

平成29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30年3月31日  
福島洋上風力コンソーシアム

# < 目次 >

1. 環境影響評価及び漁業との共存.....	3
2. 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 及び最適化の検証等.....	9
3. 浮体式洋上風力発電システムの維持管理手法の評価等.....	26
4. 浮体式洋上風力発電システムの各種評価等.....	100
5. 「国民との科学・技術対話」の実施.....	123

# 1. 環境影響評価及び漁業との共存

---

# (1) 漁業との共存

○漁業との共存に向けた取組を通じ、発電事業への理解を深め、参画意識を醸成する。

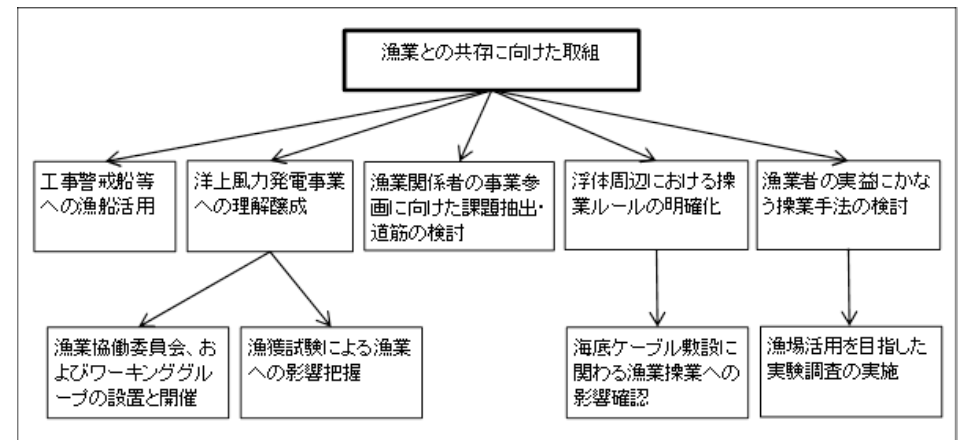
## 現状認識と研究の目的

浮体施設による漁業への影響を把握する。浮体周辺海域の漁場としての利用可能性の検討と実証を行う。  
共存に向けた課題抽出と解決策を提示し、発電事業への理解と参画意識を醸成する。

## 実施方法

- ・工事警戒船等への漁船活用
- ・漁業協働委員会およびワーキンググループの設置と開催
- ・漁獲試験による漁業への影響把握
- ・漁業関係者の事業参画に向けた課題抽出、道筋の検討

## 期待される成果(アウトプットイメージ)



共存に向けた課題抽出と解決策の提示  
事業化への理解と参画意識の醸成

## (1) 漁業との共存

- 工事警戒船等への漁船活用、会議の開催を通じ、漁業関係者の事業への理解をより深めてもらうと共に、信頼関係を醸成した。
- 傭船および会議の開催を継続して実施し、漁業関係者の事業への理解を深めることを目指す。

### 実証事業の成果

- 工事警戒船等への漁船活用
  - 漁業者が工事警戒船業務に就くことで、洋上工事の現状を確認することができ、実証研究事業への理解が進んだ。
  - 調査業務において、漁業者自らが漁獲の調査を行うことにより、浮体がもたらす漁業への影響に関し、その理解や実感が深まった。
- 漁業協働委員会およびワーキンググループの設置と開催
  - 事業の進捗説明、漁業者の疑問への回答、不安の解消、および事業への理解の深化が図れた。
  - 漁業者と事業者との信頼関係を醸成することができた。

# (1) 漁業との共存

- 漁獲試験の実施を通じ、大型風車浮体設置後も漁業生産への影響はないことを確認した。
- 漁業関係者の実益にかなう操業手法としてマグロ類を対象とした操業手法を対象としたが、実益を実証するには至らない結果となった。

## 実証事業の成果

### ● 漁獲試験による漁業への影響把握

- 昨年と今年とで底魚類の分布域や漁獲量に大きな変化は認められなかったことから、昨年度設置した最後の浮体である5MW設置後においても、漁業への悪影響は現時点において確認されなかった。



### ● 漁業関係者の実益にかなう操業手法の実証

- 浮体施設の浮魚礁的な機能を活用する漁法について、漁業者主導にて調査方法や操業方法を検討し、結果についての評価を行った。
- 実益を上げるため、魚価の高いマグロ類(マグロは漁獲規制対象魚種のみ)を対象とした操業手法が良いのではないか、という意見が出された。そこで、本年度はいわき地区・相双地区ともに、釣り・曳釣りを主体とし、浮体への集魚が期待される主に回遊性の浮魚類を対象とすることとした。
- 結果として、メジマグロを1隻2時間で50kg以上漁獲するという目標は達成できず、8.0kgが最大という結果となった。



浮体近辺で釣り上げたメジマグロ

地区	実施期間
いわき地区	7月8日～11月17日間の全10回
相双地区	8月4日～12月22日間の全11回

## (2) 環境影響評価

○これまでの事後調査結果から、環境への著しい影響は生じていないと考えられる。

### 現状認識と研究の目的

これまで風車設置前及び工事中に調査を行った。今年度実施している事後調査結果と、設置前および工事中の結果を比較することで発電設備が環境に与える影響の度合いを把握する。

### 実施方法

- ・海鳥、魚類、海産哺乳類、水中騒音、電波障害（漁業無線）を実施
- ・赤外線カメラによる鳥類の衝突監視及び船舶レーダーによる海鳥の飛翔軌跡の調査及び風力発電機設置後の状況調査

### 期待される成果（アウトプットイメージ）

項目		評価書時の調査範囲		事後調査の実施	影響の有無
		風力発電設置海域	海底ケーブル陸あげ付近		
水中騒音		○	-	○	
水の濁り		○	○	-	
漁業無線		○	-	○	
動物	海鳥	○	-	○	
	海産哺乳類	○	-	○	
	魚類(底魚)	○	-	○	
	魚類(浮魚)	○	-	○	
	魚卵・稚仔	○	-	-	
	動物プランクトン	○	-	-	
	マクロベントス	-	○	-	
植物	岩礁付着生物(動物)	-	○	-	
	潮間帯生物(動物)	-	○	-	
	植物プランクトン	○	-	-	
	海藻草類	-	○	-	
	岩礁付着生物(植物)	-	○	-	
	潮間帯生物(植物)	-	○	-	
景観		-	-	-	
産業廃棄物		-	-	-	

調査結果より項目ごとの影響の有無を把握する

## (2) 環境影響評価

○事後調査として、海鳥、魚類、海産哺乳類、水中騒音、電波障害(漁業無線)を実施した。何れの項目においても環境への影響度合いは殆どないと考えられる。

### 実証事業の成果

#### ①海鳥

浮体付近にも鳥類が分布していること等から顕著な影響は生じていないものと考えられる。



浮体で休息するカモメ科の鳥類

#### ②海産哺乳類

目視調査や定点音響調査などを実施。浮体付近でも確認されているが、対照区と比較すると頻度が少なく、影響の程度は小さいもしくは不明である。継続調査をし、影響の程度を把握する。



浮体周辺で確認されたイルカ類のソナー音

#### ③魚類

浮体工事中において、一時的に魚類が驚く程度の騒音が生じているものの、事後調査から浮体付近に魚類が生息していることが確認されている為、著しい影響は生じていないと考えられる。



7MW近辺で確認されたイシダイの群れ

#### ④水中騒音

風車に近い場所のほうが音圧レベルが大きく、風車の稼働による音圧上昇がみられた。また、比較的高い周波数域(315Hz~20kHz)では、水深が深くなるほど音圧レベルが大きい傾向がみられた。

#### ⑤電波障害

浮体設置後も受信レベルの低下は診られず、影響は殆どないことが明らかとなった。



測定装置による結果、影響確認されなかった。



## 2. 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等

---

○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、浮体式洋上風力発電設備に作用する荷重評価のための、風速・波浪データを作成する。

## 現状認識と研究の目的

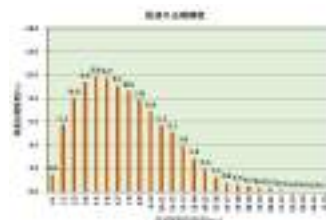
- 浮体式洋上風力発電設備の共用期間中に作用する疲労荷重・終局荷重を推定するためには風速・波浪データが必要である。

## 実施方法

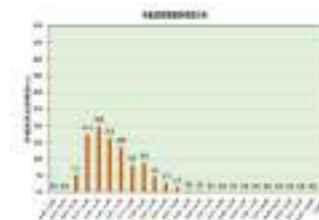
- 事業開始から観測で蓄積した過去の気象・海象観測値を分析することにより、風速・波高・周期の関係を明らかにするとともに、これらの関係をモデル化する。提案したモデルに基づき、終局荷重評価と疲労荷重評価のための風速・波浪のデータを作成する。

## 期待される成果(アウトプットイメージ)

- ①実証海域における気象・海象観測のデータセットを作成し、2015年の結果をH29年11月HP上に公開する。  
(公開形式: [www.nedo.go.jp/fuusha/public/index.html](http://www.nedo.go.jp/fuusha/public/index.html)参照)

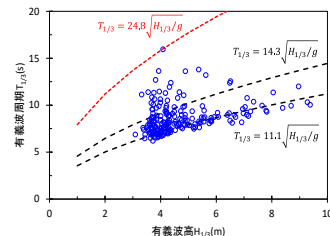


風速階級別出現頻度分布(2015年)

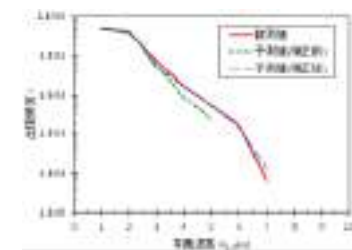


波高階級別頻度分布(2015年)

- ②風速・有義波高・有義波周期の関係をモデル化するとともに、有義波高・有義波周期の頻度分布の高精度評価モデルを構築する。



年最大有義波高と周期の関係



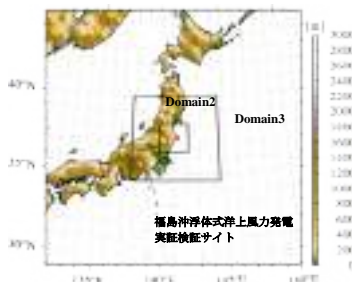
有義波高の頻度分布

○実証研究海域において気象・海象観測を引き続き実施し、風速・波浪・流れのデータセットを作成した。実証研究海域において気象・海象シミュレーションを実施し、観測値を用いて検証した結果、シミュレーションは気象・海象を高精度に推定可能であることを示した。

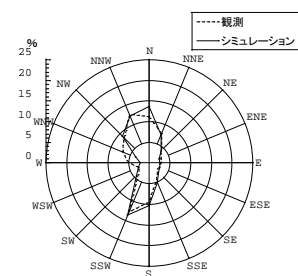
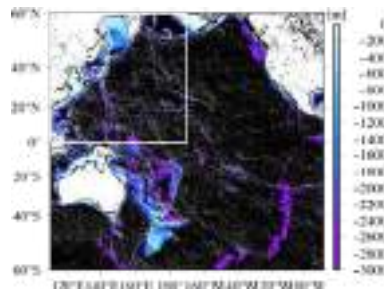
## 実証事業の成果

- 2015年1年間の観測データを整理し、荷重評価用データセットを作成した。
- 2015年通年の気象シミュレーション・海象シミュレーションを実施し、風配、風速階級別出現頻度、波高別出現頻度、波周期別出現頻度は観測値と一致することを示した。

気象シミュレーションの解析領域

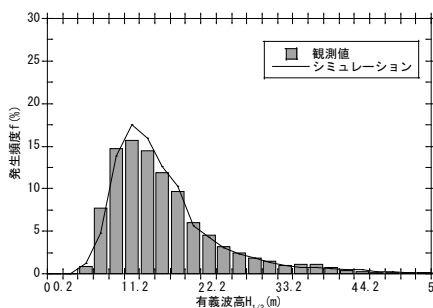
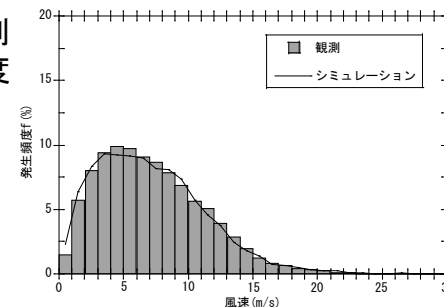


波浪シミュレーションの解析領域



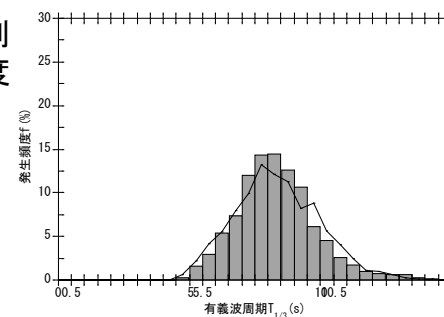
風向別出現頻度

風速別出現頻度



波高別出現頻度

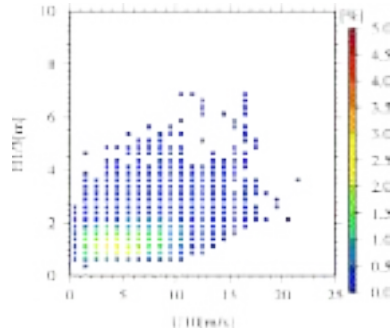
周期別出現頻度



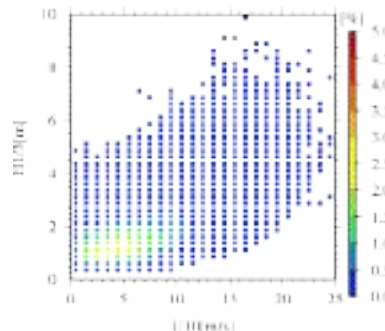
○気象・海象シミュレーション結果を用いて、風速と波高・周期の関係をモデル化し、モンテカルロシミュレーションにより長期の疑似的な観測データを作成する手法を構築した。また、気象シミュレーション結果を用いて発電量の経年変化を求め、年によって発電量に大きな差がないことを示した。

## 実証事業の成果

- 風速と波高、風速と周期、波高と周期の関係をモデル化し、モンテカルロシミュレーションで疑似的な風速・波浪場を作成する手法を構築した。



観測から求めた風速と有義波高の関係



モンテカルロシミュレーションにより発生させた風速と有義波高の関係

風速と波高のモデル化(平均値)

$$\mu_{H_{1/3}} = \sqrt{\mu_{H_{1/3,W}}^2 + \mu_{H_{1/3,S}}^2}$$

$$\mu_{H_{1/3,W}} = \frac{0.30U_{10}^2}{g} \left[ 1 - \left\{ 1 + 0.004 \left( \frac{gF}{U_{10}^2} \right)^{1/2} \right\}^{-2} \right]$$

$$\mu_{H_{1/3,S}} = (\mu_{H_{1/3}})_{0-1} = 1.31\text{m}$$

- 気象シミュレーション結果から、10年分の発電量を計算し、10年間の発電出力に大きな経年変化はないことを示した。

year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	平均値	標準偏差
発電量(GWh)	6.18	5.91	5.87	5.68	5.85	5.76	6.20	6.23	5.80	5.83	5.93	0.189
風速(m/s)	7.51	7.21	7.24	7.09	7.16	7.05	7.39	7.49	7.21	7.12	7.25	0.154

○経済的な維持管理を実施するために、実証研究海域において風速・波浪予報手法を構築し、その予報精度を明らかにする。

## 現状認識と研究の目的

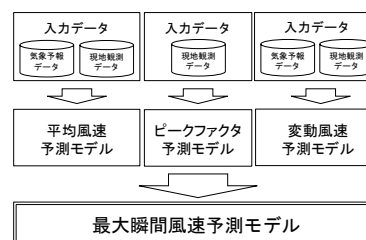
- 経済的な維持管理を実施するためには、実証研究海域における気象・海象を事前に予報することが重要である。現状では、瞬間風速と波浪予報に関してはその予報精度が明らかにされていない。本研究では実証試験海域における気象予報・波浪予報手法を構築し、予報精度を明らかにする。

## 実施方法

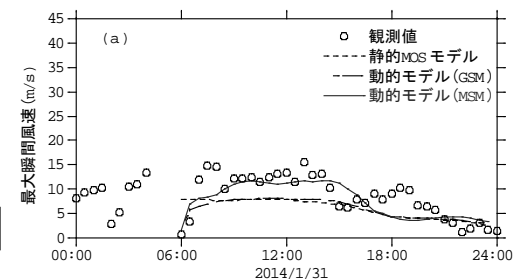
- 気象庁発表の数値気象予測データ(GPV気象予報値)・数値海象予測データ(GPV波浪予報値)と、現地観測データを用いてARXモデルにより当日および翌日の風速・波浪予報を行い、その予報精度を評価する。

## 期待される成果(アウトプットイメージ)

- ①気象・波浪の当日・翌日予報手法が構築される。

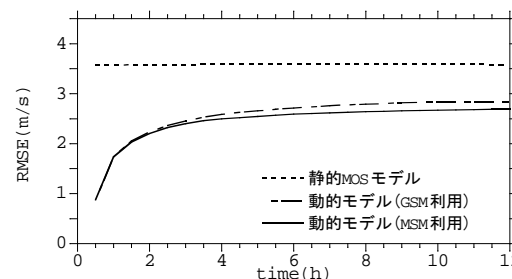


最大瞬間風速予報モデル

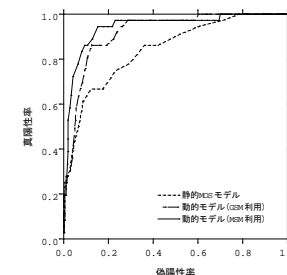


風速予報結果の例

- ②気象・海象予報の予報時間別精度が明らかになる。



瞬間風速の予報誤差



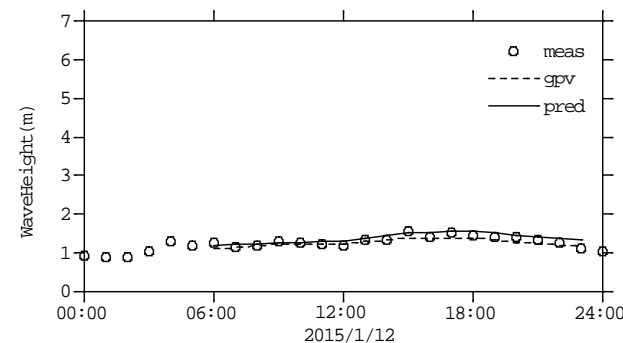
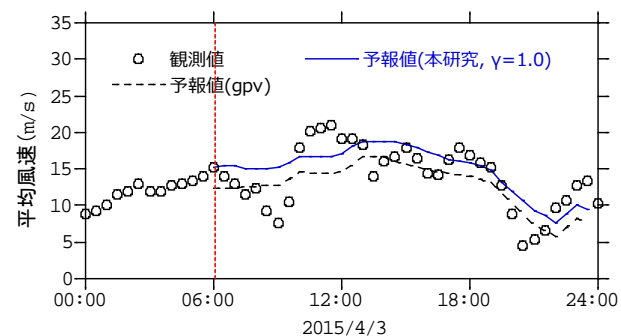
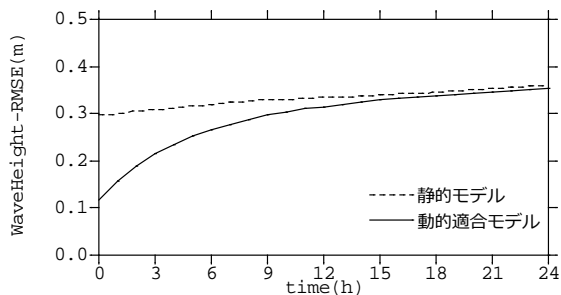
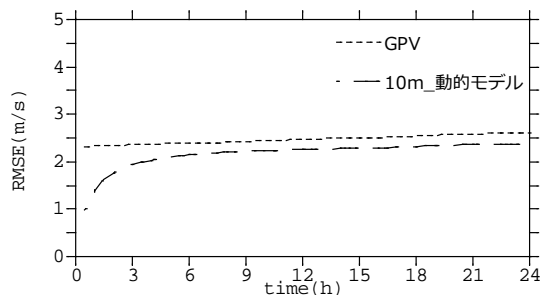
各モデルのROC曲線

○維持管理のための風速・波浪予報手法を構築し、その予報精度を明らかにし、6時間さきまでの予報では、観測データを用いることにより気象庁GPVデータと比べて予報精度が向上することを示した。

## 実証事業の成果

ARXモデルを用いて、オンライン観測データと、気象庁GPVデータから24時間先までの風速と有義波高・ピーク周期を予報する手法を構築し、予報誤差を評価した。

- 気象庁GPVデータをそのまま用いる場合と比較して、平均風速や有義波高の平均二乗誤差(RMSE)は特に6時間先予報までの範囲で減少する。



○浮体式洋上風力発電設備の設計評価のために、サイトの設計条件を再評価するとともに、実証設備の風車・浮体・係留索の動的解析及び構造計算を行い、各種の解析手法を評価する。

### 現状認識と研究の目的

□浮体式洋上風力発電所設備の事業期間における安全性及び耐久性を検証するために、長期の気象・海象観測データを使用して、風車・浮体に作用する疲労荷重を評価する必要がある。

### 実施方法

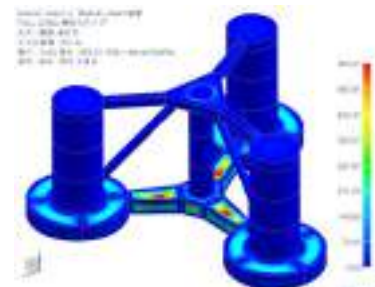
□浮体式風力発電所の設計評価のために、サイトの設計条件を再評価するとともに、2MW風車、浮体・係留及びサブステーション浮体・係留を対象に、動的解析とFEM解析を行い、実験と観測データと比較することにより、その予測精度を評価する。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)

- ① 2MW風車・浮体・係留索及びサブステーション浮体・係留索を対象として動的解析を行い、実験と観測から得られた動揺データと比較することにより、各種の解析手法の精度を評価する。
- ② 動的解析とFEMの結果に基づき、風車、浮体、係留に作用する力を求め、実験と観測データと比較することにより、各種の解析手法の精度を評価する。
- ③ 終局・疲労強度を求めて、各種計算手法の妥当性を評価する。



浮体の動的解析



浮体のFEM解析

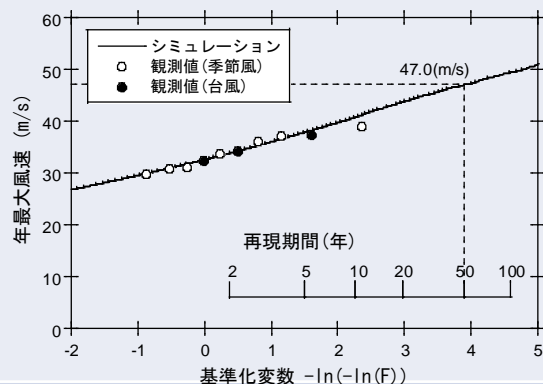


○高精度化した気象・海象予測モデルを用いてサイトの設計外部条件(気象・海象)を再評価し、原設計時に設定した気象・海象条件が妥当であることを確認した。

### 実証事業の成果

#### 極値風速

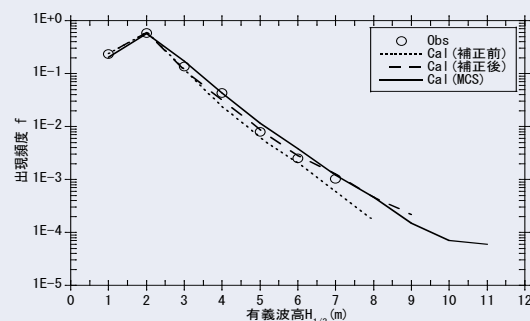
- 台風シミュレーション(1万年間)
- メソスケールシミュレーション(10年間)
- 評価時間補正



年最大風速の50年再現期待値は47m/sとなり、原設計時の値と一致した。

#### 常時波浪

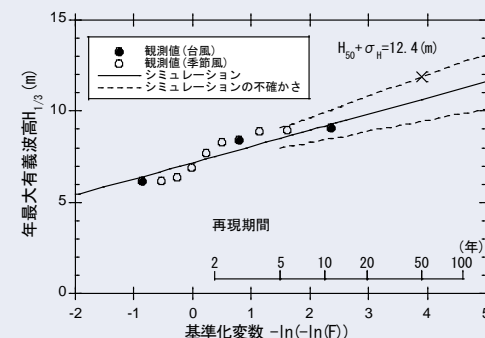
- 波浪シミュレーション(10年間)
- モンテカルロシミュレーション(30年間)



予測値に基づき、モンテカルロシミュレーションを実施し、求めた波浪別出現頻度分布は観測値をよく再現していることを示した。

#### 極値波浪

- 波浪シミュレーション(10年間)
- 極値補正
- 評価時間補正



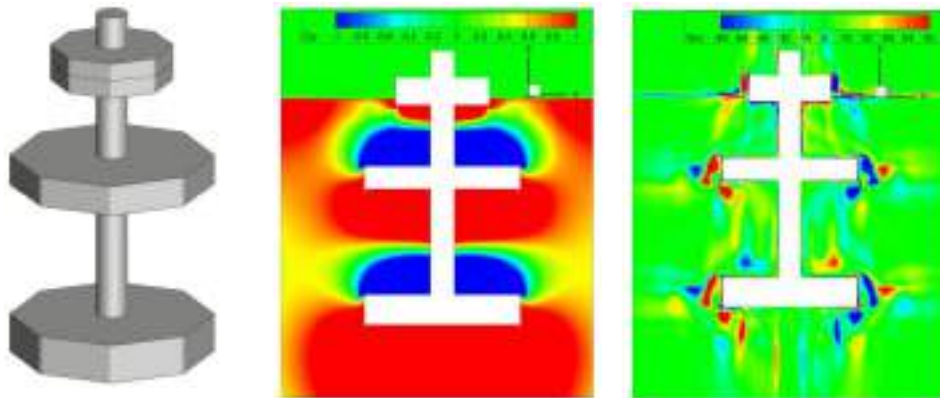
年最大波高の50年再現期待値は11.9mとなり、原設計時の値(11.7m)を概ね再現した。



○浮体の動解析を高精度化するために、数値流体解析により抗力係数(粘性減衰係数)を求めるとともに、ポテンシャル流れ解析により付加質量と造波減衰を求めた。これにより浮体の部材に作用する流体力を求めることができるようになった。

### 実証事業の成果

- 2MW風車搭載コンパクトセミサブ浮体と、サブステーション搭載アドバンスドスパー浮体を対象として数値流体解析により、サージ方向とヒーブ方向に強制加振シミュレーションを実施し、浮体表面上の圧力分布を求め、抗力係数(粘性抵抗係数)を求めた。
- 水槽実験では、浮体全体に作用する流体力の積分値のみ計測可能であったが、本手法により、浮体の各部材に作用する流体力係数を求めることが可能になり、浮体の各部材に作用する応力を求めることができるようになった。



アドバンスドスパー浮体のヒーブ方向強制加振シミュレーション時の浮体表面圧力分布

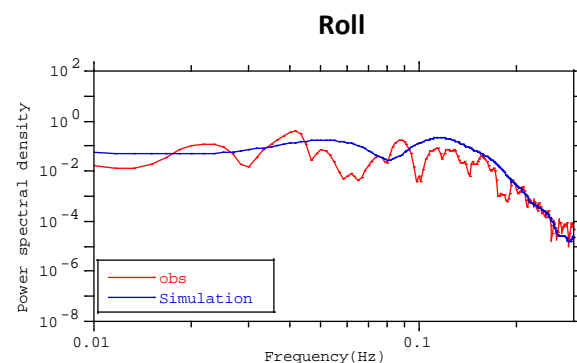
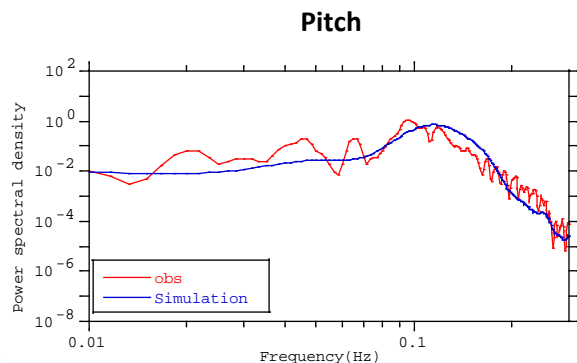
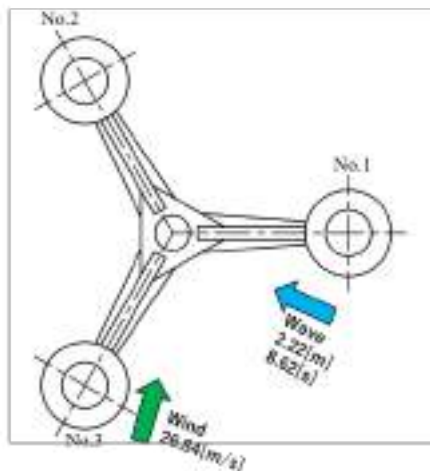
部位	サージ(30° 方向)	
	Ca	Cd
サイドコラム1	1.07	0.75
ブレース1	0.64	0.49
センターフロート1	0.44	1.10

2MW風車の部材毎の流体力係数の一例

○求めた流体力係数を用いて、実証設備の風車・浮体・係留索の動的解析及び構造計算を行い、観測データを高精度に予測できることを示した。

### 実証事業の成果

- 浮体動揺の観測データから、データ異常値を除去し、欠測を補完する手法を構築し、2015年1年間の浮体動揺データセットを構築した。
- DLC6.1(暴風時-風車停止時), DLC1.6(高波浪時-風車運転時), DLC1.2(疲労荷重-風車運転時)を対象とした検証データセットを抽出し、動解析モデルの検証を行った。



暴風時を対象とした検証ケース 2015/4/3 11:10-11:20

○風車・浮体・係留設備の動的解析と構造計算について、これまでの手法と比較してより精緻に行うことで、浮体式洋上風力発電所およびサブステーションの設計認証手法を確立する。

#### 現状認識と研究の目的

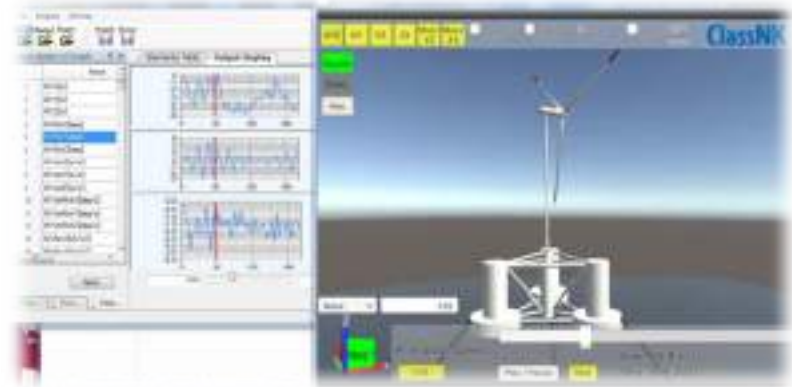
- ❑ 事業化のため、実証設備の安全性と耐久性を評価することが事業者や保険会社から求められており、独立的な評価は必要不可欠。
- ❑ 浮体式洋上風力発電所の風車・浮体・係留設備について、最新の動的解析と構造計算手法を用いて評価を行うことにより、安全性及び耐久性を担保できる設計評価手法を確立する。

#### 実施方法

1. 2MW浮体式風車の動的解析・構造計算・設計評価
2. 2MW風車搭載浮体・係留の動的解析・構造計算・設計評価
3. サブステーション浮体・係留の動的解析・構造計算・設計評価

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)

- ① 最新の解析手法により、2MW浮体式洋上風力発電所の風車・浮体・係留およびサブステーションの動的解析と構造計算を独立的に行い、その安全性と耐久性を評価する。
- ② 最新の設計基準および実測データと比較することにより、原設計の妥当性と精度を評価する。

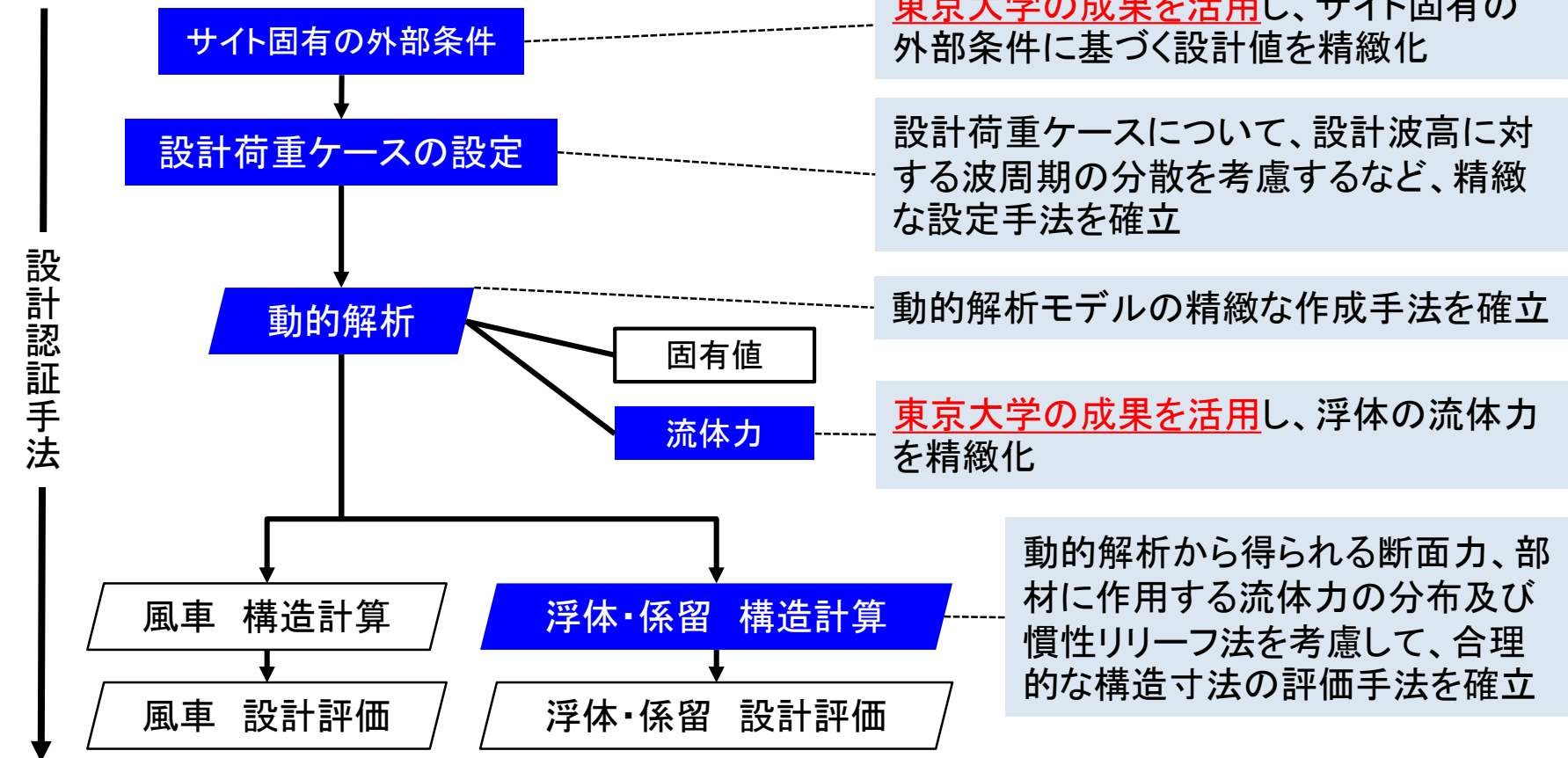


### (3) 設計認証手法の確立

#### ① 浮体式洋上風力発電所の設計認証手法の確立

- 従来の手法を精緻化する形で、設計認証手法を確立した。(下図フローの青色の部分)

実証事業の成果

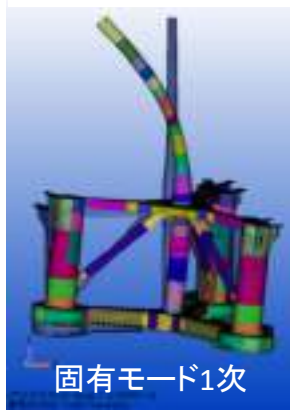


#### ② 2MW風車・浮体・係留の動的解析を実施

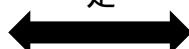
- 2MW浮体・風車・係留について、固有値及び精緻化した流体力の同定を行い、原設計と比較して精緻な動的解析モデルを構築し、風車・浮体・係留設備の動的解析を実施した。
- 周期の分散性を考慮する今回の手法が、原設計と比較して安全側の評価となることを明らかにした。

#### 実証事業の成果

##### ① FEモデルによる固有値解析



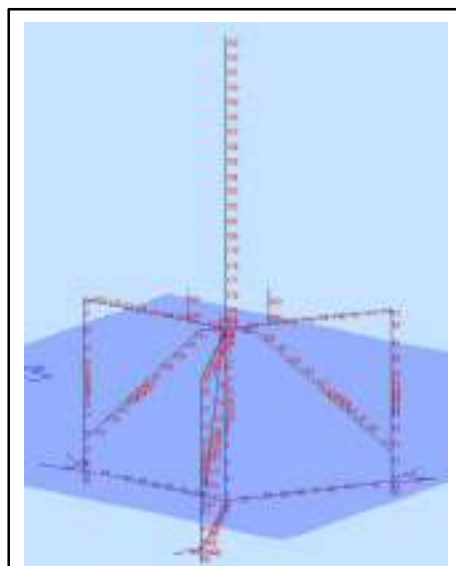
固有値同定



##### ② 東京大学による流体力解析

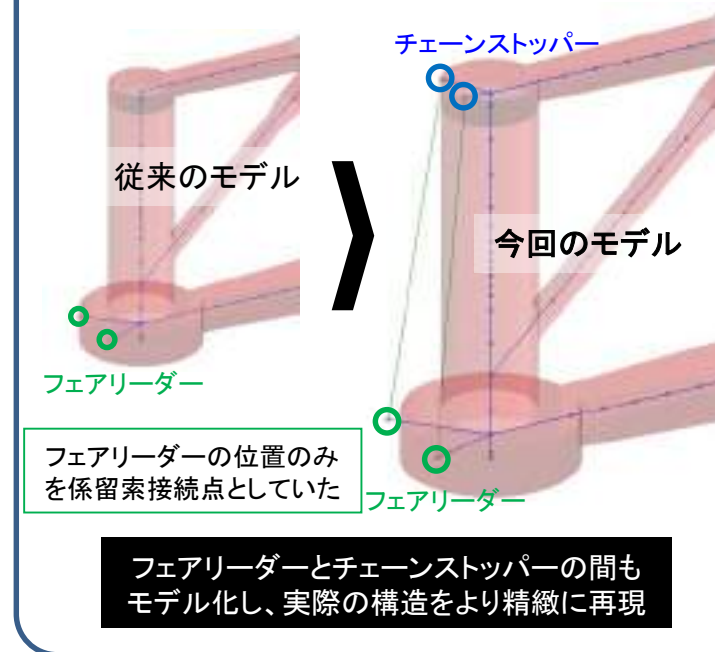


流体力同定



動的解析モデル

#### 動的解析モデルの精緻化



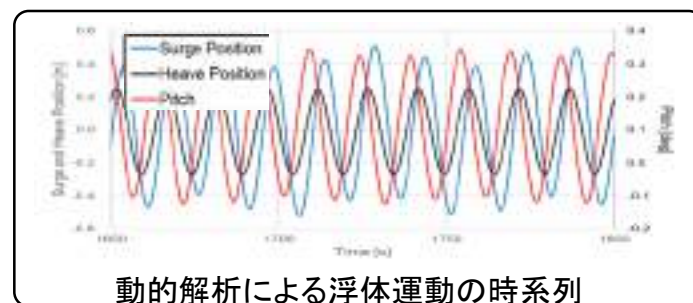
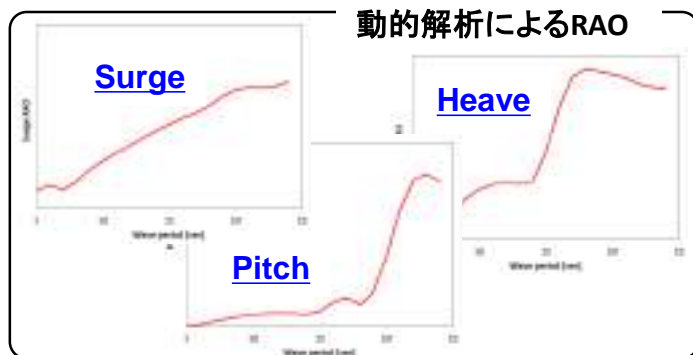


#### ① 2MW浮体式風車の構造計算・設計評価を実施

- 動的解析の結果を用いて浮体運動により発生する風車主要部位の荷重を算定。
- 風車の主要部位に対する動的解析の結果から得られる荷重が原設計と比較して安全側の評価となることを明らかにした。

#### 実証事業の成果

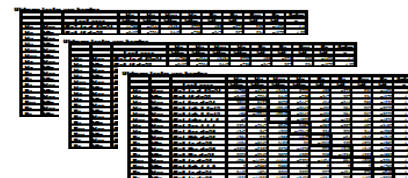
##### 動的解析



荷重変動の例  
(タワートップ加速度:Fore-Aft)



- 各部位の荷重

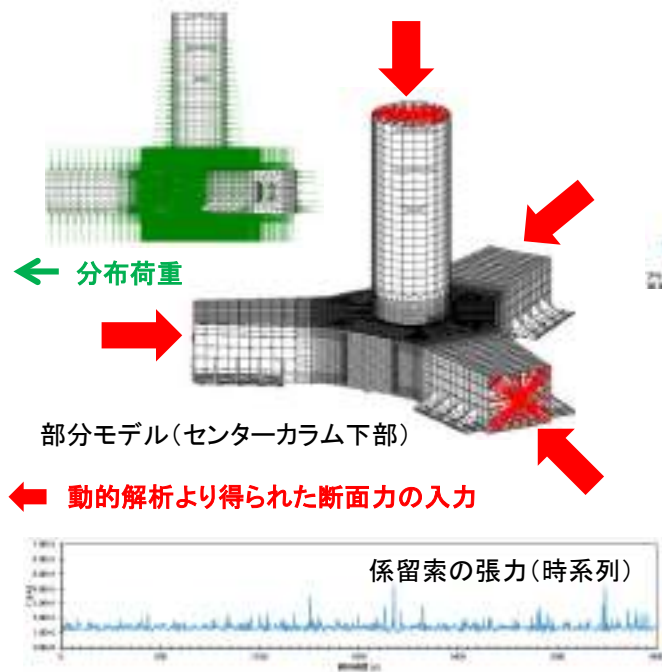


#### ① 2MW風車・浮体・係留の構造計算・設計評価を実施

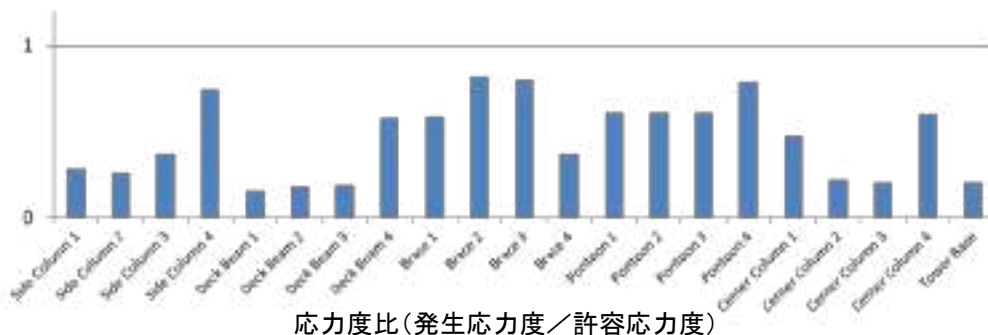
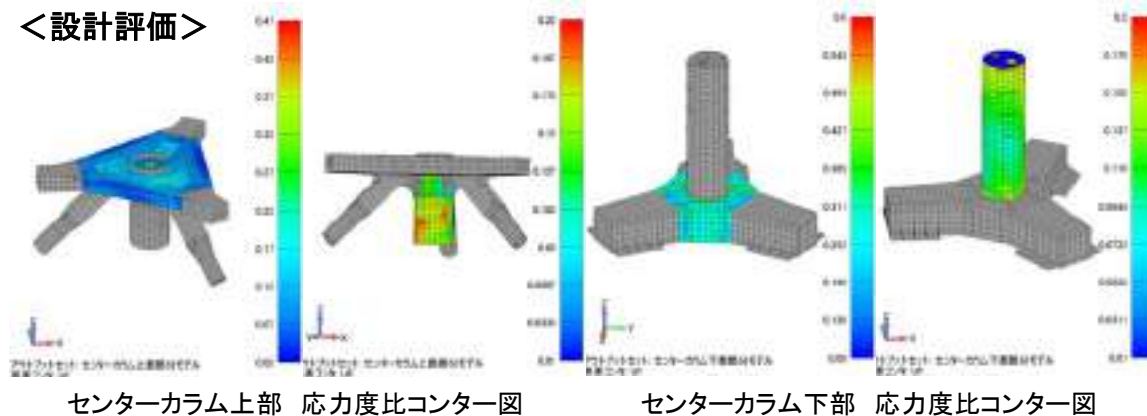
- 動的解析から得られる断面力、部材に作用する流体力の分布及び慣性リリース法を考慮して、合理的な構造寸法の評価手法に基づき構造計算・設計評価を実施した。
- 係留索について精緻な動的解析の結果に基づく張力の評価を実施した。
- 浮体構造・係留について、原設計と比較して精緻な評価となることを明らかにした。

#### 実証事業の成果

##### <構造計算>



##### <設計評価>

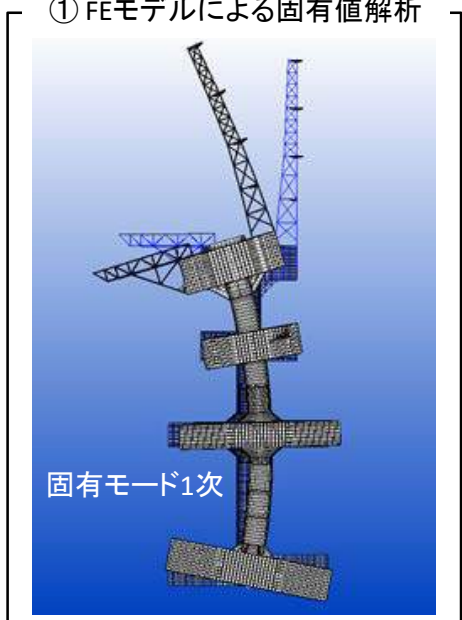


#### ② サブステーション浮体・係留の動的解析を実施

- サブステーション浮体・係留について、固有値及び精緻化した流体力の同定を行い、原設計と比較して精緻な動的解析モデルを構築し、浮体・係留設備の動的解析を実施した。
- 周期の分散性を考慮する今回の手法が、原設計と比較して安全側の評価となることを明らかにした。

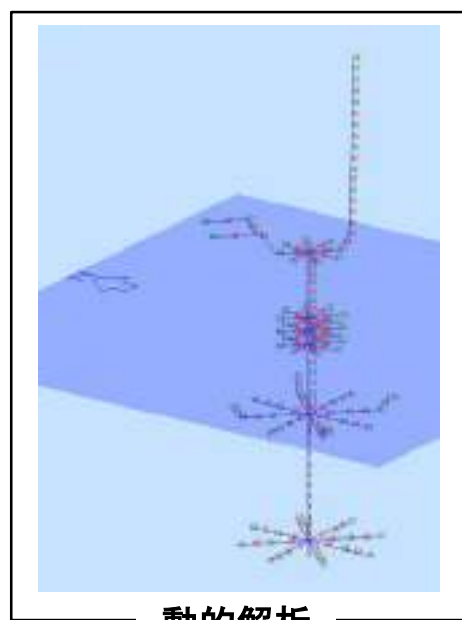
#### 実証事業の成果

##### ① FEモデルによる固有値解析



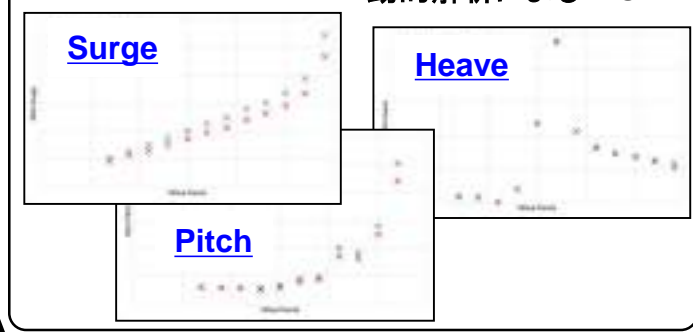
固有値同定

流体力同定

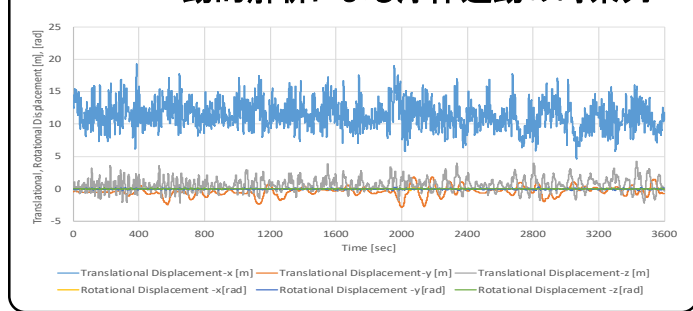


動的解析

##### 動的解析によるRAO



##### 動的解析による浮体運動の時系列



##### ② 東京大学による流体力解析



#### ② サブステーション浮体・係留の構造計算・設計評価を実施

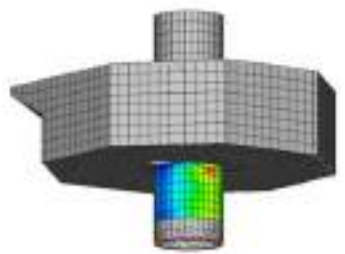
- 動的解析から得られる断面力、部材に作用する流体力の分布及び慣性リリース法を考慮して、合理的な構造寸法の評価手法に基づき構造計算・設計評価を実施した。
- 係留索について精緻な動的解析の結果に基づく張力の評価を実施した。
- 浮体構造・係留について、原設計と比較して精緻な評価となることを明らかにした。

#### 実証事業の成果

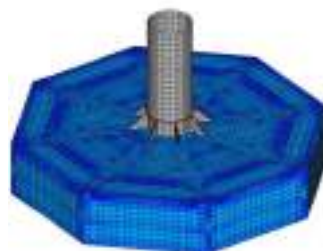
##### <構造計算>



全体モデル

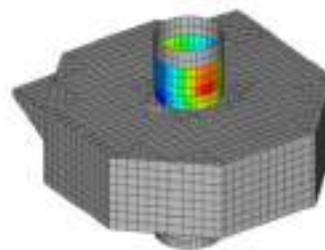


構造計算例(カラム中央部)



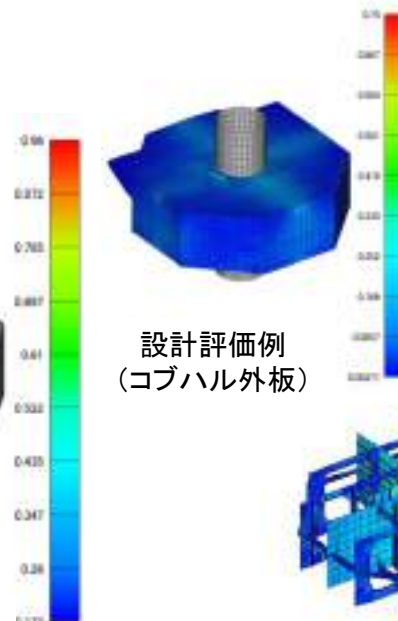
構造計算例(ローハル)

##### <設計評価>

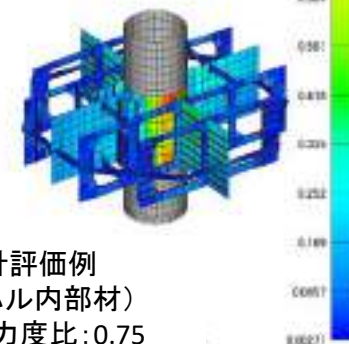


設計評価例(カラム上部)

最大応力度比: 0.96



設計評価例  
(コブハル外板)



設計評価例  
(コブハル内部材)  
最大応力度比: 0.75

### 3. 浮体式洋上風力発電システムの維持管理手法の評価等

---

## (1) 設備の保守運営

- 発電機の稼働率向上を目指し、定期点検の効率化等の改善案を検討する。
- 将来的な事業化を見据えて、保険調達の検討及び浮体へのアクセス率の向上を目指した。

### 現状認識と研究の目的

発電設備の定期的な保守点検作業を行うと共に、運転・維持管理の更なる改善を目指す。具体的には発電設備の稼働率向上や、合理的な保険調達の検討、さらには発電設備のアクセス率の向上を目指す。

### 実施方法

- ◆ 5MW風車運転開始後における定期点検の効率化
- ◆ 事故リスク分析を反映した合理的な保険調達の検討。
- ◆ 改造を施した単胴船による各浮体へのアクセス検討の実施

### 期待される成果(アウトプットイメージ)

- ◆ 複数基における発電設備の定期点検を効率化する。
- ◆ 事業者サイドから事故リスク分析を踏まえた合理的な保険調達を検討し、将来の浮体式洋上風力発電設備の事業化に向けて、適切な保険条件を検証及び、設計する。
- ◆ 改造した単胴船による各浮体へのアクセス検討を実施し、アクセスの更なる効率化・低コスト化を目指す。

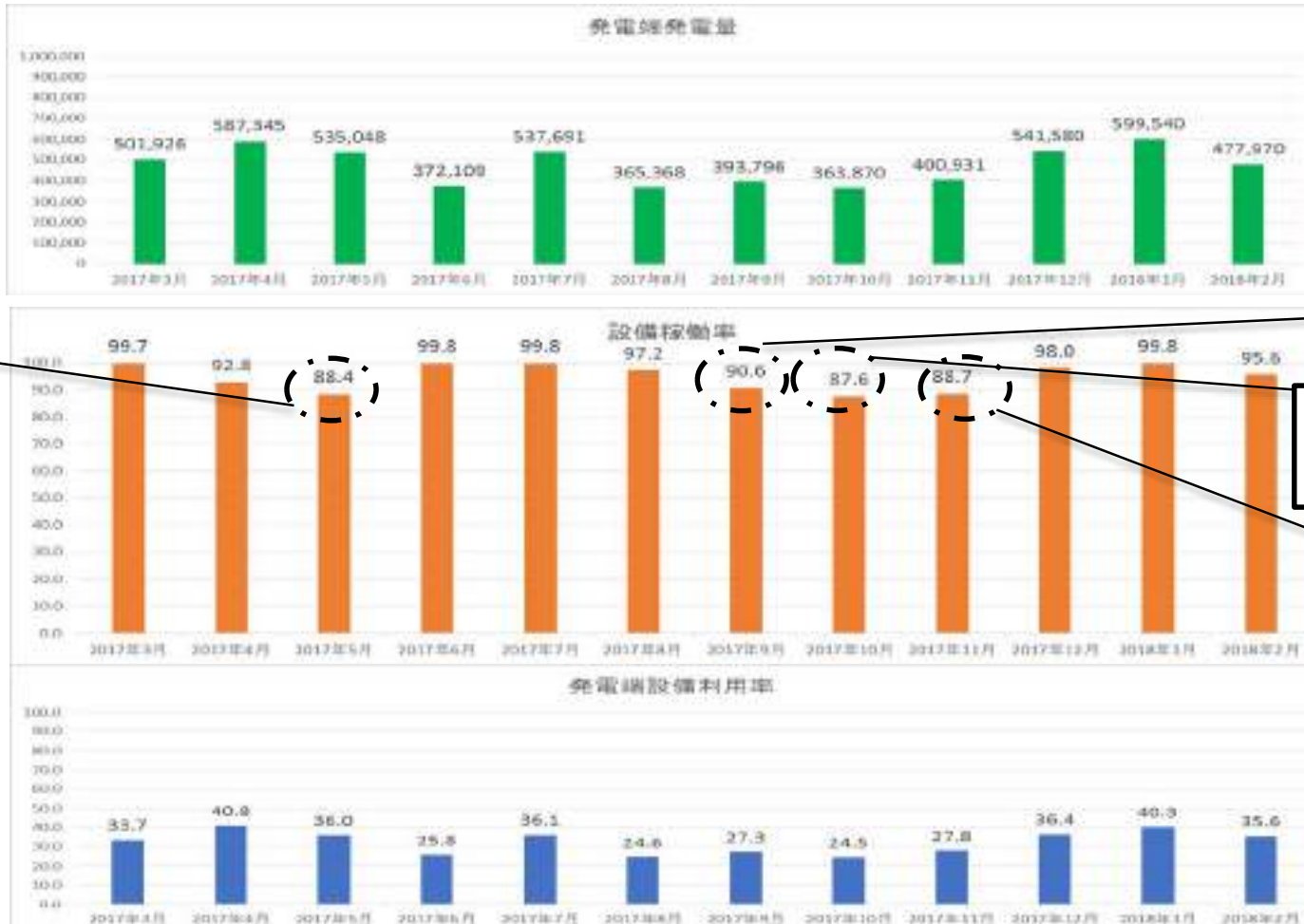


# (1) 設備の保守運営

○ 2MW風車の2017年3月から1年間の平均データでは設備稼働率\*94.8%、設備利用率32.4%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。風車事由による停止以外(例:停電等)を除くと、設備稼働率は95.9%である。

## 2MW 発電実績

①設備トラブルにより、一部データが欠損した為。



①浮体の定期検査による風車の停止。

①風車トラブルによる停止  
②点検による停止

①停電による停止

\*設備稼働率は利用可能率のことを示しており、風速がなくても利用可能できる状態であればカウントする。

(1) 設備の保守運営

- 5MW風車の2017年3月から11ヶ月の平均データでは設備稼働率58.0%、設備利用率16.4%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。風車事由による停止以外(例:停電等)を除くと、設備稼働率は59.5%である。

5MW  
発電実績



5MW機運転データ集積  
関連機器の不具合によりデータの取得出来ず。

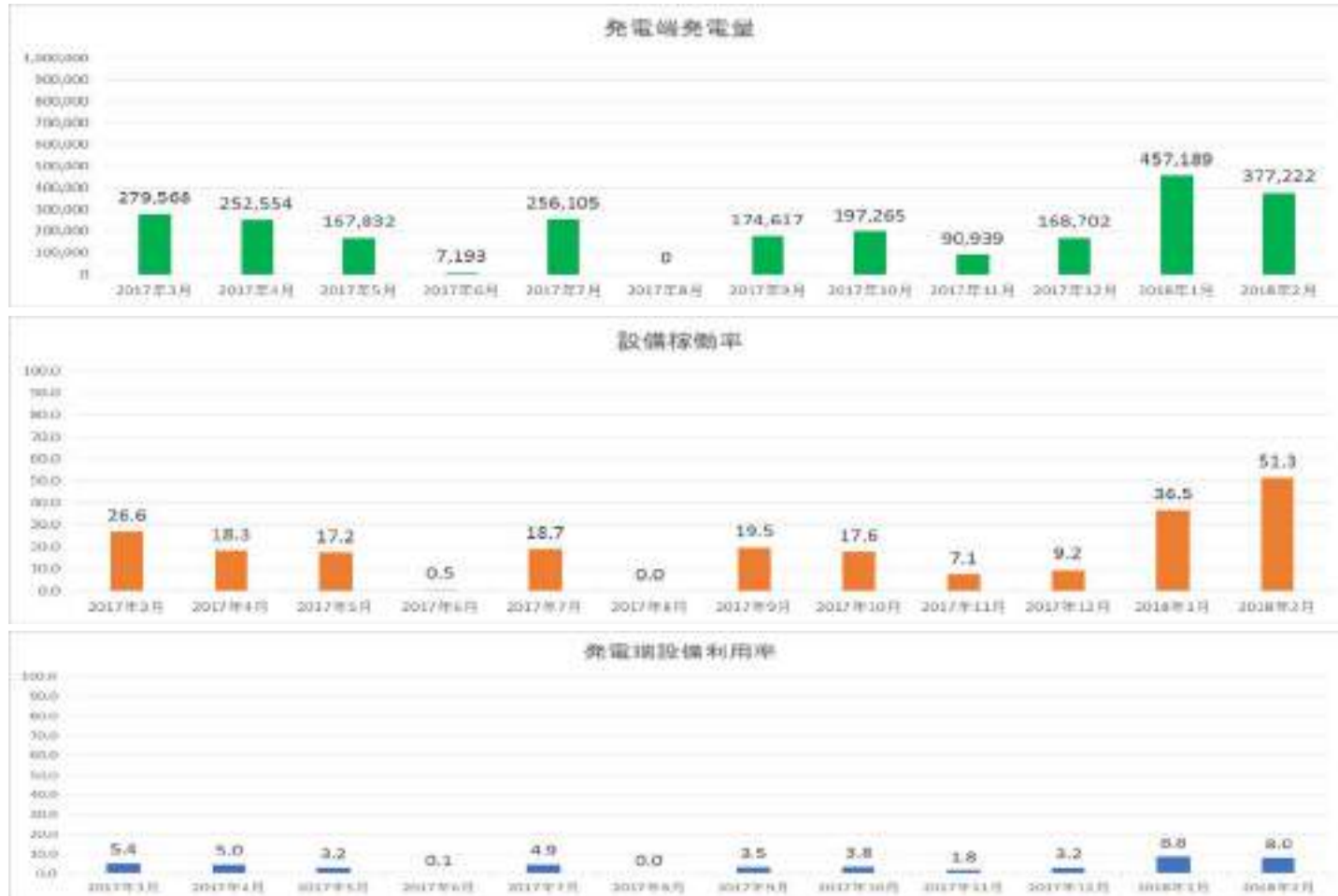


✓ \*平均値の算出にあたってはデータの取得ができなかった4月は含めていない。

(1) 設備の保守運営

- 7MW風車の2017年3月から12ヶ月の平均データでは設備稼働率18.5%、設備利用率4.0%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。風車事由による停止以外(例:停電等)を除くと、設備稼働率は18.5%である。

7MW  
発電実績







# (1) 設備の保守運営

○乗船可能人数の多い新造の単胴船による各浮体へのアクセス可否検討を実施。アクセス船として活用できる可能性があることが明らかとなった。

## 実証事業の成果

- ✓ 新造船の主な仕様は下記の通り

	重さ(トン)	長さ(m)	幅(m)	深さ(m)	速さ(knot)	乗船可能人数
交通船A	19	18.36	4.58	1.80	13~14	40
交通船B*1	19	17.26	4.41	1.30	18~20	40
JCATONE	54	17.46	7.00	3.23	25	12

- ✓ 各浮体へのアクセス検討結果は下記の通り。10月4日同日同時刻に2隻実施。当日の有義波高\*2は1.4m

	絆(SS)	未来(2MW)	新風(7MW)	浜風(5MW)
交通船A	×	×	○	×
交通船B	○	○	○	×

○:アクセス成功    ×:アクセス不可

- ✓ 今後更なる検証が必要だが、新造船2隻のアクセス結果の差は船長の技術量や舳先の緩衝材の差に起因する要素が多い。実際に交通船Aの緩衝材の強度は交通船Bと比較すると脆く、アクセスに危険が伴う為、船長判断により7MW以外へはアクセス不可であった。
- ✓ 5MW浮体へのアクセスは従来のアクセス船であるJCATONE同様難しいことが明らかとなった。具体的には浮体水面下構造により発生する潮流の変化や過流の発生が激しく、また、浮体バッファチューブの構造もアクセスを困難にしている要因であることが分かった。
- ✓ 対して2隻ともアクセス可能であった7MW浮体は、その特徴としてバッファチューブ間の距離が狭い為、舳先の狭い単胴船でもアクセスが可能であった。

(\*1)本船は中古船を改修したもの

(\*2)浮体ごとのJCATONE限界波高は夫々、SS:1.6m、2MW:1.8m、7MW:1.7m、5MW:1.5mであると昨年度評価済。尚、限界波高はアクセス成功確立85%を超過する波高として定めた。



## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 設計の妥当性を検証するために実測データを収集する。
- 収集した実測データと設計値を比較し、設計手法と信頼性を検証する。

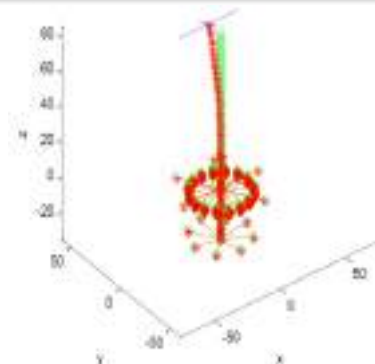
### 現状認識と研究の目的

2MW風車の実証をもとに浮体式洋上風車の設計の妥当性を検証する。

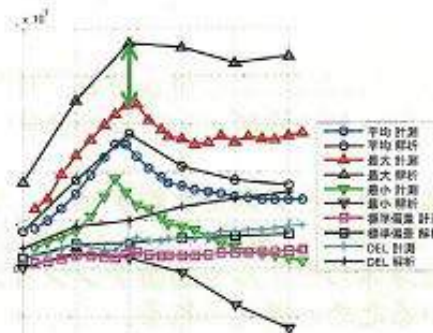
### 実施方法

- H28年度事業で取得した台風時のデータを用いて、浮体式洋上風力向け2MW風車の設計値(タワー、ブレード強度等)の検証(解析と実測データの比較など)を行う。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)



浮体風車の解析モデルイメージ



解析値と実測データの比較イメージ

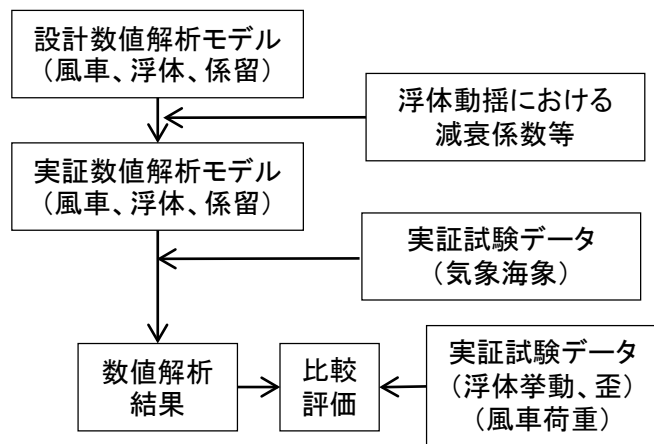
## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○2016年度に取得した台風データを分析し、タワーとブレード強度等の設計値を検証した。  
○台風時の実測データと解析データが良好に一致し、設計の妥当性が確認され、且つ解析結果が安全側であることが確認された。

### 実証事業の成果

#### ■ 台風時における解析と測定データの比較

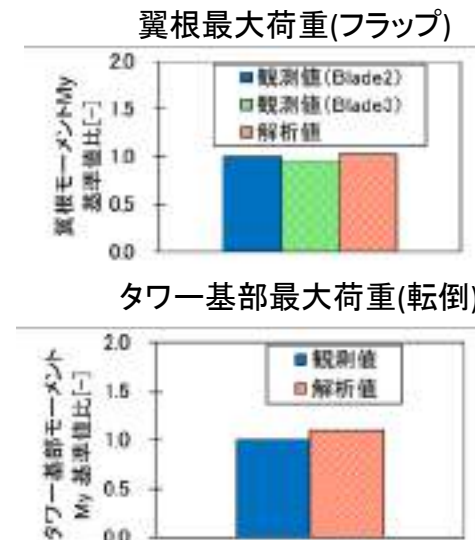
##### (a) 解析フロー



##### (b) 計測/解析条件

項目	値
測定データ対象	2016/08/22 19:40~19:50
運転条件	停止
平均風速	26.9[m/s]
最大風速	33.8[m/s]
乱流強度	0.06[-]
有義波高	5.81[m]
有義波周期	10.8[s]
流速	42[cm]

##### (c) 解析結果と測定結果の比較



## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○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、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、荷重等)を集積し設計値との比較検証を行う。

### 現状認識と研究の目的

設計段階においては下記項目に関しては全て想定値を用いている。

- 気象海象データ
- 浮体の運動性能と発生荷重
- 係留張力
- 風車運転挙動と発生荷重、等

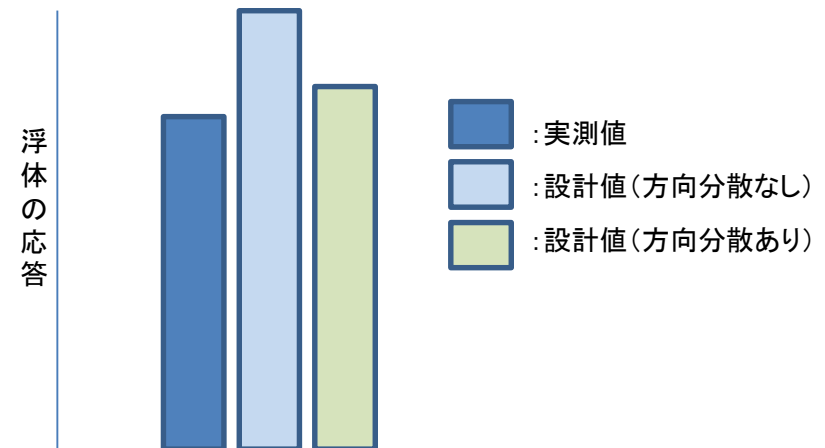
上記の項目について実測データを蓄積し、当該設計設備の設計妥当性の評価を行う。

### 実施方法

浮体に搭載された計測システムの計測データ、風車の運転データ、別途、計測された気象・海象データを解析し、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。また、方向性の影響も検討する。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)

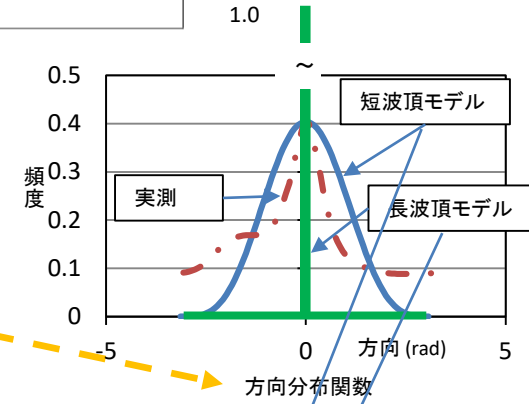
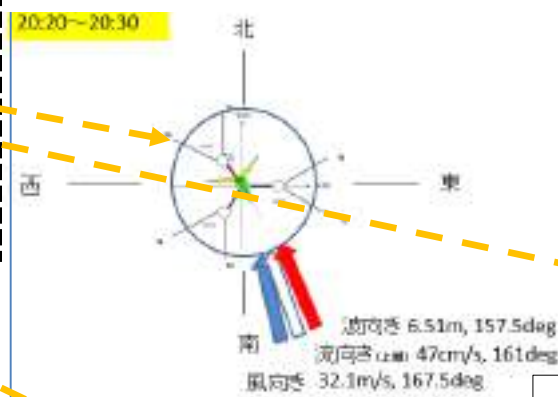
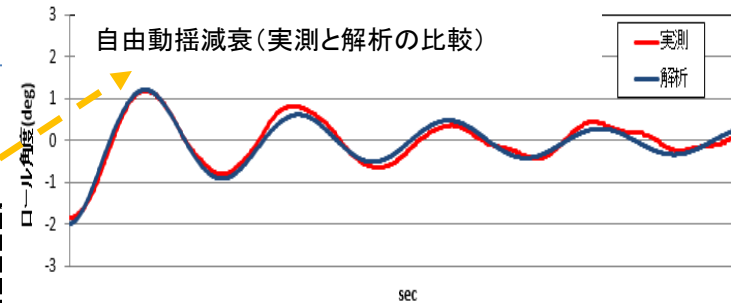
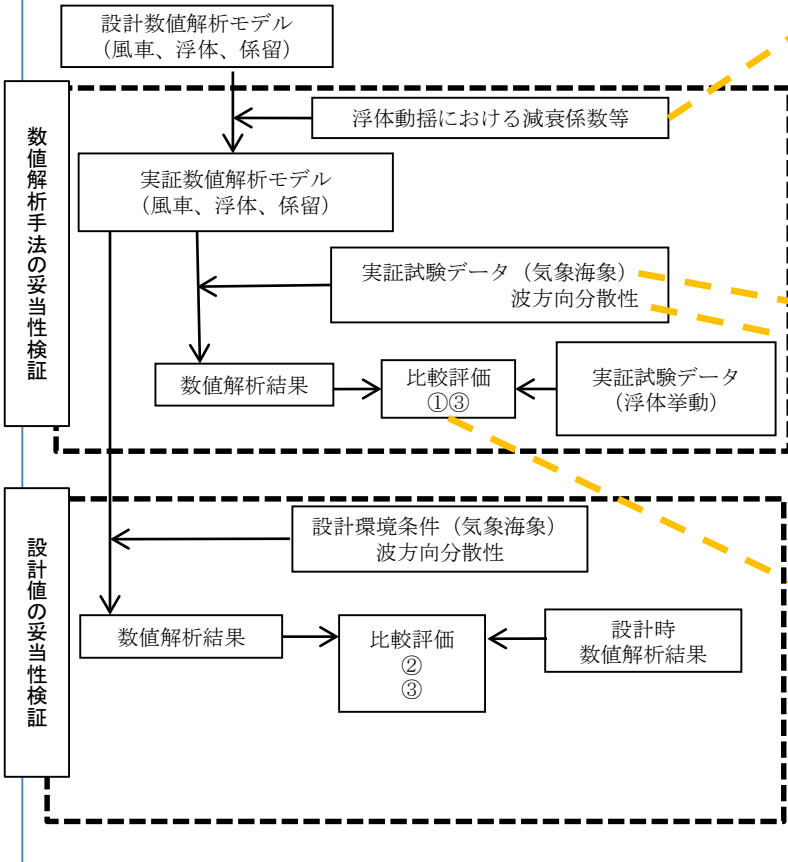
計測された気象・海象データを用いて浮体の応答を求め、実際に測定した浮体の応答と比較する。設計で用いた方向分散性を考慮しない解析結果が安全側の結果になることを確認する。



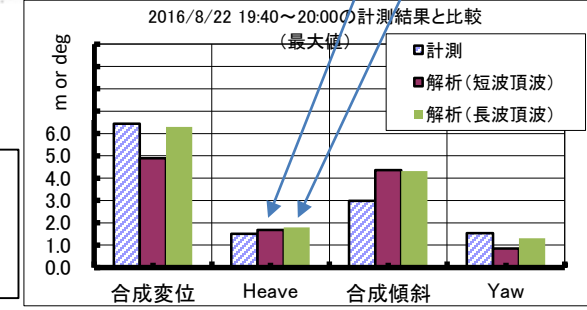
## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 数値解析手法の妥当性を確認した。①
- 設計値と数値解析値を比較した結果、設計値が安全側であり、妥当であることを確認した ②
- 波方向性の影響を検討した結果、波方向の分散性を考慮しない手法(設計手法)は安全側となることを確認した。③

### 実証事業の成果



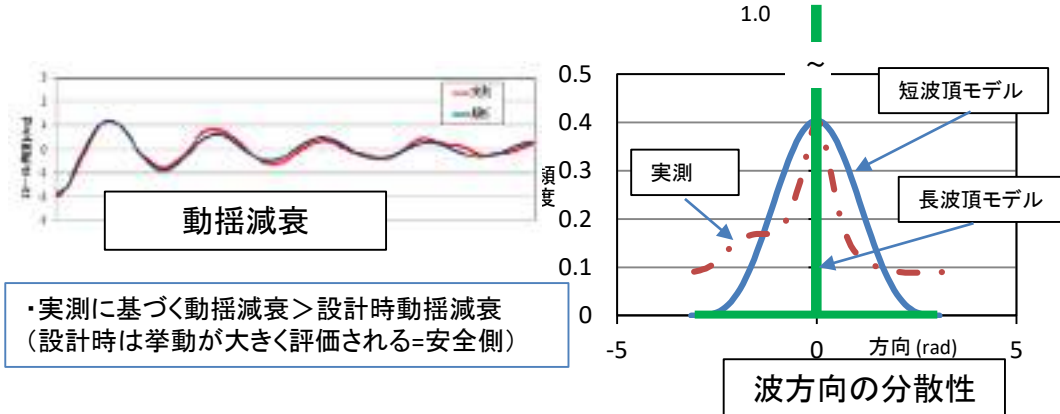
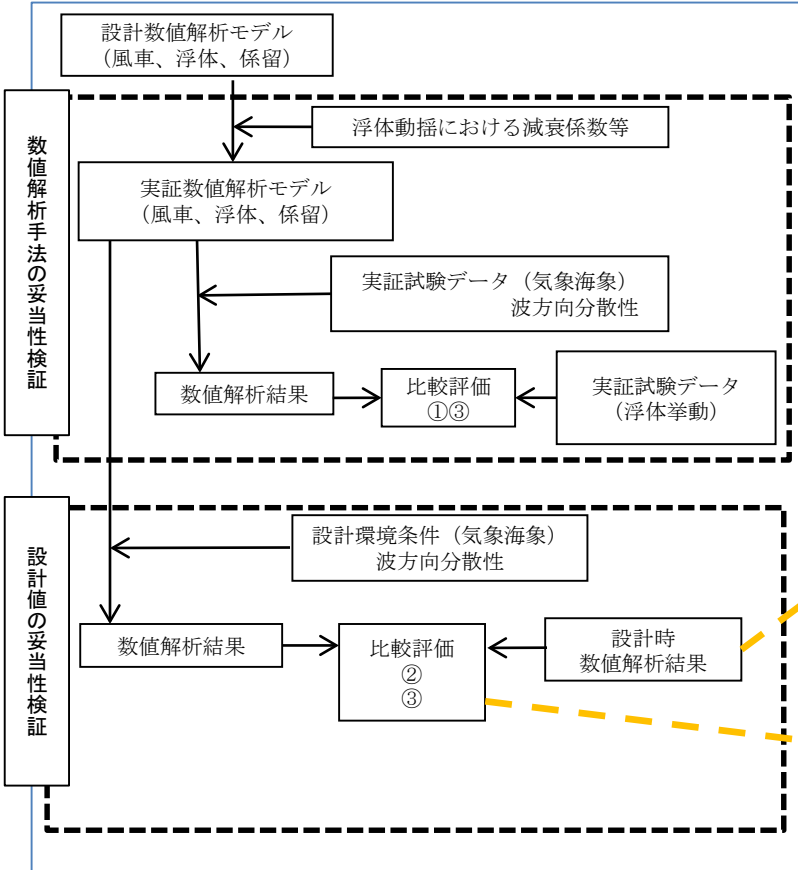
- ① 浮体挙動(Heave,傾斜): 数値解析は安全側 (動揺減衰:実測と一致)
- ③ 長波頂解析(設計手法)は安全側



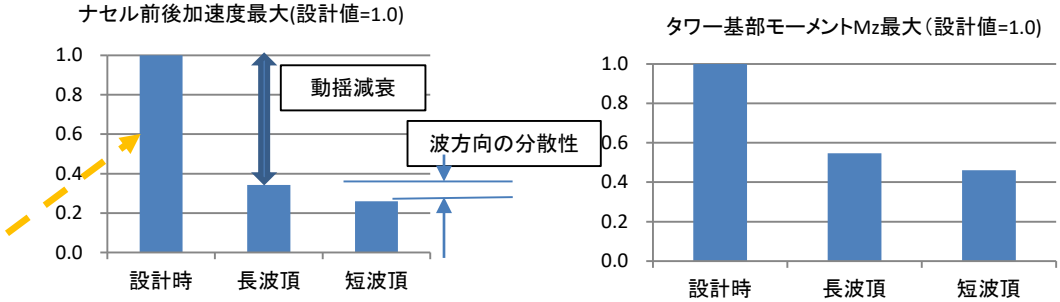
## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 設計値と数値解析値を比較した結果、設計値が安全側であり、妥当であることを確認した ②
- 波方向性の影響を検討した結果、波方向の分散性を考慮しない手法(設計手法)は安全側となることを確認した。③
- 本設計手法で浮体の軽量化、係留の最適化を図ることができる。

### 実証事業の成果



・実測に基づく動揺減衰 > 設計時動揺減衰 (設計時は挙動が大きく評価される=安全側)



・実証数値解析モデルを用いて設計条件を入力し、設計値と比較  
 ・長波頂解析が安全側であることを確認  
 ・設計値が安全側であることを確認 ( )内: 設計値からの減少割合 )  
 ナセル前後加速度 : 減衰係数 (-64%)、波方向分散 (-8%)  
 タワー基部モーメント: 減衰係数 (-45%)、波方向分散 (-9%)

## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証

### 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンストスパー浮体

- 設計の妥当性を検証するために実測データを収集する。
- 収集した実測データと設計値を比較し、設計手法と信頼性を検証する。

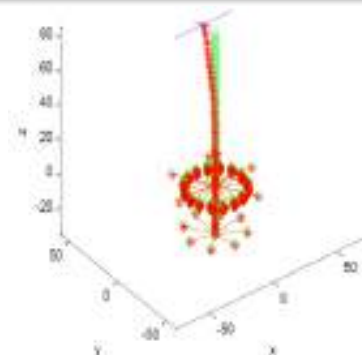
#### 現状認識と研究の目的

5MW風車の実証をもとに浮体式洋上風車の設計の妥当性を検証する。

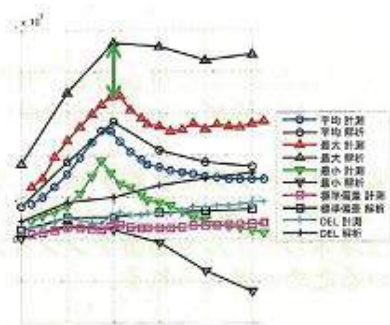
#### 実施方法

- 実測の波や風などのデータをもとに、浮体式洋上風力向け5MW風車の設計値（タワー、ブレード強度等）の検証（解析と実測データとの比較など）を行う。また、実測の風データをもとにパワーカーブの検証（設計値との比較）を行う。

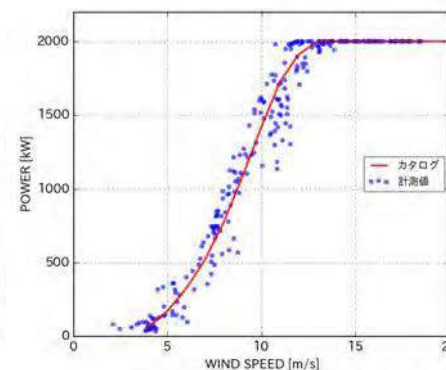
#### 期待される成果（アウトプットイメージ）



浮体風車の  
解析モデルイメージ



解析値と実測データの  
比較イメージ



パワーカーブのイメージ



## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証

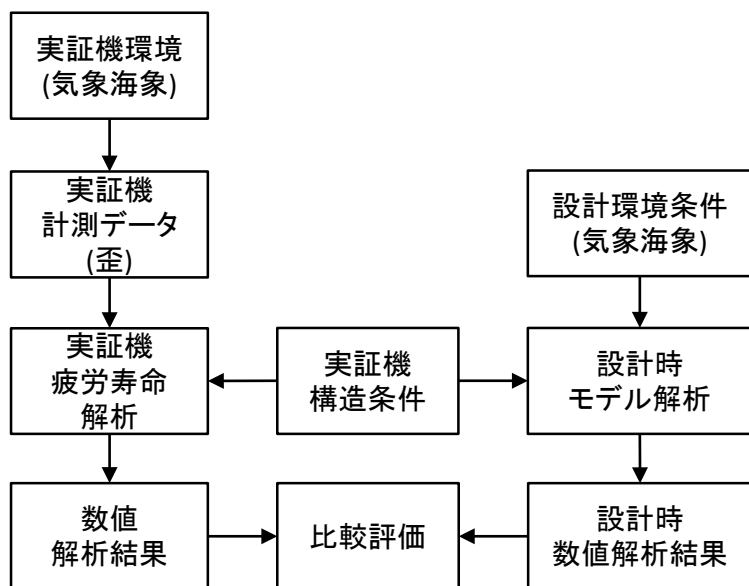
5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンストスパー浮体

○5MW風車実機の実測データと設計値(解析値)の荷重比較を行い、設計値が安全側であることが分かった。

### 実証事業の成果

- 1) 5MW風車実機で得られた実測の波や風などのデータをもとに、実測データを設計値と比較した。その結果、設計値は安全側であり、タワー基部及び頂部にて下記表に示される寿命が保たれることが分かった。

#### (a) 解析フロー



#### (b) 設計値と実測データの比較

	損傷度			予想寿命 (年)
	設計	計測	20年補正	
第5踊場 (頂部)	0.009	0.000015	0.0035	5736
第2踊場 (基部)	0.549	0.00275	0.6481	31

## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証

5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンススパー浮体

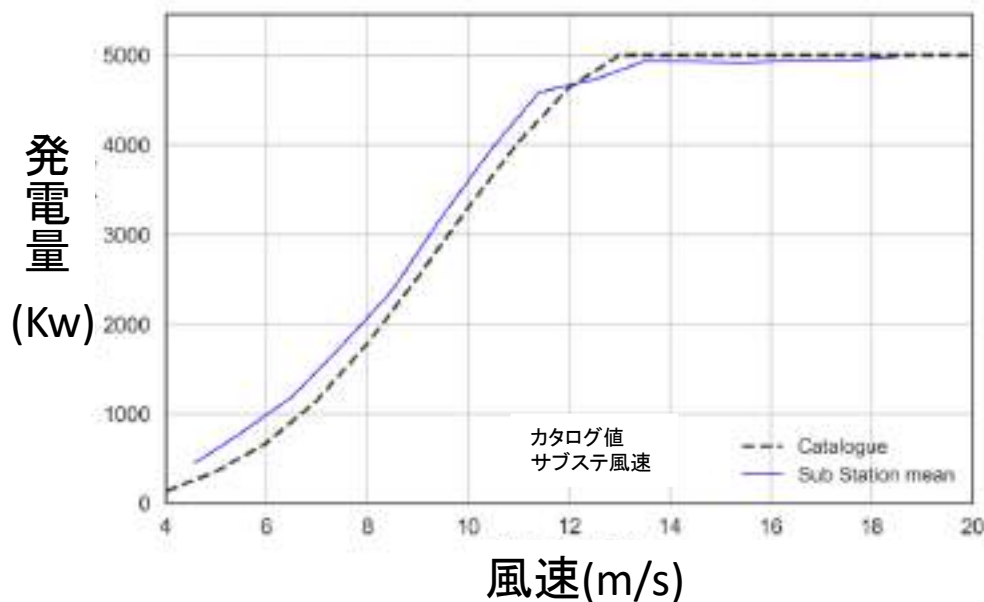
○5MW風車のパワーカーブを作成し検証した結果、設計に近いパワーカーブであった。

### 実証事業の成果

#### 2) パワーカーブ

サブステーションの風速を用いてパワーカーブの評価を行った。

ほぼ、設計パワーカーブに近い形となっているが、定格風速付近は浮体の姿勢制御の影響と思われる低下が見られる。





## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証

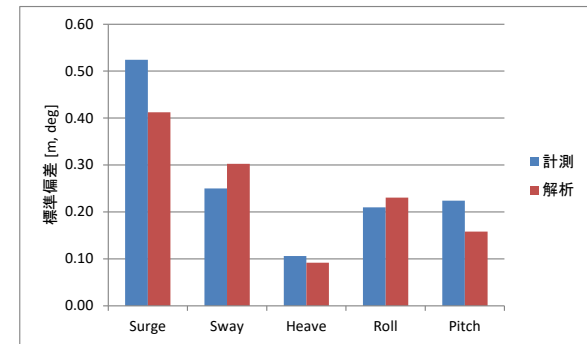
### 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンススパー浮体

- 洋上サブステーション及び5MW風車搭載アドバンススパー浮体の運動性能、係留張力、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

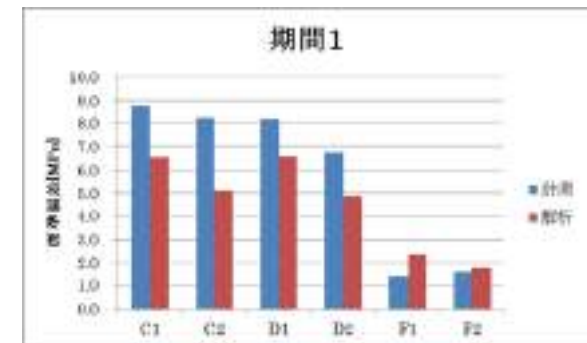
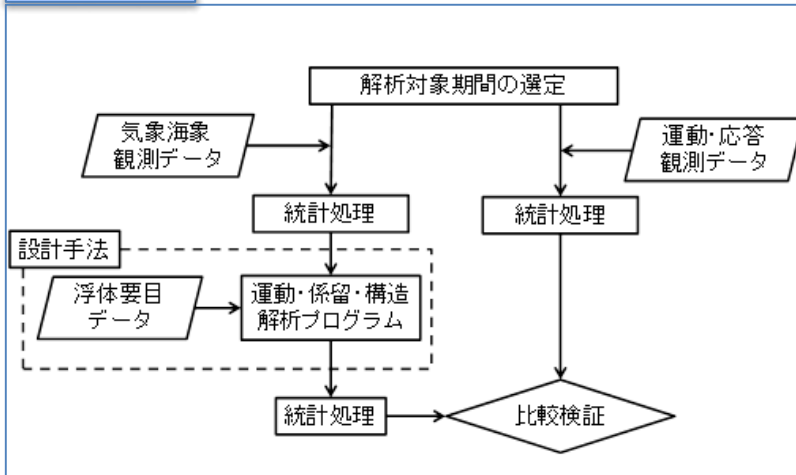
5MW風車搭載アドバンススパー浮体の運動性能、係留張力、構造応力につき、実機の計測結果と計算結果の比較を行い、設計手法の検証を行うとともに、アドバンススパー浮体の信頼性を検証する。

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)



浮体運動の計測値および解析値の比較

#### 実施方法



構造応力の計測値および解析値の比較

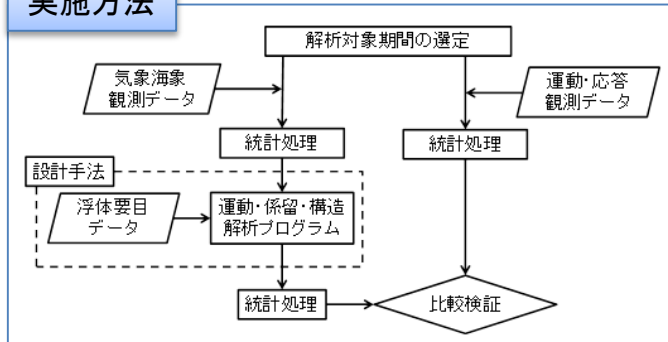
## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証

### 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンストスパー浮体

- 5MWダウンウィンド型風車搭載浮体の運動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。
- 浮体動揺データと気象海象データの統計値を基に、浮体水平面内動揺量を比較した。

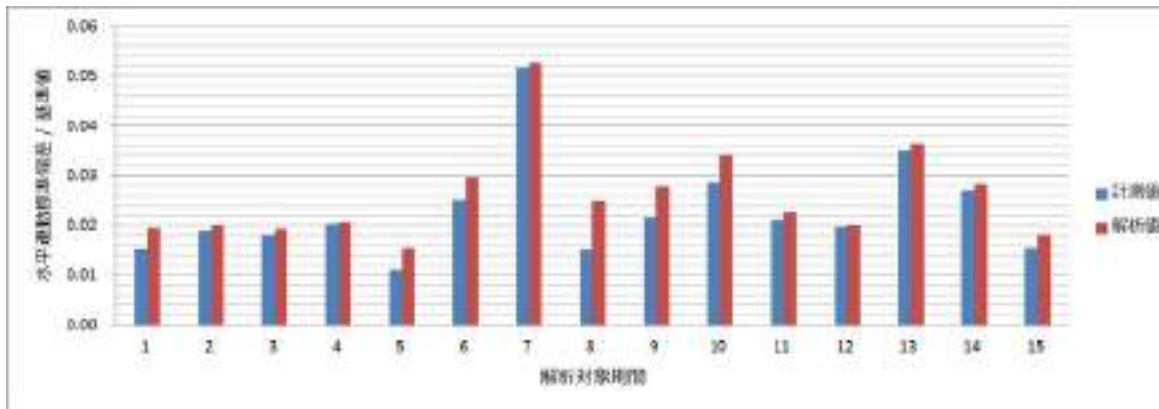
#### 実証事業の成果

##### 実施方法



・解析対象期間は計測データの欠損が少ない2017年4月1～6月2日間のうち、以下の条件に合致する3時間期間とした。

- 風車が停止している。
- 波・風・潮流が3時間連続で安定している。
- 波高2m以上である。
- 波周期約8秒以下である。



※ 基準値：50年再現期間における最大環境条件での長波頂短期予測の1/1000最大変位

浮体水平運動の計測値及び解析値の比較

・ほぼ全ての期間において  
(解析値)>(計測値)  
となっている。

→安全側の設計を確認

・計測値と解析値は  
概ね良く一致

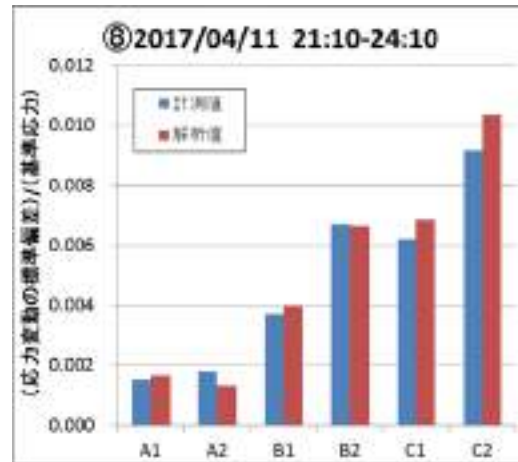
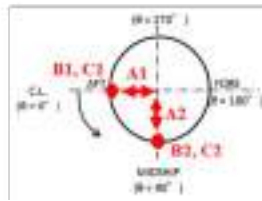
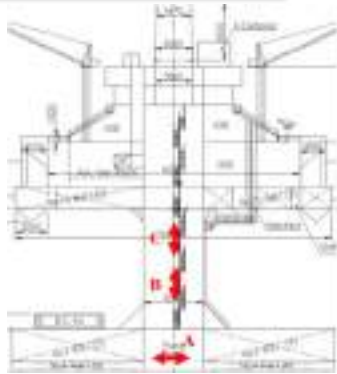
→設計手法の妥当性を確認

## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証

### 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンススパー浮体

- 5MWダウンウィンド型風車搭載浮体の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。
- 歪ゲージのデータと気象海象データの統計値を基に、歪応力変動の標準偏差を比較した。
- 洋上サブステーションのアンカー把駐力を検証するため浮体の中心位置を設置時と確認し、走錨が無いことを確認した。

#### 実証事業の成果



応力変動の計測値及び解析値の比較例(期間8)

基準応力: 設計海象において浮体全体で想定される応力の最大値

#### 検証対象箇所:

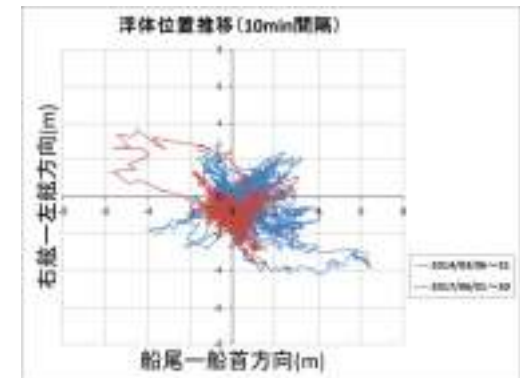
- A ... ロワーハル内の大骨フェイス
- B ... コラム内側(ローワーハル付近)
- C ... コラム内側(アッパーハル付近)

データ期間は浮体水平運動の比較をした期間と同じ

計測値と解析値が概ね良く一致 → 設計手法の妥当性確認

#### 【洋上SSの中心位置比較】

- ・ 中長期的なアンカーの把駐力の検証 (浮体位置を比較し走錨の有無を確認)
- ・ 2014年3月と2017年6月の1ヶ月間比較



- ・ 月間平均値の差は両向きとも約0.5m  
→ アンカーの走錨無し

## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

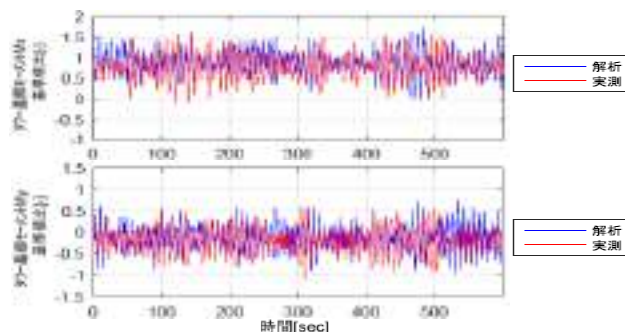
○設計手法の妥当性及び設備の信頼性を明らかにするため、平常時・暴波浪時における実証試験データ(気象海象、浮体動揺、風車挙動、荷重等)を集積し設計値との比較検証を行う。

### 現状認識と研究の目的

様々な設計環境条件下でのデータ蓄積が必要である。したがって、下記の項目について実測データを蓄積し、設計妥当性の評価を行う。

- 気象海象データ
- 浮体の運動性能と発生荷重
- 風車挙動と発生荷重、等

### 期待される成果(アウトプットイメージ)



平常時・暴波浪時における実証試験データを集積し設計値との比較検証評価する。

### 実施方法

7MW風車の統計データの収集・検証を継続し、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)を集積し設計値との比較検証を実施する。

## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 【疲労荷重】実測データより算出した疲労荷重が、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。
- 【最大荷重】実測データに基づく再現期間50年極値の推定値が、設計条件の解析値を下回り、設計が安全側の評価であることを確認した。

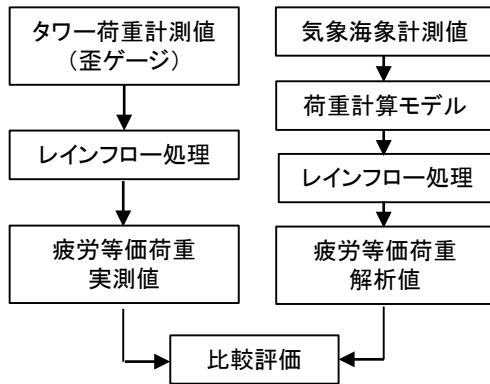
### 実証事業の成果

#### タワー基部曲げモーメントの疲労荷重と最大荷重

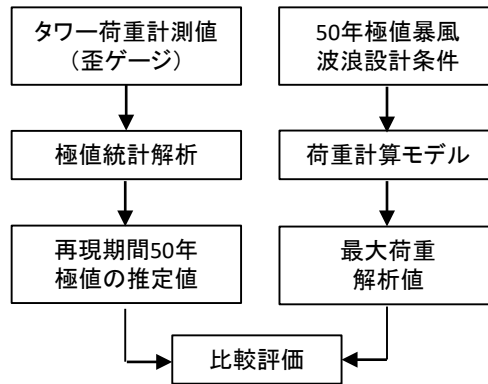
##### ○検証フロー

タワー基部に設置した歪ゲージにより曲げモーメント荷重を計測。2016～2017年の実測値と設計荷重計算モデルによる解析値について下記フローによる比較評価を実施。

##### ・疲労荷重



##### ・最大荷重

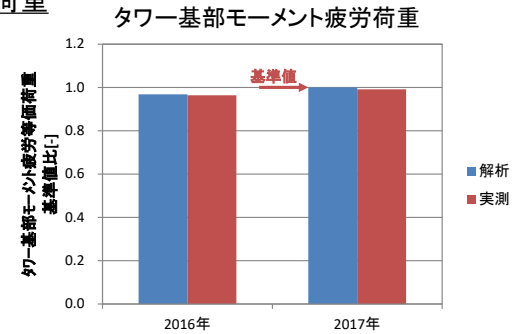


##### ○検証結果

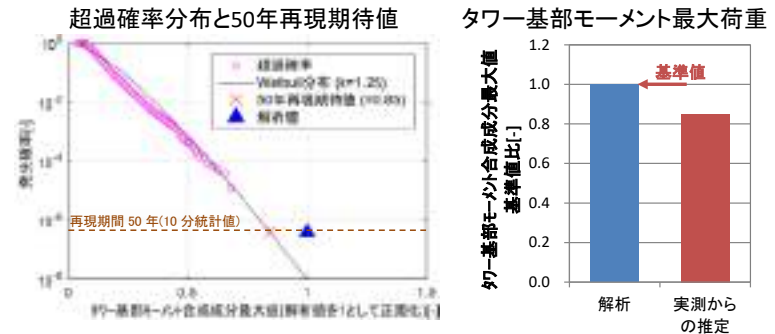
①疲労荷重・・・実測値と解析値が概ね一致し、設計荷重評価手法が妥当であることを確認。

②最大荷重・・・実測データに基づく極値の推定値が解析値を下回り、設計が安全側の評価であることを確認。

#### ①疲労荷重



#### ②最大荷重





## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 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に平常時・暴波浪時における実証試験データを集積し設計値との比較検証を行なう。
- 計測された海象・気象データと、浮体に搭載された計測システムの計測データを分析(解析)することにより、最終的には計測より求めたデータと設計値(設計時の想定値)の比較を行なう。

### 現状認識と研究の目的

設計段階においては下記項目に関しては全て想定値を用いている。

- 気象海象データ
- 浮体の運動性能と発生荷重
- 係留張力
- 風車運転挙動と発生荷重、等

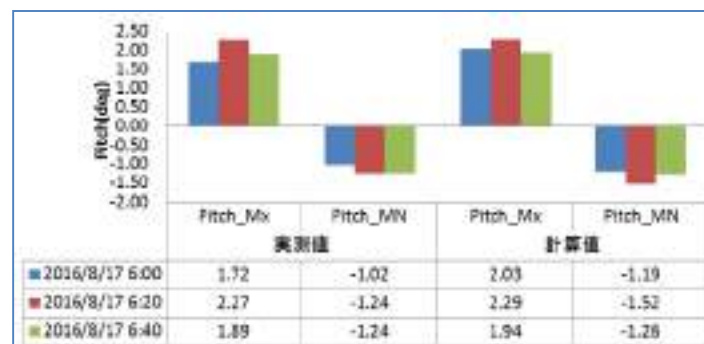
上記の項目について実測データを蓄積し、当該設計設備の設計妥当性の評価を行う。

### 実施方法

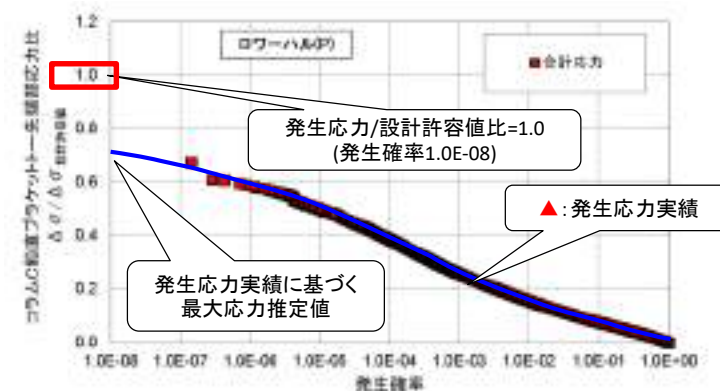
浮体に搭載された計測システムの計測データ、風車の運転データ、別途計測された気象・海象データを解析し、設計値、数値解析値との比較を実施して浮体設計の妥当性を検証・評価する。また、係留索角度計測用傾斜計の取付け及びメンテナンスを行い、計測／解析を実施すると共に、GPS／ジャイロ計／サテライトコンパスの計測値より換算した係留力との比較を実施して、GPS／ジャイロ計／サテライトコンパスによる係留力算定の有効性を確認する。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)

#### ○ 浮体ピッチの実績と計算の比較



#### ○ 浮体構造各部位に発生する応力実績と設計値の比較





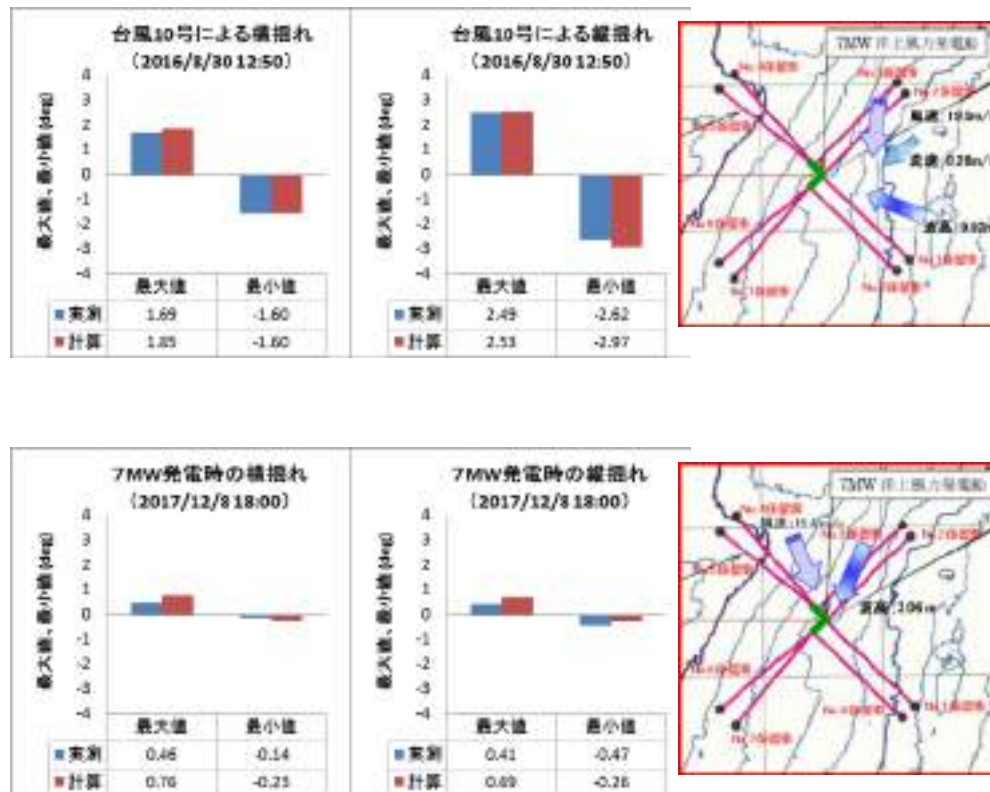
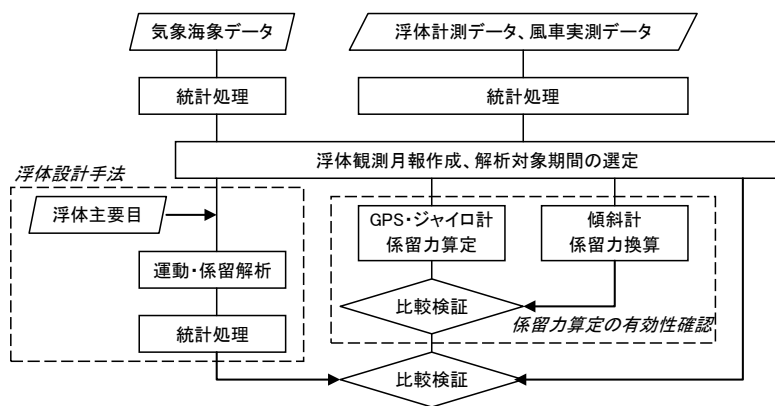
## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 実証事業で得られた気象・海象データ、実測データを用いて解析した結果、浮体設計が安全側になっていることを明らかにした。

### 実証事業の成果

- 浮体ピッチの実績と計算の比較

設置以降最大の波高を記録した2016年の台風10号で発生した浮体ピッチは、計算結果が観測値を上回り、浮体設計手法の妥当性を検証した。浮体ピッチの最大値は3deg以内に収まり動揺性能に優れた安定浮体であることを実証した。



## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

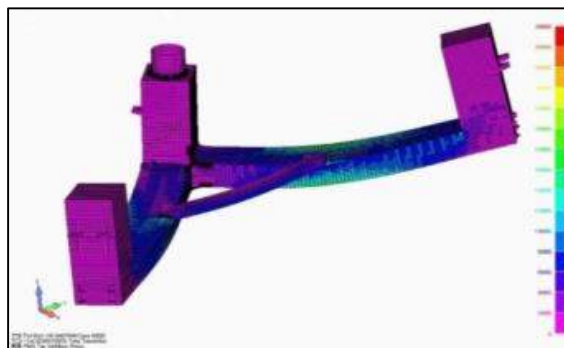
- 浮体に搭載された計測システムの計測データ、風車の計測データ、別途、GPSブイ式波高計で計測された気象・海象データを解析し、設計値、数値解析値との比較を実施して、浮体設計の妥当性を検証・評価した。

### 実証事業の成果

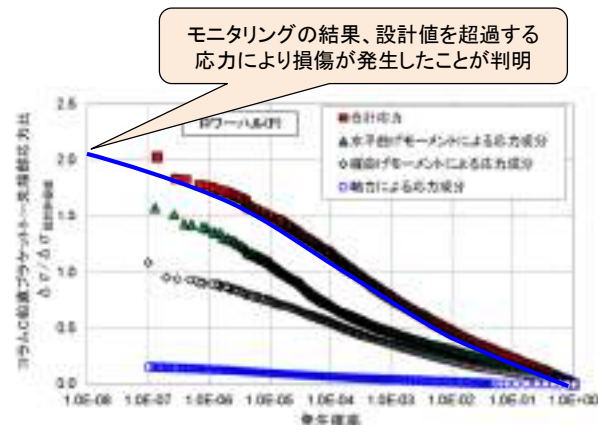
- 浮体構造各部位に発生する応力実績と設計値の比較  
ローハルに複数箇所設置している歪ゲージによる実測値を解析し、ローハルに発生する応力と発生確率の関係を求めた(右図)。これを基にしたシミュレーション計算により2016年11月に発生したコラムC鉛直ブラケットーにおける損傷が疲労亀裂であり、更に詳細分析により特定の応力成分が高いことが確認できた。

- 補強構造の妥当性検証

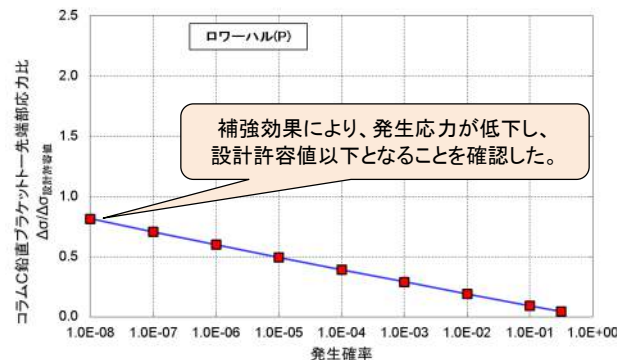
応力モニタリングによる荷重成分の発生頻度分布とFEMによる局部応力解析を組み合わせることにより、補修構造に対する応力の発生頻度分布を求め、補修構造の妥当性を検証した。



補強構造のFEM解析



コラムC鉛直ブラケットー応力推定値  
(オリジナル構造)



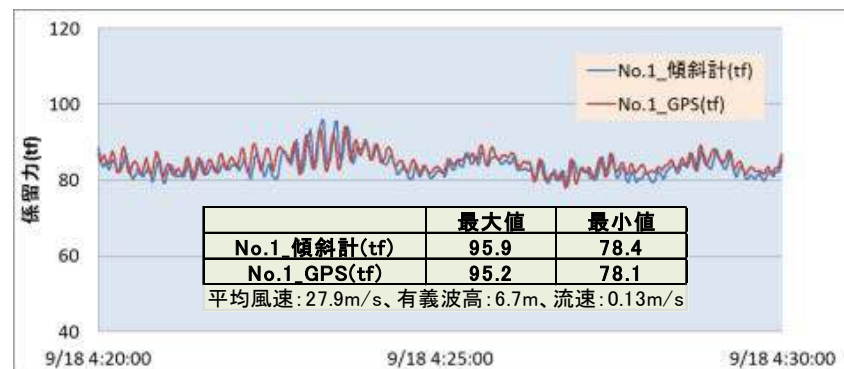
コラムC鉛直ブラケットー応力推定値  
(補強構造)

## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

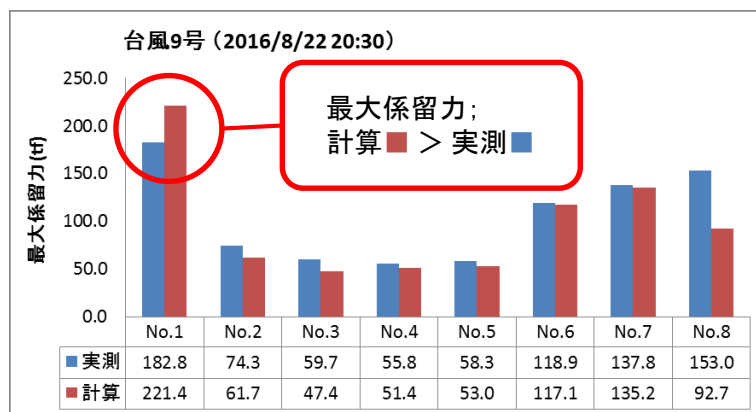
- 係留索に掛かる張力を直接的に測定するために傾斜計を設置した。その結果、GPS・ジャイロ計・サテライトコンパスの計測値から換算した係留力は傾斜計出力による係留力と同水準であることを明らかにした。
- この結果を受けて、8本の係留索において、GPS・ジャイロ計・サテライトコンパスの計測値を用いて係留力を解析し、係留設計手法が安全側になっていることを確認した。

### 実証事業の成果

- 係留索用傾斜計の取付け及びメンテナンス  
7/21-26に故障した傾斜計を回収して、予備の傾斜計を再設置した。  
GPS及びジャイロ計出力から換算される係留力と傾斜計出力による係留力が同等であることを確認した。



- 係留力の実績と計算の比較  
観測開始以降風速最大となった2016年8月の台風9号の外力条件で係留力を算定して観測結果と比較した。  
最大係留力は計算結果が実測結果を上回り、係留設計手法の妥当性を確認した。



## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 送電システム

○設計の妥当性と疲労耐久性を明らかにするためにケーブル挙動観測、挙動解析及び疲労解析を行い、疲労寿命を推定する。

### 現状認識と研究の目的

#### ◆ 課題

7MW浮体及び5MW浮体ケーブルに関して、実証データによる挙動や疲労耐久性が検証されておらず、最適疲労設計手法についても確立されていない。

#### ◆ 目的

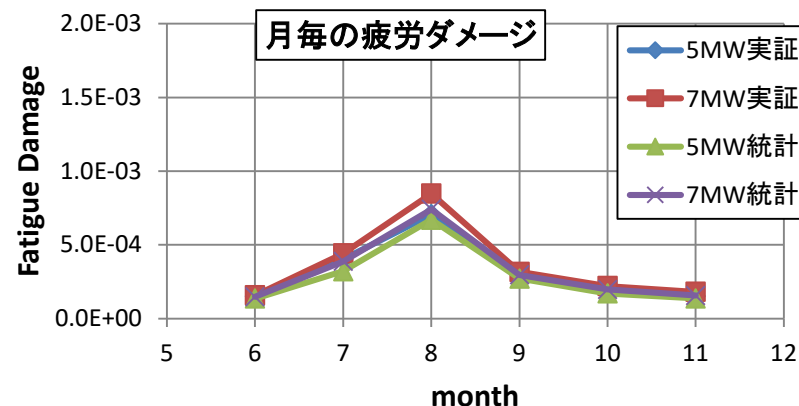
7MW浮体及び5MW浮体ケーブルの疲労寿命の推定と疲労設計手法の確立に向けた検討

### 実施方法

- ◆ 7MW浮体動揺データ(MHI殿より受領)によるケーブル挙動解析及び疲労解析を行い、疲労寿命を推定する。
- ◆ 5MW浮体ケーブルの観測データと浮体動揺データ(JMU殿より受領)によるケーブル挙動解析の比較検証を行う。また浮体動揺データによる疲労解析を行い、疲労寿命を推定する。
- ◆ 統計データ及び浮体RAOによる疲労解析を行い、上記実証データによる疲労解析と比較検証する。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)

- ◆ 実証データによる7MW浮体ケーブルの疲労寿命
- ◆ 実証データによる5MW浮体ケーブルの挙動解析の妥当性評価と疲労寿命
- ◆ 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との比較評価



疲労解析結果一例

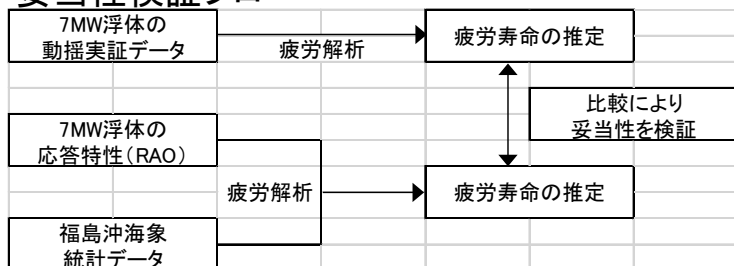


## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 送電システム

- 7MW浮体の動揺実証データによるケーブル疲労解析を行い、疲労寿命を129年と推定した。
- 7MW浮体の応答特性(RAO)と福島沖海象統計データによるケーブル疲労解析から疲労寿命を推定し比較の結果、統計データからの推定値にて初期設計可能である見通しが得られた。

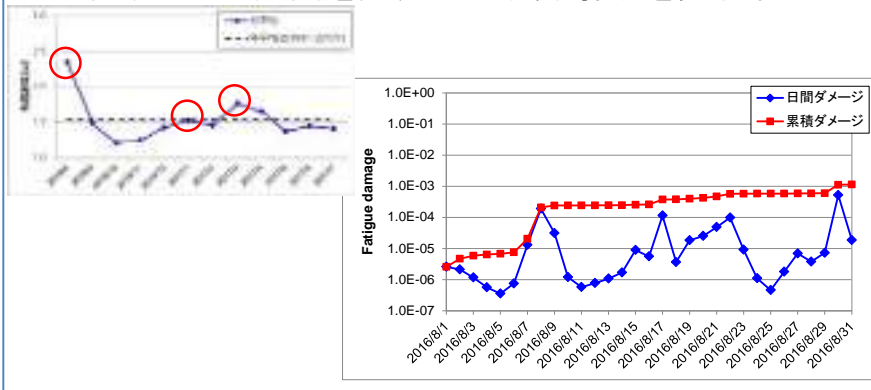
### 実証事業の成果

#### ◆ 妥当性検証フロー



#### ◆ 7MW浮体ケーブルの実証データ疲労

- ・7MW浮体の運動データを受領し、月平均有義波高が高い2016年8月(台風影響)、2017年1月、2017年3月の3ヶ月間を選定して疲労解析を実施。



- ・3ヶ月間での累積疲労ダメージは $1.97E-03/3$ ヶ月、疲労寿命は推定129年となり、ケーブル設計寿命20年に対し耐久性に問題はないことを確認した。

#### ◆ 7MW浮体ケーブルの統計データ疲労

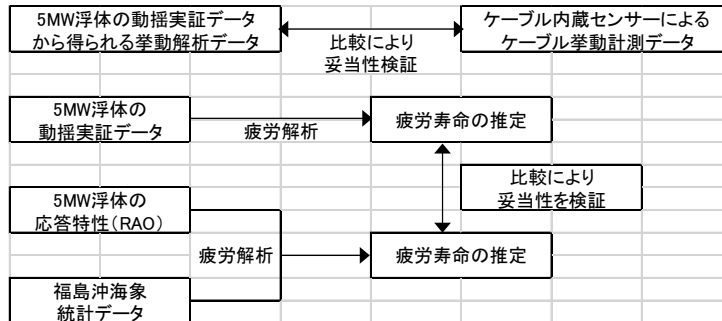
- ・7MW浮体RAOと福島沖海象統計データから有義波高×周期110ケース、波向き5方位(45度毎)を選定して疲労解析を実施。
- ・浮体RAOと統計データでの年間累積疲労ダメージは $5.86E-03/年$ 、疲労寿命は推定170年となり、実証データ疲労と大きな違いが無く、統計データからの推定値にて初期設計が十分可能である見通しが得られた。

## (2) 各種データ観測・設計の妥当性検証 送電システム

- 5MWケーブルの挙動計測データと比較し、浮体実証データによる挙動解析の妥当性を確認した。
- 5MW浮体の現時点動揺実証データでケーブル疲労解析を行い、疲労寿命を101年と推定した。
- 5MW浮体の応答特性(RAO)と福島沖海象統計データによるケーブル疲労解析を行い、疲労寿命を269年と推定したが、今後データを追加しての精査が必要である。

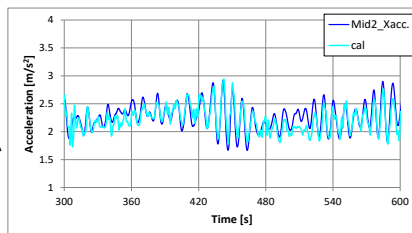
### 実証事業の成果

#### ◆ 妥当性検証フロー



#### ◆ 5MW浮体ケーブルの挙動検証

- ・5MW浮体の運動データによるケーブル挙動解析とケーブル挙動計測データについて、荒天条件の2017年1月9日、2017年3月15日の2期間(1時間データ)を選定して検証。
- ・いずれも挙動計測データと解析結果は良く一致しており、挙動解析の妥当性を確認した。



#### ◆ 5MW浮体ケーブルの実証データ疲労

- ・5MW浮体の運動データから、月平均有義波高が高い2017年3月の1ヶ月間を選定して疲労解析実施
- ・累積疲労ダメージは $8.38E-04$ /月、疲労寿命は推定101年となった。ただし、浮体運動データのシフト影響やノイズ影響等が残っており、今後、長期データによる疲労解析も含めて精査が必要である



#### ◆ 5MW浮体ケーブルの統計データ疲労

- ・5MW浮体RAOと福島沖海象統計データから疲労解析を実施し、年間累積疲労ダメージは $3.37E-03$ /年、疲労寿命は推定296年となった。今後も実証データ疲労と合わせて精査が必要である。



### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○センサー、モニタリングを活用した予防保全システムを検討する。

#### 現状認識と研究の目的

- センサーのデータをモニタリングし、データ間の相関を探ることで予防保全に活用する。

#### 実施方法

- データ間の相関を把握し、予防保全に資するパラメータを検討する。風車と浮体の相関については浮体メーカーと協力する。

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)

##### 予防保全システム

センサーデータ →  
データ処理(トレンド、統計) → 相関関係  
故障と関係するパラメータの抽出の検討

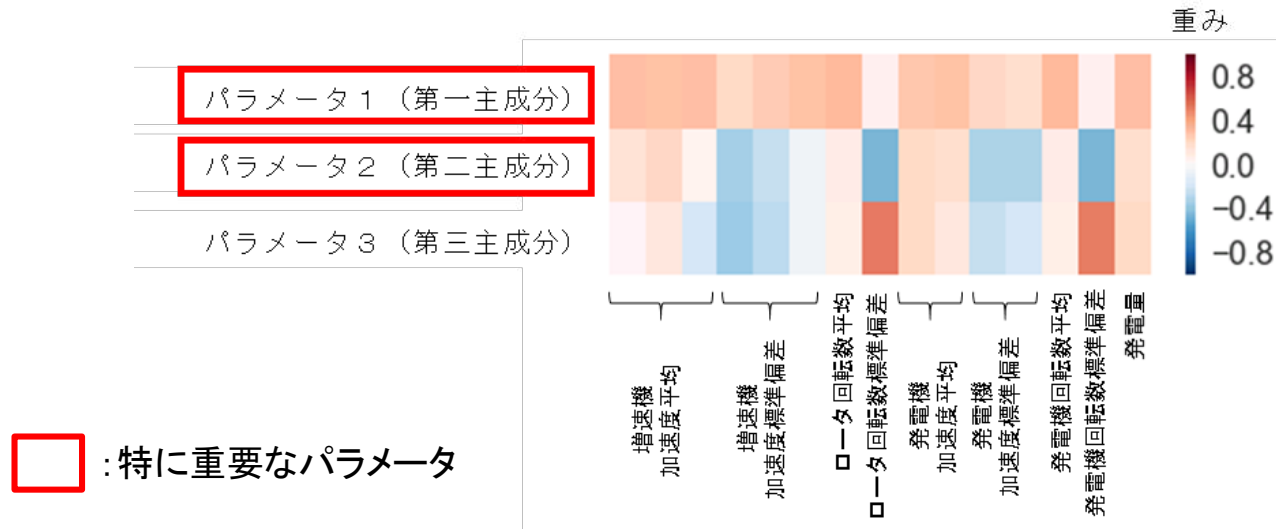
センサーデータを活用した予防保全システムを用いて分析することにより、福島沖での実測データに基づき、コスト削減に資するO&M方法を検討する。

### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○センサーによって取得したデータの相関関係を分析を行った。ドライブトレインについてはセンサ値統計量の分析を行い、予防保全に資するパラメータとして、複数のセンサ値の重みつき和で表現されるパラメータを抽出した。

#### 実証事業の成果

- ①浮体風車特有の現象である浮体動揺に関するセンサデータ間の関係の分析を行い、その風車全体挙動に対する影響を検討した。
- ②ドライブトレインについては、主成分分析を行い、故障予兆検知のためにモニタリングすべきパラメータとして、複数のセンサ値の重みつき和で表現されるパラメータを抽出した。



   : 特に重要なパラメータ

抽出された予防保全に資するパラメータ

### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- リスクを明らかにするためにリスク低減策の立案とコスト算定を行なう。
- センサー、モニタリングを活用した予防保全システムを検討する。

#### 現状認識と研究の目的

H28年度にリスク、課題の抽出、整理を行った。  
2MW浮体に関する解決策と、それに掛かる費用を算出し、事業計画に反映する必要がある。  
また、2MW浮体は種々のセンサーデータをモニタリングしており、データ間の相関を探ることで予防保全にも活用ができる。

#### 実施方法

- メンテナンス実績をもとに予防保全の手法を検討する。具体的には、使用するソフトウェア(プラットフォーム)を検討、選定を行い、また、データ間の相関を把握し、予防保全に資するパラメータを検討する。
- リスクごとに、その解決策を検討し、コストの見積もり(メーカー、マリンコンストラクターなどから見積もりを入手することを含む)を行う。

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)

抽出されたリスクに対する解決策の立案とコスト試算

リスク	モード	緊急度	コスト	期間
構造の損傷	手摺		〇〇千円	〇〇日
	ステップ		〇〇千円	〇〇日
	マンホール		〇〇千円	〇〇日
	ハッチ		〇〇千円	〇〇日
機器の故障	浸水センサー		〇〇千円	〇〇日
	ジャイロ		〇〇千円	〇〇日
	GPS		〇〇千円	〇〇日

予防保全システム(案)  
センサーデータ → データ処理(トレンド、統計)  
→ 相関関係 → 故障と関係するパラメータの抽出

⇒ 故障の予兆を検知し、未然に防ぐことで、  
O&Mコスト低減に資する



### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○35項目の故障モードについて対策を検討し、地元の施工業者の作業費見積りを用いて、20年間の機器メンテナンスコストと艀装品修理コストとして61,206千円を算定した。

#### 実証試験の成果

- 下記のリスクを想定し、35項目の故障モードについて対策を検討した。
  - ①浮体に搭載した機械の故障、②浮体の遠隔制御の損失、③構造(艀装品)の破壊、④塗装の損傷
- 対策コストは、(部品単価+施工業者の作業費)×数量×20年間の作業回数として算出した。

#### 20年間の不具合対策コスト

リスク	詳細	事象	原因	検知	対策	施工	工事規模	部品単価	作業費	数量	20年間 作業回数	対策コスト	対策期間
								(千円)	(千円)			(千円)	(日)
①機械の故障	バラストポンプ	作動せず	経年故障(10~15年)	作動試験	交換	施工外注	小規模	298	455	3	1	2259	2
	ビルジポンプ	作動せず	経年故障(10~15年)	作動試験	交換	施工外注	小規模	472	271	3	1	2229	1
	パタフライ弁 200A①	作動せず	経年故障(10~15年)	作動試験	交換	施工外注	小規模	850	150	1	1	1000	1
	パタフライ弁 200A②		経年故障(10~15年)					740	150	1	1	890	1
	パタフライ弁 80A		経年故障(10~15年)					520	150	1	1	670	1
	パタフライ弁 65A		経年故障(10~15年)					620	150	1	1	770	1
⋮													
②遠隔制御の喪失	遠隔制御盤	点灯せず	経年故障(7~9年)	点灯せず	交換	メーカー修理	小規模	461	—	1	2	922	—
	遠隔喫水・液面計測装置	異常値	経年故障(7~9年)	異常値	交換	メーカー修理	小規模	1028	—	1	2	2056	—
	ビルジ警報装置	異常値	経年故障(7~9年)	異常値	交換	メーカー修理	小規模						
③構造の破壊	マンホール	凹損、クラック	青波、落下物など	目視	交換、塗装	施工外注	小規模	—	496	1式	1	496	2
	梯子	破断、曲がり	青波、疲労、錆び	目視	溶接、塗装	施工外注	小規模	—	947	1式	3	2841	4
	通船接舷用パイプフェンダー	凹損、クラック	摩耗、衝突	目視	塗装	施工外注	小規模	—	337	1式	3	1011	5
	コンテナ	塗装部損傷	錆び	目視	塗装	施工外注	小規模	—	567	1式	1	567	3
	⋮												
④塗装の損傷	気中塗装	剥げ、剥離	経年変化、こすれ、錆び	目視	タッチアップ	施工外注	小規模	—	1008	1式	4	4032	7

- 20年の総額は61,206千円
- 20年で割った年平均コストは3,060千円
- 帰港が必要な大規模な修理項目等を除く

### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討

## 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンストスパー浮体

- 浮体式洋上風力向けの制御の研究を行う。
- 浮体式洋上特有の環境への適応の研究を行う。

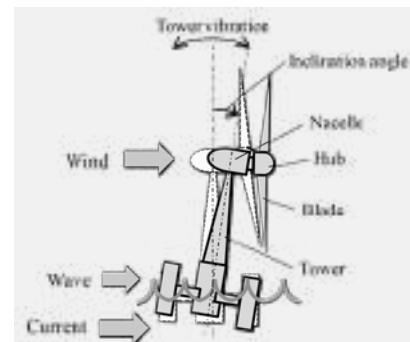
#### 現状認識と研究の目的

- 浮体式洋上風力のデータが十分でない中で、今回の5MW風車の実証をもとに、洋上での動揺に対する制御の向上を検討、検証を行う。

#### 実施方法

- フィードバック制御にて、ネガティブダンピング抑制制御を行い、その効果を確認するとともに、更なる動揺対策としてフィードフォワード制御の検討、検証を行う。ドップラーライダー風速計で風車上流側風速変動を制御に反映する。
- 浮体式洋上風力という設置環境を考慮したセンサー類などを設置し、不具合の発生しやすい箇所との関連を調査し、対応を検討する。

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)



#### ネガティブダンピングのイメージ

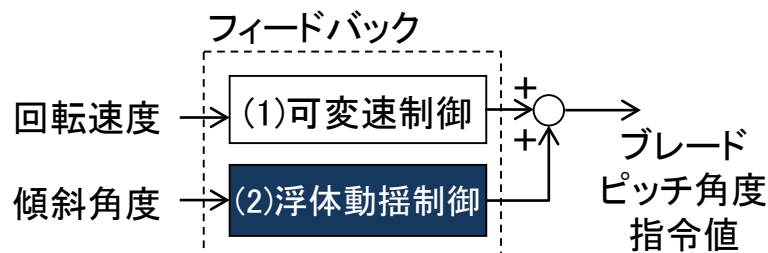
- ジャイロセンサー・ドップラーライダー等の機器を設置し、洋上風力という設置環境の外部データを正確に把握する。
- ネガティブダンピングの制御の確認や上記機器で計測した福島沖での実測データを活用し、ネガティブダンピング制御の高度化を図り、5MW風車の洋上での環境適応状況を明らかにする。



#### ① 浮体動揺制御(フィードバック): ブレードピッチ角度調整により運転時の浮体前後動揺を低減

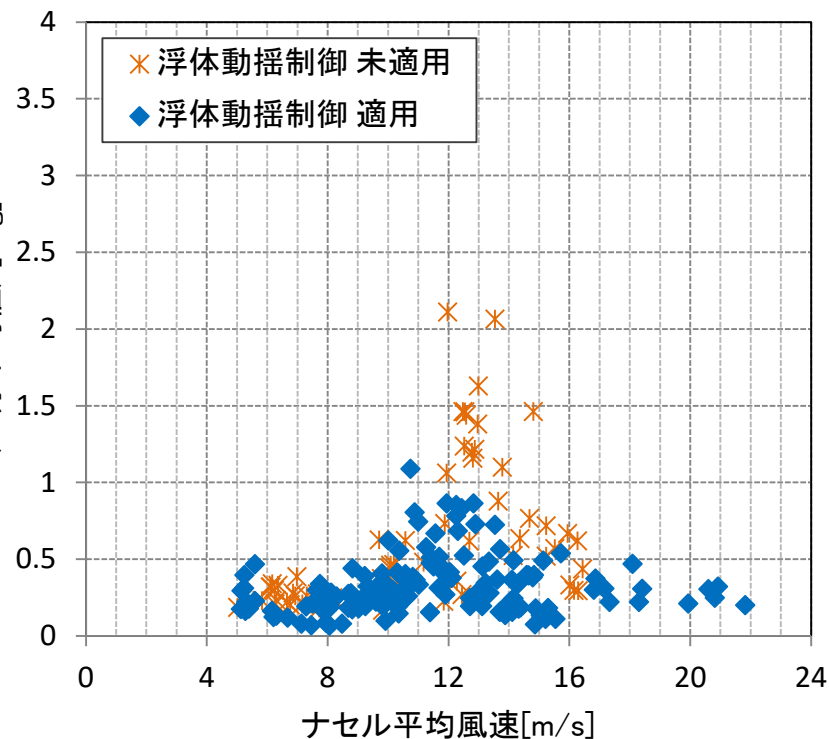
#### 実証事業の成果

#### ① 浮体動揺制御(フィードバック制御)



- ・アドバンスパー型浮体においても、陸上機用の可変速制御のみではナセル前後傾斜角度の動揺が発生(シャットダウンあり)
- ・浮体動揺を抑制するフィードバック制御を追加
- ・ナセル前後傾斜角度に基づいて、ブレードピッチ角度を調整
- ・ナセル前後傾斜角度の動揺を低減することでシャットダウンを回避、安定した発電運転可能

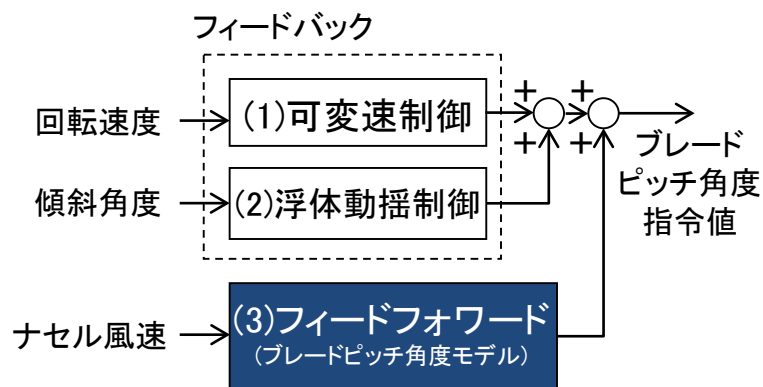
ナセル前後傾斜角度浮体共振振動成分  
(10分平均値) [deg]



### ②フィードフォワード制御: 制御アルゴリズム構築(ブレードピッチ角度の定常特性を利用)

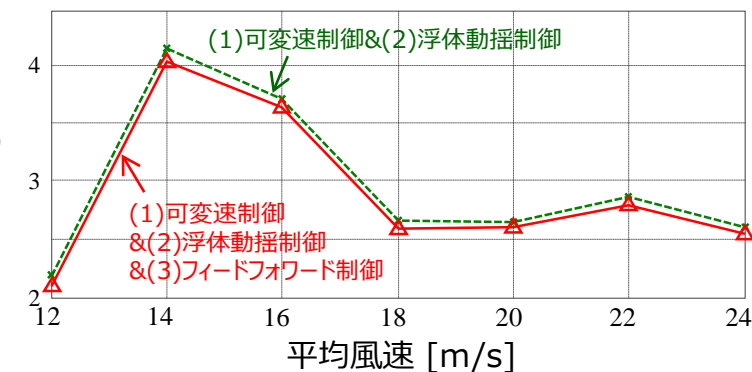
#### これまでの成果

#### ②フィードフォワード制御

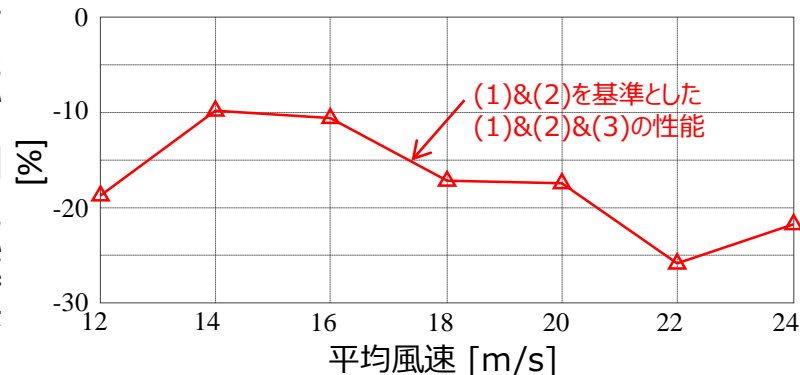


- ・ロータ前方の風速(ナセル風速)に基づき、フィードバック制御に先行してブレードピッチ角度を操作できるフィードフォワード制御を追加
- ・2つのフィードバック制御での制御干渉を抑制
- ・ブレードピッチ角度の標準偏差と累積変化量を低減することで、ブレードピッチ角度の変動負荷を軽減

ブレードピッチ角度の標準偏差 [deg.]



ブレードピッチ角度の累積変化量の変化率 [%]



③LiDARによる風速予測手法を構築

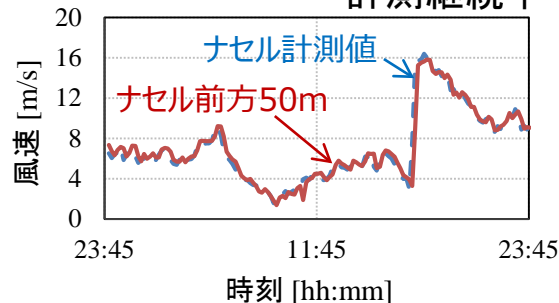
④レーザー変位計の追加

実証事業の成果

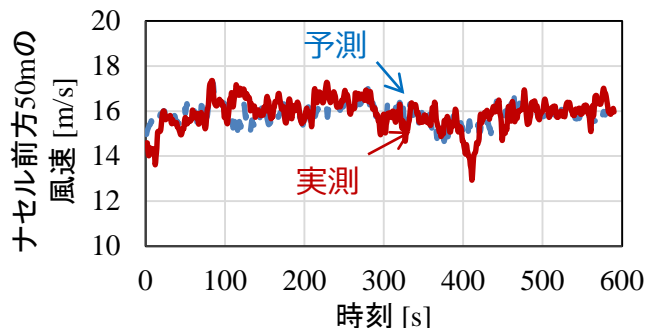
③LiDARによる風速予測手法



1) LiDAR計測結果 計測継続中



2) 風速予測法(Support Vector Regression活用)



ナセル前方200mの計測結果に基づき、ナセル前方50mの風速を予測可能(1秒周期予測)

④レーザー変位計の追加



- ・発電機やカップリング等に対する、浮体動揺や振動が及ぼす影響の検証すべく、レーザー変位センサを取付けた。
- ・検証の結果、浮体の傾斜環境により変化はないことを確認した。

### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討

#### 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンストスパー浮体

- 事業化時の課題の一つとして、リスク低減のため、浮体状態監視システムを対象に、改良策・強化策を検討する。
- 実証設備である浮体の性能評価結果から、訪船による直接検査の頻度を削減できる項目を抽出し、これらの項目に対し、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。

#### 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、訪船による直接検査の頻度を削減できる項目を抽出し、これらの項目に対し、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

- 浮体監視状態監視システムにより得られるデータを見直し、費用対効果の期待できる改良策・強化策(アラームシステムの追加、監視カメラの増設等)を検討
- 上記の改良・強化により、実施回数削減が見込める訪船調査項目を抽出
- 以上により、訪船調査にかかる費用の削減効果を算定

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)



監視項目	訪船回数 (現状)	訪船回数 (改良後)	考慮事項
補助発電機用原動機	毎月	隔月	
燃料フィードポンプ			
燃料油こし			
潤滑油サンプタンク			
補助発電機用 冷却水ポンプ			
油量計の液面位置			
燃料サービスタンク			
ビルジハット			
ビルジタンク			

アラーム項目の抽出

### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンスパー浮体

○設備電源関係において補助発電機の遠隔監視機能の強化方法を検討し、改造仕様書を作成した

#### 実証事業の成果

##### ①浮体状態監視システムの改良案・強化策の検討

実施計画書に基づき、以下の検討を行った。

- ・アラームシステムの追加

補助発電機の燃料漏れ検知アラームシステム（後述）が有用との結論に至った。

- ・監視カメラの増設

有効性を検討したが、既に浮体内に設置されているカメラで十分であると判断し、実施しないこととした。

##### ②浮体状態監視システムの改良・改善策の提案

訪船作業履歴の解析を行ったところ、実績として特に陸電停電時に訪船回数が増えている。

その理由として、陸電停電の際に補助発電機を使用するが、現状ではその作動前点検や運転監視は直接訪船して行う必要があるが、これらの労力は主に発電機原動機の燃料漏れを有無を確認するために費やされていることが明らかとなった。

このため、補助発電機の燃料漏れ検知をアラームシステムを追加し、その有無の確認が陸上から行えるようになれば、訪船回数削減が期待できる。燃料漏れを検知用に、既存の遠隔監視機能にガス検知器を追加するための試設計を実施した。

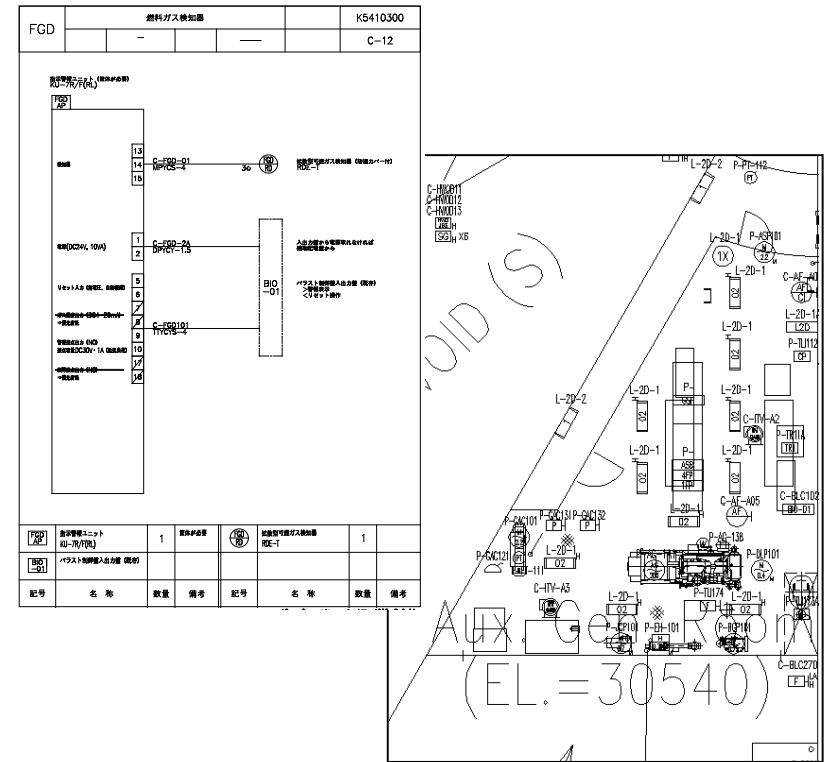


図 改造仕様書（系統図と配置図）



### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 遠隔からの状態監視・操作の範囲拡大(検討・対策・実証・評価)を図る。
- 故障予兆検知機能の向上(検討・対策・実証・評価)を図る。

#### 現状認識と研究の目的

##### (現状認識)

- カメラ・温度計・漏油センサなどの設置し、遠隔監視およびデータを蓄積。
- 機械の重損傷による長期停止を避けるため、警報閾値を下げ軽微予兆で風車を停止。現場点検が多く、運転稼働率が低い。

##### (研究の目的)

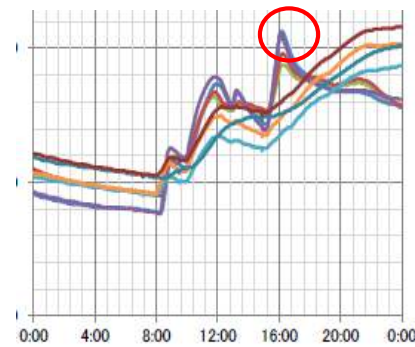
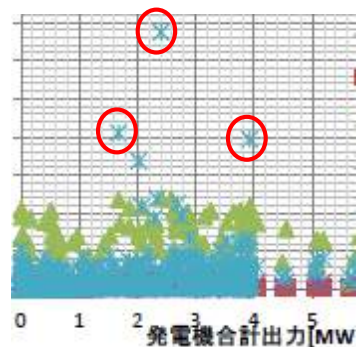
浮体にアクセス無しに風車内の状態を遠隔で把握・処置することで、その停止時間を減らし稼働率を向上する方策を追及したい。

#### 実施方法

- ①遠隔からのさらなる状態監視が可能なカメラ・センサの追設と陸上への送信の実現。
- ②ドライブトレイン、ピッチシステム、制御装置、補機他の運転データ収集し、トレンド分析、相関解析などの統計的手法により、異常傾向を早期に検出、運転条件へ反映していく。

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)

- ①浮体アクセスなく遠隔にて復旧措置の判断  
あらかじめ発生事象を把握し、事前準備により浮体上での作業効率化(派遣人員(職種)の限定、必要部品の選定を目指す)を実現。
- ②異常傾向早期検出  
収集したデータからトレンド分析・相関解析などの統計的手法により、異常傾向を早期に検出し、運転条件への反映、停止時間低減につなげる。





# (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

○運転状況の把握や、警報停止要因の分析、復旧のための「風車停止期間増加リスク」低減の手法として、遠隔からの状態監視が可能なカメラを12台追加し、その有効性を確認した。

## 実証事業の成果

・監視カメラを追加し、①、②の効果を確認した。

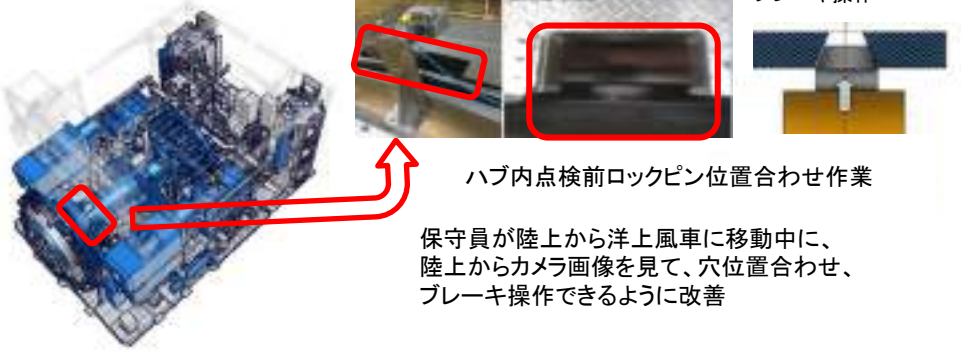
場所	設置台数	用途
ナセル・タワー	10 → 19	漏油・火災有無確認、遠隔保守操作
浮体	0 → 3	火災有無の確認、波浪状況確認

### ① ナセル・タワー内カメラによる監視状況と効果



【効果】 現地に行かず、油漏れ有無、火災発生有無を確認可能

目視確認で位置合わせ、ブレーキ操作



ハブ内点検前ロックピン位置合わせ作業

保守員が陸上から洋上風車に移動中に、陸上からカメラ画像を見て、穴位置合わせ、ブレーキ操作できるように改善

【効果】 遠隔操作により、保守準備時間を低減

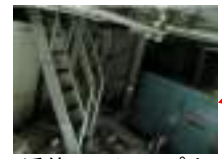
### ② 浮体外カメラによる監視状況と効果



Pコラム側

Sコラム側

【効果】 現地に行かず、浮体歩廊状態を確認可能



浮体コラムトップ内

バックアップ発電機  
・・・系統停電時に作動する。

【効果】 現地に行かず、油漏れ有無、火災発生有無を確認可能

# (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

○アクセス困難な浮体式洋上風車で収集したドライブトレイン等の運転データを用いて、3項目の施策を行い、異常傾向の検出により運転条件に反映するとともに停止時間を低減した。

## 実証事業の成果

### ①バルブの寿命予測手法の確立・精度向上

個々のバルブについて、運転状況(累積運転時間、出力)と自己診断データから線形近似曲線を引き、残寿命を予測する。

	従来手法(定期交換)	新手法(個別寿命推定)
交換方法	定期的に一定量交換	定期点検時に 寿命到達したバルブの数だけ交換
交換数	6個/月(72個/1年)	
交換回数	12回/年 (月例点検に分散実施)	4回/年(予想)

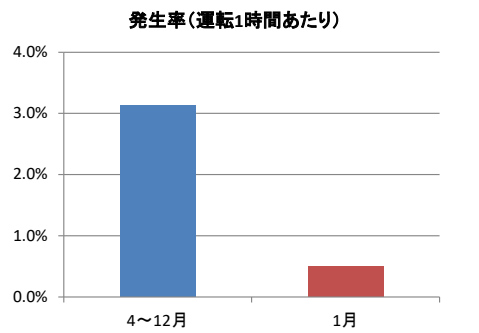
**【効果】 交換時の個数を削減し、停止期間を低減**

### ②油清浄度監視の高度化

油圧システムの停止要因を占めるコンタミネーションのうち、気泡による誤検知を減らすため、コンタミ値(小粒子、大粒子)と運転状況(ステート、出力、運転時間)の関係を分析し、運転停止条件を再設定する。判定条件は運転データ積み増しとデータ解析により精度向上を図る。

(新手法)・・・小粒子コンタミセンサ検出設定値見直し

(大粒子検出なし AND  
4μm以上 × 20 OR  
6μm以上 × 18 OR  
14μm以上 × 16 を2回連続)



**【効果】 気泡誤検知を防止、不要な停止時間を低減**

### ③画像監視による異常自動検知

油に反応した色の変化を風車内で画像処理し、異常を早期に自動検知する。



**【効果】 抵抗式漏油検知センサより広い検知範囲の漏油を自動検知し、異常を早期検出可能**

### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討

#### 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 事業化を見据えての浮体施設部の問題点を抽出し改善策を明らかにするために運用評価を行なう。
- 浮体へのアクセスや艀装品等の浮体諸設備の運用状況を分析することにより、最終的には現状と事業化に適した仕様の比較を行なう(長期運用時の問題点を抽出し、改善策を提案する)。

#### 現状認識と研究の目的

浮体はH27年8月に設置を終了し、浮体としては約1.5年の運用が行われている。事業化に向けては設計の検証等とともに事業化運用での効率化が必要であり、浮体施設部に関しての問題点を抽出し、整理を行う必要がある。

#### 実施方法

浮体へのアクセスやポンプ等の浮体諸設備に関し、事業化を見据えた運用評価を実施し、長期運用時の問題点を抽出して、改善策を整理する。この整理に関しては改善の実施時期及び手法に関しても検討し、提案を行う。  
また、将来を見据えた浮体に関しての提案を実施する。

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)



1. 事業化に関わる浮体施設部の問題点
2. 改善策の提案と実施時期

機器名	運用実績	問題点	現状評価	将来対応	対策時期
浮体構造	2.5年係留				
アクセス設備	着棧約xx回	波浪損傷	補修済 正常	塗装補修	次回定検前
海水ポンプ	xx回運転	特になし	正常	パッキン 交換	2018年頃
GPS	2.5年運用	Sコラム故障	補修済 正常	定期点検	年次点検
センサー	2.5年運用	老朽化	正常	定期交換	2020年頃

3. 将来を見据えた浮体としての提案

### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 事業化を見据えて、浮体施設部(基本計画・システム)の問題点を抽出し改善策を提案した。
- 浮体諸設備に関して、事業化を見据えた運用評価を行い、浮体諸設備の改善策、実施時期、手法を整理した。

#### 実証事業の成果

##### <浮体施設部>

	項目	問題点	改善策
1	コラム間アクセストラック（ローハル内）の設置	C/P/Sコラム間の移動の都度通船待ちが生じ、作業効率が低下	ローハル内にアクセストラックを設置する。電路・管路を兼ね、タンクへのアクセスも可能とすることにより検査・点検の利便性も向上する
2	荷積スペース／クレーン位置とアクセス位置の検討・改良	重量物搭載時、クレーンと浮体諸設備との干渉による制限がある	使用する船舶を想定して、事前検討を実施すると共に、初期段階から浮体諸設備とのマッチングを図る
3	運転開始前の調整作業員の作業環境改善	トイレや休憩にアクセス船を利用することにより、作業効率が低下	簡易トイレや空調など休憩が取れる環境を備えたスペースを設置する 運開後の検査及び保守作業員の作業効率の改善も期待できる
4	バラストポンプ容量／配管の適正化	設置時及び定期検査時浮体の浮上／沈下に時間が掛かり非効率、作業者の負担大	日没から日の出までに作業が終了するようなポンプ容量／配管とする
5	着底部のアノード	着底／再着底時にアノードの着脱作業が必要で作業効率が低下	アノードのレスス化、又は外部電源防食（ICCP）により、船体外板の突起物をなくす
6	定期点検要点検箇所削減	残置した艀装品シートと船体の溶接部は検査対象で、検査カ所が増	点検箇所削減の為、工事用等の浮体運用に直接不要な施設は撤去する
7	ポンプ室内結露の対策	春先は船体内部結露により、ビルジの排水が頻繁となる	ビルジウェルを大きくして排水頻度を減らすと共に、床面に傾斜をつける等でビルジの回収を容易にする
8	ポンプ室内への搬入装置	ポンプ室内への機器搬入が人力となる為、作業員負担が増	可搬式／組み立て式のリフティングディバイスを装備する
9	バラストタンク定期点検要領の改善	ダイバーによる検査は危険を伴うと共に、コストアップの要因となる	浮体を浮上させ、タンク内の海水を排水して検査する（NK検査時に試行して有効性を確認済み）

### (3)事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

#### 実証事業の成果

##### <浮体諸設備>

	項目	問題点	改善策／手法	実施時期
1	通船出港前のアクセス可否判断	浮体アクセス位置での波浪状況が把握できない為、アクセス可否判断の確実性に欠け、作業工程に悪影響	アクセスポイントにウェブカメラを設置し、直接アクセス位置の状況を画像で判断することにより可否判断の確実性を向上	2018年 5月～6月頃
2	バラスト排水監視	バラストポンプの遠隔運転時、海水の排水が確認できず、空運転等による作業効率の低下・作業員の負担増・機器への悪影響が発生	排水口からの排水状況を目視できるウェブカメラを設置し、排水状況を確認しながら作業を行う事により、左記問題を解決	2018年 5月～6月頃
3	バラストタンク内防食性	塗膜不良に起因するNo.5 UPP/LWRタンクに設置している喫水計元弁用油圧管フランジ部発錆	アルミアノードを追加設置し、塗膜不良に対する部分的な防食性能を向上	2018年 5月～6月頃
4	舳形状が異なるアクセス船の仕様に備えたP/Sコラム着棧設備の改修	舳（へさき）のある小型船ではP/Sコラムへのアクセスが制限されており、作業工程に悪影響	Cコラムに追設済みの丸棒をP/Sコラムにも追設する	2018年 5月～6月頃
5	運用面での改善ローハルからコラムトップへのアクセス確保	定期点検要領の改善に伴い、ローハルからコラムトップへのアクセスが必要となるが、工事に設置した設備しかなく、安全性・利便性に欠ける	工事に設置した昇降設備を一部流用したアクセスルートを改修設置する事により、安全性の向上と作業員の利便性を向上	2018年 5月～6月頃
6	ローハルへの着船／乗下船設備の改善	定期点検要領の改善に伴い、ローハルへの直接乗船が必要となるが、曳航作業用に設置した設備しかなく、安全性・利便性に欠ける	縄梯子をアルミ製の梯子に改修する等の改良を実施し、耐久性のある設備として安全性・利便性を向上する	2018年 5月～6月頃



# (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 鋼材

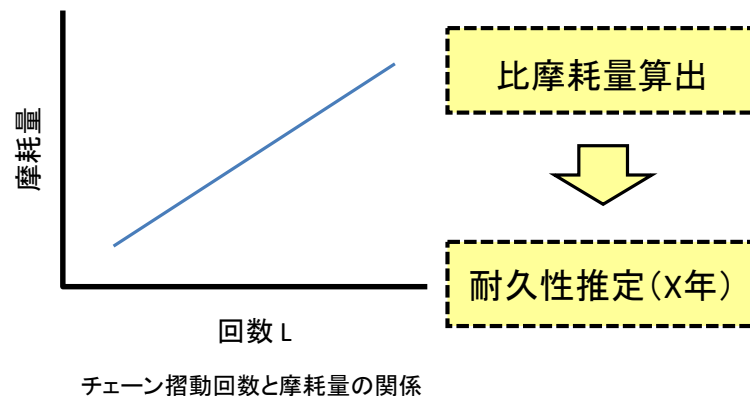
○耐摩耗性評価シミュレーションに適用している前提値の妥当性検証のため、同規格チェーンからの切り出しサンプルを使用したラボ評価試験を行う。

## 現状認識と研究の目的

現在実施しているシミュレーションは、計算前提となるS-N曲線や比摩耗量Wsは計算値や過去の論文値を採用している。

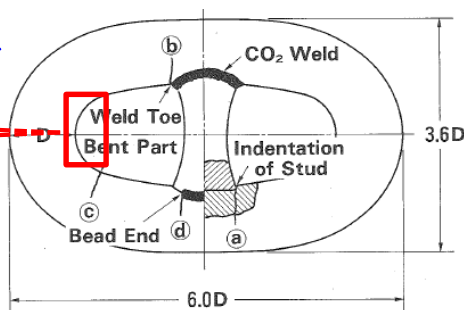
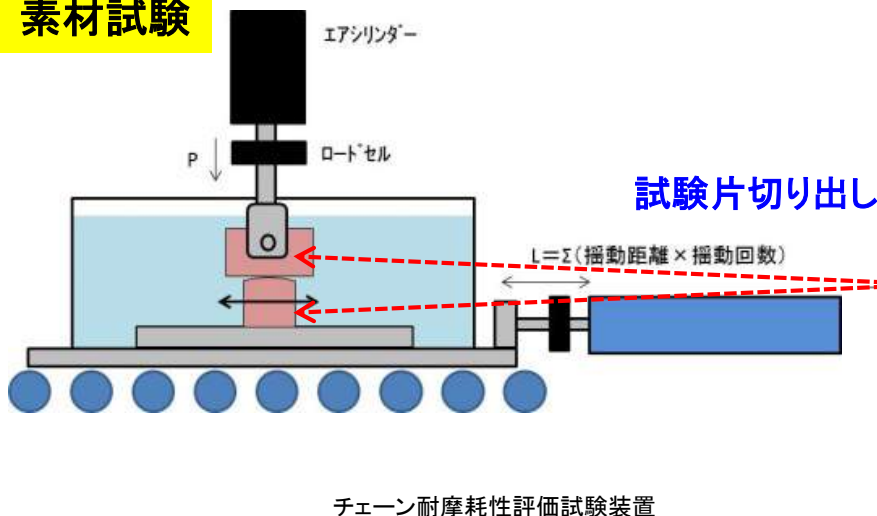
今回同規格チェーンを使用した耐摩耗性のラボ評価試験により、当該シミュレーションの妥当性・信頼性の向上を図ることができる。

## 期待される成果(アウトプットイメージ)



## 実施方法

### 素材試験





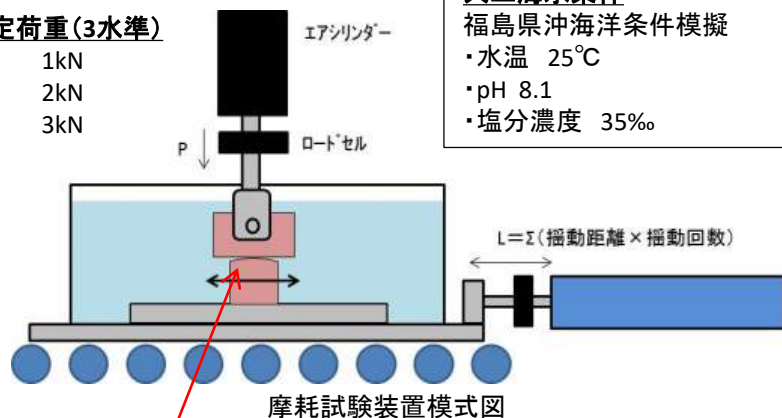
### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 鋼材

○係留に用いているものと同一規格のチェーンから切り出した鋼材サンプルを用いて、人工海水中で一定荷重のもと摺動させた場合の摺動距離と鋼材摩耗量を評価するための評価装置を作成しラボ実験を実施した。

#### 実証事業の成果

##### 一定荷重(3水準)

- 1kN
- 2kN
- 3kN



摩耗試験装置模式図

**人工海水条件**  
 福島県沖海洋条件模擬  
 ・水温 25℃  
 ・pH 8.1  
 ・塩分濃度 35‰

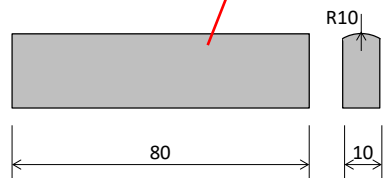


摩耗試験装置外観

現在実施しているシミュレーションでは、計算前提となるS-N曲線や比摩耗量Wsは計算値や過去の論文値を採用している。

今回同規格チェーンを使用した耐摩耗性のラボ評価試験により、当該シミュレーションの妥当性・信頼性の向上を図る。

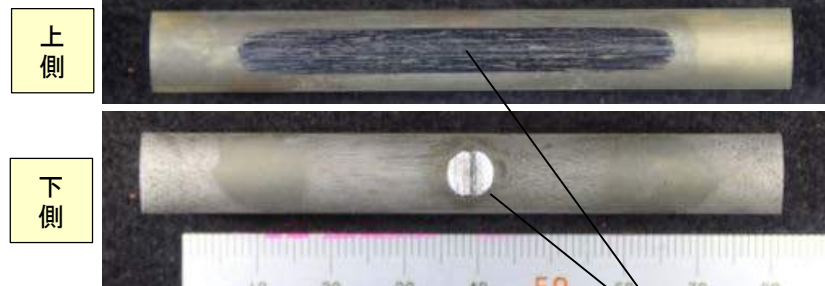
単位:mm



切出しサンプル  
模式図



福島係留チェーン同規格品  
(φ132 R3S)



摩擦試験後サンプル外観

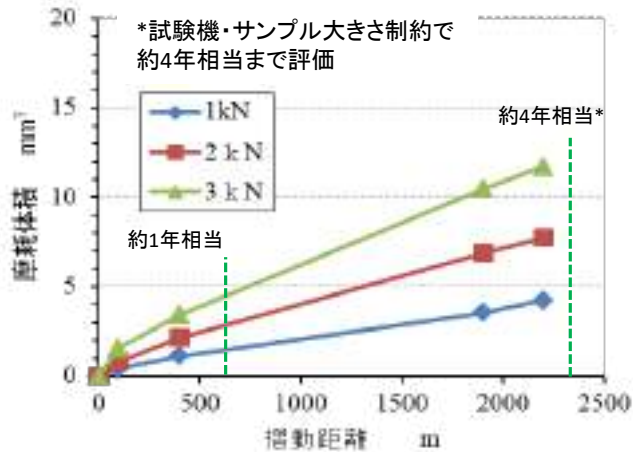
接触摩耗部

# (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 鋼材

○人工海水中摩耗試験機を用いて実チェーンから切り出した鋼材サンプルの摩耗試験を行い、比摩耗量を特定した。この比摩耗量を用いて耐久性評価の精度向上を図った。

## 実証事業の成果

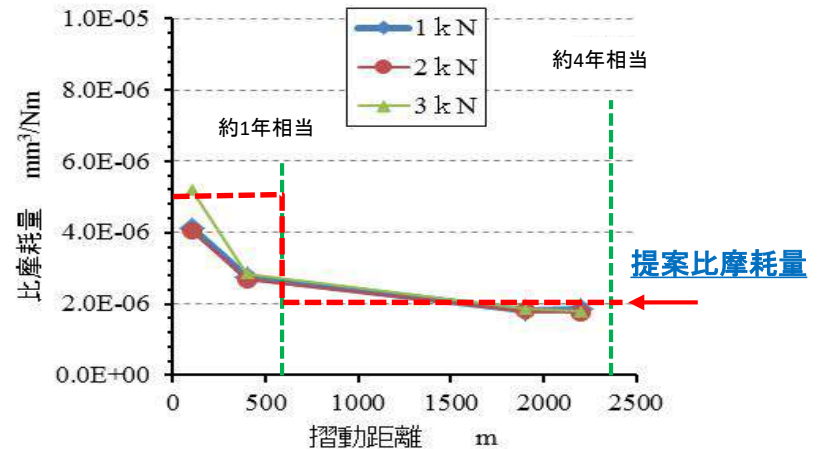
① 摺動距離と摩耗体積 (n=3の平均プロット)



$$V = W_s \times P \times L$$

V: 摩耗体積 (mm<sup>3</sup>)  
 W<sub>s</sub>: 比摩耗量 (mm<sup>3</sup>/Nm)  
 P: 張力 (N)  
 L: すべり距離 (mm)

② 摺動距離と比摩耗量 (n=3の平均プロット)



## ④ 実証事業成果

当鋼材比摩耗量の把握	摩耗量の推定精度向上のための比摩耗量を提案 初期(設置後1年程度) : $5 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ 2年目以降 : $2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ (文献値同等)
耐久性評価	摺動距離に応じた比摩耗量を適用もしくは初期(例えば1年後)の摩耗量を計測しその後は一定比摩耗量適用することで摩耗量を精度よく推定することが可能。これにより20年後の摩耗量を推定し、耐久性を評価した(耐久性は従来計算値とほぼ同等)
比摩耗量評価手法提案	・腐食環境下での比摩耗量経時変化を特定するための試験機構成および試験方法を提案

## ③ まとめ

- 1) 比摩耗量は摩耗初期が最も高く、摺動距離増加とともに一定値に近づく。また、鋼種や荷重の影響は殆ど受けない。
- 2) その時の比摩耗量は約  $2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$  であり、シミュレーション前提としていた文献値(炭素鋼)とほぼ同等と判明

### (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討

#### 鋼材

- 長期動揺計測データ(7MW、1年分)を用いた疲労損傷度、摩耗量の算定、及びその傾向分析
- 昨年度実施した2MW浮体の検討結果と比較し、浮体形状の違いが与える影響を検証

#### 現状認識と研究の目的

- H28年度までに、2MW浮体の摩耗量・疲労損傷度の評価を実施して、20年間の供用期間に対して疲労損傷を起こす可能性が低いこと、疲労損傷度のピーク点と摩耗量のピーク点は一致しないことを把握した。
- 本年度は7MW浮体を対象とした検討を実施して、摩耗量・疲労損傷度の評価を実施すると共に、2MW浮体の傾向と比較する。

#### 実施方法

##### H28年度

2MW浮体の動揺実測データ

疲労損傷度・摩耗量の算出

##### H29年度

7MW浮体の動揺実測データ

疲労損傷度・摩耗量の算出

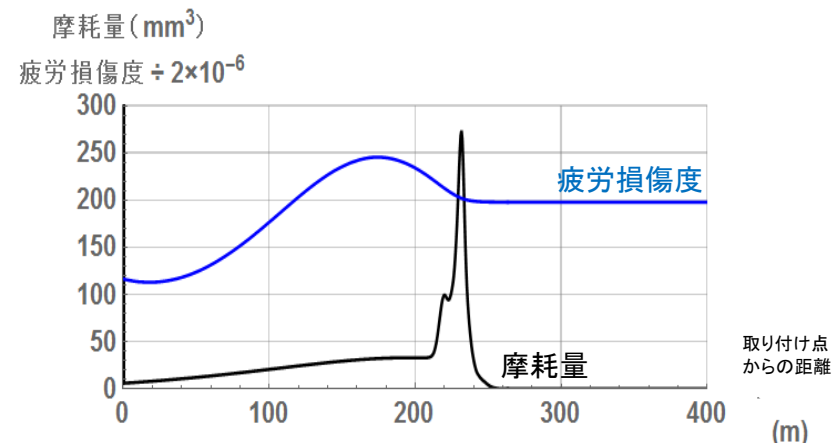
2MW浮体と7MW浮体の比較

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)

- 長期観測データに基づいた1年間の疲労損傷度、腐食摩耗量の算出
- 上記を元に、供用期間20年間の疲労損傷度(および耐久年数)、腐食摩耗量の算出



解析モデル(イメージ)

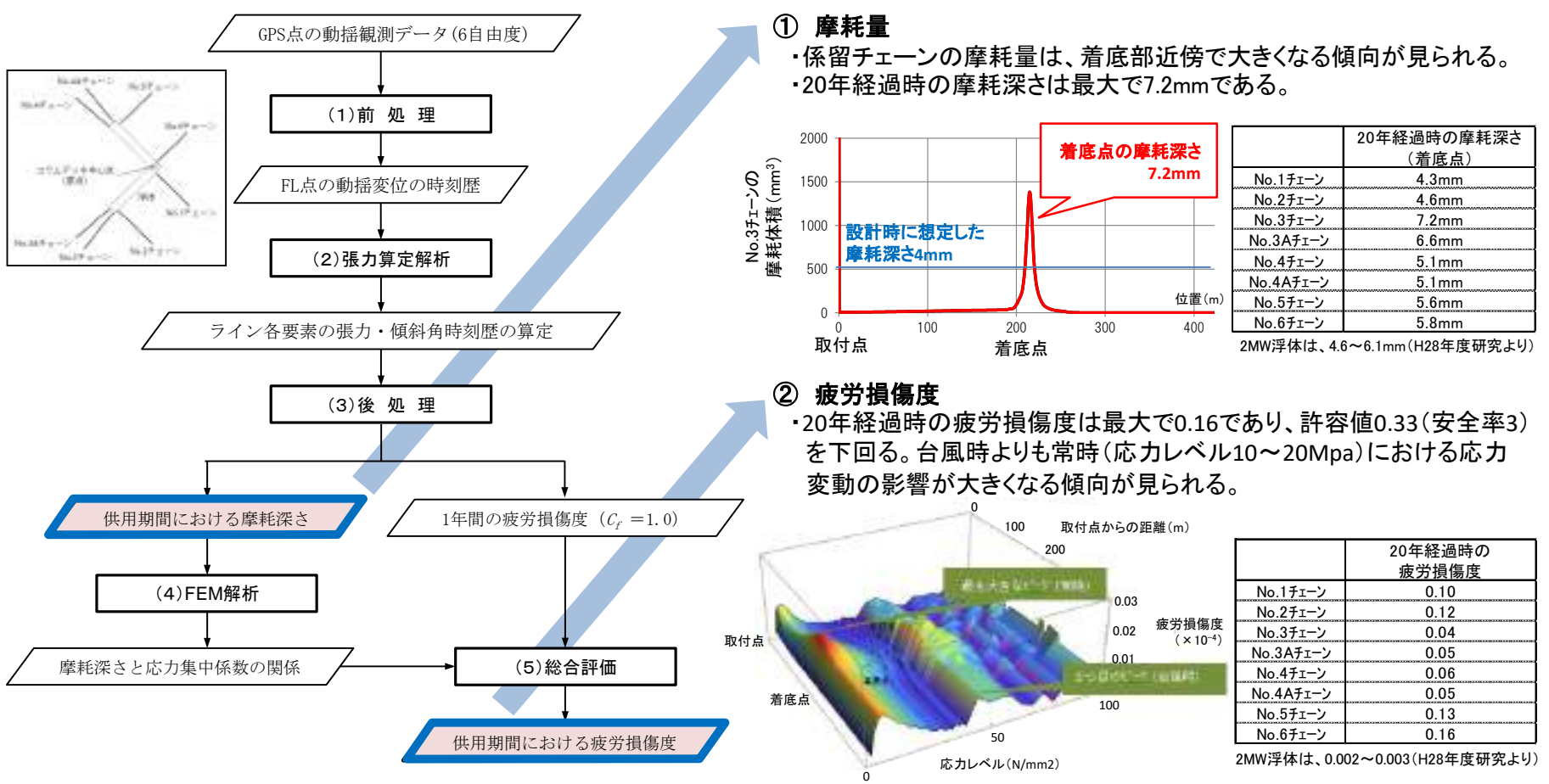


疲労損傷度および摩耗量のチェーン軸線方向の分布(イメージ)

# (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 鋼材

(1) 7MW浮体の動揺観測データを元に解析を実施して係留チェーンの摩耗量・疲労損傷度を評価した。2MWと比較して、摩耗量は同程度、疲労損傷度は大きめの傾向となることを把握した。

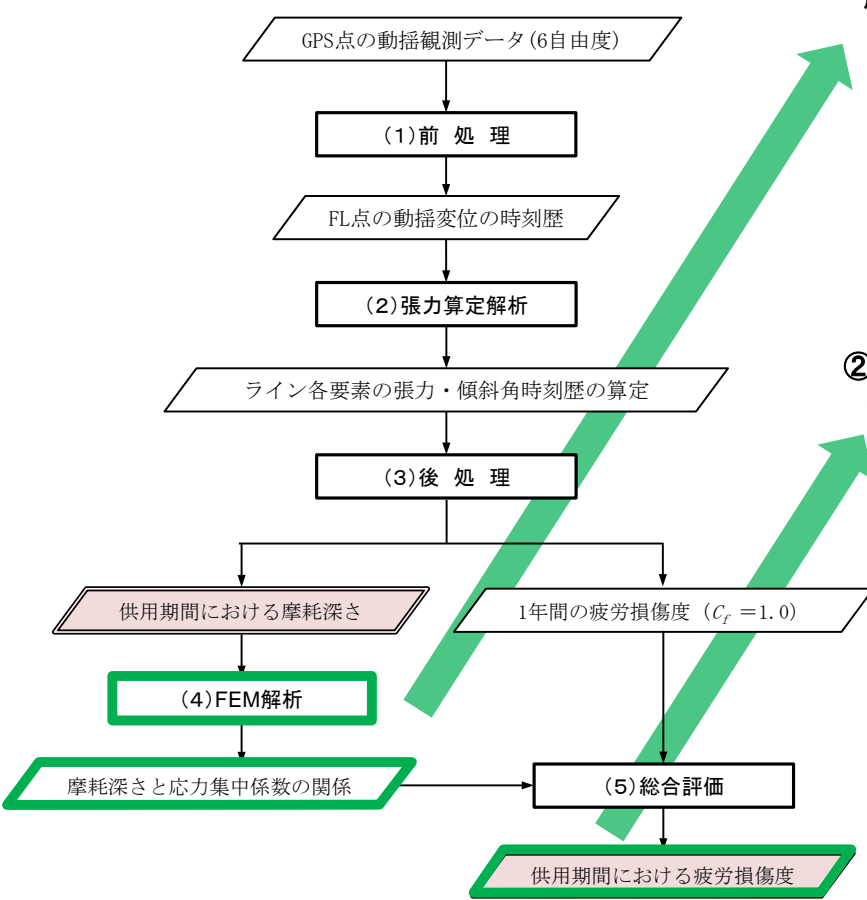
## 実証事業の成果



# (3) 事業化時のリスク抽出・分析及び低減手法の検討 鋼材

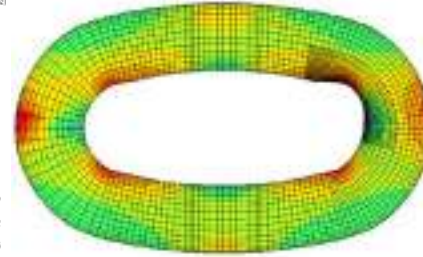
(2) 摩耗深さに応じた応力集中係数を用いた場合に疲労損傷度に与える影響度を把握した。

## 実証事業の成果

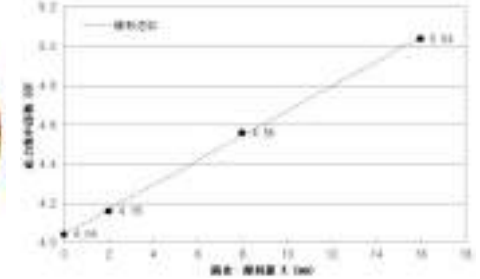


### ① FEM解析

摩耗状態でのFEM解析を実施、摩耗量と応力集中係数の関係を把握した。



FEM解析例(最大主応力)



摩耗深さとSCFの関係

### ② 疲労損傷度の算定

・下記2つの方法を比較、方法2は方法1を20～30%程度下回る。

方法1 : 代表した応力集中係数を使用 (DNV基準に準拠した方法)

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

方法2 : 摩耗深さに応じた各年毎の応力集中係数を使用

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

	方法 1	方法 2
No. 1チェーン	0.10	0.07
No. 2チェーン	0.12	0.09
No. 3チェーン	0.04	0.03
No. 3Aチェーン	0.05	0.04
No. 4チェーン	0.06	0.05
No. 4Aチェーン	0.04	0.03
No. 5チェーン	0.13	0.10
No. 6チェーン	0.16	0.12



# (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○定期点検を実施し、過去の実績も踏まえてコスト低減策を提案する。

## 現状認識と研究の目的

- 洋上2MW風車においてこれまでメンテを実施してきた実績をもとにコスト低減策をたて、事業性向上に資する。
- 実証をもとにアクセス率の悪い洋上でも効率的に行なえるメンテナンスを検討する。

## 実施方法

- 定期点検を実施する。
- メンテナンス実績をもとに、予防保全の手法を検討する。

## 期待される成果(アウトプットイメージ)

FIGURE 2/8  
XZU-9-0070812

3. 定期点検項目と時期

表 1. 定期点検項目と時期

項目 (ID:00000000)	点検内容	半年 点検	1年 点検	2年 点検
1-1	点検項目	○	○	○
1-2	点検項目	○	○	○
1-3	点検項目	○	○	○
1-4	点検項目	○	○	○
1-5	点検項目	○	○	○
1-6	点検項目	○	○	○
1-7	点検項目	○	○	○
1-8	点検項目	○	○	○
1-9	点検項目	○	○	○
1-10	点検項目	○	○	○
1-11	点検項目	○	○	○
1-12	点検項目	○	○	○
1-13	点検項目	○	○	○
1-14	点検項目	○	○	○
1-15	点検項目	○	○	○
1-16	点検項目	○	○	○
1-17	点検項目	○	○	○
1-18	点検項目	○	○	○
1-19	点検項目	○	○	○
1-20	点検項目	○	○	○
1-21	点検項目	○	○	○
1-22	点検項目	○	○	○
1-23	点検項目	○	○	○
1-24	点検項目	○	○	○
1-25	点検項目	○	○	○
1-26	点検項目	○	○	○
1-27	点検項目	○	○	○
1-28	点検項目	○	○	○
1-29	点検項目	○	○	○
1-30	点検項目	○	○	○
1-31	点検項目	○	○	○
1-32	点検項目	○	○	○
1-33	点検項目	○	○	○
1-34	点検項目	○	○	○
1-35	点検項目	○	○	○
1-36	点検項目	○	○	○
1-37	点検項目	○	○	○
1-38	点検項目	○	○	○
1-39	点検項目	○	○	○
1-40	点検項目	○	○	○
1-41	点検項目	○	○	○
1-42	点検項目	○	○	○
1-43	点検項目	○	○	○
1-44	点検項目	○	○	○
1-45	点検項目	○	○	○
1-46	点検項目	○	○	○
1-47	点検項目	○	○	○
1-48	点検項目	○	○	○
1-49	点検項目	○	○	○
1-50	点検項目	○	○	○
1-51	点検項目	○	○	○
1-52	点検項目	○	○	○
1-53	点検項目	○	○	○
1-54	点検項目	○	○	○
1-55	点検項目	○	○	○
1-56	点検項目	○	○	○
1-57	点検項目	○	○	○
1-58	点検項目	○	○	○
1-59	点検項目	○	○	○
1-60	点検項目	○	○	○
1-61	点検項目	○	○	○
1-62	点検項目	○	○	○
1-63	点検項目	○	○	○
1-64	点検項目	○	○	○
1-65	点検項目	○	○	○
1-66	点検項目	○	○	○
1-67	点検項目	○	○	○
1-68	点検項目	○	○	○
1-69	点検項目	○	○	○
1-70	点検項目	○	○	○
1-71	点検項目	○	○	○
1-72	点検項目	○	○	○
1-73	点検項目	○	○	○
1-74	点検項目	○	○	○
1-75	点検項目	○	○	○
1-76	点検項目	○	○	○
1-77	点検項目	○	○	○
1-78	点検項目	○	○	○
1-79	点検項目	○	○	○
1-80	点検項目	○	○	○
1-81	点検項目	○	○	○
1-82	点検項目	○	○	○
1-83	点検項目	○	○	○
1-84	点検項目	○	○	○
1-85	点検項目	○	○	○
1-86	点検項目	○	○	○
1-87	点検項目	○	○	○
1-88	点検項目	○	○	○
1-89	点検項目	○	○	○
1-90	点検項目	○	○	○
1-91	点検項目	○	○	○
1-92	点検項目	○	○	○
1-93	点検項目	○	○	○
1-94	点検項目	○	○	○
1-95	点検項目	○	○	○
1-96	点検項目	○	○	○
1-97	点検項目	○	○	○
1-98	点検項目	○	○	○
1-99	点検項目	○	○	○
1-100	点検項目	○	○	○

点検FORMATのイメージ(平成28年度作成)

これまでの半年点検・一年点検の結果・維持管理記録を整理したFORMATに今年度の実績を追記し、異常なく、順調に発電を継続できるか、O&Mの更なるコストダウン等を検討する。



## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 定期点検を4月・11月・2月に実施し、洋上風車においても陸上同様の点検要領でよいと推定された。
- 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 定期点検を4月、11月、2月に実施した。これまでの結果と今回の定期点検を踏まえ、洋上風車においても陸上同様の点検要領でよいと想定された。



ヨーブレーキパッドの  
外観点検



ルーフアクセスハッチの  
外観点検

- ② 効率の良い予防保全手法

- (a) 月例点検時に常駐員が行うことのできるメンテナンス項目を実施検討した。  
(月例巡視に移行できると考える項目:93項目)また、定期点検を実施した際 に常駐員を活用することによるメンテナンス費用の削減について検討を行った。
- (b) 異常・状態確認のためのカメラ設置の検討  
ナセルの天井、高速軸付近、増速機の下、ヨーブレーキの周辺およびコンテナ内外等にカメラの設置場所を検討した。また、その際に事前準備により21項目が効率的になる可能性があることが分かった。
- (c) 効率的なメンテナンス部品の搬入方法を検討  
ベビーウィンチを使用することとで定期点検が効率化されることが分かった。

## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- メンテナンス作業を実施し過去の実績も踏まえてコスト低減策を提案する。
- ウィンドファームの係留チェーン計測ができる能力を持つチェーン計測システムを開発する。

### 現状認識と研究の目的

- メンテナンスと維持管理は事業性に係る重要項目。これまでにメンテを実施してきた実績をもとにコスト低減策をたて、事業性向上に資する。
- H28年度にROV(遠隔操作型の無人潜水機、以下同じ)を使用した係留索点検、浮体点検は複数浮体で時期を調整し点検することが提案された。
- 係留索は事業リスクの重要要素である。このリスク評価には現状と将来の定量的評価が不可欠。

### 実施方法

- メンテナンス作業を実施し、過去のメンテナンス実績も踏まえて、コスト低減策を提案する。
- 効率的に短時間でチェーン摩耗量の計測を行うチェーン計測システムを開発する。本システムはROVを製作し、製作したROVに、過去に製作したチェーン計測システム試作機を改造して、搭載する。
- 係留チェーンの精密な計測を行うための船上検査の計画立案を行う。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)

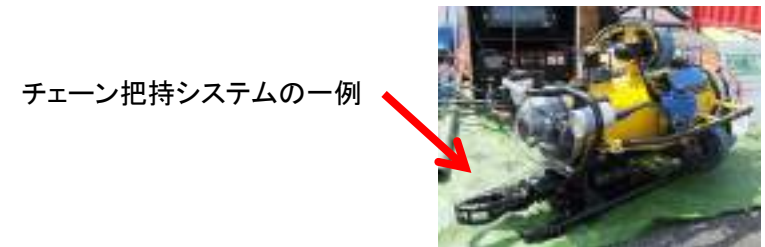
- #### チェーン計測用ROVに求められる機能
- チェーン把持システムを追加
  - 安定したROV姿勢
  - 迅速な計測
  - 運動性能と省電力化を両立したスラスト配置
  - 海底泥まき上げ低減
  - 着底点付近の計測(下向き計測)



ROV(遠隔操作型無人潜水機)



チェーン計測システム試作機



チェーン把持システムの一部

## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 浮体メンテナンスを実施するとともに、定期検査を実施し、問題ないことを確認した。
- これまでのメンテナンス実績をもとにメンテナンスコスト低減策をまとめた。
- 専用ROVを新規に製作し、過去に製作したチェーン計測システムを搭載し、作動確認を実施した。
- 係留チェーンの精密な計測のための船上検査について計画立案し、コスト見積りを実施した。(約3.8億円)

### 実証事業の成果

#### 浮体メンテナンス実施



定期検査状況



バラスタタンク内検査のための排水作業

- ・ 浮体設置後はじめてバラスタタンクの一部を排水し内部の塗装点検を行った。
- ・ 塗装については、適宜タッチアップなどの小規模な塗装工事を実施することで、20年間の稼働が可能と判断している。

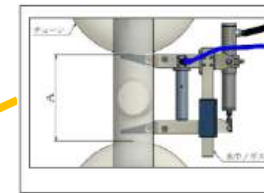
#### メンテナンスコスト低減策

- ・ 浮体内部換気方法の改善
- ・ 作業の内製化
- ・ 浮体ダビットの作業性向上
- ・ ROV作業船の小型化

#### チェーン計測システム開発



チェーン計測専用ROV



チェーン計測システム(模式図)



作動確認状況

- ・ チェーン把持機構を搭載し、安定した計測姿勢を実現
- ・ 過去に製作したチェーン計測システムを改造し、計測時間を短縮
- ・ 着底点付近の計測(下向き計測)

# (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施

## 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンスパー浮体

- 定期点検を実施し、頻度、内容を検証すると共に、予兆診断を活用し効率的な維持管理を行う。
- 稼働率向上のための運転リスクの分析と将来的なメーカー保証を検討する。

### 現状認識と研究の目的

- 洋上5MW風車のメンテナンス手法はアクセス手法も含め確立されていない。今回の実証をもとにアクセス率の悪い洋上でも効率的に行なえるメンテナンスを検討する。
- 現状、浮体式洋上風車に対する保証は確立されていないが、今回の実証でのデータをもとに保証手法の検討する。

### 実施方法

- 定期点検の実施により洋上風車ならではの点検項目の追加、削減を検討する。
- 各種データ(CMS等)を活用し、予兆診断を行う。その効果を検証するとともに、効率的かつ洋上でコスト効率の良い維持管理手法を検討する。
- 上記の結果を踏まえ、運転リスクの分析とメーカー保証の対策を検討をする。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)

FIG. 2/8  
XID-9-070812

1. 定期点検項目と周期

表 1 定期点検項目(1/1)

項目	点検内容	点検頻度	点検時間	点検場所
1-1	1. 点検項目			
1-1-1	1.1 点検項目			
1-1-2	1.2 点検項目			
1-1-3	1.3 点検項目			
1-1-4	1.4 点検項目			
1-1-5	1.5 点検項目			
1-1-6	1.6 点検項目			
1-1-7	1.7 点検項目			
1-1-8	1.8 点検項目			
1-1-9	1.9 点検項目			
1-1-10	1.10 点検項目			
1-1-11	1.11 点検項目			
1-1-12	1.12 点検項目			
1-1-13	1.13 点検項目			
1-1-14	1.14 点検項目			
1-1-15	1.15 点検項目			
1-1-16	1.16 点検項目			
1-1-17	1.17 点検項目			
1-1-18	1.18 点検項目			
1-1-19	1.19 点検項目			
1-1-20	1.20 点検項目			
1-1-21	1.21 点検項目			
1-1-22	1.22 点検項目			
1-1-23	1.23 点検項目			
1-1-24	1.24 点検項目			
1-1-25	1.25 点検項目			
1-1-26	1.26 点検項目			
1-1-27	1.27 点検項目			
1-1-28	1.28 点検項目			
1-1-29	1.29 点検項目			
1-1-30	1.30 点検項目			
1-1-31	1.31 点検項目			
1-1-32	1.32 点検項目			
1-1-33	1.33 点検項目			
1-1-34	1.34 点検項目			
1-1-35	1.35 点検項目			
1-1-36	1.36 点検項目			
1-1-37	1.37 点検項目			
1-1-38	1.38 点検項目			
1-1-39	1.39 点検項目			
1-1-40	1.40 点検項目			
1-1-41	1.41 点検項目			
1-1-42	1.42 点検項目			
1-1-43	1.43 点検項目			
1-1-44	1.44 点検項目			
1-1-45	1.45 点検項目			
1-1-46	1.46 点検項目			
1-1-47	1.47 点検項目			
1-1-48	1.48 点検項目			
1-1-49	1.49 点検項目			
1-1-50	1.50 点検項目			
1-1-51	1.51 点検項目			
1-1-52	1.52 点検項目			
1-1-53	1.53 点検項目			
1-1-54	1.54 点検項目			
1-1-55	1.55 点検項目			
1-1-56	1.56 点検項目			
1-1-57	1.57 点検項目			
1-1-58	1.58 点検項目			
1-1-59	1.59 点検項目			
1-1-60	1.60 点検項目			
1-1-61	1.61 点検項目			
1-1-62	1.62 点検項目			
1-1-63	1.63 点検項目			
1-1-64	1.64 点検項目			
1-1-65	1.65 点検項目			
1-1-66	1.66 点検項目			
1-1-67	1.67 点検項目			
1-1-68	1.68 点検項目			
1-1-69	1.69 点検項目			
1-1-70	1.70 点検項目			
1-1-71	1.71 点検項目			
1-1-72	1.72 点検項目			
1-1-73	1.73 点検項目			
1-1-74	1.74 点検項目			
1-1-75	1.75 点検項目			
1-1-76	1.76 点検項目			
1-1-77	1.77 点検項目			
1-1-78	1.78 点検項目			
1-1-79	1.79 点検項目			
1-1-80	1.80 点検項目			
1-1-81	1.81 点検項目			
1-1-82	1.82 点検項目			
1-1-83	1.83 点検項目			
1-1-84	1.84 点検項目			
1-1-85	1.85 点検項目			
1-1-86	1.86 点検項目			
1-1-87	1.87 点検項目			
1-1-88	1.88 点検項目			
1-1-89	1.89 点検項目			
1-1-90	1.90 点検項目			
1-1-91	1.91 点検項目			
1-1-92	1.92 点検項目			
1-1-93	1.93 点検項目			
1-1-94	1.94 点検項目			
1-1-95	1.95 点検項目			
1-1-96	1.96 点検項目			
1-1-97	1.97 点検項目			
1-1-98	1.98 点検項目			
1-1-99	1.99 点検項目			
1-1-100	1.100 点検項目			

点検FORMATのイメージ

予兆診断のイメージ図



2MW風車の経験を踏まえた点検フォーマットを参考にして、メンテナンスを行うことにより、5MW風車の洋上でのメンテナンス手法の確立を検討する。



## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施

### 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンスパー浮体

- 3ヶ月点検(7月)、安全管理審査(7月実施、9月結果受領)、NK検査(9月)、6ヶ月点検(11月)、1年点検(3月)を実施した。
- 運用開始1年目の定期点検では洋上特有の点検項目の追加変更はなかったが大型ボルトの増し締めに必要な時間を減らすことや大型部品の交換方法を確立することがメンテナンス効率を高めるために重要であることが分かった。

#### 実証事業の成果

①定期点検:定期点検の様子を下記する。



②洋上特有の定期点検項目

(a)大型ボルトの増し締め時間の低減がメンテナンスを効率化するのに重要。  
タワーボルト軸力を直接管理できる手法を検証するため、供試体を作成し、超音波軸力計にて軸力測定手法を検証した。

超音波で計測できるよう  
ボルトの先端部を加工

(b)増速機、発電機などのナセル内大型機器をナセル内から取り降ろす方法を確立することがメンテナンス効率化に寄与する。  
その具体的な方法として大型クレーン船を使わずに、ナセル内に追加設置するクレーンによって増速機や発電機を交換する方法を検証した。



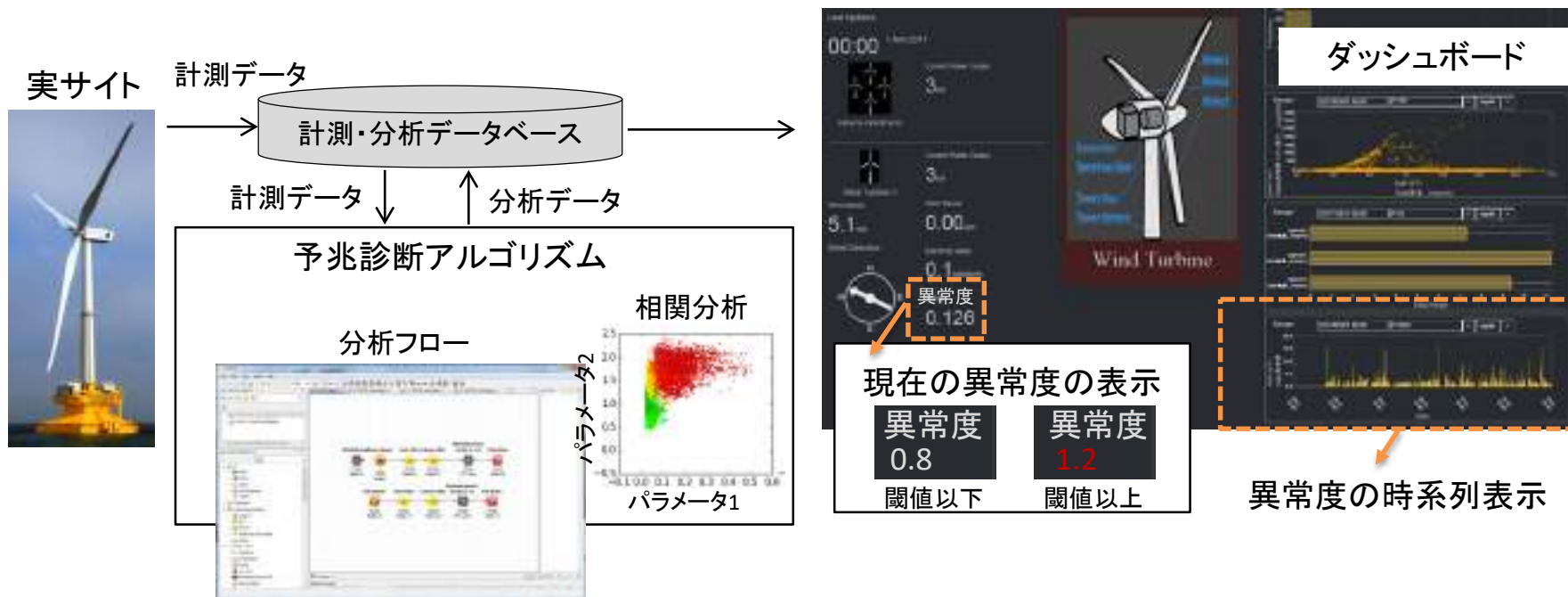
# (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施

## 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンススパー浮体

- 予兆診断アルゴリズムを検討し、計測データ分析基盤のシステムに実装した。
- 異常値のデータを入れることでダッシュボードにて異常度の確認が可能となった。

### 実証事業の成果

① 異常データを入れると異常を示す信号が出力することを確認したが、精度向上のためには、トレンド及び閾値設定のため、更なるデータが必要であることがわかった。





## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施

### 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンスパー浮体

- 予兆診断で故障を検知する時期により、O&Mコスト低減効果が異なることがわかった。
- 欧州にて研究されている点検方法を調査し、日本の環境に合わせた運用をすることがコスト低減に寄与することがわかった。

#### 実証事業の成果

②予兆診断システム活用できた場合を想定し、ドライブトレイン内部部品のメンテナンス効率化に関する検討を行った。故障傾向が分かった場合を、6ヶ月、3ヶ月、1ヶ月前の3パターンに分け、ダウンタイム(遺失利益換算)の軽減について検討を行った。

部品	標準調達のリードタイム	想定交換日数	故障の重度	パターン1: 予兆を1ヶ月前に 検出できた場合	パターン2: 予兆を3ヶ月前に 検出できた場合	パターン3: 予兆を6ヶ月前に 検出できた場合
ドライブトレイン 内機器(夏季)	6ヶ月	10日間 (陸上での交換期間)	全部品の故障・一部部品の故障	254M¥	159M¥	18M¥
ドライブトレイン 内機器(冬季)	6ヶ月	10日間 (陸上での交換期間)	全部品の故障・一部部品の故障	263M¥	169M¥	28M¥

※アクセス率及び設備利用率は2MW風車の実績値を採用。

③洋上でのコスト効率のよい点検方法を検討するために、以下の国際会議に参加し、検討を行った。  
(Wind EUROPE CONFERENCE & EXHIBITION 2017 および Deep wind 2018) その結果、風車のメンテナンスそのものの効率化の他に、天候とO&Mの関連に関する研究をすべきであると分かった。

- ・過去のデータからその地域における平均的な天候を推定する研究
- ・天候を確率的な変数とみなしロバストなスケジュールを作成する研究
- ・気象モデルを用いた月ごとの故障数の予測に関する研究
- ・1次元と3次元モデルを組み合わせた軸受けの荷重予測モデルに関する研究

# (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施

## 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンスパー浮体

- 機器・設備の目視確認と陸上からの遠隔確認を行い、点検結果に基づいた補修・部品交換を実施し、交換した部品の状態確認を行うとともに、その結果に基づき健全性を評価する。
- NK規則に基づき作成した検査計画書・検査要領書に基づく点検及び平成28年度事業で実施した現状調査結果との比較を行い、対応方法と結果の検証を行う。

### 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と船級の定期的検査を活用した対応方法と結果の検証により、信頼性向上に寄与するメンテナンスのあり方を示す。また、船級検査対応におけるウィンドファーム全体の運用効率化により検査費用の最適化を図る。

### 実施方法

補修・交換した機器や部品の状態確認

NK中間検査・定期検査結果



昨年度までの現状調査結果とそれに基づく対応

#### 検証

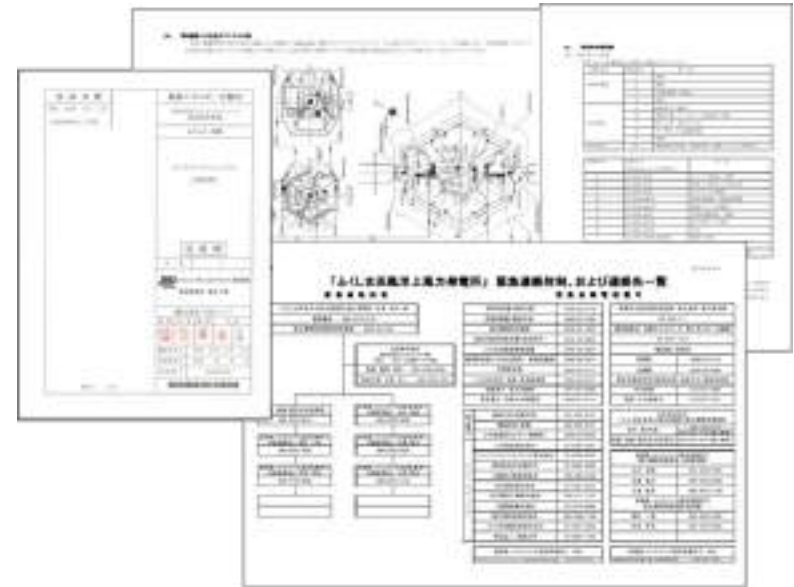
- 故障や破損の原因は？
- 昨年度までの対応は適切だったか？
- 過剰なメンテナンスを行っていないか？

#### 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)

- 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
- 船級検査対応費用削減効果



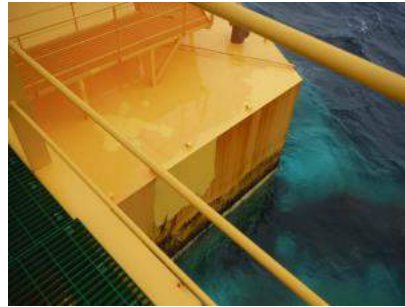
## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンススーパー浮体

- 5MW風車浮体において、自主点検と補修作業を実施し、健全な状態であることを確認した。
- 洋上変電設備用浮体において、NK規則に基づき作成した検査計画書・検査要領書に基づく定期点検を実施し、現状問題が無いことを確認した。また定期検査で明らかになった検査時の問題点・改善点をまとめ、メンテナンス費用を低減する方法を提案した。

### 実証事業の成果

#### 【5MW風車浮体の自主点検と補修作業】

- ・Void内部・タワー基部の構造目視検査
- ・外板側面傷の再塗装、階段補修、航路標識灯の嵩上げ等



#### 【洋上変電設備用浮体定期検査の実施】

問題なく  
検査終了

- ・2017年8月及び9月に定期検査を行った
- ・ROVによる係留部検査+SSを浮上させた浮体部検査

#### 【問題点・改善点のまとめ】

- ・検査に付随する作業に時間がかかった  
→Void区画換気、海洋生物除去、浮上時作業性
- ・これらの対策により作業全体の工数削減が可能

#### 【メンテナンス費用低減方法の提案】

- ・陸上から遠隔での浮体浮上・沈降作業
- ・保守作業性を考慮した浮体基本設計



# (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

○既存の計画に基づき定期点検・補修作業を実施し、その結果から分析、改善案を検討、事業性評価の材料となるコストを提示する。

## 現状認識と研究の目的

- 世界初の浮体式油圧ドライブ洋上風車の維持管理データ(費用・時間・時期等)は前年度から蓄積中。
- メンテナンス手法・部品交換周期の改善によりコストを試算し事業性評価の材料とする。

## 実施方法

- ①点検・補修実績データ収集、分析  
点検・補修に要する時間・アクセス待機時間・定期交換後取外し部品の状態・消耗状況確認(ロープワークによる翼点検含)
- ②改善案検討  
(ウェアラブルカメラによる浮体アクセス人員の削減、陸地からの作業指示)
- ③改善案による効果試算

## 期待される成果(アウトプットイメージ)

実績を踏まえたメンテナンスコスト

- ・部品交換履歴・消耗状況確認による交換周期見直し

	2017	2018	2019	2020	2021
	H29	H30	H31	H32	H33
年次点検	○	○	○	○	○
2年周期交換	○		△		△
2年(一部)⇒3年周期交換				△	
5年周期交換				○	
10年周期交換					

- ・劣化具合から次回2年周期交換部品を提案

- ・遠隔診断・作業指示による作業時間削減





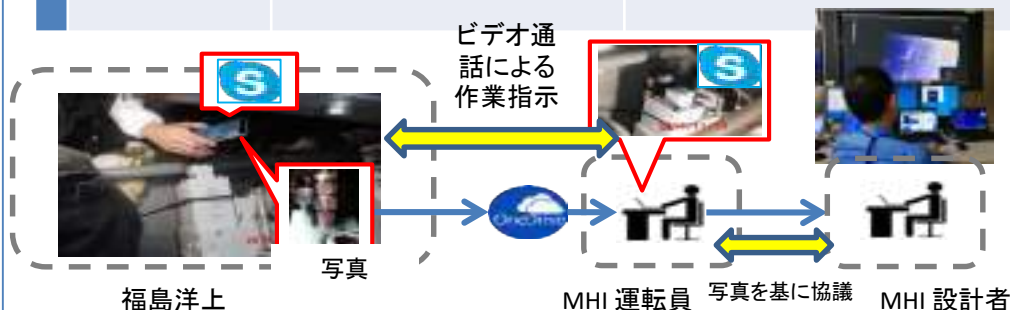
# (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

○平成28年度事業までの経験を踏まえ、下記4項目について改善と効果を試算した。

## 実証事業の成果

浮体式風車の現地アクセスの困難さに起因するメンテナンス上の課題について、対策を実施、作業時間の短縮、作業要領に反映した。

項目	実施内容	改善/成果	効果の試算 (保守業務量 低減率)
1 定期点検	1) 年次/半年点検 2) 500H点検	1) 点検項目と頻度を見直し/ チェックシートへの入力/管理の省力化 ⇒ 点検回数の削減 : 7回 → 5回(▲15人・日) 2) 主要締結ボルトの健全性を確認した。	3%
2 部品交換 (複数年周期)	1) YAW駆動装置 2) ピッチ自動給脂装置 3) 油圧用ゴムホース	1) 交換用治具の製作 ⇒ 作業日数減: 3日→2日(▲2人・日) 2) 事前段取りによる現地作業最小化 ⇒ 作業日数減: 1日→0.5日(▲1人・日) 3) 効率的な作業要領と工具の準備 ⇒ 作業日数減: 10日→8日(▲6人・日)	2%
3 翼点検	1) ロープワークによる点検 2) 落雷点検	1) 現地作業の効率化と安全性を考慮した作業要領検討 / 波浪予報を基にした作業日の選定 ⇒ 浮体上での翼点検におけるロープワークの有効性確認(要領・安全) 2) 翼監視カメラによる点検 / ゴンドラ作業による翼先端部の点検 ⇒ 遠隔からの重損傷有無の判断が可能 / コラムトップクレーンとゴンドラを使用した翼先端補修が可能であることを確認	1%
4 遠隔監視・支援	1) ビデオ通話機器の利用	1) リアルタイムでの音声・映像の共有/ 陸側の知見者による確認・指示 ⇒ 現地・事務所間の素早い情報共有 / 現地への専門技術員の派遣削減	2%
			合計 8%



## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 維持管理マニュアルの妥当性を明らかにするために日本海事協会による定期検査を含む定期的検査、浮体構造部及び艀装品の維持管理、アクセス設備の安全性向上作業／実証試験用計測システムのメンテナンス等を行なう。
- メンテナンスマニュアル・検査計画書・検査要領書を分析(実際に運用)することにより、最終的には平成28年度までに策定した維持管理マニュアルと事業化に適した維持管理マニュアルの比較を行なう(維持管理マニュアルの完成度向上を図る)。

### 現状認識と研究の目的

V字型セミサブ浮体は、H27年8月に設置を完了し、海面上や浮体内部はメンテナンスマニュアル(浮体施設部)に従って維持管理を実施しているが、事業化に際しては海面下の維持管理に関わる知見の取得は必須であり、H29年度の実証研究を通して、海面下を含めた浮体施設部の信頼性を担保・検証し、事業化時の維持管理マニュアルの策定を実施する必要がある。

### 実施方法

浮体構造部及び艀装品の維持管理・改修を設置海域現地で実施する。日本海事協会による定期検査、浮体海面上部目視点検、潜水土による浮体海面下部の目視点検を実施する。発電所の運用者により、メンテナンスマニュアル(浮体施設部)を実際に運用し、その情報を分析する。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)

1. 日本海事協会検査レポートの入手及び検証
2. 浮体構造部改修報告書
3. 浮体点検実施報告書 海面上部／海面下部
4. 保守点検レポート分析



The image shows two examples of maintenance checklists. The left one is a detailed checklist with many rows and columns, and the right one is a summary checklist with columns for different months and rows for various inspection items.

5. 浮体施設部メンテナンスマニュアルの運用実績評価
6. アクセス設備安全向上報告書



## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 日本海事協会(NK)による定期検査を受検して、合格した。
- 平成28年度事業までに作成したメンテナンスマニュアル(浮体施設部)を実際に運用し、浮体海面上部目視点検、潜水士による浮体海面下部の目視点検を実施して異常がないことを確認した。

### 実証事業の成果

- NKの定期検査に必要な書類を作成、NK検査を受検・合格し、洋上風車浮体として初めてのNK船級証書及びJG船舶検査証書を更新した。検査計画書、検査要領書は建造時に作成しNKの承認を取得済みだが、本年度具体的に検査準備を進める段階で、NKの指導を反映し、また作業効率化を図るため内容の見直しを行い、検査前に改めてNKの承認を取得した。

例として、バラスタンク内部は当初潜水士による点検としていたが、点検作業の安全性向上と効率化を考慮し、浮体を浮上・当該タンクのバラスタ水を全排水してNK検査員が直接目視検査した。(写真右上)



NK定期検査(バラスタンクの目視確認)

- 定期保守点検として浮体海面上部目視点検、潜水士による浮体海面下部の目視点検(写真下左)を実施し異常がないことを確認すると同時に、浮体構造部及び艀装品の維持管理(写真下右)を行った。



潜水士による浮体海面下部の目視点検  
(クローズドショック基部)



艀装品の維持管理  
(MGPS海水ポンプ モーター新替え)

## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 平成28年度事業までに作成したメンテナンスマニュアル(浮体施設部)を実際に運用し、運用成果を分析した。
- アクセス設備の安全性向上作業を実施した。また実証試験用計測システムのメンテナンスを実施した。

### 実証事業の成果

- メンテナンスマニュアルに定めた遠隔点検については、浮体施設の状態を檣葉事務所から遠隔で毎日定時モニタリングし、その有用性を確認した。

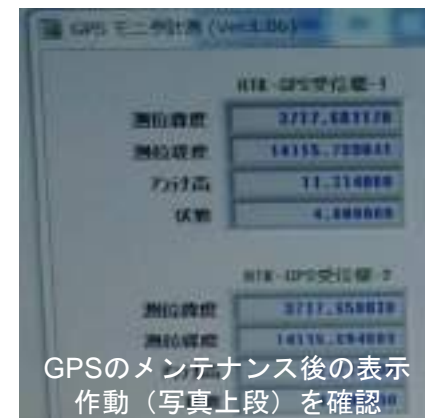
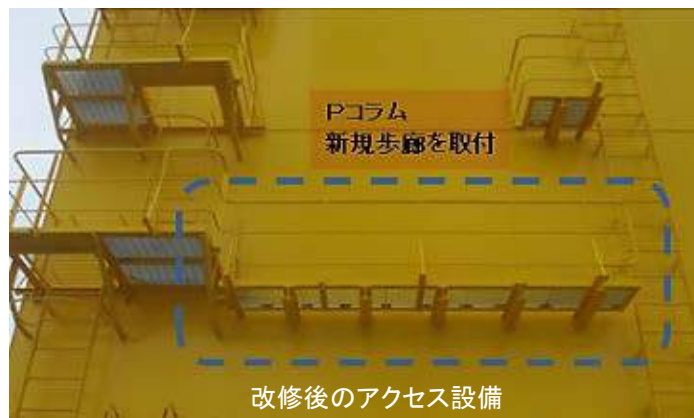
また、毎日の点検レポートのデータ蓄積を受けて、タンク内水位や喫水の変動実績を分析し、タンク内水位について点検時の異常有無早期判断に有効な手法を考案した。

1カ月／3カ月／6カ月毎の遠隔点検については、操作マニュアルを整備し、檣葉事務所で実際に運用し、前例がほとんどない洋上風車浮体機器の遠隔点検ができること、及び遠隔点検の有用性を確認した。(下表は点検項目)

名称	点検周期	判定基準
バラストポンプ	3カ月毎	10～15分間運転し、問題なく動作すること
ビルジポンプ	3カ月毎	5分間運転し、問題なく動作すること
電動弁	6カ月毎	問題なく開閉すること
航路標識灯制御盤	1カ月毎	問題なく動作すること
浮体電源盤	中間検査・定期検査時	問題なく動作すること

- アクセス設備を改修し(写真左)、設備の信頼性とメンテナンスでアクセスする作業者の安全性を向上させた。

GPS(コラムS)等実証試験用計測システムのメンテナンスを実施し、作動を確認した(写真右)。



# (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 送電システム

○送電システムの維持管理手法を明らかにするため既設ケーブル調査及び追加ブイ設置工事を実施し、維持管理マニュアルを作成する。

## 現状認識と研究の目的

### ◆ 課題

送電システムの維持管理に必要な事項や海洋生成物に対する対策が明らかになっておらず、管理マニュアルも最適化されていない。

### ◆ 目的

維持管理マニュアルを作成する。

## 実施方法

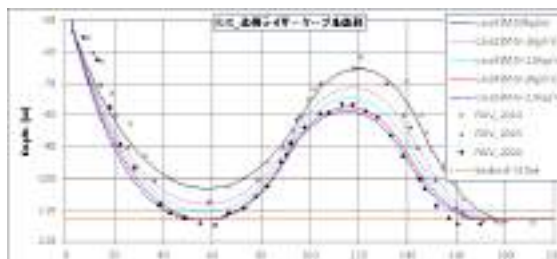
- ◆ ROVによる既設ケーブル形状及び海洋生成物付着状況を調査し、画像解析により付着厚さ等を確認する。
- ◆ ケーブル形状解析にて海洋生成物付着物の影響(重量増推定)を確認する。
- ◆ 海洋生成物付着対策として追加ブイ設置工事を実施し、効果の確認を行う。また恒久的な付着対策についても検討する。
- ◆ 上記にて明らかとなった事項も考慮した維持管理マニュアルを作成する。

## 期待される成果(アウトプットイメージ)

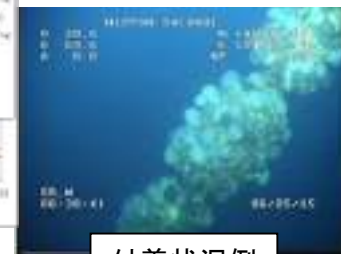
### ◆ 維持管理マニュアル

- ① 推奨する点検項目・頻度
- ② 点検内容
- ③ コスト検討 など

### ◆ 既設ケーブル形状、付着状況(厚さ等)、重量増推定(形状解析による推定)



ケーブル形状解析及び重量増推定例

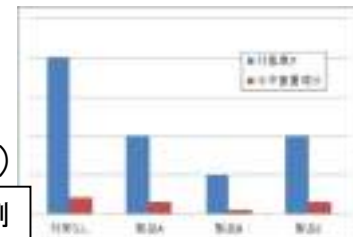


付着状況例

### ◆ 追加ブイ設置後のケーブル形状復帰(線形確認)

### ◆ 付着対策案比較

- ・防汚対策製品効果比較(付着厚さ、水中重量増分比較)



防汚対策製品効果比較例

## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 送変電システム

- 維持管理マニュアルを作成した。
- 経年調査を実施した結果、洋上サブステ南北ライザー以外に7MWライザーも着底を確認した。

### 実証事業の成果

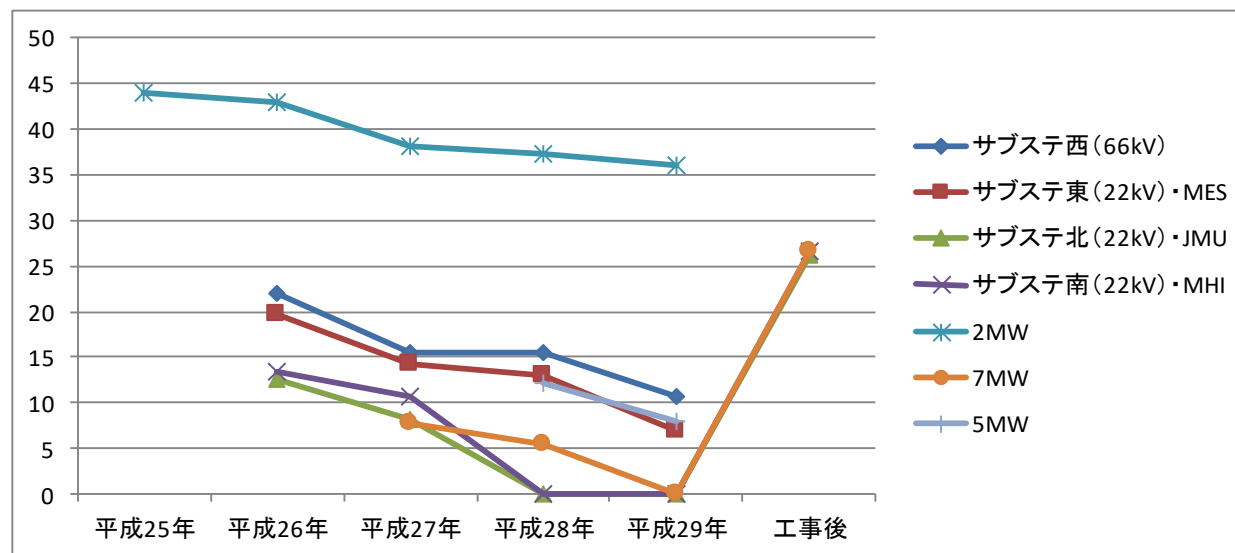
#### ◆維持管理マニュアルの作成

- 日常点検と特別点検に分け、点検項目と推奨する点検頻度をとりとまとめた。特別点検は、経年調査・画像解析の結果、定期的実施する必要があると判断した。

- 日常点検：浮体内設備目視点検、光ケーブル伝送ロス測定(1回/年)
- 特別点検：音波探査、ROV調査・作業
- いずれも1回/3～5年(ただしROVは音波探査で特異状況が確認された場合)
- 海底ケーブル劣化診断(1回/10年)

#### ◆経年調査結果

- 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。
- サブステ南北ライザー(H28年度)、7MWライザー(H29年度)の3ヶ所で着底を確認した。
- 着底が確認できた3箇所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、初期状態レベル以上に再浮上させることに成功した。



経年調査結果(ライザー最下点の海底までの距離)



## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 送変電システム

- 恒久対策として、フジツボ除去及び追加ブイ取り付け工事を実施した(ライザーケーブル3ヶ所)
- ブイに塗布した防汚塗料の初期の有効性を確認した。

### 実証事業の成果

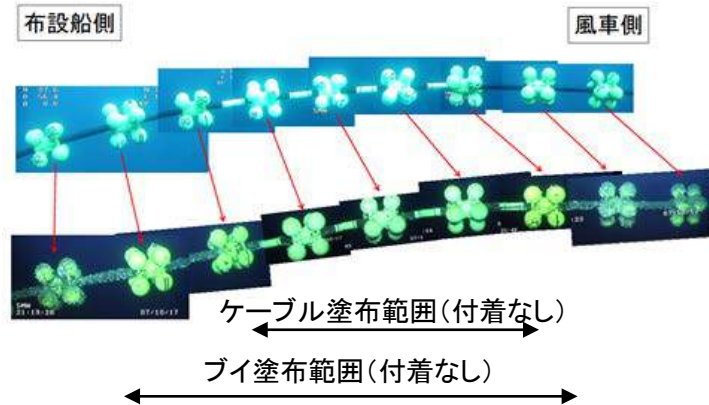
#### ◆海洋生成物付着対策工事および恒久対策検討

- ・フジツボ除去: 海外製油圧式ROVツール使用により、フジツボ除去に非常に効果が高いことが確認できた。
- ・追加浮力増強: 今後のフジツボ付着を考慮し、洋上サブステ南北ライザーと7MWライザーの3箇所に追加ブイ取り付けによる浮力増強(20個約1.5t)を実施した。



#### ・防汚塗料効果確認

防汚塗料1年後の状態を右図に示す。



- ・経過1年の結果だが、防汚塗料の有効性(塗布部には付着物がほぼ付いていない)が確認できた。
- ・フジツボ付着量は、推定で約0.75kg/m・年であり、少なくとも塗布後数年間は付着量を抑えることができると考えており、定期的なメンテナンスの実施頻度を減らすことが可能である。
- ・解析の結果、20年間のメンテナンス計画(フジツボ落とし)を以下の通りとした。  
サブステ南北と7MW: 5年に1回  
サブステ東西と5MW: 10年に1回  
2MW: 15年に1回

## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 送変電システム

○変電システムのチェック等で変電所のメンテナンスを継続し、異常の有無を確認することにより、洋上の変電設備として考慮すべき特有の事象を明らかにする。

### 現状認識と研究の目的

- 運用開始後約3年半を経て、陸上変電所に近い設備・維持管理手法で対応可能である事が見えつつあるが、これを確認する為に、時系列的にデータを収集する。
- 陸上設備同様のメンテナンス手法マニュアルを用いる事が可能と考えているが、洋上設備故の特異性があれば盛り込んでいく必要がある。

### 実施方法

- GIS、TR、SWGR、HISMARの点検メンテナンスを行い健全性を確認する。
- 全ての風車が運開後に高調波を実測データを測定し、2MW機運開時と比較を行い電力品質を確認する。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)



変電システムのチェック等で変電所のメンテナンスを継続し、異常の有無を確認することにより、洋上の変電設備として考慮すべき特有の事象を明らかにする。



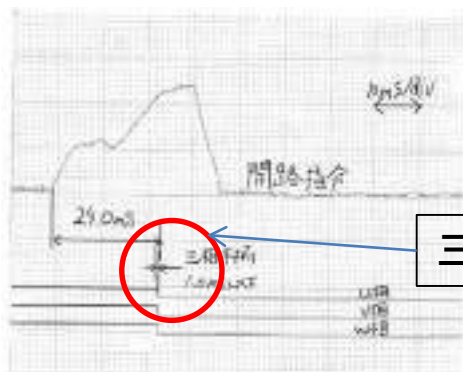
# (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 送変電システム

○昨年度までと同様、点検で異常は発見されておらず、現状では陸上設備と同様なメンテナンスで問題なく、健全性が確認できた。

## 実証事業の成果

運用開始以降約3年を経過してもなお初期トラブル含めたトラブルは見られない。現状では陸上設備に対して追加で実施が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ことが確認できた。

- ①GIS遮断器動作点検：異常なし
- ②TR油中ガス点検：異常なし
- ③SWGR外観点検：異常なし
- ④HISMAC外観点検：異常なし



①GIS遮断器の回路操作試験

3. シリコン液特性試験結果

分析時期	今回	前回	前々回	判定基準 (JIS C2320:2010 6種1号を 参考とする)
水分 (ppm)	11.2	10.4	13.7	60以下
絶縁破壊電圧 (kV/2.5mm)	89.0	78.8	81.3	50以上
全酸価 (mgKOH/g)	0.003	0.009	0.008	0.02以下
体積抵抗率 (TΩ・m at25℃)	3.15	7.15	4.67	1以上
誘電正接 (% at25℃)	0.001	0.01	0.03	0.05以下

4. 考察(評価)

(1) シリコン液中ガス分析結果  
可燃性ガス量が少なく異常は認められません。

(2) シリコン液特性試験結果  
判定基準を満足しており異常は認められません。

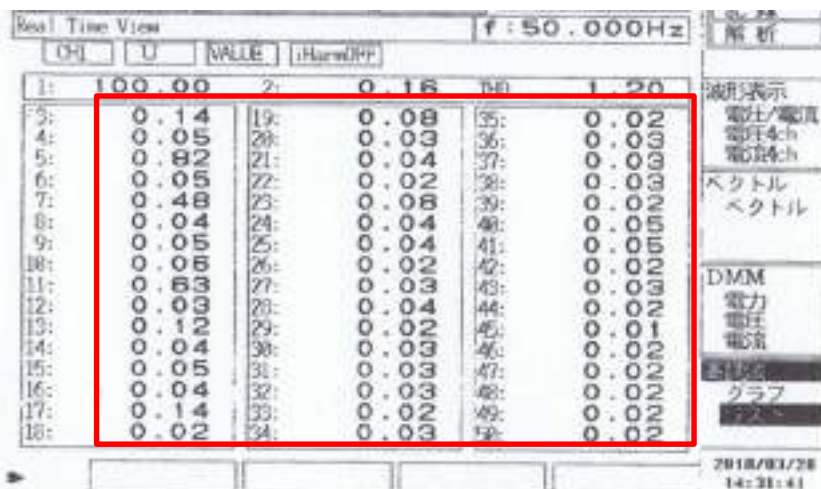
②TRの油中ガス分析結果表



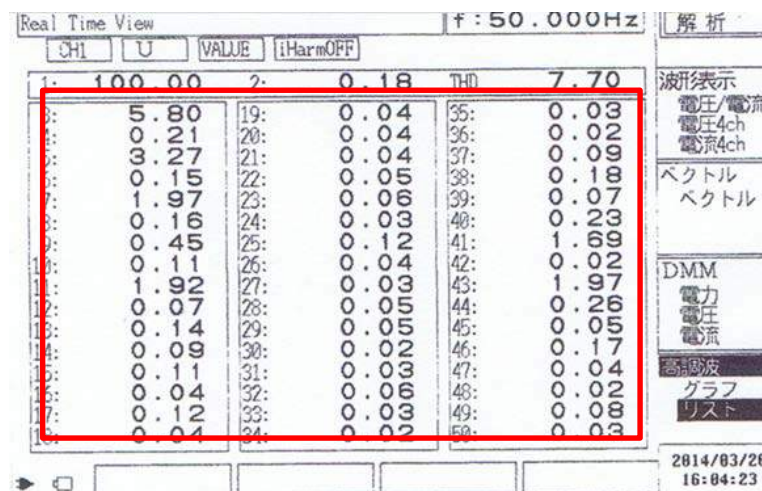
# (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施 送変電システム

○昨年度までと同様、点検で異常は発見されておらず、現状では陸上設備と同様なメンテナンスで問題なく、健全性が確認できた。

## 実証事業の成果



風車3台運転中総合出力4,650kW時の高調波電圧(U-V相)  
2018/3/28測定



風車1台運転中出力1,630kW時の高調波電圧(U-V相)  
2014/3/26測定

高調波電流が許容値だった2014年(2MW風車稼動時)の測定結果と比較しても値に大きな変化は見られないため、3台運転中も電力品質も安定していると言える



## (4) 効率化・信頼性向上を目指したメンテナンス実施

### ROVによる係留策の点検

○約1,440万円削減できることが明らかとなった。また、仮に20年間発電設備を稼働する場合2022年時点で全浮体の点検時期を揃えることができ、メンテナンスの効率化が図れる。

#### 実証事業の成果

昨年度以前: 約3,840万円/回・4浮体

(△: 中間検査、○: 定期検査)

	年度 完工	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
絆(SS)	'140224		△	○				△	○				△
未来(2MW)	'140224	△		○			△		○			△	
新風(7MW)	'160322			△		○			△		○		
浜風(5MW)					△		○			△		○	

今年度: 約2,200万円/回・3浮体 (昨年度の試算では約2,400万円/回・4浮体)

	年度 完工	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
絆(SS)	'140224		○			△		○			△		
未来(2MW)	'140224		○			△		○			△		
新風(7MW)	'160322		○			△		○			△		
浜風(5MW)					△			○			△		

同時期に全浮体のROV点検を行うことで、上表の通り費用削減に寄与した。



## 4. 浮体式洋上風力発電システムの各種評価等

---

## (1) 委員会の運営

## (5) 報告書の取りまとめ

- 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。
- 本事業の成果報告として、報告書の取りまとめを行う。

## 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	足利工業大学 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 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	足利工業大学 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	名古屋大学大学院 環境学研究科 客員教授
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	前田 太佳夫	三重大学 大学院工学研究科 機械工学専攻 教授

## (1) 委員会の運営

## (5) 報告書の取りまとめ

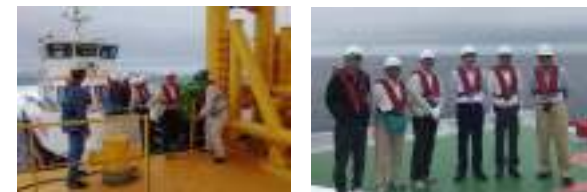
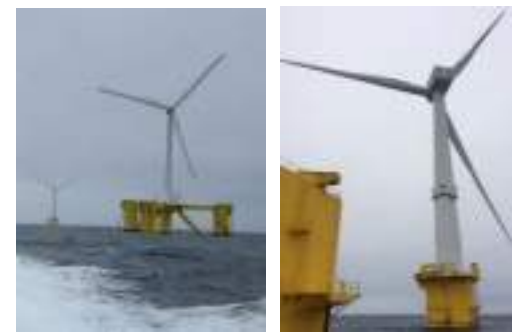
- 本プロジェクトの進捗の妥当性や専門的な助言を得るため、技術委員会を2回、事業化委員会を1回実施した。最終委員会では本実証事業の成果を総合的に審議した。委員からのご指摘を受け、本事業推進に大きな役割を果たした。
- 現地視察を7月に実施し、本事業の内容と現状についての委員との情報共有の深化を図った。
- 本事業の成果を報告書としてとりまとめるとともに概要版を作成した。

## 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、委員よりの確な助言を得た。
- 現地視察を平成29年7月27日(木)に開催。  
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、実際にサブステーションへ移動。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。
- 本実証事業の成果を報告書としてとりまとめるとともに、概要版を作成した。

平成29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29年5月29日(月)	第1回技術委員会	・平成29年度事業の委員会運営について ・平成29年度事業の研究内容について
平成29年11月6日(月)	第1回事業化委員会	・平成29年度事業の委員会運営について ・平成29年度事業の研究内容について
平成29年11月6日(月)	第2回技術委員会	・平成29年度事業の進捗状況について (中間報告)
平成30年2月16日(金)	第2回事業化委員会・第3回技術委員会(合同開催)	・平成29年度事業の成果について (事業化・技術)





## (2) 導入マニュアルの作成

○導入マニュアルWGを4回実施し、導入マニュアルの内容を審議した。

### 実証事業の成果

- 導入マニュアルWGを4回実施し、以下の導入マニュアルの目次(案)のうち、第1章全体および第2章「1. 立地環境調査」・「2. 海域・気象・海象調査」、「5. 建設工事」、「8. 環境影響評価」について審議した。

#### 導入マニュアルの目次(案)

##### 第1章 浮体式洋上風力発電の概要

1. 浮体式洋上風力発電とは
2. 諸外国におけるプロジェクト事例
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

1. 立地環境調査
2. 海域・気象・海象調査
3. 基本設計
4. 実施設計
5. 建設工事
6. 運転保守
7. 撤去・解体
8. 環境影響評価

#### 平成29年度 導入マニュアル検討WG開催日程

回数	開催日	審議内容
1	平成29年7月3日(月)	浮体式洋上風力発電の概要
2	平成29年8月23日(水)	立地環境調査、海域・気象・海象調査
3	平成29年11月20日(月)	環境影響評価・建設工事①
4	平成30年2月27日(火)	建設工事②



### (3) 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

#### 国外技術の導入や撤去・設置しやすい浮体構造等を想定した際のコストダウン検討

○浮体の基地港への帰港を伴う大規模修繕・撤去等に関し、国外技術導入等によるコストダウン効果を検討する。

#### 現状認識と研究の目的

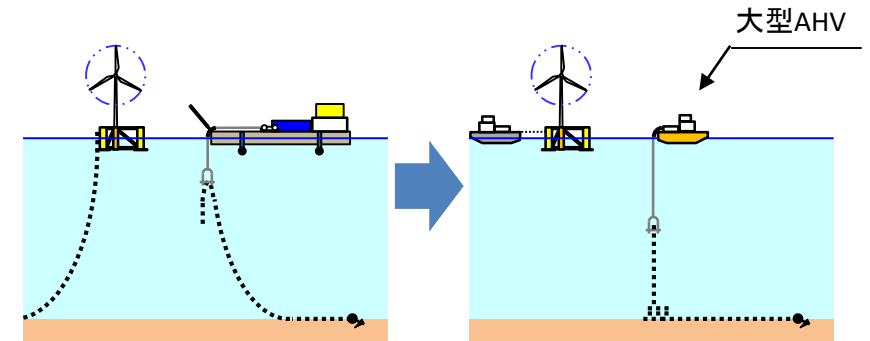
- ・浮体式洋上風力発電の経済性の検討においては、ライフサイクルコストの把握が必要である。
- ・企画から施工までのコストはH23年度～H25年度補正の実証研究事業で把握され、H28年度で、運営・維持における大規模修繕・撤去等の技術を検討し、そのコストを算出した。
- ・今年度は、大規模修繕・撤去等に関し、国外技術の適用等によるコストダウン効果を検討する。

#### 実施方法

- ・H28年度に構築した大規模修繕・撤去の施工コンセプトについて、国外技術の導入可能性を検討し、合理化によるコストダウン効果を検討する。
- ・撤去・設置しやすい浮体構造等を想定したコストダウン効果を検討する。
- ・国外における洋上風車の修繕・撤去等の技術を調査し、技術の改善に役立てる。

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)

- ・大型AHV(Anchor Handling Vessel)等の国外技術の適用や撤去・設置しやすい浮体構造の採用によるコストダウン。



大型AHVのイメージ

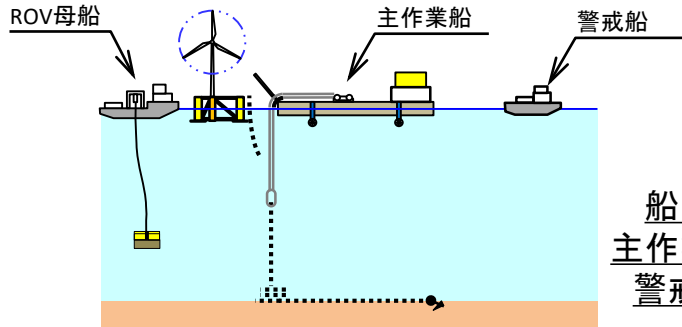
### (3) 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

国外技術の導入や撤去・設置しやすい浮体構造等を想定した際のコストダウン検討

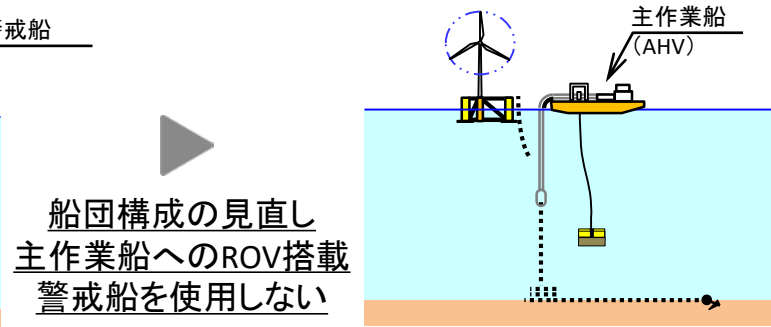
○平成28年度に構築したコンセプトのもと海外の多目的作業船を導入した場合、備船費単価を大幅に削減できることがわかった。

#### 実証事業の成果

#### ■コストダウン方策 【現状】



#### 【海外技術導入】



- ・日本における洋上作業の想定(H28)  
⇒海外の標準的な船団構成に変更
- ・主作業船を大型AHVと仮定し作業歩掛りを改善(欧州での洋上作業歩掛)、警戒業務を兼務
- ・欧州単価の採用によりコスト削減を検討

船種	海外	国内
曳船	€6,000 /日 ¥730,000 /日 ※Bollard Pull 60t 級	¥3,700,000 /日 ※Bollard Pull 50t 級(推定)
曳船	€3,500 /日 ¥430,000 /日 ※Bollard Pull 30t 級	¥3,100,000 /日 ※Bollard Pull 40t 級(推定) ¥1,400,000 /日 ※Bollard Pull 20t 級(推定)
起重機船	€25,000 /日 ¥3,050,000 /日※800t吊	¥11,200,000 /日 ※2,000t吊

### (3) 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討 国外技術の導入や撤去・設置しやすい浮体構造等を想定した際のコストダウン検討

○コストダウン方策として作業歩掛りの見直しを実施した。

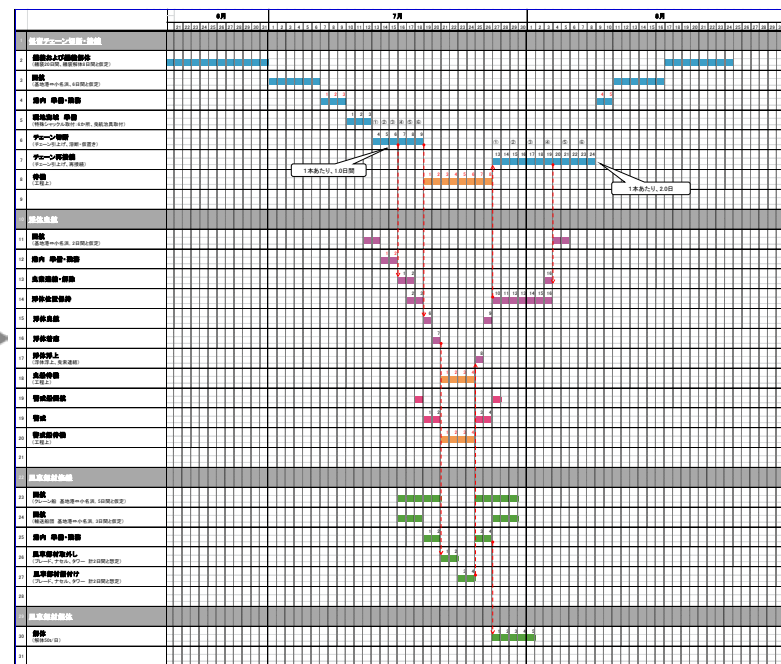
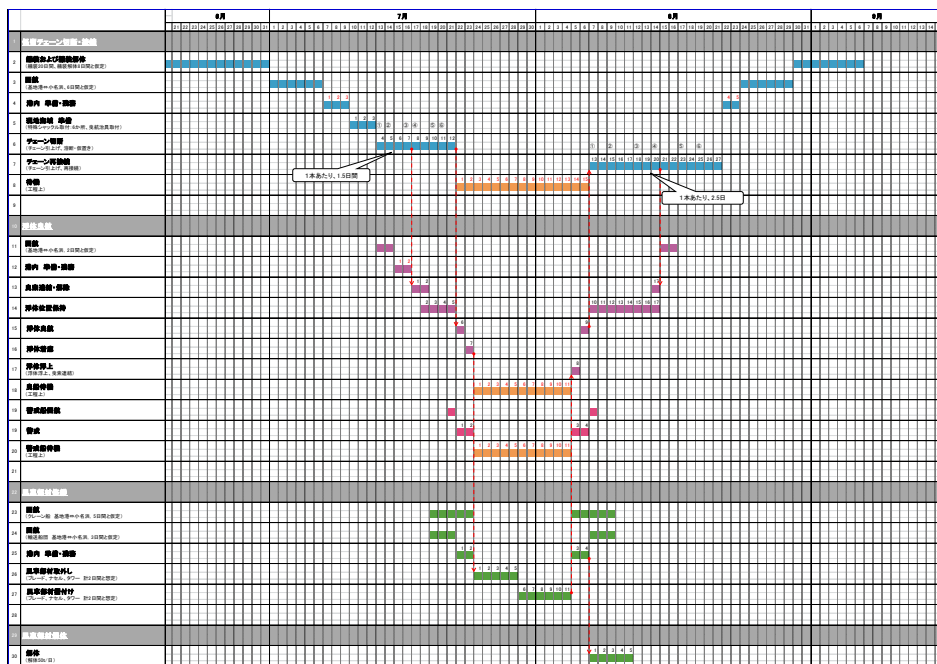
#### 実証事業の成果

#### ■コストダウン方策

✓ 作業歩掛の見直し（欧州の洋上作業歩掛に準拠）

- ・ DNV GL の調査結果より

- ex)
- ・チェーン切断作業  
1.5日/本 ⇒ 0.5日/本
  - ・チェーン引揚げ作業  
1.5日/本 ⇒ 1.0日/本
  - ・チェーン再接続作業  
2.5日/本 ⇒ 1.5日/本
  - ・港内風車修繕作業  
11日 ⇒ 4日



### (3) 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

国外技術の導入や撤去・設置しやすい浮体構造等を想定した際のコストダウン検討

- 作業船団の構成、作業歩掛りの見直し、欧州の傭船費を適用して大規模修繕コストを算定した。
- 大規模修繕コストの高止まりの結果から原位置における大規模修繕の必要性を認識した。

#### 実証事業の成果

・前述の「コストダウン方策」に沿って

条件1:船団構成、作業歩掛りの見直し(欧州での洋上作業歩掛りに準拠)

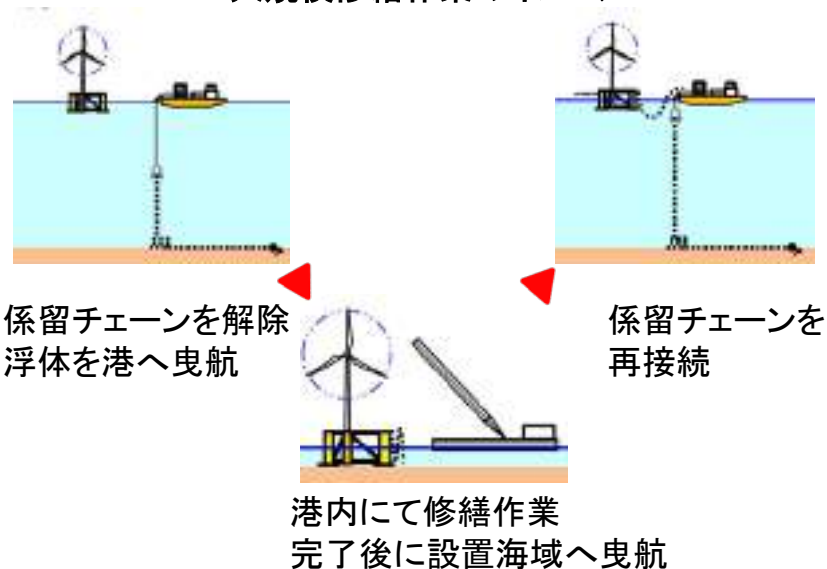
条件2:条件1に加えヨーロッパにおける傭船費を適用⇒現状における想定コストを算定(条件1、2)

⇒大規模修繕コストが高止まり、原位置における大規模修繕の必要性を認識した。

#### 大規模修繕

対象施設	H28年度概算コスト	条件1※	条件2※
2MW機	16～18億円	約 11 億円	約 10 億円
5MW機	16～20億円	約 11 億円	約 10 億円
7MW機	20～21億円	約 12 億円	約 11 億円
サブステーション	15～16億円	約 9 億円	約 9 億円
送電ケーブル	7～9億円	約 6 億円	約 5 億円
合計	74～84億円	約 49 億円	約 45 億円

#### 大規模修繕作業のイメージ



※欧州での洋上作業歩掛りを採用

### (3) 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

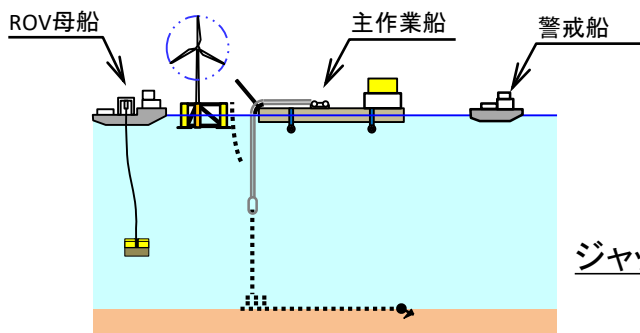
国外技術の導入や撤去・設置しやすい浮体構造等を想定した際のコストダウン検討

○現存するジャッキアップリグを用いた場合、現状の作業船舶の施工と比べて約5億円/基のコスト削減ができることがわかった。

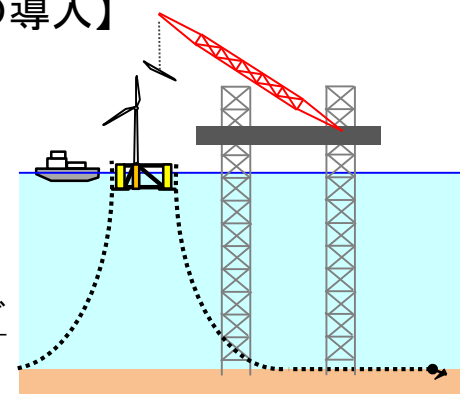
#### 実証事業の成果

#### ■原位置での大規模修繕の検討

##### 【現状】



##### 【技術の導入】



ジャッキアップリグ  
の導入

大水深で作業が可能なジャッキアップリグを使用し、浮体を移動させず原位置にて大規模修繕を行う方法を想定し、現存の大水深ジャッキアップリグの情報を調査し課題の整理を行った。また、コスト算定として浮体1基に対する大規模修繕の作業工程の作成およびコスト算定を実施した。

【課題】傭船費に関する調査、浮体動揺を抑える手法、クレーン能力等

【コスト算定】4.5億円/基と算定 ※浮体帰港案より約5億円減/基



### (3) 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討 国外技術の導入や撤去・設置しやすい浮体構造等を想定した際のコストダウン検討

○事業化時想定 of 撤去コスト算定として「専用船の採用」、「欧州基準の工事管理費率の採用」を追加条件とし、その算定を実施した。

#### 実証事業の成果

・前述の「コストダウン方策」に伴う条件に加え、今後の事業化における想定についても考慮しコスト算定を実施した。(前述条件1,2に更なる条件を付与)

条件3: 専用船の採用 条件4: 欧州基準の工事管理比率の採用

⇒事業化時におけるコストを算定(事業化時想定)

○事業化時想定 of 撤去コストの約8割が着床式洋上風力の撤去費用と同水準(※1)と推定され、作業歩掛りを中心とした更なるコスト改善の可能性のあることを認識した。

※1 Driving Cost Reductions in offshore wind

撤去			
対象施設	H28年度概算コスト	条件2	事業化時想定
2MW機	11～13億円	約 8 億円	約 4 億円
5MW機	14～15億円	約 10 億円	約 5億円
7MW機	21～22億円	約 16 億円	約 11億円
サブステーション	15～16億円	約 11 億円	約 5 億円
送電ケーブル	10～12億円	約 7 億円	約 5億円
合計	71～78億円	約 52 億円	約 30億円

### (3) 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

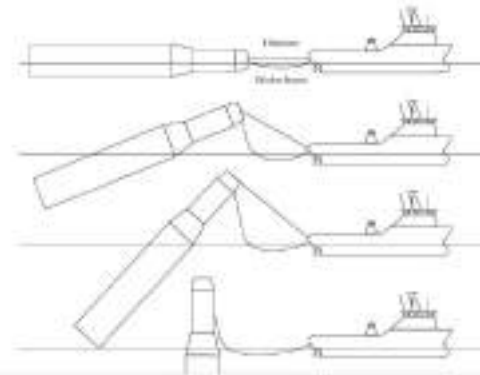
国外技術の導入や撤去・設置しやすい浮体構造等を想定した際のコストダウン検討

○撤去・設置しやすい浮体構造の例としてHywind Scotlandを選定、その施工方法を調査し、大規模修繕、撤去作業のコスト削減に繋がる可能性があることを明らかにした。

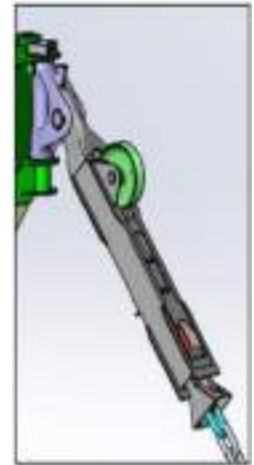
#### 実証事業の成果

欧州における浮体式洋上風車施工技術を調査し、福島実証機の撤去・大規模修繕に繋がるコストダウン項目を抽出し、その効果を整理した。

	コストダウン項目	効果
1	作業船の集約	大型AHVの採用により、複数の専用船を一隻に纏める。
2	係留システム	着脱の容易なチェーンストッパにより修繕時のチェーン切断作業歩掛を改善
3	係留・撤去が容易な浮体構造	運搬・設置が容易となり曳船の備船費を圧縮
4	海底ケーブルの仕様	ジョイント作業を不要とする専用ケーブルの採用により工数を圧縮



浮体設置イメージ



チェーンストッパ  
(係留システム)

### (3) 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討

#### ウインドファームベースに規模を拡大した際の大規模修繕・撤去のコスト検討

○浮体の基地港への帰港を伴う大規模修繕・撤去等に関し、ウインドファームベースでのコストダウン効果を検討する。

#### 現状認識と研究の目的

- ・浮体式洋上風力発電の経済性の検討においては、ライフサイクルコストの把握が必要である。
- ・企画から施工までのコストはH23年度～H25年度補正の実証研究事業で把握され、H28年度で、運営・維持における大規模修繕・撤去等の技術を検討し、そのコストを算出した。
- ・今年度は、大規模修繕・撤去等に関し、複数基の浮体を対象とした際のコストダウン効果を検討する。

#### 実施方法

- ・H28年度に実施した単機ベースの技術検討を基に、複数機を対象とする施工計画を立案し、工程の合理化等によるコストダウン効果を検討する。

#### 期待される成果(アウトプットイメージ)

- ・ウインドファーム施工の合理化によるコストダウン効果。
  - 合理化のポイント
    - ✓ 回航費
    - ✓ 準備費
    - ✓ 施工船の仕様と船団の構成

### (3) 発電設備の撤去手法及び大規模修繕手法の検討 ウインドファームベースに規模を拡大した際の大規模修繕・撤去のコスト検討

○1基/年の撤去想定を4基/年(7MW機、5MW機、2MW機、サブステーション)のウインドファームベースと仮定した場合、H28年度概算コストの2割減となることが分かった。

#### 実証事業の成果

・ウインドファームベースでの撤去時におけるコストダウン効果の検討

#### 【削減項目】

①回航費(沖合作業船)※船団回航数4回⇒1回

②準備費(船団艀装・解体/共通資機材等)

⇒H28年度の単機ベース(1基/年)の撤去時との比較

	H28年度概算コスト	ウインドファームベース
対象施設	浮体4基(2,5,7MW,SS)	
施工期間※	4年(1基/年)	1年
施工費用	65億円	53億円

※沖合作業稼働率を50%と仮定

・ウインドファームベースでの大規模修繕時におけるコストダウン効果の検討

⇒各浮体により修繕内容が異なる可能性や修繕時期が異なる可能性もあり一貫施工による合理化の効果が低い

## (4) 事業化を見据えた経済性評価

- リスク評価モデルの策定
- リスクが顕在化した場合の事業影響評価を実施
- 事業コストとリスク量評価(規模と発生確率)を考慮した合理的な保険条件を検討

### 現状認識と研究の目的

国内外を通じ浮体式洋上浮力発電の稼働実例が少ないことから、同システムに係る財物保険の引受はコンサバティブな状況にある。将来的な事業化を見据えた検討の中で、保険手配の経済性の評価を通じて合理的な保険仕様を検討する。

### 期待される成果(アウトプットイメージ)

保険事故シナリオを想定したキャッシュフロー影響評価



### 実施方法

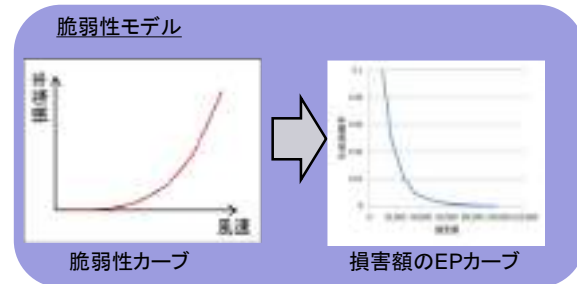
本研究は下記に示す①～⑥の工程に分けて実施する。

#### ●保険リスクに関する各種情報の整理

- 工程①浮体式洋上風力発電に関する事故事例の整理
- 工程②各事故シナリオにおける損害額の調査・分析

#### ●保険リスクのシミュレーションによるプロジェクト財務影響評価

- 工程③浮体式洋上風力発電の定量的なリスク評価



リスク評価モデルイメージ

- 工程④浮体式洋上風力発電の財務影響分析

#### ●合理的な保険仕様設計

- 工程⑤事業開始時の保険手配のあり方の検討
- 工程⑥事業期間を通じた保険手配のあり方の検討



## (4) 事業化を見据えた経済性評価

○各種情報整理により、浮体式洋上風力発電を取り巻く事故リスク状況及びコストの目安が明らかとなった。

### 実証事業の成果

#### ①事故事例の整理

着床式洋上風力発電では4件、FPSOでは3件の事故事例について、事故詳細情報及び支払保険金に関する情報を収集し、分析整理を行った。結果の一例を下記に示す。



着床式洋上風力発電設備の事故写真



欧州の洋上風力発電の保険事故請求事由の割合 (2007-2012)

事象	結果	請求額目安
機能的なシステム断断	システム全体または一部の修理 PD Claim + possible LOPE	PD: US\$500MM LOPE: US\$750MM
動的ライザーシステムの断断	ライザーの修理または交換 PD Claim + possible LOPE	PD: US\$500MM LOPE: US\$1000MM
主要生産設備の故障	生産設備の修理 造船所への移送 PD Claim + possible LOPE	PD > US\$500MM LO > US\$2000MM
高層部31本断断	継続運航可能、保険金請求 PD Claim	PD: US\$5MM
高層部32本断断	運航停止、高層部修理 PD Claim + possible LOPE	PD: US\$300MM LOPE: US\$200MM
高層部33本以上断断	FPSO運航 ライフト、ライザー、機能的システムへの断断 FPSOの運航用への移送 修理に伴う品質付帯	PD > US\$500MM LO > US\$5000MM

FPSOの故障・事故結果と保険請求額まとめ

#### ②各事故シナリオにおける損害額の調査・分析

故障・事故が発生した際の復旧費を含む、各事故シナリオにおける損害額の調査・分析を実施し、財務影響分析の基礎データとした。

## (4) 事業化を見据えた経済性評価

○着床式洋上風力リスク評価モデルをベースとして、海洋石油・ガス分野における浮体設備の事故統計データを参考とした浮体式洋上風力リスク評価モデルを策定した

○実際の実証事業コストだけでなく、大規模ウィンドファームを想定した様々な条件で財務影響評価を実施した

### 実証事業の成果

#### ③浮体式洋上風力発電の定量的なリスク評価

着床式洋上風力発電のリスク評価モデルに、洋上固有のリスクや費用の要素を追加した浮体式洋上風力発電のリスク評価モデルを使用した。本モデルを用いて、再現期間別に浮体式洋上風力発電の定量的なリスク評価を実施した。

#### ④浮体式洋上風力発電の財務影響分析

実証事業コストでの  
財務影響分析結果

- 条件A:  
コスト分析シートのうち2M、5Mおよび洋上変電所を対象とし保険金額を設定(設計および調査費用は保険金で支払対象でないため除いた)

保険を2階建て条件(15億円を上限として復旧/撤去判断)とした場合の財務影響分析結果(大規模修繕の回航費10億円)

- 条件B:  
5MW増設想定時のシステム価格単価から、設計費を控除した単価127万円/kWで設定する場合
- 条件C:  
将来的な商業ベースでの期待コストである60万円/kWで設定する場合

大規模ウィンドファームを想定した  
事業評価

※現状の実証機(2M、5M各1基)に5M商業機20基を増設する場合  
(洋上変電所は全体資本費の13%)

- 条件D:  
CAPEXの単価80万円/kWのパターン(大規模修繕回航費10億円)
- 条件E:  
CAPEXの単価56.5万円/kWのパターン(大規模修繕の回航費10億円)
- 条件F:  
条件Eをベースとした着床式ウィンドファームの場合のシミュレーション(全損事故以外修復、SEP船コスト:2,000万円/日)
- 条件G:  
条件Eをベースとした着床式ウィンドファームの場合のシミュレーション(損害額15億円以上は全損事故扱い、SEP船コスト:2,000万円/日)



福島洋上風力発電コンソーシアムと同一規模で事業化した場合、事業スケールが小さい為、採算性は殆ど改善せず

## (4) 事業化を見据えた経済性評価

○実証機(2MW+5MW)のみでの事業では、大規模故障・事故発生を想定した場合、事業性の確保が困難  
 ○商業シミュレーションとして、設置数を増やし(100MW規模)、着床式と同水準にCAPEXを実現、また大規模修繕の手法、コストを見直すことで、浮体式洋上風力についても将来的な事業水準確保の可能性を実証できた。

### 実証事業の成果

#### ⑤事業開始時の保険手配のあり方の検討

前項④のシナリオごとのP-IRR算出結果は下掲表の通りである

	PIRR:保険適用なし		PIRR:保険適用後	
	税前	税後	税前	税後
条件A	N/A	N/A	N/A	-4.37%
条件B	-0.26%	-1.92%	0.01%	-0.23%
条件C	0.55%	-0.37%	1.77%	0.94%
条件D	5.10%	3.72%	4.40%	3.18%
条件E	9.95%	7.46%	9.29%	6.87%
条件F	10.36%	7.72%	9.93%	7.34%
条件G	10.36%	7.72%	9.89%	7.32%

#### P-IRR算出結果に基づく保険手配のあり方の検討結果

- 福島洋上風力発電コンソーシアムをそのまま事業化(2M+5M)する前提では大規模故障・事故を想定した場合、事業性の確保が困難(条件A、B)
- CAPEXを実証実験でのモデルコストでなく、商業的な価格を考慮できれば、一定の事業性改善が見られる(条件C)
- 浮体式洋上風力発電事業を大規模ウインドファーム化することで、保険適用後のP-IRRを改善することが可能である。但し、大規模化のみによる事業性向上効果は小さい(条件D)
- 着床式と同じコストベースで、保険付保額(上限15億円)を工夫することで浮体式の評価結果を着床式に近づけることが出来る
- さらに、大規模修繕方法を再検討(回航コスト)することで、浮体式であっても十分なP-IRRを確保することが可能である
- 浮体式浮力発電事業の保険については、今後の技術進展、量産化によるコストダウンについても考慮されるべきである

#### ⑥事業期間を通じた保険手配のあり方の検討

仮に実証事業終了後15年間の商業運転を行った場合、事業期間を通じて保険手配をどのように行うか検討した。以下の仕様が考えられる。

- 事業開始時の保険条件で事業期間中手配をおこなう(一般的なプロジェクト保険)。
- 10年程度経過後(通常資産償却時期)以降はアクセス船での補修規模以上の損傷を受けた事故の場合は撤去費用相当額を補填する。

※⑤でシミュレーションした商業ベースでの増設を前提とした保険手配のあり方については、現時点での検討はあまり意味がない。

#### ⑦将来の商業ベースを想定した場合の保険手配のあり方の検討

④で検証した条件E及びFの比較から、下記の検討結果が導かれる。

- 浮体式洋上風力発電設備のCAPEX単価を着床式の水準に合わせたくうえで、大規模修繕コストを引き下げる必要がある
- 保険料構成比率が高いEM(電氣的・機械的的事故)については、大規模修繕費用のコストとしてリザーブすることにより保険の特約から除外する、あるいは経年疲労の確立が低い運開から10年程度まではEM特約を付帯しないことが最も合理的な保険手配と判断できる。

## (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した。

### 現状認識と研究の目的

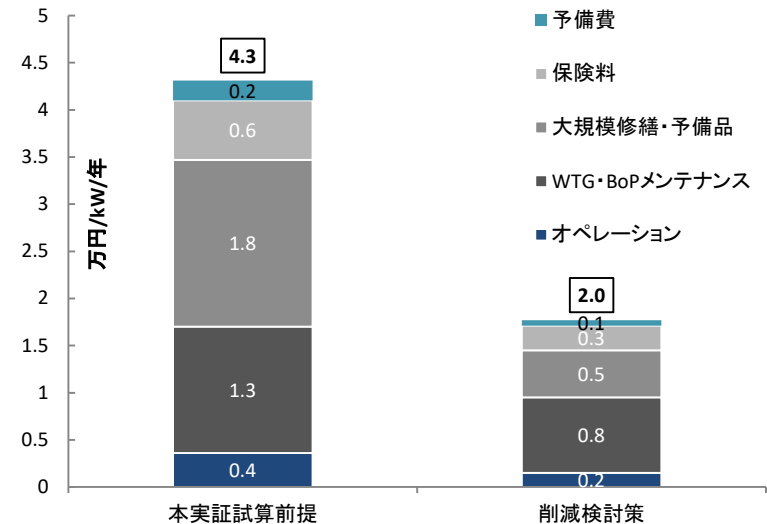
昨年度事業においては将来的に拡張ウインドファームを想定した場合で、主に運転維持管理費用や撤去費用などを削減することで36円/kWhを達成する見込みであることを示した。  
今年度は実際に運転維持管理費用の削減案を検証・実施し、目標達成の確度を示す。

### 実施方法

コストデータについては、本実証研究の成果を踏まえ、メーカーや工事業者と共に将来の推定値を算定する  
ファイナンスモデルを作成し、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した場合の発電コストの目標値達成の為に必要な削減項目が明らかとなる。



## (4) 事業化を見据えた経済性評価

- 運転維持管理費用削減に向けて、発電設備のメンテナンスのうち一部を丸紅にて内製化\*した場合のコスト削減効果を確認した。
- 新造の単胴船採用時の経済性評価を実施。

\*運転維持管理の一環として、各メーカーごとに実施しているメンテナンスを丸紅に集約することで主に人件費削減が期待できる。

### 実証事業の成果

- 運転維持管理の内製化による費用削減
  - 実証期間において各メーカーが個別に実施している運転維持管理を例えば部分的に檣葉事務職員等で実施することで費用削減に寄与することが明らかとなった。

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
半年点検	3名	1名
1年点検	4名	2名
3年点検	5名	3名

- 新造の単胴船採用時検討
  - 新造の単胴船を採用した場合の経済性評価結果、従来のJCATONEと比較すると年間で約120百万円の削減が期待できることが明らかとなった。これはオペレーション費用のうち約0.13万円/kW/年\*の削減に値する。

\*アクセス船変更によって生じるアクセス率の変動に伴う、オペレーション費用の増減は考慮していない。



# (4) 事業化を見据えた経済性評価

○経済性評価のため、運転維持費を含む試算前提条件を整理した。

## 実証事業の成果

### 前提条件概要

項目	設定条件	備考
WFの規模(ケース毎)	①100MW(5MW×20基) ②50MW(5MW×10基) ③25MW(5MW×5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)	昨年度事業の報告書より引用(商用化時)
運転維持費(ケース①の場合)	43億円 → <b>40億円/年</b> (4.3万円 → <b>4.0万円/kW/年</b> )	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	14億円 → <b>10億円</b> (28万円 → <b>20万円/kW</b> )	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

### 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	1.1 → <b>0.9万円/kW/年</b> (*)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。

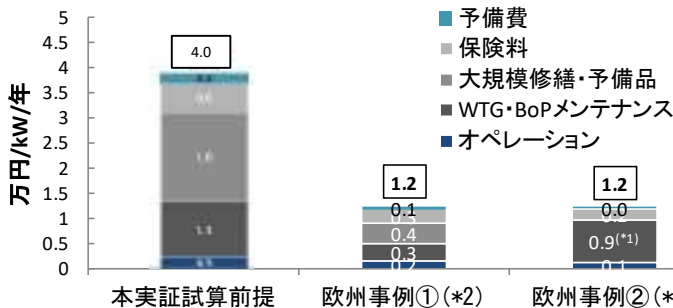
### ② 大規模修繕費用・オペレーション・予備費(事業期間平均)

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 ※ケース①の場合(*)2	0.4万円 → <b>0.2万円/kW</b>
アクセス船	<b>35</b> 百万円/年
運転監視員人件費(現場責任者含む)	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%、ケース①の場合)	2.0 億円/年(0.2 万円/kW)

(\*)2 アクセス船、運転監視員人件費、電気主任技術者費用等はケース(風車基数)によらず一定

### 運転維持費の欧州(着床式)事例との比較

①メンテナンス②大規模修繕・予備品③保険がコスト低減の余地あり



(\*)1 オペレーション費用のうちアクセス船費用、大規模修繕・予備品費用を含む  
 (\*)2 IEA Wind Task 26, Offshore Wind Farm Baseline Documentation (2016) を元に作成  
 (\*)3 欧州コンサルティングファームへの独自ヒアリング結果を元に作成

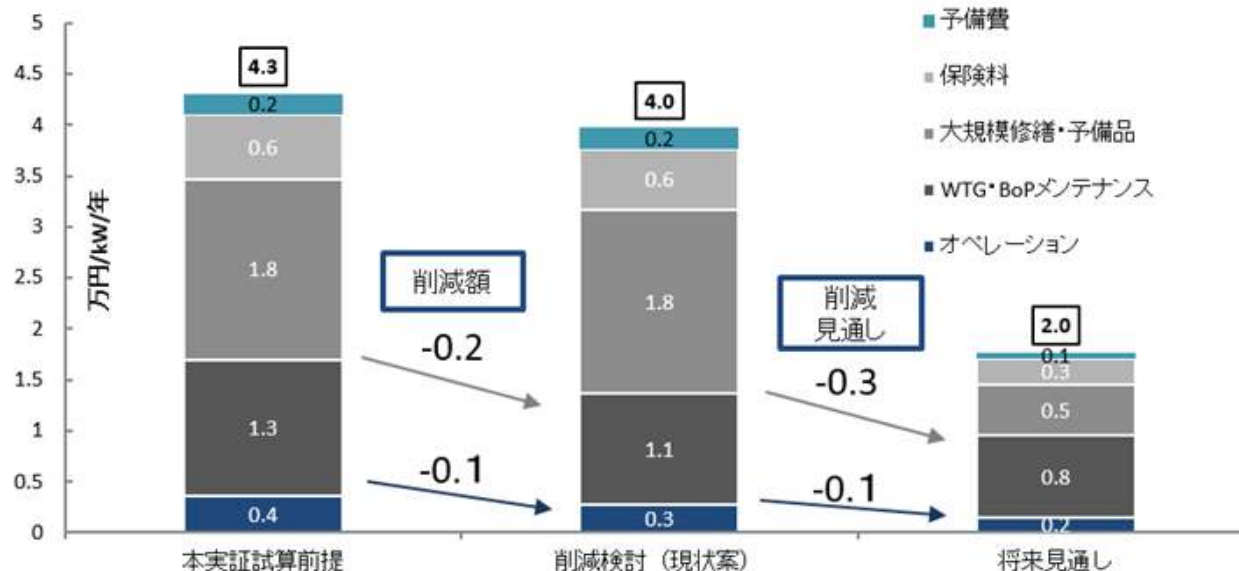
## (4) 事業化を見据えた経済性評価

○内製化検討及び新造の単胴船を採用した場合、年間約0.3万円/kW削減効果があることが分かった。

### 実証事業の成果

● 費用削減検証結果と展望

- 5MW風車及び浮体の運転維持管理を内製化することで、約0.15万円/kW/年の削減に寄与する可能性があり、また運転維持管理における、稼働率を考慮しない場合は約0.2万円/kW/年削減可能性があることが明らかとなった。

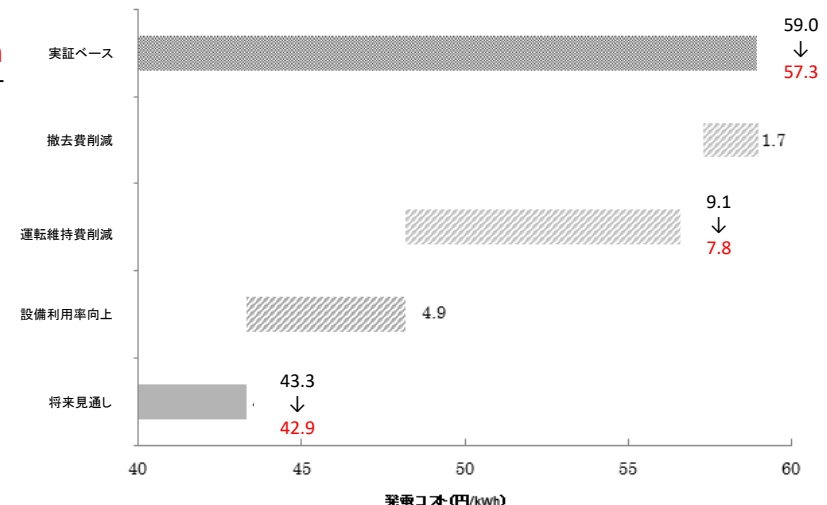
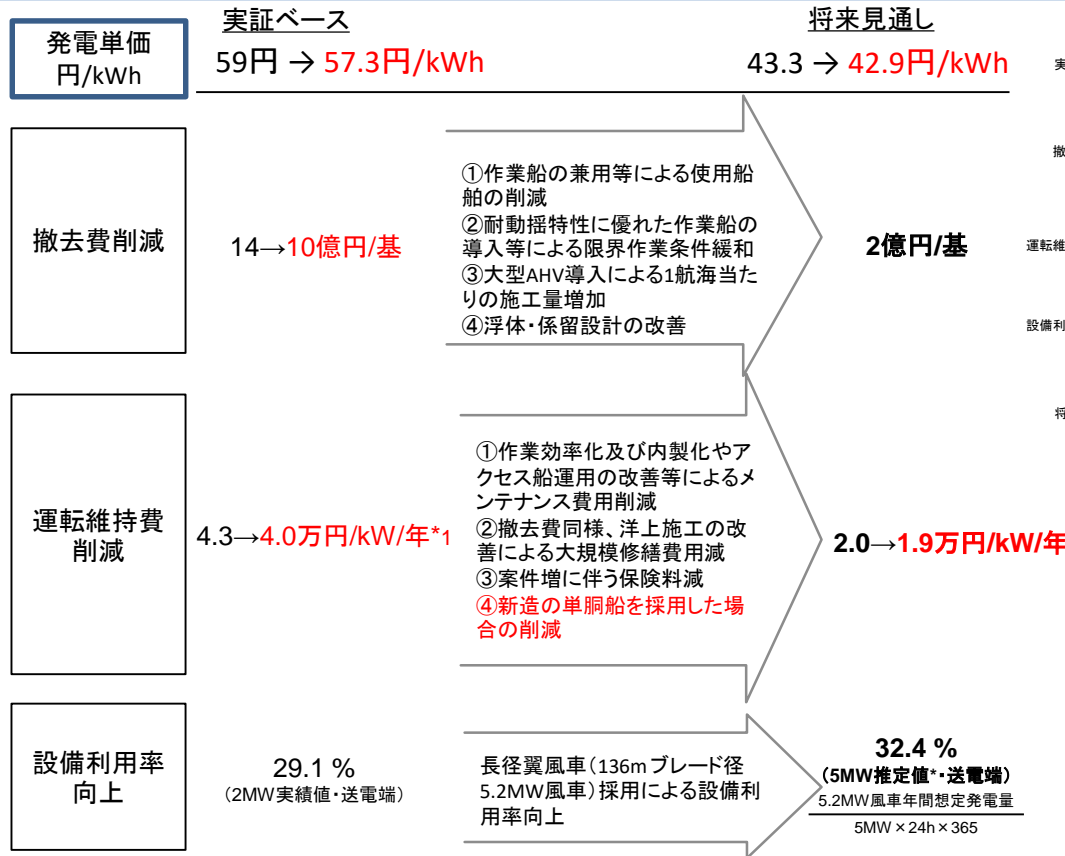


# (4) 事業化を見据えた経済性評価

○昨年度PIRR(税前)10%を示す前提として43.3円/kWhを示したが、今年度の実証成果から42.9円/kWhまで削減可能である見通しを示した。

## 実証事業の成果

### 将来の各種目標値と改善案



P-IRR (税前)	実証ベース (ケース①*2)	将来見通し (ケース①)	将来見通し (ケース②)	将来見通し (ケース③)
6%	47.8 円/kWh	33.9 円/kWh	34.9 円/kWh	36.7 円/kWh
8%	52.4 円/kWh	38.3 円/kWh	39.1 円/kWh	40.8 円/kWh
10%	57.3 円/kWh	42.9 円/kWh	43.7 円/kWh	45.2 円/kWh

\*2) ①100MW (5MW × 20基) ②50MW (5MW × 10基) ③25MW (5MW × 5基)

\*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。

## 5. 「国民との科学・技術対話」の実施

---

- 本事業の取り組みや進捗成果について情報発信を行い国民への理解を深めた。
- 展示場の来場者は約38千人(17/12末)、ホームページの訪問者数は、日本語及び英語総数約25千人(18/1末)、展示会の来場者は、福島産業フェアでは約1,350人及びWINDEXPOでは約5,100人であった。

## 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
- 主な来場者 小名浜第1小、鳥川小、福島高専主催グリーンプログラム、外務省主催在日大使館員、外務省主催外国報道関係者
- 来場者 (2017/4/1-2017/12/31) 総数38千人、144人/日

### ② 天神岬展望コーナー

- 説明版展示、望遠鏡設置



外務省主催  
在日大使館員



福島高専主催  
グリーンプログラム

## ホームページ

### ① 情報発信

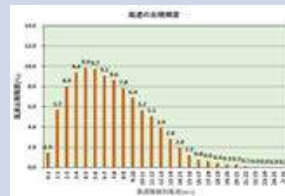
- 最新情報(お知らせ)
- 技術資料及び観測データ公開
- 研究通信
- お問い合わせ(現地見学・視察希望取材対応、写真提供等)14件

### 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 (2017/4/1-2018/1/31) 総数約25千人  
(日本語)総数約22千人、74人/日  
(英語)総数 約3千人、11人/日



科学ワールド中国語編浮体式紹介



観測データ公開

## 各所展示会・シンポジウム

### ① 福島産業フェア 2017 参加

- 2017/11/8-11/9
- 福島県郡山ビックパレットふくしま
- 来場者総数 約1350人

### ② 第39回風力エネルギー利用シンポジウム

- 2017/12/6-12/7
- 科学技術館サイエンスホール
- 福島関連論文 1件

### ③ WIND EXPO2018 参加

- 2018/2/28-3/2
- 東京ビッグサイト
- 来場者総数約5100人



産業フェア



WINDEXPO2018