



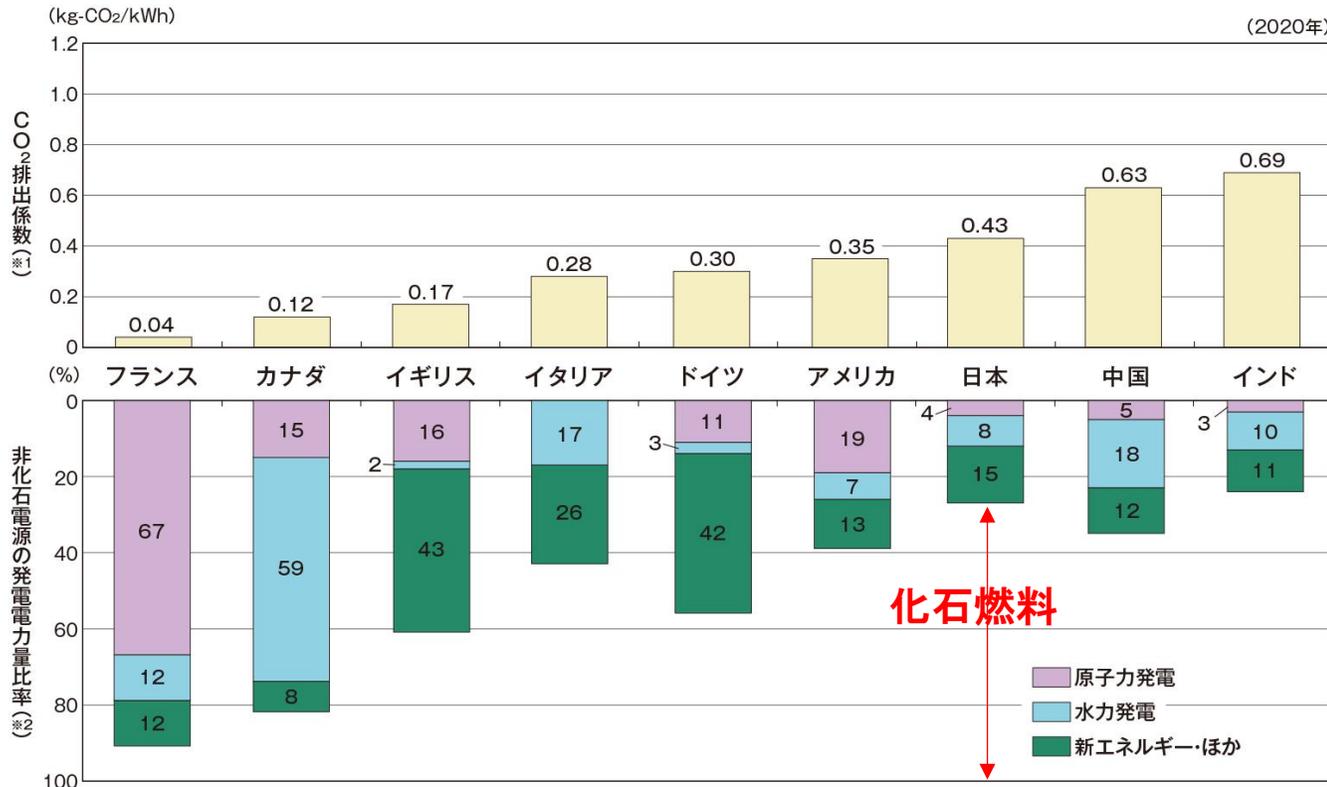
洋上大型風車のお話

アルバトロステクノロジー
井上正哉

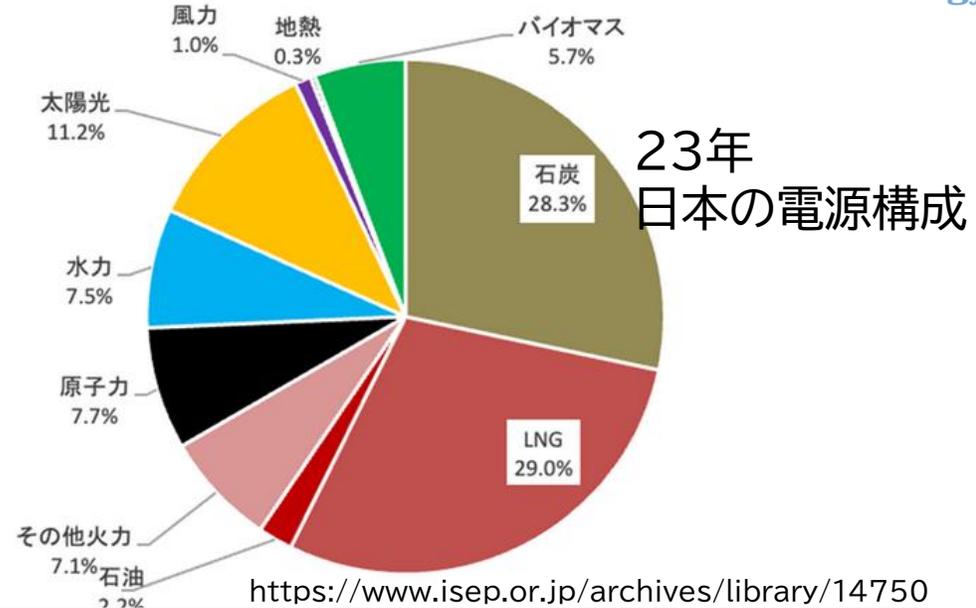
参考: <https://wind-turbine.simdif.com/>

なぜ日本に洋上風車が必要とされているか

CO₂排出係数(発電端)の各国比較



<https://www.ene100.jp/zumen/2-1-18>



NOTE:

- 再生可能エネルギー比率が主要先進国中で最下位
- 太陽光に依存した再エネ = 電力変動調整のための火力はなくせない
- 陸上風車の建設は自然破壊, 景観などの問題から今後大きく増やすことは難しい
- 着床式洋上風車は立地場所が限られる

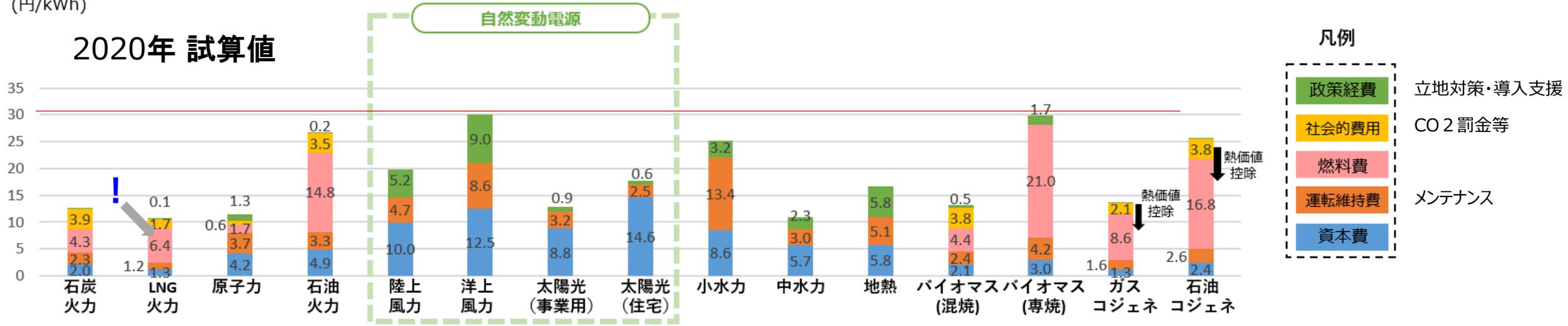
発電コストでみた 再生可能エネルギーのポジショニング

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/denki_cost.html

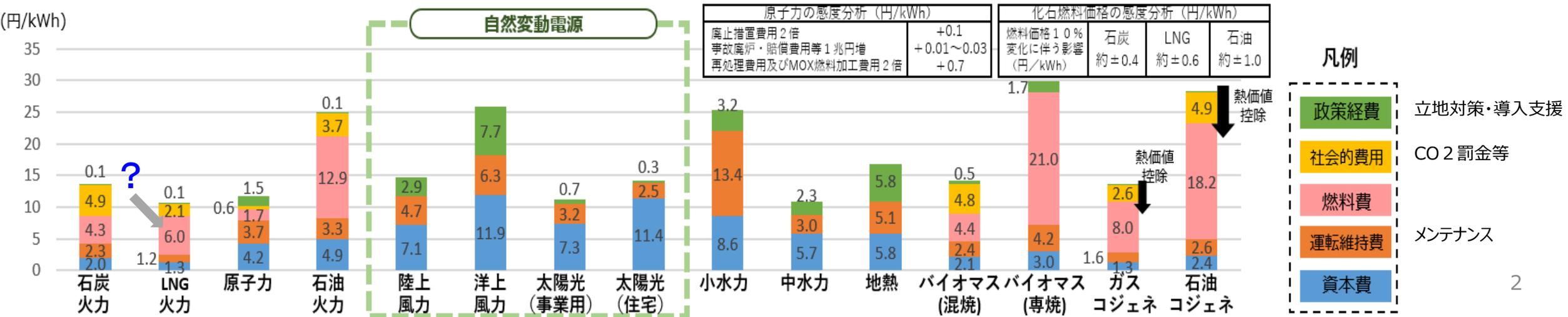
ただしデータ21年9月のため、ロシア・ウクライナ戦争の影響、円安分は未反映

(円/kWh)

2020年 試算値



2030年 試算値



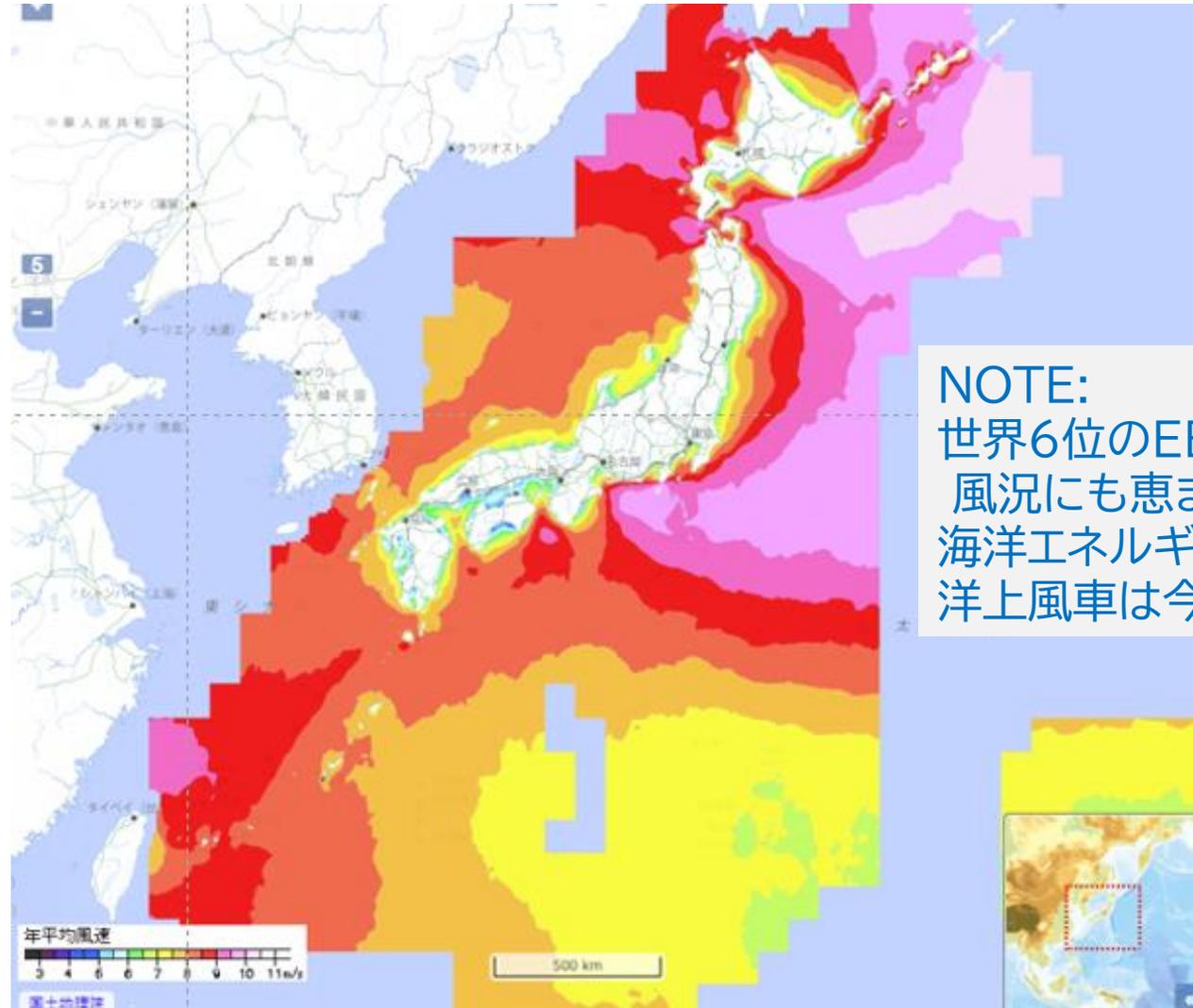
| 原子力の感度分析 (円/kWh) | |
|--------------------|------------|
| 廃止措置費用2倍 | +0.1 |
| 事故廃炉・賠償費用等1兆円増 | +0.01~0.03 |
| 再処理費用及びMOX燃料加工費用2倍 | +0.7 |

| 化石燃料価格の感度分析 (円/kWh) | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|
| 燃料価格10%変化に伴う影響 (円/kWh) | 石炭 | LNG | 石油 |
| | 約±0.4 | 約±0.6 | 約±1.0 |

日本は十分な風況と広い海域に恵まれており洋上風力のポテンシャル大

日本周辺の風況マップ

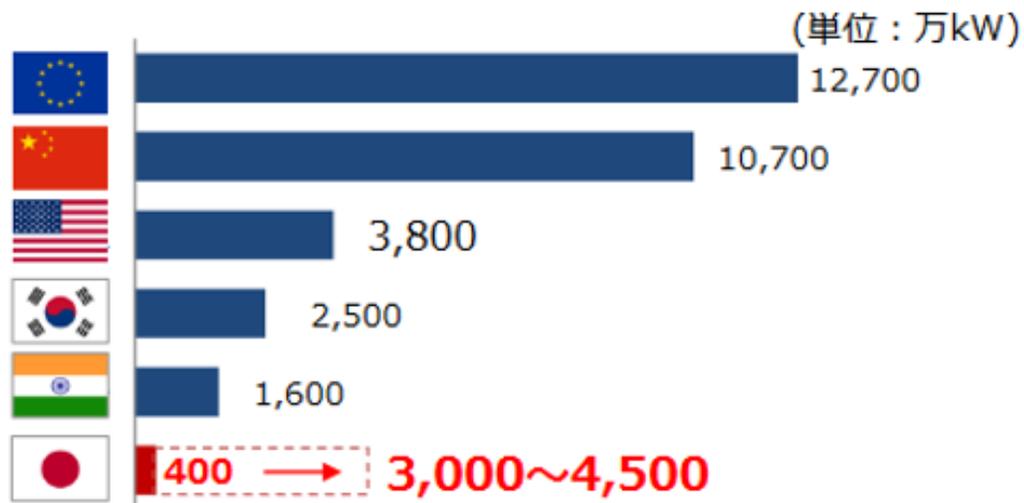
(Source: NEDO NeoWins)



NOTE:
世界6位のEEZ面積
風況にも恵まれており
海洋エネルギー資源としての
洋上風車は今後の日本の武器となる

「洋上風力産業ビジョン」(2020年、官民協議会)において、政府として2030年10GW、2040年30~45GWの案件形成、産業界として2040年までに国内調達比率60%の目標(*1)

IEAによる各国政府目標を踏まえた 洋上風力発電の導入予測(2040年)



(出所) IEA Offshore Wind Outlook 2019(公表政策シナリオ)

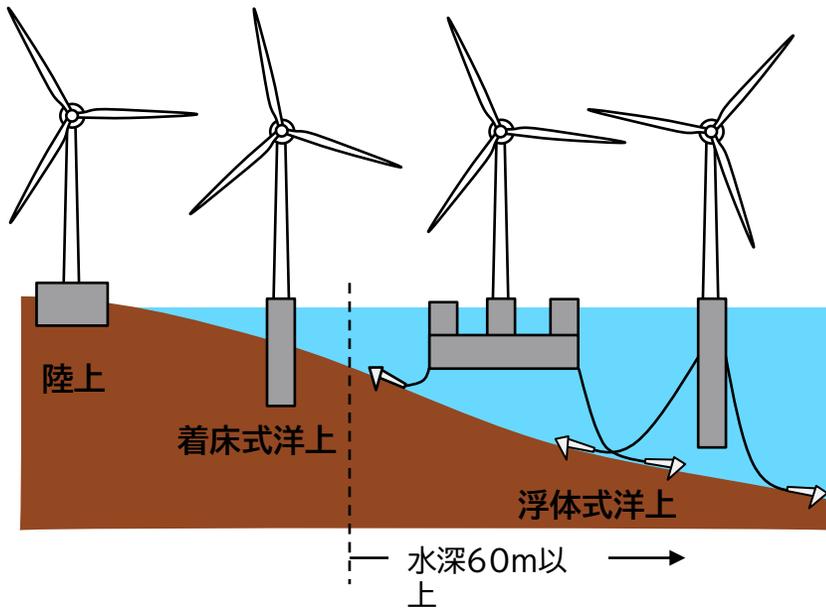
現状の課題

発電機の周辺要素部品はあるが
電磁気部品、パワエレ部品を供給できるプレイヤーが
いないため風車を国内で調達できず、国内調達比率
の60%達成が困難

(*1) “洋上風力発電に関する国内外の動向等について”:資源エネルギー庁 2023年11月

／ そもそも、洋上風車って何？

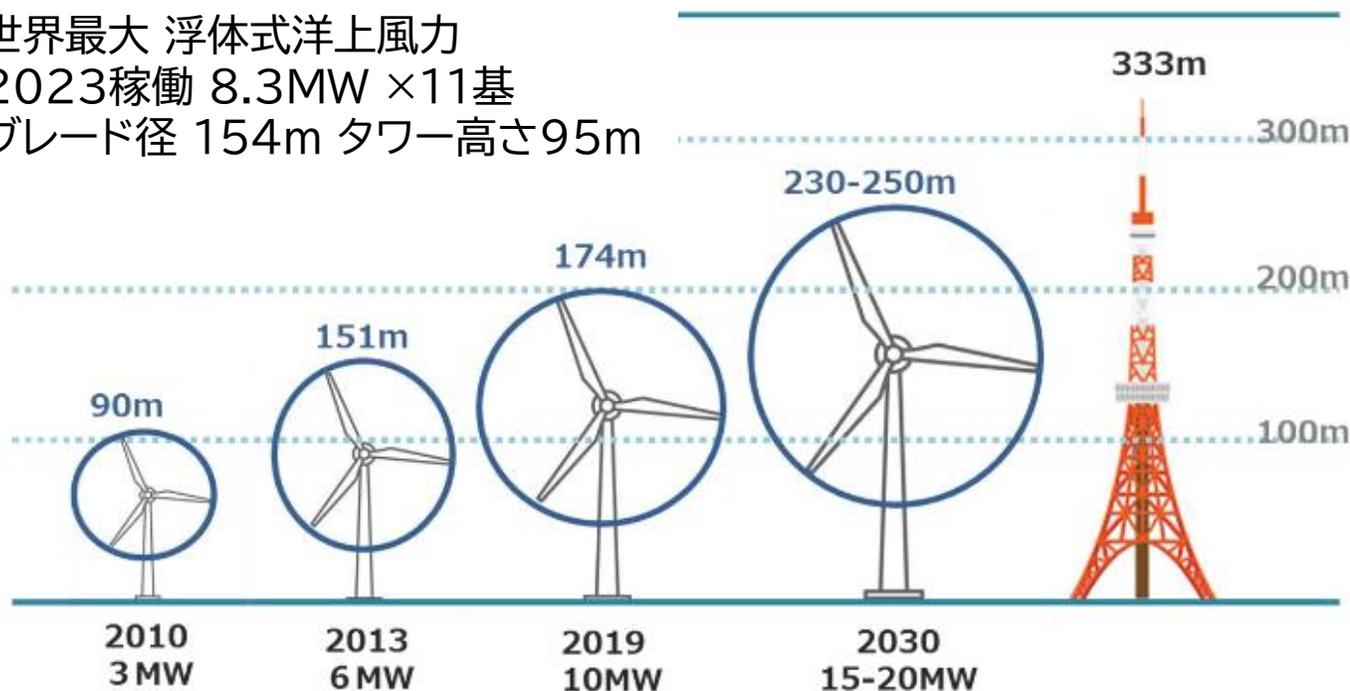
- ・洋上風力は風が安定し、設備稼働で2～3倍、風自体が陸より2倍強く同じサイズで陸上の4～6倍の発電ができる
- ・洋上風力には着床式と浮体式がある。水深60mを超えると浮体式が有利
- ・海が急に深くなる日本は浮体式の導入が有効



風車って大きいのか

<洋上風車の大型化>

世界最大 浮体式洋上風力
2023稼働 8.3MW ×11基
ブレード径 154m タワー高さ95m



【出典】「IEA(2019) Offshore Wind Outlook」及び「MHIヴェスタス提供資料」より資源エネルギー庁作成

100日間で100基の洋上風車を建設

| FACTS |
|---------------------------------|
| Country United Kingdom |
| Owner Vattenfall |
| Installation year 2010 |
| Number of turbines 100 |
| Turbine type V90-3.0 MW |
| Total output capacity 300 MW |

サネット, 英国 (V90-3.0MW) 2010年



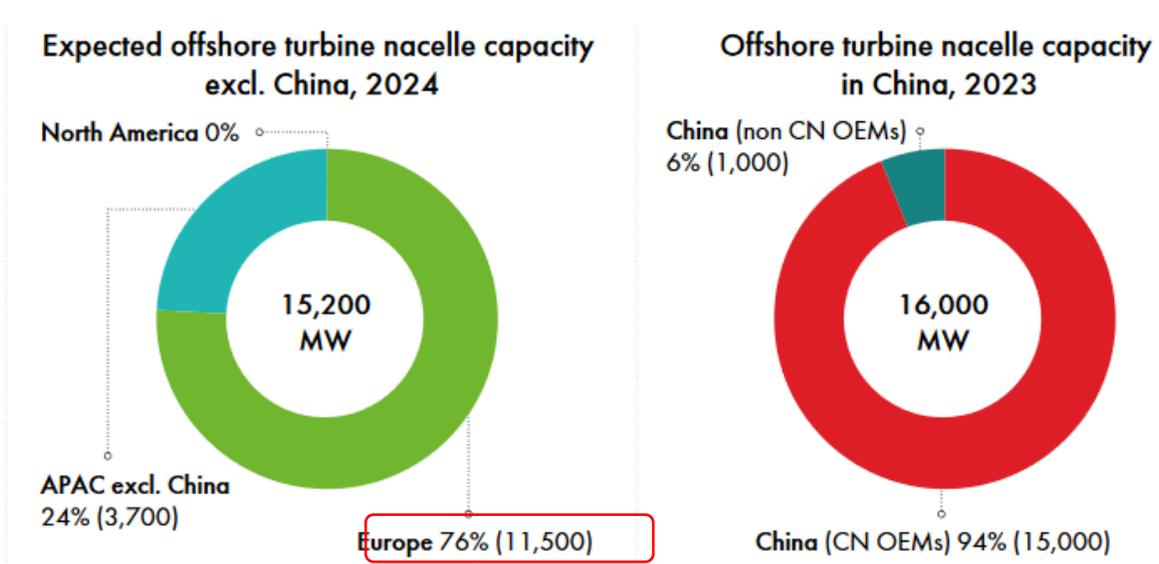
一日に最大2基の洋上風車を据付

| FACTS |
|---|
| Country Netherlands |
| Owner Eneco (50%), Mitsubishi Corporation (50%) |
| Installation year 2015 |
| Number of turbines 43 |
| Turbine type V112-3.0 MW |
| Total output capacity 129 MW |

ルフタダウネン, オランダ (V112-3.0MW) 2015年

風力発電調達課題

風車供給は26年以降世界的に設備能力が不足, 余力も中国に1GW程度のみ
 今後は国内調達していかないと, 我が国の風力発電の導入自体が困難となる可能性在り



| | Demand vs supply analysis 2023-2030 (MW) | | | | | | | |
|------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2023e | 2024e | 2025e | 2026e | 2027e | 2028e | 2029e | 2030e |
| Europe | 5760 | 2955 | 7002 | 10036 | 12143 | 15403 | 21440 | 25950 |
| China | 10000 | 12000 | 12000 | 15000 | 15000 | 15000 | 15000 | 15000 |
| APAC excl. China | 1751 | 1569 | 2884 | 2615 | 3855 | 4770 | 6900 | 7900 |
| North America | 535 | 1660 | 3780 | 4750 | 4460 | 4500 | 4500 | 5000 |
| LATAM | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 500 | 1000 |
| Global | 18046 | 18184 | 25666 | 32401 | 35458 | 39673 | 48340 | 54850 |

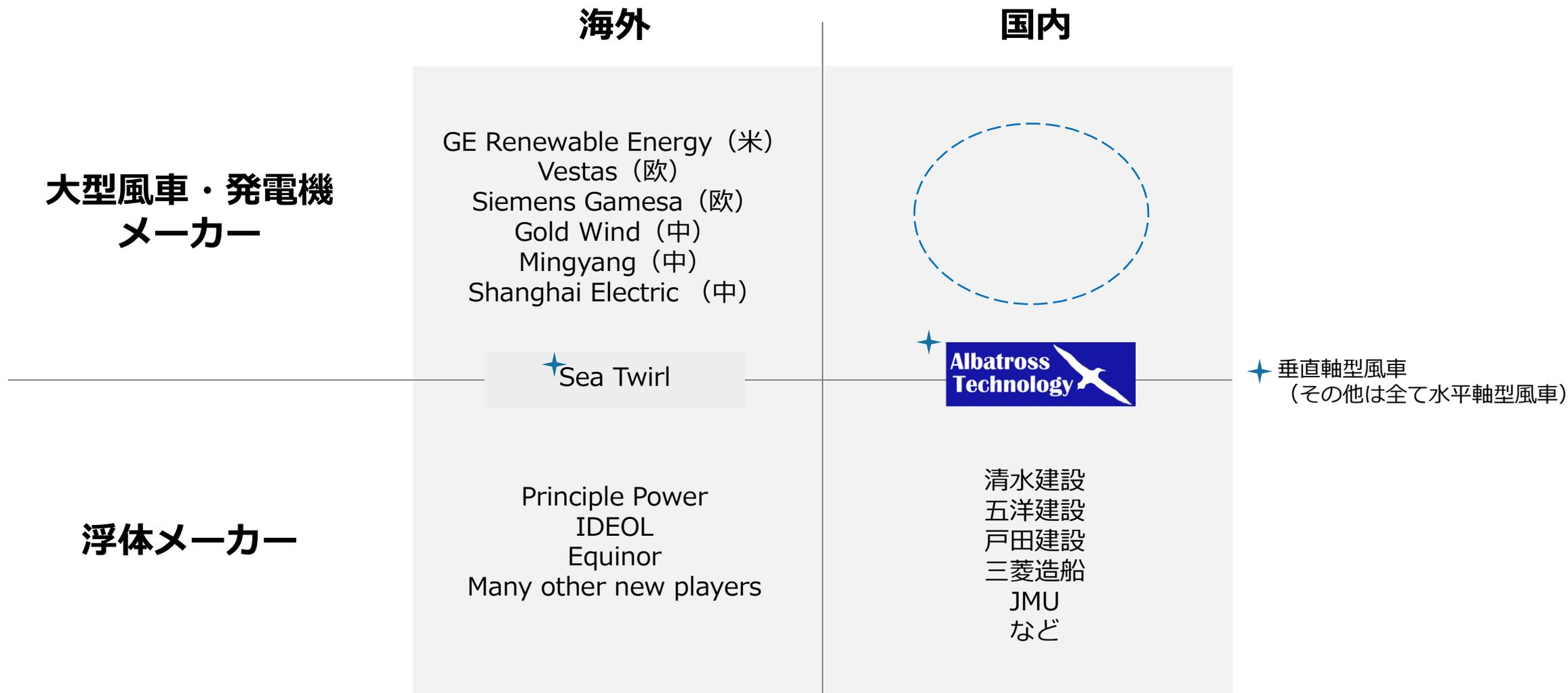
Source: GWEC Market Intelligence, March 2023

引用: <https://gwec.net/globalwindreport2023/>

● Sufficient ● Potential bottleneck



浮体はある，風車と発電機を作れば国産洋上風車が製造可能になる

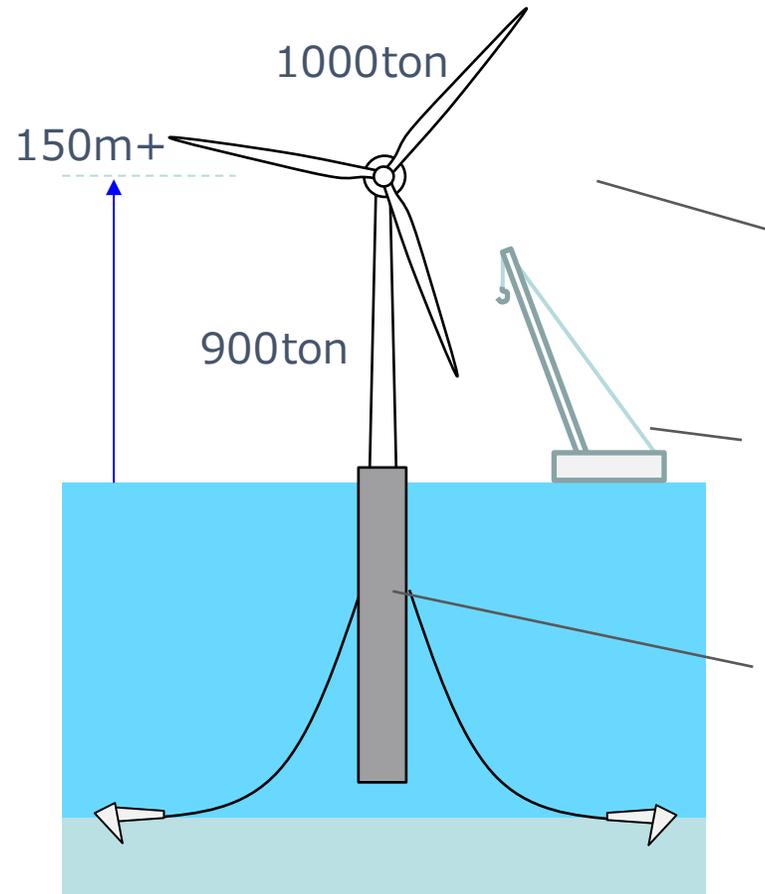


★ 垂直軸型風車
(その他は全て水平軸型風車)

浮体式の水平軸型風車は洋上に浮かべるには非効率なデザイン

水平軸型風車

Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)



保守費用(OPEX) ↑
機械系設備の整備やブレードの保守時間が長い

設置費用(CAPEX) ↑
設置にSEP船や大型クレーン船が必要

設備費用(CAPEX) ↑
高重心であり直立姿勢を維持するために巨大な浮体が必要

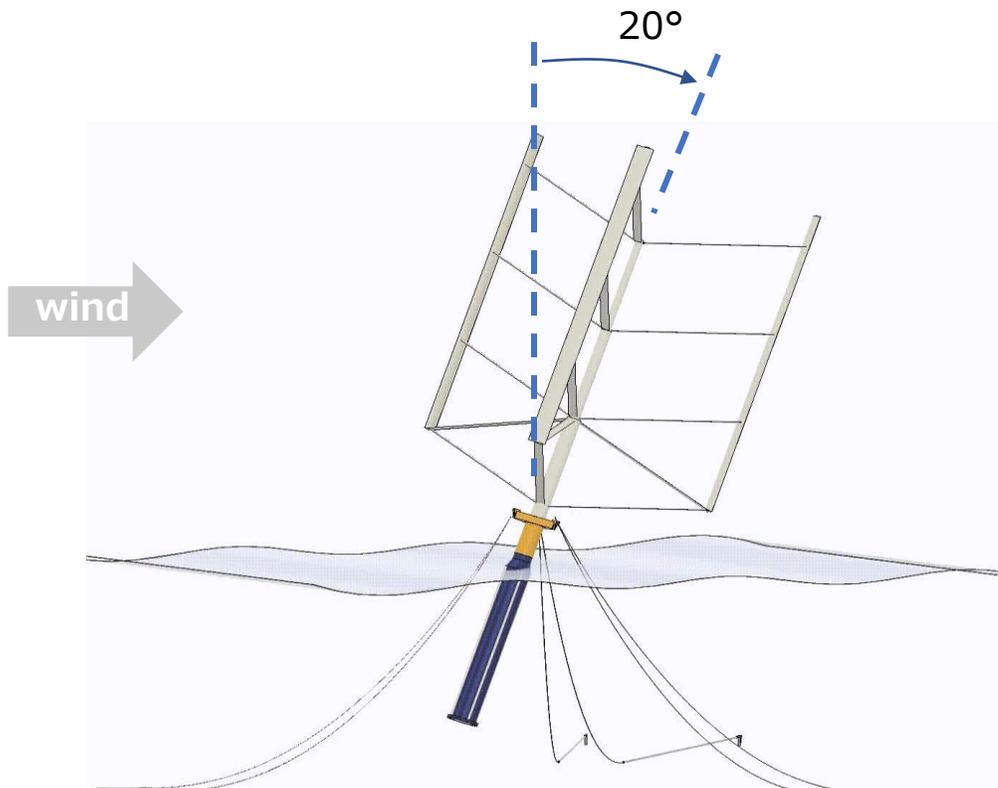
インフラ整備費用 ↑
大型で重量のある浮体をヤードに多数保管するためには、岸壁の補強が必要

“FAWT”は浮体式風車のコストを半減するゲームチェンジャー

<https://www.albatross-technology.com/>

浮遊軸型風車 Floating Axis Wind Turbine (FAWT)

回転する円筒浮体で支持される垂直軸型風車



CAPEX 50% 減 (浮体式水平軸型比)

1. 浮体が小さい

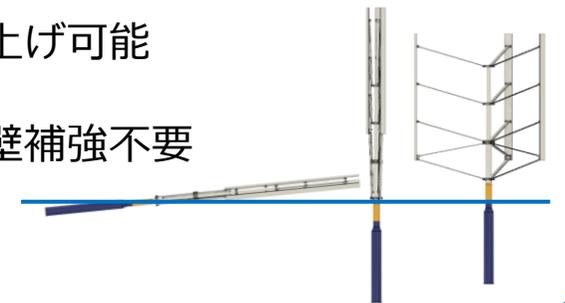
- 発電機が下方に来ることで低重心
- 傾斜を許容

2. 壊れやすい機械設備が不要

- 海水が軸受となるためベアリング不要
- ヨー制御とブレードピッチコントロール不要

3. 組立設置がシンプル

- 海水バラストで自己立ち上げ可能
- 大型作業船不要
- 浮体の比重量が小さく岸壁補強不要

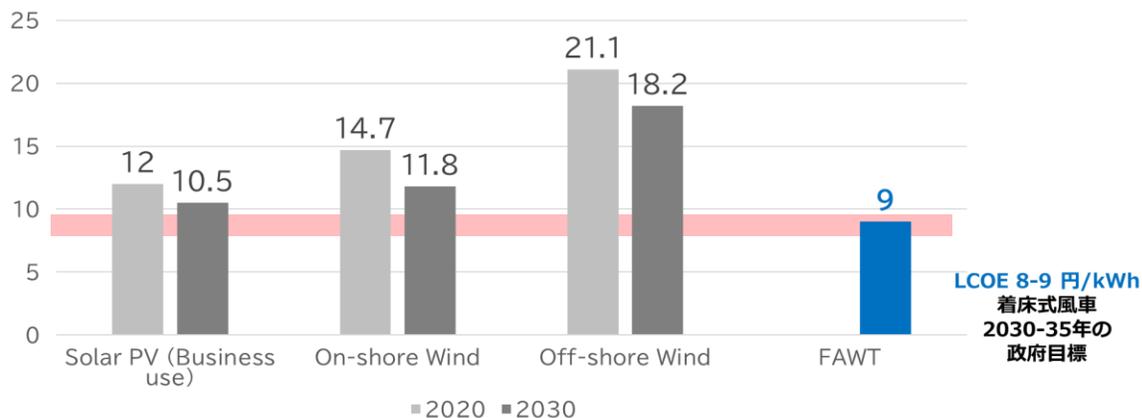




再エネは高いか？

ロシア・ウクライナ戦争・円安の影響もあって家庭用電気(従量電灯A)のkWh単価は高騰し20円(関電),30円(東電)これに対して, LCOEでみたkWh(原価)は, 陸上風力15円, 洋上で21円, 太陽光12円 に対して FAWTは9円を見込む

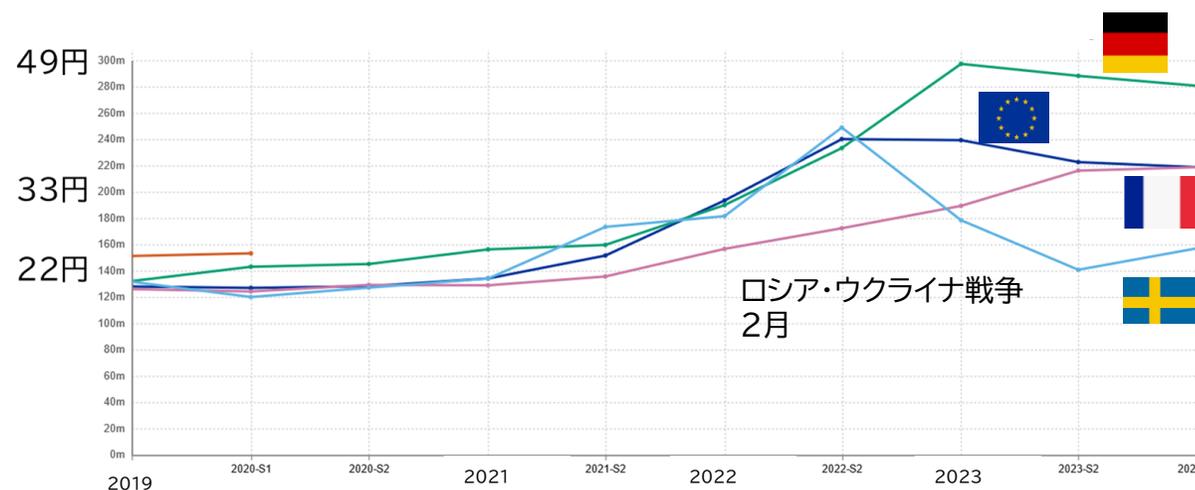
欧州は再エネを主力電源とし, 変動リスクの大きな火力を減らす方向で施策を実施
長期視点では再エネによって電気代の安定化・低コスト化につながると予想



LCOE of Renewables (JPY/kWh)

Source: Agency for Natural Resources and Energy
https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/denki_cost.html

©Albatross Technology Inc.

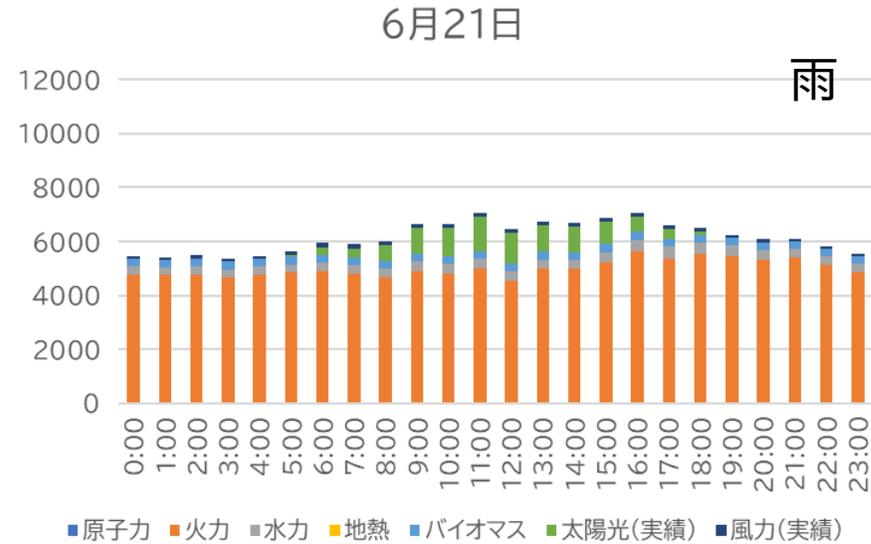
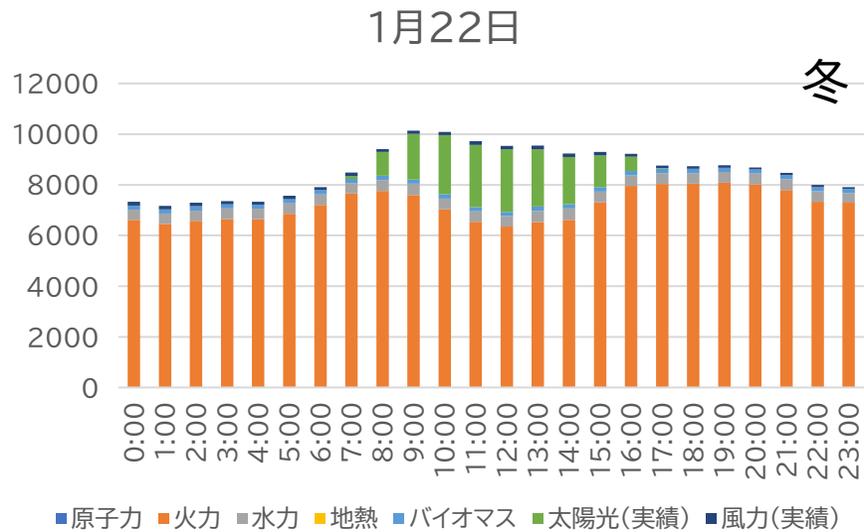
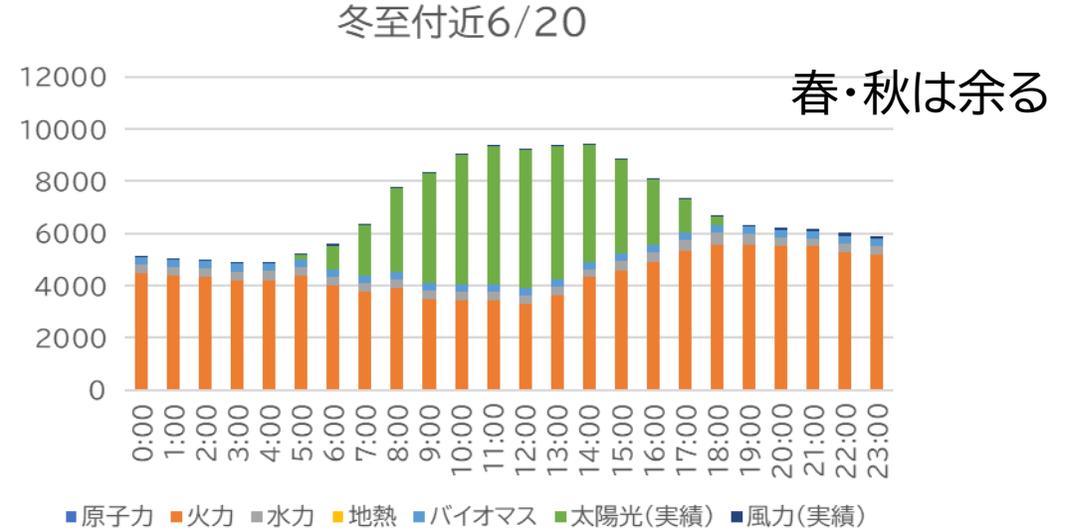
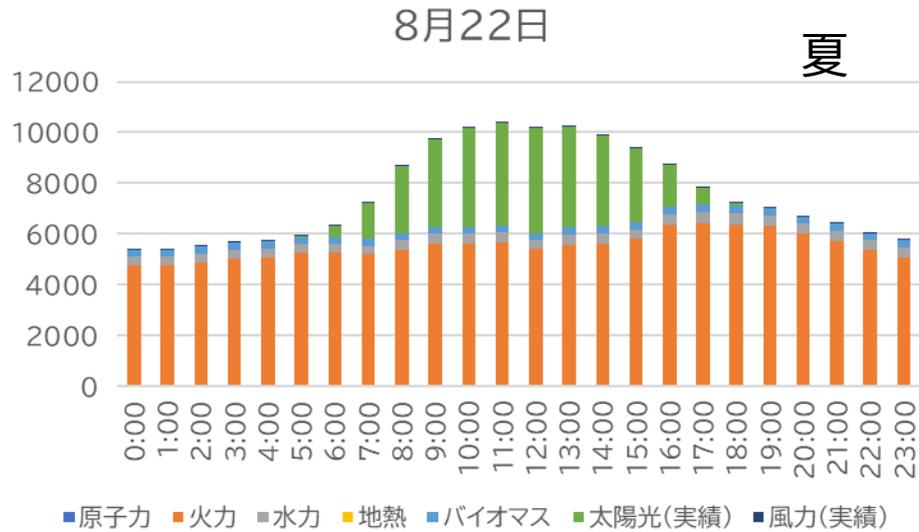


- 石炭26.3%, 風力23.4%, 原子力12.8%, 天然ガス12.2%, 太陽光11.2%
- 再エネ33%, 原子力23%, 天然ガス18%, 石炭17%
- 原子力73%
- 水力43%, 原子力30%, 風力16%

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_204/default/table?lang=en



変動する太陽光を調整するには火力による補完が必須





風車用発電機の構造と大きさ

<https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/75698.pdf>

15MW クラス設計事例 by NREL

直径10m超, 軸長2m, 200極のアウトロータタイプ

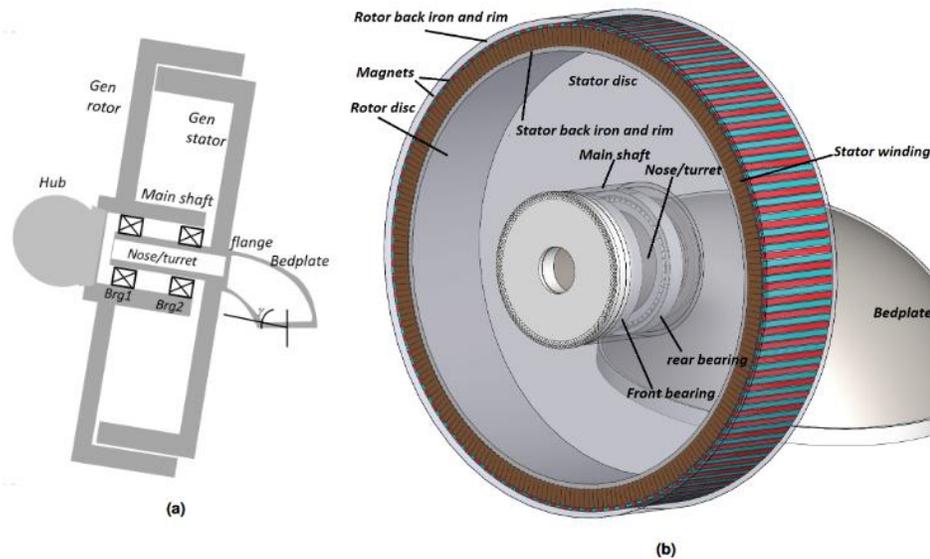
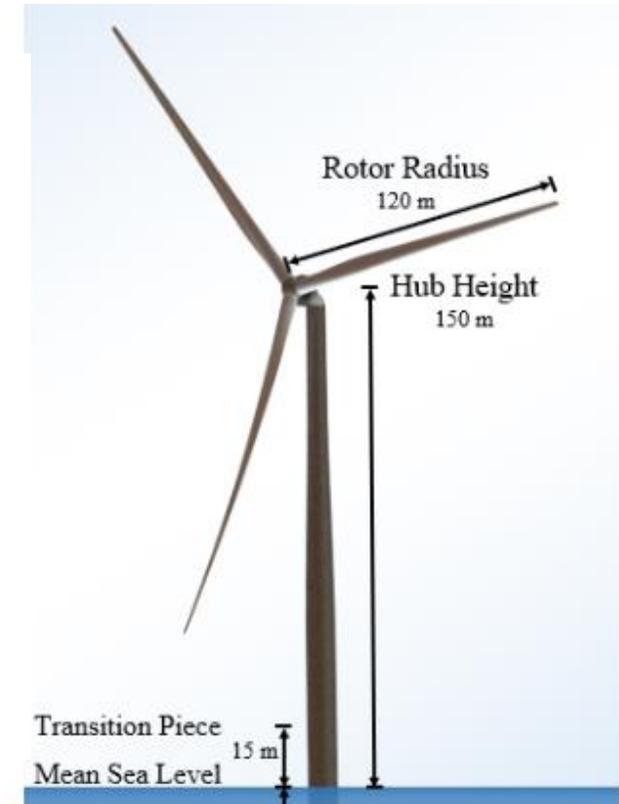


Figure ES-2. A sketch and CAD model of the nacelle layout of the 15-MW direct-drive wind turbine. Not to scale and some structural details omitted. Blades (not shown), hub, shaft, and generator rotor rotate.

Table 5-4. Electromagnetic and Structural Design of the 15-MW Direct-Drive Generator

| Symbol | Description | Value | Units |
|-------------------------------|------------------------------------|---------|-------|
| P_r | Rated power at generator terminals | 15 | MW |
| ω_r | Rated speed | 0.792 | rad/s |
| f_e | Electrical frequency | 12.6 | Hz |
| T_r | Rated torque | 21.03 | MN m |
| <i>Electromagnetic Design</i> | | | |
| r_g | Air-gap radius | 5.08 | m |
| l | Core length | 2.17 | m |
| g | Air-gap length | 10.16 | mm |
| p | Poles | 200 | - |
| S | Stator slots | 240 | - |
| h_{ys} | Stator yoke thickness | 46.52 | mm |
| h_{yr} | Rotor yoke thickness | 63.62 | mm |
| τ_p | Pole pitch | 159.55 | mm |
| τ_s | Slot pitch | 132.7 | mm |
| h_s | Slot height | 400.03 | mm |
| b_s | Slot width | 57.3 | mm |
| b_t | Tooth width | 74.85 | mm |
| h_m | Magnet height | 58.39 | mm |
| b_m | Magnet width | 127.64 | mm |
| V | RMS line voltage | 4770.34 | V |



風車サプライチェーンの課題

発電機生産は特定国に依存
ダイレクトドライブ主流は永久磁石式

: 発電機生産は中国が65% 次いで欧州が22%と9割が欧中で寡占
: 希土類の94%を中国に依存しており調達リスク有り

300トン超
10m超の発電機製造は
巨大かつ高精度な設備が必要



<https://www.intechopen.com/chapters/38933>

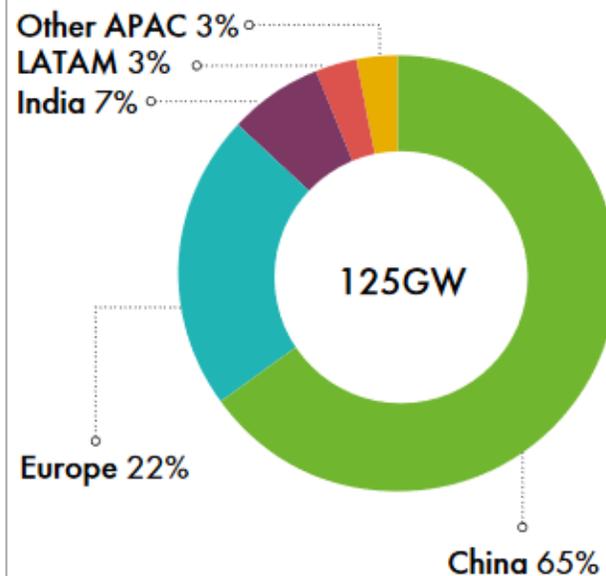
コイル入れなど難易度の高い加工が熟練技術者頼み



Enercon社広報誌
windblat2016より

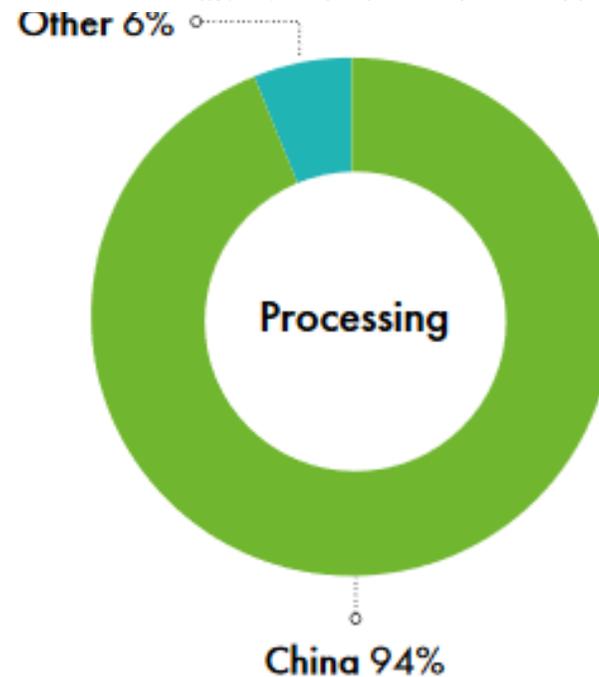
世界の発電機製造の大半が中国に依存

風力用発電機の製造 世界シェア(2022年)



ダイレクトドライブで主流の永久磁石式に必要な希土類磁石は中国に依存

レアアースの精製・製造世界シェア(2022年)



引用: *GWEC GLOBAL WIND REPORT 2023*)
<https://gwec.net/globalwindreport2023/>