

NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.5-5

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/
洋上風力運転保守高度化事業/

Digital Twin・AI 技術による生産予防保全技術
などの開発

発表：2025年 7月17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 松信 隆

団体名 戸田建建設(株)、(国)東京大学、(学)早稲田大学、(学)中部大学、(国研)産業総合技術研究所

問い合わせ先 戸田建設株式会社 takashi.matsunobu@toda.co.jp(松信)

事業概要



1. 目的

浮体式洋上風力発電設備の運転保守の高度化を実現するために、①Digital Twin・AI技術開発 Phase-I(基盤整備)、②データ利活用・学術データプラットフォーム連携 Phase-I(専用DB構築)、③Digital Twin O&Mを支える浮体製造部品の生産信頼性確保を実施した。

2. 期間

2022年3月 ～ 2025年3月

3. 目標（最終）

浮体式洋上発電事業における実証を通じて浮体構造・風車本体の状態データを取得し、スマートメンテナンス技術による高度予防保全を実現させ、る浮体構造・風車部品への影響を評価し、浮体構造の低コスト化、コンポーネント標準化要件、O&Mコストの低減を実現する。

4. 成果・進捗概要

①Digital Twin・AI技術開発 Phase-I(基盤整備)：

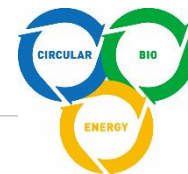
PLMシステムとしてデータの一元管理するプラットフォームを構築

②データ利活用・学術データプラットフォーム連携 Phase-I(専用DB構築)：

風車運データプラットフォームを浮体式洋上風力に適用できることを確認

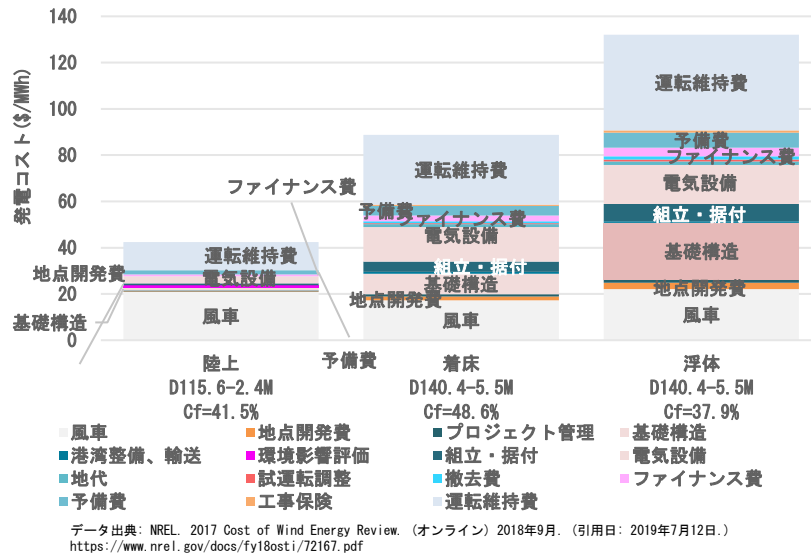
③Digital Twin O&Mを支える浮体製造部品の生産信頼性確保：

浮体設備の出来高データ、検査データをデジタル化して管理するシステムを構築



1. 背景および目的

浮体式洋上風力の発電コスト高止まり

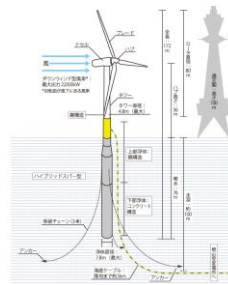


洋上風力発電では、資本費(CAPEX)および運転維持費(OPEX)の低減と発電量増加による発電コスト(LCOE)低減のため、風車のローター径、発電機出力、運転期間などが増加傾向にあり、技術的難易度が高まっている。CAPEXの合理化には、生産、据付過程の低コスト化が、OPEXの合理化には、予防保全過程の低コスト化が必要である。本実証事業では、建設中の五島市沖洋上風力発電事業(以下「五島PF」) などについて、デジタルツイン、AI技術を利用し、生産および予防保全技術を高度化し、LCOEを低減することを目的とする。

戸田建設における 浮体式洋上風力発電事業の現状



五島市沖洋上風力発電事業



対象風車

洋上風力への保守管理技術要求事項

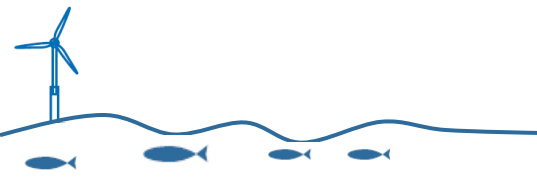
- ・アクセスが困難なために遠隔監視
- ・適切なタイミングでの部品交換、サプライチェーン構築
- ・保守管理、運用コストの低減



要求事項を満足する保守管理技術を開発

2.研究スケジュール

	2021年度	2022年度				2023年度				2024年度				
実施項目	3月	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q	
Digital Twin・AI技術開発 Phase-I(基盤整備)		ソフトウェア要件定義	プロトタイプ運用			本格運用、データ入力				他システムと連携				マニュアル整備
			計測管理システムI/F仕様		計測計器手配、設置工事着手		各号機での設置、動作検証							
			鋼製部3Dモデル作成		PC部3Dモデル作成		RNA部3Dモデル作成		3Dモデル統合作業					
			3D計測装置選定		3D計測データI/F仕様									
データ利活用・学術データプラットフォーム連携 Phase-I(専用DB構築)			既設風車のデータ仕様調査			システムI/F仕様設計								
						異常検出、AIモデル検証				既設風車のOMとの連携、検証				
						既設風車の運転データの蓄積				報告書作成				
Digital Twin O&Mを支える 浮体製造部品の生産信頼性確保			BOM用部品番号整理		生産デジタルツイン用DB整備		実作業データ分析				実作業データ分析		マニュアル整備	
			出来高計測システム検討			施工データ収集システム検討		検査データ収集システム検討		出来高計測システム検証 検査データ収集システム検証		マニュアル整備		
								施工データ収集		施工データ収集				



3.開発目標・開発項目・実施内容

開発項目

1. Digital Twin・AI技術による予防保全技術などの開発

研究開発内容

- ① Digital Twin・AI技術開発
Phase-I(基盤整備)
- ② データ利活用・学術データプラットフォーム連携
Phase-I(専用DB構築)
- ③ Digital Twin O&Mを支える
浮体製造部品の生産信頼性確保

開発目標

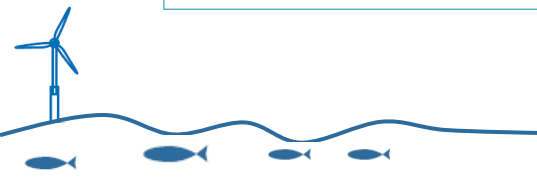
浮体洋上実証を通じて浮体構造・風車本体の状態データを取得し、スマートメンテナンス技術による高度予防保全を実現させる。そのうえで、浮体構造・風車部品への影響を評価し、浮体構造の低コスト化、コンポーネント標準化要件、O&Mコストの低減を実現する

KPI

浮体風車の状態把握の諸物理パラメータ取得100%
⇒浮体式洋上風力におけるO&M目標ダウンタイムを試算可能にする

- ①データの格納DB整備完了およびデータ整理モジュールの動作確認
- ②浮体構造・風車部品の異常検知性能を9割以上に高める

製品製造稼働率を97%に維持



4.1. Digital Twin・AI技術開発/研究成果(1)

実施内容

KPI

着手前

達成レベル

解決方法

1

Digital Twin・AI
技術開発
Phase-I(基盤整備)

浮体風車の状態把握
の諸物理パラメータ取
得率100%
⇒浮体式洋上風力に
おけるO&M目標ダウン
タイムを試算可能にする

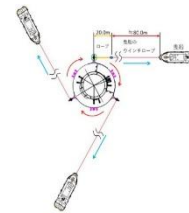
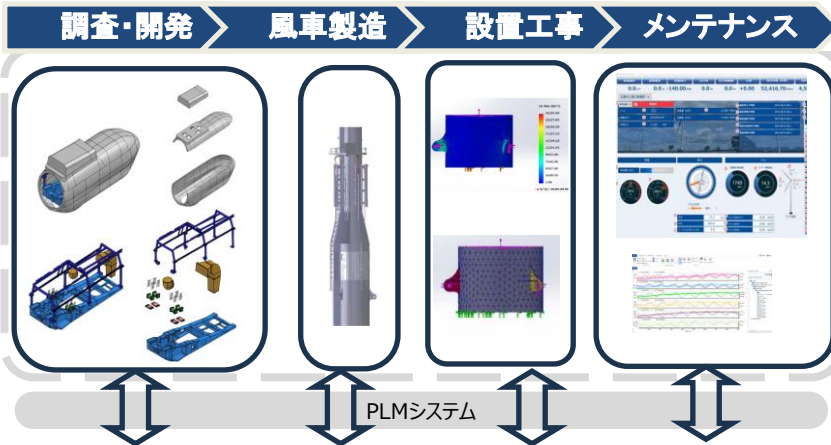
DX技術はあ
るものの浮体
O&Mに資する
状態にはない
(提案時TRL2
→現状TRL3)

DXにより浮体風車
O&Mの設計・計画に
資するデータ取得へ
要素試験を実現
(TRL5)

- 浮体設備に関するデー
タを一元管理できるプ
ラットフォームを構築
- スマートメンテナンス技
術の採用

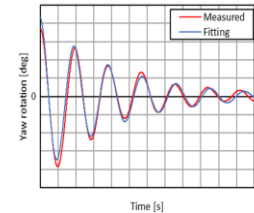
バーチャル(仮想)空間

リアル(物理)空間



三隻のタグボートを使用し強制変位を付加

(a) 試験状況



剛性と減衰機能を確認

(b) 試験結果

標準化に向けた風車支持機能の検証

データプラットフォーム

- コンポーネント毎に設計、
施工、検査データを区分
し一元管理
- 風車/浮体間などのイン
タフェース管理

計測/解析データ連携

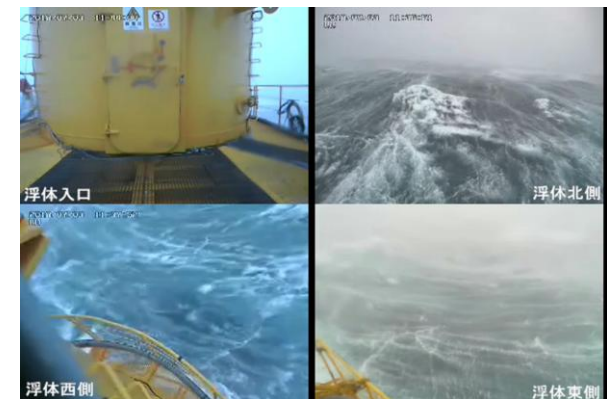
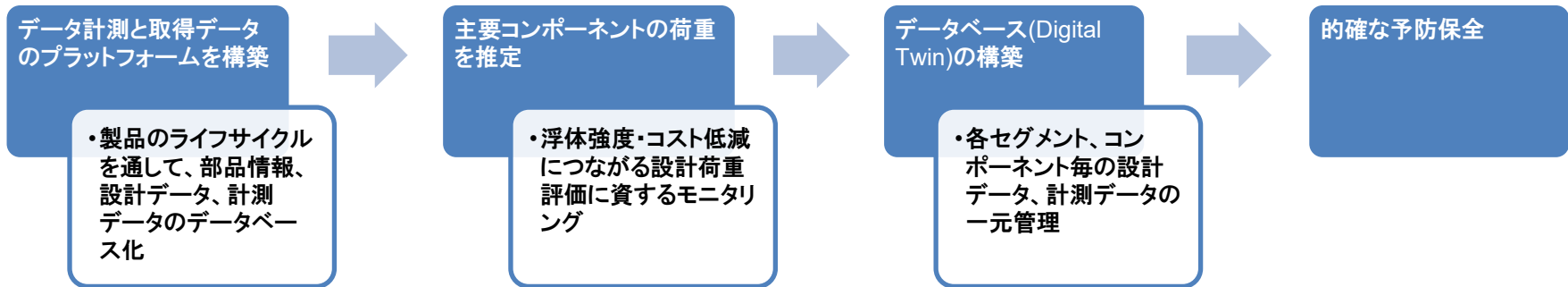
- コンポーネントおよび各
部位の計測データとシ
ミュレーションの基本的
な連携機能

Digital Twinの概要

データプラットフォームの基本機能

4.2. Digital Twin・AI技術開発/研究成果(2)

- 浮体式風力発電設備および構成部品は、風車からの風荷重と気象海象条件の影響などにより、他の風力発電型式とは異なった環境に置かれ、構成部品の消耗は他の方式の風力発電設備とは異なる。
- 人員のアクセスや、資材の海上輸送の稼働率も低下傾向で、発電コストに占めるOPEX(運転維持費)の割合が高いとされる。計画保守や予防保全への要求が高い。

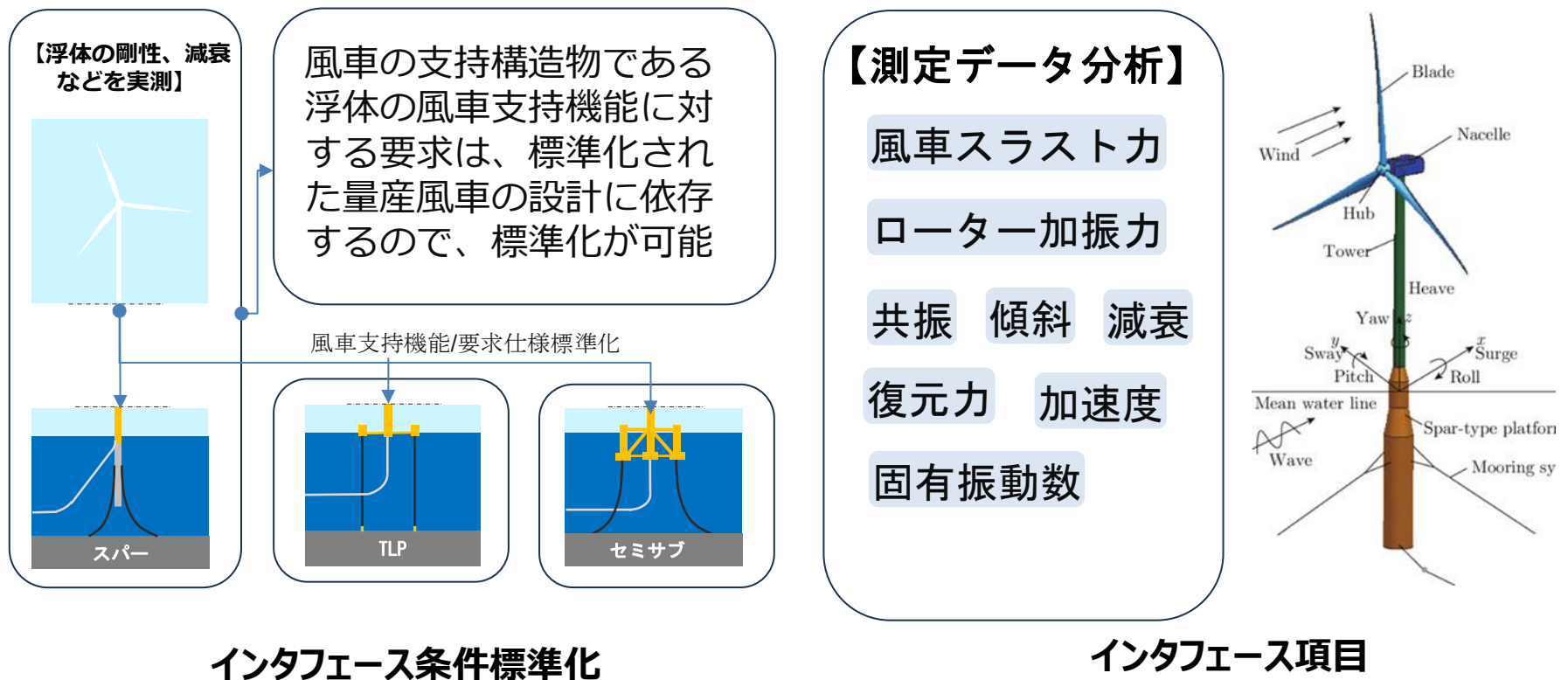


台風遭遇時の状況

4.3. Digital Twin ・ AI技術開発/研究成果(3)

データ仕様の標準化

- 取得した試験データおよび三次元形状データなどを、主要コンポーネント毎に区分しサーバーに格納し、管理することを可能とした。
- 実測した浮体の風車に対する剛性、減衰などの境界条件を標準化し、浮体/風車間のインタフェース条件として設定。



5.学術データプラットフォーム連携/研究成果(1)

実施内容

2
データ利活用・学術データプラットフォーム連携
Phase-I(専用DB構築)

KPI

- ①データの格納DB整備完了およびデータ整理モジュールの動作確認
- ②浮体構造・風車部品の異常検知性能を9割以上に高める

現状

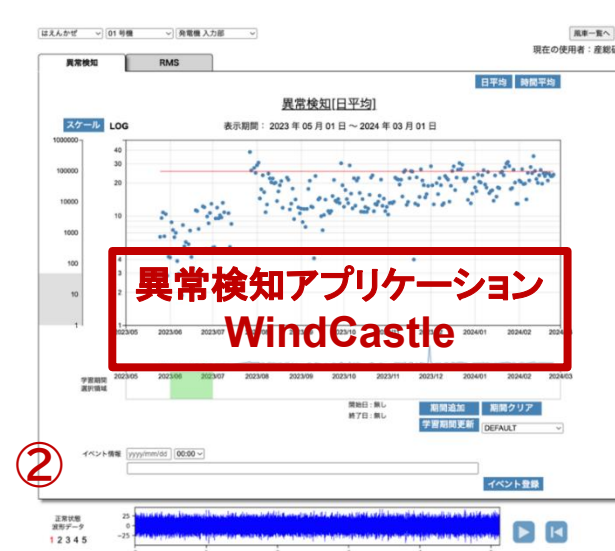
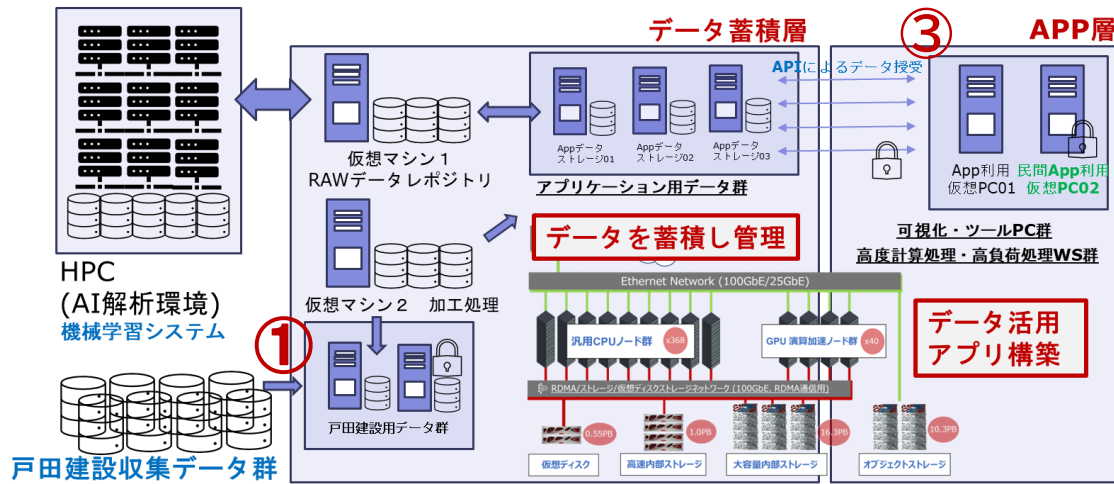
浮体構造と風車設計とを連動したデータプラットフォームは皆無
(提案時TRL3 → 現状TRL4)

達成レベル

各部の情報を統合させ評価分析ができるプラットフォームを実海域データ収集可能なレベルへ (TRL 6)

解決方法

- ・ 風車メーカーに依らない浮体構造を中心にしたデータベースシステムを構築
- ・ データ利活用学術コンソでこれまで構築してきたデータプラットフォームを活用する



- ① 学術機関が所有するDPと戸田建設収集データ接続
- ② 浮体洋上風力に対応した分析処理機能の容易な高度化⇒9割性能を確認
- ③ 浮体洋上のトラブル発生率が陸上同機に比べて1/3であることを確認

6.1.浮体製造部品の生産信頼性確保/研究成果(1)

実施内容

3

Digital Twin O&M
を支える浮体製造部
品の生産信頼性確保

KPI

製品製造稼働率を
97%に維持

現状

プロト試作の
状態のため量
産モデルの信
頼性は課題が
ある
(提案時TRL3
→現状TRL3)

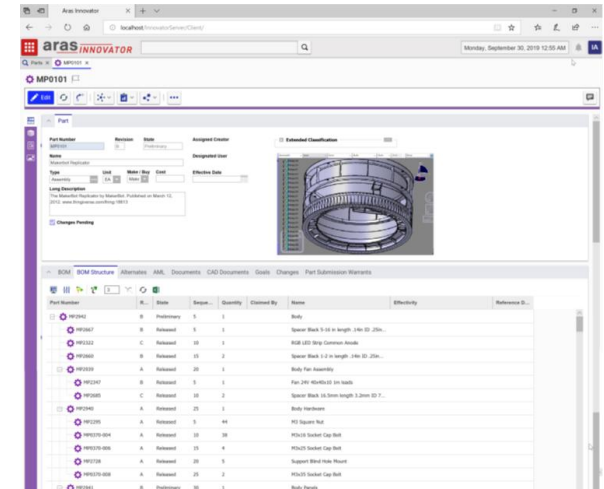
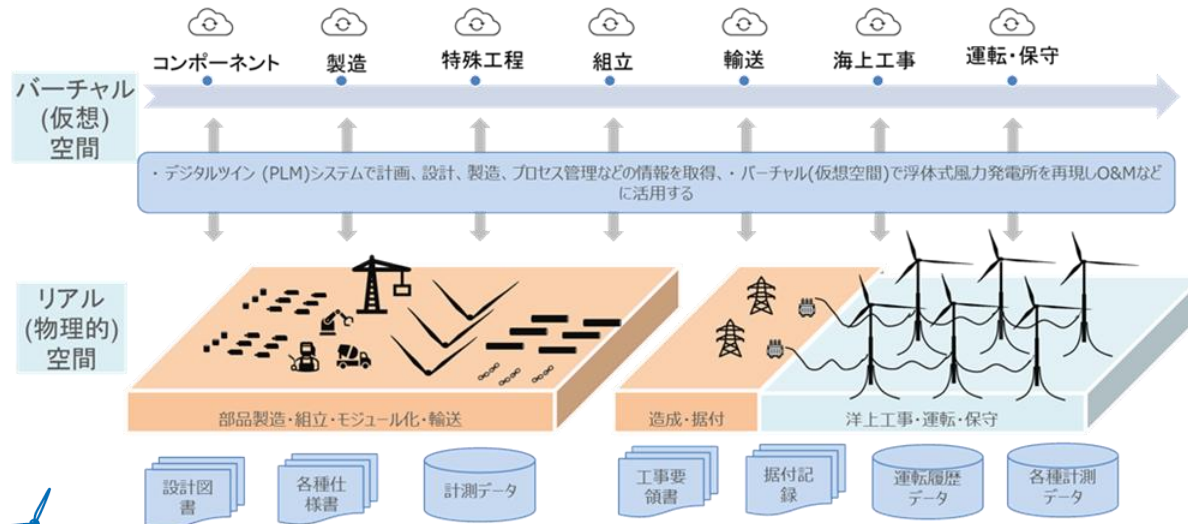
達成レベル

量産化を見据えた製
品製造精度を安定
化させるDigital
Twin O&Mを適用可
能な製品信頼性を要
素試験で評価
(TRL 5)

解決方法

- 製品製造工程において製品製造ラインの品質確保に向けたDX導入
- 完成前点検において一定品質を確保できたものを最終製品として採用

PLMシステムに情報の一元管理



データプラットフォームGUI

6.2.浮体製造部品の生産信頼性確保/研究成果(2)

浮体強度向上、コスト低減、的確な設計荷重評価可能とする監視機能強化

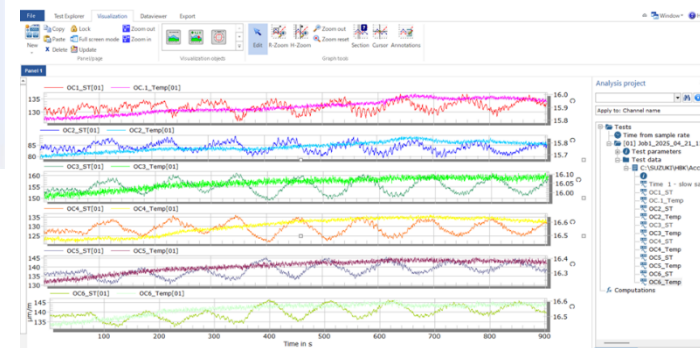
- 浮体式風車の加速度、傾斜角、変位、主要部位の応力などを計測し、サーバーにアップロードし管理可能とした。
- 歪み計測システム、係留力計測システムなどを構築した。



計測管理システムGUI



光ファイバー式歪ゲージ



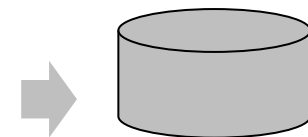
係留力計測システム計測データ

6.3.浮体製造部品の生産信頼性確保/研究成果(3)

- 鋼製部、コンクリート部などのコンポーネント単位でプロセス管理
- 施工記録のデジタルデータ化と一元管理

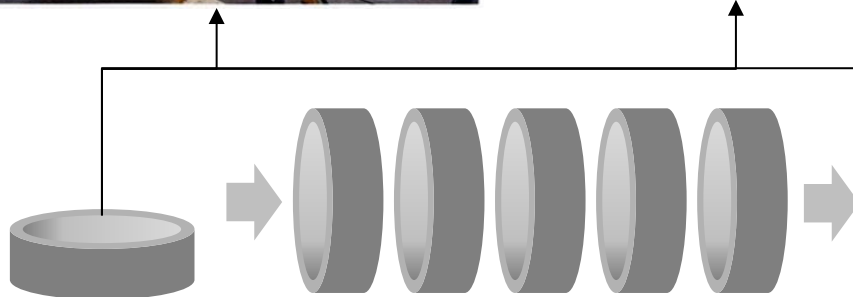
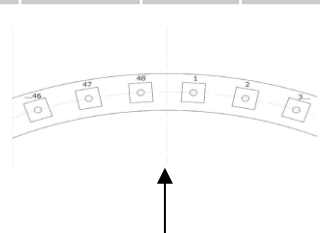


点番	品名	種別	水平角	水平距離	高低差	距離
2		後視点	359 59 59.9	6.1628	-1.0401	6.2500
1		器機点				
2	基線南側	視準点	181 19 38.4	5.4933	-1.5938	5.7198



データサーバー

- ① 施工データデータプラットフォームの構築
- ② 出来高計測システムの開発

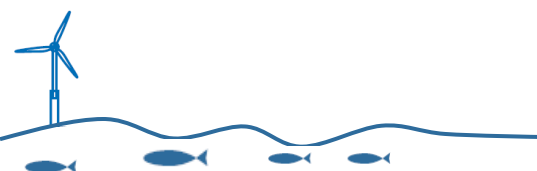


コンクリート充填

セグメント連結



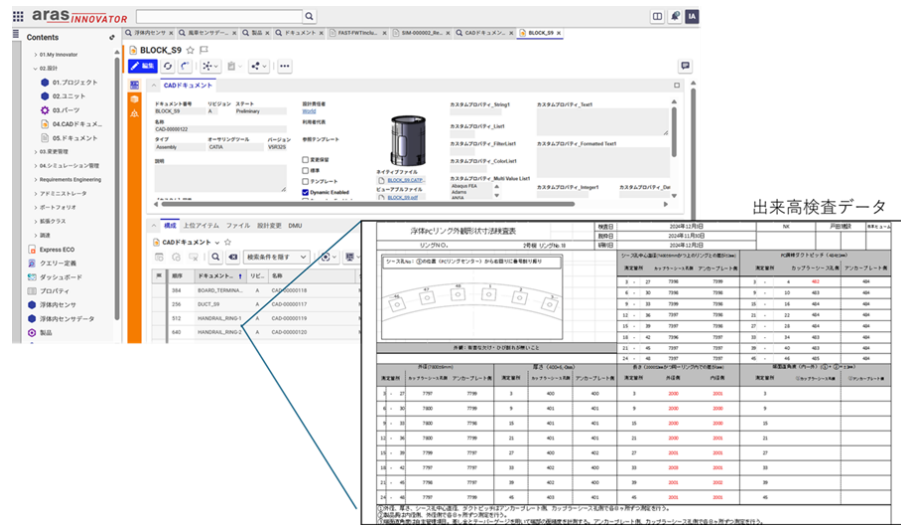
鋼製部・風車タワー連結



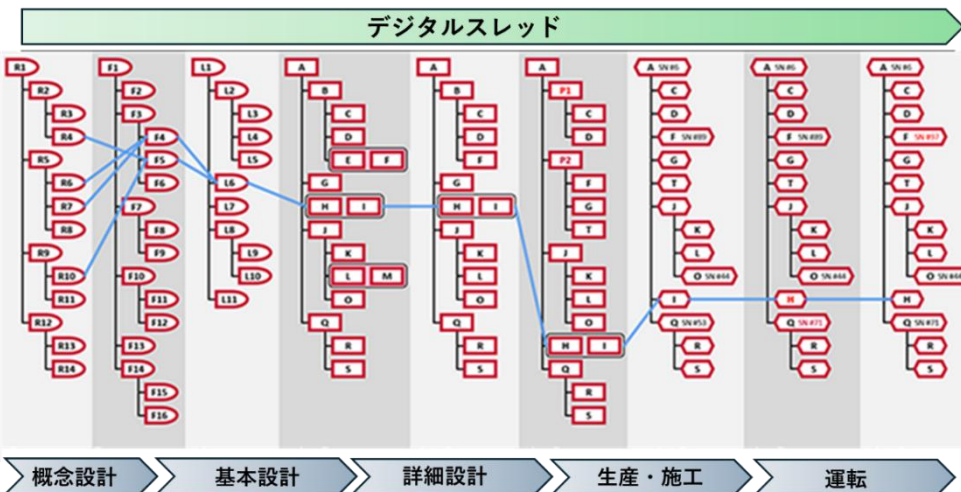
6.4.浮体製造部品の生産信頼性確保/研究成果(4)

施工データデータプラットフォームの構築

- 施工時の出来高データ、検査データを号機、部品ごとに管理
- PLMシステムと連携させ、設計、施工から運用、保守管理に至るライフサイクルで部品単位で品質管理のための情報として活用



出来高データを統合したPLMシステムデータプラットフォーム



ライフサイクルにおけるデジタルスレッド

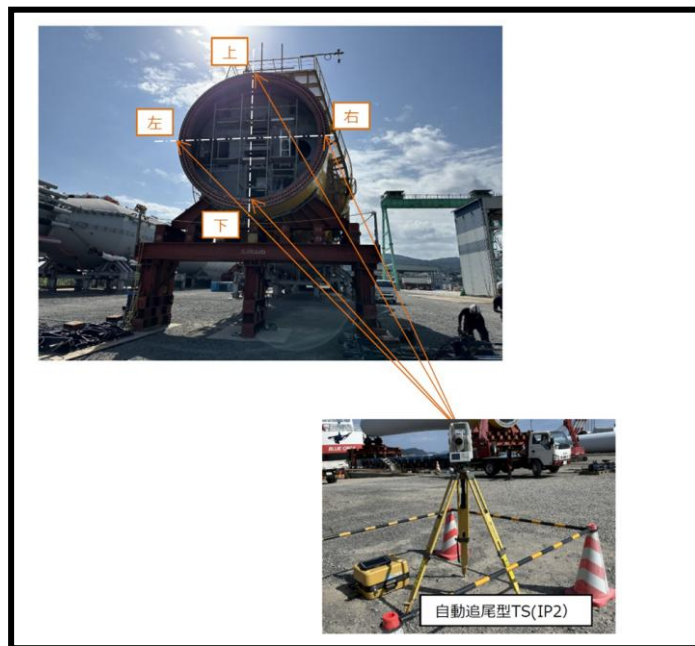
6.5.浮体製造部品の生産信頼性確保/研究成果(5)

出来高計測システムの開発

- 浮体設備連結時計測システムやコンクリートリング出来高計測システムの開発
- データ取得の自動化を実施し、PLMシステム上のデータを一元管理

出来高計測システムの活用成果

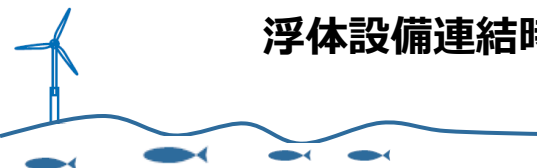
- 作業の稼働率を改善、アナログで実施した作業時間と比較で50%以上時間短縮



浮体設備連結時計測システム



コンクリートリング出来高計測システム



7.今後の技術課題

実施内容

解決方法

課題

1

Digital Twin・AI
技術開発
Phase-I(基盤整備)

- データを一元管理するプラットフォーム構築
- 計測管理システムの開発

- 設計、施工、検査データを管理システムに、**各種ファイル形式間の互換機能**の強化が必要
- 設計、施工、検査間の**データ連携機能の整備**が必要
- 長期間の**状態監視データの蓄積**と分析による更なる精度の向上が必要
- 実測とシミュレーション間の**データ評価・検証機能**の充実が必要

2

データ利活用・学術
データプラットフォーム
連携
Phase-I(専用DB構築)

- 風車運転データプラットフォーム連携
- AIを用いた予防保全技術の実装

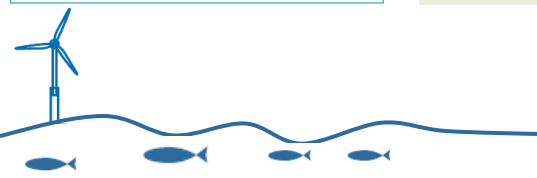
- 完全遠隔を実現するためには、陸上風車用異常検知技術(既開発)の知見活用による、**浮体式洋上風力システム全体統合した異常検知技術**の機能拡充が必要
- 運用の不確実性対応に向けた**陸上/浮体式洋上風力運転データの差異分析の精度向上**
- 浮体式洋上風力発電設備の計測データによる誤検出低減と**異常検知用AIデータ拡充**

3

Digital Twin O&M
を支える浮体製造部
品の生産信頼性確保

- 出来高、検査データの一元管理
- 施工データのデジタル化

- 製造、品質管理データのシステムへの**運転履歴データによる荷重管理機能の充実**が必要
- 設計書、図面、報告書、製造記録、輸送記録、取扱説明書など**多種多様なデータ間の連携機能**の充実が必要
- 検査データなどに部品識別記号と関連付けた管理機能による**トレーサビリティ確保機能の充実**



8. 今後の技術課題の解決の見通し

- 主な技術課題と解決の見通しは下記のとおり。

現在の主な技術課題

各種ファイル形式間の互換性確保機能の強化

設計、施工、検査間のデータ連携機能の整備

長期間の状態監視データの蓄積と分析

実測とシミュレーション間のデータ評価・検証機能の充実

浮体式洋上風力異常検知技術の機能拡充

陸上/浮体式洋上風力運転データの差異分析

浮体式洋上風力発電設備の計測データによる異常検知用AIデータの拡充

運転履歴データ取込の充実

多種多様なデータ間の連携機能の充実

検査データなどのトレーサビリティ確保機能の充実

今後の解決の見通し

共通・標準フォーマットを設定

標準的・汎用的なデータ形式を選定

必要なセンサーの追設とデータ取得継続

デビエーション管理機能を強化

五島PFへのセンサー追設、計測継続によるデータ量の増加と他のデータとの連携

五島PFでのデータ取得継続

五島PFでのデータ取得継続

運転履歴データの取得継続とデータ取込

異種データ間の連携に標準化中間ファイルを使用

検査データと部品識別記号と関連付管理機能

Digital Twin・AI技術開発
Phase-I(基盤整備)

データ活用・学術データ
プラットフォーム連携
Phase-I(専用DB構築)

Digital Twin O&Mを支える浮
体製造部品の生産信頼性確保

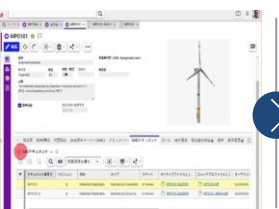
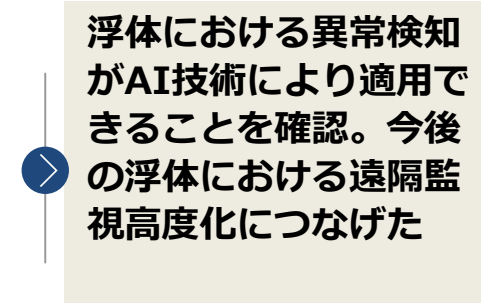
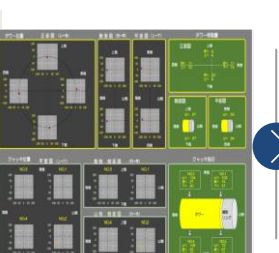
9. まとめ

実施内容

KPI

達成レベル

本研究開発の成果

1 Digital Twin・AI 技術開発 Phase-I(基盤整備)	浮体風車の状態把握の 諸物理パラメータ取得 100%	既設プラントの データを含め諸物 理パラメータを 100%取得⇒ 達成		浮体風車の状態把握に よりライフサイクルで の管理が可能となった
2 データ利活用・学 術データプラット フォーム連携 Phase-I(専用DB構築)	①データの格納DB整備 完了およびデータ整理 モジュールの動作確認 ②浮体構造・風車部品 の異常検知性能を9割 以上に高める	・ 連携ゲートウェイを構築 ・ 陸上風車から転移学習で浮体 式洋上風力へ適用 ・ 雷事故に対する被害特定の可 読性を高めた ⇒ 達成		浮体における異常検知 がAI技術により適用で きることを確認。今後 の浮体における遠隔監 視高度化につなげた
3 Digital Twin O&Mを支える浮 体製造部品の生産 信頼性確保	製品製造稼働率を 97%に維持	開発したシステム により製造稼働率 を97%に維持 ⇒ 達成		浮体式風車の製造、据 付、運転の過程におい て品質を管理する見通 を得た

データプラットフォームとAIを用いた予防保守技術を連携させてスマートメンテナス技術を開発した。今後、五島市沖浮体式洋上風力事業などに社会実装していく。さらに、次世代大型風車に対応した浮体式洋上風力に適用できるようにデータの拡充および浮体式風車のサプライチェーンの強靱化を目指す。