

平成 27 年度環境省委託業務

平成 27 年度潮流発電技術実用化推進事業  
(国内の海洋エネルギー利用拡大に向けた 1MW  
級潮流発電システムの開発・実証事業)

委託業務  
成果報告書

平成 28 年 3 月

川崎重工業株式会社

東亜建設工業株式会社

古河電気工業株式会社

国立大学法人九州大学

## 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. 海域の詳細検討.....	5
3.1. 数値シミュレーション.....	5
3.1.1. 計算手法.....	5
3.1.2. 計算結果.....	7
3.2. 海域調査.....	11
3.2.1. 調査概要.....	11
3.2.2. 潮流曳航調査（平面分布）.....	13
3.2.3. 潮流固定調査（時間変化）.....	15
3.2.4. 海洋乱流調査.....	18
3.2.5. 海水温調査.....	20
3.2.6. 波浪調査.....	21
3.2.7. 風況調査.....	25
3.2.8. 既設海底ケーブルの現状調査.....	27
3.2.9. 海底地形調査.....	29
3.3. 生物付着調査.....	30
3.3.1. 調査概要.....	30
3.3.2. 付着物の観察.....	33
3.3.3. 付着物の生物分析.....	37
3.3.4. メンテナンス性確認試験（高水圧洗浄試験）.....	38
3.3.5. ドッキング部引き剥がし試験（せん断試験）.....	41
3.3.6. 熱交換器の効率低下確認.....	42
3.3.7. 生物付着調査のまとめ.....	45
3.4. 実証候補地の選定.....	46
3.4.1. 候補地点の1次選定.....	46
3.4.2. 候補地点の2次選定.....	47
3.4.3. 最終候補地点の決定.....	49
4. 環境影響評価方法書.....	51
4.1. 業務概要.....	51
4.2. 事業特性と地域特性の把握と整理.....	53

4.2.1.	事業特性	53
4.2.2.	地域特性	53
4.3.	環境影響評価項目の選定	55
4.3.1.	再生可能エネルギー事業との事業特性比較	55
4.3.2.	事業特性から懸念される影響	57
4.3.3.	環境影響評価項目の選定	58
4.3.4.	選定の理由	60
4.4.	環境影響評価プランストーリーの検討	61
4.4.1.	環境影響評価の調査・予測・評価の手法に関する既存事例	61
4.4.2.	環境要因に対する海域生物の応答に関する情報	64
4.5.	調査・予測・評価の手法に関する検討	71
4.6.	学識者へのヒアリング	75
4.7.	商用規模での環境影響評価の留意点	77
4.8.	海域における環境影響評価に関する課題	78
4.8.1.	ベースライン調査の実施	78
4.8.2.	調査項目	78
4.8.3.	調査手法	78
4.8.4.	評価手法	79
4.8.5.	モニタリング	79
5.	基本設計	80
5.1.	タービン・基礎	80
5.1.1.	潮流発電装置の概要	80
5.1.2.	基礎部の設計検討	81
5.2.	洋上電気設備	89
5.2.1.	洋上電気設備（基本構成）	89
5.2.2.	水中コネクタ（基本設計）	92
5.2.3.	発電装置側 海底ケーブル保護方法	99
5.3.	陸上変電設備	106
6.	施工方法	109
6.1.	施工技術の開発	109
6.1.1.	各種条件	109
6.1.2.	技術開発項目の抽出	112
6.1.3.	潮流発電タービン設置方法	113
6.1.4.	海底ケーブル及び水中コネクタ布設方法	116
6.1.5.	海外実績	129
6.1.6.	玉掛け・玉外し装置	130

6.1.7.	吊りピースの開発 .....	134
6.1.8.	今後の課題 .....	139
6.2.	水理模型実験による起重機船と吊荷の挙動確認 .....	139
6.3.	施工数値シミュレーション .....	150
7.	経済性評価 .....	163
7.1.	経済性評価手法 .....	164
7.1.1.	商用機の仕様検討 .....	164
7.1.2.	発電コストの検討 .....	169
7.2.	経済性評価結果 .....	172
7.3.	課題整理 .....	190
8.	地域との協調及び検討会の開催 .....	193
8.1.	社会受容性の調査 .....	193
8.2.	共同委員会 .....	195
8.2.2.	第1回共同委員会 .....	196
8.2.3.	第2回共同委員会 .....	196



## 要約

本委託事業は、我が国最大級の 1MW 潮流発電の実証研究に関する実現可能性調査を実施したものである。平成 26 年度からの 2 ヶ年間、検討候補地として、長崎県五島沖における、潮流シミュレーション、候補地選定、実証試験装置や陸上・洋上電気設備（海底ケーブル含む）、施工方法等の検討を行った。そして、それらの検討結果や当該分野で先行する海外動向等を踏まえ、経済性評価を行い、国内における潮流発電の将来見通し等を取り纏めた。具体的な業務内容は、以下の主要 8 項目である。

### <業務内容>

- (1) 潮流シミュレーションの実施
- (2) 実証候補地の選定
- (3) 実証試験装置の基礎設計
- (4) 陸上電気設備、海底ケーブルの検討
- (5) 実証試験装置の設置方法の検討
- (6) 経済性評価
- (7) 地域との協調及び外部有識者委員会の開催
- (8) 他事業との連携等

候補地選定において、潮流速や波浪等の気象・海象データを取得・解析し、試験装置の設置可能性の検証を行った。更に、候補地における環境影響評価として、方法書の検討では、調査・予測・評価の手法について、地域特性や事業特性を踏まえ、将来の関連事業において参考となる資料を取り纏めた。

経済性評価については、候補地選定や環境影響調査、発電装置や電気設備の設計、施工方法等の検討結果に基づく発電コストや課題検証と共に、諸外国の技術開発動向を調査、改善方策等を検討し、様々な課題が克服された場合に期待される将来発電コストの試算を行った。

また、本委託業務は環境省及び経済産業省の連携事業であり、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が推進する、「海洋エネルギー技術研究開発」において、潮流発電システムの発電機部分である、ナセルやブレード等の開発を行っている。そのため、評価委員会では、環境省及び経済産業省・NEDO による共同委員会を推進し、外部有識者による助言を受け、事業を実施した。

## Summary

The purpose of this project is to think about the feasibility of the demonstration of the 1MW tidal energy converter system, the largest of its kind, in Japan, off the coast of the City of Goto, Nagasaki Prefecture, in order to explore in detail about simulation of tidal current, selection of candidate sites, demonstration devices and subsea cables and installation methods. The outlook for internal tidal power plant cost was estimated as economic feasibility study on the basis of prior studies and the preceded international trend. Specifically, it performed the following tasks:

### <Project Tasks>

- (1) Simulation of Tidal Current;
- (2) Selection of Multiple Candidate Sites for Demonstration ;
- (3) Conceptual Design of the Demonstration Devices;
- (4) Examination of Onshore Substation and Subsea Cables;
- (5) Examination of Installation Methods of Demonstration Devices;
- (6) Economic Feasibility Study;
- (7) Local collaboration/Evaluation Committee Meetings
- (8) Collaboration with other project

In the candidate site selection, the meteorological and hydrographic data such as tidal current speed and ocean waves were observed and analyzed, in order to carry out a verification of the effects on the installation of the demonstration devices. In addition, the scoping document of environmental impact assessment that based on the regional characteristics, was compiled a document that can be used as a guide of the process of investigation, expectation and assessment in the future of the related projects. In regard to the economic evaluation, it was carried out the estimation of future power generation cost, which is expected that the various issues have been overcome along with the trend of technology and project development of foreign countries.

This is a cooperation project between the Ministry of the Environment (MOE) and the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI). Furthermore, the New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) is currently supporting the "Ocean Energy Technology Research and Development" project to develop nacelle and blades for a power generator of tidal energy convertor system. With these backgrounds, the Evaluation Committee Meeting encouraged the establishment of a joint committee with the MOE, the METI and the NEDO, and the project has been carried out with various advices from these external experts.

## 1. 委託業務の目的

海洋エネルギー発電の実用化は、再生可能エネルギーの導入を推進し、地球温暖化対策を強化していくために重要な取組である。特に、海洋エネルギー発電の中でも、早期の実用化が期待される潮流発電について、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、長崎県五島市沖において国内最大級の 1MW 級潮流発電システムの実証研究を推進すると共に、潮流発電事業に係る経済性検証を行い、国内の海象等に対応し、環境負荷を低減した事業性の高い潮流発電の技術を実用化することを目的とする。本年度は、昨年度の成果を踏まえてさらに詳細に適地選定調査、設計、施工検討及び事業計画や経済性に関する実現可能性調査や経済性評価等を実施し、実証にあたっての課題の検証を行う。

## 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、東亜建設工業株式会社、川崎重工業株式会社、古河電気工業株式会社、国立大学法人九州大学からなるコンソーシアムにより、長崎県五島市沖を実証候補海域とし、「国内の海洋エネルギー利用拡大に向けた 1MW 級潮流発電システムの開発・実証事業」を推進するものである。また、本委託業務は環境省及び経済産業省の連携事業であり、NEDO が推進する、「海洋エネルギー技術研究開発」において、潮流発電システムの発電機部分である、ナセルやブレード等の開発を行っている（図 2-1-1）。

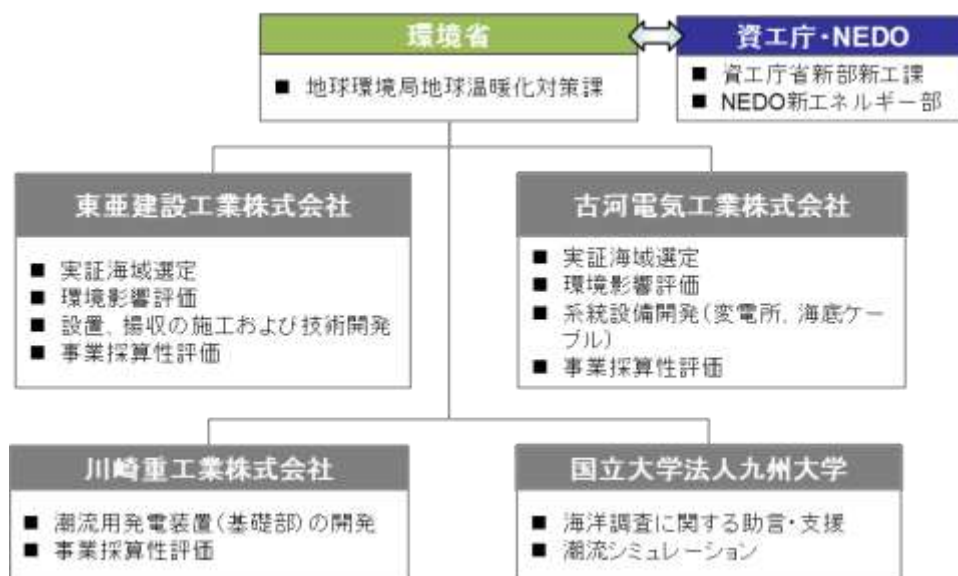


図 2-1-1 本委託業務の実施体制

## 2.2. 業務内容

本委託業務は、国内最大級の 1MW 級潮流発電システムの実証研究に向けて、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、長崎県五島市沖を実証候補海域としている。

具体的には、平成 26 から 27 年度に掛けて、気象・海象や環境影響、事業計画、基本設計や施工検討、経済性等に関する実現可能性調査（FS）を実施する（表 2-2-1、表 2-2-2）。

表 2-2-1 平成 26 年度業務内容と本報告書の対応

平成 26 年度業務内容	平成 26 年度報告書の章立てとの対応
(1) 法規・許認可調査	4. 基本検討（4.2. 法規・許認可）
(2) 潮流シミュレーションの実施	4. 基本検討（4.4. 海象条件）
(3) 実証候補地の選定	3. 実証候補海域の選定
(4) 実証試験装置の基礎設計	5. 概念設計 6. 今後の実施内容
(5) 陸上変電設備、海底ケーブルの検討	
(6) 実証試験装置の設置方法の検討	
(7) 経済性評価	4. 基本検討（4.8. 経済性評価）
(8) 地域協議会や評価委員会の開催	8 検討会の開催

表 2-2-2 平成 27 年度業務内容と本報告書の対応

平成 27 年度業務内容	平成 27 年度報告書の章立てとの対応
(1) 潮流シミュレーションの実施	3. 海域の詳細検討（3.1. 数値シミュレーション）
(2) 実証候補地の選定	3. 海域の詳細検討（3.4. 実証候補地の選定） 4. 環境影響評価方法書
(3) 実証試験装置の基礎設計	5. 基本設計
(4) 陸上変電設備、海底ケーブルの検討	
(5) 実証試験装置の設置方法の検討	6. 施工方法
(6) 経済性評価	7. 経済性評価
(7) 地域との協議及び外部有識者委員会の開催	8. 地域との協議及び検討会の開催

### 3. 海域の詳細検討

#### 3.1. 数値シミュレーション

昨年度に実施した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結果は、大潮時に実施された船載 ADCP による田ノ浦瀬戸、奈留瀬戸の潮流速分布の観測値と概ね良好な一致を示すことが分かった。また、奈留瀬戸における海底設置型 ADCP による 15 日間の流速観測値と比較して流向・流速の時刻歴データの一致が良いことが確かめられた。そこで、今年度の研究目的としてはこの発展形として以下の 2 項目について拡張を図ることとした。

- (1) 潮流発電装置設置位置付近での高解像度潮流シミュレーションを実施する
- (2) 密度成層を考慮した潮流シミュレーションを実施して、季節による潮流発電パワーへの影響を見積もる

(1)については、潮流発電装置の大きさが約 20m であることから別途行われる潮流タービン周りの CFD 計算で必要となる流速の入力条件に合わせた空間分解能でのシミュレーション、(2)については今後、必要となる潮流発電ファームの環境影響評価において必要となる海域の物理モデル（水温及び塩分）の構築を念頭に置いて実施する。

##### 3.1.1. 計算手法

潮流シミュレーションにおける計算領域としては、昨年度と同じ（約 120km x 80km、図 3-1-1）としたが、田ノ浦瀬戸及び奈留瀬戸における潮流発電装置の設置候補位置付近でのメッシュを最小 30m と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 3-1-1 は奈留瀬戸における高密度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、潮流発電装置の設置候補位置付近（実証フィールド）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。また鉛直方向の  $\sigma$  層数を 20 層として流れの鉛直分布を詳細に再現すると共に、後に示すように水温や塩分といった水質についてもその鉛直分布を再現した。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 Relaxation scheme(H.C.Davies,1976)を用いた。今回は潮流エネルギーの季節変動を評価するため、夏季及び冬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、夏季は7月と8月、冬季は1月と2月の平均値を用いて、定常状態（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：HITACHI HA8000-tc/HT210を使用した。

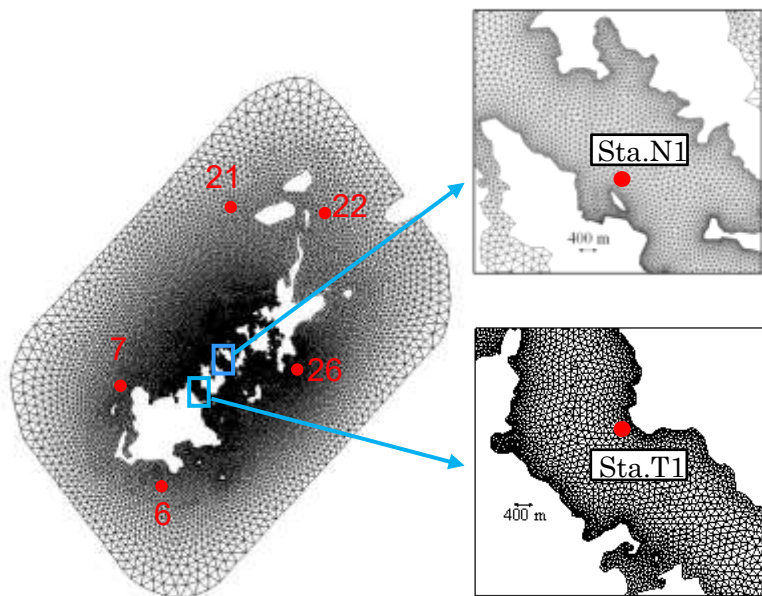


図 3-1-1 計算対象領域及び奈留瀬戸・田ノ浦瀬戸における計算格子の分布

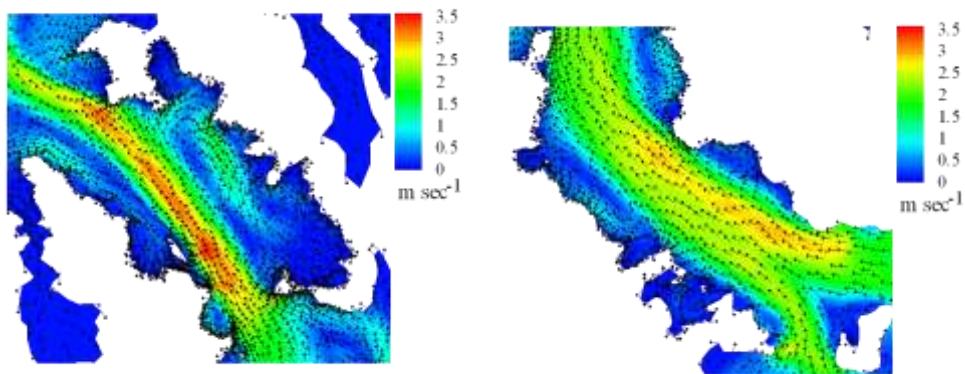


図 3-1-2 奈留瀬戸(左)・田ノ浦瀬戸(右)における計算された大潮上げ潮最強時の流向・流速分布

### 3.1.2. 計算結果

図 3-1-2 は、奈留瀬戸及び田ノ浦瀬戸における計算された大潮時上げ潮最強時における流向・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。両海峡のモデル解像度をあげたことによって、非常に詳細な潮流の状況を確認することが出来る。両海峡ともに流れが非常に強く、2.5 m/s を超えている。

図 3-1-3 は 2015 年夏季に実施された潮流観測における奈留瀬戸の ADCP 設置点を示している。図 3-1-4 は、海底上 21m 地点における東西・南北方向の流速 hodograph を観測値と計算値で比較した。本モデルの計算値は観測値とほぼ重なっており、高い再現精度を有することが確認できる。この地点では上潮時の流速は最大で 3m/s 以上であるのに対し、下げ潮時の流速はその半分程度となっていることが分かる。図 3-1-5(a)及び(b)は、この点の流速 (U, V) を成分ごとに時刻歴で観測値と計算値で比較した結果を示す。これらの結果からも本モデルが高精度のシミュレーションとなっていることが分かる。



図 3-1-3 ADCP 設置位置

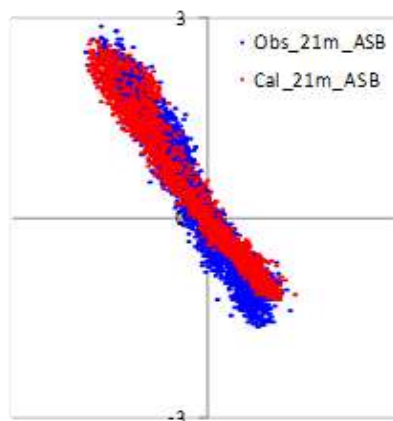


図 3-1-4 Sta. N1 における流速 hodograph

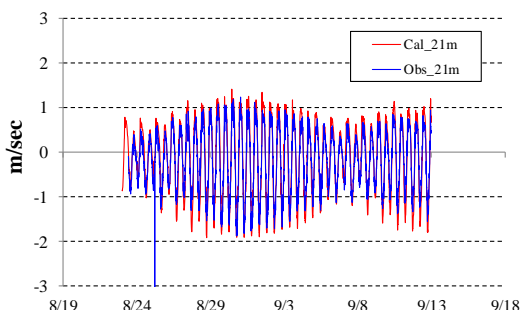
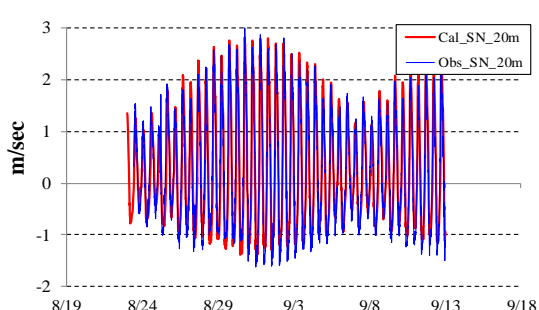


図 3-1-5 (a) 東西方向流速時刻歴の比較



(b) 南北方向流速時刻歴の比較

次に、図 3-1-6 は計算された水温及び塩分について、長崎県総合水産試験場による沿岸定線調査結果（夏季のみ表示）と比較したものである。観測された水温は日射による海面の加熱によって表層で高く深層に向かうにつれて下がっており、また塩分は逆に表層で低く底層で高い分布を示している。本モデルはこうした特徴をよく再現できていることが分かる。冬季についても同程度の再現精度を有していた。次に式（1）により水柱の成層強度  $\phi$  を評価した（Czitim and Simpson, 1998）。

$$\phi = \frac{1}{D} \int_{-H}^{\eta} gz(\rho_{ave} - \rho) dz \quad (1)$$

D は水深、g は重力加速度、 $\rho_{ave}$  は鉛直平均密度、 $\rho$  は水深 z 毎の密度である。 $\phi$  は水柱を鉛直に混合する際に必要なエネルギーを表しており、数値が高ければ高いほど成層強度が高く安定した水柱であることを意味している。夏季・冬季それぞれについて図 3-1-7 に示した。夏季は主に海面日射によって表層が暖められ、表・底の密度差が大きくなる。そのため、成層強度が高くなっていることが分かる。一方で冬季は海面冷却のため鉛直に混ざりやすくなり、成層強度は小さい。

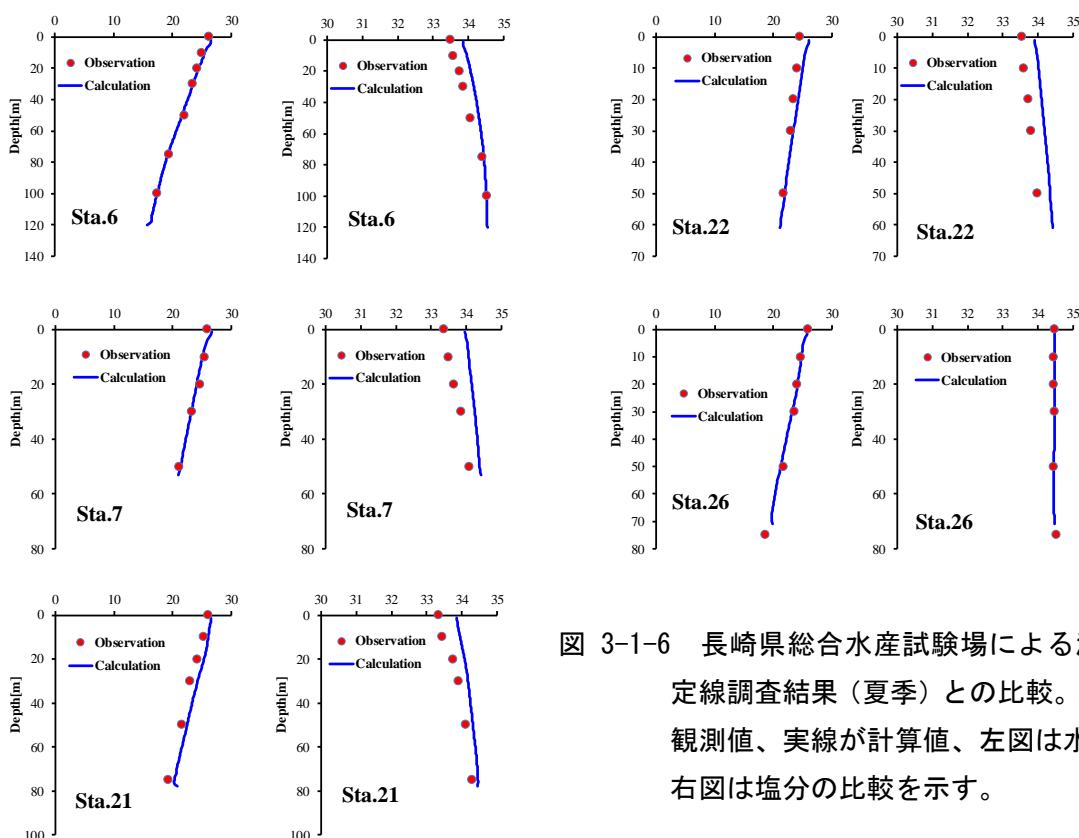


図 3-1-6 長崎県総合水産試験場による沿岸定線調査結果（夏季）との比較。点は観測値、実線が計算値、左図は水温、右図は塩分の比較を示す。



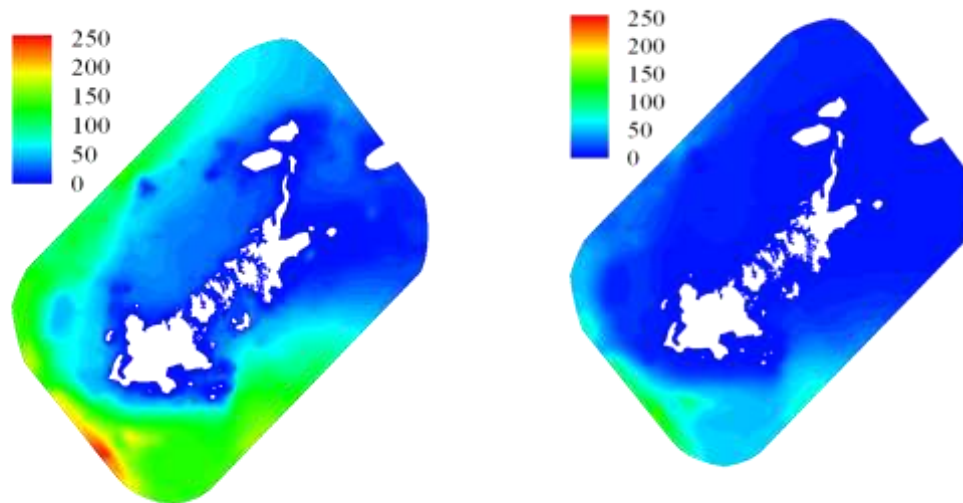


図 3-1-7 夏季（左）及び冬季（右）における成層強度

次に式（2）により潮流エネルギーポテンシャル(TCP)を計算した。

$$TCP = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3 \quad (2)$$

$\rho$  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）で平均した夏季及び冬季の水平分布を図 3-1-8 に示す。 $U$  は表層の値、 $A$  は単位断面積とした。両季節ともに瀬戸で非常に高いエネルギーポテンシャルを有している様子が分かる。また季節によって変化が見られることも分かる。そこで夏季のエネルギーポテンシャルを冬季の値で割った変化率（百分率）を田ノ浦瀬戸及び奈留瀬戸について図 3-1-9 に示す。この結果、夏季の潮流パワーポテンシャル(TCP)は両瀬戸の主要部において一般に低下すること、また、場所によっては 60~80% に低下する結果となっていることが分かる。この原因については、現在のところ明確ではないが、成層時に発生する内部波によって流れのエネルギーが消費されるという文献がある。今後、既存の複数の潮流観測データを含めて、詳細な解析を行い、TCP の季節変動について調査することが必要であると思われる。

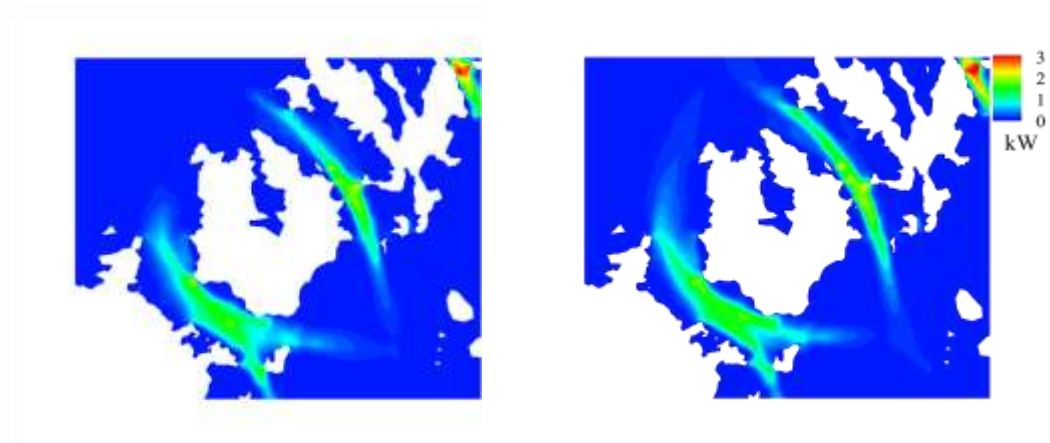


図 3-1-8 奈留瀬戸及び田ノ浦瀬戸における潮流エネルギーポテンシャル分布  
(左：夏季, 右：冬季)

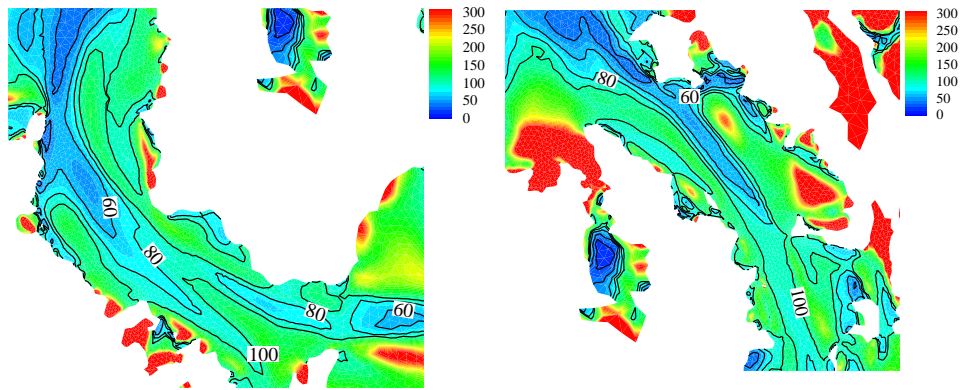


図 3-1-9 30日間平均した夏季TCP/冬季TCPの百分率(%)  
(左：田ノ浦瀬戸, 右：奈留瀬戸)

## 3.2. 海域調査

### 3.2.1. 調査概要

#### 調査目的

潮流発電実証機の設置位置を決定するため、1次調査で選定された2候補海域について、詳細に海象調査(2次調査)を行った。2次調査は季節変動を確認するため四季の調査とし、本年度(平成27年度)は、春季、夏季、秋季調査を行った。なお、冬期調査は昨年度に実施した。

また、施工条件の把握のため、通年の波浪調査や風況調査、海底の状況の調査を行った。

#### 調査項目

- ・ 潮流曳航調査(平面分布)
- ・ 潮流固定点調査(時間変化)
- ・ 海洋乱流調査
- ・ 海水温調査
- ・ 波浪調査
- ・ 風況調査
- ・ 既設海底ケーブルの現状調査
- ・ 海底微地形調査

#### 調査地点

1次調査で選定した田ノ浦瀬戸①、奈留瀬戸①の候補海域について調査を行った。また、波浪調査は地形の影響を受ける前の外海のデータを得るため、玄魚鼻地先、崎山地先を合わせて調査した。図3-2-1に調査地点を示す。

#### 調査時期

海象2次調査の現地調査工程を表3-2-1に示す。波浪調査と風況調査は今年度末まで継続して行う。

表 3-2-1 2次調査 工程表 (実績)

調査項目	平成27年												平成28年					
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
海象調査	潮流流速(曳航)		■			■				■		■						
	潮流流速(定点)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	海洋乱流調査		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	波浪調査		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	海水温調査		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
風況観測	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
付着生物調査																		
海底微地形調査																		

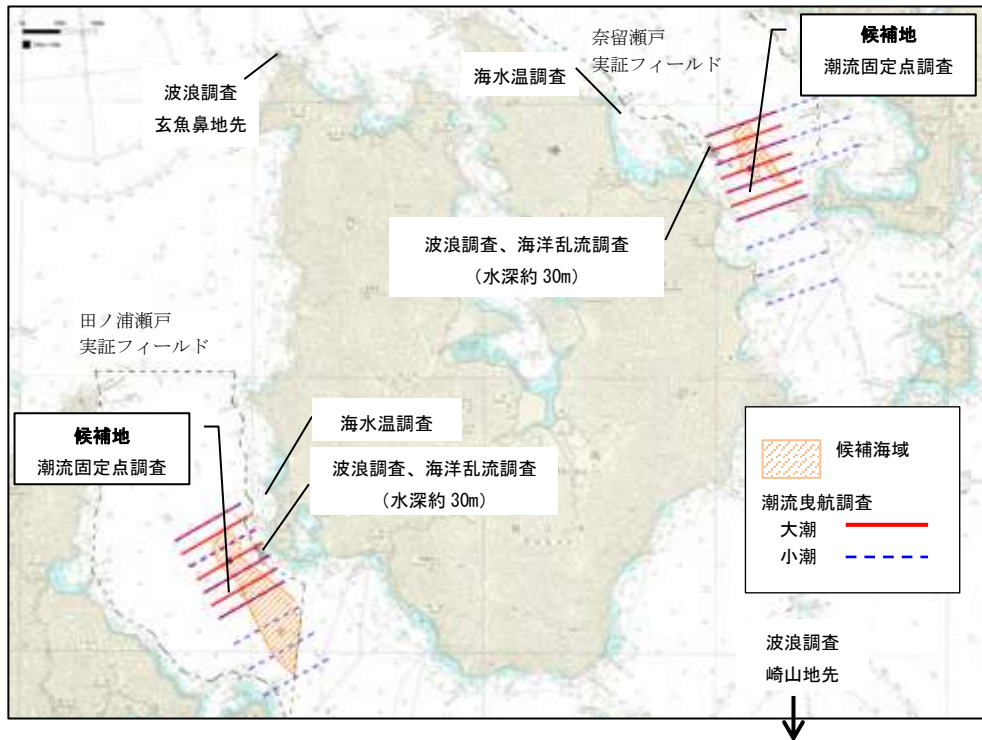


図 3-2-1 2次調査 調査地点

### 3.2.2.潮流曳航調査（平面分布）

#### 調査目的

実証機の設置地点の選定にあたり、潮流の流速が大きい海域を把握するため流速調査を実施する。大潮における上げ潮、下げ潮の最大潮流流速の平面分布を算定する。

実証機の設置作業は、流れが穏やかな小潮時の潮留まりの前後に行う。確実な施工を行うため、このときの流れの特性を把握するため、施工が想定されている春季に小潮時の調査も実施した。

#### 調査方法

1次調査と同様に、ADCP（多層ドップラー流速計）を舷側に取り付けた作業船を航走させ、測線上の潮流の分布を測定した。大潮期は上げ潮最強時、下げ潮最強時の時間帯、小潮期は上げ潮最強時、転流時、下げ潮最強時の時間帯を中心とした1時間～1時間30分程度を目安にして測線上を測定した。

測線は、図 3-2-1 を参照のこと。

#### 調査結果

発電装置のロータ中心となる海面下 20m の流速水平分布を図 3-2-2 に示す。また、小潮期については、施工時に影響を受けやすい海面下 5m の流速水平分布を図 3-2-3 に示す。

春季調査の大潮期、小潮期における奈留瀬戸及び田ノ浦瀬戸での、実証候補地点周辺の流れの概要を以下に示す。

##### ① 大潮期：奈留瀬戸（5月18日測定）

下げ潮時の流速は最大で 2m/s 程度であった。上げ潮時の流速は下げ潮時に比べて強くなり、最大で 3.7m/s 程度であった。鉛直分布では下層になるにつれて徐々に弱くなっていた。

##### ② 大潮期：田ノ浦瀬戸（5月19日下げ潮時測定、6月3日上げ潮時測定）

下げ潮時の流速は最大で 2.5m/s 程度であった。上げ潮時の流速は 3.3m/s 程度と下げ潮時に比べて強くなっており、鉛直分布では下層になるにつれて徐々に弱くなっていた。

##### ③ 小潮期：奈留瀬戸（5月11日上げ潮時・転流時、6月10日上げ潮時測定）

上げ潮時の流速は 1～1.5m/s の流速であり、転流時の調査海域の流速はほぼ 0.5m/s 未満であった。下げ潮時の流速は 1.0m/s 程度で、上げ潮時に比べて全体に弱くなっていた。

##### ④ 小潮期：田ノ浦瀬戸（5月10日測定）

上げ潮時の流速は 1.5～2.0m/s 前後であり、転流時の流速はほぼ 1.0m/s 以下であった。また、下げ潮時の流速は 1～1.5m/s 程度であり、上げ潮時に比べて全体に弱くなっていた。

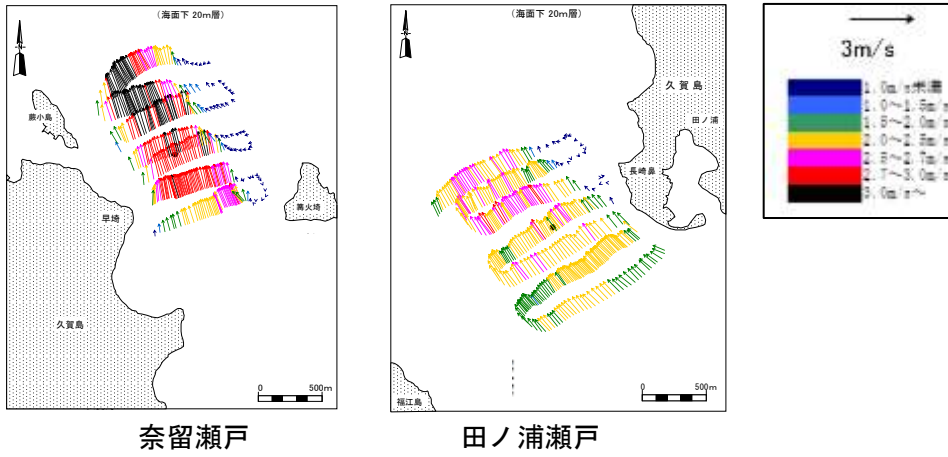


図 3-2-2 大潮期の流速水平分布（上げ潮時、海面下 20m）

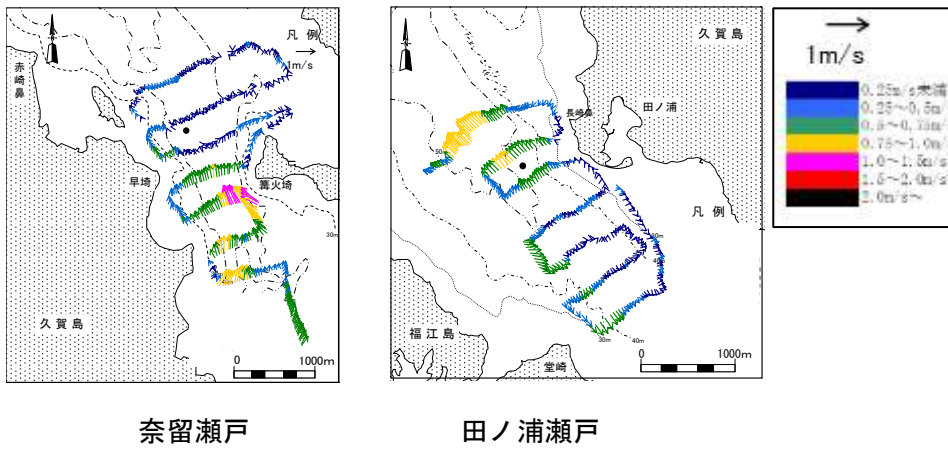


図 3-2-3 小潮期の流速水平分布（転流時、海面下 5m）

### 3.2.3.潮流固定調査（時間変化）

#### 調査目的

奈留瀬戸、田ノ浦瀬戸の代表点における、潮流の流速の時間変化を把握するため流速調査を実施する。また、四季の調査を行い、季節変動を確認する。

#### 調査方法

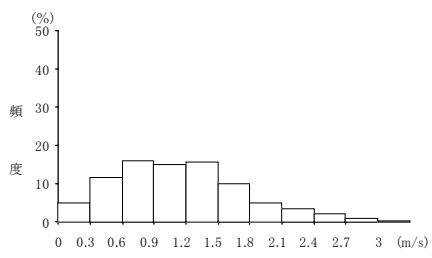
1 次調査と同様に、田ノ浦瀬戸及び奈留瀬戸の海底に ADCP（多層ドップラー流速計、WH-ADCP、Teledyne RD Instruments 社製、600KHz）を設置し調査を行った。測定は 1m 層毎の多層の流速及び流向を 15 日間連続して行った。2 次調査では、設置候補点を想定して、自動浮上装置を使用して水深約 45m の海底に設置した。

調査地点は、図 3-2-1 を参照のこと。

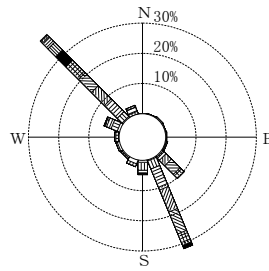
#### 調査結果

田ノ浦瀬戸と奈留瀬戸について、図 3-2-4、図 3-2-5 に海底面上 20m における春～秋季の流速の頻度分布と流向の頻度分布を示す。

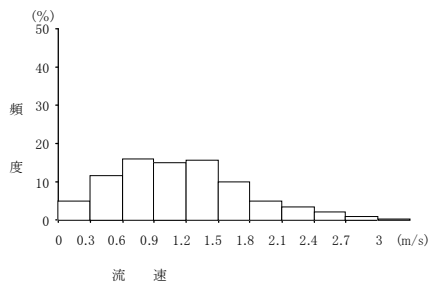
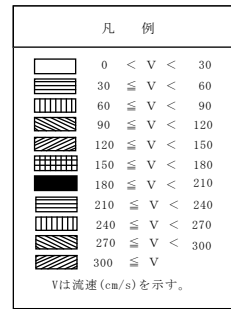
田ノ浦瀬戸では上げ潮時に北北西から北西の流れ、下げ潮時に南の流れとなり、最大で 3.0m/s 程度の流速が観測された。奈留瀬戸では上げ潮時に北北西の流れ、下げ潮時に南南東の流れとなり、上げ潮時の流速が下げ潮時より大きく、最大で 3.0m/s を超える流速が観測された。両海域とも、顕著な季節変動は見られなかった。



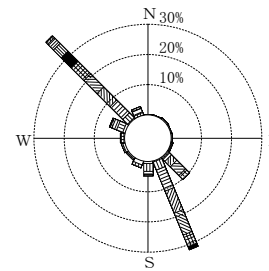
[春季] 流速 (流速頻度)



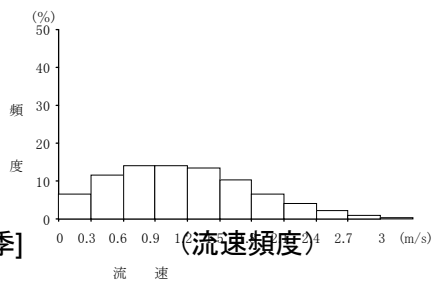
(方位別流速頻度)



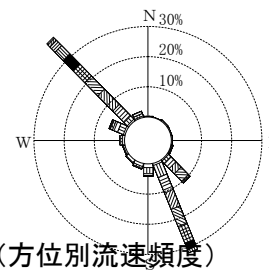
[夏季] 流速 (流速頻度)



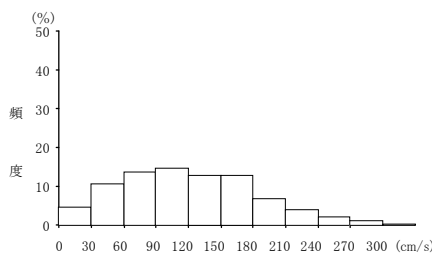
(方位別流速頻度)



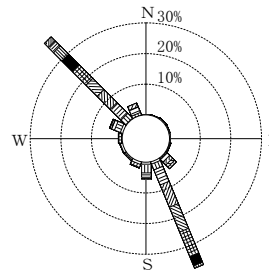
[秋季] 流速 (流速頻度)



(方位別流速頻度)



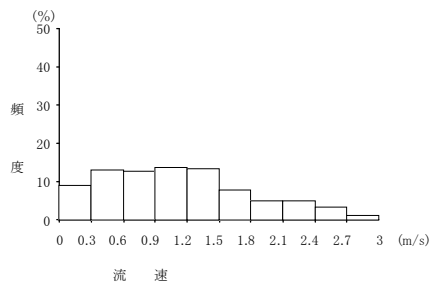
[秋季] 流速 (流速頻度)



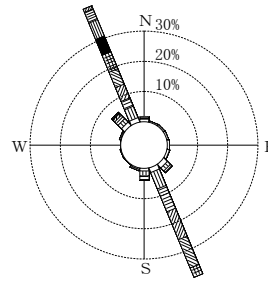
(方位別流速頻度)

図 3-2-4 流速頻度 (田ノ浦瀬戸：海底面上 20m)





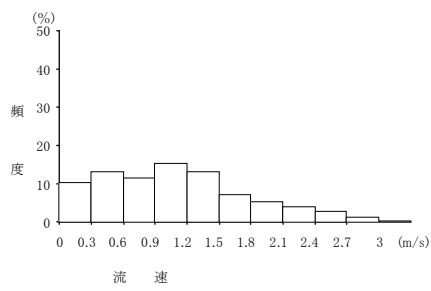
[春季] (流速頻度)



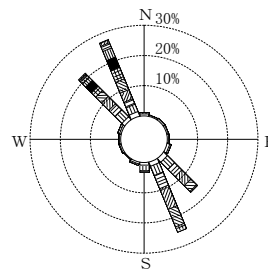
(方位別流速頻度)

凡 例	
	0 < V < 30
	30 ≦ V < 60
	60 ≦ V < 90
	90 ≦ V < 120
	120 ≦ V < 150
	150 ≦ V < 180
	180 ≦ V < 210
	210 ≦ V < 240
	240 ≦ V < 270
	270 ≦ V < 300
	300 ≦ V

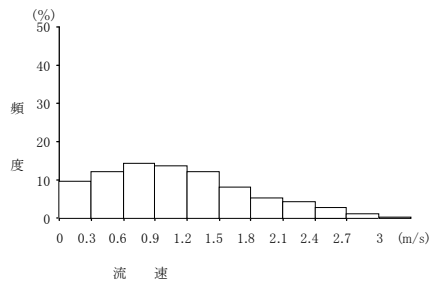
Vは流速 (cm/s) を示す。



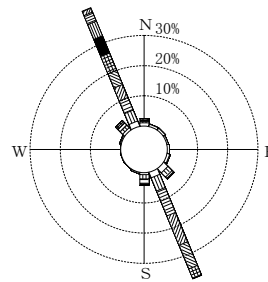
[夏季] (流速頻度)



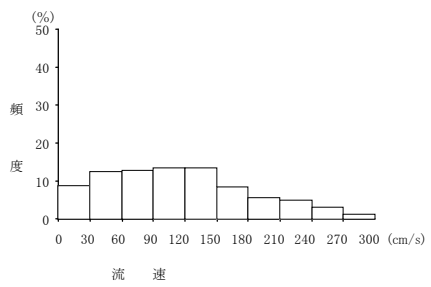
(方位別流速頻度)



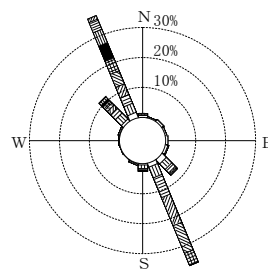
[秋季] (流速頻度)



(方位別流速頻度)



[冬季] (流速頻度)



(方位別流速頻度)

図 3-2-5 流速頻度 (奈留瀬戸 : 海底面上 20m)

### 3.2.4. 海洋乱流調査

#### 調査の目的

海洋乱流による短い周期の流速変動がブレードに振動を励起させ、悪影響を及ぼす可能性がある。発電装置のブレードの設計に必要な潮流流速の乱流強度を把握する。

#### 調査方法

奈留瀬戸及び田ノ浦瀬戸の実証試験候補地点の周辺、水深約 45m の海底に SV-ADCP 多層ドップラー流速計 (Sentinel V50、Teledyne RD Instruments 社製) を設置し、海洋乱流の計測を行った。サンプリング周波数は 2Hz とした。

乱流強度は下式により求めた。

$$\text{乱流強度 (TI)} = (\text{流速成分の標準偏差}) / (\text{平均流速成分})$$

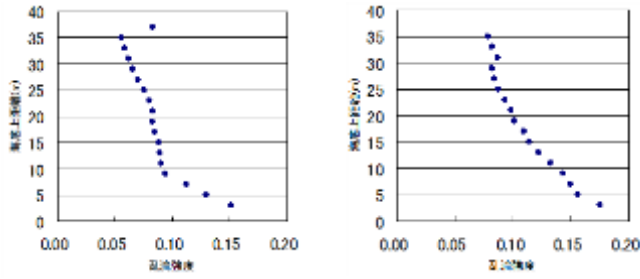
#### 調査結果

田ノ浦瀬戸と奈留瀬戸における海洋乱流計測データのうち、6月3日の大潮下げ潮最強時と上げ潮最強時の乱流強度の鉛直分布と流速変動のスペクトルを、それぞれ図 3-2-6、図 3-2-7 に示す。

両海域とも下げ潮時に比べ上げ潮時の方が流速・乱れとも大きい傾向であった。乱流強度の鉛直分布は海底側が大きく、海面に近くなるにしたがって小さくなる傾向であった。また、流速が強くなるとともに乱れが少なくなる傾向が見られた。

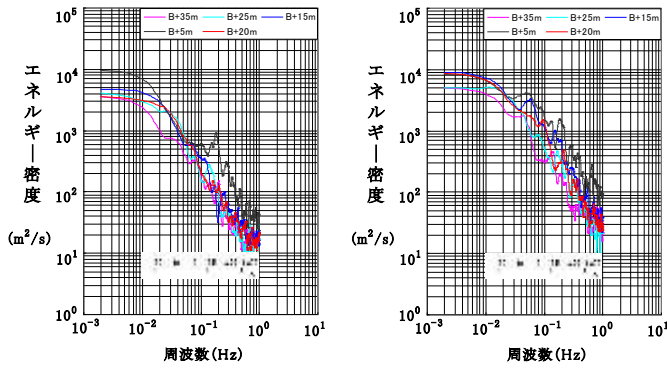
流速のスペクトルをみると下げ潮時に比べて上げ潮時のエネルギー密度が周波数によらず全体に大きい傾向が見られた。また、海底地形の影響を受ける海底上 5m を除けば高周波側のスペクトルの形状はほぼ同様であった。

乱流強度は流速の速い時間帯で 0.2~0.4 程度であった。



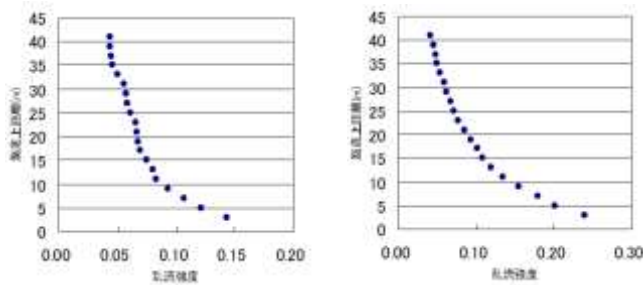
田ノ浦瀬戸  
左：下げ潮最強時  
右：上げ潮最強時

図 3-2-6(1) 乱流強度の鉛直分布



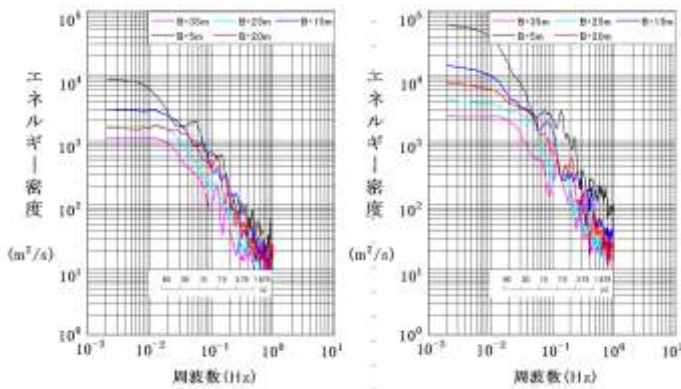
田ノ浦瀬戸  
左：下げ潮最強時  
右：上げ潮最強時

図 3-2-6(2) 流速変動スペクトル



奈留瀬戸  
左：下げ潮最強時  
右：上げ潮最強時

図 3-2-7(1) 乱流強度の鉛直分布



奈留瀬戸  
左：下げ潮最強時  
右：上げ潮最強時

図 3-2-7(2) 流速変動スペクトル

### 3.2.5.海水温調査

#### 調査の目的

海水は発電装置の冷却水として使用されるため、発電装置の設計条件として海水温を把握する必要がある。また、環境影響評価においても、必要なデータである。

#### 調査方法

田ノ浦瀬戸は水深約 30m、奈留瀬戸は水深約 20m の地点において、表層（面下 1m）、中層（水深の中間）、下層（海底上 1m）の 3 層にメモリー式水温・塩分計（C-CT 計、J F E アドバンテック社製）を取り付け水温の連続測定を行った。測定は 10 分間隔とした。

#### 調査結果

田ノ浦瀬戸と奈留瀬戸における四季の海水温の経時変化を図 3-2-8 に示す。併せて長崎県水産総合試験場が実施している五島沖での観測結果を示す。2 地点の水温はおおむね同程度であり、長崎県水産総合試験場による五島沖での観測結果と比較すると、やや低い水温であった。

なお、奈留瀬戸、田ノ浦瀬戸とも、上層、中層、下層での水温の鉛直方向に差は見られなかった。

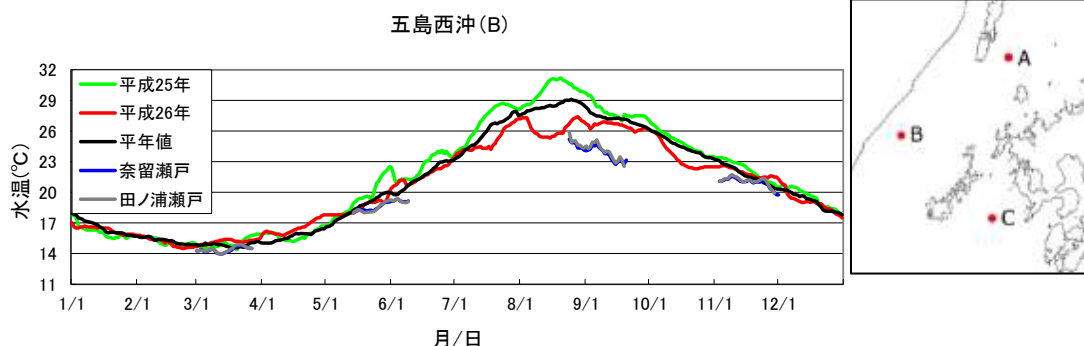


図 3-2-8(1) 海水温の経時変化（五島西沖(B 地点)との比較)

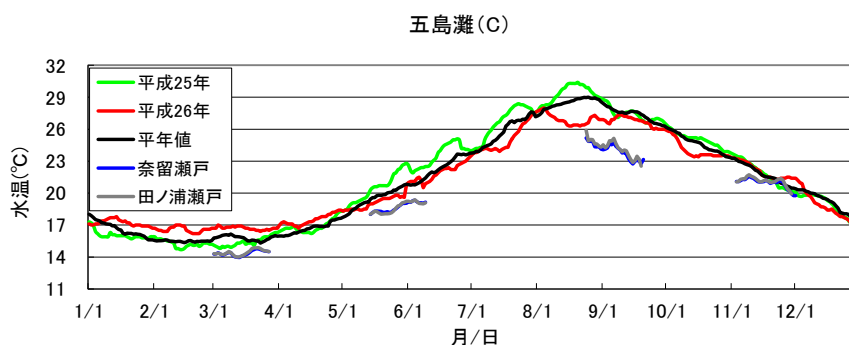


図 3-2-8(2) 海水温の経時変化（五島西沖(C 地点)との比較)

### 3.2.6. 波浪調査

#### 調査の目的

発電装置の設置作業の実施可否や稼働率、据付精度、作業安全性は、現地海域の波浪条件の影響を強く受けるため、波浪の特性を把握しておく必要がある。また、波浪による往復流がブレードに及ぼす影響も把握しておく必要がある。

#### 調査方法

1次調査から継続して通年で、図 3-2-1 に示す田ノ浦瀬戸、奈留瀬戸、玄魚鼻、崎山の4地点において、波高・波向の連続計測を行った。水深 25～30m の海底に波高計 (WAVEHUNTER-08、アイオーテック社製) を設置した。玄魚鼻と崎山は、それぞれ久賀島の北側、福江島の南側に位置し、地形の影響を受けない外洋の波浪として取り扱う。

#### 調査結果

4地点の1年間の月別平均有義波高と周期を図 3-2-9 に示す。秋～冬季にかけては、季節風の影響を受け、北側の玄魚鼻の波高が高い。春～夏季は、南側の崎山がほぼ同じ波高を示している。田ノ浦瀬戸と奈留瀬戸は遮蔽海域となるため外海の約半分の波高で、夏季には 30cm を下回っている、周期はすべての海域で概ね 6 秒以下である。夏季の崎山では、台風によるうねりで周期が長くなっている。

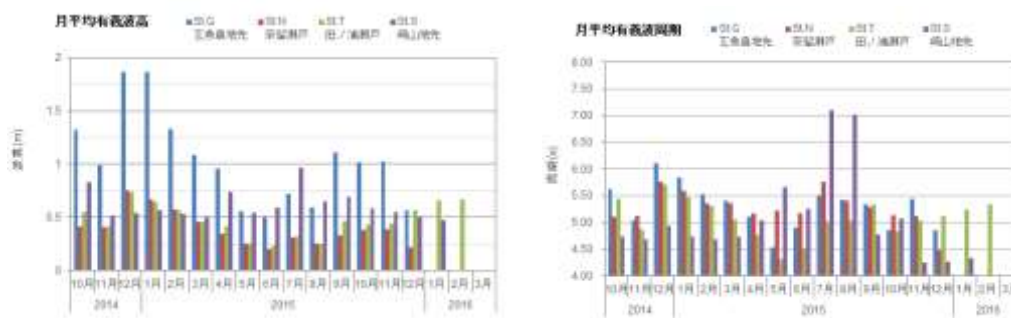


図 3-2-9(1) 月別平均有義波高

(2)月別平均有義波周期

図 3-2-10 に、4 地点の有義波高と周期出現頻度を示す。各地点の波浪状況の概要は以下の通りである。

① 玄魚鼻地先

外洋に面しているため波高が高い日には有義波高は 5~6m に達することもある。周期は 3~8 秒である。北西に開けている海域であるため、WNW~NW~N の出現が多い。

② 奈留瀬戸

NW や WNW の出現が多く、瀬戸内の日本海側（北側）の開口部から侵入する波が卓越した。ただし、ESE の出現率が高まる月もあり、太平洋側（南側）から侵入する波も確認された。

潮流の流速や流向の変化と対応するような周期的な波高変化がみられる。島の遮蔽効果により、有義波高は玄魚鼻の約 1/2 である。有義波高は最大でも 2m 程度で、周期は約 3~8 秒の範囲で変動しており、高波浪の時期の波向はほぼ北西方向であった。

③ 田ノ浦瀬戸

NW 次いで NNW と北側から進入する波の出現が多く見られた。一方で、SE 方向の出現率も高く、奈留瀬戸と同様に南側から侵入する波が一定の割合で確認された。

奈留瀬戸と同様に潮位変化に対応するような周期的な波高変化が見られる。波の周期は約 3~8 秒の範囲で変動しており、高波浪時の波向はほぼ北西方向が多くみられた。

④ 崎山地先

概して、東シナ海方面に相当する SW~S~SE からの波の出現が満遍なく多く、逆に陸（島）側にあたる WSW~N~NE の出現が少ない。

台風による高波浪が見られるものの、玄魚鼻と比較して波高は小さい。波の周期は 3~8 秒で変動している。南側に開けている海域であるため、高波浪の時期の波向は南方向が多い。

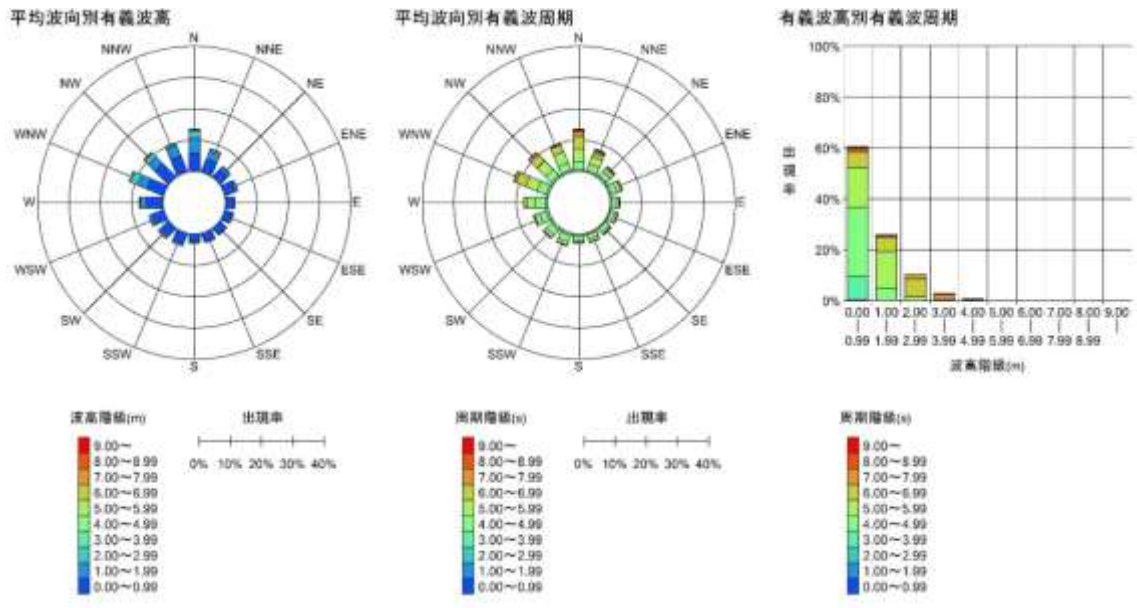


図 3-2-10(1) 波浪の出現頻度（玄魚鼻）

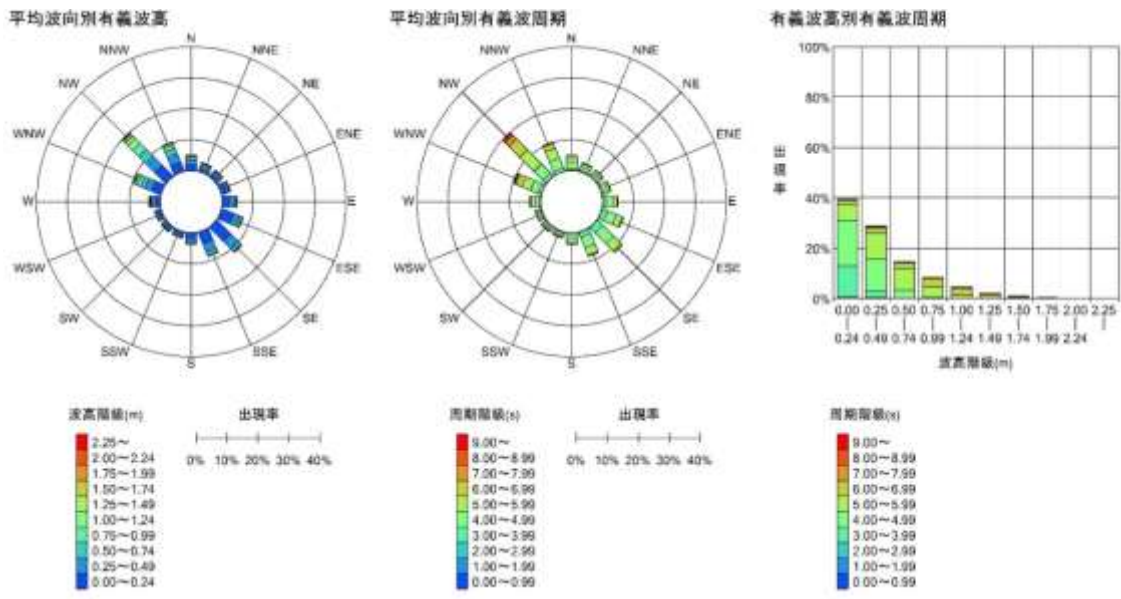


図 3-2-10(2) 波浪の出現頻度（奈留瀬戸）

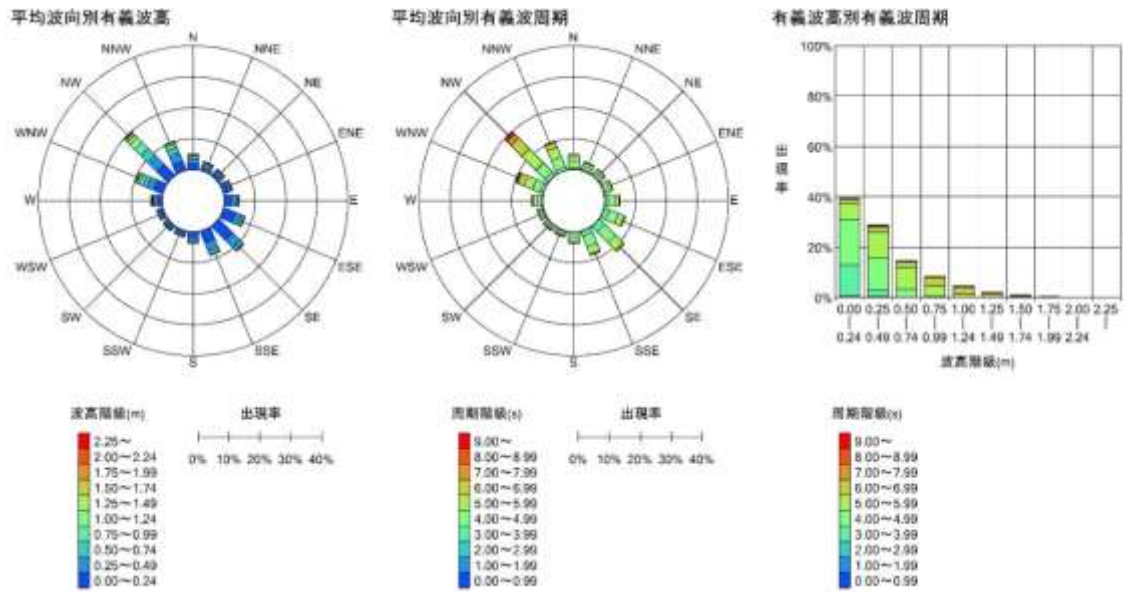


図 3-2-10(3) 波浪の出現頻度 (田ノ浦瀬戸)

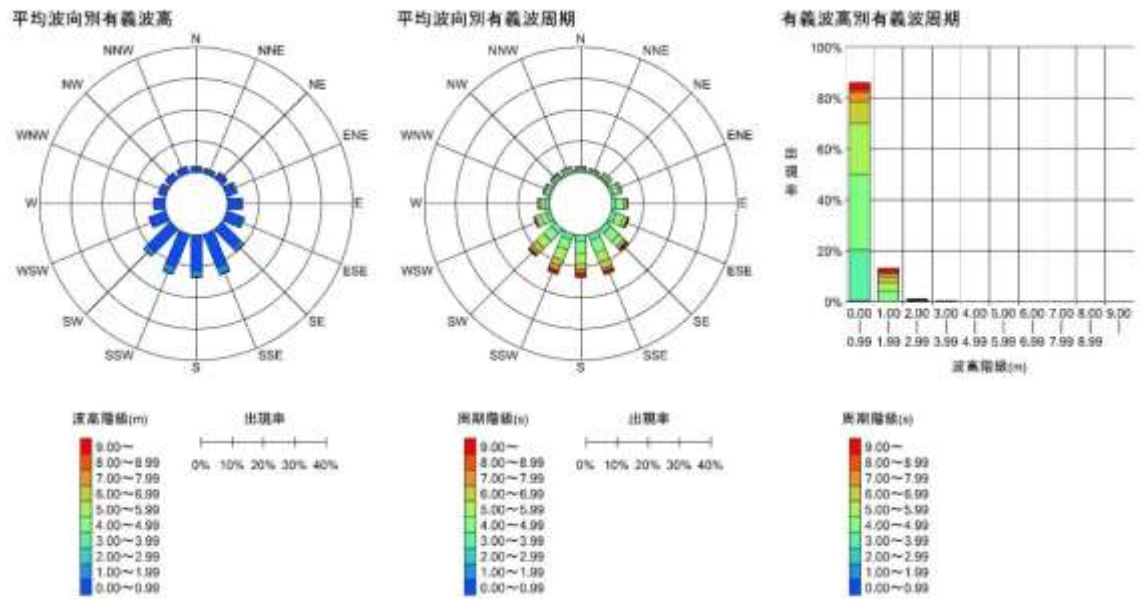


図 3-2-10(4) 波浪の出現頻度 (崎山)



### 3.2.7.風況調査

#### 調査目的

調査海域の風況を把握するため、風向・風速の連続観測を行った。施工時の作業可否判断や波浪予測の入力データとして使用する。

#### 調査方法

久賀島蕨地区の折紙展望台に、テレメトリーシステムによる風向・風速計を設置した。風速計の設置高さは10mとし、測定間隔は10分とした。図3-2-11に風速計の設置位置を示す。通年で連続して観測を行った。



図3-2-11 風速計設置位置

## 調査結果

調査結果の例として、図 3-2-12 に四季の風向の出現頻度と風向別平均風速を示す。ほ春季は北西の頻度が卓越しており、夏季は卓越風向不明瞭であった。秋季及び冬季の最多風向は北西であり、冬季はその平均風速も高くなっていた。

観測期間：平成 26 年 11 月～平成 27 年 10 月

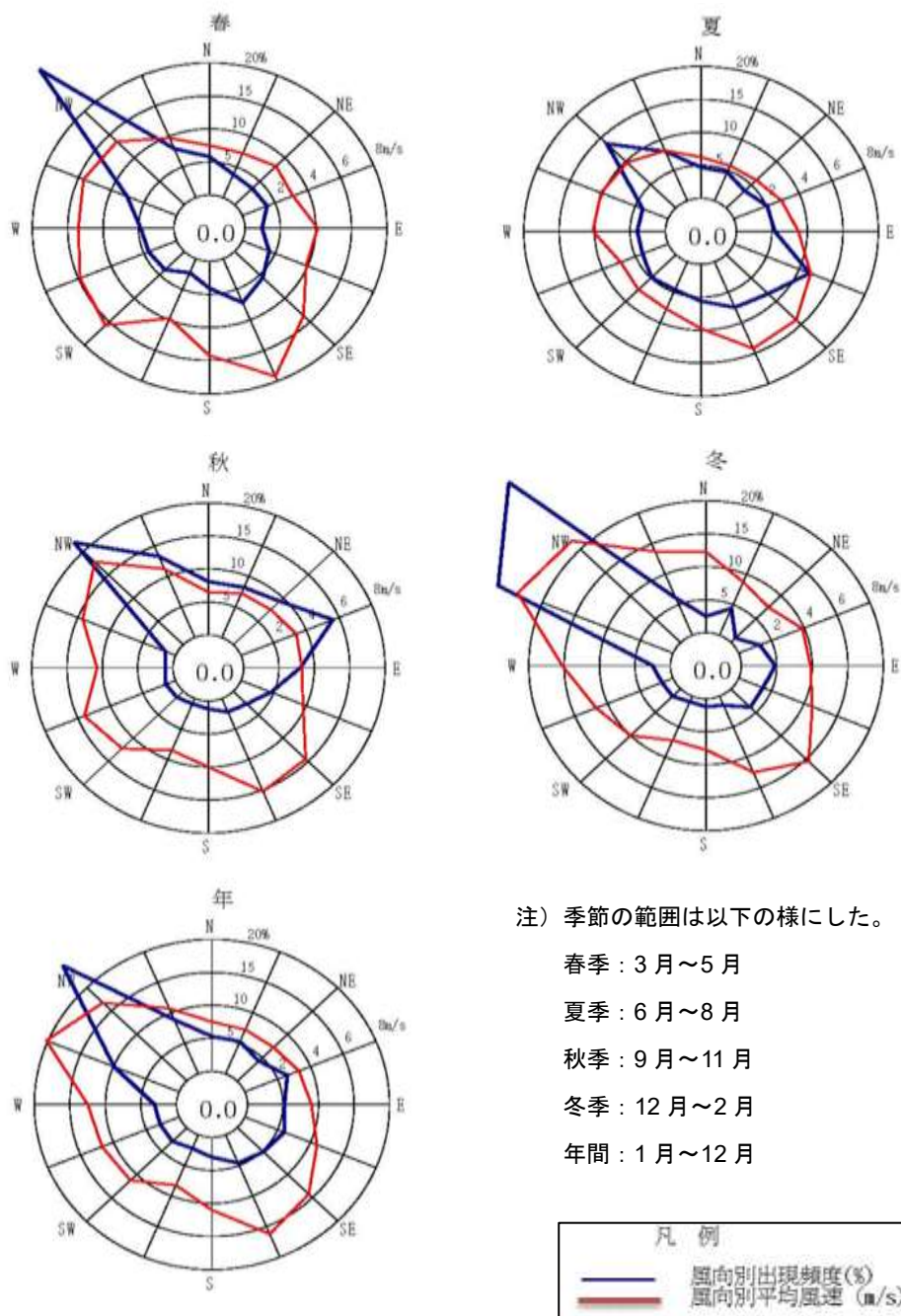


図 3-2-12 風向別出現頻度と平均風速

### 3.2.8.既設海底ケーブルの現状調査

#### 調査目的

田ノ浦瀬戸及び奈留島瀬戸の海底には、電力ケーブルや光ファイバーケーブルが布設されている。実証機設置点や作業海域を海底ケーブルが通過していると、海底ケーブルに損傷を与える可能性がある。海底ケーブルは海図に記載があるが、現状の海底ケーブルのルートや布設状況は不明である。

ここでは、実証候補地に近いルートを通る奈留瀬戸の光ファイバーケーブルのルートと布設状況を確認する。

#### 調査項目

- ・海底ケーブルのルート
- ・海底ケーブルの布設状況確認

#### 調査方法

水深が十分ある瀬戸中央では、サイドスキャンソナー（EdgeTech 社製 2000-DSS）及び磁気探査機（Geometrics 社製 G880）を使用して布設されたケーブルルートの調査を行った。また、ケーブルルートを特定した後に、水中ビデオを ROV に搭載してケーブル状況の撮影を行った。

水深が浅く海象条件や作業時間の制約で、上記手法で調査ができない海域では、水中ロボット（東亜建設工業 開発 Deep Crawler）に水中カメラを搭載して調査を行った。

#### 調査海域

調査海域は、調査結果の図 3-2-13 を参照のこと。図中の赤枠はサイドスキャンソナーと磁気探査機による調査海域、青枠は水中ロボットによる調査海域である。

#### 調査結果

調査結果を図 3-2-13 に示す。奈留瀬戸を横断している波線が、公表されている光ファイバーのケーブルルートである。海図に記載された海底ケーブルは 1 本であるが、調査の結果、海底ケーブルは 2 本布設されていることが分かった。そのうち南側の海底ケーブルは、海図記載箇所より南側 130～150m 付近にあり、海図のルートから大きく外れていることが分かった。

海底ケーブルの布設状況の例を図 3-2-14 に示す。岩盤上ではケーブルが露出しており、砂地盤の海域では海底ケーブルが埋没している状況が確認できる。水中ロボット Deep Crawler の調査状況も示している。

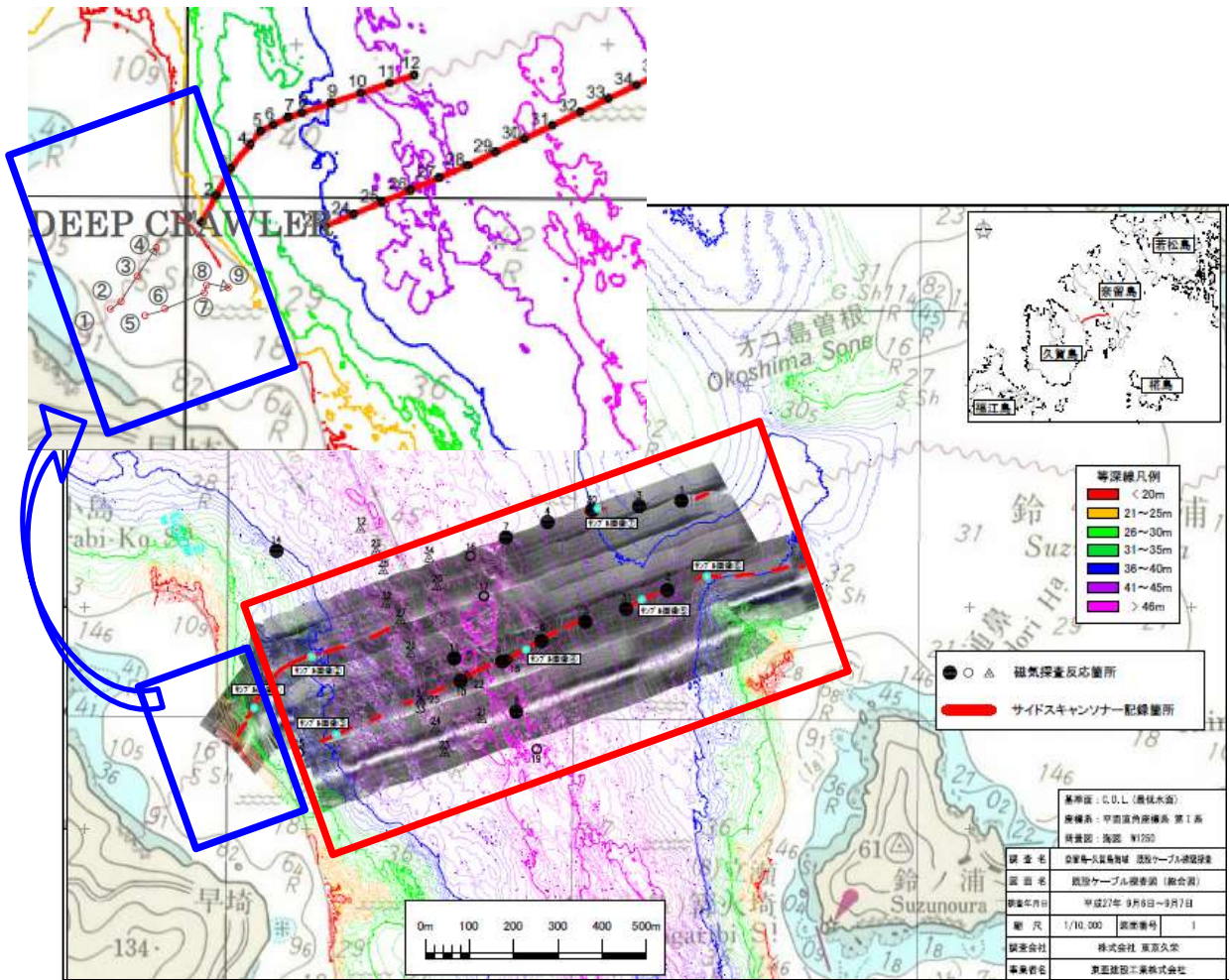


図 3-2-13 既設海底ケーブルルート

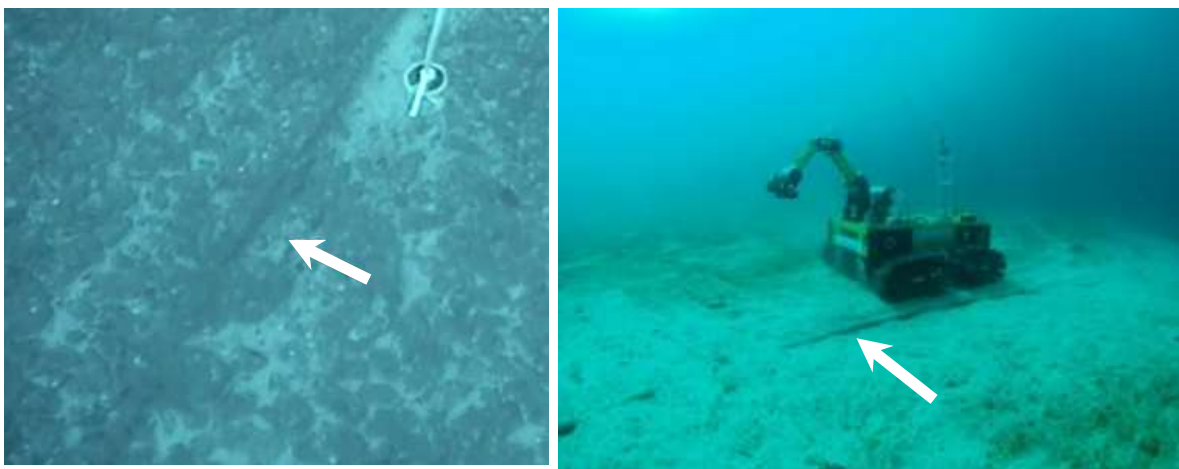


図 3-2-14 左：岩盤上のケーブル、右：砂地盤上のケーブルと Deep Crawler



### 3.2.9.海底地形調査

#### 調査目的

潮流発電実証機の設置点は、海底が岩盤や薄い砂層あること、設置点の周辺の海底が平滑で海底勾配が5度以下であることなどが要求される。ここでは、1次調査では把握できなかった海底の微地形を確認するため、有力候補地点の奈留瀬戸①南西地点を対象として、ビデオ撮影を行った。

#### 調査方法

図 3-2-15 に示すように、ROV（Mitsui RTV N-100、三井造船製）にビデオカメラを搭載して、調査船上からリモートコントロールして海底付近を移動させた。



図 3-2-15 ROV 調査状況

#### 調査結果

奈留瀬戸の調査範囲は、起伏が少なく 200m の間に 1~2 ヶ所 0.3m 程度の段差がある程度あった。拳大の石が多いが稀に大きな岩が存在した。図 3-2-16 の ROV の撮影画像に示すように、有力候補地点の周辺は平坦であった。

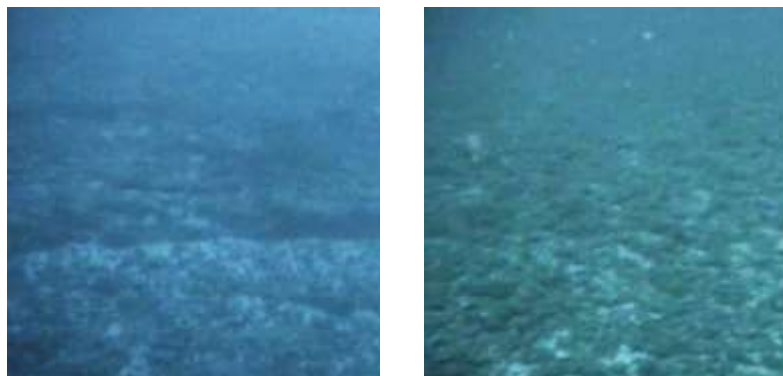


図 3-2-16 ROV による撮影画像の例（右：田ノ浦瀬戸、左：奈留瀬戸）

### 3.3. 生物付着調査

#### 3.3.1. 調査概要

##### 調査目的

潮流発電装置において、海中における表面への海洋生物付着や腐食は、耐久上大きな問題の1つである。特に、生物付着では稼働部であるロータの減速や、腐食では構造材の劣化が懸念され、性能低下や安全性に対して大きな影響を与える可能性が高いと考えられる。このため、海洋生物の付着防止対策として防汚塗料を、腐食対策として重防食塗料を装置に塗布する予定である。

それぞれの塗料による効果を検証するために、潮流発電装置の設置候補海域にて、生物付着調査を行い、塗料の防汚・防食効果を確認する。また、海洋生物が付着した場合のメンテナンス性（水圧洗浄による洗浄性）や熱交換器など機器表面に与える影響の確認を行う。

##### 調査項目

- ・ 付着物の観察
- ・ 付着物の生物分析
- ・ メンテナンス性確認試験（高水圧洗浄試験）
- ・ ドッキング部引き剥がし試験（せん断試験）
- ・ 熱交換器の効率低下確認

##### 調査場所

生物付着調査の調査地点を図 3-3-1 に示す。1次調査で実証候補海域に選定された、奈留瀬戸①内の水深 30m の海底に試験片を設置した。



図 3-3-1 生物付着調査 調査地点

### 試験片の種類

海底に設置した試験片の種類を図 3-3-2 に示す。

- ・ 試験片①：ナセル本体と同じ材質に塗料を塗布していない試験片
- ・ 試験片②：ナセル本体と同じ材質に防食塗料を塗布した試験片
- ・ 試験片③：ブレードと同じ材質に塗料を塗布していない試験片
- ・ 試験片④：ブレードと同じ材質に防汚塗料（海外シリコン系）を塗布した試験片
- ・ 試験片⑤：ブレードと同じ材質に防汚塗料（国内シリコン系）を塗布した試験片
- ・ 試験片⑥：着脱部を模したステンレス製の 2 重円筒の試験片（引剥し試験）  
（ドッキング部を模したステンレス製二重円筒で、内外管の間隙は 5mm）
- ・ 試験片⑦：熱交換器を模した試験片



図 3-3-2 架台に設置した試験片

調査時期

昨年度平成 27 年 3 月に 1 年分の各種試験片を固定した架台を設置した。今年度は、設置した試験片を四季ごとに順次引き揚げた。調査工程を表 3-3-1 に示す。

表 3-3-1 生物付着調査 調査工程

	四季	2015年				2016年	備考
		(冬)	春	夏	秋	冬	
		3月	5月	9月	11月	1月	
	引揚げ月	0ヶ月	3ヶ月	6ヶ月	9ヶ月	12ヶ月	
試験片 引上げ 回数	①: ナセル・無	—	1	2	3	4	
	②: ナセル・塗	—	—	1	—	2	
	③: ブレード・無	—	1	2	3	4	
	④: ブレード・塗	—	—	1	—	2	
	⑤: ブレード・塗	—	—	1	—	2	
	⑥: 着脱部	—	1	2	3	4	
	⑦: 熱交換器	—	—	1	—	2	
回収片数	生物分析		①③	①②③④⑤	①③	①②③④⑤	
	水圧洗浄試験		①③	①②③④⑤	①③	①②③④⑤	
	引剥し試験		⑥	⑥	⑥	⑥	
	熱交換器試験			⑦		⑦	
	合計		3	7	3	7	



### 3.3.2.付着物の観察

#### 調査目的

各種試験片に付着した生物を観察し、実証海域における発電装置に付着する生物の特性と付着状況を確認する。

#### 調査方法

調査回ごとに調査対象の試験片をダイバーが引き揚げ、写真撮影を行った。試験片①～⑤については外観観察を行い、主な付着物の被度、付着物重量、生物付着の厚さ等を記録した。試験片⑥、⑦については、主な付着物の被度について記録を取った。

#### 調査結果

図 3-3-3 に、生物の付着状況を示す。外観観察した結果、この海域ではフジツボ類（主にアカフジツボ、サンカクフジツボ）の付着が多く優先していた。これは、長崎県上五島での付着板浸漬試験や長崎県生月町の海洋構造物への生物付着状況と同様の結果であった。

生物の付着状況を見ると、春季調査では、珪藻類の他に、フジツボ類として殻長が 1cm 前後の個体が数個体程度と殻長が 1mm 前後の小さい個体が多数付着していた程度であった。しかし、夏季調査では、フジツボ類の付着が多くみられ、コケムシ類、ヒドロ虫類及びホヤ類等の付着が観察され、フジツボ類では、殻長が 1cm 前後のサンカクフジツボと 2～3cm 程度のアカフジツボの個体が多く見られ、春季調査から大きく成長していることがうかがえた。

秋季調査では、フジツボ類の付着が主であり、他にはコケムシ類、管棲ゴカイ類の付着が観察された。夏季調査と違い、フジツボ類の付着が増加していたが、死亡している個体が多く見られ、個体の大きさとしては成長しているとはいえないが、付着量としては夏季調査より多くなっている状況であった。冬季調査では、秋季調査と同様で、フジツボ類の付着が主であり、他にはコケムシ類、海綿類の付着が観察された。また、フジツボ類の付着が増加していたが、死亡している個体が多く見られた。

#### ① 試験片①：ナセル本体、塗装なし

春季調査では、海水への浸漬で生物が付着するとともに腐食が進んでいる状況であり、フジツボ類やコケムシ類の付着が観察された。秋季調査では、試験片全面に腐食が進んで赤錆に覆われており、付着生物の確認ができない状況であった。

#### ② 試験片②：ナセル本体、塗装あり

夏季調査では、春から夏にかけての約 6 か月の海水への浸漬では、試験片①のような材質の腐食等は観察されなかった。

生物の付着状況を見ると、珪藻類の付着が最も広範囲であり、被度として 60～70%程度であった。ついでフジツボ類の付着が多くみられ（被度として 30%程度）、コケムシ類や

ヒドロ虫類の付着が少々観察された。フジツボ類では、殻長が1cm前後のサンカクフジツボと2~3cm程度のアカフジツボの個体が多く見られ、春季調査から大きく成長していることがうかがえた。

③ 試験片③：ブレード材、塗装なし

生物の付着状況を見ると、春季調査では、珪藻類の他に、フジツボ類として殻長が1cm前後の個体が数個体程度と殻長が1mm前後の小さい個体が多数付着していた程度であった。しかし、夏季調査では、フジツボ類の付着が多くみられ（被度として30%程度）、コケムシ類、ヒドロ虫類及びホヤ類等の付着が観察され、フジツボ類では、殻長が1cm前後のサンカクフジツボと2~3cm程度のアカフジツボの個体が多く見られ、春季調査から大きく成長していることがうかがえた。

秋季調査では、フジツボ類の付着が増加していたが、死亡している個体が多く見られ、個体の大きさとしては成長しているとはいえないが、付着量としては夏季調査よりおおくなっている状況であった。

④ 試験片④：ブレード材、塗装あり（海外シリコン系防汚塗料）

生物の付着状況も少なく、珪藻の付着が主であり、他にヒドロ虫類が少々付着している程度であり、試験片③の付着に比べると防汚効果が大きいことがうかがえた。

⑤ 試験片⑤：ブレード材、塗装あり（国内シリコン系防汚塗料）

試験片④と同様に生物の付着状況も少なく、珪藻の付着が主であり、他にヒドロ虫類が少々付着している程度であり、試験片③の付着に比べると防汚効果が大きいことがうかがえた。

⑥ 試験片⑥：ステンレス製2重円筒

夏季調査では試験片②や試験片③と同様に、珪藻の他に、フジツボ類の付着が多くみられ（被度として30%程度）、コケムシ類、ヒドロ虫類及びホヤ類（筒の内側）等の付着が観察された。筒の外側には、フジツボ類では、殻長が1cm前後のサンカクフジツボと2~3cm程度のアカフジツボの個体が多く見られ、春季調査から大きく成長していることがうかがえた。外筒と内筒の隙間には、コケムシ類、ヒドロ虫類及びホヤ類（筒の内側）等の付着が観察されたが、フジツボ類の大きな成長は見られなかった。

⑦ 試験片⑦：熱交換器

夏季調査では、熱交換器自身に腐食等は観察されなかった。生物の付着状況を見ると、珪藻類の付着が多く、ついでフジツボ類の付着が多く確認できた。

冬季調査では、夏季調査同様に腐食等は観察されず、珪藻類の付着が多く、ついでフジツボ類の付着が多く確認できた。また、金属面の露出も、夏季調査同等であった。

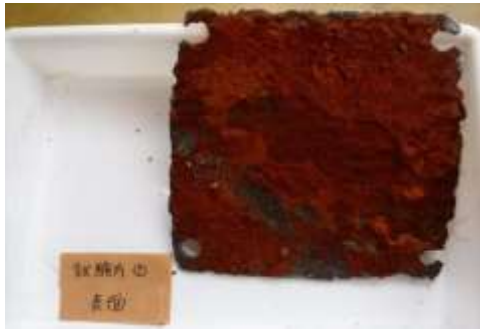


図 3-3-3 試験片①（ナセル塗料無）の生物付着状況（秋季）左：表面、右：裏面

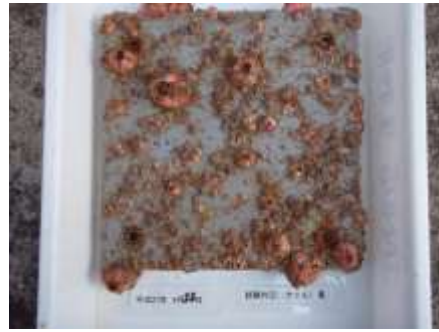


図 3-3-3 試験片②（ナセル塗料有）の生物付着状況（夏季）左：表面、右：裏面

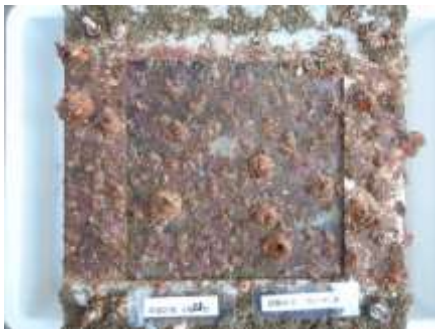


図 3-3-3 試験片③（ブレード塗料無）の生物付着状況（夏季）左：表面、右：裏面



図 3-3-3 試験片④（ブレード防汚塗料有）の生物付着状況（夏季）  
左：表面、右：裏面

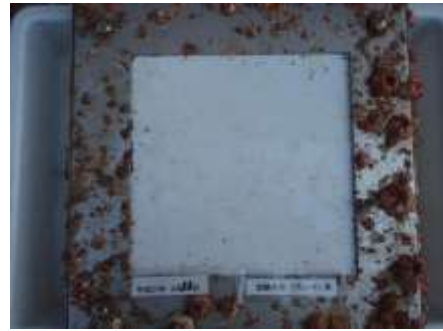


図 3-3-3 試験片⑤（ブレード防汚塗料有）の生物付着状況（夏季）  
左：表面、右：裏面



図 3-3-3 試験片⑥（着脱部二重円筒管）の生物付着状況（秋季）左：外筒、右：内筒



図 3-3-3 試験片⑦（熱交換器）の生物付着状況（夏季）左：表面、右：裏面





図 3-3-3 試験片⑦（熱交換器）の生物付着状況（冬季）左：表面、右：裏面

### 3.3.3.付着物の生物分析

#### 調査目的

各種試験片に付着した生物種を同定する。実証海域における発電装置に付着する生物の特性を定量的に把握する。

#### 調査方法

試験片①～⑤について付着生物の観察後、生物付着種の同定用サンプルとして、試験片ごとに両面の付着物を 100mm×200mm ずつスクレーパー等を用いて剥ぎ取り（図 3-3-4）、1 つのサンプルとしてまとめ 10%ホルマリンで固定する。採取した分析サンプルは、直ちに持ち帰って生物種の同定や数、重さ等の測定を行う。分析方法は、海洋調査技術マニュアル—海洋生物調査編—（社団法人海洋調査協会）に準ずる。



図 3-3-4  
各試験片の付着物剥ぎ取り状況

### 3.3.4.メンテナンス性確認試験（高水圧洗浄試験）

#### 調査目的

生物の付着によって発電性能が低下するため、メンテナンスで陸揚げしたときに発電装置に付着した生物の除去を行う。付着生物の除去作業は、簡易な高圧洗浄水で行う予定であるため、高圧水による除去効果を把握する。また、メンテナンス間隔の検討資料にも供する。

#### 調査方法

生物付着種の同定用のサンプルを剥ぎ取った後の試験片①～⑤の、残った付着物に対して試験を行った。高圧洗浄機で試験片からノズル先端までの離隔距離 20、10cm と直近の 3 段階で噴射して、付着物の剥ぎ取り状況を計測・観察し、生物付着の除去性能を確認した。

また、冬季調査では高圧洗浄機で熱交換器からノズル先端までの距離を直近で噴射して、付着物の剥ぎ取り状況を計測・観察し、生物付着の除去性能を確認した。

高圧洗浄機は汎用のもので、吐出圧 10MPa である。

#### 調査結果

表 3-3-2 は高水圧洗浄試験の結果である。図 3-3-5 は、高圧洗浄試験前後の試験片を示している。

塗装なしのナセル試験片①は、付着物が簡単に剥離した。腐食が強く、錆の剥離によって生物が脱落しているものと思われる。塗装した試験片②は、2～3cm の大きいフジツボは除去できたが、3 回の噴射でも一部を除去できなかった。大きいフジツボも台座が残っている。

塗装なしのブレード試験片③は、3 回の噴射でもフジツボの一部を除去できなかった。塗装した試験片④、⑤は、付着物が簡単に剥離した。

熱交換器試験片⑦は、直近でもフジツボの一部を除去できなかった。

表 3-3-2 高水圧洗浄試験の結果

試験片名	春季調査		夏季調査		秋季調査		冬季調査	
	実施回数	洗浄時間	洗浄時間	洗浄時間	洗浄時間	洗浄時間	洗浄時間	洗浄時間
試験片① ナセル本体 塗装無	1回目	1分20秒	全剥離	付着物の剥ぎ取り状況 腐食により、試験片採取できず	全剥離	付着物の剥ぎ取り状況	全剥離	付着物の剥ぎ取り状況 全剥離
	2回目							
	3回目							
試験片② ナセル本体 塗装有	1回目	1分30秒	試験片採取せず	珪藻や管棲多毛等の付着物は剥離したが、フジツボ類の大部分は残った	試験片採取せず	珪藻やコケムシ、管棲多毛類等の付着物は剥離したが、フジツボ類の大部分は残った	1分30秒	海藻類やコケムシ類等の付着物は剥離したが、フジツボ類の大部分が残った
	2回目	1分30秒	試験片採取せず	フジツボ類の一部は剥離したが、大部分は残った	試験片採取せず	フジツボ類の一部は剥離したが、大部分は残った	1分30秒	フジツボ類の一部は剥離したが、大部分は残った
	3回目	1分30秒	試験片採取せず	2～3cmの大きいフジツボは剥離したが、1cm程度のフジツボが剥離できず付着していた	試験片採取せず	2～3cmの大きいフジツボは剥離したが、1cm程度のフジツボが剥離できず付着していた	1分30秒	ある程度のフジツボは剥離できたが、1cm程度のフジツボや死んだフジツボの殻が剥離できず残った
試験片③ プレート材 塗装なし	1回目	30秒	全剥離	珪藻や一部のフジツボ類は剥離したが、大部分のフジツボ類が残った	全剥離	珪藻や一部のフジツボ類は剥離したが、大部分のフジツボ類が残った	1分30秒	海藻類や海綿類等の付着物は剥離したが、フジツボ類が残った
	2回目			一部のフジツボ類は剥離したが、大部分のフジツボ類が残った	全剥離	一部のフジツボ類は剥離したが、大部分のフジツボ類が残った	1分30秒	ほとんどの付着物が除去できたが、少しのフジツボ類が残った
	3回目			2～3cmの大きいフジツボは剥離したが、1cm程度のフジツボが剥離できず付着していた	全剥離	ある程度のフジツボ類は剥離したが、一部のフジツボ類が剥離できず付着していた	1分30秒	ほとんどの付着物が除去できたが、フジツボの底盤や殻の破片が残っており、完全に剥離できず少々付着していた
試験片④ プレート材 塗装有	1回目	6秒	試験片採取せず	全剥離	試験片採取せず	試験片採取せず	16秒	全剥離
	2回目							
	3回目							
試験片⑤ プレート材 塗装有	1回目	22秒	試験片採取せず	全剥離	試験片採取せず	試験片採取せず	35秒	全剥離
	2回目							
	3回目							
試験片⑦ 熱交換器	直近のみ		試験片採取せず	試験せず	試験片採取せず	試験片採取せず	20分 (裏・表)	ほとんどの付着物が除去できたが、フジツボの底盤や殻の破片が残っており、完全に剥離できず少々付着していた

注： 1回目 ノズルと付着物までの距離 20cm  
2回目 ノズルと付着物までの距離 10cm  
3回目 ノズルと付着物までの距離 直近



図 3-3-5 試験片①の高圧洗浄結果（秋季）左：試験前、右：1回目試験後



図 3-3-5 試験片②の高圧洗浄結果（夏季）左：試験前、右：3回目試験後



図 3-3-5 試験片③の高圧洗浄結果（夏季）左：試験前、右：3回目試験後



図 3-3-5 試験片④の高圧洗浄結果（夏季）左：試験前、右：1回目試験後





図 3-3-5 試験片⑤の高圧洗浄結果（夏季）左：試験前、右：1回目試験後

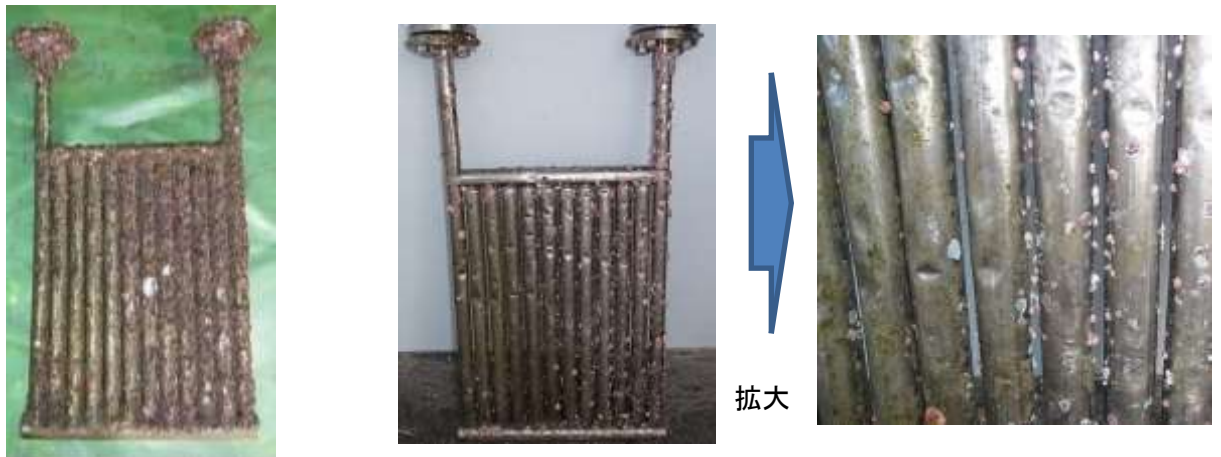


図 3-3-5 試験片⑦の高圧洗浄結果（冬季）左：試験前、右：試験後

### 3.3.5. ドッキング部引き剥がし試験（せん断試験）

#### 調査目的

発電装置のメンテナンスは、下部架台を設置海域に残して上部工のみ回収する。下部架台と上部工のドッキング部の間隙が小さいため、間隙部の生物が付着した場合、噛み合って抵抗となり、上部工を吊上げることができない可能性がある。また、ウインチの吊り上げ能力を超過することも考えられる。本試験は、上部工の吊上げ時のせん断抵抗や吊上げ荷重を推定するために実施する。

#### 調査方法

試験片⑥は、ドッキング部を模したステンレス製の二重円筒形の試験片で、浸漬期間中は、ボルト止めで間隙が5mmで固定されている。引揚げた試験片のボルトを外し、外側の管を固定、内側の管を自由にした状態で試験を行う。内側の管をバネバカリで徐々に引き上げていき、内側の管が動き始めたときのせん断力と完全に抜けたときの重さを引き剥がし力とした。

## 調査結果

図 3-3-6 は、夏季調査での試験片の生物付着状況を示している。内外管の間隙には、管の上下端以外はほとんど生物が付着していない。

表 3-3-3 に、引剥し試験結果を示す。夏季調査及び秋季調査では、フジツボ類をはじめ、春季調査に比べ付着物が多く、成長していた。夏季調査の引抜きせん断力が大きいのは、付着物同士が接触しており、最初から大きい値を示したものと思われる。

表 3-3-3 引き剥がし試験の結果

	引抜きせん断力	実機相当せん断力	備考
	[N]	[kN]	
春季調査	0.0	0.0	生物の付着量が少なく測定不能
夏季調査	39.2 ~ 98.0	4.1 ~ 10.3	
秋季調査	7.8 ~ 105.8	0.8 ~ 11.2	
冬季調査	27.4 ~ 115.6	2.9 ~ 12.2	



図 3-3-6 試験片⑥（着脱部二重円筒管）の生物付着状況（秋季）左：外筒、右内筒

### 3.3.6. 熱交換器の効率低下確認

#### 調査目的

潮流発電設備において、ナセル内各機器からの発熱は循環冷却水（清水）を通じて、ナセル外側に設置している熱交換器を介して冷却するシステムとしている。熱交換器はメンテナンス時まで海水中に暴露されるため、海洋生物の付着による冷却能力の低下が懸念される。そこで、海洋生物の付着による熱交換器の冷却能力に対する影響を確認するために、熱交換器の模擬品による浸漬試験及び冷却能力確認試験を実施する。

#### 調査方法

試験片⑦は、熱交換器を模したチタン製の試験片で、浸漬期間中は内部に清水を充填しフレンジで密閉している。冷却能力確認試験では、塗装無、防汚塗装有、浸漬後の熱交換器出入口の温度差を計測することで、総括伝熱係数を取得した。浸漬前（清浄状態）の総括伝熱係数を基準に、汚れ係数を算出し冷却能力を評価した。

[冷却能力性能評価]

熱交換器の性能評価は、以下の式にて行う。

- ・ 熱交換器の総括伝熱係数  $U$  を、式①にて算出し、代表値  $U_{清浄}$  とする。
- ・ 浸漬後の熱交換器も、同条件にて行い、総括伝熱係数  $U$  を式①にて同様に算出し、代表値  $U_{汚損}$  とする。
- ・ 算出した総括伝熱係数を用いて、式②より汚れ係数  $Rf$  を求める。

$$U = \frac{M \cdot Cp \cdot (T1 - T2)}{A \cdot \Delta Tm} \dots \textcircled{1}$$

- $U$  : 総括伝熱係数 ( $W/m^2 \cdot K$ )
- $M$  : 質量流量 ( $kg/s$ )
- $Cp$  : 比熱 ( $J/(kg \cdot K)$ ) ※1
- $T1$  : 熱交換器入口温度 ( $K$ )
- $T2$  : 熱交換器出口温度 ( $K$ )
- $A$  : 熱交換器伝熱面積 ( $m^2$ )
- $\Delta Tm$  : 対数平均温度差※2

$$Rf = \frac{1}{U_{汚損}} - \frac{1}{U_{清浄}} \dots \textcircled{2}$$

- $Rf$  : 汚れ係数 ( $m^2K/W$ )
- $U_{汚損}$  : 汚損時の総括伝熱係数 ( $W/m^2 \cdot K$ )
- $U_{清浄}$  : 清浄時の総括伝熱係数 ( $W/m^2 \cdot K$ )

※1 : 対数平均温度差は、冷却流体タンク内は、十分に攪拌出来ているものとして、冷却流体は等温壁条件と見なし一定温度  $20^\circ C$  として算出する。

※2 : 比熱と比重値は、(文献) 伝熱ハンドブック 日本機械学会(1993)より  $310K$  の値を参照

※3 : 式②は、ブレイン図書出版 : 「伝熱工学<下>」 P.394 より引用

調査結果

冷却性能評価は、試験結果から算出した総括伝熱係数の変化を、付着生物の影響であるとして汚れ係数を導き、その値にて評価を行った。また、冬季調査 (10 ヶ月浸漬試験) 後の試験片については、高圧洗浄機にて付着生物を除去した場合の冷却能力も確認した。表 3-3-4 に、浸漬前の清浄状態の総括伝熱係数と比較し、以下の汚れ係数を算出した結果を示す。

表 3-3-4 総括伝熱係数と汚れ係数

試験 No.	総括伝熱係数 ( $W/m^2 \cdot K$ )	汚れ係数 ( $m^2 \cdot K/W$ )	対数平均 温度差( $^{\circ}C$ )	熱入口温度 ( $^{\circ}C$ )	熱出口温度 ( $^{\circ}C$ )	冷却タンク温度 ( $^{\circ}C$ )	流量 (L/min)
浸漬前の清浄品	1245.0	—	10.8	37.0	26.2	20.0	8.4
防汚塗装品	444.2	0.00145	14.2	37.1	32.0	20.2	8.4
夏季調査 (6ヶ月浸漬後)	807.5	0.00044	12.6	37.2	29.0	20.1	8.4
冬季調査 (10ヶ月浸漬後)	786.5	0.00047	12.6	37.0	29.0	20.0	8.4
冬季調査 (洗浄後)	1115.0	0.00009	11.2	37.0	26.9	20.0	8.4

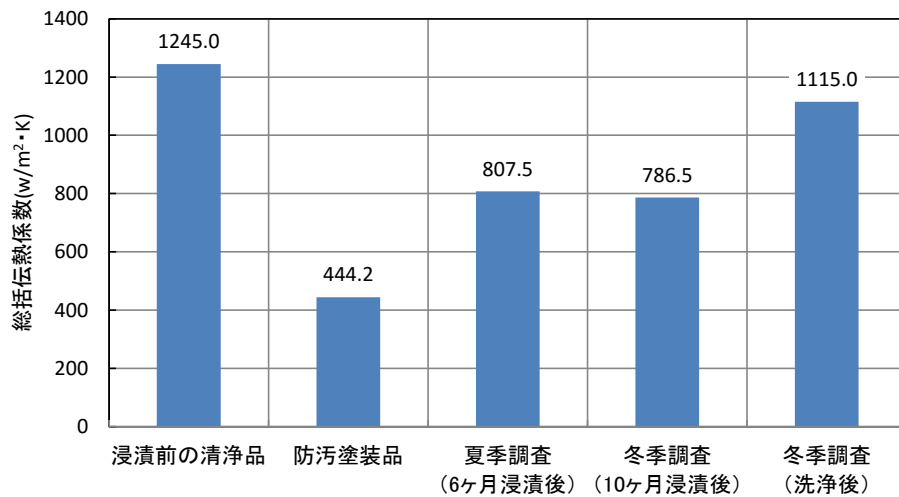


図 3-3-7 総括伝熱係数の比較

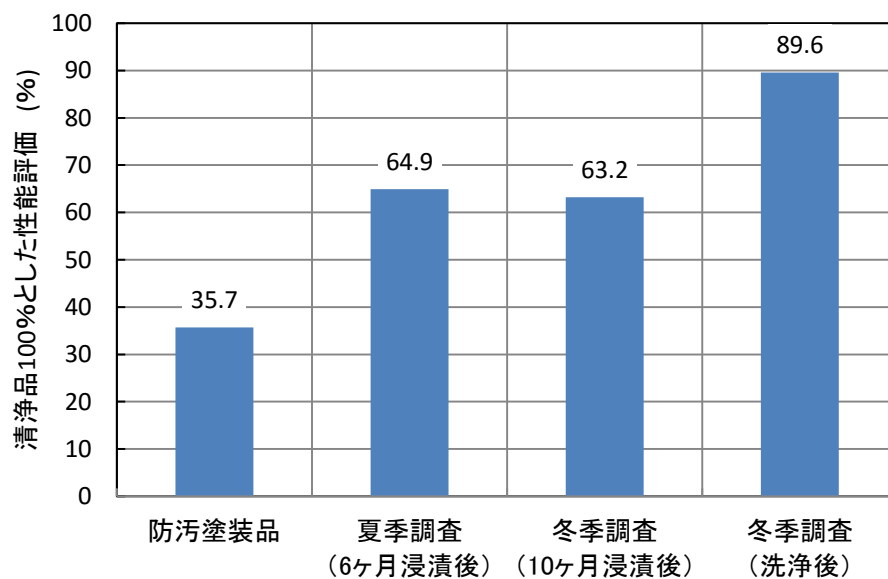


図 3-3-8 清浄品を 100%とした性能評価

- ・防汚塗料を施工した熱交換器では、清浄の熱交換器より総括伝熱係数は 35.7%にまで低下する。
- ・夏季調査(6 ヶ月浸漬試験)後の熱交換器では、清浄の熱交換器より総括伝熱係数は 64.9%にまで低下する。
- ・冬季調査(10 ヶ月浸漬試験)後の熱交換器では、清浄の熱交換器より総括伝熱係数は 63.2%にまで低下する。
- ・洗浄後の熱交換器では、清浄の熱交換器より総括伝熱係数は 89.6%にまで改善する。

### 3.3.7.生物付着調査のまとめ

- ・ナセル本体用の防食塗料試験片②については、浸漬期間中において試験片に腐食がない事を確認した。一方、生物の付着状況を見ると、珪藻類やフジツボ類の付着が多くみられ、浸漬時間が長期間になるほど成長している。また、高圧洗浄によるメンテナンス性については、1cm 程度のフジツボや死骸の殻などが剥離できず、防汚対策が今後の課題であることがわかった。
- ・ブレード用の防汚塗料試験片④、⑤については、生物の付着も比較的少なく防汚効果を確認できた。また、高圧洗浄によるメンテナンス性については、付着物を容易に剥離できる事を確認した。
- ・ドッキング部を模した試験片⑥では、珪藻やフジツボ類の付着が多くみられ、筒の外側は浸漬時間が長期間になるほど成長しているが、外筒と内筒の隙間では付着生物に大きな成長は見られない。また、引き剥し試験の結果、実機相当で 0.8~12.2kN のせん断力が発生すると予想されるが、ナセルの水中重量約 200kN に対して、0.4~6%程度の増加であり、ドッキング部の着脱時に大きな障害にならない見通しを得た。
- ・熱交換器を模した試験片⑦では、珪藻類やフジツボ類の付着が確認できた。付着した生物により、総括伝熱係数は清浄品の 6 割にまで低下している。さらに、高圧洗浄機による付着生物の除去後では、総括伝熱係数は完全には改善しないことがわかった。また、防汚塗料は、清浄品の 3 割にまで低下しており、伝熱面を塗膜で覆うことによる冷却能力の低下は大きい。以上より、付着生物による冷却能力低下に対する対策が必要であるが、微弱電流を流すなどのコストの上昇を招かない方法での対策が必要であると考えられる。

### 3.4. 実証候補地の選定

#### 3.4.1. 候補地点の1次選定

昨年度、奈留瀬戸及び田ノ浦瀬戸の2海域の実証フィールドについて、1次調査（概況調査）を行い、発電装置の実証機設置候補海域の1次選定を行った。下記の条件について比較検討を行った結果、図3-4-1に示す奈留瀬戸①と田ノ浦瀬戸①の2海域が選定された。

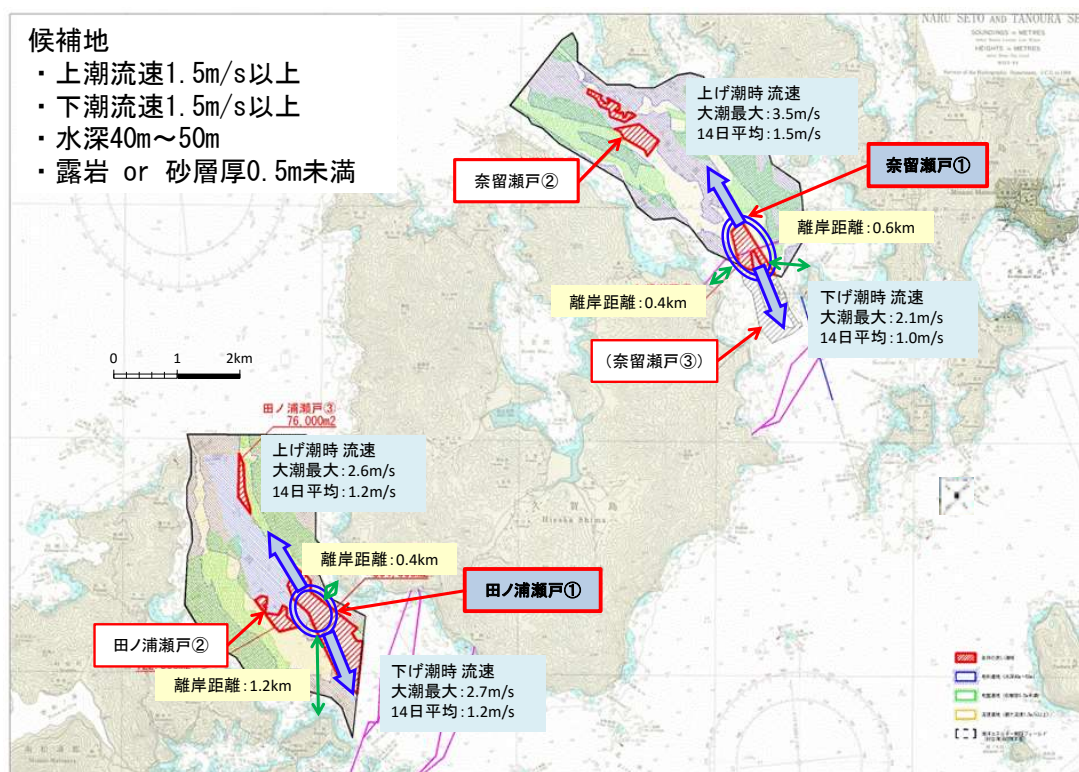


図 3-4-1 1次選定候補海域

- ・ 海底地形：航行船舶の安全性を確保するため、水深 40～50mの海域であること。また、発電装置の設置条件から、海底地盤が平坦で勾配が 5 度以下であること。
- ・ 海底地盤：発電装置の安定した支持力確保のため、海底面は岩盤であること。砂の堆積がある場合は層厚 50cm 以下とし、洗掘による過度の勾配や転倒の恐れがないこと。
- ・ 潮流流速：実証機の発電量を最低限確保するため、大潮時の潮流の最大流速が上げ潮、下げ潮ともに 1.5m/s 以上であること。発電装置の定格出力 1MW を発生させるため、最大流速 2.7m/s 以上であることが望ましい。ブレードの構造強度上、上下端での流速差が小さいこと。



- ・波 浪：精度良く安全確実な設置作業を行うため、実証機設置位置とその周辺は静穏性が高い海域であることが望ましい。
- ・実証フィールド：長崎県が設定し総合海洋政策本部によって選定された、実証フィールド内での実証事業の実施を前提としている。
- ・海底ケーブル：経済性から実証機から系統連携地点までの距離が短いこと。施工性からケーブルルートが平坦で障害物がないこと、既設ケーブルとの交差ないことが望ましい。
- ・系統連系：用地の確保など変電所の設置や陸上ケーブルの布設が容易であること。変電所から連系地点までが距離が短いことが望ましい。
- ・社会的条件：漁協など地元関係者の承諾や一般航行船舶に影響を与えないこと。
- ・施工性：発電装置の設置・撤去・メンテナンス取外し作業時の施工精度や安全確実性のため、施工する小潮時の流速が小さく流向が安定していること。設置時や曳航時に海域が静穏であること。
- ・環境影響：国立公園などの法的保全エリアで発電装置の設置に規制がかからないこと、希少種などの生息・生育に重大な影響を及ぼさないことなどが求められる。発電装置の発生する騒音・振動や後流が環境に重大な影響を及ぼさないことなどが求められる。

### 3.4.2. 候補地点の 2 次選定

1 次選定された田ノ浦瀬戸①、奈留瀬戸①の 2 海域において、今年度の 2 次調査（四季）で詳細に潮流等を調べ候補地点の選定を行った。選定では、それぞれの海域を 4 つに分割し、海底勾配や地盤、潮流の流速分布から絞り込みを行い、実証事業候補地点を選定した。下記に各海域の特徴と選定した候補地点を示す。

#### 【田ノ浦瀬戸①】

田ノ浦瀬戸①は、田ノ浦瀬戸中央部の長崎鼻沖の海域である。地形の特徴として長崎鼻から瀬戸中央に向けて深くなっており、候補海域は傾斜が緩やかになった瀬戸の底部である。南側には 50cm 未満の砂礫の堆積があり起伏少ない地形が広がる。北側は、岩が露出しているため多少の起伏があるが、実証試験機 1 基分の広さでは勾配の小さな面も点在する。長崎鼻と堂崎の間で瀬戸の幅が狭く、上潮時には長崎鼻に沿って北側で流れが速くなっている。下げ潮時には南側で若干流れが速いが、候補海域内で大きな差はない。最大流速は上げ潮時に観測される。

候補地点は上げ潮時の潮流流速が速く、実証試験機の安定性から岩が露出した地点がより適していると考えられることから、北西に設定した。候補地点を水中ビデオで撮影した代表写真を示す。30cm 程度の段差が線状に見られるが、大きな岩礁は無く実証試験機の据

付可能な面が存在する。

表 3-4-1 田ノ浦瀬戸①比較表

		南西	南東	北西	北東	備考
海底勾配		◎	○	○	△	南西の海底勾配が小さい
海底地盤		△	△	○	○	南側に砂礫の堆積がある
潮流	上潮	△	○	◎	◎	北部の流速が特に早い
	下潮	○	○	○	○	下げ潮時大きな差はない
総合評価		○	○	◎	○	

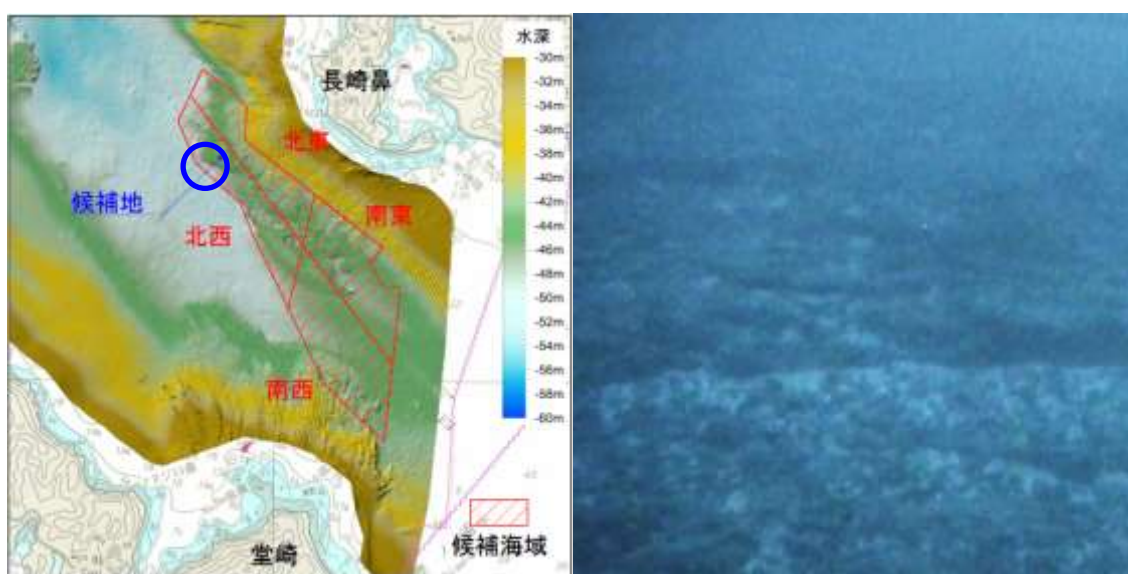


図 3-4-2 田ノ浦瀬戸①候補海域と候補地点及び田ノ浦瀬戸候補地点海底状況

#### 【奈留瀬戸①】

奈留瀬戸①は早崎と篝火崎の間で瀬戸の幅が狭くなった北側に位置する。候補海域は全て岩が露出している。全体にやや起伏があるが、実証試験機 1 基分の広さでは勾配の小さな面も点在する。下げ潮時は瀬戸の幅が狭くなる南側で流れが速い。上げ潮時は早崎と篝火崎の間を通過した速い流れが候補海域の西側を通過する。篝火崎の影となる東側では、流れが乱れ流速が遅くなる。

上げ潮時に篝火崎の影となる東側を避け、下げ潮時の流速も速い、南西が実証試験機の設置に適している。候補地点は海底ケーブルを避けるため南西の南端に設定した。候補地点を水中ビデオで撮影した代表写真をに示す。海底には大きな段差や岩礁は無く、実証試験機の据付可能な面が存在する。



表 3-4-2 奈留瀬戸①比較表

		南西	南東	北西	北東	備考
海底勾配		△	△	△	○	北東の勾配がやや少ない
海底地盤		○	○	○	○	候補海域は全て露岩
潮流	上潮	◎	△	◎	△	篝火崎の影となる東側で流が乱れる
	下潮	○	○	△	△	南側の流速が速い
総合評価		◎	○	○	○	

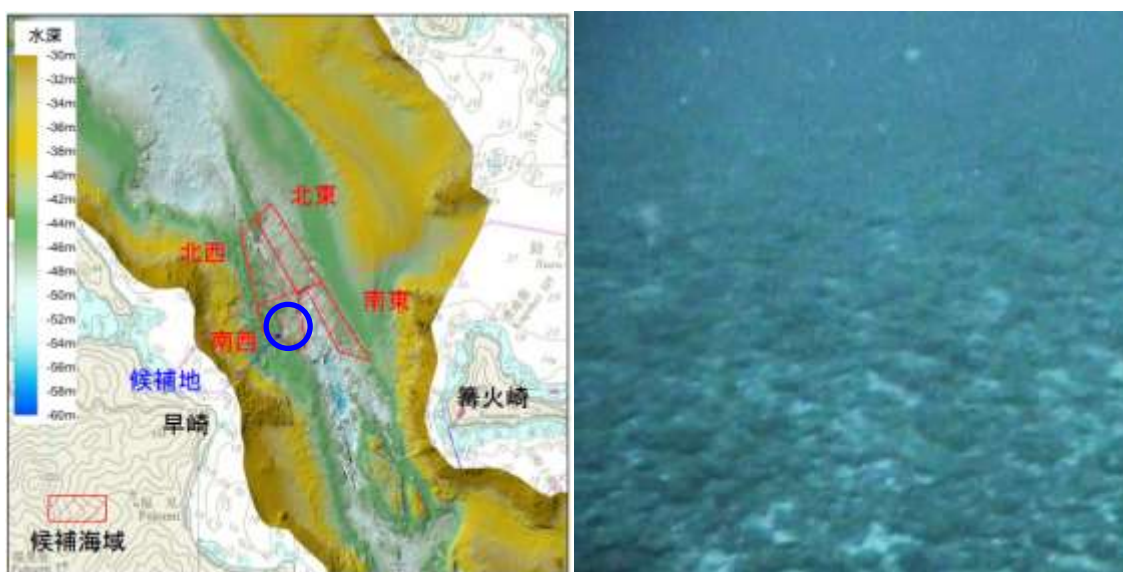


図 3-4-3 奈留瀬戸①候補海域と候補地点及び奈留瀬戸候補地点海底状況

### 3.4.3.最終候補地点の決定

1次選定、2次選定をふまえた田ノ浦瀬戸、奈留瀬戸の候補地点の比較を表 3-4-3 に示す。田ノ浦瀬戸、奈留瀬戸ともに候補地点の条件は概ね良好である。差のついた項目として、地元漁業者との合意などの社会的条件と施工時の海域の静穏性が挙げられる。

奈留瀬戸では北方向の波の時に静穏性が高く全方位で外海との波高比が 0.4 以下である、この時福江港からの曳航ルートも静穏であるが、田ノ浦瀬戸は南方向の波の時に静穏性が高く、この時福江港からの曳航ルートの波はやや高くなるため、施工を考慮した波浪影響では奈留瀬戸が優位である。また、最大流速は奈留瀬戸 3.4m/s に対して、田ノ浦瀬戸 3.2m/s であり、定格 1MW の条件である流速 2.7m/s の頻度も奈留瀬戸が高い。ただし、奈留瀬戸の候補地点は瀬戸の幅がやや狭く、海底ケーブルが近くに布設されている為、施工に注意が必要である。

以上より、奈留瀬戸①の南西地点を実証試験の候補地として選定する。

表 3-4-3 田ノ浦瀬戸、奈留瀬戸の候補地点の比較

項目	選定条件	奈留瀬戸 (①-南西)	田ノ浦瀬戸 (①-北西)	備考
地形	水深=40~50m	○	○	
	海底面の平坦性	○	○	水中画像で確認
	海底勾配<5°	○	○	
海底地盤	海底表面地質 岩盤露出が望ましい	○ 岩盤	○ 岩盤	
	堆積砂層厚<50cm			
潮流 (発電装置設計)	上下潮>1.5m/s	○	○	
	ブレード上下の最大流速差 0.56m/s以下	△	△	
潮流 (発電パワー)	年間潮流パワー	○ 15,800kWh/m3/y	○ 12,400kWh/m3/y	流速1.0m/s以上の時間帯
	最大流速>2.7m/s望ましい	◎ 頻度1.5% 最大流速 3.4m/s	○ 頻度1.1% 最大流速 3.2m/s	
	平均流速	◎	◎	
	流向	○	○	Yaw制御で対応可
	流速頻度分布	◎	◎	
波浪	静穏性が高い	○ 北方向の波で特に静穏	○ 南方向の波で特に静穏	
	潮流との干渉 (波高の増大)	△ 潮流との干渉 波高増大	△ 潮流との干渉 波高増大	
	曳航時の影響	○ 北方向の波で特に静穏	△ 南方向の波では波高が高い	設置点で静穏な波向きで曳航時にも静穏であること
実証フィールド	エリア内	○	○	
海底ケーブル (布設)	ケーブル延長が短い (経済性他)	○ 短い 鈴ノ浦 2.3 km	○ 短い 樫ノ浦 2.6 km, 野園 1.9 km	
	ケーブルルートが平坦	○ 調査海域は比較的平坦な ルートが確保できそう	○ 調査海域は比較的平坦な ルートが確保できそう	
※ 発電機設置海域側	既設海底ケーブルとの交差がない	○ 交差しない	△ 交差する	
	海底に障害物がない	○ 障害物なし	○ 障害物なし	
系統連系	変電所の設置が可能	○ 鈴ノ浦	○ 野園 △ 樫ノ浦:近くに建屋あり	
	66kV系統への連系が容易 ・変電所~鉄塔の距離 ・その他条件	○ 変電所~鉄塔間は約150m △ 樹木伐採必要	△ 樫ノ浦250m 野園約370m △ 樫ノ浦は近くに民家あり	
社会的条件	地元意見	◎ 地元漁協OK	△ 地元漁業者が難色	漁協、漁業者とも奈留瀬戸での設置に同意
	航行船舶	○ 定期船なし	△ 東の外側に フェリー航路	
	漁業権区域内	△	△	
	重要な漁場	△	△	
設置作業の 施工性	小潮時の流速が小さい 流況の安定性	△ 流速が 比較的速い	△ 流速が 比較的速い	(推定値)
	海域の静穏性 設置作業	○ 全方向で静穏 波高比0.4以下	△ 南方向が静穏 波高比0.6以下	周期4.0sに対する外海との波高比
	海域の静穏性 曳航作業	○ 設置作業に対応して静穏	△ 南方向の波では波高が高い	設置点で静穏な波向きで曳航時にも静穏であること
	作業エリア	△ 瀬戸幅がやや狭い	○ 瀬戸幅が広い	施工時も漁船の航行は可能
	既設海底ケーブルの近接 (係留シンカーの設置)	△ 既設海底 ケーブルに近接	○	
環境	保全のための法的な指定エリア	○	○	国立・国定公園、保護区等
	特定種の生息・生育	○	○	天然記念物、RDB記載種等
	環境上重要な機能を有する場の存在	○	○	干潟・藻場・サンゴ礁
	空間の消失による重要な影響が懸念されるか	○	○	
	後流影響が環境へ重大な影響を 及ぼすかどうか	△	△	検討が必要
	装置からの騒音振動による重大な 影響が懸念されるか	△	△	
総合評価		◎	○	

## 4. 環境影響評価方法書

### 4.1. 業務概要

今回実施する実証事業については、事業の種類（潮流発電所）及び規模（出力 0.1 万 kW）においても環境影響評価法に基づく環境影響評価を実施する対象ではないが、前例のない事業の種類であるため、今後の事業化に向けての知見を集積するために、自主的に実施するものである。しかし、対外的な手続き（公告縦覧や説明会あるいは意見聴取）を除いて、基本的な手順は環境影響評価法に準じて実施することとした。そして、今回の実証事業に対する環境影響評価を実施することによって、潮流発電における標準的な環境影響評価項目・手法等の検討等に結びつけるものである。

環境影響評価の一般的な手続きは、図 4-1-1 に示す通りであるが、この流れに沿って今回の実証事業における環境影響評価の作業の計画を表 4-1-1 に示すが、今年度は方法書作業と方法書の作成を行った。

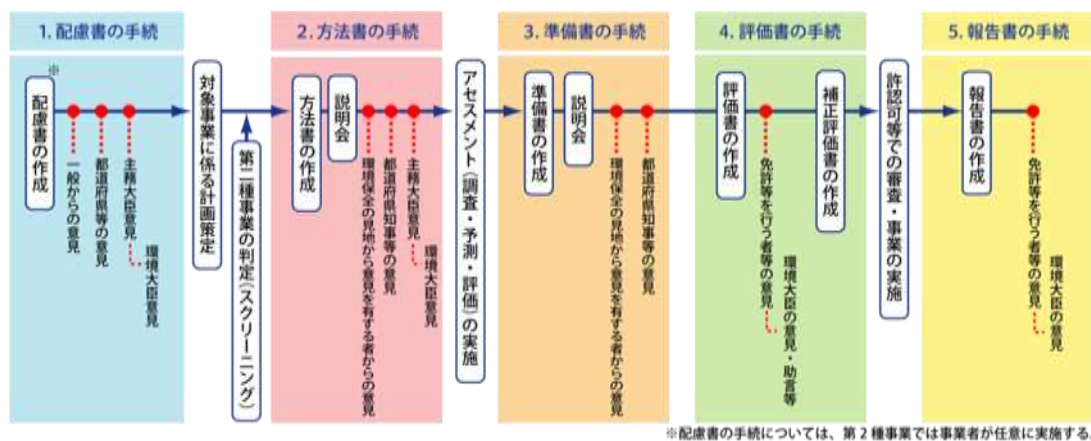


図 4-1-1 一般的な環境影響評価手続きの流れ

表 4-1-1 本事業における環境影響評価作業の実施予定

2014 年度	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度
配慮書作成	方法書作成	現況調査	影響予測・評価 (評価書作成)	モニタリング調査 (施工・供用中、 撤去後)

今年度の環境影響評価の作業内容については、図 4-1-2 に示すが、今回の実証試験フィールド及びその周辺の概況について、主な調査対象地域を実証フィールドの位置する五島市

を対象として、昨年度作成した配慮書をベースに入手可能な最新の文献その他の資料等により情報を把握した。

このようにして得られた地域の環境情報と事業計画の特性を踏まえて、環境影響評価項目を選定し、それぞれの項目ごとに調査、予測及び評価のための手法について検討した。これらの検討結果に基づき、環境影響評価図書（方法書）としてとりまとめた。

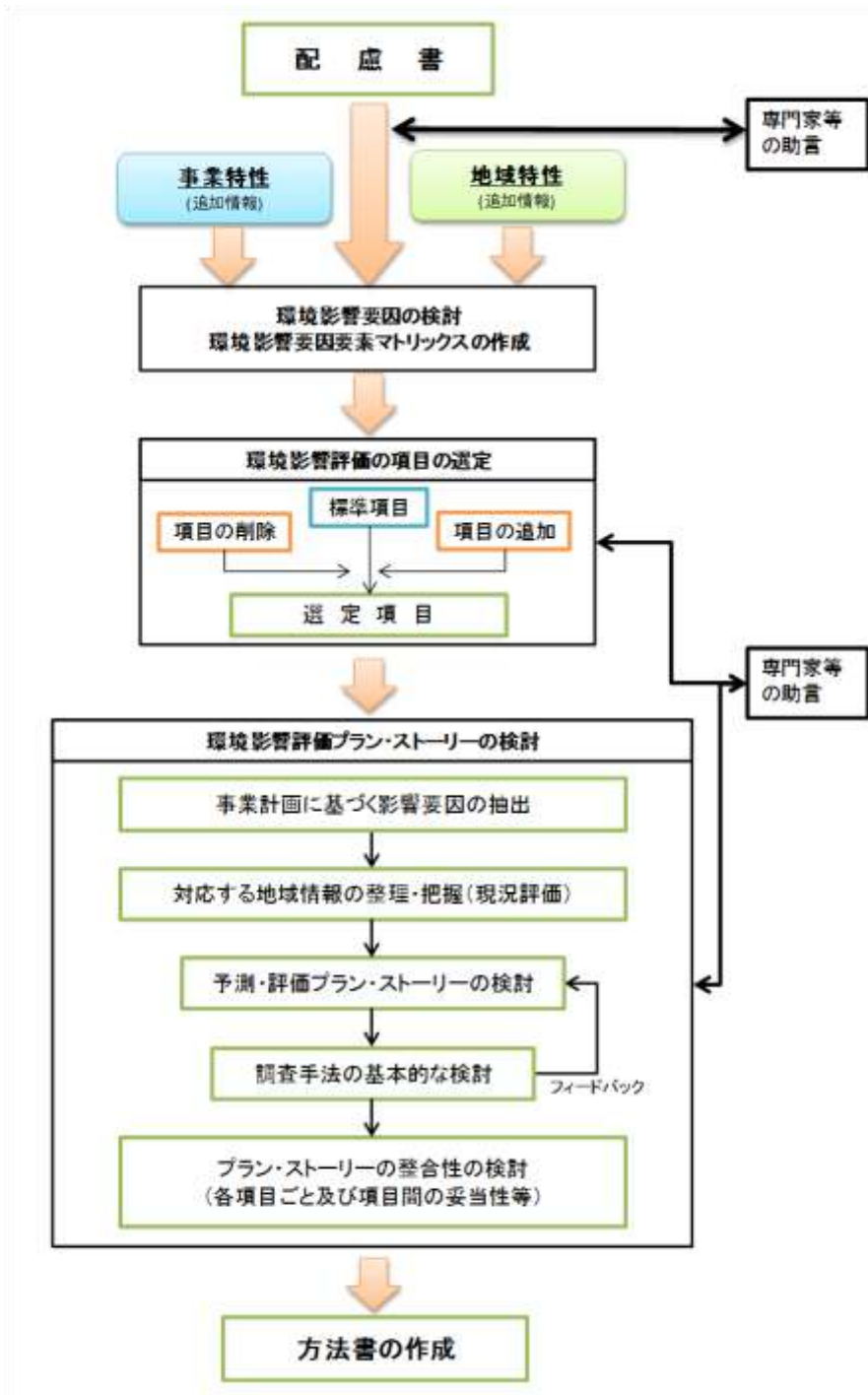


図 4-1-2 方法書検討と作成の流れ(平成 27 年度作業)

## 4.2. 事業特性と地域特性の把握と整理

### 4.2.1. 事業特性

本事業は、我が国の海域に対して普及可能性が高く、環境影響も小さい潮流発電の開発及び実証を行い、再生可能エネルギーの導入量の拡大と温室効果ガスの削減を更に進めることを目的として実施するものであり、1MW 潮流発電システムの実証研究として、長崎県五島市沖を設置候補海域として検討を行っている。

本事業の特性から抽出される環境要因とその内容を、表 4-2-1 に示す。

表 4-2-1 事業特性から抽出される環境要因

影響要因の区分		影響要因の内容
工事の実施		<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 作業船によって、潮流発電設備を海底に設置する。</li> <li>・ 作業船によって、海底ケーブルを布設する。</li> <li>・ 実証試験終了後に、発電設備と海底ケーブルを撤去する。</li> <li>・ 海域への設置に当って海域、海岸の地形改変は行わず、海底の掘削等を行わない。</li> <li>・ 陸上における開閉器を設置する。</li> <li>・ 海底ケーブルを揚陸させ、開閉器へ接続する。</li> <li>・ 開閉器設置に当って、樹木の伐採、掘削を行う可能性がある。</li> <li>・ 開閉器設置に当って、地盤改良、盛土等による敷地、搬入道路の造成は行わない。</li> </ul>
土地又は工作物の存在及び供用	工作物の存在	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 海底：潮流発電設備、海底ケーブル</li> <li>・ 陸上：開閉所、ケーブル</li> </ul>
	施設の供用	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 潮流発電設備の運転（ブレードの回転）を行う</li> </ul>

### 4.2.2. 地域特性

#### ① 大気環境

- ・ 大気質の測定は、実証試験フィールドが位置する五島市では 1 局のみで行われており、二酸化硫黄、二酸化窒素、浮遊粒子状物質については環境基準に適合している。光化学オキシダントについては環境基準に適合していない。
- ・ 一般地域（道路に面する地域以外の地域）における騒音の測定は、実証試験フィールドの周辺において行われていない。
- ・ 自動車騒音の測定は、実証試験フィールドが位置する五島市では 1 地点で測定が行われており、平成 24 年度は、評価戸数 443 戸のうち 81.3%で昼間、夜間ともに環境基準を達成している。
- ・ 一般地域における振動及び道路交通振動の測定は、実証試験フィールドが位置する五島市では行われていない。
- ・ 実証試験フィールドに接する陸側の地域では、騒音及び振動の環境基準について類

型指定されていない。

② 水環境

- ・実証試験フィールドが位置する五島市では河川 6 測定点、海域 4 測定点で水質が測定されており、平成 21 年度では生活環境項目（生物化学的酸素要求量、化学的酸素要求量）及び健康項目ではすべての環境基準点で環境基準を達成している。
- ・実証試験フィールドでは流速が速く、下げ潮、上げ潮の両方で 1.5m/s 以上の箇所がある。

③ その他の環境

- ・実証試験フィールド周辺の海岸は、大部分がリアス式の自然海岸となっている。
- ・実証試験フィールド及びその周辺の海底地形は、水深 30m 付近までは比較的急な斜面である。
- ・実証試験フィールド及びその周辺の海底地質は、主に岩盤～粗砂である。
- ・実証試験フィールド内には重要な地形及び地質は存在しない。実証試験フィールドの周辺には、典型地形として池塚の「ビーチロック」、前島及び末津島の「トンボロ及び陸繋島」が存在する。
- ・実証試験フィールドから学校・病院等の特に配慮が必要な施設までの最短距離は、約 1.5km である。また、実証試験フィールドから最寄りの住居までの距離は、約 0.6km である。
- ・実証試験フィールド（奈留瀬戸）に接する陸側の地域は、久賀島、奈留島ともに都市計画が定められていない。
- ・実証試験フィールドには共同漁業権が設定されている。
- ・実証試験フィールドの周辺には漁港として蕨、鈴ノ浦、宿輪等がある。
- ・実証試験フィールドが位置する五島市の主要な道路における平成 22 年における平日の昼間 12 時間の交通量は、久賀島線では 227 台、奈留島線では 2,118 台である。

④ 動物、植物、生態系

- ・実証試験フィールドが位置する五島列島ではマイルカ、ハンドウイルカ等のイルカ類、アカウミガメ、メバル、ブダイ、カサゴ等が確認されている。
- ・実証試験フィールドが接する陸域の主な植生はシイ・カシ二次林、オニヤブソテツ－ハマビワ群集、タブノキ－ヤブニッケイ二次林等であり、海岸線は自然裸地が分布している。
- ・実証試験フィールド及びその周辺海域には藻場・干潟が分布する。

⑤ 景観及び人と自然との触れ合いの活動の場

- ・実証試験フィールド及びその周辺の自然景観資源として、鈴ノ浦、末津島等が存在している。
- ・実証試験フィールド及びその周辺の人と自然との触れ合いの活動の場として、奈留瀬戸に接している場は確認できていない。
- ・歴史的・文化的環境としては、五島市には「長崎の教会群とキリスト教関連遺産」に含まれる江上天主堂、堂崎協会等があるほか、久賀島は重要文化的景観の選定を受けている。

## 4.3. 環境影響評価項目の選定

### 4.3.1.再生可能エネルギー事業との事業特性比較

潮流発電事業は、原動力が潮流という再生可能エネルギーであるため、既存の再生可能エネルギーを利用している水力発電所、地熱発電所及び風力発電所と類似の事業特性を持つものと考えられる。

このため、本事業の環境影響評価の項目の選定は、「発電所の設置又は変更の工事の事業に係る計画段階配慮事項の選定並びに当該計画段階配慮事項に係る調査、予測及び評価の手法に関する指針、環境影響評価の項目並びに当該項目に係る調査、予測及び評価を合理的に行うための手法を選定するための指針並びに環境の保全のための措置に関する指針等を定める省令」（平成 10 年通商産業省令第 54 号）（以下「発電所アセス省令」という。）第 21 条第 1 項に定める、水力発電所、地熱発電所及び風力発電所の一般的な事業の内容と本事業の内容を表 4-3-1 のとおり整理して把握した。



表 4-3-1 事業特性の比較

区分		当該事業の内容	水力発電所	地熱発電所	風力発電所
工事の実施に関する内容	工事用資材等の搬出入	潮流発電設備の建築に必要な資材の搬出入は船舶で行う。	建築物、工作物等の建築工事に必要な資材の搬出入、伐採樹木、廃材の搬出を行う。	建築物、工作物等の建築工事に必要な資材の搬出入、工事関係者の通勤、残土、伐採樹木、廃材の搬出を行う。	建築物、工作物等の建築工事に必要な資材の搬出入、工事関係者の通勤、残土、伐採樹木、廃材の搬出を行う。
	建設機械の稼働	作業船等を使用して潮流発電設備、海底ケーブルの設置工事を行う。 実証試験終了後に既設工作物の撤去を行う。	水路工事、発電所建屋工事、機械据付工事、純揚水式発電所の場合は上部・下部調整池工事、流れ込み式発電所の場合は取水堰等工事を行う。		建築物、工作物等の設置工事（既設工作物の撤去又は廃棄を含む。）を行う。なお、海域に設置される場合は、しゅんせつ工事を含む。
	造成等の施工	陸上の開閉所の設置にあたり、樹木の伐採、掘削を行う。	作業抗、土捨て場、工事用道路の関連工事を行う。	樹木の伐採等、掘削、地盤改良、盛土等による敷地、搬入道路の造成、整地等、抗井掘削工事、建築物、工作物等の構築工事を行う。	樹木の伐採等、掘削、地盤改良、盛土等による敷地、搬入道路の造成、整地を行う。なお、海域に設置される場合は、海底の掘削等を含む。
土地又は工作物の存在及び供用に関する内容	地形改変及び施設	海底に建設された潮流発電設備及び海底ケーブル、陸上の開閉所を有する。	地形改変等を実施し建設された水路（取水口、導水路、水圧管路、水槽、放水口）、発電所、開閉所、管理用道路を有する。	地形改変等を実施し建設された地熱発電所を有する。 地熱流体の採取及び熱水の還元は、生産井で地下深度から採取した地熱流体を蒸気と熱水に分離して、蒸気を利用し還元井にて熱水を地下深度へ還元する。 排ガスとして、蒸気中に含まれるガスを抽出し、冷却塔から排出する。 排水は、復水器冷却系統からの排水を河川に排出する。 発電設備から産業廃棄物が発生する。	地形改変等を実施し建設された風力発電所を有する。なお、海域に設置される場合は、海域における地形改変等を伴う。
	施設の稼働	潮流発電所の運転を行う。	貯水池の存在として、純揚水式発電所の場合、上下調整池、上下部ダムを有する。 河水の取水として、流れ込み式発電所の場合、取水堰等を有する。		風力発電の運転を行う。



### 4.3.2.事業特性から懸念される影響

事業特性を踏まえてどのような影響が懸念されるかを、影響フローとして表 4-3-2 にまとめた。

表 4-3-2 事業特性から懸念される主な環境影響

入力（インパクト）		環境や生物の変化（レスポンス）			環境要素への影響		
工事の実施	作業船 (発電装置の設置)	水中音の発生 底質の巻き上がり (濁りの発生)	生物の忌避・誘因、成長影響(?)			<ul style="list-style-type: none"> <li>・生物相の変化</li> <li>・生物資源量の変化</li> <li>・漁業への影響</li> <li>・地形の変化</li> <li>・水質、底質の変化</li> </ul>	
	作業船 (海底ケーブルの布設)						
作業船(施設の撤去)		生物の生息場・生育場の喪失					
工作物の存在	発電装置	付着基盤の出現	付着生物の着生	付着生物脱落→有機物負荷	魚介類の分布の変化		
		陰影効果の発生	微環境の変化	魚類の蟄集	遊泳動物の衝突誘発		
		渦流の発生					
	海底ケーブル	海底の直接改変	生物の生息場・生育場の喪失				
施設の供用	発電装置	ブレードの回転	下流側での流況の変化	物質の沈降・堆積挙動の変化	濁りの発生		
				周辺の藻場・干潟の変化 (構成種の変化、面積の縮小・拡大)			底質の変化
				遊泳動物の行動の変化(回遊ルートの変更、回避)			
			移動阻害	遊泳動物の衝突			
		水中音の発生	生物の忌避・誘因、成長影響(?)				

### 4.3.3.環境影響評価項目の選定

本事業の事業特性及び地域特性を踏まえ、発電所アセス省令第 21 条の規定に基づき、表 4-3-3 のとおり選定した。

項目の選定は、配慮書で選定した項目及び他の再生可能エネルギー発電事業との特性比較を踏まえ、事業計画の熟度の高まりによって明らかになる事業特性や対象地域の絞込みによって、新たに対象とすべき項目や工事中の影響についての検討を行った。また、配慮書で選定した項目並びに新たに追加すべき項目については、学識経験者からの助言を頂いたうえで、その助言を踏まえて選定した。

表 4-3-3 環境影響評価の項目の選定

環境要素の区分	影響要因の区分		工事の実施			土地又は工作物の存在及び供用		
			工 事 用 資 材 等 の 搬 出 入	建 設 機 械 の 稼 働	造 成 等 の 施 工 に よ る 一 時 的 な 影 響	地 形 改 変 及 び 在 在	施 設 の 稼 働	
環境の自然的構成要素の良好な状態の保持を旨として調査、予測及び評価されるべき環境要素	大気環境	大気質	窒素酸化物					
			粉じん等					
		騒音	騒音及び超低周波音					
			振動					
	水環境	水質	水の汚れ					
			水の濁り		○			○
		底質	有害物質					
		その他	流向及び流速				◎	◎
	水中音			◎			◎	
	その他の環境	地形及び地質	重要な地形及び地質				○	○
重要な種及び注目すべき生息地 (海域に生息するものを除く)								
生物の多様性の確保及び自然環境の体系的保全を旨として調査、予測及び評価されるべき環境要素	動物	海域に生息する動物		◎		○	◎	
		重要な種及び重要な群落 (海域に生育するものを除く)						
	植物	海域に生育する植物		◎		○	◎	
		生態系	地域を特徴づける生態系					
人と自然との豊かな触れ合いの確保を旨として調査、予測及び評価されるべき環境要素	景観	主要な眺望点及び景観資源並びに主要な眺望景観						
		人と自然との触れ合いの活動の場	○					
	歴史的文化的環境	文化財等						
環境への負荷の量の程度により予測及び評価されるべき環境要素	廃棄物等	産業廃棄物			○			
		残土						
漁業関連	漁業実態・魚介類増集効果			◎		◎	◎	

備考：  
 は「発電所アセス省令」第21条第1項に定める「水力発電所 別表第1」、「地熱発電所 別表第4」、「風力発電所 別表第5」に示す参考項目であり、「○」は環境影響評価の項目として選定する項目を示し、「◎」は参考項目以外に、環境影響評価の項目として選定することを示す。

#### 4.3.4.選定の理由

事業特性及び地域特性を踏まえ、潮流発電所に関係すると考えられる項目に対し、環境影響評価の項目として選定する理由は表 4-3-4 に示す。

表 4-3-4 環境影響評価の項目として選定する理由

項 目			環境影響評価の項目として選定する理由	
環境要素の区分		影響要因の区分		
水環境	水質	水の濁り	建設機械の稼働	
			施設の稼働	潮流発電施設の稼働に伴い、下流側の攪乱による濁りの発生が想定されるため、評価項目として選定する。
	その他	流向及び流速	施設の存在・稼働	潮流発電施設の存在・稼働に伴い、下流側の流況の変化が想定されるため、評価項目として選定する。
			水中音	建設機械の稼働
施設の稼働		潮流発電施設の稼働に伴い発生する水中音により、水中環境への影響が想定されるため、評価項目として選定する。		
	その他の環境	地形及び地質	重要な地形及び地質	施設の存在・稼働
動物	海域に生息する動物		建設機械の稼働	建設機械の稼働に伴い、潮流発電設備の設置位置及びその周辺に生息する海生生物（動物）に影響が及ぶ可能性が考えられることから、評価項目として選定する。
		施設の存在・稼働	潮流発電施設の存在及び稼働に伴い、周辺に生息する海生生物（動物）に影響が及ぶ可能性が考えられることから、評価項目として選定する。	
植物	海域に生育する植物		建設機械の稼働	建設機械の稼働に伴い、潮流発電設備の設置位置及びその周辺に生育する海生生物（植物）に影響が及ぶ可能性が考えられることから、評価項目として選定する。
		施設の存在・稼働	潮流発電施設の存在及び稼働に伴い、周辺に生育する海生生物（植物）に影響が及ぶ可能性が考えられることから、評価項目として選定する。	
人の活動の場	主要な人の活動の場	自然との触れ合いの場	工事用資材等の搬出入	工事用資材等の搬出入に伴い、周辺に存在する人と自然との触れ合いの活動の場の利用状況への変化が想定されることから、評価項目として選定する。
廃棄物等	産業廃棄物		造成等の工	建設工事に伴い、産業廃棄物が発生することから、評価項目として選定する。
漁業実態・魚介類集効果			建設機械の稼働	建設工事に伴い、周辺の漁業に影響が及ぶ可能性が考えられることから、評価項目として選定する。
			施設の存在・稼働	潮流発電施設の存在及び稼働に伴い、周辺の漁業に影響が及ぶ可能性が考えられることから、評価項目として選定する。

## 4.4. 環境影響評価プランストーリーの検討

### 4.4.1. 環境影響評価の調査・予測・評価の手法に関する既存事例

潮流発電に係る環境影響評価に関し、事業実施段階の最初の手続きである環境影響評価方法書を作成する上で参考となる既存資料を事例としてとりまとめた。

我が国では、潮流発電の開発は緒についたばかりであり、国内において環境影響評価が実施された事例がないため、洋上発電のうち着床式の洋上風力発電について整理するとともに、環境省と経済産業省が実施している浮体式洋上風力発電から参考となる知見を整理した。また、海外の事例からは事業面積が大きく環境影響評価を実施した事例を整理した。取り扱った既存事例は、表 4-4-1 のとおりである。

表 4-4-1 参考とした既存事例

参考資料名	事業者	公告時期	備考
(仮称)安岡沖洋上風力発電事業 環境影響評価方法書	前田建設工業(株)	平成25年3月	着床式洋上風力発電
むつ小川原港洋上風力発電事業 環境影響評価方法書	むつ小川原洋上 風力開発(株)	平成26年5月	着床式洋上風力発電
浮体式洋上風力発電実証事業 環境影響評価方法書(案)	環境省	平成24年6月	浮体式洋上風力発電
浮体式洋上超大型風力発電機設置 実証事業 環境影響評価方法書	経済産業省 資源エネルギー庁	平成25年1月	浮体式洋上風力発電
着床式洋上風力発電の環境影響評 価手法に関する基礎資料	国立研究開発法人新エネ ルギー・産業技術総合開発機 構	平成27年9月	着床式洋上風力発電
(海外の洋上風力発電事業) Anholt (デンマーク)	DONG Energy	2010年公開	着床式洋上風力発電

#### 1) 水環境(水の濁り)

表 4-4-2 水の濁りに関する手法の比較・整理

	分類	手法	事例
調査	既存資料調査	文献その他の資料調査	浮体式(環境省)、着床式(デンマーク)
	現地調査	バンドン採水器等で採水し分析	安岡沖、むつ小川原港、浮体式洋上超大型
		メモリー式多項目水質計	浮体式(環境省)
予測	定性的予測	類似事例の解析により定性的に 予測	むつ小川原港、浮体式洋上超大型
	定量予測	数値シミュレーション	安岡沖、浮体式(環境省)
評価	回避・低減	実行可能な範囲で回避又は低減 されているか評価	安岡沖、むつ小川原港、浮体式(環境省)、 浮体式洋上超大型
	基準・目標値	国等の基準又は環境保全目標値 との整合性	安岡沖、浮体式(環境省)

水の濁りの予測手法については、事例では類似事例の解析による定性的予測または数値シミュレーション結果に基づく定量的な予測になっているが、評価手法については、浮体式（環境省）の事例のみ水産用水基準から評価するとしており、海生生物への影響の観点からは評価されていない。今後の課題として潮流発電施設から発生する濁りの海生生物への影響に関する知見の集積が必要と考えられる。

## 2)水中音

表 4-4-3 水中音に関する手法の比較・整理

	分類	手法	事例
調査	既存資料調査	文献その他の資料調査	安岡沖、浮体式（環境省）
	現地調査	水中音圧計を用いた現地調査	安岡沖、むつ小川原港、浮体式（環境省）、浮体式洋上超大型
予測	定性的予測	既往事例を参考に影響の程度を予測	むつ小川原港、浮体式洋上超大型
	予測計算	一般的伝搬予測計算	安岡沖、浮体式（環境省）
評価	回避・低減	実行可能な範囲で回避又は低減されているか評価	安岡沖、むつ小川原港、浮体式（環境省）、浮体式洋上超大型
	基準・目標値	魚類の逃避行動が生じるか評価	安岡沖
		基準又は目標があれば整合を評価	浮体式（環境省）

水中音の予測手法については、事例では既往事例を参考に影響の程度を定性的予測または一般的伝搬予測計算に基づく定量的な予測になっているが、評価手法については、いずれの事例も実行可能な範囲で回避又は低減されているか評価するとしている。安岡沖では魚類の逃避行動が生じるか評価する、また、浮体式（環境省）では基準・目標値があれば整合を評価するとしているが、具体的な基準・目標値は示されておらず、海生生物への影響の観点からの評価は想定できない。今後の課題として潮流発電施設から発生する水中音の海生生物への影響に関する知見の集積が必要と考えられる。

## 3)魚類

表 4-4-4 魚類に関する手法の比較・整理

	分類	手法	事例
調査	既存資料調査	文献その他の資料調査	浮体式（環境省）、浮体式洋上超大型
	現地調査	現地の漁法で採集	安岡沖
		刺網による採集	むつ小川原港、浮体式（環境省）
		ROV（遠隔操作無人探査機）観察	浮体式（環境省）
		底曳き網による採集	浮体式洋上超大型
予測	定性的予測	既往事例を参考に定性的な予測	安岡沖、むつ小川原港、浮体式（環境省）、浮体式洋上超大型
評価	回避・低減	実行可能な範囲で回避又は低減されているか評価	安岡沖、むつ小川原港、浮体式（環境省）、浮体式洋上超大型
	基準・目標値	基準又は目標があれば整合を評価	浮体式（環境省）

魚類の予測手法については、いずれも既往事例を参考に影響の程度を定性的予測し、評価手法についても、実行可能な範囲で回避又は低減されているか評価するとしている。なお、浮体式（環境省）では基準・目標値があれば整合を評価するとしているが、具体的な基準・目標値は示されておらず、魚類への影響の観点からの評価は想定できない。今後の課題としてブレードの回転による移動阻害（衝突や回遊ルートの変更等）並びに潮流発電施設等の設置工事や潮流発電施設の稼働に伴う底質環境の変化等による魚類への影響に関する知見の集積が必要と考えられる。

#### 4)海産哺乳類

表 4-4-5 海産哺乳類に関する手法の比較・整理

	分類	手法	事例
調査	既存資料調査	文献その他の資料調査	浮体式（環境省）、浮体式洋上超大型、着床式（デンマーク）
		現地の漁法で採集	安岡沖
	現地調査	船上から目視観察	むつ小川原港、浮体式（環境省）、浮体式洋上超大型
		水中マイクロホンによる鳴音調査	浮体式（環境省）、着床式（デンマーク）
		航空機トランセクトによる動画撮影	浮体式洋上超大型
予測	定性的予測	既往事例を参考に定性的な予測	安岡沖、むつ小川原港、浮体式（環境省）、浮体式洋上超大型
		アザラシ、ネズミイルカの棲息海域を把握し、各種影響要因のレベルを算定	着床式（デンマーク）
評価	回避・低減	実行可能な範囲で回避又は低減されているか評価	安岡沖、むつ小川原港、浮体式（環境省）、浮体式洋上超大型
	基準・目標値	基準又は目標があれば整合を評価	浮体式（環境省）
		アザラシ、ネズミイルカの環境適応性（水中騒音、懸濁物濃度、障害発生事象等）から影響の有無を評価	着床式（デンマーク）

海産哺乳類の予測手法については、海外事例を除きいずれも既往事例を参考に影響の程度を定性的予測し、評価手法についても、実行可能な範囲で回避又は低減されているか評価するとしている。なお、浮体式（環境省）では基準・目標値があれば整合を評価するとしているが、具体的な基準・目標値は示されておらず、海産哺乳類への影響の観点からの評価は想定できない。なお、海外の事例ではアザラシ、ネズミイルカの環境適応性（水中騒音、懸濁物濃度、障害発生事象等）から影響の有無を評価する手法が用いられている。今後の課題として潮流発電施設の稼働に伴う水中音やブレードの回転による移動阻害（衝突や生息域・繁殖域の変更等）並びに潮流発電施設等の設置工事や潮流発電施設の稼働に伴う底質環境の変化等による海産哺乳類への影響に関する知見の集積が必要と考えられる。



#### 4.4.2.環境要因に対する海域生物の応答に関する情報

##### 1) 水の濁りによる影響

水の濁りの影響要因としては、建設機械の稼働や海底ケーブルの布設に伴う海底土砂の巻き上げ及び潮流発電施設の稼働に伴う下流側の攪乱による影響が考えられる。

海生生物への影響としては、光の遮蔽による海藻類の光合成阻害、濁りを嫌う浮魚類の忌避行動のほか、高濃度の濁りによる摂餌障害、成長低下等の影響が現れることがあり、濁りの度合いや継続時間によっては生存への影響も出てくる場合がある。また、水の濁りの影響レベルについては、海域における環境基準はないが、維持することが望ましい基準として懸濁物質（SS）に関する水産用水基準が設定されている。

水の濁りの海生生物への影響は、海生生物の種類、濁りの濃度及び持続時間等によって異なり、既往の研究、調査・実験が様々行われ、文献や資料として公表されている。このうち、魚類と濁度との一般的な関係を模式化した事例を図4-4-1に示す。水の濁りと魚類との一般的な関係は、濁度が高い場合、影響が短時間でみられ、濁度が低い場合においても、長時間に及んだ場合、魚類に影響を及ぼす可能性があることが知られている。

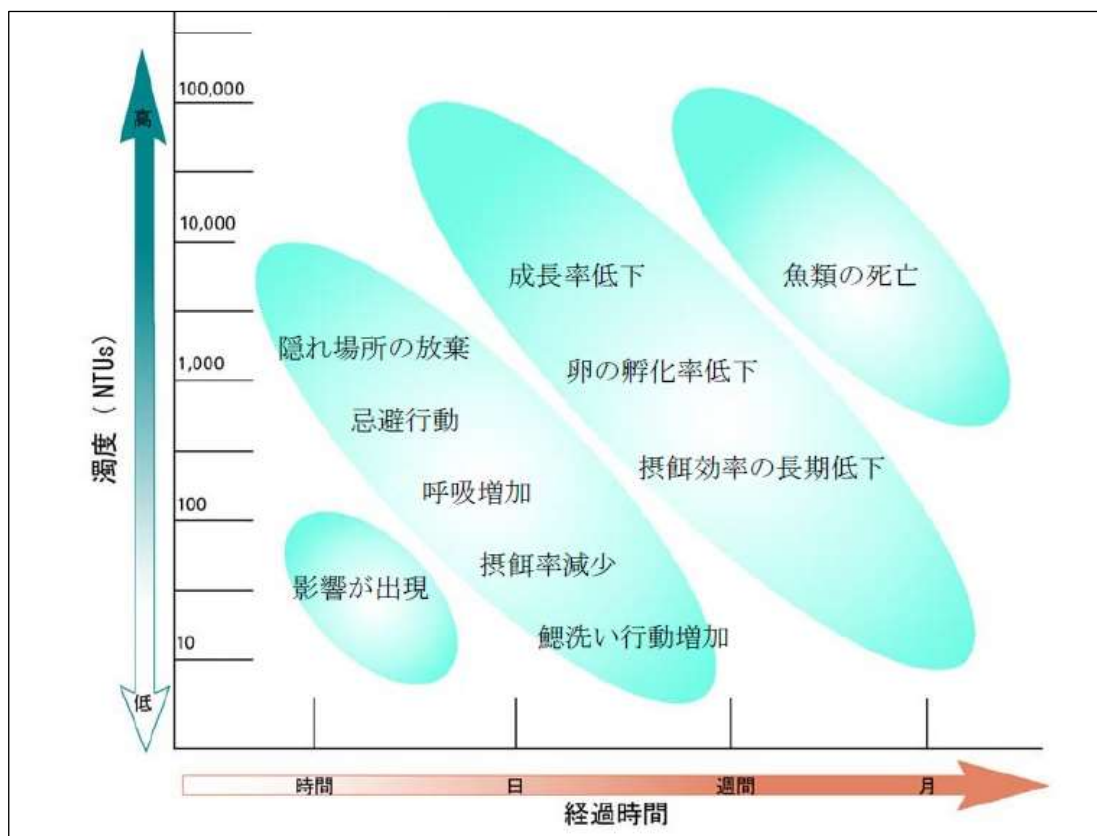


図 4-4-1 魚類と濁度の関係の模式図

〔道路及び鉄道建設事業における河川の濁り等に関する環境影響評価ガイドライン〕（環境省、平成21年3月）



## 2) 水産用水基準値における濁り基準の設定の根拠に係る知見等

水産用水基準は社団法人日本水産資源保護協会が昭和40年に当時の知見から水生生物への影響限界濃度を推定し、許容限界濃度を設定した「水産用水基準（昭和40年版）」を刊行し、その後環境基準の設定や富栄養化問題への対応等で何回か改訂され、現在は維持することが望ましい基準として「水産用水基準 第7版（2012年版）」が刊行されている。

水産用水基準とその考え方を以下に示す。これらは、潮流発電事業の実施で発生する水の濁りによる海生生物への影響評価にあたり、評価の基準（目安）として参考とすることができると考える。

### ≪水産用水基準値：海域の懸濁物質（SS）≫

- ① 人為的に加えられる懸濁物質は2 mg/L 以下であること。
- ② 海藻類の繁殖に適した水深において必要な照度が保持され、その繁殖と生長に影響を及ぼさないこと。

### ≪基準の説明（基準値設定の考え方）：海域の懸濁物質（SS）≫

海藻類の光合成に対する長期的影響の安全限界は、ヒトエグサ類及びアマノリ類で10mg/L以内、ワカメの幼葉期では5mg/L以内であった。各種粘土粒子のスサビノリ殻胞子着生に対する24時間最低影響濃度は1.0～5.0mg/Lであった。ワカメ等の海藻類の遊走子に懸濁粒子が付着すると遊泳阻害を起し、着底密度、基盤着生後の生残等に影響を及ぼすことが知られている。室内実験のデータからは3～4mg/Lの値が読みとれるが、著者らは現実の海では海底付近の流れや粒子の巻上げなどの減少があるのでそれらの影響は単純ではないとしている。海藻類の遊走子への影響については今後の検討事項としたい。

イガイは5mg/Lの濁水が続くと付着能力が低下し、アコヤガイは約7mg/Lで殻の開閉運動や吸水率に影響が現れる。カキの濾水量の変化が起きない条件としては2 mg/Lが示されている。

一般的には浮魚類は濁りを嫌う傾向があるが、忌避影響濃度の最低値は、イシダイで5mg/L、ブリ稚魚で10mg/Lであった。1～2週間の飼育試験で魚類の成長に影響を与える最低値は、ブリについての10mg/Lであった。底生魚類は比較的耐忍性を有している。クロダイ、マコガレイ、アイナメなどの成魚では100mg/Lでも生残には影響はみられないが、敏感な魚種であるイシダイのふ化仔魚では5mg/Lで生残率に影響が見られ、魚種による差が大きい。

したがって、人為的に添加される濁りは、スサビノリ殻胞子の基質への着生及びカキの濾水量への影響から2mg/L以下とした。

出典：「水産用水基準 第7版（2012年版）」（（社）日本水産資源保護協会、平成25年1月）

## 3) 水の濁りが魚介類に与える影響

水の濁りが魚介類に与える影響については、昭和45年～昭和52年に行われた本州四国連絡架橋漁業影響調査で種々の知見が得られており、種別に整理した結果が「環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理」（（社）日本水産資源保護協会、昭和58年）にまとめられている。この資料から海域に生息・生育する動植物に関する知見を整理すると表4-4-6のとおりである。

表 4-4-6 水の濁りが魚介類に与える影響

魚種	影響を受ける状況
アイナメ	成魚の生残率：100mg/L までは 100%、300mg/L で 25% 400mg/L 以上で 1~2 日で死亡
イシダイ	卵のふ化率：10mg/L までは 95%以上、25~50mg/L で影響を受け、600mg/L で 50%以下 (25%) 幼稚子の生残率 (ふ化から開口)：10mg/L 付近で影響を受け始め、100mg/L で 50%、600mg/L で 28%。(開口後の生残率)：100mg/L で 7%、600mg/L で 2%と極めて悪い。
カサゴ	成魚 30~50mg/L で摂餌量減少、100mg/L で運動低下
クロダイ	幼稚子の斃死率：24 時間では 400mg/L でも 0%、48 時間では 100mg/L で 10%、400mg/L で 40%
スズキ	幼稚子 50mg/L 以下では影響なし
トラフグ	卵のふ化率：600mg/L でも影響認められず
ハマチ	幼稚子の生残率：13mg/L 以下では 100%、25~100mg/L では 3 日で 0% 成魚が影響を受け始める濃度：50mg/L
マアナゴ	成魚 100mg/L 以上で動揺、運動回数乱れる。
マダイ	卵のふ化率：50mg/L では殆ど影響ないが 100mg/L で低下、200mg/L では悪影響 ふ化仔魚の生残率：24 時間では 600mg/L 以上、48 時間では 400mg/L で半数致死 5mm 仔魚の生残率：24 時間では 40mg/L で半数致死 10mm 仔魚の生残率：24 時間では 320mg/L で半数致死 成魚の鰓蓋運動：影響を受け始める濃度 50mg/L
ガザミ	浮遊期 (ゾエア 1~2 令)：影響を受け始める濃度 25mg/L 浮遊期 (ゾエア 4 令~メガロツパ)：影響を受け始める濃度 200mg/L 底生期：48 時間の斃死率は 100mg/L で 10%、200mg/L で 40%、300mg/L 以上で 50%
クルマエビ	底生期：2 日後の斃死率は 200mg/L で 20%、300mg/L で 60%、400mg/L で 100%
ヨシエビ	底生期：斃死率は 300mg/L で 50%
コウイカ	底生期：2 日後の斃死率は 100mg/L で 30%、200mg/L で 60%、400mg/L で 100%
シリヤケイカ	底生期：斃死率は 300mg/L で 40%、400mg/L で 100% (1 日と 2 日では変化ない)
アコヤガイ	殻開閉運動の影響を受け始める濃度 6.5mg/L 底生期：生残率は 10mg/L 以上が長時間になると影響を受ける。
サザエ	底生期：酸素消費量の影響を受け始める濃度 5mg/L
マガキ	底生期：酸素消費量の影響を受け始める濃度 5mg/L
スサビノリ	5mg/L までは影響ないが、10mg/L で一部成長が遅れ、200mg/L では二次芽放出なくなる。
ワカメ	光合成に悪影響を与える濃度 50mg/L、安全限界濃度は 5mg/L

「環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理」(社)日本水産資源保護協会、昭和 58 年)

#### 4) 流向及び流速

流向及び流速の影響要因としては、潮流発電施設の存在及び稼働に伴い、下流側の流況の変化が考えられる。しかし、流況の変化が海域生物に与える影響についてはあまりに知見がなく、今後の研究が必要である。これまでの研究成果として公表されている知見を列挙すると以下のとおりである。

- ・ イギリスの Marine Current Turbines 社が実施した海流発電施設の設置後、ストラングフォード湾のなかの水流の速度や流れの方向は大きな変化は見られなかった。〔鈴木徹ら、2012〕<sup>1</sup>
- ・ 海流・潮流発電固有の影響として海洋の成層が強くて生物生産が乏しい海域では、タービンプレードの攪拌により海洋が混合され、一時生産が増加する可能性がある。研究した結果は、成層の強さにより混合の度合いが変わることを確認している。しかし、ある程度の成層がある海域では劇的に鉛直混合が促進されることは考えにくい。〔渋谷直樹、2011〕<sup>2</sup>
- ・ 潮流発電による流速の減少による影響については慎重な検討を要求されている。環境影響という観点からは、流速の減少に伴う湾内と湾外の海水交換率の変化、それによる湾内の環境の変化に留意がなされている。例えば、Fundy 湾の例によると、湾内における詳細な沈殿物と潮流の空間分布の調査と、長期間にわたる水の動きと沈殿物の分布のモニタリングが求められ、設置の前後での絶対量だけでなく面的な影響の広がりやの把握が求められている。〔日本船舶海洋工学会 HP〕<sup>3</sup>
- ・ 上流と下流の間の流速の減少に伴う環境の変化が問題となってくる。流れを利用することによって、その背後地の流速低下が堆積環境や漁獲される魚にどのような影響を与えるか。関サバは潮流の速いところでとれたブランドであるが、漁獲量だけでなく、ブランド力の低下も考慮する必要がある。〔中田、2013〕<sup>4</sup>

## 5) 水中音

水中音の影響要因としては、建設機械の稼働や潮流発電施設の稼働に伴い発生する騒音により水中環境の変化が考えられる。「水中音の魚類に及ぼす影響」（（社）日本水産資源保護協会、平成9年10月）等によると水中音圧レベルと魚類の反応は、表4-4-7及び図4-4-2に示すとおりである。なお、水中音は音源から離れるにつれて減衰するので図では音源からの距離も併記してある。

表 4-4-7 水中音圧レベルと魚類の反応

段階	摘要	音圧レベル (0dB=1μPa)
聴覚閾値	魚によろやく聞こえる最小知覚レベル。	感度の良い特殊な魚：60～80dB 感度の悪い一般的な海産魚：90～110dB
誘致レベル	魚にとって快適な音の強さであり、興味のある音であれば音源方向へ寄ってくる音圧レベル。	110～130dB
威嚇レベル	魚が驚いて深みに潜るか、音源から遠ざかる反応を示す音圧レベル。	140～160dB
損傷レベル (致死レベル)	魚の内臓や鰓の破損などの損傷が発生する音圧レベル。	220dB 以上 (水中穿孔発破)

「水中音の魚類に及ぼす影響」（（社）日本水産資源保護協会、平成9年10月）

<sup>1</sup> 「海流発電の可能性と漁業補償」（鈴木徹ら、2012）

<sup>2</sup> 「海流・潮流発電による後流攪拌が及ぼす影響に関する基礎的研究」（渋谷直樹、2011）

<sup>3</sup> 「P-22 委員会（海洋再生可能エネルギーの実用・利用に向けた企画立案検討委員会）最終報告書」（日本船舶海洋工学会 HP）

<sup>4</sup> 「海からの再生可能エネルギー取り出し技術と沿岸環境アセスメント」（中田喜三郎、2013）

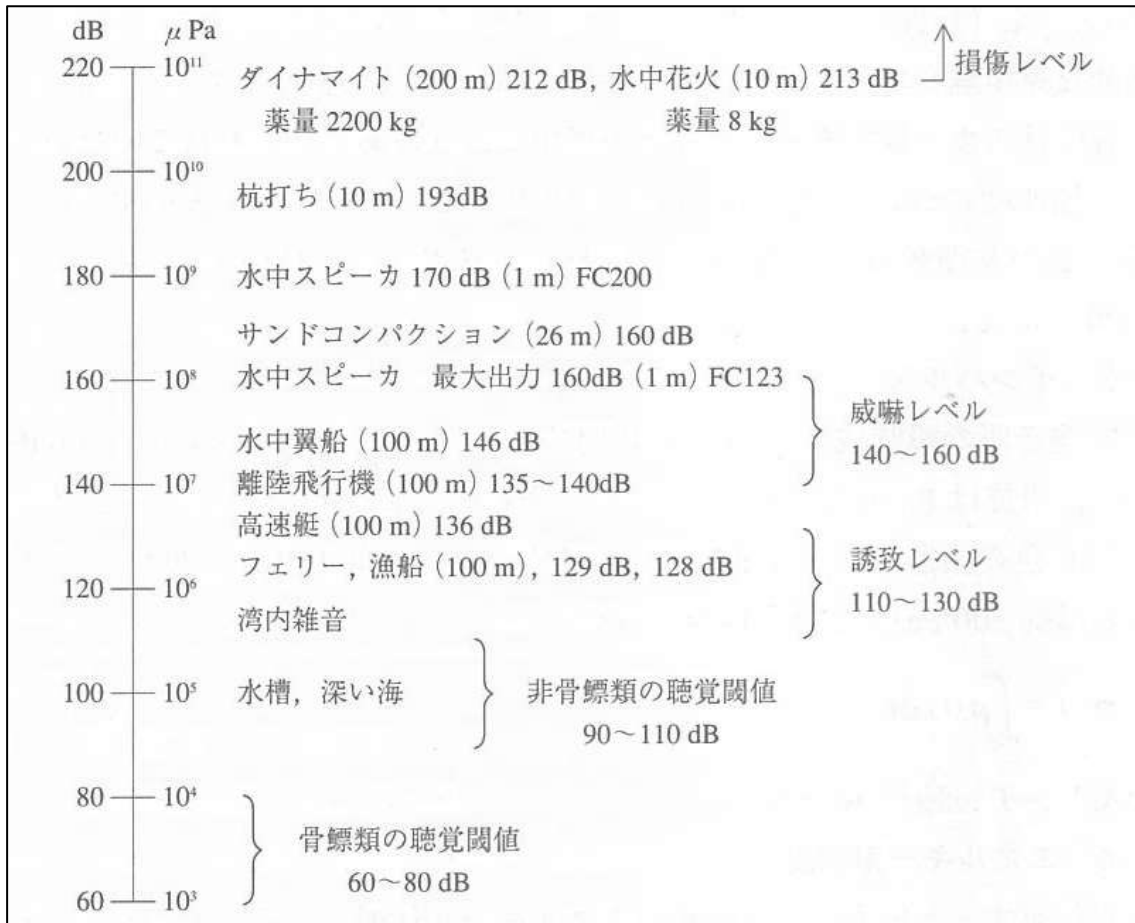


図 4-4-2 水中音圧レベルと魚類の反応

「魚類の聴覚生理 - 魚の音感知能力を探る -」(添田秀雄、畠山良己、川村軍蔵編、平成 10 年 3 月)

また、魚類の聴覚閾値（聞こえ始める音）に関する周波数特性については、魚種によっても異なるが、概ね 100~600Hz 程の音に対して閾値が小さく、感度が良い（小さい音でも聞こえる）。なお、マダイの例であるが、逃避反応を示す水中音の周波数特性は、150~200Hz と 500~700Hz の 2 つの範囲に敏感に反応していた。

工事中の影響については、「海生研ニュース (No.115)」(公益財団法人 海洋生物環境研究所、平成 24 年 7 月)によれば、海生哺乳類への影響を「可聴閾値音レベル (dB<sub>ht</sub>: 音源の音圧スペクトルと生物の可聴閾値スペクトルを比較し、その差が最大となる周波数における音圧レベル)」を用いて評価する手法が示されており、音源から逃避反応行動が生じるとされる 90dB<sub>ht</sub> (0dB=1μPa) (可聴閾値以上 90dB) の音圧になる距離を指標として影響領域が計算された表が記載されている (表 4-4-8)。これによると、杭打工事により逃避反応行動が生じる可能性のある距離は、ネズミイルカが 1,410m、バンドウイルカが 710m、ヒゲクジラが 320m である。

表 4-4-8 杭打工事に対する逃避反応行動が生じる計算上の領域（海生哺乳類）

海生哺乳類		逃避行動が生じる可能性のある距離 (可聴閾値音レベルが <sup>5</sup> 90dB <sub>ht</sub> (0dB=1μPa) となる距離)
歯クジラ	ネズミイルカ	1,410m
	バンドウイルカ	710m
ヒゲクジラ		320m

注：「dB<sub>ht</sub>」は、音源の音圧スペクトルと生物の可聴閾値スペクトルを比較し、その差が最大となる周波数における音圧レベル。

「海生研ニュース (No.115)」(公益財団法人 海洋生物環境研究所、平成 24 年 7 月)

潮流発電設備の稼働を想定した環境で、回遊性のサーモン (Chinook salmon) の稚魚の飼育実験の結果、稼働の音は稚魚の聴覚に影響がないことが確認された。また、組織の損傷についての音の影響は小さいことが推察されている。[Halvorsen, Carlson and Copping, 2011]

5

#### 6) 構造物の存在

構造物の存在の影響要因としては、潮流発電施設の存在による海底地形の変化や海生生物の生息環境の変化が考えられる。しかし、潮流発電施設の存在が海域生物に与える影響についてはあまりに知見がなく、今後の研究が必要である。これまでの研究成果として公表されている知見を列挙すると以下のとおりである。

- ・ 英国の海流タービン社が北アイルランドの Narrows で行った調査によると、イルカやゴマフアザラシがタービンにより死亡することはないことを確認した。[中田、2013]
- ・ 潮流発電技術は、大規模な没水構造物が関係する可能性が高い。装置は、既にエネルギーがあり流れがある環境に設置され、こうした場所では種の多様性及び豊富さは低い。現在の技術は、海洋生物に害を与えかねない稼働部品 (回転する回転翼または上下動する水中翼) が使われているものの、現在のところ、海流発電装置が、鯨、イルカ、アシカ、サメといった海洋生物に与える害について、証拠はまったくない。装置導入の数及び期間が限定的であることもあるだろうが、船舶の推進力に比べ (海洋生物の逃走速度に関して) 回転速度が遅いことも一因だろう。[環境省 HP]<sup>6</sup>
- ・ 海流発電システムの影響は、物理的環境 (海洋自体)、底生生物 (海底) 群集、海中の海洋生物及び海洋空間の競合使用の 4 つの広いカテゴリに分けられる。海洋への物理的影響は限定的と推測される。海流発電装置は、海洋の循環または正味質量の輸送を変化させるほどの規模ではない。たとえば、風成循環における赤道偏流では、西岸境界流が極方向への還流にあたるが、海底の散逸機構とは無関係である。しかしながら、システムは蛇行パターン及び海洋上層の混合プロセスを変化させるだろう。これらの影響は、本格的なサイト開発前に完全に評価を行う必要がある。これらの潜在的な影響を評価するため、フロリダ海流のモデリング研究が進行中である。外洋のエネルギー発電システムは、最大船舶の喫水以下で運用される可能性が高い。このため、商用船舶航行への危険は最小になる。海軍潜水艦の運用は影響を受けるだろうが、システムは固定されているため、回避は比較的容易である。水中の構造物は、魚類の生息環境と行動に影響を与えるだろう。水中の構造物は浮魚礁になることで知られているため、可能性のある使用者同士の競合は検討しなければならない。特に大規模な設置の場合、浮遊生息域の付随する変化が同様に問題になるだろう。[環境省 HP] 基礎構造物が占める面積は小さいため、その影響は限定的である。[日本船舶海洋工学会 HP]
- ・ Utgrunden and Yttre Stengrund での調査では、魚類の個体数へのネガティブな影響は見られず、むしろ

<sup>5</sup> 「Effects of Tidal Turbine Noise on Fish Hearing and Tissues」 (Halvorsen, Carlson and Copping, 2011)

<sup>6</sup> 「再生可能エネルギー源と気候変動緩和に関する特別報告書」 (環境省 HP)

- ・ 周辺の魚類が増加したと報告されている。〔日本船舶海洋工学会 HP〕
- ・ 潮流発電で特徴的な評価項目としては、ブレードへの魚類等の衝突が挙げられるが、まだ調査手法の開発中である。〔北澤、2014〕<sup>7</sup>
- ・ 海底上に送電線があると、カニなどの底生動物の移動を妨げる可能性がある。送電線を埋設した場合は、影響が軽減されるかもしれないが、現在のところ十分なデータは得られていない。〔北澤、2014〕
- ・ 海中に構造物が出現すると、魚の蝟集効果や生物付着が発生する。付着防止用の塗料が用いられると海生動物に蓄積される可能性がある。魚の蝟集効果については、どのような魚種がどの程度蝟集するかは不明であり、今後の調査が待たれるところである。〔北澤、2014〕

## 7) ブレードに対する魚類及び大型海産動物の反応と回避可能性に関する情報

潮流発電のブレードに対する魚類及び大型海産動物の反応と回避可能性に関する情報は少なく、今後の研究が必要である。これまでの研究成果として公表されている知見を列挙すると以下のとおりである。

- ・ 英国の海流タービン社が北アイルランドの Narrows で行った調査によると、イルカやゴマフアザラシがタービンにより死亡することはないと確認されており〔中田、2013〕、ネズミイルカが設置段階に湾内から姿を消してしまったこと以外に海産哺乳類（ゴマフアザラシ、ネズミイルカ、ハイロアザラシ）に大きな影響はなく、ネズミイルカは潮流発電機が作動を始めるころには湾内に戻ってきたことが確認されている。〔鈴木徹ら、2013〕
- ・ アメリカの Main 大学のグループは、Cobscook 湾にある潮流発電機に音響カメラ(acoustic camera)を設置し、タービンの動き、日周変化、魚の大きさによる魚や魚群の挙動について解析した。その結果、タービンが回転している場合、回転していない場合よりも迷入が 35%減少し、回避が 120%に増加していた。またタービンが回転している場合、夜間より日中の方がタービンを避けること、さらに魚は魚群でいるほうがタービンを避ける傾向等が確認された。〔Viehman and Zydlewski, 2015〕<sup>8</sup>
- ・ 水力発電におけるタービン水車による魚類損傷対策として、タービン内に取り込まれた魚類に対して損傷を与えないように工夫された水車(フィッシュフレンドリー水車)が研究開発されており、潮流発電事業における影響緩和策の検討において、参考になる可能性がある。

## 8) 水中への構造物等の設置による魚介類の蝟集効果に関する情報

潮流発電の水中構造物等の設置による魚介類の蝟集効果に関する情報は少なく、今後の研究が必要である。これまでの研究成果として公表されている知見を列挙すると以下のとおりである。

- ・ 海中に構造物が出現すると、魚の蝟集効果や生物付着が発生する。魚の蝟集効果については、どのような魚種がどの程度蝟集するかは不明であり、今後の調査が待たれるところである。〔北澤、2014〕
- ・ 引き上げた発電装置内から、エビやカニ、小魚などたくさんの生物が見つかりました。装置付近では多くの生物が生存していたことが考えられます。〔北九州市 HP〕<sup>9</sup>
- ・ 長崎県五島市に設置された浮体式洋上風力発電実証機の周辺海域では、メジナやカンパチなどの高付加価値魚種が蝟集していることが環境省の調査で報告されている。〔一般社団法人海洋産業研究会、2015〕<sup>10</sup>
- ・ Utgrunden and Yttre Stengrund での調査では、魚類の個体数へのネガティブな影響は見られず、むしろ周辺の魚類が増加したと報告されている。〔日本船舶海洋工学会 HP〕

<sup>7</sup> 「海洋再生可能エネルギーの環境への影響」(北澤大輔、2014)

<sup>8</sup> “Fish Interactions with a Commercial-Scale Tidal Energy Device in the Natural Environment”, (Viehman and Zydlewski, 2015)

<sup>9</sup> 「関門海峡潮流発電設置推進事業」(北九州市 HP)

<sup>10</sup> 「洋上風力発電等の漁業協調の在り方に関する提言《第2版》」(一般社団法人海洋産業研究会、2015)

## 4.5. 調査・予測・評価の手法に関する検討

選定された項目毎に今回の環境影響評価作業において用いる調査、予測及び評価の手法について、検討した。結果を表 4-5-1 に一覧にして示す。

表 4-5-1 調査、予測及び評価手法の選定(1/4)

評価項目		工事に伴う一時的な影響	施設の使用に伴う影響	調査項目	文献その他の資料調査	調査手法				
水環境	動物					植物	現地調査	調査方法	調査地点	調査時期
水環境	水の濁り 流向・流速 水中音	○	○	浮遊物(水の濁り)の状況	—	探水器により3層(表層、中層及び底層)から採集し、公定法に基づいて分析する。	対象事業区域及びその周辺の2地点	1年間、四季に各1回		
				流向及び流速の状況	現地測定調査において実施した状況調査の結果の整理	電磁式流速計を用いて流向及び流速の測定を行う。	対象事業区域及びその周辺の2地点	1年間、四季に各1回(15日間連続)		
				水中音の状況	既述文献から、水中の音圧レベルと魚類等の反応について整理する。	水中騒音計を使用して水中音の音圧レベル及び音波特性の測定を行う。	対象事業区域及びその周辺の1地点	1年間とし、四季に各1回行う。		
その他の環境	地形及び地質	○	○	重要な地形及び地質の状況	既述文献から、重要な地形及び地質の状況について整理	既述文献から、重要な地形及び地質の状況について整理	既述文献から、重要な地形及び地質の状況について整理	「前島及び宋津島」並びにピーナロッソの(地質)を現地調査及び写真撮影。	対象事業区域及びその周辺の1地点	夏季に1回
動物	海域に生息する動物	○	○	①魚等の遊泳動物	対象事業区域及びその周辺の海域に生息する海生動物に関する既往知見の収集並びに当該情報の整理及び解析	遠隔操作無人探査機(ROV)で観測するとともにダイバーによる潜水撮影を行い魚等の遊泳動物を観測	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
				②潮間帯生物(動物)	—	目視観察及び目録採取の調査により種同定及び個体数の計数	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
				③底生生物(動物)	—	スミアマキヤシや型採泥器を用いて底質を採取し、1mm目合いのふるいを掛けた後、底生生物をふるい分けし、種の同定及び個体数の計数	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
				④動物プランクトンの状況	—	北原式定量ネットを用いて1地点につき上層(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層で網を曳き)によりプランクトンを採取し、沈殿量の測定、種の同定及び個体数の計数	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
					—	まると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分の水深以上)より、種同定及び個体数の計数	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
				⑤卵・稚仔	—	①～⑤の調査時に目視観察及び双眼鏡等により生息する海産哺乳類の種類、個体数及び分布状況を調査	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
				⑥海産哺乳類	—	発着速置本体と同じ部材で製作した付着板を対象事業区域に設置し、定期的に戻り、付着した生物の種の同定及び付着生物量(重量)の測定を行う。	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
⑦付着生物	—	—	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。						
植物	海域に生育する植物	○	○	干潟、藻場、サンゴ礁の分布等	「日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況」(環境庁、平成9年)等による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析	「日本の干潟、藻場、サンゴ礁の現況」(環境庁、平成9年)等による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析	—	—		
				重要な種及び注目すべき生息地等	「主な種類及び分布の状況」の調査で収集した資料による情報の整理、重要な種の整理、解析	「主な種類及び分布の状況」の調査で収集した資料による情報の整理、重要な種の整理、解析	「主な種類及び分布の状況」の調査において、重要な種が確認された場合には、確認された重要な種の生息状況を調査し、必要に応じて適切な手法で追加的に調査する。	「主な種類及び分布の状況」と同じとする。	「主な種類及び分布の状況」と同じとする。	
				潮間帯生物(植物)	—	対象事業区域及びその周辺の海域に生育する海生植物に関する既往知見の収集並びに当該情報の整理及び解析	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
				海藻草類	—	対象事業区域及びその周辺の海域に生育する海生植物に関する既往知見の収集並びに当該情報の整理及び解析	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
植物	植物プランクトン	○	○	主な種類及び分布の状況	—	対象事業区域及びその周辺の海域に生育する海生植物に関する既往知見の収集並びに当該情報の整理及び解析	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
				干潟、藻場、サンゴ礁の分布等	—	対象事業区域及びその周辺の海域に生育する海生植物に関する既往知見の収集並びに当該情報の整理及び解析	対象事業区域及びその周辺の海域	1年間とし、四季に各1回行う。		
植物	重要な種及び重要な群落の分布等	○	○	重要な種及び重要な群落の分布等	「主な種類及び分布の状況」の調査で収集した資料による情報の整理、重要な種の整理、解析	「主な種類及び分布の状況」の調査で収集した資料による情報の整理、重要な種の整理、解析	「主な種類及び分布の状況」の調査において、重要な種が確認された場合には、確認された重要な種の生息状況を調査し、必要に応じて適切な手法で追加的に調査する。	「主な種類及び分布の状況」と同じとする。		



表 4-5-1 調査、予測及び評価手法の選定(2/4)

評価項目	調査項目	調査項目	予測手法	評価手法	
水環境	水の濁り	施設の存在・供用に伴う影響	現地調査結果を用い、定性的に予測	水の濁りに係る環境影響が、回避または低減されているかを検討。必要に応じ環境保全策の適正を検討。	
		工事に伴う一時的な影響	現地調査結果を用い、定性的に予測		
	水の中音	浮遊物(水の濁り)の状況	建設機械および施設の稼働による水中音に関する既往事例を参考に、海域への影響の程度について予測		流向及び流速に係る環境影響が、回避または低減されているかを検討。必要に応じ環境保全策の適正を検討。
		流向及び流速の状況	建設機械および施設の稼働による水中音に関する既往事例を参考に、海域への影響の程度について予測		水中音に係る環境影響が回避または低減されているかを検討。必要に応じ環境保全策の適正を検討。
その他の環境	水中音の状況	重要な地形及び地質について、分布及び成立環境事例の改変の程度を把握した上で、事例の引用又は解析により予測。	重要な地形及び地質に係る環境影響が回避または低減されているかを検討。必要に応じ環境保全策の適正を検討。		
動物	海域に生息する動物	施設に伴う一時的な影響	①魚等の遊泳動物	文献その他の資料調査及び現地調査の結果、水の濁りの予測結果及び水中音の予測結果に基づき、分布及び生息環境の改変の程度を把握した上で海生動物への影響を定性的に予測	
			②潮間帯生物(動物)		
			③底生生物(動物)		
			④動物プランクトン		
			⑤卵・稚仔		
			⑥海産哺乳類		
			⑦付着生物		
植物	海域に生息する植物	施設に伴う一時的な影響	干潟。藻場、サンゴ礁の分布等	主な海生動物及び干潟、藻場、サンゴ礁に生息する動物並びに重要な種及び注目すべき生息地に関する環境影響が回避または低減されているかを検討。必要に応じ環境保全策の適正を検討。	
			重要な種及び注目すべき生息地等		
			潮間帯生物(植物)		
			海産藻類		
植物	海域に生息する植物	施設に伴う一時的な影響	植物プランクトン	主な海生植物及び干潟、藻場、サンゴ礁に生育する植物並びに重要な種及び重要な群落に係る環境影響が回避または低減されているかを検討。必要に応じ環境保全策の適正を検討。	
			重要な種及び注目すべき生息地等		
			干潟。藻場、サンゴ礁の分布等		
植物	海域に生息する植物	施設に伴う一時的な影響	重要な種及び重要な群落の分布等	主な海生植物及び干潟、藻場、サンゴ礁に生育する植物並びに重要な種及び重要な群落に係る環境影響が回避または低減されているかを検討。必要に応じ環境保全策の適正を検討。	
			重要な種及び重要な群落の分布等		

表 4-5-1 調査、予測及び評価手法の選定 (3/4)

評価項目	調査項目	調査手法			
		文献その他の資料調査	現地調査	調査方法	調査時期
人と自然との触れ合いの活動の場	施設の存在・供用に伴う影響	文献その他の資料による情報の収集並びに当該情報の整理及び解析		-	-
	活動の場の状況	「活動の場の状況」の調査結果から、主要な人と自然との触れ合いの活動の場を抽出し、利用の状況や利用環境の状況について整理及び解析		-	-
	場の分布、利用状況、利用環境の状況		調査地点の方向別・車種別交通量を整理	工事用資材等の搬出入に伴う自動車の主要な輸送経路沿いの2地点とする	主要な人と自然との触れ合いの活動の場の利用形態等の特性を考慮し、適切な時期の1日とする
産業廃棄物等	交通量に係る状況	-			
	発生に伴う産業廃棄物	-			
漁業関連	漁業の状況	対象事業実施区域周辺における漁獲した魚および漁場に関する情報ならびに養殖生産量(対象魚種、生産量および養殖位置)を周辺漁協を通じて収集し整理及び解析	対象事業実施区域周辺に3隻程度漁獲し、職業時間内に漁獲した水産有用種を対象に種類別総個体数と種類別総重量、体長を測定		1年間とし、3季(春季、夏季及び秋季)行う。
		対象事業実施区域周辺における水温、塩分、水素イオン濃度、溶存酸素量、化学的酸素要求量、植物プランクトン、動物プランクトン及びび卵・稚仔に関する情報を収集し整理及び解析	① 水温、塩分、水素イオン濃度、溶存酸素量;メモリー式多項目水質計を用いて測定する。 ② 化学的酸素要求量;バンドーン採水器を用いて、表層(海面付近)、中層(1/2水深)、底層(海底上1m)の海水を採水し分析する。 ③ 植物プランクトン;植物調査と同様 ④ 動物プランクトン;動物調査と同様 ⑤ 卵・稚仔;動物調査と同様	対象事業実施区域及びその周辺の6区域とする	1年間とし、3季(春季、夏季及び秋季)行う。
	漁場環境				
	魚介類の増集効果の状況	対象事業実施区域周辺における魚介類に関する情報を周辺漁協を通じて収集し整理及び解析		潮流発電設備を無人探査機等により観察し、主な出現種、増集の多寡等を調査する。	魚介類の分布が多い時期を選定し年1回とする。

表 4-5-1 調査、予測及び評価手法の選定 (4/4)

評価項目	調査項目	調査手法	評価手法
人と自然との触れ合いの活動の場	施設の存在・供用に伴う影響		
	工事に伴う一時的な影響	○	
	活動の場の状況 場の分布、利用状況、利用環境の状況 交通量に係る状況	工事用資材等の搬出入に伴う自動車による主要な人と自然との触れ合いの活動の場へのアクセスルートにおける交通量の変化率を予測し、利用特性への影響を予測 工事の実施に伴い発生する産業廃棄物の種類ごとの発生量、有効利用量及び最終処分量を工事計画等に基づいて予測	主要な人と自然との触れ合いの活動の場に係る環境影響が回避または低減されているかを検討。 必要に応じて環境保全策の適正を検討。
産業廃棄物等	産業廃棄物	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業廃棄物に係る環境影響が、回避または低減されているかを検討。</li> <li>必要に応じて環境保全策の適正を検討。</li> <li>「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」(昭和45年法律第137号)及び「建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律」(平成12年法律第104号)等との整合が図られているかを検討。</li> </ul>
漁業関連	漁業実態・魚介類増集効果		
	漁業の状況	漁業の状況	漁業実態に係る環境影響が、回避または低減されているかを検討。 必要に応じて環境保全策の適正を検討。
	漁場環境	魚介類の増集効果の状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>(施工時影響) 浮遊物質の状況及び水中音の状況の現地調査結果を用いて、建設機械の稼働に伴う濁り及び水中音が漁業に及ぼす影響について定性的に予測</li> <li>(稼働時影響) 文献その他の資料調査及び現地調査の結果、施設の有存在及び施設の稼働に伴う流向及び流速の予測結果等に基づき、漁業に及ぼす影響及び魚介類の増集効果について定性的に予測を行う。</li> </ul>

## 4.6. 学識者へのヒアリング

潮流発電所に係る環境影響評価の項目及び調査手法等について、学識経験者にヒアリングを実施した。実施概要は表 4-6-1、ヒアリング結果は表 4-6-2 のとおりである。

表 4-6-1 専門家等へのヒアリング実施概要

実施日	名 前	所 属	主なヒアリング事項
平成 27 年 11 月 10 日	赤松 友成氏	(国法) 水産総合研究センター中央水産研究所 資源管理研究センター 主任研究員	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配慮書から方法書作成にあたっての影響項目の選定について</li> <li>・選定項目の調査手法及び評価の考え方について</li> <li>・潮流発電において、影響が無視できない項目について</li> </ul>
平成 27 年 11 月 13 日	中田 英昭氏	長崎大学 海洋資源動態科学講座 教授	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配慮書から方法書作成にあたっての影響項目の選定について</li> <li>・選定項目の調査手法及び評価の考え方について</li> <li>・潮流発電において、影響が無視できない項目について</li> </ul>

表 4-6-2 ヒアリング結果(1/3)

項目	概 要
潮流発電の事業特性から考えられる影響要因	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施設から発せられる音の特性把握が重要である。魚の鳴音は施設の機械音と類似した周波数帯域かもしれない。一方、イルカの用いる超音波ならマスキング効果は小さいと考えられる。</li> <li>・フィッシュストライクについては、ブレードの隙間を魚が通過できるか、動いている部分避けるかが不明であり、高速で回転しているため、魚類の遊泳速度と比較すると事前の認知や回避は困難と予想される。</li> <li>・魚はブレードを認知するのか、色や形はどうかという課題がある。スケールダウンした実験を行うのは、ブレードの大きさと速度から非常に困難である。</li> <li>・発電機等から出る音や振動などがわかれば、それを生簀などで放音して、反応行動を見るインパクトの測定が必要である。</li> <li>・海底付近で起こる変化、たとえば流れや底質の変化、濁り（沈降物）、洗掘、攪拌等の組み合わせが場として重要であり、それらの影響を受けやすい生物をピックアップする必要がある。</li> <li>・フィッシュストライクについては、実験・研究が必要である。室内実験やバイオロギング等の野外実験がある。現状では魚の感受性がわからない。それに関する生理学的な知見が少ない。不足している情報を整理することが重要であり、そのための基礎研究が必要である。</li> <li>・海外では海底ケーブルの布設等の底生生物への影響が注目されている事例がある。</li> <li>・海中構造物の後方には渦ができる。そうした渦に稚魚が取り込まれることもあるが、渦の中は成長がよいという事例もある。規模にもよるが、潮流発電機ができて、流れや渦のでき方が変わると、生物にインパクトがあるかもしれない。</li> <li>・五島の場合、潮流の強流域の流路が上げ・下げで異なる場所があり、その結果、残差流が大きくなっている。</li> <li>・海中施設の周辺に魚が蛸集することはあると思うが、魚の蛸集効果とフィッシュストライクの両面を評価する必要があるだろう。また、蛸集することは分布の変化であって、必ずしも魚が増えることを表しているわけではないことにも注意が必要である。予測評価のポイントとして蛸集効果をあげておくとよいが、定量的な評価は難しいのではないかと。</li> <li>・海の中の重要な場として、堆や根や浅瀬も必要である。海の中の大事な場所のマッピングとして、海岸（干潟等）や海底地形も考慮すべきである。海峡や瀬戸そのものが維持されることも大切である。</li> </ul>

表 4-6-2 ヒアリング結果(2/3)

項目	概 要
注目すべき生物	<ul style="list-style-type: none"> <li>・潮流発電では海底やその水域に定着している生物と回遊性生物があり、それぞれへのインパクトを評価する必要がある。</li> <li>・海生生物の場合は、イルカ類や底魚類が考えられる。イルカ類としてはスナメリやネズミイルカがあげられ、これらは生態系の上位種として事業の影響を受けやすい。また、底生性の魚類のうち魚食性の魚類などは環境の影響を受ける。</li> <li>・五島あたりではゴンドウクジラ、ハンドウイルカ、カマイルカがかなりいるため、対象種は多くなる。</li> <li>・海底付近で起こる変化、たとえば流れや底質の変化、濁り（沈降物）、洗掘、攪拌等の組み合わせが場として重要であり、それらの影響を受けやすい生物をピックアップする必要がある。</li> </ul>
生物基礎情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・回遊する種類については、ピンポイントの時間で把握されるものであり、地理的な情報がない。</li> <li>・海生生物の分布や、施設から発せられる音響に対する反応等についてデータベース整備が課題である。</li> <li>・日本においては、そのような基礎的な情報の蓄積が少ない。その蓄積は事業者と共同しながら、研究者や国が行っていく必要がある。</li> <li>・海生生物の調査には、ベースラインの把握が重要である。その後はモニタリングで把握する。</li> </ul>
調査結果の解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定着性が強いものでは分布地図ができる。</li> <li>・物質循環、生産力の評価としては、植物プランクトンやクロロフィル a、栄養塩レベル等が項目としてあげられる。そして、消費者側としては、重要種や典型性種が考えられる。</li> <li>・場所の重要性を見る場合には、漁場としての利用や漁業資源の産卵・稚子の育成場の観点が必要である。</li> </ul>
影響要因との関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>・種の絞り込みとしては、浮いているものを対象とする場合はフィッシュストライクに留意する。また漁獲対象にも留意する。注目種として安易に具体的な種名を出すのは困難である。</li> <li>・船の音に対して魚がどのように逃げるのか調査したデータもある。これは船の騒音と計測される魚類量を比較して調べたもので、20年前くらいにすでにやっている。</li> <li>・フィッシュストライクについては、実験・研究が必要である。室内実験やバイオロギング等の野外実験がある。現状では魚の感受性がわからない。それに関する生理学的な知見が少ない。不足している情報を整理することが重要であり、そのための基礎研究が必要である。</li> <li>・海外では海底ケーブルの布設等の底生生物への影響が注目されている事例がある。</li> </ul>
調査手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・潮流や早い流れに依存しているという情報について、最終的な種の絞り込みは漁獲に頼るのがよい。</li> <li>・事業を行う時期より早めにバックグラウンドデータを取得し、移動性魚類等の状況を把握すべきである。</li> <li>・事業実施前、建設中、建設後それぞれで時間をかけて見るべきである。短時間で見ると、生物の出現状況の変化がその事業のせいなのか自然変動の範囲なのか評価できない。</li> <li>・対照区を設置したモニタリングが必須である。調査区における変動が海域全体のものか、設備設置によるものかを切り分けるため。</li> <li>・潮流発電であれば、ケーブルがあるため、デバイスに観測装置を付けられる。発電機をモニタリングプラットフォームとして使える。水中カメラ、マイク、などのセンサが考えられる。</li> <li>・発電機の周りでの局所的な変化を検討することは当然であるが、それが周辺にどのように波及するか、どの範囲までどのように把握すればよいのが難しい。</li> <li>・調査はできれば四季調査を複数年実施するのが望ましい。</li> <li>・生態系を見るためには、その土台となる基礎生産力の指標として、測定が比較的容易なクロロフィル色素量を見る等の方法が考えられる。</li> <li>・漁獲物については、関係漁協へのヒアリングが考えられる。（漁獲対象種の状況、漁場としての利用状況等）</li> <li>・産卵場、生育場や漁場のマッピングなど検討の基礎になるものを作るとよい。</li> <li>・時間と空間のマトリクスを考えた場合、短時間で局所的な影響の場合と長期的で広範囲な影響などの考え方があり、それぞれのスケールごとで調査予測手法が違う。</li> <li>・魚などの動くものは魚探等で面的に把握し、動かないものは底生生物等、サンプリング調査をすることができる。</li> </ul>

表 4-6-2 ヒアリング結果(3/3)

項目	概 要
新技術によるモニタリング手法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・定着性生物と回遊する生物とでは、インパクトに対する行動が異なる。したがって、モニタリング手法も異なってくる。</li> <li>・①定着性生物には、受動的音響技術が新技術として有効である。イルカ類及び底生の発音甲殻類に対しては a-tag 調査があり、とくにイルカ類に関しては定量的な調査が可能となっている。魚類のカナガシラ、トラフグなども発声するため、低周波録音機が用いられる。季節的なタイミングもあるが、魚類に関してもいつどの方向からどのくらいの音が受信できるかということはわかる。</li> <li>・種の特定については、「カナガシラ類」、「フグ類」程度がわかる。</li> <li>・②回遊性生物には、スキヤニングソナーやバイオロギングが新技術として有効である。潮流発電での評価においては、回遊性生物の把握も必要である。</li> <li>・移動性の海生生物を調査するには次の2つの手法が考えられる。スキヤニングソナーによる走査、バイオロギングによる行動の記録である。</li> <li>・調査の順番としては、漁獲データによる魚類相の把握⇒生物種の絞り込み⇒ソナーによる行動やバイオマスの把握や音響調査⇒バイオロギング等だろう。</li> </ul>

#### 4.7. 商用規模での環境影響評価の留意点

今回の環境影響評価の方法書の検討は、実証事業では本来行うべき規模の開発で行うものではないものの、将来の商用化レベルでの事業への対応も踏まえて、対外的な手続き（公告縦覧や説明会あるいは意見聴取）を除いて、基本的な手順は環境影響評価法に準じて実施した。そのため、調査項目においては商用化レベルの時点においてもほぼ同じような項目を実施することとなるが、今回の実証レベルでの方法書検討を踏まえ、商用レベルでの環境影響評価において留意すべきことについて、以下に取りまとめる。

- ① 発電機の基数が多くなる等の事業規模の大きさに応じて、影響範囲が大きくなる可能性も考えられる。
- ② 対象事業実施区域内の広さに応じて、調査地点数を増やすことが望ましいが、地点の配置、数等は発電機の基数や配置等の事業諸元に応じて検討する必要がある。
- ③ 潮流発電装置の稼働による影響要因としては、流れの変化と水中音の発生が大きなインパクトである。これらの要因について、複数台の発電装置を設置することになる商用化においては、発生源単位だけの情報では複数の発生源の複合影響を予測することは困難である。そこで、数値シミュレーションによって定量的な把握を検討する必要がある。
  - ・ 水中音  
複数台の装置を設置する商用稼働においては、個々の装置から発生する水中音の干渉や減衰あるいは周辺地形の影響を考慮する必要があるため、シミュレーションによる予測の可能性を検討する必要がある。
  - ・ 流況  
複数台の装置を設置する商用稼働においては、個々の装置による流れの相互作用あ

るいは周辺地形の影響を考慮する必要があるため、シミュレーションによる予測の可能性を検討する必要がある。

- ④ 海生生物等について、文献その他の資料調査でベースラインを把握するための情報が少ない場合、複数年の調査を実施することが望ましい。

## 4.8. 海域における環境影響評価に関する課題

従来行われてきた環境影響評価のための調査は、沿岸部に建設される発電所や埋立事業に伴い行われてきたため、沿岸に近接したエリアを対象とした調査手法が一般的であった。

潮流発電事業は沖合部での事業となることが多く、調査・予測及び評価手法の考え方に配慮が必要になる。

専門家ヒアリングや洋上風力発電事業に係る環境影響評価の事例から抽出した、潮流発電事業の調査・予測及び評価における留意点は以下に示すとおりである。

### 4.8.1. ベースライン調査の実施

現況調査のうちの現地調査では、1年間のうち四季毎に1回調査を実施する手法が一般的であるが、情報が限られている地域では複数年の調査実施が望ましい。

短い期間の調査結果では、稼働後の変化が事業の影響によるものか、自然変動等の他の要因によるものか判別（評価）が困難とされるためである。

ただし、複数年の調査実施は環境影響評価に係る期間及びコストが増大することになるため、事業主体が複数ある場合は共同調査を実施することや漁業者からのヒアリングや漁獲統計、公的機関が実施するモニタリング調査等の活用によるベースラインの把握等の工夫が望まれる。

### 4.8.2. 調査項目

例えば、従来の調査項目の分類では魚類は「魚等の遊泳動物」として1つにまとめられているが、定着性魚類と回遊性魚類とでは、現況把握のための調査手法が異なること、潮流発電の影響を受ける程度も異なる可能性が考えられるため、対象事業実施区域周辺の生物相の状況を把握した上で、それぞれの生物にあわせた調査手法を用いることが望ましい。

### 4.8.3. 調査手法

従来の発電所アセスや埋立アセス等で行われている、海生生物についての予測評価の手法が適応できるが、沖合の広い範囲の調査を実施するためには、新しい手法の開発が必要である。福島沖の洋上風力発電アセスにおける魚類調査では、魚群探知機を併用した調査が行



われている。専門家ヒアリングでは調査対象種の行動等を把握するための以下の手法が挙げられた。

- ・受動的音響技術（イルカ類及び底生の発音甲殻類に対する a-tag 調査等）
- ・バイオリギング（事前に対象種を選定し、実施する必要）

#### 4.8.4.評価手法

海生生物の評価手法としては、生産力の評価として植物プランクトンやクロロフィル a、重要種に対する影響評価等があげられる。

水中音やタービン等の機器の存在等が海生生物におよぼす影響についての基礎的知見が不足しているため、評価が困難である。

生物の産卵場、生育場や主な漁場などのマッピングと潮流発電の影響域との関係から評価することが可能である。

魚介類の蝟集については、必ずしも魚介類が増加することではなく分布が変化しているだけであるかもしれず、定量的な評価が難しい。

#### 4.8.5.モニタリング

海域の環境要素に関する調査及び予測においては、確立されていない部分があり、不確実性が比較的高い。そのような状況において、事前の予測評価を補完する手法としてモニタリング調査（施工中、供用中及び撤去後）を実施することが有効である。

モニタリングでは、事前の調査で得られたベースラインデータと比較してどの程度の有意な変化があったのかなかったのかを確認することがまず基本としてあり、事前の調査項目を事前の調査方法と同様に行うことが少なくとも求められる。場合によっては、特に懸念される項目や評価が困難な項目に限定することもある。

さらに、施設の存在や稼働による影響を確認する場合には、その目的に特化した手法を用いることもある。潮流発電において特に懸念される要因としては、ブレードに対する海生生物の衝突、水中音及び流れの変化が挙げられるので、これらの項目に関して以下にまとめる。

- ・ブレードに対する海生動物の衝突

モニタリング機材を発電機及び周辺に設置し、海生動物の衝突や蝟集等についてモニタリングを行う。光を照射するカメラを設置すると、光による蝟集が考えられるため音響カメラ等の設置による調査が考えられる。

- ・水中音の海生生物への影響

稼働中の発電機から発生する水中音をモニタリングすることにより、運転中の水中音の定常レベルを把握する。

- ・流れの変化の把握

後流による周辺の流速の変化が及ぶ程度を把握する。

- ・流れの変化が与える藻場、干潟への影響

発電機の稼働後、数年を置いて周辺の藻場干潟の地形の変化がないかどうか確認する。

## 5. 基本設計

### 5.1. タービン・基礎

#### 5.1.1. 潮流発電装置の概要

潮流発電装置は、潮の流れを利用しエネルギーを回収する発電である。潮流は、太陽・月の引力と地球の公転により引き起こされる満潮・干潮ごとに規則的に1日4回または2回向きが変わるため、その流況を容易に把握できるエネルギー媒体である。よって、天候に左右されやすい太陽光や風力など他の自然エネルギーと比べ、非常に安定的であるため、潮流による発電量を予測しやすくなる。また、海水の密度は空気と比べて約800倍であるため、同じ出力を得るのに風力発電と比べて、装置を小型化できる特徴がある。

開発する装置は、厳しい潮流環境条件でも安定して発電できる海底据置式を採用する。海底での基礎工事・据付作業等の設置費用や海中に設置された発電装置を点検するために陸へ引揚げ等を行うため、メンテナンス費用が高コストとなるが、信頼性・経済性の高いシステムを両立するため、イニシャル・ランニングコストの低減を目指し、潮流発電装置の開発を行う。

潮流発電装置は、水中翼が取り付けられたロータ部、発電装置及びコントローラ盤を内蔵するナセル部、その支持部となるタービンベースで構成される。ロータで、潮流のエネルギーを回転エネルギーに変換し、さらに発電装置で発電エネルギーに変換する。発電装置は、他の補機類とともにナセルの管胴中に格納されており、水密構造となっている。発電した電気は、概ね電力変換装置（コンバータ）や変圧器などを介し、周波数や電圧が調整されて海底ケーブルにて陸側へ送電される。発電容量は1MW、水中翼中心までの高さ20m、水中翼径23m、全体重量は約8000kNと大型の装置となる。防食対策については経済性を考慮し、ナセルとタービンベース部等部位ごとに異なる仕様を適用する。

[静止部] ナセル : 普通鋼材+重防食塗装  
タービンベース : 普通鋼材+防食塗装+電気防食

[回転部] 普通鋼材+電気防食  
また、装置の海洋生物付着対策及び防汚対策についても以下のように適用する

[水中翼] 水中翼表面への付着防止のために防汚塗料を塗布

[ナセル・タービンベース] 防食塗装のみ

ナセルは定期点検のために、支持部（タービンベース）と分離できる機構となっており、着脱機構を有する。本機構を設けることで、発電装置を内蔵したナセルを支持部から切り離し、作業の簡略化、作業時間短縮が可能なシステムとしている。また、海底工事となる支持部工事の作業簡略化・コスト削減のため、固定用重り（以下、シンカーと称す）を用いた重力式を採用した。さらに、本潮流発電装置の経済性向上のために、風車発電部品を活用することで装置コストの低減を行う。潮流発電装置の構造を図5-1-1に示す。

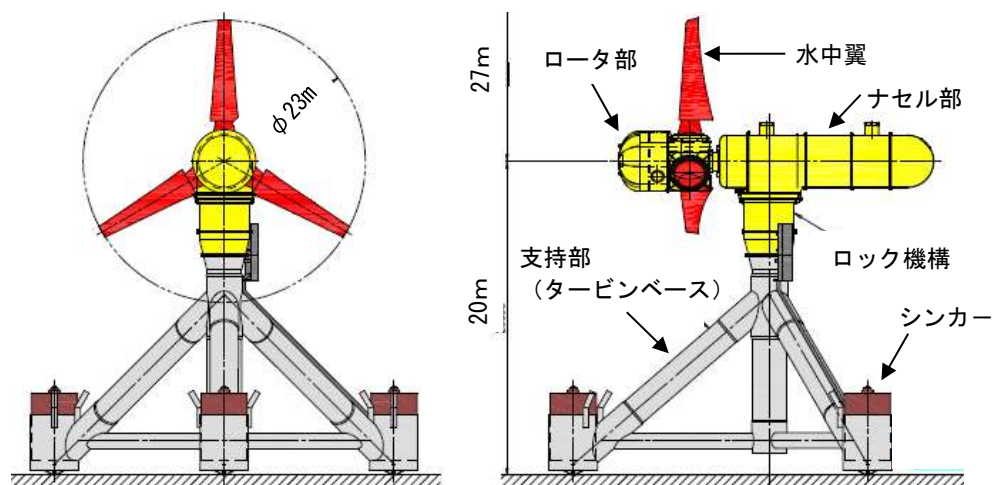


図 5-1-1 潮流発電装置 全体図

### 5.1.2.基礎部の設計検討

#### (1) 概要

国内の作業環境に適した潮流発電装置の設置方法として、実証機では一括設置、商用機では分割設置を計画している。それぞれの設置方法に適した基礎部構造の設計検討を実施した。ここでは、その検討内容と結果について述べる。

#### (2) 検討条件

##### ① 想定する環境条件

潮流発電装置の環境条件は、表 5-1-1 に示す条件を想定している。

これらの条件は国内にて規格がないため、ドイツの認証機関である GL-DNV(旧 GL(Germanischer Lloyd))の OCT(Ocean Current Turbine)ガイドライン 2005 Draft に準拠して検討を実施した。

表 5-1-1 想定する環境条件 (1/2)

項目		条件
気象		風速 最大値 : 22.1m/s 気温 最小値 : -14.8℃、最大値 : 18.7℃
海象	波	1年波 : 3.9m、50年波 : 5.2m
	潮流	日平均流速 : 2.4m/s、50年周期流速 : 4.7m/s
	水位	水位 (潮位等) HSWL <sup>※</sup> : 47m
	水温	6.5~13.2℃
	塩分濃度	約 3%
	海洋付着生物	性質 : ゴカイ等単独棲管虫類、付着厚 : 10mm/年
	海水	考慮しない

※1 1年波は年間最大波高、50年波は50年の間に発生しうる最大波高を指す。

※2 High Sea Water Levelで朔望平均満潮面のこと。潮位で、朔及び望の日から5日以内に現れる各月の最高潮位を平均した水位をいう。

表 5-1-1 想定する環境条件 (2/2)

項目		条件
地震・津波	地震動	水平地震動 : 0.0、鉛直地震動 : 0.0
	津波	考慮しない
その他	寒冷地	積雪 : 考慮しない
	海底	土質 : 硬質岩盤

② 設計仕様

潮流発電装置の設計仕様について、表 5-1-2 に示す。

表 5-1-2 設計仕様

項目	仕様
形 式	海底据置式
定格出力	1[MW]
定格回転数	10[rpm]
水中翼枚数	3[枚]
ロータ直径	23[m]
定格流速	2.3[m/s]
限界流速	5.0[m/s]
カットイン流速（発電開始流速）	1.0[m/s]
カットアウト流速（発電停止流速）	4.0[m/s]
設計耐用年数	20[年]
設備利用率	40[%]
設計温度（ハブ・ナセル内）	常時 4~40[°C]、最高 65[°C]
出力制御	翼旋回制御（ピッチ制御）機構採用
流向制御	ヨー制御機構採用
設置方式	重力式（固定錘式）
電 圧	690[V]:5.7[kV]（ナセル内） 5.7[kV]：66[kV]（陸上）

・ 付属設備

- ✓ 可変ピッチ機構 : 定格流速からカットアウト流速まで、出力一定とする。
- ✓ 流向変化追従機構 : 流向の変化にナセルの向きを追従（ヨーシステム制御という）させる。
- ✓ 潤滑システム : 設置環境を考慮し、油を極力使わず、海中に漏れない潤滑機構を採用する（漏れても環境への影響の少ない生分解性油の使用）。
- ✓ 非常停止装置 : 制御システムとは独立に、非常停止可能（外部非常停止ボタン）とする。

・ その他

- ✓ 制御システム : 制御システムでは、以下の機能・制御を行う。
  - 運転制御
    - ・ 起動（自動カットイン） : 回転数検知
    - ・ カットイン～定格流速 : トルク制御（ピッチ角）固定
    - ・ 定格流速～カットアウト流速 : ピッチ角度制御（回転数固定）
    - ・ 停止（カットアウト流速） : ピッチ角操作

- ・カットアウト流速→復帰 : ピッチ角操作
- 非常停止制御・・・緊急停止
- ✓ 安全システム：設備の正常な運転が困難になった場合においても、安全な状態を確実に継続出来るように制御するシステムを搭載する。

③ 装置の設置条件

装置の設置条件を表 5-1-3 に示す。

表 5-1-3 装置の設置条件

項目	仕様
沈降速度	0.8m/s
設置海域	水深47m
地盤反力係数	50MPa
実証機：一体設置	ロータ径23m、1.0MW

④ 定格運転時の基礎部荷重条件

定格運転時の基礎部に発生する荷重は、以下の条件として求めた。

- 計算対象 : 実証機
- 潮流速 : 定格流速(ハブ高さにて 2.3m/s)
- 乱流強度 : Tlx: 12.1%、Tly: 8.6%、Tlz: 6.2%
- Yaw Error(deg) : -7、0、7
- 波条件 : カットアウト波(有義波高 3.9m、ピーク波周期 9.1s)

⑤ 適用基準

適用基準を以下に示す。

- ・鋼構造設計基準
- ・鋼構造架設設計指針/土木学会

適用基準より、吊りピースに与える荷重は、4点吊りの不均等荷重 100%（不均等係数 2.0）を安全率として設定。

(3) 検討内容

① 基礎部の設計検討

表 5-1-1（想定する環境条件）や表 5-1-2（設計仕様）を満足するよう、基礎部の設計検討を行う。シンカーを用いた着底式とし、ピッチ動作によるスラスト方向の変化にも対応できるよう、その構造検討を行う。

② 一体吊り時の基礎部強度解析

実証機の設置方式は、ナセル部と基礎部が接続された状態で港から搬出され、作業船から吊下げ所定の場所に設置する一体設置方式を採用している。一体吊り時にはシンカーも3個装着された状態であるため、基礎部がシンカー荷重に耐えるかどうかを評価する必要がある。

そこで、実証機の3次元モデルによる有限要素解析(FEM)を実施し、一体吊り時の基礎部に発生する応力を確認する。強度が不足している場合は、該当部の構造見直しと確認解析を実施する。

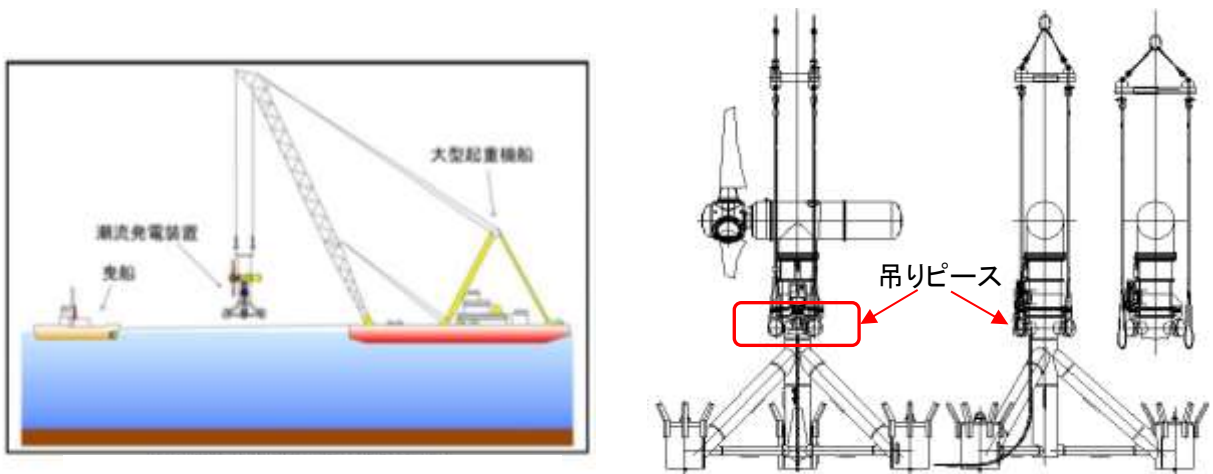


図 5-1-2 作業要領(実証機)

③ 着底時の衝撃荷重に対する基礎部強度検討

一体吊りにて装置を施工する際、着底時の衝撃荷重に対して基礎部の強度が十分であるかを評価する必要がある。そこで、着底時の衝撃荷重を、漁港・漁場の施設の設計の手引(2003年)下巻第2章「沈設漁礁(2.3)」に基づいて求めた。

次に、斜め梁と水平梁のトラス構造として基礎部をモデル化し、求めた着底時の衝撃荷重を用いて応力を算出した(図 5-1-3)。算出した応力と許容応力を比較し、合否判定を行った。

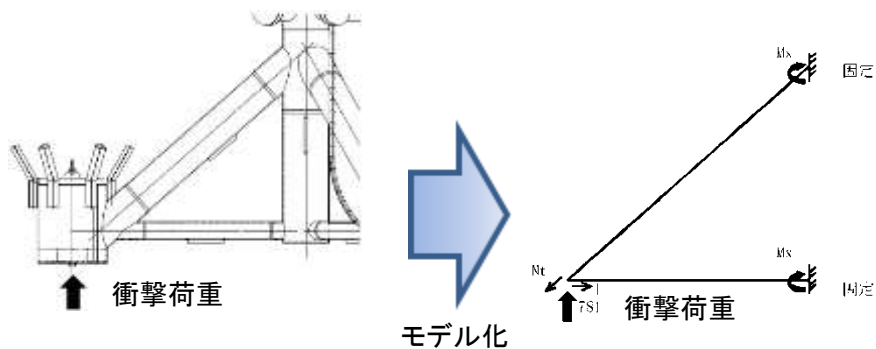


図 5-1-3 着底時の衝撃荷重検討方法



#### ④ 運転時最大荷重に対する基礎部の強度解析

運転時に発生する基礎部の荷重に対し、強度的に満足するかを評価するため、運転時の最大荷重に対する基礎部の強度検討を行った。検討方法としては、③と同様に梁を組合せたトラス構造として基礎部をモデル化し、各接点に運転時の最大荷重を与え、基礎部の応力が許容値以下かどうかを評価した。基礎部に与える荷重は、ブレードが受けるスラスト力や基礎部に発生する流体力も考慮した。

#### (4) 検討結果

##### ① 基礎部の設計検討

実証機基礎部の形状を図 5-1-4 に示す。ピッチ動作によって受けるスラストの方向が変わっても装置が安定するよう、三脚構造としている。脚の先端にシンカーを挿入させる事で、その自重により、潮流による装置の転倒や滑動に耐える構造とした。基礎部を構成する各パイプ径や板厚については、想定されるナセル部のスラスト力や基礎部に発生する流体力を考慮し、最も経済的（軽量）となる径と厚さを選定した。

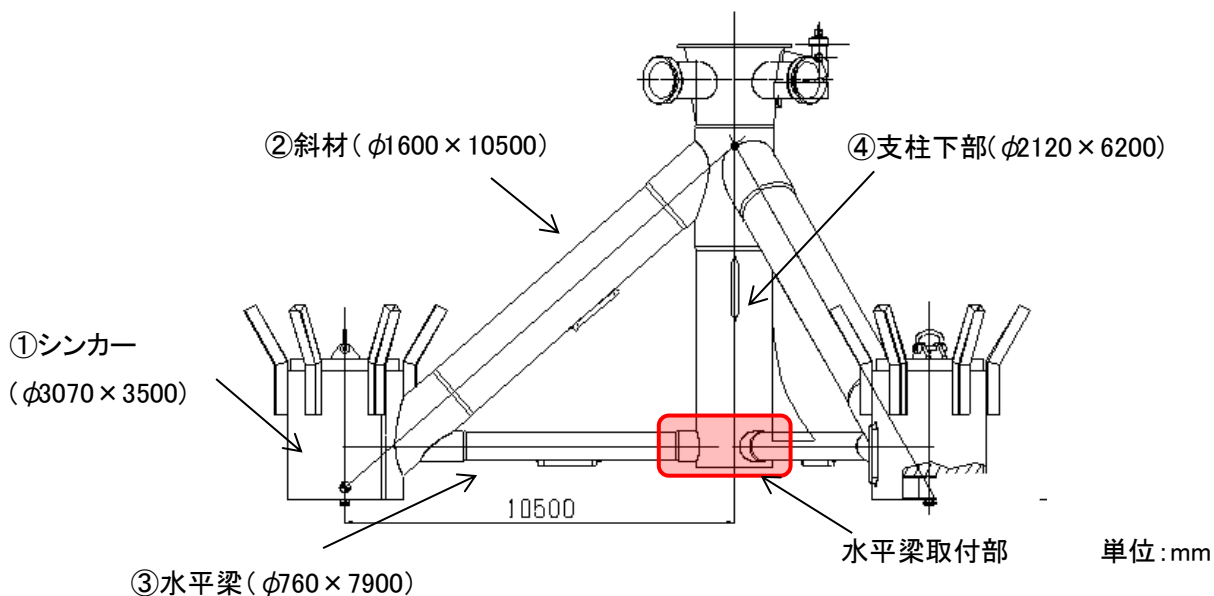


図 5-1-4 基礎部概略図

##### ② 一体吊り時の基礎部強度解析

一体吊り時の強度解析モデルと解析結果を図 5-1-5 及び図 5-1-6 に、一体吊り時の変形図を図 5-1-7 に示す。検討の結果、基礎部底面ではシンカーの重みのため最大 32mm 垂れ下がった変形となるが、吊り時の基礎部に発生する応力は全て許容応力内であった。



図 5-1-5 解析モデル



図 5-1-6 解析結果（ミーゼス応力）

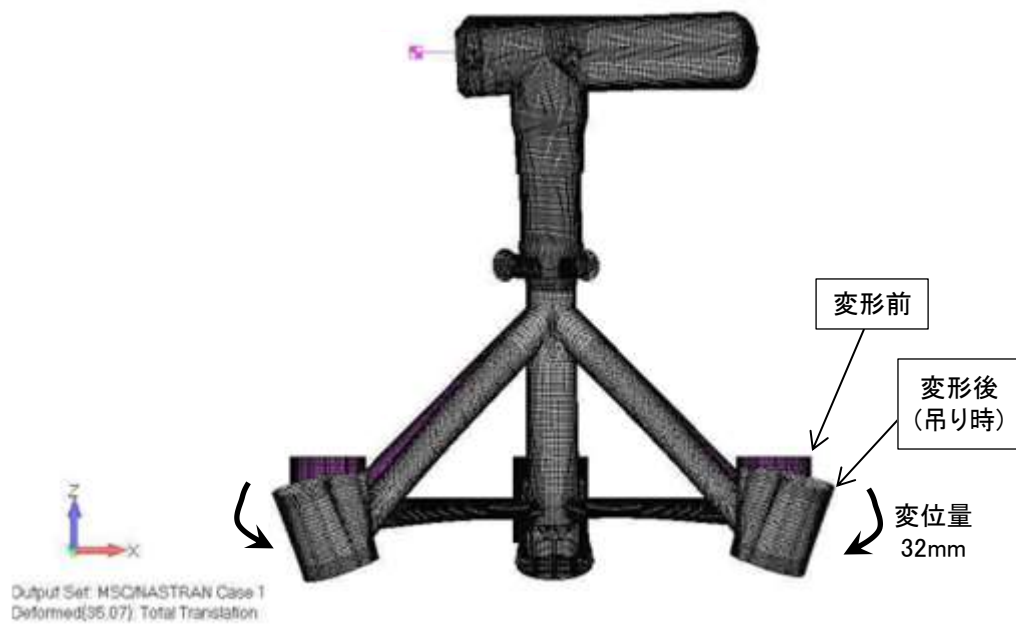


図 5-1-7 一体吊り時の変形図(変形倍率 50 倍)

### ③ 着底時の衝撃荷重に対する基礎部強度検討

表 5-1-4 に検討結果を示す。着底姿勢に関係なく、各部材に発生する応力は全て許容応力内であった。

表 5-1-4 着底時衝撃荷重に対する強度検討結果

着底姿勢	着底時荷重 [kN]	部材名	判定
3脚同時着底	7769	斜材	問題なし
		水平梁	問題なし
1脚着底	23308	斜材	問題なし
		水平梁	問題なし

④ 運転時の最大荷重に対する基礎部強度解析

表 5-1-5 及び表 5-1-6 に検討結果を示す。各接合部及び部材において発生する応力は全て許容応力内であった。

表 5-1-5 運転時荷重に対する強度解析結果（各接合部）

対象位置	部材名	軸方向に係る力 [kN]	判定
支柱-斜材	支柱	-2583	問題なし
	斜材	-3005	問題なし
支柱-水平材	支柱	-81.1	問題なし
	水平材	662.4	問題なし
斜材-水平材	斜材	-3122	問題なし
	水平材	656.6	問題なし
シンカー-斜材	シンカー	-6577	問題なし
	斜材	-97.3	問題なし

表 5-1-6 運転時荷重に対する強度解析結果（各部材）

部材名	軸方向に係る力 [kN]	判定
シンカー	6577	問題なし
斜材	3005	問題なし
水平梁	657	問題なし
支柱	1025	問題なし

(5) まとめ

国内の作業環境に適した潮流発電装置の検討のため、一括設置及び分割設置に適した着底時・運転時における基礎部の強度検討を行った。結果、検討した基礎部構造にて強度を満足することを確認し、それぞれの設置方法に適した基礎部構造の基本設計が完了した。

## 5.2. 洋上電気設備

発電機設置候補地として考えている海域は 昨年度（平成 26 年度）と同様であり、従って、海底ケーブル布設ルート、陸揚げ地点ともに変更点はない。このため、図 5-2-1 に示すものを検討対象とする。

海象条件についても 候補地変更がないため、主要設備のひとつである海底ケーブルについても 昨年度と同一仕様のもので検討していくこととした。



図 5-2-1 海底ケーブル布設 想定ルート（奈留瀬戸）

### 5.2.1. 洋上電気設備（基本構成）

潮流発電機～陸上変電設備の間における電気設備としては、主に 図 5-2-2 に示すものが挙げられる。

- ・水中コネクタ（接続点①：発電機ナセル部）： Dry-Mate タイプ
- ・海底ケーブル（接続点①～②間）： 6.6kV 光複合ケーブル（2重鉄線鎧装付、各芯鉛被付）
- ・水中コネクタ（接続点②：海底部）： Dry-Mate タイプ
- ・海底ケーブル（接続点②～陸上変電設備 間）： 接続点①～②間と同一仕様

これら構成・仕様を検討する際、設置海域における海象条件や作業可能時間などを考慮の上、当海域での発電機設置、海底ケーブル及び水中コネクタの布設・設置作業性に配慮する必要がある。さらに 運用開始後に関しても、当海域における潮流の影響を受けるため、その対策を布設・設置の段階で講じておく必要がある。

具体的な検討結果に関しては、“水中コネクタの基本設計” は 5.2.2 項、“海底ケーブル

防護方法"は 5.2.3 項に、さらに、これら電気設備の設置及びメンテナンス時の布設方法に関しては、6.1.4 項 "海底ケーブル及び水中コネクタの布設方法"に記述する。

昨年度の検討結果と比較すると、接続点①については Wet-Mate タイプ(水中着脱方式)から Dry-Mate タイプ(気中着脱方式)に変更することとした。これは、現状、Wet-Mate タイプの主流がシリコンオイル充填型であり、構造的に 水中着脱時に電極部から微少漏油が避けられないこと、潮流下における発電機ナセル着脱する場合にナセル筐体との接触など施工時リスクがあることなどから変更することとした。

一方、海底ケーブル仕様は 上述のように 昨年度と同様の仕様とし、参考までに表 5-2-1 に再掲する。

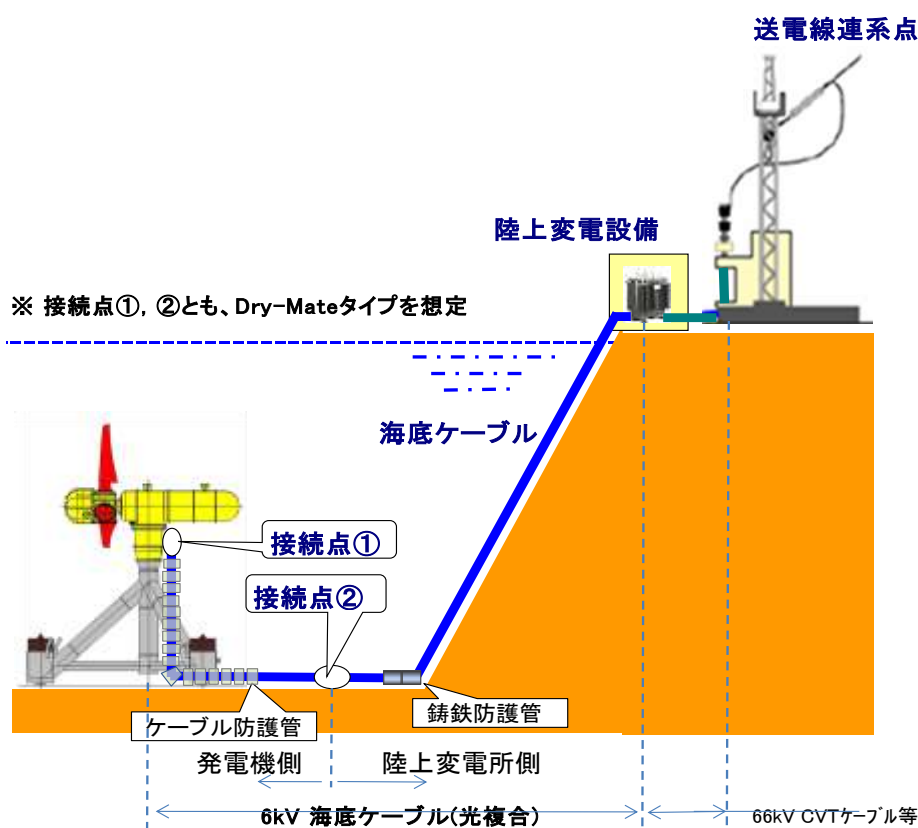
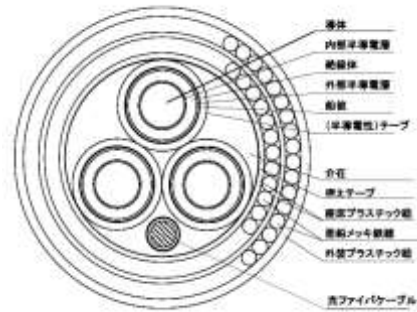


図 5-2-2 洋上電気設備 基本構成 (概略図)

表 5-2-1 6.6kV 光複合 CV 海底ケーブル構造

種 別		電力線	光ファイバ通信線
導 心	数	3	SMS 芯
	公称断面積	mm <sup>2</sup>	100
導 体	形状・構成	円形圧縮(水密)	
	外径	mm	12.0
絶縁体厚さ (内部半導電層厚さ含む)		mm	5.0
絶縁体外径		mm	22.0
外部半導電層厚さ		約mm	0.7
鉛被下水密厚さ		約mm	0.6
鉛被厚さ		mm	1.6
(半導電性)テープ巻き厚さ		約mm	0.3
導心外径		約mm	29
組合せ外径		約mm	62
押えテープ巻き厚さ		約mm	0.3
座床プラスチック紐巻き厚さ		mm	2.0
重鉛メッキ鉄線		mm	6.0
座床プラスチック紐巻き厚さ		mm	2.0
重鉛メッキ鉄線		mm	6.0
外装プラスチック紐巻き厚さ		mm	3.5
仕上外径		約mm	102
概算質量		kg/km	30.900
電 気 特 性	最大導体抵抗 (20℃)	Ω/km	0.187
	試験電圧	kV×分	AC18×10
	最小絶縁抵抗 (常温)	MΩ・km	2000
	最大静電容量	μF/km	0.23

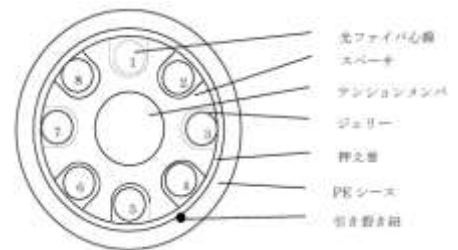
付図 1. 海底ケーブル概略構造図



付表 1. 光ファイバーケーブル構造表

項 目	仕 様	
テンションメンバ	材質	防錆処理鋼線
	構成	1/2.3
溝付存在	材質	ポリエチレン
	外径	約mm
溝種別	7	
溝種別	一方両溝型	
集合押え層	構造図及び配列表参照*ジュリーを支植する ナイロンパラ糸+プラスチックテープ	
シース	材質	黒色ポリエチレン
	標準厚	mm
仕上外径	約mm	11
概算質量	kg/km	130
許容曲げ半径	延滞時	220mm 以上
	固定時	110mm 以上
許容張力	(N) [kgf]	1710 [170] 以下
許容圧縮力 (50mm)	(N) [kgf]	1000 [102] 以下

付図 2. 光ファイバーケーブル概略構造図



## 5.2.2. 水中コネクタ（基本設計）

### (1) 設計コンセプト

海底に設置される潮流発電装置の発電電力は、前述 図 5-2-2 に示す電力システムシステムで送電システムに連系される。このシステムの中で発電装置の設置及び海底ケーブルの布設、同装置のメンテナンス作業は 比較的潮流の穏やかな小潮時に実施することが条件となっているため、数時間オーダという短時間のうちに着脱可能なコネクタが必要となる。

#### 1) コネクタの種別

潮流発電装置メンテナンス時には、装置架台を海底に設置したまま 海中からナセルのみを引き上げて回収するため、海中で架台からナセルを切り離す工程が必要となる。この工程を実現させるため、ナセルと架台の切り離し箇所（前述の図 5-2-2 中の接続点①）には、水中で着脱可能な Wet-Mate タイプの水中コネクタを適用することで 昨年度まで基礎検討を進めてきた。しかしながら、昨年度の検討から、コネクタ着脱時においてコネクタに充填されたシリコンオイルが海中へ微量ながら漏れ出し、海上汚染につながる懸念があることが顕在化した。このリスクを 現時点では完全に排除することが出来なかったため、同オイルが充填されていない Dry-Mate タイプの水中コネクタを選定し、接続点①の設計を見直すこととした。

#### 2) 接続点数の最適化

接続点数を最小限に抑えるため、システム検討を実施した。検討の結果、接続箇所を潮流発電装置の施工やメンテナンス時、またケーブル布設との兼ね合いから、潮流発電装置と海底ケーブルの接続箇所（接続点①）、潮流発電装置側と陸上変電所側との境界部分（接続点②）の計 2 か所とした。（前述の図 5-2-2 項 参照）

### (2) 接続点の構成

各接続点に対して、海底ケーブル（前述の表 5-2-1 参照）及び想定される潮流発電装置の設置環境条件（表 5-2-2）を基に、構成を検討した。各接続点を含めたシステム全体の構成を図 5-2-3 に、各接続点の構成を表 5-2-3 に示す。

表 5-2-2 想定される水中コネクタ設置環境条件

項目	仕様	備考
水深	40～50m	海図より設定
水温	10～35℃	計測データより設定
最大流速	5m/s(*1) 7m/s(*2)	CFD解析結果(発電装置設置側のブレード後流潮流速)より (*1) 定格流速の場合 (*2) カットオフ流速の場合



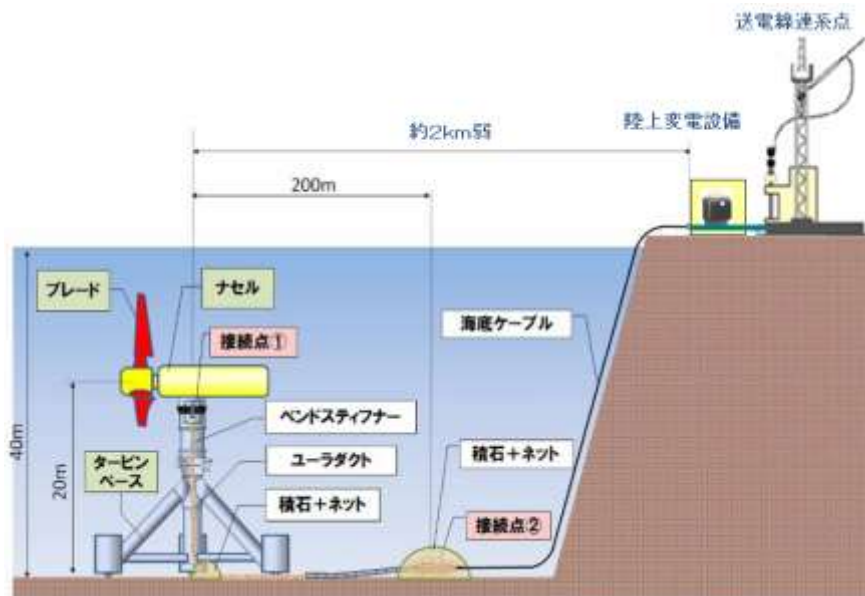


図 5-2-3 潮流発電システムの概要

表 5-2-3 接続点の概要

項目	接続点① 向け (発電装置ナセル部設置)	接続点② 向け (海底部 設置)
コネクタ種別	Dry-Mateタイプ 水中コネクタ	Dry-Mateタイプ 水中コネクタ
取付け位置	海底に対して 垂直に配置	海底に対して 水平に設置
潮流からの保護	ステンレス製外装(保護管, コネクタの別部品)	金属製鎧装(プロテクタ, コネクタの一部品)
ケーブル支持と保護	・引留め装置(コネクタの別部品) ・ベンドスティフナ(コネクタの別部品)	・引留め装置(コネクタの一部品) ・ベンドスティフナ(コネクタの別部品)

### 1) 接続点①

接続点①の構成を図 5-2-4 に示す。実証海域の潮流は速く、潮流と海中を流動する物から水中コネクタを保護する目的で、ステンレス製外装（保護管）で覆う構造とした。また、海底ケーブルなどの自重やケーブルに発生する張力を支持するため、保護管の下方部に引留め装置を設け、海底ケーブルの鉄線鎧装（表 5-2-1 参照）を取り付ける。なお、引留め装置から海底方向に延びる海底ケーブルには、潮流の影響によりケーブル疲労を起こさない様、ベンドスティフナやユーラダクトを設ける構造とした。さらに、海底ケーブルが潮流に流されにくくするためにユーラダクトの先から接続点②までの間には鑄鉄防護管を取り付ける構造とした。

この接続点①の構成の中で、特に専用設計が必要な水中コネクタについては 今年度試作を実施した。その結果については後述（4）項で説明する。

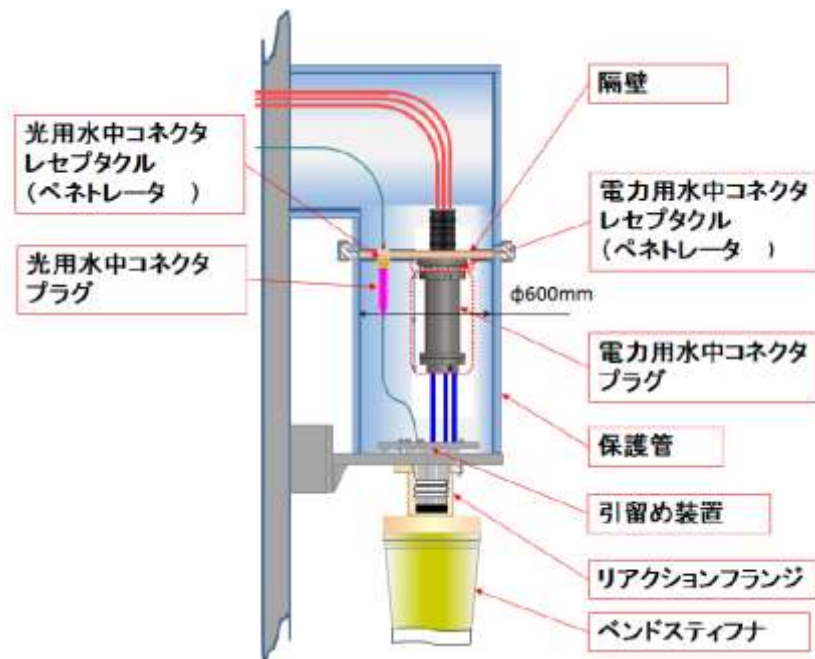


図 5-2-4 接続点①の概要

## 2) 接続点②

接続点②に関しては これまで開発された製品の水中コネクタを流用し、海底ケーブルを接続することとした。潮流からの保護を目的とした金属製鎧装や海底ケーブルの鉄線鎧装を取り付ける引留め装置を有し、ケーブル端部の保護にベンドスティフナを用いている製品である。なお、金属製鎧装の中には電力用コネクタと光ファイバー用コネクタが収容されている。接続点②の全体イメージを図 5-2-5 に示す。



サイズ：L3150mm×B860mm×H860mm (出展：J+S Limited)

図 5-2-5 接続点②の概要

### (3)水中コネクタ諸元

本実証試験において、水中コネクタに要求される仕様と 各接続点に選定したコネクタの諸元を表 5-2-4 に示す。 接続点①、②はともに 要求仕様（電圧、電流、水深、設計寿命）と同等、またはそれ以上の性能を有している。 また、光ファイバー用水中コネクタ諸元を表 5-2-5 に示す。 接続線芯数について、要求性能を満たすコネクタを選択している。

表 5-2-4 電力用 水中コネクタ 要求仕様とコネクタ諸元

項目	要求仕様	コネクタ諸元(選定品)			
		接続点① 向け (発電装置ナセル部設置)		接続点② 向け (海底部 設置)	
		諸元	評価 *2	諸元	評価 *2
接続芯数	3芯接続	3芯	Clear	3芯	Clear
定格電圧 *1 U <sub>o</sub> /U(U <sub>m</sub> )	6/10(12) kV	6/10(12) kV	Clear	21/—(36) kV	Clear *3
定格電流	250A 以上	250A	Clear	630A	Clear
耐水圧	水深50m 以上	水深 2000m	Clear	水深 300m	Clear
設計寿命	20年 以上	25年	Clear	25年	Clear

(\*1) U<sub>o</sub>: 公称電圧, U: 線間電圧= $\sqrt{3}U_o$ , U<sub>m</sub>: 最大許容電圧

(\*2) 評価: 要求仕様に対するもの

(\*3) 接続点②定格電圧は、実証機に合わせる予定

表 5-2-5 光ファイバー用 水中コネクタ 要求仕様とコネクタ諸元

項目	要求仕様	コネクタ諸元(選定品)			
		接続点① 向け (発電装置ナセル部設置)		接続点② 向け (海底部 設置)	
		諸元	評価 *	諸元	評価 *
最大接続 線芯数	8芯接続	8芯	Clear	16芯	Clear
損失量	—	<1. 0dB	—	<2. 5dB	—

(\* ) 評価: 要求仕様に対するもの

### (4)電力用 水中コネクタの試作

試作する接続点①の水中コネクタは 電力用について実施することとした。これは、水中コネクタの基本構造は電力用と光ファイバー用のそれで大きな違いがないことによる。まずはコネクタサイズが大きくなる電力用に絞り、試作を進めることとした。なお、電力用と光ファイバー用の複合化については、1枚のプレート上に各コネクタを搭載した構造を想定している。

#### 1) 試作品概要

図 5-2-6 及び図 5-2-7 に試作品の概要を示す。上段にはプラグを下段にはレセプタクル（ペネトレータ）を配置した。プラグとレセプタクルは、嵌合後にボルトで締めて堅固に固定する方式となっており、Oリングを介して十分な防水性を有している。

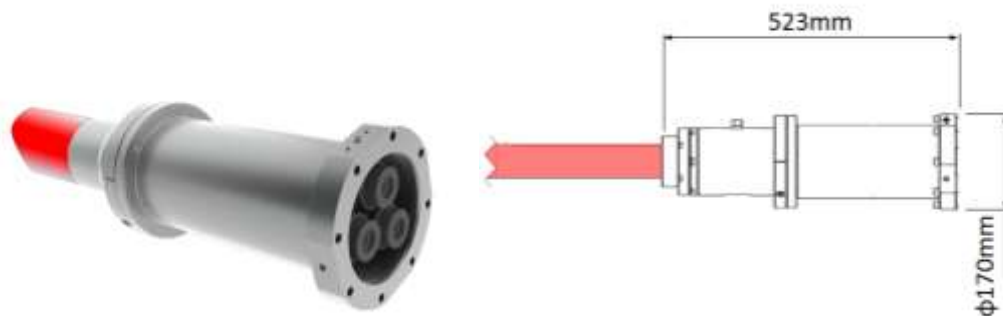


図 5-2-6 電力用水中コネクタ／プラグ

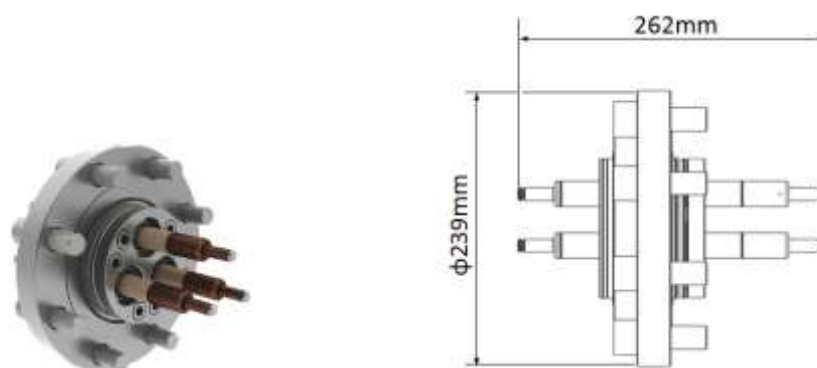


図 5-2-7 電力用水中コネクタ／レセプタクル（ペネトレータ）

## 2) ナセルへの搭載イメージ

図 5-2-8 に電力用 水中コネクタをナセルへ搭載するイメージを示す。ナセルから引き出された電源ケーブルは、隔壁に取り付けたレセプタクルとプラグを介して海底ケーブルに繋がる。プラグとレセプタクルが嵌合されたコネクタ全体サイズは、大凡 570mm×直径φ239mm の大きさであり、電力線 3 相を同時に接続できる構造となっている。このコネクタサイズであれば、潮流発電装置に取り付けても施工時や装置稼動時に障害とはならず、装置への適用が可能であると考えている。

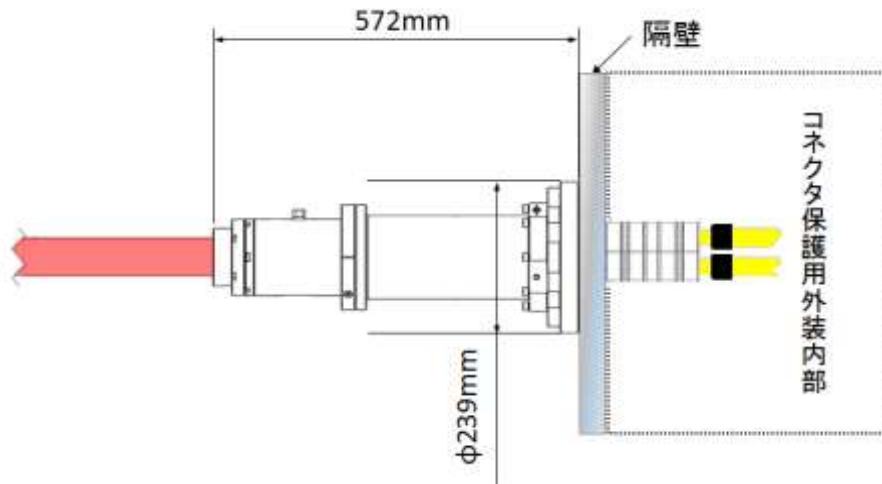


図 5-2-8 電力用水中コネクタ ナセル隔壁への搭載イメージ

(5) 光ファイバー用 水中コネクタの概要

図 5-2-9 及び 5-2-10 に接続点①に用いる光ファイバー用 水中コネクタの概要を示す。プラグとレセプタクルをあわせた全長は大凡 270mm、直径は大凡 φ50mm である。前項で述べた電力用水中コネクタと合わせて、ステンレス製外装（保護管内に収納できるサイズである。接続芯数は 最大 8 芯が接続できる構造である。

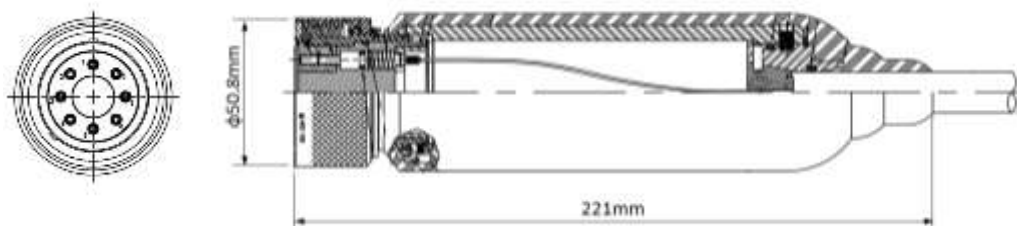


図 5-2-9 光ファイバー用水中コネクタ／プラグ

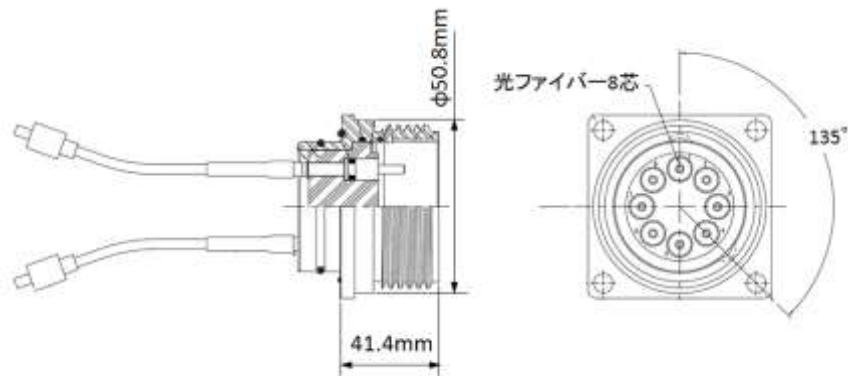


図 5-2-10 光ファイバー用水中コネクタ／レセプタクル

#### (6) 水中コネクタの防水性評価

一般的に Dry-Mate タイプの水中コネクタは、その防水機構にメカニカルシール構造を採用している。そのため、採用した海底ケーブルは前述のように 金属（鉛）シースを用いたケーブルでは、水中コネクタの接続端部の防水処理を新たに検討しなければならない。金属（鉛）シースケーブルにおける接続端部の防水処理方法としては、シースと接合対象の外装を接合肉盛りし防水する鉛工（半田付け）処理が用いられてきた。

今回の水中コネクタでも同様の鉛工による防水処理が適用できるか確認をするため評価を実施した。なお、本防水性評価に供される試験容器は(4)項の電力用水中コネクタ試作品の形状・サイズ・材質を踏襲したものである。試験水槽に供試品を入れ、外水圧 2MPa にて 750 時間（31 日間）の耐水圧試験を実施した。ケーブルや試験容器内への水分の浸入は認められず、試験結果は良好であった。



図 5-2-11 水中コネクタ防水性評価の試験風景

## (7) 課題

今年度の検討では Dry-Mate タイプの水中コネクタを選定し、接続点①への適用検討を行い、その構成案を立案することができた。実証試験に向けた水中コネクタの製作にあたっては、接続点①の接続作業に要する時間が1時間を越える可能性があることから、接続作業時間の短縮を目的とした接続機構の改善が課題として挙げられる。

また、設置海域に長期間放置することにより、海洋生物が水中コネクタの外周に付着し、コネクタが外し難くなる可能性が考えられる。これまでの水中コネクタは光の届かない深海で使用されることが多かったことから、海洋生物の付着に対する対策はあまり論じられていない。実証試験では、水中コネクタへの海洋生物の付着状況の確認や、付着物の除去などを含めた対策や再接続方法の立案が検証・検討項目となる。

### 5.2.3. 発電装置側 海底ケーブル保護方法

海中に設置される海底ケーブル及び水中コネクタは、潮流の影響を受ける。特に 発電装置側の水中コネクタ（接続点①）に直結する海底ケーブルは、発電装置ブレードの後流影響を常時受けるため、その防護の必要性に関して検討を行う必要があると考えられる。

そこで、発電装置周囲の潮流速度分布を基に、潮流によるケーブル挙動をシミュレーションし、その結果から 海底ケーブルの防護方法を検討した。

#### (1) 発電装置周囲における潮流速度などシミュレーション条件：

ブレード背後の潮流速度分布に関する 潮流発電装置シミュレーション・データの他に、下図(図 5-2-12)に示す潮流タービンCFD(数値流体力学、Computational Fluid Dynamics)解析の結果を基に、発電時における潮流速度などの条件を 表 5-2-6 のように設定することとした。

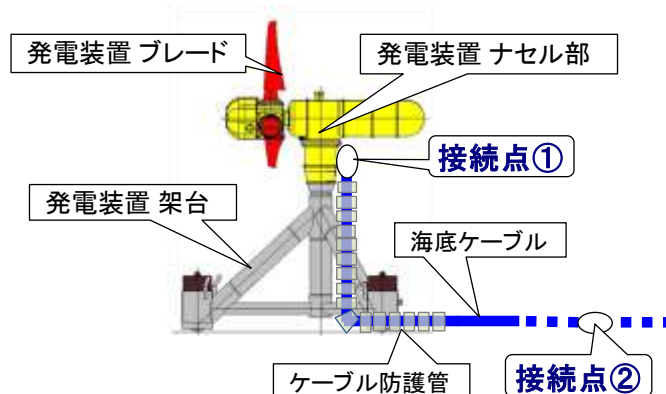


図 5-2-12(a) 発電装置周辺の洋上電気設備レイアウト



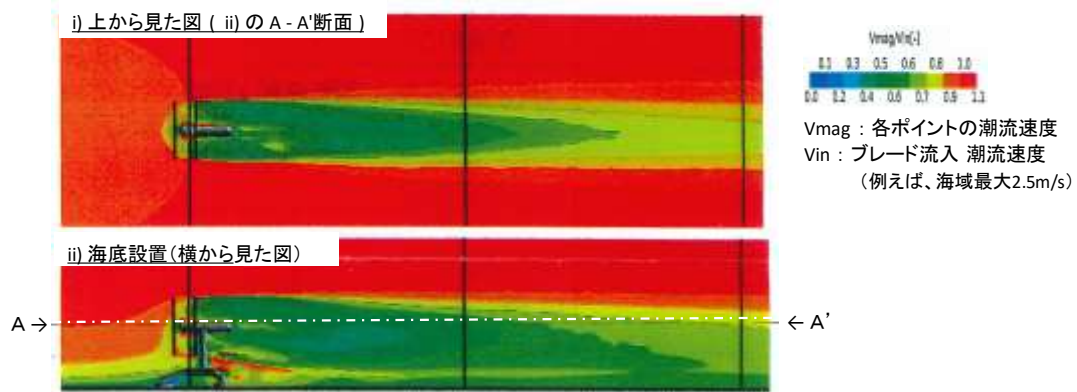


図 5-2-12(b) 潮流タービン CFD 解析結果

表 5-2-6 発電装置周囲のシミュレーション条件(1/2)

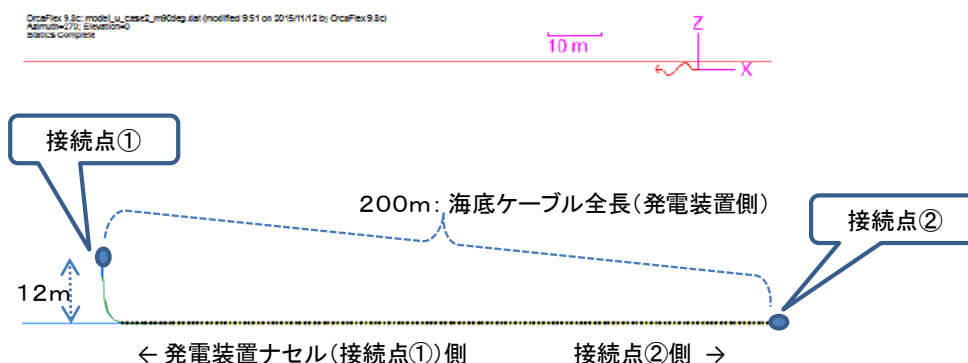
項目	条件(数値)	備考
接続点①(発電装置 ナセル部近傍) ～ 架台(ケーブル着底部)	想定流速(最大) 5 m/s (*1)	潮流発電機シミュレーションデータより ブレード後流 潮流速 (*1) 定格流速時, 一定流速と仮定
架台(ケーブル着底部) ～ 接続点②(海底部)	想定流速(最大) 1 m/s (*1)	潮流タービンCFD解析結果(図5-2-12(b))より 瀬戸の潮流速度(最大)2.5m/sと想定した場合 (*1) 定格流速時, 一定流速と仮定
流向条件	90° および -90°	上げ潮, 下げ潮時 想定
海底摩擦係数	0.2	—
海底ケーブル	全長 200m	バンドスティフナ: 3.1m 防護管(ユーラダクト): 60.9m 鋳鉄防護管: 133m 接続点②(水中コネクタ): 3m ※付図1 参照
海底ケーブル鉛直布設長さ	12m	付図1 参照
海底ケーブル布設方向	潮流方向に対し て 60°	付図2 参照

付表1. 海底ケーブルなど 外径, 重量

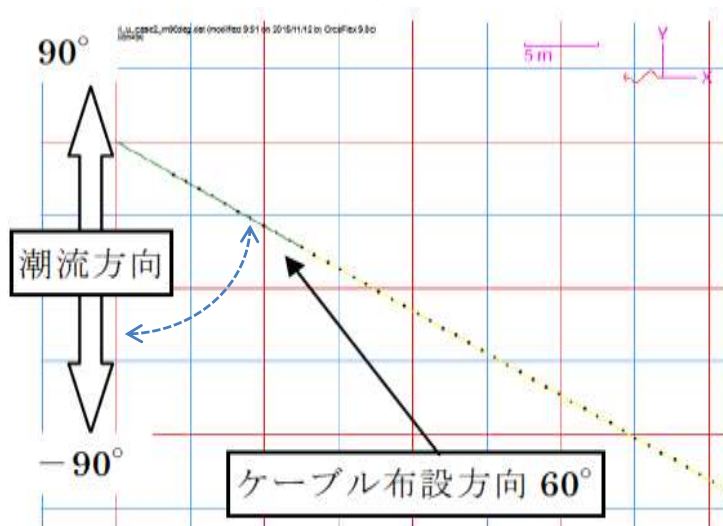
項目	単位	海底ケーブル	防護管付 海底ケーブル	鋳鉄防護管付 海底ケーブル
外径	(m)	0.102	0.165	0.165
気中重量	(kg/m)	30.9	61.7	80.9
水中重量	(kg/m)	22.5	39.8	59.0

表 5-2-6 発電装置周囲のシミュレーション条件(2/2)

付図1. 海底ケーブル布設形状(鉛直方向, ZX平面)



付図2. 海底ケーブル布設形状(上から見た図, XY平面)



(2) シミュレーション結果と海底ケーブル防護方法 :

1) シミュレーション結果 :

シミュレーション結果に関しては、定格流速の潮流によるケーブル布設線形に及ぼす影響を確認する“ケーブル形状解析”の後、潮流により引き起こされるケーブル振動(振動解析)に関する結果を示す。

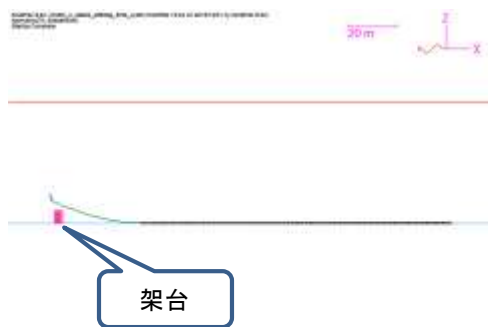
1-1) ケーブル形状解析

表 5-2-7 に 定格流速における最大想定流速に対するシミュレーション結果を示す。表より、発電装置付近におけるケーブル着底以降の布設方向を 流向に対して斜め 60°方向にすることにより、上げ潮、下げ潮とも 発電装置ベース架台への接触はなく、潮流の影響によるケーブル形状の異状はなかった。

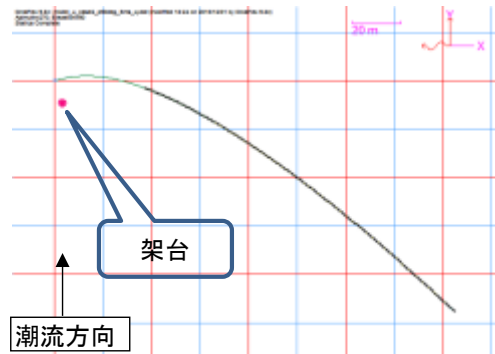
表 5-2-7 定格\_最大想定流速に対するシミュレーション結果

(a) 流向 90°の場合

項目	単位	数値
接続点① 最大張力	(kN)	20.6
接続点① 最大せん断力	(kN)	34.3
接続点① 最大曲げモーメント	(kN・m)	79.6
ケーブル最小曲げ半径	(m)	1.97
最小曲げ半径位置	(m)	2.65
ケーブル着底点	(m)	42



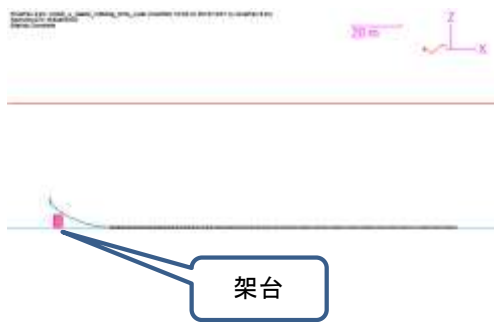
付図1. 海底ケーブル布設形状(鉛直方向, ZX平面)



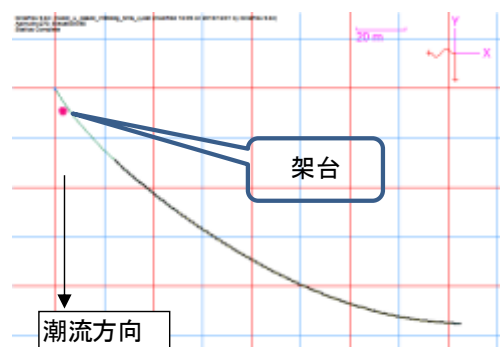
付図2. 海底ケーブル布設形状(上から見た図, XY平面)

(b) 流向 -90°の場合

項目	単位	数値
接続点① 最大張力	(kN)	17.9
接続点① 最大せん断力	(kN)	34.1
接続点① 最大曲げモーメント	(kN・m)	77.8
ケーブル最小曲げ半径	(m)	1.92
最小曲げ半径位置	(m)	2.65
ケーブル着底点	(m)	42



付図1. 海底ケーブル布設形状(鉛直方向, ZX平面)



付図2. 海底ケーブル布設形状(上から見た図, XY平面)

### 1-2) 流体解析及び振動解析

ケーブル静的形状解析結果から得られたケーブル線形にて流体解析を実施してケーブルに作用する流体力の時刻歴データを求め、その時刻歴データによるケーブル振動解析を実

施した。

### 1-2-1)ケーブルモデル

流体解析モデルはケーブル静的形状解析にて得られた形状とし、BS 区間は 3 分割（上部ストレート部 0.45m／中央テーパ部 2.5m／下部ストレート部 0.15m）、BS 以下のケーブル区間（防護管区間）は 1m 分割とした。

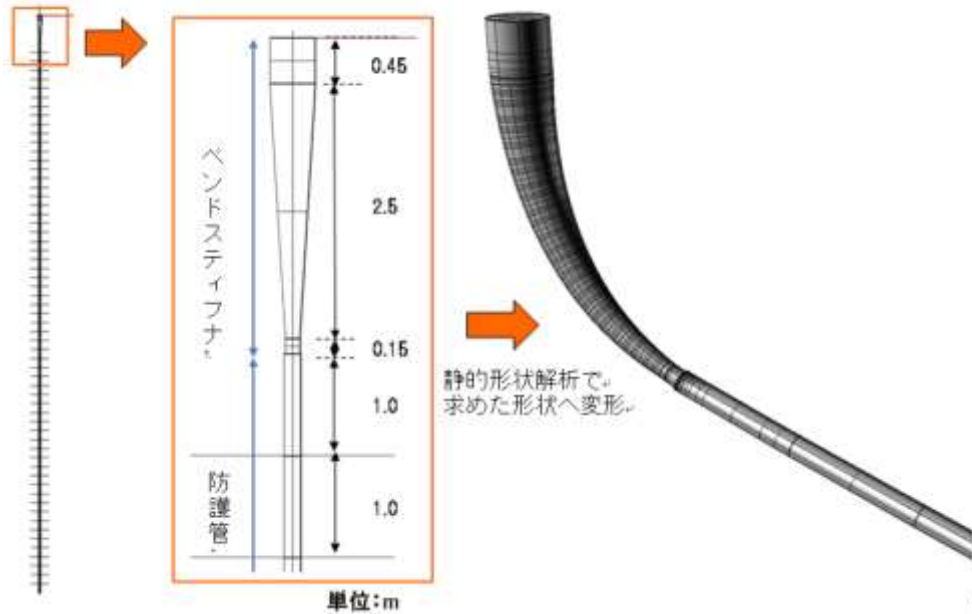


図 5-2-13 流体解析モデル

### 1-2-2) 流体解析結果

流体解析の結果得られたケーブル周囲の流速分布及びケーブルに作用する流体力の時刻歴データを以下に示す。ケーブル後流にカルマン渦が発生しており、流体力の変動が確認できる。（図 5-2-14 及び図 5-2-15 参照）

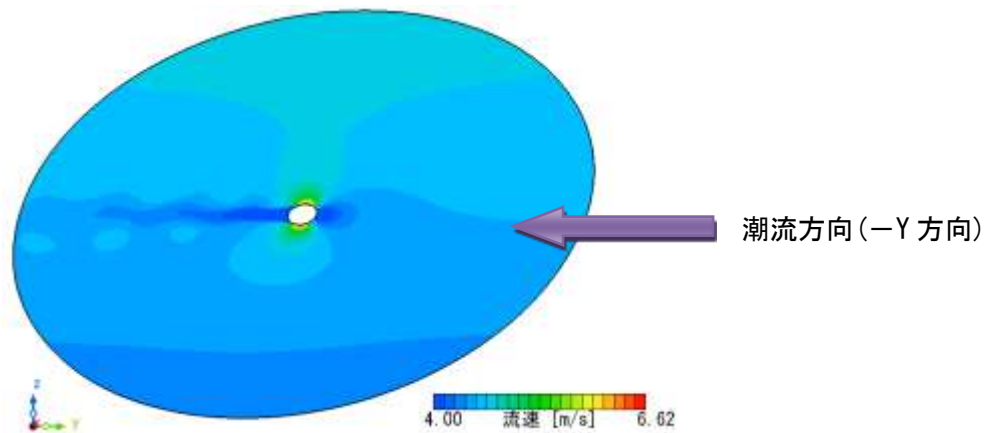


図 5-2-14 ケーブル周囲の流速分布（ケーブル断面は白抜き部）

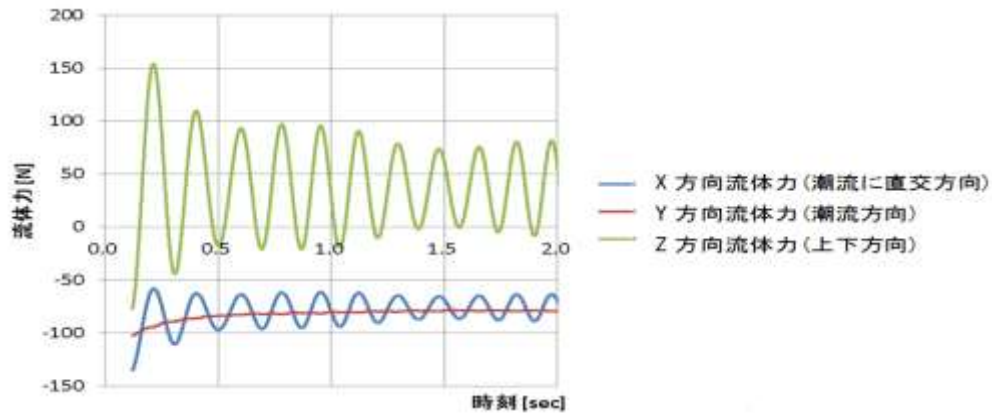


図 5-2-15 ケーブルに作用する流体力の時刻歴データ

### 1-2-3) ケーブル振動解析結果

流体解析にて得られた流体力の時刻歴データを、ケーブルに与えた際のケーブル時刻歴応答解析を行った。

定格流速における振動解析の結果、ケーブルの振動歪はベンドスティフナ下端位置で最大 0.029 % となる (図 5-2-16 参照)。

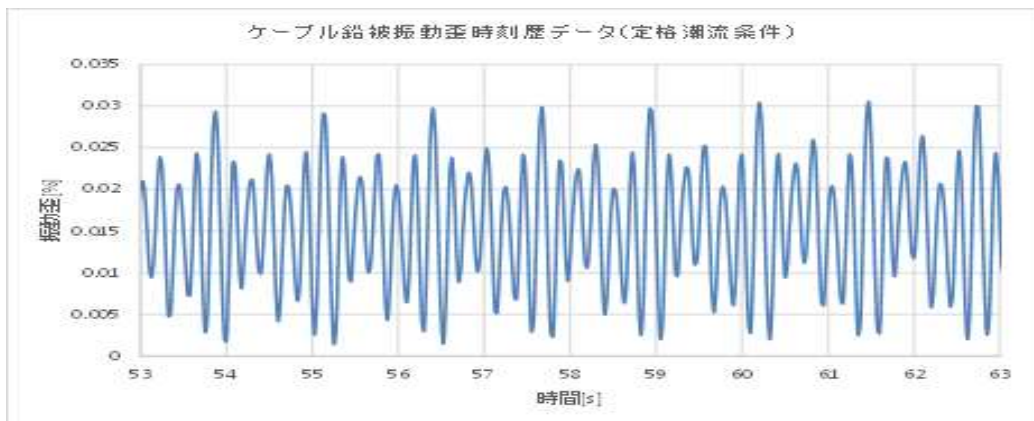


図 5-2-16. ベンドスティフナ下端位置におけるケーブル振動歪

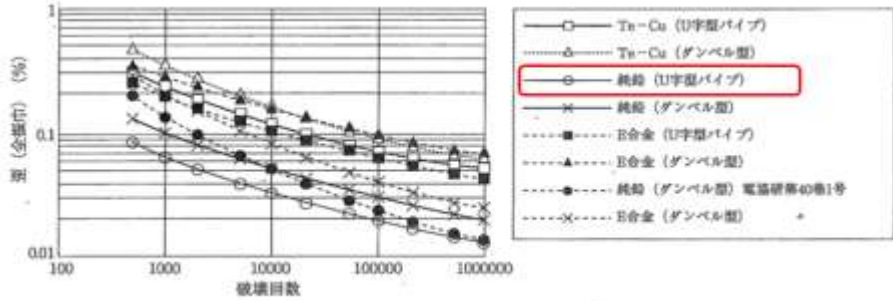
表 5-2-8 定格流速における 振動解析結果

潮流速 条件	振動周波数 (Hz)	最大振動歪 (Peak to Peak) (%)	発生箇所
定格 2.5 m/s	5	0.029	ベンドスティフナ 下端位置

### 1-2-4) ケーブル振動解析結果 と 今後の課題

海底ケーブルに使用している 鉛 (純鉛) 遮水層の疲労特性には温度依存性と周波数依存性があることが知られており、定性的には温度が低く、周波数が高いほど高寿命となるが、40°C-1 サイクル/day 条件での 10<sup>4</sup> サイクル時の許容歪は、図 5-2-17 の「電力協同研

「電協研」に記されているデータ (U字型パイプ) によると 0.0213%歪である。



第4-5-30図 各種鉛被のS-N特性曲線

第4-5-6表 各種鉛被のS-N特性

種類	結晶粒度 (mm)	平均寿命 $\epsilon_a$	許容歪 $\epsilon$ (2.5%破壊値)	10 <sup>4</sup> 時の歪 (%)	
				平均歪	許容歪
Te-Cu合金 (U字型パイプ)	0.063mm	$\log \epsilon_a = -1.009 \times \ln(\log N) + 0.4781$	$\log \epsilon = \frac{\log \epsilon_a - 0.0529}{\sqrt{(\log N - 3.438)^2 + 9.041}}$	0.1200	0.0827
Te-Cu合金 (ダンベル型)	0.063mm	$\log \epsilon_a = -1.1889 \times \ln(\log N) + 0.876$	$\log \epsilon = \frac{\log \epsilon_a - 0.0478}{\sqrt{(\log N - 3.286)^2 + 8.041}}$	0.1690	0.1225
純鉛 (U字型パイプ)	0.36mm	$\log \epsilon_a = -1.0516 \times \ln(\log N) - 0.0248$	$\log \epsilon = \frac{\log \epsilon_a - 0.0677}{\sqrt{(\log N - 2.373)^2 + 5.147}}$	0.0329	0.0213
純鉛 (ダンベル型)	0.36mm	$\log \epsilon_a = -1.0508 \times \ln(\log N) + 0.1656$	$\log \epsilon = \frac{\log \epsilon_a - 0.0468}{\sqrt{(\log N - 2.243)^2 + 23.41}}$	0.0512	0.0294
E合金 (U字型パイプ)	0.083mm	$\log \epsilon_a = -0.9891 \times \ln(\log N) + 0.3902$	$\log \epsilon = \frac{\log \epsilon_a - 0.0435}{\sqrt{(\log N - 3.187)^2 + 8.523}}$	0.1045	0.0771
E合金 (ダンベル型)	0.083mm	$\log \epsilon_a = -0.9449 \times \ln(\log N) + 0.5143$	$\log \epsilon = \frac{\log \epsilon_a - 0.0350}{\sqrt{(\log N - 3.079)^2 + 9.716}}$	0.1601	0.1232
純鉛* (ダンベル型)	1.2mm	$\log \epsilon_a = -1.4707 \times \ln(\log N) + 0.7461$	$\log \epsilon = \frac{\log \epsilon_a - 0.1271}{\sqrt{(\log N - 2.504)^2 + 9.866}}$	0.0510	0.0184
E合金* (ダンベル型)	0.23mm	$\log \epsilon_a = -1.4834 \times \ln(\log N) + 1.0166$	$\log \epsilon = \frac{\log \epsilon_a - 0.0905}{\sqrt{(\log N - 2.943)^2 + 9.169}}$	0.0912	0.0468

\*電協研第40巻第1号に記載されたデータ

電協研第55巻 第2号 OFケーブルの保守技術 からの抜粋

図 5-2-17 各種鉛被の疲労特性

0.0213%歪は 1 サイクル/day という試験周波数が極めて低い条件での 10<sup>4</sup> サイクル時の許容歪であるため、振動解析で得られた周波数条件(5Hz)での 0.0213%歪 (許容歪) における耐久性について、以下の電協研に記載されている純鉛の寿命と周波数の関係式から推定すると、約 10 年程度の寿命となる。

$$\log(L1/L2) = af \times \log(f1/f2)$$

ただし、L1、L2：疲労寿命(min) (L1=N1/f1 または L2=N2/f2)

N1、N2：破壊までのサイクル数

f1、f2：周波数(cpm：サイクル/min)

af：周波数係数(=-0.54)

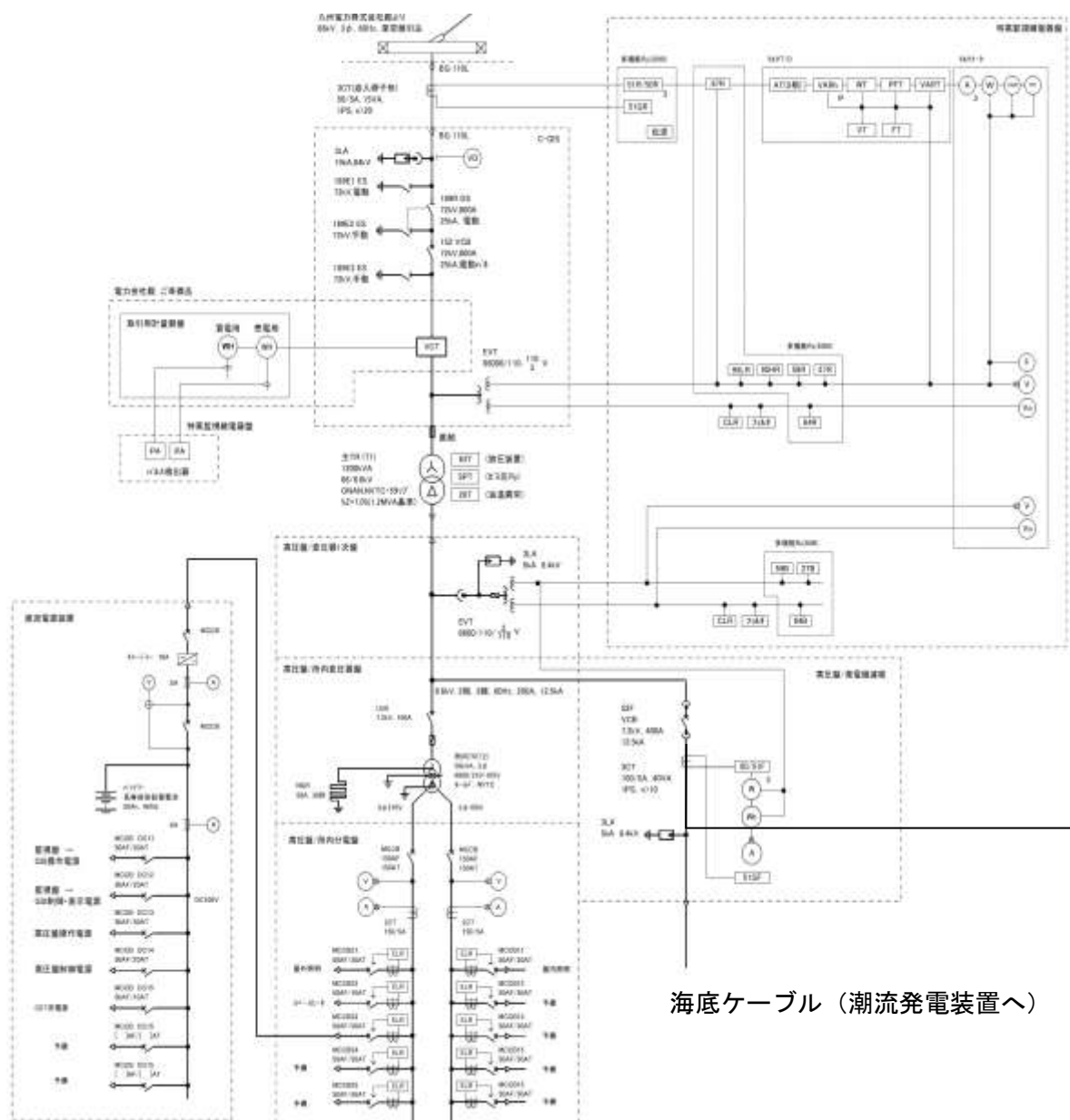
以上の結果から、今後の詳細検討においては、ケーブル振動対策として 発電装置架台における支持やガイドなどの振動対策が課題であり、これと併行して布設及びメンテナンス時の施工法についても検討する必要がある。



### 5.3. 陸上変電設備

陸揚げ地点として奈留瀬戸 鈴の浦を候補地と想定している（5-2項 図5-2-1参照）。潮流発電機からの電力は海底ケーブルを使って6.6kVで送られてくるため、これを陸揚げ地点近傍の電力系統連系点に接続する場合、66kVに昇圧する必要がある。この系統連系に関しては九州電力殿と事前協議を行ってきた。その結果を以下に示す。

図5-3-1は、変電設備構成を単線結線図及びレイアウト図にまとめたものである。また、主要機器の基本仕様に関しては表5-3-1に記述する。



海底ケーブル（潮流発電装置へ）

図5-3-1(a) 陸上変電設備 単線結線図



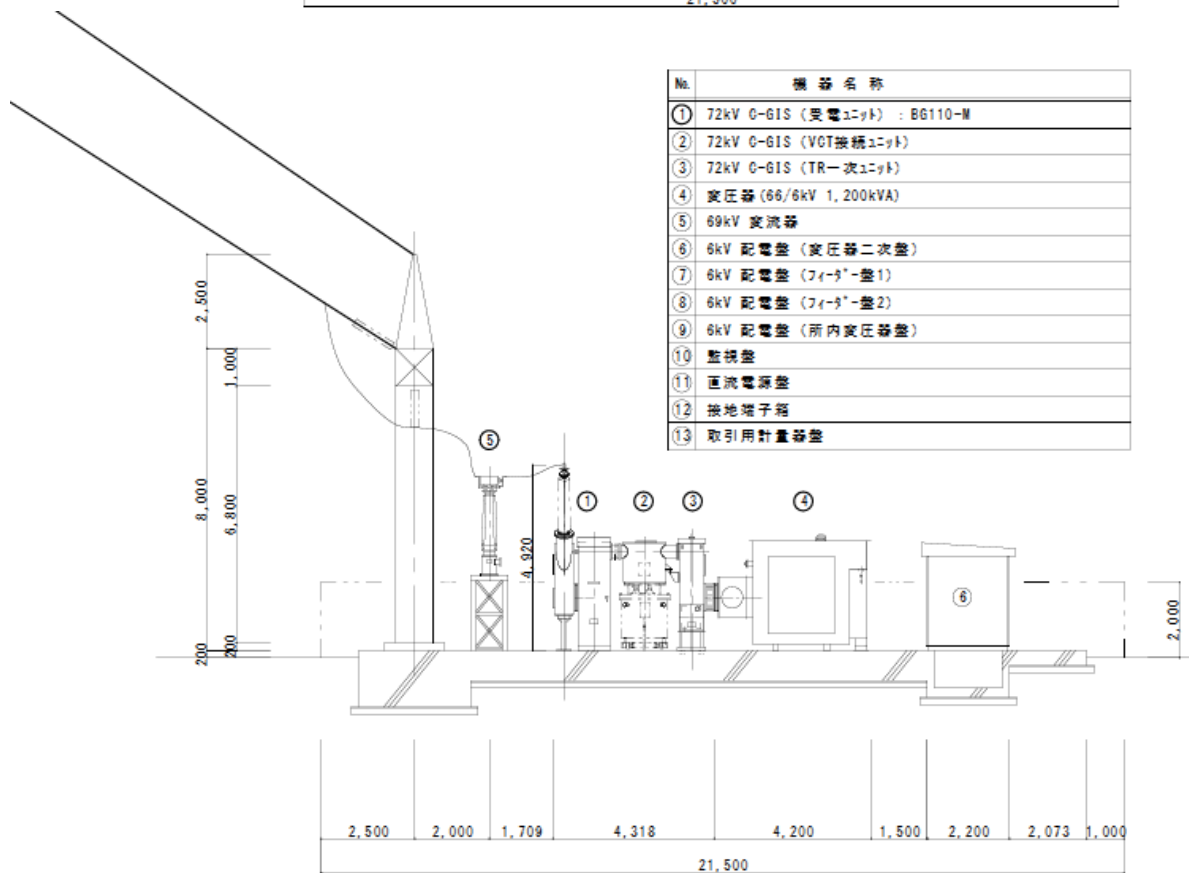
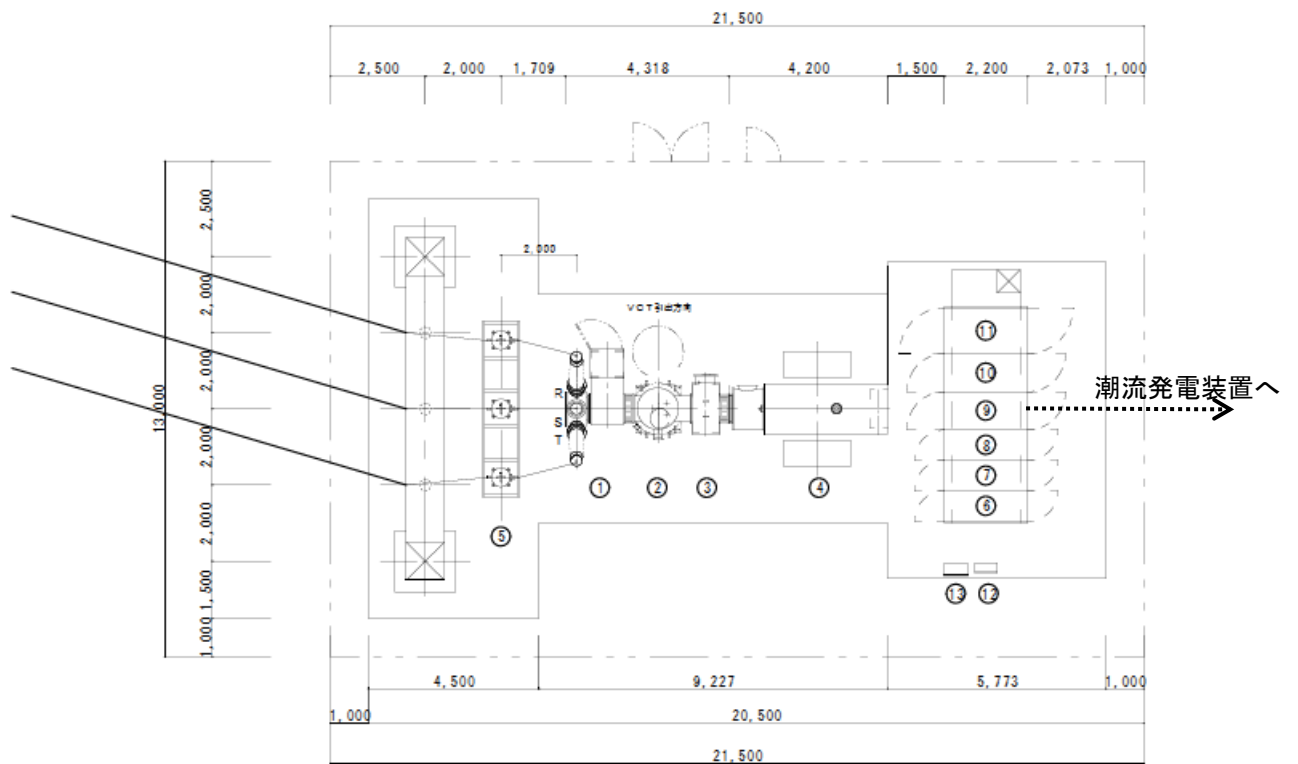


図 5-3-1(b) 陸上変電設備 設備関係レイアウト図

表 5-3-1 陸上変電設備 主要機器仕様

a) 連系用変圧器

名称 (単線結線図中)	T1
定格容量(1次/2次)	1200/1200 (kVA)
定格電圧(1次/2次)	66/6.6 (kV)
結線方法	スター/デルタ
タップ切替器	無電圧タップ切換 あり タップ電圧 69,66,63,60 (kV) 負荷時タップ切換 なし
中性点接地方式 (電力系統側中性点)	非接地
台数	1台

b) 受電設備

名称 (単線結線図中)	C-GIS
絶縁方式	ガス絶縁
台数	1台

c) 連系用遮断器

名称 (単線結線図中)	C-GIS
定格電圧	7.2 (kV)
定格電流	800 (A)
定格遮断電流	25 (kA)
定格遮断時間	3 (サイクル・sec)
台数	1台

d) 調相設備                      なし

e) 発電設備概要【参考】

原動機 種類	潮流発電
台数	1 (台)
定格出力	1000 (kW) @20°C
受電地点における受電 電力	逆潮流あり 最大 55kW
自家消費電力	なし

原動機種類	潮流発電
電気方式	三相 3線式
定格容量	1135 (kVA)
定格出力	1100 (kW)
定格電圧	0.69 (kV)
力率(定格)	97 (%)
連続運転可能周波数	58.5 ~ 60.5 (Hz)
励磁系 励磁方式	永久磁石式
自動電圧調整装置	AVR
系統安定化装置	なし
自動同期検定装置	あり

今後の詳細設計における課題としては、以下の事項が考えられる。

- ① 電力会社殿との間で、接続検討（本検討）及び契約。
- ② 電力会社殿との事前検討で、力率に関して 100%一定という条件が入っており、これに関する検討、協議。
- ③ 上記に合わせて、経産省殿に設備認定を受けること。
- ④ 設備の輸送方法詳細検討

## 6. 施工方法

### 6.1. 施工技術の開発

#### 6.1.1. 各種条件

##### (1) 潮位条件

表 6-1-1 に福江港の潮位を示す。

表 6-1-1 福江港の潮位<sup>11</sup>(1/2)

名 称	高さ(m)		値の出典	解 説
	CDL から	TP から		
既往最高潮位 HHWL	3.316	1.760	長崎県基本計画	過去に起きた最高潮位。
最高水面	3.180	1.624	海保資料	
略最高高潮面 NHHW	3.163	1.607	TIDEwin(NIF TY-Serve の WEB)	主要四分潮の振幅に平均水面を加えた高さ。
朔望平均満潮位 HWL	2.836	1.280	長崎県基本計画	朔(新月)及び望(満月)の日から5日以内に現れる、最高満潮面の平均値。
大潮升 SpR	2.700	1.144	海図	基本水準面から大潮期の平均高潮面までの高さ。
小潮升 NpR	2.000	0.444	海図	基本水準面から小潮期の平均高潮面までの高さ。

<sup>11</sup> 平成 22 年度浮体式洋上風力発電実証事業委託業務 成果報告書 平成 23 年 3 月 京都大学

表 6-1-1 福江港の潮位 (2/2)

名 称	高さ(m)		値の出典	解 説
	CDL から	TP から		
平均水面 MSL	1.590	0.034	海図	その海域で潮汐が無いと仮定したときの海面。
東京湾平均海面 TP	1.556	0.000	気象庁 WEB	日本における標高の基準面。
朔望平均干潮位 LWL	0.066	-1.490	長崎県基本計画	朔(新月)及び望(満月)の日から5日以内に現れる、最高干潮面の平均値。
潮位基準面 CDL	0.000	-1.556	海図	これ以上海面の下がることを希な面。海図の水深の基準面、潮汐表の潮高の基準面。

(2) 潮流発電装置の条件

① 荷重条件

本事業において設置予定の潮流発電装置の荷重条件を示す。タービン本体組立、タービンベース、ベースシンカーは分離可能な構造となっている。表 6-1-2 に潮流発電装置の重量、図 6-1-1 に潮流発電装置の各部名称を示す。

表 6-1-2 潮流発電装置の重量

名称	気中重量(tf)	水中重量(tf)	浮力(tf)
タービン本体組立	190	20	170
タービンベース	130	113	17
ベースシンカー(3基)	480	417	63
合計	800	550	250

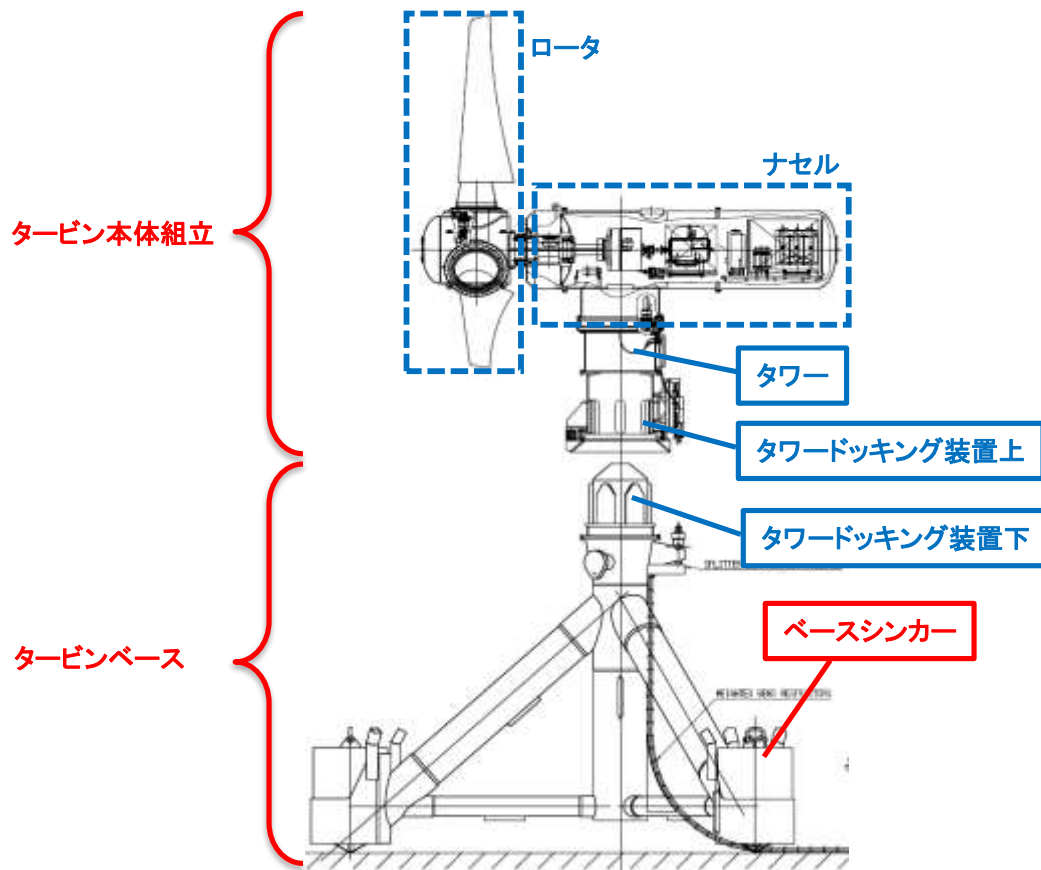


図 6-1-1 潮流発電装置の名称

② 設置精度

表 6-1-3 及び図 6-1-2 に潮流発電装置の設置精度に関する条件を示す。

表 6-1-3 潮流発電装置の設置精度

項目	許容値	備考	
タービンベース設置	水平角	±20°	潮流軸に対してベース脚の1本を直角配置
	仰角	±5°	
タービン本体組立設置	水平位置	±1.35m	施工時に許容範囲内に誘導すれば所定位置に設置可能
	水平角	±25°	
ベースシンカー設置	水平位置	±1.0m	

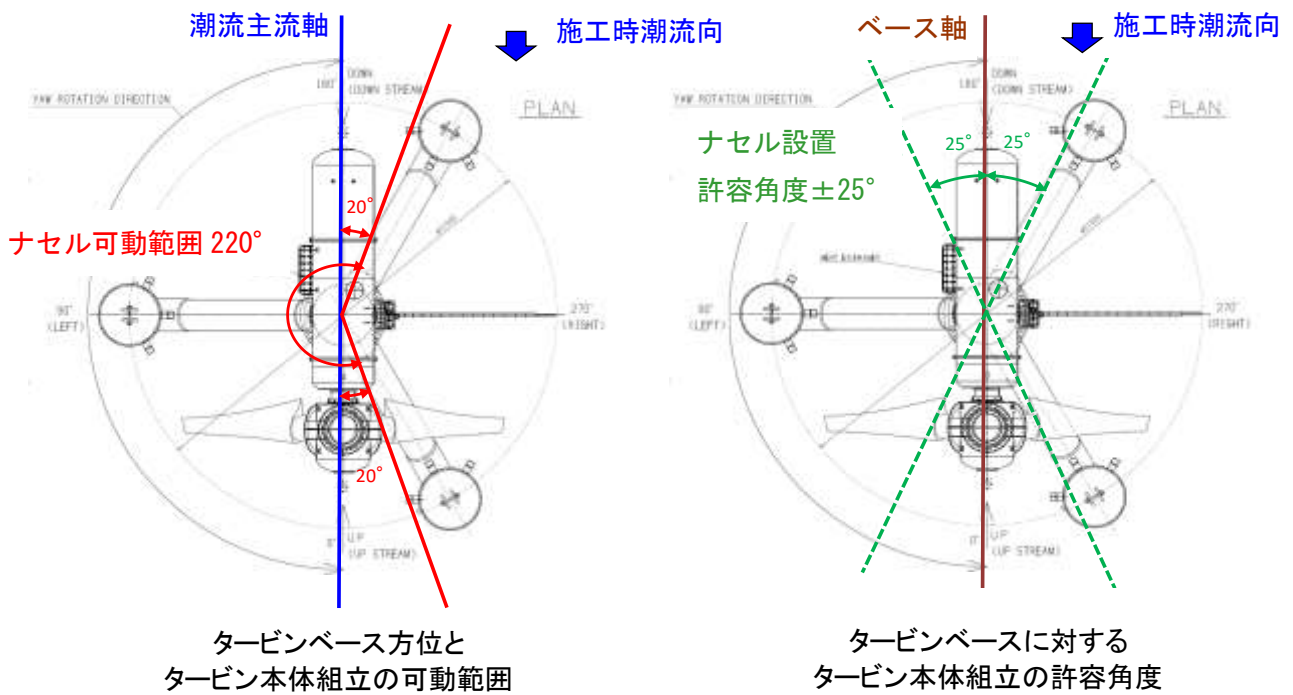


図 6-1-2 潮流発電装置の設置精度

### 6.1.2. 技術開発項目の抽出

外洋からのうねりの影響を受ける施工海域で、水深 50m での作業リスク緩和を目的とした技術開発を行う。

#### (1) 水中玉掛け・玉外し装置（遠隔操作）

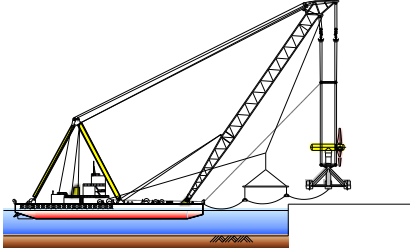
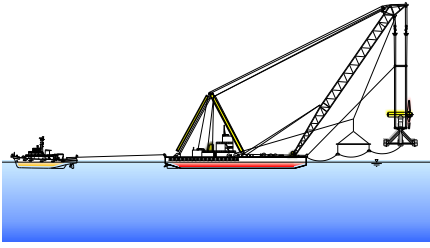
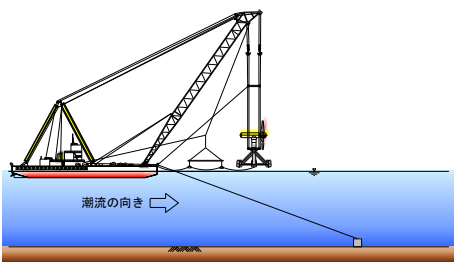
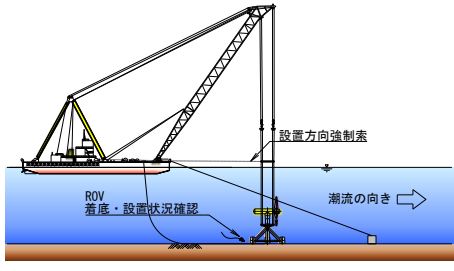
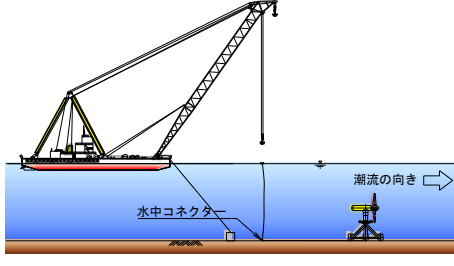
実証事業では発電機の一括設置を行う計画であり、一括設置の利点は、現有の作業船を使用した施工で、最もコストを抑えることができると考えられるが、玉外しは水深 30m 以上になるため、安全に玉外しができる吊り治具を検討する。また、メンテナンスをする際に必要となるナセル部取り外し時と再接続時の玉掛け及び玉外し装置も合わせて検討する。

### 6.1.3.潮流発電タービン設置方法

#### (1) 一括設置

表 6-1-4 に一括設置方法の施工フローを示す。

表 6-1-4 一括設置施工フロー

順序	項目	施工状況図	概要
1	潮流発電装置積込		<ul style="list-style-type: none"> <li>・福江港にて大起重機船により潮流発電装置を吊込む。</li> </ul> <p>【主要船舶機械】 大型起重機船、曳船</p>
2	海上運搬（吊曳航）		<ul style="list-style-type: none"> <li>・福江港から実証海域へ吊曳航にて海上運搬。</li> </ul> <p>【主要船舶機械】 大型起重機船、曳船</p>
3	本船係留		<ul style="list-style-type: none"> <li>・実証海域にて大型起重機船を所定の位置に係留する。</li> </ul> <p>【主要船舶機械】 大型起重機船、曳船、揚錨船、警戒船、ROV母船</p>
4	一括設置		<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電装置を吊降し、所定の位置に設置。ROVにて設置状況の確認をする。</li> </ul> <p>【主要船舶機械】 大型起重機船、曳船、揚錨船、警戒船、ROV母船</p>
5	発電機側ケーブルの仮置		<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電機に接続されたケーブル（100m程度）を海底に沈める（後日、陸上側ケーブルと接続）</li> <li>・アンカリング解除、帰港。</li> </ul> <p>【主要船舶機械】 大型起重機船、曳船、揚錨船、警戒船、ROV母船</p>



(2) 分割設置・撤去

表 6-1-5 に分割撤去方法（ナセル）の施工フローを示す。

表 6-1-5 分割撤去時のナセル揚収・再設置フロー(1/2)

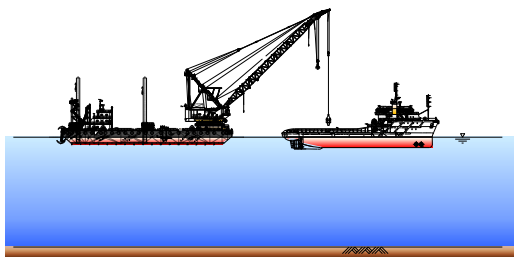
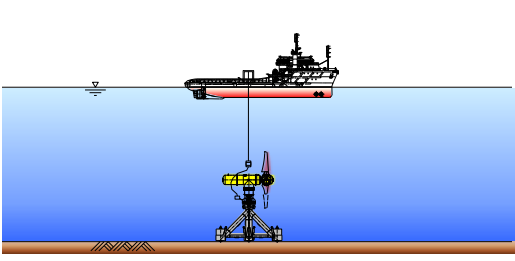
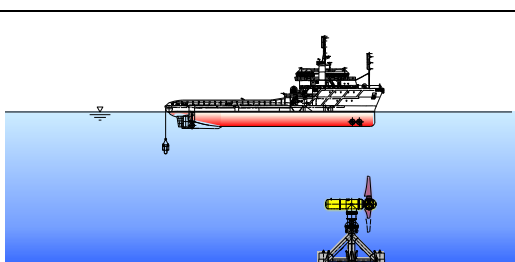
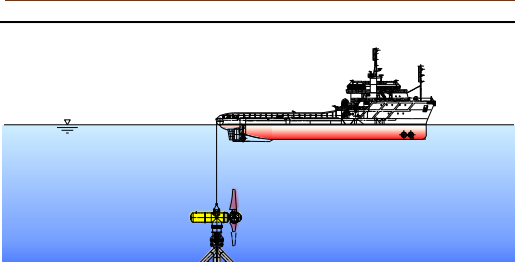
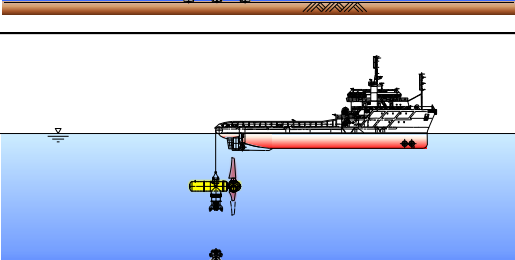
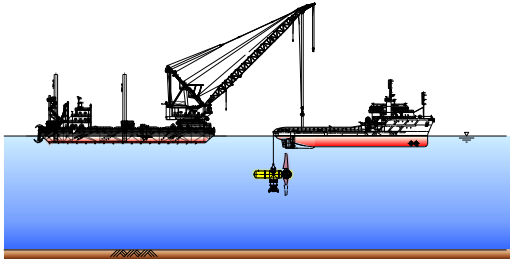
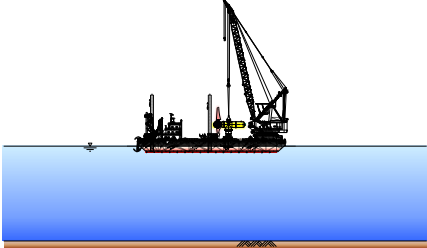
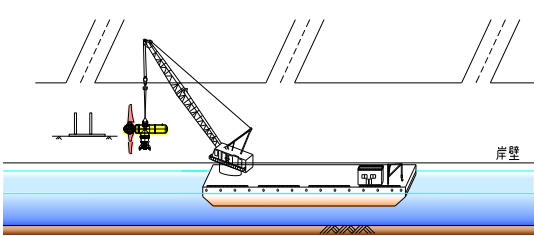
順序	項目	施工状況図	概要
1	準備作業		<p>・現場海域にて吊治具準備。</p> <p>【主要船舶機械】 中型起重機船、DP船、ROV母船、曳船</p>
2	水中コネクタ解除		<p>・ROVにて水中コネクタ解除。</p> <p>【主要船舶機械】 中型起重機船、DP船、ROV母船、曳船</p>
3	DP船位置決め		<p>・DP船を所定の位置へ移動、位置決め。</p> <p>【主要船舶機械】 中型起重機船、DP船、ROV母船、曳船</p>
4	水中玉掛け		<p>・吊治具を吊り降ろし、水中にてタービン本体組立に玉掛けする。</p> <p>【主要船舶機械】 中型起重機船、DP船、ROV母船、曳船</p>
5	分離・吊上げ		<p>・タービン本体組立をヒープコンベンサータウインチで吊上げる。</p> <p>【主要船舶機械】 中型起重機船、DP船、ROV母船、曳船</p>

表-6-1-5 分割撤去時のナセル揚収・再設置フロー(2/2)

順序	項目	施工状況図	概要
6	回収準備		<p>・水深の深い静穏域にて、タービン本体組立を中型起重機船に吊り替える。</p> <p>【主要船舶機械】 中型起重機船、DP船、ROV母船、曳船</p>
7	海上運搬		<p>・中型起重機船の船上にタービン本体組立を配置して福江港まで海上運搬する。</p> <p>【主要船舶機械】 中型起重機船、曳船</p>
8	タービン本体組立陸揚		<p>・中型起重機船にて、福江港ヤードへ陸揚、メンテナンス作業を実施。</p> <p>【主要船舶機械】 中型起重機船、曳船</p>
9	タービン本体組立再設置		<p>・タービン本体組立の再設置は上記手順8～1までを順次実施する。</p>

## 6.1.4.海底ケーブル及び水中コネクタ布設方法

海底ケーブル及び水中コネクタの施工方法に関して、設置時及びメンテナンス時において検討した結果を以下に示す。

### (1) 設置時（一括設置）

主要な工程である“発電装置側 短尺海底ケーブル布設”と“陸上側 長尺海底ケーブル布設”とに分けて記述する。

表 6-1-6 (a) 発電装置側 短尺海底ケーブル布設 手順

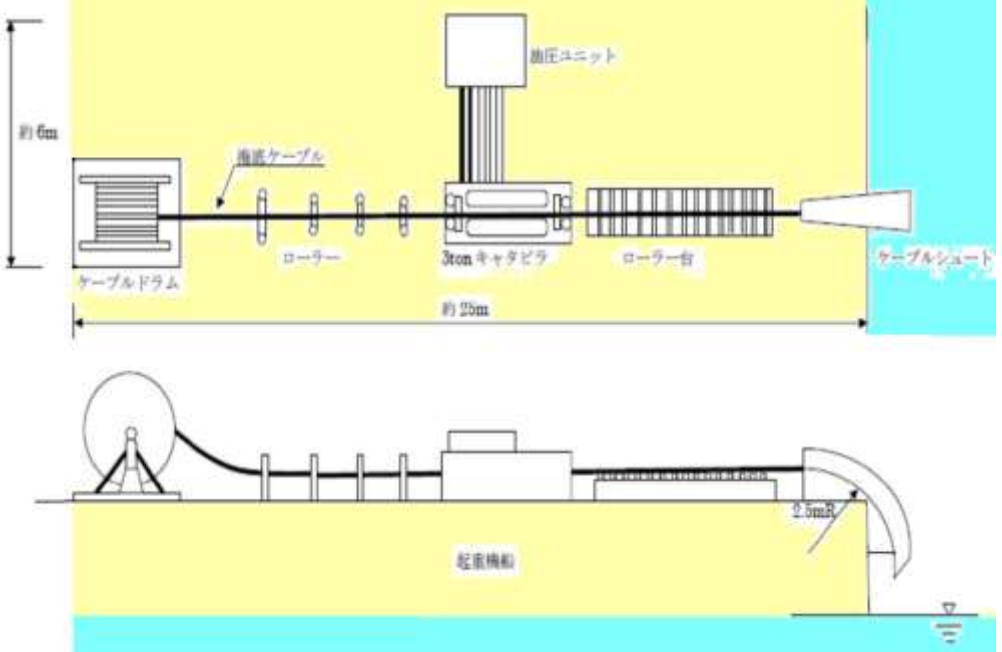
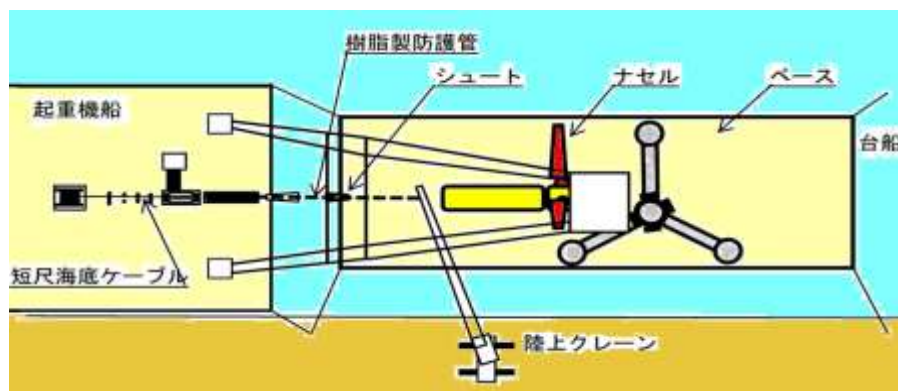
手順① 短尺(ナセル本体接続点①～接続点②)海底ケーブル布設機装
<p>基地港で起重機船に下記のケーブル布設用機材を機装／準備する。起重機船の機装要領を付図1に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ケーブルドラム(海底ケーブル200m巻き(両端コネクタ付)、駆動装置・ブレーキ付)</li> <li>・3tonキャタピラ及び油圧ユニット</li> <li>・ケーブルシュート</li> <li>・延線ローラ及びローラ台</li> <li>・ケーブル吊下し用ワイヤロープ</li> <li>・灯標及び係留資材</li> <li>・樹脂性ケーブル防護管：60m</li> <li>・鋳鉄製ケーブル防護管：134m</li> <li>・バンドレストリクタ：3m</li> </ul>  <p style="text-align: center;">付図1. 起重機船の機装要領</p>
手順② 発電装置輸送
<p>ナセル部と架台に分離した発電装置を 製作工場で 3000t積み台船に搭載し、現場最寄の港まで輸送</p>

表 6-1-6(b) 発電装置側 短尺海底ケーブル布設 手順

**手順③ ナセル本体接続点①と海底ケーブルとの接続**

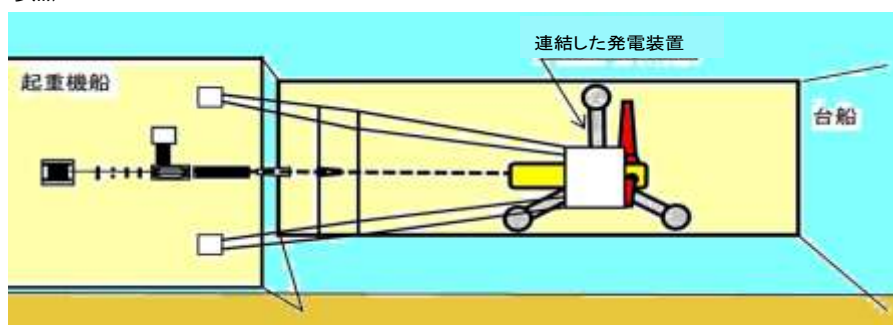
- ③-1. 発電装置ナセルと架台を搭載した台船を現場最寄りの港に接岸させ、ナセル搭載側の船端にケーブルシュートを艀装。
- ③-2. 短尺海底ケーブル布設艀装を施した起重機船を接岸させ、起重機船上で樹脂製防護管を取り付けながら 短尺海底ケーブルを台船側に送り出す。岸壁上のクレーンを使って短尺海底ケーブルを台船側に移動。(付図2 参照)



付図2. 短尺海底ケーブル引き出し

**手順④ ナセルと架台との連結**

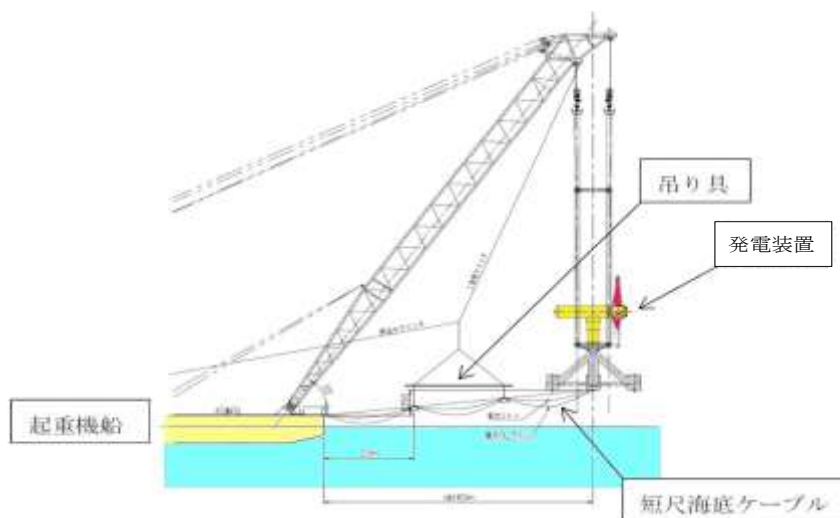
短尺海底ケーブルのコネクタとナセル側のコネクタを接続(接続点①)し、起重機船のクレーンでナセルを吊ってベース上に搭載。(付図3 参照)



付図3. ナセルと架台との連結

**手順⑤ 発電装置 吊り下し準備**

起重機船が現場へ回航する際には、発電装置～起重機船間の防護管付短尺海底ケーブルを付図4に示すように吊り具を使って2点吊りする。

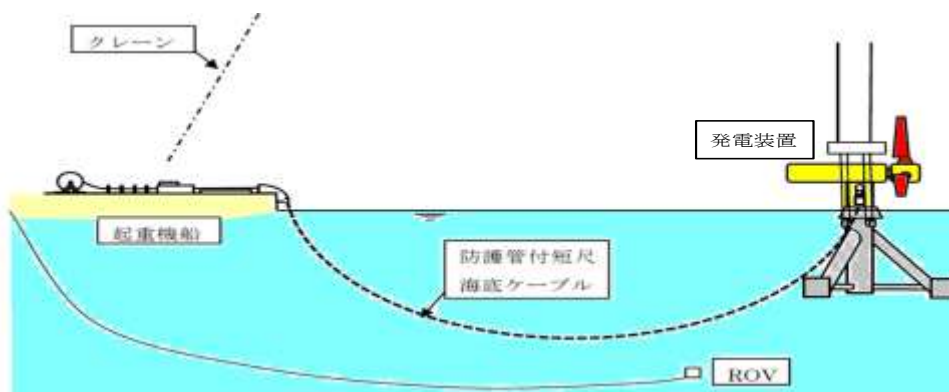


付図4. 起重機船回航要領

表 6-1-6(c) 発電装置側 短尺海底ケーブル布設 手順

**手順⑥ 発電装置 吊り下し**

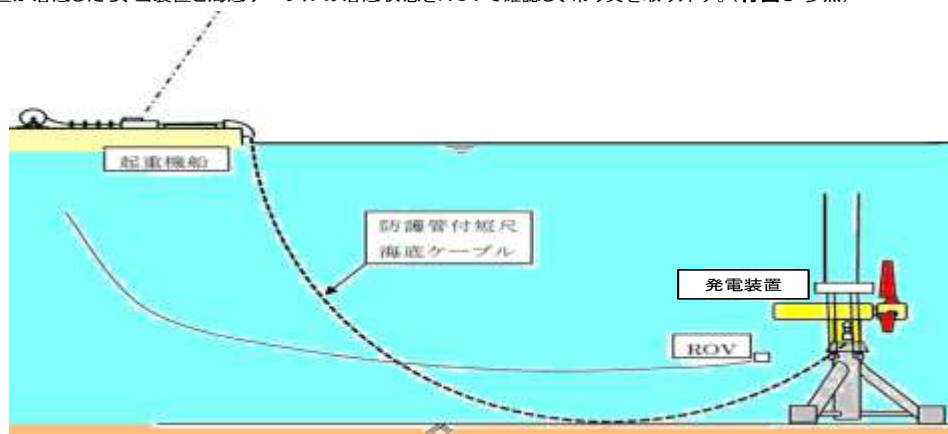
- ⑥-1. 船首を北に向けて 起重機船を所定の位置に係留し、ケーブル吊り具を取り外す。
- ⑥-2. 発電装置を吊り下しながら 樹脂製防護管を取り付けて短尺海底ケーブルを送り出す。発電装置周りのケーブル線形は ROV で監視。(付図5 参照)



付図5. 発電装置 吊り下し

**手順⑦ 発電装置 着底**

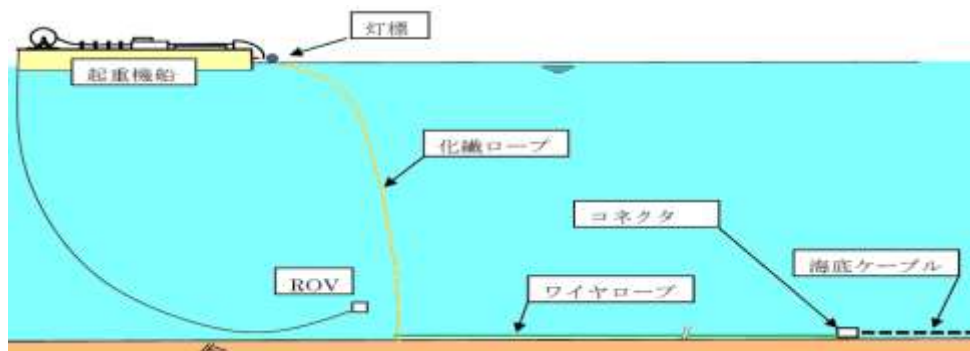
- 発電装置が着底したら、当装置と海底ケーブルの着底状態をROVで確認し、吊り具を取り外す。(付図6 参照)



付図6. 発電装置 着底

**手順⑧ 短尺海底ケーブル布設**

- ⑧-1 起重機船を南側に移動させながら、防護管を取り付けた短尺海底ケーブルをルート上に布設。
- ⑧-2 ケーブルには樹脂製防護管70mに続いて铸铁製防護管127mを取り付けて送り出し、端末のコネクタ(接続点②)には保護フレームとバンドレストリクタ 3mを取り付け。
- ⑧-3 海底ケーブル終端のケーブルグリップに回収用のワイヤロープを取り付けてケーブルを吊り下す。
- ⑧-4 ワイヤロープには化繊ロープを接続して送り出し、化繊ロープの終端には灯標を取り付けて投入。
- ⑧-5 短尺海底ケーブルと回収用ロープの布設状態をROVで確認。(付図7 参照)



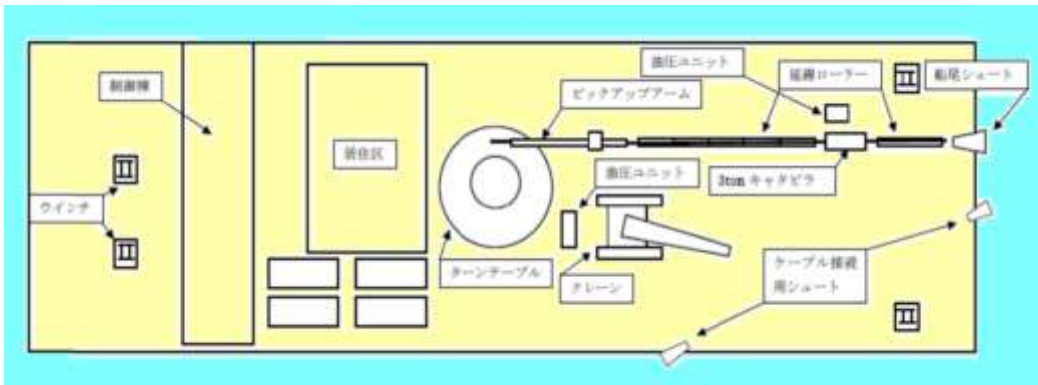
付図7. 短尺海底ケーブル終端布設

表 6-1-7(a) 陸上側 長尺海底ケーブル布設手順

**手順⑨ 長尺海底ケーブル(接続点②～陸上変電所側) 布設機装**

基地港でDPS布設台船(以下「布設船」)に下記のケーブル布設用機材を機装/準備し、古河電工千葉工場で布設船のトレイに海底ケーブル約2km弱を巻取る。布設船の機装要領を付図8に示す。

- ・ ターンテーブル(駆動装置・ブレーキ付)
- ・ ケーブルトレイ(片端コネクタ付海底ケーブル約2km弱巻き)
- ・ 3t キャタピラ及び油圧ユニット
- ・ ケーブルシュート
- ・ 延線ローラ および ローラ台
- ・ ベンドレストリクタ: 3m



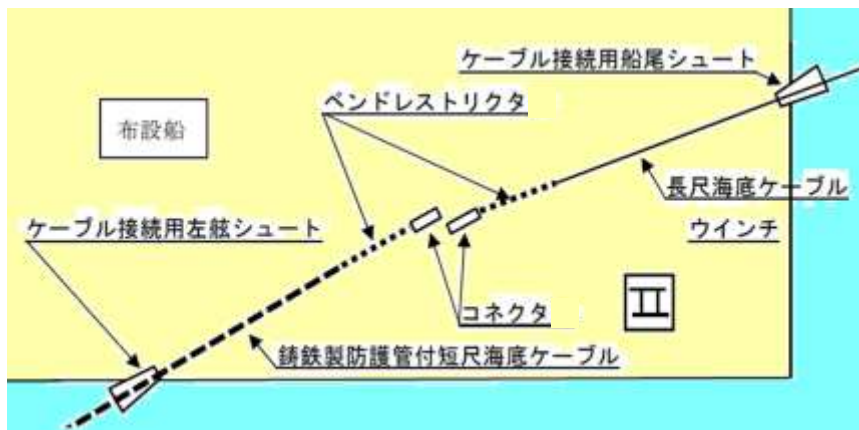
付図8. 長尺海底ケーブル布設船機装要領

**手順⑩ 長尺海底ケーブル布設**

- ⑩-1. 布設船で長尺海底ケーブルを鈴ノ浦の所定場所に陸揚げ。
- ⑩-2. 揚陸後、計画ルートに沿って 短尺海底ケーブル終端位置まで長尺海底ケーブルを布設。

**手順⑪ 海底ケーブル接続(接続点②)**

- ⑪-1. 布設船左舷側のケーブル接続用シュートを通して、灯標係留ロープから短尺海底ケーブル終端部をウインチとクレーンで回収し、ストップバーを取り付ける。
- ⑪-2. 長尺海底ケーブルのコネクタに保護フレームとベンドレストリクタを取り付ける。
- ⑪-3. 長尺海底ケーブルに水中でストップバーを取り、終端部をクレーンで船尾ケーブル接続用シュートを通して短尺海底ケーブルと接続できる位置まで移動させる。(付図9 参照)
- ⑪-4. 短尺海底ケーブルと長尺海底ケーブルのコネクタ(接続点②)および 保護フレームを接続し、接続部に回収用の吊り索を取り付ける。

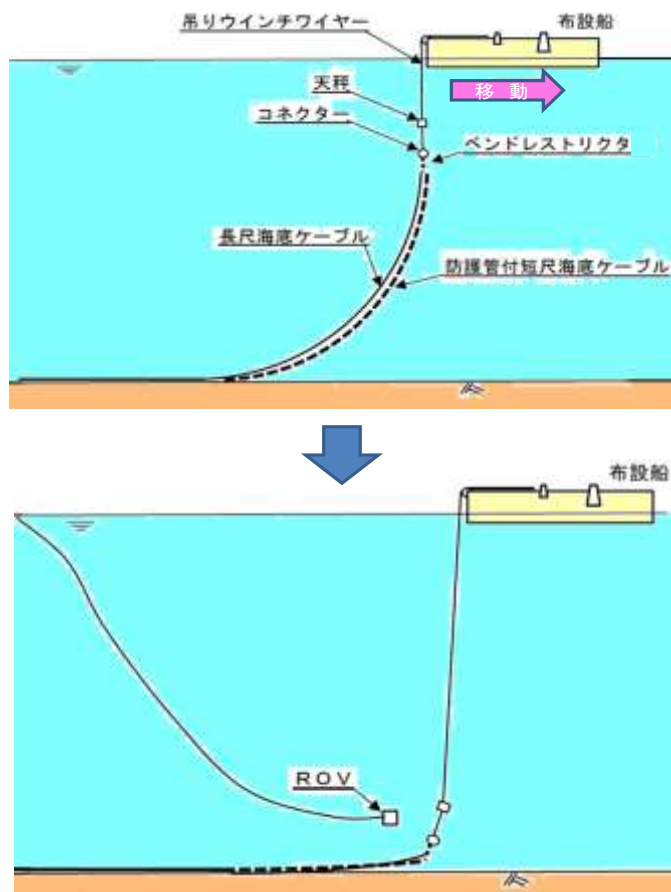


付図9. 海底ケーブル接続(接続点②)

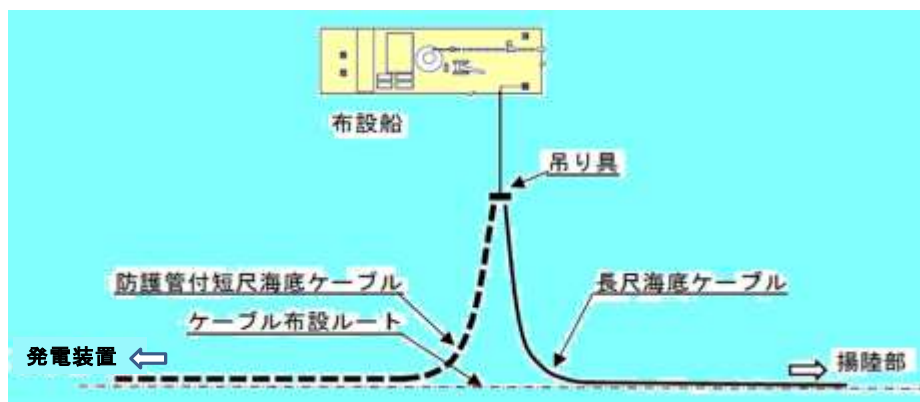
表 6-1-7(b) 陸上側 長尺海底ケーブル布設手順

手順⑫ 海底ケーブル接続部(接続点②) 沈設

- ⑫-1. ケーブルのストッパーを取り外し、天秤を使ってコネクタ保護フレーム端をクレーンで吊り、左舷側に移動させて海面に下す。(付図10参照)
- ⑫-2. 船上のウインチから伸ばしたワイヤを天秤に接続してクレーンの吊り索を取り外し、布設船を右舷側に移動させながら接続部を降下させる。(付図10参照)
- ⑫-3. 接続部が着底したらROVで接続部(接続点②)とケーブルの着底状態を確認し、接続部の吊り索をROVに装着したカッターで切断する。(付図11参照)



付図10. 長尺海底ケーブル接続部(接続点②) 吊り下し



付図11. 接続部(接続点②) 着底時のケーブル線形



(2) メンテナンス時

主要な工程である“海底ケーブル切り離し”、“発電装置 回収”と“発電装置 再設置”に分けて記述する。

表 6-1-8(a) 海底ケーブル切り離し

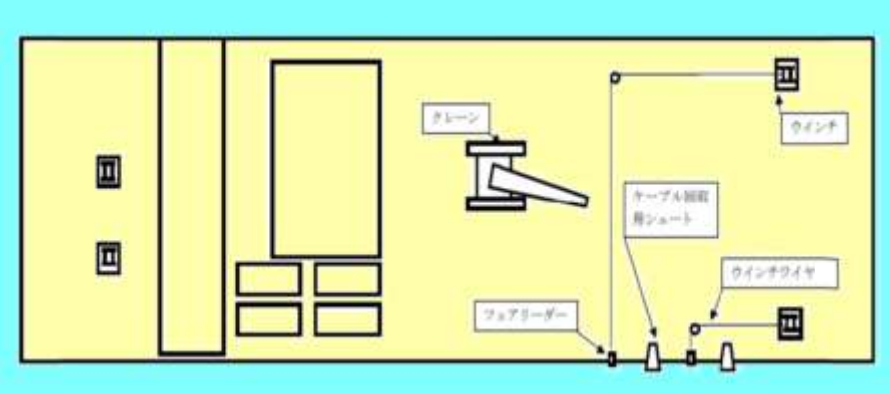
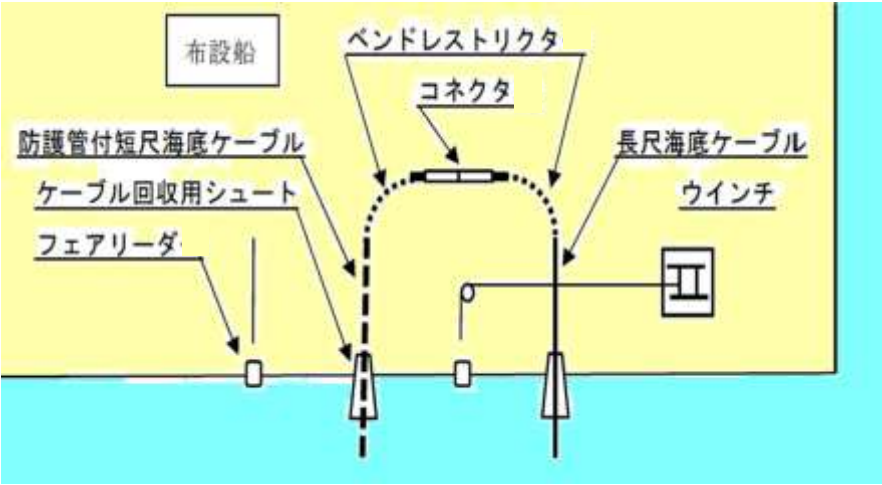
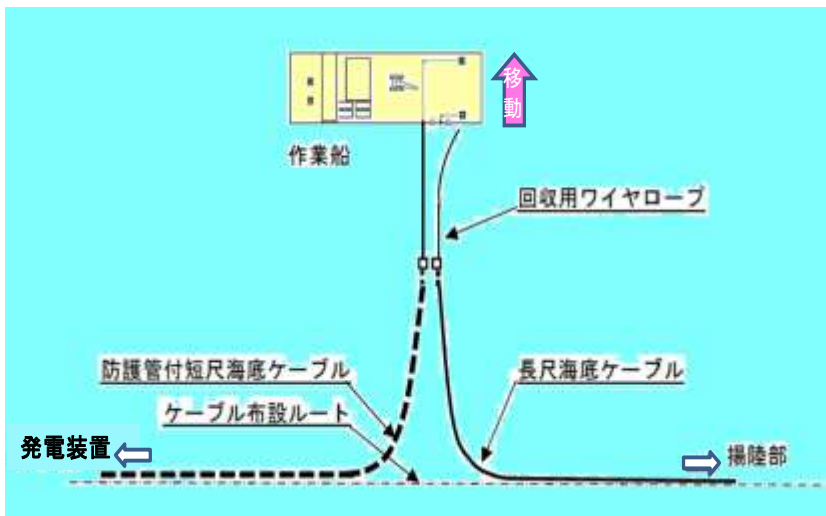
<b>手順① 作業船機装</b>
<p>基地港でDPS布設台船(以下「布設船」)に付図12に示す機装を施す。</p>  <p>付図12. 布設船メンテナンス用機装</p>
<b>手順② 海底ケーブル接続部回収(接続点②)</b>
<p>②-1. 海底ケーブル接続部付近に左舷のケーブル引上げ場所が来るように布設船を定点保持。 ②-2. 左舷から天秤をウインチワイヤで吊り下し、コネクタ部に取り付けた吊り索をROVで天秤に接続。 ②-3. 布設船を左舷側に移動させながら天秤を海面まで引き上げてクレーンに吊り替え、両ケーブルにストッパーを取って接続部を船上に取り込む。(付図13 参照)</p>
 <p>付図13. 海底ケーブル接続部回収(接続点②)</p>

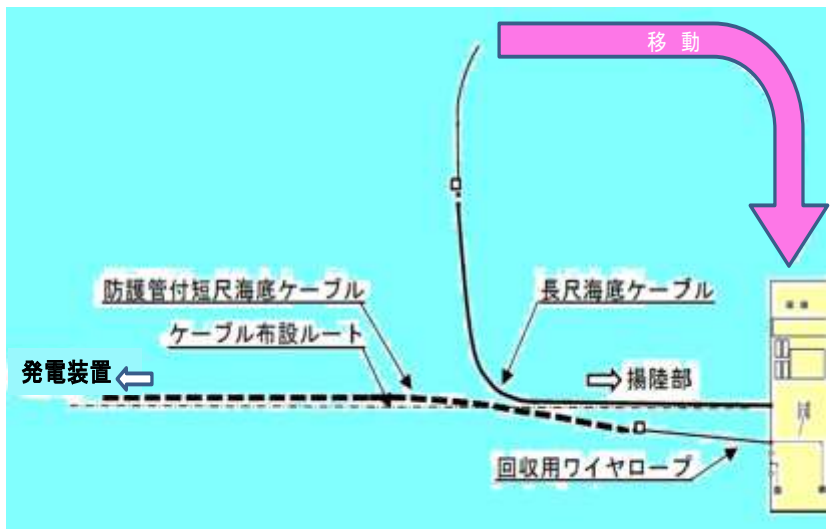
表 6-1-8(b) 海底ケーブル切り離し

手順③ 海底ケーブル切り離し・再布設(接続点②)

- ③-1. 保護フレームとコネクタを切り離し、各ケーブルを別々のウインチワイヤに接続。
- ③-2. 布設船を右舷側に移動させながらウインチワイヤを送り出し、両ケーブルを元の位置に布設。
- ③-3. 長尺海底ケーブル端には水深よりやや長い回収用ワイヤロープを付け、ケーブル端が着底したらワイヤロープ端を回収しやすいような形に加工して海中に投下する。投下点の位置は記録。(付図14 参照)
- ③-4. 布設船を左舷側に移動させて短尺海底ケーブルのウインチワイヤを巻き取り、ケーブル端が海面近くまで上がったなら布設船を南側に旋回させてケーブルをルート上に移動。
- ③-5. ケーブル端に回収用のワイヤロープ、化繊ロープおよび灯標を取り付けて短尺海底ケーブルをルート上に布設。(付図15 参照)



付図14. 長尺海底ケーブル再布設(接続点②)

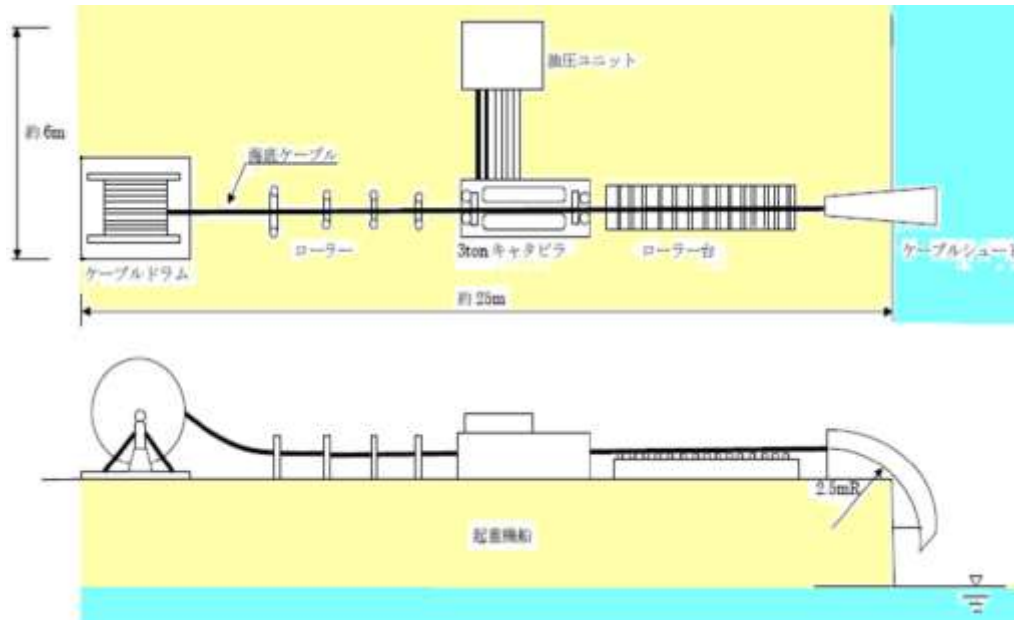


付図15. 短尺海底ケーブル再布設(接続点②)

表 6-1-9(a) 発電装置 回収

**手順④ 起重機船構築**

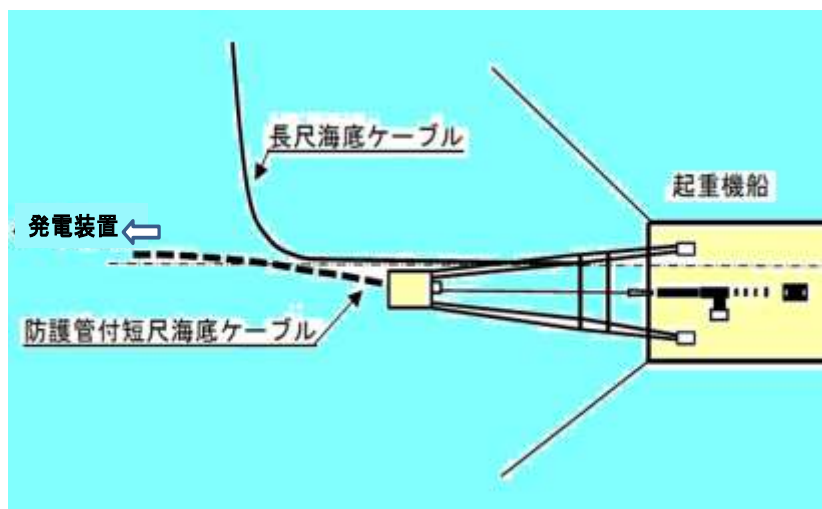
起重機船には 付図16に示すケーブル回収用の構築を施す。(付図1 と同様)



付図16. 起重機船構築要領

**手順⑤ 短尺海底ケーブル回収**

- ⑤-1. 船首が短尺ケーブル端の南側に来るよう起重機船を係留し、実証機に向けて前進しながら 灯標からロープをたぐってケーブル端末を回収する。(付図17 参照)
- ⑤-2. ベンドレストリクタ および防護管を取り外しながらケーブルをドラムに巻き取る。

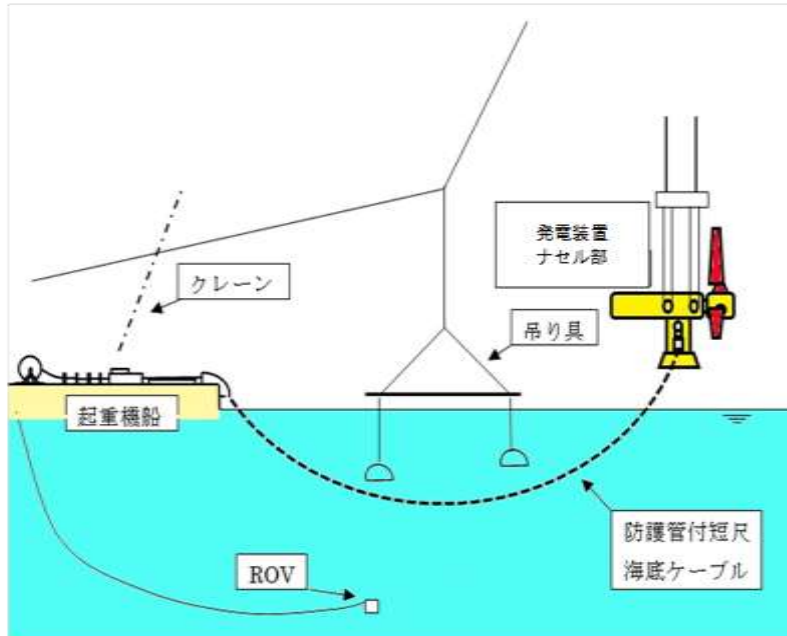


付図17. 短尺海底ケーブル回収

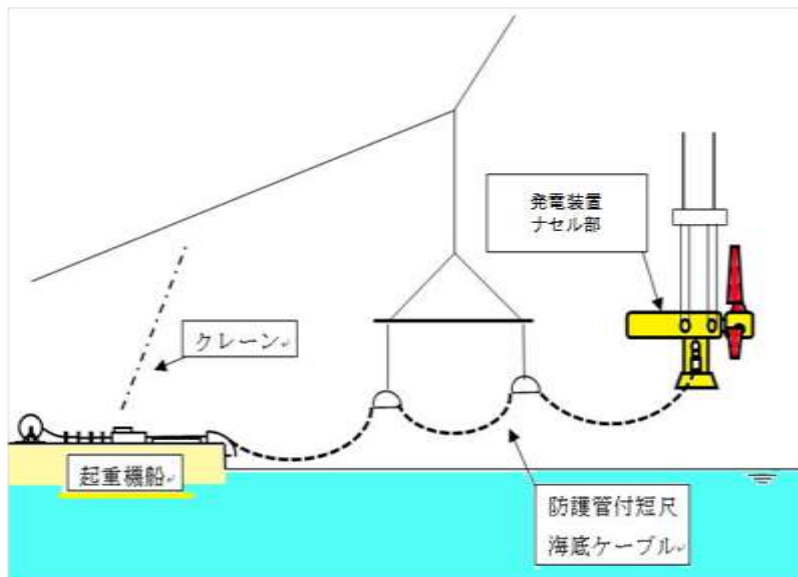
表 6-1-9(b) 発電装置 回収

手順⑥ 発電装置 回収

- ⑥-1. 起重機船のクレーンから下した吊り索をROVで発電装置ナセル部に玉掛けし、同部を水面まで吊り上げながらケーブルを船上に引き込む。
- ⑥-2. 発電装置設置で使った吊り具でナセル部と起重機船間のケーブルを2点吊し、ナセル部を水切り。(付図18 参照)
- ⑥-3. 起重機船の係留を解き、ナセル部を吊った状態で最寄りの港へ運搬する。(付図19 参照)



付図18. 発電装置ナセル部 回収

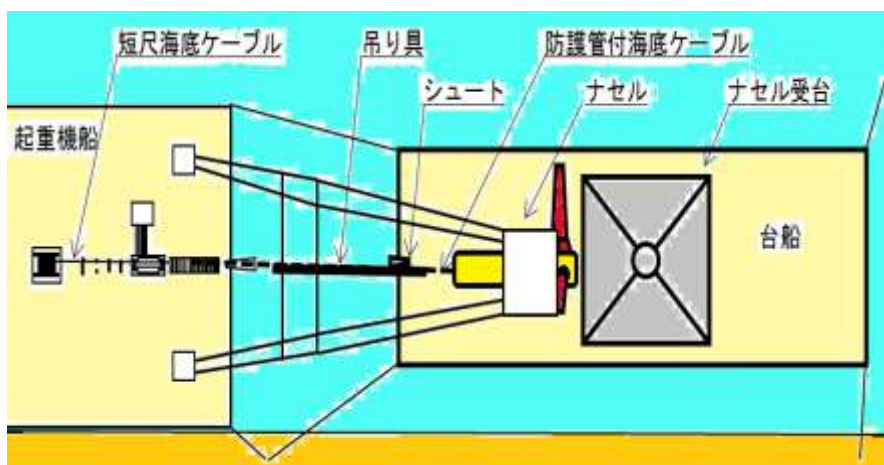


付図19. 短尺海底ケーブル水切り

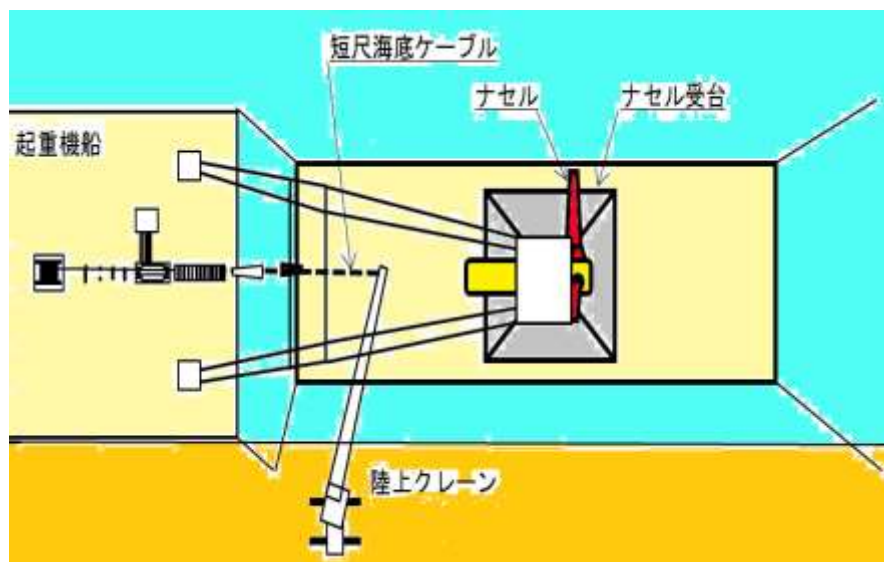
表 6-1-9(c) 発電装置 回収

手順⑦ 短尺海底ケーブル取り外し

- ⑦-1. 現場最寄りの港で発電装置ナセル部を吊った起重機船を接岸させ、3000t積み台船にナセルを仮置きする。
- ⑦-2. 起重機船を接岸させ、台船上の受台にナセルを吊り下し固定する。(付図20 参照)
- ⑦-3. 吊り具からケーブルを切り離し、ケーブルから防護管を取り外す。
- ⑦-4. ケーブルとナセルのコネクタを切り離し、陸上クレーンで介添えしながらケーブルを起重機船のドラムに巻き取る。(付図21 参照)
- ⑦-5. ナセルと架台をメンテナンスに向けて工場へ運搬する。



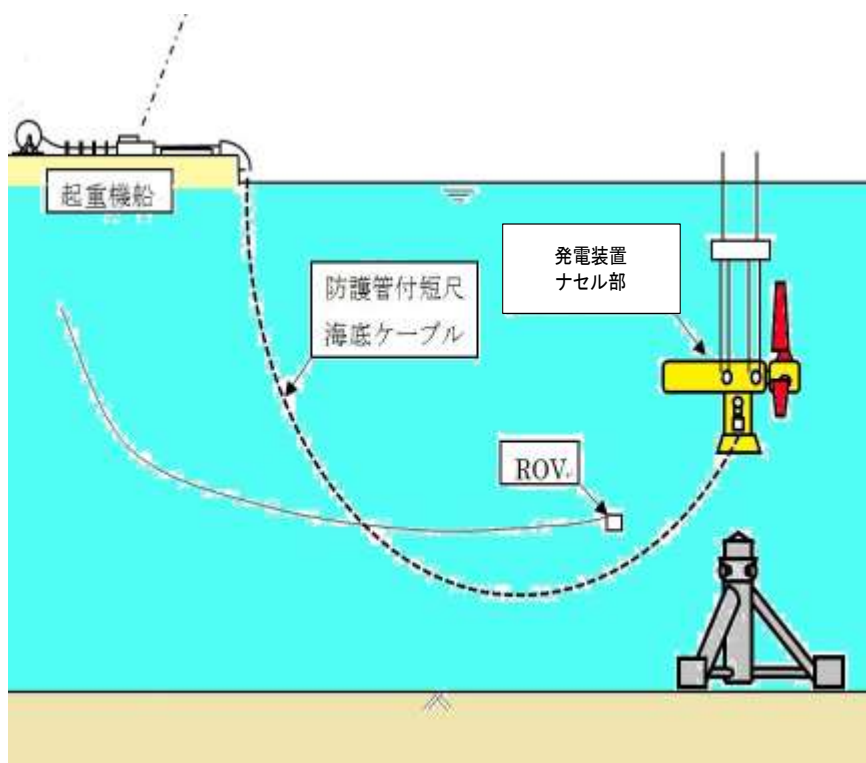
付図20. 回収ナセル船積み



付図21 短尺海底ケーブル取り外し

表 6-1-10(a) 発電装置 再設置

手順⑧ 海底ケーブル 再接続前の準備
<ul style="list-style-type: none"> <li>⑧-1. 3000 t積み台船にナセルの受台とシュートを艦装。(付図20の台船参照)</li> <li>⑧-2. メンテナンスが終わったナセルを工場で台船に積み込み、固縛。</li> <li>⑧-3. 台船を曳航し、現場最寄りの港までナセルを運搬。</li> <li>⑧-4. 起重機船にケーブル布設用の艦装を施し、ドラム巻の両端コネクタ付き短尺海底ケーブルを積み込む。(付図1参照)</li> </ul>
手順⑨ 発電装置ナセル部と海底ケーブル 再接続
<ul style="list-style-type: none"> <li>⑨-1. 実証機ナセル部を搭載した台船を現場最寄りの港に接岸。</li> <li>⑨-2. 短尺海底ケーブル布設艦装を施した起重機船を接岸させ、起重機船上で樹脂製防護管を取り付けながら短尺海底ケーブルを台船側に送り出す。</li> <li>⑨-3. 岸壁上のクレーンを使って短尺海底ケーブルを台船側に移動させ、短尺海底ケーブルのコネクタとナセル側のコネクタを接続。(付図21の逆手順)。</li> </ul>
手順⑩ 発電装置ナセル部 吊り下し
<ul style="list-style-type: none"> <li>⑩-1. ナセルと起重機船間の短尺海底ケーブルを吊り具で2点支持し、ナセルを吊り上げた状態で起重機船を現場へ回航。</li> <li>⑩-2. 船首を北に向けて起重機船を所定の位置に係留し、ケーブル吊り具を取り外す。</li> <li>⑩-3. ナセルをベース上に吊り下しながら樹脂製防護管を取り付けて短尺海底ケーブルを送り出す。発電装置結合部およびケーブル線形はROVで監視する。(付図22 参照)。</li> </ul>



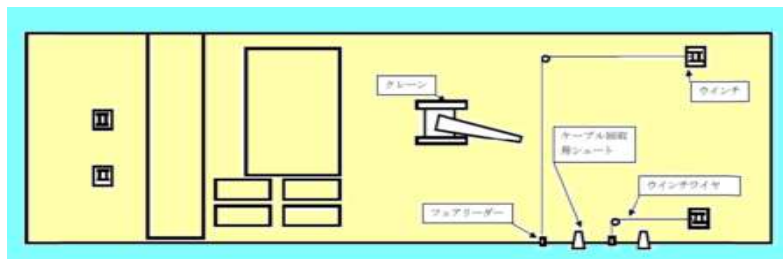
付図22 ナセル部 吊り下し



表 6-1-10(b) 発電装置 再設置

手順⑪ 海底ケーブル再接続

- ⑪-1. 付図23に示すDPS作業台船を準備。
- ⑪-2. 灯標とロープをたぐって短尺海底ケーブル端を作業台船左舷のシュートから船上に引き込む。(付図24、25参照)
- ⑪-3. 短尺海底ケーブルが長尺海底ケーブルとほぼ平行になるまで作業台船を旋回させ、短尺海底ケーブルを送り出しながら長尺海底ケーブルの回収用ロープ端の位置まで船を右舷側に移動。
- ⑪-4. 作業台船から下したワイヤロープを海底の回収用ロープ端にROVで接続、長尺海底ケーブルを巻上げ。(付図26参照)
- ⑪-5. 両ケーブルにストッパーを取り、長尺海底ケーブルのコネクタを清掃した後、両コネクタおよび保護フレームを接続。



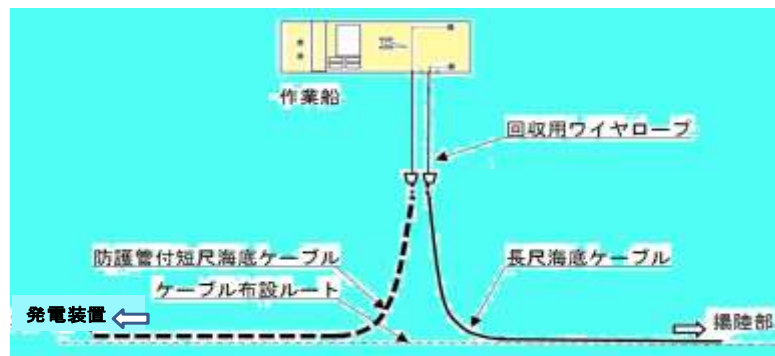
付図23. 布設船メンテナンス用機装



付図24. 短尺海底ケーブル端回収



付図25. 短尺海底ケーブル端移動



付図26. 長尺海底ケーブル端回収

手順⑫ 海底ケーブル接続部沈設

初回設置の海底ケーブル接続部沈設と同様に行う。(付図10参照)



### (3) 今後の課題

今後の詳細設計にあたっては、設置時とメンテナンス時に分けて、以下のような事項が検討課題になると考える。

#### ① 一括設置時：

- ・発電装置ナセル部とベースを台船上で連結させる際の双方の位置制御方法  
(表 6-1-6(b) 発電装置側 短尺海底ケーブル布設手順 参照)

#### ② メンテナンス時：

- ・ナセル運搬用の受台設計 (表 6-1-9(c) 発電装置回収 参照)
- ・コネクタ付き短尺海底ケーブルのドラム巻方法(表 6-1-9(a) 発電装置回収 参照)
- ・発電装置を起重機船で吊った状態で現場まで運搬する際、装置～起重機船間で短尺海底ケーブルを支持する吊り具の着脱方法 (表 6-1-9(b) 発電装置回収)
- ・台船上でのナセルと短尺海底ケーブルのコネクタ接続方法  
(表 6-1-10(a) 発電装置 再設置 参照)

### 6.1.5. 海外実績

海外での実績例を以下に示す<sup>12</sup>。



図 6-1-3(a) Tidal turbine (VOITH Hytide 1000-13)



図 6-1-3(b) Sabella's D10 tidal turbine



図 6-1-3(c) A turbine for the MeyGen tidal stream project

<sup>12</sup> 各社ホームページ参照

<https://sal-heavylift.com/solutions/offshore/references-offshore/tidal-turbine/>

<http://tidalenergytoday.com/2015/07/22/sabella-engages-open-oceans-current-analysis-services/>

<http://www.voltimum.co.uk/articles/abb-will-supply-uk-grid-connection-europes-biggest-tidal-energy-project>

## 6.1.6.玉掛け・玉外し装置

### (1) 仕様

潮流発電機の据え付けを行う際の吊り治具を検討する。据え付けは、発電機を一括で設置した場合と、分割で設置した場合を検討する。

#### ① 一括設置

- ・ 吊り荷重：800t
- ・ 吊り点：4点吊（吊り治具・本体）
- ・ 吊り点幅：3.0～5.0m
- ・ 付加機能：玉掛け・玉外し装置（遠隔操作）付き  
ワイヤー回転留め  
装置向き保持・調整ワイヤー接続ピース

#### ② 分割設置（ナセル）

- ・ 吊り荷重：200t
- ・ 吊り点：2点吊（吊り治具）、4点吊（本体）
- ・ 吊り点幅：3.0～4.5m
- ・ 付加機能：玉掛け・玉外し（遠隔操作）付き

### (2) 概要

#### ① 一括設置

潮流発電機を一括設置する場合、トラニオン4カ所で吊る必要があり、位置と向きを調整する必要がある。また、遠隔でワイヤーの玉掛け・玉外しをする機構を設ける。玉掛けワイヤーは、起重機船の4本のフックに1本ずつ取り付け、各フックを単独で巻き上げ巻き下げをできるようにする。吊り下げる発電機の重量が非常に重たいことから、吊り治具はこのワイヤーを貫通できる構造とし、位置の微調整と向きを調整する。図6-1-4に概要、図6-1-5に潮流発電機吊り下げ状況を示す。

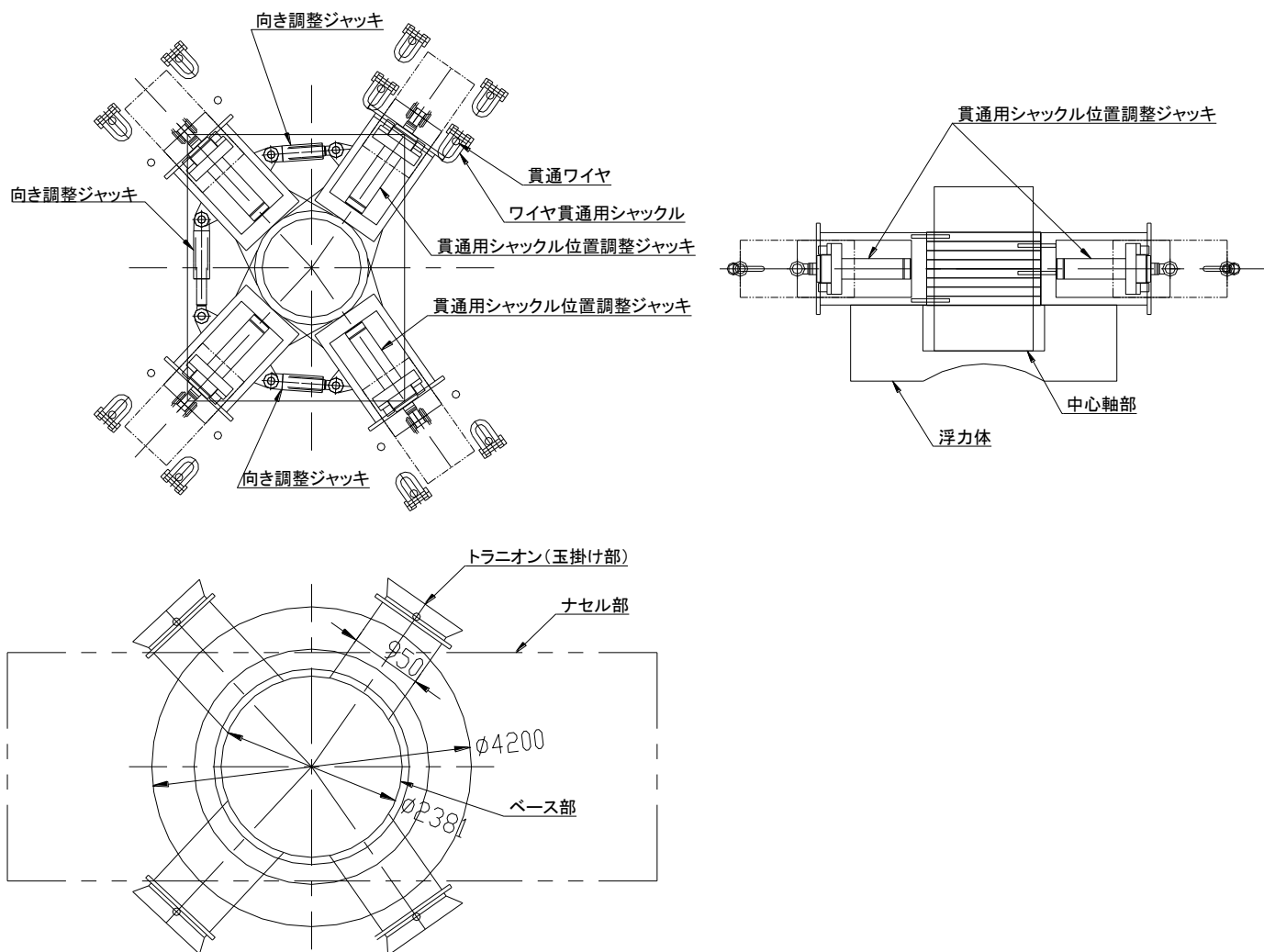


図 6-1-4 吊り治具概要  
 (左上：装置平面、左下：トラニオン部断面、右：装置側面)

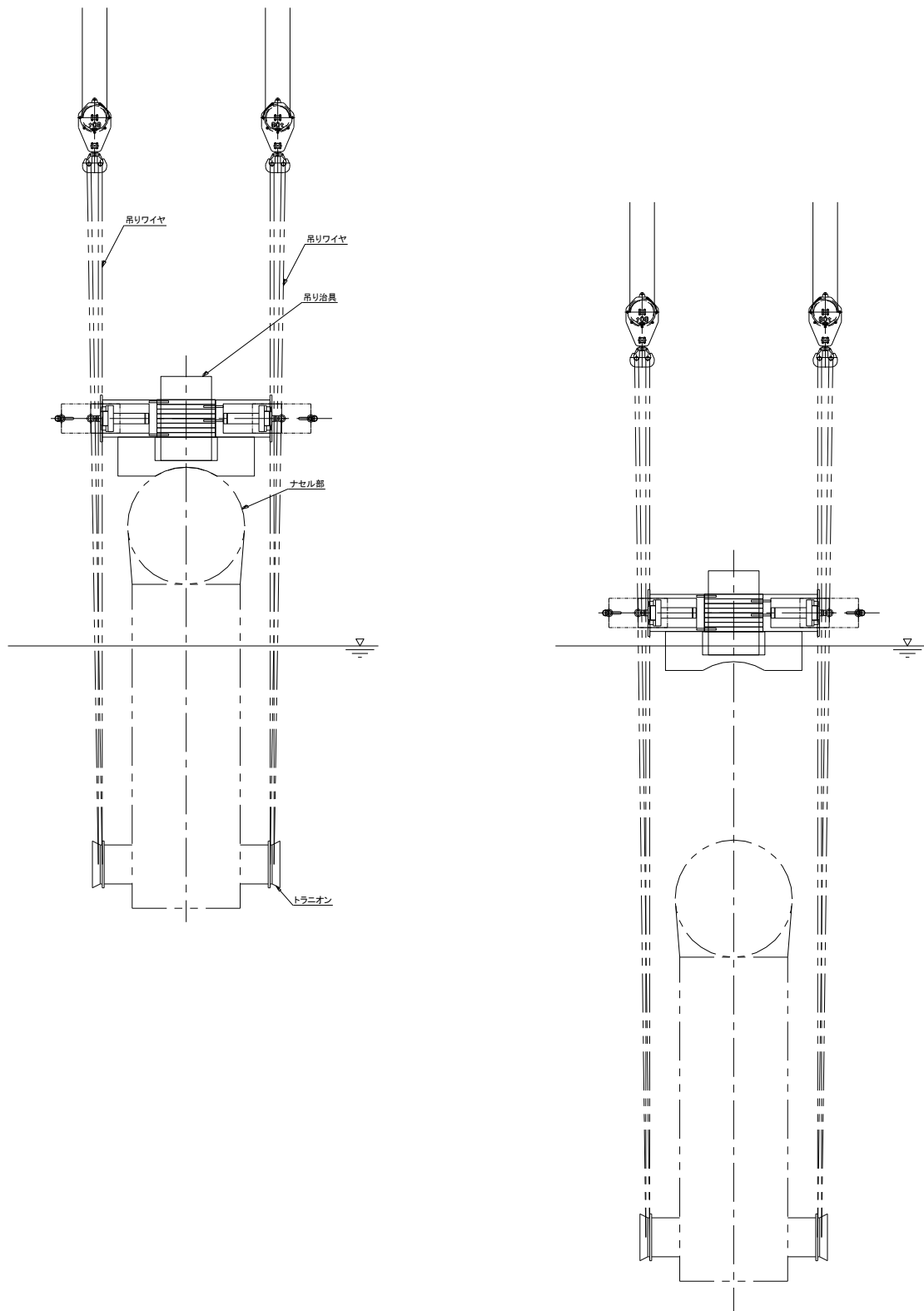


図 6-1-5 潮流発電機吊り下げ状況  
 (左：ナセル気中時、右：ナセル水没時)

② 分割設置（ナセル）

分割設置における、ナセルの吊り治具を検討する。ナセルへの玉掛けは、ナセル上に吊り治具を載せた状態で行い、外す場合も一度ナセル上に載せることとする。図 6-1-6 に玉掛け・玉外し時の吊り治具状態を、図 6-1-7 に吊り下げた時の吊り治具状態を示す。

海中での分割設置の作業は、吊り治具とトラニオンまでの距離が比較的近く、玉掛け時のワイヤーの位置確認は、光学式の水中カメラ等を使用することで対応できる。

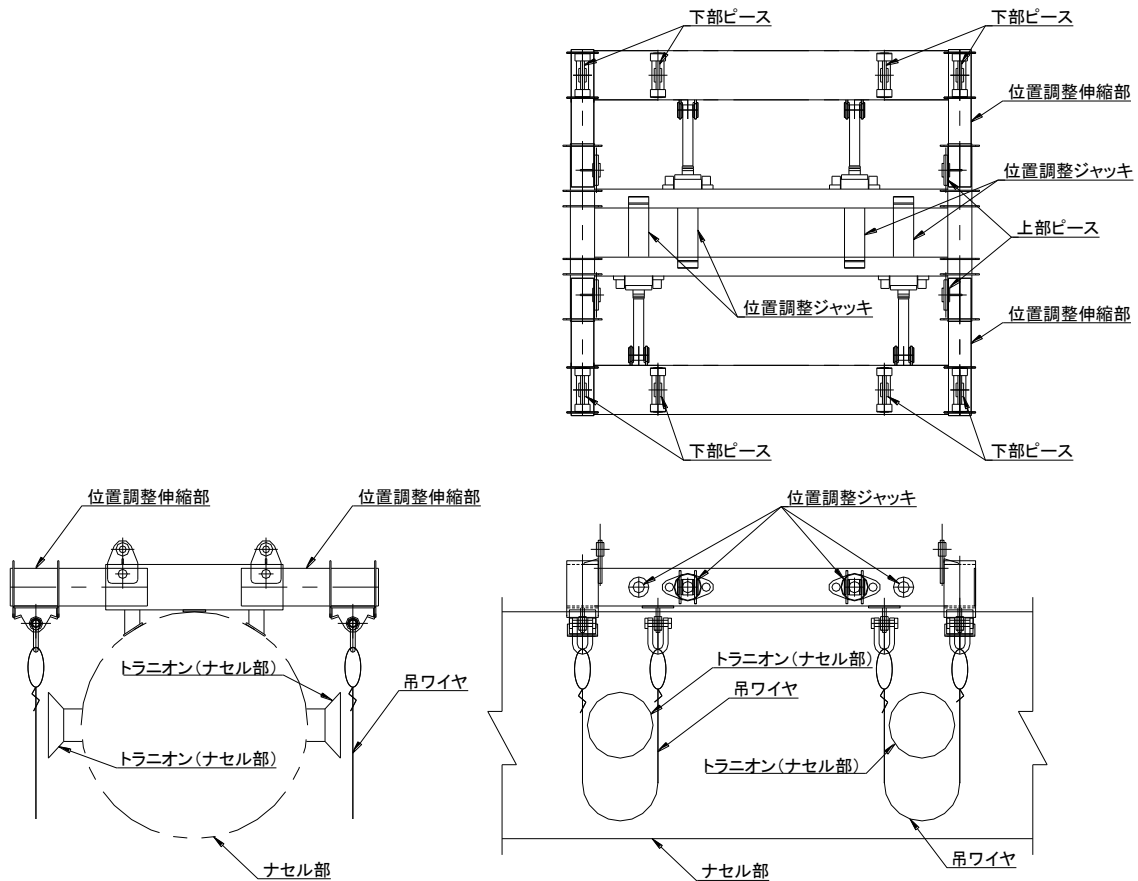


図 6-1-6 吊り治具状態（玉掛け・玉外し時）

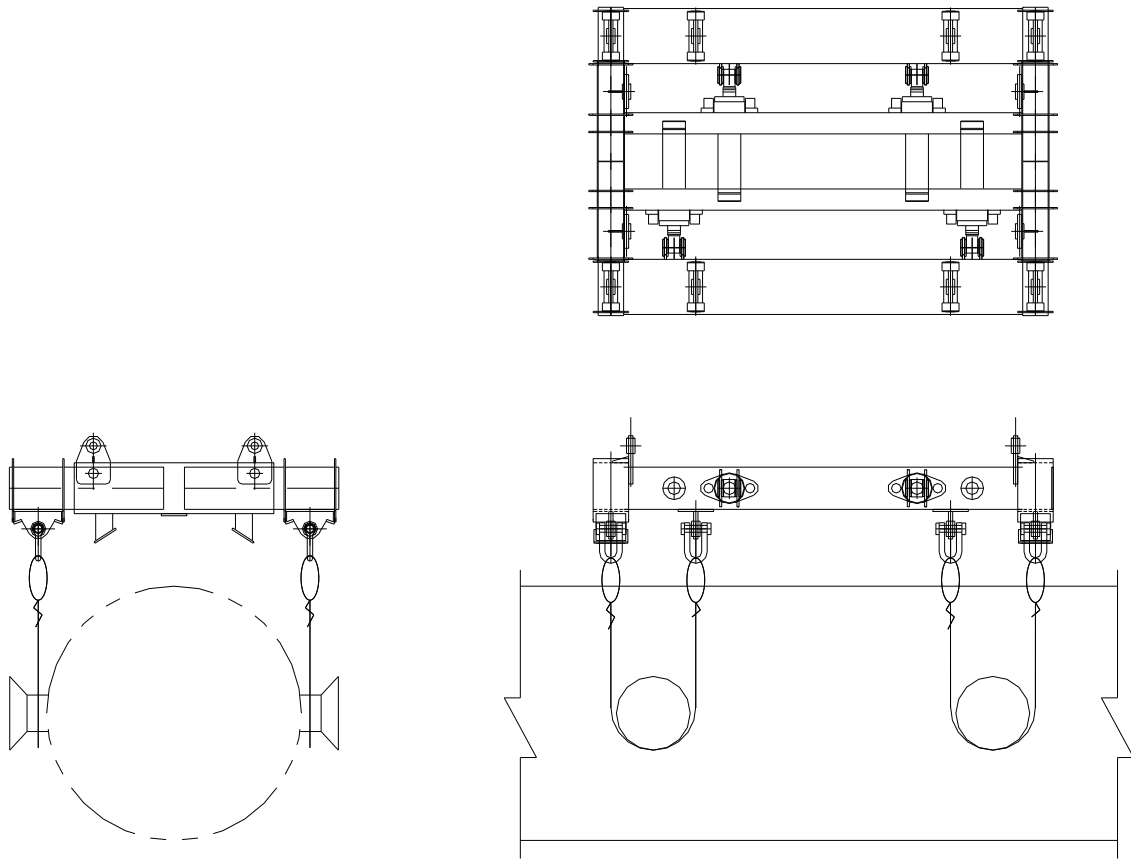


図 6-1-7 吊り治具状態（吊り下げ時）

### 6.1.7.吊りピースの開発

#### (1) 概要

国内の作業環境に適した潮流発電装置の施工方法として、実証機はナセル部と基礎部が接続された状態で港から搬出され、作業船から吊下げ所定の場所に設置する一括設置方式を採用している。そこで、図 6-1-8 に示すように潮流発電装置に吊りピースを設けている。本検討では、吊りピースの構造検討及び強度確認のための有限要素解析を実施した。

#### (2) 検討条件

吊りピース検討のための条件を以下に示す。

##### 【吊り条件】

施工工事時の吊り条件を表 6-1-11 に示す。



表 6-1-11 吊り条件

項目	条件	
設置方法	一括設置	分割設置・撤去
吊り位置	基礎部主柱上部	ナセル

【適用基準】

適用基準を以下に示す。

- ・ 鋼構造設計基準
- ・ 鋼構造架設設計指針/土木学会

適用基準より、吊りピースに与える荷重は、4点吊りの不均等荷重 100%（不均等係数 2.0）を安全率として設定。

(3) 検討内容

① 吊りピースの形状検討

4点吊りのトラニオン方式として、一体吊り用吊りピースの形状検討を行う。吊りピースに JIS 規格配管を使用するものとして、設計断面力として曲げモーメント、せん断力、ミーゼス応力を求め、鋼材の基準強度と比較し、成立性を確認した。

② 一体吊り時の吊りピース強度解析

実証機の 3次元モデルによる有限要素解析(FEM)を実施し、一体吊り時の吊りピース付近に発生する応力を確認する。強度が不足している場合は、該当部の構造見直しと確認解析を実施する。

(4) 検討結果

① 吊りピースの形状検討

実証機基礎部の吊りピース形状検討結果を図 6-1-8 に示す。

4点吊りに対応するため、基礎部上部より水平方向に吊り治具（トラニオン）が4本突き出す構造とした。4本の吊り治具にかかる荷重が均等となるよう、一体吊り時の重心位置を考慮して突出し角度を調整し、突出し長さは上部のナセルに干渉しない距離とした。また、水中での玉外し作業を簡素化するため、吊り治具先端の円錐部分に吊りワイヤーを掛ける構造とした。

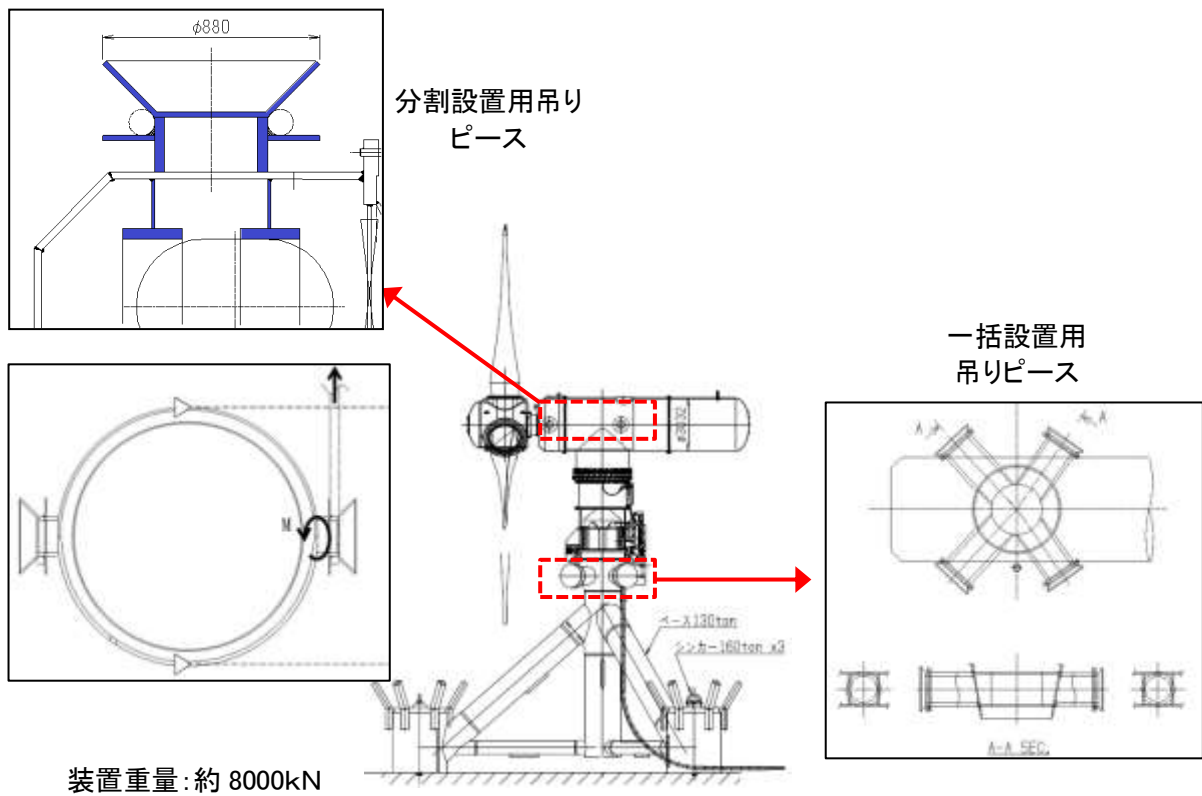


図 6-1-8 実証機吊りピースの形状

② 一括設置時の吊りピース強度解析

一体吊り時の強度解析モデルと解析結果を図 6-1-9 と図 6-1-10 に示す。検討の結果、吊り時の基礎部に発生する応力は、全て許容応力内であった。

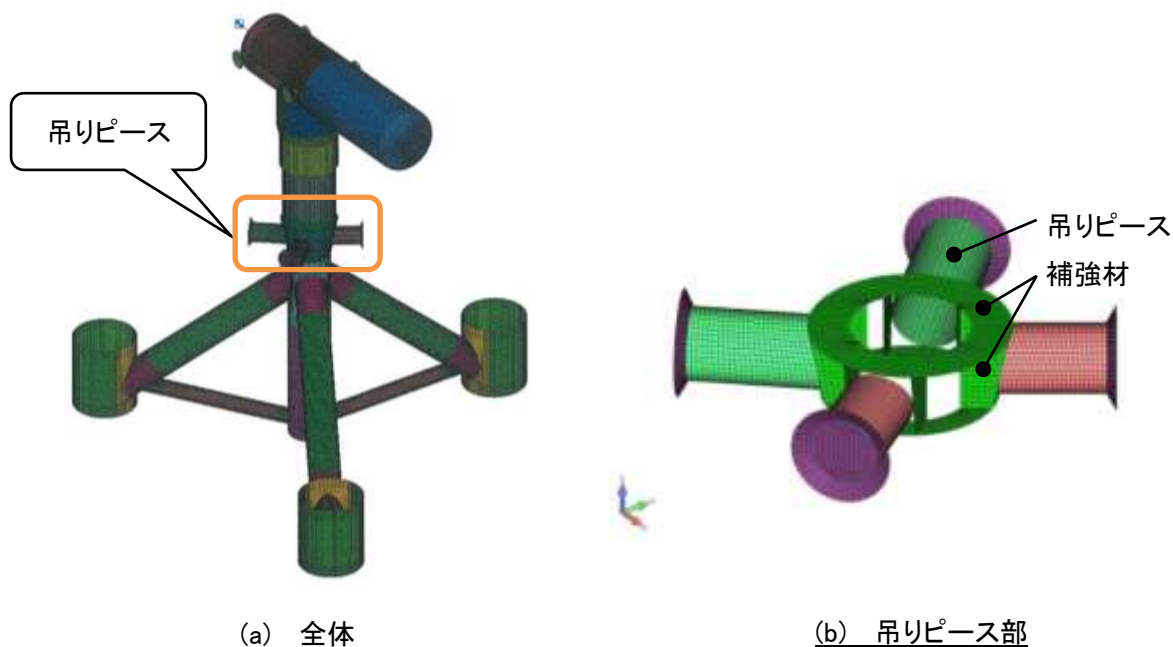


図 6-1-9 解析モデル

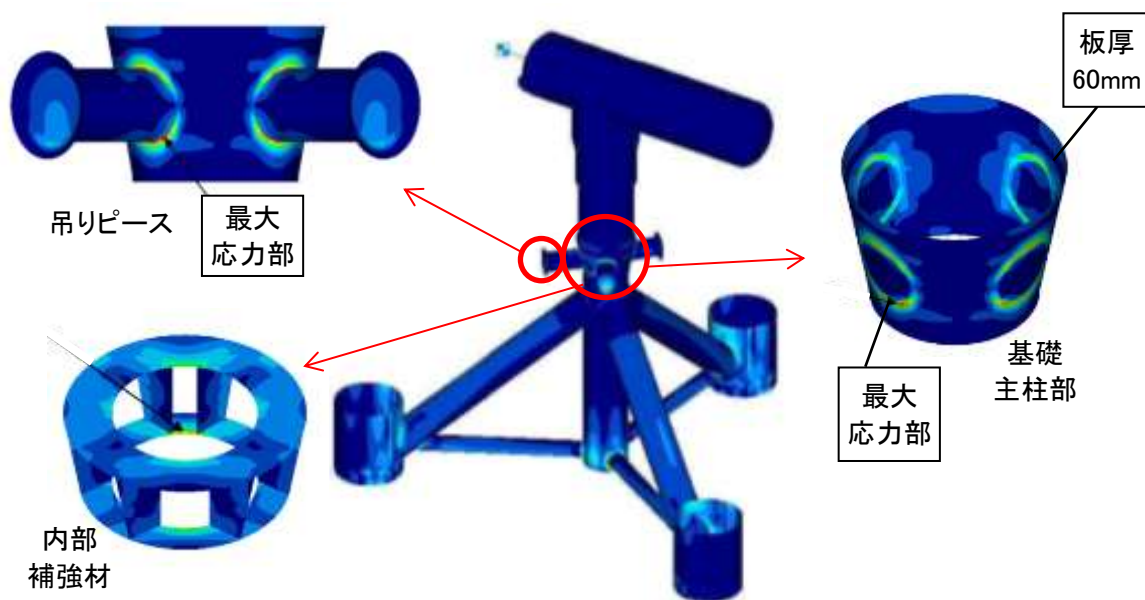


図 6-1-10 解析結果(発生応力)

③ 分割設置／撤去時の吊りピース強度解析

ナセル単体吊り時の強度解析モデルと解析結果を図 6-1-11 から図 6-1-12 に示す。検討の結果、吊りピース、及び内部補強材の発生応力が許容応力値以下である事を確認した。

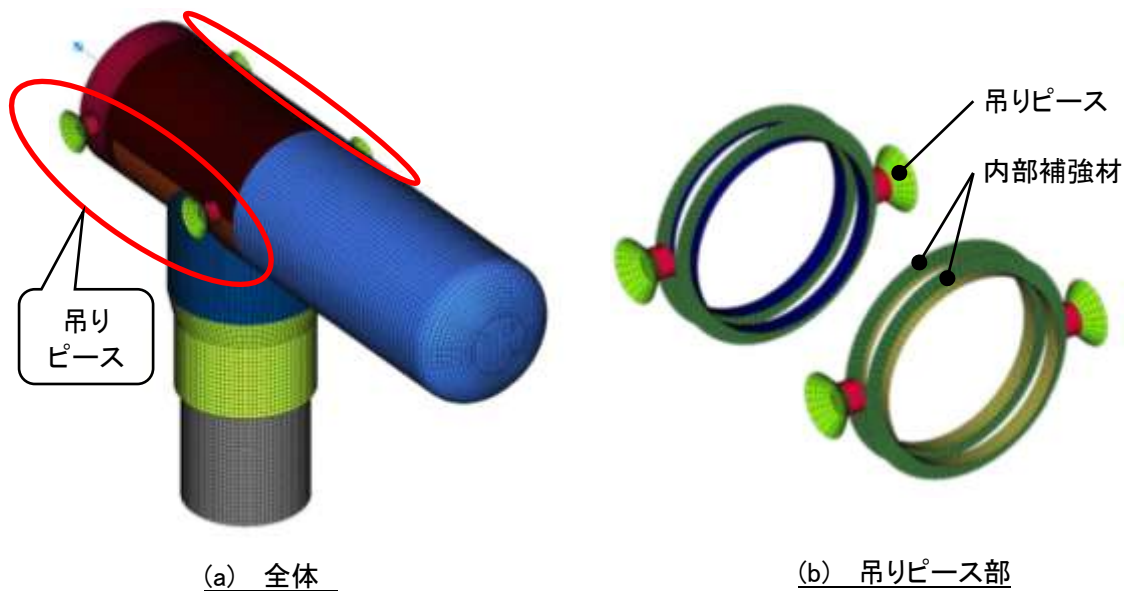


図 6-1-11 解析モデル

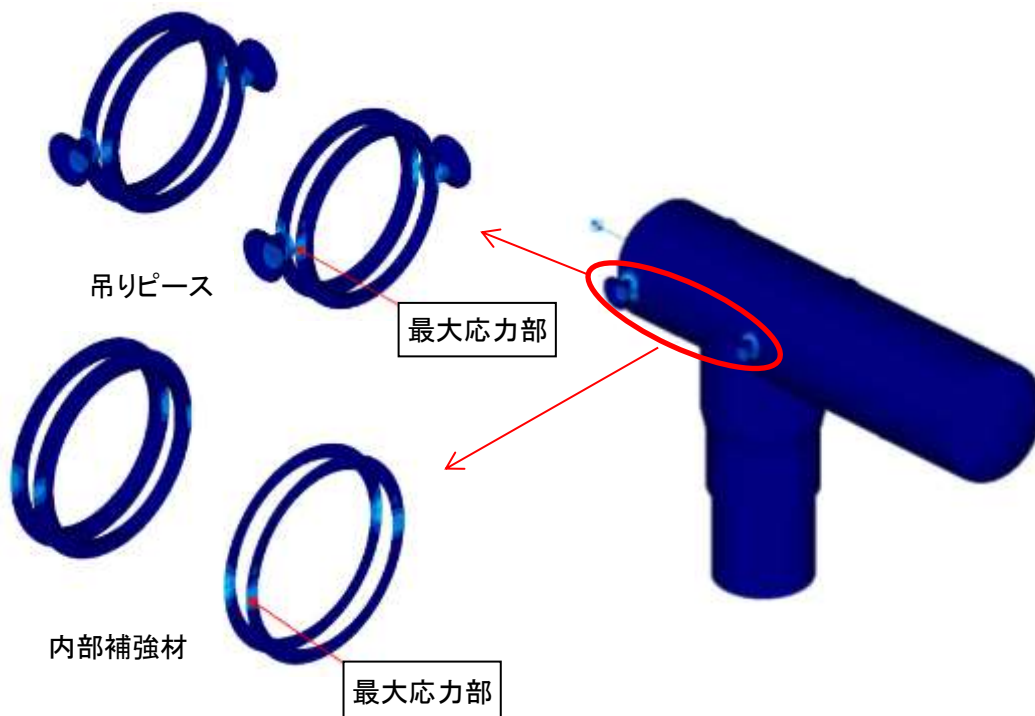


図 6-1-12 解析結果(ミーゼス応力)

#### (5) まとめ

国内の作業環境に適した潮流発電装置の施工方法の検討のため、一括設置及び分割設置に適した吊りピースの構造検討、強度検討を行った。結果、検討した吊りピースの構造にて強度を満足する事を確認し、施工方法に適した吊りピースの基本設計を完了した。

### 6.1.8. 今後の課題

#### (1) 一括設置

実験結果から、一括設置に関しては吊り治具から発電機下部に取り付けられているトラニオンまでの距離があり、位置やワイヤーの向きなどを確認する方法を検討する必要がある。

#### (2) 分割設置（ナセル）

模型を用いた水槽実験結果から、分割設置の作業時において、ナセルは潮流の流れに対して一定の方向に向く傾向がある。これは、ナセルの投影面積と重量の関係から吊荷状態では潮流による流れの影響を受けると考えられ、その対策として水中吊り時のナセルの向き調整ができる機能が必要である。

## 6.2. 水理模型実験による起重機船と吊荷の挙動確認

#### (1) 概要

潮流発電装置の設置作業では、実証海域の潮流や波浪条件から起重機船や発電装置本体の動揺量を推定して、作業の安全性や据付精度を考慮した作業条件を把握する必要がある。本実験では、実証海域で想定される発電装置の水中での挙動や、起重機船の動揺特性を把握し、据付作業の可否や課題を明らかにする。また、作業限界条件を把握すると共に、動揺解析シミュレーションの検証データを取得することも目的としている。

#### (2) 発電装置の水中動揺

##### ① 実験概要

潮流発電装置は、図 6-2-1 のように、ナセル部分とそれを支えるタービンベース、シンカーの分割構造となっている。本実証事業では、装置全体を一括設置する時には大型の起重機船 A(2200t 吊)を使用し、メンテナンスでナセル部分だけを分割設置する時には DP 船とヒーブコンペンセーターを使用する計画である。また、発電ファームとして事業化された場合、海底に多数の潮流発電装置を設置した後のメンテナンスでは、作業船の係留ワイヤーが発電装置に接触する恐れがあるため、同様にナセル部分を DP 船とヒーブコンペンセーターで設置することが計画されている。なお、ナセル部分の設置では、動揺特性を把握するため、起重機船 B(700t 吊)による設置も検討も行うこととした。

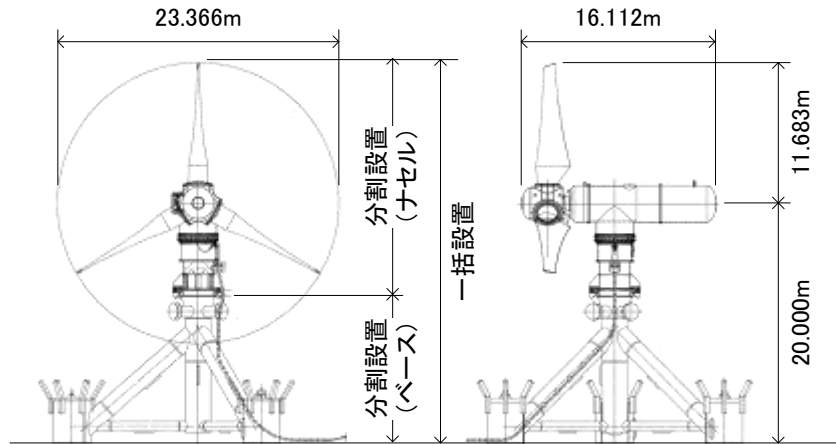


図 6-2-1 潮流発電装置

本実験は表 6-2-1 に示すような縮尺 1/50 の起重機船 A、起重機船 B、DP 船の 3 種類の模型を用いて実施した。吊荷が海面上にある場合と海中にある場合の実験を行ったが、ここでは発電装置が水中に吊降ろされた着底前の状態での実験について報告する。実験に使用した水槽は、長さ 48m、幅 4m、水深 1.6m の回流式造波水槽である。図 6-2-2 から図 6-2-4 のように、水槽に起重機船や DP 船の模型を浮かべて係留し、発電装置を水面から回転翼の中心まで 20m の水中に吊っている状態で、波浪と潮流を作用させて起重機船と発電装置の動揺を測定した。起重機船の動揺測定はジャイロセンサと加速度センサ内蔵した小型姿勢センサユニットを使用し、発電装置の水中動揺測定は水槽側面等から撮影したビデオを画像解析して測定した。表 6-2-2 は発電装置の据付作業の施工管理値である。図 6-2-5 は船体座標系と吊り荷の座標系である。波や流れは船首方向に対して角度  $\beta$  で作業船に作用している。船体座標系は原点を船体中心とした船首方向に X 軸を取った XYZ 座標系で設定している。また、吊り荷の座標系は原点を吊り荷中心とした  $x'y'z'$  座標系で、波や流れの向きと平行に  $x'$  軸を設定している。

表 6-2-1 船体寸法

		起重機船A 2200t吊		起重機船B 700t吊		DP船	
		現地	実験(1/50)	現地	実験(1/50)	現地	実験(1/50)
船長	m	90	1.800	56	1.125	70.7	1.414
幅	m	41	0.820	26	0.513	16	0.320
高さ	m	7.0	0.140	4.4	0.088	6.8	0.136
喫水	m	4.2	0.084	2.6	0.053	5.34	0.107
重量	ton	15,533	0.124	3,792	0.030	3,909	0.031
固有周期 Roll	s	9.7	1.37	7.4	1.05	7.6	1.07
固有周期 Pitch	s	9.0	1.27	7.3	1.03	6.3	0.89

表 6-2-2 施工管理値

項目		施工管理値
一括設置	仰角	$\pm 5^\circ$
	水平角	$\pm 10^\circ$
	水平方向	$\pm 10\text{m}$
	鉛直速度	$0.8\text{m/s}$
分割設置 (ナセル)	水平方向	$\pm 1.35\text{m}$
	水平角	$\pm 25^\circ$
	鉛直速度	$0.8\text{m/s}$

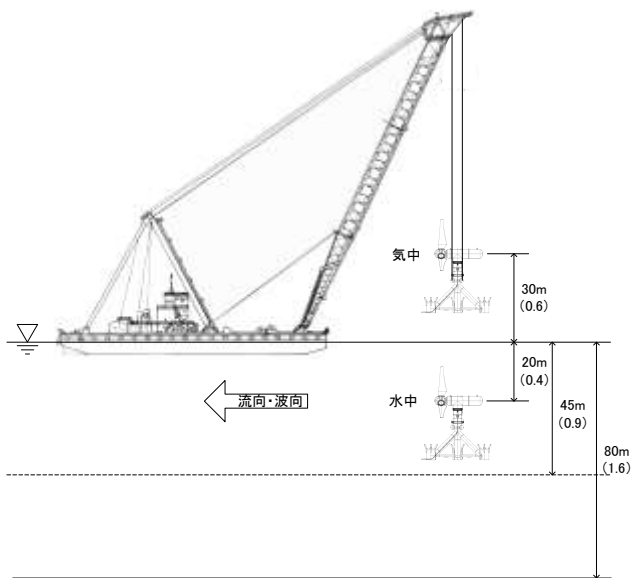


図 6-2-2 起重機船 A

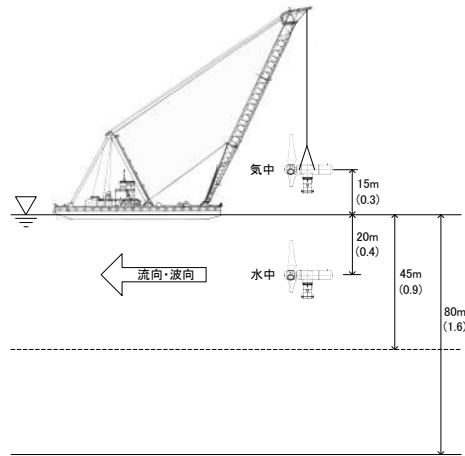


図 6-2-3 起重機船 B

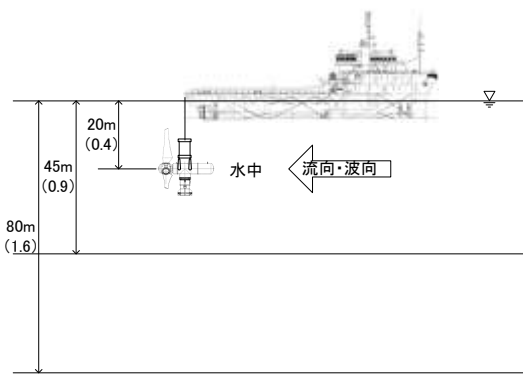


図 6-2-4 DP 船

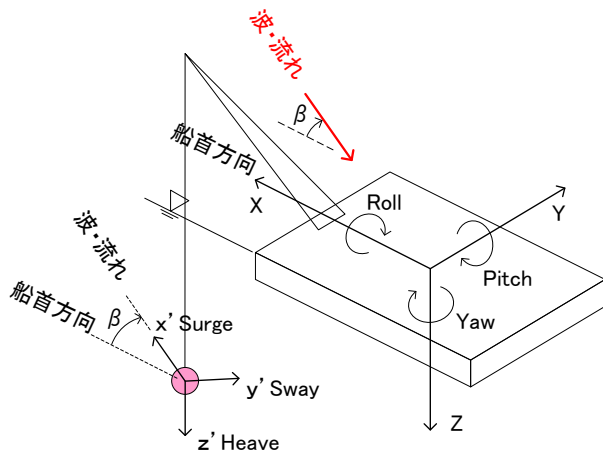


図 6-2-5 作業船と吊り荷の座標系



## ② 吊荷の動揺状況

### A) 一括設置（起重機船 A）

図 6-2-6 は、一括設置の水中動揺写真である。起重機船の正面から波高 1m の規則波を作用させた時のものである。波向きは左から右へ向かって作用しており、鉛直方向  $z'$  の動揺量は周期 6 秒では小さいが、周期 10 秒になると大きくなっている。

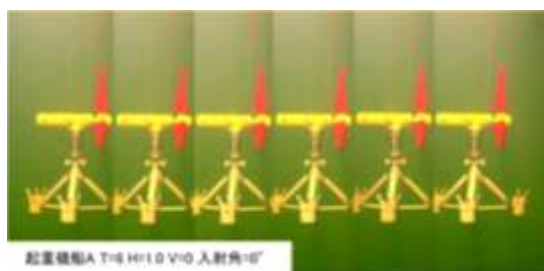
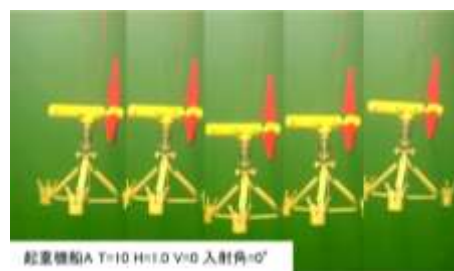


図 6-2-6(a) 一括設置の水中動揺 T=6s



(b) 一括設置の水中動揺 T=10s

### B) ナセル部分の分割設置（起重機船 B）

図 6-2-7 は、分解設置の水中動揺写真である。起重機船の正面から波高 1m の規則波を作用させた時のものである。波向きは左から右へ向かって作用しており、鉛直方向  $z'$  の動揺量は周期 6 秒では小さいが、周期 10 秒になると大きくなり、ピッチ方向の回転も生じている。本実験ではナセルとタービンベースの接続部を計測点として画像解析を行っており、測定値は水平方向  $x'$  と鉛直方向  $z'$  の動揺量ではあるが回転を含んだ動揺量となっている。

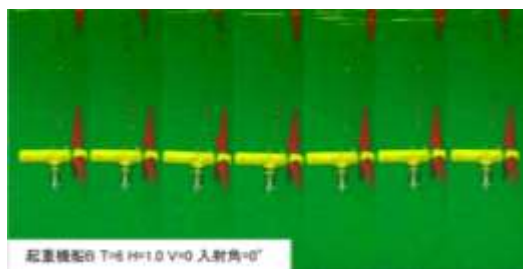
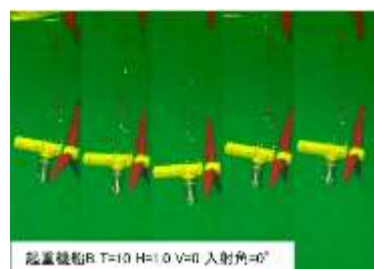


図 6-2-7(a) 分割設置の水中動揺 T=6s



(b) 分割設置の水中動揺 T=10s



### ③ 動揺実験結果

#### A) 起重機船 A(2200t 吊)一括設置による発電装置の水中動揺特性

起重機船 A を用いた一括設置時に、発電装置の水中動揺に影響すると考えられる、波高、周期、流速を変えた時の起重機船と発電装置の動揺量を計測した。図 6-2-2 のように、実験は発電装置を水面から 20m の深度に吊下げて、表 6-2-3 のような実験条件で起重機船の正面から波を作用させて実験を行った。基礎的な動揺特性を把握するため規則波で実験を行った。

表 6-2-3 実験条件

船種	入射角 [deg]	吊り荷 発電装置	吊り荷 の高さ	周期 [s]	波高 [m]	流速 [m/s]	種類
起重機船A 2200t吊り	0	一括設置	水中 (~20m)	10	0.5, 1.0, 1.5, 2.0	0.0	規則波
				4, 6, 8, 10, 12, 14	1.0	0.0	
				10	1.0	0, 0.5, 1.0, 1.5	

#### B) 波高の影響

図 6-2-8(a)は周期 10 秒の規則波を作用させた時の、起重機船 A の船体動揺 (Roll, Pitch) 特性で、波高と船体の動揺角度の片振幅を示している。また、図 6-2-8(b)はその時の発電装置の水中動揺量  $x'$ 、 $z'$  で、波高と動揺量の片振幅を示している。波高に比例して起重機船の Pitch と発電装置の鉛直方向の動揺量が大きくなっている。また、発電装置の水平方向の動揺量は小さい。

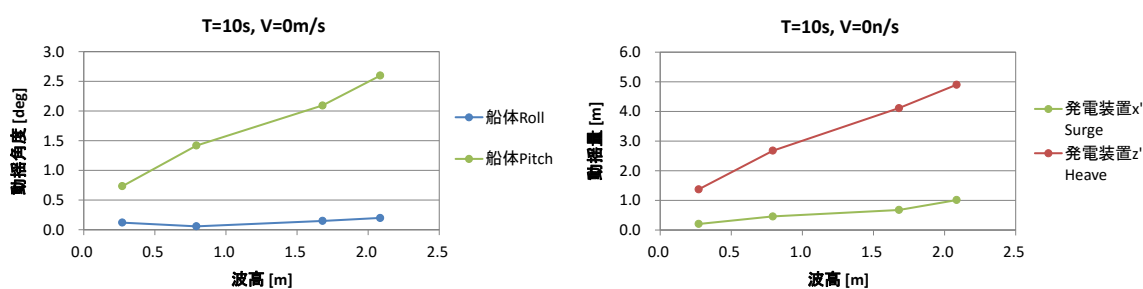


図 6-2-8(a) 起重機船 A の船体動揺

(b) 発電装置の水中動揺

#### C) 周期の影響

図 6-2-9(a)は入射波周期と起重機船 A の船体の動揺角度の関係を示したものである。図 6-2-9(b)はその時の発電装置の水中動揺量の片振幅である。起重機船の動揺は周期 10 秒で Pitch が最大となり、Pitch の固有周期 9.0 秒と概ね一致しており、波浪と起重機船の Pitch が同調していることが分かる。また、その影響を受けて発電装置の鉛直方向の水中動揺量  $z'$  も最大になっている。

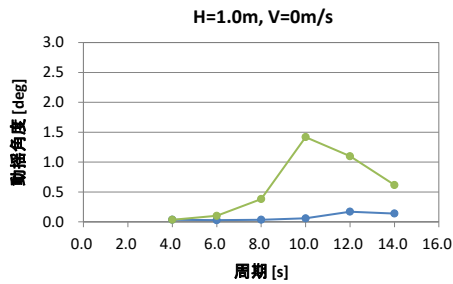


図 6-2-9(a) 起重機船 A の船体動揺

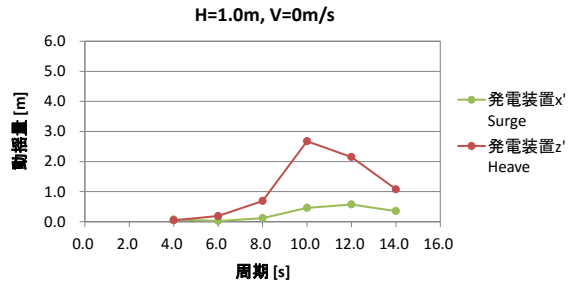


図 6-2-9(b) 発電装置の水中動揺

#### D) 流速の影響

図 6-2-10(a)は流速と起重機船 A の船体の動揺角度の片振幅の関係を示したものである。入射波は周期 10 秒、波高 1.0m の規則波を起重機船の正面から作用させている。図 6-2-10(b)はその時の発電装置の水中動揺量の片振幅である。起重機船の船体動揺と発電装置の水中動揺は、流速に関係なく一定であり、潮流の影響は小さいと考えられる。

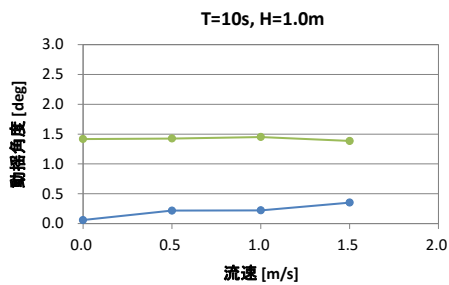
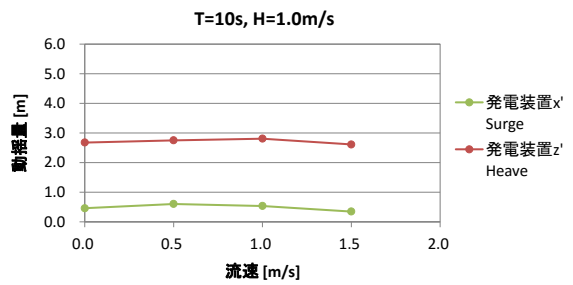


図 6-2-10(a) 流速と起重機船 A の船体動揺量



(b) 発電装置の水中動揺量

#### E) 規則波と不規則波

図 6-2-11(a)は船体動揺角度を規則波と不規則波で比較したものである。周期と動揺角度の波高に対する比である。同様に図 6-2-11(b)は発電装置の動揺量を規則波と不規則波で比較したものである。周期と動揺量を波高で無次元化したものを示している。ここで、不規則波の動揺角度と動揺量は有義値で、周期は有義波周期である。規則波と不規則波の動揺角と動揺量は概ね一致している。

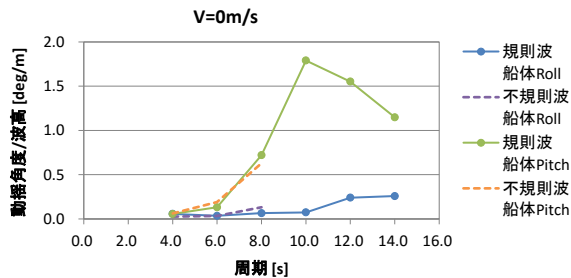


図 6-2-11(a) 規則波と不規則波(船体動揺量)

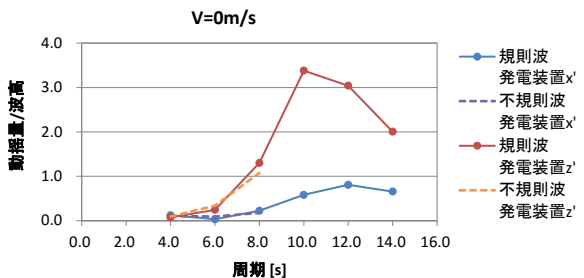


図 6-2-11(b)規則波と不規則波(水中動揺量)

②起重機船 A (2200 t 吊) の作業限界と吊荷の据付作業可否

起重機船 A を用いた一括設置の作業限界と吊荷の据付作業可否について検討する。ここで、「作業限界」とは作業船側での作業安全性や作業性から設定している作業中止基準のことで、「吊荷の据付作業限界」とは据付作業が施工管理値内の精度で実施できるか否かを判定する海象条件である。一括設置の据付精度は表 6-2-2 に示す通り、水平方向±10m、鉛直速度 0.8m/s である。波浪条件は表 6-2-4 のような施工条件に近い条件で、起重機船の正面から不規則波を作用させて実験を行った。不規則波に対する動揺量は有義値を用いている。

表 6-2-4 実験条件

船種	入射角 [deg]	吊り荷発電装置	吊り荷の高さ	周期 [s]	波高 [m]	流速 [m/s]	種類
起重機船A 2200t吊り	0	一括設置	水中 (-20m)	4, 6, 8	1.0	0.0	不規則波

A) 周期と発電装置の動揺量

図 6-2-12(a)は有義波周期と起重機船 A の船体動揺の関係を示したものである。船体動揺角度は片振幅の有義値の波高に対する比である。図 6-2-12(b)はその時の発電装置の水中動揺量で、片振幅の有義値を波高で無次元化している。規則波と同様に起重機船の固有周期付近で Pitch が大きくなり、それに伴って発電装置の鉛直方向の水中動揺量が大きくなっている。

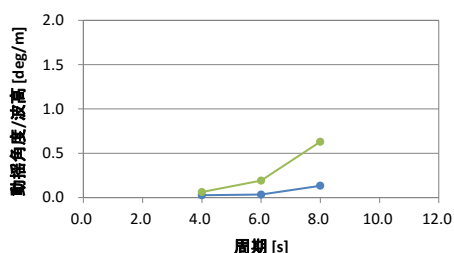
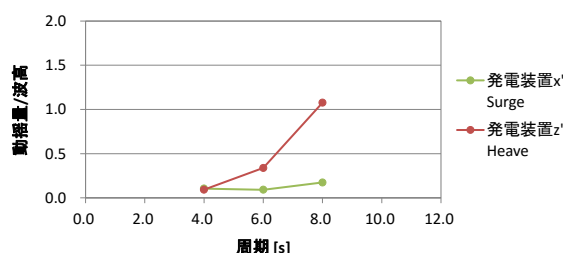


図 6-2-12(a) 起重機船 A の船体動揺



(b) 発電装置の水中動揺

B) 吊荷の設置作業の可否

図 6-2-12(a)は図 6-2-12(b)に対応した発電装置の鉛直方向の水中動揺速度である。有義波周期と動揺速度の片振幅の波高に対する比を示している、実験で得られた最大値は有義値の 1.3~1.7 倍程度であったが、本報告書では安全側をとり、最大値を有義値の 2.0 倍と設定して、以降この最大値から据付作業の可否を検討することとする。図 6-2-12(b)において、仮に波高を 1.0m とすると周期 6.5 秒付近で鉛直速度が 0.8m/s を超えるため、発電装置に損傷が生じる可能性があり、設置作業ができなくなる。一方、水平方向の動揺量については、図 6-2-12(a)より発電装置の水平動揺量は有義波周期 4~8 秒で波高値の半分以下であり、鉛直速度よりも作業ができる限界波高は大きい。

図 6-2-13(b)は、図 6-2-13(a)の動揺速度の最大値から、鉛直速度が 0.8m/s になる吊荷の据付作業の限界波高を求めたものである。一括設置の起重機船の作業限界として設定している有義波波高 0.5m 以下、有義波周期 6.0 秒以下の条件であれば、動揺が作業の支障になることはないと考えられる。

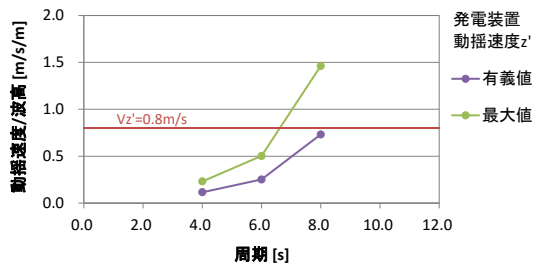
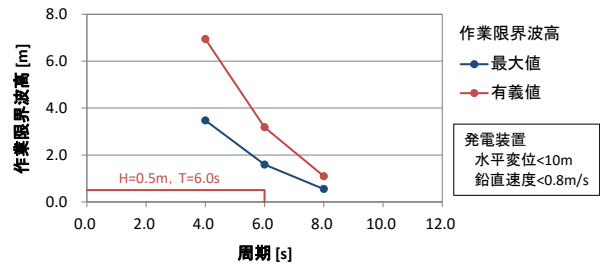


図 6-2-13(a) 発電装置の水中動揺(Heave)



(b) 作業限界波高

### ③起重機船 B (700 t 吊) の作業限界と吊荷の作業可否

起重機船 B を用いた分割設置(ナセル単体)の作業可否について検討する。分割設置の据付精度は表 6-2-2 に示す通り、水平方向 $\pm 1.35\text{m}$ 、鉛直速度 0.8m/s である。波浪条件は表 6-2-5 のような施工条件に近い条件で、起重機船の正面から不規則波を作用させて実験を行った。

表 6-2-5 実験条件

船種	入射角 [deg]	吊り荷 発電装置	吊り荷 の高さ	周期 [s]	波高 [m]	流速 [m/s]	種類
起重機船B 700t吊り	0	分割設置 (ナセル)	水中 (-20m)	4, 6, 8	1.0	0.0	不規則波

#### A) 周期と発電装置の動揺量

図 6-2-14(a)は有義波周期と起重機船 B の船体動揺の関係を示したものである。有義波周期と波高に対する船体動揺角度の片振幅の有義値である。また、図 6-2-14(b)はその時の有義波周期と発電装置の水平方向の動揺量振幅を波高で無次元化したものである。図 6-2-14(a)で起重機船 A と同様に起重機船の固有周期に近いほど船体動揺が大きくなっている。起重機船 A と比べて船体が小さい起重機船 B では、船体動揺角度の Roll と Pitch が相対的に大きくなっている。図 6-2-14(b)で波高が 1m の時に、水平動揺量が 7 秒付近で最大値が施工管理基準の 1.35m を超えている。

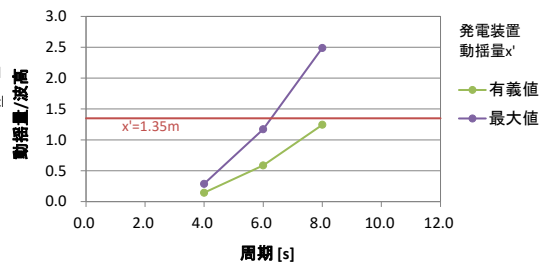
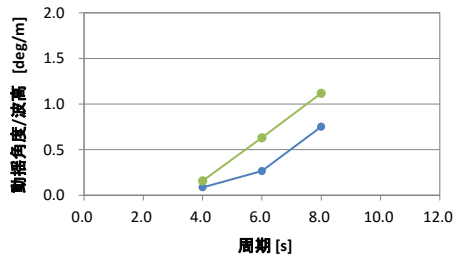


図 6-2-14(a) 起重機船 B の船体動揺

(b) 発電装置の水中動揺(Surge)

### B) 吊荷の据付作業限界

図 6-2-15(a)は有義波周期と発電装置の水中動揺速度の関係を示したもので、波高に対する水中動揺速度の有義値である。図 6-2-15(a)で波高が 1m の時に、4.8 秒付近で鉛直動揺速度の最大値が施工管理基準の 0.8m/s を超えている。図 6-2-15(b)は、図 6-2-14 より水平方向が 1.35m と、図 6-2-13 より鉛直速度が 0.8m/s になる吊荷の据付作業限界をそれぞれ求めたものである。この場合も、鉛直速度により作業限界波高が規定される。起重機船の作業限界と同等の周期 6 秒、波高 0.5m が吊荷の据付作業限界になるため作業限界の見直しが必要である。

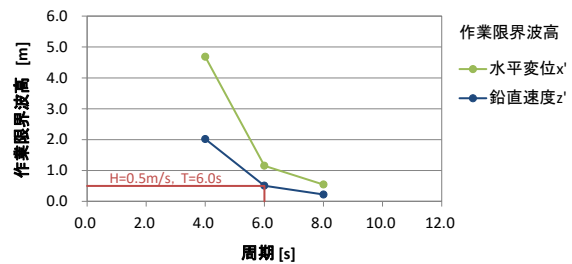
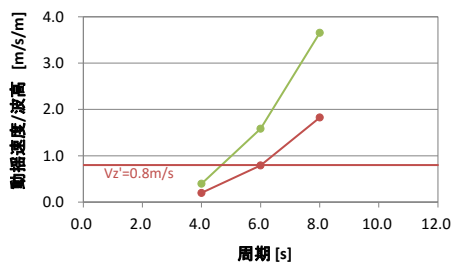


図 6-2-15(a) 発電装置の水中動揺速度(Heave)

(b) 作業限界波高

### ④DP 船の動揺特性

DP 船を用いた分割設置(ナセル単体)の作業可否について検討する。分割設置の据付精度は表 6-2-2 に示す通り、水平方向 $\pm 1.35\text{m}$ 、鉛直速度 0.8m/s である。波浪条件は表 6-2-6 のような施工条件で、DP 船の正面から規則波を作用させて実験を行った。表の船種で固定点吊りと書かれたケースは、DP 船にヒープコンペンセーターを装備したケースを想定したものである。水平方向の動揺が DP 船の定点保持機能により、鉛直方向の動揺がウインチのヒープコンペンセーター機能により、ワイヤーの吊点の動揺はほぼ解消される。このため、DP 船の模型を使用せず、DP 船デッキの吊り下げ高さと同じ高さにワイヤーを固定して実験を行った。

表 6-2-6 実験条件

船種	入射角 [deg]	吊り荷発電装置	吊り荷の高さ	周期[s]	波高[m]	流速[m/s]	種類
DP船	0	分割設置 (ナセル)	水中 (-20m)	6, 10	1.0	0.0	規則波
固定点吊り (DP船+ヒブコン)	0	分割設置 (ナセル)	水中 (-20m)	—	—	0.0, 0.5, 1.0, 1.5	波浪なし
				6, 10	1.0, 2.0	0.0	規則波

A) 周期と発電装置の動揺

図 6-2-16 は周期と DP 船の船体動揺 (Roll、Pitch) の関係で、波高に対する動揺角度の片振幅の比を示している。図 6-2-16(a)はその時の周期と発電装置の水中動揺量の片振幅を波高で無次元化したものである。DP 船の固有周期は Roll 7.6 秒、Pitch 6.3 秒である。起重機船 A (図 6-2-12) と比べて周期による動揺角度の大きな増減は見られないが、船体が小さいため周期 6 秒の動揺角度は少し大きい。発電装置の水中動揺については、吊り下げワイヤーが短いため動揺角に対する水中動揺量  $x'z'$  は小さい。ただし、流れがある場合には、ナセルが水平方向に回転してしまうことがあるため、流れのある場合の据付作業には検討が必要である。

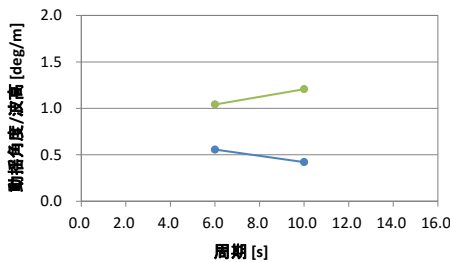
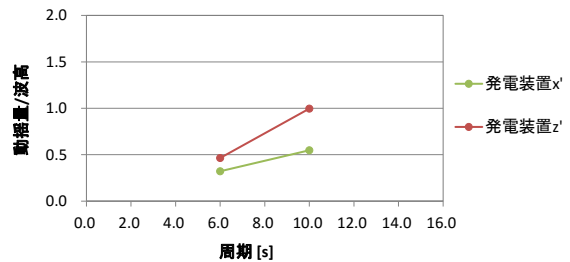


図 6-2-16(a) DP 船の船体動揺



(b) 発電装置の水中動揺

B) 吊ワイヤーの張力

図 6-2-17 は、ナセル部分を吊るした時の吊ワイヤーの張力を示している。ナセルは 2 本のワイヤーで吊り下げられているが、ここでは 2 本の平均値を示している。張力の変動に対して、極大値の平均値と極小値の平均値を示している。吊荷が上昇する際の最大張力は、周期が長くなると DP 船の動揺量に合わせて増大している。一方、吊荷が下降する際の最小張力をみると、周期 8 秒以上では張力が消失している。吊ワイヤーがトラニオンから外れて、ナセルが落下する危険性があることを示している。吊ワイヤーがトラニオンから外れて、ナセルが落下する危険性があるため、トラニオンに外れ留め加工や張力消失を抑制するためのヒブコンペンセイター使用などの対策が必要と考えられる。

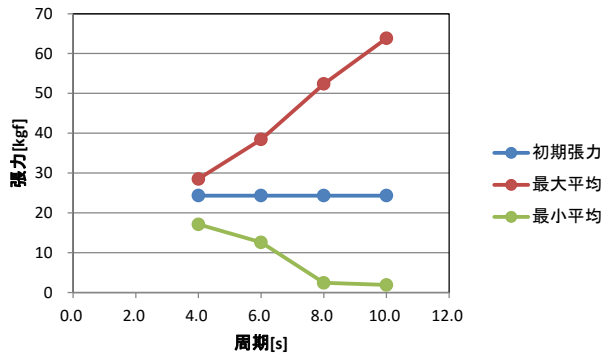


図 6-2-17 DP 船の船体動揺

C) 流れに対する発電装置の変位と動揺 (DP 船+ヒブコン)

図 6-2-18(a)は、固定点でナセル部分を吊るした時の、流速と発電装置の流下方向の変位の関係を示したものである。波浪を与えない定常流のみと、定常流に周期 6 秒と 10 秒の規則波  $H=1.0\text{m}$  の波を作用させて変位を比較した。吊荷の変位は波浪の影響は小さく、流れの影響を強く受けて流されている。図 6-2-18(b)は同じ状態で流速と発電装置の動揺量の片振幅の関係を示したものである。流れが定常であれば発電装置は流速に関係なく動揺量は小さい。

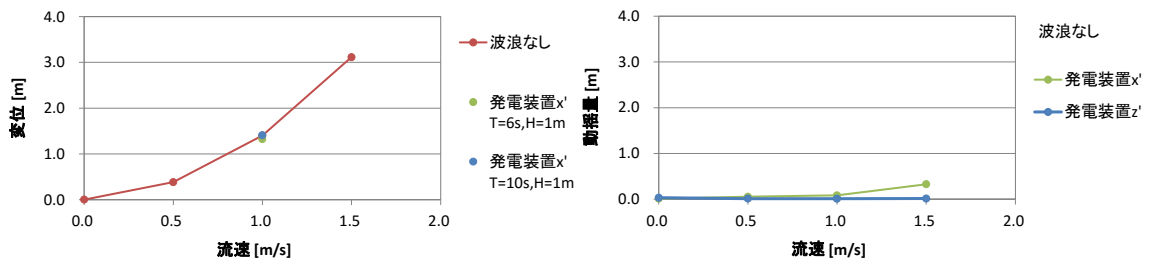


図 6-2-18(a) 流速と発電装置の変位量

(b) 流速と発電装置の動揺量

図 6-2-19(a)と図 6-2-19(b)は、固定点でナセル部分を吊るした時の、波高と発電装置の動揺量の関係を示したものである。水平方向の動揺量は、波高の増加に伴って増加し周期の影響を受けている。この動揺は、吊荷の自由振り子によるものである。鉛直方向については周期に関係なく動揺量はほとんどない。



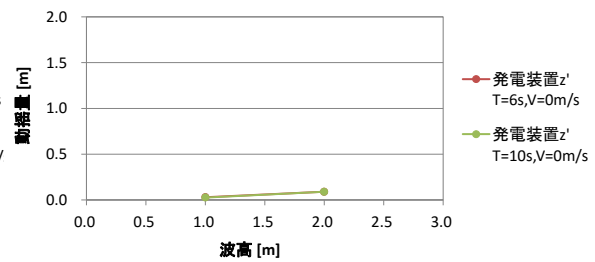
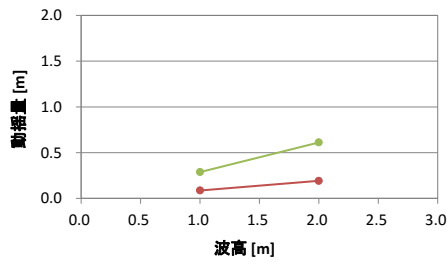


図 6-2-19(a) 発電装置の動揺量 (Surge)

(b) 発電装置の動揺量 (Heave)

### 6.3. 施工数値シミュレーション

#### (1) 水理模型実験を踏まえた動揺解析

##### ① 概要

発電装置の設置には大型起重機船が用いられる計画である。設置作業時には、吊り荷の発電デバイスが海中にある状態において、波浪や流れによって起重機船と吊り荷が共に動揺をする。正確にデバイスを設置するには、両者の動揺特性を把握し、精度よく予測することが必要である。

昨年度、波浪中における起重機船と水中の吊り荷の連成運動の数値計算法を開発した。起重機船及び水中の吊り荷に働く流体力は 3 次元特異点法を用いて求め、両者の連成運動方程式を周波数領域において解く方法を導いた。今年度は、これを不規則波や複雑な形状の発電装置の動揺が再現できる動揺解析手法に拡張した。模型実験により検証を行い、起重機船や発電装置の動揺を十分な精度で推定できることを確認した。この動揺解析手法を適用してモデル計算を行い、発電装置の据付管理基準に対応した、作業限界条件の検討を行った。

##### ② 起重機船と吊り荷に働く流体力の数値計算法

###### A) 解析座標系と計算仮定

数値シミュレーションで用いる座標系は、図 6-3-1 に示す座標系とした。また、起重機船及び吊り荷の運動の自由度については 9 自由度である。



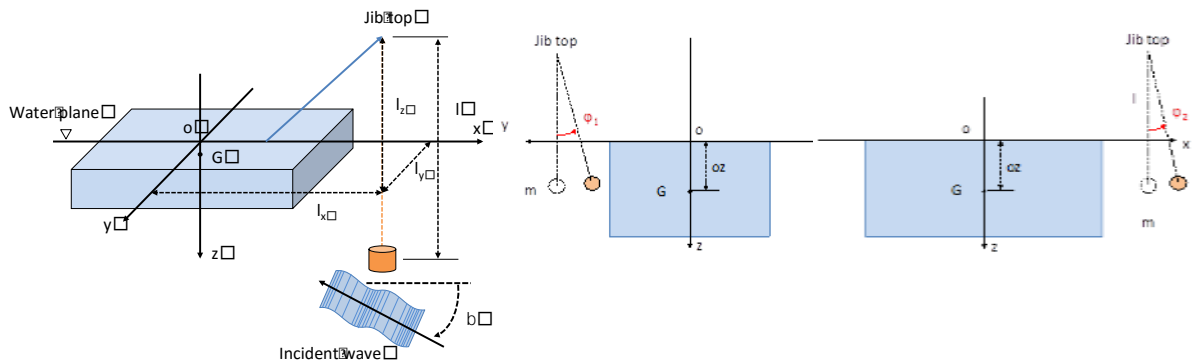


図 6-3-1 数値シミュレーションのモデルと起重機船の座標系

計算における仮定は以下のとおりである。

- (1) x 軸となす角度  $\beta$  より、振幅  $h$ 、円周波数  $\omega$  の規則波が起重機船に入射する。
- (2) 起重機船、吊り荷の運動は微小振幅運動とする。
- (3) 起重機船、水中の吊り荷との流体力学的干渉は無視できるものとする。
- (4) 吊り荷は、起重機船からタガールあるいは索によって回転運動の防止策が取られているとし、x、y、z 軸方向の併進運動のみを行うものとする。

## ②運動方程式

運動方程式は、Newton の質量保存則に基づき、起重機船と吊り荷の運動方程式を次式で表す。

慣性力 = 流体力

起重機船と吊り荷の 9 自由度の運動方程式は次式となる。

$$\sum_{j=1}^9 [(m_{ij} + A_{ij}) \ddot{X}_j + B_{ij} \dot{X}_j + C_{ij} X_j] = E_i \quad \text{for } i = 1 \sim 9$$

ここに、 $i, j$  はそれぞれ起重機船及び吊り荷の各運動モードを示し、 $m_{ij}$  は一般化質量、 $A_{ij}$  は付加質量、 $B_{ij}$  は造波減衰力係数、 $C_{ij}$  は復元力係数、 $E_{ij}$  は入射波強制力を示す。起重機船の動揺に対する減衰については、矩形の形状を考慮して Roll 及び Pitch について非線形減衰係数を考慮する。吊り荷については、流体の粘性影響、渦の発生を考慮して Morison 式の減衰項を加える。本検討では、このような改良を加えて起重機船と吊り荷の連成運動の運動方程式を定式化した。また、起重機船及び吊り荷それぞれの非線形減衰影響は、それぞれを個別に考慮することができる。

一般に、起重機船、吊り荷の応答関数は、ある周波数範囲に集中した形状になり、波スペクトルも平均波周期付近の狭い範囲にエネルギーが分布する。したがって、不規則波中の起重機船、吊り荷の応答スペクトルは、狭帯域のスペクトルとなる。したがって、不規則時系

列のピーク値の確率分布は Rayleigh 分布によって表現できるため、起重機船及び吊り荷の不規則中での応答は、これを統計処理することによって評価することができる。

### ③ 模型実験による数値計算の検証

数値計算の検証を行った実験ケースは、表 6-3-1 の通りである。ケース 1 では入射波周期を変えた動揺特性、ケース 2 では起重機船に作用する波浪入射角を変えた時の動揺特性について検証を行った。ケース 3 では不規則波について周期の変化に対する再現性を確認した。また、ここで開発した動揺解析を用いて作業限界条件を試算し、作業の安全性を評価した。

表 6-3-1 実験と計算の比較ケース

解析ケース	波浪入射角[deg]	周期[sec]	波高[m]	流速[m/s]	種類
ケース1	0	4,6,8,10,12,14	1.0	0.0	規則波
ケース2	0,45,90	6.0	1.0	0.0	規則波
ケース3	0	4, 6, 8	1.0	0.0	不規則波

#### A) 入射波周期 (ケース 1)

図 6-3-2 は周期と起重機船の船体動揺角度 (Pitch) の入射波高に対する比を示している。計算値は起重機船の固有周期 9.1 秒付近で最大動揺角度になっており実験値との再現性も良い。図 6-3-3 は周期と発電装置の水中動揺量 (Surge、Heave) の入射波高に対する比を示している。実験の Heave 方向の水中動揺量は、起重機船の Pitch の影響を受けて、起重機船の固有周期付近で最大となり、計算値でも動揺特性が良く再現されている。

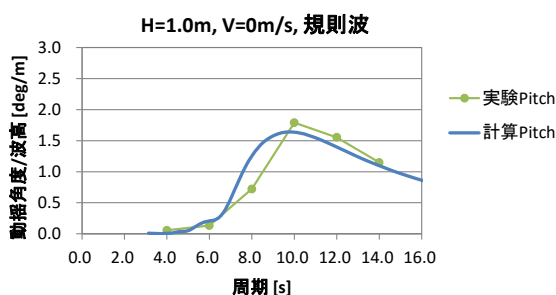


図 6-3-2 周期と起重機船 A の動揺角度

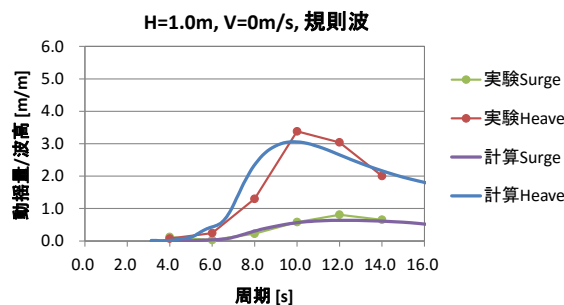


図 6-3-3 周期と発電装置の水中動揺量

#### B) 波の入射角 (ケース 2)

図 6-3-4 は起重機船に作用する波の入射角と船体の動揺角度の入射波高に対する比を示している。実験では波の入射角が 0°(船首正面)から 90°(右舷)に変化すると、Pitch が減少して Roll が増加する傾向が示されている。計算でも同様の傾向が再現されている。図 6-3-5 はその時の発電装置の水中動揺量の関係を示した図である。(発電装置の座標系については図

6-2-5を参照) 実験では Heave が減少して Surge が増加する傾向がある。計算も Heave と Surge で同様の傾向がみられる。

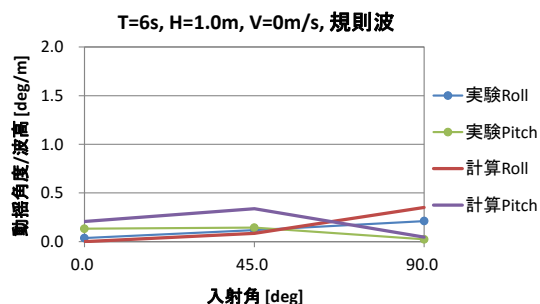


図 6-3-4 波浪入射角と船体動揺角

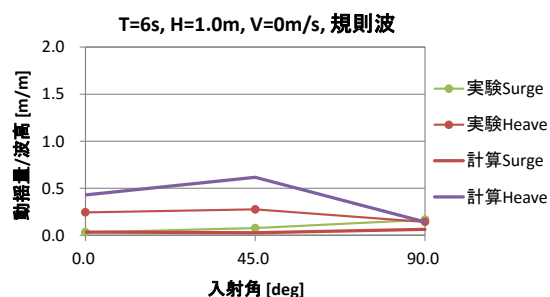


図 6-3-5 波浪入射角と発電装置の水中動揺量

### C) 不規則波 (ケース 3)

図 6-3-6 は不規則波の有義波周期と起重機船の船体動揺角度の入射波高に対する比を示している。図 6-3-7 は有義波周期と発電装置の鉛直方向の水中動揺量の入射波高との比を示した図である。船体動揺角度と発電装置の水中動揺量の計算結果は実験値と良く一致している。図 6-3-8 は有義波周期と発電装置の鉛直方向の動揺速度の入射波高との比を示したものである。動揺速度についても計算結果の再現性は高い。

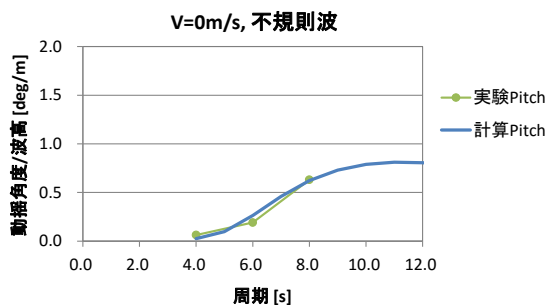


図 6-3-6 周期と起重機船 A の船体動揺角度

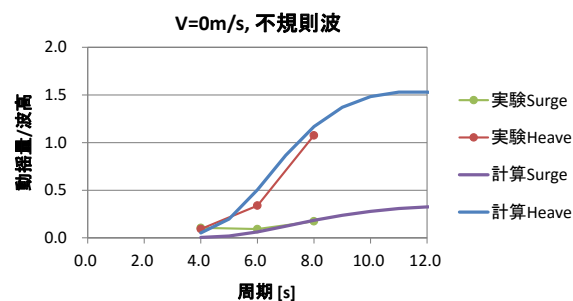


図 6-3-7 周期と発電装置の水中動揺量

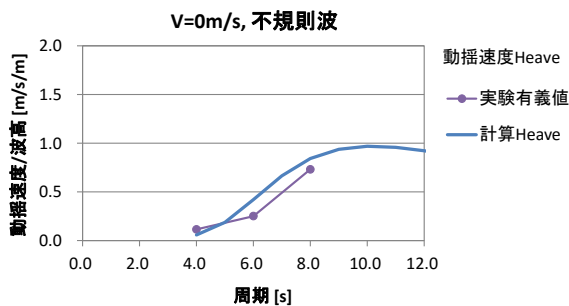


図 6-3-8 周期と発電装置の動揺速度

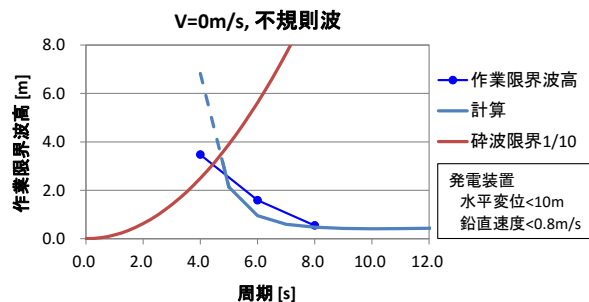


図 6-3-9 周期と作業限界波高

#### ④ 作業限界条件と設置作業の安全性評価

潮流発電装置の設置作業では、波浪により起重機船が動揺して安全性や据付精度が低下するため、作業限界を精度よく推定することが重要である。図 6-3-9 は一括設置の発電装置の鉛直方向の動揺速度の最大値（有義値の 2 倍と設定）と据付作業の管理値から、作業限界波高を逆算したものである。一括設置の作業限界は、岩盤への着底時に衝撃力で発電装置の破損が生じないように設計条件から規定されており、鉛直動揺速度 0.8m/s 以下である。本モデルは不規則波中の起重機船や吊り荷の動揺を数値計算から精度よく推定できることが分かる。

図 6-3-10 は起重機船に作用する波の入射角と作業限界波高の関係を示したレーダーチャートで、周囲の軸が波の入射角、中心から外に向かう軸が作業限界波高である。例えば、周期 6 秒で入射角 0°の波が起重機船に作用する時、波高 1.0m まで据付作業が可能である。このようなレーダーチャートを作成することで、作業限界を容易に確認することができる。また、設置海域の波浪予測データとの組み合わせることで、発電装置の設置作業の安全性や据付精度の確保、効率のよい作業の可否の判断を行うことが可能である。

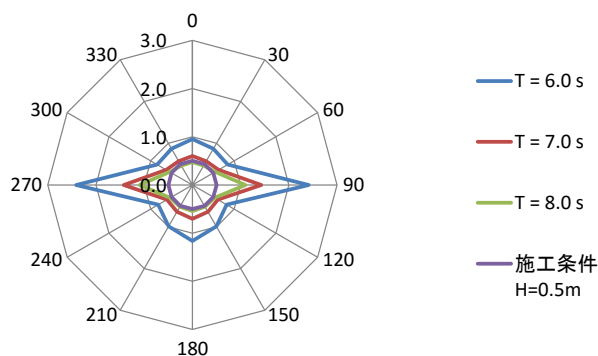


図 6-3-10 波浪入射角と作業限界波高

## (2) 実証海域における波浪予測

### ① 潮流を考慮した波浪予測

#### A) 概要

昨年度、ニューラルネットワークを用いた波浪予測システムを構築し、実測データを有する茨城県鹿島港について検証計算を実施し、システムの有用性を確認した。これにより、本システムは、実用上、十分な精度で波浪を予測できることが確認された。本年度は、昨年度構築した波浪予測システムを五島海域に適用し、発電デバイスの新規設置及びメンテナンス時の海上作業実施の可否判断に供する波浪予測を行えるシステムにブラッシュアップする。

まず、五島及び周辺海域の気象、海象データを収集、整理し、当該海域の気象、海象特性を把握する。次に、これらのデータを波浪予測システムの入力データとして波浪予測計算を実施し、当該海域に対する波浪予測の精度向上を目指す。

#### B) リアルタイム波浪予測システム

昨年度、パラメータ間の因果関係の分析に有効なニューラルネットワークを利用して、観測された最新の波浪と気象データを用いて将来の波浪諸元を予測する、波浪予測システムを開発した。本波浪予測システムは、図 6-3-11 に示すように入力層→中間層→出力層の 3 層フィードフォワード構造となっている。学習パラメータによる学習アルゴリズムは、Levenberg-Marquardt 法を採用した。学習回数は、基本的に 10,000 回（学習繰返）を 1 回として 500 回とし、過学習を防ぐために early stopping 法を用いている。学習方法は、1.training、2.validating、3.testing の 3 段階で行った。用いたデータは、五島海域周辺で現地波浪観測を行った期間内の 2014/10/23 19:00～2015/10/21 9:00 で、このうちランダムに選定された 75%のデータを training のデータとして、25%のデータを validating のデータとして用いた。学習させた後、testing として、2015/6/1 00:00～6/30 23:00 の間で観測された海象・気象データを用いて、最長 72 時間先の有義波高と有義周期、波向きを予測した。

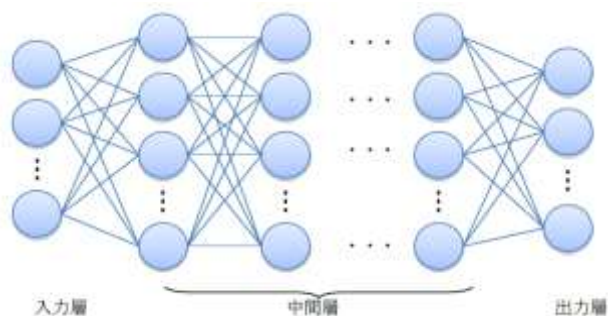


図 6-3-11 ニューラルネットワークの概略図

C) 収集データ

表 6-3-2 及び図 6-3-12 に、今回検討で波浪予測計算の入力データに使用するために収集した観測地点及びデータ種類を示す。

表 6-3-2 波浪予測入力データ作成のための収集データ一覧

種別	データ種類	データ地点	データ個数
現地観測	波高	田ノ浦瀬戸、玄魚鼻、崎山地先	3
	水位差	崎山地先と玄魚鼻	1
	風速	折紙展望台	1
	風向	折紙展望台	1
NOWPHAS	波高	伊王島、玄界灘、名瀬、那覇	4
気象台	海面気圧	福江、長崎、厳原、大分、名瀬、那覇	6
	時間気圧差	〃	6
	風速	〃	6
	風向	〃	6
	地点間気圧差	福江-名瀬、福江-那覇、名瀬-那覇	3
計			37



(1)現地観測地点



(2)NOWPHAS データ収集地点



(3)アメダスデータ収集地点(11 地点)

(すべて地理院地図を使用)

図 6-3-12 波浪予測入力データ作成のための収集データ位置図



#### D) 波浪予測対象地点

波浪の予測対象地点は、発電デバイス設置候補地点である奈留瀬戸とし、波高、周期について、最長 72 時間後（3 日後）を予測した。

#### E) 教師データの選定

当該海域における精度の良い波浪予測システムを構築するために、収集したデータからいくつかを選定し、入力データの組み合わせを変えた学習計算を行った。

この結果、表 6-3-2 に示すデータの組合せを選定した。

### ② 五島海域への適用（3 日予測）

#### A) 概要

一例として、72 時間後（3 日後）の奈留瀬戸の波高、周期を対象とした予測計算を示す。学習計算の結果を用いて波浪の予測をするデータは、現地観測データの 2015/6/1～2015/6/30 の 1 か月間とした。これは、比較的波浪が静穏であり、運用時に波浪予測システムでターゲットとする波浪状況であるためである。

#### B) 波高

72 時間後（3 日後）の奈留瀬戸の波高を対象とした予測計算結果を、図 6-3-13 に示す。図の(1)は、予測された波高と 72 時間後に観測された波高、両者の相関係数は 0.818 である。(2)は、予測された波高と横 72 時間後に観測された波高の時系列データである。

また、(3)は波高の閾値が 1.0m の場合の的中率を計算したものである。これは、作業限界波高  $H_s$ 、予測波高  $H_p$ 、観測波高  $H_o$  としたときに、①と②を予測的中として、データ総数で除したものである。

A)  $H_p \leq H_s$  かつ  $H_o < \leq H_s$  : 作業可能と予測、実際に作業が可能であったケース

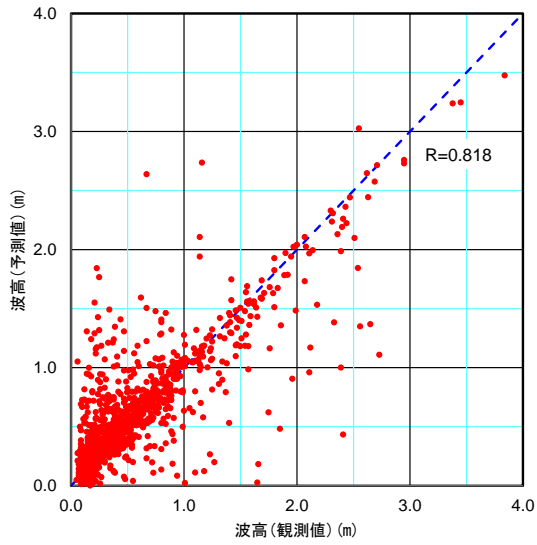
B)  $H_p > H_s$  かつ  $H_o > H_s$  : 作業不可と予測、実際に作業が不可であったケース

C)  $H_p \leq H_s$  かつ  $H_o > H_s$  : 作業可能と予測、実際には作業が不可であったケース

D)  $H_p > H_s$  かつ  $H_o \leq H_s$  : 作業不可と予測、実際には作業が可能であったケース

これより、下記のことになった。

- ・ 中間層のユニット数が 342 のとき、相関係数  $R=0.818$  という高い予測精度が得られた。
- ・ 時系列データより、波高の経時的な増減の傾向も良い予測が出来ている。
- ・ 波高の的中率は 91.4%であった。
- ・ 波高データが少ないため、予測精度に若干問題が残るが、今後観測データを蓄積し、本システムに反映させることにより、さらに予測精度の向上を図ることが可能である。

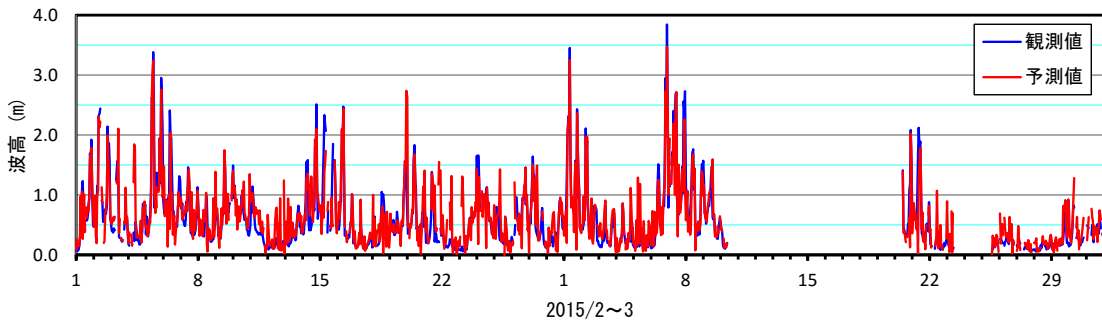


		予測(m)		データ数
		0.0 ~1.0	1.0 ~4.0	
観測(m)	0.0 ~1.0	814	63	877
	1.0 ~4.0	26	130	156
データ数		840	193	1033

的中率 = (814 + 130) / 1033 = 91.4%

(1)観測値と予測値の相関性比較図

(3)波高の的中率(閾値 1.0m)



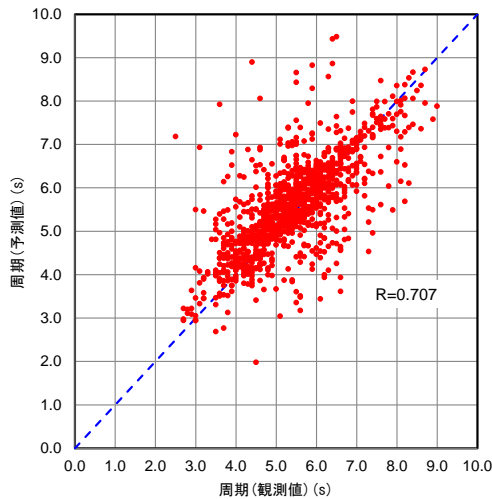
(2)観測値と予測値の経時変化比較図

図 6-3-13 波高の予測計算結果

### C) 周期

一例として、72時間後（3日後）の奈留瀬戸の周期を対象とした予測計算結果を、図6-3-14に示す。図の(1)及び(2)は、波高と同じ比較データである。これより、以下のことが分かった。

- ・ 中間層のユニット数が342のとき、相関係数R=0.707という高い予測精度が得られた。
- ・ 周期についても波高と同様、経時的な増減の傾向を良い精度で予測できている。
- ・ 予測対象とした期間で、2～3日程度ごとに2～3秒程度の平均的な周期の変動がみられるがその変動の傾向も予測出来ている。
- ・ 的中率についても、91.8%となっている。
- ・ 波高と同様、観測データを蓄積し、本システムに反映させることにより、さらなる予測精度の向上を図ることが可能である。

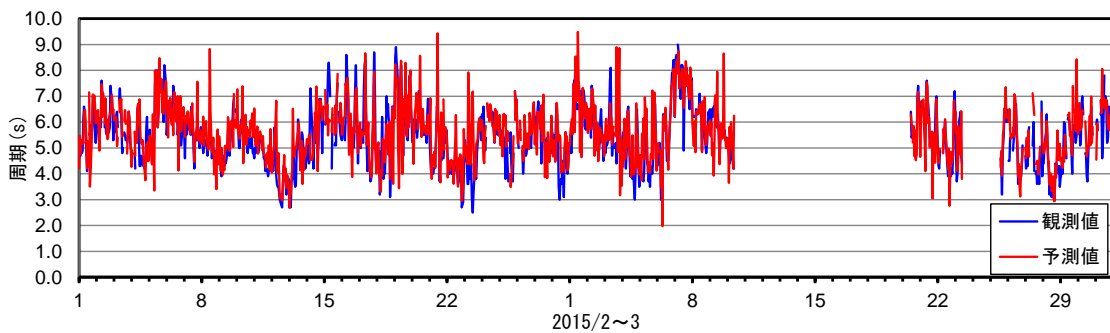


観測(s) \ 予測(s)		予測(s)		データ数
		0.0 ~ 4.0	4.0 ~ 10.0	
0.0 ~ 4.0	0.0 ~ 4.0	41	57	98
	4.0 ~ 10.0	31	948	979
データ数		72	1005	1077

$$\text{的中率} = (41 + 948) / 1077 = 91.8\%$$

(1)観測値と予測値の相関性比較図

(3)周期の的中率(閾値 4.0s)



(2)観測値と予測値の経時変化比較図

図 6-3-14 周期の予測計算結果

### (3) Web 表示プログラム

#### ① システム概要

波浪予測の結果を Web 表示し、PC や携帯端末から確認できるシステムを構築した。システム全体の概念図を、図 6-3-15 に示す。波浪予測計算の入力データとして用いる、公開されている波浪データ (NOWPHAS) や気象データ (アメダス) などを、インターネットを通じて自動で取得が可能となっている。これらのデータを入力して波浪予測計算を行い、結果を出力する。

また、本 Web 表示プログラムは、サーバー上にて行った波浪予測解析結果を、インターネットを介して、PC や携帯電話、スマートフォン等で解析結果を表示する。さらに、動揺シミュレーションを組み合わせることで、設置工事における起重機船や発電装置の動揺量予測に拡張が可能である。

波浪観測・波浪予測システムイメージ

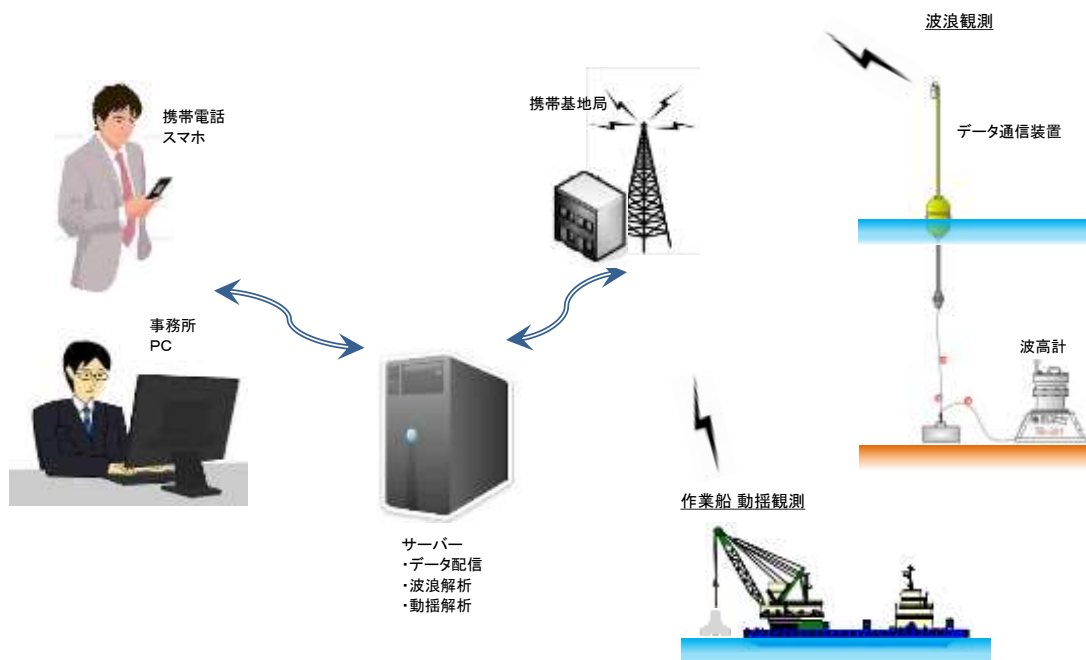


図 6-3-15 波浪観測・波浪予測システムの概念図

#### ② システムの運用イメージ

この Web 表示システムの表示イメージを図 6-3-16 に示す。波浪予測システムによる波浪予測は、短時間で計算することができる。入力データはほぼリアルタイムで公開されているため、予測結果はほぼリアルタイムに確認することができる。

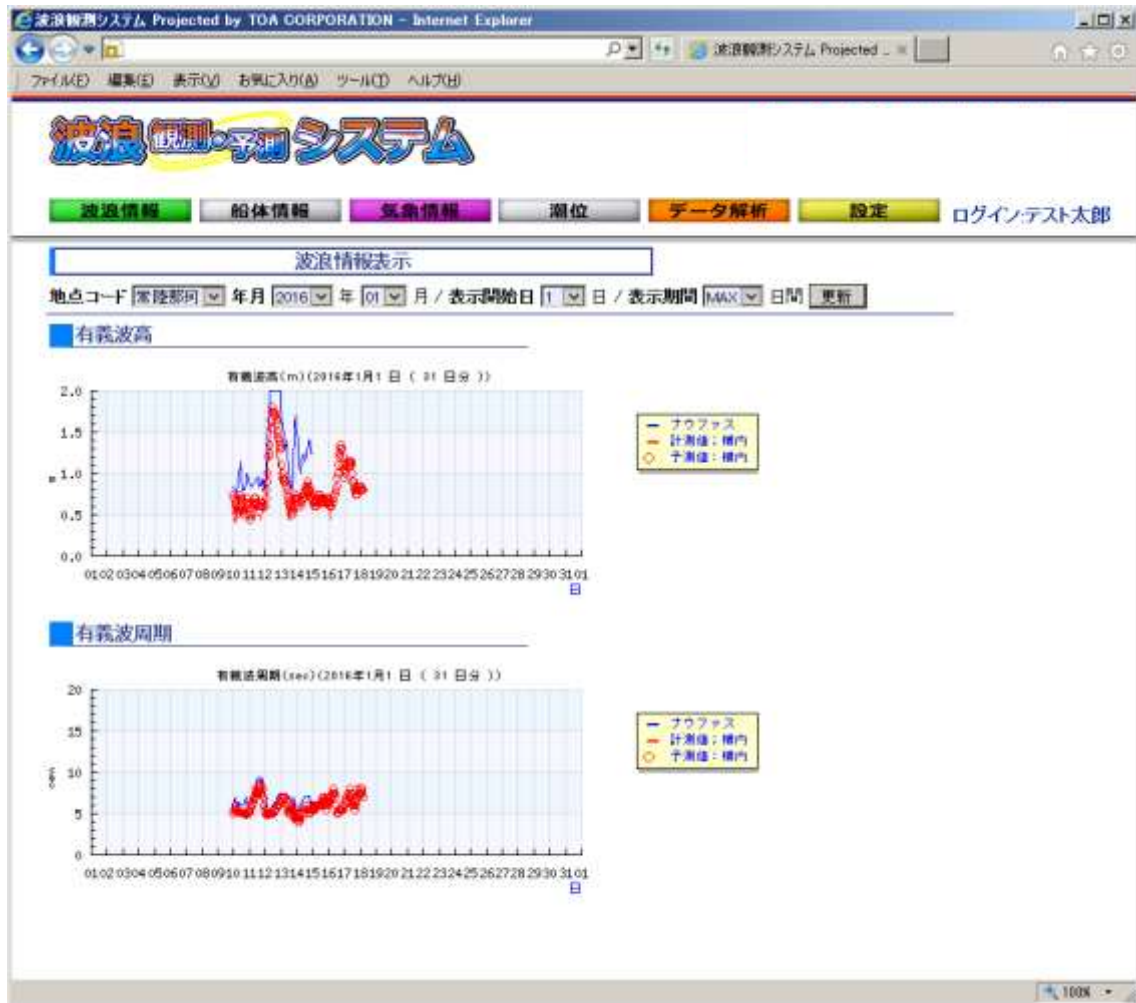


図 6-3-16 WEB 表示プログラムの表示例

## 7. 経済性評価

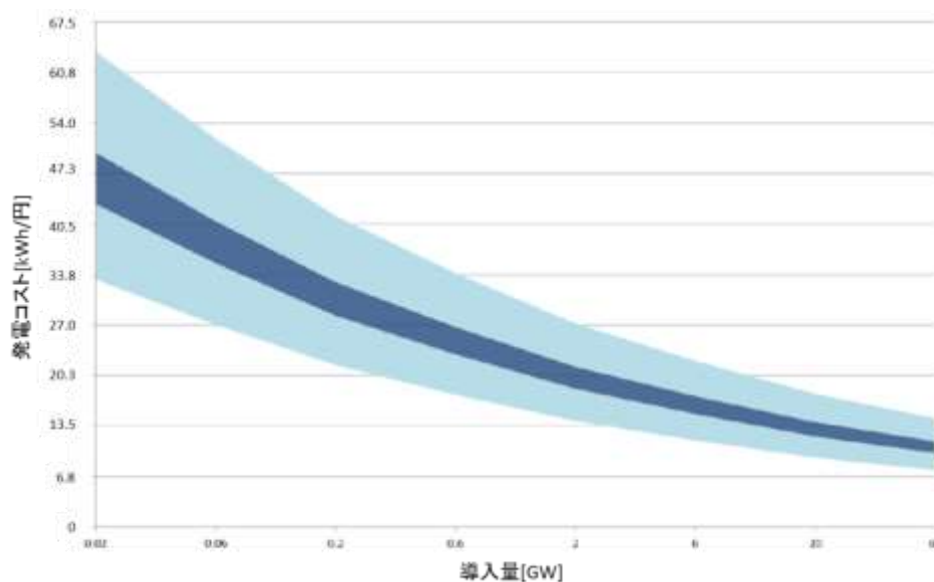
本事業では、実証研究規模（1MW）及び将来の商用化時を想定した小規模（10MW 程度）発電ファームの想定コストの試算を行い、コスト試算にあたっては、コスト低減技術の調査、本実証機へ適用することの実現可能性評価、実現に向けた課題の整理等の検討を行うこととしている。また、上記調査結果及び海外の潮流発電事業における技術開発動向を調査し、改善方策を検討した上で、様々な課題が克服された場合に期待される将来発電コストを試算することとしている。

本章では、上記に基づき試算した現状コストを明らかにすると共に、コスト低減手法を踏まえた将来コストの試算結果を示す。

### <経済性評価のアプローチ>

- ・ 現状コストの試算
- ・ コスト低減手法を踏まえた将来コストの試算
- ・ 市場拡大に伴う学習率の適用による将来コストの試算

特に、本章では、テクノロジーブッシュを基本とし、CAPEX や OPEX、AEP 等の積上げによる発電コストの試算を行っている点を踏まえ、発電コスト 20 円/kWh の実現に向けた課題整理においては、図 7-1 における海外の先行事例が示す、マーケットプルの手法も参考に、更なるコスト低減について考察を行う。



(1EUR=135JPY 換算)

図 7-1 潮流発電の世界的導入量の推移に対する発電コストの試算結果<sup>13</sup>

<sup>13</sup> SI OCEAN, Cost of Energy and Cost Reduction Opportunities (2013)

## 7.1. 経済性評価手法

### 7.1.1. 商用機の仕様検討

#### (1) 概要

経済性評価を行うにあたり、商用機の装置形状やパワーカーブの検討を行った。

検討は、実証機の仕様をベースとして、ブレード長や発電出力を変えた場合について行った。ここでは、検討内容とその結果について述べる。

#### (2) 検討条件

##### 【環境条件】

想定する環境条件は、実証機と同じ条件とした。

##### 【設計仕様】

商用機の設計仕様を表 7-1-1 に示す。

ロータ直径は 33m（ブレード長：15m）とし、出力 1MW、2MW の 2 パターンについて検討した。

表 7-1-1 商用機の設計仕様

項目	仕様	
	商用機(1MW)	商用機(2MW)
形式	海底据置式	
定格出力	1 [MW]	2 [MW]
ロータ直径	33 [m]	33 [m]
水中翼枚数	3 [枚]	
出力制御	翼旋回制御（ピッチ制御）機構採用	
流向制御	ヨー制御機構採用	
設置方式	重力式（固定錘式）	

##### 【施工方法】

商用機の施工方法は、ナセル部と基礎部が分離した状態で港から搬出され、作業船から吊下げ所定の場所に設置する分割設置方式を採用している。装置の設置条件は表 5-1-3 と同じとする。



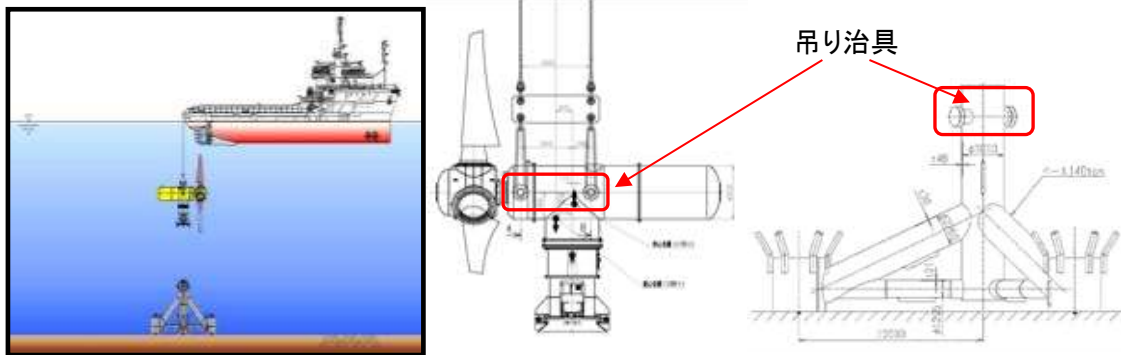


図 7-1-1 商用機の施工方法（分割設置）

#### 【安全係数】

発電装置の法規・規格は当分野で先行している GL 規格を参考に設計を行った。安全係数は、荷重、及び材料強度許容値にそれぞれ適用する。

荷重の安全係数 : 1.2 (GL OCT 4.3.7.2.1、運転時)

材料の安全係数 : 1.1 (GL OWT 5.3.3.1、静強度)

滑動に関する安全係数 : 1.3 (DNV-OS-C101)

転倒に関する安全係数 : 1.4 (DNV-OS-C101)

#### 【内蔵機器の寸法】

商用機ナセルの内部機器の寸法は、各機器メーカーのカタログベース寸法にて実施しているが、判明しない機器については相似設計にて推定している。

#### 【商用機の装置形状】

- ・ナセルは、コンバータや主変圧器を陸上設置するシステムにて概略検討を行った。検討条件に示した仮定に基づいて、翼長や出力が変わった場合の各機器の寸法を求め、ナセル長さが最も短くなるよう、内蔵機器のレイアウト、及びナセル外径寸法を検討した。各機器間のクリアランスは、メンテナンス時の作業性を考慮し、実証機と同等のスペースを確保した。
- ・実証機からのブレード長大化、出力増に伴い増加するスラスト力に対し、装置の滑動・転倒、発生応力に耐えるよう基礎部の概略設計を行っている。商用機基礎部の形状検討の際は、検討条件に示した GL 規格の安全係数を考慮している。

#### 【パワーカーブ】

商用機の年間発電量や設備利用率の推定を行うため、タービンのパワーカーブ（潮流速-出力特性）を検討する。パワーカーブは、カットイン流速以上の流速域において、以下の

式により求めた。

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \cdot \frac{1}{1000} \cdot C_p \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 - P_s$$

P : 出力[kW]	$\eta_1$ : 増速機効率[%]
v : 密度[kg/m <sup>3</sup> ]	$\eta_2$ : 発電機効率[%]
D : ロータ直径[m]	P <sub>s</sub> : 使用電力[kW]

### (3) 検討結果

#### 【商用機の装置形状】

商用機の概略形状を図 7-1-2 に示す。実証機と比較して、潮流により受けるスラストが大きいため、運転時のスラスト荷重に耐える基礎部の形状とし、滑動・転倒に耐えるよう、シンカー重量を設定した。

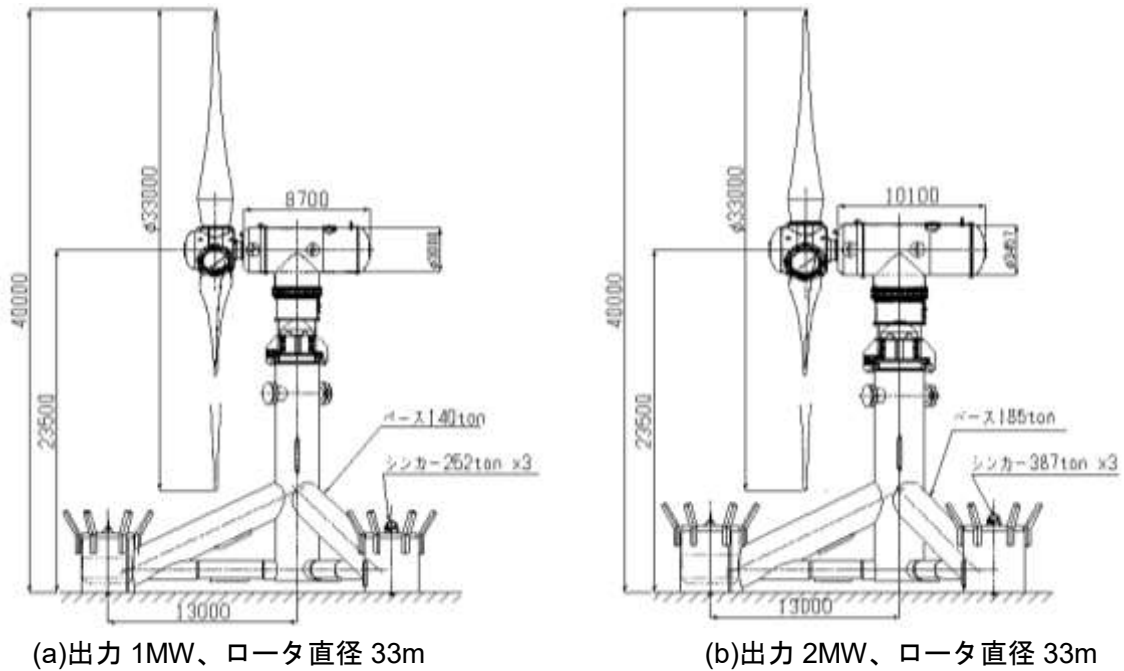
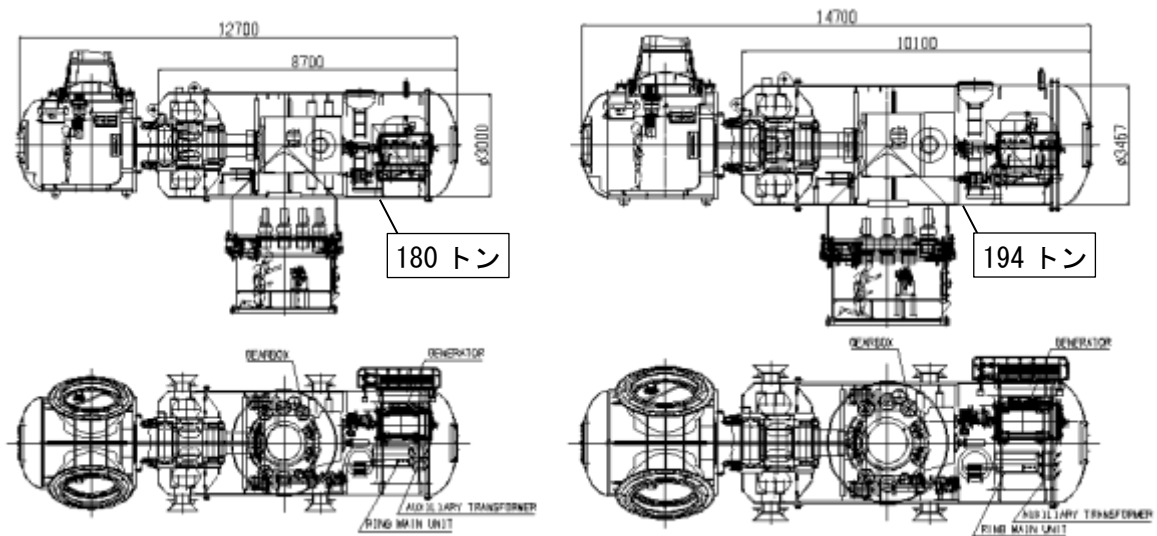


図 7-1-2 商用機の概略形状

#### 【ナセル内部機器配置検討】

商用機ナセルの内部機器配置検討結果を図 7-1-3 に示す。

結果、ナセル重量は 200ton 以下であり、組立想定工場のクレーン容量(200ton)を満たす事が分かった。



(a) 出力 1MW ロータ直径 33m

(b) 出力 2MW ロータ直径 33m

図 7-1-3 商用機ナセルの内部機器配置検討結果

#### 【基礎部の形状】

基礎部の形状を図 7-1-4 に、吊りピース及び内部補強構造の検討結果を図 7-1-5 に示す。シンカー受けの形状や基礎部底面のスパイク形状は、昨年度検討した形状を踏襲した。基礎部単体の重量は、組立想定工場のクレーン容量(200ton)を満たす事が分かった。

また、2本の吊りピースで基礎部を単体吊りする場合の吊りピース強度検討の結果、許容応力以内である事が分かった。

着底時の衝撃力についても、3脚同時着底や1脚着底の場合ともに、許容応力以内である事が分かった。

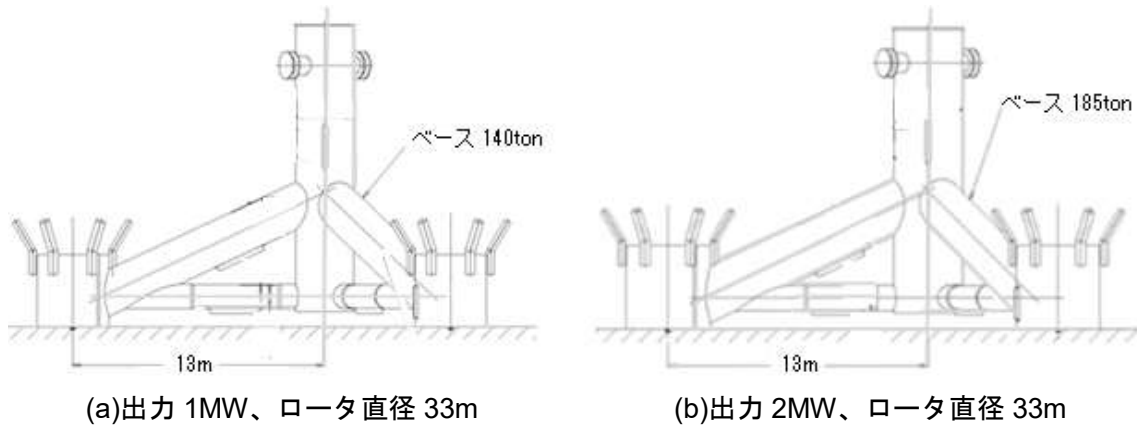


図 7-1-4 商用機の基礎部形状検討結果

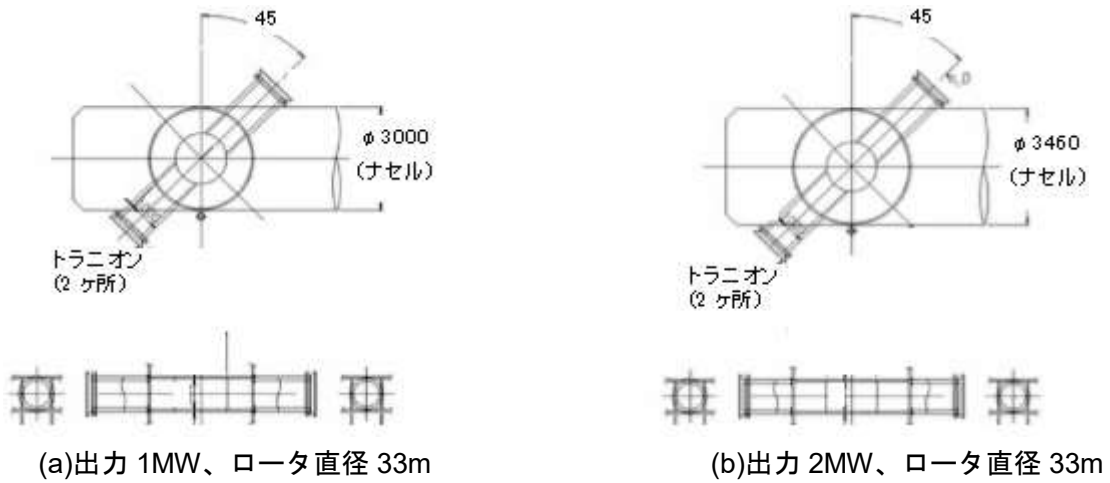


図 7-1-5 吊りピース及び内部補強構造の検討結果

### 【パワーカーブ】

デバイスごとのパワーカーブを図 7-1-6 に示す。出力 1MW、ロータ直径 33m は、潮流の運動エネルギーを受け止める面積増大により、比較的低い流速域でも多くの発電出力が可能となっている。さらに、出力 2MW、ロータ直径 33m では、最大発電量が 2MW となるよう延長されたパワーカーブとなっている。

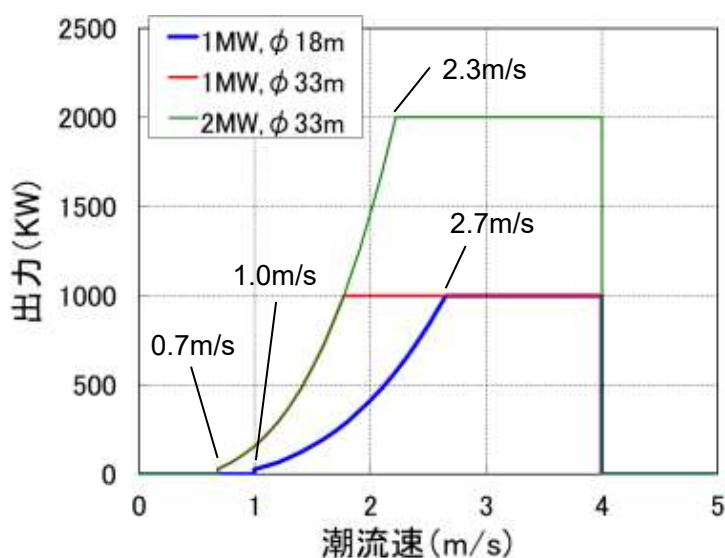


図 7-1-6 パワーカーブ

#### (4) まとめ

将来の商用機における経済性評価を行うための検討条件として、商用機の概略形状検討、及びパワーカーブの推定を行った。装置形状及びパワーカーブは、図 7-1-6 に示す通りである。

### 7.1.2. 発電コストの検討

#### (1) 潮流発電所の定義

潮流発電については、先述の実証研究に係る調査に示す通りであり、潮流発電所とは、他の再生可能エネルギー同様、商用発電事業所として、事業採算性が得られるように、効率的に潮流発電タービンやその他付帯設備を配置し、概ね 20 年間の事業期間を経て撤去を迎えるものを想定している。環境影響評価や系統連系協議等の所定の手続を行うことを前提とするものの、経済合理性を追求すると共に、地域性を考慮し、最適な発電規模を有する潮流発電ファームとして、複数の潮流タービンを設置することを想定している（図 7-1-7）。



図 7-1-7 潮流発電ファームのイメージ

潮流発電所の主要な構成要素は以下の4つであり、各構成要素は、資本金(CAPEX)設備費の内訳に集約される。

- ① 潮流タービン（電力変換装置）
- ② 基礎（支持構造物）
- ③ 洋上電気設備（海底ケーブル・水中コネクタ等）
- ④ 陸上電気設備（送变电設備等）

潮流発電所のライフサイクルについては、主に3つのフェーズに分けられ、事業化の判断を行う「調査・検討フェーズ」、投資意思決定後の「施工フェーズ」、売電により投資回収を行う「運転フェーズ」を経て、事業終了後、撤去を行う。

## (2) 発電コストの試算方法

上述のライフサイクル期間中に要する費用を発電量で除した値を発電コスト(COE)とし、以下に試算方法を示す。

なお、本計算方法は、経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループ<sup>14</sup>において検討された、OECD や EIA (米国エネルギー統計局) 等、世界で広く使われているモデルプラント方式による計算方法<sup>15</sup>に基づいている。

$$COE = \frac{\sum_t((Investment_t + O\&M_t + Decommissioning_t) * (1+r)^{-t})}{\sum_t(Electricity_t * (1+r)^{-t})} \quad (1)$$

*Investment*; 資本金(CAPEX), *O&M*; 運転維持費(OPEX), *Decommissioning*; 撤去費

$(1+r)^{-t}$ ;  $t$ 年後の割引率

*Electricity*; 発電量

<sup>14</sup>経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループ「発電コストに関する報告(2015)」

<sup>15</sup> International Energy Agency, Projected Cost of Generating Electricity(2010)

t; 事業年数, r; 金利

本事業において、潮流発電の発電コストは以下の内訳に基づき、試算を行った（表 7-1-2）。

表 7-1-2 資本金(CAPEX)の内訳

大項目	中項目	小項目
資本金(CAPEX)	① 調査費	I 流速や海底地盤
		II 環境
		III 系統連系
		IV.法規
	② 設計費	I 潮流タービン
		II 基礎
		III 施工
		IV 洋上電気設備
		V 陸上電気設備
	③ 設備費	I 潮流タービン
		II 基礎
		III 洋上電気設備
		IV 陸上電気設備
	④ 施工費	I 潮流タービン
		II 基礎
		III 洋上電気設備
IV 陸上電気設備		
V 保険料		

表 7-1-3 運転保守費(OPEX)の内訳

運転維持費(OPEX)	① 土地等賃借料	I 海域利用
		II 陸上利用
	② 修繕費	I 修繕・保守
		II 大規模修繕
	③ 諸費	I 安全管理
	④ 一般管理費	I 行政申請
		II 事務所経費
	⑤ 人件費	I 人件費
⑥ 法人・固定資産税	I 法人税	
	II 固定資産税	
⑦ 保険料	I 保険料	
⑧ その他	I その他	

表 7-1-4 撤去費の内訳

大項目	中項目	小項目
撤去費	① 撤去費	I 潮流タービン
		II 基礎
		III 洋上電気設備
		IV 陸上電気設備

なお、潮流発電事業の事業期間は 20 年、金利は、前述の発電コスト検証ワーキング同様、3%を適用した。

## 7.2. 経済性評価結果

### (1) 現状コスト

実証研究において適用する 1MW 直径 18m の潮流タービンを実証候補海域の長崎県五島市沖において、10 基設置した場合の 10MW 潮流発電ファームの発電コストを現状コストとして試算した結果を以下に示す。

#### <CAPEX の試算>

CAPEX について、図 7-1-8 の費用内訳に対し、施工フローに基づき、それぞれ既存のインフラや船舶・重機等を利用した場合を想定し、積み上げ方式でコスト算定をおこなった。



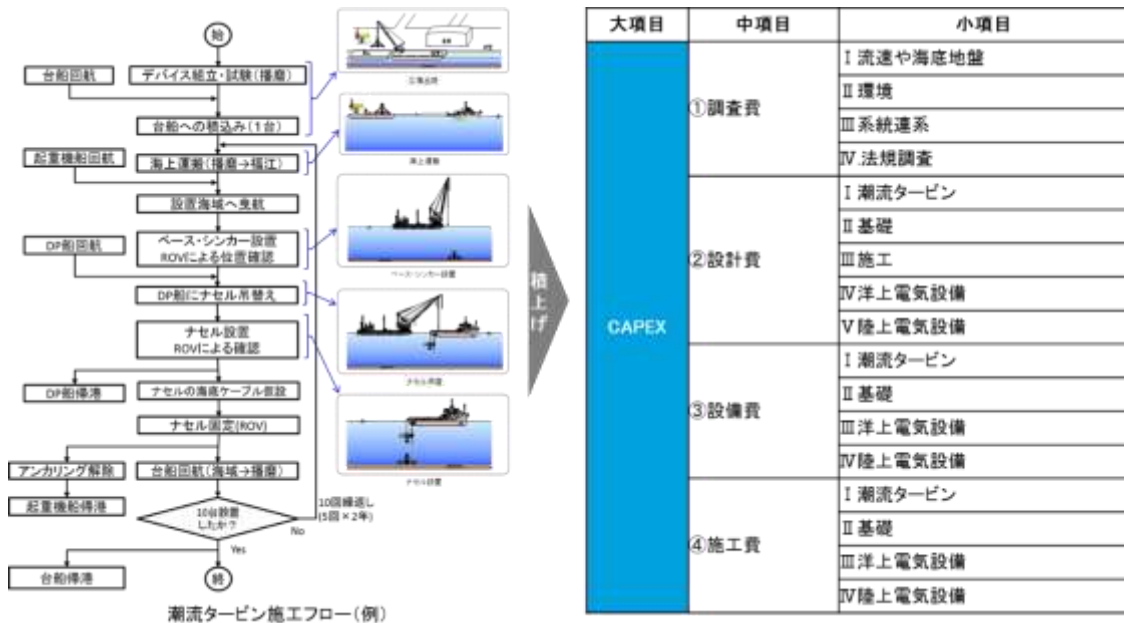


図 7-1-8 CAPEX の試算方法

<OPEX の試算>

OPEX について、図 7-1-9 の費用内訳に対し、修繕・保守フローに基づき、施工フローの際に活用した、既存のインフラや船舶・重機等を利用した場合を想定し、積み上げ方式でコスト算定をおこなった。

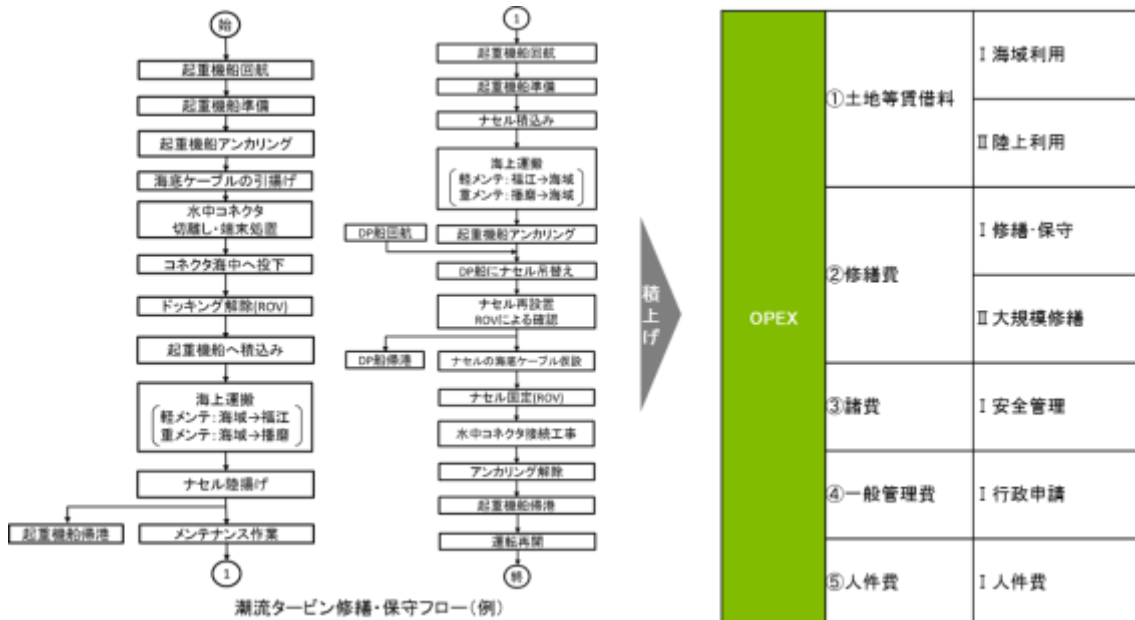


図 7-1-9 OPEX の試算方法

<AEP の試算>

年間発電量(AEP)について、潮流モデルとして FVCOM (Chen et.al.2006)、平格子として三角形非構造格子（最小 100m 最大 10km）の条件に基づき、長崎県五島市沖の定常計算を 35 日間行い潮流速の変化を明らかにし、潮流タービンのパワー特性を流速変化に適用することによって、平均設備利用率を算定した（図 7-1-10）。

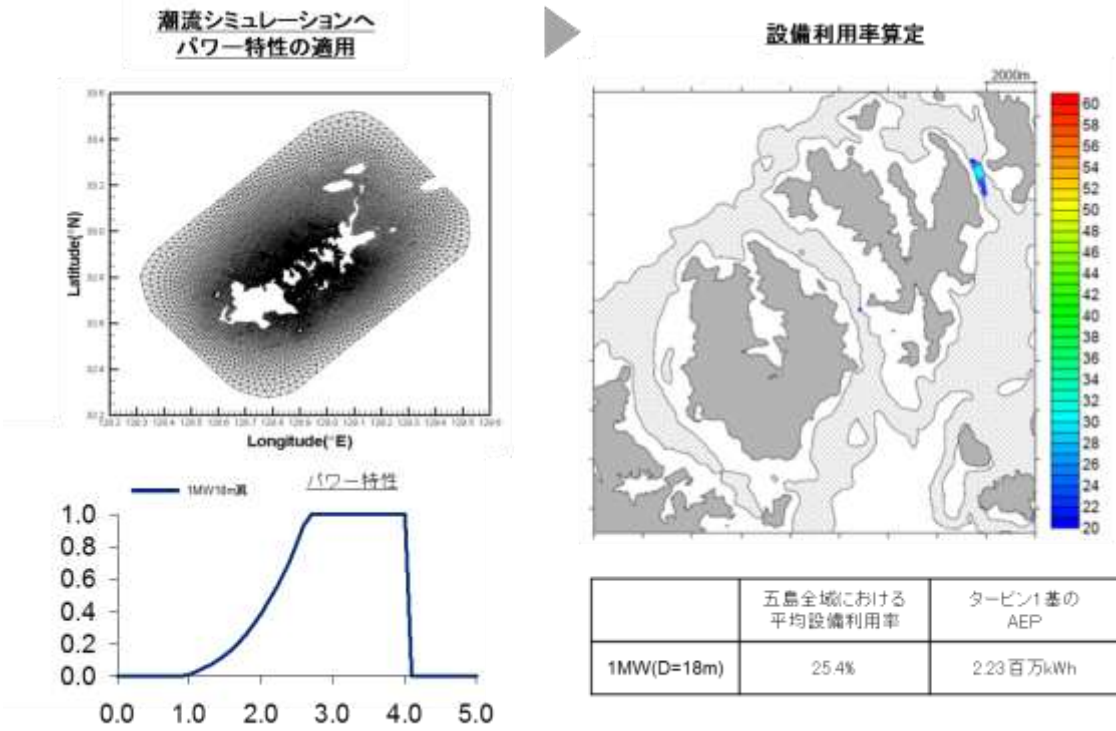


図 7-1-10 AEP の試算方法

<現状コスト>

上記を基に 10MW 潮流発電ファームの現状コストを試算した結果、表 7-1-5 の通り、117.3 円/kWh であった。また、内訳については、表 7-1-6 及び表 7-1-7 にそれぞれ示す。

表 7-1-5 10MW 潮流発電ファームの現状コスト

調査・設計費	2.9 円/kWh
設備費	29.7 円/kWh
施工費	26.8 円/kWh
運転維持費	51.2 円/kWh
固定資産税	5.1 円/kWh
撤去費	1.6 円/kWh
現状コスト（発電コスト）	117.3 円/kWh
設備利用率	25.4%

表 7-1-6 CAPEX の内訳 (現状コスト)

タービン定格		1MW (D=18m)	
タービン性能		<ul style="list-style-type: none"> <li>カットイン: 1.0m/s、カットアウト: 4.0m/s</li> <li>定格: 2.7m/s、重量: 163 t</li> </ul>	
配置		20D×30D/10 基	
適用水深		50-70m	
資本金 (CAPEX)	①調査費	I 流速や海底地盤	1.8
		II 環境	2.0
		III 系統連系	0.3
		IV 法規調査	-
		小計	4.1 万円/kW
	②設計費	I 潮流タービン	1.4
		II 基礎	上記に含む
		III 施工	1.1
		IV 洋上電気設備	3.1
		V 陸上電気設備	0.1
		小計	5.7 万円/kW
	③設備費	I 潮流タービン	47.4
		II 基礎	24.9
		III 洋上電気設備	18.2
		IV 陸上電気設備	7.8
		小計	98.2 万円/kW
	④施工費	I 潮流タービン	21.8
		II 基礎	上記に含む
		III 洋上電気設備	57.6
		IV 陸上電気設備	9.3
小計		88.7 万円/kW	
(調査・設計含む)		196.7 万円/kW	
撤去費		9.8 万円/kW	

表 7-1-7 OPEXの内訳（現状コスト）

運 転 維 持 費 （ O P E X	①土地等賃借料	I 海域利用	0.03	
		II 陸上利用	0.001	
		小計	0.03 万円/kW/年	
	②修繕費	I 修繕・保守	8.3	
		II 大規模修繕	1.6	
		小計	9.9 万円/kW/年	
	③諸費	I 安全管理	0.4 万円/kW/年	
	④一般管理費	I 行政申請	0.004 万円/kW/年	
	⑤人件費	I 人件費	1.0 万円/kW/年	
				11.4 万円/kW/年

(2) 将来コスト

① コスト低減アプローチ

上記の通り、10MW 潮流ウィンドファームの現状コストは、117.3 円/kWh と他の電源と比較し、極めて高い発電コストである。そのため、将来技術の適用によるコスト低減アプローチの検討を行った（図 7-1-11）。

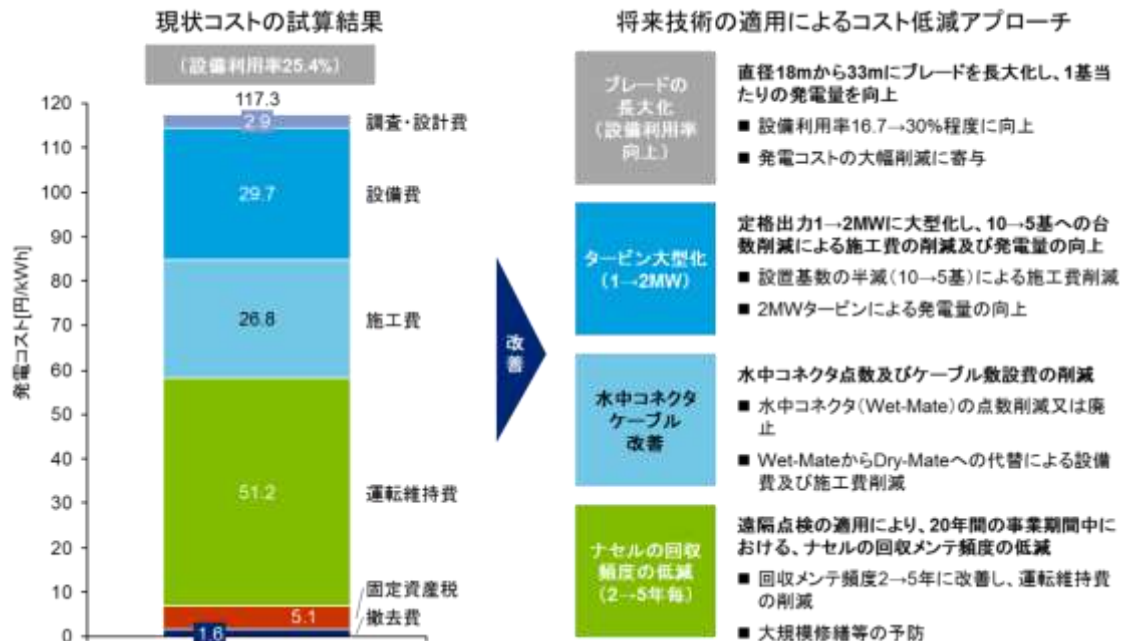


図 7-1-11 コスト低減アプローチ

具体的には、表 7-1-8 の通り、本環境省事業と連携し実施している NEDO 事業の検討結果を踏まえ、コスト低減の検討を推進した。

表 7-1-8 将来技術の適用による発電コストの更なる低減

技術開発項目	検討項目	担当事業
ブレード長大化	直径 18m から最大 33m までブレードを長大化し、1 基当たりの発電量の向上（17%から 30%程度）	NEDO 事業
定格出力大型化	定格出力を 1MW から 2MW に大型化し、設置台数の半減による施工費及び発電量の向上	NEDO 事業 環境省事業
水中コネクタケーブル改善	水中コネクタ点数及びケーブル布設費の削減（Wet から Dry への代替による設備費及び施工費削減）	環境省事業
潮流発電タービン回収頻度の低減	遠隔点検の適用により、タービン回収頻度を 2 年から 5 年に改善し、大規模修繕や運転維持費の削減	環境省事業

そして、3 種類のタービンを想定し、A) 現状 10MW から E) 将来 10MW の 5 パターンの 10MW 潮流発電ファームを検討し、コスト検証を行った（図 7-1-12）。

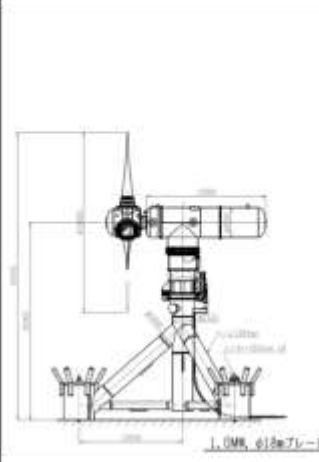
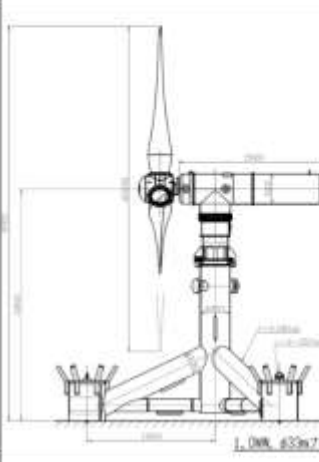
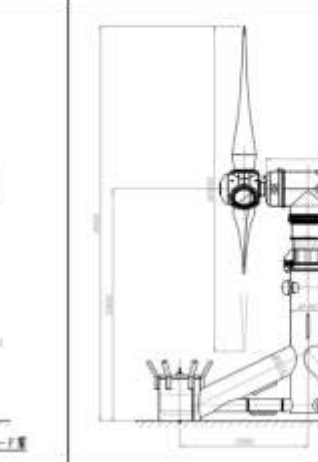
1MW (D=18m)	1MW (D=33m)	2MW (D=33m)
A) 現状10MW(実証研究にも適用) B) 将来10MW(ケーブル工事改善)	C) 将来10MW(翼長改善)	D) 将来10MW(出力改善、ナセル軽量化) E) 将来10MW(遠隔点検)
A) 及びB) 1MW × 10基	C) 1MW × 10基	D) 及びE) 2MW × 5基
		

図 7-1-12 将来技術を適用した潮流発電事業のコスト低減検証

A) 現状 10MW（実証研究に適用）

長崎県五島市沖を対象に実施中の実証研究 FS で設置検討を行っている潮流発電タービンであり、現行の技術やインフラを適用した 1MW×10 基の潮流発電事業。2015 年現在の国内における潮流発電事業の発電コストを試算。

B) 将来 10MW (ケーブル工事改善)

A) に対し、海底ケーブルを 5 本纏めて回航、輸送し、小潮時に 3 回に分けて布設することを想定した、1MW×10 基の潮流発電事業。ケーブル布設に要する期間を半分にすると共に、Wet コネクタを使用しない潮流発電事業の発電コストを試算。

C) 将来 10MW (翼長改善)

B) に対し、潮流発電タービンのブレード直径を 18m から 33m に拡張し、設備利用率を向上した 1MW×10 基の潮流発電事業。発電量が向上した潮流発電事業の発電コストを試算。

D) 将来 10MW (出力改善、ナセル軽量化)

C) に対し、潮流発電タービンの定格出力を 1MW から 2MW に拡大した設置台数を半減した 2MW×5 基の潮流発電事業。設置台数を半減し、定格発電量を向上した潮流発電事業の発電コストを試算。

E) 将来 10MW (遠隔点検)

D) に対し、遠隔点検を適用し、ナセル回収頻度を 2 年から 5 年に 1 回に改善した 2MW×5 基の潮流発電事業。全ての将来技術を適用した、潮流発電事業の発電コストを試算。

上記のタービンの妥当性評価として、500kW-3,000kW のタービンを想定し、発電量、CAPEX、発電コスト、等発電コスト線図をそれぞれ試算し、定格出力 1,000kW-3,000kW、翼径は概ね 33m が最適である検証を行った (図 7-1-13)。

\* 出力1MW, 翼径: 18mを基準として評価

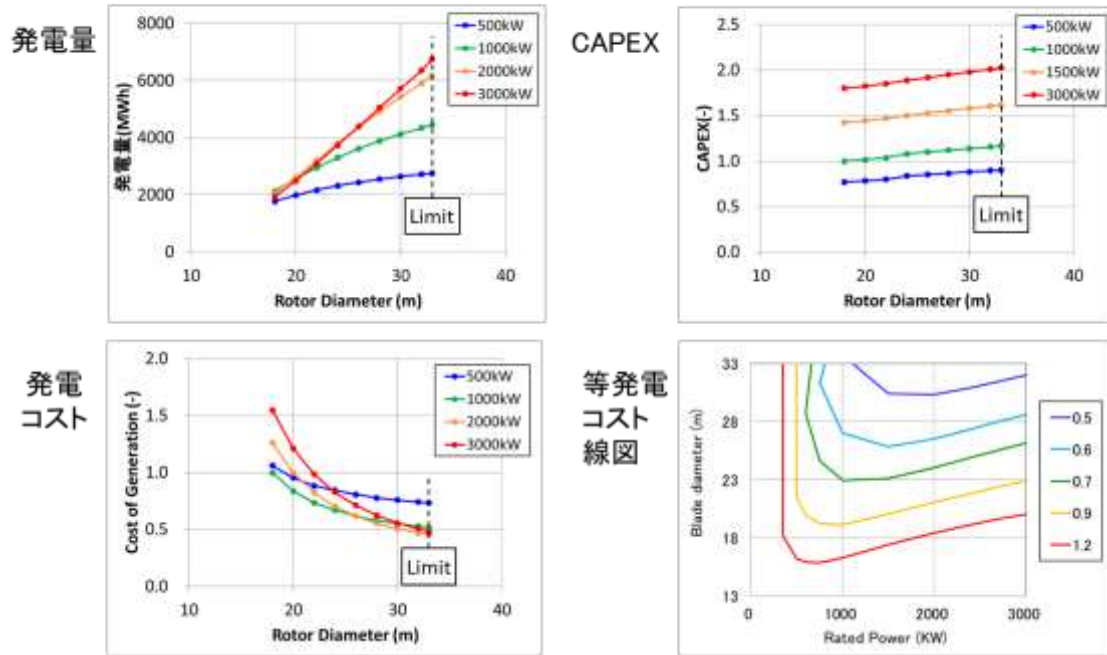


図 7-1-13 潮流発電タービンの最適化検証

長崎県五島市沖における潮流シミュレーションの結果を踏まえ、10MW 潮流発電ファームの発電コストの試算結果の一覧を図 7-1-14 にそれぞれ示す。



	A) 現状10MW (実証研究に適用) (1MW18m翼×10基)	B) 将来10MW (ケーブル工事改善) (1MW18m翼×10基)	C) 将来10MW (翼長改善) (1MW33m翼×10基)	D) 将来10MW (出力改善、ナセル軽量化) (2MW33m翼×5基)	E) 将来10MW (遠隔点検) (2MW33m翼×5基)
相違事項	ナセル重量:163トン コネクタ: Dry2×10基 ・ 長崎県五島市沖の実証研究FSで設置検討を行っている潮流発電タービン ・ 現行の技術やインフラを適用	ナセル重量:163トン コネクタ: Dry2×10基 <コスト低減のポイント> ・ ケーブル敷設とタービン施工の同時実施や複数のケーブルドローンの運用等により、CAPEXを低減	ナセル重量:180トン コネクタ: Dry2×10基 <コスト低減のポイント> ・ 直径18から33mへ翼長を伸ばしたことに伴い、CAPEXは悪化するもののAEPが改善し、発電コストを低減	ナセル重量:194トン コネクタ: Dry2×5基 <コスト低減のポイント> ・ 1MWから2MWへ大型化することにより、設置台数の削減等により、CAPEX及びOPEXをそれぞれ低減	ナセル重量:194トン コネクタ: Dry2×5基 <コスト低減のポイント> ・ 潮流タービンの回収を要するメンテナンス周期を従来の2年から5年に改善することにより、OPEXを低減
設備利用率	25.4% (五島において1MW18m翼タービンが設備利用率20%以上になる海域の平均設備利用率)	25.4% (五島において1MW18m翼タービンが設備利用率20%以上になる海域の平均設備利用率)	30.8% (五島において1MW33m翼タービンが設備利用率20%以上になる海域の平均設備利用率)	29.1% (五島において2MW33m翼タービンが設備利用率20%以上になる海域の平均設備利用率)	29.1% (五島において2MW33m翼タービンが設備利用率20%以上になる海域の平均設備利用率)
CAPEX	196.7万円/kW	161.3万円/kW	185.7万円/kW	115.2万円/kW	115.4万円/kW
OPEX	11.4万円/kW/年	10.7万円/kW/年	11.4万円/kW/年	5.7万円/kW/年	3.3万円/kW/年
発電コスト(送電端)	117.3円/kWh	102.3円/kWh	93.9円/kWh	56.3円/kWh	46.9円/kWh
発電コスト(発電端)	85.8円/kWh	82.7円/kWh	77.6円/kWh	45.1円/kWh	35.8円/kWh

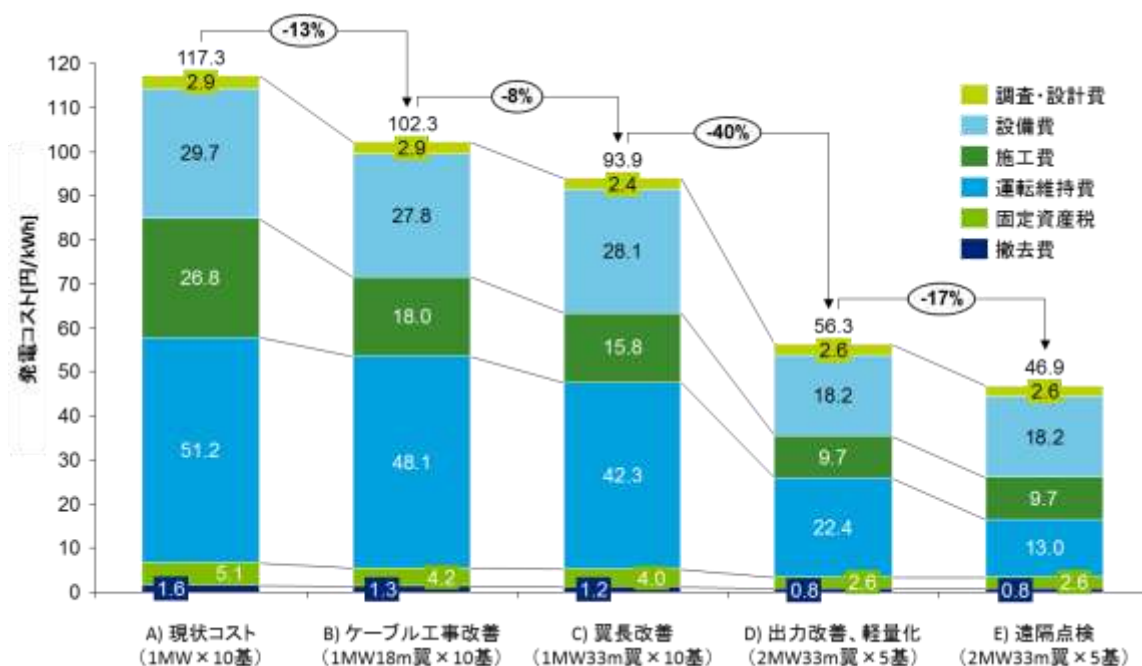


図 7-1-14 発電コスト試算結果の一覧

発電コストが最も低くなるケースは、E) 将来 10MW（遠隔点検）であり、ケーブル工事改善、翼長改善、出力改善、ナセル軽量化、遠隔点検の全ての将来技術を適用した結果である。E) 将来 10MW（遠隔点検）のコストの内訳について、表 7-1-9 及び表 7-1-10 に示す。



表 7-1-9 CAPEX の内訳 (将来技術適用)

タービン定格		2MW (D=33m)	
タービン性能		<ul style="list-style-type: none"> <li>カットイン : 0.7m/s、カットアウト : 4m/s</li> <li>定格 : 2.3m/s、重量 : 194 t</li> </ul>	
配置		10D×30D/5 基	
適用水深		50-70m	
資本金 (CAPEX)	①調査費	I 流速や海底地盤	1.8
		II 環境	2.0
		III 系統連系	0.2
		IV 法規調査	-
		小計	4.0 万円/kW
	②設計費	I 潮流タービン	1.4
		II 基礎	上記に含む
		III 施工	1.1
		IV 洋上電気設備	3.1
		V 陸上電気設備	0.1
		小計	5.7 万円/kW
	③設備費	I 潮流タービン	32.8
		II 基礎	22.5
		III 洋上電気設備	5.9
		IV 陸上電気設備	7.8
		小計	69.1 万円/kW
	④施工費	I 潮流タービン	13.5
		II 基礎	上記に含む
		III 洋上電気設備	14.9
		IV 陸上電気設備	8.3
小計		36.7 万円/kW	
(調査・設計含む)		115.4 万円/kW	
撤去費		5.8 万円/kW	

表 7-1-10 OPEX の内訳 (将来技術適用)

運 転 維 持 費 ( <b>OPEX</b> )	①土地等賃借料	I 海域利用	0.03	
		II 陸上利用	0.001	
		小計	0.03 万円/kW/年	
	②修繕費	I 修繕・保守	1.8	
		II 大規模修繕	0.8	
		小計	2.6 万円/kW/年	
	③諸費	I 安全管理	0.2 万円/kW/年	
	④一般管理費	I 行政申請	0.002 万円/kW/年	
	⑤人件費	I 人件費	0.5 万円/kW/年	
				3.3 万円/kW/年

また、E) 将来 10MW (遠隔点検) について、発電コスト (発電端) による他の電源との比較の結果を表 7-1-15 の通り示す。

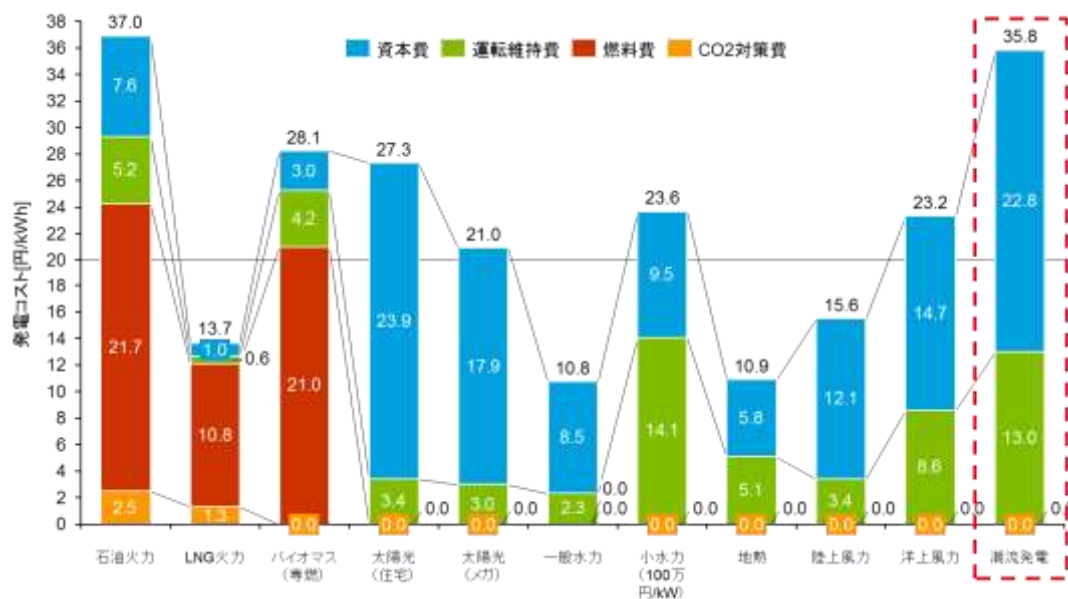


図 7-1-15 他電源と潮流発電の発電コストの比較 (将来技術適用)<sup>16</sup>

なお、E) 将来 10MW (遠隔点検) の発電コストの試算の根拠となった、設備及び施工のスペックについては、表 7-1-11 から表 7-1-13 の通りである。

<sup>16</sup> 経済産業省資源エネルギー庁総合資源エネルギー調査会発電コスト検証ワーキンググループ「発電コストに関する報告(2015)」

表 7-1-11 潮流発電タービン・基礎設備及び施工に係るスペック（将来技術適用）

定格出力	2MW (D=33m)
タービン性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カットイン：0.7m/s、カットアウト：4m/s</li> <li>・定格：2.3m/s、重量：194 t</li> </ul>
配置	10Dx30D/5 基
対応水深	50-70m
潮流タービン・基礎 (設備)	<b>【装置形状】</b> ナセル長さ：12m ナセル中心高さ：20m 足幅径：21m
	<b>【装置重量】</b> ナセル：163t ドッキング部：31t ベース：133t シンカー：157t/3 個
	<b>【製造場所】</b> ナセル：川重 播磨工場 ベース、シンカー：地元近辺 協力工場 ブレード：海外メーカー (UK)
	<b>【製造期間(1台あたり)】</b> 装置詳細設計 6ヶ月 装置製作・単体試験 21ヶ月
	<b>【製造期間(5台連続)】</b> 装置詳細設計 6ヶ月 装置製作・単体試験 1台目 21ヶ月 2台目以降は18ヶ月毎
潮流タービン・基礎 (施工)	<b>【作業仕様】</b> 設置工程・台数：1台/月、5台/年(4~8月) x2年 設置海域での作業日数：3日(小潮期潮止り) 供用係数：3(上記作業に滞船費を計上) 主要船舶： 550t 旋回式起重機船(生月から回航) DP 船(ナセル設置；横須賀港から回航) 作業用 ROV 母船(那覇港から回航)

表 7-1-12 洋上電気設備及び陸上電気設備に係るスペック（将来技術適用）

洋上電気設備 (設備費)	<b>【設備仕様】</b> 海底ケーブル：約 2.5km×10 本 水中コネクタ (DRY)：2 個／台、内、1 つは川重 水中コネクタ (WET)：1 個／台
	<b>【製造場所】</b> 海底ケーブル：古河 千葉事業所 水中コネクタ：海外コネクタメーカー (想定)
	<b>【製造期間】</b> 詳細設計 約 6 ヶ月 製作：約 1 年 2 年目：製作のみ 約 1 年
洋上電気設備 (施工費)	<b>【作業仕様】</b> 海底ケーブル工事：10MW 工事 (5 本) (海底ケーブル 5 本まとめて回航、輸送 想定) 小潮時に 3 回 (2、2、1 本) に分けて布設想定 水中コネクタ接続：DRY2×5 基 台船 (海底ケーブル)：1 年 DPS 作業台船 (3000t 積み) (淡路から回航)
陸上電気設備 (設備費)	<b>【設備仕様】</b> 陸上変電設備：5MW×2 基 72kV C-GIS、66/6kV 変圧器 66kV 変流器 陸上ケーブル関係：2 系統 ケーブル：66kV CVT 100sq、 終端接続部 (気中、ガス中 各 1 組)
	<b>【製造場所】</b> 国内変電機器メーカー (想定)
	<b>【製造期間(10 台連続)】</b> 設計：約 9 か月、製作：約 8 か月 工事：約 12 か月 (土木含む) 2 年目：製作：約 8 か月、工事：約 9 か月

表 7-1-13 運転保守に係るスペック（将来技術適用）

<p>修繕・保守</p>	<p><b>【工事仕様】</b>  タービン本体の揚収・再設置：2年毎  沈設装置、施工管理システム  遠隔点検：2年毎  重メンテナンス：5年毎  塗装補修、付着生物除去、  シール交換、電気部品交換  重メンテナンス：10年毎  コンバータ交換  水中コネクタメンテナンス：5年毎</p> <p><b>【作業仕様】</b>  設置海域での作業日数：2日（小潮期潮止り）  供用係数：3（上記作業に滞船費を計上）  主要船舶：  550t 旋回式起重機船（生月から回航）  DP 船（ナセル揚収・設置；横須賀港から回航）  作業用 ROV 母船（那覇港から回航）</p>
<p>大規模修繕</p>	<p><b>【工事仕様】</b>  タービン本体の揚収・再設置：5年毎  沈設装置、施工管理システム  装置交換：20年間に1度、10台  ・ナセル内装置全交換  ・ブレード3本交換  水中コネクタ交換：20年間に1度、10か所</p> <p><b>【作業仕様】</b>  設置海域での作業日数：2日（小潮期潮止り）  供用係数：3（上記作業に滞船費を計上）  主要船舶：  550t 旋回式起重機船（生月から回航）  DP 船（ナセル揚収・設置；横須賀港から回航）  作業用 ROV 母船（那覇港から回航）</p>

② 海外動向

<政策動向>

潮流発電において、世界を牽引する欧州の動向を表 7-1-14 に示す。

表 7-1-14 欧州における潮流発電の動向<sup>17</sup>

取組	内容
欧州政策	<p>主要プロジェクト：The Strategic Initiative for Ocean Energy (SI OCEAN)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 2012-2014 年までの EU プロジェクトであり、以下の 4 つを実施           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resource assessment, Policy analysis, Technology gaps and barriers, The market deployment strategy</li> </ul> </li> <li>■ 導入拡大に伴う将来発電コストの試算を以下で実施           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocean Energy: Cost of Energy and Cost Reduction Opportunities(2013)</li> </ul> </li> </ul>
英国政策	<p>主要プロジェクト：The Technology Innovation Needs Assessments(TINAs)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 英国政府による導入目標の設定</li> <li>■ 2010-2012 年までの英国プロジェクトであり、潮流発電以外に以下の分野も実施           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Offshore wind, Wave, Tidal, Nuclear, Network &amp; Storage, CCS, Bioenergy etc</li> </ul> </li> <li>■ 導入拡大に伴う将来発電コストや内訳項目毎のコスト低減比率の試算を以下で実施           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Technology Innovation Needs Assessment (TINA) Marine Energy Summary Report</li> </ul> </li> </ul>
英国プロジェクト	<p>主要プロジェクト：MeyGen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 海域のライセンス（例：MeyGen398MW）</li> <li>■ 技術的なイノベーションに向け、技術課題毎に以下のプロジェクトを実施           <ul style="list-style-type: none"> <li>- ReDapt PJ(Turbulence), PeraWat(Yield Optimization), MRCF(Foundations), MeyGen(Cable Stability)</li> </ul> </li> <li>■ 2020 年代前半に 398MW 導入を目指し、Phase1 で 86MW を計画中。2016 年中に 6MW を設置予定           <ul style="list-style-type: none"> <li>- 6MW プロジェクト総額 GBP 51.3 M(JPY 87.2 億)を官民から資金調達し、2015 年にケーブル布設完了</li> </ul> </li> </ul>

<sup>17</sup> 各主要プロジェクトのホームページ参照

<コスト低減>

上記の SI OCEAN や TINAs また、MegyGen 等において、各種コンサルティングや政策提言を行っている英国 CarbonTrust<sup>18</sup>へのヒアリングの結果、欧州における潮流発電のコスト低減アプローチを図 7-1-16 の通り取り纏めた。欧州及び英国においても未だ、潮流発電所の十分なトラックレコードが得られていないため、経済性モデル等により学習率 (Learning rate)を設定し、コスト低減を予想している。一方、学習率の内訳となる、経済規模効果(Economy of Scale)、実施に基づく学習 (Learning through doing)、イノベーション (Innovation)の重みづけやその比率については十分に明らかになっていない。

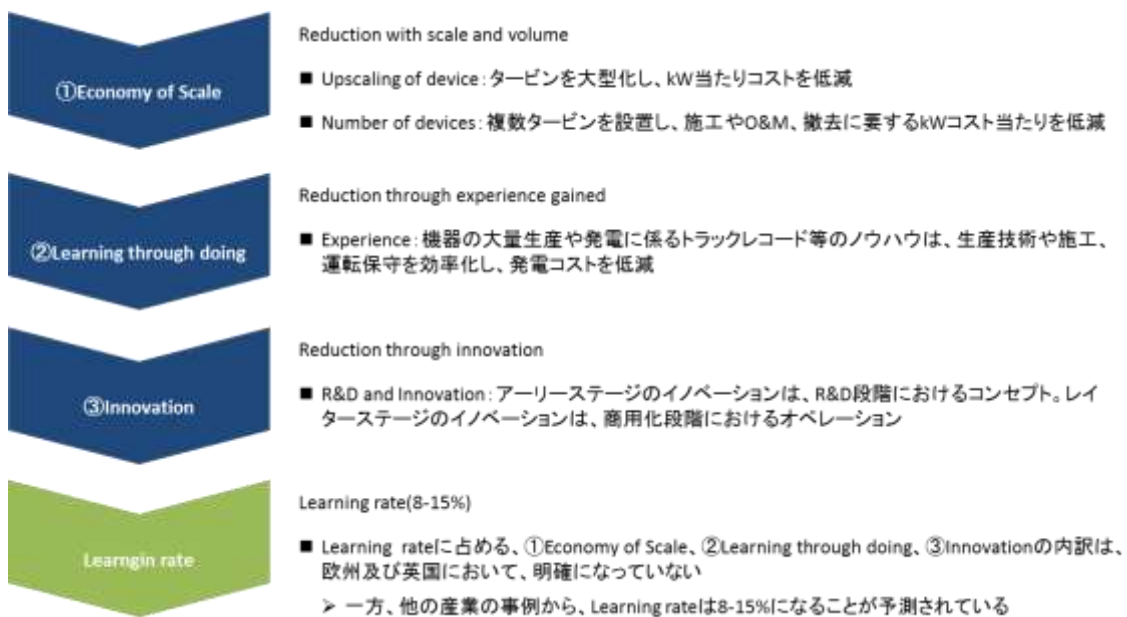


図 7-1-16 欧州におけるコスト低減アプローチ

学習率による効果は次式の通り示され、現在と将来のコストと導入量、学習効果指数から将来コストの試算が可能となる。

$$SCI_F = SCI_R \left( \frac{C_F}{C_R} \right)^{\frac{\ln(1-LR)}{\ln 2}}$$

$SCI_F$  : 将来初期コスト[€/kW]、 $SCI_R$  : 現状初期コスト[€/kW]

$C_F$  : 将来的な累積導入発電量[GW]、 $C_R$  : 現状累積導入発電量[GW]

LR : 学習効果指数

欧州では、SI OCEAN の試算結果に示されるように、他のエネルギーセクターの事例を踏まえ、潮流発電の学習効果指数 (学習率) を 8-15%の間で想定しており、12%を概ね妥当な値としている (図 7-1-17)。

<sup>18</sup> The Carbon Trust is an independent, expert partner of leading organisations around the world, helping them contribute to and benefit from a more sustainable future through carbon reduction, resource efficiency strategies and commercialising low carbon technologies.

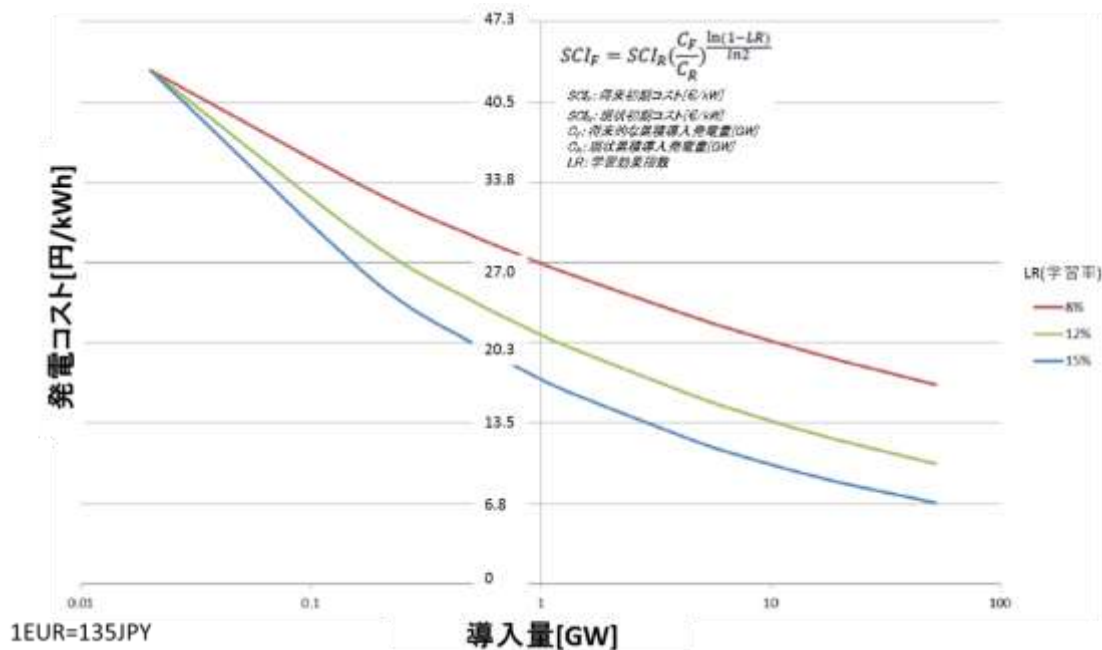


図 7-1-17 SI OCEAN における将来コストの試算

次に潮流発電について、先進的な取組を実施している英国の動向を明らかにする。上述の通り、導入拡大に伴う将来発電コストや内訳項目毎のコスト低減比率の試算を実施した、TINAs<sup>19</sup>の検討結果を示す（表 7-1-15）。現状コスト 100%の内訳に対し、それぞれコスト低減に取組むことによって、2025 年までに-37%のコスト低減が予想されている。特に施工 (Installation)や基礎(Foundation)においてコスト低減の余地が高く、次いで、構造や稼働部 (Structure and Prime Mover)及び運転保守(O&M)のコスト低減が期待されている。

これらのコスト低減に向けて、英国では、様々なプロジェクトが取組まれており、Energy Technology Institute や Scottish Government、ORE Catapult、Carbon Trust や Offshore Wind Accelerator がプロジェクトをリードしている。特に、施工船については、潮流発電のみならず、洋上風力発電の施工船と一体的に潮流発電の設置コストの低減を図っていることが分かる（表 7-1-15）。

これらコスト低減に向けた取組が総合的に進められているものの、運転保守(O&M)に関する具体的なプロジェクト実績は未だ十分に得られていないのが実態である。

<sup>19</sup> The Technology Innovation Needs Assessments (TINAs)  
Marine Energy Summary Report



表 7-1-15 英国の TINAs におけるコスト低減の試算結果（上）及びコスト低減に取り組む英国プロジェクトの事例（下）

Sub Area	Cost Breakdown	Innovation Impact Reduction (2025FY)	Source Cost Reduction
Structure and Prime Mover	18%	-35%	流速データの把握により、設計を最適化し、主要な構造体の軽量化 製造プロセスの改善による製造コストの低減 材料の代替（GRP、ゴム、コンクリート等を使用）
Power Take off and control	12%	-20%	コントロールシステムやソフトウェアの改善による、稼働率の向上 次世代発電システムによる発電効率の向上
Foundation	14%	-40%	基礎の製造過程の改善による製造コストの低減
Connection	8%	-15%	水中で接続可能な Wet-mate コネクタや DC コネクションの製造コストを低減すると共に、それらを適用し、ケーブル布設コストを併せて低減
Installation	24%	-55%	重力式からドリル式の基礎に代替し、施工コストの低減（高価なジャッキアップ式の専用船を使用しない施工法）
O&M	24%	-35%	タービン設計に関する信頼性の向上による O&M に要するコストの低減 遠隔監視技術による O&M に要するコストの低減
Total	100%	-37%	上述のデザインやプロセス技術等のイノベーションによるコストの低減
Specific Area of Innovation	Funder		Project
Structure and Prime Mover	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy Technology Institute</li> <li>Scottish Government</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Turbine design: EMEC で 1MW タービンの実証</li> <li>Turbulence: 乱流影響に対する指針検討</li> <li>Yield Optimization: 潮流発電解析ソフトの実用化検討</li> </ul>
Power Take off and control	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scottish Government</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>PTO: ステージゲート方式で複数の次世代技術開発</li> </ul>
Foundation (£7.5M)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Energy Technology Institute</li> <li>Scottish Government</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Foundations: 複数 タービン基礎の設計及び製作</li> <li>Seabed drill: MRCF において海底ドリルの設計・製作・実証</li> </ul>
Connection	<ul style="list-style-type: none"> <li>Scottish Government</li> <li>ORE Catapult</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Cable Stability: 海底ケーブルに対する波や潮流の影響解析</li> <li>Electrical Architecture: アレイ用の電気システムの最適化検討</li> </ul>
Installation	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carbon Trust</li> <li>Offshore Wind Accelerator</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Vessel: 洋上風力産業にも利用可能な施工船の設計・製作</li> </ul>
O&M	-		-

### 7.3. 課題整理

将来技術が適用された、E) 将来 10MW（遠隔点検）における発電コストは、図 7-2-1 に示す、送電端 46.9 円/kWh、発電端 35.8 円/kWh であった。ここでは、さらに発電コスト 20 円/kWh に向けた課題の整理を行うこととする。特に、技術イノベーションによりコストが下がるものを「技術開発」、潮流発電の市場規模が拡大することより、規模経済等の学習効果がはたらくものを「市場育成」とし、これら 2 つに分けて考える。

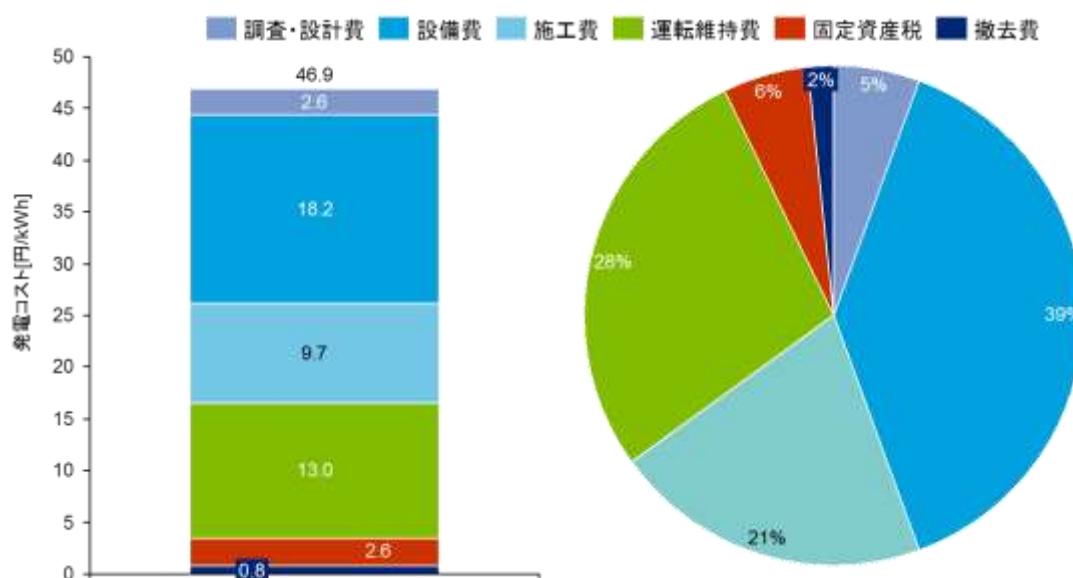


図 7-2-1 (左) 発電コスト (送電端) 内訳、(右) 発電コスト比率

#### (1) 技術開発

現在の発電コストは、将来技術が適用された、2MW×5 基の潮流発電所の発電コストを想定しているものの、例えば、グリッドパリティの 20 円/kWh の実現に向けては、更に技術的なイノベーションが不可欠である。発電コストに占める割合の上位 3 つは、設備費 (39%)、運転維持費 (28%)、施工費 (21%) である。特に設備費のコスト低減については、設計を工夫する必要があるものと製造段階で量産化・汎用化を狙う部分の 2 つがあり、後者については、後述の市場育成とも関係する。運転維持費については、運転保守や大規模修繕の頻度を低くすることが重要である。施工費については、新たなインフラの整備や十分な施工実績を有する場合にコスト低減が図られる可能性を有しており、設備費の一部と同様、市場育成とも大きく関係する。また、発電量そのものを改善する技術開発も課題である。これら各種課題を整理した結果を示す (表 7-2-1)。

表 7-2-1 技術開発に関するコスト低減の課題整理

項目	課題整理
調査	<p>&lt;潮流や海底地盤調査&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>大水深、速い潮流海域における簡易な海象の計測方法の開発及び低コスト化</li> </ul> <p>&lt;環境・系統&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>潮流発電に係る環境影響評価の手引き策定及び調査の低コスト化</li> <li>系統連系手続の簡素化</li> </ul>
設計	<p>&lt;潮流タービン・基礎&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ブレード長大化及び 2MW 高出力化等の将来技術に関する詳細設計や性能試験の評価</li> <li>Wet コネクタの漏油回収機構の実用化</li> </ul> <p>&lt;洋上・陸上電気設備&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>コネクタの点数削減や設計の汎用化による低コスト化</li> <li>設備の小型化（離島対応）</li> </ul>
設備	<p>&lt;潮流タービン・基礎、洋上・陸上電気設備&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>上記に含むと共に、製造対応（量産化、汎用化）</li> </ul>
施工	<p>&lt;潮流タービン・基礎の施工&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>専用船や基地工の整備（大型クレーンの配備等）</li> <li>水中遠隔玉掛けや玉外し装置の実用化</li> <li>作業限界の把握</li> </ul> <p>&lt;洋上・陸上電気設備&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>海底ケーブルの潮流影響の排除や最小化を図る布設法や離島等への効率的な輸送法</li> </ul>
修繕	<p>&lt;運転保守、大規模修繕&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔点検による 5 年間隔のメンテナンスの法規上及び技術（防汚、防食、水密シール等の耐久性）の実現性確認</li> </ul> <p>&lt;洋上・陸上電気設備&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>チェック項目の削減、水中コネクタ関連の国内対応（組立、製造）</li> </ul>
発電量	<p>&lt;事業リスク&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>複数台設置が環境に及ぼす影響の把握（流向・流速変化に伴う、生態系等への影響等）</li> <li>海底地盤情報と基礎選定に係る適地の詳細検証</li> <li>潮流乱れと設計限界の検証（万がーのブレード折損等）</li> </ul> <p>&lt;発電量低下&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>後流影響を踏まえた配置や設計の詳細や再検討（発電量及び設計条件）</li> </ul>

## (2) 市場育成

欧州においては、他のエネルギーセクターの実績を基に、潮流発電について学習率 8-15%を検証し、概ね 12%が妥当であると試算している。

同様に日本において、技術的な課題が克服され、市場が十分に拡大した場合の発電コストを試算する。日本ではこれまで、海洋エネルギー発電に対する学習率の検討は十分になされていない。そのため、他のエネルギーセクターを参照すると共に、潮流発電同様、海上に発電所を建設する洋上風力の学習効果を潮流発電に適用する（表 7-2-2）。

表 7-2-2 学習率に関する整理

検討項目	学習率の設定
欧州の潮流発電	<ul style="list-style-type: none"> <li>SI OCEAN EU-FP7(2013)において、8-15%を検証し、12%が概ね妥当であると試算</li> </ul>
日本の風力発電	<ul style="list-style-type: none"> <li>「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告」経済産業省(2015)において、陸上風力 7%、洋上風力 9%を設定</li> </ul>
日本の太陽光発電	<ul style="list-style-type: none"> <li>「低炭素社会構築に向けた再生可能エネルギー普及方策について（提言）」環境省(2009)において、太陽光発電 20%を設定</li> </ul>

上記を踏まえ、洋上風力発電の学習率 9%と共に、欧州における潮流発電の学習率 12%、更に、日本における太陽光発電の学習率 20%を最大ケースとし、現状コストにそれぞれの学習率を適用した結果を図 7-2-2 に示す。その結果、40 円/kWh 以下を実現するためには、学習率 9%で 27,000MW、学習率 12%で 3,400MW、学習率 20%で 286MW の導入が不可欠である。

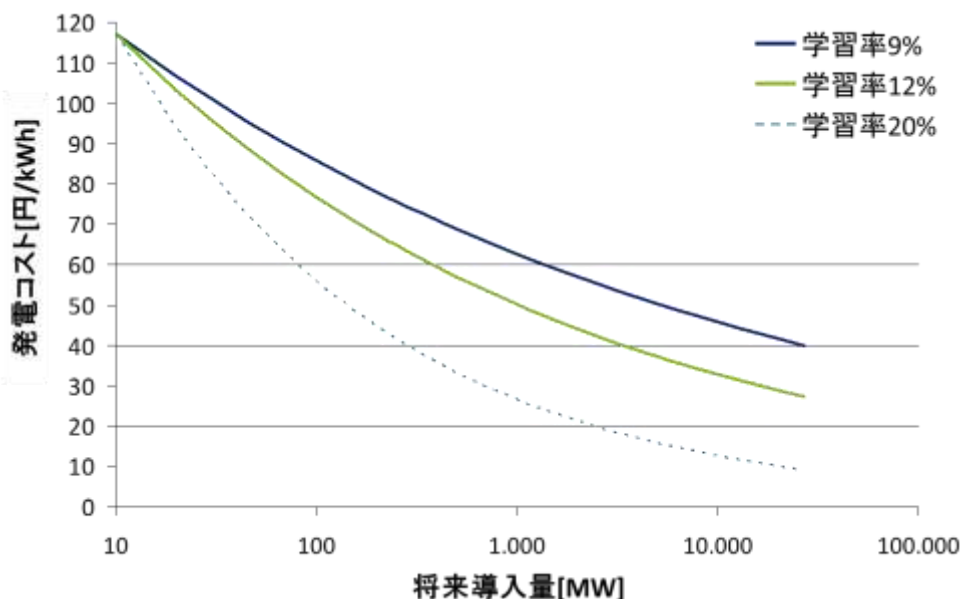


図 7-2-2 市場拡大に伴う学習率の適用による将来コストの試算結果

## 8. 地域との協調及び検討会の開催

### 8.1. 社会受容性の調査

国内最大級の 1MW 級潮流発電システムの実証研究を行う上では、技術的に国内海象へ対応し、環境負荷を低減するとともに、地域漁業など、地域社会への受容性の高い事業を目指す必要がある。

長崎県は古くから造船関連産業の技術・施設が集積する地域であり、平成 25 年 2 月に「ながさき海洋・環境産業拠点特区」として指定され、地域全体として海洋・環境産業の振興に積極的に取り組んでおり、本実証事業の候補海域とする長崎県五島市では、平成 24 年度から環境省洋上風力発電実証事業が行われている。

先ごろ内閣官房総合海洋政策本部より募集された海洋再生可能エネルギー利用のための実験海域である「実証フィールド」については、県内より本件実証海域である五島市久賀島沖を含む県内 3 海域について、海域を実証フィールドとして利用することに関して地域漁業協同組合からの同意を得たうえで応募を行い、いずれも実証フィールドとしての選定を受けている。

昨年度事業では、昨年度実証候補地域の関係者の参加を得て地域協議会を行い、潮流発電事業に向けた地域要望をまとめた。地域の現状、潮流発電における課題、地域要望を図 8-1-1 に示す。

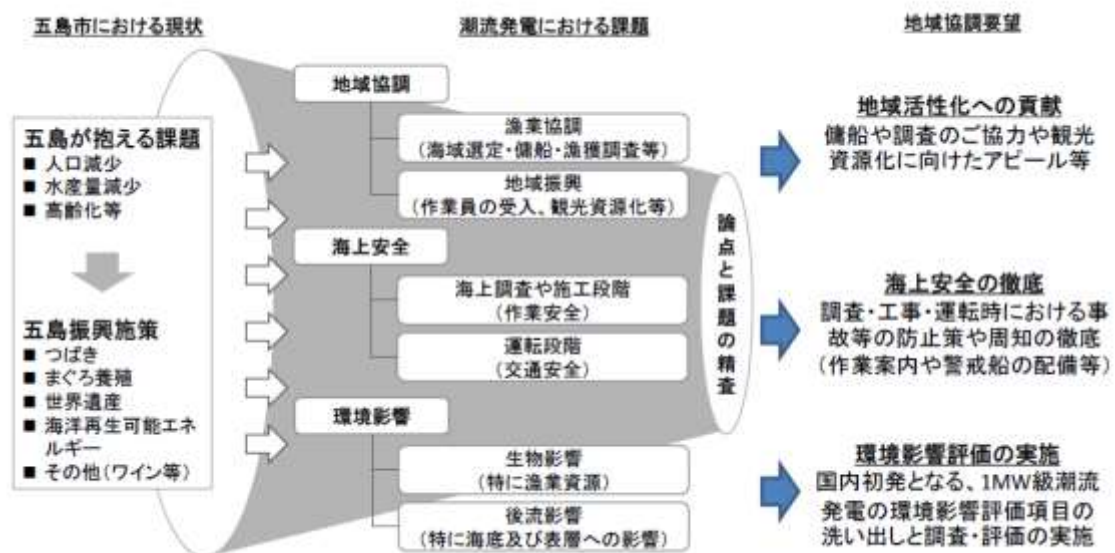


図 8-1-1 平成 26 年度地域コミュニケーション

今年度の事業では、引き続き地域自治体との協議の場を持ち、事業計画の説明、事業進捗状況の報告、地域要望のヒアリングなどを行った。

表 8-1-1 平成 27 年度地域コミュニケーション

日時	訪問先	協議事項
2015 年 4 月	長崎県産業労働部海洋産業創造室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2015 年度実施計画の説明</li> <li>・ 地域取り組み状況のヒアリング</li> <li>・ 地域要望のヒアリング</li> </ul>
	五島市再生可能エネルギー推進室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2015 年度実施計画の説明</li> <li>・ 地域取り組み状況のヒアリング</li> <li>・ 地域要望のヒアリング</li> </ul>
2015 年 6 月	長崎県産業労働部海洋産業創造室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業進捗状況の報告</li> <li>・ 地域取り組み状況のヒアリング</li> <li>・ 地域要望のヒアリング</li> </ul>
	五島市再生可能エネルギー推進室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業進捗状況の報告</li> <li>・ 地域取り組み状況のヒアリング</li> <li>・ 地域要望のヒアリング</li> </ul>
2015 年 7 月	長崎県産業労働部海洋産業創造室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業進捗状況の報告</li> <li>・ 地域取り組み状況のヒアリング</li> <li>・ 地域要望のヒアリング</li> </ul>
	五島市再生可能エネルギー推進室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業進捗状況の報告</li> <li>・ 地域取り組み状況のヒアリング</li> <li>・ 地域要望のヒアリング</li> </ul>
2015 年 9 月	長崎県産業労働部海洋産業創造室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業進捗状況の報告</li> <li>・ 地域取り組み状況のヒアリング</li> <li>・ 地域要望のヒアリング</li> </ul>
	五島市再生可能エネルギー推進室	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業進捗状況の報告</li> <li>・ 地域取り組み状況のヒアリング</li> <li>・ 地域要望のヒアリング</li> </ul>
2015 年 10 月	五島漁業協同組合長会、長崎県、五島市	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 事業進捗状況の報告</li> <li>・ 地域取り組み状況のヒアリング</li> <li>・ 地域要望のヒアリング</li> </ul>

## 8.2. 共同委員会

環境省「平成 27 年度潮流発電技術実用化推進事業」と NEDO「海洋洋エネルギー技術研究開発／次世代海洋エネルギー発電技術研究開発／着定式潮流発電」は、両事業の効率的な推進に向けて、共通の有識者からなる委員会を設置する。環境省事業では、潮流発電の実証研究に係る社会受容性や経済性等を総合的に検討する評価委員会を設置し、NEDO 事業では、潮流発電システムの研究開発に係る技術等を受託者と有識者が協議する推進委員会をそれぞれ設置し、運営するものである。そのため、産学を代表する方々に両委員会の委員を委嘱し（表 8-1-2）、平成 27 年度は両委員会を全 2 回共同委員会として実施した。

表 8-1-2 評価委員会委員名簿

区分	ご所属	ご役職	ご氏名
委員	国立研究開発法人水産総合研究センター 中央水産研究所資源管理研究センター	主任研究員	赤松 友成
委員長	学校法人長崎総合科学大学	学長	木下 健
委員	国立大学法人東京大学大学院 新領域創成科学研究科	教授	鈴木 英之
委員	一般財団法人日本海事協会再生可能エネルギー部	部長	高野 裕文
委員	国立大学法人長崎大学 水産学部	教授	中田 英昭

(敬称略、五十音順)

### 8.2.2.第 1 回共同委員会

- (1) 開催日：平成 27 年 7 月 27 日（月）
- (2) 開催場所：デロイト トーマツ コンサルティング合同会社
- (3) 議事次第
  - (ア) 開会のご挨拶（環境省殿、経済産業省殿、NEDO 殿）
  - (イ) 平成 26 年度第 2 回共同委員会議事録（案）確認
  - (ウ) 事業内容
  - (エ) 事業進捗
  - (オ) 質疑応答

### 8.2.3.第 2 回共同委員会

- (1) 開催日：平成 28 年 2 月 2 日（火）
- (2) 開催場所：NEDO 霞ヶ関分室
- (3) 議事次第
  - (ア) 平成 27 年度第 1 回共同委員会議事録（案）確認
  - (イ) 事業進捗
  - (ウ) 質疑応答・その他