

CAN-Japan ウェビナー
「洋上風力の今とこれから」



風力発電の基礎情報

主に洋上風力に関する世界と日本の状況

2024年1月25日

公益財団法人 自然エネルギー財団

齊藤 哲夫

参照資料

- ◆ [\[分析レポート\] 日本の洋上風力発電ポテンシャル 領海と排他的経済水域](#)
- ◆ [浮体式洋上風力事業化の加速に向けた提言](#)
- ◆ [インフォパック 洋上風力発電の動向 世界と日本における現状 \(第4版 改訂版\)](#)
- ◆ [洋上風力発電所に係る環境影響評価手法の技術ガイド \(案\) 2023年10月](#)
- ◆ [洋上風力発電所に係る環境影響評価手法の技術ガイド 参考資料 \(案\)](#)

■	1. 風力発電の適用区分、単機容量と大きさ	3
■	2. 洋上風力発電の種類	4
■	3. 日本の洋上風力実証・商用機建設状況	5
■	4. 世界の風力発電導入状況と今後の見通し	7
■	5. 日本の風力発電導入状況と今後の見通し	11
■	6. 陸上風力発電のポテンシャル	13
■	7. 洋上風力発電のポテンシャルと留意事項	14
■	8. 洋上風力発電 日本のポテンシャル	15
■	9. 洋上風力発電 10エリア別のポテンシャル	17
■	10. 洋上風力発電 都道府県別のポテンシャル	19
■	11. 風況マップ（水深200m未満）と送電線	21
■	参考	
◆	洋上風力ポテンシャル算出の前提条件	23
◆	洋上風力の設備利用率と年間発電電力量	25
◆	2035年までに運転開始を想定した浮体式候補海域	26
◆	風力発電出力の平滑化効果	27
◆	10分平均風速と発電出力	29
◆	景観	30
◆	騒音と超低周波音	31
◆	バードストライク	33
◆	風力発電と太陽光発電の出力相関	34
◆	風力と太陽光の系統連系・申込状況	36
◆	風力発電の環境アセス実施状況	37
◆	洋上風力発電の発電コスト	38

1. 風力発電の適用区分、単機容量と大きさ

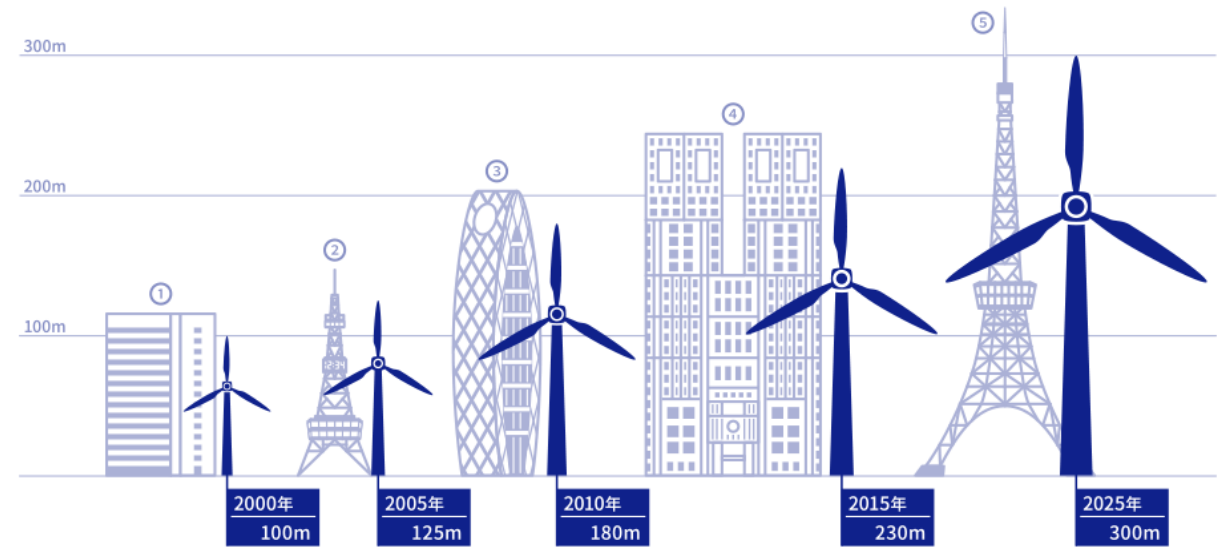
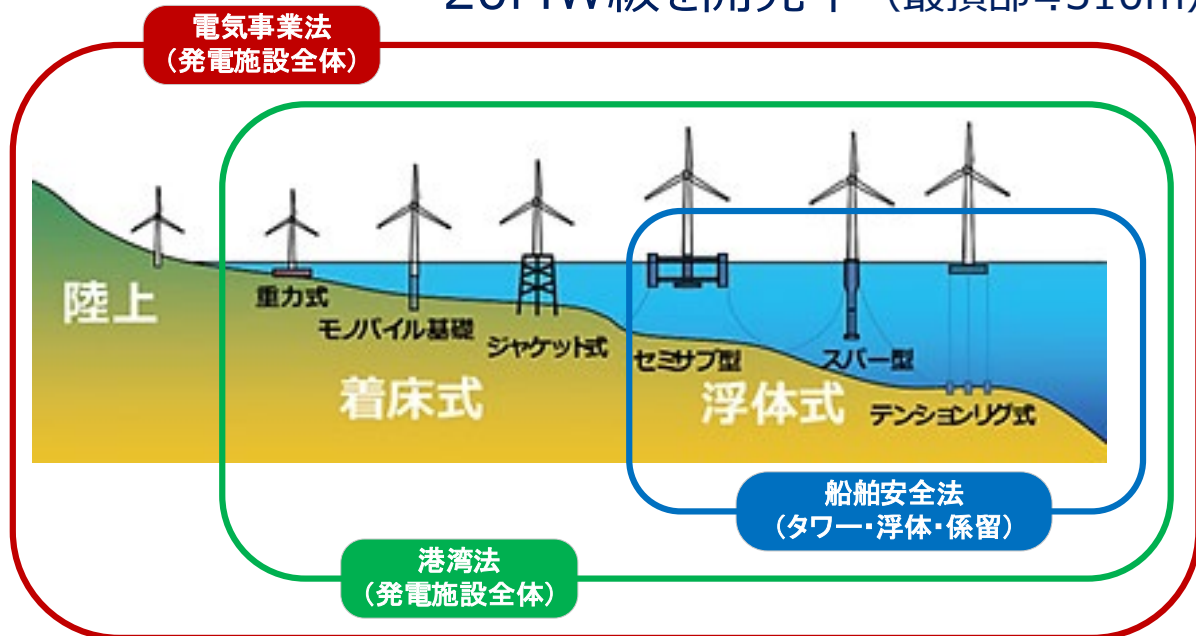
■ 風力発電の適用区分

- 陸上風力：道路などの輸送制限により、単機大容量の適用が制限される
- 着床式洋上風力：水深が約50m未満の海域に適用
- 浮体式洋上風力：水深が約50m以上約200m未満の海域に適用（更に大水深海域用も検討中）

■ 風力発電の単機容量と大きさ

- 陸上風力：2010年代初期は2MW（最頂部≒100m）、現在は4～5MW（最頂部≒150～160m）
- 洋上風力：現在は10MW級（最頂部≒230m）が主流、建設・計画中は15MW級（最頂部≒270m）が主流、20MW級を開発中（最頂部≒310m）

1MW=1,000kW、一般家庭=5kW(50A契約の場合)



①東京ガス本社ビル、②札幌テレビ塔、③50階立て高層ビル、④東京都庁、⑤東京タワー

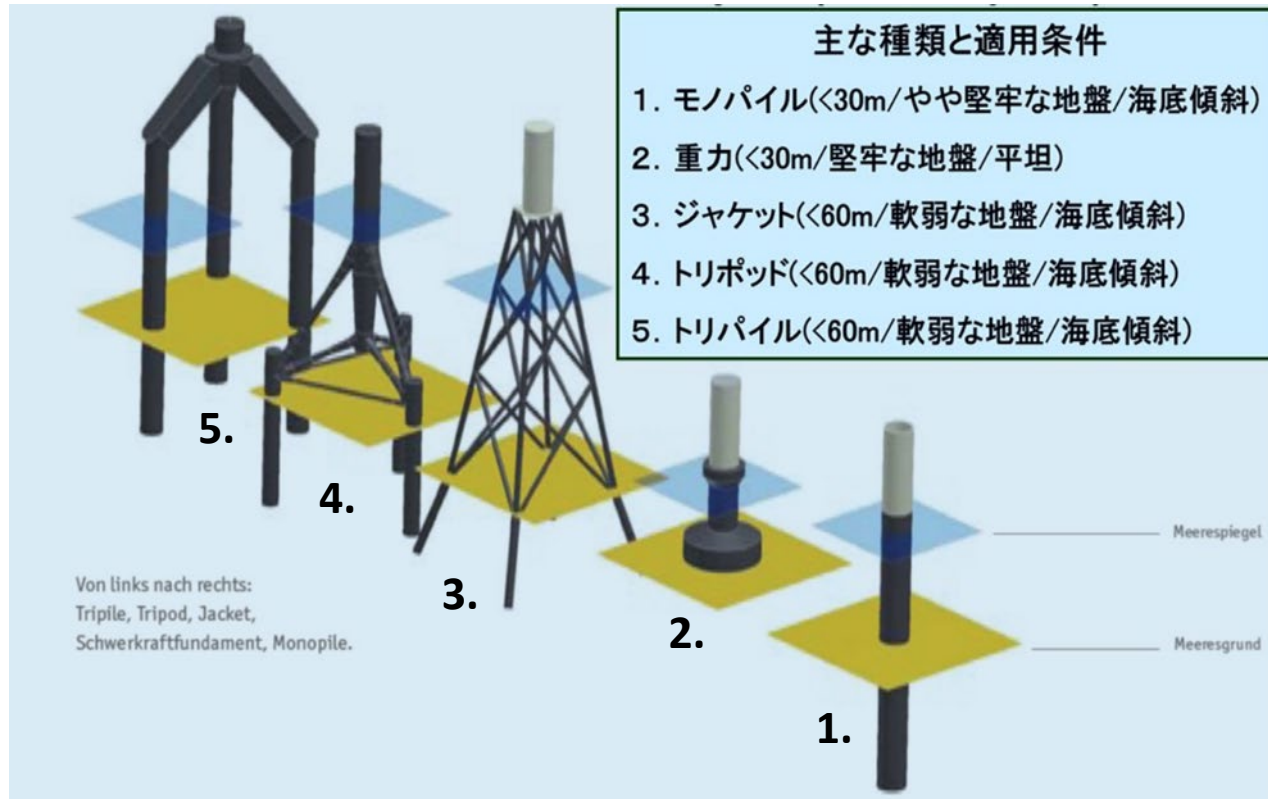
2. 洋上風力発電の種類

■ 着床式

- モノパイルとジャケットが主流（水深60m程度まで）

■ 浮体式

- 水深に応じて、スパー、TLP、セミサブ、パージ式など適用されている。
- 浮体構造のコストダウンに向けた開発が進められている。（コンクリート、合成繊維ロープの適用などを含む）



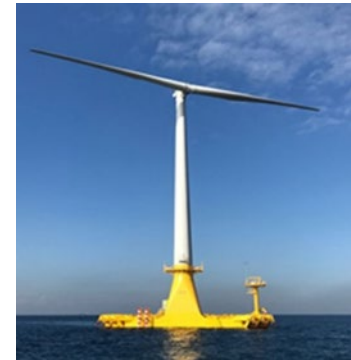
スパー方式



TLP
(緊張係留) 方式



セミサブ方式



パージ

3. 日本の洋上風力実証・商用機建設状況－1

■ 着床式

- 銚子沖 : 2.4MW ローター径92m 重力式基礎
2013年1月から、NEDO事業により実証試験を実施し、
2019年1月より商用運転を開始
- 北九州市沖 : 2.0MW ローター径83.3m 重力・ジャケットハイブリット式基礎
2013年6月からNEDO事業により実証試験を開始し、
2019年12月に実証事業を終了



■ 浮体式

- 福島沖 : 2.0MW ローター径 80m コンパクトセミサブ浮体
5.0MW ローター径126m アドバンストスパー浮体
7.0MW ローター径167m V字型セミサブ浮体
変電所 アドバンストスパー浮体
経済産業省からの委託事業として2013年、
2015年、2017年に実証試験を開始し、
2020年、2021年に実証事業を終了
- 五島市沖 : 2.0MW ローター径 80m ハイブリッドスパー浮体
2013年10月から環境省事業により実証試験を開始し
2016年4月より商用運転を開始



写真出典

[NEDO 着床式洋上風力発電導入ガイドブック\(最終版\) 上の2写真](#)

[福島洋上風力コンソーシアムウェブサイト「プロジェクト概要」](#)

[五島市観光協会ウェブページ「五島市・浮体式洋上風力発電「はえんかぜ」視察ツアー」](#)

3. 日本の洋上風力実証・商用機建設状況－2

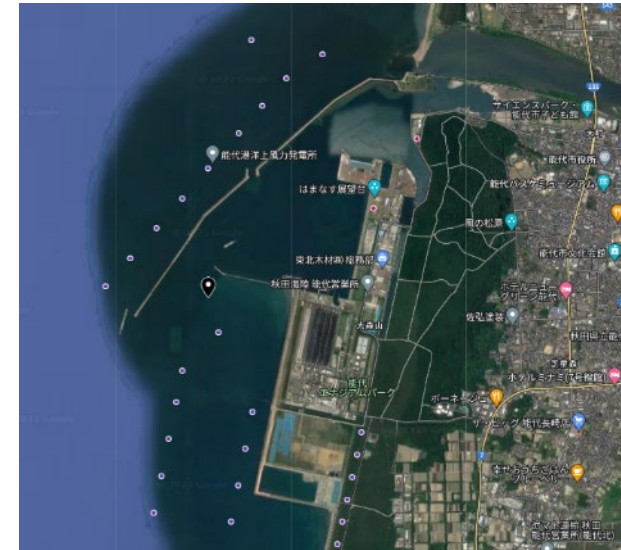
■ 港湾エリア (490.6MW : 風車定格出力合計と系統連系最大出力は異なる場合がある)

- ◆ 能代港 : 84.0MW 2022年12月運転開始 (4.2MW機)
- ◆ 秋田港 : 54.6MW 2023年 1月運転開始 (4.2MW機)
- ◆ 石狩湾新港 : 112.0MW 2024年 1月運転開始 (8.0MW機)
- ◆ 北九州港 : 240.0MW 2025年度運転開始予定 (9.6MW機)

■ 一般海域 (3,186.8MW : 風車定格出力合計と系統連系最大出力は異なる場合がある)

- ◆ 入善町沖 : 9.0MW 2023年10月運転開始 (3.0MW機) 中国製
- ◆ 五島市沖 : 16.8MW 2024年度運転開始予定 (2.1MW機) 浮体式
- ◆ 能代市沖 : 494.0MW 2028年度運転開始予定 (13.0MW機)
- ◆ 由利本荘市沖 : 845.0MW 2030年度運転開始予定 (13.0MW機)
- ◆ 銚子市沖 : 403.0MW 2028年度運転開始予定 (13.0MW機)
- ◆ 男鹿市沖 : 315.0MW 2028年度運転開始予定 (15.0MW機)
- ◆ 西海市沖 : 420.0MW 2029年度運転開始予定 (15.0MW機)
- ◆ 村上市沖 : 684.0MW 2029年度運転開始予定 (18.0MW機)

能代港



秋田港



能代港



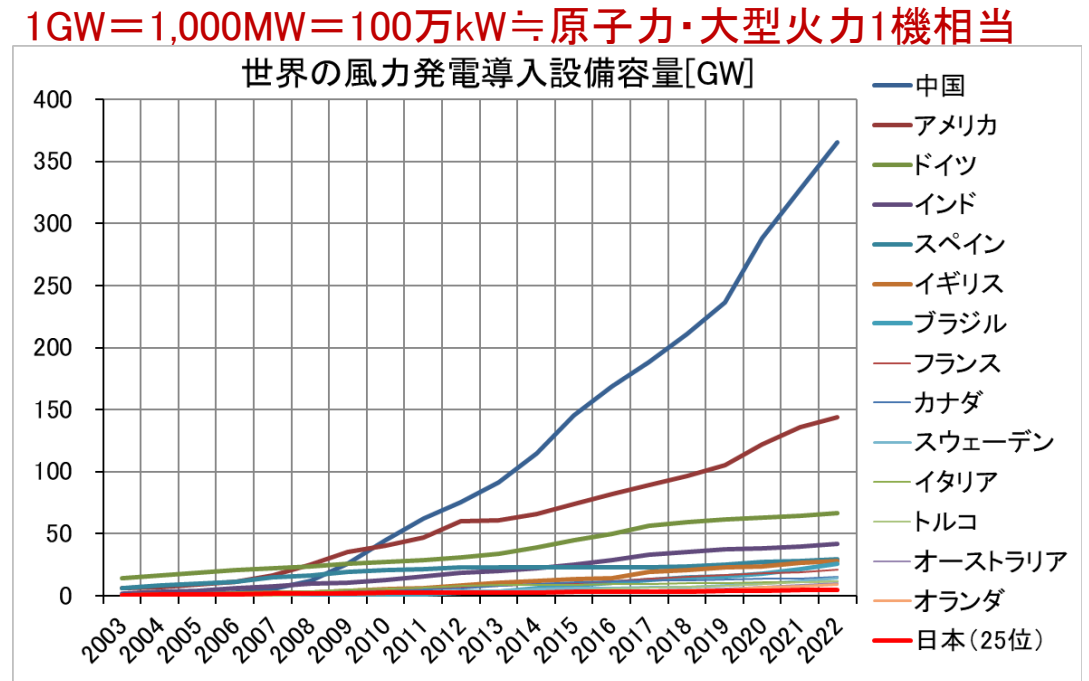
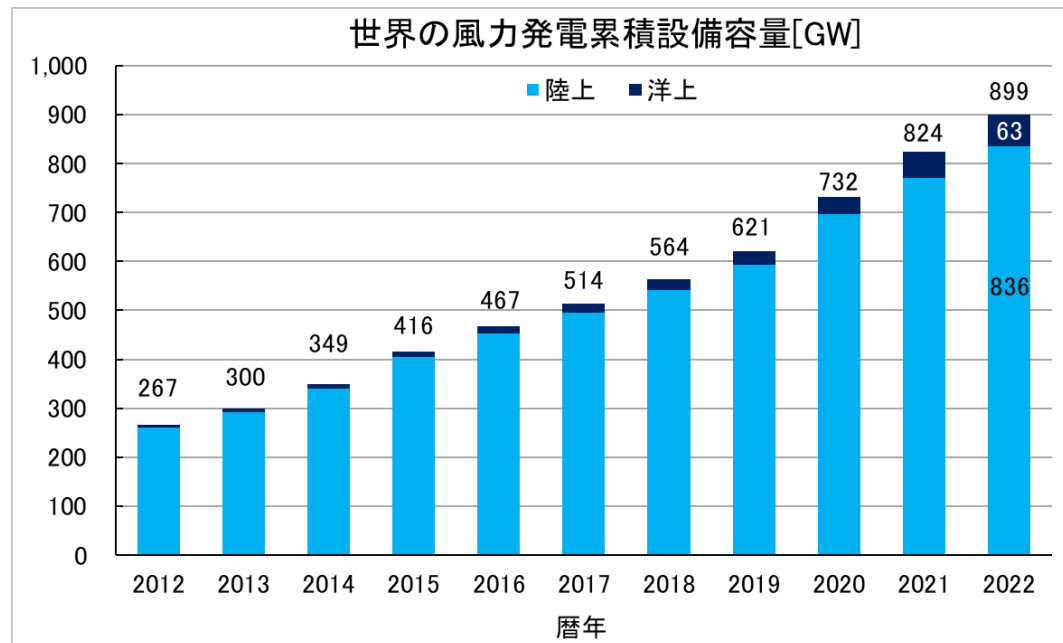
秋田港



石狩湾新港

4. 世界の風力発電導入状況と今後の見通しー 1

- 世界の累積導入設備容量（2022年末）：898.82GW
 - 陸上風力：835.62GW
 - 洋上風力：63.20GW（風力合計の約7%）、**風車の大型化（10MW超）と発電所の大規模化（1GW超）**
 - ◆ 中国 30.46GW、イギリス 13.85GW、ドイツ 8.13GW、オランダ 3.22GW、デンマーク 2.31GW、ベルギー 2.26GW
- 国別の累積導入設備容量（2022年末）
 - 中国：陸上風力 335.51GW、洋上風力 30.46GW（合計では世界の41%、洋上風力は世界の48%）
 - 日本：陸上風力 4.52GW、洋上風力 0.06GW（合計では2004年に世界8位であったが、現在は世界25位）
 - ◆ 2008年：アメリカがドイツを抜いて世界1位に、2010年：中国がアメリカを抜いて世界1位に



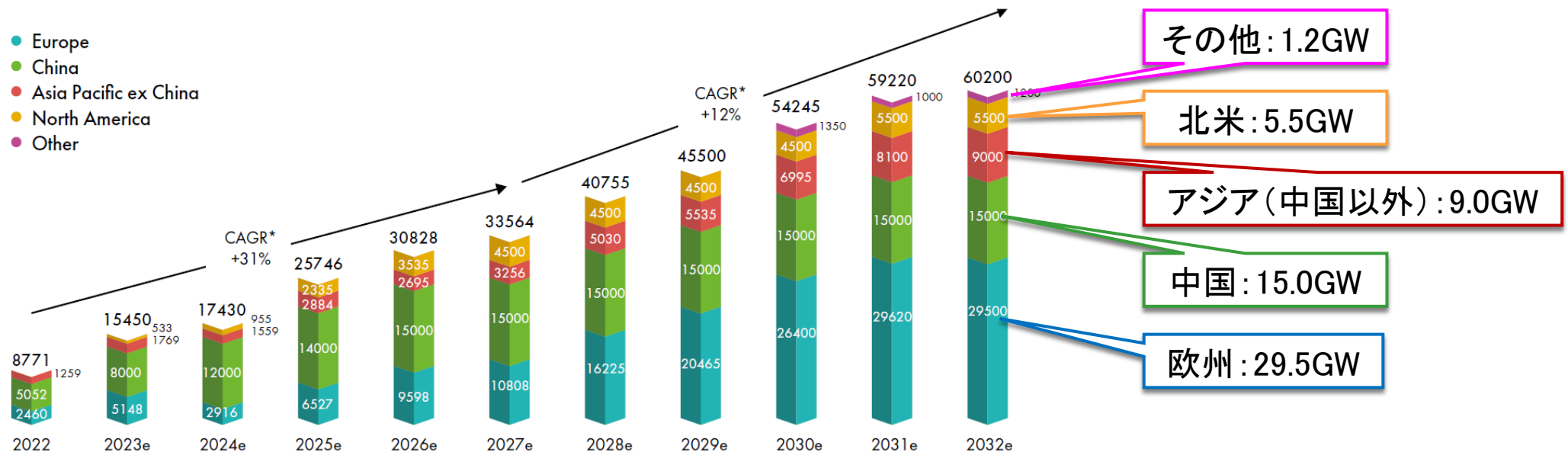
4. 世界の風力発電導入状況と今後の見通しー 2

■ 世界の洋上風力導入見通し

- 2032年まで、主に中国と欧州の海域で導入拡大が見込まれる。
- 今後は、中国以外のアジア・オセアニアや北米でも徐々に導入拡大の傾向が見られる。
 - ◆ 台湾、韓国、ベトナム、オーストラリア
- 2023年4月15日－16日に開催された「G7気候・エネルギー・環境大臣会合」コミュニケでは、2030年までに合計で150GW増加させることが明記された。
- 欧州各国は明確な目標を掲げており、2050年には、欧州で300GW以上の導入を目指している。

世界の単年導入見通し：2032年は約60GW/年

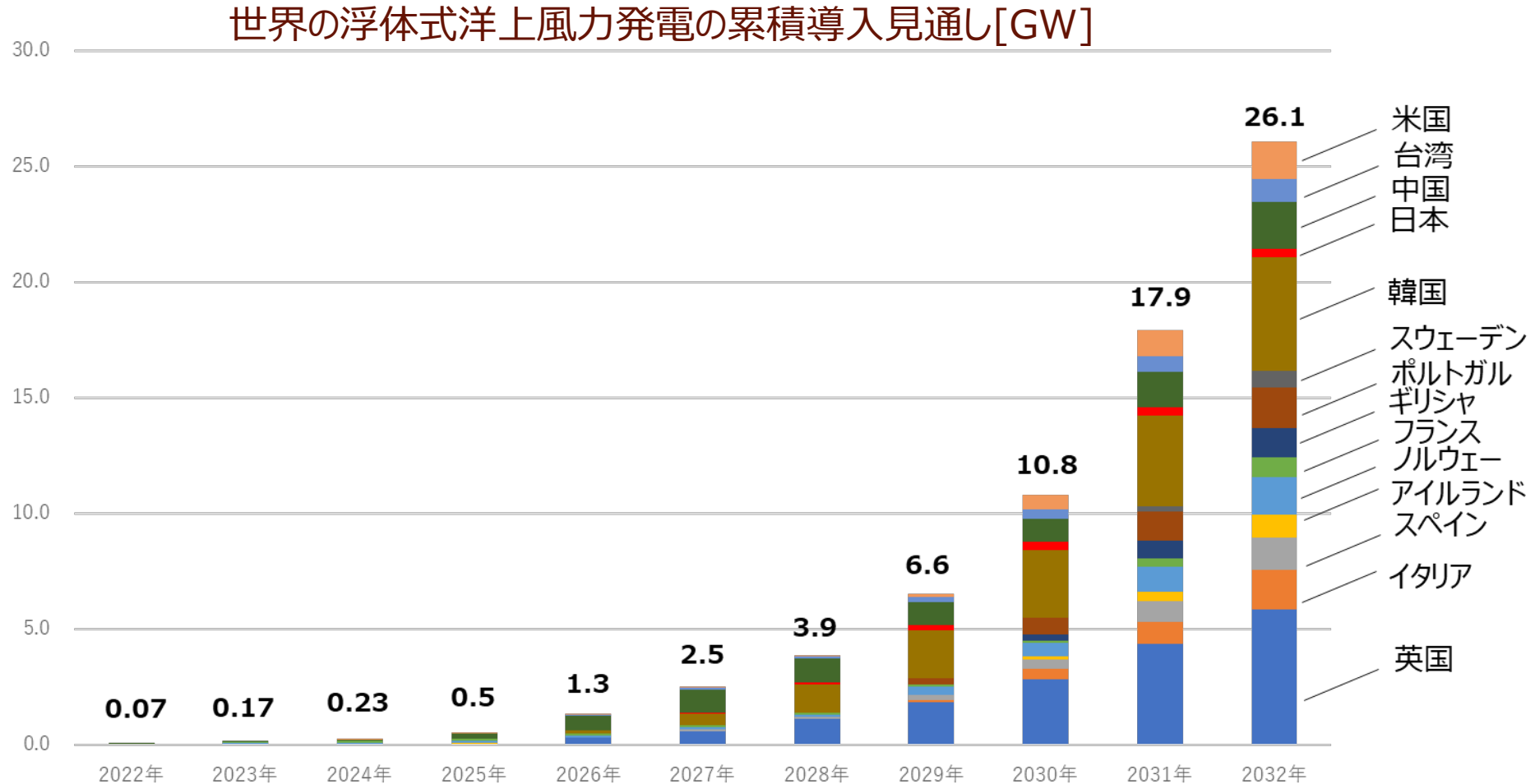
New offshore wind installations, global (MW)



4. 世界の風力発電導入状況と今後の見通しー 3

■ 世界の浮体式洋上風力発電の展望ー 1

- 単年の新規導入量は、2026年に1GWを超え、本格的な導入が始まる。
2032年の累積導入量は26GWを超える。

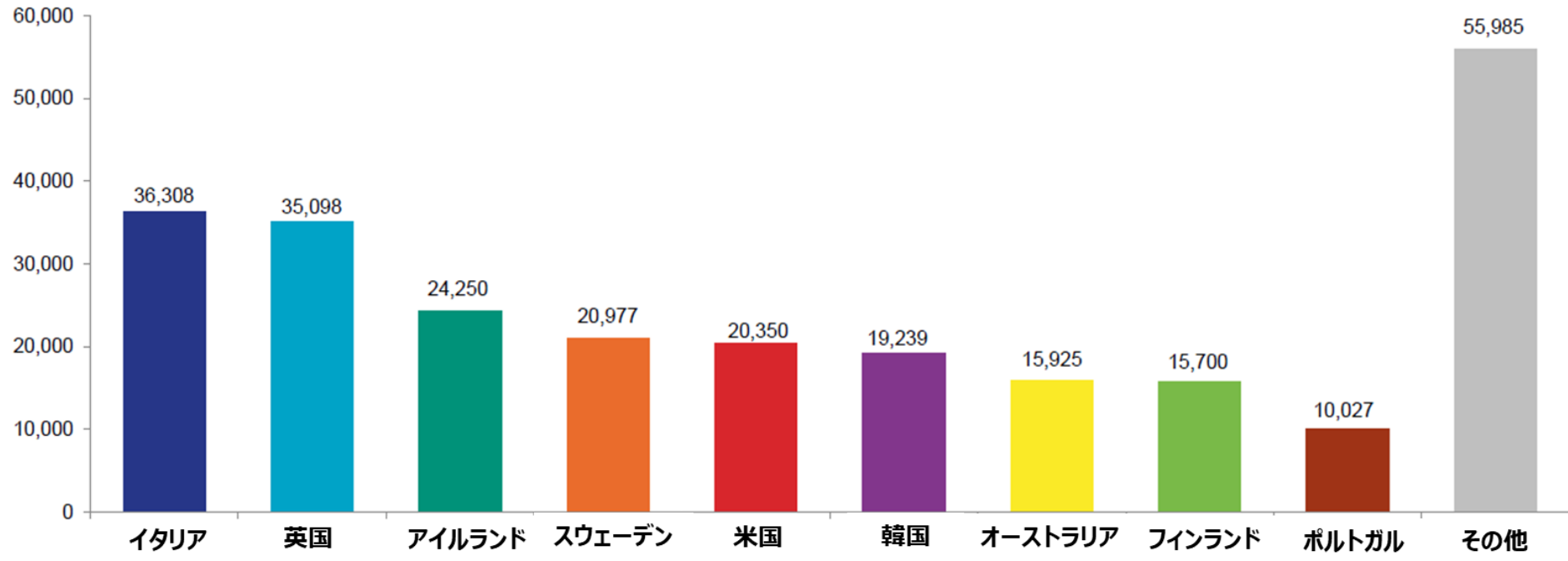


4. 世界の洋上風力発電導入状況と今後の見通しー 4

■ 世界の浮体式洋上風力発電の展望ー 2

- 2023年6月現在、世界で公表済みの稼働中・開発中の浮体式プロジェクトは254GWになる。
 - ◆ 稼働中：137MW、建設中：107MW、建設許可済みまたは建設前：519MW、立地独占または計画中：67GW、初期開発中またはリース手続中：186GW

世界で開発中の浮体式洋上風力発電プロジェクト (MW)



注) この図には、浮体式の採用が確定した案件と、水深に基づき浮体式の採用が予測される案件が含まれる。イタリアは開発海域が重複する案件が含まれている可能性があるが、公開資料で案件の正確な境界が示されていない。ポルトガルは、10GWの浮体式プロジェクトのためのリース海域の公表により、上位9位の国の中に入っている。中国は、公表された案件の数が少ないため、この図には記載がないが、2030年代に国家管理水域で複数GWの浮体式案件の建設計画がある。

出典) RenewableUK, “EnergyPulse Insights:Offshore Wind June 2023 Global Edition ” (2023年6月)

Total Global Announced Floating Portfolio – No known overlapping projects 日本語は自然エネルギー財団追加

5. 日本の風力発電導入状況と今後の見通しー 1

■ 累積導入設備容量（2022年度末）：5.34GW（10電力値、試運転中を含む）

- 陸上風力：5.15GW
- 洋上風力：0.19GW

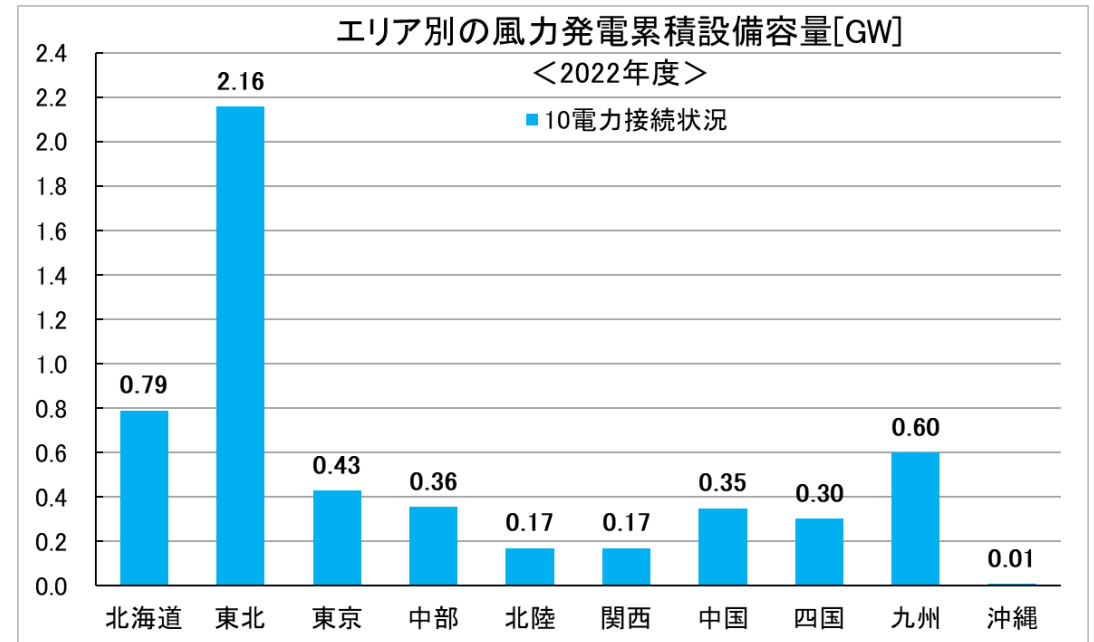
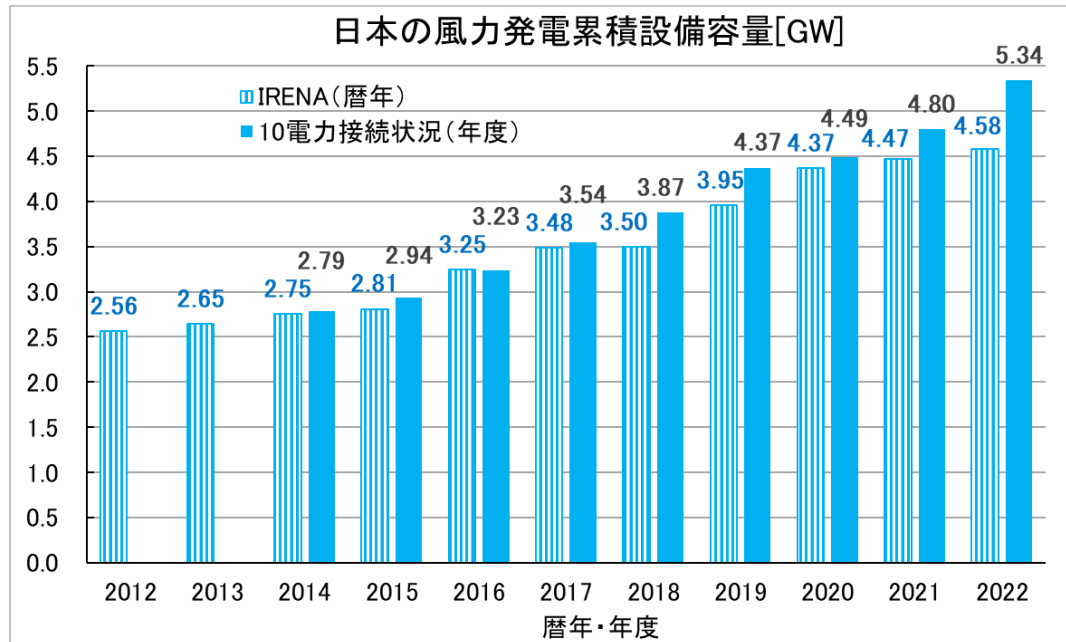
北海道1.2MW、秋田県138.6MW、山形県10.0MW、茨城県30.0MW、千葉県2.4MW、福岡県3.0MW、長崎県2.0MW

参考：洋上風力
発電所位置



■ エリア別の累積導入設備容量（2022年度末）（10電力値、試運転中を含む）

- 東北：2.16GW（40%）
- 北海道：0.79GW（15%）



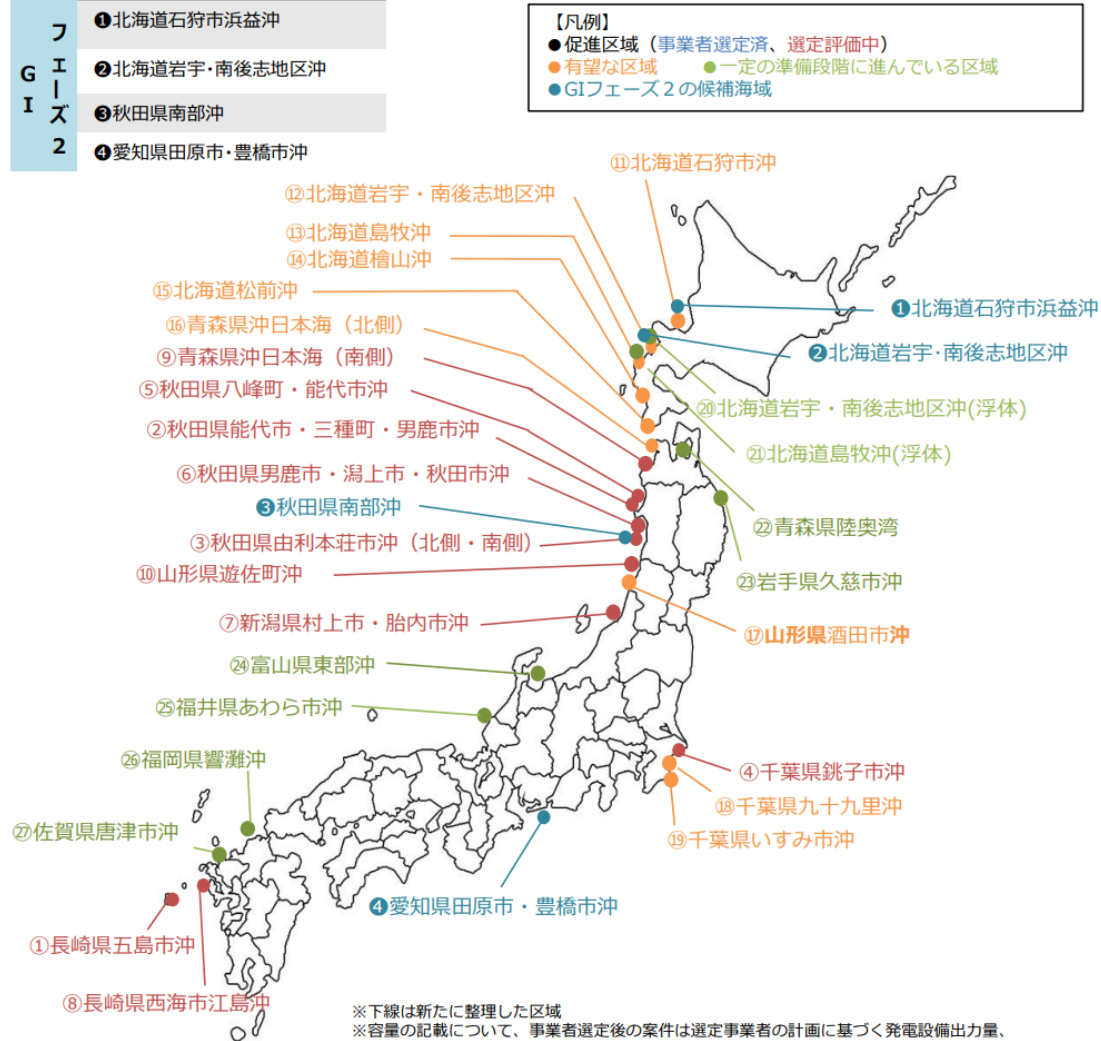
5. 日本の風力発電導入状況と今後の見通しー 2

■ 洋上風力

区域名	万kW	
事業者選定済	①長崎県五島市沖 (浮体)	1.7
	②秋田県能代市・三種町・男鹿市沖	49.4
	③秋田県由利本荘市沖	84.5
	④千葉県銚子市沖	40.3
促進区域 選定評価中	⑤秋田県八峰町能代市沖	36
	⑥秋田県男鹿市・潟上市・秋田市沖	34
	⑦新潟県村上市・胎内市沖	35,70
	⑧長崎県西海市江島沖	42
公募中	⑨青森県沖日本海(南側)	60
	⑩山形県遊佐町沖	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	56~71
	⑬北海道島牧沖	44~56
	⑭北海道檜山沖	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	40
	⑲千葉県いすみ市沖	41
準備区域	⑳北海道岩宇・南後志地区沖(浮体)	㉔富山県東部沖(着床・浮体)
	㉑北海道島牧沖(浮体)	㉕福井県あわら沖
	㉒青森県陸奥湾	㉖福岡県響灘沖
	㉓岩手県久慈市沖(浮体)	㉗佐賀県唐津市沖
		㉘佐賀県唐津市沖

浮体実証を行う候補海域	
G I Z 2	①北海道石狩市浜益沖
	②北海道岩宇・南後志地区沖
	③秋田県南部沖
	④愛知県田原市・豊橋市沖

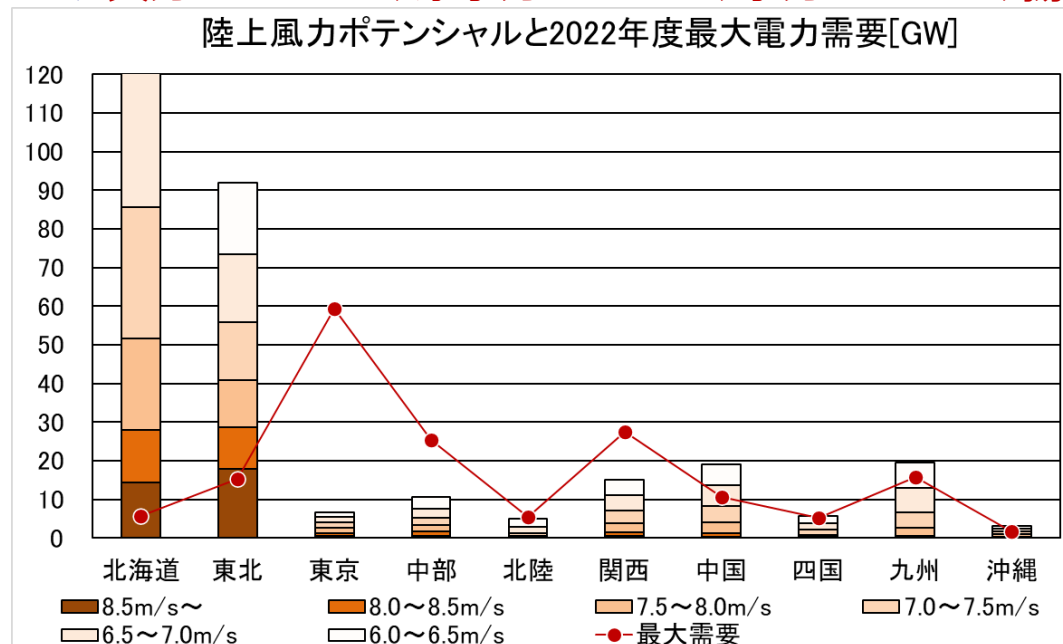
2030~40年導入目標:30~45GW



図の出典:資源エネルギー庁「洋上風力発電に関する国内外の動向等について」経済産業省 産業構造審議会 グリーンイノベーションプロジェクト部会
 グリーン電力の普及促進等分野ワーキンググループ(第8回)(2023年11月29日)資料4 に加筆

6. 陸上風力発電のポテンシャル

- 陸上風力：ハブ高さ90m、受風面積2.5m²/kWの風車を適用、10MW/km²で算出
 - 年平均風速6.0m/s以上のポテンシャル：359.5GW（理論設備利用率24.7%以上）
 - 年平均風速6.5m/s以上のポテンシャル：263.9GW（理論設備利用率29.2%以上）
 - ◆ 北海道と東北で全国の77%、東京は全国の2%
 - ◆ 実質設備利用率は、定期点検などによる停止や風速出現頻度の違いにより、理論設備利用率の約90%と推定される
 - 年平均風速7.0m/s以上のポテンシャル：178.1GW（理論設備利用率33.7%以上）
 - ◆ 北海道と東北で全国の79%、東京は全国の2%
- <参考> 日本における電気事業者の全発電設備容量（2023年9月時点）*
 - ◆ 火力161.1GW、原子力33.1GW、水力22.2GW、揚水27.4GW、太陽光・風力・地熱など新エネ22.3GW（合計266.1GW）



区分	項目	R3年度推計除外条件
自然条件	風速区分	5.5m/s未満
	標高	1,200m以上
	最大傾斜角	20度以上
	地上開度	75°未満
社会条件: 法制度等	法規制区分 (自然的条件)	1)国立・国定公園（特別保護地区、第1種特別地域） 2)都道府県立自然公園（第1種特別地域） 3)原生自然環境保全地域 4)自然環境保全地域 5)鳥獣保護区のうち特別保護地区（国指定、都道府県指定） 6)世界自然遺産地域
	法規制区分 (社会的条件)	1)航空法による制限（制限表面）
社会条件: 土地利用等	都市計画区分	「準工業地域」、「工業地域」、「工業専用地域」を除く市街化区域
	土地利用区分	田、建物用地、道路、鉄道、河川地及び湖沼、海水域、ゴルフ場
	居住地からの距離	500m未満

7. 洋上風力発電のポテンシャルと留意事項

■ ポテンシャル

- 本ポテンシャルは、風況と水深の両データが揃っている海域に限って風速と水深条件のみから算出したものである。
 - ◆ 排他的経済水域（EEZ）全海域のポテンシャルではない
 - ◆ 海底ケーブル敷設ルート上に水深1,000m超の海域があるなど、実現性が困難と想定されるエリアを除いている

■ 留意事項

- 実際の計画・検討に際しては、漁業関係者をはじめとした地域の合意取得に向けて、自然環境や社会環境を十分に考慮しなくてはならない。主な参照文献を以下に示す。
 - ◆ NEDO 洋上風況マップ（NeoWins）*1
の自然環境情報・社会環境情報など
 - ◆ 環境省 環境アセスメントデータベース（EADAS）*2
の自然的状況・社会的状況など
 - ◆ 海上保安庁 海洋情報システム（海しる）*3
の海象・気象・安全・海事・防災・海洋生物・生態系・海域利用など
- 実際の計画・検討に際しては、対象海域の気象・海象・海底地質などの詳細調査を行う必要がある。
 - ◆ 実際の年平均風速は、ポテンシャル算出に適用したデータと若干異なる場合がある

*1 https://appwdc1.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/index.html*2 <https://www2.env.go.jp/eiadb/ebidbs/>*3 <https://www.msil.go.jp/msil/hm/topwindow.html>

図の出典：NEDO NeoWins（チェック部のみを表示した例）

8. 洋上風力発電 日本のポテンシャルー 1

■ 年平均風速と水深および海面領域

● 年平均風速

- ◆ 風速を8.0m/s以上から7.5m/s以上とすると、設備利用率は低下するがポテンシャルは2.0倍程度に増加し適地エリア数も増加する

● 水深

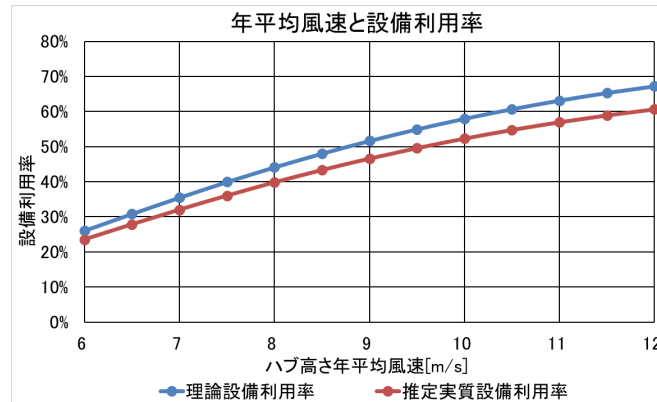
- ◆ 水深を200m未満から300m未満とすると、ポテンシャルは1.3倍程度に増加するが係留索が長くなることなどに伴い、建設費や工事費が増加する

● 海面領域

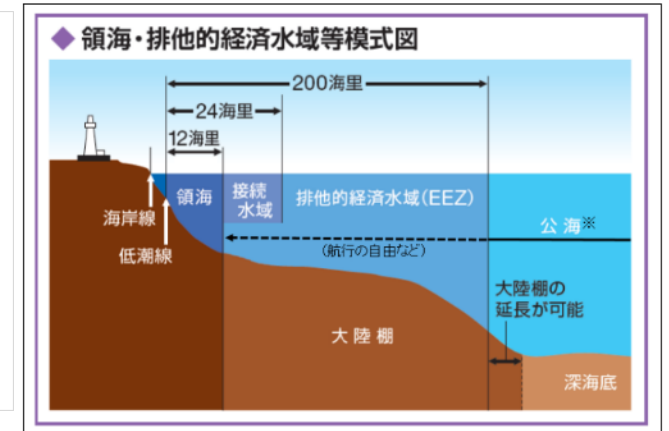
- ◆ 領海 + EEZの接続水域からEEZ全体とすると、水深が深い領域のポテンシャルは1.3倍程度に増加するが離岸距離の増加などに伴い、建設費や工事費が増加する

● まとめ

- ◆ 事業性などを考慮し着床式は7.5m/s以上・領海のみ、浮体式は8.0m/s以上・領海 + EEZの接続水域・水深50m以上200m未満を基本として、次頁以降に詳細を示す



図の出典: 自然エネルギー財団作成
(単位受風面積3.0m²/kW 風車の例*1)



* 国連海洋法条約第7部(公海)の規定はすべて、実線部分に適用される。また、航行の自由をはじめとする一定の事項については、点線部分にも適用される。

単位: GW	着床 水深: 50m未満			浮体-1 水深: 50m以上100m未満			浮体-2 水深: 50以上200m未満			浮体-3 水深: 50m以上300m未満		
	領海	領海 + EEZの接続水域	領海 + EEZ全体	領海	領海 + EEZの接続水域	領海 + EEZ全体	領海	領海 + EEZの接続水域	領海 + EEZ全体	領海	領海 + EEZの接続水域	領海 + EEZ全体
年平均風速 7.5m/s以上	176	180	180	351	377	381	747	1,066	1,281	897	1,321	1,621
年平均風速 8.0m/s以上	81	85	85	165	180	184	381	542	733	470	690	952
年平均風速 8.5m/s以上	24	26	26	50	58	61	127	178	229	160	236	300

*1 理論設備利用率: 風車のパワーカーブと風速の出現分布をレーレ分布とした場合の設備利用率
 推定実質設備利用率: 風車の定期点検などによる停止や風速の出現分布が異なることを想定した設備利用率で理論設備利用率の90%程度



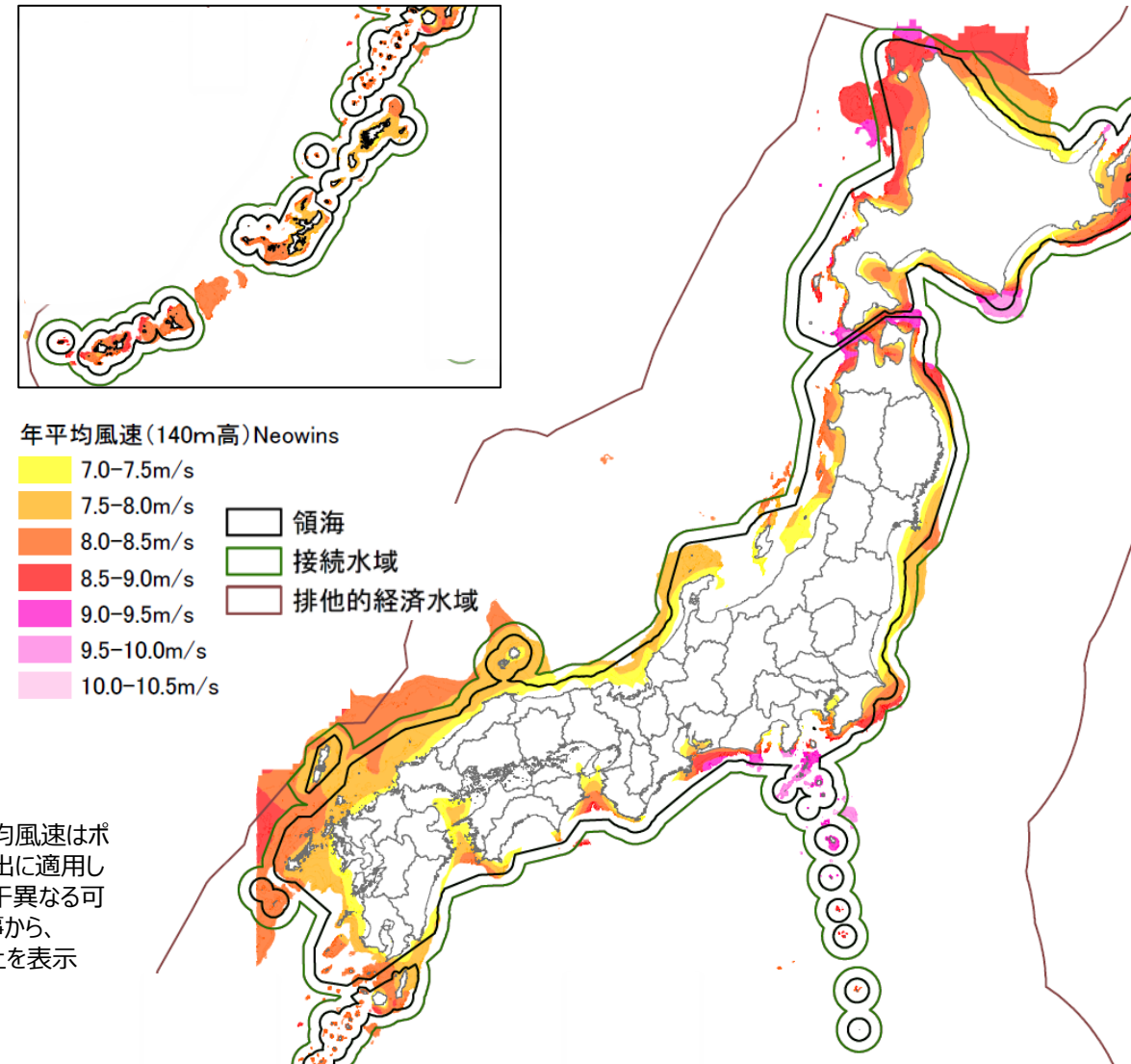
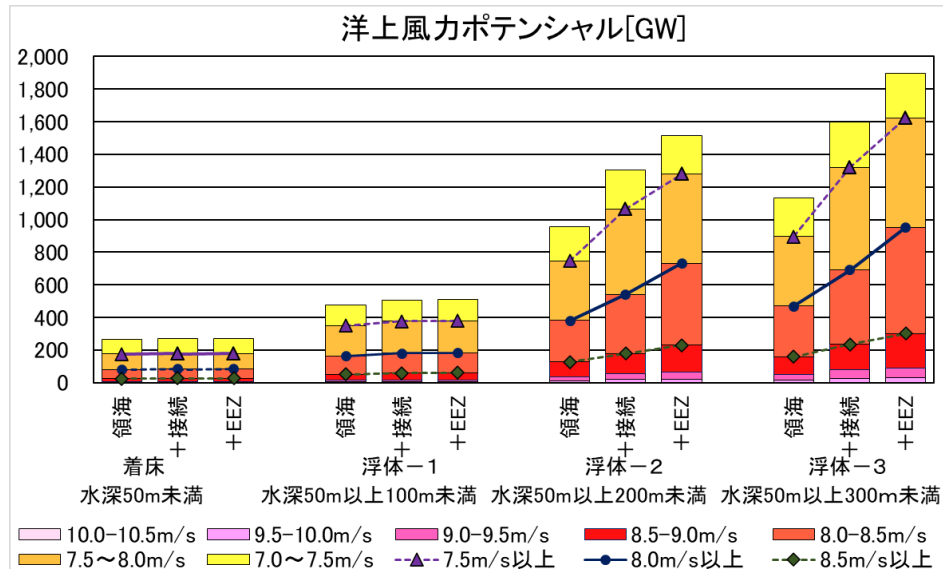
なお、本概念図は、外国との境界が未確定の海域における地理的中間線を含め便宜上図示したものです。

図の出典: 海上保安庁 管轄海域情報

8. 洋上風力発電 日本のポテンシャルー 2

■ 着床式洋上風力と浮体式洋上風力

- 着床式 : 水深50m未満
 - ◆ 風速7.5m/s以上、領海のみ : 176GW (100%)
 - ◆ 風速7.5m/s以上、領海+EEZの接続水域のみ : 180GW (104%)
 - ◆ 風速7.5m/s以上、領海+EEZ全体 : 180GW (104%)
- 浮体式-1 : 水深50m以上100m未満
 - ◆ 風速8.0m/s以上、領海のみ : 165GW (92%)
 - ◆ 風速8.0m/s以上、領海+EEZの接続水域のみ : 180GW (100%)
 - ◆ 風速8.0m/s以上、領海+EEZ全体 : 184GW (102%)
- 浮体式-2 : 水深50m以上200m未満
 - ◆ 風速8.0m/s以上、領海のみ : 381GW (70%)
 - ◆ 風速8.0m/s以上、領海+EEZの接続水域のみ : 542GW (100%)
 - ◆ 風速8.0m/s以上、領海+EEZ全体 : 733GW (135%)
- 浮体式-3 : 水深50m以上300m未満
 - ◆ 風速8.0m/s以上、領海のみ : 470GW (68%)
 - ◆ 風速8.0m/s以上、領海+EEZの接続水域のみ : 690GW (100%)
 - ◆ 風速8.0m/s以上、領海+EEZ全体 : 952GW (138%)

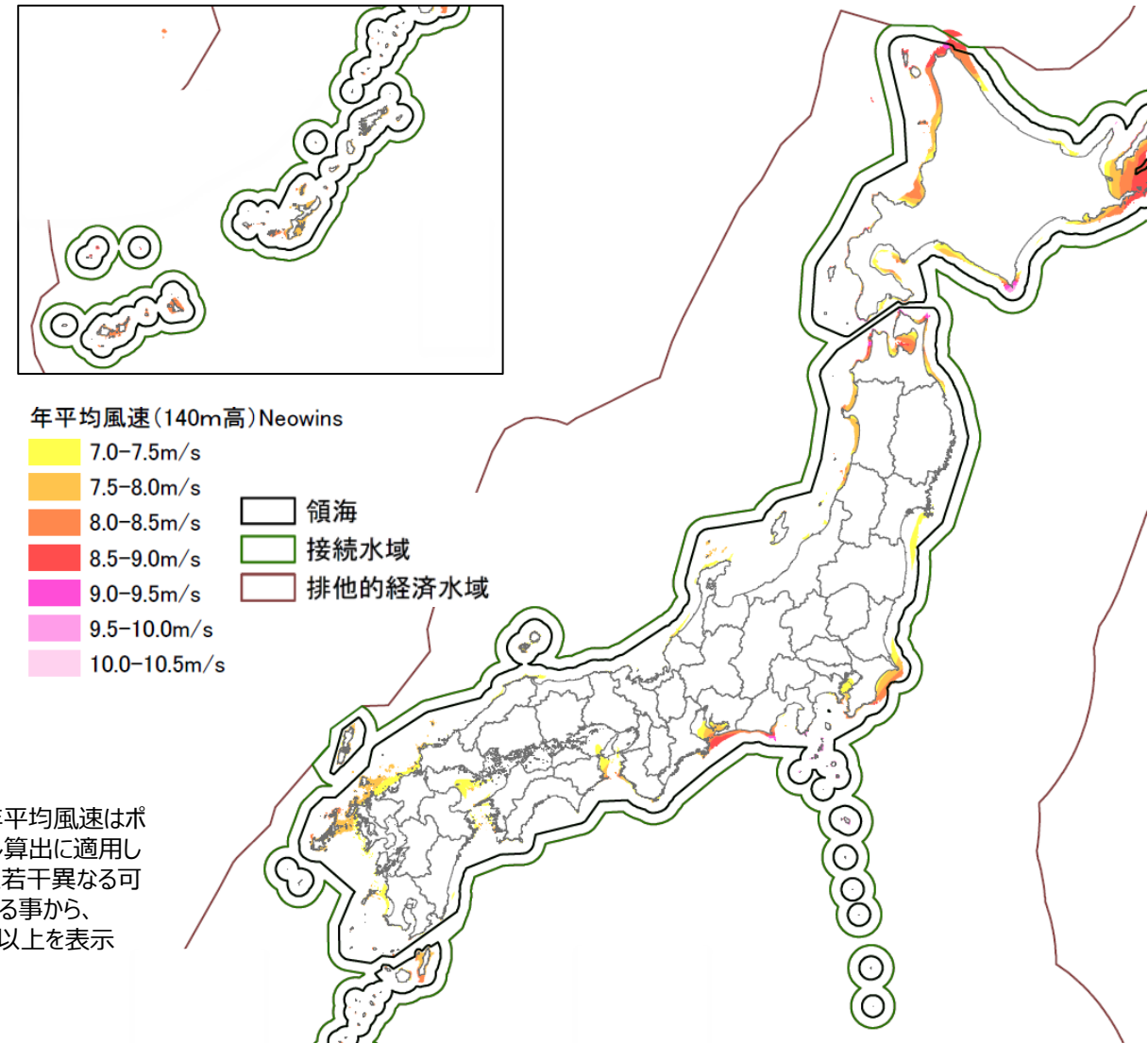
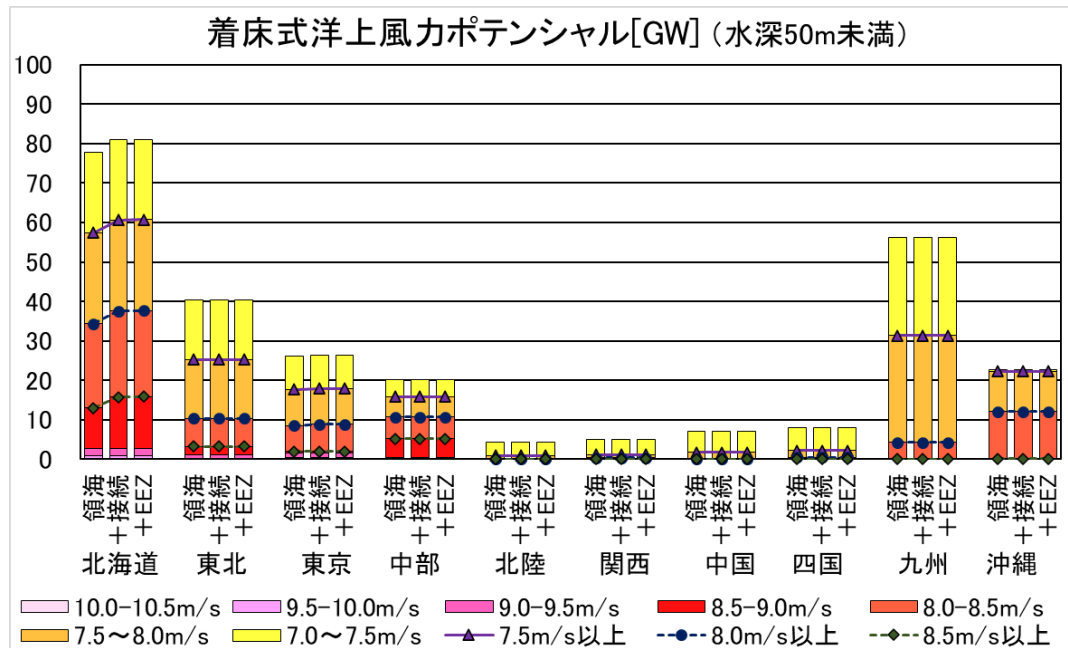


実際の年平均風速はポテンシャル算出に適用したデータと若干異なる可能性がある事から、7.0m/s以上を表示

9. 洋上風力発電 10電力エリア別のポテンシャルー 1

■ 着床式洋上風力

- 水深50m未満、風速7.5m/s以上、
領海のみ：176GW (8.0m/s以上 81GW)
 - ◆ 北海道：57.5GW (8.0m/s以上 34.4GW)
 - ◆ 東北：25.3GW (8.0m/s以上 10.4GW)
 - ◆ 東京：17.7GW (8.0m/s以上 8.6GW)
 - ◆ 中部：15.8GW (8.0m/s以上 10.7GW)
 - ◆ 北陸：1.0GW (8.0m/s以上 0.0GW)
 - ◆ 関西：1.2GW (8.0m/s以上 0.3GW)
 - ◆ 中国：1.7GW (8.0m/s以上 0.0GW)
 - ◆ 四国：2.2GW (8.0m/s以上 0.5GW)
 - ◆ 九州：31.2GW (8.0m/s以上 4.3GW)
 - ◆ 沖縄：22.3GW (8.0m/s以上 12.1GW)



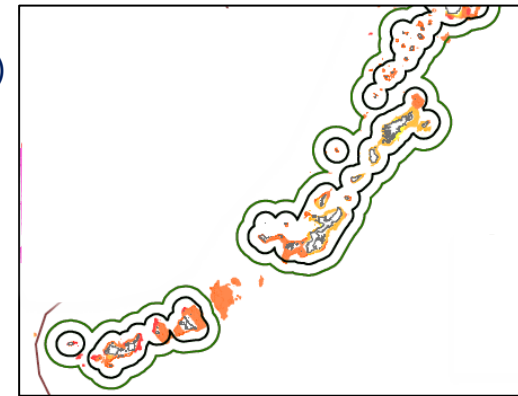
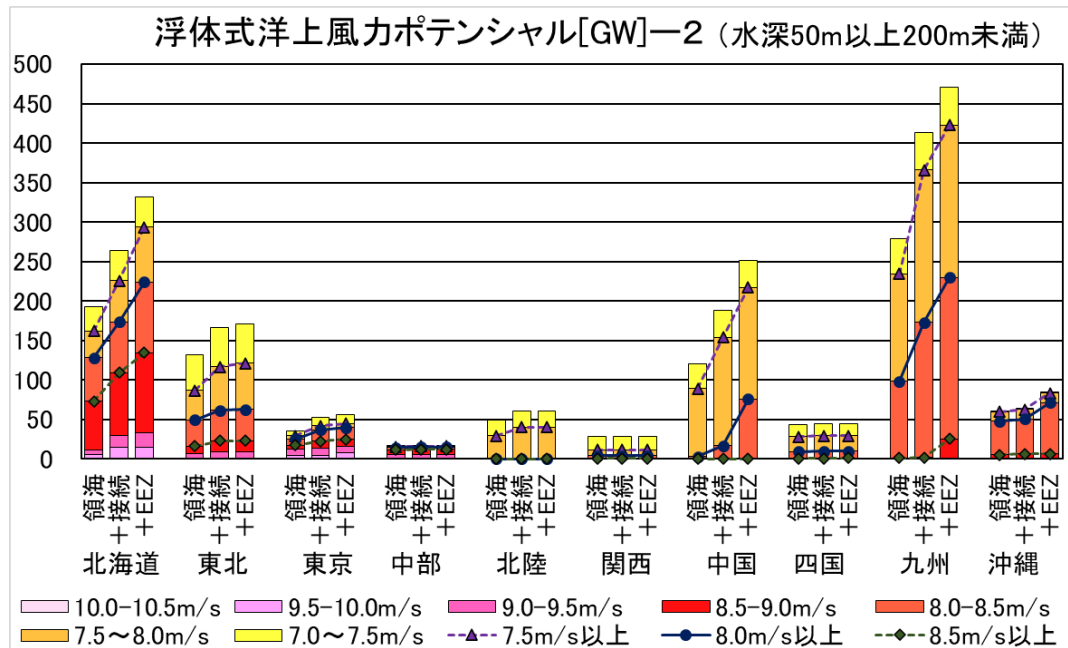
図の出典：自然エネルギー財団作成(水深50m未満)

9. 洋上風力発電 10電力エリア別のポテンシャルー 2

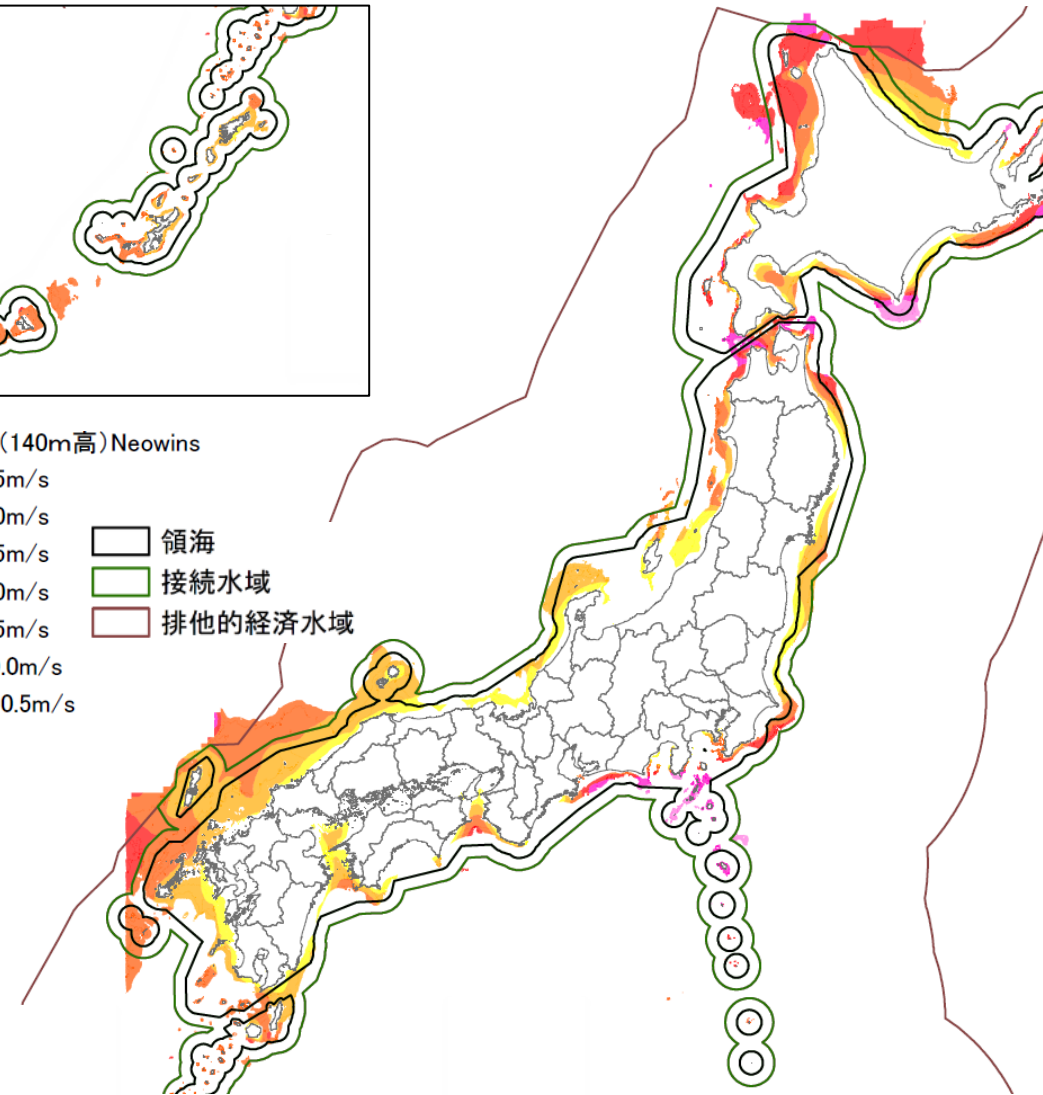
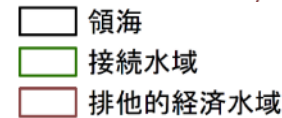
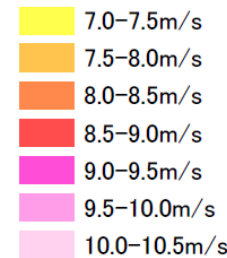
■ 浮体式洋上風力

- 水深50m以上200m未満、風速8.0m/s以上、
領海+EEZの接続水域のみ：542GW（7.5m/s以上 1,066GW）

- ◆ 北海道：173.5GW（7.5m/s以上 225.9GW）
- ◆ 東北：61.4GW（7.5m/s以上 117.1GW）
- ◆ 東京：37.2GW（7.5m/s以上 42.2GW）
- ◆ 中部：15.2GW（7.5m/s以上 16.2GW）
- ◆ 北陸：0.0GW（7.5m/s以上 40.2GW）
- ◆ 関西：4.2GW（7.5m/s以上 11.7GW）
- ◆ 中国：17.1GW（7.5m/s以上 153.9GW）
- ◆ 四国：9.8GW（7.5m/s以上 29.3GW）
- ◆ 九州：173.0GW（7.5m/s以上 366.0GW）
- ◆ 沖縄：50.9GW（7.5m/s以上 62.9GW）



年平均風速(140m高) Neowins



実際の年平均風速はポテンシャル算出に適用したデータと若干異なる可能性がある事から、7.0m/s以上を表示

10. 洋上風力発電 都道府県別のポテンシャルー 1

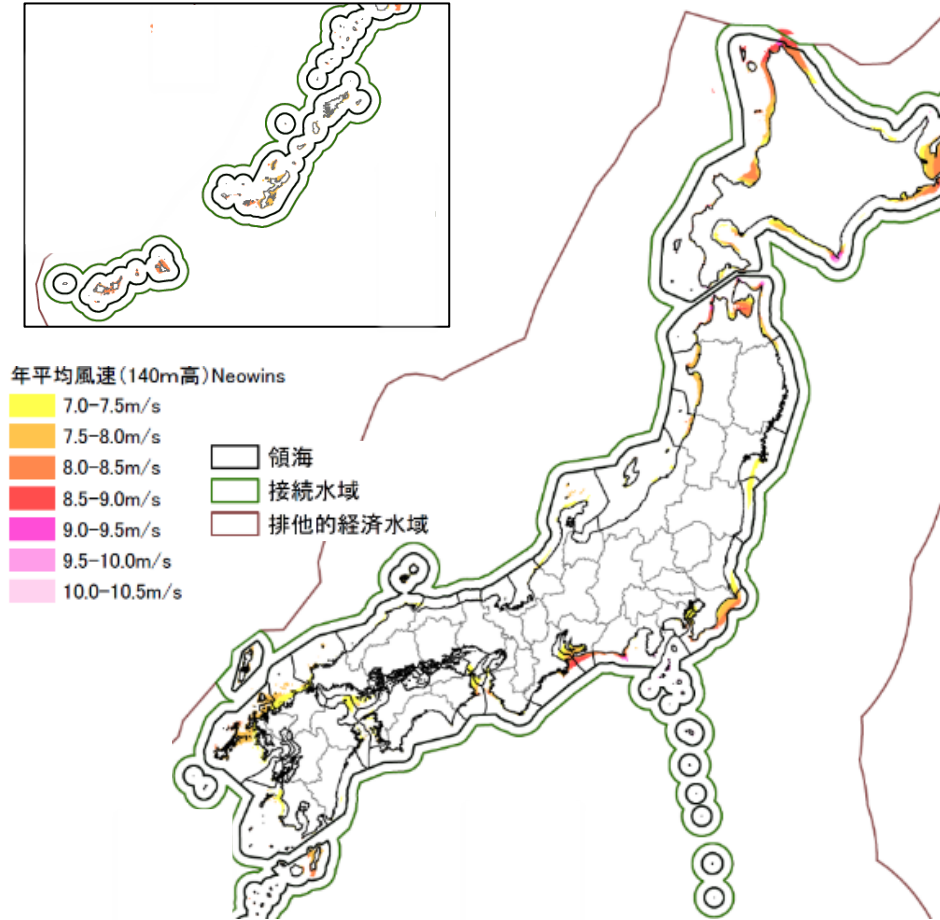
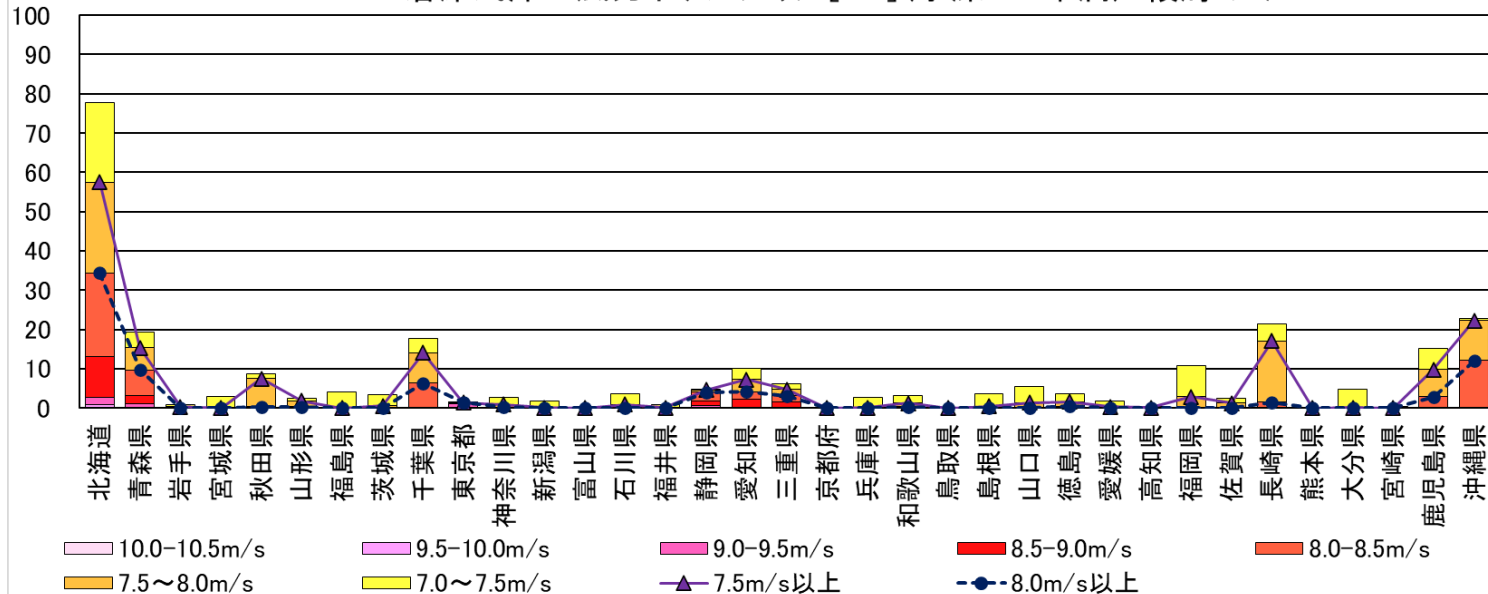
■ 着床式洋上風力

- 水深50m未満、風速7.5m/s以上、
領海のみ：176GW (8.0m/s以上 81GW)

◆ 北海道	: 57.5GW (8.0m/s以上 34.4GW)
◆ 沖縄県	: 22.3GW (8.0m/s以上 12.1GW)
◆ 長崎県	: 17.1GW (8.0m/s以上 1.5GW)
◆ 青森県	: 15.4GW (8.0m/s以上 9.6GW)
◆ 千葉県	: 14.1GW (8.0m/s以上 6.3GW)
◆ 鹿児島県	: 9.8GW (8.0m/s以上 2.9GW)
◆ 秋田県	: 7.5GW (8.0m/s以上 0.4GW)
◆ 愛知県	: 7.2GW (8.0m/s以上 4.2GW)
◆ 三重県	: 4.7GW (8.0m/s以上 3.1GW)
◆ 静岡県	: 4.6GW (8.0m/s以上 4.0GW)

実際の年平均風速はポテンシャル算出に適用したデータと若干異なる可能性がある事から、7.0m/s以上を表示

着床式洋上風力ポテンシャル[GW](水深50m未満):領海のみ



海岸がある39都道府県のうち7.0m/s以上のポテンシャルがゼロであった4府県をのぞく35都道府県

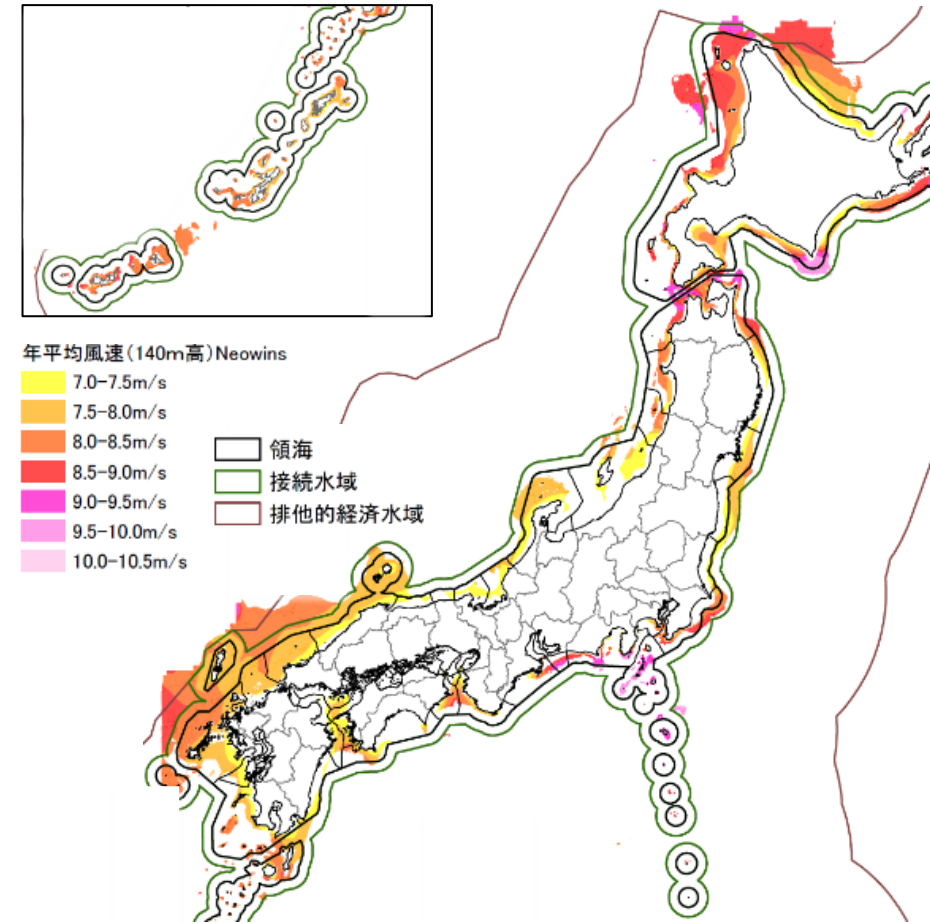
10. 洋上風力発電 都道府県別のポテンシャルー 2

■ 浮体式洋上風力ー 2

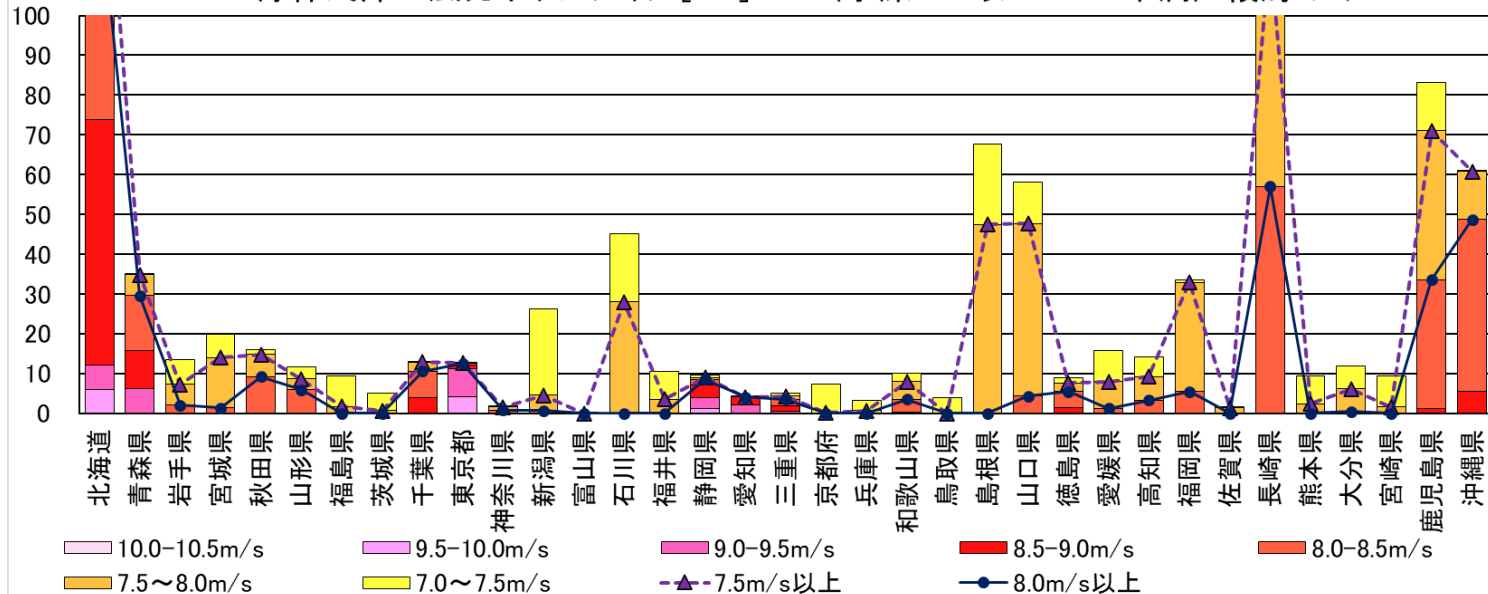
● 水深50m以上200m未満、風速8.0m/s以上、
領海のみ：381GW (7.5m/s以上 747GW)

- ◆ 北海道 : 128.9GW (7.5m/s以上 162.9GW)
- ◆ 長崎県 : 57.0GW (7.5m/s以上 116.1GW)
- ◆ 沖縄県 : 48.7GW (7.5m/s以上 60.7GW)
- ◆ 鹿児島県 : 33.6GW (7.5m/s以上 71.0GW)
- ◆ 青森県 : 29.6GW (7.5m/s以上 6.3GW)
- ◆ 東京都 : 12.6GW (7.5m/s以上 34.9GW)
- ◆ 千葉県 : 10.6GW (7.5m/s以上 12.8GW)
- ◆ 秋田県 : 9.3GW (7.5m/s以上 14.8GW)
- ◆ 静岡県 : 8.5GW (7.5m/s以上 9.0GW)
- ◆ 山形県 : 5.9GW (7.5m/s以上 8.6GW)

実際の年平均風速はポテンシャル算出に適用したデータと若干異なる可能性がある事から、7.0m/s以上を表示



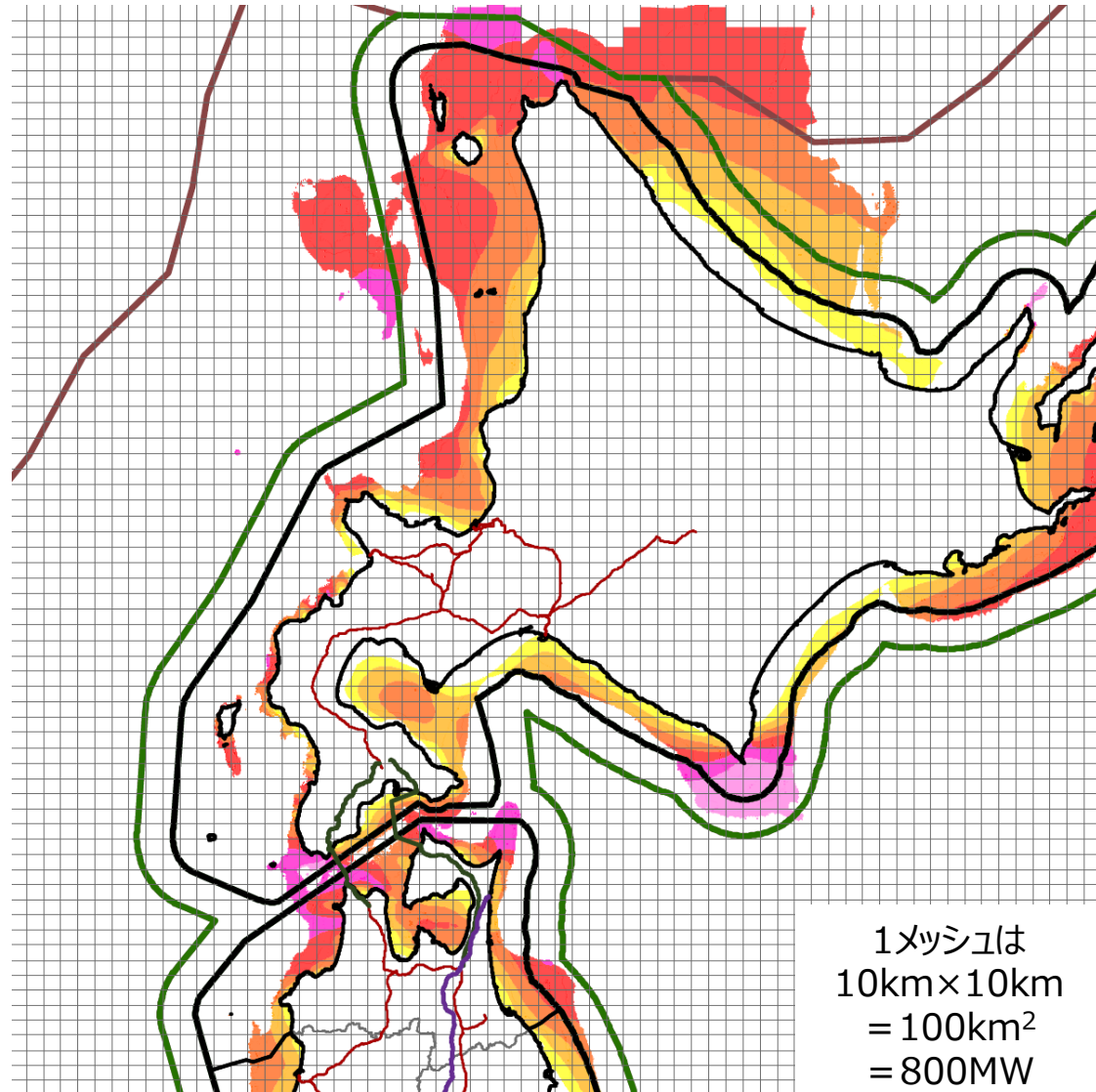
浮体式洋上風力ポテンシャル[GW]ー2 (水深50m以上200m未満): 領海のみ



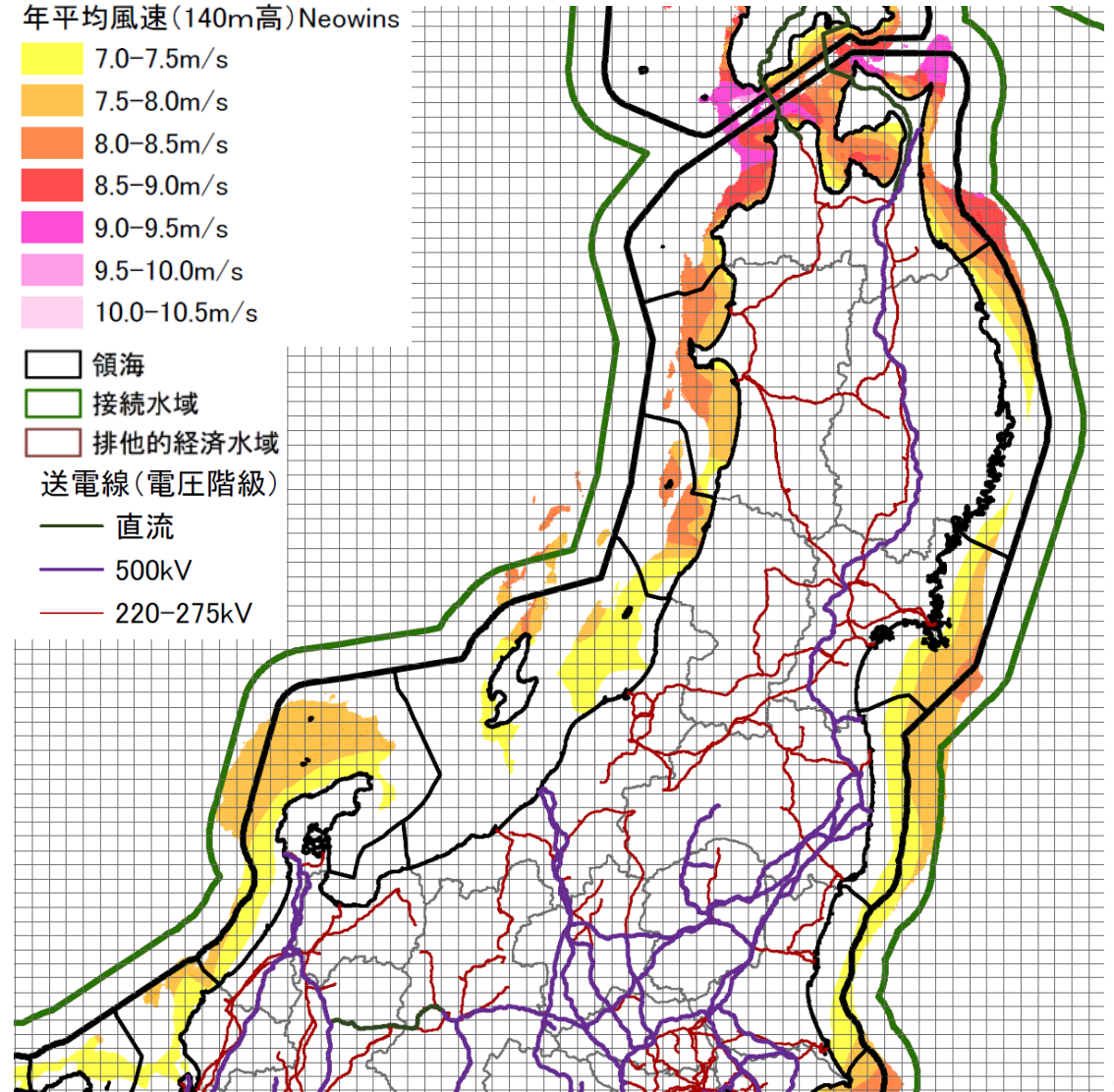
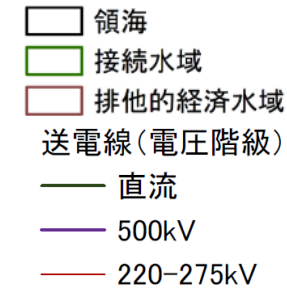
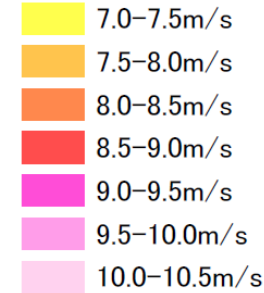
海岸がある39都道府県のうち7.0m/s以上のポテンシャルがゼロであった4府県をのぞく35都道府県

11. 風況マップ (水深200m未満) と送電線- 1

- GWクラスの洋上風力建設適地に対応した**地域内送電線**の新增設が必要
- 安定した電力供給を行うためには、**地域間連系線**の新增設が必要 (平滑化効果の活用)



年平均風速 (140m高) Neowins

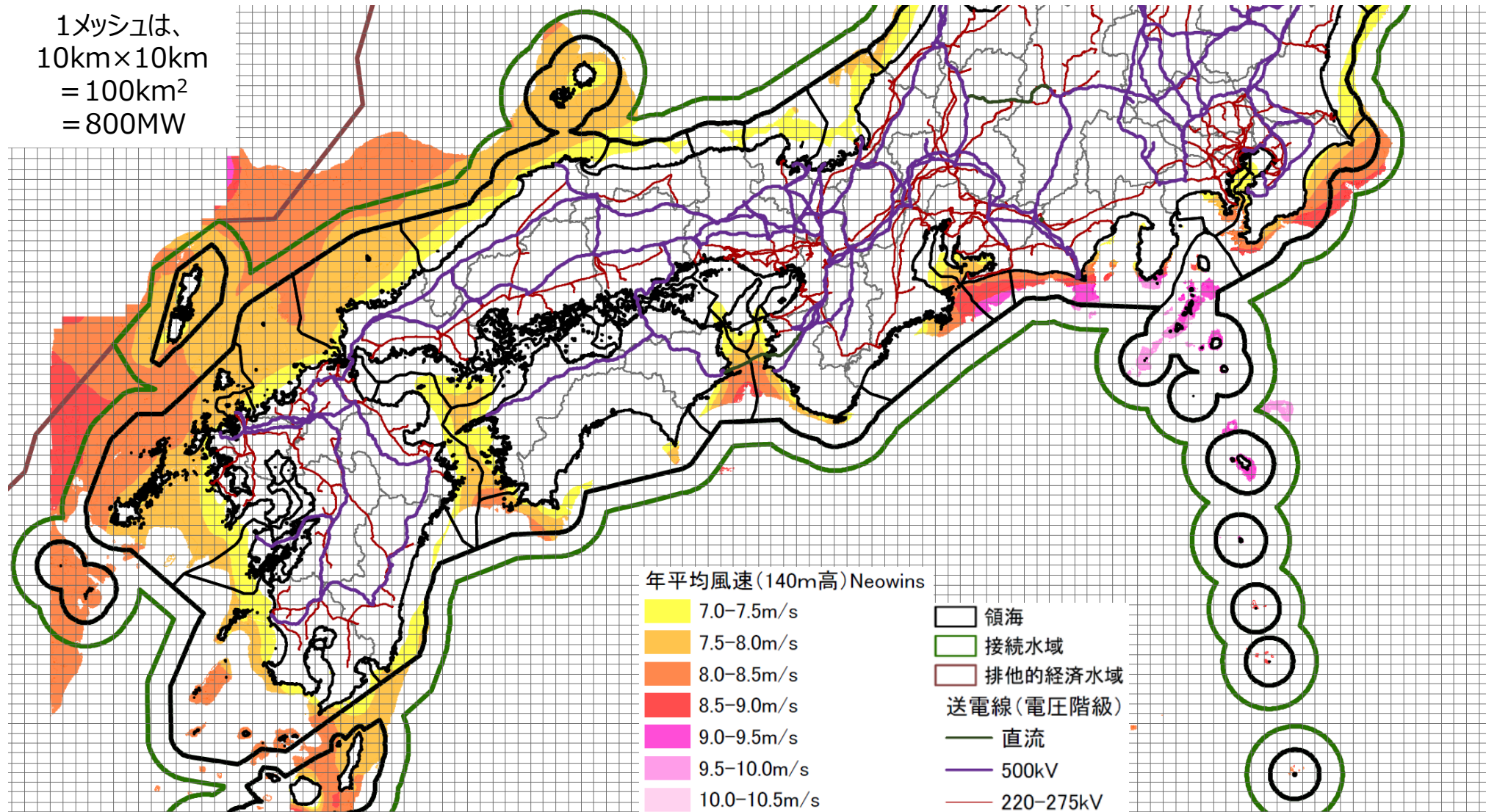


図の出典: 自然エネルギー財団作成 (水深200m未満)

11. 風況マップ (水深200m未満) と送電線- 2

- GWクラスの洋上風力建設適地に対応した**地域内送電線**の新增設が必要
- 安定した電力供給を行うためには、**地域間連系線**の新增設が必要 (平滑化効果の活用)

1メッシュは、
10km×10km
= 100km²
= 800MW



図の出典: 自然エネルギー財団作成 (水深200m未満)

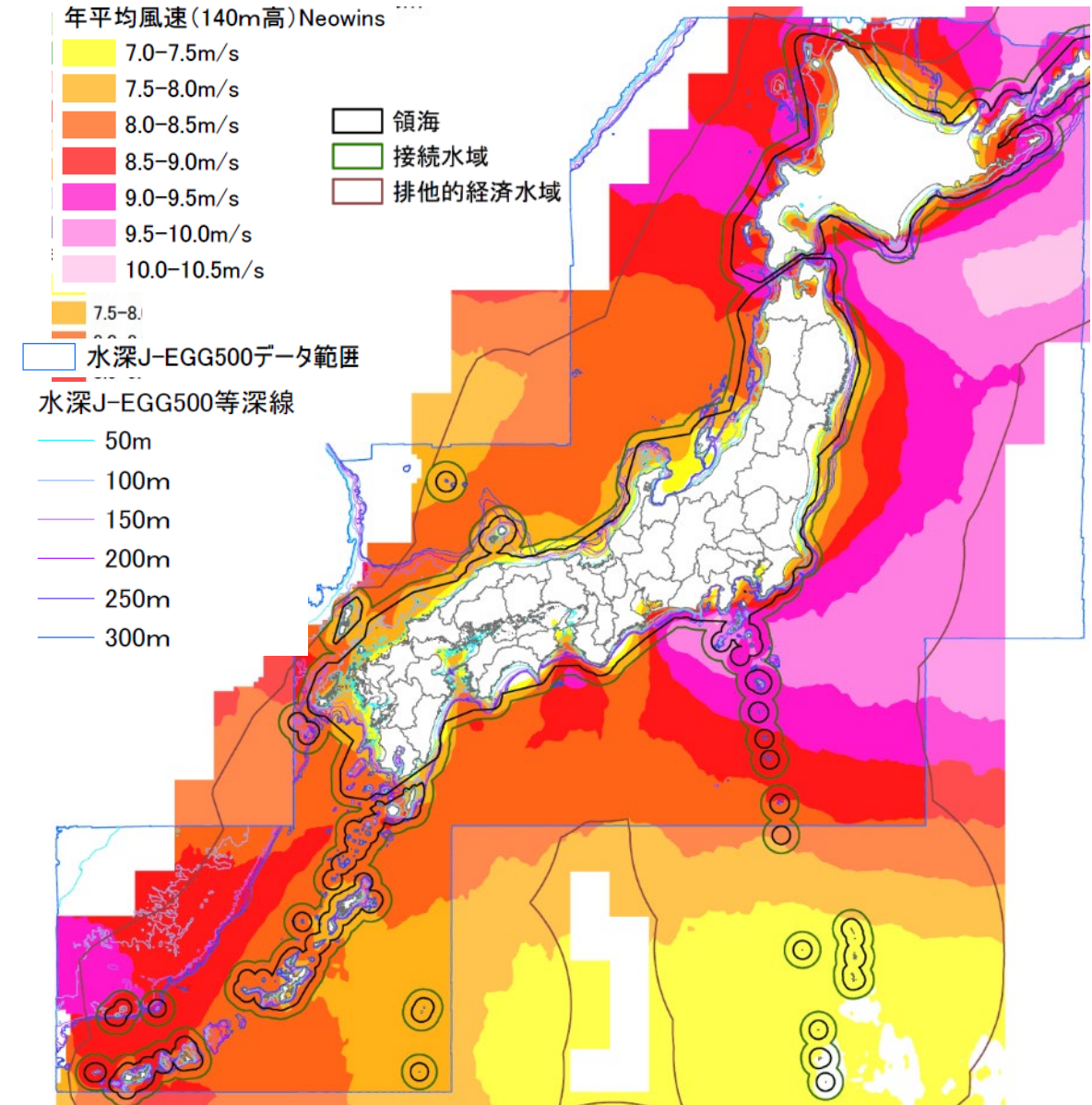
<参考> 洋上風力ポテンシャル算出の前提条件－1

■ ポテンシャル算出範囲

- 風況と水深の両方のデータが公開されている海域のみ
 - ◆ 風況データと水深データが公開されている範囲が異なる
- 水深は50mピッチで300m未満までの範囲
 - ◆ 水深が深くなると建設コストなどが増加する
- 実現性があると想定される領域のみ
 - ◆ 洋上風力建設地から陸地への送電ルート上に水深1,000m以上の海域があるなど実現性が困難と想定されるエリアを除いている
 - ◆ 海底送電線敷設が困難または建設コストが増加する
- 排他的経済水域（EEZ）の範囲に限定
 - ◆ 外国との境界が未画定の海域を除いている

■ エリアの区分

- 一般送配電事業者区分（10）
 - ◆ 陸上および離島への電力供給状況をもとにGISデータを独自作成しこれを適用
- 都道府県区分（海岸がある39）
 - ◆ オープンストリートマップ*をもとにGISデータを独自作成しこれを適用



* <https://www.openstreetmap.org/#map=6/34.815/135.045>

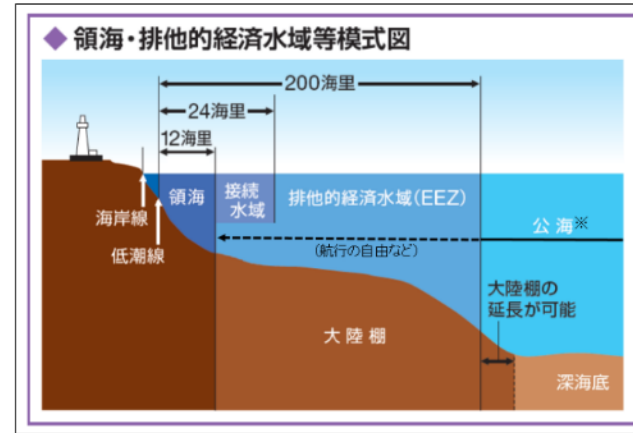
<参考> 洋上風力ポテンシャル算出の前提条件-2

■ 風況と水深

- 風況：新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が公開している NeoWinds*¹の海面高140mを適用
- 水深：日本海洋データセンター（JODC）が公開している J-EGG500*²の500mメッシュ水深データを適用

■ 領海と排他的経済水域（EEZ）

- 海上保安庁が公開している管轄海域情報*³をもとに領海とEEZ（接続水域を含む）のGISデータを独自作成しこれを適用



※ 国連海洋法条約第7部（公海）の規定はすべて、実線部分に適用される。
また、航行の自由をはじめとする一定の事項については、点線部分にも適用される。

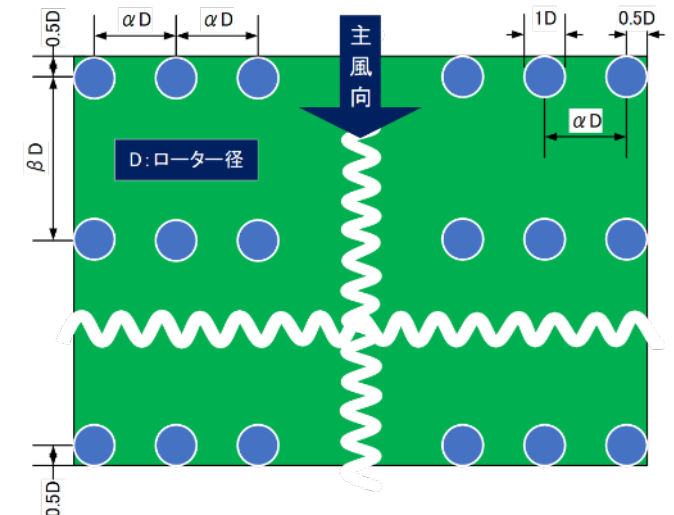
なお、本概念図は、外国との境界が未確定の海域における地理的中間線を含め便宜上表示したものです。

■ 適用風車

- 単位受風面積3.0m²/kWの風車を適用
 - ◆ 10MW機：ローター径（D）196m
 - ◆ 15MW機：ローター径（D）240m
 - ◆ 20MW機：ローター径（D）277m

■ 100km²に建設可能な設備容量

- 卓越風向がある場合に適用する一般的な風車配置である、主風向に直交方向3D、主風向に10Dから、航路確保などのマージンを見て主風向に直交方向4D、主風向に10Dとし、さらに1GWのウィンドファームを念頭に、主風向に10列配置も考慮して800MW/100km²を適用



図の出典

上部：海上保安庁の管轄海域情報
下部：自然エネルギー財団作成

*1 https://appwdc1.infoc.nedo.go.jp/Nedo_Webgis/index.html
 *2 https://www.jodc.go.jp/jodcweb/JDOSS/infoJEGG_j.html
 *3 <https://www1.kaiho.mlit.go.jp/ryokai/ryokai.html>

<参考> 洋上風力の設備利用率と年間発電電力量

■ 強風域は移動するので、安定した電力供給を行うためにはエリア分散が必要

● 着床式：水深50m未満

領海のみ、風速7.5m/s以上の場合

- ◆ 各風速エリアを同一比率で開発した場合
推定実質設備利用率：38.2%
- ◆ 40GW（ポテンシャルの20%強）開発した場合：133.9TWh

● 浮体式-2：水深50m以上200m未満

領海+EEZの接続水域のみ、風速8.0m/s以上の場合

- ◆ 各風速エリアを同一比率で開発した場合
推定実質設備利用率：41.4%
- ◆ 100GW（ポテンシャルの20%弱）開発した場合：362.8TWh

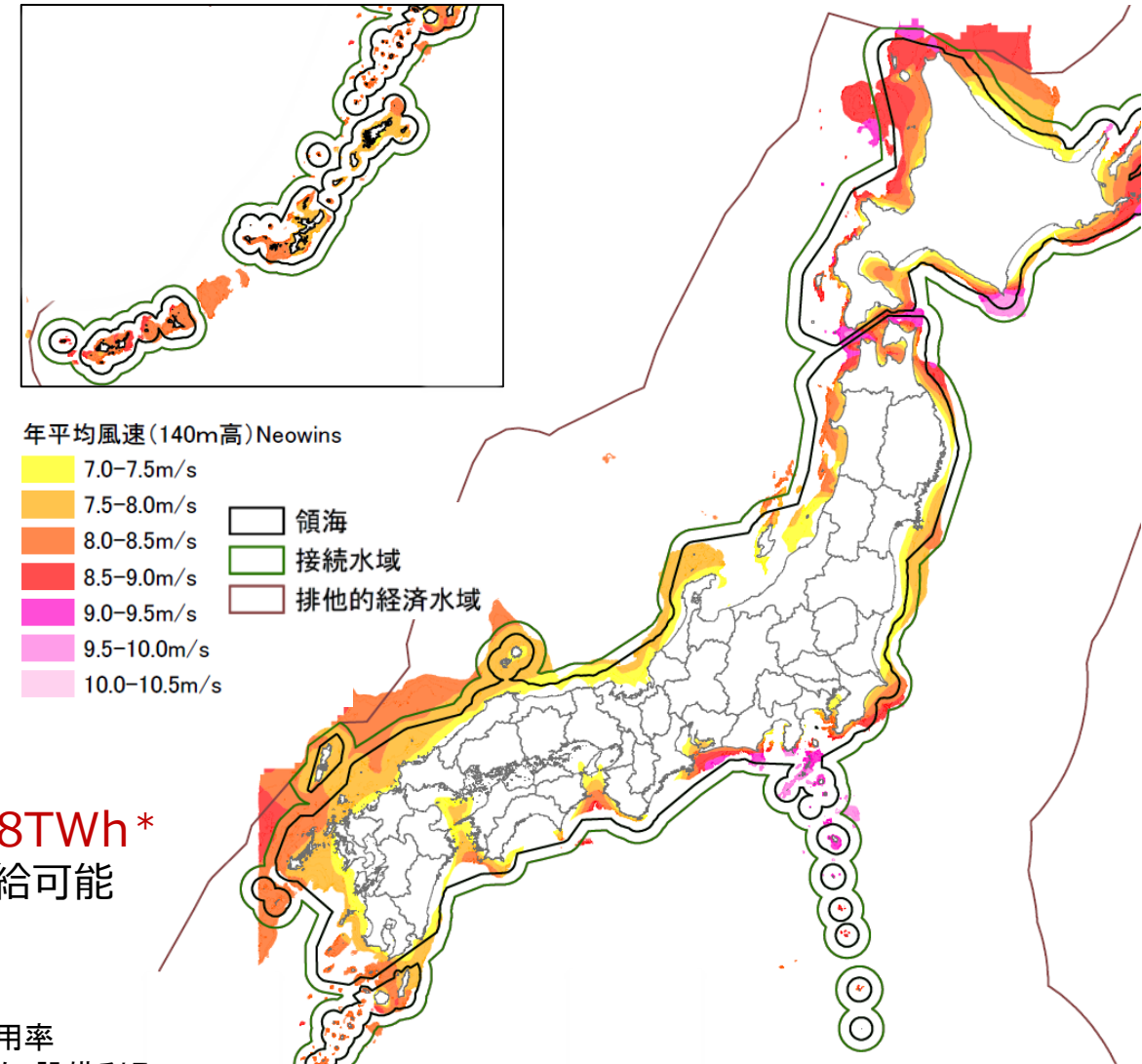
● 浮体式-3：水深50m以上300m未満

領海+EEZの接続水域のみ、風速8.0m/s以上の場合

- ◆ 各風速エリアを同一比率で開発した場合
推定実質設備利用率：41.5%
- ◆ 100GW（ポテンシャルの15%弱）開発した場合：363.6TWh

● <参考> 2022年度における日本の総発電電力量：1,008TWh*

- ◆ 着床式と浮体式風力の合計で、上記の約50%の電力量を供給可能



▶ 理論設備利用率：風車のパワーカーブと風速の出現分布をレーレ分布とした場合の設備利用率
 ▶ 実質設備利用率：風車の定期点検などによる停止や風速の出現分布が異なることを想定した設備利用
 * [資源エネルギー庁 総合エネルギー統計](#)

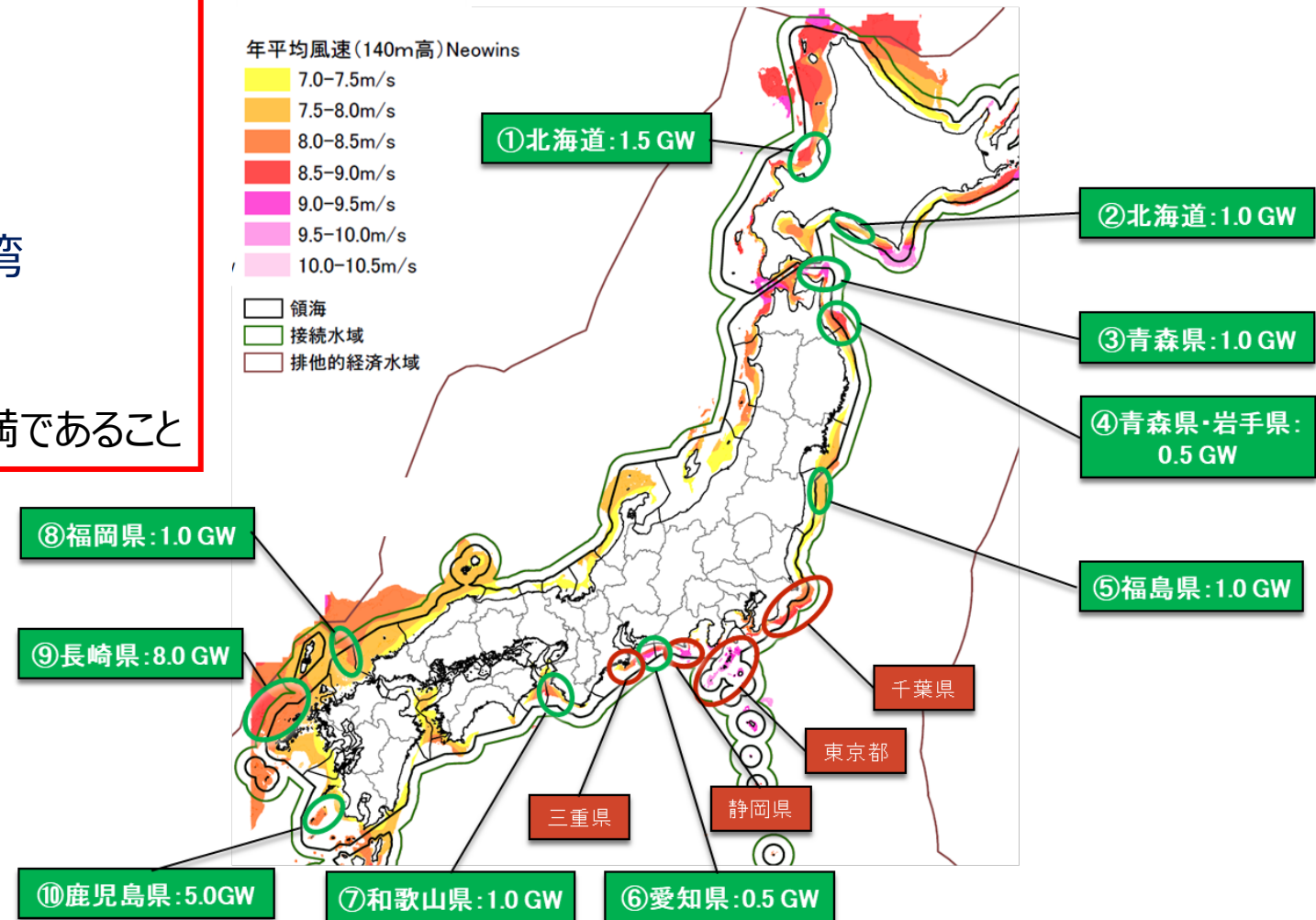
<参考> 2035年までに運転開始を想定した浮体式候補海域

- あくまで選定条件によって導き出された数値であり、地域の合意等を得たものではない。

■ 候補海域の選定条件

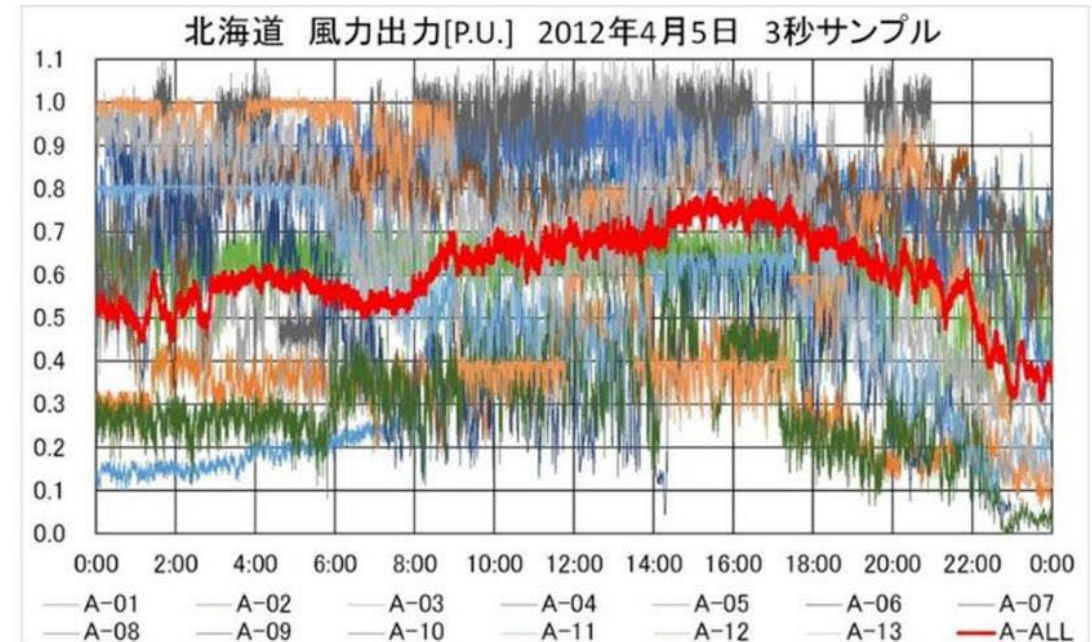
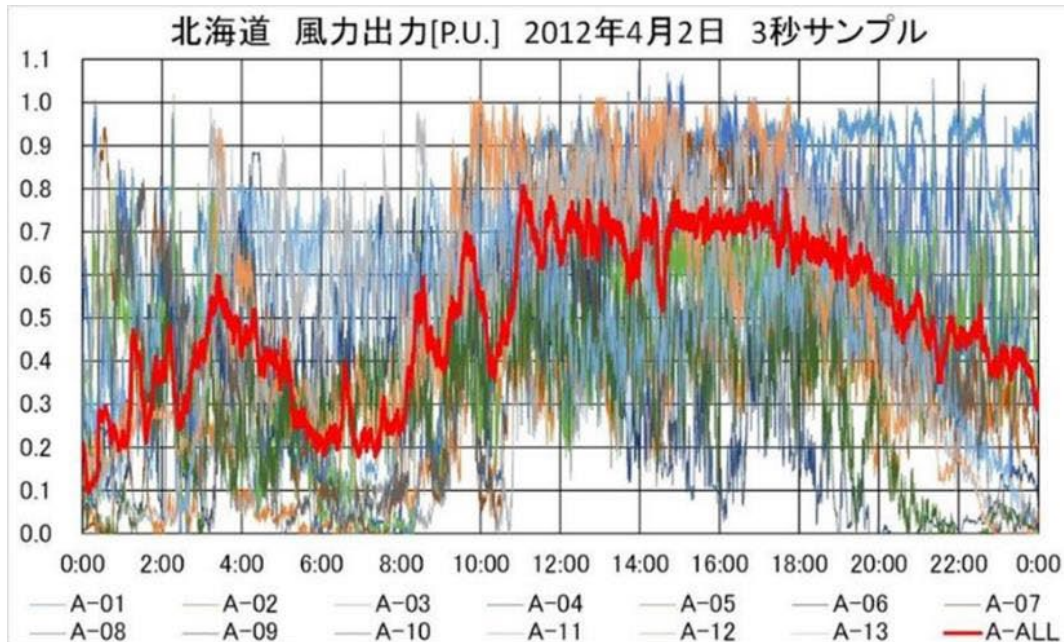
1. 候補となる海域近辺に空き容量のある500kVもしくは200kV以上の送電線・変電所等があること
2. 候補となる海域近辺に一定規模の港湾があること
3. 一定の事業性が見込まれること
 - 8.0m/s以上が期待され、水深200m未満であること

- 上記条件を満たす海域
但し、地域間連系線の設備容量上限を考慮していない
- 浮体式洋上風力設置海域までの送電線のみ設置すれば地域間連系線の増強を考慮する必要がない海域



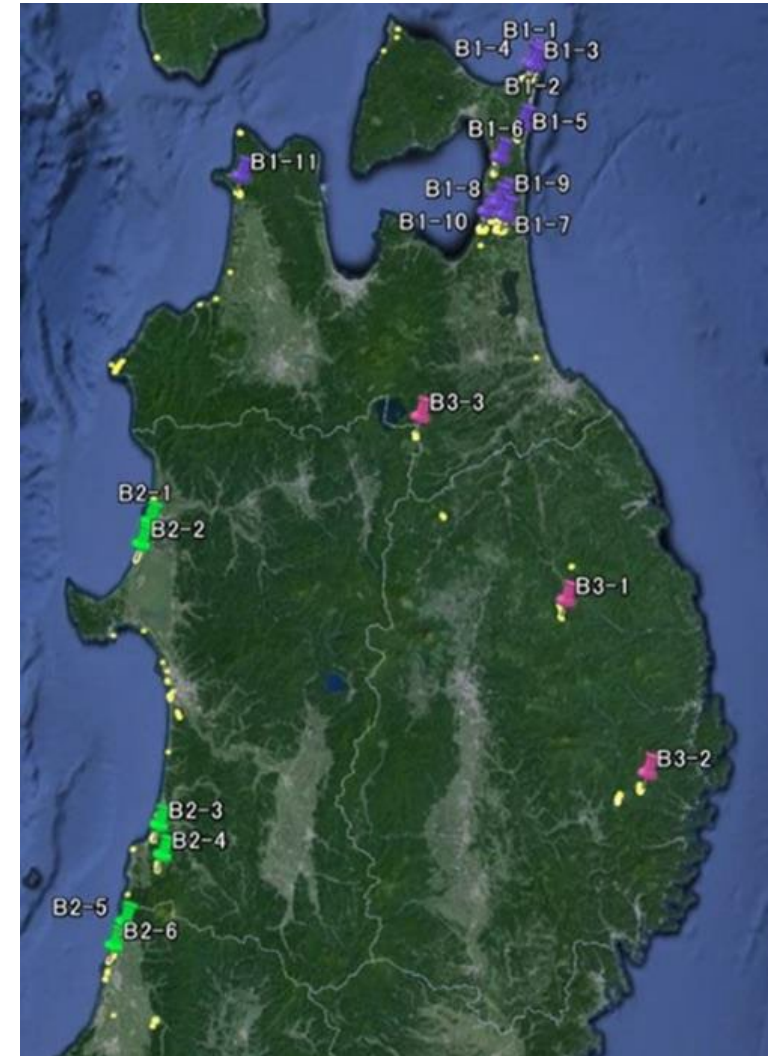
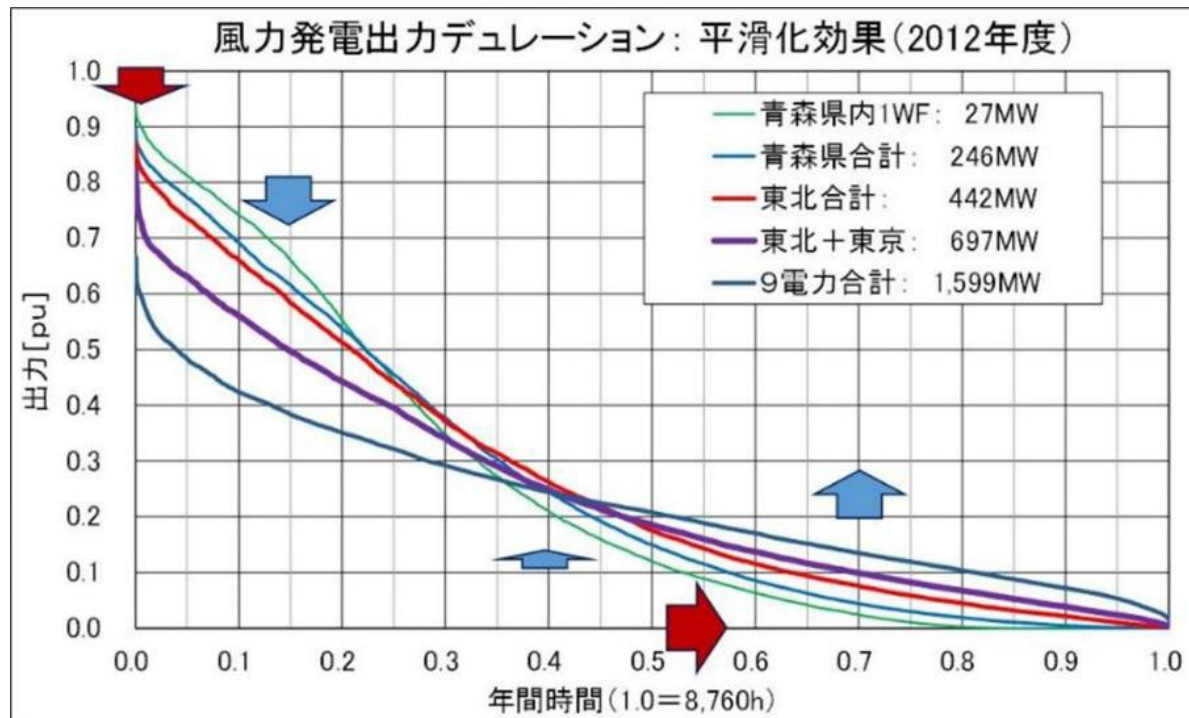
<参考> 風力発電出力の平滑化効果－1（北海道）

- ウィンドファーム(WF)単独では、20分間に100%変動する場合もあるが、多数のWF出力を合計すると、超短周期変動率、短周期変動率および長周期変動率は、低減される。
 - 多数になるほど、また広域に分散配置されるほど
- 下図は、2012年度特別高圧連系発電所のみデータ
 - 13発電所、合計出力 195.3MW
 - 発電所設備容量：57.0MW～2.4MW
 - 可変速度機：56.0MW（≒29%）、固定速度機：139.3MW（≒71%）



<参考> 風力発電出力の平滑化効果- 2

- 平滑化効果は、各WF間の距離、太平洋側と日本海側などの地域差、エリアの面積、WF総数、個別WF設備容量などにより異なる。
 - 最大出力値は、低減
 - 高出力帯の発生度合は、低減
 - 中出力帯の発生度合は、ほぼ同等
 - 低出力帯の発生度合は、増加
 - ゼロ出力帯の発生度合は、低減



<参考> 10分平均風速と発電出力

■ 理論出力 = $1/2 \times (\text{空気密度}) \times (\text{パワー係数}) \times (\text{受風面積}) \times (\text{風速})^3$

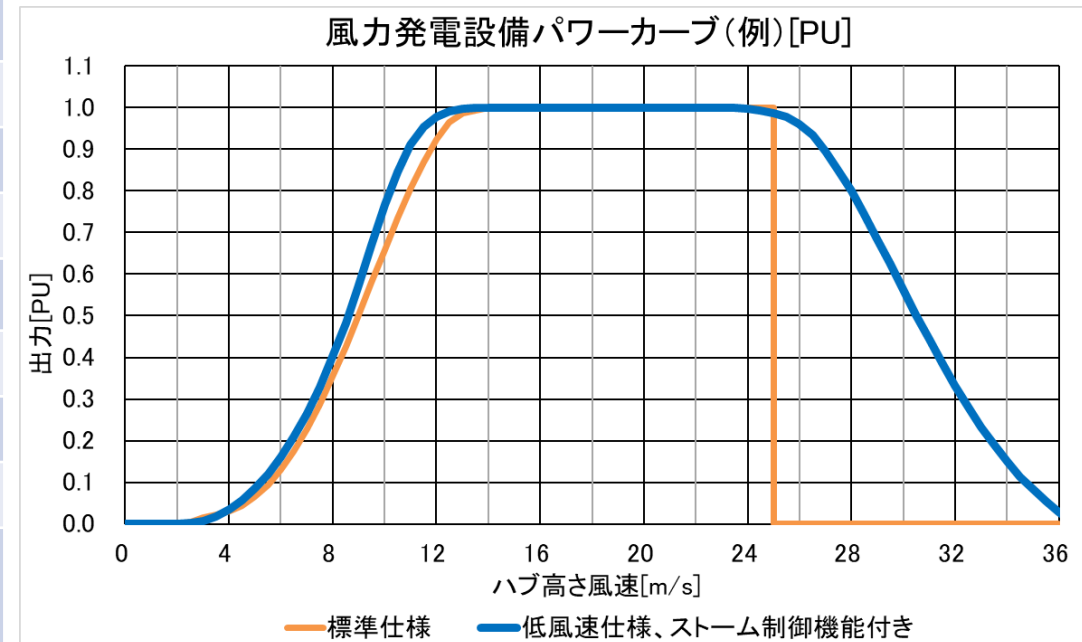
- 可変速度機で羽根の直径が長い風車が、多く発電する（直径の二乗に比例：直径が1.1倍となると出力は約1.2倍）
- 発電開始の風速は、約3m/s（≒10km/h）
- 定格出力時の風速は、約12m/s～（≒43km/h～）

風速階級	10m高さ相当の風速[m/s]	陸上の状態
0	0.0～0.2	煙はまっすぐに昇る。
1	0.3～1.5	煙は風向きが分かる程度にたなびく。
2	1.6～3.3	顔に風を感じる。木の葉が揺れる。（風力：発電開始）
3	3.4～5.4	木の葉や小枝が揺れる。
4	5.5～7.9	砂埃が立ったり、小さなゴミや落ち葉が宙に舞ったりする。
5	8.0～10.7	葉のある灌木が揺れ始める。
6	10.8～13.8	木の大枝が揺れ、傘がさしにくくなる。電線が唸る。（定格出力）
7	13.9～17.1	大きな木の全体が揺れ、風に向かって歩きにくい。
8	17.2～20.7	小枝が折れる。風に向かって歩けない。
9	20.8～24.4	屋根瓦が飛ぶ。人家に被害が出始める。
10	24.5～28.4	内陸部では稀。根こそぎ倒される木が出始める。人家に大きな被害が起こる。（出力低減または停止）
11	28.5～32.6	めったに起こらない。広い範囲の被害を伴う。

<参考>

台風の強さ：[気象庁 台風に関する用語](#)

- 強い台風 : 最大風速33～44m/s
- 非常に強い台風: 最大風速44m/s～54m/s
- 猛烈な台風 : 最大風速54m/s以上



<参考> 景観

- 風車が見える事と景観が悪くなる事とは、必ずしも一致しません、景観に対する配慮の必要性が高まっています。
 - 圧迫感を与えない距離は、仰角を20～15°とすると以下となる。
 - ◆ 2,000kWクラス風車の場合： $120\text{m}/\tan(20\sim 15) \approx 330\text{m} \sim 450\text{m}$
 - ◆ 15,000kWクラス風車の場合： $270\text{m}/\tan(20\sim 15) \approx 740\text{m} \sim 1,000\text{m}$
 - 人の視力で認識できる距離は、仰角を1°とすると以下となる。
 - ◆ 2,000kWクラス風車の場合： $120\text{m}/\tan(1) \approx 6,880\text{m}$
 - ◆ 15,000kWクラス風車の場合： $270\text{m}/\tan(1) \approx 15,000\text{m}$
 - 景観への影響が危惧された場合は、フォトモンタージュなどを作成し地域住民などへ説明を行い承諾を得る。

【現状】



【完成後】

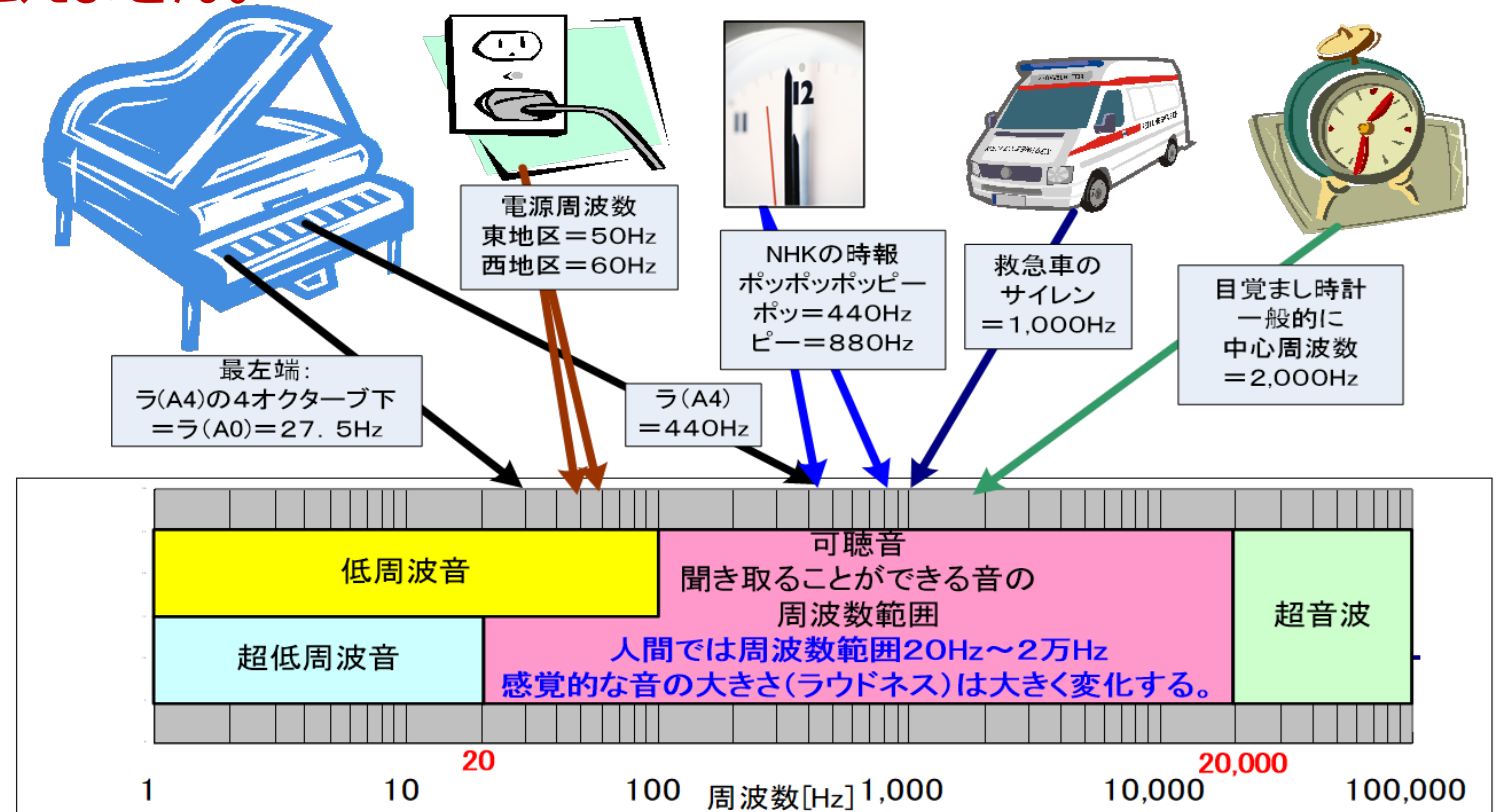


<参考> 騒音と超低周波音- 1

- 人が不快に感じる音を「騒音」と言います。
- 日本では、周波数 1 0 0 Hz以下の音を「低周波音」と言います。
- 周波数 2 0 Hz以下の空気振動を「超低周波音」と言います。
 - 滝や海などで耳ではなく、体で感じる場合がある空気振動です。
- 一般的に人が聞き取ることが可能な音の範囲は、20~20,000Hzですが、周波数が低いほど大きい（強い）音でないと聞こえません。

● 身近な音の周波数

- ◆ ピアノの最左端 = ラ (A 0) は、2 7. 5 Hzで低周波音
- ◆ 電源周波数は、5 0 Hz または 6 0 Hzで低周波音
- ◆ NHKの時報は、4 4 0 Hz と 8 8 0 Hz (ポツ・ポツ・ポツ・ピー)
- ◆ 救急車のサイレンは 1, 0 0 0 Hz (人が聞き取りやすい周波数)
- ◆ 目覚まし時計は、一般的に中心周波数が 2, 0 0 0 Hz



<参考> 騒音と超低周波音－2

- 2010年7月に、オーストラリア政府国立保健医療研究協議会が、最新の文献に基づく評価結果を公表しました。
 - 風力発電所には直接の病理学的影響はなく、人体に影響を及ぼす可能性は既存の開発ガイドラインにしたがうことによって最小化することができる。
- 日本では、環境省にて調査・研究が行われ、指針が示されています。
 - 風力発電施設から発生する騒音・低周波音の調査（平成21年度）
 - 風力発電施設に係る騒音・低周波音の実態把握調査（平成22年度）
 - 風力発電等による低周波音の人への影響評価に関する研究（平成22～24年度）
 - 風力発電施設から発生する騒音等への対応について（平成28年度）
 - 風力発電施設から発生する騒音に関する指針（平成29年度）
http://www.env.go.jp/air/noise/wpg/shishin_H2905.pdf
- 誤解のストーリー
 - 一部の方が思い込んでいる（音の大きさ（強さ）も考慮する必要があります。）
 - ◆ 超低周波音は危険だ ⇒ 風車は超低周波音を発生する ⇒ 風車は危険だ
 - 殆ど全ての方は思わない（この違いは？）
 - ◆ 電磁波は危険だ ⇒ 携帯電話は電磁波を発生する ⇒ 携帯電話は危険だ
- 事業者は、誠意をもって丁寧な説明・対応を行うことが必要です。
 - 現在は、低周波音ではなく超低周波音と区分されています。



<参考> バードストライク

- 事例は少ないのですが、人工構造物である風車は、バードストライクの原因の一つとなります。

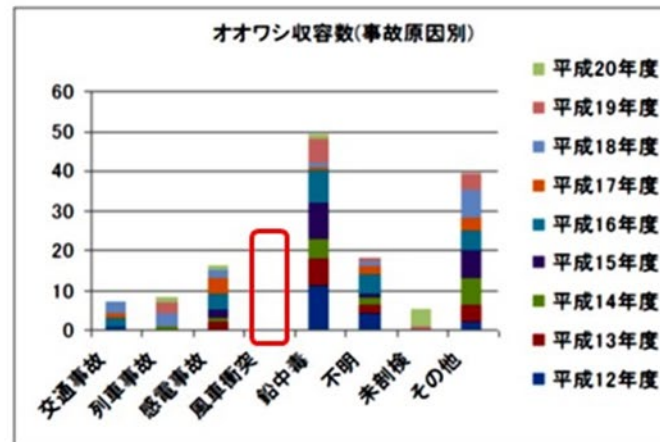
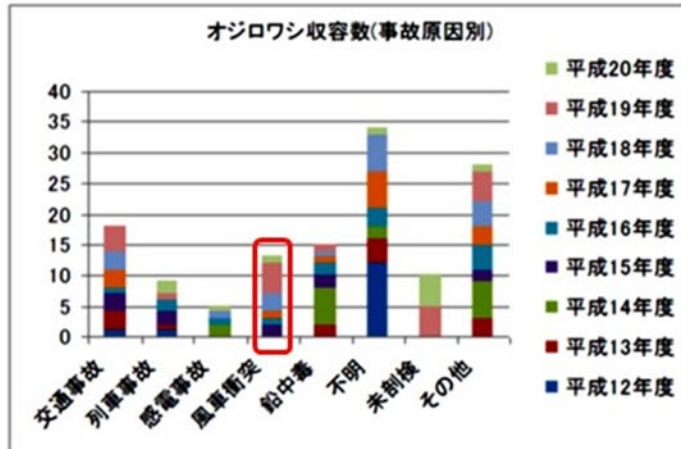
- アメリカにおける推定衝突数 (Erickson et al 2001,2002 [羽/年/全米])

- ◆ 風力発電 10,000～ 40,000
- ◆ 通信用鉄塔 4,000,000～ 50,000,000
- ◆ 送電線 10,000～ 174,000,000
- ◆ 車両 60,000,000～ 80,000,000
- ◆ 建物や窓 98,000,000～980,000,000

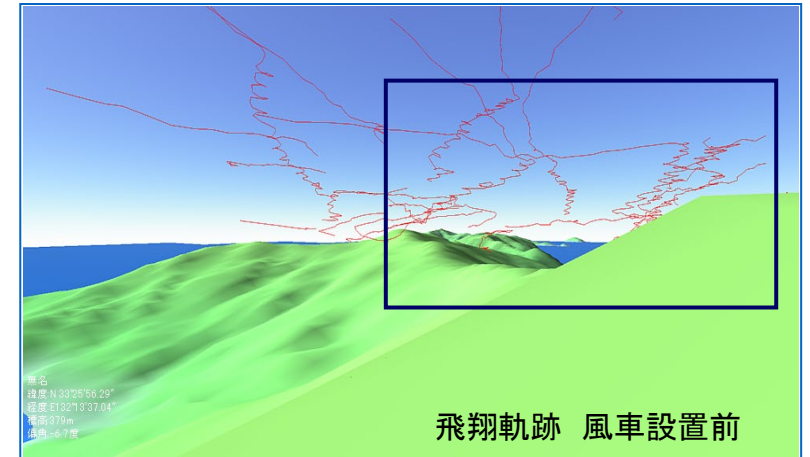
- 環境省釧路事務所データ

- ◆ オジロワシ(13/132事例)

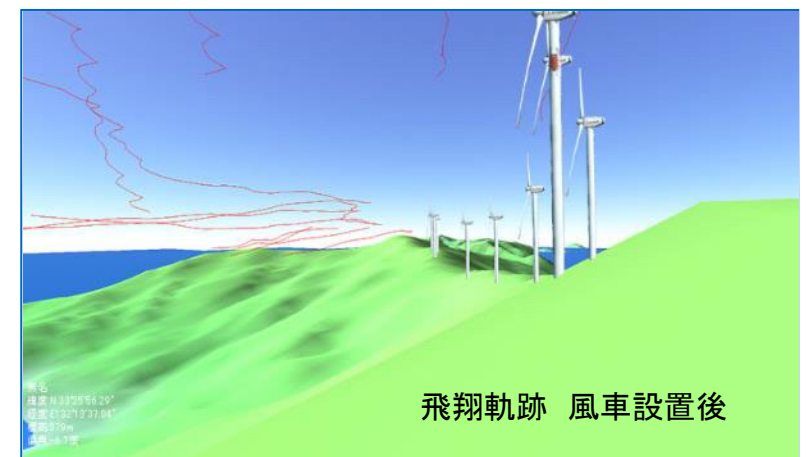
- ◆ オオワシ (0/145事例)



飛翔ルートの事前調査



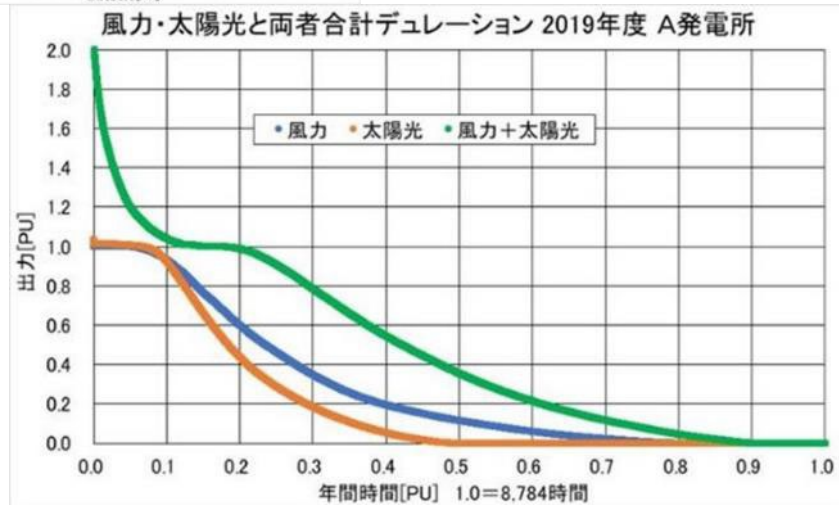
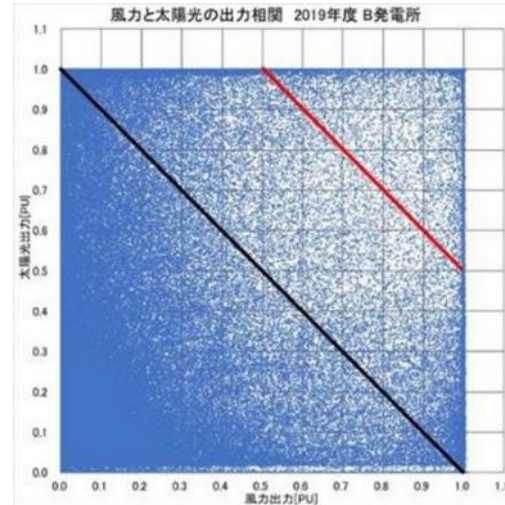
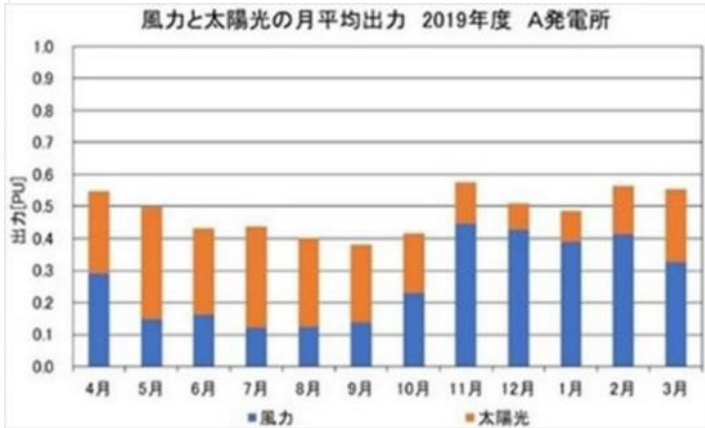
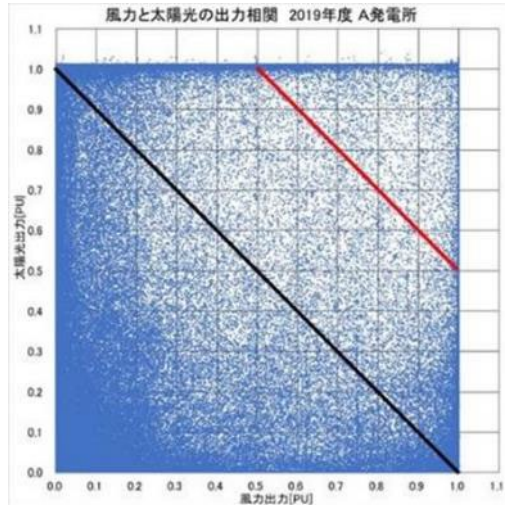
飛翔ルートの事後調査



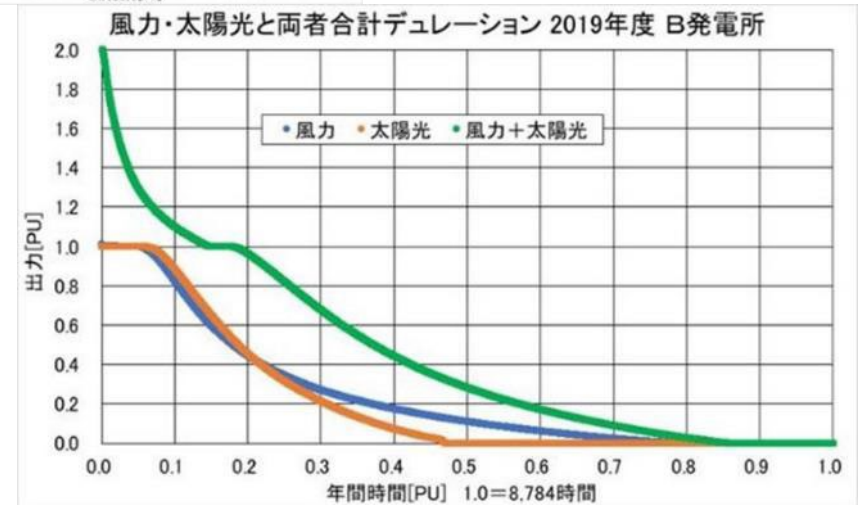
- 「[鳥類等に関する風力発電施設立地適正化のための手引き](#) (環境省平成23年1月)」などにに基づき事前・事後調査を行い、バードストライクの発生率低下に努めています。

<参考> 風力発電と太陽光発電の出力相関 - 1 (個別発電所)

- 風力設備容量 = 太陽光設備容量 = 1.0[PU]のケース (3秒サンプル、1年間の値)
 - 風力と太陽光の合計出力が1.0[PU]を超過するのは、年間で約20%時間 (1.5[PU]を超過するのは、数%時間)
 - 春から夏は太陽光が、秋から冬は風力の出力が増加



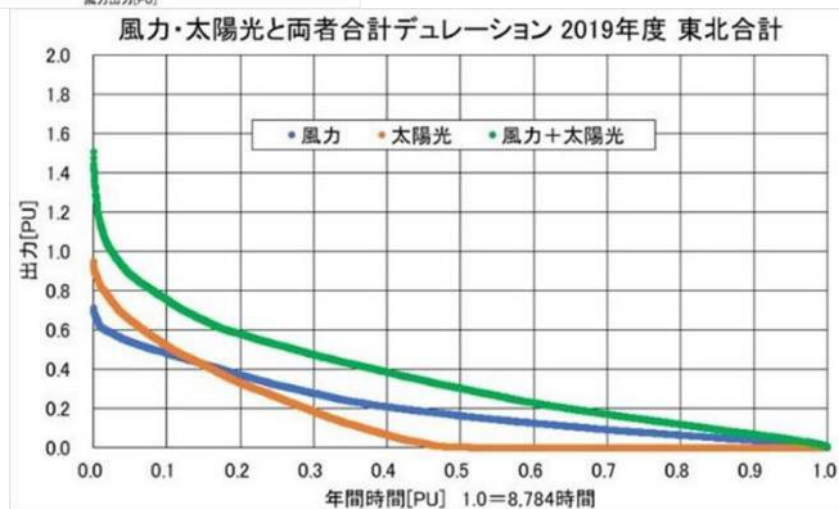
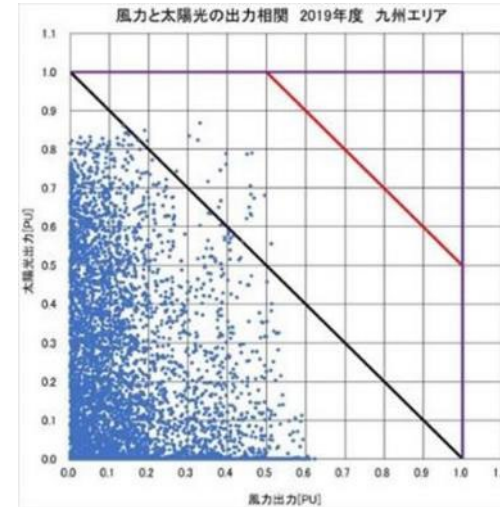
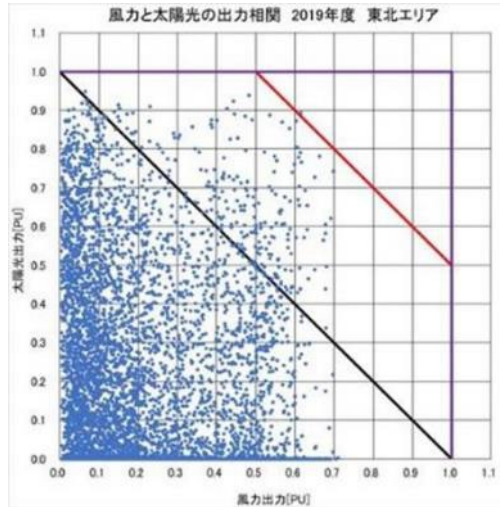
低気圧帯
 > 風が強く、曇りか雨
 風力 > 太陽光
 高気圧帯
 > 風が弱く、晴れ
 風力 < 太陽光



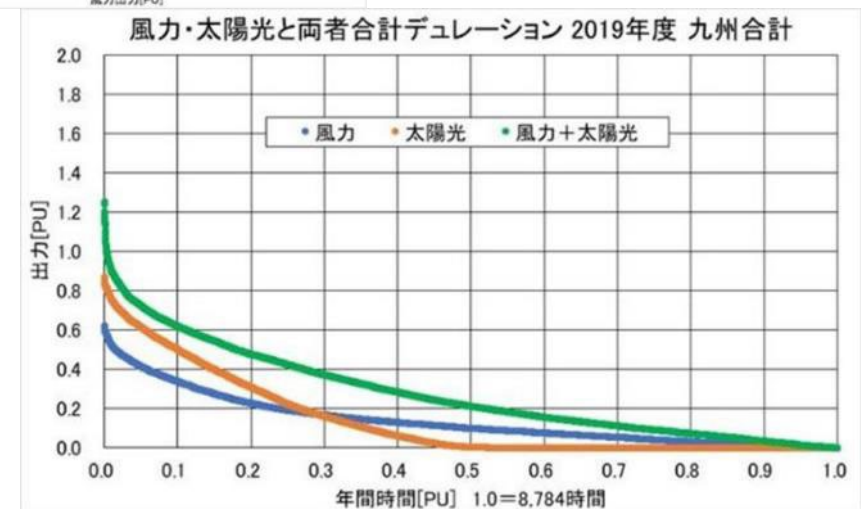
<参考> 風力発電と太陽光発電の出力相関 - 2 (エリア合計)



- 風力設備容量 = 太陽光設備容量 = 1.0[PU]のケース (一般送配電事業者: 1時間平均値)
 - 風力と太陽光の合計出力が1.0[PU]を超過するのは、年間で数%時間
 - 春から夏は太陽光が、秋から冬は風力の出力が増加



低気圧帯
 > 風が強く、曇りか雨
 風力 > 太陽光
 高気圧帯
 > 風が弱く、晴れ
 風力 < 太陽光



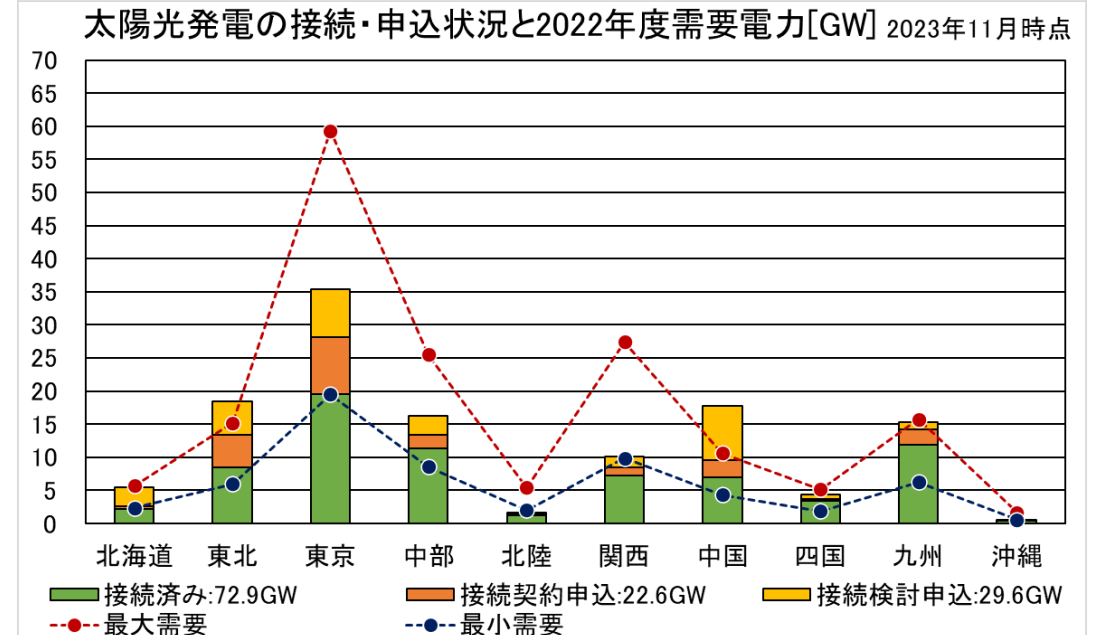
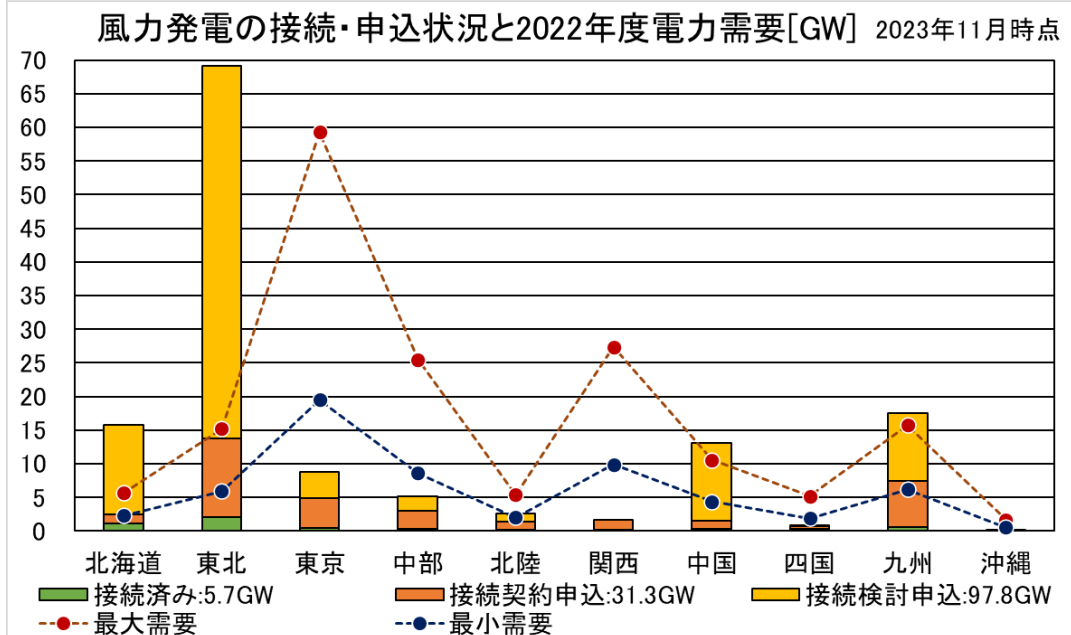
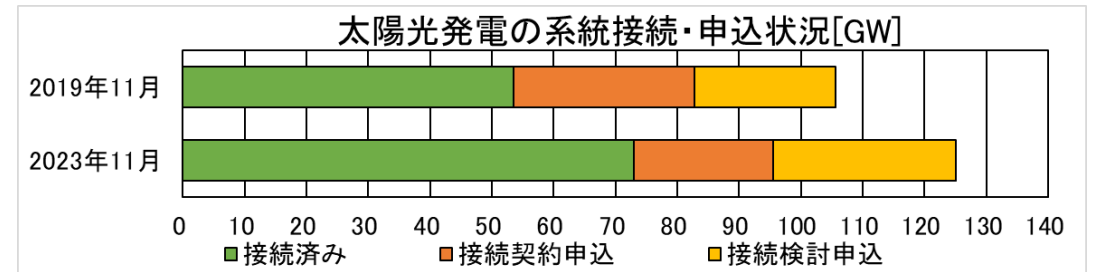
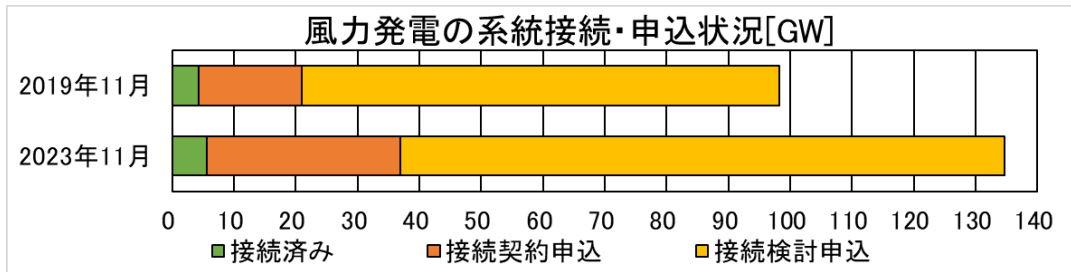
<参考> 風力と太陽光の系統連系・申込状況

■ 風力*

- 接続済み：年平均0.3GWの増加
- 契約申込：年平均3.7GWの増加
- 検討申込：年平均5.1GWの増加（洋上風力関連）

■ 太陽光

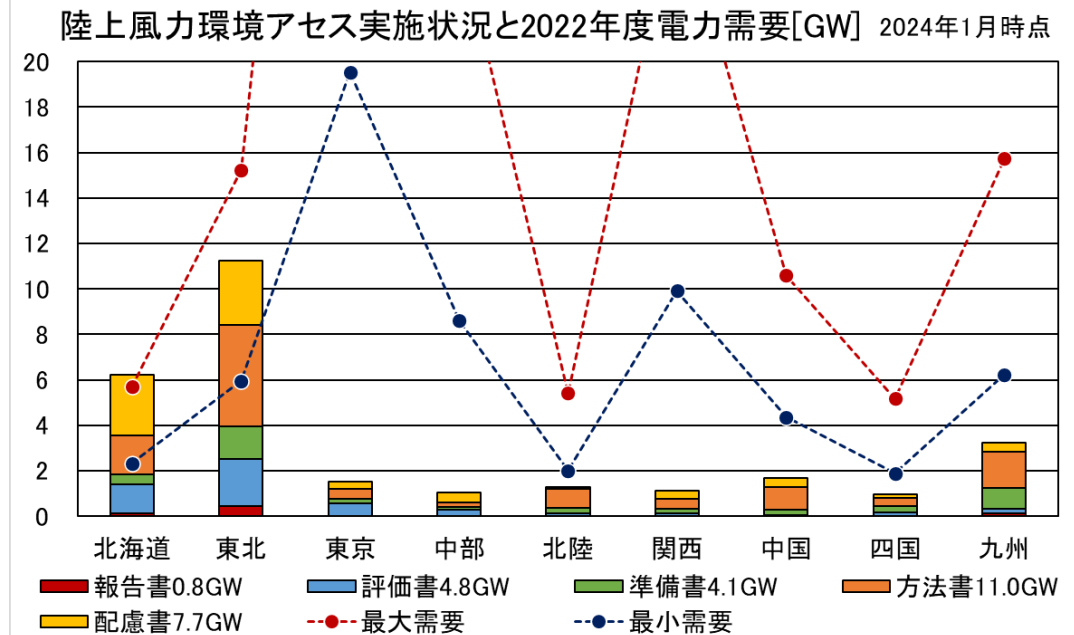
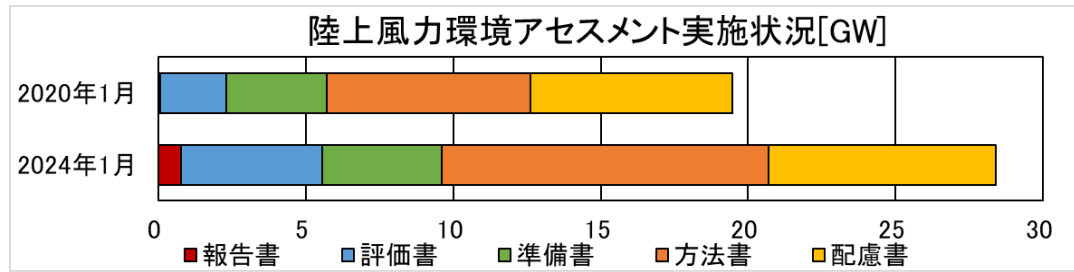
- 接続済み：年平均4.8GWの増加
- 契約申込：年平均1.7GWの低減
- 検討申込：年平均1.7GWの増加



<参考> 風力発電の環境アセス実施状況

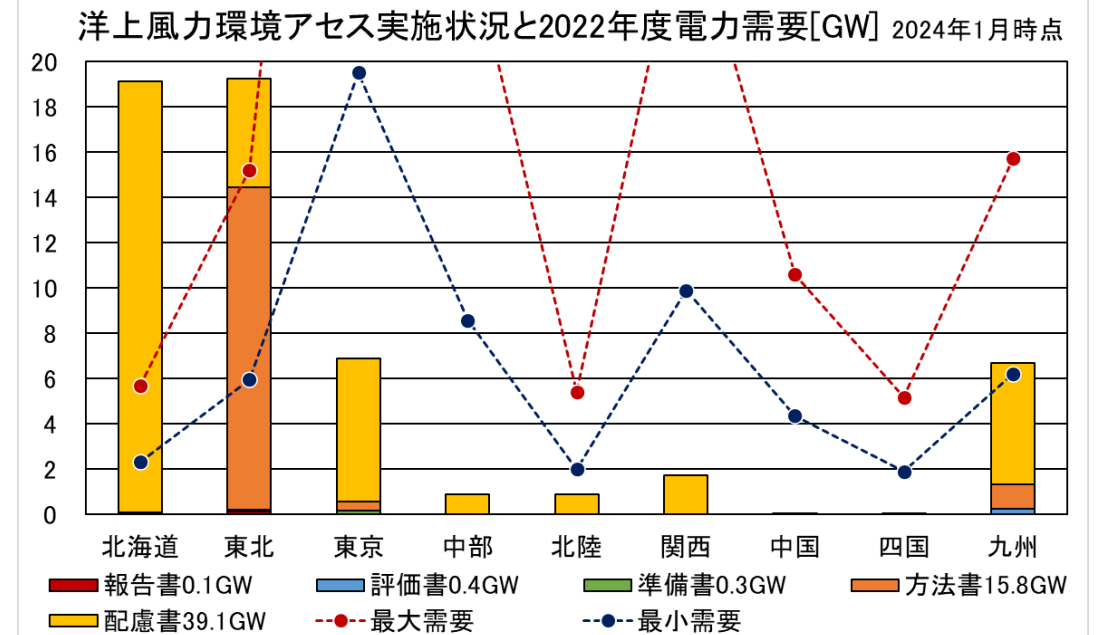
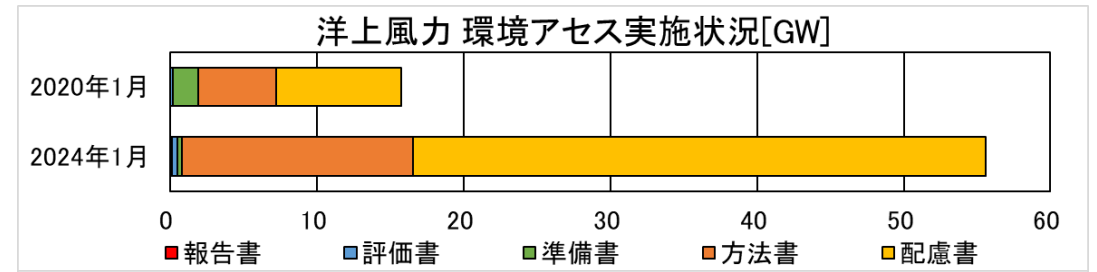
■ 陸上風力

- 評価書：年平均0.6GWの増加
- 準備書：年平均0.2GWの増加
- 方法書：年平均1.0GWの増加



■ 洋上風力（同一海域で複数の事業者が実施中*）

- 評価書：年平均0.1GWの増加
- 準備書：年平均0.3GWの低減
- 方法書：年平均2.6GWの増加（今後は環境省で実施予定）



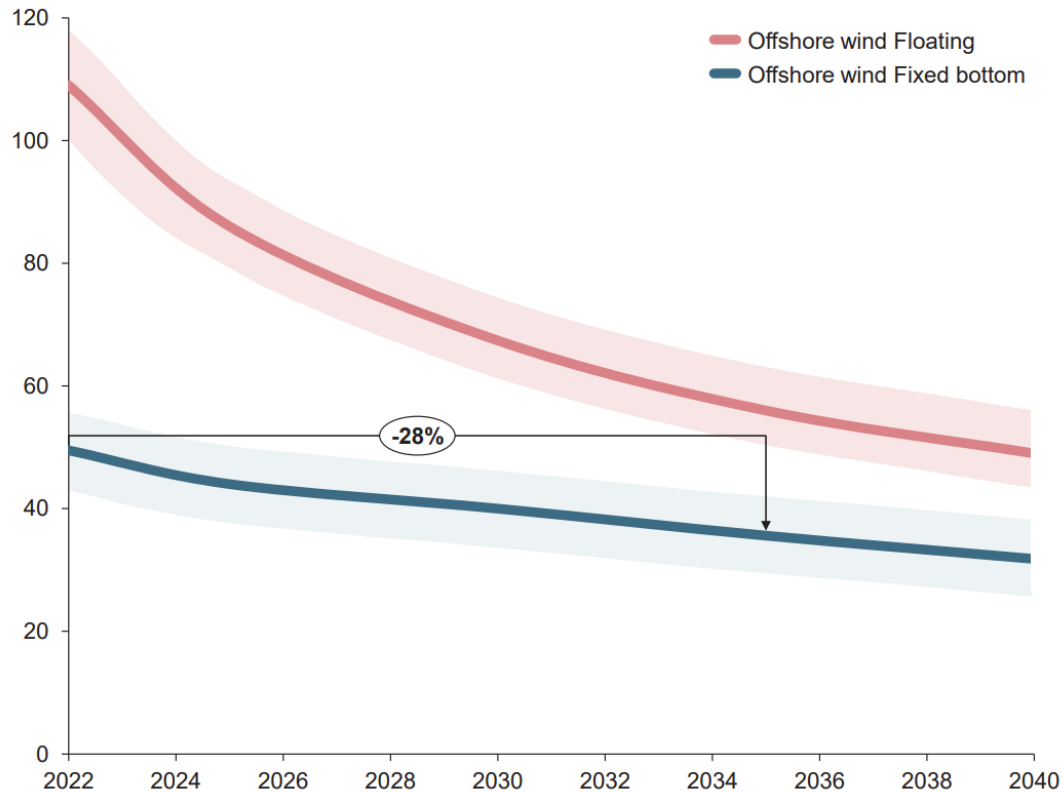
<参考> 洋上風力発電の発電コスト

■ 均等化発電原価 (LCOE : Levelized cost of electricity)

発電にかかる費用を総合的に評価する指標。設備の建設費など初期費用、燃料費・保守管理費などのランニング費用、解体・廃棄費用などを合計し、運用期間中に得る発電電力量で割って算出

- **ウインドファームの大規模化、風車単機の大容量化、供給コストの低減、技術的改善による作業時間の短縮・利用可能率の向上、運用の最適化などにより、LCOEは低減**

Cost reduction forecasts, LCOE EUR/MWh¹



Project scale, 200 MW → 704 MW Positions increased from 50 to 176

Increased project size drives cost down by almost 10 EUR/MWh.
 Cost reductions stem from (not exhaustive):

- Scale benefits reducing relative contribution of fixed costs, decrease supply cost, etc.
- Decreased OPEX/MWh due to scale

Wind turbine size, 4 MW → 11 MW Positions decrease from 176 to 64

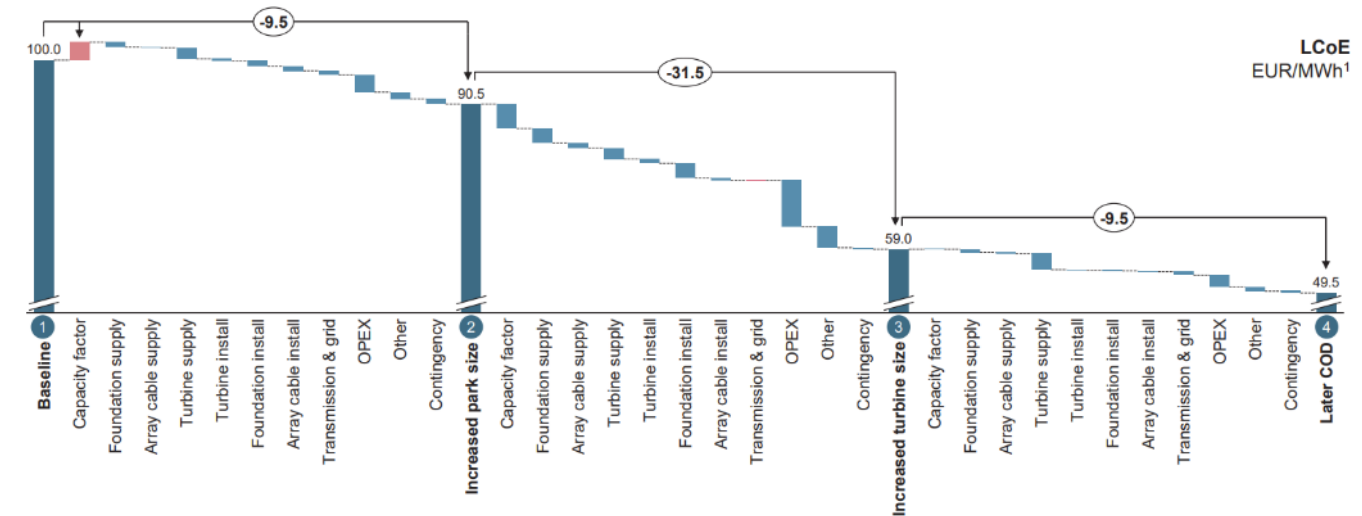
Increased turbine size drives cost down by 31.5 EUR/MWh.
 Cost reductions stem from (not exhaustive):

- Decreased CAPEX cost per MW OPEX decrease by position reduction
- Improved AEP due to better wind resource with higher hub height and more

Project year 2015 → 2022 Positions and park size kept constant

Performance benefit with later COD drive cost down by 16%.
 Cost reductions stem from (not exhaustive):

- Decrease in supply cost
- Technical improvements reduce working time and increase availability
- OPEX decrease w/ operational optimizations



<参考> 世界の洋上風力発電導入状況とコスト推移

■ 世界の洋上風力発電のコスト推移 (2000-2022)

- 洋上風力発電の均等化発電原価 (Levelized cost of electricity, LCOE) は、2010年の0.197ドル/kWhから、2022年には0.081ドル/kWhまで59%低下した。
- その要因として、経験の蓄積と競争、風車の技術の進展、サプライチェーンの構築、政策・規制のサポートが指摘されている。



世界の洋上風力発電プロジェクトのサイズとLCOE (加重平均) の推移
 出典)IRENA “Renewable Power Generation Costs in 2022”(2023年8月)図4.12

Paradigm Shift in Energy



参照資料

- ◆ [\[分析レポート\] 日本の洋上風力発電ポテンシャル 領海と排他的経済水域](#)
- ◆ [浮体式洋上風力事業化の加速に向けた提言](#)
- ◆ [インフォパック 洋上風力発電の動向 世界と日本における現状 \(第4版 改訂版\)](#)
- ◆ [洋上風力発電所に係る環境影響評価手法の技術ガイド \(案\) 2023年10月](#)
- ◆ [洋上風力発電所に係る環境影響評価手法の技術ガイド 参考資料 \(案\)](#)

自然エネルギー財団

RENEWABLE ENERGY INSTITUTE