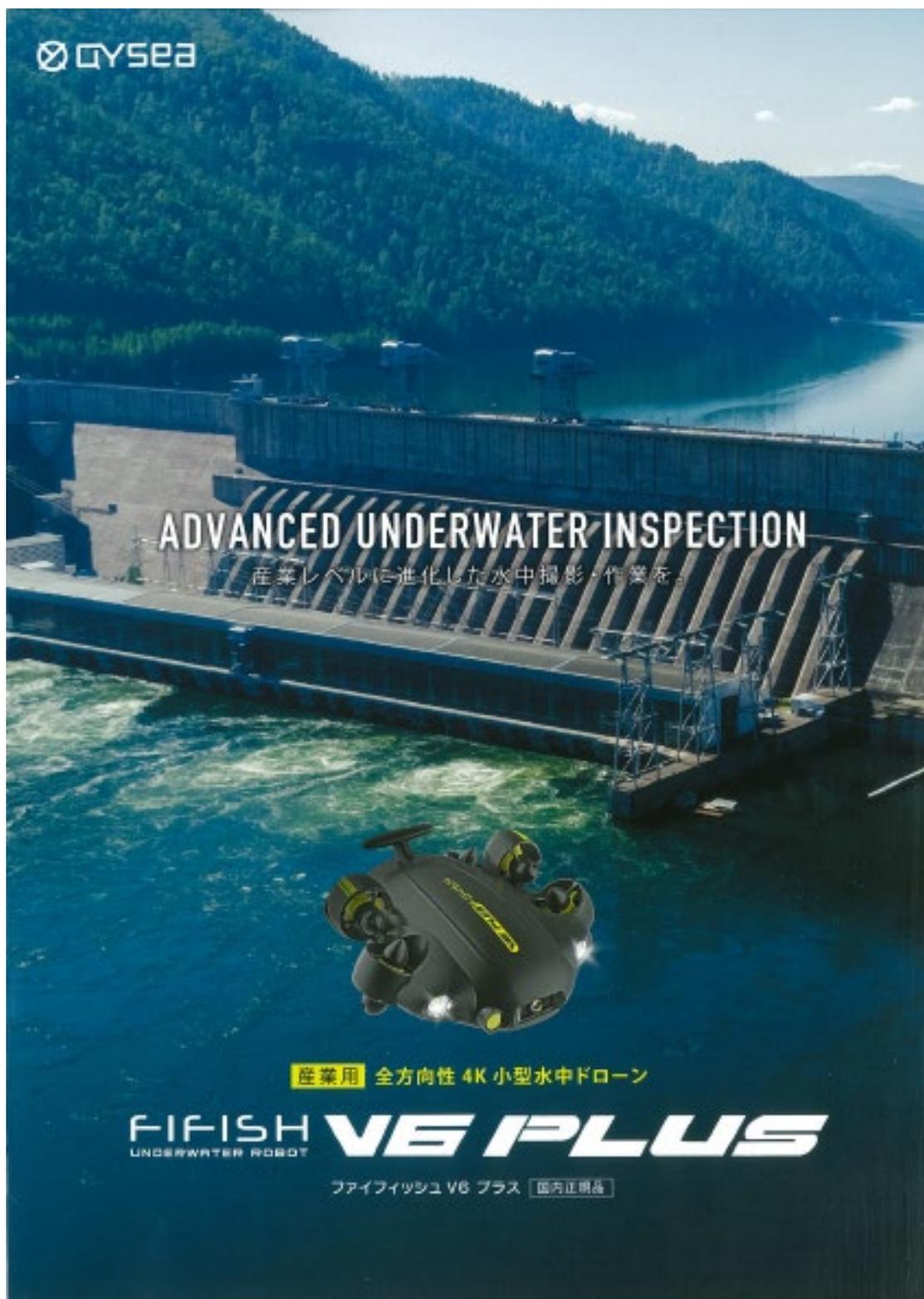


図 236 FIFISH システム構成図

・FIFISH カタログイメージ



QYSEA

ADVANCED UNDERWATER INSPECTION

産業レベルに進化した水中撮影・作業を

産業用 全方向性 4K 小型水中ドローン

FIFISH UNDERWATER ROBOT **V6 PLUS**

ファイフィッシュ V6 プラス 国内正規品

## 産業用 全方向性 4K 水中ドローン

# FIFISH V6PLUS ※V6.S (G1+追加)

世界初の全方向性 4K 水中ドローン FIFISH V6 の基本性能を引き継ぎながら、OYSEA 特許の Q-Motor (高性能・センサー搭載) を採用し、機性の強化、新しいオプションパーツの追加で産業レベルの高深度で幅広い水中作業を可能にしました。

## FIFISH V6PLUS の特徴

(V6PLUS の新機能は黄色文字で表記しています)

<b>+</b> <b>Q-Motor Power System</b> 最大速度 <b>3.2 knots</b> モーター寿命 <b>600時間</b>	<b>+</b> <b>156 Wh バッテリー</b> 稼働時間 <b>4~8 時間</b>	<b>+</b> <b>高輝度 LED ライト</b> <b>6000 lm</b>	最大深度 <b>100m</b> 稼働温度 <b>-10~60℃</b>
---	--	---	---

## + 距離ロック・ソナーシステム

V6PLUS は、衝突防止システムを備えた DLCA ソナーシステムを搭載。さらに、DL (Distance Lock) は、V6PLUS が下からの高さと前進速度を修正できるようにします。これにより、運用上の複雑さが大幅に軽減されるため、パイロットは重要な画像の撮影・記録に集中でき、V6PLUS は、あらゆる種類の船隻 (大型船舶、ボート / ヨット、施設など) に理想的なツールになります。



## + SD カードへの直接記録が可能

本体底に SD カードスロットを搭載。



## + オープンソース

OYSEA Platform は、オープンソース (CMD / Communication Protocol) を搭載。ユーザーは、様々なアプリケーション (Windows/Linux / Android / IOS) 向けに再設計できます。

## 自由自在な動き

独自の制御装置によって、あらゆる方向で自由自在に姿勢維持ができ、直感的な動きが実現可能。また、機体は任意の角度で深度、高度ロックが可能。機体を縦にしたり、横に回転させることによってケーブル絡みや、狭い場所からの脱出も可能です。

## VR ヘッドトラッキング

機体運動のヘッドトラッキングが可能。付属の VR ゴグルを使用すれば、目の動きだけで機体の動きをコントロールできます。FPV を行うことで、スマートフォンで見るとより見やすくなるため、没入な操縦が可能です。



- 1200 万画素・4K UHD カメラ
- 166° FOV 広角レンズ
- 専用アプリ
- 画像鮮明化プログラミング
- ライブ配信・HDMI 出力



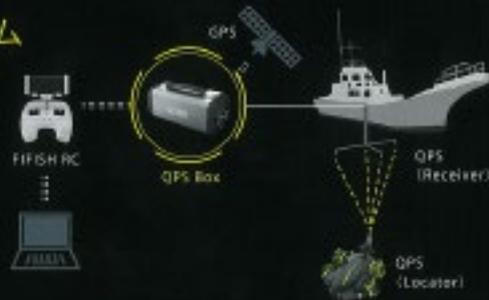
## 世界中の様々な現場で活躍しています

各種調査（水質調査、調査、観測、水刀作業など）、救急、救助など、  
 水中での操作性と耐しさを重視し、誰でも簡単に操作できます。  
 用途に応じて設置されているオプションパーツで、産業レベルの高度な作業が可能です。

**+ オプションパーツ** 用途に合わせて選べる、様々な機能のパーツをご用意。

### クイックポジショニングシステム

VEPLUS GPS キットは、QPS (Underwater quick positioning system) 機能を搭載し、ハード・ソフトウェアの両方のアップグレードが可能。QPS を使用すると、パイロットはいつでも水面下の VEPLUS がいる場所・向きをリアルタイムで知ることができます。(深度 100~300 フィートの船体検査、捜索・救助などに適しています)





**High Precision Laser Scaler**  
 高精度レーザースケイラー  
 水深最大100mで船体表面のサイズを測定できます。



**Water Sampler**  
 サンプラー  
 機能：水の採集  
 容量：200ml  
 材質：アルミとステンレス  
 一度使用可能



**Gamma Detector**  
 ガンマ検出器  
 機能：ガンマ放射線を検出  
 検出範囲：1.5m~200m  
 (20m以下は0.1m単位)  
 検出精度：±0.05%



**Automatic Spool**  
 高丈夫なケーブルと電動リール  
 容量：100m  
 巻取り：200m / 10min  
 18V/4.0Ah、充電可能



**FIFISH Auxiliary Camera**  
 FIFISH専用カメラを使用して、リアルタイム映像をリアルタイムで確認可能。



**Underwater GPS**



**Thruster Protectors**  
 保護カバー



**Manipulator**



**Underwater Diver**

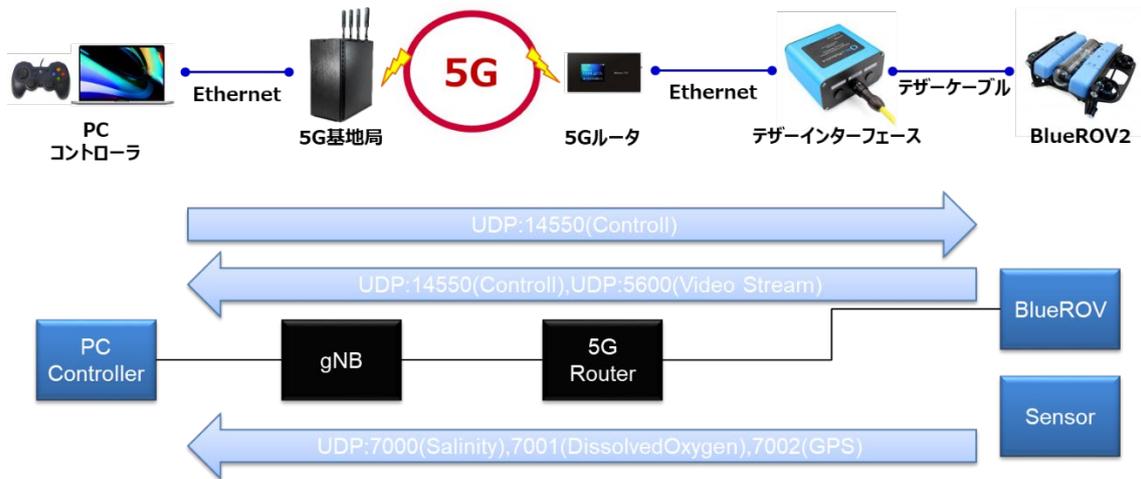


**Water Sampler**

※各オプションパーツは、別途購入が必要です。



・ BlueROV システム構成図



・BlueROV カタログイメージ



# BlueROV2

Remotely Operated Subsea Vehicle



海岸土木



施設



養殖



船舶



プラント



水道



ダム

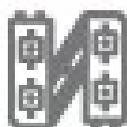


工場



## 水中調査を強力に支援する

「BlueROV2」は、水中ドローンでは実現できない高い信頼性を備えたROV(Remotely operated vehicle)です。水深100mまで操作が対応し、海水だけでなく河川やダム、水産施設やプラントなど様々な現場で活用されています。軽便なのでいつでも・どこでも・気軽に水中調査を行います。小回りがら高機敏で高品質な撮影を実現しており、高解像度画像で求められる映像・写真の撮影が可能です。



### 明るいLEDライト

高信頼のヘッドライトに搭載する1500ルーメンのLEDライト4灯を標準搭載しています。



### 高品質コネクタ

スイスのLEMO社製高信頼コネクタを国内通工しました。本体とケーブルケーブルを分離出来ることにより運搬や収納がより便利になります。



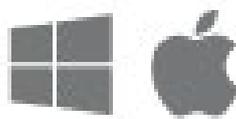
### 高画質カメラ

1/2.8インチセンサーと比較的少ないピクセル数(2MP、1080p)でも水中の撮影でもきれいな映像を撮影できるカメラを標準搭載しています。



### 軽便な本体

重量11kgなので1人で搬入・引上げができるため、クレーンが不要です。  
\*スタンダード



### Windows / Mac 対応

パソコンで映像や画像ができるので、買ったデータも取り替える必要がありません。



### 長時間稼働

最大でバッテリー1本あたり最大4時間稼働します。オプションの地上制御装置をつけることで、無制限に稼働可能です。

## 安心の国内組立・メンテナンス

船内整備アスト・バラスト調整を行った上でお客様へお届けします。

モデル一覧



スタンダード

1,200,000円(税別)

スラスターを6機搭載した標準モデルです。豊富なオプションパーツを準備することが出来ます。4灯のLEDライトやコントローラー、オペレーションマニュアルなど使い易い手の口からご利用いただけるセット内容になっています。



プロ

1,600,000円(税別)

スタンダードモデルに上下スラスターを2機増設し、潜水・上昇能力を向上させたモデルです。機体の4面にスラスターが設置されるため機体安定性が劇し、水中のあらゆる方向に機体操作性が向上しています。

### 共通セット内容

届いたもの日から使用できるように、必要なものをあらかじめセットにして販売しています。



200mデザーケーブル



潜水口コネクタ



専用設計防水ケース



6000ルーメンLED



専用バッテリー2セット  
専用充電器



コントローラー



GoProカメラマウント



取扱説明書  
オペレーションマニュアル



## セキドケアforROV(無償付帯)

5万円であるに安心のプレミアムプランも

対象ROVの故障や整備・点検・製品不具合など、もしものときの様々なトラブルをサポートします。故障や点検・部品不良などは修理代金または交換費用のサポートサービスを受けることが出来ます。さらにROVにより人や物損傷が及ぼしてしまった場合に備えた対人対物賠償責任保険も付帯しています。



対人対物賠償責任保険の提供

1事故につき最大1億円限度  
がプレミアムプランの場合

修理や部品交換代金のサポート

水漏れ・故障など修理が必要な  
トラブルをサポート!



メーカー保証期間の延長サービス

通常90日のメーカー保証期間を、  
1年間に延長します。

プラン名	お支払い金額	賠償責任保険 (対人対物)	修理1回目	修理2回目	商品保証期間
ベーシック	0円 (無償付帯)	対人1事故につき5000万円まで 対物1事故につき5000万円まで	50,000円 (免責金額)	決別	12ヶ月
プレミアム	50,000円	対人1事故につき1億円まで 対物1事故につき5000万円まで	0円	0円	

## オプション一覧

※ 表示価格は全て税別価格です。



水中ロボットアーム  
ALPHEA

60cm程に折り込まれた世界最小のサイズを誇り2自由度のアームです。遠隔からの動きを精密に再現して動作します。

価格：お問合せ

スタンダード

プロ



ALPHEA専用  
遠隔操作用グripper

ALPHEAの専用遠隔操作用アームです。ロープクレーンや水中に移動するドリッパーなど用途に合わせて各種機材が取り付けられます。

価格：お問合せ

スタンダード

プロ



イメージングソナー  
FINDER

超広域な扇形イメージングソナーです。レーダーのように対象物の距離や位置がわかります。

参考価格：300,000円

スタンダード

プロ



サイドスキャンソナー  
StarFish

音波を使用した超広域の範囲を照らすことが出来ます。本装置の機体中に内蔵しています。

参考価格：1,800,000円

スタンダード

プロ



水中カメラ

高画質の映像を、ROVの設置位置から遠隔操作で撮影します。専用ソフトでの画像加工が可能です。

価格：800,000円

スタンダード

プロ



高画質水中GPS  
SeaTrac

手のひらサイズの水中GPSで、海上からの位置もコンパクトに撮影されています。高画質の高画質映像を高画質で撮影します。

価格：お問合せ

スタンダード

プロ



潜水装置

遠隔操作用ライトカメラ

潜水で視野不全でも映像を確保できる高画質カメラです。音波ではなく距離・映像で確認し易い方に向いています。

価格：お問合せ

スタンダード

プロ



マルチビューカメラ  
Goobot

視野ゼロの死角でも撮影を確保して高画質映像で見るカメラです。

価格：お問合せ

スタンダード

プロ



海上電源装置

バッテリー駆動から海上電源装置に変更することで時間を気にせず長時間の調査・作業が可能になります。

参考価格：1,800,000円

スタンダード

プロ



ドラムリール

ケーブルを巻き取り、ケーブルの伸縮や摩擦を抑えます。300mまで対応しています。

価格：100,000円

スタンダード

プロ



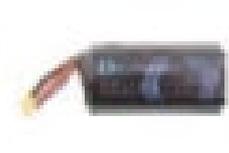
ネット接続可能なPC

画面上から遠隔操作ソフトをインストールし、PCを遠隔操作します。

参考価格：1,750,000円

スタンダード

プロ



予備バッテリー

最大1時間まで稼働可能な大容量バッテリーです。1日中使用し易い方に向いています。

参考価格：40,000円

スタンダード

プロ

追加可能機材

スタンダード

プロ

その他、おスマイルにも対応しています。

## 活用事例

### 建設・インフラ



使用例：護岸/ダム/河川/水路/水道での点検・調査

コンクリートのクラックや剝離、チェーンの腐食などの点検調査業務で活用されています。位置が分かりにくい水中で対象物の位置を把握・記録するためにサイドスキャンソナーや水中GPSなどを取り入れることで、効率的な点検調査を実現します。最大速度が3ノット(1.5m/s)なので、流速のある場所でも使用できます。

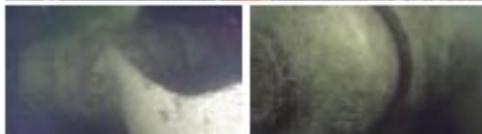
### 漁業



使用例：生簀維持管理/育苗魚健康管理

生簀の維持管理や育苗魚の健康管理などに使用されています。生簀の網やアンカーロープなどの劣化箇所を早期に発見し、育苗魚や生簀の流出を防ぎます。船上から1人で投入できるので、クレーンなどの設備投資が不要です。

### 船舶



使用例：船底点検/機橋点検

危険を伴う船底調査点検を、安全に簡単に実施できるようになりました。最大300mのケーブルで大型船舶にも対応しています。海底と船底までの距離が1mでも小型のBlueROV2では点検調査することが可能です。人間では危険も多いプロペラ部分の点検でも安全に行うことが出来ます。

### プラント



使用例：配管内面調査/貯蔵タンク内面調査

配管や貯蔵タンクなどの点検調査で使用されています。従来、排水してから行っていた点検調査を充水した状態で行えるようになりました。従来は1週間～1か月程度停止して行っていた点検調査をBlueROV2では1日～数日で実施することが可能です。

### BlueROV2仕様



製品名	スタンダード	プロ	
型番	SBR200S	SBR200P	
サイズ	長さ	457mm	457mm
	幅	330mm	375mm
	高さ	254mm	254mm
	乾陸重量	約11kg	約14kg
パフォーマンス	最大深度	100m	
	最大速度 (前・後進)	3ノット (1.5m/s)	
	合計スラスト (スクリュー)	6個	8個
	前進方向	(2個)	(4個)
	横方向	(4個)	
	ペイロード (乾陸重量) *	2kg	5kg
	ペイロード (水中重量) *	1kg	2kg
デザイナブル	全長	標準: 200m (オプション: 25~300mまで対応可)	
	推進強度	45kgf	
	最大強度	160kgf	
ライト	輝度	6000ルーメン (1600ルーメン×4灯)	
	光ビーム角度	135度 (フィルタ調整可能)	
標準カメラ	カメラ	1080pフルHD	
	カメラ視野角	水平110度	
	カメラフィルタ角度	±90度	
搭載センサー	3軸ジャイロ	○	
	3軸加速度	○	
	3軸電子コンパス	○	
	圧力深度計	○	
	電流・電圧監視	○	
	濁水・水漏れセンサー	○	
運用時間	淡水 (標準/バッテリー)	3-4時間程度	
	海水 (標準/バッテリー)	1-2時間程度	
	地上給電装置 (オプション)	無制限	

\*ペイロードはあくまで参考であり、浮力材やバラストにより異なります。

■ 報告書非公開範囲

P28

「ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 8」の諸元を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

P29 「ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 11」の諸元を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

P32、33

「3.2.1 キャリア 5 G システム」に記載の「5 G 基地局装置諸元」、「LTE 基地局装置諸元」を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

P55

「3.2.5 ローカル 5 G システム」に記載の図 52 SDR カードの図を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

P63

「3.4 実証参加者への説明」に記載の表 10 「説明会参加者名簿」を非公開  
(理由：個人情報に該当するため)

P152

「表 6 1 ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 8 の諸元」を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

「図 149 ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 8 の空中線系統図」を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

「表 6 2 ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 11 の諸元」を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

「図 150 ねっつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 11 の空中線系統図」を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

P153

「表 6 3 アンテナの諸元」を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

「図 152 アンテナパターン」を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

P159

「表 6 5 富士通コネクテッドテクノロジーズ製端末の諸元」を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

「表 6 6 NEC マグナス製端末の諸元」を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

「表 6 7 IDY 製端末の諸元」を非公開  
(理由：一般公開できない内容のため)

P172

「5.3.3.3 詳細の前提条件（送信電力、計測位置等）」を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

P176, P177

「5.3.5.2 通信品質（伝送スループット、伝送遅延時間」に記載の測定結果の一部をマスク

(理由：一般公開できない内容のため)

P178

「5.3.7 技術的課題の解決方策」に記載の測定結果の一部をマスク

(理由：一般公開できない内容のため)

P183

「表 7 4 ねつつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 11 の諸元」を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

P184

「図 177 ねつつえすあいえだじまろーかる 5 G じっけん 11 の空中線系統図」を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

P196

「5.5.1 評価・検証方法の詳細」に記載の諸元情報を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

P217

「表 7 9 基地局の共用検討パラメータ等」を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

「図 209 検討対象ローカル 5 G 基地局の空中線指向特性」を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

P218

「図 210 他のローカル 5 G 基地局の空中線指向性特性」を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

「表 8 0 移動局の共用検討パラメータ等」を非公開

(理由：一般公開できない内容のため)

P. 233

「表 8 5」の引用元 URL とデータ年を非公開

P. 240

「図 224」の引用元 URL を非公開