

平成 28 年度環境省委託業務

平成 28 年度潮流発電技術実用化推進事業  
(海洋再生可能エネルギーの実用化に向けた 2MW 級潮流発電システム実証事業)  
委託業務

成果報告書

平成 29 年 3 月

九電みらいエナジー株式会社  
新日鉄住金エンジニアリング株式会社  
特定非営利活動法人 長崎海洋産業クラスター形成推進協議会  
オープンハイドロ・テクノロジー・ジャパン株式会社

## 目次

要約	1
1. 委託業務の目的	3
2. 委託業務の内容	3
2.1. 委託業務の実施体制	3
2.2. 業務内容	4
3. 各種調査に関する業務	6
3.1. 欧州を中心とした先進地域の調査	6
3.1.1. 本調査の目的	6
3.1.2. スコットランドにおける潮流発電開発	6
3.1.3. 各国の環境影響評価のガイダンス文書	7
3.1.4. 環境影響評価の提出事項に関する事例研究	10
3.1.5. 緩和策とモニタリング	12
3.1.6. モニタリング	12
3.1.7. まとめ	13
3.2. 環境負荷の低減に向けた環境影響評価手法の検討	14
3.2.1. 調査エリア	14
3.2.2. 調査方法	16
3.2.3. 水質の調査結果	18
3.2.4. 動物プランクトン調査結果	21
3.2.5. 植物プランクトン調査結果	25
3.2.6. 卵・稚仔調査結果	30
3.2.7. 底生生物調査結果	34
3.2.8. 潮間帯生物調査	34
3.2.9. 魚類調査結果	37
3.2.10. 漁業生物調査結果	38
3.2.11. 海藻・草類調査結果	39
3.2.12. 海産哺乳類調査	41
3.2.13. 水中音調査結果	43
3.2.14. 鳥類調査結果	45
3.2.15. 貴重種（ウミガメ等）調査	46
3.2.16. 航行船舶調査	47
3.3. 設置海域における潮流、土質、生物付着の調査	50
3.3.1. 潮流の調査	50
3.3.2. 土質の調査	58

3.3.3.	コアサンプリング調査	71
3.3.4.	生物付着の調査	74
4.	許認可取得に関する業務	77
4.1.	発電機の認証取得に向けた協議	77
4.1.1.	発電機の認証取得の意義	77
4.1.2.	認証のコンセプト	77
4.1.3.	DNV-GL の認証プロセス	78
4.1.4.	DNV-GL 認証プロセスの一般的プロセス	78
4.1.5.	日本海事協会 (ClassNK) の認証概要	82
4.1.6.	日本海事協会(ClassNK)との認証に関する協議状況	84
4.2.	系統連系に向けた協議	85
4.2.1.	受電電圧・供給電圧	86
4.2.2.	系統連系に必要な手続き	86
4.2.3.	送配電系統空き容量の状況	88
4.3.	電気事業法の概要	91
4.3.1.	工事計画認可	92
4.3.2.	使用前検査	95
4.3.3.	電気事業法に係る経済産業省との協議のまとめ	96
5.	各種エンジニアリングに関する業務	97
5.1.	発電機の設置場所、系統連系地点の決定	97
5.2.	発電機及び発電機基礎構造の設計	99
5.3.	海底ケーブル及び陸上電気設備の検討	116
5.3.1.	検討・設計条件	116
5.3.2.	海底ケーブルの検討	118
5.3.3.	海底ケーブル工事について	120
5.3.4.	陸上用地の選定	121
5.3.5.	陸上電気設備の基本仕様について	123
5.3.6.	その他の関係設備について	125
5.4.	施工工法及び施工台船の仕様の検討	126
5.4.1.	従来工法	128
5.4.2.	新工法	136
5.5.	保守管理に関する現行仕様の評価に基づく予防保全方法の検討	141
5.5.1.	運転・保守の基本方針	141
5.5.2.	運転・保守のシステム	143
5.5.3.	本事業で設置予定のセンサー	145
6.	発電機の部材、部品調達に関する業務	146

6.1.	本事業の調達方針	146
6.2.	本事業の調達プロセス	147
6.3.	本事業向け調達	147
7.	潮流シミュレーションに関する業務	151
7.1.	広域潮流シミュレーションの計算手法	152
7.2.	広域潮流シミュレーションの高精度化検討	153
7.2.1.	検討内容	153
7.2.2.	検討結果	154
7.3.	広域潮流シミュレーションの計算結果	157
7.3.1.	流向・流速	157
7.3.2.	塩分濃度・海水温の鉛直方向プロファイル	163
7.3.3.	潮流エネルギーポテンシャル	164
7.3.4.	乱流強度	167
7.4.	まとめ	168
8.	地元関係者との協調に関する業務	169
9.	開発検討会	171

## 要約

本委託事業は、長崎県五島市沖奈留瀬戸において、2 MW級の大規模な潮流発電の実証を行い、もって国内の気象、海象等に対応した環境への負荷が低い潮流発電システムを早期に実用化することを目的とする。

本業務の受託者は、九電みらいエナジー株式会社、新日鉄住金エンジニアリング株式会社、特定非営利活動法人長崎海洋産業クラスター形成推進協議会、オープンハイドロ・テクノロジー・ジャパン株式会社からなるコンソーシアムである。

事業期間は平成 28 年度から平成 31 年度を予定しており、本年度については地元関係者の理解を得た上で潮流、土質、生物付着等の各種調査を実施し、発電機設置地点等を決定するとともに、発電機及びその基礎構造の設計、海底・陸上ケーブル敷設、発電機設置の施工方法等について各種エンジニアリングを実施した。

また、次年度の業務に向け、系統連系、工事計画認可の協議、発電機の部材、部品の調達を開始した。

### <平成 28 年度の主な業務>

- (1) 潮流、土質、生物付着等の各種調査
- (2) 許認可取得に関する協議
- (3) 各種エンジニアリング
- (4) 発電機の部材、部品調達
- (5) 潮流シミュレーション
- (6) 地元関係者との協調

本委託事業は環境省及び経済産業省の連携事業であるため、業務の円滑な実施に向け外部有識者の専門的知見に助言を求める開発検討会には、外部有識者に加え、環境省及び経済産業省の担当官にも参加いただき、事業を推進した。

## Summary

This is a consortium project that has been consigned by the Ministry of the Environment to demonstrate the largest 2 MW class tidal power generator in Japan at Narueto off the coast of Goto City, Nagasaki prefecture.

The consortium consists of Kyuden Mirai Energy, Nippon Steel Sumikin Engineering, Nagasaki Marine Industry Cluster Promotion Association and Openhydro Technology Japan. The purpose of this project is to promptly put into practical use, a tidal power generation system which has low environmental impact and which will operate seamlessly in Japan's particular weather and oceanic conditions.

The project period is scheduled for fiscal 2016 to 2019. The main activities in fiscal 2016 are as follows.

- (1) Investigation of tidal current, soil quality, biofouling
- (2) Consultation on acquisition of license
- (3) Engineering of the tidal generator system
- (4) Initial procurement of components and parts of the tidal generator system
- (5) Tidal flow simulation
- (6) Communication with local stakeholders

The consortium gained the understanding and cooperation of the local stakeholders in FY 2016, carried out the tidal flow, and soil surveys and decided on the site for turbine system installation.

In addition, the consortium has engineered the turbine generator, begun detailed design of the foundation structure, the installation of the subsea and land cables, and is developing the installation method for the turbine system.

For the next fiscal year, the ClassNK's certification, grid interconnection, consultation on construction plan approval will be undertaken and procurement of parts and assemblies of the turbine system will continue.

This project is a collaborative project between the Ministry of the Environment (MOE) and the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI). At the Development Study Meeting, the consortium made a report on progress to and received advice from the experts, MOE and METI on the project.

## 1. 委託業務の目的

我が国は排他的経済水域世界第6位という海洋国であり、海洋再生可能エネルギーについて大きなポテンシャルを有している。このため、海洋再生可能エネルギーの実用化は、再生可能エネルギーの導入量拡大とエネルギー起源 CO<sub>2</sub>の削減を推進し、地球温暖化対策を強化していくために重要な取組みである。その中でも潮流発電は太陽光や風力発電とは異なり一定の規則性を持った潮汐力により、年間を通じて安定した発電ができる発電方式であることから、我が国の海域に適した技術及びシステムを確立することが重要と考えられる。

本業務は長崎県五島市沖奈留瀬戸海域において2MW級の大規模な潮流発電システムの実証を行い、もって国内の気象、海象等に対応した環境への負荷が低い潮流発電システムの早期に実用化することを目的とする。本年度は地元関係者の理解を得た上で潮流、土質調査等の各種調査を実施し、発電機設置地点等を決定するとともに、発電機及びその基礎構造の設計、海底・陸上ケーブル敷設、発電機設置の施工方法等について各種エンジニアリングを実施した。また、次年度の業務に向け、系統連系、工事計画認可の協議、発電機の部材、部品の調達を開始した。

## 2. 委託業務の内容

### 2.1. 委託業務の実施体制

上述の委託業務の目的を踏まえ、本委託業務では、九電みらいエナジー株式会社、新日鉄住金エンジニアリング株式会社、特定非営利活動法人長崎海洋産業クラスター形成推進協議会、オープンハイドロ・テクノロジー・ジャパン株式会社からなるコンソーシアムにより、発電事業者、エンジニアリング会社、地元産業界、メーカーが役割分担を行いながら「海洋再生可能エネルギーの実用化に向けた2MW級潮流発電システム実証事業」を推進するものである（図2.1-1）。

なお、九州大学及び長崎大学から潮流シミュレーション、発電システムへの生物付着等について、アドバイスを受け事業を推進している。

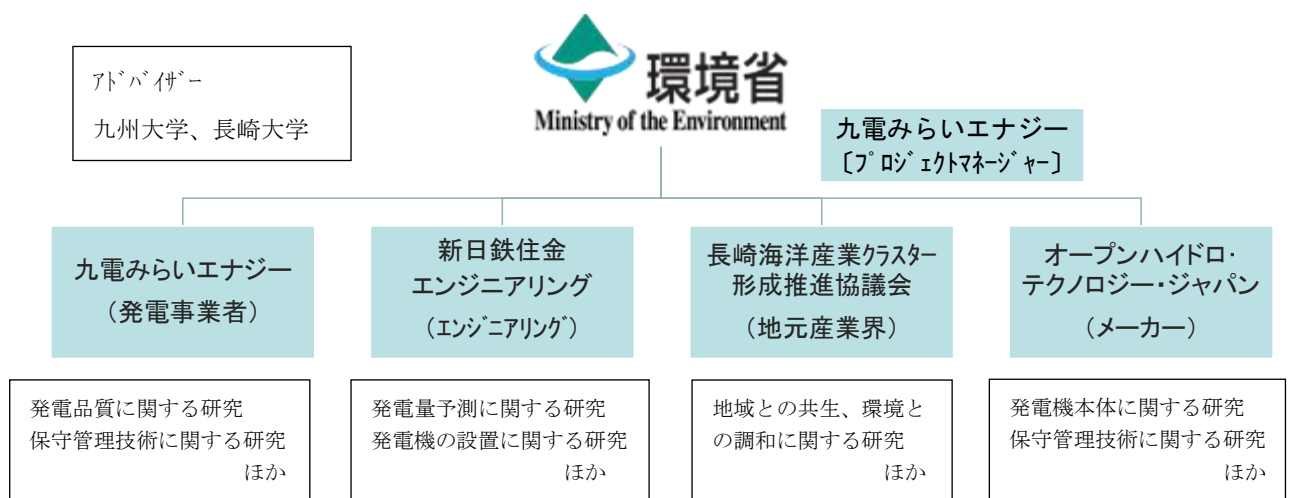


図 2.1-1 本委託業務の実施体制

## 2.2. 業務内容

本委託業務は、平成 26 年 7 月（総合海洋政策本部事務局発表）、「海洋再生可能エネルギー実証フィールド」に選定された、長崎県五島市沖奈留瀬戸海域で 2 MW 級の大規模な潮流発電システムの実証を行うものである。平成 28 年度の具体的業務は、以下のとおりである。

### （1）各種調査に関する業務

#### ①欧州を中心とした先進地域の調査

実証実験から商用化段階へ移行しつつある欧州の先進地域における潮流発電に係る環境影響評価の手法について調査を実施し、日本国内での評価手法確立のための基礎資料とする。

#### ②環境負荷の低減に向けた環境影響評価手法の検討

建設工事に伴い環境変化が予測される発電機設置地点、ケーブルルート及びこれらの比較対象地点において、秋季と冬季における工事前の現況調査を実施する。

#### ③設置海域における潮流、土質、生物付着の調査

発電機及びその基礎構造の設計に必要な発電機設置地点における潮流、土質、生物付着調査を実施する。

### （2）許認可取得に関する業務

#### ①発電機の認証取得に向けた協議

設置海域の海象条件に基づき、適切な設備設計がなされていることについて、（一財）日本海事協会からの認証取得に向け協議する。

#### ②系統連系に向けた協議

発電システムの仕様や特性を把握し、「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」等に基づき、電力会社と系統連系について協議する。

#### ③工事計画認可に向けた協議

電気事業法の工事計画認可に向け、各種技術基準との適合について経済産業省と協議する。

### （3）各種エンジニアリングに関する業務

#### ①発電機の設置場所、系統連系地点の決定

潮流、土質調査等の結果及び関係者との協議に基づき、発電機設置地点及び系統連系地点を決定し、その間を結ぶ最適な海底・陸上ケーブルルートを選定する。

#### ②発電機及びその基礎構造の設計

潮流、土質調査等の結果に基づき、発電機のサイト適合性について確認を行い、設置海域の海象条件を考慮した最適な発電機及びその基礎構造の設計を実施する。また、系統連系への適合性の確認、水中コネクタに関する検討を含むシステムの設計を実施するとともに、（一財）日本海事協会の認証、工事計画認可等に必要な情報を整理する。

#### ③海底・陸上ケーブルの敷設に関する検討



発電システムの仕様、海底・陸上ケーブルルートに基づき、ケーブルの仕様（保護方法含む）について検討する。

④施工工法及び施工台船の仕様の検討

オープンハイドロ社が実施した海外における施工方法を調査し、関連する特許について取りまとめる。また、設置海域における海象条件を整理し、適用可能な施工方法、必要な施工台船、治具等の仕様を検討する。

⑤保守管理に関する現行仕様の評価に基づく予防保全方法の検討

発電システムの保守管理に関して最適な遠隔監視項目を検討する。また、遠隔監視項目に基づき、発電機の監視モニター、計測器、センサー等について効果的な設置箇所を検討するとともに、各種のモニタリングデータを活用した発電システムの予防保全方法について検討する。

(4) 発電機の部材、部品調達に関する業務

発電システムの仕様に基づき、適切な部材、部品の調達仕様・条件を明らかにして調達業務を実施する。

(5) 広域潮流シミュレーションに関する業務

FVCOM（有限体積法沿岸海洋モデル）を使用した広域潮流シミュレーションを実行し、現行の広域潮流シミュレーション手法の課題を抽出するとともに、広域潮流シミュレーションの精度向上に関して検討する。

(6) 地元関係者との協調に関する業務

潮流、土質等の調査については、事前に地元関係者に対して丁寧な説明を行い、地元関係者の理解を得た上で実施する。

また、漁業への影響を評価するため、地元関係者の協力を得ながら、設置海域周辺にて漁獲量調査を実施する。

### 3. 各種調査に関する業務

#### 3.1. 欧州を中心とした先進地域の調査

##### 3.1.1. 本調査の目的

日本国内では、メガワット級の潮流発電はまだ実用化されておらず、環境影響評価についてのガイドラインは存在しない。一方、西欧諸国においては、スコットランド、フランス、カナダ等で商用化の段階に進みつつあるという状況である。そのため、すでに商用化に進みつつある先進各国の環境影響評価の考え方について整理を行い、日本での潮流発電実用化のための環境影響評価の枠組みづくりの参考とすることが、本調査の目的である。本章では潮流発電の環境影響評価に関連する国際的な方策及びアプローチの整理を行う。

整理を行うにあたり、章を二つのセクションに分けた。まず、一つ目のセクションでは、潮流発電のためのコンセンティングプロセス（許認可取得のための各種作業、手続き）についての整理を行った。ここには潮流発電産業の開発を進めている潮流発電の主要国のコンセンティングプロセスの要約も含まれているため、あわせて環境影響評価及びコンセンティングプロセスにて技術開発者の参考のために作成された主要ガイダンス文書のリストを作成し、それぞれの分析も行った。

次に、二つ目のセクションでは、環境影響評価の一部として行われるベースライン調査の理解を得るために主要潮流発電開発事業の環境影響評価について分析を行った。

また、本報告書では、日本の潮流発電事業に関するアプローチを最適化するために、環境影響評価の方法の開発及び実施、ガイダンスやプロセスについて国際的な経験から学ぶことができる教訓を特定し、より理解を深める事を狙いとしている。

##### 3.1.2. スコットランドにおける潮流発電開発

潮流発電は世界的な再生可能エネルギー産業のポートフォリオを広げることにも貢献する大きな可能性がある。潮流という再生可能エネルギーの資源には、「強いエネルギー」、「沿岸との近接性」、「流向の安定性及び予見可能性」等の数多くのメリットがあり、さらにほとんどの潮流発電機が水中に設置されるため、景観を損ねるといったことがない。

しかし、業界の初期段階では、環境影響についての不確実性、非効率的なコンセンティングプロセス、方策及び規制等克服すべき幾つかの障壁がある。これについては、テストセンター、実証実験事業、商業事業の数が増えて行くことで、円滑なコンセンティングプロセスへの重要性が注目され、さらに環境影響の不確実な部分も減少して行くと考えられる。

ベースライン環境データ（例えば魚の移動について等）は把握されていない点が多いため、そこから潮流発電機を設置した状態を想定し影響を測定することは非常に困難である。環境への影響の不確実性を削減するためには、機器設置前の海洋生物の生態を良く理解するためのベースライン調査が必要である。この調査により潮流機器の設置及び運転における影響が良く理解されることになり、さらに効率的なコンセンティングプロセスを可能にする。

スコットランドでは、波力及び潮流発電事業へのアプローチとして調査・配置・モニタリングと呼ばれる方法が導入されている。このアプローチは環境への影響についての理解に限りがある段階でも技術開発を展開して行くことを可能にするために作成された。

スコットランドは潮流発電における先進国である。ヨーロッパの潮流エネルギー資源の25%を保有し、12,000kmに及ぶ沿岸線と790の島嶼があることから潮流発電産業がスコットランドで繁栄する大きな可能性がある。2011年にマリンスコットランド（スコットランド政府の海事管理局）は海洋エネルギーにおけるコンセンティングのための窓口一元化のサービスを開始した。これにより、効率よく円滑な申請業務が可能になった。2013年にスコットランドのオークニー諸島に欧州海洋エネルギーセンター（EMEC）が設立され、世界でも初めての海洋エネルギーの実証テストセンターとなった。スコットランドと同様に、日本は広大な海域を持ち、多くの島嶼を保有していることから、海洋エネルギーにおいて大きな可能性を持っている。また、産業で培われた技術や整備されたインフラは海洋エネルギー産業への転用も可能であると考えられる。

### 3.1.3. 各国の環境影響評価のガイダンス文書

ここでは、表 3.1.3-1 に示すガイダンス文書の分析を行う。潮流発電産業は産業自体が初期段階のため、潮流発電事業用の環境影響評価プロセスについての具体的なガイダンス文書の数は限られている。

環境影響評価プロセスと海洋エネルギー開発のコンセンティングプロセスは国によって異なるため、環境影響評価のガイダンス文書、規制、方針、アプローチは国によって異なる。

表 3.1.3-1 各国の環境影響評価ガイダンス文書

ガイダンス文書	管理機関	発行年	発行国
Marine Scotland Licensing and Consents Manual.	The Scottish Government; Marine Scotland マリンスコットランド (スコットランド政府機関)	2012	スコットランド
Consenting Guidance for Developers at the EMEC Fall of Warness Test Site	European Marine Energy Centre 欧州海洋エネルギーセンター (EMEC)	2015	スコットランド
Guide to the environmental impact evaluation of tidal stream technologies at sea	France Energies Marines フランスエナジーマリニズ フランスの海洋エネルギー研究機関	2013	フランス
Environmental impact assessment for offshore renewable energy projects - Guide	Innovate UK & British Standards Institution 英国政府機関と英国規格機構	2015	英国
Consenting Processes for Ocean Energy- Update on Barriers and Recommendations	Ocean Energy Systems (OES) & International Energy Association (IEA) Energy Technology Network OES は、パリの国際エネルギー機関 (IEA) が制定した枠組み下で活動する国々の政府間提携機構	2016	国際機関
Consenting Processes for Ocean Energy on OEA Member Countries	WavEC & Ocean Energy Systems (OES) 海洋再生可能エネルギーの早期開発機会及び普及促進を行う国際的 NPO	2015	国際機関
Siting Methodologies for Hydrokinetics; Navigating the Regulatory Framework	Pacific Energy Ventures, LLC on behalf of the United States Department of Energy PEV はアメリカ合衆国エネルギー省から受託し文書作成を行った会社名	2009	アメリカ

スコットランドの海洋エネルギー産業には合理化された環境影響評価及びコンセンティングプロセスを行う規制局があることから、スコットランドに存在する二つのガイダンスの分析を第一に行った。マリンスコットランドが作成したガイダンスは世界中で最も多くの技術開発者によって既に利用されている。このガイダンスは環境影響評価のプロセスの各段階での多岐に渡る手引き及び取得が必要なライセンス (許認可) 等が説明されており、適格審査、スコーピング、生息地規制評価、環境影響評価、さらに適切な評価、緩和策、モニタリング、

累積影響評価のプロセス、相談要件や勧告についても詳細に記述されている。また、デザインエンベロープと呼ばれる潮流発電開発が未知のレベルであるため、推奨される設計の許容範囲が説明されている。

EMEC が作成したガイダンスは EMEC の潮流テストサイト、フォールオブワーネスでの実証試験に特化したガイダンスである。このガイダンスは、マリンスコットランドの文書が示す高水準の勧告を全て行う物ではなく、EMEC（テストセンター）での機器開発の実証テストを計画している開発者が取るべきアプローチについて説明している。各開発者が行う必要がある環境モニタリング、航行リスクアセスメント、第三者検証及び機器撤去時の方法を含む EMEC でのテストのコンセンティングに必要な手続きの詳細を説明している。

フランスエナジーマリン（フランスの海洋エネルギー研究機関）によって作成されたガイダンスは潮流発電開発で起こり得る生態影響に対してどのように対応するかを非常に包括的に取りまとめたガイダンスである。このガイダンスは技術開発業者だけでなく、事業申請を審査する国や自治体のためにも作成された。この中で環境影響評価の不確実性を削減するために行われるべき調査についても記載されている。

また、回避-削減-オフセットと呼ばれる生態影響へのアプローチを紹介している。これはスコットランドで実施されている環境影響評価に似たモデルであり、可能な限り影響を回避するシステムと、不可能な場合には影響を削減及び相殺する緩和策が紹介されている。

Innovate UK（英国政府機関）のガイダンス文書は、英国に関連する事柄に対応するために必要なガイダンスとして作成された。先に分析したガイダンス文書とは対照的に、このガイダンスでは環境影響評価のプロセスとは別に各セクションが設けられており、適格審査、スコーピング、Preliminary Environmental Information（開発開始前の環境情報）、環境影響評価、緩和策とモニタリング、情報交換についてのセクションから成り立っている。環境影響評価のセクションでは、起こり得る影響を評価するためにしたがうべき方法が詳細に記述されている。

Ocean Energy Systems が作成した二つのガイダンスは似た内容であるが、2016 年に最新版として発行されたガイダンスには海洋空間計画に注目した部分の記載がある。発行された二つのガイダンスは共に国際的なコンセンティングの障壁に対応するものである。最初のガイダンスが発行されたのは 2015 年である。Ocean Energy Systems の加盟国におけるコンセンティングプロセス及び環境影響評価へのアプローチについて取りまとめている。このガイダンスは、全く違うコンセンティングプロセスや環境影響評価へのアプローチを持つ Ocean Energy Systems 加盟国全てに当てはまるように作られているため、今までに言及したガイダンスとは全く異なるアプローチをしている。この文書は国際的レベルでのコンセンティングプロセスと環境影響評価プロセスにおける複雑性の存在を実証している。2016 年に発行された Ocean Energy Systems の文書では、加盟国の主要な波力、潮流技術開発者へのインタビューを行い海洋エネルギーのコンセンティングの障壁を理解するために一歩踏み込んだ協議が行われている。

アメリカ合衆国のエネルギー省(DOE)によって作成されたガイダンスは、アメリカでは連邦レベルと州レベルの多数の異なる機関との連絡相談窓口が一つもなく、相談や連絡が必要な

際はいくつもの違う階層の機関に連絡しなければならないという理由で比較的複雑なコンセンテイングプロセスであることについて記述している。

分析した全てのガイダンス文書は、既存の規制及び法律により世界中のコンセンテイング、環境影響評価プロセスが複雑であることを示している。しかし、各国のアプローチの類似点が文書内に見ることができ、各ガイダンスが環境への影響を最小限に抑えつつ、潮流産業を進歩させながら、不確実性を低減し、最終的にコンセンテイングの簡素化を目指していく方法での一致がいくつかあることを示している。

### 3.1.4. 環境影響評価の提出事項に関する事例研究

主要な以下の潮流発電の開発を対象として実施された環境影響評価のレビューを行った。

表 3.1.4-1

事業名	機器開発者	使用技術	場所	規模	期間
Meygen Phase 1	Atlantis Resources Ltd	アトランティス及びハンマーフェスタービン	スコットランド ペントランドファース	86MW	2015 より 建設開始
Brims Tidal Array Limited	OpenHydro	オープンハイドロ社タービン	スコットランド オークニー諸島	200MW	—
Seagen	Marine Current Turbines Ltd	ツインアクセルフロータービン シーージェンS	北アイルランド ストラングフォードラフ	1.2MW	2008
Admiralty Inlet Pilot Tidal Project	OpenHydro	オープンハイドロ社タービン	アメリカ スミノホシュ	600kW	2009-2014
European Marine Energy Centre	各企業	多種	スコットランド オークニー諸島	多種	2004
Fundy Ocean Research Centre for Energy	各企業	多種	カナダ ファンディーク湾	多種	2010 より 建設開始
Sound of Islay Tidal Energy Project	未定	水平軸タービン	スコットランド	10MW	2015

上記の事業は大規模なプロジェクトを選定している。

調査項目の選択とスコージングについて

選択された潮流開発事業の全てが同じ種類の調査、調査方法を実施したわけではない。これらを把握するために、各環境影響評価でどの調査が実施されたかを示す以下の表を作成した。これにより各事業で実施された調査と長崎県五島市沖で行う本事業におけるベースライン調査との比較を行った。

表 3.1.4-2 各事業でのベースライン調査項目

	Meygen Phase 1, Scotland	Brims, Scotland	Admiralty inlet, Snohomish, USA	EMEC, Scotland	Bay of Fundy, Canada	Sound of Islay, Scotland	本事業 (長崎県 五島市)
海底の堆積物	○	○	○	○	○	○	○
海生哺乳類	○	○	○	○	○	○	○
受動的音響 モニタリング	○	○	○	✕	✕	✕	○
水中騒音	○	✕	○	✕	✕	○	○
海鳥	○	○	✕	○	○	○	○

どの開発においても調査要件は、入手可能な文献情報の量、現場又は現場付近で過去に実施された歴史的調査及び事業設計とその位置等に大きく左右される。もし既にベースライン環境の特性を明らかにするのに十分な情報がある場合は、追加の調査を行う必要はない。さらに潮流発電産業が発展し、モニタリングデータが集積されていくことにより、ある種の影響によるリスクは非常に低いことが証明され、産業初期に行っていた調査努力は必要でなくなる可能性がある。

具体的なベースライン調査の設計は、具体的なサイトによって異なるが、一般的に、環境影響評価におけるベースライン特性評価調査は、同様のアプローチにしたがって進められる。

ベースライン環境での特性を明らかにするために、コンピュータモデリングは時に有用である。モデリングは、以下への影響に対し特に有用である。

- ・鳥類、魚類及び海洋哺乳類について：接触事故のリスク及び遭遇率のモデリング
- ・物理的環境について：堆積物移動モデリング等
- ・水中騒音について（海洋生物に対して）：音響伝搬モデリング
- ・景観及び視覚的影響評価について：事業案のフォトモンタージュ
- ・海洋文化遺産について：地理情報システム GIS を使用し海底を地図化し海洋文化遺産の特定

- ・船舶航行について：自動船舶識別装置（AIS）及びその他の利用可能なデータを使用し、エリア内の船舶通過の地図作成

### 3.1.5. 緩和策とモニタリング

世界中の環境影響評価は、通常、影響が中程度又は重大であると考えられる場合に緩和策を実施することを要求している。潜在的影響には、直接的、間接的な影響、短期間、中期的、長期的、恒久的又は一時的な影響、肯定的又は否定的な効果を有する影響等幅広い範囲が存在する。潜在的影響の重要性は、その影響の重要側面から検討される。しばしば影響の大きさと表現される「変化量」には、タイミング、規模、大きさ、衝撃時間の長さが含まれる。

今回分析したプロジェクトにおける具体的な緩和策を以下に示す。

- ・海洋哺乳類の衝突リスクの緩和策

通常、調査、機器配備、運転監視段階においてモニタリングプログラムが採用されている。これは将来の緩和策の潜在的な要件を検討する上で必要な回避率についての理解や定義づけを可能にする。

- ・ケーブル敷設による底生生物への影響についての緩和策

ケーブル敷設ルート of 最終的な選択肢を決定する前に、建設前のケーブルルート調査を実施し、繊細な生物の生息地が存在するかどうかを確認する。事業者は特定された生物の生息地を避けるために必要な全ての措置を取る（例：ケーブル経路変更）。生息地の攪乱が避けられない場合は、事業者は潜在的な影響の重要性を査定し、生息地への影響を最小限に抑えるための最善の実施可能な選択肢に合意するために、主要な利害関係者と協議しなければならない。

- ・船、漁船の航行への影響についての緩和策

機器タービンが水中において最小限の適切な間隔を持つことを確認し、そうでない場合は、海図（海洋台帳等）等に示されることを確認する。

### 3.1.6. モニタリング

潮流発電は、実際に運転されている数が少ない新興産業であるため、潜在的影響の重要性を正確に評価し、設置前に十分な影響評価を行うことは困難である。そのことは、特に海洋哺乳類、鳥類、魚類との衝突事故についての重要性の評価の証明においては明白である。結果として事業者は、様々なレセプターに対する自然変動の影響を実際に評価するために、機器設置後の環境モニタリングを実施する必要がある。これは、環境陳述で得られた結論を検証し、追加の緩和措置の必要性を判断するのに役立つ。

潮流発電現場で実施されるモニタリング措置例を以下に示す。

- ・タービン近辺の海洋哺乳類、鳥、魚類探知のための水中音響機器
- ・海洋生物との相互影響を監視するために機器ブレードに向けてカメラを設置するビデオ調査
- ・機器設置前・後の底生生物環境の比較状況を提供するための下方を捉えたビデオ調査
- ・潮流状況の変化を監視するための超音波流速計（ADCP）調査



モニタリング策もベースライン特性評価調査と同様、それぞれの現場の注意事項や近くに自然保護の必要性があるか、事業のデザイン、特徴及び使用可能予算等によって検討される。

### 3.1.7. まとめ

本章では、世界の先進各国の潮流発電開発に適用されている環境影響評価プロセス、方策、ガイダンスについて確認した。プロセスについては、スコーピング、環境影響評価を行い、モニタリングを継続的に行う、という点においておおむね共通していることが分かった。また、各国では、緩和策について積極的に取り組むよう推奨されている。合意形成については、プロセスごとに情報を開示し、関係者間での理解を確認しながら進めていくことが重要である。

具体的な事例研究として分析された潮流発電事業は、各事業の場所や状況がそれぞれ違う一方で、日本の潮流発電のための環境影響評価の発展に共通する計測、影響評価、緩和策及びモニタリング等があることを示している。海生哺乳類の継続的なモニタリング調査や、貴重な底生生物への影響の回避は、地域を問わず取り組むことが可能である。また、継続的なモニタリングに加えて、コンピューター・シミュレーションを活用することで、環境への影響を論理的かつ定量的に把握することが可能である。

### 3.2. 環境負荷の低減に向けた環境影響評価手法の検討

3.1. 章において、各国で行われている環境影響評価についてのレビューを行ったが、現段階においては欧米各国での潮流発電事業は、商用化が始まったばかりの段階である。各国や各サイトの条件によって、調査している項目に差異がみられた。本事業においては、今後の結果次第で調査をしない項目が出てくる可能性はあるものの、各国で調査されている項目については漏らさず調査を行う方針とした。

また、昨年度の平成 27 年度潮流発電技術実用化推進事業でまとめられている「環境影響評価方法書」においては、3.1. 章でみた海外事例における項目はすべてカバーしていることから、この 27 年度の事業報告書にある方法書にしたがって調査を進めることとした。本年度は、秋季、冬季の現況調査を行った。平成 29 年度は、春季及び夏季の調査、影響予測・評価、モニタリング計画の策定を行う予定である。

本年度の報告書には秋季の調査結果を記載し、冬季の調査は 2～3 月に行うため、冬季の結果で報告書への記載が間に合わなかった内容は次年度の報告書に記載することとした。

#### 3.2.1. 調査エリア

調査区域

本調査は、長崎県五島市の奈留島と久賀島の上に位置する奈留瀬戸で実施した。



図 3.2.1-1 調査区域

調査地点

本調査における調査地点、調査測線を図 3.2.1-2、3.2.1-3 に示す。



図 3.2.1-2 調査地点図

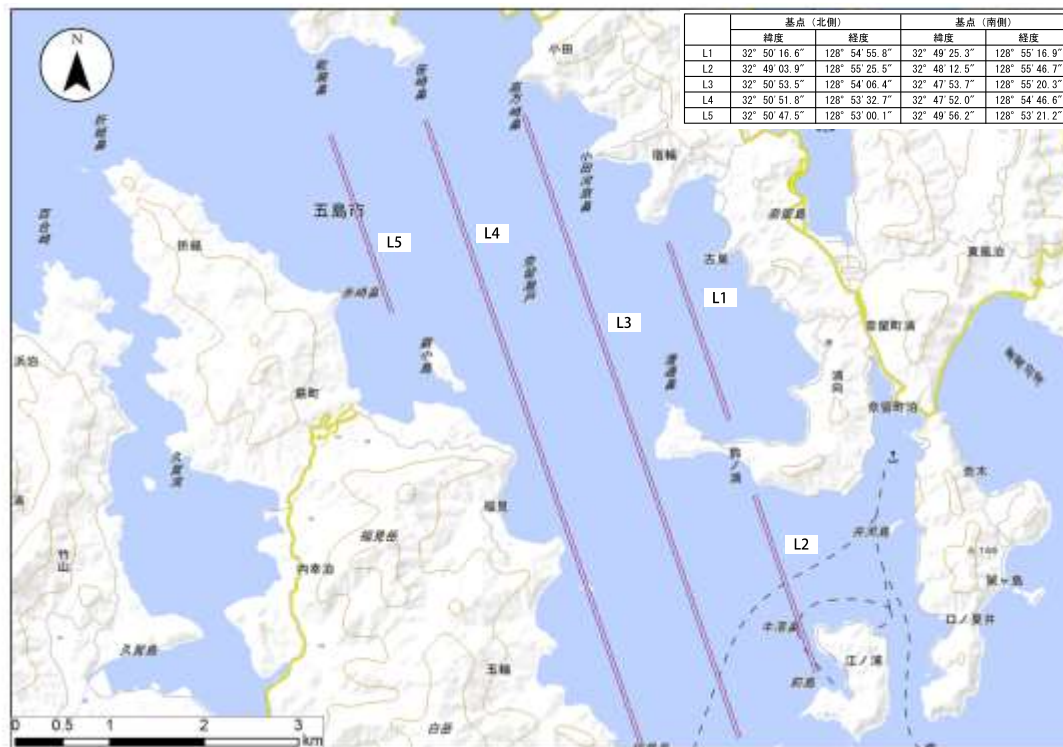


図 3.2.1-3 調査測線図

### 3.2.2. 調査方法

本調査における調査項目、調査方法等の概要を表 3.2.2-1、表 3.2.2-2 に示す。

表 3.2.2-1 調査項目、調査方法等の概要

調査項目	調査時期等	調査地点等	調査方法
水質 (濁り、漁業環境)	秋季、冬季 (2季)	4 地点 (潮流発電機設置区域 1 地点、 海底ケーブル設置区域 1 地点、 対照区域 2 地点) 3 層(表層、中層、底層)	調査船上からバンドーン型採水器を用いて 3 層(表層、中層及び底層)から採水し、公定法で分析を行う。 採水時には、多項目水質計を用いて鉛直観測を行う。
プランクトン (動物)	秋季、冬季 (2季)	4 地点 (潮流発電機設置区域 1 地点、 海底ケーブル設置区域 1 地点、 対照区域 2 地点) 2 層(上層、下層)	調査船上から北原式定量ネットを用いて上層(1/2 水深から海面まで)及び下層(海底上 1m から 1/2 水深まで)の 2 層で鉛直曳きを行う。 沈殿量の測定、種の同定及び個体数の計数を行う。
プランクトン (植物)	秋季、冬季 (2季)	4 地点 (潮流発電機設置区域 1 地点、 海底ケーブル設置区域 1 地点、 対照区域 2 地点) 3 層(表層、中層、底層)	調査船上からバンドーン型採水器を用いて 3 層(表層、中層及び底層)から採水する。 沈殿量の測定、種の同定及び細胞数の計数を行う。
卵・稚仔	秋季、冬季 (2季)	4 地点 (潮流発電機設置区域 1 地点、 海底ケーブル設置区域 1 地点、 対照区域 2 地点) 2 層(表層、中層)	調査船上からマルチネットを用いて表層(海面下 0.5m)及び中層(海面下 5m)の 2 層から、1 地点につき約 2 ノットで 10 分の水平曳きにより卵・稚仔を採集する。 種の同定及び個体数等の計数を行う。
底生生物	秋季、冬季 (2季)	4 地点 (潮流発電機設置区域 1 地点、 海底ケーブル設置区域 1 地点、 対照区域 2 地点)	調査船上から ROV 又は水中ビデオを用いて底生生物の撮影を行う。撮影された映像をもとに、メガロベントスの生息状況を把握する。
潮間帯生物 (動物・植物)	秋季、冬季 (2季)	2 地点(海底ケーブル揚陸区域 1 地点、 対照区域 1 地点)	ベルトトランセクト法による目視観察及び枠取り調査により種の同定及び個体数、湿重量の計測を行う。 岩礁等に付着した動物・植物は、スクレッパーを用いて採取する。
魚類(遊泳行動)	秋季、冬季 (2季)	4 地点 (事業実施区域 2 地点、 対照区域 2 地点)	調査船上から ROV 及びソナーを用いて魚類等の確認を行う。

表 3.2.2-2 調査項目、調査方法等の概要

調 査 項 目	調査時期等	調査地点等	調査方法
漁業生物	秋季、冬季 (2季)	3 区域(潮流発電機設置区域、 設置区域の北側、南側)	現地漁協にて主に実施している 漁業方法による漁獲調査を行 う。漁獲した水産有用種は種の 同定、個体数、湿重量、体長を 測定する。漁業の種類は 3 漁法 程度を想定している。
海藻・草類	秋季、冬季 (2季)	2 地点 (海底ケーブル揚陸区 域 1 地点、対照区域 1 地点)	潜水土が方形枠内の海藻草類の 写真撮影及び目視観察及び枠取 り採取を行う。 岩礁等に付着した海藻・藻類は、 スクレッパーを用いて採取す る。
海産哺乳類	秋季、冬季 (2季)	5 測線 (対象事業実施区域周辺)	調査船上より目視観察及び双眼 鏡により生息する海産哺乳類の 種類、個体数、分布状況を調査 する。また、目視観察時には Atag を用い曳航調査を行う。
水中音	秋季、冬季 (2季)	4 地点 (潮流発電機設置区域 1 地 点、海底ケーブル設置区域 1 地点、対照区域 2 地点)	水中騒音計を使用して水中音の 音圧レベル及び周波数特性の測 定を行う。
鳥類	秋季、冬季 (2季)	5 測線 (対象事業実施区域周辺)	調査船上より目視観察及び双眼 鏡により鳥類の種類、個体数、 出現状況を調査する。
貴重種 (ウミガメ等)	秋季、冬季 (2季)	5 測線 (対象事業実施区域周辺)	ヒアリング等により生息状況を 把握する。また、海産哺乳類、 鳥類の調査とあわせて船上より 目視観察を行う。
航行船舶	秋季、冬季 (2季)	現地調査実施地点	各現地調査実施時において、付 近を航行する船舶の通過時刻、 船種等を記録し、整理する。

### 3.2.3. 水質の調査結果

水質調査は、船上より小型多項目水質計（AAQ1183：JFE アドバンテック社製）を用い、各調査地点において鉛直観測を行った。また、バンドーン採水器を用いて表層（海面下 0.5m）、中層（1/2 水深）、底層（海底上 1m）の 3 層より試料採取を行い、室内分析を行った。

水質調査における測定分析項目及び方法を表 3.2.3-1 に示す。

表 3.2.3-1 水質分項測定目及び法

区分	項目	測定・分析方法
現地観測項目	水深	簡易水深計またはレッド
	透明度	海洋観測指針 3.2
	水温	多項目水質計
	水素イオン濃度 [pH]	多項目水質計
	溶存酸素量 [DO]	多項目水質計
	濁度 [Turb]	多項目水質計
	塩分	多項目水質計
	クロロフィルa	多項目水質計
室内分析項目	化学的酸素要求量 [COD <sub>W</sub> ]	JIS-K-0102 17.
	浮遊物質質量 [SS]	環告第59号 付表9
	濁度 [Turb]	JIS-K-0101 9.4

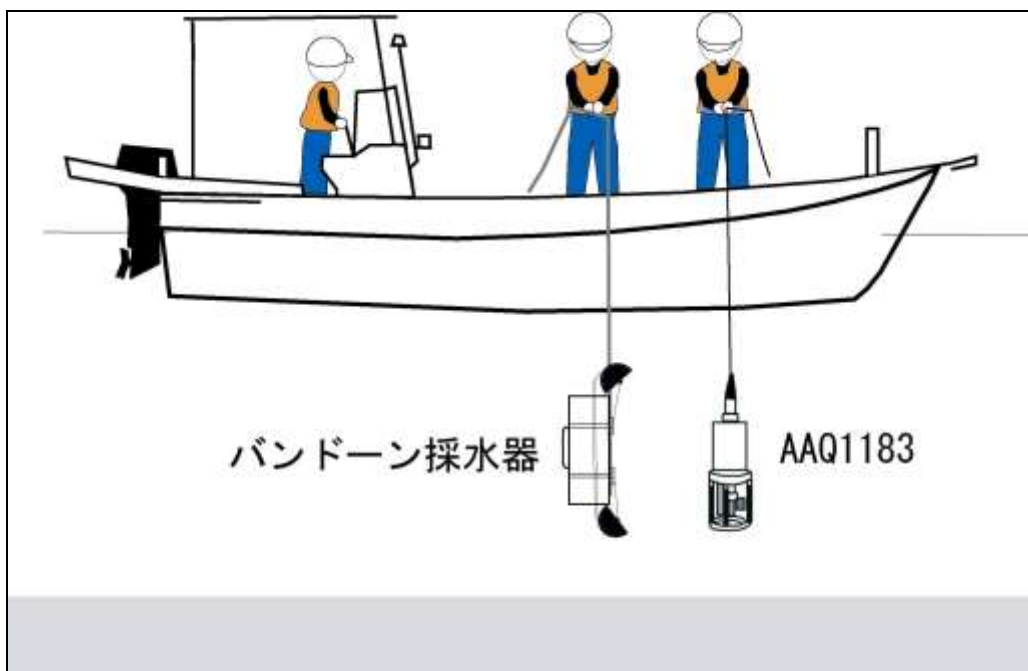


図 3.2.3-1 水質調査状況

秋季調査結果

秋季の水質調査は平成 28 年 11 月 9 日、10 日に行った。秋季水質調査の結果を表 3.2.3-2 に示す。

表 3.2.3-2 秋季水質調査結果

項目 調査地点	観測層 (m)	現地観測結果									室内分析項目		
		水深 (m)	透明度 (m)	水温 (°C)	塩分	pH 水素イオン濃度	DO 溶存酸素量 (mg/L)	酸素飽和度 (%)	クロロフィルa (μg/L)	濁度 (FTU)	COD 化学的酸素要求量 (mg/L)	SS 浮遊物質 (mg/L)	濁度 (度)
St. 1	0.5	38.9	20.0	22.2	34.30	8.2	6.8	95.6	3.2	0.2	1.2	<1	<0.2
	19.5			22.2	34.30	8.2	6.8	95.0	3.5	0.1	1.2	<1	<0.2
	37.9			22.2	34.30	8.2	6.7	94.7	3.7	0.1	1.1	<1	<0.2
St. 2	0.5	17.8	16.0	22.0	34.21	8.2	6.9	96.3	3.9	0.2	1.3	<1	<0.2
	8.9			22.1	34.21	8.2	6.9	95.6	4.6	0.2	1.2	<1	0.2
	16.8			22.0	34.21	8.2	6.9	95.8	4.7	0.2	1.2	<1	0.3
St. 4	0.5	37.7	18.0	22.1	34.28	8.2	6.9	95.8	3.3	0.2	1.1	<1	<0.2
	18.9			22.1	34.30	8.2	6.8	95.5	4.0	0.1	1.1	<1	0.4
	36.7			22.1	34.29	8.2	6.8	95.5	3.5	0.1	1.1	<1	0.4
St. 5	0.5	36.8	18.0	22.1	34.27	8.2	7.0	97.8	4.1	0.2	1.2	<1	<0.2
	18.4			22.1	34.27	8.2	6.8	95.9	4.6	0.1	1.2	<1	0.2
	35.8			22.2	34.27	8.2	6.8	95.7	4.7	0.1	1.0	<1	<0.2

透明度については 16.0~20.0m であり、海水の濁りや変色は認められなかった。水温については 22.0~22.2°C であり、調査地点や水深による違いはほとんど認められなかった。

pH (水素イオン濃度) は 8.2 程度であり、全て A 類型の環境基準 (7.8~8.3) ※を満足する結果であった。DO (溶存酸素量) は 6.7~7.0mg/L、酸素飽和度は約 95~98% 程度であり、十分な酸素濃度が維持されていた。

植物プランクトン量の指標となるクロロフィル a は、3.2~4.7 μg/L 程度であった。有機汚濁の指標となる COD (化学的酸素要求量) は 1.0~1.3mg/L であり、全て A 類型の環境基準 (2mg/L 以下) ※を満足する結果であった。濁りの指標となる SS (浮遊物質) は、全て 1mg/L 未満であった。SS と同じく濁りの指標となる濁度は、現地観測では 0.1~0.2FTU、室内分析では 0.2 度未満~0.4 度であった。

秋季の水質調査結果については、特に問題となるような点は認められなかった。

※：環境基準

人の健康の保護及び生活環境の保全のうえで維持されることが望ましい基準として、大気、水、土壌、騒音をどの程度に保つことを目標に施策を実施していくのかという目標を定めたもの。水質環境基準には 3 つの類型が定められており、A 類型は最も厳しい基準となっている。

## 冬季調査結果

冬季の水質調査は平成29年2月6日、7日、14日に行った。冬季水質調査の結果を表3.2.3-3に示す。

表 3.2.3-3 冬季水質調査結果

項目 調査地点	観測層 (m)	現地観測結果									室内分析項目		
		水深 (m)	透明度 (m)	水温 (°C)	塩分	pH 水素イオン濃度	DO 溶存酸素量 (mg/L)	酸素飽和度 (%)	クロロフィルa (μg/L)	濁度 (FTU)	COD 化学的酸素要求量 (mg/L)	SS 浮遊物質量 (mg/L)	濁度 (度)
St. 1	0.5	39.9	11.5	15.3	34.64	8.2	8.1	99.2	1.5	0.0	-	-	-
	20.0			15.3	34.65	8.2	8.0	98.5	6.4	0.2	-	-	-
	38.9			15.3	34.65	8.2	8.0	98.4	5.5	0.3	-	-	-
St. 2	0.5	20.2	14.5	15.9	34.62	8.2	7.8	96.4	3.8	0.1	-	-	-
	10.1			15.9	34.63	8.2	7.8	96.4	4.0	0.1	-	-	-
	19.2			15.9	34.63	8.2	7.7	96.2	4.2	0.1	-	-	-
St. 4	0.5	37.9	18.0	15.8	34.60	8.2	7.9	97.3	5.5	0.3	-	-	-
	19.0			15.8	34.63	8.2	7.8	97.1	4.5	0.2	-	-	-
	36.9			15.8	34.63	8.2	7.8	96.8	4.7	0.2	-	-	-
St. 5	0.5	38.1	12.6	15.3	34.64	8.2	8.0	98.5	4.6	0.2	-	-	-
	19.1			15.3	34.66	8.2	8.0	98.4	5.1	0.1	-	-	-
	37.1			15.3	34.66	8.2	8.0	98.2	5.6	0.2	-	-	-

透明度については 11.5~18.0m であり、海水の濁りや変色は認められなかった。水温については 15.3~15.9°C であり、調査地点や水深による違いはほとんど認められなかった。pH (水素イオン濃度) は 8.2 程度であり、全て A 類型の環境基準 (7.8~8.3) を満足する結果であった。DO (溶存酸素量) は 7.7~8.1mg/L、酸素飽和度は約 96~99% 程度であり、十分な酸素濃度が維持されていた。植物プランクトン量の指標となるクロロフィル a は、1.5~6.4 μg/L 程度であった。



### 3.2.4. 動物プランクトン調査結果

動物プランクトン調査は、船上より北原式定量ネット（口径 22.5cm、側長 80cm、網目 NXX13）を用いて上層（1/2 水深から海面まで）、下層（海底上 1m から 1/2 水深まで）の 2 層で鉛直曳きネット採集を行った。採取した試料はホルマリンで固定した後、沈澱量の測定、種の同定及び個体数の計数を行った。

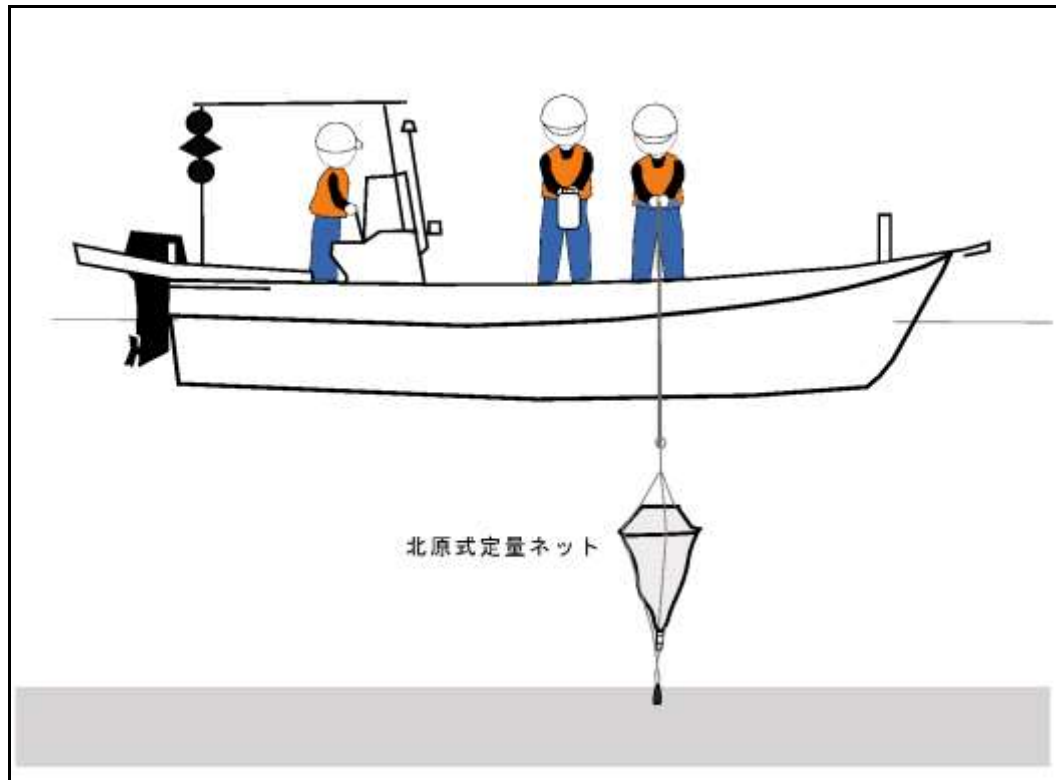


図 3.2.4-1 動物プランクトン調査状況



北原定量ネット

動物プランクトン採取状況

## 秋季調査結果

秋季における動物プランクトン調査結果の概要を表 3.2.4-1、出現個体数の水平分布を図 3.2.4-2、出現種類数の水平分布を図 3.2.4-3 に示す。

秋季調査における動物プランクトンの出現個体数は 3,357~76,048 個体/m<sup>3</sup>であり、St.5 上層で最も多い結果であった。また、下層に比べて上層で個体数が多い傾向にあった。出現種類数は 23~48 種であり、個体数と同じく下層と比べて上層で多い傾向にあった。出現は節足動物が多く、全調査地点において Nauplius larva of Copepoda (アゴアシ類ノープリウス幼生) が多く出現する結果であった。

表 3.2.4-1 動物プランクトン調査結果概要 (秋季)

項目		地点	
		St.1 上層	St.1 下層
出現種数 (種)	原生動物	2 (4.2)	2 (4.7)
	軟体動物	3 (6.3)	2 (4.7)
	節足動物	37 (77.1)	37 (86.0)
	脊索動物	3 (6.3)	1 (2.3)
	その他	3 (6.3)	1 (2.3)
	合計	48 (100.0)	43 (100.0)
個体数 (個体/ m <sup>3</sup> )	原生動物	665 (4.2)	47 (1.4)
	軟体動物	499 (3.2)	93 (2.8)
	節足動物	13,013 (82.8)	2,905 (86.5)
	脊索動物	1,289 (8.2)	296 (8.8)
	その他	250 (1.6)	16 (0.5)
	合計	15,716 (100.0)	3,357 (100.0)
主な出現種 「細胞数組成比率 (%)」	Nauplius larva of Copepoda		Nauplius larva of Copepoda
	節足動物 :	(21.4)	節足動物 : (17.2)
	Copepodite larva of <i>Paracalanus</i>		Copepodite larva of <i>Paracalanus</i>
	節足動物 :	(11.1)	節足動物 : (14.9)
	Copepodite larva of <i>Oithona</i>		Copepodite larva of <i>Oithona</i>
	節足動物 :	(11.1)	節足動物 : (10.7)

注1:出現種数、個体数の括弧内の数字は種組成比率(%)を示す。

注2:主な出現種は個体数組成比率10%以上の種を記載した。

地点		St. 2 上層	St. 2 下層
項目			
出現種数 (種)	原生動物	3 (8.8)	1 (4.3)
	軟体動物	2 (5.9)	1 (4.3)
	節足動物	24 (70.6)	18 (78.3)
	脊索動物	2 (5.9)	1 (4.3)
	その他	3 (8.8)	2 (8.7)
	合計	34 (100.0)	23 (100.0)
個体数 (個体/ m <sup>3</sup> )	原生動物	1,509 (9.0)	240 (5.1)
	軟体動物	480 (2.9)	34 (0.7)
	節足動物	13,716 (81.6)	4,251 (90.5)
	脊索動物	686 (4.1)	34 (0.7)
	その他	411 (2.4)	137 (2.9)
	合計	16,802 (100.0)	4,696 (100.0)
主な出現種 「細胞数組成比率 (%)」		Nauplius larva of Copepoda 節足動物 : (25.3) Nauplius larva of Thecostoraca 節足動物 : (11.4)	Nauplius larva of Copepoda 節足動物 : (17.2) Copepodite larva of <i>Paracalanus</i> 節足動物 : (14.9) Copepodite larva of <i>Oithona</i> 節足動物 : (10.7)

注1:出現種数、個体数の括弧内の数字は種組成比率(%)を示す。  
注2:主な出現種は個体数組成比率10%以上の種を記載した。

地点		St. 4 上層	St. 4 下層
項目			
出現種数 (種)	原生動物	1 (2.4)	2 (5.9)
	軟体動物	3 (7.1)	2 (5.9)
	節足動物	31 (73.8)	28 (82.4)
	脊索動物	3 (7.1)	1 (2.9)
	その他	4 (9.5)	1 (2.9)
	合計	42 (100.0)	34 (100.0)
個体数 (個体/ m <sup>3</sup> )	原生動物	299 (3.0)	146 (3.8)
	軟体動物	171 (1.7)	88 (2.3)
	節足動物	8,409 (84.5)	3,369 (87.1)
	脊索動物	811 (8.2)	235 (6.1)
	その他	256 (2.6)	29 (0.7)
	合計	9,946 (100.0)	3,867 (100.0)
主な出現種 「細胞数組成比率 (%)」		Nauplius larva of Copepoda 節足動物 : (15.4) Copepodite larva of <i>Paracalanus</i> 節足動物 : (15.0)	Nauplius larva of Copepoda 節足動物 : (21.2) Copepodite larva of <i>Paracalanus</i> 節足動物 : (12.1) Copepodite larva of <i>Oithona</i> 節足動物 : (10.6)

注1:出現種数、個体数の括弧内の数字は種組成比率(%)を示す。  
注2:主な出現種は個体数組成比率10%以上の種を記載した。

地点		St. 1 上層	St. 1 下層
項目			
出現種数 (種)	原生動物	3 (7.9)	3 (8.1)
	軟体動物	1 (2.6)	3 (8.1)
	節足動物	30 (78.9)	27 (73.0)
	脊索動物	2 (5.3)	3 (8.1)
	その他	2 (5.3)	1 (2.7)
	合計	38 (100.0)	37 (100.0)
個体数 (個体/ m <sup>3</sup> )	原生動物	2,663 (3.5)	499 (8.1)
	軟体動物	592 (0.8)	178 (2.9)
	節足動物	69,242 (91.1)	5,274 (86.0)
	脊索動物	2,071 (2.7)	143 (2.3)
	その他	1,480 (1.9)	36 (0.6)
	合計	76,048 (100.0)	6,130 (100.0)
主な出現種 「細胞数組成比率 (%)」		Nauplius larva of Copepoda 節足動物 : (22.2) Nauplius larva of Thecostoraca 節足動物 : (17.1)	Nauplius larva of Copepoda 節足動物 : (22.7) Copepodite larva of <i>Oithona</i> 節足動物 : (12.8)

注1:出現種数、個体数の括弧内の数字は種組成比率(%)を示す。  
注2:主な出現種は個体数組成比率10%以上の種を記載した。

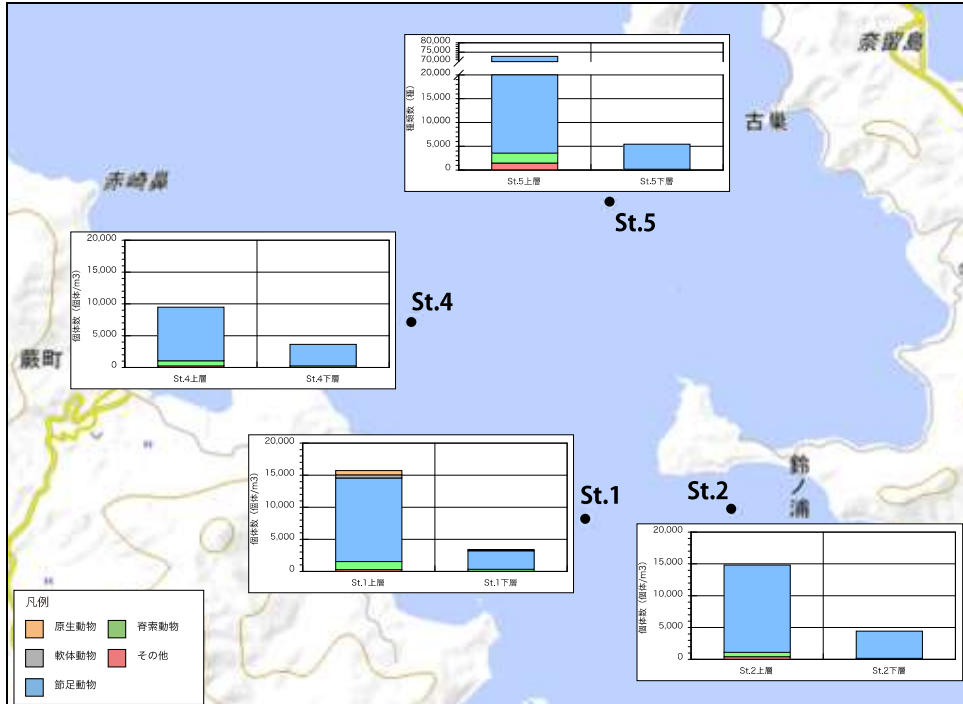


図 3.2.4-2 動物プランクトン出現個体数の水平分布 (秋季)

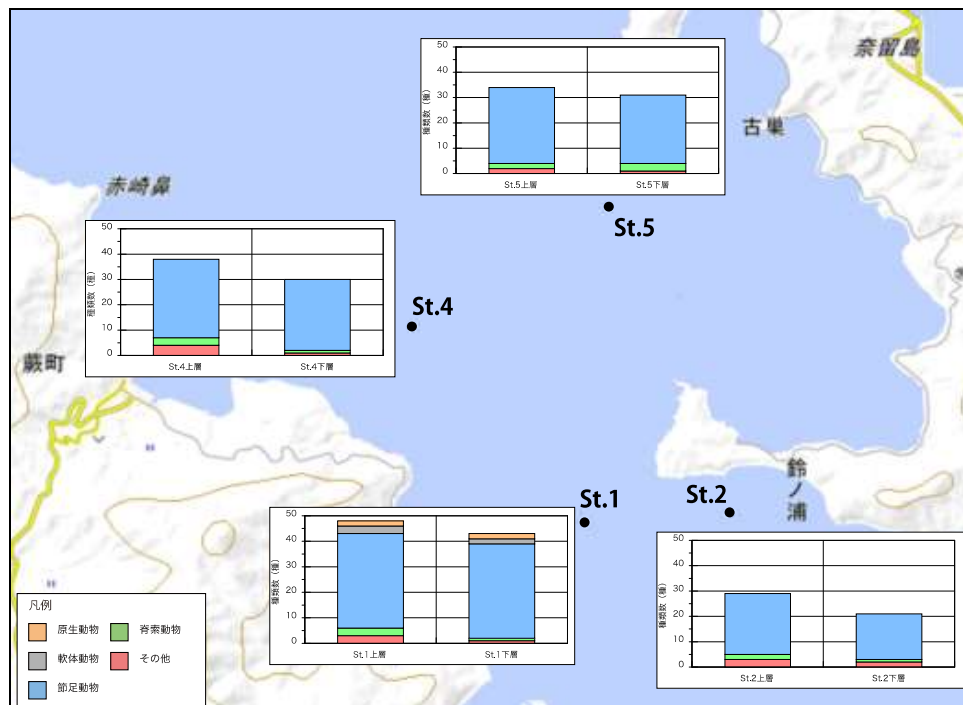


図 3.2.4-3 動物プランクトン出現種類数の水平分布 (秋季)

### 3.2.5. 植物プランクトン調査結果

植物プランクトン調査は、船上よりバンドーン採水器を用いて表層（海面下 0.5m）、中層（1/2 水深）、底層（海底上 1m）の 3 層より採水法によって試料採取を行った。採取した試料はホルマリンで固定した後、沈澱量の測定、種の同定及び細胞数の計数を行った。

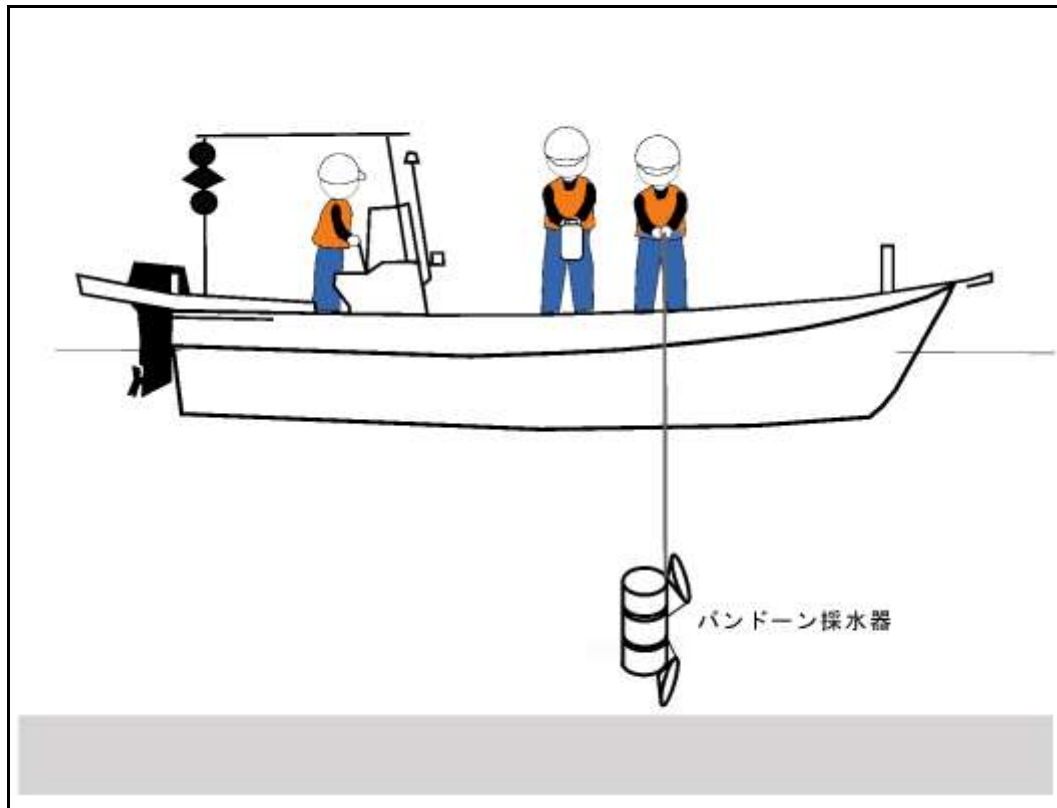


図 3.2.5-1 植物プランクトン調査状況



バンドーン採水器による試料採取（水質調査にも使用）

秋季調査結果

秋季における植物プランクトン調査結果の概要を表 3.2.5-1、出現細胞数の水平分布を図 3.2.5-2、出現種類数の水平分布を図 3.2.5-3 に示す。

秋季調査における植物プランクトンの出現細胞数は 47,600～184,800 細胞/L であり、St.2 の表層、中層、St.5 底層では他の調査地点に比べて多い傾向にあった。出現種類数は 41～58 種であり、St.2 中層で最も多い結果であった。出現は珪藻類が多く、*Bacteriastrum* sp.、*Chaetoceros sociale*、*Chaetoceros* spp.、*Nitzschia* spp. 等の他、ハプト藻類の Haptophyceae spp. 等が多く出現している。

表 3.2.5-1 植物プランクトン調査結果概要

項目		地点		
		St.1 表層	St.1 中層	St.1 底層
出現種数 (種)	渦鞭毛藻綱	4 (8.7)	2 (4.9)	5 (10.6)
	珪藻綱	36 (78.3)	34 (82.9)	35 (74.5)
	その他	6 (13.0)	5 (12.2)	7 (14.9)
	合計	46 (100.0)	41 (100.0)	47 (100.0)
細胞数 (細胞/L)	渦鞭毛藻綱	920 (1.2)	320 (0.7)	1,900 (3.7)
	珪藻綱	51,300 (65.6)	33,920 (71.3)	37,200 (72.5)
	その他	26,020 (33.3)	13,360 (28.1)	12,200 (23.8)
	合計	78,240 (100.0)	47,600 (100.0)	51,300 (100.0)
主な出現種 「細胞数組成比率(%)」		Haptophyceae spp. ハプト藻綱： (22.5) <i>Nitzschia</i> spp. 珪藻綱： (11.0)	Haptophyceae spp. ハプト藻綱： (20.5) <i>Nitzschia</i> spp. 珪藻綱： (17.8) <i>Chaetoceros</i> spp. 珪藻綱： (16.5)	<i>Bacteriastrum</i> spp. 珪藻綱： (12.1) Haptophyceae spp. ハプト藻綱： (10.5)

注1:出現種数、細胞数の括弧内の数字は種組成比率(%)を示す。  
注2:主な出現種は細胞数組成比率10%以上の種を記載した。

項目		地点		
		St.2 表層	St.2 中層	St.2 底層
出現種数 (種)	渦鞭毛藻綱	3 (6.1)	5 (8.6)	2 (4.7)
	珪藻綱	39 (79.6)	46 (79.3)	35 (81.4)
	その他	7 (14.3)	7 (12.1)	6 (14.0)
	合計	49 (100.0)	58 (100.0)	43 (100.0)
細胞数 (細胞/L)	渦鞭毛藻綱	2,000 (1.1)	1,700 (1.6)	720 (1.0)
	珪藻綱	161,200 (87.2)	96,500 (88.3)	56,680 (82.6)
	その他	21,600 (11.7)	11,100 (10.2)	11,240 (16.4)
	合計	184,800 (100.0)	109,300 (100.0)	68,640 (100.0)
主な出現種 「細胞数組成比率(%)」		<i>Chaetoceros</i> spp. 珪藻綱： (16.7) <i>Bacteriastrum</i> spp. 珪藻綱： (10.2) <i>Nitzschia</i> spp. 珪藻綱： (10.2)	<i>Chaetoceros</i> spp. 珪藻綱： (20.0) <i>Nitzschia</i> spp. 珪藻綱： (13.2)	<i>Bacteriastrum</i> spp. 珪藻綱： (18.9) <i>Nitzschia</i> spp. 珪藻綱： (14.3)

注1:出現種数、細胞数の括弧内の数字は種組成比率(%)を示す。  
注2:主な出現種は細胞数組成比率10%以上の種を記載した。

項目		地点		St. 4 表層	St. 4 中層	St. 4 底層	
出現種数 (種)	渦鞭毛藻綱	3	(7.0)	3	(6.8)	2	(3.9)
	珪藻綱	33	(76.7)	34	(77.3)	41	(80.4)
	その他	7	(16.3)	7	(15.9)	8	(15.7)
	合計	43	(100.0)	44	(100.0)	51	(100.0)
細胞数 (細胞/L)	渦鞭毛藻綱	1,440	(1.9)	1,440	(1.9)	320	(0.6)
	珪藻綱	57,600	(76.9)	60,360	(80.7)	47,860	(91.2)
	その他	15,840	(21.2)	12,960	(17.3)	4,320	(8.2)
	合計	74,880	(100.0)	74,760	(100.0)	52,500	(100.0)
主な出現種 「細胞数組成比率(%)」		<i>Chaetoceros sociale</i> 珪藻綱 : (19.9) <i>Thalassiothrix frauenfeldii</i> 珪藻綱 : (10.6)		<i>Chaetoceros</i> spp. 珪藻綱 : (12.8) <i>Chaetoceros sociale</i> 珪藻綱 : (11.9) Haptophyceae spp. ハプト藻綱 : (10.0)		<i>Bacteriastrium</i> spp. 珪藻綱 : (18.9) <i>Nitzschia</i> spp. 珪藻綱 : (14.3)	

注1: 出現種数、細胞数の括弧内の数字は種組成比率 (%) を示す。

注2: 主な出現種は細胞数組成比率10%以上の種を記載した。

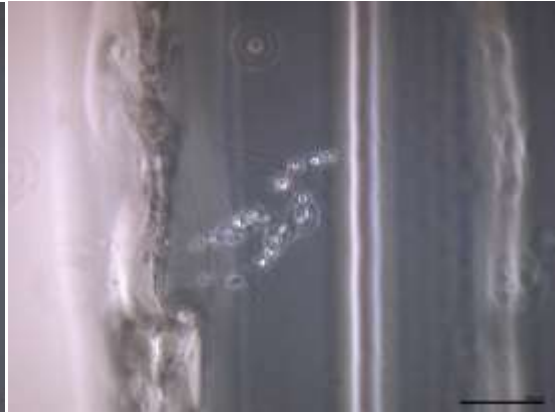
項目		地点		St. 5 表層	St. 5 中層	St. 5 底層	
出現種数 (種)	渦鞭毛藻綱	3	(5.5)	3	(7.0)	5	(9.3)
	珪藻綱	45	(81.8)	33	(76.7)	43	(79.6)
	その他	7	(12.7)	7	(16.3)	6	(11.1)
	合計	55	(100.0)	43	(100.0)	54	(100.0)
細胞数 (細胞/L)	渦鞭毛藻綱	900	(1.0)	1,200	(1.7)	2,640	(2.1)
	珪藻綱	76,800	(84.0)	60,400	(86.5)	101,480	(81.5)
	その他	13,700	(15.0)	8,260	(11.8)	20,460	(16.4)
	合計	91,400	(100.0)	69,860	(100.0)	124,580	(100.0)
主な出現種 「細胞数組成比率(%)」		<i>Chaetoceros</i> spp. 珪藻綱 : (17.1) <i>Bacteriastrium</i> spp. 珪藻綱 : (13.8) <i>Nitzschia</i> spp. 珪藻綱 : (10.9)		<i>Nitzschia</i> spp. 珪藻綱 : (25.1) <i>Chaetoceros</i> spp. 珪藻綱 : (11.7) <i>Bacteriastrium</i> spp. 珪藻綱 : (11.3)		<i>Nitzschia</i> spp. 珪藻綱 : (18.1)	

注1: 出現種数、細胞数の括弧内の数字は種組成比率 (%) を示す。

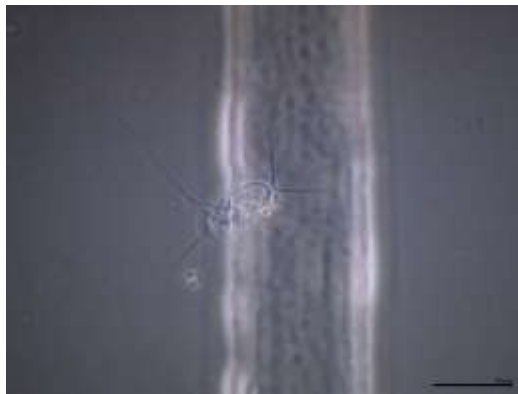
注2: 主な出現種は細胞数組成比率10%以上の種を記載した。



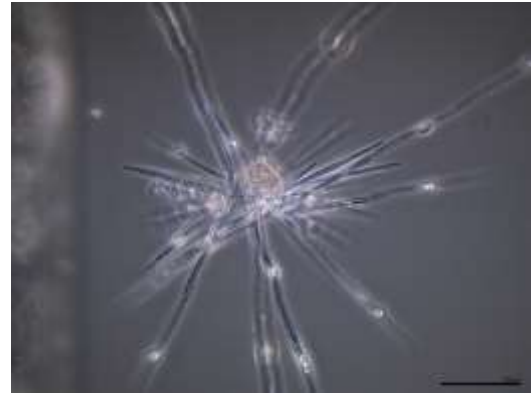
Bacteriastrum sp. (珪藻類)



Chaetoceros sociale (珪藻類)



Chaetoceros sp. (珪藻類)



Nitzschia sp. (珪藻類)



Haptophyceae sp. (ハプト藻類)



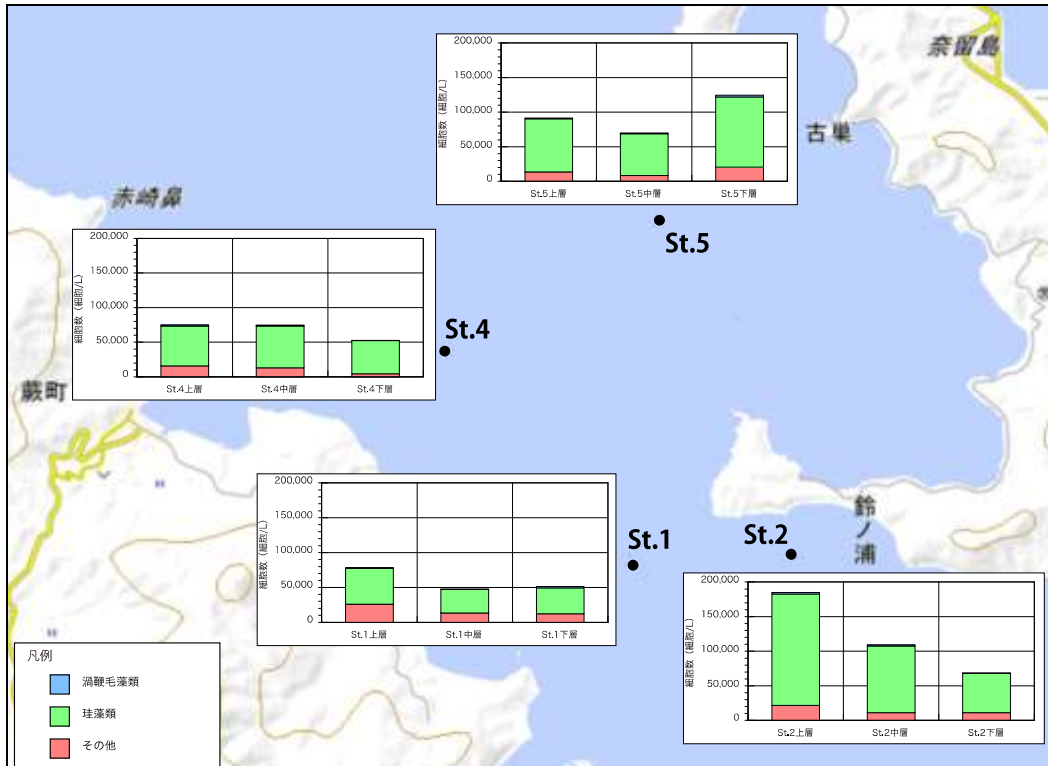


図 3. 2. 5-2 プランクトン出現細胞数の水平分布 (秋季)

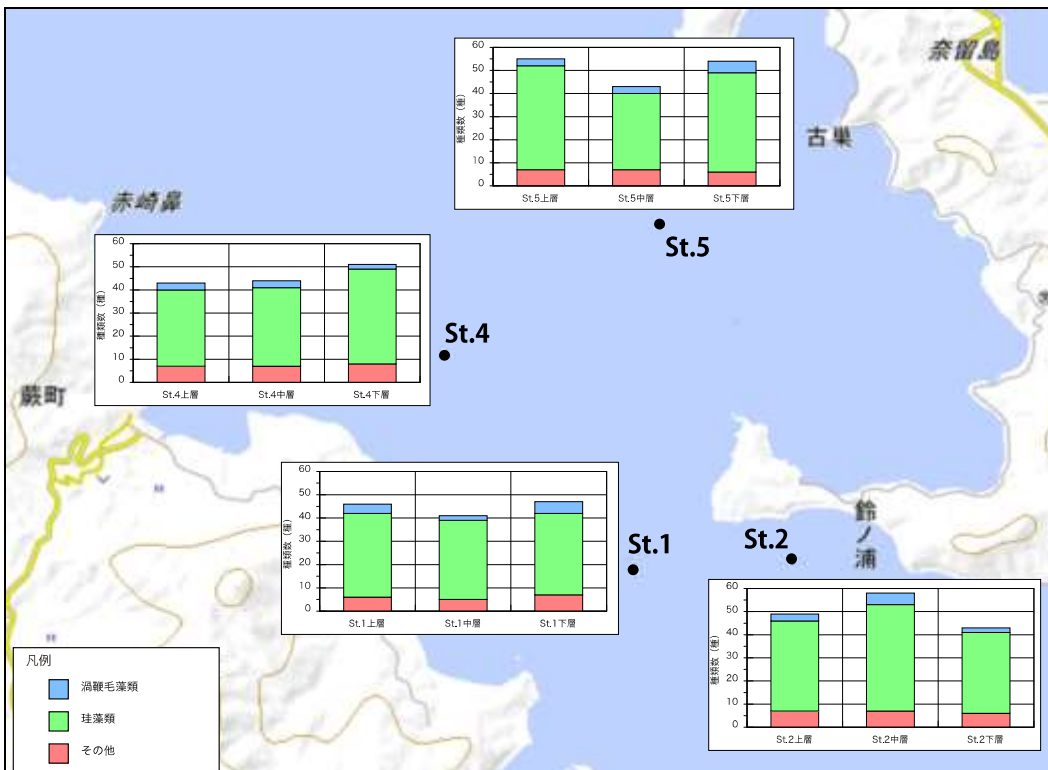


図 3. 2. 5-3 植物プランクトン出現種類数の水平分布 (秋季)

### 3.2.6. 卵・稚仔調査結果

卵・稚仔調査は、船上よりマルチネット（口径 130cm、側長 450cm、網目 NGG54）を用い、調査地点において 2 ノットで約 10 分間の水平曳きによって試料採取を行った。採取層は上層（海面下 0.5m）、中層（海面下 5m）の 2 層とした。採取した試料はホルマリンで固定した後、魚卵については種の同定及び不明卵の特徴観察、稚仔魚については種の同定及び体長の計測を行った。

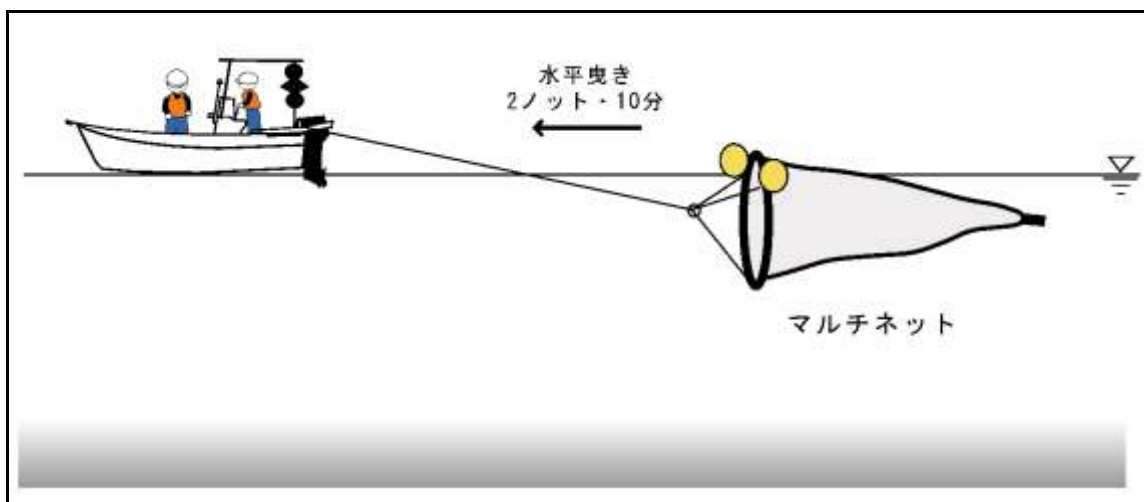


図 3.6.2-1 卵・稚仔調査状況



マルチネット



マルチネット曳航状況秋季調査結果

秋季における調査結果を以下に示す。

秋季調査における魚卵の出現個体数は 378～5,521 個体/1000 m<sup>3</sup>であり、St.2 上層、St.4 中層、St.5 上層では他の調査地点に比べて多い傾向にあった。出現種類数は 7～15 種であり、St.1 では他の調査地点と比べてやや多い傾向にあった。不明卵を除くと、カタクチイワシ、ワニギス属の魚卵が多く出現している。

表 3. 2. 6-1 魚卵の出現結果 (秋季)

No.	門	綱	目	科	種名	学名	St.1		St.2		St.4		St.5	
							上層	中層	上層	中層	上層	中層	上層	中層
1	脊索動物	硬骨魚	ウナギ	-	ウナギ目 sp. (卵径 3.20-3.43mm) (油球数 1 油球径 0.40-0.45mm)	<i>Anguilliformes</i> sp.		0						
2			カタクチイワシ	カタクチイワシ	カタクチイワシ (卵径 0.55-0.64×1.10-1.31mm) (油球数 なし)	<i>Eggsalix japonica</i>	73	103	113	65	180	118	250	124
3			ニギス	ニギス	ニギス (卵径 1.44mm) (油球数 1 油球径 0.36mm)	<i>Glyptocheilus nemurus</i>		3						
4			ヒメ	ヒメ	ヒメ科 sp. (卵径 1.00-1.20mm) (油球数 なし)	<i>Synodontidae</i> sp.	1		2	12				3
5			ヒメ	ヒメ	ヒメ (卵径 1.24mm) (油球数 なし)	<i>Asipus japonicus</i>	1							
6			ハダカイワシ目	-	ハダカイワシ目 sp. (卵径 1.17-1.25mm) (油球数 1 油球径 0.15-0.20mm)	<i>Myxophthalmus</i> sp.		3		72	95			
7			スズキ	ホウボウ科	ホウボウ科 sp. (卵径 1.20-1.35mm) (油球数 1 油球径 0.26-0.31mm)	<i>Triglidae</i> sp.	9	30	3		36	24	10	18
8			ウニギス	ウニギス科 sp.	ウニギス科 sp. (卵径 0.99-1.15mm) (油球数 1 油球径 0.20-0.22mm)	<i>Chaenopsidae</i> sp.	47	171	3		168	474	54	115
9			ネズボ科	ネズボ科 sp.	ネズボ科 sp. (卵径 0.69-0.72mm) (油球数 なし)	<i>Callinectes</i> sp.		6	62					25
10			タチウオ	タチウオ	タチウオ (卵径 1.65-1.76mm) (油球数 1 油球径 0.40-0.46mm)	<i>Trachurus japonicus</i>	4	9		12				
11			ササウシノシタ科	ササウシノシタ科 sp.	ササウシノシタ科 sp. (卵径 1.24-1.50mm) (油球数 0-40 油球径 0.01-0.12mm)	<i>Soleidae</i> sp.	3	18		2	36	47		5
12			ウシノシタ科	ウシノシタ科 sp.1	ウシノシタ科 sp.1 (卵径 0.92-1.05mm) (油球数 8-23 油球径 0.01-0.14mm)	<i>Cynoglossidae</i> sp.1	7	21			72	118		14
13			ウシノシタ科	ウシノシタ科 sp.2	ウシノシタ科 sp.2 (卵径 1.13-1.20mm) (油球数 27-48 油球径 0.01-0.16mm)	<i>Cynoglossidae</i> sp.2	4	3						
14			不明卵	不明卵 sp.1	不明卵 sp.1 (卵径 1.35-1.38mm) (油球数 1 油球径 0.29-0.35mm)	Unidentified Egg sp.1	20							
15			不明卵	不明卵 sp.2	不明卵 sp.2 (卵径 0.58-0.60mm) (油球数 1 油球径 0.10-0.13mm)	Unidentified Egg sp.2	73		24	10		24		
16			不明卵	不明卵 sp.3	不明卵 sp.3 (卵径 0.65-0.83mm) (油球数 1 油球径 0.14-0.18mm)	Unidentified Egg sp.3	1,230		5,132	1,513	2,530	3,460	4,021	500
17			不明卵	不明卵 sp.4	不明卵 sp.4 (卵径 0.80-0.90mm) (油球数 1 油球径 0.23-0.25mm)	Unidentified Egg sp.4		27						
18			不明卵	不明卵 sp.5	不明卵 sp.5 (卵径 0.90-1.07mm) (油球数 1 油球径 0.15-0.17mm)	Unidentified Egg sp.5			26				10	
19			不明卵	不明卵 sp.6	不明卵 sp.6 (卵径 0.90-1.00mm) (油球数 1 油球径 0.20-0.25mm)	Unidentified Egg sp.6	13		42	7	12			
20			不明卵	不明卵 sp.7	不明卵 sp.7 (卵径 0.98-1.13mm) (油球数 1 油球径 0.18-0.22mm)	Unidentified Egg sp.7	105	186			323	877	44	170
21			不明卵	不明卵 sp.8	不明卵 sp.8 (卵径 0.90-1.10mm) (油球数 1 油球径 0.23-0.30mm)	Unidentified Egg sp.8	10	42	14	7	287	394	62	92
22			不明卵	不明卵 sp.9	不明卵 sp.9 (卵径 1.91mm) (油球数 1 油球径 0.40mm)	Unidentified Egg sp.9								5
23			不明卵	不明卵 sp.10	不明卵 sp.10 (卵径 1.00mm) (油球数 なし)	Unidentified Egg sp.10	1							
合 計							378	1,050	5,411	1,400	5,749	5,521	4,471	1,062
出現種数							15	18	9	7	12	10	7	11

表 3. 2. 6-2 魚卵の形態 (秋季)

魚種または タイプ	卵径 (mm)	油球数	油球径 (mm)	卵形	卵膜 構造	卵黄 亀裂	備考・ 推定種
ウナギ目 sp.	3.20-3.43	1	0.40-0.45	広	なし	あり	
カタクチイワシ	0.55-0.64×1.10-1.31	なし	-	狭	なし	あり	
ニギス	1.44	1	0.36	狭	なし	あり	
ヒメ	1.00-1.20	なし	-	狭	亀甲	なし	
ヒメ	1.24	なし	-	狭	亀甲	なし	
ハダカイワシ目 sp.	1.17-1.25	1	0.15-0.20	狭	三枚羽根	なし	
ホウボウ科 sp.	1.20-1.35	1	0.26-0.31	狭	なし	なし	
ウニギス科 sp.	0.99-1.15	1	0.20-0.22	狭	なし	なし	
ネズボ科 sp.	0.69-0.72	なし	-	狭	亀甲	あり	
タチウオ	1.65-1.76	1	0.40-0.46	狭	なし	なし	
ササウシノシタ科 sp.	1.24-1.50	0-40	0.01-0.12	狭	疣状突起	なし	
ウシノシタ科 sp.1	0.92-1.05	8-23	0.01-0.14	狭	なし	なし	
ウシノシタ科 sp.2	1.15-1.20	27-48	0.01-0.14	狭	なし	なし	
不明卵 sp.1	1.35-1.38	1	0.29-0.35	狭	なし	なし	凝集浮性卵
不明卵 sp.2	0.58-0.60	1	0.10-0.13	狭	なし	なし	
不明卵 sp.3	0.65-0.83	1	0.14-0.18	狭	なし	なし	
不明卵 sp.4	0.80-0.90	1	0.23-0.25	狭	なし	なし	
不明卵 sp.5	0.90-1.07	1	0.15-0.17	狭	なし	なし	
不明卵 sp.6	0.90-1.00	1	0.20-0.25	狭	なし	なし	
不明卵 sp.7	0.98-1.13	1	0.18-0.22	狭	なし	なし	ウニギス科?
不明卵 sp.8	0.96-1.10	1	0.23-0.30	狭	なし	なし	
不明卵 sp.9	1.91	1	0.40	狭	なし	なし	
不明卵 sp.10	1.00	なし	-	狭	なし	なし	



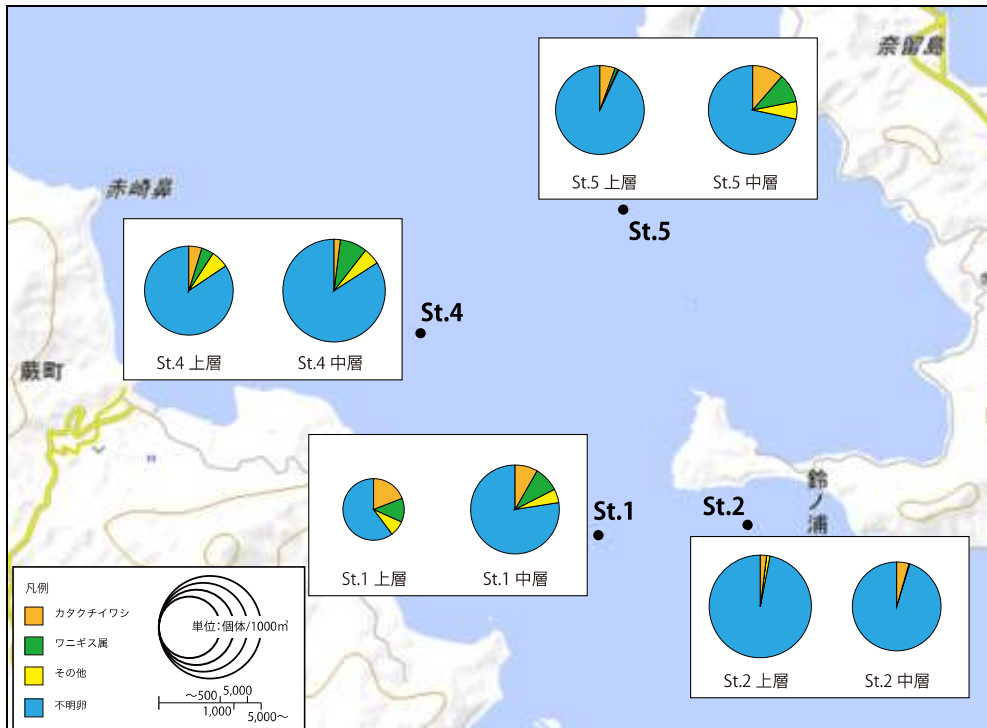


図 3. 2. 6-2 魚卵出現個体数の水平分布 (秋季)

秋季における稚仔魚出現個体数の水平分布を図 3. 2. 6-3 に示す。

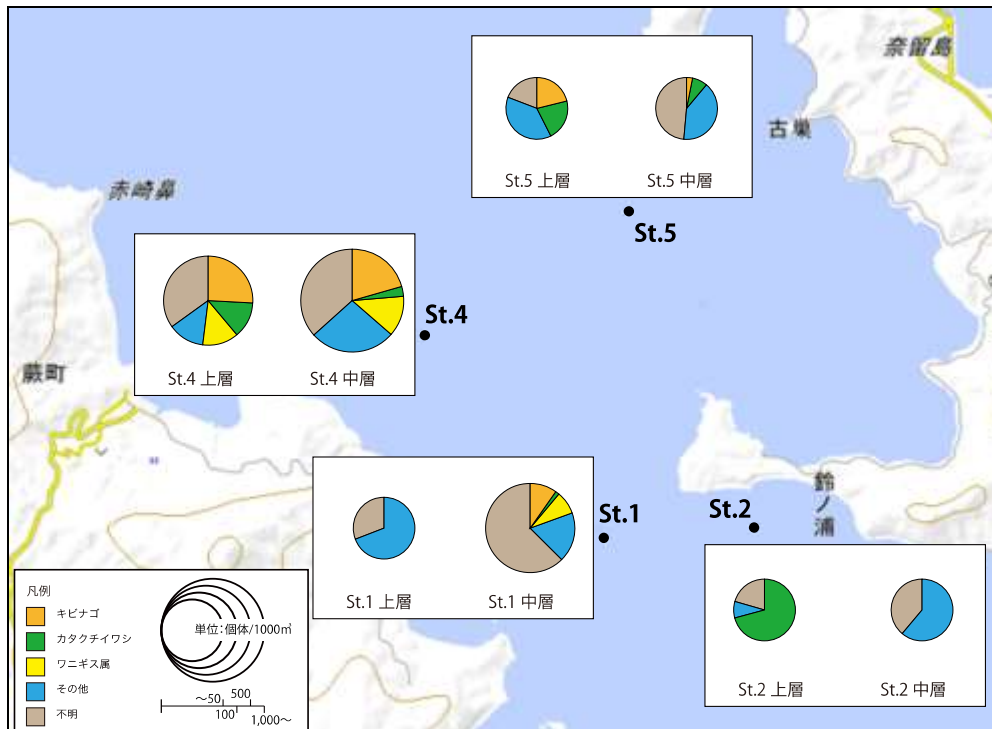


図 3. 2. 6-3 稚仔魚出現個体数の水平分布 (秋季)

### 3.2.7. 底生生物調査結果

底生生物調査は、平成 28 年 11 月 25 日～26 日の秋季に実施した。

St.1（潮流発電設置区域）は、区域全体では海綿類が多く着生していた。甲殻藻網ではアカフジツボがまばらに確認され、サザエ等も僅かだが確認された。また、刺胞動物門であるハネガヤ、ウミヒドラ、ウミサボテン、ウミカラマツ等の小群落を形成していた。

St.2（海底ケーブル設置区域）については、水深 5～15m の岩礁にウミトサカの小さな群落を確認した。また棘皮動物門としてタコノマクラ類 4 個体、クロテナマコ調査 5 個体を調査区域内にて確認した。同様に調査を行った海藻類調査では、アミジグサ類、イギス類、サンゴモ類、テングサ類、カギケノリ類等の小型の海藻の着生は確認されたが、ホンダワラ類等の大型海藻の着生は確認されなかった。

St.4（久賀側対照区）では、St.1 と同様の生物層を確認した。

St.5（奈留側対照区）については、砂泥と礫の混じった海底面となっており、底生生物の着生は僅かであり、イイジマフクロウニ等他調査海域ではみられなかった生物を確認した。



ROV 底生生物調査



St.2 : クロナマコ科

### 3.2.8. 潮間帯生物調査

各調査地点において、調査測線を潮間帯上部から潮下帯まで設定し、方形枠（50cm×50cm）を使って写真撮影、目視観察を行い、動物・植物の出現種、分布範囲を確認した。また、潮間帯上、中、下、潮下帯の平均的な地点に方形枠を設置し枠内の生物を採取、ホルマリンにて固定、種の同定、湿重量の計測等を行った。



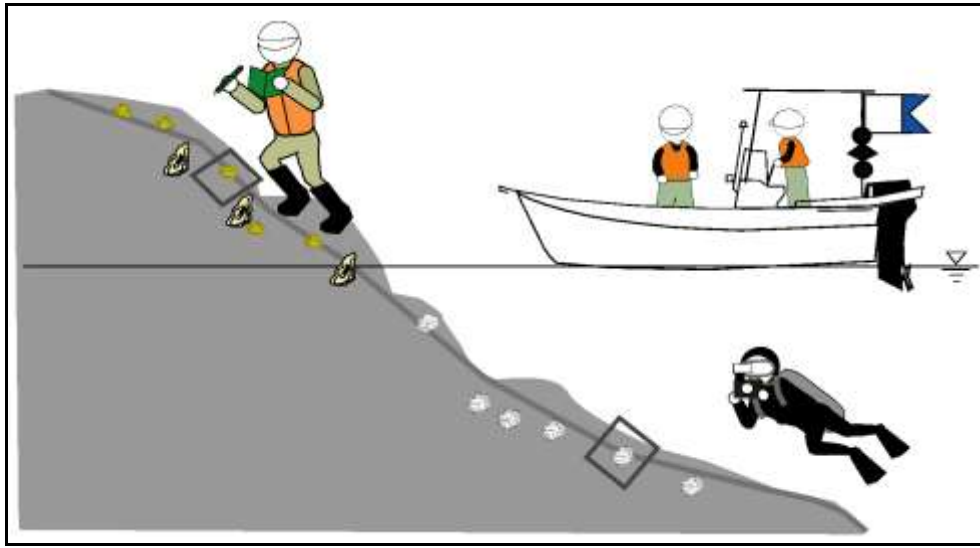


図 3.2.8-1 潮間帯生物調査状況



潮間帯生物調査状況



潮間帯生物調査状況

#### 秋季調査結果

秋季における潮間帯生物の断面概略図を図 3.2.8-2、図 3.2.8-3 に示す。St.3 では中部のケガキ、クロフジツボ、St.6 では上部のタマキビ、下部のケガキ、イワフジツボが多く出現していた。

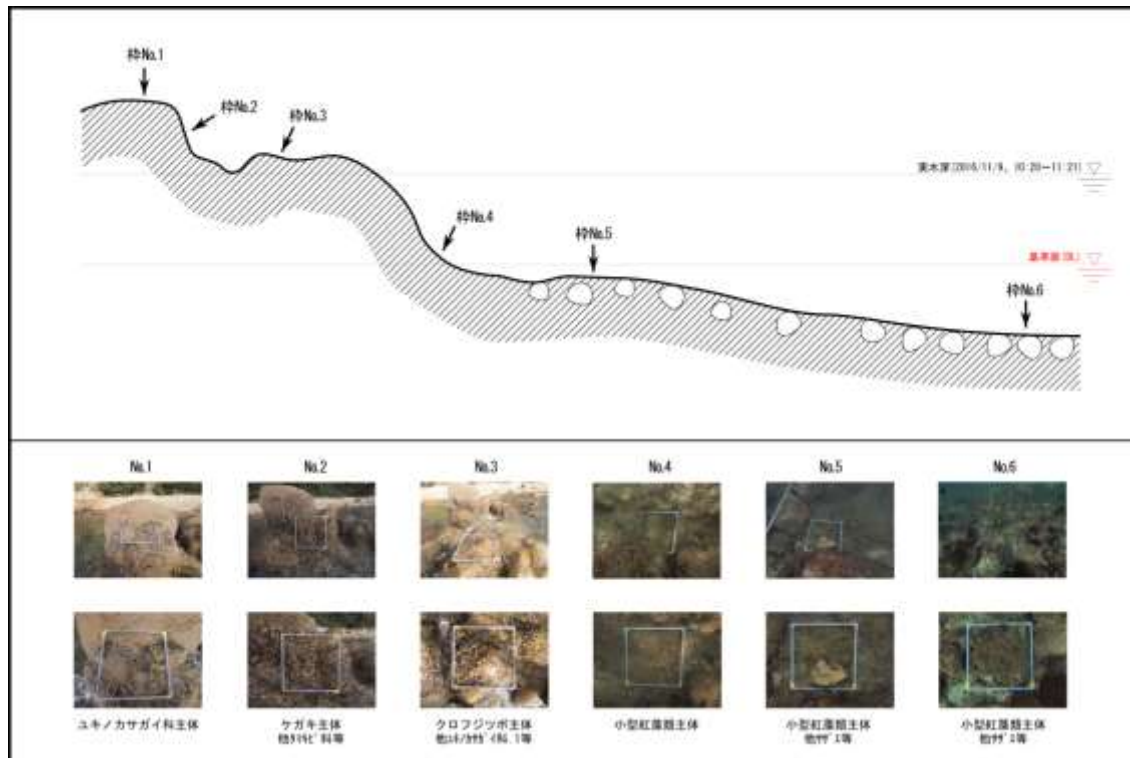


図 3. 2. 8-2 潮間帯断面概略図 (St. 3 : 秋季)

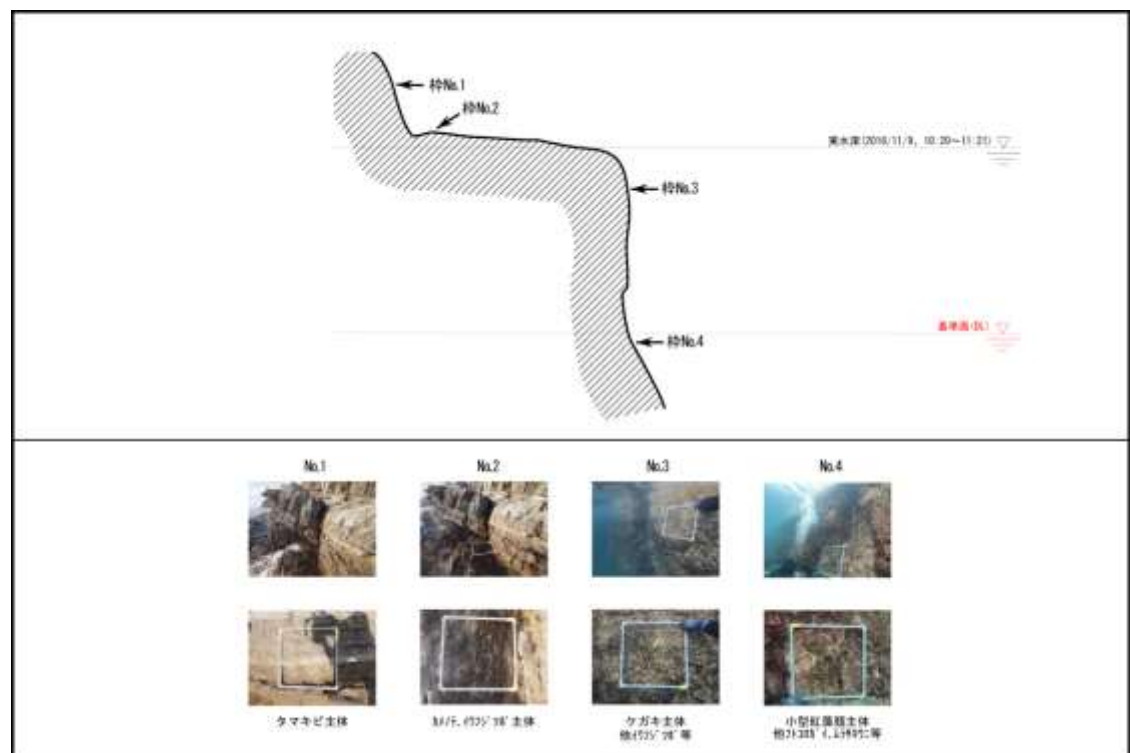


図 3. 2. 8-3 潮間帯断面概略図 (St. 6 : 秋季)



### 3.2.9. 魚類調査結果

魚類調査は、平成 28 年 11 月 25 日～26 日の秋季に実施した。

St. 1 (潮流発電設置区域) は、魚種は計 15 種、確認した尾数は約 320 尾、蛸集上位種は出現尾数でニザダイが約 110 尾で 34.8%を占め、次いでメジナの約 50 尾、マツバスズメダイの約 40 尾の順で魚類の蛸集を確認した。生息域としては水面から表層、中層には魚影は確認されず、海底付近に魚類の蛸集が確認された。魚探での調査においても海底付近でのエコーグラムの反応が多く、表層、中層では殆ど反応はみられなかった。

St. 2 (海底ケーブル設置区域) については、魚種は計 23 種、尾数は約 12000 尾でキビナの群れが約 11000 尾と 93.7%占めた。次いでマツバスズメダイが約 440 尾、ニザダイが約 80 尾の順で確認した。中層から海底面が主な生息域であり、魚探での調査においても同様の結果を示した。

St. 4 (久賀側対照区) では、魚種 14 種、尾数は約 230 尾、蛸集上位種としてカゴカキダイが約 70 尾で 30.7%を占め、メジナ約 50 尾、ニザダイ約 30 尾の順で魚類の蛸集を確認した。生息域は ROV、魚探調査ともに海底面での生息を確認した。

St. 5 (奈留側対照区) については、魚種は 3 種、尾数は 30 尾と僅かであったが上位種はトラギス科の魚類が 83.3%を占め、砂泥面で多く確認した。魚探調査では中層域にも魚群の反応を確認した。



St. 4 : カゴカキダイ・イシダイ・ニザダイ



魚群探知機調査

### 3.2.10. 漁業生物調査結果

調査は潮流発電機設置区域及び、設置区域の北側、調査区画の南側の3区域にて現地漁協にて行われる一本釣り漁法にて同区画2回の漁業生物調査を行った。漁獲した魚類は種の同定、個体数、湿重量、体長の測定。漁業生物調査は3区域を同時に午前の下げ潮時、午後の上げ潮時の計2回の調査を行った。

潮流発電設置区域では6種の総数22尾、カサゴ類を中心にベラ類、ハタ類、ヤガラ類、体長約80cmになるアラを漁獲した。

北側区域については、5種の総数6尾、キジハタ、アカハタ、カサゴ、アカヤガラ、オキナヒメジと総数は僅かであったが魚種は多かった。

南側海域では8種の総数11尾を漁獲し、ウスバハギ、アカエソ等を漁獲した。

漁獲湿重量では潮流発電設置区域が約13kgで高く、次いで北側区域で約4.4kg、南側区域で4.2kgであった。



潮流発電設置区域漁獲物



北側区域漁獲物



南側区域漁獲物



地元漁獲調査員

### 3.2.11. 海藻・草類調査結果

#### 秋季調査結果

秋季における海藻・草類調査結果を図 3.2.11-1、図 3.2.11-2 に示す。

St.3 では藻場を形成する大型海藻（コンブ類、ホンダワラ類等）の着生はみられず、浅場の一部でアミジグサ類、アヤニシキ等が部分的に小群落を形成する程度であった。また、St.3 ではウミトサカ類とイシサンゴ類の複合群落を観察され、沖側ではイシサンゴ類が主体となっていた。

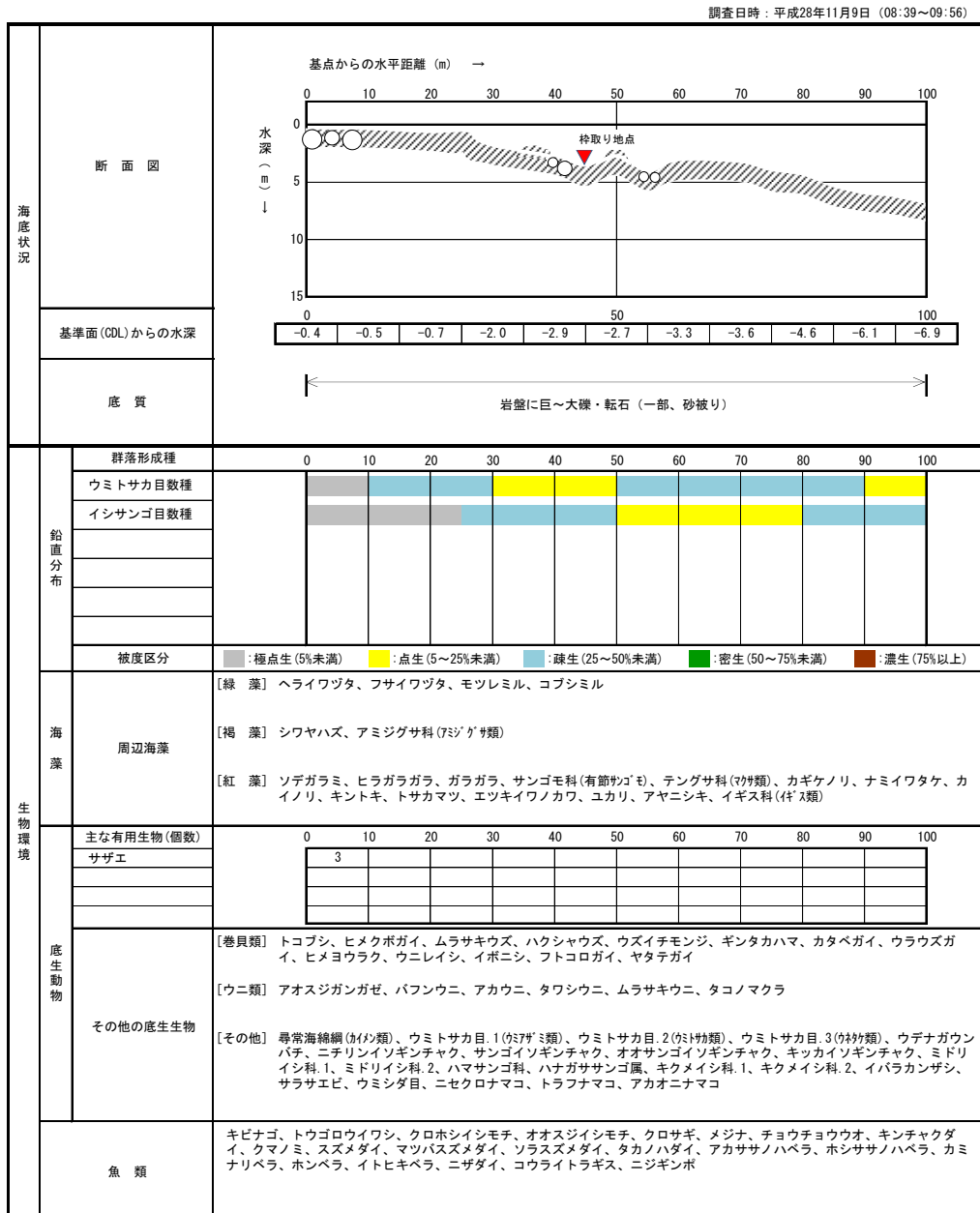


図 3.2.11-1 海底断面及び主な出現種 (St.3：秋季)

St.6 についても藻場を形成する大型海藻（コンブ類、ホンダワラ類等）の着生はみられなかった。小型海藻は種数、着生量ともにSt.3より多く、シワヤハズ、有節サンゴモ、カギケノリ、アヤニシキ等が部分的に小群落を形成していた。

有用水産種では、0～60m間でサザエが19個体確認された。

調査日時：平成28年11月9日（13:24～14:32）

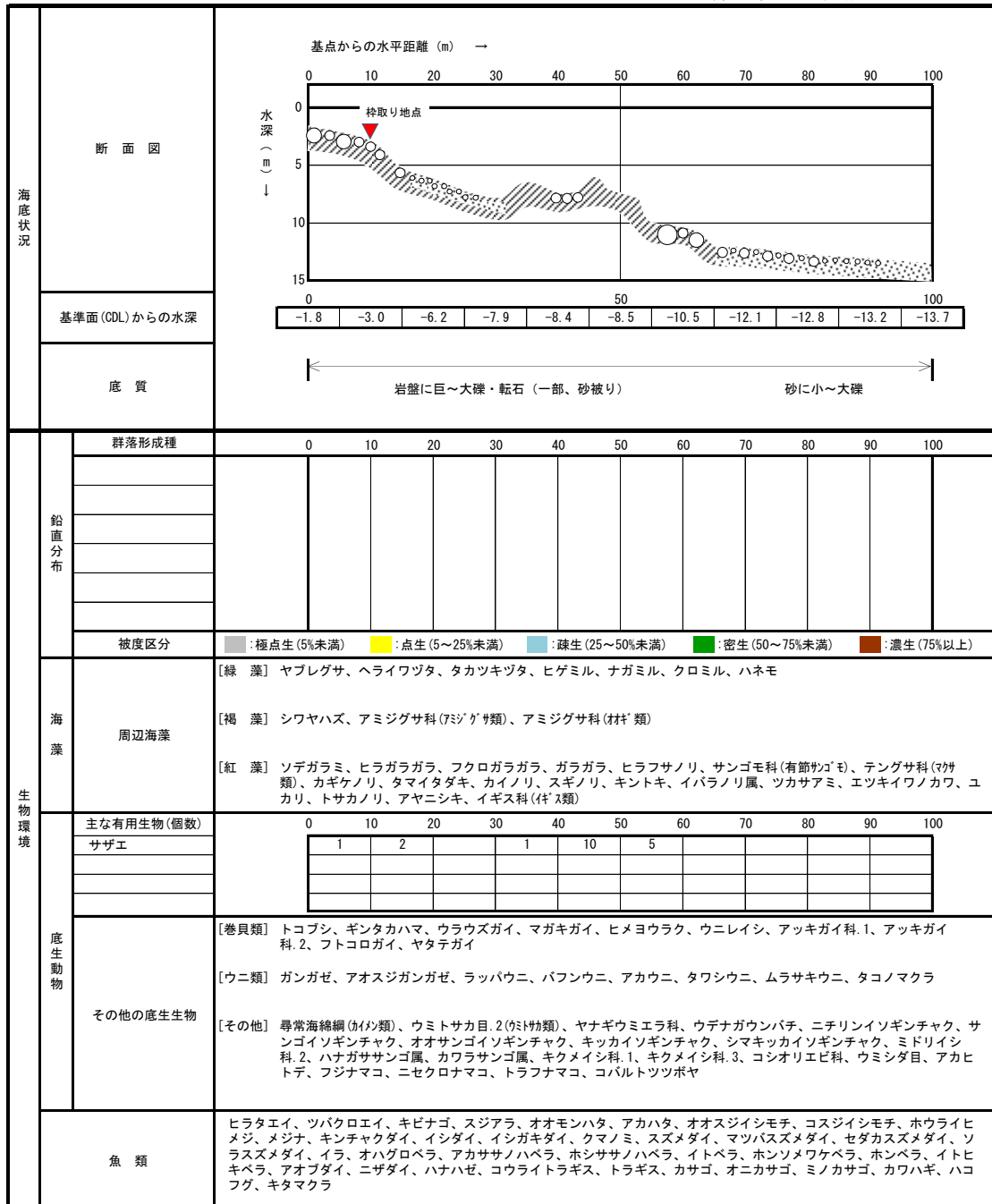


図 3.2.11-2 海底断面及び主な出現種 (St.6：秋季)

### 3.2.12. 海産哺乳類調査

調査船上より双眼鏡を使った目視観察により海産哺乳類の出現状況を確認する。また、目視観察とあわせて A-tag の曳航調査を行った。

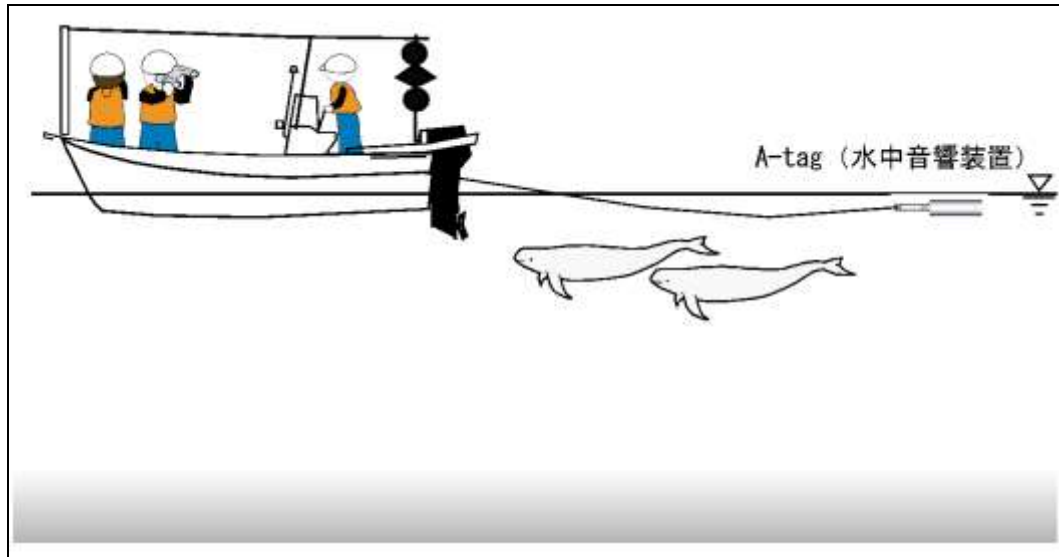


図 3.2.12-1 海産哺乳類調査作業状況



海産哺乳類調査 (A-tag)

A-tag の曳航状況

## 秋季調査結果

秋季調査においては、目視観察によって海産哺乳類の出現を確認することはできなかった。A-tag 曳航調査によって得られた音響ファイル解析結果についてもイルカ等の海産哺乳類の出現は確認はできず、記録されたファイルは機器投入時や曳航時の泡による雑音、風、あるいはテッポウエビの発する音ではないかと考えられた。

表 3.2.12-1 A-tag 曳航調査結果の概要

調査日	調査範囲	objファイル名	頭数
11月21日	L-3 (S-N)	奈留瀬戸_1121_1 回目	0
11月21日	L-3(N-S)、L-2、L-1	奈留瀬戸_1121_2 回目	0
11月22日	L-5 (S-N)	奈留瀬戸_1122_1 回目	0
11月22日	L-5(N-S)、L-4	奈留瀬戸_1122_2 回目	0

## 調査方法の見直し等

本業務におけるイルカ等の海産哺乳類調査について、非常に流れの速い海域であることから目視観察と A-tag 曳航調査を計画した。曳航調査では調査海域を広くカバーすることは可能であるが、曳航時に調査船の近くを対象であるイルカが通過する必要がある、短期間の調査でその出現を確認することは困難であった。地元漁業者の方からは、対象海域におけるイルカの確認情報が得られていることから、今後は強流の影響を受けにくい地点を選定し、地元漁協等の同意を得た後に、1ヶ月程度の A-tag 連続観測を行いたいと考えている。

また、地元漁業者の方々からの情報によると、水温が高くなる春から夏にかけてイルカを見かけることがあり、5月頃にはイカを追って当該海域へ入ってくるのではないかという話があった。

### 3.2.13. 水中音調査結果

水中騒音計を使用して、平常時における水中音の測定を行った。水中音の観測層は表層（海面下 5m）、中層（海面下 20m）の 2 層とし、航行船舶等の影響をできるだけ除いて周波数特性の解析を行った。

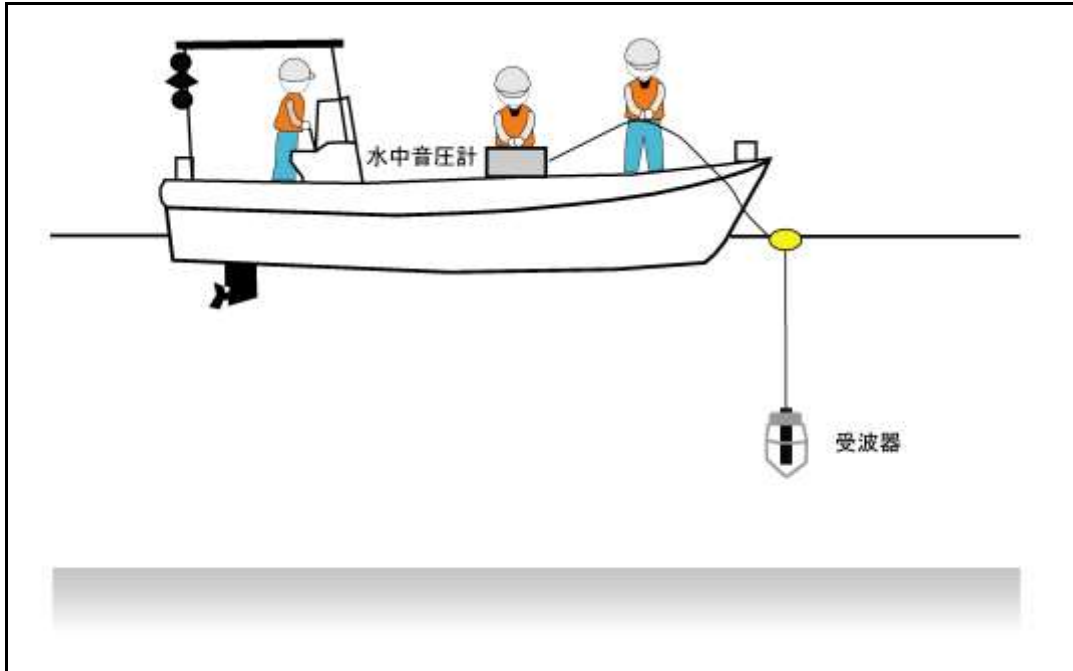


図 3.2.13-1 水中音調査作業状況



水中音受波器

水中音調査機材

一般に魚類の可聴範囲は 100Hz～1kHz といわれていることから、この間の周波数特性について解析を行った。



### 秋季調査結果

秋季における水中音調査結果を図 3.2.13-2、図 3.2.13-3 に示す。

各調査地点における各周波数成分のパワー平均は 70.8～98.1dB、100Hz から 1kHz の合成値は 84.6～103.6dB であった。同じく各周波数成分のピーク値は 83.7～113.5dB、100Hz から 1kHz の合成値は 97.2～118.7dB となっている。既存資料によると、一般的な海産魚で 90～110dB が「聴覚閾値」、110～130dB が「誘致レベル」とされている。本調査結果から得られた平常時の音圧レベルは約 80～120dB 程度であったことから、魚類に対しては「聴覚閾値～誘致レベル」に相当するものと考えられる。

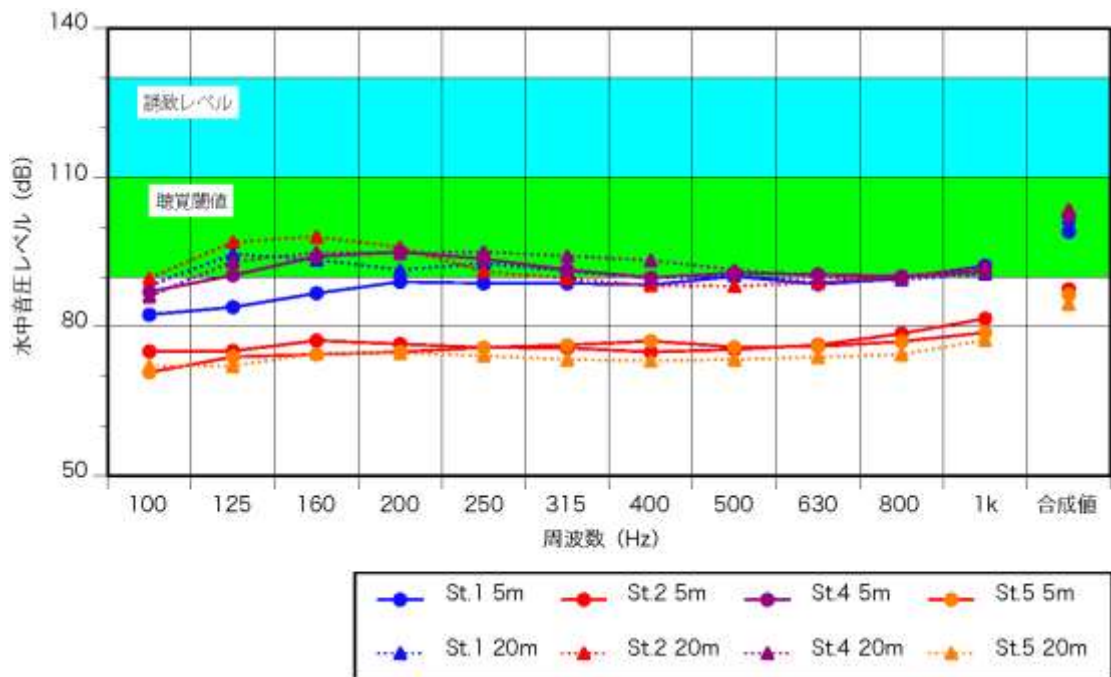


図 3.2.13-2 水中音調査結果 (パワー平均 : 秋季)



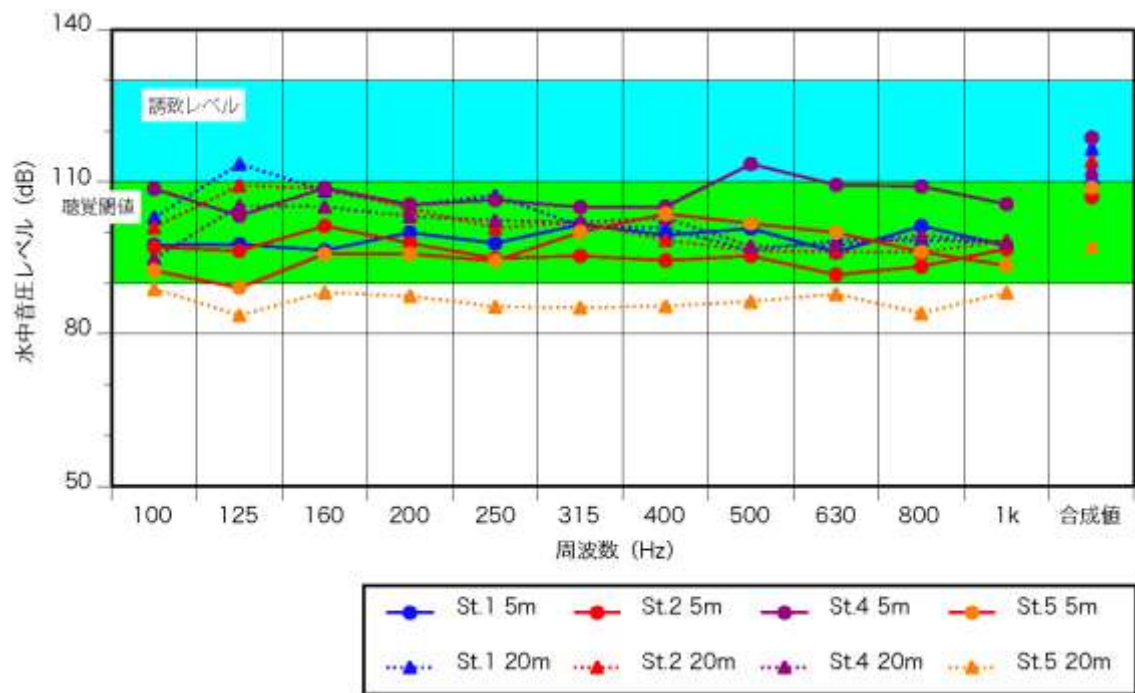


図 3.2.13-3 水中音調査結果（ピーク値：秋季）

### 3.2.14. 鳥類調査結果

調査船上より目視観察及び双眼鏡により確認された鳥類の種類、個体数、出現状況を調査した。



鳥類調査状況

### 秋季調査結果

秋季調査における鳥類の出現結果を表 3. 2. 14-1 に示す。

秋季調査における鳥類の出現種は Phalacrocorax 属の一種、アオサギ、ミサゴ、トビ、セグロカモメ、ウミネコ、ハシブトガラスの 7 種であった。ミサゴは環境省レッドリスト 2015（平成 27 年 9 月）において準絶滅危惧（NT）、長崎県レッドデータブック 2011（平成 24 年 3 月）において準絶滅危惧種（NT）に選定されている。

表 3. 2. 14-1 鳥類出現結果一覧表（秋季）

No.	目名	科名	種名	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	選定根拠（カテゴリー）	
									環境省	長崎県
1	ペリカン目	ウ科	Phalacrocorax属の一種			○		○		
2	コウノトリ目	サギ科	アオサギ				○			
3	タカ目	タカ科	ミサゴ		○	○			NT	NT
4			トビ	○	○	○	○	○		
5	チドリ目	カモメ科	セグロカモメ	○		○	○	○		
6			ウミネコ	○	○		○	○		
7	スズメ目		ハシブトガラス	○		○				
5目4科7種				4	3	5	4	4	1種	1種

### 3. 2. 15. 貴重種（ウミガメ等）調査

#### 秋季調査結果

秋季調査においては、ウミガメ等の貴重種は確認されなかった。

#### 冬季調査結果

冬季調査においても、ウミガメ等の貴重種は確認されなかった。

#### ヒアリング等

地元漁業者の方からの情報では、対象海域である奈留瀬戸で行われているはえ縄漁において、以前、ウミガメがかかったことがあるとの情報があったことから、当該海域を遊泳している可能性は高いと思われる。

既存資料によると国内で確認されている主なウミガメはアカウミガメ、アオウミガメ、タイマイの 3 種であり、2011 長崎県レッドリストではアカウミガメが絶滅危惧 IB 類（EN）、タイマイが情報不足（DD）に指定されている。アカウミガメについては、長崎県では五島近海をはじめ多くの海域での報告がある。また、アカウミガメの五島海域の産卵場所として、下五島地域の玉之浦大宝海岸、福江市赤島、上五島地域の有川町江の浜、奈良尾町高井旅が知られている。

現地調査を行った際に調査海域付近の海岸線を確認したが、岩礁帯や礫浜が多く、ウミガメの産卵に適した砂浜の海岸線は確認されなかった。

### 3.2.16. 航行船舶調査

航行船舶調査については、現地調査実施時にあわせて行った。図 3.2.16-1 に示すかがり火崎（奈留島側）と久賀島側突端を結ぶ線を確認ラインとし、通過場所として奈留島側：1、瀬戸中央：2、久賀島側：3 の3区域に分けて整理した。また、進行方向については確認ラインを北西方向へ通過した船舶をN、同じく南東方向へ通過した船舶をSとした。



図 3.2.16-1 航行船舶調査確認ライン等

秋季調査結果

秋季調査における航行船舶調査結果を表 3. 2. 16-1 に示す。

表 3. 2. 16-1 航行船舶調査結果 (秋季)

日付	作業内容	時刻	通過場所	進行方向	船種	船名	備考
11月9日	水質 プランクトン 卵・稚仔	09:27	3	S	運搬船	不明	宅急便?
		09:29	2	S	漁船	不明	-
		09:40	3	N	漁船	不明	-
		10:05	1	N	漁船	不明	はえ縄漁を行うため漁場へ移動中
		10:07	1	N	漁船	不明	はえ縄漁を行うため漁場へ移動中
		10:12	1	N	漁船	不明	-
		10:14	3	S	漁船	不明	-
		13:55	3	N	漁船	不明	-
		14:20	3	S	漁船	不明	-
		14:23	2	N	運搬船	第五兼油丸	各漁協へ油運搬
		15:10	1	S	漁船(船外機)	不明	-
		15:28	2	S	運搬船	第五兼油丸	各漁協へ油運搬
15:50	2	S	漁船	不明	-		
11月10日	水質 プランクトン 卵・稚仔	08:56	2	N	漁船(船外機)	不明	-
		09:11	3	N	漁船(船外機)	不明	-
		09:17	3	N	漁船	不明	-
		09:21	1	N	漁船	不明	曳き縄漁操業中
		09:26	3	N	漁船	不明	-
		09:53	3	N	海上タクシー	不明	-
		10:18	1	S	漁船	不明	-
		10:37	3	S	漁船	不明	-
		10:48	2	N	瀬渡し船	不明	-

日付	作業内容	時刻	通過場所	進行方向	船種	船名	備考
11月21日	水中音 海産哺乳類 鳥類	08:34	3	S	漁船	不明	-
		08:46	3	S	漁船	不明	-
		08:51	3	N	漁船	不明	-
		09:39	1	N	漁船	ひで丸	はえ縄漁を行うため漁場へ移動中
		09:40	2	S	漁船	耕天丸	はえ縄漁を行うため漁場へ移動中
		09:43	1	N	漁船	第八恵比寿丸	巻き網船(運搬)
		09:50	3	S	漁船	不明	はえ縄漁を行うため漁場へ移動中
		09:55	2	S	漁船	不明	-
		10:19	2	S	漁船	不明	-
		10:27	3	S	漁船	不明	-
		10:29	3	N	漁船	不明	-
		10:55	1	N	漁船	不明	定置網船
		11:23	3	S	漁船	不明	-
		14:43	3	S	漁船	不明	-
		14:59	1	N	水上警察	不明	監視活動
		15:00	3	S	漁船	不明	-
		15:03	3	S	漁船	不明	-
15:08	2	S	漁船	不明	-		
15:54	1	S	プレジャーボート	不明	-		
11月22日	水中音 海産哺乳類 鳥類	08:27	3	N	漁船	不明	曳き縄漁操業中
		08:48	3	N	漁船	不明	-
		08:48	3	S	漁船	不明	曳き縄漁操業中

冬季調査結果

冬季調査における航行船舶調査結果を表 3. 2. 16-2 に示す。

なお、平成 29 年 2 月 6 日の調査時には荒天のため航行船舶は確認されなかった。

表 3. 2. 16-2 航行船舶調査結果 (冬季)

日付	作業内容	時刻	通過場所	進行方向	船種	船名	備考
2月7日	水質 プランクトン 潮間帯 海藻・草類	08:08	3	N	漁船(船外機)	不明	-
		08:32	3	S	漁船	不明	-
		09:43	1	S	漁船(船外機)	不明	-
		09:46	2	N	漁船	不明	-
		09:52	3	S	漁船	不明	-
2月14日	水質 プランクトン	08:54	3	S	漁船	不明	-
		10:05	3	S	漁船	不明	-
		10:53	2	N	漁船	不明	-
2月15日	水中音 海産哺乳類 鳥類	08:30	1	N	漁船	不明	-
		08:34	1	S	漁船(瀬渡)	不明	-
		09:04	1	N	漁船(瀬渡)	不明	-
		10:10	2	N	漁船	不明	-
		10:45	1	N	漁船	不明	-
		10:48	2	S	漁船	不明	-
		11:22	2	S	漁船	不明	-
		11:22	1	S	漁船	不明	-
		11:35	3	S	漁船	不明	-
		11:38	2	N	漁船(船外機)	不明	-
		11:47	3	S	漁船(船外機)	不明	-
		11:52	1	S	漁船(船外機)	不明	-
		11:57	1	N	漁船	不明	-
		11:58	1	S	漁船(船外機)	不明	-
		13:26	1	S	漁船	不明	-
		13:30	3	S	漁船	不明	-
		13:45	3	S	漁船	不明	-
13:48	2	N	海上タクシー	不明	-		
13:51	1	S	漁船	不明	-		
13:58	1	N	漁船(小型)	不明	-		
2月16日	水中音 海産哺乳類 鳥類	08:27	3	N	漁船	不明	-
		08:40	3	S	漁船	不明	-
		08:53	2	N	海上タクシー	不明	-
		09:08	3	N	漁船	不明	-
		09:12	1	N	漁船	不明	-
		09:20	1	S	海上タクシー	不明	-
		09:31	1	N	漁船	不明	-
10:09	3	S	漁船	不明	-		

### 3.3. 設置海域における潮流、土質、生物付着の調査

#### 3.3.1. 潮流の調査

##### 目的

本業務の目的は、発電機設置予定地点の海底に ADCP を設置し、潮流の調査・記録・解析を行うことを目的として実施したものである。ADCP とよばれる流速計を潮流発電機の設置候補場所の海底に設置し、10月下旬～12月中旬まで計測を行った。計測結果を発電機の最終設計に活用し、また将来の精緻な発電量予測を行うために利用する。

##### 調査方法

潮流調査地点を図 3.3.1-1、調査内容を表 3.3.1-1、調査工程を表 3.3.1-2、観測に使用した ADCP の仕様を表 3.3.1-3、観測条件を表 3.3.1-4 に示す。

Site1 の位置は、緯度  $32^{\circ} 49' 06.6'' N$  経度  $128^{\circ} 54' 37.8'' E$  である。

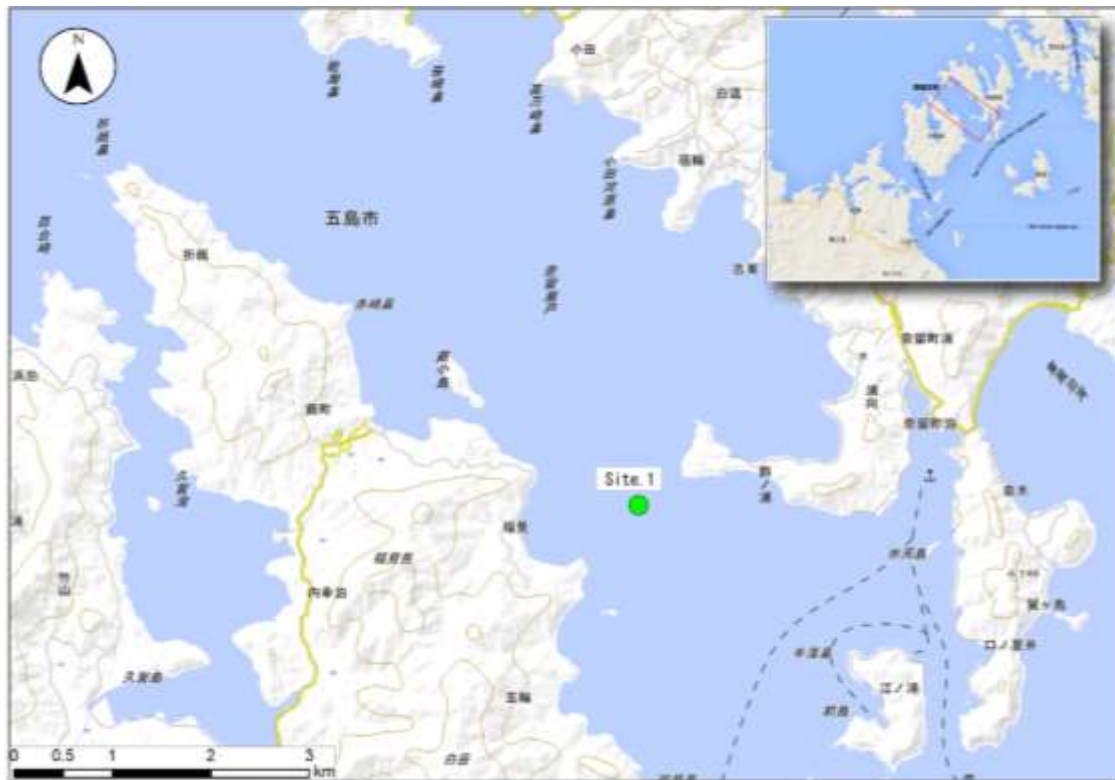


図 3.3.1-1 潮流調査位置図

表 3.3.1-1 調査内容

項目	内容
観測場所	長崎県五島市 奈留瀬戸 (久賀島、奈留島間)
調査地点	Site.1 (1地点) 海底設置
観測位置	緯度 32° 49' 07.3" N 経度 128° 54' 37.6" E
設置期間	2016年10月25日～2016年12月18日
観測機器	【流速計】 ADCP流速計 (Signature 500、Nortek社製) H 274mm×W (直径) 220mm
	【設置用架台】 972.7φ×506H (ステンレス製)
	【シンカー】 ステンレスチェーン、土嚢

表 3.3.1-2 調査工程

日付	作業内容
2016年10月24日	海底状況を確認
2016年10月25日	ADCPを海底に設置
2016年10月26日	ADCPに錘を追加
2016年11月2日	船上局によりADCPの存在を確認
2016年11月6日	ADCPに錘を追加 (最終固定)
2016年11月9日	船上局によりADCPの存在を確認
2016年11月21日	船上局によりADCPの存在を確認
2016年12月18日	ADCPを回収



ADCP の積み込み (平成 28 年 10 月 25 日)



ADCP の海底設置状況 (平成 28 年 12 月 2 日)



表 3.3.1-3 観測に使用した ADCP の仕様

項目	仕様	項目	仕様
名称	多目的超音波 ドップラープロファイラー	最大サンプリング レート	8Hz
型式	Signature 500 (Nortek社製)	最大サンプリング レート (5ビーム)	4Hz
超音波周波数	500kHz	流速測定レンジ	1.0, 1.25, 2.5, 3.75, 5.0m/s (ユーザー選択)
最大測定距離	70m	反射強度範囲	70dB
ビーム数	5	反射強度分解能	0.5dB
ビーム幅	2.9°	近接不感距離	0.5m~
限定層厚	0.5~4m		



表 3.3.1-4 ADCP の測定条件

項目	測定条件	項目	測定条件
サンプリング レート	2 Hz	測定層数	45層
ブランク距離	0.5m	測定層厚	1.0m
超音波周波数	500kHz	測定ビーム数	5



### 調査結果

図 3.3.1-2 に、11月5日～12月15日における流速分布の時間変動を示す。グラフの縦軸は水深（下が海底、上が海面）、横軸は時間経過を表している。なお、ADCP では観測機器の直上 1m 程度と海面付近の数メートルは観測することができない。このため、縦軸の最小値は 1.5m となっている。また、海底面上 35m 付近に青色の部分帯が広がっているが、観測可能範囲はこれより下の水深となる。

グラフをみると、1日に4回の強流（緑～黄～橙～赤）と潮止り（青）が周期的に出現している。また、11月14日～17日の強流時では、最大流速が 3m/s に達していることがわかる。ちなみに、11月13日～16日は大潮期となっている。11月28日～30日にかけても大潮期であるが、この間の最大流速は約 2.5m/s となっている。

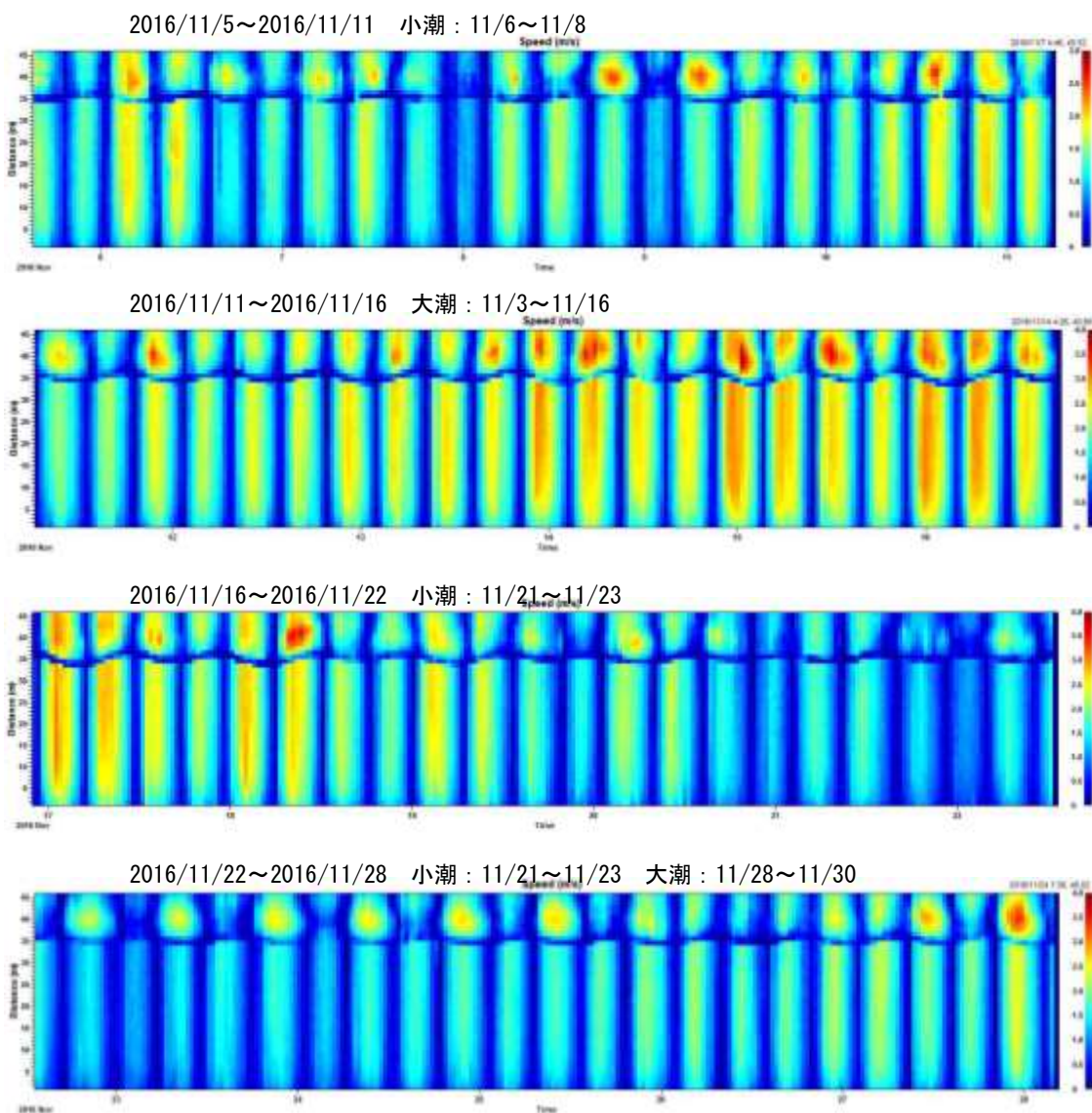


図 3.3.1-2 流速分布の時間変動

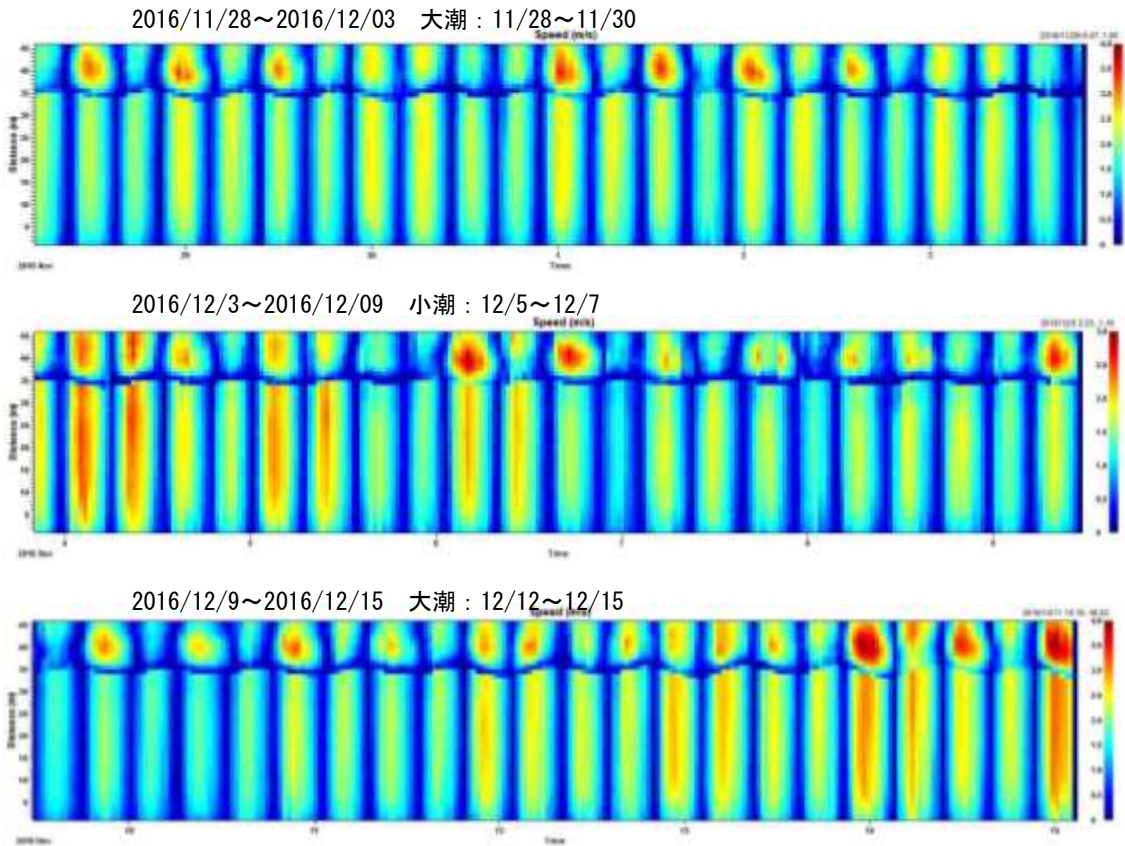


図 3. 3. 1-2 流速分布の時間変動

右図は、11月14日23時26分における流速の鉛直分布を示したものである。

表層から海底上15m付近までは一様に3m/s程度の流速であるが、海底上10m付近から次第に流速は低下し、海底付近では約2m/sとなっている。

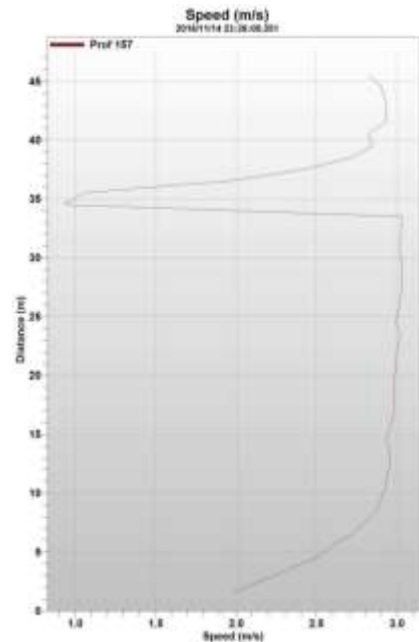


図 3. 3. 1-3 流速の鉛直分布  
(2016/11/14 23:26)

図 3.3.1-4 に小潮期（11月7日～9日）、図 3.3.1-5 に大潮期（11月13日～15日）における水深（水圧）と水温の変動、第20層（海底上20.5m）の流速変動を示す。

小潮期における水深は、約1～1.5m程度の振幅で変動している。水温は11月8日から9日にかけて僅かに低下しているが、1日での変動は明瞭ではない。流速については最も速いときで約1～1.7m/s、最も遅くなると約0.1～0.3m/sとなっている。

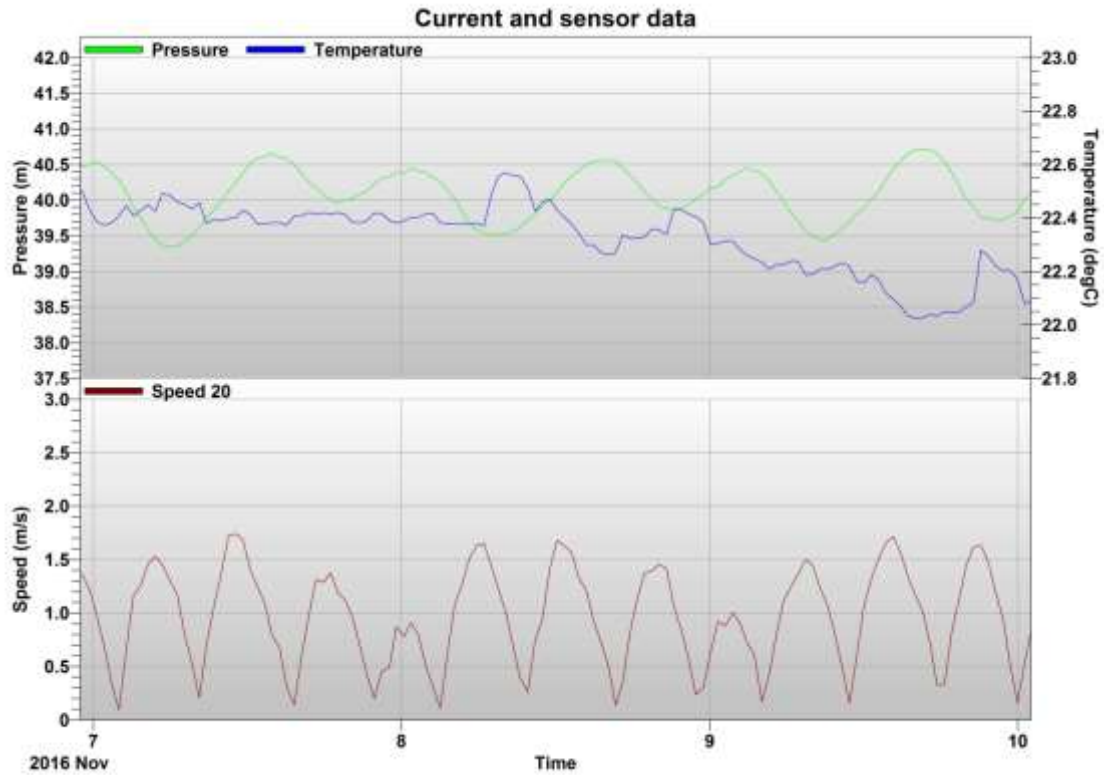


図 3.3.1-4 小潮期における水深、水温、流速の変動

大潮期における水深は、約 2.5～3m 程度の振幅で変動している。水温は僅かながら高潮時に低下、低潮時に上昇するような周期的な変動が認められる。流速については小潮期に比べて変動幅が大きく、最大流速は約 2.5～3m/s に達している。

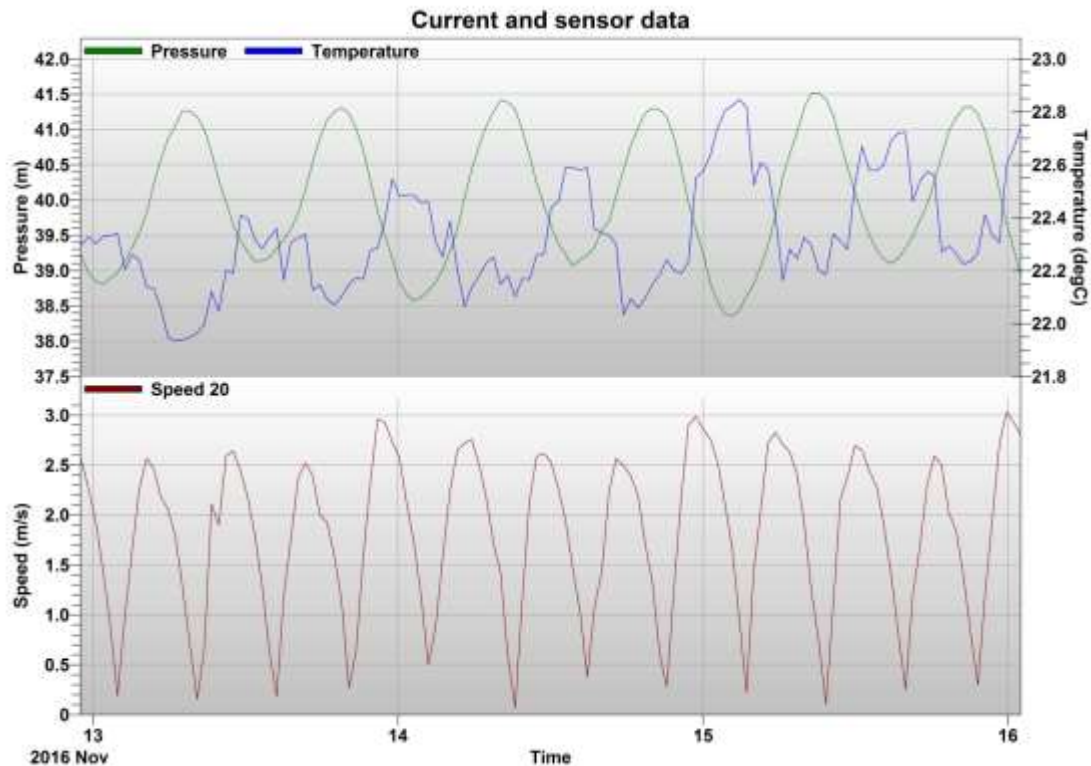


図 3.3.1-5 大潮期における水深、水温、流速の変動

#### 潮流解析

データは 12 月 15 日未明まで取得できていたため、11 月 7 日から 12 月 6 日までの 30 日間のデータを使用して潮流解析を行った。解析に際しては該当時刻より 10 秒間のデータを平均し、10 分間隔の流向、流速データを作成した。潮流解析に使用したデータを表 3.3.1-5 に示す。

表 3.3.1-5 潮流解析データ

観測層	セル No.	海底面からの距離	解析期間	データ個数
上層	33	33.5m	2016/11/7 00:00 ~ 2016/12/6 23:40	4,319
中層	19	19.5m		
下層	4	4.5m		
真方位への変換			潮汐基準港：「船廻湾」	
-7.0°			M2 81.0cm 250.0° K1 24.0cm 215.0° S2 36.0cm 277.0° O1 19.0cm 200.0°	

観測データの経時変化（3層）を図 3.3.1-6 に示す。

調査地点のある奈留瀬戸は西を久賀島、東を奈留島に挟まれた瀬戸となっているため、東方分速に比べて北方分速の振幅が大きくなっている。観測層による違いはほとんどなく、表層から下層までほぼ一様の流動形態であると考えられる。

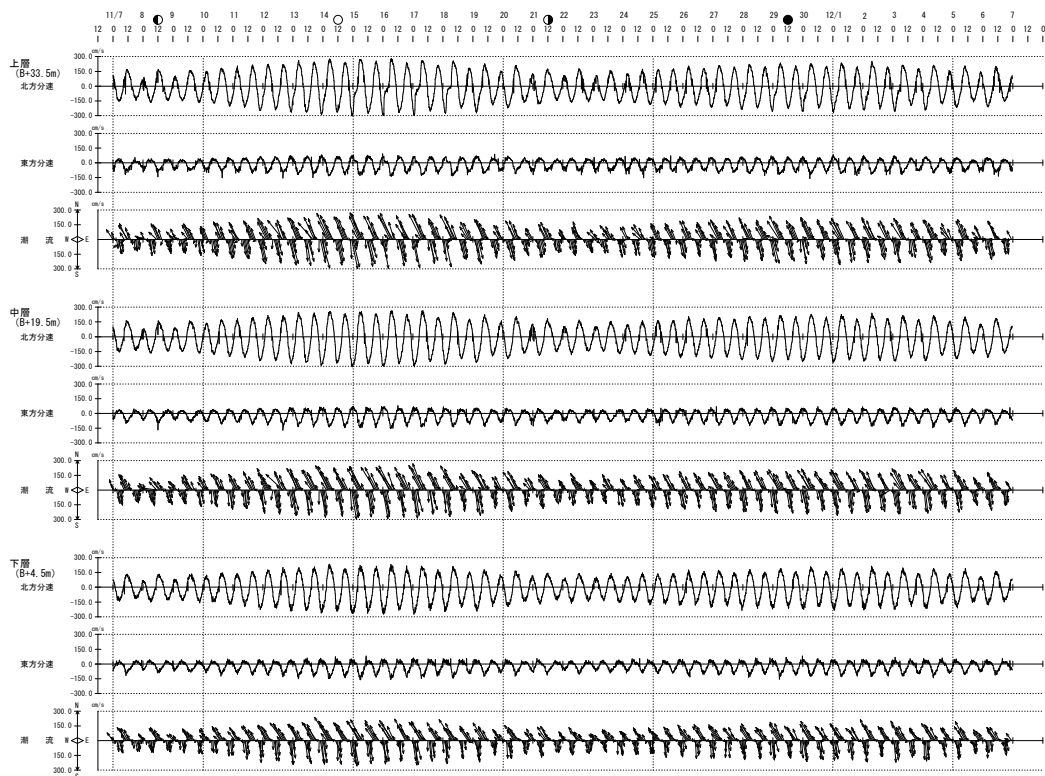


図 3.3.1-6 観測データの経時変化（3層）

### 潮流調査のまとめ

本調査業務では、発電機設置予定地点の海底に ADCP を設置し、潮流の調査・記録、解析を行った。

平成 28 年 10 月 25 日に観測機器の設置を行い、11 月 6 日に最終固定、12 月 18 日に観測機器を回収した。潮流解析については、最終固定後の 11 月 7 日～12 月 6 日のデータを使用した。

調査地点の流況は、上げ潮時に北流（南から北方向への流れ）、下げ潮時に南流（北から南方向への流れ）が周期的に出現しており、転流は高潮時～高潮後 1 時頃、低潮時～低潮後 1 時頃となっている。解析期間における最大流速は約 250～310cm/s、スカラー平均流速は約 110～130cm/s であり、海底付近ではやや遅くなる傾向にあった。また、小潮期と比べて大潮期に流速が速くなる傾向にあった。

今後本格的な工事を実施するにあたり、流速が問題となるような工種では事前に流速の推算を行うことで、効率的な作業計画の策定が可能になるのではないかと考えられる。



### 3.3.2. 土質の調査

#### 調査目的

久賀島と奈留島間において、土質調査として海底地形調査(マルチビーム)、海底面状況調査(サイドスキャンソナー)及び地層探査(サブボトムプロファイラー)を実施し、設置を予定する海底と海底送電ケーブル及びモニタリングケーブルのルートとなる海底の状況を把握し、設計に供することを目的とした。

#### 調査範囲

長崎県五島市の久賀島と奈留島間の奈留瀬戸で実施した。調査範囲を図 3.3.2-1 に示す。

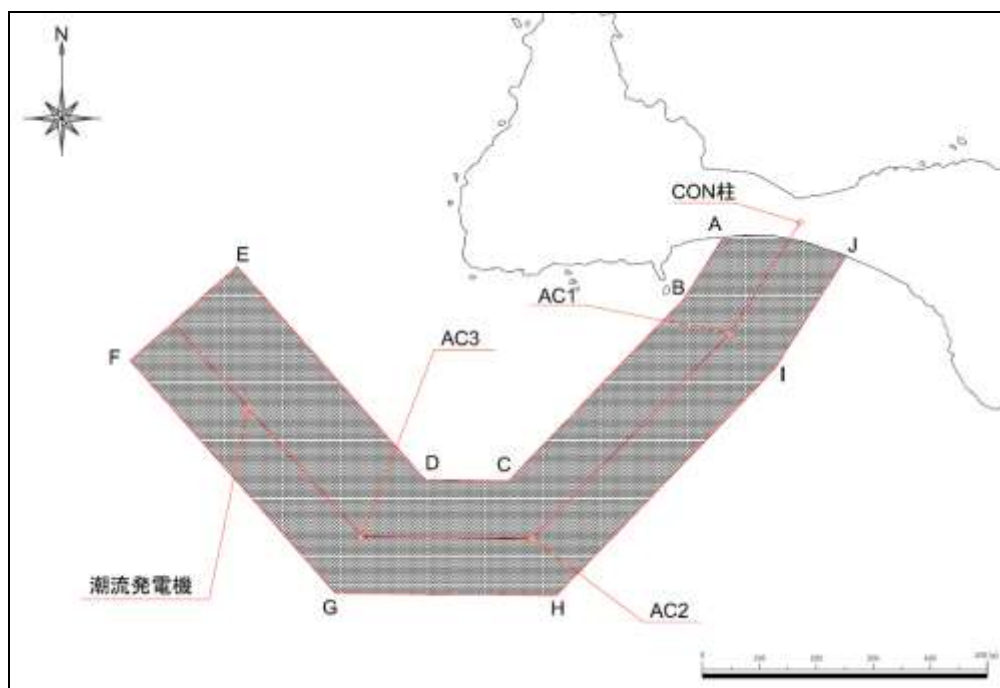


図 3.3.2-1 調査範囲

#### 調査項目

本業務で実施した調査項目は以下の通りである。

- ・マルチビームによる海底地形調査

海底に向け左右放射状に指向性の鋭い音響ビームを多数配列して、船の進行とともに一度に多数点の水深を計測するシステムである。

- ・サイドスキャンソナーによる海底面状況調査

横斜下へ向けて左舷と右舷同時に音波パルスを発振し、海底の様々な物体から反射してくる音波を解析して高解像度の海底のイメージ画像を作成するシステムである。

- ・サブボトムプロファイラーによる地層探査

直下に音響パルスを発振、音響的な地層の変化に応じて反射してくるパルスを捉えることで、海底下の状況を断面図としてとらえ、そのイメージ画像を作成するシステムである。探査で得られるイメージ画像は、海底下の地層断面を示すものである。

### 調査日

### 調査実施日と作業内容

調査は平成 28 年 11 月 9 日から 11 月 15 日の期間に実施した。

### 調査のフロー

本業務の調査実施フローを図 3.3.2-2 に示す。

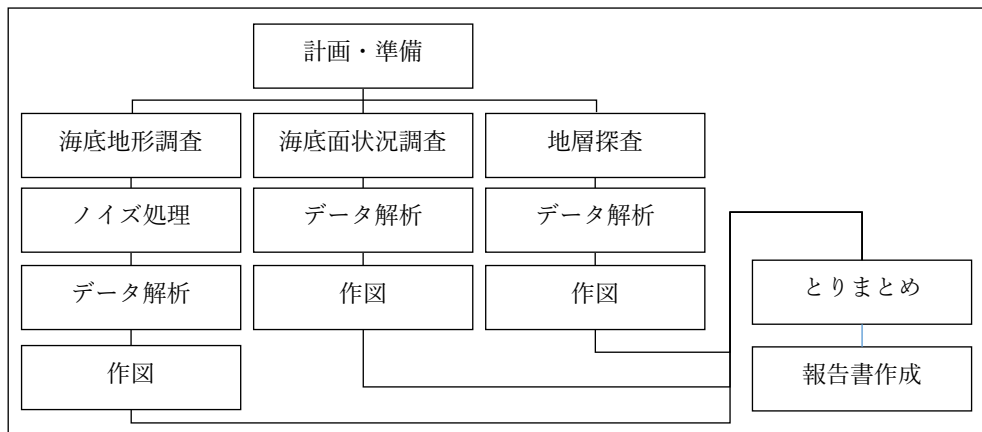


図 3.3.2-2 調査実施のフロー

使用機材の仕様

本業務で使用した機材の仕様を表 3.3.2-1 に示す。

表 3.3.2-1 使用した機材の仕様

調査項目	機材名	名称	仕様
海底地形調査	マルチビームソナー	Sonic2024	周波数(可変周波数) : 200kHz ~400kHz レンジ分解能: 1.25cm ビーム幅(進行方向×直行方向) : 0.5° ×1° ビーム数: 256 本 スワス幅(可変スワス幅) : 10° ~160° 最大測深レンジ: 500m
	動揺センサー・方位センサー (ストラップダウン方式 3 軸光ファイバージャイロ)	IXSEA フィンズ	方位精度: ±0.01° ピッチ・ロール精度: ±0.01°
	DGNSS	ヘミスフィア R100	位置精度: ~0.6m
	水中音速時計	Cast Away CTD	測定範囲: 1400~1730 m/s 測定可能水深: ~100m サンプリングレート: 5 Hz 分解能: 0.01 m/s 精度: ± 0.15 m/s
海底面状況調査	サイドスキャンソナー (フルスペクトラムチャープ方式及びマルチパルス採用)	EdgeTech4200	周波数 (2 周波同時発振) : 300/600kHz 最大探査幅 (片側) : 300kHz : 230m : 600kHz : 120m 解像度: 300kHz : 3.0cm : 600kHz : 1.5cm 水平方向ビーム角 : 300kHz : 0.28° : 600kHz : 0.26° 垂直方向ビーム角: 50°
	DGNSS	ヘミスフィア V100	位置精度: ~0.6m
地層探査	サブボトムプロファイラー	EdgeTech3200	周波数帯域: 2~16kHz 出力: 4,000w 分解能: 6~10cm ペネトレーション: 均一な砂 8m : 粘土質 104m
	DGNSS	ヘミスフィア V100	位置精度: ~0.6m



調査結果

対象とした海域の水深を掌握するため、解析、変換処理したXYZファイルから1m間隔の等深線図（図3.3.2-8）及び3D地形鳥瞰図（図3.3.2-9）を作成した。

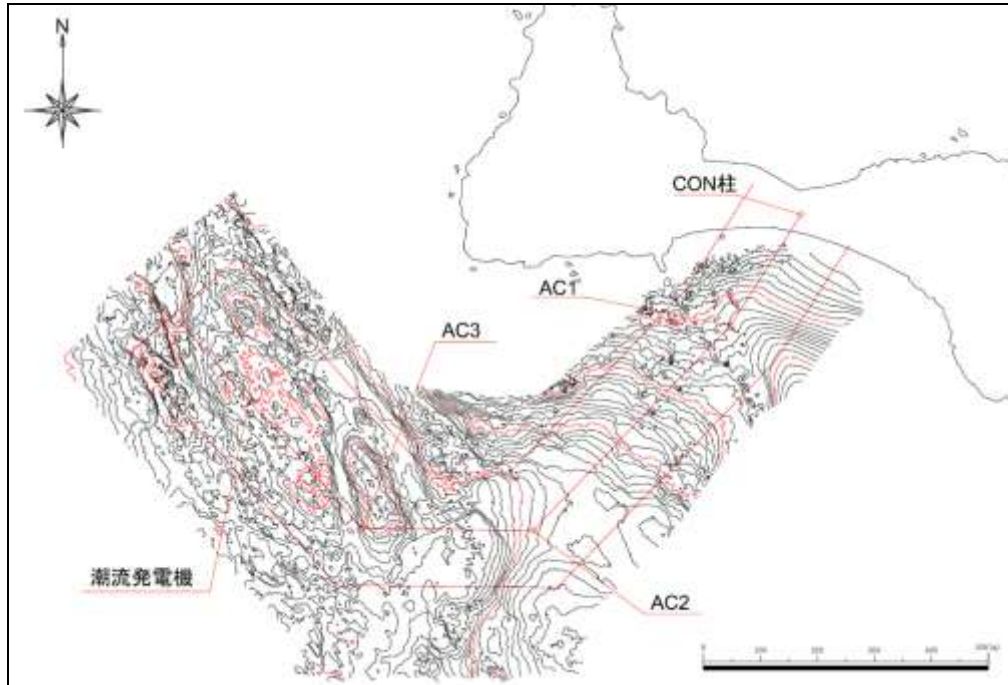


図 3. 3. 2-8 等深線図（水深は1m間隔）

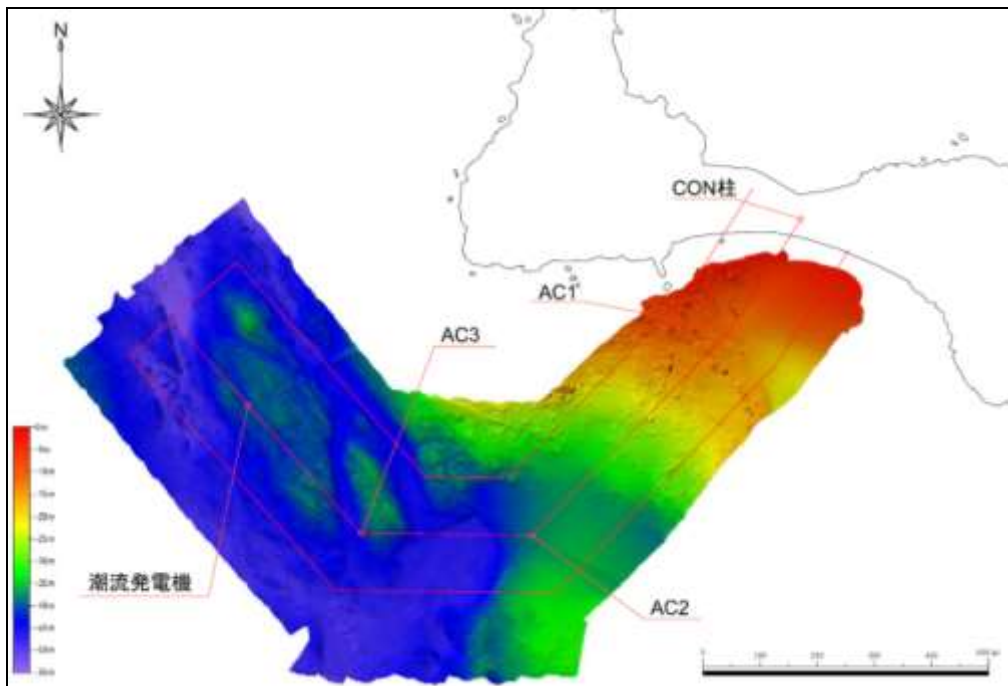


図 3. 3. 2-9 3D 地形鳥瞰図

潮流発電機サイト付近の海底に、伸張方向が海峡に沿った大きな起伏が確認された。海峡中央から奈留島側へかけての海底地形には起伏や凹地があり、その高まりは、溝状の凹地を挟んでほぼ同様の高さとなっている。久賀島側には緩やかで平坦な斜面域がみられた。

海底ケーブルの敷設ルートについて、潮流発電機サイト付近から変針点 AC3 付近まではサイト付近と同様の地形であり、起伏や凹地がみられた。AC3 付近の海峡部から内湾部への接続地域となる AC2 付近までは水深の変化が比較的に見られない平坦な地形であった。AC2 付近から揚陸地点にかけて水深は徐々に浅くなり、平坦な地形のエリアや巨礫及び礫等が分布するエリアが見られた。

次に、海底面状況調査結果を示す。サイドスキャンソナーで収録したデータを用い、海底の状況を把握するためにモザイク図（図 3.3.2-10）を作成するとともに、その海底の起伏を把握するために 1mメッシュのデータに変換処理した XYZ ファイルから海底起伏図（図 3.3.2-11）を作成した。

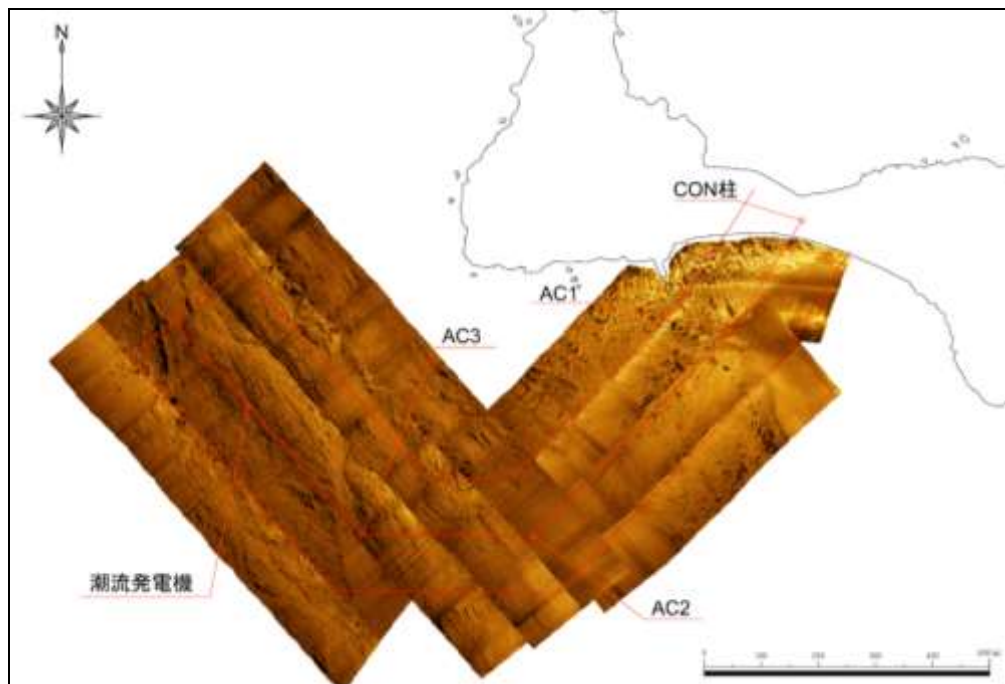


図 3.3.2-10 サイドスキャンモザイク図

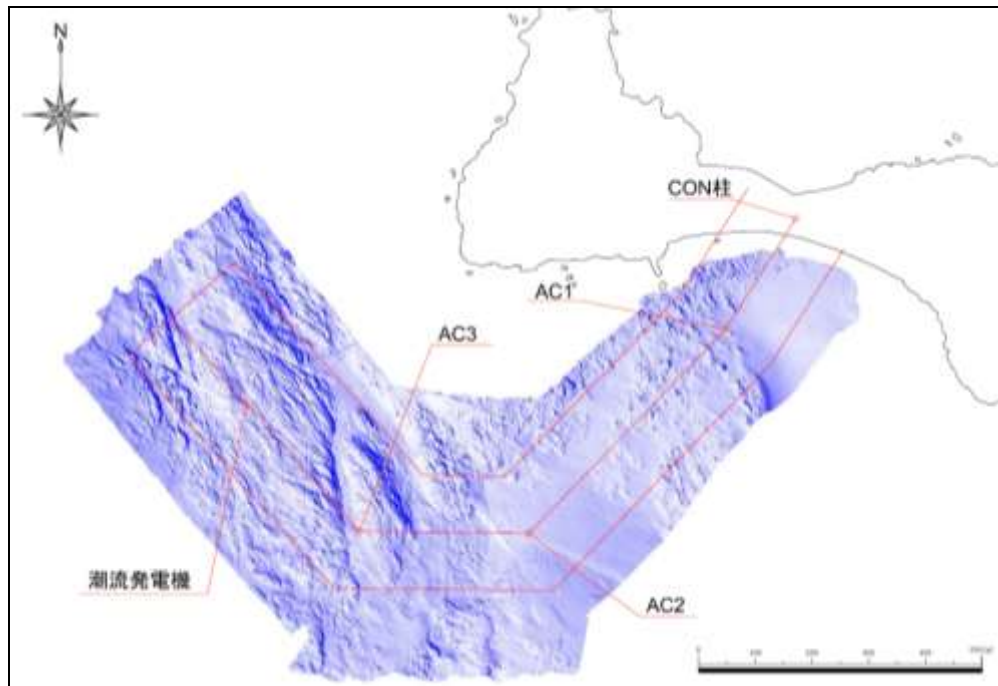


図 3.3.2-11 海底起伏図

潮流発電機サイト付近の海底にみられた大きな起伏域は岩体で、その表面には細かな筋状の凹凸が海峡に沿った方向にみられた。久賀島側は起伏と凹状の差の少ない緩やかな地形と考えられる。変針点 AC3 から AC2 にかけては起伏域の岩体と平坦な地形がみられた。AC2 付近から揚陸地点にかけて、平坦な地形から徐々に巨礫及び礫等が散在するようになるが、AC1 付近から揚陸地点の間には砂地が広範囲にみられた。なお、揚陸地点の前面は岩礁域であった。

次に、地層探査の結果を示す。調査海域兩岸の地質は、奈留島側の基盤岩は五島層群、久賀島側は五島層群に岩株状に貫入する五島花こう岩が大半を占めている。これらの基盤岩類は、ともに中新世の地層で硬い岩石である。また、河田ほか(1994, 福江地域の地質)によると、調査海域の南側に位置する奈留町の前島と末津島との間には礫州が良く発達しており、末津島にはトンボロが形成されているとの記述がみられる。(図 3.3.2-12)

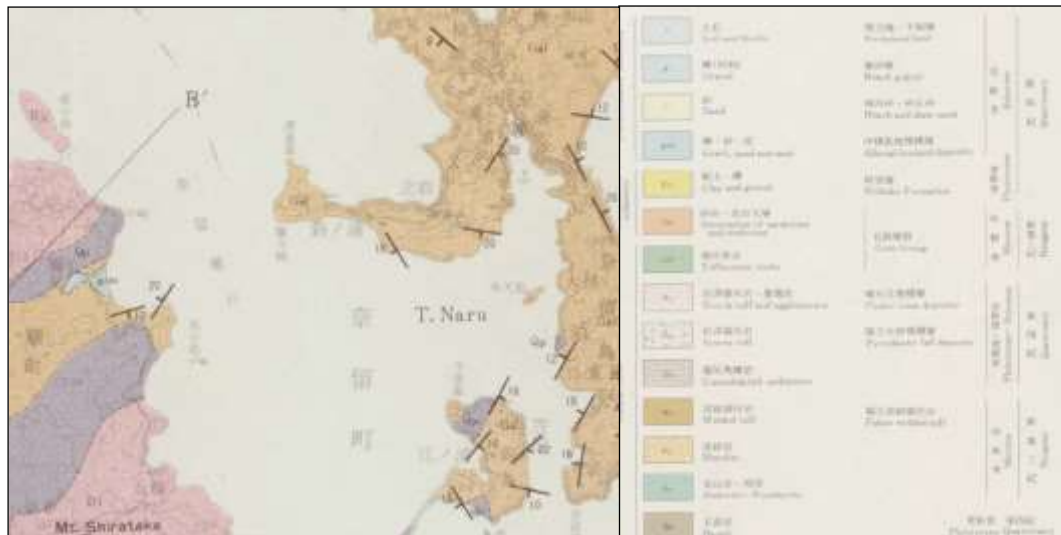


図 3.3.2-12 周辺陸部の地質

5 万分の 1 表層地質図 (三井楽・福江・玉之浦・富江・男島及女島)

<http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F3/ZOOMA/4215/index.html>

解析結果について、潮流発電機の設置予定位置から海底送電ケーブルの揚陸予定地までの各調査域を代表する 5 測線を選び、海底を撮影した写真から得られる情報とあわせて結果を記述する。5 測線の位置は図 3.3.2-13 の通りである。Line3-1, 9-1, 20-1 の調査結果は図 3.3.2-14~3.3.2-16 に示す。

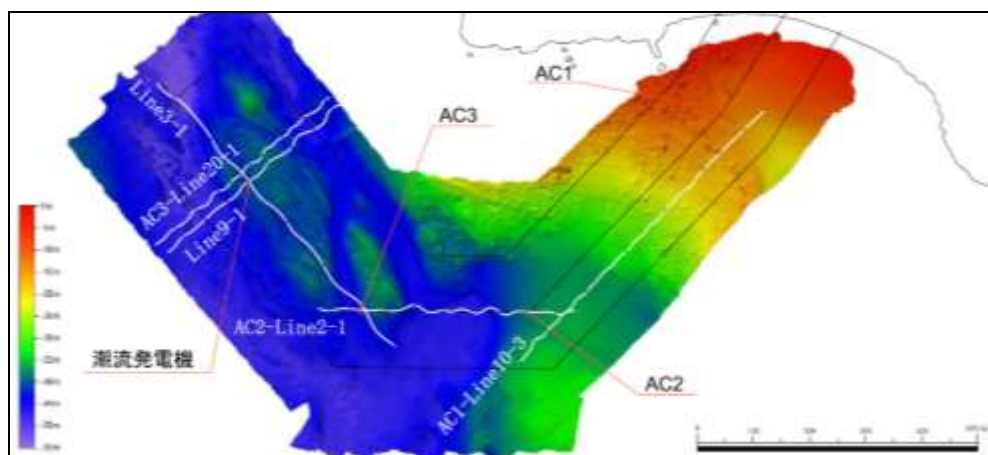


図 3.3.2-13 調査範囲を代表する 5 測線の位置 (3D 地形鳥瞰図)

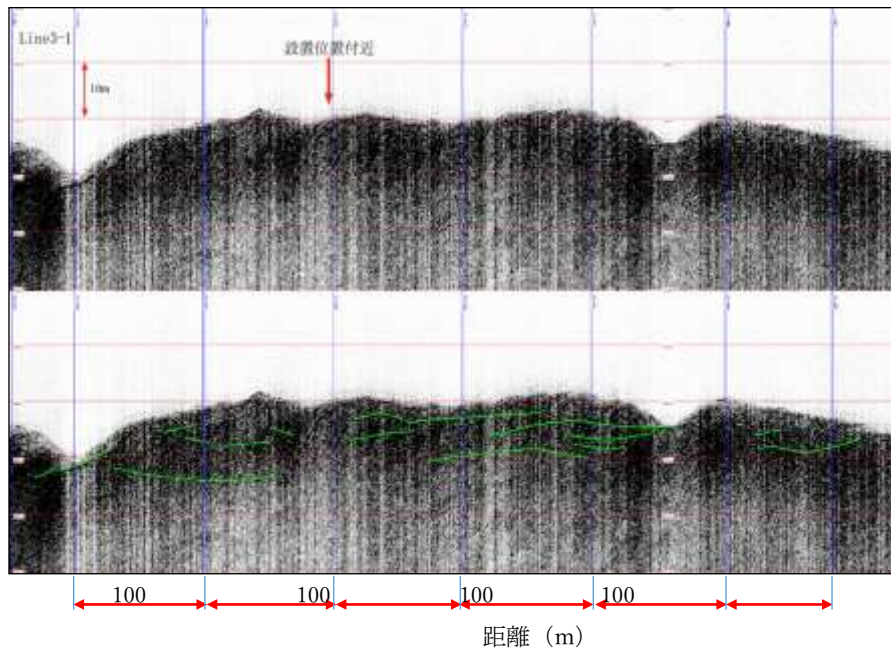


図 3.3.2-14 記録内部に確認される反射面 (Line3-1)



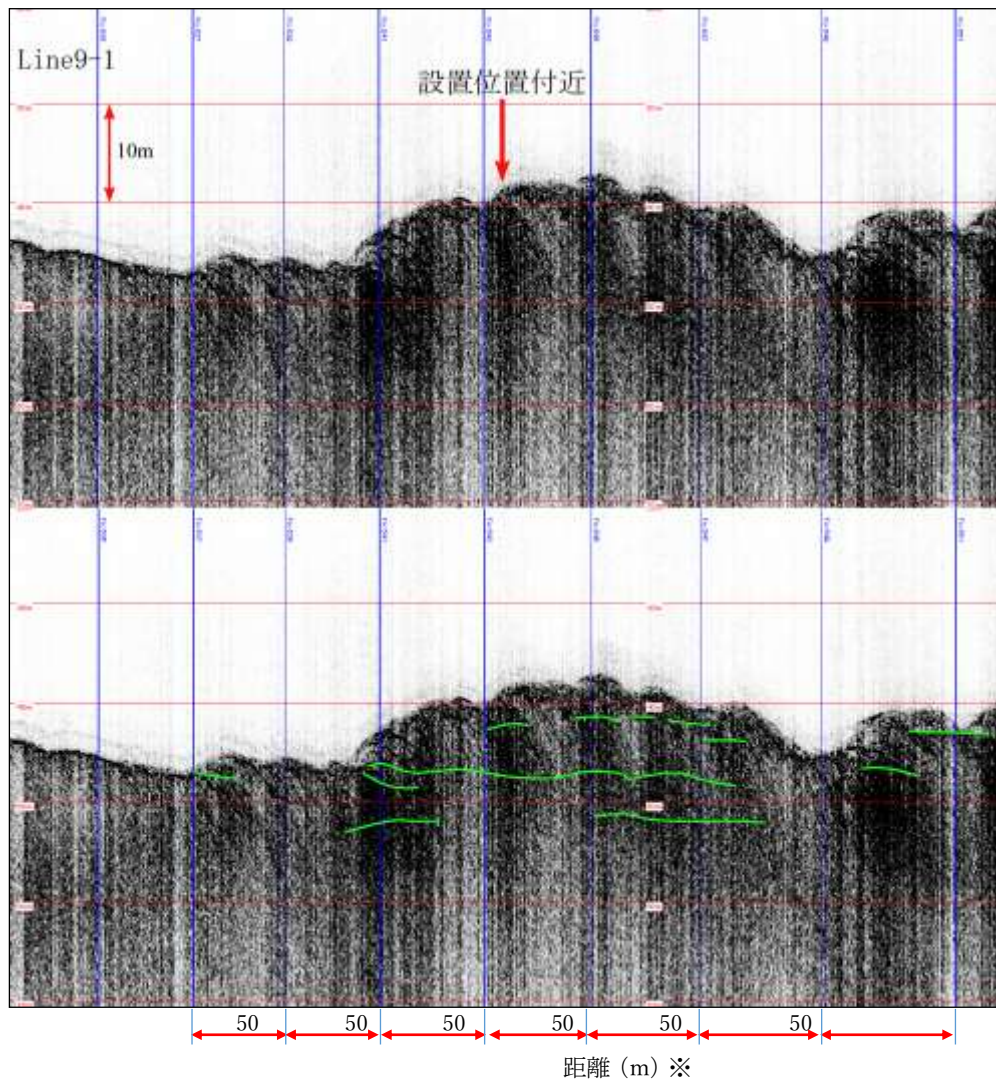


図 3.3.2-15 記録内部に確認される反射面 (Line9-1)

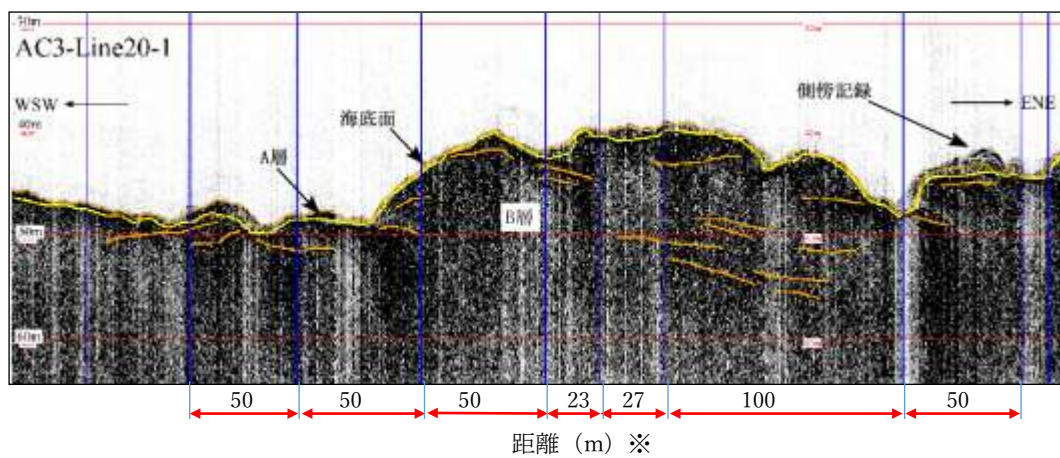


図 3.3.2-16 設置予定位置周辺部の測線のうち海峡を横断する方向の記録 (AC3-Line20-1)

A層は、海底表面付近の未固結堆積物である。久賀島側の斜面は平坦で、堆積層の薄いことが分かる。一方、中央から奈留島側へかけて起伏のある海底地形となっている。海底地形図にもある通り、海峡中央部の高まりは、奈留島側で溝状の凹地を挟んでほぼ同様な高さとなっている。また、前述したように、この高まりを構成する部分では、センサーからの深度50m程まで音響的な反射面が確認できる。この音響反射面が認められる起伏域については、潜水調査による海底状況の写真観察から時代未詳の堆積岩で礫岩と判断できる。(図 3.3.2-17～3.3.2-19)

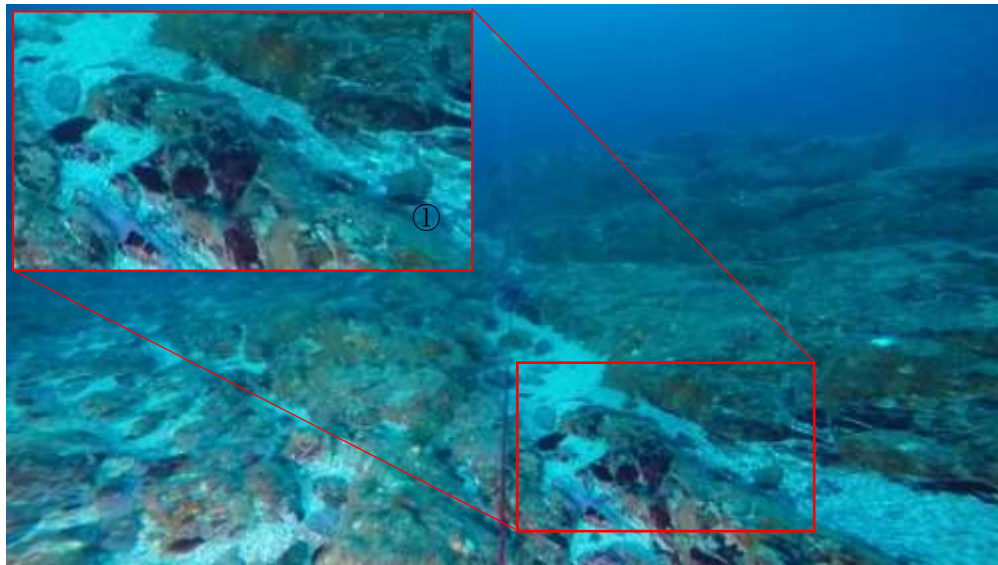


図 3.3.2-17 サイトより北側を撮影した海底写真  
写真奥へ緩やかに傾斜する節理が発達する岩体で、垂直方向についても確認できる。

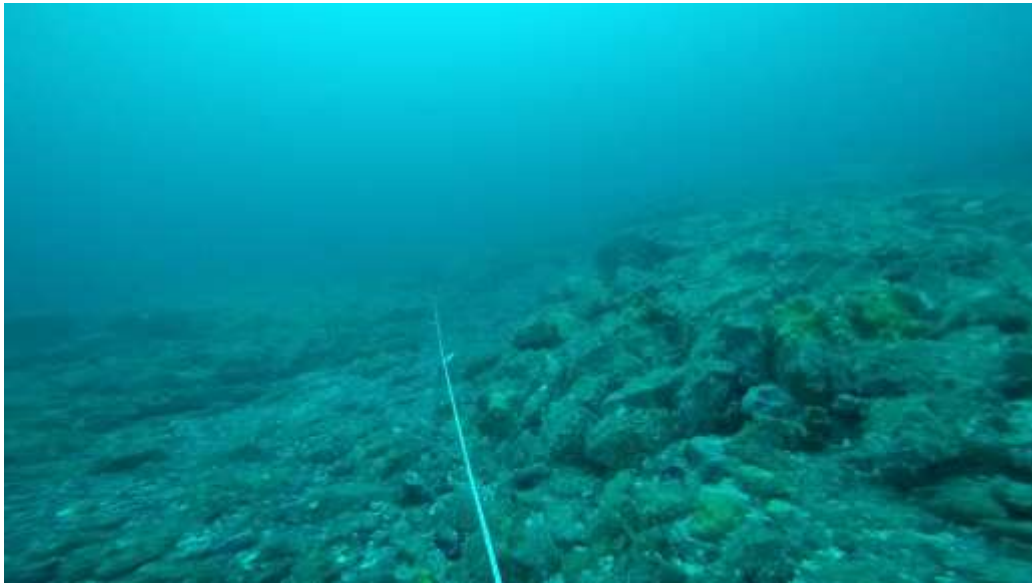


図 3.3.2-18 サイト付近の海底写真

サイトより東側を撮影した海底写真。節理が発達した岩体である。写真手前は、崩落して礫化している。風化等により細かな節理の発達している可能性や膠結度が低く、強い潮汐営力下で浸食された可能性も考えられる。



図 3.3.2-19 サイト付近の海底写真

左図はサイトの西側、右図はサイトの南側を撮影した海底写真。



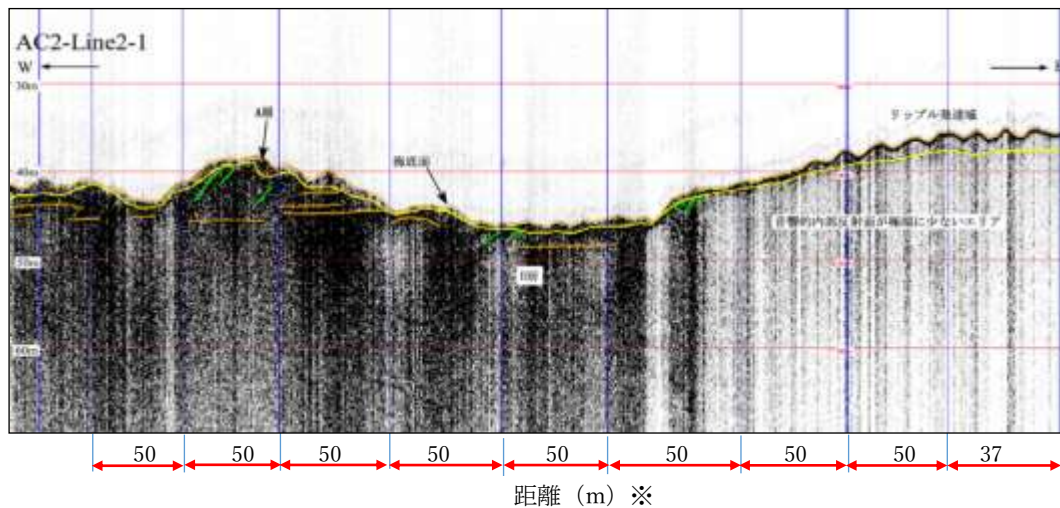


図 3.3.2-20 Line2-1 の調査結果

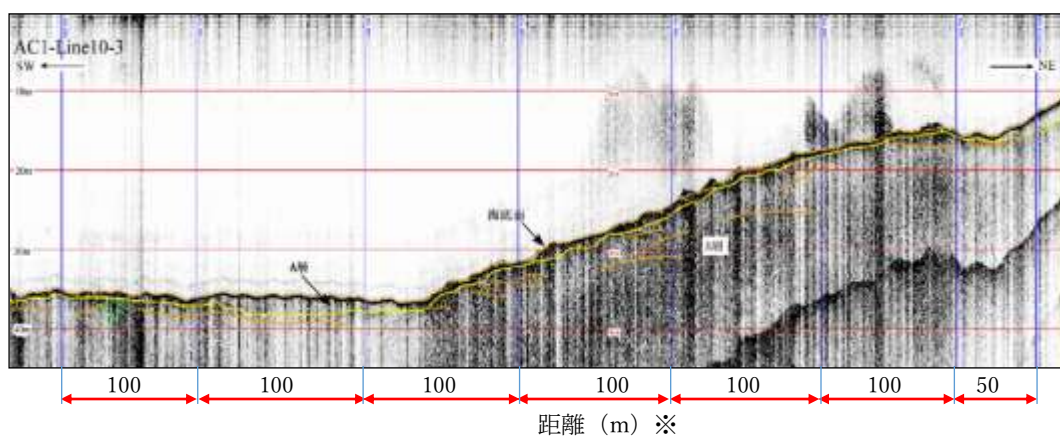


図 3.3.2-21 Line10-3 の調査結果

潮流発電機の設置が予定されている岩体は、基盤岩ではなく時代未詳の崖錐性の堆積岩で堆積物の供給源は奈留島側と考えられる。海峡部の延長方向の海底地形は不明だが、奈留島側に存在する溝状の凹地は、海峡が形成された時期から強潮汐流の営力下であり、奈留島から久賀島側へ延びていた崖錐性の堆積岩のうち、浦通鼻地先部分が浸食され、岬型海釜が形成された一部である可能性も考えられる。

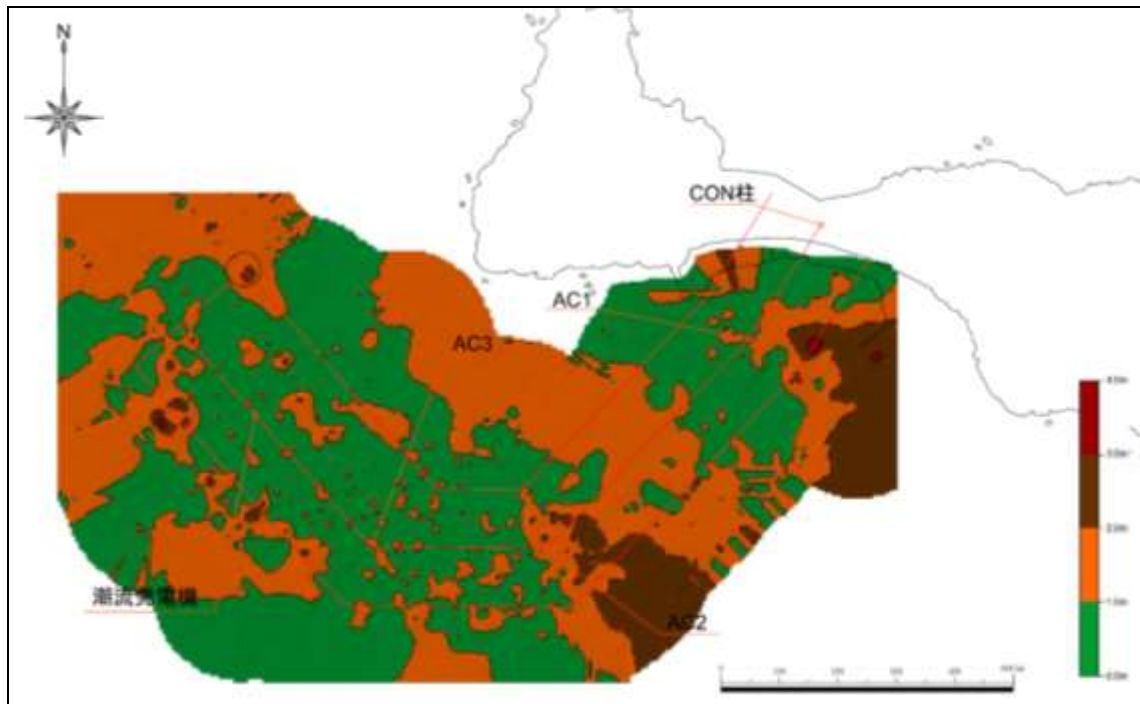


図 3.3.2-22 層厚線図

調査海域の未固結堆積層は1m未満のエリアが広く分布している。特に、潮流発電機の設置予定地付近は起伏のある岩体となっている。海峡部から内湾部への接続地域では、東側に層厚1m以上のエリアが認められるが、この付近には、リップル発達域が認められる。さらに、揚陸地点へ向かうエリアで確認できる1m未満の堆積層エリアは、ステップ状の海底地形や巨礫及び礫等が分布するエリアであった。

### 3.3.3. コアサンプリング調査

発電機設置場所の海底の岩の物性値を把握するために、コアサンプリング及び室内試験を行った。非常に強い潮流域であることと、水深 40m 程度の中深度域であることから、平成 27 年 4 月 1 日の高気圧作業安全衛生規則(以下、高圧則)の改正内容を踏まえ、本調査による潜水方法を計画し、実施した。

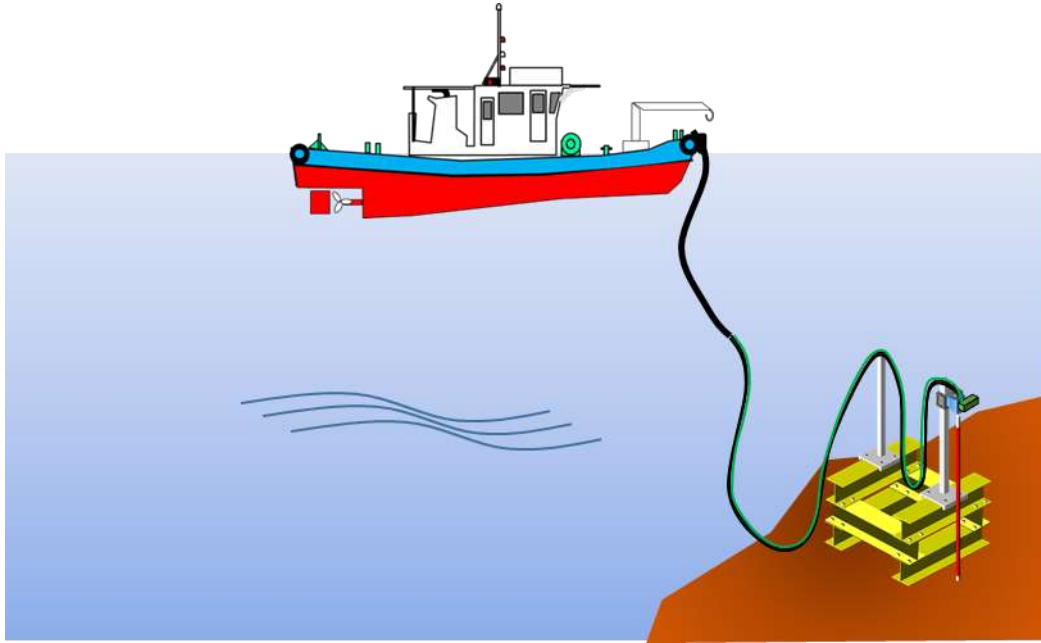


図 3.3.3-1 コアサンプリング概念図

#### コアサンプリング作業概要

今回実施したコアサンプリング作業は、強い潮流域での海底コアを採取するため、潮流に流されないように設計した約 1 トンの鋼材を組上げ、重力式コアサンプリング架台を製作した。

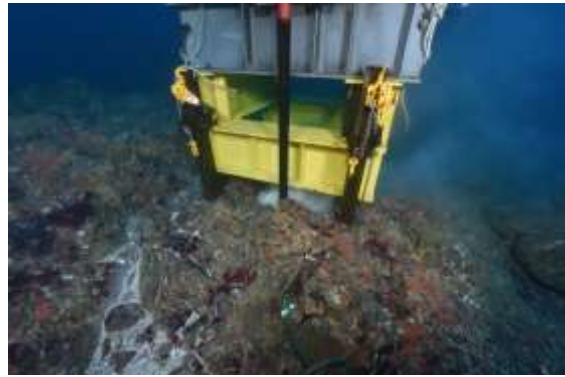


コアサンプリング作業は、潜水作業を必要とするが、水深 40m での潜水可能な作業時間は約 20 分程度と限られているため、海底に設置した重力式コアサンプリング架台に遠隔操作削孔コアモーター、及び遠隔操作ギヤドモーターを組付け、船上にてコアサンプリング操作が可能な工法にて土質調査作業を行った。

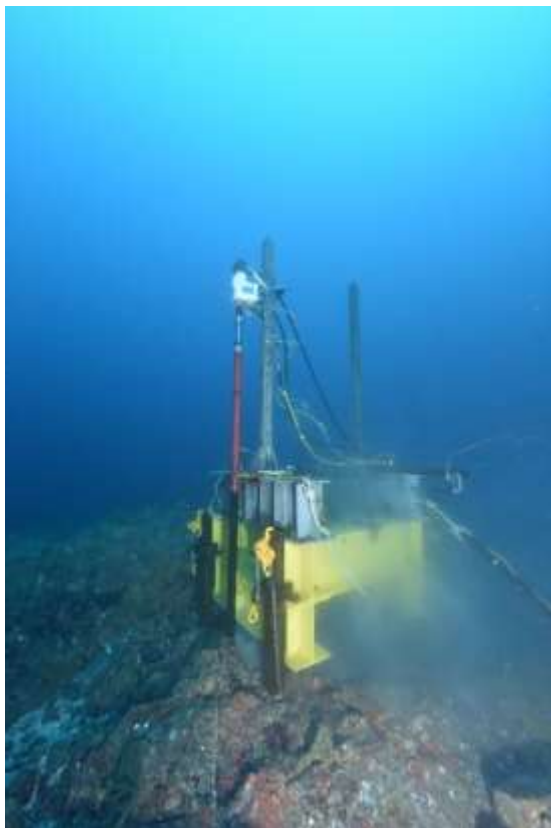
コアサンプリング架台に取付けた水中カメラの映像をリアルタイムに監視し操作ができるようにした。



操作状況



削孔状況 1



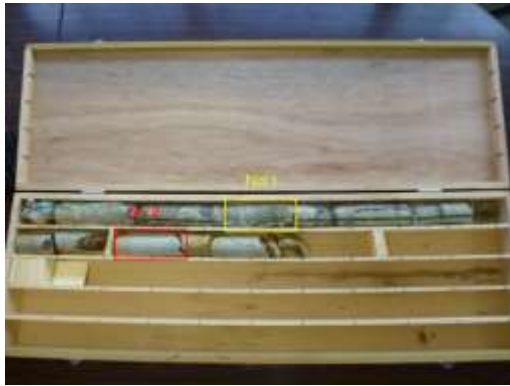
削孔状況 2



現場の海底状況



試料はサンプルコアから2試料、1つは発電機設置位置、もう1つはケーブル揚陸地点の近く水深12mの地点で採取したものから試験実施可能な箇所を選定した。試験結果を、表3.3.3-1に示す。



取得したサンプル



取得したサンプルの拡大図

表 3. 3. 3-1 試験結果一覧

試料番号	見掛比重			吸水及び有効間隙率		湿潤密度 (g/cm <sup>3</sup> )	圧縮強度			引張強度 圧裂引張り強さ (MN/m <sup>2</sup> )
	自然状態の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	湿潤状態の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	乾燥状態の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	有効間隙率 (%)	吸水率 (%)		一軸圧縮強さ (MN/m <sup>2</sup> )	破壊ひずみ (%)	変形係数 (MN/m <sup>2</sup> )	
	No. 1	2.60	2.65	2.57	7.9		3.1	2.599	31.0	
No. 2	2.60	2.63	2.57	6.6	2.6	2.425	102.0	0.81	13700	2.08

圧縮強さと引張り強さをを用いた強度定数  $c$ 、 $\phi$  の推定

上記試験結果（圧縮強度、引張強度）をもとに、強度定数  $c$ 、 $\phi$  を推定した。試験結果を表3.3.3-2に示す。なお算出の方法は、「岩石力学入門第3版，東京大学出版会，p144（山口梅太郎，西松裕一）」を参考とした。

表 3. 3. 3-2 推定される強度定数

試料番号	強度定数			
	$c$ MN/m <sup>2</sup>	$\phi$ 度	$\tan \phi$	算出方法
No. 1	6.66	43.5	0.948	引張と圧縮の応力円の共通接線から $c, \phi$ を算出する方法
	9.98	24.4	0.454	圧裂引張試験を考慮した応力円との共通接線から $c, \phi$ を算出する方法
No. 2	7.28	73.7	3.430	引張と圧縮の応力円の共通接線から $c, \phi$ を算出する方法
	7.52	73.2	3.319	圧裂引張試験を考慮した応力円との共通接線から $c, \phi$ を算出する方法

### 3.3.4. 生物付着の調査

#### 生物付着調査の目的

今後海底に沈めた発電機に、どの程度のスピードで、こういった生物（例：フジツボや海藻等）が付着するかを調べるために、試験サンプルを装着したフレームを発電機設置候補場所の近くに沈め、以降半年おきに観察を行う。塗料の選定や、メンテナンス計画の立案に活用することを目的としている。

試験の条件について、表 3.3.4-1 に示す。

表 3.3.4-1 生物付着試験の条件

材質	発電機や基礎部分と同等の軟鋼を用いる。 タービンの羽根はグラスファイバー製のため、同素材の試験も行う。
塗料	シリコン系の防汚塗料、生物忌避剤（周辺環境への影響はない）を含んだもの、船舶用塗料。
固定方法	コンクリートの土台に取り付けた金属フレームに、試験片を取り付ける。
評価方法	6つのフレームを設置し、6か月おきにフレームを1つずつ引き揚げ、付着生物の種類や面積、重量等を評価する。
設置場所	発電機設置場所と同等の流速が確保でき、水深はタービンの中心部分となる2.5m付近に設置する。

#### 生物付着調査の予定

2017年6月に、6つのフレームを設置し、以降半年おきにフレームを1つずつ回収し、生物の付着度合いを評価する。

表 3.3.4-2 生物付着調査のスケジュール

	2017年度			2018年度		2019年度	
	6月	10月	3月	9月	3月	9月	3月
フレーム1	設置	回収					
フレーム2	設置	→	回収				
フレーム3	設置	→	→	回収			
フレーム4	設置	→	→	→	回収		
フレーム5	設置	→	→	→	→	回収	
フレーム6	設置	→	→	→	→	→	回収

塗料は、フランス、カナダの潮流発電で既に実績のある海外製（3社）と、海洋構造物等で実績のある国内メーカー（1社）、及び船底塗料を評価する。

### 設置場所

設置場所は、タービン設置場所と同様に潮流があり、タービン中心部の深さである水深 25m 程度の場所とする。水深をタービン中心部と同じとするのは、光の届く量を実際のタービンと同じにするためである。



図 3. 3. 4-1 生物付着調査のフレームの設置場所

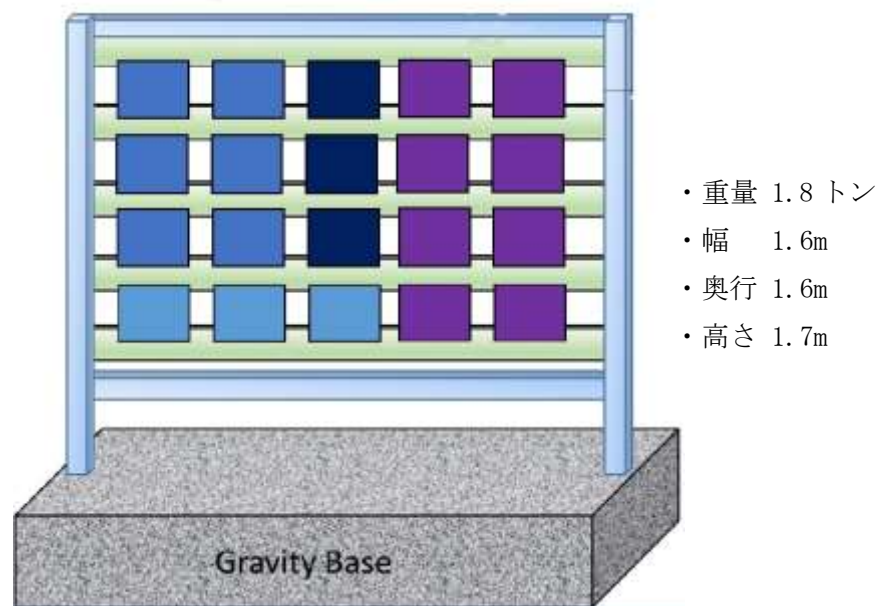


図 3. 3. 4-2 生物付着調査用のフレームのイメージ



製作したフレーム

海底への設置イメージと、上部のクリアランスは、図 3.3.4-3 のようになっている。

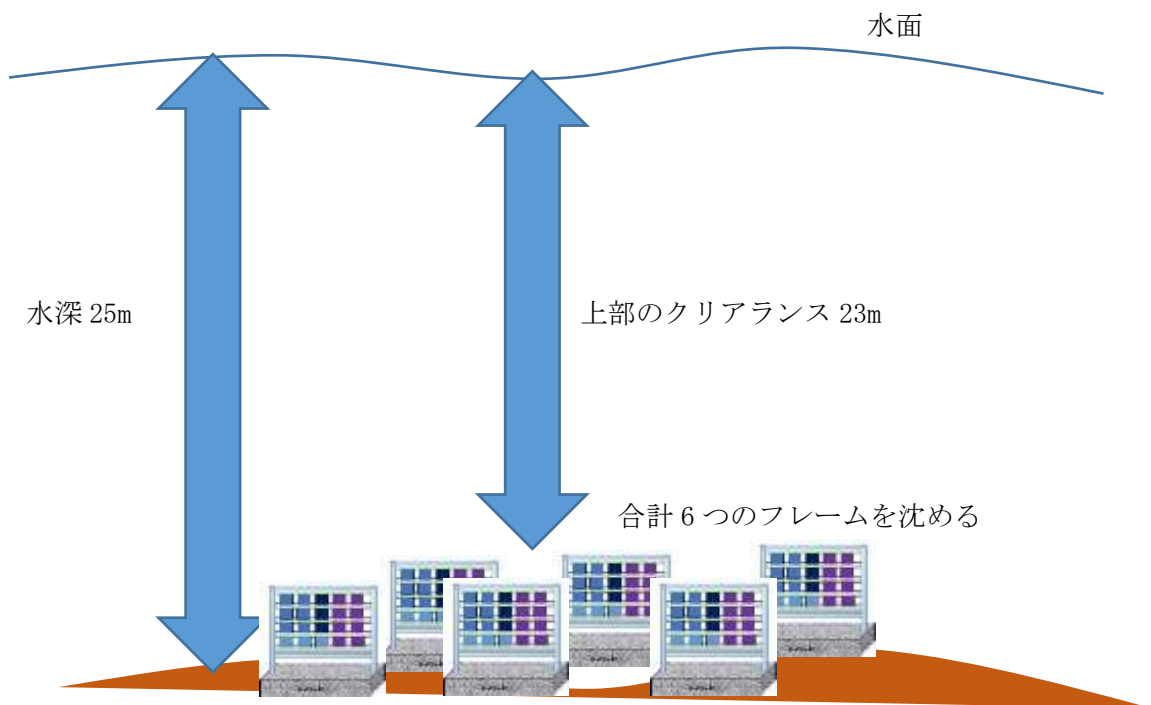


図 3.3.4-3 海底への設置イメージ



## 4. 許認可取得に関する業務

### 4. 1. 発電機の認証取得に向けた協議

#### 4. 1. 1. 発電機の認証取得の意義

潮流発電を含めて海洋再生可能エネルギーによる発電システムを実海域に設置する場合に、当該システムの設計の妥当性、設置サイト条件への適合性、システムと工事の安全性を確認するために、第三者機関による認証が必要となる。また、これは電気事業法に基づく工事計画認可の前提条件にもなる。オープンハイドロ社は潮流発電システム本体に関して既にDNV-GLとの認証取得に関する協議を進めているが、本事業ではDNV-GLとの協議内容も踏まえて次年度の日本海事協会のプロトタイプ認証の取得を最終目標としており、本年度は考慮すべき日本固有の条件の確認、必要な提出書類、及び、今後の進め方等に関する日本海事協会と協議を実施した。認証取得の意義を以下に示す。

- ・ 機器の信頼性を得ること
- ・ 発電機システムの設計が海洋再生エネルギーに関する基準に適合していることの確認
- ・ 機器サプライヤーに対して、重要な溶接検査等の品質・検査要求条件を示す
- ・ 金融機関、保険会社等の信頼獲得

#### 4. 1. 2. 認証のコンセプト

認証はリスクベースの評価であり、問題発生的重要度、頻度をまずクラス分けし、設計、試験、詳細設計書類を参照することでリスクを最小化するための行動を特定する。この詳細設計により作成された図書には全ての起こりうる問題と問題によるリスクの低減あるいは問題による影響の最小化のための設計手法の詳細を記載する。

また、認証は設計思想と設計の規準となるべき準拠コード/基準が記載されている。詳細設計仕様には設計の範囲、発電機の操業時の安全性等を記載し認証を受けなければならない。

設計の評価段階で合意された適用基準と認証計画に沿っているかのチェックを行う。これらは机上での評価、試験、プロセスの確認等広く設計検討を通して行われる。

これまでオープンハイドロ社はDNV-GLと検討作業を行ってきた。また、本事業に向け、日本での認証を取得するため日本海事協会（ClassNK）と作業を進めている。DNV-GL及び日本海事協会の認証手続きの概要を以降に記載する。

### 4.1.3. DNV-GL の認証プロセス

DNV-GL の認証プロセスは図 4.1.3-1 に示す通りである。各段階では次段階に進むための必要事項を満たすには多く詳細な作業を必要とする。オープンハイドロ社は DNV-GL より初期型式認証取得に向けて作業を順調に進めている。

DNV-GL 基準を以下に示す。

- ・ DNGL-SE-0163 – 潮流発電とアレーに関する認証  
(Certification of tidal turbines and arrays)
- ・ DNGL-ST-0164 – 潮流発電機-規則と基準  
(Tidal turbines – Rules and Standards)

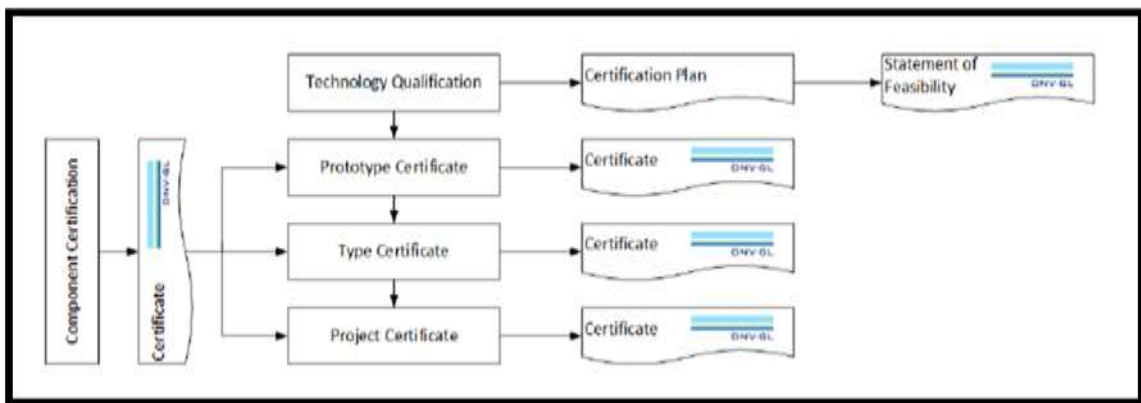


図 4.1.3-1 DNV-GL の認証プロセスの概観フローチャート ©DNV-GL 2015

### 4.1.4. DNV-GL 認証取得の一般的プロセス

#### 技術評価

技術評価は技術が指定された範囲で充分信頼にたるレベルで機能することの証拠を提示するプロセスである。また、技術評価は既に立証済みの要求事項に含まれない機能の裏付けのプロセスである。

一般的に新しいコンセプトの場合、技術評価とプロトタイプ認証の段階で既にプロトタイプ認証を取得しているコンセプトがひとつの目標となる。

認証は次の段階に進むに応じて手順が増えて行く。また、コンセプト段階よりフルスケールの製品の認証に進むにつれて徐々に範囲が増加して行く。

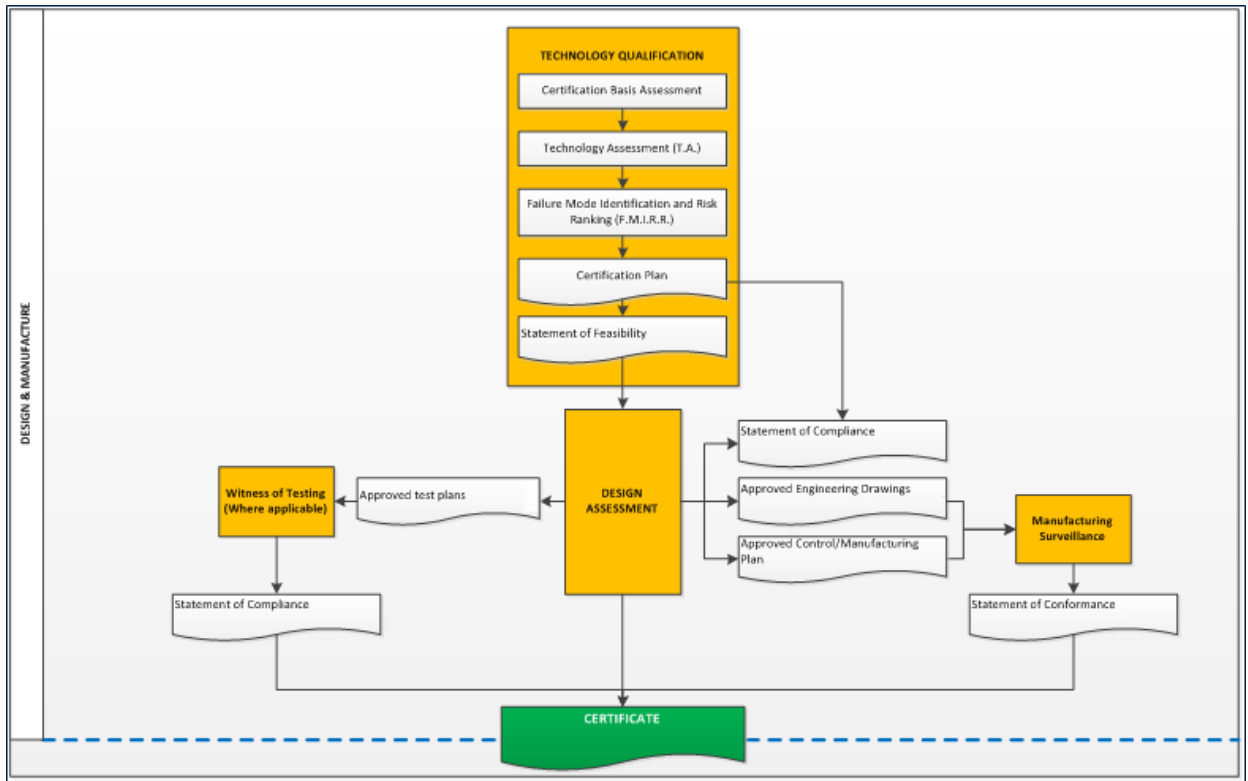


図 4.1.4-1 詳細な技術評価を含むプロトタイプ認証プロセス ©DNV-GL 2015

### プロトタイプ認証（初期2年間で5年間に延長）

プロトタイプ認証は設計評価に基づきプロトタイプ試験を可能とするために発行される。この認証は特定の場所/条件で認証発行までの全ての認証ステップ（statement of feasibility, design assessment, fitness for purpose and manufacturing surveillance）が完了していることを意味する。

プロトタイプとは特定の位置に単機あるいは限られた基数を設置した発電機の技術とパフォーマンスを明確にするものである。

プロトタイプ認証の目指すものは必要なデータを取集し設計手法の検証を行い、試験機に一定の裏付けを与えるものである。

### 製品認証

部品と組立て品の製品認証はDNV-GLより異なる部品の設計評価、製作監視と工場出荷検査に対して発行されるものである。

### 条件付き型式認証

条件付き型式認証は量産なしで安全関連以外の未解決事項を許容するものである。条件付き型式認証は全認証範囲に基づくものであるが一部未解決事項の除外を許容するものである。但し、未解決事項とは下記に限られる。

- 期限内（最大1年間）に安全問題がない事項
- マニュアルと品質管理手法の最終版作成に関連する事項
- 製作と据付に関する設計関連要求事項に係わる検査項目の最終版作成に係わる事項

ある特定の機器に関して、申請者とDNV-GLと間での合意を前提に、条件付き型式認証より型式認証に格上げするための前提条件が付けられる。

### 型式認証

型式認証は未解決事項のない量産モデルに対して発行される。（期間は毎年延長条件で5年間）

型式認証は量産品、ここでは潮流発電の型式が適用要求事項に合致していることが確認された時点で第三者認証機関より発行される。型式認証は認証の有効期限内に認証済み潮流発電機の生産を認めるものである。

型式認証は潮流発電機の連続生産のためのもので、DNV-GLの関与によって技術開発者が全ての技術要求事項を発電機の寿命がある間満たしているということを証明するものである。

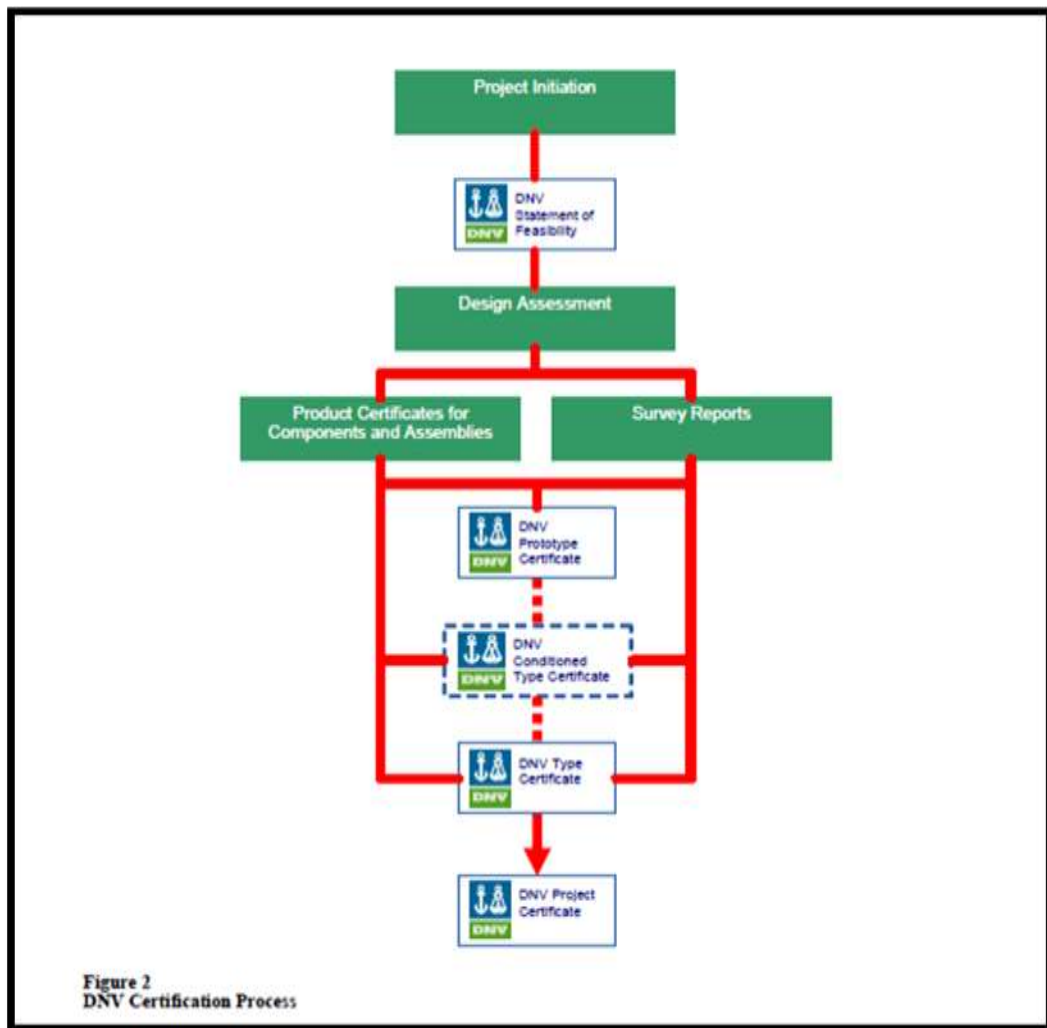


図 4.1.4-2 DNV-GL の認証プロセスにおいて発行される認証とこれを達成するためのステップを示す概要フローチャート ©DNV-GL 2015

#### プロジェクト認証

プロジェクト認証には、サイトの海象条件、その他の環境条件、系統連系条件と地質条件が当該発電装置の設計書類に記載されたものであるかの評価を含む。その他サイト固有の条件に対応する設計あるいは設計変更もプロジェクト認証では考慮される。これには一般的に基礎構造、支持構造物と係留が含まれる。プロジェクト認証には波力・潮流ファームの設計、製造、設置と試運転を含む。また、ケーブル敷設と輸送及び系統連系あるいは利用者への連系に必要な追加構造物が含まれる。プロジェクト認証は評価時に当該設備が適用必要条件を満たしていることを証明するものである。

また、プロジェクト認証は固有のサイトで潮流発電機あるいは潮流発電アレーがサイト固有の外的条件により要求される必要要件を満たしていることを確認するものである。

#### 4.1.5. 日本海事協会 (ClassNK) の認証概要

日本海事協会の潮流発電システムへの認証方針、適用基準等の認証の概要について以下に記載する。

##### 認証基準

認証基準とは、海洋エネルギー発電システムの部品認証、プロトタイプ認証、型式認証及びプロジェクト認証の方法及び手順を示したものである。水中浮遊式海流発電に適用できる認証基準として、本会は 2015 年 12 月に「潮流・海流発電システムの認証に関するガイドライン」を発行している。このガイドラインによれば、実海域で実施される実証試験に適用される認証の種類は「プロトタイプ認証」であり、プロトタイプ認証の枠組みで実施される評価は次の内容となっている。

##### ① サイト条件評価

設置サイトに固有の風況及び海況（波、潮流、海流等）の調査結果を評価する。

##### ② 設計基準評価及び設計評価

設計に適用される技術基準（=設計基準）の妥当性及びそれに基づく設計の適合性を評価する。

##### ③ 製造評価

構造物、係留設備、ブレード及び主要な機械部品、電気部品の検査を実施する。（実証試験を目的とするプロトタイプ認証の場合は、個品の検査となる）

##### ④ 実証試験計画書の評価

プロトタイプ認証書発行後に実施される実証試験の計画書を審査し、試験項目の妥当性を評価する。

上述の評価をすべて実施した後、有効期間 3 年のプロトタイプ認証書が発行される。ただし、日本国内においてはこの種の認証書が「許認可」に活用される場合もあるので、依頼者からの要望に応じて「設計適合証明書」を発行する場合もある。

審査・検査対象の施設・設備としては、一般にナセル、支持部・基礎等の構造物、係留設備があり、オープン hidro社の海底設置型潮流発電の場合は以下の項目となる（図 4.1.5-1 参照）。

- ・ローターリング (Rotor ring)
- ・ステーターリング (Stator ring)
- ・ブレード (Blade)
- ・支持構造部 (Subsea base: SSB)
- ・タービン制御部 (Turbine control centre: TCC)

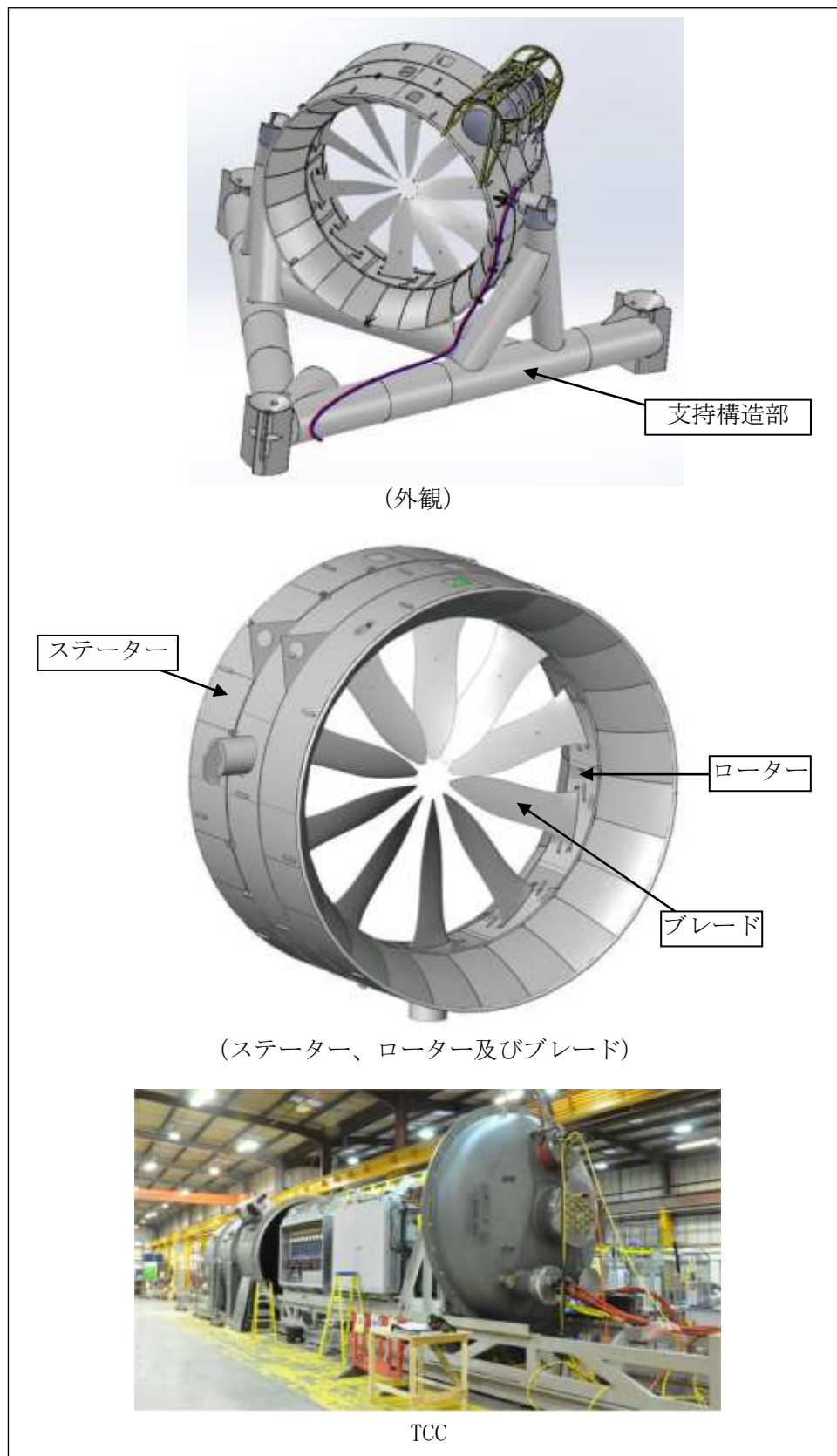


図 4.1.5-1 オープン hidro 社潮流発電施設の概要

#### 4.1.6. 日本海事協会（ClassNK）との認証に関する協議状況

日本海事協会（ClassNK）との協議を開始しており日本海事協会（ClassNK）の認証プロセスに沿って作業をしている。これまで日本海事協会（ClassNK）の東京事務所で2回にわたり直接面談し会議を行った。

第1回会議 2016年11月24日

この会議は紹介のためのもので、オープンハイドロ社が会社とその活動に関する概要説明、及び、技術紹介と本事業で同社が目指していることの説明を実施した。日本海事協会（ClassNK）よりは通常の業務内容と組織の紹介、及び、潮流発電機認証に関する初期計画に関する説明がなされた。

第2回会議 2017年1月8日

同会議では技術の詳細に関する議論として発電機の構成機器、システム設計と運転に関する説明を行った。また、全ての部品とシステム設計に際して、設計ガイドラインと標準を含めて技術者が行う設計プロセスの説明も行った。

日本海事協会（ClassNK）よりは世界の他の地域ではない日本固有の環境条件より発生する要求事項の説明がなされた。地震と津波が日本の海域に設置される潮流発電機の設計と開発にあたって考慮しなければならない事例として挙げられた。

上記会議以降、日本海事協会（ClassNK）間で情報交換と書類提出を開始した。日本海事協会（ClassNK）では地震荷重と津波荷重計算手法に関する要求条件を検討しており、日本海事協会（ClassNK）よりの要求に基づき書類を準備し提供を開始した。現時点で下記書類を提供した。

- Environmental data on the tidal flow conditions of the site with predicted 10 minute averaged flow velocities for peak and average tidal flow velocities covering the project period from 2018 to 2025. (潮流データ)
- Environmental data on wave conditions as measured by sensors deployed in the Naru Strait. (波浪データ)
- Report document describing the details of the bathymetry of the seafloor at the deployment site. (水深・海底地形データ)
- Personnel safety report on demonstration of safety considerations for access to the turbine for installation and O&M. (発電機設置・O&M時の安全基準)
- Report on the Turbine System control philosophy. (発電機の制御思想)
- Multiple documents on the electrical system and components.  
(電気品に関する各種資料)



## 4.2. 系統連系に向けた協議

### (1) 目的

本業務の目的は、電力会社への系統接続を行うため「電気設備の技術基準の解釈」、「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」、及び電力会社の「系統アクセス基準」、「配電系統連系基準」に基づき、潮流発電システムの各種諸元を確認し、九州電力株式会社との協議を行った。

### (2) 協議結果

平成 28 年度は、五島市沖奈留瀬戸での設置を想定し、当該海峡に隣接する奈留島及び久賀島の各々への系統連系させる 2 パターンを計画し、九州電力株式会社へ系統連系の事前相談申込みを実施した。

九州電力株式会社より久賀島側の系統容量は小さく、系統連系が難しいとの回答結果を得たため、本事業では、奈留島側へ系統連系させる方向で接続検討申込みを行った。平成 29 年度は、九州電力株式会社の詳細設計後の系統連系に係る契約のご案内の連系の承諾(接続契約の成立)をもって、送配電系統の容量が確保される予定である。

### (3) 課題

九州電力株式会社の五島エリアの送配電系統の接続容量については、風力・太陽光等の事業用再生可能エネルギー発電の申込が増加傾向にあり、空き容量が都度変化している。系統連系については、五島エリアのような潮流発電のポテンシャルの高いエリアが存在しても将来、送配電系統の制約(九州本土と五島エリアを連系する海底ケーブル容量超過等)により、潮流発電のファーム化・商業化の支障となることが考えられる。

#### 4.2.1. 受電電圧・供給電圧

九州電力株式会社の送電部門は、発電者の契約受電電力又は需要者の契約電力（会社間連系点を受電地点及び供給地点とする場合を除く）に応じた表 4.2.1-1 の受電電圧・供給電圧（連系電圧）を目安に、既設送変電及び配電設備の状況等を考慮し連系電圧を個別に選定する。具体的には、発電者又は需要者の将来における増設計画、周辺地域の需要動向等を踏まえた将来の系統構成、既設送変電及び配電設備の状況、技術面等を総合的に考慮して、効率的・合理的な設備形成となる連系電圧を選定する。なお、個別に選定される結果、下表の連系電圧より上位又は下位の電圧となる場合がある。このため、受電計画箇所の連系電圧については、22kV 系統の連系電圧がないため、表 4.2.1-1 の契約(受電)電力に応じた「6.6kV」及び「66kV」の 2 択の選定となる。

表 4.2.1-1 受電電圧・供給電圧一覧

契約（受電）電力	電圧区分	連系電圧
2,000kW 未満	高圧	6.6kV
2,000kW 以上 10,000kW 未満	特別高圧	22kV
10,000kW 以上 50,000kW 未満		66kV
50,000kW 以上		110kV(*1)

(\*1) 110kV については、220kV 導入以前の基幹系統であったが、220kV 及び 500kV 系統の拡充進展により、110kV 系統は一部地域を除き段階的に縮小する方向である。このため、110kV 系統への連系検討にあたっては、その廃止構想を考慮する。

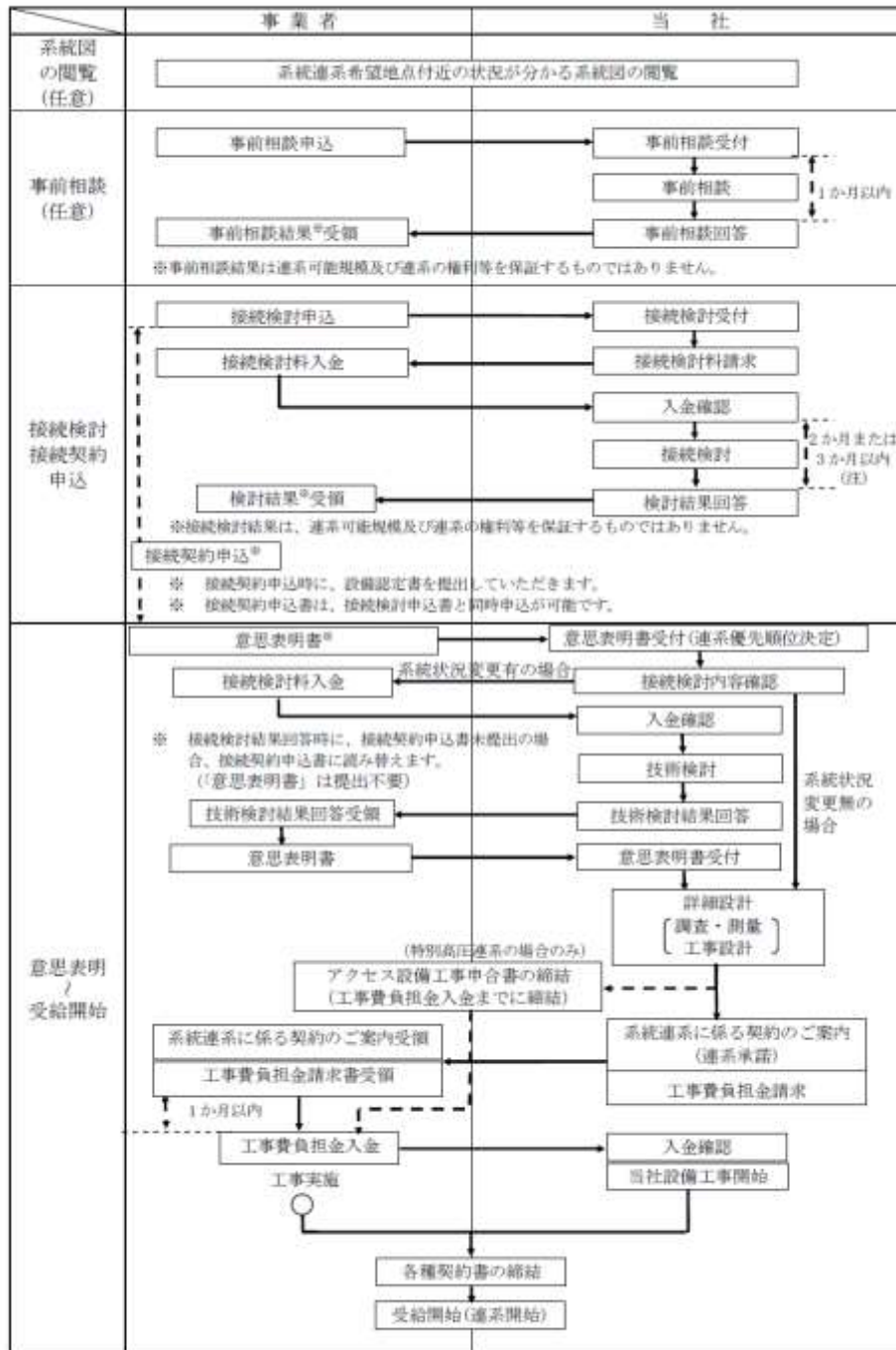
出典：「系統アクセス基準」（九州電力 HP）

#### 4.2.2. 系統連系に必要な手続き

系統連系手続きフローを図 4.2.2-1 に示す。

(参考) 手続きフロー

系統連系に必要な手続きの大まかな流れは次のとおりです。



(注) 接続検討は、接続検討料の入金を確認し、かつ、接続検討に必要な申込書類が全て揃った後に開始し、接続検討結果は、原則として検討終了後すみやかにかつ高圧連系で逆変換装置を用いている再エネ発電のうち発電機出力が500kW未満の場合は2か月以内、その他の場合は3か月以内にお知らせします。

図 4.2.2-1 系統連系手続きフロー

出典：「事業用再生可能エネルギー発電系統連系受付要領」(九州電力 HP)

#### 4.2.3. 送配電系統空き容量の状況

五島エリアの送配電系統を図 4.2.3-1、送配電系統空き容量一覧を表 4.2.3-1 に示す。送配電系統空き容量一覧表は、熱容量を考慮した空き容量が記載されており、その他の要因（短絡容量や電圧変動等）で、連系制約が発生する場合がある。また、熱容量を考慮した空き容量は、系統毎に電源の並入状況等によって変動する。空き容量は、電源の並入状況を一定の条件で算定されたものである。詳細については別途、接続検討の申し込みによる詳細検討が必要となる。

【凡例】

— 送電線 (66kV, 22kV)    ○ 変電所    ⊗ 開閉所    □ 発電所    — 配電線 (22kV)    ○ 配電塔    ⊠ 開閉器




図 4.2.3-1 五島列島の送電系統図

出典：「九州電力管内における発電機連系制約マップ」（九州電力 HP）

表 4.2.3-1 五島列島の送配電系統空き容量一覧表


[送電線：連系電圧 6.6kV、66kV 申込に係る系統]

線路名 ○：線路番号	空き容量 [MW]					備考
	H28.3	H28.11	H28.12	H29.1	H29.2	
(1)22kV 浦桑小値架線	14	14	14	14	14	—
(2)22kV 阿瀬津小値賀線	8	8	31	31	31	—
(3)66kV 阿瀬津浦桑線	32	31	28	22	22	—
(4)66kV 阿瀬津奈良尾線	72	49	28	22	22	上位系による制約(66kV 松島奈良尾線)
(5)66kV 松島奈良尾線	72	49	28	22	22	—
(6)66kV 奥浦奈良尾線	72	49	28	22	22	上位系による制約(66kV 松島奈良尾線)
(7)66kV 奥浦福江線	72	49	28	22	22	上位系による制約(66kV 松島奈良尾線)
(8)66kV 二本楠分岐線	72	49	28	22	8	上位系による制約(66kV 松島奈良尾線)

 潮流発電機の設置場所に係る系統を示す

[配電用変圧器：連系電圧 6.6kV 申込に係る系統]

変電所名 ○：変電所番号	空き容量 [MW]					備考
	H28.3	H28.11	H28.12	H29.1	H29.2	
①小値賀変電所	6	6	6	6	6	—
②浦桑変電所	19	18	18	18	18	—
③阿瀬津変電所	11	11	11	11	11	—
④奈良尾変電所	10	10	10	10	10	—
⑤奈留変電所	6	6	6	6	6	—
⑥久賀変電所	1	1	1	1	1	—
⑦福江変電所	9	10	10	10	10	—
⑧二本楠変電所	6	5	5	3	3	—

 潮流発電機の設置場所に係る系統を示す

[配電塔]

配電塔 ○：配電塔番号	空き容量 [MW]					備考
	H28.3	H28.11	H28.12	H29.1	H29.2	
①青砂配電塔	6	6	6	6	6	—
⑬宇久配電塔	3	3	3	3	3	—

出典：「九州電力管内における発電機連系制約マップ」（九州電力 HP）に追記

### 4.3. 電気事業法の概要

我が国は、電気事業法により電気事業の運営が規制されており、この法律は、電気事業の運営を適正かつ合理的ならしめることによつて、電気の利用者の利益を保護し、及び電気事業の健全な発達を図るとともに、電気工作物の工事、維持及び運用を規制することによつて、公共の安全を確保し、環境の保全を図ることを目的としている。電気事業とは、発電、変電、送電、配電を指す。

電気事業法第47条において、事業用電気工作物の設置又は変更の工事であつて、公共の安全の確保上特に重要なものには経済産業大臣に認可申請を行い、その工事計画の「認可」を受けなければならない旨が規定されている。図4.3-1に発電所の種類と規模に応じて定められている工事計画の認可・届出の範囲を示す。

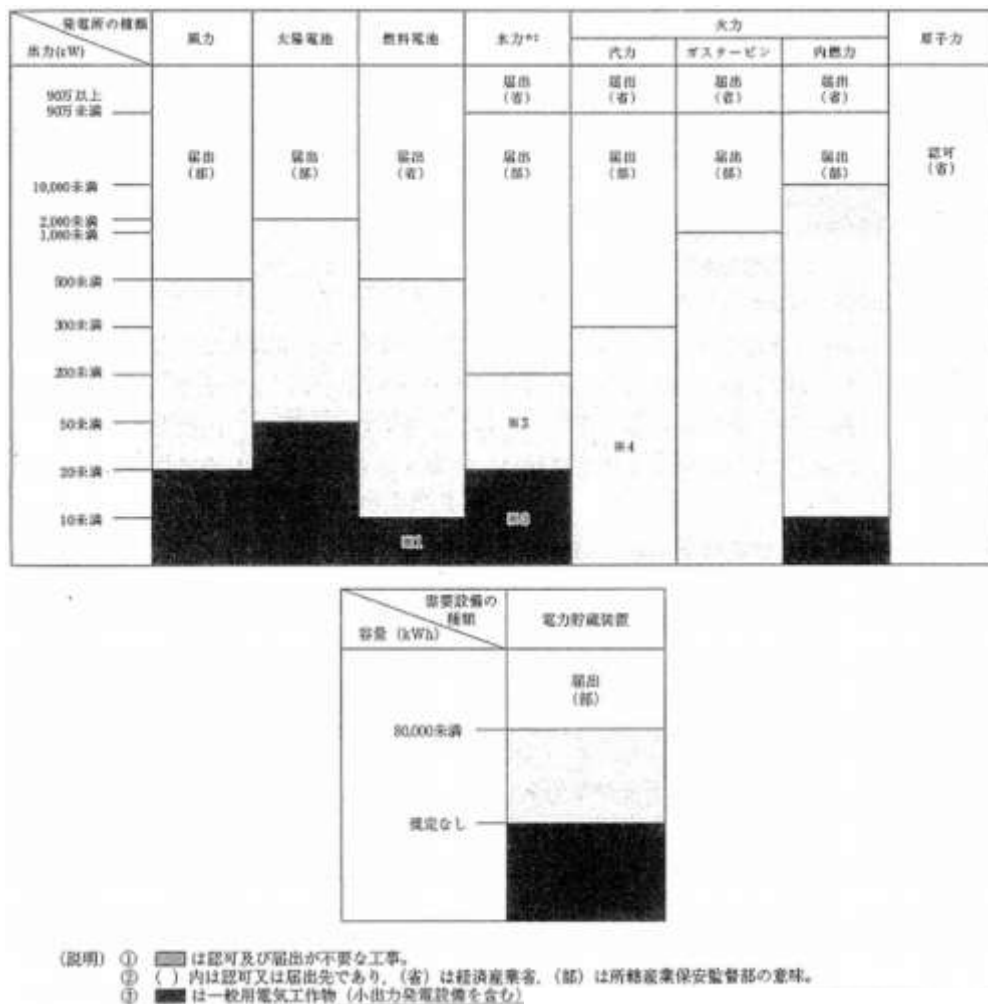


図 4.3-1 工事計画の認可・届出の範囲

出典：「系統連系規程」JEAC 9701-2016

### 4.3.1. 工事計画認可

電気事業法第47条を踏まえ、潮流発電システムの工事計画に関する手続きについて経済産業省へヒアリングを行い、本事業における潮流発電の場合、以下の電気事業法上に係る諸手続きが必要であることが分かった。

- ・潮流発電システムの設置工事の工事計画は、主務大臣の「認可」の対象。
- ・使用前検査(電気事業法施工規則第六十八条)が必要。
- ・認可申請における鑑書は、様式第47(電気事業法施行規則第六十三条関係)を使用。  
図4.3.1-1に工事計画(変更)認可届出書を示す。また、図4.3.1-2に工事計画届出申請に必要な項目、添付資料を示す。
- ・潮流発電システムの認可申請における事業用電気工作物の種類は、以下のとおり。

表4.3.1-1 事業用電気工作物の種類

[電気事業法施工規則(別表第三)抜粋]
一 発電所
(六) 電気設備
1 発電機
2 変圧器
3 電圧調整器又は電圧位相調整器
4 調相機
5 電力用コンデンサー
6 分路リアクトル又は限流リアクトル
7 周波数変換機器又は整流機器
8 遮断器
9 逆変換装置
10 電力貯蔵装置
(七) 附帯設備
1 発電所の運転を管理するための制御装置



様式第 47 (第 63 条関係)

工事計画(変更)認可申請書  
(潮流発電所建設工事)

年 月 日

経済産業大臣

〇〇 〇〇 殿

住 所

氏 名 (名称及び代表者の氏名) ㊟

電気事業法第 47 条第 1 項(第 47 条第 2 項)の規定により別紙工事計画書のとおり  
工事の計画 (工事の計画の変更) の認可を受けたいので申請します。

- 備考 1 用紙の大きさは、日本工業規格 A 4 とすること。  
2 氏名を記載し、押印することに代えて、署名することができる。この  
場合において、署名は必ず本人が自署するものとする。

図 4. 3. 1-1 工事計画(変更)認可申請書

出典：「電気事業法令集」

## 工事計画認可申請に必要な項目、添付資料

### I 工事計画認可申請書（様式第 47）

### II 工事計画書

- 別表第二(第六十二条、第六十五条関係)に基づき、届出する目的（発電の簡単な手法等）
- 別表第三(第六十三条、第六十六条関係)にて要求される記載事項
  - ①発電所の名称及び位置
  - ②発電所の出力及び周波数
- 発電設備の概要
  - 種類、出力、開放電圧、短絡電流、個数
- 電気設備の概要（デバイス番号を記載頂き単線結線図と比較できるようにしておくこと）
  - ①遮断器：種類、電圧、電流、遮断電流、遮断時間、個数、保護継電器装置の種類
  - ②逆変換装置：種類、容量、電圧、電流、相、周波数、結線法、個数
  - ③保護継電装置の種類
- 制御方式について
- 工事工程表
- 設置を必要とする目的

### III 添付資料

- 技術基準適合性確認表
- 仕様書（発電設備、遮断器、逆変換装置の概要についてそれぞれの資料）
- 構造図
- 単線結線図
- 平面図
- 支持物の強度計算書
- 構造物の熱耐力
- インターロック図
- 地図（事業所の位置がわかるもの、1/50000 が理想）
- 潮流発電システムの規格及び技術仕様については、C l a s s NKのプロトタイプ認証を取得し、工事計画書に添付

図 4.3.1-2 工事計画認可申請に必要な項目、添付資料

出典：「電気事業法令集」

### 4.3.2. 使用前検査

電気事業法第 49 条第 1 項及び同法施行規則第六十八条において水力、火力、燃料電池、太陽電池、風力発電所以外の発電設備を設置した場合は、全ての工事が完了したときに主務大臣の検査を受け、これに合格した後でなければ使用できない旨が規定されている。また、使用前検査は、同法施行規則第六十九条において工事の計画に係る全ての工事が完了した時、電気工作物検査官が特定事業用電気工作物の通常運転時における性能を確認する検査その他工事の完了を確認するために必要な検査を行う旨が定められており、使用前検査申請書の提出が必要である。図 4.3.2-1 に使用前検査申請書を示す。

<p>様式第 50 (第 71 条関係)</p> <p style="margin-top: 20px;">使用前検査申請書</p> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;">年 月 日</p> <p style="margin-top: 20px;">経済産業大臣 〇〇 〇〇 殿</p> <p style="text-align: right; margin-top: 20px;">住 所 氏 名 (名称及び代表者の氏名) ⑩</p> <p style="margin-top: 20px;">電気事業法第 49 条第 1 項(第 47 条第 2 項)の規定により次のとおり使用前検査を受けたいので申請します。</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 40%; padding: 5px;">検査を受けようとする電気工作物に係る事業場の名称及び所在地</td> <td style="width: 60%;"></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">電気工作物の概要</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">検査を受けようとする工事の工程</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">検査希望年月日</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">使用開始予定年月日</td> <td></td> </tr> </table> <p style="margin-top: 10px;">備考 1 電気工作物の概要の欄には、法第 47 条第 1 項若しくは第 2 項の認可番号及び認可年月日又は法第 48 条第 1 項の規定による届出年月日を付記すること。</p> <p style="margin-left: 20px;">2 用紙の大きさは、日本工業規格 A 4 とすること。</p> <p style="margin-left: 20px;">3 氏名を記載し、押印することに代えて、署名することができる。この場合において、署名は必ず本人が自署するものとする。</p>		検査を受けようとする電気工作物に係る事業場の名称及び所在地		電気工作物の概要		検査を受けようとする工事の工程		検査希望年月日		使用開始予定年月日	
検査を受けようとする電気工作物に係る事業場の名称及び所在地											
電気工作物の概要											
検査を受けようとする工事の工程											
検査希望年月日											
使用開始予定年月日											

図 4.3.2-1 使用前検査申請書

出典：「電気事業法令集」

#### 4.3.3. 電気事業法に係る経済産業省との協議のまとめ

潮流発電システムに関する電気設備技術基準は、現時点で整備されていないため、技術基準適合に関する考え方を今後整理し、技術基準適合性確認表の作成、使用前検査方法の協議を行い、引き続き経済産業省との調整が必要となる。

## 5. 各種エンジニアリングに関する業務

### 5.1. 発電機の設置場所、系統連系地点の決定

平成 26 年度及び平成 27 年度の潮流発電技術実用化推進事業で行われた、五島の奈留瀬戸及び田浦瀬戸での ADCP による流速調査の結果を基に、各瀬戸における潮流エネルギーの分布についての FVCOM を用いたコンピューター・シミュレーションを行った。その結果、奈留瀬戸の Site1 及び Site2 において、年間の単位面積当たりのエネルギー量が大きいことが分かった。Site1 で、17.58MWh/m<sup>2</sup>/year、Site2 で 17.24MWh/m<sup>2</sup>/year 程度のエネルギー密度であることが分かった。

そこで、Site1 及び Site2 から、それぞれ東側の久賀島と西側の奈留島にケーブルを敷設したケースについて検討を行った。検討した設置場所とケーブルルートについて、図 5.1-1 に示す。



図 5.1-1 発電機設置場所の候補地とケーブルルート

表 5.1-1

ケース	連系箇所	調査結果				評価
		変電所	配電線	揚陸点	海底ケーブル	
ケース1	奈留島 鈴ノ浦地区 (南ルート)	<b>配変容量6MWであり、トランス容量に余裕あり</b>	変電所から約3km うち約2kmは単相 系統であり三相化 工事が必要	護岸エリアであり、 工事方法について管 理者と協議が必要	<b>海底ケーブル直長は約1km</b> アオリイカ産卵床設 置箇所の確認が必要	◎
ケース2	奈留島 鈴ノ浦地区 (北ルート)	同上	同上	砂浜でありケーブル の揚陸が容易	海底ケーブル約2km アオリイカ産卵床設 置箇所の確認が必要	○
ケース3	奈留島 田尻地区	同上	変電所から約2km 連系地点まで三相 回線あり	護岸エリアであり、 工事方法について管 理者と協議が必要	<b>海底ケーブル約3km</b> <b>潮流が速い箇所の横 断が必要</b>	△
ケース4	久賀島 蕨漁港	配変容量1MWで あり、 <b>トランス増強 が必要</b>	変電所から約5km 連系地点まで三相 化緯線あり	砂浜でありケーブル の揚陸が容易	海底ケーブル約2km 漁港内へのケーブル 布設が必要	×

系統の空き容量、陸上の変電所までの距離、ケーブルの敷設のしやすさを考慮し、また、並行して進めていた漁業者への説明の中で、「奈留瀬戸ではサワラの引き縄漁を行うことがあり、Site2のあたりは良い漁場である。」という意見が出たことから、発電機設置場所はSite1、ケーブルルートは半島の南回りで系統へ接続することに決定した。



図 5.1-2 奈留島側へのケーブルルート及び揚陸地点

## 5.2. 発電機及び発電機基礎構造の設計

オープン hidro社はフランス沿岸パンポール・ブレハット、及び、カナダ・ノバスコシア州・ファンディー湾・ミナス海峡にて実施中の実証事業を踏まえ、本事業での発電システムの設計を行った。

### 設計条件

潮流発電システムの設計にあたってはサイトの厳しい環境条件下でも耐えられるように、機器は充分なる耐久性を備えていなければならないため、以下の項目を考慮して設計した。

- ・水深約 40mでの高水圧
- ・潮流により発生する高い外力（流力）
- ・海底付近での乱流により発生する高い外力（流力）
- ・海水による高い腐食性
- ・実証サイトにおける水温の変化
- ・水流に含まれる泥土による研磨効果
- ・機械表面に発生する付着生物による影響
- ・25年間の稼働設計寿命

本事業の発電システムでは、欧州とカナダでは考慮が不要な本事業固有の環境特性に対応するため、設計にあたっては通常的设计条件に加えて下記のサイト固有の環境条件を考慮した。

表 5.2-1 本事業で考慮すべき固有の環境条件

環境条件	内容
高水温	～約 30℃
高い付着物発生率	夏期 - フジツボ 冬期 - 海藻類
地震荷重	日本固有の条件として考慮
津波荷重	日本固有の条件として考慮



## 本事業の発電システムの設計条件

設計の際の重要な要素は発電システムに掛かる外力（流力）である。これらの外力はサイトの条件に依存するもので、海底での流量センサー(ADCP Acoustic Doppler Current Profilometer)による実測サイト条件に基づくものとなる。

ADCP による実測データは、オープンハイドロ社の資源評価チームが分析を行い発電システムが奈留瀬戸で発生する負荷に耐えうるものになっていることを確認している。

表 5.2-2 基本設計仕様

パラメーター	数 値
潮流発電システムのタイプ	オープンセンター発電機
定格出力	2MW
ブレード数	10
発電機径	16m
ヨー制御	なし
基礎構造	重力式基礎

本事業の発電システムはフランスとカナダでの実証事業の成果を活かし、以下に示す設計の最適化と改善を行っている。

### 発電機に関する設計最適化

- ・ベンチュリー形状の改善（小型化）- 流体力学上の効率を向上する
- ・基礎構造部との接合部分に新たにトラニオン構造を採用- 構造をシンプルにし複数基の設置を容易にする
- ・ブレード長を延伸- 流体力学上の構造を改良し発電効率を向上する
- ・構造内部のリブ数を減少- 鋼材使用量を減少させる

### タービン・コントロールセンターの設計最適化

- ・TCC 全体の小型化- サイズを 7.5m 長×3m 径、重量 50 トンのドライ容器としてスペースを削減させる
- ・フランスとカナダでのプロジェクトのフィードバックを活用- より設計を最適化する
- ・風力発電技術に基づく冗長ドライブシステムの採用- 系統連系側の要求に合致させる

### 基礎構造の設計最適化

- ・鋼管の肉厚を削減- コストを削減する
- ・鋼材使用量削減と製造時間の短縮を目指して構造の簡素化- コストを削減する

## 本事業の発電システムの概要

発電システムは図 5. 2-1 に示すとおり 4 つの部分より構成されている。

- ・ 発電機
- ・ タービン・コントロールセンター (TCC)
- ・ 海底基礎構造 (SSB)
- ・ ケーブル端部 (Cable Tail)

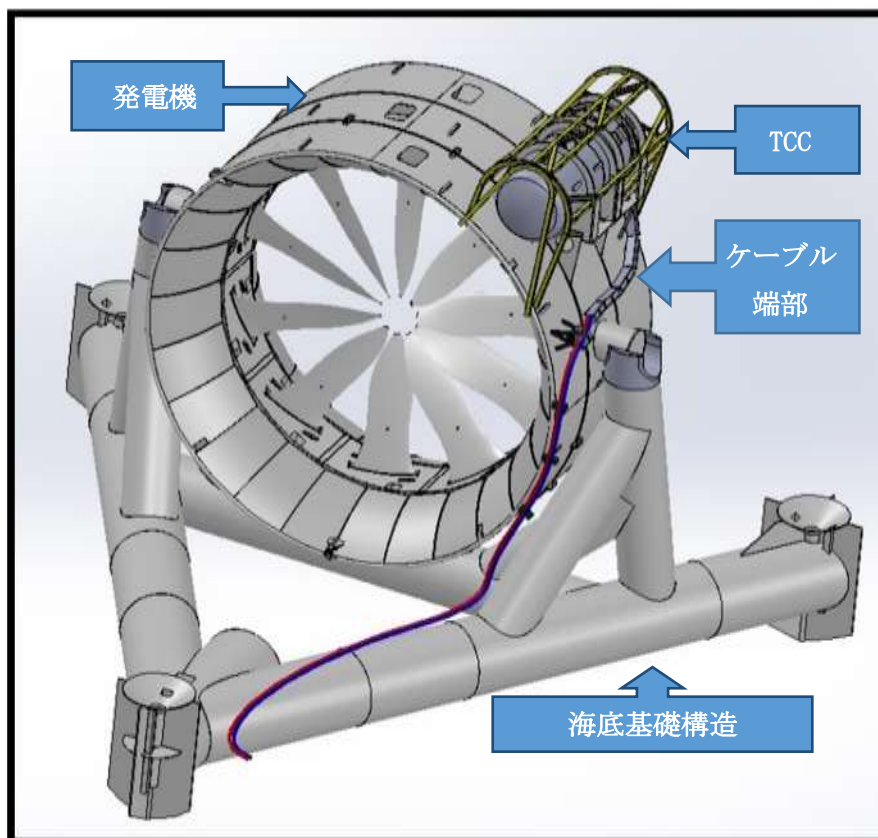


図 5. 2-1 発電システム最終設計イメージ

### 発電機

発電機の機能は潮流より得られる動力エネルギーをローターにより回転エネルギーに変換し、発電機内にある永久磁石発電装置により回転エネルギーを電気エネルギーに変換する。

発電機はローターの内側に取り付けられた10枚の大型コンポジット製ブレードにより動力エネルギーを得る。ブレードは流体力学上発電機が運転中に受ける全ての潮流エネルギーより動力エネルギーを効率良く取り出す様に特別な形状になっている。このブレードの配置は従来のローターシステムに比べて、ブレード近くでの海洋生物への危険性を低減することも含めて、多くの運転上の優位点がある。

発電機の設計上の留意点

表 5.2-3 発電機の設計上の留意点

設計上の留意点	根拠・目的	検証方法
発電機の設計は DNVGL-ST-0164 に基づく	第三者認証を取得するため	分析
発電機構造は第三者認証機関の認証を取得しなければならない	設計方法の妥当性を確認するため	分析
発電機の設計は水深 40m までの海域で稼働可能でなくてはならない	想定される最大水深での設置のため	分析
発電機の設計は最大波高 3m まで輸送可能でなくてはならない	適切な輸送可能条件・範囲を確保するため	分析
発電機の設計は最大 5 ノットまでの速度で輸送可能でなければならない	適切な輸送可能条件・範囲を確保するため	分析
発電機の設計は最大波高 1.5m まで設置可能でなければならない	適切な設置可能条件・範囲を確保するため	分析
発電機の設計は最大 4 ノットの流速で設置可能でなければならない	適切な設置可能条件・範囲を確保するため	分析
構造は ULS, ALS, FLS, TLS 全てのロードケースで完全性を維持しなければならない	発電機システムを支持するため	分析
吊下げ点は関係規格 (Norsok R-002, DNVGL-ST-N001) にしたがって設計され試験されなければならない	輸送と取り扱いの安全確保のため	分析/試験
初期疲労強度評価には運転時の荷重が材料の許容範囲の 1/3 以下であることの確認を含まねばならない。運転時荷重はフル逆潮流の 80% とする。荷重係数は設計の規定による。材料係数は DNVGL-ST-0164 による。	構造の疲労強度の感度を示すため	分析
詳細な疲労強度評価では材料と溶接部が 25 年間稼働耐えうることを示さねばならない。運転荷重は Rainflow Counting を使用して示す。荷重係数は設計条件による。DFF と材料係数は DNVGL-ST-0164 に準じる	25 年間の設計寿命の URS 要求に構造が合致していることを示すため	分析

<p>設計は設計寿命中 ULS と ALS のサバイバルロードに耐えねばならない</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 構造は弾性構造でなくてはならない。プラスチックは閉塞区域で幾何学的特異形状あるいは境界条件での歪みを許容せねばならない。</li> <li>- 全溶接長の 75%の検査を行わなければならない。ベース材料の弾性を維持していなければならない</li> <li>- 鋼材の総歪みは 5%以下でなくてはならない</li> <li>- 荷重係数は設計条件による。材料係数は DNVGL-ST-0164 に準じる</li> </ul>	<p>ある部分のプラスチックの変形はサバイバルロード下で許容される。この様な荷重はしばしば発生するものではなくプラスチックの変形が拡散するリスクはない</p>	<p>分析</p>
<p>設計には運転中、疲労とサバイバルロードケースで発電機と SSB の最悪のミスアライメントを想定しなければならない</p>	<p>構造が製造上達成可能な許容範囲と合致していることを確認するため</p>	<p>分析</p>
<p>発電機は運転前と運転中に TCC を支持し構造の完全性を維持しなくてはならない</p>	<p>発電機の損傷を避け TCC を支持するため</p>	<p>分析</p>
<p>構造は組立て時、輸送時、保守作業中の荷重に対してその完全性を維持しなくてはならない</p>	<p>発電機の損傷を避け組立て作業に対応するため</p>	<p>分析/検査</p>
<p>発電機は最低 25 年の設計寿命を持たねばならない</p>	<p>保守と寿命要求による</p>	<p>分析</p>
<p>発電機は最低 5 年間の目標定期修理期間を持たねばならない</p>	<p>保守と寿命要求による</p>	<p>分析</p>
<p>保守作業時に発電機の取り外し（エンドキャップ取り外し時に留め金に損傷がないこと）、エンドキャップの分割、ローターの取り外し、ベアリングの取り外しとそれらの再取り付けが出来る様にしなければならない</p>	<p>定期補修時にベアリングの取り外しが出来る様にするため</p>	<p>分析</p>
<p>発電機は陸上での目標補修期間が最長で 21 日でなくてはならない</p>	<p>操業ロス 1%に相当</p>	<p>分析</p>
<p>発電機設計は 20 回までの海上輸送を想定しなくてはならない</p>	<p>25 年の設計寿命期間内のサイトと工場間輸送を想定（URS maintenance and life）</p>	<p>分析</p>

ULS : Ultimate Limit State

ALS : Accidental Limit State

FLS : Fatigue Limit State

### 発電機構成部品図

各種構成部品の図面は次ページ以降に示すが、図 5.2-2 にて各構成部品の位置を示す。

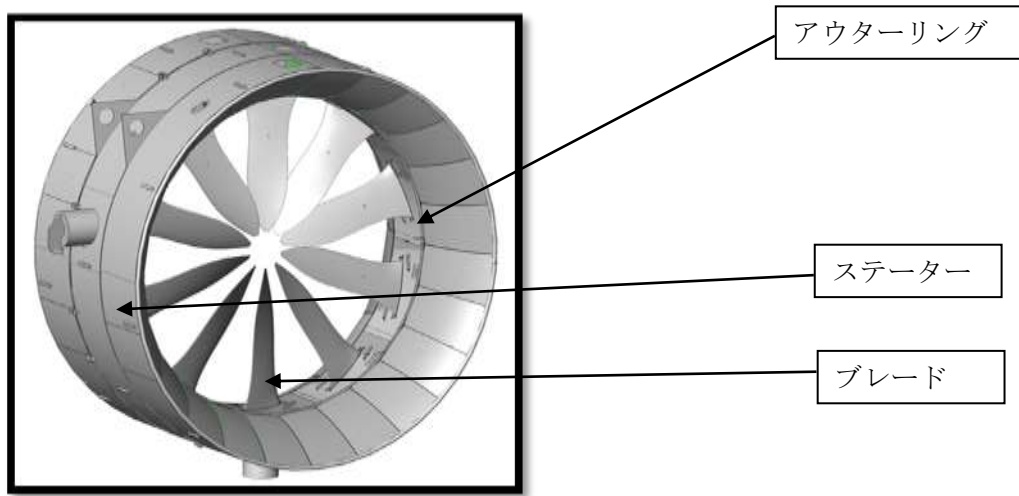


図 5.2-2 発電機本体図面

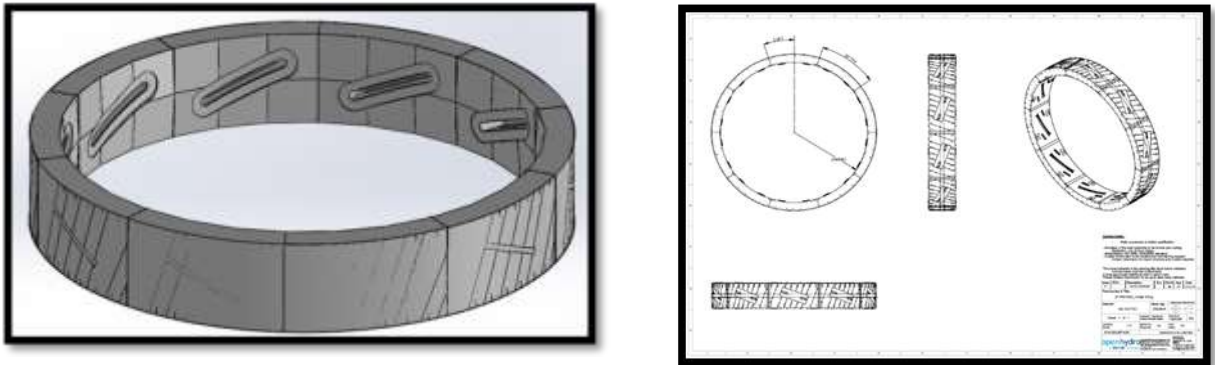


図 5.2-3 アウターリング組立て図

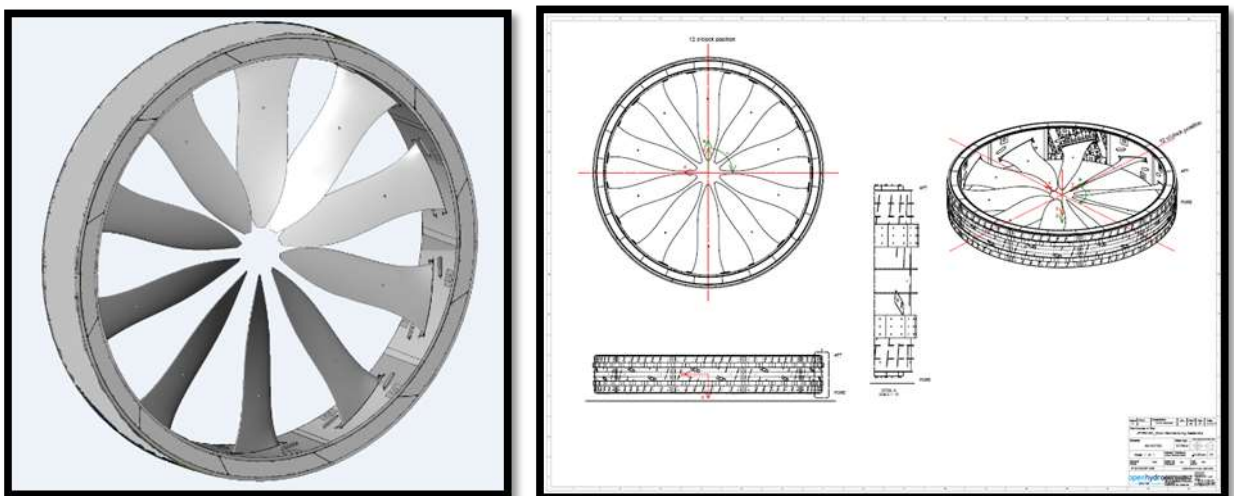


図 5.2-4 ブレード取付け後のアウターリング組立て図

## 海底基礎構造 (SSB)

海底基礎構造の機能は発電機を支え運転中の安定性を維持することである。また、設置工事中の設置台船とリフティング機構を考慮し設計されている。海底基礎構造の脚部は岩質の海底面に設置するための特殊な“突き刺し”構造となっており、強い潮流の中でも転倒や滑動しないようになっている。この“突き刺し”構造は砂質海底でも発電システムの沈下を防止することも可能となる。海底基礎構造の安定性は、最も強い下げ潮の際に発電システムの転倒や滑動を防止する。

## 海底基礎構造設計の変遷

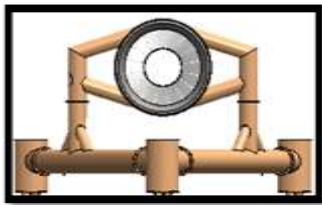


図 5.2-5 EMEC でのダミー発電機用海底基礎

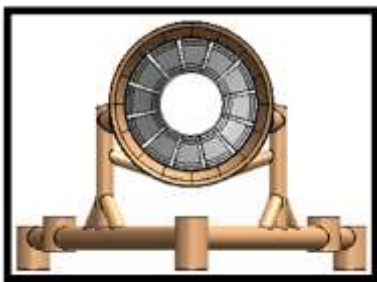


図 5.2-6 カナダ・ファンディー湾での直径 10m 発電機用海底基礎

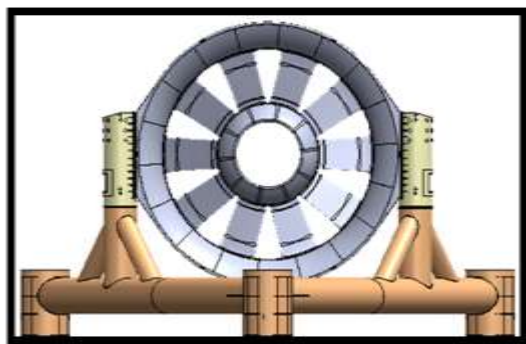


図 5.2-7 フランス・パンポール・ブレハットでの直径 16m 発電機用海底基礎

上記の過去の反復した海底基礎構造設計より学んだ教訓が図 5.2-8 に示す発電システム設計につながった。



海底基礎構造の設計上の留意点

表 5.2-4 海底基礎構造の設計上の留意点

設計上の留意点	根拠・目的	検証方法
基礎構造の設計は DNVGL-ST-0164 に基づく	システムの第三者認証を取得	分析
基礎構造の設計は第三者認証機関による認証を取得する	設計手法の確認を行う	分析
基礎部構造は重力式とする	設置と回収を容易にし、パイルは不要	分析
基礎構造は水深 40m まででの操業を可能としないといけない	想定される最深設置水深	分析
基礎構造の設計は最大で 2250 kg/m <sup>3</sup> のコンクリート・バラスト容量を想定	バラスト材が入手可能であることを確認	分析
基礎構造は設備（脚部を除く）と海底面（脚部スパイク先端まで）に最低 1.7m のクリアランスを維持しなければならない	設備が確実に脚部に乗りビームに触れないようにする	分析
基礎構造は台船のクロスビームと最低 4m のクリアランスを維持し、保持した状態で台船浮体部と 0.8m のクリアランスを維持し、下降時基礎構造上部と台船浮体部間で 1.4m のクリアランスを維持する様に設計しなければならない	基礎構造、台船と回収フレームを一体化したリフティングシステムとする	分析
基礎構造は台船と回収フレームを繋ぐ 3 点の吊下げ点を持たねばならない	サイトへの輸送を容易にする	分析
基礎構造の突出した特徴として台船と回収フレームの境界線を考慮しなければならない。（お互いが干渉・衝突してはならない）	基礎構造、台船と回収フレームは一体化したリフティングシステムとして関係のとれた操業を行う	分析
基礎構造はトラニオン機構とピンの受け部を持たねばならない	発電機との統合を容易にする	分析
基礎構造は設計条件の外力を受けても転倒しない様にしなければならない	発電機を支持する	分析
基礎構造は設計条件の外力を受けても滑動しない様にしなければならない	発電機を支持する	分析
基礎構造は海底の最大斜度 5 度まで安定していなければならない	海底面の不確定要素に対応する	分析
基礎構造は最大 0.5m の高低差でも安定していなければならない（海底面斜度の最大許容範囲に加えて）	海底面の不確定要素に対応する	分析
爪機構は実証サイトの地質条件に適していなければならない	海底面の不確定要素を最小化し広く対応できる様にする	分析
基礎構造は空中にて自重をうけても構造の完全性を保持しなくてはならない	構造の破損を避ける	分析
基礎構造は空中にて基礎構造、バラストと発電機の構造の完全性を保持しなくてはならない	発電システムの破損を避ける	分析

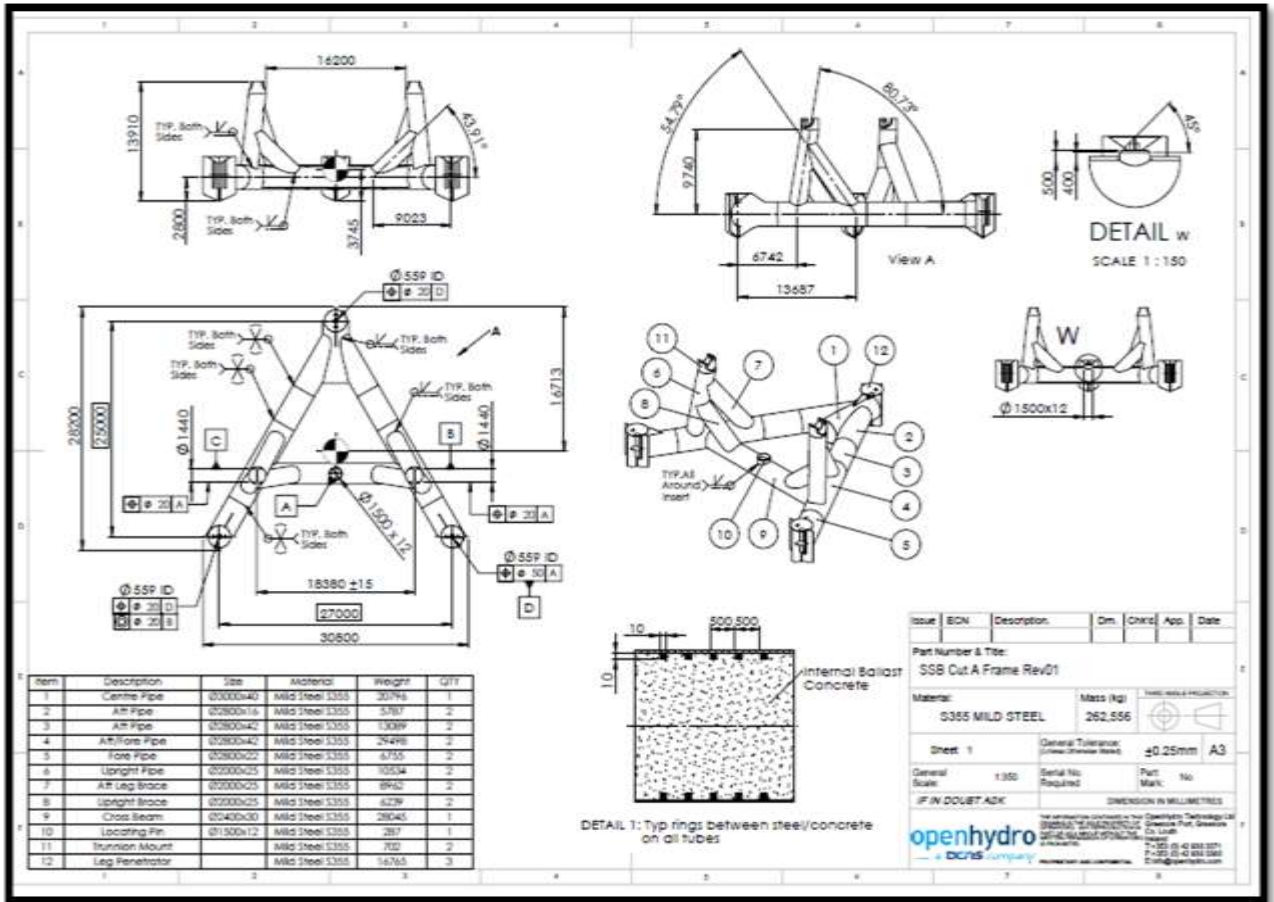


図 5.2-8 奈留瀬戸向け発電システム用基礎初期設計



### タービン・コントロールセンター (TCC)

発電機から出力される電気は流速により常に変動するため、タービン・コントロールセンターの機能は、電力会社の系統連系線及び家庭、工場等最終需要家が必要とする電力の品質を一定に維持することである。



図 5.2-9 圧力容器に格納される Cape Sharp 用タービン・コントロールセンター

本事業のタービン・コントロールセンターはフランスとカナダでの発電システムからの改善点を含んでいる。改善点を以下に示す。

- ・海水温度の高い奈留瀬戸に対応する改良型冷却システム
- ・製作と組立て効率を向上するための最適化レイアウト
- ・各種効率改善

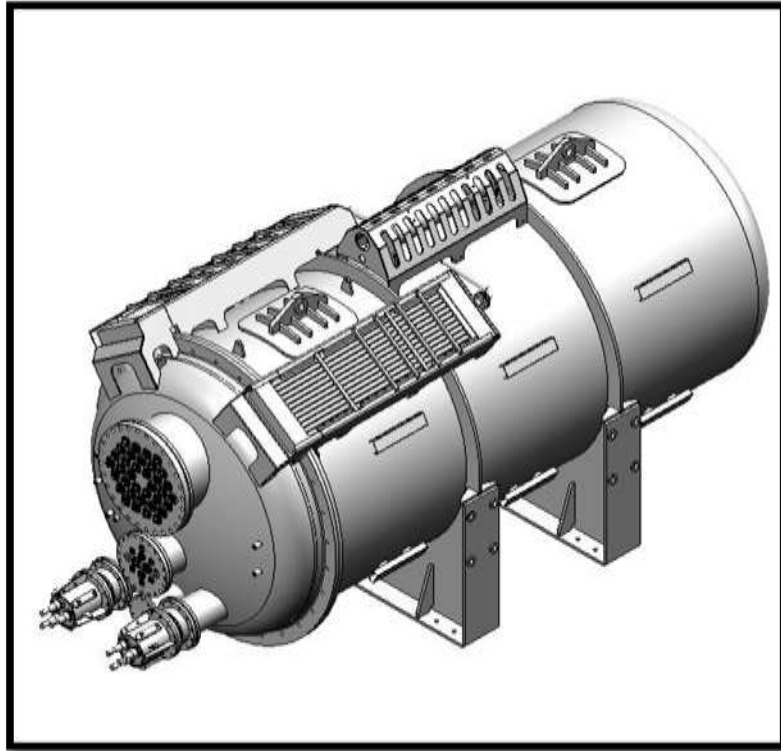


図 5.2-10 TCC の概観

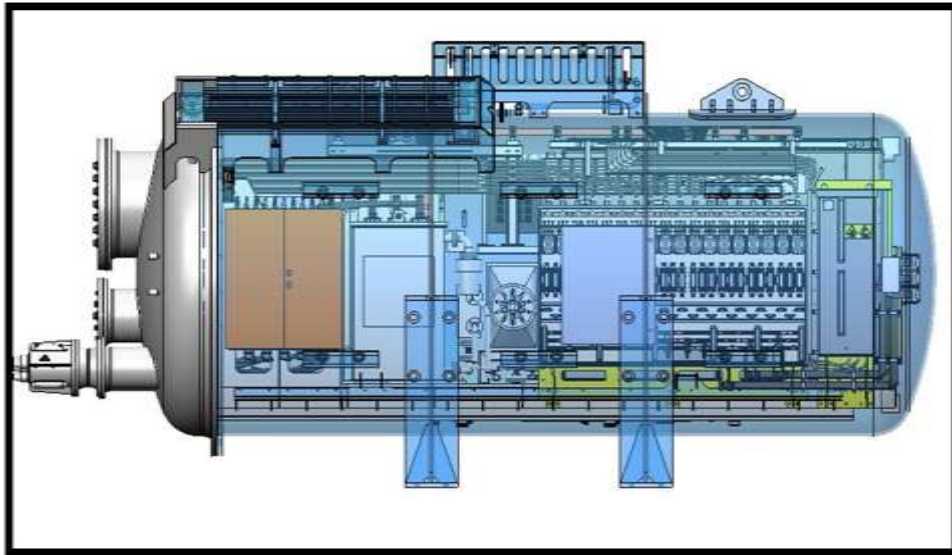


図 5.2-11 TCC の内部機器の配置図

### ケーブル端部とコネクタ

ケーブル端部 (Cable Tail) の機能はタービン・コントロールセンターよりの電気を海底送電ケーブル経由陸上の変電所に送電するものである。ケーブル端部はタービン・コントロールセンターとの接続に始まり、発電機外側と海底基礎構造に沿って設置され、海底にて耐久性が高く防水性のあるコネクタに接続され海底ケーブルに繋がる。ケーブル端部は発電システムの全運転期間を通じて効率よく、かつ、ケーブル内固有の電力ロスを最小化している。図 5. 2-12 ではケーブル端部と TCC の接続を示す。

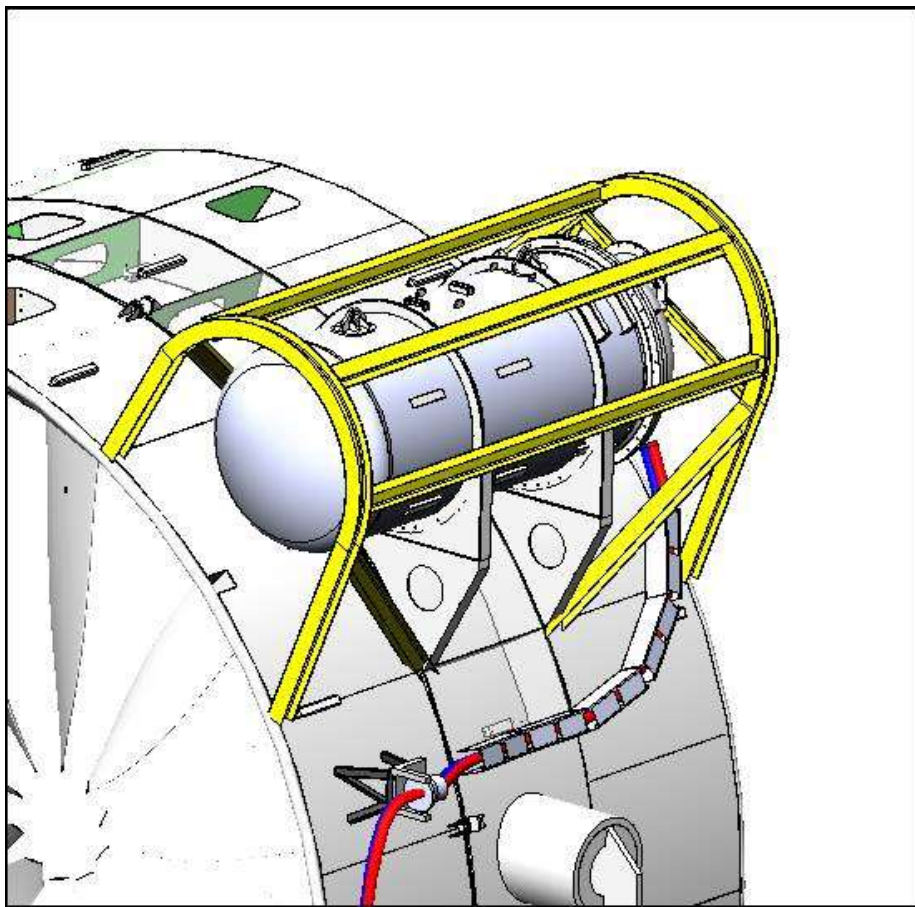


図 5. 2-12 タービン・コントロールセンターに繋がったケーブル端部と保護フレーム  
(黄色の部分が保護フレーム)

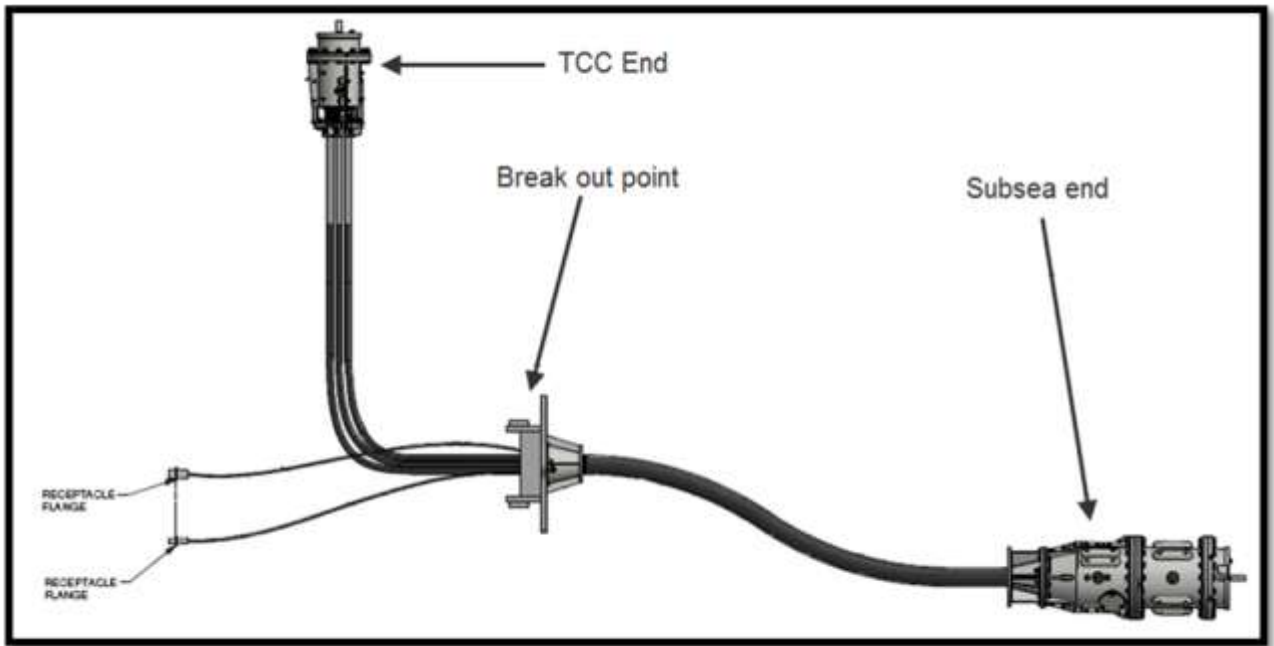


図 5.2-13 ケーブル端部とコネクタ

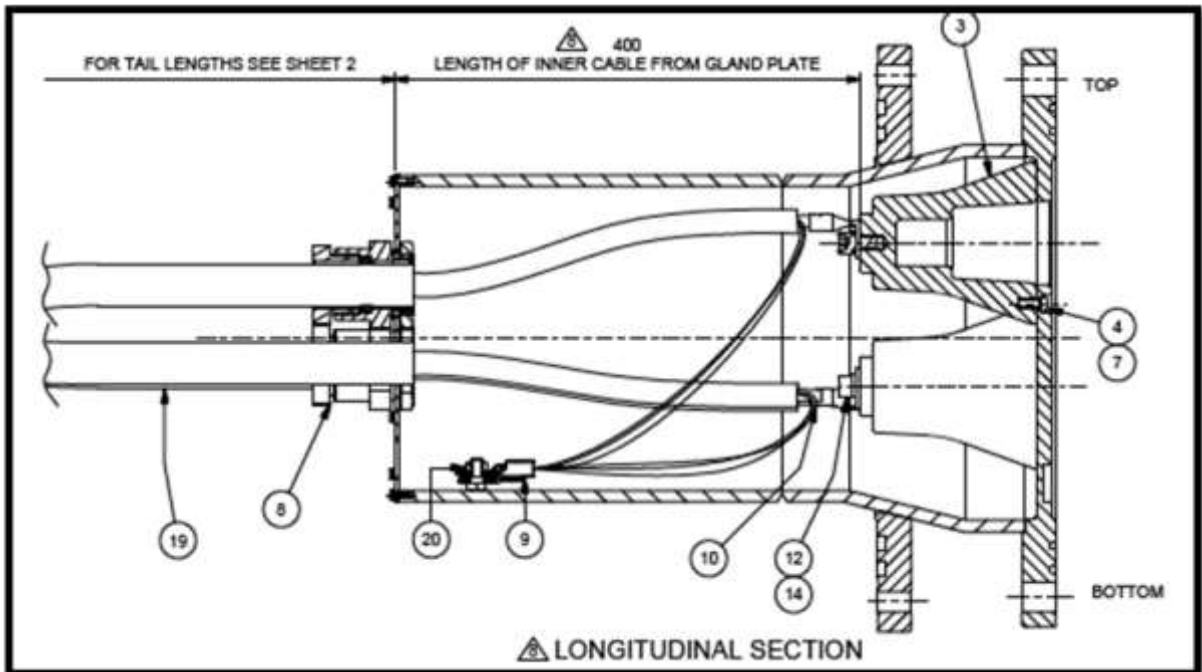


図 5.2-14 ケーブル・コネクタ

## 本事業で作成した設計図書リスト

### 1) 発電機システム

- System Specification
- TCC Design
  - Functional Design Specification
  - FMIRR
  - TCC Single Line Diagram and Drawing
- Turbine Design
  - Functional Design Specification
  - FMIRR
  - Stator Design Documents
  - Rotor Design Documents
  - Generator Design Document
  - Bearing System and Journal System Design Document
  - Blade Design Documents
  - Blade Attachment Design Document
  - Export Cable and Connector Specification and Drawings

### 2) 海底基礎構造

- Preliminary Design Report
- Coating Requirement Documents
- FMIRR

### 3) 発電システム統合組立て/試験

- Mobilization/Deployment Study (Preliminary Method Statement)
- Barge/Winch/Recovery Frame Design (Marine Asset Specification)
- System Integration Study (Method Statement for Turbine/TCC/SSB Assembly, System Commissioning and System Testing)

## フランスとカナダでのプロジェクトの概要

本事業での発電システムは12年間にわたる試験と実証に基づき当初のオープンセンター発電機を改善して進化させたものである。

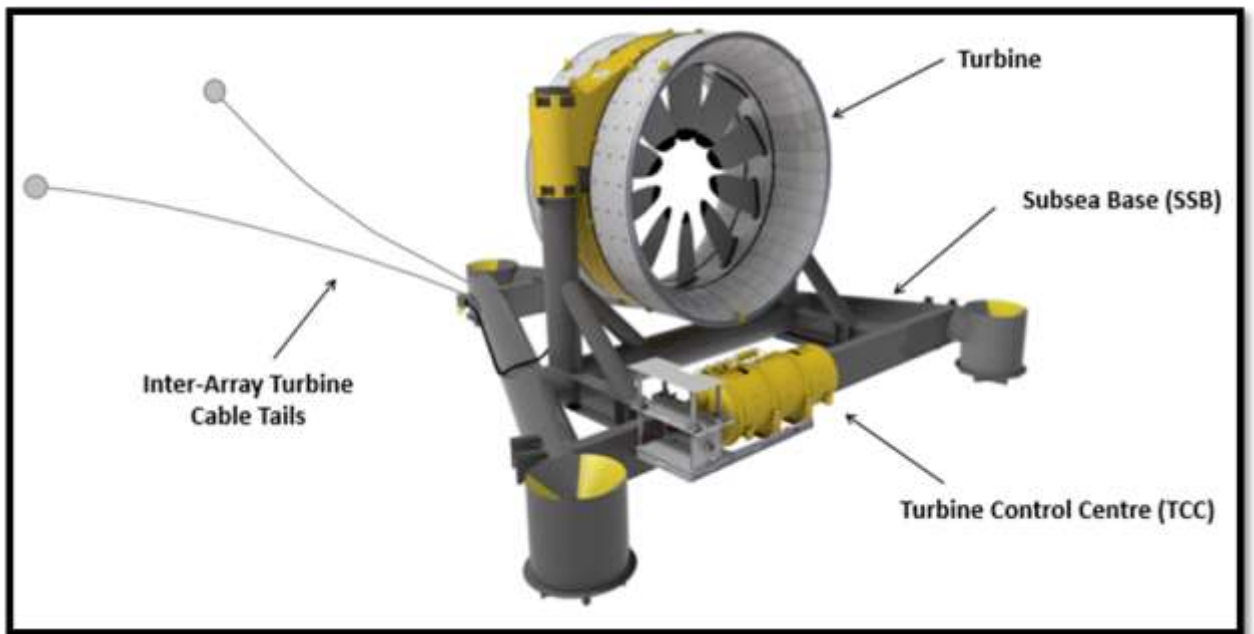


図 5.2-15 カナダでのプロジェクト用発電システム (イラスト)

上記図で示したフランスとカナダに設置済みの発電システムは継続して試験を行っており、データを既に収集しオープンハイドロ社技術陣によって分析が行われている。これらの発電システムより得られた知見により、技術陣は本事業の発電システムの設計に多くの改善を加えている。加えた改善については前段に記載したとおり。



## カナダ/Cape Sharp プロジェクト

本プロジェクトはオープン hidro 社と EMERA 社との合弁事業である。

オープン hidro 社の所掌範囲は：

- ・ 2 基の PS2 オープンセンター発電機システム (OCT03 と OCT04 と呼ぶ)  
 径 16m の発電機  
 海底基礎部  
 海底変電設備を含むタービン・コントロールセンター (TCC)  
 ケーブル端部 (Cable tails)
- ・ 発電システムの設置は特別に建造された設置船にて行われた



図 5.2-16 双胴設置台船にて輸送中の発電システム

本プロジェクト現在までに進行状況

- ・ 発電機を設置するファンディー湾は潮流の高エネルギーサイト
- ・ OCT04 は 2016 年 11 月 7 日に設置され、系統連系され 48 時間以内の送電を達成
- ・ OCT03 は 2017 年 9 月に設置予定
- ・ 設置以来 OCT04 は順調に稼働しており、オープン hidro 社技術陣によりモニターされている

## フランス/Paimpol-Brehat プロジェクト

本件の事業者はフランスの発電・ユーティリティー会社の EDF

オープン hidro社の所掌範囲は：

- ・ 2 基の径 16m PS2 オープンセンター発電機と海底基礎部（OCT01 と OCT02 と呼ぶ）
- ・ 発電システムの設置は特別に建造された設置船にて実施



図 5.2-17 双胴設置台船により輸送中の発電システム

## 本プロジェクトの現在まで進行状況

- ・ 発電機を設置した Paimpol-Brehat は潮流の低エネルギーサイト
- ・ OCT01 は 2016 年 1 月 20 日に設置
- ・ OCT02 は 2016 年 5 月 29 日に設置
- ・ 両オープンセンター発電機は連系され試験運転されている



### 5.3. 海底ケーブル及び陸上電気設備の検討

海底の潮流発電機より電力複合ケーブルにての揚陸接続手法と変電機器や配開閉装置、保護制御装置等の陸上電気設備を設置して、九州電力（株）の送電網に連系するための基本設計を実施した。

#### 5.3.1. 検討・設計条件

五島市奈留島での工事施工範囲

工事範囲について既設海底ケーブル（NTT・九州電力）ルート他周辺環境について、地元関係各社と協議し、候補1及びケース1を工事範囲とする。

図 5.3.1-1 に事業計画図を示す。



図 5.3.1-1 事業計画図

#### 基本設計（技術基準と関係法規）

電気事業法により、電気工作物はすべて技術基準通りに維持されなければならない。また維持基準としての技術基準はすべての電気工作物に関連するが、電気事業法ではそれ以外に経済産業大臣が電気工作物の工事計画の認可・届出をする場合の基準（法 47、第 48 条）として、また、使用前検査や立入検査をする場合の合格基準や改修命令基準（法第 49 条、第 107 条）としての性格を有している。したがって、経済産業省「電気設備に関する技術基準を定める省令」による「電気設備技術基準・解釈」に規定された要件を満たす基本設計とする。加えて同省資源エネルギー庁の「電力品質に係る系統連系技術要件ガイドライン」を遵守した基本設計とし、電力会社との連系協議で確認後、全体の工事計画を実施することとした。

潮流発電設備の系統連系区分について

奈留島には九州電力㈱の送配電設備として、九州本土から松島～奈良尾の連系線を介して五島列島を縦に縦断している 66kV の特別高圧線が通っている。また、九州電力（株）奈留変電所より降圧された 6.6kV の高圧配電線がある。海底ケーブル揚陸予定地の鈴の浦地区ではその 2 種類の送電網への連系が可能であることを考慮して基本設計を実施した。



図 5.3.1-2 事業計画図

出典：九州電力㈱HP

### 5.3.2. 海底ケーブルの検討

海底ケーブルルート・条長について

海底ケーブルのルートは発電機設置位置から鈴の浦揚陸地点に向かい海底傾斜地を通るセンターラインで、約1,500m程度とする。

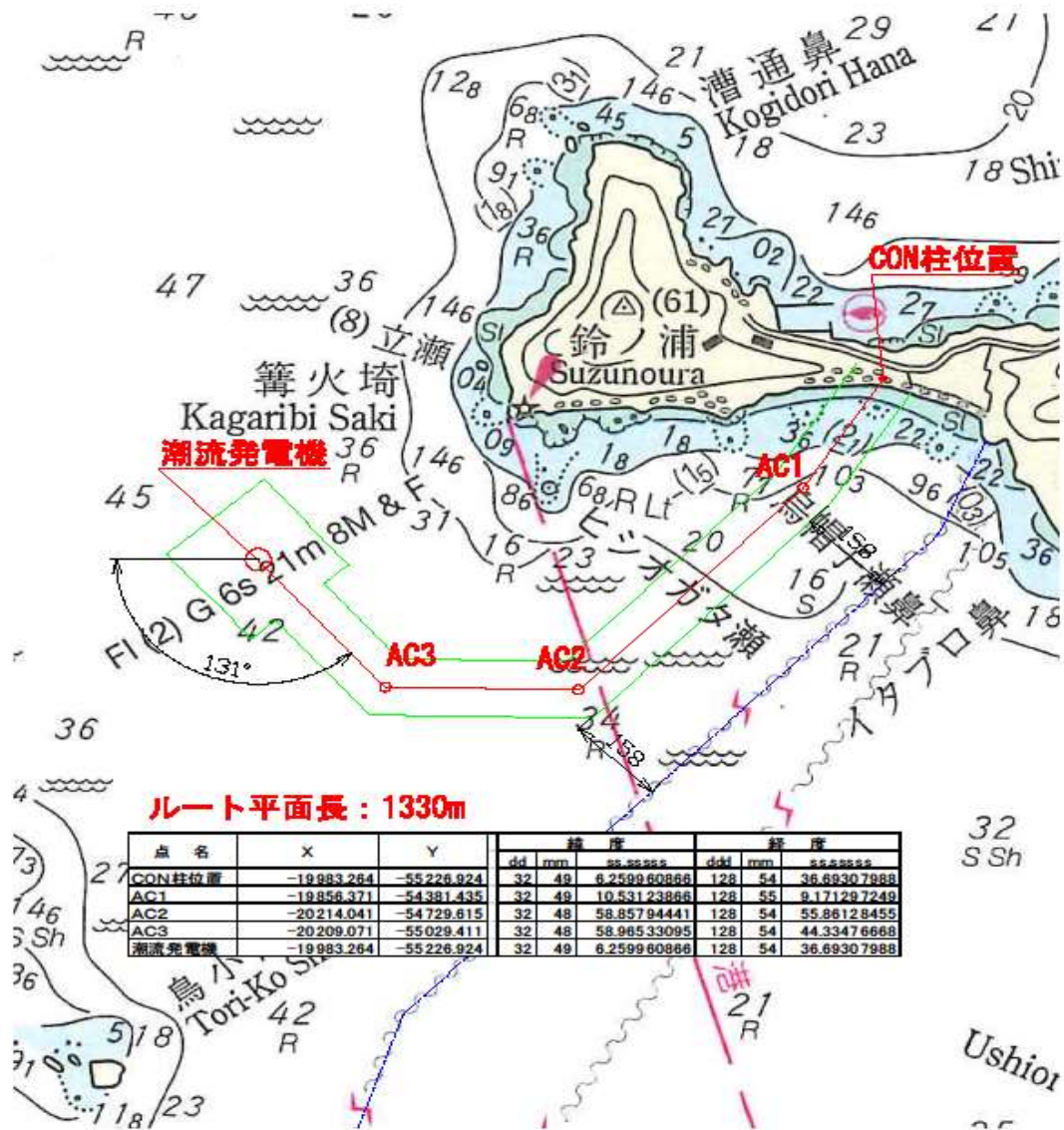


図 5.3.2-1 ケーブルルート図

具体的なケーブル布設ポイントについては、海底面の急な駆け上がり駆け下がり避け自然の谷部を活かした箇所を選定、また流速の早いところでは流れと並行に布設する等、詳細なケーブル布設箇所については本年度実施した海底面土質調査・流速調査の各データ実績を基に、次年度においてダイバーによる目視調査・最終調査結果を得て、防護管の取付位置と海際埋設ルート等を決定する。図 5.3.2-2 にケーブル布設ルートの水深図を示す。

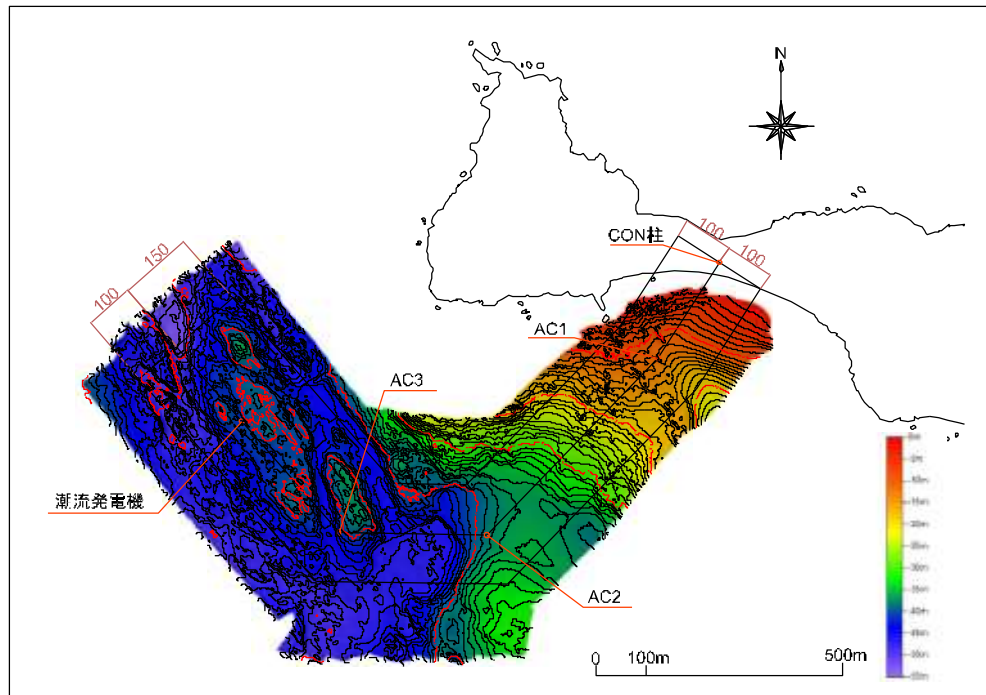


図 5.3.2-2 水深図

#### ケーブルの種類について

海底ケーブルの外装については深海部で使用する無外装ケーブルと外装を被せた比較的浅い海で使用されるケーブルとに大別される。浅い海で利用されるケーブルをより強固にしているのは、船舶往来時の投錨による外傷やサメ等の海洋生物の影響を受けやすいこと、また布設時のケーブルに加わる大きな張力や外力、布設後に岩石と潮流による摩耗等が想定されるためである。また、外装の品質については、五島海域にて既存電力会社、及び新電力会社の使用実績の調査結果を参考に電線製造メーカー技術部・工事部と協議・相談を重ねた結果、鋼製外装の種類や構造をWCLWA（水底用架橋ポリエチレン絶縁鉛被鉄線がい装ケーブル）とWCLWWA（水底用架橋ポリエチレン絶縁鉛被2重鉄線がい装ケーブル）の2種類に絞り込んだ。最終的に現地海洋環境・コスト・事業性を考慮して2重外装のWCLWWAを基本とするが、詳細は次年度決定する。



### 海底ケーブルの構造・仕様について

オープン hidro 社製の潮流発電機では、TCC（タービン・コントロールセンター）ユニットから出力される交流電力を送電する主回路・操作用補助電源・監視制御用通信線の複合ケーブルが必要となる。

### 5.3.3. 海底ケーブル工事について

鈴の浦地区防波堤前の海域には、小さなサンゴ域が確認されている。比較的浅い深度の海際に生息しており、ケーブルはそこを避けるルートで布設計画とする。透明度が高い海域のため、海上から海底ケーブルが目視できないように海底礫土・砂等を掘削し埋設する。測量時に確認した大潮期の干潮ラインを基準に計画する。海際より鈴の浦地区防波堤左端部のコンクリート部分は破碎掘削、躯体部はコア抜きにて貫通させる。その後、陸上電気設備設置箇所までの間は防護管に保護した直接埋設敷設方式とする。

### 海底ケーブル揚陸箇所について

現地調査にて防波堤左端部箇所を決定し、埋設にて防波堤下部をコア抜き、平坦地への埋設を行う計画図を作成した。防波堤下部のコア抜き工事に際しては、管理箇所である長崎県五島振興局の建設部・管理用地課と事前協議が必要となる。概要の計画は同管理箇所に説明済みである。図 5.3.3-1 に詳細を示す。

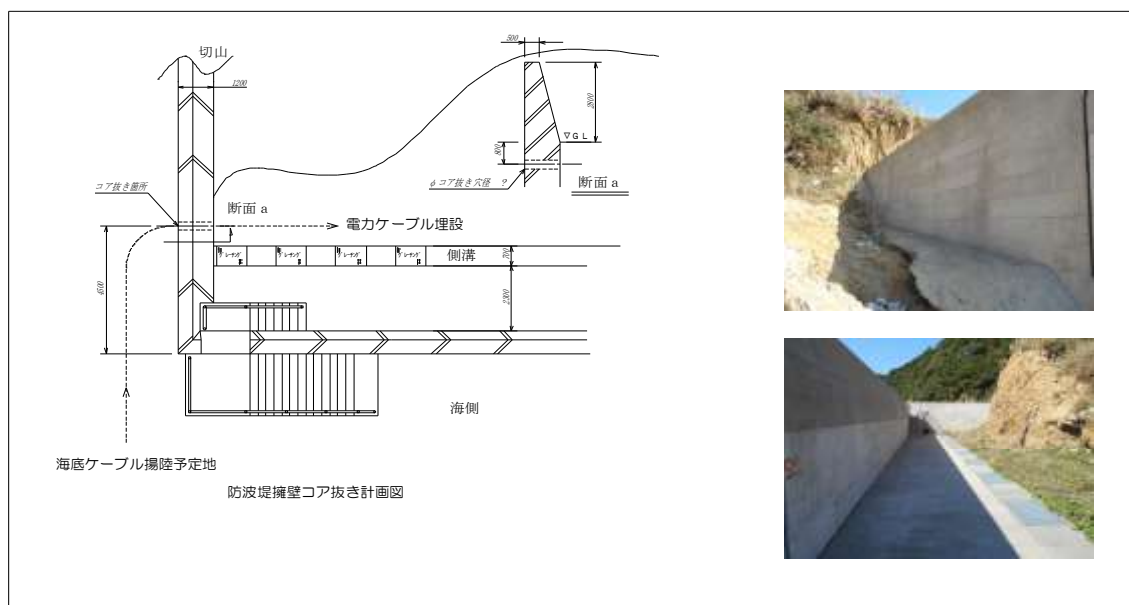


図 5.3.3-1 海底ケーブルの揚陸地点の計画図

### 5.3.4. 陸上用地の選定

#### 現地調査の実施

現地調査の結果、鈴の浦地区平坦地が発電機海底設置個所より最短距離であり、平成22年度の公共事業にて施工・整備された防波堤高さ2.9m（直線で約170mの長さ）に囲まれた漁業関係者の機材（漁網ほか）と住宅が分散する場所である。地元経済活動の中心である九州商船等の定期船航路の奈留港からは、車両にて15分程度で到着し、大型トラック等の建設資材を搬入出来る道路も確認した。海面から見て右側端部横には九州電力株の送電線2回線（海底ケーブル）が埋設されている箇所も確認した。また、同箇所は本事業の海底ケーブルの揚陸箇所としての掘削施工は、スペース的に不可と判断した。したがって、海底ケーブルの揚陸位置は防波堤左端部とする。防波堤下部を掘削、コア抜き施工にて陸上部に直接埋設立上げ計画とする。

#### 陸地及び海際ラインの測量

現地測量に際し、事前に地元自治会を始め関係各所に連絡・広報活動を行った。鈴の浦地区陸上部（防波堤内側の平坦地及び丘陵地）と海際地の測量を大潮期にあわせて実施した。また、立地担当者により地元住民へ鈴の浦平坦地の風況や台風接近時の状況等聞き取り調査を実施した。陸地においては基準点測量から開始し、地形地物分布等の測量を行い、数値地形データ（平面図及び断面図）を作成した。また、GPS搭載のドローンにて上空20m～40mより静止画像を撮影し、あわせて立体画像モデルを作成した。測量調査実績の一部である鈴の浦地区平面図を図5.3.4-1及び上空撮影写真1.2を示す

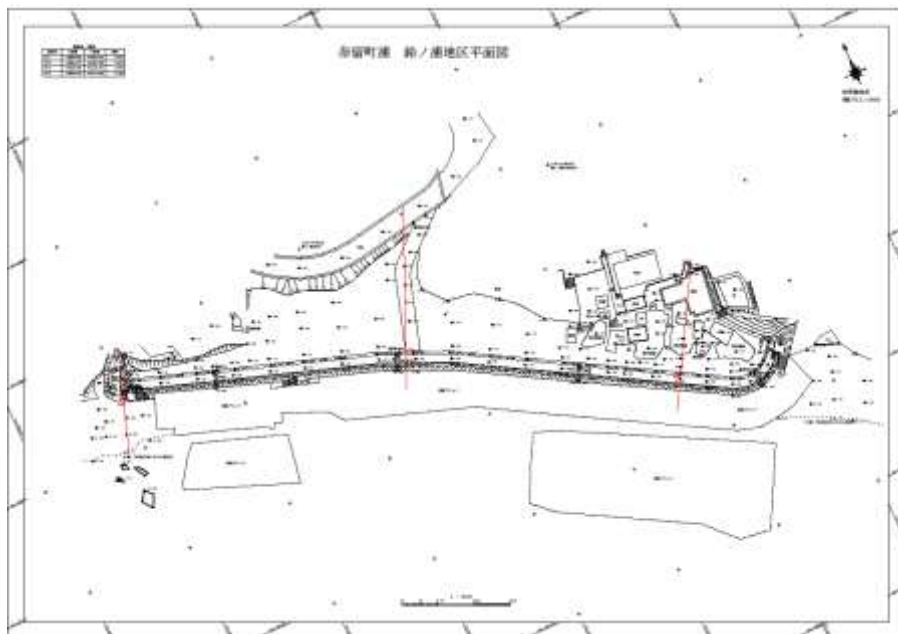


図 5.3.4-1 鈴の浦地区の平面図



上空撮影写真1（全景）



上空撮影写真2（右側）

### 5.3.5. 陸上電気設備の基本仕様について

各機器については塩害を考慮した汚損度は重耐塩仕様の屋外仕様を基本とする。また、鈴の浦地区の平坦地（海拔3.6m地域）は、地元住民による聞き取り調査にて荒天時特や台風接近時の波被害が予測される。屋外仕様機器にあわせて、建物で覆うことによって、潮かぶり等の直接的な塩害を防ぐ建屋内収納方式とする。

#### 変電設備（高圧配電線への連系）

連系に必要な技術要件を満たすには電気方式、発電出力の抑制等の共通事項の遵守と連系区分は「電力品質確保に係る系統連系技術要件ガイドライン」により、発電設備1設置当たりの電力容量が2,000kW未満の場合は高圧配電線に連系できる。したがって、本事業の発電機1基の設置では、高圧6,600Vへの変電所を設置計画する。また、単独運転検出装置や保護装置等を付属することで九州電力㈱に事前検討申込を行うことが可能となる。協議結果にて正式申込書提出、契約を経て配電線への接続となる。設置個所については海底ケーブルを揚陸後30m程度水平掘削埋設した箇所を予定計画地とする。（図5.3.5-1参照）防波堤の海側に消波ブロックが設置され、海上から吹き上げる直波を防ぐことが可能な範囲とする。変電所内に設置する電柱より鈴の浦地区九州電力㈱配置の電柱へ接続連系が可能である。予定地では変電所用に盛土又は掘削での整地が必要となる。参考として、候補地2についても図に示す。

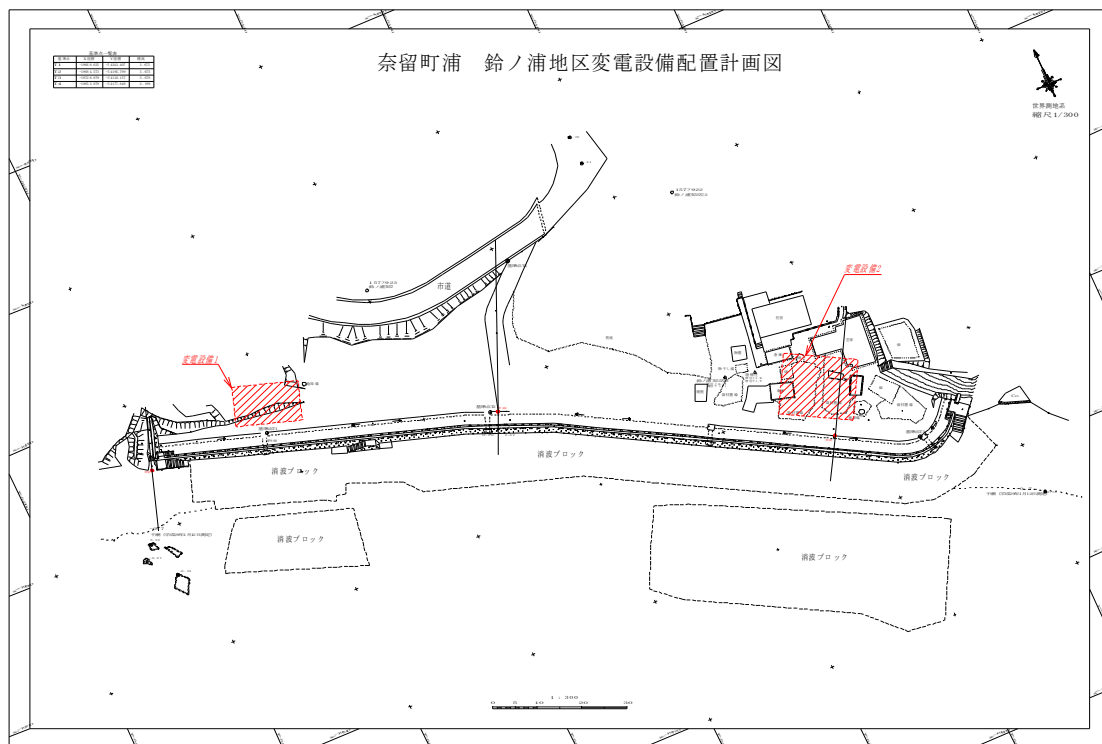


図 5.3.5-1



## 変電設備の概要

海底ケーブルを地中埋設箇所から変電所構内に引込む。グラウンドレベル（以下GL）下部にケーブルダクトを作成し、ダクト上に設置する接続盤にて主回路の接続を行う。主要変圧器（降圧用）の前後に遮断機を配置し、系統連系用遮断機・断路器・避雷器を設置する。その他変成器（PT、CT）類の計測器、単独運転検出装置・保護継電器・監視制御装置ほか電気盤（特別高圧仕様）の機器配置となる。接続盤内部構造については電力複合ケーブル端末処理技法、主回路と操作電源ケーブルとの離隔、通信ケーブル終端箱の配置等の詳細設計は電線メーカーとの協議検討が必要となる。あわせて、潮流発電機への操作用補助電源・制御用通信機器・PLCの配置が必要となるが詳細については次年度の設計とする。図 5.3.5-2 に高圧連系の単線結線図例を示す。

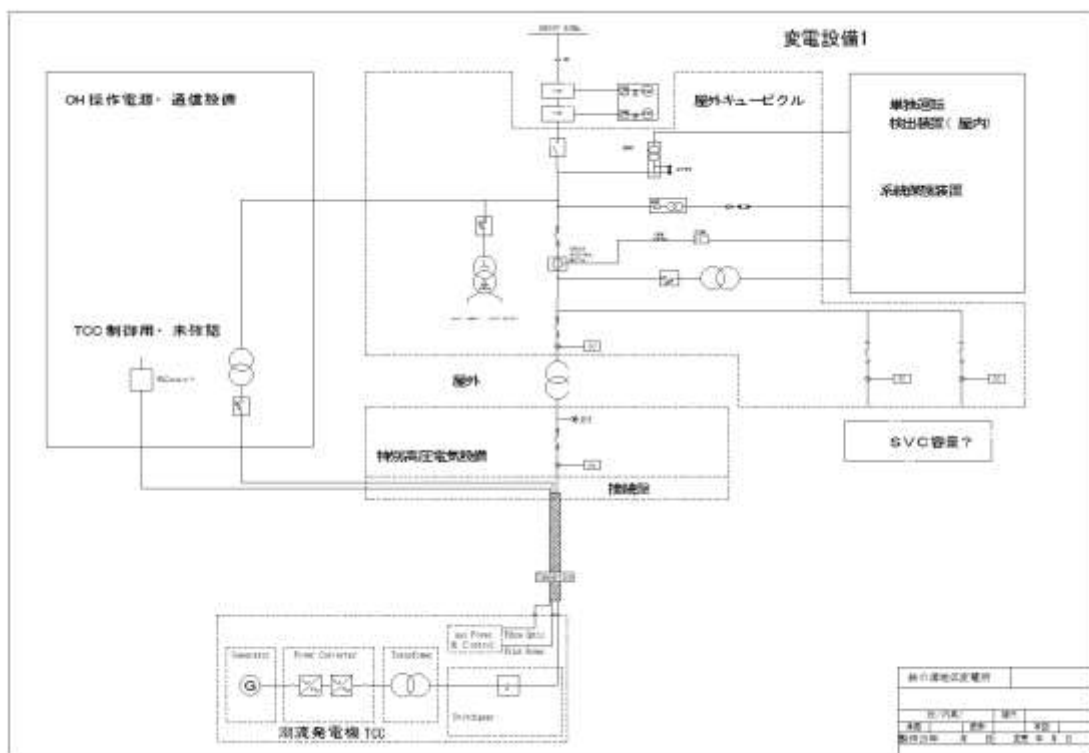


図 5.3.5-2

### 5.3.6. その他の関係設備について

#### 建屋について

変電設備（屋外仕様）を覆う建屋については鉄骨に外装を施した構造を基本とし、天井部には I 型鋼にギアローリーの取り付けほかメンテナンス用吊上げ装置を設置する。建築物としての消防法・関連法令を遵守した構造設計が別途必要である。また、変電設備とは別の発電機監視モニタリング設備等、間接機器の配置スペースが想定される。あわせて、工事工程においては主要変圧器等重量物の搬入工程も考慮した計画が必要である。

#### 関係設備と用地

本事業の電気設備建設工事には、工事用の仮設事務所のスペース、工事機材の仮置きスペース等間接工事用地も必要となる。さらに、本事業では地域共生の視点や自然環境の美化等広報活動を考慮した計画設計も必要と考える。また、本事業は我が国で初めての大規模潮流発電プロジェクトであるため、完成後には多くの見学者が予測される。そのため、見学者車両駐車場の確保と整備、電気的な危険標識表示とは別の看板類・地元奈留島への観光客招致メッセージの設置等、鈴の浦地区漁業者・自治会の理解を得るための施策を今後検討する。

## 5. 4. 施工工法及び施工台船の仕様の検討

潮流の速い海域における重量構造物の設置工事は世界的に見ても実績が少なく、奈留瀬戸の施工においても難易度の高い工事になることが予想される。本検討では潮流発電機を安全かつ確実に設置するための施工工法を確立するために、海洋工事で広く普及している起重機船のクレーンを用いた施工工法（以下、従来工法）に加えて、オープンハイドロ社が開発した双胴船にウインチを備えて施工する工法（以下、新工法）を対象として検討を実施した。

### （1）発電機及び基礎構造諸元

発電機は事前に基礎構造と一体化した後に海底に設置される。基礎構造は 3 点支持形式の重力式基礎構造であり、安定性向上を目的として管内にコンクリートを充填する予定である。また予め敷設しておいた海底ケーブルに接続するため、発電機には端部にケーブルコネクタを備えた 100~200m の短尺ケーブル（Cable Tail）を接続しておく。現在詳細設計中の発電機を含めた構造物の合計重量は気中重量で約 1,590 トン、水中重量で約 960 トンとなる見込みである。



図 5. 4-1 発電機全体イメージ（参考）

表 5. 4-1 施工アイテムの重量(参考)

	品目	気中重量	水中重量
1	発電機	280 トン	160 トン
2	TCC	50 トン	2 トン
3	基礎構造	360 トン	310 トン
4	コンクリート	900 トン	490 トン
	合計	1,590 トン	960 トン

注) TCC : タービン・コントロールセンター

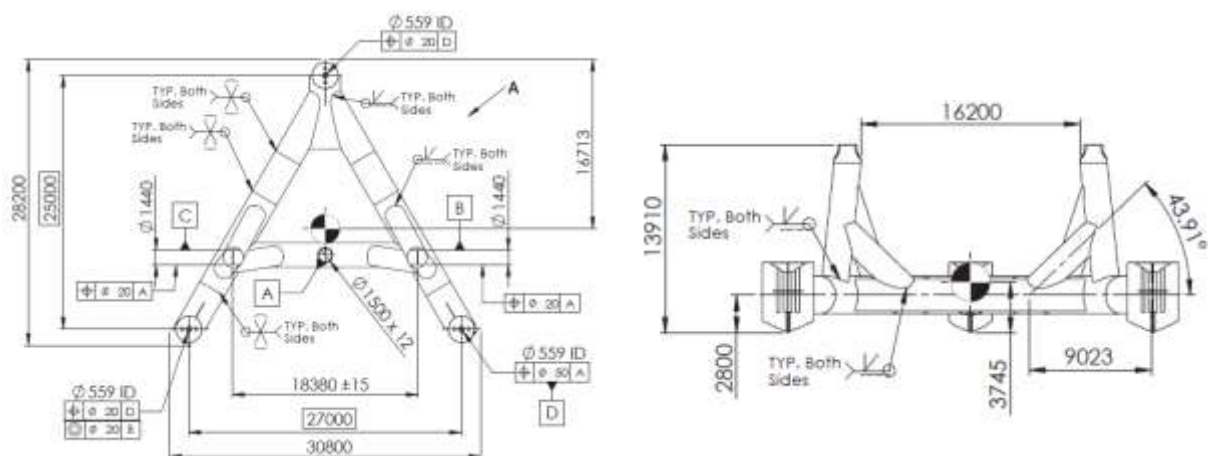


図 5. 4-2 基礎構造寸法（参考）

## (2) 発電機設置位置と海底面状況

奈留瀬戸における発電機設置位置近傍の海底地形図を図 5.4-1 に示す。設置位置は凸状の海底面の頂点付近であり、水深は約 40m である。設置位置一帯の海底面は岩が露出しており、一軸圧縮強度 100MPa 程度の十分な地耐力を有することが本年度の現地調査により確認されている。

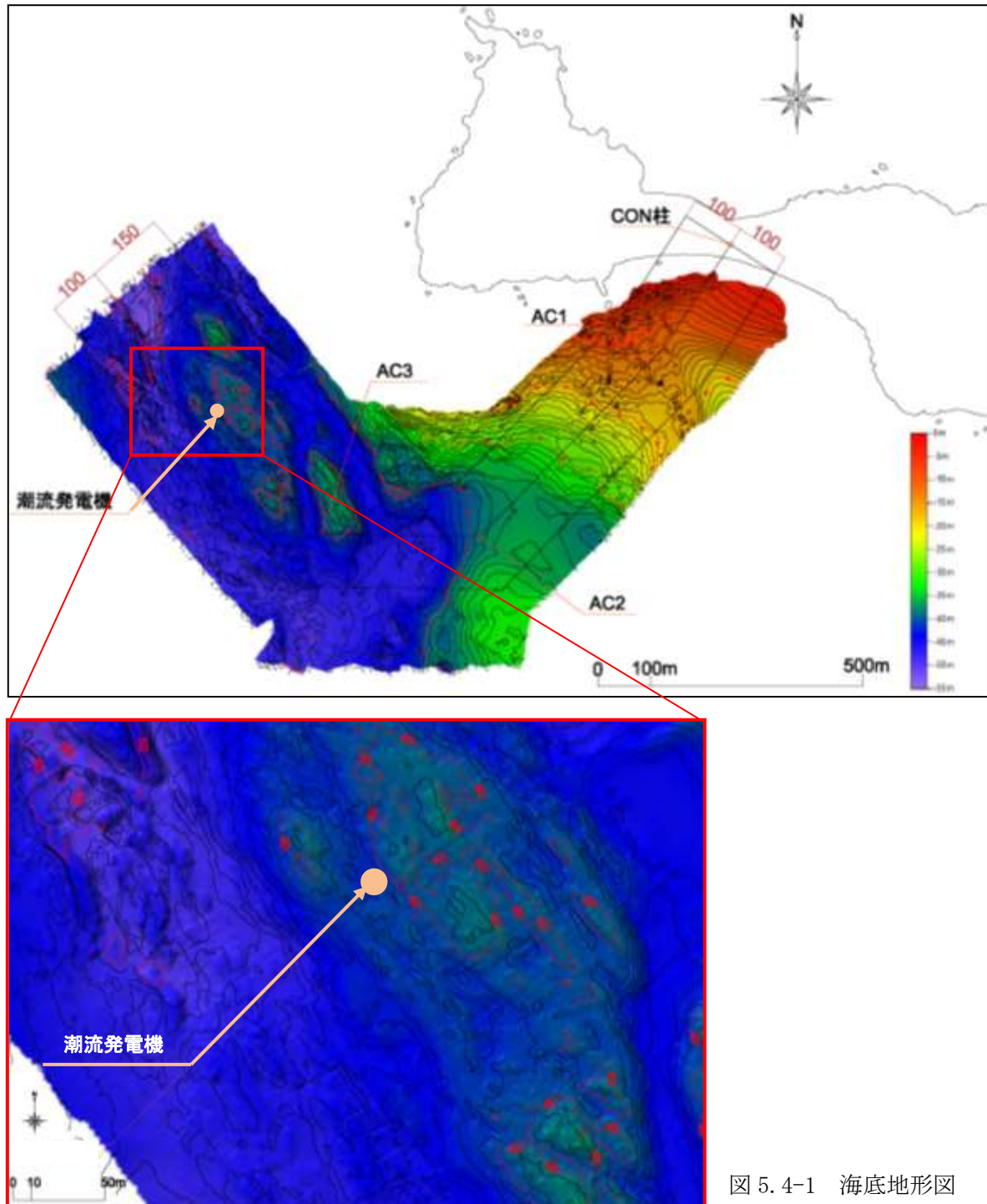


図 5.4-1 海底地形図

### 5.4.1. 従来工法

#### (1) 施工フロー

従来工法による発電機設置工事の施工フロー及び各作業の所要時間を表 5.4.1-1、作業実施海域を図 5.4.1-1 に示す。従来工法では、台船で輸送された発電機を設置位置付近の港内で起重機船で吊り上げる必要があり、ここでは福江港の使用を前提とした。発電機を吊り上げたまま起重機船を福江港から奈留瀬戸まで曳航し、起重機船を所定位置で係留した後に発電機を設置する手順となる。発電機の重量や福江港から奈留瀬戸までの曳航を勘案すると、吊能力2000トン程度の大型の起重機船を選定しなければならない。大型起重機船の一例として、全景及び仕様をそれぞれ図 5.4.1-2、図 5.4.1-3 に示す。

表 5.4.1-1 従来工法による施工フロー

番号	場所	所要時間	作業項目	作業内容
1	福江港内	120(分)	発電機本体を台船から吊上げ	・台船上の発電機本体を起重機船で吊上げる
2	福江港内 ～奈留瀬戸前面	120(分)	吊運搬	・吊上げ後、起重機船を奈留瀬戸南側まで曳船で曳航する
3	奈留瀬戸前面	-	仮係留・待機(潮待ち)	・奈留瀬戸南側の位置で仮係留し、待機(潮待ち)する
4	奈留瀬戸前面 ～設置位置	60(分)	吊運搬・進入	・仮係留を解除し、曳船で奈留瀬戸に進入する
5	奈留瀬戸設置位置	60(分)	係留	・アンカー／シンカー4基を打設する ・曳船4隻とアンカー／シンカー4基で位置保持係留を行う
6	奈留瀬戸設置位置	60(分)	位置決め・設置	・曳船と係留索の操作により位置決めを行う ・発電機を所定範囲の海底面へ設置する ・発電機と吊上げ装置を切り離す
7	奈留瀬戸設置位置	30(分)	ケーブル処理	・発電機側ケーブル端部にブイを取付け沈設する
8	奈留瀬戸設置位置	30(分)	係留解除	・係留索を解除する ・アンカー／シンカーを回収する
9	奈留瀬戸設置位置 ～奈留瀬戸前面	30(分)	出域	・曳船で現場から出域する

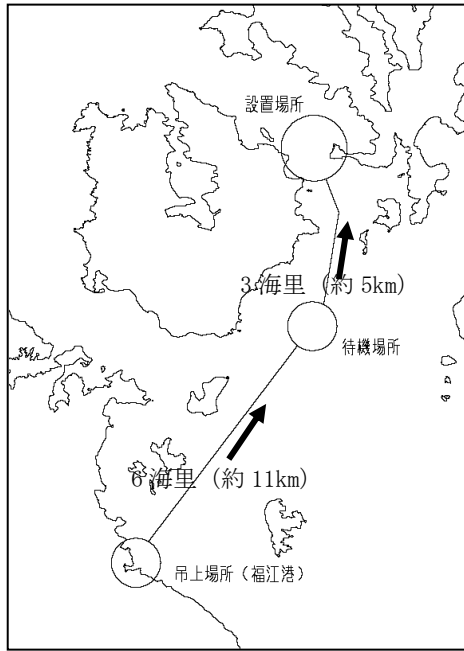


図 5.4.1-1 作業実施海域



図 5.4.1-2 起重機船 駿河 (深田サルベージ建設(株)保有)

駿 河  
SURUGA

船 長	90m00				主 卷 用	36t (双胴)×4台	
体 幅	41m00				起 伏 用	65t (双胴)×1台	
体 深	7m00				… 本 吊 用	10t×5台	
巻 揚 能 力	ジブ傾斜角度	65°	55°	45°	30°	呼 込 用	10t×2台
	定 格 荷 重	2,200t	1,200t	700t	300t	操 船 用	20t×6台
	揚 程 前フック	97m3	86m0	72m0	47m0	錨 用	30t×4台
	後フック	90m0	80m0	67m5	44m5	雑 用	5t×1台
張 出 距離	前フック	40m0	57m7	73m6	92m6	ウインドラス	30t (45t)×1台
	後フック	34m0	50m4	65m2	83m1		
巻 上 速 度	低速 1.3m/min		高速 3.9m/min				
フック間隔	前後 6m5		左右 6m5				
フック開角度	外側 20°		後方 15°				

注)揚程は定格負荷時、張出距離は軽負荷時を示す。

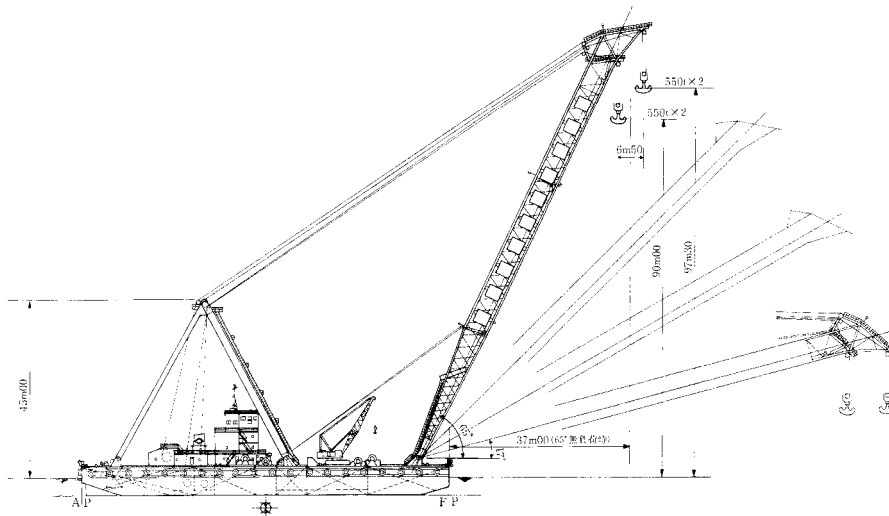


図 5.4.1-3 起重機船 駿河 (深田サルベージ建設(株)保有) 主要諸元

(2) 稼働率算出

・作業限界と係留方法

大型起重機船の作業限界は過去の作業実績に基づく経験値として、表 5.4.1-2 のように設定した。発電機を海底面に設置する作業及び発電機の短尺ケーブルを沈設する作業（表 5.4.1-2、番号 6、7）では精度の高い起重機船の位置保持が求められるため、潮流に対する許容値が低く、その作業限界は 1 knot (0.5m/s) となる。

起重機船の係留図を図 5.4.1-4 に示す。速い潮流への対策として 4 点のアンカー／シンカーの他、4 隻の曳船を用いた 8 点係留を想定した。

表 5.4.1-2 各作業項目で作業限界となる海象条件

番号	場所	所要時間	作業項目	海象条件			
				潮流	風速	有義波高	周期
1	福江港内	120 (分)	発電機本体を 台船から吊上げ	- (港内)	10m/s	0.5m	5秒
2	福江港内 ～奈留瀬戸前面	120 (分)	吊運搬	2Knots (1.0m/s)	10m/s	0.5m	6秒
3	奈留瀬戸前面	-	仮係留・待機(潮待ち)	2Knots (1.0m/s)	10m/s	1.0m	6秒
4	奈留瀬戸前面 ～設置位置	60 (分)	吊運搬・進入	2Knots (1.0m/s)	10m/s	0.5m	5秒
5	奈留瀬戸設置位置	60 (分)	係留	2Knots (1.0m/s)	10m/s	0.5m	5秒
6	奈留瀬戸設置位置	60 (分)	位置決め・設置	1Knots (0.5m/s)	10m/s	0.5m	5秒
7	奈留瀬戸設置位置	30 (分)	ケーブル処理	1Knots (0.5m/s)	10m/s	0.5m	5秒
8	奈留瀬戸設置位置	30 (分)	係留解除	2Knots (1.0m/s)	10m/s	0.5m	6秒
9	奈留瀬戸設置位置 ～奈留瀬戸前面	30 (分)	出域	2Knots (1.0m/s)	10m/s	0.5m	6秒

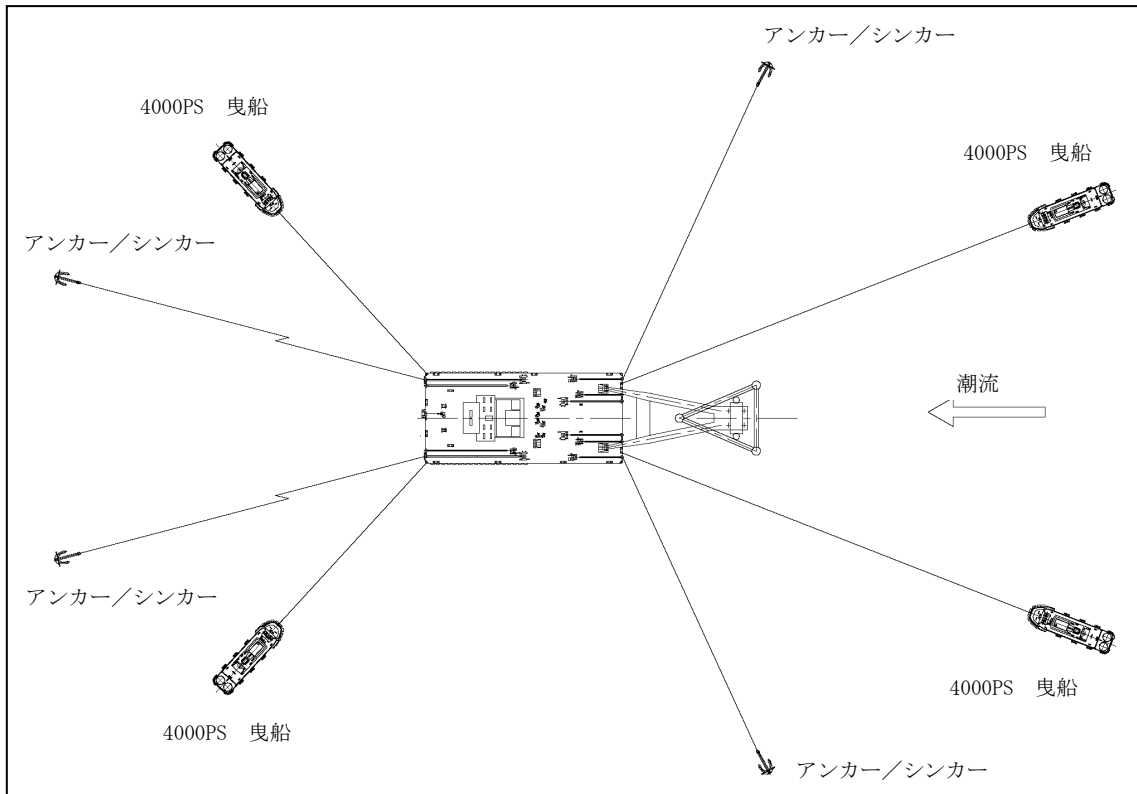


図 5.4.1-4 起重機船の係留図

- ・有義波高、周期及び風速の作業限界から求める稼働率

稼働率は、①国立研究開発法人のデータベース及び②国土交通省の港湾土木工事標準積算基準を用いて算出した。

①国立研究開発法人 海上技術安全研究所の統計解析データベース

日本気象協会が1日2回、緯度経度0.5度格子間隔で波浪推算を行った10年分の結果を用いて有義波高、有義波周期、卓越波高、平均風速、平均風向について海上技術安全研究所が統計解析を実施したデータベースである。「日本近海の波と風のデータベース」と呼ばれ、波浪情報網ナウファスによる実測データを適用できない海域での稼働率算出に多用される。本検討では、図5.4.1-5に示すとおり現場海域に最も近い海域区分である北緯32.5～33.0度、東経129.0～129.5度を選択した。

大型起重機船による作業では、表5.4.1-2のとおり、有義波高0.5m以下、周期5秒以下、風速10m/s以下が要求される。データベースから抽出した波高・風速及び波高・周期の頻度分布表から作業可能範囲の頻度数を合算し、全頻度数で除すことにより稼働率を求めた。



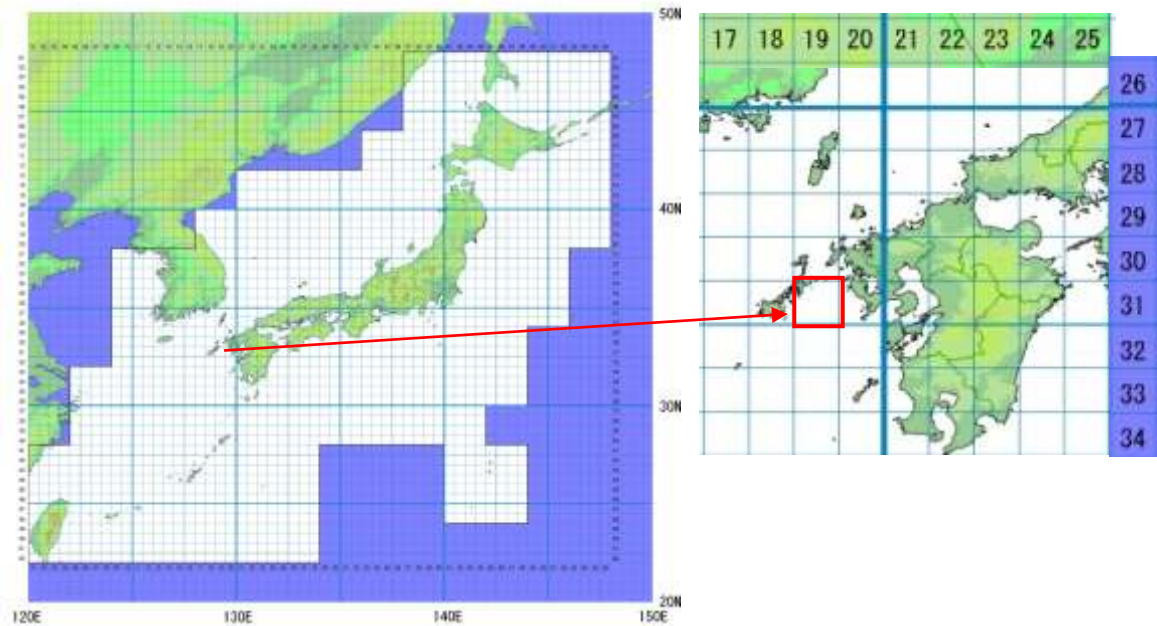


図 5. 4. 1-5 データベースの海域区分及び選定した海域

月別の稼働率の算出結果を表 5. 4. 1-3 に示す。年平均では約 25～35%、発電機の設置を予定している 4～5 月の平均では海象が穏やかになるものの約 30～40%という結果となった。

表 5. 4. 1-3 稼働率の算出結果

	①海技研データベース	
	稼働率 (%)	
	波高+風速 を考慮	波高+周期 を考慮
1月	27.7	25.4
2月	34.3	30.1
3月	33.8	30.4
4月	36.8	28.2
5月	47.1	33.8
6月	25.1	12.9
7月	20.9	10.8
8月	23.8	13.6
9月	39.2	27.4
10月	41.8	35.3
11月	39.4	32.7
12月	35.9	31.4
年平均	33.8	26.0
4、5月平均	42.0	31.0

## ②港湾土木工事標準積算基準書

港湾土木工事標準積算基準書によると、港湾において気象海象条件の厳しい海域となる主防波堤の工事では係数ランク 6 とみなされる（図 5.4.1-6）。発電機設置工事も波の遮蔽が見込めない海域であることから係数ランク 6 とみなす。係数ランク 6 は換算年間荒天日数 169～192 日と設定されていることから年平均稼働率は約 47～54%となる。

<参考例 1 同一港において、海象条件の大きく異なる複数海域で事業を実施している場合>

A海域：主防波堤の築造工事施工箇所は、当港の最も気象・海象条件の厳しい海域なので係数ランクは、別表-3に掲載されている「ランク 6」を採用する。

B海域：港の利用率を向上させるための、副防波堤の築造工事施工箇所は、半島の遮蔽域に当る海域で、推定の換算年間荒天日数は 100日なので、「ランク 3」を運用することとした。

C海域：岸壁築造工事施工箇所は、年間を通じて静穏な港内であり、留意事項の3)を適用し、「ランク 1」を採用する。



図 5.4.1-6 港湾工事における海域分類と係数ランク

・潮流速の作業限界から求める稼働率算出

次に潮流の流速に着目して稼働率を算出した。発電機を海底面に設置する作業及び発電機の短尺ケーブルを沈設する作業では潮流 1knot (0.5m/s) 以下かつ連続 90 分間の連続作業が必要となる (表 5.4.1-2、番号 6、7 参照)。

稼働率の算出は今年度観測した ADCP の潮流実測データから潮流 1knot (0.5m/s) の継続時間を推算して作業可否の判定を行った。推算の対象期間は発電機設置を計画している 2019 年 4、5 月とし、稼働率が大きく下がると想定される小潮期以外の潮回りは除外した。

当該期間における潮流 1knot (0.5m/s) 以下の継続時間を表 5.4.1-4 に示す。連続 90 分以上確保できる確率は 4 月が約 60%、5 月が約 50%となった。概略検討であることから、本検討では 50%という結果を採用することとし、月換算の稼働率を算出すると下記の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{稼働率 (\%)} &= \text{小潮期 3 日間} \times \text{月 2 回} / 30 \text{ 日} \times \text{小潮期に作業可能な確率 50\%} \\ &= 10\% \end{aligned}$$

表 5.4.1-4 潮流推算結果

(1) 2019年4月											
小潮期①						小潮期②					
	1日目	2日目	3日目			1日目	2日目	3日目			1:30以上
	4月11日	4月12日	4月13日			4月27日	4月28日	4月29日			
1回目	1:00	1:20	1:30			1回目	1:30	2:20	1:30		14回
2回目	1:10	1:40	2:00			2回目	1:50	1:50	1:30		58%
3回目	1:10	1:40	1:20			3回目	2:00	2:10	1:40		
4回目	1:10	1:20	1:20			4回目	1:30	1:20	1:10		
平均	1:23					平均	1:41				
(2) 2019年5月											
小潮期①						小潮期②					
	1日目	2日目	3日目			1日目	2日目	3日目			1:30以上
	5月11日	5月12日	5月13日			5月26日	5月27日	5月28日			
1回目	1:20	1:30	1:20			1回目	1:30	1:20	1:20		12回
2回目	1:40	1:40	1:20			2回目	1:50	1:30	1:20		50%
3回目	1:30	1:40	1:30			3回目	2:00	1:50	1:30		
4回目	1:10	1:10	1:00			4回目	1:20	1:20	1:10		
平均	1:24					平均	1:30				
: 施工可能											

・従来工法による稼働率算出のまとめ

本章では有義波高、周期及び風速に着目した稼働率、及び潮流速に着目した稼働率を算出した。両者は独立しているため、それぞれの数値を乗じた稼働率が実際の稼働率となる。両者を勘案した年平均稼働率及び現在想定している施工実施時期である 4、5 月の稼働率を表 5.4.1-5 に示す。結論として極めて低い稼働率であることが確認された。

表 5.4.1-5 稼働率の算出結果

	①海技研データベース		②土木工事標準積算基準書
	稼働率 (%)		
	波高+風速 を考慮	波高+周期 を考慮	波高その他を考慮
年平均稼働率	3.4	2.6	4.7~5.4
4、5月平均稼働率	4.2	3.1	-

### (3) 従来工法における稼働率向上対策

表 5.4.1-4 に示した通り潮流 1knot (0.5m/s) 以下で 90 分以上継続する潮回りは小潮期においても 50%に留まる。極めて低い稼働率は作業が限定される潮回りに起因しており、従来工法の稼働率を向上させるためには、潮流 1knot (0.5m/s) 以上でも作業が可能となるような対策を実施する必要がある。

潮流の作業限界は係留能力から定められており、係留能力を向上させるためには以下の対策が有効と考えられる。

- ・潮流に対する安定性向上には係留システムの能力向上が必須である。設置海域の海底面は前述の通り岩盤が露出しており、アンカー形状の工夫による把駐力増加は期待できない。そのため重力式の大型シンカーの使用が有効であり、大型シンカーの重量は経験上 100~200 トンが要求される。
- ・大型シンカーに対応する仕様とするために、係留ワイヤー、係留ウインチ及びワイヤーシープ等の能力を増強し、さらに係留ウインチやワイヤーシープを設置する架台の補強工事等を行う。また、一般的に係留ワイヤーには鋼製のワイヤーが用いられるが、係留ワイヤーへの張力導入時にシンカーへの鉛直上向き荷重の発生を防ぐため、大型シンカー根付け部の一部区間には重量増を目的として大型のチェーンを使用する。

大型シンカーを使用する場合は、発電機を吊り上げた起重機船が発電機設置海域へ進入する前に大型シンカーを海底に設置しておかなければならない。大型シンカーを事前設置するためには吊能力 500 トン級の起重機船が必要であり、本章において算出した稼働率を勘案すると、500 トン級の起重機船による大型シンカーの設置作業も極めて低い稼働率となることが推測される。加えて、起重機船と大型シンカーを接続するために係留システムを増強しなければならず、高力ウインチの搭載や船体補強等の起重機船自体の大規模な改修工事が必要となる。このように、施工期間や施工費用の観点から効果的な稼働率向上対策を見出すことができないため、従来工法による施工実現性は極めて低いと判断できる。

## 5.4.2. 新工法

### (1) 新工法概要

起重機船を用いた従来工法による施工では稼働率が極めて低く、また、効果的な稼働率向上対策を見出せないことを前項で述べた。これは国内のみならず潮流の早い海域での共通した懸念事項であり、稼働率の高い施工法の開発が欧米の潮流発電の普及・商業化に向けての喫緊の課題になっていた。オープン hidro社は、こうした状況を見越して施工法の開発を進めてきており、世界に先駆けて潮流発電向けの施工法の開発に成功している。図 5.4.2-1 に示すとおり、オープン hidro社が開発した新工法は、双胴船及びウインチを用いて施工する方法であり、大型クレーンを必要とせずアンカーやシンカー等の係留設備も不要であるため、潮流の速度による作業限界を大幅に緩和することができ、既にフランス及びカナダでのプロジェクトに適用している。

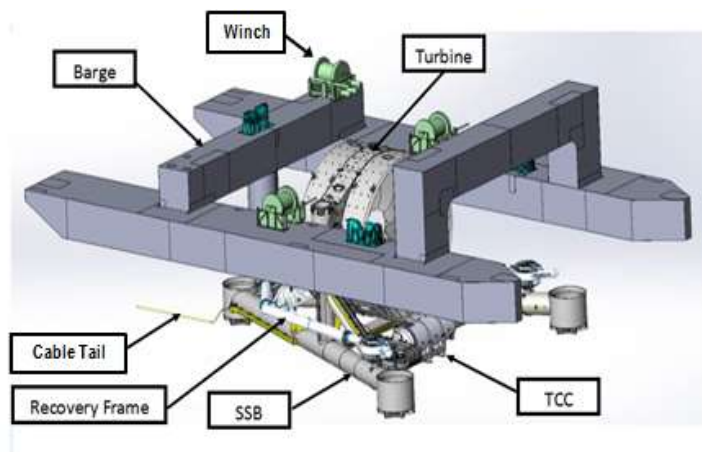
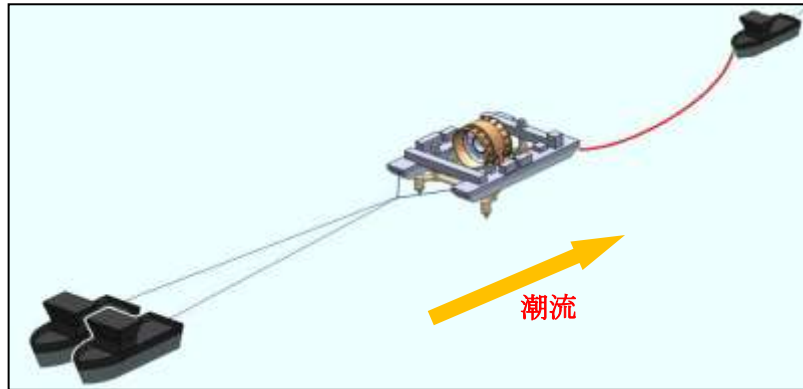


図 5.4.2-1 オープン hidro社が開発した新工法

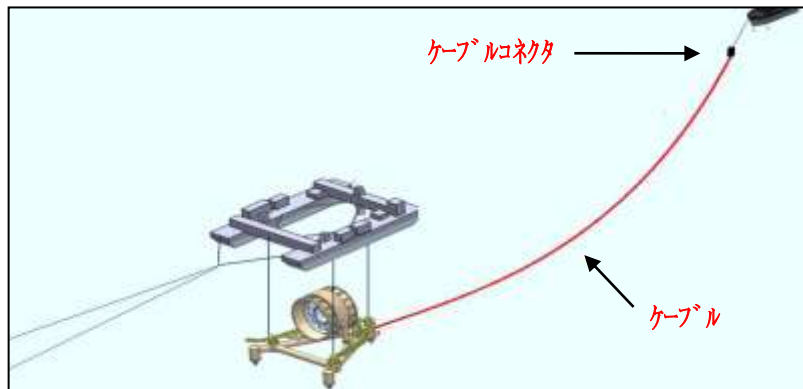
### (2) 新工法の施工フロー

新工法の施工手順を図 5.4.2-2 に示す。潮流発電機は 100m～200m 程度の短尺ケーブルが取り付けられた状態で設置場所まで曳航される。設置場所では、まず発電機の設置が行われ、次いで海底ケーブルの敷設が行われるが、海中での発電機の位置を正確に把握するためにリカバリーフレームと呼ばれる吊天秤に GPS を装備しておく。一連の据付作業が終了した後に、吊天秤を回収して設置作業は完了する。

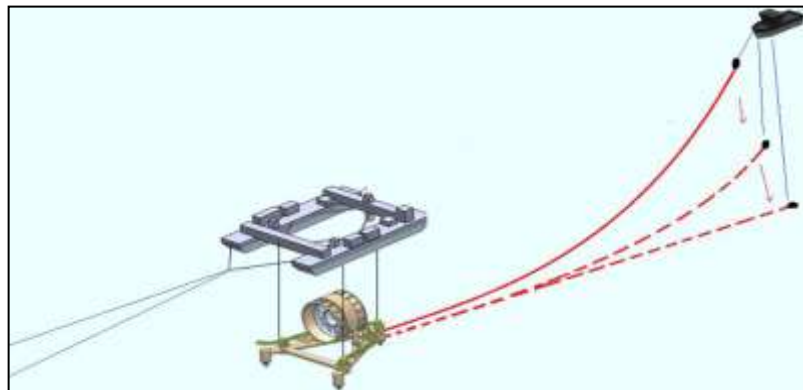
STEP-1  
潮流発電機曳航



STEP-2  
潮流発電機設置



STEP-3  
海底ケーブル及び  
短尺ケーブル・コネクタ  
敷設



STEP-4  
リカバリーフレーム  
(吊天秤) 回収

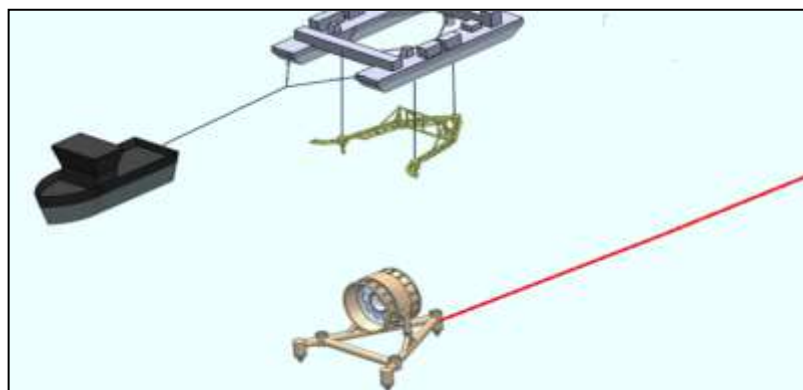


図 5. 4. 2-2 新工法の施工フロー



双胴船を用いた新工法は、施工時の優位性だけでなく試運転時にもメリットを享受できる。図 5. 4. 2-3 及び図 5. 4. 2-4 に示すように造船所のドックで潮流発電機と双胴船を一体化させ、その後、沖合いで発電機を海中に沈めて双胴船を曳航させることで、曳航速度つまり潮流速度に応じた発電量の確認を行うことができる。



図 5. 4. 2-3 双胴船と発電機の一体化（造船所ドック内）

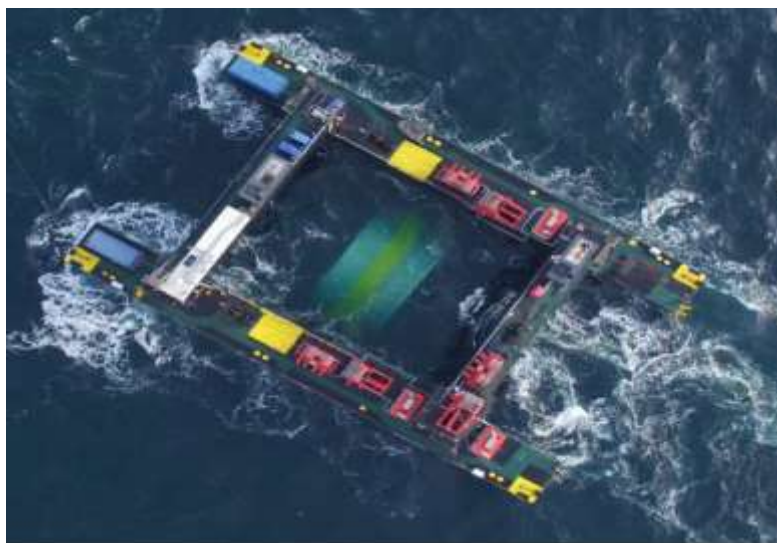


図 5. 4. 2-4 海中での試運転状況

### （3）新工法の国内特許調査

新工法の国内適用についての検討に先立ち、特許の取得状況について調査した。オープンハイドロ社は、欧州、米国及び日本で工法の基本特許を取得しており、2017年3月時点でのオープンハイドロ社の日本国内特許出願件数は33件、うち、審査請求を経て特許権を取得している件数は18件であった。特許権を取得した18件のうち、施工関連の特許は5件であり、表 5. 4. 2-1 にその概要を示す。いずれの特許も双胴船を使用して施工する際に必要となる技術要素を反映した内容であり、また、双胴船を用いた施工法に係る国内の類似特許は存在し



ないことを確認している。

表 5.4.2-1 オープン hidro 社の施工関連特許一覧

①特許番号、②発行日、③発明の名称、 ④技術分野	代表図
<p>①P5995866</p> <p>②2016. 9. 21</p> <p>③水力発電タービン試験方法</p> <p>④本発明は、タービンを通過する水の潮汐流をシミュレートすることにより、最終的に海底に配置する前にタービンを試験することができる水力発電タービン試験方法に関する。</p>	
<p>①P5358690</p> <p>②2013. 9. 6</p> <p>③水力発電タービン支持システム</p> <p>④本発明は、水力発電タービン支持システム、特に、海底でタービンを支持するベースと、タービン及びベースを配備サイトに輸送するために使用されるバッセルとの組合せに関し、多数の水上サイトから、たとえば、比較的浅い埠頭又は滑面から配備できるように設計される。</p>	<p style="text-align: right;"><b>Fig. 4</b></p>
<p>①P5347017</p> <p>②2013. 8. 23</p> <p>③改良されたタービンの設置方法</p> <p>④本発明は、海底等への水力発電タービンの設置の改良方法に関し、特に、水力発電タービンと、タービンにより発生する電力が供給される陸上発電所と、の間を接続する電力ケーブルの取り扱いを改良する方法に関する。</p>	

<p>①P5142412</p> <p>②2012. 11. 30</p> <p>③水中に設置される潮流用水力発電タービンの設置方法</p> <p>④本発明は、水力発電タービンを水底に設置する方法に関し、特に、この設置の前に、水力発電タービンをベースに予備設置可能とし、これにより、設置プロセスを大幅に簡素化する方法に関する。</p>	
<p>①P4981167</p> <p>②2012. 4. 27</p> <p>③水力発電タービンの配備システム及び方法</p> <p>④本発明は、水力発電タービン配備用システム及び方法に関し、特に、水力発電タービン及び連結されたベースの配備場所への輸送を大幅に簡素化し、さらに、その後のタービン及びベースの水底への配備を簡素化するシステム及び方法に関する。</p>	

#### (4) 新工法の特徴

新工法の特徴を以下に列記する。特に従来工法に比べて稼働率の大幅な改善が期待できることから、来年度以降は新工法に絞って施工検討を進めることとする。

- ・大型クレーンを使用せず、かつ、アンカーやシンカーを用いないことから、従来工法に比べて稼働率の大幅な向上が期待できる。
- ・双胴船の製作やウインチの新規手配等コスト増要因があるものの、結果として稼働率向上によるコストダウンが見込める。
- ・施工法がシンプルで、短時間施工が可能。潮止まりに左右されずに施工できる。
- ・双胴船は試運転時にも有効活用でき、発電機設置前に流速に応じた発電量の確認を行うことができる。

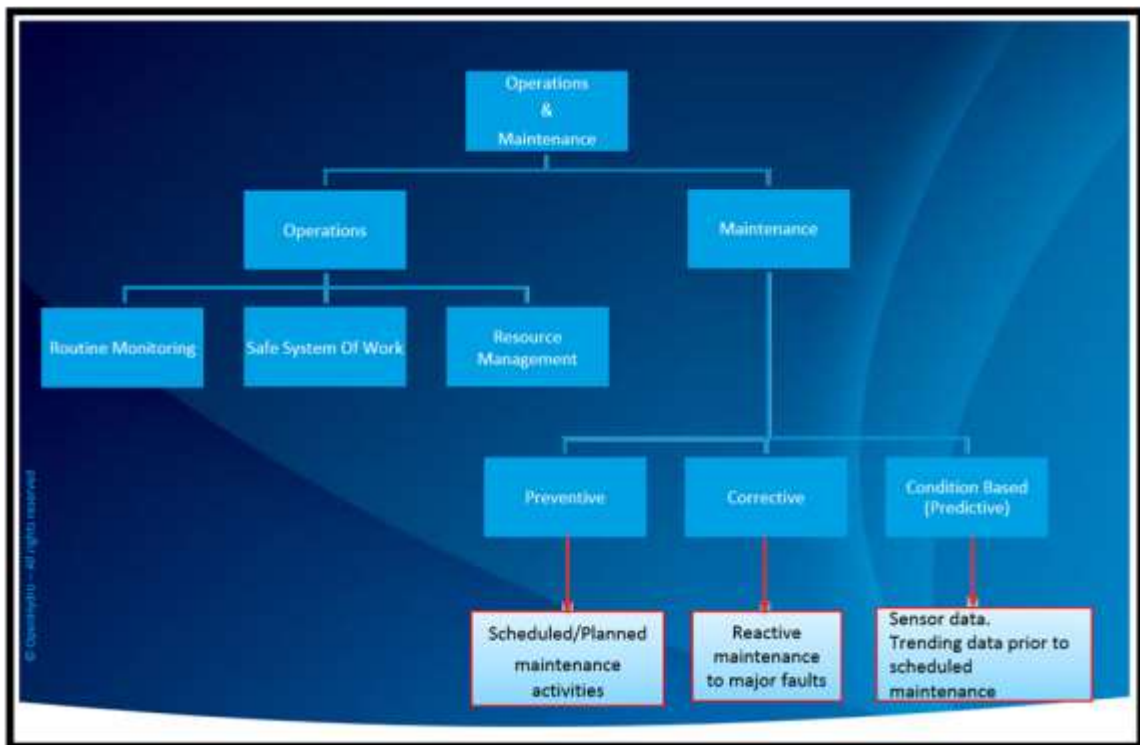
## 5.5. 保守管理に関する現行仕様の評価に基づく予防保全方法の検討

### 5.5.1. 運転・保守の基本方針

本事業のための詳細スケジュールと手法を含む運転・保守方針を策定しており、オープンハイドロ社と九電みらいエナジーは共同で日本での要求事項に合致した運転・保守方針策定し、これを発展させる計画である。

運転・保守に関する基本モデルを下記図 5.5.1-1 に示す。

図 5.5.1-1 運転・保守の基本モデル



## 運転

発電機の通常運転中の管理について以下に示す。

### 定期監視 (Routine Monitoring)

カスタマイズされた SCADA システムにより自動的に行われる。このシステムは発電システムの運転期間を通じて、全ての潮流サイクル、それぞれ特定の潮流サイクル及び毎分ごとの発電システムの完全な最適化と管理を行う。

### 作業安全システム (Safe System of Work)

常にいかなる運転条件でも発電機の近くにいる全ての関係者の安全が確保されなければならない。100%の安全レベルを保証するために、設置サイトのみならず全ての事務所内、運転・保守現場でも作業に関する厳格な手順と手法を定めている。

### 資源管理 (Resource Management)

先進的なアルゴリズム・ソフトウェアを活用して各サイトの潮流データ処理を行っている。このデータにより各潮流発電機が各潮流サイクルの全ての瞬間に最も効率よく発電するようにプログラムしている。これは強い上げ潮、弱い下げ潮及びその他中程度の潮流状態の全てにおいて発電機の稼働を最適化するのに必要となる。

### 保守 (Maintenance)

発電機の稼働時間を最大化するためには、全ての保守要求事項に対応する異なる保守計画を策定する必要がある。

### 予防／計画 (Preventive / Planned)

- ・ 定期計画的保守
- ・ 適切なアクションを決めるためのフローチャート
- ・ 岸壁あるいは陸上の O&M 設備で実施

### 予測 (Predictive)

- ・ 主要センサーによる連続的監視
- ・ 発電システム運転中の傾向データ取得
- ・ 定期保守前の保守工具の障害診断

### 是正・修理 (Corrective)

- ・ 主な不具合への対応型保守・修理
- ・ 色々なシナリオへ最も効果的対応を決定するフローチャート
- ・ 陸上の O&M 施設で実施

### 5.5.2. 運転・保守のシステム

オープン hidro社は現在フランスとカナダのプロジェクトで SCADA を利用したモニタリングシステムを運用している。本事業の SCADA システムはこれらをアップグレードしてシステム設計をする。これらのアップグレードはフランスとカナダでのシステム運用より得た知見と経験に基づき改善が行われるものである。

本事業の SCADA システムは現在開発中であり、日本仕様とのインターフェース対応を組み込むことし、システムの最終仕様は、下記の項目を含むものとする。

次年度以降、これらの項目を日本国内で遠隔で監視しながら、発電機の運転・保守を行う体制について検討していく。

- ・ 系統連系の状況
- ・ 陸上変電所の状況
- ・ 系統連系側保護リレーの状況
- ・ 変電所と電力会社間の通信シグナル
- ・ 連系された発電機の全体的状況
- ・ 発電機コントロール・システムの状況
- ・ パワーコンバーターの状況（系統連系側）
- ・ 開閉器の状況
- ・ 発電機の運転状況
- ・ システム・エラーメッセージ警報
- ・ 発電機の回転／不回転
- ・ 発電機の即時出力
- ・ 発電機出力管理－出力レベル管理

## 不具合監視

保守を必要とする事象を最小化することを目標にシステム設計を行っている。これにより高稼働率を維持し、プロジェクト期間を通して発電機の発電量を最大化することができ、運転員の業務を最小にした自動運転が可能となる。

また、SCADA 管理・監視システムは、遠隔からシステムへのアクセスを可能にし、潜水士等による物理的な検査なしに不具合の評価も可能となる。



図 5.2.2-1 オープンハイドロ社の予測保守ワークフロー

### 5.5.3. 本事業で設置予定のセンサー

発電機への環境影響をモニターし今後の保守・管理手法を検討するために、各センサーの設置計画を策定した。

表 5.5.3-1 奈留瀬戸向け発電機に設置予定のセンサー

センサー名	数	目的
ADCP	4	潮流密度（インプット）と発電量（アウトプット）を比較することで発電機の性能評価を行う
水中カメラ/ ライト	2	稼働中の潮流発電機と海中生物、魚の反応をリアルタイムで地元関係者やビジターに見て貰うことで発電機の安全で環境に優しい操業状況を示す
温度計	1	付着生物と水温の関係を評価する。また、このデータで日本の高水温下での TCC の冷却機能を評価する
マルチビーム イメージ・ソナー	1	昼夜の潮流サイクルを通して発電機近傍での生物の反応を把握する。また、海洋生物と魚の数と種類を自動計測
ハイドロフォン	1	海洋生物と発電機のノイズをモニターする
地震計	1	地震の強度と発電機操業への影響を評価する
歪み計	12	操業中の荷重と疲労を評価し設計に反映させる。これは日本海事協会（ClassNK）の型式認証取得の際に要求される



## 6. 発電機の部材、部品調達に関する業務

### 6.1. 本事業の調達方針

オープン hidro社は、オープンで公平な調達方法を策定し継続的に改善を行い、“最善の方法 (Best Practice)”によって、効率的・効果的、且つ、リスク管理を行い、品質と金銭的価値を担保することを調達方針としている。この調達方針は飛躍的に品質を向上し、コストを削減し、リスクを低減し、また、長期的なゴールである産業を支えるためにサプライチェーンとの協力関係を確立することを目指している。調達方針を以下に示す。

1. “良い購買”を可能にすることを目指すべきである

(Better forecasting makes it possible to “buy better.”)

2. “少なく購入する”つまり本当に必要な時に外注する

(“Buying less” means subcontracting out only when really necessary.)

3. 最後に“有効な調達”とは DCNS とサプライヤーの協力に基づく革新的方法の開発、仕様の改善と品質外品の削減により本当の価値を生み出すこと。

(Lastly, “Useful buying” is based on a partnership between DCNS and its suppliers that generates real value thanks to the development of innovative solutions, improved specifications and the reduction of non-quality.

#### 適用範囲

調達方針は発電機の製造から運転支援にわたって行う、全ての調達、発注、入札、契約とサイト開発に関する処理を含む出費と調達活動に適用される。適用範囲は図 6.1-1 に示す通り。

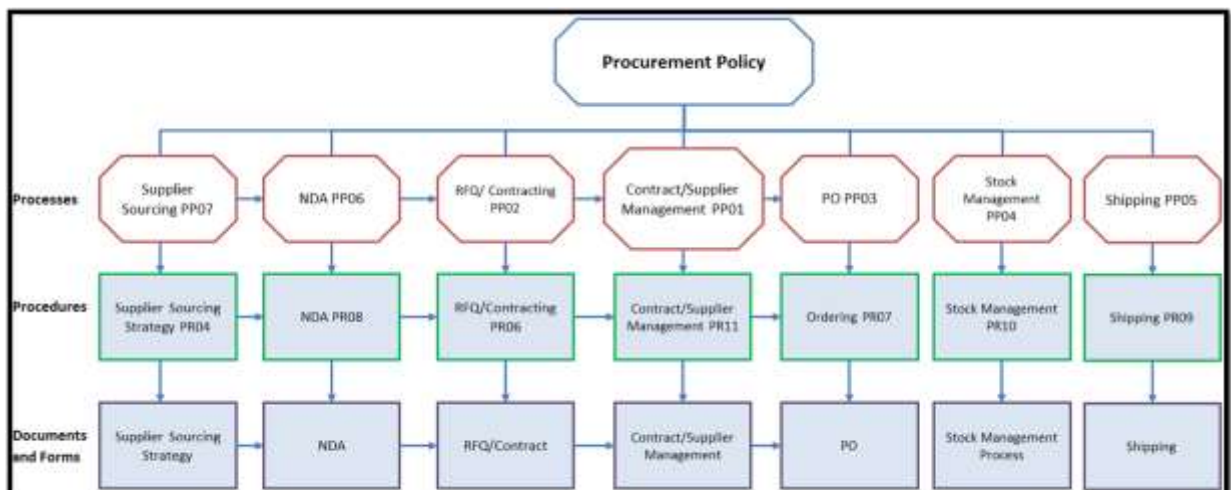


図 6.1-1 オープン hidro社の調達方針の適用範囲

## 6.2. 本事業の調達プロセス

設計仕様に沿って、信頼出来るサプライヤーより品質面・価格面で最も競争力のある機器の調達を確実にかつ効率的におこなうために、仕様書作成、サプライヤー選定、見積入手・交渉・発注、納品管理の各段階でのタスクを明確にし、次段階に進むための見直しを行うゲートプロセスに沿って調達業務を遂行する。調達プロセスを図 6.2-1 に示す。

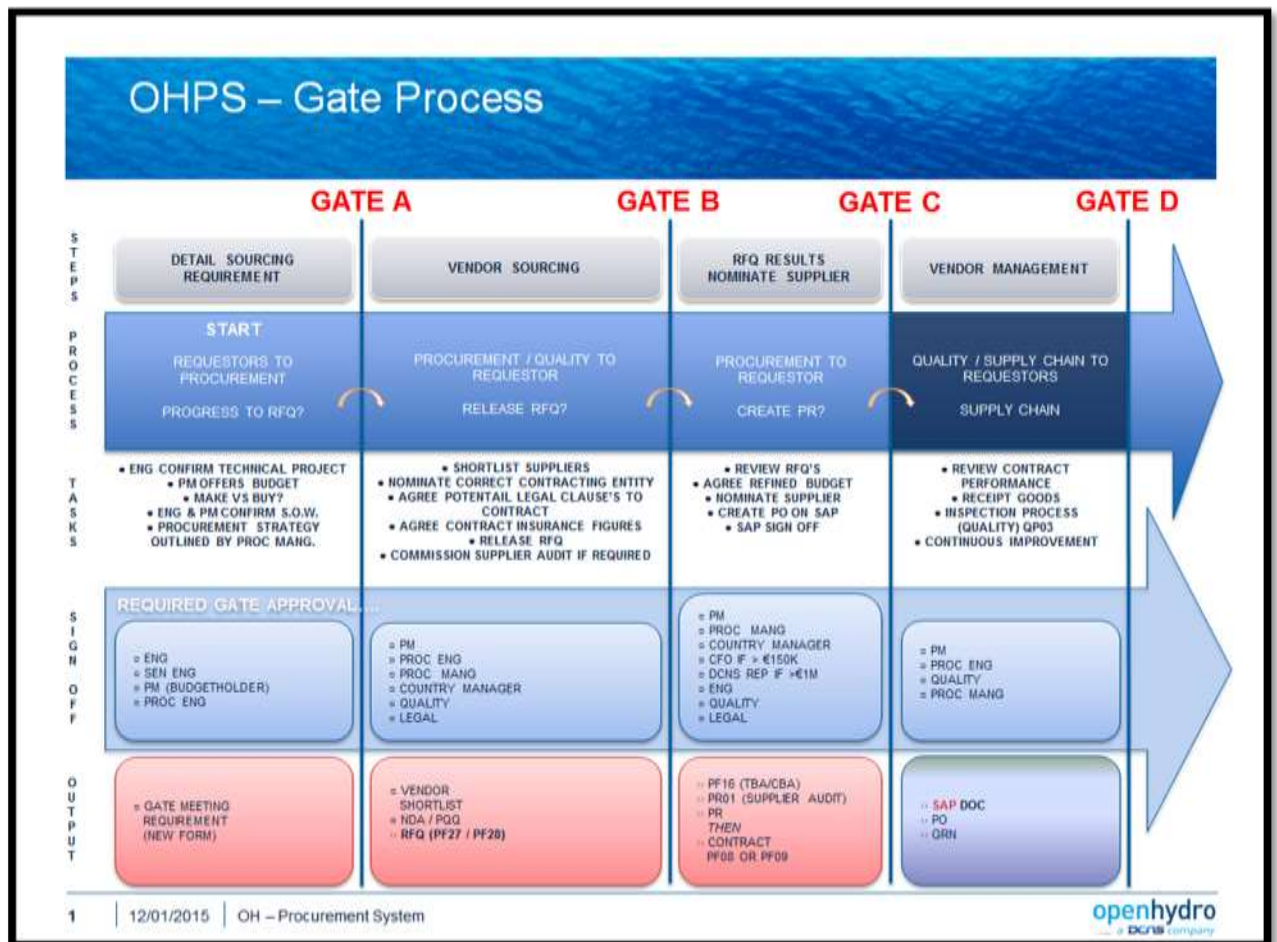


図 6.2-1 オープンハイドロ社の調達フローチャート

## 6.3. 本事業向け調達

各種発電機構成部品の設計が終了し、最終設計図面を基に部材と部品の調達手続きを開始した。調達にあたっては、各部品が単に使用に耐えるだけでなく発電機的设计寿命を超えることを確実にするために、厳密な製作と品質管理基準を満たしているか等サプライヤーの資格審査を行った。

調達した部材、部品には、アウターリング製造用鋼材（大型のローター部材）と大型電気品を含む。また、パワー・コンバーター等は納期が長い為、先行して調達を行った。これらにより完成した機器がシェルブールの発電機生産工場での生産計画に合わせて納入されることが可能となった。

次年度は ADCP により取得した潮流データの解析結果により、仕様の最終確認を行った上でその他の主要機器の調達を実施する。平成 28 年度に調達した部材、部品を以下に示す。

- ・アウターリング部材 (Outer ring material) 図 6.3-1
- ・パワー・コンバーター (Power Conversion System) 図 6.3-2
- ・送電用トランスフォーマー (Export Transformer) 図 6.3-3
- ・スイッチ・ギア (Switchgear)
- ・UPS システム (UPS system) 図 6.3-4
- ・電気制御盤 (Electrical Panels) 図 6.3-5
- ・ブレーキ・レジスター (Brake Resistor)

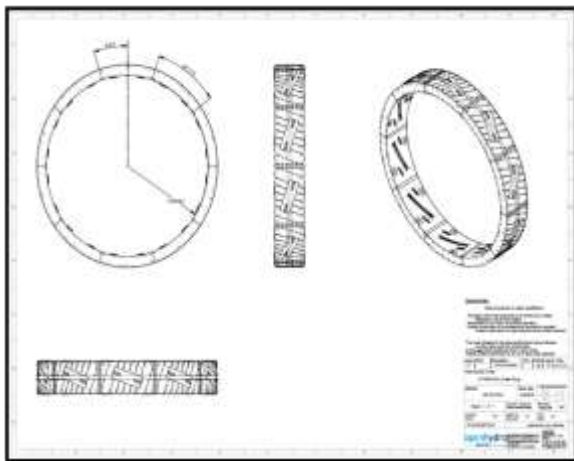


図 6.3-1 アウターリング図面



図 6.3-2 パワー・コンバーター(イメージ)



図 6.3-3 送電用トランスフォーマー (イメージ)



図 6.3-4 UPS システム (イメージ)





図 6.3-5 TCC 内部の電気制御盤

## 7. 潮流シミュレーションに関する業務

### 潮流シミュレーションの検討方針と今年度業務

潮流発電機の発電量を精度よく予測するためには、発電量算出の前提となる発電機廻りの詳細な潮流の流れ分布を把握する必要がある。従来、潮流の流れ分布は、有限体積法沿岸海洋モデル (FVCOM) 等の汎用ソフトを用いて、流れ分布をシミュレーションにより求めていた。しかしながら、従来法では、広域の範囲にわたりモデル化を行う必要があるため、シミュレーション計算時間の制約からメッシュのサイズの微細化には限度があり、発電機廻りの流れ分布の精度にも限界があった。そこで、図 7-1 に示すとおり、メッシュサイズをより微細化することが可能な局所潮流シミュレーションを導入し、より精緻な流れ分布を把握することで、発電量予測の精度向上に繋げることを検討方針とする。

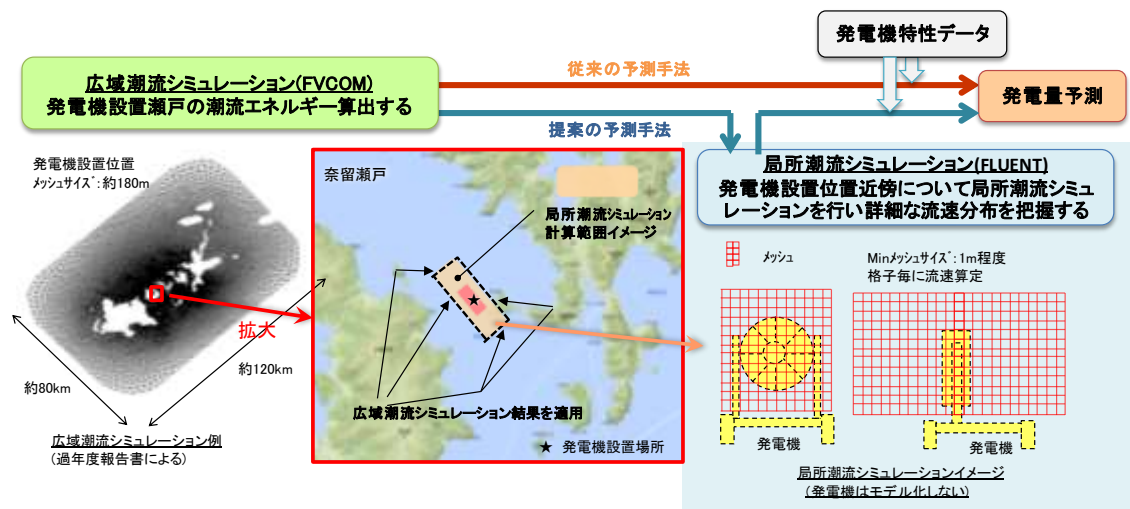


図 7-1 発電量予測フローにおける広域潮流シミュレーション

過年度に実施された五島海域全体についての有限体積法沿岸海洋モデル (FVCOM) による数値シミュレーション（以降では“広域潮流シミュレーション”と略す）は夏季、冬季の2季に限定して実施されたものであり、今年度は、夏季、冬季に加え春季、秋季の数値シミュレーションを実施し、四季を通じた潮流エネルギーポテンシャルを算出した。加えて、翌年度以降に広域潮流シミュレーションを局所潮流シミュレーションへ接続することを見据えて、過年度よりもより精度の高い広域潮流シミュレーション結果を得るための取り組みを実施した。

## 7.1. 広域潮流シミュレーションの計算手法

広域潮流シミュレーションにおける計算領域としては、昨年度の平成 27 年度潮流発電技術実用化推進事業(以降では「平成 27 年度潮流実用化推進事業」と略す)で実施されたシミュレーションと同じ(約 120km×80km、図 7.1-1)としたが、発電機設置位置近傍でのメッシュを細分化することによって高解像度の流速分布を得ることを試みた。図 7.1-1 は奈留瀬戸におけるメッシュの状況を示したものである。海底地形については海上保安庁水路部発行の J-BIRD を用い、発電機設置位置近傍においては測量データを用いて、詳細な海底地形を再現した。開境界においては、海洋潮汐予測システム(Matsumoto et al., 2000) から 8 分潮(S2, M2, O1, K1, P1, Q1, N2, K2 分潮)の潮位振幅・位相を強制潮位として与えた。水温・塩分の初期値は長崎県総合水産試験場による沿岸定線調査結果を基に設定し、海面における熱フラックスを考慮している。また、開境界においては独立行政法人海洋研究開発機構による FRA-JCOPE2 reanalysis data (Miyazawa et. al, 2009)による水温・塩分を与え、モデルへの入力に際しては ORC (Orlanski Radiation Condition) を適用した。今回は潮流エネルギーの季節変動を評価するため、四季の潮流場を再現した。具体的には上記の各境界条件について、春季は 5 月、夏季は 8 月、秋季は 11 月、冬季は 2 月の平均値を用いて、100 日程度の計算で準定常状態に至るまで計算を実行し、その結果を解析に供した。計算には九州大学情報基盤研究センターの高性能アプリケーションサーバ : HA8000-tc を使用した。

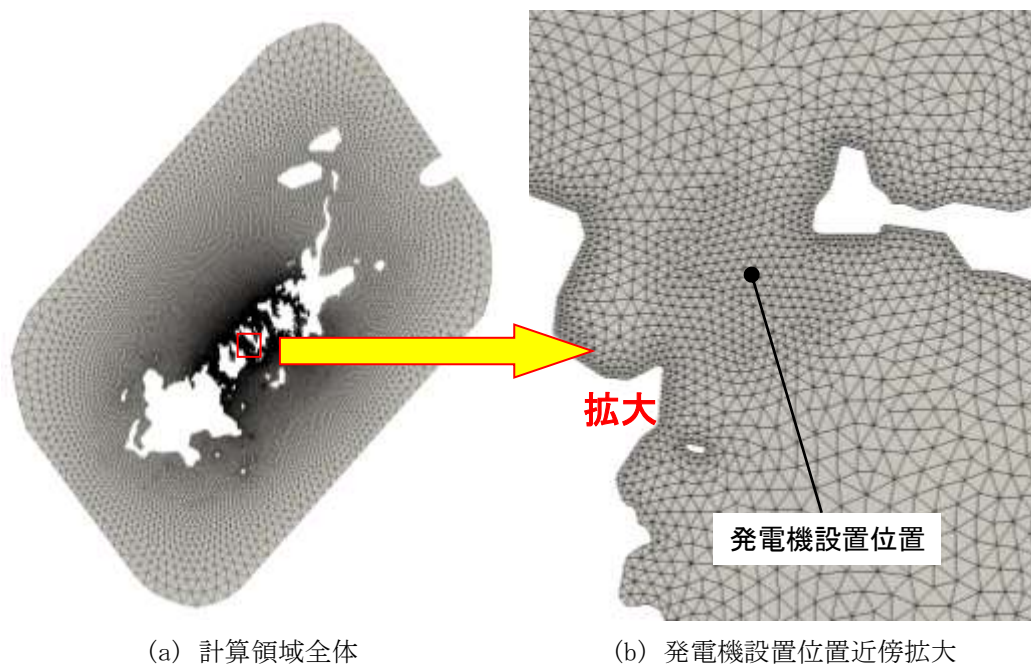


図 7.1-1 広域潮流シミュレーションにおけるメッシュ配置



## 7.2. 広域潮流シミュレーションの高精度化検討

### 7.2.1. 検討内容

広域潮流シミュレーションの高精度化を目的として、以下に示す3項目の検討を行った。

#### ①発電機設置位置近傍の平面メッシュ分割の細分化

今期の発電機設置位置は瀬戸の中でも最も狭い領域にあるため、流速勾配が大きくなることが予想される。そこで昨年度の広域潮流シミュレーションで使用されたメッシュ分割をベースにして作成した発電機設置位置近傍が約180mピッチのメッシュと60mピッチに細分化したメッシュで影響を確認した。図7.2.1-1に細分化の状況を示す。

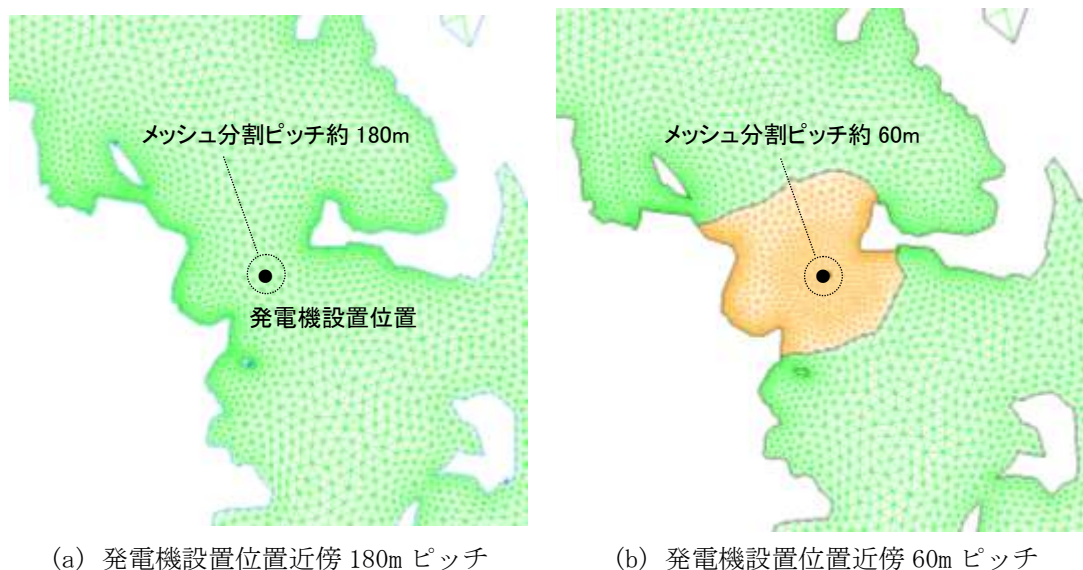


図 7.2.1-1 発電機設置位置近傍の平面メッシュ分割の細分化

#### ② $\sigma$ 座標系における $\sigma$ 層数の増加

上記①の検討でメッシュの水平分割を小さくすると、流れによる圧力の鉛直勾配を無視する静水圧近似の前提から外れることになる。そこで昨年度の計算で使用していた $\sigma$ 層20層と30層の比較計算を行い、影響を確認した。

#### ③データが少ない沿岸部の深さ情報を一律に固定

J-BIRDには水深の浅い沿岸付近に十分なデータがない。そのためこれらの深さ情報のみから補間計算によって得られる沿岸部における計算点の深さは、図7.2.1-2の黒破線で囲った箇所に示すように、場所によっては40mに達しており、実際よりも流路断面積を広く評価している可能性がある。そこで、海岸深さを2、5、10mに固定した情報を用いて作成したメッシュで比較検討を行い、影響を確認した。

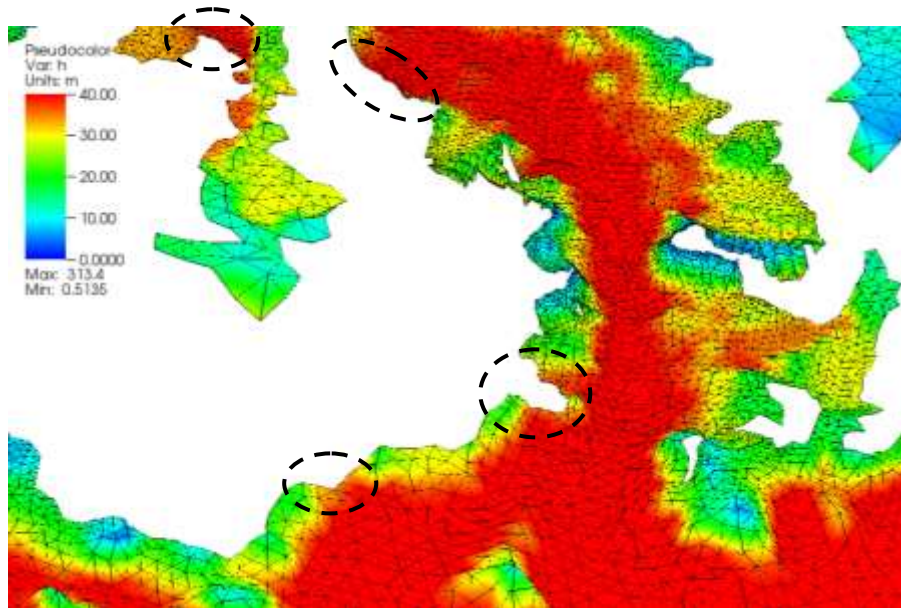
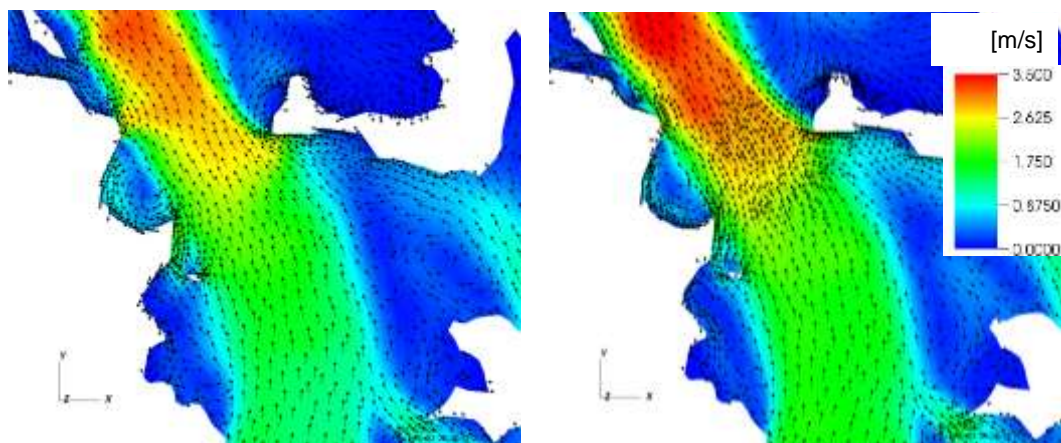


図 7.2.1-2 メッシュの深さデータ (40m 以深は全て赤色表示)

## 7.2.2. 検討結果

### ①発電機設置位置近傍の平面メッシュ分割を細分化

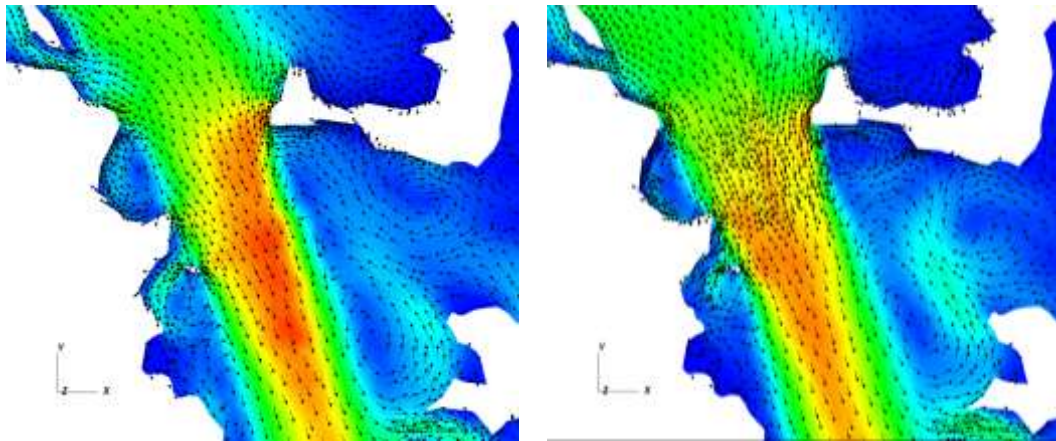
図 7.2.2-1 は奈留瀬戸における秋季大潮期上げ潮（南から北方向への流れ）最強時の流向・流速分布を、図 7.2.2-2 は奈留瀬戸における秋季大潮期下げ潮（北から南方向への流れ）最強時の流向・流速分布をそれぞれ示したものである。ベクトルは流向を、カラーコンターは流速を表現している。発電機設置位置近傍のメッシュ分割サイズによって流れ場が異なることが分かる。



(a) 発電機設置位置近傍 180m ピッチ

(b) 発電機設置位置近傍 60m ピッチ

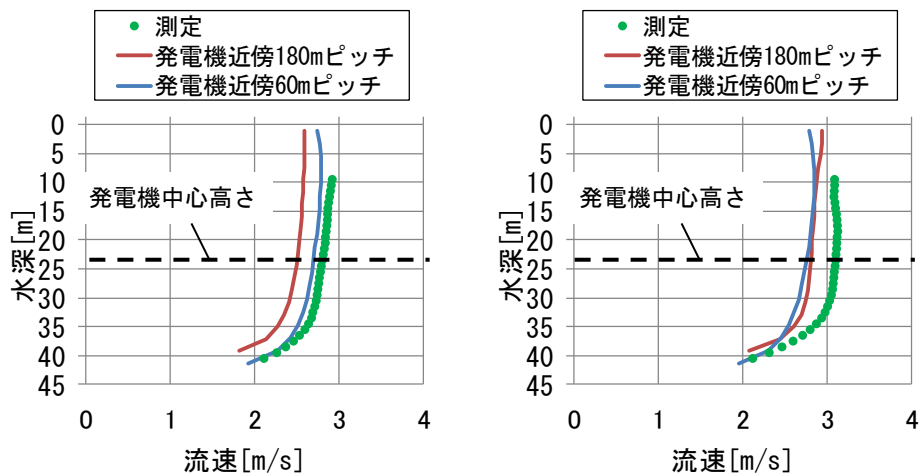
図 7.2.2-1 表層の流向・流速分布 (秋季・上げ潮最強時)



(a) 発電機設置位置近傍 180m ピッチ (b) 発電機設置位置近傍 60m ピッチ

図 7.2.2-2 表層の流向・流速分布 (秋季・下げ潮最強時)

図 7.2.2-3 は秋季の大潮期における発電機設置位置近傍の流速鉛直プロファイルを示したものである。図中の破線は発電機中心高さを示す。上げ潮時においてメッシュ分割を 60m ピッチにすることにより ADCP 測定値とよく一致する結果となった。また、ピッチを細分化させると、静水圧近似の条件を満たすためには  $\sigma$  層も増やす必要があり、60m ピッチより分割を細分化させることは計算時間の増大との関係から、難しかった。なお、秋季発電機設置位置近傍における ADCP による流速の測定は長崎海洋産業クラスター形成推進協議会にて実施されたものである。



(a) 上げ潮時

(b) 下げ潮時

図 7.2.2-3 発電機設置位置近傍の流速鉛直プロファイル (秋季)

②  $\sigma$  座標系における  $\sigma$  層数の増加

$\sigma$  層数を 20 層と 30 層で比較した結果、有意な差は確認出来なかった。したがって、本検討で使用しているメッシュ分割では  $\sigma$  層数 20 層で良いものと考えられる。

③ データが少ない沿岸部の深さ情報を一律に固定

海岸の深さ情報を 2m に固定した場合でも発電機設置位置近傍の 30 日平均流速の差は 1% 未満であった。

本検討の結果、発電機設置位置近傍におけるメッシュ分割ピッチを 60m 程度に細分化することで有効な改善が示された。したがって、今期の広域潮流シミュレーション検討では同メッシュを使用して実施するものとした。



### 7.3. 広域潮流シミュレーションの計算結果

#### 7.3.1. 流向・流速

図 7.3.1-1 は、奈留瀬戸における大潮期上げ潮(南から北方向への流れ)最強時の流向・流速分布を示したものである。ベクトルは流向を、カラーコンターは流速を表現している。発電機設置位置近傍のメッシュ解像度を上げたことによって、非常に詳細な潮流の状況を確認することが出来る。どの季節でも縮流効果によって篝火崎の先端付近から流速が上昇し、発電機設置位置よりもやや北西部に流速の速い領域が生じている。また、四季を比較すると夏季の流速が他の季節と比較してやや遅くなっていることが分かる。

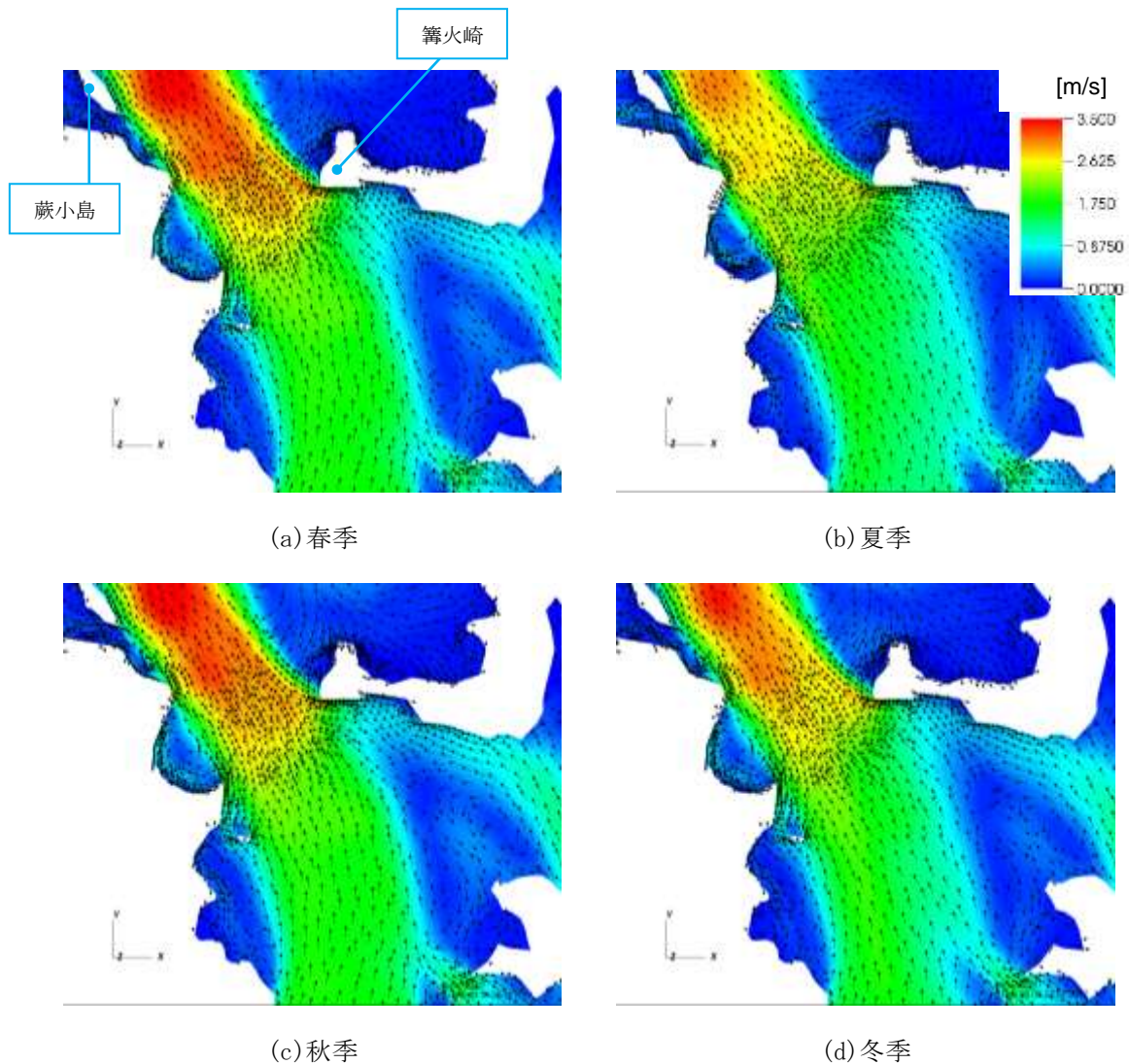


図 7.3.1-1 奈留瀬戸における計算された大潮上げ潮最強時の流向・流速分布

図 7.3.1-2 は、同じ奈留瀬戸における大潮期下げ潮(北から南方向への流れ)最強時における流向・流速分布を示したものである。上げ潮時と同様、篝火崎の先端付近から流速が上昇していることが分かる。

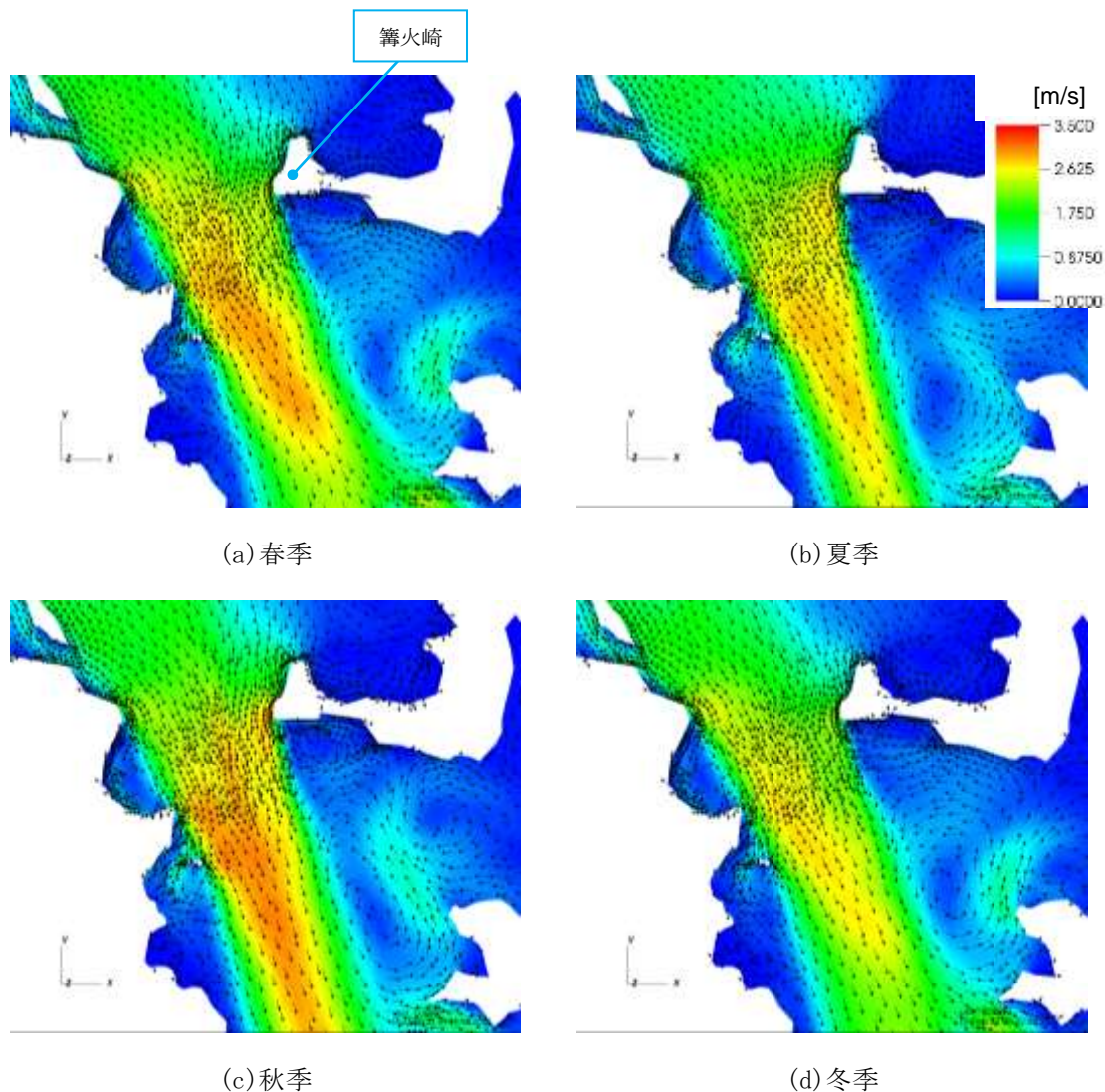


図 7.3.1-2 奈留瀬戸における計算された大潮下げ潮最強時の流向・流速分布

奈留瀬戸の最大流速が上げ潮時に速くなる原因として、瀬戸に流入する流量の差が考えられる。潮流は主に五島列島南北の潮位差により生じているが、各瀬戸への流入量は上げ潮・下げ潮それぞれの流れ方向における流動抵抗すなわち地形の影響を強く受けているものと考えられる。

また、下げ潮時には流れが篝火崎の南で広い空間に解放されるのに対して、上げ潮時には流れが篝火崎の北で瀬戸内部の大きな循環と蕨小島に挟まれることによる増速効果も原因のひとつとなっている可能性がある。

計算で得られた流向・流速を ADCP 測定結果と比較した。今年度(2016 年度)の測定は秋季のみであるため、夏季及び冬季について 2015 年度の測定結果と比較している。図 7.3.1-3 に今年度(2016 年度)及び 2015 年度の ADCP 測定位置を示す。

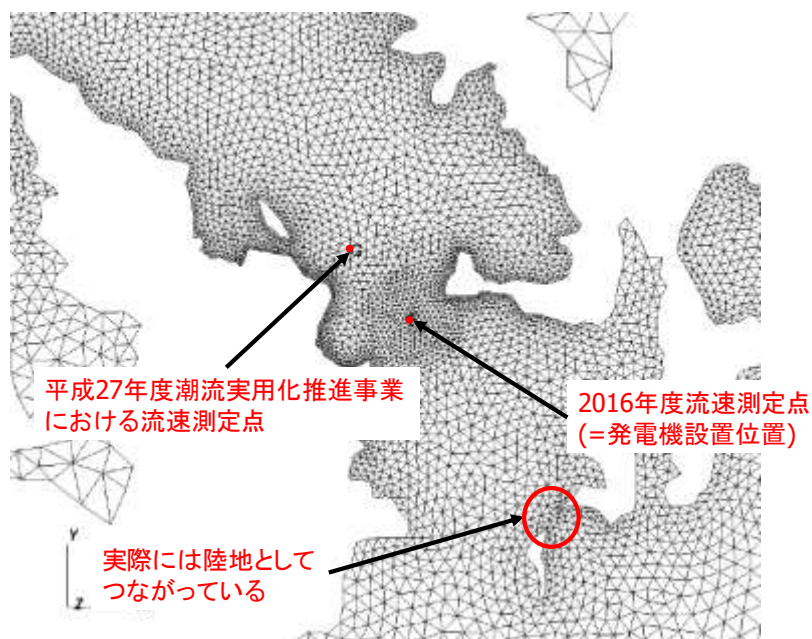
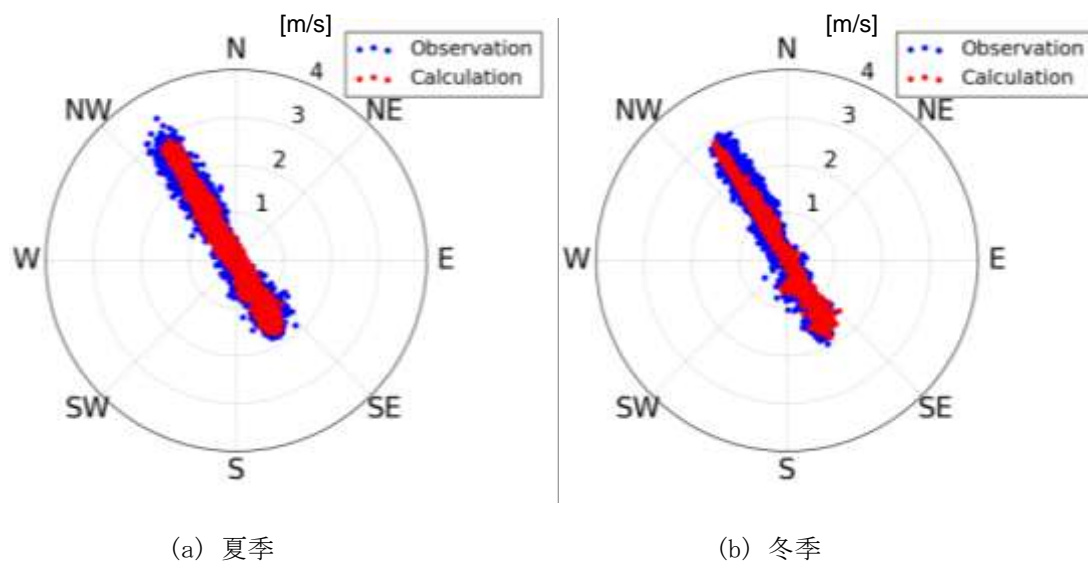


図 7.3.1-3 ADCP 測定位置

図 7.3.1-4 に、夏季と冬季における海底から 20m の高さにおける実測と計算の流速ホドグラフを示す。両季節とも流向及び流速の絶対値が良好に一致しており、高精度のシミュレーションとなっていることが分かる。



(a) 夏季

(b) 冬季

図 7.3.1-4 2015 年度 ADCP 測定位置における流速ホドグラフ



図 7.3.1-5 に秋期における海底から 20m 高さの実測と計算の流速ホドグラフを示す。夏季及び冬季と異なり上げ潮時、下げ潮時ともに流向に数度の乖離が見られる。また最大流速についてもシミュレーションの方が僅かに低い結果となっている。図 7.3.1-6 に示した同じ位置の東西・南北方向流速時刻歴でも特に南北方向の流速に差が生じていることが分かる。

今期の ADCP 設置位置は瀬戸の中でも特に幅が狭くなっている領域であり、シミュレーションにおいて精度を出すことが難しい領域ではあるが、計算と実測で乖離が生じている原因として、メッシュ作成の際に地形データが適切に再現されていないことが考えられる。例えば、図 7.3.1-3 に示すように奈留瀬戸南側において実際には陸地として繋がっているふたつの島の間がメッシュでは海域となっており、発電機設置位置近傍の流れにも影響を及ぼしていると考えられる。

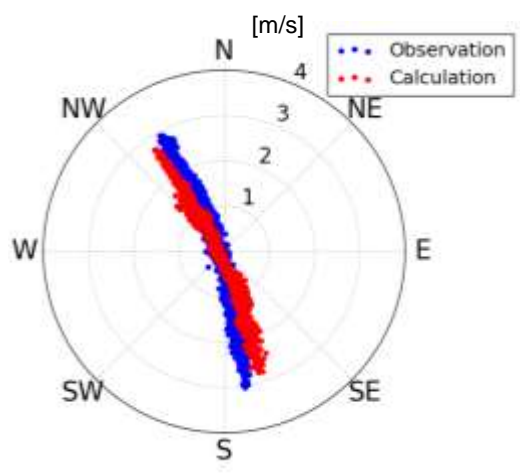
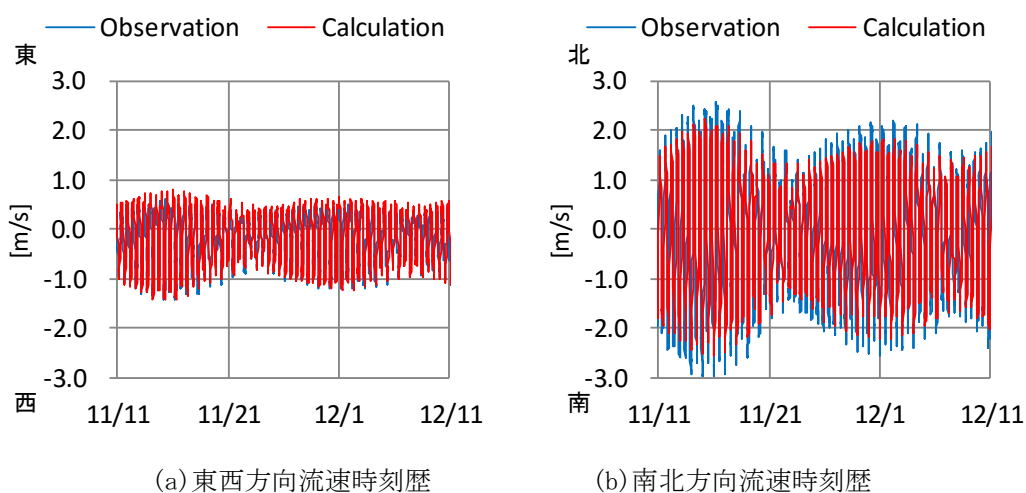


図 7.3.1-5 発電機設置位置近傍における流速ホドグラフ



(a) 東西方向流速時刻歴

(b) 南北方向流速時刻歴

図 7.3.1-6 発電機設置位置近傍の流速時刻歴

図 7.3.1-7～図 7.3.1-10 に、大潮期における流速の深さ方向分布図を示す。

春季について、大潮上げ潮時は全層にわたりシミュレーション結果が ADCP 測定値に近い結果となった。また 30 日間の平均をとると、シミュレーション結果と ADCP 測定値は良好に一致している。

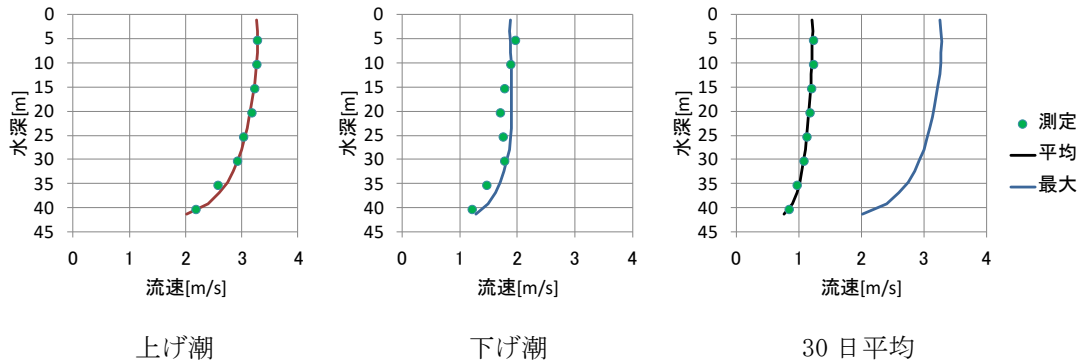


図 7.3.1-7 平成 27 年度潮流実用化推進事業における ADCP 測定位置の深さ方向流速分布図（春季）

夏季について、大潮上げ潮時、下げ潮時ともに、シミュレーション結果が ADCP 測定値より小さくなる結果となった。この傾向は 30 日間の平均にもあらわれた。測定とシミュレーションの差は水深が浅くなるほど大きくなっている。

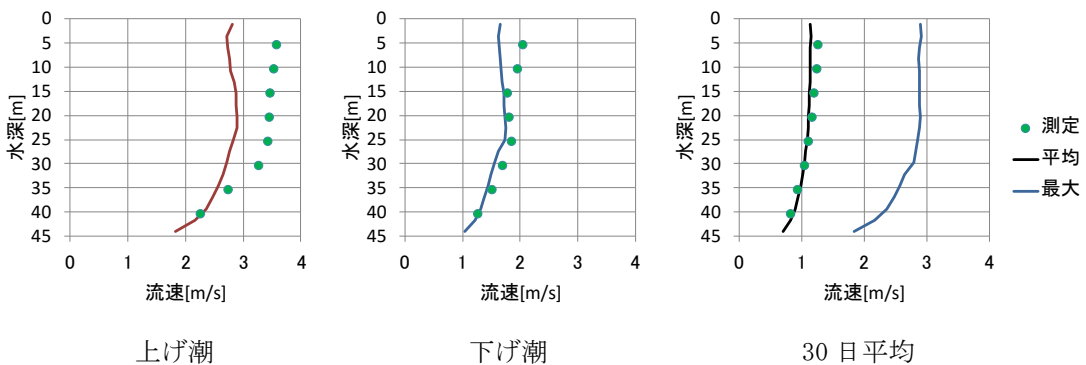


図 7.3.1-8 平成 27 年度潮流実用化推進事業における ADCP 測定位置の深さ方向流速分布図（夏季）

秋季について、大潮期上げ潮、下げ潮に関して、発電機中心高さではシミュレーション結果が ADCP 測定値よりそれぞれ 4%、11%低い値となった。30 日間の平均をとると、ごく僅かに(発電機中心高さで 0.102m/s)シミュレーション結果が ADCP 測定値より小さい結果となった。なお、秋季は ADCP の測定位置及び計算の出力位置が他の季節と異なる。図中の破線は発電機中心高さを示す。

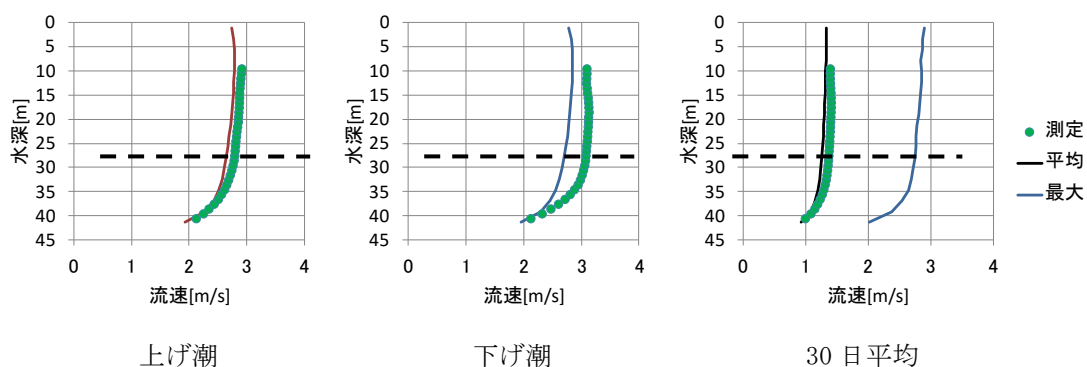


図 7.3.1-9 発電機設置位置 (2016 年度) の深さ方向流速分布図 (秋季)

冬季について、大潮下げ潮時、海底から 25m 程度の範囲に関してシミュレーション結果がよく一致した点を除き、ADCP 測定値よりわずかに小さくなった。30 日間の平均をとっても、シミュレーション結果と ADCP 測定値は良く一致している。

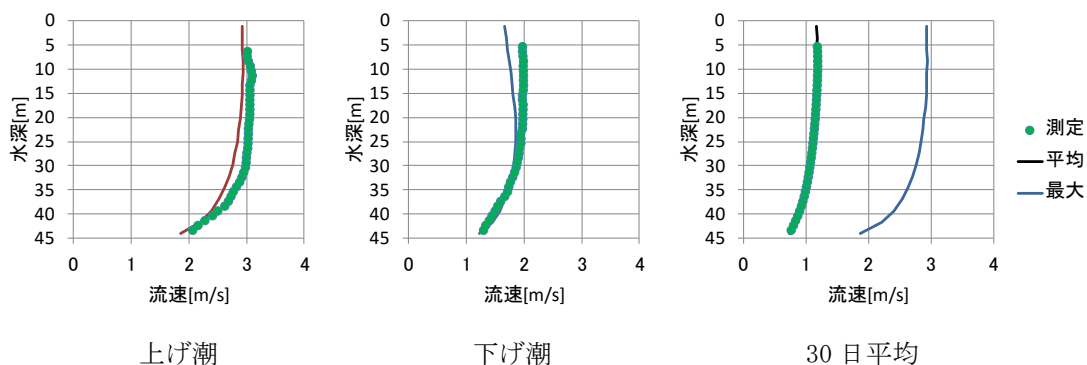


図 7.3.1-10 平成 27 年度潮流実用化推進事業における ADCP 測定位置の深さ方向流速分布図 (冬季)

以上から、各深さにおける流速に関しては、シミュレーション結果と ADCP 測定値には、ゼロにはならない差異があるものの、平均的な潮流エネルギーポテンシャルを考える中で、30 日間の平均については、シミュレーション結果と ADCP 測定値は良く一致している。

### 7.3.2. 塩分濃度・海水温の鉛直方向プロファイル

塩分濃度と海水温の鉛直プロファイルを長崎県総合水産試験場による測定結果と比較した。図 7.3.2-1 に比較に用いた測定点を示す。図 7.3.2-2 は、四季の中で成層強度が最も強くなる夏季における 30 日間の平均値を測定結果と比較したものである。Sta.7 において表層の塩分濃度に乖離が見られるが、境界条件に使用している FRA-JCOPE2 reanalysis data の数値と実測との差異によるものと考えられる。Sta.7 の近海では大陸の河川から流入する淡水の影響で夏場の塩分濃度が低下することが確認されており、測定結果もこの影響により表層の塩分濃度が低下しているものと考えられる。また海水温の鉛直プロファイルについて、シミュレーション結果と測定結果は全 4 点において良好に一致していて、十分な精度のあるシミュレーションであることが分かる。

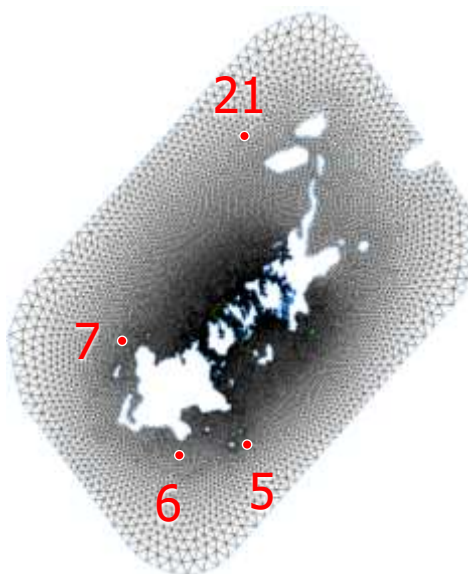


図 7.3.2-1 塩分濃度と海水温の測定点

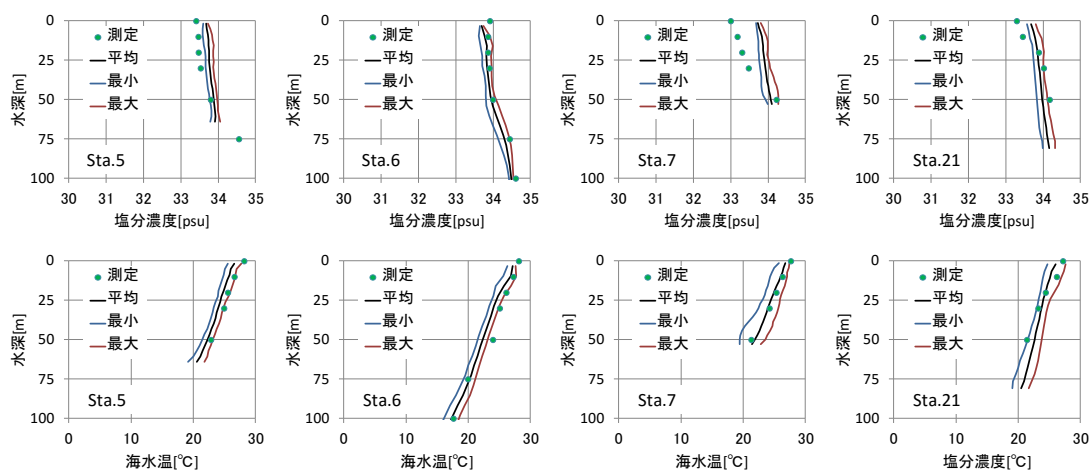


図 7.3.2-2 夏季における塩分濃度（上段）と海水温（下段）の鉛直プロファイル

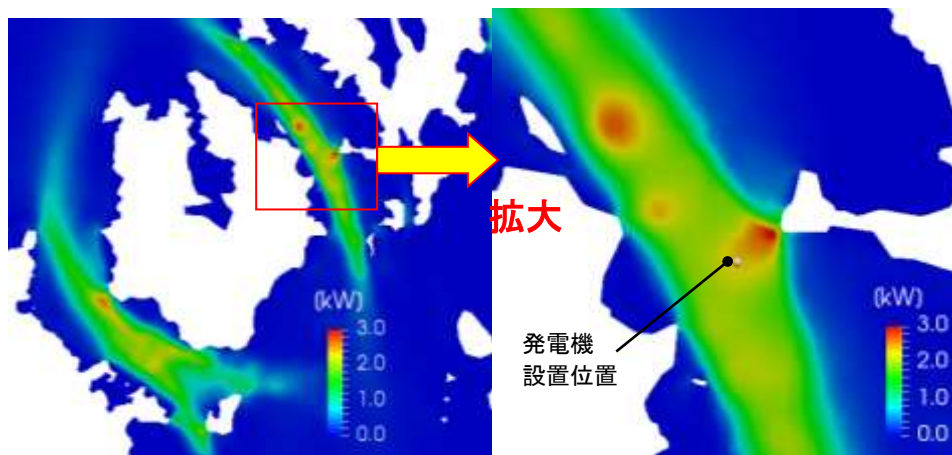
### 7.3.3. 潮流エネルギーポテンシャル

次式により潮流エネルギーポテンシャル (TCP : Tidal Current Power) を計算した。

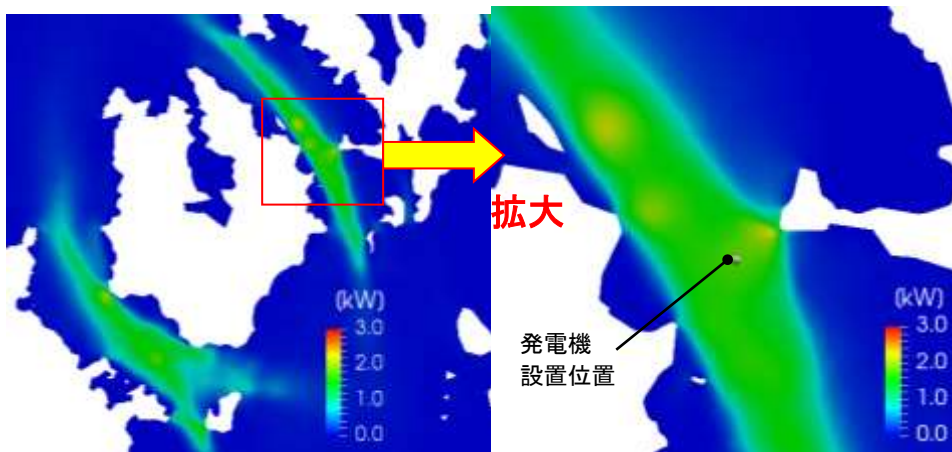
$$TCP = \frac{1}{2} \rho A U^3$$

$\rho$  は海水密度、 $A$  は断面積、 $U$  は流速である。大潮小潮周期 (30 日間) で平均した四季の水平分布を図 7.3.3-1 に示す。 $U$  は表層の値、 $A$  は単位断面積とした。時期によらず発電機設置位置近傍で高い TCP となっていることが分かる。冬季と比較して夏季の TCP が低下する結果は昨年度と一致している。また、四季を通して比較すると、春季及び秋季に TCP が高くなる結果となった。

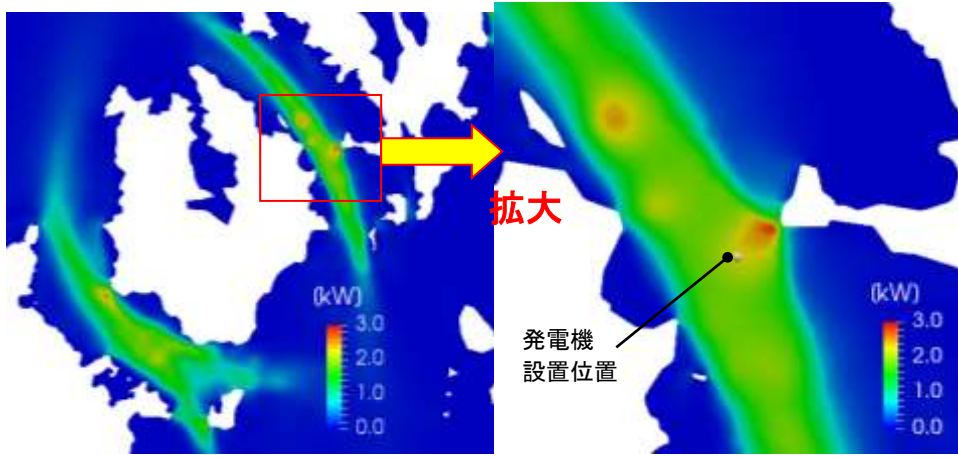
図 7.3.3-2 に発電機設置位置近傍の TCP を示す。発電機中心高さで比較すると、TCP が最も低い夏季と最も高い春季では 20%近い差が生じている。なお、TCP から割り戻した平均流速で比較すると、夏季と春季の差は 9%程度である。



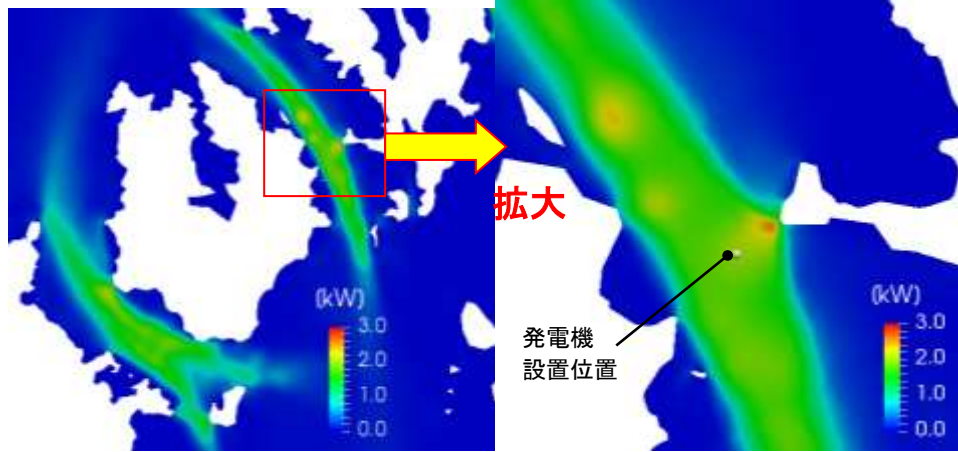
(a) 春季



(b) 夏季

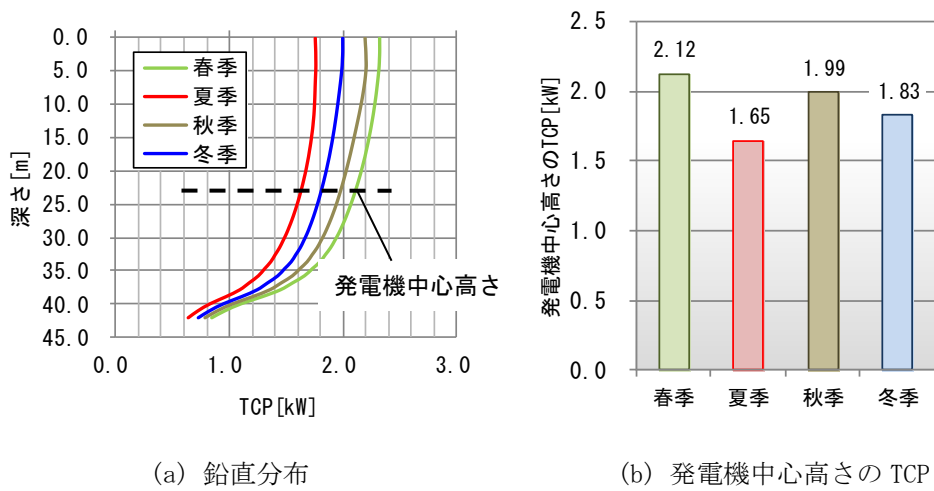


(c) 秋季



(d) 冬季

図 7.3.3-1 表層のエネルギーポテンシャル



(a) 鉛直分布

(b) 発電機中心高さの TCP

図 7.3.3-2 発電機設置位置近傍の TCP



TCPの季節変動要因を探るため、大潮期上げ潮最強時の奈留瀬戸南側海域の潮流を確認した。図7.3.3-3に各季節の結果を示す。ベクトルは流向を、カラーコンターは流速を表現している。夏季とそれ以外の季節では、杣島北東部にある渦（黒色破線）の有無及び杣島南岸の流れの向きが異なっている（黄色矢印）ことが分かる。また夏季には奈留瀬戸南側の海域において流れが蛇行する等、全体的に他の季節とは異なる流れ場を呈していることから、広域的な流れ場の影響により発電機設置位置近傍のTCPが低下したものと考えられる。夏季以外の季節においては概ね同様の流れ場となっているものの、平均流速で数%程度の差がTCPでは10%を超える差となって表れている。

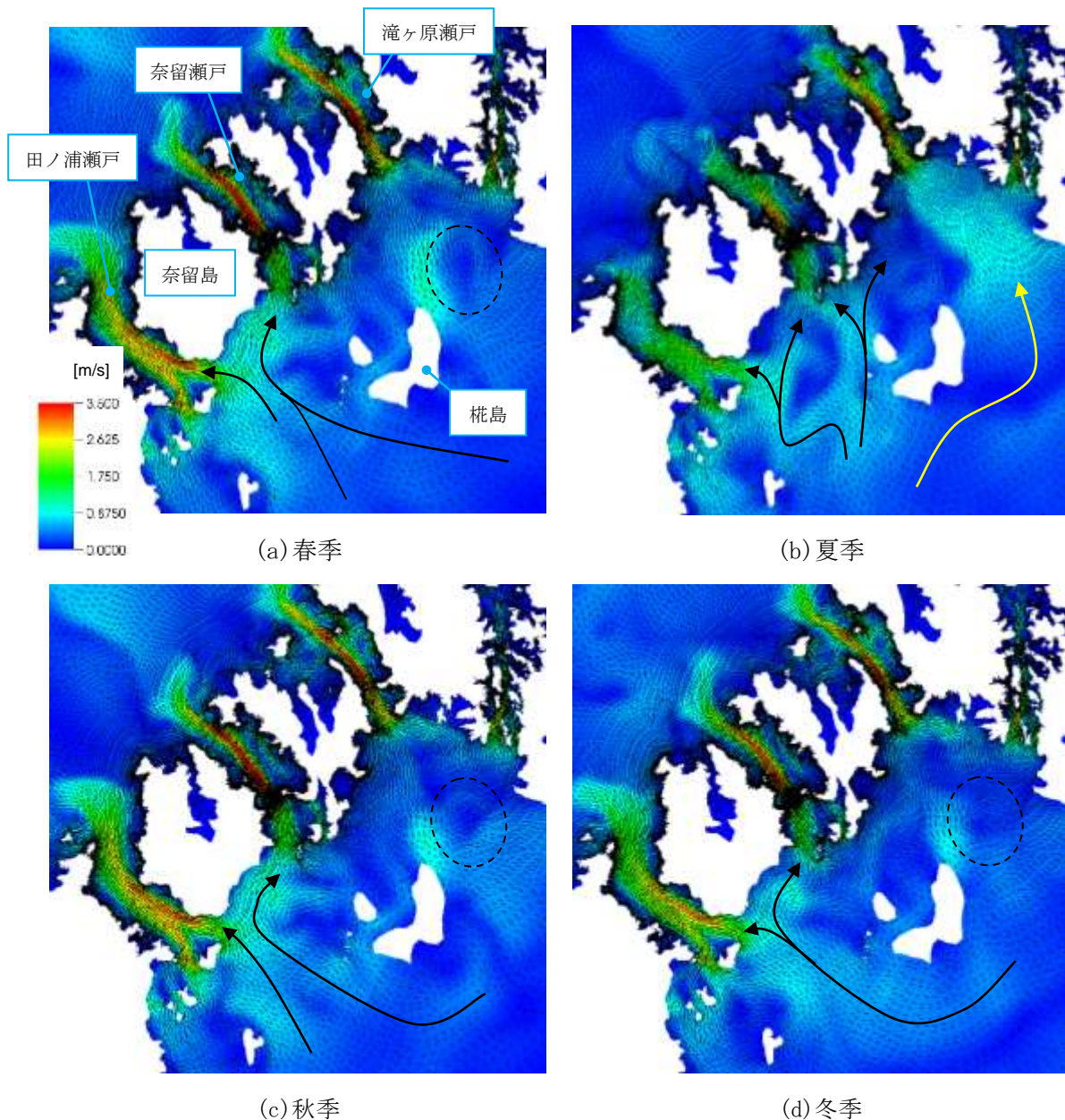


図7.3.3-3 大潮期の上げ潮最強時の流向・流速分布



### 7.3.4. 乱流強度

現在、発電量と乱流強度の関係は明らかになっていないが、今後発電量予想を行う中で発電機設置位置近傍における基本的な乱流の状況を把握するために、設備の疲労にも関連する乱流強度を算出した。乱流強度は平均流速に対する乱流変動成分の大きさの比率である。ADCPでは速度の標準偏差を平均10分間の流速で除したものを乱流強度とした。一方、広域潮流シミュレーションでは乱流計算で得られる乱流運動エネルギー $q^2$ を用いて次式により乱流強度 $I_{cal}$ を計算した。また、 $q^2$ は各方向乱流変動速度成分を用いて以下のように表される。 $v_{mean}$ は深さ方向各点における30日間平均流速とした。

$$I_{cal} = \frac{\sqrt{\frac{2}{3}q^2}}{v_{mean}}, \quad q^2 = \frac{\overline{u_t^2} + \overline{v_t^2} + \overline{w_t^2}}{2}$$

図7.3.4-1にADCPと広域潮流シミュレーションで得られた乱流強度の深さ方向分布を示す。どちらも大潮期の結果を示している。全般的にシミュレーションの方が乱流強度を高く評価しているものの、深い位置ほど乱流強度が大きくなる傾向は一致している。両者の結果を勘案すると、発電機範囲の乱流強度は6~12%の範囲に分布するものと推察される。

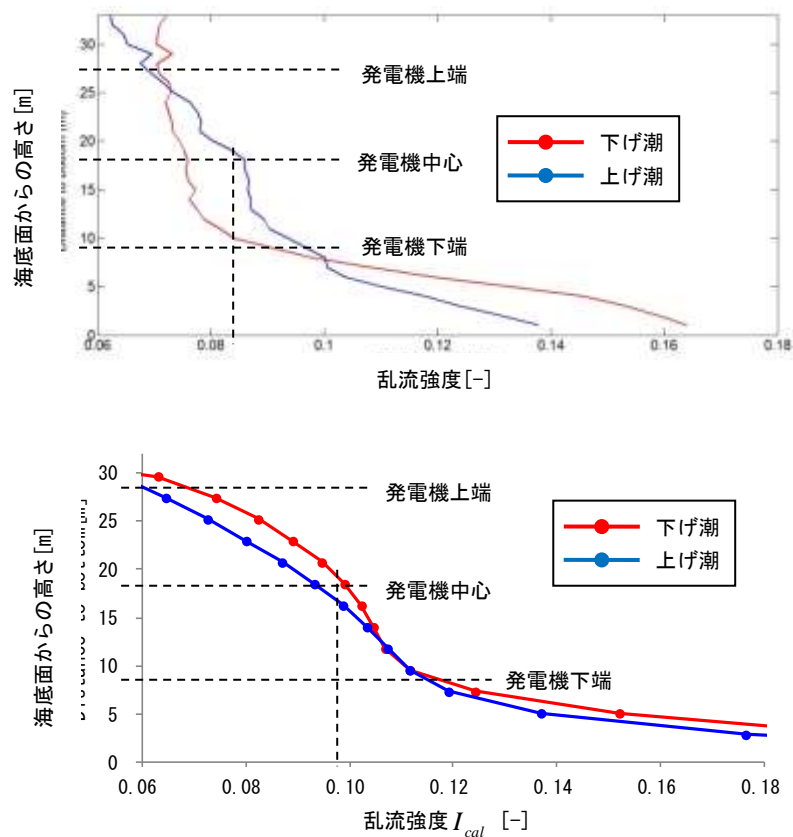


図 7.3.4-1 乱流強度の鉛直方向プロファイル（上段：測定、下段：計算）

#### 7.4. まとめ

発電機設置位置近傍の潮流エネルギーポテンシャル (TCP) を評価することを目的として、広域潮流シミュレーションを実施した。まず、同シミュレーションの高精度化検討を行い、発電機設置位置近傍のメッシュを細分化することにより同位置で測定した ADCP 測定結果に近い結果が得られることを確認した。続いて年間を通じた TCP の変化を確認するため、5 月、8 月、11 月、及び 2 月の気象条件を用いて四季の広域潮流シミュレーションを実施した。季節により TCP が異なる結果が得られたものの、どの季節においても発電機設置位置近傍に高い TCP を有していることを確認した。今後、広域潮流シミュレーション結果を用いて発電機設置位置近傍の局所潮流シミュレーションを行い、より高精度な発電量予測手法を確立する予定である。

## 8. 地元関係者との協調に関する業務

本事業の応募前から採択時、現地調査の実施時において、これまで折に触れ現地の漁協組合との会合を持ち、相互理解を深めている。また、機会を捉え地元住民に対する情報提供や理解活動にも取り組んできた。特に奈留島の地元産業団体が主催するイベントである「アジ祭り」に参加し、運営の支援を行うとともに、コンソーシアムとしてブースを出展し、本業のPRと住民との直接対話も行った。具体的なこれまでの取り組み状況を表8-1に示す。

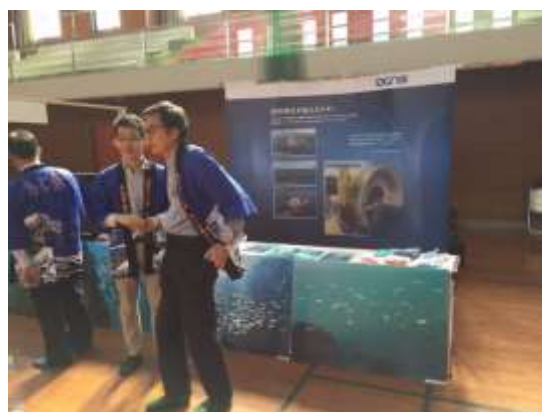
平成29年度には漁場の再生等、本事業を通して海洋環境の改善がみられるような取り組みについても検討を行う予定である。

表 8-1 地元関係者への情報提供

6月1日-20日	本事業の応募について、五島ふくえ漁業協同組合、奈留漁業協同組合及び5つの下部組織への提案内容のご説明。
7月26日	事業採択の報告を、2漁協の組合長、参事及び地元の福江商工会議所会頭へ行った。
9月12日-20日	本年度の現地調査の内容を取りまとめた資料を持参し、2漁協の組合長、参事へ調査内容の説明を行った。
9月末	奈留島の全世帯への回覧板での広報を行った。事業の概要と、本年度の調査の内容についてのチラシを作成し、五島市の協力を得た上で、奈留島全世帯に回る回覧板に挿入し、島内へ広く情報公開した。
11月12日	地元の産業グループが主催し、新鮮なアジを販売するイベントに約10名の本事業関係者が支援に参加した。また潮流発電を紹介するためのブースを設け直接、住民との対話を行った。
11月-3月	現地調査実施中には、九電みらいエナジー又はクラスター協議会が常に現地に入り、対応を行った。



奈留島のイベント「アジ祭り」の支援風景



アジ祭りでのブース出展状況

## 奈留島沖において商業用メガクラスとして国内初の潮流発電事業が始まりました

今年6月に環境省による「平成28年度潮流発電技術実用化推進事業」について事業者の公募が行われ、丸亀みらいエナジー株式会社などが事業者として選定されました。地域の皆さまのご理解とご協力を頂きながら本事業を進めて参りたいと思っております。



調査地域：丸亀県 土庄町 奈留島沖



**〔発電機の基本仕様〕**  
**型 式**：センターオープン方式  
**海底設置型**  
**出 力**：2メガワット  
**直 径**：約1.6m  
**高 さ**：約2.7m  
**重 さ**：約1,200t  
**回転数**：1.0～1.6回/分  
※1メガワット＝1,000キロワット

潮流発電の分野で先行している欧州の発電機を採用し、国産品となる商業用で大規模なメガワット級(単機あたりでは世界最大級)の潮流発電の実証を行います。

### 潮流発電の原理

潮流は、月と太陽の引力で生じる周期的な変動である「潮汐」によって起こる水平方向の流れであり、潮の干満によって規則的に流れ替わるため、発電に利用する場合には干満が可能な限り定期的な高いエネルギー源となります。

潮流は地形の影響が大きく、海峡や水道など流路の幅が狭い地点では流速が速くなります。



### 潮流発電

潮流発電は、潮流の運動エネルギーを利用し、一般的には水車によって回転エネルギーに変換して発電する方式です。



この発電機1基で、年間約1億2千万kWhの電力を生み出すことが期待されています。

干満時、発電機から海面までの水深は約40m

水深約40m地点に設置します


図 8-1 地元へ配布している当事業の紹介資料

## 平成28年度 奈留瀬戸調査のお知らせ(環境省潮流発電技術実用化推進事業)

9月電力の送電線接続協議の結果、奈留島に1基接続できないことが判明したため、発電機設置予定地点は繰り換えました。

### I 潮流調査

- 調査機設置予定地は1箇所あり、発電機設置予定地点の水深約40mの地点に位置します。  
【緯度33° 51' 04.97" N 経度128° 51' 09.01" E】
- 調査機の高さは約1.5mで、設置箇所幅は約3m四方を占有しております。
- 設置時期は、10月から12月にかけて、約2ヶ月間を予定しています。



ダイバーが潜って、設置確認します。  
【調査・設置時に、小漁の網は止む作業します。】


### II 土質調査

#### A 海底調査

- 調査機上からセンサーを用いて、発電機設置予定地点と電力ケーブル敷設予定ルート周辺の海底面を調査します。  
【発電機地盤は約200m四方、ケーブル敷設は約100m四方】
- 調査時期は11月を予定し、調査日数は1～2日間程度です。

#### B ボーリング調査

- 発電機設置予定地点の地質をボーリングします。
- TDの直径 600mm程度
- 設置深度 約25m
- 設置本数 3本
- 機種の大きさは約3m四方です。
- 調査時期は11月を予定し、調査日数は1～2日間程度を予定しています。
- 設置地点はコンクリート基礎を設けます。



### III 環境調査

- 調査機上から各種調査を行います。
- 水質・魚群・底層生物・プランクトン・底生生物・浮遊生物・水質などを調査します。【調査機設置時】
- 海洋生物・底層生物などを調査します。【調査機設置時】
- 奈留瀬戸海域にて海洋哺乳動物調査を行います。
- 奈留瀬戸海域の環境にて底生生物を調査します。
- 調査時期は11月(約1、2回)を予定しています。

### IV 付着生物調査

- 調査機は予定ですが、案として、設置機を付した土台を12箇所の、3ヶ所あるに、1台ずつ設置予定です。
- 土台の大きさは、1mから2m四方程度を想定しており、2年間の設置を予定しています。
- 設置機は、調査機との水深約6mから30mの地点を想定しています。

### V 地上調査

- ケーブル敷設予定地点、調査機設置予定地点の調査・測量を行います。

項 目	調査箇所	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	備 考
I 潮流調査	①								
II 土質調査	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺								
III 環境調査	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺								H25年調査結果を予定しています。
IV 付着生物調査	①								土台の設置完了、H26年度～H30年度～H31年度
V 地上調査	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺								

■ 丸亀、土庄地区 丸亀みらいエナジー株式会社 企画本部 立地担当 産原・江島 電話:089-960-8855(月～金) 9:00～17:30 丸亀県丸亀市土庄町土庄1-4番地を本社とします。

図 8-2 地元漁協への平成 28 年度の調査内容の説明資料

## 9. 開発検討会

本受託業務を円滑に実施するため、事業の進捗状況等を確認し、外部有識者の専門的知見へ助言を求める開発検討会を開催した。同検討会には、外部有識者、環境省担当官に加え、本事業が経済産業省連携事業であることを踏まえ、経済産業省担当官にも参加いただいた。

開発検討会の外部有識者は、表 9-1 のとおり。

### 第 1 回開発検討会

1. 開催日 平成 29 年 1 月 20 日（金）
2. 開催場所 新日鉄住金エンジニアリング株式会社
3. 議事次第
  - (1) 潮流発電技術実用化推進事業について
  - (2) 平成 28 年度の実施状況について
    - ① 設置海域における潮流、土質、環境、生物付着の調査状況
    - ② 発電機の認証取得に向けた協議状況
    - ③ 系統連系に向けた協議状況
    - ④ 発電機の概要・特徴、開発実績、監視項目の検討状況、設計の進捗状況、部材・部品の調達予定
    - ⑤ 基礎構造の設計状況
    - ⑥ 施工工法及び施工台船の仕様の検討状況
    - ⑦ 広域潮流シミュレーションの検討状況
    - ⑧ 地元関係者との協調の状況
  - (3) 平成 29 年度の事業計画案について

表 9-1 開発検討会 有識者名簿

所属	役職	氏名
東京大学大学院 新領域創成科学研究科	教授	高木 健
長崎大学 海洋未来イノベーション機構 海洋エネルギー開発研究部門	教授	経塚 雄策
九州大学大学院 総合理工学研究院 流体環境理工学部門	助教	山口 創一