

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.14

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／
洋上風力運転保守高度化事業／
遠隔化・自動化による運転保守高度化と
デジタル技術による予防保全

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 浅井 聡史*, 馬場 敬行**

*東京電力リニューアブルパワー(株), **東芝エネルギーシステムズ(株), (国)東京大学, (一財)日本海事協会

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

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

2. 期間

2022年4月22日 ～ 2024年3月31日

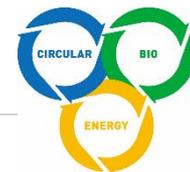
3. 目標（最終）

本コンソーシアムが想定していた事業開始時点のOPEX 3.0万円/kW/年から2割削減し、風車および浮体等の維持管理費用の総額を2.4万円/kW/年とすること

4. 成果概要

本事業では、浮体式洋上風力の遠隔化・自動化による運転保守高度化とデジタル技術による予防保全・保守高度化に取り組んだ。

上記の取り組みを予定どおり完了し、所定の目標である風車と浮体全体の維持管理コストについて2.4万円/kW/年を見通す要素技術を確立した



東京電力リニューアブルパワー（株） 成果概要

研究の全体像

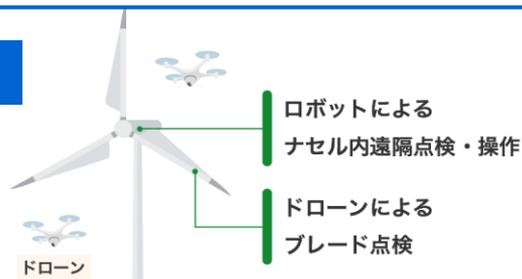
実施体制

東京電力リニューアブルパワー（事業の一部委託先：東京大学、日本海事協会）

取組内訳

- ①浮体の維持管理コストの低減
- ②係留系・ダイナミックケーブルの維持管理コストの低減
- ③デジタル技術による予防保全・メンテナンス高度化

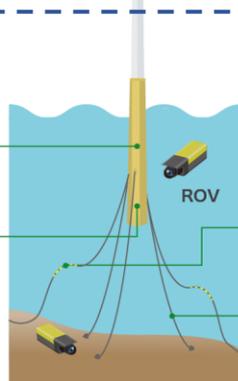
事業イメージ



研究対象

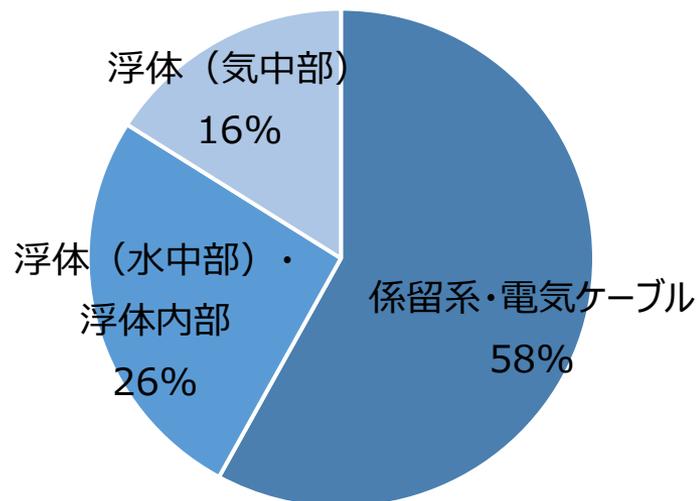
浮体内部の防食対策最適化・メンテナンスフリー化

ROV 及び AI による浮体外観監視



ROV 及びセンサーによるダイナミックケーブル状態監視

ROV 及びセンサーによる係留索・アンカーの点検



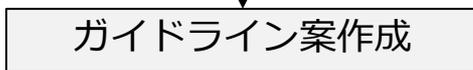
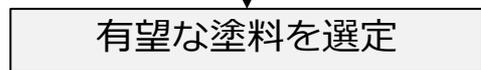
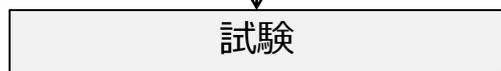
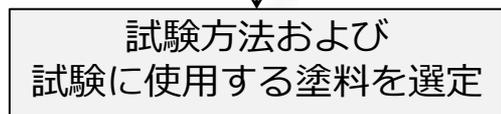
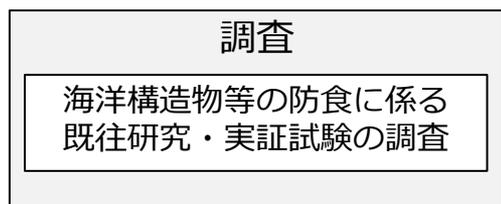
浮体から下部の点検・検査費用の内訳※

※ 東京電力RP調査結果より 10MW級風車搭載可能なセミサブ浮体の場合の試算（欧州）

浮体の維持管理コストの低減

(1) 腐食に対する特別な考慮の具体化

- バラスト材として用いられる砕石が 浮体内壁で擦れる現象を模擬した実験を実施し、**砕石バラストによる摩耗に有効な塗料を選定**
- 文献調査結果や塗装に関する設計、施工要求事項をまとめ、**塗装に関するガイドライン案を作成**



検討フローの概要

ガイドライン骨子案

1. 塗装設計要件
2. 塗装施工
 - 2.1 一般
 - 2.2 塗装環境
 - 2.3 鉄面処理
 - 2.4 下地処理
 - 2.5 表面塩分管理
 - 2.6 ダスト
 - 2.7 塗装施工
 - 2.8 公称乾燥膜厚の管理
3. 検査

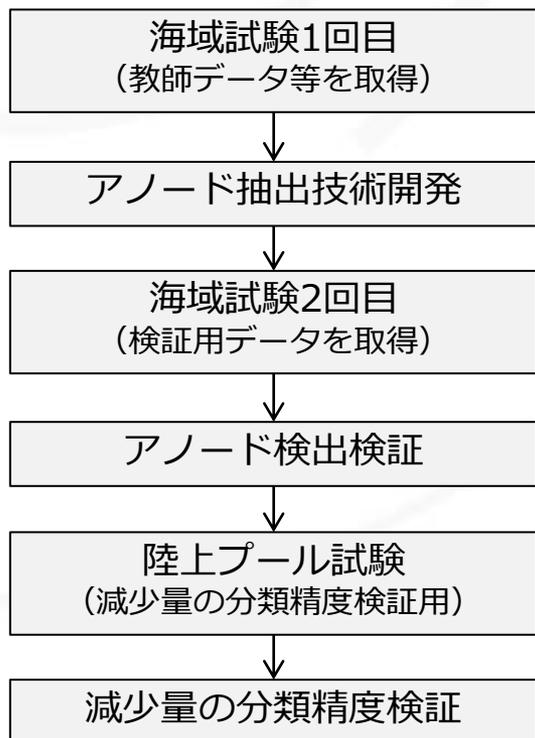


摩耗試験結果の例

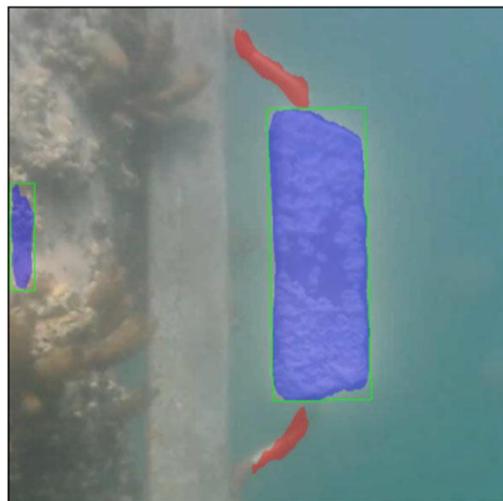
浮体の維持管理コストの低減

(2) 浮体外部の目視検査の代替手法の開発

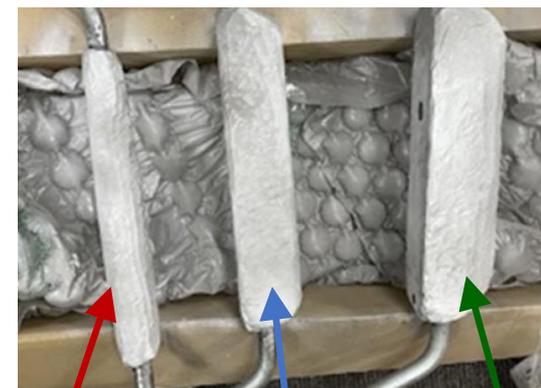
- 海域試験にて取得したROVの映像データからAIを利用し、**アノードを抽出・減少量を分類する技術を開発**



実施フローの概要



アノードの検出状況



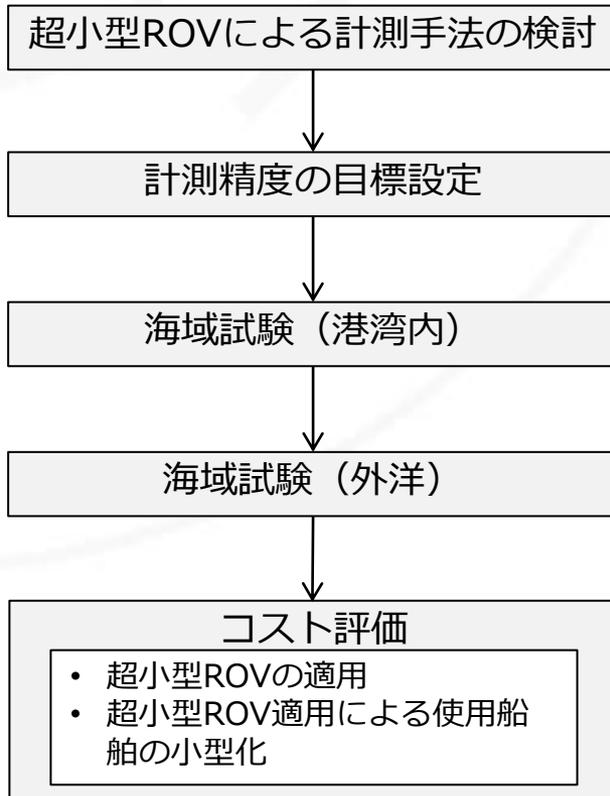
減少量 80~90%	減少量 50~60%	減少量 30~40%
---------------	---------------	---------------

減少量の分類イメージ

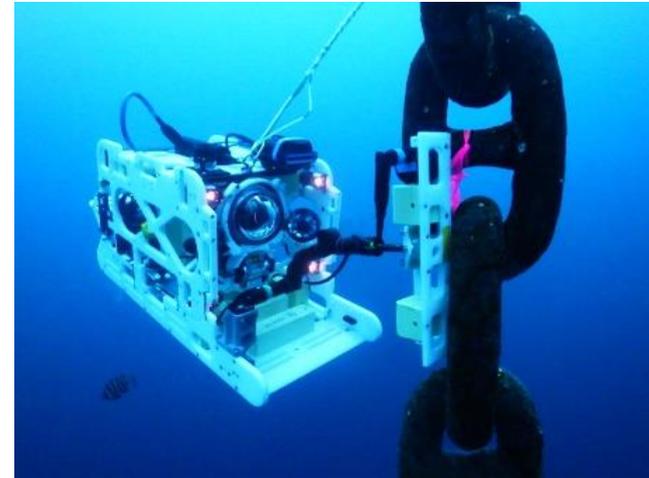
係留系・ダイナミックケーブルの維持管理コストの低減

- (1) 係留系の維持管理コストの低減
- (2) ダイナミックケーブルの維持管理コストの低減

- 実海域での試験を通して、水中部維持管理の各計測項目（チェーン角度、チェーン衰耗量、アンカー位置、ダイナミックケーブル水深）について **超小型ROVの適用可能性を確認**した

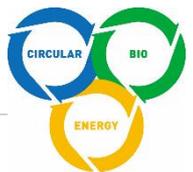


実施フローの概要



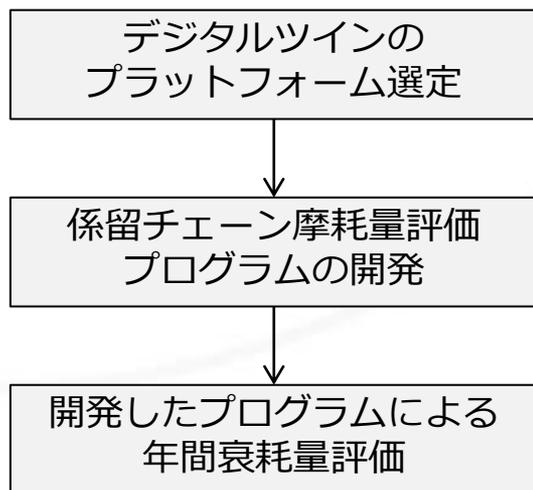
角度計を用いたチェーン角度計測の状況

- チェーン角度の他、以下点検への適用可能性を確認
- ✓ チェーン摩耗量
 - ✓ アンカー位置の確認
 - ✓ ダイナミックケーブルの水深

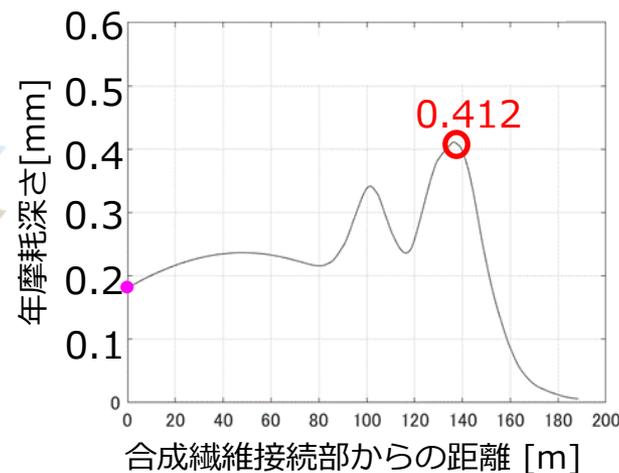
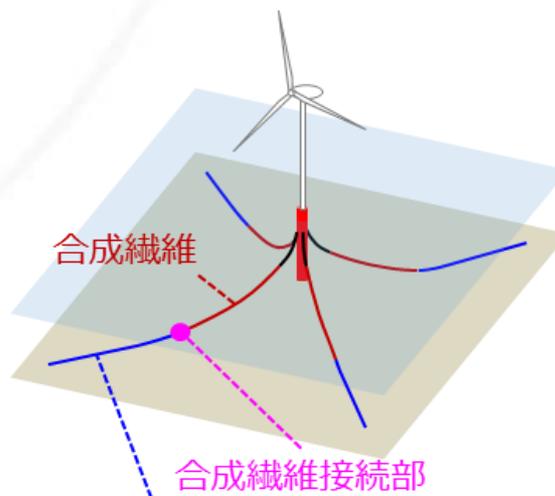


(1) 予防保全技術の開発

- 保全技術の高度化より、構造物の健全性を適切に把握することで**大規模修繕を未然に防ぎ、維持管理費コスト削減を志向**
- 先行研究のチェーンの摩耗量評価手法¹⁾および動的解析技術を組み合わせた、**チェーン摩耗量評価プログラムを開発**し、デジタルツインのうち**モデリングおよびシミュレーションの要素技術として確立**



実施フローの概要



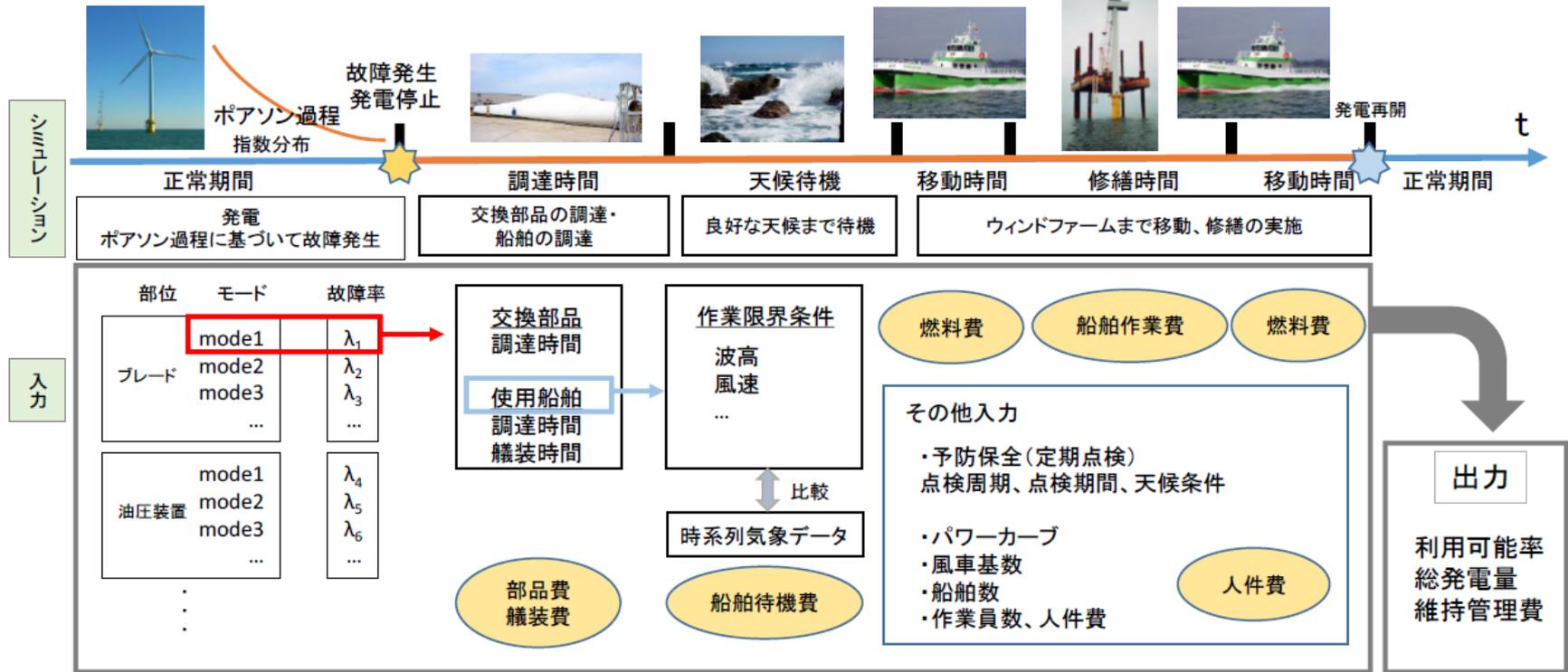
数値シミュレーションによる年摩耗深さ算出結果の例

1) 大久保 寛, 小泉 飛鳥, 大嶽 敦郎, 菅野 雅彦, 林 伸幸, 鈴木 三樹雄, 八木 健太郎, 福島浮体式洋上ウインドファームの係留システムについて ~係留チェーンの耐久性評価と係留設計法~, 日鉄エンジニアリング技報 Vol.13, 2022

デジタル技術による予防保全・メンテナンス高度化

(2) 浮体式洋上風力発電のメンテナンス技術の高度化による維持管理コスト低減の評価手法の開発

- 気象・海象の時系列データおよび浮体式洋上風力発電所の浮体式洋上風力発電所の故障・事故および維持管理手法に関する信頼性データベースを用いて、**維持管理シミュレーションを開発**し、本研究で開発した各種技術による発電コスト低減を定量的に評価



時間領域モンテカルロ法を用いた維持管理シミュレーションの流れ

東芝エネルギーシステムズ（株） 成果概要

遠隔化・自動化による運転保守高度化とデジタル技術による予防保全

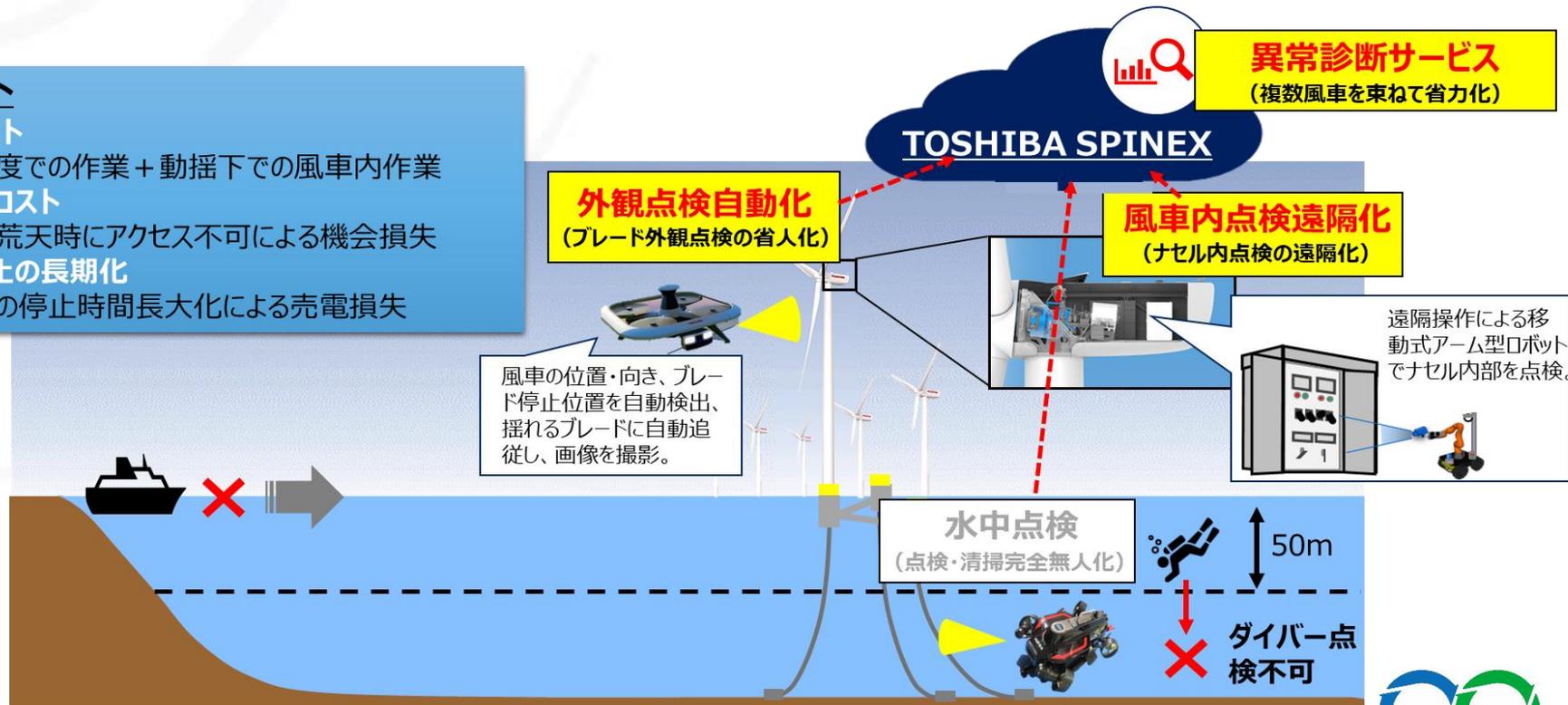


GI基金を活用、保守点検の省力化・遠隔自動化の技術開発を推進

- 原子炉内の特殊環境作業ロボット、水力の自動点検技術などを横展開
- 風車OPEX 4.0千円/kW/年の低減を見通す。

ターゲット

- ①作業コスト
危険深度での作業 + 動揺下での風車内作業
- ②アクセスコスト
船代 + 荒天時にアクセス不可による機会損失
- ③発電停止の長期化
故障時の停止時間長大化による売電損失



狭隘部にアクセス可能な2種類の遠隔アクセス装置を開発し、動作確認を完了。

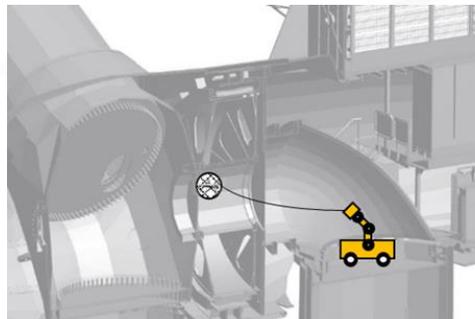
ナセル内点検・保守のうち、定期点検及びアラーム発報時の点検確認を遠隔作業化することで、作業員の現地作業頻度を低減、点検コストを低減する。

①吸着ユニット付きドローン

発電機シャフト内径面に電磁石で吸着固定、加速度計測が可能なドローンを開発。飛行・壁面吸着・加速度センサ設置・壁面離脱・再飛行という一連の動作を確認、主軸受周りナセル内点検向け遠隔アクセス装置に目途をつけた。

②移動作業アーム

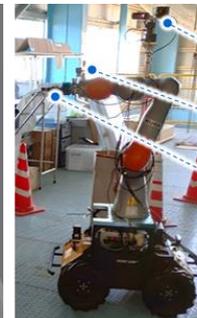
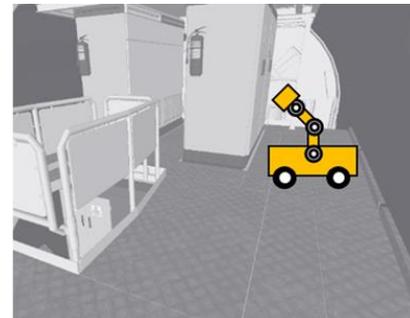
走行台車と7軸アームを組み合わせ、アーム型操作デバイスで操縦可能なシステムを開発。仮想ガイドによる電気盤の開閉作業時間の短縮と、点検画像をナセル内座標と共に記録できることを確認。



発電機シャフト内径面模擬体

吸着ユニット
壁面への吸着固定後に、吸着ユニット内の加速度センサを壁面に磁気吸着させて加速度計測が可能

※ガイドワイヤ併用で水平天板に吸着・離脱を実証



俯瞰カメラ
手先カメラ
2本指ハンド

ナセル内点検用移動作業アーム

遠隔化・自動化による運転保守高度化とデジタル技術による予防保全



4輪駆動型の移動ロボットの上にアームを搭載した点検ロボットを含む遠隔作業システムを試作。

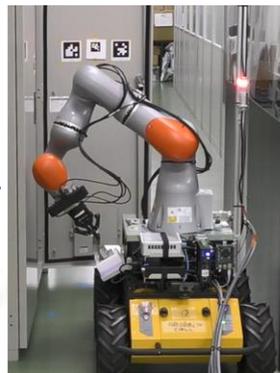
設置機器からの漏油・漏水の確認、アラーム発報時の主に電気盤内の目視確認などを想定し、遠隔操作による点検省力化に向けて要素技術の有効性を確認（写真はナセル模擬環境での動作試験の様子）。



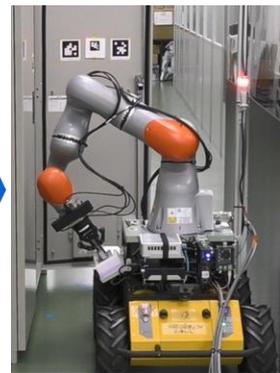
遠隔作業システムの
外観



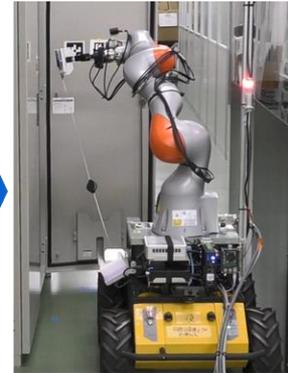
点検対象の電気盤まで移動し、
遠隔操作で盤を開ける



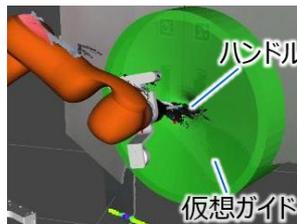
盤との衝突を自動回避しながら
サーモグラフィツールを自動で把持



盤正面までサーモグラフィ
ツールを移動

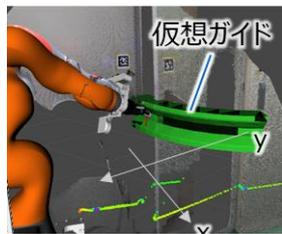


遠隔操作で盤内を点検



ハンドルボタン

仮想ガイド



仮想ガイド



ヘッドマウントディスプレイ

操作アーム

ゲームパッド



遠隔操作で盤内を点検する様子



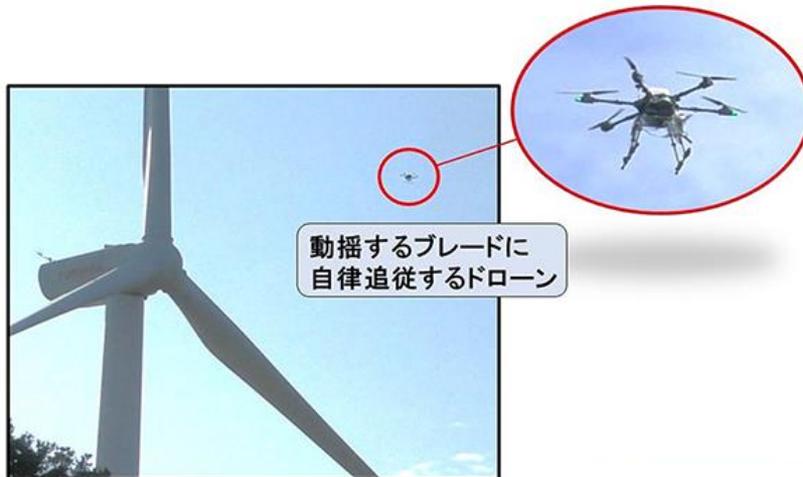
取得したサーモグラフィ画像



ドローンによる風車ブレード点検の完全自動化に向けた革新的技術開発を完了

洋上風車の外観点検をドローンによって自動化することによりロープワークの省略、アクセス回数を削減し点検コストを低減する。

3D-LiDARによる風車動揺追従・衝突回避機能を有し、カメラ画像から風車ブレード位置を自動検出できるドローンシステムを開発。陸上風車にて一連の点検ステップを実施し、開発した技術を確認した。風車外観点検の全自動化に目処をつけた。



遠隔化・自動化による運転保守高度化とデジタル技術による予防保全



ドローンによる風車ブレード点検の完全自動化に向けた革新的技術開発を完了

風車ブレード点検結果

2024/01/01 00:00:00 2024/02/20 00:00:00 reload

作業開始	作業終了	サイト名	対象号機	点検者	作業項目	作業内容	判定結果
2024/02/11 02:00:00	2024/02/11 03:00:00	gi-wp	4	drone	首部ドローン試験	blade1 LSとLP6行 LSのみヒートマップ	OK
2024/02/11 00:00:00	2024/02/11 01:00:00	gi-wp	4	drone	首部ドローン試験	blade1のみ13行 ヒートマップなし	OK
2024/02/10 00:00:00	2024/02/10 01:00:00	gi-wp	4	drone	首部ドローン試験	blade1のみ13行 ヒートマップなし	OK
2024/01/12 14:00:00	2024/01/12 15:00:00	gi-wp	7	drone	UIテスト	blade1のみ40行	OK
2024/01/12 12:00:00	2024/01/12 13:00:00	gi-wp	7	drone	UIテスト	撮影画像6枚、ヒートマップ画像6枚を使い回し	ERROR
2024/01/12 10:00:00	2024/01/12 11:00:00	gi-wp	7	drone	UIテスト	UIテスト	OK

Blade1 Blade2 Blade3

Trailing-Suction Leading-Suction Leading-Pressure Trailing-Pressure

生画像 異常検知 生画像 異常検知 生画像 異常検知 生画像 異常検知

1 2 3

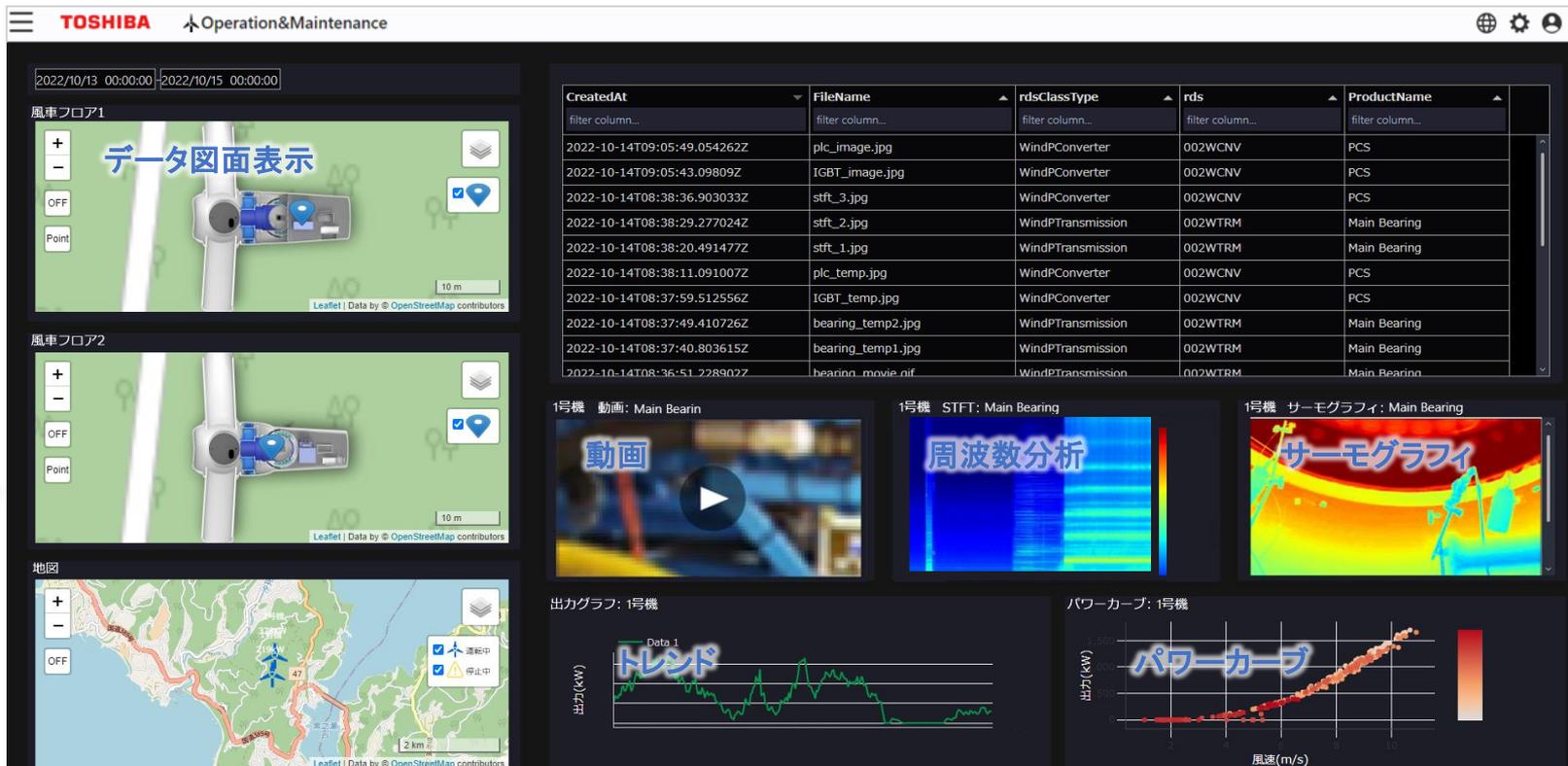
点検記録一覧

撮影画像
異常検知画像



東芝IoTプラットフォーム“TOSHIBA SPINEX for Energy”上に分析サービス ダッシュボードを構築

ナセル内遠隔アクセス装置、自動化点検ドローンで取得するセンシングデータを利用して洋上風車の健全性分析サービスの開発を行う。



各要素技術開発によるコスト低減見通し

対象	研究開発前 (万円/kW/年)	研究開発後 (万円/kW/年)	該当研究
風車	2.03	1.63	東芝ESS担当部分
浮体	0.45	0.35	東電RP担当部分 - 腐食に対する特別な考慮の具体化 - 浮体外部の目視点検の代替手法の開発
係留設備	0.30	0.20	東電RP担当部分 - 係留系の維持管理コストの低減
ケーブル	0.28	0.22	東電RP担当部分 - ダイナミックケーブルの維持管理コストの低減
合計	3.06	2.40	

研究目標である維持管理コスト**2.40万円/kw/年**を見通す

