

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026 プログラムNo. A1-1-05

風力発電等技術研究開発／
洋上風力発電等技術研究開発／
次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究
(浮体式洋上風力発電の導入促進に資する次世代技術の開発)／

フルコンクリート製コンパクトセミサブ型浮体および大水深 係留の技術開発

発表：2026年7月21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 十川 靖弘*, 千葉 高之**, 沼宮内 宏明***

*東京電力ホールディングス(株) **北海道電力(株) ***大成建設(株)

問い合わせ先: 東京電力ホールディングス(株)

E-mail: sogawa.yasuhiro@tepcoco.jp TEL: 070-4540-0073

目次

1. 研究概要

2. 研究成果

- ① コンクリート製浮体の設計課題の解決に向けた技術開発
- ② コンクリート製浮体の急速量産技術の開発
- ③ コンクリート製浮体の優位性の検証他
- ④ 大水深に適用可能な低コスト係留システムの開発
- ⑤ 地域受容性の調査研究

3. まとめ、今後の課題

1.研究概要

1-1. 研究背景・目的・目標

【背景】

- ◆ 洋上風力産業ビジョンでは、**2040年までに15GW以上の浮体式洋上風力**の案件形成目標が設定されている。
- ◆ この目標に対して、鋼製浮体のみでは造船ドックの制約により供給量等に懸念がある。このため、コンクリート製浮体を普及させることで、**浮体の供給制約の緩和が期待**できる。さらに、コンクリート製浮体は**主要材料の大半が国内調達**であることから、**材料供給及び価格の安定性に優れる**とともに、**地産地消による地域経済への発展**にも貢献できる。
- ◆ また、日本では**排他的経済水域**のポテンシャルが大きく、目標達成には**大水深域で適用可能な低コスト係留システムの開発**が必要である。

【目的】

- ◆ 低コスト化およびサプライチェーンの強靱化に資する**コンクリート製セミサブ型浮体**と大水深開発で優位性がある**トート係留方式**における技術課題を解決する

【目標】

- ◆ コンクリート製セミサブ型浮体の**製造コスト16万円/kW**の達成
- ◆ 従来のカテナリー係留方式と比較して**10%の係留コスト低減**
- ◆ **地域経済への波及効果の定量評価**、および**小規模実証**による段階的な開発の計画

大成建設

- ①コンクリート製浮体の設計課題の解決に向けた技術開発
- ②コンクリート製浮体の急速量産技術の開発
- ③コンクリート製浮体の優位性の検証他

北海道電力

- ⑤地域受容性の調査研究

東京電力ホールディングス

- ④大水深に適用可能な低コスト係留システムの開発



研究体制

2-①コンクリート製浮体の設計課題解決に向けた技術開発 研究目標、研究スケジュール

4

研究目標

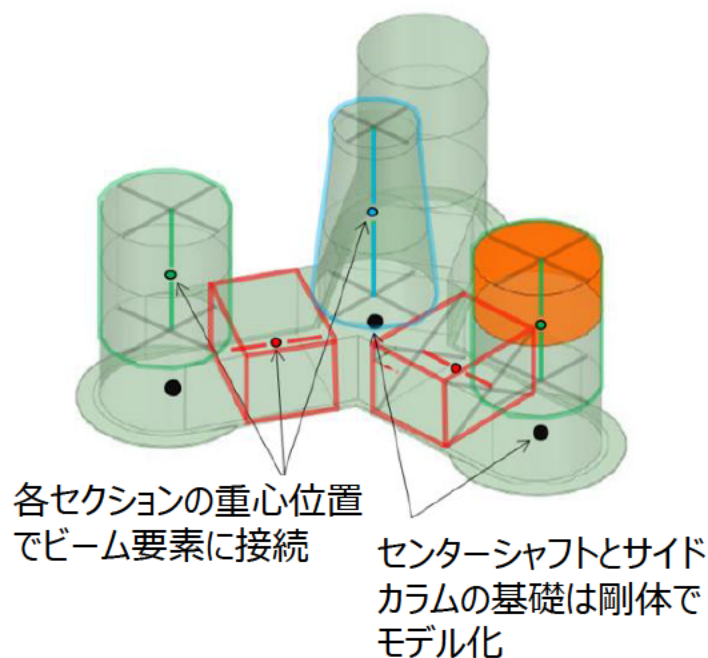
フルコンクリートセミサブ浮体におけるTRL6相当の基本設計手法の確立

実施スケジュール

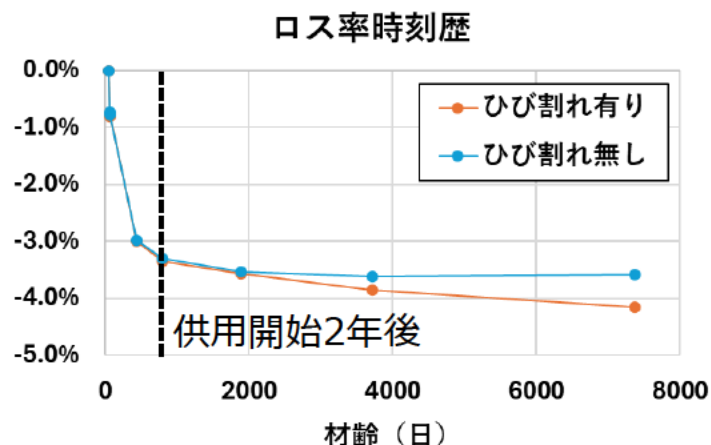
実施項目	2024年度			2025年度			
	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
ひび割れによる剛性低下の影響の評価		条件整理			条件整理	連成解析	まとめ
		非線形構造解析（永続荷重時・終局荷重時）					
水中疲労強度の評価	条件整理		圧縮疲労の再現解析		曲げ疲労の再現解析		まとめ
水密性の評価		試験計画立案		予備検討		実験	まとめ
提案浮体の設計最適化			条件整理		最適化検討		まとめ

2-①コンクリート製浮体の設計課題解決に向けた技術開発 ひび割れによる剛性低下の影響の評価

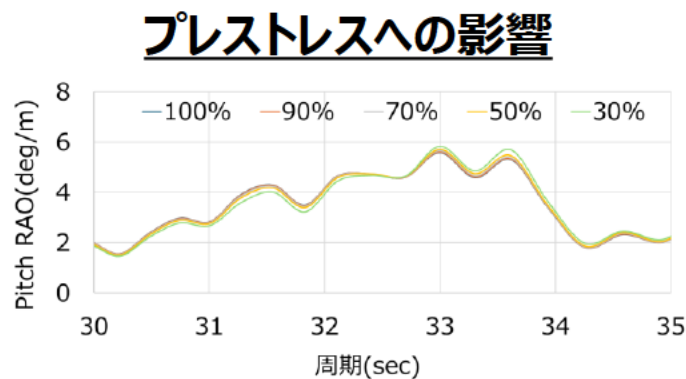
- ◆ ひび割れを考慮した材料非線形解析などを実施し、プレストレス荷重が従来指針の算定で問題ないことや、**曲げ剛性の低下による浮体の動揺特性や断面力への影響が微小であることを確認**



モデル概要図



ひび割れの有無によって**プレストレスロスが急拡大する懸念は小さいこと**を確認

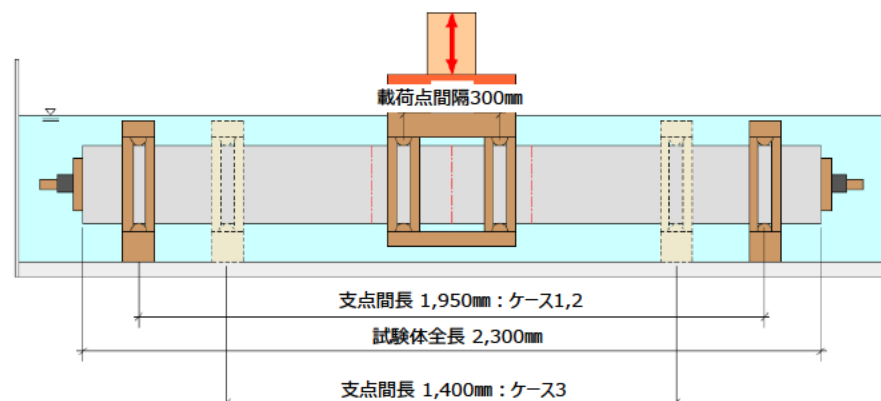


剛性低下によって**周波数特性には有意な変化を生じないこと**を確認

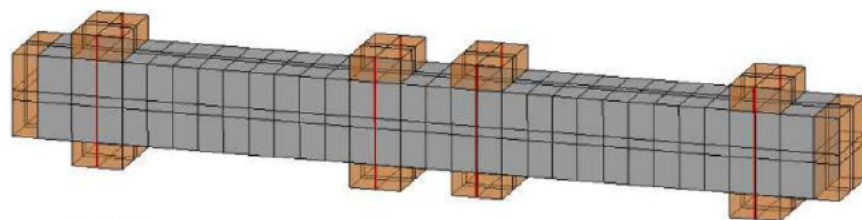
浮体動揺特性への影響

2-①コンクリート製浮体の設計課題解決に向けた技術開発 水中疲労強度の評価

- ◆ 設計基準の調査、COM3による水中疲労試験の再現解析などを実施し、解析・実験のばらつき等の課題を抽出するとともに、**低応力域での疲労強度推定手法としての適用可能性を確認**



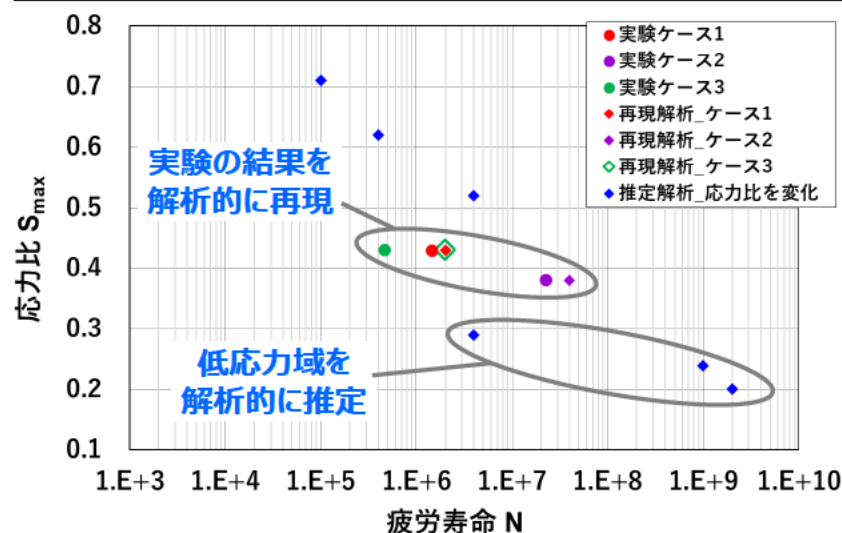
水中疲労試験 概要図（側面図）



**COM3による水中疲労試験の
再現解析モデル**

実験ケース

ケース	応力比 $S_{max} = \frac{\sigma_{max}}{f'_{ck}}$	セメント	周波数 (Hz)	支点間長 (mm)
1	0.43	BB	1.0	1,950
2	0.38			
3	0.43			1,400

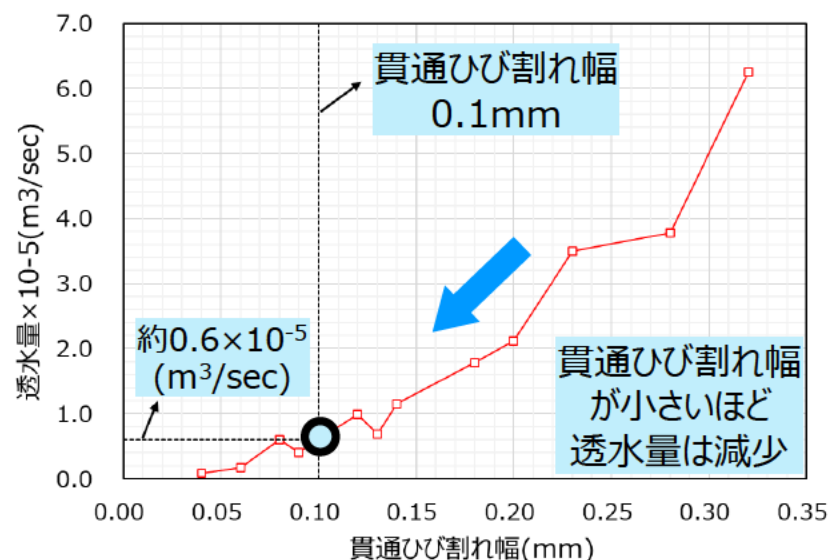


**水中曲げ疲労試験と再現解析の比較
（応力比 S_{max} と疲労寿命 N の関係）**

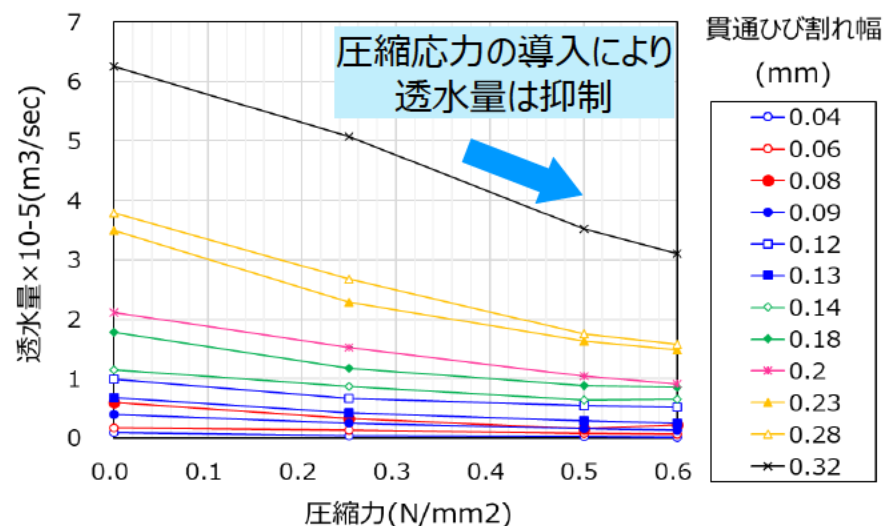
2-①コンクリート製浮体の設計課題解決に向けた技術開発 水密性の評価

7

- ◆ 設計基準調査、既往論文レビュー、透水試験を実施し、貫通ひび割れ幅0.1mmに対する透水量や貫通ひび割れに作用するコンクリート圧縮応力や水圧の影響を把握



**貫通ひび割れ幅と透水量の関係
(水圧0.4MPa)**



**貫通ひび割れに作用する
コンクリート圧縮応力と透水量の関係
(水圧0.4MPa)**

既往文献の少ない**高水圧(0.4MPa)**条件での透水試験を実施し、**ひび割れ幅と透水量**の関係を把握した。また、コンクリートに**圧縮応力を導入すると透水量が抑制**された。

2-①コンクリート製浮体の設計課題解決に向けた技術開発 提案浮体の設計最適化

- ◆ センターシャフトおよびコーナーカラム形状の変更や、配筋およびPC鋼材の配置の最適化により
提案浮体の設計最適化を実施

検討項目と実施事項

検討項目		実施事項
①	浮体構造の改善 センターシャフト部の構造変更	・変更構造に対する荷重連成解析 →主要断面で断面力を算出 ・概略構造照査 →必要PC鋼材量の算定と配置検討
②	浮体構造の改善 XPSの配置	
③	動的復元性効果の検討	過年度の浮体とコーナーカラム乾舷高を 下げた浮体の動的安定照査
④	鉄筋の最適化	過年度連成解析結果に基づき、鉄筋量 を調整した浮体の再照査、細部配筋検討
⑤	設計基準に準拠した荷重係数 に基づく照査	過年度連成解析結果に基づき、FEMの 荷重係数を調整した浮体の再照査
⑥	PC鋼材配置の最適化	過年度連成解析結果に基づき、PC鋼材 配置を調整した浮体の再照査

過年度検討に対する 浮体材料の数量増減

	増減
コンクリート (m ³)	17%減
鉄筋 (t)	1.5%増
PC鋼材 (t)	15%減



浮体製造コスト
の低減に貢献

2-②コンクリート製浮体の急速量産技術の開発 研究目標、研究スケジュール

9

研究目標

15MW級風車搭載浮体を年間25基以上製造することが可能となる計画を策定

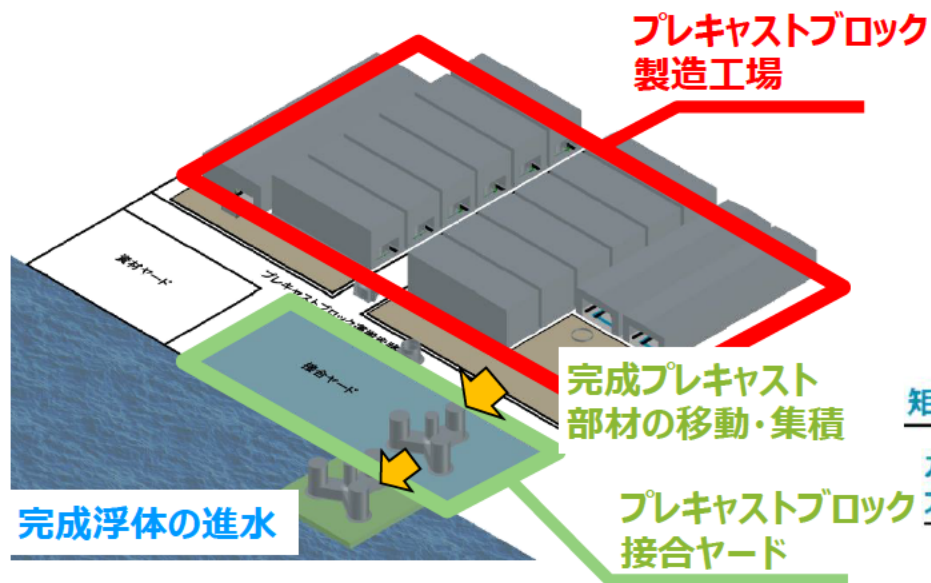
実施スケジュール

実施項目	2024年度			2025年度			
	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
プレキャストブロック 製造・接合技術の 検討	プレキャスト工法での製造計画、課題抽出						
		プレキャストブロック割付検討					
			課題検討、製造計画修正				
			国内で確保可能な港湾ヤード面積にて実現性の確認				
プレキャストブロック 接合構造の検討	要求性能/制約の整理						
		接合構造コンセプトの比較検討		構造材料の比較検討 (施工性/コスト/その他)			
					接合部構造の選定		

2-②コンクリート製浮体の急速量産技術の開発 プレキャストブロック製造／接合技術、接合構造の開発

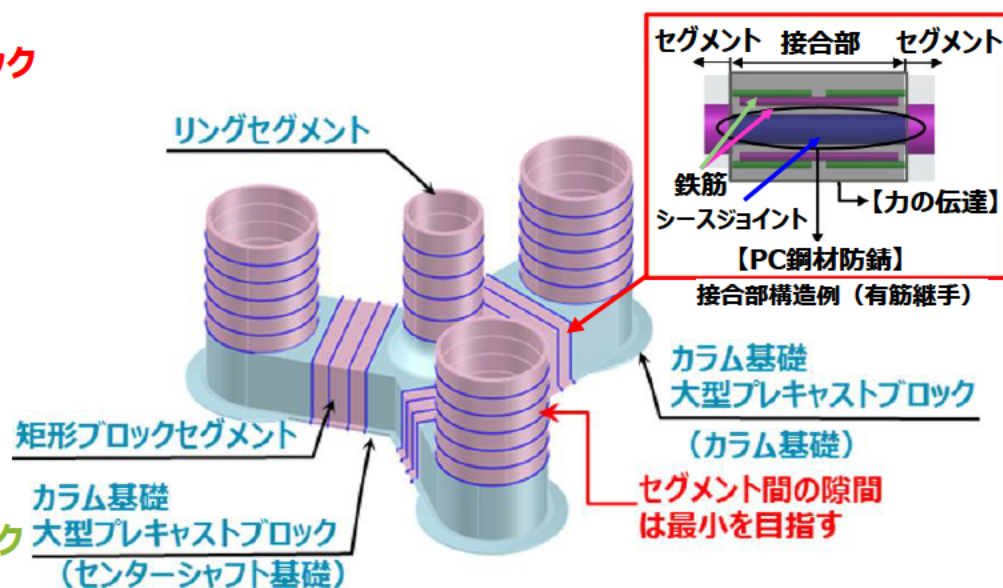
- ◆ 年間25基製造するための製造工法（プレキャスト工法）と必要な製造設備を検討し、国内に実在する港湾（ヤード面積25ha）に製造工場が収まることを確認
- ◆ プレキャストブロック接合部の要求性能を整理し、プレキャスト接合部構造を選定

プレキャストブロック製造/接合技術の検討



急速量産工場概念(25ha)

プレキャストブロック接合構造の検討



プレキャスト工法概念図

2-③コンクリート製浮体の優位性の検証他 研究目標、研究スケジュール

11

研究目標

浮体製造コスト16万円/kWの達成と、コンクリート製浮体採用によるCO₂排出量の定量化およびメンテナンス手法合理化に関する基本計画を策定

実施スケジュール

実施項目	2024年度			2025年度			
	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
浮体製造コスト評価	浮体諸元/製造方法の検討						
	コストダウン方策抽出		コストダウン検討（設計・製造面）				
						製造費算出・評価	
コンクリート製浮体の 環境負荷 (CO ₂ 排出量)検討	浮体諸元/製造方法の検討						
	算出インプット情報の検討・整理/Con・鋼浮体			CO ₂ 排出量算出			
						CO ₂ 排出量の評価	
コンクリート製浮体の メンテナンス手法の 基本検討		既往ガイドライン等の精査、海外事例調査					
					維持管理計画他の検討・提案		
					メンテナンス合理化手法の検討・提案		

2-③コンクリート製浮体の優位性の検証他

コストダウン、環境負荷、メンテナンス手法の基本検討

浮体製造コスト評価

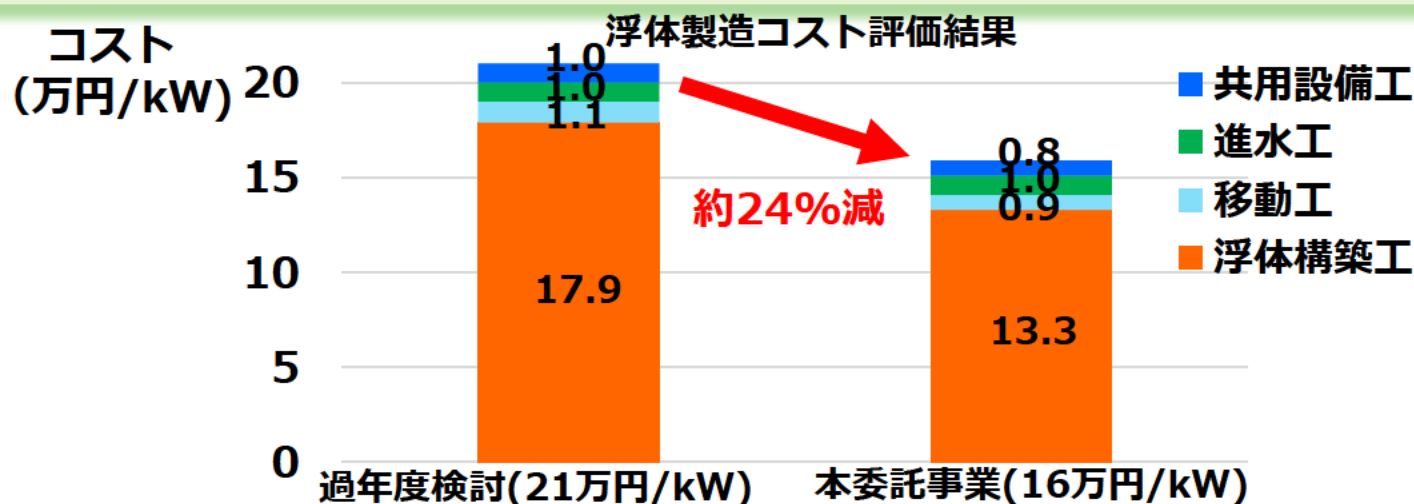
- ◆ 過年度の自社検討結果(21万円/kW)を分析し、設計・製造の両面からコスト低減を図り、目標の浮体製造コスト16万円/kWを達成

コンクリート製浮体の環境負荷(CO₂排出量)検討

- ◆ コンクリート製浮体のライフサイクルCO₂排出量を定量的に示し、鋼製浮体に比べて排出量が51%少ないことを確認

コンクリート製浮体のメンテナンス手法の基本検討

- ◆ 船舶安全法及び港湾法等が適用される浮体式洋上風力発電施設について、コンクリート製浮体の船級検査・定期点検の仕様統一と検査・点検時期の合理化を提案
- ◆ 欧州の最新事例およびモニタリング動向を踏まえ、点検間隔の延長と遠隔モニタリングによる点検・診断手法を提案



2 - ④大水深に適用可能な低コスト係留システムの開発

研究目標、研究スケジュール

研究目標

水深400mにおいて従来係留システムと比較し**10%のコスト低減**

実施スケジュール

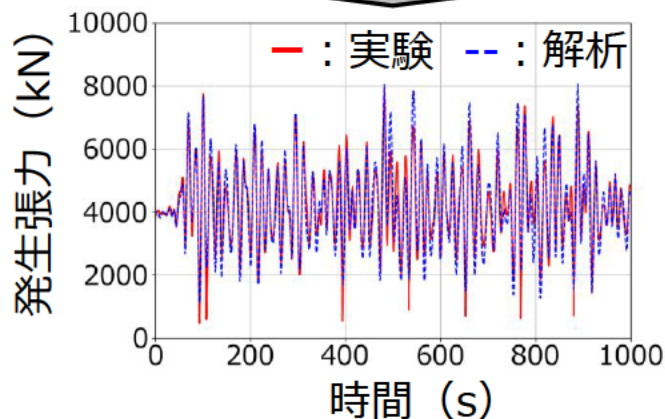
実施項目	2024年度			2025年度			
	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
係留システムの 基本検討	予備解析						
		本解析					
			水槽試験・再現解析				
係留システムの 合理化					ロープの引張試験		
				アンカー遠心模型実験			
					合理化検討		
施工計画検討					施工計画		
コスト評価							コスト評価

2 -④ 大水深に適用可能な低コスト係留システムの開発 係留システムの基本検討

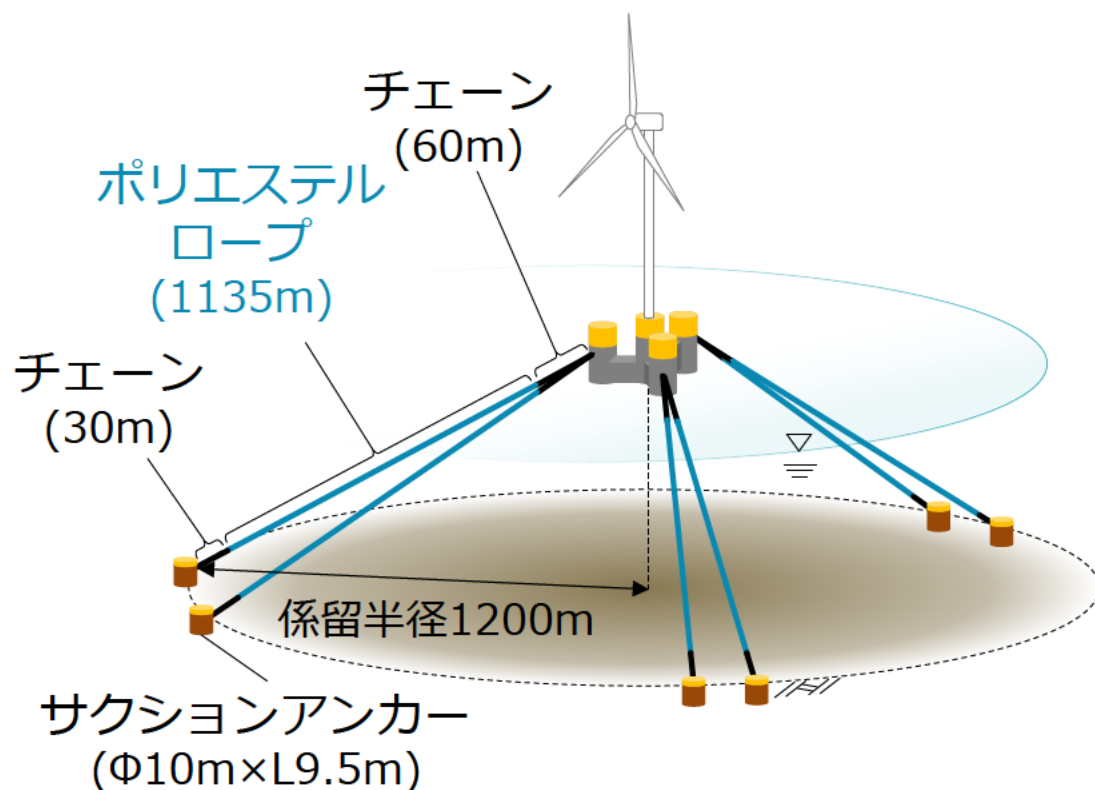
- ◆ 水槽実験およびその再現解析を基に動揺特性を把握
- ◆ 妥当性検証した解析モデルを用いて水深400mにおけるトート係留方式の基本仕様を検討



水槽実験
(1/64スケール模型)



実験と再現解析における係留張力の比較
(波高12.2m、波周期14.7s)



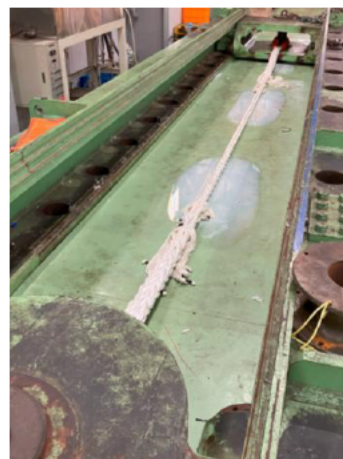
水深400mにおけるトート係留方式の検討結果
(ポリエステルロープ)

2 -④大水深に適用可能な低コスト係留システムの開発 係留システムの合理化

15

- ◆ ナイロンロープの引張試験、サクシヨンアンカーの遠心力载荷試験を実施し、試験結果と解析との組み合わせにより係留システムの合理化を達成

ナイロンロープ引張試験



ナイロンロープ特性を把握
(剛性、クリープ速度など)



低剛性のナイロンロープを
使用して係留仕様を合理化

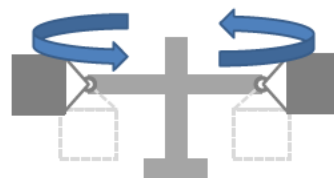


20年後の伸び (約2.2%) を
係留設計に考慮

係留の合理化検討結果

	基本検討 (ポリエステル)	合理化検討 (ナイロン)	
ロープ径	300mm	→ 232mm	23%減
ロープ長	1135m	→ 912m	20%減

サクシヨンアンカーの遠心力载荷試験



受動サクシヨンの定量
把握



遠心力载荷試験



解析モデル

(FLIP)

解析結果に基づきアンカ
ー仕様を合理化

アンカーの合理化検討結果

	従来検討 (サクシヨン無)	合理化検討 (サクシヨン有)	
直径	7.5m	→ 7.0m	
長さ	7.0m	7.0m	
鋼材重量	57t	→ 52t	9%減

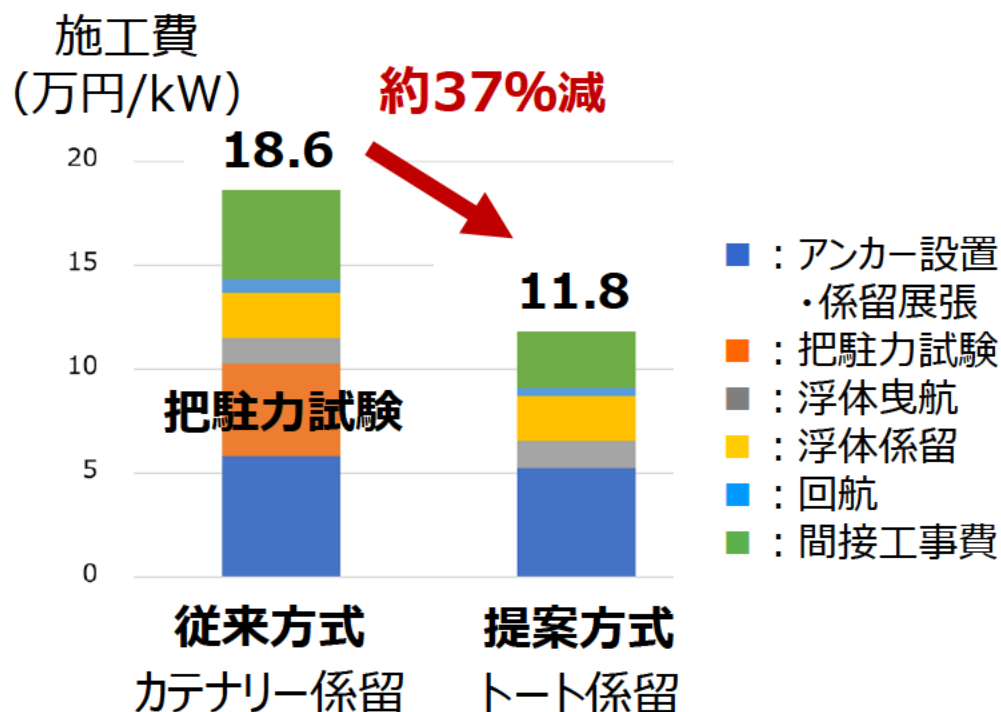
2 -④ 大水深に適用可能な低コスト係留システムの開発 施工計画検討

- ◆ アンカーハンドリング船を用いたカテナリー係留とトート係留の施工方法と施工費を検討
- ◆ トート係留では把駐力試験を省略とすることで大幅なコスト低減を見込める



アンカーハンドリング船の例
(20,000PS級)

出典：DOF, The Fleet - Asset Overview



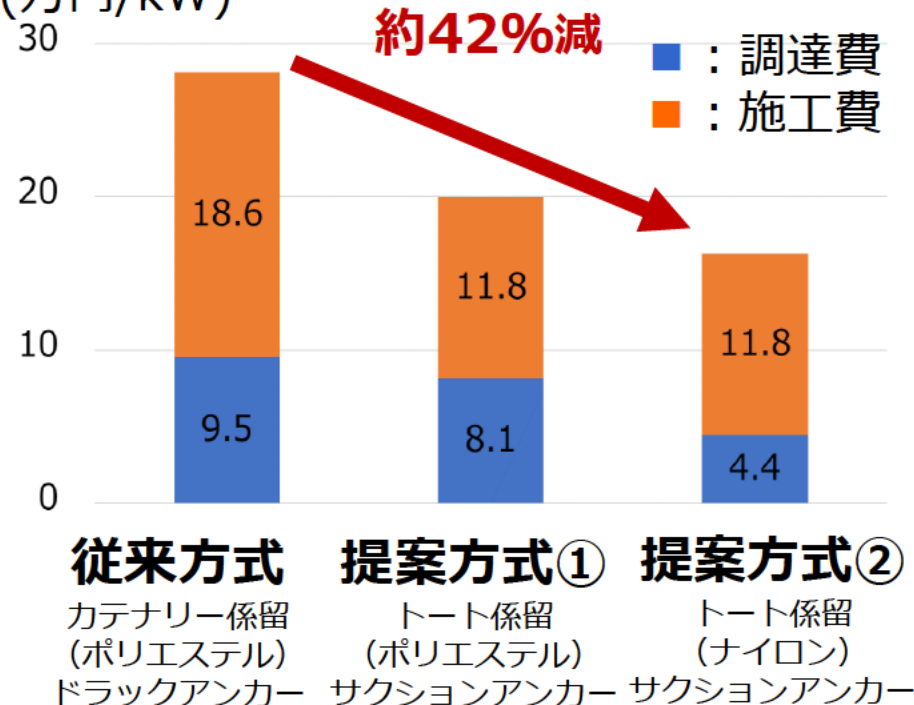
水深400mにおける施工費の比較(*1)(*2)

- *1：地盤調査等事前調査の費用は含まない
- *2：本検討ではNKガイドラインの規定に従い、詳細な検討書を作成し、NK殿に承認され、把駐力試験は省略される想定とした。

2 -④大水深に適用可能な低コスト係留システムの開発 コスト評価

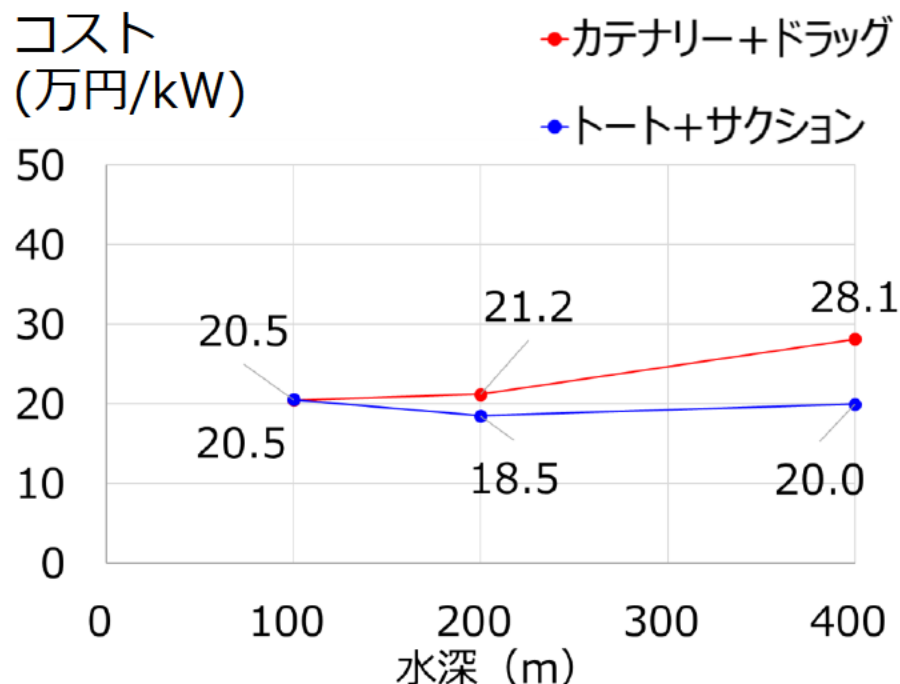
- ◆ 水深400mにおいて従来係留システムと比較して、**29～42%のコスト低減を達成**
- ◆ 水深が深くなるほどカテナリー係留は大幅コスト増となる一方、トート係留は増加幅が小さい傾向があることを確認

コスト
(万円/kW)



水深400mにおける係留コストの比較

コスト
(万円/kW)



水深ごとの係留コストの比較
(ポリエステルロープの場合)

2 - ⑤地域受容性の調査研究

研究目標、研究スケジュール

研究目標

コンクリート製浮体に関する地域への理解促進および実証試験に向けた
海域利用者との協調

実施スケジュール

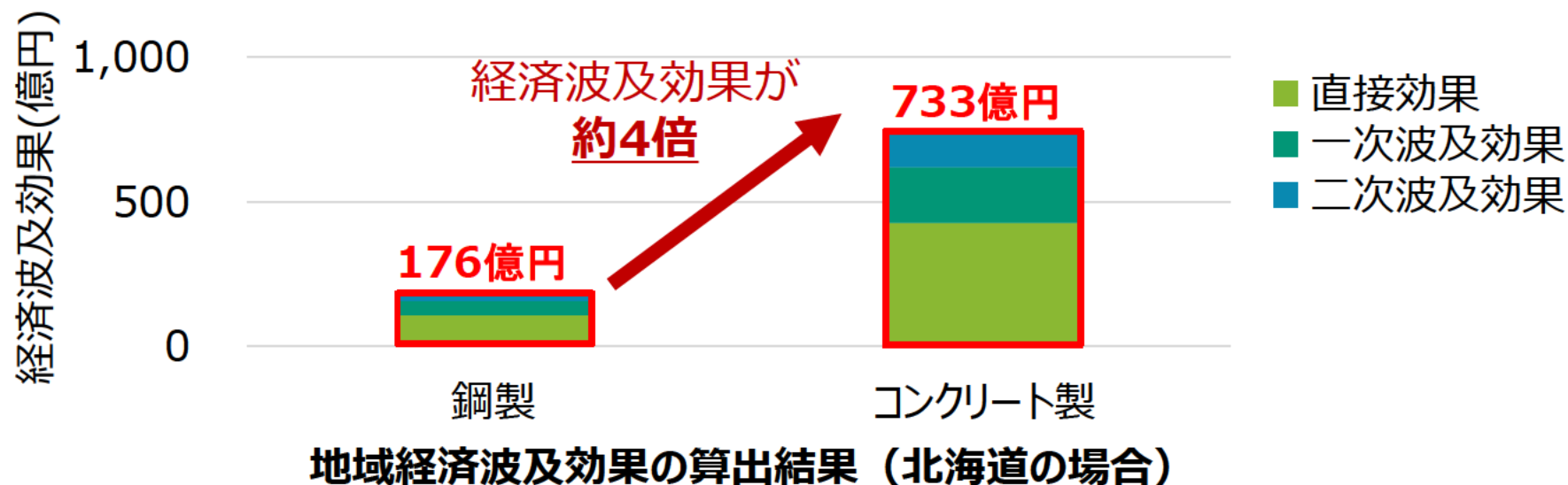
実施項目	2024年度			2025年度			
	2Q	3Q	4Q	1Q	2Q	3Q	4Q
地域経済への波及効果および供給安定性の評価	検討条件の設定						
				地域経済への波及効果の評価			
					供給安定性の評価		
地域受容性向上等に関する施策の提案	海域有効利用方法の調査						
				海域利用者の懸念事項の整理			
				地域受容性向上等に関する施策の提案			

2 -⑤地域受容性の調査研究 地域経済への波及効果の評価

◆ 地域経済への波及効果の面で**コンクリート製浮体の優位性**を確認

計算条件

- 浮体の製造により対象の都道府県に及ぼす**地域経済波及効果**を算出した
- 風車発電容量は**15MW**、年間製造基数は**25基**と想定した
- 浮体の製造方法は、**コンクリート製浮体は一括製造し、鋼製浮体は遠方で製作したモジュールを対象の都道府県で大組み**すると想定した
- 地域経済波及効果算出は、浮体式洋上風力に関する実績等を勘案し、**国内沿岸の複数の都道府県**について実施した



2 - ⑤地域受容性の調査研究 供給安定性の評価

◆ 材料および雇用の供給安定性の面で**コンクリート製浮体の優位性**を確認

評価項目	評価方法	結果
材料生産拠点の偏在性	・コンクリート製浮体および鋼製浮体の 主要な材料 について、都道府県別の 生産量 を比較した。	・コンクリート製浮体の主要材料は鋼製浮体の主要材料と比べて 生産拠点が国内に広く分散 していることが確認された。
材料の価格	・コンクリート製浮体の主要な材料である生コンクリートと鋼製浮体の主要な材料である厚中板の 価格 を比較した。	・生コンクリートの方が 浮体1基あたりの価格が安く 、長期的な変動幅が小さかった。
作業員の確保	・コンクリート製浮体と鋼製浮体で都道府県別に 関連する産業の従業員数 を比較した。	・コンクリート製浮体に関連する産業の従業員は 国内に分散 しており、浮体製造拠点の 近隣から作業員を集める ことができる。

 **いずれの観点でもコンクリート製浮体の優位性を確認**

2 -⑤地域受容性の調査研究

地域受容性向上等に関する施策の提案

◆ヒアリング結果をウインドファーム建設に向けた課題解決のための基礎資料として整理

○先行事例等の情報収集・整理 ➡ ○海域利用者に対し、懸念事項や海域有効利用策の有用性についてヒアリング

海域有効利用策に対する意見		主な懸念事項	必要となる対応等
全般	経済的支援や漁業者の所得向上に繋がる施策の要望	・漁業操業への支障(操業区域の縮小、航行路の制限等)	・操業区域の把握 ・操業区域を回避した設備配置 ・進入禁止エリア(操業禁止エリア)の最小化
漁礁	漁業操業に支障のない条件であれば有効	・海底ケーブル敷設による桁引き漁への影響	・操業区域の把握 ・操業区域を回避したケーブル配置
海象データ共有	条件次第では有効	・進入禁止エリアへの遊漁船などの進入	・進入禁止エリアの周知徹底と理解促進 ・浮体付近へ進入ができないような設備構造
密漁防止・監視	条件次第では有効だが高性能機能の必要性は高くない	・ <u>漁礁効果の確認、検証</u>	・漁業影響評価(調査)の実施(事前調査含む) ・(必要に応じて)有識者ヒアリング
養殖施設	必要性低い		・ <u>漁業者への理解促進</u>

ヒアリング結果を踏まえ、利害関係者への理解促進を目的とした、海洋構造物の漁礁効果・蛸集効果の「見える化」に関する調査を提案

本事業では、**フルコンクリート製コンパクトセミサブ型浮体**および**トート係留方式**について、技術・経済・環境・社会受容性の観点から実用化の成立性を確認した。今後は、**設計・製造・施工・維持管理技術の高度化**や**実海域検証**を通じた経済性向上・社会実装体制の整備が課題

項 目	成果のまとめ	今後の技術課題
①設計課題解決に向けた技術開発	設計課題の整理および設計手法の適用可能性確認	コンクリート製セミサブ型浮体の設計手法の深化・確立
②急速量産技術の開発	年間25基製造するための浮体構造、製造計画の策定	実物大製造実験の実施による製造・接合技術の確立
③コンクリート浮体優位性の検証	・浮体製造コスト16万円/kWの達成 ・浮体のCO₂排出量の定量化 ・ガイドライン案の作成	・浮体の長期耐久性確保技術の確立と更なるコスト低減 ・浮体の維持管理計画の具体化・ガイドライン化
④大水深での低コスト係留システムの開発	水深400m対応かつ従来比10%以上のコスト低減が可能な係留システムの確立	トート係留方式およびアンカーの実海域における検証
⑤地域受容性の調査研究	地域への経済波及効果の確認と地域受容性向上策の提案	浮体設置に向けた利害関係者への理解促進・合意形成