

2022年度成果報告会

風力発電等技術研究開発／  
洋上風力発電等技術研究開発／  
次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究  
(バージ型)

丸紅(株)  
(国) 東京大学  
日立造船(株)  
(株)グローカル

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2015年1月

終了(予定) : 2023年3月

## 2. 最終目標

- 日本近海の気象・海象条件に即した低コスト次世代浮体式風力発電設備および施工方法の開発・検証と共に、比較的浅い海域(50m~100m)に適した係留システムの検討を行う。
- 実機観測データを解析・分析し性能・安全性の評価結果を明らかにすると共に、浮体式洋上風力発電設備における保守管理技術の確立を目指す。その他環境影響への有無や関係機関等との協調について検証する。
- 実証研究の結果を踏まえ売電価格、建設コスト、維持管理コストを検証し、将来の浮体式洋上ウインドファームの実用化に関する実現可能性を検証する。

# 事業概要

## 3.成果・進捗概要

### 【2022年度成果】

本成果は2022年度実施予定のうち担当各社にて取りまとめが完了している範囲である。

- ① 浮体設備の分析・検証に関して、観測された外部条件(風、波浪、水流)の整理を継続した。外部条件の検証について観測値との比較を行い、設計手法の検証に関して、動揺、構造内力、係留張力の観測値と設計値の比較を実施した。浮体動揺性能が設計で確認されていることを確認した。
- ② 観測システムに関して、データ共有システム、データ収録システム、ネットワークの保守、改良を実施した。
- ③ 保守管理技術に関して、ダイナミックケーブルの深度の遠隔監視を実施し、遠隔監視の有効性を示した。ROVによる外観監視・計測を実施するとともに、ROVに装着したキャビテーションジェットツールにより効率的な付着生物の除去を実施した。ドローンによる可視光と赤外線を用いた風車外観点検を行い有効性を確認した。故障予知診断システムにおいてデータ蓄積を継続し、故障予知モデルを追加作成して、異常と実際の事象の突合せを確認した。
- ④ 風車、係留索の維持管理に関して、点検作業の効率化、ピッチシステム等の改善を実施し安定した風車の稼働を実現した。
- ⑤ 効率的な係留技術に関して、要素試験を実施し整理と評価を行った。
- ⑥ 海域利用者や行政機関との調整に関して、漁獲試験を継続し、実証機周辺への魚類の蝟集、多様な生物相の形成を確認した。
- ⑦ コスト評価に関して、CAPEXを精査し、商業化時のウインドファームを想定して事業性評価を実施した。
- ⑧ 国民との対話に関して、エコテクノ2022展示会に出展した。また、一般社会向けホームページにおいて、研究通信の定期更新、気象・海象情報のリアルタイム配信を行った。

# 目次

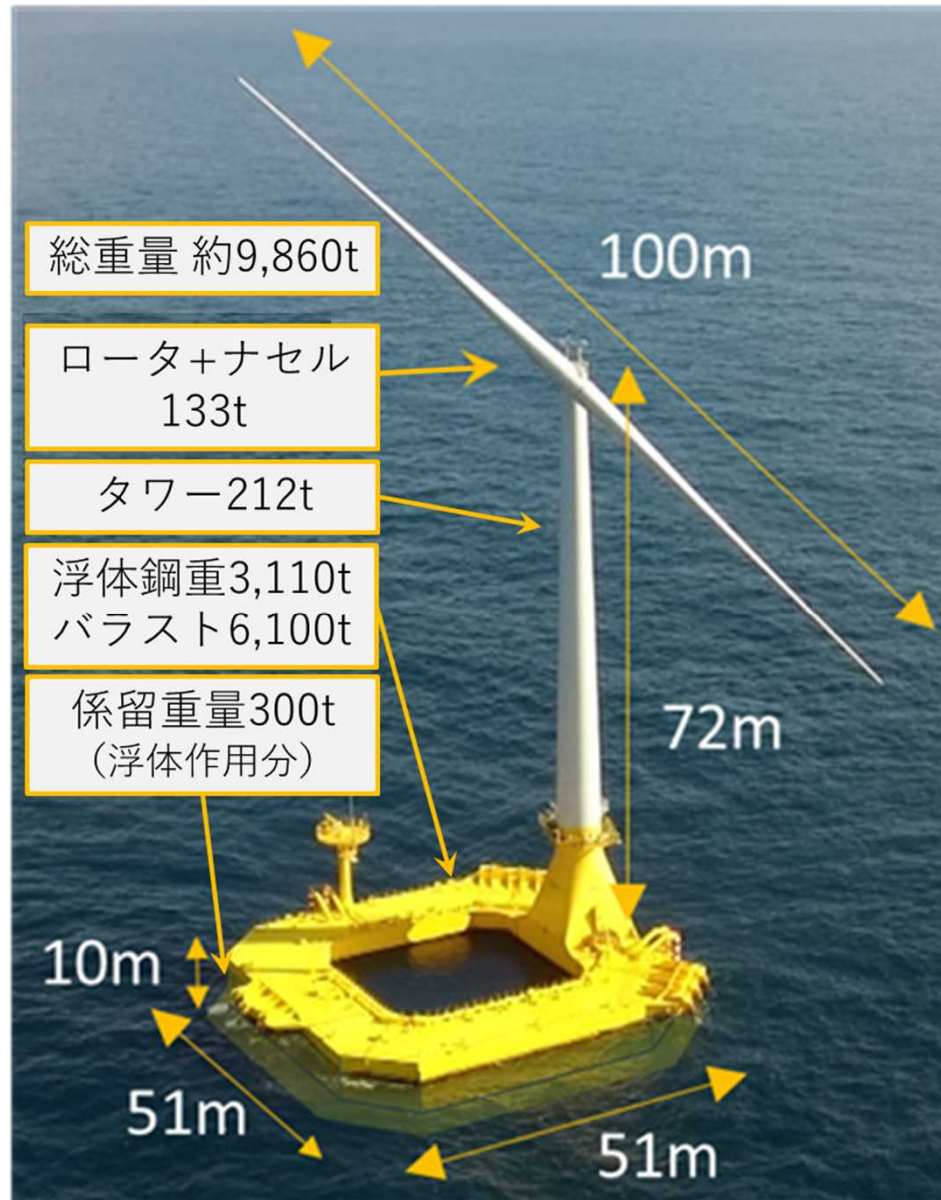
1.	観測システムの構築と運用(東京大学)	p.7
2.	保守管理技術(日立造船)	p.12
3.	風車、係留索の維持管理(グローバル)	p.19
4.	効率的係留技術の確立(東京大学)	p.27
5.	海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等(丸紅)	p.29
6.	国民との対話(東京大学)	p.37
7.	実証事業を通じた成果	p.40

# 研究体制



※九電みらいエネルギー及びコスモエコパワーは、2021年度で実証研究事業を完了し、2022年度は実施していない。

# 風力発電設備の概要



位置	北九州市沖 約15km、水深54m
風車	定格3.0MW(メガワット)、アップウインド、2枚翼、ロータ径100m、ハブ高さ72m(海面上)
浮体	バージ型、鋼製、51m×51m×高さ10m、喫水(海中部高さ)7.5m
係留	チェーンφ132mm+ドラッグアンカー、9本(3方向×各3条)、各522~551m
運転	2019年5月に運転開始

# 1. 観測システムの構築と運用

## 【2022年度の成果】

- 観測データのデータサーバとネットワークシステムを運用し、常時連続データの収集・蓄積と保存、コンソーシアム各社へ解析データ配信を実施した。さらに、観測機器の修理・メンテナンスを実施した。
- 浮体式洋上風車に設置した三杯式風速計と矢羽式風向計、超音波風速計、鉛直ライダーによる風況観測を継続した。
- 藍島の観測棟は1年間以上の観測データを取得したため、2022年3月14日に撤去作業を行った。
- 風況観測と藍島の観測について風向・風速・時間遅れなどを考慮した相関関係の解析を進め、風車設置点での風況、海域全体の風況の特徴を明らかにした。

# 1. 観測システムの構築と運用 ーネットワークの構築ー

## ・データサーバとネットワークシステムの運用

観測データの常時連続の収集・蓄積・保存を行い、コンソーシアム各社へデータを配信した。

## ・データ蓄積と統計解析

浮体上・風車・藍島の風況観測データを蓄積し、統計解析の一次処理を行い配信した。

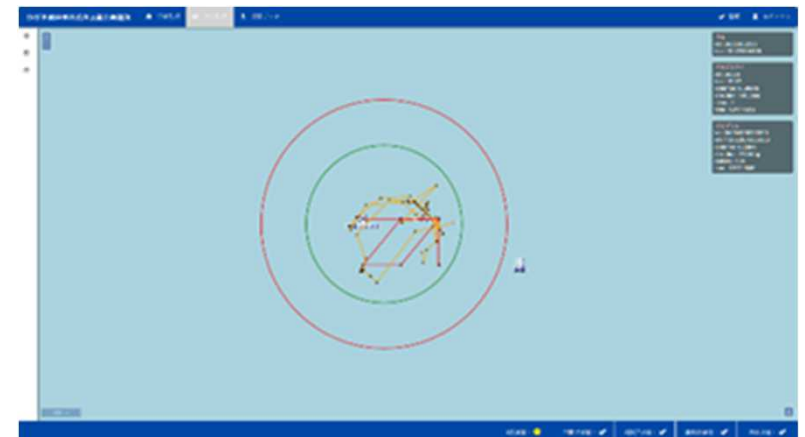
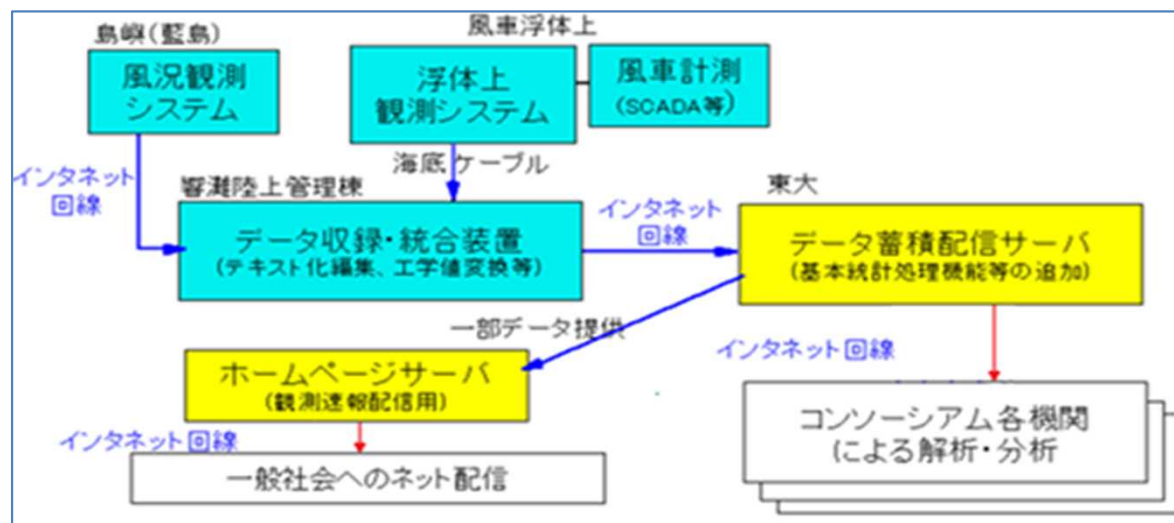
## ・長期間観測機器を使用する課題

2年間継続した観測データの収集、データサーバとネットワークの運用から、海上における長期観測に伴う機器の故障・メンテナンス情報を収集し、課題を明らかにすることができた。

## ・波浪ブイ

係留システムへの生物付着が顕著にみられたが、問題なく2年間運用することができた。

波浪ブイのイリジウム衛星による常時遠隔監視システムを2年間運用し、荒天時も含めて漂流のないことを監視することができた。今後の同様の監視に役立つ知見を得られた。



波浪ブイ漂流監視システム



# 1. 観測システムの構築と運用 - 風況観測の実施と解析 -

## ・浮体上の観測

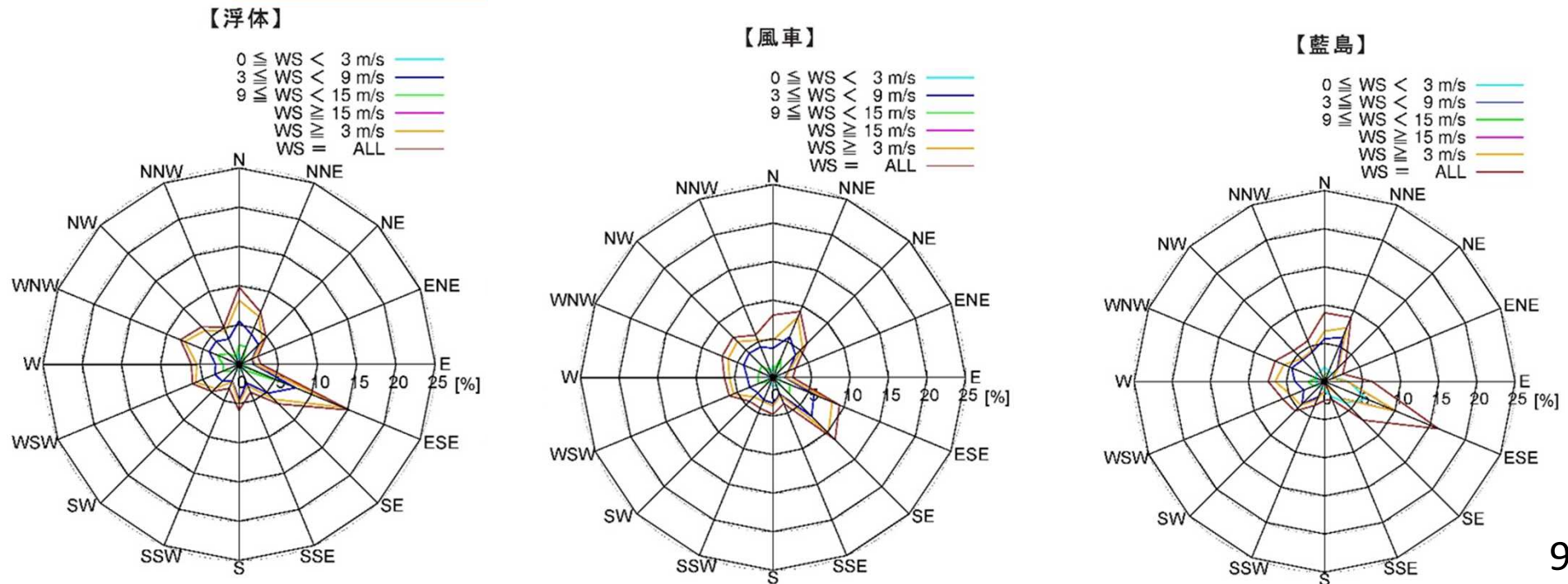
浮体上で三杯式風速計と矢羽式風向計、超音波風速計、鉛直ライダーにより風況観測を行い、風車設置位置での風の特徴を明らかにした。

## ・藍島(気象観測地点)における観測

風車から南東10kmの藍島に設置した三杯式風速計と矢羽式風向計、超音波風速計、鉛直ライダーによる風況観測と風車上の風況観測結果の相関を見ることで、響灘海域における風の特徴を明らかにした。



浮体上・風車・藍島の風配図の一例  
(2019年12月1日~2021年1月31日)



# 1. 観測システムの構築と運用

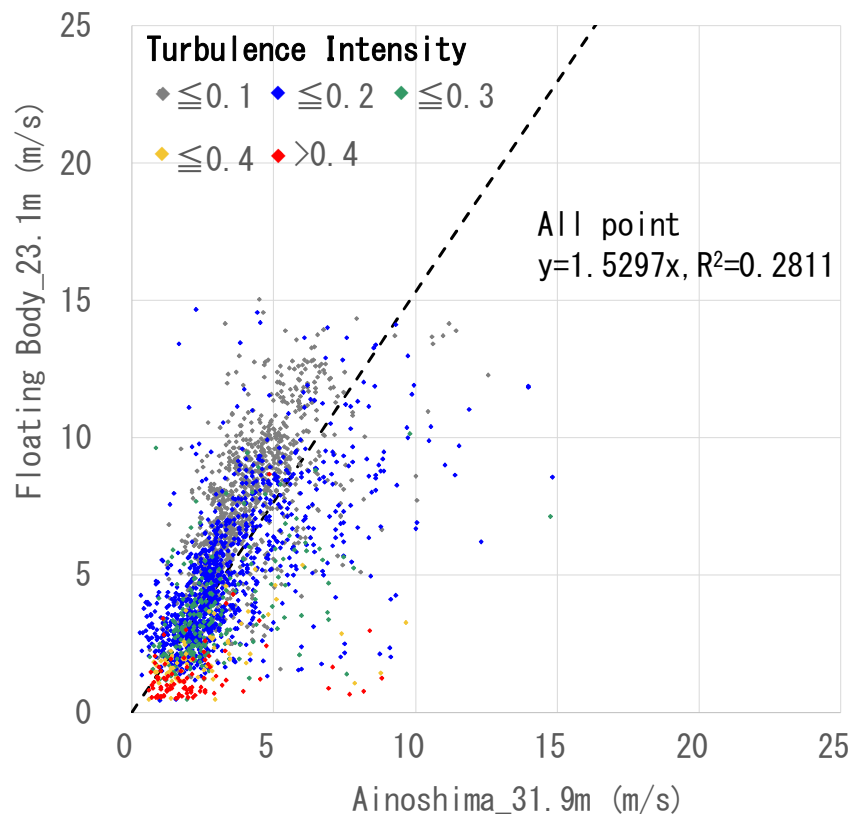
## —風況観測の実施と解析—

### ・浮体上観測と藍島における観測の相関

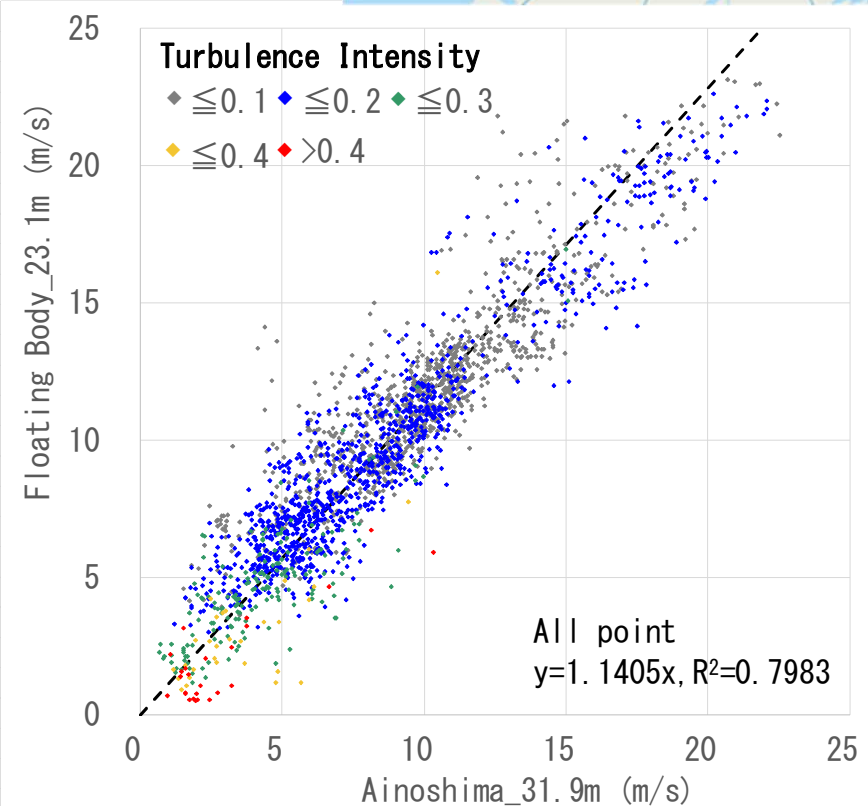
- 風向・風速・時間遅れなどを考慮した風速の相関を調べた。
- 西から北にかけての開けた海域方向から来る風、高風速の風の場合に相関が高くなることが明らかになった。



浮体・藍島の乱流強度別風速散布図の一例



(風向S・2019年12月1日~2021年1月31日)



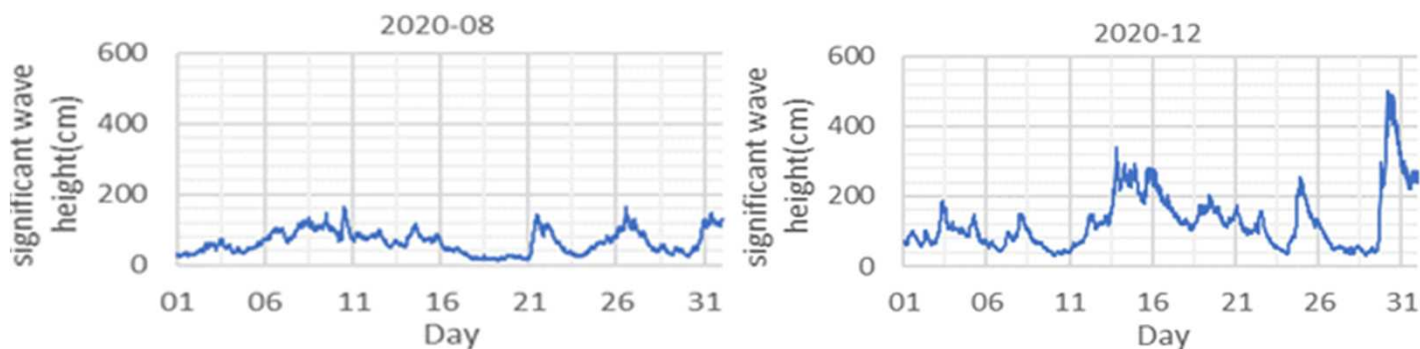
(風向WNW・2019年12月1日~2021年1月31日)

# 1. 観測システムの構築と運用 —波浪観測の実施と解析—

## ・波浪ブイによる観測データの蓄積

- 波浪の統計量を得た。電池交換時を除き観測に欠測は無かった。
- 近接して実施している海象計による観測と比較し、高い相関と定量的な一致度を確認した。
- 定期的な電池交換とデータ回収を、有線による電力供給や通信による常時データ収録に変更することで観測効率の格段に上げることは今後の課題となる。

- ・2021年4月22日に波浪ブイのバッテリーを交換。  
2020年6月26日~2021年4月22日の観測データを回収。  
回収したデータをコンソーシアムに配信。
- ・2021年10月27日に波浪ブイを回収撤去。  
2021年4月23日~2021年10月27日の観測データを回収。  
回収したデータをコンソーシアムに配信。



波浪ブイより得られた有義波高の日変化の例  
(2020年8月、2020年12月)



波浪ブイ撤去作業



波浪ブイ係留ラインへの付着生物

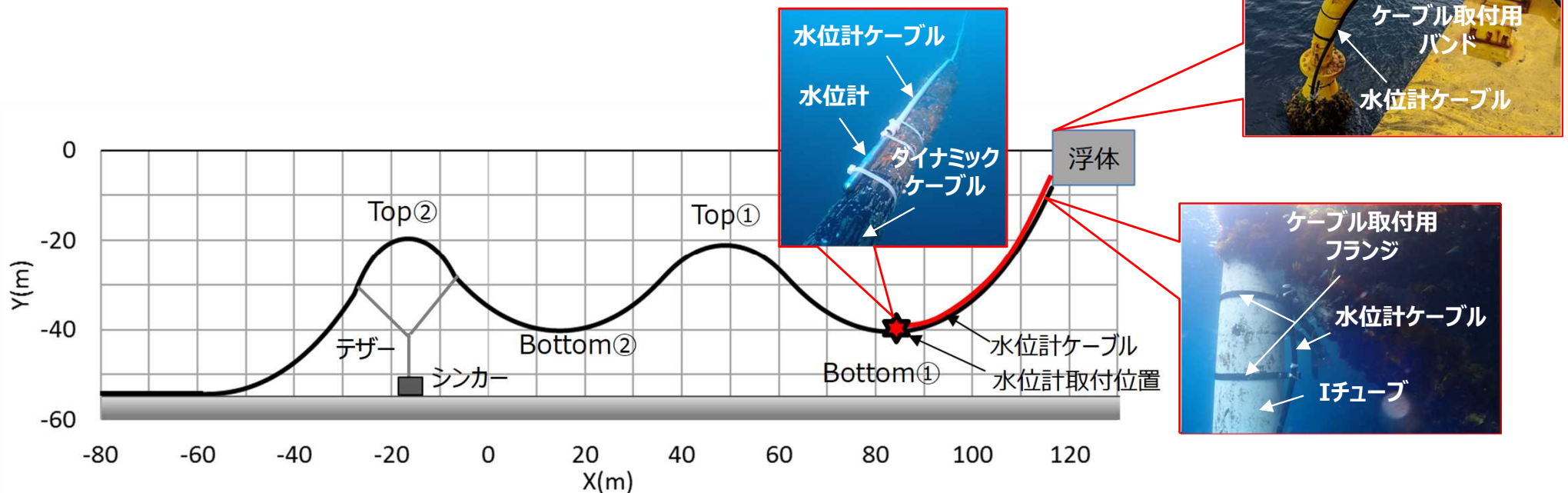
## 2. 保守管理技術 —ダイナミックケーブル深度の遠隔監視—

### 【2022年度の成果】

- ダイナミックケーブルに水位計を取り付け、ケーブル深度の遠隔監視を実施することで、付着生物によるケーブルの大きな沈下および着底が無いことを確認した。
- ケーブル深度を遠隔監視することの有効性および課題を確認した。

### ケーブル深度の遠隔監視

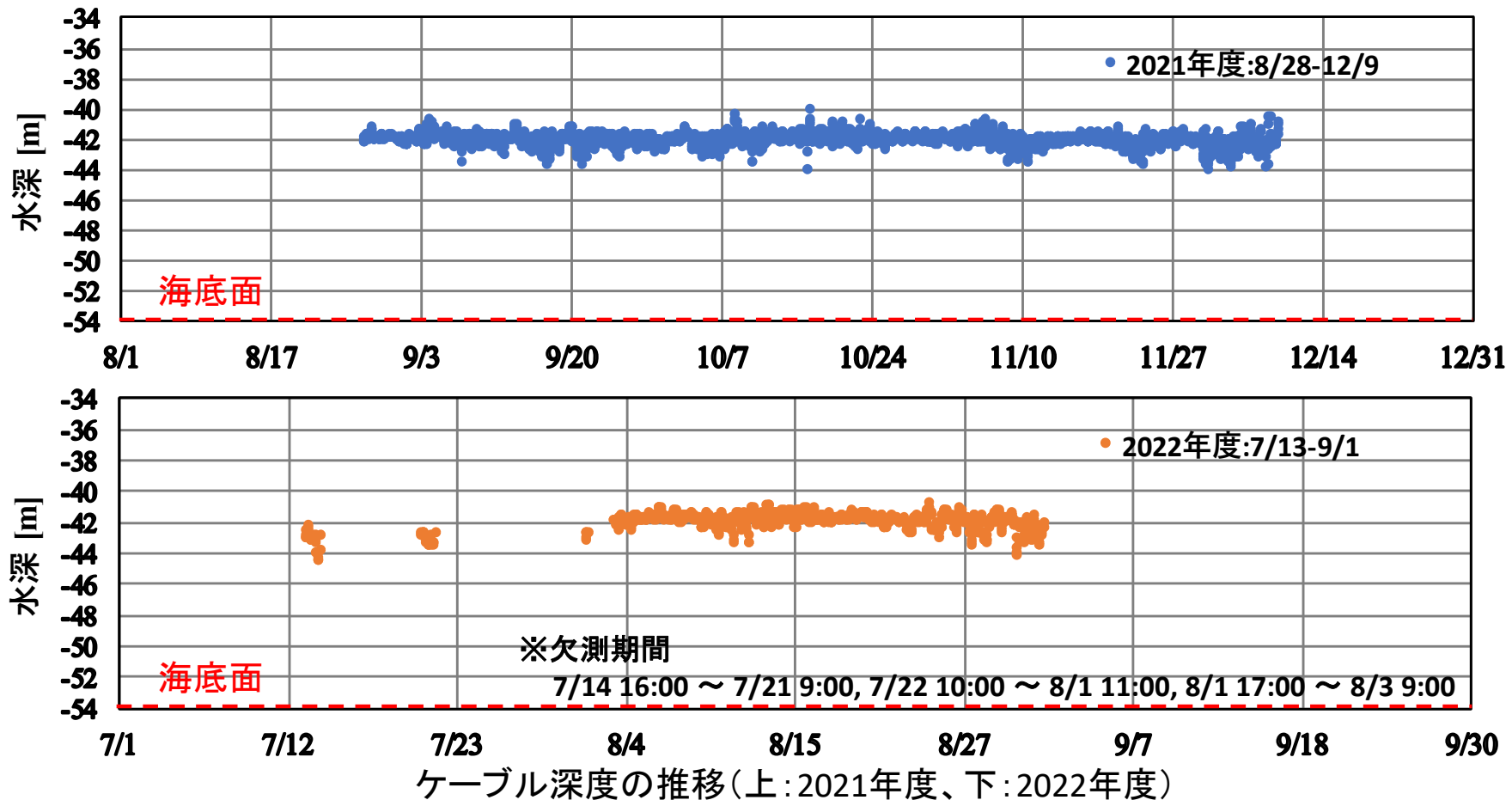
水位計をBottom①に取り付け、ケーブル深度を1時間刻みで計測した。  
計測したデータは有線で浮体内PCまで引き込み、陸上から遠隔で確認できるようにした。



水位計取り付けの様子

※過去に発生したダイナミックケーブルの沈下および着底(詳細は「令和3年 日本船舶海洋工学会 秋季講演会論文集」を参照)を受け、  
本実証研究ではダイナミックケーブル深度の遠隔監視を検討した。

## 2. 保守管理技術 —ダイナミックケーブル深度の遠隔監視—



### 有効性の確認

- ・ケーブル深度は-42mを平均に、おおよそ±2mの範囲で推移しており(ROV計測値とも一致)、ケーブルの大きな沈下および着底は無し。
- ➡ ケーブル深度の遠隔モニタリングは可能。

### 課題の確認

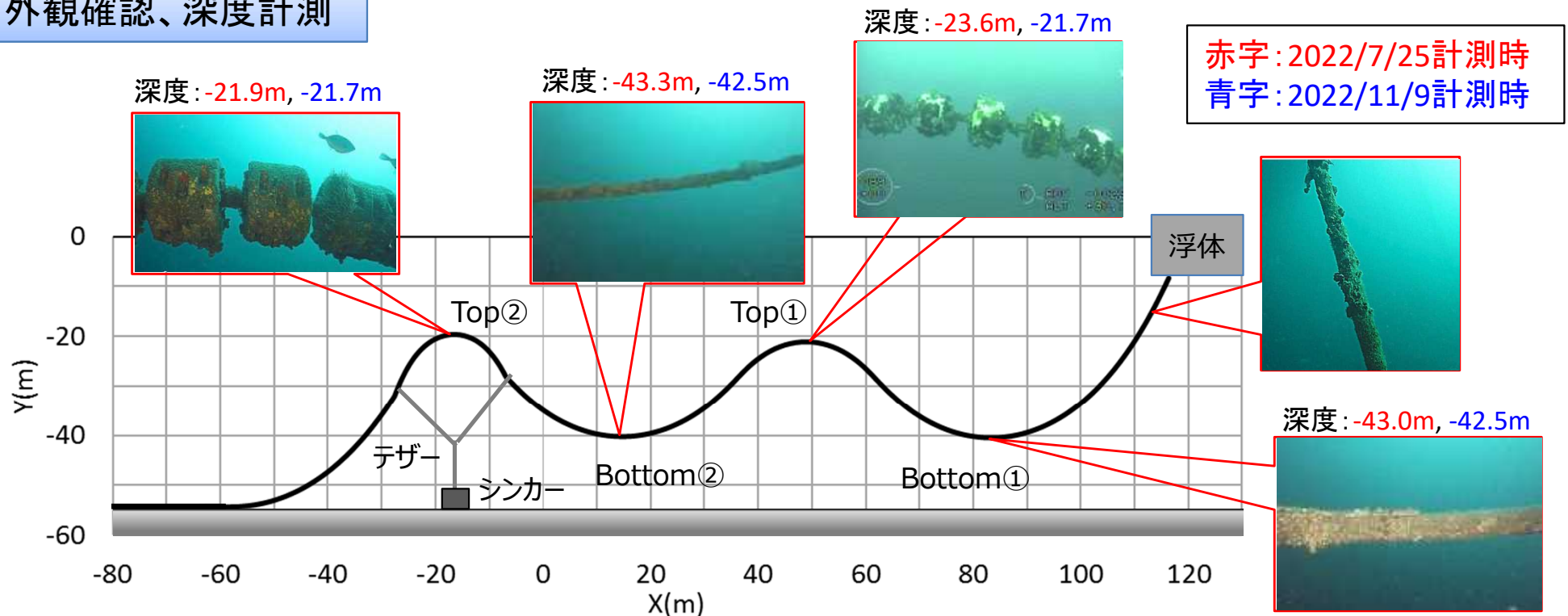
- ・波浪により水位計ケーブルの破損が確認された。
- ・将来的に恒久的なものにするには、後付けではなく浮体設置前に取り付ける等の対応が望まれる。

## 2. 保守管理技術 —ROVによるダイナミックケーブルの維持管理—

### 【2022年度の成果】

- ROVを用いたダイナミックケーブルの維持管理(外観確認、深度計測、付着生物除去、付着生物厚さの計測)を行い、ケーブルの健全性を確認した。
- ROVによるケーブル維持管理の有効性を確認し、将来の点検ツールとしての適用可能性を確認した。
- ROVの画像から付着生物厚さを推定し、付着生物調査(2020年10月実施)の結果と今回の調査結果を比較することで、付着厚さの推移を整理した。

### 外観確認、深度計測



- ➡ 外観確認: 付着生物上から確認する限り、ケーブルの損傷等は確認されなかった。  
深度計測: ケーブルの大きな沈下および着底は無く、水位計データと深度はほぼ一致した。

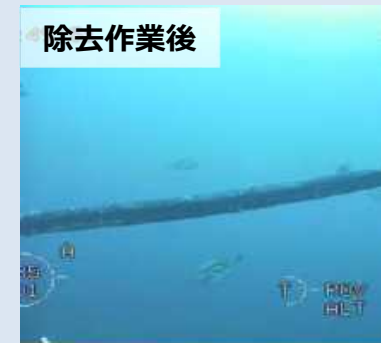
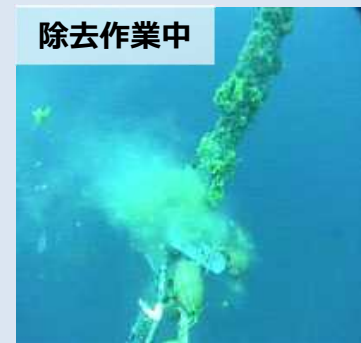
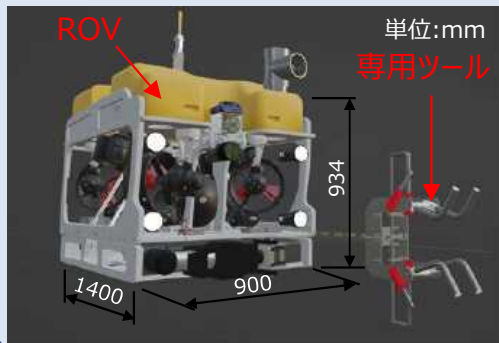
## 2. 保守管理技術 —ROVによるダイナミックケーブルの維持管理—

### 付着生物除去

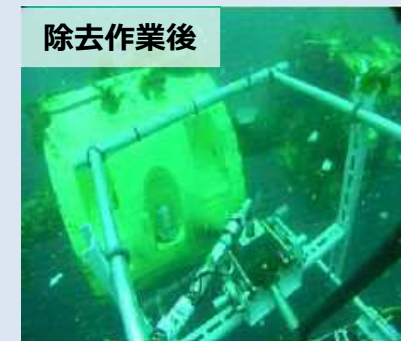
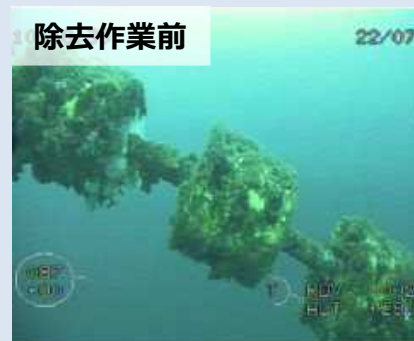
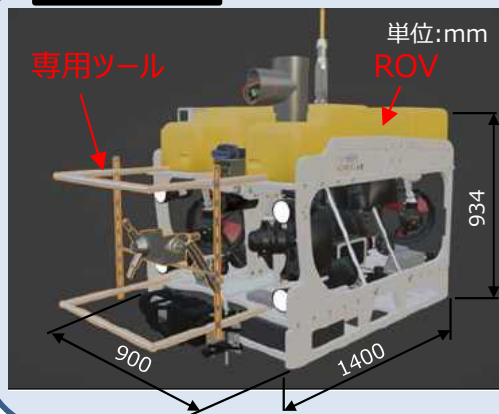
ROVに装着した専用ツールを使用し、有事の際に備えた、キャビテーションジェットによる生物除去を実施した。

※キャビテーションジェットにより、ケーブルおよびブイが損傷しないことを事前に水槽試験にて確認済

#### ケーブル



#### ブイ



#### 【付着生物の除去速度(今年度実績)】

ケーブル:1.75分/m(ケーブル20mを35分で生物除去)@水深30-42m  
ブイ:3.0分/個(ブイ5個を15分で生物除去)@水深24m

#### 【参考:昨年度実績】

ケーブル:5.20分/m@水深0-35m  
ブイ:18.5分/個@水深24m

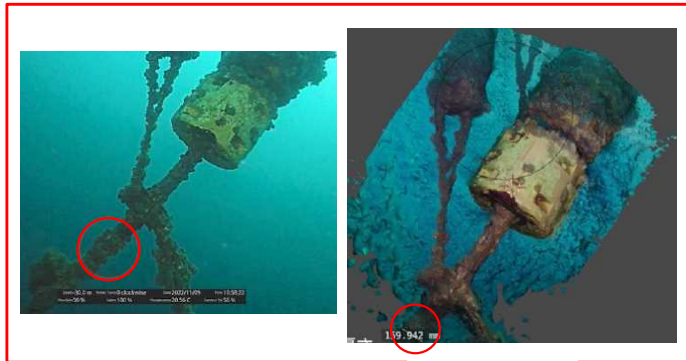
➡ 専用ツールの改良、ROVオペレータの習熟度向上により、除去速度を大幅に改善した。

## 2. 保守管理技術

### —ROVによるダイナミックケーブルの維持管理—

#### 付着生物厚さの計測

2020/10付着生物除去  
2022/11計測時: 22.0mm (生物除去から2年後)



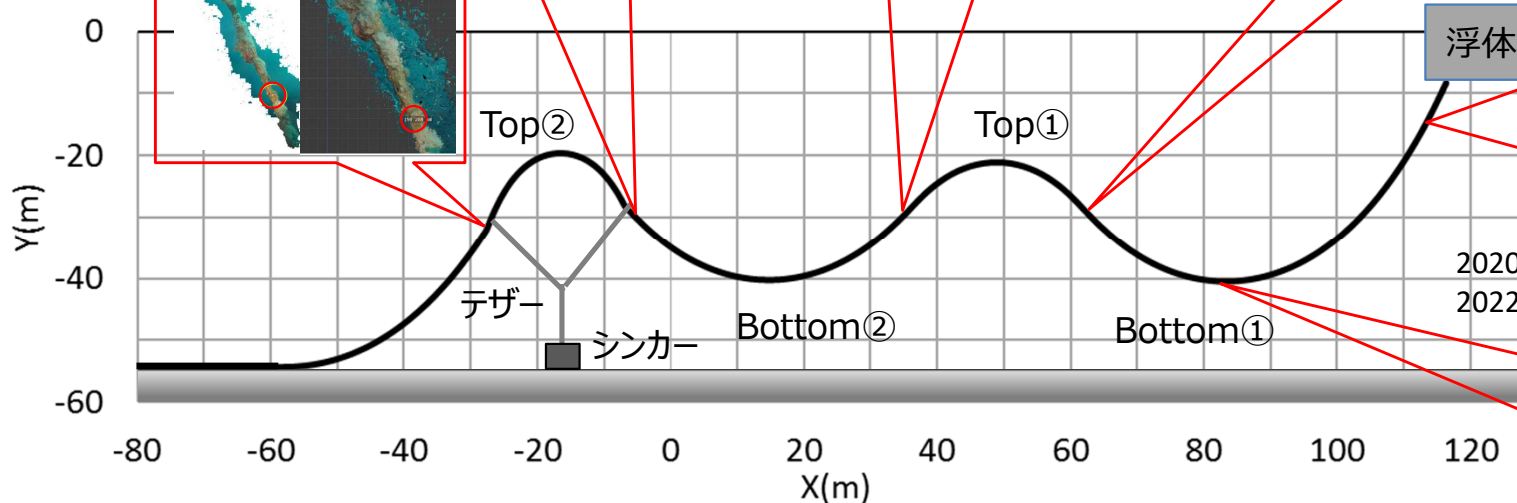
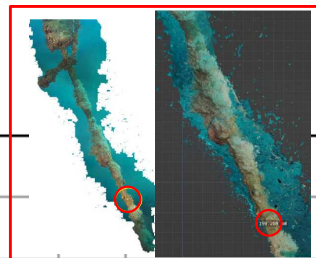
2018/9施工以降付着生物除去なし  
2022/11計測時: 38.5mm (設置から4年後)



2020/10付着生物除去  
2022/11計測時: 36.0mm (生物除去から2年後)



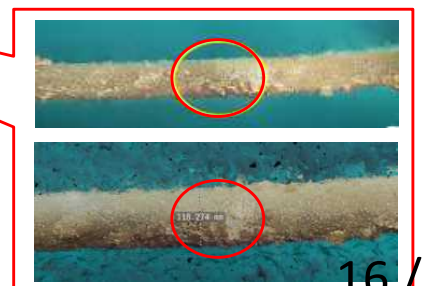
2018/9施工以降付着生物除去なし  
2022/11計測時: 22.0mm (設置から4年後)



2021/8付着生物除去  
2022/11計測時: 37.5mm (生物除去から1年後)



2020/10付着生物除去  
2022/11計測時: 1.5mm (生物除去から2年後)



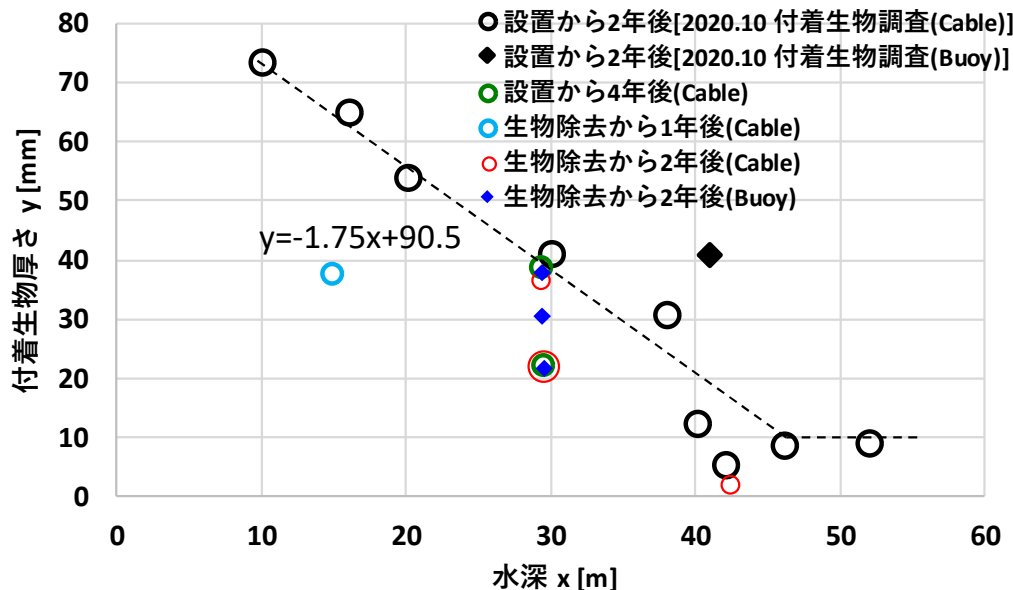
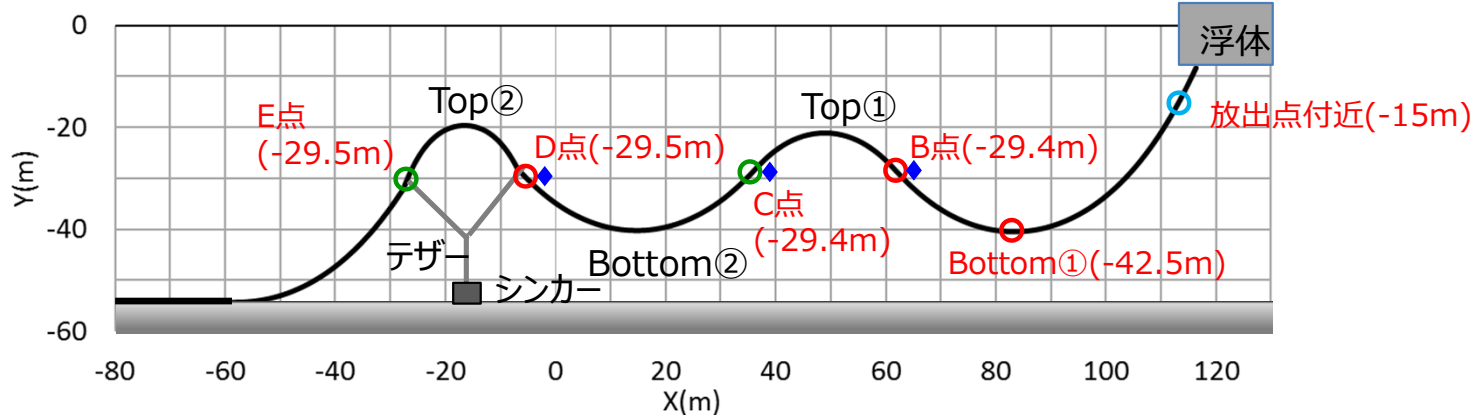
➡ ROVの映像から各箇所における付着生物厚さを確認した。



## 2. 保守管理技術 —ROVによるダイナミックケーブルの維持管理—

### 付着生物厚さの整理

2020年10月に実施した付着生物調査(設置から2年後)と比較し、付着生物厚さの推移を整理した。



水深と付着生物厚さの関係

※近似式は付着生物調査結果(設置から2年後)より設定

#### ✓ 放出点付近

生物除去から1年後の付着厚さであり、付着生物調査結果(設置から2年後)よりも小さい値であったが、今後付着物は増える可能性が高い。

#### ✓ Bottom①, B点(Cable), C点(Buoy)

生物除去から2年後の付着厚さであり、付着生物調査結果(設置から2年後)とほぼ同等であった。

#### ✓ D点(Cable), D点(Buoy)

生物除去から2年後の付着厚さであり、付着生物調査結果(設置から2年後)よりも小さい値であった。

#### ✓ C点(Cable)

設置後1度も生物除去していない箇所(設置から4年後)であり、付着生物調査結果(設置から2年後)とほぼ同等であった。

#### ✓ E点(Cable)

設置後1度も生物除去していない箇所(設置から4年後)であり、付着生物調査結果(設置から2年後)よりも小さい値であった。

現時点で付着生物調査結果(設置から2年後)を上回る付着量は確認されていないが、観察箇所や経過年数による付着量の変動があるため、更なるデータ蓄積が必要である。

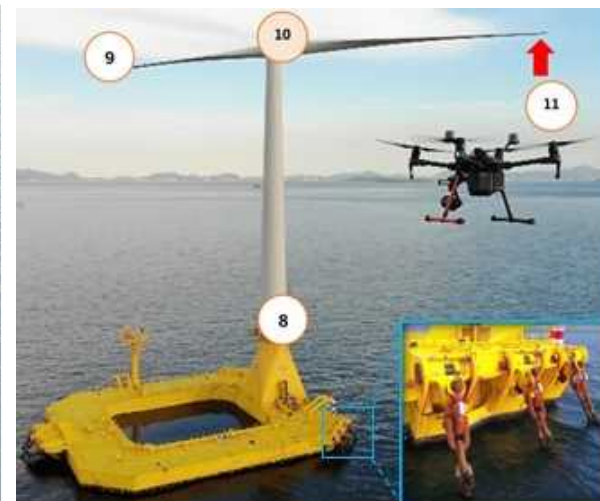
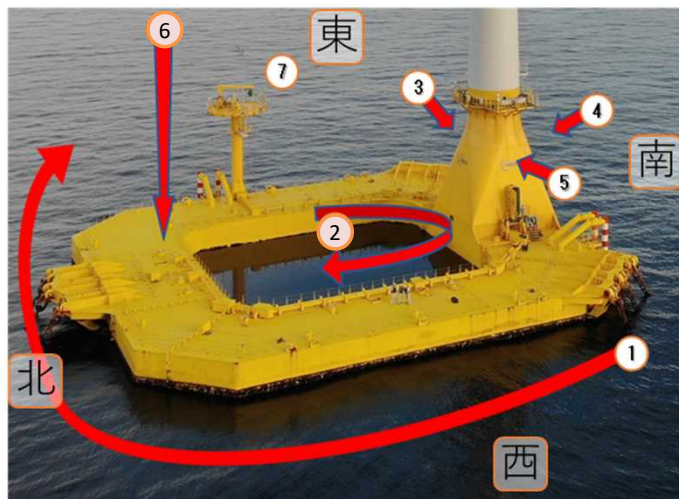
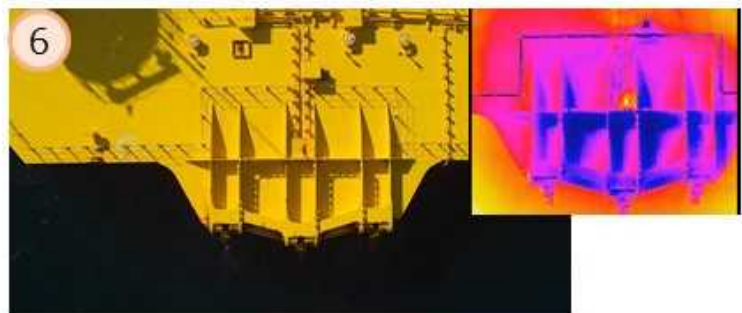
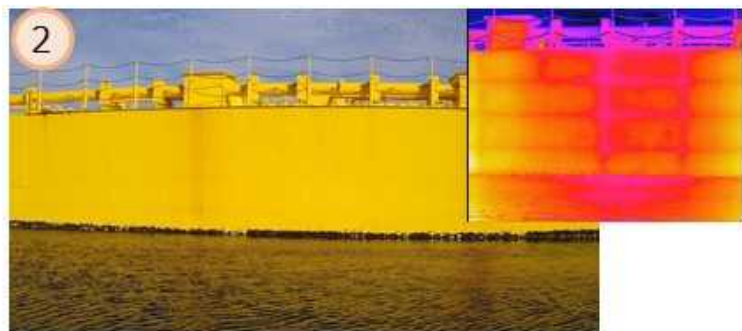
## 2. 保守管理技術 —ドローンによる浮体気中部の外観点検—

### 【2022年度の成果】

- ドローンを用いた浮体気中部の外観点検を行い、点検におけるドローンの有用性を確認した。

高解像度の可視光カメラと赤外線カメラの同時空撮

撮影日時：2022年10月21日 8:00～15:30



### 利点

- 目視点検の効率化(浮体の全景、海面付近の外観やブレードを近距離で撮影可能)
- 赤外線カメラでの撮影により、温度異常の有無、浮体内部構造やブレードの状態等の確認が可能

### 課題

- 逆光や反射の影響が大きく、天候や時間帯を選ぶ
- 飛行時間(約30分)が短く、バッテリー交換が必要

➡ 日常目視点検への導入に向けた利点と課題を確認した。

# 3. 風車, 係留索の維持管理

## — 設備利用率の向上検討 —



### 【2022年度の成果】

- ・ 設備利用率改善に向けたデータ分析を行い, 設備利用率34%(2023年1月)を確認した。
- ・ 固定カメラによるブレード外観点検にAI画像解析での損傷確認が可能であり, 点検作業の効率化が図れた。

### □ 実施項目

- 1) 商用化運転を想定した連続運転での設備利用率の確認
- 2) 風況観測データ, 海象データの整備・解析
- 3) 保守管理技術の向上

### □ 設備利用率改善に向けた施策

No.	要因	利用率低下量* (’19/7~’20/2実績)	対策案・実施時期
1	故障・不具合	5%	故障率低減及び復旧時間短縮対策 対策：実証中及び商用化時
2	定期点検等	1%	タイミングの最適化と短時間化手法 対策：実証中
3	浮体近接・上船時の風車停止	1%	必要最小限化への見直し 対策：実証中
4	浮体動揺による加速度0.3G超で風車停止	2%	加速度大による停止実態の相関データの蓄積及び, 出力制限策の検討 商用化時:大型浮体の場合は固有周期が長周期へシフトすることで回避
5	欧州と日本の空気密度差及び高気温によるPower Reduction	5% (推測値)	日本・アジア等低風速・低空気密度域向け風車採用 対策：商用化時
6	九州電力による出力制限	2.5% (参考値：’21年時間発生率実績)	出力制限時に保守管理を実施する等臨機応変な体制準備 対策：実証中

風速分布+風車のパワーカーブに基づく年間発電量予測に対し実際の発電量は, 発電量ベースの設備利用率低下により  
**年間発電量予測 > 実際の発電量** となる。

- 1) 最大可能な設備利用率：約**38%**  
(実証海域での実測風況(10分平均風速)及び風力発電機のパワーカーブをもとに試算した, 理想の発電端ロス値, 空気密度やヨー・ミスアライメント等による利用率低下は考慮していない。)
- 2) 設備利用率実績：平均約**25%** (ネット値)
- 3) **実証中**の改善実施で狙う, 設備利用率向上目標：約**5%**  
(左表の利用率低下量No.1~4の合計値約9%をだいたい半減させることを目標とした)
- 4) **実証中**における設備利用率目標  
平均約**30%**

\*利用率低下量: 停止時間における実測風況(月間平均風速)と風力発電機のパワーカーブをもとに算出した逸失発電量(Wh)から, 利用率の低下分を概算。

# 3. 風車、係留索の維持管理

—設備利用率の向上検討—



## 設備利用率の改善に向けた施策

### 設備利用率を下げている要因の抽出と対策案（'22/7~'23/1の実績）

No.	要因	主な原因	停止時間	発生率*	対策案
1	風車故障	コンバータ故障 PLCの通信不具合 その他	351.9	6.8%	故障率低減及び復旧時間短縮対策 対策:不具合内容分析し対策を随時実施
	CTV出港不可	夜間・荒天	51.3	1.0%	
2	台風	事前停止(点検含む)	95.8	1.9%	事前停止不要な風車の採用 対策:商用化時
		カットアウト	77.9	1.5%	
		通過後の点検	13.1	0.3%	
3	雷	落雷(点検含む)	96.8	1.9%	臨時点検・ロープアクセスによる導通確認 対策:ロープアクセスを使用しない方法の検討
4	加速度動作	荒天(台風時含まず)	58.7	1.1%	
5	定期点検等 (月次、6ヶ月、 12ヶ月)	HITZ	30.3	0.6%	タイミングの最適化と短時間化手法 対策:実証中
		グローカル	98.3	1.9%	タイミングの最適化と短時間化手法 対策:実証中
6	実証研究	HITZ	55.3	1.3%	実施内容:ROV,ダイナミックケーブル、ドローン等
		丸紅	2.7	0.1%	実施内容:魚探設置
		東大	2.0	0.1%	実施内容:風況観測
		グローカル	7.0	0.2%	実施内容:ブレードカメラ撮影AI分析
7	九電出力制御		24	0.5%	

\* 発生率 = 停止時間 / 総時間 ('22/7~'23/1)

### 設備利用率の改善に向けた施策

#### 設備利用率を下げている要因の実績比較及び相違

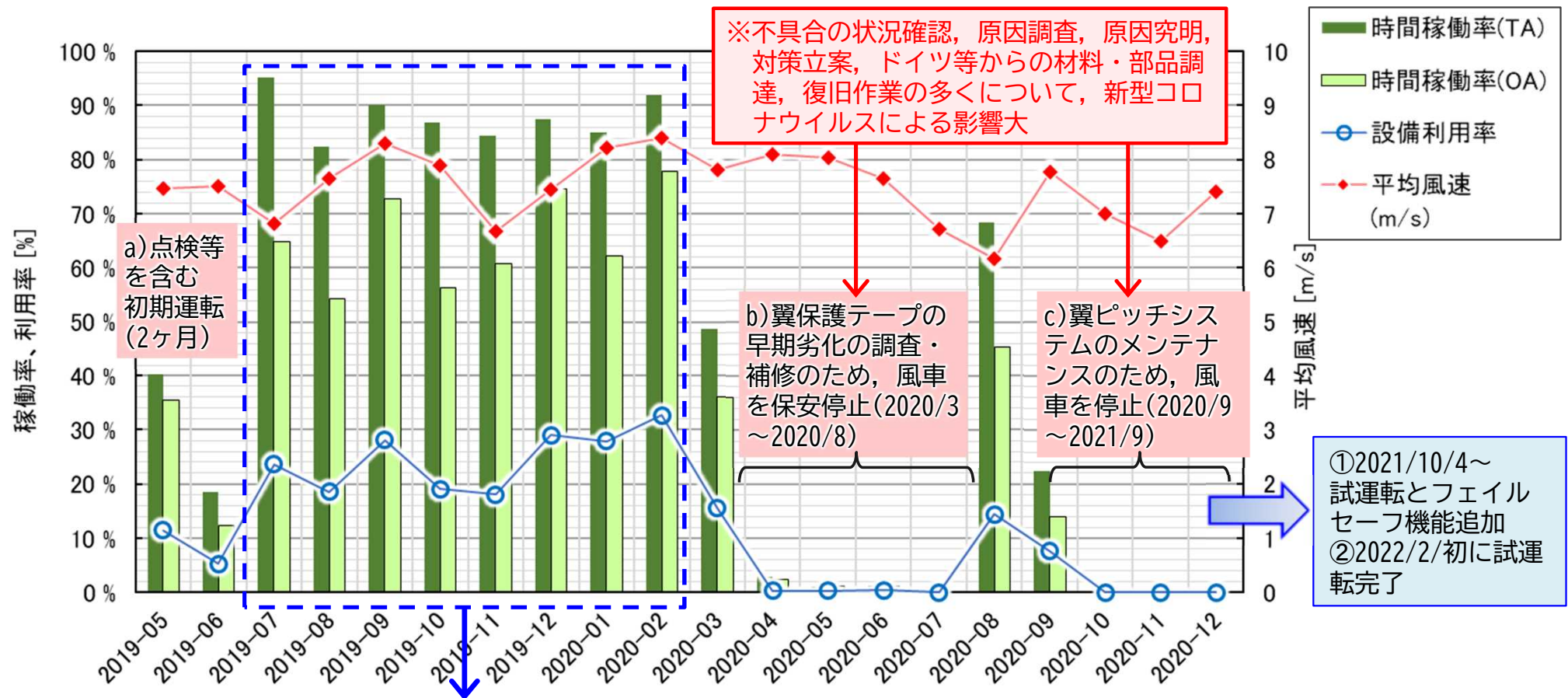
(今年度分についての利用率低下量の算出未完のため、停止時間で比較した)

No.	要因	停止時間 (発生率) ( '19/7~'20/1実績)	停止時間 (発生率) ( '22/7~'23/1実績)	相違
1	故障・不具合	416.7(8.1%)	351.9(6.8%)	'22年は故障内容を分析し同一故障での停止時間を削減
2	定期点検等(浮体、風車)	214.9(4.2%)	128.6(2.5%)	点検人員を増員し点検期間の短縮化による風車停止時間の短縮
3	浮体近接・上船時の風車停止	60.5(1.2%)	67.0(1.3%)	
4	台風(事前停止含む)	207.8(4.0%)	186.8(3.6%)	自然条件による変動
5	雷(点検含む)	4.5(0.1%)	96.8(1.9%)	自然条件による変動
6	九州電力による出力制限	64.0(1.2%) (21年7月~22年1月)	24.0(0.5%)	出力制限回数減及び、規制ルールの変更(出力制御可能な風車への出力制限割合を増やす)
7	浮体動揺による加速度0.3G超で風車停止	75.9(1.5%)	58.7(1.1%)	過回転、過出力にならず加速度エラー(レベル1)で自動復帰したため
	合計	1,044.3(20.2%)	913.8(17.7%)	

\* 発生率 = 停止時間 / 総時間 ( '19/7~'20/1 または '22/7~'23/1 )

# 3. 風車, 係留索の維持管理

— 風車運転状況 —



■ 2019年5月の運転開始後, 1ヶ月間通しで運転した期間 (2019年7月~2020年2月: 8ヶ月間)の稼働状況データ

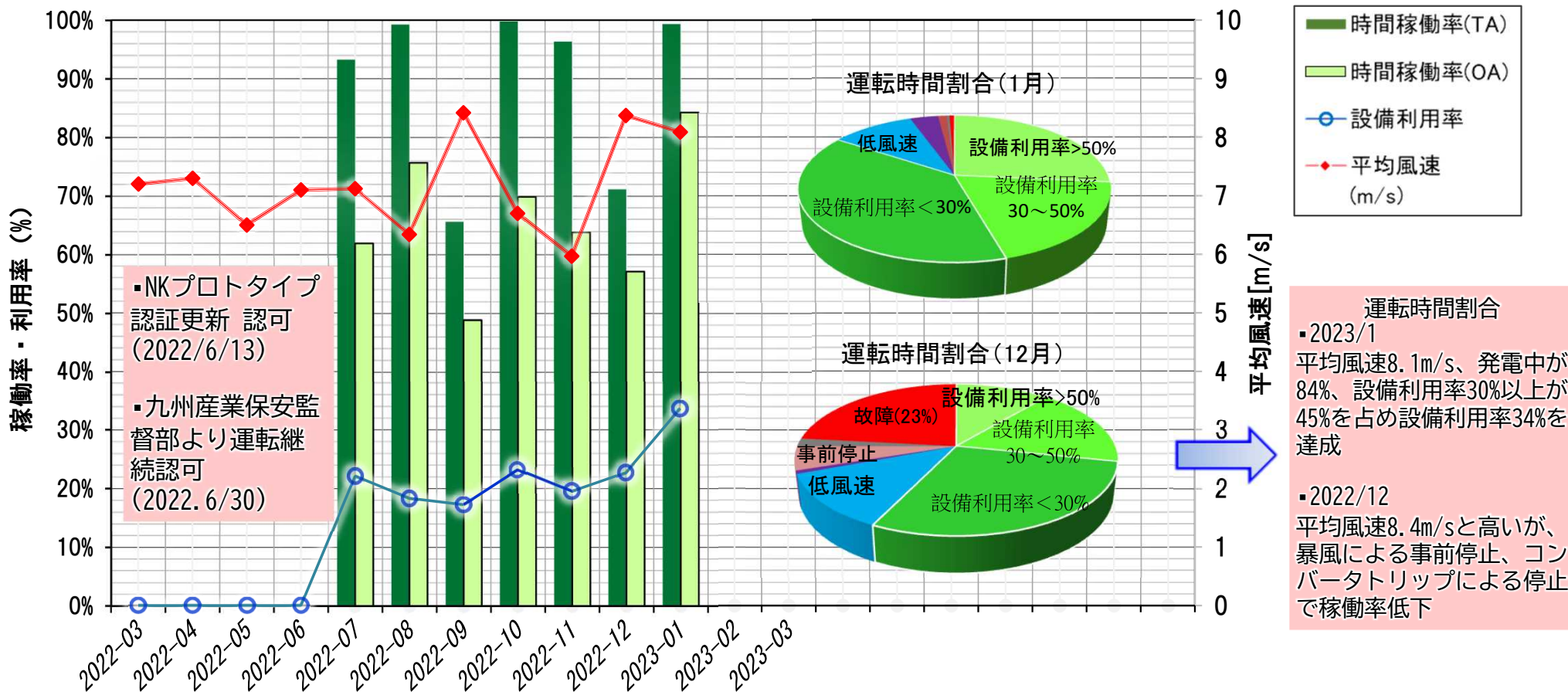
- ◆ 平均風速: 7.6m/s
- 平均設備利用率: 25%
- 最大月設備利用率: 33% (2020年2月)

※参考) 時間稼働率のTAとOA (IEC/TS 61400-26より)

- 1) TA (Technical Availability) : 発電時間+非発電の運転中 (停止以外で, カットイン以下など)
- 2) OA (Operational Availability) : 発電時間を対象

# 3. 風車、係留索の維持管理

## — 風車運転状況 —

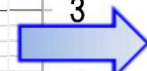


■ NKプロトタイプ  
認証更新 認可  
(2022/6/13)

■ 九州産業保安監  
督部より運転継  
続認可  
(2022.6/30)

**稼働時間割合**

- 2023/1  
平均風速8.1m/s、発電中が84%、設備利用率30%以上が45%を占め設備利用率34%を達成
- 2022/12  
平均風速8.4m/sと高いが、暴風による事前停止、コンバータトリップによる停止で稼働率低下



■ 2022年7月から運転再開  
(2022年7月～2023年1月：7ヶ月間)の稼働状況データ

- ◆ 平均風速: 7.3m/s
- 平均設備利用率: 23%
- 最大月設備利用率: 34% (2023年1月)

※参考) 時間稼働率のTAとOA (IEC/TS 61400-26より)

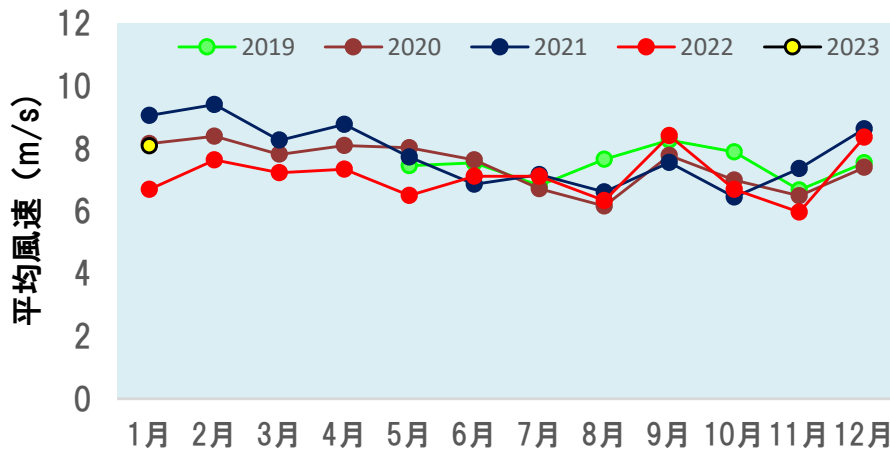
- 1) TA (Technical Availability) : 発電時間+非発電の運転中 (停止以外で、カットイン以下など)
- 2) OA (Operational Availability) : 発電時間を対象

# 3. 風車、係留索の維持管理

## — 風車運転状況 —

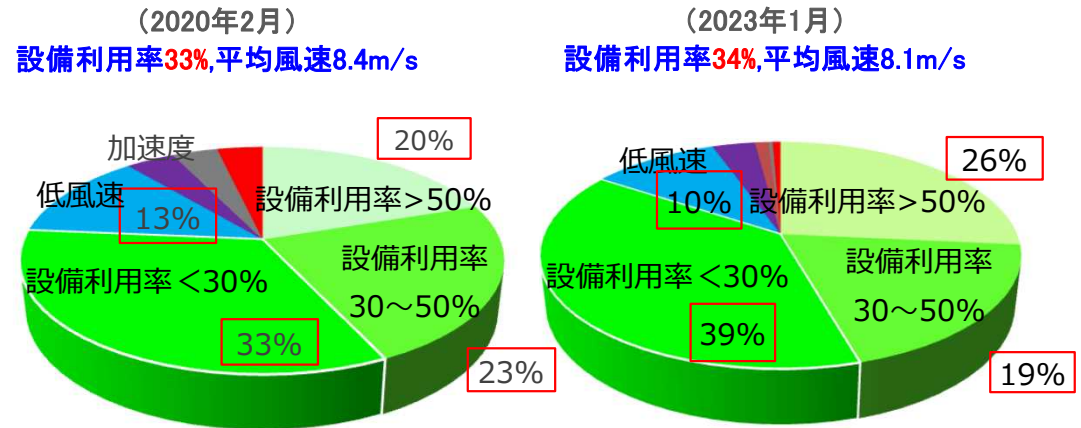


### 1. 月別平均風速 (ナセル後方:Z=72m)



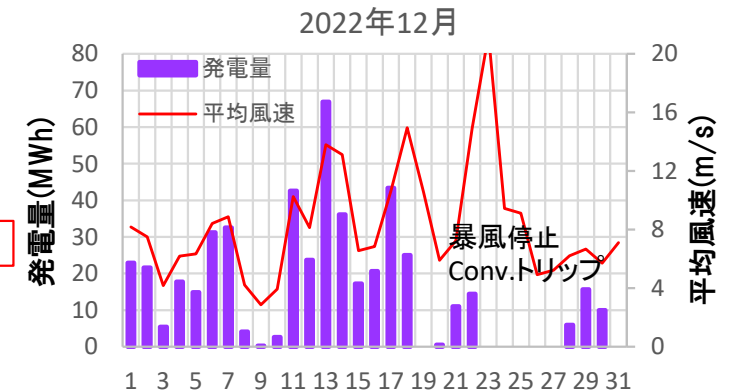
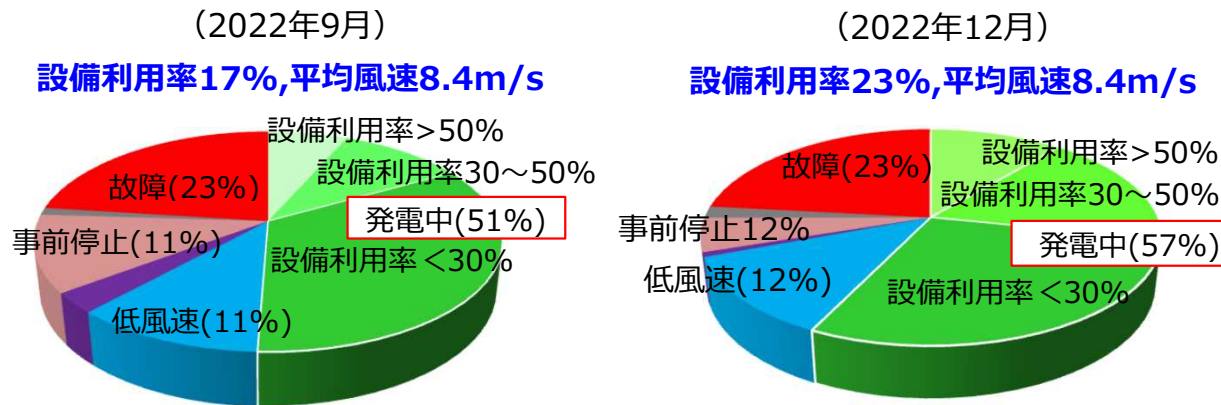
年度別の月平均風速は冬期にバラツキはあるが同傾向である。

### 2. 設備利用率30%以上の運転状況(運転時間割合)



設備利用率30%を達成した月の平均風速は8m/s以上で、設備利用率30%以上の割合が40%以上を占めている。

### 3. 設備利用率30%以下の運転状況(運転時間割合)



平均風速は8.4m/sと高いが、台風、暴風による事前停止、コンバータトリップ、加速度過大エラー（過回転、過出力）による停止が発生した際、海象条件悪化で浮体へアクセス出来ず、リセットに長時間要したため、発電時間は50%台で設備利用率低下となった。



# 3. 風車, 係留索の維持管理

## —AI画像によるブレード点検

### 【2022年度の成果】

・ブレード外観点検に固定カメラによるAI画像解析での損傷確認が可能であり, ブレードの維持管理に有効であることを確認した.

【概要】 固定カメラを用い, ブレード外観の点検を2ヶ月ピッチ(6/9,8/3,10/6,12/9)で実施.

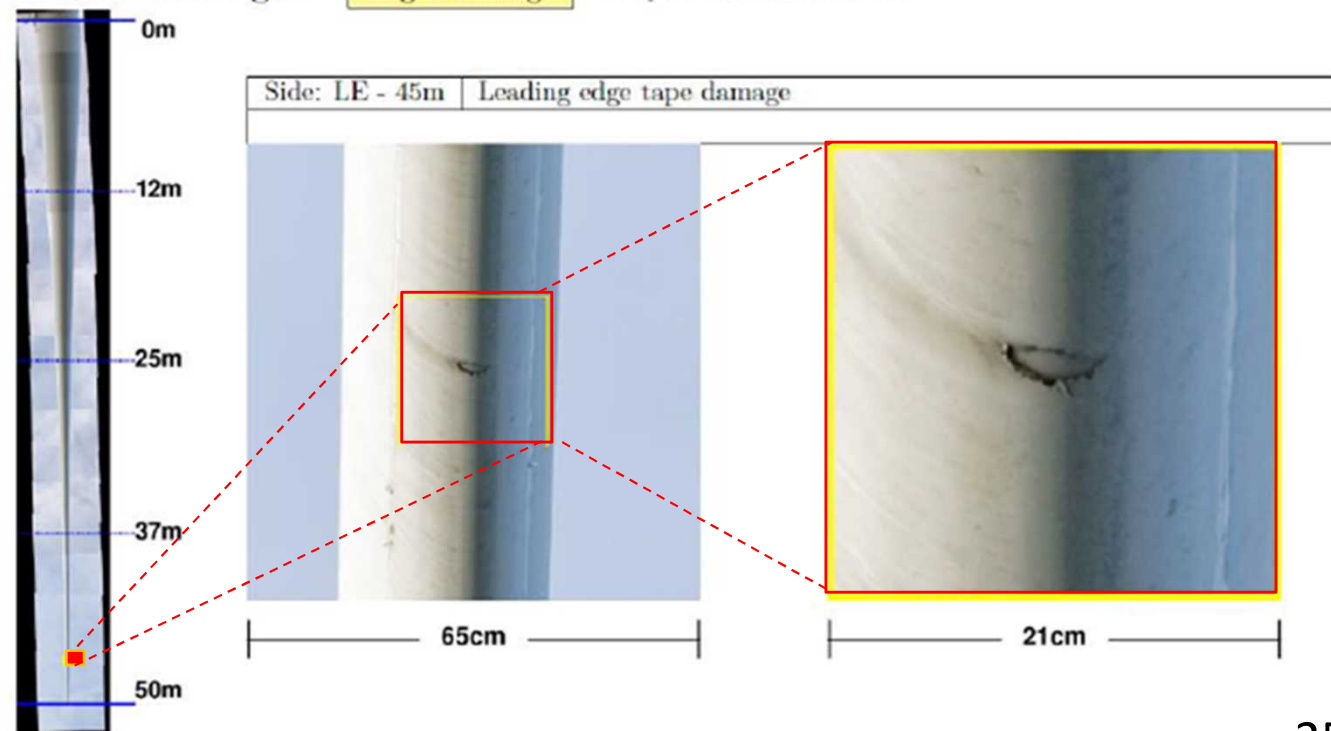
【点検結果】 ブレードLEのプロテクションテープに軽微な損傷を3カ所発見. AI画像解析でブレード損傷の確認が可能であり, ロープワークでの確認作業に比べ大幅短縮, 及び作業安全性が図れる.



撮影一人作業  
Lebo Robotics.Inc

〈ダメージ1〉 コメント: LE 保護材に軽微な損傷

Blade 1 - Damage 1 Slight damage unique id: 20221215.DVWI

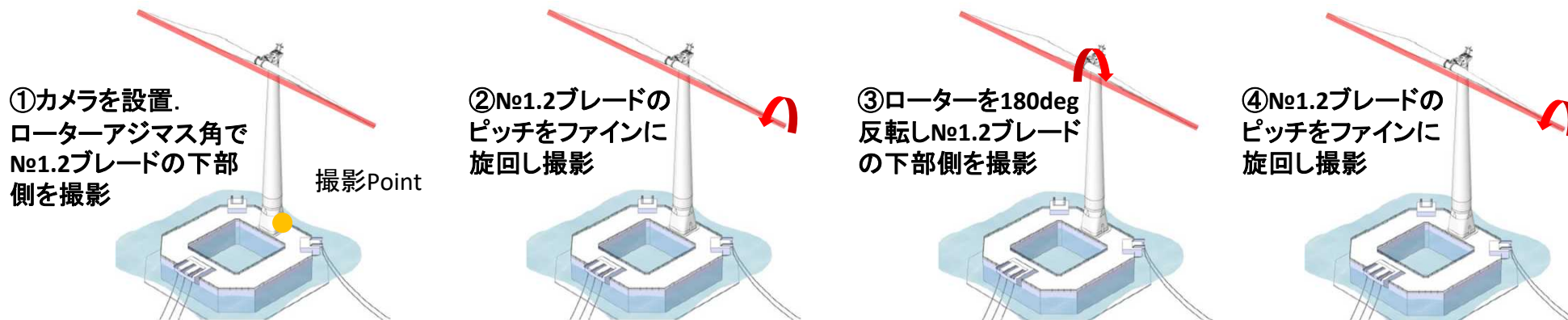


# 3. 風車, 係留索の維持管理

## —AI画像によるブレード点検

### 【AI固定カメラによる撮影手順】

4回の動作でブレード全体を網羅. 作業はTP上で実施するためスピーディーで安全.



	AI固定カメラ	ロープワーク
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・短時間で撮影が可能</li> <li>・少人数で作業を行う</li> <li>・AI解析のため見落としが少ない</li> <li>・資機材の運搬が容易</li> <li>・風速や浮体の傾きによる影響が少ない</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・損傷度合いの確認が容易</li> <li>・傷の深さや細かいクラックなど確認ができる</li> <li>・応急処置が可能</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カメラの保有台数が少ないため日程調整が困難</li> <li>・小さい傷は見落とすことがある</li> <li>・2枚翼のAI解析データが不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ロープワーカーの確保が困難</li> <li>・高所作業のため危険度が高い</li> <li>・段取り, 点検に時間を要す</li> <li>・降下時の触れ止めロープや安全靴によりブレードを傷つける</li> <li>・風速により作業が制限される</li> </ul>
作業時間	2時間	8時間
作業人員	1名	3名
風速制限	なし	10m/s
費用	ロープワークと比較し安価	—

# 4. 効率的係留技術の確立

## —合成繊維ロープ係留とタワーブイ係留の水槽実験による挙動特性評価(1/2)—

### 【課題】

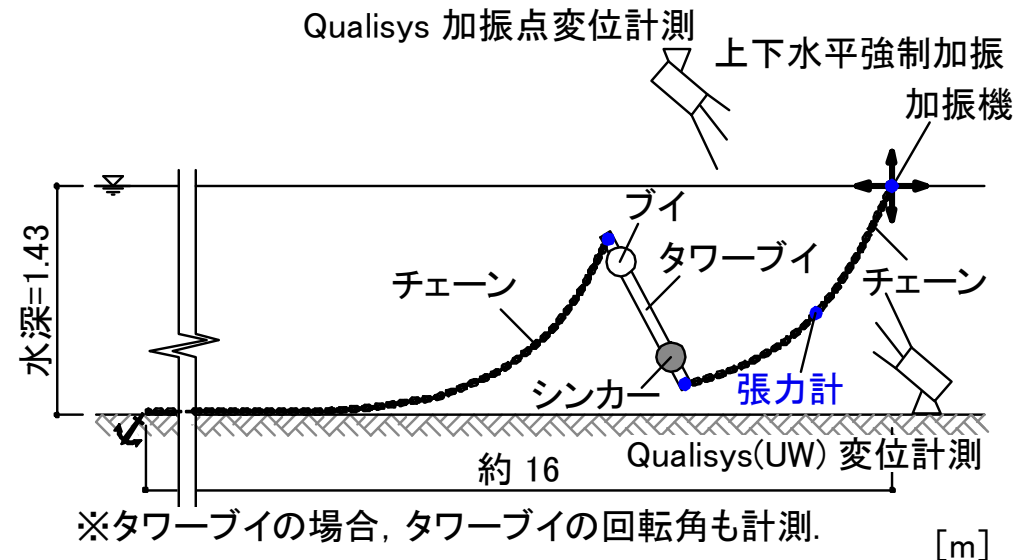
- 浅い海域での係留は浮体動揺の影響が大きく、鋼製チェーンによるカテナリー係留では張力変動が大きくなり設計を難しくしている。

### 【2022年度の成果・実証事業を通じた成果】

- 張力変動を低減する方法として、タワーブイを用いた新しい係留システムの提案を行った。
- 浅い海域を模擬した条件下で、合成繊維ロープ係留、タワーブイ係留およびカテナリー係留を用いた模型実験を実施し、係留システムの全体の挙動(静的および動的係留特性)を実験的に明らかにした。
- 提案したタワーブイ係留の静的な特性解析法を定式化した。
- 水槽実験、定式化した静的解析法、OrcaFlexによる動的解析から係留システムの解析モデルの整合性を示し、検証の結果、タワーブイ係留の適用による張力抑制効果の可能性を示した。
- 成果は日本船舶海洋工学会論文集に掲載された。

### 係留系模型実験

- 合成繊維ロープ係留(全長に亘って合成繊維ロープのケース)、タワーブイ係留(ブイとシンカーの一体化)およびカテナリー係留の動的応答実験を行った。
- 弾性相似模型を製作した。
- 水槽にて、水面で上下水平方向に加振した。
- 想定水深50m、縮尺1/35、柏の生産技術研究所の海洋工学水槽にて実験、チェーン呼び径4mm、軸剛性EA $\sim$ 1/35<sup>3</sup>
- 張力、変位を計測した。

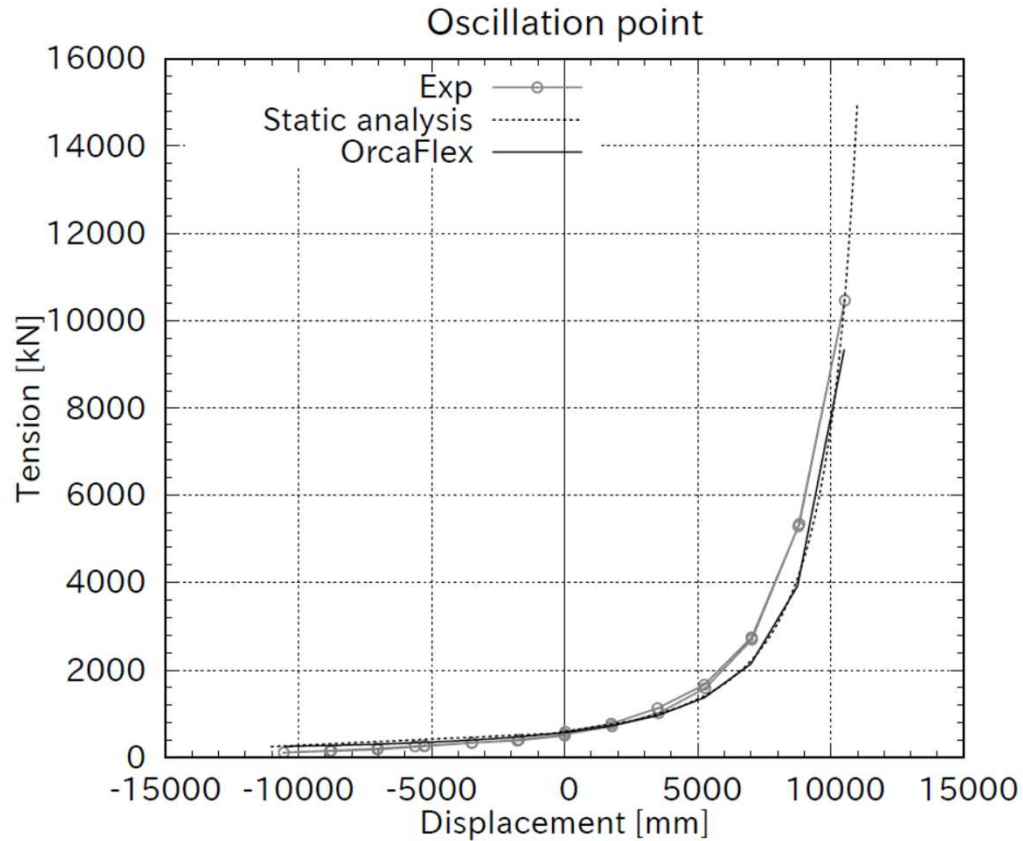


水槽実験の概要図(タワーブイのケース)

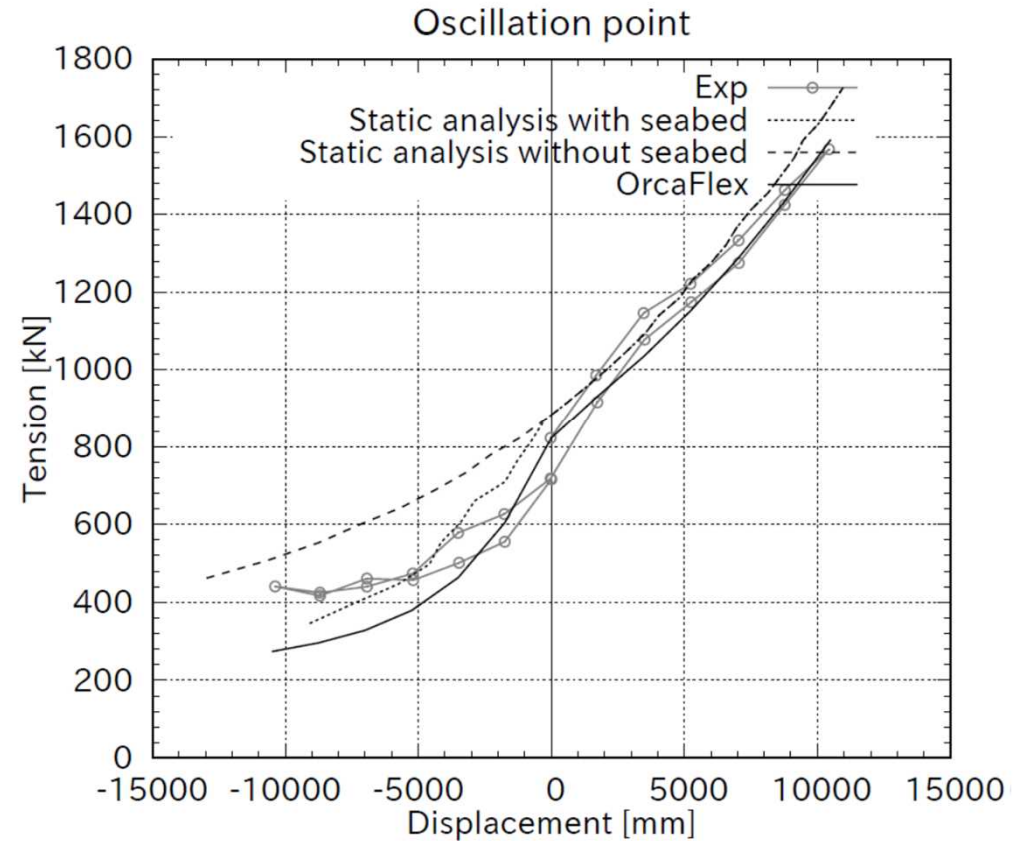
# 4. 効率的係留技術の確立

## —合成繊維ロープ係留とタワーバイ係留の水槽実験による挙動特性評価(2/2)—

【2022年度の成果】



カテナリー係留の静的張力変位特性



タワーバイ係留の静的張力変位特性

- カテナリー係留、タワーバイ係留の静的特性について、静的な特性解析法を定式化し、水槽実験、OrcaFlexによるシミュレーションと比較してよく一致することを証明した。
- タワーバイ係留を適用による張力抑制効果の可能性を示した。

# 5. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

## — 魚類蝟集効果把握調査 —

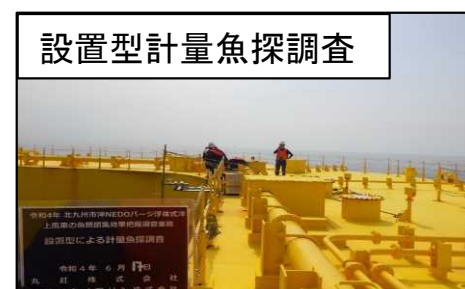
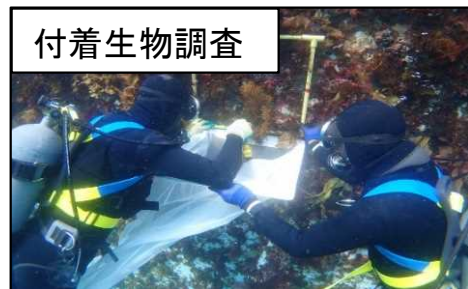
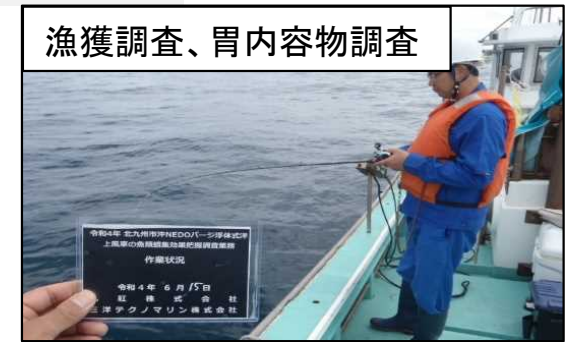
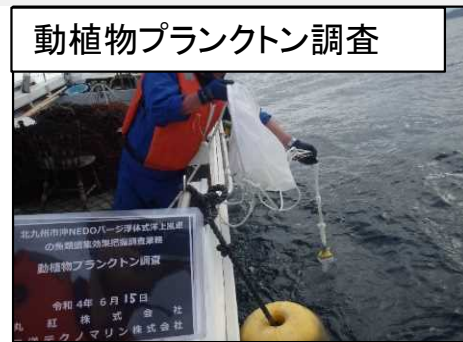
### 【2021、2022年度の成果】(総括)

風力発電設備の魚類蝟集効果を示すため、2021年度と2022年度に以下の調査を実施した。

- ・水質調査
- ・底質調査(2022年度のみ)
- ・ROV調査
- ・設置型計量魚探調査
- ・曳航式計量魚探調査(放射状調査は2022年度のみ)
- ・関係漁業団体ヒヤリング(2022年度のみ)
- ・環境DNA調査
- ・漁獲調査・胃内容物調査
- ・動植物プランクトン調査
- ・付着生物調査

結果として、以下が確認された。

- ・風力発電設備周辺に特異的に魚類が蝟集
- ・風力発電設備周辺に2021年では夜間、2022年では日出・日没頃に魚類が蝟集
- ・対照区に比べ餌料が豊富で、優れた餌料環境



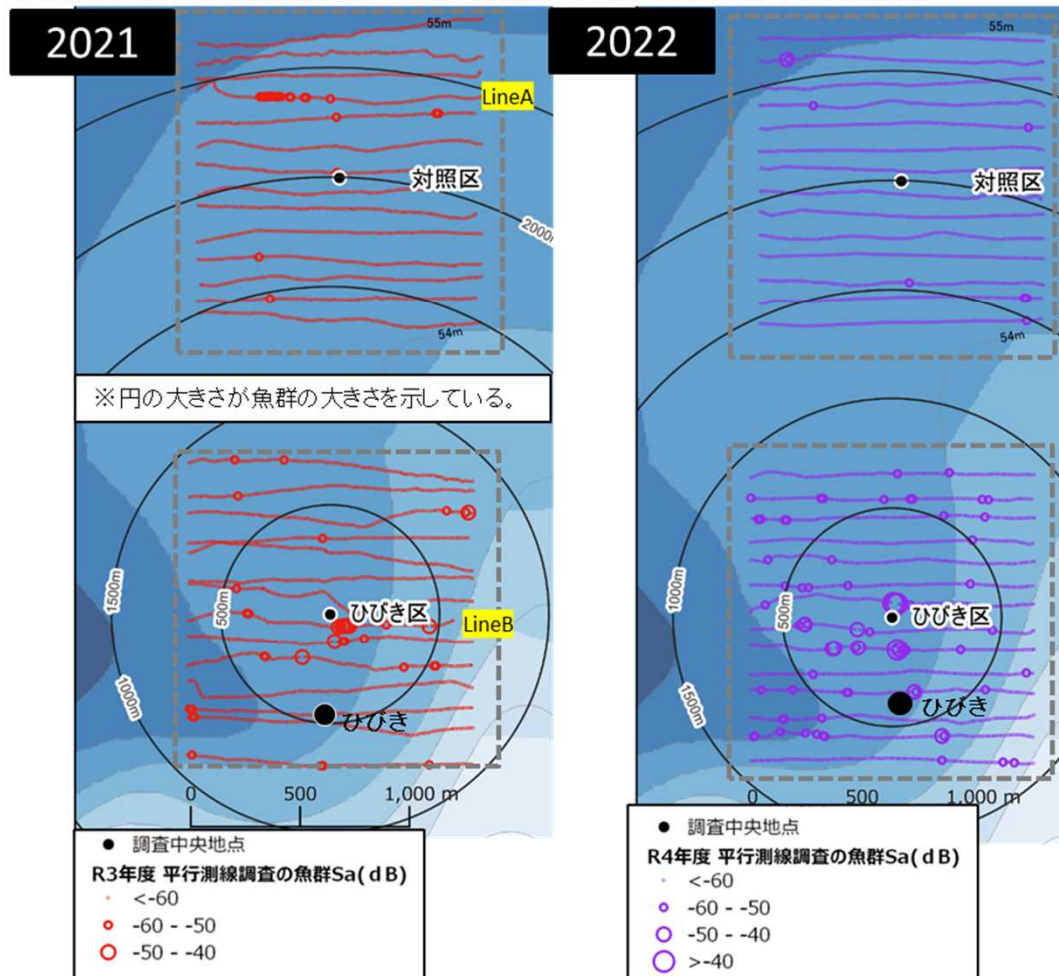
# 5. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

## — 魚類蝟集効果把握調査 —

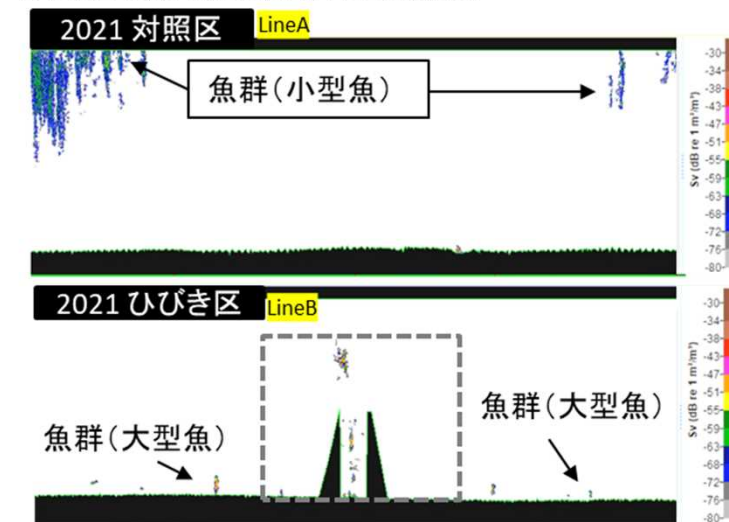
### 【2021、2022年度の成果】（曳航式計量魚探調査）

- 対照区よりもひびき区において多くの魚群の蝟集が確認された
- 対照区では小型の魚の群れが多く、ひびき区ではより大型の魚の群れがチェーン周辺で多く確認された。

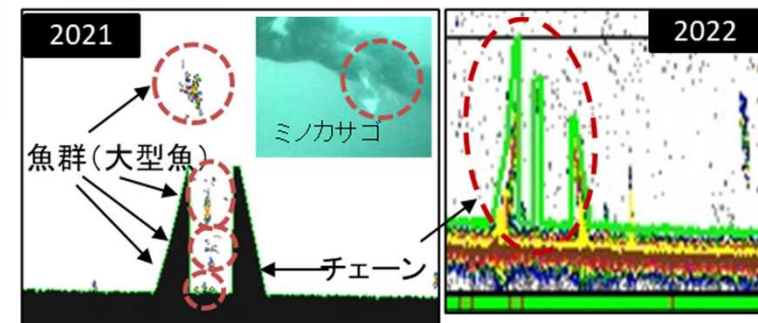
● 曳航式による計量魚探調査: 計量魚探を曳航し、空間的な魚群の分布を把握した。



● 2021年度におけるエコーグラム: 対照区では小型の魚の群れ、ひびき区では大型の魚の群れを確認した。



● 2021,2022年度 ひびきにおけるエコーグラム  
小型魚の群れを確認した。チェーン周辺に魚群が確認できた。



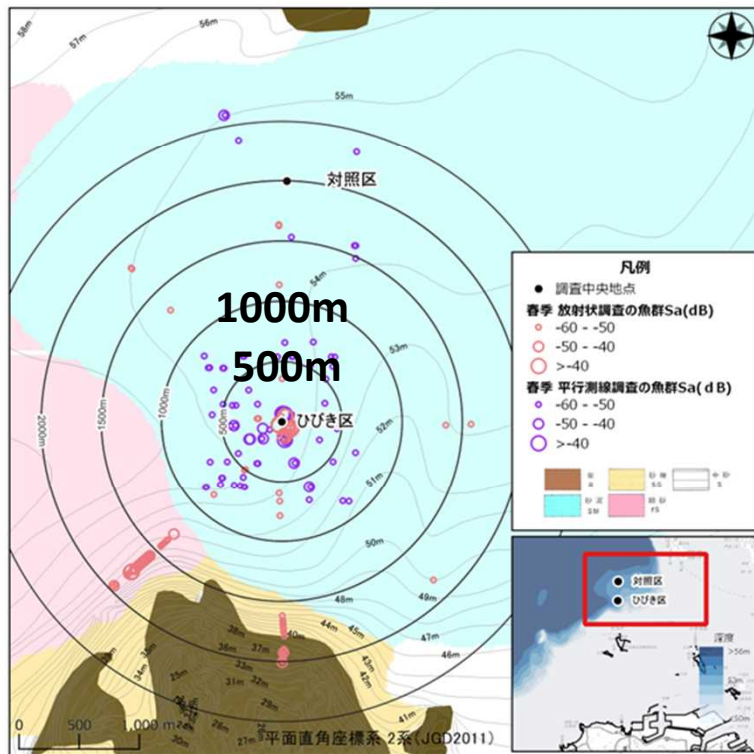
# 5. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

— 魚類蝟集効果把握調査 —

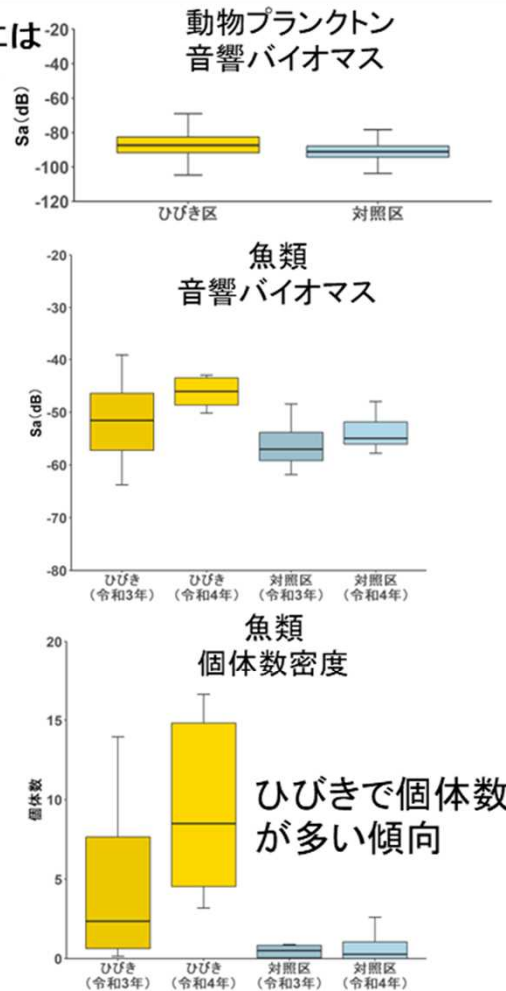
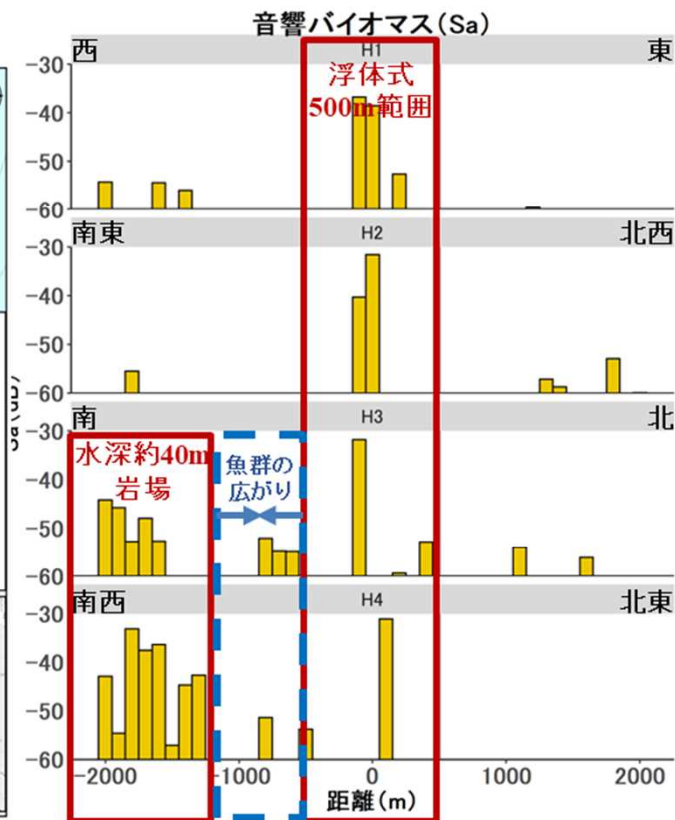
【2021、2022年度の成果】（曳航式計量魚探調査（放射状）、動植物プランクトン調査）

- 染み出し効果を見るための放射状の曳航調査（2022年度のみ）では、ひびき区周辺から南、南西方向の天然礁へ約800mの生息範囲の拡大が見られた。
- 対照区に比べて魚類蝟集量の多いひびき区で動物プランクトンの減耗があまり見られず、ひびき区で基礎生産量が高いことが示された。

● 曳航式による計量魚探調査：  
計量魚探を曳航し、空間的な魚群の分布を把握した。



動物プランクトンの音響バイオマスにはあまり違いが見られない



# 5. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

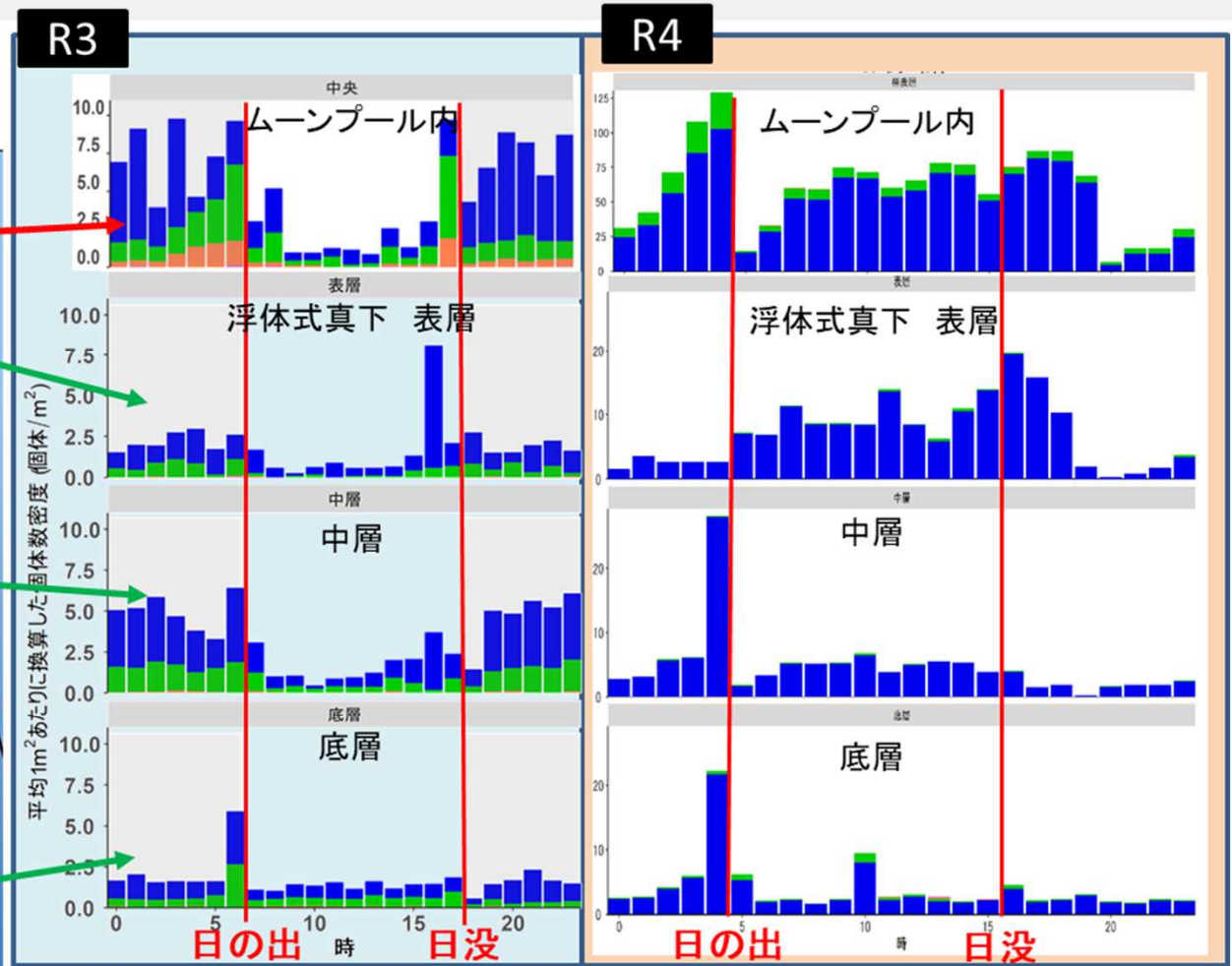
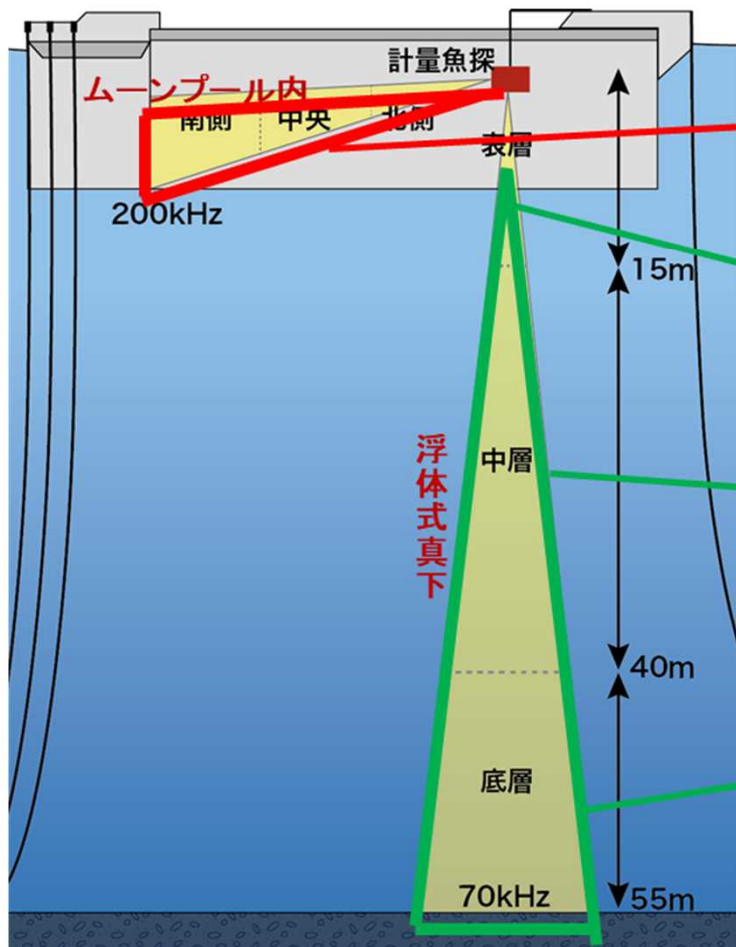
— 魚類蝟集効果把握調査 —

## 【2021、2022年度の成果】（設置式計量魚探調査）

- 2021年度（秋季）は日中よりも夜間にムーンプール内に魚群が蝟集
- 2022年度（春季）は日出や日没頃に多く蝟集しており、いわゆる「朝まずめ」「夕まずめ」と類似の現象を確認

### ● 設置型による計量魚探調査

計量魚探を設置し、時間的な魚群の蝟集状況を把握



体長: ■ 小型 ■ 中型 ■ 大型 ■ 特大型

小型: 15cm未満 中型: 15-30cm  
大型: 30-60cm 特大型: 60cm以上



# 5. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

— 魚類蝟集効果把握調査 —

## 【2021、2022年度の成果】（漁獲試験、胃内容物調査、付着生物調査）

- 漁獲試験の結果、①岩礁域を好むアオハタやマダイがひびき区で多く確認された。②胃内容物として、オウギガニ科やキセワタガイ属が確認された。
- 付着生物調査の結果、季節による湿重量の違いはあるものの、実証機にはオウギガニ科、キセワタガイ属等が見られ、餌料場として活用していることが考えられた。

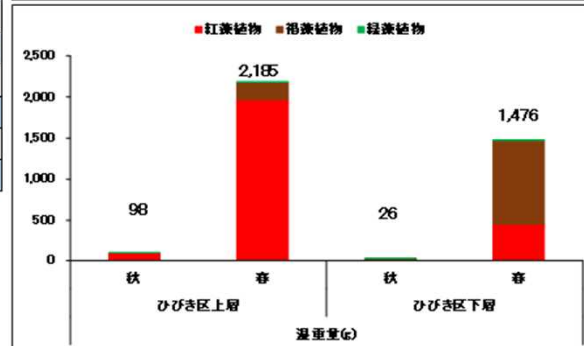
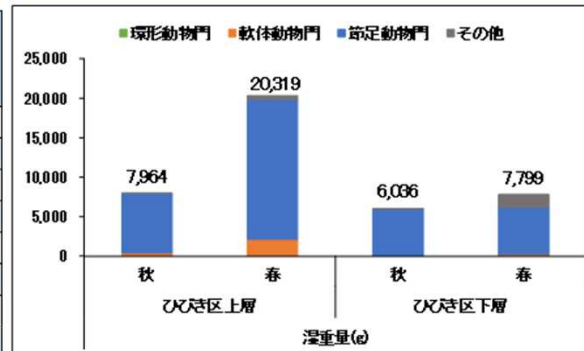
漁獲調査: 釣りと刺し網でひびきと対照区の魚を採取した。

調査	魚種名	ひびき区				対照区				生息域・特性
		個体数		湿重量(g)		個体数		湿重量(g)		
		秋季	春季	秋季	春季	秋季	春季	秋季	春季	
釣り	マダイ	1	2	680	1,760	-	1	-	618	回遊
	アオハタ	13	8	1,720	1,180	-	1	-	228	回遊
	マエソ	12	3	5,660	660	4	5	1,050	685	砂礫底
	イトヨリダイ	4	1	1,670	200	10	3	1,260	488	砂泥底
	シロサバフグ	1	-	480	-	3	2	340	720	岩礁域
	クロマグロ	1	-	670	-	-	-	-	-	砂底
	ウルメイワシ	1	-	100	-	-	-	-	-	砂泥底
	マサバ	-	-	-	-	4	-	1,000	-	岩礁域
	マルアジ	-	-	-	-	4	-	750	-	回遊
	レンコダイ	-	-	-	-	1	-	260	-	中～底層
	カイワリ	-	-	-	-	4	-	210	-	回遊
合計	33(7種)	14(4種)	10,980	3,800	30(7種)	17(7種)	4,870	4,387	-	
刺し網	マアジ	-	-	-	-	1	-	30	-	回遊
	合計	0(0種)	0(0種)	0(0種)	0(0種)	1(1種)	0(0種)	30	0(0種)	-

注: 秋季は令和3年度の調査、春季は令和4年度の結果を示す



付着生物調査: ダイバーがひびきの付着生物を採取した。



# 5. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

— 魚類蝟集効果把握調査 —

## 【2021、2022年度の成果】(まとめ・考察)

- A) 風車周辺には岩礁性を好む種が多く生息しており、計量魚探調査の結果、対照区と比べて多くの魚類の蝟集が確認された。回遊魚のみではなく、底生性の魚が実証機周辺を好んで利用している可能性がある。
- B) 風車周辺で採取された個体の胃内容物を見ると、実証機上の付着生物と似た種類を示していることから、風車周辺は優れた餌料環境である可能性が示唆された。
- C) 風車を中心として南、南西方向の天然礁まで生息範囲が伸びている可能性があり、ウインドファーム化した場合の魚類の回廊(コリドー)形成の可能性が示唆された。
- D) 洋上風力と漁業の共生の在り方について、関係漁業団体ヒヤリング内容も加味した今後の課題や期待についての更なる検証が求められる。

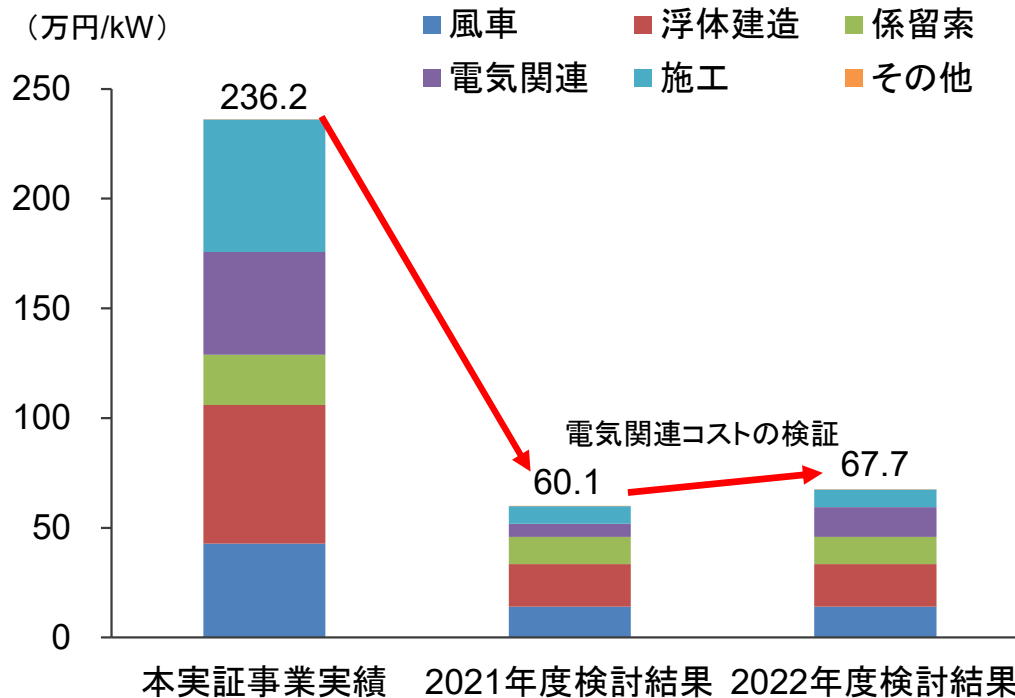
# 5. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

## －大型WF(15MW×40基=600MW)を想定したコスト評価－

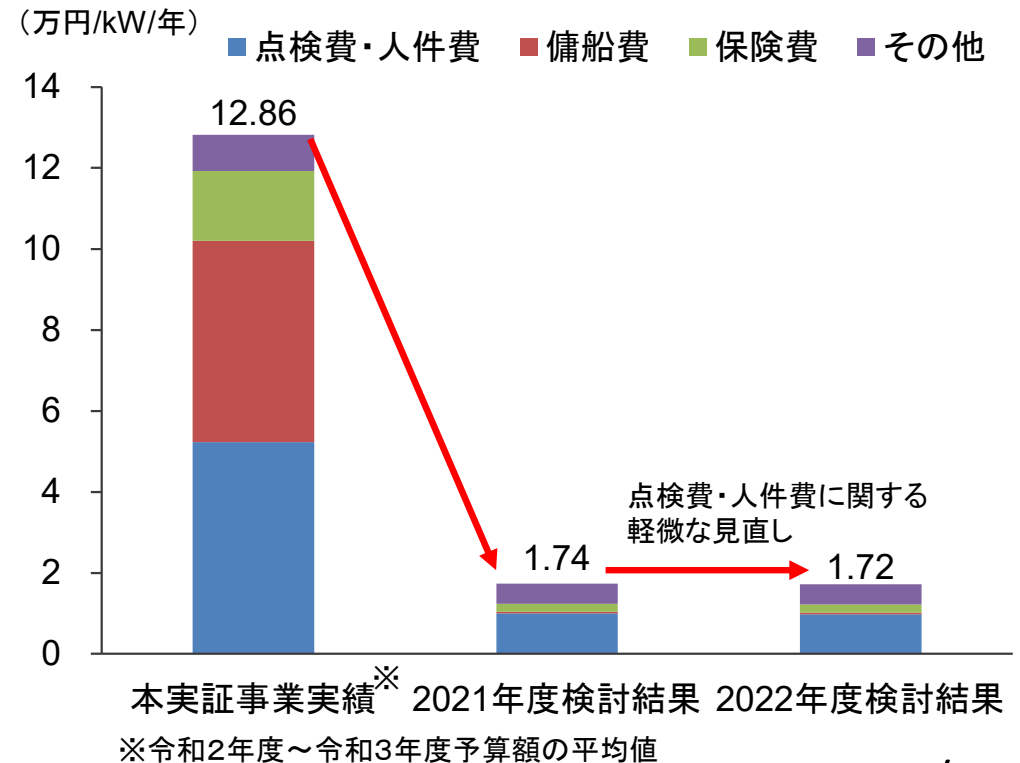
### 【2022年度の成果】(総括)

- A) 2021年度に仮試算したCAPEX60.1万円/kW、OPEX1.74万円/kW/年について、試算が継続中であった電気関連コストを中心に検証を深めた
- B) 結果、600MW規模の大型WFを想定した場合にCAPEX67.7万円/kW、OPEX1.72万円/kW/年まで低減できる見込みがあると評価した
- C) B)のCAPEX・OPEXに基づき諸元を設定の上事業性を評価した。感度分析の結果、一定の条件下における事業実現性を確認した

### CAPEXのコスト検証の結果



### OPEXのコスト検証の結果



# 5. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

## —大型WF(15MW×40基=600MW)を想定したコスト評価—

### 【2022年度の成果】(CAPEX・OPEXの内訳)

CAPEX、OPEXの内訳と低減根拠は下表のとおり。

項目	CAPEX (万円/kW)	(参考)本実証事業の CAPEX(万円/kW)	低減根拠
風車	14.0	42.8	BVGA報告書より14万円/kWまで低減可能と仮定。
浮体建造	19.4	63.3	15MW風車を想定した浮体の製作・組立手法の検討より。
係留索※1	12.4	22.8	15MW風車を想定した浮体の製作・組立手法の検討より。
電気関連	13.7	46.9	複数の送電電圧帯シナリオにおけるコスト比較検討より。最も安価であった220kV送電(洋上変電所有り)を採用。
施工 (電気関連以外)	8.0	60.3	15MW風車を想定した浮体の製作・組立手法の検討より。
その他	0.2	0.2	本実証事業と同様。
合計	67.7	236.2	

※1 本実証事業で検討した繊維ロープは、NK認証の取得可否等の観点から実現性の担保が困難であるため、今回はコスト低減策として考慮していない。

項目	OPEX (万円/kW/年)	(参考)本実証事業の OPEX※2 (万円/kW/年)	低減根拠
点検費・人件費	0.98	5.23	欧州におけるOPEX低減の見通しに、OPEXに占める点検費・人件費を乗じたもの。※3
備船費	0.04	4.97	BVGA報告書のCTV備船費1.3億円/年までのコスト低減を考慮した上で、風車40基を2隻のCTVで管理すると仮定。
保険費	0.2	1.71	IEA報告書より0.2万円/kW/年まで低減可能と仮定。
その他	0.5	0.94	令和元年度～令和3年度までの実績値。
合計	1.72	12.86	

※2 令和2年度～令和3年度予算額の平均値

※3 欧州におけるOPEX低減見通しの1万円について、「洋上風力に係る官民連携の在り方の検討(サプライチェーン形成に向けた仕組みの検討等)のための調査」報告書よりOPEXに占める点検費・人件費のコスト割合を乗じたもの。ただし、当該報告書の数値より保険費や本事業のその他費用に相当するコストを切り出すことは困難であったため、OPEXに占める保険やその他費用の占める割合は大きくないこと、保守的に分析する観点より、洋上ロジスティクスのコストのみを除外

## 6. 国民との対話

### 【2022年度・実証事業を通じた成果】

- 北九州市エコタウンセンター次世代エネルギーパークでの常設展示を行い、風力発電事業を身近でわかりやすく体験できると見学者から好評を得た。
- 北九州市西日本総合展示場で開催された「エコテクノ」に2017～2022(2020中止)まで出展し、2017～2019まで地元の学生を対象に出前講義を実施し、本実証研究の成果と洋上発電事業の意義を周知することができた。さらに多くの来場者から熱心な質問を受け、活発な意見交換を行うことができた。
- 気象・海象観測データ、風車画像のリアルタイム配信ページを構築し、実証研究ホームページによる情報発信を行い、本実証事業に対する地元および一般社会の国全体の理解を向上することができた。

## 6. 国民との対話 ー地元への情報発信と対話ー

- ・北九州市エコタウンセンター次世代エネルギーパークでの常設展示継続  
常設展示は、風力発電事業を身近でわかりやすく体験できる、と見学者から好評を得た。
- ・北九州市西日本総合展示場で開催された「エコテクノ2022」(7月6日～8日)出展
  - NEDO次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究(バージ型)「ひびき」として出展を行った。
  - 風車模型、実物大チェーン模型、ケーブル模型を展示し、モニターでは浮体説明動画を上映した。
  - 風力発電に関心のある地元企業および地元住民との意見交換を行った。
  - 多くの来場者から熱心な質問を受け、本実証事業について活発な意見交換を行うことができた。



北九州市エコタウンセンター  
次世代エネルギーパーク展示

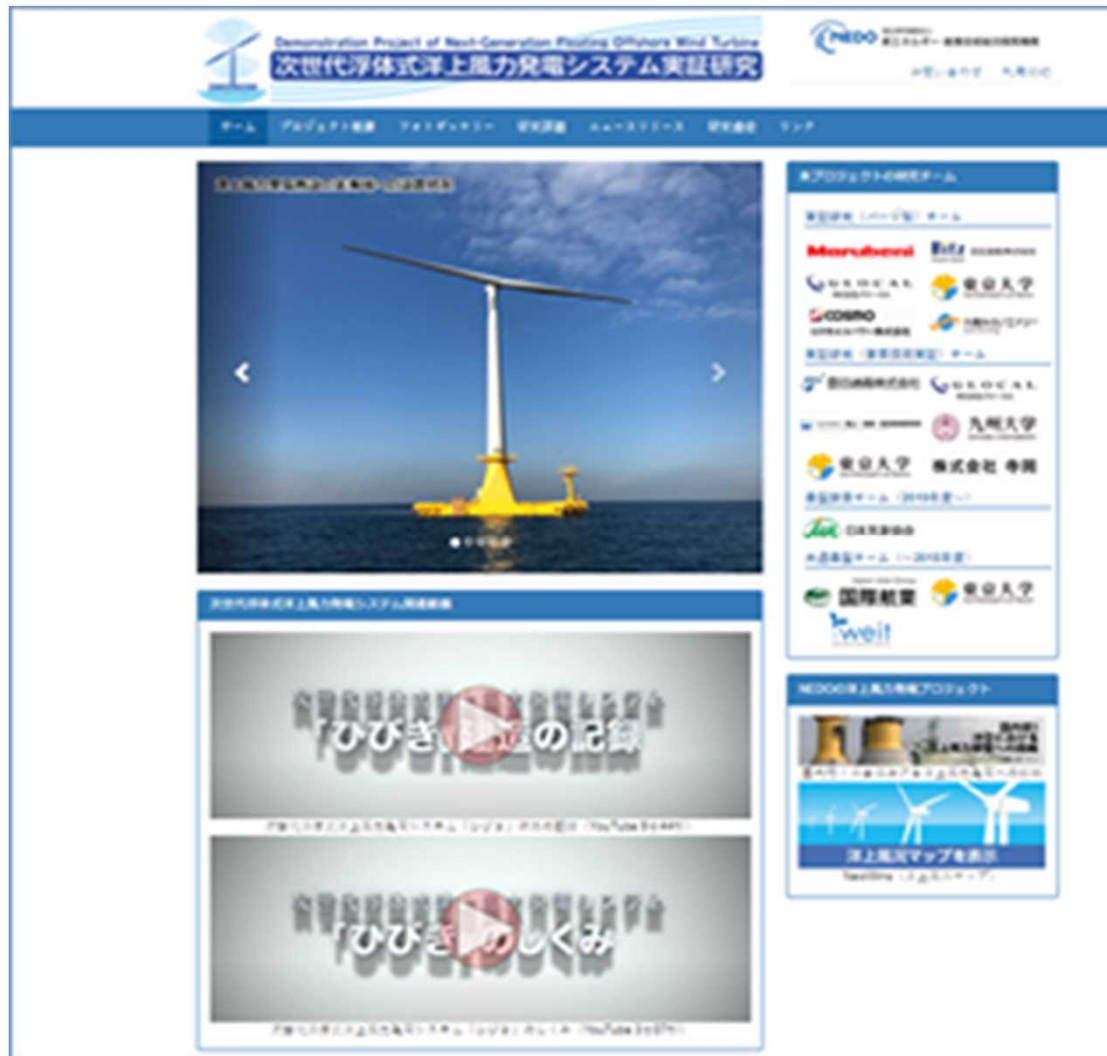


エコテクノ2022展示  
総来場者数 13,749人

## 6. 国民との対話 —一般社会を対象とした情報発信と対話—

### ・実証研究ホームページによる情報発信

- 気象・海象観測データ、風車画像のリアルタイム配信ページを構築し、情報発信を行った。
- 研究の成果と洋上発電事業の意義を一般社会に広く発信し、本実証事業に対する地元および一般社会の国全体の理解を向上することができた。
- 地元住民や漁業関係者にリアルタイム配信データを広く周知した。



実証研究  
ホームページ

# 7. 実証事業を通じた成果

本実証事業を通じ、以下の成果を得られた。

実施計画の各研究テーマごとの成果

## 1. 次世代浮体式洋上風力発電システムの開発

### 1.1 3MW浮体式洋上風力発電システムの設計・製作・施工

- 1) 設置海域について海域調査を実施し、外部条件を確定し、これに基づく設計値を設定し、鋼製支持浮体の開発・設計を実施した。
- 2) 50年再現極値海象条件下でのスラミングの発生可能性について検討し、スラミング荷重について水槽実験と数値解析を実施し設計上の対策を講じた。
- 3) 浮体構造部について、大規模なメンテナンスが必要とならないように、防食仕様を設計した。
- 4) 風車製作における品質管理システム、組立作業、試運転手法を習得し、日本での組立、メンテナンス体制を構築した。
- 5) 連成解析による係留系解析に基づき3点×3ラインの浅海カテナリー係留の仕様を定め、調達を行い、効率的係留技術の検討を実施した。
- 6) 日本海事協会の認証を得て支持浮体の建造に着手した。支持浮体完成・曳航後、北九州においてタワー、風車を搭載し、曳航後所定の位置に設置し、経済産業省九州産業保安監督部の審査を受け使用前安全管理審査を受審して稼働を開始した。

### 1.2 浮体設備の分析検証

- 1) 観測された外部条件(風、波浪、水流)の収集・整理を行い、設計に用いた外部条件の検証を実施し概ね一致していること確認した。支持構造の応答について観測値から浮体、係留への負荷の作用状況を確認した。
- 2) 解析値、水槽実験結果を比較し設計手法が妥当であることを検証し、設計によって目指した浮体動揺性能が実機においては実現されていることを確認した。併せてバージ型に関する水槽実験の有効性を確認した。



# 7. 実証事業を通じた成果

## 1. 3 観測

- 1) 観測に関しては、風車の稼働状況計測、浮体の動揺、浮体構造内力、係留索張力の計測、風況、気象・海象の観測、藍の島における風況観測のシステムを構築した。
- 2) 観測・計測データはネットワークを介して響灘陸上と東京大学に設置したサーバーにデータを蓄積するシステムを構築した。観測システムについては、データ共有システム、データ収録システム、ネットワークの保守、改良を実施した。

## 1. 4 海域利用者や行政機関との調整

- 1) 航行安全対策を検討し、漁業との共存を図り、地元の理解を得て、海域占有許可の取得した。
- 2) 風車設置前、設置作業中、設置後において継続して漁獲試験を継続し、また設置後において魚類蝟集効果把握調査を実施し、実証機設備が魚類に与える影響を確認した。

## 1. 5 コスト評価

コスト評価に関して、CAPEXを精査し、商業化時のウインドファームを想定して、種々の条件の設定化の下、事業性評価を実施した。

## 2. 保守管理技術の開発

- 1) 風車、係留索の維持管理に関して、点検作業の効率化、ピッチシステム等の改善を実施し安定した風車の稼働を実現した。
- 2) 洋上風車の保守管理技術の開発、鋼製浮体の保守管理技術の開発、システム全体の保守管理技術の開発に関して、ダイナミックケーブルの深度の遠隔監視を実施し、遠隔監視の有効性を示した。
- 3) ROVによる外観監視・計測を実施するとともに、ROVに装着したキャビテーションジェットツールにより効率的な付着生物の除去を実施した。
- 4) ドローンによる可視光と赤外線を用いた風車外観点検を行い有効性を確認した。
- 5) 障予知診断システムにおいてデータ蓄積を継続し、故障予知モデルを追加作成して、異常と実際の事象の突合せを確認した。

# 7. 実証事業を通じた成果

## 3. 環境影響評価

北九州市環境影響評価条例に従い、配慮書・方法書・準備書・評価書手続を完了し、事業規模の変更を受けて、自主的環境アセスメントを実施した。水質、水中音、水中生物、鳥類、生態系、付着生物の項目について工事前の調査、工事中の現地調査、稼働中の現地調査を比較し、影響が小さいことを確認した。

## 4. 低コスト次世代洋上風力発電システム技術の確立に必要な項目

- 1) 浮体の動揺抑制技術の検討に関して、観測データから動揺特性、スラミングや越波の発生状況などの基礎情報の収集を行った。
- 2) 製作・組立・溶接技術の検討に関して、浮体構造に関して、外板の板厚、補強材数・配置による溶接量の削減の検討を行った。
- 3) 施工技術の検討に関して、係留接続後の浮体の設置精度について、施工時のデータを比較し、設置精度が良好であることを確認した。
- 4) メンテナンス技術の検討に関して、鋼製浮体に設置した観測センサーや監視カメラにより、アクセス状況、運用状況のモニタリングを実施した。
- 5) 効率的係留技術の確立に関して、合成繊維ロープを用いた係留について、合成繊維ロープに関する基礎試験を実施し、係留システム系について検討した。また、タワーブイを用いた係留の開発をおこなった。
- 6) 電力品質の評価に関して、系統連系後、計測機器を用い、力率、瞬時電圧変動、フリッカ、高調波流出電流の観点から電力品質の評価を行った。
- 7) 電気工作物の保安全管理体制の確立に関して、「みなし設置者」制度を活用し、電気工作物の自主保安全管理体制を構築した。

# 7. 実証事業を通じた成果

## 5. 国民との対話

- 1) 地元への情報発信と対話に関して、北九州エコタウンセンター内における常設展示を開始した、北九州で開催されるエコテクノ2017年以降2022年まで展示会に出展した。また、地元における親子科学工作教室、大学における特別講義を実施し、地元の理解向上に努めた。
- 2) 一般社会を対象にした情報発信と対話に関して、一般社会向けホームページを開設し、研究通信の定期更新、気象・海象情報のリアルタイム配信を行った。