

**平成30年度福島沖での
浮体式洋上風力発電システムの実証研究事業
報告書 概要版**

平成31年3月31日
福島洋上風力コンソーシアム

< 目次 >

I. 浮体式洋上風力発電システムの検証.....	3
1. 安全性の検証に向けた研究.....	4
2. 信頼性の検証に向けた研究.....	28
3. 経済性の検証に向けた研究.....	56
II. プロジェクト全般の検証.....	71
1. 漁業との共存.....	72
2. 設備の保守運営.....	78
3. 我が国の洋上環境に適した浮体式洋上風力発電システムの分析、評価等.....	86
4. 浮体式洋上風力発電システムの各種評価等.....	103
5. 「国民との科学・技術対話」の実施.....	129

I. 浮体式洋上風力発電システムの検証

1. 安全性の検証に向けた研究
2. 信頼性の検証に向けた研究
3. 経済性の検証に向けた研究

1. 安全性の検証に向けた研究

- (1) 浮体
- (2) 風車
- (3) 鋼材
- (4) 送電システム

1 - 1. 2MW浮体

- 設備の安全性を明らかにするために浮体計測データの整理を行う。
- 浮体計測データを整理することにより、過去3年のデータに加えてH30年度の観測データを用いて、疲労寿命の算出等を行い、浮体の安全性の検証をさらに進める。

現状認識と研究の目的

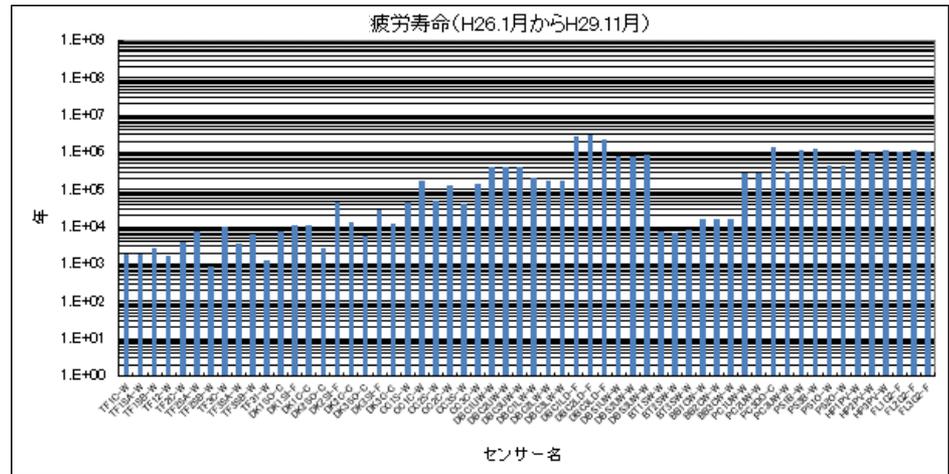
昨年度までの成果では、現時点における気象・海象の状態では、設計寿命等の浮体の安全性は確認ができていますが、データの取得を継続し、安全性の検証を引き続き実施する。

実施方法

- ・浮体に搭載された計測システムの計測データを取得し、整理する。
- ・浮体各部に設置された歪計のデータ等から疲労寿命の算出等を行いまとめる。

期待される成果（アウトプットイメージ）

観測データをもとに疲労寿命を算出し、安全性を確認する。

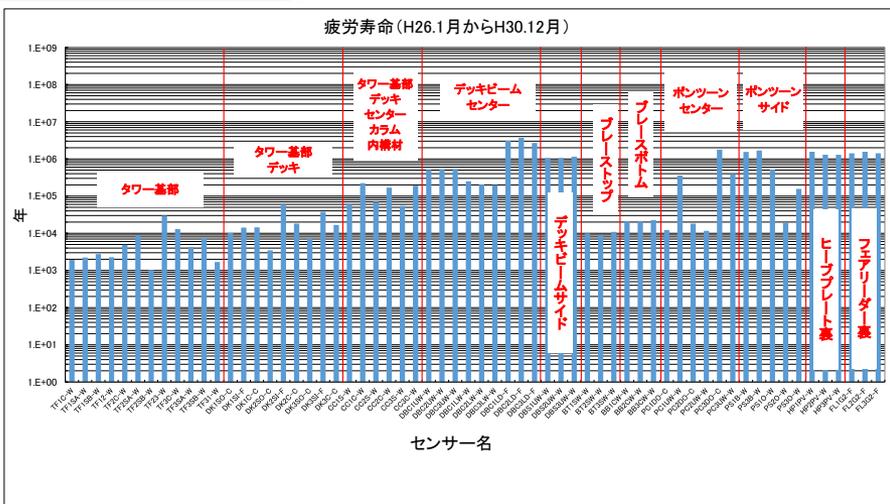


疲労寿命算出例

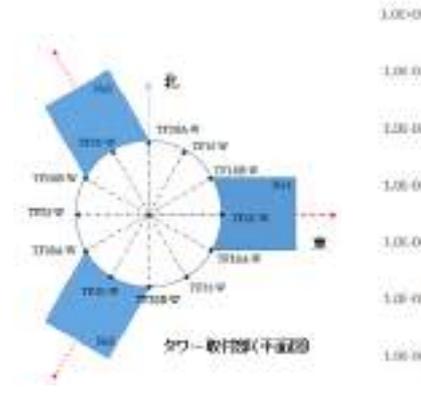
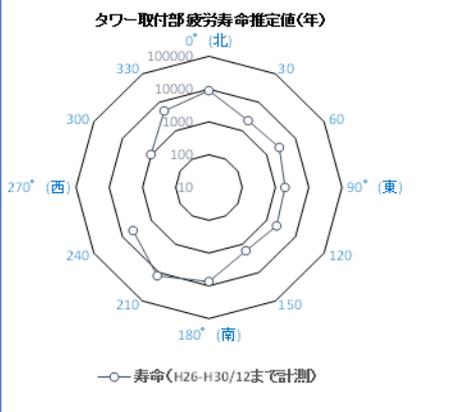
1 - 1. 2MW浮体

○ H26年1月からH30年12月までの期間の浮体計測データの整理を行った結果、累積疲労被害度から算定した疲労寿命は最も短いものでタワー取付部の1030年であり、その位置は西北西方向であった。

実証事業の成果



観測データをもとに疲労寿命を算出し、安全性を確認した。
 ・疲労寿命は最も短いものでも設計寿命20年を十分に上回る1030年であることが判明した。その位置はタワー取付部周囲に貼られた歪ゲージの中で西北西方向（方位300度）のものである。
 ・2014年から2018年までのデータの傾向を見ると疲労被害度には台風の影響が表れている（月毎疲労被害度）
 ・台風時（2016年8月22日台風9号）の疲労被害度を解析と計測で比較した結果、解析は安全側であることが確認できた。



タワー取付部疲労被害度比較
 (2016年台風9号、風車待機状態)

	疲労被害度	寿命 (換算年)
計測	3.72E-07	307
数値解析	1.67E-06	68

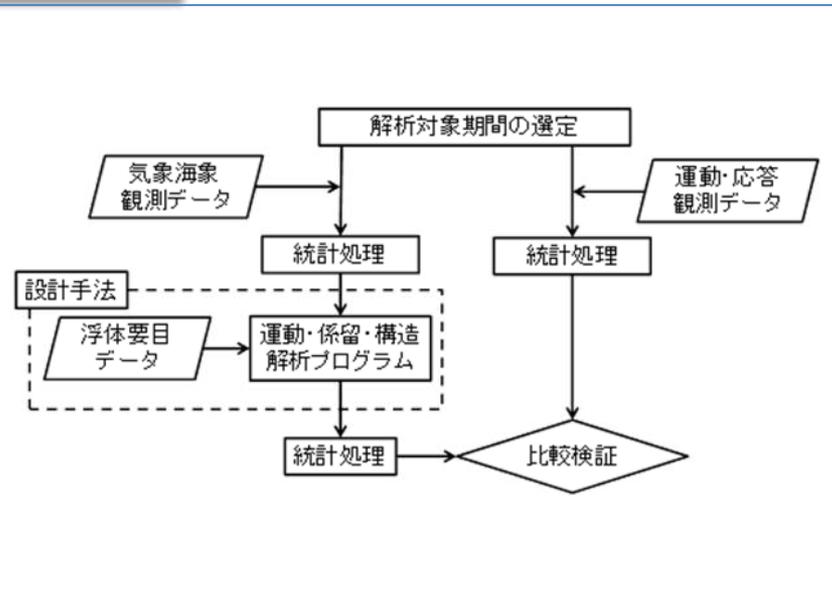
1 - 1. 5MW浮体

○運転中の5MW風車搭載アドバンストスパー浮体の運動性能、構造応力を明らかにするために実機の計測結果と計算結果の比較を行う。計測結果と計算結果の差異を分析することにより、最終的には設計手法の妥当性と信頼性を立証する。

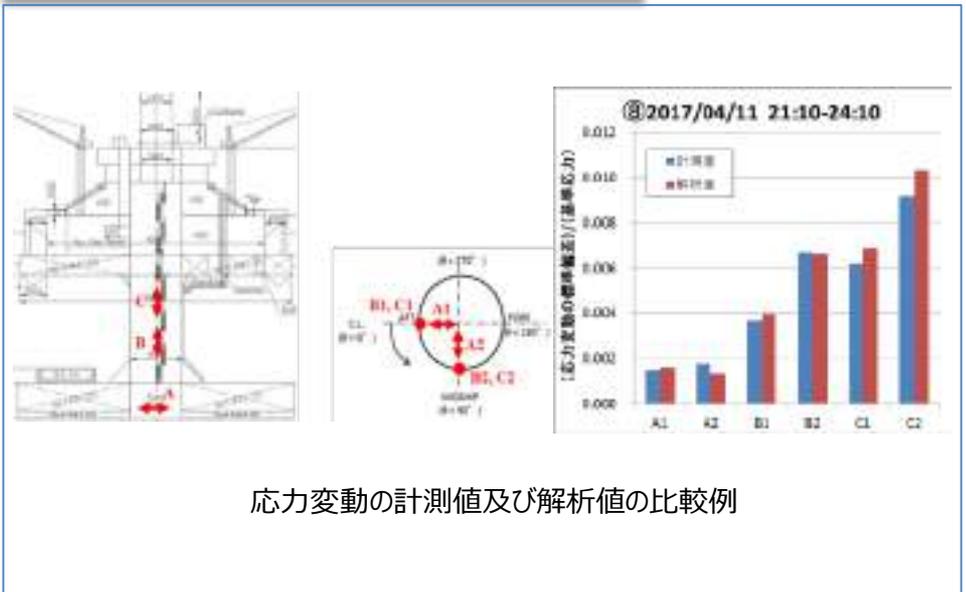
現状認識と研究の目的

5MW風車搭載アドバンストスパー浮体は、前年度までに、風車運転中の実証試験データが量的に十分に得られていない。設計手法の妥当性及び設備の信頼性を明らかにするため、実証試験データ（気象海象、浮体動揺、風車挙動、荷重等）を集積し設計値との比較検証を行う。浮体に搭載された計測システムの風車運転中の計測データを解析し、設計値、数値解析値との比較を実施して浮体設計の妥当性を検証・評価する。

実施方法



期待される成果（アウトプットイメージ）



1 - 1. 5MW浮体

○5MWダウンウィンド型風車搭載浮体の、風車運転時に着目した運動および構造に関する計測値及び再解析値を比較検証した結果、概ね合致しかつ安全側に設計されていることが確認され、設計手法の妥当性を示した。

実証事業の成果

①浮体の準静的傾斜の解析及び検証

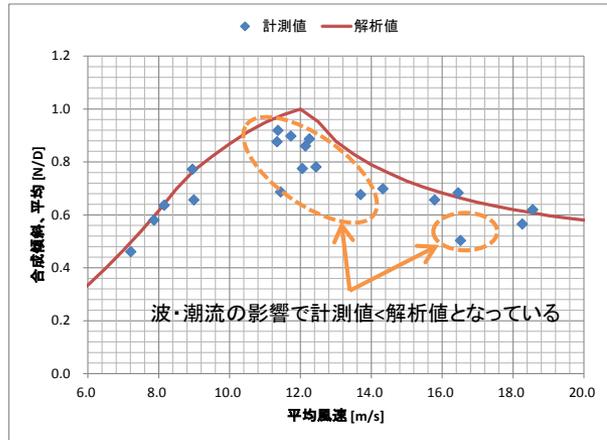
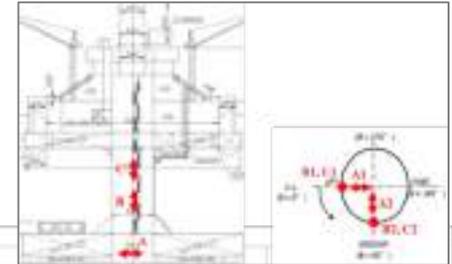
- 風車運転時の静的な傾斜角（10分間平均）の、計測値と解析値を風速帯域ごとに比較。
- 計測値と解析値は概ね良く一致していることを確認。

②浮体の動的挙動の解析及び検証

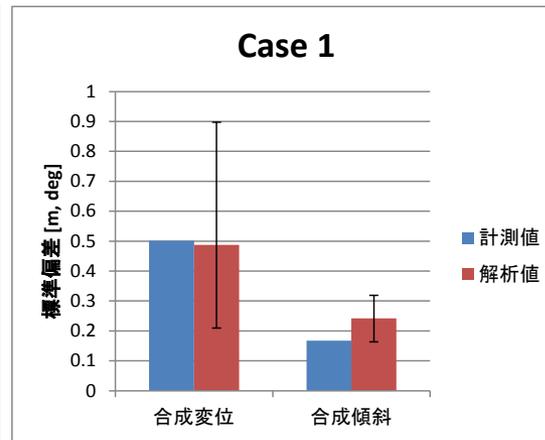
- 設計時に用いた連成解析コードと解析モデルを用いて、計測された環境条件の下での浮体の動的挙動を算出。
- 計測値と解析値は概ね良く一致していることを確認。

③構造強度の解析及び検証

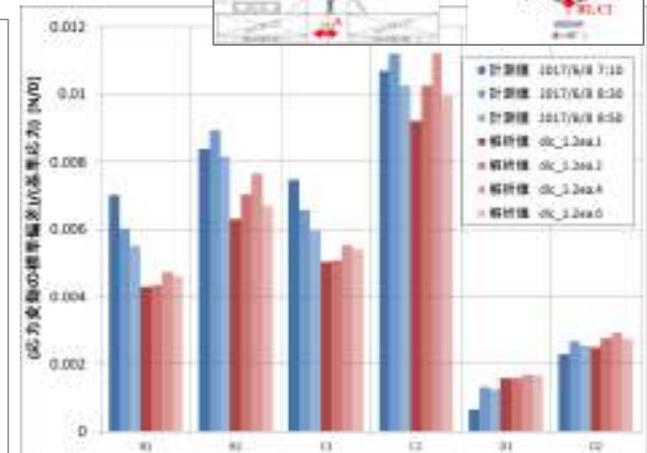
- 設計時に実施した解析の応力変動と、歪ゲージにて計測された応力変動を比較。
- 計測値と解析値は概ね良く一致。ケース間のばらつきも計測値と解析値で同程度であることを確認。



①準静的傾斜角の計測値と解析値の比較



②浮体の動的影響の計測値と解析値の比較



③構造応力変動の計測値と解析値の比較

1 - 1. 7MW浮体

○実証試験で得られた諸データを基に、浮体の運動性能・係留性能・構造応力等を解析して設計の妥当性を検証し、安全性を確認する。

現状認識と研究の目的

実証試験で得られた諸データを解析し、設計の妥当性を検証して安全性を評価・確認する。

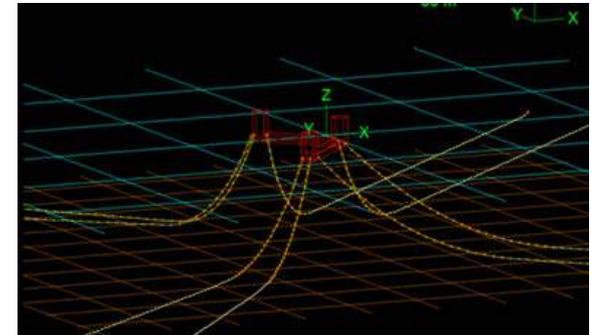
本年度はその3年目で、係留の解析検証精度向上、浮体構造の恒久対策工事後の検証を中心に、浮体式洋上風車浮体としての安全性の確認・評価を実施する。

実施方法

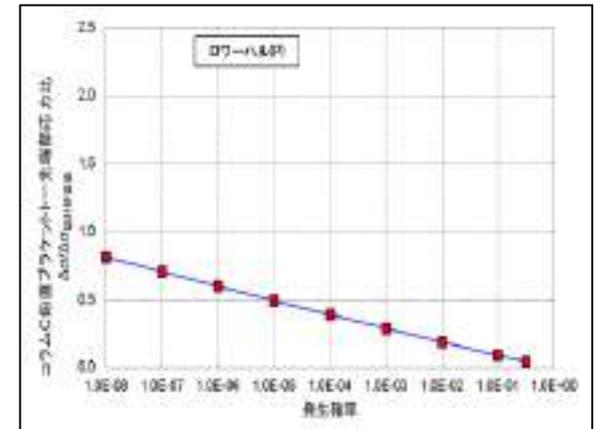
過年度の計測諸データに加え、H30年度の諸データを計測・集積し、運動性能・係留性能・構造応力等を解析して設計値と比較する。係留系については動的解析手法を用いて検証評価し、係留系の余寿命を推定する。

構造応力に関しては恒久対策工事後のデータを中心に解析を行う。

期待される成果（アウトプットイメージ）



係留系の動的解析



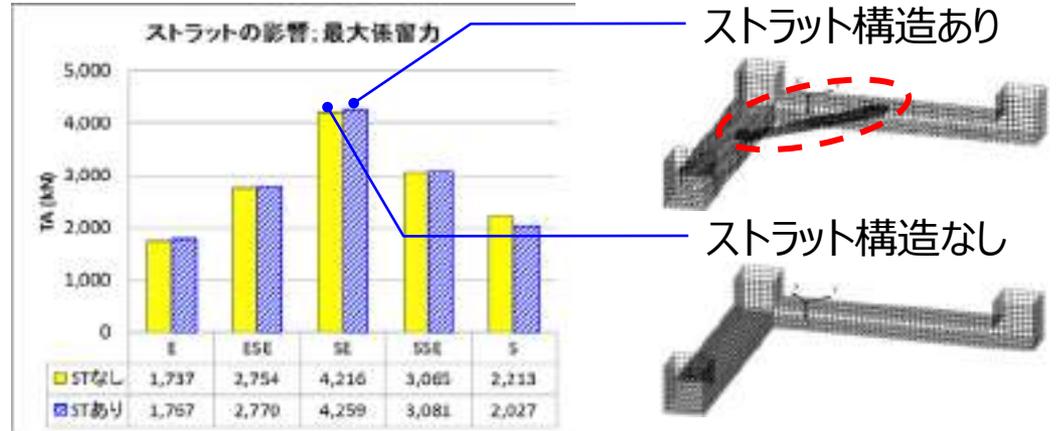
コラムC 鉛直ブラケットー応力推定値 (補強構造)

1 - 1. 7MW浮体

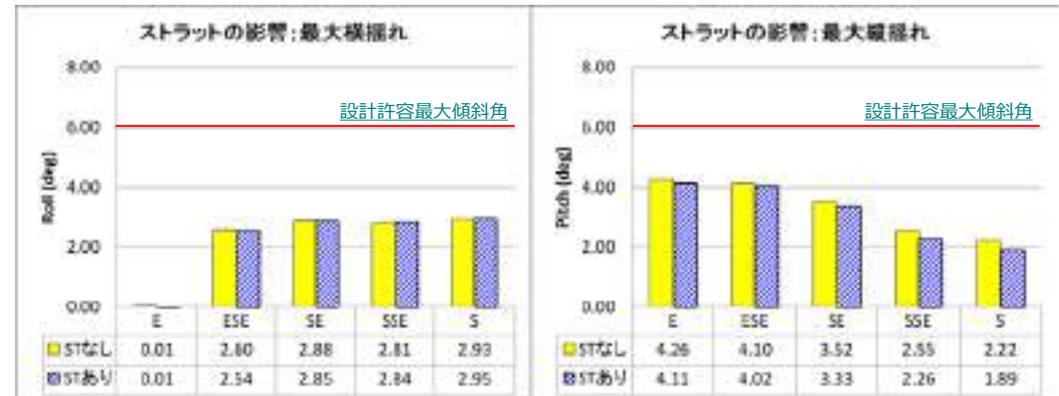
- 浮体対策工事後のストラット影響を調査した結果、設計条件下の最大係留力は同等であることが判明。
- 暴風時における観測データとの比較検証により運動性能上の安全性を明らかにした。

実証事業の成果

・浮体恒久対策の係留系への影響
NK認証時の50年再現の設計条件下 ($U_{10}=50.7\text{m/s}$, $H_s=11.7\text{m}$, $V=1.5\text{m/s}$)にて、ストラット構造を考慮した係留計算の結果、最大係留力はストラット構造が無いオリジナルと同等（約1%増加）であり、安全性に問題は無いことを確認。



・浮体恒久対策の運動系への影響
浮体動揺の最大値に関して、ストラット構造なしの動揺がストラットありに比べ僅かに大きくなっているケースが多く、ストラット構造の追設により浮体縦揺れを減らす効果が期待できることが分かった。



1 - 1. 7MW浮体

- 係留系について、動的解析手法を用いて係留力を求めた結果、所定の安全率を満たすことを確認した。
- 係留系の余寿命を推定し、設計寿命である20年を大きく上回ることを確認した。

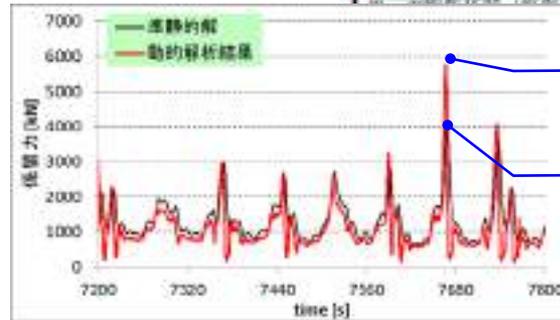
実証事業の成果

・係留系の動的解析

昨年検証済の係留設計手法を用いて50年再現条件で係留点の変位時系列を計算し、OrcaFlexを用いた動的解析を実施した結果、NKガイドラインに定める係留ラインの安全率1.67を満足することを確認。

係留索の安全率 (NKガイドライン)

状態	安全率
	チェーン及びワイヤロープ
非制位時	
動的解析を行う場合	1.67
準静的解析を行う場合	2.00

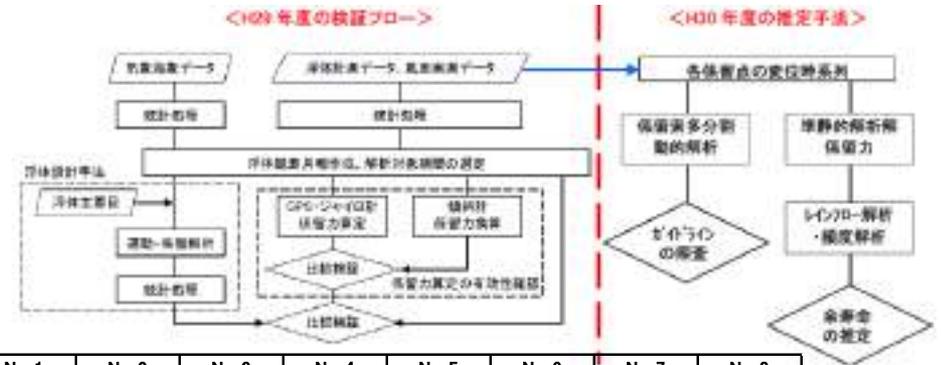


動的解析 ; 5,754kN
(安全率 : 2.12 > 1.67)

準静的解 ; 4,216kN
(安全率 : 2.90 > 2.00)

・係留索の余寿命

約2年3ヶ月間に取得したジャイロ計やGPSの浮体観測データから各係留点における変位時系列を作成し、準静的解析により係留力に換算。レインフロー解析及び頻度解析を実施して、得られた係留力の頻度から推定した係留索の余寿命は200年を上回ることを確認。



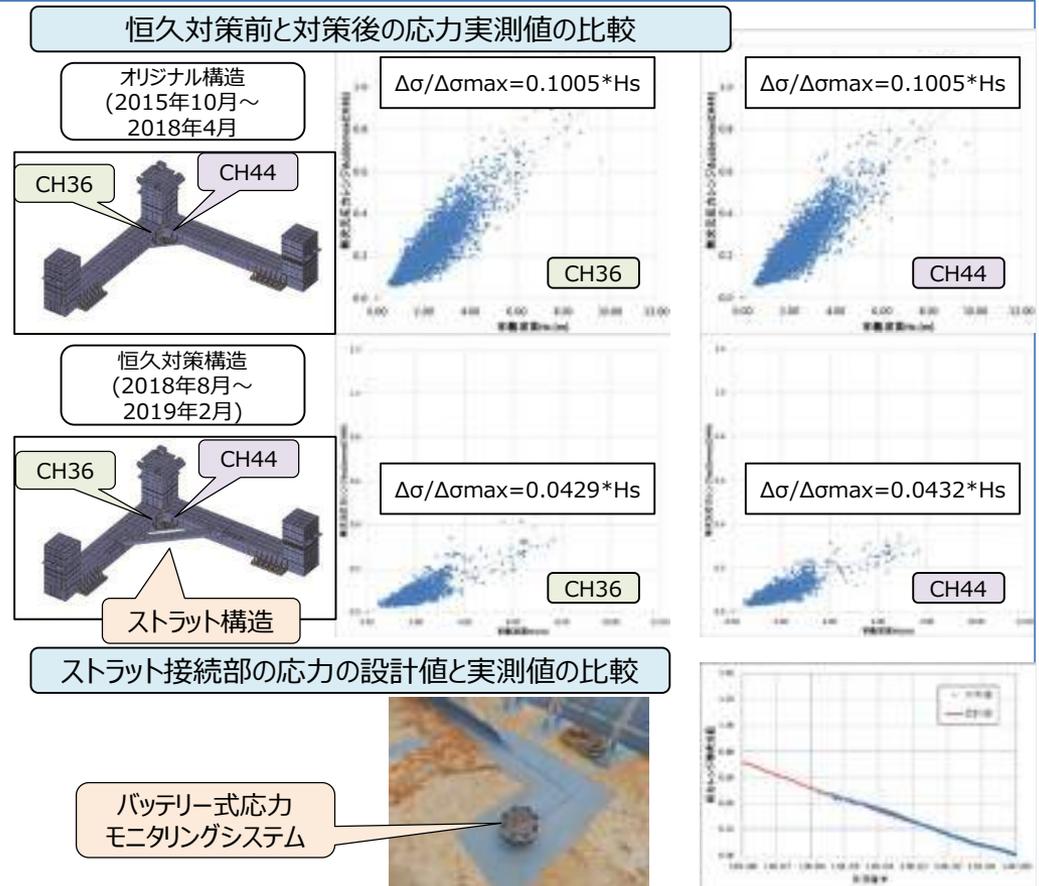
係留索ID	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
疲労被害度	0.0082	0.0102	0.0076	0.0073	0.0077	0.0082	0.0105	0.0082
余寿命(年)	271.2	216.9	293.0	306.6	288.6	269.7	211.6	271.6

1 - 1. 7MW浮体

- 恒久対策工事（ストラット設置）後のローハルの応力実測値を調査した結果、当初目論見通り、応力約50%減の効果が得られることを確認。
- 設計期間中の恒久対策構造（ストラット付き浮体構造）の構造設計の妥当性を明らかにした。

実証事業の成果

- 応力モニタリング装置により、オリジナル構造と恒久対策構造のローハルの応力実測値を比較した。
 CH36=ローハル(P)内側船側外板の応力
 (き裂発生箇所に最も近い応力計測位置)
 CH44=ローハル(S)内側船側外板の応力
- 有義波高最大値(ナウファス速報値)と応力レンジ最大値の相関を算出した結果、オリジナル構造に対して、当初目論見通り、応力約50%減の効果が得られていることを確認した。
- バッテリー式応力モニタリングシステムにて、追設したストラット接続部近傍の応力を計測し、疲労設計用応力分布と比較した結果、よく一致することが確認でき、恒久対策構造の強度評価の妥当性が確認できた。



- 最適な風車モデル（タワー設計）を検証するために設計手法の検証を行う。
- 計測データおよび解析によりタワー損傷を分析することにより、最終的にはタワー仕様の最適化を行う。

現状認識と研究の目的

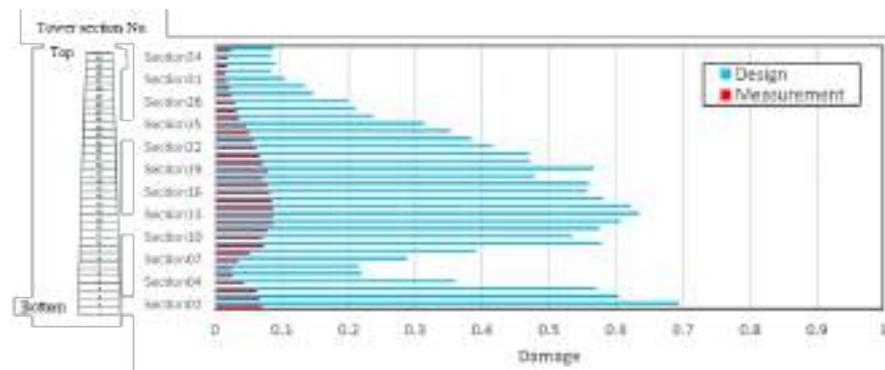
2 MW浮体用風車のタワー設計は本実証研究から得られたデータから安全なものであることは確認できているが、最適なものとは言えない。安全性を確保する前提でコスト的にも最適なタワー設計の手法を検証する。

実施方法

- 1)実機の荷重データからタワーの板厚等の仕様を再定義し、Bladedモデルを作成する。
- 2)風や波条件は現地データから得られたものを使用し、かつ浮体モデルも最新として、シミュレーションを実施する。
- 3)シミュレーション荷重からタワー強度を確認し、過不足があれば、タワー仕様最適になるように上記を繰り返し実施する。
- 4)元の設計（実機）と新設計（陸上相当）によって得られたタワー設計の仕様を比較検証する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

タワー損傷のイメージ



2MW風車タワー仕様

	元設計 (実機)	新設計 (陸上相当)
最大板厚(mm)	****	****
最小板厚 (mm)	****	****
タワー質量 (ton)	****	****
疲労寿命 (年)	****	****

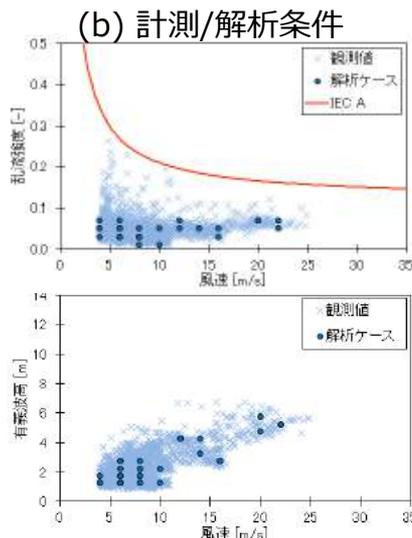
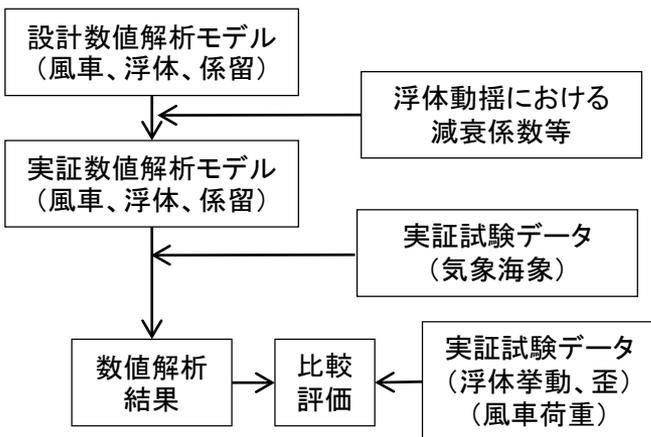
実機の荷重データを考慮し、浮体風車の最適モデルを再構築する。

- タワー損傷は解析値は測定値に比較して安全側の評価となっていることが明らかになった。
- 実証事業で得られた各種データを用いて、最適なタワー仕様を算出した結果、新設計では陸上機相当の約25%軽量化可能なことが分かった。

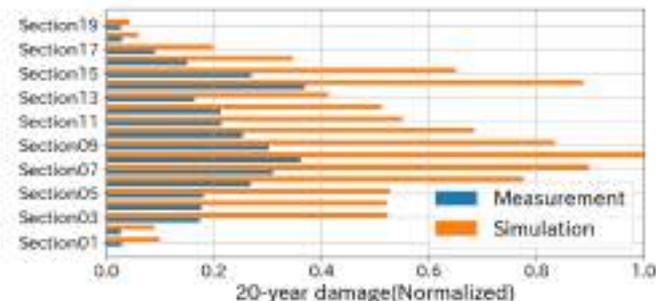
実証事業の成果

①タワー損傷の評価

(a) 解析フロー



(c) 解析結果と測定結果の比較 タワー損傷度



解析結果は安全側の評価となっている。

②タワー仕様最適化

(a) 検討方法

- 下記条件により、タワー仕様の最適化を実施した。
- ・タワー損傷実測値(安全率込み)から、タワー厚みを補正した損傷が基準を満たすこと。
 - ・暴風待機時、発電時最大のタワー極値荷重が基準を満たすこと。(極値は設計条件による解析で評価)

(b) 検討結果

	元設計(実機)	新設計(陸上相当)
最大板厚(mm)	33	25
最小板厚(mm)	20	15
タワー筒身質量(ton)	99.2	74.6
疲労寿命(年)	708 (実測から換算)	520 (実測から換算)

- ・疲労ではなく極値により仕様は決定
- ・タワー板厚は陸上機相当まで軽量化が可能(重量25%減)

○風車の安全性を明らかにするためパワーカーブ・設計妥当性の検証を行う。

現状認識と研究の目的

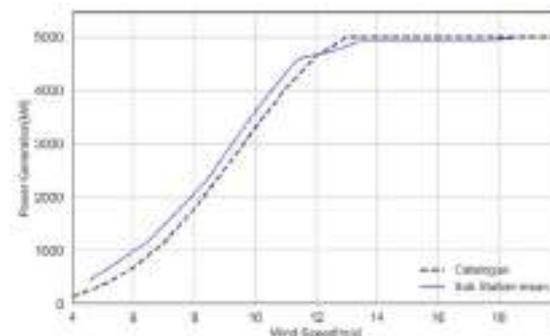
- ①5MW浮体風車の正確なパワーカーブの検証を行う。
- ②設計値と測定値の荷重比較をし、設計の妥当性を確認する。

実施方法

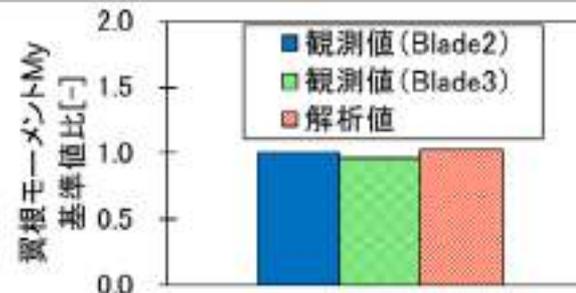
- ①ナセルライダー風速に対して傾斜影響を補正し、サブステ風速と比較して、正確なパワーカーブを検証する。
- ②シミュレーションモデル、環境条件を実機に合わせたシミュレーションを実施する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

パワーカーブのイメージ



浮体風車の荷重検証結果のイメージ



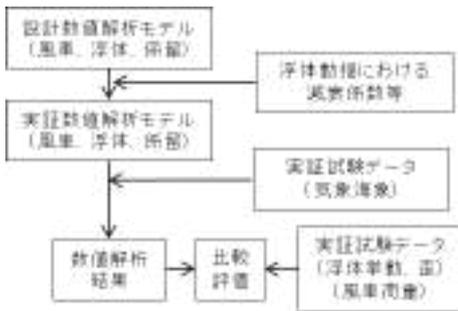
設計手法の妥当性検証(設計値と実測値の比較)
浮体風車での正確なパワーカーブの算出

- 風況・海況を実測と合わせた解析を実施した結果、荷重は概ね一致し設計手法の妥当性を確認した。
- ナセルライダーで実測した風況データを元にパワーカーブを算出した結果、設計値パワーカーブに近いことを確認した。

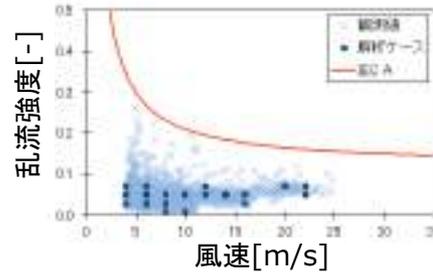
実証事業の成果

①設計手法妥当性の検証

(a) 解析フロー



(b) 計測/解析条件

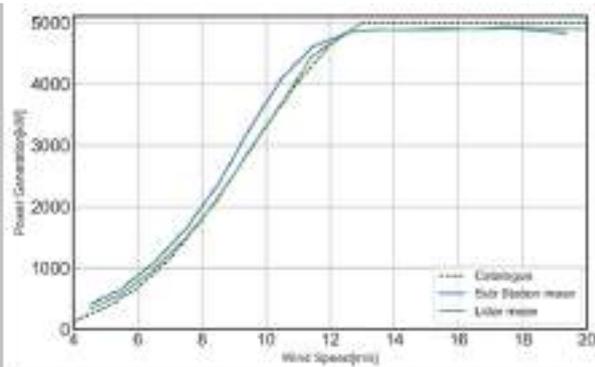


(c) 解析結果と測定結果の比較 タワー基部平均転倒荷重MY(無次元化)



風況・海況を実測と合わせた解析の結果、荷重は概ね一致し、設計手法の妥当性を確認した。

②パワーカーブの検証



- ・ナセルに搭載したドップラーライダーにより計測された風速を利用したパワーカーブは、設計パワーカーブに近いことを確認した。
- ・制御系試験のため、定格出力を落として運転しているため、最大出力は5000kWになっていない。

1 - 2. 7MW風車

○荷重評価精度の向上・ H30年8月までの総合評価を行う。（着眼点：設計・施工等の妥当性評価）

現状認識と研究の目的

【これまで得られた成果】

超大型の浮体/風車構造物の最大荷重・疲労荷重に関して、疲労荷重では実測値と解析値がほぼ一致し、最大荷重では実測値が解析値を下回り安全側であることを確認した。

【今年度の目的】

- ①サンプル数増加による疲労荷重評価信頼性の向上
- ②データ蓄積による最大荷重の推定精度の向上

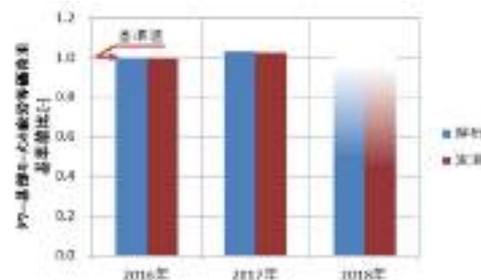
実施方法

H28年度、H29年度から続けて、H30年8月までの平常時・暴波浪時における実証試験データ（気象海象、浮体動揺、風車挙動、荷重等）を解析値と比較、評価する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

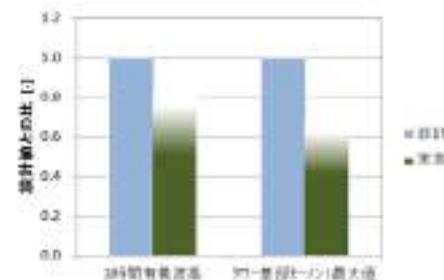
①疲労荷重

年間疲労評価のサンプル数増加による評価信頼性向上



②最大荷重

データ蓄積による最大荷重の推定精度向上



1 - 2. 7MW風車

- 【風車運転時の荷重評価手法】昨年度迄の実測データ評価に加え、台風接近時の高波高条件下での風車運転時の制御挙動及び荷重解析値も実測値と概ね一致することから、風車運転時荷重評価手法が妥当であることを確認した。
- 【疲労荷重】2016年4月から2018年8月迄29ヶ月間の実測データより算出した疲労荷重が、同期間の実測環境条件を入力とした解析値と概ね一致し、設計荷重評価手法が妥当であることを確認した。

実証事業の成果

○検証結果

高波高運転時荷重

2018年台風13号接近時、高波高条件下で風車運転。浮体運動に伴いロータの相対流入風速が変動し翼根フラップ荷重に浮体運動と同じ波周期帯の荷重変動が発生。実測風況・海象データをもとに実施した再現計算と概ね一致。

疲労荷重

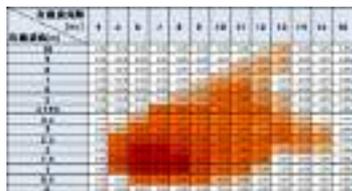
風車停止時及び定格7MWを含む風車運転時の①45892点、②36469点、及び③13583点の10分間データについて評価（図1）。

風車停止時：波高と波周期のマトリクスを作成、ビン毎に頻度を設定し再現解析実施

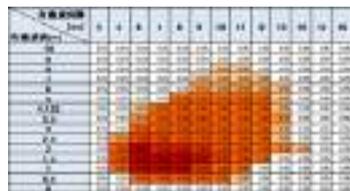
風車運転時：実測風況・海象データに基づく10分間データ全点の再現解析を実施

各期間ともに実測と解析の疲労等価荷重が一致（図2）。

29ヶ月間のデータを用いた結果、各項目とも実測値と解析値が概ね一致し、精度を向上させつつ設計荷重評価手法が妥当であることを確認。



①2016年1月1日～12月31日



②2017年1月1日～12月31日



③2018年1月1日～8月31日

図1 有義波高、有義波周期の頻度表

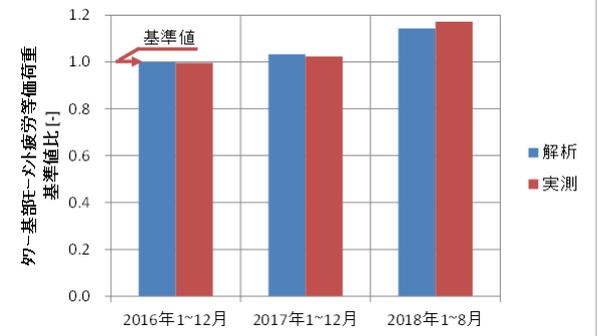
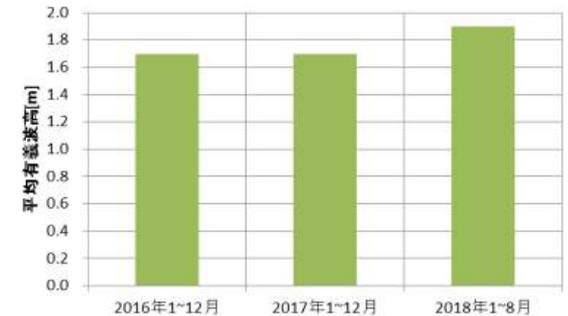


図2 平均有義波高と疲労等価荷重

1-3. 鋼材

○鋼材サンプルの海水中疲労試験によりき裂進展速度を検証し、安全性（余寿命）を評価する。

実証事業での目的

- ・H29年度実証研究（鋼材摩耗試験）により、摩耗量推定の精度向上を図った。
- ・H30年度では更に、き裂進展基準の寿命予測を行い、洋上風力発電係留チェーンの寿命評価を行う。

実施方法

1. 海水中を考慮した腐食疲労き裂進展試験
 2. Engineering Critical Assessment(ECA)（き裂進展考慮した余寿命評価）
- 切出しサンプルでの評価が可能



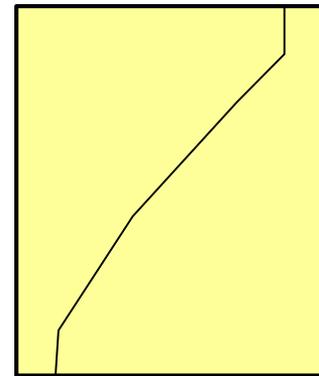
ひずみゲージ

チェーン切出しサンプル 腐食疲労き裂進展試験例

試験環境	人工海水中、大気中
試験温度	25℃
周波数	検討中

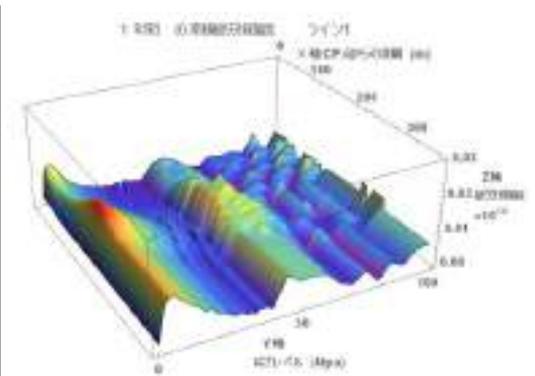
期待される成果（アウトプットイメージ）

疲労き裂進展試験



応力拡大係数

荷重履歴



昨年までの成果

き裂進展と余寿命の関係明確化

1-3. 鋼材

- 1)人工海水中での実チェーン材のき裂進展特性を測定、BS7910の設計き裂進展カーブで寿命予測可能であることを確認。
- 2)海水中のき裂進展特性から予測した疲労寿命解析より、想定される環境下において、実チェーン材が設計寿命内で破断する可能性は極めて低いと推定された。

実証事業の成果

(1)実チェーン材から製作した試験片によるき裂進展試験

・人工海水中のき裂進展速度は大気中のそれと比較すると、約5倍程度高いがBS7910[※]の腐食環境下における設計き裂進展カーブに比べて低位。したが、これまで海洋構造物の破壊安全性評価に用いる際に使用するBS7910記載の設計き裂進展カーブを用いて、係留チェーンの腐食疲労寿命予測を行うことが出来る。

(2) 疲労設計線図との比較

・海水環境を仮定したき裂進展特性からS-N線を予測。初期き裂深さ0.5mmを仮定した場合でも無欠陥を仮定したDNV RP C203-B1曲線以上の寿命となることを確認。想定される環境下において設計寿命内で破断する可能性は極めて低い。

R3S種：KSBCR3S

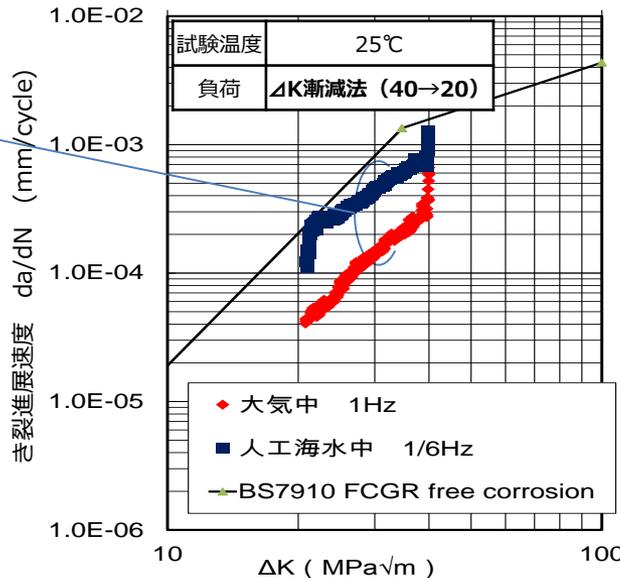


図. 人工海水中でのき裂進展試験

図. da/dN-ΔKの関係

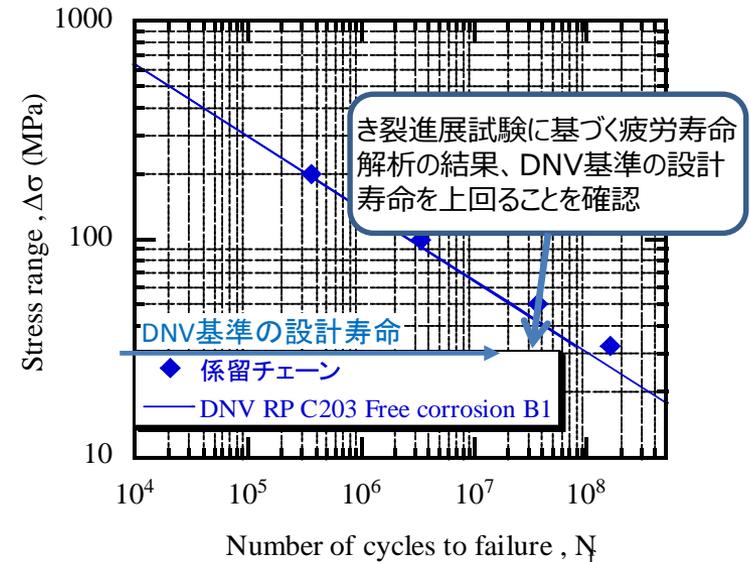


図. 疲労設計線図DNVRPとの寿命比較

※) BS7910, Guide on methods for assessing the acceptability of flaws in metallic structures', 1999.

1 - 3. 鋼材

3)浮体動揺観測データから算出された応力履歴から係留チェーンのき裂進展解析を実施、非常に厳しい条件下（8mmの初期き裂；20年間でのチェーンの設計腐食摩耗量の2倍を仮定）でも60年後のき裂深さは最大10.2mmであり、直径132mmのチェーンに対し十分安全性を確保できると推定。
 ⇒ 素材、実チェーン形状の両方で安全性が確認できた。

実証事業の成果

(3) き裂進展解析による寿命計算

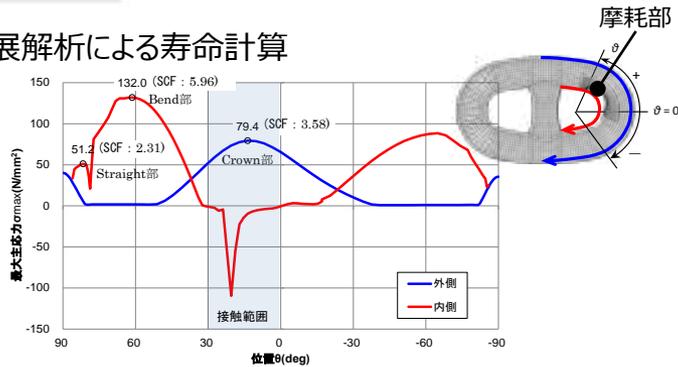


図. 摩耗を想定したチェーンリンクの主応力の周方向分布

浮体動揺観測データから10分毎の応力値(公称応力に
 応力集中係数を乗じて形状効果を考慮)と発生頻度を算出

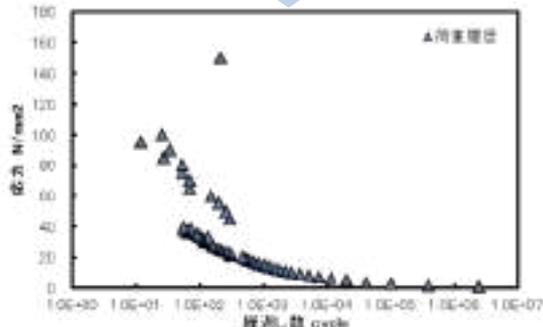


図. 係留チェーンに作用する応力履歴（1年間）

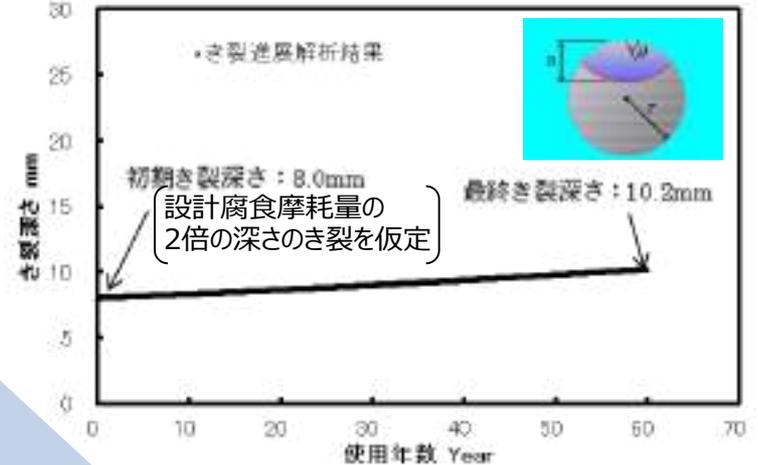


図. き裂進展解析結果

60年間にき裂が進展する深さを計算。
 使用ソルバー：TWI社 CrackWISE®

初期き裂深さ8mm(20年間でのチェーンの設計腐食摩耗量の
 2倍の損傷(き裂)が生成したと仮定)、き裂深さは20年後：
 8.7mm、60年後：10.2mmとなり、直径132mmのチェーン材
 の破断には至らないことが推定された。

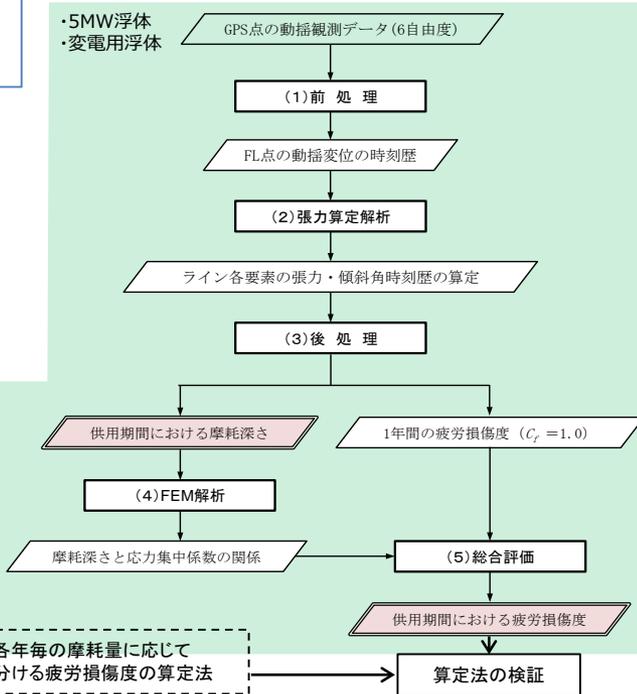
1-3. 鋼材

- 5MW浮体、変電用浮体の動揺観測データを用いて係留チェーンの摩耗・疲労損傷度を算定する。
- また、上記結果を用いて、昨年度提案した摩耗量・疲労損傷度の算定法を検証し確立する。

現状認識と研究の目的

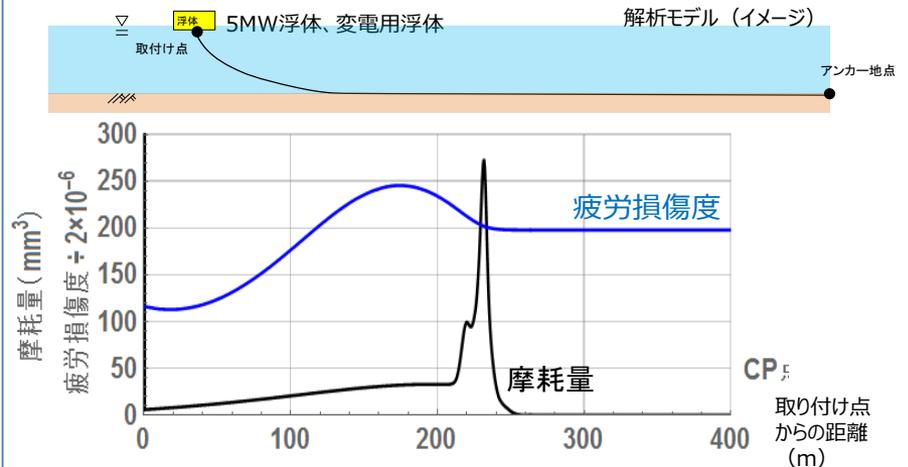
- 係留チェーンの取付部、海底部に生じる摩耗により、係留の信頼性、経済性を損なうことが懸念される。
- 摩耗の大きさとその部位を予測できれば、検査を集中的に行うことや検査の簡素化が可能となり、信頼性、経済性、維持管理性を向上させることができる。

実施方法



期待される成果 (アウトプットイメージ)

- 5MW浮体及び変電用浮体の1年間観測データに基づいた1年間の疲労損傷度、腐食摩耗量を推定する（上記を元に供用期間20年間での疲労損傷度、腐食摩耗量も推定）



- 昨年度に提案した摩耗量・疲労損傷度の算定法に関して、5MW浮体及び変電用浮体の結果を用いて検証を行う。

従来の方法 (代表した応力集中係数を使用、DNVに準拠した方法)

$$D_{20,DNV} = 20 \times C_f^3 \times D_1$$

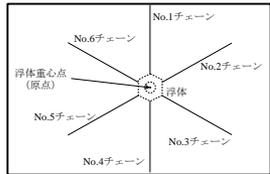
提案方法 (摩耗深さに応じた各年毎の応力集中係数を使用する)

$$D_{20} = \sum_{k=1}^{20} D_k = D_1 \times (C_{f1}^3 + C_{f2}^3 + \dots + C_{f20}^3)$$

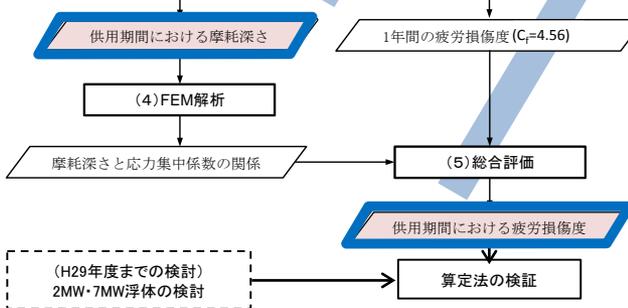
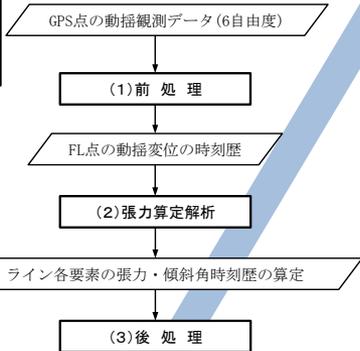
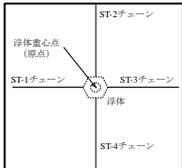
(1) 5MW浮体および変電用浮体の動揺観測データを基に解析を実施して係留チェーンの疲労損度、摩耗量を評価した。過年度までに検討した2浮体と比較して、摩耗量、疲労損傷度は同程度の傾向となることを把握した。

実証事業の成果

・5MW浮体



・変電用浮体



① 摩耗量

- 係留チェーンの摩耗量は、着底部近傍で大きくなる傾向が見られる。
- 20年経過時の摩耗深さは最大で10.3mmである。また、この摩耗深さに対して疲労強度を有している。

チェーン No.	20年経過時の摩耗深さ			
	着底点		FL部 (摩擦係数 $\mu=0.4$)	
	5MW浮体	変電用浮体	5MW浮体	変電用浮体
No.1	4.1mm	8.2mm	5.7mm	8.0mm
No.2	4.5mm	5.6mm	6.1mm	10.3mm
No.3	5.3mm	8.2mm	5.8mm	7.5mm
No.4	4.2mm	8.1mm	5.3mm	5.1mm
No.5	4.2mm	-	5.2mm	-
No.6	4.7mm	-	5.5mm	-

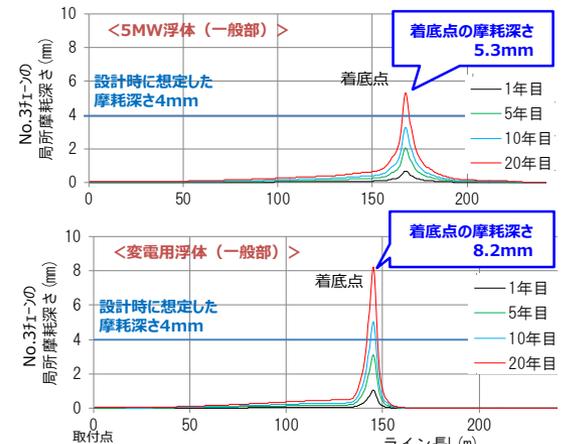
※2MW浮体(H28年度) : 4.6mm ~ 7.1mm、7MW浮体(H29年度) : 4.3mm ~ 7.2mm
 ※摩耗深さ考慮後も、規格破断荷重に対する安全率(準静的解析2.0)を満たしている。(JMU殿ヒアリングより)

② 疲労損傷度

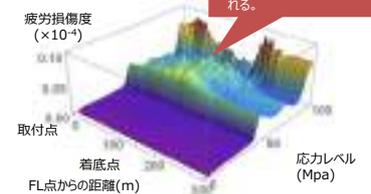
- 20年経過時の疲労損傷度は最大で0.00576で、許容値0.33(安全率:3)を下回り、十分な疲労強度を有している。
- 発電の有無によって、疲労損傷度に影響を与える応力振幅レベルが異なる。発電時の風荷重による浮体の平面移動の影響が大きい。

チェーン No.	20年経過時の疲労損傷度			
	最大		FL点	
	5MW浮体	変電用浮体	5MW浮体	変電用浮体
No.1	0.00576	0.00021	0.00421	0.00008
No.2	0.00285	0.00092	0.00188	0.00034
No.3	0.00137	0.00012	0.00093	0.00004
No.4	0.00225	0.00003	0.00162	0.00003
No.5	0.00095	-	0.00071	-
No.6	0.00314	-	0.00234	-

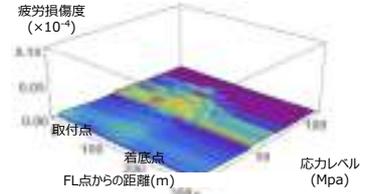
※2MW浮体(H28年度) : 0.004 ~ 0.003、7MW浮体(H29年度) : 0.139 ~ 0.132



<5MW浮体 (全データ) >



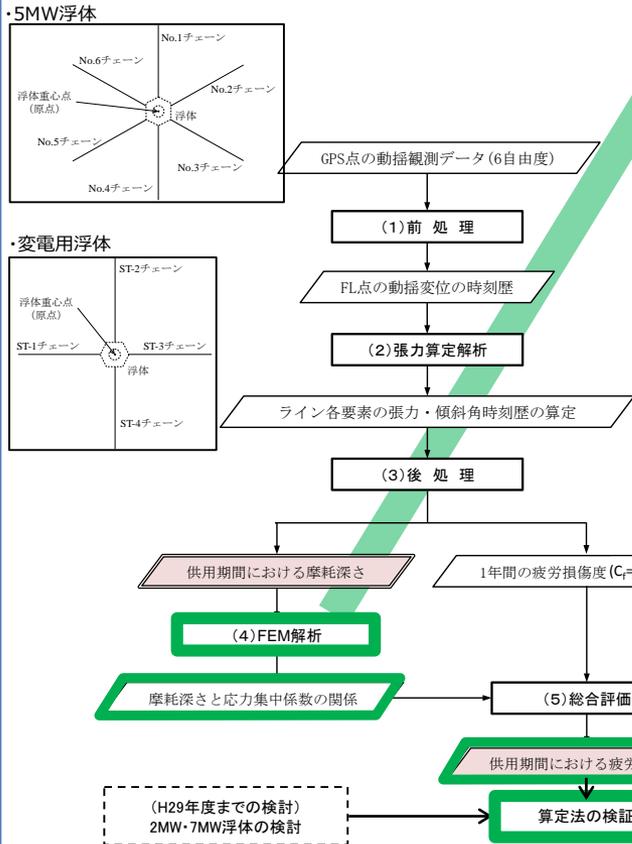
<5MW浮体 (非発電時のみのデータ) >



1-3. 鋼材

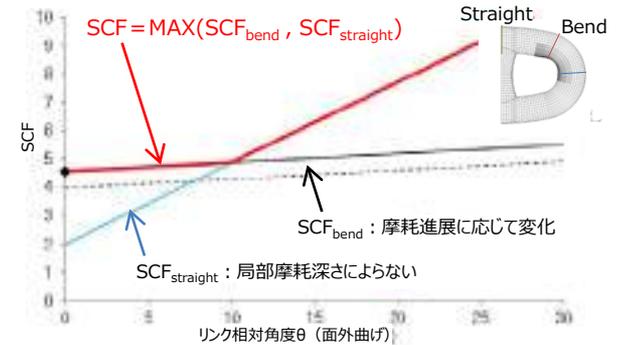
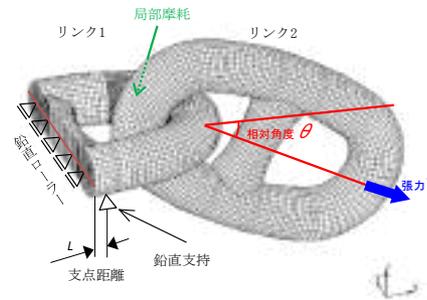
(2) FL部のリンクを対象に、摩耗進展と面外曲げが同時に作用した状態での疲労強度の算定手法を構築した。疲労損傷度の算定法を検討し、各年毎の摩耗量から算定したSCFを使用した場合、従来方法と比較して、疲労損傷度が20～30%低下することを確認した。

実証事業の成果



① 設計法の提案（摩耗進展と面外曲げの影響を考慮した疲労強度算定法）

- FL部のリンクを対象に、FEM解析を実施し、摩耗進展と面外曲げの影響を検証した。
- リンクの相対角度（面外曲げ）が小さいとき、Bend部の応力集中係数（SCF）が大きく、面外曲げが大きいとき、Straight部のSCFが大きくなることを確認した。
- また、Bend部のSCFは摩耗量に応じて変化することを確認した。



② 設計法の提案（疲労損傷度算定法の検証）

- 下記2つの方法を比較し、7MW浮体と同様に、方法2で算出した疲労損傷度は方法1を20～30%下回ることを確認した。
- 動揺観測を実施した福島や類似海域において、方法2は経済性をより高める方法である。

方法1：代表したSCFを使用 <福島の現設計法>
 $[D_{20_DNV} = 20 \times C_{f10}^3 \times D_1]$

方法2：各年毎の摩耗量から算定したSCFを使用
 $[D_{20} = \sum_{k=1}^{20} D_k = D_1 \times (C_{f1}^3 + C_{f2}^3 + \dots + C_{f20}^3)]$

C_{fn} ：n年後の摩耗を考慮した応力集中係数

チェーンNo.	5MW浮体(一般部)			変電用浮体(一般部)		
	方法1	方法2	比(2/1)	方法1	方法2	比(2/1)
No.1	0.00576	0.00444	77%	0.00021	0.00016	76%
No.2	0.00285	0.00220	77%	0.00092	0.00072	78%
No.3	0.00137	0.00106	77%	0.00012	0.00009	75%
No.4	0.00225	0.00173	77%	0.00003	0.00003	79%
No.5	0.00095	0.00073	77%	-	-	-
No.6	0.00314	0.00241	77%	-	-	-

1-4. 送電システム

- 7MW及び5MWライザーケーブルの長期データによる疲労寿命を推定する。
- 上記疲労寿命と統計データ及び浮体RAOによる疲労寿命を比較し、最適疲労設計手法を検討する。

現状認識と研究の目的

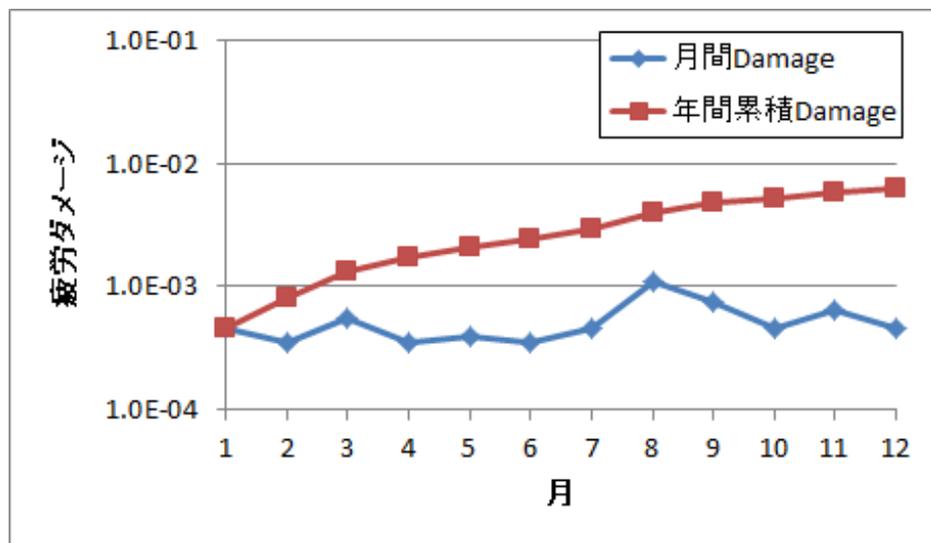
- ◆課題：7MW及び5MWライザーケーブルの長期データによる疲労寿命や最適疲労設計手法が明らかとなっていない。
- ◆目的：長期データによる7MW及び5MWライザーケーブルの疲労寿命検証と最適疲労設計手法を明らかとする。

実施方法

- ◆1年間の7MW浮体及び5MW浮体動揺実証データを受領し、浮体動揺によるライザーケーブル挙動を解析し疲労寿命を推定する。
- ◆波浪統計データ及び7MW及び5MW浮体のRAOデータ、浮体位置によるライザーケーブル挙動を解析し、1年間の長期実証データによる疲労寿命と比較し、最適疲労設計手法を検討する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- ◆長期実証データによる疲労寿命推定年間累積Damageを求めて、7MW・5MWライザーケーブルの寿命を推定する。



- ◆波浪統計データによる疲労寿命推定波方位性と浮体位置を考慮した疲労寿命推定長期実証データ疲労寿命 \geq 統計疲労寿命となる疲労設計手法を求める。

1-4. 送電システム

○7MW及び5MWライザーケーブルにて実証データによる長期疲労解析を行った結果、いずれも耐久性に問題がないことが明らかとなった。

実証事業の成果

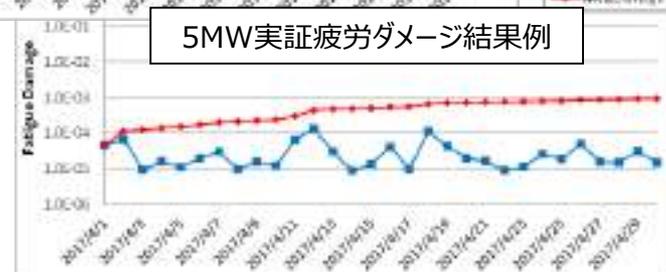
◆7MWライザーケーブル

・2017年4月～2018年3月までの1年間の実証データ（時刻歴浮体動揺データ）による疲労解析の結果、疲労寿命は推定232年となった。



◆5MWライザーケーブル

・2016年10月～2017年9月までの1年間の実証データ（時刻歴浮体動揺データ）による疲労解析の結果、疲労寿命は推定170年となった。



・2017年4月の1か月間の実証データによる海洋生物付着条件での疲労解析の結果、疲労ダメージは1.21倍となることが分かった。
疲労設計では海洋生物付着を考慮した設計が必要となることが明らかとなった。

	7MW	5MW
実証疲労	232年	170年
海洋生物付着影響	—	ダメージ1.21倍

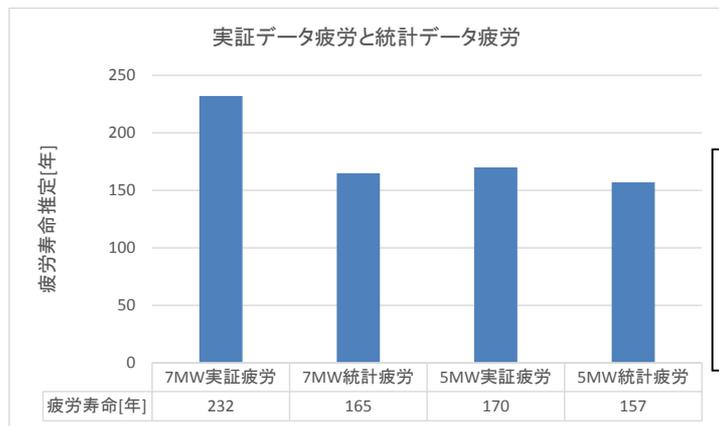
1-4. 送電システム

○実証データによる疲労解析と統計データによる疲労解析を検証した結果、波方位性と浮体位置（浮体動揺中心）を考慮することで安全側の疲労設計となることが明らかとなった。この結果、波浪統計データ及び浮体設計値を用いることでライザーケーブル疲労設計手法を確立できた。

実証事業の成果

◆疲労設計

- ・福島沖10年間の統計データ（波高、周期、波向）、浮体RAO、浮体位置（10%ドリフト）を考慮した統計疲労解析は実証データ疲労解析と比べて安全側の疲労設計となることが分かった。
- ・波浪統計データ、浮体RAO、浮体ドリフト量にて、安全な疲労設計ができることが分かった。



※7MWライザーの実証疲労と統計疲労の差の要因(推定)

- ・実証解析期間の違い
- ・実証解析期間の波浪条件と10年統計解析の波浪条件の差

波高 [m]	周期														Total							
	1~	2~	3~	4~	5~	6~	7~	8~	9~	10~	11~	12~	13~	14~								
9.25															0							
8.75															0							
8.25														1	1							
7.75													21		21							
7.25											11	20	28		59							
6.75									18	36	138	3			195							
6.25										37	32	398	22	13	22	524						
5.75										69	679	351	7			1,106						
5.25										40	312	1,506	143	97		2,098						
4.75								6	381	1,437	1,494	63	360			3,741						
4.25							4	112	849	2,591	618	98	313	94		4,679						
3.75								148	446	2,967	2,898	1,614	307	179	32	8,591						
3.25						16	289	2,418	11,215	2,685	2,810	1,042	503	61	86	21,125						
2.75							433	1,801	17,714	14,707	6,280	3,804	2,142	778	313	261	48,233					
2.25							37	2,140	17,174	44,712	21,667	13,459	7,973	4,023	948	150	333	112,616				
1.75								2,661	13,356	100,767	57,911	50,745	32,420	11,795	4,409	1,561	98	195	275,918			
1.25									510	24,168	122,509	100,628	110,593	78,394	43,120	13,658	3,147	654	110	153	497,644	
0.75									1,705	52,533	61,144	78,804	93,120	91,819	55,065	29,058	8,133	2,203	97		473,681	
0.25									30	10,699	26,769	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	461
0									13	260	52											461
Total									43	12,664	79,864	98,812	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	2,572

波高	波向(°)	波高別					合計	
		0.75m未満	0.75m以上 1.75m未満	1.75m以上 2.25m未満	2.25m以上 2.75m未満	2.75m以上 3.25m未満		
0(N波)		7,020	40,903	8,753	3,569	1,534	751	62,530
30		10,338	47,656	9,662	3,935	1,222	1,654	74,467
60		14,345	181,828	60,917	30,734	12,455	12,361	312,640
90(E波)		6,334	88,349	27,395	10,921	3,760	4,520	141,279
120		12,398	159,561	43,545	11,903	4,518	2,671	234,596
150		13,936	135,433	41,195	17,568	10,090	7,094	225,316
180(S波)		11,187	113,159	41,605	18,907	9,262	8,437	202,557
210		9,253	57,457	15,509	5,286	1,900	1,713	91,118
240		9,009	36,059	4,807	1,302	149	44	51,370
270(W波)		4,515	18,521	2,560	1,007	256	76	26,935
300		3,809	28,889	4,398	1,206	363	199	38,864
330		7,196	63,510	15,572	6,278	2,724	2,620	97,900
合計		109,340	971,325	275,918	112,616	48,233	42,140	1,559,572

※出典
海上技術研究所のデータベースを基に
福島コンソーシアムが作成したもの

2. 信頼性の検証に向けた研究

2-1. 2MW浮体

- 設備の信頼性を明らかにするために浮体メンテナンス実施およびメンテナンスの効率化を図る。
- 特に、チェーン計測用に製作したROVを用いて、事業リスクの要素が高い係留チェーンの衰耗量計測等を行い、水中心検手法を提案する。小型ROVを用いた送電ケーブルのマリングロス除去を検討する。

現状認識と研究の目的

設備維持のためメンテナンスを行う。また過去のメンテナンス実績をもとにメンテナンスの効率化を図る。係留チェーンおよび送電ケーブルは事業リスクの重要要素である。低コストでこれらの事業リスクを評価するためにROV等を用いた水中心検手法の開発が必要である。

実施方法

- ・浮体メンテナンスを実施し問題無いことを確認する。
- ・風車、浮体メンテナンスの効率化のため、重量物積込用ダビットを改良する。
- ・昨年度製作、作動確認を行ったチェーン計測システムで浮体の係留チェーンの実海域における計測を行う。
- ・チェーン計測システム用ROVに昨年度送電ケーブルのマリングロス除去で実績のあるFlexicleanを搭載し、小型ROVでのマリングロス除去の検討を行う。
- ・ROVカメラ映像から係留チェーンの衰耗状態を精査するための参照映像として、衰耗状態を再現したモデルを製作し、ROVカメラ等で撮影を行う。

期待される成果（アウトプットイメージ）

浮体メンテナンスの効率化（重量物積込用ダビット改良）



ダビット使用例（現状）

実海域での係留チェーンの衰耗量計測の実施



計測例（水槽試験）

水中心検手法の提案



小型ROV



搭載



Flexiclean

2-1. 2MW浮体

- 年次点検実施およびNK年次検査を受検し問題無いことを確認した。
- 重量物積込用ダビットの改良を実施し、メンテナンス時間の短縮による効率化を確認した。

実証事業の成果



電気系統の絶縁抵抗計測の様子

浮体年次点検を実施した。年次点検として、ポンプ、バルブ、センサーの動作確認、電気系統の絶縁の確認、浮体構造および塗装の目視点検を実施し問題ないことを確認した。NK年次検査（年次点検報告書による書面検査）を受検し問題無いことを確認した。



ダビット荷役状況（左：改良前、右：改良後）

重量物積込用ダビットの改良を実施した。浮体上の重量物積込用ダビットは、風車メンテナンス時の機材や風車交換部品の積込のために搭載されているが、吊高さ不足等があり、吊荷の分割作業が必要となるなどの非効率が生じていた。重量物積込用ダビットを改良し、吊り高さおよびブーム旋回方向を変更することでメンテナンス時間の短縮による効率化を確認した。

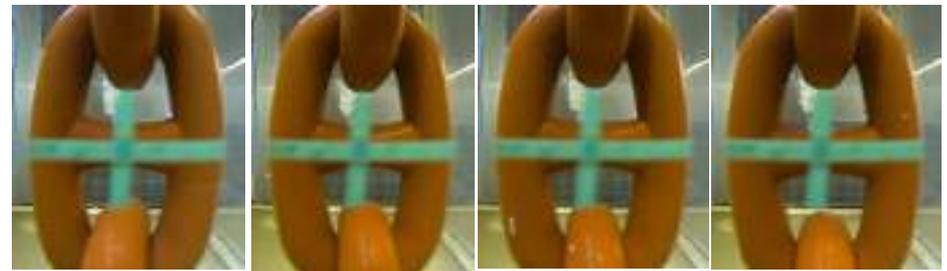
2-1. 2MW浮体

- チェーン計測システムの実海域試験を実施した結果、小型ROVを用いて係留チェーンのリンク間をmm程度の水準で計測できることが分かった。
- 係留チェーンの衰耗状態を再現した模型を製作し、小型ROVを使用した目視水中点検において係留チェーンの精査のための参照映像を取得した。
- 浮体式洋上風力発電設備における水中点検手法の合理化について提案した。

実証事業の成果



係留チェーンリンク間計測状況（左：計測前、右：計測中）



衰耗なし 衰耗4mm 衰耗8mm 衰耗12mm
衰耗状態再現模型による参照映像

係留チェーンリンク間計測値

チェーン番号	水深 m	リンク 符号	計測値	max	min	差値	平均値
			mm			max-min	
6	119	A	250.08	○		3.4	251.7
			250.41				
			253.46				
			253.00				
			251.81				
6	119	B	251.71	○		1.1	252.1
			252.26				
			251.42				
			252.48				
			252.23				

浮体式洋上風力発電設備における水中点検手法の提案
 衰耗状態の再現模型による参照映像を用いて、小型ROVを使用した目視水中点検による係留チェーンの精査を行う。具体的には、20年間の設計衰耗量（4mm）を越える衰耗が事業期間中に発生していないかどうかを、小型ROVを使用した目視水中点検にて精査することとする。精査の結果、事業期間中に20年間の設計衰耗量を越える衰耗が発生していないことが確認できれば、衰耗量の計測は不要となり、浮体式洋上風力発電設備における水中点検の合理化が図れると考えられる。

2-1. 2MW浮体

- マリングロス除去装置Flexicleanを、小型ROVへ搭載し水槽試験および実海域試験を実施した。
- 小型ROVを用いた送電ケーブルのマリングロス除去について検討した結果、マリングロス除去作業は可能であったが、フジツボのような強固に付着したマリングロスの除去は困難であった。

実証事業の成果



Flexicleanを
搭載した小型ROV



水槽試験状況

マリングロス除去装置Flexicleanを、小型ROVへ搭載し水槽試験を実施した。福島沖実証海域における実海域試験を実施した。ROV母船としてJCATONEを使用した。7MW油圧式風車搭載セミサブ浮体（ふくしま新風）の送電ケーブルをマリングロス除去対象として試験を行った。

小型ROVを用いた送電ケーブルのマリングロス除去について検討した結果、マリングロス除去作業は可能であったが、フジツボのような強固に付着したマリングロスの除去は困難であった。



実海域試験状況（左：小型ROV投入、右：小型ROV映像）

2 - 1. SS、5MW浮体

- サブステーション、5MW浮体の点検を行い、必要に応じ補修・部品交換を実施する。
- 運用開始後の補修及び改良実績の履歴を整理し、浮体の健全性を評価することにより、信頼性向上に寄与するメンテナンスのあり方を示す。

現状認識と研究の目的

事業化にあたっては機器・設備の信頼性向上が必須である。補修・交換した部品の健全性評価及び定期的点検と結果の検証、蓄積した履歴の整理により、信頼性向上に寄与するメンテナンスのあり方を示す。

実施方法

補修・交換した機器や部品の状態確認

定期点検結果



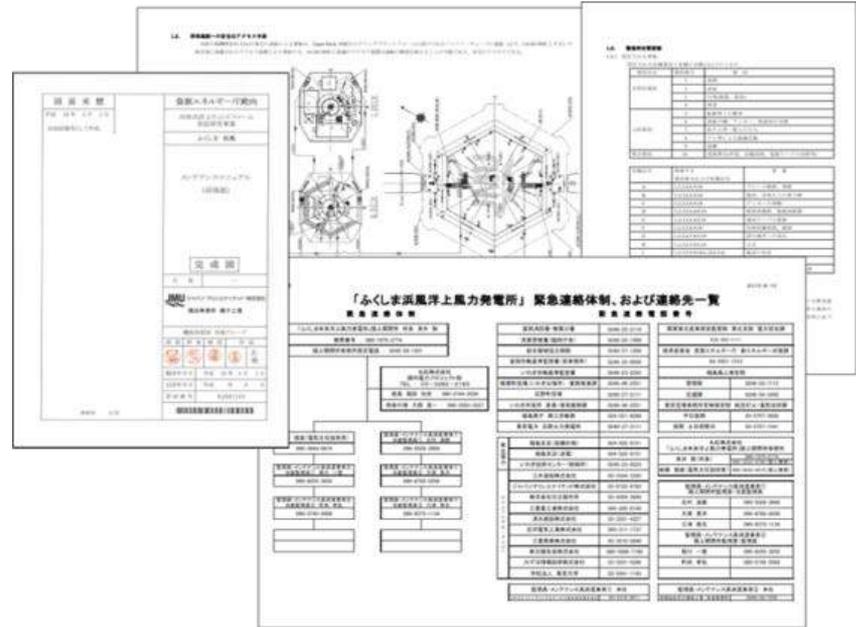
昨年度までの現状調査結果とそれに基づく対応

検証

- 故障や破損の原因は？
- 昨年度までの対応は適切だったか？
- 過剰なメンテナンスを行っていないか？
- 補修履歴は整理され活用されているか？

提案
信頼性向上に寄与するメンテナンスのあり方

期待される成果（アウトプットイメージ）



- 継続的なメンテナンス履歴に基づいての健全性の確認
- 信頼性向上やメンテナンス費用の低減に寄与するメンテナンス手法の提案

2 - 1. SS、5MW浮体

- SS, 5MW浮体の点検、現状の確認を行った。また必要箇所の補修を実施した。
- 下期には残りの補修作業の完了と、補修・改良実績の履歴整理し、浮体の健全性を評価することにより、信頼性向上に寄与するメンテナンスのあり方を示す。

実証事業の成果

【洋上SS】

- ・暴露部及び浮体内の構造・電気・船装・塗装の点検を実施し、浮体の状態を確認した。
- ・COBハル没水部、アップーコラムのアノード交換を実施した。
- ・ヘリネットの交換を実施した。
- ・メンテナンスの履歴を整理した。



【5MW風車浮体】

- ・暴露部及び浮体内の構造・電気・船装・塗装の点検を実施し、浮体の状態を確認した。
- ・浮体を浮上させ、ムアリングデッキ・係留部分における構造・塗装の状態を確認した。
必要な箇所については、錆落としと再塗装作業を実施した。
- ・暴露部垂直梯子を取付けた。
- ・メンテナンス履歴を整理した。



【メンテナンスの検証】

- ・過剰ではない適切なメンテナンスを実施していることを確認した。

【信頼性向上に向けて】

- ・今後も継続した保守点検を実施し、不具合箇所を早期発見することが重要。
- ・メンテナンス履歴を分析し、不具合発生頻度と信頼性影響度をかけあわせたリスク評価。

○浮体の信頼性を検証するために、メンテナンスマニュアルを運用し完成度の向上を行うとともに、過年度の実証試験成果を適用し、浮体の信頼性向上を図る。

現状認識と研究の目的

浮体を運用し、的確な保守・点検を行う事で、浮体の信頼性を維持する。
過年度の実証試験成果を適用することにより、浮体の信頼性を向上させる。

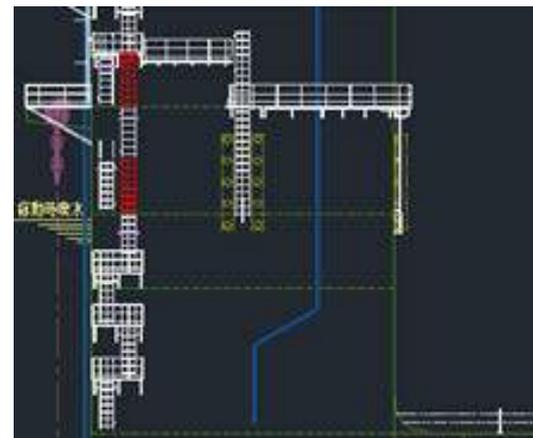
実施方法

- N K 要求の年次点検、メンテナンスマニュアル記載の6ヶ月点検・ダイバー点検を実施し、検証・評価する。
- 浮体上の計測システムの保守・点検を行う。
- 昨年度までの運用で必要性が明らかになった機器・システムを搭載して運用し、効果を検証する。

期待される成果（アウトプットイメージ）



潜水士による浮体海面下部の目視点検



アクセス改修

○NK要求の年次点検、マニュアル記載の6ヶ月点検を実施し、信頼性を検証・評価した。

実証事業の成果

○NK年次点検

- ・年次検査に先駆けて、検査計画書・検査要領書・メンテナンスマニュアル・保守点検記録・自然環境に関する記録の書類を改訂した。
- ・平成31年1月17日にNK東京支部にてNK検査官による年次検査を受検し、無事合格。船級証書裏書を受領した。

○マニュアル記載の6ヶ月点検

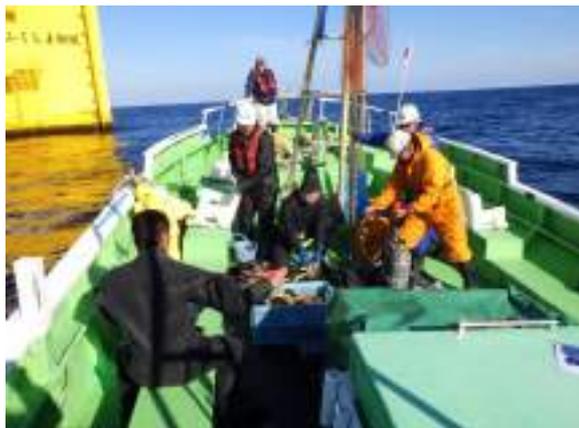
- ・平成30年10月と平成31年2月に浮体海面上部の目視点検と保守を実施し、浮体設備の信頼性を維持出来ていることを確認した。

○ダイバー点検を実施し、信頼性を検証・評価した。

実証事業の成果

○潜水士による浮体海面下部の目視点検

- ・恒久対策工事完了後、約4カ月が経過した2018年11月16日に、浮体構造で相対的に高応力が発生する箇所についてダイバー点検を実施した。
- ・事前に、ブラケットのトールなどの高応力が発生し得る箇所を選定し、それらの箇所について目視点検を実施した結果、ペイントクラックなどの異常はなく、すべて健全な状態であることが確認できた。
- ・第二回目のダイバー点検は、2019年2月11日に実施し、ここでもすべて健全な状態であることを確認した。



小型船上での潜水準備



大型鉛直ブラケットトール
(2016年10月き裂発生位置)



ストラット付きブラケットトール

○浮体上の計測システムの保守・点検し、またアクセス設備・バラストタンク内艀装品を改修し、信頼性向上を確認した。

実証事業の成果

○計測システムの保守・点検

・計測システムを構成するハードウェアの更新を実施し、昨年度不安定だったシステムが安定した。

○必要性が明らかになった機器・システムの搭載と検証

・アクセス設備の改修によりローハルからコラムトップへの安全なアクセスを可能に、バラストタンク内にアノード設置により塗装のみでは担保が難しいタンク内艀装品の健全性を確保、ポンプ室に揚荷装置を設置することにより保守作業の安全性向上と省人化を図るなど、浮体設備運用時の信頼性を向上させた。



アクセス設備の改修



バラストタンク内アノード



ポンプ室への揚荷装置設置

○定期点検の効率化を行うべく月例巡視移行項目の検討及びカメラ設置による作業簡略化項目の検討を行う。

現状認識と研究の目的

- ①定期点検の実施
- ②定期点検の作業効率化

実施方法

- ①通常の定期点検を実施する。
- ②カメラ搭載して、機器状態を確認することでどれだけ定期点検やトラブル修理が効率化されるか検証する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

PAGE 2/8
XS-0-007002

3. 定期点検項目と時期

※ 1. 定期点検項目

項目 (O: 実施済)	点検内容	4月 実施	5月 実施	6月 実施
1-1	ブレードの点検	○	○	○
1-2	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
1-3	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
1-4	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
1-5	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-1	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-2	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-3	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-4	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-5	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-6	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-7	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-8	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-9	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-10	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-11	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-12	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-13	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-14	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-15	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-16	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-17	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-18	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-19	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
2-20	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-1	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-2	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-3	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-4	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-5	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-6	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-7	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-8	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-9	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-10	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-11	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-12	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-13	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-14	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-15	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-16	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-17	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-18	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-19	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○
3-20	ブレードの点検(ブレード洗浄)	○	○	○

浮体式風車の点検業務効率化。
(点検要領書の見直し等)

- 定期点検を8月20日～8月30日に実施し、特段問題は見られなかった。1年点検を2、3月に実施した。
- これまでの定期点検結果を踏まえメンテナンスの効率化の検討を行った。

実証事業の成果

- ① 定期点検:8月20日～8月30日に実施し、2019年2月18日～3月2日に5年目1年点検を実施した。また、特段異常がないことが確認された。



ヨーブレーキの点検



配線チェック



ピッチベアリング 給脂



ボルト軸力確認

- ② 効率の良い予防保全手法:
- (a) 常駐員を活用したメンテナンス実施の為、丸紅殿に初動対応及び半年点検(8月17日～19日及び9月26日～28日)、1年点検(2月18日～25日)のメンテナンス教育を実施した。またO & M専門会社が福島2MW浮体風車のメンテナンスマニュアルのレビューを行った。(インタビュー実施期間：1月29日～2月6日で、現地視察日は2月3日)日立社内の各関連部署と打合せを実施し、改善できる点を指摘していただいた。その結果としてレポートが発行された。
- (b) 異常・状態確認のためのカメラ設置の検討
現地の状況をメンテナンスの前に確認できるようにするため、ナセル内部と浮体屋外部に遠隔監視カメラを設置した。
- ③ 効率の良い点検を行うための方法:
- ・O & M専門会社が福島2MW浮体風車のメンテナンスマニュアルのレビューを行った。また、日立社内の各関連部署と打合せを実施し、改善できる点を指摘して頂いた。(インタビュー実施期間：1月29日～2月6日で、現地視察日は2月3日) その結果としてレポートが発行された。

○風車の信頼性の検証を行うため、定期点検、機器点検効率化の研究、火災関連装置の研究を行う。

現状認識と研究の目的

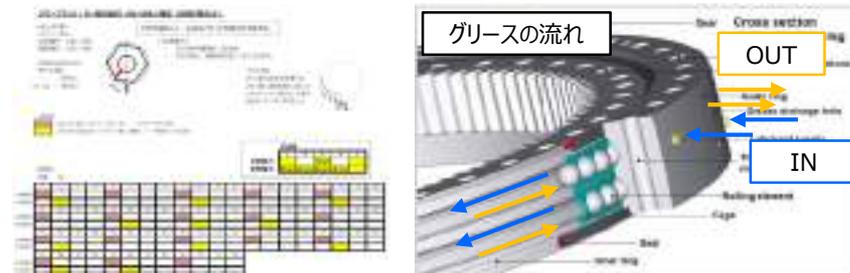
- ①高い稼働率を維持するための定期点検実施とその内容の効率化する。
- ②点検効率の向上に寄与する手法を研究する。
- ③火災を防ぎ、かつ万一発生時も被害を最小限にする手法の研究を行う。

実施方法

- ①年2回の定期点検の実施し、点検項目を検証するとともに、必要があれば改良が必要な機器を改良する措置を行う。
- ②大型ボルトの軸力管理手法に関する研究および自動給脂装置に関わる信頼性の研究を行う。
- ③自動消火システム関連装置の評価、検証を行う。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- ②大型ボルトの軸力管理手法の改善および軸受内グリス流れを可視化（実験or解析）



・大型ボルトの軸力管理手法

・軸受内グリス流れを可視化

- ③自動消火システムの性能実験を行い、消火性能および効果の評価、検証を行う。



○風車の信頼性の検証を行うため、定期点検、機器点検効率化の研究、火災関連装置の研究を行った。

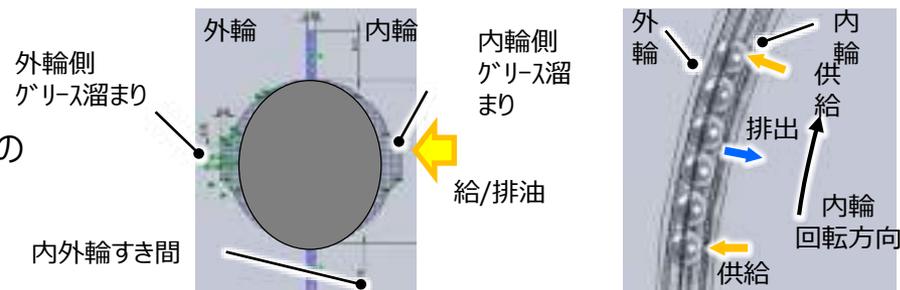
実証事業の成果

① 定期点検実施：8月5日～9月16日および2月15日～3月15日に定期点検を実施した。海象条件の影響で計画通りの点検を実施することはできなかったが、大きな不具合および修理箇所はなかった。

② 洋上特有の点検項目の追加

a) グリースの流れの可視化：

粒子法を用いて軸受内部のグリースの挙動を解析し、グリースの供給ポイント数とグリース拡散範囲の関係を明らかにした。



粒子法の解析モデル概要

b) 自動消火システム：

12月18日に火災の発生のある可能性のある風車制御盤に、実際に火をつけ自動消火システムを作動させて試験を行い消火性能を確認した。

③ 効率の良い点検を行うための方法

a) O & M 専門会社が福島 5 MW 浮体風車のメンテナンスマニュアルのレビューを行った。また、日立社内の各関連部署と打合せを実施し、改善できる点を指摘して頂いた。(インタビュー実施期間：1月29日～2月6日で、現地視察日は2月3日) その結果としてレポートが発行された。



自動消火システム
実験の様子

大型ボルトの軸力
管理実験の様子

b) 大型ボルトの軸力管理手法：

各施工方法（テンショナー法、トルク法、角度法）により得られた「軸力-伸び」特性の結果から、伸びを管理することで増し締め点検を省くことが出来る見込みを得た。この方法でタワー接続部のメンテナンス性を改善する。

2-2. 7MW風車

○ 信頼性向上のため、ビデオ通話環境や治具などのツールを使用した保守を実施、また浮体揺動を考慮した保守管理について実証研究結果を反映する。（着眼点：効率的なメンテナンス）

現状認識と研究の目的

【これまで得られた成果】

- ① 風車保守時の洋上・陸上間ビデオ通話実現。
- ② 複数年周期の交換部品に対して、現地施工要領変更や治具改良を施し、保守要領を安全かつ効率的なものへ改善。
- ③ 世界最大級翼（81.6m長さ・最大幅5m超）の翼点検をロープワークで実現、コラムトップクレーンを用いた落雷点検手法を確立。

【今年度の目的】

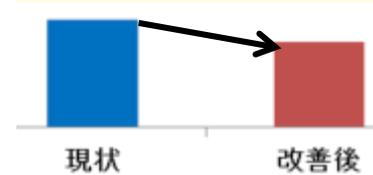
- ① 効率的な風車保守点検と実現することで、大型浮体式風車の信頼性向上、品質の向上を図る。
- ② 実証研究結果を反映し、浮体風車特有の環境を考慮した維持管理マニュアルへの改訂。

実施方法

- ① 構築した洋上・陸上間のビデオ通話環境を利用し、クラウド環境を利用したペーパーレス化など組合せ、風車点検業務の効率化を図る。
- ② 大型浮体風車の保守作業における品質の向上と信頼性向上を図る。
- ③ 浮体風車特有の揺動するナセル上での重量物の運搬・荷役作業検討を反映し、課題の抽出を行う。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- ①・② 浮体大型風車の風車点検業務効率化（保守時間低減）



- ③ 重量物の運搬・荷役作業検討



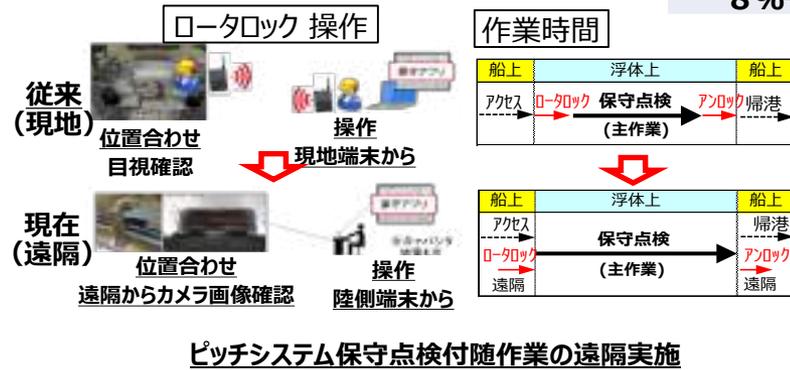
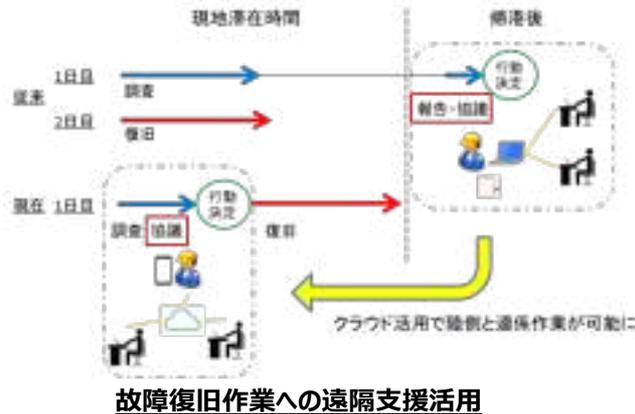
課題の抽出を記載した書類

2-2. 7MW風車

- 洋上・陸上間のインターネットビデオ通話環境とクラウドサービスを活用し、風車の保守点検効率を活用前比13%向上させた。
- また、洋上での保守点検中に、多数の陸側の専門家と同時連携することができ、保守点検品質と信頼性が向上した。
- 揺動する浮体上で、信頼性を損なわず、重量物を上架させるための要領書を作成し、実用化時の課題を抽出した。

実証事業の成果

項目	実施内容	2018年度の改善/成果	保守業務量低減率 (2017→2018)
1 定期点検	1)クラウド活用 2)年次/半年点検	1)クラウド活用しチェックシート電子化。iPadで入力/管理での現地作業の省力化。(▲3人日) 2)油圧ホース等点検箇所へのマーキング施工による点検時間削減及び品質向上。(▲1人日)	3%→4%
2 定期保守	1)作業の標準化	1)油圧バルブ交換作業の作業手順(要領・人員・時間)改善。(▲2人日) 2)保守時の作動油処置要領の改善。(▲1人日)	2%→3%
3 翼点検	1)ロープワーク点検	1) 29年度の作業要領と実績を踏まえたロープワークによる点検実施。(H29 年度カウント済)	1%→1%
4 遠隔監視・支援	1)遠隔操作 2)ビデオ通話環境とクラウドで遠隔支援	1)設置されたカメラを利用し、現地アクセス前に遠隔で前段取り作業実施。(▲2人日) 2)多数の陸側の専門家と同時連携でき、現地アクセス員の削減・現地保守点検の品質・信頼度向上。(▲14人日)	2%→5%
5 浮体内の運搬荷役	上架作業要領検討及び課題抽出	ガイドロープでタワー内荷役中の揺動を軽減する要領書を作成。実用化に対する課題として、長尺ガイドロープ収納、重量制限等の課題を抽出した。	-
合計			8%→13%



○機器の点検・メンテナンスを通じたデータ収集時系列化

実証事業での目的

昨年度同様に機器の点検・メンテナンスを通じてデータ収集し時系列化を行い、効率・信頼性向上を目指したメンテナンスを検討する。

実施方法

下記機器の点検を実施し、健全性を確認する。

- ①GIS（外観点検、遮断器動作確認）
- ②TR（外観点検、油中ガス分析）
- ③SWGR（外観点検）
- ④HISMAC（外観点検）

期待される成果（アウトプットイメージ）

項目		1. 外観・据付点検(1/4)		管理シートNo.	MK003A-R3			
		点検日	2017年 11月 6日	点検者	佐藤・井手			
		・安全区画養生 ◎:重点ポイントを記載		・設備へのリスク管理 ◎:重点ポイントを記載				
		・周辺機器に接触し怪我。 ◎:照明を確保し周囲の確認。		◎:盤面機器の損傷防止。 ・周辺設備の養生。				
項目	No.	点検項目	盤No.	H1	H2	H3	H4	
			用途名称	1号風車 (52F1)	2号風車 (52F2)	3号風車 (52F3)	予備 (52F4)	
			判定基準	製造番号	117361-1	117361-2	117361-3	117361-4
環境	1	据付場所の温度、湿度に異常はないか。	局部の高温・高湿がないこと	度	度	度	度	
	2	据付場所の周囲に危険なボテンシャルはないか。	危険な要因がないこと	度	度	度	度	
盤の据付	1	盤の据付状態及び水平度、垂直は良いか。	水平、垂直に異常がないこと	度	度	度	度	
	2	列盤相互の状態は良いか。	列盤に不揃いがないこと	度	度	度	度	
	3	ベースと盤及び列盤の据付は良いか。	締付、据付に異常がないこと	度	度	度	度	
その他	1	盤取付器具の破損、脱落はないか。	破損、脱落がないこと	—	—	—	—	
	2	ネジ、ボルト類の締付に緩みはないか。	緩みがないこと	—	—	—	—	
	3	塗装の剥離、めきの変色、錆の発生はないか。	剥離、変色、発錆がないこと	度	度	度	度	
	4	異物はないか(特に横ガス、縦ガス廻り)	異物混入がないこと	—	—	—	—	
	5	盤内は清掃されているか(特に主回路)	塵埃がないこと	—	—	—	—	

点検作業を通じて、機器の健全性の確認を行う。

2-3. 変電設備

- 今年度実施の点検・メンテナンス内容の検討を行った。
- 実際に測定を行い、不具合発生有無を明らかにした。

実証事業の成果

点検の実施

運用開始以降約5年を経過してもなお、初期トラブルを含めたトラブルは見られない。現状では洋上変電設備を検討するにあたり、陸上の変電設備に追加し、必要なメンテナンス及び部品交換等は要しない状況である事が確認されたため、今年度も昨年同様のメンテナンス内容を1月15日～17日に実施した。

結果として以下を確認したことにより健全性として問題ないことを確認できた。

- ①今回メンテナンスの結果問題なかったこと
- ②過去のメンテナンス結果と比較して変わらない結果であること

T Rガス分析結果

		2014/9/17	2016/2/19	2017/11/6	2019/1/7
ガス成分名	判定基準	溶解ガス成分量(ppm)			
一酸化炭素	300以下	77	83	84	98
水素	400以下	26	19	24	27
メタン	100以下	3	4	4	5
エタン	150以下	検出されず	微量	検出されず	微量
エチレン	10以下	検出されず	微量	検出されず	微量
アセチレン	0.5以下	検出されず	検出されず	検出されず	検出されず
T. C. G	500以下	106	106	112	130

G I S開閉測定結果

試験項目	判定基準	201/2/21	2014/9/17	2016/2/19	2017/2/26	2017/11/6	2019/1/7
開極時間(ms)	88以下	66	80	66	84	84	86
三相不揃時間(ms)	1以下	-	1	-	1	1	1
開極時間(ms)	42以下	32	39	34	42	40	42
三相不揃時間(ms)	1以下	-	1	-	1	1	1

また、今回電力会社送電線が停止不可のため停電条件が一部異なる部分が存在するが、作業内容は昨年と相違ない点検が行えることを確認できた。このことから需要家側の都合（風の弱い時期等）で点検を行うことが可能となる。

2-4. 送電システム

- 経年調査、海洋生物除去・追加ブイ設置及び補修工事を行い、20年間の維持管理手法と海洋生物付着を考慮したライザーシステム設計手法を明らかとする。

現状認識と研究の目的

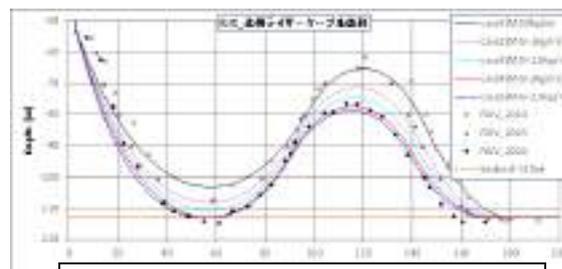
- ◆ 課題：送電システムの維持管理手法や海洋生物に対する対策、海洋生物付着を考慮したライザーシステム設計手法が明らかになっていない。
- ◆ 目的：20年間の維持管理手法と海洋生物付着を考慮したライザーシステム設計手法を明らかとする。

実施方法

- ◆ ROVによる既設ケーブル形状及び海洋生物付着状況を調査し、画像解析により付着厚さ等を確認する。
- ◆ ケーブル形状解析にて海洋生物付着の影響（重量増推定）を確認し、ライザーシステム設計手法を検討する。
- ◆ 海洋生物付着対策として、付着除去・追加ブイ設置及び7MW風車のライザーケーブル損傷部の補修工事を実施する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- ◆ 既設ケーブル形状、付着状況（厚さ等）、重量増推定（形状解析による年平均重量増推定）



ケーブル形状解析及び重量増推定例



付着状況例

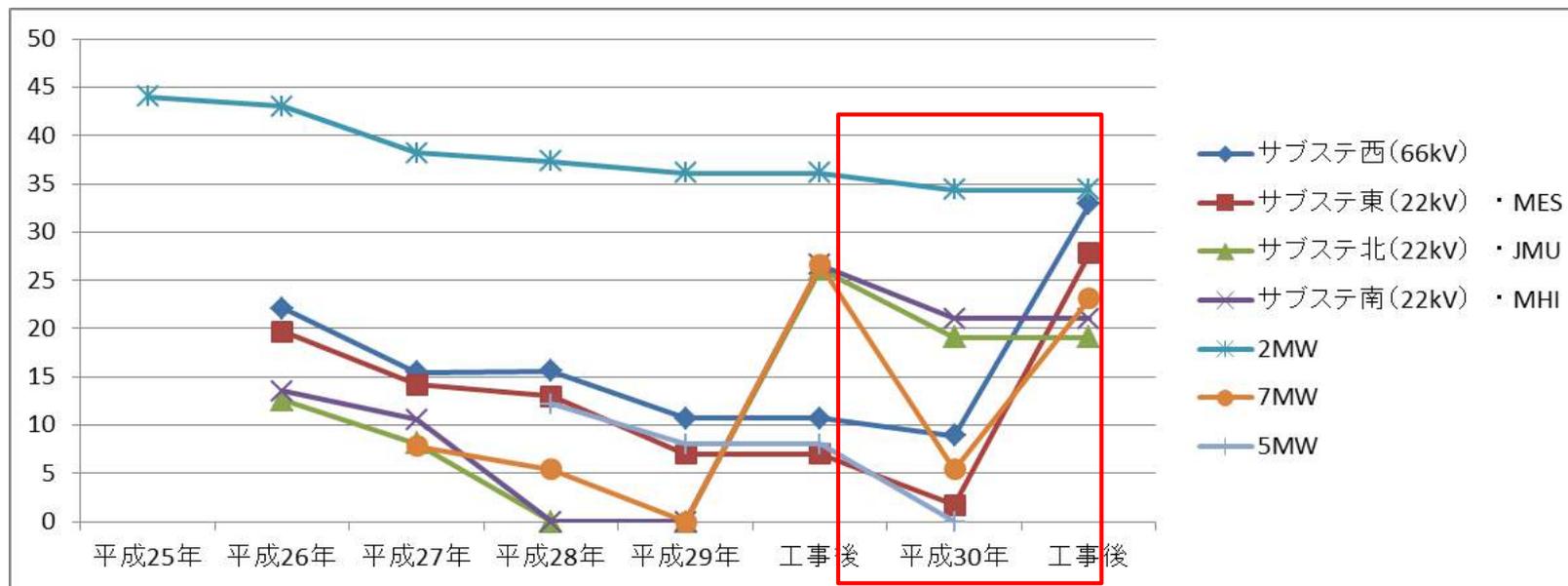
- ◆ 海洋生物付着を考慮したライザーシステム設計手法まとめ
- ◆ ライザーケーブル再浮上工事後のケーブル形状復帰（線形確認）
- ◆ 防汚対策を含む恒久的な海洋生物付着対策の効果検証
- ◆ 20年間の維持管理手法のまとめ

2-4. 送電システム

○ 経年調査を実施した結果、H29年度にフジツボ除去を行った3箇所のうち7MWライザーにて20mを超える大幅な再沈下を確認。H30年度は7MWライザーを含む4箇所の再浮上工事を実施した。

実証事業の成果

- 大量のフジツボ付着により、ライザーケーブルが沈降し続けている。
- 経年調査の結果、7MWライザーでの大幅な再沈下、5MWライザーの着底が確認された。
- 7MWライザーを含む4箇所のライザーケーブル部でフジツボ除去&追加ブイ取り付けを実施し、全ライザーケーブルにおいて海底面から約20m以上の離隔を確保した。



経年調査結果 (ライザー最下点の海底までの距離)

2-4. 送電システム

- 7MWライザーの破損部補修工事を実施した。
- ブイに塗布したシリコン系防汚塗料の2年目効果を確認した。また恒久対策として考案したネットもフジツボ付着防止効果（1年間後の効果）のあることを確認した。

実証事業の成果

<破損部補修>

昨年発見された7MWライザーケーブル破損部の補修工事を実施した。内部の鉄線がい装には腐食・損傷が見られないことを確認した。



亀裂状況



パテ補修



テーピング補修

<防汚塗料効果の確認>

・H28年度に設置したシリコン系防汚塗料（ケーブル部・ブイ）の2年後効果を確認した。詳細次ページに示す。

・異なる防汚塗料メーカーへのヒアリングにより、自己研磨型防汚塗料が開発されており（販売開始は2年前）、膜厚管理により（8回重ね塗り）20年効果が理論的に期待できるとの情報入手した。根本的な対策になる可能性あり。

<フジツボ対策効果の確認>

フジツボ付着防止の恒久対策案としてH29年度に設置したネットの1年後効果を確認した。ネット内部のブイにはフジツボの付着が見られず、高い効果を発揮することが確認された。



ネット装着状態

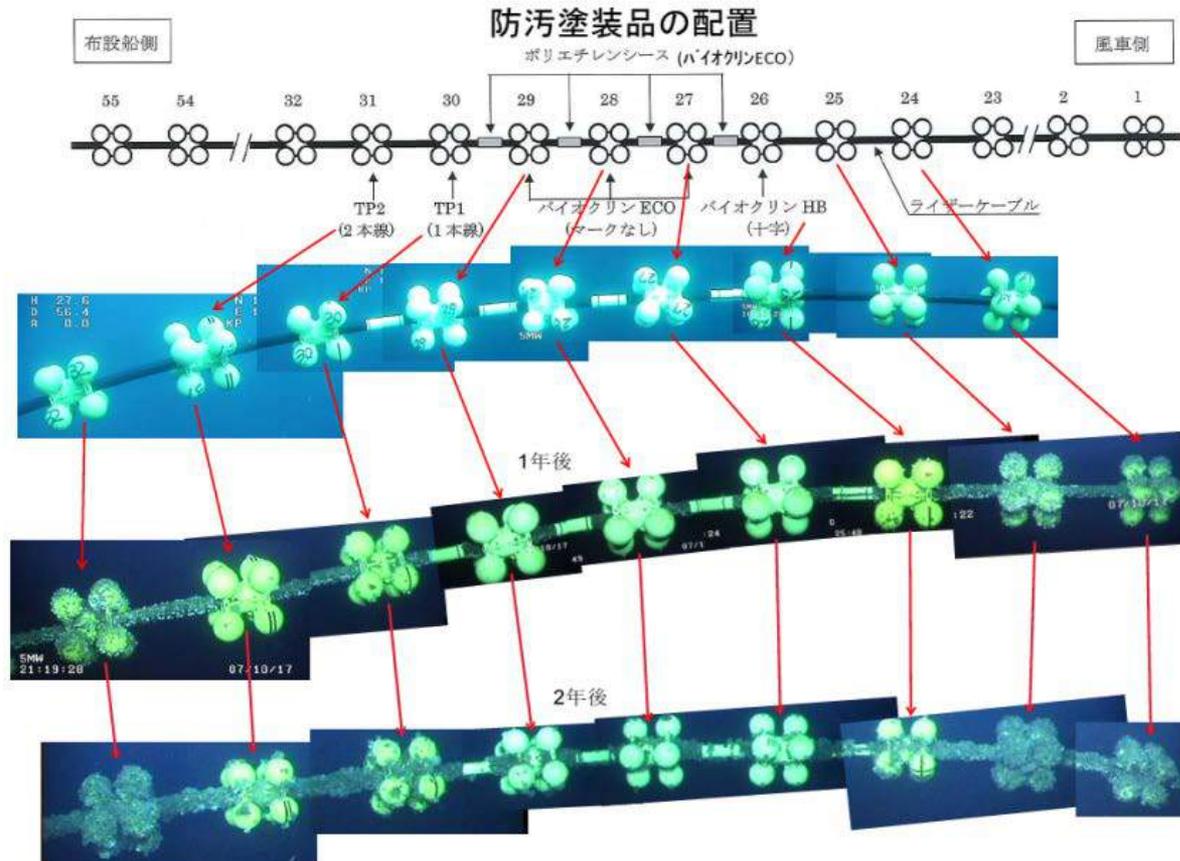


ネットの中のブイ

2-4. 送電システム

実証事業の成果

シリコン系防汚塗料の効果



防汚塗料が2年後も十分効果を発揮していることが確認できた。

2-4. 送電システム

○ 既設ライザーケーブルの画像解析及び静的形状解析を行った結果、付着厚さ（45～67mm）と推定付着量（0.3～1.1kg/m）を明らかとした。

実証事業の成果

◆ 画像解析による付着厚さ

・ 画像解析の結果、ケーブル部の海洋生物付着厚さは、約45～67mm程度となった。

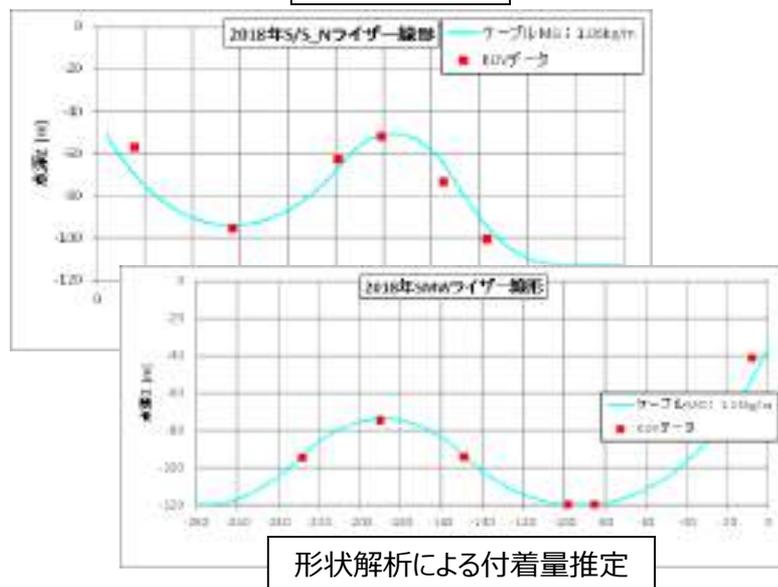
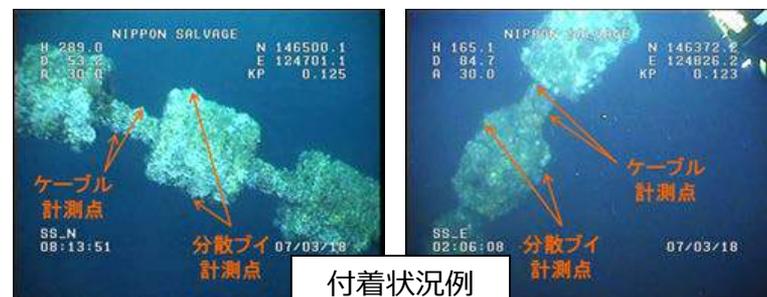
◆ 静的形状解析による付着量推定

・ 静的形状解析の結果、ケーブル部の付着量は年平均推定で0.3kg/m～1.1kg/mとなることが分った。

◆ 海洋付着物密度

・ 上記付着厚さと付着量推定結果から、既設ライザーケーブルに付着している海洋生物の等価密度は、推定1,070kg/m³～1,170kg/m³となることが分かった。

ケーブル部付着厚さ ブイ部付着厚さ	44.9～67.4mm 56.9～91.3mm
ケーブル付着量（年平均）	0.3～1.13kg/m
等価密度	1,070～1,170kg/m ³ (DNV2017 : 1,325kg/m ³)

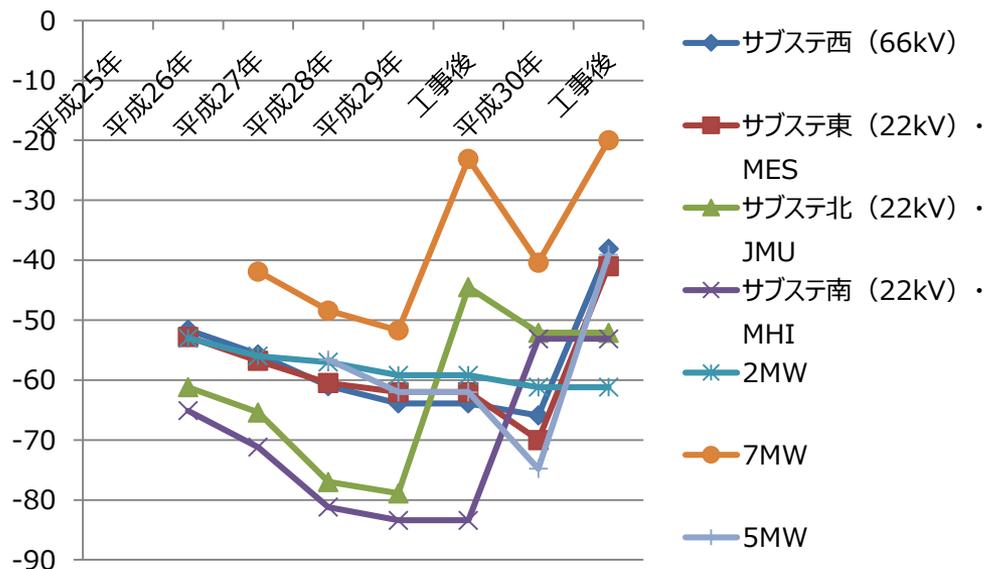


2-4. 送電システム

○ 中間ブイ水深毎の経年データ整理及び施工時期・方向性の観点からデータ整理を行い、フジツボ付着状況の有意差要因を推定し、水深の影響であることが明らかとなった。

実証事業の成果

ライザーケーブルブイトップの水深 (m)



経年調査結果 (ブイトップ水深)

・ブイトップの水深を比較すると、7MWライザーが他ライザーに比べ約20m以上も浅いことが確認できた（動揺最大がその要因）。これが、7MWライザーにマリングロスが付着しやすい理由と推測される。

フジツボ推定付着量

設置箇所・方向	施工時期	フジツボ推定質量
①2MWライザー (東西方向)	H25年	藻のような種類がメインで、フジツボ系は少ない。フジツボ推定質量：0.3～0.6kg/m
②サブステ東西ライザー (東西方向)		
③サブステ南北ライザー (南北方向)	H26年	H26年施工からは明らかにフジツボがメインとなった。フジツボ推定質量：0.6～1.1kg/m (フジツボ除去区間は1.5～)
④7MWライザー (東西方向)	H27年	H28年
⑤5MWライザー (東西方向)		

・施工時期の観点からは、H25年はフジツボが少なく、H26年以降は明らかにフジツボがメインとなり、付着質量が増加していることが確認できた。

・方向性の観点では、潮流が南北方向メインであることから、南北への付着が東西より相対的に容易と推定され、最初に南北の着底が起きたものと推測している。

2-4. 送電システム

○ 恒久対策として、大型ブイ+錘方式を検討し、事業期間も含めてメンテナンスフリーが実現できる見通し
が得られた。

実証事業の成果

フジツボ対策検討

	対策方法	結果	現状への適用
①再浮上対策	・沈降・着底を回避するためには、フジツボ除去及びブイ追加が必要	・技術的に除去可能であることが確認でき再浮上させたが、除去部へフジツボが再付着し、頻繁なメンテが必要	定期的な除去のみでは20年持続不可
②追加対策1	・シリコン系防汚塗料の塗布（初期効果）	・追加ブイ及びケーブルにてフジツボ付着防止効果が確認できた（2年）	追加ブイへの適用は可能だが、既設への適用は不可
③追加対策2	・ネット装着（恒久的効果を期待） ・新型防汚塗料（自己研磨型）	・追加ブイにてフジツボ付着防止効果が確認できた（1年） ・新塗料は20年効果が理論的に可能	②との併用により既設ブイへの適用も可能
④追加対策3	・大型ブイ+錘方式	・事業期間も含めて、メンテナンスフリーを実現できる見通しが得られた	最も有効性が高い
⑤自然落下	・自重による自然落下を期待	・本PJでは未だ確認できず（5年経過）	—

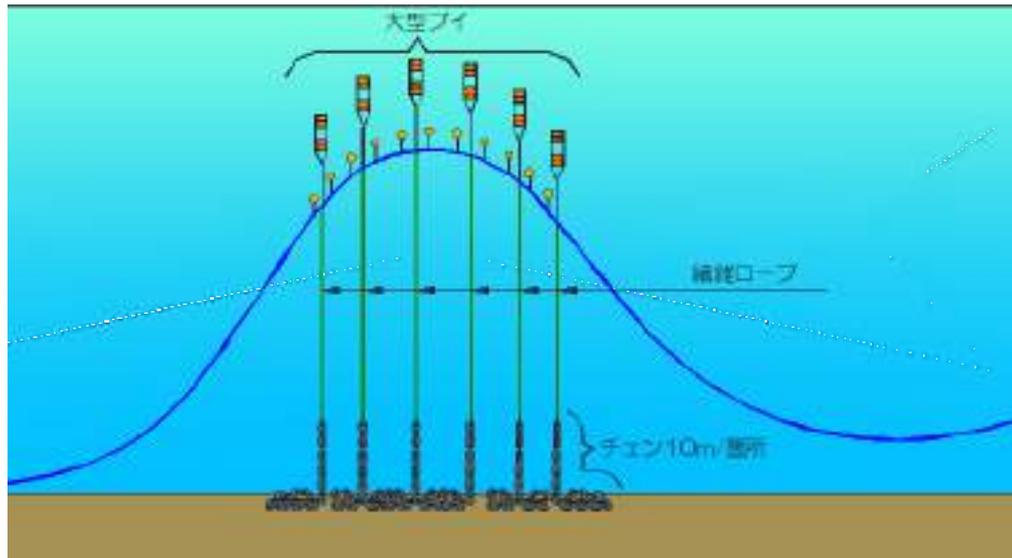


: ライザーケーブルの維持管理手法検討WGにおいて最終対策として決定した

2-4. 送電システム

実証事業の成果

・大型ブイ+錘工法の概要



・作業手順

- ①ライザーケーブルをクレーン台船にて海面近くまで引き上げる
- ②ダイバー作業にて大型ブイ（浮力約500kg/個）を必要個数取り付ける
- ③バランサーとしての錘（チェーン）をライザーケーブルに取り付ける
- ④クレーン台船にてライザーケーブルを引き下ろす

<期待される効果>

- ・単に事業期間中に付着するフジツボ質量を担保できる大型ブイを取り付けると浮きすぎてしまい、ライザーケーブルシステムが成立しない
- ・そこで、バランサーとしての錘を付加することで、ライザーケーブル線形を適度な水深に維持できる。
- ・仕組みは、フジツボが付着しケーブルが沈降すると錘も着底していき、その分の浮力が回復し、ケーブルが浮上する。また、フジツボが自然落下した場合は、着底した錘が引き上げられ、その分の浮力が失われる という形で、錘により上下のバランスが保たれ、ライザーケーブルの線形が維持できる。

2-4. 送電システム

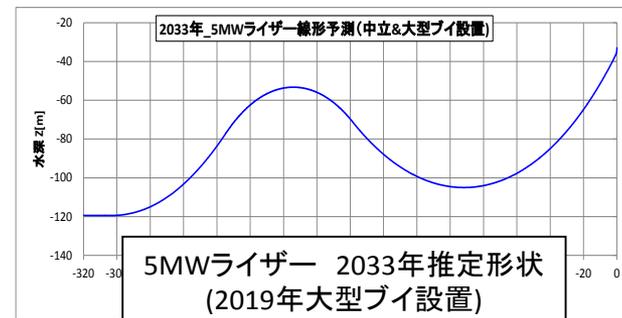
○ 海洋生物付着対策として大型ブイ及び錘設置によるライザーシステムの挙動検証及び疲労検証を行った結果、2033年までメンテナンスフリーを実現できる見通しであることが確認できた。

実証事業の成果

◆ 大型ブイ必要数量解析

・ 2033年までメンテナンスフリー(着底しない)を実現する大型ブイ数量を形状解析にて検討した結果、必要なブイ数量を明らかとした。

	S/S_E	S/S_W	S/S_N&S	2MW	5MW
必要ブイ数量 (-483.5kg/個)	6個	7個	12個	6個	13個



◆ 大型ブイ設置による挙動検証

・ 2019年度に大型ブイを設置した場合の静的及び動的挙動を検証した結果、ケーブル最大張力及び最小曲げ半径とも許容範囲に収まることを確認した。

◆ 大型ブイ設置による疲労検証

・ 大型ブイを設置した場合の疲労(統計疲労)を検証した結果、設計寿命20年を満足する結果となることを確認した。

3. 経済性の検証に向けた研究

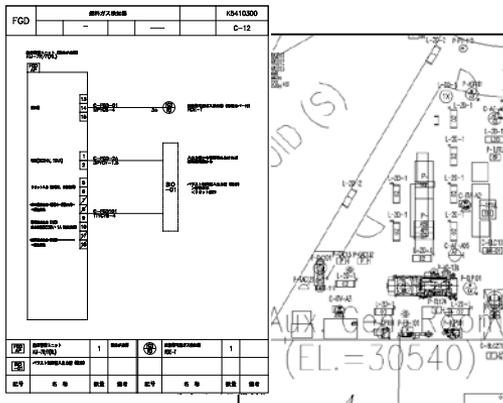
3 - 1. SS、5MW浮体

- 浮体状態監視システムの改良・強化と遠隔バラスト調整試験を実施し、訪船回数の最適化による維持管理コストの削減見通しを示す。
- 上記による訪船回数の最適化を行い、維持管理費用の削減への寄与を明らかにする。

現状認識と研究の目的

事業化時の課題の一つとして、状態確認のための訪船回数の最適化による維持管理費用削減が考えられる。そのため、H29年度の検討結果に基づき、訪船による直接検査の頻度を削減できる浮体状態監視システムの改良・強化による改善策を提案する。

実施方法

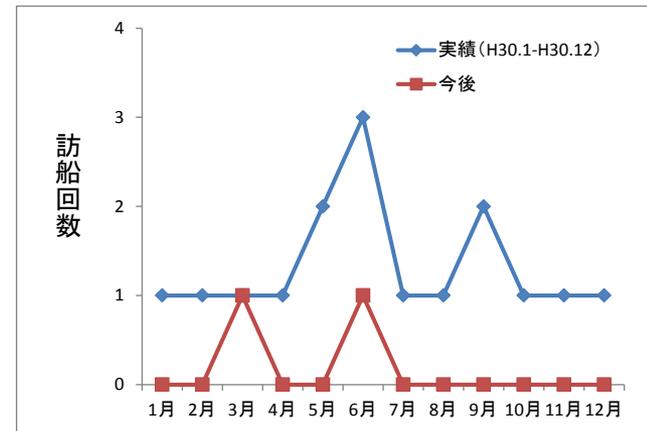


ガス検出器
(接触燃焼式ガスセンサ)

ガス検知器の追加工事を実施し、その実効性を確認する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

訪船回数の削減による維持管理費用削減効果が期待できる。



3 - 1. 5MW浮体

- 浮体状態監視システムを強化し、5MW浮体及び洋上変電設備浮体の補助発電機室に、それぞれガス検知器（接触燃焼式ガスセンサ）を設置した。これにより、発電機の遠隔始動前に行われていた訪船による補助発電機室内の燃料漏れの直接検査が必要なくなり、訪船回数の最適化による維持管理費用削減が図れるようになった。
- 浮体の陸上監視操作盤からの遠隔バラスト調整試験を実施し、問題なく運用できることを確認した。これにより訪船による直接操作によらずバラスト調整を行うことが確認され、訪船回数の最適化による維持管理費用削減が図れるようになった。
- 上記により訪船回数は、年間16回の訪船が1割ぐらいいまで減る見通しとなった。

実証事業の成果

- ① 浮体状態監視システムの改良による訪船回数の最適化
 - 監視装置改良及びガス検知器の設置工事を実施。
 - 燃料ガスを使用した動作確認を実施。
- ② バラスト調整作業の遠隔化による訪船回数の最適化
 - 水面下暴露部の保守点検を行う際に、陸上の監視操作盤を使用して遠隔バラスト調整を実施し、問題なく運用できることを確認した。
- ③ 維持管理費削減効果の検証
 - ガス検知器の追加により、補助発電機原動機の点検要員の訪船回数年間16回が1割ぐらいいまで減る見通しとなった。

サブステーションについての設計の考察

今回は当初の設計時間が限られており、JMUが仮に設定したSSの暴風時の最大傾斜角11.8度、左右動的最大化速度0.36Gに対して変電設備が許容できることを日立製作所が確認することとなった。その後、変電設備の最大許容値を確認するに至っていない。次回は、変電設備の許容最大傾斜角、左右動的最大化速度を先に設定し、それに合わせて浮体を小型化することで、建造費だけでなく、塗装補修面積の減少等による維持管理費用削減効果も期待できる。

3-1. 7MW浮体

- 浮体各設備の故障モードを設定し、各故障モードに対する対策とメンテナンス費用を試算した。
- 運用を通じ、点検箇所・点検間隔等保守・点検要領の合理化可能性を検討した。

実証事業の成果

- 浮体の運用を20年、想定リスクは、①機器の故障、②構造(艀装品)の破損、③塗装の損傷とし、メンテナンスコストを試算した。(下表は一部)

リスク	詳細	数量	事象	原因	検知	対策	施工	工事規模	作業人数	部品単価(千円)	作業費(千円)	数量	20年間作業回数	対策コスト(千円)	対策期間(人日)
①機器の故障	ポンプ室部品搬出入用雑用ウインチ	1	作動せず	経年故障(10~15年/回の頻度で発生と仮定)	作動試験	オーバーホール、部品交換	メーカ修理	小規模	2	400	100	1	1	500	1
			索、索具類の損傷	錆び	定期点検時確認	部品交換	施工外注	小規模	2	30	100	1	1	130	1
②構造(艀装品)の破損	マンホールパッキン	1	パッキンの異常	中間検査・定期検査の開放による	開放時目視確認	部品交換	施工外注	小規模	2	224	100	1	2	1,048	3
	ボルトドハッチ	2	パッキンの異常	ハッチ開放による	開放時目視確認	部品交換	施工外注	小規模	4	50	200	2	4	1,000	1
	通船接舷用バフパーチューブ	4	凹損、塗膜の剥がれ	摩耗、衝突	目視	塗装	施工外注	小規模	4	100	200	4	2	1,800	4
	チェーンストッパ	8	異常摩耗	青波、荷重超過	定期点検時確認	溶接、塗装	施工外注	小規模	4	100	200	8	1	700	3
	水密扉	1	漏えい	パッキン劣化	タイトネス試験、目視	パッキン交換	施工外注	小規模	2	20	100	1	1	120	1
		1	タイトネス試験	中間検査・定期検査項目	超音波式検査	専門機管による検査	施工外注	小規模	2	350		1	7	2,450	7

<メンテナンスコスト算出式> (部品単価×数量 + 作業費) × 20年間の作業回数 もしくは (部品単価 + 作業費単価) × 数量 × 20年間の作業回数

20年間のメンテナンスコストの総額は77,877千円、年平均コストは3,894千円(556円/kW)となった。

- 保守・点検要領合理化の可能性
 - ・今後も少なくとも年2回の浮体の保守・点検作業の実施が必要だが、地元業者へ業務を委託することで、移動・滞在に係るコストを大幅に削減し、試算では実証試験における点検作業実績の半分以下の費用にて行うことが可能である。
- 浮体設備の小型化により、鋼材重量で15%の削減など、コスト削減の可能性があることを概観した。

○故障予兆アルゴリズムの検証を行う。また故障予兆検知によるメンテナンス削減効果の算定を行う。

現状認識と研究の目的

- ①故障予兆検知アルゴリズムの検討
- ②過去データなどを用いた故障予兆検知アルゴリズムおよびシステムの検証と改良
- ③故障予兆検知によるメンテナンスコストの低減効果の算定

実施方法

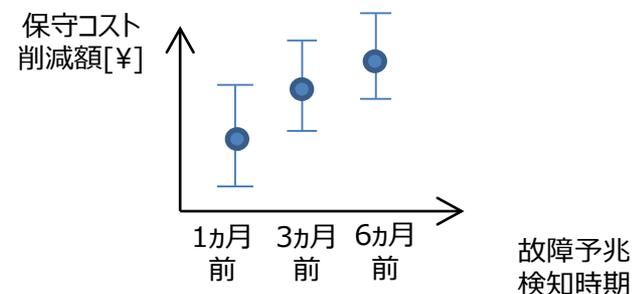
- ①平成29年度に行った、予防保全に資するパラメータの分析結果を用い故障予兆検知アルゴリズムを検討する。
- ②上記の故障予兆アルゴリズムを、様々な運転モードの計測データに適用し、正常データの異常度が小さく計算されることを検証し、そうでない場合はアルゴリズムの改良を行う。
- ③故障予兆アルゴリズムにより、故障が事前に検知できたと仮定し、その場合のどのような対策ができるか検討し、メンテナンスコストの低減効果を算定する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

①②のアウトプットイメージ



③のアウトプットイメージ



故障予兆アルゴリズムの確立・性能検証と削減が予想されるメンテナンス費用の算出

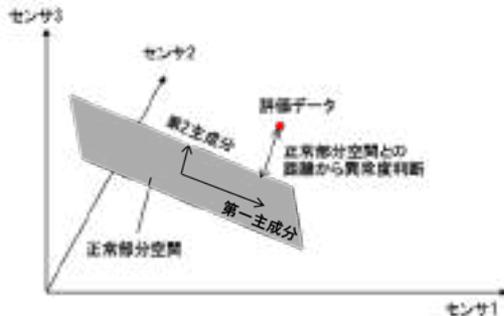
○ 主成分分析に基づく故障予兆検知アルゴリズムを検討・実装し、正常データの異常度が小さく計算されることを確認した。また、ロータ回転速度別に三つの運転モードを検討し、何れにおいても正常データの異常度が小さく計算されることを確認した。

実証事業の成果

①故障予兆アルゴリズムの検討

主成分分析に基づく異常検知アルゴリズムの検討と実装

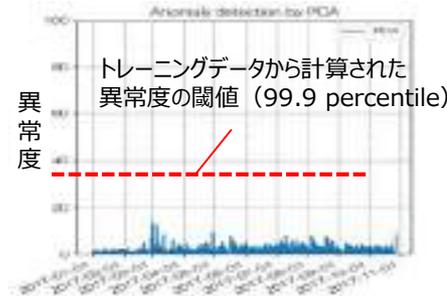
多変量のデータに対してPCA(Principal Component Analysis、主成分分析)を実施し、正常部分空間を抽出する。正常部分空間との距離から評価点の異常度を算出する手法である。



②故障予兆アルゴリズムの検証

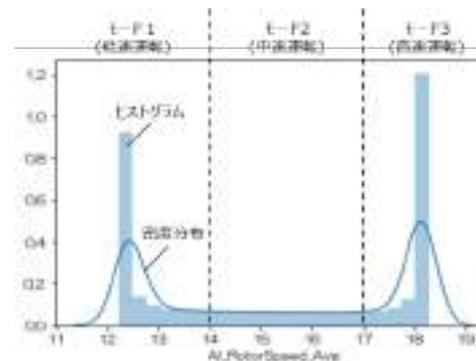
- 対象：福島洋上浮体2MW機
- トレーニング期間：2016/01/01~2016/12/31
- 評価期間：2017/01/01~2017/11/01
- 特徴量：増速機加速度、発電機加速度 等 7 種類

テスト計算結果



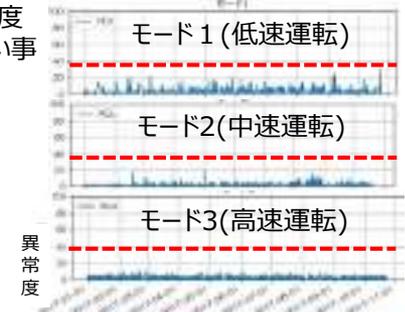
正常データの異常度が小さく計算される事を確認。

ロータ回転速度別に三つの運転モードの検討



正常データの異常度が小さい事を確認

運転モード別の検討結果



○ 開発した故障予兆検知導入による、過去の故障実績に基づくコスト低減の見積もり方法を検討し、年間約2000万円程度のメンテナンス削減効果があることが分かった。(前提条件は下記の通り)

実証事業の成果

③故障予兆検知によるメンテナンス低減効果の見積もり

1. 見積もりに当たっての主な前提条件

- 対象とするコンポーネントは発電機・ギアボックスとする。
- 人為的な原因以外の故障予兆は検知できるとする。
- 原因究明の時間は考慮しない。(故障した部品を特定できる。)
- 故障予兆診断システムの運用費用などは含めない。
- 同時に複数のコンポーネントが故障することはない。

2. 計算方法

下記の式を用いて計算する。なお、見積もりに当たって必要な平均故障回数や修繕・交換コスト、修繕・交換時間などは欧州の洋上ウインドファームの実績データ^[1]を参考にした。

$$(\text{コスト低減効果}) = (\text{保守コスト減少額}) + (\text{売電収入増加額})$$

2-1. 保守コスト減少額の計算

下記の式で計算する。

$$\sum_{\text{コンポーネント}} \sum_{\text{故障レベル}} \left\{ \left(\begin{array}{c} \text{故障対策} \\ \text{コスト} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{予防保全} \\ \text{コスト} \end{array} \right) \right\} \times \left(\begin{array}{c} \text{予兆診断} \\ \text{カバー率} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{平均} \\ \text{故障回数} \end{array} \right)$$

故障対策コスト：故障予兆検知を行わず故障が発生した時のコスト

予防保全コスト：故障予兆検知により故障が発生する前に予防保全を行った時のコスト

予兆診断カバー率：コンポーネントの故障モードの内、予兆検知で事前に検知可能なものの割合

平均故障回数：コンポーネント、故障レベル毎の1年間、1機あたりの平均発生回数

2-2. 売電収入増加額の計算方法

下記の式で計算する。

$$(\text{年間売電収入}) \times (\text{稼働時間増加}) / (365日 \times 24時間)$$

年間売電収入：対象となる洋上風車が1年間停止をせずに発電を行った時の売電収入

稼働時間増加は下記のように計算する。

$$\sum_{\text{コンポーネント}} \sum_{\text{故障レベル}} \left\{ \left(\begin{array}{c} \text{故障対策} \\ \text{時間} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{予防保全} \\ \text{時間} \end{array} \right) \right\} \times \left(\begin{array}{c} \text{予兆診断} \\ \text{カバー率} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{c} \text{平均} \\ \text{故障回数} \end{array} \right)$$

なお、故障レベルは下記の4レベルを考える。

レベル	定義
修繕レベル_小	資材費のかからない目視点検・分解整備等
修繕レベル_中	資材費が1,000€以下の修繕
修繕レベル_大	資材費が1,000€～10,000€の修繕
交換レベル	資材費が10,000€以上のコンポ交換を伴うもの

3. コスト削減効果の見積もり結果

上記の計算式を用い、予兆検知後すぐに停止を行い、交換レベルの故障が避けられたとすると、福島洋上2MW風車の場合、1機あたり年間約2000万円のコスト削減効果があると見積もれる。

[1] Anastasia Ioannou(Cranfield University), A lifecycle techno-economic model of offshore wind energy for different entry and exit instances, 2018

○取得された計測データを用い、故障予兆検知アルゴリズム及びシステムの検証・改良を行う。また、故障予兆検知によるメンテナンス削減効果の算定を行う。

現状認識と研究の目的

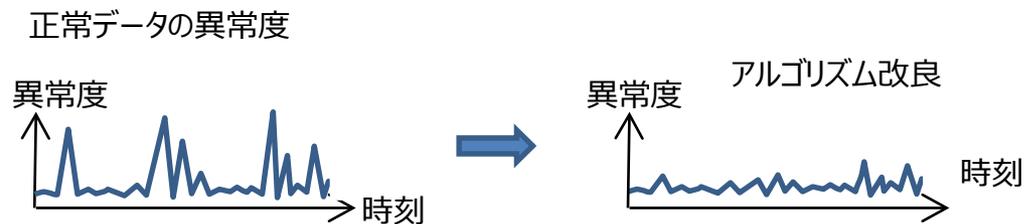
- ①過去データなどを用いた故障予兆検知アルゴリズムおよびシステムの検証と改良
- ②故障予兆によるメンテナンスコストの低減効果の算定

実施方法

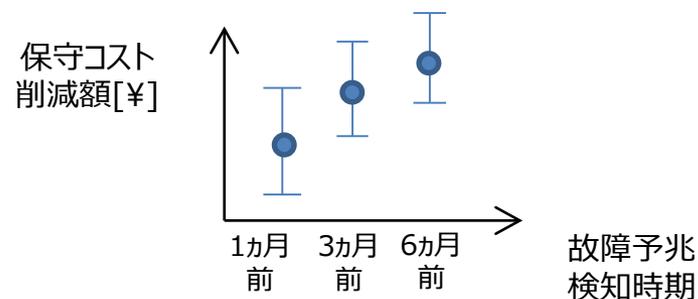
- ①平成29年度に開発を行った故障予兆アルゴリズムを、様々な運転モードの計測データに適用し、正常データの異常度が小さく計算されることを検証し、そうでない場合はアルゴリズムの改良を行う。
- ②-1：平成29年度におきた故障の計測データに対して適用し、故障が事前に検知できるか検証する。事前に検知ができない場合はアルゴリズムの改良を行う。
- ②-2：故障予兆アルゴリズムにより、故障が事前に検知できたと仮定し、その場合のどのような対策ができるか検討し、メンテナンスコストの低減効果を算定する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

①のアウトプットイメージ



②のアウトプットイメージ



故障予兆アルゴリズムの性能検証と削減が予想されるメンテナンス費用の算出

○昨年度シミュレーションを行ったライダーによる制御方法を実機に適用し、ピッチの負荷軽減を検証する。

現状認識と研究の目的

③ピッチ負荷を軽減すべく、ナセルライダーを用いた風車制御方法を確立する。

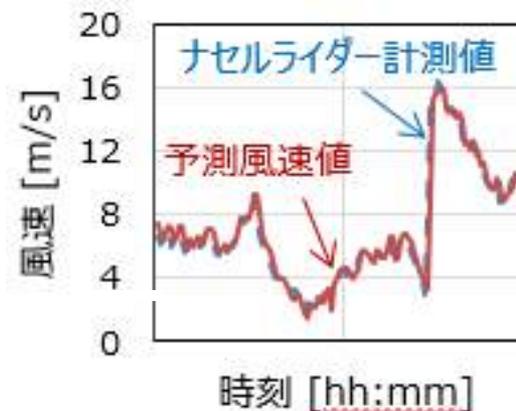
実施方法

③-1 : ライダーを使ったフィードフォワード制御のデータを蓄積し、その手法の最適化を行う。

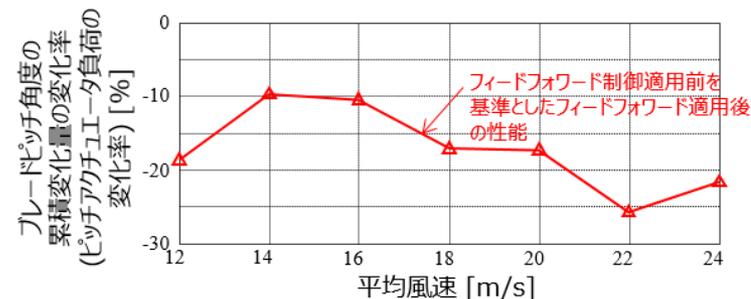
③-2 : ナセルライダーを利用した予測風速に基づくフィードフォワード制御を実装し、ピッチ角度の累積変化量および変動負荷の変化率を評価、検証する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

③-1 : ナセルライダーによる風速制御法の確立



③-2 : ピッチアクチュエーター負荷の変化率の低減



○平成29年開発のアルゴリズムであるMT法を検証し、改良が必要であることを判明した。センサーの値に対して外れ値処理を実施することでアルゴリズムを改良し、予兆診断の結果が改善されたことを確認した。

実証事業の成果

①故障予兆アルゴリズムの検証と改良

平成29年度に開発した故障予兆アルゴリズム(MT法¹)の検証を実施。

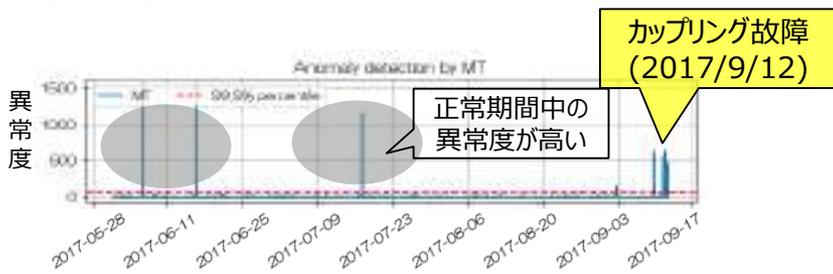
- 対象：5MW機のHSS²カップリング故障
- トレーニング期間：2017/02/01~2017/05/31
- 評価期間：2017/06/01~09/12
- 特徴量：HSS回転速度、増速機加速度、発電機加速度、軸受温度等12種類

¹MT法：Maharanobis-Taguchi法
²HSS：High-Speed Shaft

故障したHSSカップリング



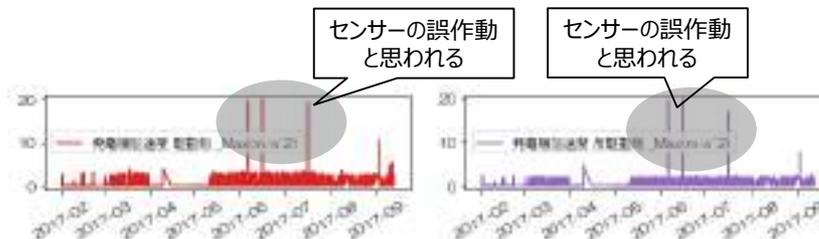
診断結果：
故障前に異常が検出したが、正常と思われる期間中に異常度が高い所があり、改良が必要。



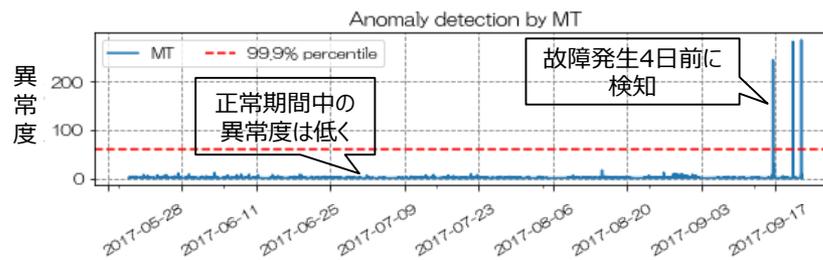
アルゴリズム改良前の異常度分布

センサーの生値を分析した結果、2つのセンサー値に異常があることを判明した。

- “発電機加速度 駆動側_Max”
- “発電機加速度 反駆動側_Max”



全てのセンサー値に対して外れ値処理を実施することで、アルゴリズムの改良を実施した。
これにより、予兆診断の結果が改善されたことを確認した。



アルゴリズム改良後の異常度分布

○ 開発した故障予兆検知導入による、過去の故障実績に基づくコスト低減の見積もり方法を検討し、年間約2000万円程度のメンテナンス削減効果があることが分かった。(前提条件は下記の通り)

実証事業の成果

③故障予兆検知によるメンテナンス低減効果の見積もり

1. 見積りに当たっての主な前提条件

- 対象とするコンポーネントは発電機・ギアボックスとする。
- 人為的な原因以外の故障予兆は検知できるとする。
- 原因究明の時間は考慮しない。(故障した部品を特定できる。)
- 故障予兆診断システムの運用費用などは含めない。
- 同時に複数のコンポーネントが故障することはない。

2. 計算方法

下記の式を用いて計算する。なお、見積りに当たって必要な平均故障回数や修繕・交換コスト、修繕・交換時間などは欧州の洋上ウインドファームの実績データ^[1]を参考にした。

$$(\text{コスト低減効果}) = (\text{保守コスト減少額}) + (\text{売電収入増加額})$$

2-1. 保守コスト減少額の計算

下記の式で計算する。

$$\sum_{\text{コンポーネント}} \sum_{\text{故障レベル}} \left\{ \left[\text{故障対策コスト} \right] - \left[\text{予防保全コスト} \right] \right\} \times \left[\text{予兆診断カバー率} \right] \times \left[\text{平均故障回数} \right]$$

故障対策コスト：故障予兆検知を行わず故障が発生した時のコスト

予防保全コスト：故障予兆検知により故障が発生する前に予防保全を行った時のコスト

予兆診断カバー率：コンポーネントの故障モードの内、予兆検知で事前に検知可能なものの割合

平均故障回数：コンポーネント、故障レベル毎の1年間、1機あたりの平均発生回数

2-2. 売電収入増加額の計算方法

下記の式で計算する。

$$(\text{年間売電収入}) \times (\text{稼動時間増加}) / (365日 \times 24時間)$$

年間売電収入：対象となる洋上風車が1年間停止をせずに発電を行った時の売電収入

稼動時間増加は下記のように計算する。

$$\sum_{\text{コンポーネント}} \sum_{\text{故障レベル}} \left\{ \left[\text{故障対策時間} \right] - \left[\text{予防保全時間} \right] \right\} \times \left[\text{予兆診断カバー率} \right] \times \left[\text{平均故障回数} \right]$$

なお、故障レベルは下記の4レベルを考える。

レベル	定義
修繕レベル_小	資材費のかからない目視点検・分解整備等
修繕レベル_中	資材費が1000€以下の修繕
修繕レベル_大	資材費が1,000€～10,000€の修繕
交換レベル	資材費が10,000€以上のコンポ交換を伴うもの

3. コスト削減効果の見積もり結果

上記の計算式を用い、予兆検知後すぐに停止を行い、交換レベルの故障が避けられたとすると、福島洋上5MW風車の場合、1機あたり年間約2000万円のコスト削減効果があると見積られる。

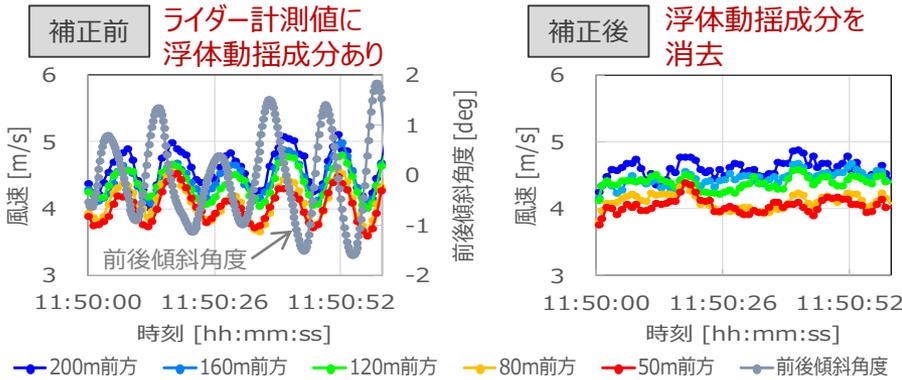
[1] Anastasia Ioannou(Cranfield University), A lifecycle techno-economic model of offshore wind energy for different entry and exit instances, 2018

- ③-1 ナセルライダーでの風況予測：浮体動揺成分除去で予測精度向上。実証試験で精度確認済。
- ③-2 フィードフォワード制御：ピッチ駆動部への影響を調査。累積移動量・エネルギーを低減、ベアリングを長寿命化できる見込みを確認。実証試験により、ブレードピッチ角度の累積移動量5.2%低減を確認。

実証事業の成果

③-1 ナセルライダーでの風況予測

(1) 予測精度向上(浮体動揺補正)

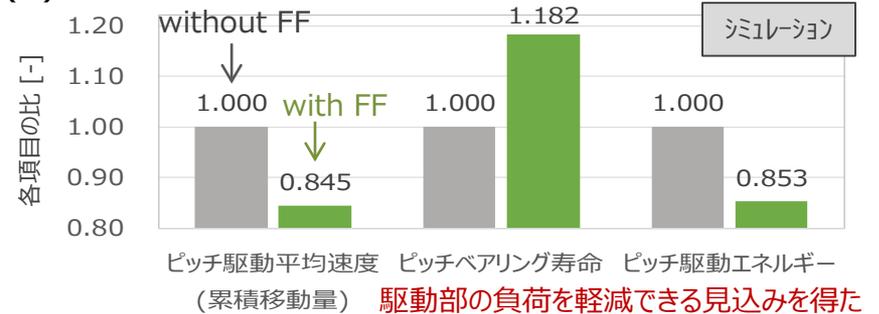


(2) 実証試験

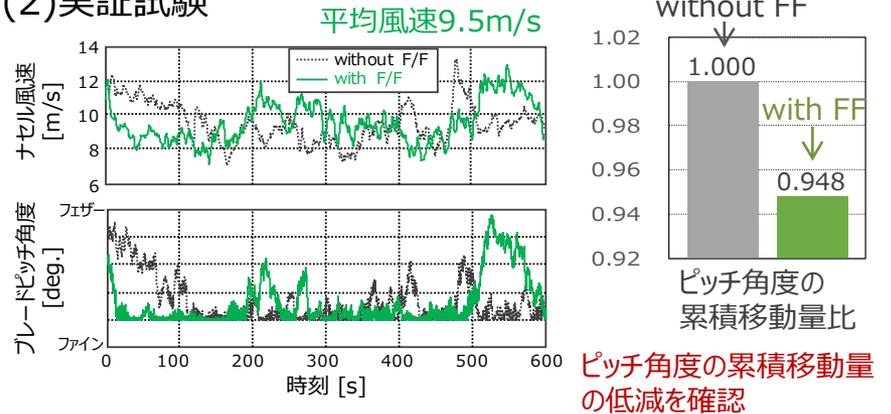


③-2 フィードフォワード制御(FF)

(1) ピッチ駆動部への影響調査



(2) 実証試験



3-2. 7MW風車

○ 事業化の課題である「稼働率・発電量」を向上する施策を実施する。（着眼点：事業化の課題抽出・分析等）

現状認識と研究の目的

【これまで得られた成果】

- ① 天候・気象予報の活用による効率的なアクセス
- ② 遠隔画像監視・操作による浮体式洋上風車での保守効率改善
- ③ 寿命予測による交換個数の削減・停止期間の低減
- ④ 画像監視による異常の初期自動検知
- ⑤ 油清浄度監視による誤検知停止の低減

【今年度の目的】

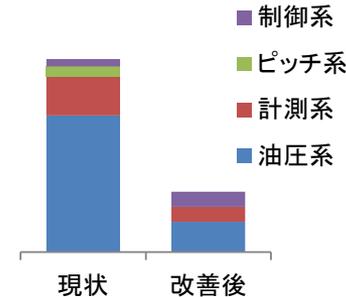
- ① 風車ダウンタイム短縮
- ② 逸失発電時間短縮

実施方法

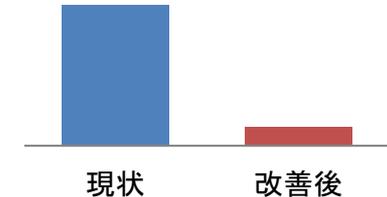
- ① 風車実証運転期間中の警報停止時、調査、復旧、運転再開までの時間を分析
- ② 既存の遠隔監視設備を有効活用した再起動マニュアルを整備、風車ダウンタイムを短縮
- ③ 既存の遠隔監視設備による状態監視し、不調部品は低風速時に交換できるようCBM (Condition Based Maintenance) を実施、逸失発電時間を短縮

期待される成果（アウトプットイメージ）

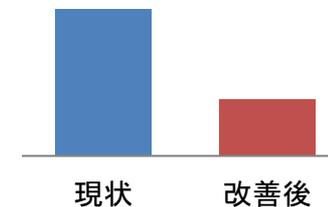
① 警報停止回数



② ダウンタイム



③ 逸失発電時間



3-2. 7MW風車

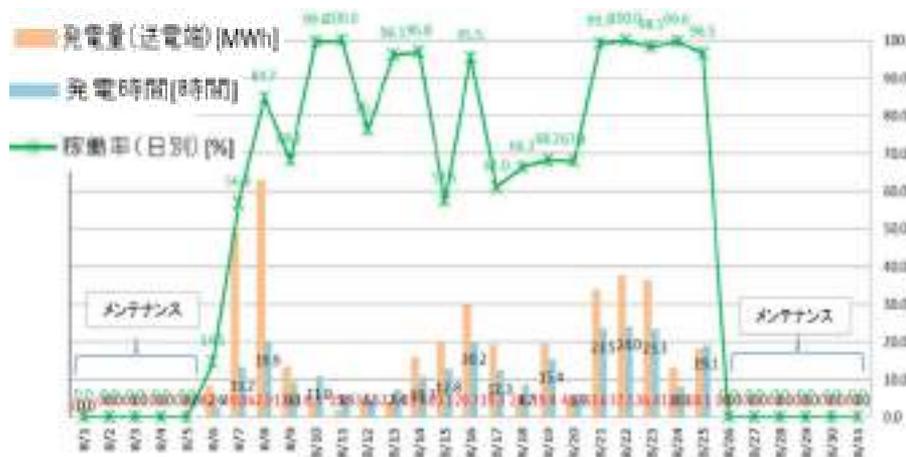
- 実証運転中の風車ダウンタイム分析（停止要因・運転再開迄の時間分析）を行い、再起動マニュアルを整備・活用し、専門技術者の判断が無くとも速やかに再稼働を可能とする等の対策を施すことが可能となり、警報停止時間を対策前に比べ75%低減した。
- Condition Based Maintenance を実施し、稼働率・発電量を向上させた。

実証事業の成果

①風車ダウンタイム短縮対策前後の稼働率の変化

	対策前 2018年1～4月平均	対策後 2018年8月
稼働率(%) 含むメンテ時間	29.3	50.0
稼働率(%) 除くメンテ時間	42.1	85.7
警報停止 時間(H)	238	60

対策後2018年8月の稼働率と発電量



②主要な警報発生要因に対する対策実施内容

警報発生要因	警報パラメータ見直し ※1	警報対応マニュアル化 ※2	自動リセット ※3	部品補修交換・改良	CBM ※4
DDT関連不調	○	○		○	○
通信異常	○		○ 自動リセットの追加	○ 通信経路見直し	
機械部品動作不良				○	
センサ誤動作		○		○	
配線不良				○	
風車運転上の警報	○	○			

- ※1：安全サイドとなっている警報閾値の最適化
- ※2：専門技術者の判断を待たず、再起動マニュアルに従い運転員が警報リセット
- ※3：警報発生原因を自動で判別し、運転再開可能な場合は自動で警報リセット
- ※4：Condition Based Maintenance (既存の遠隔状態監視で部品不調を故障前に見極め、低風速時に交換) の実施

II. プロジェクト全般の検証

1. 漁業との共存
2. 設備の保守運営
3. 我が国の洋上環境に適した浮体式洋上風力発電システムの分析、評価等
4. 浮体式洋上風力発電システムの各種評価等
5. 「国民との科学・技術対話」の実施

1. 漁業との共存

1. 漁業との共存に関する研究

○ 浮体式洋上風力発電システムのメリット・デメリットを明らかにし、漁業関係者との共存の在り方を探る。

実証事業での目的

- ✓ 浮体式洋上風力発電システムが漁業生産活動にもたらすメリット・デメリットを明らかにし、これを漁業関係者に提示すること等を通して、共存の在り方を示す。

- ① 底曳網漁業等については漁場の喪失以外に悪影響は無いことを示す。
- ② 回遊性の魚類を対象とする新たな漁場の創出とその実益を実証する。
- ③ 浮体構造物の周りで豊かな生物相が形成されていることを確認する。

実施方法

- ✓ 各種の会議体（ワーキンググループ等）の設置により、漁業関係者との対話と理解に基づいて実証研究事業を推進する。
- ✓ 漁船を活用し、漁業者との協働作業として、各種の調査を行う。
 - ① 浮体設備が水産生物に与える影響を調査するための漁獲試験を実施
 - ② 浮体周辺で実益を実証するための実験調査を実施
 - ③ 潜水観察等により、浮体周辺での生物相の観察調査を実施
- ✓ 漁業操業に関わる情報提供として、過年度に構築した海洋観測データ配信システムを運用する。（但し、現システムは運用上の弱点があり、本事業化における実用用途に於いてはシステム改良の必要あり。）

期待される成果（アウトプットイメージ）

- ✓ 事業に対する漁業関係者の不安の除去と理解の推進。
- ✓ 実益を上げることによる、共存の在り方の実例の提示、また、今後の浮体式洋上風力発電の事業推進への寄与。
- ✓ 豊かな生物相が形成されていることを漁業関係者に示すことによる、事業への理解の深化。



1. 漁業との共存に関する研究の成果

○ 漁業協働委員会とワーキンググループを設置・開催し、実証研究事業の進捗説明、並びに漁業との共存に向けた取組状況について討議し、漁業者の理解のもと、事業を進めた。

実証事業の成果

✓ 漁業協働委員会・ワーキンググループの開催

開催日	会議名	主な内容
平成30年06月15日(金)	・相馬双葉ワーキンググループ ・いわきワーキンググループ	・平成30年度までの実証事業概要と各風車の直近の稼働状況等 ・前年度の共存に向けた取組（漁獲試験等）の結果報告 ・平成30年度の共存に向けた取組（漁獲試験、生物相観察等）の内容
平成30年09月14日(金)	・相馬双葉ワーキンググループ ・いわきワーキンググループ	・浮体の補強工事の実施、各風車の直近の稼働状況 ・五島視察、意見交換の報告 ・総括委員会の検証結果と提言
平成30年11月30日(金)	・漁業協働委員会	・総括委員会の検証結果と提言 ・各風車の直近の稼働状況 ・平成29年度の共存に向けた取組の成果と平成30年度の内容 ・五島視察、意見交換会の報告、生物相の観察調査(速報)
平成31年02月01日(金)	・相馬双葉いわき合同ワーキンググループ	・平成30年度実証研究事業の進捗状況について ・今後の進め方について ・平成30年度 5 MW風車及び2MW風車の運転状況について ・平成30年度ライザーケーブルに付着する海洋付着生物の対策案について ・平成30年度漁業との共存に向けた取組について（進捗状況報告）
平成31年03月22日(金)	・相馬双葉ワーキンググループ ・いわきワーキンググループ	・平成30年度実証研究事業の進捗状況について ほか

1. 漁業との共存に関する研究の成果

- 長崎県五島の浮体式洋上発電施設の視察見学を企画し、地元漁業者と意見交換を行い、洋上風力発電と漁業との共存の在り方について議論した。
- 地元漁業者は浮体の魚礁的機能の発揮を期待しており、そこに漁業との共存の在り方を見出そうとしていることが理解された。

実証事業の成果

- ✓ ワーキンググループ委員からの代表ほか漁業関係者11名で、8月27日・28日に視察見学会・地元漁業者との意見交換会を企画、実施した。
- ✓ 視察見学では、浮体周辺の水中観察ビデオで、浮体に様々な生物が付着し、数百種類以上の魚類が遊泳する様子を視聴した。
- ✓ 意見交換会では、地元漁業者は今後、浮体の魚礁的機能の発揮を期待しており、そこに漁業との共存の在り方を見出そうとしていることが理解された。



船上からの発電所視察



意見交換会



意見交換会 参加者

1. 漁業との共存に関する研究の成果

- 浮体周辺で底曳網などの漁獲試験を行い、漁場の喪失以外に悪影響は無いこと示した。
- 浮体の周辺で実益を実証する調査を行った結果、十分な実益を得るまでには至らなかったものの、漁業者は浮体の浮魚礁的な機能を期待していることを確認した。
- 浮体とその周辺には十数種類の付着生物・魚類が観察され、豊かな生物相が形成されていることが分かった。

実証事業の成果

漁獲試験

- ✓ 浮体近傍の漁獲量と、対照点との漁獲量を比較した結果、これらに差異は認められなかった。
- ✓ また、前年の漁獲量と比較しても、差異は見られなかった。

実益を実証する実験調査

- ✓ 漁業者で構成される作業部会を設け、操業の方法等を検討して実施した結果、実益の実証は成されなかったものの、浮魚礁的な機能を否定する意見はなく、実験調査の継続実施を望む声も聞かれた。

生物相の観察調査

- ✓ 浮体周辺の水中観察の結果、浮体構造物には様々な付着性の動植物が生息し、また、回遊性の魚類や、浮体を生息場所としている魚類も観察された。

- ◆ 漁業関係者の浮体施設への不安の除去と、また、実益をもたらす可能性を期待していること、及び生物の生息場所として豊かな環境が創られていることを示すこと等によって、洋上風力発電施設に対する理解が図られた。



水中観察結果：イシダイの群れとヒレナガカンパチ

1. 漁業との共存に関する研究の成果

- 海洋観測データ配信システムの運用により、海象情報を提供した。
- 運用開始後4年が経過したが、機器の破損など観測データの欠損も多く、配信するデータや機器の選択には検討が必要である。

実証事業の成果

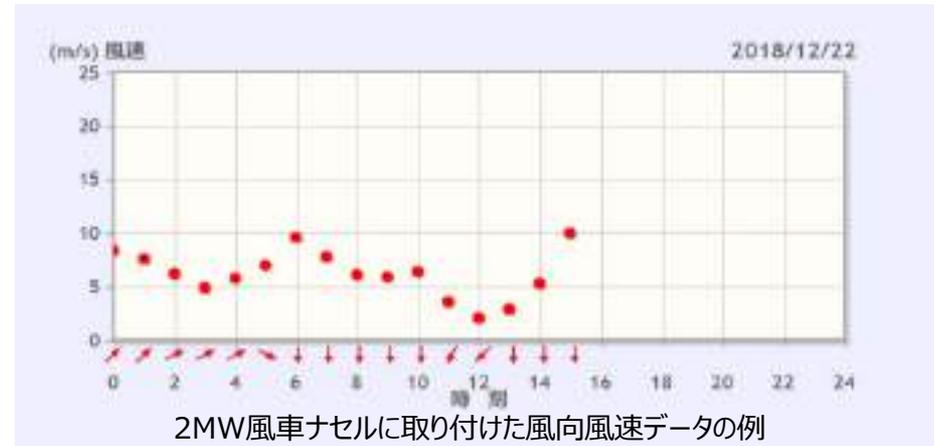
- ✓ 本システムの運用開始当初から、広く地元漁業者にその利用・活用を促してきたところであり、現在も本システムを利用する漁業者の声も聞かれることから、洋上風力発電事業と漁業との共存策としての具体例のひとつであり、成果である。
- ✓ 関係者に有効活用してもらうためには、アクセス方法についての定期的な情報提供・周知の方法等、運用上の工夫が必要である。
- ✓ 運用開始後4年以上が経過したが、機器の破損など観測データの欠測も多く、配信するデータや機器の選択は検討が必要である。

浮体式洋上ウインドファーム 実証研究事業 海洋観測データ配信システム

ID	<input type="text"/>
パスワード	<input type="password"/>
<input type="button" value="ログイン"/>	

Fukushima Offshore Wind Consortium All Rights Reserved.

海洋観測データ配信システム ログイン画面（パソコン版）



(参考：アクセスURL)

パソコン（スマホも可）：<http://www.fukushima-wind-kaiyou.jp/web/index.php>

ガラケー：<http://www.fukushima-wind-kaiyou.jp/mobile/index.php>

ID:wind, パスワード：2940

2. 設備の保守運営

2. 設備の保守運営に関する研究

○ 浮体式洋上風力発電設備の設備稼働率向上を目指し、保守運営の確実な履行及び改善の検証を実施する。

現状認識と研究の目的

- ✓ 浮体式洋上風力発電設備の設備稼働率向上
- ✓ 24時間常時監視及び保安規程に基づく管理運営やアクセス船の効率的運用を通じた保守運営手法改善

実施方法

- ✓ 現場所長、電気主任技術者、監視員の雇用および発送変電設備の遠隔監視（日常目視点検含む）や本実証設備専用アクセス船の運航等
- ✓ 保守トレーニング講座受講による、浮体式洋上風力発電設備・保守運営体制の強化
- ✓ ヘリコプターアクセス検討

期待される成果（アウトプットイメージ）

- ✓ 24時間常時監視および保安規定にもとづく確実な保守運営の実施。
- ✓ 実運用を踏まえた巡視点検省力化等のメンテナンスの効率化。
- ✓ アクセス船の安定的な運航による遅滞無き維持管理の実施及び過去データ分析による運用効率の向上。

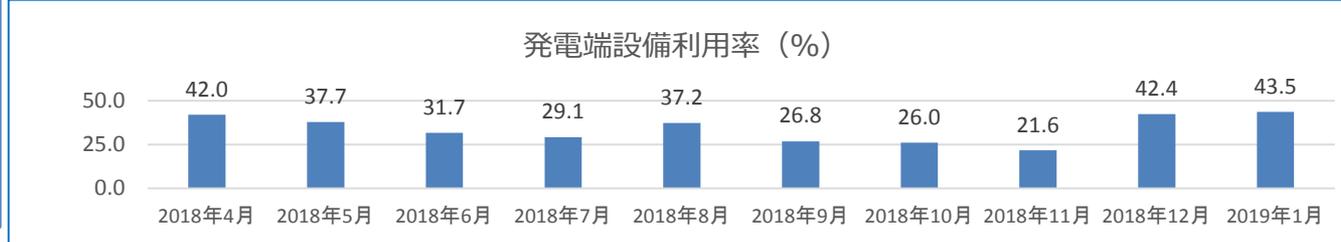
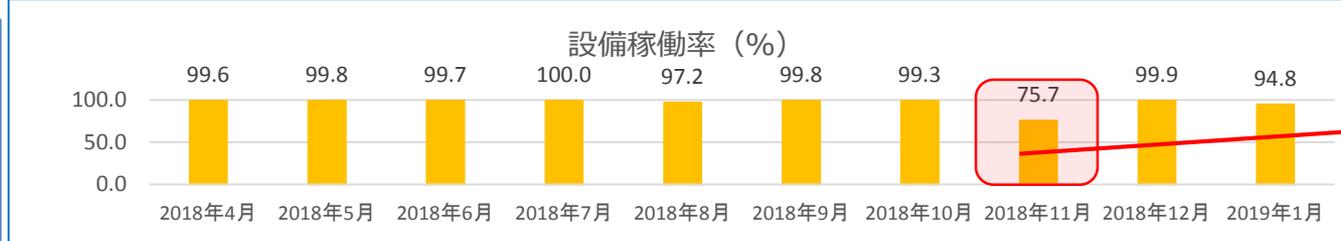
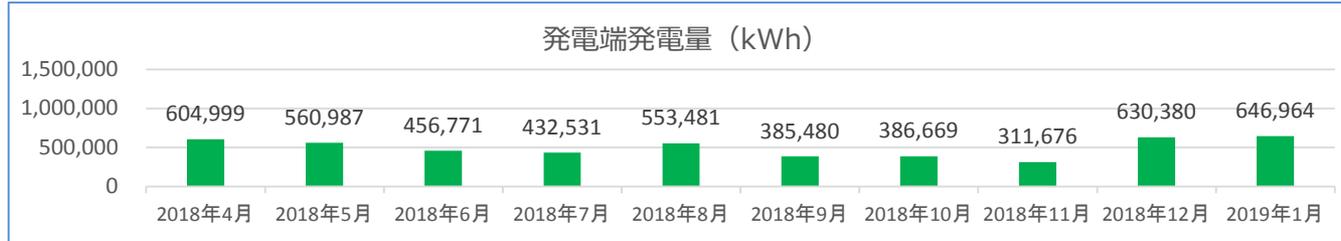


2. 設備の保守運営に関する研究の成果

○2MW風車の2018年4月-2019年1月の平均データでは設備稼働率*1 96.6%(94.1*2)、設備利用率 33.8%(30.4*2)であった。尚、稼働率及び設備利用率は何れも発電端でのデータである。

*1 設備稼働率は利用可能率のことを示しており、設備が運転(発電)可能な状態であればカウントする。 *2 カッコ()内 数値は昨年度の率値

2
M
W
発
電
実
績



11月6日～12日のふくしま未来発電所施設・全停電の為、当該8日間のデータなし。(当該期間を除く平均稼働率は99.5%となっている。)

上記は、東北電力年間停止計画内の「木戸川線2号の停止に」に伴う福島洋上風力線の停止によるもの。*送電線の塗装のため。

次年度は2020.3.5-3.12(8日間)でいわき送電線鉄塔の建て替え、送電線の張替えを行う予定。

$$\text{設備稼働率} = \frac{\text{月間稼働時間 (h)}}{24 \text{ h} \times \text{月間日数 (day)}}$$

発電端設備利用率

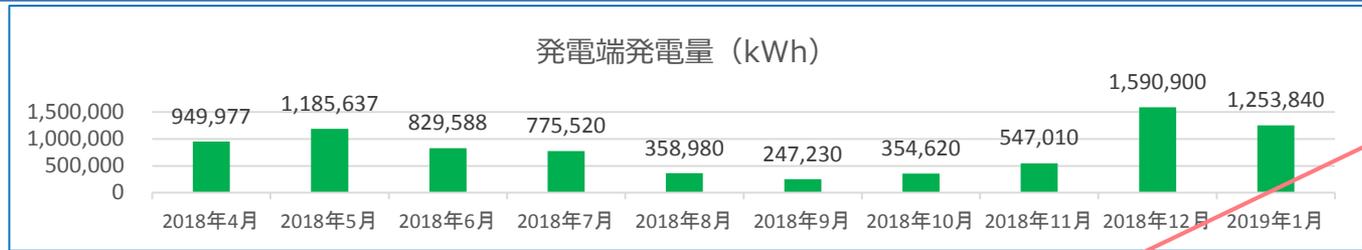
$$= \frac{\text{月間発電量 (kWh)}}{\text{定格出力 (kW)} \times 24 \text{ h} \times \text{月間日数 (day)}}$$

2. 設備の保守運営に関する研究の成果

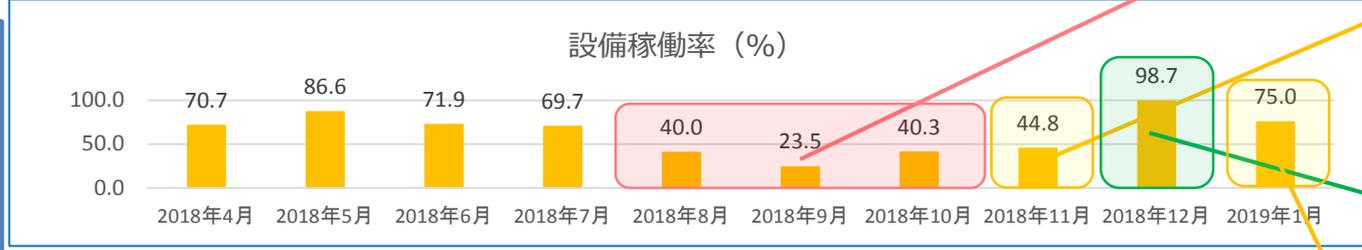
○5MW風車の2018年4月-2019年1月の平均データでは設備稼働率*1 62.1%(53.0*2)、設備利用率 22.0%(13.7*2)であった。尚、稼働率及び設備利用率は何れも発電端でのデータである。

*1 設備稼働率は利用可能率のことを示しており、設備が運転(発電)可能な状態であればカウントする。 *2 カッコ()内 数値は昨年度の率値

5
M
W
発
電
実
績

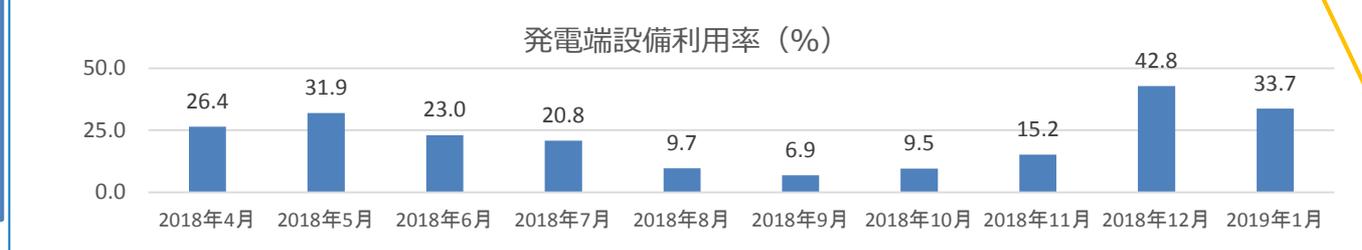


2018.8月から10月は、5MW機故障停止による月の風車累積停止時間が長かった為。

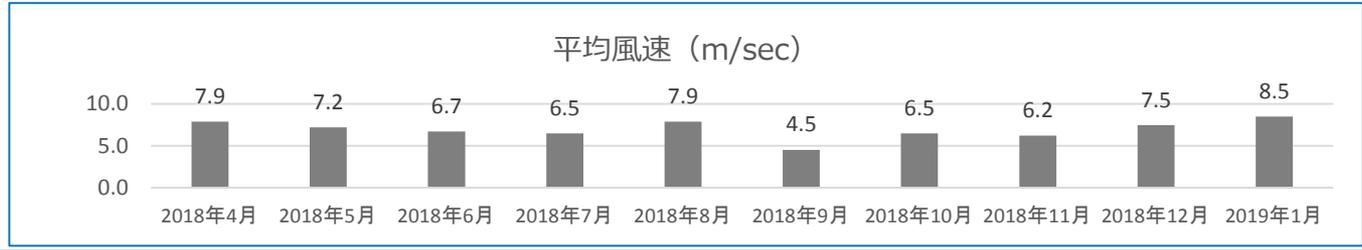


2018.11月は、風車内電気設備の恒久修理が完了(11/16)し、修理以降の月平均稼働率(14日間)は、96.0%まで回復。

2018.12月は、恒久修理後、安定稼働を継続。比較的良好な風況にも助けられ、月平均稼働率、利用率共に、高値を得ている。



2019.1月は、1/7-1/12の6日間、重故障の発生による風車停止。修理完了以降の月平均稼働率(19日間)は、87.4%まで回復。



$$\text{設備稼働率} = \frac{\text{月間稼働時間 (h)}}{24 \text{ h} \times \text{月間日数 (day)}}$$

$$\text{発電端設備利用率} = \frac{\text{月間発電量 (kWh)}}{\text{定格出力 (kW)} \times 24 \text{ h} \times \text{月間日数 (day)}}$$

2. 設備の保守運営に関する研究の成果

○7MW風車の2018年4月-2019年1月のデータを以下に示す。尚、稼働率及び設備利用率は何れも発電端でのデータである。

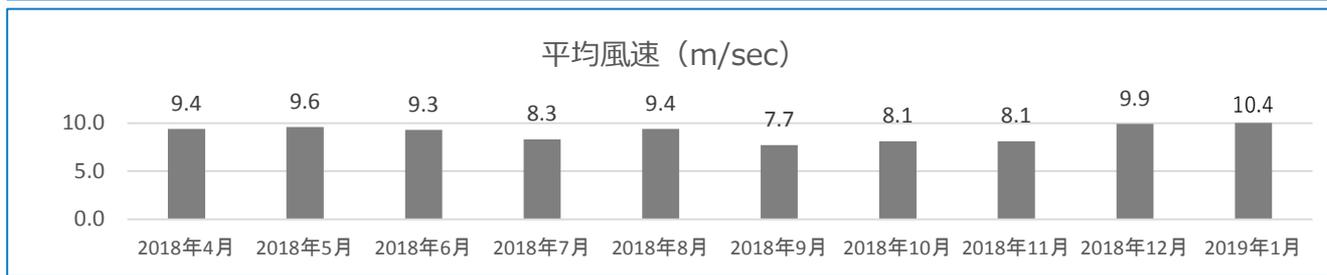
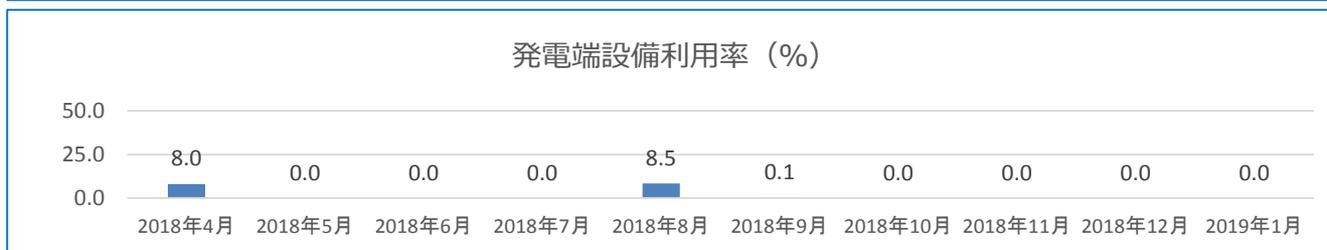
7
M
W
発
電
実
績



2018.5月から7月は、メンテナンスによる風力発電設備の発電運転の停止。(浮体の改修工事に伴う停止)



2018年9月以降は、総括委員会の結果に基づき、7 MW風力発電設備の運転を停止。



$$\text{設備稼働率} = \frac{\text{月間稼働時間 (h)}}{24 \text{ h} \times \text{月間日数 (day)}}$$

$$\text{発電端設備利用率} = \frac{\text{月間発電量 (kWh)}}{\text{定格出力 (kW)} \times 24 \text{ h} \times \text{月間日数 (day)}}$$

2. 設備の保守運営に関する研究の成果

- アクセス船は安定したパフォーマンスを発揮。
- 2018年9月・10月は度重なる台風が襲来した影響により、アクセス率に影響が出ている。

実証事業の成果

- ✓ 2018年1月～12月までの発電設備へのアクセス成功率は以下の通りであり、平常時に於いては運用手法が確立されつつあるが、9月・10月で襲来した台風の影響がアクセス成功率に影響を及ぼしている。

	2017年度 1月～12月実績		2018年度 1月～12月実績	
	成功回数/出船回数	成功確率 (%)	成功回数/出船回数	成功確率 (%)
未来(2MW)	46/47	98	26/29 *(24/24)	90 (100)
絆 (SS)	55/56	98	40/45 (32/32)	89 (100)
新風 (7MW)	92/93	99	54/62 (45/47)	87 (96)
浜風 (5MW)	119/120	99	67/77 (56/60)	87 (93)

*2018年9・10月は度重なる台風の影響で海象が悪く、アクセス成功率に影響が出ている。

* () は9・10月度を除くアクセス成功率を表している。

* アクセス成功率 = 浮体へのアクセス成功回数/出船回数

2. 設備の保守運営に関する研究の成果

- ダミー人形を利用し、ヘリコプターでのふくしま浜風への人員輸送実験を実施。
- 実験結果から浮体への人員輸送が可能であることが確認できた。

実証事業の成果

実験内容

実施日 / 実施場所	2018年9月13日 / ふくしま浜風
作業時間	約20分間*
実施内容	ヘリコプターからの吊下げ、吊上げ夫々3回ずつ
ダミー人形仕様	165cm / 66kg

*ふくしま浜風上空にヘリコプターが到着してからの作業時間



実験結果

- ✓ 実験は3回全て成功し、ヘリコプターでの輸送が可能であることが示された。
- ✓ 当日はアクセス船での浮体への乗移りが困難な気象海象であったが、ヘリコプターでの輸送は可能であった。

2. 設備の保守運営に関する研究の成果

- 日立製作所による2MW風車を対象とした定期メンテナンストレーニングセンターを受講。
- 2MW風車の半年点検まで対応可能であることが明らかとなった。

実証事業の成果

受講内容

座学実施日 / 実施場所	2018年 7月17日～19日 / 日立製作所埠頭工場
OJT実施日 / 実施場所	2018年 8月26日～29日 / ふくしま未来
受講内容	日常点検、半年点検
当社受講者	計3名



実験結果および課題

- ✓ 座学では毎日筆記試が行われ、3名とも修了(合格)。
- ✓ OJTでは日立作業員主導の下、点検を行い、問題無く半年点検全ての項目を実施。当社にて風車メンテナンスの一部を内製化し、メーカー作業人員数の削減が可能であることが示唆された。なお一年点検OJTについては2019年2月末に実施。

運転維持部分内製化後のメーカー作業員数 (2MW風車)

	従来	内製化後	コスト減
半年点検	3名	1名	▲0.2万円/kW/年
1年点検	4名	2名	
3年点検	5名	3名	

1.1万円/kW/年→0.9万円/kW/年へ削減可能
* 昨年度成果報告書の算定値より。



3. 我が国の洋上環境に適した浮体式洋上風力発電システムの 分析、評価等

3. 我が国の洋上環境に適した浮体式洋上風力発電システムの分析、評価等

○気象・海象条件の分析・評価を行うと共に我が国の洋上環境に適した浮体式洋上風力発電システムの分析、評価及び最適化の検証を行う。具体的には、①気象海象予報の分析評価、②風車・浮体・係留の動的解析と構造計算手法の評価、③設計認証手法の確立及び汎用化（再委託：NK）

事業の全体像

□気象海象予報の分析・評価

平成29年度事業より引き続き実証海域において気象・海象観測を実施するとともに、各浮体式洋上風力は発電設備の計測データを収集する。又気象・海象予報手法を用いて効率的な維持管理の評価を行う。

□風車・浮体・係留の動的解析と構造計算手法の評価

2 MW風車搭載浮体及びサブステーションにて構築した手法を5 MW風車搭載浮体及び7 MW風車搭載浮体に適用し、浮体式洋上風力は宇電設備に作用する荷重と動揺の評価を行い、得られた結果を観測記録と比較する。それにより、形式・規模の異なる浮体式風車に対しても適用可能な動解析手法を構築する。

□設計認証手法の確立及び汎用化（再委託：NK）

2 MW風車搭載浮体及びサブステーションにて確立した設計認証手法について5 MW風車搭載浮体及び7 MW風車搭載浮体への適用性を確認する。又その設計認証手法に係るガイドラインを整備する。

設定した研究テーマ

番号	内容
テーマ1	気象海象の観測データを収集するとともに気象海象予測手法を用いて維持管理における作業稼働率の評価
テーマ2	5 MW及び7 MW風車・浮体・係留の動的解析と構造計算手法の予測精度の評価
テーマ3	5 MW及び7 MW風車・浮体・係留への設計認証手法の適用（再委託：NK）

3-1. 気象海象予報の分析・評価

○ 実証研究海域において気象・海象観測を引き続き実施するとともに、各浮体式洋上風力発電設備の計測データを収集し、実海域において浮体式洋上風力発電設備に作用する荷重の評価を行い、設計の検証を行うとともに気象・海象予報手法を用いて効率的な維持管理の評価を行う。

実証事業での目的

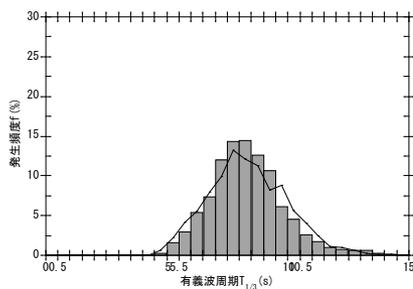
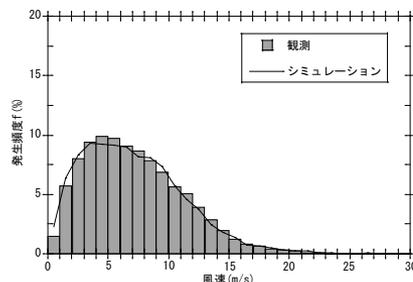
浮体式洋上風力発電設備の事業期間中に作用する疲労荷重や長期にわたる発電量を推定するためには、20年間の気象・海象データが必要である。また、効率的な維持管理のためには、気象・海象予報の予測精度が求められる。

実施方法

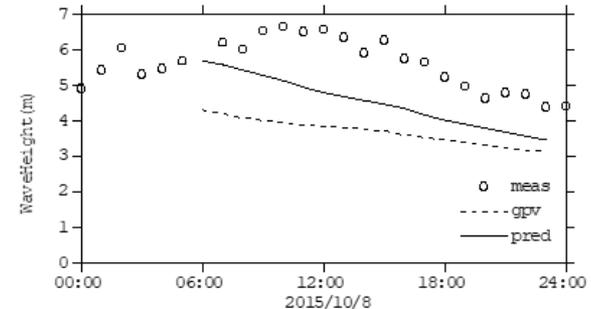
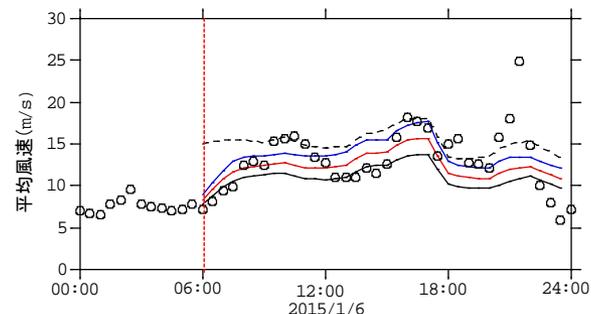
複数年の気象・海象観測データを収集・分析することにより、気象・海象のモデルの検証を行い、荷重評価を実施するとともに実発電量の評価を実施する。又、気象海象予報の精度の検証を行い作業稼働率等を評価する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- ① 引き続き気象海象データを取得し、複数年の観測データから、構築した気象海象モデルの検証と信頼性評価を行うとともに実発電量の評価を行う。
- ② 気象海象予報を実施するとともに、気象海象予報が維持・管理や施工稼働率に与える影響を評価する。



観測データとシミュレーション比較
(2016年,2017年)



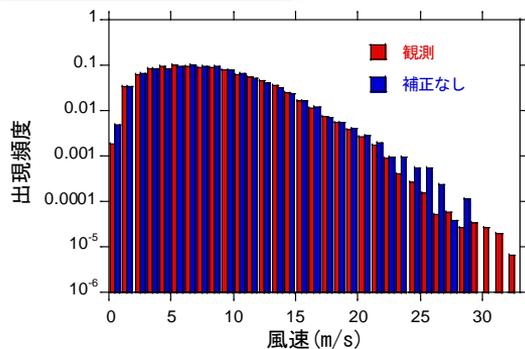
気象・海象予報の一例

3-1. 気象海象予報の分析・評価の成果

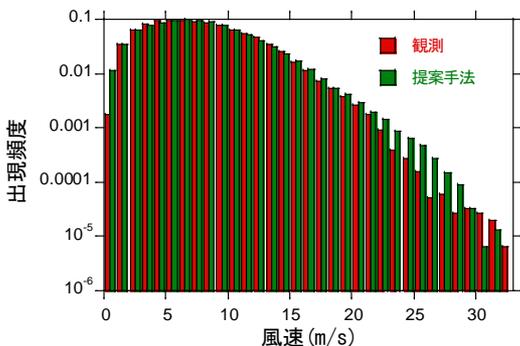
福島沖において気象観測を実施し、観測データを分析した結果以下の結論を得た。

- メソスケールモデルにより、風速階級別出現頻度分布を求める際の補正手法を提案し、補正しない場合と比較して高風速の出現頻度を高精度に予測できることを示した。
- 混合気候の場合には、50年再現期待値の0.8倍として求めた1年再現期待値は過大評価であり、季節風の50年再現期待値の0.8倍として求める必要があることを明らかにした。

実証事業の成果

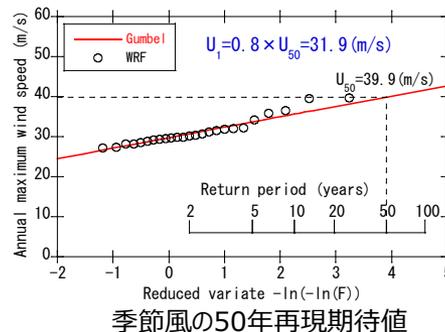


メソスケールモデル(WRF)により推定した風速は3時間平均風速に相当するため、高風速の出現頻度を過小評価する。



季節風における観測値と予測値の風速階級別出現頻度(2015~2017年)

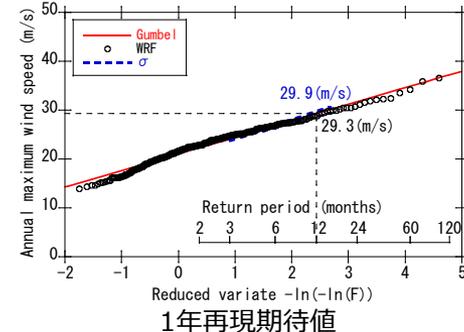
10分平均風速に補正する手法を提案し、高風速の出現頻度を正確に評価することを可能にした。



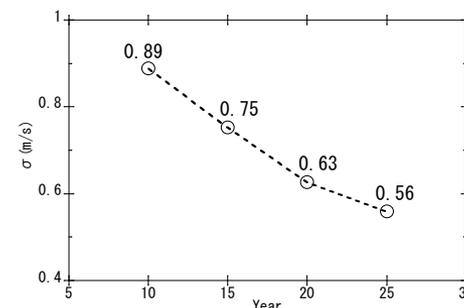
季節風の50年再現期待値

25年分のシミュレーション結果を用いて1年再現期待値を推定し、季節風の50年再現期待値の約0.8倍であることを示した。

1年再現期待値の推定の不確かさはシミュレーション期間を長くすることにより低減させられる。



1年再現期待値



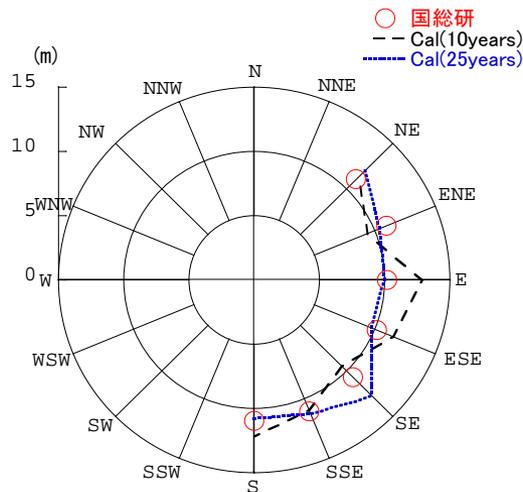
シミュレーション期間別の1年再現期待値の不確かさ

3-1. 気象海象予報の分析・評価の成果

福島沖において波浪観測を実施し、観測データを分析した結果以下の結論を得た。

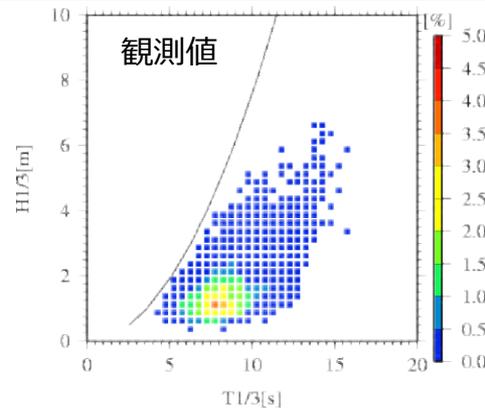
- 波向別の50年再現期待値を求めるためには、10年では十分でなく、25年のシミュレーションが必要であることを明らかにした。
- 昨年度までに提案したモンテカルロシミュレーション手法に、風波の周期の下限値を設けることにより、観測値に近い結合確率分布が作成できるようになった。

実証事業の成果

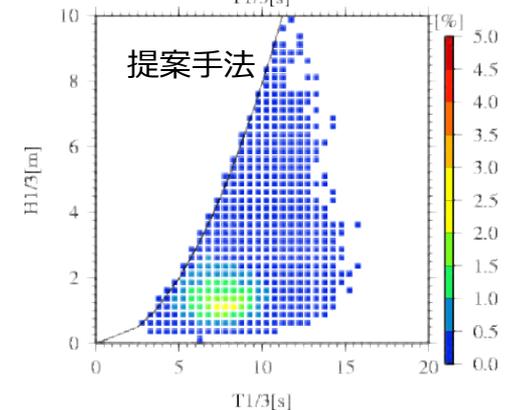
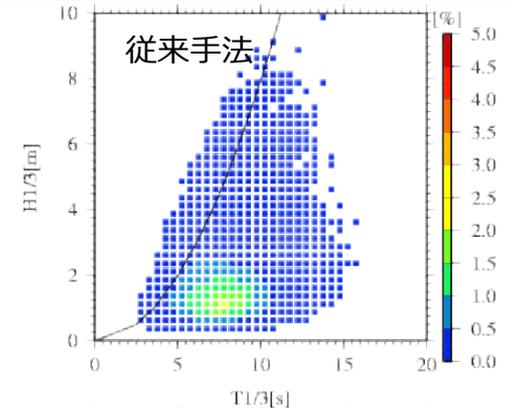


観測波浪データと福島沖
NOWPHASとの比較

25年のシミュレーションに基づき波向別の50年再現期待値を求めることにより国総研の提供する値と近くなった。



- ・昨年度までに、観測データに基づきモンテカルロシミュレーションにより風速・波高・波周期の結合確率分布を推定する手法を提案したが、波周期の短い不自然な風波が見られた。
- ・IEC61400-3に示す風波の周期の下限値を条件にモンテカルロシミュレーションを行うことにした。



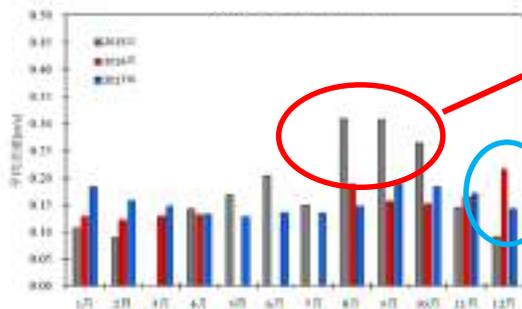
3-1. 気象海象予報の分析・評価の成果

福島沖において海流観測を実施し、観測データを分析した結果以下の結論を得た。

- 2015年8-10月の月平均流速は2016年のそれに比べて約2倍高く、2016年12月の月平均流速は2015年のそれに比べて約2倍高いことを示した。
- 3年間の海流観測結果から、海流の経年変化および月変動を正確に予測するためには長期観測が不可欠であることを示した。

実証事業の成果

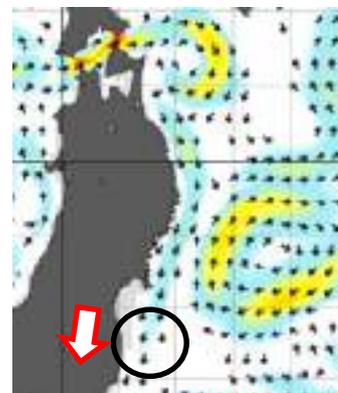
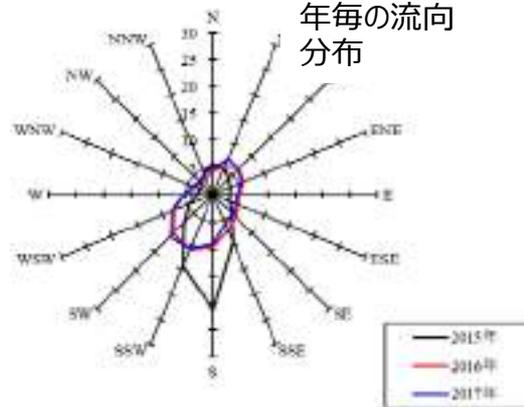
年毎の月平均流速の比較



• 2015年8-10月は2016年に比べて流速が約2倍高い。

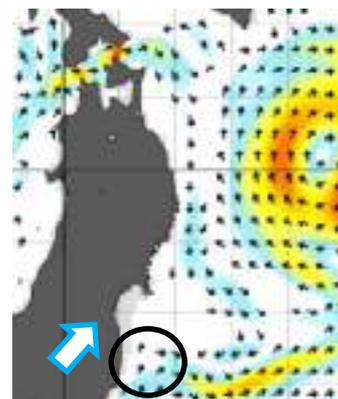
• 2016年12月は2015年に比べて流速が約2倍高い。

年毎の流向分布



流速の平面分布図
10日平均(気象庁)

2015年8月は黒潮の北上が抑えられ、南向の流れが卓越した。

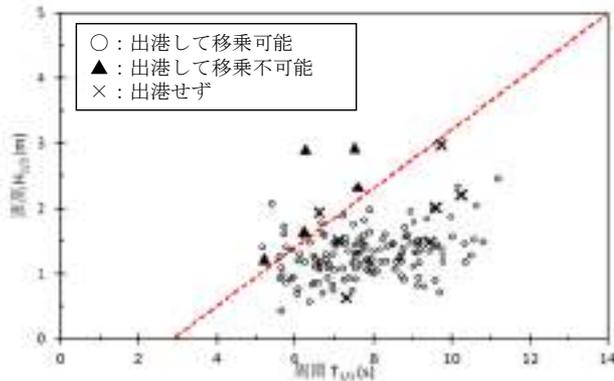


2016年12月は黒潮が北上したため、福島沖で北東向の強い流れが卓越した。

3-1. 気象海象予報の分析・評価の成果

- 3年間の通船実績に基づき、浮体への移乗可能な海象条件を明らかにした。
- 提案した現地観測データを利用した海象予報に基づき、移乗可能の予報可能性を想定し、予報に基づく判断は重要であるが、予報手法の違いは大きくないことを明らかにした。

実証事業の成果



	移乗可能	移乗不可能
移乗可能と予測 (出港)	141 137	5 5
移乗不可能と予測 (出港せず)	6 11	1 0

赤：現状
緑：提案した予報ベース

現状でも予報に基づいて出港の判断をしている。通船依頼のあった153日について出港したか、移乗可能だったかに基づき分類。

提案した現地観測データを利用した数値海象予報に基づいて判断をした場合に想定される結果についても分類

- 海象が悪い日(台風等)には通船依頼をしていないため、移乗可能率は大きい。
- 予報に基づく判断は重要であるが、予報手法の差による結果の違いは大きくない。
- その他の不確実性(作業の重要度等)の方が大きいと考えられる。

2015年～2017年の2MW風車へのアクセス実績から浮体への移乗可能な波条件を推定

移乗不可能

$$H_{1/3} > 0.45T_{1/3} - 1.3$$

移乗可能

$$H_{1/3} \leq 0.45T_{1/3} - 1.3$$

3-2. 風車・浮体・係留の動的解析と構造計算手法の評価

○ 2MW、サブステーションにて構築した手法を 5 MW及び 7 MWに適用し、得られる結果を観測記録と比較する。それにより、形式・規模の異なる浮体式風車に対しても高い解析精度は得られる動的解析を達成し、構造計算評価手法の適用範囲を拡大する。

現状認識と研究の目的

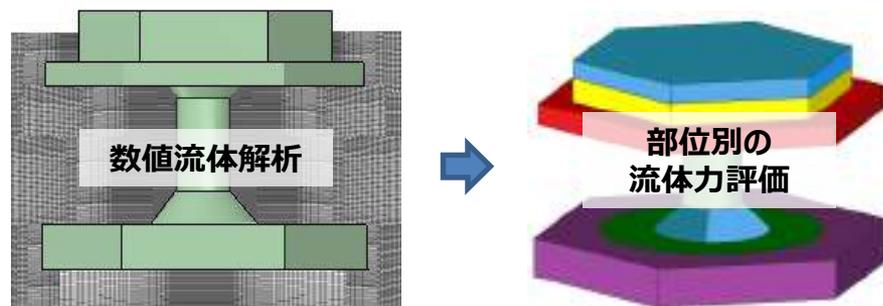
終局荷重および疲労荷重に対して、浮体・係留が安全であり、かつ不経済とならないように設計するための動的解析と構造計算の手法を構築する。

実施方法

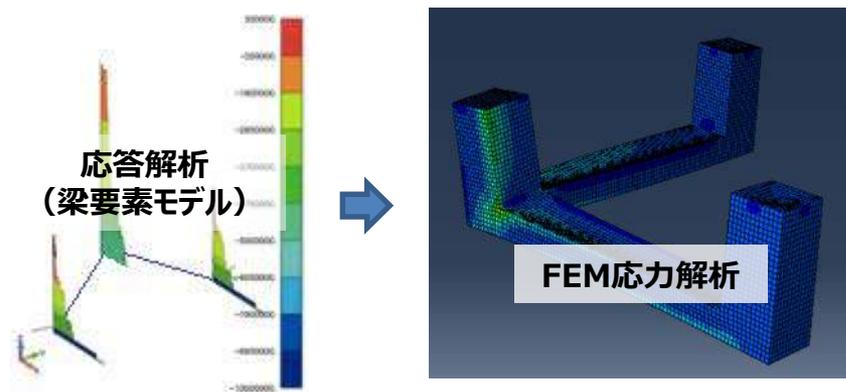
- ① 数値流体解析により、5MW、7MWの精緻な風車-浮体-係留の連成解析モデルを作成する。
- ② 風・波・潮流の観測記録に基づき、浮体の応答を評価する。
- ③ 応答の観測値との比較により、解析モデルを検証する。
- ④ 得られた応答に基づいて部材の応力を求め、実機の構造安全性を評価する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- ① 浮体各部の流体力分布の数値流体解析による評価



- ② 観測記録により検証された応答解析・構造計算手法

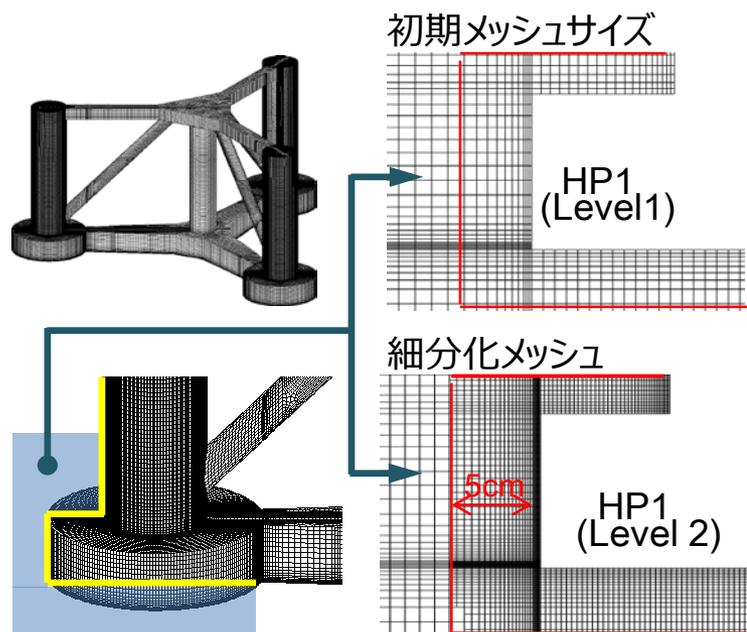


3 - 2. 風車・浮体・係留の動的解析と構造計算手法の評価の成果

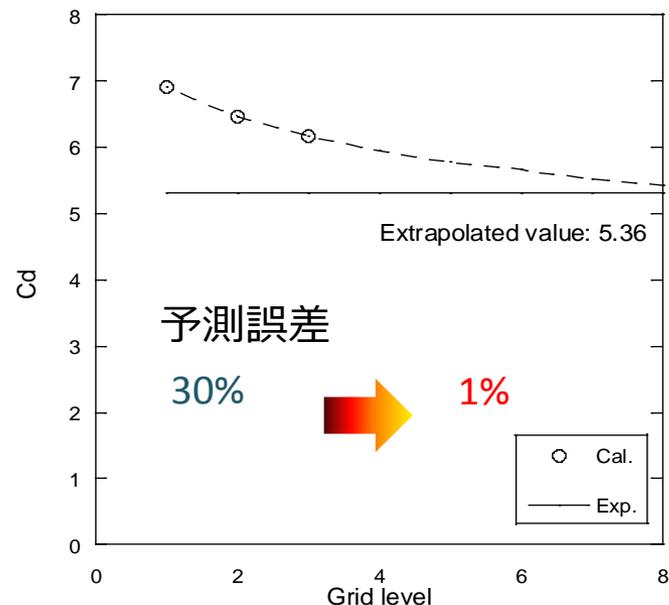
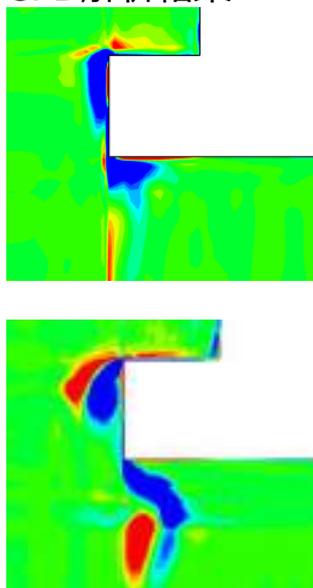
- 数値流体解析により流体力係数を評価する際に、リチャードソン外挿により数値解析の予測誤差を低減し、水槽実験と一致する結果を得た。
- 流体力係数は、浮体の振動周期および振幅（KC数）に依存することを示し、そのモデル化を行った。
- 数値流体解析により求めた周期とKC数に依存する流体力係数を用いて2MW風車浮体とサブステーションを対象に動解析を行い、水槽実験による流体力係数の調整を一切行わずに浮体動揺を予測することを可能にした。

実証事業の成果

リチャードソン外挿による数値解析予測誤差の低減



CFD解析結果

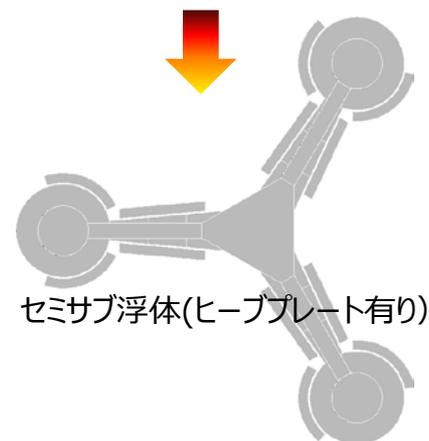
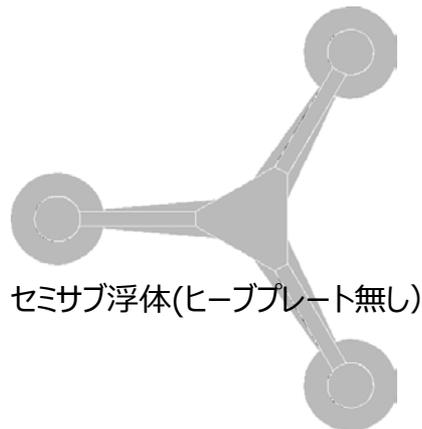


リチャードソン外挿による抗力係数Cdの評価

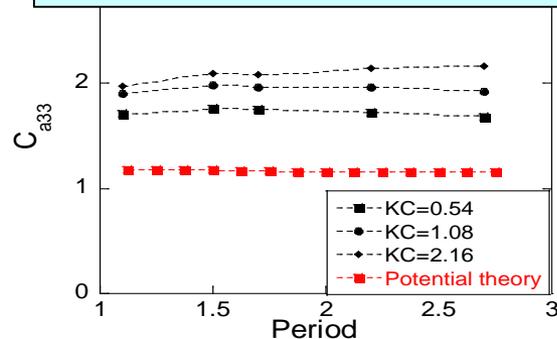
3-2. 風車・浮体・係留の動的解析と構造計算手法の評価の成果

実証事業の成果

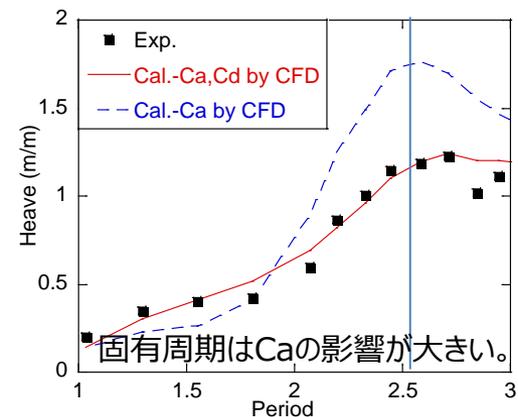
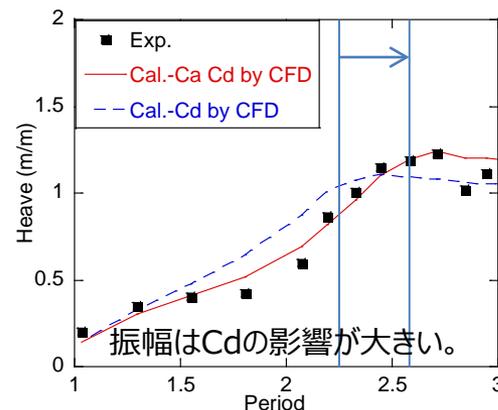
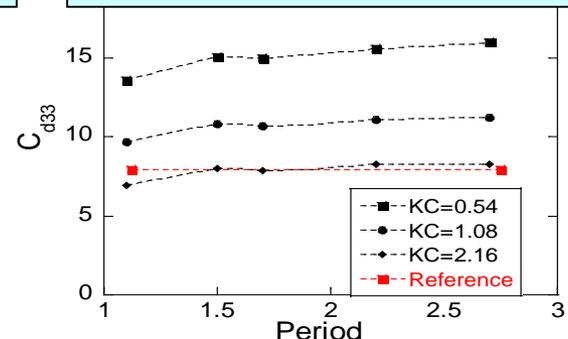
振幅(KC数)依存性考慮による数値解析予測誤差の低減 (例：ヒーププレートの効果)



ヒープ方向付加質量係数CaのKC依存性



ヒープ方向抗力係数CdのKC依存性

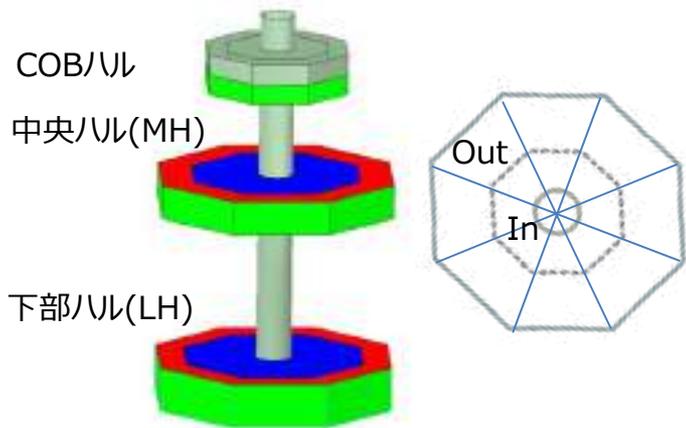


振幅依存性を考慮したCFDにより評価した流体力係数を用いることで、解析予測精度が改善。

3-2. 風車・浮体・係留の動的解析と構造計算手法の評価の成果

実証事業の成果

部位別の流体力係数評価による数値解析予測誤差の低減



ヒープ Ca	LH_C	LH_in	LH_out	MH_in	MH_out	COB_in	COB_out	Total
ポテンシャル理論	2.12	2.80	1.84	3.27	2.16	0.97	0.64	2.16
CFD (KCv=0.38)	1.89	2.85	1.97	3.25	2.38	0.33	0.08	2.26
CFD (KCv=1.5)	2.19	3.23	2.30	4.19	2.83	17.07	17.21	4.05

ヒープ Cd	LH_C	LH_in	LH_out	MH_in	MH_out	COB_in	COB_out	Total
CFD (KCv=0.38)	0.08	1.36	4.27	1.46	4.09	-0.89	-0.44	4.95
CFD (KCv=1.5)	0.09	1.82	2.37	2.95	2.95	4.32	4.52	6.23

半径方向の位置 (OutとIn) により値が大きく異なる。
その分布変化の影響を考慮することで、数値解析予測誤差を低減。

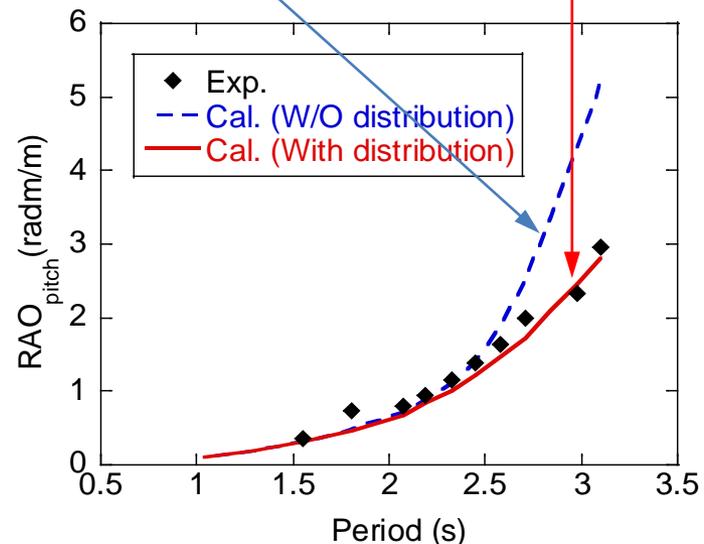
浮体全体に集約した流体力係数マトリックス

分布の変化を考慮しない場合

$$[C_d] = \begin{bmatrix} 1.87 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.20 & 0.0 \\ 0.0 & 1.87 & 0.0 & 0.20 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 4.95 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.20 & 0.0 & 0.25 & 0.0 & 0.0 \\ 0.20 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.25 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.08 \end{bmatrix}$$

分布の変化を考慮した場合

$$[C_d] = \begin{bmatrix} 1.87 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.20 & 0.0 \\ 0.0 & 1.87 & 0.0 & 0.20 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 4.95 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.20 & 0.0 & 0.81 & 0.0 & 0.0 \\ 0.20 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.81 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.08 \end{bmatrix}$$



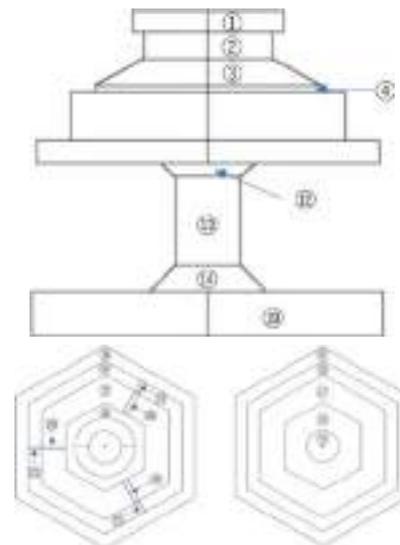
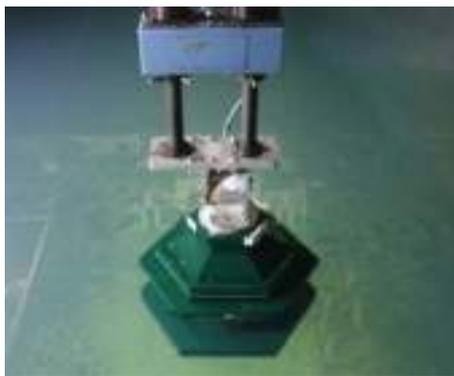
周波数応答関数 (ピッチRAO) の予測精度改善

3-2. 風車・浮体・係留の動的解析と構造計算手法の評価の成果

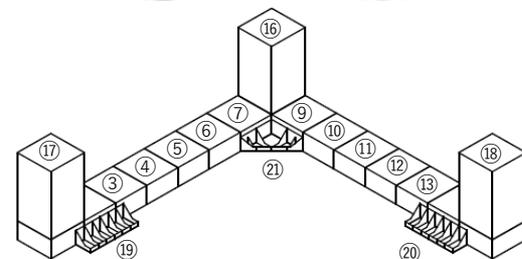
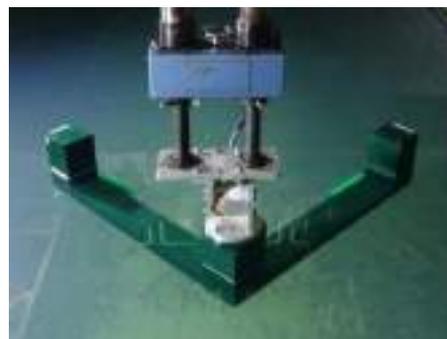
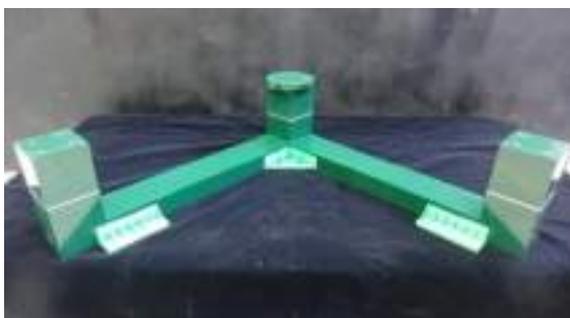
実証事業の成果

5MWおよび7MW浮体に対して、CFD解析を行い、リチャードソン外挿により浮体の部位別の流体力係数を評価した。また、水槽試験を実施し、CFD解析の検証を行った。部位別の評価結果は、部材応力を算定するための浮体運動解析に適用。

5MW
浮体



7MW
浮体



水槽試験モデル（縮尺1/100）

強制加振試験装置

CFD解析用モデル
（数字は部位別評価区分番号）

CFD解析による流体力係数により、2MW浮体、サブステーション浮体と同様、精緻な解析を実現。

3-2. 風車・浮体・係留の動的解析と構造計算手法の評価の成果

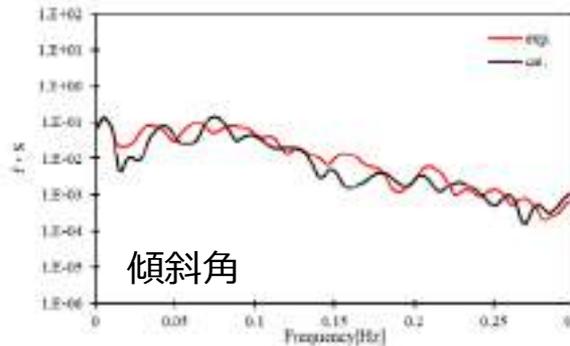
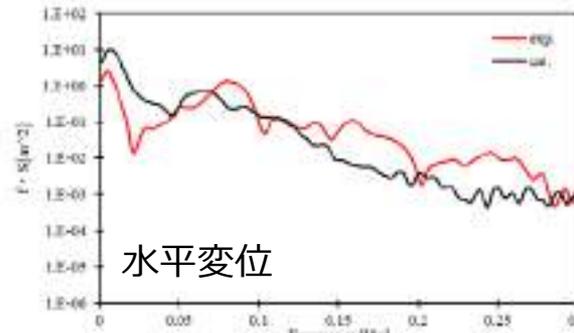
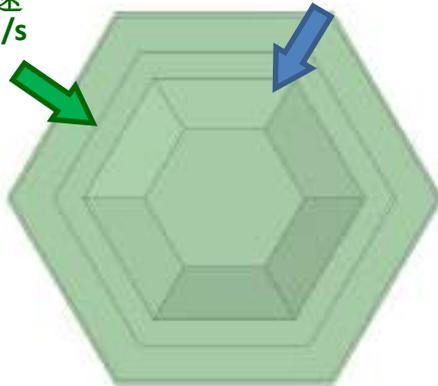
- 代表的なケースを抽出し、気象・海象の実測データを入力条件とし、提案した流体力係数を用いて浮体の動揺をシミュレーションし、実測と一致することを示した。
- 従来は水槽実験に基づく流体力係数を用いてシミュレーションしていたが、提案した手法により、水槽実験結果を一切用いることなく、シミュレーションのみで浮体動揺を予測できることを可能にした。

実証事業の成果

2017/10/23 19:10-
19:20 の5MW浮体の
解析例

平均風速
18.43 m/s

有義波高 3.96 m
有義波周期 10.5 秒



水平変位・傾斜角とも実測
値を再現している



- 昨年度2MW風車及びサブステーションに対して確立した設計認証手法の5MW風車及び7MW風車への適用性を確認する。
- 確立した設計認証手法をNKガイドラインに取り入れる案を策定する。

実証事業での目的

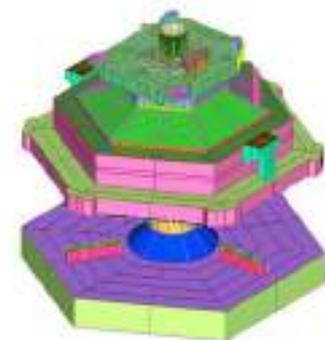
- 浮体式洋上風力発電設備の設計認証手法について、安全性の向上と合理的な設計を実現可能とする手法を確立する。
- 昨年度確立した設計認証手法を5MW風車及び7MW風車に適用し、その結果を分析することにより、最終的には当該手法を浮体形式によらず福島沖の環境条件下で適用できる形に汎用化する。

実施方法

- ① 5MW／7MW風車・浮体・係留の動的解析・構造計算・設計評価
- ② 昨年度確立した設計認証手法の5MW風車及び7MW風車への適用性の分析及びその結果に基づく改訂版設計認証手法の確立
- ③ 改訂版設計認証手法に基づくNKガイドライン案の策定

期待される成果（アウトプットイメージ）

- 福島沖での浮体式洋上風力発電設備の設計認証手法について、安全性の向上と合理的な設計を実現可能とする手法を確立する。



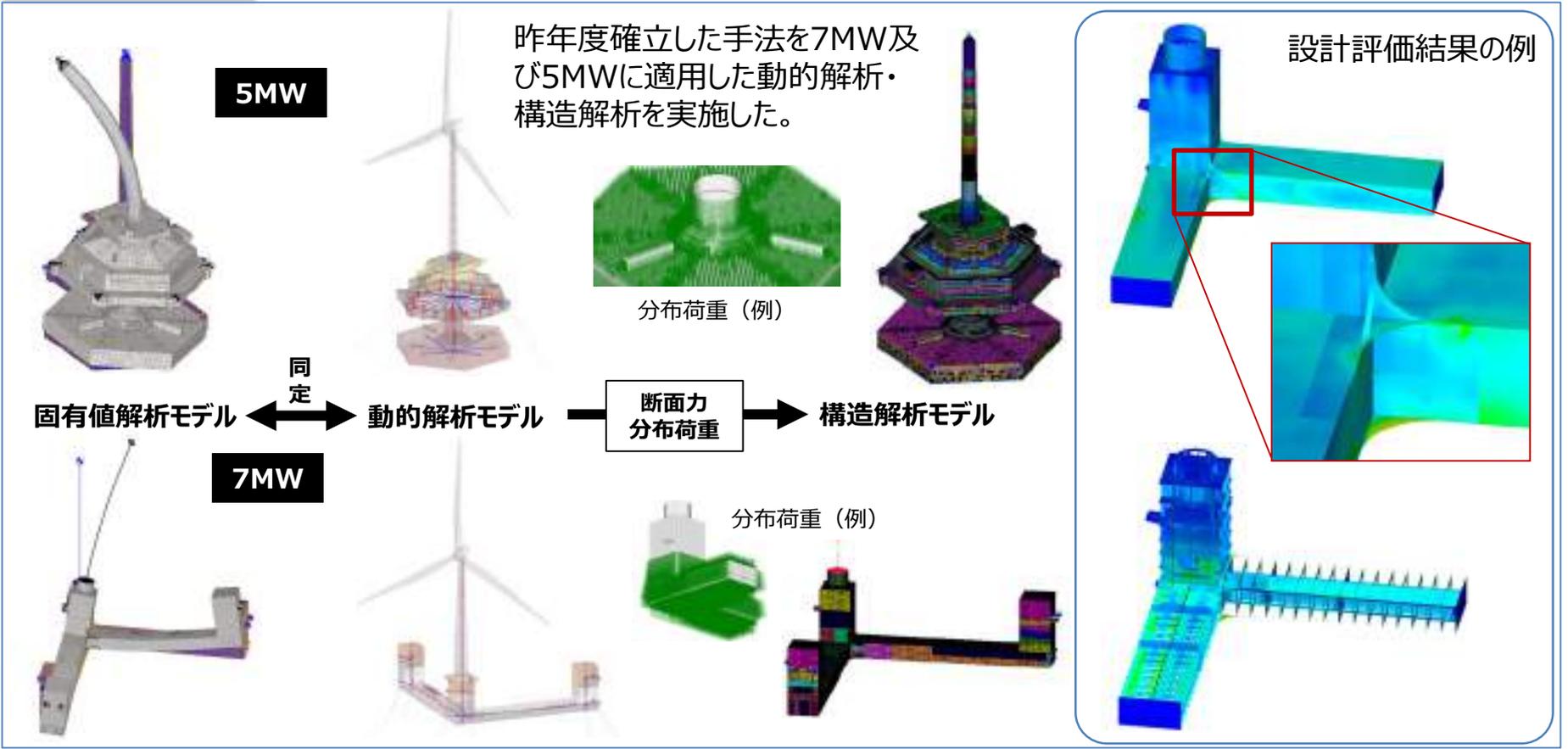
- 実証事業の成果が今後の福島沖での商業機の設計に資するように、NKガイドラインに取り入れる案を策定する。



3-3. 設計認証手法の確立及び汎用化の成果

- 昨年度策定した設計認証手法を5MW風車及び7MW風車へ適用して動的解析・構造解析を実施。
- 動的解析・構造解析の結果に基づいて設計評価を実施し、設計認証手法の適用性について分析を行った。

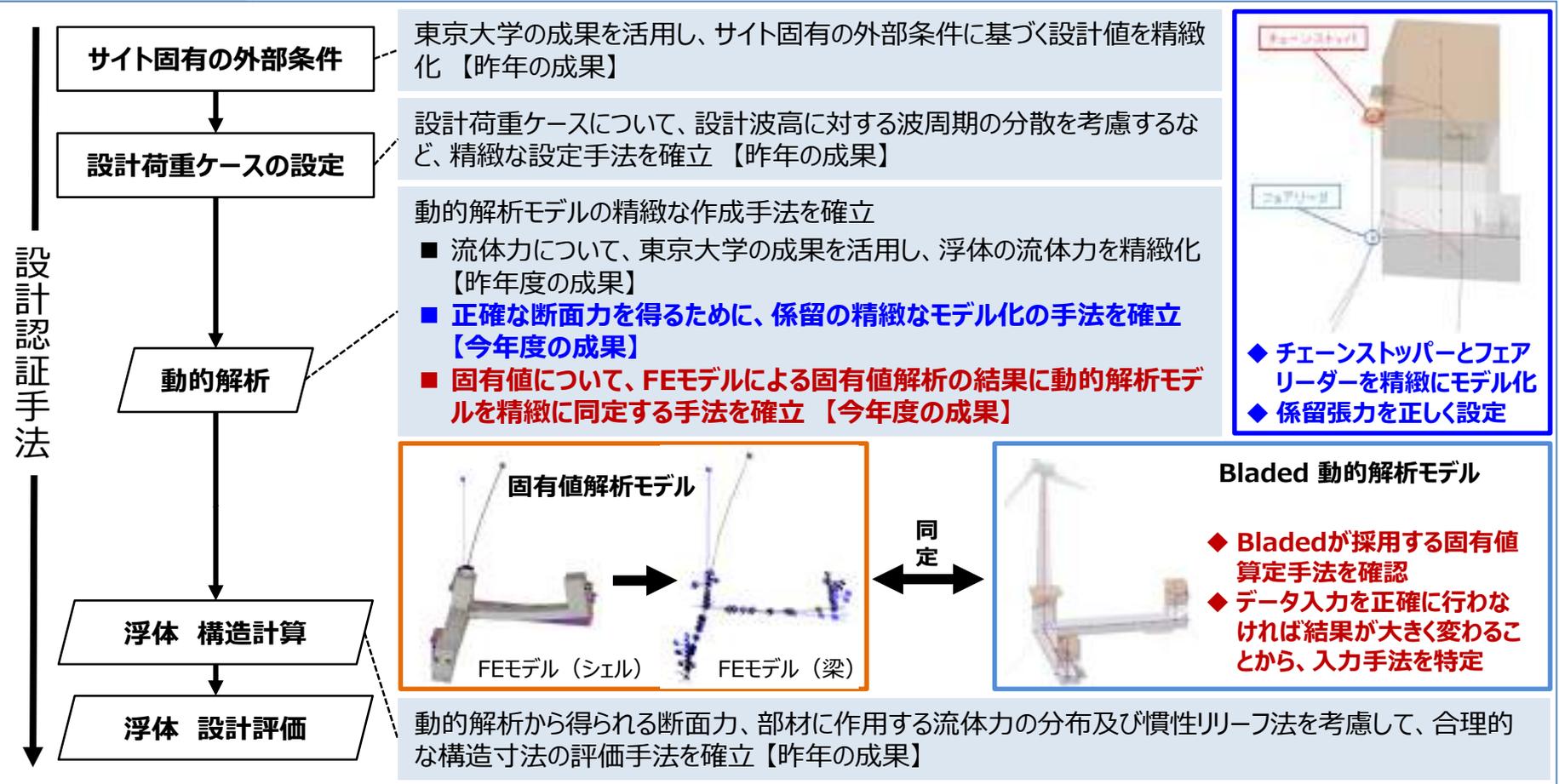
実証事業の成果



3-3. 設計認証手法の確立及び汎用化の成果

○ 設計認証手法の分析結果に基づき、一部の手法について改定し、安全性の向上と合理的な設計を実現可能とする手法を確立した。

実証事業の成果



- 改定した設計認証手法及び昨年度及び今年度の実証研究によって得られた成果を踏まえて、設計認証手法に係るガイドライン（案）を整備した。

実証事業の成果

設計認証手法に係るガイドライン（案）

1. 通則

- ① 本ガイドラインの適用範囲
- ② 定義
 - * いずれも原則として浮体式洋上風力発電設備に関するガイドラインと同等とする。

2. 動的解析（追加）

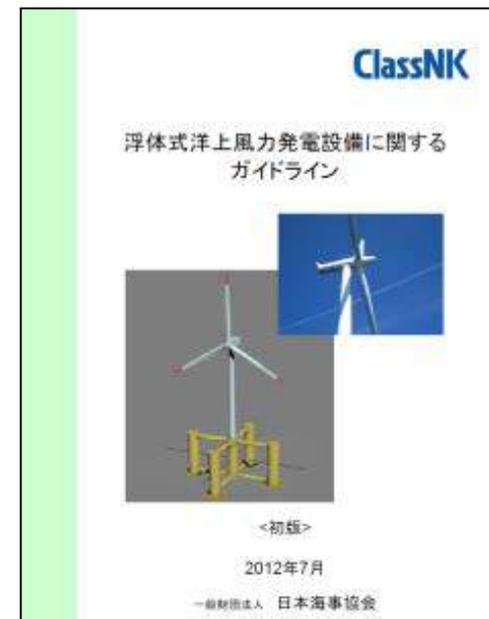
- ① 動的解析モデルについては、浮体及び風車の構造仕様に基づいてモデル化した有限要素モデルによる固有値解析の結果と一致する固有値となるように、重心位置及び慣性モーメントなどを適切に設定しなければならない。
- ② 構造解析において必要となる評価位置を想定し、必要な断面力が適切に得られるようにモデル化しなければならない。

3. 構造解析（追加）

- ① 構造解析モデルについては、評価対象位置に応じた部分モデルを用い、動的解析の結果より得られる断面力に加え、静水圧の分布荷重、係留点における集中荷重を適切に考慮しなければならない。
- ② 構造解析上支配的とならない流体力を慣性リリーフ法を用いて微調整することで差し支えない。

4. 設計評価

- ① 構造解析より得られる最大応力度に基づき、終局荷重評価を行わなければならない。
- ② 構造解析より得られる疲労荷重に基づき、疲労荷重評価を行わなければならない。



4. 浮体式洋上風力発電システムの各種評価等

4-1. 委員会の運営

○専門家からなる委員会を組織、運営することにより、本事業の進捗の妥当性の確認等を行い、本事業が円滑に進められるようにする。

現状認識と研究の目的

- 専門家からなる委員会を組織、運営し、本事業の進捗及び妥当性の確認等を行うと共に助言を得る。
- また、現地視察を実施することで、各委員との情報共有の深化を図る。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- 世界初の浮体式洋上風力発電システムの実証研究事業が、国のプロジェクトに相応しい、有識者の評価の高い事業として位置づける。

実施方法

- 事業化に資する検討を行う「事業化委員会」と、研究開発に関する検討を行う「技術委員会」の2つの委員会で構成する。事業化委員会は2回程度、技術委員会は3回程度の開催を予定。
- 3基の浮体式洋上風車及び海底ケーブル陸揚げ拠点等の現地視察を実施する。

事業化委員会 委員

	氏名	所属・役職
委員長	牛山 泉	足利大学 理事長
副委員長	木下 健	長崎総合科学技術大学 学長
委員	池田 三知子	一般社団法人日本経済団体連合会 環境エネルギー本部長
委員	馬場 治	東京海洋大学海洋科学部 海洋政策文化学科 教授

技術委員会 委員

	氏名	所属・役職
委員長	牛山 泉	足利大学 理事長
副委員長	木下 健	長崎総合科学技術大学 学長
委員	荒川 忠一	京都大学大学院 経済学研究科 特任教授
委員	加藤 政一	東京電機大学 工学部 電気電子工学科 教授
委員	佐藤 義久	福島大学 共生システム理工学類 特任教授
委員	吉田 茂雄	九州大学 応用力学研究所 附属自然エネルギー統合利用センター 教授

4-1. 委員会の運営

○専門家からなる委員会を組織、運営することにより、事業化を見据えたライザーケーブルの維持管理手法を検討するために、技術委員会の下に、ライザーケーブルの維持管理手法検討WGを設置する。

現状認識と研究の目的

- 平成29年度事業より、海洋生成物が付着したライザーケーブルの維持管理手法の実証研究を実施してきたところ。
- 事業化を見据えた場合において、ライザーケーブルの維持管理の低減が喫緊の課題。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- 現状のシステムにおいて最適なケーブルの維持管理手法をヒアリング等を行いながら、明らかにする。

実施方法

- これまでの海洋生成物の付着の現状、維持管理手法の現状を踏まえ、ヒアリング等を行いながら、最適な維持管理手法を検討する。

	氏名	所属・役職
委員長	木下 健	長崎総合科学技術大学 学長
委員	北澤 大輔	東京大学生産技術研究所海中観測実装工学研究センター 教授
委員	鈴木 英之	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻 教授
委員	高木 健	東京大学大学院新領域創成科学研究科海洋技術環境学専攻 教授

4-1. 委員会の運営

○専門家からなる委員会を組織、運営することにより、本事業の目的の達成状況を確認することにより、本事業の成果を検証する。

現状認識と研究の目的

- 専門家からなる委員会を組織、運営し、本事業の目的の達成状況の確認し、成果の検証を行う。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- 世界初の浮体式洋上風力発電システムの実証研究事業が、国のプロジェクトに相応しい、有識者の評価の高い事業として位置づける。

実施方法

- 事業目的である福島沖での浮体式洋上風力発電システムの安全性・信頼性・経済性を明らかにすることを客観的に検証するため、総括委員会を設置する。
- 7月までに4回開催し、報告書を公表するとともに、7月時点で対象としなかった項目については、年度末までに公表を前提とした報告書にとりまとめる。

	氏名	所属・役職
委員長	永尾 徹	足利大学 特任教授
委員	石井 雅也	太陽有限監査法人 シニアパートナー・公認会計士
委員	上田 悦紀	一般社団法人風力発電協会 国際・広報部長
委員	宇都宮 智昭	九州大学工学研究院海洋システム工学部門 教授
委員	清宮 理	一般財団法人 沿岸技術研究センター 参与
委員	原田 文代	株式会社日本政策投資銀行企業金融第5部 担当部長

4-1. 委員会の運営

○事業化委員会を2回、技術委員会を3回、ライザーケーブルの維持管理手法WGを2回開催した。

実証事業の成果

- 委員会開催日程は以下のとおり。コンソーシアム 各者の進捗状況について報告し、委員よりの確かな助言を得た。

平成30年度 事業化委員会・技術委員会開催日程

開催日	委員会	審議内容
平成30年5月21日（月）	第1回技術委員会	・平成30年度事業の委員会運営について ・平成30年度事業の研究内容について
平成30年10月30日（火）	第1回事業化委員会	・平成30年度事業の委員会運営について ・平成30年度事業の進捗状況について
平成30年10月30日（火）	第2回技術委員会	・平成30年度事業の進捗状況について（中間報告）
平成31年2月14日（木）	第2回事業化委員会・第3回技術委員会 （合同開催）	・平成30年度事業の成果について（事業化・技術）

平成30年度 ライザーケーブルの維持管理手法検討WG開催日程

開催日	委員会	審議内容
平成30年10月31日（月）	第1回ケーブル維持管理WG	海洋生成物の付着の現状 従来の維持権利手法の考え方
平成30年11月29日（月）	第2回ケーブル維持管理WG	事業化を見据えた維持管理手法の検討 等

4 - 1. 委員会の運営

○総括委員会を計7回開催し、8月と3月に報告書を取りまとめた。また、現地視察を8月に行い委員との情報共有の深化を図った。

実証事業の成果

- 委員会開催日程は以下のとおり。事業目的である浮体式洋上風力発電システムの安全性・信頼性・経済性の検証を実施し、8月に総括委員会として報告書を公表した。1月から残りの論点について、審議を再開し、3月に報告書を取りまとめた。
- 8月3日に現地視察を行い、海上より、稼働中の3基の浮体式洋上風車とサブステーションを視察するとともに、実際に2MWに移動。世界初の浮体式洋上風力発電システムを間近で視察し、各委員の情報共有の深化を図った。

平成30年度 総括委員会開催日程

開催日	委員会	審議内容
平成30年6月27日（月）	第1回総括委員会	委員会の進め方、浮体式洋上風力発電の現状と課題、各者ヒアリング
平成30年7月11日（火）	第2回総括委員会	各者ヒアリング
平成30年7月23日（火）	第3回総括委員会	各者ヒアリング
平成30年7月30日（木）	第4回総括委員会	報告書の審議
平成31年1月23日（水）	第5回総括委員会	委員会の進め方、各者ヒアリング
平成31年2月15日（金）	第6回総括委員会	各者ヒアリング
平成31年3月15日（金）	第7回総括委員会	報告書の審議

4-2. 導入マニュアルの作成

○今後、浮体式洋上風力発電を導入する事業者のため、これまで本事業にて得られた知見をまとめ、導入マニュアルを作成する。

現状認識と研究の目的

- 今後、浮体式洋上発電を導入する事業者が円滑にプロジェクトを進めることができるようにするため、世界初の浮体式洋上ウインドファームである本事業にて得られた知見を導入マニュアルとしてとりまとめる。

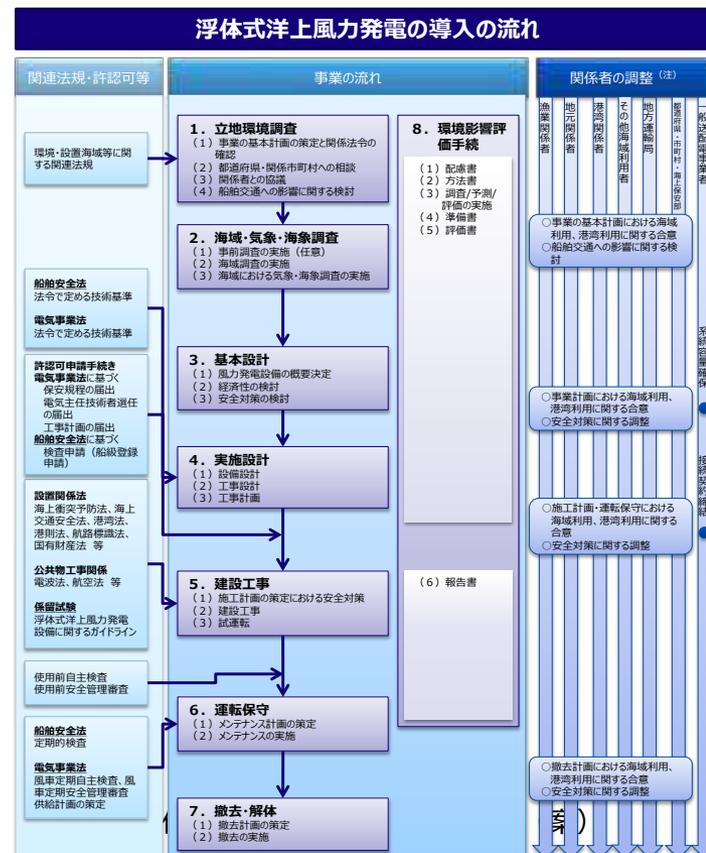
実施方法

- 平成25年度補正事業までにとりまとめた導入マニュアル（非公開版）をベースとして、設計・運転保守等にかかる手続き等を、最新情報を追加しつつ、導入マニュアル（公開版）としてとりまとめる。
- 年度内に計4回開催予定の導入マニュアルWGにて、導入マニュアルの内容を審議し、了解を得る。

導入マニュアルWG委員

	氏名	所属・役職
委員長	高野 裕文	一般財団法人日本海事協会常務執行役員
委員	大久保 安広	公益社団法人日本海難防止協会専務理事
委員	鈴木 英之	東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻教授

期待される成果（アウトプットイメージ）



注：必要となる手続きや要する期間等は、実施海域や設計の様態、工事の様態、運転保守の様態等により様々であるため、関係者には、必要に応じて前広に相談することが望ましい。

※NEDO着床式洋上風力発電導入ガイドブック（第一版）をもとに作成

4-2. 導入マニュアルの作成

○導入マニュアルWGを計4回実施し（第4回は書面審議）、3月に導入マニュアルをとりまとめた。

実証事業の成果

- 導入マニュアルWGを1回実施し、以下の導入マニュアルの目次のうち、第2章「2.3 基本設計」・「2.4 実施設計」、「2.6 運転保守」、「2.7 撤去・解体」について審議した。

導入マニュアルの目次

第1章 浮体式洋上風力発電の概要

- 1.1 浮体式洋上風力発電とは
- 1.2 諸外国におけるプロジェクト事例
- 1.3 国内におけるプロジェクト事例

第2章 浮体式洋上風力発電事業の進め方

手続き総論

- 2.1 立地環境調査
- 2.2 海域・気象・海象調査
- 2.3 基本設計
- 2.4 実施設計
- 2.5 建設工事
- 2.6 運転保守
- 2.7 撤去・解体
- 2.8 環境影響評価

第3章 浮体式洋上風力発電の資金調達の方法

平成30年度 導入マニュアルWGの開催日程

開催日	審議内容
平成30年10月18日（木）	・平成30年度事業の委員会運営について ・2.3 基本設計、2.4 実施設計
平成30年12月12日（水）	・2.6 運転保守、2.7 撤去・解体
平成31年2月21日（木）	・3. 資金調達の方法
平成31年3月13日（水） （書面審議）	導入マニュアル最終確認

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

- ジャッキアップリグ型作業船の大規模修繕作業の実現性を明らかにするために国内外の洋上作業技術に関する調査を実施するとともに浮体に応じた撤去方法の詳細検討を行う。

現状認識と研究の目的

- 過年度検討の浮体式洋上風車の大規模修繕・撤去のコスト削減案を踏まえ、大規模修繕においては原位置修繕の検討、撤去においては陸上処分を含めた新たな切り口での撤去工法の検討を目的とする。

実施方法

- 原位置での作業方法の一つとして海洋石油掘削業界で用いられるジャッキアップリグ型（甲板昇降型）作業船についての情報を収集し、その作業の実現性について検討する。
- 浮体撤去コストの更なる削減のため、陸上での部材運搬・処分等、広く情報を収集して浮体に応じた撤去方法の詳細検討を実施する。

期待される成果（アウトプットイメージ）

【現状】



係留チェーンを解除
浮体を港へ曳航し修繕

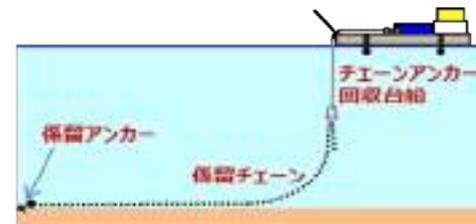
【改善】



ジャッキアップリグを用いた
原位置修繕

【大規模修繕】

現状74～84億円⇒〇〇億円



【撤去】

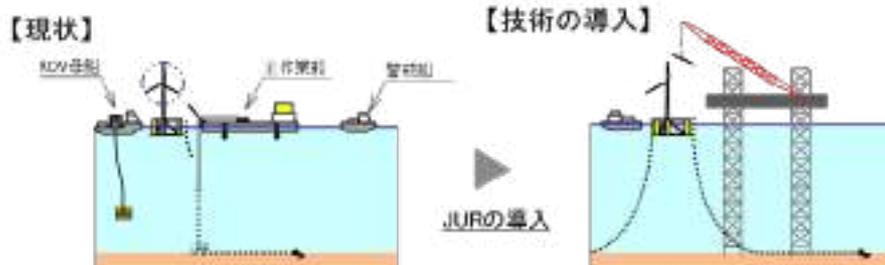
現状71～78億円⇒〇〇億円

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

○洋上作業技術の収集（原位置での大規模修繕）の一環として、石油掘削業界にて使用されるジャッキアップリグ（以下JUR）の基礎情報を収集し整理した。

実証事業の成果

○洋上作業技術の収集（原位置での大規模修繕）
浮体式洋上風力の大規模修繕方法の改善として
石油掘削業界で使用されるJURを用いた作業を検討すべく、
その基礎情報を収集した。



JURを用いた大規模修繕の施工イメージ



JURのアプローチ状況（作業イメージ）

作業条件の検討

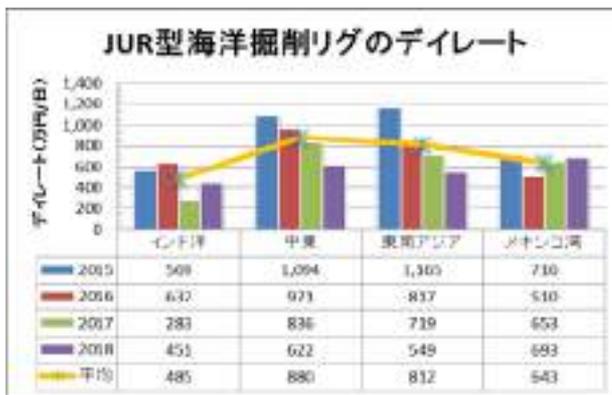
作業実現性検討のため、最も厳しい稼働条件を調査した結果、ジャッキダウン時（リグ部の伸縮）の作業条件はSEP台船と比較しても厳しいことが判明した。

名称	タイプ	稼働水深 (m)	ジャッキダウン時			掘削時
			有義波高 (m)	最大風速 (m/s)	潮流速度 (m/s)	最大波高 (m)
Sagadrii-2	JUR	91.4	1.2	15.4	1.0	12.2
Hakuryu-11	JUR	129.5	1.2	12.3	0.3	11.0
Zaratan	※WTIV	55.0	2.0	10.3	1.0	-

※1：着床式洋上風力設置船（SEP台船）

厳しい制約条件（SEP台船比）

JUR作業稼条件（ジャッキダウン）



JUR備船コスト（デイレート）は近年の油価の下落に伴い、主要地域の平均で※700万円/日となっており、クレーン台船（約750万/日（稼働時））比では安価となっている。

※曳船、補給、ROV船等は別途費用が発生

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

○ JURの基礎情報をもとに福島実証機の大規模修繕への適用可能性を検討するため、施工要領についての検討を行った。

実証事業の成果

○ JURを用いた福島実証機の大規模修繕作業の適用検討

JURを用いた浮体式洋上風車の大規模修繕の実現性を検討するため、JUR本体への艀装工事（甲板補強、クレーン設置等）～福島回航～風車の大規模修繕についての施工要領を検討した。

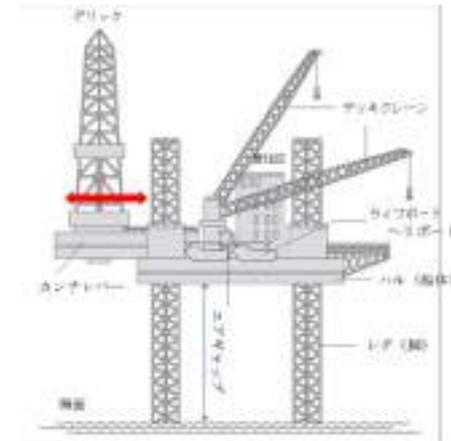
施工要領については、JURによる一般的な作業要領をベースとし、風車の修繕に関しては、想定される大規模修繕(ブレード交換)を基本として想定した。



JUR回航作業イメージ
(東南アジア～福島)



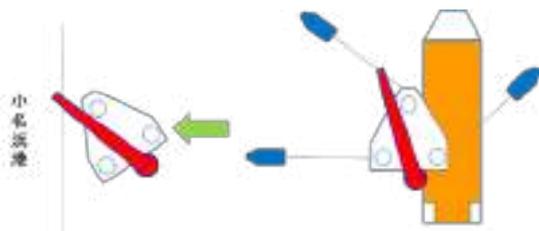
JUR曳航作業イメージ



JUR概要図

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

・JURによる大規模修繕のコンセプト



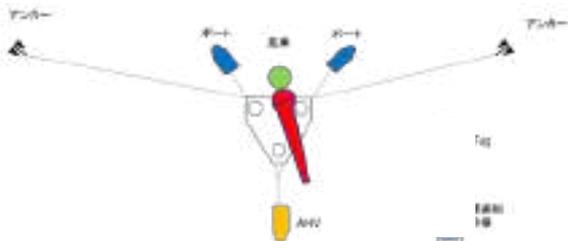
①福島・小名浜港沖に到着後、曳船により運搬船からJURを引出し、JURを着岸させる。



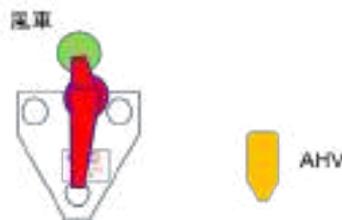
②JUR搭載のクレーンを用いて岸壁から取替部材・資機材類を取り入れる。



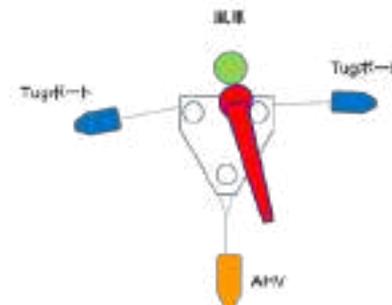
③積込作業完了後、AHVを主曳船としてJURを実証海域まで曳航する。



④実証海域到着後、風車に接近し、JURを計画の据付位置に配置する。



⑤対象のブレード撤去後、JURに搭載された取替部材の設置作業を行う。



⑥作業完了後、JURは小名浜港沖へ曳航。到着後にJUR運搬船に積込を実施。

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

○JURによる大規模修繕コンセプトをもとに風車の修繕費用についての試算を実施した。

実証事業の成果

○大規模修繕費用の試算

⇒JURの改造工事を実施し小名浜へ曳航、JURに取替部材を積み込み、修繕作業の実施を一連の流れとして、風車の大規模修繕費用の試算を実施した。

大規模修繕		
対象施設	H28年概算 コスト (億円)	概算コスト (億円)
2MW機	約15.5	約10.7 (1基あたり) ※1
5MW機	約16.0	
7MW機	約21.0	
合計	約52.5	約32.1

○大規模修繕費用の比較

H28年概算コスト（現有の作業船舶による試算）と比較するとJURにより原位置作業が出来るため、チェーンの切断、再取付作業および浮体の曳航（小名浜港～設置海域）費用を削減できるため、H28年修繕費用の約4割の圧縮が可能となったと考えられる。

※1 JURの改造費用約40億円を含まない。
（商用化に伴う市場拡大により、工事費用への負担は軽微であると仮定）

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

○ 将来見通しとして、国内市場の拡大により作業船の回航費用やウィンドファーム単位による施工により共通仮設費用の合理化が見込まれ、事業性水準の費用に到達する可能性を確認した。

実証事業の成果

将来見通しにおける改善ポイントを実現することで事業性として求められる大規模修繕費用の水準に到達する可能性を確認した。

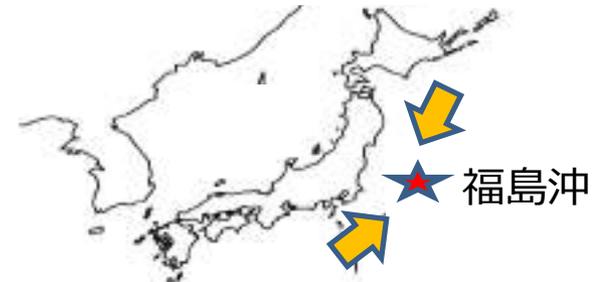
大規模修繕		
工種	現状のコスト※1	将来見通し※2
回航	①JUR国内調達による回航費用の圧縮 ②JURレグの設置に伴う海底面調査の一括化 ③共通仮設費用の合理化	
港内準備作業		
修繕作業		
管理費用・その他		
合計(一基あたり)	約10.7億円	約0.9億円

※1 現状の2MW機
(コンパクトセミサブ 係留索6条)

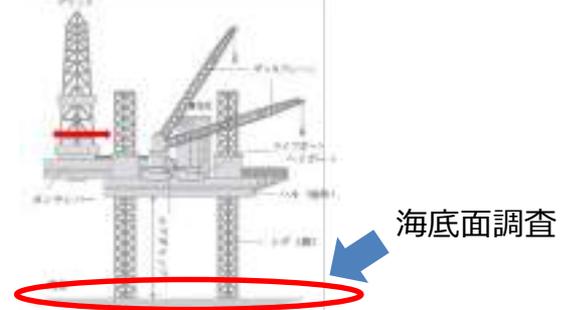
※2 5MW機
(コンパクトセミサブ 係留索3条)
×20基の大規模修繕時を想定

「現状」⇒「将来見通し」における改善ポイント

①JUR国内調達による回航費用の圧縮



②JURレグの設置に伴う海底面調査の一括化



③共通仮設費用の合理化 (ウィンドファーム単位による施工)

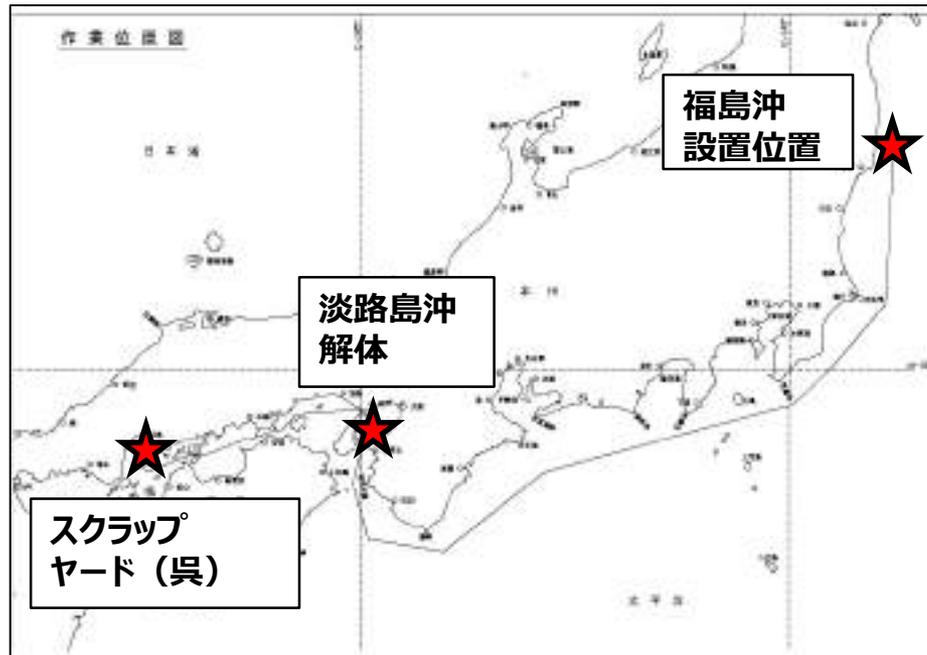
4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

- 撤去費用の更なるコストダウンのため、解体部材の陸上処分までを含めた効率的な解体場所の選定、撤去工法について詳細検討を実施した。

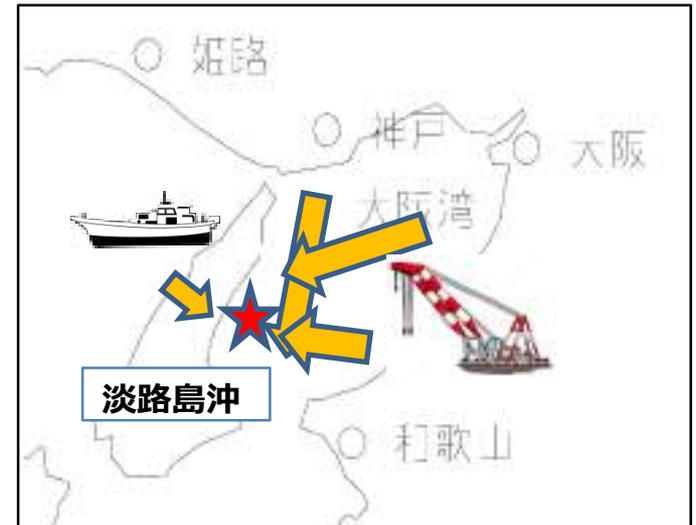
実証事業の成果

○解体場所の選定

福島・小名浜港での解体を基本とした案（従来）
⇒作業船の回航費を圧縮できる解体場所の選定



浮体撤去に関する削減案の一例



例) 淡路島沖での解体

浮体の係留チェーン解除後、風車解体作業船の回航費用を抑えられる海域（例：淡路島沖）まで曳航、風車を解体し、解体部材および浮体部分をスクラップヤードまで搬送する。

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

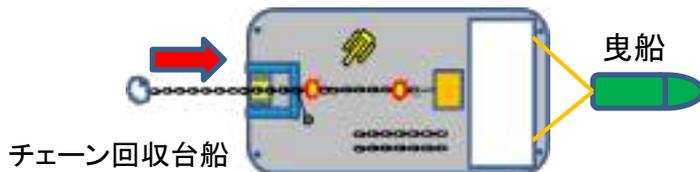
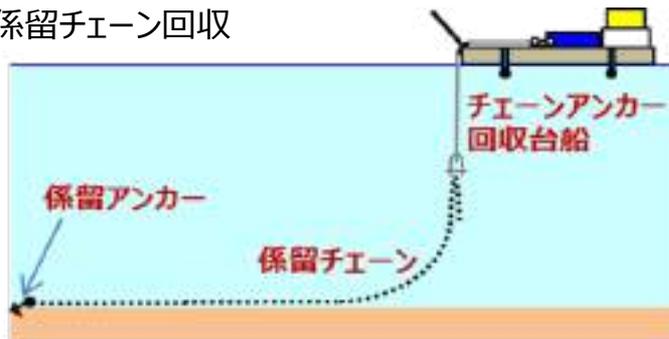
○浮体係留解除工～風車解体工における各作業に関する技術情報を収集し、洋上での実施工を考慮した技術検討を深化させた。

実証事業の成果

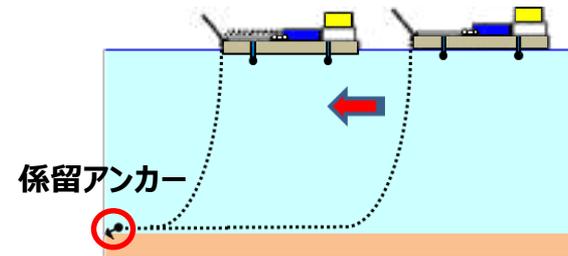
○洋上作業の詳細工法の検討（福島沖合）

チェーン敷設作業の逆手順を基本としながら、浮体チェーンの敷設状態を考慮した施工方法を選定。また、必要作業船の種類を限定することで備船費用の圧縮に繋げる方針とした。

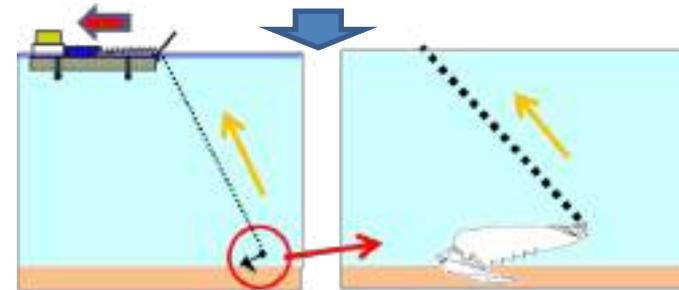
例) 係留チェーン回収



係留チェーン回収作業のイメージ



チェーン回収進捗イメージ



係留アンカー抜錨イメージ

浮体の係留アンカーの抜錨方法としては、Vryhof マニュアルを基本として抜錨工法の検討を実施した。

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

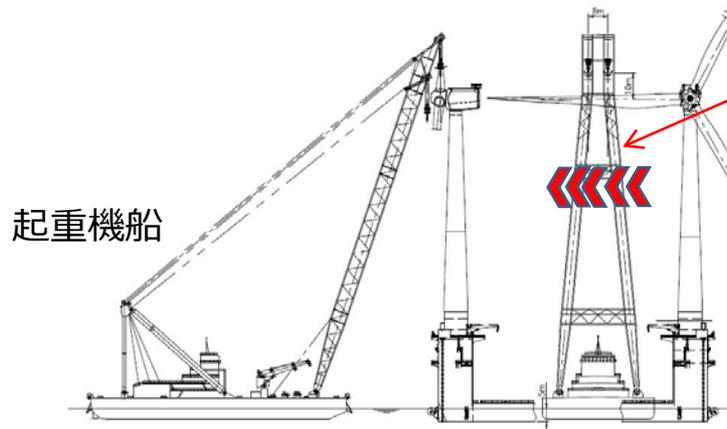
○ 福島沖から曳航後の作業船の集積地（例：淡路沖）における風車解体作業を検討。設置時と逆手順の解体方法を基本として、その詳細工法を検討した。

実証事業の成果

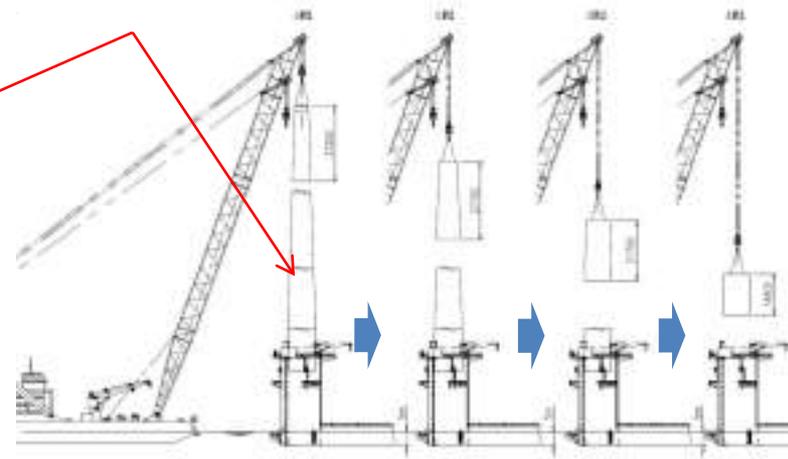
○ 洋上作業の詳細工法の検討（例：淡路島沖）

⇒ 沖合での風車解体工法に準じて、設置時と逆手順の解体方法を検討。後工程の解体スクラップヤードの受入に必要なとされる最低限の解体を実施して、沖合作業時間を圧縮する。また、安全性向上のため、浮体の一時的な着底を行った場合の施工可能性についての検討を実施した。

設置時と逆手順で解体を実施



① ブレード撤去作業のイメージ



② 風車タワー撤去作業のイメージ

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

○各浮体の形状、風車の規模等により近傍の港、作業船集積地での施工を選択することがコスト低減につながる事が分かった。

実証事業の成果

○撤去費用の試算（例：淡路島沖）

⇒福島沖での浮体係留解除から解体部材輸送を一連の流れとして、各浮体の撤去費用および海底送電ケーブル撤去の費用について試算した。

浮体撤去			
対象施設	H28年概算コスト (単位：億円)	概算コスト (淡路島沖) (単位：億円)	概算コスト (船泊業) (単位：億円)
2MW機	約10.7 (小名浜港)	約 14.7	約10.7
5MW機	約13.8 (東京港内)	約 15.5	約13.8
7MW機	約20.7 (小名浜港)	約 18.0	約18.0
リフト・クレーン	約16.8 (東京港内)	約 12.5	約12.5
送電ケーブル	約9.5	約 5.2	約 5.2
合計	約71.5	約 65.9	約 60.2 (H28比▲11.3)

○H28撤去費用との比較

H28年概算コストと比較すると、関連作業船の回航費用、風車解体後の処理費用の軽減が全体費用の圧縮に繋がったと考えられる。

また、送電ケーブルの回収については、基地港への回航を最小限に抑える工法とし、コストの低減を図った。

○最適案の提案

各浮体の形状、風車の規模等により撤去費用が異なる点から、近傍の港もしくは作業船集積地で実施するかを選択し、適地での施工を提案する。

4-3. 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

○ 将来見通しとして、浮体設計の改善や洋上風力の国内市場拡大による作業船の高性能化により、事業性として求められる撤去費用の水準に到達する可能性を確認した。

実証事業の成果

将来見通しにおける改善ポイントを実現することで事業性として求められる撤去費用の水準に到達する可能性を確認した。

「現状」⇒「将来見通し」における改善ポイント

浮体撤去				
工種	現状のコスト※1	将来見通し※2		
チェーン回収	①浮体設計の改善による係留索の減少 ②作業船の高性能化(チェーン回収) ③作業船の高性能化(曳航) ④作業船の共通化 ⑤スクラップ買取価格の上昇 ⑥共通仮設・回航費用の合理化			
浮体曳航				
浮体解体				
管理費用・その他				
合計(一基あたり)			約10.7億円	約2.0億円

※1 現状の2MW機
(コンパクトセミサブ 係留索6条)

※2 5MW機
(コンパクトセミサブ 係留索3条)
×20基の撤去時を想定

- ①浮体設計の改善による係留索の減少 (6条⇒3条)
- ②作業船の高性能化 (チェーン回収)
- ③作業船の高性能化 (曳航)
- ④作業船の共通化 (多目的作業船)
- ④作業船の共通化 (多目的作業船の利用)
- ⑤スクラップ買取価格の上昇
- ⑥共通仮設・回航費用の合理化 (wind farm単位による施工)

4-4. 事業化を見据えた経済性評価

○ 拡張ウインドファームを想定し、将来目標値である36円/kWhを達成する為のコスト削減案を検証する。

研究の目的

- ✓ 今年度は以下に示す3つの削減案を検証・実施し、FIT36円/kWhという目標達成の確度を示す。検討項目は以下の通り。
 - ①送電ロスの見直しによる送電端設備利用率の見直しを行う。
 - ②資本費の低減を検討する。
 - ③資本費の低減に伴う撤去費の見直しを実施する。
 - ④24時間監視体制の見直しを検討する。

実施方法

- ✓ 拡張ウインドファームを想定した場合の送電ロスを検証する。
- ✓ 資本費の将来の推定値を算定する。
- ✓ 運転維持管理費については、本実証研究の成果を踏まえ、メーカー・工事業者と共に将来の推定値を算定する。
- ✓ ファイナンシャルモデルを活用し、上記前提を反映させ経済性試算・評価を行う。

期待される成果（アウトプットイメージ）

- ✓ 福島沖において浮体式洋上風力発電所を開発時に目標となるFIT36円/kWhの達成への道筋を提案する。

4-4. 事業化を見据えた経済性評価

○以下の赤字項目(設備利用率、資本費)の見直しを実施。

* 撤去費については資本費の見直しによって変動。

* 各項目・設定条件についてはこれまでの成果による、実証ベースでの試算値。

昨年度(2017年度) 試算値

項目	設定条件	備考
WFの規模	100MW (5MW×20基)	将来の商用化時を想定
事業(買取)期間	20年間	着床式洋上風力と同様(2016年度)
設備利用率(送電端)	29.1%	過去3年間の2MW実績値
資本費	40億円/基 (80万円/kW)	昨年度報告書より引用(商用化時)
運転維持費	40億円/年 (4.0万円/kW/年)	本実証を踏まえた推定値 ※予備費(全運転維持費の5%)を含む
撤去費	10億円 (20万円/kW)	本実証を踏まえた推定値
固定資産税率	1.40%	-
税前P-IRR	6%~10%	一般的な民間投資基準をベースに感度分析

FIT36円達成基準

コスト基準

資本費	56.5万円/kW/年
運転維持費	2.25万円/kW/年
設備利用率	30%

平成26年3月7日調達価格等策定委員会資料より

① WTG・BoPメンテナンス(事業期間平均)

項目	費用	備考
風力発電機	0.9万円/kW/年(*1)	アクセス率を考慮 3年ごとに詳細点検を実施
浮体・ケーブル	0.3万円/kW/年	<浮体> NKの法定点検及び消耗品 ROV点検は複数浮体で連続して実施 <ケーブル> 外観確認、メガー測定、伝送損失測定 マルチビーム探査(複数年に1回) 予備品はExportケーブル関連品のみ

(*1) ギア式風車の事例を引用、油圧式風車は十分なデータが得られておらず未定。

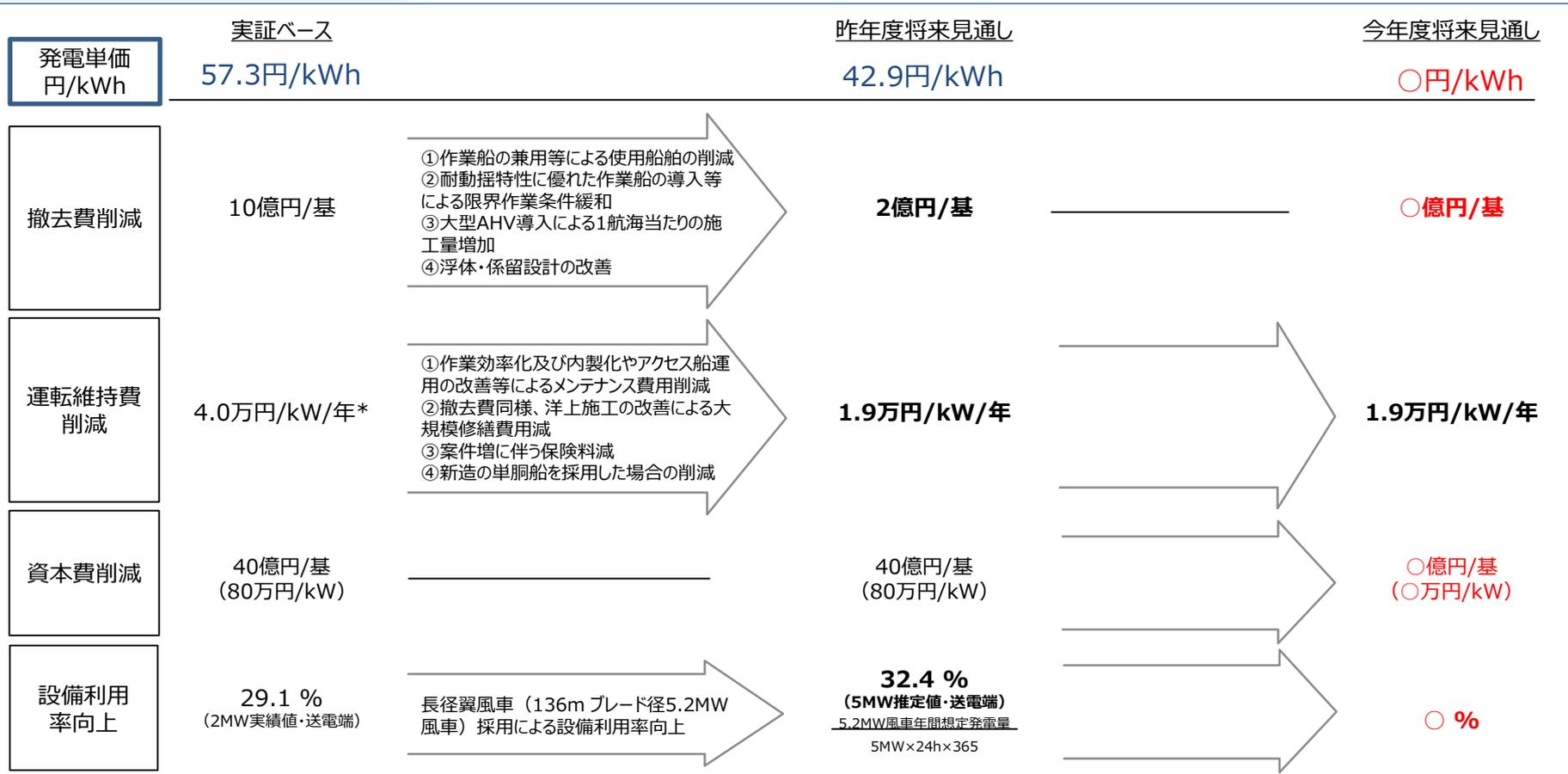
② 大規模修繕費用・オペレーション・予備費(事業期間平均)

項目	費用
○大規模修繕(20年に1回/基で修繕)	1.8万円/kW
○オペレーション	3.6億円/年(0.2万円/kW)
アクセス船	35百万円/年
運転監視員人件費	72百万円/年
電気主任技術者委託費	6.5百万円/年
受電料金	60百万円/年 (1基当たり3.0百万円/年)
その他(送電線、AIS、現場事務所管理等)	58百万円/年
○保険(財物・損害賠償責任)	0.6万円/kW
○予備費(全運転維持費の5%)	2.0億円/年(0.2万円/kW)

4-4. 事業化を見据えた経済性評価

○ 昨年度PIRR(税前)10%を示す前提として42.9円/kWhを示した。今年度の設備利用率、資本費の見直しにより、実証成果から発電単価の低減を示す。*撤去費については資本費の見直しによって変動。

将来の各種目標値と改善案



*実証成果を元に5MW×20基の100MW設置前提とした場合における、将来の想定運転維持管理費用及び資本費を採用。

4-4. 事業化を見据えた経済性評価

- 送電ロスの見直しによる送電端設備利用率の見直しを行い改善が見られた。
- 送電端設備利用率は32.4%→33.5%となり、1%の利用率向上が見られた。

実証事業の成果

- ✓ 大規模windファーム化した場合の送電ロスの見直しによる送電端設備利用率の概算検証を行った。
- ✓ 結果として送電ロスは従来値である7.1%から4.1%に減少。
- ✓ 将来における送電端設備利用率は以下の通りとなり、改善が見られた。

発電端設備利用率	送電ロス率	送電端設備利用率
* ₁ 34.9%	* ₂ 7.1%	32.4%
* ₁ 34.9%	* ₃ 4.1%	33.5%

*₁ 昨年度事業化委員会における推定値。(5MW×20基増設想定)

*₂ 2MW基単独発電時(5MW,7MW未建設時)におけるロス率。22kV+66kVケーブル使用時。

*₃ 66kVケーブルで風車出口から陸上地点までダイレクト接続を行った場合における試算値。2系統によるもの。1系統当たりの送電ロスは2.05%となっている。

- ✓ 上記の改善により、5MW20基増設とした場合の発電量は昨年比約**3%**の利用率向上が見込めた。

4-4. 事業化を見据えた経済性評価

- 公開データの文献参照値をもとにした資本費の低減を検討し、66万円/kWまで低減する可能性が示唆された。
- 検討結果から昨年比約17.5%のコスト削減可能性が示唆された。

実証事業の成果

- ✓ 公開データ（文献参照値）と本実証研究との比較検証を行い、資本費の将来低減可能性検証を行った。
- ✓ 調査の結果、資本費は以下の通りとなり、66万円/kWまで低減する可能性が示唆された。

想定	使用浮体形式	係留チェーン本数	使用風車	資本費
* ₁ 現状想定	4カラムセミサブ	6本	5MW風車	80万円/kW
* ₂ 文献参照値	3カラムセミサブ	3本	* ₃ 5 MW風車	* ₄ 66万円/kW

*₁ 昨年度事業化委員会における推定値。(5 MW×20基増設想定)

*₂ NEDO成果報告書データベース プロジェクト番号：P14022 参照。

*₃ 5 MW×10基増設の為、本事業化想定である20基とした場合、コストの低減が見込める見通し。

*₄ 参考値66.7万円/kWより、間接経費を除いた金額としている。

- ✓ 上記より、5 MW20基増設とした場合の資本費は昨年比約**17.5%**のコスト削減可能性が示唆された。

4-4. 事業化を見据えた経済性評価

○ 昨年度PIRR(税前)10%を示す前提として42.9円/kWhを示した。今年度の設備利用率、資本費、運転維持費の見直しによる実証成果から今年度の成果として、35.4円/kWhが示された。

将来の各種目標値と改善案

発電単価 円/kWh	実証ベース 57.3円/kWh	昨年度将来見通し 42.9円/kWh	今年度将来見通し 35.4円/kWh
撤去費削減	10億円/基	2億円/基	1.7億円/基 *資本費の5%で算出
運転維持費削減	4.0万円/kW/年*	1.9万円/kW/年	1.9万円/kW/年
資本費削減	40億円/基 (80万円/kW)	40億円/基 (80万円/kW)	33億円/基 (66万円/kW)
設備利用率向上	29.1 % (2MW実績値・送電端)	32.4 % (5MW推定値・送電端) $\frac{5.2\text{MW風車年間想定発電量}}{5\text{MW} \times 24\text{h} \times 365}$	33.5 % (5MW推定値*・送電端) *発電端設備利用率については昨年度事業化委員会の試算値を使用

*実証成果を元に5MW×20基の100MW設置前提とした場合における、将来の想定運転維持管理費用及び資本費を採用。

4-4. 事業化を見据えた経済性評価

- 昨年度に於いてはPIRR(税前)10%を示す前提として42.9円/kWhを示した。今年度の設備利用率、資本費の見直しによるの成果として、35.4円/kWhが示された。
- 24時監視体制の見直し実証成果から今年度については今後要協議。
- 今後更なる資本費の低減検討を行うことで、将来見通しが改善する可能性がある。

将来の各種目標値と改善案

発電単価 円/kWh	今年度将来見通し 35.4円/kWh	P-IRR (税前)	実証ベース	昨年度将来 見通し	今年度将来 見通し
撤去費削減	1.7億円/基 *資本費の5%で算出				
運転維持費 削減	1.9万円/kW/年	6%	47.8 円/kWh	33.9 円/kWh	28.3 円/kWh
資本費削減	33億円/基 (66万円/kW)	8%	52.4 円/kWh	38.3 円/kWh	31.7 円/kWh
設備利用率 向上	33.5 % (5MW推定値*・送電端) *発電端設備利用率につい ては昨年度事業化委員会の 試算値を使用	10%	57.3 円/kWh	42.9 円/kWh	35.4 円/kWh

5. 「国民との科学・技術対話」の実施

5. 国民との科学技術対話

○本実証事業の取り組み、進捗及び成果について展示場、ホームページ及び展示会を用いて情報発信を行い国民への理解を深めた。

常設展示場

- ①交流センター
 - 模型、パネル、施工記録及び発電映像配信等の情報配信
 - 主な来場者
 - 小名浜第1小学校
 - 栃木県大田原市立中学校
 - 太平洋島サミット広報担当
 - 青少年赤十字福島支部
 - 来場者 (2018/4/1-2018/11/30)
約28千人
- ②天神岬展望コーナー
 - 説明版展示、望遠鏡設置



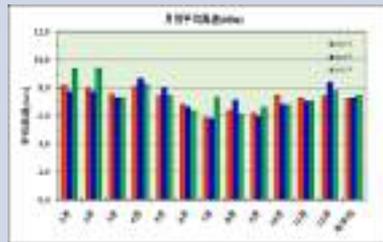
青少年赤十字福島支部



小名浜第1小学校

ホームページ

- ①情報発信
 - 最新情報（イベント等）
 - 研究通信
 - 技術資料及び観測データ公開
 - お問合せ（現地見学・視察希望、取材対応、写真提供等）10件
- ②コンテンツ
 - 各種パンフレット、映像、海上工事広告
 - 訪問者 (2018/4/1-2018/12/18)
(日本語) 総数約 21千人
(英語) 総数 約 3千人



2015-2017年 観測データ公開

展示会

- ①Grand Renewable Energy 2018
 - 福島関連ポスター発表 7件
- ②福島産業フェア 2018 出展
 - 2018/11/7- 11/8
 - 来場者総数 約1.4千人
- ③第40回風力エネルギー利用シンポジウム
 - 福島関連発表 2件
- ④WIND EXPO2019 出展
 - 2019/2/27-3/1
 - 来場者総数 約4.5千人



産業フェア 中間パイを見る高校生



WIND EXPOブース全景

- 各種広報活動を通じて本実証事業への理解者が増えていると判断できる。
- 地元若者の中に教育現場への広報活動により再生エネルギーへの関心が高まり、再生エネルギー関連事業への就職希望者が出てきている。
- 地元企業の中に商工会議所、各種団体へのセミナーをはじめとした広報活動により浮体式洋上風力への関心が高まり、事業化への関心を示す企業が出現した。