



第24回 海上技術安全研究所研究発表会



大規模ウィンドファームの実現に向けた 浮体式洋上風力発電の研究開発について

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

洋上風力発電プロジェクトチーム

中條 俊樹

□洋上風力発電プロジェクトチームのビジョン

□浮体式洋上風力発電の動向

□海上技術安全研究所における取り組み

□まとめ

洋上風力発電プロジェクトチームのビジョン



□国等の動き

- カーボンニュートラルに向けた導入目標の設定
- グリーンイノベーション基金事業等の実証試験
- 国外の浮体式洋上風力発電導入の加速

□技術課題と解決策

□発電コストの低減

- 浮体最適化、合成繊維索係留、デジタルツイン技術等

□大規模導入

- 洋上施工技術の高度化、係留系の共有化、O&Mの効率化等

目標の達成

課題の解決

□浮体式洋上風力発電の先進的な基幹技術を有するCoE (Center of Excellence)となる。

- 研究技術を活用して技術課題を解決し、大規模浮体式ウィンドファームの実現に貢献。
- 研究成果を安全ガイドライン等の改訂に活用し、民間の開発環境を整備。

洋上風力発電プロジェクトチームのビジョン



導入目標：10GW

導入目標：30～45GW

2024

2030

2040

海上技術安全研究所の役割

普及に資する研究開発、研究成果の反映・社会実装

公的機関・第三者機関としての規制案・安全ガイドライン改訂案の作成

グリーンイノベーション基金事業等の実証試験

浮体式ウィンドファームの商用展開

さらなる発展へ

- ◆ 実証試験のフィードバック
- ◆ ウィンドファーム化を想定した技術開発

- ◆ 商用運用のフィードバック
- ◆ 新技術への対応

国際標準・安全ガイドライン・船級規則の改訂

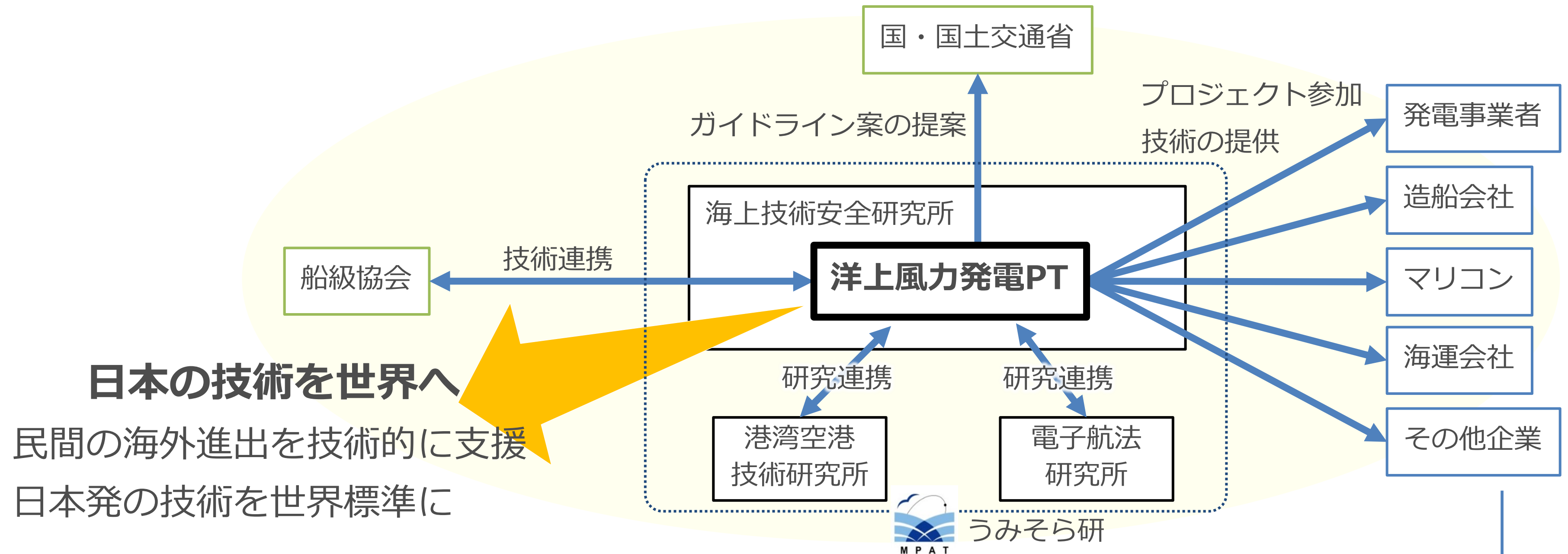
洋上風力発電プロジェクトチームのビジョン



プロジェクトチームのミッション

- 日本における**大規模な浮体式洋上風力発電の実現に貢献**すること。
- そのための**研究開発能力を向上**すること。

複数の研究分野を横断する組織として設立（2020年3月）



□洋上風力発電プロジェクトチームのビジョン

□浮体式洋上風力発電の動向

□海上技術安全研究所における取り組み

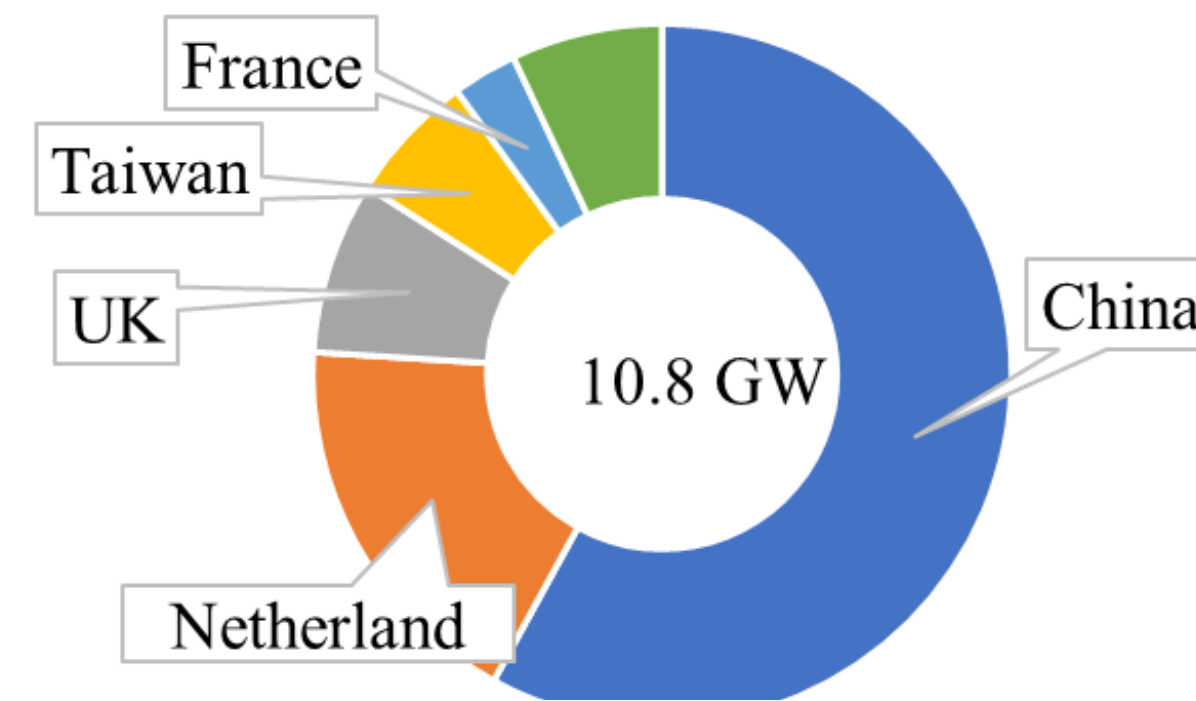
□まとめ

□全体の動向

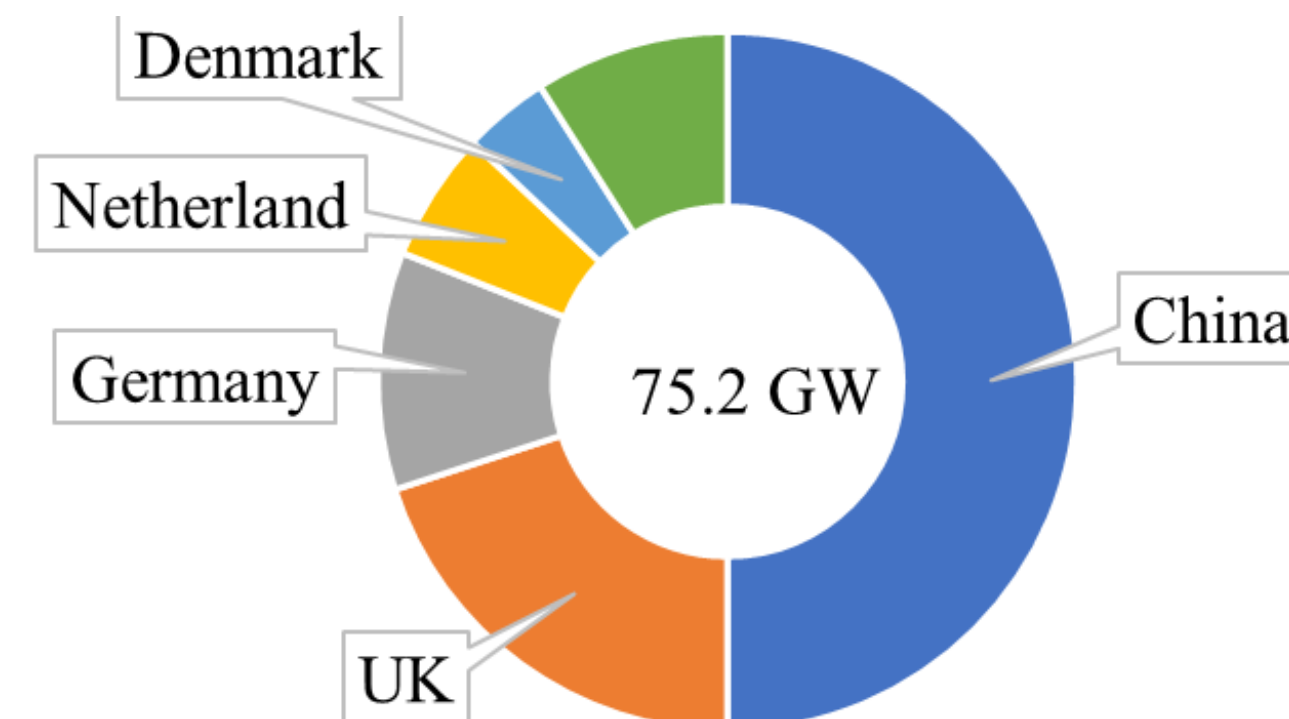
- 欧州では洋上（着床式）で3.8GWが2023年に新規導入⇒累積導入量は34GW。
- 世界全体では洋上の新規導入量、累積導入量共に中国が50%のシェア。
- 浮体式は2023年に2基設置（共に中国）。

□日本の動向

- 洋上では62MWが2023年に新規導入⇒累積導入量は187.7MW。
- 秋田県沖に2022年～2023年に2か所の洋上ウィンドファーム（着床式）が設置。
- 富山県沖に2023年に1か所の洋上ウィンドファーム（着床式）が設置。



洋上風力発電新規導入量（2023年）

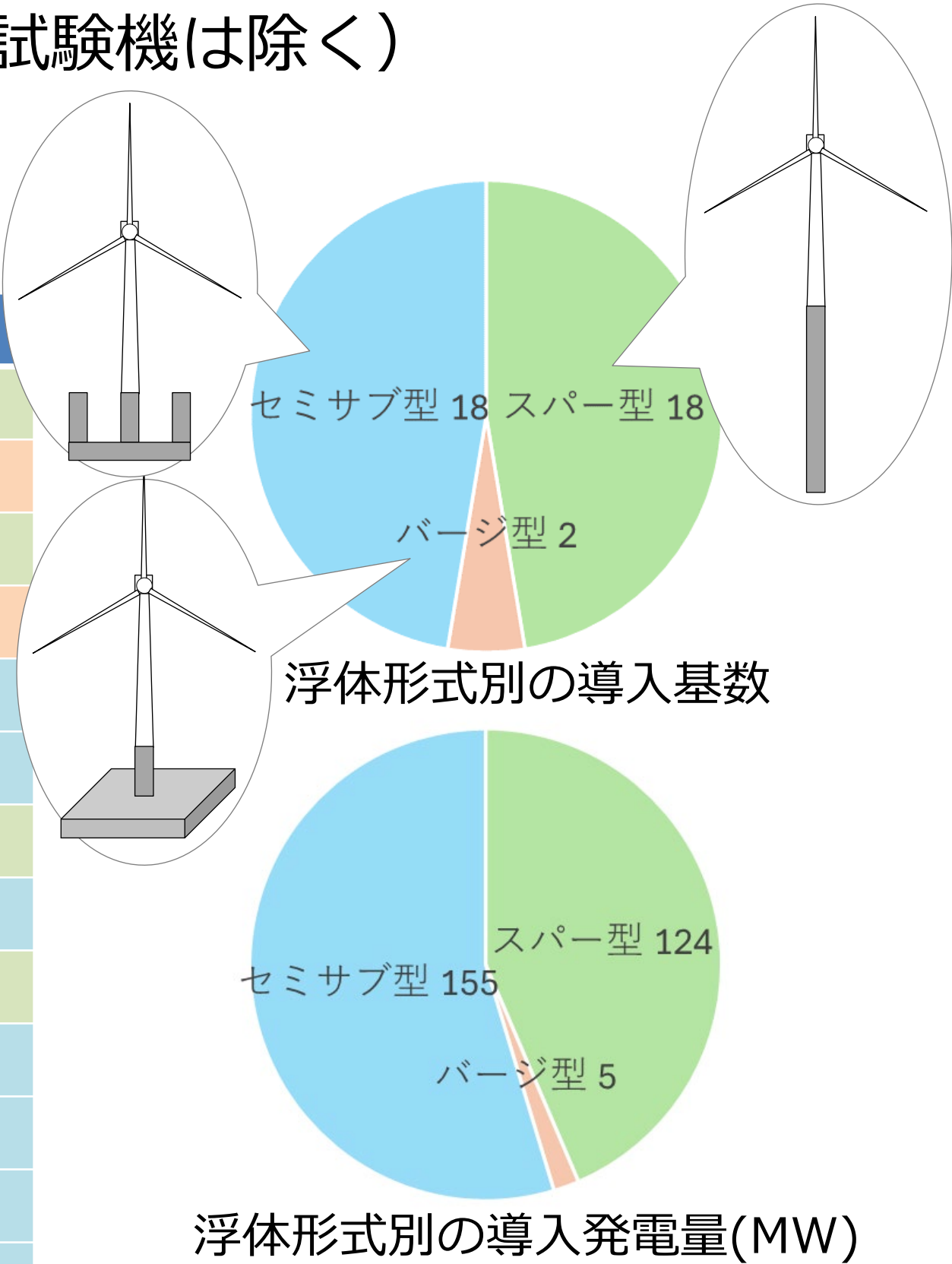


洋上風力発電累積導入量（2023年）

浮体式洋上風力発電のプロジェクト（1MW未満の小型の実証試験機は除く）

- スパー型とセミサブ型ではほぼ同数。
- 近年は中国での導入が目立つ。

プロジェクト	設置海域	設置年	浮体形式	規模
はえんかぜ	長崎県	2011	スパー型	2MW
Floatgen	フランス	2016	バージ型	2MW
Hywind Scotland	スコットランド	2017	スパー型	6MW×5
ひびき	福岡県	2019	バージ型	3MW
Windfloat Atlantic	ポルトガル	2019	セミサブ型	8.4MW×3
Kincardine	スコットランド	2021	セミサブ型	9.6MW×8+2MW×1
テトラスパー	ノルウェー	2021	スパー型	3.6MW
陽西沙扒	中国	2021	セミサブ型	5.5MW
Hywind Tampen	ノルウェー	2022	スパー型	8MW×11
扶搖号	中国	2022	セミサブ型	6.2MW
Demo SATH	スペイン	2022	セミサブ型	2MW
海油観瀾号	中国	2023	セミサブ型	7.25MW
国能共享号	中国	2023	セミサブ型	4MW+Solar
OceanX	中国	2024	セミサブ型	8.3MW×2（浮体1基）



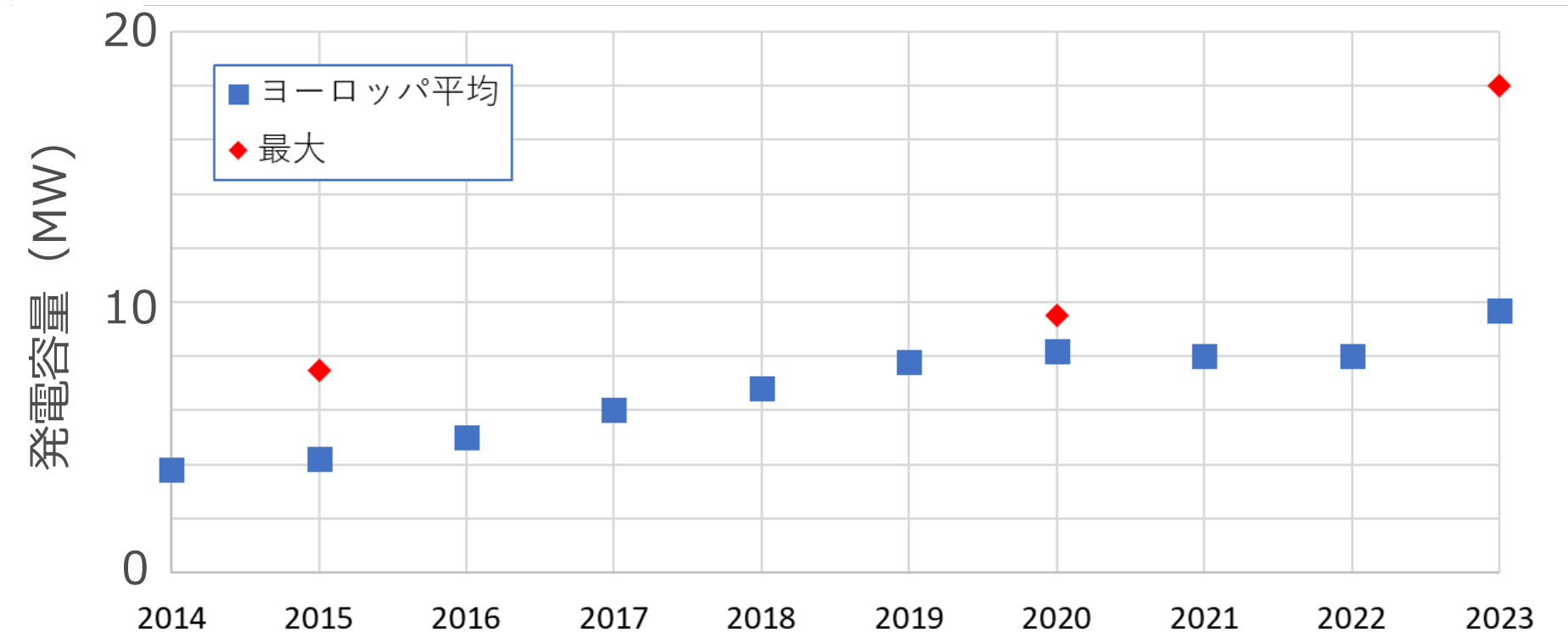
風車の大型化と技術課題

- 15MW級の商用機が登場。
- ロータ径は236m（V社15MW機）。
- IEAは参照用風車として22MW機を公開。
- 浮体の大型化、作業船の機能不足、インフラ整備

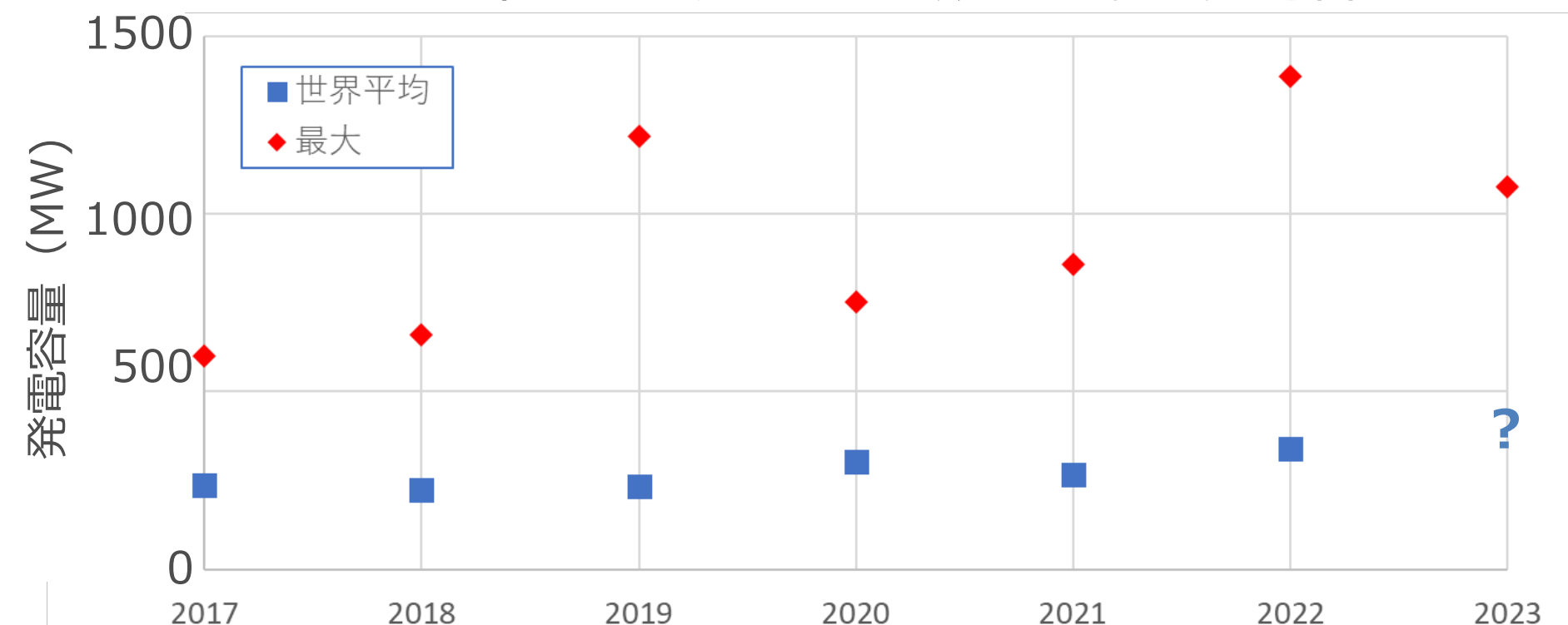
ウィンドファームの大規模化と技術課題

- 1か所辺り 1 GWを超える。
- 日本の最大規模の洋上ウィンドファームは84MW（4.2MW×20基）。
- 洋上施工技術の向上、O&Mの効率化、係留コストの低減

風車の発電容量

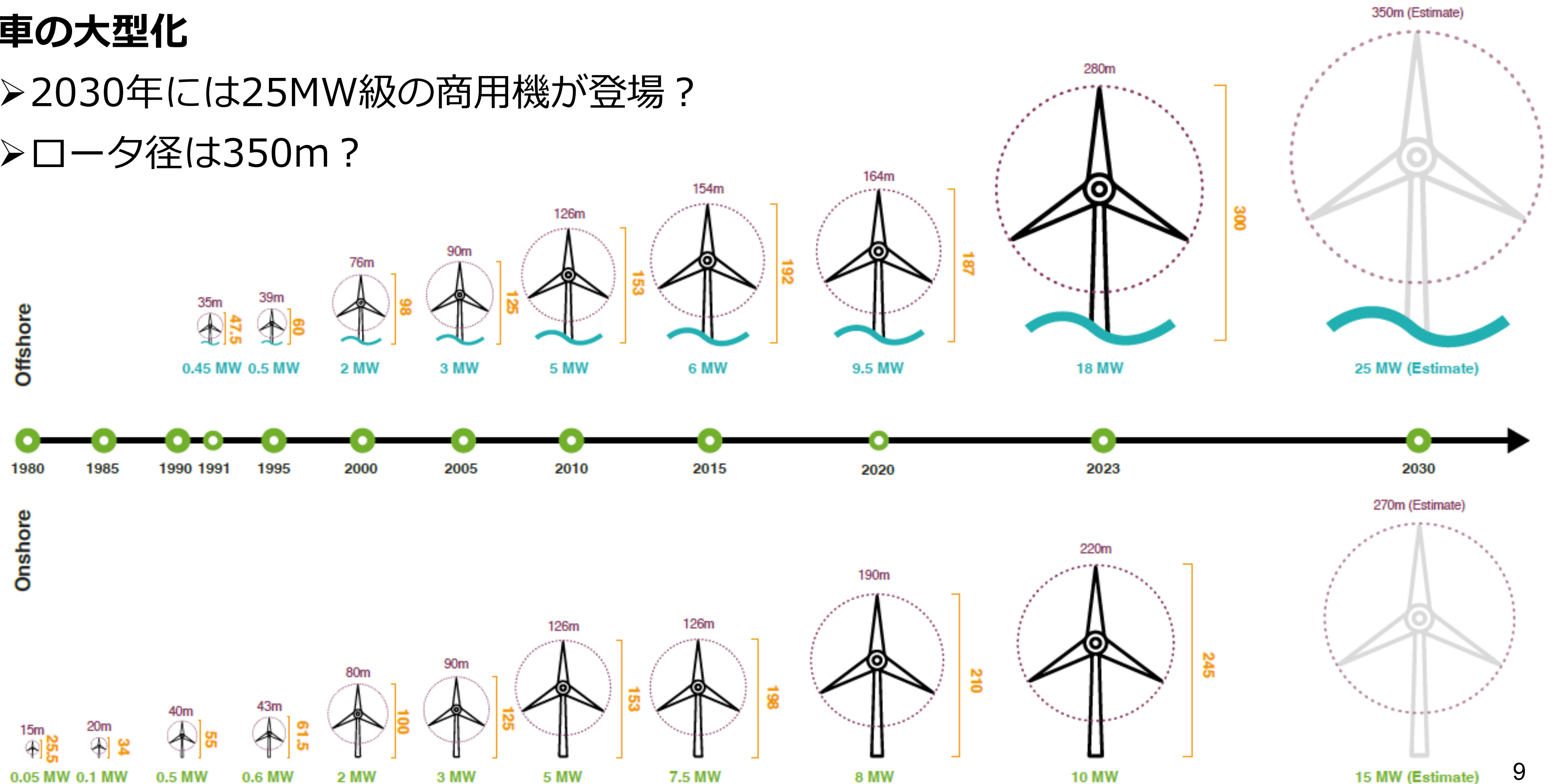


ウィンドファーム1か所あたりの発電容量



風車の大型化

- 2030年には25MW級の商用機が登場？
- ロータ径は350m？



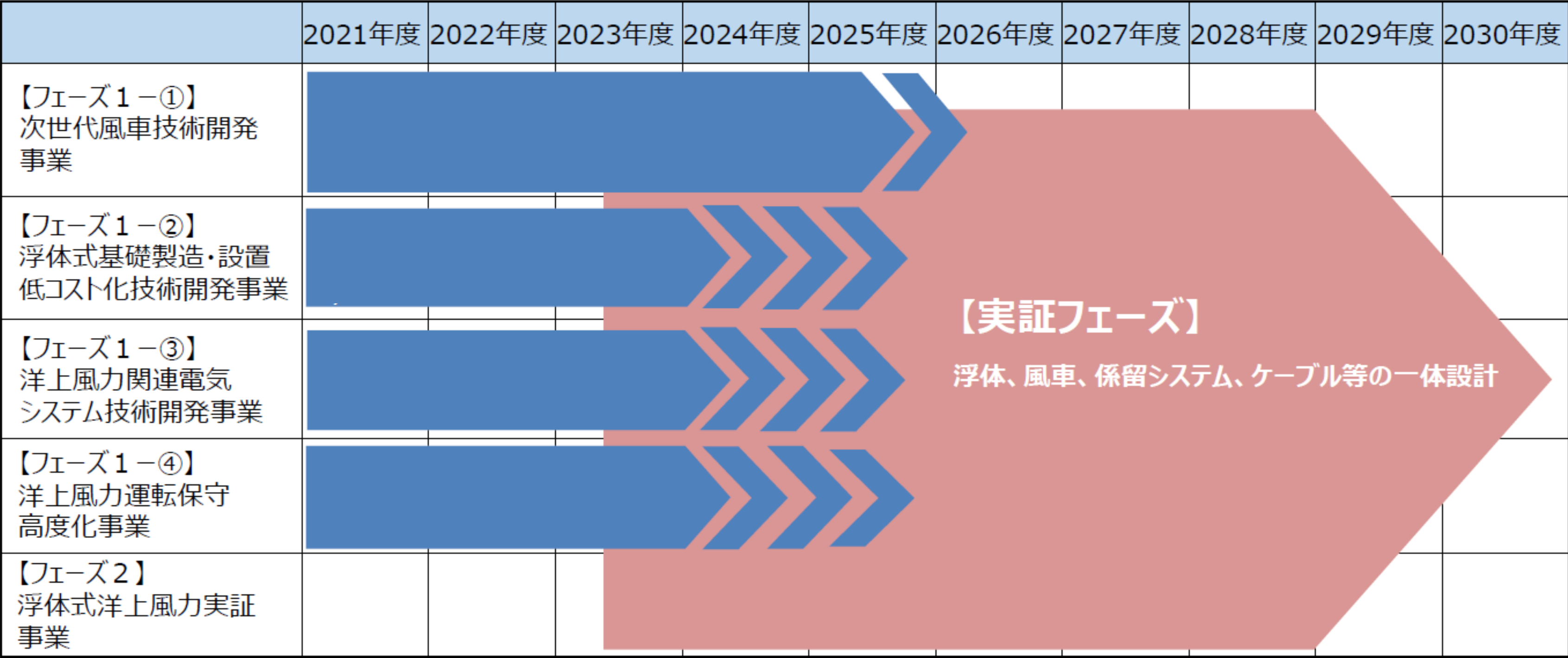
新しいコンセプトの登場

➤ 多様な形式に対応した水槽試験技術と数値計算技術の確保が必要。

テトラスパー	Demo SATH	X1-Wind	Nezzy2	W2 Power
				
3.6MW	2MW	6MW計画	8.3MW×2基	6MW×2基計画
ノルウェー	スペイン		中国（7/12完成）	
浮体基部にキールを吊り下げ、低重心化	一点係留により浮体が回頭し、風向変化に追随	一点係留により浮体が回頭し、風向変化に追随	- 一点係留により浮体が回頭し、風向変化に追随 1基の浮体に2基の風車を搭載	- 一点係留により浮体が回頭し、風向変化に追随 1基の浮体に2基の風車を搭載

(出典) <https://www.x1wind.com/projects/pivotbuoy-project-part-scale-prototype-in-the-canary-islands/>, <https://jp.rwe.com/press/2021-12-01-floating-offshore-wind-demo-project-successfully-commissioned-off-the-norwegian-coast/>, <https://jp.rwe.com/press/2022-07-20-demosath-floating-unit-launched-into-water/>, <http://www.scd-technology.com/scd-technology-scd-nezzy/>, <https://enerocean.com/w2power/>, <https://crane1000.com/worlds-largest-floating-wind-turbine-platform-oceanx-completed/>

ログリーンイノベーション基金事業について



(出典) 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会グリーン電力の普及促進分野ワーキンググループより改編

ログリーンイノベーション基金事業について

➤ フェーズ2の採択先が決定（6月11日）

① 低コスト化による海外展開を見据えた秋田県南部沖浮体式洋上風力実証事業

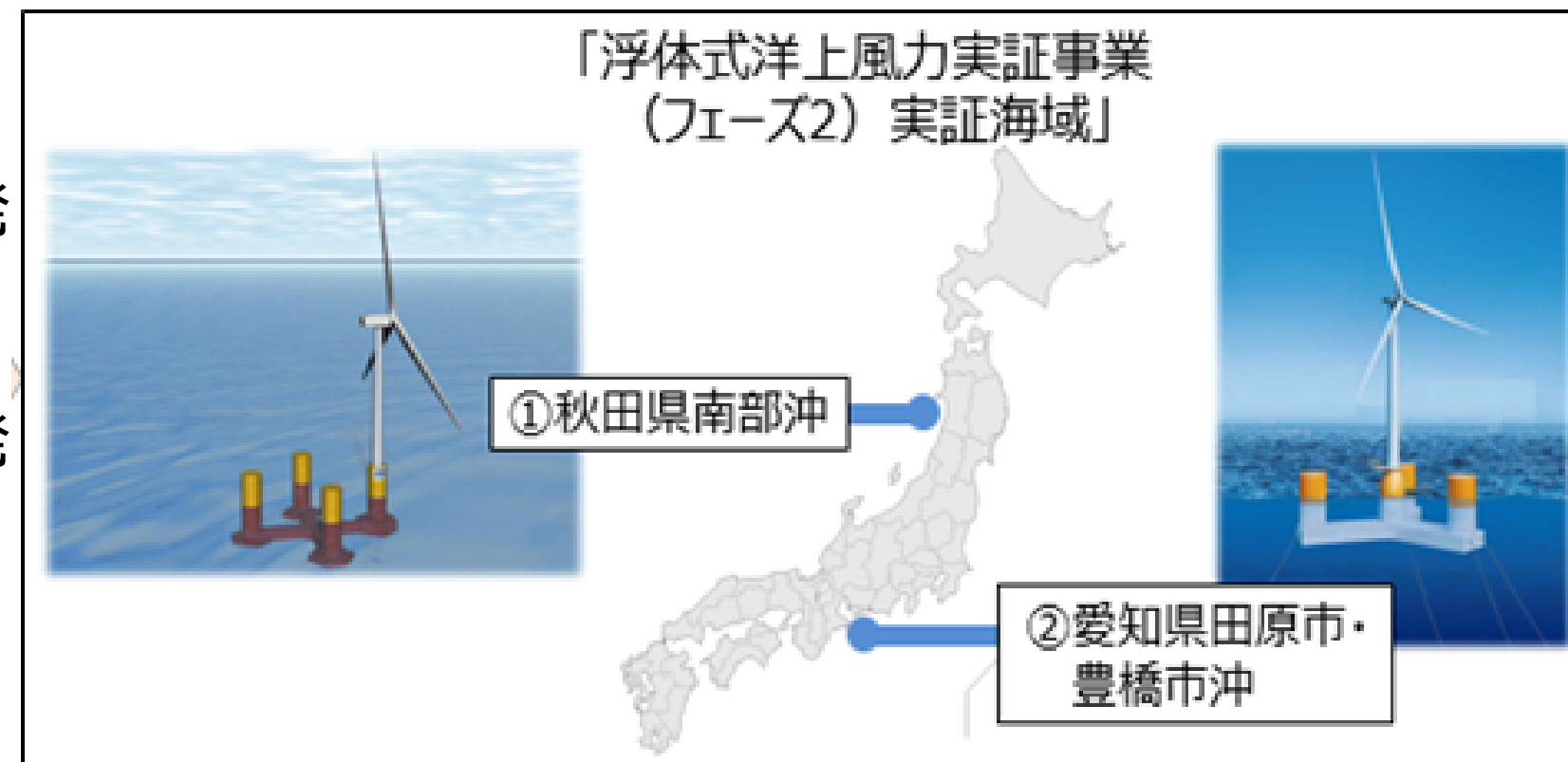
● **丸紅洋上風力開発株式会社**、東北電力株式会社、秋田県南部沖浮体式洋上風力株式会社、ジャパン マリンユナイテッド株式会社等

② 愛知県沖浮体式洋上風力実証事業

● **株式会社シーテック**、日立造船株式会社、鹿島建設株式会社、株式会社北拓、株式会社商船三井

➤ フェーズ1-⑤が追加の公募予定

1. 浮体システムの最適な設計基準・規格化等開発
2. 浮体システムの大量/高速生産等技術開発
3. 大水深における係留・アンカー施工等技術開発
4. 大水深に対応する送電技術の開発
5. 遠洋における風況観測手法等の開発



□洋上風力発電プロジェクトチームのビジョン

□浮体式洋上風力発電の動向

□海上技術安全研究所における取り組み

□まとめ

海上技術安全研究所における取り組み



計画

ポテンシャル評価

設置海域選定

気象
海象
海底地盤

設計

浮体コンセプトの決定

風車－浮体－係留連成解析

浮体応答
浮体荷重
係留張力

水槽試験による検証

作業船安全性・稼働性評価

SEP船
AHV

設計へ反映

O&M

浮体・係留の状態評価
(デジタルツイン技術)

遠隔検査・モニタリング

作業船安全性・稼働性評価

CTV

計画

ポテンシャル評価

設置海域選定

気象

海象

海底地盤

開発

➤ 大型風車搭載を想定した研究開発

➤ 合成繊維索の適用性検討

➤ 低コスト化技術開発に関する検討

➤ 安全ガイドラインの改訂

➤ 各種水槽模型試験

➤ 実海域計測

O&M

浮体・係留の状態評価
(デジタルツイン技術)

点検・モニタリング

船舶安全性・稼働性評価

CTV

□合成繊維索係留に関する研究開発

- 実用化に向けた課題
- 小型浮体の係留系設計
- 係留初期設計プログラムの作成
- 疲労寿命評価
- 生物付着影響の評価

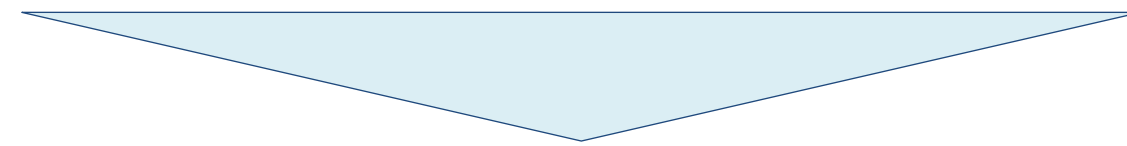
□デジタルツイン技術の研究開発

- 全体像について
- 海象推定のための研究開発

□合成繊維索係留はコストの観点から有望。

□実用化に向けた課題

- 浅い海域での実績が少ない（浅い海域では一般的に設計の難易度が上がる）。
- 繊維索の荷重－変位特性や疲労特性が索の素材により大きく異なる。
- 生物付着による影響が不明。



□海上技術安全研究所の取り組み

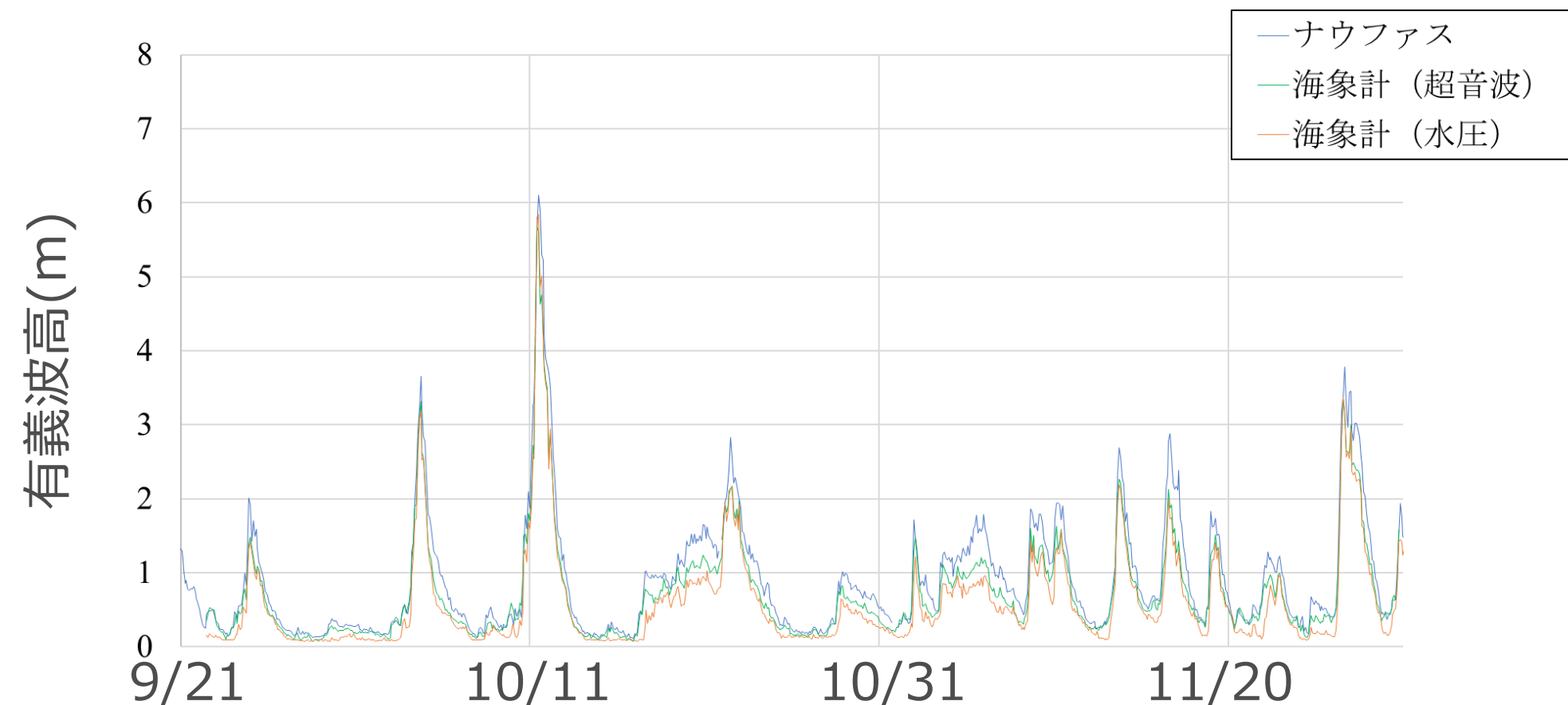
- 小型模型を用いた実海域での実証試験（係留系設計技術の実証）
- 合成繊維索係留の初期設計プログラムの開発
- サブロープを対象とした疲労強度評価
- 実海域浸漬試験による生物付着影響の評価

□小型模型を用いた実海域での実証試験

- グリーンイノベーション基金事業において、ジャパン マリンユナイテッド株式会社殿と共同実施。
 - 秋田県沖（水深約20m）に1:9スケールの模型を設置し、約1年間の実海域試験を実施。
 - 合成繊維索（ナイロン）係留の基本設計、海気象および浮体運動の計測を実施。
- ➡ 期間中、有義波高6mの大波高にも遭遇。十分な疲労寿命を示した。



模型の様子



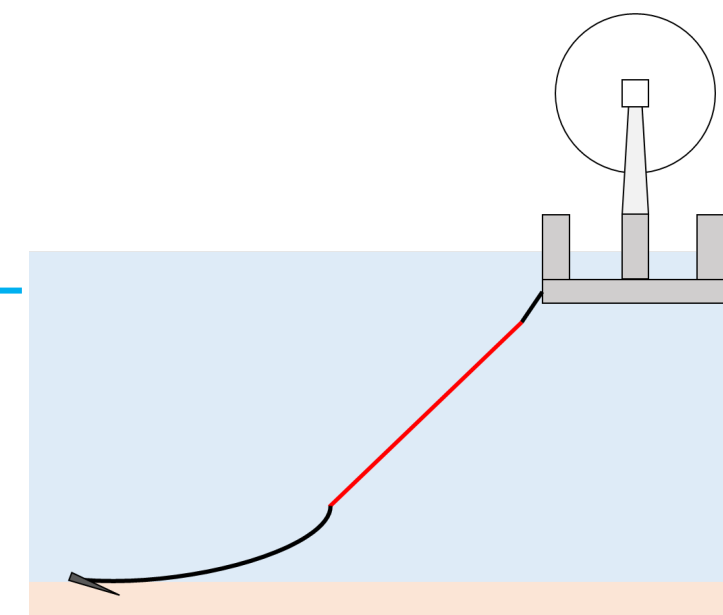
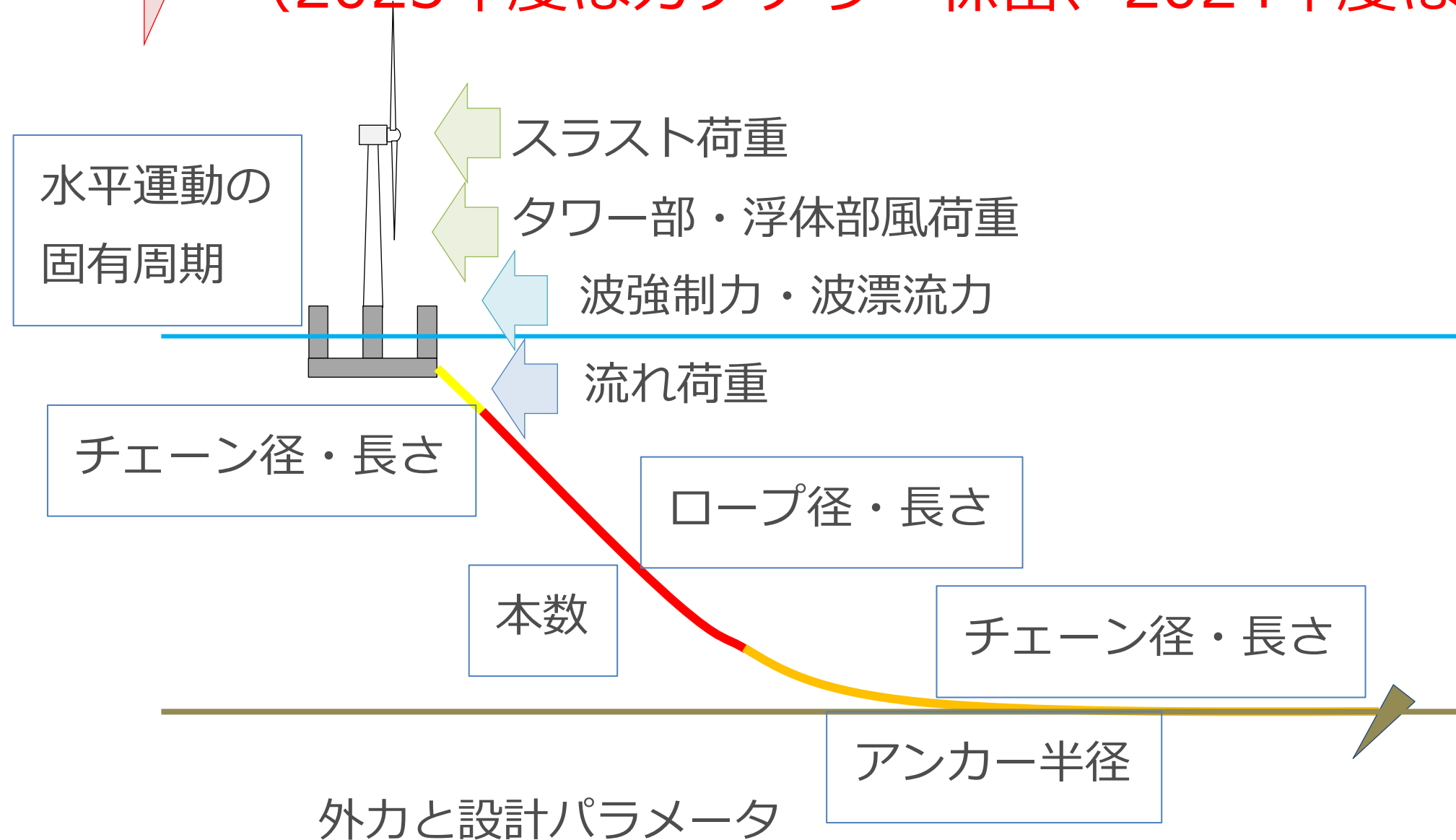
有義波高の計測結果例

□合成繊維索係留の初期設計プログラムの開発

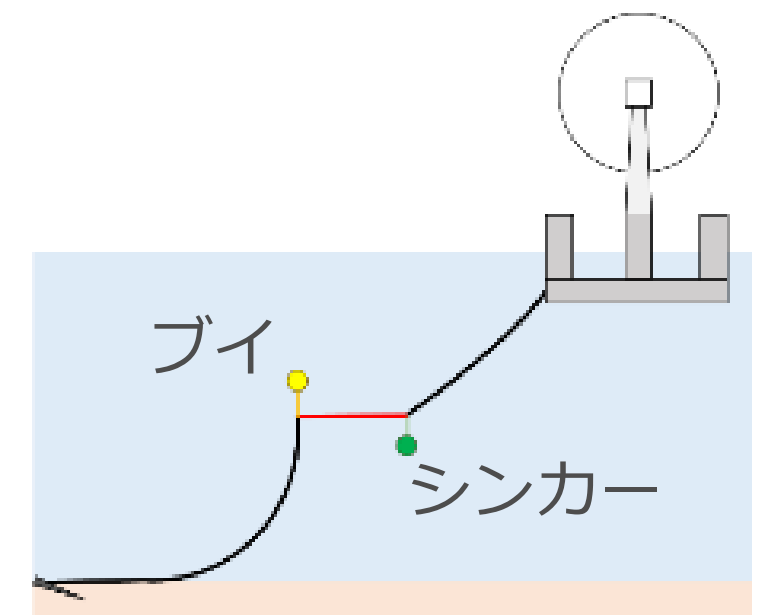
- 繊維索の素材により、特性は大きく変化。
- 設計パラメータが多く、各パラメータが相互に影響し、係留仕様決定が難しい。

6パラメータ×3制約条件の多重ループ

➡ DLC等の動的計算に適用可能な係留仕様を簡便に算出可能なプログラムを開発。
(2023年度はカテナリー係留、2024年度はブイ、シンカー係留を対象に開発中。)



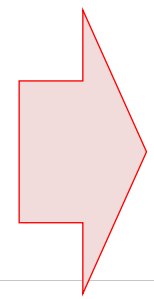
カテナリー係留のイメージ



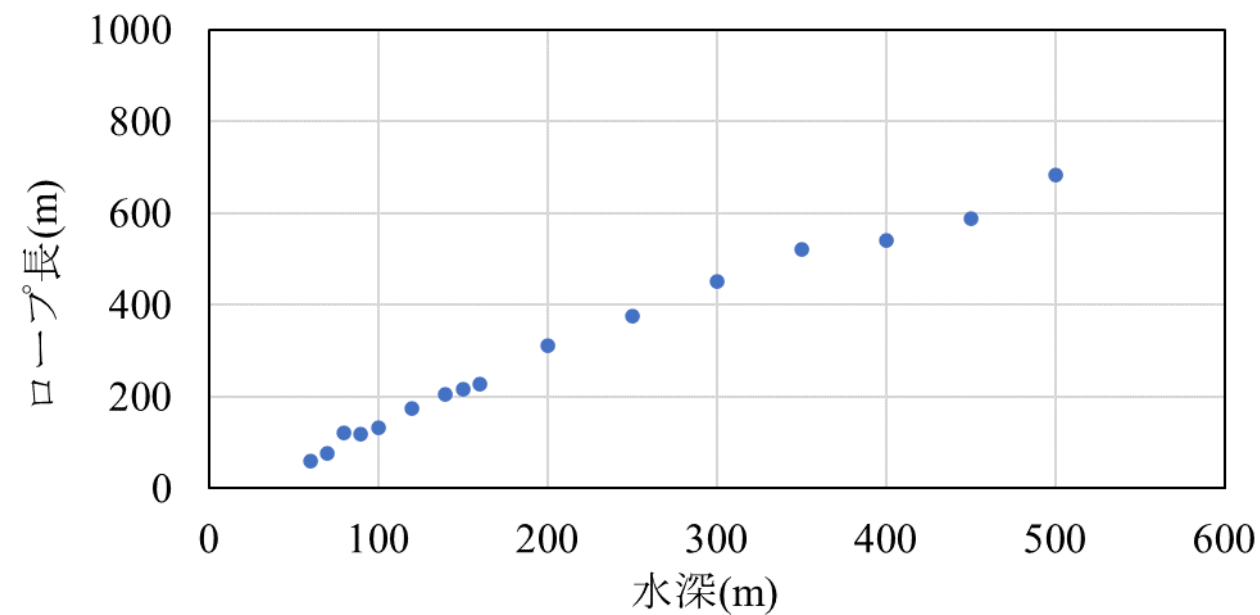
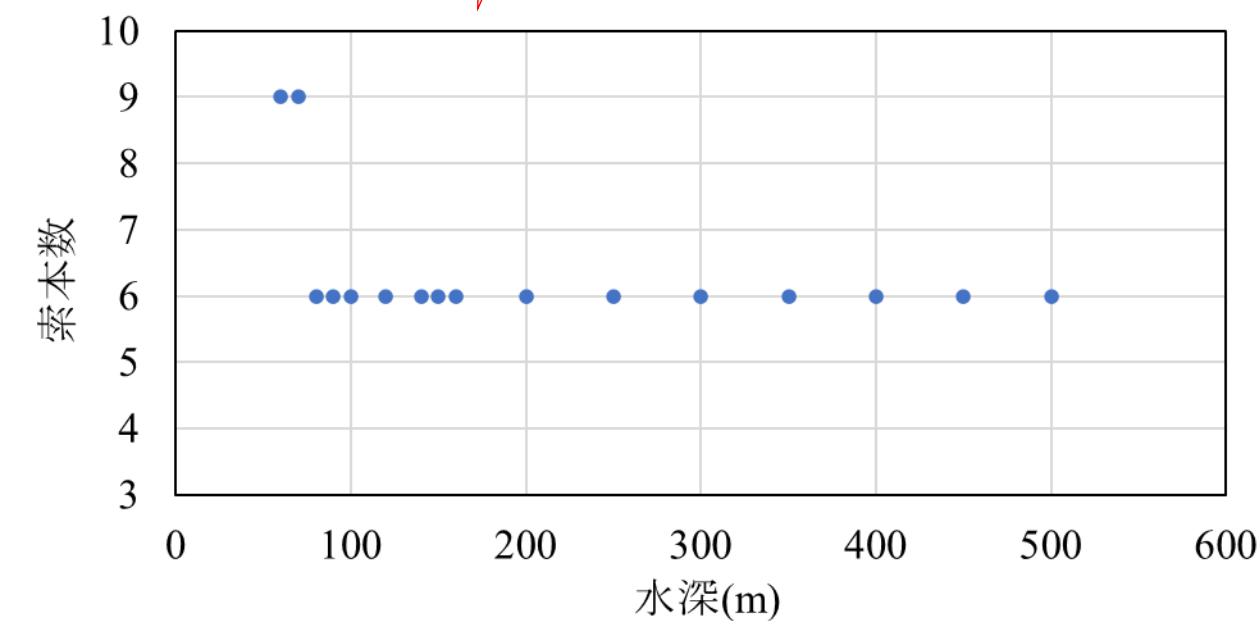
ブイ・シンカー係留のイメージ

□合成繊維索係留の初期設計プログラムの開発

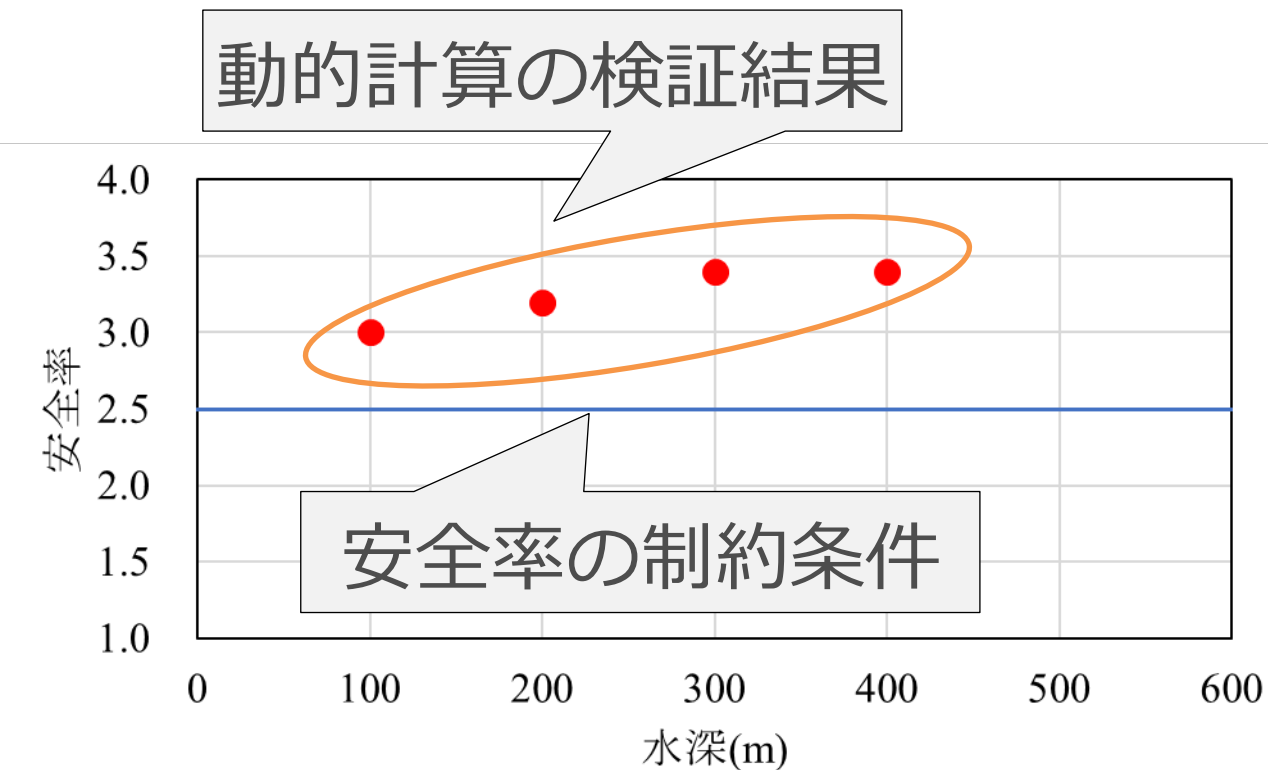
- 検討対象はIEA 15MW風車およびVoturn US-Sセミサブ型浮体とし、索素材はポリエステル、ナイロン、HMPE（High Modulus PolyEthylene）とした。
- 浮体の最大変位、係留索の安全率、合成繊維索と海底との距離を制約条件とした。



汎用の動的応答解析プログラムによる検証で、出力結果が動的計算の初期値として妥当であることを確認。

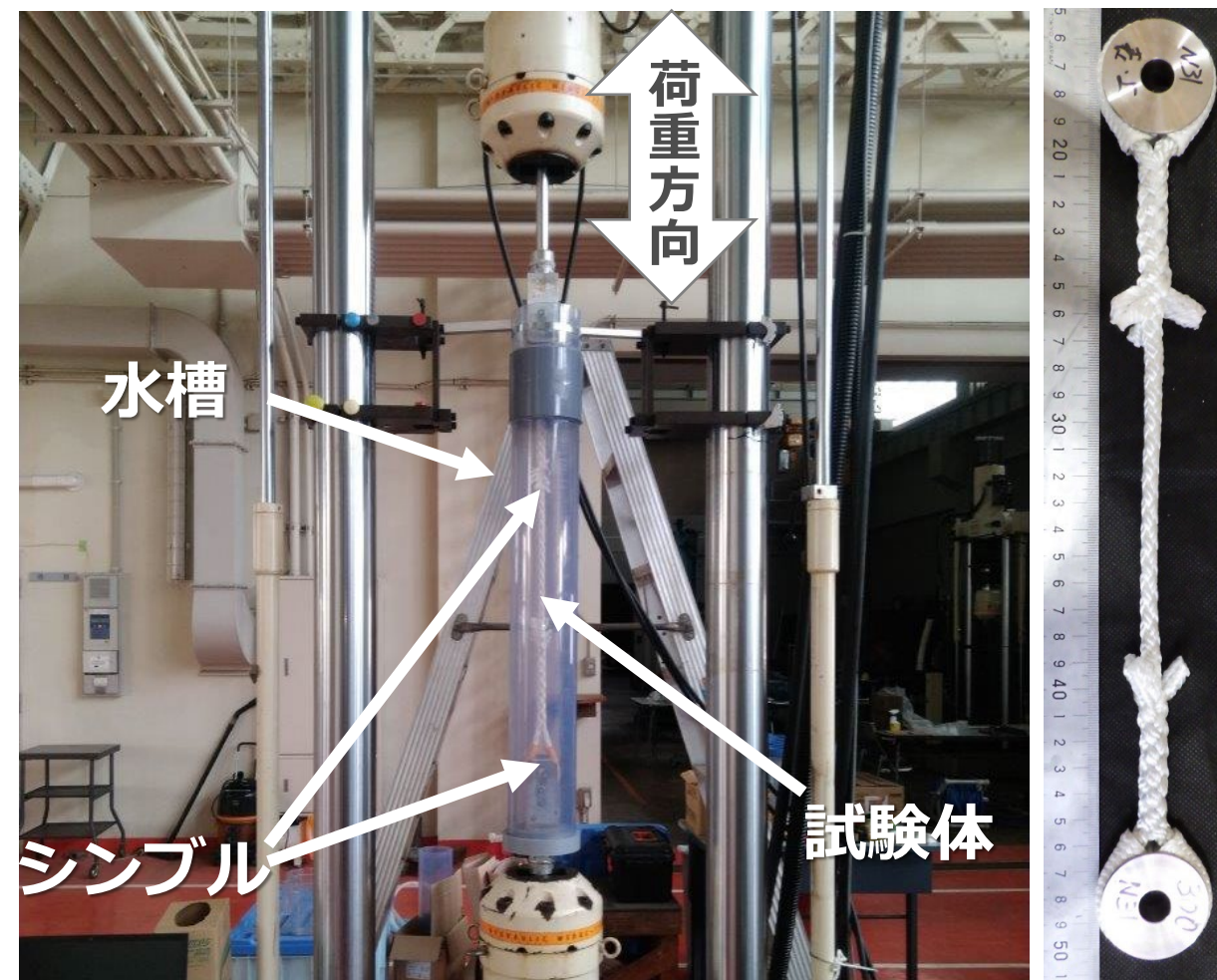


ポリエステル索を用いた際の実出力結果の例

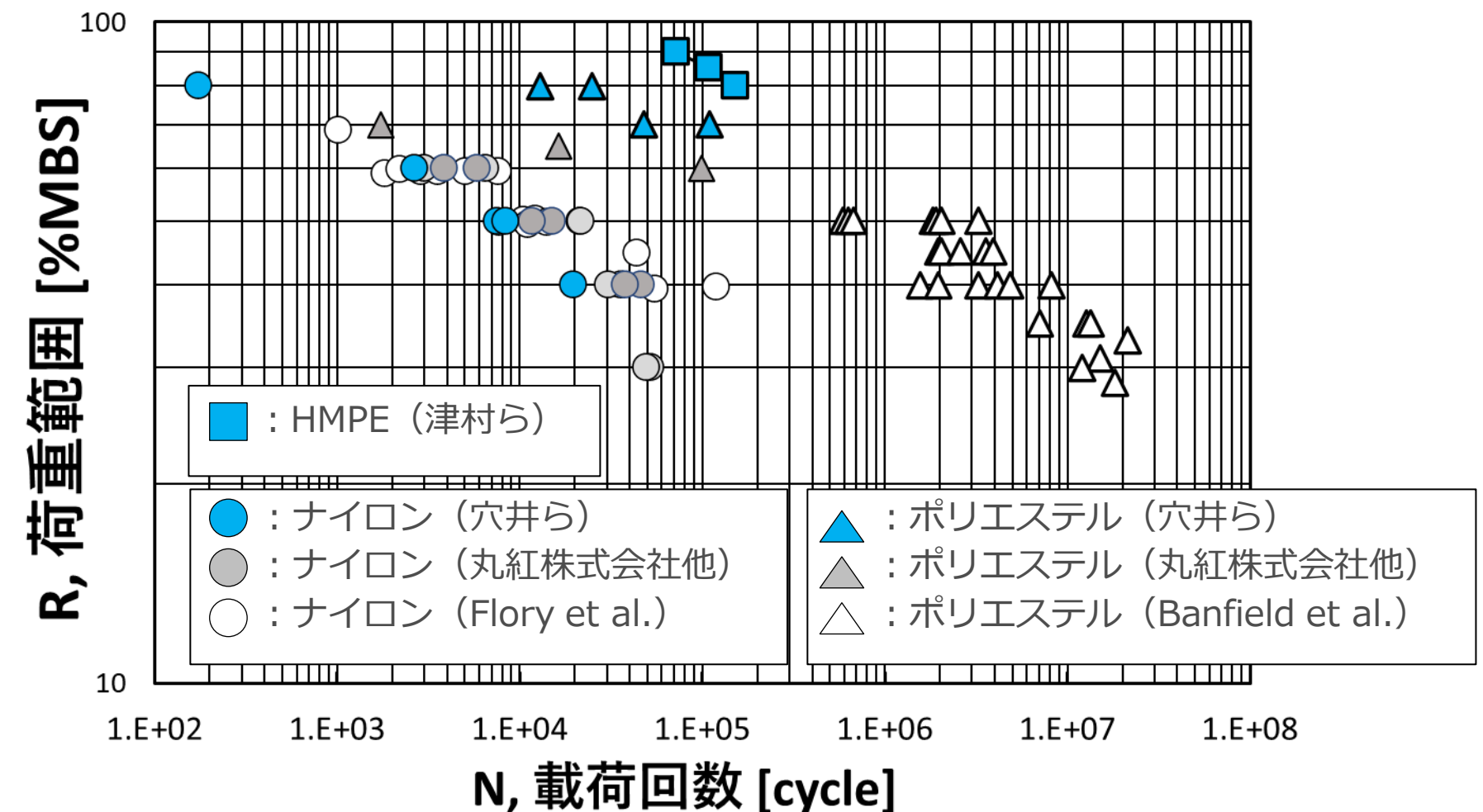


ロサブロープを対象とした疲労強度評価

- 合成繊維索は索の素材により各種国際基準、船級規則、ガイドラインの記述が異なり、設計の目安となる特性データも入手が困難な場合がある。
- $\Phi 10\text{mm}$ 程度のサブロープを用いた疲労試験を実施し、疲労特性を把握した。



完全没水状態の疲労試験



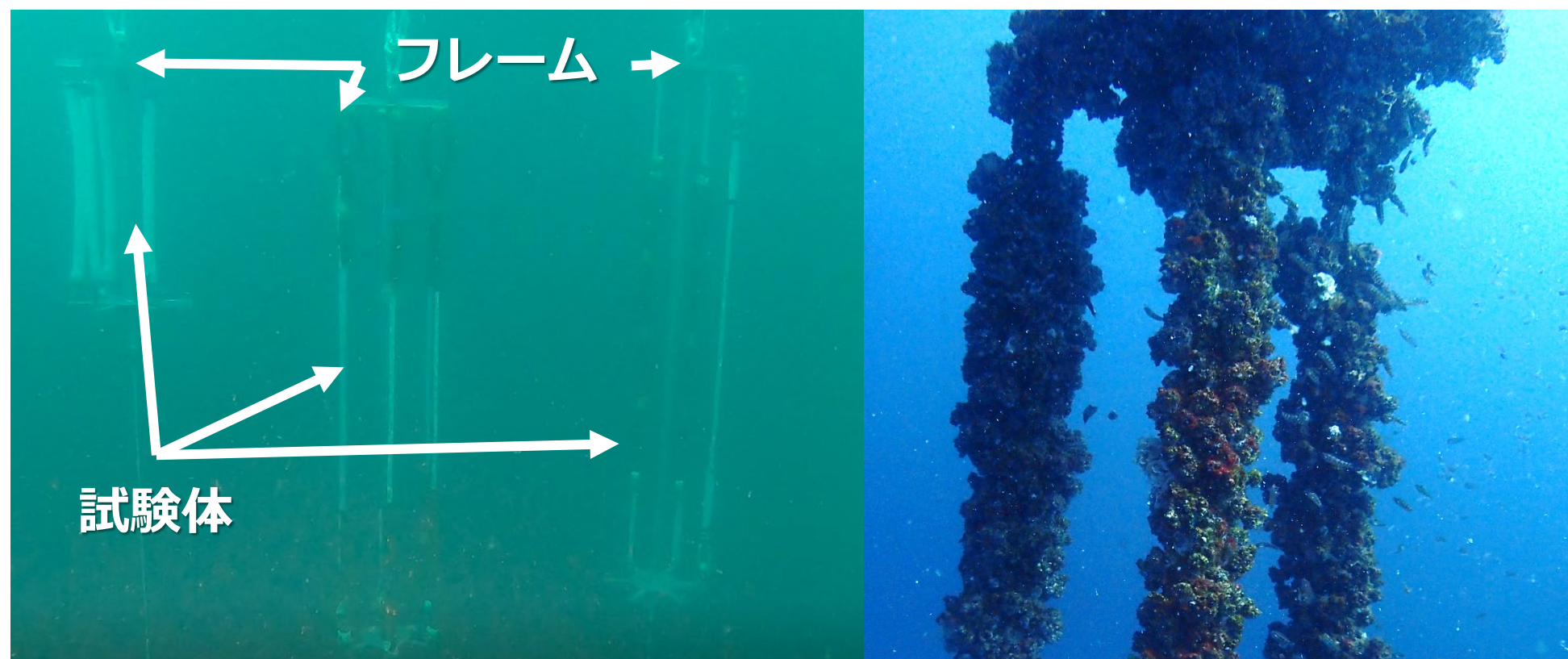
● ▲ ■ : 海上技術安全研究所実施

各種繊維索のT-N線図

□実海域浸漬試験による生物付着影響の評価

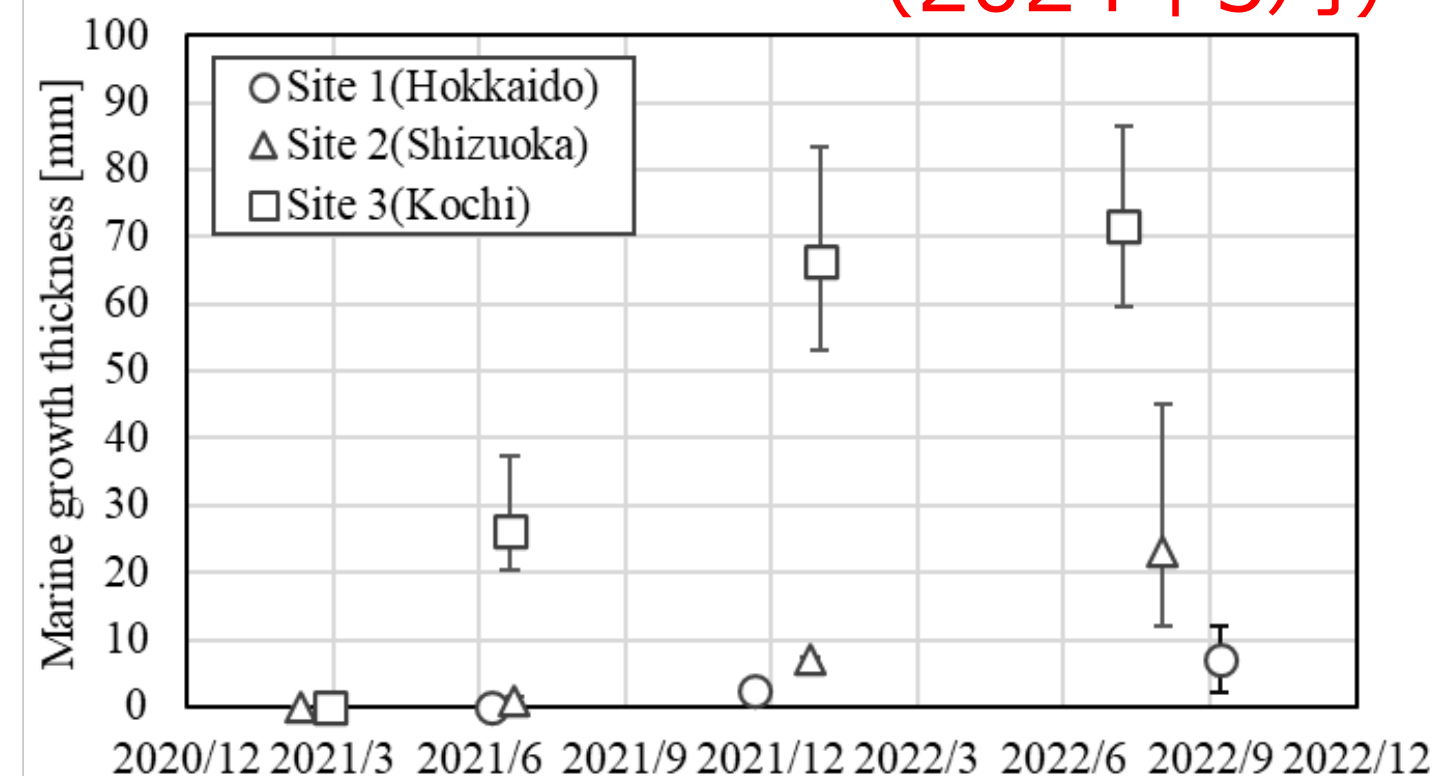
- 生物付着により想定される合成繊維索係留への影響
 - 索に働く抗力・張力が増加、付着生物の侵入による強度低下。
- 長期間の実海域浸漬試験（国内3海域）により付着量を観測、強度評価も実施。
- 索素材の違い、サンドフィルターの有無による違いを考慮（4種類）。

➡ 「浮体式洋上風力発電施設の安全基準・同ガイドライン」（国土交通省）改訂案を提出。
(2024年3月)



設置時の様子

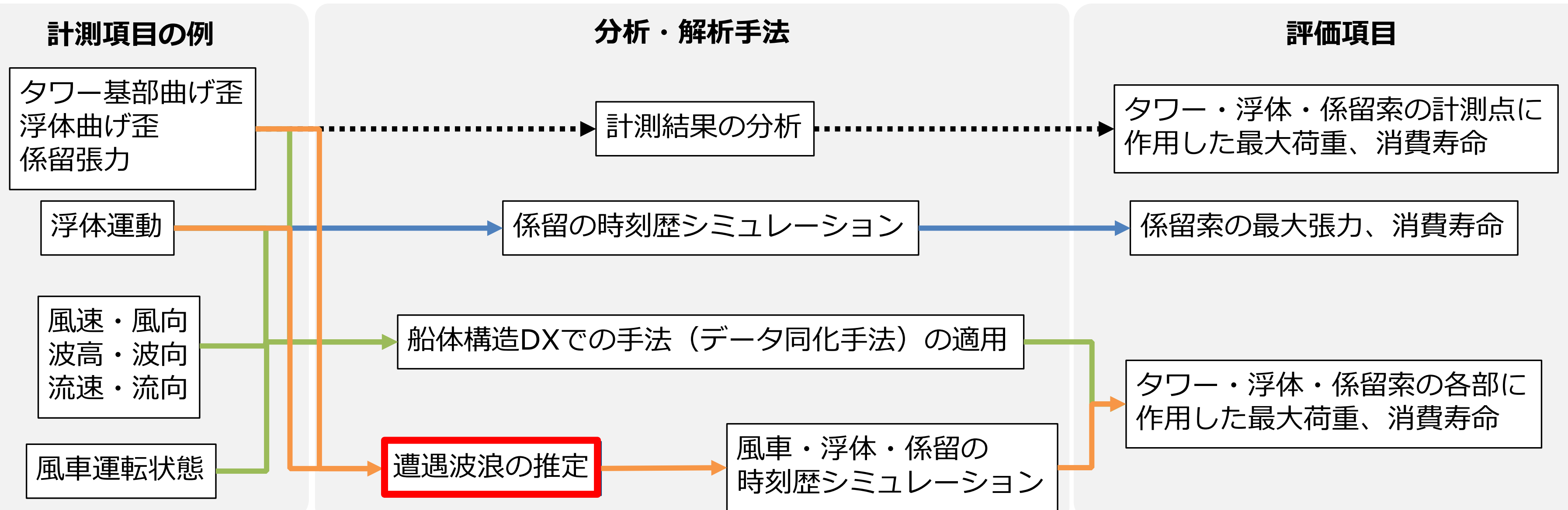
付着の様子



ナイロンロープに対する付着量の計測結果（抜粋）

デジタルツイン技術の研究開発

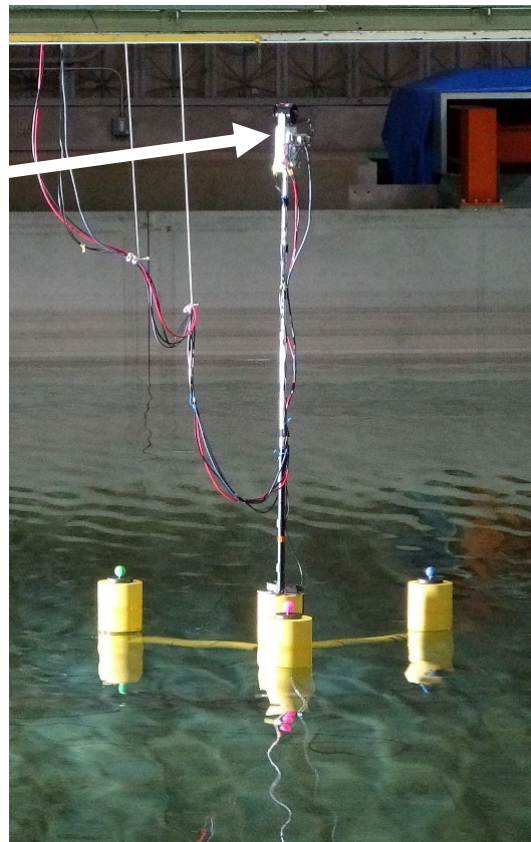
- 浮体式洋上風力発電の状況を正確に把握、メンテナンスや検査の効率化につなげ、O&Mコスト低減を目指す。
- 第1段階として、浮体式洋上風力発電の遭遇している波浪の推定技術の開発を実施中。



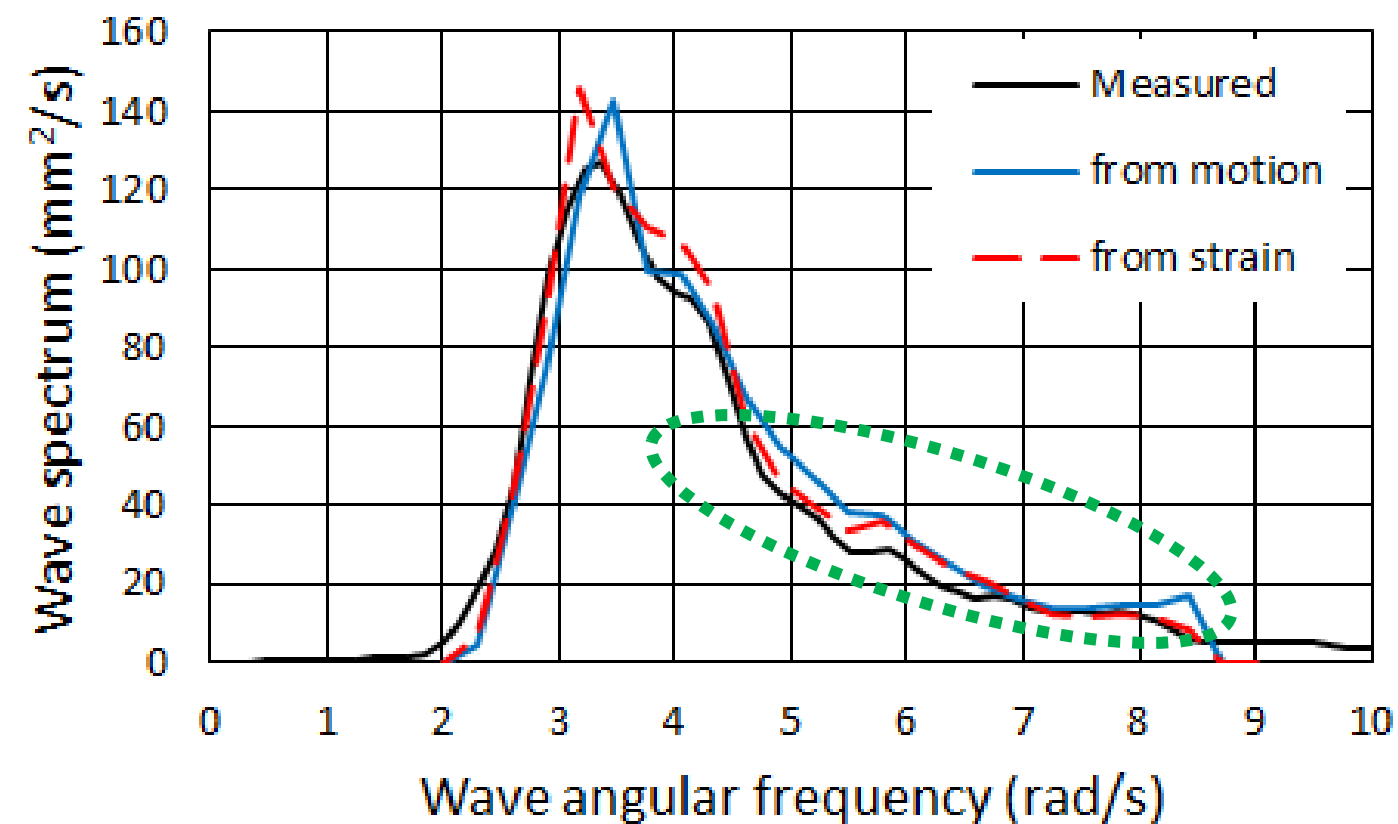
□遭遇海象の推定

- 浮体に働く荷重や係留張力の推定に不可欠。
- 大規模ウィンドファームでは海象の直接計測箇所は限られ、個々の浮体の遭遇海象と計測結果は異なることが想定される。
- 入力に浮体運動に加え構造歪を用いることで、波周期の短い領域の推定精度が向上。

スラスト荷重を
模擬するファン



剛性相似模型を用いた水槽試験の様子



入力データの違いによる波スペクトル推定結果の違い

- 多方向不規則波を用いた水槽試験により、波向推定を可能にする拡張を予定。

□洋上風力発電プロジェクトチームのビジョン

□浮体式洋上風力発電の動向

□海上技術安全研究所における取り組み

□まとめ

- 洋上風力発電プロジェクトチームのビジョンを紹介。
- 浮体式洋上風力発電を取り巻く状況について紹介するとともに、海上技術安全研究所が取り組んでいる主な課題の中から、
 - 合成繊維索係留に関する研究開発
 - デジタルツイン技術の研究開発について紹介した。
- 洋上風力発電プロジェクトチームでは、上記の重点課題に加え、CTV乗り移り性能評価や風車ブレードピッチ制御等の技術に関する研究開発を推進し、技術課題を解決するとともに、安全ガイドライン改訂等の環境整備を進め、浮体式洋上風力発電の普及に貢献する。
- 水槽試験技術、数値計算技術等の基盤技術についても研究能力のさらなる向上を図る。
- 引き続き、ご指導、ご協力をよろしくお願いいたします。

ご清聴ありがとうございました



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
National Maritime Research Institute

