

浮体式洋上風車のおはなし  
なぜ必要か？ どんなものか？

# ／ エネルギーと食糧の確保は、命の保証であり国の責務

少子化, 国債過多で円崩壊危機に陥ったら日本人は生き残れるか？

エネルギー自給率12.6%

(注)令和4年 資源エネルギー庁ホームページ [https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/first\\_learn\\_energy\\_self\\_sufficiency.html](https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/first_learn_energy_self_sufficiency.html)

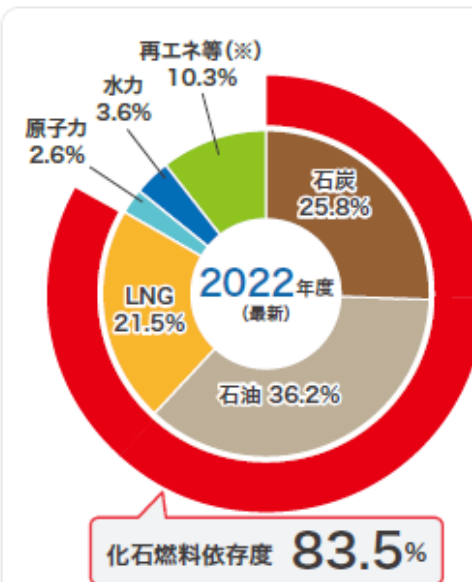
カロリーベース総合食料自給率38%

(注)(令和5年度) 1人1日当たり国産供給熱量(841kcal)／1人1日当たり供給熱量(2,203kcal), 農水省ホームページ, [https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu\\_ritu/011.html](https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/011.html)

貿易収支 赤字 6兆6290億円

(注)経産省庁ホームページ <https://www.meti.go.jp/report/tsuhaku2024/2024honbun/i1320000.html>

日本の一次エネルギー供給構成

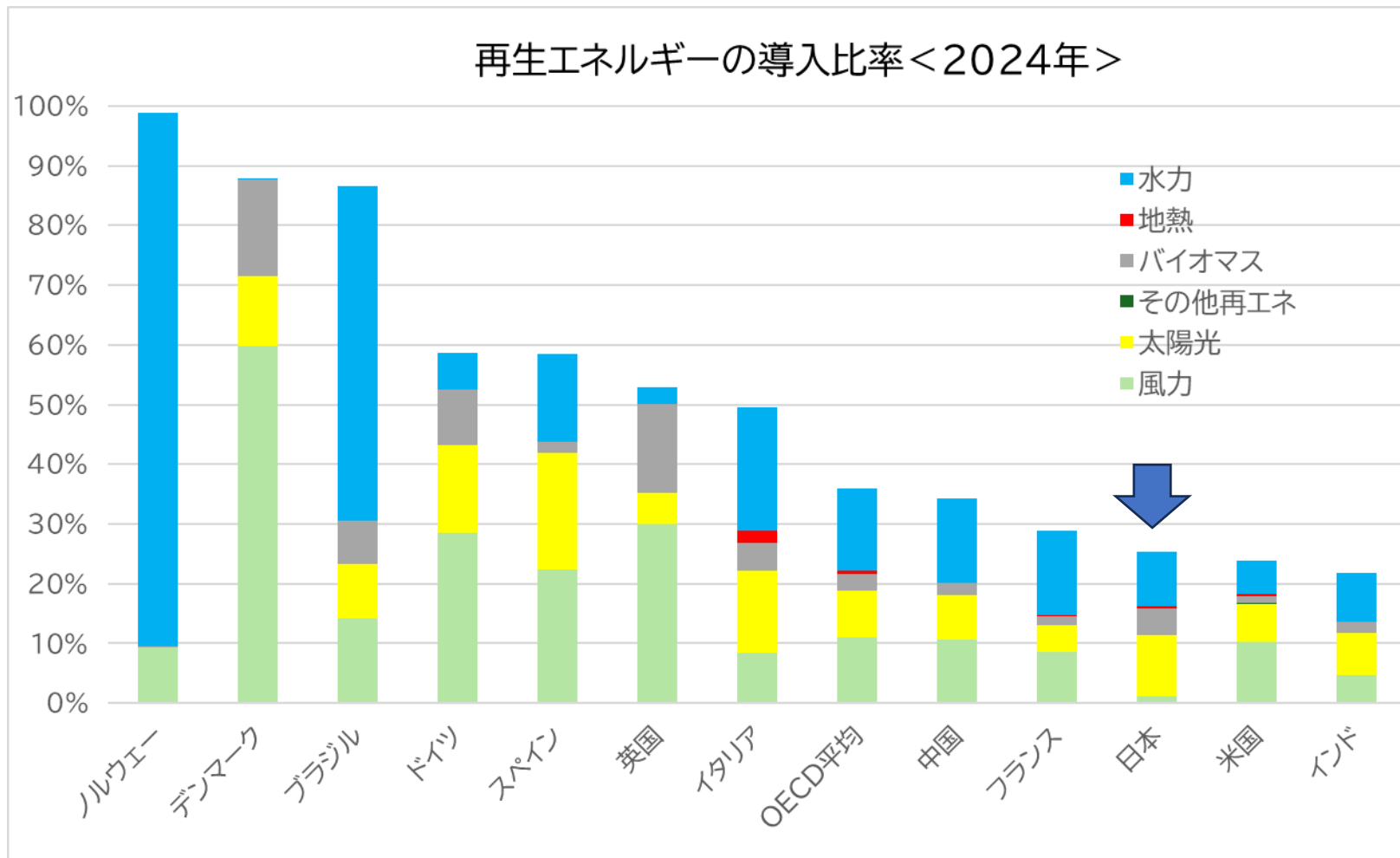




# 主力電源としての洋上風車への期待

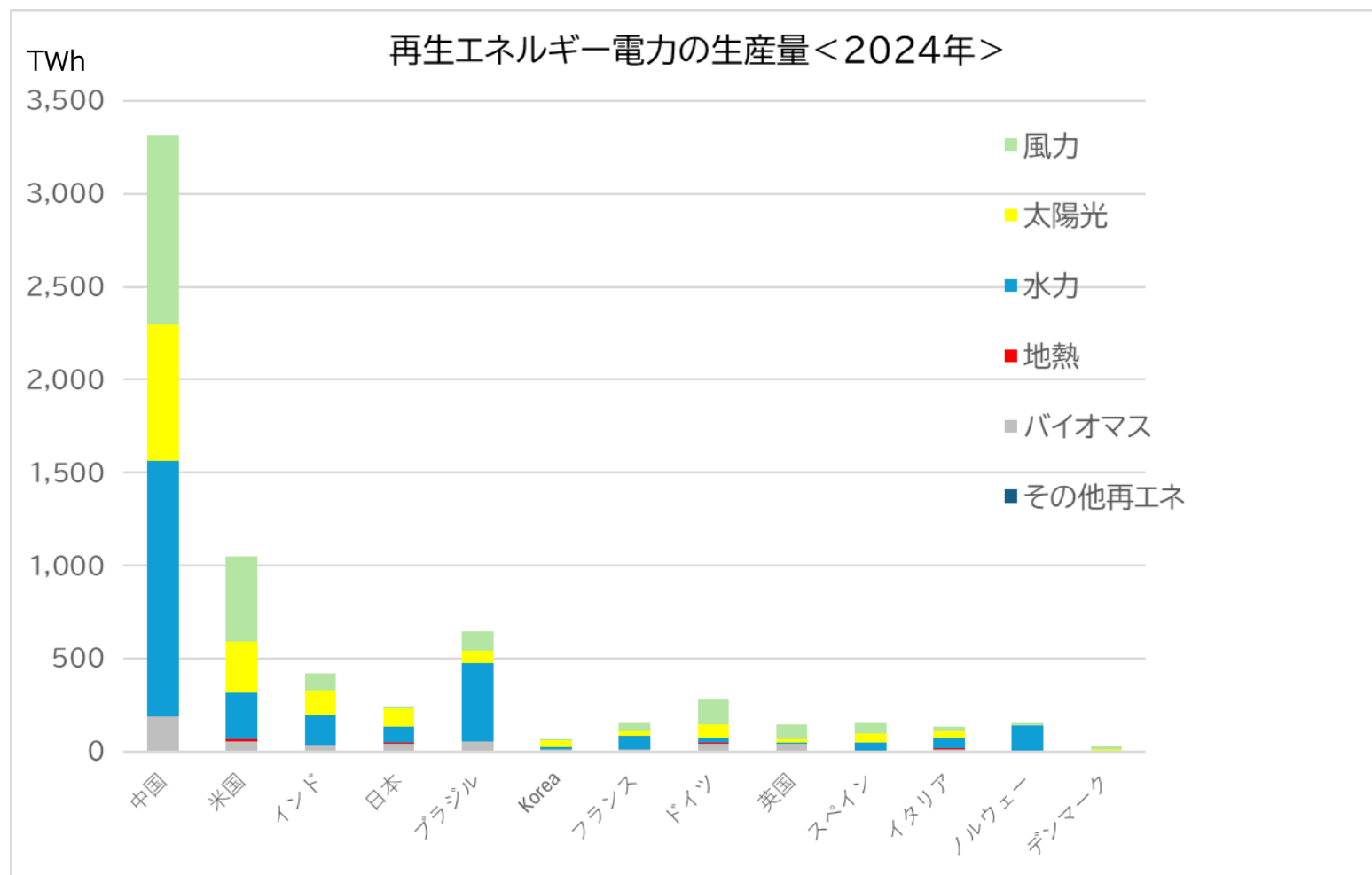
# 世界の再エネ普及率と日本の現状

再エネ電力の普及率が低い日本. 国計画「GX2040ビジョン」の15年後目標(4割再エネ)は今の欧州レベル  
今後欧州の再エネ価格は下がりカーボンニュートラルも進展. 化石燃料依存のままでは日本が競争力維持できない懸念



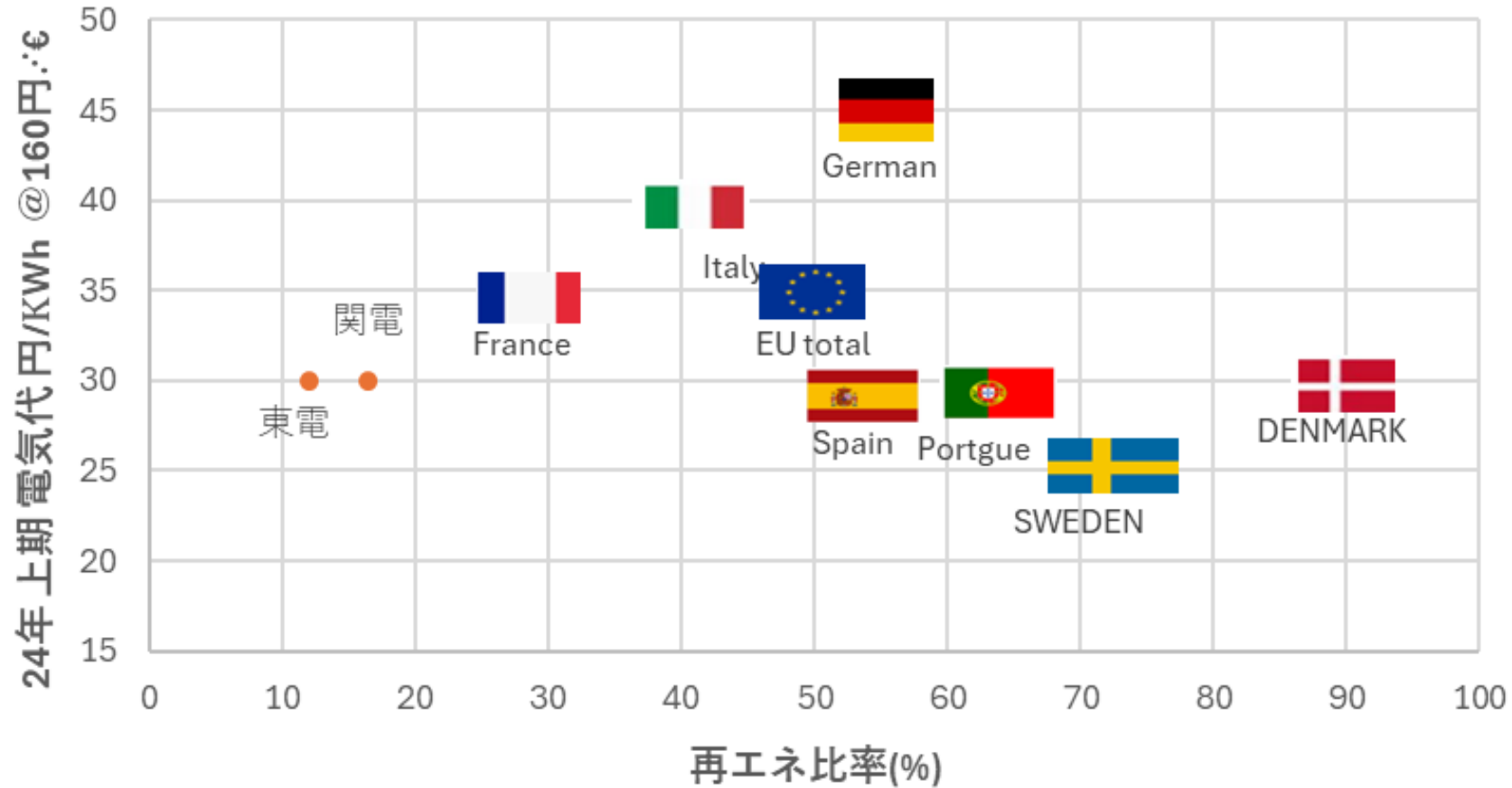
# 再エネ電力の規模

風力, 太陽光ともに中国が最大でアメリカが続く, 両国の再エネ比率は低いが市場規模大きく産業育成基盤がある



# / 再エネ比率を高めると電気代が高くなるか

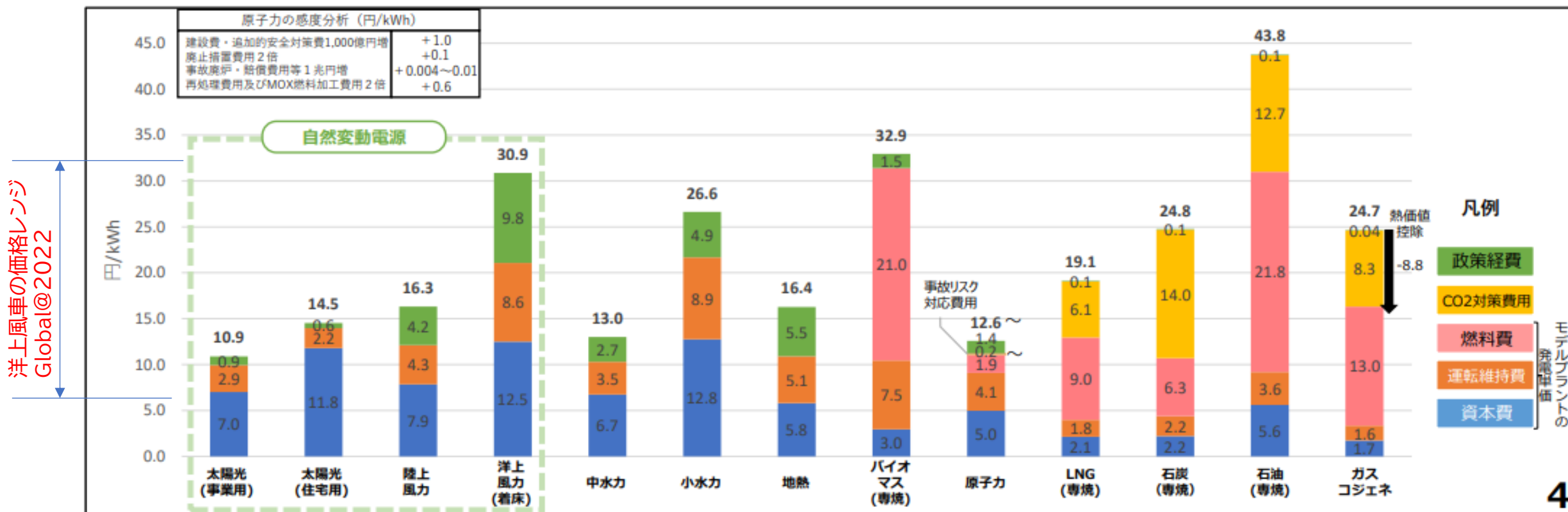
欧州実勢価格では、再エネ比率の高い北欧の電力が安い



出展: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg\\_pc\\_204/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_pc_204/default/table?lang=en)を基に作成

# 再エネは高コストか？

日本の新設前提で比較した場合でも、再エネは火力と同等レベルかつ資源リスクが低い



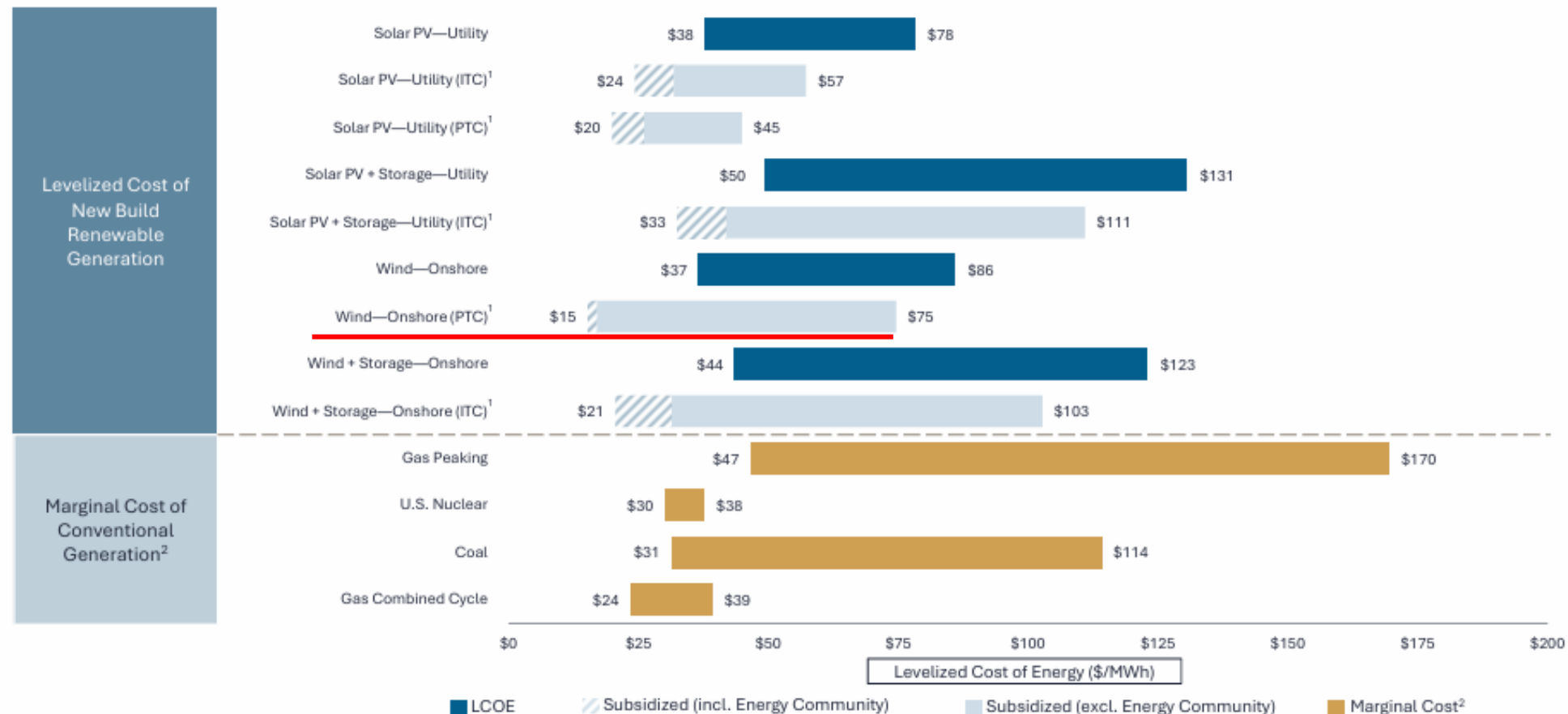
出展: 経済産業省「総合資源エネルギー調査会 発電コスト検証ワーキンググループ(第6回会合) 資料1」

[https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/2024/data/06\\_04.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/2024/data/06_04.pdf)

# 米国では新設再エネLCOEでも既設火力と競えるレベルに！

## Levelized Cost of Energy Comparison—New Build Renewable Generation vs. Marginal Cost of Conventional Generation

Certain renewable energy generation technologies have an LCOE that is competitive with the marginal cost of selected conventional generation technologies—notably, as incremental, intermittent renewable energy capacity is deployed and baseload gas-fired generation utilization rates increase, this gap closes, particularly in low gas pricing and high energy demand environments

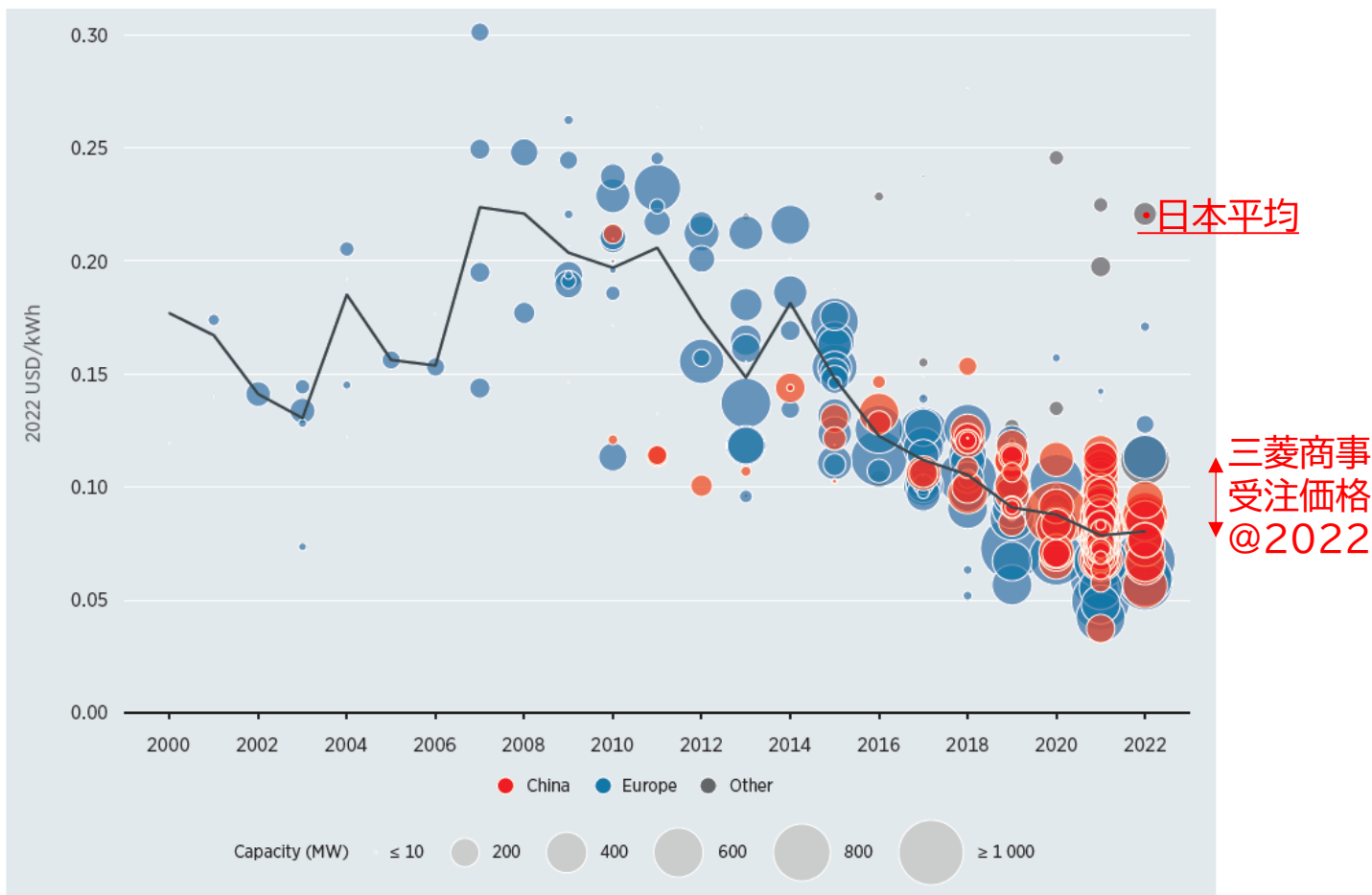


引用:米国金融アドバイザー機関 LAZARD

[https://www.lazard.com/media/uounhon4/lazards-lcoeplus-june-2025.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.lazard.com/media/uounhon4/lazards-lcoeplus-june-2025.pdf?utm_source=chatgpt.com)

# 洋上風車の生涯平均発電コスト(LCOE; Levelized Cost of Energy)のトレンド

新設でも洋上風車は他の発電方式と比べても安く, カーボンニュートラルだけでなく経済原理で選ばれる時代



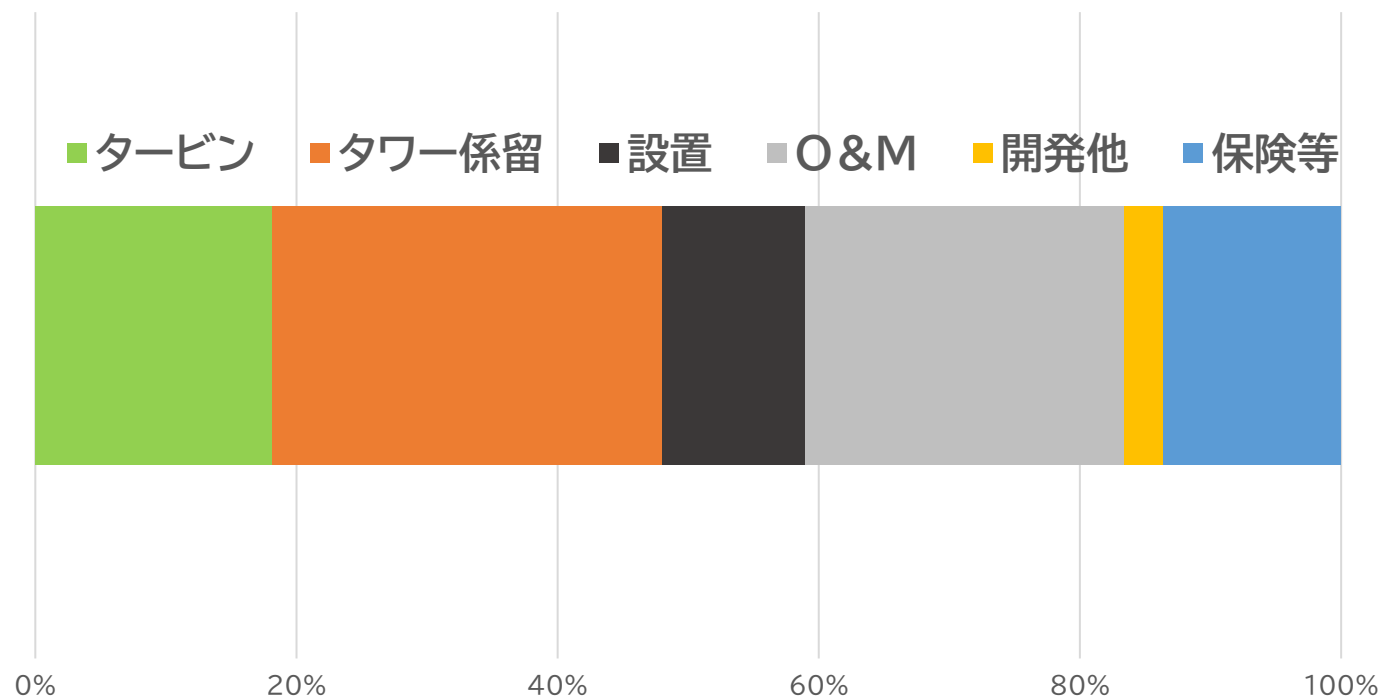
| 初期費用 MW   | 2022平均 (USD) /KW | 億円/MW (150円/ドル) |
|-----------|------------------|-----------------|
| 中国        | 2811             | 4.2             |
| 日本        | 6637             | 10.0            |
| 韓国        | 6717             | 10.1            |
| ベルギー      | 3793             | 5.7             |
| デンマーク     | 2449             | 3.7             |
| ドイツ       | 4220             | 6.3             |
| オランダ      | 2604             | 3.9             |
| イギリス      | 3891             | 5.8             |
|           |                  |                 |
| LCOE /KWh | 2022平均 (USD)     | 円 (150円/ドル)     |
| 中国        | 0.077            | 11.6            |
| 日本        | 0.221            | 33.2            |
| 韓国        | 0.191            | 28.7            |
| ベルギー      | 0.088            | 13.2            |
| デンマーク     | 0.043            | 6.5             |
| ドイツ       | 0.078            | 11.7            |
| オランダ      | 0.058            | 8.7             |
| イギリス      | 0.064            | 9.6             |

引用: IRENA RENEWABLE POWER GENERATION COSTS IN 2022

# 風車の費用構成と大型化する理由

風車のコスト内訳: 本体よりむしろ設置・浮体・係留・メンテが支配

設置, メンテの回数を減らすため大型化が進展 → 正しい姿は設置, メンテ費用が安い風車ではないか？



[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/yojo\\_furyoku/pdf/001\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/yojo_furyoku/pdf/001_03_00.pdf)

NREL:2019 Cost of Wind Energy Reviewを参考に筆者作成

# 欧州で進化する超巨大風車とは

15MW風車(60~150億円/基)
発電量 45.6GWh /年間
家庭電力4.2MWh = 1.1万軒分の年間電力(電気代13.6 億円/年,30円/kWh)
1回転で3.5軒の1日分の電力を供給
15MW×10秒 / (500W×24h×3600sec)



VESTAS V236 15MW



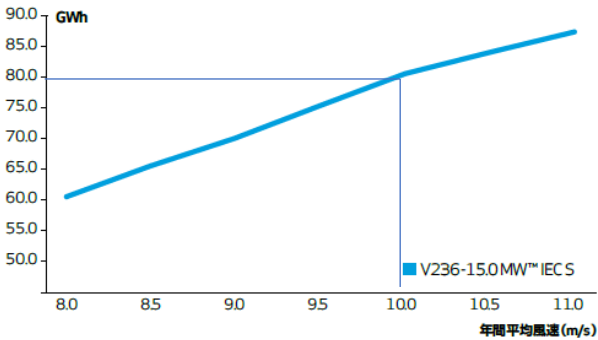
Siemens GAMESA SG14-236



GE Haliade-X 14MW

| メーカー    | 明陽智能          | 明陽智能        | 中国海装      | 長江三峡集团<br>Goldwind     | Vestas      | Siemens<br>Gamesa | GE                   |
|---------|---------------|-------------|-----------|------------------------|-------------|-------------------|----------------------|
| 型式      | MySE 18.X-28X | MySE 16-260 | H260-18MW | CTG/Goldwind 252-16 MW | V236-15.0MW | SG 14-236 DD      | Haliade-X 14.7MW-220 |
| 発電容量    | 18MW以上        | 16MW        | 18MW      | 16MW                   | 15MW        | 14MW              | 14.7MW               |
| ローター直径  | 280m以上        | 260m        | 260m      | 252m                   | 236m        | 236m              | 220m                 |
| ブレード長さ  | 140m          | ?           | ?         | 123m?                  | 115.5m      | 115m              | 107m                 |
| 受風面積    | 61,575m²      | 53,902m²    | 53,000m²  | 50,000m²               | 43,742m²    | 43,500m²          | ?                    |
| 年間発電電力量 | 80GWh /年      | 67GWh /年    | 74GWh /年  | 66GWh /年               | 約80GWh /年   | ?                 | 76GWh /年             |

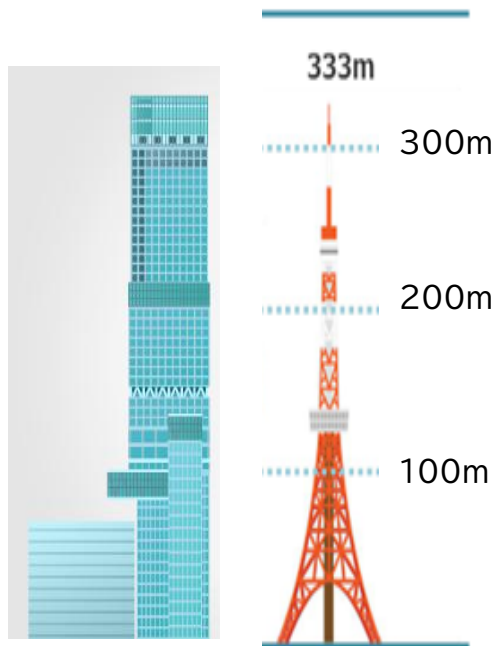
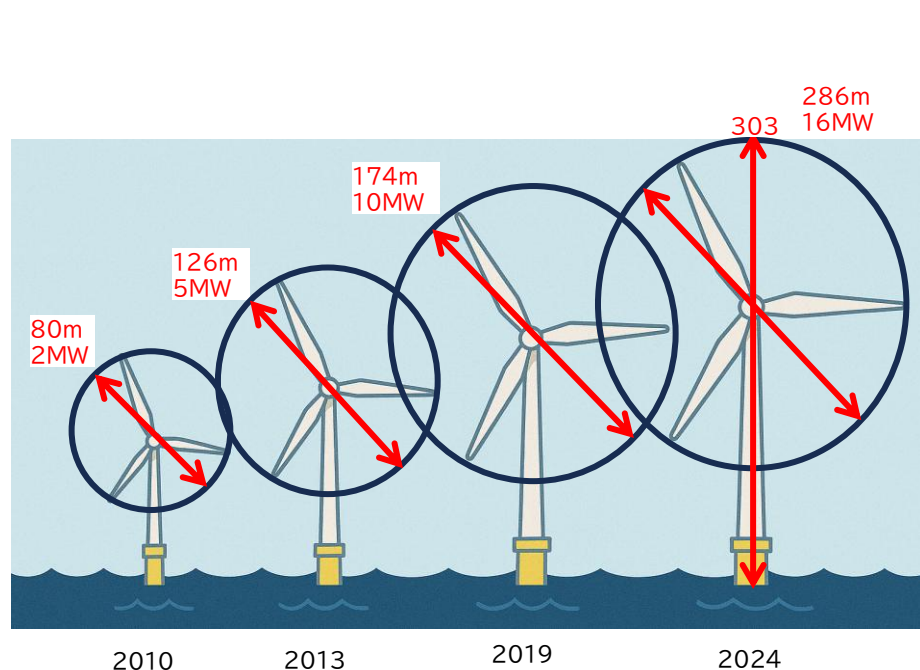
10m/s平均,設備稼働率100%=80GWh  
Hywind(英) 設備利用率実績57%=45.6GWh  
<https://www.4coffshore.com/news/hywind-scotland-breaks-capacity-factor-record-nid21202.html>



前提条件  
風力タービン1基、利用率100%、損失率0%、係数k=2、  
標準空気密度=1.225、風速はハブ高さにおける数値

# 期待の洋上風車のサイズ感

洋上風車では設置・メンテコストの占める割合が大きく、単機で出力を拡大する方向に発展  
専用の設置船. 建設工法などもそれに合わせて進化し、発電コスト低減が加速



## 100日間で100基の洋上風車を建設



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



ルフタダウネン, オランダ (V112-3.0MW) 2015年



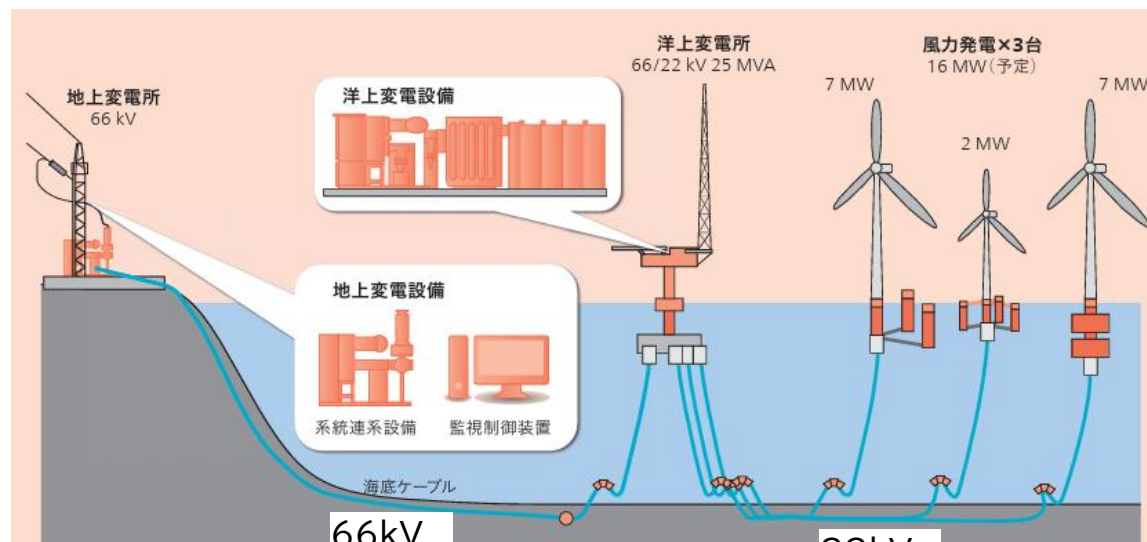
# 再エネ普及の切り札“浮体式洋上風車”とは

# 浮体式洋上風車の構成

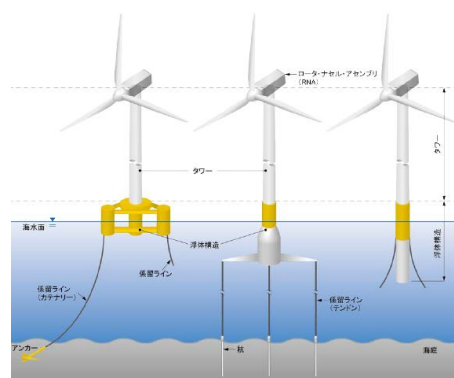
浮体式洋上風車：風車ナセル, タワー, 浮体, 係留索, アンカー, 電源ケーブルからなる



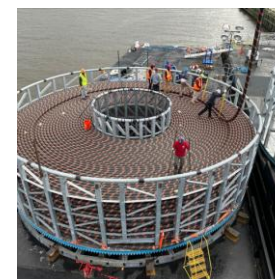
【風車ナセル, タワー 浮体】



【送電システム(3)】



【係留システム(1)】



【電源ケーブル(2)】



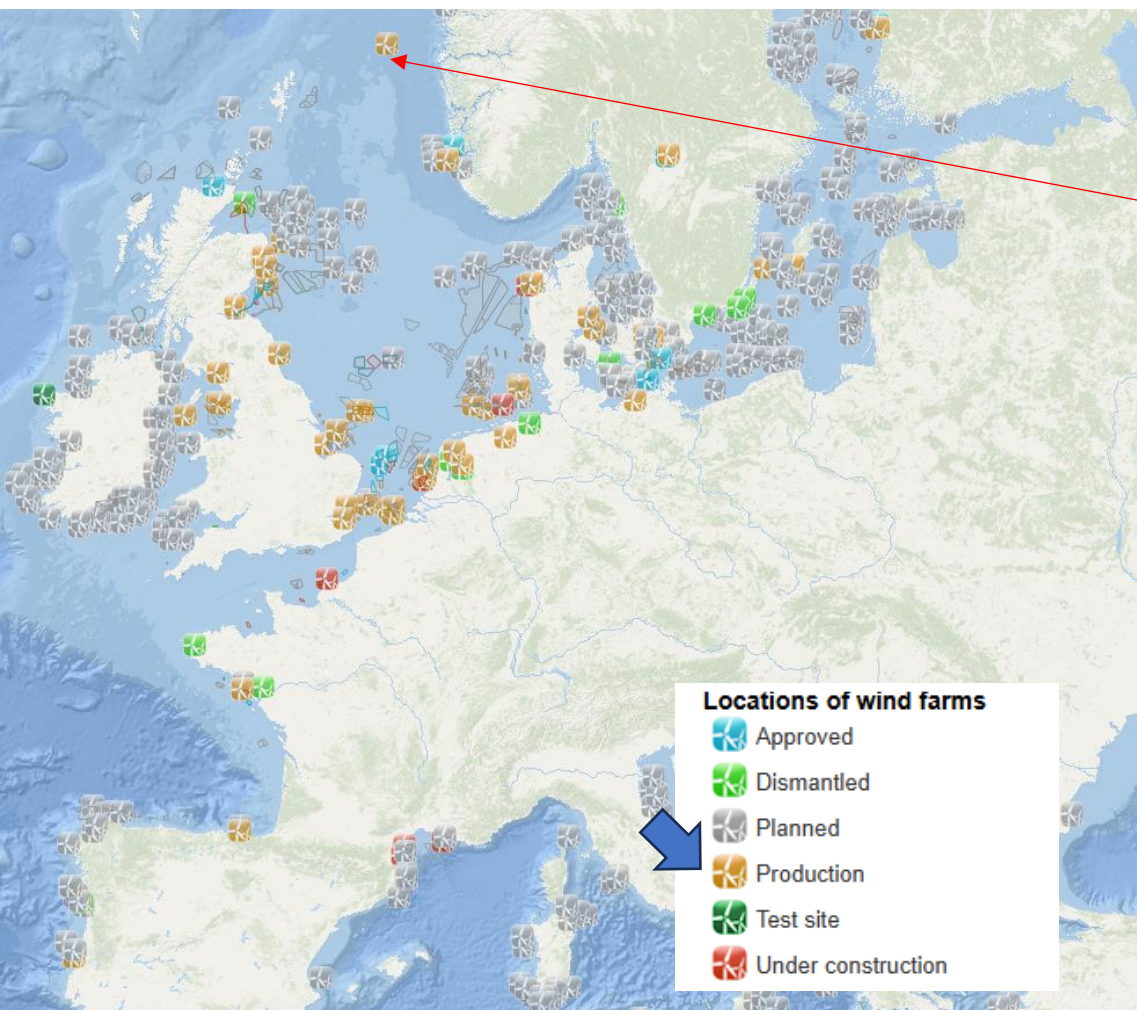
引用：(1)浮体式洋上風力発電設備に関するガイドライン, 一般財団法人 日本海事協会

(2)<https://kvcable.com/products/submarine-cable/>

©Albatross Technology Inc. (3)日立評論2014年1, 2月号[https://www.hitachihyoron.com/jp/pdf/2014/01\\_02/2014\\_01\\_02\\_00\\_visionaries\\_2.pdf](https://www.hitachihyoron.com/jp/pdf/2014/01_02/2014_01_02_00_visionaries_2.pdf)

## 世界の事例

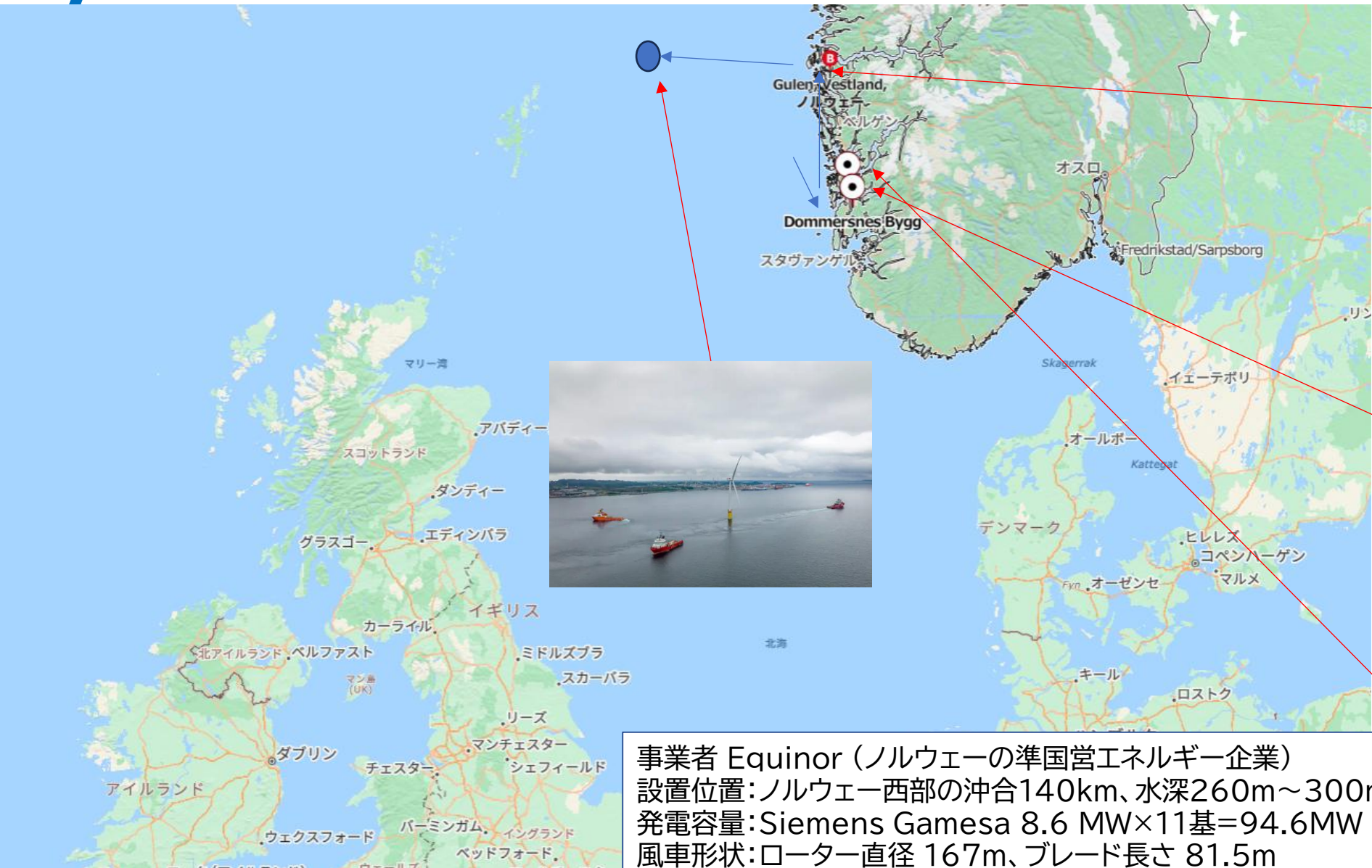
洋上浮体式 大型ウィンドファーム が稼働を始めている



引用:[https://maritime-forum.ec.europa.eu/map-week-offshore-wind-energy\\_en](https://maritime-forum.ec.europa.eu/map-week-offshore-wind-energy_en)

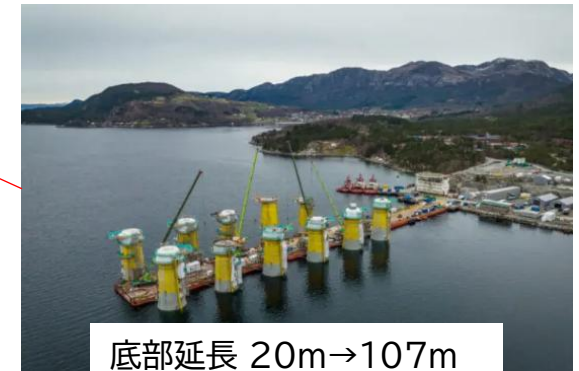
引用: Equinor社HP <https://www.equinor.jp/news/hywind-tampen-opened>

# Hywind Tampen の製造サプライチェーン



事業者 Equinor (ノルウェーの準国営エネルギー企業)  
設置位置: ノルウェー西部の沖合140km、水深260m~300m  
発電容量: Siemens Gamesa 8.6 MW×11基=94.6MW  
風車形状: ローター直径 167m、ブレード長さ 81.5m  
風車基礎: 浮体式コンクリートスパーク型  
電力: スノーレ油田13kmとガルファクス油田16kmへ66kV送電

Siemens-Gamesa風車と合体



底部延長 20m→107m



底部20m(コンクリート)

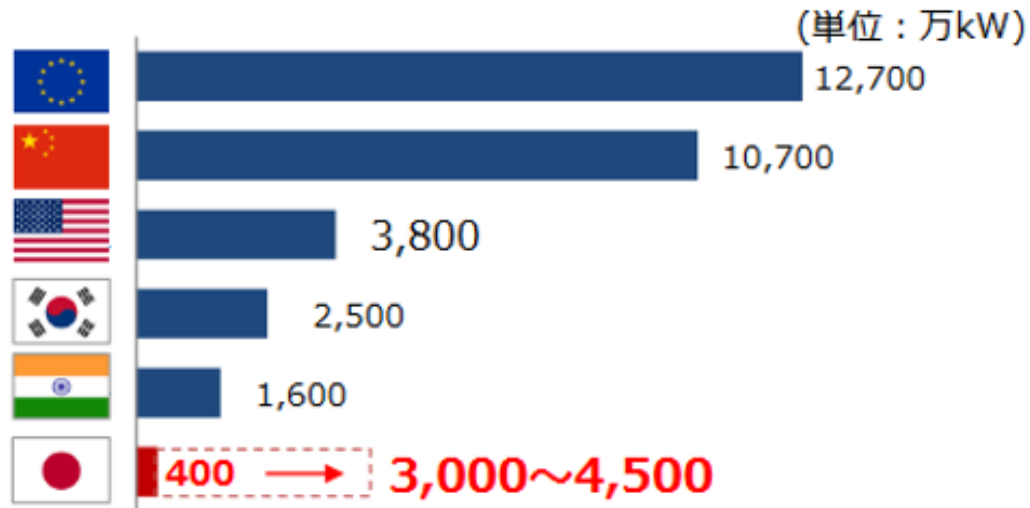




# 再エネを日本の主力電源に

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)



15MW風車 3000台の規模感

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ーヤーが  
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

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

(\*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

## 3) 再生可能エネルギーの主力電源化

エネルギー政策の原則である **S+3E** を大前提に、再生可能エネルギーの主力電源化を徹底し、関係省庁や地方公共団体が連携して施策を強化することで、地域との共生と国民負担の抑制を図りながら最大限の導入を促す。

また、洋上風力発電は、今後コスト低減が見込まれる電源として、我が国の電力供給の一定割合を占めることが見込まれ、急速なコストダウンと案件形成が進展する海外と同様、我が国の再生可能エネルギーの主力電源化に向けた「切り札」である。また、事業規模が大きく、産業の裾野も広いことから、建設や O&M<sup>31</sup>等を通じ雇用創出にも貢献するなど、経済波及効果が期待される。

引用:<https://www.meti.go.jp/press/2024/02/20250218004/20250218004-1.pdf>

# 日本のカーボンニュートラルの切り札が なぜ 風車なのか

太陽光, 原発のもつ技術課題は解決が難しいのに対して  
風車のもつ課題は技術, ビジネス, 施策によっては解決しうる課題



太陽光発電: 雨の日や夜は発電しない(変動補填のため火力なくせない)



原子力発電: 核廃棄物の最終保管場所がない



風力発電: 風車製造メーカーがないが, 技術はある, 風況も良い

# 倍に増やしても夏には足りない, 倍に増やすと春秋に余る太陽光

中国電力でんき予報より <https://www.energia.co.jp/nw/jukyuu/>

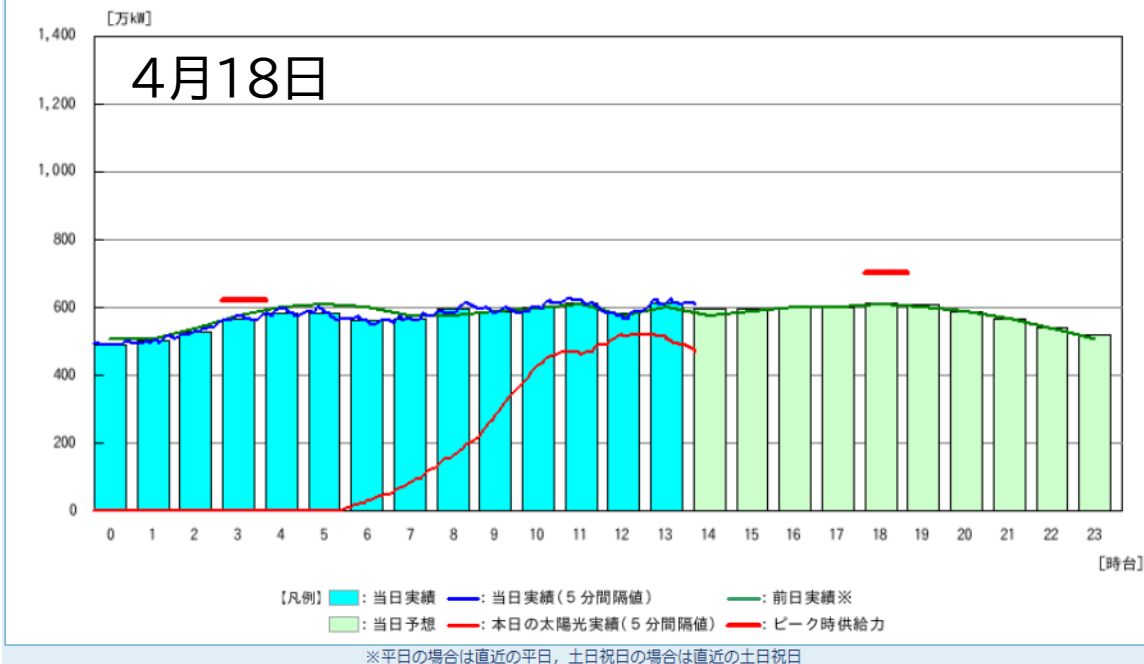
中国エリア需給見直し (4月18日 14時10分 更新)

|                 |         |      |                    |         |      |
|-----------------|---------|------|--------------------|---------|------|
| 予想最大電力 (18~19時) | 616 万kW | 使用率  | 使用率ピーク時予想電力 (3~4時) | 560 万kW | 使用率  |
| ピーク時供給力         | 705 万kW | 87 % | 使用率ピーク時供給力         | 620 万kW | 90 % |

## 需給状況

最新情報に更新する 本日の最大使用率(3~4時) 91 %

|                       |                                                                          |                       |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 中国エリア 13時台実績          | 中国エリア 現在(14:05~14:10)                                                    | 中国エリア 14時台予測          |
| 使用電力<br>616万kW<br>73% | 使用電力<br>611万kW<br>参考 中国エリア太陽光発電<br>太陽光発電量<br>469万kW<br>使用電力に対する割合<br>76% | 使用電力<br>595万kW<br>72% |
|                       | 広域ブロック<br>使用率予測                                                          |                       |
|                       | 14:00~14:30 79%                                                          |                       |
|                       | 14:30~15:00 83%                                                          |                       |



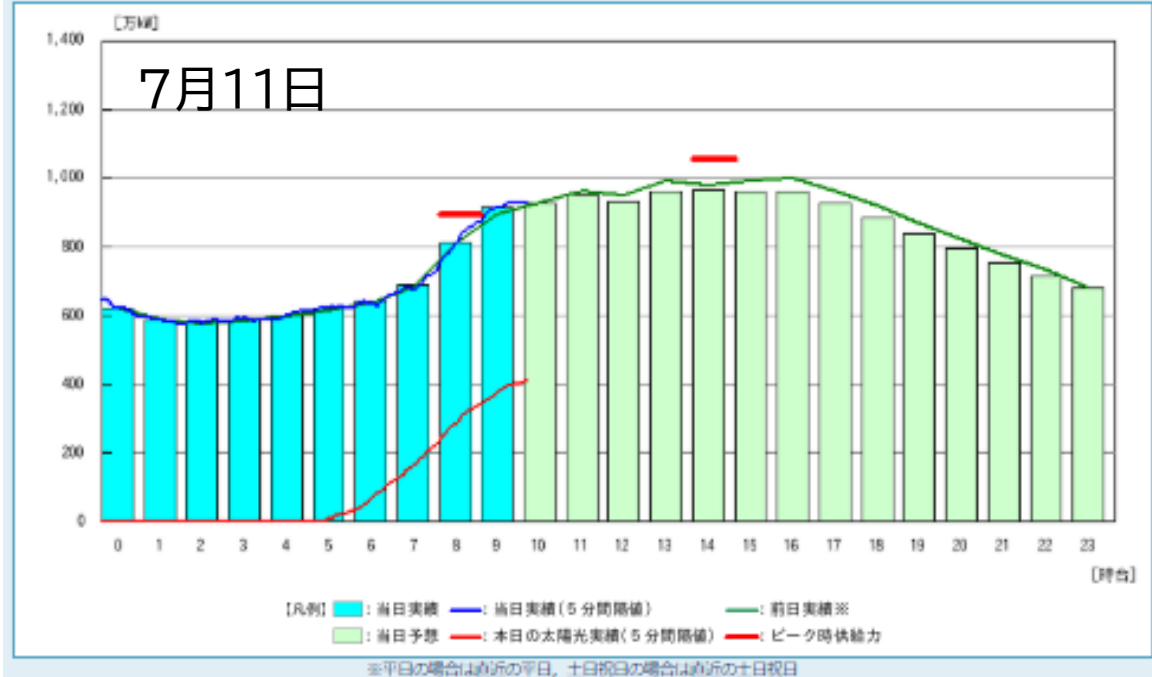
中国エリア需給見直し (7月11日 10時11分 更新)

|                 |           |      |                    |         |      |
|-----------------|-----------|------|--------------------|---------|------|
| 予想最大電力 (14~15時) | 967 万kW   | 使用率  | 使用率ピーク時予想電力 (8~9時) | 844 万kW | 使用率  |
| ピーク時供給力         | 1,056 万kW | 91 % | 使用率ピーク時供給力         | 894 万kW | 94 % |

## 需給状況

最新情報に更新する 本日の最大使用率(9~10時) 94 %

|                       |                                                                          |                       |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 中国エリア 9時台実績           | 中国エリア 現在(10:05~10:10)                                                    | 中国エリア 10時台予測          |
| 使用電力<br>914万kW<br>94% | 使用電力<br>929万kW<br>参考 中国エリア太陽光発電<br>太陽光発電量<br>412万kW<br>使用電力に対する割合<br>44% | 使用電力<br>932万kW<br>91% |
|                       | 広域ブロック<br>使用率予測                                                          |                       |
|                       | 10:00~10:30 89%                                                          |                       |
|                       | 10:30~11:00 89%                                                          |                       |





現存する日本の使用済み核燃料 1.9万トンに対して 保管能力は2.4万トンで満杯の危機

管理容量

各原発構内 2.4万トン(あと残り20%)

六ヶ所村再処理施設内 3000トン(冷却中)

中間貯蔵地 むつ市 5000トン(予定)

伊方(四電), 玄海(九電), 陸奥(東電)で4600トンの貯蔵拡大を準備中

### MOX燃料で再利用で挽回

- ・有害度を 天然ウランレベルに戻す時間を10万年→8000年に減らせる. 核廃棄物量も1/4に削減できる
- ・2030年度までにMOX燃料を利用したプルサーマル発電所を12基可動(現在4基)
- ・再処理(MOX燃料)はフランスに委託して製造
- ・六ヶ所の再処理工場(処理能力800トン/年), 1993年の稼働予定→27回延期→26年度完成予定

最終処分候補地は 北海道 寿都, 神恵内 で文献調査中

地下300m, 8000年保存, 3~4km<sup>2</sup> 2035~40年頃稼働目指す

## ／ 撤退した風車メーカー（まだ技術もサプライヤも、人も残っている！）

### ・ MHI:21年 累計設備容量 日本シェア8.4%（5位）

1980年 40kW風車事業開始

2000年:PMギヤレス(三菱電機と共同開発), 国内トップシェア

2010年:英国にて洋上風力事業に参入

2014年:MHIヴェスタスを設立を発表, 累計4200基を世界に供給, 世界シェア1.6%

2016年:英国、ドイツ、ベルギーなどで洋上風車製造受注

2020年:ヴェスタスとの合併解消。洋上風車開発から撤退

三菱重工の風力発電装置の新機種と新技術, 三菱重工技報 Vol.41 No.3(2004)

風力発電への取り組み, 三菱重工技報 VOL.45 NO.1: 2008

Vestas 社との合併会社の株式譲渡及び新たな業務提携開始のお知らせ | 三菱重工2020年10月29日ニュースリリース

[https://www.mhi.com/news/1309271718.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mhi.com/news/1309271718.html?utm_source=chatgpt.com)

### ・ 日立: 21年 累計設備容量 日本シェア12.5%（4位）

2012年:富士重工業(現SUBARU)から風力発電事業を買収 2MWダウンウィンド風車を開発

2015年:国内最大級の大型風力発電機を完成(5MW, 直径126m)

2018年:台湾で初の洋上風力発電機の受注

2019年:自社生産を中止、提携先の独エネルコン風車調達に一本化

日立評論 Vol.94 No.11 796-797, 2012年ダウンウィンド2 MW 風力発電システムの技術開発

日本経済新聞記事 2015年3月24日 "日立、国内最大級の風力発電機を茨城県で完成"

日本経済新聞記事 2019年1月25日 "日立、風力 サービスシフト 自社生産から撤退"



# 切り札 洋上風車をALL JAPANで復活

# 日本で風力発電をやるなら 浮体式洋上風車

・洋上風力は風が安定し, 設備稼働率で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**

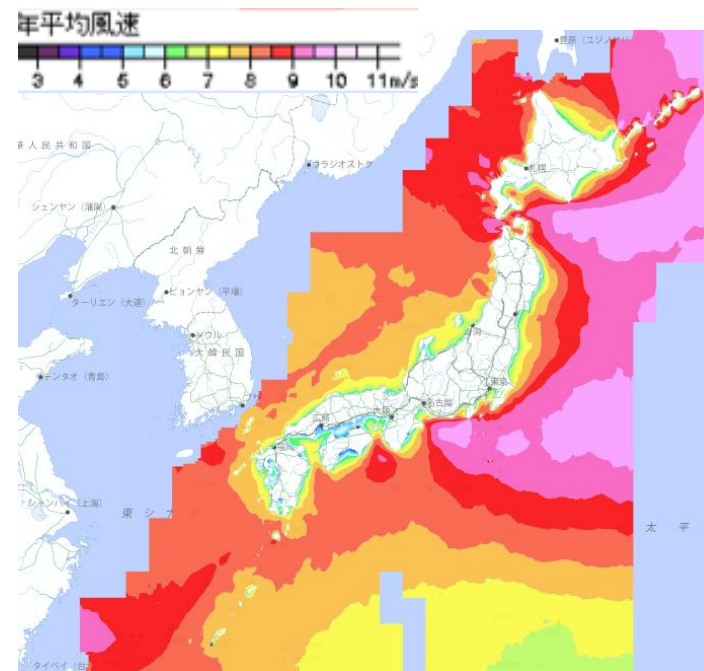
・洋上風力には着床式と浮体式がある. **水深60mを超えると浮体式が有利**

風力ポテンシャル: 陸上 118GW  
着床式 128GW(水深 10~50m)  
浮体式 424GW(水深 100~300m)

資源エネルギー庁ウェブサイト(総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会(第39回会合)) / 資料4 日本風力発電協会)

・ EEZは世界6位かつ風況に恵まれている

■ 浮体式  
■ 着床式



# 日本にまだ残るサプライチェーン FRP, 浮体, 係留索, と保有技術

## RNA(ナセル)以外は, 国内に技術もサプライチェーンもある

### ■ ナセル (GE・東芝 ナセル組立工場)

洋上風力発電システム分野において戦略的提携契約を締結<sup>※1</sup>

GE・東芝 戦略的パートナーシップ

GE リニューアブルエナジー  
 ✓ Halade-X (洋上12MW機)  
 ✓ 豊富な技術と経験  
 ✓ 東芝と共に日本のサプライチェーンを共同で構築

東芝エネルギーシステムズ  
 ✓ ナセルに関する組立て、品質管理、輸送および予防保全サービスを提供  
 ✓ 日本市場における販売と顧客に関する責任を担う

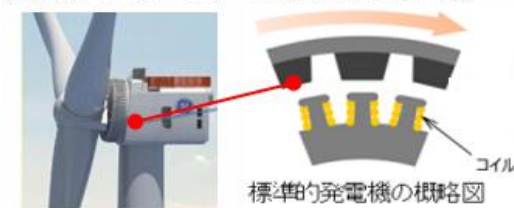
国内企業および発電所の地元企業の協力を促して日本における洋上風車のサプライチェーン構築を目指します

※1 2021年5月11日付、2021年3月23日付  
 ※2 GE Renewable Energy HP <https://www.ge.com/renewableenergy/>

東芝エネルギーシステムズ  
京浜事業所 (下図) にて  
生産予定



### ■ 磁石 (TDK 磁石製造工場)



大型洋上風力発電の発電機内部品として搭載されるネオジム磁石製造工場

### ■ 基礎 (JFEモノパイル工場)



- ・社名: JFEエンジニアリング
- ・住所: 岡山県笠岡市
- ・面積: 約20ha
- ・投資額: 約400億円
- ・製品: モノパイル、トランジションピース素管
- ・生産量: 8~10万t/年 (モノパイル式基礎50本相当)
- ・竣工: 2024年4月生産開始

### ■ ジャケット (日鉄エンジニアリング工場)



採用実績: グリーンパワーインベストメント  
(国内調達比率60%達成)  
 基数: 8MW 14基

### ■ SEP船

・Blue Wind



2,500t吊、全長142m、  
全幅50m、喫水6.2m

・CP16001



1600t吊、全長120m、  
全幅45m

・柏鶴 (はっかく)



1,250t吊、全長88m、  
全幅40m、喫水4.6m

### ■ CTV

・JCAT TWO



全長26.3m、全幅10.4m、深さ3.7m

・RED STAR



全長27.5m、全幅8.9m、喫水- m

### ■ 作業船

・第七大雄



400t吊、全長65m、全  
幅25m、深さ4.5m

・第三若美号



300t吊、全長61m、  
全幅23m、喫水-m

・第七大福号

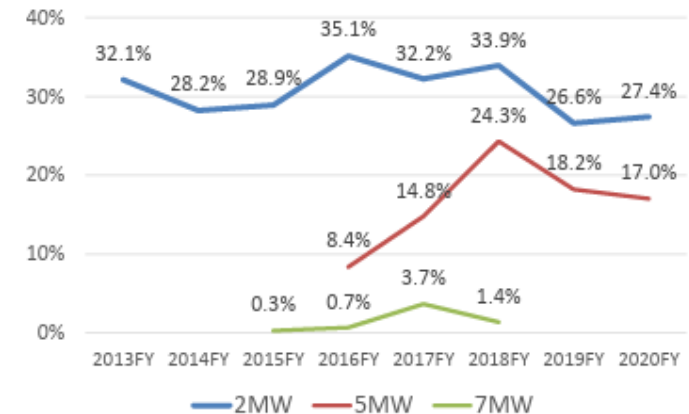


550t吊、全長74m、  
全幅25m、深さ4.8m

## かつて浮体式で世界をリードしていた日本



2016年 **世界初**となる浮体式洋上風力発電所  
福島沖 20km, 水深120m  
故障等で稼働率低く  
維持費(メンテ用傭船, 保険)がかかることから  
2021年に多くの知識・技術・報告書を残しつつ  
すべて撤去(総費用669億円)<sup>(2)</sup>



稼働率グラフ

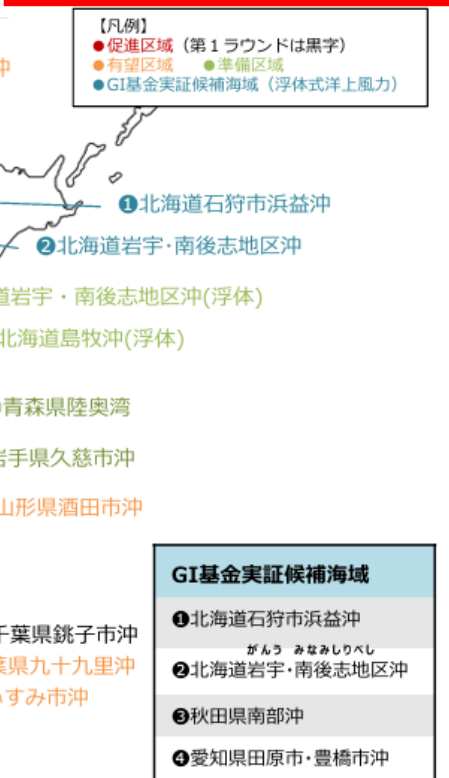
引用: (1)福島洋上風力コンソーシアム HP [https://www.fukushima-forward.jp/news\\_release/news160801.html](https://www.fukushima-forward.jp/news_release/news160801.html)

★(2) 資源エネルギー庁 福島沖での浮体式洋上風力発電システム実証研究事業 統括委員会最終報告書 [https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/new/new/information/220824a/report\\_2022\\_0.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/new/new/information/220824a/report_2022_0.pdf)  
参考文献: 日立評論2014年1, 2月号 [https://www.hitachihyoron.com/jp/pdf/2014/01\\_02/2014\\_01\\_02\\_00\\_visionaries\\_2.pdf](https://www.hitachihyoron.com/jp/pdf/2014/01_02/2014_01_02_00_visionaries_2.pdf)

| 区域名  | 1万kW=1MW                                         | 万kW※1  | 供給価格※2<br>(円/kWh)                                 | 運開年月    | 選定事業者構成員                               |
|------|--------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------|---------|----------------------------------------|
| 促進区域 | ①長崎県五島市沖 (浮体)                                    | 1.7    | 36                                                | 2026.1  | 戸田建設、JRE、大阪瓦斯、関西電力、INPEX、中部電力          |
|      | ②秋田県能代市・三種町・男鹿市沖<br><small>のしろ みたねちよう おが</small> | 49.4   | 13.26                                             | 2028.12 | 三菱商事洋上風力、三菱商事、C-Tech                   |
|      | ③秋田県由利本荘市沖<br><small>ゆりほんじょう</small>             | 84.5   | 11.99                                             | 2030.12 | 三菱商事洋上風力、三菱商事、C-Tech、ウエンティ ジャパン        |
|      | ④千葉県銚子市沖                                         | 40.3   | 16.49                                             | 2028.9  | 三菱商事洋上風力、三菱商事、C-Tech                   |
|      | ⑤秋田県八峰町能代市沖<br><small>はつぽうちよう のしろ</small>        | 37.5   | 3                                                 | 2029.6  | JRE、イベルドローラ・リニューアブルズ・ジャパン、東北電力         |
|      | ⑥秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖<br><small>おが かたがみ</small>       | 31.5   | 3                                                 | 2028.6  | JERA、電源開発、伊藤忠商事、東北電力                   |
|      | ⑦新潟県村上市・胎内市沖<br><small>たいない</small>              | 68.4   | 3                                                 | 2029.6  | 三井物産、RWE Offshore Wind Japan 村上胎内、大阪瓦斯 |
|      | ⑧長崎県西海市江島沖<br><small>さいかいしえのしま</small>           | 42     | 22.18                                             | 2029.8  | 住友商事、東京電力リニューアブルパワー                    |
|      | ⑨青森県沖日本海(南側)                                     | 60     | ※2 ①～④についてはFIT制度適用のため調達価格。<br>⑤～⑧はFIP制度適用のため基準価格。 |         |                                        |
|      | ⑩山形県遊佐町沖<br><small>ゆさまち</small>                  | 45     |                                                   |         |                                        |
| 有望区域 | ⑪北海道石狩市沖                                         | 91～114 |                                                   |         |                                        |
|      | ⑫北海道岩宇・南後志地区沖<br><small>がんう みなみしりべし</small>      | 56～71  |                                                   |         |                                        |
|      | ⑬北海道島牧沖<br><small>しままき</small>                   | 44～56  |                                                   |         |                                        |
|      | ⑭北海道檜山沖<br><small>ひやま</small>                    | 91～114 |                                                   |         |                                        |
|      | ⑮北海道松前沖                                          | 25～32  |                                                   |         |                                        |
|      | ⑯青森県沖日本海 (北側)                                    | 30     |                                                   |         |                                        |
|      | ⑰山形県酒田市沖                                         | 50     |                                                   |         |                                        |
|      | ⑱千葉県九十九里沖<br><small>くじゅうり</small>                | 40     |                                                   |         |                                        |
|      | ⑲千葉県いすみ市沖                                        | 41     |                                                   |         |                                        |
|      | ⑳北海道岩宇・南後志地区沖(浮体)                                |        |                                                   |         |                                        |
| 準備区域 | ㉑北海道島牧沖(浮体)                                      |        |                                                   |         |                                        |
|      | ㉒青森県陸奥湾                                          |        |                                                   |         |                                        |
|      | ㉓岩手県久慈市沖(浮体)                                     |        |                                                   |         |                                        |
|      | ㉔富山県東部沖(着床・浮体)                                   |        |                                                   |         |                                        |
|      | ㉕福井県あわら沖                                         |        |                                                   |         |                                        |
|      | ㉖福岡県響灘沖                                          |        |                                                   |         |                                        |
|      | ㉗佐賀県唐津市沖                                         |        |                                                   |         |                                        |
|      | ㉘長崎県五島市沖                                         |        |                                                   |         |                                        |
|      | ㉙長崎県西海市江島沖                                       |        |                                                   |         |                                        |
|      | ㉚愛知県田原市・豊橋市沖                                     |        |                                                   |         |                                        |

別紙 1

<導入目標> 【内】は全電源の電源構成における比率  
現状：風力全体4.5GW【0.9%】  
(うち洋上0.01GW)  
2030年：風力全体23.6GW【5%】  
(うち洋上5.7GW【1.8%】)  
<洋上風力案件形成目標>  
2030年 10GW／2040年 30-45GW  
<洋上風力国内調達比率目標(産業界目標)>  
2040年 60%



参考(筆者仮定)  
45GW:原発45台

例えば  
15MW風車で3000台  
10年でやると  
1台/日ペース

1基 150億円程度  
総額45兆円

国内調達比率60%  
地域産業振興にも貢献

★引用: [https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/saisei\\_kano/yojo\\_furyoku/pdf/024\\_01\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/yojo_furyoku/pdf/024_01_00.pdf)

# 風力発電メーカ

デンマークのVESTAS, SGRE(ドイツSimens+スペインGAMESA), GEが善戦  
日本勢はコストでかなわず撤退 日立(~19年), 三菱重工(~20年), 日本製鋼所(~19年)



| Rank          |                                                                                       | Supplier       | Supplied MW<br>2022 | Annual share<br>2022 |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| 1             |    | Vestas         | 12,595              | 14.01%               |
| 2             |    | Goldwind       | 11,753              | 13.07%               |
| 3             |    | SGRE           | 9,309               | 10.36%               |
| 4             |    | GE Renewable   | 8,832               | 9.82%                |
| 5             |    | Envision       | 8,391               | 9.34%                |
| 6             |    | Mingyang       | 6,474               | 7.20%                |
| 7             |    | Windey         | 6,252               | 6.96%                |
| 8             |    | Nordex Group   | 4,863               | 5.41%                |
| 9             |    | SANY           | 4,522               | 5.03%                |
| 10            |    | CRRC           | 3,892               | 4.33%                |
| 11            |    | CSSC Haizhuang | 3,362               | 3.74%                |
| 12            |   | Sewind         | 3,249               | 3.61%                |
| 13            |  | Enercon        | 1,893               | 2.11%                |
| 14            |  | Dongfang       | 1,889               | 2.10%                |
| 15            |  | United Power   | 923                 | 1.03%                |
|               |                                                                                       | Others         | 1,691               | 1.88%                |
| Global totals |                                                                                       |                | 89,890              | 100%                 |

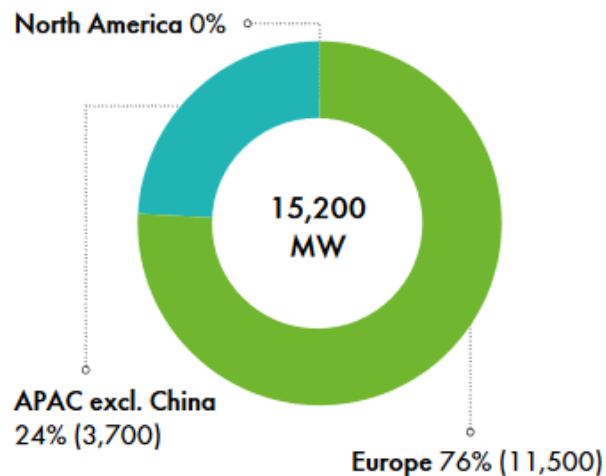
Source: GWEC Market Intelligence, April 2023



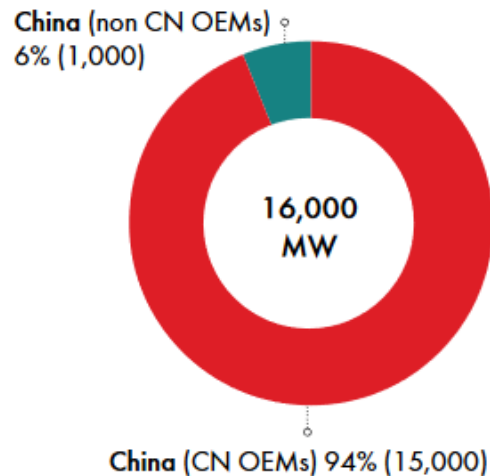
# 世界の風車の受給関係

欧州は風車需要増に対して2026年から供給不足となる。（＝欧州現地需要を優先）

Expected offshore turbine nacelle capacity  
excl. China, 2024



Offshore turbine nacelle capacity  
in China, 2023



|                  | 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

● Sufficient ● Potential bottleneck

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

# 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で主流が永久磁石式

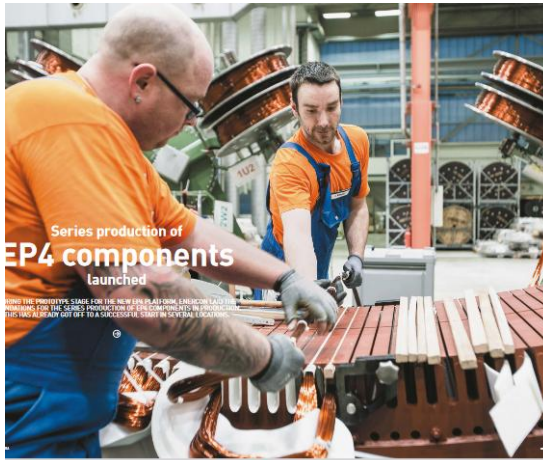
: 発電機生産は中国が65% 次いで欧州が22%と9割が欧中で寡占  
: 希土類の94%を中国に依存しており調達リスク有り

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>

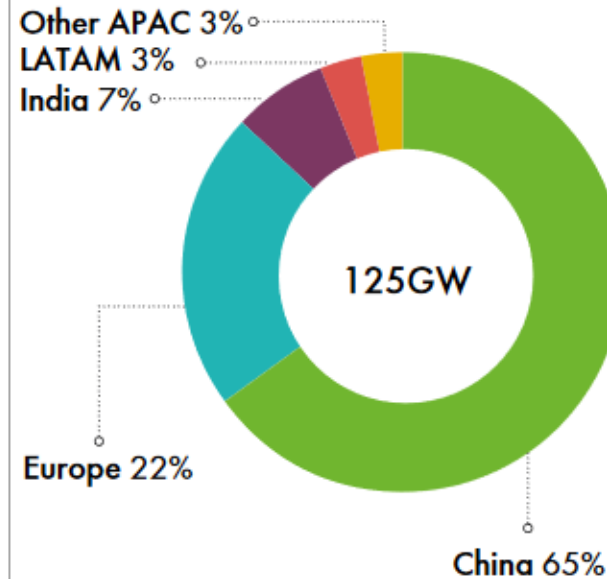
コイル入れなど難易度の高い加工が熟練技術者頼み



Enercon社広報誌  
windblat2016より

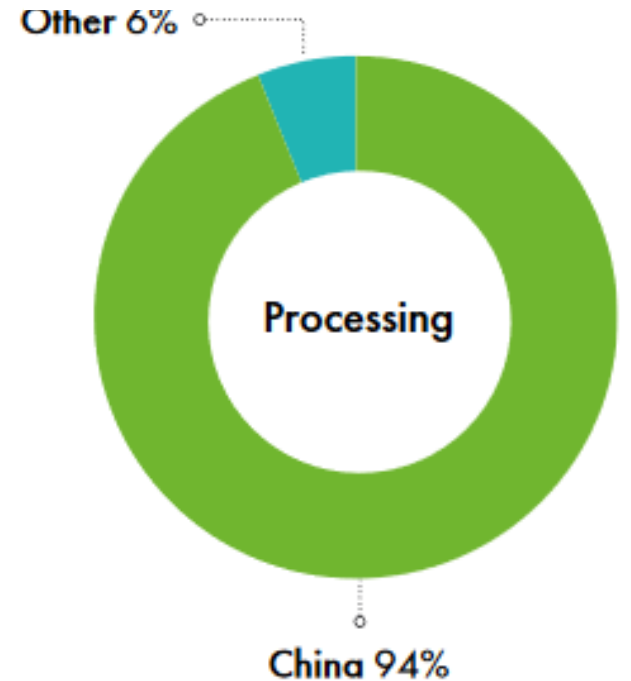
世界の発電機製造の大半が中国に依存

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/>



## 関連ビジネス

# ブレードにまつわるトラブル

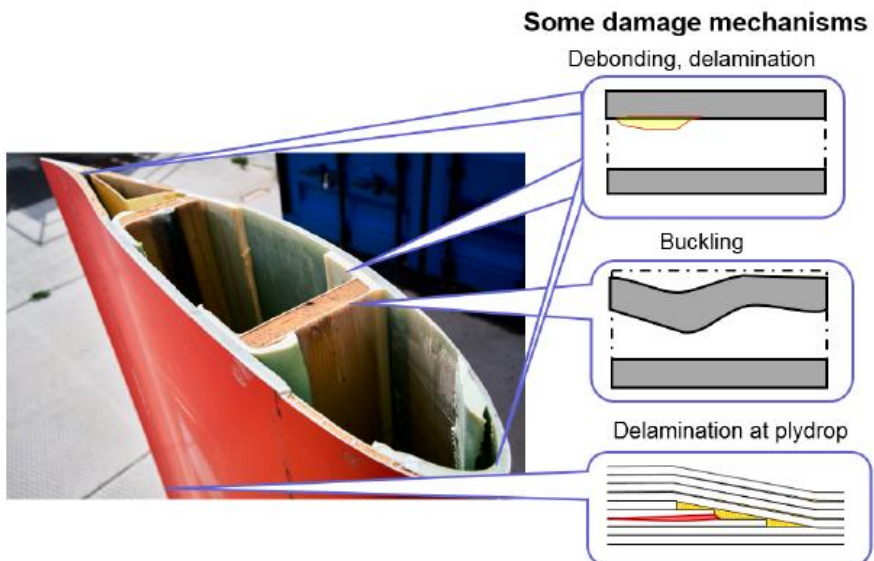
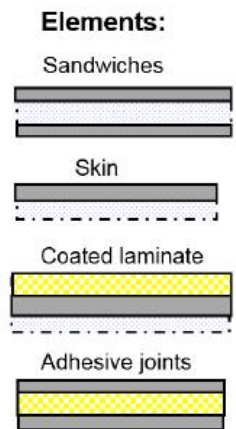
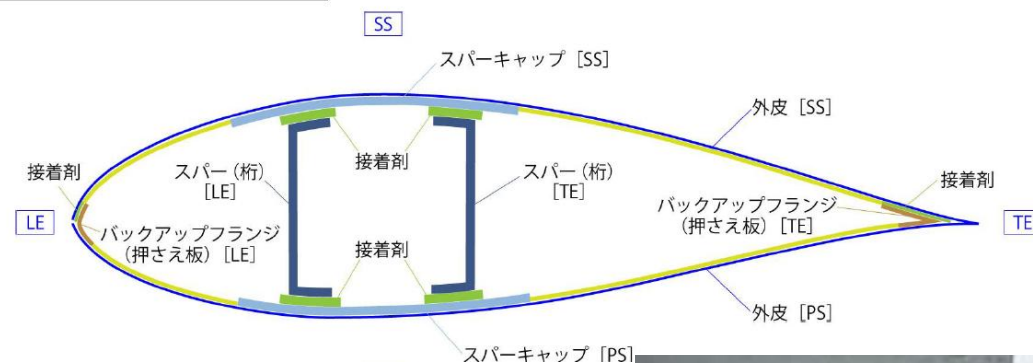


図1-4 ブレード断面各部名称



Leon Mishnaevsky Jr, “Root Causes and Mechanisms of Failure of Wind Turbine Blades: Overview”

|                  |                                            |                    |
|------------------|--------------------------------------------|--------------------|
| 表面保護層(リーディングエッジ) | 表面浸食による性能低下(Leading Edge Erosion)          | 雨滴・砂・塩害・氷・微粒子衝突    |
| 接着継手(スパー／シェル)    | 接着剥離(Adhesive Debonding)                   | 接着剤の劣化、疲労、界面欠陥     |
| 接着継手(トレーリングエッジ)  | 接着部剥離・破断                                   | シア応力、バックリング変形、疲労   |
| スパー・ウェブ          | 座屈(Buckling of Spar or Web)                | 局所圧縮、接着剥離に起因する強度低下 |
| シェル表面            | 層間剥離(Delamination)                         | 疲労、プライドロップ部の応力集中   |
| プライドロップ部         | 層間割れ／レジンポケット起因破損                           | 急激な厚み変化、製造不良       |
| トレーリングエッジ        | バックリング変形・割れ                                | 局所座屈、接着不良、疲労       |
| ブレード全体           | ブレード破断(Catastrophic Blade Fracture)        | 複合的な累積劣化(座屈＋剥離＋疲労) |
| リーディングエッジ        | 水分浸入による内部劣化                                | 浸食からの水侵入、接着層劣化     |
| ブレード根元部          | Tボルト周辺の剥離・抜け                               | 応力集中、接着不良、設計不備     |
| トップキャップ          | ブラジエ効果による断面変形(Cross-sectional ovalization) | フラップ方向曲げ＋大型化による影響  |
| 接着界面(全般)         | モードI・II・III混合破壊(界面破断)                      | 複合荷重・接着層厚みばらつき     |
| 接着層(厚層タイプ)       | クラックの成長／進展(Tunneling crack)                | 複数モードの応力集中         |
| コーティング層          | コーティングのクラック・剥離                             | 紫外線劣化、熱膨張、浸食       |
| シェル／スパー          | ファイバ破断(Fiber Breakage)                     | 局所座屈、剥離起因の応力集中     |



引用：第23回新エネルギー発電設備事故対応・構造強度WG資料1-1「東伯風力発電所4号機ブレード折損事故について(続報)」

(a)

## / 設置・組立・メンテ

エロージョン(ブレードが汚れて破壊)  
対策のため定期点検必要だが  
目視・打音確認等で人手頼み  
風が強い洋上風車ではメンテも課題



画像処理AI診断, 掃除  
非破壊検査・点検記録などを  
ロボット, 自動化したい



引用(左) [点検・補修サービス | 事業案内 | 株式会社北拓](#)

引用(右); KDDI、風力発電機メンテナンスロボット開発の「LEBO ROBOTICS」へ出資

<https://youtu.be/pTMrIZyoJ1A?si=aBoxeR4xiPgRTSTX>

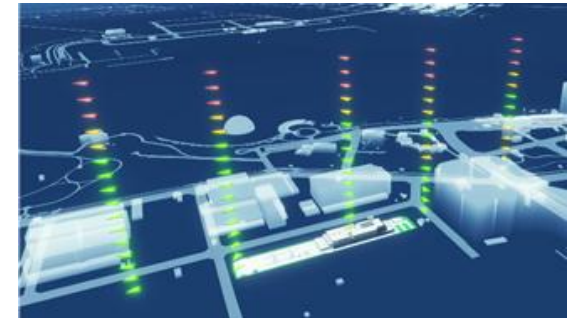
## 風況観測

洋上では数km間隔で多数配置される  
風車群としての最大発電動作が求められる  
事前予測による回転数調整, 突風時のストール制御



引用: 一般社団法人環境金融研究機構 | Research Institute for Environmental Finance: RIEF  
<https://rief-jp.org/ct10/128932>

陸上のような風況観測タワーは使えない  
安価なレーザドップラー風速計などに期待



<https://www.mitsubishielectric.co.jp/ja/pr/2022/pdf/0518.pdf>

## ／ その他，洋上風車ならではの 大型ロボット

Self Climbing Crane  
大型クレーン船で高所作業すると  
コストがかかる



Telescopic Access Bridge  
強風・荒波でもメンテでは浮体に移り移る  
必要がある



[https://youtu.be/XJKoYPACiXU?si=7QpqCp\\_ke7PuYxcw](https://youtu.be/XJKoYPACiXU?si=7QpqCp_ke7PuYxcw)

<https://youtu.be/sawkjkKI47w?si=Wf7vHVff8EM6E3uu&t=49>



# Finale



1970年後半,高校の先生達がはじめた市民の手作り風車  
現存する最古の近代風車でいまだ現役  
正負はオイルショックの対策として原発を検討していましたが  
この運動を見たデンマーク国会議員達が原発を廃案にして,  
風車・再エネに方向転換,  
<https://www.tvindkraft.dk>





## 参考 動画ビデオリンク集

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



## / 容量の簡易 計算式

$$\text{風車パワー} = 1/2 C_p \rho A V^3$$

$\rho$  空気密度  $1.29\text{kg/m}^3$

$A$  風車受風面積  $\text{m}^2$

$V$  風速  $\text{m/s}$

$C_p$  パワー係数

小型風車 半径1m  $C_p=0.2$  風速3m/s = 22W(NG), 風速10m/sで810W,

太陽光 2m×1m 変換効率18% で360W

大型風車 半径125m  $49062\text{m}^2$ ,  $C_p=0.5$  風速3m/s = 427kW, 風速10m/sで16MW

太陽光 250×50m<sup>2</sup> 変換効率18% で2.2MW

