

平成29年度

エネルギー・鉱物資源に関する在外公館戦略会議



洋上風力発電の世界動向と日本の選択

MHI ヴェスタス オフショア ウィンド 山田 正人

Agenda

- 洋上風力とは何か？

MHI Vestas Offshore Windの事業概要

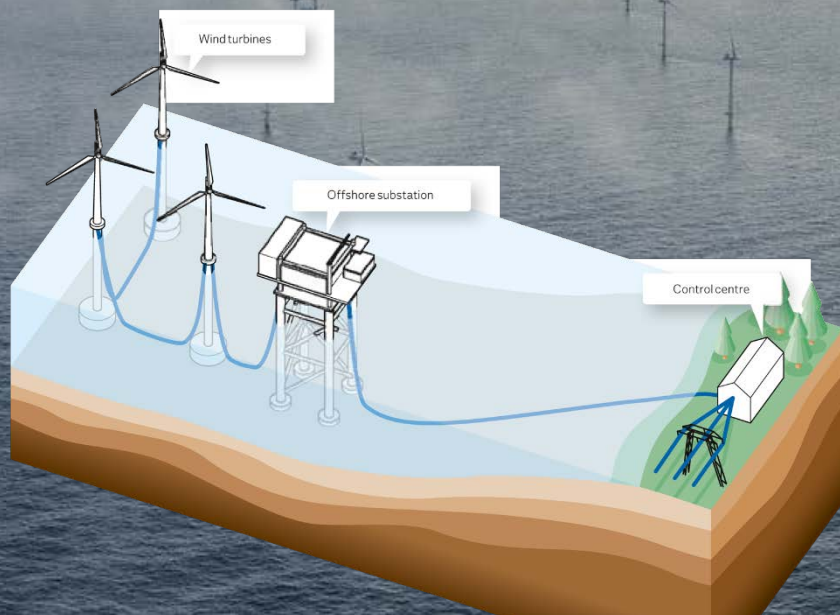
- 世界の洋上風力発電の動向
- 再生可能エネルギーに関する通説
- 日本が戦略として考えるべきこと

洋上風力とは何か

「洋上」とはいえ、基礎を海底に打つ着床式が主流

洋上風車プロジェクトは、陸上に比べて一般的に風況が良く、土地制約、輸送制約が少ないためタービンやプロジェクト規模の大型化が可能。

一方、建設・運転保守ともアクセスの困難な海上での作業となり、天候に左右されるため、工事の難度、リスクが大きい。



写真：Luchterduinen, Netherlands

機種・基数 V112-3.0 MW x 43 unit

総出力 129 MW

海域面積 16 km² (東京ドーム約340個分)

海岸線からの最短距離 23 km



Source: Vattenfall, 4C Offshore, Power Technology, MHI Vestas

欧州洋上風力発電の実態： 最新の3MWプロジェクト建設風景

オランダ Luchterduinen プロジェクト(2015年)では一日に最大2基の洋上風車を据付

Embed Installation Video here

<http://www.mhivestasoffshore.com/windexpoJapan/>



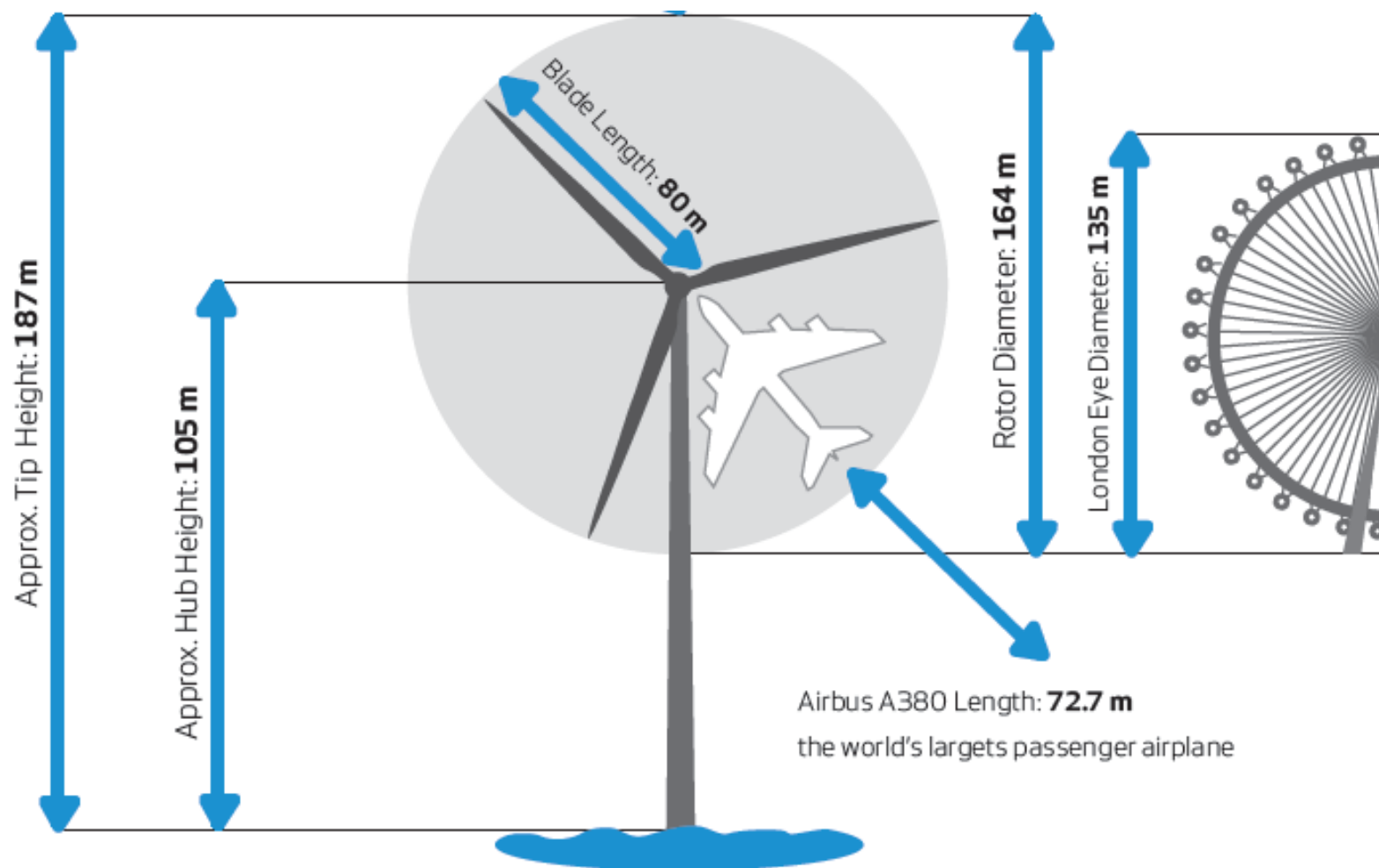
MHI Vestas Offshore Wind 会社概要

- (1) 名称： MHI Vestas Offshore Wind A/S
- (2) 所在地： デンマーク オーフス市
- (3) 代表：
 - CEO イェンス・トムラップ (Jens Tommerup)
 - Co-CEO 水野 哲志 (Tetsushi Mizuno)
- (4) 事業内容：
 - 洋上風車の開発・設計・調達・製造・販売・アフターサービス
- (5) 設立年月日： 2014 年4 月1 日
- (6) 従業員数： 2,380名
 - (2017年12月1日時点、うち、日本人派遣者20名)
- (7) 出資比率： MHI 50%、Vestas 50%

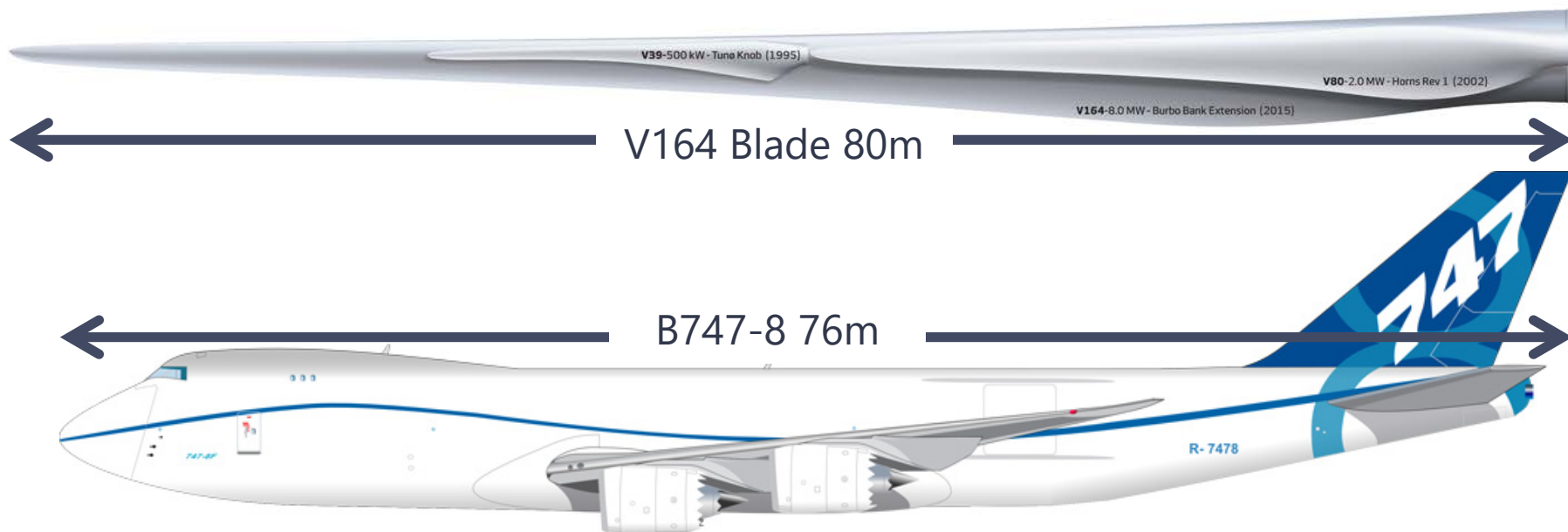
MHI Vestasの主力機種 V164概要

- 定格出力 8,000kW/9,500kW
- ローター径 164m
- 定格回転数 10.5rpm
- 設計年平均風速 11m/s
- 翼長/重量 80m /35トン
- 回転面積 21,124m²
- ナセル 高さ x 長さ x 幅
8m x 20m x 8m
重量 約390トン
- タワー高さ 105m (at Østerild実証機133m)

V164のサイズ



V164の翼長



Agenda

- 洋上風力とは何か？

MHI Vestas Offshore Windの事業概要

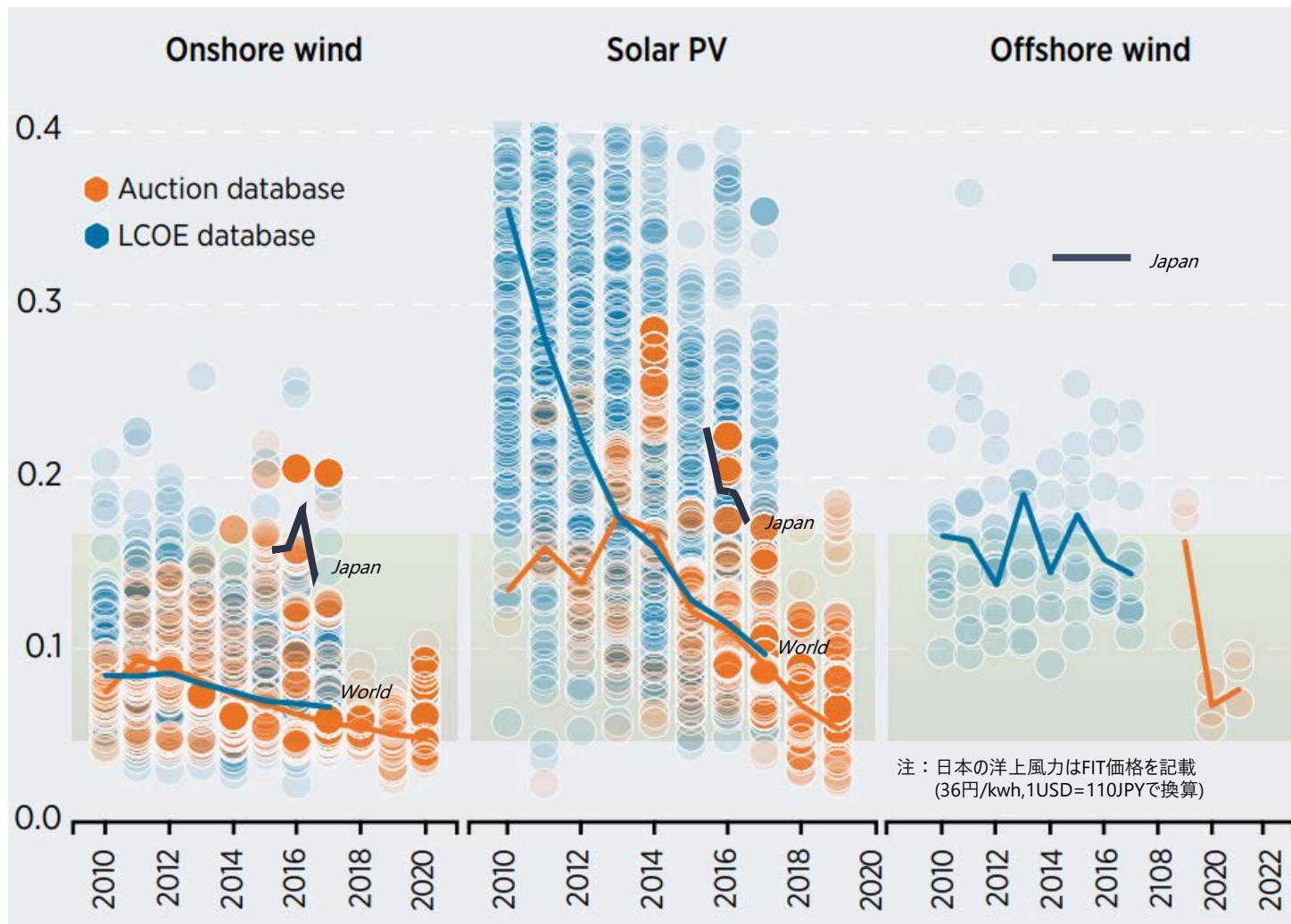
- 世界の洋上風力発電の動向

- 再生可能エネルギーに関する通説

- 日本が戦略として考えるべきこと

IRENA（国際再生可能エネルギー機関）の報告

世界中で陸上風力、洋上風力、太陽光発電のコストが着実に下がっている

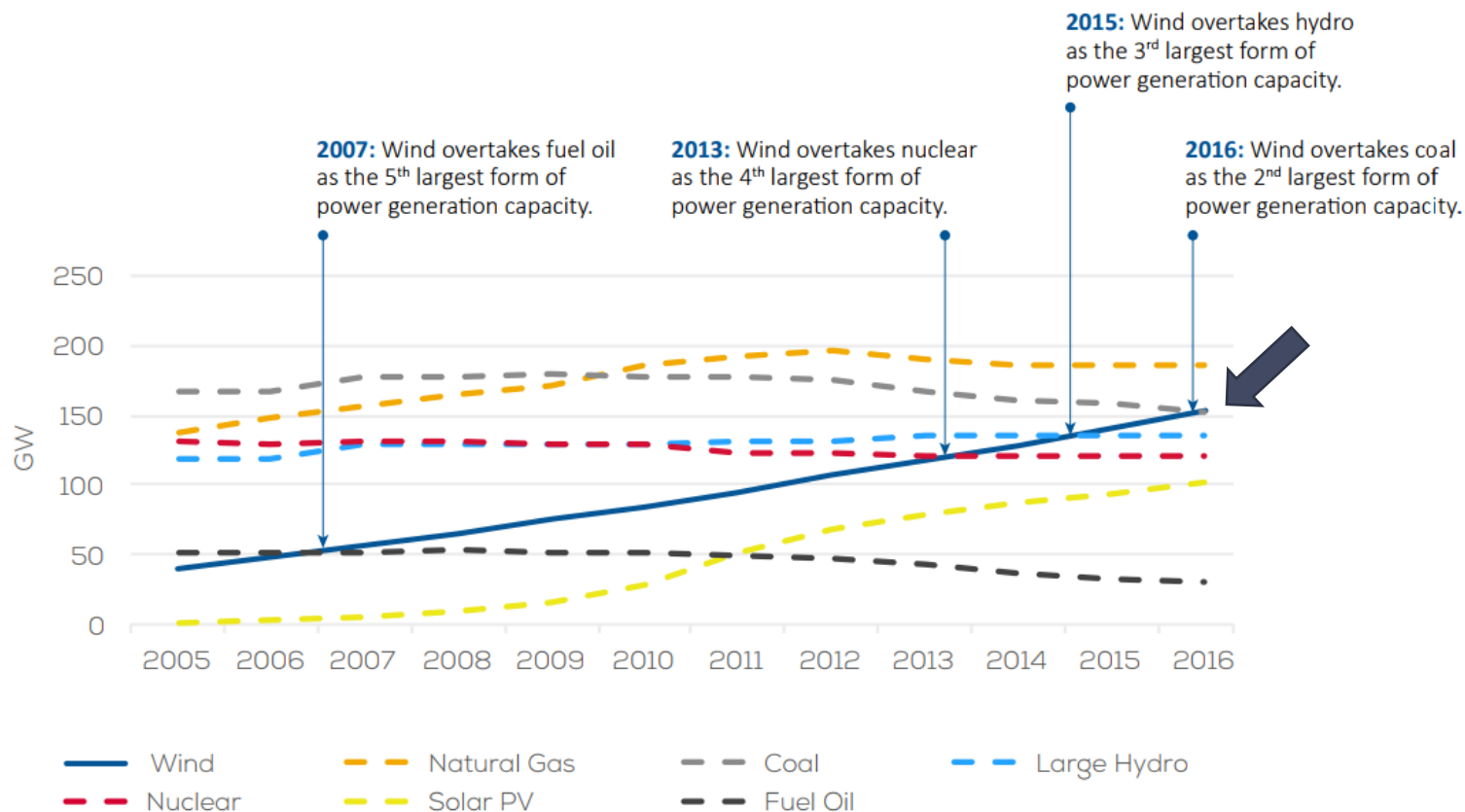


Source: World (2016USD/kWh): Renewable Power Generation Costs in 2017, IRENA,
Japan: (Nominal USD/kWh): LCOE Comparison and Visualisation, Bloomberg New Energy Finance

欧州電源構成の推移 (現状)

設備容量ベースでは、風力は150GWを突破、石炭火力を抜いて第2位のポジション。

Cumulative power capacity in the European Union 2005-2016

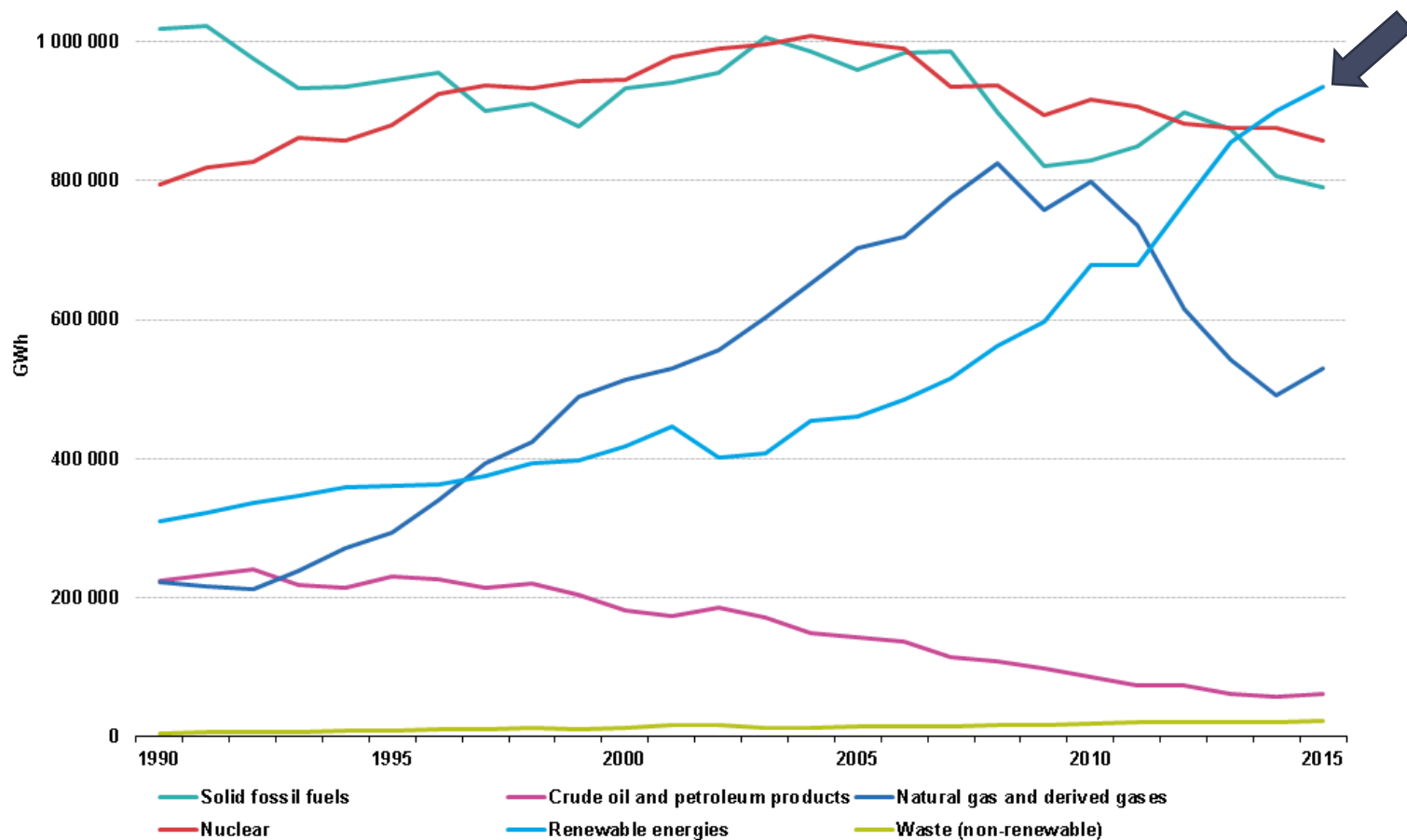


Source: WindEurope

欧州電源構成の推移 (現状)

発電量ベースでも、水力、太陽光も含めた再エネがトップに

Gross electricity production by fuel, GWh, EU-28, 1990-2015



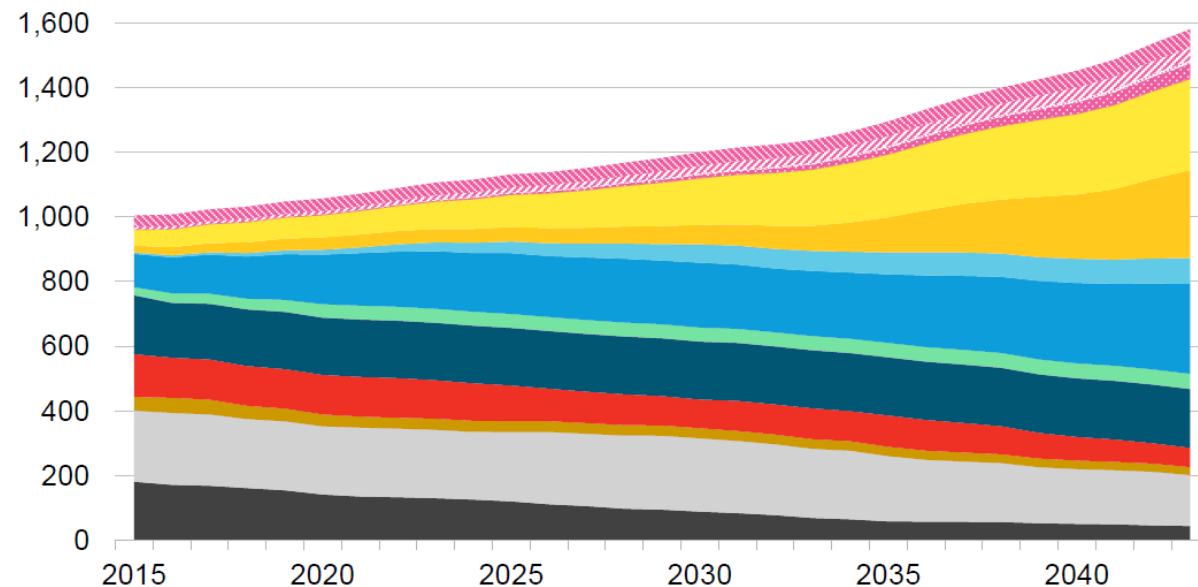
Source: Eurostat

欧州電源構成の推移 (見通し)

欧州の電力の50%は2040年までに再生可能エネルギーで賄われる見通し

BNEF New Energy Outlook: Europe

Cumulative installed capacity (GW)



**BNEF predicts
50% renewables
penetration in
Europe by 2040**

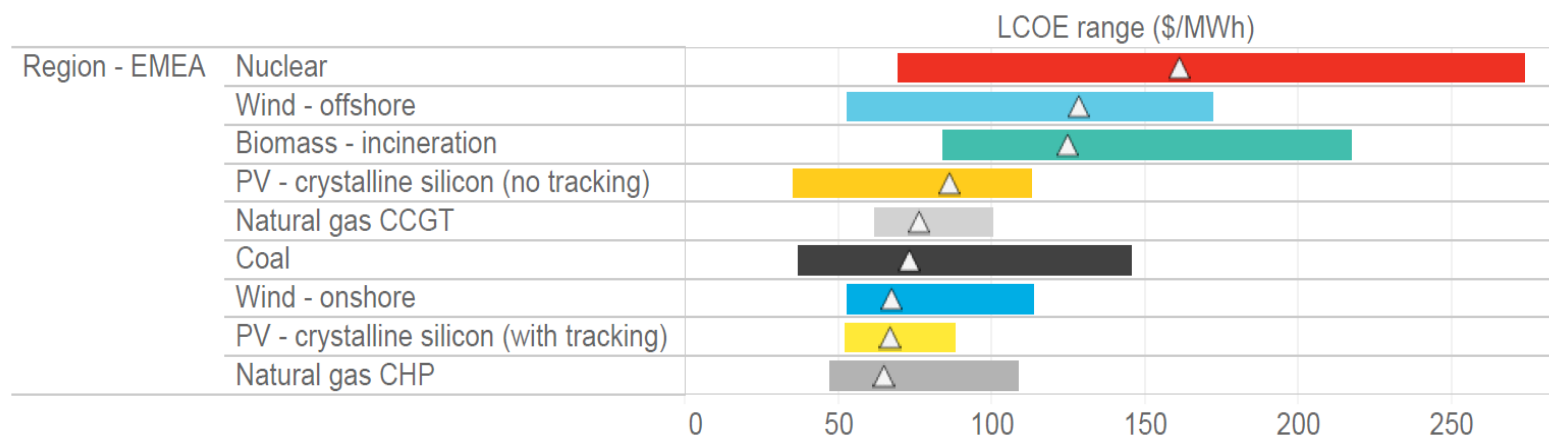
- Other flexible capacity
- Demand response
- Utility-scale batteries
- Small-scale batteries
- Other
- Solar thermal
- Small-scale PV
- Utility-scale PV
- Offshore wind
- Onshore wind
- Biomass
- Geothermal
- Hydro
- Nuclear
- Oil
- Gas
- Coal

Source: Bloomberg New Energy Finance

欧州電力市場 | LCOEの比較

LCOEの大幅な減により、欧州では洋上風力が他の発電ソースと遜色ない大型電源として認知されつつあり、Ørsted(旧DONG Energy)やE.ONのように、経営資源を再エネに集中させる事業者も出現。

LCOE range (nominal \$/MWh), 2017 1H

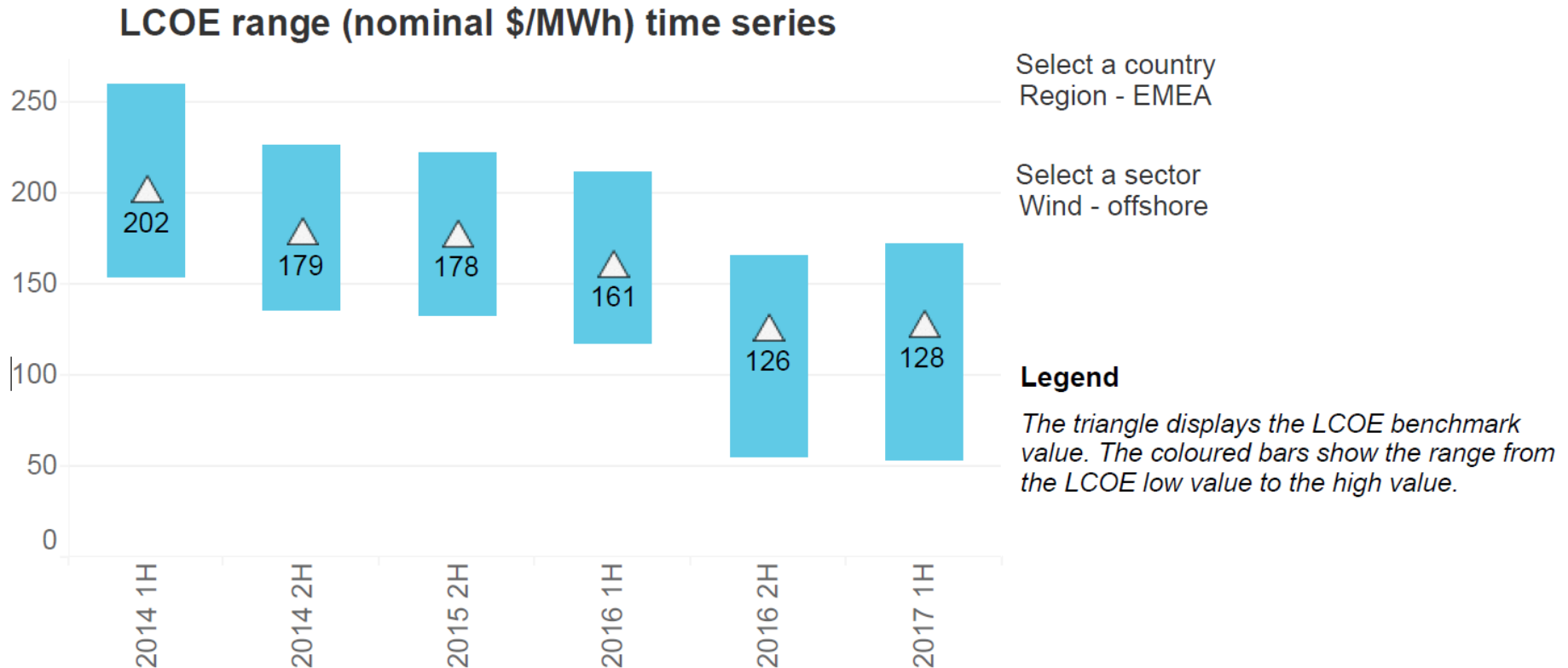


Legend: The triangle displays the LCOE benchmark value. The coloured bars show the range from the LCOE low value to the high value.

Source: Bloomberg New Energy Finance

欧州洋上風力市場 | LCOE推移

市場の成長にあわせてLCOEもここ数年の間に著しく低下。直近では\$50/MWhもうかがう流れ。



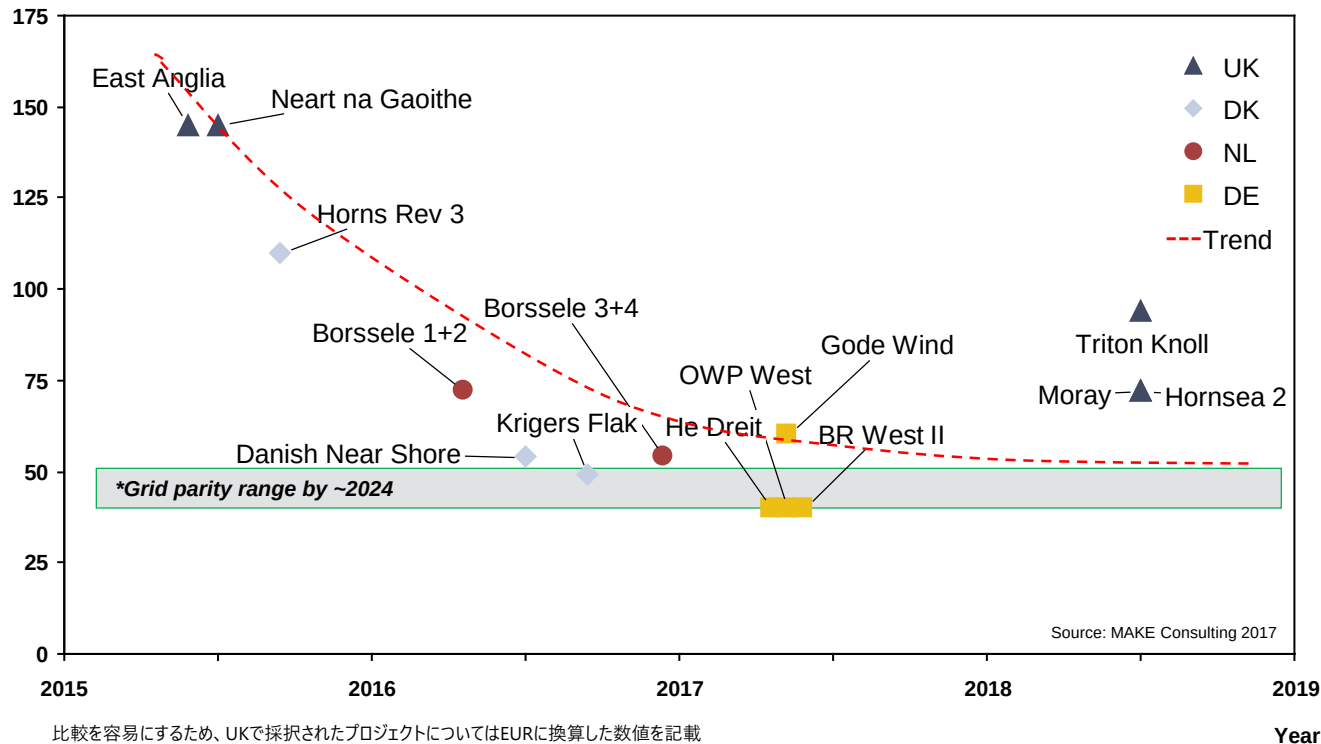
Source: Bloomberg New Energy Finance

欧州洋上風力 事業入札価格動向

- 25年以上の官民の経験の上に、各国政府の巧妙な制度設計による熾烈な競争で売電価格が急落し化石燃料の発電原価に近づきつつある。
- 大幅な価格低下により、欧州では洋上風力が大型の主力電源に。
- Ørsted(旧DONG Energy)やE.ON、RWEのような大手電力会社が経営資源を再エネに集中させている。

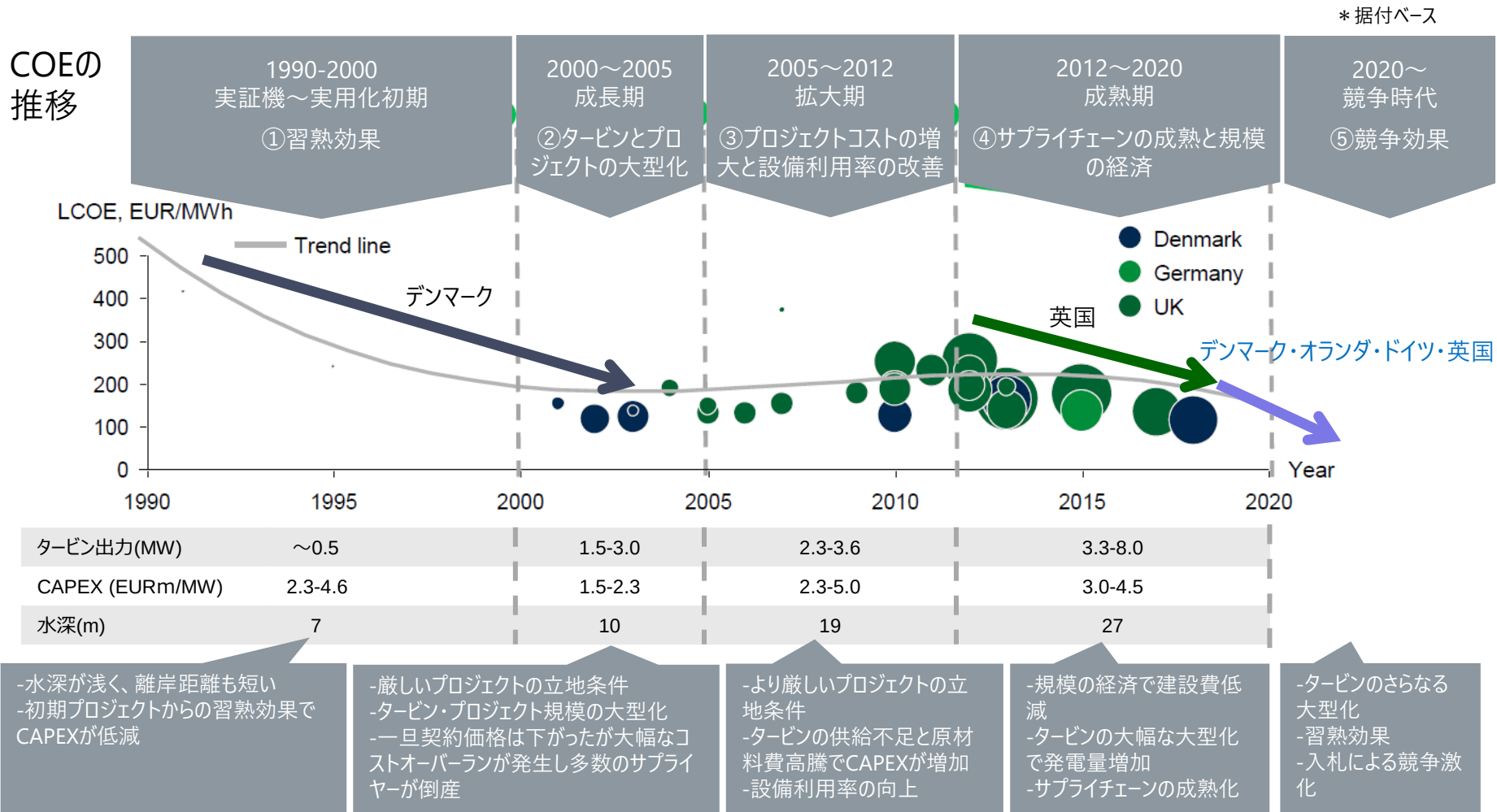
欧州洋上風力 事業入札結果まとめ

Strike Price (EUR/MWh)



欧州洋上風力の歴史

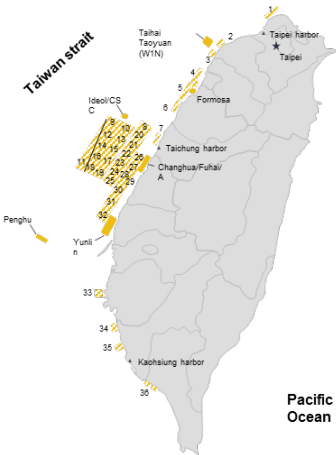
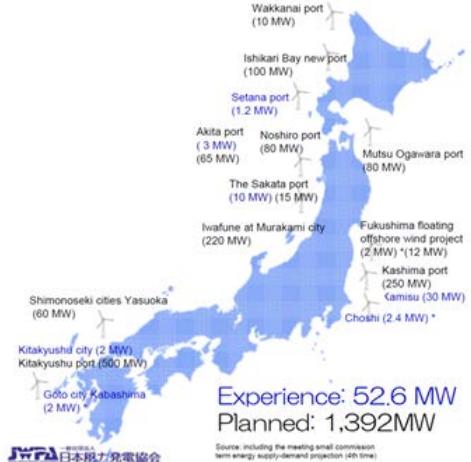
過去25年以上にわたり、試行錯誤、条件の変化、技術革新等によりCOEは増減を繰り返しつつ、近年、規模の経済と習熟効果、さらに激しい競争効果により大幅に下落している



Source: MAKE

欧州以外での洋上風力開発（米国・台湾・日本）

欧州での経験に学ぶことにより、新興市場では短期間で大量導入とコスト低減が可能。

米国	台湾	日本
- 東部各州(マサチューセッツ、ニューヨーク、ニュージャージー、メリーランド等)が欧州にならいゾーンを設定し開発権入札を実施。欧州洋上事業者も多数参入。 - 各州合計の導入目標：2.9GW/2027年	- 台湾政府が西岸に開発ゾーンを設定し、欧州事業者含め各事業者が開発権を取得(プロジェクト総計 約 10GW) 2018年に総計4GW規模のプロジェクト入札を行い、2025年までに順次運開予定。	- 港湾区域を中心に各事業者が総計1.4GWのプロジェクトを開発中。 - エネルギー基本計画(エネルギーミックス)での導入目標：0.82GW/2030年
		

Source: JWSA, MHI Vestas

Agenda

- 洋上風力とは何か？

MHI Vestas Offshore Windの事業概要

- 世界の洋上風力発電の動向

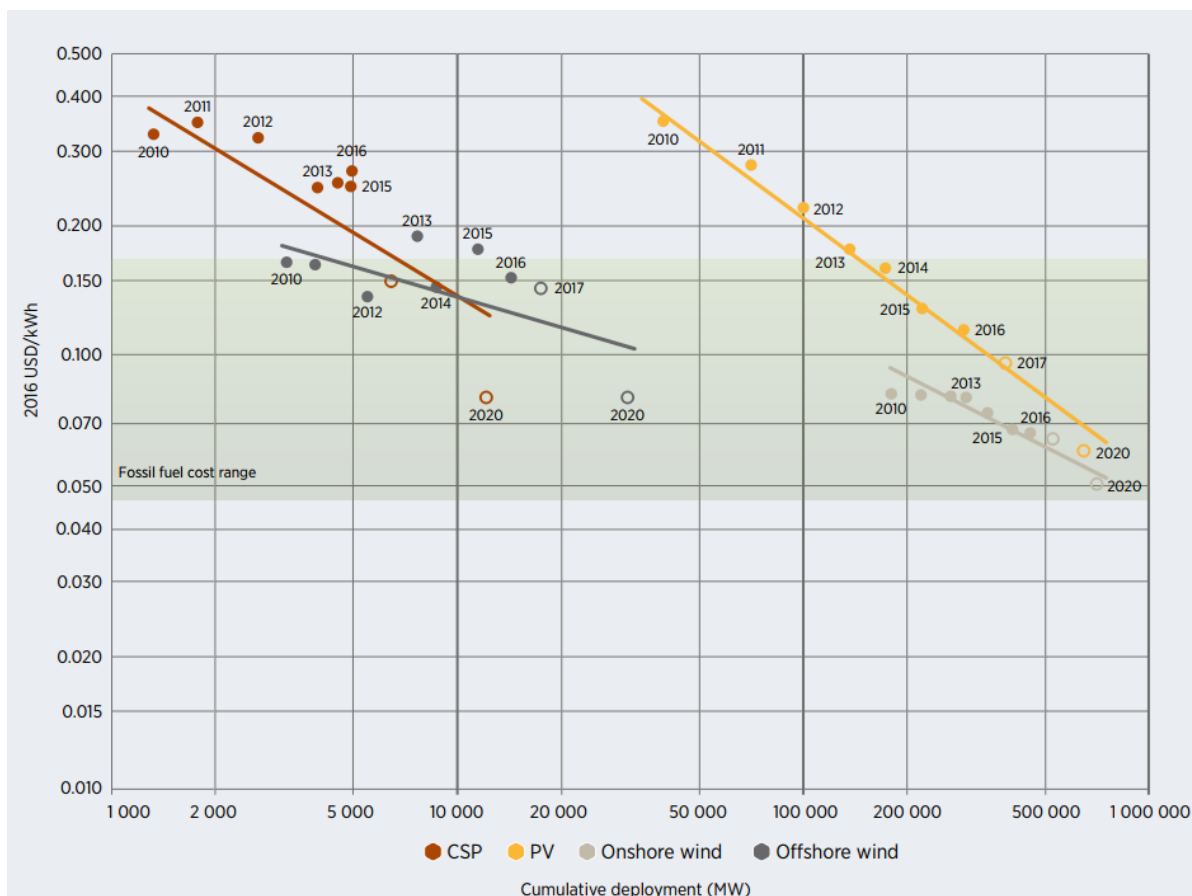
- 再生可能エネルギーに関する通説

- 日本が戦略として考えるべきこと

1. 再生可能エネルギーは高いから大量導入できない

太陽光、陸上風力、洋上風力とも、化石燃料と同等レベル(グリッドパリティ)までコストが下落。

日本では「コストが高い」から再生可能エネルギー導入が小規模にとどまり、結果としてコストが下がらない悪循環。各国では大規模導入と競争原理で規模の経済によりコストを下げている。



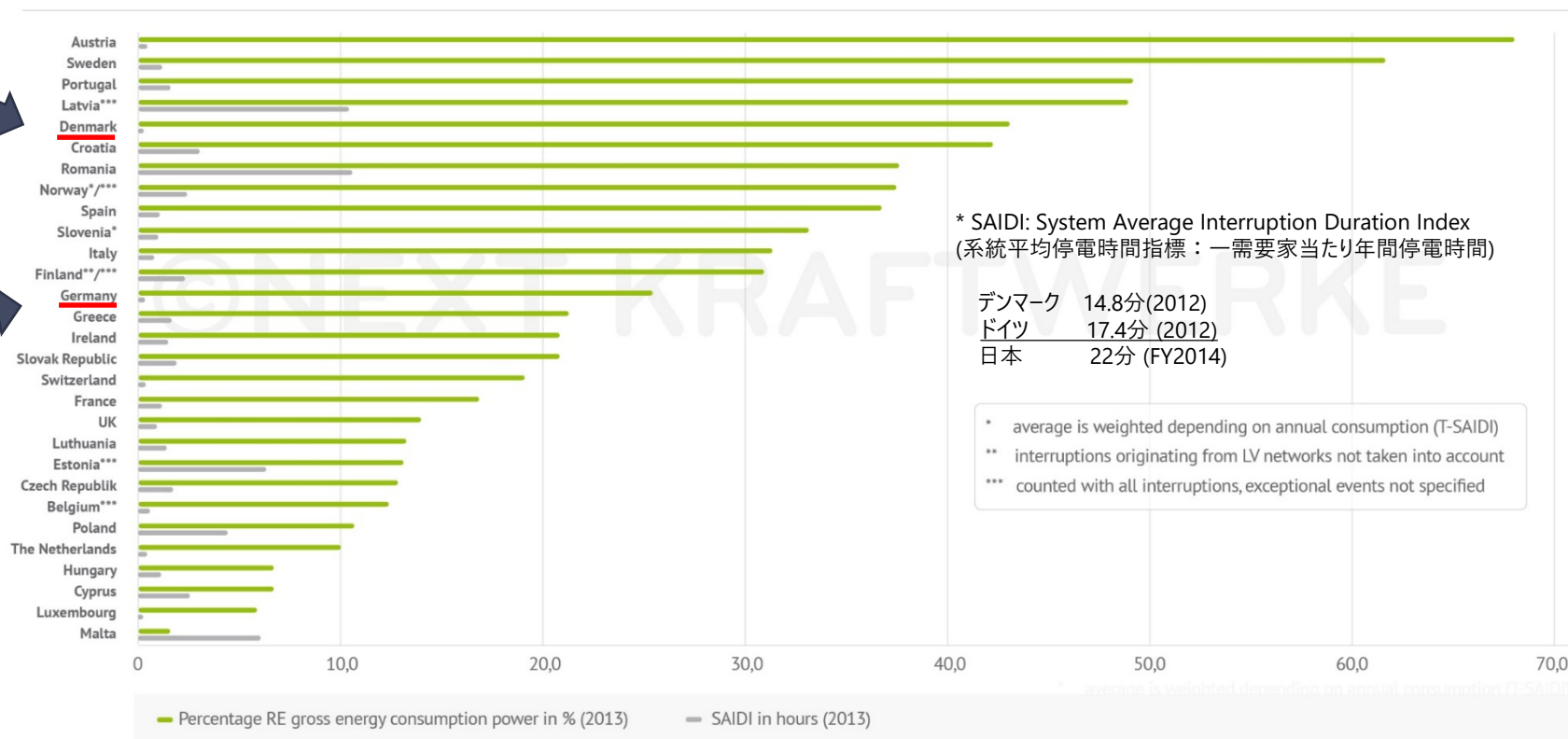
* CSP: Concentrated Solar Power

Source: Renewable Power Generation Costs in 2017, IRENA

2. 再生可能エネルギーは系統に悪影響を及ぼし停電が増える

風力や太陽光の導入が進むデンマークやドイツなどにおいても停電時間はわずか。
系統の事情は異なるが各国の系統運用も高度化しており、停電が増加したとはいえない。

SAIDI compared to the percentage of Renewable Energies (RE) per country



Source: Next Kraftwerke <https://www.next-kraftwerke.com/energy-blog/saidi-index>
関西電力 http://www.kepc.co.jp/corporate/profile/data/teiden_hikaku.html

3. 日本は洋上風力に適さない

JWPAの算定によれば、エネルギー基本計画に基づく2030年の導入目標820MWに対し、物理的にはその100倍以上のポテンシャルがある

着床式洋上風力発電のポテンシャル 添付2

- 日本の一般海域における洋上風力発電のポテンシャルは、着床式だけでも全国合計91GW程度
- 年平均風速7.0m/s以上、水深10~40m、約20km²以上のまとまったエリアを確保できる海域を選定(約100MW以上のプロジェクトを想定)

5.0MW級（ローター径126m）風車を前提としたポテンシャル

	全体容量	風速別(m/s)容量 MW				
	MW	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0	9.0-
全国	91,906	37,623	32,729	16,301	4,598	655
北海道	34,492	9,688	13,391	8,648	2,337	428
東北	15,999	6,595	6,211	2,192	876	126
東京	12,680	5,650	5,322	1,480	126	101
中部	11,243	3,112	3,395	3,477	1,260	0
北陸	0	0	0	0	0	0
関西	1,449	1,247	195	6	0	0
中国	510	435	76	0	0	0
四国	2,482	2,173	258	50	0	0
九州	13,051	8,724	3,880	447	0	0

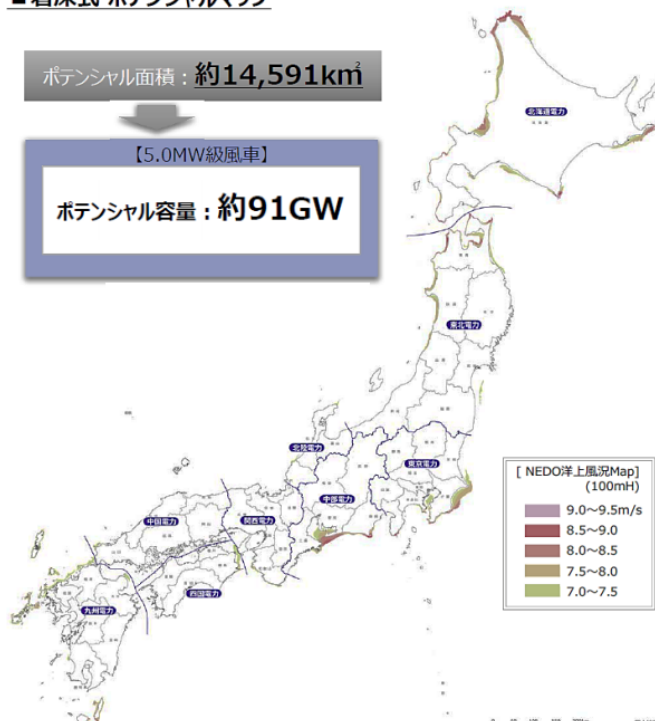
前提：風車離隔を10D×5Dとし必要面積を算出（D=ローター径）

■ 着床式 ポテンシャルマップ

ポテンシャル面積：約14,591km²

【5.0MW級風車】

ポテンシャル容量：約91GW



4. 地球温暖化対策は欧州の都合・思惑が先行

もはや低炭素化は欧州のみならず世界各国の国家戦略、経済戦略になっている

再生可能エネルギーのコスト低下も相まってパリ協定以後潮目が変わる。

米国：

- トランプ政権はパリ協定からの離脱を表明するも、民間セクターは事業のリスク、リターンを見据えて脱炭素化を掲げる企業に集中投資。（風力/太陽光産業の雇用：362千人⇔石炭産業：80千人）
- 東部では各州政府が洋上風力開発、導入を競う。

中国：「第13次5か年エネルギー発展計画」

- 石炭割合を58%以下にまで低減させ、天然ガス割合を10%に、水力、原子力、再生可能エネルギーを含む非化石燃料エネルギー割合を15%まで引き上げ。

インド：「Draft National Electricity Plan 2016 (Volume 1) Generation」

- 原子力、水力、再生可能エネルギー設備容量の割合を現在の30%から2027年までに56.5%に大幅に増加。
- 石炭火力発電の新設を停止。

台湾：原子力停止を目指し欧州に倣い政府主導で洋上風力の大量導入を計画。

韓国：初の本格洋上風力発電所が竣工。文政権はさらに導入を後押しする構え。

「温暖化対策」が旗印だが、各国はエネルギーセキュリティ、エネルギーコスト、投資先としての魅力、経済産業振興、公害対策など、実利で再生可能エネルギーに急転換

Source: Forbus <https://forbesjapan.com/articles/detail/16770>

Newsweek <https://www.newsweekjapan.jp/stories/business/2015/02/post-3561.php>

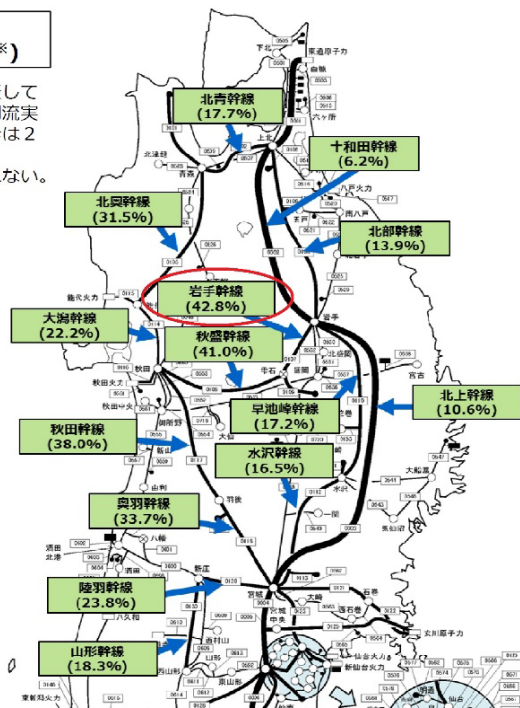
株式会社ニューラル サステナビリティ研究所 <https://sustainablejapan.jp/2017/01/15/13th-5-year-plan-for-energy/25103>

5. 日本は系統容量乏しく再生可能エネルギー受け入れが困難

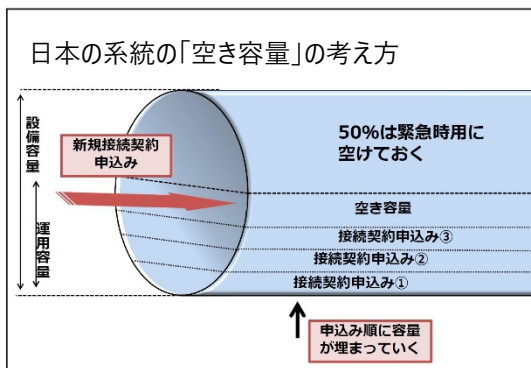
設備容量のうち50%は緊急時用として空けてある。平常時にはこれを利用し、系統を最大限活用する日本版コネクト＆マネージの検討がスタートしつつある

線路名
(最大利用率※)

※ 広域機関が公表している年間最大潮流実績ベース（分母は2回線分容量）。予約分は含まれない。



Source: 資源エネルギー庁



Source: 資源エネルギー庁

ドイツの送電会社50Hertzの送電線利用率(2016年)



Source:
京大再エネ講座主催シンポジウム
基調講演資料
2018年1月 山家特任教授

6. 日本には世界に冠たる技術がある

元来技術開発では先行し、デバイス、素材など強い分野もあるが、国内での再生可能エネルギー導入拡大の遅れにより、今や完成機の競争力では後塵を拝する状況

風力：2017年の発注実績

世界計 21,820MW（うち国内向け 66MW）

太陽光：2016年のモジュールの生産実績

世界計 75GW（うち国内生産 3.5GW）

Figure 1: 2017 wind turbine contract orders

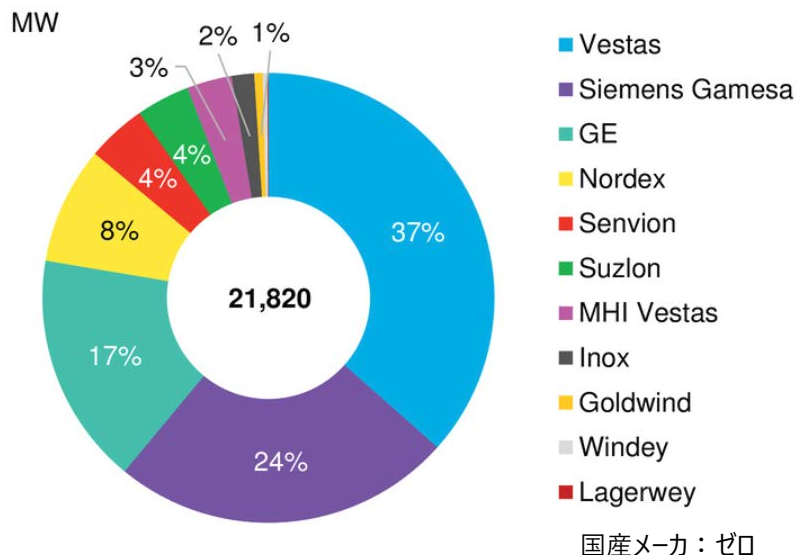
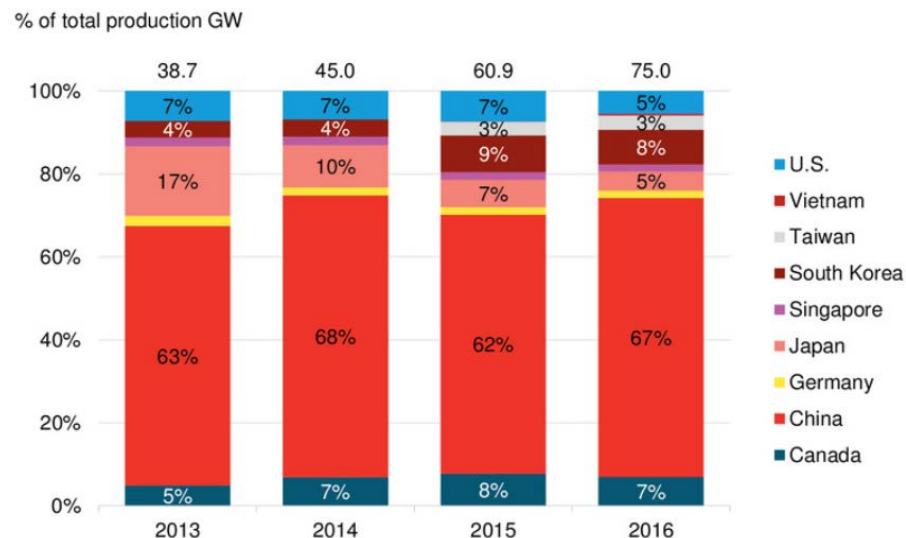


Figure 9: Annual module production by geography



Source: Bloomberg New Energy Finance

Agenda

- 洋上風力とは何か？

MHI Vestas Offshore Windの事業概要

- 世界の洋上風力発電の動向

- 再生可能エネルギーに関する通説

- 日本が戦略として考えるべきこと

河野外務大臣のメッセージが日本の進むべき道を示す

日本は新しい思考で再生可能エネルギー外交を展開し、世界の動きを正しく理解し、長期的視野に立った一貫した対応をとっていく

- 日本国内の再生可能エネルギーを巡る現在の状況は嘆かわしい
- 再生可能エネルギーの劇的な価格下落や、気候変動問題が脱炭素化を不可避にしている世界の趨勢から目を背け、変化を恐れて現状維持を優先している
- これまでの日本の失敗は、世界の動きを正しく理解せず、短期的なその場しのぎの対応を続けてきた結果
- 今後、日本は新しい思考で再生可能エネルギー外交を展開し、世界の動きを正しく理解し、長期的視野に立った一貫した対応をとっていくことを宣言したい

(IRENA第8回総会での政策スピーチ「日本の再生可能エネルギー外交－気候変動とエネルギーの未来」より 外務省HP仮訳より)

http://www.mofa.go.jp/mofaj/page4_003640.html

国と国民の意識改革が急務

Ørsted（DONG）の意識調査の結果、日本人が最も再エネを信じていないことが判明

「再生可能エネルギーで全世界のエネルギーを賄っていくことが可能」だと信じている人の割合で日本は最下位

Percent of the surveyed who think it is important to create a world fully powered by renewable energy

International average	China	Taiwan	Germany	Canada	Denmark	France	US	UK	Netherlands	Poland	Sweden	South Korea	Japan
82%	93%	89%	84%	84%	83%	83%	83%	82%	81%	80%	80%	77%	73%

「自国がグリーン・エネルギーの拡大に野心的であるべき」と考える人の割合で日本13か国中10位

Percent of the surveyed who think their country should be ambitious in its approach to building and producing green energy

International average	China	Denmark	US	France	Germany	Canada	South Korea	UK	Sweden	Japan	Taiwan	Poland	Netherlands
70%	89%	78%	78%	75%	74%	72%	69%	68%	67%	64%	61%	59%	58%

「再生可能エネルギーへの転換が経済的に有益」だと考える人の割合で日本13か国中12位

Percent of the surveyed who agree with each of the statements about green energy

International average	US	Canada	UK	France	Germany	Poland	Netherlands	Denmark	Sweden	China	Japan	South Korea	Taiwan
73%	70%	74%	73%	75%	75%	73%	74%	79%	73%	68%	69%	76%	71%

Source: Green Energy Barometer 2017, Ørsted

日本における再生可能エネルギー導入の戦略的な必要性

－ MHI Vestas の視点

世界のエネルギー・シーンが大きく転換する中で、再生可能エネルギー導入をためらえば国益を損なう

1. 国家間競争としての再生可能エネルギー

- 各国とも実利を追求し再生可能エネルギーを拡大
- 導入先進国の制度や市場設計を学び、短期間で大規模な導入を目指す国が続々と
- いかに関世界の投資や技術を自国に誘致し、エネルギーの自給と経済成長を両立させるか

2. エネルギー安全保障戦略としての再生可能エネルギー

- 非資源国は「純国産エネルギー」である再生可能エネルギーでエネルギー自給率を改善
- 資源国は資源を節約し持続的な成長をもくろむ
- 非資源国の日本はオイルショックの教訓を今一度思い起こすべき

3. 経済成長戦略としての再生可能エネルギー

- 開かれた大規模な国内マーケットがグローバルな産業競争力の大前提
- 再生可能エネルギーに関しては日本の技術はグローバル競争で磨かれていない
- 大規模導入と規制改革、制度設計で再エネコストの低減と経済成長は両立できる

日本での洋上風力導入拡大のための三つのカギ – MHI Vestas の視点

洋上風力是一日にしてならず。ただし、過去25年以上の欧州での試行錯誤の経験と教訓に最大限学べば、日本なりに短期間での大量導入とコスト低減の両立は可能。

1. 大規模で長期的かつ明確な導入計画：国と国民のコミットメント
2. 法制度、環境の整備と導入障壁のクリア：行政各部門の責務
3. 欧州知見の積極的な導入と日本の強みを生かした競争：民間企業の活力と責任

Let's move the horizon.