

平成28年度福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業
報告書 概要版

平成29年3月31日
福島洋上風力コンソーシアム

< 目次 >

1. 実証研究実施に関する行政機関との協議等、 環境影響評価と航行安全性評価及び漁業等との共存	3
2. わが国の洋上環境に適した浮体式洋上浮力発電システムの分析、評価、 及び最適化の検証等	13
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	22
4. 浮体式洋上風力発電システムの各種評価等	88
5. 「国民との科学・技術対話」の実施	113

1. 実証研究実施に関する行政機関との協議等、環境影響評価と航行安全性評価及び漁業等との共存

(1) 行政機関等との協議等及び環境影響評価

- 事業実施に必要な許認可を取得する。
- 浮体式洋上風力発電設備設置後の環境影響を評価するための調査を行なう。

現状認識と研究の目的

事業実施に必要な許認可を取得する。

浮体式洋上風力発電設備設置後の環境影響につき、必要な調査について検討を行い、設備が環境に与える影響について確認する。

実施方法

関係行政機関や自治体と協議を重ね、本実証研究事業の推進に関する理解の醸成を促し、必要な許認可等を取得する。

浮体式洋上風力発電設備設置後に必要な環境影響を評価するための調査につき検証する。特に、新設した7MW風車の影響につき調査し、評価する。

(1) 行政機関等との協議等及び環境影響評価



- 事業実施に必要な許認可を関係各所より取得した。
- 関係省庁や自治体と継続して協議を実施し、ご理解とご助力を頂く。

実証事業の成果

事業実施に必要な以下の許認可を取得した。

分類	法令名称	担当/決裁窓口	許認可・届出名称
一般事項	国有財産法	福島県相双建設事務所	一般海域の占用に係る許可申請
	水産関連法令	農林水産省 水産庁	海洋水産資源開発促進法指定海域における行為の届出
	海岸法	福島県相双建設事務所	占用許可申請海底(ケーブルによる土地占用)
	道路法	福島県相双建設事務所ほか	占用許可申請海底(鉄塔・送電線による土地占用)
発電設備	電気事業法	関東東北産業保安監督部・東北支部	電気事業に係る認可申請、技術基準への適合、保安規程の届出、電気主任技術者の届出、工事計画の届出、使用前安全管理検査等
	船舶安全法	国交省海事局	発電設備のうち浮体式基礎の安全性確認
	航空法	東京航空局	航空障害灯の設置
	航路標識法	第二管区海上保安部	航路標識(AIS含む)の設置に関する許可申請
調査・設置工事	電波法	総務省	無線局免許申請
	海上交通安全法	福島海上保安部	海域調査及び設置工事に係る作業許可申請及び届出
	水路法	第二管区海上保安部	
	船舶安全法	東北運輸局	浮体曳航作業に係る臨時航行申請
組立工事	港則法	各港	浮体設備の曳航・係留に係る作業届出
	港則法	神戸海上保安部	港内作業許可申請(洲本港沖海底地盤調査)
	港則法	姫路海上保安部	港内作業届(タワー及びブレードの積替作業)
	港則法	阪神港	港内作業許可申請(堺工場からの浜出し)
	港則法	神戸海上保安部	港内作業許可申請(風車組立及び電気配線、曳航準備)
	水路業務法	第五管区海上保安部	水路測量許可申請(風車着底後の深淺測量及び海底面調査)
	港湾法	兵庫県淡路県民局	港湾水域(公共空地)占用許可申請
	公有土地水面の使用及び算出物の採取に関する規則	兵庫県淡路県民局	公有土地水面使用許可申請
公有財産規則	洲本市役所	普通財産使用許可申請(工事事務所用地及び駐車場)	

(1) 行政機関等との協議等及び環境影響評価

〇7MW風車の鳥類への影響を調査した結果、鳥類の衝突等の影響は無いことが確認された。

実証事業の成果

環境影響評価法に基づく事後調査について、今年度は過年度に設置した7MW風車の設備設置による影響に焦点を当て、大型風車が鳥類に与える影響につき調査および評価を行った。また、2MW風車及びサブステーションにおける鳥類の調査を継続して実施した。

①赤外線カメラを用いた鳥類の衝突監視

衝突監視システムを用い、7MW風車のブレード付近を通過する鳥類を記録、評価した。7MW風車への鳥類の衝突事例は確認されなかった。

また、2MW風車についても継続してデータ取得を実施した。

②鳥レーダの機能維持

サブステーションに設置している鳥レーダの点検・保守を実施し、データ取得を継続して実施した。

(2) 航行安全性評価

- 5MW風車浮体を安全に曳航、設置するための航行安全対策に関する研究を行なう。
- 7MW風車浮体の事例と比較することにより、航行安全対策の一般化・汎用化を目指す。

現状認識と研究の目的

5MW風車の組み立て場所から福島沖設置海域までの曳航を安全に行うための適切な対策につき検証する。
5MW風車の係留設置工事に係る航行安全の検討を行う。

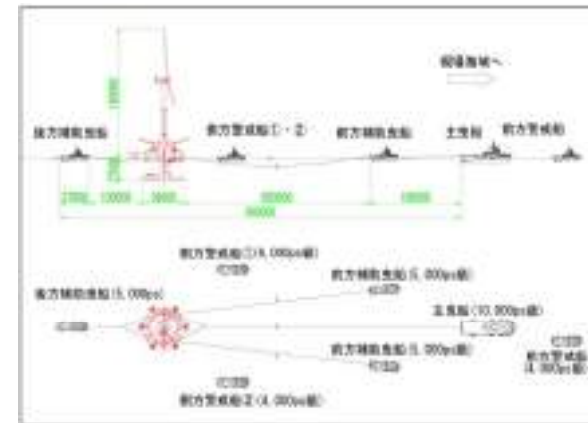
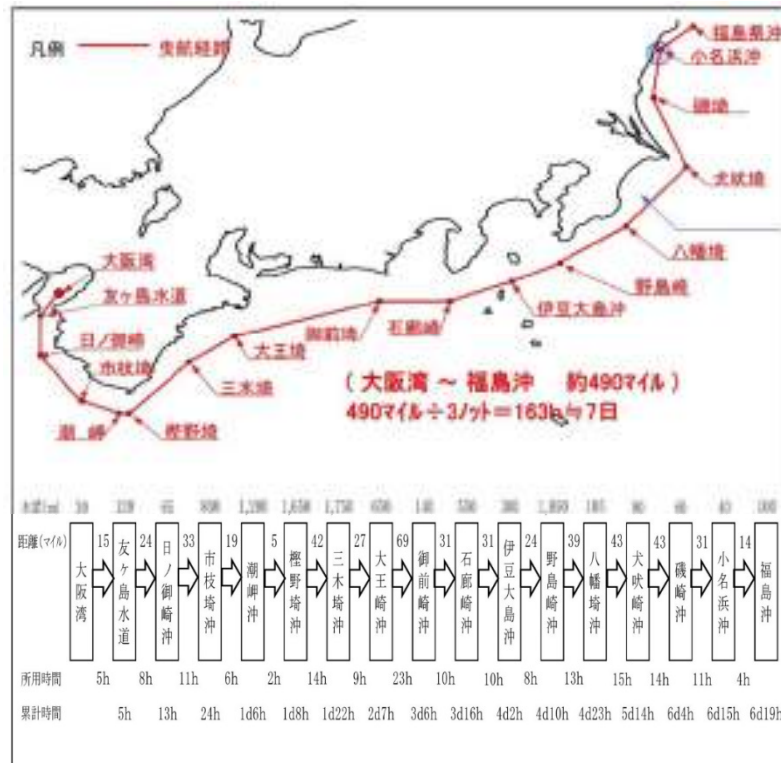
実施方法

外洋曳航経路および溪流設置工事について、過年度に実施した7MW風車の曳航および設置作業と差異を比較しながら、適切な対策につき検討する。

(2) 航行安全性評価

- 7MW風車の曳航、設置工事と同様の対策を行い、事故無く安全に曳航及び設置工事を完了した。
- 浮体の種類によらず、同様の航行安全対策が有効であることを確認した。

実証事業の成果



5MW風車の曳航は7MW風車と同様に外洋曳航するものであるため、5MW洋上風車の海上作業に関する船舶航行安全委員会を省略し、7MW風車の外洋曳航時の船舶航行安全対策と同様の対策をとることとした。5MW風車の福島沖での係留設置作業も他の設備と同様の作業であるため、他の設備と同様の船舶航行安全対策をとることとした。

外洋曳航時および福島沖での係留設置作業において、事故等無く安全に作業を完了し、異なる浮体においても同様の航行安全対策が有効であることを確認できた。

(3) 漁業との共存

- 洋上風力発電事業と漁業との共存の在り方を検証する。
- 漁業との共存に向けた取組を通じ、事業化の合意形成に向け、理解を深め、参画意識を醸成する。

現状認識と研究の目的

漁業に対する浮体施設の影響を把握し、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、事業化への理解と参画意識の醸成することで、将来的な事業化に向けた合意形成の道筋を検討する。

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
- 浮体周辺における操業ルールの明確化
- 漁場活用を検証する実験調査の実施

(3) 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。
- 海洋観測データの配信
 - 過年度に構築した、浮体発電施設で観測している水温などの海洋観測データをオンラインにて閲覧できるシステムを、継続して運用した。
 - 漁業者の利用が確認でき、本システムが操業活動の一助となっていることが確認できた。

(3) 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の実証を通じ、底曳網漁業などでは漁場の喪失を招く一方で、浮体の浮魚礁的機能を活かした操業が可能であることを確認した。
- 4浮体群での継続した評価が必要である。

実証事業の成果

- 漁獲試験による漁業への影響把握
 - 施設周辺で魚類の逸散、集魚とも観察されず、大型風車浮体設置後においても漁業生産への影響はないことが確認された。
 - 魚種別漁獲量の季節変動にも影響は無く、実証研究施設は魚類の行動にも影響を与えないことが確認された。
 - 一方、浮魚類については漁獲される魚種構成に変化が見られ、実証研究施設の浮魚礁的効果が発現しつつあることが確認できた。
- 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。
 - 浮体設備は底曳網漁業などでは漁場の喪失を招く一方で、浮魚礁的機能による新たな漁場創出の可能性が確認できた。
 - 浮体が4基設置され、浮魚礁群としての効果発現により漁獲効率が高まることが期待できると考えられた。

(3) 漁業との共存

- 漁業関係者の事業参画に向けた議論の進め方について確認した。
- 設備設置により操業が不可能となる範囲、操業ルールの明確化が事業化に向けた課題となる。

実証事業の成果

- 漁業関係者の事業参画に向けた課題抽出、道筋の検討
 - 事業化にあたり漁業関係者にとっての課題や参画する方法を検討するための進め方や方向性につき検討を行った。
 - 漁業関係者に対し実証事業の実績データの開示を積極的に行い、それに対する漁業関係者の意見を聴取しながら、具体性を伴った事業化案を福島県漁連に提示していくことで、事業化に関する議論を進めていくことを福島県漁連および傘下の漁協に確認した。
 - 事業化の合意形成における課題として、設備設置により操業が不可能となる範囲の設定が挙げられ、漁法によって近接によるリスクが異なるため、統一認識を持つのが難しいことを確認した。
- 浮体周辺における操業ルールの明確化
 - 法令上明確な運用ルールが存在しないことから、当事者と協議をしながら検討した。
 - 漁業関係者からは統ルール制定の要求があったが、漁法によって浮体近接に関するリスクが異なる点が課題となる。
 - ルールを制度化するには、広域漁業調整委員会にて制定する必要性があり、関係者の合意形成が課題となる。

2. わが国の洋上環境に適した浮体式洋上浮力発電システムの分析、評価、及び最適化の検証等

(1) 気象条件の分析・評価

長期的な変動を考慮した気象・海象予測手法の構築

複数年の気象シミュレーション、波浪シミュレーション及び海流シミュレーション手法を構築するとともに、福島沖の実証研究海域において長期のシミュレーションを実施し、設計風速・設計波浪・設計海流の評価手法を構築する。

現状認識と研究の目的

浮体式洋上風力発電設備の設計風速・波浪・海流を設定するためには数値シミュレーションにより極値分布を推定する必要があるが、その手法は確立されていない。本研究では数値シミュレーションにより設計風速・波高・海流を設定する手法を確立する。

実施方法

長期・高解像度の気象シミュレーション・波浪シミュレーション・海潮流シミュレーションから求めた極値分布を真値とし、長期・低解像度および短期・高解像度のシミュレーションから極値分布を推定する手法を構築する。

(1) 気象条件の分析・評価

長期的な変動を考慮した気象・海象予測手法の構築

気象・海象の長期シミュレーションを実施し設計風速・設計波浪・設計海流の評価手法を構築するとともに、浮体式洋上風力発電設備の設計条件を明らかにした。

実証事業の成果

■ 風況

- 高解像度(2Km)の気象シミュレーションを10年行い、季節風に起因する極値分布の参照値を求め、短期(3年間)の高解像度(2Km)と低解像度(18 Km)の気象シミュレーションより求めた日最大風速から、補正係数を求めた。
- 低解像度の気象シミュレーション結果に補正係数を乗じることにより、季節風に起因する50年再現期間の最大風速は、参照値を再現できることを示した。
- 台風と組み合わせることにより、設計風速は**48.3m/s**となった。

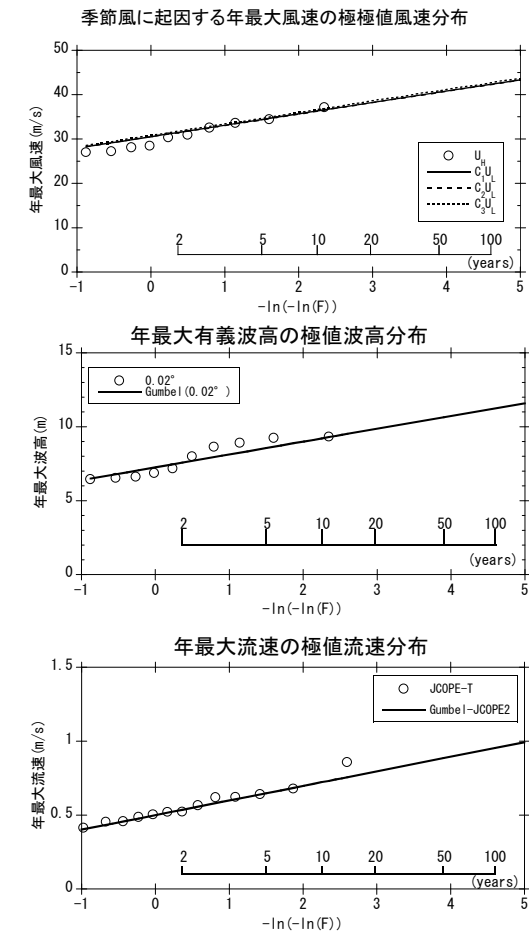
■ 波浪

- 1年間の波浪シミュレーション結果と観測値との比較により、補正係数 1.18 を求めた。この補正係数は既往の研究結果と整合する。
- 10年間の波浪シミュレーション結果に補正係数を乗じて、不確実性を考慮することにより、50年再現期間の極値波高は**11.8m**となった。

■ 海流

- 13年間の高解像度の再解析値(JCOPE-T)の年最大流速から求めた50年再現期間の極値流速を参照値とし、4年間の高解像度再解析値(JCOPE-T)と、低解像度再解析値(JCOPE-2)の月最大流速から補正係数を求めた。
- 13年間の低解像度の再解析値を補正することにより求めた50年再現期間の極値流速は参照値を再現できることを示した。
- 吹送流の効果と不確実性を考慮することにより、50年再現期間の設計流速は**1.37m/s**となった。

	当初 設定値	本研究
風速	48.3m/s	48.3m/s
波高	11.7m	11.8m
流速	1.50m/s	1.37m/s



(1) 気象条件の分析・評価 気象・海象観測による予測手法の検証

浮体式洋上変電設備の気象観測装置・波浪観測ブイによる観測を、引き続き実施することにより複数年の検証データを取得し、福島沖の実証試験海域における気象・海象の長期特性を明らかにするとともに、構築した気象・海象予測手法の検証を行う。また、観測した波浪データに基づき、設計用波浪のスペクトルのモデル化を行う。

現状認識と研究の目的

風力発電量および風力発電設備に作用する疲労荷重は、年間の出現頻度分布に基づいて想定されているが、風況・海象の海象変化により共用期間中の発電量・疲労荷重は想定と異なる可能性があるため、気象・海象の経年変化を明らかにする必要がある。

実施方法

長期の気象シミュレーション・海象シミュレーションを実施するとともに、気洋上サブステーション・波浪ブイにおける気象・海象観測を継続し、複数年の観測データを用いてシミュレーションの検証を行うとともに、気象・海象の経年変化を明らかにする。

(1) 気象条件の分析・評価

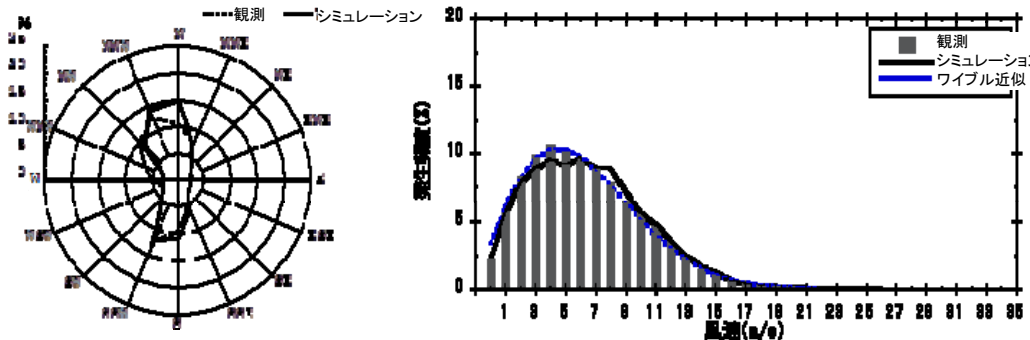
気象・海象観測による予測手法の検証

気象・海象観測を実施し、複数の観測データを互いに補完することにより、平均風速・乱れ強度・有義波高・有義波周期・平均波向・流速・流向の計測データセットを作成し、気象シミュレーション・海象シミュレーションの検証を行った。

実証事業の成果

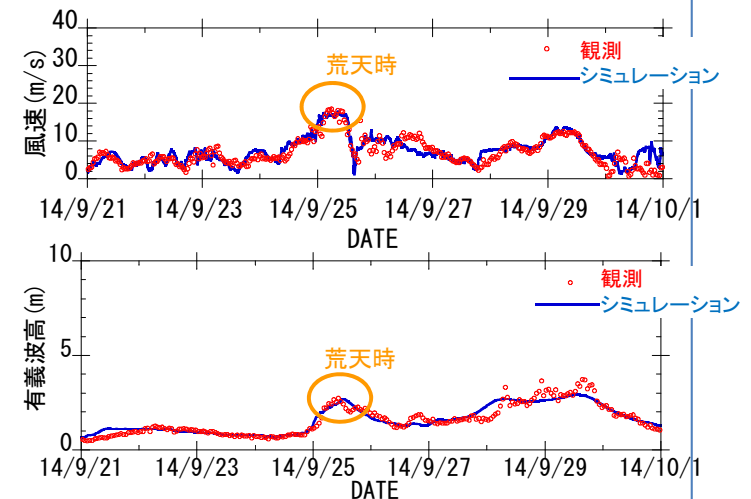
■ 数値シミュレーションの精度検証

- ① メソスケール気象モデルWRFおよび第3世代波浪予測プログラム Wave Watch IIIが低気圧通過時の強風および高波高を再現できることを明らかにした。
- ② 海流予測モデルPOMが、海流のピーク値や、統計的傾向を再現できることを明らかにした。
- ③ 2015年7月から2016年6月までの1年間の年平均風速の観測値は6.96m/sであったのに対し、予測値は7.11m/sであり、予測誤差は2%であった。

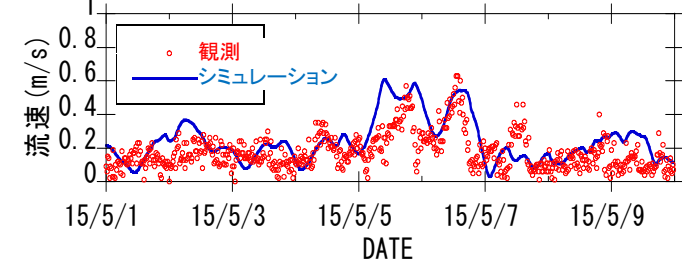


2015年7月～2016年6月の風配図および風速階級別出現頻度

低気圧通過時の平均風速および有義波高(2014/9)



海流ピーク値観測時の流速(2015/5)



(2)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 浮体式洋上風力発電設備の動解析

2MWの実証研究機を対象とした動解析手法を構築するとともに、浮体式洋上風力発電設備の動揺特性および風車の荷重特性を明らかにする。

現状認識と研究の目的

浮体式洋上風力発電設備の動揺および作用する荷重は、風・波・流れ・風車制御などの影響を受ける。本研究では、風・波・流れ・風車制御が浮体動揺に与える影響を明らかにする。

実施方法

2MW風車を対象として、風速・波高・波周期・流速を変化させた動解析シミュレーションを行い、以前に実施した水槽実験結果を用いて検証するとともに、風・波・流れ・風車制御が浮体動揺に与える影響を明らかにする。

(2) 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 浮体式洋上風力発電設備の動解析

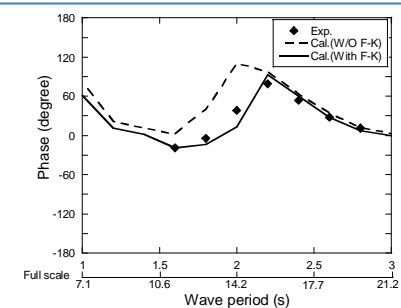
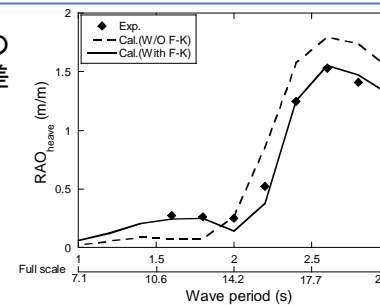
風車停止時および運転時の浮体動揺とタワー基部に作用するモーメントの予測を水槽実験により検証した。

実証事業の成果

■ 浮体動揺

- 細い部材に対する軸方向のフルード・クリロフ力を導入することにより、規則波および不規則波における浮体動揺の予測精度を向上させた。

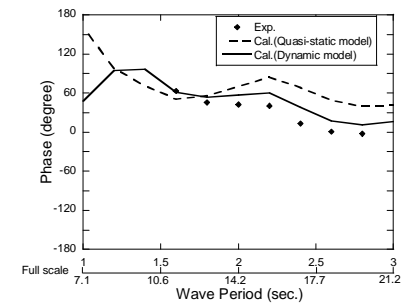
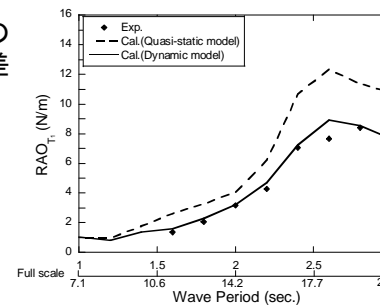
ヒープ応答の
振幅と位相差



■ 係留索張力

- 従来の準静的モデルで再現できなかったフェアリーダ部の張力の高周波成分を動的モデルにより再現できることを示すとともに、準静的モデルで過大評価していたフェアリーダ部の張力の振幅を精度良く予測できることを示した。

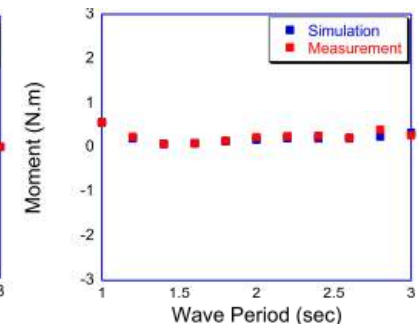
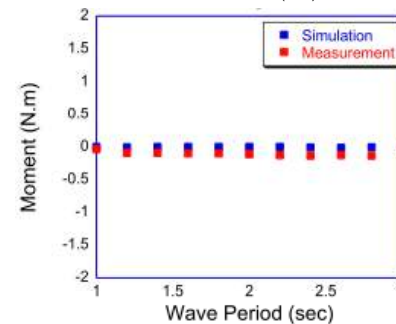
係留索張力の
振幅と位相差



■ タワー基部モーメント

- 構築したモデルを用いて予測した前後方向のタワー基部モーメントは、平均値、標準偏差とも、実測とよく一致した。

タワー基部
モーメントの
平均値と
標準偏差



(2)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 浮体式洋上風力発電設備の動揺及び荷重の検証

実証機の動揺及び風車に作用する荷重の計測を実施するとともに、風車運転情報データを収集する。これらのデータを用いて、実証機の動揺特性・荷重特性を明らかにし、構築した動解析手法の検証を行う。

現状認識と研究の目的

浮体の実機には、常に風・波・流れの外力が全て作用している。また、波のエネルギーは1方向だけでなく、方向分散性を持っている。このような複合外力下での荷重特性を明らかにする必要がある。

実施方法

構築した動解析モデルを用いて、実海域の外力下での浮体の動解析を行うとともに、実風車での浮体の動揺・荷重の計測結果を用いて実機を対象とした動解析モデルの検証を行う。また、浮体の動揺と各部材に作用する荷重の特性を明らかにする。

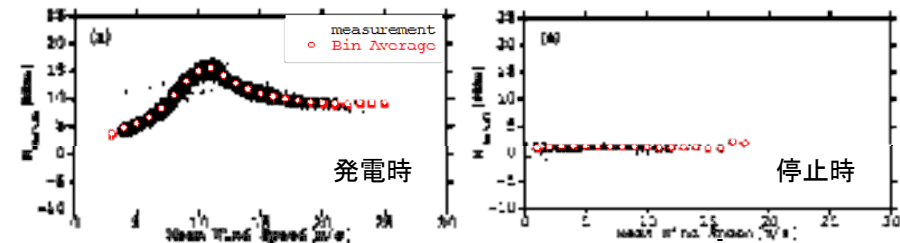
(2) 浮体式洋上風力発電システムの分析・評価及び最適化の検証 浮体式洋上風力発電設備の動揺および荷重の検証

実機において浮体動揺を計測する手法と、タワー基部モーメントを計測する手法を構築するとともに、動解析モデルにより求めた浮体動揺とタワー基部モーメントの検証を行った。

実証事業の成果

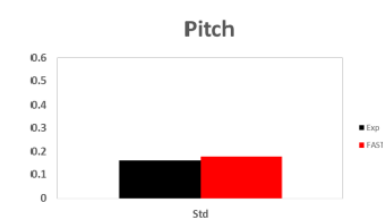
■ 風車タワー基部モーメントの計測

- 浮体式風力発電設備に適したひずみゲージのキャリブレーション手法を提案し、風車タワー基部モーメントを計測した。

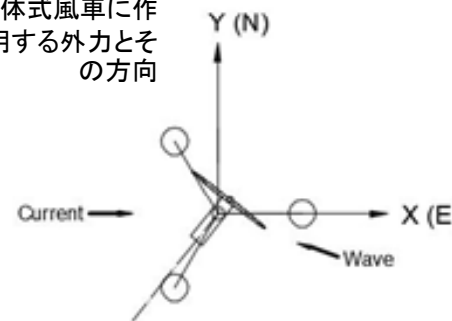


風車タワー基部モーメントの観測値

浮体のピッチ動揺の標準偏差



浮体式風車に作用する外力とその方向



タワー基部モーメントの標準偏差



■ 動解析モデルの検証

- 風車停止時のケースにおいて、2MW風車実機を対象とした動解析を実施し、浮体ピッチ運動の標準偏差およびタワー基部モーメントの標準偏差の予測値が、実測値とよく一致することを示した。

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) 設計の検証

2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 設計の検証をするために実証試験データを収集する。
- 収集したデータを整理する。

現状認識と研究の目的

- これまで、収集した風車と浮体の挙動データと解析データを比較検証し、設計が安全側であることを検証した。
- 実際の安全率は大きかった。
- 原因は方向性の考慮にあると推定。
- 風速と発電の関係は継続的検証が必要。

実施方法

- 実証試験データをモニタリングシステムを通じて取得
- 気象海象データはサブステーションデータ
- データを次の観点から整理
 - 風車稼働状態
 - 風車停止状態
 - 比較的大きい波高時
 - 波風潮流の方向性
 - 他の風車の影響有無

(1)設計の検証

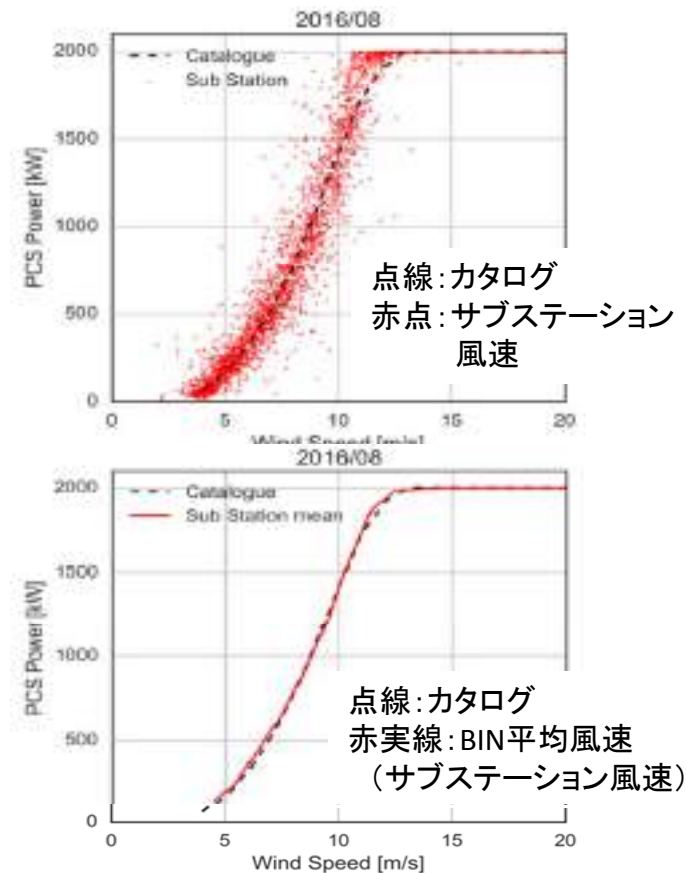
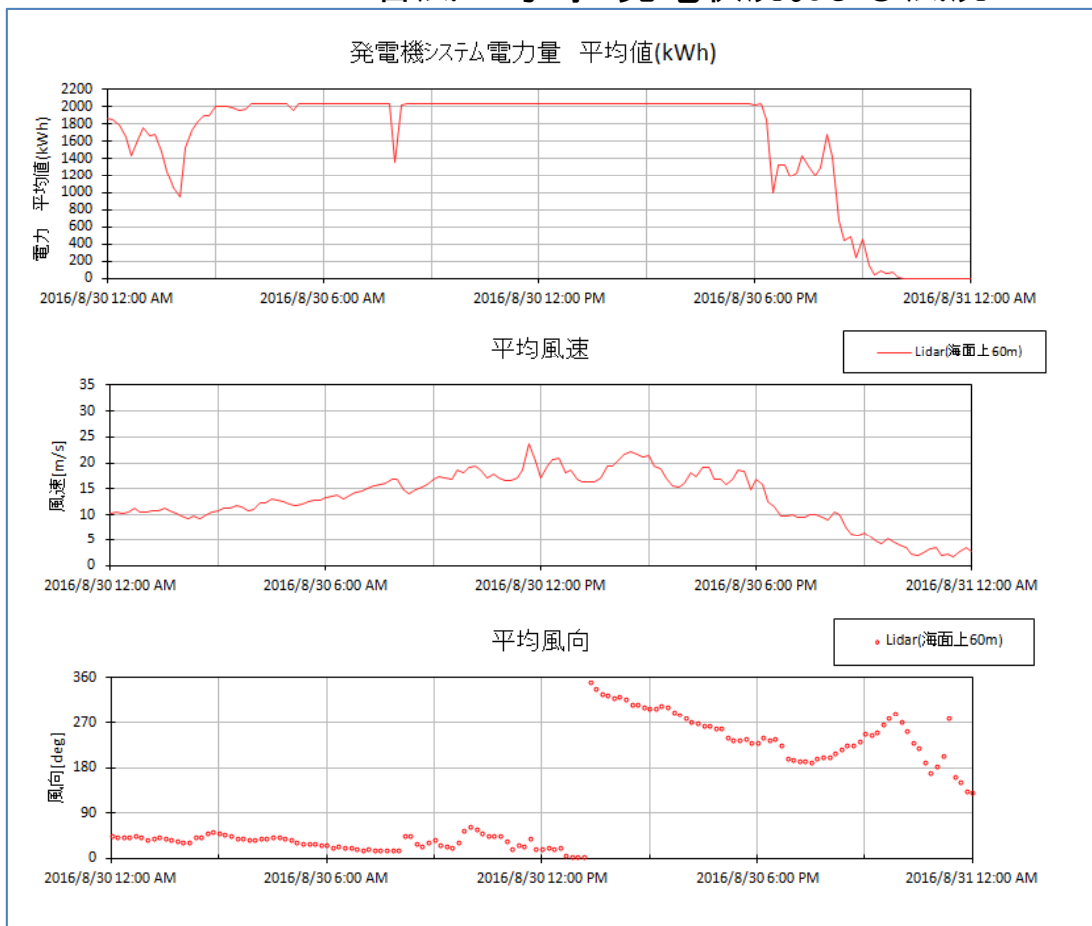
2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○風車挙動を明確に表している8月のデータを整理、分析した。

台風5号 8月8日、9日 稼働、台風7号 8月17日、稼働、台風9号 8月22日、停止、台風10号 8月30日、稼働

実証事業の成果

台風10号時 発電状況および風況



- 陸上と同じパワーカーブを得た。
- 浮体動揺、傾斜の影響はない。

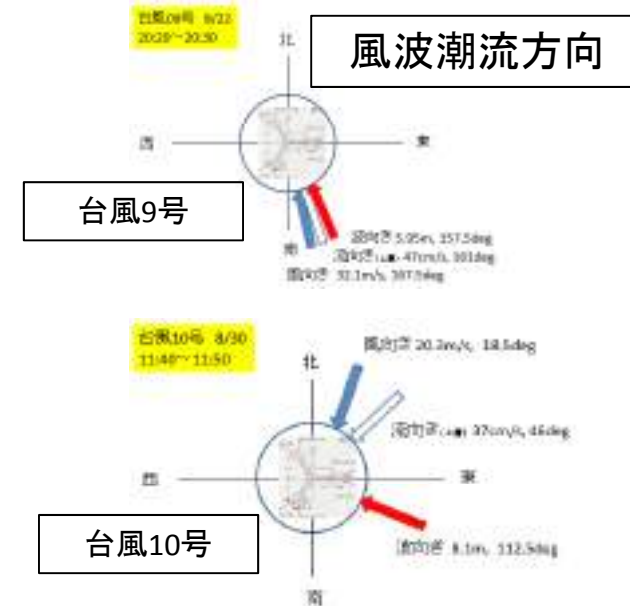
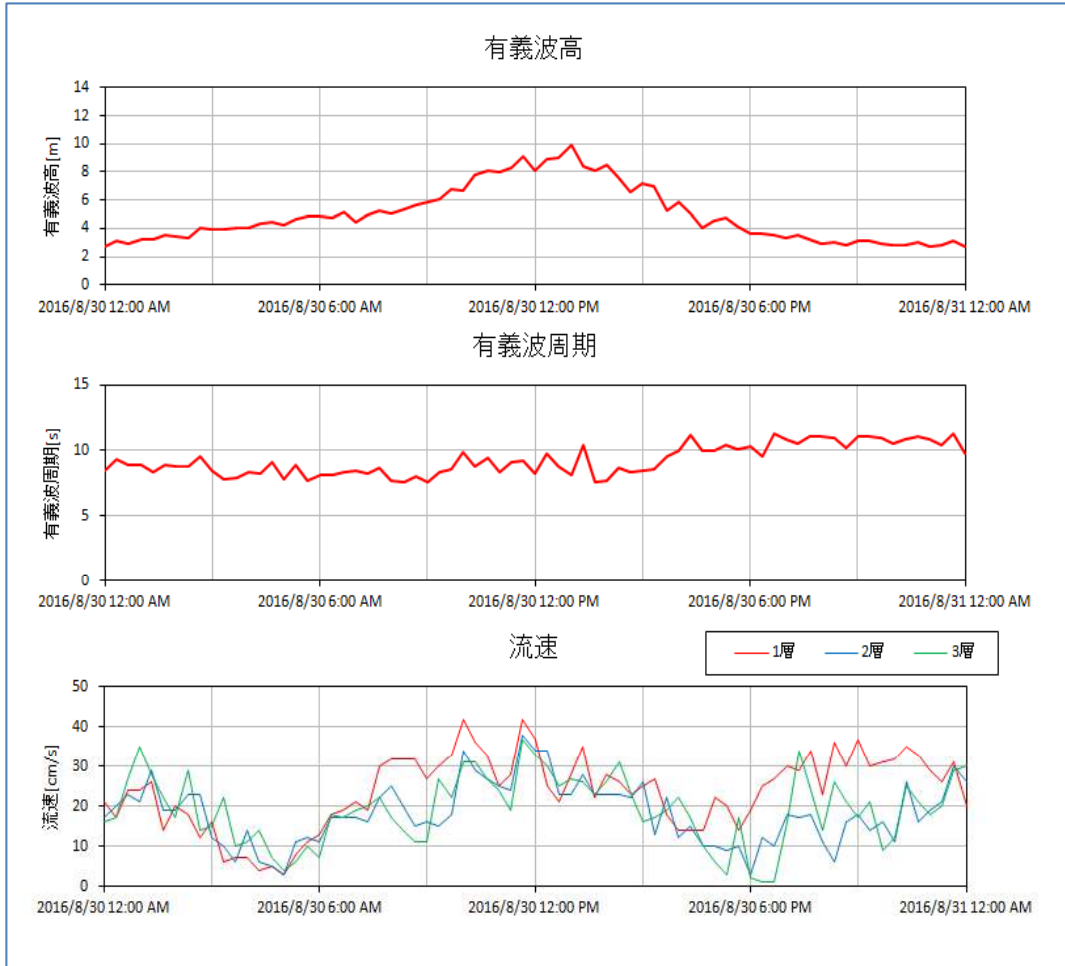
(1)設計の検証

2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

〇8月の台風時のデータを整理、分析。

実証事業の成果

台風10号時 海象状況



- 台風9号では波風潮流が同一方向。まれなデータが得られた。
- 台風10号はDLC1.6の限界に近い。
(稼働時高波高状態)
設計は稼働時50年再現波高Hs11.7m
台風10号はHs9.9m
(1年再現9.6mを越えている)
- 問題なく発電し、風車に異常なし。
- 設計の妥当性(発電時)を確認できた。

(1) 設計の検証

2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 設計の検証をするために実証試験データを収集する。
- 収集したデータを整理する。

現状認識と研究の目的

- これまで、収集した風車と浮体の挙動データと解析データを比較検証し、設計が安全側であることを検証した。
- 実際の安全率は大きかった。
- 原因は方向性の考慮にあると推定。

実施方法

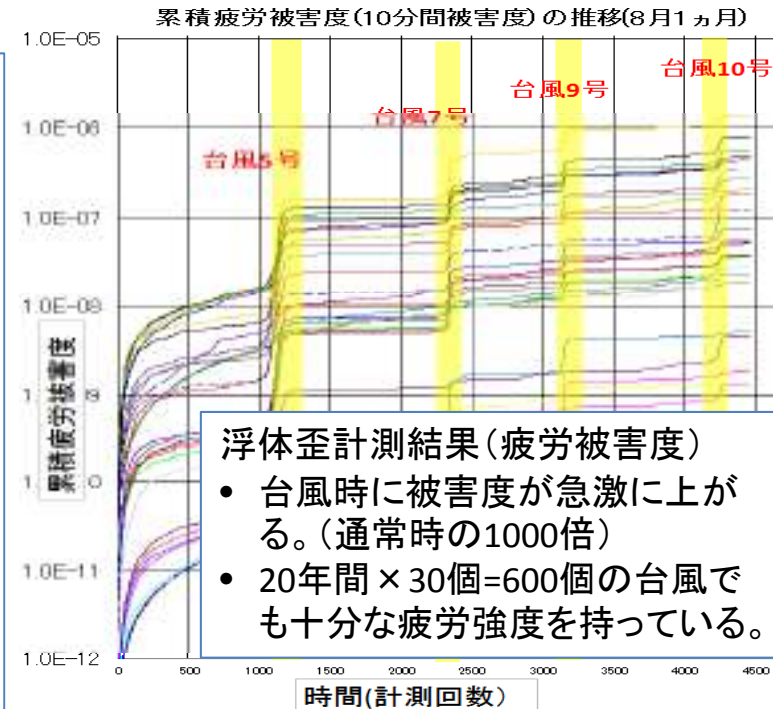
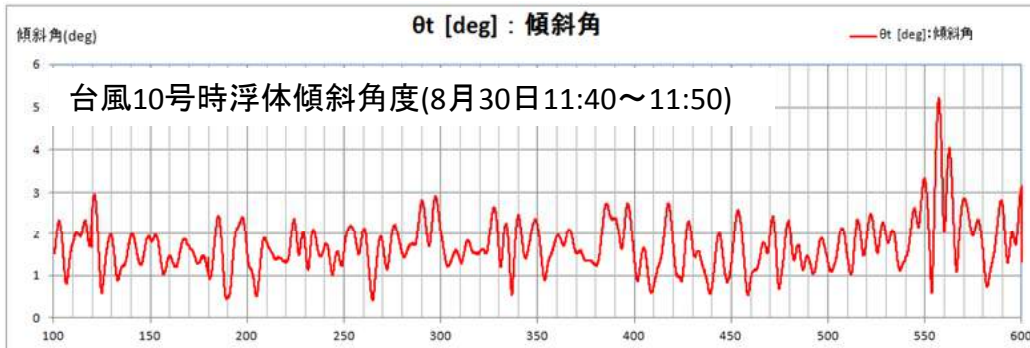
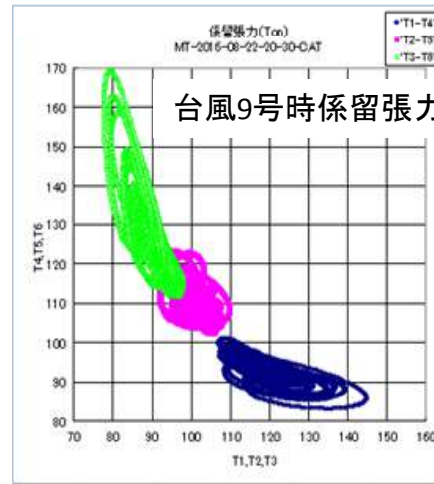
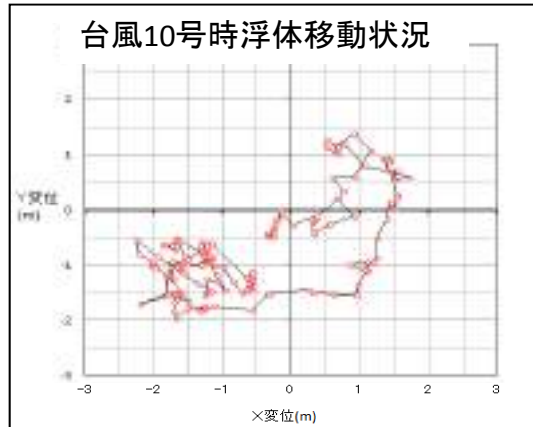
- 実証試験データをモニタリングシステムを通じて取得
- 気象海象データはサブステーションデータ
- データを次の観点から整理
 - 風車稼働状態
 - 風車停止状態
 - 比較的大きい波高時
 - 波風潮流の方向性

(1) 設計の検証

2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

〇8月の台風時のデータを中心に整理、分析した。(台風5号、7号、9号、10号)

実証事業の成果



浮体歪計測結果(疲労被害度)

- 台風時に被害度が急激に上がる。(通常時の1000倍)
- 20年間×30個=600個の台風でも十分な疲労強度を持っている。

- 台風9号では過去最大の係留張力
- 台風10はDLC1.6の限界に近い条件。風車稼働時の浮体挙動に問題なく、設計妥当性を確認
- 9月の点検で、風車、浮体に異常なし

(1) 設計の検証

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アドバンストスパー浮体

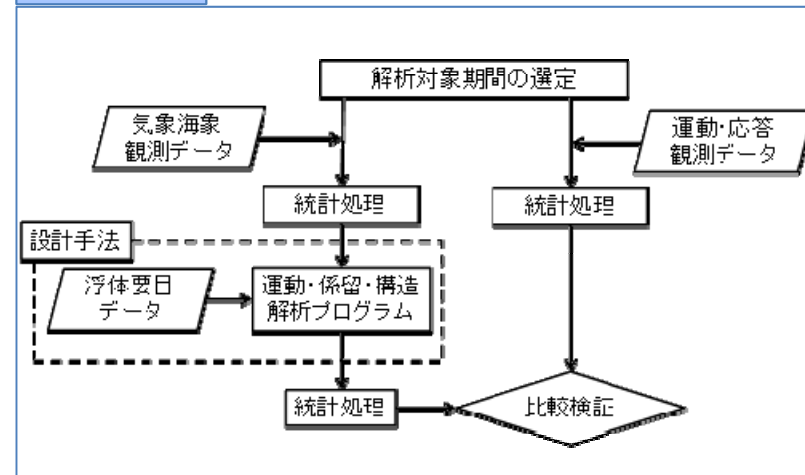


- 5MW風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンストスパー浮体の運動性能、係留張力、構造応力を明らかにするために実機の計測結果と計算結果の比較を行う。
- 計測結果と計算結果の差異を分析することにより、最終的には設計手法の妥当性と信頼性を立証する。

現状認識と研究の目的

5MW風車搭載及び浮体式洋上変電設備用のアドバンストスパー浮体の運動性能、係留張力、構造応力につき、継続的に計測データを取得し、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、アドバンストスパー浮体の信頼性を検証する。

実施方法



(1)設計の検証

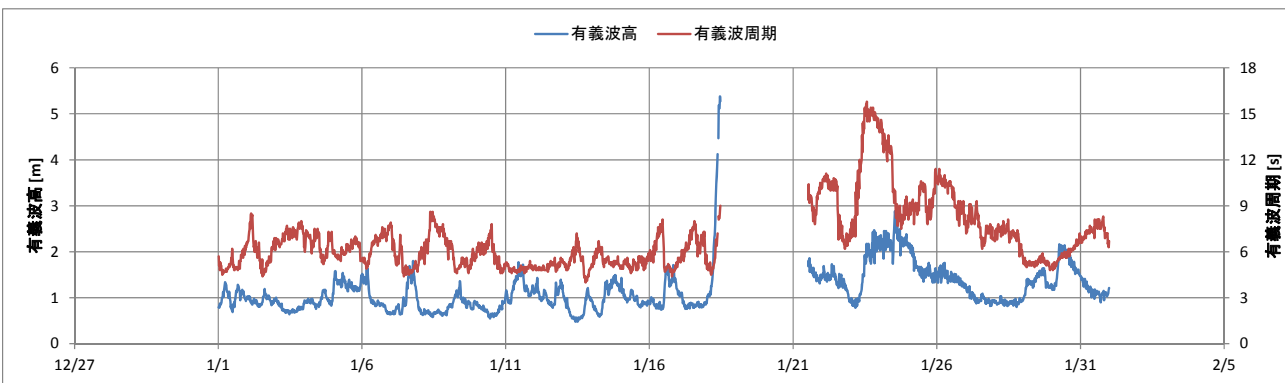
5MWダウンウィンド型風車搭載及び浮体式洋上変電設備用アドバンストスパー浮体



○SSの運動の計測値および再解析値を比較検証した結果、設計時想定以上の低動揺性能を有していることが改めて確認された。

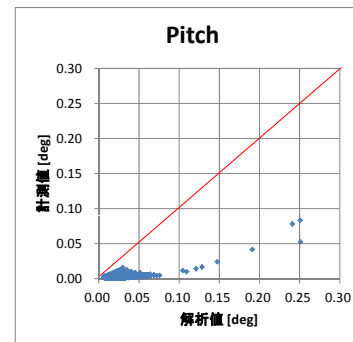
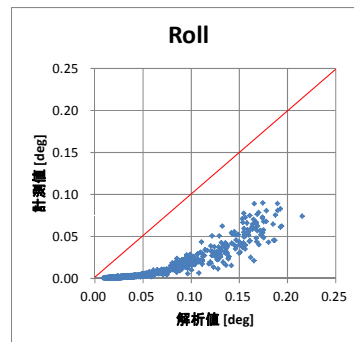
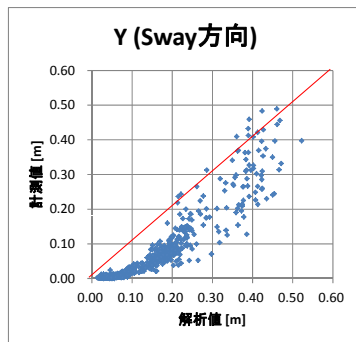
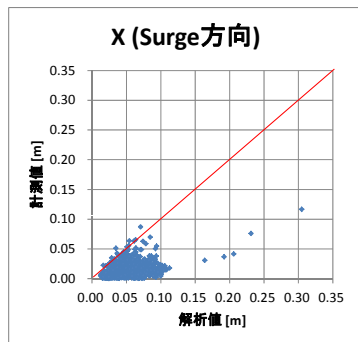
○歪みゲージによる計測データ解析結果より構造部材に関する疲労寿命を推定した。

実証事業の成果



解析対象期間の気象海象データ(統計値)

解析対象期間は、計測データの欠損が少なく、特徴的な海象状態を含む2016年1月1日0:00～1月31日24:00を選定。



浮体運動の計測値と解析値の関係性(SS)

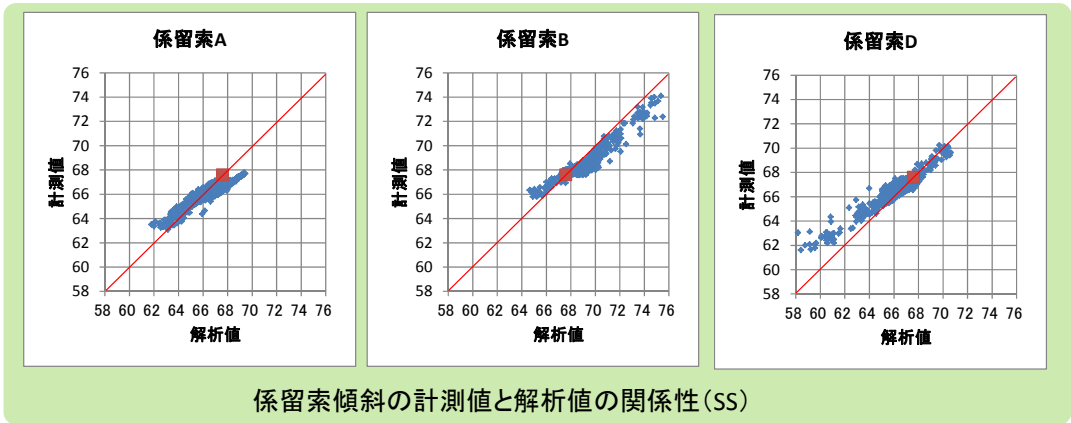
計測値と解析値の比較より、SS浮体では、粘性減衰力が設計時の評価よりも大きく現れ、その結果、想定以上の低動揺性能が得られたと考えられる。

(1)設計の検証

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アドバンストスパー浮体



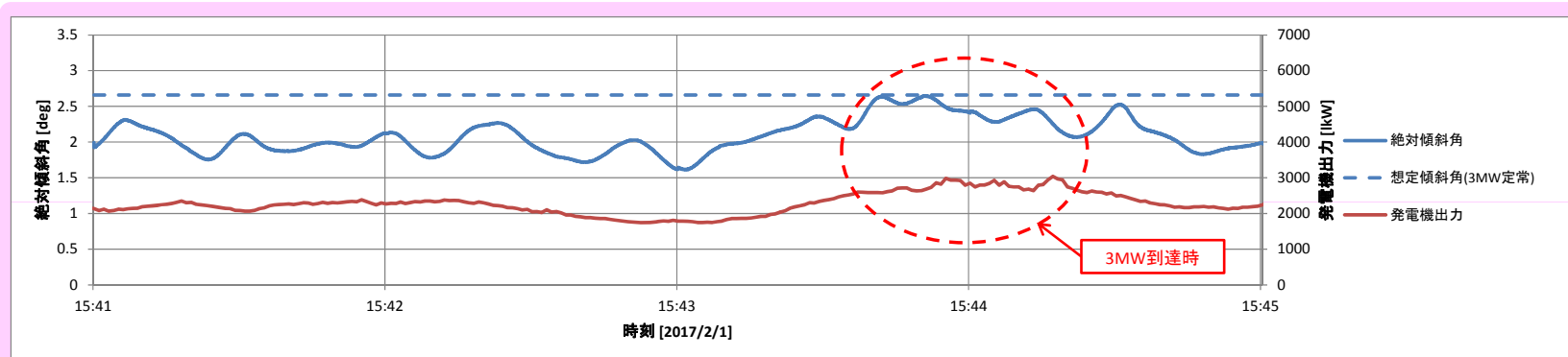
実証事業の成果



いずれの係留索についても、解析値と計測値が概ね一致している。(上図)
 推定された疲労寿命は全ての評価対象箇所に関して、想定される設置年数を大きく上回っており、十分な疲労強度を有していると言える。(右表)
 傾斜角の実測値が想定値とほぼ一致しており、このことから風車のスラスト荷重ならびに浮体の復原力が設計値と概ね一致していると言える。(下図)

推定疲労寿命 (SS)

評価対象箇所	推定疲労寿命(年)
B1	394
B2	189
C1	142
C2	85



浮体傾斜角の実測値と想定傾斜角の比較(3MW到達時)

(1)設計の検証

7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体



- V字型セミサブ浮体の設計仕様の妥当性を明らかにするために、本年度は洋上風車停止時／運転時のデータ(浮体動揺データ及び構造歪・係留に作用する応力データ等)を集積し、別途計測された気象・海象データ及び風車運転状況と合わせて、解析に適した期間等を選定する。また、解析・評価手法の確認を行い、特徴的な短期間の解析を試行して、解析・評価の準備を実施する。
- さらに、係留索角度計測用傾斜計の取付要領を検討し、係留索角度計側の準備を実施する。
- なお、係留に関連する諸検討／解析に於いては、コンソーシアム内での情報共有を行いながら遂行する。

現状認識と研究の目的

国から貸与されたV字型セミサブ浮体では、風車安定運転時のデータは採取できていない。
事業化には浮体の設計検証が必須であり、設計検証に必要なデータを総合的に集積して解析・評価を行う必要がある。

実施方法

浮体に搭載された計測システムの計測データ、風車の運転データ、別途計測された気象・海象データを集積し、解析に適した期間を選定すると共に解析・評価手法の確認を実施し特徴的な短期間の解析を試行する。

(1)設計の検証

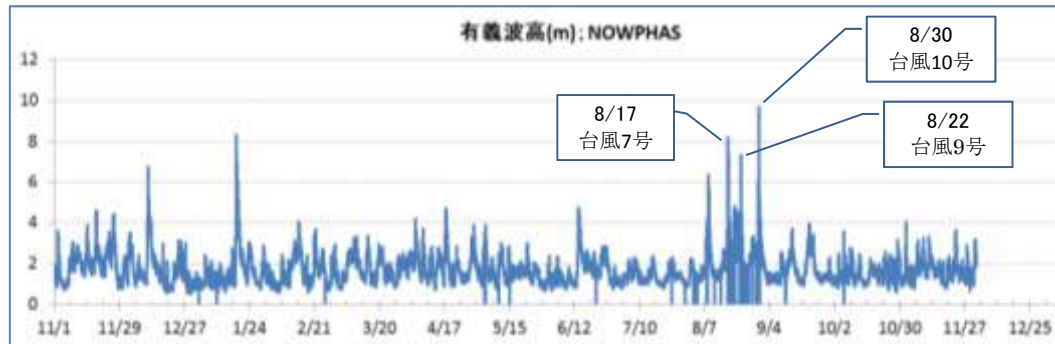
7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体



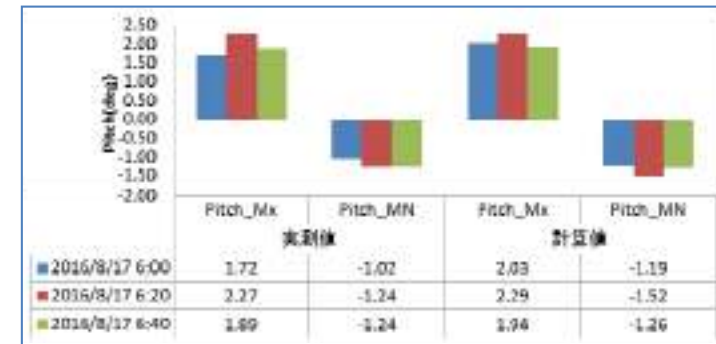
- 浮体動揺データ及び構造歪・係留に作用する応力データ等を集積した(継続中)。
- 平成28年中に計測された気象海象データの中から解析に適した期間を選定した。
- 試解析として、数ケースの比較計算を試行し、解析要領の確認と解析評価の準備を実施した。
- 係留索角度計測用傾斜計の取り付け要領を策定した。

実証事業の成果

○近傍観測点における海象データ(NOWPHAS福島沖観測点)



○浮体ピッチの実績と計算の比較(試解析)



○選定した解析に適した期間

日付	平均風速 (m/s)	風向 (方位)	有義波高 (m)	有義波周期 (s)	波方向 (方位)	流速 (cm/s)	流向 (方位)	備考
2016/8/17	14.2~23.8	ENE~WNW	6.0~6.7	10.4~10.9	ESE~SE	10~26	NE~ENE	台風7号
2016/8/22	24.0~33.3	SSE~S	6.0~7.3	9.3~10.3	SSE~S	44~71	SE~S	台風9号
2016/8/30	17.2~25.5	NE~WNW	6.1~9.9	7.6~10.4	SE~ESE	13~38	NE~NNE	台風10号

(1)設計の検証

7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体



- タワー基部の仕様の設計の妥当性検証については風車運転時データを採取し、設計値との比較検証を行なう。
- クレーン・非常用発電機の設備設計検証については風車運転データ・浮体へのアクセスデータをもとに、設備(クレーン・バックアップ発電機)設計仕様の検証を実施する。

現状認識と研究の目的

タワー基部の仕様の設計の妥当性検証

国から貸与された7MWの浮体風車は、中間負荷を含めた十分な風車運転時データは採取できていない。浮体風車を運用していく上でその設備設計仕様を検証し、事業化に向けた一層効果的な設計仕様を求める。

設備設計検証(クレーン・非常用発電機等)

浮体風車を運用していく上でその設備設計仕様を検証し、事業化に向けた一層効果的な設計仕様を求める。

実施方法

タワー基部の仕様の設計の妥当性検証

風車運転時データ(タワー基部曲げモーメントなど)と設計時の連成荷重解析値と比較検証を実施する。その結果を用い、タワー基部モーメント荷重設計妥当性の評価を行なう。

設備設計検証(クレーン・非常用発電機等)

- メンテナンス時間(費用)の短縮を目指し、浮体への荷揚げ・荷下ろし作業を分析。
- 使用するクレーン、ウインチ等の使用条件・使用方法を設定し、無駄のない効率的な運用要領を作成する。

(1)設計の検証

7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

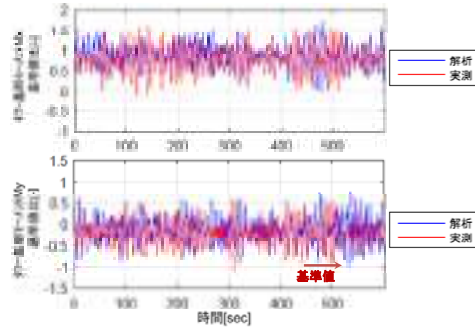


○7MW油圧式風車の実測データを取得評価し、疲労荷重と最大荷重共に解析が実測を上回ることから、設計が安全側の評価であり、本風車の仕様(タワー基部)が妥当であることを確認した。

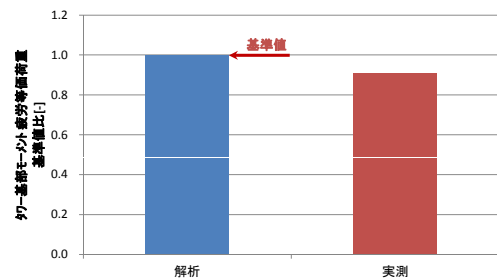
実証事業の成果

タワー基部荷重の実測値と解析値の比較

疲労荷重(運転時データ)

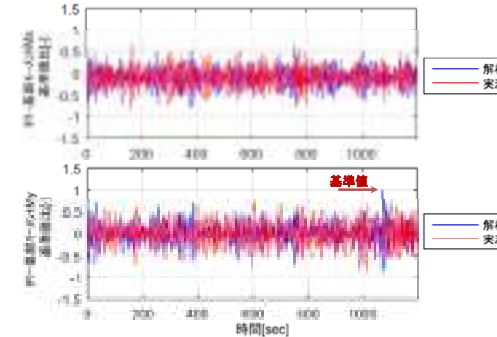


時刻歴波形の一例
(2016年5月31日、平均風速11.6m/s)

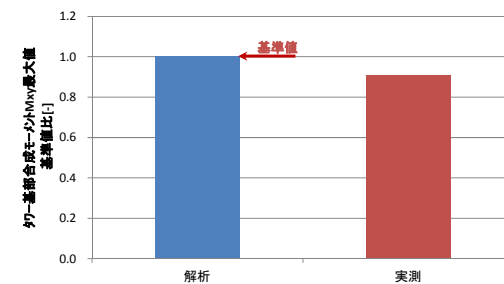


疲労等価荷重
(2016年1月1日～12月31日の期間の風車運転時)

最大荷重(波高最大時データ)



時刻歴波形の一例
(2016年8月30日、台風10号通過に伴う波高最大時)



最大荷重
(2016年8月30日、台風10号通過に伴う波高最大時)

(1)設計の検証

7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

○7MW油圧式風車の設備設計(保守用クレーン・バックアップ発電機)の使用実績を今後の事業化時の新製浮体・風車の設備設計時に反映できるよう検証した。

実証事業の成果

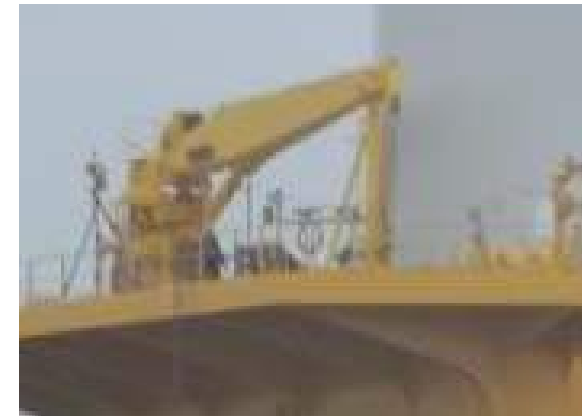
1. 設備設計仕様の妥当性確認

(1)保守用クレーン

- 巻上揚程:27m
- 定格荷重－作業半径:20T－4.5～7m、10T－4.5～11.95m
- 使用実績、頻度(5月19日～20日及び6月26日～29日などの点検時)定期点検(毎月)時の器材搬出入で使用
予防保全工事での資機材搬出入で使用

(2)バックアップ発電機

- 使用目的:系統停電時のヨ一制御、各種状態監視、航空障害灯用電源供給
 - 仕様:設計必要補機容量=100kVA、6000リットル(10日間分)の燃料タンク
 - 運用実績:
 - 4月4日～4月6日...燃料消費 150L/日、燃料タンク満載時 20日以上
 - 6月14日...系統停電・復電時に系統・バックアップ電源自動切替確認
 - 2月24日～27日...系統停電・復電時に系統・バックアップ電源自動切替確認
- 系統停電時の最低限の電源であることを考慮すればバックアップ発電機容量は問題無いことを確認した。



(1)設計の検証 送電システム

- 設計の妥当性を明らかにするためにライザーケーブル解析及び挙動計測、形状調査を行う。
- ケーブル形状及び挙動を分析することにより設計の妥当性確認と疲労寿命の初期検討を行う。

現状認識と研究の目的

◆ 課題

最適設計手法が確立されていない。海洋生成物の影響や設計段階における浮体動揺データ及び海象統計データによる疲労設計の最適化。

◆ 目的

設計妥当性確認と最適設計手法確立のための初期検討(最終的に寿命推定)

実施方法

- ◆ 7MW浮体の動揺データ(MHI殿より受領したデータから短時間データを抜粋)をライザーケーブル上端の運動データとしてケーブル挙動及び選定した短期間における疲労解析を行う。また福島沖統計データによる疲労解析を行う。
- ◆ 5MW浮体ライザーケーブルに内蔵した挙動センサの計測を行う。

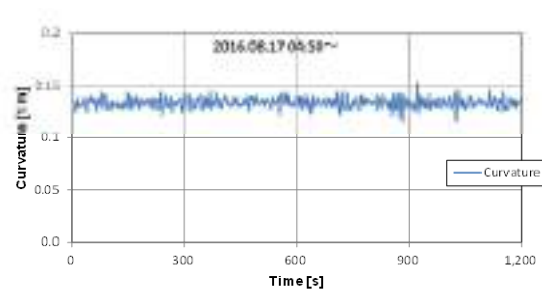
(1)設計の検証 送電システム

- 台風通過時の7MW浮体の運動データにてライザーケーブルの挙動・疲労解析を実施した結果、ケーブル機能上問題ないことを確認した。
- 5MWライザーケーブルに内蔵した挙動計測センサにて連続データ計測を開始し、静穏ケースデータと荒天ケースデータを取得した。

実証事業の成果

(1)7MWライザー挙動解析

- 台風7号通過時の7MW浮体の6自由度運動データ(8/17 3:50~6:50の3時間)によるライザーケーブル挙動を解析した結果、最大張力は約60kN、最大曲率は 0.153m^{-1} (曲げ半径6.54m)程度でケーブル機能上問題のない結果が得られた。
- 3時間挙動履歴における疲労解析を実施した結果、ライザー上端から約2.5m下の位置で疲労損傷度が最大となり、その損傷度は $6.25\text{E-}05$ (3時間あたり)となった。この状態が続いた場合の疲労寿命は5.5年(参考値)である。

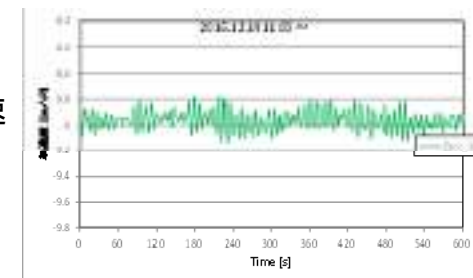


ライザーBS下端曲率の時刻歴解析データ

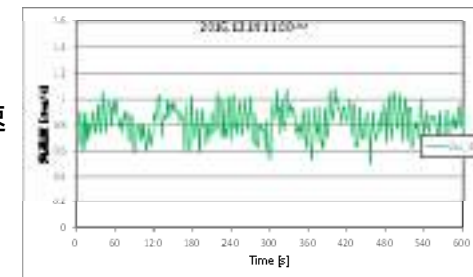
(2)5MWライザー挙動計測

- ケーブル内蔵センサ(3軸加速度&角速度センサ×6個)による挙動計測システムを構築し、連続データ計測により、静穏ケースデータと荒天ケースデータを取得した。センサが正常に機能していることが確認できた。

荒天時Z軸加速度データ例(BS下端)



荒天時Z軸角速度データ例(BS下端)



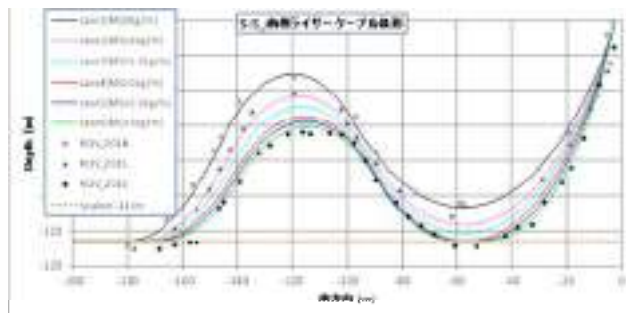
(1) 設計の検証 送電システム

- 既設ライザーケーブルの経年調査にてS/Sに接続されている南北ライザーケーブルが着底していることが確認され、Marine Growth重量増推定とケーブル挙動影響を確認した結果、現段階ではクリティカルな状態には至っていないことを確認した。
- Marine Growthを考慮したブイ浮力設計について検討した結果、経年3年程度のMarine Growth重量増までが設計限界であることが確認出来た。

実証事業の成果

(3) 既設ライザーケーブル調査

- ROVによるライザーケーブル形状調査結果とMarine Growth重量増をパラメータとした形状解析を比較し、MG重量増を推定した。
(現状で2kg/m～2.5kg/mの重量増)
- 浮力裕度は、欧州実績の2倍で設計したが、遙かに超える付着量があり、サブステ南北と東西で付着に差異が見られるなど複雑な付着現象であることが確認できた。



南北
(フジツボ)



東西
(フワフワ系)



ライザーケーブルの形状解析結果

- MG重量増による着底状態でのケーブル挙動への影響について、50年再現期待値条件にて動的挙動解析した結果、現時点では着底部近傍のケーブル曲率や軸圧縮発生有無とも機能上問題ないレベルであることが分かった。

- 経年MG重量増(線形最大として)を考慮したブイ浮力設計については、3年程度が設計限界となることを確認した。20年稼働に対応するためには追加浮力対応のみでは対応できないことからMG除去が必要になる。
- 今後、本現象については維持管理手法にて対応することとした。

(2) 維持管理手法の評価

2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○2MW風車浮体の維持管理を実施し、維持管理データを蓄積する。

現状認識と研究の目的

これまでに半年点検、1年点検を行い維持管理の実績を蓄積した。さらに実績を蓄積し、長期的稼働可能な維持管理、コストの低減を図る必要がある。

実施方法

- 風車の点検を2回行う。
- 消耗品の交換などメンテナンスを行う。
- 過去の点検データも含めて、維持管理データを整理、分析する。
- 落雷計測は継続する。

(2) 維持管理手法の評価

2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

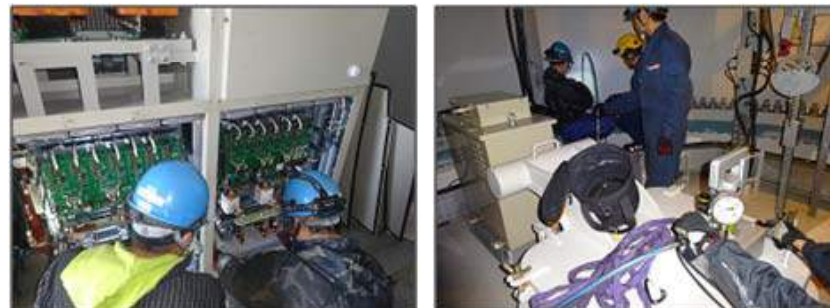
- 2016年9月16日：昇降機点検実施
- 2016年9月27日～29日：3年目半年点検実施
- 2016年2月13日～16日：3年目一年点検実施

実証事業の成果

点検の結果、異常はなかった。報告書を作成した。



3年目半年点検状況



3年目一年点検状況

風車点検実施状況

履歴参照用FORMAT

項目	点検内容	平成26年度			平成27年度			平成28年度		
		1000時間点検	半年点検	9ヶ月点検	1年点検	2年目 3ヶ月点検	2年目 半年点検	2年目 9ヶ月点検	2年目 1年点検	3年目 半年点検
1	ブレードの点検	2/11～2/20	7/1～7/3	10/8～10/10	2/24～2/26,3/3	6/23～6/24	9/15～9/16	12/8～12/9	2/23～2/26	9/27～9/30
1-1	ブレードチップのレセター点検(3項目含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1-2	ブレードの内部点検(2項目含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1-3	ブレードの外観点検(2項目含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
1-4	ボルトの軸力確認	■								
1-5	ブレードの導電試験									
2	ハブスピナカハの点検									
2-1	ハブハウジング外観点検	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2-2	ピッチ関連部品の外観点検(3項目を含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2-3	ピッチ関連部品の締結(3項目含む)				■				■	
2-4	ピッチ関連部品の交換									
2-5	スピナカハ外観点検	■					■		■	
2-6	スピナカハのボルト締結確認	■			■				■	
2-7	ハブ取付部品のボルト締結確認(2項目含む)	■				■			■	
2-8	ピッチ周辺機器の締結ボルトの軸力確認(2項目を含む)	■								■
2-9	ピッチ・ピッチ関連部品の動作確認(7項目含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2-10	ハブケーブルの外観点検	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2-11	ハブ内電気品の点検(2項目含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2-12	清掃	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3	主軸及び主軸軸受ハウジングの点検									
3-1	主軸関連部品の外観点検(2項目含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3-2	主軸関連部品のボルト締結確認(2項目含む)	■			■				■	
3-3	主軸関連部品のボルトの軸力確認(2項目含む)	■			■				■	
3-4	主軸関連部品の点検(4項目含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3-5	主軸ベアリング・ロックディスクのグリス給脂	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3-6	主軸グリス廻りの清掃	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4	増速機の点検									
4-1	増速機の外観点検	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4-2	増速機のボルトの締結確認(触診)	■			■				■	
4-3	増速機のボルトの軸力確認	■								■
4-4	増速機潤滑油の点検	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4-5	増速機潤滑油の交換(歯面・軸受点検)									
4-6	増速機関連部品の点検・交換(4項目を含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5	高速軸プレーキ・カップリングの点検									
5-1	高速軸プレーキの外観点検	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5-2	高速軸プレーキ関連部品の点検(3項目を含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5-3	高速軸カップリングの外観点検(2項目含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5-4	高速軸カップリングの点検	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5-5	高速軸関連部品のボルトの点検(触診)(2項目含む)	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	発電機の点検	■	■	■	■	■	■	■	■	■

- 計画通り定期点検を実施し、報告書を作成した。点検の結果、消耗品以外に特に異常はなく、今後も順調に発電を継続する目途がついた。
- 履歴を参照できるFORMATを作成し、履歴が追えるようになった。

(2) 維持管理手法の評価 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○長期的稼働の際の点検内容をまとめ、O&Mのコストダウンを検討した。

実証事業の成果

点検効率化項目案

項目	点検内容	点検頻度	点検時間	削減率	削減後の点検時間	削減後の点検頻度	削減後の点検内容
1. 点検項目	1.1 点検項目の整理	●	10	10%	9	●	点検項目の整理
2. 点検方法	2.1 カメラ・センサー・ドローンによる点検	●	10	10%	9	●	点検方法の変更
3. 点検時期	3.1 月例巡視に移行可能な項目	●	10	10%	9	●	点検時期の変更
4. 点検人員	4.1 点検作業の効率化	●	10	10%	9	●	点検人員の削減
5. 点検器具	5.1 点検器具の効率化	●	10	10%	9	●	点検器具の変更
6. 点検記録	6.1 点検記録の効率化	●	10	10%	9	●	点検記録の変更
7. 点検費用	7.1 点検費用の削減	●	10	10%	9	●	点検費用の削減
8. 点検安全	8.1 点検安全の確保	●	10	10%	9	●	点検安全の確保
9. 点検教育	9.1 点検教育の実施	●	10	10%	9	●	点検教育の実施
10. 点検評価	10.1 点検評価の実施	●	10	10%	9	●	点検評価の実施
11. 点検改善	11.1 点検改善の実施	●	10	10%	9	●	点検改善の実施
12. 点検報告	12.1 点検報告の実施	●	10	10%	9	●	点検報告の実施
13. 点検計画	13.1 点検計画の実施	●	10	10%	9	●	点検計画の実施
14. 点検実施	14.1 点検実施の実施	●	10	10%	9	●	点検実施の実施
15. 点検完了	15.1 点検完了の実施	●	10	10%	9	●	点検完了の実施
16. 点検終了	16.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
17. 点検再開	17.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
18. 点検終了	18.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
19. 点検再開	19.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
20. 点検終了	20.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
21. 点検再開	21.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
22. 点検終了	22.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
23. 点検再開	23.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
24. 点検終了	24.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
25. 点検再開	25.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
26. 点検終了	26.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
27. 点検再開	27.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
28. 点検終了	28.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
29. 点検再開	29.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
30. 点検終了	30.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
31. 点検再開	31.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
32. 点検終了	32.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
33. 点検再開	33.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
34. 点検終了	34.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
35. 点検再開	35.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
36. 点検終了	36.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
37. 点検再開	37.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
38. 点検終了	38.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
39. 点検再開	39.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
40. 点検終了	40.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
41. 点検再開	41.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
42. 点検終了	42.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
43. 点検再開	43.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
44. 点検終了	44.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
45. 点検再開	45.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
46. 点検終了	46.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
47. 点検再開	47.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
48. 点検終了	48.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
49. 点検再開	49.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
50. 点検終了	50.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
51. 点検再開	51.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
52. 点検終了	52.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
53. 点検再開	53.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
54. 点検終了	54.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
55. 点検再開	55.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
56. 点検終了	56.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
57. 点検再開	57.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
58. 点検終了	58.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
59. 点検再開	59.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
60. 点検終了	60.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
61. 点検再開	61.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
62. 点検終了	62.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
63. 点検再開	63.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
64. 点検終了	64.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
65. 点検再開	65.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
66. 点検終了	66.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
67. 点検再開	67.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
68. 点検終了	68.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
69. 点検再開	69.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
70. 点検終了	70.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
71. 点検再開	71.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
72. 点検終了	72.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
73. 点検再開	73.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
74. 点検終了	74.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
75. 点検再開	75.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
76. 点検終了	76.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
77. 点検再開	77.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
78. 点検終了	78.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
79. 点検再開	79.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
80. 点検終了	80.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
81. 点検再開	81.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
82. 点検終了	82.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
83. 点検再開	83.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
84. 点検終了	84.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
85. 点検再開	85.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
86. 点検終了	86.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
87. 点検再開	87.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
88. 点検終了	88.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
89. 点検再開	89.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
90. 点検終了	90.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
91. 点検再開	91.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
92. 点検終了	92.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
93. 点検再開	93.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
94. 点検終了	94.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
95. 点検再開	95.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
96. 点検終了	96.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
97. 点検再開	97.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
98. 点検終了	98.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施
99. 点検再開	99.1 点検再開の実施	●	10	10%	9	●	点検再開の実施
100. 点検終了	100.1 点検終了の実施	●	10	10%	9	●	点検終了の実施

- 風車メンテ項目について点検効率化を検討した。
- カメラ・センサー・ドローンを使用して事前準備ができる:7項目
- 点検周期を移動できる:6項目
- カメラ・センサー・ドローンを使用して点検を省略できる:1項目
- 月例巡視に移行できると考える項目:28項目
- 点検と同様に定期交換部品も月例巡視点検に分散させることで定期点検の時数を削減できる可能性が示唆された。

(2) 維持管理手法の評価

2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

○2MW浮体の維持管理を実施し、維持管理データを蓄積する。

現状認識と研究の目的

これまでに半年点検、1年点検を行い維持管理の実績を蓄積した。さらに実績を蓄積し、長期的稼働可能な維持管理、コストの低減を図る必要がある。

実施方法

- 浮体の点検を1回行う。(3年点検)
点検内容はNKと協議
- メンテナンスを実施(タッチアップ塗装など)
- 過去の点検データも含めて、維持管理データを整理、分析する。

(2) 維持管理手法の評価

2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 3年点検内容をNKと協議し、コメントを反映、合意に至った。
- 具体的な点検はO&Mの合理化、コスト削減のため次年度に他浮体と合わせて実施予定。
- 浮体年次点検を実施した。
- 過去の点検結果を整理し、点検経緯を把握できるFORMATを検討した。

実証事業の成果

点検結果経緯FORMAT

点検項目	点検方法	H26		H27		H28
		前期 7/14-7/18	後期 8/22-8/24	前期 8/24-9/25	後期 9/19-9/21	中間検査 11/14-11/16
設備メンテナンス	No1 バラストポンプ	動作	■	■	■	■
	No1 ビルダポンプ	動作	■	■	■	■
	給油	給油	■	■	■	■
	No2 バラストポンプ	動作	■	■	■	■
	No2 ビルダポンプ	動作	■	■	■	■
	給油	給油	■	■	■	■
	No3 バラストポンプ	動作	■	■	■	■
	No3 ビルダポンプ	動作	■	■	■	■
	給油	給油	■	■	■	■
	金ぶらコブサ	動作	■	■	■	■
	電圧検知	動作	■	■	■	■
	No1 カラムファン	動作	■	■	■	■
	No2 カラムファン	動作	■	■	■	■
	No3 カラムファン	動作	■	■	■	■
	足圧コンテナファン	動作	■	■	■	■
センターボイラファン	動作	■	■	■	■	
自然環境記録	風速計	計測	■	■	■	■
	傾斜計	計測	■	■	■	■
	水深計	計測	■	■	■	■
	温度計	計測	■	■	■	■
浮体部	タワー基部(基部)	目視	■	■	■	■
	タワー基部(上)	目視	■	■	■	■
	センターカラム(電気室)	目視	■	■	■	■
	センターカラム(1000)	目視	■	■	■	■
	ナットボーム(1000)	目視	■	■	■	■
パワースタシステム	パワースタ制御システム	動作	■	■	■	■
	電動機ドライブ	動作	■	■	■	■
検査状態確認	駆動機器	動作	■	■	■	■
	電気配線	動作	■	■	■	■
	潤滑	動作	■	■	■	■
	ローラーバリエーター	動作	■	■	■	■
ブーム	駆動装置、給油装置、油圧室	検査実施	■	■	■	■
	駆動機構、圧入バリエーター	動作	■	■	■	■
	電圧計とセンサー	動作	■	■	■	■
ブーム	吊り、調査	検査実施	■	■	■	■

- 点検結果FORMATからそれぞれの項目の点検履歴が確認できるようになった。
- 定期点検についてNK協議を実施し、浮体メーカー各社との共有を図ることで、浮体点検のコストダウンの目途がついた。

(2) 維持管理手法の評価

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アドバンストスパー浮体



- 5MW風車搭載及び浮体式洋上変電設備用アドバンストスパー型浮体の維持管理手法の妥当性を確認するために浮体の現状調査により仕様の検証を行う。
- 最終的には維持管理マニュアルを作成する。

現状認識と研究の目的

塗装、電気防食その他耐久性及び安全関係の艀装仕様について検証し、必要に応じて保守・追加・修理を行う。浮体内外部の状態の陸上からの監視及びバラスト等の制御設備の検証と必要な点検を行い、必要に応じて機能を追加する。更に風車用及び浮体式洋上変電設備用アドバンストスパー浮体の維持管理マニュアルを作成する。

実施方法

- NK規則に従い作成した検査計画書・検査要領書に基づく点検
- 上記に含まれない機器、設備の状態の目視確認と陸上からの遠隔確認
- 点検結果に基づき、要すれば機能追加(ソフトウェア改修など)、修理の実施



- 以上の結果を反映した維持管理マニュアルの作成

(2) 維持管理手法の評価

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アドバンストスパー浮体

- NKによる年次検査を受検したが、サブステーションの仕様に問題は認められなかった。
- 5MW風車浮体のメンテナンスマニュアルを作成した。
- 次回NK検査は中間検査(または定期検査)となるため、浮体3社での計画の摺合せを行う。

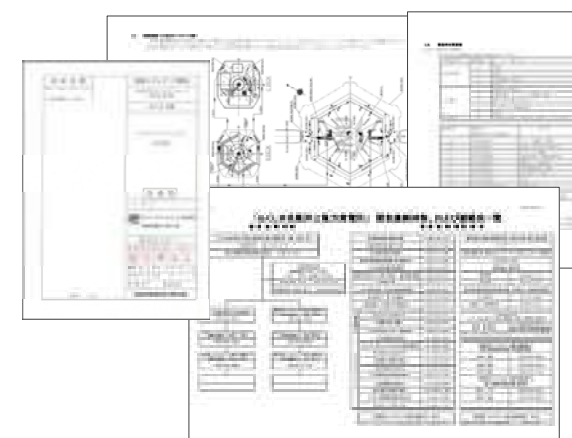
実証事業の成果

区分	検査対象	区分	位置	検査方法	検査年度	検査結果	特記事項
(1) 構造部材	1 橋脚壁下方、桁梁及び上甲板	008 ハル	橋脚	目視	#	良好	
	2 1000ハル 橋脚	008 ハル	橋脚	目視	A	良好	
	3 アバウトコラム橋脚	アバウト	橋脚	目視	A	良好	
	4 甲板橋脚	11000ハル	甲板	目視	良好	良好	
	5 11000ハル	11000ハル	甲板	目視	良好	良好	
	6 21000ハル	21000ハル	甲板	目視	良好	良好	
	7 31000ハル	31000ハル	甲板	目視	良好	良好	
	8 41000ハル	41000ハル	甲板	目視	良好	良好	
	9 51000ハル	51000ハル	甲板	目視	良好	良好	
	10 61000ハル	61000ハル	甲板	目視	良好	良好	
	11 71000ハル	71000ハル	甲板	目視	良好	良好	
	12 81000ハル	81000ハル	甲板	目視	良好	良好	

保守点検記録(一部)



5MW浮体 台風被害補修後の階段踊り場



浮体式洋上変電設備用のアドバンストスパー浮体

構造部材: 健全な状態が維持されていることを確認。
 艀装品: 健全な状態が維持されていることを確認。
 塗装状態: 健全な状態が維持されていることを確認。

5MWダウンウィンド型風車搭載用のアドバンストスパー浮体

本年度の点検作業の結果、台風による被害を除いて、いずれの艀装品も設置時の状態を維持していたことから、現時点では上記の艀装仕様を変更する必要性は認められない。

洋上変電所「ふくしま絆」の維持管理の実績を参考に、5MWダウンウィンド型風車搭載用のアドバンストスパー浮体のメンテナンスマニュアルを作成した。

(2) 維持管理手法の評価 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

○維持管理マニュアルを作成する為の基礎データを取得する。本年度は発電所の運用者による通常の保守点検の状況を基に、年2回の浮体海面上部目視点検を実施する。実施時期は発電所運用者と協議し決定する。また先に策定されたメンテナンスマニュアル(浮体施設部)を実際に運用し、その実績を踏まえて、事業化に向けての完成度向上を図る。

現状認識と研究の目的

国から貸与されたV字型セミサブ浮体の維持管理に関して、将来の実用化に資する知見は未だ得られていない。H28年度の実証研究を通して、浮体施設部の信頼性を検証し、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

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)を実際に運用する。その保守点検レポートを入手し、その情報を分析すると共に、年2回の浮体海面上部目視点検を実施する。実施時期は発電所運用者と協議し決定する。

(2) 維持管理手法の評価

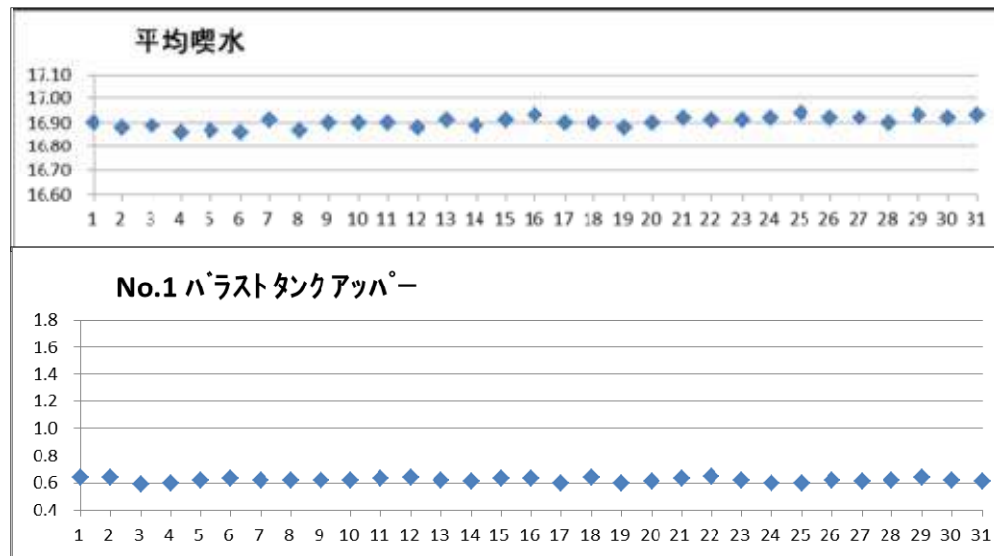
7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 檣葉事務所にてメンテナンスマニュアル(浮体施設部)に従った日々の保守点検レポート作成を実施してもらい、整理・分析を行った。タンクの健全性や、喫水が維持されていることが確認でき、運用者によるメンテナンスマニュアルの実践が有効であることを実証した(保守点検記録は継続)。
- メンテナンスマニュアル(浮体施設部)に従った浮体海面上部目視点検を実施し、維持管理の手法として妥当であることを確認した。

実証事業の成果

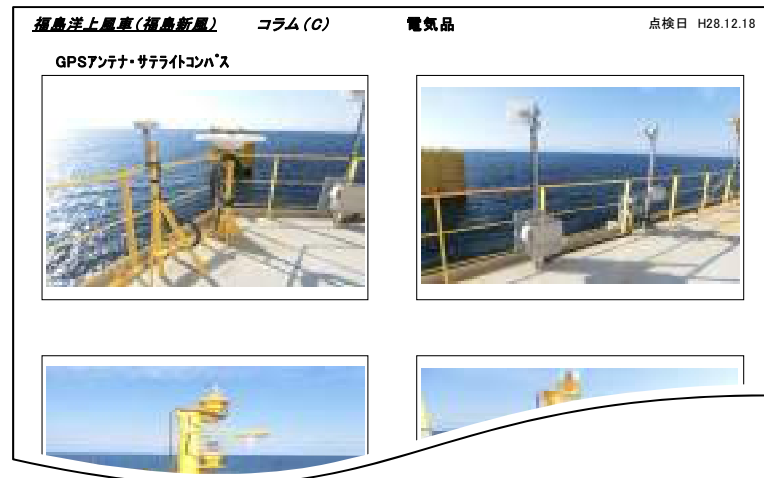
- 大型浮体の沖合での定点係留の例はあまりなく、浮体の健全性を確認する指標として喫水とバラスタンクレベルを日々記録した。日毎の変動だけでなく、月間/年間の傾向を俯瞰することで、正常時の変動幅を把握し変動量異常判断のクライテリア策定の参考とする。

毎日の保守点検記録の一例(5月)



- 定期点検は2回実施
 1回目は12月18日に(8月に実施の予定であったが台風等諸般の事情により実施が遅れた)、2回目は3月25日～26日に実施した。
 NKガイドラインに基づき作成した「メンテナンスマニュアル」を使って目視点検を実施した。

定期点検記録の一例(12月)



(2) 維持管理手法の評価 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 維持管理に重要な浮体へのアクセス設備を検証し、安全性向上を目指した改善等を実施する。
- この検証／改良によって、アクセス回数の増加による安全性の向上を実証し評価する。
- 実証試験用計測システムのメンテナンスを実施する。

現状認識と研究の目的

国から貸与されたV字型セミサブ浮体の保守点検を安全に実施する為には更なるアクセス設備の安全性向上が必要となっている。
保守点検等でのアクセスの確保は、事業化に於いて最も重要な項目の一つであり、安全性の向上とその評価が必要である。

実施方法

浮体へのアクセス経験者からアクセス設備に関する意見を聴取し、それらの意見を基にアクセス設備の改善計画を立案する。
この改善計画により、アクセス設備の改善を実施する。
改善前と改善後の浮体へのアクセスの難易度を評価する。

(2) 維持管理手法の評価

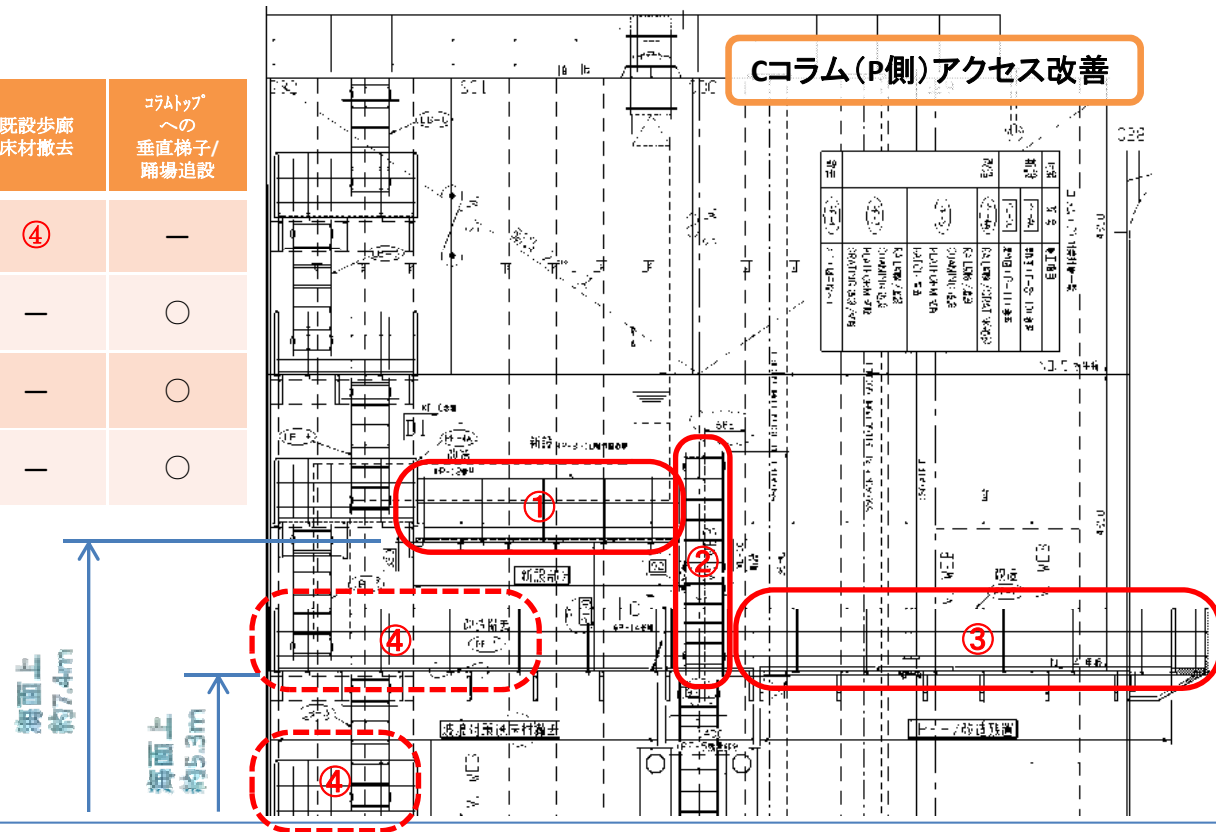
7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 風車調整工事作業、定期点検作業の意見として、本浮体特有の波浪干渉等による影響を考慮したアクセス改善案が示された為、それらに従った改善計画を立案し、設備の改善を実施した。
- アクセスの難易度は海象に依存するが、設備の健全性担保による安全性の向上が確認された。
- 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

○ アクセス設備の安全性改善

場所	歩廊新設 (海面上 約7.4m)	同左用 垂直梯子 追設	歩廊幅縮小 工事 (改造)	既設歩廊 床材撤去	コラムトップ への 垂直梯子/ 踊場追設
Cコラム (P側)	①	②	③	④	—
Cコラム (S側)	—	—	—	—	○
Pコラム	—	—	—	—	○
Sコラム	—	—	— </td <td>—</td> <td>○</td>	—	○



(2) 維持管理手法の評価

7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 風車運転データ取得した運転データ、風車へのアクセスデータおよびメンテナンス実績(点検、消耗品交換)を用いて、浮体式洋上風車の維持管理マニュアルを作成する。
- 遠隔監視を最大限に活用した、維持管理の可能性を模索する。

現状認識と研究の目的

現状浮体に特化した維持管理マニュアルが存在しない。従い、気象海象条件を加味した待ち時間のない浮体アクセスを模索して浮体アクセスによるメンテナンスを実施してその成果として維持管理マニュアルを作成するとともに、風車運転時/停止時間問わず、遠隔監視の活用で浮体へのアクセス回数を低減させ、メンテナンス費用の低減を目指す。

実施方法

2～3名のクルーによる、気象・海象の悪化予報時を避けた手待ちのない効率的な点検の可能性を模索した1回/月(2～3日/回)の風車アクセスで可能な実証運転及びメンテナンスを実施し、維持管理マニュアルを作成する。また、ナウファス等の気象海象予測と実際のアクセス実績の比較評価を行い、マニュアルに追加する。データ・カメラ情報を踏まえ、機器の故障等を予測した上で浮体へアクセスし、目視状況との精度比較を行う。

(2) 維持管理手法の評価 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

〇2～3名のクルーによる1回／月(2～3日／回)の風車アクセスで可能なメンテナンスを実施(点検の実施)した。

実証事業の成果

①風車定期点検の実施

平成28年4月～平成29年2月の各月の点検においてすべての項目を実施し、完了した。点検項目は、一度にすべて実施するのではなく、数回に分けて年間を通じてすべての点検を完了する計画としたことにより、各回の点検日数は一度に全項目を実施する場合と比べて少ないため、予定したスケジュールで点検が実施できなかった場合も以降の月の点検日程へ織り込みまたは点検作業の再スケジュールで容易となり、点検実施による長期風車運停止を避けることが可能となった。
また、各点検項目における作業要領の検証、作業時間の把握をした。



翼ボルトの増し締め



自動給脂装置のグリス残量の確認

部位	点検大項目	点検小項目	点検周期		点検実施計画(○)および実績(●)																		
			月例	年次 (月例に分散)	2016年																		
					4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3							
1. 翼	翼外観	損傷、劣化の確認	-	○ (半年に一度)	○	●							○										
	翼根内部	損傷、劣化の確認	-	○ (半年に一度)			○																○
	翼ボルト	緩み、損傷、錆等の確認	-	○ (半年に一度)	○	●																	○
2. ロータヘッド	外部点検	損傷、劣化の確認	-	○						○													○
	内部点検	損傷、漏洩物、塵埃粉、落下物、発熱、異音	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	スピナー	損傷、変形、溶接部のクラック、錆等の確認	-	○																			○
		取付ボルトの緩み、損傷、錆等の確認	-	○																			○
	プレートフォーム	取付ボルトの緩み、損傷、錆等の確認	-	○																			○
	雷フラン	損傷の確認、フランの長さ確認	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		取付ボルト緩み	-	○ (半年に一度)																			
	ハブクーリングシステム	ファン損傷(目視点検)	-	○																			
		取付ボルト	-	○ (半年に一度)																			
	翼軸受	翼軸受シールの確認、グリス漏れの確認	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		グリス回収ボルトのグリス量確認	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	翼軸受自動給脂装置	グリス充填	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
翼ホイール歯車	箱車表面観察	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	歯面グリースの状態	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
翼軸受ボルト	緩み、損傷、錆等の確認	-	○ (半年に一度)	○	●																	○	
ピッチ駆動装置	ピニオンギヤの歯面の表面	-	○ (半年に一度)	○									○										○
	ピニオンギヤの歯面のグリス塗布状態	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	シールグリス、潤滑油の漏れ	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
ピッチモーターブレーキ	モーター、ファン、ブレーキカバーの損傷	○	-	○																		○	
ピッチ駆動装置取付ボルト	緩み、損傷、錆等の確認	-	○ (半年に一度)																			○	
駆取付ボルト	緩み、損傷、錆等の確認	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
リミットスイッチ取付ボルト	緩み、損傷、錆等の確認	-	○																			○	

翼、ロータヘッドの点検計画

(2) 維持管理手法の評価

7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体

- 荒天時、気象・海象の悪化予報を避けた、手待ちの無い効率的な点検の可能性の検討として、浮体へのアクセス可否を判断するための基準としてのマニュアルを作成した。
- 遠隔監視を最大限に活用した、維持管理の可能性の検討として、風車の操作・監視、点検等の維持管理を行うにあたり、適切な作業を行うことを目的とし、維持管理マニュアルを作成した。

実証事業の成果

浮体へのアクセス可否判断基準のマニュアル作成。
風車の操作・監視、点検等のための維持管理マニュアル作成。

【アクセス】

浮体アクセスすることで、浮体アクセスの効率化・安全性向上検討を実施。

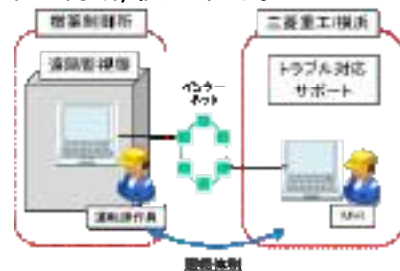
- アクセス船と浮体間の乗り移りに関して、海象条件(各種予報・監視カメラ)とアクセス可否を含めた浮体へのアクセス可否判断基準マニュアルを作成。

【監視】

- 遠隔監視設備(監視カメラとモニタリングシステム)の活用で浮体アクセス回数がどれほど低減するかを検証。
- 遠隔監視カメラや運転データ履歴を 活用して、異常発生時の緊急性判断への利用方法を検討。
- 風車の異常検知は設計値および工場試験での計測データを元に決定した閾値から逸脱した場合に異常と判断/検知する。



弊社横浜製作所内の遠隔監視設備



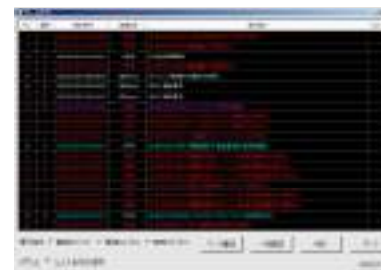
遠隔からのトラブル対応サポート



カメラによる遠隔からのナセル内確認



カメラによる現場海域の状況確認



SCADAシステムの画面

(2) 維持管理手法の評価 変電設備・変電システム

- 設備設計や維持管理手法の妥当性を評価検証する。
- 監視装置制御ログを分析することにより、最終的には陸上施設と海上施設の比較を行なう。

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計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。

実施方法

陸上開閉所設置の監視装置に蓄積されたデータを定期的に取り出し確認する。

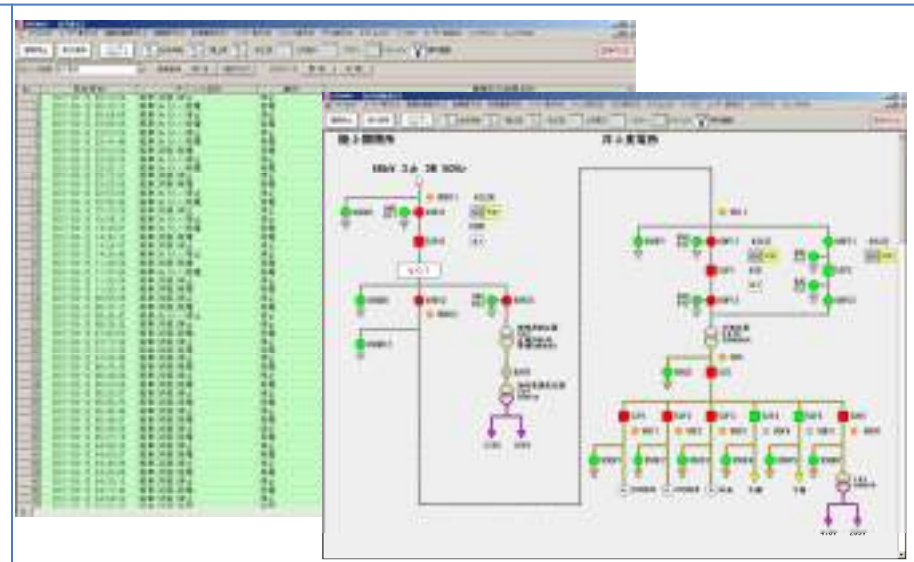
(2) 維持管理手法の評価 変電設備・変電システム

○点検・計測された結果から異常を示すデータ及び兆候は認められず、設計・維持管理手法は適切といえることが確認できた。

実証事業の成果

時系列データ及び計測結果より異常を示す数値は見られない。運用開始以降約3年を経過しているが、初期トラブル含めたトラブルは見られない。機器は正常に動作しており、絶縁性能にも劣化は見られないことより揺動条件において安定的に稼働している事が確認できた。

- 変電設備由来の停止は無
- 外部設備由来の設備停止・復旧作業操作は円滑に実施されている。



(2) 維持管理手法の評価 変電設備・変電システム

- 揺動・塩害の影響による変電設備の劣化の有無検証。
- 外観点検、各種測定を行い経時変化を確認する。

現状認識と研究の目的

揺動や塩害の影響は軽微若しくは海岸付近に設置される設備に近いと考えられる。
揺動・耐塩害に対する設計の妥当性を確認する。

実施方法

共通：外観点検・操作試験
開閉器類：遮断器動作測定試験
変圧器：絶縁油中ガス分析による

(2) 維持管理手法の評価 変電設備・変電システム

○塩害影響による変電設備の劣化の有無検証の為、外観点検、各種測定を実施し劣化の無い事を確認した。

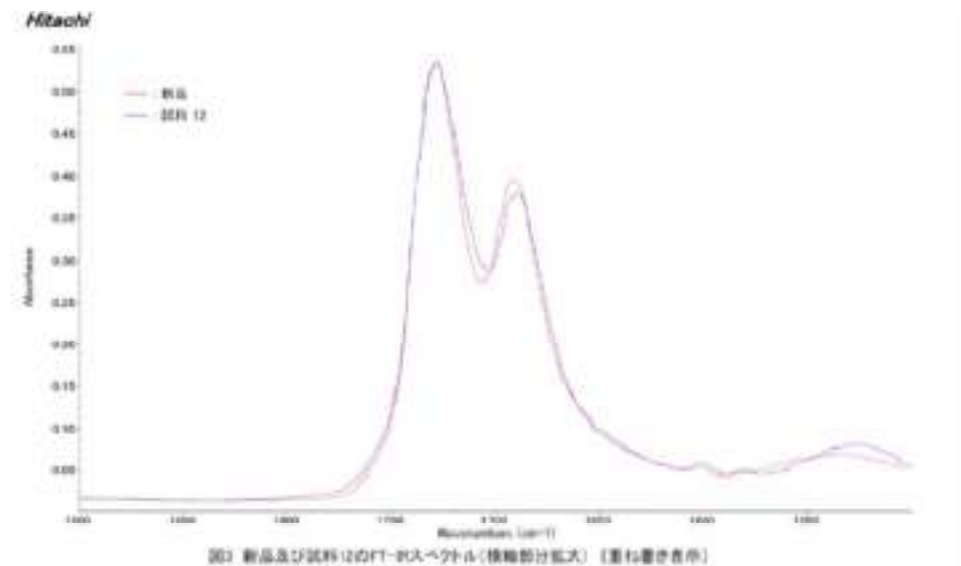
実証事業の成果

○塩害

塗装のサンプル分析から劣化は殆ど見られず塩害による劣化は確認されていない。塩害の厳しい洋上において塗装が十分に機能している事が確認できた。

ラジエーターには溶融亜鉛メッキを施しているが、こちらでも外観上の変化が見られない。

設置場所が半屋内と言う事も有り直接波飛沫をかぶる事は少ないかもしれないが、奥まった場所での設置となっているために、一度蓄積した塩分が雨水等で流されにくい環境にあるので、この点留意する必要がある。



塗装面新旧劣化比較 殆ど差が見られないFT-IR分析

(2) 維持管理手法の評価 変電設備・変電システム

○塩害・揺動の影響による変電設備の劣化の有無検証の為、外観点検、各種測定を実施し、劣化の無い事を確認した。

実証事業の成果

○揺動

遮断器の動作特性に変化は無く、機械的強度は十分に保たれている事を確認。変圧器油分析結果においても異常を示すデータが見られないことと昨年と同様な数値のトレンドより揺動によるコイルや鉄心のズレ、及びそれらに起因する部分放電等は無い事が確認できた。

2. シリコン液中ガス分析結果

分析時期	今回	前回	前回	判定基準		異常レベル
採液年月日	2017年2月26日	2016年2月19日	2014年9月17日	要注意レベル	II	
採液時液温	10.0℃	30.0℃	46.0℃	I	II	同左
窒素 N ₂	181204	176820	197069	—	—	
酸素 O ₂	2655	4724	5980	—	—	
炭酸ガス CO ₂	440	370	378	—	—	
一酸化炭素 CO	108	83	77	300以上	—	
水素 H ₂	22	19	26	400以上	—	
メタン C ₁ H ₄	4	4	3	100以上	—	
エタン C ₂ H ₆	n	t	n	150以上	—	
エチレン C ₂ H ₄	t	t	n	10以上	—	
アセチレン C ₂ H ₂	n	n	n	0.5以上	—	
T. C. G (ppm)	134	106	106	500以上	—	
液100ml中に溶解する全ガス量 (Vol%)	18.44	18.20	20.35	—	—	

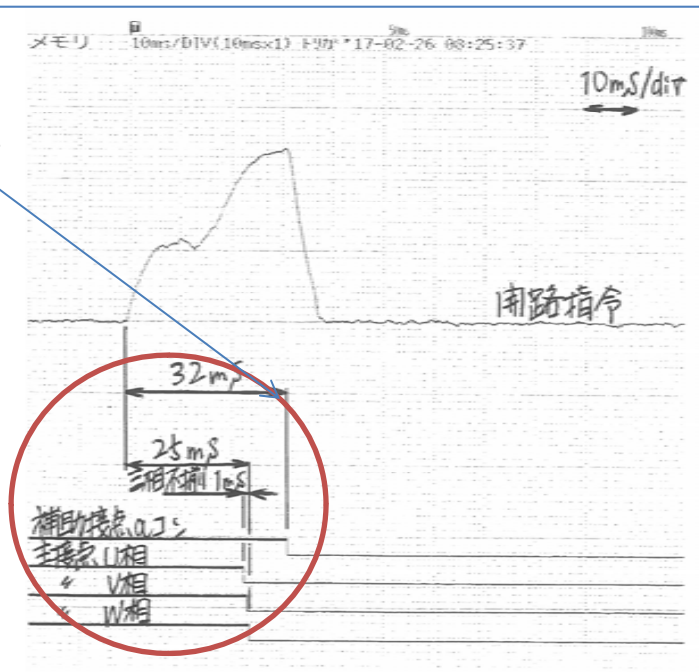
(注) *₁: 要注意レベルの条件 ① C₂H₂ ≥ 0.5ppm ② C₂H₄ ≥ 10ppm かつ T. C. G ≥ 500ppm
 n: 検出されず、
 *₂: 異常レベルの条件 ① C₂H₂ ≥ 5ppm ② C₂H₄ ≥ 100ppm かつ T. C. G ≥ 700ppm
 T. C. G: 可燃性ガス(O印)総量 ③ C₂H₄ ≥ 100ppm かつ T. C. G増加量 ≥ 70ppm/月

○ネットワークシステム

ネットワークにおいては障害ログ等なし及び通信障害による設備影響無しのため良好と判断。

遮断特性
3相間の不揃い
1msec 以下

可燃性ガス
アセチレンN/A
部放電等無



(2) 維持管理手法の評価 変電設備・変電システム

○メンテナンス手法計画の妥当性を検証するため、外観点検・特性試験結果から類推評価し、必要なメンテナンス手法及び計画に反映する。

現状認識と研究の目的

陸上設備同様のメンテナンス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。将来を見込んだメンテナンスの頻度、内容について検討する。

実施方法

開閉器類・変圧器他の既存メンテナンスマニュアルをベースに変更点を反映していく。

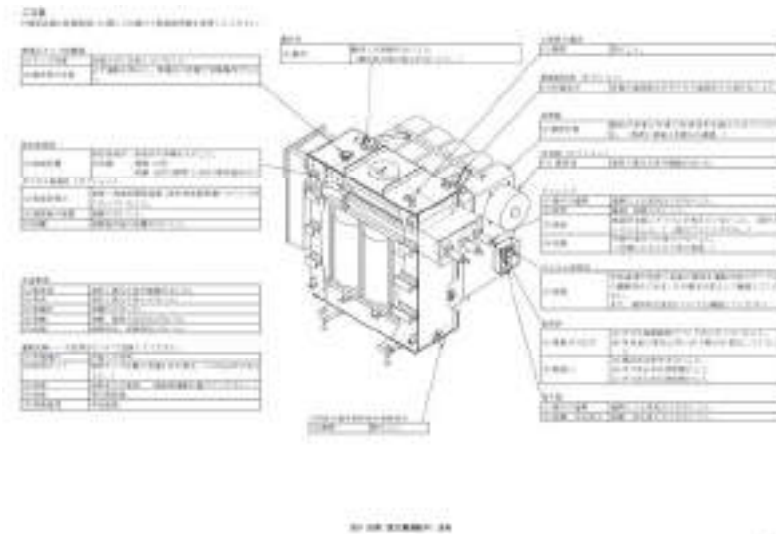
(2) 維持管理手法の評価 変電設備・変電システム

○現状では陸上設備と同様なメンテナンスで問題ない事が確認できた。※

実証事業の成果

運開後、毎年設備の点検、特性測定を計測実施し、変化点があればそれに対する対応策を検討実施する事を考慮していたが、陸上設備と変わらない運用状況で問題なく運転されており、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事が確認できた。

※運用実績がまだ3年半程度であることより長期(5～10年以上)揺動下における実績とは言いがたい為、もう暫く継続して様子を見ていく必要があると考える。



陸上設備のメンテナンスマニュアルと基本的に変更なし。

(2) 維持管理手法の評価 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維持管理に必要な項目を抽出し、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いない。マニュアルが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

- ◆ 設計手法に関する研究にて明らかとなった事項（挙動及び疲労寿命に関する事項）より、ライザーケーブルの維持管理に必要な項目を抽出する。
- ◆ ROVを用いて既設ライザーケーブル経年変化状況を調査する。また海洋生成物に対する対策を机上検討する（今年度は画像解析は実施せず）。

(2) 維持管理手法の評価 浮体式洋上風力発電システム

- 発電機の稼働率向上を目指し、2MW発電機の停止事由について取り纏め、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す。

現状認識と研究の目的

昨年度に引き続いて発電設備の定期的な保守点検作業を行うと共に、将来的な事業化に向けて運転・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

- ◆ 2MW発電機停止事由の纏め及び運用保守の観点から対応方針につき検討。
- ◆ リスクマネジメントに根ざした合理的な保険調達の検討。
- ◆ 浮体別アクセス限回の評価検討。

(2) 維持管理手法の評価 浮体式洋上風力発電システム

○本年度発生した2MW停止事由を纏め、運用保守の観点から今後の対応方針につき検討を行った。

実証事業の成果

2MW 風力発電機 停止事象発 生年月日※	停止理由	対応遅延理由	累積風力発電機 停止時間	再発防止 対策案
2016/4/4	東北電力の計画 系統停電に伴う 停止	海象不良の為 復旧作業が行え なかった為	約2日1時間 (停電時間は5時間)	非常用発電設 備もしくは蓄電 池設備の設置
2016/6/14			約3日17時間 (停電時間は約8時間)	

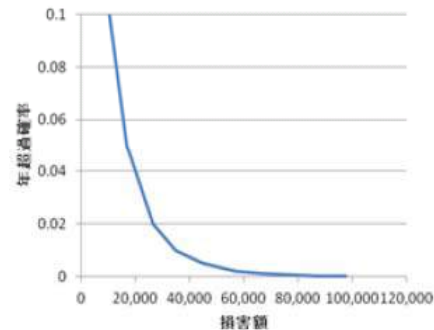
※過去停止のうち、一部を抜粋

今年度発生した停止事由のうち、系統停電に伴う停止について対応策を机上検討した。発電機の再稼動には現場作業が必要であるが、海象不良によりアクセスが困難となり停止時間が長期化した。対応策として遠隔にて発電機を再稼動可能とすべく例えば非常用発電設備を各浮体へ登載する等検討している。

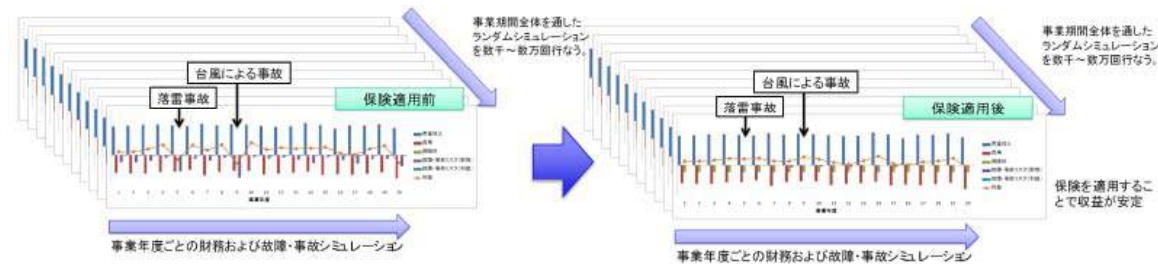
(2) 維持管理手法の評価 浮体式洋上風力発電システム

○浮体式洋上風力発電におけるリスク評価を定量的に行うべく、国内損保会社が開発している着床式洋上風力発電のリスク評価モデルを応用する方針とした。

実証事業の成果



リスク評価モジュール例 (EPカーブ)



財務影響分析のイメージ

既存の着床式洋上風力発電のリスクモデルを応用し、本実証事業における簡易モデルを策定する。簡易モデルの結果及び風力発電設備・タワー部におけるリスク評価から、浮体式洋上風力発電設備の予想損失額と年間期待損失額を算出する。

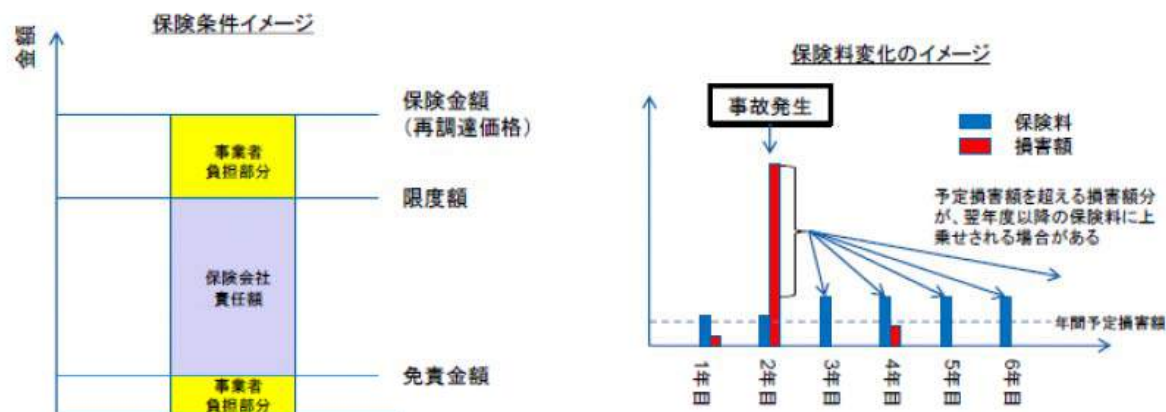
また、評価した損失がプロジェクトの財務諸表へ与える影響度合について分析を行う。

本年度は当該リスク評価モデル作成フローを策定した。

(2) 維持管理手法の評価 浮体式洋上風力発電システム

○事業開始時の保険手配について、適切な保険を設定する為の手順を策定した。

実証事業の成果



保険条件イメージと保険料変化のイメージ

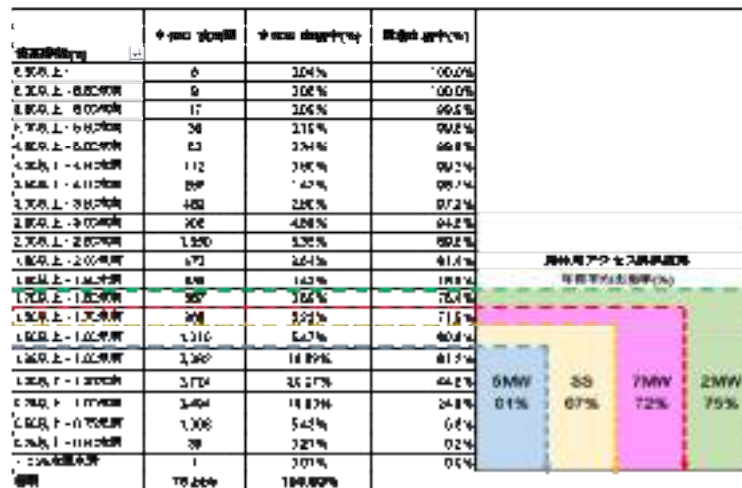
- ① 再現期間別損傷額を考慮した保険仕様の第1次仕様設計を行う。
- ② 一般的な保険条件及び第1次仕様設計について保険会社へ概算保険料を要求する。
- ③ 標準仕様と第1次仕様設計の比較検討を行い、許容しうるリスクを考察する。
- ④ 財務影響評価の再試算を行う。プロジェクト財務において許容できる保険条件と保険料のバランスを探索する。
- ⑤ ④の結果を踏まえて、事業開始時の保険仕様を検討する。(第2仕様設計)

本年度は上記保険仕様作成フローを考案した。結果、事業化にむけて理想的な保険仕様の作成案を固めた。

(2) 維持管理手法の評価 浮体式洋上風力発電システム

○これまでの各浮体へのアクセス実績を分析し、作業員が設備に移乗可能となる限界有義波高や浮体毎のアクセス成功確率を求めた。

実証事業の成果



浮体別アクセス限界波高出現率

【四季平均】

浮体	限界波高(m) *1	出現率(%) (a)	成功確率(%)	正味アクセス確率(%) (b)	補正值(%) (b)-(a)
2MW	1.8	75	95	71	-4
7MW	1.7	72	92	66	-6
SS	1.6	67	86	58	-9
5MW	1.5	61	93	57	-4

*1 限界波高は成功確率85%を超過する波高として定めた。

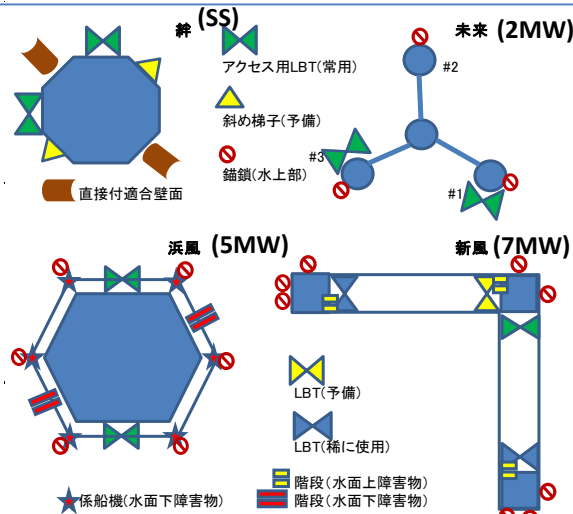
浮体別正味アクセス確率

浮体別正味アクセス確率を明らかとした。2MW浮体へのアクセス確率が最も高く、今後は事業化に向けて、各浮体へのアクセス率向上を目指す。

(2) 維持管理手法の評価 浮体式洋上風力発電システム

○本事業における4種類の浮体の中からアクセス性に優れる浮体を明らかにし、各浮体の特徴と課題を明らかにした。

実証事業の成果



浮体別アクセス箇所と障害物との位置関係

本年度、各浮体へのアクセス率について検証を行った結果。下記が明らかとなった。

2MW (アクセス率71%)※	浮体近辺に発生する潮流や過流変化が小さく、最もアクセス性の優れる浮体。
5MW (アクセス率57%)※	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、かつ係留機の存在により最もアクセスが難しい

※前頁参照

今般明らかにした上述のデータを下に、浮体全体のアクセス率向上を目指す。

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 長期的稼働を想定し課題をあげる。
- 風車について、通常メンテナンス、故障対応などについて検討する。

現状認識と研究の目的

現状：

- 設計は20年稼働を想定
 - 風車重故障の具体的修理方法は未検討
- 想定される課題を抽出する。

実施方法

- 通常メンテナンス、故障に分類
- 分類された項目をリストアップ
- メンテナンスで交換した部品、消耗品の輸送性（浮体への搬入・搬出）を分類

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 長期的稼働を想定しトラブル項目を整理した。
- 長期的稼働の際の点検内容をまとめ、O&Mのコストダウンを検討した。

実証事業の成果

- 2MW風車にて想定しうるトラブルの項目を抽出。17項目を抽出した。

表 想定トラブル例

No.	対象部品	発生不具合	補修方法
1	ブレード	小損傷	ロープワーク
2	ブレード	大損傷(ブレード交換)	浮体切り離し/岸壁作業
3	ハブハウジング	鋳物の損傷	溶接補修
4	ピッチ回転軸受	内輪歯車の損傷	溶接補修
5	ピッチ回転軸受	レース面損傷、クラック	浮体切り離し/岸壁作業
6	ピッチアクチュエータ	モータまたは減速機の交換	部品交換
7	主軸軸受	摩耗による損傷(軸受交換)	浮体切り離し/岸壁作業
8	主軸	主軸本体のクラック(主軸交換)	浮体切り離し/岸壁作業
9	主軸軸受ハウジング	鋳物のクラック	溶接補修
10	架構	溶接部のクラック	溶接補修
11	増速機	高速段の歯車折損、軸受交換	交換作業
12	増速機	遊星段の歯車折損、軸受交換	浮体切り離し/岸壁作業
13	HSS プレーキキャリパ	キャリパの損傷、重大な油漏れ	部品交換
14	発電機	主要部品の交換	浮体切り離し/岸壁作業
15	ヨーアクチュエータ	電動モータまたは減速機の交換	部品交換
16	ヨー回転軸受	内輪歯車の損傷	溶接補修
17	ヨー回転軸受	レース面損傷、クラック	浮体切り離し/岸壁作業

- 表の補修方法で浮体切り離し/岸壁作業は浮体と係留を切り離し作業港湾の岸壁で作業を行う必要がある項目である。
- その他の作業は原則洋上の作業が可能と判断した。

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 長期的稼働を想定し課題をあげる。
- 浮体、係留について、通常メンテナンス、故障対応などについて検討する。

現状認識と研究の目的

現状：

- 設計は20年稼働を想定。
 - 係留チェーンの損耗は想定値。
 - 風車重故障の具体的修理方法は未検討。
- 浮体側として想定される課題を抽出する。

実施方法

- 浮体、係留に分類
- 通常メンテナンス、故障に分類
- 分類された項目をリストアップ
- 浮体設備については、風車メーカーと協議
(風車故障時対応設備など)
- 係留系についてはチェーンメーカーなどと協議
- その他装備品については各メーカーと協議

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案 2MWダウンウィンド型風車搭載セミサブ浮体

- 長期稼働を想定し、発生する可能性のある故障を抽出し、対応方法を検討しまとめた。
- 長期的稼働を実現するための課題を抽出した。

実証事業の成果

実施内容	実施内容	実施方法
基礎工事	基礎杭の打ち込み	基礎杭の打ち込み
浮体工事	浮体の組立	浮体の組立
風車工事	風車の設置	風車の設置
電気工事	電気配線の施工	電気配線の施工
塗装工事	浮体の塗装	浮体の塗装
点検工事	浮体の点検	浮体の点検
保守工事	浮体の保守	浮体の保守
撤去工事	浮体の撤去	浮体の撤去
その他	その他	その他

可能性のある故障リスト

- 大規模な工事を要する故障以外は洋上での作業となる。
- 浮体ポートフェンダはアクセス船の接触で塗装が剥がれてしまう。浮体アクセス時の安全性確保のためには定期的な再塗装などの対策が必要である。



ポートフェンダ状況
左:2013年10月、右:2016年11月

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案

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アドバンストスパー浮体



- 事業化に当たっての課題を抽出し、解決策の提案を行う。
- 建造及び曳航、設置の各段階におけるスケジュールの予実差を分析することにより、最終的には、適切な工法と工程案を提示する。

現状認識と研究の目的

5MW風車搭載及び浮体式洋上変電設備用アドバンストスパー浮体の建造及び曳航、設置の各段階における課題を抽出し、実証研究事業で得られた成果(対応策)を示すとともに、今後あるべき姿を検討、提案することにより、今後の浮体式洋上風力発電システム形成の一助となる解決策を提案する。

実施方法

- 5MW風車浮体の工程予実の管理
- 上記工程予実と洋上サブステーションの工程予実との比較
- 各浮体における共通の課題、個別の課題の抽出
- 工程以外の課題の抽出



- アドバンストスパー型浮体の適切な工法と工程案の提案

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案

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アドバンストスパー浮体

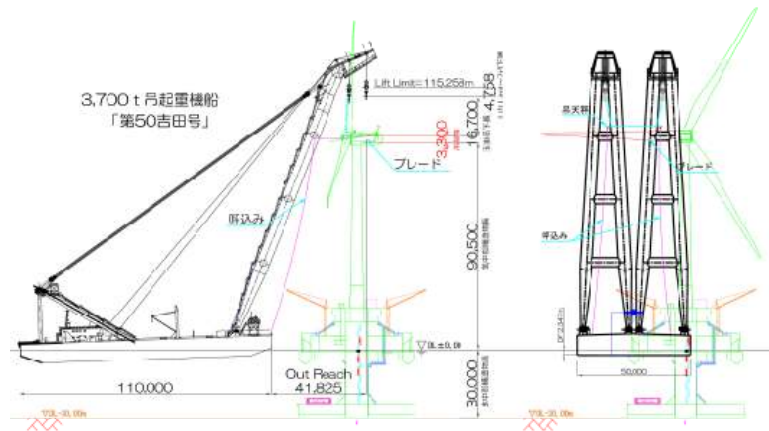


- 建造・曳航・設置の各段階における課題と解決策を示した。
- 各段階におけるスケジュールの予実差を分析、適切な工法と工程案の一例を示した。

実証事業の成果

各段階における課題と解決策(一部)

段階	課題	解決策
建造	工場設備不足	集中荷重対策、海上クレーン使用、レンタルユニット架台の使用等
	工場設備不足	資材支給タイミング調整
	風車ブレード取付け	起重機船を用いた洋上でのハブへの取付け
曳航	曳航経路	深浅測量による東京湾内の航路確保
	避港地	作業基準の明確化と気象海象情報活用による日程調整
設置	備船コスト	クレーン船に替えて台船ウインチを使用



起重機船を用いた、洋上でのハブへのブレードの取付け

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案

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アドバンストスパー浮体



- 建造・曳航・設置の各段階における課題と解決策を示した。
- 各段階におけるスケジュールの予実差を分析、適切な工法と工程案の一例を示した。

実証事業の成果

スケジュールの予実差分析と適切な工法、工程案の一例

① 工法

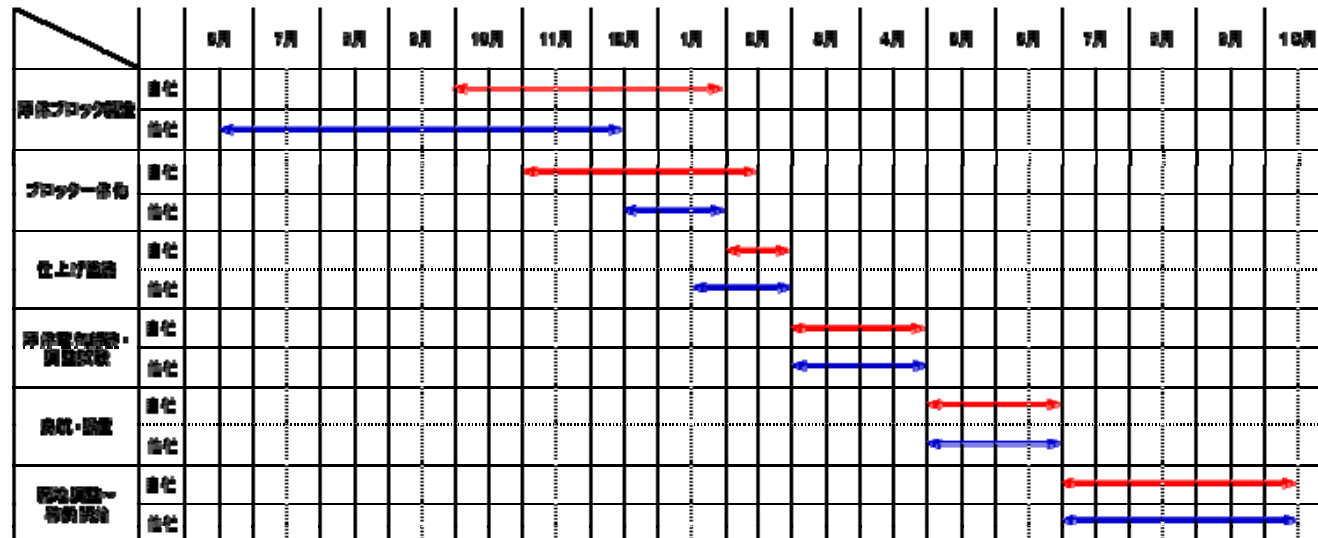
- 他社建造時の管理コスト削減のための、鋼材、塗料、艀装品調達システムの最適化
- 分割ブロック建造における生産計画、生産管理、品質管理

② 工程

複数工場での分割建造(他社建造)を想定すると、次の遅延リスクを見越した工程設計が必要

- 設計情報の共有不十分に起因する資材の手配漏れ
- 品質管理要員の不足による不具合品等検品の不徹底
- 船級検査対応要員の不足による検査器具の手配困難

自社建造及び他社建造について、設置工事を夏季とした場合の適切な工程案を示す。
ブロック建造期間の短縮がコストダウンに大きく寄与できる可能性が高い。



(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体



○浮体式洋上風車の事業化の際には、着床式洋上風車と同様、機器の信頼性・メンテナンスの合理化が強く求められる。それらにおいて、現状の課題を抽出する。

現状認識と研究の目的

国から貸与された7MW浮体風車としてのメンテナンスはアクセス船使用を含めて初めての経験である。このH28年度の予想・実績を踏まえて、機器の信頼性向上およびメンテナンス合理化に繋げる必要がある。

実施方法

設計の検証を通じて、機器の信頼性を向上させるうえでの課題やリスクを洗い出し、それらに対する解決策を策定する。

また、維持管理手法の評価を通じて得られる評価(①～④)をもとに、メンテナンスを合理化させるうえでの課題・リスクを洗い出し、それらに対する解決策を策定する。

- ①メンテナンス工事の実績評価
- ②メンテナンス船のアクセス率評価
- ③現場作業可能時間実績評価
- ④メンテナンス計画の最適化試算

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体



○H28年度のメンテナンス計画及び実績を踏まえ、今後想定されるメンテナンス計画を作成した。

実証事業の成果

○H28年度のメンテナンス計画及び実績を踏まえ、これまでの点検を踏まえて、点検の間隔を拡げ効率化を図るなど、今後想定されるメンテナンス計画を作成した。

部室	点検項目	点検頻度	点検基準	点検実施履歴(○: 実施済/△: 実施予定)													
				2024年	2025年	2026年	2027年	2028年	2029年	2030年	2031年	2032年	2033年	2034年			
1. 翼	翼根ボルト	検査、潤滑点検	-	○													
	翼端ボルト	検査、潤滑点検	-	○													
	翼端ナット	検査、点検、潤滑点検	-	○													
2. ロータヘッド	ロータヘッド	検査、点検	-	○													
	ロータヘッドボルト	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドナット	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドボルト	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドナット	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドボルト	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドナット	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドボルト	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドナット	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドボルト	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドナット	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドボルト	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドナット	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドボルト	検査、潤滑点検、点検、点検	○														
	ロータヘッドナット	検査、潤滑点検、点検、点検	○														



タワーボルト及び翼ボルトの増し締め

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案 7MW油圧式風車搭載用セミサブ浮体



○H28年度のメンテナンス計画及び実績を踏まえ、課題の抽出を実施した。

実証事業の成果

課題の抽出

大項目	中項目	内容	備考	官辺に働きかけ	ふくしま新風浮体/風車に適用	次回建造の浮体/風車に適用
法令	輸送	バックアップ発電機の燃料である軽油は15トン以下の船でないと輸送できない。	ドラム缶1缶は200リットルなので、せめてJCATONEでもドラム缶を輸送したい。船舶安全法の制限。	★		
設備	安全	浮体のアクセス歩廊の高さを高くする	実施済(高波による衝撃の軽減)		★	★
設備	設計	アクセス用階段など艀装品の溶接強度が弱く、階段等艀装品が波で落下する/した。	高波による衝撃で落下しないような溶接強度にする。			★
設備	監視	現場海域の監視映像やSCADAデータ(できれば波高も)などを、タブレットや携帯端末などで確認できるようにする。	移動中のアクセス船や陸上のどこでも状態を把握できるようにするため。			★
設備	安全	Cコラムに波高計を設置して遠隔監視可能とする。	現場海域の実波高を把握する。			★
設備	電源	Cコラム・Pコラム・Sコラムにデッキ(屋外)に、AC400V/200V/100V、3相の工事用分電盤(200ATクラス)を設置。				★
設備	安全・設計	浮体・風車内にwifiと専用アンテナを設置する。	浮体・風車内のどこにいても、wifiが繋がるようにし、陸地と連絡がとれるようにする。			★
設備		トイレの設置	ルールとのからみもあるが、トイレを設置する必要あり。さもないと、アクセス船まで往復する必要ある。			★
設備	監視	P/SコラムそれぞれからCコラムの接舷部をカメラ監視できるようにする。	波の向きにより接舷状況が異なることがあるため。また、台風時などにCコラム歩廊状況確認も可能となる。			★
設備	安全	抜本的な移乗方法の改善として、別のアクセス補助装置を利用したアクセス方法の改善し、高波高時でも乗り移れるようにする	たとえば、欧州で使われている装置などを使い、浮体の壁面踊場やチェーンストップ踊場に、可動式足場から移乗する。			★
設備	作業効率向上	オペレータが目視確認できるよう、死角となる領域を監視するカメラを設置する。	浮体～アクセス船への荷役において、コラムデッキ～アクセス船がオペレータの死角になっており、オペレータ自身が吊り荷を目視できるようにする。			★
設備	作業効率向上	ブーム長さを現仕様の12mから、14mに伸ばすことでコラムトップ全域を荷役に使用する。	浮体～アクセス船への荷役においては、コラムトップ上に荷物を仮置きする必要があるが、クレーンの作業半径がコラムトップ全域をカバー出来ておらず、荷物が多い場合には荷役に時間がかかる。但し、コラムトップに載せる重量物に対応できるように、梁の強度検討が必要。			★



軽油運搬用ドラム缶
(1缶200リットル)

(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案 送電システム

○送電システムの実用化に向けて課題を抽出し解決策を提案する。

現状認識と研究の目的

- ◆ 課題
送電システムの実用化に向けた課題の明確化と送電システムコスト低減
- ◆ 目的
送電システムの実用化に向けた解決策の提案

実施方法

- ◆ 実用化に向けた課題を抽出する。
- ◆ 送電システム建設コスト、維持管理コストの低減策について、ライザーケーブル布設システム形状、やアクセサリコストも含めて検討する。
- ◆ 大規模修繕に関するライザーケーブル工事工法について初期検討する。浮体メーカー・オーナーズエンジと協力。

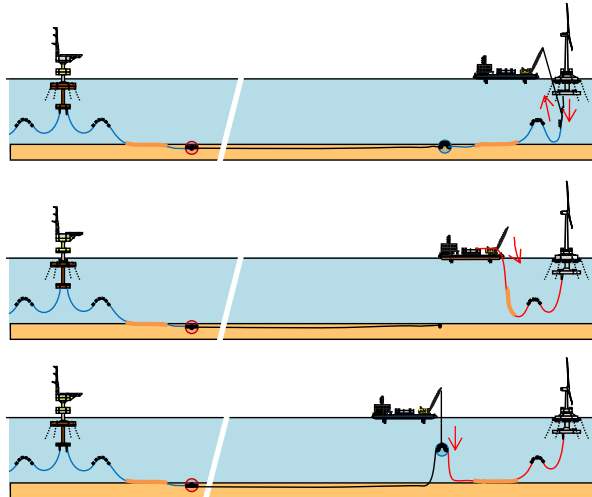
(3) 実用化に向けた課題抽出と解決策の提案 送電システム

○課題は大きく分けて、建設コスト及び維持管理費用(特にMarine Growth対策)の低減とライザーケーブル補修方法の確立に大別される。

実証事業の成果

(1) 大規模修繕方法の検討(建設コストの低減)

- 海底ケーブル部は埋設されており事故の可能性が低いこと、および一般的な海底ケーブル修理工法が適用可能なことから、現場海域でのライザーケーブルの修繕に絞って復旧工法を考案した。
- 大規模修繕を行うにあたり、ライザーケーブル部は割り入れ工法が適用できないため、全交換とし、一箇所あたりの費用は約500百万円と試算した(夏場の布設船稼働率約60%を適用)。建設コストを低減するには、複数基工事/年の実現が有効である。



大規模修繕復旧工法構想図

- 既設ライザーケーブルの取り外し
- 新規ライザーケーブルの浮体への接続
- 既設ケーブルとの接続

(2) 維持管理費用の低減(Marine Growth対策)

- ライザーケーブルの維持管理については、実証において明らかとなったMarine Growth対策が非常に大きなポイントであり、根本的な対策が必要である。
- 根本的な対策案としては、Marine Growthの付着を防止できる技術(塗料など)の適用、更にその長寿命化(20年寿命)が期待される。

(4)5MWダウンウインド型風車搭載アドバンスパー浮体の曳航、設置、係留、運用等
5MW浮体式洋上風力発電システムの運用等

- 5MW風車の電気配線工事、風車組立・据付の技術的指導員の派遣及び風力発電設備の試運転を行う。
- 5MW風車のネガティブダンピング抑制制御の調整を行う。

現状認識と研究の目的

5MWダウンウインド型風車の試運転を行い、アドバンスパー型浮体に搭載することにより、世界初の事例を成功させる。

実施方法

- 5MW風車の電気配線工事、風車組立・据付の技術的指導員の派遣及び風力発電設備の試運転を行う。
- 5MW風車のネガティブダンピング抑制制御の調整を行う。

(4)5MWダウンウィンド型風車搭載アドバンスパー浮体の曳航、設置、係留、運用等
5MW浮体式洋上風力発電システムの運用等

○5MW風車を淡路沖にて2016年5月～6月に電気配線工事、風車組立・据付の技術的指導員を派遣し、風車組立完了が完了した。

実証事業の成果



相生での風車部品の乗せ換え状況
(2016年4月下旬)



洲本への輸送後の様子
(2016年5月中旬)



タワー据付風景
(2016年5月中旬)



ナセル据付風景
(2016年5月中旬)



ブレード据付風景
(2016年5月下旬)



係留作業の様子
(2016年7月下旬)

(4) 5MWダウンウィンド型風車搭載アドバンストスパー浮体の曳航、設置、係留、運用等
5MW浮体式洋上風力発電システムの運用等

○2016年6月上旬より淡路沖にて一部試運転実施。2016年7月初旬に福島沖に曳航、係留、電源ケーブル接続し9月17日に受電開始。その後、福島沖にて本格的な試運転を実施し2017年2月1日に発電を行なった。また2017年3月8日に5MW出力を確認し4/4負荷遮断試験を実施した。

実証事業の成果

○ 淡路沖における主な実施済み試運転項目

- 外観点検
- 耐圧試験
- 絶縁抵抗検査 等

○ 福島沖における主な実施済み試運転項目

- 各種機器単体試験
- インターフェース試験
- 負荷遮断試験
- 負荷試験
- ネガティブダンピング抑制制御の調整



風車制御盤でI/Oチェックの様子
(2017年1月初旬)



風車発電運転時の様子
(2017年2月1日)

(4)5MWダウンウィンド型風車搭載アドバンストスパー浮体の曳航、設置、係留、運用等
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アドバンストスパー浮体



○5MW風車浮体をウィンドファームに投入するために風車搭載工事、曳航、設置、係留を行う。

現状認識と研究の目的

5MWダウンウィンド型風車搭載のアドバンストスパー型風車浮体工事は前例がないため、本研究では、世界初の事例を成功させる使命がある。

実施方法

- アドバンストスパー浮体の完成時運転調整後、5MW風車を同浮体へ搭載し、実証海域まで曳航、設置、係留を行う。
- 5MW風車は、淡路島沖において、水深30mの海域に同浮体を沈降させ、台船で係留して搭載する。
- 大型の外洋用タグを用いて、万が一の悪天候時でも、そのタグ1隻で、避泊海域で浮いたまま定点保持できる等の対応を計画する。

(4) 5MWダウンウィンド型風車搭載アドバンストスパー浮体の曳航、設置、係留、運用等
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アドバンストスパー浮体



- 5MW風車浮体をウィンドファームに投入するために風車搭載工事、曳航、設置、係留を行った。
- 今後、遠隔監視システムの動作確認、運用開始に向けての課題抽出を行う。

実証事業の成果



洲本への曳航中



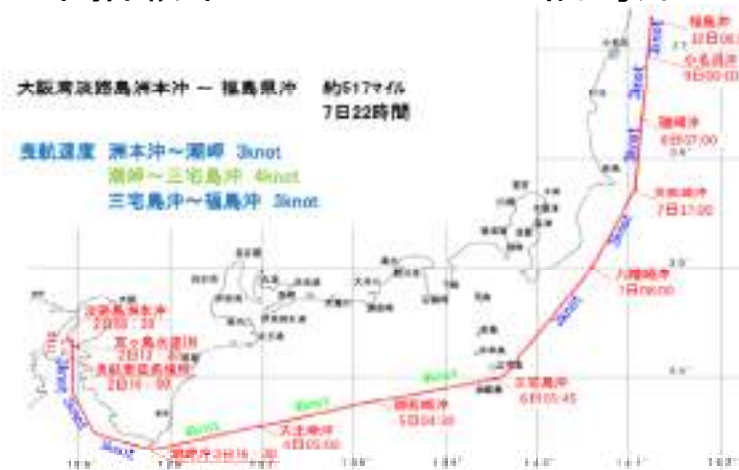
風車搭載中



福島沖への曳航中

日程は下記のとおり。

- 5/2 出渠
- 5/5 洲本到着
- 5/17 風車搭載開始
- 5/27 搭載完了
- 7/2 洲本出航
- 7/10 福島沖到着
- 7/20 係留作業終了



(4)5MWダウンウィンド型風車搭載アドバンスパー浮体の曳航、設置、係留、運用等送電システム

○5MW風力発電機浮体と既設海底ケーブルをライザーケーブルにて接続する工事を実施する。

現状認識と研究の目的

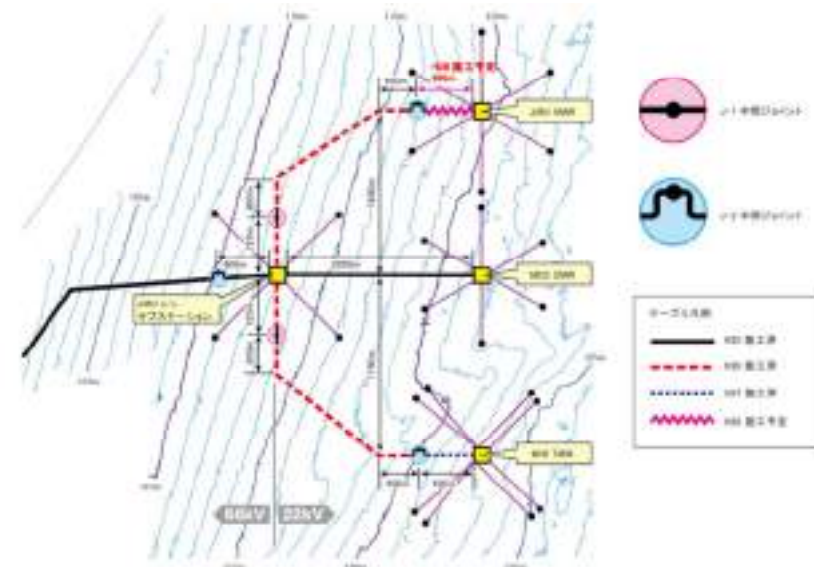
- ◆ 課題
浮体への引き込み及び既設ケーブルとの接続
- ◆ 目的
5MW風力発電機浮体への受電

実施方法

- ◆ ライザーケーブルおよび副資材を布設船にて実証海域に運搬する。
- ◆ 5MW風力発電機浮体の底部からライザーケーブルを引き込み、電気室にて接続する。
- ◆ 既設海底ケーブルとライザーケーブルを接続し、竣工試験を行う。

期待される成果(アウトプットイメージ)

- ◆ 5MW風力発電機浮体への受電



H28年度工事箇所

(4)5MWダウンウィンド型風車搭載アドバンスパー浮体の曳航、設置、係留、運用等
送電システム

○ライザーケーブル布設工事を実施し、9/17に5MW風力発電機浮体への受電を実現した。

実証事業の成果

(1)ライザーケーブル布設工事の完了

- 5MW風力発電機浮体へのライザーケーブルの布設工事・埋設工事を行い、完工した。
- 竣工試験を実施し、問題ないことを確認した後、受電を9/17に実現した。



5MW風力発電機浮体



浮体底部への引き込み状況

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
(3)報告書取りまとめ

- 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3回、事業化委員会を2回運営した。委員からのご指摘により、本事業推進に大きな役割を果たした。
- 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。

福島浮体式洋上ウインドファーム実証研究委員会委員

事業化委員会

氏名	所属
牛山 泉	足利工業大学 理事長
木下 健	長崎総合科学技術大学 学長
池田 三知子	一般社団法人日本経済団体連合会 環境エネルギー本部長
大久保 安広	公益社団法人日本海難防止協会 専務理事
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

氏名	所属
牛山 泉	足利工業大学 理事長
木下 健	長崎総合科学技術大学 学長
荒川 忠一	東京大学大学院 工学系研究科 機械工学専攻 教授
加藤 政一	東京電機大学 工学部 電気電子工学科 教授
高野 裕文	日本海事協会 再生可能エネルギー 部長
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

※事業化委員会・技術委員会ともに、委員長・副委員長は、牛山委員長、木下副委員長とした。 (五十音順、敬称略)

福島浮体式洋上ウインドファーム実証研究委員会関係省庁等

経済産業省資源エネルギー庁、環境省地球環境局、環境省総合環境政策局、国土交通省海事局、農林水産省水産庁、内閣官房総合海洋政策本部事務局、海上保安庁交通部、福島県商工労働部、産業技術総合研究所、新エネルギー・産業技術総合開発機構

報告書取りまとめ

本実証事業の成果を報告書として取りまとめるとともに、概要版を作成した。

(2)事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 経済性評価の検討

- 経済性の試算に必要な各種データ(売電量、運転維持費、撤去費等)を整理する。
- 拡張ウィンドファームを想定し、経済性試算を行う。

現状認識と研究の目的

浮体式洋上風力発電所の経済性について、昨年度事業においては建設費の整理が為されたところ。
他方、運転維持費や撤去費など、ライフサイクル全体を通じたコストの整理は行われていない
今年度は、上記データを整理し将来の推定値を算定するとともに、同前提を用いた経済性の試算を行い評価する。

実施方法

売電量については、実証研究で得られたデータを整理し、将来の予測値を算定する。
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。

(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 経済性評価の検討

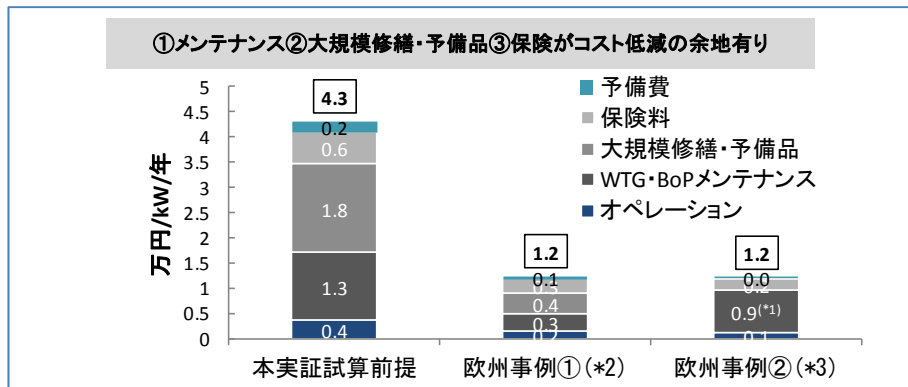
○経済性評価のため、運転維持費を含む試算前提条件を整理した。

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/年 (4.3万円/kW/年)	本実証を踏まえた推定値 ※予備費(全運転維持費の5%)を含む
撤去費	14億円/基 (28万円/kW)	本実証を踏まえた推定値
固定資産税率	1.40%	-
税前P-IRR	6%~10%	一般的な民間投資基準をベースに感度分析

運転維持費の欧州(着床式)事例との比較



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	1.1万円/kW/年(*1)	アクセス率を考慮 3年ごとに詳細点検を実施
浮体・ケーブル	0.3万円/kW/年	<浮体> NKの法定点検及び消耗品 ROV点検は複数浮体で連続して実施 <ケーブル> 外観確認、メガー測定、伝送損失測定 マルチビーム探査(複数年に1回) 予備品はExportケーブル関連品のみ

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

② 大規模修繕費用・オペレーション・予備費(事業期間平均)

項目	費用
大規模修繕(20年に1回/基で修繕)	1.8万円/kW
オペレーション ※ケース①の場合(*2)	3.6億円/年(0.4万円/kW)
アクセス船	160百万円/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

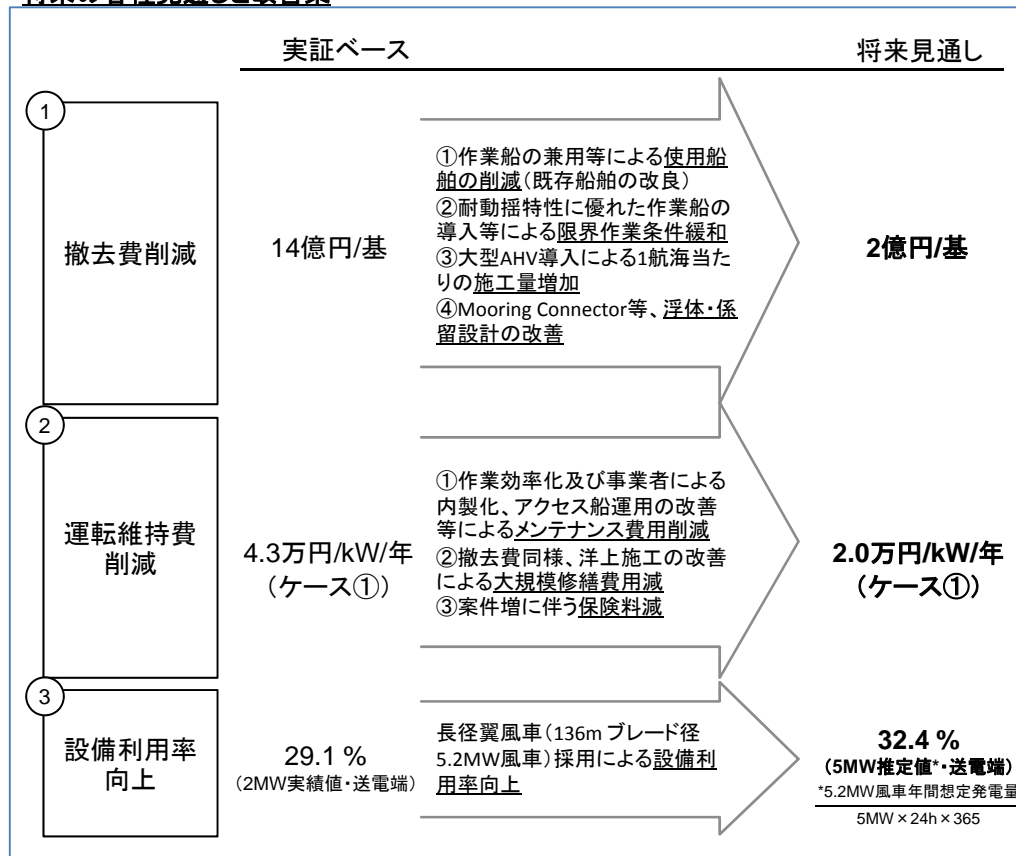
(*1) オペレーション費用のうちアクセス船費用、大規模修繕・予備品費用を含む
(*2) IEA Wind Task 26, Offshore Wind Farm Baseline Documentation (2016) を元に作成
(*3) 欧州コンサルティングファームへの独自ヒアリング結果を元に作成

(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 経済性評価の検討

- 本実証で得られた発電量および各種費用等の前提条件を踏まえ経済性(発電コスト)を試算した。
- 社会実装が可能な発電コストに向けて、更なるコスト低減策や試算の精緻化等の検討を行うことが必要。

実証事業の成果

将来の各種見通しと改善案

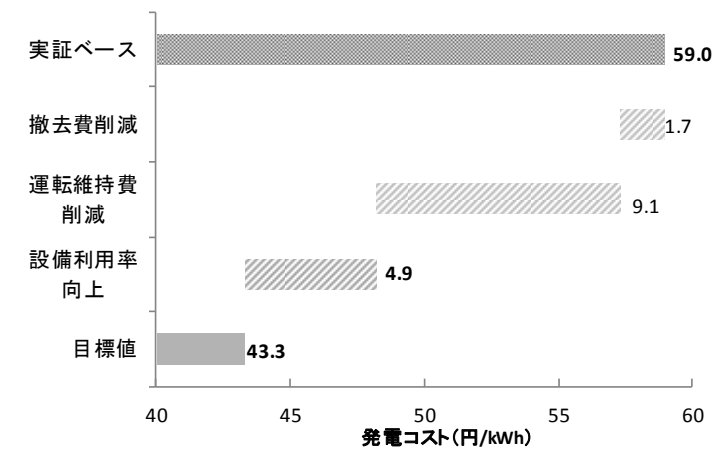


経済性(発電コスト)試算結果(*1)

P-IRR (税前)	実証ベース (ケース①)	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%	50.0 円/kWh	34.4 円/kWh	35.7 円/kWh	38.5 円/kWh
8%	54.3 円/kWh	38.7 円/kWh	39.9 円/kWh	42.5 円/kWh
10%	59.0 円/kWh	43.3 円/kWh	44.5 円/kWh	47.0 円/kWh

(*1) ケース①～③では、運転維持管理費のうちオペレーション費用を除き、売上・費用はウインドファームの出力規模に比例すると仮定

各種取り組みの発電コストへの影響(ケース①、P-IRR=10%の場合)



(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

- 実証施設(洋上サブステーション、各風車・浮体、送電ケーブル)の撤去方法を立案する。
- 実証施設の各構成施設について、立案した撤去方法によるコストを試算する。

現状認識と研究の目的

浮体式洋上風力の事業性の検討には、施設のライフサイクルコストの明確化が必要である。本テーマでは、ライフサイクルコストを構成する撤去コストを明らかにするため、実現性のある合理的な施工コンセプトを立案し、そのコストを試算する。

実施方法

- 国内に既存の施工機器の使用を基本に、撤去の施工コンセプトを構築する。
- 施工コンセプトによる工程表を作成する。
- 工程表を基に、コストを試算する。

(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価

浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

- 現状の日本において実現可能な実証施設の撤去に係る施工コンセプトを立案した。
- 立案した施工コンセプトによる概算コストは74～81億円であることが分かった。

実証事業の成果

- 現状の日本において実現可能な範囲で最低コストとなる施工コンセプトを構築し、作業船の稼働率(40～60%)を考慮した撤去概算コストの試算結果を得た。

対象施設	撤去コスト(税別)	備考
2MW機	11～13億円	係留索:6本、総重量が最も小さい
5MW機	14～15億円	係留索:6本、総重量が最も大きい
7MW機	21～22億円	係留索:8本、総重量が2番目に大きい
サブステーション	18～19億円	係留索:4本、総重量が3番目に大きい、バラストコンクリートの解体も必要
送電ケーブル	10～12億円	
合計	74～81億円※	

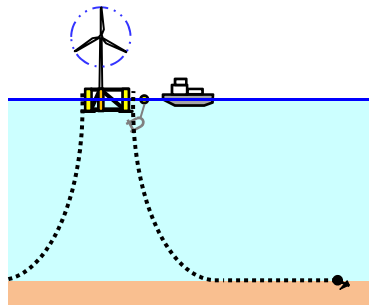
※ 係留チェーン及び送電ケーブルを残置できれば50億円程度となる見込み。

- 係留索の本数、浮体の大きさに応じてコストは増加。サブステーションが高額なのはコンクリートバラスト解体・処分のコストが追加されるため。
- 一層のコストダウンのためには、より効率的な施工機器を新規に開発したり、海外から導入したりすることが必要。

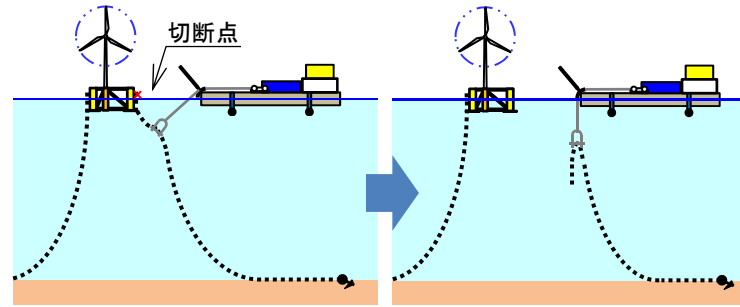
(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

2MW風車・浮体撤去方法(案)

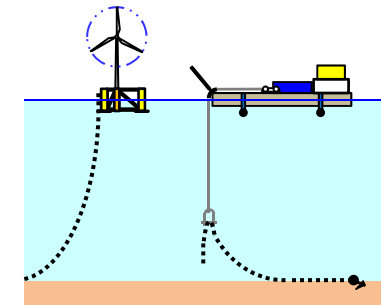
※5MW・7MW浮体式洋上風車、洋上サブステーションも同様の方法を適用。



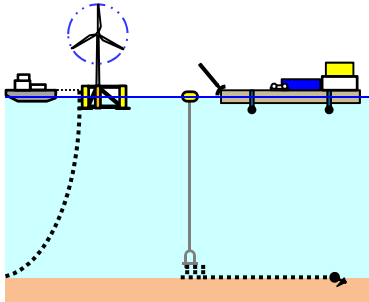
① 係留チェーンの浮体下部(フェアリーダーより下)に引上げワイヤー取付用のシャックルを設置する。



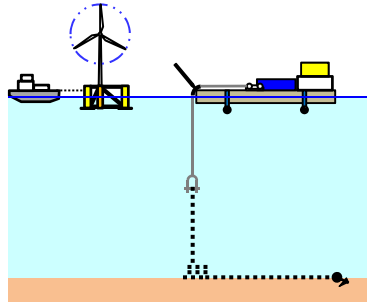
② 全ての係留チェーンにシャックルを取り付けた後、シャックルの一つに引上げワイヤーを取り付け、水面上でチェーンをランサー等により溶断する。



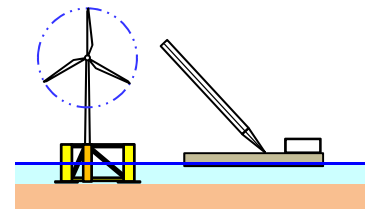
③ 引上げワイヤーを下し、係留チェーンを仮置きする。



④ 3本目の引上げワイヤーを仮置きした後、浮体と曳船に曳航索を取り付け、浮体位置を保持する。



⑤ 全ての引上げワイヤーを仮置きした後、浮体を港へ曳航する。引上げワイヤーを1本ずつ回収し、2本毎に運搬用作業船に移して港へ輸送する。



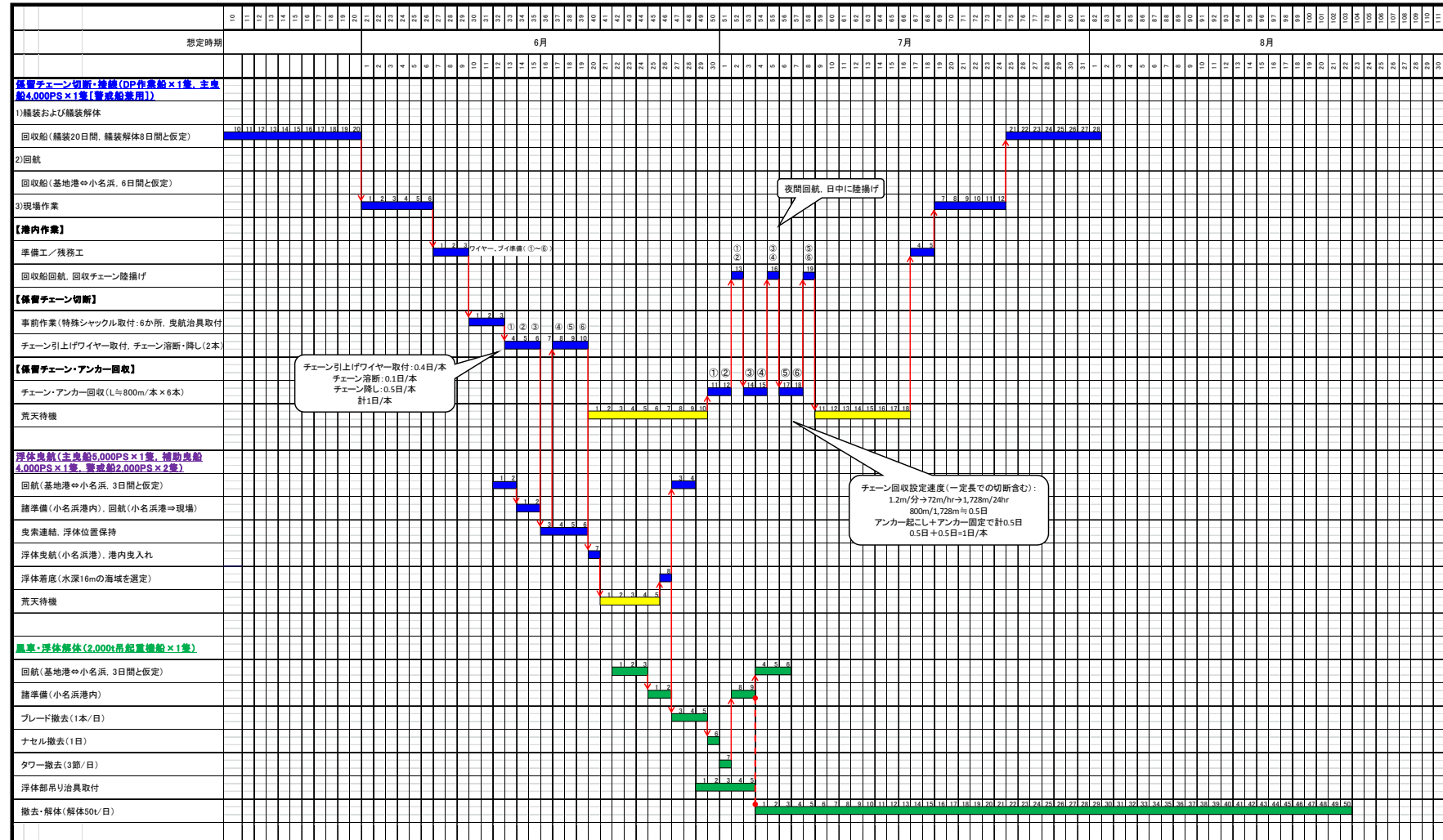
⑥ 浮体は港内の所定の水深(起重機船の吊具がナセルに届く水深)の海域に着底させ、起重機船により風車を解体する。風車を除去した後、浮体を起重機船により陸揚げし、解体する。

コンセプトのポイント

- 稼働率が低い洋上クレーン作業が不要
- ROV船を使用せず、警戒船と曳船の兼用などにより船舶コストを低減
- 浮体を速やかに港内に曳航して気象・海象の影響を受け易い洋上作業を最小化

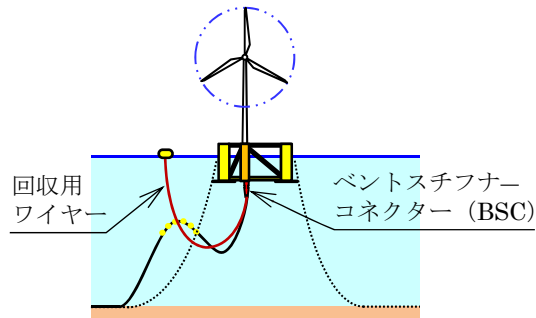
(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

2MW風車・浮体撤去スケジュール(案)

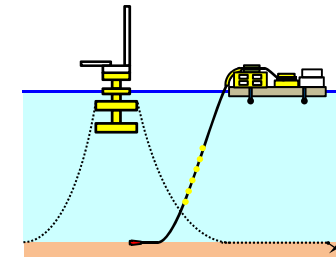
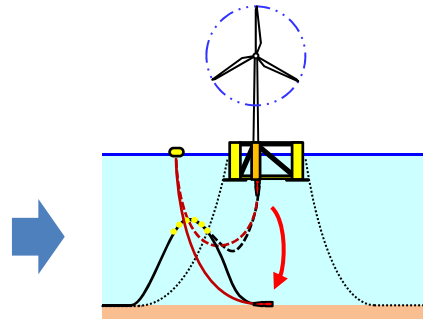


(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

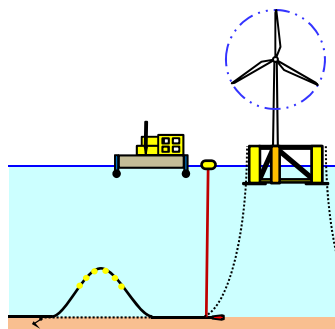
送電ケーブル撤去方法(案)



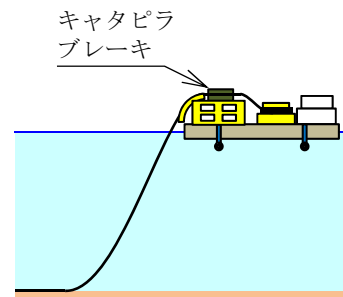
- ① 浮体下のベントスチフナーコネクター(BSC)の下部にブイにつなげた回収用ワイヤーを取り付け、ダイバーによりBSCを水中ランサー等を使用して切断する。



- ② 洋上サブステーション側も同様にBSCを切断し、ケーブルを海底に仮置きする。



- ③ BSC及びケーブルが海底に着底したら作業船上にブイを取り込み、ケーブルを巻き上げる。



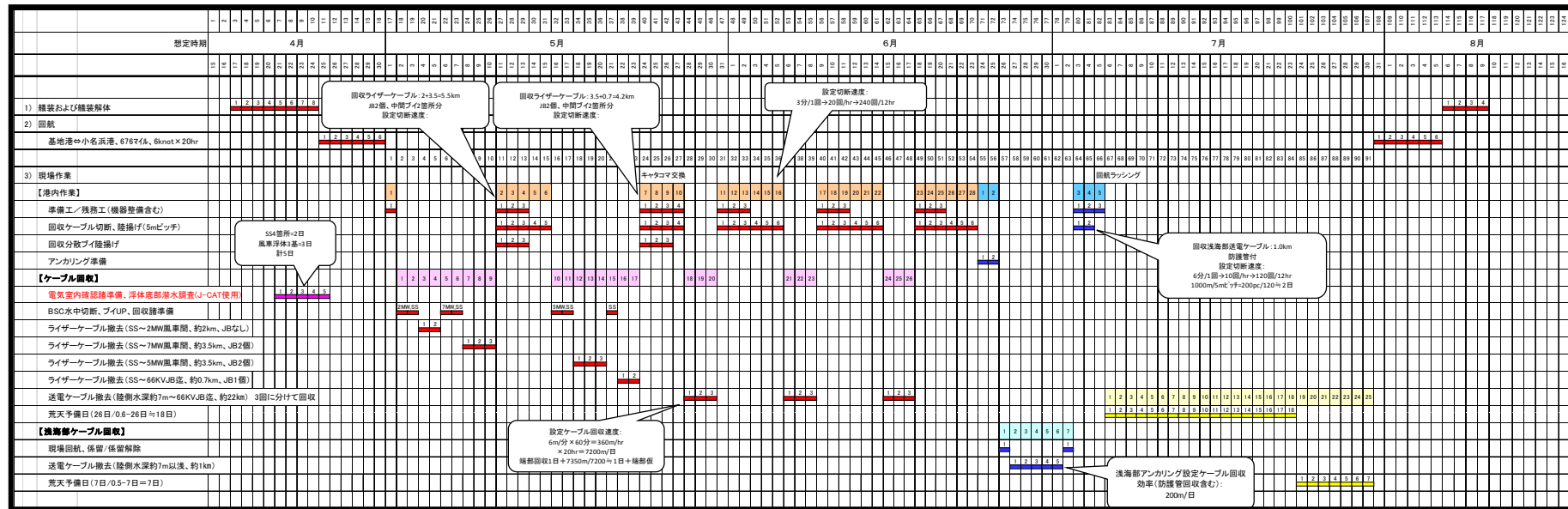
- ③ 作業船位置を船位保持システム(Dynamic Positioning System : DPS)で操作し、キャタピラブレーキによりケーブルを作業船上に巻き上げる。

コンセプトのポイント

- 稼働率が低い洋上クレーン作業が不要
- ROV船を使用せず、警戒船と曳船の兼用などにより船舶コストを低減

(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

送電ケーブル撤去スケジュール(案)



(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

- 実証施設(洋上サブステーション、各風車・浮体、送電ケーブル)の大規模修繕方法を立案する。
- 実証施設の各構成施設について、立案した大規模修繕方法によるコストを試算する。

現状認識と研究の目的

浮体式洋上風力の事業性の検討には、施設のライフサイクルコストの明確化が必要である。本テーマでは、ライフサイクルコストを構成する大規模修繕コストを明らかにするため、実現性のある合理的な施工コンセプトを立案し、そのコストを試算する。

実施方法

- 国内に既存の施工機器の使用を基本に、大規模修繕(修繕の内容としては、最もコストを要する風車交換を想定。ケーブルはライザーケーブル交換を想定。)の施工コンセプトを構築する。
- 施工コンセプトによる工程表を作成する。
- 工程表を基に、コストを試算する。

(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価

浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

- 現状の日本において実現可能な実証施設の大規模修繕に係る施工コンセプトを立案した。
- 立案した施工コンセプトによる概算コストは74～85億円であることが分かった。

実証事業の成果

- 現状の日本において実現可能な範囲で最低コストとなる施工コンセプトを構築し、作業船の稼働率(40～60%)を考慮した大規模修繕(風車交換・ライザーケーブル交換)概算コストの試算結果を得た。

対象施設	大規模修繕コスト(税別)	備考
2MW機	16～18億円	係留索:6本、上載部(風車)重量が最も小さい
5MW機	16～20億円	係留索:6本、上載部(風車)重量が2番目に大きい
7MW機	20～22億円	係留索:8本、上載部(風車)重量が最も大きい
サブステーション	15～16億円	係留索:4本、上載部重量が3番目に大きい
送電ケーブル	7～9億円	
合計	74～85億円	

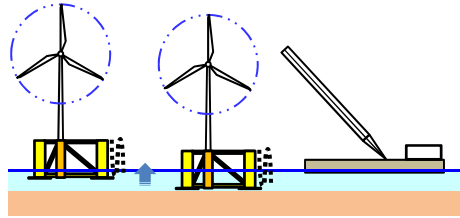
※ 風車、ライザーケーブル等の材料費は含まない。

- 撤去概算コストと同様、係留索の本数、浮体の大きさに応じてコストは増加。
- 一層のコストダウンのためには、より効率的な施工機器を新規に開発したり、海外から導入したりすることが必要。

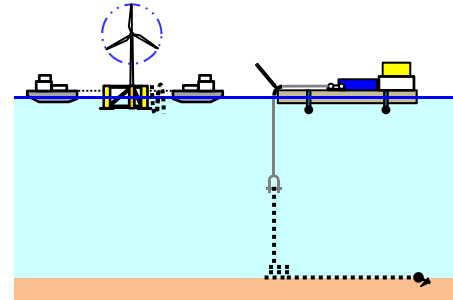
(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

2MW風車・浮体大規模修繕方法(案)

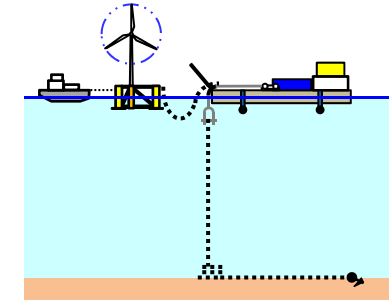
※5MW・7MW浮体式洋上風車、洋上サブステーションも同様の方法を適用。



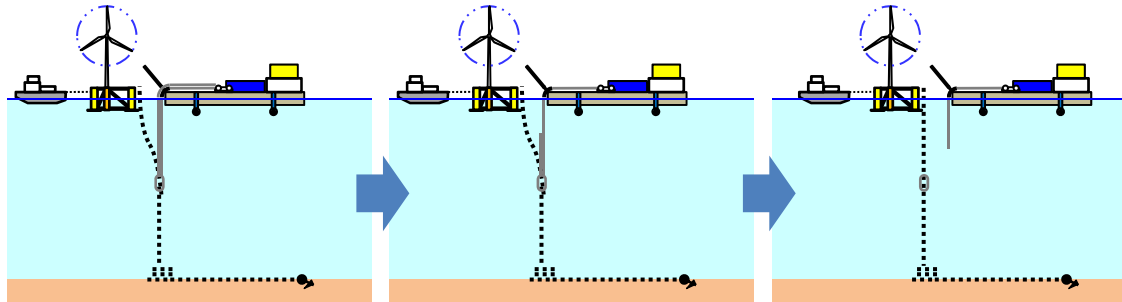
- ① 浮体を港内の所定の水深(起重機船の吊具がナセルに届く水深)の海域に着底させ、起重機船等を使用して修繕を行う。修繕完了後、チェーンストッパーに短尺の係留チェーンを仕込んでから浮体を浮上させ、曳船により設置海域へ曳航する。



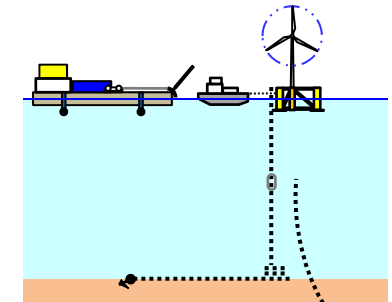
- ② 浮体が設置海域に到着する前に、引上げワイヤーを作業船で回収し、係留チェーン末端を作業船上に引き上げる。浮体位置を曳船2隻で保持し、浮体に仕込まれた短尺の係留チェーンの末端を作業船に引き込む。



- ③ 作業船上で係留チェーンをエンドリンクを介して接続し、エンドリンクを抜き通して折り返したロープやワイヤー等により吊り下げる。



- ④ 係留チェーンの吊り下しを完了後、ロープやワイヤーを引き抜いて回収する。



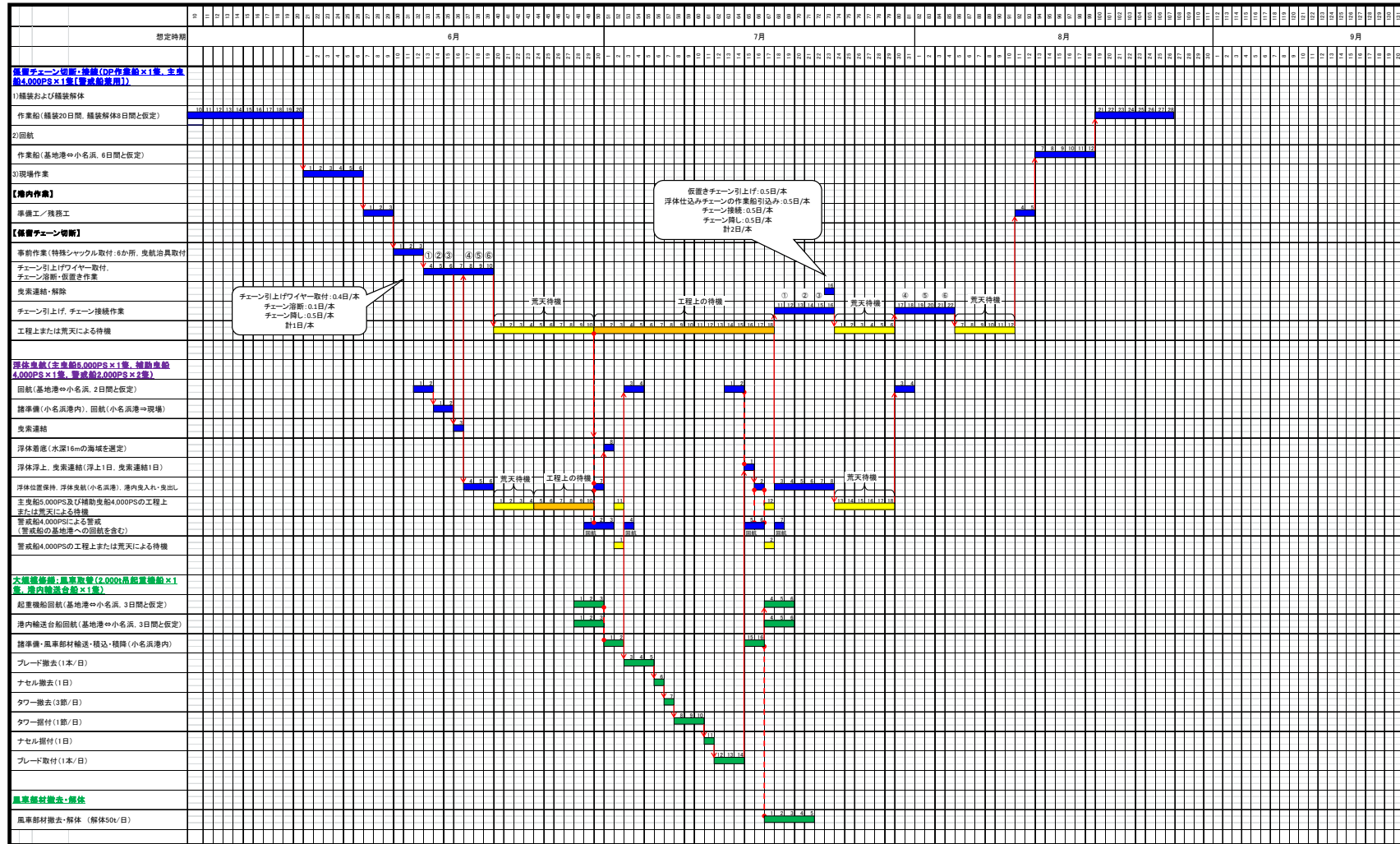
- ⑤ 曳船2隻で浮体の位置を制御し、他の係留チェーンを同様の要領で接続する。

コンセプトのポイント

- 稼働率が低い洋上クレーン作業が不要
- ROV船を使用せず、警戒船と曳船の兼用などにより船舶コストを低減
- 浮体を速やかに港内に曳航して気象・海象の影響を受け易い洋上作業を最小化

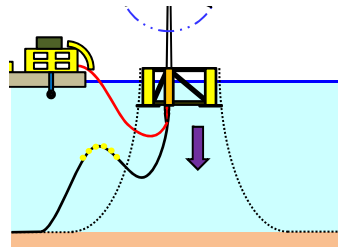
(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

2MW風車・浮体大規模修繕スケジュール(案)

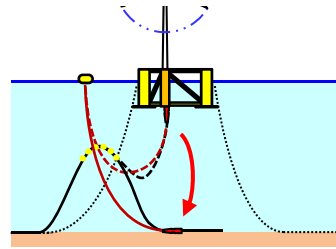


(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

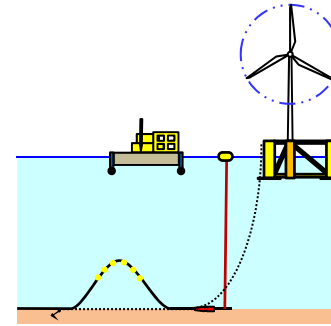
ライザーケーブル部撤去及び再布設(案)



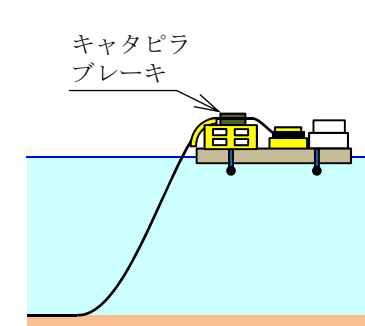
① BSCに油圧ツールを取り付けてストッパーを緩め、BSCを約5m降下させる。



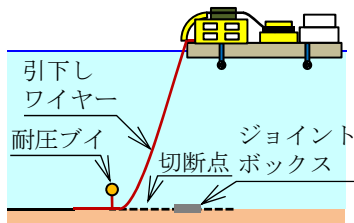
② BSCの上のケーブルにブイを取り付けた回収用ワイヤーを取り付ける。浮体のライザー管上端からワイヤーで管内のケーブルを吊り下し、ダイバーにより浮体底面でワイヤーを切断する。



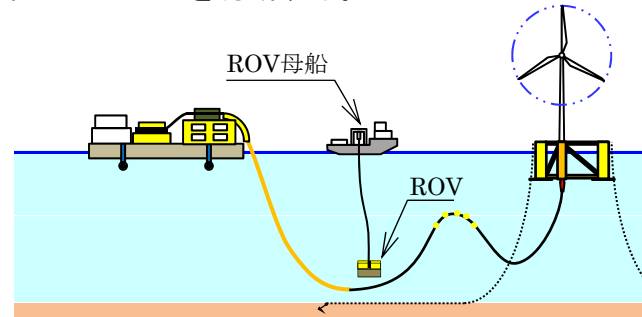
③ ケーブルが海底に着底したら作業船上にブイを取り込み、ケーブルを巻き上げる。



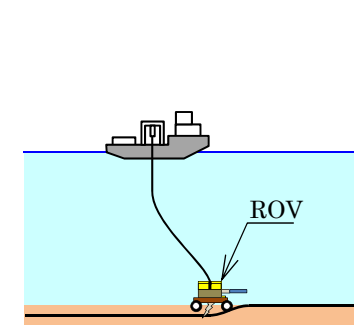
④ 台船位置をDPSで操作し、キャタピラブレーキによりケーブルを作業船上に巻き上げる。



⑤ ジョイントボックス引き上げ後、海底ケーブルを切断する。切断面処理後、海底ケーブルに耐圧ブイを取り付け、沈設する。



⑥ 新設時と同様の要領で浮体にケーブルを引き込み、布設する。



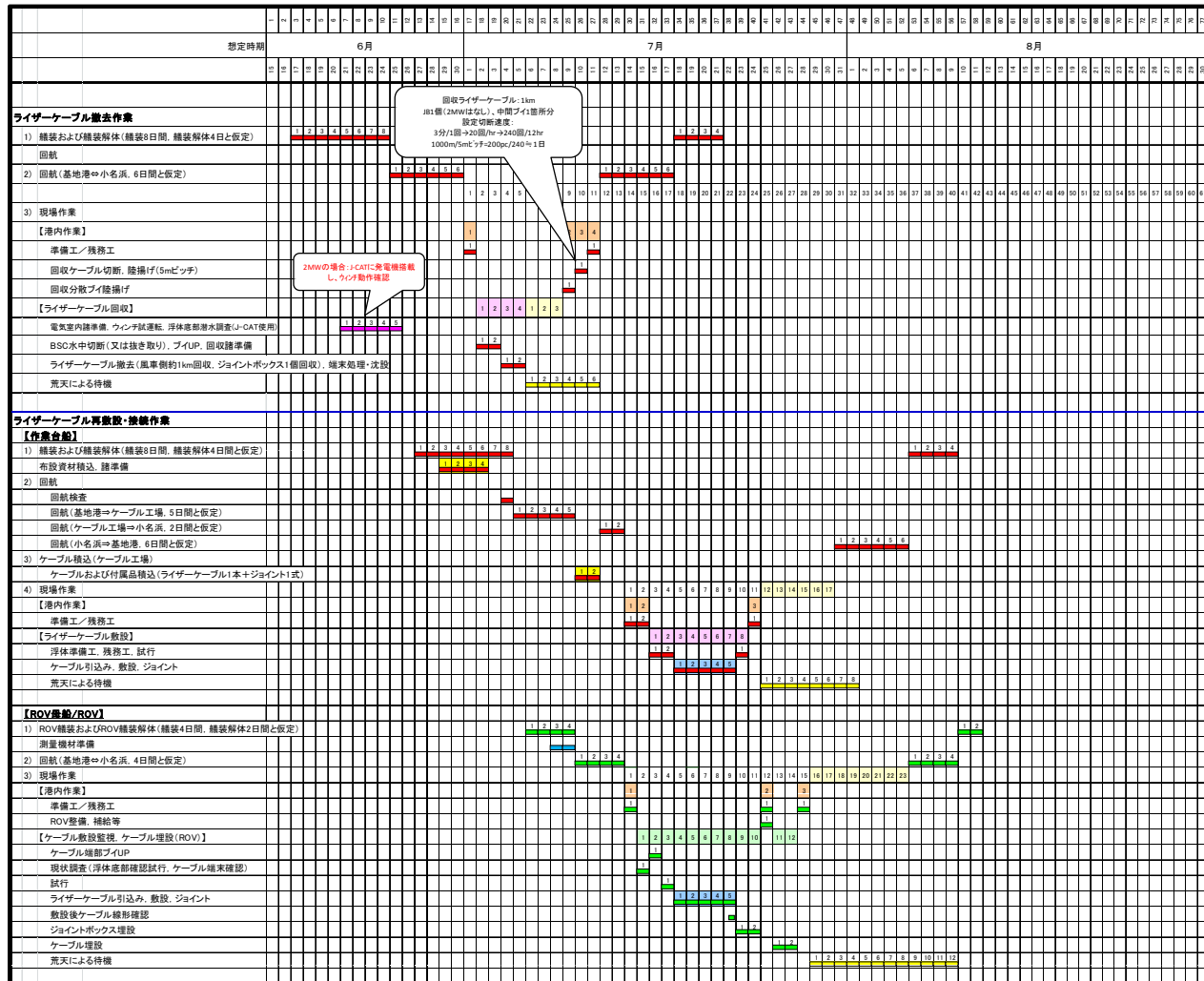
⑦ 新設時と同様の要領でROVを用いてケーブルを埋設する。

コンセプトのポイント

- 稼働率が低い洋上クレーン作業が不要
- ※浮体へのケーブル引込、ケーブル埋設にROVは必須のため、ROV船の使用は容認

(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

ライザーケーブル再布設スケジュール(案)



(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

- 国外の洋上風車における修繕・交換等技術を調査する。
- 調査した技術について国内への適応性を検討し、立案した施工コンセプトの合理化に役立てる。

現状認識と研究の目的

国内には洋上風車の実績が少なく、浮体式洋上風車の撤去・大規模修繕に適用・応用できる既存技術は限定的である。洋上風車の実績が豊富な国外の技術を評価し、適応することによって立案した施工コンセプトの一層の合理化を検討する。

実施方法

- 国外の洋上風車の計画や設計に関わる実績を豊富に有する調査業者に外注し、実績ある技術を調査する。
- 洋上風車に類似した構造形式を有する石油・ガス開発用浮体についても技術の調査を行い、浮体式洋上風車への適応性を検討する。

(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価

浮体式洋上風力発電設備の維持管理等に係るコストダウンに向けた方策の検討

- 国外における洋上風車の修繕・交換等の技術を調査し、立案した技術コンセプトとの比較検討を行い、浮体式洋上風車の施工コンセプトの改善に役立てた。
- 国外における係留チェーン・アンカーの残置について調査し、国内の状況との比較により施工コンセプトへの影響を検討した。

実証事業の成果

- 国外における浮体式洋上風車の事例としてHywindプロジェクトについて調査し、次の結果を得た。
 - ✓ 主曳船やケーブル敷設船へのROV搭載、動揺制御機能を有するクレーン船など、施工方法の合理化や稼働率向上が考慮されている。これらの技術の国内への導入には、環境条件等に対する適応性の検討が必要である。
 - ✓ 工事コストの大きな部分を占める傭船コストの差はコスト差が生じる主要因の一つと考えられる。
- 国外における浮体構造物撤去時の係留チェーン・アンカーの残置について調査し、下記の情報を得た。
 - ✓ 残置には世界的・地域的な規制の枠組みはなく、経済的・社会的側面の評価により撤去或いは残置が選択される。
 - ✓ 埋設された施設はそのまま残置されることが一般的であった。露出した施設の残置は、生態系、漁業への影響を評価することが求められる。
 - ✓ 近年は撤去が求められる雰囲気強い。
 - ✓ 石油・ガス関連施設に比べ、浮体式洋上ウインドファームは残置物の数が多く、影響が大きい。

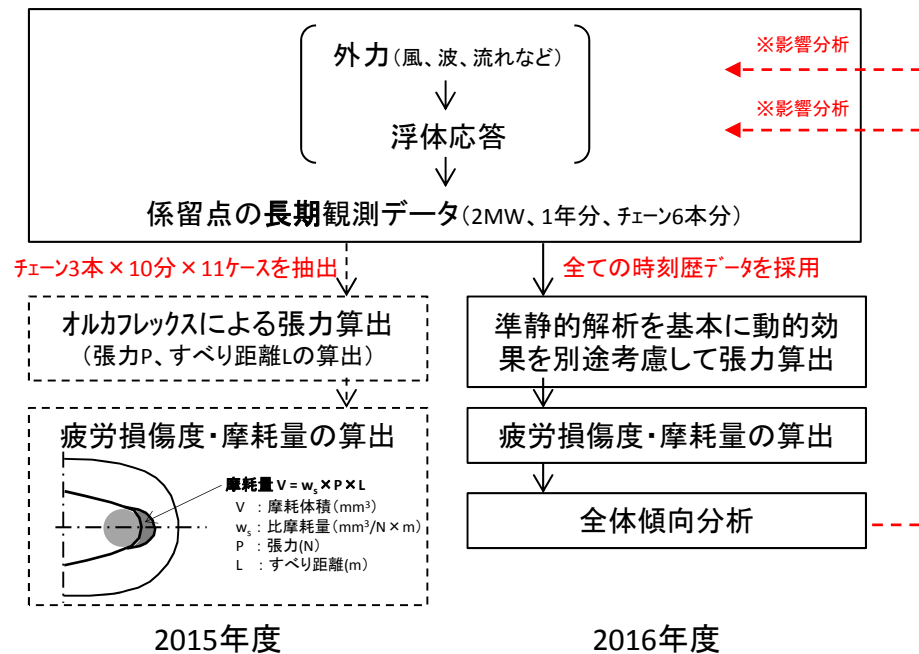
(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備用鋼材の実証研究

○長期動揺計測データ(2MW、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

現状認識と研究の目的

- チェーンは取付部、海底部の摩耗により、係留の信頼性、経済性を損なうことが懸念される。
- 摩耗の大きい部位を簡易に予測できれば、摩耗対策やモニタリングを集中的に行うことが可能となり、信頼性、経済性、維持管理性が向上する。

実施方法



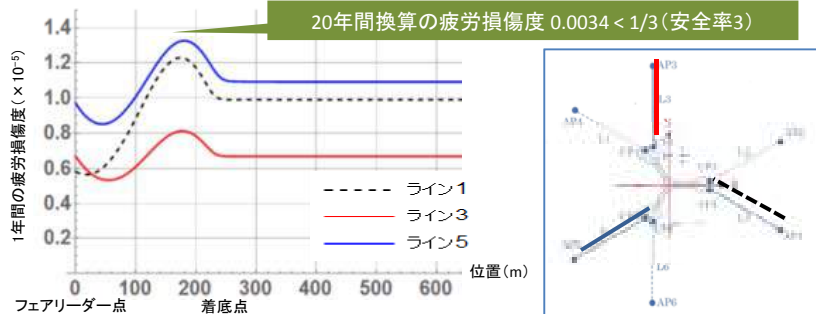
(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備用鋼材の実証研究

○長期動揺計測データ(2MW、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
【分析項目】: 張力・撓動量の特徴、及び摩耗量・疲労損傷度の大きい部位、発生時期

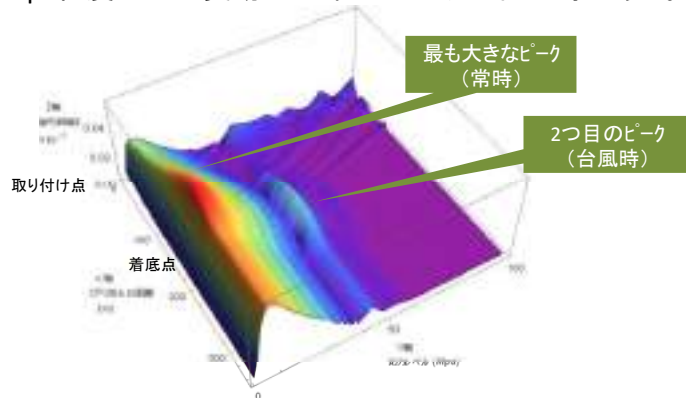
実証事業の成果

①疲労損傷度 : 1年間の累積疲労損傷度

- 疲労損傷度が最大となるのは海底部付近であり、20年間の疲労損傷度は最大で $0.0034 < 1/3$ (安全率3)である。
- 現行基準による設計手法で安全性は確保できている。



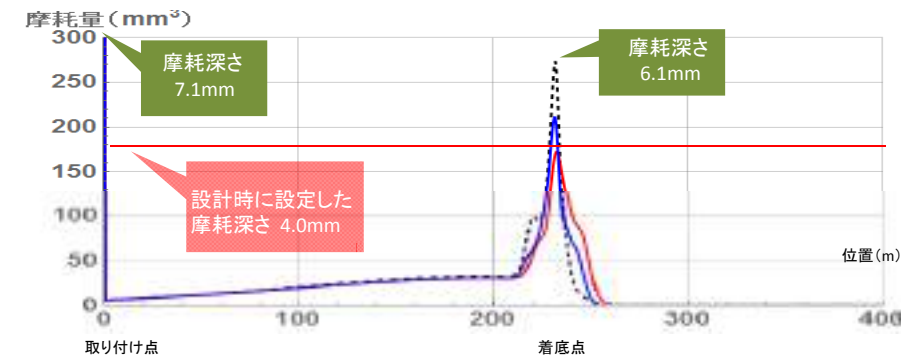
- 10~20Mpaの応力変動で最も大きなピークは常時である。
- 40Mpa程度の応力変動で2つ目のピークは台風時である。



②摩耗量 : 1年間分の摩耗量

- フェアリーダーと着底部付近にピークを持つ。20年間の摩耗量は、フェアリーダーで7.1mm、着底部で6.1mmである。

- 設計で想定した摩耗深さ4mmを超える箇所が部分的に存在する。



- 撓動量が重要、台風時の水平方向動揺に伴い摩耗が増大している。



(2)事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備用鋼材の実証研究

- 干満帯、飛沫帯へのライニング施工が可能なステンレス薄板材料の適用評価を行う。
- サブステーション上に設置した曝露試験片を回収、分析することにより、適合可否を評価する。

現状認識と研究の目的

操業稼働時の耐久性を向上させるためには、浮体式洋上風力発電システムの耐食性能の向上が不可欠であるが、最適な耐食技術は腐食環境ごとに異なるため、浮体式洋上風力発電システムの実環境下における実証研究が必要であり、本研究を通じて、将来的には耐食鋼の適用が促進され、浮体式洋上風力発電設備の操業稼働時の耐食性向上が期待できる。

実施方法

本研究では、サブステーション上に設置している曝露試験片を回収し、調査分析を行う。また、それに基づき、耐食鋼の洋上での実用化に向けてのコストダウン策、適用部位の検討を行う。

(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備用鋼材の実証研究

- サブステーション上に設置した曝露試験片を回収し、評価・解析を実施した。
- 上記に基づき、耐食鋼の洋上での実用に向けてのコストダウン策、適用部位の検討を行った。

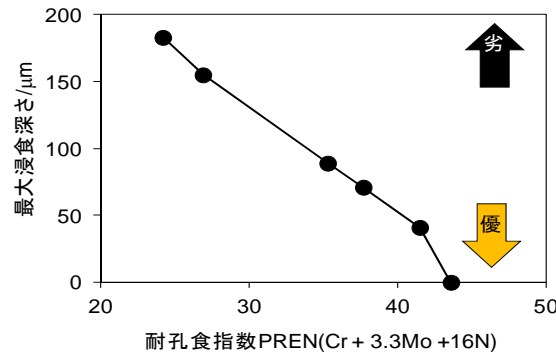
これまでの成果

干満帯、飛沫帯へのライニング施工が可能なステンレス薄板材料を各種選定し、実証評価データを採取することを目的とし、サブステーションに6種類のステンレス鋼を約3年間曝露して回収評価・解析を行った。その結果、以下の知見を得た。

- 1) SUS312Lの曝露試験片表面およびボルト孔部では、孔食およびすきま腐食の発生は確認されなかった。
- 2) 素材のCr、Mo、Nから計算される耐孔食指数PREN(*)の増加に伴い最大局部腐食深さは減少し、耐孔食指数PRENが42以上の場合に最大局部腐食深さはゼロとなる。



サブステーション上の曝露試験片



浸食深さ耐孔食指数PRENの関係

*耐孔食指数PREN

ステンレス鋼の耐孔食性に関する指標の一つ。

PREN = Cr + 3.3Mo + 16Nにより算出される。PRENの値が大きいほど孔食(Pitting)が発生し難い。

また、暴露試験結果から耐孔食指数の大きなSUSを使用して、ライニング等を施すことで、再塗装費等の維持管理費用が低減する可能性が判明したことから、ボードフェンダー等の浮体着船部への適用と、図面等に基づき適用方法の検討を行った。

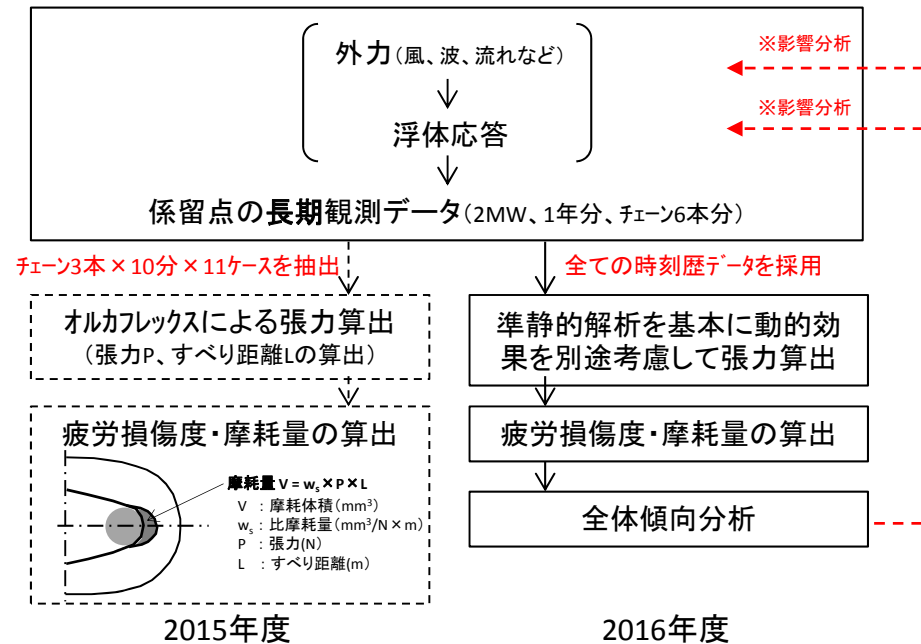
(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備用鋼材の実証研究

○係留チェーンの耐久性評価法、及び設計法の提案

現状認識と研究の目的

- チェーンは取付部、海底部の摩耗により、係留の信頼性、経済性を損なうことが懸念される。
- 摩耗の大きい部位を簡易に予測できれば、摩耗対策やモニタリングを集中的に行うことが可能となり、信頼性、経済性、維持管理性が向上する。

実施方法



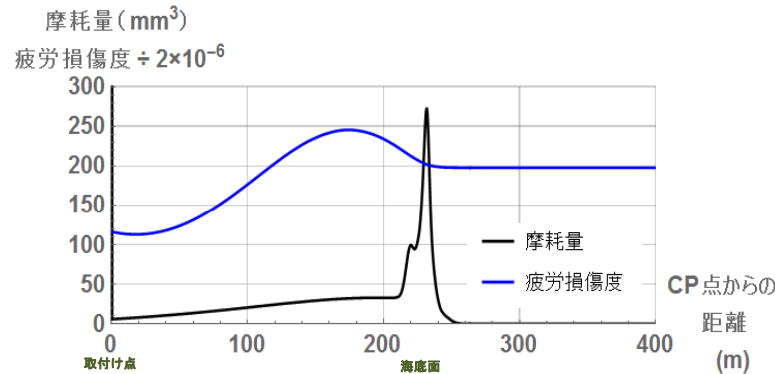
(2) 事業化を見据えた安全性・信頼性・経済性評価 浮体式洋上風力発電設備用鋼材の実証研究

○算定した疲労損傷度、摩耗量の算定、及びその傾向分析に基づき、係留チェーンの摩耗、疲労、腐食の算定方法(提案)の妥当性をレビュー

実証事業の成果

①疲労と摩耗の相互影響

- 疲労が最大となる部位は海底面より少し上の部分であり、摩耗量が最大となる部位はTDP付近である。係留チェーン設計時は **両者の最大値の位置が異なることを踏まえる必要がある。**

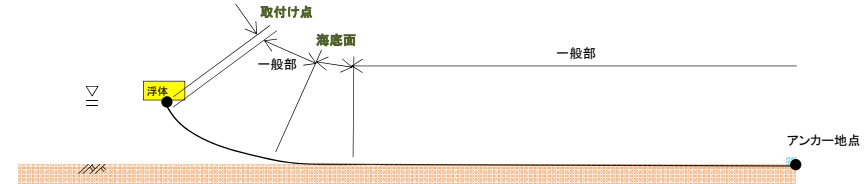


②腐食・摩耗・疲労の相互影響

- 他の研究事例(海域観測結果)によれば平均腐食速度は1年間、10年間、30年間でそれぞれ0.22mm/年、0.08mm/年、0.04mm/年と時間とともに減少する傾向。
- チェーンの表面では、腐食生成物が成長する前に削りとられるため、常に新生面が現れ、初期と同じ状態で腐食は進行すると考えられる。
- したがって、腐食・摩耗・疲労の相互影響を考慮する場合は、**腐食速度を0.22mm/年と設定するのが適当**と考えられる。

③まとめ

- 係留チェーンの設計法(疲労照査で用いる応力集中係数 SCF を求める際のFEM解析モデルで考慮する摩耗量)は、以下のように設定することが望ましい。



	従来の設計	2015年度までの提案法	本年度研究成果
取り付け点 海底面近傍	一様腐食 0.2 mm/年	一様腐食 0.2 mm/年 + 局部腐食摩耗 0.6 mm/年	一様腐食 0.22mm/年 + 局部腐食摩耗 0.4mm/年 (≒7.1mm/20年)
一般部 (上記以外)			一様腐食 0.2mm/年

※上表に示す各値は、2015年度の2MW浮体の実測データを用いたシミュレーション結果に基づくものであり、実際の設計に用いる際は、取り扱いに注意する必要がある。

5. 「国民との科学・技術対話」の実施

○ 展示場、ホームページ及び展示会の1日平均の来場者数が前年度平均よりも増加した。

常設展示場	ホームページ	展示会・シンポジウム
<p>① 交流センター</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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、高崎高、静岡桐陽高、海洋工学会、中部メガP研究会他 • 来場総数 40千人、160人/日 (4/1-11/30) <p>② 天神岬展望コーナー</p> <ul style="list-style-type: none"> • 説明版展示、望遠鏡設置 • 小池東京都知事視察 (11/2) <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="259 1062 517 1241">  <p>小名浜第一小 課外学習</p> </div> <div data-bbox="544 1062 790 1241">  <p>小池東京都 知事視察</p> </div> </div>	<p>① H28年度版和文・英文開設 (7/4)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5MW風車 曳航、設置状況のニュース配信 • 研究通信 • 海上工事広告 • お問い合わせ:取材対応、写真提供等11件 • 訪問者総数 18千人、125人/日 (7/4-11/30) <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="853 1015 1149 1241">  <p>H28ホームページ</p> </div> <div data-bbox="1176 938 1395 1241">  <p>政府海外広報 9月号掲載</p> </div> </div>	<p>① 福島産業フェアー 2016</p> <ul style="list-style-type: none"> • 10/19-10/20 /2016 • 福島県郡山ビックパレット • 5MW風車曳航・設置パネル • 2MW風車模型、施工映像 • H28年度研究課題パネル • 来場者総数 1,230人 <p>②風力エネルギー利用シンポ</p> <ul style="list-style-type: none"> • 11/30-12/1/2016 • 福島関連論文 4件 <p>③WIND EXPO2017</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3/1-3/3/2017 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="1435 1038 1693 1233">  <p>畠福島県副知事来場 産業フェアー</p> </div> <div data-bbox="1715 1038 1973 1233">  <p>ブース全景 産業フェアー</p> </div> </div>