

洋上風力発電と地域振興

木下 健

東京大学名誉教授

(NPO法人) 海洋エネルギー資源利用推進機構 相談役

(NPO法人) 長崎海洋産業クラスター形成推進協議会 副理事長

J☆SCRUM(佐賀県海洋エネルギー産業クラスター研究会)副会長

特定非営利活動法人MATSRA (佐賀県) 副理事長

目次

1. 何故今再生エネルギーか？
2. 大発展している世界の洋上風力拠点
3. 世界と日本の浮体式洋上風力発電
4. 大命題：コスト削減と技術革新、そのためには漁業協調
5. まとめ

1. 何故今再生エネルギーか？

- 地球温暖化
- 安全保障（エネルギー源の多様化, 自給）
- 新産業創成
- 安全

2050年を見越すと、海洋エネルギーこそ最適、有望！

日本の再生可能エネルギーの量は？

島国の日本は洋上風力発電の資源が豊富

日本には、たくさんの再生可能エネルギー資源が眠っています。このように、今は眠っていて将来的に開発できる可能性がある再生可能エネルギーの量を「導入ポテンシャル」といいます。日本は、国土のまわりが海で囲まれた島国であるため、洋上に風車を設置する洋上風力発電（→2巻21ページ）と

太陽光（→2巻22～27ページ）の導入ポテンシャルが高く、それぞれ日本の年間発電電力量の3倍以上の電力量をまかなうことができると推定されています。また、陸上に建てる風力発電も比較的大きな導入ポテンシャルをもっています。

*再生可能エネルギーポテンシャルは、国土交通省「再生可能エネルギーポテンシャル調査報告書」に基づき算出されています。ここでは、2019年度の調査結果を掲載しています。また、2020年度の調査結果も公表されています。

再生可能エネルギーの導入ポテンシャル

洋上風力発電と太陽光発電が高い。2019年度の日本の年間発電電力量は1023TWhなので、すべてを再生可能エネルギーでまかなえる可能性は十分にある。

中小水力発電

※2巻28-30ページ

大型のダムだけでなく、全国を流れる河川や農業用水路に発電機を設置して発電する中小水力発電の利用が広がっている。

地熱発電

※2巻32-33ページ

地熱資源の多くが、開発が制限されている自然公園内にあるため、開発がしやすい程度に採掘が必要であるといわれている。

陸上風力発電

※2巻14-20ページ

陸上風力発電は、風速5.5m以上の風がふく場所が適しているといわれている。陸上風力の資源がもっとも多く眠っているとされているのは北海道と東北地方。

洋上風力発電

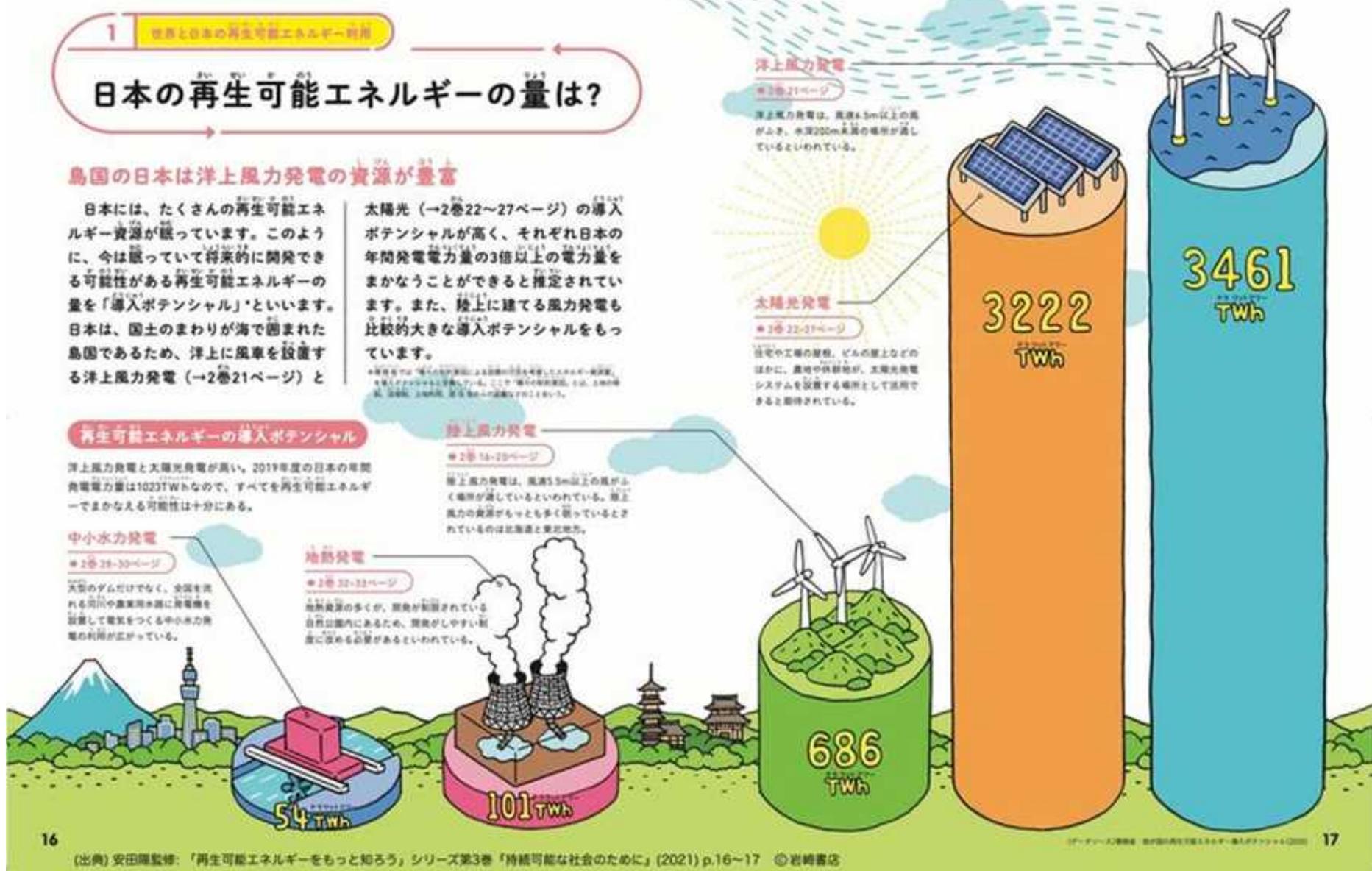
※2巻21ページ

洋上風力発電は、風速6.5m以上の風がふく、水深200m未満の場所が適しているといわれている。

太陽光発電

※2巻22-27ページ

住宅や工場の屋根、ビルの屋上などのほか、農地や休耕地が、太陽光発電システムを設置する場所として活用できると期待されている。



2. 大発展している世界の風力拠点

都市再生、地域振興の鍵は

「もの」から「こと」へ
「箱もの作り」から「物語作り」へ
人の繋がりデザイン

CIVIC PRIDE

Key word: 安全、環境

再生エネルギーは良いテーマ

海洋エネルギー

漁業権の問題はマイナス(**compensation**)に捉えがち

だが、実は

漁業者との共創(**promotion**)は恰好のテーマ！

風力エネルギー機構
ブレーマーハーフェン/
ブレーメン協会
(ドイツ)



秋田県議会議員「北林たけまさ」のブログから

- 風力エネルギー **業界のネットワーク組織** でドイツの北西に位置し、ドイツの洋上風力産業の窓口となっている。300以上の企業や研究所が現在会員となっており、風力発電産業のバリューチェーンをすべて網羅している
- 遠洋漁業等の衰退で、かつては失業率の高い地域であったドイツの港町ブレーマーハーフェンが、主要な洋上風力発電の **ノウハウの集結地**
- **港湾施設と港湾立地**

エスビアウ(デンマーク)

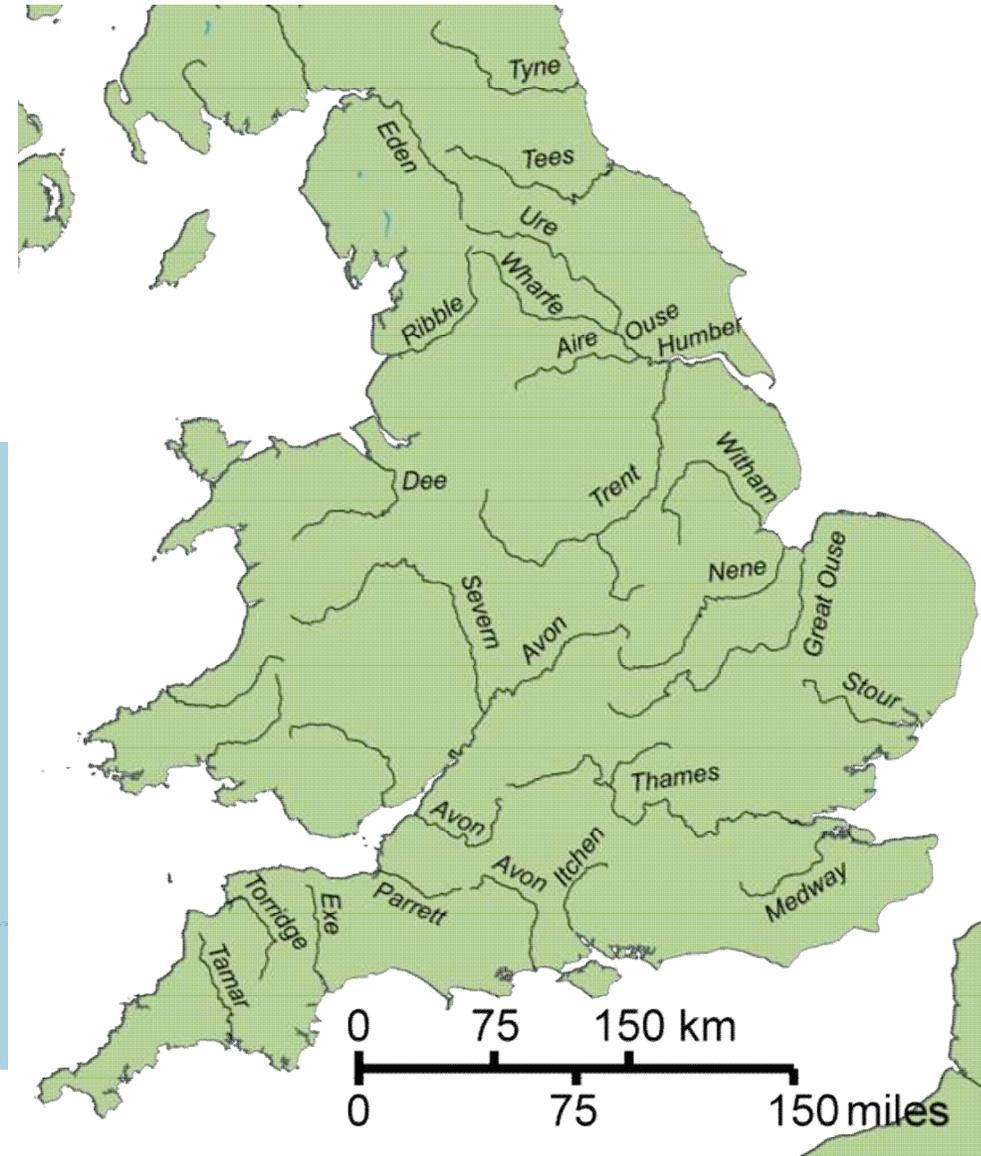
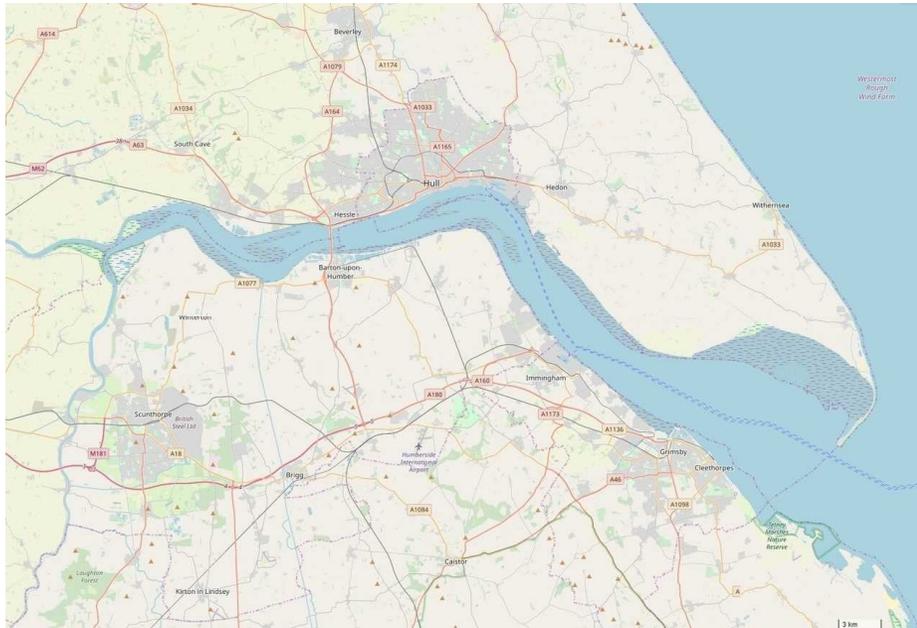
- 北海近海の洋上風力発電事業における建設・メンテナンスの中心拠点港
- エスビアウ港から出荷された風車の設備容量は洋上風力全体の67%を占める
- 100基以上分のタービンパーツを同時に保管
- 洋上風力向けのエリアは100万 m^2 (日本では12万 m^2 位からスタート)で名実ともに世界最大の拠点港です。



<http://portesbjerg.dk/en/business-area/renewables>

英国ハル市とハンバー地域の事例

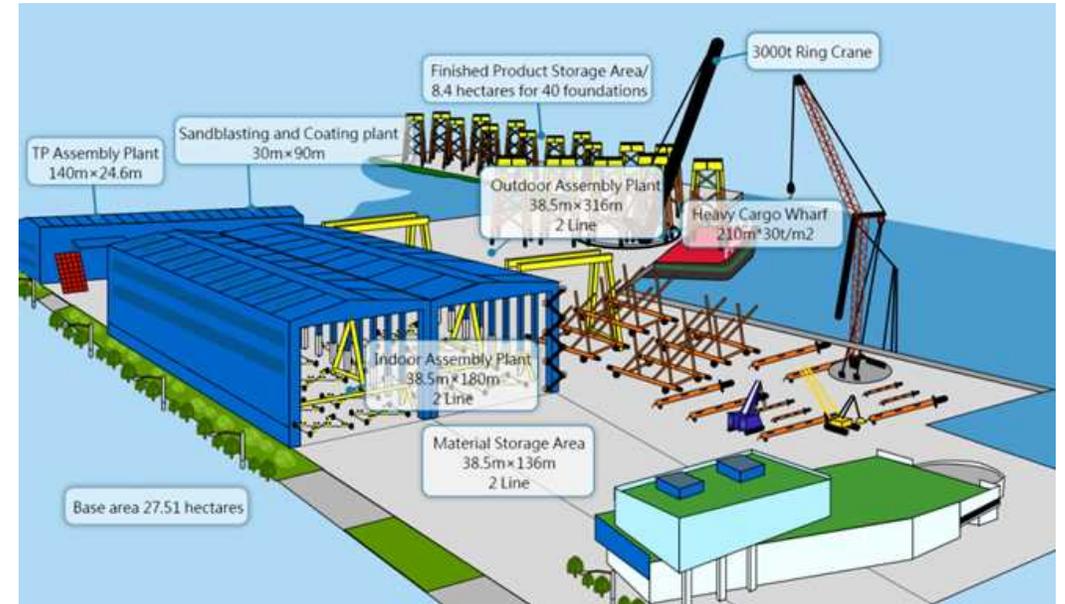
英国イングランド北東部、北海
に注ぐハンバー(Humber)川
河口近くの北岸
キングストン・アポン・ハル



- かつてはトロール船漁業の漁港で、**英国の最貧都市**のひとつ
- 2010年代半ばから、急拡大する北海の洋上風力発電事業の拠点港として最適なロケーションにあるため、既存の**北海油田・ガス田開発関連のサプライチェーン**が洋上風力発電に転用され始めた
- 2014年には、Siemens (当時) がハル港に進出し、必要となる港湾の整備が行われた。このような大規模投資により、地域には**1,000名を超える直接雇用**が創出され、洋上風力発電の長期的な建設、O&Mサービスへの需要が生まれ、洋上風力産業へのサプライチェーンが構築された

台湾高雄のSing Da港

Sing Da Marine Structure Corpが台湾高雄のSing Da港にジャケット基礎製造工場を開設。3,000t吊級のリングクレーンを稼働開始。最大JKT50基/年の製作が可能



[https://www.offshorewind.biz/2019/12/30/sing - da - marine-opens-jacket-foundation-plant-in-taiwan/](https://www.offshorewind.biz/2019/12/30/sing-da-marine-opens-jacket-foundation-plant-in-taiwan/)

台中港

MHI Vestasは台中港に工場を新設し、ブレードを製造。本契約により2020-25年で2,900人の雇用が創出される見込み。

参考：経済波及効果・雇用創出効果1

- 洋上風力発電：2030年10GWの導入により、累計直接投資額：約5.1～5.7兆円、累計経済波及効果：約13～15兆円、雇用創出効果（2030年時点）：約8.5～9.5万人が生じる見込み。

Case 1：すべて国産の場合

	初期投資	O&M	合計
(単位)	(10億円)	(10億円)	(10億円)
国内直接投資(累計)	4,808	936	5,743
国内1次波及(累計)	9,891	1,857	11,748
国内2次波及(累計)	12,766	2,302	15,069
雇用(2030年時点_人)	79,145	15,746	94,892

直接投資額：約5.1～5.7兆円

経済波及効果：約13～15兆円

雇用創出効果：約8.5～9.5万人

Case 2：ナセル関連部品海外調達比率50%の場合

	初期投資	O&M	合計
(単位)	(10億円)	(10億円)	(10億円)
国内直接投資(累計)	4,243	839	5,082
国内1次波及(累計)	8,750	1,648	10,399
国内2次波及(累計)	11,309	2,062	13,362
雇用(2030年時点_人)	70,964	14,303	85,266

「出典：JWPA」

(補足事項) 国内直接投資：2018～2030年に導入される風車に要する初期投資及びO&M費用の合計
 O&M費用：2018～2030年までの累計導入量に依じた各年度運転維持費の合計
 撤去費含まず、割引率適用せず
 経済波及効果及び雇用創出効果について総務省「平成29年(2017年)産業連関表」をもとにJWPA試算

参考:経済波及効果・雇用創出効果2

- 洋上風力関連産業は輸送等の制約や効率性重視により、適地近傍に集積する傾向が高い。⇒ 地元及び国内への経済波及効果が高い。



風車の据付工事、
SEP船等の作業船の新造



ブレード、タワー、基礎部分の生産工場は世界的に各需要国内に立地
炭素繊維強化プラスチック、製鋼、海洋施設、送電ケーブルなど日本のものづくり産業の強みを
発揮可能



拠点港等の港湾整備・基地化、
港駐在エンジニアによるO&M業務



海上変電所建設及び送電線敷設
(電気設備は国内規格に準拠)



拠点港から発電所海域までの輸送＝新たな内航船需要の創出

「出典:JWPA」

15

洋上風車の点検項目(参考例)

①毎日

- ・占有海域巡回……船長1人 / 船上作業員1人
- ・構造物外観目視……異常の確認
- ・ケーブルライザー部……浮遊物の引っ掛かり等(網等)

②毎週

- ・個別発電機目視巡回……船長1人 / 船上作業員2人
- ・発電設備内ドア開閉、内部点検、その他

③月次点検

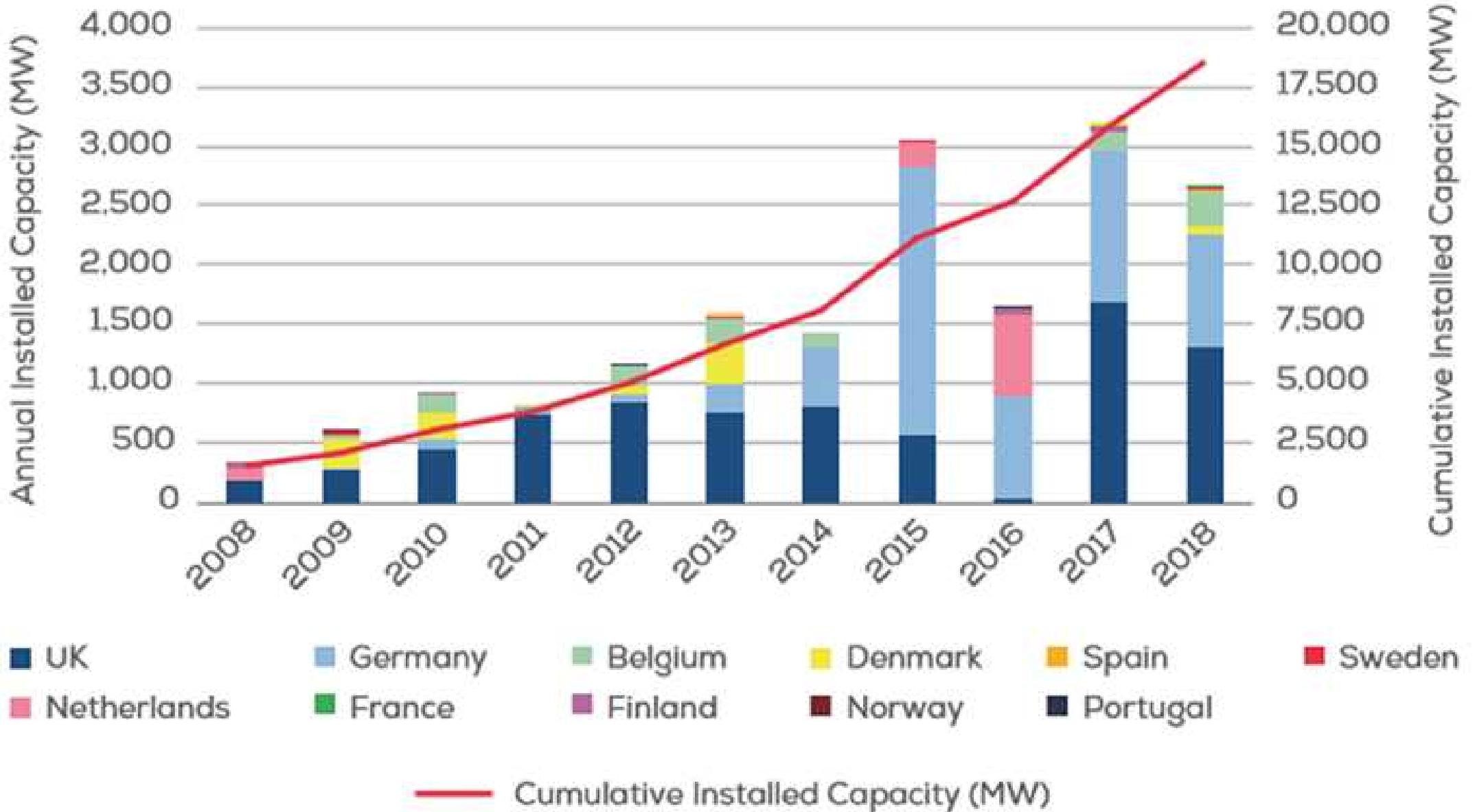
- ・隔週ごとの風力発電設備基本点検項目のサンプリング、記録
- ・隔月ごとの支持物、構造物、変電設備等の基本点検項目のサンプリング、記録

■洋上風車のメンテ用の船(参考例)

- ・沿岸部では漁船を使うことも多い。
離岸距離が10kmを越えると専用船の利用が多い。
- ・国内洋上風力では東京汽船様保有のJCAT-ONEが福島洋上プロジェクト等でも起用されている。



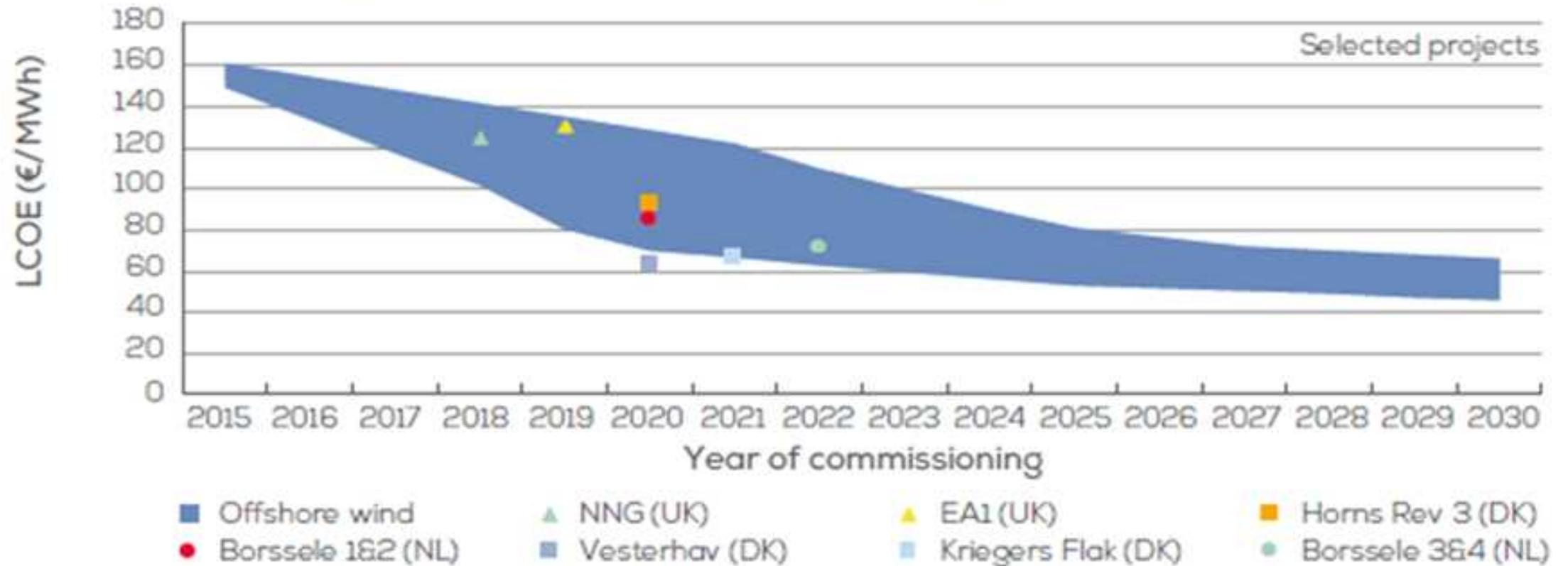
出典:JWPA]



(Source : Wind Europe offshore wind statistics 2018)

Cost reduction of offshore wind in Europe

Offshore wind LCOE range and trajectory from 2015 to 2030, including estimated LCOE



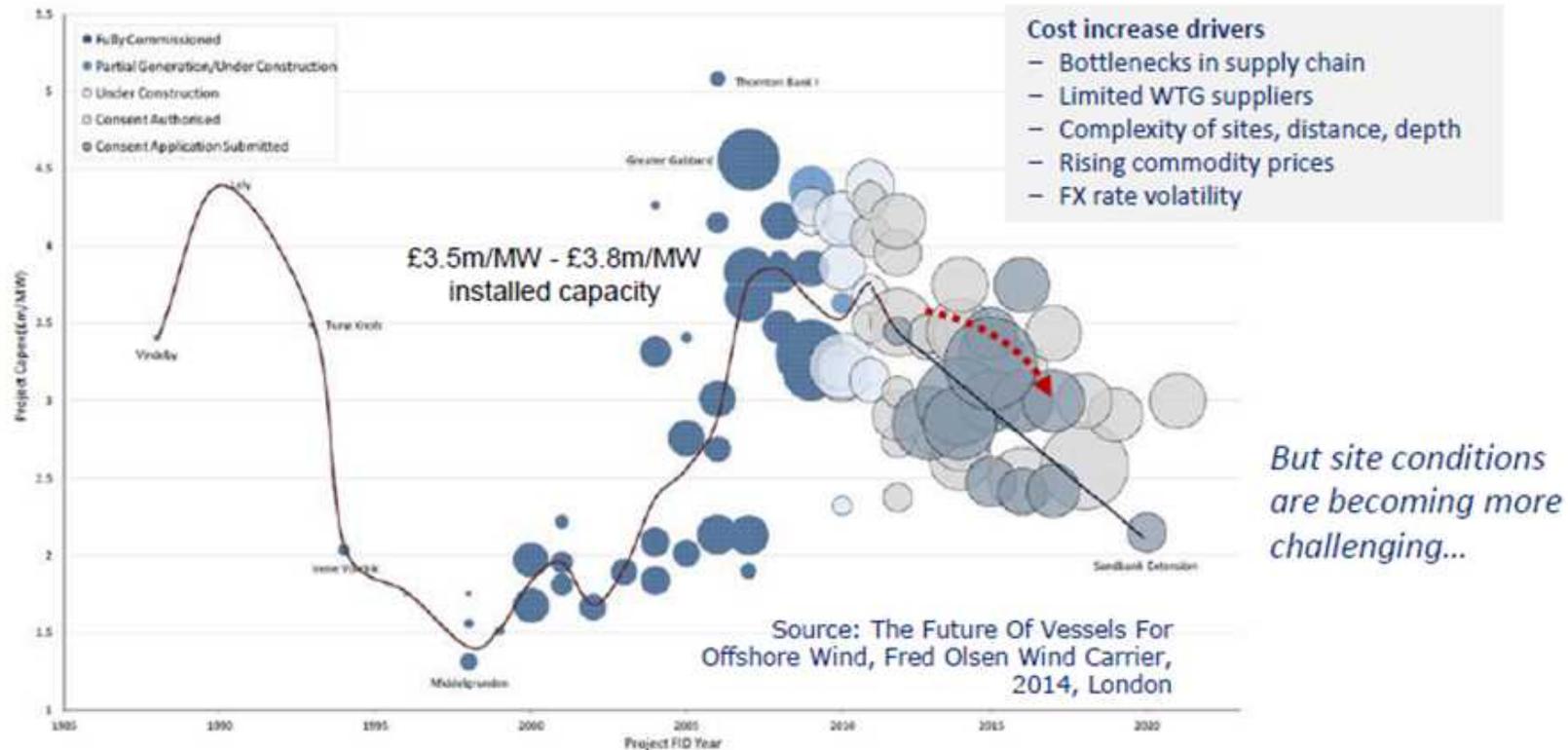
Source: BVG Associates for WindEurope

Cost increasing and falling in Europe

Source: CARBON TRUST

Cost trends in Europe

Costs in Europe were increasing, but are now falling fast



3. 世界と日本の浮体式洋上風力発電

Floating wind turbines in 2016, demonstration projects

	Hywind	WindFloat	GOTO-FLOWT	Fukushima FORWARD	FloatGen	Gicon SOF
project scale	2.3MW	2.0MW	2.0MW	14.0MW	2.0MW	2.3MW
where	Norway	Portugal	Japan	Japan	France	Germany
when	2009	2011	2013	2013	2016(to be)	2016(to be)
how many turbines	1	1	1	3	1	1
type	spar	semi-sub	spar	semi-sub/semi-sub/spar	semi-sub	TLP
water-depth	220m	40-50m	100m	120m	30m	
from coast	10km	5km	1km	20km		
total cost	~4x10 ⁸ NOK (約52.8億円)	~2,000x10 ⁴ Euro (約25.5億円)				~1,800x10 ⁴ Euro (約23.0億円)
support from public funding	~5,900x10 ⁴ NOK (約7.8億円)	~700x10 ⁴ Euro (約8.9億円)	約83.7億円	約500億円		~525x10 ⁴ Euro (約6.7億円)
turbine maker	Siemens 2.3MW	Vestas 2.0MW	Hitachi 2.0MW	Hitachi 2.0MW/MHI 7.0MW/ Hitachi 5.0MW	Gamesa 2.0MW	Siemens 2.3MW
float weight (ton)	1,100	1,200	3,400	2,200/5,500/7,600		742
mooring lones	3	4	3	6/8/6	3	8+

2017年に英国で30MWのwind farm



The Hywind Scotland floating wind farm. (Photo: Øyvind Gravås / Woldcam - Statoil ASA)

The 30MW wind farm, operated by Statoil in partnership with Masdar, is located 25 kilometers offshore Peterhead in Aberdeenshire, Scotland and will power approximately **20,000 households**. 2017

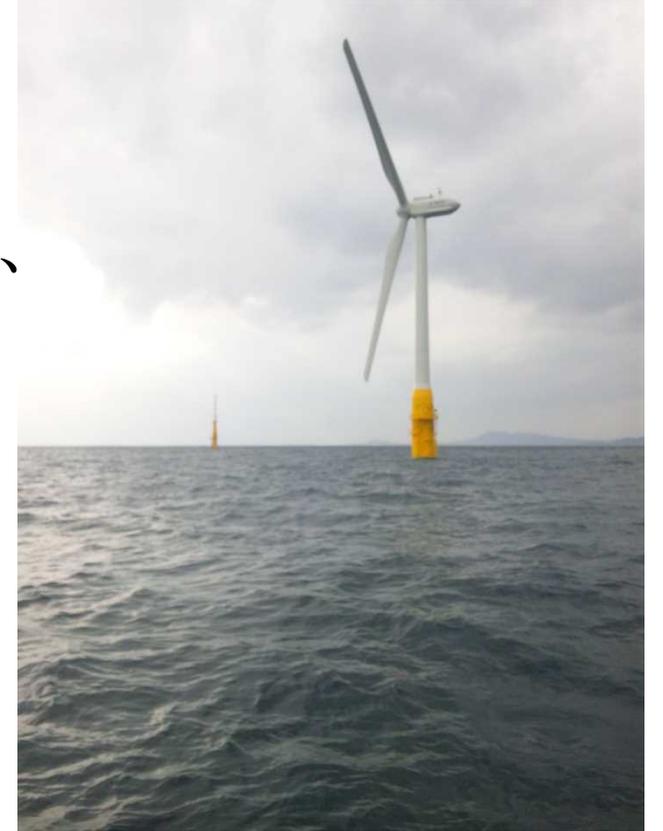
<https://www.equinor.com/en/news/>
World's first floating wind farm has started production

環境省事業
浮体式洋上風力発電実証事業
2010～2015 五島市沖

戸田建設（株）、（株）日立製作所※、
海洋エンジニアリング（株）※、（国）九州大学※、
（国）海上技術安全研究所

- 2MW級
- 大規模wind farm評価手法
の検討
- 地域協調構築の実証調査
- 気象・海象観測、安全設計評価、維持管
理、環境影響評価

※受託者名は最終年度の名称とした

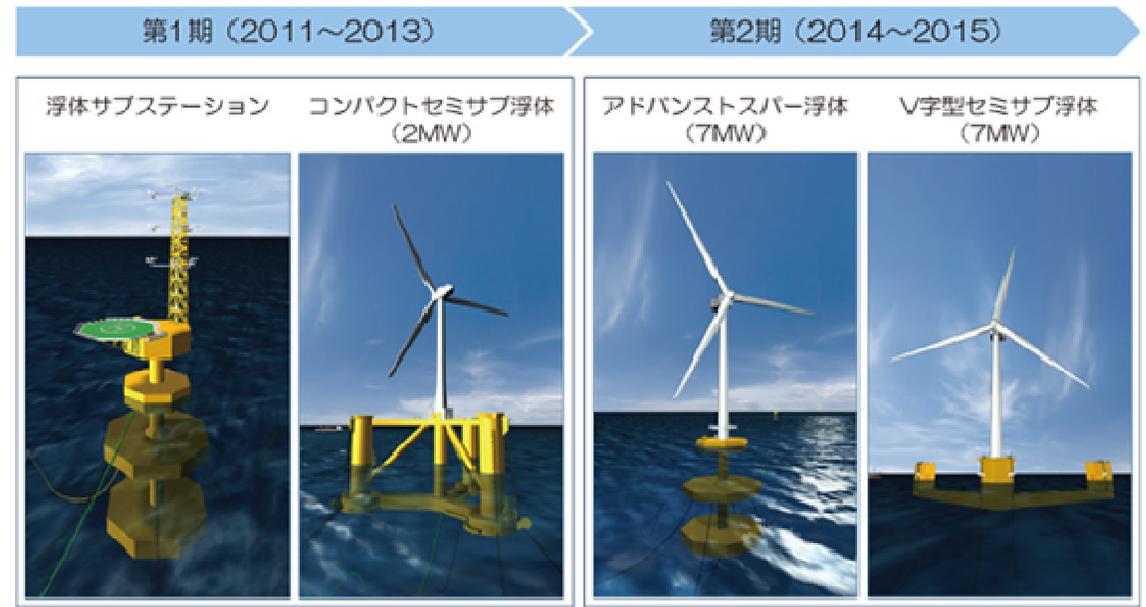


経済産業省 資源エネルギー庁
 「浮体式洋上ウィンドファーム実証研究事業」

水深 100～200m 丸紅、東大、MHI、三菱造船、JMU、Mitsui E&S、Hitachi、古河電工
 年平均風速 ハブ高さにおいて7m/s 以上
 最大有義波高 7～14m
 離岸距離 20km 以上

浮体式風力発電実証施設の条件

設備容量 7MW風車2基
 +2MW風車
 1基
 浮体形式 セミサブ型、
 スパー型



3つの成功への鍵

- 技術的挑戦 / 社会的合意 / 福島復興
- 設計技術の確立 / 試験・検証 / 最適化
- 経済性の向上 / 技術の標準化 / 産業の創出

WindFloat



ポルトガルのWindFloat。Póvoa de Varzimの洋上5km

[出典: WindFloat concept](#)

Floating platform | offshore wind power (bw-ideol.com)



- ・ 容量 :2 MW (Vestas V80)
 - ・ 水深 : 33メートル
 - ・ Damping Pool®浮体基礎
(36m x 36m x 7.5m) **バージ**
 - ・ **コンクリート工法**
 - ・ ヨーロッパ初の系統に接続
 - ・ パーマネントの**合成繊維 (ナイロン)** 6本からなる係留システム
- 試運転 : 2018年

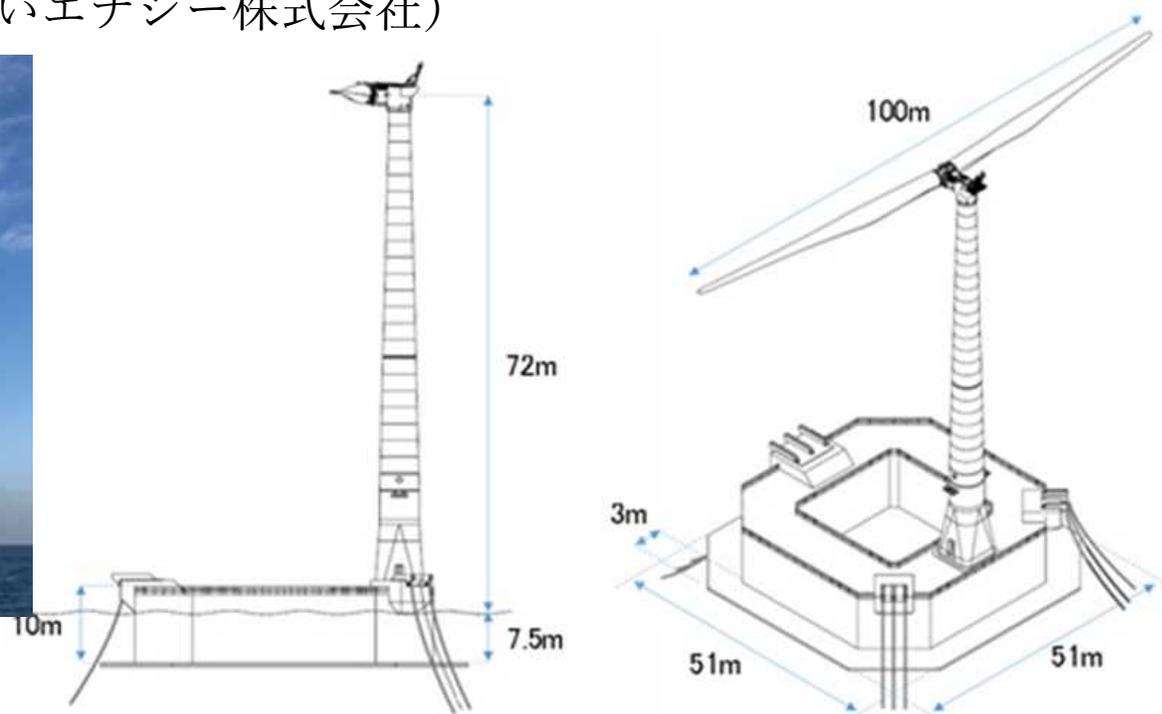
フランス初の浮体式洋上風力発電。

[浮体式洋上風力発電業界をけん引するIDEOL SAが日本法人を設立 | 2021年 - お知らせ - 対日投資 - ジェトロ \(jetro.go.jp\)](#)

次世代浮体式洋上風力発電システム実証研究（バージ型）

バージ型浮体式洋上風力発電システム実証機「ひびき」2014-2021

（実施体制：丸紅株式会社、日立造船株式会社、株式会社グローカル、エコ・パワー株式会社、国立大学法人東京大学、九電みらいエナジー株式会社）



バージ型浮体式洋上風力発電システム実証機の構成



Transportation of compact semi 2MW



Transportation of floating sub-station



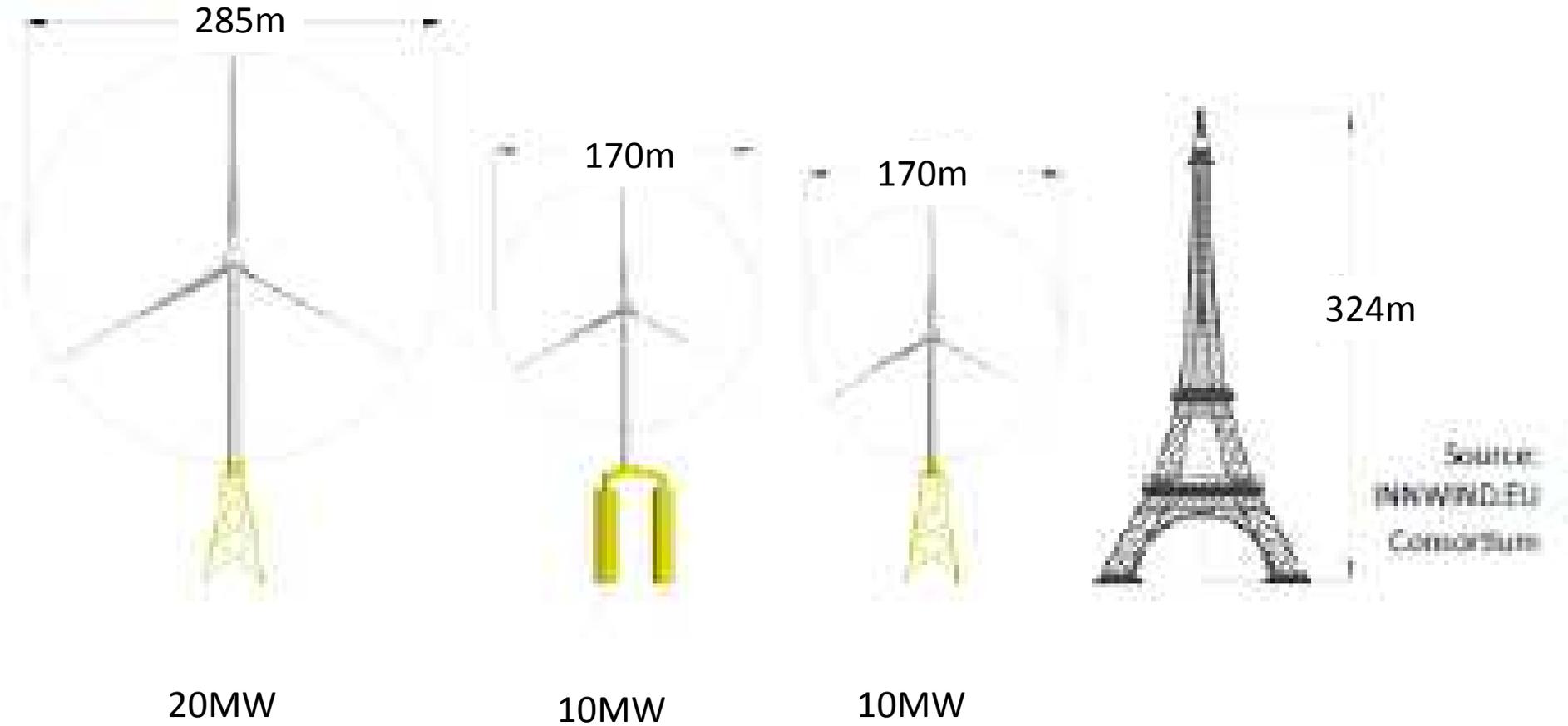
anker

V-shape Semi
7MW



FIGURE 0.2:

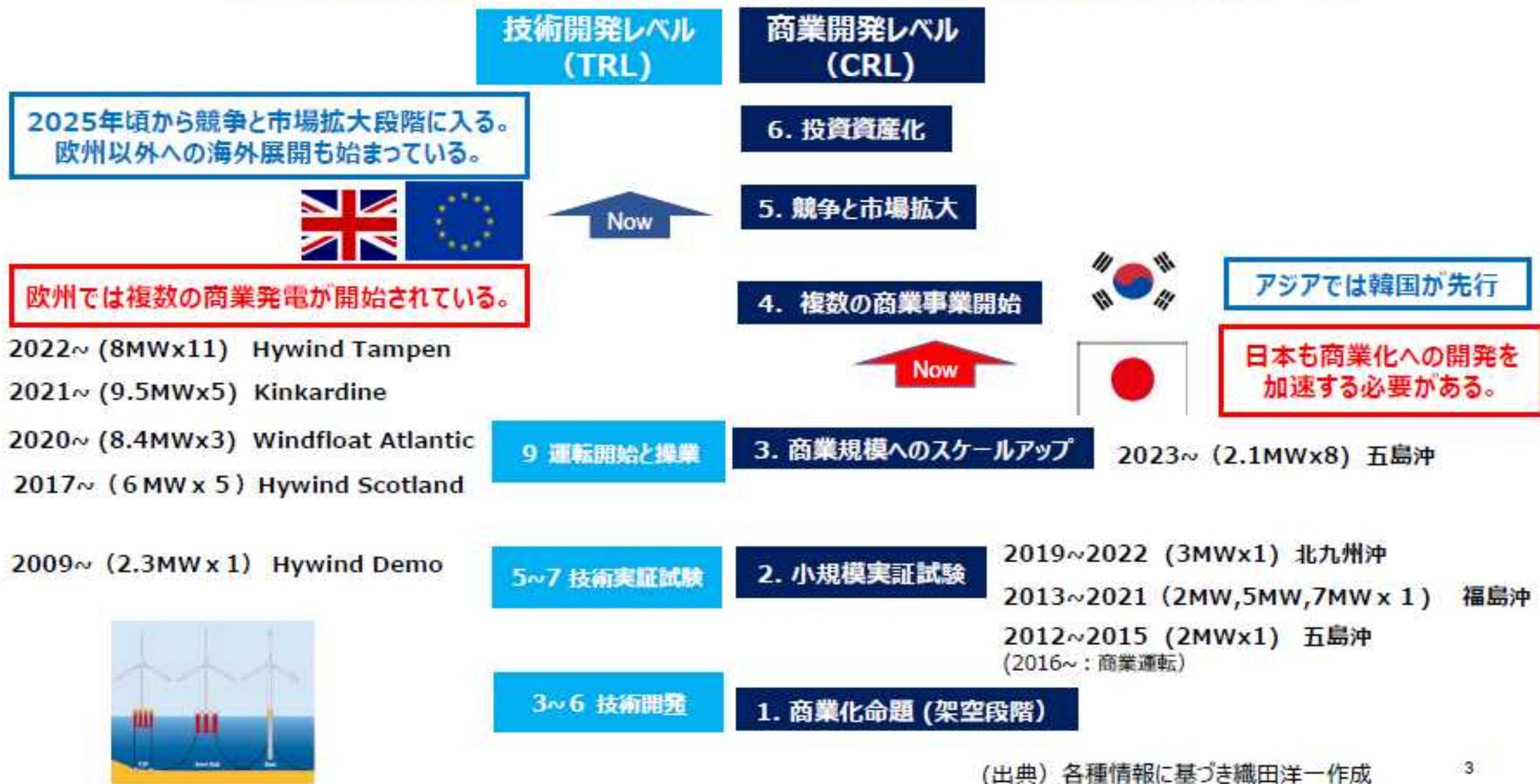
(left to right), 20 MW with 285m rotor diameter, 10 MW with 170m rotor diameter (fixed), 10 MW with 170m rotor diameter:



LCOE reduction for the next generation offshore wind turbines

estimated from the NREL/ECN program

浮体式洋上風力の技術開発レベルと商業開発レベル



洋上風力発電のポテンシャル

	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

離岸距離60km以内の海域における
洋上風力による年間発電可能量

洋上風力発電のアジア最大のポテンシャル国は日本と中国。

日本のポテンシャルは浮体式。
中国のポテンシャルは着床式。

日本は浮体式だけで国内電力需要の2倍を超えるポテンシャルがある。

特に、浮体式洋上風車による離岸距離60km以内の日本の発電ポテンシャルは中国の15倍、韓国の6倍。

(出典) Offshore Wind Outlook 2019 IEA 25, October 2019

4. 大命題:コスト削減と技術革新
そのためには漁業協調

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事業規模の拡大、
 - ③予見性のある大規模市場である。
- ・長期的な市場拡大が予見できれば、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)

Bottom fixed zoning
total about 40GW
(2001-2010)



Floating zoning
Total about 15GW (2021)

海底送電線

Western Link

Power cable grid under sea

（海底385km）

Western Link
422km(385km under sea part)

定格2.2GW

600kVDC, 2.2GW,
2routes

0月フル稼働

(operation Oct.2018)

日本が出遅れた理由

- 山が急峻:陸上風力に限界・・・技術蓄積不足
- 海底石油・ガス田無し(海洋技術産業不足)・・・技術蓄積不足
- 化石燃料、原子力への執着・・・資金不足
- 政策誘導が20年遅れた
- 陸上風力の適地は限られているが、浮体式洋上風力の適地は膨大

我が国が5年以内に準備すべき技術課題

- 並列接続、海底ケーブル(北海道一首都圏、九州一関西)
- アクセスボート
- 当該システムに特化した軽便な敷設船
- アンカー、基礎構造物
- ブレード、ナセル、基礎構造物の軽量化
- 設置・撤去を含めた生涯コストの最小化

出遅れた日本としては

- 風車は海外メーカーから購入
(日本の風車メーカーは全社が撤退)
- EPC (設計、調達、建設) コントラクターは実績豊富な欧州企業の協力が必要
- 経験豊富な欧米企業と日本企業との合弁による事業開発もある
- 日本の現状コストは欧州より数倍高いと言われている
- 風車部品のサプライチェーン、基礎構造物、電気設備、設置、保守が地元または近辺調達となる

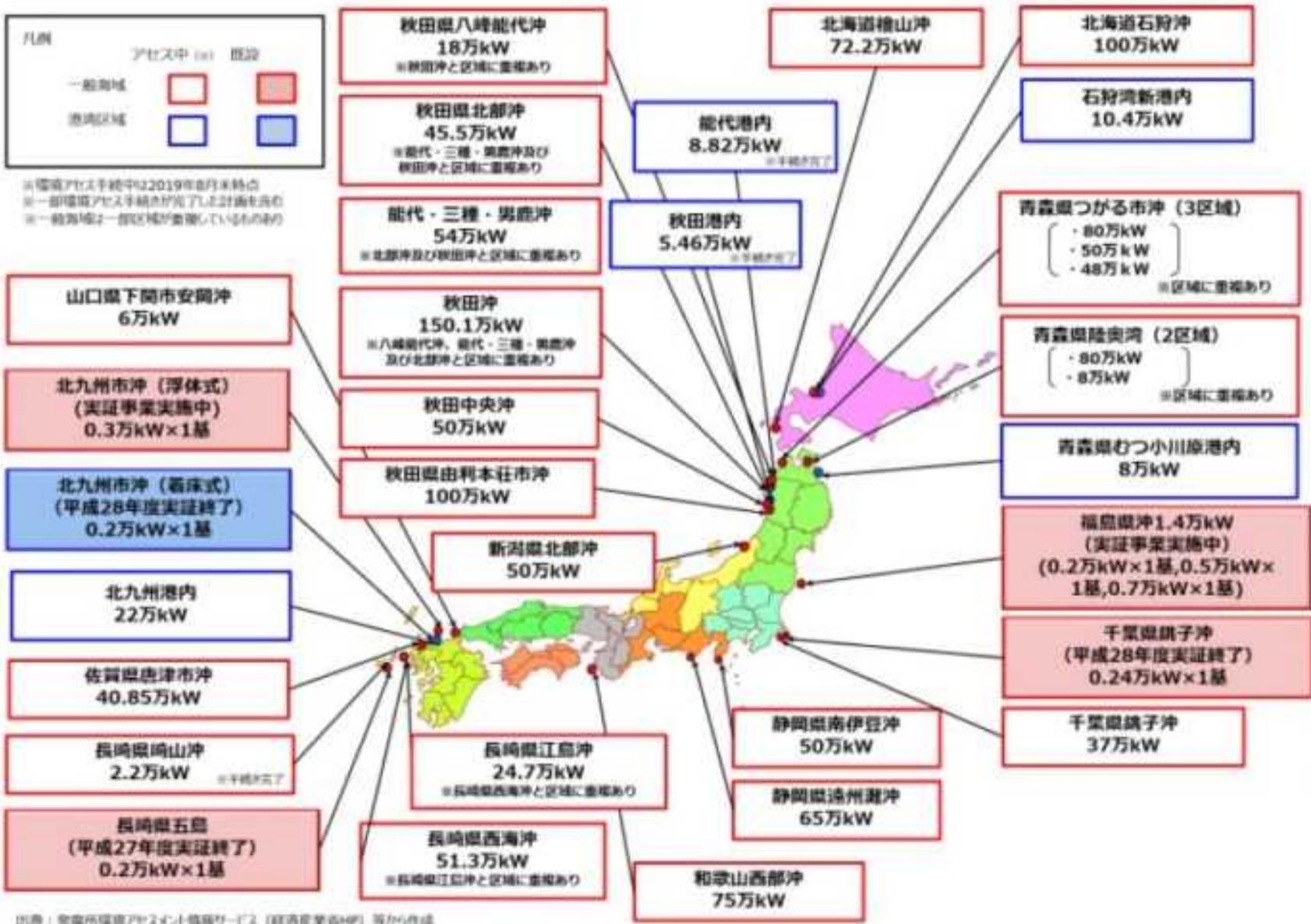
- 洋上風力発電が大きく育つためにはファームの**大規模化**が必要条件。そのためには次の2点が重要
- 我が国の場合の海域占有利用権は実情まだ陸に近い海域に限られ、**複数県に跨る海域**、**ましてや領海の海域までへの展開**が進んでいない。欧州のように沖合海域への展開が望まれる
- 我が国の海域面積当たりの漁業者数は欧州に比較すると一桁多い。**漁業者との協調**、**協創**が可能となる仕組みが求められる。
- この時、地球規模で漁業資源が減っている現状を考えると、**漁業資源の回復についての連携**が好ましい。

平成三十年法律第八十九号
海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用
の促進に関する法律

海面の占有使用を最大30年まで可能とする

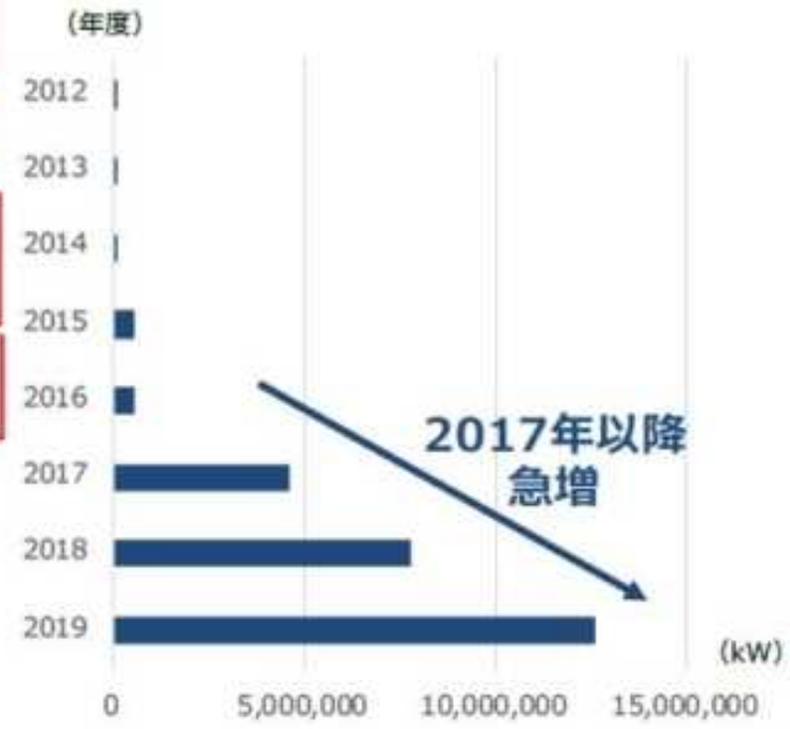
協議会は、次に掲げる者をもって構成する。

- 一 経済産業大臣、国土交通大臣及び関係都道府県知事
- 二 農林水産大臣及び関係市町村長
- 三 関係漁業者の組織する団体その他の利害関係者、学識経験者その他の経済産業大臣、国土交通大臣及び関係都道府県知事が必要と認める者



環境アセス手続中	
港湾区域	55万kW
一般海域	1,258万kW

＜一般海域の環境アセスの開始時期（累積）＞



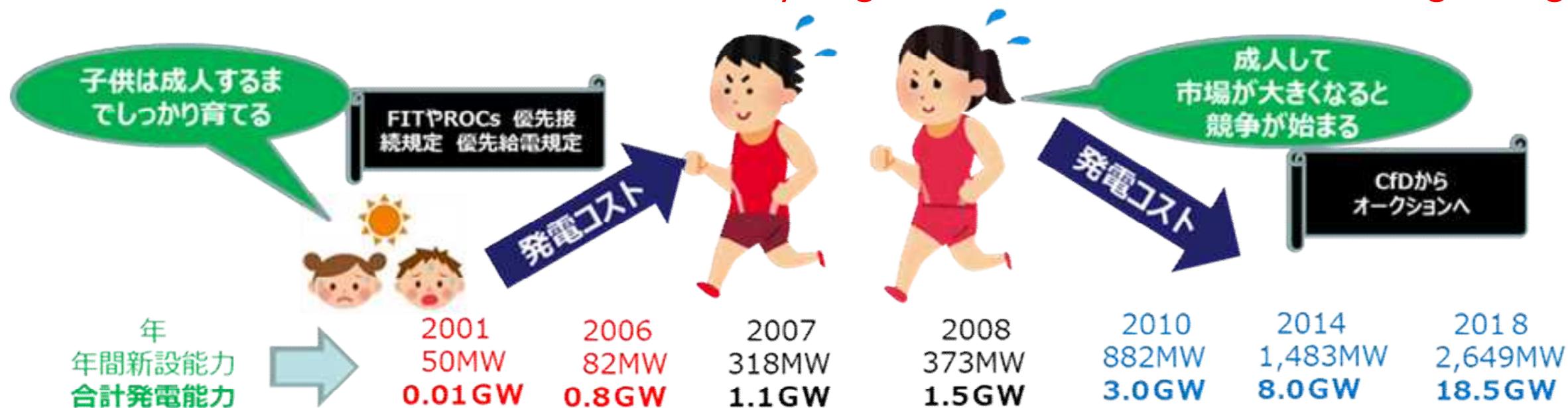
※2019年度は4月～8月の期間のみ。

出典：発電所環境アセスメント情報サービス（経済産業省HP）等から作成

Market size strongly affects on the cost

Cost increases in a small market at early stage

Cost down with market growing



Subsidies for start up

Large market reduces the cost

漁業者との協調、協創

compensation だけでは不十分、
大事なものは孫子(まごこ)のための promotion

- 大規模洋上風力発電ファームは、漁業者による魚を育てる新たな事業と、さらに漁業資源回復の事業の大きなチャンス
- まずは**沖合大規模養殖**。養殖漁業は近年世界で大変に盛ん。我が国でも成長中だが、波の穏やかな適地はすでに利用尽くされて、水質汚染、赤潮の原因
- 今後は潮の入る沖合に進出して、健康でより美味しい魚を育てるべき
- 沖合養殖には自動給餌システム、波浪に対応するための自動浮沈システムが必須。養殖設備の大規模が必要。
- **地元漁業者は資金不足**

続

- 一方, 風力発電事業者は有望海域での海域占有利用権が必要。洋上風力発電事業は巨大なプロジェクトファイナンス事業なので大型沖合養殖への出資は微々たる比率
- 海域占有利用権には地先漁業組合の同意は必須, 以遠海域についても地先漁業組合の意向が大勢を決する
- 大型養殖の事業の経験・ノウハウを有する水産会社と協力
- 洋上風力発電事業者と地元漁業者が協力して新しい事業, 大型沖合養殖事業を創出
- 共同経営事業が独立して収益を上げて, 分離して経営されることで、洋上風力発電事業の足を引っ張らない。民間と民間との海域利用の共同計画を容認する国の建付けが必要

**洋上風力事業者
欲しいもの**

事業性のある海域
・十分な広さ
・年平均風速
・マイルドなサバイバル条件
・電力需要地から許容距離内

足りないもの
地元漁業者の協力

地元漁業者の欲しいもの

長期的な漁業資源量減少を
埋め合わせる、
または復活させるもの

足りないもの
資金

大学
水産学科・工学部連携
実学回帰

資金
大部分の株

協力
執行役員
株の一部を保有

共同経営の大型沖合養殖

水産会社
経験、ノウハウ
執行役員

漁業資源回復の事業

- 資源漸減の最も顕著な症状は磯焼。藻場が無くなることで魚介類の産卵場や棲家が無くなることとされている。
- **磯焼け対策**には二価鉄イオン，腐葉土（フミン酸，フルボ酸）と太陽光が有効。
- これだけ分かっているのに対策が進んでいなかった原因の一つに**定点観測のプラットフォーム**がない，そして効果を実証する大規模試験が大変に高価
- 浮体式洋上風力発電の無数に立つスパー等の浮体がプラットフォームになり大規模実証の場に

- 二価鉄イオンは安価に手に入る。フミン酸，フルボ酸も都市のし尿処理の過程にちょっと一工夫することにより安価に手に入ることが示されている
- 浮体は栄養塩豊富な深層水の湧昇を促す効果もあり，海洋生物の一次生産を増大させ，新しい良い漁場ができる
- しかしこれは受益者の特定が困難なためビジネスモデルが成り立ち難い
- そこで国なり地方公共団体の出番
- このような活動のなかから洋上風力発電に関連した漁業協調、共同事業の協創の理解が進み，EEZに及ぶ大規模ファームが実現。大幅コスト低減の可能性

アカモクの種苗育成(桑野教授(長崎大学)、真崎商店)



我が国の協議会を compensation対応からpromotion促進へ

- ・ 経済産業大臣、国土交通大臣及び関係都道府県知事
- ・ 農林水産大臣及び関係市町村長
- ・ 関係漁業者の組織する団体その他の利害関係者、学識経験者その他の経済産業大臣、国土交通大臣及び関係都道府県知事が必要と認める者



事業者、関係漁業者、学識経験者、関係市町村、関係都道府県、関係都道府県が必要と認める者

5.まとめ

- これからの日本を支えるべき洋上風力の最大の課題であるコスト低減には大規模ファームが前提で、それには漁業者との協創が必須
- 欧州と異なる地理的社会的条件に合ったアジア型の構造形式、維持管理方式の確立が必要
- 地域漁業との協創により新産業創出の好機
- それこそが、我が国が培ってきた造船, 土木, 建築の物作り技術と多様な水産資源を活用してきた水産技術を生かす道