

**2023年度成果報告会
プログラムNo.31**

**風力発電等技術研究開発/
洋上風力発電等技術研究開発/
次世代浮体式洋上風力発電にかかる国内外の
技術開発および認証制度についての動向調査**

発表日：2024年2月1日

発表者名：（国研）海上・港湾・航空技術研究所 蓮見 知弘

受託者：（株）ウインドエナジーコンサルティング、
（国研）海上・港湾・航空技術研究所、（一財）日本海事協会

問い合わせ先：<https://www.mpat.go.jp/>

1. 目的

グリーンイノベーション基金事業の先を見越した次世代浮体式洋上風力発電に関する動向調査を行い、わが国での導入が期待できる技術を抽出する。

2. 期間

2023/6/22～2024/3/31

3. 目標（最終）

目標1：国内外の浮体式洋上風力発電のプロジェクトの動向の情報を収集・分析し、今後注目すべき技術を抽出する。

目標2：上記技術を国内で導入するにあたっての課題等を明らかにする。

目標3：実海域実証を早期に実現するための方策を検討する。

4. 成果・進捗概要

目標1と目標2の一部を対象に2023年11月にて中間とりまとめを実施した。

- **グリーンイノベーション基金事業の先を見越した浮体式洋上風力発電の要素技術**を収集するため、国内外の浮体式洋上風力発電プロジェクトの動向を調査。
- 本調査は、**浮体・係留システム等の要素技術**を対象とする。

(1) 次世代浮体式洋上風力発電の要素技術の収集

↓
対象プロジェクト：欧州・米国・中国等のプロジェクト

調査項目：開発主体、風車・浮体・係留システム等の技術、実証期間等

(2) 我が国周辺海域における技術の適合性の評価

↓
要素技術の分類：洋上風力の産業競争力強化に向けた技術開発ロードマップの区分

技術の適合性評価方法：国内の事業者へのヒアリング（適用可能性、課題等）

最終アウトプット：注目すべき技術の抽出

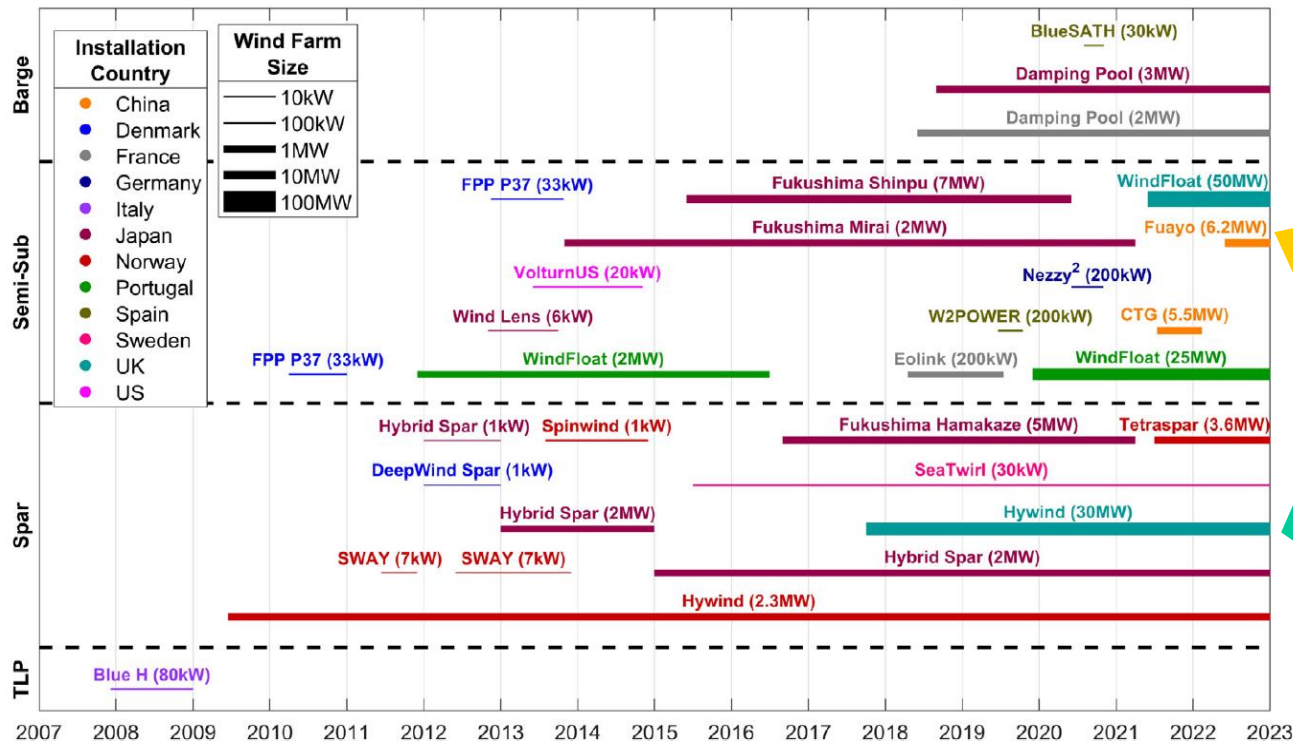
- 開発主体のプレスリリース、EUの研究開発支援先等の**公開情報から収集**した。
- 水槽試験等で検証中の技術を抽出するため、**学術研究等から収集**した。
 - Elsevier社のScopus 等を活用して2019年～2023年の5年間を対象。
 - 波力との複合発電等を除き、浮体・係留システムの新コンセプトがあるものを対象。
- Quest Floating Wind Energyの**有料データベースを活用**した。



- プロジェクトファイナンスが成立した準商用のプロジェクトから、水槽試験等により性能評価を継続しているコンセプトまでの**約70の事例を収集**した。
- ①**風車の大型化**、②**設計の最適化**、③**WF（ウィンドファーム）化を繰り返**し、社会実装に向けての技術の検証が継続して行われていることが明らかになった。

浮体式洋上風力発電の開発経緯

- 欧州の実績では、**実海域実証から社会実装に至るまで約10年から15年程度。**
- プロジェクトファイナンスが成立した案件でも、**大規模WF実現まで課題が残る。**



(出所) C. Edwards, et.al. "Evolution of floating offshore wind platforms: A review of at-sea devices", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183, 2023, 113416.

技術開発の現状（総論）

- 欧州・日本では、①風車の大型化、②設計の最適化、③WF化を繰り返し、主要4つの浮体形式（スパー、セミサブ、バージ、TLP）で商用案件が立ち上がる。

浮体形式	ステップアップの流れ	ステップアップの視点
スパー	Hywind シリーズ ①Hywind Demo (2MW×1基) → ②Hywind Scotland (6MW×5基) → ③Hywind Tampen (8.6MW×11基)	<ul style="list-style-type: none"> ● コンパクト化 ● 新技術導入（サクシオンアンカー、コンクリート浮体、アンカー共有化）
	戸田建設スパー型シリーズ ①100kWスケール (100kW×1基) → ②はえんかぜ (2MW×1基) → ③五島市浮体式ウィンドファーム (2.1MW×8基)	<ul style="list-style-type: none"> ● 新技術導入（サクシオンアンカー、チェーンとポリエステルのハイブリッド係留）
セミサブ	WindFloatシリーズ ①WindFloat (2MW×1基) → ②WindFloat Atlantic (8.3MW×3基) → ③Kincardine (9.5MW×5基、2MW×1基) → ④Golfe du Lion (10MW×3基)	<ul style="list-style-type: none"> ● コンパクト化 ● 係留本数削減 ● チェーンとHMPEのハイブリッド係留
バージ	IDEOLシリーズ ①FLOATGEN (2MW×1基) → ②EOLMED (10MW×3基)	<ul style="list-style-type: none"> ● 浮体を鋼製に変更 ● 係留索をナイロンからポリエステルに変更
TLP	SBM Offshoreシリーズ Provence Grand Large (8.5MW×3基)	- ステップアップの実績はない

供用期間を軸とした分類

● 供用期間を軸として3つの技術開発段階に分類する。

- プレ商用フェーズ（28件）：供用期間20年以上のコンセプトで社会実装を目指す
- FSフェーズ（30件）：供用期間5年以下のコンセプトでFSや短期間の実海域実証を継続
- コンセプトフェーズ（10件）：数値計算や水槽試験で実現可能性を確認

プレ商用フェーズ

WindFloat Atlantic



はえんかぜ



FSフェーズ

テトラ・スパー

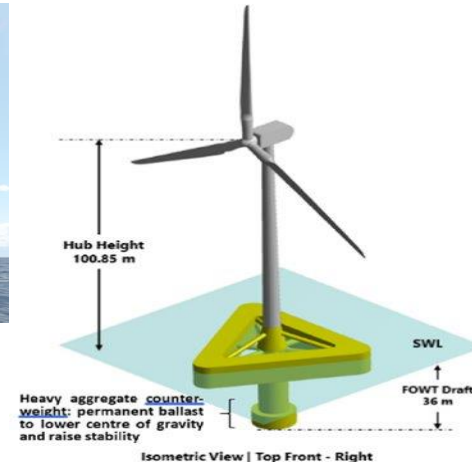


Demo SATH



コンセプトフェーズ

Clement et.al



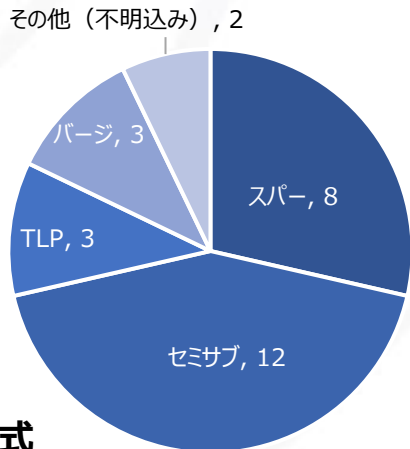
(出所)

- WindFloat Atlantic: <https://www.principlepower.com/news/the-first-floating-wind-farm-in-continental-europe-is-now-fully-operational>
- 東京電力リニューアブルパワー： https://www.tepco.co.jp/rp/business/wind_power/tetraspar_demonstrator_project.html
Saitec： <https://saitec-offshore.com/en/saitec-secures-offshore-site-in-bimep-demosath/>
- C. Clement et.al, "Investigation of viscous damping effect on the coupled dynamic response of a hybrid floating platform concept for offshore wind turbines", Ocean Engineering 225 (2021) 108836.

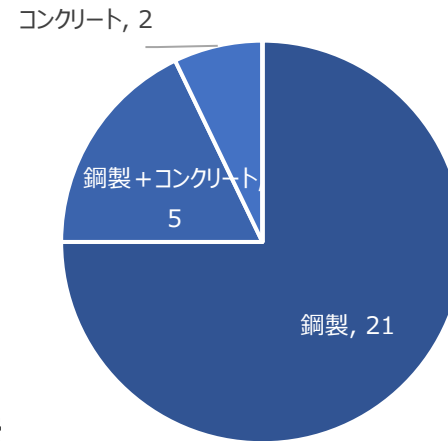
プレ商用フェーズの状況

- 供用期間が20年以上のコンセプトは、合計28件ある。

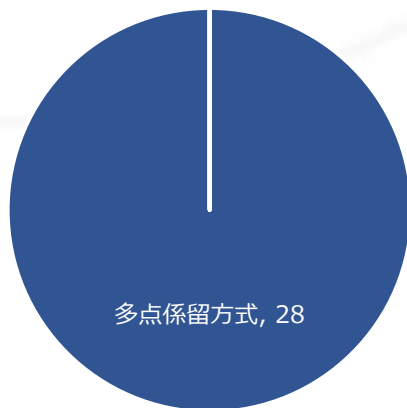
浮体形式



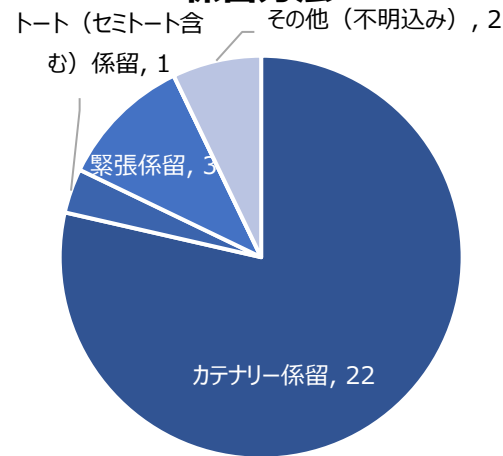
浮体材料



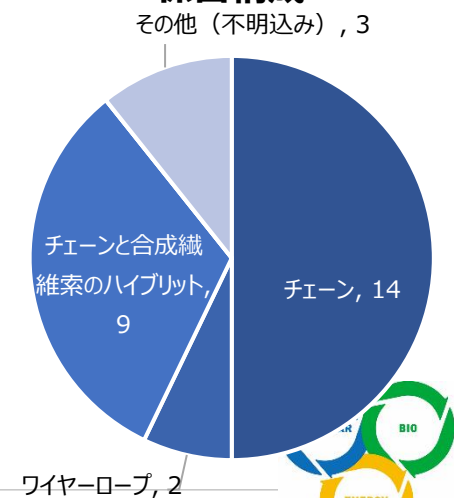
係留方式



係留方法

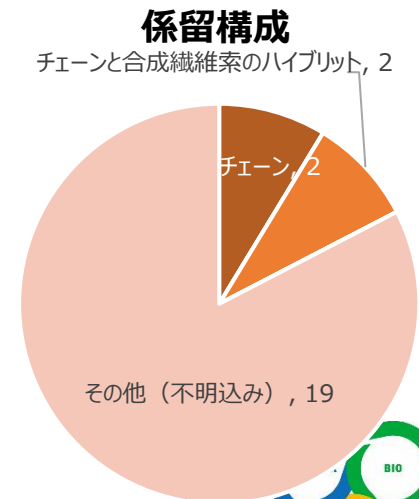
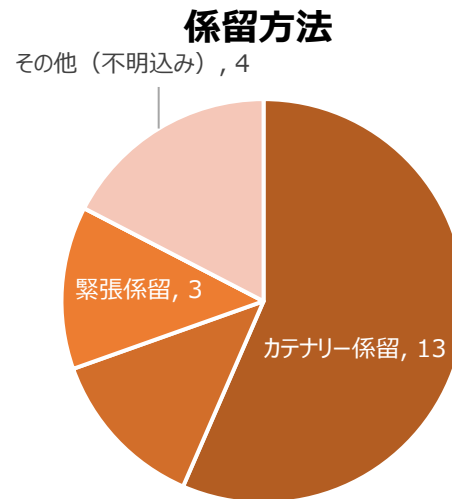
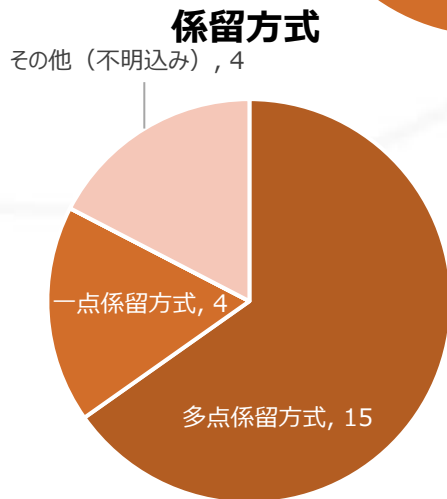
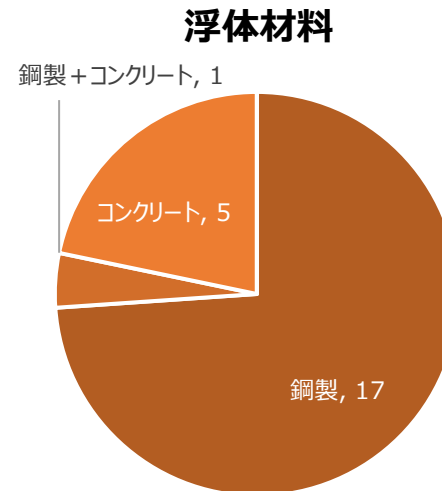
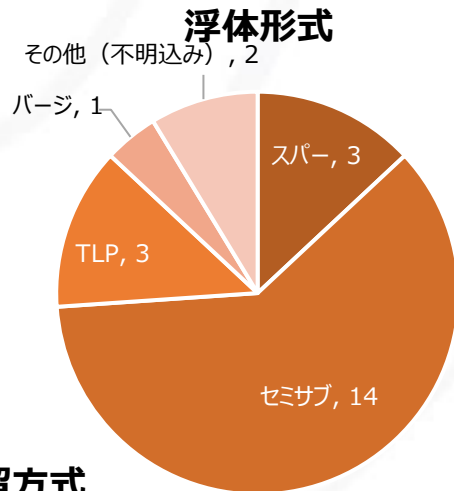


係留構成



FSフェーズの状況（1MW以上）

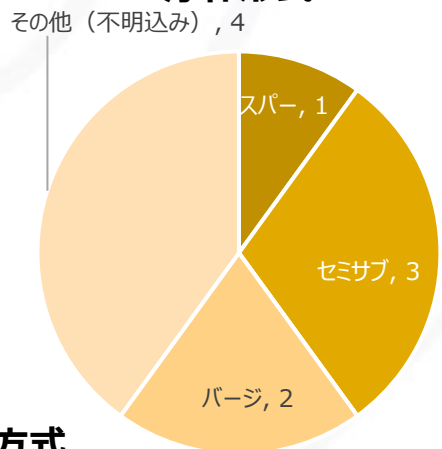
- 供用期間5年以下かつ実機想定のコセプトは、合計23件ある。



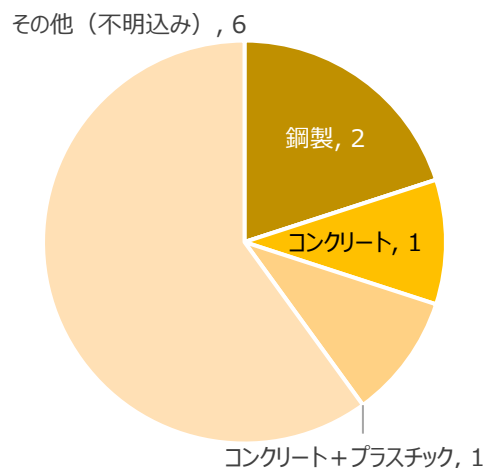
コンセプトフェーズの状況

- 水槽試験等で実現可能性を確認している段階で詳細未定のものが多い。

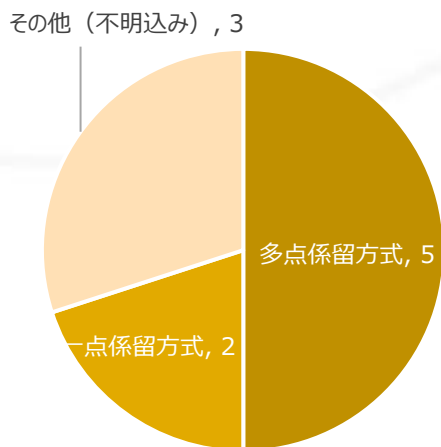
浮体形式



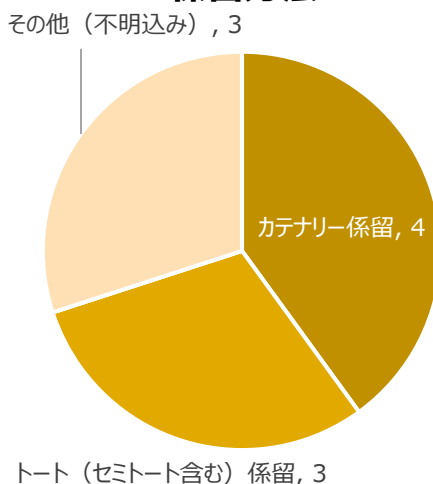
浮体材料



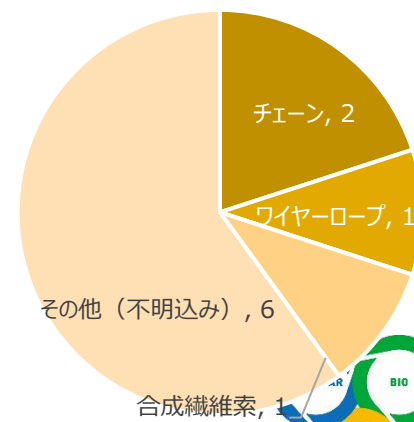
係留方式



係留方法



係留構成



浮体基礎構造：浮体材料（コンクリート）

- コンクリート製浮体の供用期間は、**スパー型では25年**のものがある。他方、**セミサブ型やバージ型では5年以下**のものが多い。

技術の強み

- プレストレストコンクリートは、費用対効果、耐久性の向上、地元からの調達が望める。
- 石油ガス産業の**海洋構造物での実績**がある。

技術の課題

- **動的荷重がかかった時の安全性・耐久性が課題**という意見もある。
- **ライフサイクルでの経済性の判断が難しい**。維持管理費が鋼製浮体と比較して低減できるのか。

Hywind Tampen



FLOATGEN



(出所)

- Hywind Tampen: <https://www.akersolutions.com/what-we-do/projects/hywind-tampen/>
- BW IDEOL: <https://www.bw-ideol.com/jp/floatgenfuroshienshizhengfuroshiekuto>
- Saitec: <https://saitec-offshore.com/en/saitec-secures-offshore-site-in-bimep-demosath/>
- FLAGSHIP: <https://metcentre.no/project/flagship/>

Demo SATH



FLAGSHIP



浮体基礎構造：係留システム①

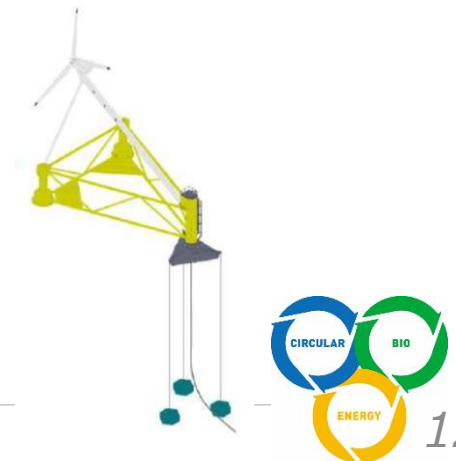
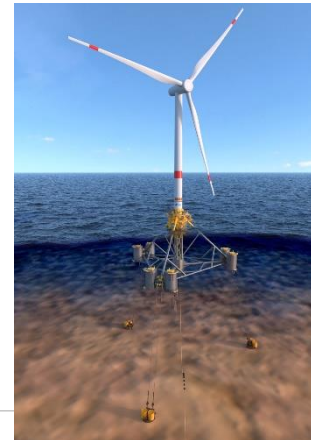
- 共有アンカーとTLP係留システムの開発は、**供用期間20年以上の事例**もある。
- 特に共有アンカーは、**学術的な研究も同時に進んでいる**。

要素技術	技術の強み	技術の課題
共有アンカー	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料費と施工費が低減できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● サクションアンカーのみ対応で海底地質によっては適用できない。
TLP係留システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ● 浮体の動揺を抑制し、風車と海底ケーブルの負担及び発電量低下を軽減。 ● フットプリントが小さく地元理解が得やすい。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 設置後に係留張力監視が必要。維持管理費が相対的にかかる可能性がある。 ● 係留張力のバランスをとるため施工が難。

Hywind Tampen



Provence Grand Large PivotBuoy



(出所)

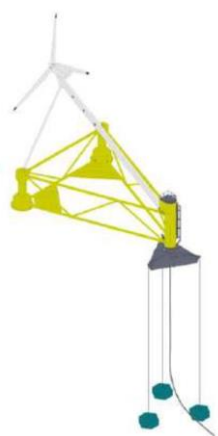
- Hywind Tampen : <https://www.akersolutions.com/what-we-do/projects/hywind-tampen/>
- Provence Grand Large: <https://provencegrandlarge.fr/le-projet/presentation-du-projet/>
- PivotBuoy: PivotBuoy Project final report, results, lessons learnt and best practices for the wind sector

浮体基礎構造：係留システム②

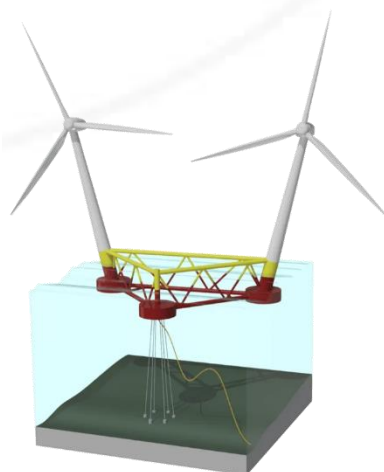
- 1点係留システムの採用事例は、**供用期間が5年以下の水準で開発途上**にある。
- 合成繊維索を用いた係留の材料は、**HMPE、ポリエステルが先行**している。

要素技術	技術の強み	技術の課題
1点係留システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ● 風向に浮体が追従するため漂流力低減。 ● ヨー機構がない風車の搭載で軽量化が実現。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 20年間の設計寿命を全うできる水準にない。（経済性の判断が難しい）
合成繊維索係留システム	<ul style="list-style-type: none"> ● チェーンと比べて材料費の低減が期待。 ● チェーンに不適な大水深で適用可。 	<ul style="list-style-type: none"> ● ライフサイクルでの評価が途上。施工費が高くなる懸念もある。

PivotBuoy



Twin Hub



EOLMED



WindFloat Atlantic



(出所)

- PivotBuoy: PivotBuoy Project final report, results, lessons learnt and best practices for the wind sector
- Twin Hub: <https://www.wunderhexicon.es/technology#DesignEvolution>
- WindFloat Atlantic: <https://www.principlepower.com/news/the-first-floating-wind-farm-in-continental-europe-is-now-fully-operational>
- EOLMED: Environmental and Social Impact Assessment (ESIA)

浮体基礎構造：ヤード等での製造技術

- ヤード等での製造技術の採用事例は、**供用期間が5年以下の水準で開発途上。**

技術の強み

- **地元のインフラ設備を使った組立と設置が可能。**
- 大型風車への適用もしやすい。拡張性に優れる。
- 重量は数分の一、**製造は工場自動化され、組み立てと設置は数日～数週間。**

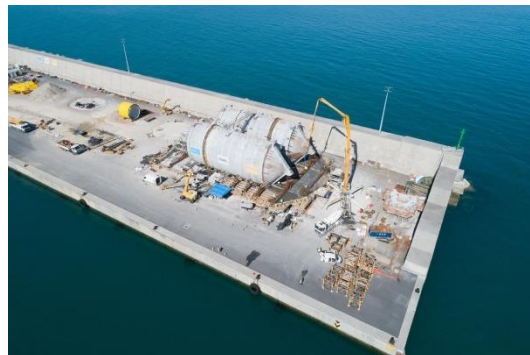
技術の課題

- ボルトの増し締めなど、**維持管理において点検頻度が多くなる可能性がある。**
- **20年間の供用期間を全うできる水準にない。**
(経済性の判断が難しい)

TetraSpar



Demo SATH



PivotBuoy



(出所)

- TetraSpar: https://www-stiesdal-com.translate.goog/offshore/the-tetraspar-full-scale-demonstration-project/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ja&_x_tr_hl=ja&_x_tr_pto=sc
- Demo SATH: <https://saitec-offshore.com/en/projects/demosath/>
- PivotBuoy : <https://pivotbuoy.eu/pivotbuoy-platform-takes-shape/>

まとめ：今後の取組に向けた提言

- 浮体式洋上風力発電を継続的かつ加速度的に導入するためには、**プレ商用フェーズ**のコンセプトを**産業化するための道筋をつける**必要がある。
- グリーンイノベーション基金事業の先を見越した技術を商用化するためには、**現時点で有望な技術を見極め、実海域実証等の技術開発の早期着手**が必要。
- **次世代浮体式実証では、追加的な検証が必要な要素技術やFSフェーズを対象に以下を実施**することを提案する。
 - 開発から撤去までの**ライフサイクル**における**実海域実証**で要素技術とシステムを検証
 - **標準化、ガイドライン新規作成**に資するデータの取得と検証等の**共通基盤の整備**
 - **実証事業の早期実現**に向けた制度の実現に向けた対応
 - EEZへの展開を見据えた**大型風車や大水深への適用可能性**も重要