



第25回 海上技術安全研究所研究発表会



浮体式洋上ウィンドファーム実現に向けた 安全性等評価手法に関する研究開発

令和7年7月18日

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所

海上技術安全研究所

海洋先端技術系 蓮見 知弘、羽田 絢、平尾 春華、今里 元信、正信 聡太郎

構造・産業システム系 藤本 修平、松尾 剛

海洋リスク評価系 柚井 智洋

知識・データシステム系 和田 祐次郎

流体設計系 黒田 麻利子、金子杏実

本研究では、2030年以降に商用化を目指す浮体式洋上風力発電について、系を横断し、外部機関と連携して3つの研究テーマに取り組んでいる。

- 1 **検査の省力化のための係留系のモニタリングシステムの開発**
- 2 大規模ウィンドファームにおける合理的な検査手法の開発
- 3 **ライフサイクルにおけるコスト等評価手法の開発**

検査の省力化のための係留系のモニタリングシステムの開発

漂流リスクを低減するため、定期的検査において、係留設備に関連する検査項目が定められている。その中には**コストインパクトが大きいものもある**。

点検項目の例



定期的検査の項目

- 浮体施設及び海底係留点の設置位置の確認
- 係留ライン全長の現状検査
- 係留ラインのカテナリー角度を計測し、係留ラインにかかる張力が設計許容範囲内にあることを確認する。

出所：日本海事協会 浮体式洋上風力発電設備に関するガイドライン

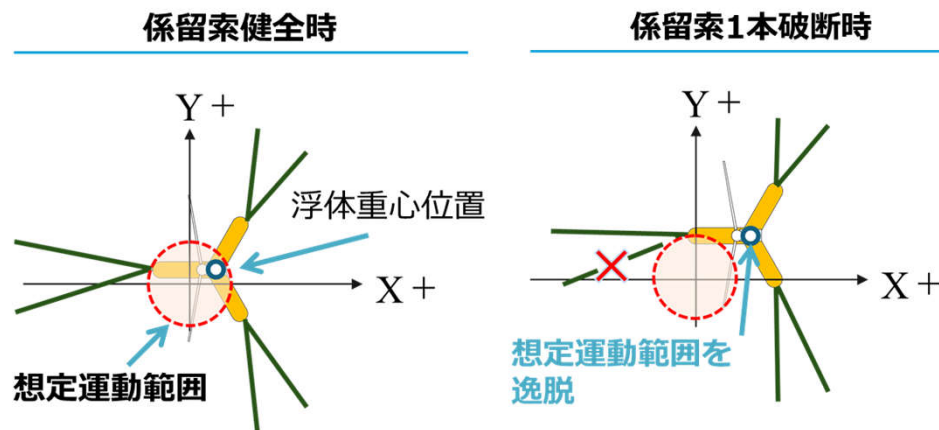
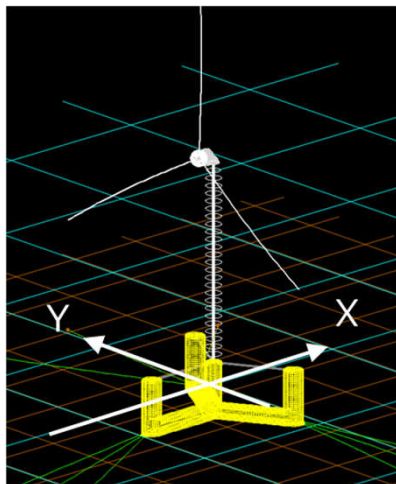
係留モニタリングを活用し、安全性を担保しつつ検査の省力化が必要

係留モニタリングのコンセプト



GPSやジャイロを用いて浮体位置をモニタリングし、**想定運動範囲との直接比較**を通じて、**係留系の異常を検知**することを目指す。

コンセプト概要図



運用フロー（案）

1. 観測データ取得
例：浮体位置・環境条件等
2. 想定運動範囲の設定
通常運転時を想定
3. 現在位置と想定運動範囲を比較
4. 係留系に異常あり

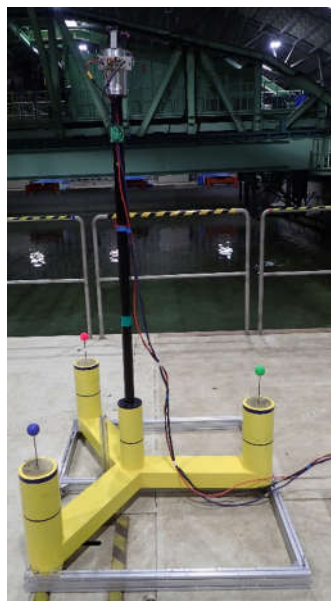
初期検討として係留系に異常が発生した場合の浮体運動への影響を整理

水槽試験の概要



係留系の異常による浮体位置への影響を明らかにするために、15MW風車を搭載したセミサブ浮体の模型（1/100スケール）を用いて水槽試験を実施。

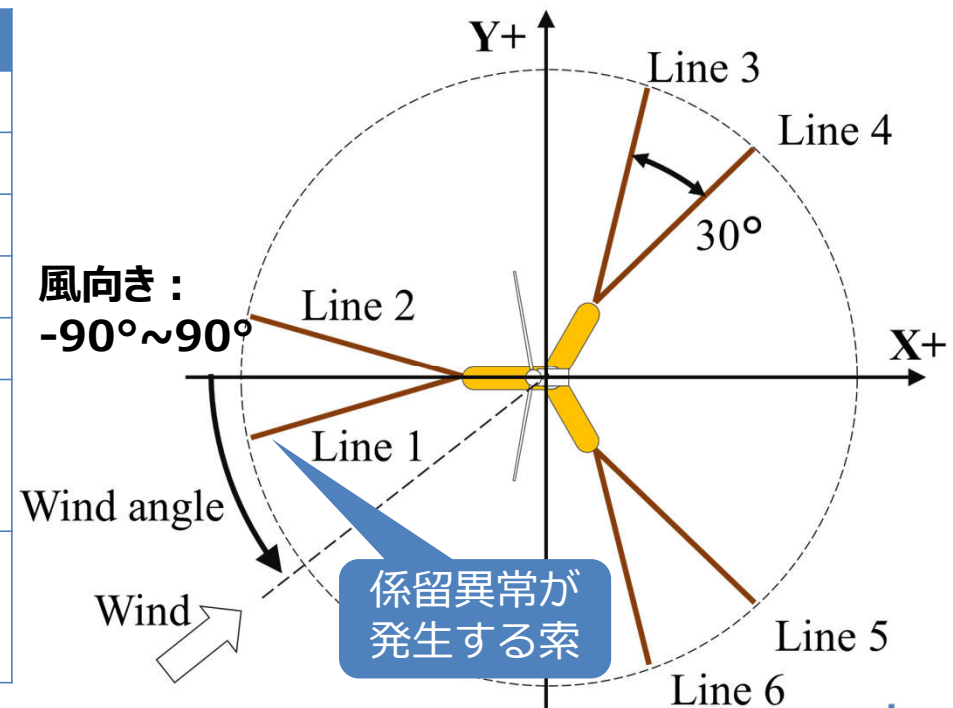
供試模型



項目	実機換算値
風車容量	15MW
ハブ高さ	150m
浮体排水量	約20,000ton
喫水	20m
水深	100m
想定する係留異常	1本破断 - アンカーずれ（8m）（ロープ伸び）
係留形式	- チェーンカテナリー - セミトート - トート

スラスト荷重は
一様荷重としてダクトファンで模擬

平面配置



商用ソフトウェアである、Orcaflexを用いた数値解析を実施。本研究では風荷重を模擬した定常荷重の作用方向を変化させ、浮体の平面座標を算出。

解析の概要

- Orcaflexを用いて**実機換算値での静解析を実施**。
- 風荷重は**水槽試験にあわせ、定常荷重をナセル高さに直接付与する手法**を採用。
- **係留索はランブドマス手法による解析とし、セグメント距離5mを設定**。

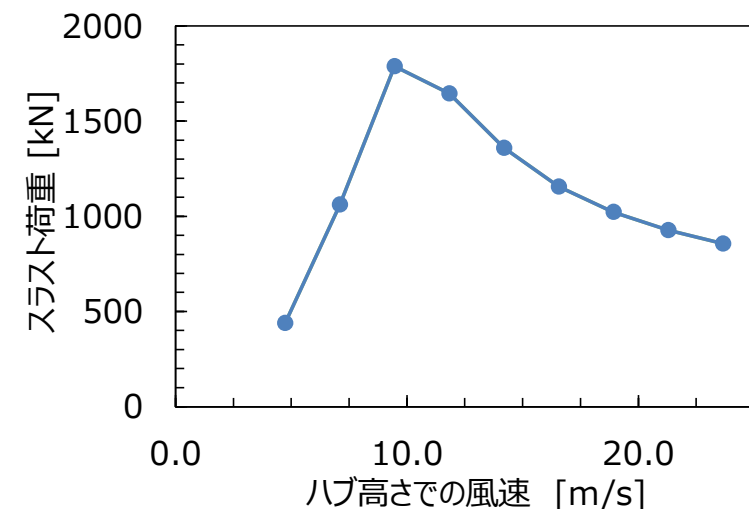
(参考) 各係留形式のライン長

係留形式	ライン長
チェーンカタナリー係留	チェーン：816m
セミート係留	チェーン：700m、ポリエステルロープ：108m
トート係留	ポリエステルロープ：349m

定常風荷重の設定

- 事前に翼素運動量理論からロータ性能を解析し、**定格風速相当のスラスト荷重として1,800kN**を設定した。

翼素運動量理論に基づくスラスト荷重の事前解析結果

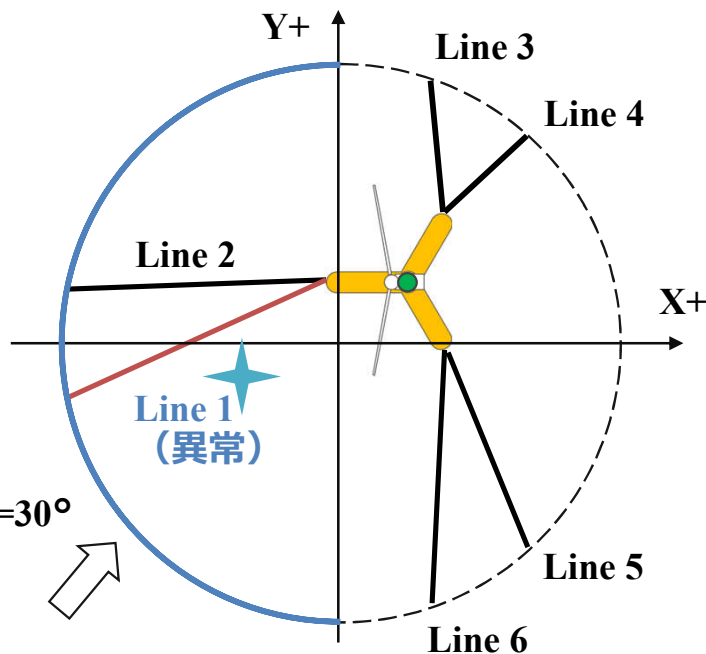


水槽試験結果と数値計算による検証

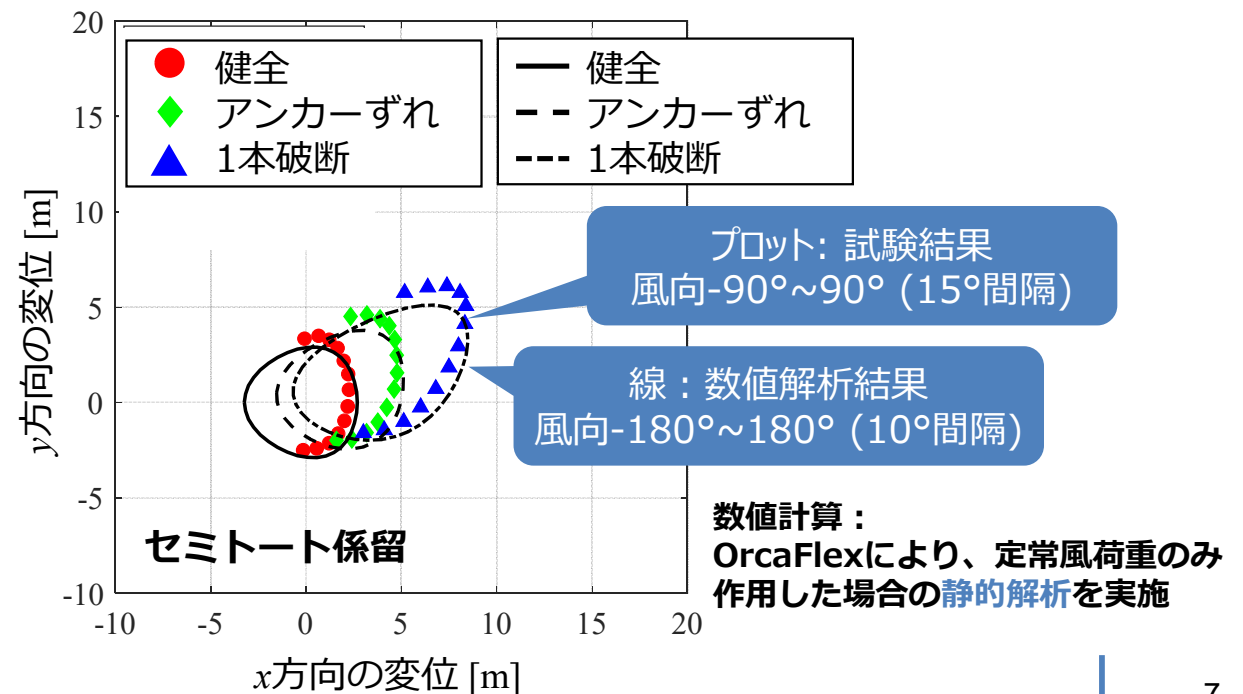


係留系に異常がある場合、浮体位置が明確に変化することを明らかにした。
この結果を数値計算で再現可能であることを確認した。

定常風荷重の作用方向定義



様々な角度から定常風荷重を作用させたときの浮体位置

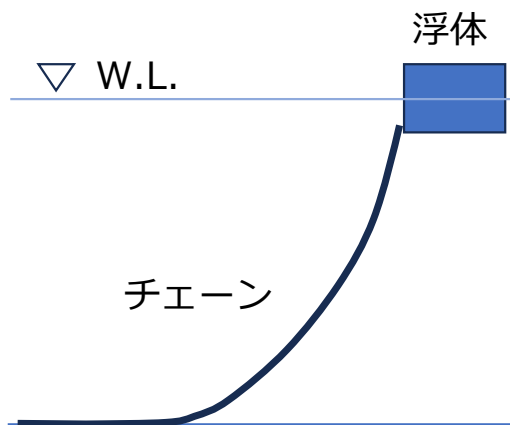


水槽試験で実施した係留形式

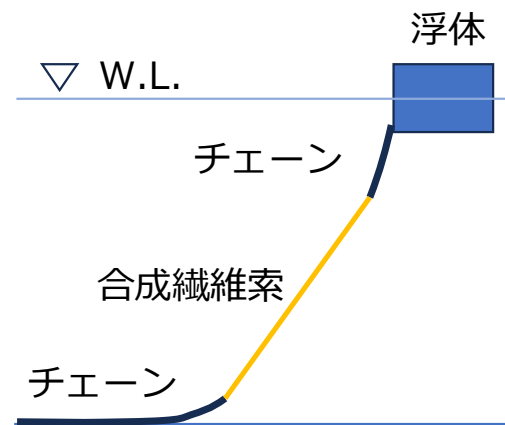


国内外の実海域実証・準商用案件にて導入されているチェーンカテナリー係留、セミトート係留のほか、トート係留も採用。TLPも今年12月に試験予定。

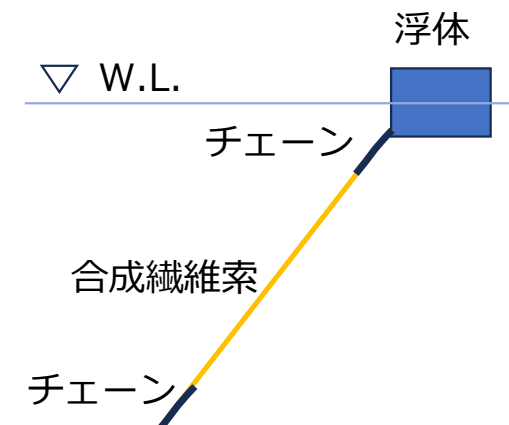
チェーンカテナリー係留



セミトート係留



トート係留

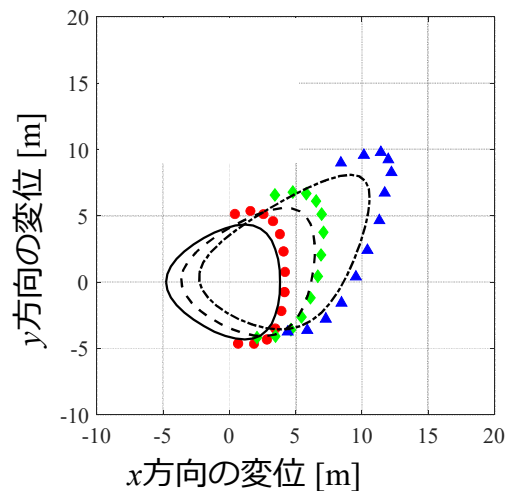


多様な係留形式の結果比較

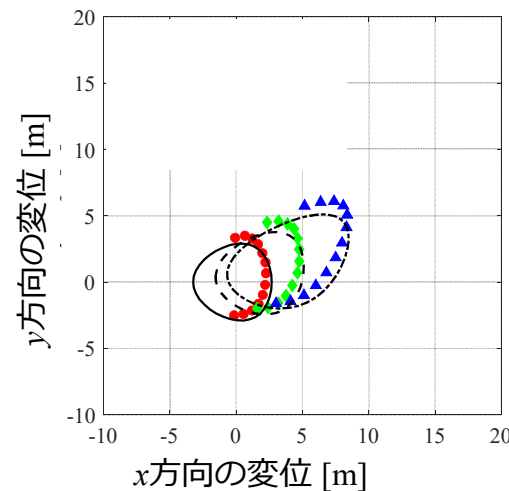


すべての係留方式にて係留系の異常が浮体運動に影響することを確認。係留形式によって浮体位置への影響度合いが異なる。

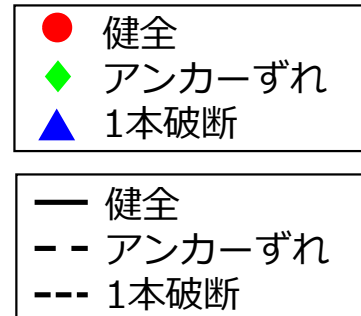
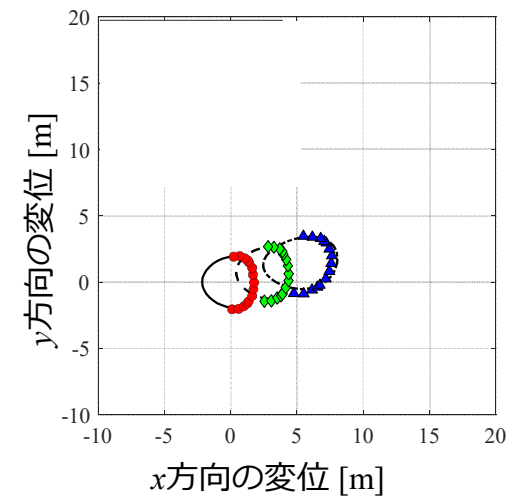
チェーンカタナリー係留



セミトート係留



トート係留



係留方式・水深等を変え、浮体運動への影響を整理し精緻化を図る

ライフサイクルにおけるコスト等評価手法の開発

浮体式洋上風力発電施設の構成要素である**浮体・係留索・アンカー**などには**多様な種類**があり、それぞれの組み合わせは多岐にわたる。

浮体基礎と係留の種類

スパー

バージ

セミサブ

TLP

浮体の材料
鋼
コンクリート
ハイブリッド
...

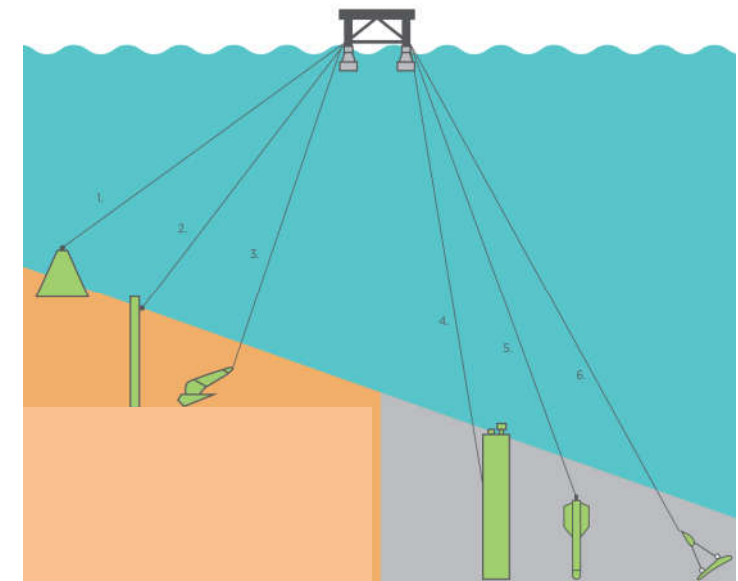
セミート/
トート係留

カテナリー
係留

係留索の材料
チェーン
繊維索（ポリエステル等）
...

緊張係留

アンカーの種類



出所：IRENA, floating offshore wind outlook, 2024.

コンセプトは100種類を超えるが最適な組み合わせはわかっていない。

本研究テーマの目標



設計、製造、施工、運転保守の一連の**ライフサイクル**を通して、**多様なコンセプトの特徴を評価する枠組み**の構築が重要。まず、第1ステップとして、**施工の作業時間**に注目する。

海上施工の作業時間に関する考え方

施工工程は日本と欧州でほぼ同じであるため、各作業の積み上げで**海上施工の作業時間**を推計。

チェーン・アンカーの設置



風車の搭載と曳航



海底ケーブル設置



出所：福島洋上風力コンソーシアムホームページ

洋上施工の作業時間の考え方と応用例



作業時間は、(基準作業時間 t) $\times$ (繰り返し回数 N) $\div$ (稼働率 P) の積み上げで推計。

(作業工程の定式化の一例)

$$\text{稼働率} = \frac{\text{作業した日数}}{\text{作業期間 (荒天待機込み)}}$$

係留システムの事前設置

$$T_{\text{anchor}}[\text{days}] = \underbrace{\frac{2d_{\text{port_a}}}{v_t} N_t / P_{\text{anchor}}}_{\text{移動 (往復)}} + \underbrace{t_{\text{anchor}} N_{ml} / P_{\text{anchor}}}_{\text{設置}} + \underbrace{t_{\text{hold}} N_{ml} / P_{\text{hold}}}_{\text{把駐力試験}}$$

発電設備の曳航と係留

$$T_{\text{mooring}}[\text{days}] = \underbrace{\frac{d_{\text{port_b}}}{v_{\text{tow}}} (N_{ss} + N_{wt}) / P_{\text{tow}}}_{\text{曳航 (往路)}} + \underbrace{t_{\text{connect}} N_{ml} / P_{\text{connect}}}_{\text{係留接続作業}} + \underbrace{\frac{d_{\text{port_b}}}{v_t} (N_{ss} + N_{wt}) / P_{\text{connect}}}_{\text{移動 (復路)}}$$

アンカーハンドリング船 (AHTS)



出所 : <https://www.solstad.com/vessel/normand-prosper/>

この2工程はAHTSを用いる想定のため作業時間から必要隻数が推計可能

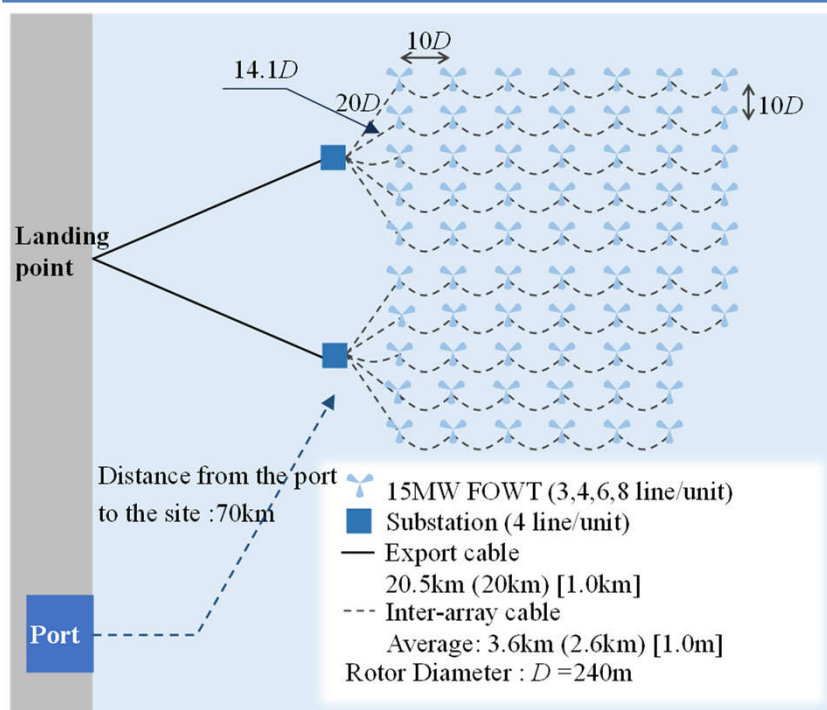
$$N_{\text{AHTS}}[\text{隻}] = \frac{T_{\text{anchor}}}{365} + \frac{T_{\text{mooring}}}{365}$$

Case study:モデルウィンドファームと想定海域



5海域にて**1GWの浮体式洋上windファーム**を想定し、福島沖実証を参考に施工シナリオを設定。海象条件や**係留本数が必要隻数に与える影響**を分析。

発電設備の情報



15MW風車67基、洋上変電所2基

事業海域の情報



施工シナリオ（福島沖実証より）

作業限界条件

作業	波高	波周期
事前設置	1.5m以下	9s以下
把駐力計測	1.5m以下	9s以下
曳航	2.0m以下	9s以下
係留接続	1.5m以下	9s以下

稼働率：

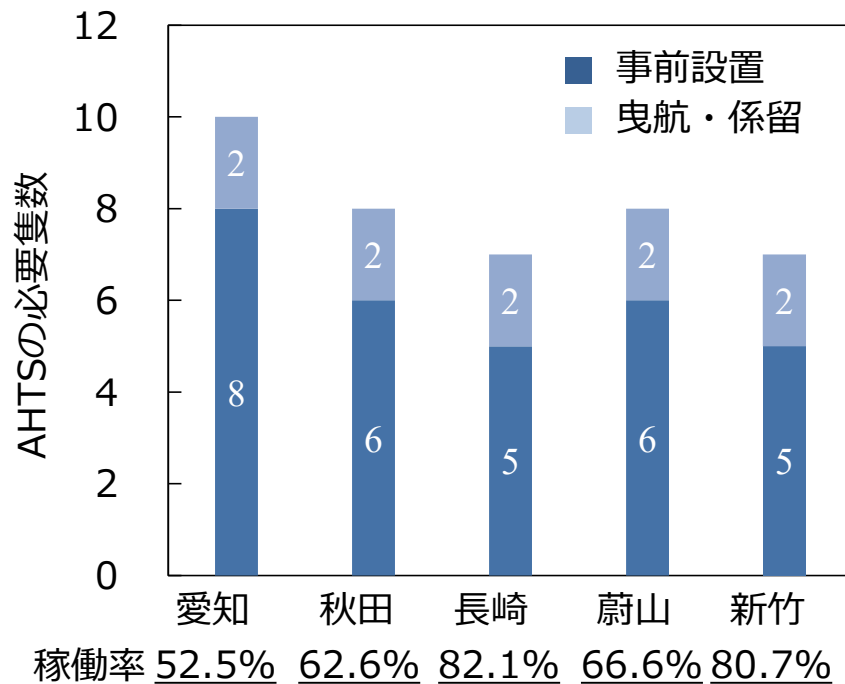
作業限界条件を満たす波の発現確率

AHTSの必要隻数の結果

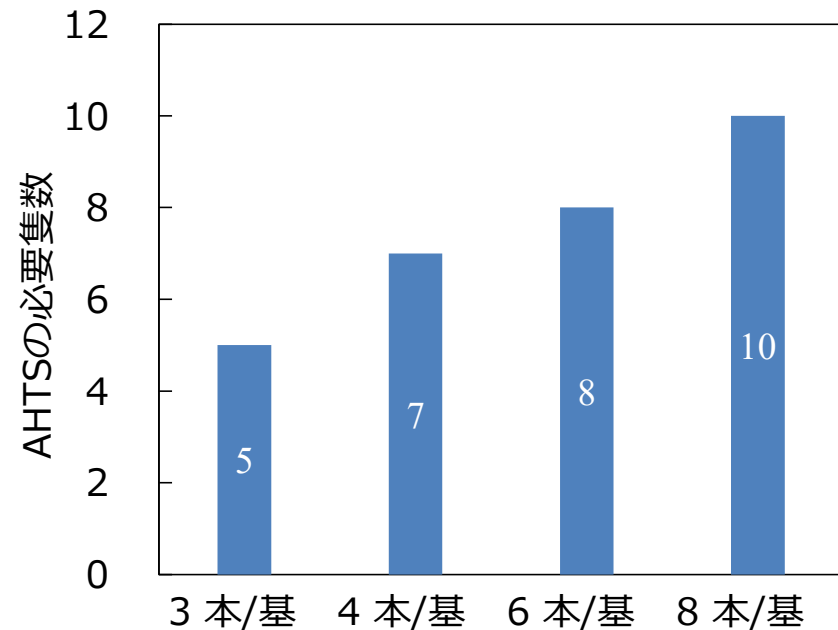


係留本数が6本/基における**5海域のAHTS**は、7～10隻で、**差は最大で3隻**。
秋田にて**係留本数を変えた時のAHTS**は、5～10隻となり、**差は最大で5隻**。

5海域におけるAHTSの必要隻数（6本/基）



係留本数を変えた時のAHTSの必要隻数（秋田）



- 弊所では、2030年以降に商用フェーズを目指す大規模な浮体式洋上ウィンドファームを対象に、組織を横断し、外部との協力を得ながら、以下の3つのテーマを進めている。
 - 検査の省力化のための係留系のモニタリングシステムの開発
 - 大規模ウィンドファームにおける合理的な検査手法の開発
 - ライフサイクルにおけるコスト等評価手法の開発
- 係留系のモニタリング技術の開発では、**係留系に生じる異常が浮体の運動に影響することを水槽試験と数値計算にて定量的に示す**ことができた。
- ライフサイクルにおけるコスト等評価手法の開発では、**洋上施工の際に必要なAHTSの隻数が海象条件や係留本数の違いによって変化することを定量的に明らかにした。**
- 今後、**汎用的な係留システムへの適用、将来の導入目標達成のために必要となる関連船舶の確保に向け、関係機関とともに精緻な分析・検証を進め、社会実装を後押し**します。
- この成果の一部は国土交通省海事局の請負業務の結果から得られたものです。

ご清聴ありがとうございました

