

浮体式洋上風力発電所に 対応した基地港湾の最適な規模について

令和3年10月26日
国土交通省 港湾局

用語の定義

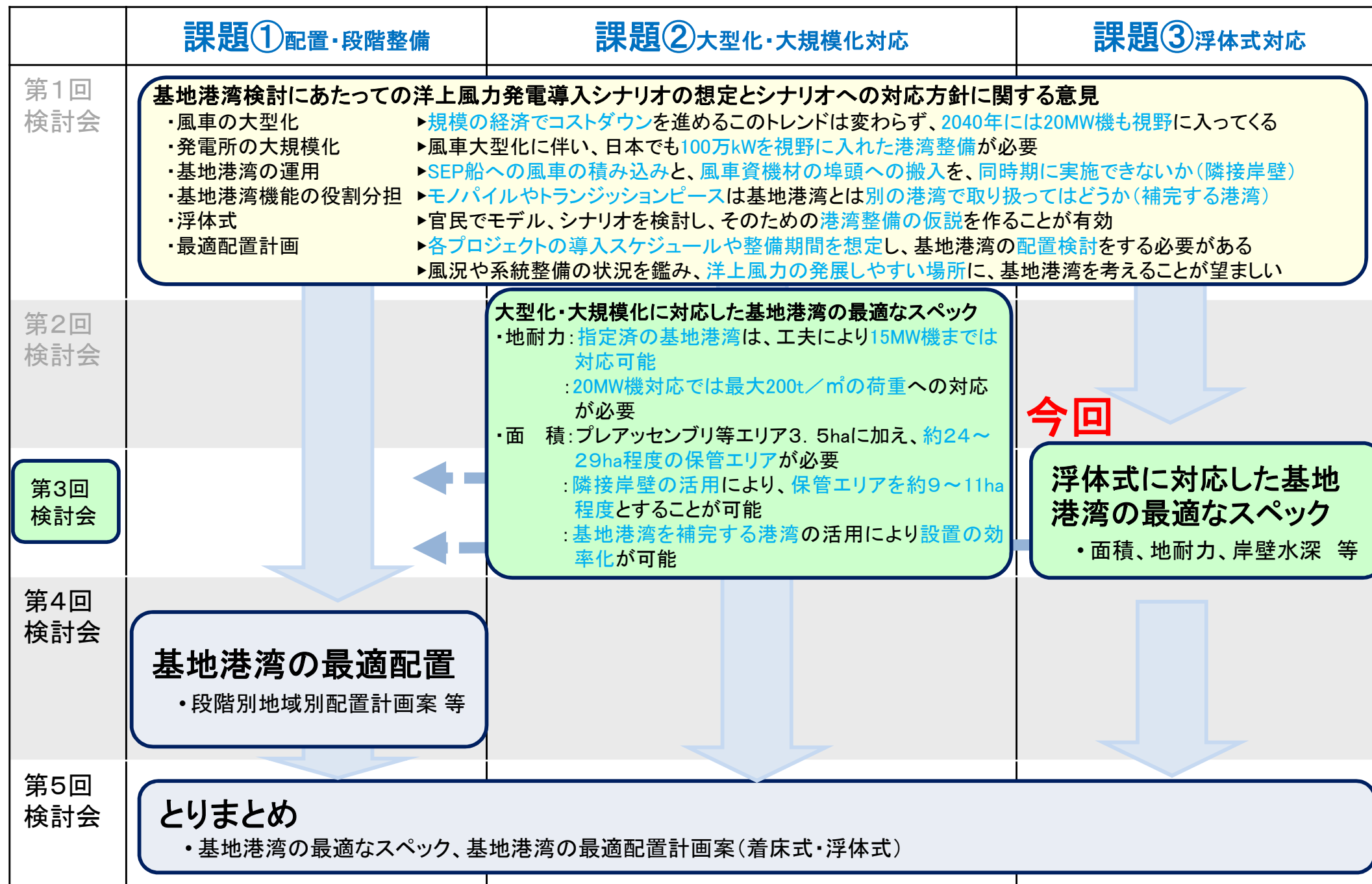
本資料で使用する用語	定義等	備考
プレアッセンブリ・資機材搬出入エリア	洋上風力発電設備のプレアッセンブリ、資機材の搬出入を行うエリア	図表中では一部「PA等エリア」、「プレアッセンブリ等エリア」と略して使用
保管エリア	洋上風力発電資機材の保管を行うエリア	—
隣接岸壁	プレアッセンブリ・資機材搬出入エリアとなっている海洋再生可能エネルギー発電設備等取扱埠頭に隣接又は近接し、洋上風力発電資機材の搬出入に使用できる岸壁	—
基地港湾を補完する港湾	基地港湾において実施する洋上風力発電設備の設置及び維持管理のための人員及び物資の輸送を補完する基地港湾以外の港湾	図表中では一部「補完する港湾」と略して使用
アッセンブリ	タワー・ナセル・ブレードの組み立てを浮体基礎上で実施すること	

目 次

1. 第1回、第2回検討会での検討結果の概要と今後の進め方
2. 浮体式洋上風力発電の概要、優位性、課題
3. 浮体式洋上風力発電プロジェクトの状況
4. 浮体式洋上風力発電プロジェクトにおける基地港湾での施工事例等
5. 基地港湾の規模
6. 本日も議論頂きたい内容

1. 第1回、第2回検討会での検討結果の概要と今後の進め方

(1) 第1回、第2回検討会の検討結果と今後の進め方



1. 第1回、第2回検討会での検討結果の概要と今後の進め方

(参考)指定済の基地港湾の評価

岸壁の地耐力

- ・大型風車のプレアッセンブリ時の荷重に対する評価
 - : 10～15MW機 → 砕石等による荷重分散など施工上様々な工夫により可能
 - : 20MW機 → 施工上の工夫に加えて、新たな改良等が必要
- ・資機材搬入時の荷重の対する評価
 - : 本船クレーン利用 → 20MW機までの資機材搬入が可能
 - : 陸上クレーン利用 → 多くの場合、資機材搬入時に岸壁の安定を評価する必要あり

洋上風力発電設備の設置可能数

- ・プレアッセンブリ等エリアの岸壁（海洋再生可能エネルギー発電設備等取扱埠頭のこと、以下同じ。）のみ利用する場合に比べ、これに加えて隣接岸壁も利用する場合の方が、風車の年間設置可能数が大幅に増加する。

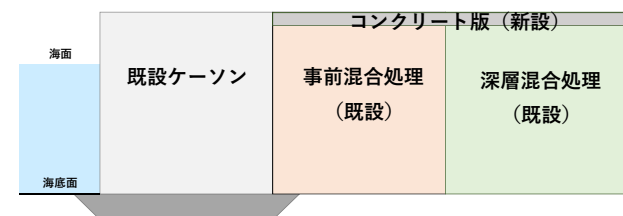
地耐力35t/m²の基地港湾において大型風車を取り扱う場合に 必要な施工上の工夫や改良方法等(イメージ図)

(工夫、改良方法)

コンクリート版等による荷重分散

(工夫、改良方法)

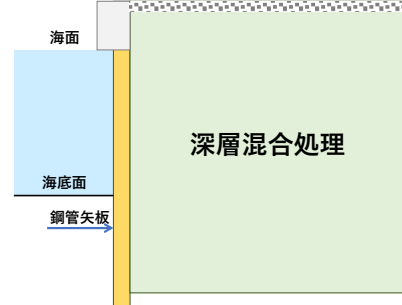
砕石等による荷重分散



事前混合処理: $qu=400\text{kN/m}^2$

深層混合処理: $qu=1800\text{kN/m}^2$

※ qu ＝一軸圧縮強度。400kN/m²は概ね41t/m²に相当



深層混合処理: $qu=2500\text{kN/m}^2$

※ qu ＝一軸圧縮強度。2500kN/m²は概ね255t/m²に相当

基地港湾の面積を 18haとした場合の年間設置可能数

	PA等エリアの岸壁のみを利用した場合	PA等エリアと隣接岸壁を利用した場合
10MW機	22基(22万kW)	60基(60万kW)
15MW機	15基(23万kW)	39基(59万kW)
20MW機	10基(20万kW)	39基(78万kW)

(注)表中括弧内の数字は、発電機出力×基数により発電所の出力に換算した場合のkW数

設計の観点から、いずれの構造形式の場合も、クレーン接地圧に対する施工上の工夫や改良に加え、構造物の破壊モードに対する性能照査が必要

注) 検討結果は一定の仮定の下で試算した結果であることに留意が必要

1. 第1回、第2回検討会での検討結果の概要と今後の進め方 (参考)風車大型化、発電所大規模化への対応

風車大型化

- ・20MW機までの大型風車に対応可能な新たな岸壁の地耐力
→約200t/m²のクレーン荷重に対応できるよう整備する必要あり
* 必要な地耐力は、仮に荷重分散を1/4とする場合は50t/m²となる。

発電所大規模化

- ・50万kW規模の発電所の施工に必要な面積 * 基礎1年、風車・タワーの1年の合計2年での施工を想定
: PA等エリアの岸壁のみ利用する場合
→ プレアッセンブリ等エリア3.5ha + 約24~29ha程度の保管エリアが必要
: PA等エリアの岸壁に加え、隣接岸壁も利用する場合
→ 隣接岸壁^(注1)も利用する場合は、保管エリアの面積約9~11ha程度で施工が可能
・海外では発電所への風車の設置を効率的(短期間)に実施するため、基地港湾を補完する港湾を利用。

注1) 隣接岸壁は少なくとも10t/m²の荷重に対応する必要がある(詳細は第2回 検討会資料3 P15参照)。

大型風車の取扱いに当たって想定すべき荷重

( は荷重分散後の荷重が35~50t/m²)

作業区分別の吊り荷種類		利用クレーン	クレーン・SPMT・資機材による荷重
プレアッセンブリ	10MW機フルタワー	1600t吊	約63t/m ²
	15MW機トップタワー	1600t吊	約55t/m ²
	20MW機トップタワー	3200t吊	約156t/m ²
資機材搬入	全部材	本船クレーン	約10t/m ²
	10MW機ナセル	1600t吊	約58t/m ²
	15MW機ナセル	3200t吊	約175t/m ²
	20MW機ナセル	3200t吊	約192t/m ²
	10MW機モノパイル	3200t吊 × 2	約146t/m ²
	15MW機モノパイル	3200t吊 × 2	約176t/m ²
	20MW機モノパイル	3200t吊 × 2	約192t/m ²

50万kW洋上風力発電所 を施工するために必要な保管エリア面積等

	PA等エリアの岸壁のみを利用した場合	PA等エリアと隣接岸壁を利用した場合
10MW機	24.0ha (27.5ha)	10.5ha (14.0ha)
15MW機	28.5ha (32.0ha)	9.0ha (12.5ha)
20MW機	26.1ha (29.6ha)	11.0ha (14.5ha)

(注) 表中括弧内の数字は、プレアッセンブリエリア3.5haを加えた場合の面積

注2) 検討結果は一定の仮定の下において試算した結果であることに留意が必要

1. 第1回、第2回検討会での検討結果の概要と今後の進め方 (参考)台湾の基地港湾台中港5A、5Bバース(2020年完成)の諸元

- 2020年に完成した台湾の基地港湾である台中港5A、5Bバースは、岸壁延長400m、水深-11m、地耐力50t／㎡で4C岸壁背後の周辺用地も含め17haでの利用が想定されている。

台中港の基地港湾5A、5Bバースの事例(2020.2完成)

○5A、5Bバース位置図



←5A、5Bバース

○5A、5Bバース断面

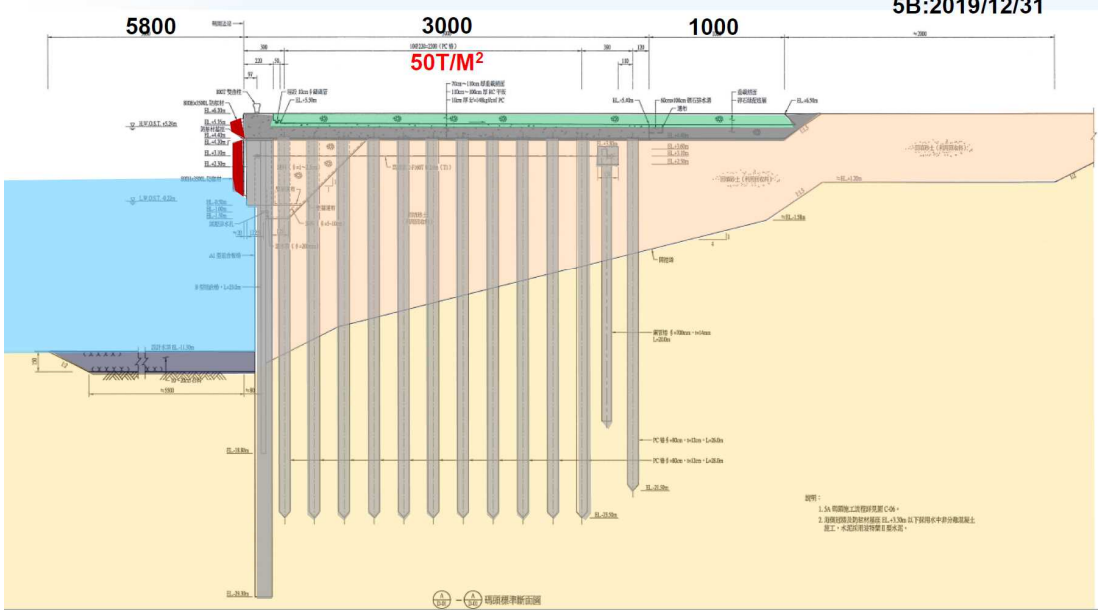
・延長 : 400m
 ・地耐力 : 50t/㎡

・水深 : -11m
 ・構造 : 矢板式

➤ Design Drawing of 5A、5B Berth

Completion date:
5A:2018/12/31
5B:2019/12/31

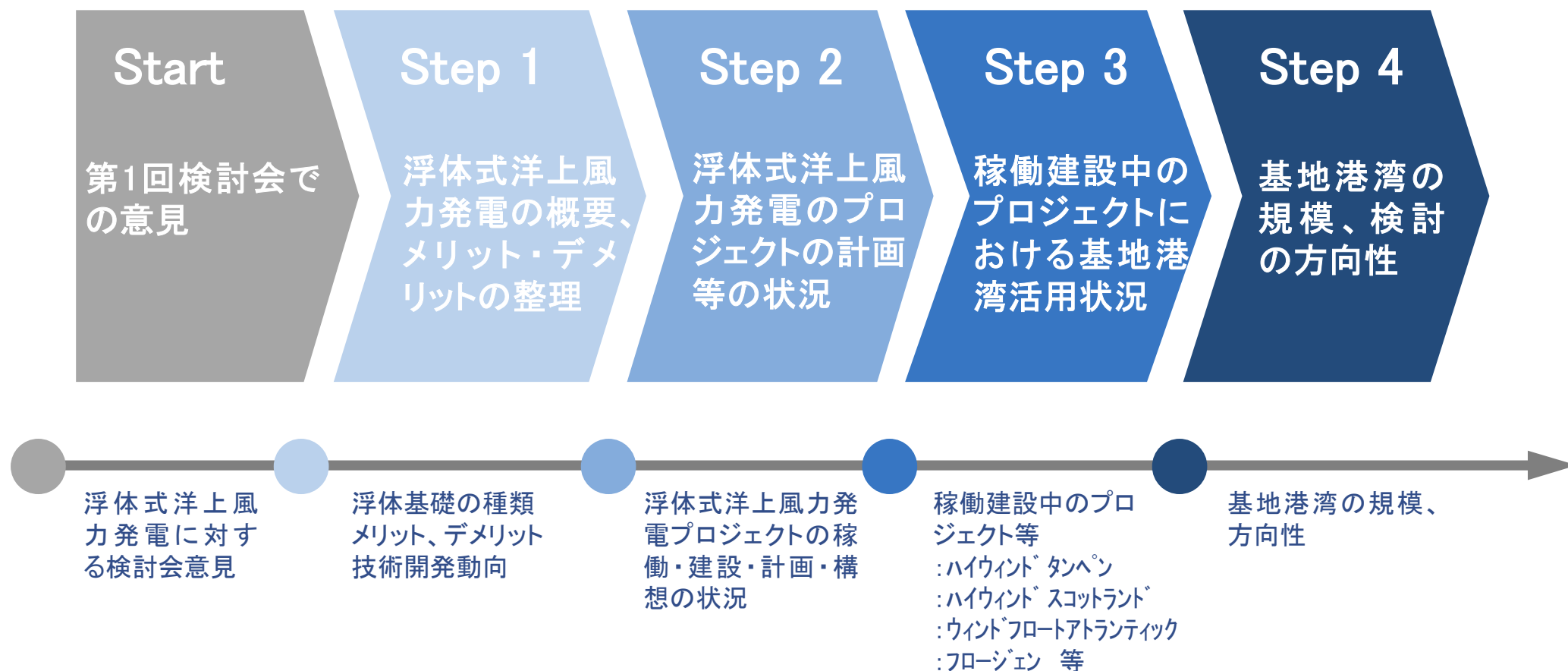
○5A、5Bバース利用イメージ



(出所) An Environment Study Of The Offshore Wind Farm in The Central Taiwan and The Planning of Fabrication Yard等より作成

(2) 浮体式洋上風力発電の基地港湾の規模検討に関するフロー

浮体式洋上風力発電の基地港湾の規模検討を下記のフローに従い進める。

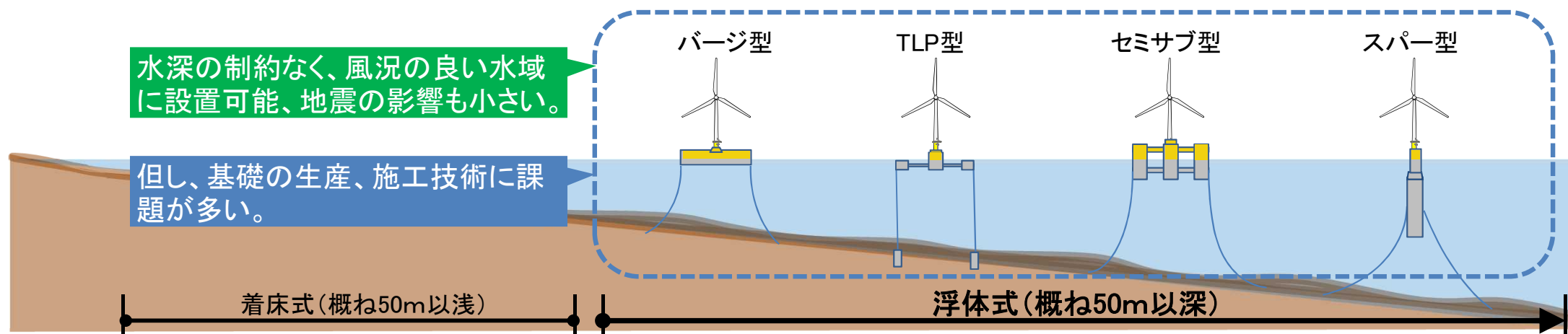


2. 浮体式洋上風力発電の概要、優位性、課題

(1) 主な洋上風力発電設備の基礎形式とその特徴

- 浮体式は、基礎形式が主に4種類あり、水深に関わらず風況の良い場所に設置できる反面、生産・施工技術等に課題が多い。

浮体式洋上風力発電設備の基礎形式とその特徴



	バージ型	TLP型	セミサブ型	スパー型
長所	・構造が単純で低コスト化可 ・設置時の施工容易	・係留による占用面積が小さい ・浮体の上下方向の揺れが抑制される	・港湾施設内において組立が可能 ・浮体動揺が小さい	・構造が単純で製造容易 ・構造上、低コスト化が見込まれる
課題	・暴風時の浮体動揺が大。安全性等の検証が必要	・係留システムのコストが高い	・構造が複雑で高コスト ・施工効率、コストの観点からコンパクト化が課題	・浅水域では導入不可 ・施工に水深を要し設置難
設置水深	・50～100m	・50～100m	・50m超	・100m超
導入事例	・フローゼン、ひびき等	ー ＊現時点では 実機なし	ウインドフロートアトランティック キンカーティン等	ハイウインド スコットランド ハイウインド タンペン等

(出所) 着床式の設置水深はFoundations in Offshore Wind Farms: Evolution, Characteristics and Range of Use. Analysis of Main Dimensional Parameters in Monopile Foundationsに示された2018年時点での欧州実績、浮体式は、NEDO資料等に基づき記載

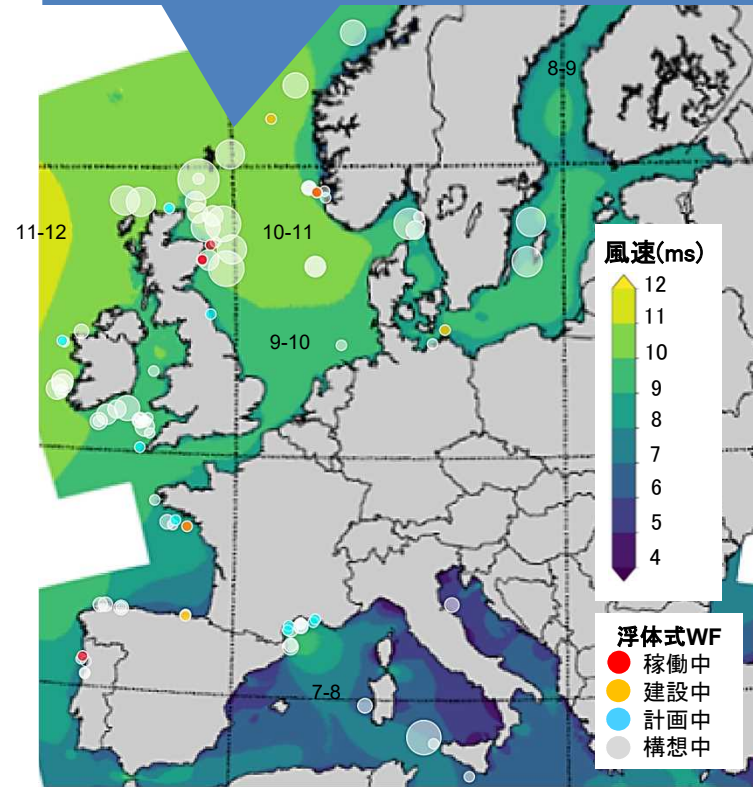
2. 浮体式洋上風力発電の概要、優位性、課題

(2) 浮体式洋上風力発電の優位性と日本での可能性

- 浮体式洋上風力発電所は、水深の制約が小さく、平均風速の大きい水域に設置可能で1基当たり発電量の増加が見込まれる。また地盤条件や地震の影響を受けにくいいため基礎の標準化・コストダウンが可能である。
- 一方で、沖合に設置するため、着床式と比較して建設費・維持管理費のコストアップの可能性もある。

欧州の浮体式洋上風力発電所の分布

欧州の浮体式洋上風力発電は水深は深くとも風況の良い場所に立地

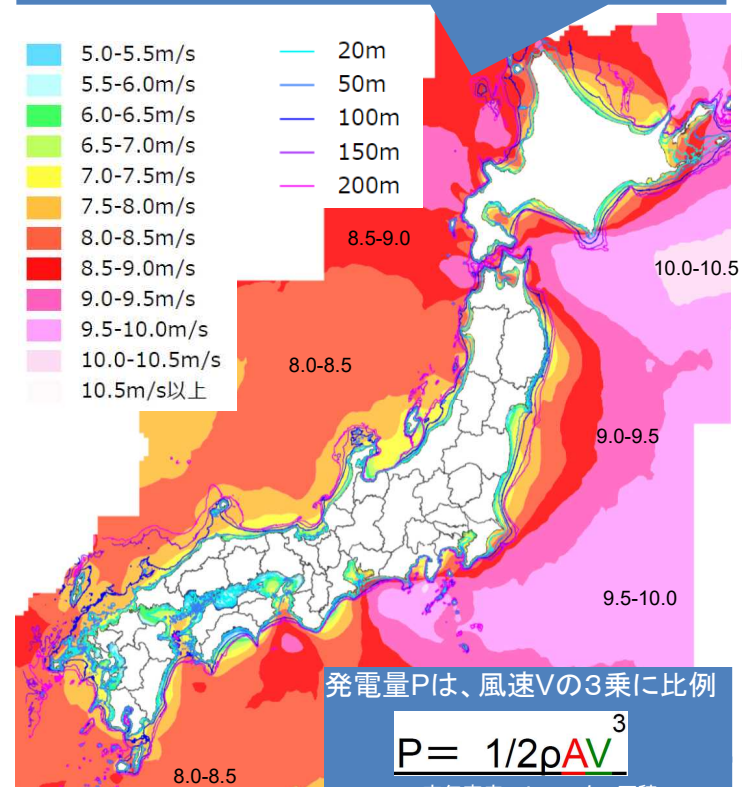


(注) 1989～2018年迄のH=100mにおける平均風速

(出所) Europe's offshore winds assessed with synthetic aperture radar, ASCAT and WRF (DTU)

国内の風況分布(H140m)と水深

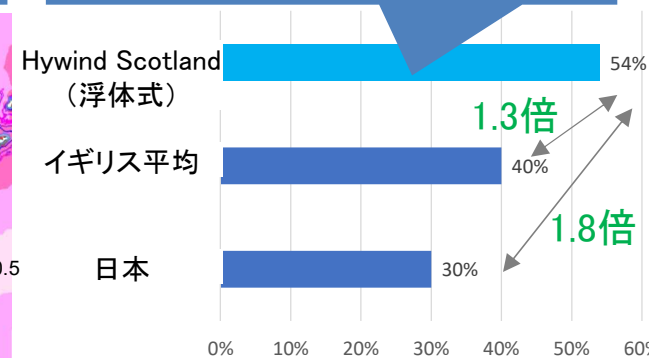
国内においても水深-50m以深に風況の良い水域が分布



(出所) Neowins

設備利用率の比較

風況の良い水域に立地する浮体式洋上風力発電は高設備利用率



(出所) <https://energynumbers.info/uk-offshore-wind-capacity-factors>,
https://www.meti.go.jp/shingikai/santeti/pdf/063_02_00.pdfより作成

風速が7m/s→8m/sになると

※ Vの3乗効果により
(8*8*8)/(7*7*7)=512/343=1.49

約1.5倍の発電量となり
効果が非常に大きい。

2. 浮体式洋上風力発電の概要、優位性、課題

(3) 浮体式洋上風力発電に関して期待される技術

- 浮体式洋上風力発電に関しては、世界的に基礎の製造、輸送・施工の方法が確立しているとはいえ、技術開発の余地が大きい。
- 国内には、造船、建設技術の基盤があり、日本の地域特性を活かした浮体基礎の大量生産技術の確立、効率的な輸送・施工技術の開発が期待されている。

浮体式基礎製造に関する技術開発の例と港湾との関係

項目	技術開発(重点項目)の例	港湾との関係
一体設計	・風車、浮体、係留システム、ダイナミックケーブルの挙動・性能・施工性・コストを考慮した一体設計技術の確立。	—
浮体基礎の最適化	・風車の大型化および日本固有の気象・海象条件に対応した浮体基礎の最適化および材料削減によるコスト低減	—
係留システムの最適化	・共有アンカー、衝撃荷重、マリングロス等を考慮した係留システムの最適化、大水深又は浅海域における係留システムの低コスト化技術の提案、並びに漁業協調に貢献する海中占有面積の小さいTLP係留システムの開発。	—
浮体の量産化	・連続製造に適した浮体を設計し、浮体製造のパネル化やブロック化、分割施工、ドックに依存しない浮体の大量製造等の技術を確立。	港湾施設を活用した浮体の生産の可能性
ハイブリッド係留システム	・軽量化可能な合成繊維係留索の特性を生かし、合成繊維係留索と鋼製係留索からなるハイブリッド係留システムの設計・製造技術を開発し、係留システムの低コスト化。	係留索の保管エリア面積低減の可能性

(出所) 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(2021.4、NEDO、第3回 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会作業部会資料)を基に、港湾との関係を追加し作成

浮体式設置(輸送・施工)に関する技術開発の例と港湾との関係

項目	技術開発(重点項目)の例	港湾との関係
低コスト施工技術の開発	・浮体製作場所に対応した浮体基礎の浜出し・曳航方法、クレーン付き台船やジャッキアップ型作業構台を活用した大型風車の据え付け方法、ハイブリッド係留システムおよび共用アンカーの施工技術の開発による低コスト化。	施工方法により基地港湾の必要機能に影響

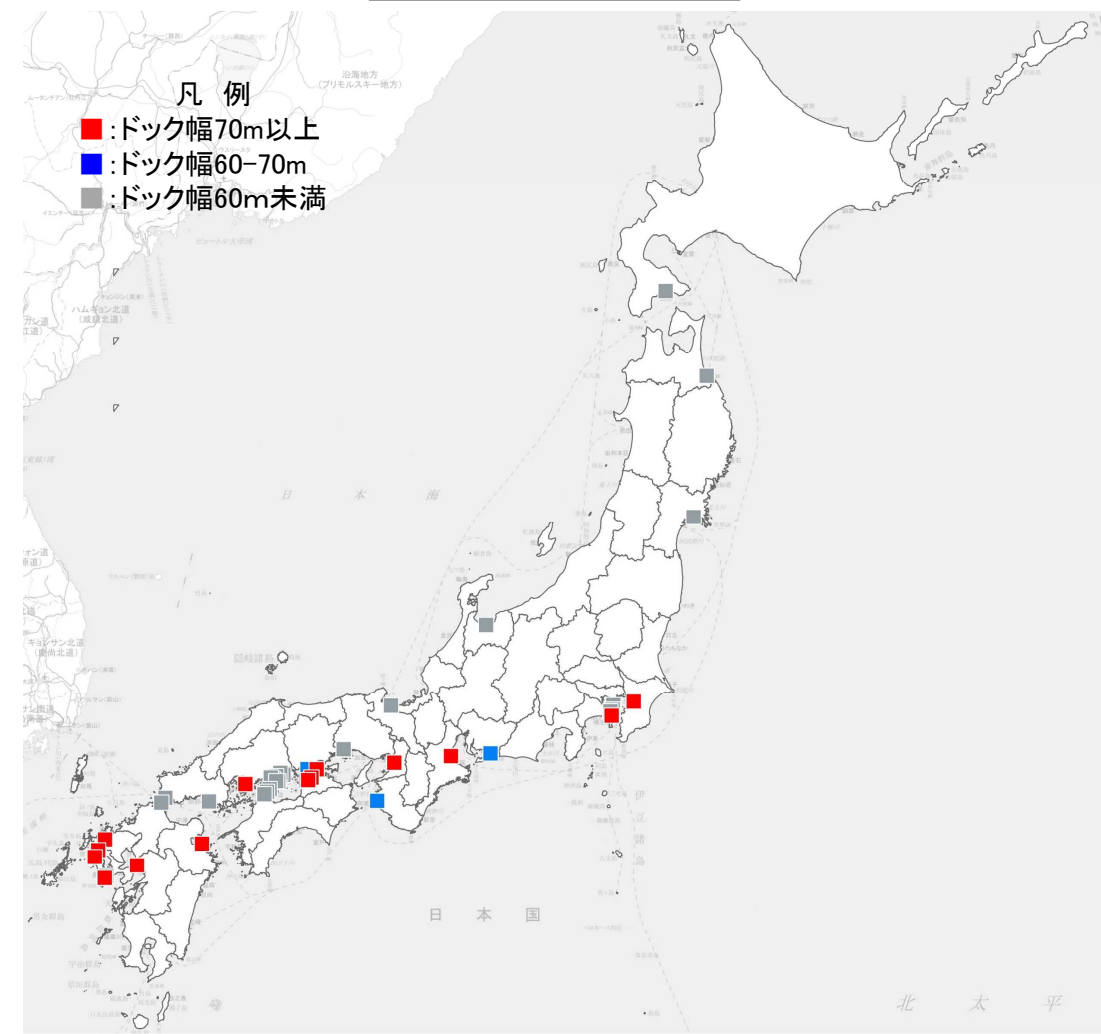
(出所) 同上

2. 浮体式洋上風力発電の概要、優位性、課題

(参考)国内造船所の立地

- ドックの少ない欧州ではドックに依存しない浮体基礎製造の取組が進んでいるが、日本は、瀬戸内海、九州等を中心に造船所ドックが多数立地しており、これらの基盤を活かした生産技術の確立も期待されている。

国内造船所の立地



(出所) 日本埋立浚渫協会資料を基に作成

国(地域別)建造能力と稼働率

Year	日本		韓国		中国		欧州		その他		合計	
	m. CGT	% Util.	m. CGT	% Util.	m. CGT	% Util.	m. CGT	% Util.	m. CGT	% Util.	m. CGT	% Util.
2014	9.0	77%	14.9	84%	19.8	62%	3.3	71%	4.8	79%	51.8	73%
2015	8.9	77%	14.9	88%	16.8	80%	3.2	67%	4.4	84%	48.2	82%
2016	8.8	85%	15.3	82%	16.0	73%	3.2	87%	3.9	64%	47.3	78%
2017	8.8	78%	14.3	76%	14.5	83%	3.1	87%	3.2	86%	43.9	80%
2018	8.8	88%	12.4	67%	13.9	86%	3.0	81%	3.0	73%	41.1	79%
2019(f)	8.2	78%	11.9	66%	13.3	84%	2.9	84%	2.8	60%	39.1	76%
2020 (f)	8.3	79%	12.1	68%	13.7	86%	3.2	81%	2.9	65%	40.2	77%
% 2018-20	-6%		-2%		-2%		7%		-3%		-2%	

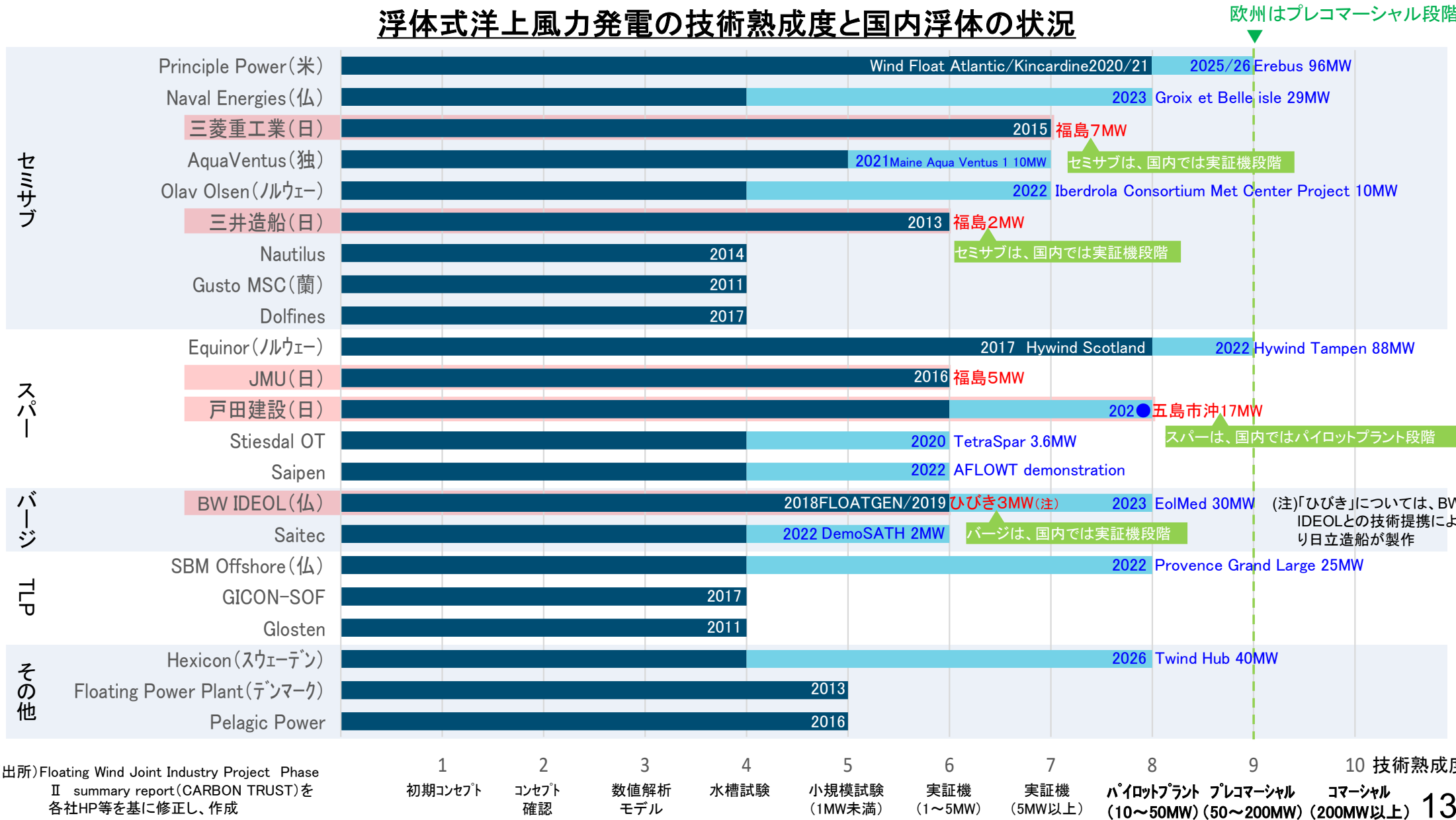
欧州上位造船国(竣工隻数・CGT)

Builder Country	2009-2013		2014-2018	
	No.	m. CGT	No.	m. CGT
オランダ	476	1.7	259	1.1
トルコ	375	2.2	331	1.2
ノルウェー	245	2.2	120	1.1
ドイツ	134	2.9	67	2.1
スペイン	201	1.3	97	0.4
ロシア	128	0.7	81	0.4
ルーマニア	89	1.4	128	1.2
イタリア	101	2.5	43	2.1
ポーランド	84	0.6	37	0.2
クロアチア	72	1.1	58	0.4
フランス	30	0.8	19	0.7
ウクライナ	30	0.1	11	0.0
ギリシャ	22	0.1	21	0.1
デンマーク	24	0.5	3	0.0
スロバキア	22	0.1	0	0.0
その他16か国	61	0.9	48	0.8
Total	2,094	18.7	1,323	11.9

(出所) 上下表とも欧州造船業概況調査(2019.3、日本船舶輸出組合)

(4)浮体式洋上風力発電の技術熟成度と国内浮体の状況

- 浮体式は、現時点では商用化に至っておらず、量産等の技術課題を解決すべく、発電所規模5万KW超のプレコマーシャルの規模の案件が計画されている。



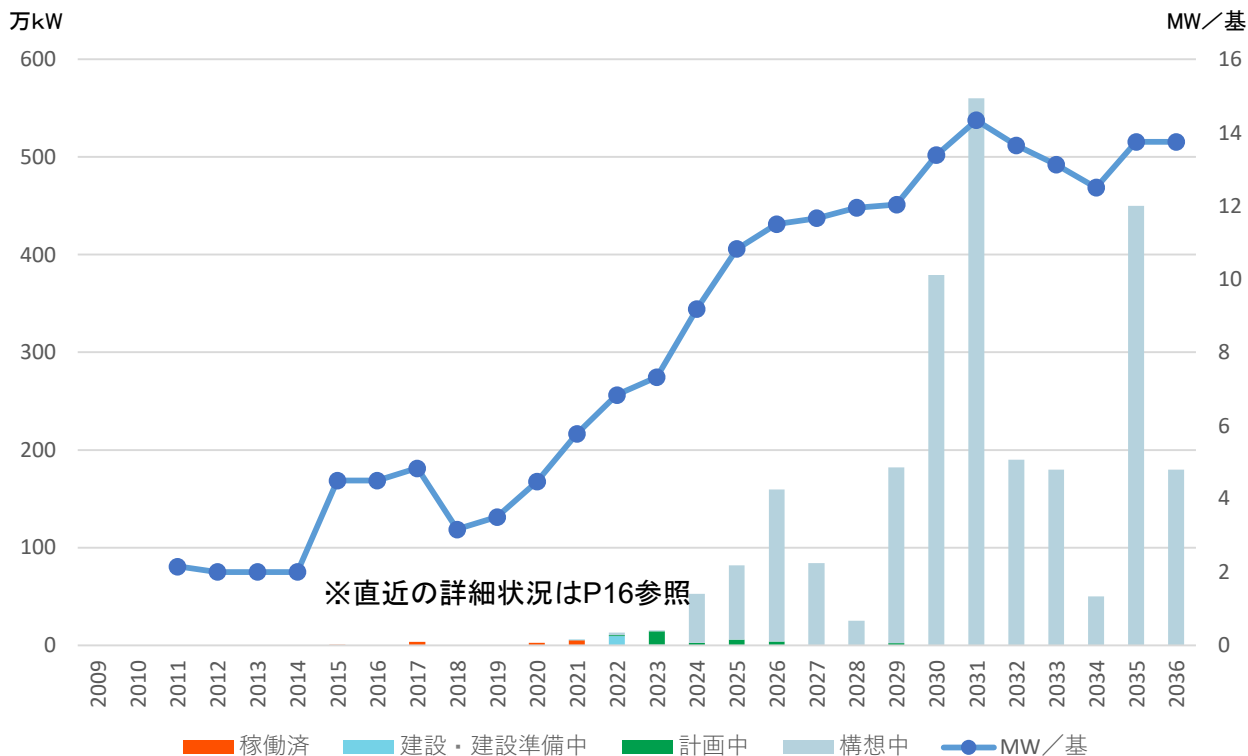
3. 浮体式洋上風力発電プロジェクトの状況

(1) 浮体式洋上風力発電に係るマーケットの状況

- 2030年までには、欧州、アジアを中心に浮体式洋上風力発電の運転開始が見込まれている。浮体基礎は、判明分ではセミサブが多いものの、未定等が多数を占める。

浮体式洋上風力発電の導入状況(1MW／基以上のプロジェクトの集計結果)

進捗状況(棒グラフ)・タービンサイズ(折線)別



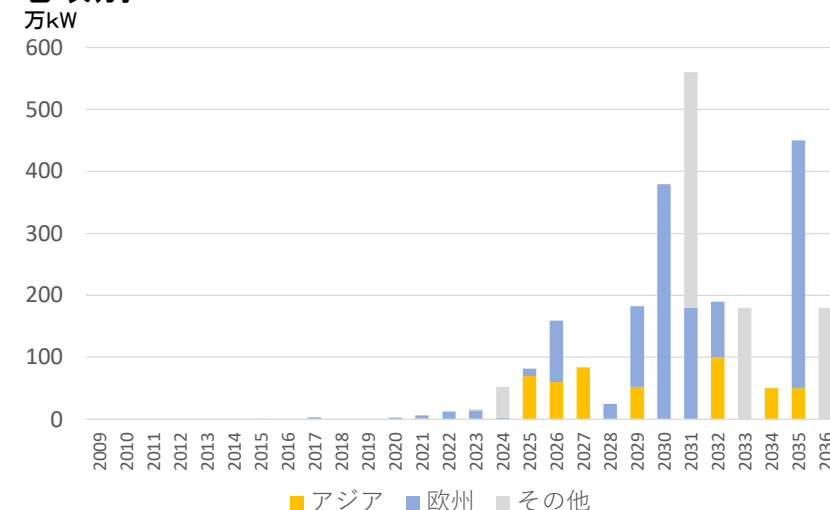
(注1) MW/基礎は3か年移動平均。浮体基礎別のその他は、未定+その他で未定が多数を占める。

(注2) 進捗状況は4C OffshoreのStatusに基づき、稼働済(Fully Commissioned, Decommissioned)、建設・建設準備中(Under Construction, Pre-Construction)、計画中(Consent Authorised)、構想中(Development Zone, Concept・Early Planning)とした。以下同様。

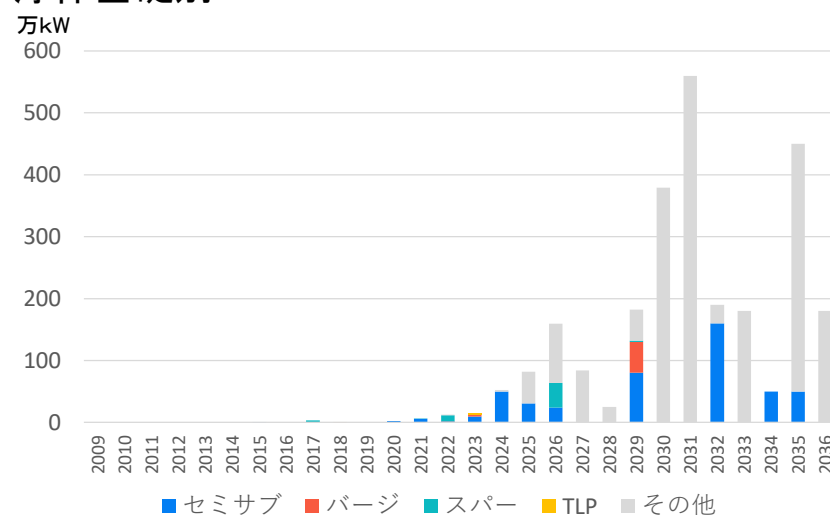
(注3) 上記グラフには、年次不明分796万kW分を含まない。

(出所) 4C offshoreより作成

地域別



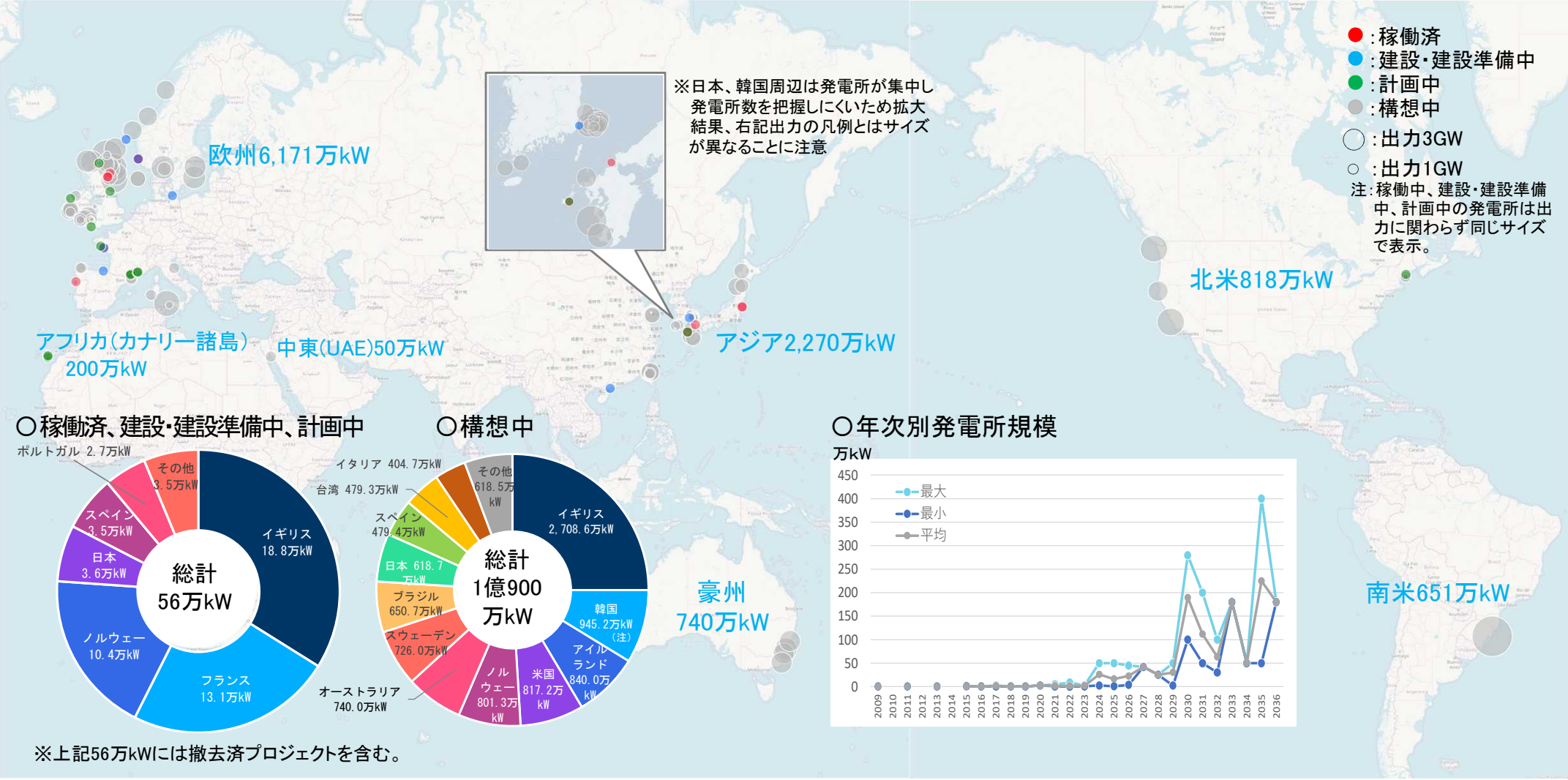
浮体基礎別



(2) 浮体式洋上風力発電プロジェクトの分布—世界

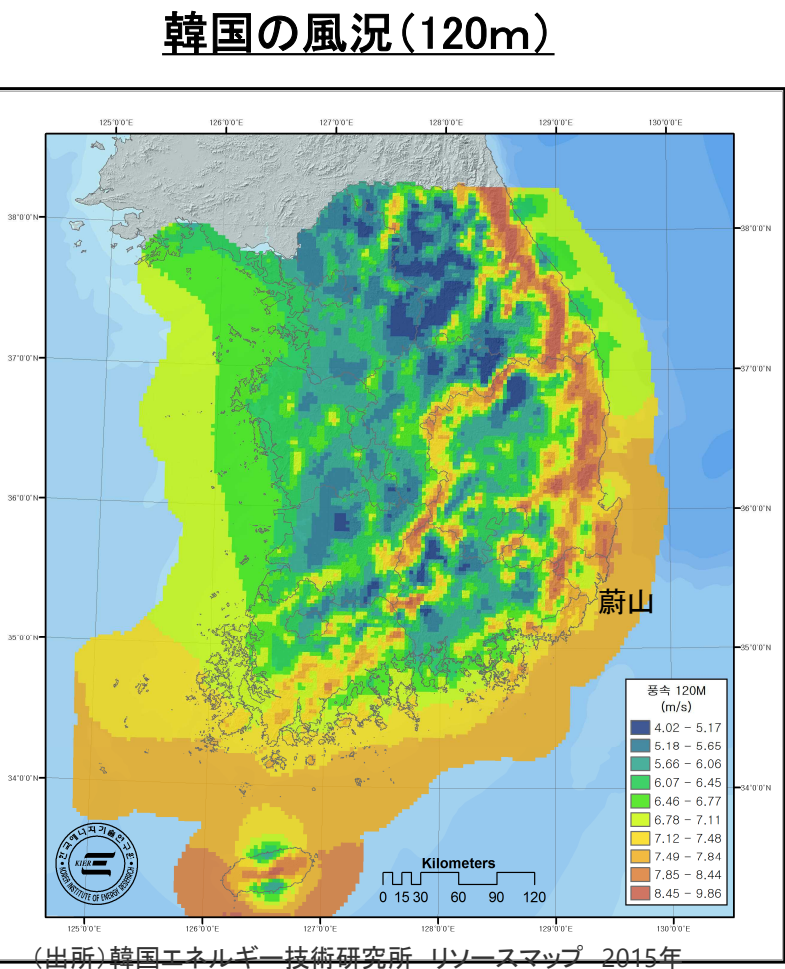
- 大規模な浮体式洋上風力発電所が、スコットランド沖を中心とする欧州、韓国・台湾等のアジア、オーストラリア東岸、アメリカ西岸等において構想されている。

浮体式洋上風力発電所の分布及び規模(事業進捗別)



(出所) 4C offshoreより作成。但し、日本は「環境影響評価情報支援ネットワーク」(環境省、2021年8月)等を元に、2019年9月以降に意見・通知・勧告を受けた発電所を対象とした。
(注) 国内アセス中の浮体式洋上風力発電所は、全て「浮体式及び着床式」として計画されており、必ずしも618.7万kWが全て浮体式洋上風力発電所になるわけではない。

- 風況のよい蔚山沖に浮体式洋上風力発電所の計画が集中しており、韓国政府は、当該海域において2030年までに600万kWの浮体式洋上風力発電所を建設すると発表している。



韓国の浮体式洋上風力発電プロジェクト

No	名称	出力 (万kW)	工事 開始	事業者
1	Donghae - Gray Whale - phase I	50	2025	Macquarie、Energy Infra asset Management、Total
2	Donghae - Gray Whale - phase II	50	2031	Energy Infra asset Management、Total、Macquarie
3	Donghae - Gray Whale - phase III	50	2034	Total、Macquarie
4	Donghae - KFWIND - phase I	50	2027	Ocean Winds、Aker Offshore Wind、WindPower Korea
5	Donghae - KFWIND - phase II	50	2032	Ocean Winds、Aker Offshore Wind、WindPower Korea
6	Donghae - KFWIND - phase III	50	2034	Ocean Winds、Aker Offshore Wind、WindPower Korea
7	Donghae - MOTIE and Ulsan Metropolitan City Consortium - phase I	20	2024	Equinor、韓国石油公社、KOREA EAST-WEST POWER
8	Donghae - MOTIE and Ulsan Metropolitan City Consortium - phase II	50	2031	Ulsan Technopark
9	Donghae - MOTIE and Ulsan Metropolitan City Consortium - phase III	100	2029	Ulsan Technopark
10	Donghae - White Heron - East I	40	2025	CIP、SK
11	Donghae - White Heron - East II	40	2030	CIP、SK
12	Donghae - White Heron - East III	40	2033	CIP、SK
13	Donghae 1	20	2025	Equinor、KNOC、KOREA EAST-WEST POWER
14	Firefly	80	2029	Equinor
15	Floating Hydrogen FPSO demo	0.1	-	-
16	Jindo	42	2026	Macquarie、Total
17	KRISO - Floating Wind and Wave Energy Generator	1.2	2022	韓国船舶海洋技術研究院
18	Munmu Baram - phase I	40	2026	Shell、CoensHexicon
19	Munmu Baram - phase II	50	2031	Shell、CoensHexicon
20	Munmu Baram - phase III	50	2034	Shell、CoensHexicon
21	Port Hamilton	42	2027	Macquarie、Total
22	Ulsan 5MW Floating Prototype	0.5	2021	-
23	Ulsan 750 kW Floating Demonstrator	0.1	2019	韓国エネルギー技術評価・企画院、韓国産業通商資源部

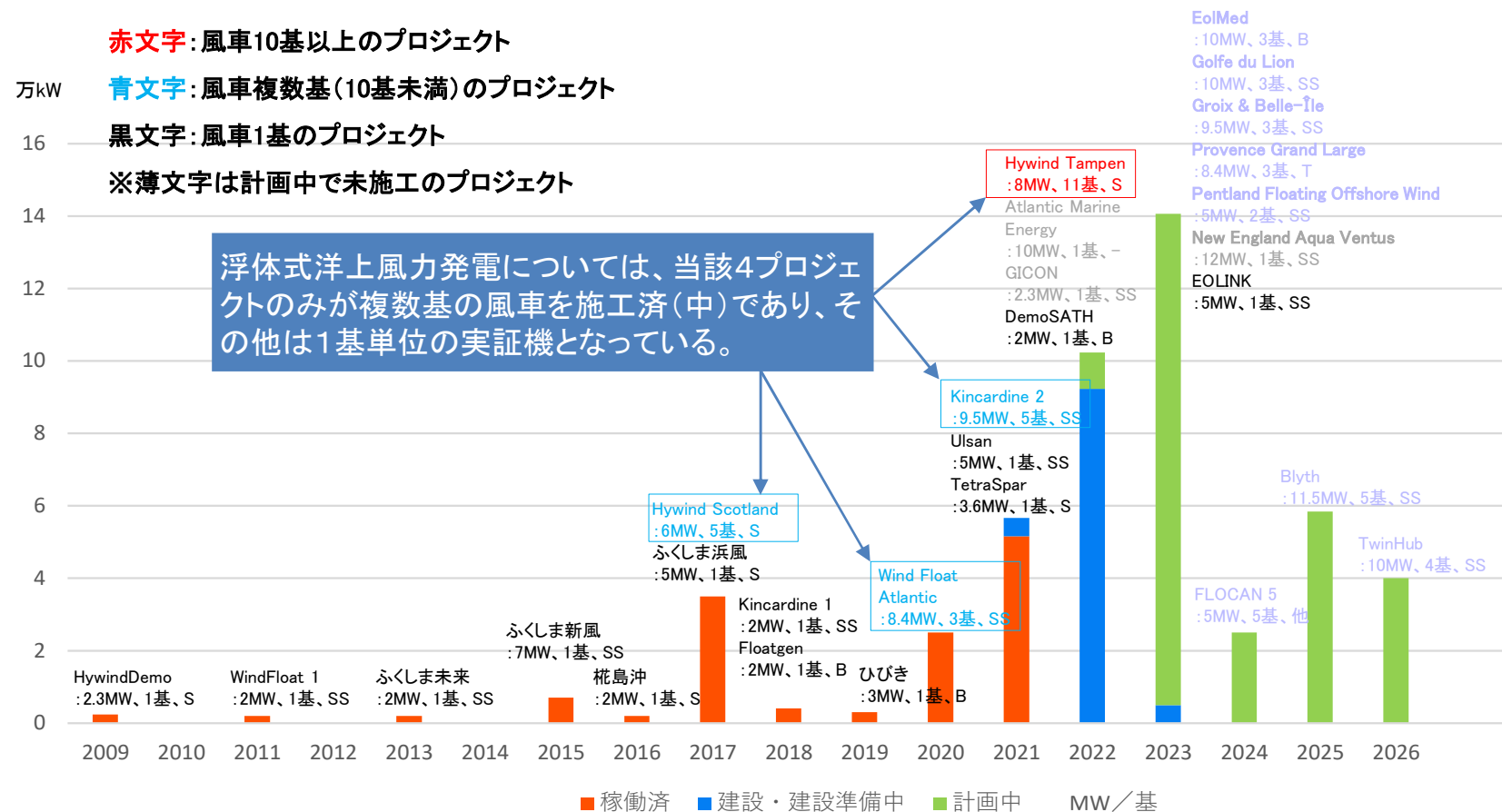
(注) 上記表の蔚山沖のプロジェクトの出力合計は約830万kWで、この中の600万kW分が2030年までに建設されると推察される。
(出所) 4C Offshoreより作成

3. 政府の導入目標、プロジェクトの進捗状況

(3) 稼働、建設・建設準備中、計画中のプロジェクトの状況

- 浮体式洋上風力発電において複数基を施工済又は施工中の事例は、ハイwind スコットランド、wind フロートアトランティック、キンカーディン 2期及びハイwind タンペンの4プロジェクトのみとなっている。

稼働、建設・建設準備中、計画中の浮体式洋上風力発電の状況(1MW／基以上のプロジェクト)

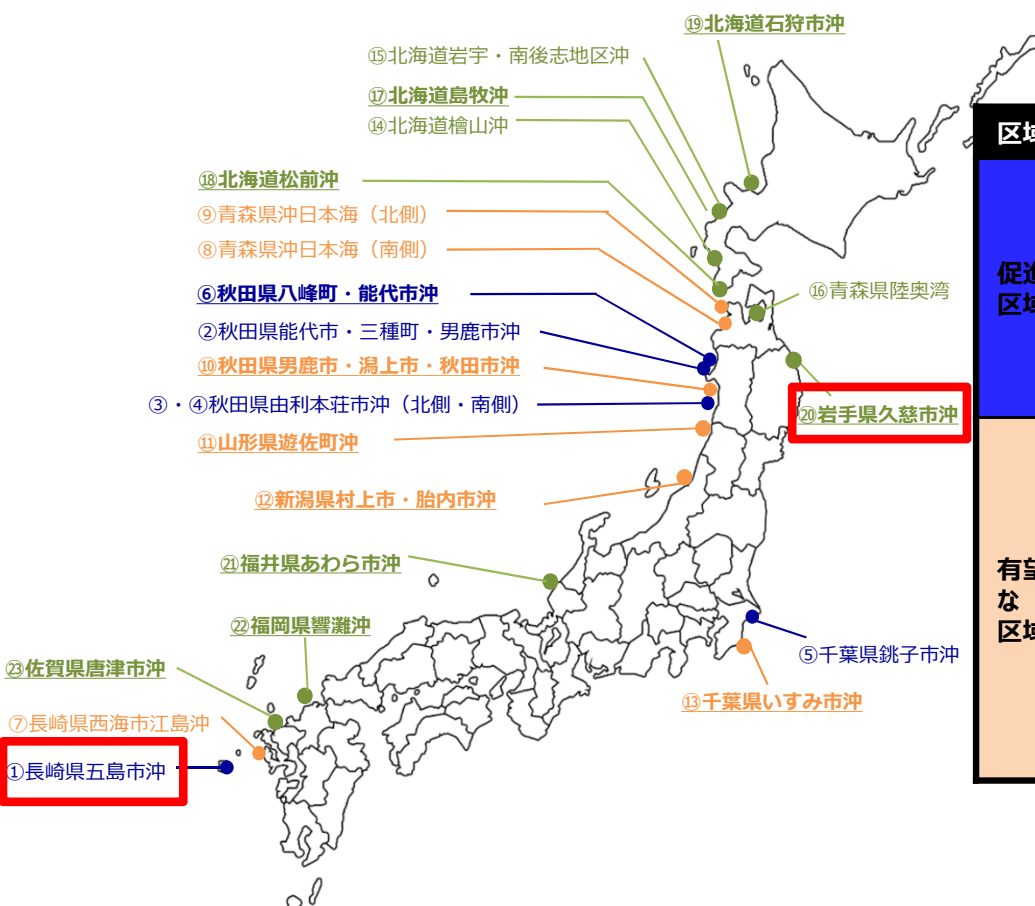


(注) 図中のSはスパー、SSはセミサブ、Bはバージ、TはTLP、他はその他、-は未定を示す。
 (出所) 4C offshoreより作成

3. 政府の導入目標、プロジェクトの進捗状況

(4) 国内の浮体式洋上風力発電所の状況

- 国内については、本年6月に長崎県五島市沖において浮体式洋上風力発電の事業者を選定。本年9月には、岩手県久慈市沖が、浮体式を想定した「一定の準備段階に進んでいる区域」として整理。



<促進区域、有望な区域等の指定・整理状況（2021年9月13日）>

区域名	万kW	
促進区域	①長崎県五島市沖	1.7
	②秋田県能代市・三種町・男鹿市沖	41.5
	③・④秋田県由利本荘市沖（北側・南側）	73
	⑤千葉県銚子市沖	19,37
	⑥秋田県八峰町・能代市沖	36
	⑦長崎県西海市江島沖	30
有望な区域	⑧青森県沖日本海（南側）	60
	⑨青森県沖日本海（北側）	30
	⑩秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖	21
	⑪山形県遊佐町沖	45
	⑫新潟県村上市・胎内市沖	35,70
	⑬千葉県いすみ市沖	41
		⑭北海道檜山沖
		⑮北海道岩手・南後志地区沖
		⑯青森県陸奥湾
		⑰北海道島牧沖
		⑱北海道松前沖
		⑲北海道石狩市沖
		㉑岩手県久慈市沖（浮体）
		㉒福岡県唐津市沖
		㉓福岡県響灘沖
		㉔佐賀県唐津市沖

【凡例】
● 促進区域
○ 有望な区域
● 一定の準備段階に進んでいる区域
※ 下線は2021年度新たに追加した区域

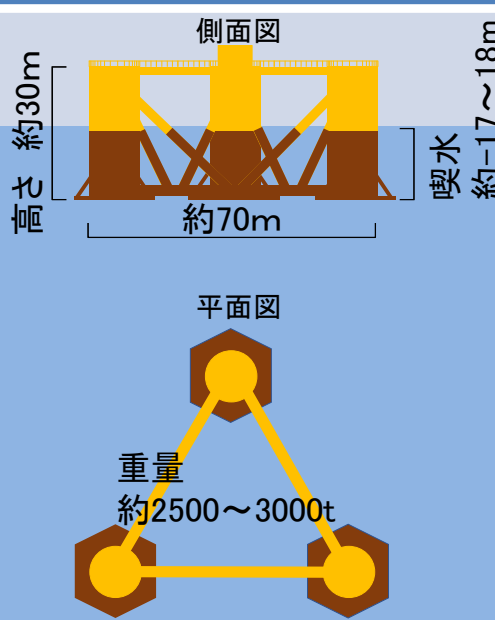
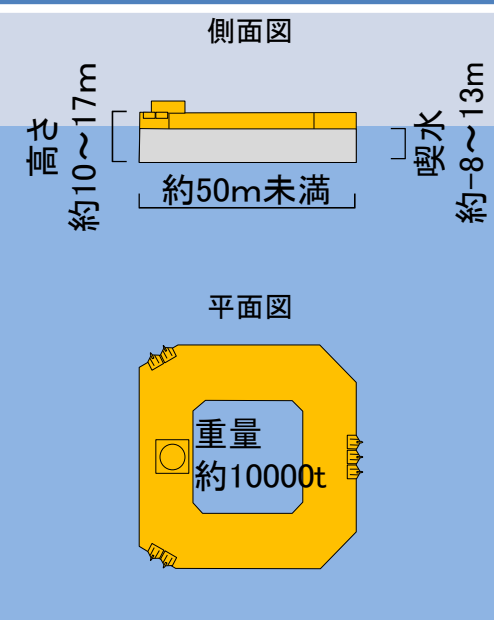
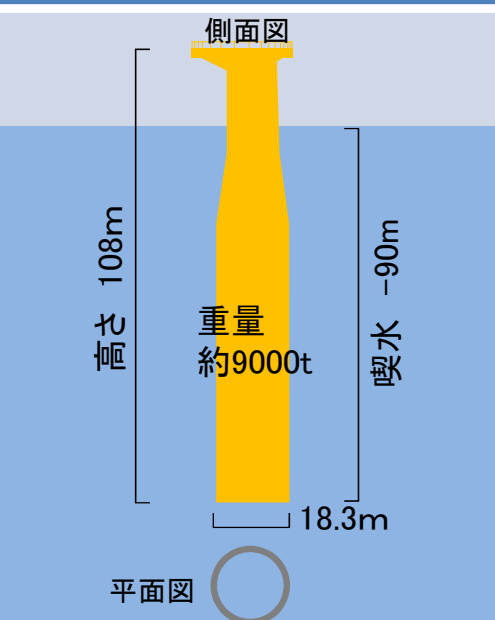
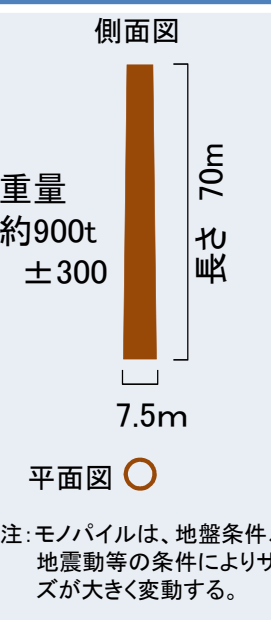
4. 浮体式洋上風力発電プロジェクトにおける基地港湾での施工事例等

(1) 浮体基礎のサイズと施工方法の概略

- 浮体基礎は、着床式基礎に比べ、2～10倍程度の重量があり、サイズも大きい。このため、基地港湾での大量保管は困難であり、保管水域が必要な点が着床式と大きく異なる。
- 浮体式の概略の施工手順は、①基礎製作→②水域保管(水域)→③基地港湾でのタワー・ナセル・ブレードの浮体基礎への据付け(アッセンブリ)→④アンカー等の事前設置→⑤洋上風力発電設備設置と想定される。(注)

(注) 当該施工手順は、現時点のパイロットプラント、プレコマーシャルプロジェクトからの推定であり、今後の技術開発等により変わる可能性もある。

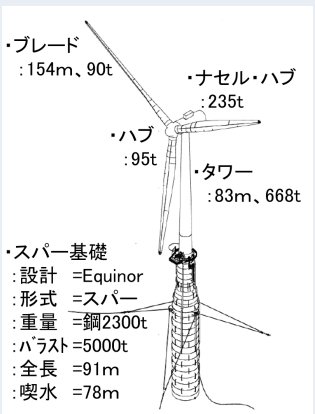
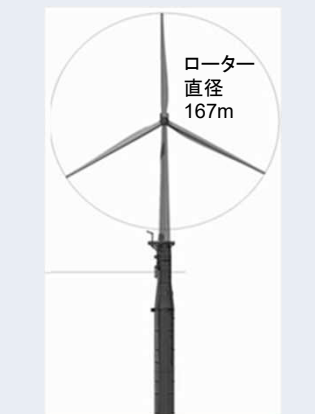
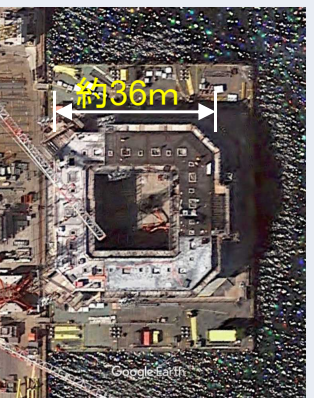
10MW機浮体基礎の推定サイズ(近年設置された浮体基礎等データを基に推定)

	セミサブ(鋼製)	バージ(コンクリート製)	スパー(コンクリート製)	(参考)モノパイル
形状	 側面図 約30m 約70m 喫水 約17～18m 重量 約2500～3000t 平面図	 側面図 高さ 約10～17m 約50m未満 喫水 約8～13m 重量 約10000t 平面図	 側面図 高さ 108m 重量 約9000t 喫水 ~90m 18.3m 平面図	 側面図 重量 約900t ± 300 70m 7.5m 平面図 注: モノパイルは、地盤条件、地震動等の条件によりサイズが大きく変動する。
参考資料	キンカーディンを想定 ウインドフrootアトランティック、キンカーディンの各種資料より推定	BW IDEOL社資料	ハイウインド タンペンを想定 Offshore vind - Konstruksjonsutfordringer med flytende vind - Hywind等より作成	第二回検討会資料より作成

4. 浮体式洋上風力発電プロジェクトにおける基地港湾での施工事例等

(参考)近年設置された浮体式洋上風力発電の浮体基礎のサイズ等

近年設置された浮体式洋上風力発電の浮体基礎のサイズ等

	セミサブ		スパー		バージ	
	ウインドフロートアトランティック	キンカーディン 2期	ハイウインド スコットランド	ハイウインド タンペン	フローゼン	ひびき
事業者 国 運転開始 出力 風車 基地港湾	・Ocean Winds他 ・ポルトガル ・2020年運転開始 ・2.5万kW ・8.4MW × 3基 ・フェロル港	・Cobra Wind International他 ・イギリス ・2021年運転開始 ・4.8万kW ・9.5MW × 5基 ・ロッテルダム港	・Equinor他 ・イギリス ・2017年運転開始 ・3.0万kW ・6MW × 5基 ・スルド港	・Equinor他 ・ノルウェー ・2022年運転開始 ・8.8万kW ・8MW × 11基 ・グレン港	・実証実験 ・フランス ・2018年運転開始 ・0.2万kW ・2MW × 1基 ・サンナゼール港	・実証実験 ・日本 ・2019年運転開始 ・0.3万kW ・3MW × 1基 ・北九州港
浮体 基礎 サイズ	・幅 : 約65m ・高さ : 30m ・喫水 : -17~18m ・重量 : 不明 ・素材 : スチール	・幅 : 約70m ・高さ : 不明 ・喫水 : 不明 ・重量 : 3000t ・素材 : スチール	・全長 : 91m ・直径 : 14.4m ・喫水 : -78m ・重量 : 2300t ・素材 : スチール	・全長 : 108m ・直径 : 18.3m ・喫水 : -90m ・重量 : 9000t ・素材 : コンクリート	・幅 : 36m ・高さ : 9.5m ・喫水 : -7.0m ・重量 : 4980t ・素材 : コンクリート	・幅 : 51m ・高さ : 10m ・喫水 : -7.5m ・重量 : 3110t ・素材 : スチール
参考図	 約65m Google Earth * フェロル港(2020.5)	 約70m Google Earth * フェロル港Navantia工場(2020.7)	 ・ブレード : 154m、90t ・ナセル・ハブ : 235t ・ハブ : 95t ・タワー : 83m、668t ・スパー基礎 : 設計 = Equinor, 形式 = スパー, 重量 = 鋼2300t, バラスト = 5000t, 全長 = 91m, 喫水 = 78m	 ローター直径 167m	 約36m Google Earth	 総重量 約9,860t ローター+ナセル 133t タワー 212t 浮体鋼重3,110t バラスト6,100t 係留重量300t ※浮体作用分 100m 72m 51m 51m 10m
出所	Google Earth、Youtube コメント、画像等	Google Earth、offshorewindbiz等	Hywind Scotland – Assembly and logistics 等	Equinor社資料	BW IDEOL社資料、Google Earth等	NEDO資料、BW IDEOL 社資料

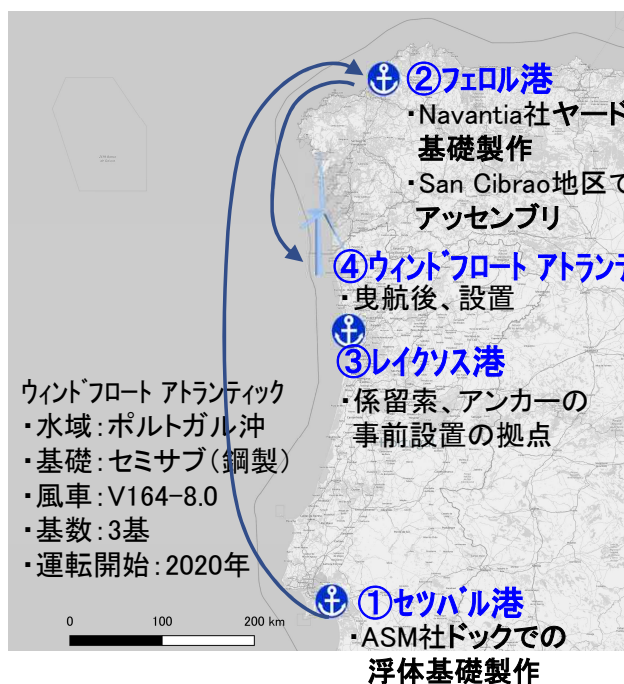
4. 浮体式洋上風力発電プロジェクトにおける基地港湾での施工事例等

(2) セミサブ基礎洋上風力発電所(ウィンドフロート アトランティック)の施工事例

- ウィンドフロート アトランティックでは、基礎製作拠点、係留索・アンカー設置拠点、アッセンブリを行う基地港湾の3か所の港湾を使い、施工を実施。

* プリンシプルパワー社(PrinciplePower inc、以下PPI社という。)による同型のセミサブ基礎を使い、2021年に運転を開始したセミサブ基礎洋上風力発電所のキンカーディン2期は、フェル港で浮体基礎を製作後、セミサブ船で、喫水の深いロッテルダム港(Sif社岸壁)に運ばれ、そこからスコットランド沖に大型タグで曳航(速度2ノット/h程度)されている。

ウィンドフロート アトランティックの施工プロセス



セミサブ基礎の喫水を満足する岸壁は欧州でも少なく課題

浮体基礎上でのアッセンブリは、1基完成に1か月間程度を要し課題



・セツバル港ドックで2基の基礎浮体を製作後、基地港湾であるフェル港へ曳航



・フェル港のNavantia社ヤードで浮体基礎1基を製作



・フェル港のNavantia社ヤードで製作した浮体基礎はセミサブ船でフェル港San Cibrao地区へ移動



水深-20m

・水深20mの岸壁でアッセンブリをクローラークレーンで実施
・工事時の浮体基礎の喫水は17-18m程度と想定される。



・係留索、アンカーを、事前に設置。



・完成した浮体式洋上風力発電設備を大型タグで曳航し、事前に設置した係留索に固定。

4. 浮体式洋上風力発電プロジェクトにおける基地港湾での施工事例等

(3) バージ基礎洋上風力発電所の施工事例

- フロージェンに設置されている浮体式は、基地港湾であるサンナゼール港において、バージ基礎（コンクリート製）を製作し、ドックで進水させた後、アッセンブリを行い、現地まで曳航して設置した。

フロージェンプロジェクトの施工事例



1.基礎製作用
バージ



2.コンクリート
バージの製作



3.コンクリート
バージをドック
へ曳航



4.ドックで進水



5.バージ上で
アッセンブリ



6.アンカー、係留索
の準備を行い、
AHT(注)で事前設
置



7.完成した浮体
を曳航、設置

(注) AHT=Anchor Handling Tugアンカーハンドリングタグ。以下同様。
(出所) Floatgen PEWSS KIT、Google Earth等より作成

(4)コンクリート製スパー基礎洋上風力発電所(ハイウィンドタンペン)の施工事例

- ハイウィンドタンペンでは、水深100m超のフィヨルド内において基礎を製作・曳航し、基地港湾のリンガークレーンでアッセンブリし、サイトへ曳航、設置することが想定されている。

ハイウィンドタンペン(8MW機×11基、2022年運転開始予定)の施工プロセス

水深100m超のフィヨルドで製作



・ストルド港(Aker社ヤード)で、浮体基礎下部20mを製作

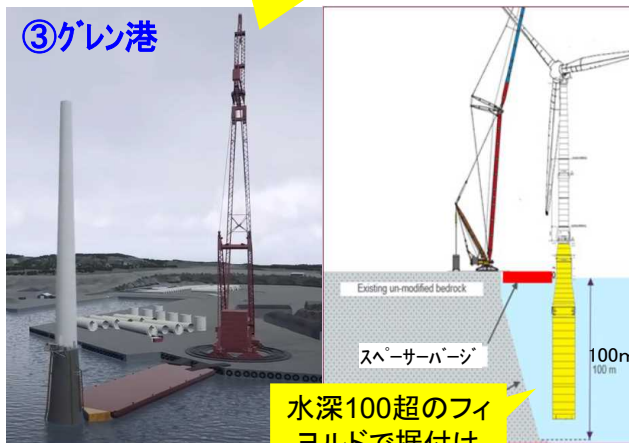
リンガークレーン



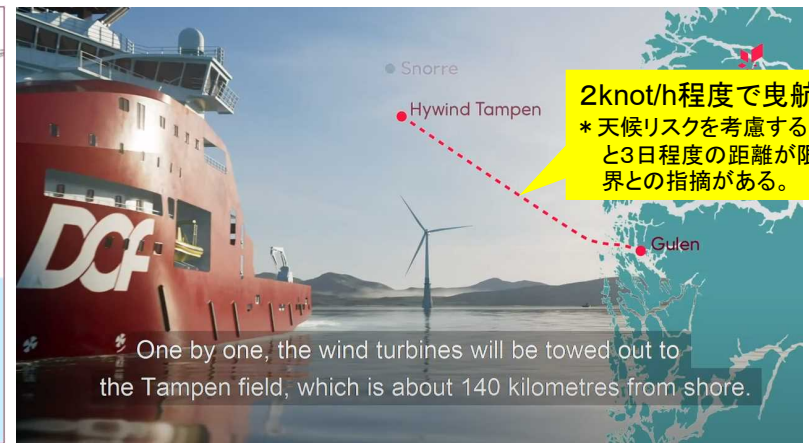
・浮体基礎上部を約20km南のドマースネスへ曳航



・ドマースネスにてコンクリートslip forming工法にて完成(長さ107m)



・ドマースネスから150km北のグレン港まで浮体基礎を曳航し、リンガークレーンを使いSGRE社がスパー基礎上でアッセンブリ



・アッセンブリ後、グレン港から約150km北西のハイウィンドタンペンサイトまで曳航、設置

4. 浮体式洋上風力発電プロジェクトにおける基地港湾での施工事例等 (参考)グレン港Wergeland Baseの概要

- グレン港にあるWergeland社のWergeland Baseは、浮体式洋上風力発電の基礎製作、洋上風力発電設備のアセンブリが可能な拠点を狙っている。

Wergeland社のWergeland Base(グレン港)



- ハイwindスコットランドは、スペインにおいて基礎製作、セミサブ船で輸送し設置、フィヨルド内においてアッセンブリし、大型起重機船で基礎へ据付け後、スコットランドまで曳航して設置。

ハイwindスコットランド(6MW機×5基、2017年運転開始、Equinor社)の施工プロセス



大型起重機船、静穏度が高く、水深の深い水域が必要

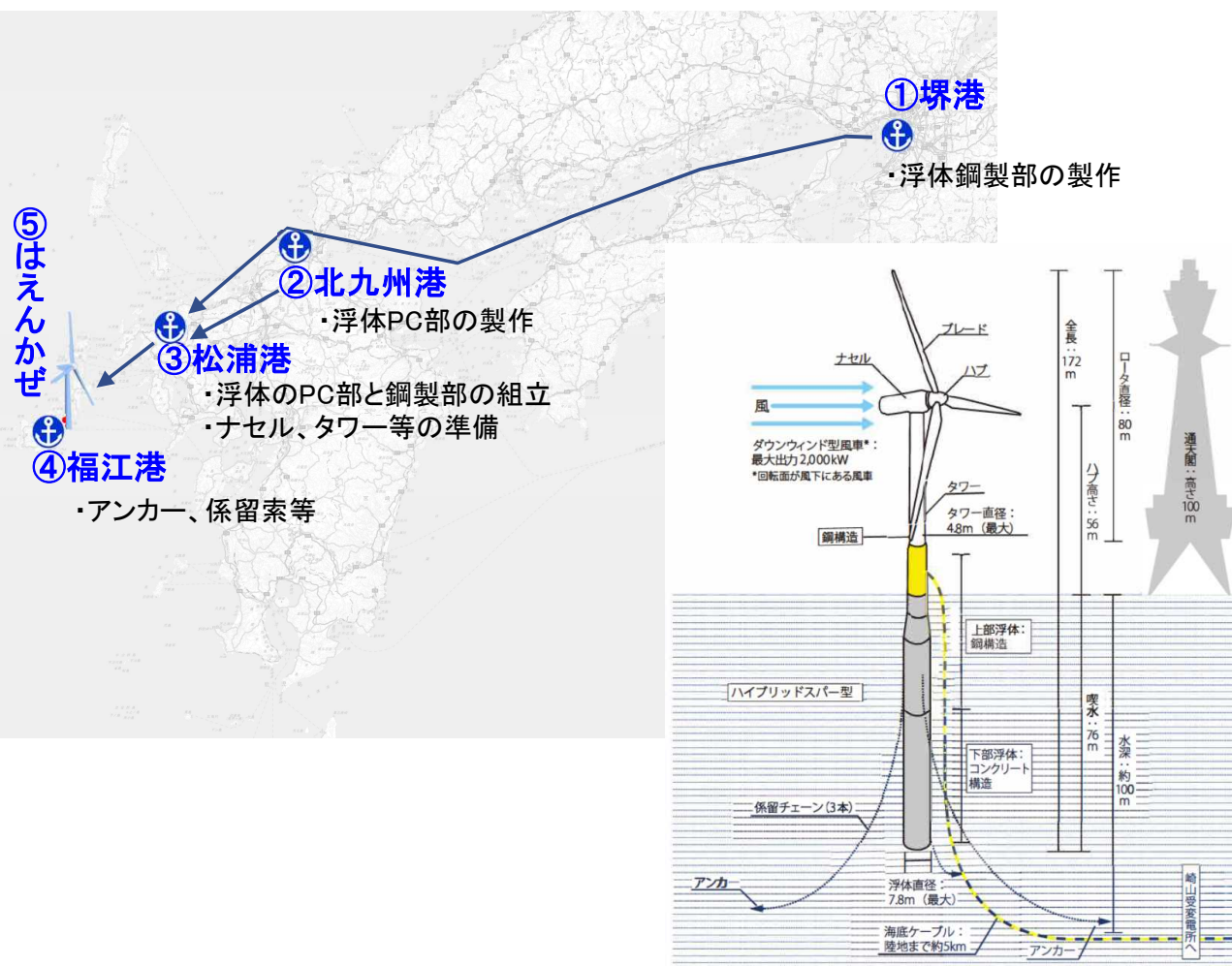


4. 浮体式洋上風力発電プロジェクトにおける基地港湾での施工事例等

(参考)ハイブリッドスパー基礎洋上風力発電所(はえんかぜ)の施工事例

- 環境省の実証事業として実施された「はえんかぜ」は、福江港、松浦港において資機材を組立等後、組立海域において基礎を建起し、アッセンブリ後、杵島沖に設置された。

はえんかぜ(2MW機×1基、2013年運転開始、環境省洋上風力発電実証事業)の施工プロセス



松浦港



1. 工場で製作した鋼製の上部浮体を岸壁でコンクリート製の下部浮体と接合し、ハイブリッドスパーの浮体部を完成させます。



2. 浮体部(ハイブリッドスパー)を台船に載せて、杵島北側の組立海域に運搬します。



3. 大型起重機船で浮体部を建起し、海上に浮かべます。



4. 浮体部にタワー、ナセル、ロータを組み立て、風車を完成させます。



5. 風車組立完了後、杵島北側の組立海域から設置海域まで曳航します。



6. 設置海域で、係留チェーン及び海底ケーブルを取り付けて設置完了です。

4. 浮体式洋上風力発電プロジェクトにおける基地港湾での施工事例等

(5) 浮体基礎別にみた施工方法(欧州事例のまとめ)

- セミサブ、バージ、TLPの施工方法は、浮体基礎完成後、岸壁に係留した浮体基礎上においてアッセンブリし、事前設置したアンカー・係留索に接続する流れとなっている。スパーも、直近の施工事例ではフィヨルドを活用し、同様の施工方法をとっている。

浮体式洋上風力発電所の施工方法の概要(近年設置・設置予定のプロジェクト、各社HPより整理)

		セミサブ	バージ	TLP	スパー
浮体基礎の製作、出荷	製作	・ドック or 港湾ヤード * アジアに比べドックの少ない欧州では、部品をモジュール化し、港湾ヤードで製作する動きあり。 * バージについては、鋼製はドック、コンクリート製は港湾ヤードと想定。			・ドック+港湾水域 * ドックでスパー下部を製作し、上部はフィヨルド内で slip forming工法により完成
	出荷	・ドック : ドック内で浮上させ、タグで基地港湾まで曳航 ・港湾ヤード: SPMT・エアキャスターでセミサブ船へ積込み、基地港湾へ輸送			・タグで基地港湾まで曳航
浮体基礎の保管		・水域で保管			・水域で保管
アッセンブリ	アッセンブリ	・クローラクレーンを使い、岸壁に係留した浮体基礎上で実施 * 10MW機の場合、基地港湾ヤードでプレアッセンブリを行い、クローラクレーンで浮体基礎に据え付けることも想定されるが、欧州事例ではすべて浮体基礎上でアッセンブリを実施。			・リングークレーンを使い、岸壁+バージの先に係留した浮体基礎上で実施
	輸送	・タグで曳航			・タグで曳航
アンカー設置		・AHT(注)で事前設置			・AHTで事前設置
設置		・係留索に接続	・係留索に接続後、テンション		・係留索に設置
参考プロジェクト、資料		・キンカーティン(2021運転開始)	・BW IDEOL社HP	・SBM社HP	・ハイウインドタンペン(現在施工中)

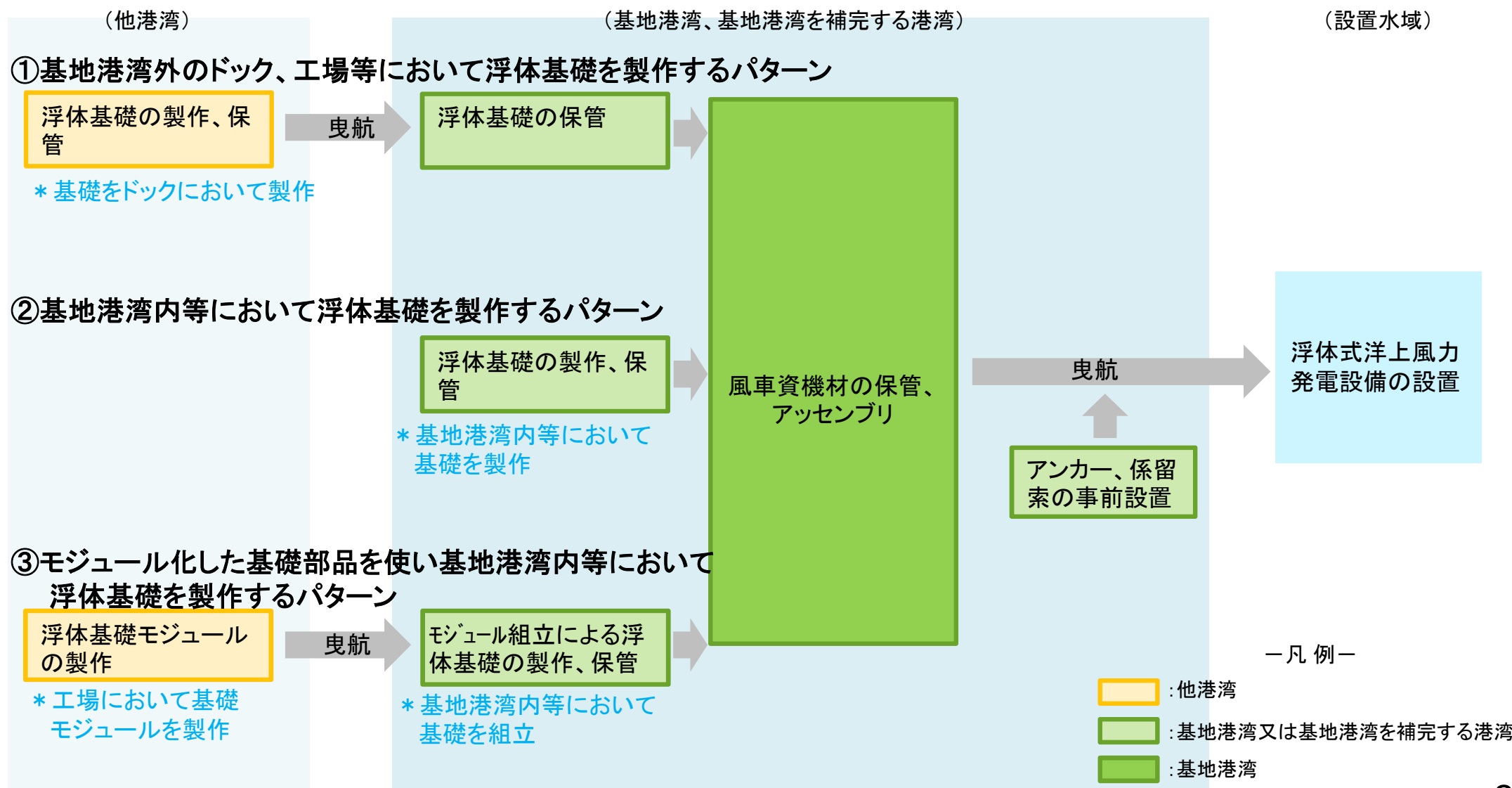
(注)AHT=Anchor Handling Tug

5. 基地港湾の規模

(1) セミサブ、バージ基礎等の場合の施工パターンと港湾の役割

- 欧州における浮体式の施工事例等から、下記の3つの施工パターンが想定される。

セミサブ、バージ基礎等の浮体式洋上風力発電所の施工プロセスと港湾の役割



5. 基地港湾の規模

(2) セミサブ、バージ等の場合の施工サイクル、流れ等(検討の前提条件)

- セミサブ、バージ基礎等の浮体式洋上風力発電について、2年間で50万kW規模(年間10MW機×24基設置)の施工手順を下記の通り想定した。

想定した浮体式洋上風力発電の施工手順

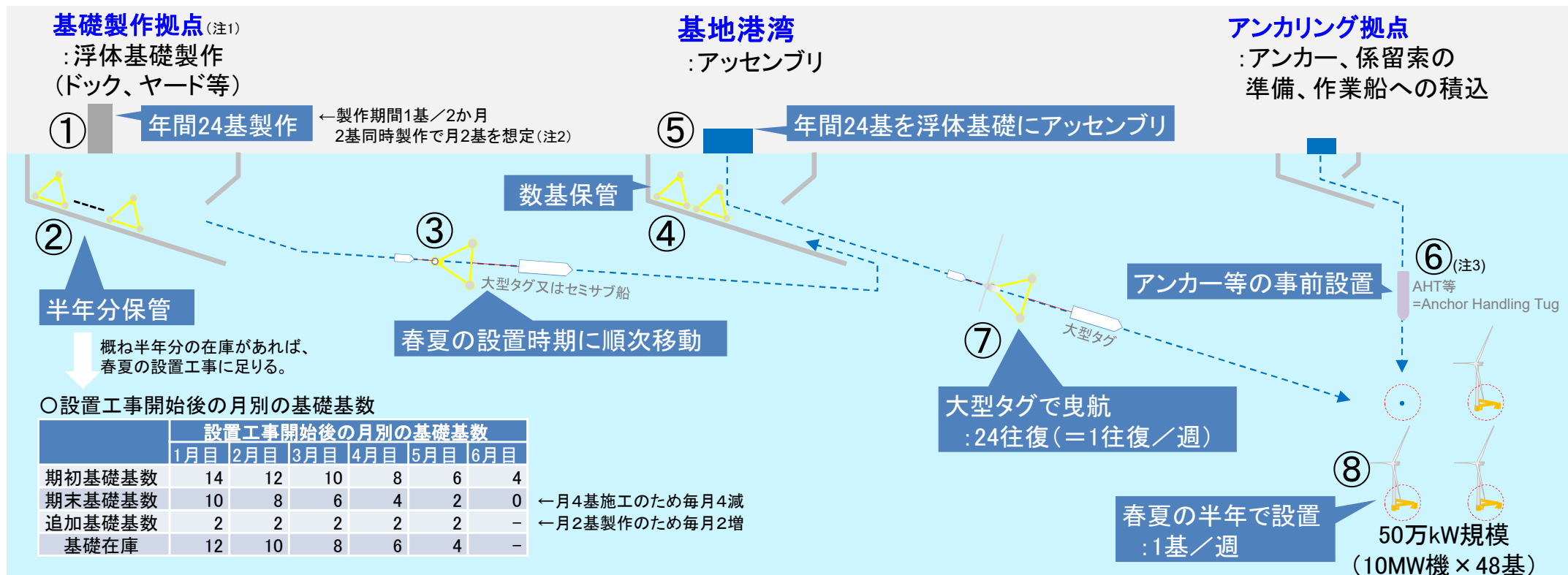
○基礎製作と設置工事のサイクル

	1年目		2年目	
時期	秋冬	春夏	秋冬	春夏
作業内容	基礎製作	基礎製作+設置	基礎製作	基礎製作+設置
基礎製作基数	12基	12基	12基	12基
設置基数	—	24基	—	24基

2年で50万kW規模の発電所の施工を想定
: 10MW機×48基*

* 10MW機×48基で概ね50万kWと想定。

○浮体式洋上風力発電設備の設置の施工手順



(注1) 基礎製作拠点については、前頁で提示した通り、1. ドック、2. 基地港湾内のヤード、3. 工場+港湾ヤードの3パターンが、現時点では想定される。

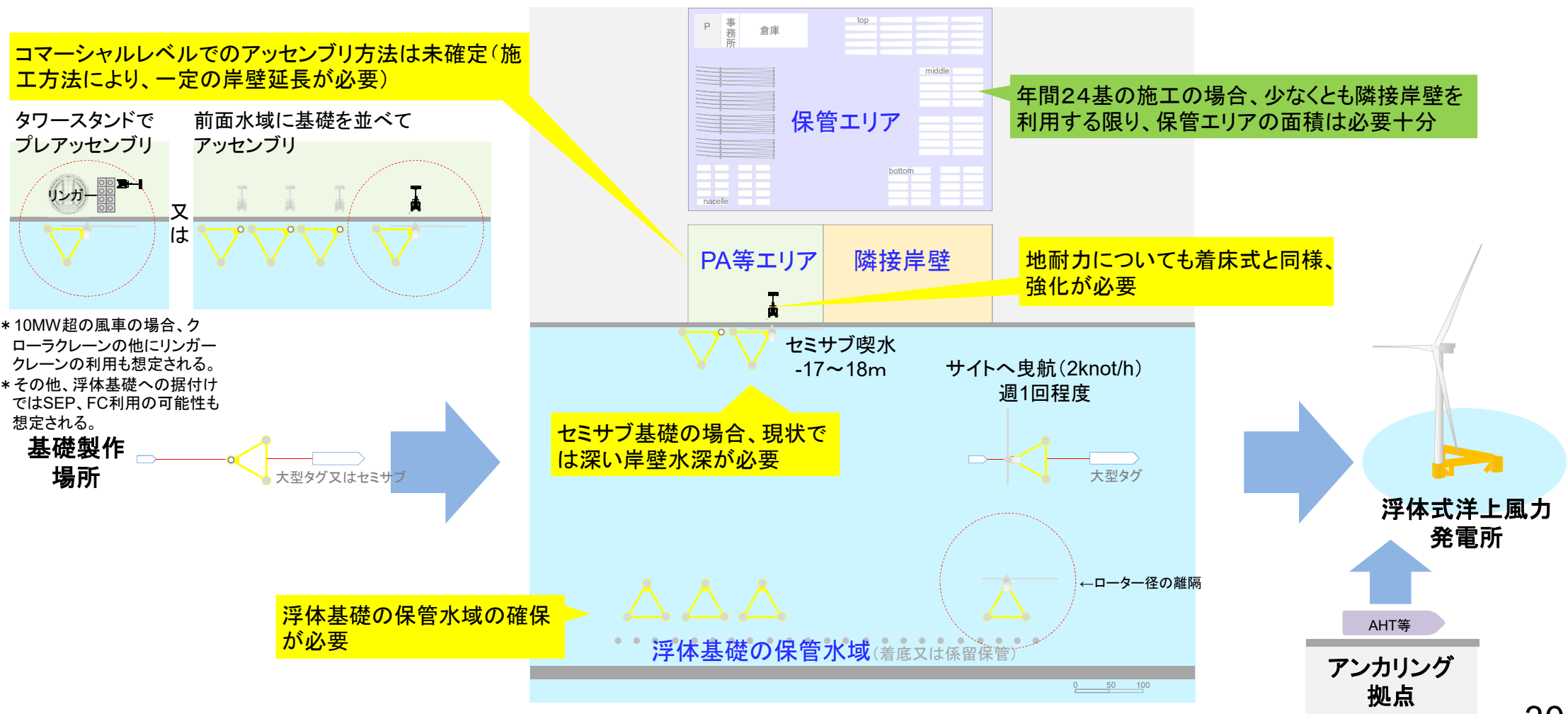
(注2) モジュール化の程度等により4か月~2週間程度と幅が想定される。

(注3) アンカー、係留索は、浮体基礎の設置工事の前に、一定数量をまとめて設置。

(3) セミサブ、バージ等の施工に係る指定済の基地港湾の評価

- 指定済の基地港湾において施工する場合は、年間24基の施工であれば、組立用の風車資機材の保管は可能であるが、地耐力、水深、岸壁延長、保管水域等に課題が残る。

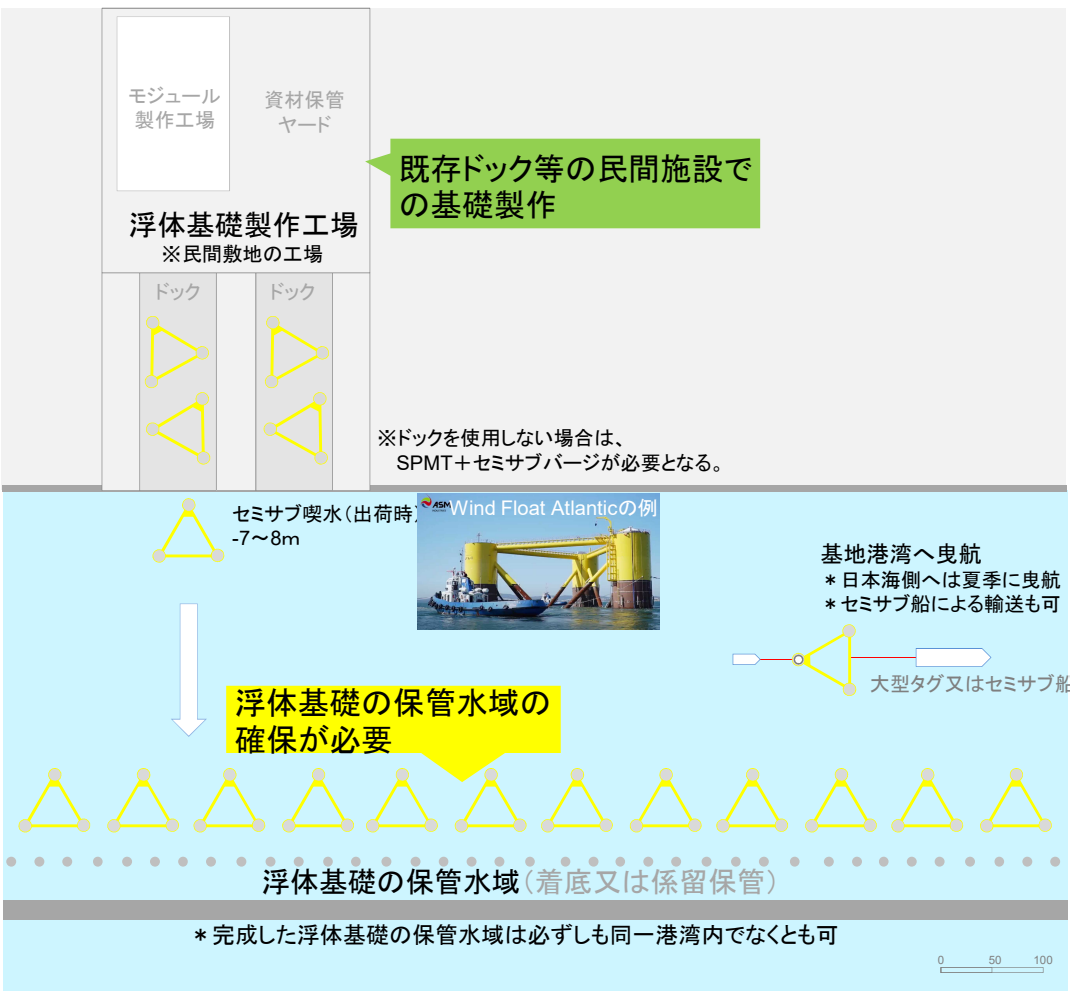
指定済の基地港湾においてセミサブ、バージ等を施工する場合の課題



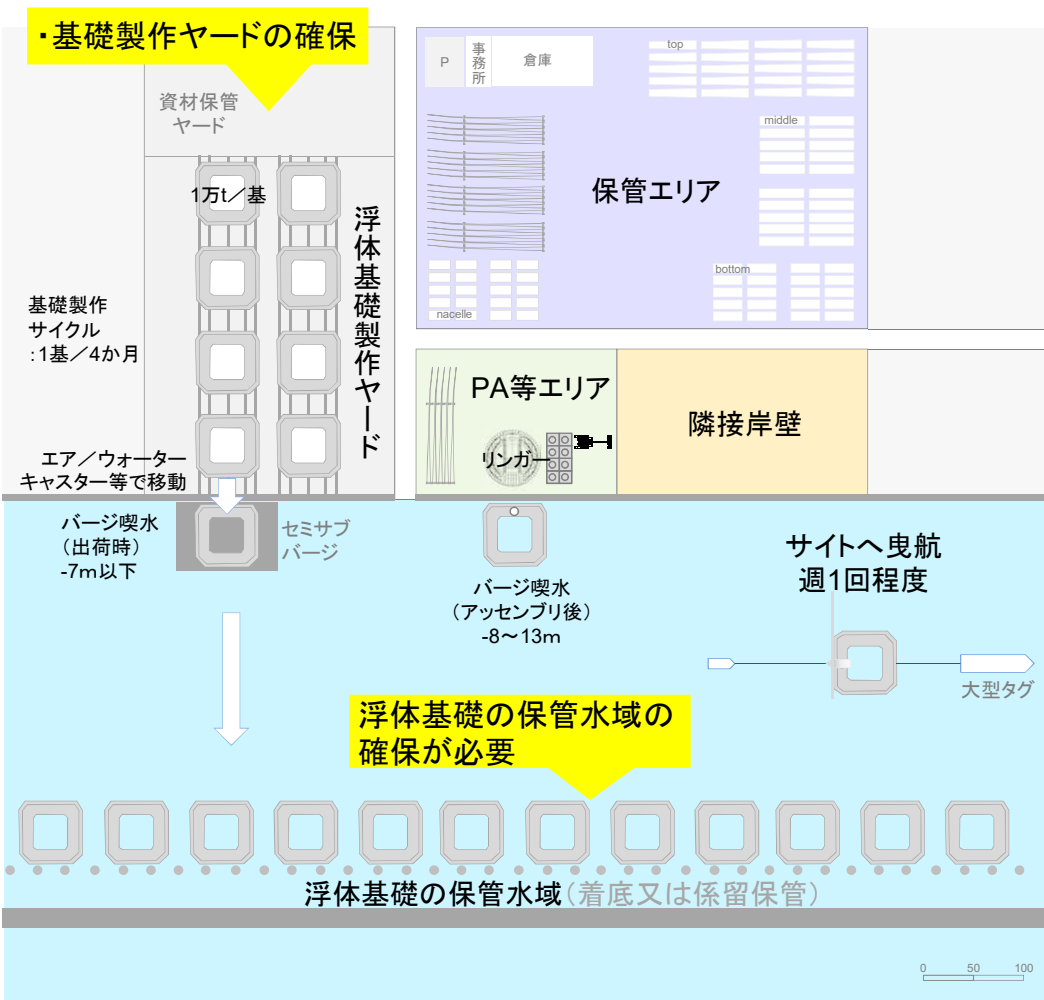
(4) セミサブ、バージ等の施工に係るその他の課題

- 浮体式洋上風力発電については、ドック等の工場での浮体基礎製作に加え、基地港湾内のヤードにおいて製作される可能性もあり、ヤードの確保、保管水域の確保が課題となる。

ドック等において浮体基礎を製作するケース



基地港湾内において浮体基礎を製作するケース

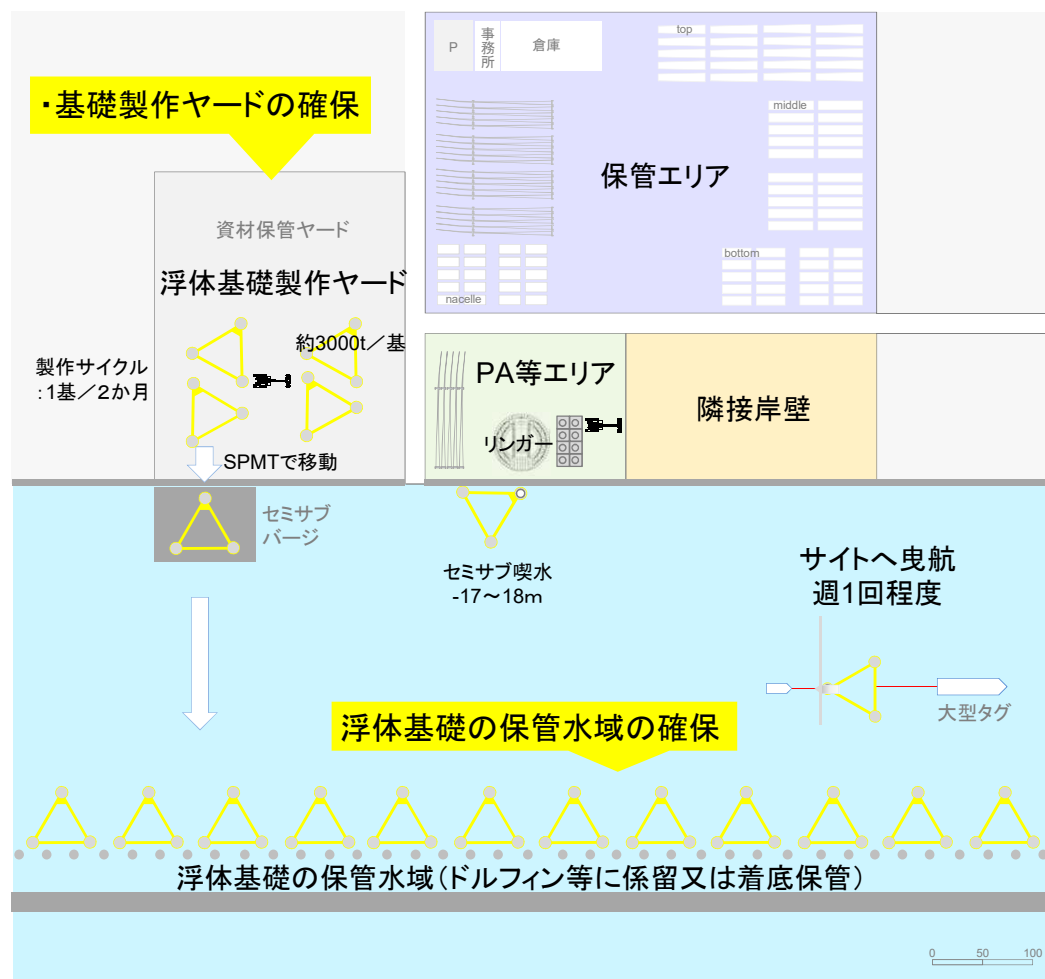


(出所) 写真はASM INDUSTRIES社youtube (<https://www.youtube.com/watch?v=rKfb3OIz9c>)

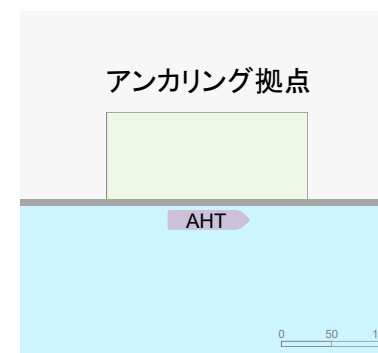
(4) セミサブ、バージ等の施工に係るその他の課題(続き)

- 浮体基礎については、モジュール化した基礎パーツを基地港湾内において組み立てることも想定されている。また、アンカー、係留索の準備等を行う拠点も必要となる。

モジュール化した基礎部品を使い基地港湾内において 浮体基礎を製作するケース



アンカリング拠点(アンカー、係留索の準備)



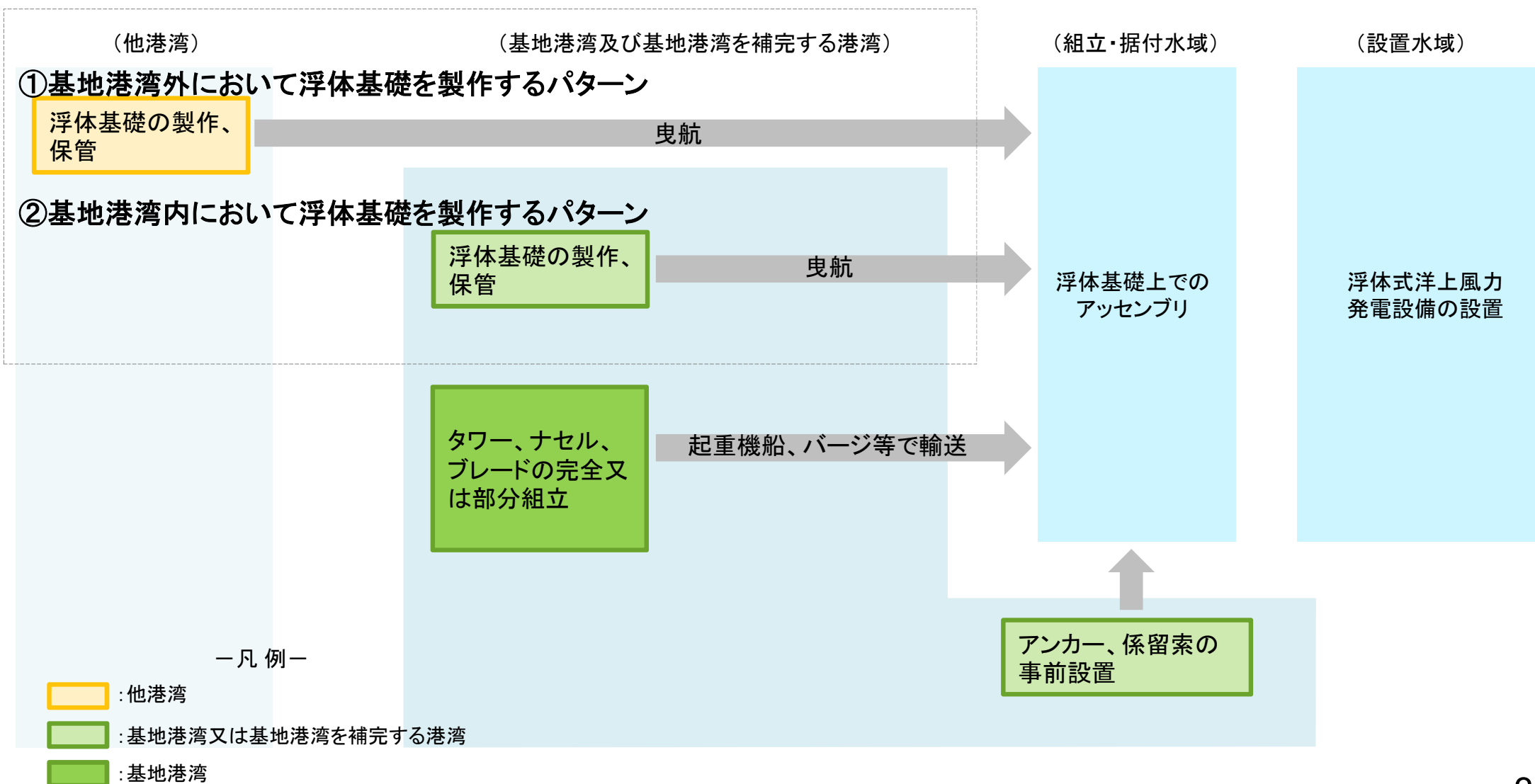
(出所) 写真はBourbon Subsea Services社・VRYHOF社youtube
(<https://www.youtube.com/watch?v=x5NUB--h71M>)

5. 基地港湾の規模

(5) スーパー基礎の場合の施工パターンと港湾の役割

- 欧州、国内の施工事例等から、下記の施工パターンが想定される（浮体基礎の製作場所は2パターンあり）。

スーパー基礎の浮体式洋上風力発電所の施工プロセスと港湾の役割



(6)スパーの場合の施工サイクル、流れ等(検討の前提条件)

- スパー基礎の浮体式洋上風力発電について、2年間で50万kW規模(年間10MW機×24基設置)の施工手順を下記の通り想定した。

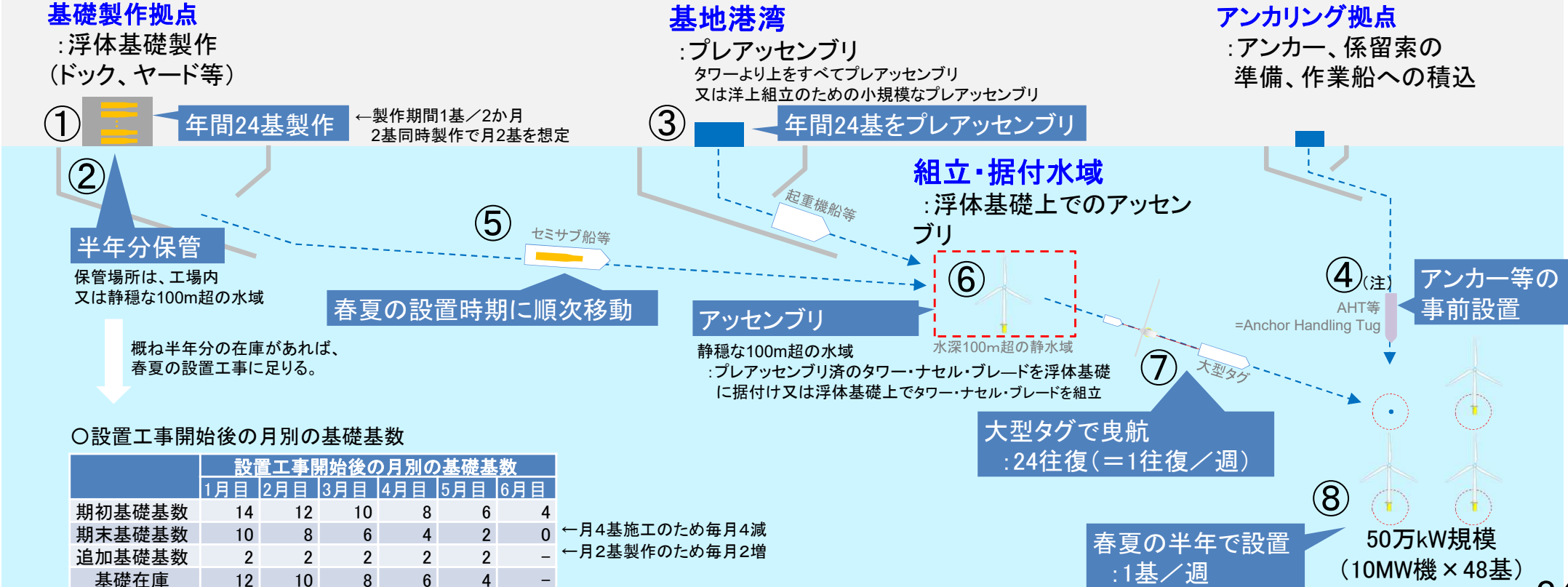
○基礎製作と設置工事のサイクル 想定した浮体式洋上風力発電の施工手順

	1年目		2年目	
時期	秋冬	春夏	秋冬	春夏
作業内容	基礎製作	基礎製作+設置	基礎製作	基礎製作+設置
基礎製作基数	12基	12基	12基	12基
設置基数	—	24基	—	24基

2年で50万kW規模の発電所の施工を想定
: 10MW機×48基*

* 10MW機×48基で概ね50万kWと想定。

○浮体式洋上風力発電設備の設置の施工手順



○設置工事開始後の月別の基礎基数

	設置工事開始後の月別の基礎基数					
	1月目	2月目	3月目	4月目	5月目	6月目
期初基礎基数	14	12	10	8	6	4
期末基礎基数	10	8	6	4	2	0
追加基礎基数	2	2	2	2	2	—
基礎在庫	12	10	8	6	4	—

← 月4基施工のため毎月4減
← 月2基製作のため毎月2増

(注) アンカー、係留索は、浮体基礎の設置工事の前に、一定数量をまとめて設置。

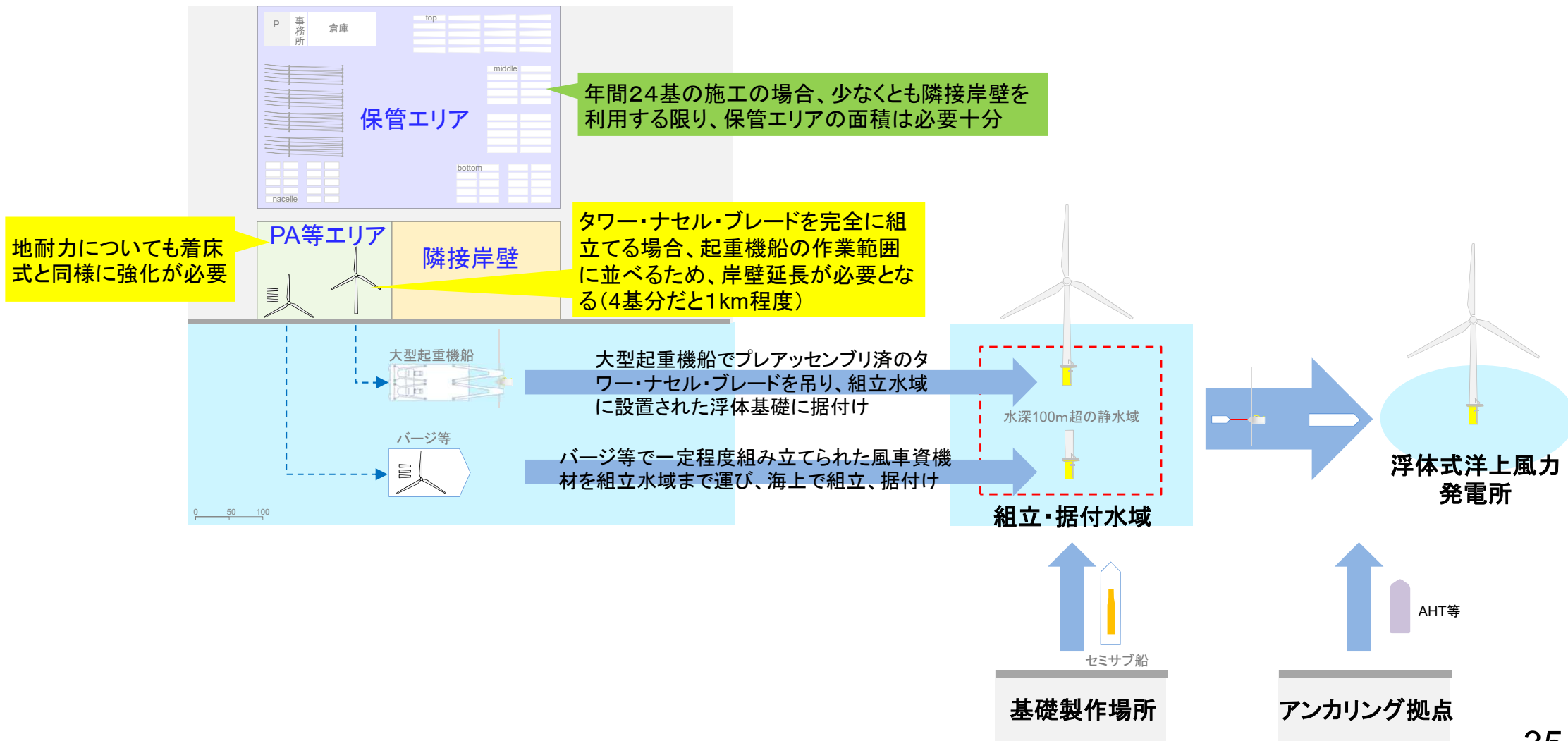
5. 基地港湾の規模

(7) スパーの施工に係る指定済の基地港湾の評価

- 指定済の基地港湾においてスパーを施工する場合は、年間24基の施工であれば、組立用の風車資機材の保管は可能であるが、地耐力、岸壁延長等に課題が残る。

* 国内の基地港湾では、欧州のようなフィヨルドを活用した施工はできない為、基地港湾岸壁でのスパー基礎へのアッセンブリは想定していない。

指定済の基地港湾においてスパー基礎を施工する場合の課題



5. 基地港湾の規模

(8)国内において浮体式の施工を実施する場合に想定される港湾機能上の課題

- 施工方法が模索段階にあるプレコマーシャルの現時点では、課題も変化、解消する可能性もあるが、施工・机上検討事例から港湾機能に関連して下記の課題が想定される。

指定済の基地港湾において浮体式を施工する場合の課題(まとめ)

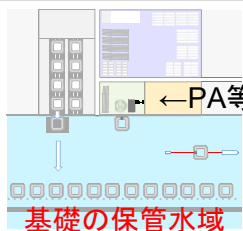
課題①: 基地港湾内に基礎の製作ヤードが必要

- ・基地港湾又は基地港湾を補完する港湾のヤードでの基礎の製造が模索されている。

モジュール化した基礎のヤードでの組立など



課題②: 基礎の保管水域の確保が必要

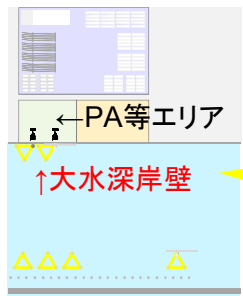


半年間に製作した基礎10基超を保管する水域



課題③: 大水深の岸壁が必要

- ・現状のセミサブ、スパーは大水深の岸壁で施工が行われている。



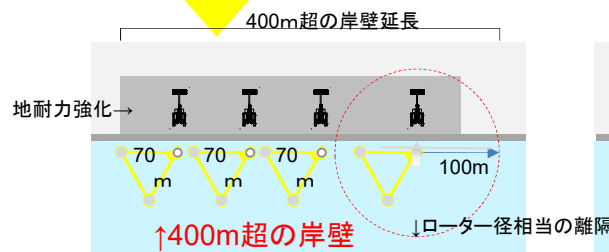
大水深の岸壁でアッセンブリ



課題④: 大量施工時のアッセンブリ方法が未確定

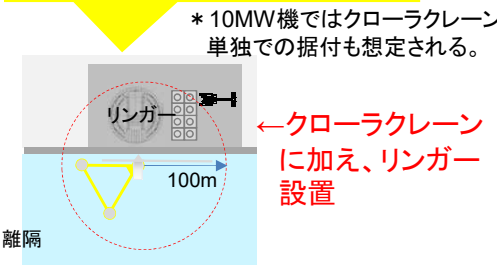
- ・基礎を横一列に並べ
その上でアッセンブリする場合

4基/月を前面泊地で組立、据付け



- ・ヤードでプレアッセンブリ後に据付ける場合

リンガーとクローラークレーンの2台を使用する可能性



課題5: その他

- ・浮体式においても風車は大型化しており、着床式同様、地耐力の向上が必要となる。
- ・完成した浮体の曳航は、天候の変化しない短時間での実施が必要。
: 長距離曳航の場合は、一時的な保管が可能な港湾の検討も必要となる。
- ・アンカー、係留索の事前準備を行うアンカリングの拠点が必要
: タグボートの拠点で、サイトに近い方が効率的。水深は-7.5m程度。必要なヤード面積は係留索の種類(スチール、合成繊維)によって異なる。

(出所) 写真は、Stiesdal社HP (<https://www.stiesdal.com/offshore-technologies/the-tetraspar-full-scale-demonstration-project/>)、Floating Wind Joint Industry Project Phase I Summary Report (CARBON TRUST)、Principle Power社 (<https://www.youtube.com/watch?v=AdmCW8rpBgs>)

5. 基地港湾の規模

(9) 施工上の課題に関する港湾での対応動向

- 浮体式洋上風力発電の施工に係る課題解決に向けて、各種技術開発、検討等が実際の港湾施設での実施検討、シミュレーション等により進められている。

港湾に関連した浮体式洋上風力発電の技術開発等の例

- フィヨルドでの基礎製造
: 大水深フィヨルドでのスリップフォーム工法による製造



- 港湾ヤードでの基礎製造、アッセンブリ
: 港湾ヤードでのバージ基礎の製造(PC、スリップフォーム)、アッセンブリ



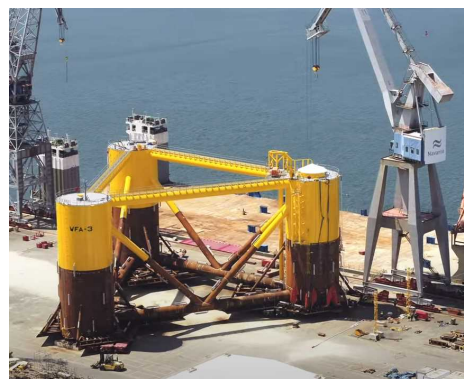
- 基礎の保管水域(Nigg港)
: 港湾ヤードでの基礎生産、生産した基礎の保管水域



- フィヨルド港湾でのアッセンブリ
: 大水深のフィヨルド港湾を活用したアッセンブリ



- 港湾ヤードでの基礎製造
: 欧州のドック不足に対応したヤードでの基礎製造



- 基礎のモジュール化
: モジュール化した基礎部品の基地港湾内等での組立(輸送効率化、短期組立)



- アンカー等の事前設置
: AHTによるアンカー、係留索の事前設置



- 保管水域(Gulen港)
: 浮体基礎に据付け完了した浮体の一時保管のための水域

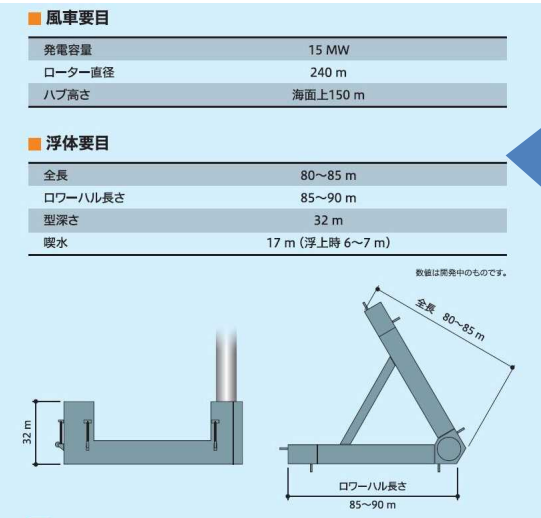


(出所) 写真はEquinor社HP (<https://www.equinor.com/en/what-we-do/hywind-tampen.html>)、BW IDEOL社HP (<https://bw-group.com/our-businesses/bw-ideol/>)、Floating Wind Joint Industry Project Phase I Summary Report (CARBON TRUST)、Navantia社youtube(https://www.youtube.com/watch?v=bekqd3z_tws)、Stiesdal社HP (<https://www.stiesdal.com/offshore-technologies/the-tetraspar-full-scale-demonstration-project/>)、VRYHOF社・BOURBON SUBSEA SERVICES社・Principle Power社・edp社・REPSOL社・ENGIE社youtube(https://www.youtube.com/watch?v=0wCyVTg_eA)、Offshore vind - Konstruksjonsutfordringer med flytende vind - Hywind (Equinor)

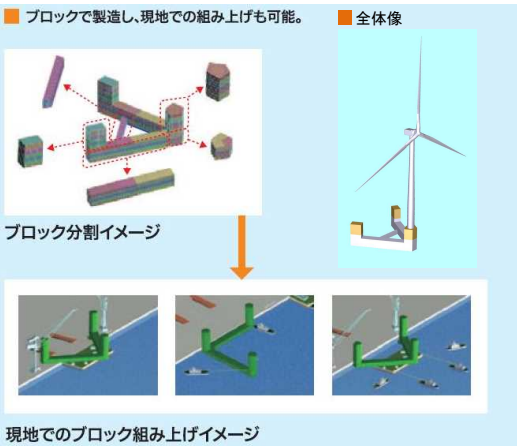
(9) 港湾に関連する施工上の課題への対応動向(続き)

- 国内メーカーにより浅喫水タイプのセミサブ基礎の開発も進められている。

三菱造船(株)において開発中のセミサブ

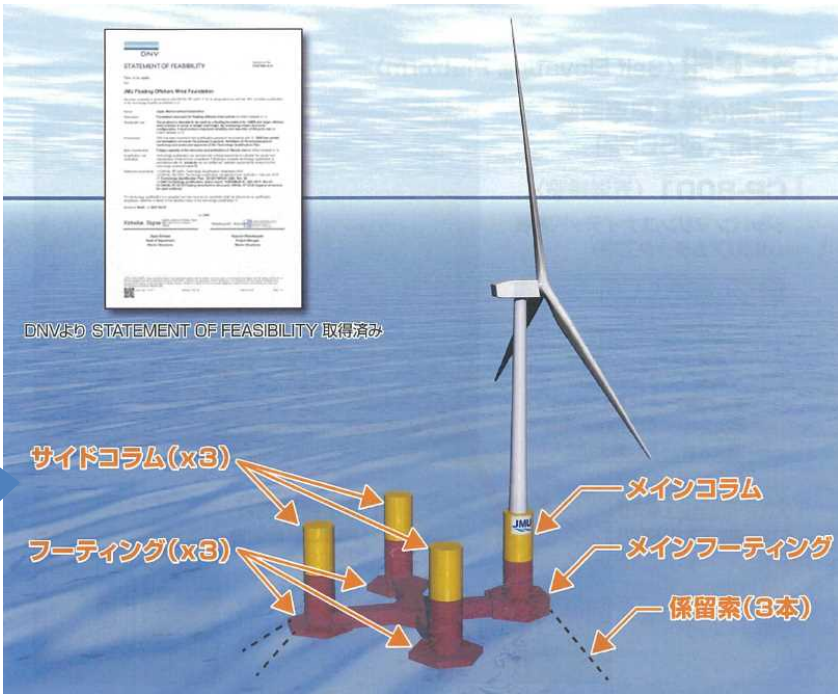


- (特徴)
- ・対応風車 : 15MW機対応
 - ・浮体幅 : 85~90m
 - ・喫水 : 設置時17m
: 浮上時喫水6~7m
* 浮上時の喫水は6~7mで、アセンブリを基地港湾で可能
 - ・製作 : ドック生産又はブロックで製作し、現地組み上げも可能



- (特徴)
- ・対応風車 : 12MW機対応
 - ・浮体幅 : 80m
 - ・喫水 : 基礎の喫水は浅く、アセンブリを基地港湾で可能
 - ・製作 : ドック生産又はブロックで製作し、現地組み上げも可能

ジャパン マリンユナイテッド(株)において開発中のセミサブ



5. 基地港湾の規模

(10) 浮体式洋上風力発電所の基地港湾に求められる機能、規模

- 浮体式洋上風力発電設備の設置には、アッセンブリ機能に加え、基礎製作機能、水域での基礎保管機能、アンカリング準備機能が必要と考えられる。
- 想定される課題や機能に対応するには、現時点では下記の規模が必要と想定される。将来、技術開発等による課題の変化については、新たな課題を踏まえた検討・整備が必要となる。

浮体式洋上風力発電所の基地港湾に求められる機能、規模

必要機能	規模	備考
アッセンブリ	・岸 壁:延長200～400m、水深10m以上	スパー基礎の場合で、プレアッセンブリをすべて岸壁で行う場合は、4基分1km程度の水際線が必要となる。(ハイウインドスコットランドの例)
	・面 積:10～20ha程度	保管エリア・PA等エリアを想定。
	・地耐力:最大荷重200t/m ²	着床式の基地港湾に同じ。
基礎製作	・岸 壁:延長200m、水深-7.5m	セミサブ船の係留。国内既存セミサブ船を想定。
	・面 積:10～20ha程度	ドックを併設する基礎製作工場、コンクリートバージの製作ヤード、モジュール化した基礎部品の組立ヤードを想定。
	・地耐力:15～20t/m ² 程度	クローラクレーンによる基礎部材の吊り作業を想定。
基礎保管	・面 積:水域10ha程度	半年分12基程度の保管水域を想定。
アンカリング準備	・岸 壁:延長200m、水深-7.5m	アンカーハンドリングタグの係留を想定。
	・地耐力:一般の埠頭と同程度	係留索、アンカーのハンドリングを想定。
	・面 積:1ha程度以上	係留索、アンカーの作業保管スペースを想定。保管数量により増加。

6. 本日で議論頂きたい内容

(1) 本日で議論頂きたい内容

① 浮体式洋上風力発電所に対応した機能・諸元について

- 浮体式洋上風力発電は、現時点において複数基を施工した実績は世界に4プロジェクトしかなく、施工方法も大きく異なる。
- ただし、これら事例及び浮体式洋上風力発電の特性を踏まえると、基地港湾及び基地港湾を補完する港湾について、アッセンブリ機能に加え、基礎製作機能、水域での基礎保管機能、アンカリング準備機能が新たに必要と想定。

浮体式洋上風力発電所の建設に必要な港湾機能、諸元について、現時点において入手可能な情報に基づきとりまとめを行った。この内容について、追加すべき点はないか。

② 浮体式洋上風力発電所に対応した基地港湾の整備について

- 浮体式洋上風力発電について、基礎や施工に関する技術開発は日々進められており、技術開発動向によって基地港湾に求められる機能・規模は異なる。
- 指定済の4つの基地港湾の現在のスペックでは、現時点において想定している浮体式に必要な機能(基礎製作、水域での基礎保管、アンカリング準備)を充足できない可能性がある。

浮体式洋上風力発電所に対応した基地港湾は、今後の浮体式洋上風力発電の基礎や施工に関する技術開発の状況等をふまえて、整備を進めてはどうか。

速やかに浮体式洋上風力発電所の建設が具体化した場合は、基地港湾において不足する機能があれば、国内の複数の港湾で支援することができるよう検討してはどうか。