

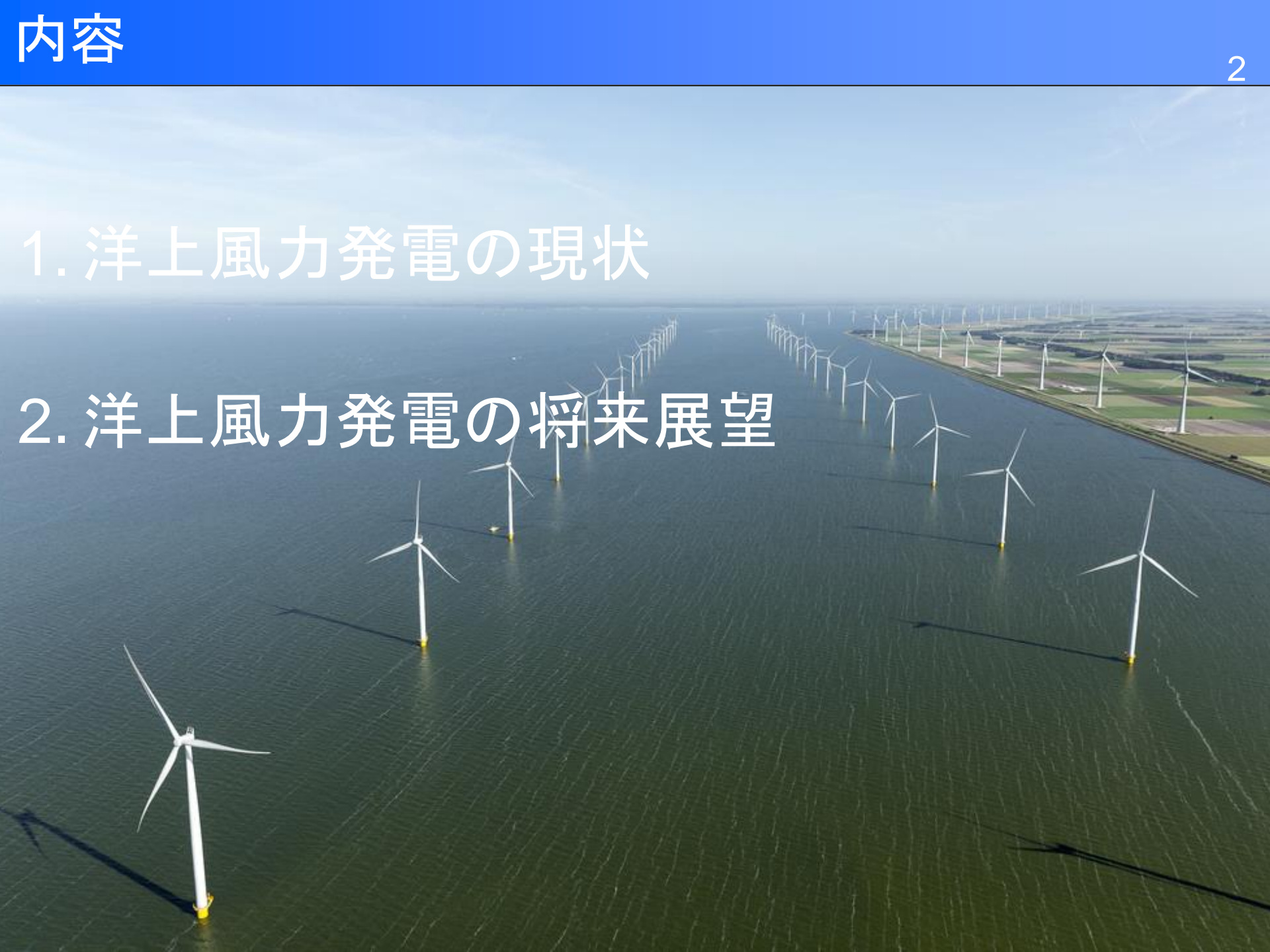
洋上風力発電の現状と将来展望

東京大学大学院工学系研究科
社会基盤学専攻
石原 孟

2022年6月23日

1. 洋上風力発電の現状

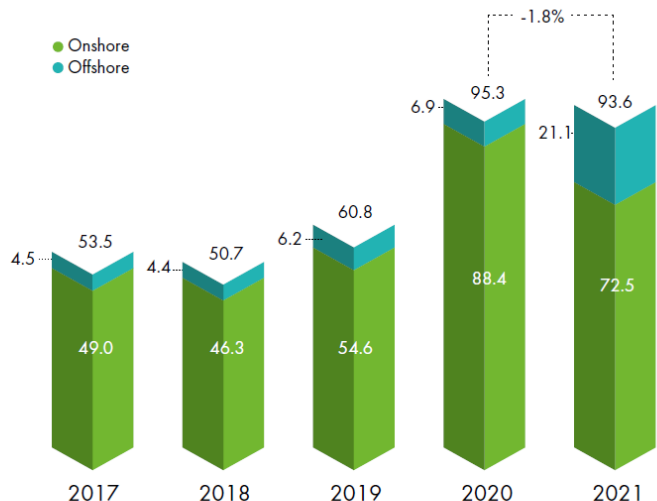
2. 洋上風力発電の将来展望



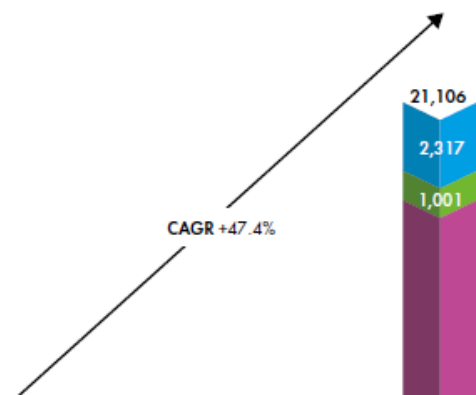
2021年における風力発電の導入量

□ 世界風力会議GWEC(Global Wind Energy Council)が4月に風力発電の2021年の年間報告書 Global Wind Report 2022 を発表した。2021年全世界で9360万kWが新規導入され、前年とほぼ同じではあるが、洋上風力も史上最高2111万kWが新規導入された。

New installations

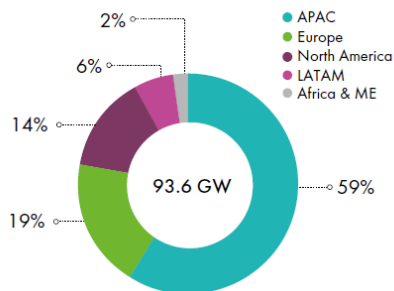


New offshore installation
MW

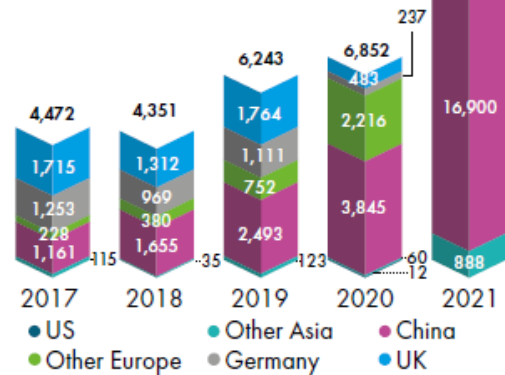
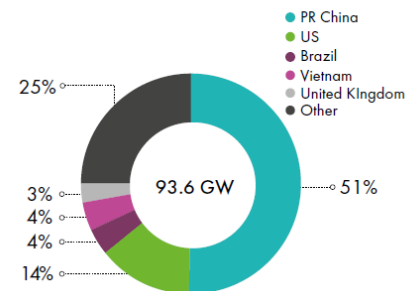


2020 new installations data has been adjusted based on the input GWEC received. For details see Appendix -Methodology and Terminology

New wind power capacity in 2021
by region
Per cent

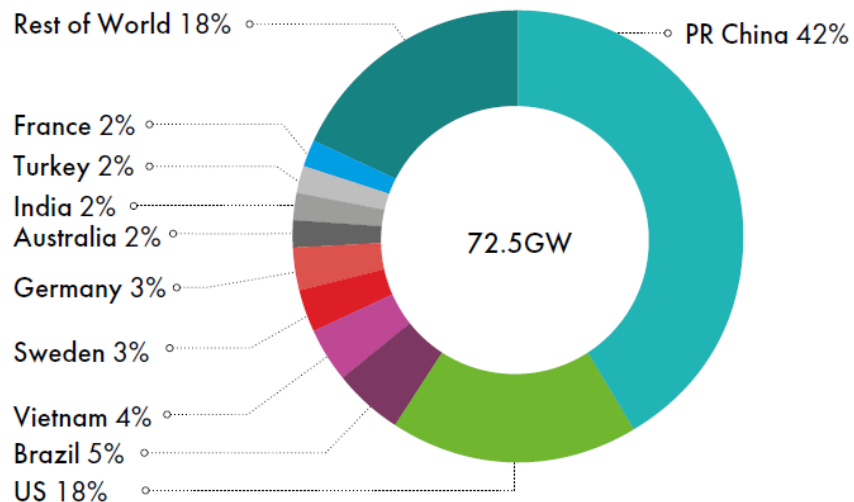


New wind power capacity in 2021 and share of top five markets
Per cent

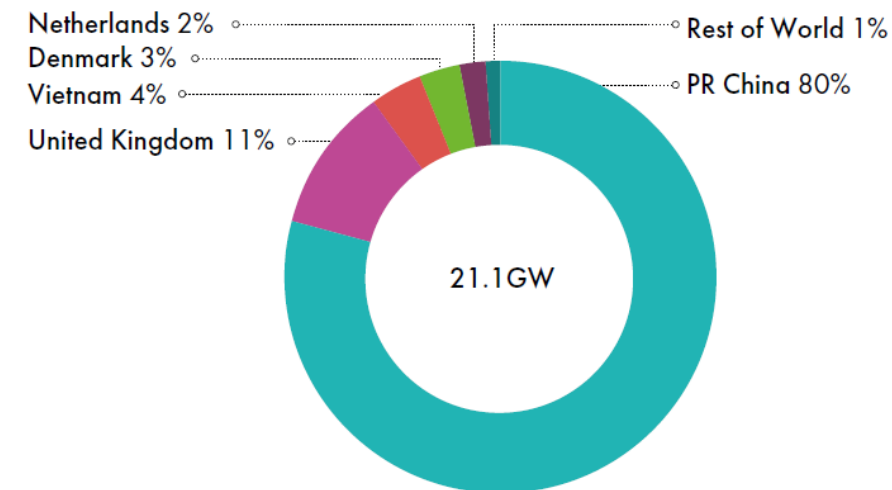


(出典) Global Wind Energy Council (GWEC)

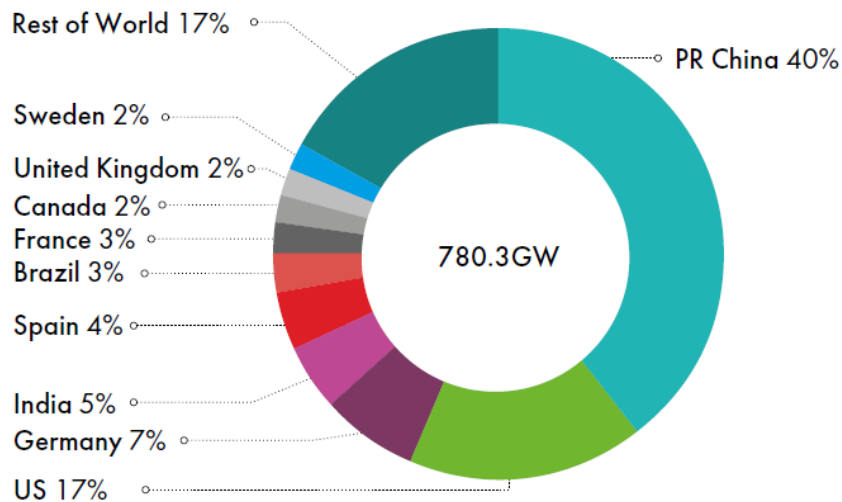
New installations onshore (%)



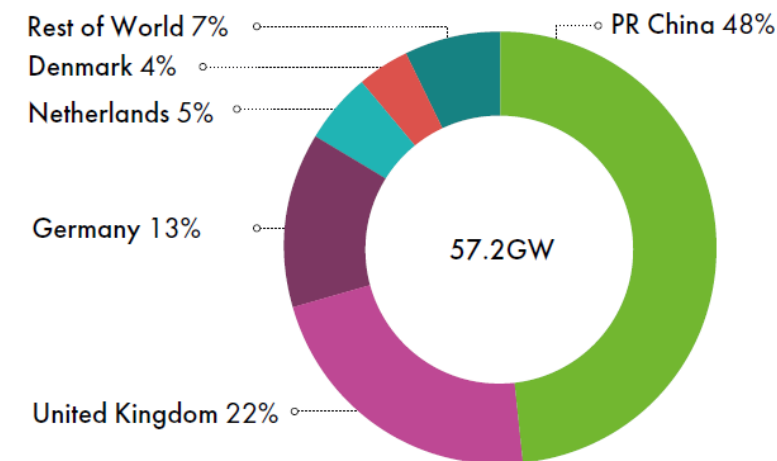
New installations offshore (%)



Total installations onshore (%)



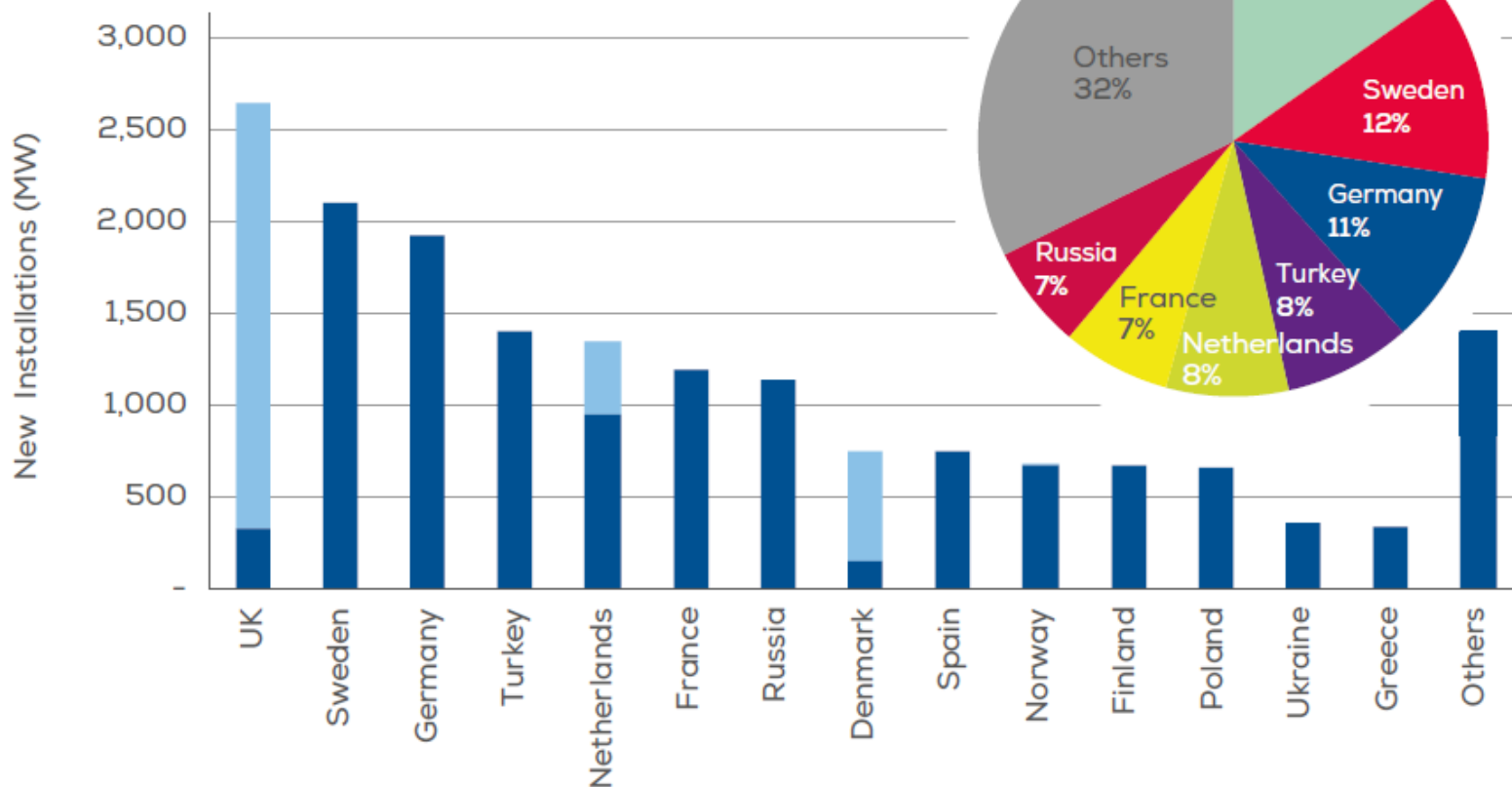
Total installations offshore (%)



欧州における風力発電導入量

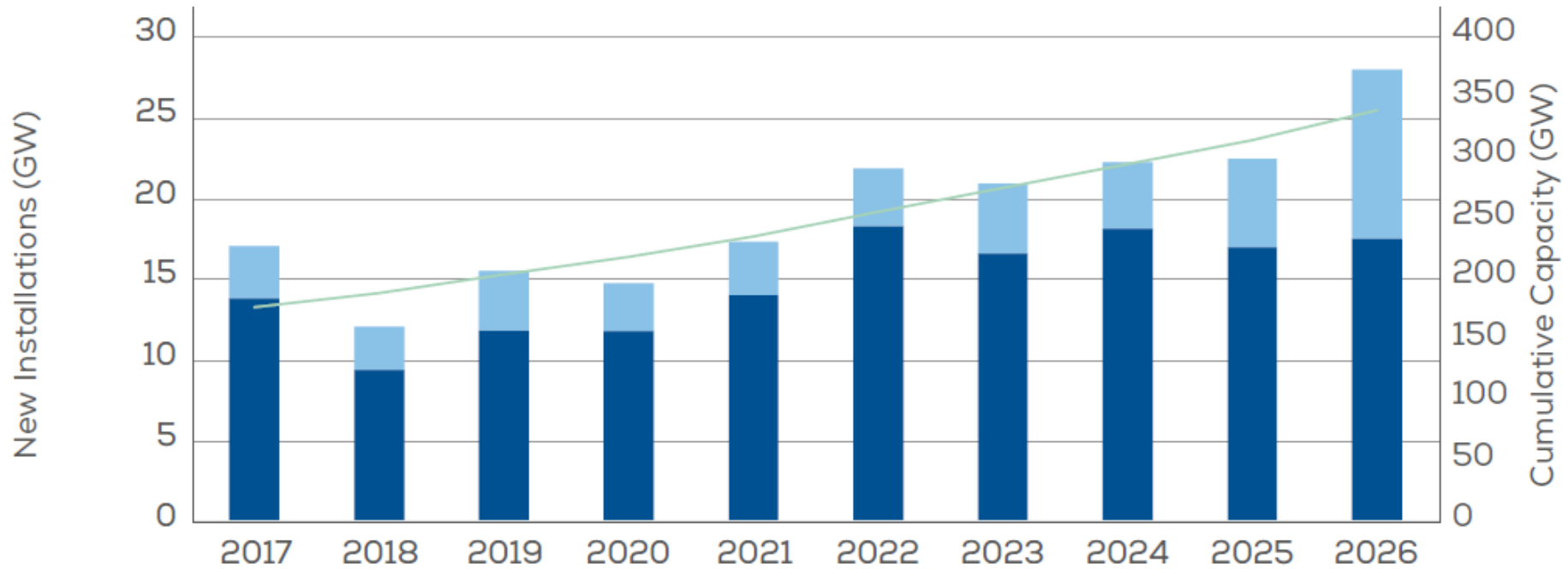
□ 欧州の風力発電の導入が拡大し、2021年末までに累計**2億3600万kW**に建設され、2021年に新規に建設されたウィンドファームの容量は**1700万kW**である

(出典)「2021 Statistics and the outlook for 2022-2026」



■ Offshore	2,317	-	-	-	392	-	-	605	-	4	-	-	-	-	-
■ Onshore	328	2,104	1,925	1,400	952	1,192	1,139	149	750	672	671	660	359	338	1,402
Total	2,645	2,104	1,925	1,400	1,344	1,192	1,139	754	750	676	671	660	359	338	1,402

欧州における風力発電導入の展望(2022-2026)



■ Offshore	3.2	2.7	3.6	2.9	3.3	3.5	4.4	4.1	5.4	10.4
■ Onshore	13.9	9.4	11.9	11.8	14.0	18.3	16.6	18.1	17.0	17.6
— Cumulative	177	189	204	219	236	256	276	296	315	341

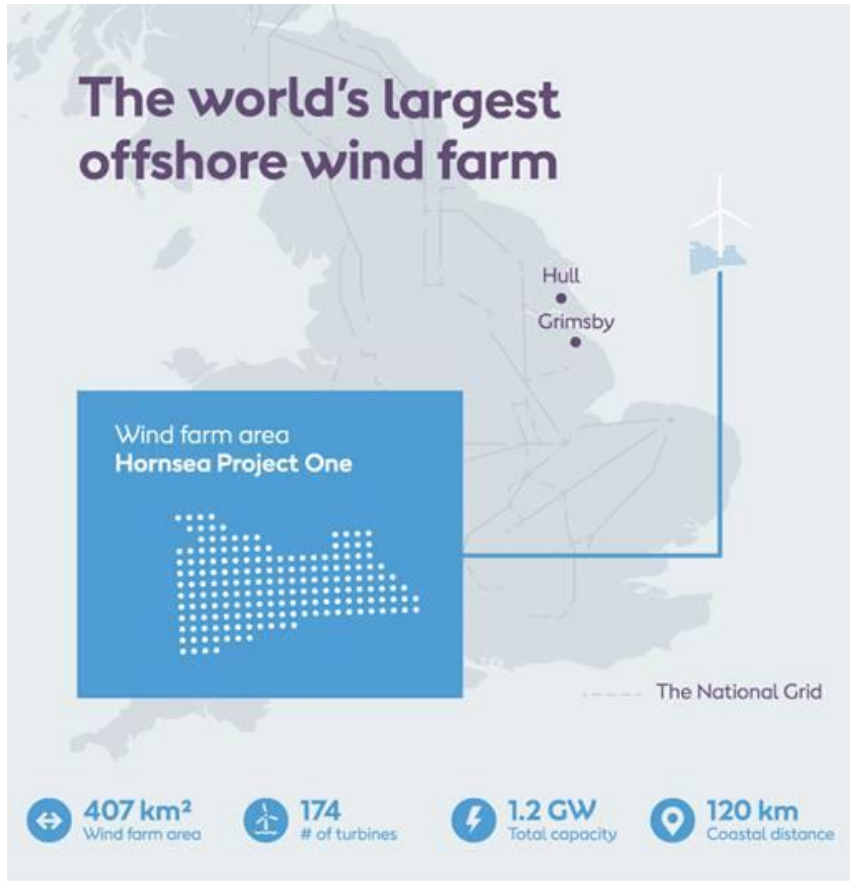
世界における大規模洋上ウインドファーム(1-10位)

7

Wind farm	Total (MW)	Location	Turbines & model	Commissioning Date
1. Hornsea Project I	1,218	UK	174 x Siemens Gamesa 7MW	2019
2. Moray East	950	UK	100 x MHI-Vestas 9.5 MW	2022
3. Triton Knoll	857	UK	90 x MHI-Vestas 9.5 MW	2021
4. Jiangsu Qidong	802	China	Four different domestic manufacturers	2021
5. Borssele 1&2	752	Netherlands	94 x Siemens Gamesa 8MW	2020
6. Borssele 3&4	731.5	Netherlands	77 x MHI-Vestas 9.5 MW	2021
7. East Anglia ONE	714	UK	102 x Siemens Gamesa 7MW	2020
8. Walney Extension	659	UK	40 × MHI-Vestas 8.25 MW 47 × Siemens Gamesa 7 MW	2018
9. London Array	630	UK	175 × Siemens 3.6MW	2013
10. Kriegers Flak	605	Denmark	72 x Siemens Gamesa 8.4 MW	2021

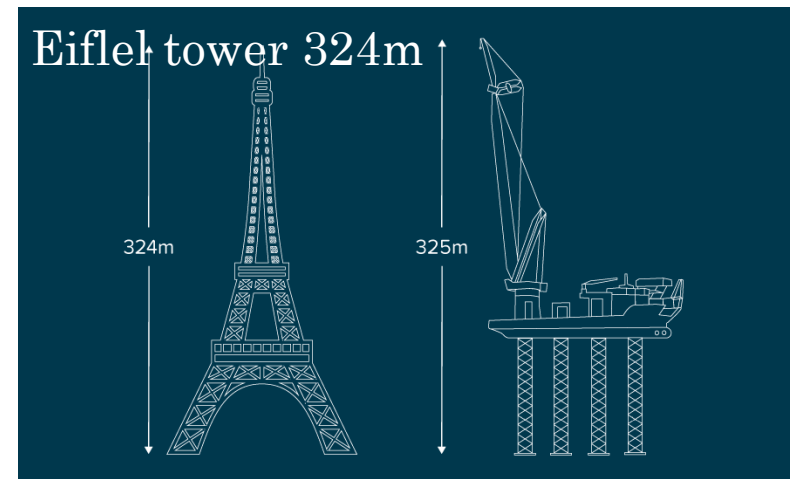
世界最大の洋上ウインドファーム (Hornsea Project One)

Wind farm	Total (MW)	Location	Turbines & model	Commissioning Date
1. Hornsea Project One	1,218	UK	174 × Siemens Gamesa7MW	2019



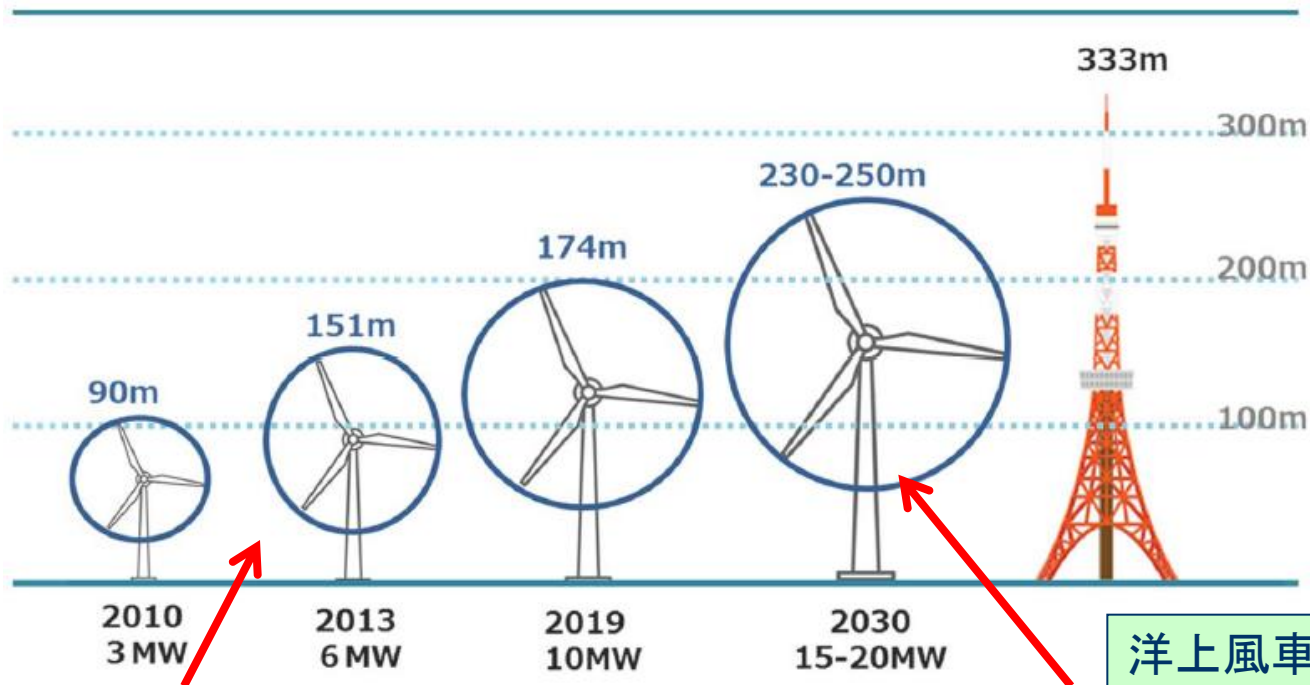
建設中の大規模洋上ウインドファーム(1-4位)

Wind farm	Total (MW)	Location	Turbines & model	Commissioning Date
1. Hornsea Project 2	1,386	UK	165 x Siemens Gamesa 8MW	2022-2023
2. Dogger Bank A	1,200	UK	95 x GE Haliade-X 13MW	2023
3. Dogger Bank B	1,200	UK	95 x GE Haliade-X 13MW	2024
4. Seagreen (Alpha & Bravo)	1,140	UK	114 x MHI-Vestas10MW	2023



https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_offshore_wind_farms

ドッガーバンク A+B+C 3.6GW



陸上風車

洋上風車



GE 5.3-158 5.3MW



VESTAS V-236 15MW

日本に導入された洋上風力発電の最新状況

- 日本に導入された洋上風車は累計28基。内訳は着床式が24基、浮体式が4基。商用が25基、実証研究は3基。28基のうち、福島県楢葉沖の2基は2021年夏に撤去されている。

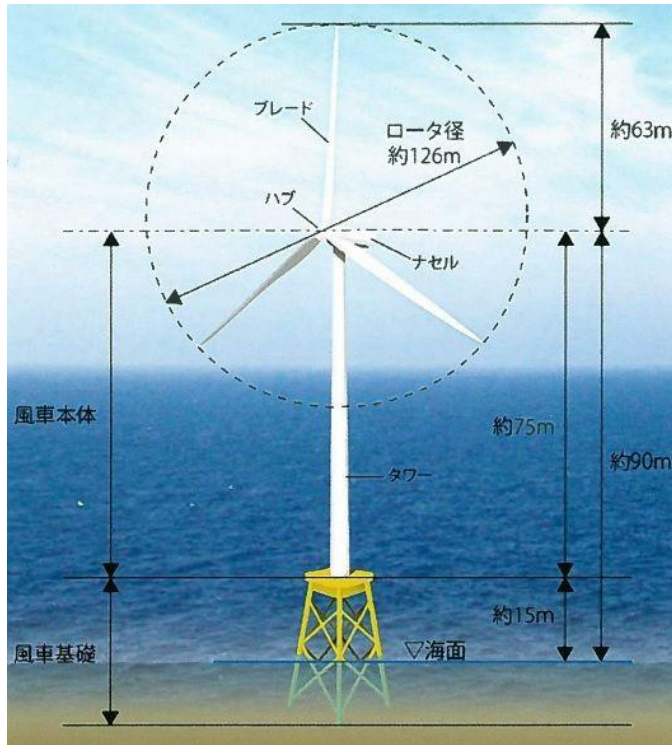
●日本の洋上風車28基

設置区域	稼働状況	発電容量	浮体式/着床式	実証/商用
北海道 瀬棚町	運転中 (町営)	600kW×2基	セミ洋上・着床式 (ドルフィン基礎)	商用
秋田県 秋田港	運転中	3000kW×1基	セミ洋上・着床式 (ドルフィン基礎)	商用
山形県 酒田港	運転中	2000kW×5基	セミ洋上・着床式 (ドルフィン基礎)	商用
福島県 楢葉沖	21年夏に撤去	2000kW×1基 5000kW×1基	浮体式 (セミサブ型&アドバンストスパー型)	実証研究
茨城県 神栖市	運転中	2000kW×15基	セミ洋上・着床式 (モノパイル基礎)	商用
千葉県 銚子市	運転中	2400kW×1基	着床式 (重力式基礎)	商用 (旧・NEDO実証)
福岡県 北九州市	運転中	3000kW×1基	浮体式 (バージ型)	実証研究
長崎県 五島市	運転中 (市営)	2000kW×1基	浮体式 (スパー型)	商用 (旧・環境省実証)
	運転中26基 撤去2基	28基 (58.6MW)	"着床式1基 浮体式4基 セミ洋上・着床式23基"	商用25基 実証3基

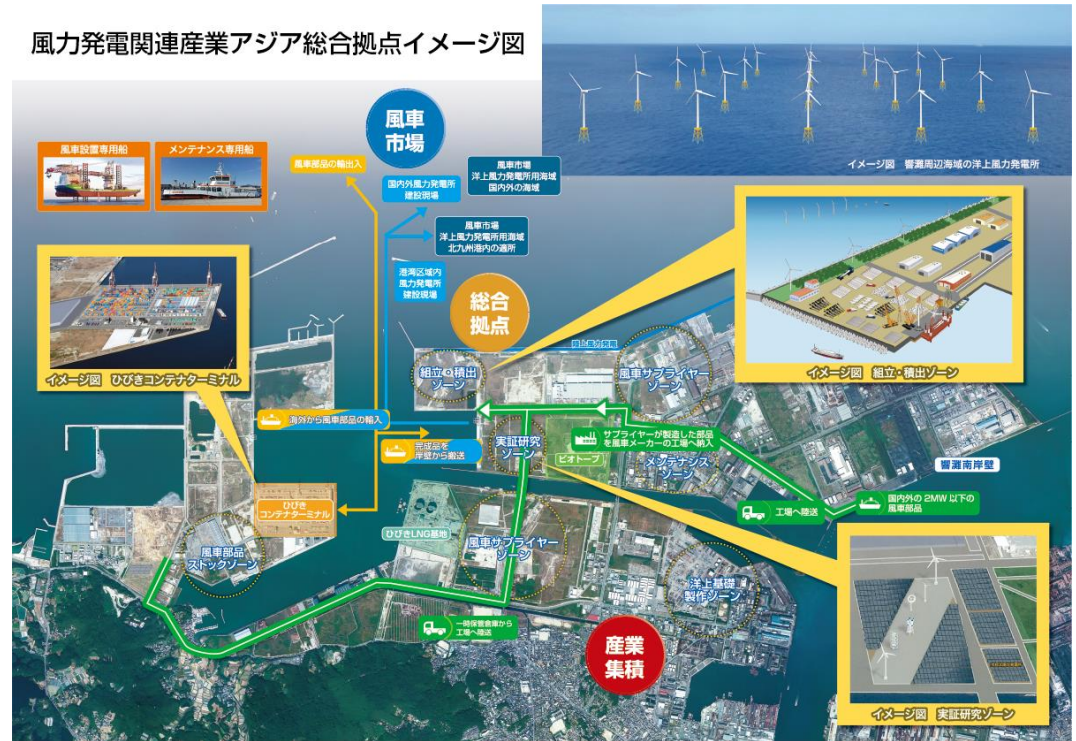


- 発電能力は最大17万kW、年間の発電量は4億4700kWhにのぼる。一般家庭の使用量に換算して12万世帯分になり、秋田県の総世帯数(約39万)の約3割が消費する電力量に匹敵する。
- 工事は、2020年2月に着工し、洋上据付工事は2021年中に完了、2022年4月頃より秋田港及び能代港の沖合に合計33基の風車据付工事を行い、2022年末までの商業運転開始を目指している。

国内最大級の洋上風力発電プロジェクト、民間企業5社の連合体のひびきウインドエナジー株式会社が設計・認証を実施、MHI-Vestas 9.5MW大型風車を設置する計画で発電能力は最大で22万kW、2022年度に着工予定。年間の発電量は一般家庭の使用量に換算して約17万世帯分に相当する。北九州市の総世帯数の4割をカバーする電力を供給できる。



風力発電関連産業アジア総合拠点イメージ図

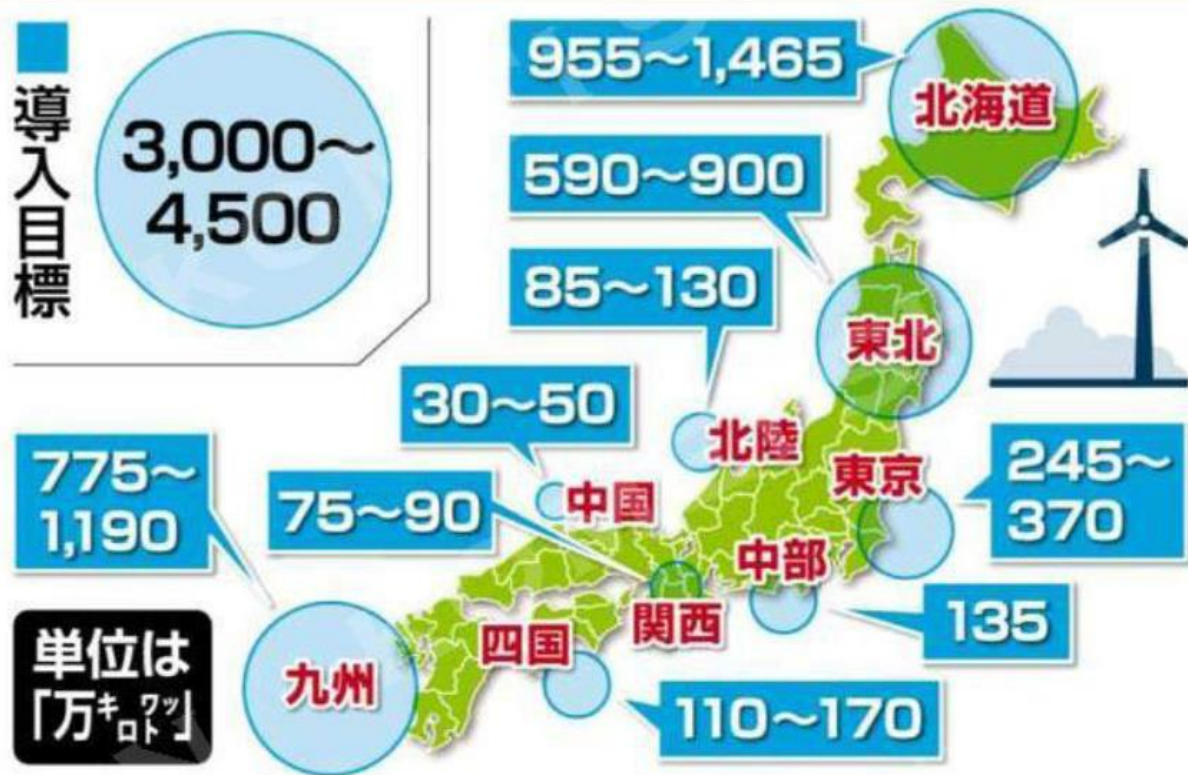


北九州市は響灘の臨海工業地帯を中心にエネルギー産業の総合拠点を形成するため、2013年度から風力発電の関連産業を集積するプロジェクトを開始した。沖合に洋上風力発電を展開する一方、陸上では風車の組立・積出施設や部品の貯蔵施設、メンテナンス施設、さらに洋上風力の基礎部分を製作する施設も検討中。関連産業を集積して、国内のほかアジア地域まで含めた風力発電の総合拠点をを目指す。



- ❑ 鹿島港洋上風力発電事業は総出力約20万kW、一般家庭約12万世帯分の年間消費電力量相当する。
- ❑ 2021年4月5日に株式会社ウィンド・パワー・グループ、東京ガス株式会社およびヴィーナ・エナジーホールディングス リミテッドの3社は、共同出資し、鹿島港洋上風力発電事業を推進することにより、2024年度の着工を目指している。

- 2020年10月26日総理所信表明演説で「我が国は、2050年までに、温室効果ガスの排出を全体でゼロにする、すなわち、2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現を目指すこと」が宣言された。
- 2020年12月15日洋上風力の導入目標を定めた「洋上風力産業ビジョン」をまとめ、発表した。2030年までに1000万kW、2040年までに最大4500万kWの導入目標を掲げた。
- 2020年度第3次補正予算で、総額2.0兆円のグリーンイノベーション基金が創出された。



洋上風力発電事業者

2021年6月11日決定

○長崎県五島沖、

2021年12月24日決定

○秋田県北部(能代市、三種町および男鹿市沖)、

○秋田県由利本荘市沖(北側・南側)、

○千葉県銚子市沖

入札の結果

上限価格の29円/kWhに対して、最低金額は日本海側12円/kWh、太平洋側は16円/kWhになった。

- 2021年4月22日、23日まで米国政府が主催する気候変動に関する首脳会議が開催された。
- 2030年まで、日本は、2013年度比46%減(元26%)、米国は05年比50~52%減、EUは1990年比55%減が表明された

令和3年2月22日第1回グリーンイノベーションプロジェクト外部会資料4より引用

- 「2050年カーボンニュートラル」は、従来の政府方針を大幅に前倒すものであり、並大抵の努力では実現できない。エネルギー・産業部門の構造転換や、大胆な投資によるイノベーションといった現行の取組を大幅に加速することが必要。
- NEDOに2兆円の基金を造成し、官民で野心的かつ具体的な目標を共有した上で、これに経営課題として取り組む企業等に対して、10年間、研究開発・実証から社会実装までを継続して支援。
- 研究開発の成果を着実に社会実装に繋げるため、企業経営者に対して経営課題として取り組むことへのコミットメントを求める仕組みを導入。

特徴1

過去にない規模の基金で
長期間にわたる
継続的・機動的支援が可能

特徴2

グリーン成長戦略と連動し
野心的かつ具体的な
2030年目標を設定
(性能、コスト、生産性、導入量、
CO₂削減量等)

特徴3

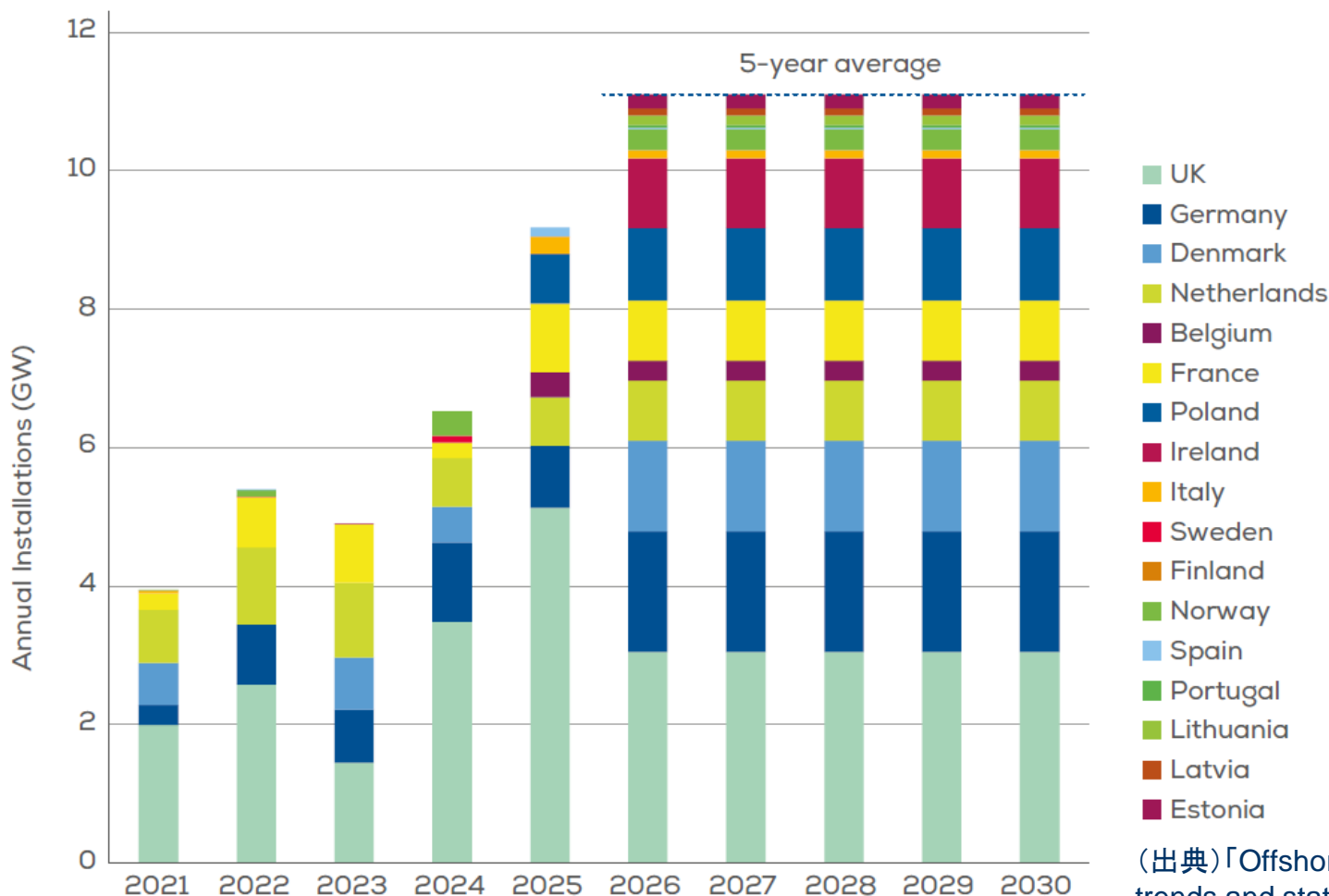
企業経営者に対して
経営課題として取り組むこと
へのコミットメントを求める
仕掛けの導入

- 2020年の風力発電は9360万kWが新規導入され、前年とほぼ同じであるが。洋上風力発電は2111万kWが新規導入され、前年の約3倍に増えた。
- 我が国においても、本格的な洋上風力発電所の建設が始まっている。2022年以後洋上風力発電所の運開に伴い、風力発電の導入量が飛躍的に拡大されていくことが期待されている。
- 2050年カーボンニュートラルを実現するため、今後より多くの洋上風力発電が必要となり、グリーンイノベーション基金事業(1195億円)を活用しながら、洋上風力発電の大幅導入拡大およびコスト削減が実現されることを期待している。

2. 洋上風力発電の将来展望

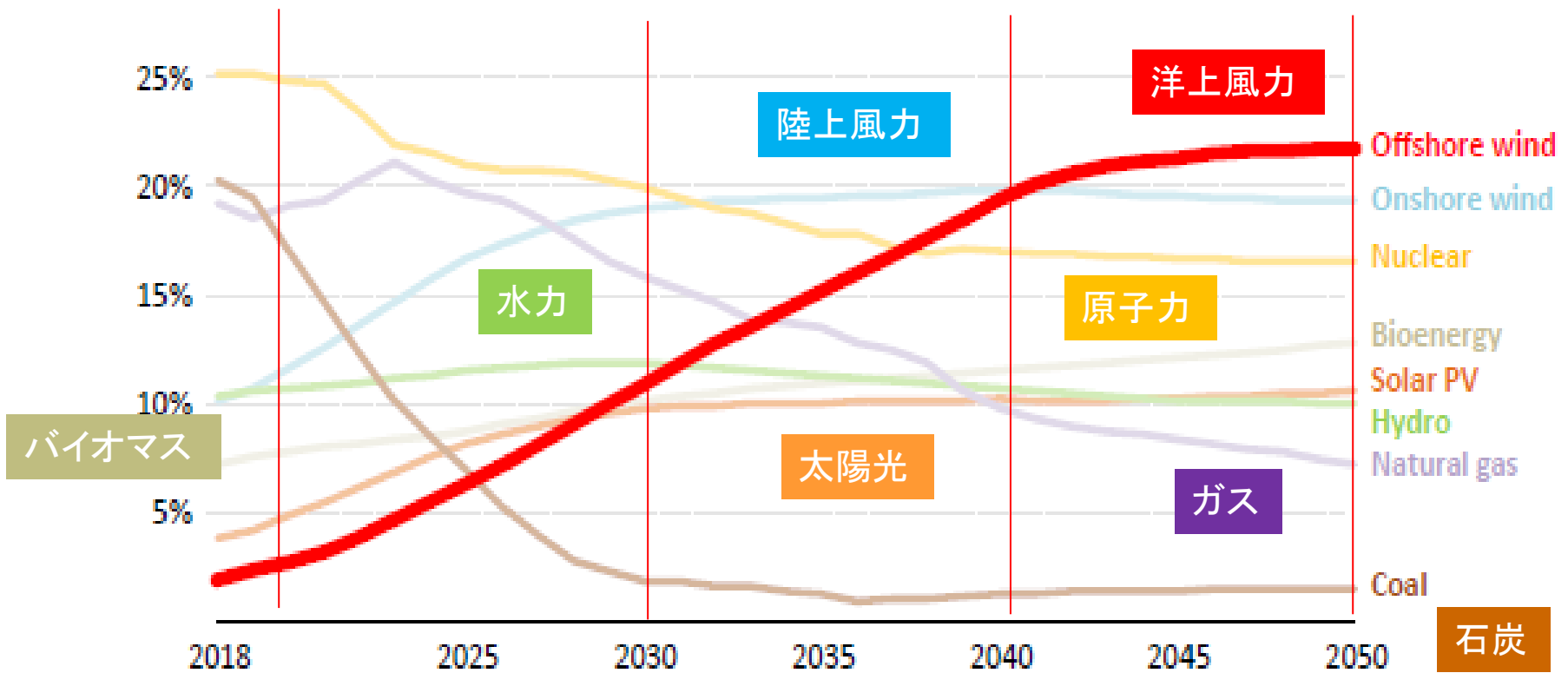
欧州洋上風力発電導入量の見通し

- 2030年までの洋上風力の年間導入量は300万kW ~1120万kW、累積導入量は 1億1100万kW。
- 英国政府は、4月6日に新たなエネルギー安全保障戦略(British Energy Security Strategy)を発表した。同戦略では洋上風力に関しては、2030年までに最大5000万kW、浮体式洋上風力からは最大500万kWの電力供給を見込む。



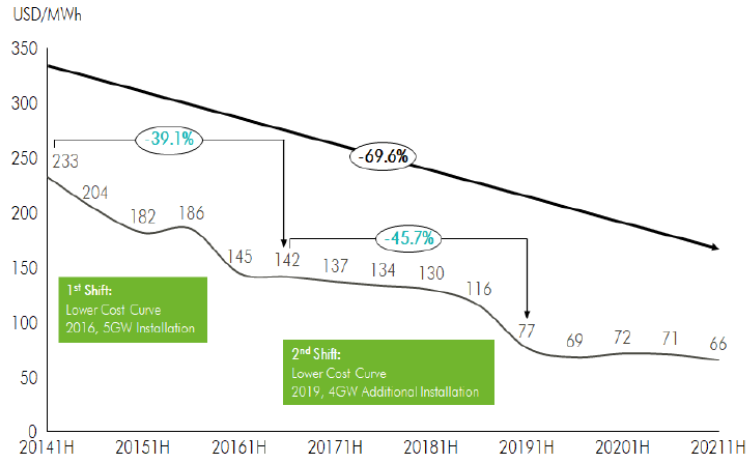
(出典)「Offshore Wind in Europe – key trends and statistics 2020」

□ 洋上風力発電は2040年までに欧州連合で最大の電力源となる予定であり、完全に脱炭素化された電力システムに向けて他の再生可能エネルギーを補完する。

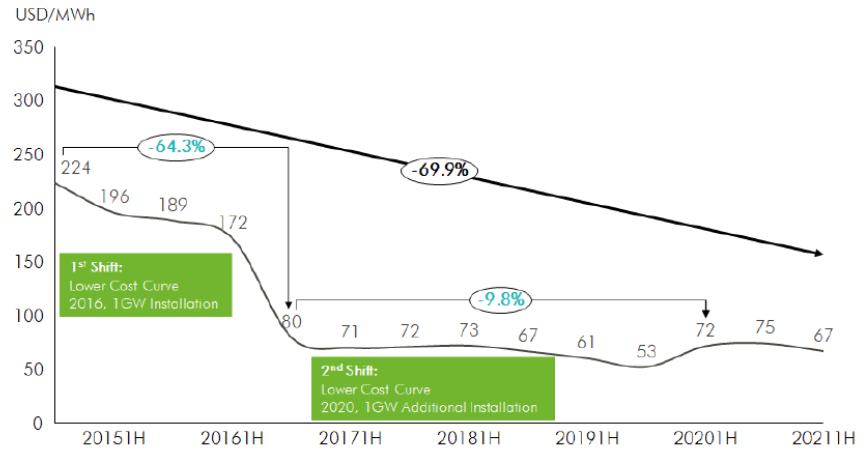


Case Studies of Cost Curve Shift – UK, Netherland, Germany and Taiwan

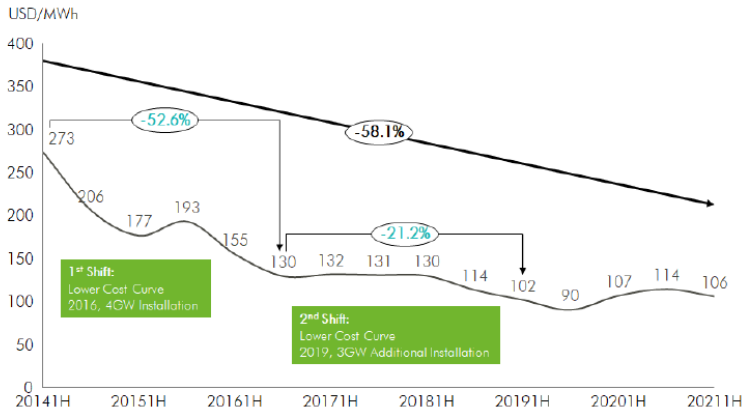
LCOE for UK Offshore Wind Farm, 2014-2021



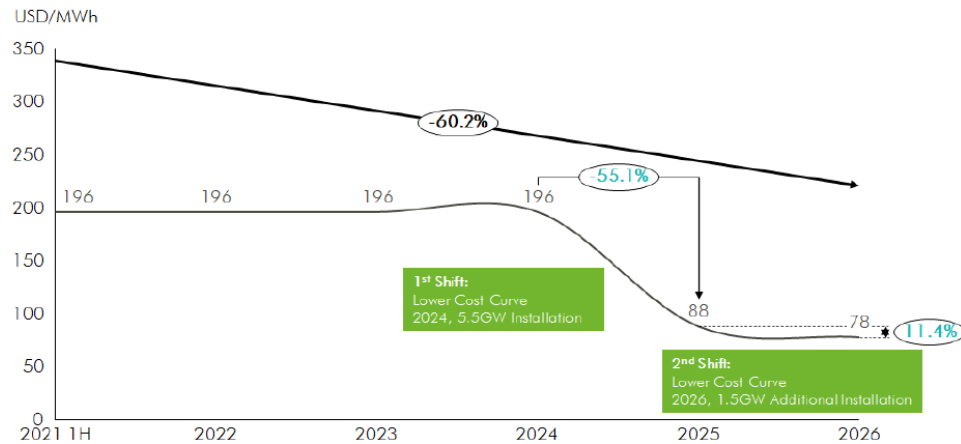
LCOE for Netherland Offshore Wind Farm, 2014-2021



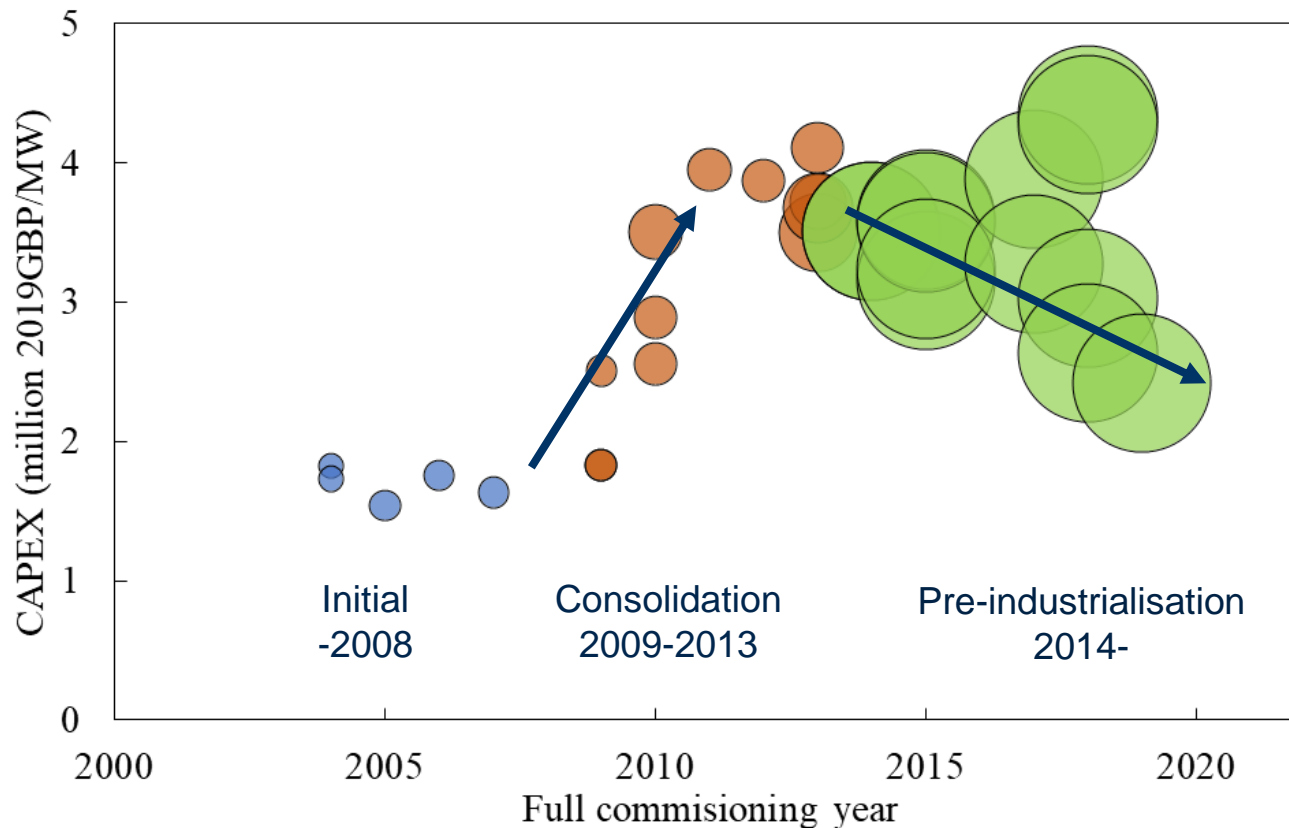
LCOE for Germany Offshore Wind Farm, 2014-2021



LCOE for Taiwan Offshore Wind Farm, 2021-2026

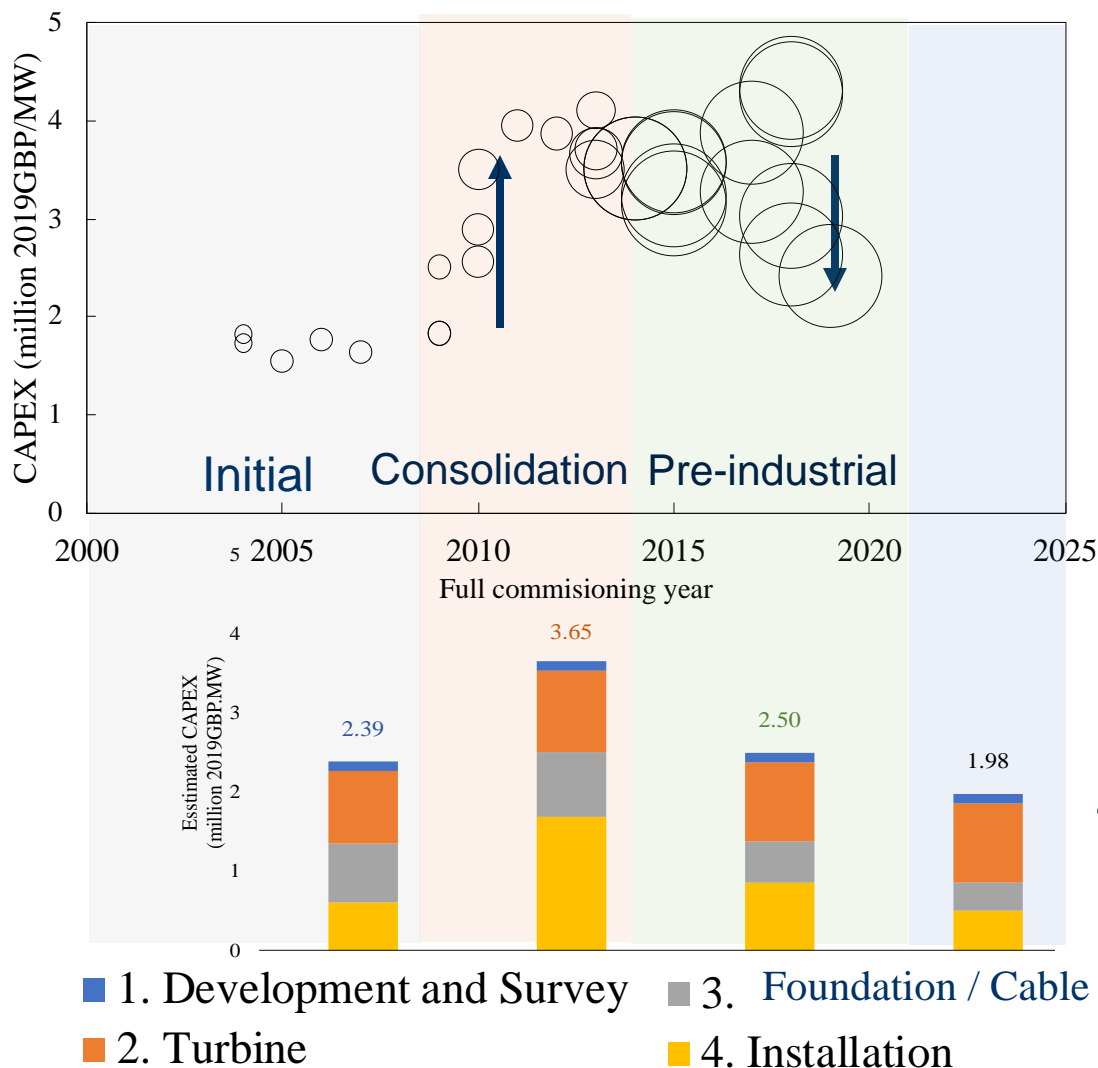


- イギリスで建設された33個の商用洋上風力発電所 (9.95 GW in 2019)
- 建設費は2011年以降、減少の傾向にある



- コスト要因: 風車, 建設船, 離岸距離, 水深

建設費と物理的諸条件についてのデータベースが必要



- **発展期では水深と離岸距離の増加に伴い、支持構造物・送電ケーブル費が増加したが、風車の大型化がその影響を相殺した。建設船の大型化と保険料の増加が大きな影響を持つ**

- **商用化期では、風車の大型化がコスト低減に繋がった (Cost / MW)**

- **15 MW 風車と船舶賃料の低減により、CAPEXは導入初期より低減している**

構築したエンジニアリングモデルを用いて、イギリスの建設費の増減メカニズムを明らかにした。

日本の発電コスト低減シナリオ

- 4サイトの平均値 (離岸距離 6 km, 水深 18.6 m)

$$LCOE = \frac{\sum_{n=0}^N (C_n + OM_n + D_n) \times (1 + r_n)^{-n}}{\sum_{n=0}^N E_n \times (1 + r_n)^{-n}}$$

施工の効率化



現在の発電コスト20円/kWhの内訳

	現状	備考	Scenario
建設費	51.2 万円/kW	従来の建設船 技術の未成熟 10 MW × 37	Scenario 1.1 施工の効率化 Scenario 1.2 風車の大型化
運転維持費	1.84 万円/kW/年	サプライチェーンの 未成熟	Scenario 2.1 点検と軽微補修の効率化 Scenario 2.2 大型部品修繕の効率化
撤去費	10.7 万円/kW	技術の未成熟	Scenario 1.1, 1.2に連動
運転年数	20 年	法律による	Scenario 3 耐用年数の延長
設備利用率	33.2 %	風況により決定	-

コスト低減 方策	現状	CAPEX+DECEX		OPEX		Extension
		施工の 効率化	風車の 大型化	点検と軽微補 修の効率化	大型部品修繕の 効率化	耐用年数 の延長
シナリオ	Baseline	1.1	1.2	2.1	2.2	3
建設費 (万円)	51.2	28.6	25.8	25.8	25.8	25.8
運転維持費 (万円/kW/年)	1.84	1.84	1.84	1.40	1.04	1.04
撤去費 (万円)	10.7	5.7	4.3	4.3	4.3	4.3
運転年数(年)	20	20	20	20	20	25
利用可能率(%)	95	95	95	96	97	97
発電コスト (円/kWh)	20	13.9	13.0	11.4	10.1	9.1

建設費と撤去費の減少により7円/kWh、維持管理費の減少により3円/kWh、耐用年数の延長により1円/kWhの減少となった

- 欧州では、2030年までに1億2700万kWの洋上風力発電を導入し、EU全体に必要な電力の10%以上を供給する野心的な目標を掲げている。今後技術開発と導入拡大により、浮体式洋上風力発電コストの大幅削減の実現を目指している。
- 我が国においては、2013年の洋上風力発電の固定価格の新設、2016年の港湾法の改正、2019年4月1日「再エネ海域利用法」の施行が行われた。一般海域における洋上風力発電の導入拡大が全国規模で本格的に開始された。
- 洋上風力発電所の大規模化および風車の大型化により、洋上風力発電コストの大幅削減を実現し、今後洋上風力発電は世界規模で拡大していくと予測されている。

ご清聴ありがとうございました！

