6. 発電実績・予測に関する業務

- 6.1. 運転管理·監視
- 6.1.1. SCADA システムによる運転監視

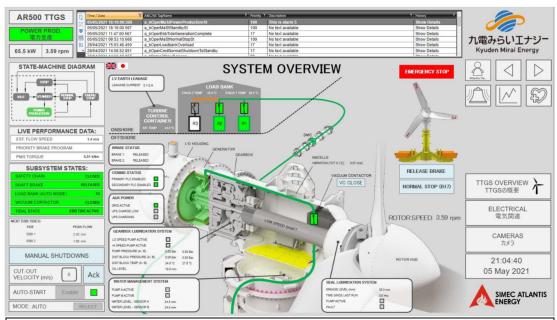
英国で AOUK 社製潮流発電機を利用した潮流発電事業の運転管理・監視は SCADA システム を採用していることから、本事業も SCADA システムを採用することとした。

SCADA システムは潮流発電機運転概要、電気関連、ローター・ブレード監視カメラの主要な3システム、更に警報履歴、発電機出力・ローター速度などの計測履歴が確認できるシステムから成り立っている。

(1) 潮流発電機運転概要システム

図 6.1-1 に SCADA システムのうち潮流発電機運転概要システムの画面を示す。画面 に表示されているアイコンの詳細は以下のとおりであり、画面の番号と説明の番号は 対応している。全てのアイコンで緑色表示は健全または動作中、赤色表示は機器が故障 していることを示している。

また、本事業で使用する潮流発電機は経済産業省九州保安監督部から 24 時間監視を 求められていることから、緊急時に遠隔で停止できる緊急停止アイコンなどの機能が 搭載されている。

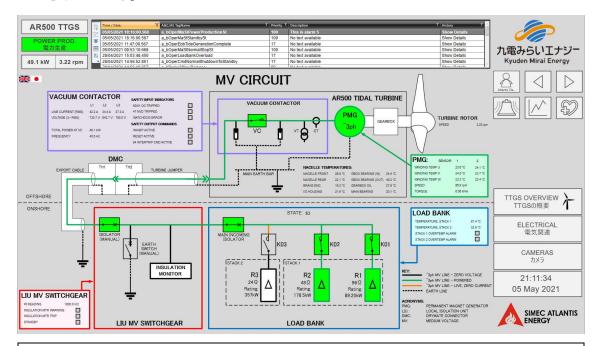


- ①発電有無表示
- ②発電機出力・ローター回転数表示
- ③セーフティチェーン、ブレーキ、ロードバンク及び発電機遮断機の状態
- ④ブレーキの状態(開放または投入)
- ⑤タービン発電機 PLC などの通信状態
- ⑥補助電源の状態
- ⑦ギアボックス潤滑油システム:低速ポンプと高速ポンプは冗長システムであり、タービン発電機が長期間休止していた場合や、機械式ポンプが故障した場合にのみ、操作者によって起動される。ポンプと配電ブロックの圧力センサーは、シャフトの回転速度が6.5rpmを超えた場合(大潮)にのみ、それらの圧力を記録する。
- ⑧水管理システム:タービン発電機内部に浸水した場合のみ有効となる。
- ⑨シール潤滑システム:8 時間以上の回転後にシール潤滑ポンプに信号を送るようにプログラムされており、シールポンプは内部で自動プログラムを実行してシールを潤滑する。ポンプは120 秒間運転し、その間に「ポンプ作動中」の表示ランプが緑色点灯。ポンプから故障が報告される場合、PLC はリセットコマンドを発送して故障を解除する。
- ⑩タービン発電機真空コンタクタ
- ①負荷装置用コンタクタ
- 迎緊急停止アイコン
- ③警報履歴画面表示アイコン
- (4)計測履歴画面表示アイコン
- 15電気関連画面表示アイコン
- 16ローター・ブレード画面表示アイコン

図 6.1-1 潮流発電機運用概要システム画面説明

(2) 電気関連管理システム

図 6.1-2 に電気関連管理システムの画面を示す。画面に表示されているアイコンの詳細は以下のとおりであり、画面の番号と説明の番号は対応している。潮流発電機運転概要システム同様、緑色表示は健全または動作中、赤色表示は機器が故障していることを示している。



- ①発電機遮断器の電気測定値
- ②発電機遮断器の状態表示:内部システムに障害が発生した場合、ウオッチドッグエラー表示ランプが赤色点灯。発電前の時間平均化回転数が3RPM未満の場合、「禁止機能作動中」の表示ランプは、赤色点灯。禁止機能作動中になると、システムの不安定性を防ぐためにローターを停止させない限り、コンタクタの状態を変更することができない。
- ③ナセル温度
- ④発電機温度、トルク及び速度の測定値
- ⑤ロードバンク温度
- ⑥ロードバンクコンタクタ:緑色点灯はコンタクタまたは断路器投入
- ⑦LIUの IR 測定値:警告レベルとトリップレベルは、以下で示す、表 5-1 の通りに指定されている。

図 6.1-2 電気関連管理システム画面説明

(3) ローター・ブレード監視カメラ

図 6.1-3 にローター・ブレード監視カメラの画面を示す。タービン発電機内にカメラを設置し、ローターの回転状況を監視、及びタービン発電機外側の海水中にカメラを設置し、ブレードの回転状況を監視した。ブレード監視カメラでは回転状況の他、ブレー

ドへの付着物の状況、魚の遊泳状況等を確認することができ、潮流発電機設置が周辺魚類の生息に与える影響は少ないものと考えられる。



図 6.1-3 ローター・ブレード監視カメラ画面

6.1.2. SCADA システムからの通知

本事業は24時間連続監視を行っており、通常は福岡からSCADAシステムにより遠隔監視を実施している。本事業で使用したSCADAシステムは遠隔監視・操作ができるため、無断操作や誤操作を避けるため、システム会社からライセンスの承認を受けたPC、およびSCADAシステム操作教育を受けた社員のみが使用できることとした。そのため、休日や祝祭日など当社休業日および教育を受けていないものは運転状況の確認ができない状況であった。

その問題を解消するため、潮流発電機の起動・停止時、及び緊急時停止時、SCADAから関係者の PC、携帯電話に電子メールにて通知が届く機能を付加した。通知用の電子メールを 図 6.1-4 に示す。起動停止に伴い、メールが届くことにより、休日や専用 PC が無くても、潮流発電機の状況を確認することが可能となった。また、本事業期間中、潮位に伴う発停や事前に計画されていた停止以外の潮流発電機のトラブルによる停止の実績は生じなかった。



2021/10/06 (水) 9:37 Saeaoj@gmail.com Email from AR500 Turbine in Naru

Dear Operator,

The AR500 Turbine in Naru has Entered Power Production Mode.

Best regards, Your AR500 TTGC



Dear Operator,

The AR500 Turbine in Naru has undergone an emergency stop.
Your attention is required.
Best regards,
Your AR500 TTGC

図 6.1-4 潮流発電機起動発停時通知メール (左:起動時、右:緊急停止時通知)

6.1.3. 異常検知·警報

(1) 潮流発電機警報およびトリップ閾値

本事業で使用する潮流発電機の警報、およびトリップの閾値を表 6.1-1 に示す。 本事業では潮流発電機の他、負荷装置及び負荷装置及び負荷装置用制御コンテナにも 閾値を設定しており、潮流発電機以外での不具合・故障も把握できるようにしている。

表 6.1-1 警報およびトリップ閾値

項目		閾値				
ローター温度		>13.6RPM				
水位センサー 160mm						
シール潤滑システム	(前回実行からの経過時間)	9 時間				
ギアボックス潤滑	ポンプ比	>18bar				
システム	配電ブロック圧	>18bar				
	油面レベル	警告: <5%				
		トリップ:<0.01%				
負荷装置	スタック温度	>350°C				
	制御コンテナ内部温度	>50°C				
	制御コンテナ漏電電流	>0.4A				
タービン発電機	巻線温度 (U、V、W)	>90°C				
	発電機速度	> 366. 4RPM				
	ナセル前部温度	>40°C				
	ナセル後部温度	>40°C				
	ブレーキ筐体温度	>40°C				
	I/0 筐体	>40°C				
	ギアボックスベアリング温度	>90°C				
	ギアボックス油音	>75°C				
	主ベアリング温度	>40°C				
LIU MV 開閉装置	IR 示度	警告: <1,000kΩ				
		トリップ:100kΩ				

(2) SCADA システムによる異常検知

① 概要

「6.1 運転管理・監視」で記載したとおり、本事業で使用する SCADA システムには 警報が表示され、特に潮流発電機運転概要システムには解消・復旧していない警報が 表示し続ける仕組みになっている。

② 警報表示

警報履歴画面は各画面上部のバナーで表示されている部分を含めた過去の警報を

表示するものであり、発生時間順に表示され、最新の警報が最上位に表示される。行はブレーキプログラム(優先度)とステータス(状態)で色分けされている。表 6.1-2 で示すとおり、警報には以下のステータスタイプがある。警報はタイプ 1~3 のみが表示され、タイプ 4 になると、自動的に削除される。

表 6.1-2 警報ステータス

ステータス	表示	状態
1	アクティブ、確認されていません	警報条件は真。管理者が警報を未確認
2	アクティブ、確認済	警報条件は真。管理者が警報確認済
3	非アクティブ、確認されていません	警報条件は偽。管理者が警報を未確認
4	非アクティブ、確認済	警報条件は偽。管理者が警報確認済

警報が表示されると、警報の重大度や管理者による確認の有無に応じて色分けされる。

非アクティブな警報は、管理者が解消、または復帰させており、これらのアラームは 常に白色で表示される。

アクティブな警報は色分けされており、黄色はセーフティレベル、赤色は非セーフティレベルの停止を伴うもの、オレンジ色は警告、灰色は通知を意味する。警報が確認されたが解除されなかった場合、その背景は黒色で表示される。

6.1.4. 陸上設備の遠隔監視

本事業では24時間遠隔監視を行い、潮流発電機の運転・計器監視はSCADAシステムにより、確認することが可能であった。しかしながら、負荷装置を含めた陸上設備は周辺住民、および釣り人など海岸等を利用する方が自由に往来できる場所である。陸上設備は外柵があり、負荷装置用制御コンテナなど筐体があり、施錠している機器については、部外者が容易に操作できない対策は取っているが、将来の発電事業を想定し、陸上設備の監視方法も検討した。

陸上設備を監視するために 2 台の監視カメラを設置し、関係者の携帯電話で監視できるようにした。監視カメラ設置場所と監視カメラの映像を図 6.1-5 に示す。監視カメラは携帯電話にダウンロードしたアプリを通じて、カメラの映像を確認するほか、不審者の侵入・警告、カメラ越しの人物と会話ができる機器を採用した。

2 台のカメラのうち、1 台は陸上設備全体の監視、もう1 台は負荷装置稼働時に点灯する ランプが確認される場所に設置した。

本事業期間中、当社社員・関係者の侵入や近隣設備の工事関係者の通行のため、監視カメラが作動したことはあったが、監視カメラ付近に人物が近づいた時に反応したことを確認できたことから、効果はあったと思われる。

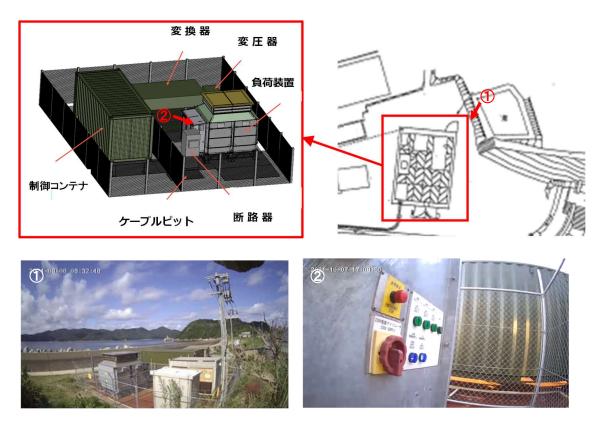


図 6.1-5 監視カメラ設置場所と映像(①:陸上設備全体監視、②:負荷装置稼働確認)

負荷装置用制御コンテナと周波数変換装置には空調設備が設置されているが、温度監視ができていなかったことから、携帯電話にダウンロードしたアプリにて遠隔で温度が確認できるセンサーを追加し、室内の温度監視も実施した。図 6.1-6 に温度監視するアプリの画面を示す。



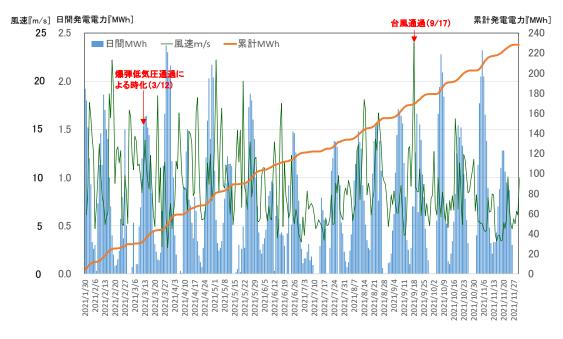
図 6.1-6 負荷装置用制御コンテナおよび周波数変換装置温度監視画面

6.2. 発電実績

6.2.1. 発電実績概要

2021年1月23日潮流発電機を設置後、その日の干潮時から発電を開始。1月25日には定格出力(500kW)を確認し、12月23日まで発電を実施。その間、4月28日に実施した電気事業法に基づく使用前検査や定期的な潜水士による潮流発電機外観点検、および設置工事にともなうケーブル接続不良や負荷装置の不具合等の陸上設備の確認・修繕のために潮流発電機を停止した以外、潮流発電機自体のトラブルは見られなかった。

図 6.2-1 に日間・累計発電電力等と気象庁が公表している福江の日間瞬間最大風速を示す。実証期間をとおした累計発電電力量は 247MWh、設備利用率は 6.3%。3 月 28 日大潮時に最大の日間発電電力量 (2.37MWh/日) を確認。その日の日間設備利用率は 19.8%であった。発電電力量は干満差に合った発電であることから、予測可能な再生可能エネルギーであることが確認された。また、風速と発電電力量から潮流発電は気象・海象に左右されない発電方法と思われる。爆弾低気圧や台風通過にともなう海上時化など特異な気象時の実績については、後述する。



出典 気象庁 HP (風速のみ)

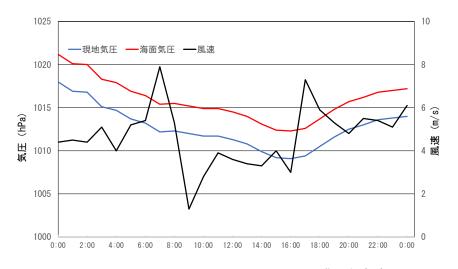
図 6.2-1 日間・累計発電電力量および福江周辺の風速

6.2.2. 特異気象時の発電実績

今回使用した AOUK 社製潮流発電機は海底に設置することから、気象・海象の影響を受けにくいとされている。6.2.1 で記載したとおり、年間を通じて風速の強弱に係わらず、発電することは確認されている。その中でも、2021年3月12日爆弾低気圧、および9月17日台風14号が通過した際の発電状況を示す。

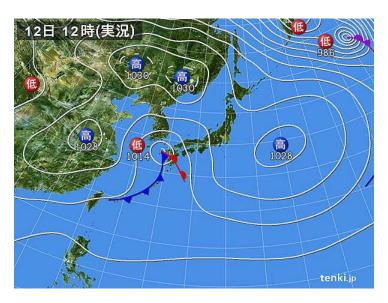
(1) 爆弾低気圧通過時の発電

2021年3月12日、爆弾低気圧が潮流発電機を設置している奈留瀬戸含む、長崎県五島市を通過した。図6.2-2に3月12日の現地(陸上)・海面の気圧と平均風速、図6.2-3に3月12日12時の天気図を示す。0時過ぎから気圧が下がり始め、12時頃、低気圧が通過。16時頃から気圧は上昇している。当日、福江の平均気圧は1012.5hPa、最大瞬間風速は13.9m/s。当日は荒天により、五島列島の空・海とも交通機関が乱れた。



出典:気象庁 HP

図 6.2-2 2021 年 3 月 12 日五島市福江の現地・海面気圧と平均風速



出典 日本気象協会 HP

図 6.2-3 2021 年 3 月 12 日天気図

図 6.2-4 に 2021 年 3 月 12 日、潮流発電機設置海域の有義波高と潮流発電機の発電 実績を示す。有義波高は最大 3.8mまで上昇したが、潮流発電機出力に与える影響は見 られなかった。

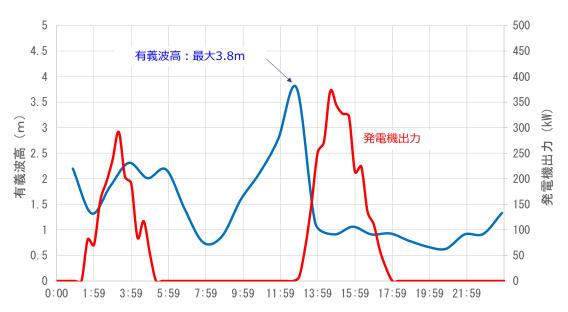
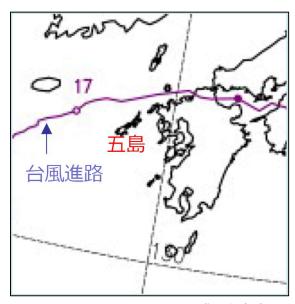


図 6.2-4 2021 年 3 月 12 日 潮流発電機設置海域の有義波高と潮流発電機出力

(2) 台風通過時の発電実績

発電中の 2021 年 9 月 17 日、14 号が五島列島周辺を通過。図 6.2-5 に五島列島周辺の台風の通過進路、表 6.2-1 に当日の気象概況を示す。



出典: 気象庁 HP

図 6.2-5 2021 年 9 月 17 日 台風 14 号通過進路

表 6.2-1 2021年9月17日 福江の気象概況

項目		2021年9月17日	[参考] 1991~2020 年 9 月平均
気温	平均	25.0℃	24. 1℃
気圧	現地	999. 7hPa	1,008.4hPa
火江	海面	1,002.7hPa	1,011.5hPa
	合計	30.0mm	289. 2mm
降水量	1 時間	8.5mm	_
10 分間		3.5mm	_
風速	平均	7.3m/s	3.0m/s
川地	最大瞬間 (風向)	24.0m/s (西北西)	_

出典 気象庁 HP

図 6.2-6 に台風 14 号が通過した 2021 年 9 月 16、17 日の福江の瞬間最大風速、奈留瀬戸海域の潮流速、潮流発電機出力を示す。潮流発電機出力は潮の干満(潮流速)に合わせて発電するため、風速の強弱が発電に影響しないことを確認した。

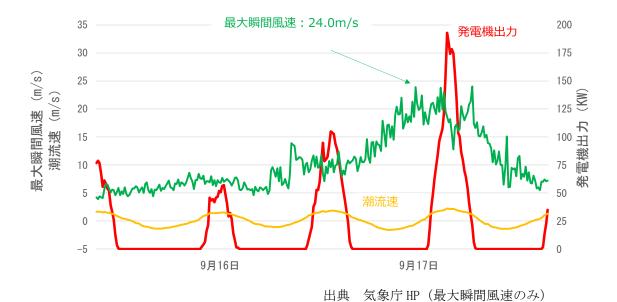


図 6.2-6 台風 14号通過時の最大瞬間風速、潮流速、潮流発電機出力

(3) 評価

潮流発電は潮の干満により発電することから、台風や低気圧の通過にともなう気象の変化の影響を受けないことが確認された。

6.3. 発電量予測に関する業務

数値モデリングにより、奈留瀬戸とその近辺の潮流を再現することができた。流速や海面高度データの調和解析とは異なり、数値モデリングは潮汐エネルギー資源を異なる場所で推定することが可能であり、これは潮流発電機のファーム化を設計する場合に極めて重要である。モデル結果は、異なる潮流発電機による発電量の推定、ファームの発電量の推定、発電量や経済性を最大化のためのファーム内の潮流発電機分布など多くの目的に適用することができる。ここでは、数値モデルツールの概要とそこから得られた結果について述べる。

6.3.1.数値モデル

ここで使用する FVCOM は、運動量、連続性、水温、塩分、密度などの浅水原始方程式を有限体積法により解く海洋モデルである。図 6.3-1 に示すとおり、FVCOM は非構造格子を用いていることから、奈留瀬戸の不規則な海岸形状に計算領域をより正確に適合させることができる。

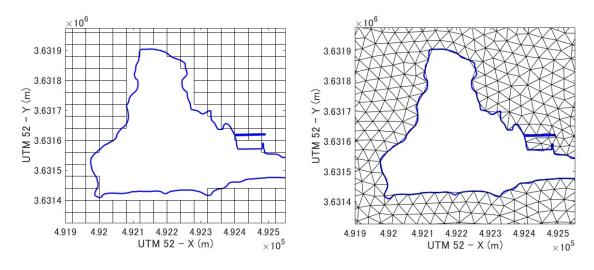


図 6.3-1 構造化格子(左)と非構造化格子(右)の篝火崎岬(奈留島)不整形海岸形状 への適応性

FVCOM は 3 次元モデルであることから、奈留瀬戸の不規則な水深を滑らかに表現するために、垂直方向の離散化には一様なシグマ座標系を使用した。これは、すべてのセルとノードについて、鉛直領域が計算領域全体に対して一定の層数に等しく分割されることを意味する。図 6.3-2 に示すとおり、例えば、シグマ層の数を 10 とすれば、深度 30m の地点では 層幅は 3m となり、深度 40m の地点では 4m となる。

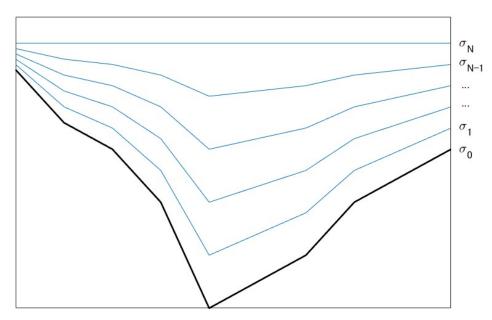


図 6.3-2 鉛直方向のシグマ分布

x 軸と y 軸は計算領域をセルに分割し、それぞれを 3 つの節点で定義する。図 6.3-3 に示すように、それぞれの鉛直層に対して、流速の u 成分と v 成分がセルの中心で計算される。温度、塩分、密度、表面高度、および乱流モデル関連パラメータは、ノードで計算される。

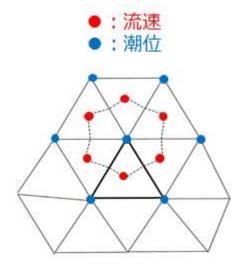


図 6.3-3 FVCOM を用いた非構造化三角形グリッド

図 6.3-4 に示すとおり、モデル計算領域は、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県の海域を含む広い範囲となる。この広い領域は、開境界不安定性が我々の対象領域(奈留瀬戸)に及ぼす影響を最小限に抑えることを目的としている。この観点から、開境界ノード(図 6.2-4 の赤) と AR500 の位置との間の最小「安全」距離は 100km に設定した。

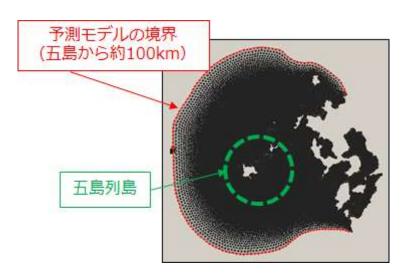


図 6.3-4 FVCOM 数値モデルの水平計算領域

モデルの精度は、水平面と垂直面の両方において、領域の離散化に依存する。セルが小さく、垂直方向の層が薄いほど精度は向上するが、その代償として計算量が多くなる。そのため、手頃な計算量で許容できる精度を実現するソリューションが追求された。

図 6.3-5 で示すとおり、水平面内では、奈留瀬戸の海岸線の 750 ㎡から、開口境界の約 10 Listでセルサイズが大きくなっている。これにより、実用的な総セル数、ノード数を保 ちつつ、対象領域内の分布を非常に細かくすることができる。使用したグリッドは、総セル数 127,697、総ノード数 66,719。垂直面では、10 の垂直シグマ層がシミュレートされた。



図 6.3-5 FVCOM を用いた 奈留瀬戸の詳細メッシュ

モデルの水深データは、主に2つのソースから入手する。田ノ浦瀬戸と奈留瀬戸では、環境省のホームページで公開されている1m×1mの水深データを使用した。水深情報は、この

ようなデータがない残りの地域については、NewPecマップのデジタル化で完成させた。

境界条件については、松本モデルから出力される10分ごとの潮位をオープン境界ノードで強制的に適用する。松本モデルは、日本近海をカバーする高解像度(1/12°)の広域海洋潮汐モデルで、TOPEX/POSEIDONデータと219の沿岸潮位データを同化して水位計算を行う。固体境界(海岸線セル)について、境界に垂直な速度成分は0である。

計算量を最小限にする目的で、限定的に潮汐力推定に影響を与える要因は考慮されていない。この点から、水温と塩分濃度は空間的・時間的に一定とした。また、最大3ヶ月の期間を区切ってモデルを実行するため、水温と塩分については、FRA-JCOPE2(沿岸海洋予測実験再解析)モデル結果に基づくシミュレーション期間と領域の平均値として定義した。

モデルは1秒のタイムステップで実行した。その結果、1秒ごとにセルと層ごとに流速が計算される。しかし、1秒ごとの結果を抽出すると、データ量が膨大になるため、20分毎のFVCOM流速出力で結果とした。

初期条件が最終結果に影響しないように、適用された強制力の下でモデルが統計的平衡 状態に到達するまでにスピンアップ期間が必要である。この場合、すべてのシミュレーショ ンで、15日間のスピンアップ期間で実行した。

6.3.2. 流速モデルの検証

奈留瀬戸周辺の数値モデルの精度を検証するため、2016年の10月25日から12月10日まで潮流発電機設置位置からおよそ100m西の北緯32°49'06.6″、東経128°54'37.8″で測定したデータとモデル結果を比較した。図6.3-6に示すとおり、主に洪水時など潮流に影響される流れ方向のわずかなずれを除いて、ADCPで測定したデータと良い相関を示す結果が得られた。そこで、本章で紹介するメッシュと条件でシミュレーションを行うこととした。

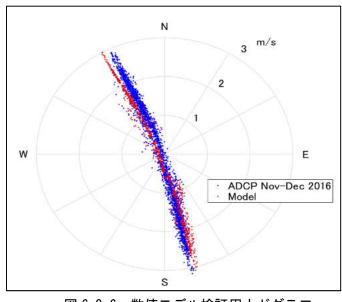


図 6.3-6 数値モデル検証用ホドグラフ

6.4. 発電効率の検証

6.4.1. 発電のためのモデル検証

2016年の ADCP データによる流速の検証に加え、本事業で得られた発電電力量の実績との比較による数値モデルの検証も行った。この目的のために、FVCOM による流速の結果は、表 6.4-1 に示す AOUK 社から提供された「流速 vs 発電電力」データのカーブフィッティングの結果を基に、図 6.4-1 で示す方程式として表せる。

表 6.4-1 本事業で使用する潮流発電機 (AR500 ヨー、ピッチ制御なし) の出力と流速の関係

流速 (m/s)	出力 (kW)
0.82	2
0.92	5
1.00	9
1.11	19
1.20	25
1.30	34
1.40	41
1.50	50
1.60	61
1.70	75
1.80	91
1.91	113
2.00	137
2. 10	165
2. 19	189
2. 30	217
2. 40	246
2.50	279
2.60	311
2.70	349
2.80	388
2.90	437
3.00	464
3. 10	500
> 3.10	-

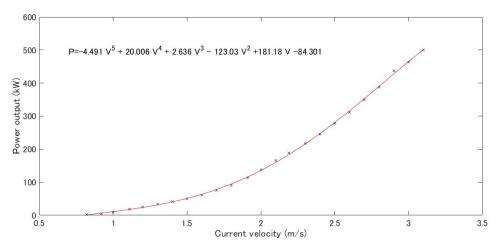


図 6.4-1 表 6.4-1 の「流速 vs 発電電力」データからのカーブフィティング

FVCOM の流速結果に式を適用した発電電力と本事業で得られた発電実績と比較した。例として、1 日 (4/29)、1 週間 (TBD)、1 ヶ月 (TBD) の AR500 出力に対する FVCOM 発電電力の推定結果を図 6.4-2 に示す。数値モデルでは、乱流や波浪による発電量の変動や、ローターの軸周りの回転による 3P 変動は予測できない。そこで、本事業では、モデル結果と直接比較するために、発電電力を 1 分平均値で示す。例えば、4/29 12:00 に対応する発電実績データ値は、11:59:30 から 12:00:30 までの出力データの平均値として表す。

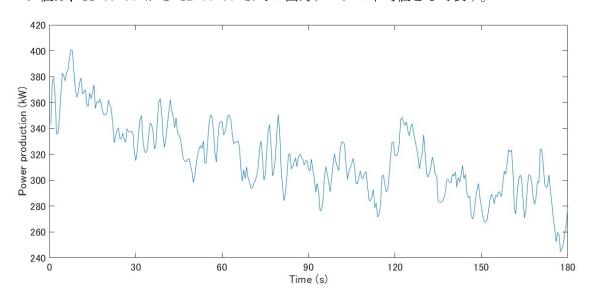


図 6.4-2 3 分間の発電電力 2Hz データ (2021 年 3 月 14 日 16:00~16:03)

比較の結果、1 日、1 週間、1 τ 月の測定データに対して、それぞれ 2.5%の欠損(図 6.4-3)、0.34%の過大評価(図 6.4-4)、8.59%(図 6.4-5)となり、モデルは高い精度であることを確認した。このような予測値とデータとの乖離は、様々な理由が考えられる。松本モデルでは、開境界節点での潮位計算に 37 個の潮汐高調波成分のうち主要な 21 個だけを考慮し

ていることが一因と考えられる。また、気象データ(風、波、気温、日射など)を強制しないモデルも誤差要因の一つである。さらに、離散化誤差による不正確さも予想された。

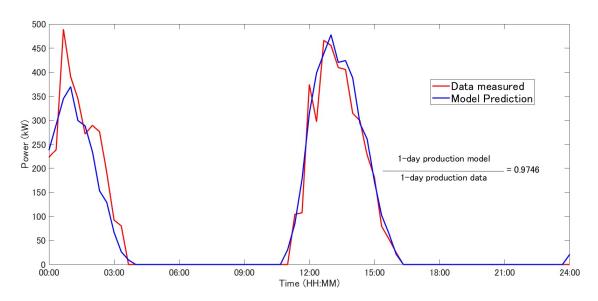


図 6.4-3 4/29 の発電電力測定値とモデル予測値の比較

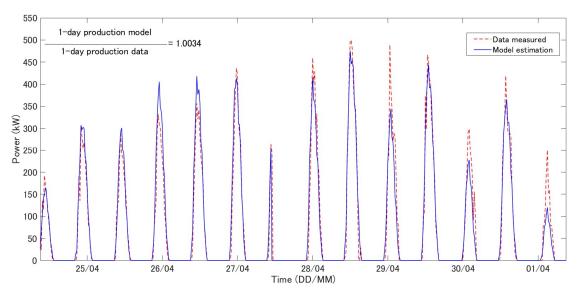


図 6.4-4 1 週間 (04/24~05/01) の発電電力実測値とモデル予測値の比較

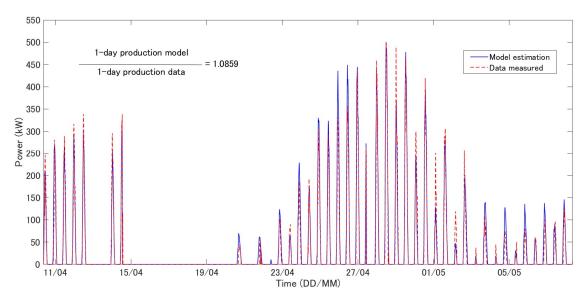


図 6.4-5 1ヶ月間 (5月) の発電電力測定値とモデル予測値の比較

AOUK 社から提供されたパワーカーブを、本事業の発電実績と流速のデータで検証した。 潮流発電機が稼働していない期間のデータが混入しないように、実測データのフィッティングカーブでは、発電がゼロのポイントは全て破棄した。その結果を図 6.4-6 に示す。AOUK 社から提供されたデータから算出された効率とほぼ同じ曲線が得られたが、流速が約2.3m/s 以上では、奈留の実測データから計算した値の方が若干高くなっている。

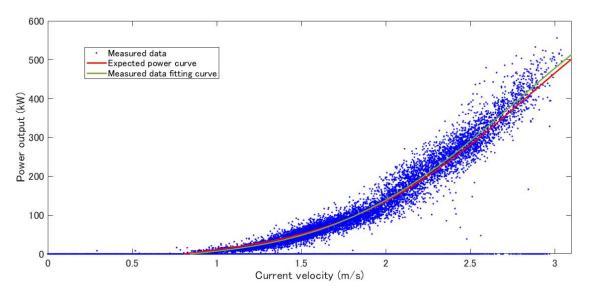


図 6.4-6 予想されるパワーカーブ(赤)と 本事業で得られた発電実績から計算されたパワーカーブ(緑)

6.4.2. 年間設備利用率の算出

このモデルが流速と発電電力の両方において正確な予測手法であることが検証されると、年間発電電力量の推定に使用することができる。流速に関する数値モデルの結果から、稼働率が100%で、システム損失(ケーブル、コンバータなど)がないと仮定すると、本事業で使用した潮流発電機の2020年、奈留瀬戸での年間利用率は8.50%と推定される。

さらに、月の節理が潮流エネルギー生産に与える影響を数値化するため、2014年から2033年までの年間発電量係数を算出した結果を図6.4-7に示す。

期間が非常に長く、数値シミュレーションができないため、2016 年の 10 月から 12 月に 測定した ADCP データの高調波解析による結果を基に算出した。容量係数は 2015 年の 7.77% から減少し、2024 年には 6.57%と低い値となる。その後、2033 年の 7.80%まで再び上昇する。これは、平均化された設備利用率 7.23%に対して \pm 9.14%の変動を意味する。このサイクルは 18.6 年の周期で繰り返される。

なお、ADCP はタービン位置から 100m の位置に設置されているため、この結果は本事業の シミュレーション結果と直接比較することはできないが、奈留瀬戸の他の地点における発 電電力量の年変動の推定に利用することができる。

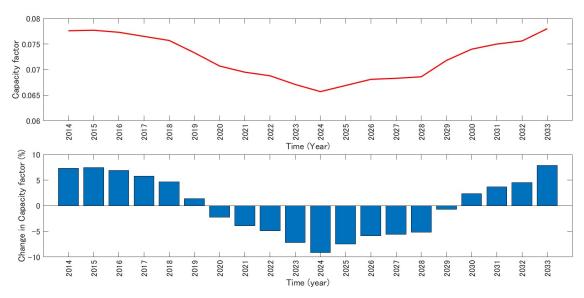


図 6.4-7 本事業で使用した潮流発電機(AR500 ヨー・ピッチ制御なし)20年間設備利用 率変動特性

6.4.3. ヨー制御・ピッチ制御の効果的な活用方法

本事業で使用した潮流発電機は、主に3つの要因で出力が制限されている。第一に、ヨー制御ができないため、垂直軸を中心に回転することができない(図 6.4-8 の赤色回転矢印)。また、ローターが北西方向を向いているため、潮流の運動エネルギーが電力に変換されるのは干潮のみである。

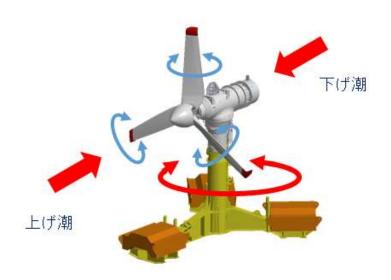


図 6.4-8 本事業で使用した潮流発電機のピッチ回転(青)とヨ―回転(赤)のイメージ

第二に、ブレードの回転面に対する角度であるピッチ角(図 6.4-8 の青色回転矢印)を制御していない。ピッチ角は、その時々の流況に応じてローター効率を潮流発電機の特性に適合させるために変更することができる。図 6.4-9 に AOUK 社製潮流発電機の流速に対する最適なピッチ角度を示す。

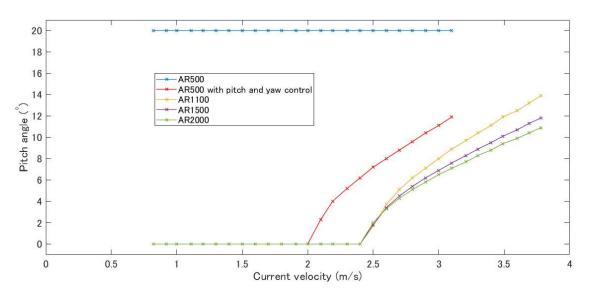


図 6.4-9 AR500、AR500 (ヨー・ピッチ制御搭載)、AR1100、AR1500、AR2000 の流速に対するピッチ角の変化

このため、本事業で使用した潮流発電機におけるヨー・ピッチ制御の効果に関して検討した。解析は、本事業で得られた発電実績と、ヨーおよび/またはピッチ制御の搭載を考慮した同時期の数値モデル速度結果から計算された出力推定値との比較で構成されてる。モデルの検証としては、1日、1週間、1ヶ月の期間を比較対象としている。図 6.4-10 に示すと

おり、ピッチ制御による正のパワーギャップは流速に依存し、2.1m/s の流速で最大となる。

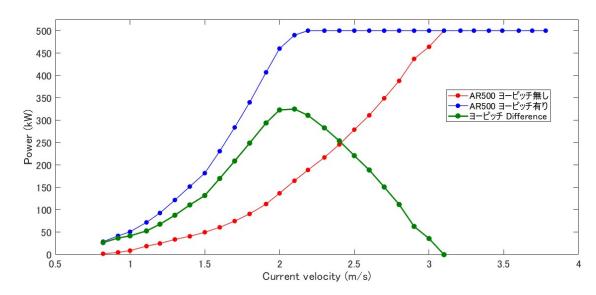


図 6.4-10 本事業で使用した潮流発電機(AR500)のヨー・ピッチ制御なし(赤), ヨー・ピッチ制御あり(青), 両タービン間の差(緑)のパワーカーブ

このため、1 日間の比較では、潮流速の異なる 2 つのケース、2021年4月29日(最大潮流速≒3.03m/s) と 2021年4月13日 (最大潮流速≒2.58m/s) を選択した。

数値モデルによる流速に基づき、その年の最も強い春の潮流は4月29日に発生。試算結果を表 6.4-2に示す。1日の発電電力量は2,181.49kWhに達したと推定。潮流発電機にヨー制御を搭載した場合、3,212.31 kWh(ヨーとピッチ制御なしに対して47.25%増)の電力量が期待される。ピッチ制御のみを搭載した場合、1日の発電電力量が76.14%増加する(3,842.43 kWh)。最後に、ヨーとピッチ制御の両方を搭載した潮流発電機は、その日の発電電力量が6,942.83kWh(+218.26%)と推測される。図6.4-11は本事業で使用した潮流発電機のヨー・ピッチ制御搭載機の発電電力量比較である。

表 6.4-2 ヨー・ピッチ制御有無による比較(2021年4月29日)

AR500	ピッチ制御なし	ピッチ制御あり
ヨー制御なし	2181.49 kWh	3842. 43 kWh (+76. 14%)
ヨー制御あり	3212. 31 kWh (+47. 28%)	6942. 83 kWh (+218. 26%)

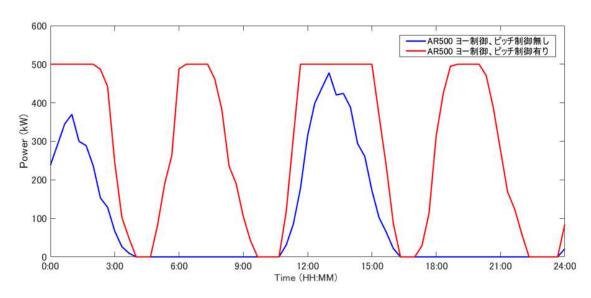


図 6.4-11 本事業で使用した潮流発電機 (AR500) のヨー・ピッチ制御有無による発電電力 の比較 (2021 年 4 月 29 日)

4月13日の結果については、予想通り、潮流速が低いため、ヨー・ピッチ制御なしとの差が大きくなっている。ヨー制御を搭載した場合、4月29日と同程度の増加率(+50.98%)となる。しかし、ピッチ制御は142.03%の出力増加をもたらし、両制御システムを搭載した場合は319.79%の増加を示し、4月29日推定値(それぞれ76.14%と218.26%)より明らかに高い値となる。結果は表6.4-3と図6.4-12に示す。

4月13日と4月29日では、潮流発電機が2倍の時間運転されるため、ヨー制御による発電電力量は増加するものの、2倍にはならない。これの原因は、本事業の設置場所では、満潮時の流速が干潮時よりも著しく低いためと推測される。その結果を図6.4-13に示す。

表 6.4-3 ヨー・ピッチ制御有無による比較(2021年4月13日)

AR500	ピッチ制御なし	ピッチ制御あり
ヨー制御なし	1424. 55 kWh	3455. 03 kWh (+142. 03%)
ヨー制御あり	2150. 85 kWh (+50. 98%)	5980. 06 kWh (+319. 79%)

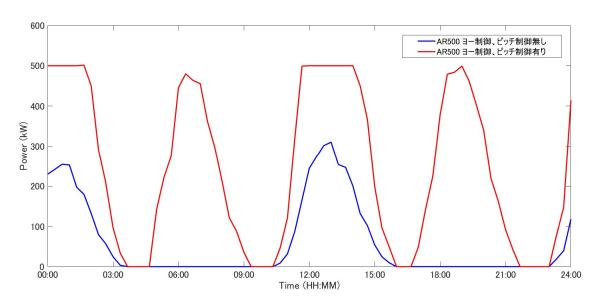


図 6.4-12 本事業で使用した潮流発電機 (AR500) のヨー・ピッチ制御有無による発電電力 の比較 (2021 年 4 月 13 日)

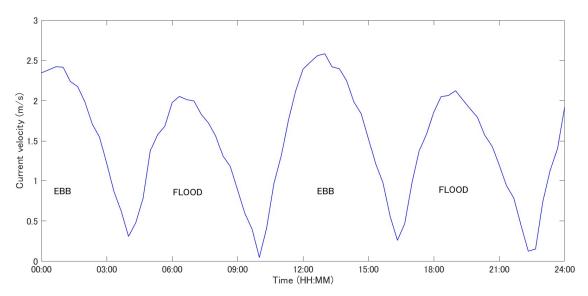


図 6.4-13 本事業の潮流発電機設置場所の FVCOM 数値シミュレーションによる潮流速結果 (2021 年 4 月 13 日)

また、奈留瀬戸は本事業の潮流発電機が設計された条件とは異なるため(オークニー諸島の潮汐サイトは奈留瀬戸より浅く潮流速が強い)、現在の設置地点ではロータサイズ、定格容量、定格流速が異なる機種の潮流発電機の方が発電量として採算性が高い可能性がある。このため、流速に関する数値モデルの結果を用いて、他の AOUK 社製潮流発電機を用いた発電電力を試算した。図 6.4-14 に 2021 年 4 月 29 日における発電電力を示す。なお、比較に使用した機種は本事業で使用した AOUK 社製 AR500 (500kW)、AR1100 (1,100kW)、AR1500

(1,500kW)、AR2000 (2,000kW) で、AR500 以外はヨー・ピッチ制御が搭載されている。

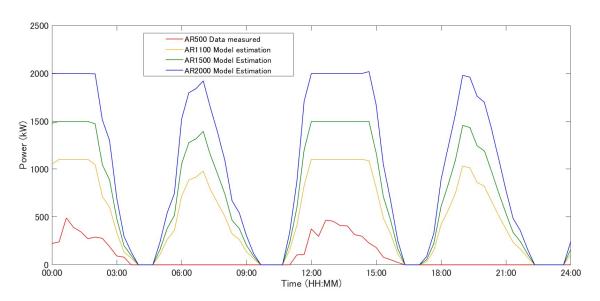


図 6.4-14 2021 年 4 月 29 日における本事業潮流発電機と他機種の発電電力比較

4月29日、AR1100、AR1500、AR2000の発電量は、本事業で使用した潮流発電機 (AR500)の発電電力の5.54倍、7.84倍、10.87倍であると推測される。04/29のAR500、AR1100、AR1500、AR2000の設備利用率は、18.58%、46.82%、48.53%、50.51%と推測された。

また、各タービンの長期的な効率を把握するために、同様の比較を 5 年後に拡張した。 5 年間の設備利用率の結果は表 6.4-4 に示す。 2021 年 4 月 29 日は昼夜間が同じであり、潮流が年平均よりかなり強かったので、表 6.4-4 の設備利用率は 2021 年 4 月 29 日より低くなっている。図 6.4-15 に示すように、タービンの種類は、月の歳差運動期間(18.6 年)の発電量の変化にも影響を与える。

発電機種	設備利用率
AR500 (ヨー・ピッチ制御なし)	7. 8%
AR1100	26. 4%
AR1500	27. 8%
AR2000	29. 6%

表 6.4-4 5年間の各機種の設備利用率の推測 (2016~2020年)

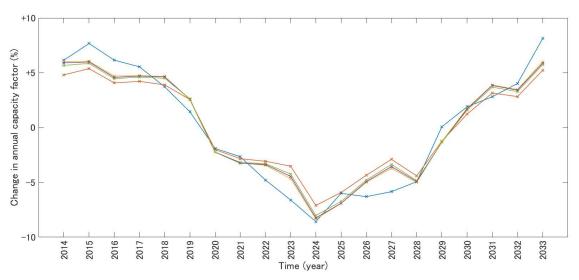


図 6.4-15 本事業で使用した潮流発電機の 20 年間の発電量変動特性

潮流エネルギーポテンシャルの低い年(2021~2028 年)は高流速の発生が少ないため、本事業で使用した定格流速の高い潮流発電機(AR500、定格流速=3.1 m/s)ほど強い変動が見られる。一方、定格流速が低い(2.2 m/s)ため、潮流エネルギー資源の変化の影響を受けにくいことから、変化の少ないのはヨー・ピッチ制御搭載のAR500と推測される。AR1100、AR1500、AR2000は定格速度が同じ(2.5 m/s)であるため、20年間の年間変動幅はほぼ同じである。定量的には、年間設備容量の変化を分散係数(式 1)で表 6.4–5に示す。この表では、各潮流発電機の定格流速が参考値として含まれている。

$$C_v = \frac{\sigma_{C_F}}{\overline{C_F}} \tag{1}$$

 σ_{C_F} と $\overline{C_F}$ は、年間稼働率の標準偏差と平均値である。

表 6.4-5 各機種の定格速度と 20 年周期の分散係数

	本事業発電機 (AR500)	AR500 (ヨー・ピッチ制御 搭載)	AR1100	AR1500	AR2000
定格速度 (m/s)	3. 1	2. 2	2. 5	2. 5	2. 5
変動係数	5.43%	4.12%	4.83%	4.76%	4.63%

6.5. 潮流発電ファーム化検討

6.5.1. 商用化を見据えたデータの取得

潮流発電を実用化に向けて拡大するためには、潮流発電機が流れに与える影響を明確に理解する必要がある。稼働中の潮流発電機は下流にウエイクを発生させ、流速の低下と乱流の増大を招き、次の列の潮流発電機(図 6.5-1 で示す黄色の潮流発電機)の性能に大きな影響を与える。

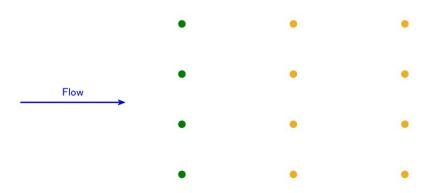


図 6.5-1 潮流発電ファーム化の模式図 (緑色と黄色が潮流発電機設置位置)

潮流発電機が潮流の下流に与える影響を測定する最初の計画は、6 径 (6D、108m) と 10 径 (10D、180m) の間に設置した底面固定式 ADCP で、春から昼にかけて最低 2 週間データを測定する予定であった。しかし、この海域ではダイバーが安全に作業できるような浅い場所は見つからなかったため、本事業で使用する潮流発電機周辺の流速は、設置前 (2020 年 11 月 14 日) と設置後 (2021 年 3 月 15 日、5 月 29 日、9 月 19 日) の 3 回、船舶搭載型 ADCP で測定した。

測定時の船舶は、「タービン設置前の流速と設置後の流速」を直接比較するために、ADCP が潮流発電機設置前後で同じ場所、同じ潮位で測定されるような航路計画にしなければならない。これは潮流を正確に予測することの難しさと、正確な航路をたどるこが困難であることから、実現不可能である。

このため、ある地点での流速分布の形状が時間的に変化しないと仮定し、ADCP データの前処理として、測定した最も浅い層の流速に対する各層の流速の深度比(RD)を算出した。したがって、各「i」層について、RD は式2で計算される。

$$R_{D_i} = \frac{V_i}{V_i} \tag{2}$$

V1 が最も浅い測定層である。以下の図に示す結果は、タービン設置後の RD とタービン 設置前の RD の変動率 (RV) として定義されている (式 3)。

$$R_V = \frac{R_{D_{with turbine}}}{R_{D_{witho} turbine}} \tag{3}$$

したがって、本事業で使用する潮流発電機の影響で流速が低下した場所はRVが1より小

さくなり、流速が増加した場所はRVが1より大きくなる。

最初のアプローチとして、2020 年 11 月と 2021 年 3 月のフィールドワークで、潮流発電機の下流域を広範囲にカバーした。両日に船舶がたどったルートを図 6.5-2 に青い点で示す。

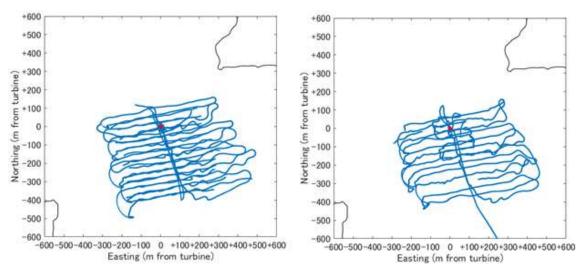


図 6.5-2 船舶搭載型 ADCP 測定対象領域 (左: 2020 年 11 月、右: 2021 年 3 月)

図 6.5-3 は、水深 26m の潮流発電機設置前後の測定データを比較したマップであり、潮流発電機中心の鉛直位置に相当する。潮流発電機下流(南東)側にはっきりとした青いウエイクが確認でき、タービン近傍の RV 値は 0.6 と最小である。これは、船舶搭載型 ADCP で測定したデータを比較するために必要な式(2) および式(3) で仮定した条件による誤差が主な要因である。

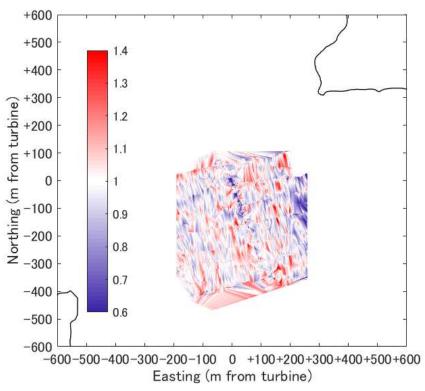


図 6.5-3 2021 年 3 月を 2020 年 11 月と比較した RV マップ (地表から 26m 地点)

過去 2 回の測定で潮流発電機の影響が強かった地域の流れの状況をより明確に把握するため、2021年5月と2021年9月に実施したフィールドワークでは、タービンの下流域をより狭く、短くした。結果を図6.5-4に示す。

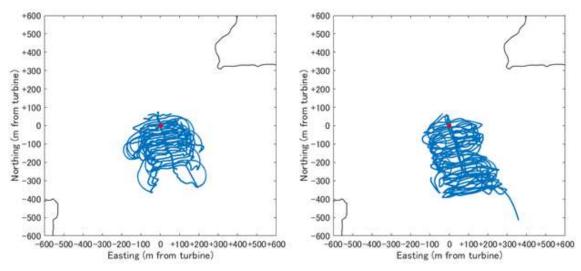


図 6.5-4 船舶搭載型 ADCP 測定対象領域 (左: 2021 年 5 月、右: 2021 年 9 月)

2021年3月に測定したデータと同じように、2021年5月と9月に測定したデータを、潮流発電機設置前の2020年11月に測定したデータと比較し、地表から26m地点のRVのマップを図6.5-5に示す。5月のフィールドワークで測定されたデータから得られた結果は、3月に得られたマップと同様であり、マップの中央にはっきりとした青いウエイクが分かる。一方、9月に地表から26mの地点で測定したデータでは、タービン設置地点のごく近傍を除き、下流の流れにおけるタービンの影響は不明瞭である。

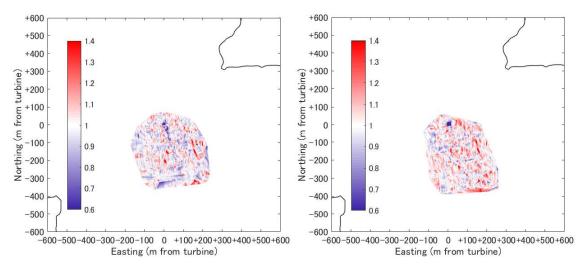


図 6.5-5 2021 年 5 月と 9 月を 2020 年 11 月と比較した RV マップ(地表から 26m 地点)

奈留瀬戸で測定した潮流発電機のウエイクデータを、FVCOM 数値モデルの結果と比較した。 潮流発電機による潮流エネルギー取出しの影響をシミュレーションするために使用したモジュールは、リバプール大学で開発された経験的アプローチで、CFD モデルの結果や実験データとの比較により検証されたものである。この手法では、潮流発電機直後のウエイクにおける複雑な流れと潮流発電機の相互作用をシミュレーションすることはできないが、潮流発電機から 4D (72m) より下流の距離に対する流速と乱流のウエイク特性の推定にはこの方法が有効であることが確認された。

流速モデルでは、潮流発電機周りのエネルギー損失と閉塞効果をモデル化し、元のモデル 式にシンク項を追加する。乱流モデルでは、潮流発電機による乱流の発生、潮流発電機によ る乱流の消滅、乱流の長さスケールの干渉の3つのパラメータを追加している。

船舶搭載型 ADCP の測定技術の限界により、乱流関連パラメータを測定することができなかった。そのため、数値モデルの検証は潮流速への影響のみを考慮して行われた。図 6.5-6は、タービンから 4D (72m)、6D (108m)、8D (144m)、10D (180m)、14D (252m)、18D (324m)における RV の垂直プロファイルを示す。

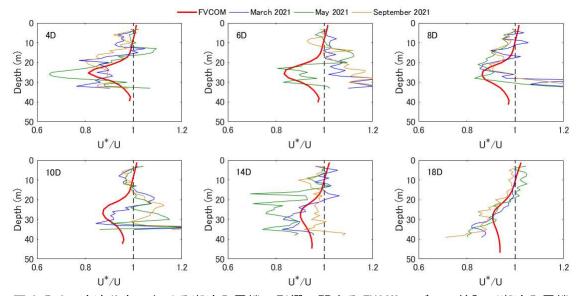


図 6.5-6 流速分布における潮流発電機の影響に関する FVCOM モデルの検証(潮流発電機 下流 4D (72m)、6D (108m)、8D (144m)、10D (180m)、14D (252m)、18D (324m)

結果から潮流発電機から各距離は許容範囲と思われる。各距離について少なくとも 1 回のフィールドワークで測定された流速の減少をモデルが合理的に再現していることが図で示されている。

最も深い測定層では、特に 6D (3 月と 9 月)、8D (3 月、5 月、9 月)、10D (3 月、5 月、9 月)で、予想外の値が観測された。原因は確認できていないが、これらの層ではデータの質が低いことが関係している可能性がある。乱流関連データの測定については、底面固定式ADCP を設置することで容易に解決できる問題と思われる。

以上のことから、潮流発電機下流で発生するウエイクの流速低下を予測する数値ツールを開発した。このツールは、今後、底面固定式 ADCP で測定したデータが入手可能になった時点で改良し、その妥当性を確認する必要がある。その後は、利用可能な資源、航跡損失、必要なケーブル長を考慮した潮流発電ファーム化レイアウトの最適化に使用される予定である。

6.5.2. 潮流発電ファーム化レイアウトが設備利用率と LCOE に与える影響

潮流発電ファーム化設計におけるウエイク損失の考慮の重要性を理解するために、2つのファーム化シミュレーションを実施した。この2つのファーム(以下、ファーム A、ファーム B)は、設備容量がほぼ同じ(\leftrightarrows 50MW)とし、ファーム A では AR1500 (AOUK 社製 1.5MW 潮流発電機)、ファーム B では AR2000 (AOUK 社製 2MW 潮流発電機)を選定することとした。

両ファームとも、連続する 2 つの潮流発電機の間隔は、水路の主方向に 10D(ファーム A は SE-NW,ファーム B は S-N),水路の主方向に直交する方向に 3D(ファーム A は SW-NE,ファーム B は W-E) でグリッドを作成した。

まず、潮流発電機が流れに与える影響を無視したシミュレーションを行い、各ファームで最も発電量の多い地点を選んで潮流発電機の配置を決定した。ファーム A では、最も有望な 33 箇所を選び、総設備容量を 49.5MW とした (33 × 1.5MW)。ファーム B の場合、最も有望な 26 カ所を選定し、そのうち 23 カ所には AR2000 を提案し、AR2000 では深さが足りない 3 カ所には AR1500 を選択、設置容量は 50.5MW とした。

ファームレイアウトを決定した後、ウエイクを考慮し、潮流発電機の配置を決め、各ファームのシミュレーションを再度実施した。図 6.5-7 は 2 回目のシミュレーションで算出されたファーム A 及びファーム B のタービン配置と設備容量係数を示している。

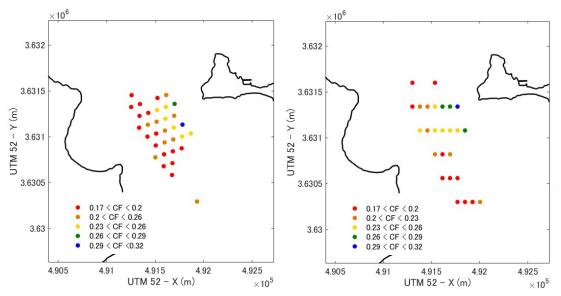


図 6.5-7 ファーム化のレイアウトと各潮流発電機の設備利用率 (左:ファーム A、右:ファーム B)

潮流発電機から発生するウエイクを無視すると、ファーム A の方が高い設備利用率 (A:B=0.2521:0.2448) と推測される。しかし、ファーム A のウエイク損失 (-16.16%) は、ファーム B (-9.98%) より明らかに大きい。それを考慮した結果、ファーム B の予想発電量係数 (0.2203) は、ファーム A (0.2114) よりも高くなった。個々の潮流発電機の設備利用率と交流による損失の結果は表 6.5-1、2 に示す。

表 6.5-1 ファーム A の各潮流発電機の設備利用率とウエイク損失

	設備利用率				設備利用率				設備和	间用率	
	後流損失 あり	後流損失 なし	後流損失		後流損失 あり	後流損失 なし	後流損失		後流損失 あり	後流損失 なし	後流損失
1	0. 305	0. 300	∔1. 79	12	0. 220	0. 283	-22. 41	23	0. 192	0. 245	−21.86
2	0. 285	0. 291	−2. 07	13	0. 219	0. 240	-8. 56	24	0. 191	0. 240	-20. 31
3	0. 251	0. 289	-13. 19	14	0. 213	0. 262	-18. 80	25	0. 189	0. 244	-22 . 52
4	0. 245	0. 299	+6. 65	15	0. 211	0. 260	-18. 84	26	0. 188	0. 215	-12. 26
5	0. 240	0. 281	-14. 50	16	0. 207	0. 254	-18. 63	27	0. 187	0. 236	-20. 90
6	0. 240	0. 273	-12. 04	17	0. 206	0, 232	-11. 31	28	0. 180	0. 227	-20. 59
7	0. 236	0. 273	-13. 59	18	0. 200	0. 244	-18. 09	29	0. 179	0. 221	-18. 85
8	0. 231	0. 280	−17. 65	19	0. 199	0. 235	-15. 27	30	0. 173	0. 235	-26 . 13
9	0. 228	0. 280	-18. 48	20	0. 199	0. 247	-19. 47	31	0. 173	0. 229	-24. 55
10	0. 225	0. 267	-15. 84	21	0. 198	0. 235	-16. 07	32	0. 173	0. 216	-20. 26
11	0. 224	0. 263	-14. 86	22	0. 197	0. 259	-24. 01	33	0. 172	0. 231	-25. 71

表 6.5-2 ファーム B の各潮流発電機の設備利用率とウエイク損失

	設備利用率				設備和	用率			設備和	间用率	
	後流損失 あり	後流損失 なし	後流損失		後流損失 あり	後流損失 なし	後流損失		後流損失 あり	後流損失 なし	後流損失
1	0. 311	0. 302	+2. 92	10	0. 238	0. 261	-8. 77	19	0. 198	0. 233	-15. 13
2	0. 290	0. 301	-3. 67	11	0. 216	0. 241	-10. 52	20	0. 197	0. 227	-12. 96
3	0. 265	0. 284	−6. 77	12	0. 213	0. 254	-16.00	21	0. 191	0. 205	-6. 49
4	0. 261	0. 271	−3. 78	13	0. 211	0. 232	-9 . 20	22	0. 187	0. 215	-13. 35
5	0. 255	0. 280	-8. 97	14	0. 209	0. 221	-5. 54	23	0. 186	0. 218	-14. 56
6	0. 249	0. 267	−6. 61	15	0. 208	0. 234	-10. 89	24	0. 180	0. 215	-16. 43
7	0. 247	0. 269	-8. 06	16	0. 208	0. 227	-8. 74	25	0. 174	0. 218	-20. 41
8	0. 244	0. 260	−6. 14	17	0. 205	0. 232	-11. 87	26	0. 171	0. 212	-19. 08
9	0. 241	0. 261	-7. 75	18	0, 201	0. 240	-16, 40				

両ケースとも、すべてのタービンをつなぐために必要なケーブルの長さは、アルゴリズムを用いて計算した。すべてのタービンをつなぐために必要なケーブルの長さは、AファームではBファームより約350m長くなり、LCOEがさらに増加することになる。

6.6. 総括

本事業では約11か月と短い発電期間であったため、発電期間中の潮流発電機の不具合など重大な事象は発生せず、日常の遠隔監視や保安規程の日常点検は問題なく実施できた。また、英国で使用しているSCADAシステムも十分に日本で対応できることも確認できた。

本事業における累計の発電電力量は 247MWh、発電期間の設備利用率は 6.3%となった。また、発電期間中、爆弾低気圧や台風襲来があったものの、潮流発電機の発電に与える影響はほとんど見られなかった。そのため、潮流発電機の発電は海上の気象・海象に影響を受けない、災害に強い発電方式である。

また、今回構築した発電予測手法は本事業の発電実績と比較しても再現性があり、今後、 潮流発電事業を計画する際に利用できる手法である。また、本事業で検討した発電予測手法 は潮流発電機のファーム化を検討する場合に必要なウエイク損失も考慮されていること、 海域も選定できることから、今後はファームでの検証、更なる精度向上が必要である。

7. 地域との共生、環境との調和に関する研究に関する業務

7.1. 環境影響評価のための現況調査

事業実施前に行なった現況調査の概要を表 7. 1-1、7. 1-2、調査実施時期を表 7. 1-3、調査地点を図 7. 1-1、調査測線を図 7. 1-2 に示す。

表 7.1-1 潮流調査の概要

項目	内容
観測場所	長崎県五島市 奈留瀬戸(久賀島、奈留島間)
調査地点	Site.1(1地点) 海底設置
観測位置	緯度 32°49′06.6″N 経度 128°54′37.8″E
設置期間	平成28年10月25日~12月18日
観測機器	【流速計】 ADCP流速計(Signature 500、Nortek社製) H 274mm×W(直径)220mm 【シンカー】 ステンレスチェーン、土嚢

表 7.1-2 現況調査の概要

調査項目	調査地点	調査方法			
水質調査		多項目水質計による鉛直観測、採水試料の分析 (3層)			
プランクトン調査	4 地点	植物:採水法(3層)			
	(St. 1, 2, 4, 5)	動物:北原式定量ネット(2層)			
卵・稚仔調査		マルチネット(2層)			
潮間帯生物調査 海藻・草類調査	2 地点 (St. 3, 6)	潜水士による目視観察、写真撮影、坪刈採取			
海産哺乳類調査	秋季、冬季 5 測線(L1~L5)	A-tagを用いた曳航観測			
(两)生用孔規則且	春季、夏季 2 地点(St. 7, 8)	A-tagを用いた連続観測			
水中音調査	4 地点 (St. 1, 2, 4, 5)	水中騒音計を用いた測定(2層)			
鳥類調査	5 測線 (L1~L5)	専門技術者により目視観測			
底生生物調査	4 地点	ROVを用いた観測			
魚類調査	(St. 1, 2, 4, 5)				
漁業生物調査	奈留瀬戸内	一本釣りによる(地元漁業関係者同行)			
航行船舶調査	かがり火崎 (奈留島) と久賀島間	水質調査時等に確認、記録			

表 7.1-3 現況調査の実施時期

調査項目	春季	夏季	秋季	冬季
水質調査 プランクトン調査 卵・稚仔調査	平成29年5月16日	平成29年8月1日	平成28年11月9日 平成28年11月10日	平成29年2月6日 平成29年2月7日 平成29年2月14日
潮間帯生物調査 海藻・草類調査	平成29年5月20日	平成29年8月2日	平成28年11月9日	平成29年2月6日 平成29年2月7日
海産哺乳類調査	平成29年5月16日 ~ 平成29年6月19日	平成29年8月1日 ~ 平成29年9月11日	平成28年11月21日 平成28年11月22日	平成29年2月16日 平成29年2月17日
水中音調査	平成29年5月23日	平成29年8月28日 平成29年8月29日	平成28年11月21日 平成28年11月22日	平成29年2月16日 平成29年2月17日
鳥類調査	平成29年5月24日	平成29年8月28日 平成29年8月29日	平成28年11月21日 平成28年11月22日	平成29年2月16日 平成29年2月17日
底生生物調査	平成29年5月18日	平成29年8月28日	平成28年11月25日	平成29年2月19日
魚類調査	平成29年5月19日	平成29年8月29日	平成28年11月26日	平成29年2月20日
漁業生物調査	平成29年5月20日	平成29年9月1日	平成28年11月26日	平成29年3月9日

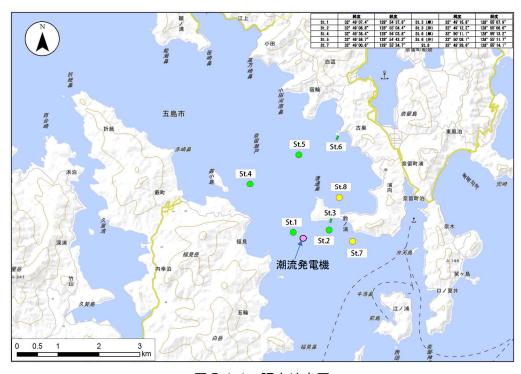


図 7.1-1 調査地点図

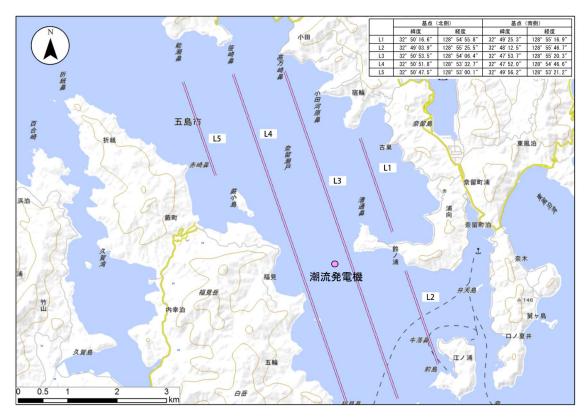


図 7.1-2 調査測線図

7.2. 現況調査の主な調査結果

7.2.1. 潮流調査

調査地点の流況は満潮時に北流、干潮時に南流が 周期的に繰り返す往復流であった。解析期間におけ る最大流速は約 250~310cm/s、スカラー平均流速 は約 110~130cm/s であり、大潮期に流速が速くな る傾向にあった。

算出された調和定数を使って潮流の再現を行ったところ精度良く再現することが可能であったことから、事前に潮流の推算を行うことで、作業や工事についての効率的な計画の策定が可能になるのではないかと考えられる。



図 7.2-1 ADCP 設置状況 (2016 年 12 月 2 日)

ただし、潮流予測結果についてはあくまでも参考とし、実際の作業、工事にあたっては現場の状況を十分確認して行う必要がある。

7.2.2. 水質調査

秋季(2016 年 11 月)における水温は約 22^{\mathbb{C}}、塩分は約 34.2 \sim 34.3、pH は約 8.2、酸素飽和度は約 95 \sim 98 %であった。室内分析による SS は 1 mg/L 未満、濁度は 0.4 度以下であった。

冬季(2017年2月)における水温は約 $15\sim16$ \mathbb{C} 、塩分は約 $34.60\sim34.65$ 、pH は約 8.2、酸素飽和度は約 $96\sim100\%$ であった。室内分析による SS は 1mg/L 未満 $\sim1mg/L$ 、濁度は 0.3 度以下であった。

春季(2017 年 5 月)における水温は約 17.5℃、塩分は約 34.60~34.65、pH は約 8.2、酸素飽和度は約 98~100%であった。室内分析による SS は 1 mg/L 未満~1 mg/L、濁度は 0.2 度以下であった。

夏季 (2017年8月) における水温は約23.5~27.5℃、塩分は約33.7~33.9、pH は約8.2、酸素飽和度は約100~115%であった。室内分析によるSS は1mg/L 未満~1mg/L、濁度は0.4度以下であった。

7.2.3. 植物プランクトン調査

植物プランクトンについては、約5万~58万細胞/Lの出現があった。出現は珪藻類が多く、Bacteriastrum spp.、Chaetoceros spp.のほか、春季(2017年5月)にはクリプト藻類、ハプト藻類の出現が多くみられた。また、冬季(2017年2月)には全調査地点において Chaetoceros sociale が優占して出現する結果であった。

7.2.4. 動物プランクトン調査

動物プランクトンについては、約700~7.6万個体/㎡の出現があった。出現は節足動物が多く、Nauplius larva of Copepoda が最も多くみられた。また、夏季(2017年8月)のSt.2下層(海底上 $1m\sim1/2$ 水深)においては、繊毛虫類のツリガネムシ属(Chaetoceros sociale)が優占して出現する結果であった。





図 7.2-2 検出された植物プランクトン(右: Bacteriastrum sp.)と動物プランクトン(左: Nauplius larva of Copepoda)

7.2.5. 魚卵·稚仔魚調査

魚卵については調査時期や地点による個体数の変動が大きく、約 130~7.3 万個体/1000 ㎡の出現があった。不明卵を除くと、カタクチイワシ等が多く出現した。

稚仔魚についても調査時期や地点による個体数の変動が大きく、約10~3,000個体/1000 m³の出現があった。不明種を除くと、キビナゴ、カタクチイワシ、カサゴ等が多く出現した。



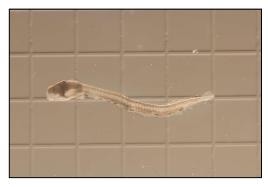


図 7.2-3 検出されたカタクチイワシの卵(左)とキビナゴの稚仔魚(右)

7.2.6. 海草・藻類調査

両調査地点ともに小型褐藻類、小型紅藻類が主体となっていた。春季調査では藻場の構成種となるホンダワラ類の海草が確認されたものの、いずれも数本程度であり、藻場の形成はみられなかった。

St. 3 ではウミトサカ類とイシサンゴ類の複合群落が確認され、沖側ではイシサンゴ類が

主体となっていた。St.6ではサザエ、マナマコ、イセエビ等の有用海産物も確認された。

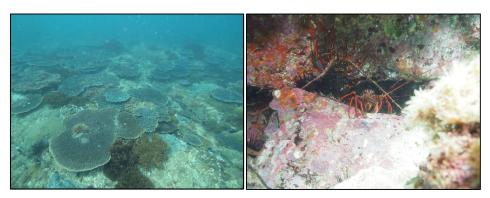


図 7.2-4 確認されたイシサンゴ類 (左: St. 3、秋季) とイセエビ (右: St. 6、夏季)

7.2.7. 潮間帯生物調査

代表的な結果として、秋季の St. 3、St. 6 の潮間帯生物の断面概略図を図 7. 2-5 に示す。 St. 3 では中部のケガキ、クロフジツボ、St. 6 では上部のタマキビ、下部のケガキ、イワフジツボが多く出現していた。

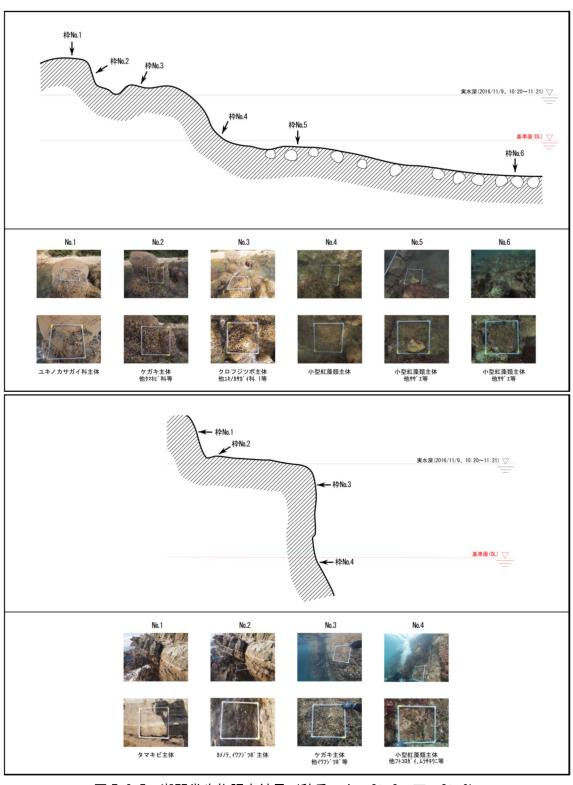


図 7.2-5 潮間帯生物調査結果 (秋季 上: St.3、下: St.6)

7.2.8. 海産哺乳類調査

調査は図 7.2-6 のとおり、調査船上より双眼鏡を使った目視観察により海産哺乳類の出現状況を確認する。また、目視観察とあわせて水中音響装置 (A-tag) の曳航調査を行った。

結果として、目視観察によって海産哺乳類の出現を確認することはできなかった。A-tag 曳航調査によって得られた音響ファイル解析結果についてもイルカ等の海産哺乳類の出現 は確認できず、記録されたファイルは機器投入時や曳航時の泡による雑音、風、あるいはテッポウエビの発する音ではないかと考えられた。但し、漁業関係者からは調査海域でイルカやスナメリらしき海産哺乳類を目撃した情報を得た。

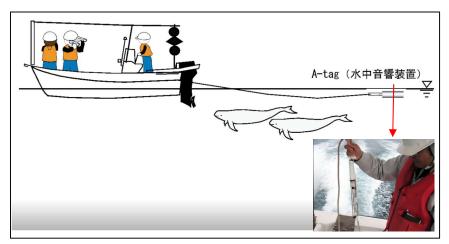


図 7.2-6 海産哺乳類調査方法 (イメージ図)

7.2.9. 水中音調査

調査は図 7.2-7 に示すとおり、水中騒音計を使用して、平常時における水中音の測定を行った。水中音の観測層は表層(海面下 5m)、中層(海面下 20m)の2層とし、航行船舶等の影響をできるだけ除いて周波数特性の解析を行った。

水中音の指標として、既存資料によると、一般的な海産魚で $90\sim110\,dB$ が「聴覚閾値」、 $110\sim130\,dB$ が「誘致レベル」**とされている。本事業での調査では各周波数成分のパワー平均と $100\,Hz$ から $1\,kHz$ の合成値を算出した。その結果は、夏季を除き、パワー平均は $80\sim110\,dB$ 程度、 $100\,Hz$ から $1\,kHz$ の合成値が $90\sim120\,dB$ 程度であった。 夏季調査結果を図 $7.2\sim120\,dB$ 程度であった。 夏季調査結果を図 $1.2\sim120\,dB$ であり、夏季以外の調査結果よりもやや高い音圧レベルであった。

以上のことから、潮流発電機設置場所の平常時の音圧レベルは約85~140dBであり、魚類に対しては「聴覚閾値~誘致レベルを僅かに超える程度」に相当するものと考えられる。

※水中音に関する魚類の反応レベル

(出典:「水中音の魚類に及ぼす影響」(1997年日本水産資源保護協会)

- ・聴覚閾値: 魚にようやく聞こえる最小知覚レベル。一般的な海産魚は90~110dB
- ・誘致レベル: 魚にとって快適な音の強さ。興味がある音であれば音源方向へ寄ってくる。110~130dB

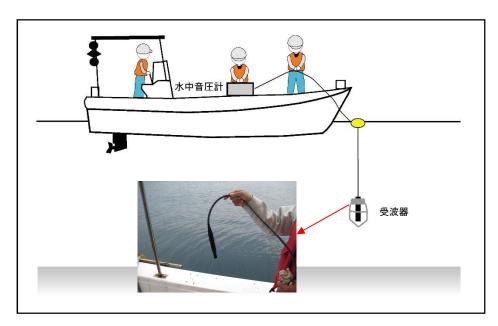


図 7.2-7 水中音調査方法 (イメージ図)

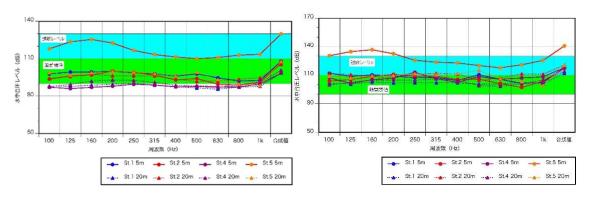


図 7.2-8 水中音調査結果 (夏季 左:パワー平均、右:ピーク値)

7.2.10. 鳥類調査

鳥類調査では7~12 種の出現が確認された。出現種の中ではミサゴが「環境省レッドリスト 2020」の「準絶滅危惧 (NT)」、「長崎県レッドデータブック 2011」の「準絶滅危惧種 (NT)」に記載されており、ケーブル揚陸地点の近くにも営巣していることが確認された。

7.2.11. 海底生物調査

後述の 8.4.3 節のとおり、潮流発電機設置場所付近は年間を通して、20~30 種程度の魚種が確認された豊富な漁場である。そのため、後述する海底生物調査、魚類調査、漁業生物調査については調査結果のうち、代表的な秋季調査結果を記載する。

調査方法図 7.2-9 に示す Remotely Operated Vehicle (ROV) を使用し、調査を実施。St.1 (潮流発電設置区域) は、区域全体では海綿類が多く着生していた。甲殻藻網ではアカフジ

ツボがまばらに確認され、サザエ等も僅かだが確認された。また、刺胞動物門であるハネガヤ、ウミヒドラ、ウミサボテン、ウミカラマツ等の小群落を形成していた。

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



図 7.2-9 調査で使用した ROV

7.2.12. 魚類調査

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

St. 2 (水底ケーブル設置区域) については、魚種は計 23 種、尾数は約 12,000 尾でキビナの群れが約 11,000 尾と 93.7%占めた。次いでマツバスズメダイが約 440 尾、ニザダイが約 80 尾の順で確認した。中層から海底面が主な生息域であり、魚群探知機での調査においても同様の結果を示した。

7.2.13. 漁業生物調査

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

潮流発電設置区域では6種の総数22尾、カサゴ類を中心にベラ類、ハタ類、ヤガラ類、

体長約80cmになるアラを漁獲した。

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

南側海域では8種の総数11尾を漁獲し、ウスバハギ、アカエソ等を漁獲した。

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

7.2.14. 航行船調査

航行船舶調査については、現地調査実施時にあわせて行った。図 7.2-10 に示すかがり火崎(奈留島側)と久賀島側突端を結ぶ線を確認ラインとし、通過場所として奈留島側:1、瀬戸中央:2、久賀島側:3 の3区域に分けて整理した。また、進行方向については確認ラインを北西方向へ通過した船舶を N、同じく南東方向へ通過した船舶を S とした。

調査時は進行方向や通過場所の偏りはなく、多くの船舶が航行していた。調査水域はフェリー等の定期航行はないことから、航行船の約9割は漁船であった。そのほかの船舶は海上タクシー、プレジャーボート、瀬渡船、海上保安庁の巡視船などが確認された。



図 7.2-10 航行船舶調査確認ライン等