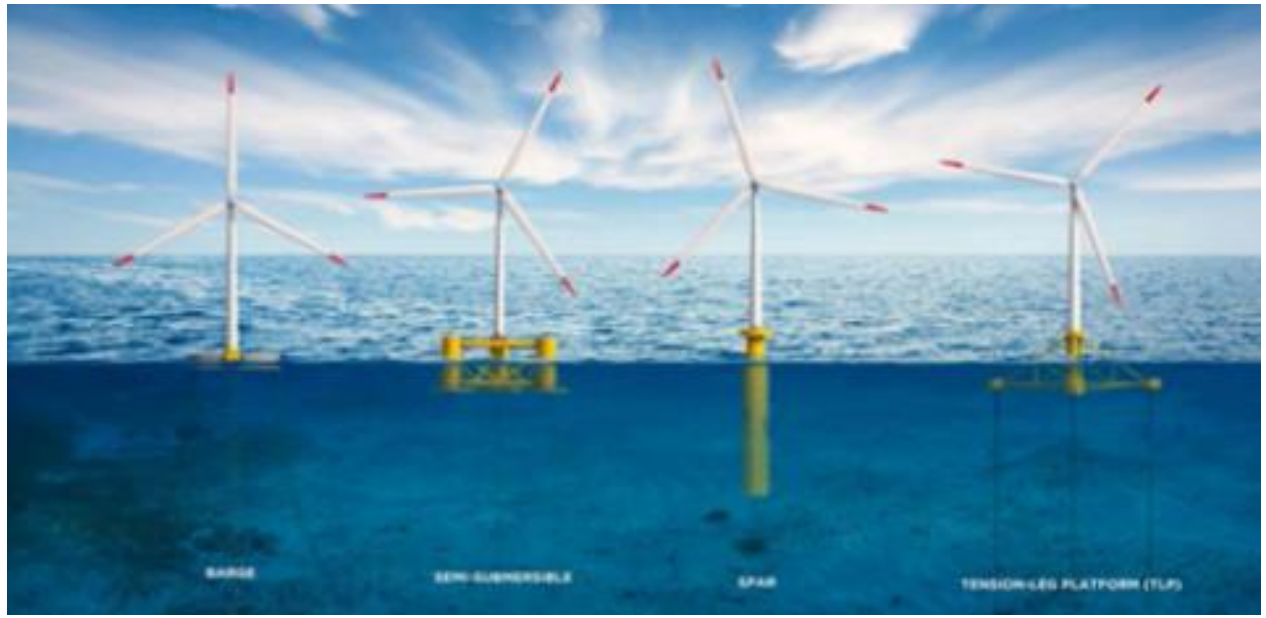
令和4年　第1回海洋技術フォーラムシンポジウム

2022年６月28日

世界で急拡大する浮体式洋上風力発電と我が国の課題



長崎大学　海洋未来イノベーション機構
織田　洋一

急速に拡大する浮体式洋上風力発電　（その１）

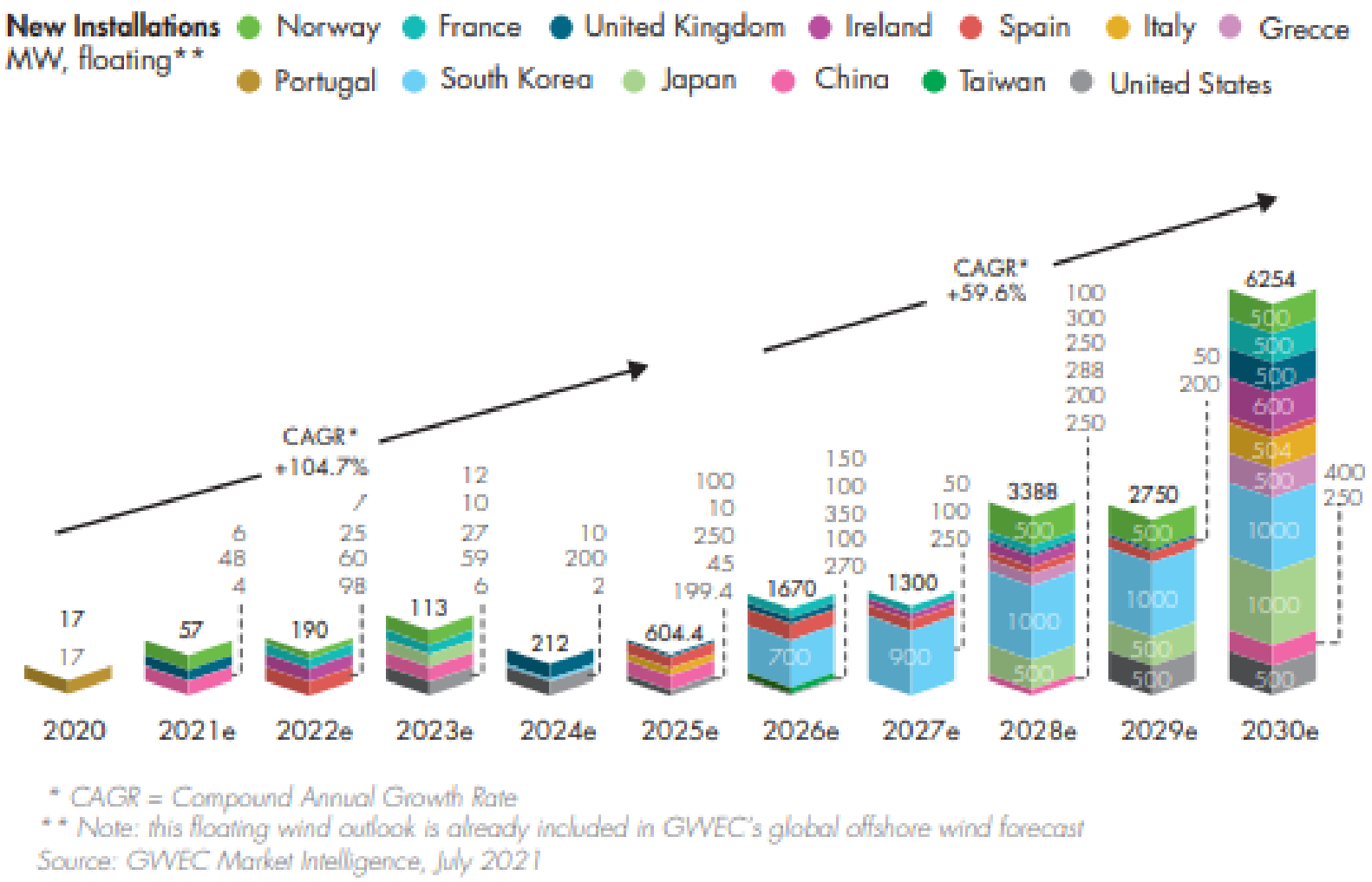
・世界風力エネルギー協会（GWEC）は、浮体式洋上発電の導入量が、
2020年の年間17MW（1万7千キロワット）から、
2030年に年間6,254MW（625万キロワット）に拡大すると予想している。

・各国による浮体式洋上風力発電の2030年導入目標量は、英国12GW、
フランス６GW、米国7.6GW、韓国６GW、ノルウエー1.5GWなど、
合計34GW(3,400万キロワット）以上である。

・世界の洋上風力資源ポテンシャルの約80%は、水深60mより深い海域にある。
（GWEC)

【備考】 GW（ギガワット）＝100万キロワット
MW（メガワット）＝1,000キロワット
1GW＝1,000MW＝1,000,000kW

浮体式洋上風力の拡大予想



浮体式洋上風車の年間新設規模予測（世界）

2020年：　17MW
2022年：　190MW
2024年：　212MW
2026年：1,670MW
2028年：3,388MW
2030年：6,254MW

(出典）GWEC offshore wind 2021 updated-1 (P.111)

https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/09/GWEC-offshore-wind-2021-updated-1.pdf

急速に拡大する浮体式洋上風力発電　（その2）

・欧州では、英国で2017年に操業開始した出力30MWのHywind Scotland（6MW 風車ｘ５基）を皮切りに、大型風車を搭載した浮体式発電の中規模事業（出力30~50MW)が、複数操業されている。

・これら複数の発電事業を通じて長期操業性能や故障率等の実績データが蓄積されており、欧州では浮体式洋上風力発電事業に対する保険契約や銀行融資の条件が整いつつある。

・更に、大量生産や大規模化によるコストの低減効果が加わると、浮体式風車の発電コストが着床式と遜色の無いレベルにまで低減されるか、或いは海域によっては着床式を凌ぐであろうとの確信が広がりつつある。

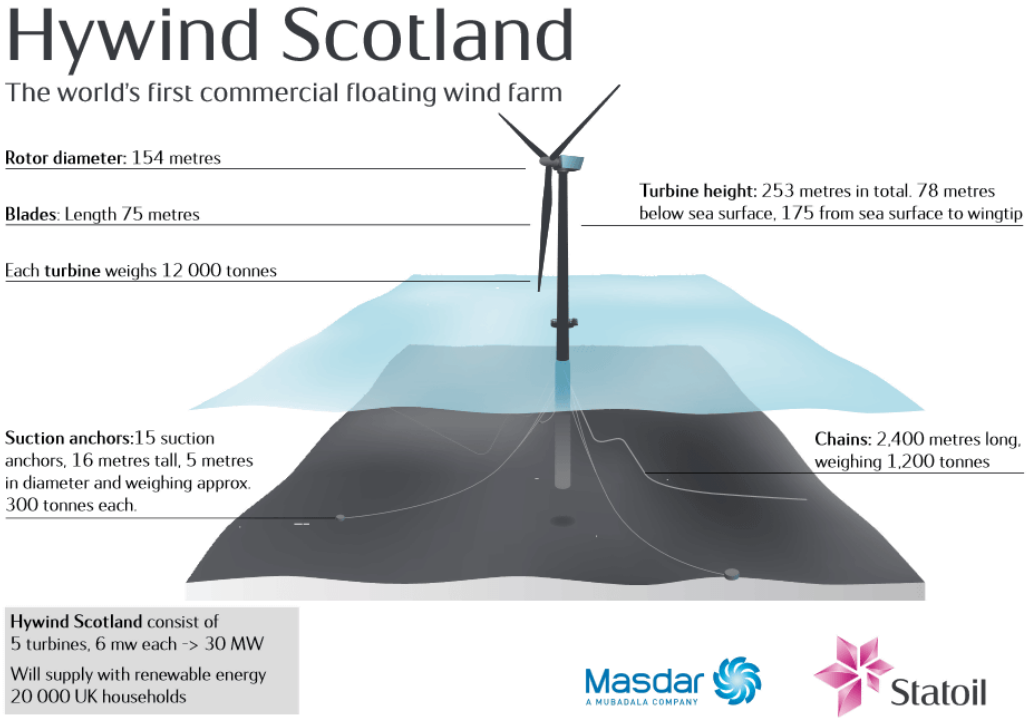
Hywind Scotland　30MW　運転開始　2017

Hywind Scotland
出力：30MW
型式：浮体式洋上風力発電所
稼働開始：2017年
水深：120m、 離岸距離：約25km
海域：英国スコットランド　ピーターヘッド沖
風車：Siemens-Gamesa S154-6.0 x 5

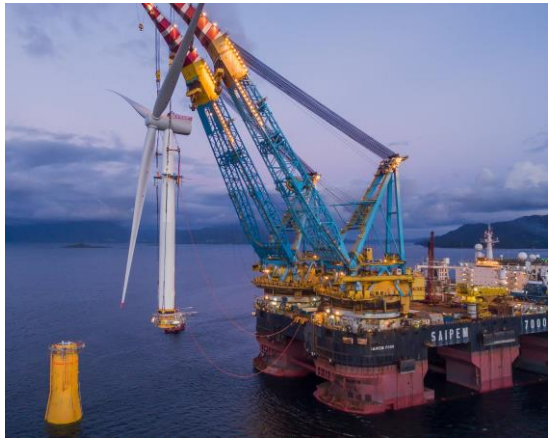
年間平均設備利用率：57.1%
（2019年4月~2020年3月）

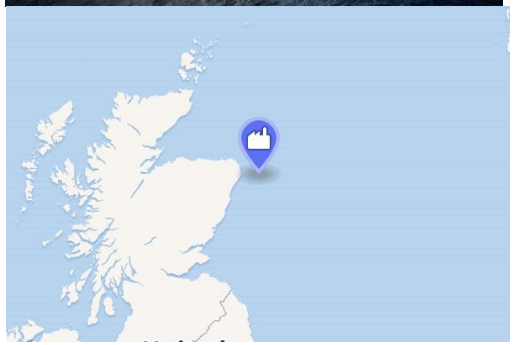
（６MW風車＋スパー浮体）ｘ　５基

equinor



Stord

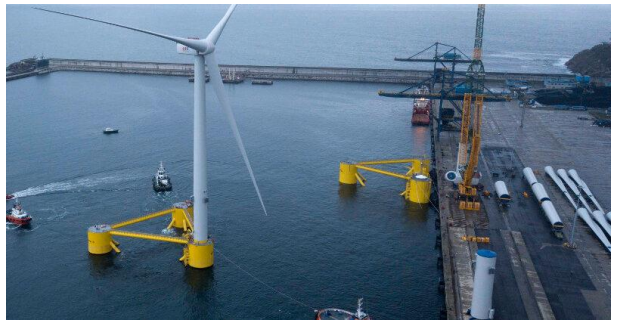


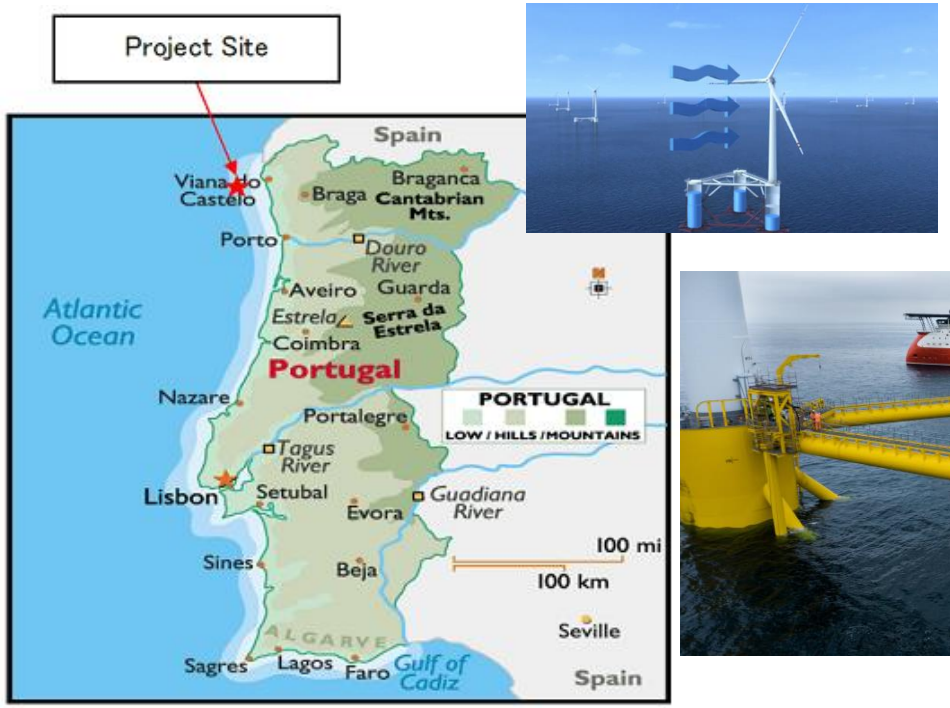


Wind Float Atlantic　25.2MW　運転開始　2020

（8.4MW風車＋セミサブ浮体）x　3基

Wind Float Atlantic
出力：25.2MW
型式：浮体式洋上風力発電所
稼働開始：2020年（25.2MW）
水深：100m、　離岸距離：約20km
海域：ポルトガル　ヴィアナドカステロ沖
風車：Vestas V164-8.4 x 3
浮体設計:Principle Power



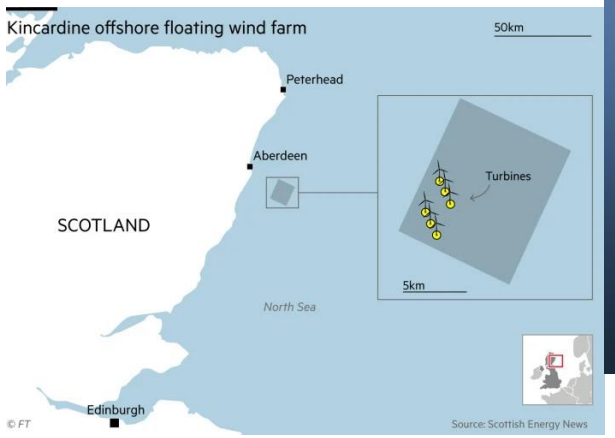


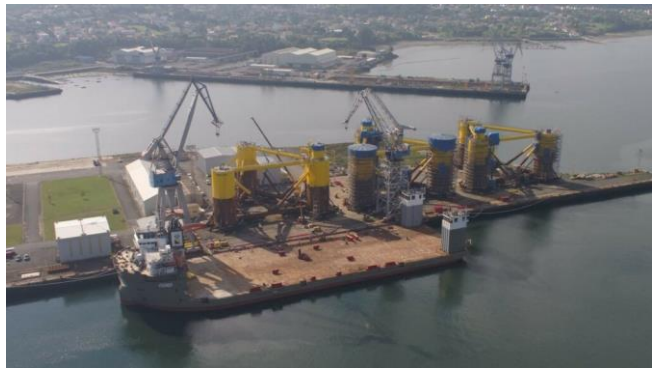
Kincardine 49.5MW　運転開始　2021

（9.5MW風車＋セミサブ浮体）x　5基　＋　（２MW風車＋セミサブ浮体）x １基

Kincardine Offshore Windfarm Ltd.（KOWL）

出力：49.5MW
型式：浮体式洋上風力発電所
稼働開始：2021年（49.5MW）
水深：60m~80m、離岸距離：約15km
海域：スコットランド アバディーンシャー沖
風車：Vestas V164-9.5 x 5 & V80-2.0 x 1
Cobra Wind: エンジニアリング、建設、設置、試運転





Navantia

Boskalis

Hywind Tampen　88MW　運転開始　2022

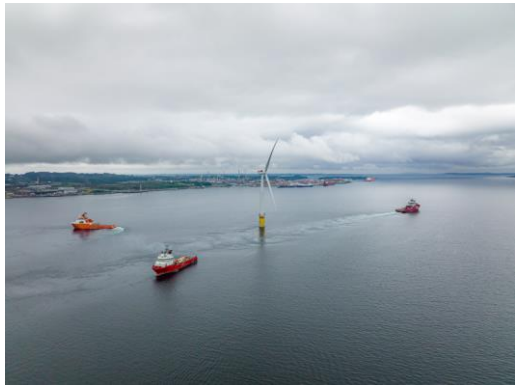
equinor

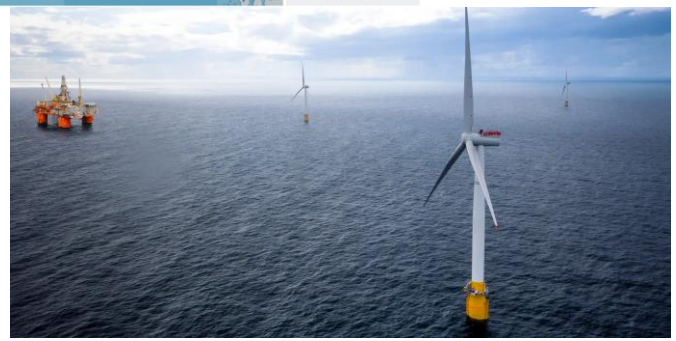
Hywind Tampen
出力：88MW
型式：浮体式洋上風力発電所
稼働開始：2022年
水深：260~300m、 離岸距離：約140km
海域：Norway Tampen地域沖
　Snorreガス田（A,B）とGullfaksガス田（A,B,C)の中間
風車：Siemens-Gamesa S167-8.0 x 11
　　(8MWから8.6MWにアップグレード)

（8MW風車＋スパー浮体）x　11基

Bergen

Gulen





equinor　vår energi　petoro　wintershall dea　IDEMITSU　OMV

急速に拡大する浮体式洋上風力発電　（その３）

・欧州では1事業あたり出力１GW（百万キロワット）規模の浮体式洋上風力発電事業が開発される段階に入った。

・英国スコットランド沖では、合計出力約25GW (2,500万キロワット)の洋上風車が設置できる17海域を対象にしたScot Windと呼ばれる公募入札が実施され、4.35倍の応募があり、2022年1月17日に落札企業が発表された。

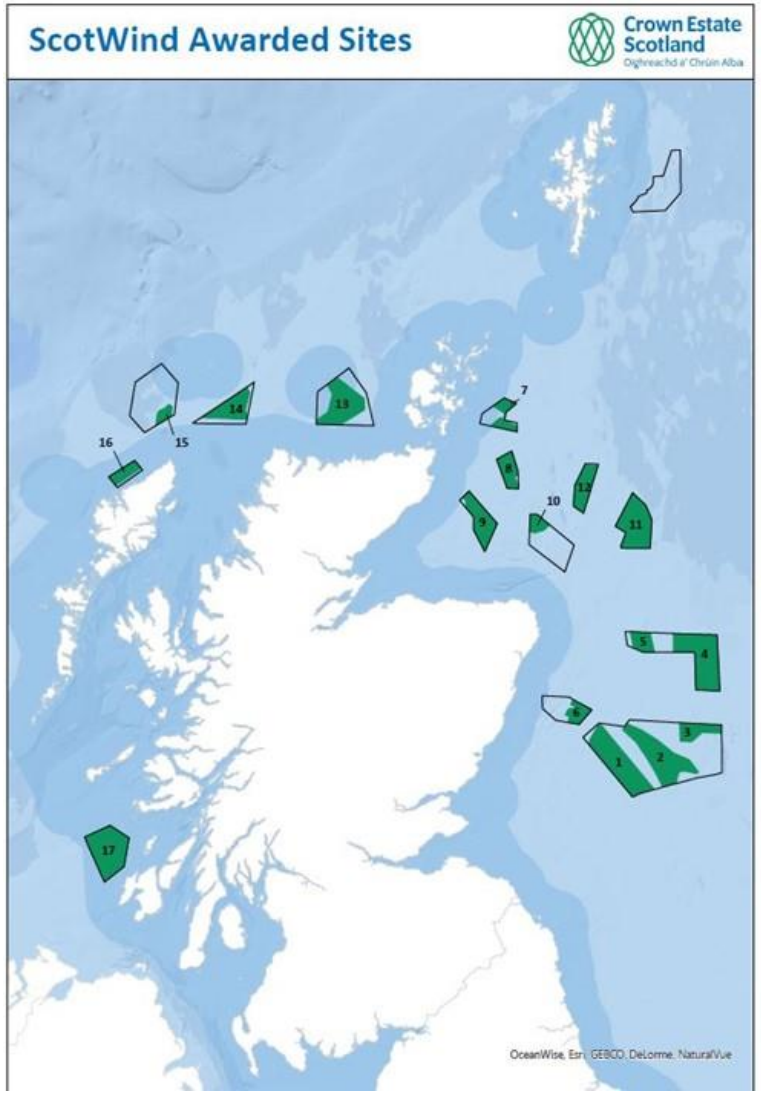
・17海域のうち、11海域は合計15GW（1,500万キロワット）の浮体式洋上風車を設置できる海域であった。

・最大規模にあたる2.6GW(260万キロワット）の浮体式事業海域を落札したのは日本の丸紅、英国のSSE、デンマークのCIPの3社企業連合であった。

ScotWind Awards

（2022年1月17日発表）

合計25GW（17事業）のうち、
約15GW（11事業）が浮体式洋上風力、
約10GW（6事業）が着床式洋上風力。



SITE	DEVELOPERS	CAPACITY
1	BP and EnBW	2,907MW
2	SSE Renewables, CIP and Marubeni	2,610MW (FOW)
3	Falck Renewables and BlueFloat Energy	1,200MW (FOW)
4	Shell and ScottishPower Renewables	2,000MW (FOW)
5	Vattenfall and Fred Olsen Renewables	798MW (FOW)
6	DEME, Aspiravi and Qair	1,008MW
7	DEME, Aspiravi and Qair	1,008MW (FOW)
8	Falck Renewables, Orsted and BlueFloat Energy	1,000MW (FOW)
9	Ocean Winds	1,000MW
10	Falck Renewables and BlueFloat Energy	500MW (FOW)
11	Shell and ScottishPower Renewables	3,000MW (FOW)
12	Floating Wind Allyance (Baywa r.e., Elicio and BW Ideol)	960MW (FOW)
13	RIDG, GIG and TotalEnergies	2,000MW
14	Northland Power	1,500MW (FOW)
15	Magnora ASA and Technip UK	495MW (FOW)
16	Northland Power	840MW
17	ScottishPower Renewables	2,000MW

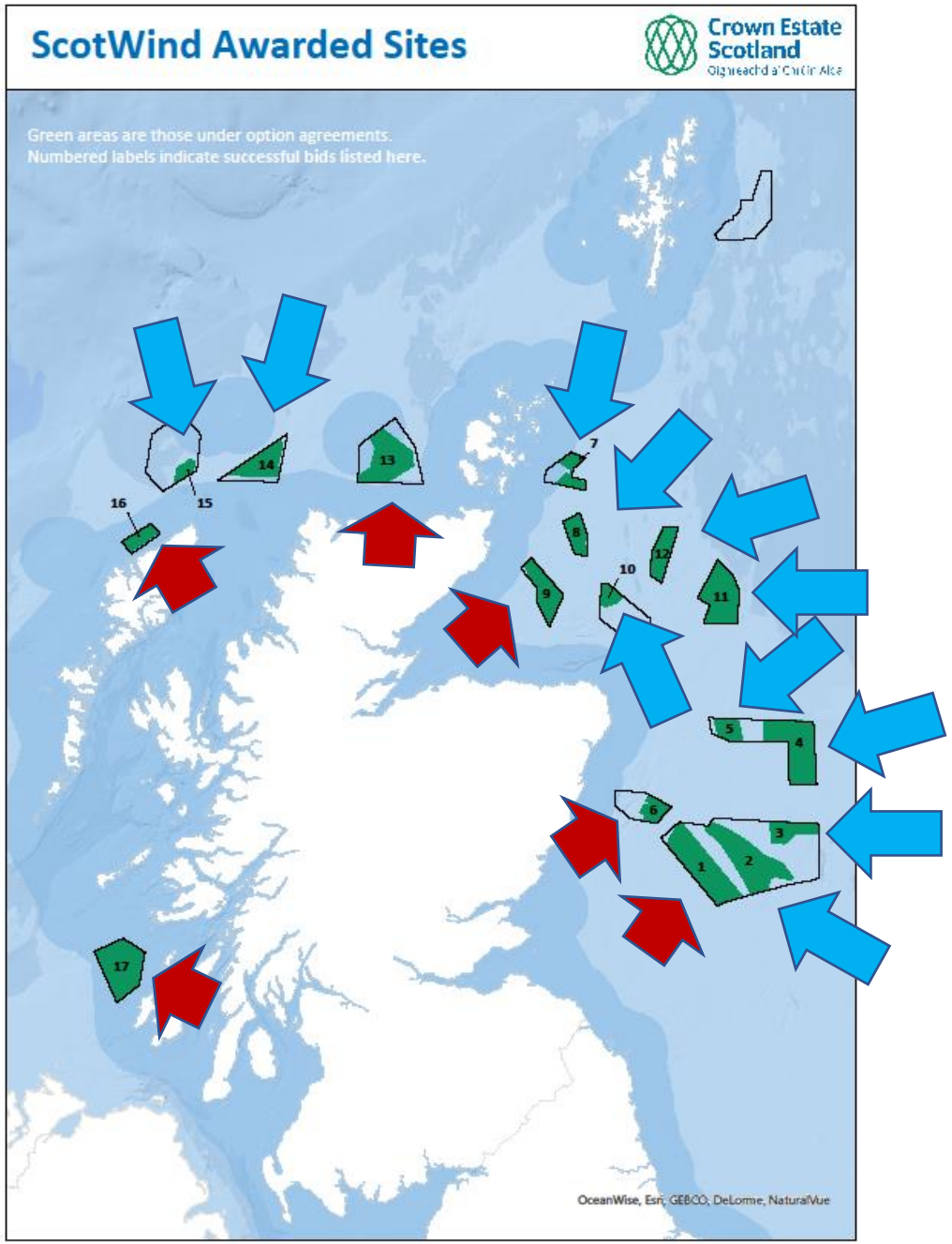
ScotWind

浮体式洋上風力の海域
（11海域:15,071MW）

着床式洋上風力の海域
（6海域:9,755MW）

合計: 24,826MW

浮体式: 15,071MW
着床式: 9,755MW



ScotWind Awards

（2022年1月18日発表）

丸紅株式会社は、英国スコットランドにおいてスコットランド自治政府機関が主催する洋上風力発電事業の開発に関する海域リース権益を対象とした入札（通称：ScotWind）に英国大手電力会社SSE plcの再生可能エネルギー子会社であるSSE Renewables Limitedおよびデンマーク王国の投資会社Copenhagen Infrastructure Partners P/Sとの3社連合で応札し、2022年1月17日に政府機関より落札事業者として選定されました。
落札したのは、スコットランドの東側に位置する海域にて最大設備容量2,600MWの浮体式洋上風力発電事業の開発を行うプロジェクトで、世界で開発される大規模浮体式洋上風力発電事業の初期案件の一つとなる見込みです。
また、洋上風力発電事業のサプライチェーンに関わる企業の発展とCOVID-19からのリカバリー支援を目的とした1億ポンドの基金を本コンソーシアムが設立することで、スコットランド経済の更なる発展に寄与します。
丸紅は、日本を含む世界21ヶ国で持分容量約12GWの発電資産を保有・運営しており、浮体式洋上風力発電事業においては、世界に先駆けて福島浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業などの実証研究に参画しました。これらの発電事業や実証研究で得られた知見・経験をもとに、スコットランドにおける脱炭素化に貢献すると共に、今後も世界各国での浮体式洋上風力発電事業の拡大を目指します。

【2.6GW　浮体式洋上風力発電事業
開発予定海域】

https://www.marubeni.com/jp/news/2022/release/00005.html

ScotWind Awards

（2022年1月17日発表）

- Crown Estate Scotlandが、ScotWind Leasingの結果を発表。
- グラスゴーがCOP26気候会議を主催してからわずか数か月後の結果発表。
- スコットランドがエネルギー市場を変革し、ネットゼロ経済に移行する大きなチャンスを示している。

ハイライト

- 合計74件の申請の中から17件のプロジェクトが選定され、各々の海底エリアに対する権利を留保するオプション契約が決定された。　（競争倍率：4.35倍）
- 合計7億ポンド弱（約11億円）のオプション料金が落札事業者から、公的支出のためにスコットランド政府に支払われる。
- 17のプロジェクトでカバーされる海底面積は約7,000㎢＋。
  （スコットランド政府のセクター別海洋計画を通じて最大8,600㎢が利用可能。）
- 合計25GW（17事業）のうち、
  約15GW（11事業）が浮体式洋上風力、約10GW（6事業）が着床式洋上風力。
- 初期の兆候は、スコットランドへの数十億ポンド（約1兆円）のサプライチェーン投資を示唆している。
- 生成される電力は、ネットゼロに移行するにつれてスコットランド経済の電化を拡大する。

（Source）https://www.crownestatescotland.com/news/scotwind-offshore-wind-leasing-delivers-major-boost-to-scotlands-net-zero-aspirations

日本の洋上風力発電ポテンシャル
（離岸距離60km以内、年間発電可能量）

- 沿岸60km以内の海域における洋上風力による発電可能量は、日本がアジア最大で、その98%以上が浮体式による発電量である。
- 日本の洋上風力発電ポテンシャルは年間約2,253TWhであり、日本の総電力需要の2倍以上である。
- 洋上風力の発電コストを大幅に低減できれば、電力市場のみならず、水素の製造・普及を通じて一次エネルギーのグリーン化にも活用できるであろう。
- 広い海域を有する日本は、気候変動危機対策を、浮体式洋上風力発電により牽引できるポテンシャルを有している。

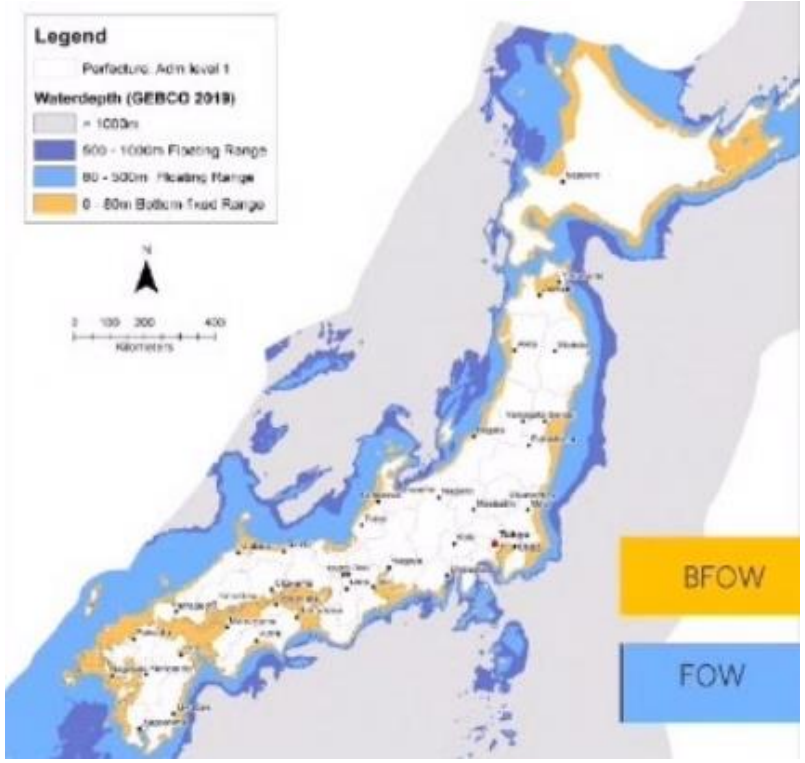
	着床式（TW時/年）	浮体式（TW時/年）
日本	30	2,223
中国	1,822	142
韓国	27	366
東南アジア	1,318	1,631
インド	683	903
欧州（28カ国）	2,266	7,541
米国	6,333	5,846

着床式と浮体式の発電可能量
（離岸距離60km以内）

（出典）IEA Offshore Wind Outlook 2019

【備考】　日本の総電力需要2030年度見通し：約8,640億kWh（864TW時/年）
総発電電力量2030年度見通し：約9,340億kWh（934TW時/年）（省エネベース）

浮体式洋上風力のポテンシャル



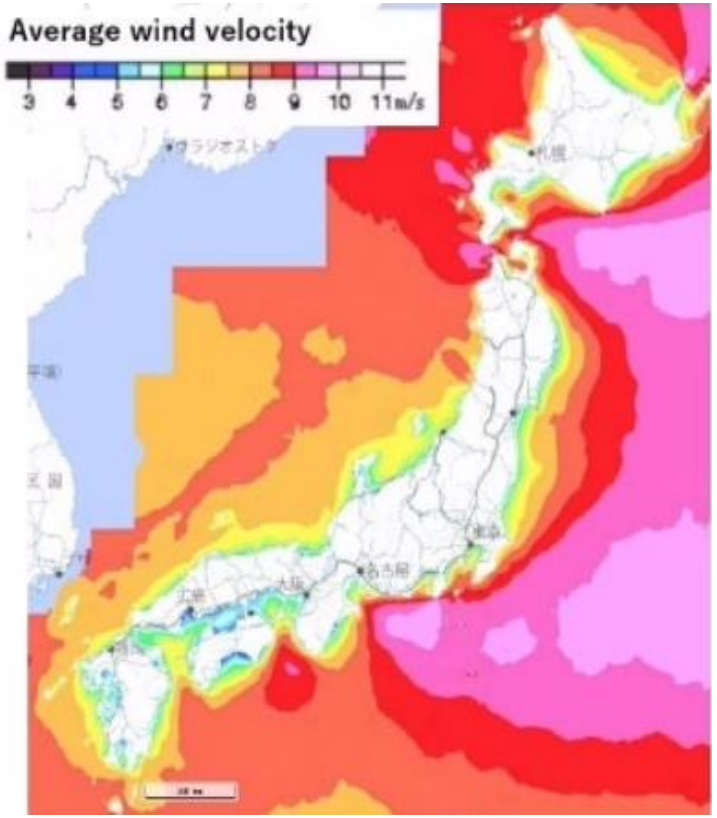
浮体式海域（青）と着床式海域（オレンジ）

（出典）IEA, Offshore Wind Outlook 2019

・左図は浮体式風車に適した深い海域を水色で、着床式風車に適した浅い海域をオレンジ色で表示した日本地図であるが、日本は浮体式に適した海域が圧倒的に広い。

・右図の洋上風況マップ（Neo Wins）と重ねれば、浮体式に適した海域の風速が速いことが分かる。

・日本はこの恵まれた環境を生かすことが重要である。



日本の洋上風況マップ

（出典）NEDO, Neo Wins

発電コストの低減と洋上風力発電の普及に必要な政策

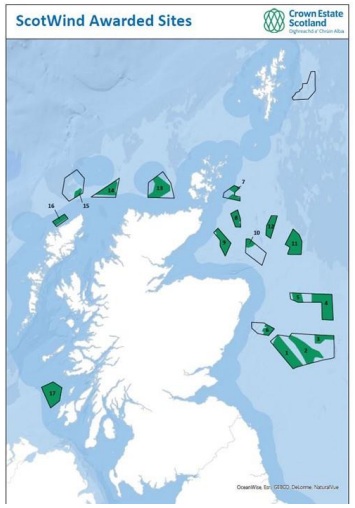
・浮体式洋上風力発電の普及を牽引する最大の要素は発電コストの低減である。
・発電コストの低減を実現するための条件は、
①風車の大型化、②事業の大規模化、
③予見性のある市場拡大である。

・長期的な市場拡大が確実であれば、企業は設備投資を実行でき、大量生産によるコストダウンとサプライチェーンの整備が実現される。

・そのためには、まず政策が重要になる。
Scot Windの様に、合計15GWの浮体式風車が設置できる具体的な海域を設定すれば、
産業界は10年程度の市場を予見できるので、
投資やサプライチェーンの整備を実行できる。
・連系容量の増強も重要な政策である。

英国の洋上風力促進政策（先行事例）

着床式用海域設定
合計約40GW
（2001~2010）



浮体式用海域設定
合計約15GW（2021）

海底送電線

Western Link

全長422km（海底385km）

600kVDC　定格2.2GW

２系統

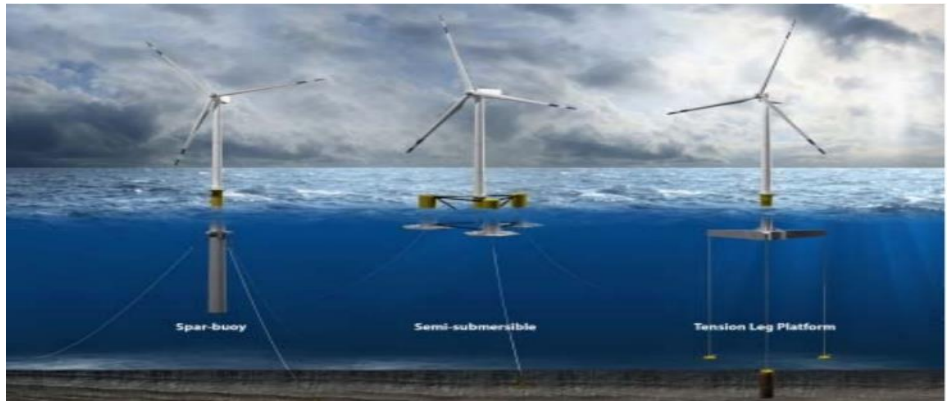
(2018年10月フル稼働)

浮体式洋上風車の商業化に必要な政策

・浮体式洋上風力発電に必要な基本技術はほぼ確立されている。浮体、係留、海底アンカリングに関する技術は、海洋石油ガス開発で確立された技術がベースになっている。それらの確立技術に、既に実用化された大型風車を組み合わせたのが浮体式洋上風力発電であるが、その組合せが新しいので、日本周辺の実海域でも実証して、長期的な安全性、耐久性、故障率などの見通しを確認しながら事業リスクを見極めなければ、投資対象となる大きな産業には成長しない。

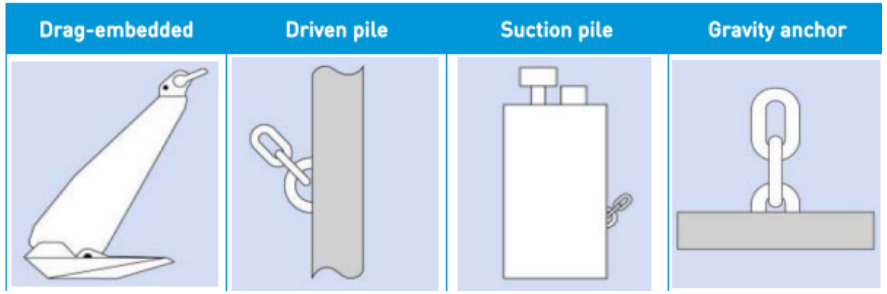
・そのため、商業化レベルに近い浮体式風車を対象にした実海域における長期実証運転や認証取得を支援する政策が重要になる。

・この政策支援は、未踏分野に挑戦する技術開発支援とは明確に切り分けて、産業化と発電コストの低減を目的に据えて実施することが重要である。



基本的な浮体の型式

左から スパー (Spar)、セミサブ (Semi-Submersible)
TLP (Tension-Leg Platform) （出典）DNV-GL



浮体式洋上風車に用いられるアンカー

左から ドラッグアンカー、ドライブ・パイル、サクション・パイル、重量アンカー （出典） The Carbon Trust

“ Floating Offshore Wind Market and Technology Review”

浮体式洋上風力の技術開発レベルと商業開発レベル

技術開発レベル（TRL）

商業開発レベル（CRL）

2025年頃から競争と市場拡大段階に入る。
欧州以外への海外展開も始まっている。

Now

6. 投資資産化

5. 競争と市場拡大

欧州では複数の商業発電が開始されている。

4. 複数の商業事業開始

アジアでは韓国が先行

2022~ (8MWx11)　Hywind Tampen

2021~ (9.5MWx5)　Kinkardine

2020~ (8.4MWx3)　Windfloat Atlantic

2017~（６MW x ５）Hywind Scotland

日本も商業化への開発を加速する必要がある。

Now

商業化レベルに近い浮体式風車を対象にした実海域における実証発電や認証取得を政策支援

9 運転開始と操業

3. 商業規模へのスケールアップ

2023~（2.1MWx8）五島沖

2009~（2.3MW x 1）　Hywind Demo

5~7 技術実証試験

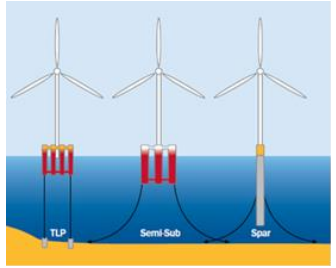
2. 小規模実証試験

2019~2022（3MWx1）北九州沖

2013~2021（2MW,5MW,7MW x 1）　福島沖

2012~2015（2MWx1）　五島沖

(2016~：商業運転)



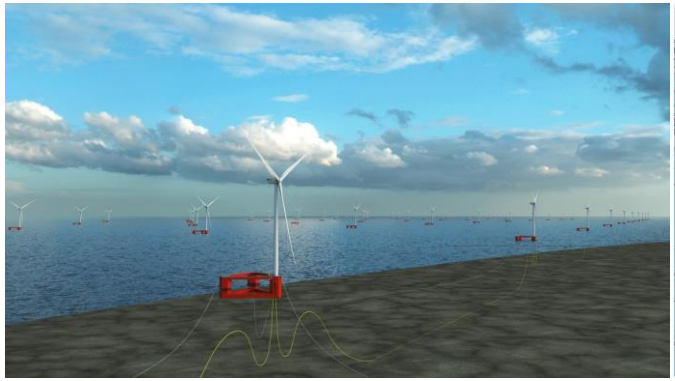
3~６ 技術開発

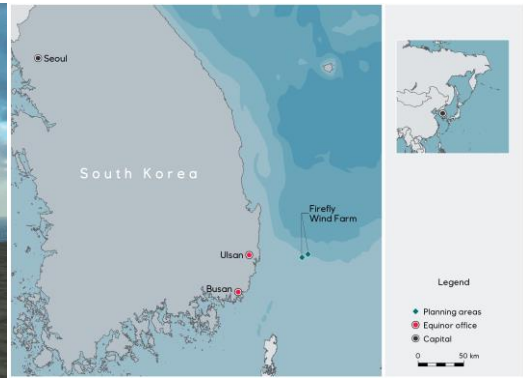
1. 商業化命題 (架空段階)

（出典）各種情報に基づき織田洋一作成

アジアでは韓国が浮体式洋上風力発電の事業開発で先行

浮体式洋上風力発電所
Firefly Wind Farmプロジェクト
出力　800MW（80万キロワット）





開発事業者：
Equinor　韓国東西発電（EWP）
形式：　浮体式洋上風力発電
出力：　800MW
海域：　韓国蔚山市沖約70㎞
海域面積：約75㎢　x　2
平均風速：8.9m/秒
水深：150～300m
浮体：セミサブ（鋼製）
係留：カテナリー3本係留

＜スケジュール＞

LIDAR測定　2020-2021

グリッド契約　2022/23

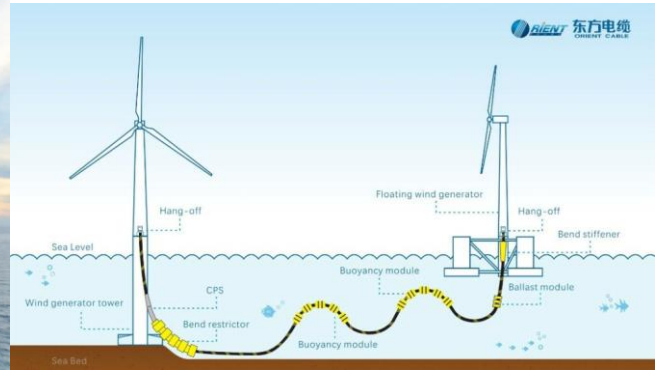
最終投資判断　2023/24

製作　2024/25/26

設置　2025/26/27

商業運転開始　2027年

中国は浮体式洋上風車による実証発電を開始

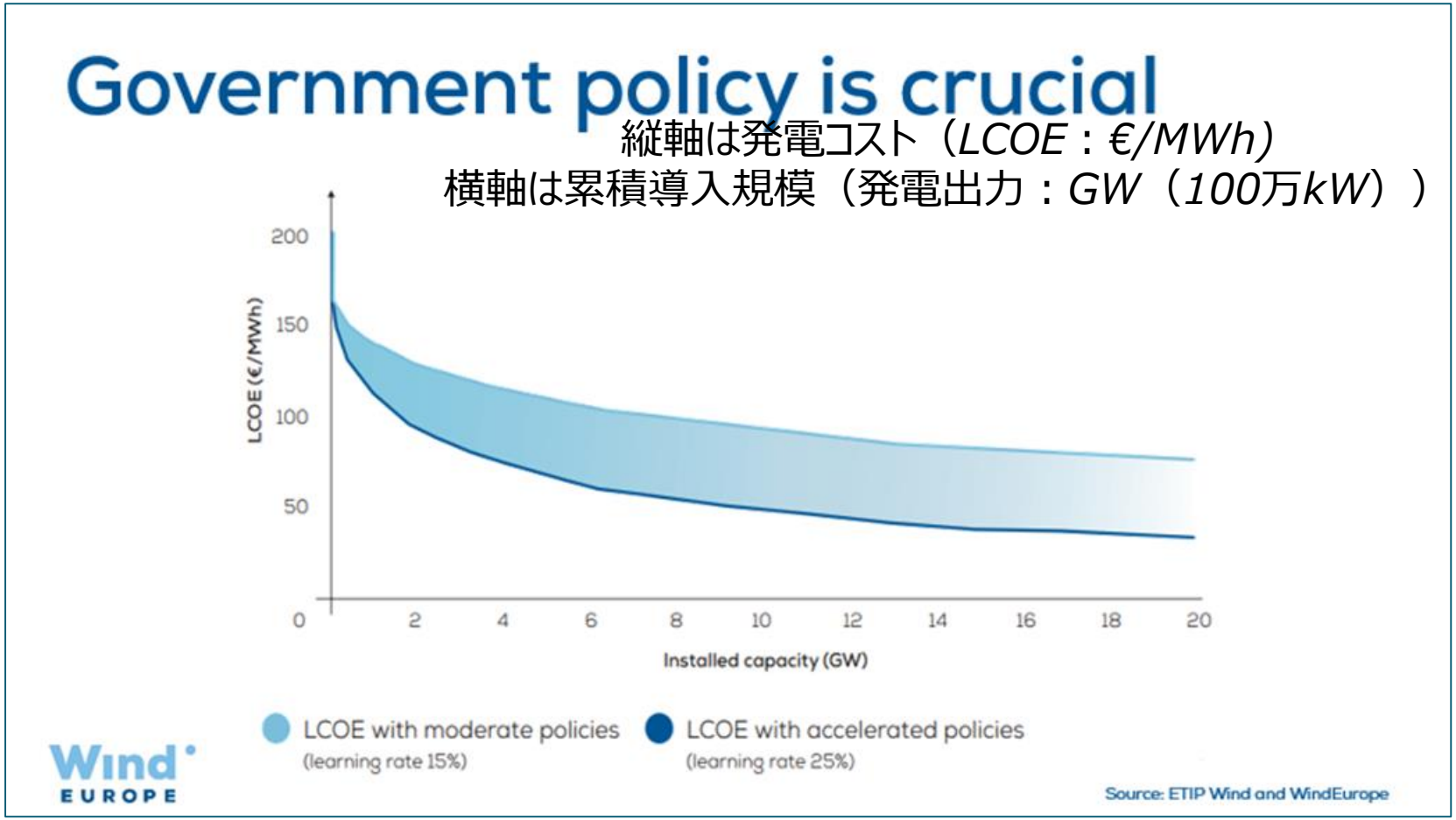


中国における浮体式風車の実証運転
設置海域：三峡陽江洋上風力発電所（着床式）
Yangxi Shapa Ⅲ（出力400MW）の海域
設置時期：2021年9月

＜浮体式風車＞
浮体：セミサブ
風車：明陽（MingYang）製風車出力5.5MW

浮体式洋上風力の発電コスト（LCOE）低減に有効な方策

導入規模の拡大により、コスト低減が実現する。
実現には、目に見える政府支援が重要。



（出典）FOWT カンファレンス2020 by Wind Europe CEO Giles Dickson

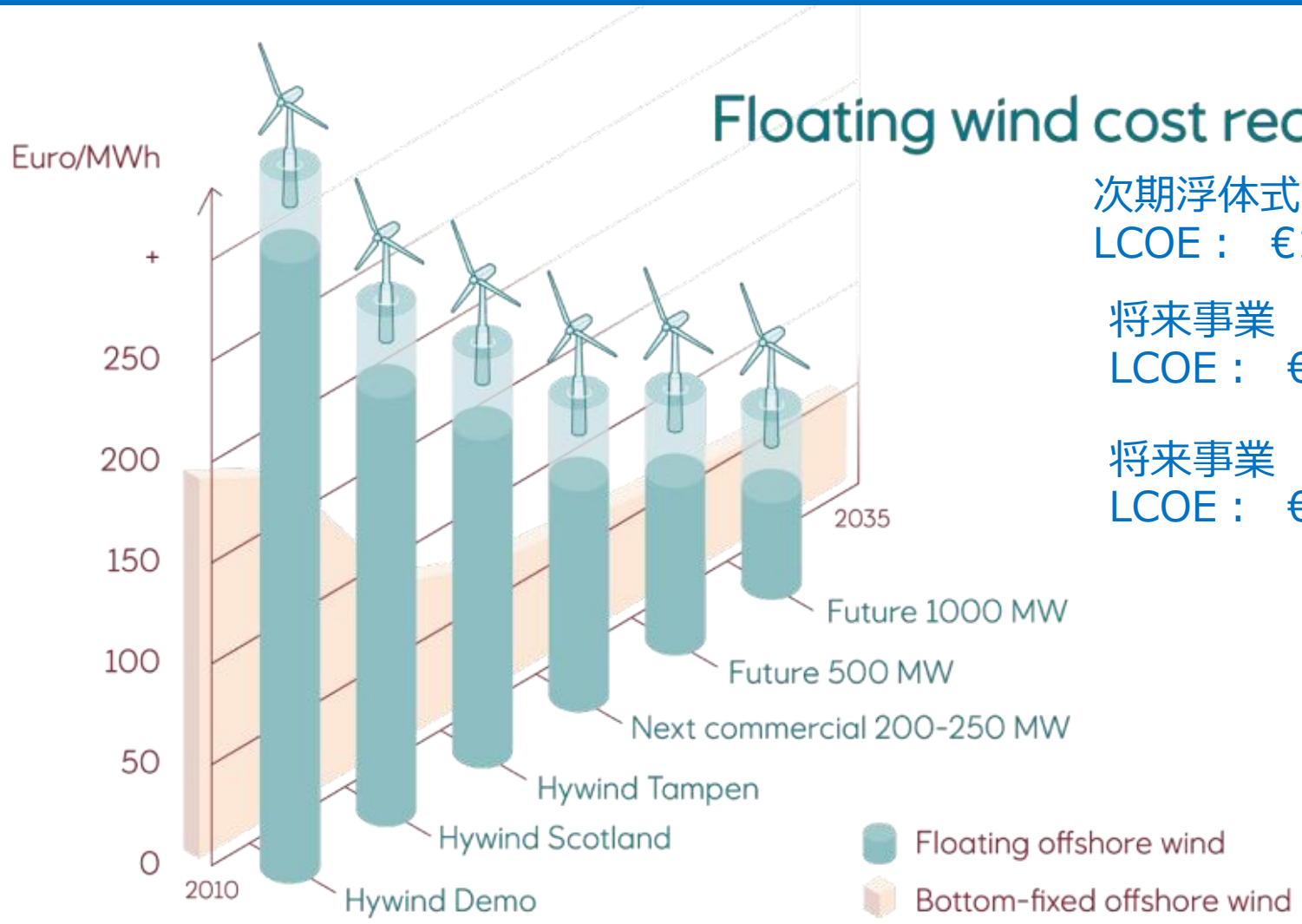
WindEurope CEO
Giles Dickson氏の講演：

コストダウンが累積GWを増加させるのではなく、**累積GWの増加がコストダウンをもたらす。**

コストダウンを早期に行なうためには、政府の目に見えるサポートが大切。

例えば、技術主体の入札制度、長期にわたる収益安定性、港湾設備への投資、コストギャップを埋めることに注力した技術開発と投資。

equinorによる浮体式洋上風力の発電コスト（LCOE）低減



次期浮体式事業（200~250MW規模）
LCOE： €100/MWh （¥14/kWh）

将来事業（500MW規模）
LCOE： €70/MWh （¥10/kWh）

将来事業（1000MW規模）
LCOE： €40/MWh （¥6/kWh）

Equinorの浮体式風力開発責任者
Sebastian Bringsværd氏
「世界のエネルギー業界は、着床式洋上風力発電の導入コストが急速に低下していることに喜んで驚いています。私たちは10年以上にわたって浮体式洋上風力発電に取り組んできましたが、規模と経験によって大幅なコスト削減が達成され、浮体式が完全に商業化される道が開かれることがわかりました。」

(出典) https://www.equinor.com/en/news/20210323-hywind-scotland-uk-best-performing-offshore-wind-farm.html

浮体式洋上風力のサプライチェーン　（その１）

課題認識

- 日本でも、海外先行国と同様に、10GW規模の洋上風力発電事業用の海域設定ができれば、10年程度の新規市場と産業が予見できるので、日本企業は設備投資やサプライチェーンの整備に着手できる。
- もし、これが出来なければ、韓国や台湾でサプライチェーンの整備と浮体式洋上風力発電事業が先行し、韓国や台湾の浮体式風車の国際競争力が強化されるので、日本においても実績のある浮体式風車を採用した方が、ファイナンスコストを含めて事業競争力が高まる可能性がある。

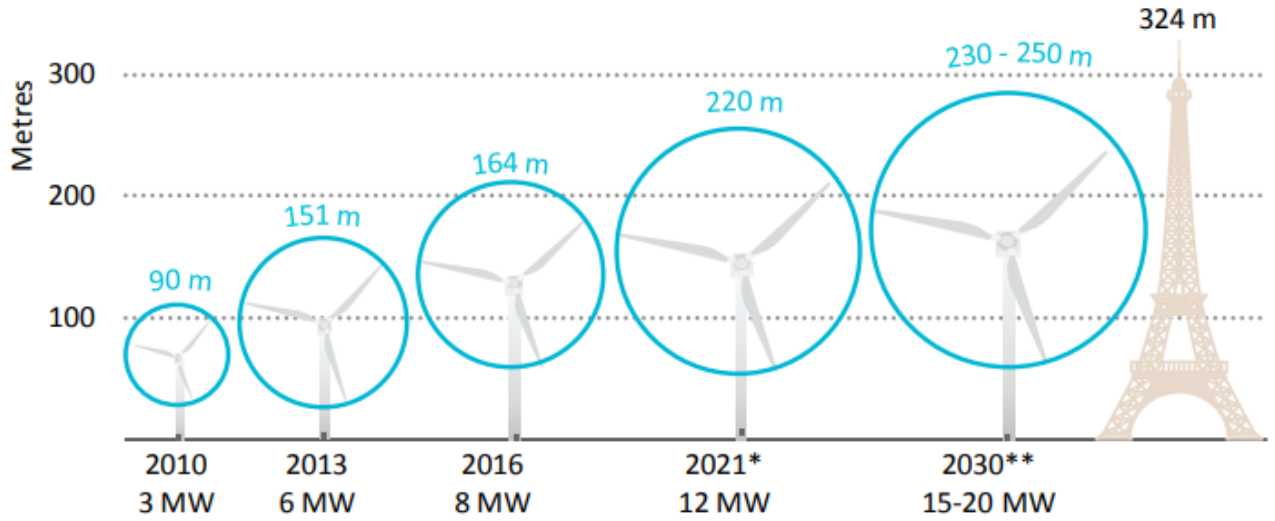
- 仮に、日本が2030年から年間１GWの浮体式洋上風力を導入するならば、出力15MW風車の場合は年産67基、20MW風車の場合は年産50基の量産組み立て拠点が必要になる。

- 風車が大型化されると浮体のサイズが造船所のドックのサイズを超えることが想定される。これは、日本のみならず、日本より大型のドックを有する韓国や中国でも直面する課題である。

- 今後も大型化を続ける洋上風車に適応して変化できない場合には、浮体式洋上風車の国際競争力が失われるばかりでなく、目先のスペックに合わせて整備した拠点港や浮体式風車の組立て拠点がスクラップ化するリスクがある。

課題認識

20～30年間使える洋上風力拠点港や浮体の生産・組立拠点を整備するためには
将来の風車サイズを予測する必要がある。



Technology advances enabled offshore wind turbines to become much bigger in just a few years and are supporting ongoing increases in scale

* Announced expected year of commercial deployments. ** Further technology improvements through to 2030 could see bigger turbines sizes of 15-20 MW.

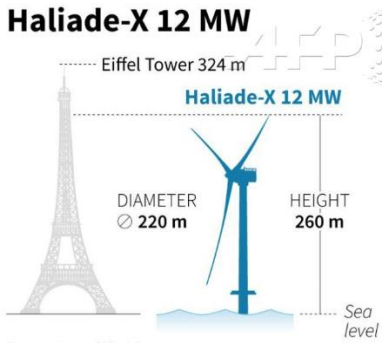
Notes: Illustration is drawn to scale. Figures in blue indicate the diameter of the swept area.

洋上風車の大型化の推移（2010～2030）

（出典）IEA, Offshore Wind Outlook 2019

2030年の風車サイズと重量は？
2040年の風車サイズと重量は？
2050年の風車サイズと重量は？

現在は過去になる。
12MW風車は過去の風車になる。



浮体式洋上風力のサプライチェーン　（その2）

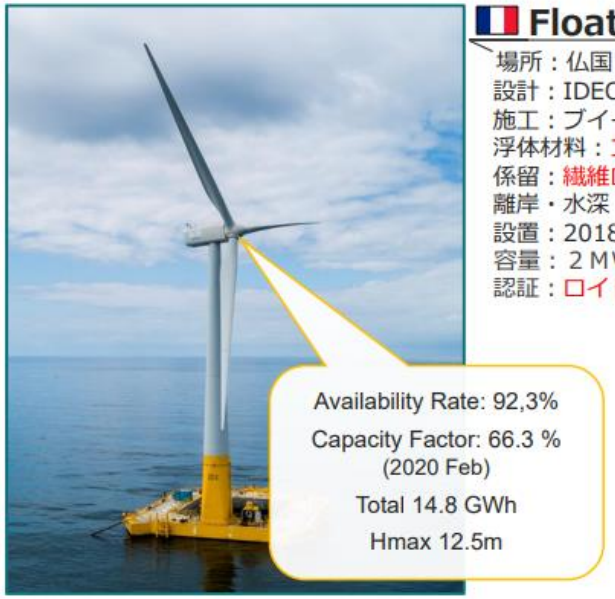
課題認識

- 部材製造、浮体組立、進水、大型風車と浮体の接合、曳航、設置の各工程におけるコスト低減技術を検討する必要がある。
- 標準化、大量生産、自動化、無人化が生かせる工程を検討する必要がある。
- 浮体の構成素材は、鋼材、コンクリートなど幅広い材料から最適材料を選択するべきである。
- 海象条件が、洋上接合、台船作業、進水、曳航、設置に与える制限を考慮して、各工程の立地を選択すべきである。
- 日本海に設置する場合、関門海峡を通過できる大型浮体の数や、洋上高200m以上の浮体式風車が関門橋を通過できないことなどを考慮の上、各工程の最適拠点を選択する必要がある。
- 係留方法と係留素材は、大型浮体式風車の重量、浮力、安定性、海象条件を考慮して、最適な組み合わせを検討する必要がある。
- 大量生産技術や、大型風車と浮体との接合工法のイノベーションが、日本の競争力強化の鍵になる可能性がある。

ゼネコンには与えられた敷地で超高層ビルを建設する技術がある。
造船にはドックで船を建造し進水する技術がある。
自動車産業にはロボットや自動化による低コスト・量産技術がある。
これらの技術を最適に組み合わせて、国際競争力に優れた浮体式洋上風車の生産基地を日本に作ることが望ましい。

コンクリート製浮体（左）とスチール製浮体（右）

日仏で実証済みの技術：異なる海域・異なる素材・異なる認証機関



Floatgen プロジェクト

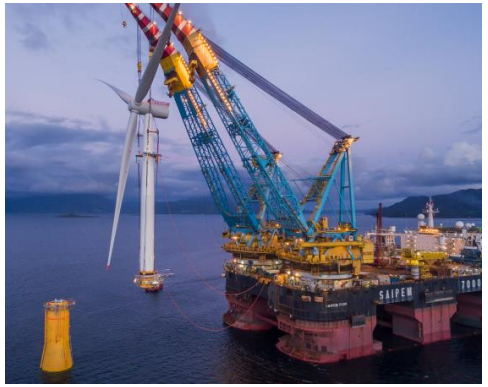
場所：仏国　大西洋
設計：IDEOL
施工：ブイーグ（大手ゼネコン）
浮体材料：コンクリート
係留：繊維ロープ
離岸・水深：20km, 32m
設置：2018年
容量：２MW
認証：ロイドレジスター (LR)

NEDO
次世代浮体式洋上風力実証機

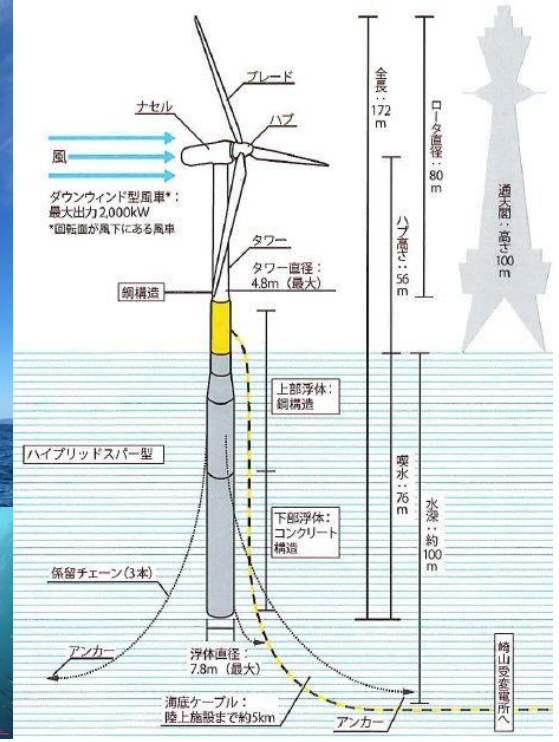
場所：北九州沖合
設計：IDEOL
ライセンス提供：IDEOL
施工：日立造船
浮体材料：スチール
係留：チェーン
離岸・水深：15km, 50m
設置：2018年
容量：３MW
認証：日本海事協会 (NK)

出典：https://www.nedo.go.jp/floating/gallery08.html

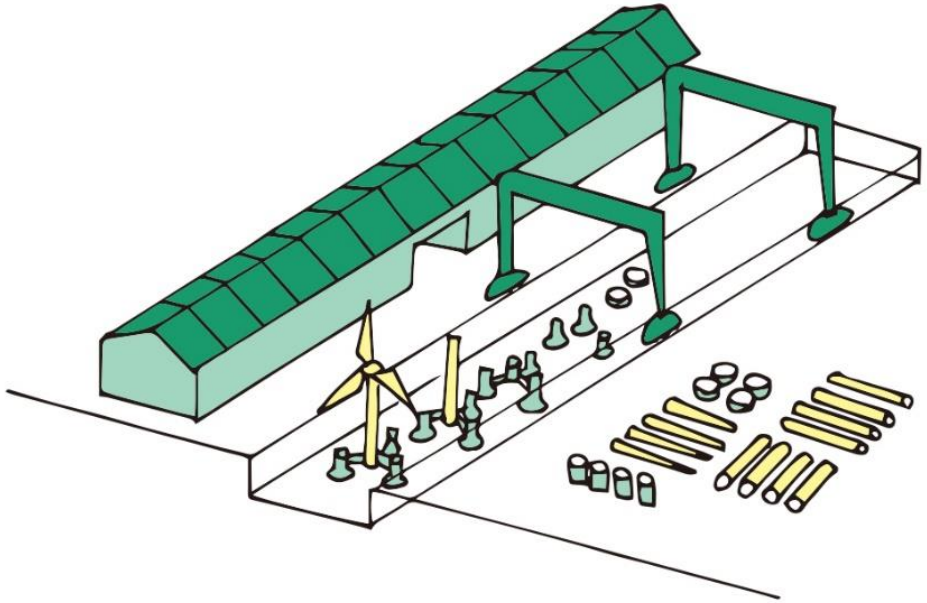
BW ideol

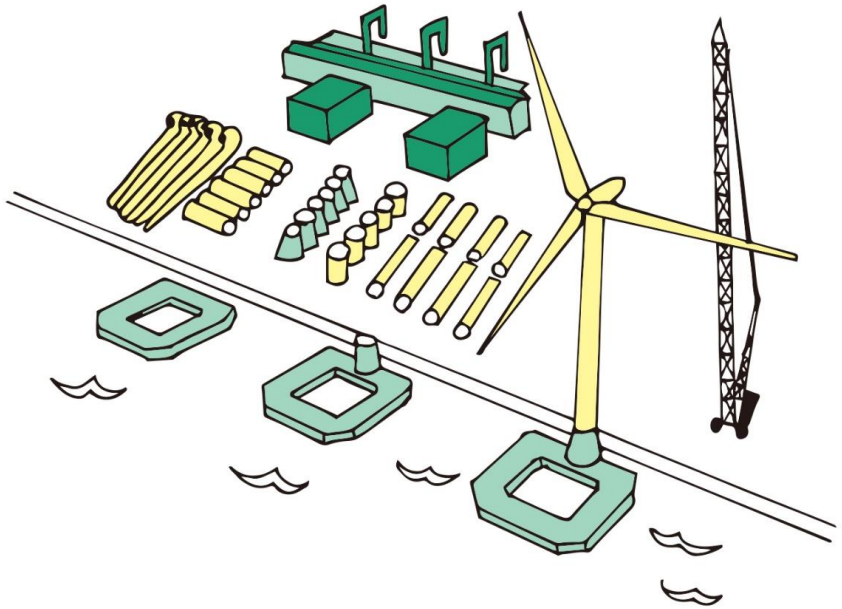


ハイブリッド浮体
（上部スチール製、下部コンクリート製）

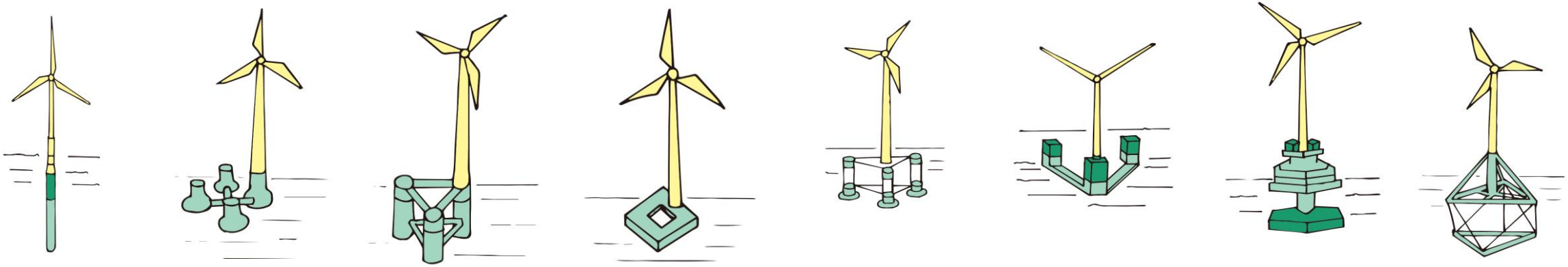


浮体式洋上風車の量産拠点イメージ





洋上風車は海外メーカー製



浮体式洋上風力市場と国際競争

・自航式浮体式風車は曳航できるので、船舶の様に移動できる。

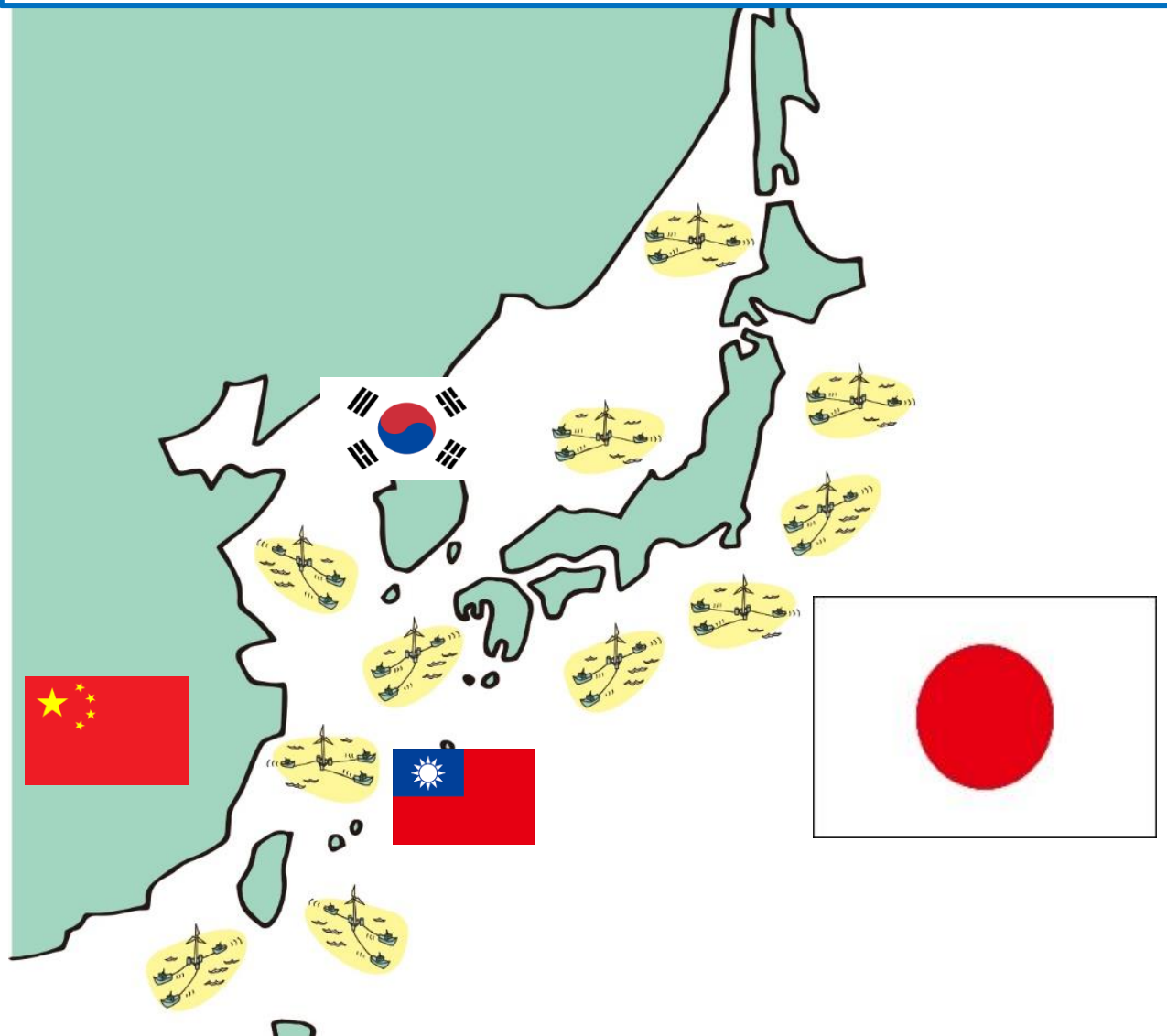
・韓国は、沖合58km、出力200MWのDonghae-1や沖合70km、出力800MWのFireflyなどの浮体式洋上風力発電事業の開発で先行しており、蔚山の巨大ドックからは、自国のEEZ水域のみならず、日本海や米国西岸沖へ曳航することも可能である。

・米国の離岸距離60km以内の海域における浮体式洋上風力の発電可能量は世界最大の年間585万GW時（5兆8460億キロワット時）で、日本の2.6倍である。米国の浮体式の主要海域は水深の深い西岸沖である。

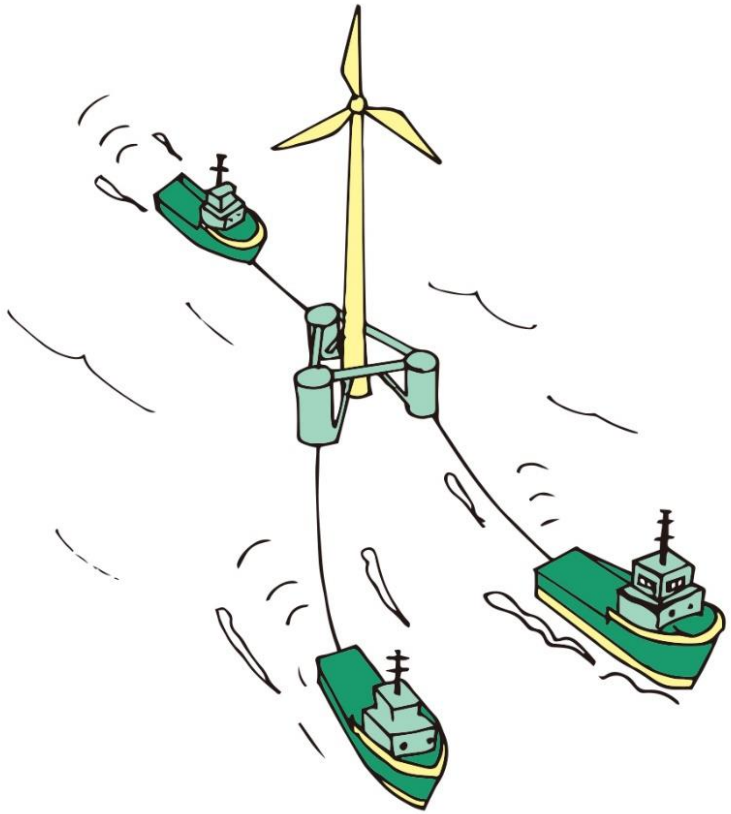
・日本は自由貿易を標榜する国策と国内調達率を優先したい国内政策との政策バランスが問われる可能性がある。

浮体式洋上風力市場と国際競争

アジア最大の浮体式洋上風力ポテンシャルを有する国は日本



浮体式風車は海を渡れる



太平洋周辺国では浮体式洋上風力の最大市場は米国、2位は日本と期待されている。

浮体式洋上風力のリソース地図

(Source) https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/09/GWEC-offshore-wind-2021-updated-1.pdf

浮体式洋上風力発電の商業化ロードマップ　（GWEC）

Roadmap of floating offshore wind commercialisation

Demo and trial phase
(2009-2020)

Pre-commercial phase
(2021-2025)

Commercial phase
(from 2026 onward)

浮体式洋上風力の商業化ロードマップ

海域実証段階
(2009-2020)

商業開発段階
(2021～2025)

商業事業段階
(2026～)

Floating offshore wind Market outlook to 2030

（*GWEC*）年間導入量予測
*2030*年：*6,2524MW*

*20MW*風車の場合：
年産*312*基（月産*26*基）

（出典）https://gwec.net/wp-content/uploads/2021/09/GWEC-offshore-wind-2021-updated-1.pdf

浮体式洋上風力発電に関する日本のロードマップ

- 2021年6月に策定されたグリーン成長戦略では、洋上風力産業を筆頭に14の重点分野が示された。経済産業省は、2兆円のグリーンイノベーション基金により、政策を総動員しイノベーションに向けた企業の挑戦を後押しする。
- 同省は、温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、成長の機会と捉える時代に突入しているとしている。
- 人類は気候変動危機に対する早急かつ大規模な対応を求められている。
  このような状況下、アジア最大のポテンシャルを有する日本が、浮体式洋上風力発電を大規模に普及させることには大きな意義がある。
  化石燃料からの脱却とエネルギー自給率の向上に繋がる大規模な産業を立ち上げる好機と捉え、日本が積極的に取り組むべきである。
  - 特に日本の浮体式洋上風力発電に関するロードマップの必要性が高まっている。
  - 具体的なロードマップを策定し、産官学が英知を結集させて普及を目指すことに期待したい。

Y.ODA now

五島沖　浮体式風車
2020年9月20日

ご清聴ありがとうございました

長崎大学
海洋未来イノベーション機構

Y.ODA was born

織田　洋一