



SEAJAPAN2024 海上技術安全研究所セミナー



海上技術安全研究所における 浮体式洋上風力発電の研究開発

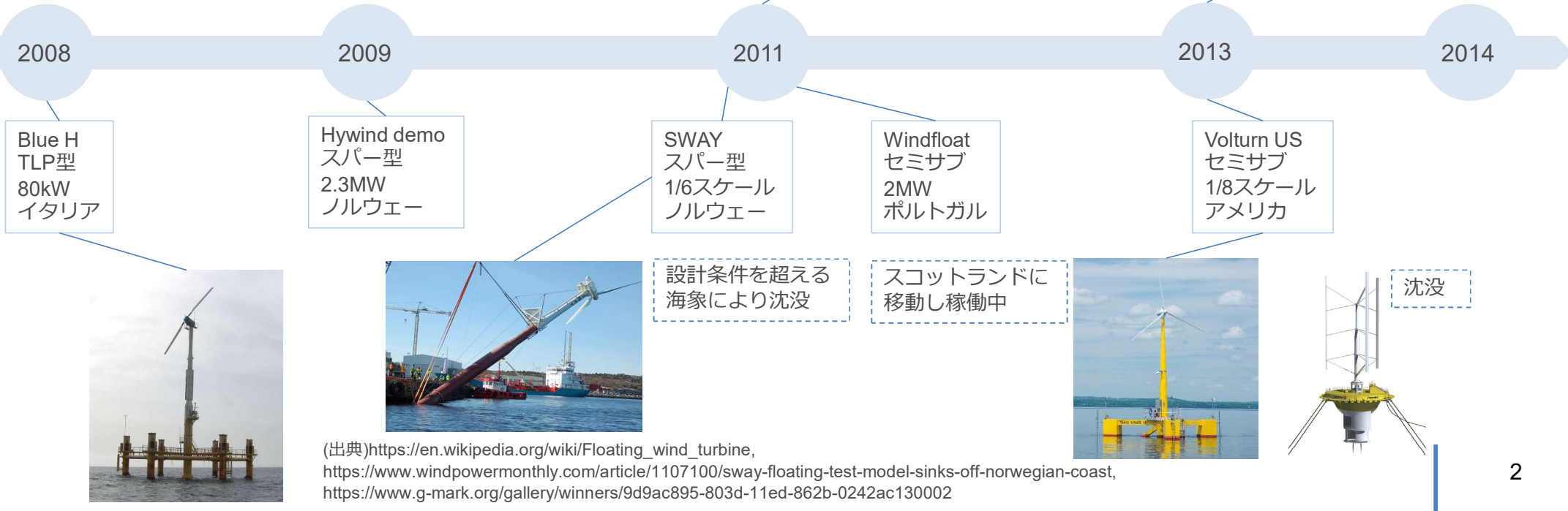
国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所
洋上風力発電プロジェクトチーム
中條 俊樹

- 浮体式洋上風力発電の概要
- 浮体式洋上風力発電の課題
- 海上技術安全研究所における研究開発

浮体式洋上風力発電の概要

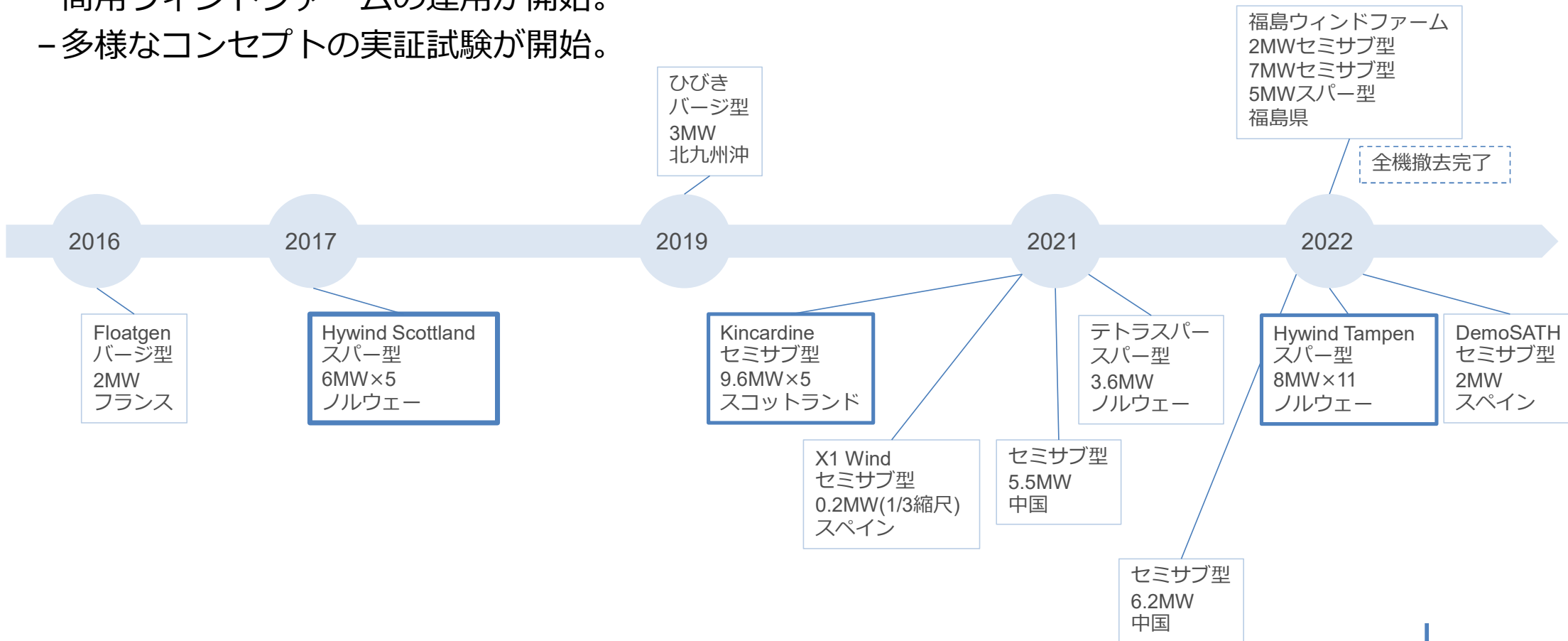
● 歴史 ～研究開発の時代～

- イタリア沖のBlue Hから浮体式洋上風力発電の実海域での検証が開始。
- Hywind demoが最初の実用機。
- 日本では環境省の実証プロジェクトが最初。
- 福島では世界初の浮体式ウィンドファーム。

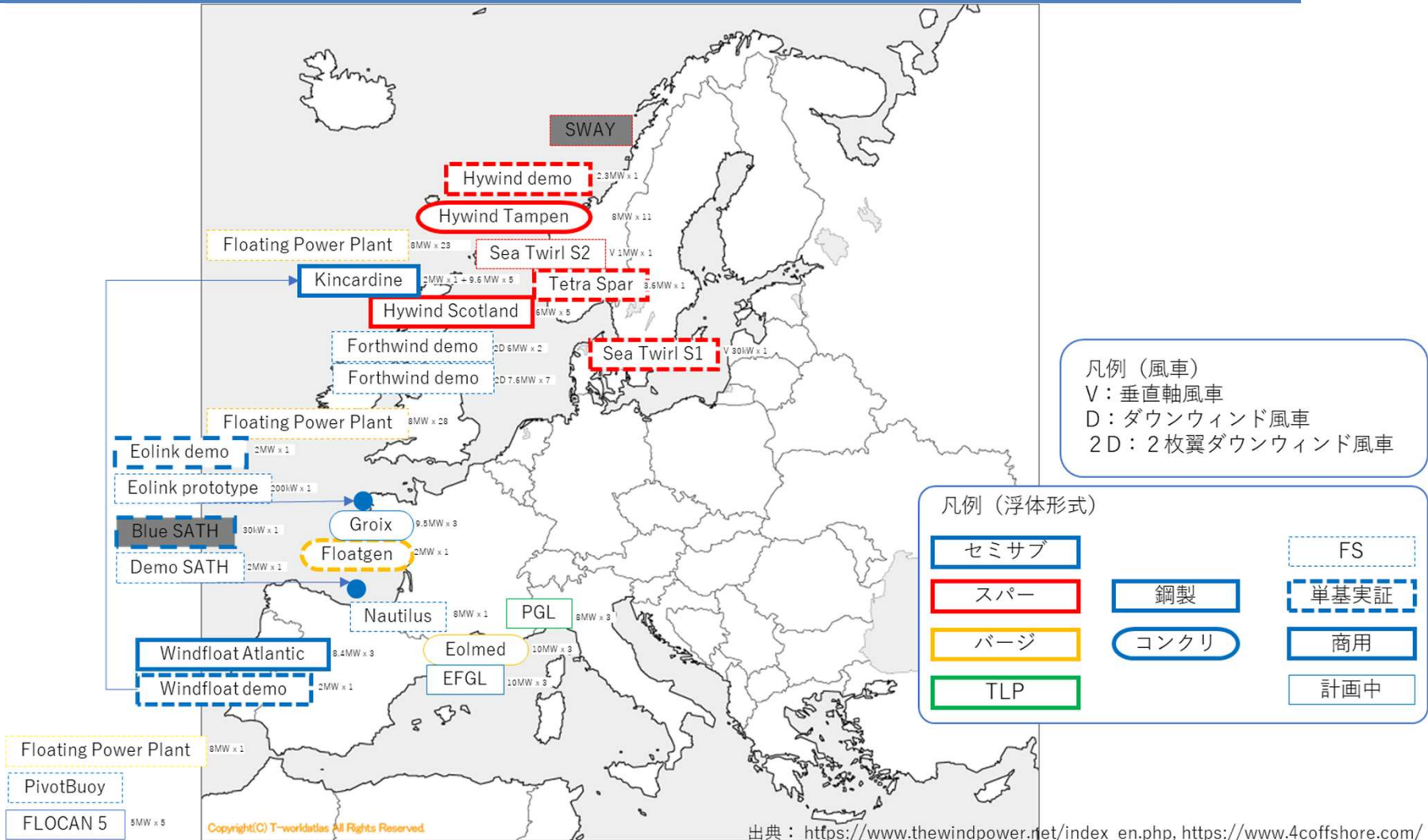


浮体式洋上風力発電の概要

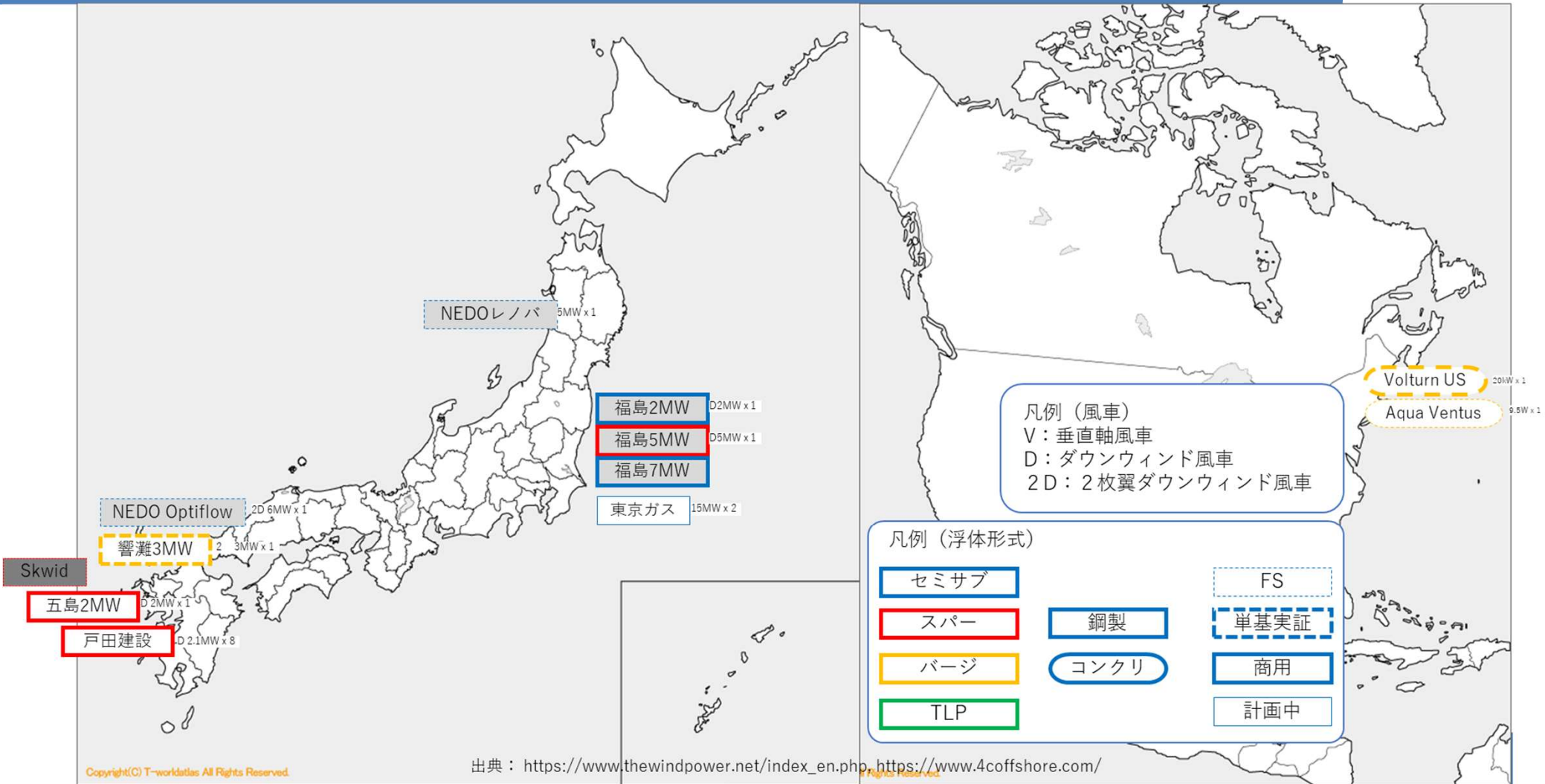
- 歴史 ～商用化の時代+新たなコンセプト開発～
 - 商用ウィンドファームの運用が開始。
 - 多様なコンセプトの実証試験が開始。



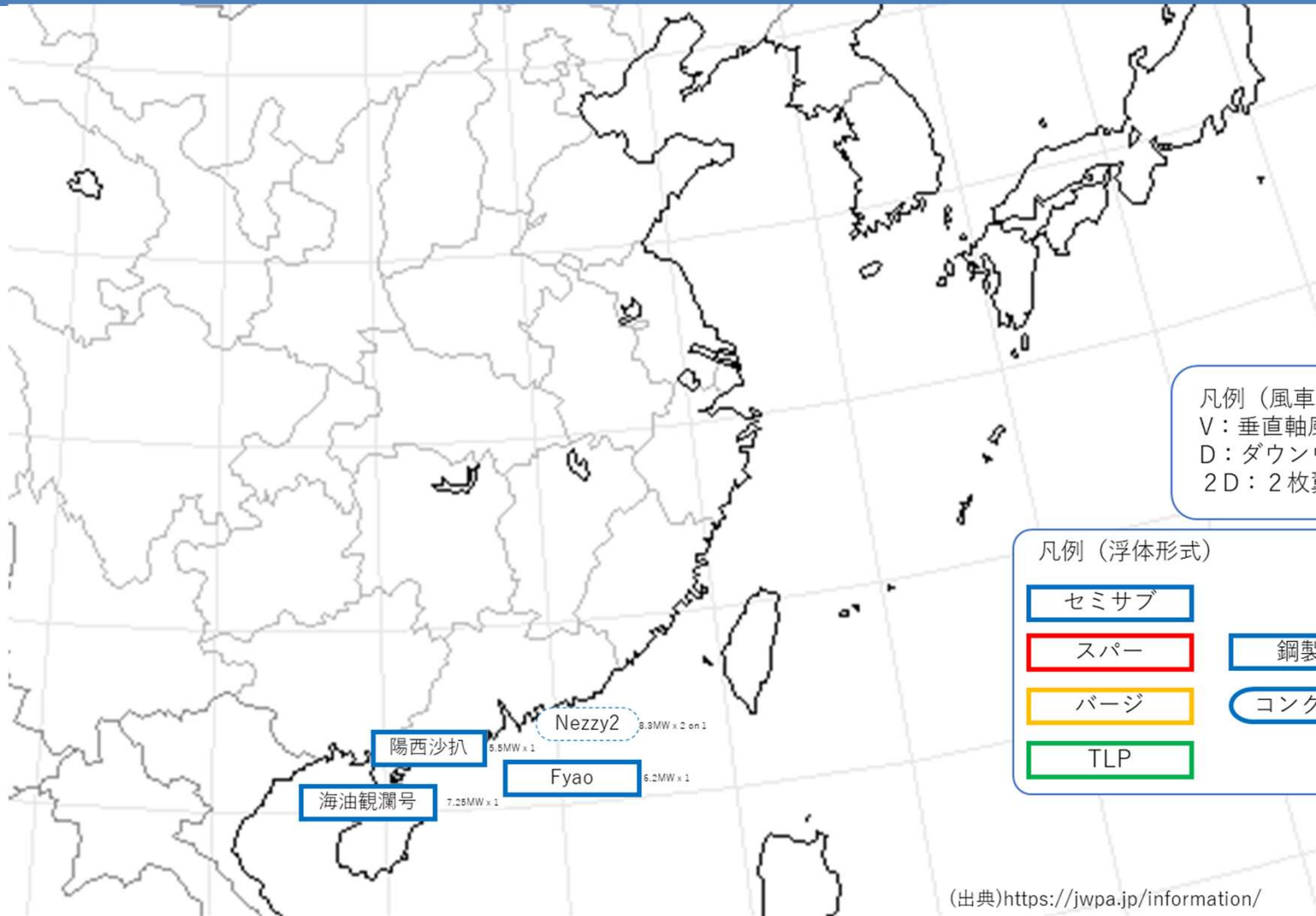
浮体式洋上風力発電の概要



浮体式洋上風力発電の概要



浮体式洋上風力発電の概要



凡例 (風車)
V: 垂直軸風車
D: ダウンウィンド風車
2D: 2枚翼ダウンウィンド風車

凡例 (浮体形式)

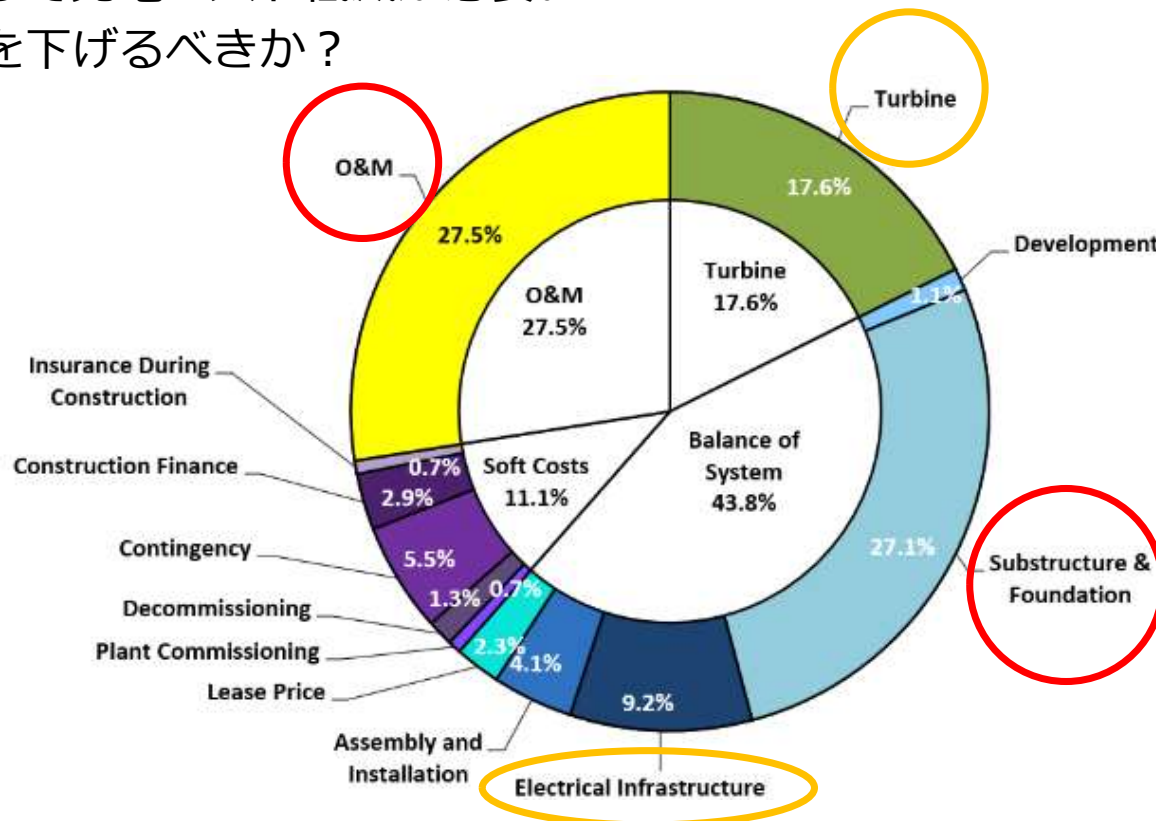
| | | |
|------|------|------|
| セミサブ | 鋼製 | FS |
| スパー | コンクリ | 単基実証 |
| バージ | | 商用 |
| TLP | | 計画中 |

(出典)<https://jwpa.jp/information/>

- 浮体式洋上風力発電の概要
- **浮体式洋上風力発電の課題**
- 海上技術安全研究所における研究開発

浮体式洋上風力発電の課題

- 個々の浮体式洋上風力発電の要素技術では技術的な成立性・安全性が検証された。
- 一方で、依然として発電コスト低減が必要。
 - どのコストを下げるべきか？



浮体式風力発電のコスト構成

(出典) Tyler Stehly and Patrick Duffy, 2020 Cost of Wind Energy Review, NREL

浮体式洋上風力発電の課題

- 支持構造物（浮体）の合理化
 - 浮体の寸法、形状を最適化し、浮体建造コストの低減を図る。
 - ブレードピッチ制御を活用し、浮体の動揺特性の向上⇒浮体寸法の最適が図れるか？
 - 大量生産に適した浮体構造は何か？
 - 造船所以外での製造に適した浮体形式はあるか？
 - 港湾インフラは十分か？
- 係留系の合理化
 - 合成繊維索係留はコスト低減に有効か？
- 設置工事の合理化
 - 海上工事の技術的な成熟度はどの程度か？
 - 大型のクレーン船・SEP船の能力、隻数は十分か？

浮体式洋上風力発電の課題

- O&Mコストの合理化
 - 陸からの距離が遠い浮体式では、現地に行く回数を減らしたい。
 - リモートでの的確なO&Mが可能か？
 - デジタルツイン技術は有効か？
 - 必要な時に現地に行くことのできる作業船（大波高に対応）の開発も有効か。
- 風車調達コストの低減
 - 大型風車は海外製のため、大量一括購入は有効。
 - 浮体式に適した風車の開発は可能か？
 - 導入量が大きくなればできる？
- 系統連携コストの低減
 - 高電圧直流送電

- 浮体式洋上風力発電の概要
- 浮体式洋上風力発電の課題
- **海上技術安全研究所における研究開発**

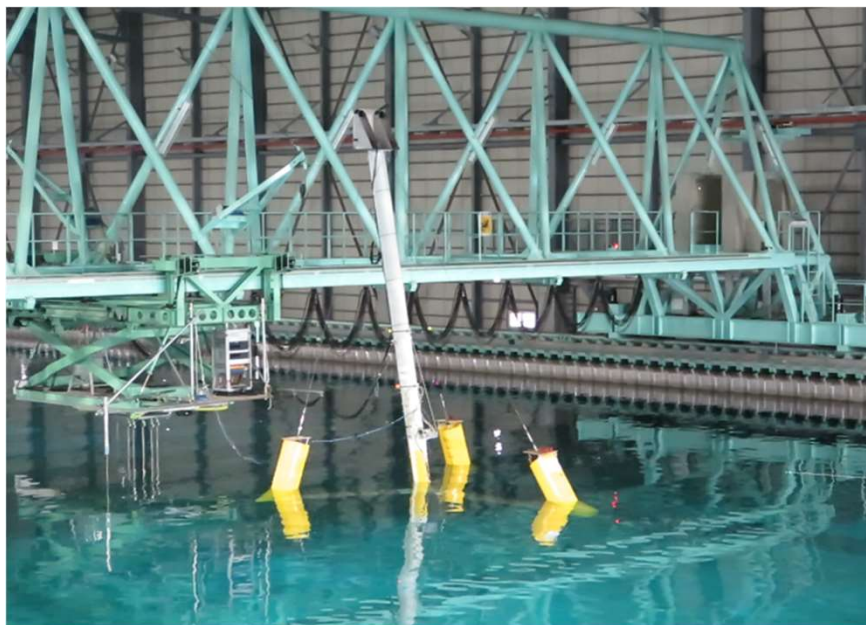
海上技術安全研究所の取り組み



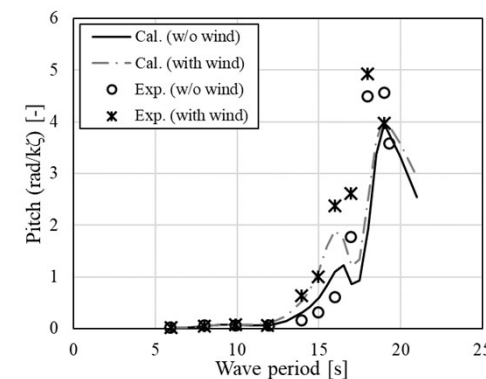
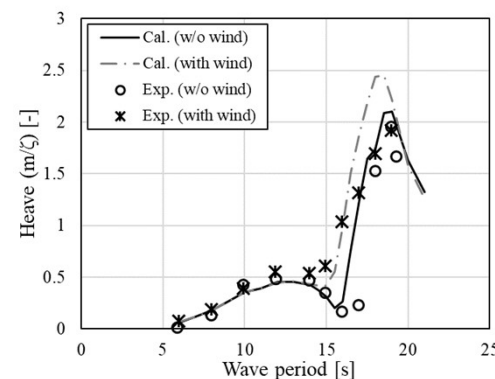
- 研究テーマを考える上でのキーワード
 - 安全性
 - 新コンセプト、新素材、新技術の適用において十分な安全性が担保されること。
 - 経済性
 - 経済性が向上（発電コストが低下）し、普及拡大に資すること。
- 研究成果の反映
 - 安全ガイドライン
 - 「浮体式洋上風力発電施設の安全基準・同ガイドライン」(国土交通省)を最新情勢に基づき改訂。
 - 国際基準
 - 我が国発の研究成果を国際基準（例えばIEC61400-3-2）に展開。
 - 実用化
 - 実海域実証事業等での実用化。

海上技術安全研究所の取り組み

- 水槽試験・数値計算による浮体・係留系の波浪中応答の評価
 - 関連キーワード：安全性
 - 数値計算技術の進歩した現在においても水槽試験による検証は依然として重要。
 - 1点係留を採用したセミサブ型浮体のような、新コンセプトの浮体についても、水槽試験・数値計算による波浪中応答評価により安全性を検証。



縮尺1/15（高さ約7m）の模型を用いた水槽試験（実海域再現水槽）

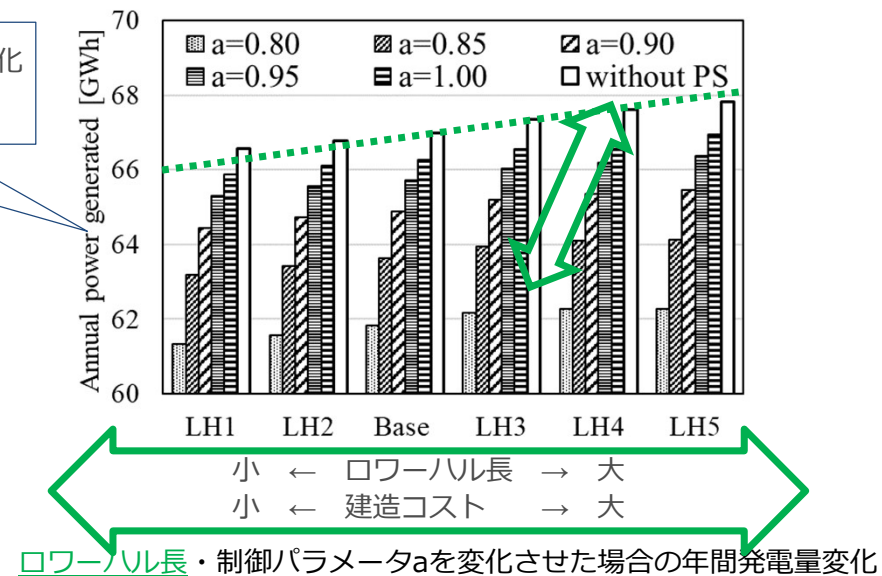
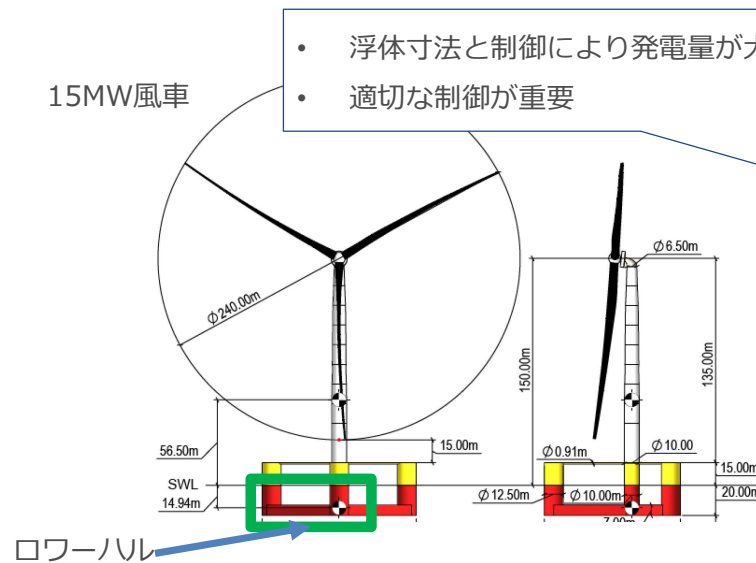


1点係留を採用したセミサブ型浮体の水槽試験・数値解析の例*

* この水槽試験結果は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務（JPNP14022）の結果得られたものです。

海上技術安全研究所の取り組み

- 浮体形状・浮体寸法の最適化
 - 関連キーワード：経済性
 - 浮体の形状や寸法について適切な選択をすることで浮体の建造コスト低減につながると考えられる。浮体式洋上風力発電に特有のブレードピッチ制御の影響や大量生産を考慮することで、さらなる浮体の建造コスト低減効果を見出す。
 - ブレードピッチ制御を効果的に用いることで浮体のコンパクト化につながるか検証。
 - ブレードピッチ制御により浮体動揺を低減→許容される動揺量が同等なら、浮体のコンパクト化、発電コストの低減が可能。



海上技術安全研究所の取り組み



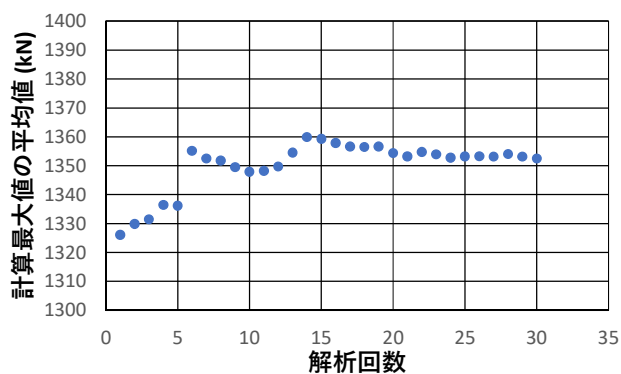
- 合成繊維索係留の検討
 - 関連キーワード：安全性、経済性
 - 合成繊維索を用いた係留は、コスト低減に有効と考えられ、採用が増加すると予想される。
 - 軽量のため、浮体・作業船をコンパクトに可能。港湾インフラへの負担軽減可能。
 - 一方で、設計上の留意点が複雑、材料により使用実績・基準の記載内容に差。生物付着による影響が未解明等の課題。
- 海上技術安全研究所の取り組み
 - 数値計算による設計上の留意点の洗い出しを実施。
 - サブロープに対する疲労試験を実施。
 - 実海域浸漬試験により、生物付着の影響を評価中。

海上技術安全研究所の取り組み

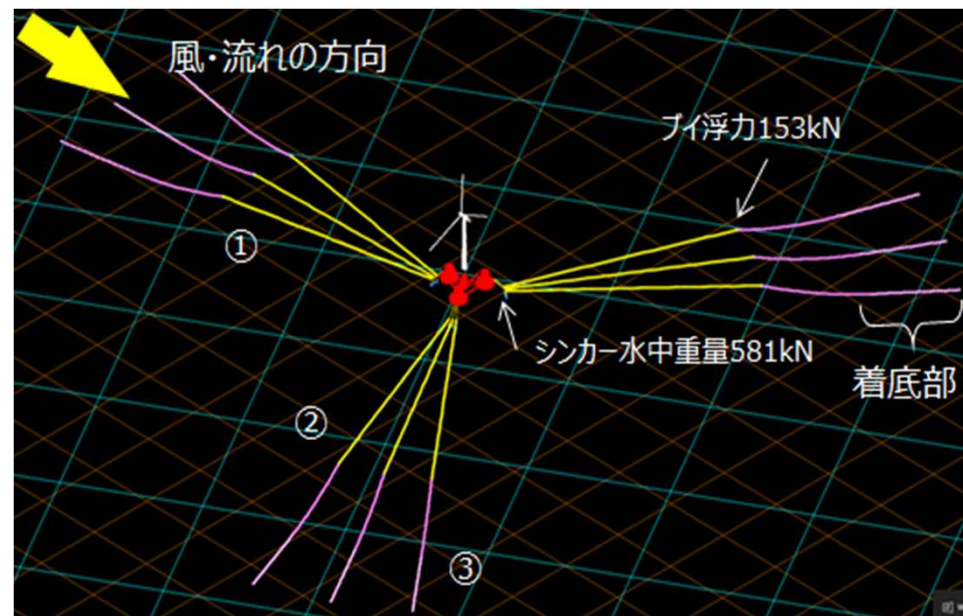
● 合成繊維索係留の検討

– 合成繊維索を用いた係留の試設計を実施。

- 設計上の留意点について網羅的な検討を行い、以下の要注意点を抽出。
- 風・波・流れの入射方向の組み合わせ
- 波の方向分布の影響
- 最大張力となる海象条件
- 最大張力の発生箇所
- 最大張力推定のための解析回数
- 最大疲労被害度の発生箇所



ランダム計算における最大張力の収束の様子

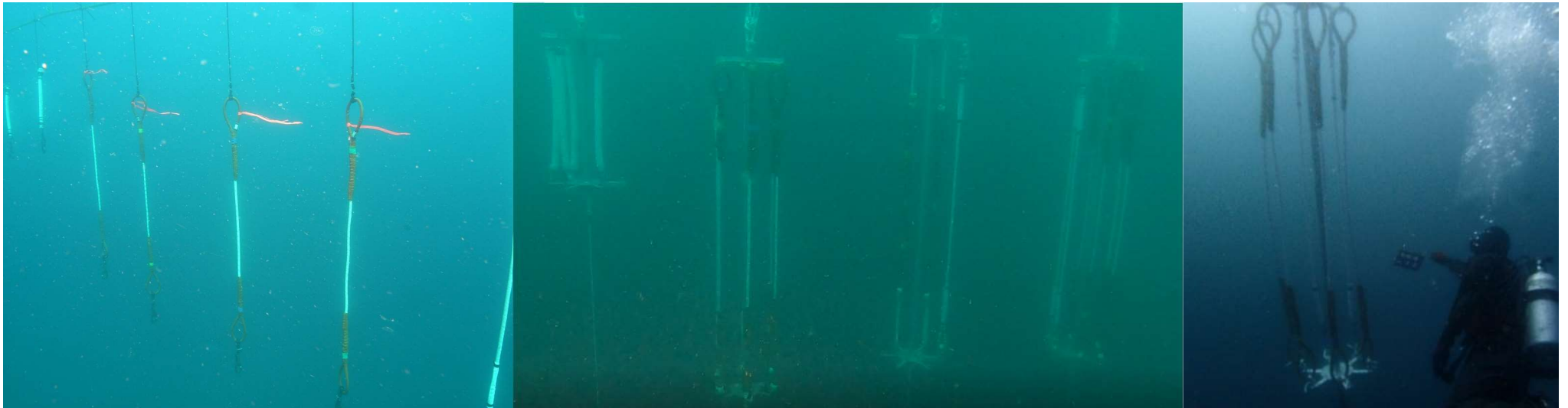


水深の浅い海域における合成繊維索を用いた係留設計の例

この研究成果は国土交通省海事局の請負業務の結果得られたものです。

海上技術安全研究所の取り組み

- 合成繊維索係留の検討
 - 生物付着により想定される合成繊維索係留への影響
 - 付着により流れに対する投影面積が増加し、抗力が増加。
 - 付着により重量が増加し、張力が増加。
 - 付着生物が繊維を切断することによる強度低下の可能性。
 - 長期間の実海域浸漬試験により付着量を観測するとともに、強度評価を実施。

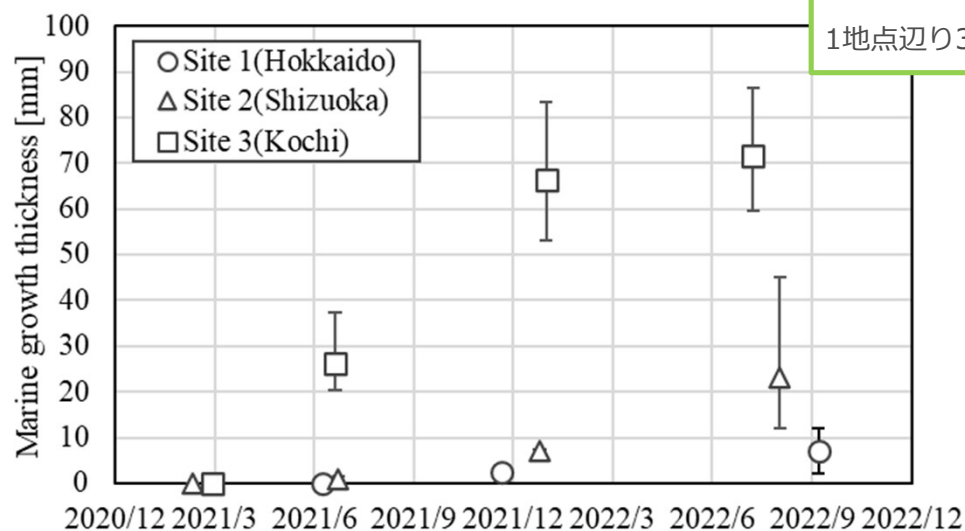


実海域における合成繊維索試験体の浸漬試験の様子（左図：北海道 中図：静岡県 右図：高知県）

この研究成果は国土交通省海事局の請負業務の結果得られたものです。

海上技術安全研究所の取り組み

- 合成繊維索係留の検討
 - 実海域の浸漬試験から得られた知見
 - 付着量の経年変化（設置後1.5年程度の経過観察から）
 - 南の海域ほど付着量は大。
 - 季節変化：夏季に付着量増加、冬季は増加が少ない。
 - 今後も継続して付着量の経過観察、強度評価の予定。



ナイロンロープに対する付着量の計測結果（抜粋）

この研究成果は国土交通省海事局の請負業務の結果得られたものです。

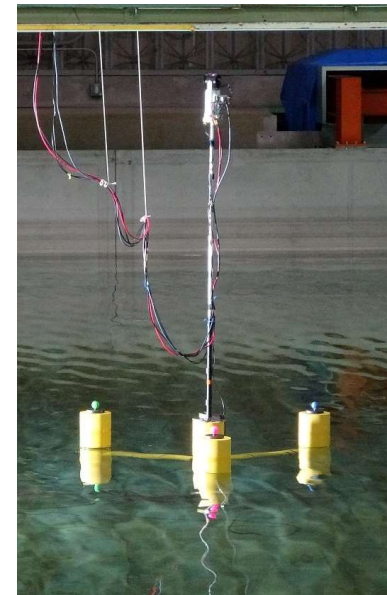
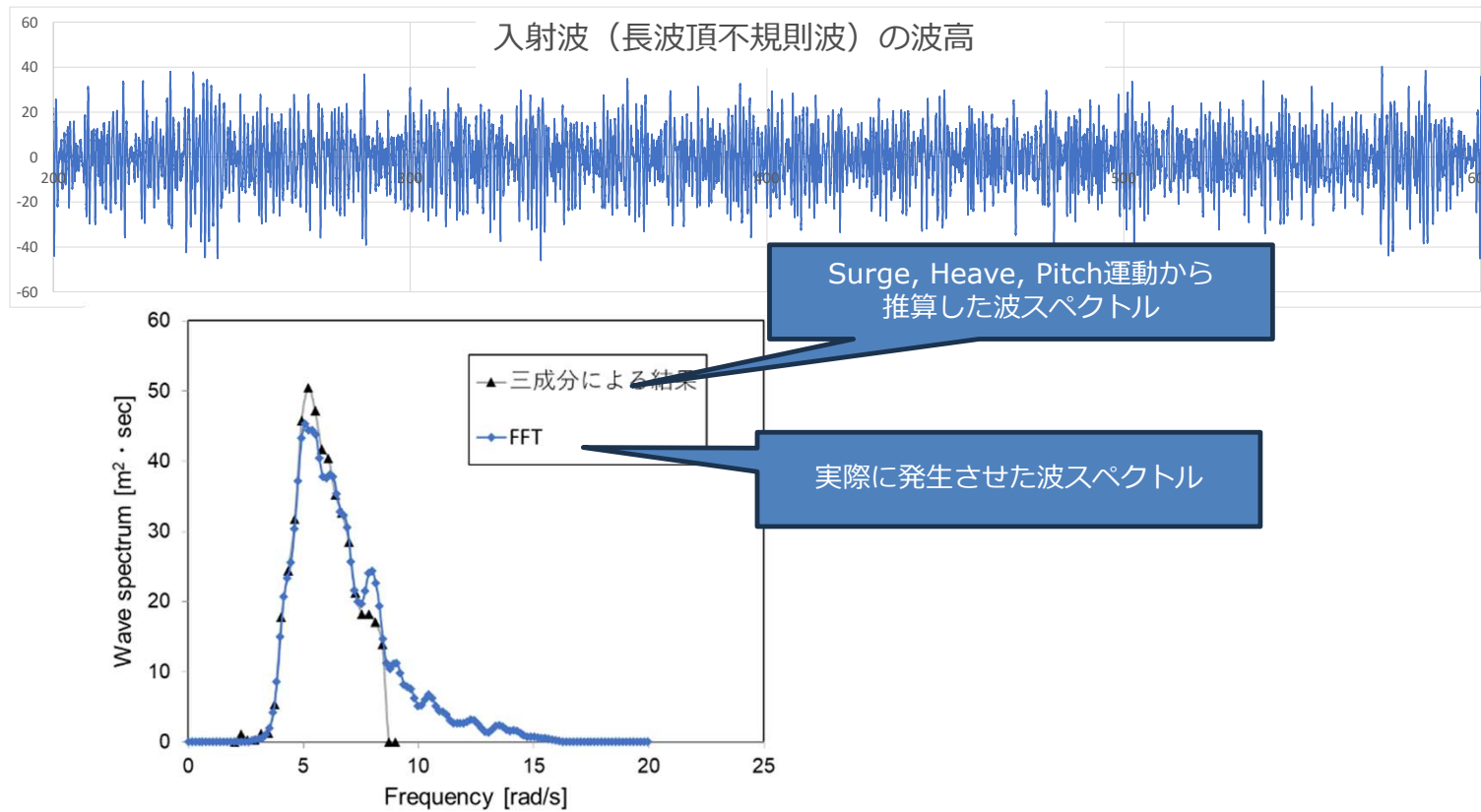
海上技術安全研究所の取り組み



- デジタルツイン技術の開発
 - 関連キーワード：安全性、経済性
- デジタルツインとは？
 - 実機を詳細に模擬した仮想モデルを構築し、実機の現象を把握すること。
 - 遭遇海象の推定手法の構築
 - ウィンドファームにおいては、海象計測は限られたポイントのみ。
 - 浮体の応答から個々の浮体の遭遇する海象を推定する。
 - 浮体に働く応力推定手法の構築
 - 推定された海象を入力とし、浮体に働く応力を求める。
 - FEM解析・水槽試験（2023年6月）を実施。
 - 係留索に働く張力推定手法の構築
 - 疲労余寿命の推定。
 - 構造及び係留索の疲労余寿命を推定する。
- デジタルツイン技術により安全性を確保しながらO&Mコスト低減につなげる。

海上技術安全研究所の取り組み

- デジタルツイン技術の開発
 - 波浪推算結果の例
 - 剛性相似模型を用いた水槽試験を実施。

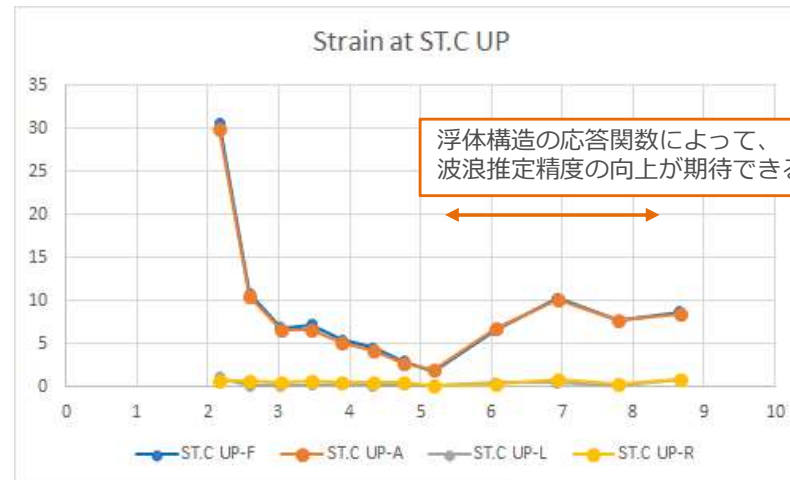
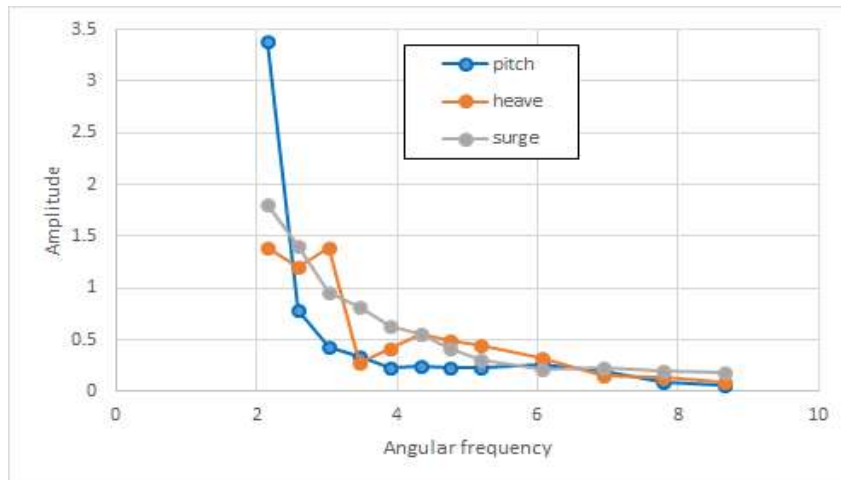


海上技術安全研究所の取り組み

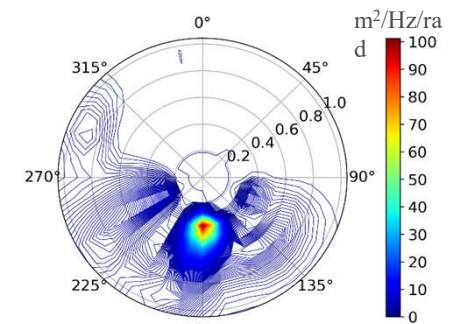
● デジタルツイン技術の開発

– 波浪推算結果の例

– 浮体運動だけでなく構造部歪も合わせて用いることで波浪推算精度を向上。



水槽試験における浮体変位と構造部歪



波浪推算の成果イメージ

まとめ

- 浮体式洋上風力発電の研究について、海上技術安全研究所の研究事例を中心に紹介した。
- 海上技術安全研究所で研究中の主な課題は、以下の通り。
 - 浮体の最適化
 - 製造コストが小さく大量建造に適した浮体は何か？
 - ブレードピッチ角制御の最大限の活用
 - 波浪中応答の低減と発電量の安定化の両立
 - 浮体製造コストの低減につながるか？
 - 合成繊維索を用いた係留の実用化
 - デジタルツイン技術等のO & Mコストの削減
- 上記に加え、海上設置工事の低コスト化等も課題と考えられる。

- 浮体式洋上風力発電の普及に多種多様な企業、研究機関、国が連携する必要がある。

ご清聴ありがとうございました

