

2024年度NEDO再生可能エネルギー一部成果報告会 プログラムNo.13

契約件名 グリーンイノベーション基金事業／ 洋上風力発電の低コスト化／ 浮体式基礎製造・設置低コスト化技術開発事業／ 浮体式大量導入に向けた大型スパー浮体式基礎の 製造・設置低コスト化技術の開発

発表日： 2024年12月18日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 西郡 一雅*

*東京電力リニューアブルパワー(株), 東京電力ホールディングス(株), (国)東京大学

問い合わせ先 東京電力リニューアブルパワー(株) <https://www.tepco.co.jp/rp/>

1. 目的

15MW級風車を搭載可能なスパー型浮体を対象とし、浮体・係留システム・施工技術を中心とする低コスト化要素技術および大量生産技術を開発すること。

2. 期間

2022年4月22日 ～ 2024年3月31日

3. 目標（最終）

2030年までに、一定条件下（風況等）で、浮体式洋上風力を国際競争力のあるコスト水準で商用化する技術を確立すること。

4. 成果概要

本事業では、製造性に優れるスパー型浮体を対象とし、①浮体基礎の最適化、②大量生産可能な浮体製造技術の確立、③ハイブリッド係留システムの設計確立、④低コスト施工技術の開発に取り組みました。

検討を予定どおり完了し、所定の目標である資本費 25%低減を達成し、2030年に発電コスト 20円/kWh以下を見通す要素技術を開発しました。

1. 研究の全体像
2. 提案浮体の特徴
3. 研究成果
4. まとめ

1. 研究の全体像

4

目的・目標

本研究では、15MW級風車を搭載可能なスパー型浮体を対象とする低コスト化要素技術および大量生産技術を開発し、2030年までに一定条件下（風況等）で、浮体式洋上風力を国際競争力のあるコスト水準で商用化する技術を確立すること。（事業目標：資本費25%低減）

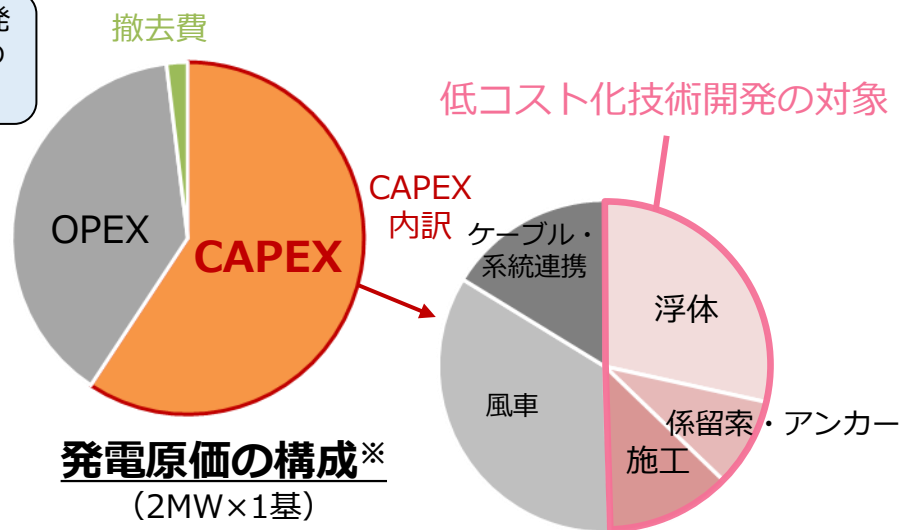
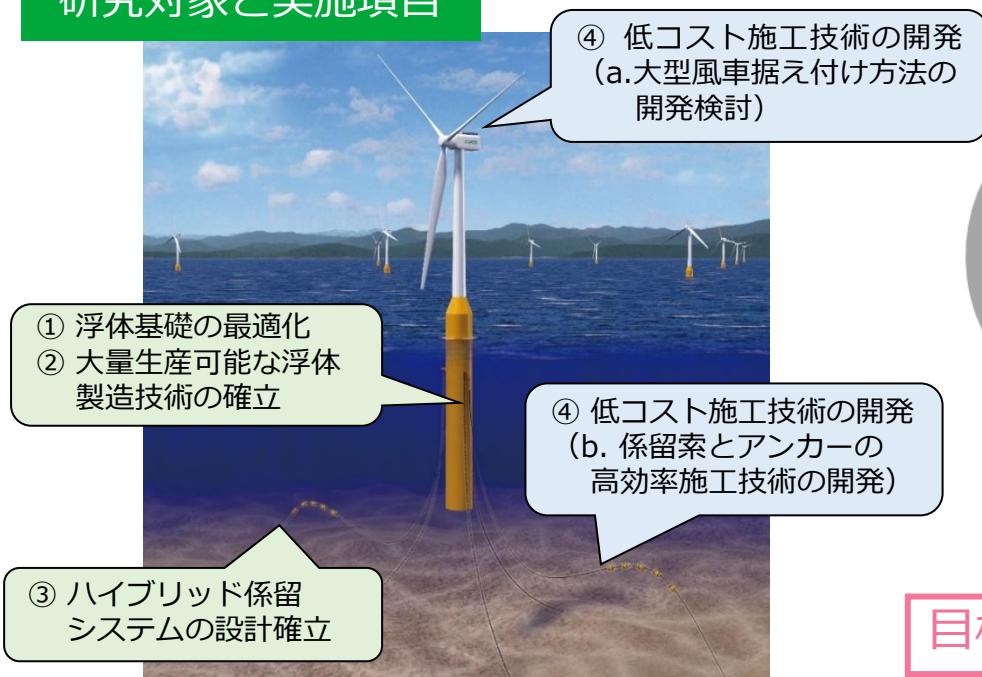
実施体制

東京電力リニューアブルパワー、東京電力ホールディングス
（事業の一部委託先：東京大学）

事業期間

2022～2023年度（2年間）

研究対象と実施項目



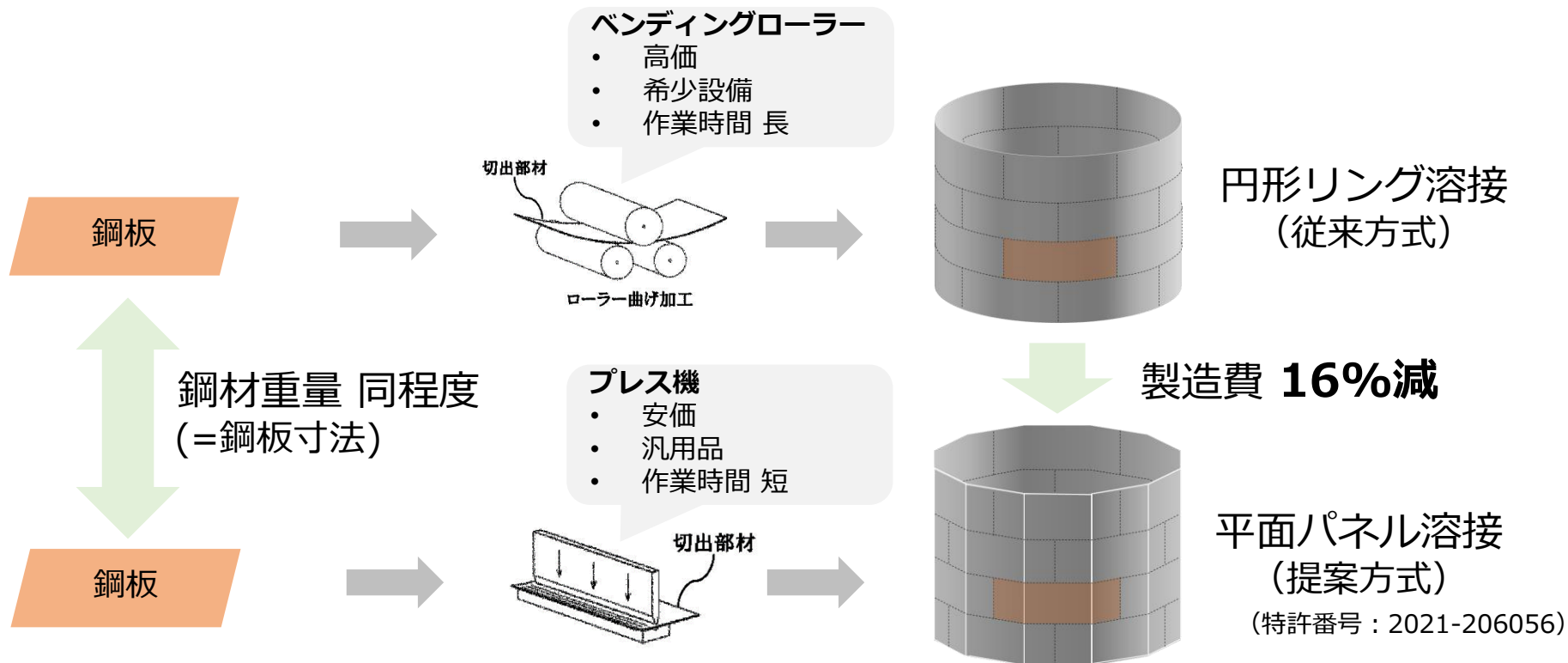
目標：浮体基礎・係留・施工費 25%低減

（※ CAPEXは、Floating Offshore Wind Market and Technology Review (Carbon Trust, June 2016)を参照して算出）

2. 提案浮体の特徴

(スパー型浮体の製造に平面パネル溶接方式を導入して低コスト化)

- 提案の平面パネル溶接方式を導入して製造するスパー型浮体は、従来の円形リング溶接方式を導入して製造するスパー型浮体と同様に鋼材メーカーが供給可能な最大寸法の鋼板を使用するため、**溶接線の延長は同程度**
- 鋼板屈曲部をプレス機で加工して成型するため、作業時間短縮
(製造時間短縮に加えて、**プレス機は安価で汎用品**のため、**鋼材加工費も低減**)



円筒形の鋼製ブロックを製造する場合の鋼板加工方法

(参考文献)

・西郡一雅、保木本智史、菊地由佳：浮体式洋上風力発電低コスト化技術開発（大型スパー浮体）、日本風力エネルギー学会誌、2021年45巻4号p.603-607

3. 研究成果（実施内容）

6

実施項目とKPI・達成レベル・主な具体的解決方法

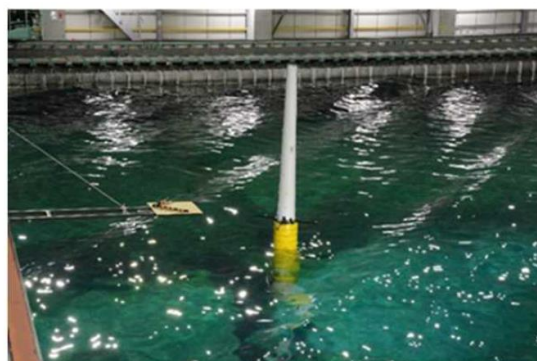
実施項目	KPI （@2023年度）	研究着手時 レベル	フェーズ1後 達成レベル	主な具体的解決方法
①浮体基礎 の最適化	浮体の調達コスト：マイ ナス16%程度※を見通 す	実験室環境 での検証 (TRL4)	模型実験・再 現解析 (TRL6)	15MW級風車と浮体の連成挙 動を把握し、問題となる連成挙動 を抑制して、浮体を日本の自然環 境に適合させつつ最適化
②大量生産 可能な浮体 製造技術の 確立	ドックに依存しない浮体 の大量製造等の技術を 見通す	実験室環境 での検証 (TRL4)	浮体製造手順 の作成 (TRL6)	連続製造に適した浮体を設計し、 浮体製造のパネル化やブロック化、 分割施工、 陸上での浮体組立、 浜出し方法 の確立
③ハイブリッド 係留システム の設計確立	係留索の調達コスト： マイナス4%程度※を見 通す	実験室環境 での検証 (TRL4)	使用環境再現 試験による検 証（TRL6）	15MW級風車搭載浮体に対応す るハイブリッド係留索の設計につい て、使用環境を考慮して最適化
④低コスト施 工技術の開 発	施工コスト：マイナス 5%程度※を見通す	実験室環境 での検証 (TRL4)	海域施工実証 (TRL6)	ジャッキアップ型作業構台を活用 した大型風車の据え付け方法、ハ イブリッド係留システム等の係留 索の効率的な施工技術 の開発に よる低コスト化

（※ CAPEXの低減目標は、Floating Offshore Wind Market and Technology Review (Carbon Trust, June 2016)を参照し、
初期タイプ(2MW基×1基)のCAPEX全体に対する低減率として算出）

3. 研究成果－①浮体基礎の最適化－ (a. 大型スパーの設計技術の確立)

7

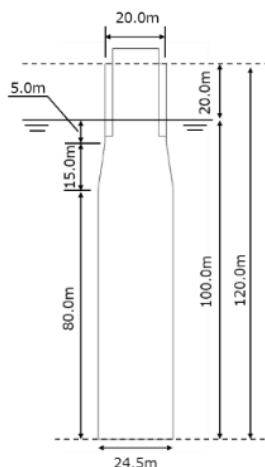
- 15MW風車を対象に平面パネル溶接方式によるスパー型浮体を基本設計の上、構造設計を最適化し、**大型スパーの技術的な実現可能性を確認**



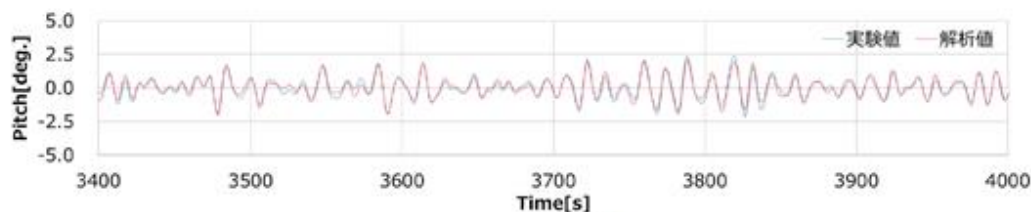
(a) 模型(1/50)

(b) 実験状況

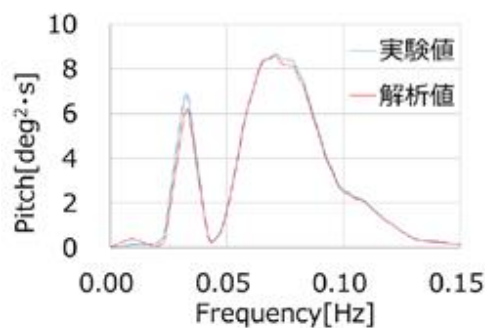
水槽模型実験の実施状況



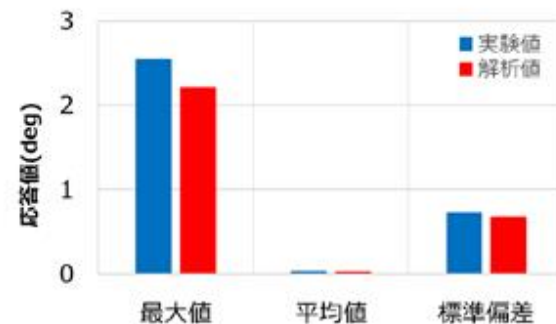
浮体の基本設計※



(時系列)



(パワースペクトル)



(統計値)

水槽模型実験および再現解析における浮体挙動

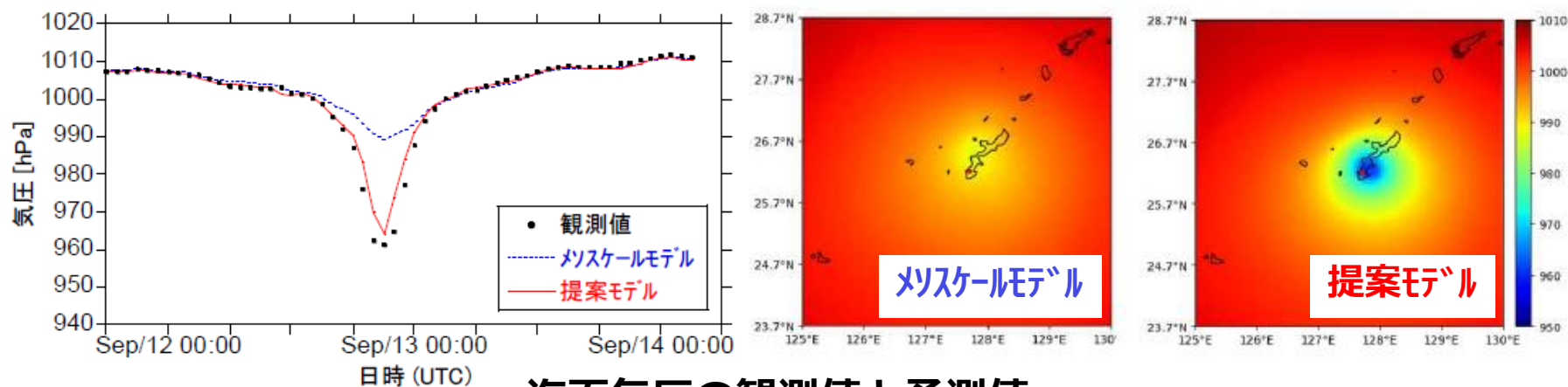
(※ 2024年3月 日本海事協会の AiP(基本設計承認) 取得済)

3. 研究成果－①浮体基礎の最適化－

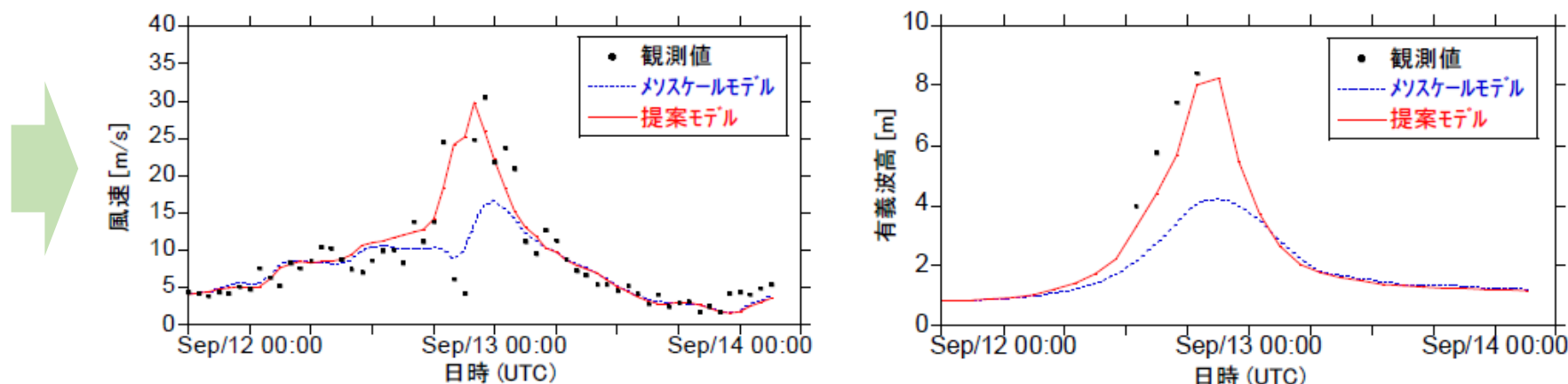
(b. 台風、複雑な海底地形等による厳しい気象・海象条件の評価)

8

- 高精度な気象・海象条件の予測のため、沿岸の観測値とメソスケール気象モデルの予測値を用いた**極値風速と極値波高の合成風速場モデル**を提案



海面気圧の観測値と予測値



風速の観測値と予測値

波高の観測値と予測値

(参考文献)

・福島雅人、石原孟：メソスケールモデルと台風モデルを用いた関東沿岸域における極値水位と極値波高の予測に関する研究、第44回風力エネルギー利用シンポジウム、2022

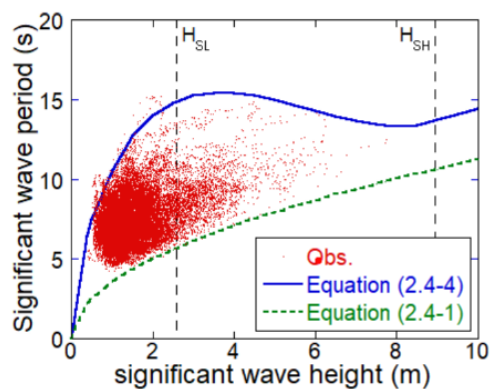
©TEPCO Renewable Power, Inc. All Rights Reserved.

3. 研究成果－①浮体基礎の最適化－

(b. 台風、複雑な海底地形等による厳しい気象・海象条件の評価)

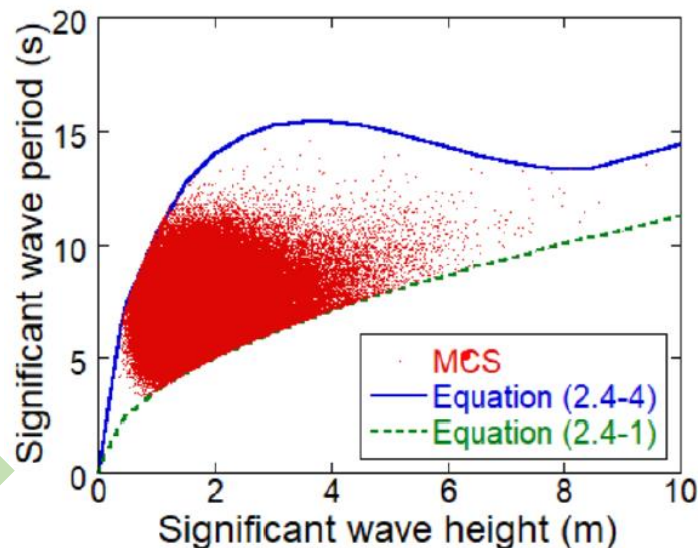
9

- ・ **浮体と係留索の高精度な疲労評価**を行うため 太平洋側の気象・海象データをもとに**波高と波周期の結合確率分布モデル**および**流れの鉛直分布モデル**を開発



a) 福島県沖観測値

良好な再現性



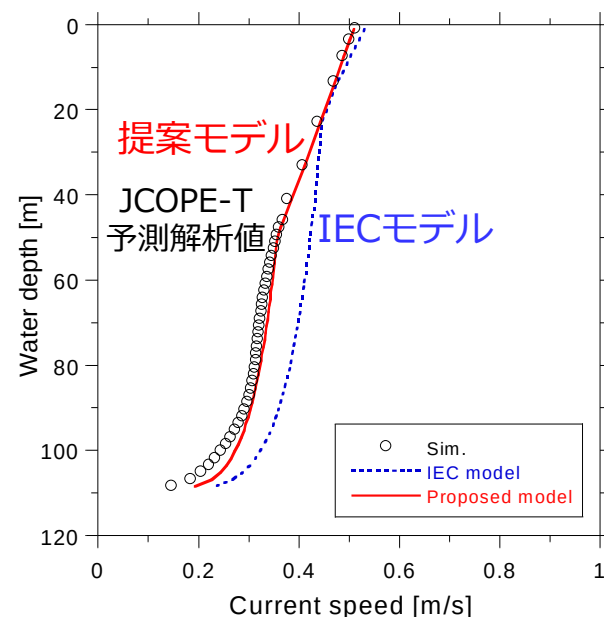
b) 提案手法で生成

有義波高と有義波周期の結合確率分布モデル

(波周期の上限と下限を考慮)

(参考文献)

- ・石原孟、君塚貴之、大森政則、荒川洋：うねりと風波の特性を考慮した波高と波周期の結合確率分布に関する研究、第45回風力エネルギー利用シンポジウム、2023
- ・石原孟、君塚貴之、川竹拓也、荒川洋：吹送流の鉛直分布を考慮した流速と風速の関係式の提案、第45回風力エネルギー利用シンポジウム、2023



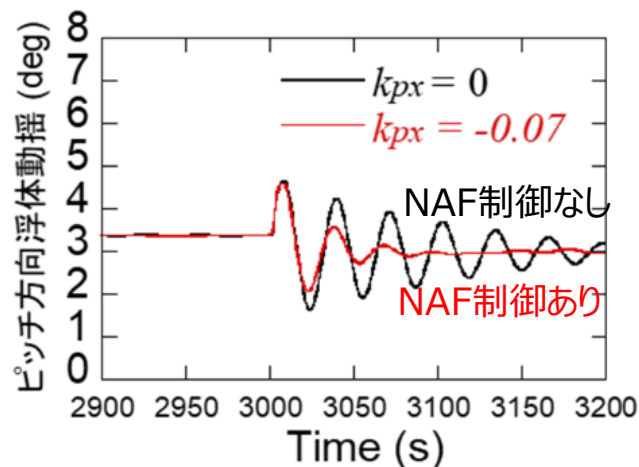
年平均流速の鉛直分布

3. 研究成果－①浮体基礎の最適化－

(c. 大型風車搭載浮体基礎と風車制御の最適化によるコスト低減)

10

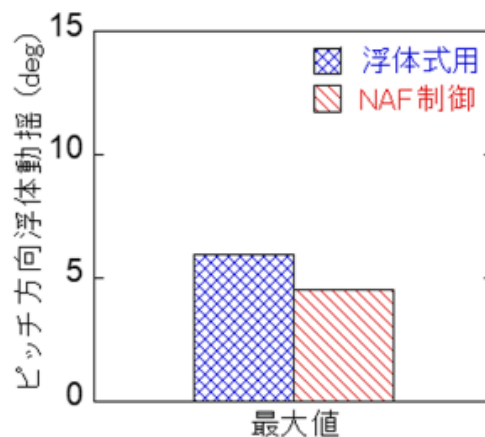
- ナセル加速度フィードバック制御を浮体式洋上風力発電システムに適用し、浮体動揺量と風車荷重の低減効果を定量的に評価



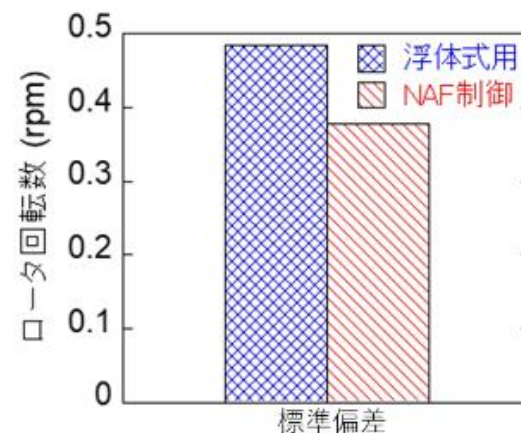
ピッチ方向浮体動揺（時系列）

（ナセル加速度フィードバック制御による付加減衰の効果）

（NAF制御：ナセル加速度フィードバック制御）



ピッチ方向浮体動揺（最大値）



ロータ回転数（標準偏差）

浮体動揺低減効果の予測

（参考文献）

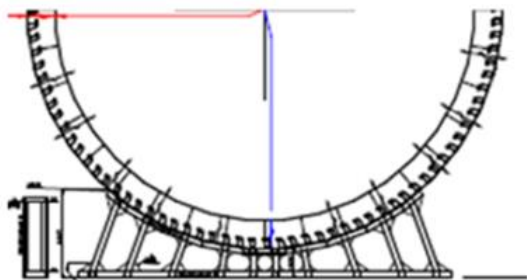
- ・本間慶太、菊地由佳、石原孟：風車制御によるスパー型浮体式洋上風力発電システムの浮体動揺と風車荷重低減に関する研究、令和6年度土木学会全国大会第79回学術講演会、2024

3. 研究成果－②大量生産可能な浮体製造技術の確立－

11

- **ドック製造と同程度の品質とコスト**で大量生産可能な浮体製造技術を考案

→ 4ヶ月毎に浮体を建造・進水させ、**年間24 基建造可**（15ha程度のヤード利用）

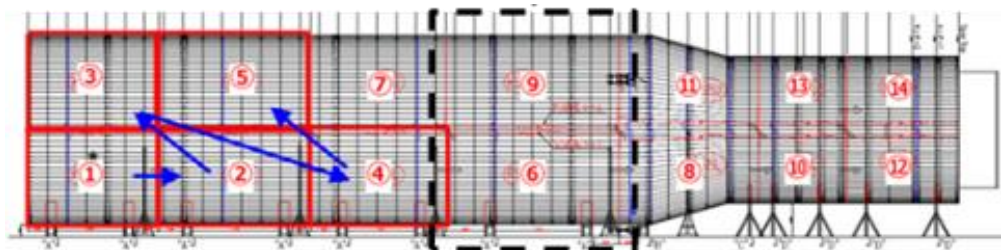


1ブロックあたり
重量：200～370t
サイズ：長さ11～22m
幅 24.5m
高さ13m

本検討におけるブロックサイズ



浮体製造工場の3Dレイアウトイメージ



浮体組立手順

- 合成繊維索を用いたハイブリッド係留システムについて **供用期間中の合成繊維の伸び量**を評価し、伸び量を係留設計に反映しても**設計要件を満足**

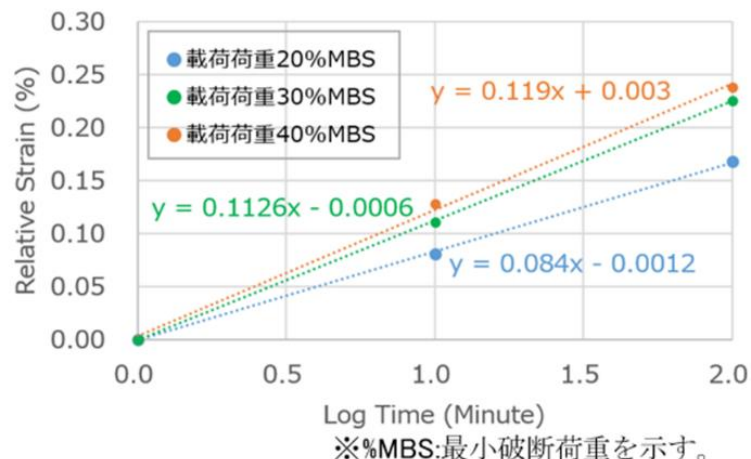


(a) 使用材料

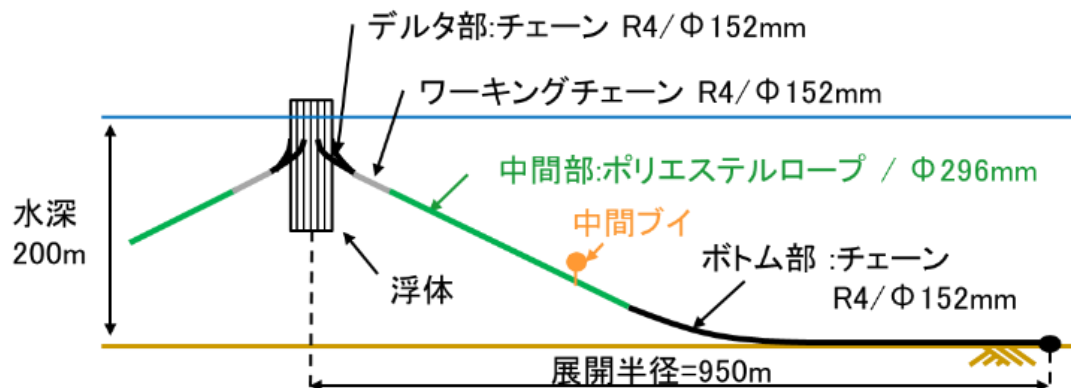


(b) 試験状況

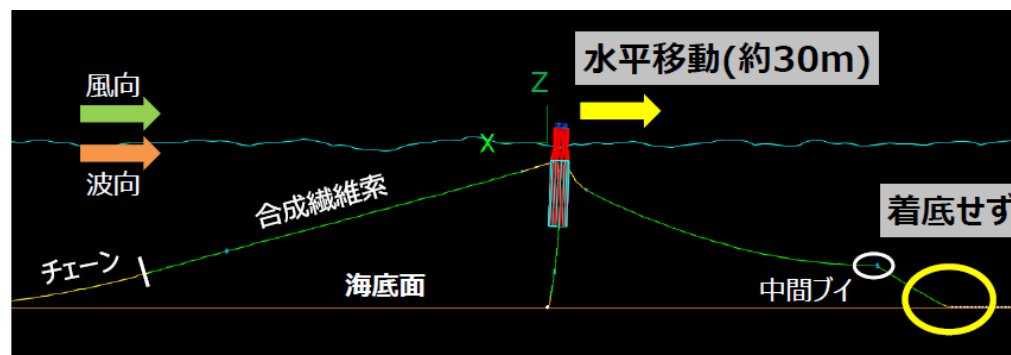
合成繊維索の室内試験状況



合成繊維索の室内試験結果



係留索の基本設計



浮体の水平移動量最大時の解析結果

(荷重条件：DLC6.1、解析ソフト：Orcaflex)

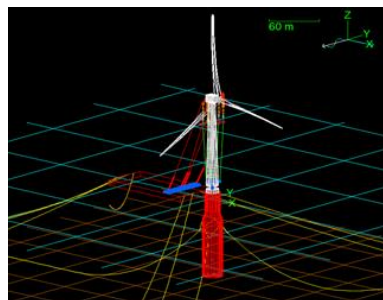
3. 研究成果－④低コスト施工技術の開発－

(a. ジャッキアップ型作業構台を活用した大型風車の据え付け方法の開発)

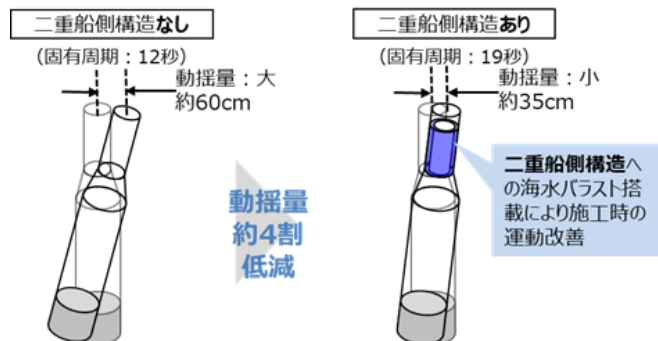
13

- 提案のスパー型浮体について、**現実的な波高条件（有義波高1m）で安価に風車搭載可能な技術を開発**

I スパーの動揺を抑制する技術

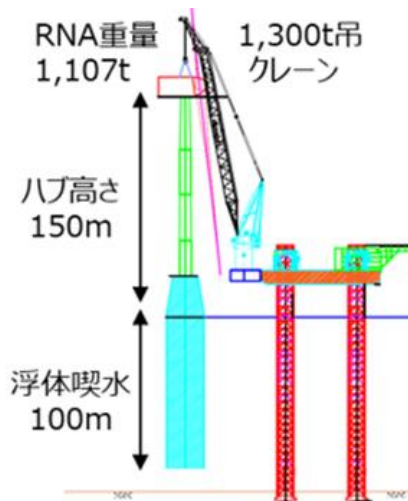


風車－浮体接続時の動揺解析モデル



スパー型浮体の風車搭載前動揺量
(二重船側構造あり／なし)

II 吊り荷の風車の動揺を抑制する技術

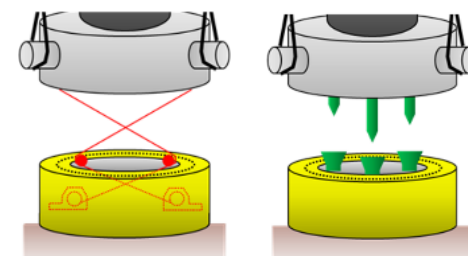


改造ジャッキアップ型作業
構台を用いた風車搭載作
業イメージ

III 動揺があっても安全かつ確実に風車と浮体を接続する技術



施工実証の状況
(1/3スケール)



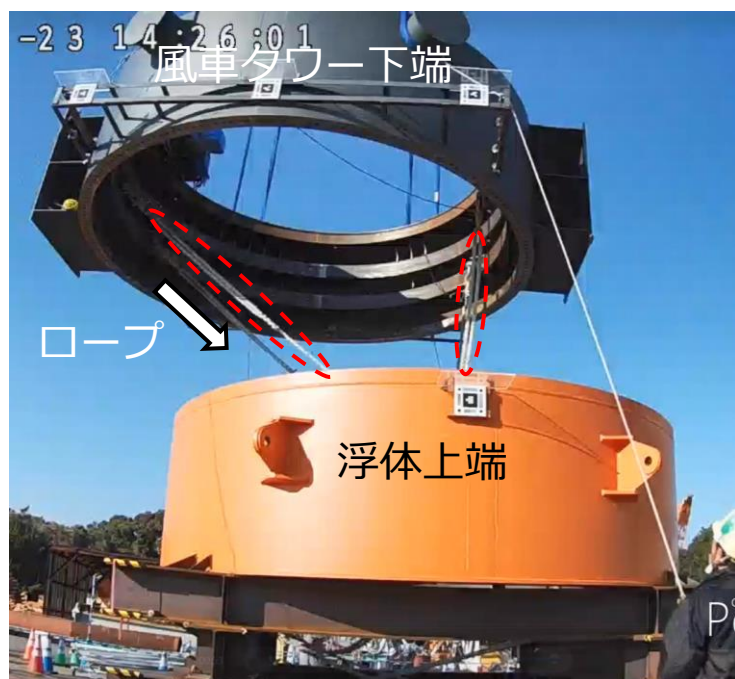
実証した接続構造の例

3. 研究成果－④低コスト施工技術の開発－

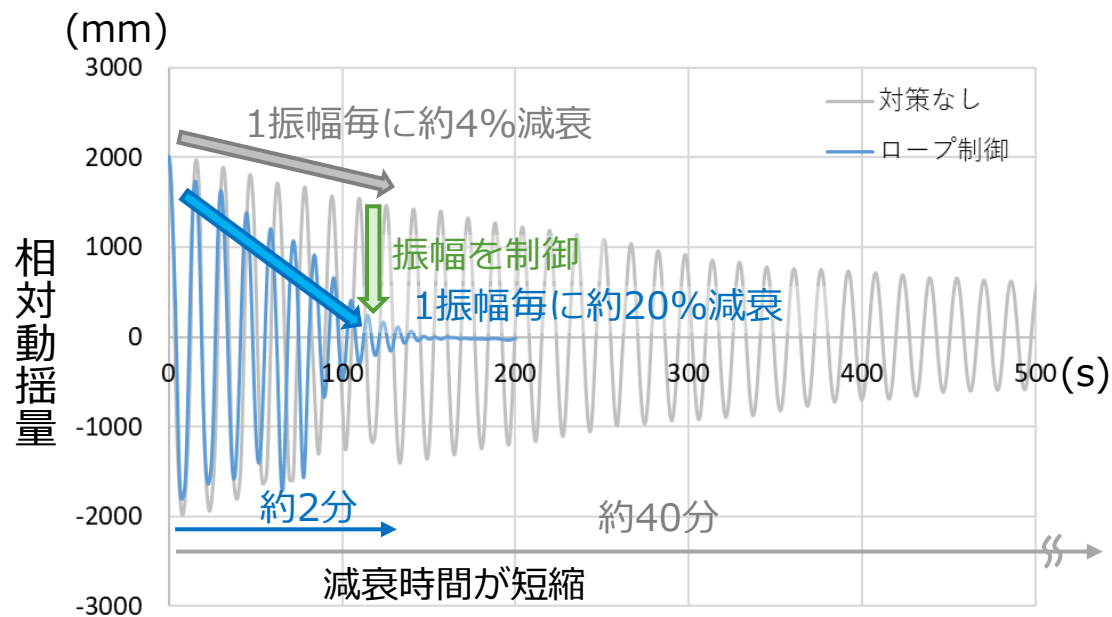
(a. ジャッキアップ型作業構台を活用した大型風車の据え付け方法の開発)

14

- 風車タワー下端と浮体上端を模擬した施工実証を行い、**風車－浮体の相対動揺があっても安全かつ確実に風車と浮体を接続する技術**を確立



ロープ制御を用いた試験の状況

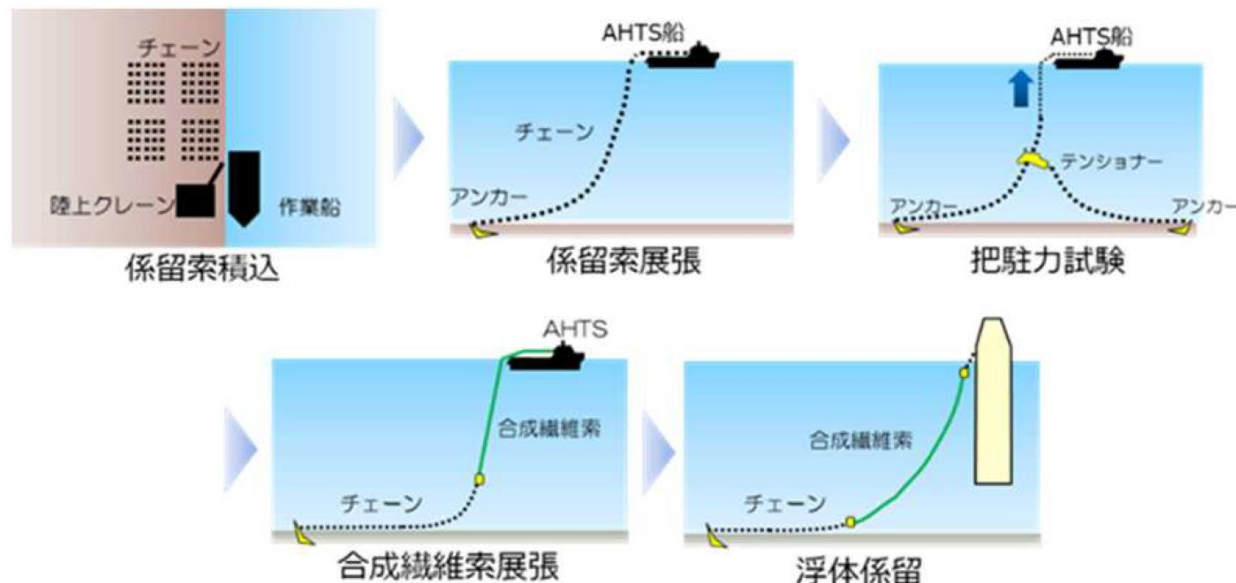


ロープ制御を用いた場合の相対動揺量

3. 研究成果－④低コスト施工技術の開発－ (b. 係留索とアンカーの高効率施工技術の開発)

15

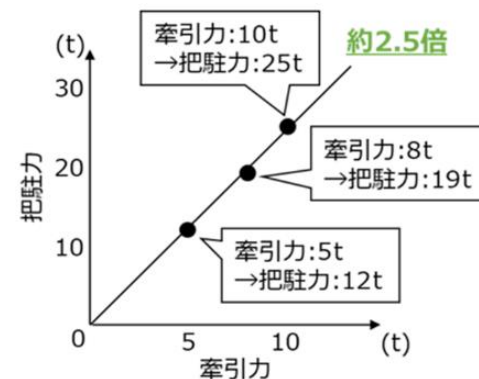
- ・ 海域施工試験により 作業サイクルを合理化し、係留索の低コストな据付が実現



アンカーハンドリング船およびテンショナーを用いた 係留索の施工手順



テンショナー有効性確認状況



把駐力と牽引力の関係

海域施工試験においては 岩手県釜石市沖の実証フィールド沖合サイトを活用しました。岩手県、釜石市、日鉄物流(株)をはじめとする地元関係者様など、多くの皆さまのご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

- 本事業では、製造性に優れるスパー型浮体を対象に平面パネル溶接方式を導入して低コスト化した上で、①浮体基礎の最適化、②大量生産可能な浮体製造技術の確立、③ハイブリッド係留システムの設計確立、④低コスト施工技術の開発に取り組み、所定の目標である資本費 25%低減を達成し、2030年に発電コスト 20円/kWh 以下を見通す要素技術を開発しました。
- 引き続き、低廉な再生可能エネルギー由来の電力供給に貢献すべく、本事業において開発した技術を活用し、わが国のEEZや海外展開を視野に入れた浮体式洋上風力発電の技術確立と社会実装を進めてまいります。

(参考文献)

- 西郡一雅、十川靖弘、菊地由佳、石原孟、GI基金フェーズ1浮体式基礎製造・設置低コスト化技術開発（浮体式大量導入に向けた大型スパー浮体基礎の製造・設置低コスト化技術の開発）、日本風力エネルギー学会誌、2024年48巻3号p.387-397

ご清聴ありがとうございました