

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.8

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/セミサブ型ハイブリッド浮体の量産化・低コスト化

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：大窪 慈生

*団体名：カナデビア株式会社、鹿島建設株式会社

問い合わせ先：カナデビア株式会社 <https://www.kanadevia.com/brand/>

鹿島建設株式会社

事業概要



1. 目的

2030年までに浮体式洋上風力基礎を国際競争力のあるコスト水準で製造・設置する技術を確立する。

2. 期間

2022年3月18日 ～ 2024年3月31日

3. 目標(最終)

年間50基の浮体量産と低コスト化を目標に、①浮体基礎の最適化、②浮体の量産化、③ハイブリッド係留システムについて技術開発を行う。

4. 成果・進捗概要

- ①浮体基礎の最適化: 鋼および鋼・コンクリート複合構造の特徴を活かして15MW級の大型風車に対応したセミサブ型浮体基礎の最適設計を実施した。
- ②浮体の量産化: 量産化コンセプトを立案し、机上検討とモックアップ試験による検証により量産可能基数を試算した。
- ③ハイブリッド係留システム: ナイロンロープとチェーンのハイブリッド係留によりAllチェーン比で最大50%の張力低減を確認した。



役割分担

カナデビア（幹事会社）

鹿島建設

1

浮体基礎の最適化

- 鋼・コンクリートハイブリッド浮体の基本設計
- 二次部材の計画・設計

- 鋼・コンクリート複合構造部材の構造性能確認
- 鋼・コンクリート複合構造部材の設計法の確立
- 二次部材の計画・設計

2

浮体の量産化

- 量産方法に関する検討
- 量産設備に関する検討
- 部材（ブロック）の製作、調達に関する検討

- 量産方法に関する検討
- 量産設備に関する検討
- 部材（ブロック）の製作、調達に関する検討

3

ハイブリッド係留システム

- 最適係留システムの検討
- 係留システムの設計法の確立



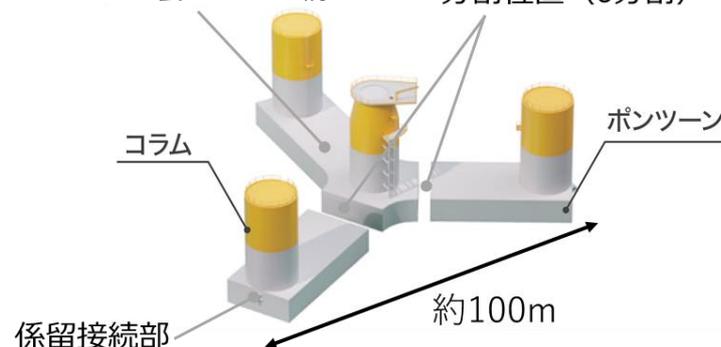
浮体の特長

- 量産化に適した構造を目指して開発を推進
- 厚板部材に鋼・コンクリート複合構造を採用し製造費を低減
- 浮体を3つの大ブロックに分割、大組立時は2箇所のみを溶接接合することで大組立期間を短縮
- 分割した大ブロックの幅は20~30m程度で細長のドック等での製造が可能、大ブロック単体も安定した曳航が可能
- ポンツーンの浮力により施工時喫水が浅い
- ナイロンロープを使用したハイブリッド係留でコスト低減

●浮体の構造とブロック分割

造船メーカーで製造しやすい構造

分割位置（3分割）



①浮体基礎の最適化

【成果】

- IEA15MW風車を本セミサブ型浮体の動揺性能に対応した風車制御モデルに調整
- 水槽試験と数値解析の比較により浮体運動に関する解析モデルの精度を確認
- ULS・FLSに対して連成解析を実施し浮体各部における設計荷重を算出、構造設計に反映

サイト条件

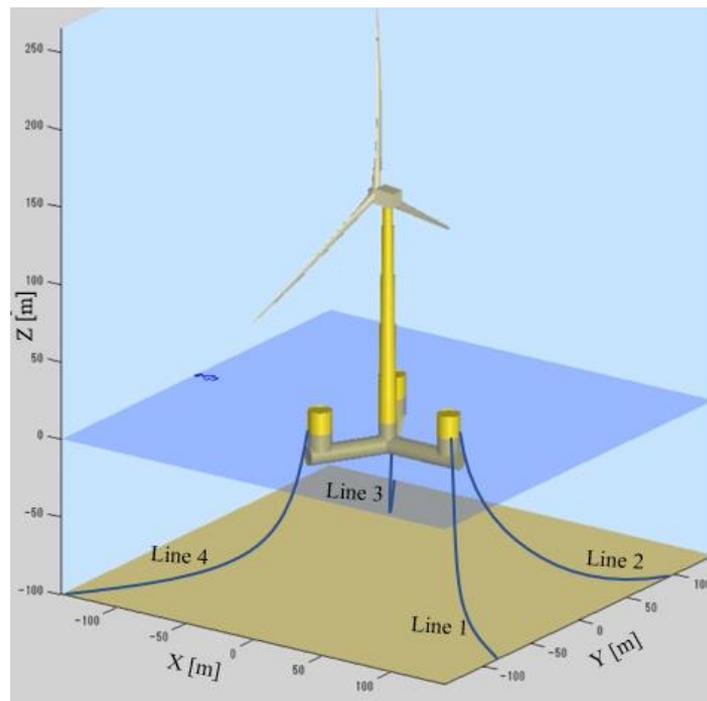
水深	100 m
年平均有義波高	1.0 m
50年再現有義波高	13.4 m
50年再現潮流速	1.5 m/s
年平均風速（10分間平均値）	9.5 m/s
50年再現風速（10分間平均値）	57.0 m/s

※公募資料別紙2（ベースラインウィンドファーム・LCOE算定式）のサイト条件

設計荷重ケース

	DLC	風車
ULS	1.6	運転
	6.1	停止
FLS	1.2	運転
	6.4	停止

全体荷重解析モデル

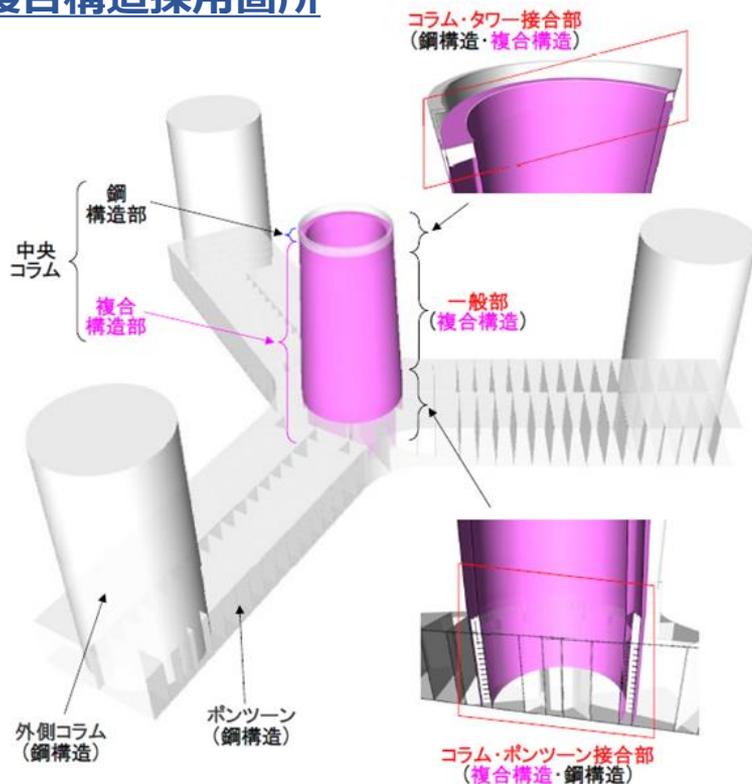


①浮体基礎の最適化

【成果】

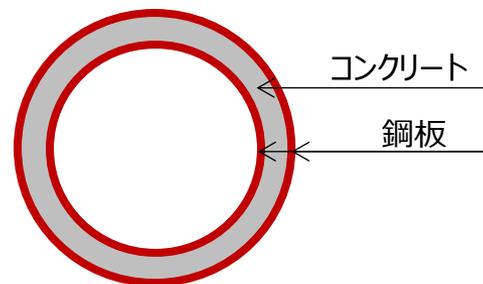
- 鋼構造、複合構造それぞれで構造設計を実施して製造コストを比較
- 製造コスト試算結果に基づき**複合構造（中央コラム）**採用箇所を選定
- 複合構造により**風車タワーを搭載する中央コラムの板厚および製造費を低減**

複合構造採用箇所



- 厚板部材の中央コラムに鋼・コンクリート複合構造を採用することで、中央コラムの製造費を鋼構造比で約30%低減

複合構造一般断面

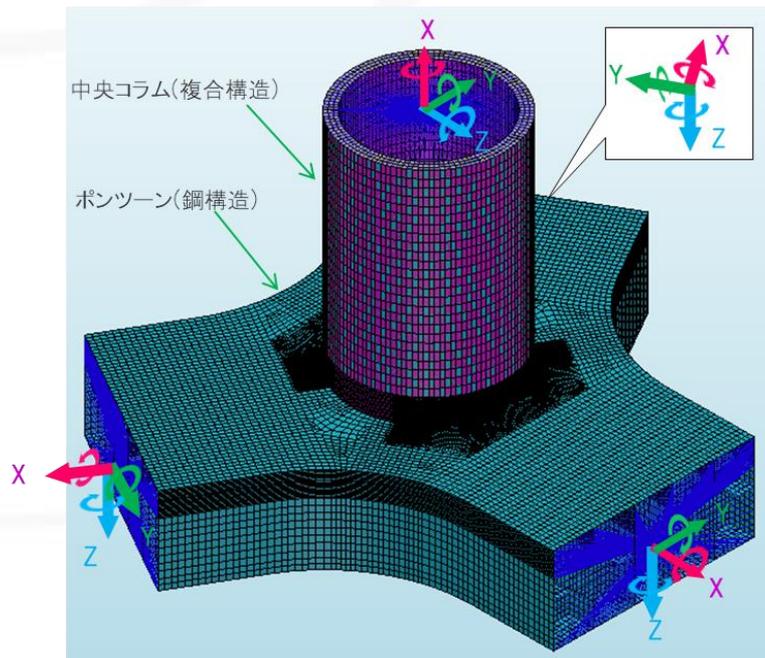


①浮体基礎の最適化

【成果】

- 浮体基礎への複合構造の適用に際し、設計手法確立のために**第三者機関による審査**を受審
- 複合構造の**構造成立性をFEM解析及び構造実験により確認**

複合構造の構造成立性確認



FEM解析モデル



複合構造部材実験

②浮体の量産化

【成果】

- 浮体の大ブロックを国内造船・鉄構メーカーで製造し、集めた浮体ブロックを大組立する量産化コンセプトを立案
- 大組立手順及び工程を検討、大組立所要日数は35日/2基（コンクリート打設含む）

量産化コンセプト

サプライチェーン(造船・鉄構メーカー)



サプライチェーン提携先のドックで分割された大ブロックを製造

曳航



分割製造した大ブロックを堺工場まで曳航

カナデビア堺工場3号ドック



堺工場3号ドックで組立(2か所接続)

曳航



組み立てられたセミサブ浮体を港湾まで曳航

港湾



風車搭載時の喫水が3~5mのため港湾内での風車搭載が可能



大組立のフロー

- ①ドックゲート開扉、ドック内注水
- ②ブロック入渠
- ③ドックゲート閉扉
- ④ブロック同士の位置合わせ
- ⑤ドック内排水、浮体の着底
- ⑥溶接による接合
- ⑦接合部の非破壊検査、気密検査
- ⑧接合部の塗装
- ⑨ドック内注水、ドックゲート開扉
- ⑩浮体出渠

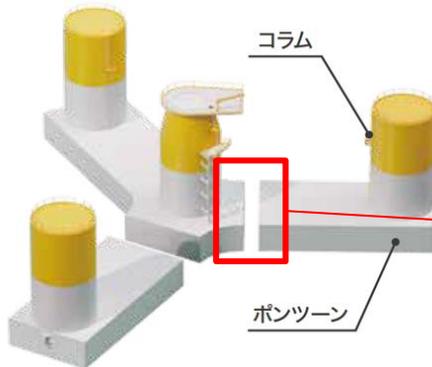
ドックでの大組立所要日数：35日/2基 ⇒ 年間で最大20基程度の組立が可能

②浮体の量産化

【成果】

- 大ブロック接合時の位置合わせ方法の検証と効率化のため、**接合部のモックアップ試験**を実施
- **ブロックを水上に浮かせた状態**でブロック同士をウインチにより引き寄せることで位置合わせが可能であることを確認（位置合わせに大型台車等不要）

大ブロック位置合わせに関するモックアップ試験



堺工場 2号ドック内でのブロック接合試験



ブロック位置合わせ



水上での接合



ドック排水後に溶接

②浮体の量産化

【成果】

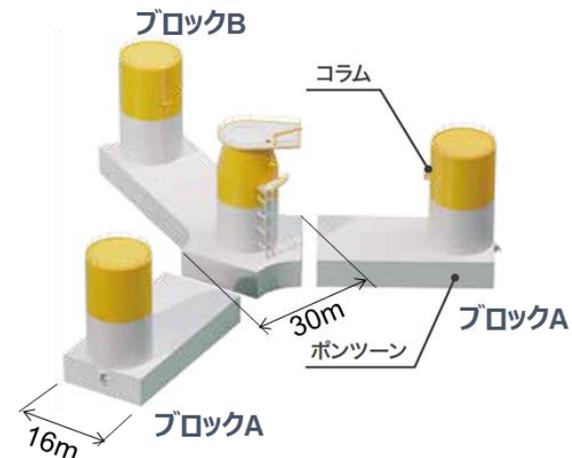
- 国内の造船・鉄構メーカーを訪問し、ブロック製造可否・製造可能基数の調査を実施
- 継続的に協議を重ねた結果、国内メーカーから年間30基程度のブロック調達に見通し
- 浮体ブロックの海外調達も調査を実施 ⇒ 海外調達を含めると年間50基は達成可能
- 既存ドックでの浮体大組立に加えて組立用の設備を新設することで50基/年の量産が可能

国内メーカーの訪問調査結果

- 21社：製造可
- 製造可のメーカーから合計で30基/年程度のブロック調達可能
- 調査継続により国内メーカーで50基/年の調達を目指す

注) 実際の製造可否は工場の空き状況によるため、発注時に詳細協議が必要

不可の理由：船舶事業注力、鋼殻製造への操業の偏り等



浮体の大組立可能基数

- 既存ドックでの大組立所要日数：35日/2基 ⇒ 年間20基程度の組立が可能
- 年間50基の浮体組立を可能とするためには大組立設備の新造が必要

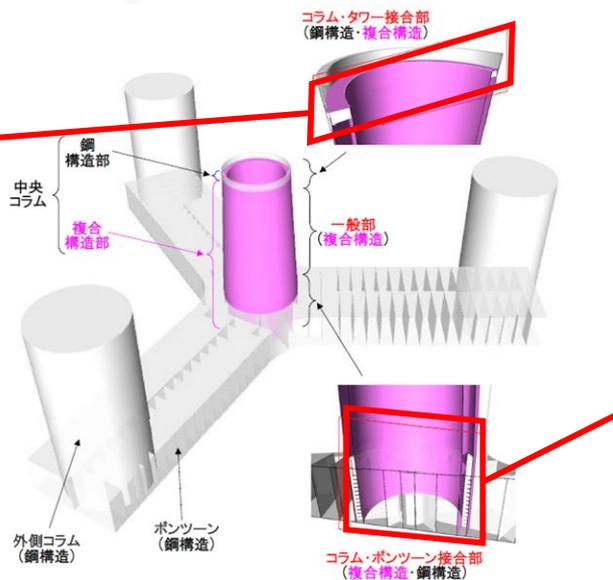
➡ 事業化初期段階は既存ドックを活用して浮体の組立を実施
浮体式洋上風力の市場の立ち上がり状況を見ながら浮体組立用の設備を新設

②浮体の量産化

【成果】

- ・ 締固め作業が困難な鋼殻内で工程・品質を確保したコンクリート打設を可能とする材料・設備を開発
- ・ モックアップを製作し、鋼殻の製作性とコンクリート打設システムの有効性を確認

複合構造モックアップ試験



③ ハイブリッド係留システム

【成果】

- ナイロンロープの要素試験データを整理し設計に必要な設計パラメータを設定
- ナイロンロープの設計疲労曲線を設定、チェーンより高い疲労耐久性を保有
- 一定荷重载荷の試験結果よりクリープ速度と20年間のクリープ伸び量を推定

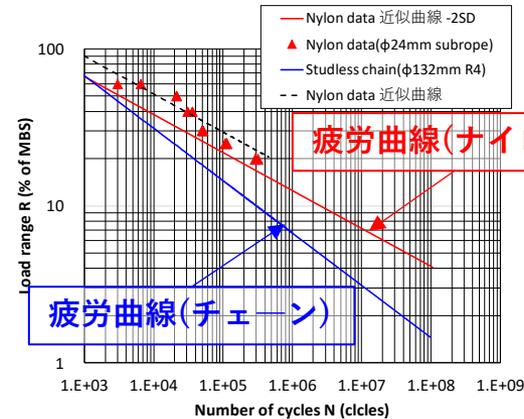
① 設計疲労曲線（ナイロン）の設定

- 繰返し荷重を载荷し、サブロープの破断までの繰返し回数をカウント



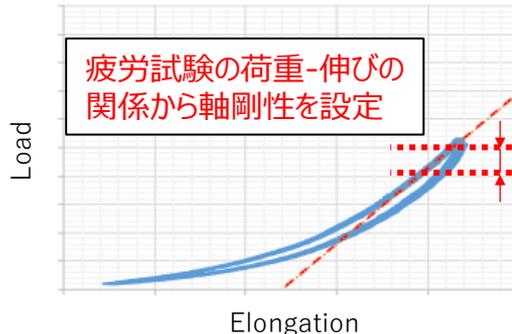
工業用水を滴下

繰返し荷重試験の様子



② 軸剛性（ナイロン）の設定

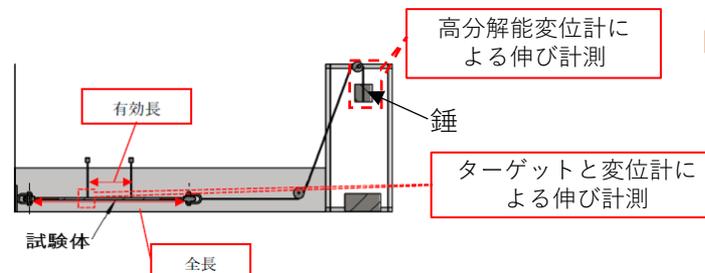
- 各荷重レンジにおける軸剛性を設定



※荷重レンジ40~50%MBSにおける軸剛性の設定例

③ クリープ伸び量（ナイロン）の設定

- 一定荷重を载荷させて载荷時間と伸びを計測
- クリープ速度から20年後のクリープ伸び量を設定



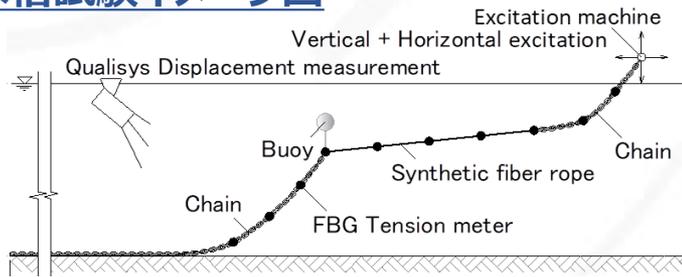
➔ **20%MBS×20年の伸び量は0.01%程度と小さい**

③ ハイブリッド係留システム

【成果】

- 係留系を再現した水槽試験を実施、数値解析結果の比較により**係留張力の解析精度を確認**
- 複数の係留システムに対して試設計を実施、ナイロンロープ・チェーンのハイブリッド係留とすることで**Allチェーン係留に対して10~50%の張力低減効果を確認**

水槽試験イメージ図

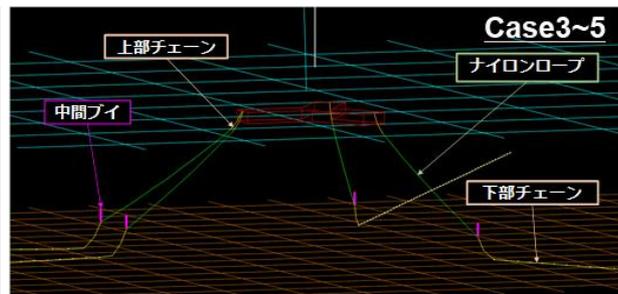
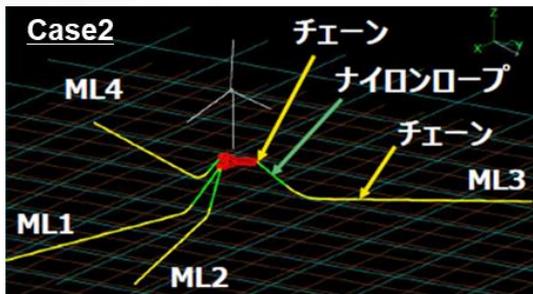
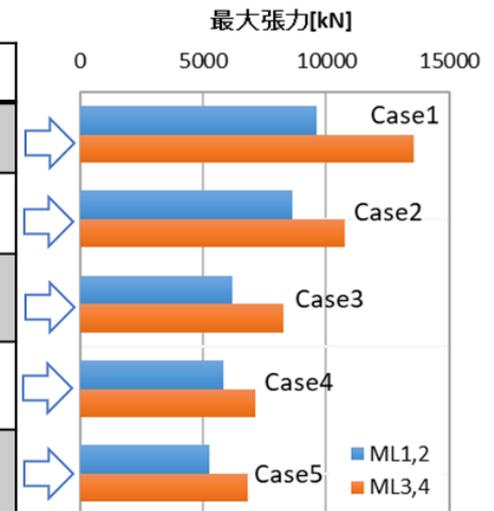


係留配置と試設計用の設計荷重ケース

- 設計荷重ケース：DLC6.1
(サイト条件はp.5の通り)

試設計ケース

Case	
1	Allチェーン
2	チェーン+ロープ(ブイ無)
3	チェーン+ロープ(ブイ有) ロープ長300m
4	チェーン+ロープ(ブイ有) ロープ長400m
5	チェーン+ロープ(ブイ有) ロープ長500m



• Allチェーン係留と比較して最大張力が10~50%低減

1. 研究成果

①浮体基礎の最適化

- 鋼および鋼・コンクリート複合構造の特徴を活かして15MW級の大型風車に対応したセミサブ型浮体基礎の最適設計を実施した。

②浮体の量産化

- 量産化コンセプトを立案し、机上検討とモックアップ試験による検証により量産可能基数を試算した。

③ハイブリッド係留システム

- ナイロンロープとチェーンのハイブリッド係留によりAllチェーン比で最大50%の張力低減を確認した。

2. 今後の展望

- 開発した技術をGI基金事業フェーズ2を通して検証する。