

2021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  
九電みらいエナジー(株)  
日立造船(株)  
コスモエコパワー(株)  
(株)グローバル

問い合わせ先  
丸紅株式会社  
E-mail:TATSUMI-KOSUKE@jpn.marubeni.com  
TEL:03-3282-2994

# 事業概要

## 1. 期間

開始 : 2015年1月

終了(予定): 2022年3月

## 2. 最終目標

- ① 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及び施工方法の開発・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。
- ② 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。
- ③ 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。

### 3.成果・進捗概要

#### (1)2020年度成果

本成果は担当各社にて取りまとめが完了している範囲である。2020年度全体の成果は来年度の成果報告にて報告する。

- ① 外部条件・設計手法の検証に関して、観測された外部条件(風、波浪、水流)の整理結果に基づいて、設計ツールを用いて浮体動揺等を計算し、観測値と比較した。
- 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の保守、改良を行った。ブイ式波高計のデータの第1回目の回収を行った。
- ③ 保守管理技術に関して、24時間で浮体状態を遠隔監視し、モニタリングデータについても収録及び蓄積を常時行った。ROVを用いた保守管理技術の開発を進め、各種実海域試験を実施した。故障予知診断システムへの気象データの取り込みを開始し、故障予知診断モデルの作成を進めた。浮体アクセスに関して、アクセス可否と気象海象との関係調査を進めた。
- ④ 風車、係留索の維持管理に関して、翼の保守、ピッチ機構プログラムの改善点の抽出と分析を行った。また、係留索については腐食、摩耗量の測定を行った。
- ⑤ 効率的な係留技術に関して、低コスト化に向けた検討として、合成繊維ロープの疲労試験・浸漬試験を実施した。
- ⑥ 電力品質の評価に関して、系統連系後の電力品質測定を行い、電力品質の良否確認、風車運転状態が電力品質に与える影響の調査を行った。
- ⑦ 環境影響評価に関して、事後調査を実施しデータの蓄積を行った。過年度に実施した事後調査結果とあわせて再度検証を実施した。
- ⑧ 海域利用者や行政機関との調整に関して、漁獲試験状況を取りまとめ、洋上風車が漁業に与える影響の評価を進めた。
- ⑨ コスト評価に関して、600MWの発電規模を前提として、欧州事例を基にコストダウン実現に向けた検討を実施した。
- ⑩ 国民との対話に関して、COVID19の影響で対面方式を基本とするイベントについては中止した。一般社会向けホームページについては気象・海象情報のリアルタイム配信の準備を行った。

### 3.成果・進捗概要

#### (2)2021年度成果(参考)

本成果は2021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 外部条件・設計手法の検証に関して、観測された外部条件(風、波浪、水流)の整理、解析値との比較検討を継続しており、斜波、波の方向分散性、2方向波が出現するケースをピックアップし、解析値との比較検討を開始した。
- 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の保守、改良を実施した。
- ③ 保守管理技術に関して、昨年度実施したROV実海域試験の課題等を整理した上で、今年度実施する模擬検査(NK定期検査想定)を開始した。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、ピッチシステムの改善を実施した。係留索については損傷、衰耗量の調査を実施し、効率的係留技術の評価実施中。
- ⑤ 効率的な係留技術に関して、要素試験データの蓄積及び整理と評価を継続中。
- ⑥ 電力品質の評価に関して、電力品質測定値と風車運転データを紐づけすることで、風車が電力品質に与える影響が小さいことの確認、周辺工場等の系統側起因による影響の評価を行った。
- ⑦ 環境影響評価に関して、調査を実施してデータの蓄積を行い、過年度分調査結果との比較、累積評価を実施中。さらに、事前の予測・評価内容と比較し、妥当性、影響の再検証中。
- ⑧ 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、漁業影響評価を実施した。
- ⑨ コスト評価に関して、事業性評価を実施中。
- ⑩ 国民との対話に関して、エコテクノ2021展示会に出展した。また、一般社会向けホームページを再開し、研究通信の定期更新、気象・海象情報のリアルタイム配信の準備を整えた。

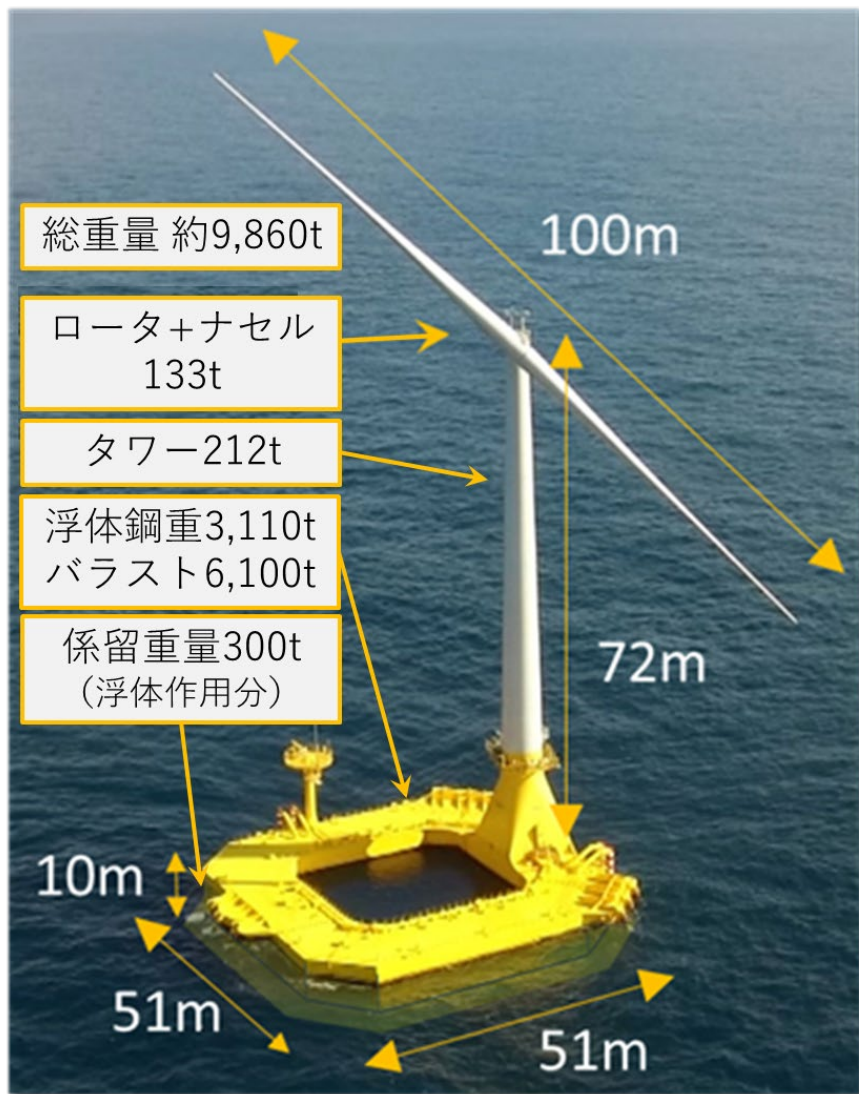
### 3.成果・進捗概要

#### (3)2021年度末までの実施予定(参考)

実証研究の最終年度のため、最終成果報告書のとりまとめを行う。

- ① 外部条件・設計手法の検証に関して、観測された外部条件(風、波浪、水流)の整理、解析値との比較検討を継続し、浮体動揺のデータに加え、浮体構造に作用する波圧と生じる内力、係留張力との比較を実施する。また、終局強度の検証に加え、疲労強度の検証を実施し、設備のコストダウンの可能性について言及する。
- 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の保守、改良を継続する。
- ③ 保守管理技術に関して、ROVを用いた模擬検査(NK定期検査想定)を実施し、課題整理と評価を行う。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確認を継続する。
- ④ 風車、係留索の維持管理に関して、点検作業の効率化策、ピッチシステムの改善策を実施する。係留索については損傷、衰耗量の調査による効率的係留技術の評価を行う。
- ⑤ 効率的な係留技術に関して、実施中の要素試験データの蓄積及び整理と評価を行う。
- ⑥ 電力品質の評価に関して、風車特有の出力変動やスイッチングによる電力品質への影響の評価を行う。
- ⑦ 環境影響評価に関して、調査を実施してデータの蓄積を行い、過年度分調査結果との比較、累積評価を実施する。さらに、事前の予測・評価内容と比較し、妥当性、影響の再検証を行う。
- ⑧ 海域利用者や行政機関との調整に関して、漁獲試験の継続、並びに浮体設備の蛸集効果の測定を行い、漁業影響評価を実施する。
- ⑨ コスト評価に関して、事業性評価を実施する。
- ⑩ 国民との対話に関して、一般社会向けホームページを再開し、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開始する。

# 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

# 研究体制

NEDO

委託

プロジェクトリーダー  
： 東京大学 石原 孟

幹事会社 ： 丸紅  
技術幹事会社 ： 日立造船

## 丸紅

研究実施場所  
丸紅本社（中央区）

### 【FS研究項目】

- ① 海域調査
- ・社会的制約や許可条件等の調査

- ② 事前協議
- ・候補海域を管理・管轄する関係機関

### ③ 事業性の評価

### 【実証研究項目】

- ① 風力発電システムの開発
- ・分析・検証
- ・コスト評価等
- ・海域利用者や行政機関との調整

## 東京大学

研究実施場所  
東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻（文京区）

### 【FS研究項目】

- ① 海域調査
- ・気象海象調査
- ② 各種基本設計
- ・観測システム
- ③ 船舶安全法の適合性の確認

### 【実証研究項目】

- ① 風力発電システムの開発
- ・分析・検証
- 性能評価、安全性評価
- ・観測
- 観測データ収集、解析、配信
- ② 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
- ③ その他
- ・浮体の動揺抑制技術の検討
- ・効率的係留技術の確立
- ④ 国民との対話

## 丸電みらい エナジー

研究実施場所  
丸電みらいエナジー本社（福岡市）

### 【FS研究項目】

- ① 事前協議
- ・系統連系

### 【実証研究項目】

- ① その他
- ・電力品質の評価

## 日立造船

研究実施場所  
日立造船本社（大阪市）

### 【FS研究項目】

- ① 海域調査
- ・海底地形・地底土質調査
- ② 各種基本設計
- ・洋上風車
- ・コンクリート製浮体
- ・鋼製浮体
- ・観測システム
- ③ 船舶安全法の適合性の確認

### 【実証研究項目】

- ① 風力発電システムの開発
- ・風力発電システム設計
- ・風力発電システム製作
- ・風力発電システム施工
- ・分析・検証
- 性能評価、安全性評価
- ・観測
- ② 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
- ③ その他
- ・浮体の動揺抑制技術の検討
- 製作・組立・溶接技術の検討
- ・施工技術の検討
- ・メンテナンス技術の検討
- ・効率的係留技術の確立
- ・電気工作物の保安管理体制の確立

## コスモエコパワー

研究実施場所  
コスモエコパワー本社（品川区）

### 【FS研究項目】

- ① 各種基本設計
- ・洋上風車の保守管理技術の開発
- ② 環境影響評価

### 【実証研究項目】

- ① 風力発電システムの開発
- ・観測
- ② 保守管理技術の開発
- ・洋上風車の保守管理技術の開発
- ③ 環境影響評価

## グローカル

研究実施場所  
グローカル本社（呉市）

### 【FS研究項目】

- ① 各種基本設計
- ・係留

### 【実証研究項目】

- ① 風力発電システムの開発
- ・風力発電システム設計
- ・風力発電システム製作
- ② 保守管理技術の開発
- ③ その他
- ・効率的係留技術の確立

# 目次

1. 浮体設備の分析・検証(日立造船)	p.9
2. 観測システムの構築と運用(東京大学)	p.12
3. 保守管理技術(コスモエコパワー <sub>(p.14)</sub> 、日立造船 <sub>(p.15)</sub> )	p.14
4. 風車、係留索の維持管理(グローバル)	p.16
5. 効率的係留技術の確立(日立造船)	p.20
6. 電力品質の評価(九電みらいエナジー)	p.22
7. 環境影響評価(コスモエコパワー)	p.24
8. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等(丸紅)	p.25
9. 国民との対話(東京大学)	p.29
10. 今後の課題	p.30

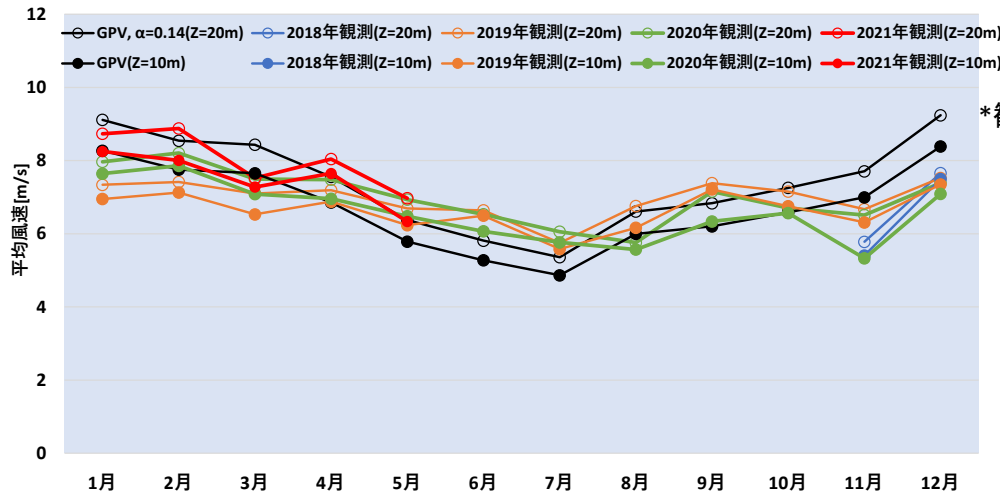


# 1. 浮体設備の分析・検証 —外部条件の検証(1/2)—

## 【2020年度の成果】

- 外部条件(風、波浪、水流)について観測データを蓄積し、観測値と設計値の比較により、設計に用いた外部条件の検証を実施した。
- 全体的に観測値と設計値の傾向は概ね一致していることを確認した。
- 今後、気象海象パラメータ間の相関、変動傾向の検討を行い、外部条件の妥当性を評価する。

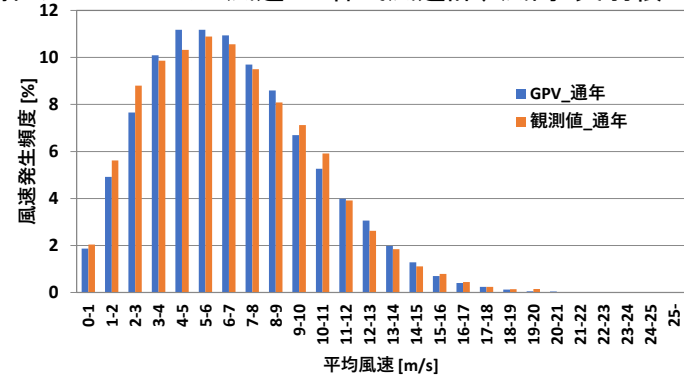
### 月別平均風速@観測タワー



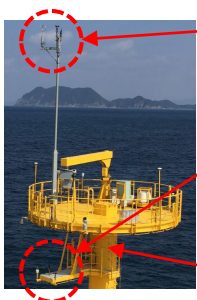
### 風速／風向発生頻度の比較 Z=10m

GPV(参考): 2007年度～2014年度の8年間の解析値  
観測値\*: 2019年1月1日～2020年12月31日の2年間

\*観測タワーZ=10mでの風速: 三杯式風速計、風向: 矢羽根式風速計の値

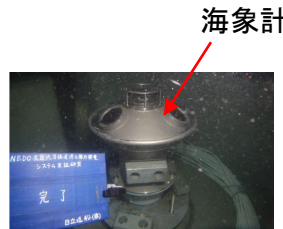


### 【風データの取得】

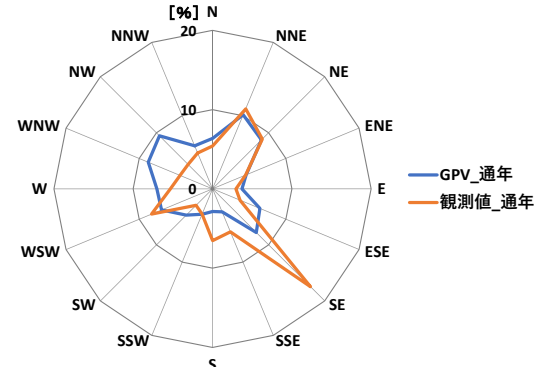


- 三杯式風速計 (Z=20m)
- 矢羽根式風向計 (Z=20m)
- 三杯式風速計 (Z=10m)
- 矢羽根式風向計 (Z=10m)
- 観測タワー

### 【波浪・水流データの取得】



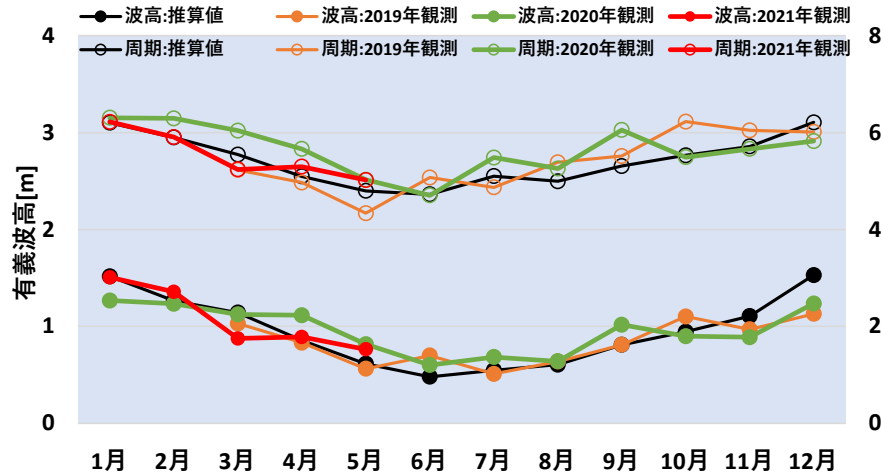
海象計  
浮体中心より真西へ120mに設置  
(海底設置)



# 1. 浮体設備の分析・検証

## —外部条件の検証(2/2)—

### 波浪データ(月別平均波高)

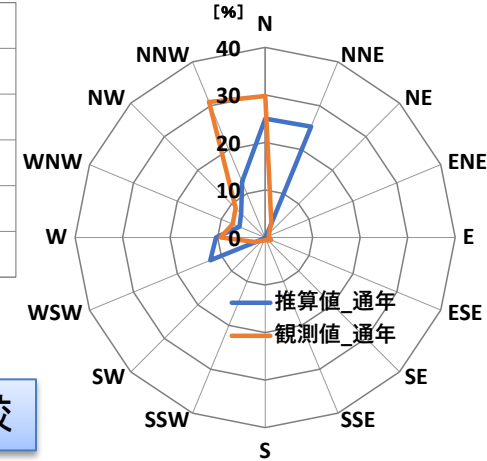
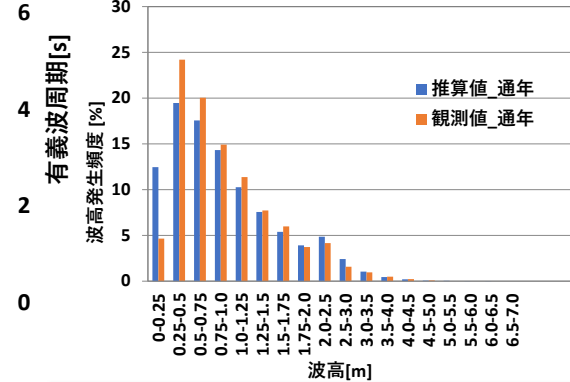


### 波高／波向発生頻度の比較

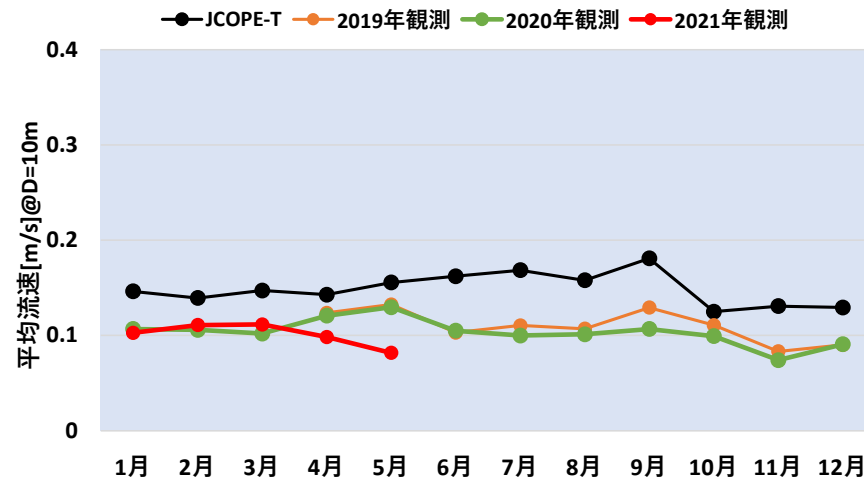
波浪推算値: 2001年～2014年の14年間

観測値\*: 2019年4月1日～2021年3月31日の2年間

\*海象計データ(浮体中心より真西へ120mの海底に設置)



### 水流データ(月別平均流速)



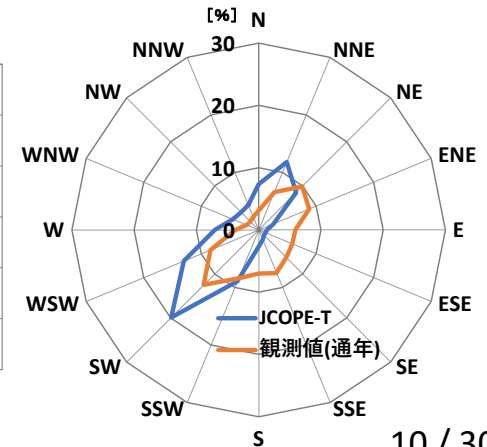
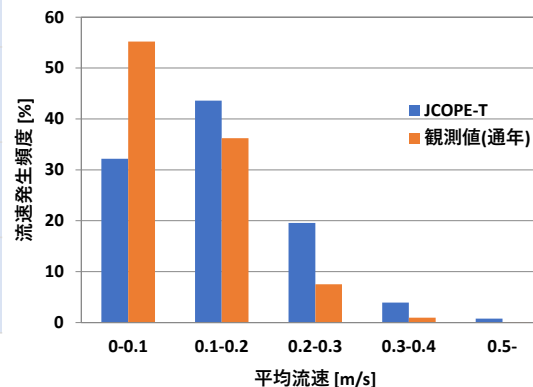
### 流速／流向発生頻度の比較

JCOPE-T : 2011年1月～2011年12月の1年間

観測値\*: 2019年4月1日～2021年3月31日の2年間

\*海象計データ(浮体中心より真西へ120mの海底に設置)

< 深度10m >



# 1. 浮体設備の分析・検証 —設計手法の検証—

## 【2020年度の成果】

- 比較的単純な外部条件(風・波向き共に北)のケースを抽出し、数値解析を行った。
- 南北方向への浮体傾斜(Pitch)、タワー基部モーメントの観測値と計算値が一致することを確認した。
- 今後は、斜波、波の方向分散性、2方向波等のケースについて検討し、設計手法の検証を実施する。  
また、浮体・タワー各部に設置した歪計のデータから年毎の変動も含めた疲労評価を行う。

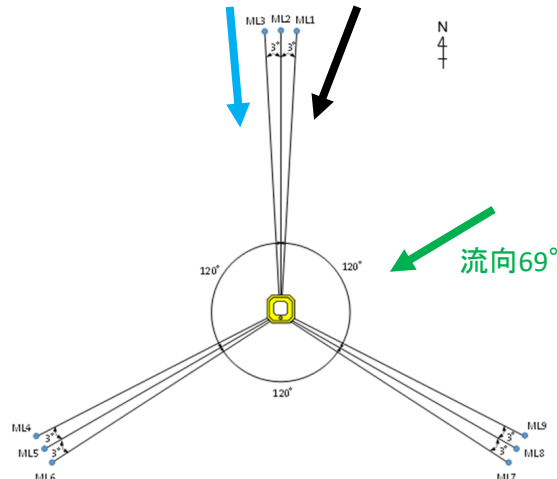
### 観測値と計算値(Bladedによる数値解析)の比較

#### ■気象海象

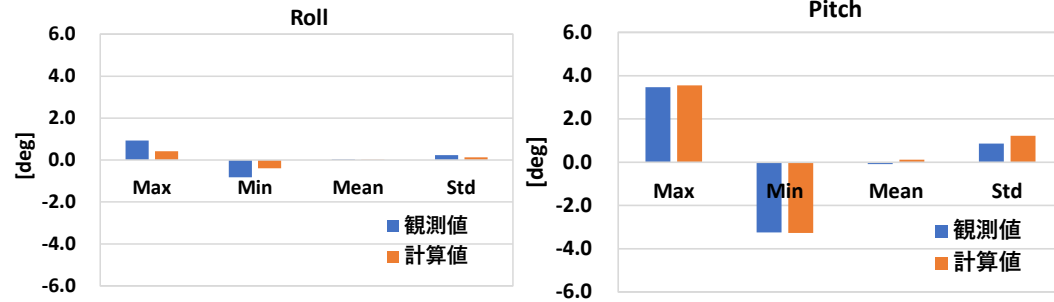
日時	2019年10月12日 8-9時
平均風速(@Z=72m)	21.0 m/s
有義波高(最高波高)	3.10 m(5.34 m)
有義波周期	7.5 sec
流速	0.19 m/s

※解析では長波頂波として入力

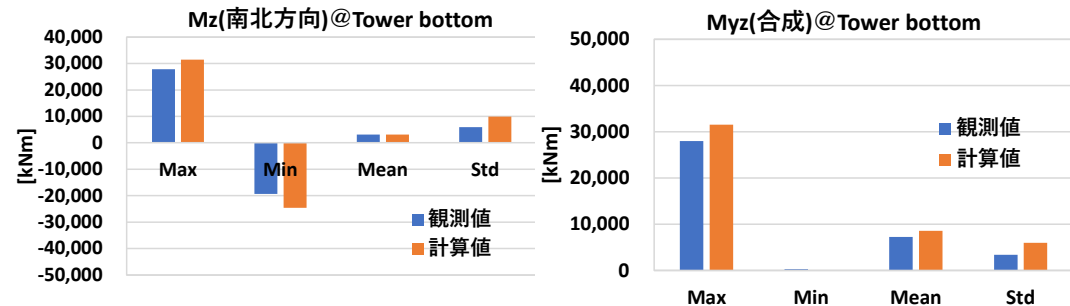
波向355° 風向21°



#### <浮体動揺の比較>



#### <タワー基部曲げモーメントの比較>



波・風ともにほぼ真北から来るケースについて、  
計算値と観測値は概ね一致しており、いずれも  
設計の最大値以内に収まっていることを確認

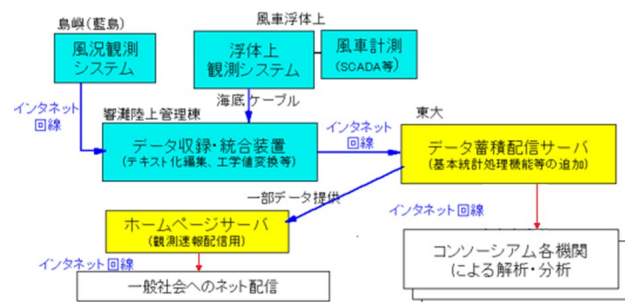
## 2.観測システムの構築と運用 —ネットワークの構築—

### 【2020年度の成果】

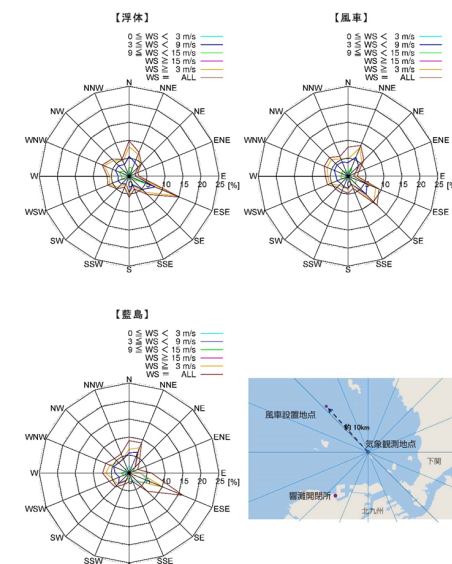
- ・ 観測データのデータサーバとネットワークシステムを運用し、常時連続データの収集・蓄積と保存、コンソーシアム各社へ解析データ配信を実施した。さらに、観測機器の修理・メンテナンスを実施した。
- ・ 浮体式洋上風車と藍島に設置した観測機器による風況・波浪観測を継続した。
- ・ 波浪ブイの衛星による漂流監視システムを運用し、ブイの係留系に損傷が無いことの監視を継続した。
- ・ 波浪ブイに関しては、ネットワークにつながっていないため、半年ごとにデータの回収とバッテリー交換が必要であり、2020年6月に第1回のデータ回収とバッテリー交換を実施した。
- ・ 観測・計測データの分析を進めた。浮体式洋上風車上の風況と藍島の観測の相関関係の解析を進め、風向・風速・時間遅れなど相関の関係が明らかになってきている。

### 【2021年度の進捗状況】

- ・ 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継続している。
- ・ 浮体式洋上風車と藍島に設置した観測機器による風況・波浪観測を継続している。
- ・ 2021年4月に波浪ブイの第2回のデータ回収とバッテリー交換を実施した。10月に第3回データ回収の予定。



### 観測データ配信ネットワーク



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

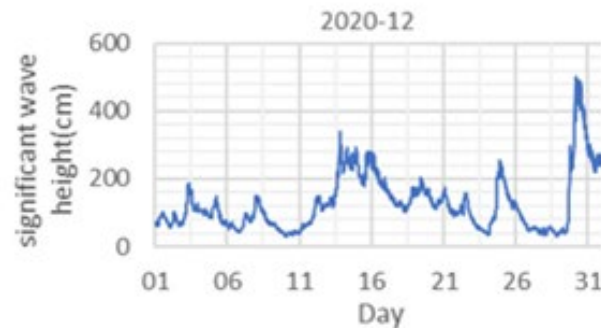
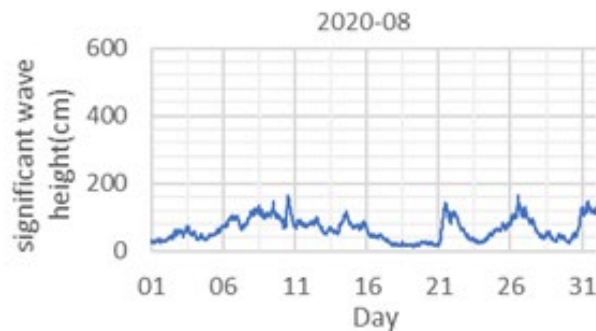
## 2. 観測システムの構築と運用 一波浪観測の実施と解析

### 【2020年度の成果】

・波浪ブイの観測から得られた波浪の時系列データと、浮体動揺の時系列データから、実証機の動揺特性の分析を実施した。低風速で風車が稼働していない、北からの波だけがある最も基本的なケースについて周波数応答を求めた。この結果と、設計時の水槽実験結果や数値計算結果との比較を進めた。

### 【2021年度の進捗状況】

- ・波浪ブイの観測から得られた波浪データから海象条件の統計量を算定した。
- ・今後はさらにデータを蓄積して、より詳細に解析を進める。



ブイ式波高計より得られた有義波高の日変化の例  
(2020年8月、2020年12月)

2020年4月22日に波浪ブイのバッテリーを交換し、2020年6月26日～2021年4月22日の観測データを回収し、コンソーシアムへ配信を行った。

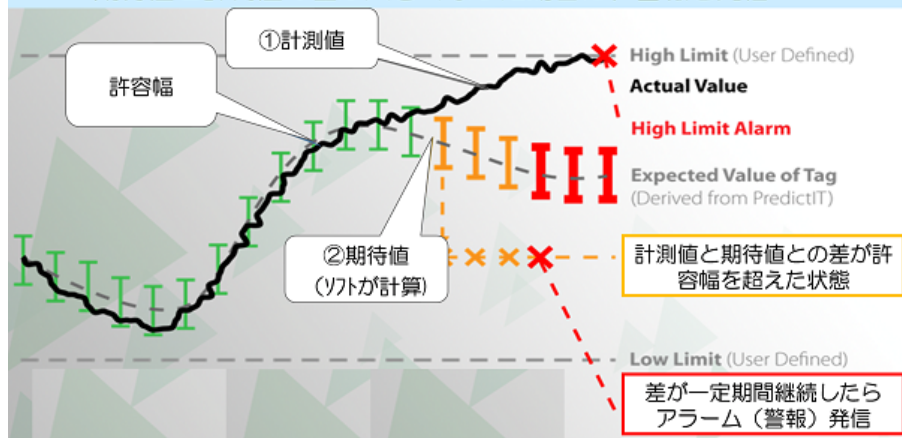


### 3. 保守管理技術—一次世代洋上風車の保守管理技術の開発—

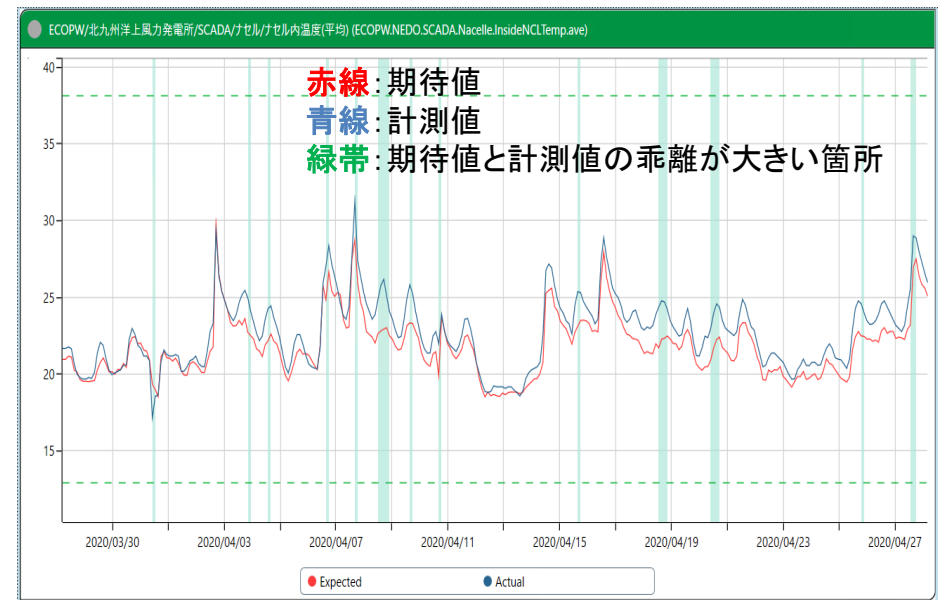
#### 【故障予知診断システムによる成果】

- ・蓄積されたSCADAデータならびに気象・海象情報のデータを用いて、通常運転状態の故障予知診断モデルを作成
- ・通常運転状態の故障予知診断モデルを複数個作成し、故障予知診断モデルが示す異常と実際のイベントとの突合せ確認継続中
- ・先般の故障(2020年9月台風による不具合、2021年6月ブレードピッチ不具合)に関しては、現在、故障予知ができていたかを精査中

- ・過去のデータを利用し、設備の正常状態を学習しモデル化
- ・モデルにもとづき、各計測項目の”期待値”を計算
- ・期待値と計測値の差が大きくなった場合に、警報を発信



伊藤忠テクノソリューションズ(以下CTC) HP 『異常予兆・故障予知のイメージ』より抜粋 ([https://www.ctc-g.co.jp/solutions/predict\\_it/](https://www.ctc-g.co.jp/solutions/predict_it/))



計測値と期待値の比較

# 3. 保守管理技術 —ROVによる保守管理技術の開発—

## 【2020年度の成果】

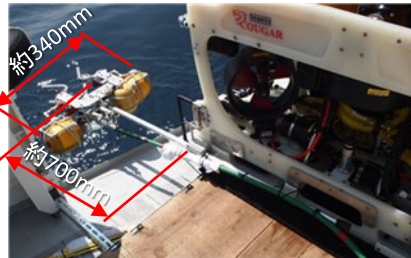
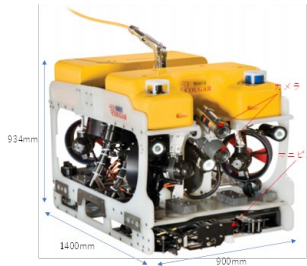
- ・ 主に遊泳式ROVを用いて、実海域にて各種試験を実施した。
- ・ ケーブルの排貝試験では海水の高圧噴射による排貝が可能であること、係留チェーン摩耗量計測試験ではミリ単位での計測が可能であることを確認し、点検手法の有効性確認および課題整理を行った。
- ・ 今後はNK定期検査を想定した点検を実施予定。

### ケーブルの排貝試験

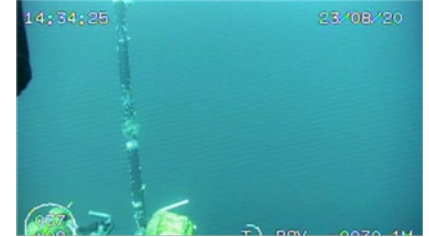
遊泳式ROVにて、ケーブル(ブイ含む)の排貝作業を実施



遊泳式ROVにより排貝が可能であることを確認



遊泳式ROV(長さ1,400mm×幅900mm×高さ934mm)および排貝ツール



海水の高圧噴射による排貝の様子(左:排貝中、右:排貝後)

【ケーブルの排貝速度】

- ・ 約4.4m/10分@水深9-15m
- ・ 約1.2m/10分@水深25-30m

### 係留チェーン摩耗量計測試験

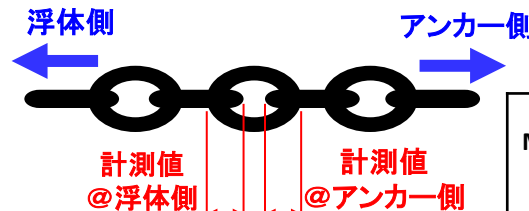
チェーン摩耗量計測機にて、画像処理からチェーン径の計測を実施



遊泳式ROVにより計測が可能であることを確認



チェーン摩耗量計測機および計測の様子  
(概略寸法:長さ1,150mm×幅600mm×高さ500mm)



正面図  
(ML7チェーン中間部)

チェーン径計測結果

ML7チェーン 中間部	設計値	計測値 @浮体側	計測値 @アンカー側
	264mm	271.5mm	269.0mm

今後、計測精度の向上を図る

# 4. 風車、係留索の維持管理

## －稼働率と設備利用率－

本PJでの時間稼働率、設備利用率はIEC/TS 61400-26-1をベースに下表の情報カテゴリを定義し算出し、技術委員会にて承認いただいた。

Mandatory level 1	Mandatory level 2	Mandatory level 3	Mandatory level 4	No.	Description	TA	OA
Information available [IA] 情報あり	Operative [IAO] 運転中	In service [IAOS] 発電中	Full performance [IAOSFP] 全開運転	1	制限なしの運転状態	R	R
			Partial performance [IAOSPP] 制限運転	2	内部もしくは外部条件による制限運転 *制限率99%以下の場合(2020年1月分から有効)	R	R
			Ready standby [IAOSRS] 想定待機状態	*14	運転可能な状態であるが、系統や環境の外的要因(低周波、有効電力、無効電力、などの補償)で待機中の状態(本PJでは不使用)	R	R
		Out of service [IAOOS] 非発電中	Technical standby [IAOOSTS] 技術事由による待機	3	ピッチテスト、YAW巻き戻し、コールドスタートによる暖気、などの技術的な事由による待機状態	R	U
			Out of environmental specification [IAOOSSEN] 仕様外の自然環境	4.1	カットイン風速以下での停止	R	U
				4.2	カットアウト風速以上での停止	R	U
				4.3	スペック外の高温や低温状態、落雷、翼の着氷、などでの停止	R	U
			Requested shutdown [IAOOSRS] 要求による停止	5	電力会社による停止要求による停止 *本来、NEDO要求による停止はこのカテゴリだが、9.3及び13に振分け	R	U
			Out of electrical specification [IAOOSSEL] 仕様外の電気状態	6	系統側の電気状態(電圧、周波数)が仕様外の状態による停止	R	U
	Non-operative [IANO] 停止中	Scheduled maintenance [IANOSM] 定期点検	7.1	風車(GC)及び陸上送電線・開閉所(HITZ)の月次点検、半年点検、年次点検、など契約時から計画されている定期点検による停止	N	U	
			7.2	浮体・係留・海中送電線(HITZ)の月次点検、半年点検、年次点検、など契約時から計画されている定期点検による停止	N	U	
		Planned corrective action [IANOPCA] 計画的修繕	8	維持、補修、改良のために計画された作業による停止 *試運転などの発電中は、1ないし2に含む	U	U	
		Forced outage [IANOFO] 故障	9.1	機器の故障、警報等による停止期間とその復旧作業時の停止 *試運転などの発電中は、1ないし2に含む	U	U	
			9.2	故障の拡大を未然に防止する為の停止(高風速や猛暑日の予報などで故障再発が予想される場合、機器の冷却が必要な場合、など)	U	U	
			9.3	故障停止に伴い、NEDOへの状況説明、補修対策案の協議、NEODからの許可を得る期間の停止	U	U	
		Suspended [IANOS] 作業の一時停止	10	落雷、海象条件、天候の悪化などによる(定期点検、計画的修繕、故障からの復旧の)作業中止による停止	N	U	
	Force Majeure [IAFM] 不可抗力			11	地震、津波、洪水、台風、暴動、戦争、ストライキなど、予測や制御のできない外的事由での停止。 台風や地震については、設計仕様外であるかどうか切り分け点となる。	N	U
Information Unavailable [IU] 情報なし				12	SCADA通信不良などによるデータなしの場合	N	N
Empirical Research [-] 実証研究(研究開発)				13	実証研究に伴う特殊事情(係留試験、鳥類・海洋調査、NEDO現地確認、など)による停止の場合、その期間は除外する	N	N

TA: Technical Availability, OA: Operational availability, R:Ready, U: Unavailable, N: Neglected



# 4. 風車、係留索の維持管理 —稼働率と設備利用率—

1) 実証運転開始日(2019/5/21~2020/12/31)までの月別の時間稼働率(OA及びTA)、設備利用率を示す。

$$\text{Time Availability (時間稼働率)} = 1 - \text{Unavailability} = 1 - \frac{\text{Time}_U}{\text{Time}_R + \text{Time}_U} = \frac{\text{Time}_R}{\text{Time}_R + \text{Time}_U} = \frac{\text{Time}_R}{\text{Time}_{All} - \text{Time}_N}$$

$\text{Time}_{All}$ : 総時間、 $\text{Time}_R$ : Ready 時間、 $\text{Time}_U$ : Unavailable 時間、 $\text{Time}_N$ : Neglected 時間

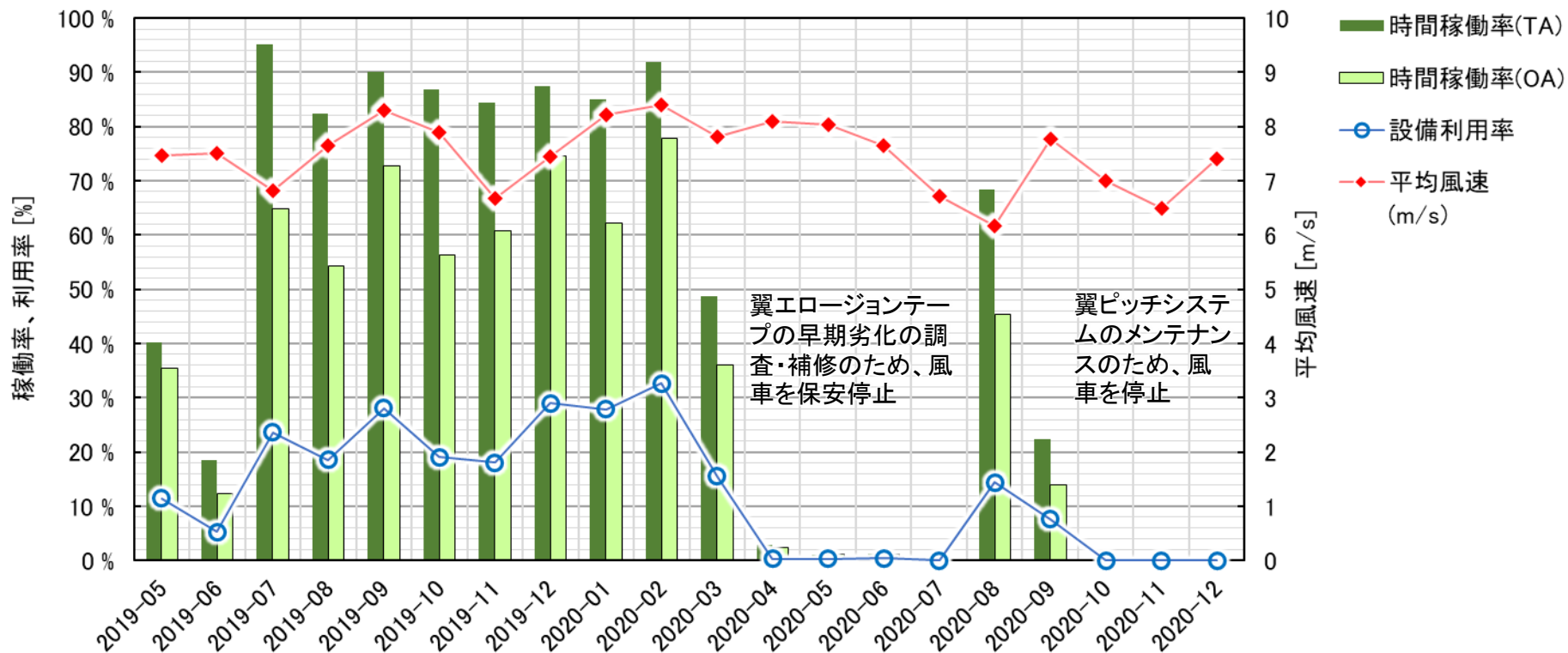
・TA (Technical Availability) = 発電時間 + 非発電運転時間

・OA (Operational Availability) = 発電時間を対象

$$\text{Capacity Factor (設備利用率)} = \frac{\text{Actual energy output [kWh]}}{\text{Rated power [kW]} \times (\text{Time}_{All} - \text{Time}_{N(12)}) [\text{hrs}]}$$

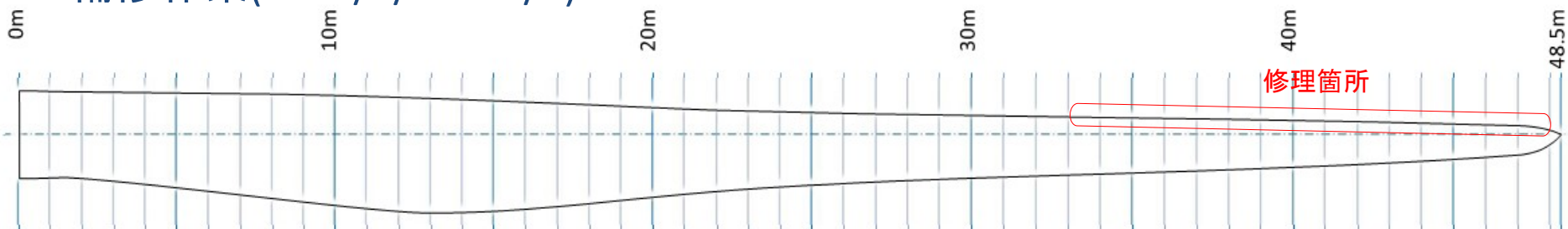
2) 1ヶ月間通して運転した期間(2019年6月~2020年2月)での稼働状況は以下の通り。

平均風速: 7.6m/s、平均時間稼働率(TA): 80%、平均設備利用率: 22%、最大月設備利用率: 33% (2020年2月)



# 4. 風車、係留索の維持管理 –翼エロージョンテープの剥離補修–

補修作業(2020/7/20~8/1)



①テープ剥がし



②目荒らし



③パテ補修



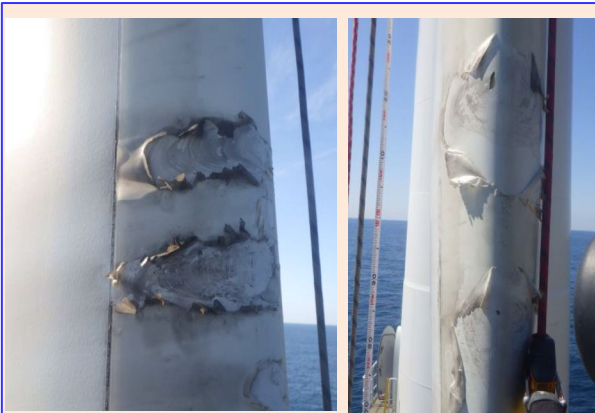
④塗装



⑤テープ貼付け



⑥エッジシール塗布



エロージョンテープの剥離状況 (3/12調査時)



エロージョンテープ張替え後 (8/1完了時)

## ■原因

- 1) エロージョンテープの早期劣化の原因は特定できていないが、黄砂や塩害による経年劣化の加速などの可能性が考えられる。
- 2) 今回、従来品に比べ耐環境、耐紫外線性を向上させた製品を使用、今後、経時変化を確認していく。

# 4. 風車、係留索の維持管理

## — 係留索の調査 —

【調査目的】定期検査では腐食摩耗の進行し易い個所の衰耗量の計測が要求されるため、効率的な測定手法を構築し、維持管理の低コスト化を図る。

付着生物除去前

付着生物除去後



ML7 (A) 水面部 1m



ML7 (B) 中間部 25m



ML3 (C) 海底立上部 53m



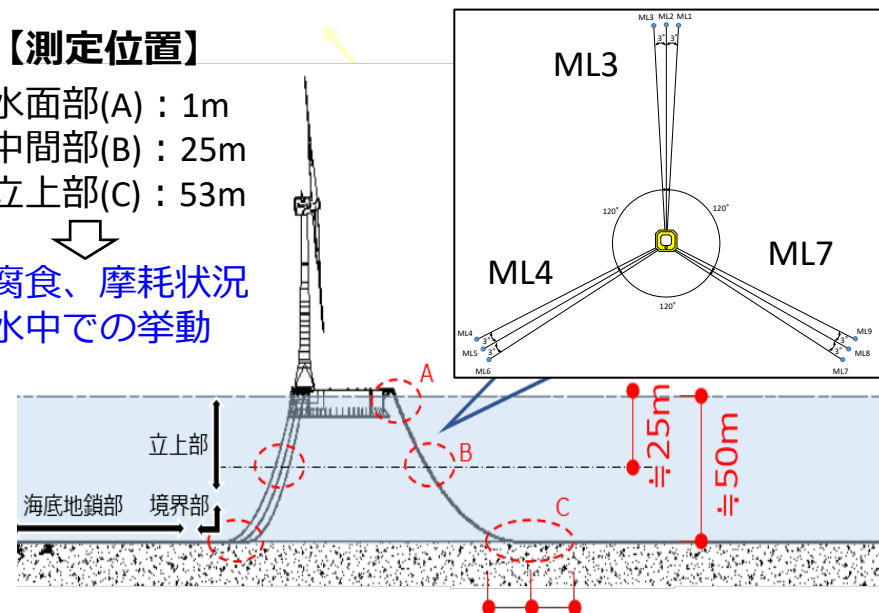
【調査】 2020/6/29~7/17

【係留ライン】

【測定位置】

水面部(A) : 1m  
中間部(B) : 25m  
立上部(C) : 53m

腐食、摩耗状況  
水中での挙動



### ■ 1. 海洋生物の除去方法(係留索敷設後2年経過)

1) 係留索測定部への生物付着に対し、複数の除去方法を実施し、高圧水ジェットの有効性を確認した。

### ■ 2. 衰耗量の計測

- 1) 係留索の外観は損傷もなく、特に海底部からの立上り部の衰耗状態の異常は見られなかった。
- 2) ダイバーによるノギスでの測定は測定表面の凹凸、測定方法でバラツキもあり、今後、ROV測定値との比較、及び、経時変化で確認していく。



# 5. 効率的係留技術の確立 —合成繊維ロープの要素試験(1/2)—

## 【2020年度の成果】

- 合成繊維ロープの実機適用に向け、2019年度より疲労試験および浸漬試験を開始し、試験データの蓄積および整理を行っている。(試験は現在も継続中)
- これまでに実施した疲労試験では、ナイロン、ポリエステル共に破断に至るまでの繰返し荷重回数がチェーンの設計疲労曲線を上回っており、実機係留適用への可能性が示唆される結果となった。
- 浸漬試験では、約1.5年間の浸漬期間において、残存強度は浸漬前とほぼ変わらないこと、海洋生物の内部侵入が無いことを確認した。

### 疲労試験

#### 【試験目的】

繰返し荷重に対する長期耐久性の把握

#### ①サブロープ(φ24mm)の試験

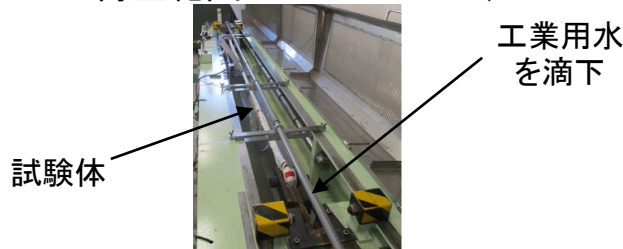
- 材料: ナイロン、ポリエステル ※MBS: 最小破断荷重
- 荷重範囲: 2% ⇔ 62%MBS、2% ⇔ 52%MBS、2% ⇔ 42%MBS、2% ⇔ 32%MBS

#### ②サブロープ(φ7mm)とロープ本体(φ30mm)の試験

- 材料: ナイロン
- 荷重範囲: 2% ⇔ 62%MBS、2% ⇔ 52%MBS、2% ⇔ 42%MBS、2% ⇔ 32%MBS

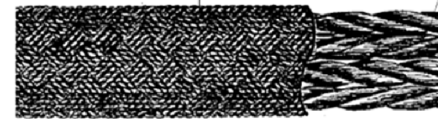
#### ③低荷重域におけるサブロープ(φ24mm)の試験

- 材料: ナイロン
- 荷重範囲: 2% ⇔ 27%MBS、2% ⇔ 22%MBS



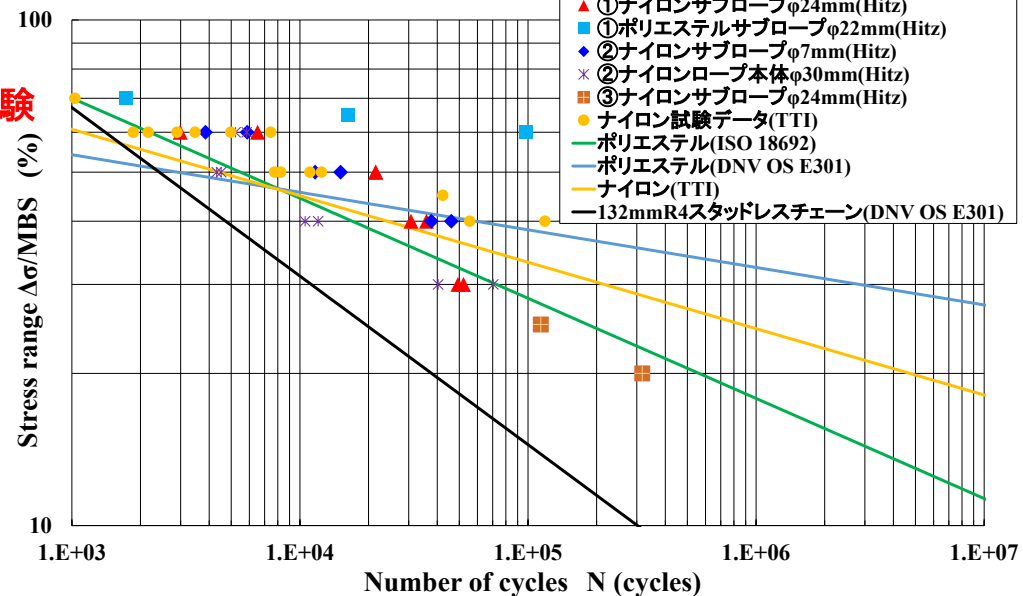
疲労試験の様子

試験体の仕様



サブロープ

ロープ本体



\*ナイロン試験データ(TTI)は、“Mooring Systems for Marine Energy Converters”より引用

疲労設計曲線との比較

# 5. 効率的係留技術の確立 ー合成繊維ロープの要素試験(2/2)ー

## 浸漬試験

【試験目的】

付着生物の侵入確認、海水浸漬下での耐候性の確認

### ①日立造船(株)工場岸壁(築港、向島)での試験

- ・材料:ナイロン、ポリエステル(φ30mm)
- ・設置深度:約2~4m
- ・浸漬期間:0.5年、1年、2年



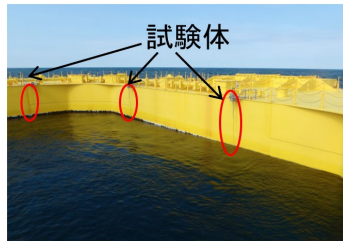
工場岸壁での試験

	ナイロンロープ	ポリエステルロープ
浸漬開始時		
浸漬7ヶ月後		
浸漬1年後		

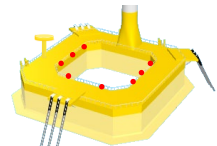
生物付着状況の推移@Hitz工場岸壁

### ②北九州実証サイトでの試験

- ・材料:ナイロン、ポリエステル(φ30mm)
- ・設置深度:約10m、20m、30m
- ・浸漬期間:1年、1.5年、2年



実証サイトでの試験



ムーンプール内  
合計8箇所に設置

	ナイロンロープ	ポリエステルロープ
浸漬開始時		
浸漬10ヶ月後		
浸漬1年1ヶ月後		

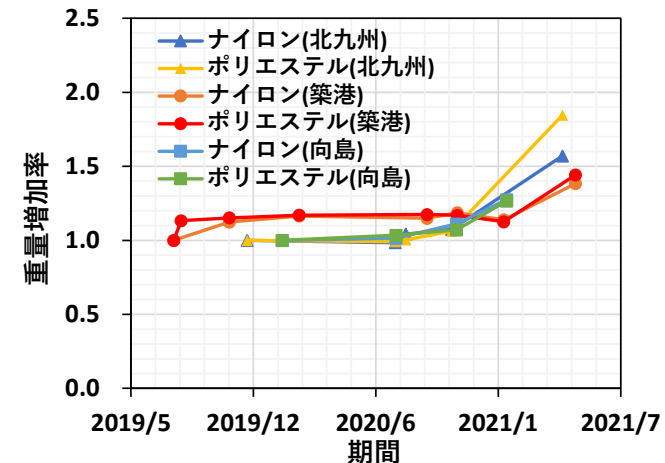
生物付着状況の推移@北九州実証サイト



回収したロープの内部観察(1年)@北九州実証サイト

回収したロープの残存強度

試験体	場所	浸漬期間	回収 試験数	引張強度 [kN]		
				強度保持率		
ナイロン	北九州	1.5年	2本	108	118	-
				94.7%	103.5%	-
	向島	1.5年	3本	112	107	109
				98.2%	93.9%	95.6%
	築港	1年10ヶ月	3本	114	114	110
				100.0%	100.0%	96.5%
ポリエステル	北九州	1.5年	2本	134	144	-
				91.2%	98.0%	-
	向島	1.5年	3本	119	129	128
				81.0%	87.8%	87.1%
	築港	1年10ヶ月	3本	134	140	143
				91.2%	95.2%	97.3%



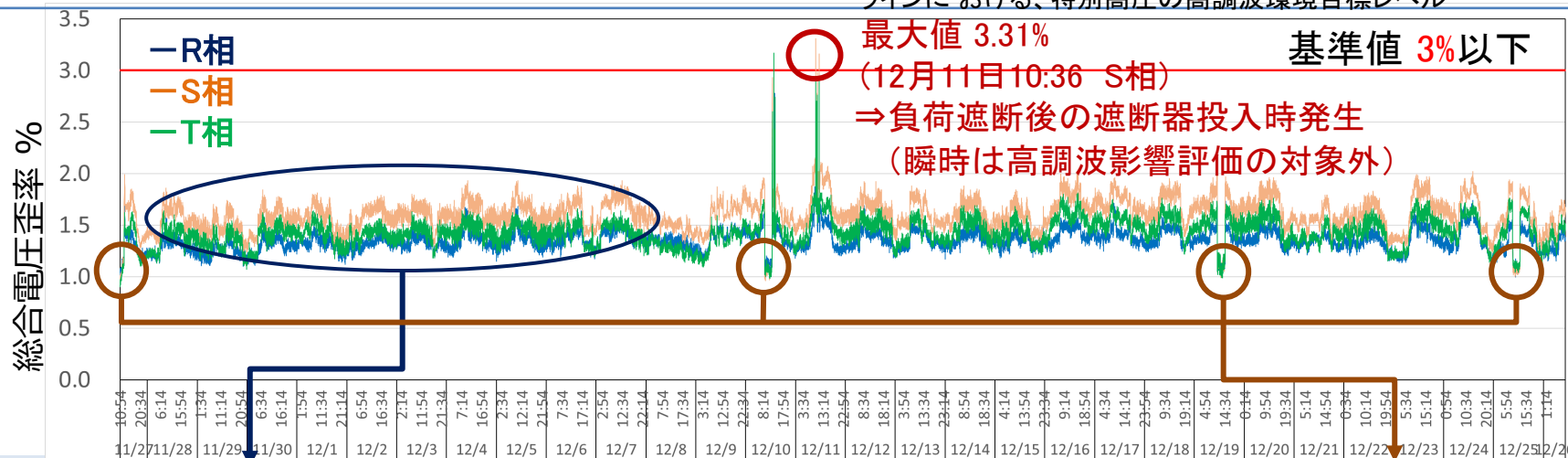
\*重量増加率: 初期状態を1とした場合の重量増加率  
ロープ重量の推移

# 6. 電力品質の評価

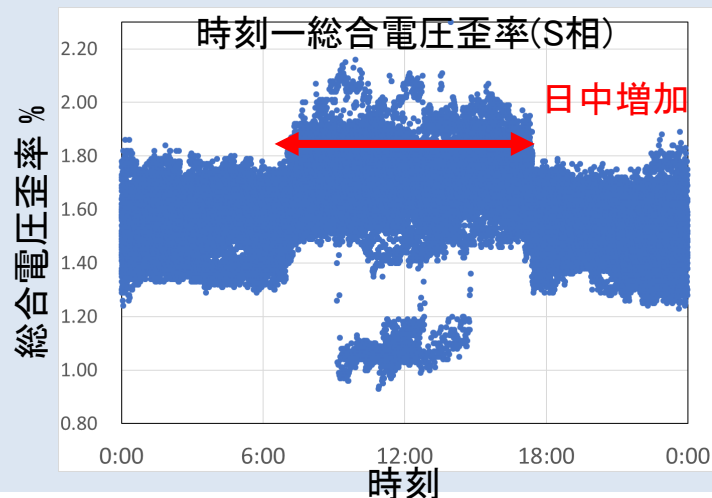
【2020年度の成果】 電力品質の良否確認、及び風車及び周辺の工場等が電力品質に与える影響を調査。  
風車運転が電力品質に与える影響が小さいことを確認(代表として高調波とフリッカ掲載)

○高調波:2019年11月27日(水)~12月26日(木)全期間において、「総合電圧歪率 高調波環境目標レベル 3%以下※」を満たすため、電力品質に与える影響は小さい。

※高圧又は特別高圧受電する需要家の高調波抑制対策ガイドラインにおける、特別高圧の高調波環境目標レベル

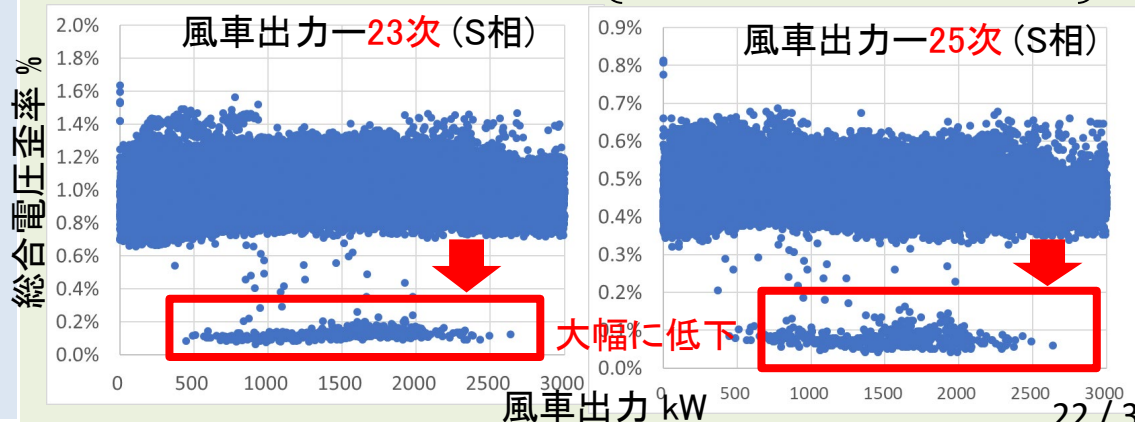


日中の工場操業やビル等の需要及び太陽光発電による高調波増加と推測



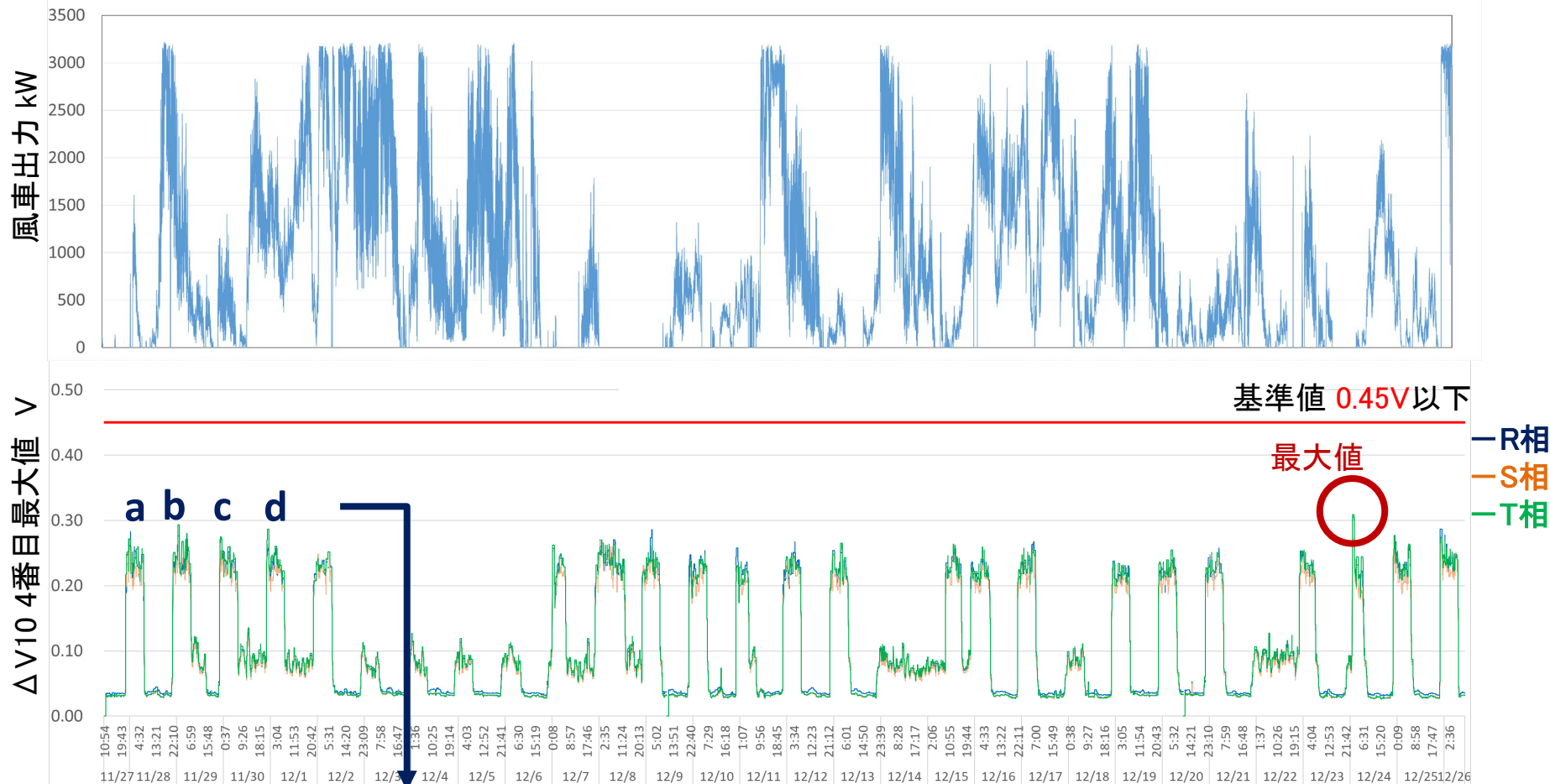
23次と25次の高調波を発生する工場が周辺にあり、右記タイミングで操業停止したと推測

11/27(水) 10:54~12:50  
12/10(火) 9:09~12:39  
12/19(木) 11:04~14:45  
12/25(水) 9:15~12:38



# 6. 電力品質の評価

○フリッカ: 全期間において「 $\Delta V_{10}$  4番目最大値 基準値0.45V以下※」を満たす。 ※系統アクセス基準 (九州電力送配電)  
このため電力品質に与える影響は小さい  $\Delta V_{10}$ : 電圧フリッカの尺度



## ＜フリッカが増加する時間＞

- a 11月27日(水) 22:04～7:21
- b 11月28日(木) 22:04～7:26
- c 11月29日(金) 22:04～7:17
- d 11月30日(土) 22:04～7:13

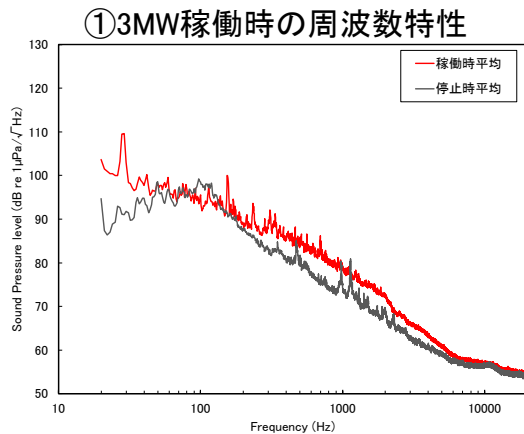
- ・系統連系前後で、フリッカが夜間に突出する傾向有
- ・電気炉を保有する製鉄工場等が夜間電力を利用して操業している影響(推定)



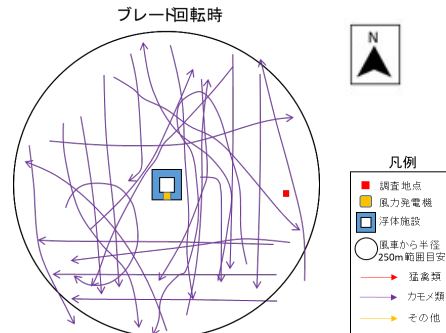
# 7. 環境影響評価 -事後調査及び予測・評価結果検証-

- 着目すべき評価項目(水中音・鳥類・生態系)において、予測の通り顕著な影響は認められなかった
- その他調査項目においても、予測の通り顕著な影響は認められなかった

	①水中音	②鳥類	③生態系
調査	◇稼働時の水中音 方法:風車稼働時、非稼働時の状況を把握	◇目視による調査 方法:船舶からの目視による調査を実施	◇浮体周囲の魚類の蟄集状況 方法:ROVにより浮体周囲の魚類を把握
結果	稼働により、水中音のレベル変化が認められたが、海生生物の聴覚閾値を超える範囲は、風車から30m以内の極僅かな範囲であった。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・移動経路の遮断や生息環境への攪乱は確認されていない</li> <li>・稼働時は風車を回避、停止時には、ハヤブサ、ミサゴが浮体を休息場として利用。</li> </ul>	浮体施設周囲では魚類の種類数、個体数が設置以降、経年的に増加した。一方、対照区における魚類は確認できなかった。
検証	浮体付近に魚類が生息していることも確認されていることから、魚類への影響は小さいものと推測される。	予測の通り、重要な鳥類への影響は小さい。	予測の通り、生態系への影響は小さい。



②風車周囲における飛翔状況(昼間3日間)  
※22~123m:ブレード回転域を含む高度



③ROV撮影されたブリ類の群れ



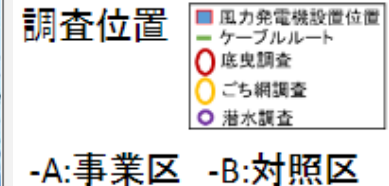


# 8. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

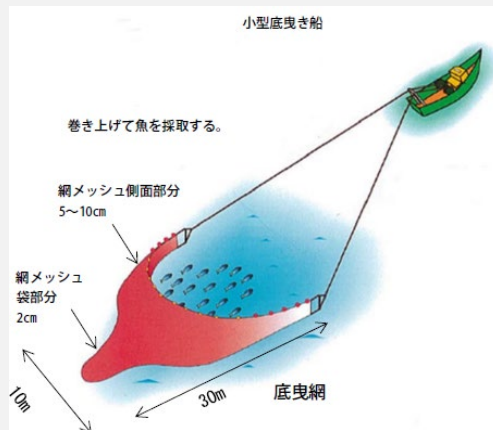
## (1) 漁業との共存

### 【2020年度の成果】 (1) 漁業との共存 ① 漁獲調査の漁法

- A) 漁獲試験は地元との対話を踏まえ、底曳網、潜水、ごち網の3漁業ごとに四季による調査を実施
- B) ケーブル工事が漁業に与える影響を調査するため、調査海域はケーブルを敷設した海域を事業区、事業区から離れた海域を対象区とし比較検証を行った
- C) 結果として、漁法によりケーブル工事前後で、漁獲湿重量の変化がみられるケースと変化がみられないケースがあることを確認。しかしながら3年間の評価であり、一時的な傾向であることもあり得るため継続してモニタリングを実施予定



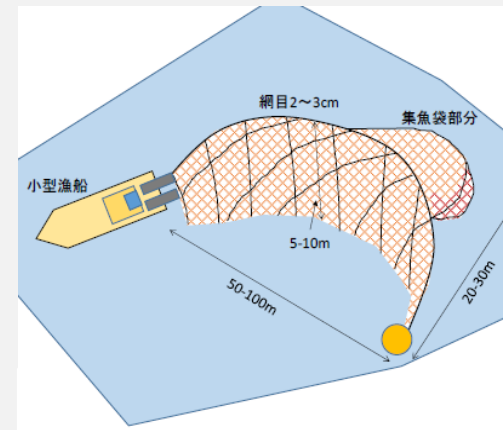
### 底曳網



### 潜水



### ごち網

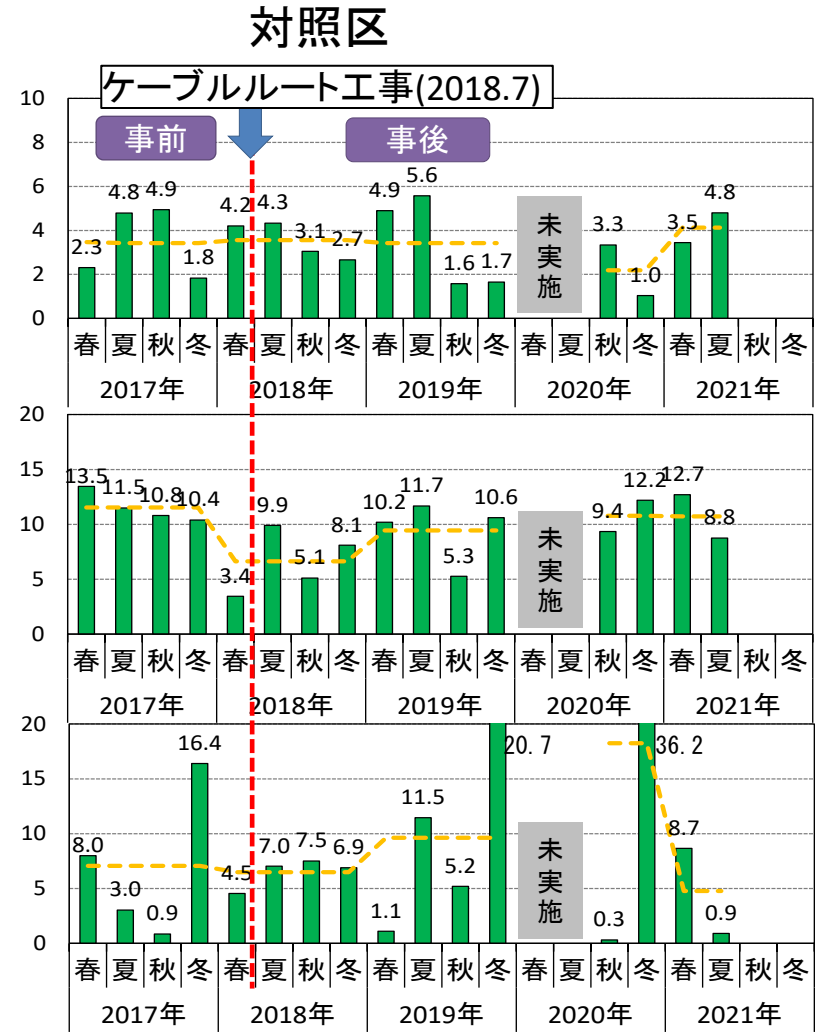
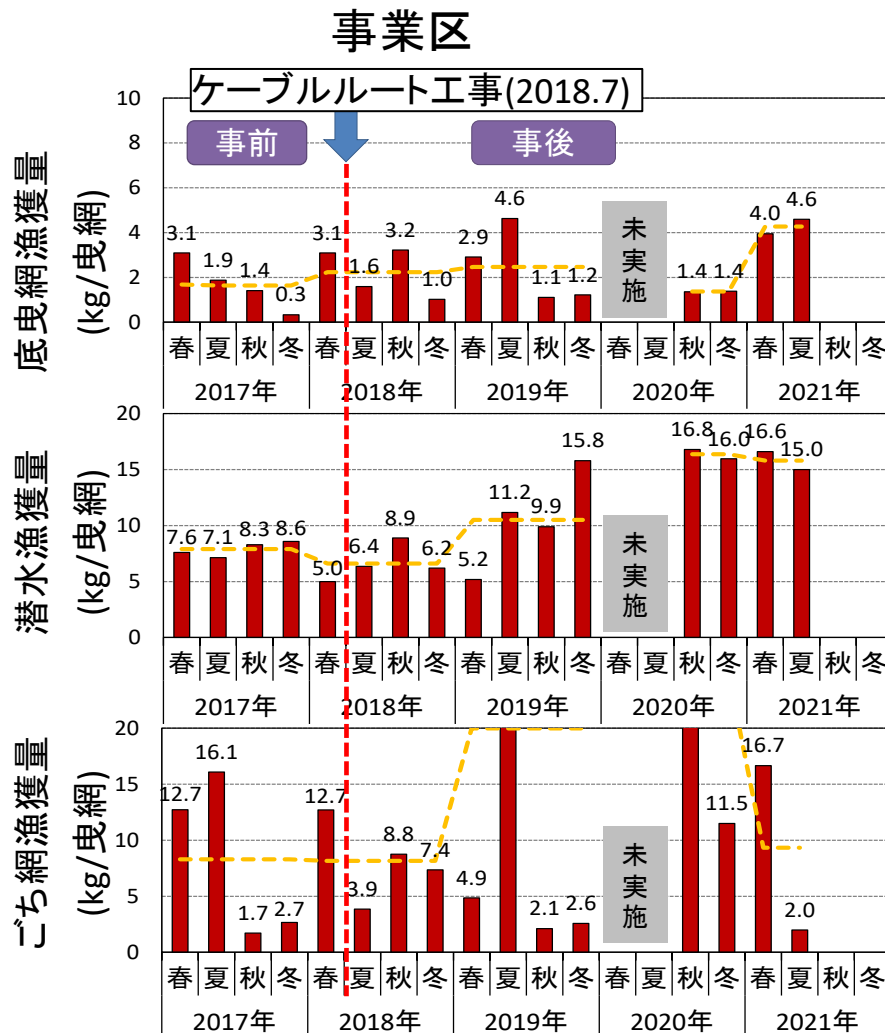


# 8. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

## (1) 漁業との共存

### 【2020年度の成果】 (1) 漁業との共存 (2) 漁獲調査結果

- A) 事業区及び対照区において、底曳網、潜水、ごち網の3漁業の漁獲調査を継続実施。結果は以下の通り  
 B) ケーブル工事により漁獲が著しく減衰する等の影響は見られていない

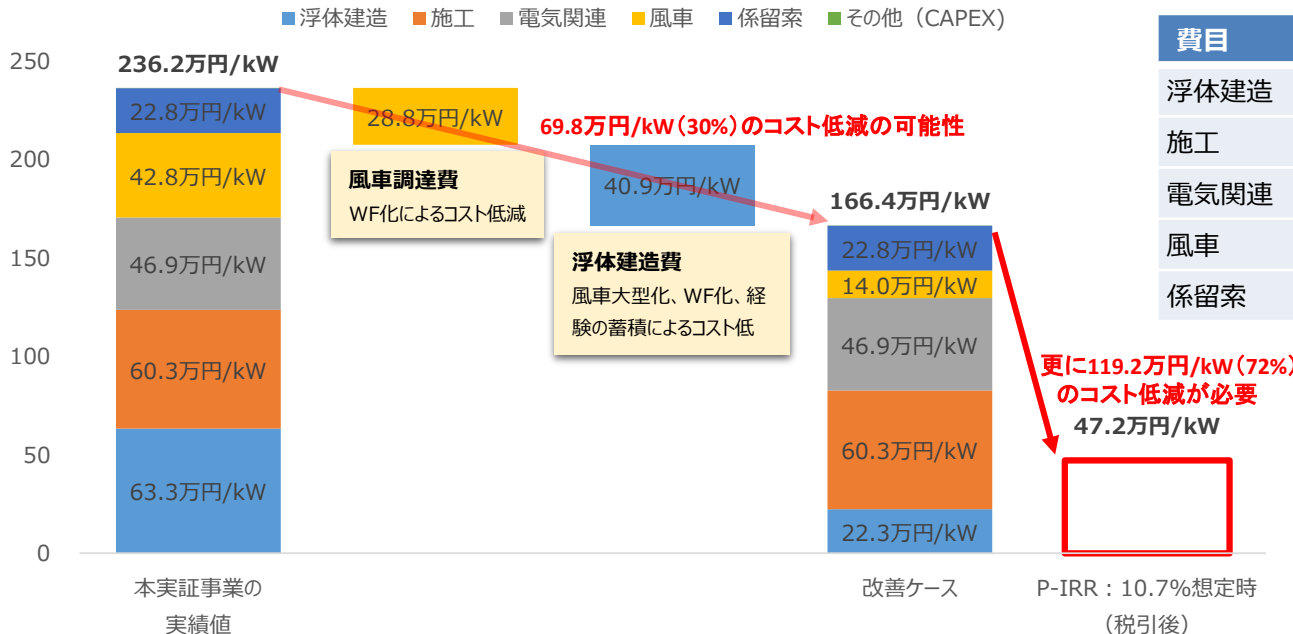


# 8. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

## (2) 事業性評価

### 【2020年度の成果】(2)①改善策(案)を踏まえた事業性評価(CAPEX)

- A) 今回検証した改善策を踏まえると、CAPEXは236.2万円/kWから風車調達費、浮体建造費の改善により166.4万円/kWまでコスト低減が見込めることが示唆された。一方で、P-IRRについて、METI調達価格算定委員会での想定値10.0%以上として今回想定したを10.7%達成のためには、更に119.2万円(72%)のコスト低減が必要。
- B) 今回検証しなかった改善策も確認し、更なるCAPEXの低減の可能性を検証する必要がある。



費目	改善ケースの想定
浮体建造	Hywindの〔実証→商用〕のコスト削減率を適用
施工	横ばい
電気関連	横ばい
風車	英国の事例を参考に設定
係留索	横ばい

改善策の前提条件	
容量	600MW (15MW×40基)
設備利用率	40%
売電価格 (円/kWh)	36

#### 残された検証事項

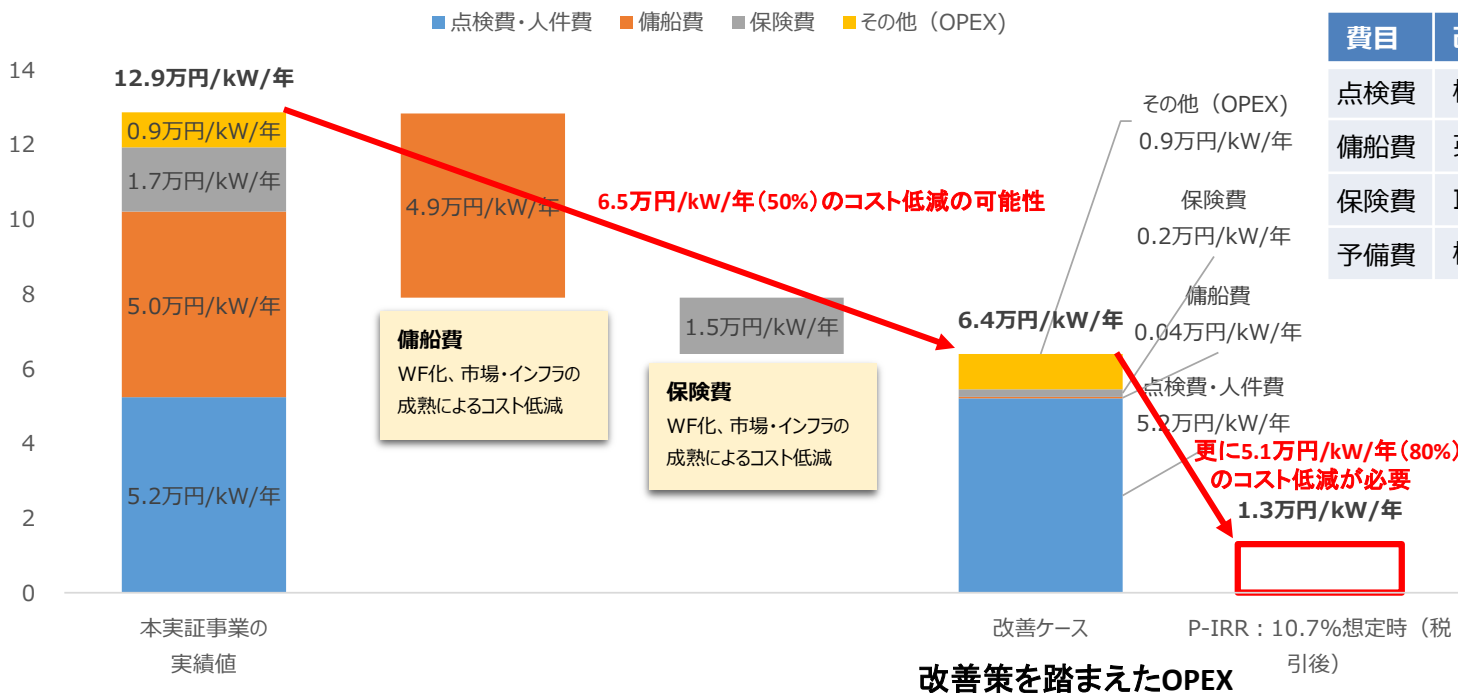
- **浮体建造費**: 運転に不要な研究設備の削減によるコスト低減を検証する必要がある。
- **施工**: WF化による1基あたりの回航費等の削減、警戒船の基数削減の可能性を検証する必要がある。
- **電気関連**: WF化による海底ケーブルの1基あたりの調達費用の削減、ケーブル敷設船費用の削減を検証する必要がある。
- **係留索**: WF化による係留索の調達費用削減や、経験による係留本数、サイズの改善、繊維ロープなどの採用による費用削減を検証する必要がある。

# 8. 海域利用者や行政機関との調整、コスト評価等

## (2) 事業性評価

### 【2020年度の成果】 (2)②改善策(案)を踏まえた事業性評価(OPEX)

- A) 今回検証した改善策を踏まえると、OPEXは12.9万円/kW/年から点検費・人件費、傭船費、保険費の改善により6.4万円/kW/年までコスト低減が見込めることが示唆された。一方で、P-IRR10.7%達成のためには、更に5.1万円/kW/年(80%)のコスト低減が必要。
- B) 今回検証しなかった改善策も確認し、更なるOPEXの低減の可能性を検証する必要がある。



費目	改善ケースの想定
点検費	横ばい
傭船費	英国の事例を参考に設定
保険費	IEA WINDレポートを参考に設定
予備費	横ばい

改善策の前提条件	
容量	600MW (15MW×40基)
設備利用率	40%
売電価格 (円/kWh)	36

#### 残された検証事項

- **点検費・人件費**: WF化による1基あたりの点検費用の削減や、CMS等の採用や点検作業の見直しによる点検の効率化による費用削減を検証する必要がある。
- **その他**: WF化によるCTVの燃料費の削減や経験の蓄積による計画的部品交換による費用削減を検証する必要がある。

# 9. 国民との対話

## 【2020年度の成果】

- ・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継続した。
- ・オンライン開催となったエコテクノ2020オンライン見本市への出展を行い、写真と説明文を掲載した。
- ・実証研究HPを改訂し、提示する情報について検討をすすめた。

## 【2021年度の進捗状況】

- ・エコテクノ2021への出展を行った。風力発電に関心のある地元企業と意見交換を行った。
- ・実証研究HPにおいてリアルタイム配信の準備を進めている。



次世代エネルギー  
パーク展示

エコテクノ2020  
オンライン見本市



エコテクノ2021展示  
総来場者数 8568人



実証研究  
ホームページ

Demonstration Project of Next-generation Floating Offshore Wind Turbine  
次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究 (バージョン)

ひびき 浮体式洋上風力発電所 ライブデータ

ここに表示されているデータは、計測システムからの生データ（10分間の平均値）です。実データとは、24時間7日間のリアルタイムで更新されるものではありません。

項目	単位	値
風速データ		
観測所10m（風内風速10mの高さ）	173.53 km/h	7.2 m/s
観測所10m（風内風速10mの高さ）	169.39 km/h	7.44 m/s
風速データ		
波高（実測10分間）	1.10 m	1.22 m
波高（平均10分間）	0.5 m	—
波高（計測10分間）	177.7 km/h	0.1 m/s
波高（計測10分間）	26.58 m	26.37 m

リアルタイム配信用  
ホームページ



## 10. 今後の課題

最終目標に向けて、実証研究フェーズにおいて以下の課題を中心に取り組む予定。

- ① 設計手法の検証に関して、実海域において観測・計測により取得した気象、海象、動揺、強度、係留、運転、監視等のデータを解析して、風車及び支持浮体構造物において所期の性能・安全性が実現されているか検証し、さらに、計画、設計、建造、施工の検証を行う。
- ② 保守管理技術に関して、気象海象観測、風車応答計測データに照らして、運転方法、保守管理方法の検証を行う。
- ③ 事業性評価に関して、次世代浮体式洋上風力発電システムの実用化の可能性を検証する。この目的のため、引き続き発電設備設置後の実運用コスト等を取り纏め、より精密な評価を行う。
- ④ 低コスト化に向けた技術開発と合理化、保守管理技術に関しては、浮体式洋上風力発電システムの、損傷の予測や早期検出、予防的メンテナンスを含む効率的な保守管理システムを開発する。さらに、本事業の経験を反映した効率的な製作・組立て・溶接技術、施工技術、メンテナンス技術、効率的係留技術について検討する。
- ⑤ 社会への情報発信を引き続き行い、本実証事業の経過や成果を分かりやすく周知する。