

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. 9

契約件名: 浮体式基礎製造・設置低コスト化技術開発事業 低コストと優れた社会受容性を実現するTLP方式による浮体式洋上 発電設備の開発

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	三井海洋開発(株) 事業開発部長 横田浩明
実施体制	三井海洋開発(株)、(株)JERA、東洋建設(株)、古河電気工業(株)
問い合わせ先	三井海洋開発株式会社 https://www.modec.com/

1. 目的

浮体式風力発電の社会受容性と低コスト化実現のため、15MW級風車を対象としたTLP方式による浮体・係留システムの開発

2. 期間

2022年3月31日～2024年3月31日

3. 目標（最終）

- 1) 浮体の最適化: TLP方式による浮体・係留システムに関し、NKからのAiPの取得
- 2) 浮体・係留システム: 15基/年の製造手法およびサプライチェーンの構築
- 3) 係留システムの最適化: 係留索・鋼管杭の仕様、張力監視方法、地盤調査要領の決定
- 4) 低コスト施工技術の開発: サイトでの据付計画の立案、TLP用ケーブルの開発

4. 成果・進捗概要

風力タービンメーカーとの協業前に、20年使用を実現する社会実装機の基本検討を終え、現インフラで年間15基の浮体・係留システムの製造の実施要領の策定を完了している

事業の背景

事業計画・研究開発計画の関係性および将来展望



2022~2024



要素技術の確立
(フェーズ1)

2024~2030



実証による検証・改善
(フェーズ2)

2030年代初頭



商業ウインドファーム
(社会実装)

2050
カーボン
ニュートラル

MODEC 浮体・係留

東洋建設 係留基礎

古河電工 ケーブル

Jera 設計条件※・風車

Jera **MODEC**

東洋建設 **古河電工**

実機サイズ風車による実証試験

▼15MWクラス風車による実施を計画

社会実装前提のサプライチェーン

▼量産化を前提としたサプライチェーン創出

低コスト施工・管理技術の開発

▼材工合せたライフタイムでの低コスト化

継続的なウインドファーム開発

▼毎年500MW規模の事業創出を目指す

漁業協調型のウインドファーム

▼沖合の漁業実態と協調した開発計画

▼ウインドファーム内の航行や漁業についての制約を可能な限り低減する

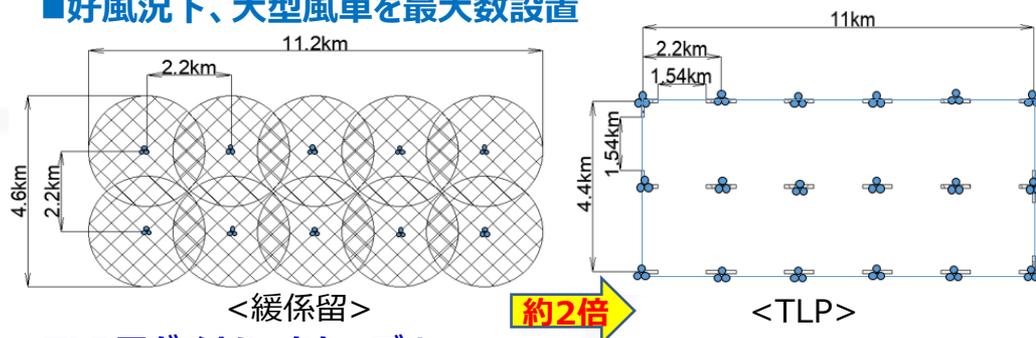
※：発電実証想定海域の漁業を含む地元関係者との、発電実証実施の合意形成済み

事業の目的

社会・顧客に対する提供価値

● 経済的価値: 好風況下で大型風車大量配置による低発電コストの実現

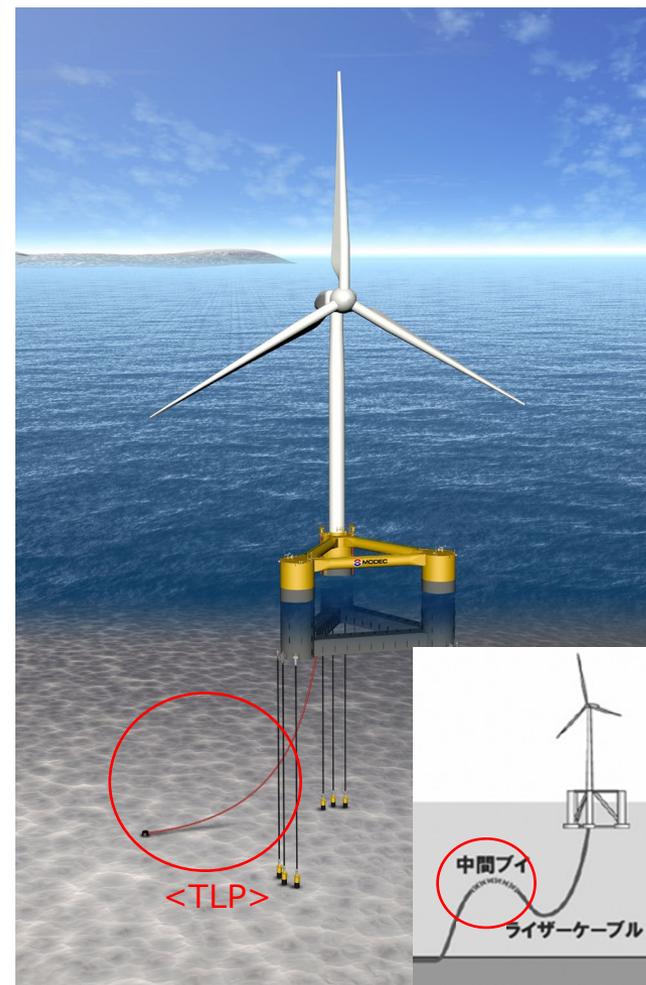
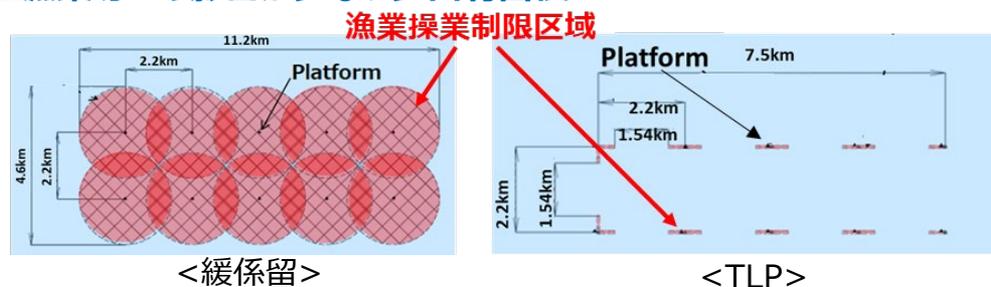
- ▶ 大型風車搭載に適したTLP型の動揺特性
 - 鉛直方向の運動が殆ど無く浮体の傾斜も十分に小さい
- ▶ 風車の最大数配置
 - 好風況下、大型風車を最大数設置



- ▶ TLP用ダイナミックケーブル
 - 海中浮遊部のないケーブルレイアウトによる低CAPEX, OPEX

● 社会的価値: 荒海象に強く安全に安定電力の提供を実現 漁業等 地域既存産業への影響少

- ▶ 占有面積
 - 漁業等への影響が少ない少占有面積



<緩係留>

研究スケジュール



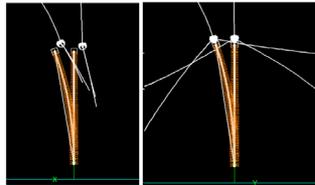
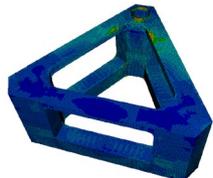
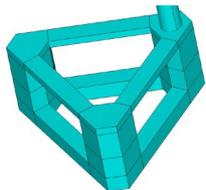
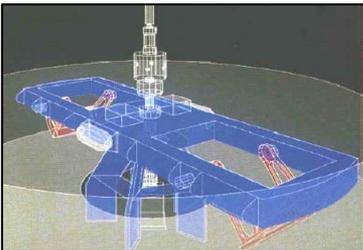
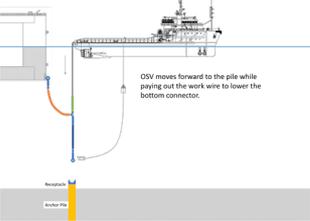
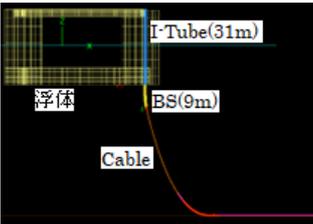
NKからのAIP取得を中心としたKPIを達成

研究開発内容		2021-2022年度	2023年度	基本設計承認 (AIP)
①浮体基礎の最適化	MODEC	風車エンジ会社との共同設計	風車・浮体・係留一体解析手法の開発	
		タワー基部周辺構造の疲労強度検討		
	JERA	石狩湾実証予定サイトの設計条件設定 海象観測、風況観測、地盤調査、海洋付着生物		
②浮体の量産化	MODEC	国内造船所建造想定 of 浮体構造開発	鍛造品の溶接施工試験	
		六角形カラム浮体の模型水槽試験		
③係留システムの最適化	MODEC	係留監視システム開発	実物大ベアリングでの試験	
	東洋	杭設計手法の開発	ポリエステルロープ局部曲げ疲労試験	
	JERA	遠心模型実験	現地引抜実験	
④低コスト施工技術の開発	MODEC	係留接続要領	DNVによる審査 (QPの承認)	
	東洋	汎用鋼管杭の施工要領検討	杭の打設実験	
		水中測量実験		
	古河	TLP用ダイナミックケーブル開発	脱着ターミネーション施工検証	
		ケーブル軸圧縮試験		

実施内容



社会実装の実現に向け現地データ調査・観測、解析結果や施工性の確認を実施

<p>①浮体基礎の最適化</p>	<p>JERA MODEC</p>	<p>現地調査・観測</p> 	<p>風車モデル</p> 	<p>強度解析</p> 	
<p>②浮体の量産化</p>	<p>MODEC</p>	<p>平板構造浮体</p> 	<p>浮体の模型水槽試験</p> 	<p>鍛造品の溶接施工試験</p> 	
<p>③係留システムの最適化</p>	<p>MODEC 東洋建設 JERA</p>	<p>遠心模型実験</p> 	<p>現地引抜実験</p> 	<p>ポリロープ疲労試験</p> 	<p>ベアリング試験</p> 
<p>④低コスト施工技术の開発</p>	<p>MODEC 東洋建設 古河電工</p>	<p>係留接続検証</p> 	<p>杭の打設実験</p> 	<p>TLP用ケーブル解析</p> 	<p>脱着ターミネーション試験</p> 

実績

成果の活用

風車モデル

- **風車モデル提供**：汎用風車モデルをベースに実機風車性能を再現できるよう調整実施
(2022年7月～2023年3月)

- 浮体との連成解析に必要な実機風車モデルおよび性能情報をコンソ共有

設計海気象条件の設定

- **風況観測**：DSL、VL、風況観測塔による観測
(2022年12月～2024年2月)
- **海象観測**：流向流速計、波浪計測計による観測
(2022年10月～2023年11月)
- **海洋付着生物調査**：試験板・係留系の付着観測実施
(2022年11月～2024年3月)

- 観測データに基づき解析し、各設計に必要な風況・海象条件を設定しコンソで共有

係留基礎の地盤調査

- **地盤調査**：CPT、PS検層のデータ解析、サンプリング、室内土質試験、その他物理探査の実施
(2022年7月～2023年3月)および
(2023年7、8月～2024年1月)

- 浮体・係留設計に必要な設計地盤条件を設定しコンソで共有
- 調査コスト削減のため、CPT調査数量の合理化



デュアルスキャニングライダー (DSL)
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



灯標ブイ設置状況



海洋付着生物試験板



サンプリング試料

実績

浮体の 高信頼性確認

- 風車・浮体・係留連成応答・強度解析システムを用いて、タワー基部の疲労寿命20年を達成し、浮体の高信頼性を確認

- 将来の極厚鋼板(E/F級鋼)の大量供給をミルメーカーに要請

浮体の量産化

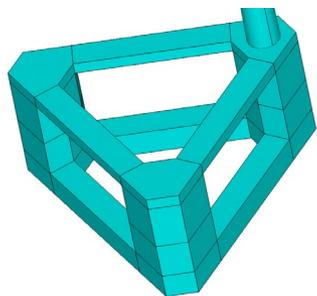
- 国内造船所建造を想定した平板構造を採用した浮体につき、1/50のモデルを製作し水槽試験を実施

- タワー基部の鍛造品の母材性能試験、溶接施工試験を実施。製造工程や強度に問題ないこと確認

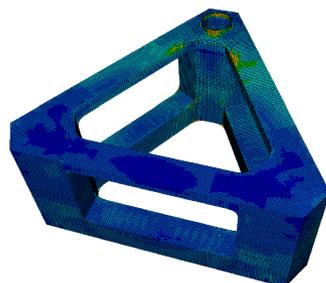
成果の活用

- 設計プロセス標準として活用
- 社会実装時のタワー基部構造の一つとして活用

- 将来の洋上風力向け浮体のサプライチェーンとして活用



平板構造六角形コラム



強度解析



水槽試験



鍛造品の溶接施工試験

実績

成果の活用

ポリエステルロープ
局部の曲げ疲労
試験

- 想定使用環境下での機能別大型プロトタイプ実証として、ポリエステルロープの局部曲げ疲労試験を実施し、疲労損傷がないことを確認

係留張力監視
システム

- 係留支持構造の裏構造に、ひずみゲージを設置し、係留索張力の異常検知する張力監視装置を開発

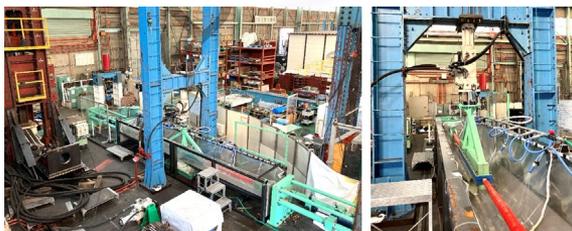
係留
コネクタの
耐久性試験

- 実荷重、摩耗状態を想定した係留コネクタ内ベアリングの実物大スケールの耐久性試験を実施しベアリングの仕様を検証した

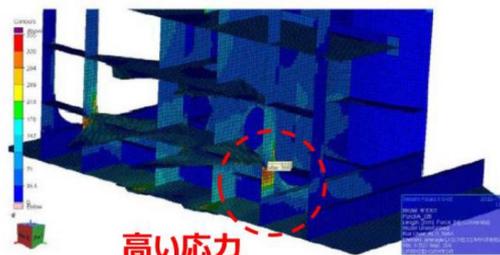
- 発電実証による確認を経て、社会実装用の係留索として活用

- 実証機へ搭載を経て、社会実装時の最適化を模索

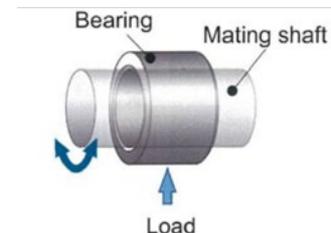
- 実機スケールでの耐久性確認試験標準として活用



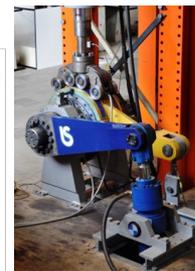
ポリエステルロープ
局部曲げ疲労試験



高い応力
係留張力監視システム



実物大ベアリングでの試験例



③係留システムの最適化

東洋建設

遠心模型実験

有限要素解析

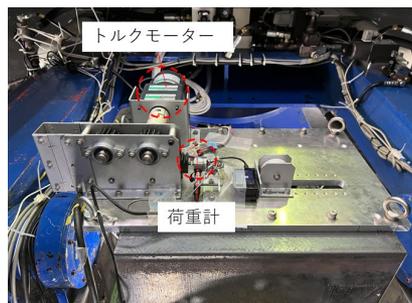
現地引抜実験

実績

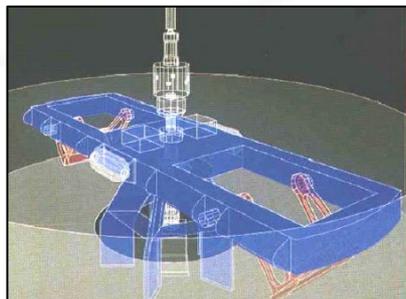
成果の活用

- 遠心模型実験において静的荷重・繰返し荷重に対する杭の挙動を検証
- 実海域において実験海域地盤調査および静的荷重・繰返し荷重に対する杭の挙動を検証

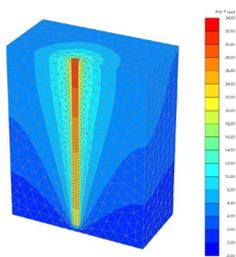
- 杭設計における引抜き抵抗力の妥当性検証、繰返し作用に対する安定性評価に活用



地盤調査



遠心模型実験



有限要素解析



現地引抜実験

研究成果



①浮体基礎の最適化/係留システムの最適化

AiP (Approval in Principle) 取得

実績

- 支持構造物審査：2023年8月に設計図書を提出し、2024年2月にかけて審査会を実施

成果の活用

- 有識者・ClassNK から幅広く意見を収集し、今後の検討に反映



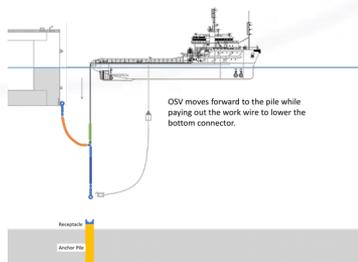
実績

成果の活用

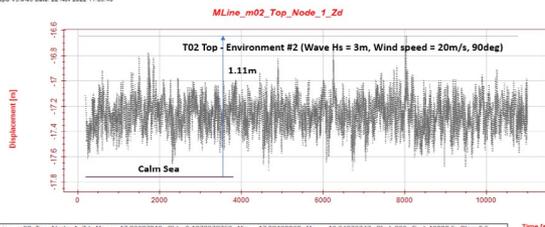
係留接続作業 要領の確立

- 上部および下部コネクタを、係留接続部（ポーチ）および下部係留杭頂部に、確実に誘導するためのガイド設備の仕様検討および作業要領を確立
- DNVのTechnical Qualification (TQ)のプロセスを用い、作業要領の Statement of Feasibility, Qualification Plan (QP) を取得
- 係留接続時の浮体動揺シミュレーションを実施し、係留接続時の作業限界環境条件を設定

- 係留接続の施工要領に関するTQを取得に活用

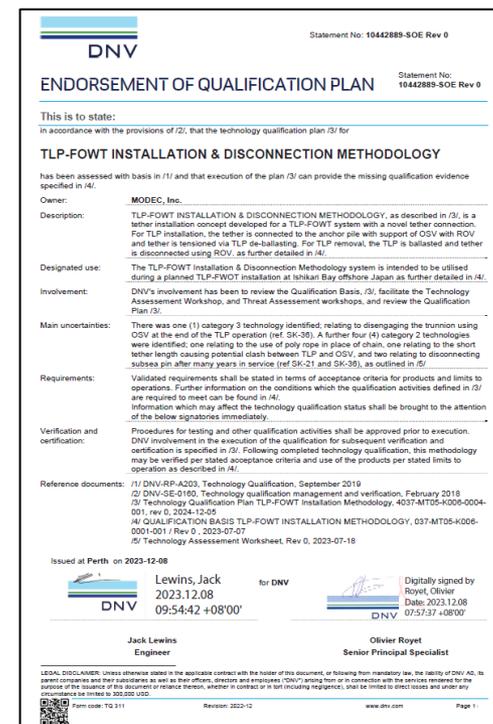


DNVGL V16.0.00 Date: 22 Nov 2022 11:35:09



MODEC考案の施工 方法の一例

係留接続時の浮体動揺シ ミュレーションの1例



DNV QP証書

実績

成果の活用

実海域における 施工性検証

- 杭の打設実験：石狩湾にて大型杭を用いた施工性検証実験を実施
- 水中測量実験：室内水槽試験、実海域試験を実施

- 発電実証および商用化における実施工計画立案の際に、本実験で得たノウハウ等(杭打設、計測等)を活用



施工性検証実験
(沖合大水深での
杭打設実験)



水中測量実験

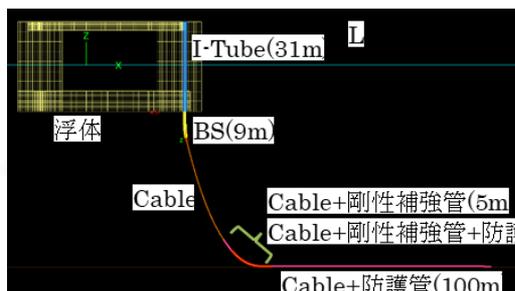
実績

成果の活用

ダイナミック ケーブル システム の検討

- フリーハンギングシステムの最適検討として石狩湾50年再現期待値条件でのケーブル挙動解析実施
- 石狩湾波浪統計データでのケーブル疲労解析を実施
- 脱着ターミネーション引き下げを考慮したケーブル沈降解析を実施
- ケーブル軸圧縮検証試験を実施

- ダイナミックケーブルシステムの安全性を確認した



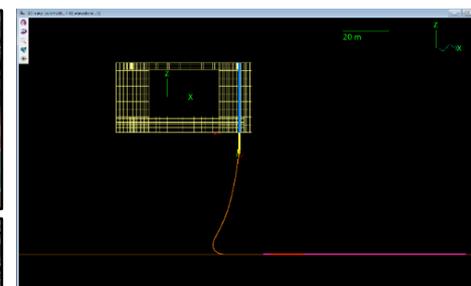
ケーブル挙動解析



頻度表



ケーブル軸圧縮試験



ケーブル沈降解析

実績

- 移動・通電ターミネーションについて、構造上や施工手順に問題なく組立可能か検証
- 移動・通電ターミネーションで機械試験・解体調査・水圧試験を評価
- 脱着ターミネーションの弱点箇所を把握するため布設形態を想定し、構造解析を実施

成果の活用

- 施工性の課題抽出に活用
- 施工性の課題抽出に活用
- 水深と引揚げ角度や吊り上げ方法に活用

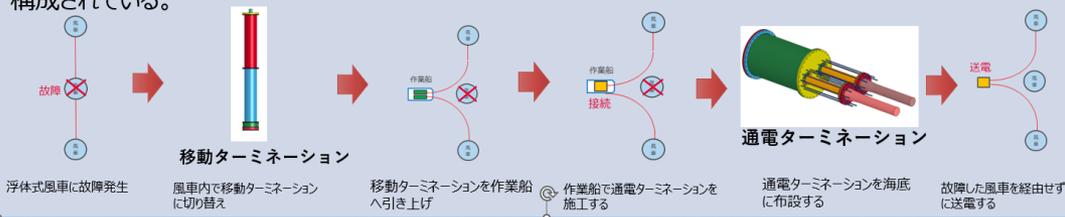
脱着ターミネーション
施工検証

脱着ターミネーション
評価試験

脱着ターミネーション
構造解析

脱着ターミネーションシステムとは

脱着ターミネーションシステムは“移動ターミネーション”および“通電ターミネーション”の2つのターミネーションで構成されている。



通電ターミネーションの
施工検証



機械試験

ご清聴いただきありがとうございました。