



洋上風力への期待と課題



長崎大学

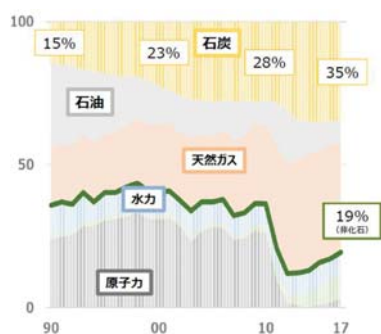
海洋未来イノベーション機構

織田 洋一



日本のエネルギー政策「グリーン成長戦略と洋上風力発電」

石炭、福島、天然ガス



日本の電源構成推移

(出典) 2019年エネルギー白書について (資源エネルギー庁2019年6月)

政策の変更

- ・グリーン成長戦略 : 2020年12月策定
2021年6月更に具体化
- ・エネルギー基本計画 : 2021年7月見直し

2030再エネ比率目標
新 : 36~38%
(旧 : 22~24%)

- ・再エネ海域利用法 : 2019年4月施行
(一般海域の利用、入札方式の導入)
- ・港湾法の一部改正 : 2019年11月成立
- ・洋上風力基地港整備

- ・技術開発ロードマップ :
2021年4月 (官民協議会)
- ・研究開発・社会実装計画 (案) :
2021年6月 (産構審WG)

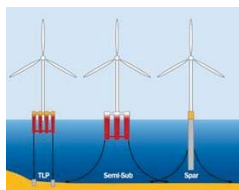


再エネも海へ

商業ファーム発電開始 : 2022年~



着床式風車



浮体式風車

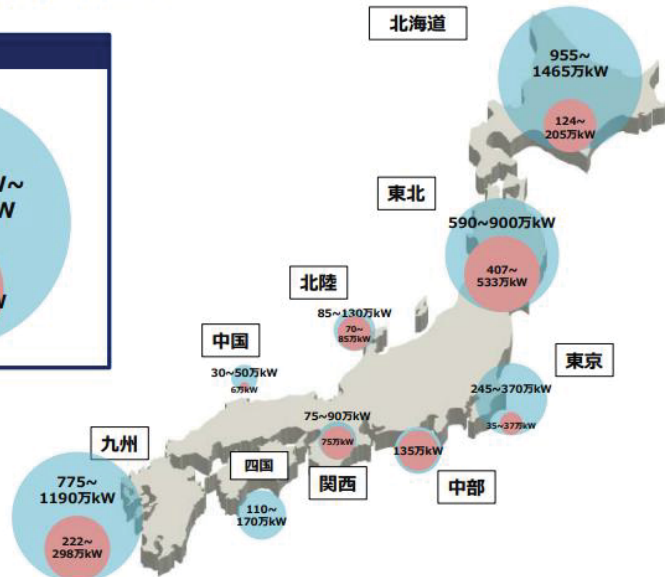
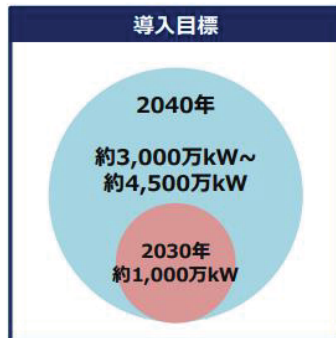
『課題』

- ・連系容量の拡大
- ・インフラ整備、サプライチェーンの拡充
- ・発電コストの低減
- ・浮体式の商業化
- ・漁業との共生
- ・EEZ利用



立ち上がる日本の洋上風力

【参考】エリア別の導入イメージ



※2030年については、環境アセス手続中（2020年10月末時点・一部環境アセス手続が完了した計画を含む）の案件を元に作成。
 ※2040年については、NEDO「着床式洋上風力発電開発支援事業（洋上風力発電の発電コストに関する検討）報告書」における、LCOE（均等化発電原価）や、専門家によるレビュー、事業者の環境アセス状況等を考慮し、協議会として作成。なお、本マップの作成にあたっては、浮体式のポテンシャルは考慮していない。

（出典）洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会 2020年12月15日

日本の導入目標

2030年：10GW
2040年：30～45GW

（注1）1GW＝100万キロワット

（注2）洋上風力10GWの
年間発電量＝29TWh/y
（年間設備稼働率：33％ベース）

3



これからの取り組み戦略

洋上風力の産業競争力強化に向けた基本戦略

1. 魅力的な国内市場の創出

2. 投資促進・サプライチェーン形成

3. アジア展開も見据えた次世代技術開発、国際連携

官民の目標設定

(1) 政府による導入目標の明示

- ・2030年までに1,000万kW、2040年までに3,000万kW～4,500万kWの案件を形成する。

(1) 産業界による目標設定

- ・国内調達比率を2040年までに60%にする。
- ・着床式発電コストを2030～2035年までに、8～9円/kWhにする。

(1) 浮体式等の次世代技術開発

- ・「技術開発ロードマップ」の策定
- ・基金も活用した技術開発支援

(2) 案件形成の加速化

- ・政府主導のプッシュ型案件形成スキーム（日本版セントラル方式）の導入

(2) サプライヤーの競争力強化

- ・公募で安定供給等に資する取組を評価
- ・補助金、税制等による設備投資支援（調整中）
- ・国内外企業のマッチング促進（JETRO等）等

(2) 国際標準化・政府間対話等

- ・国際標準化
- ・将来市場を念頭に置いた二国間対話等
- ・公的金融支援

(3) インフラの計画的整備

- ・系統マスタープラン一次案の具体化
- ・直流送電の具体的検討
- ・港湾の計画的整備

(3) 事業環境整備（規制・規格の総点検）

(4) 洋上風力人材育成プログラム

（出典）2021年4月1日 洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/yojo_furyoku/sagyo_bukai/pdf/003_s01_00.pdf

4

エネルギー基本計画（素案）の概要

（資源エネルギー庁 2021年7月21日）

<参考資料> 更なる検討を踏まえた再エネの導入見通し

GW (億kWh)	これまでの合計		更なる 追加見込み量	合計	現行ミックス 水準
	4/13政策強化	7/13追加導入			
太陽光	87.6GW (1,090) +α	100.0GW (1,244)	200~400程度	3,300~3,500程度	64GW (749)
陸上風力	15.3GW (291)	15.9GW (302)			9.2GW (161)
洋上風力	3.7GW (107)	3.7GW (107)			0.8GW (22)
地熱	1.0GW (45)	1.5GW (68)			1.4-1.6GW (102-113)
水力	50.6GW (934)	50.6GW (934)			48.5-49.3GW (939-981)
バイオマス	7.3GW (436)	8.0GW (471)			6-7GW (394-490)
発電電力量 (億kWh)	2,903億kWh +更なる検討	3,126億kWh	200~400億kWh程度	3,300~3,500 億kWh程度	2,366~2,515 億kWh

13

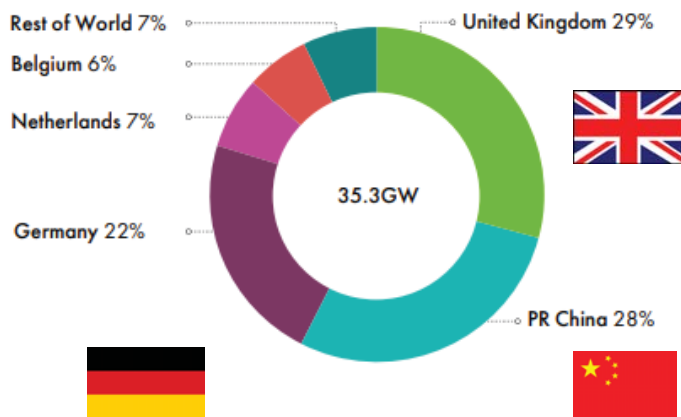
（出典） https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/046/046_004.pdf

5

世界の洋上風力 既存導入量

全世界 35.3GW（2020年末）

Total installations offshore (%) 着床式：99.8%、浮体式：0.2%



英国 10.4GW（2020年末）

（Source）GWEC “Global Offshore Wind Report 2021”

日本の洋上風力

日本 30~45GW（2040年）



拡大

日本 10GW（2030年）



拡大

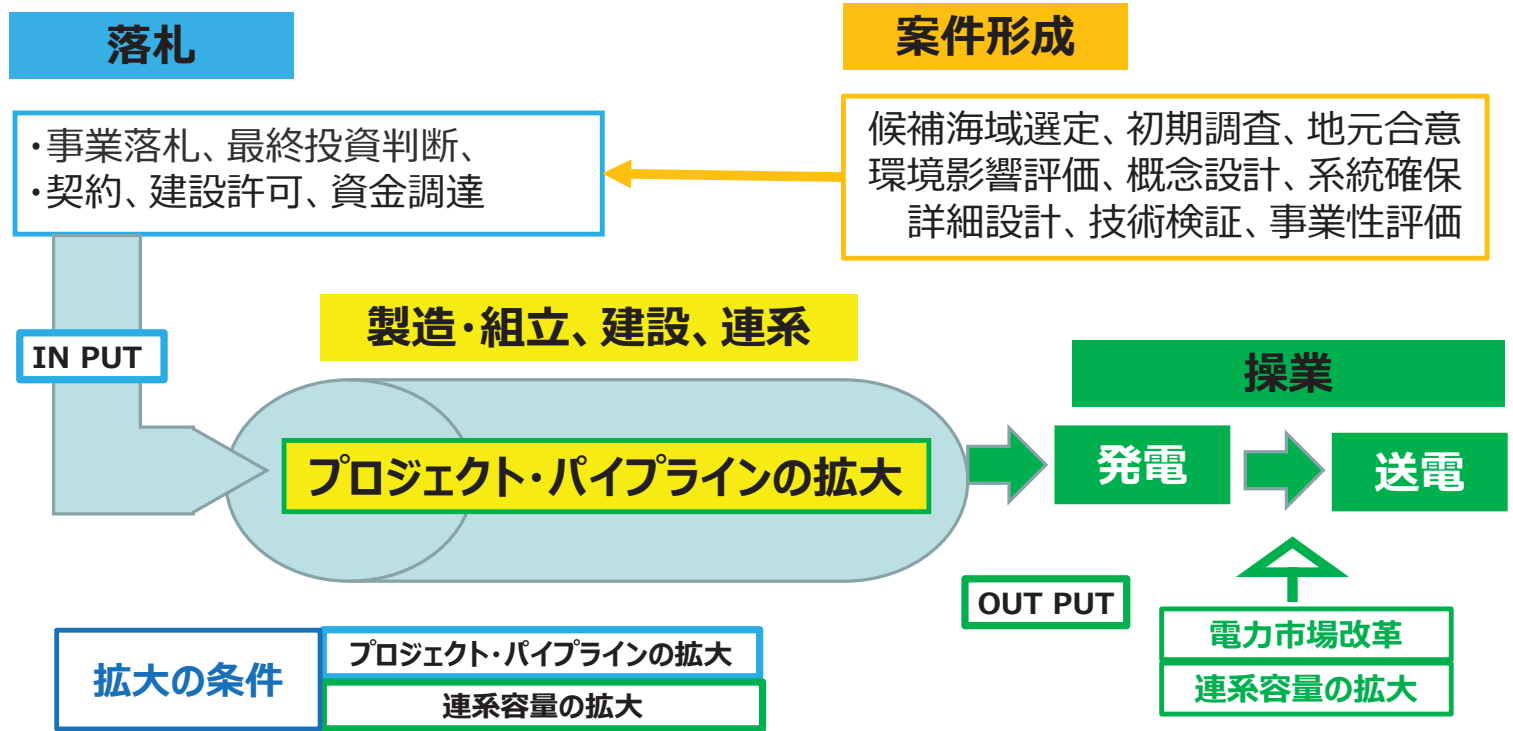
日本 約0GW（2020年）

（注1）1GW = 100万キロワット

（注2）1GW = 1,000MW

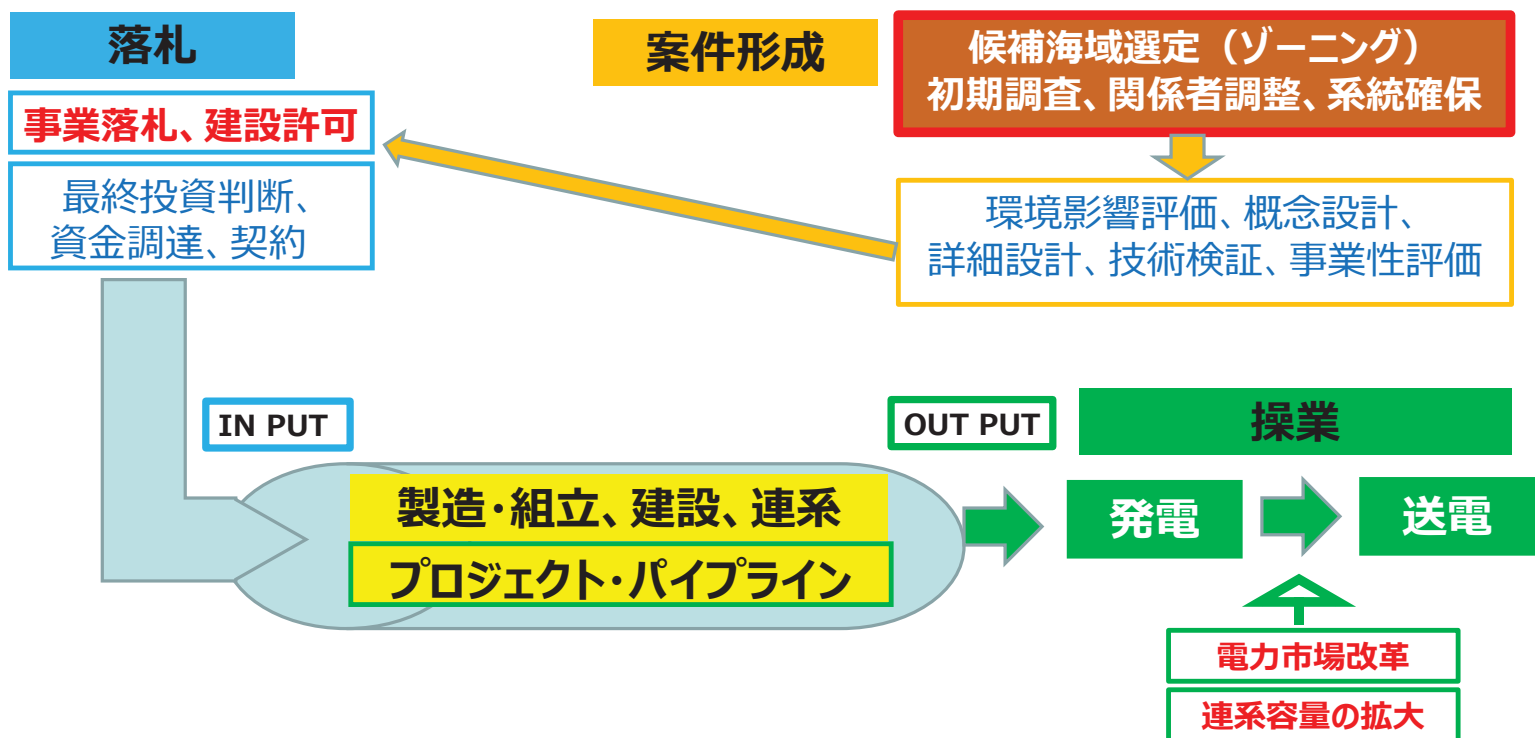
6

洋上風力の拡大とは「プロジェクト・パイプラインを太くすること」



7

洋上風力を拡大するための役割分担とは？（Who's Task？）



8

エネルギー基本計画（素案）の概要

（資源エネルギー庁 2021年7月21日）

＜参考資料＞ 更なる検討を踏まえた再エネの導入見通し

① 系統増強等を通じた風力の導入拡大

- ✓ 洋上風力の適地から大消費地への送電を可能とする系統増強（「長距離海底直流送電システム」）や調整力の確保（蓄電池の導入拡大）等の施策について取組を加速化することで、2030年時点において、北海道を中心とした風力発電の導入量の拡大（4GW程度）を図る。



（出典） https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/2021/046/046_004.pdf

9

着床式を主体とした洋上風力の成長



Sheringham Shoal Offshore Wind Farm, UK (317MW (3.6MW x 88)) (Photo by Yoichi Oda May 2014)

10

先駆者の経験から学ぶ

欧州における洋上風力のコスト推移 (発電出力MWあたりのCAPEX推移)



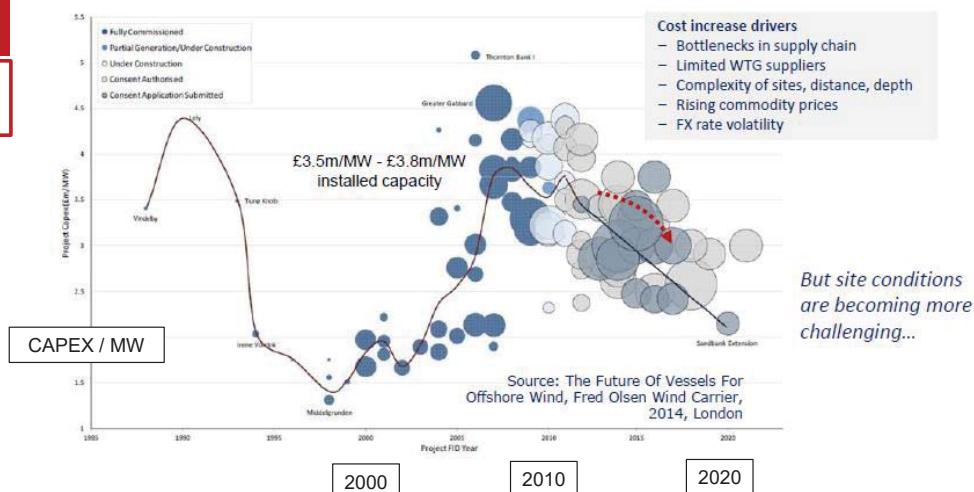
ホップ：初期の小規模市場ではコストが上昇

2000年頃から洋上風力政策を導入したが
2010年頃まではコストが上昇を続けた。

ステップ

市場規模が、年間新設：約0.9GW
合計規模：約3GWに拡大した
2010年以降にコストが低減に転じた。

日本は欧州の2000年の状況
初期10年間は特に市場拡大を
加速する政策運営が重要。



欧州の洋上風力発電の出力あたりCAPEXの推移 (1990-2020)

(Source : The Carbon Trust)

2010年以降の発電コストは順調に低減を続けている。

・ドイツの事業入札ではFITなどの補助金を不要とするプロジェクトが3件落札された。

・英国の落札価格は、2017年57.5英ポンド/MWh (¥8.6/kWh)、2019年39.65~41.611英ポンド/MWh (¥5.9~6.2/kWh) (1英ポンド150円換算)

欧州の洋上風力は補助金不要の一般電源としての地位を確立しつつある。

11



着床式洋上風力の商業開発レベル



2050導入目標：
300~450GW

2050

商業開発レベル

2030予想：86GW

2030

2020投資決定額3兆円
2020実績：25GW

2020

2015：オークション開始
2015実績：11GW

2015

2010：コスト低減開始
2010実績：3GW

2010

2000~2010：コストアップ

2000

1991～：世界初の洋上風力
ファーム開始（デンマーク）

1990

6. 投資資産化

2040

2040：
30~45GW

5. 競争と市場拡大

2030

2030：10GW

4. 複数の商業事業

2020

2020：オークション開始
2020実績：0 GW

3. 商業規模への
スケールアップ

2015

銚子沖 2.4MW x 1
北九州沖 2 MW x 1

2. 小規模実証運転

2010

1. 商業化命題

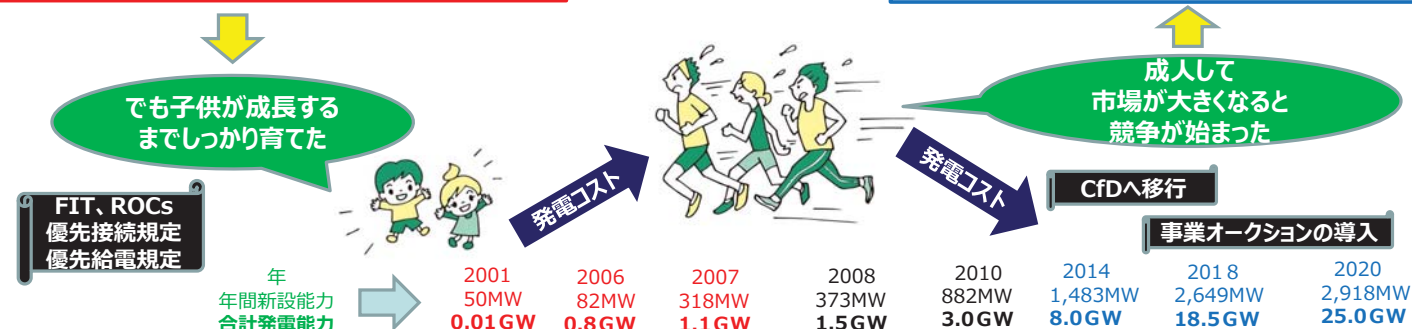
(備考) 各種資料に基づき織田洋一作成

12

先駆者の経験から学ぶ 何故、欧州では洋上風力の発電コストが下がったのか？

初期の小規模市場ではコストが上昇した。

市場が拡大してからコストが低減に転じた。



政府が海域（EEZ）を洋上風力用に大規模にゾーニングすることにより市場が拡大し、インフラ整備、サプライチェーン拡充、大型風車の開発が実現。その結果、競争市場が出現し、発電コストが低減している。

はじめの養育費より
あとの親孝行の方が大きい



EEZを使った
大規模ゾーニング

英国の洋上風力海域ゾーニングと海域リース実施時期

導入規模	海域Leasing Round
Round1 1.5 GW	2001年4月
Round2 7.3 GW	2003年12月
Round3 32 GW	2010年1月



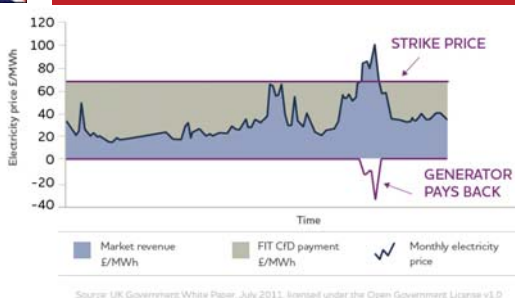
市場拡大には
広大な事業海域
が必要

（備考）各種資料を参考に織田洋一作成
13

洋上風力先進国の政策



英国の電力市場改革と洋上風力発電



洋上風力事業入札オークション
Pay as Bid (安札勝ち)
2015～

疑似固定価格買取制度
ROC 2002～
(Renewable Obligation Certificate)

電力市場連動型FIT
CfD 2013～
(Contract for Difference)



10.4GW
(UK, 2020)



40GW ?
(UK, 2030)

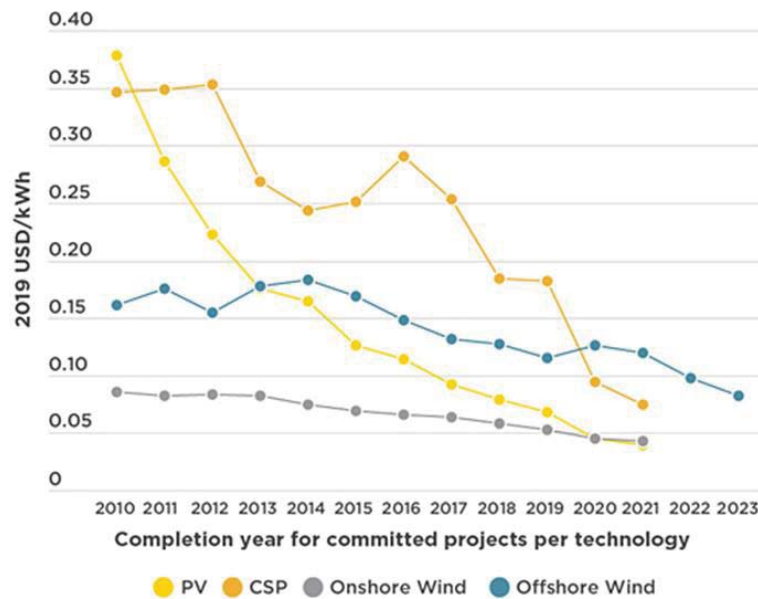


80GW ?
(UK, 2050)

（備考）各種資料に基づき織田洋一作成

なぜいま洋上風力発電なのか？

世界の再エネ発電コスト低減動向



[file:///C:/Users/54100/Downloads/IRENA Power Generation Costs 2019%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/54100/Downloads/IRENA_Power_Generation_Costs_2019%20(1).pdf)

15

これから成長する浮体式洋上風力

16

世界で開発される浮体式洋上風車



(出典) "Deep Water"
European Wind Association (Wind Europe)

日本の浮体式海域実証試験



17

急速に拡大する欧州の浮体式洋上風力

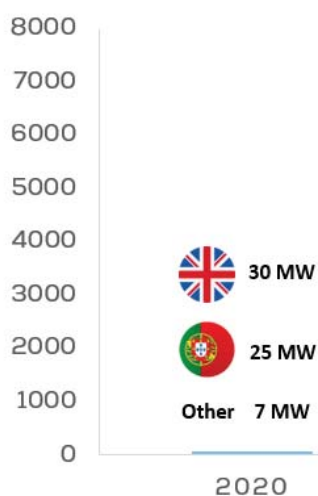
2020年 :
0.06GW
(62MW)
(6万2千キロワット)



2022年 :
0.32GW
(320MW)
(32万キロワット)



2030年 :
7 GW
(7,000MW)
(700万キロワット)



€40-60/MWh

= ¥6~9/kWh

国別能力 (欧州)

2030年 :
ノルウェー 3GW
フランス 2.3GW
英国 1GW
スペイン 0.2-0.3GW

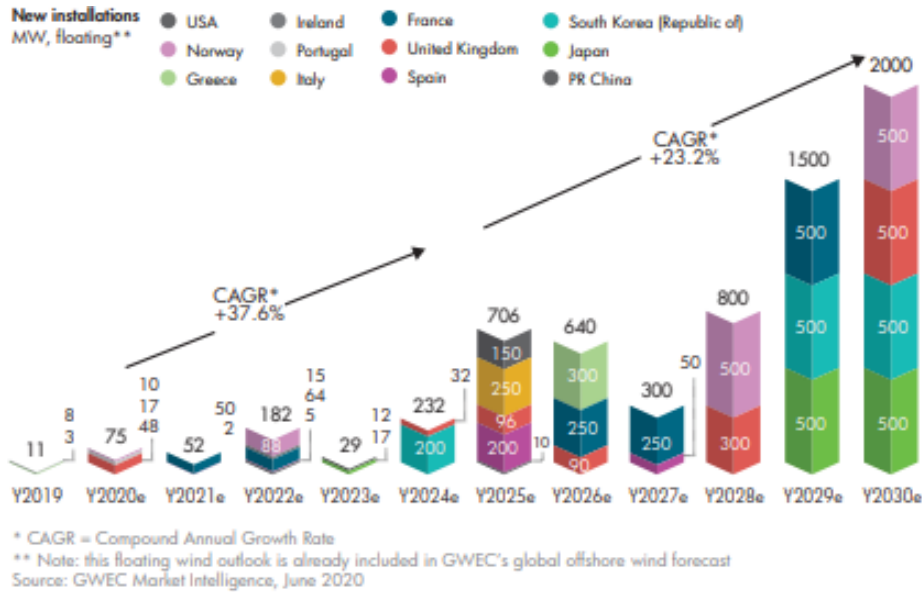
浮体式洋上風力の拡大予想 (GWEC : Global Wind Energy Council)

合計能力 (世界)

2019年 : 0.066GW (66MW)、
2030年 : 9.5GW (950万キロワット)
(うち欧州 7 GW)

年間新設能力 (世界)

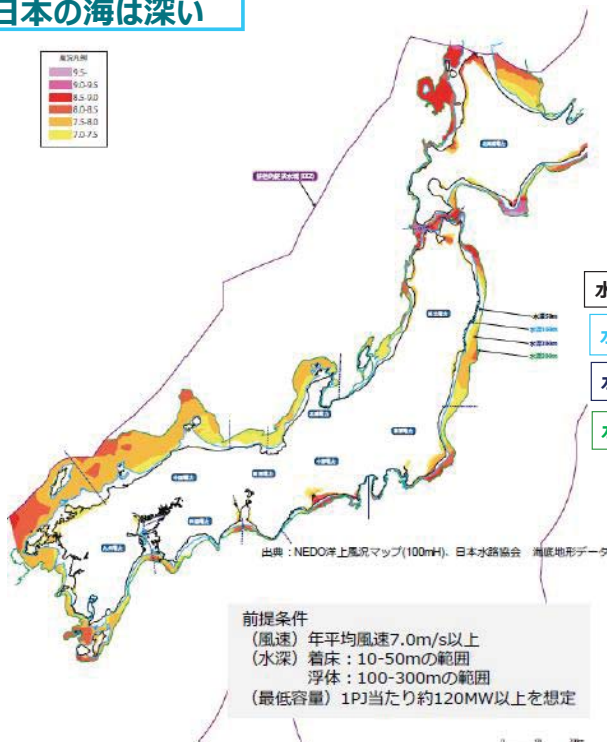
2020年 : 0.075GW (75MW)
2030年 : 2GW
(Norway、米国、韓国、日本)



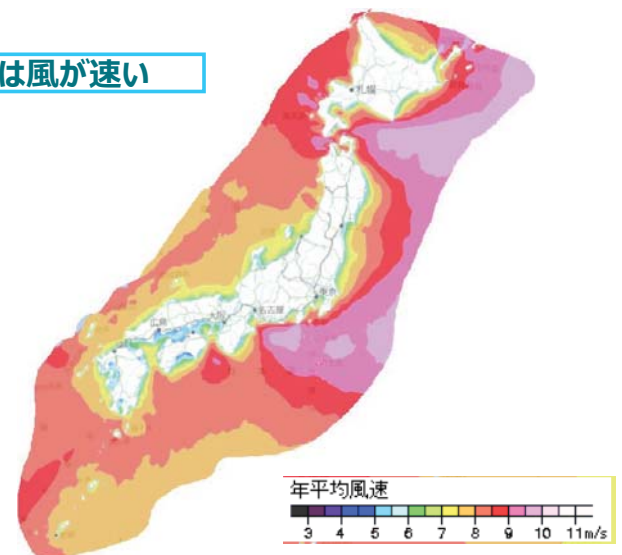
19

なぜ浮体式なのか？

日本の海は深い



沖は風が速い



浮体式のポテンシャルは大きい

(出典) NEDO "NeoWins"

着床式ポテンシャル : 約128GW (水深 : 10~50m)
浮体式ポテンシャル : 約424GW (水深 : 100~300m)

(出典) 「洋上風力の主力電源化を目指して」 日本風力発電協会

洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会 (2020年7月17日開催)

20

浮体式洋上風力の普及条件

商業運転の拡大

＜商業運転によるInsurable & Bankableプロジェクトへの進化＞

＜量産化、市場拡大によるコスト低減＞

コストの約3/4は風車以外
風車は浮体式コストの24.3%。

(Source) NREL "Cost of Wind Energy Review"

有望市場

欧州



アジア



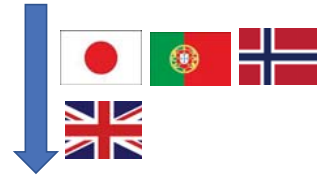
北米、ハワイ



発電コストの低減

＜大型風車によるコスト低減＞

6MW以上
9MW以上



＜沖合の高速風速海域利用＞

＜技術革新によるコスト低減＞

コンクリート、量産部材の利用
溶接不要な浮体組立

キール等による浮体面積の低減

21

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。

欧州では複数の商業発電が開始されている。

2022~ (8MWx8) Hywind Tampen
2021~ (9.5MWx5) Kinkardine
2020~ (8.4MWx3) Windfloat Atlantic
2017~ (6 MW x 5) Hywind Scotland

9 運転開始と操業

6. 投資資産化

5. 競争と市場拡大

4. 複数の商業事業開始

3. 商業規模へのスケールアップ

アジアの商業開発では韓国が先行

日本も商業開発を
加速する必要がある。

2022~ (2MWx8~10) 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

2019~2021 (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)



着床式と浮体式のポテンシャル (国別：離岸距離60km以内、年間発電可能量)

	着床式 (TWh/年)	浮体式 (TWh/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

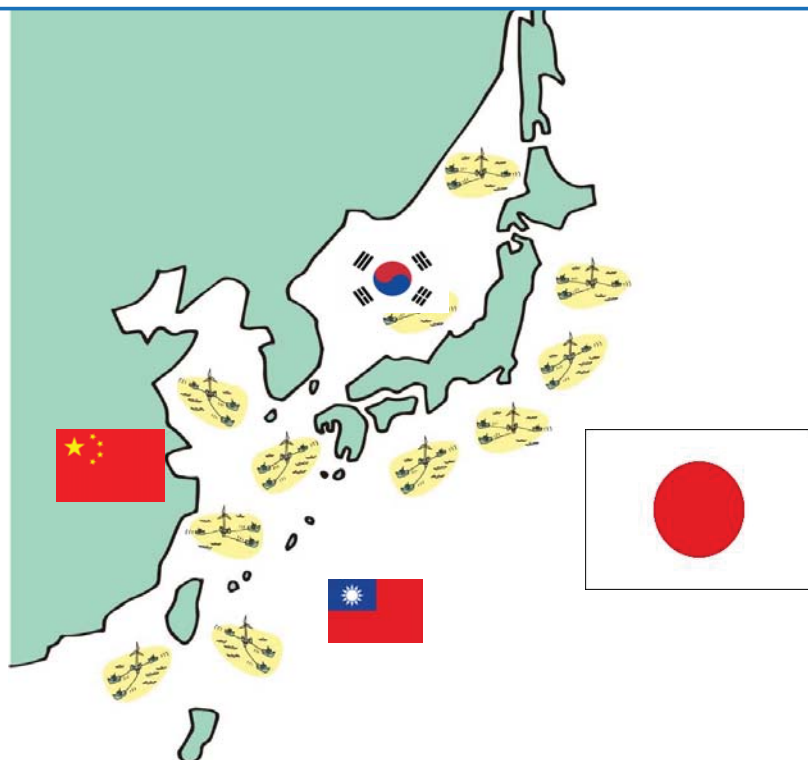
日本の浮体式ポテンシャルは
アジア最大。
離岸距離60km以内の発電可能
量は中国の15倍、韓国の6倍。

日本の勝利シナリオ

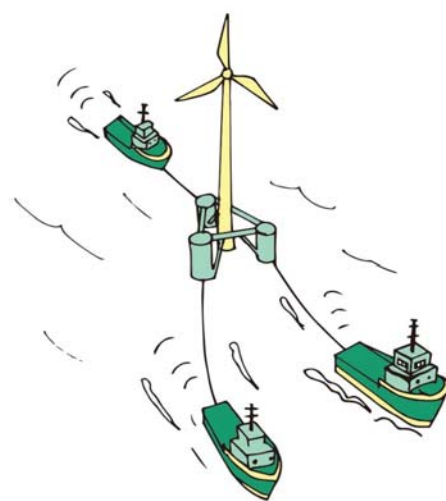
Show the Big Flag Now !

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

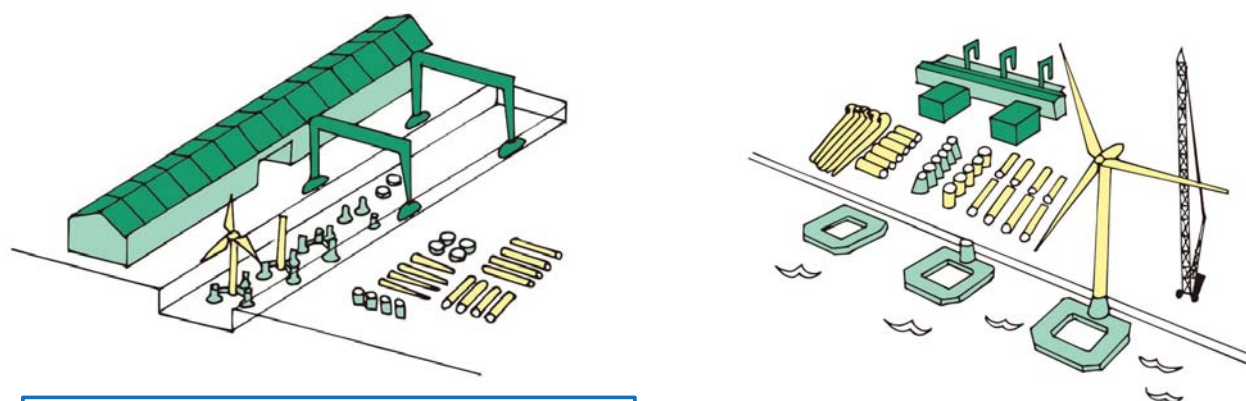
浮体式洋上風力のアジア最大市場は日本



浮体式風車は海を渡れる



浮体式洋上風車の量産拠点イメージ

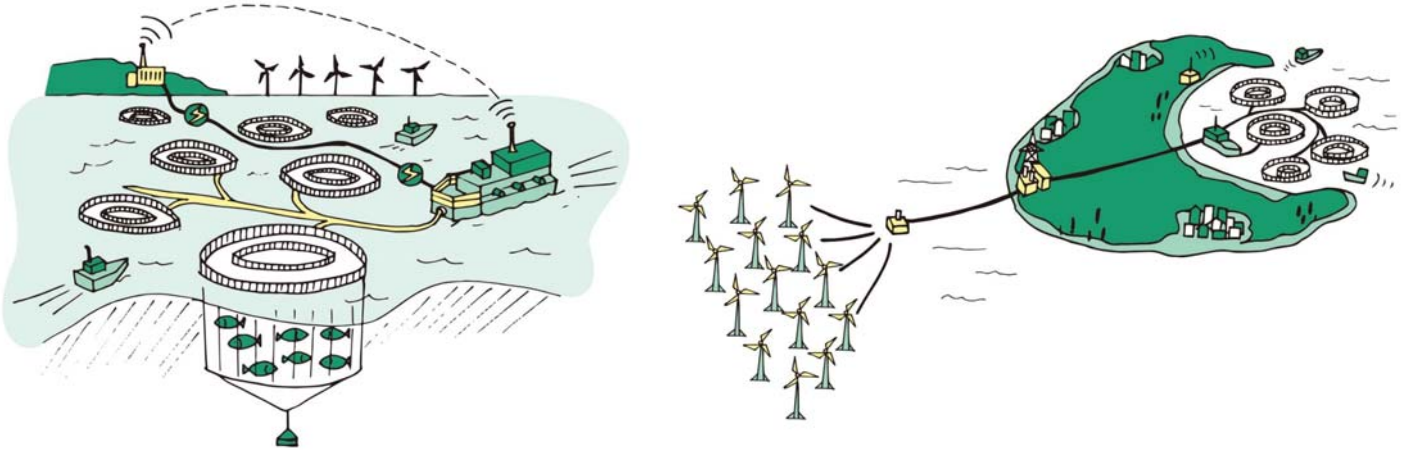


洋上風車は海外メーカー製



漁業との共生

洋上風力と沖合養殖との共生イメージ



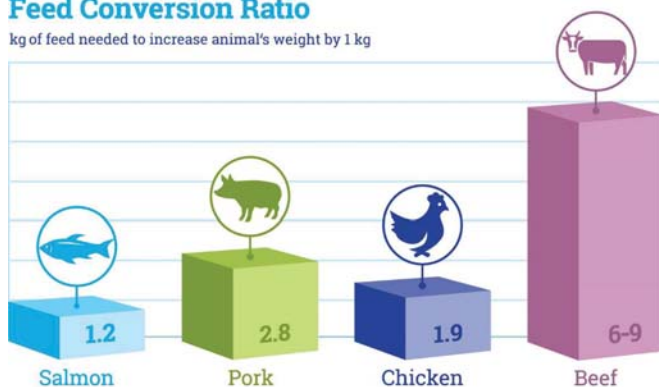
漁業者との共生と地域との協創
compensation だけではなく、
 次世代（孫子）のための **promotion** が重要

27

何故養殖なのか

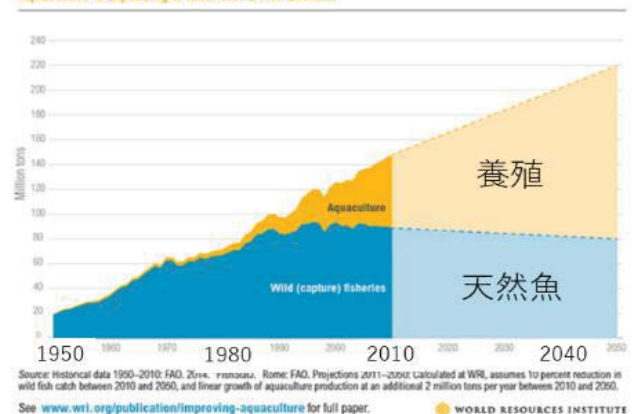
Feed Conversion Ratio

kg of feed needed to increase animal's weight by 1 kg



For farm-raised salmon, pork, chicken and beef. (Adapted from Global Salmon Initiative, 2016)

Aquaculture is Expanding to Meet World Fish Demand



世界の人口は2015年73億人から2050年に97億人へ（国連人口予測中位推計）。食料供給が大きな課題。魚の養殖は最も効率が優れた手段。

魚の養殖は世界の成長産業。今後は養殖が主流になる。養殖を輸出産業として拡大すれば、日本の水産業の再生復活に繋がる。2018年に漁業法が70年ぶりに改正。

28

ご清聴ありがとうございました！



Y.ODA was born



Y.ODA now

五島沖 浮体式風車
2020年9月20日

Yoichi Oda

Coordinator
Organization for Marine Science and Technology
Nagasaki University