エネルギーシステム・要素論
第三回　風力発電2
太陽電池

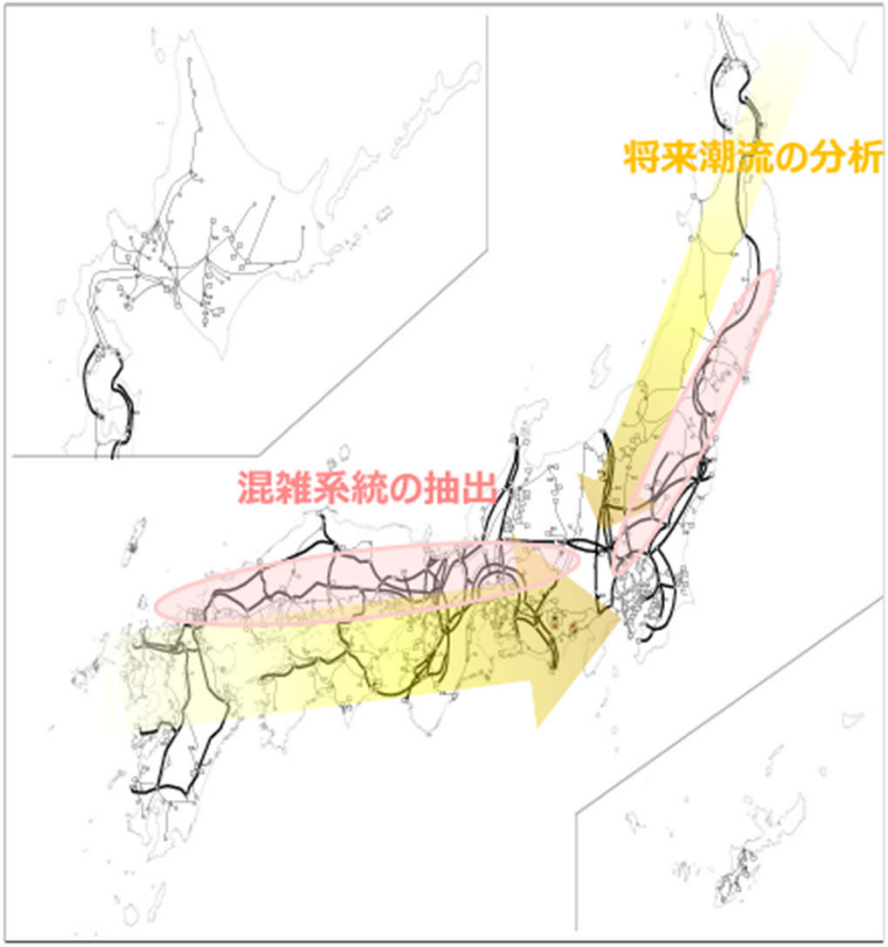
2026年7月17日

2050年カーボンニュートラルの実現を見据えた将来シナリオ

＜長期展望における将来シナリオ＞

			ベースシナリオ
需　要			■1.2兆kWh程度 ■水素製造・DACの約２割を再エネ電源近傍へ配賦 ■再エネ余剰活用需要の約２割が可制御でピークシフトできると想定
電源構成	再エネ	太陽光	■約260GW（※）
		陸上風力	■約41GW（※）
		洋上風力	■約45GW（官民協議会導入目標）
		水力 バイオマス 地熱	■約60GW（エネルギーミックス水準）
	火　力（化石＋CCUS）		■供給計画最終年度の年度末設備量 ■一般送配電事業者へ契約申込済の電源 (廃止後は水素・アンモニアにリプレースと仮定)
	原子力		■既存もしくは建設中の設備が全て60年運転すると仮定
	水素・アンモニア		■既設火力の一部が45年運転で廃止後、リプレースされるものと仮定して設定

※第43回総合資源エネルギー調査会基本政策分科会にて議論のために電力中央研究所から示された参考値

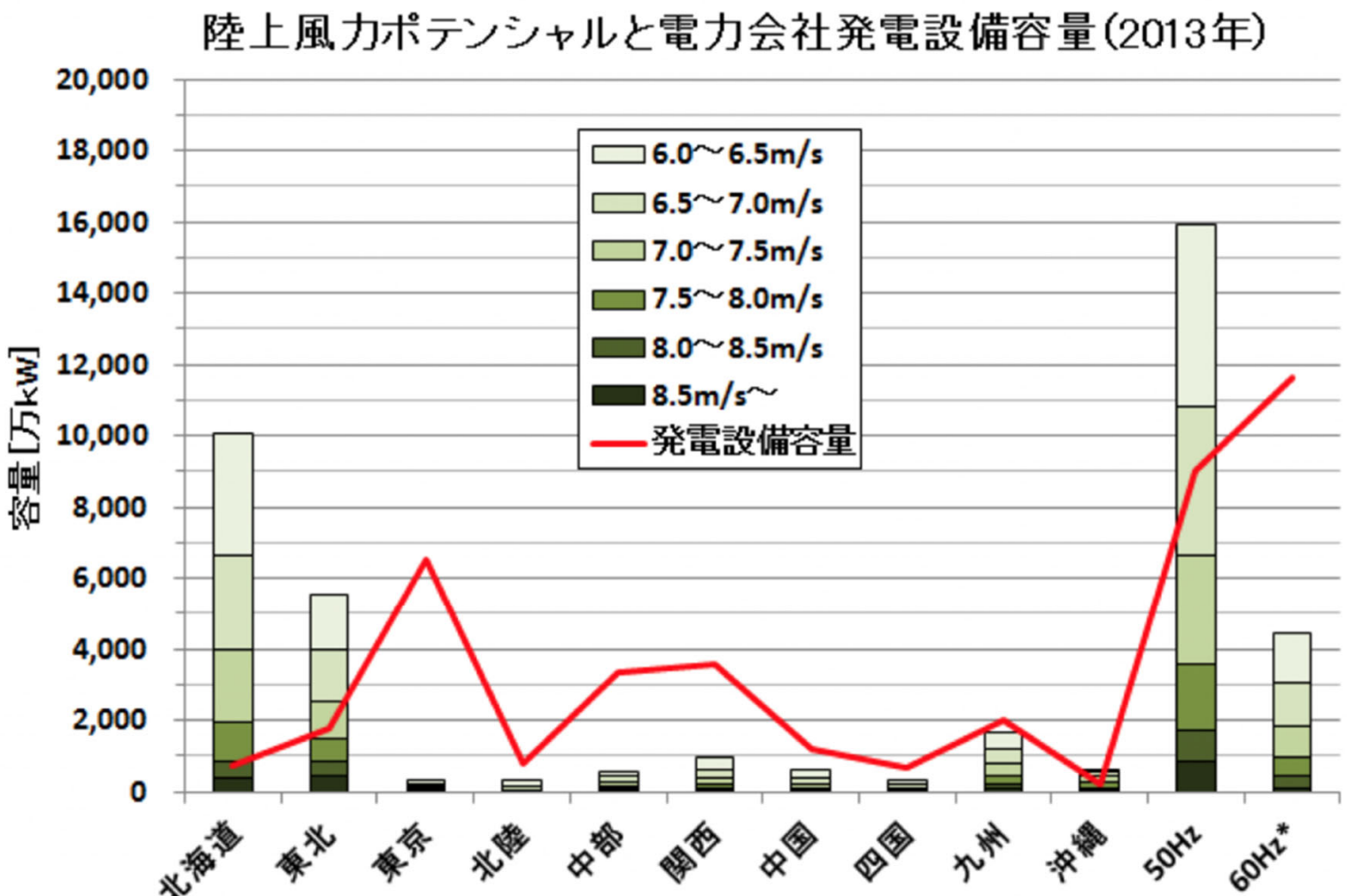


出典:電力広域的運営推進機関

陸上風力のポテンシャル

- 北海道、東北、九州に集中しているため各電力会社の設備容量や事業性を考慮する必要あり
- 賦存量から社会的制約条件を考慮した「陸上風力ポテンシャル」の内、事業性の面から80m 高さで年間平均風速6.0m/s以上に限定したポテンシャル
  - 各電力会社の設備容量を考慮しない場合：2億983万kW（国内全発電設備容量の102倍）
  - 各電力会社の設備容量を上限とした場合：7,436万kW（国内全発電設備容量の36倍）

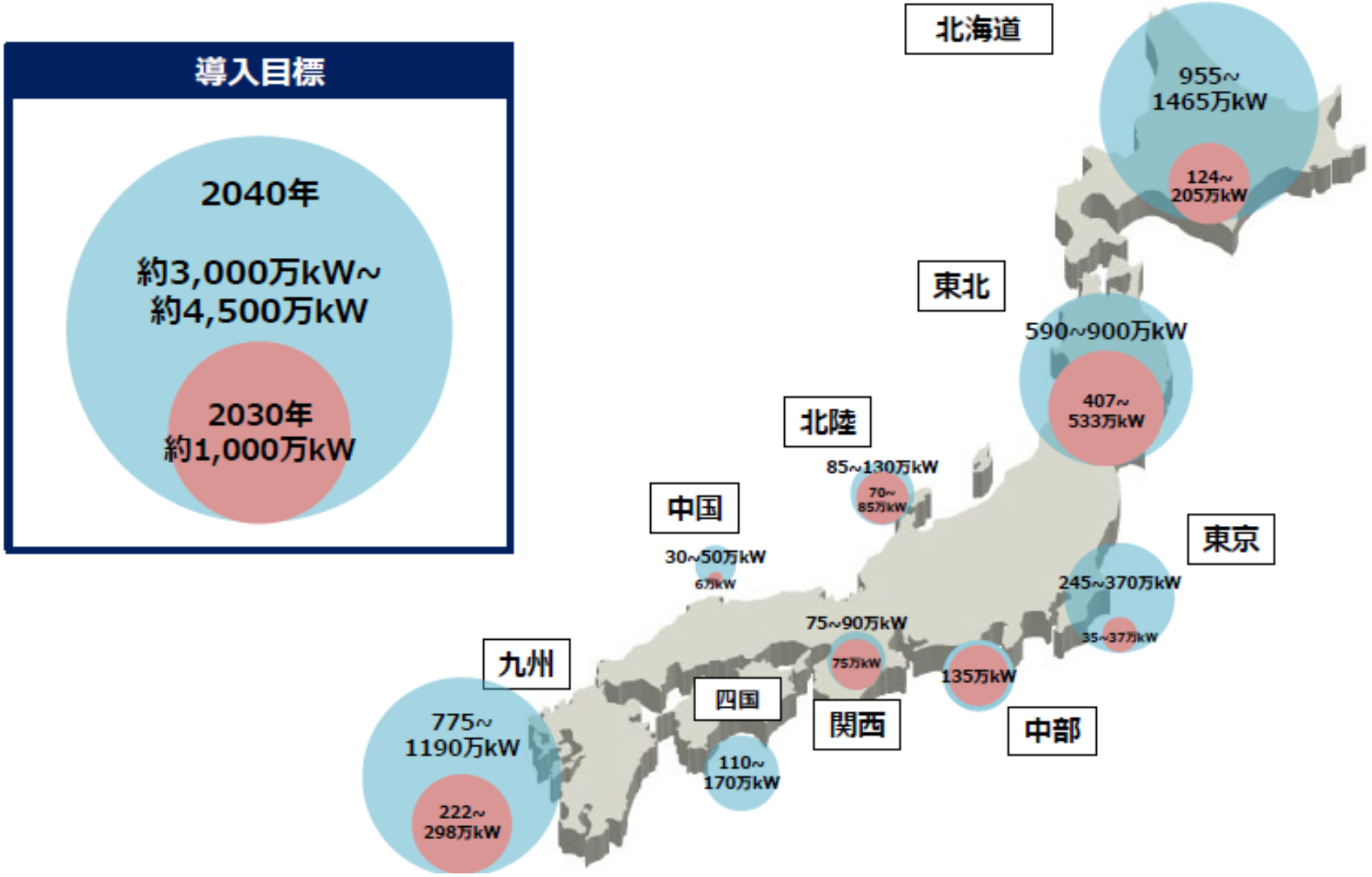
陸上風力のポテンシャル



電力会社管内別の陸上風力ポテンシャル(60Hzは沖縄を除く)

出典:JWPA

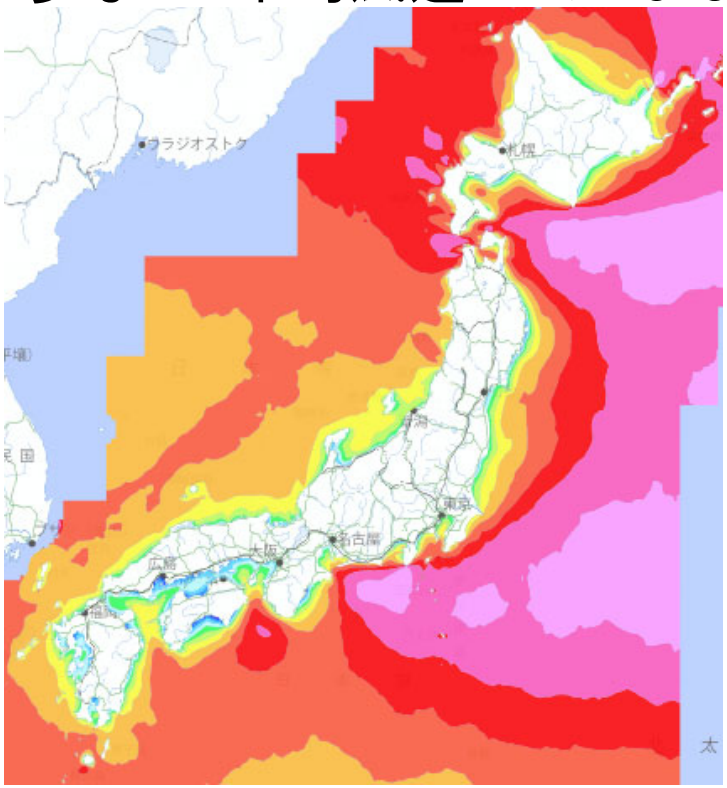
洋上風力発電のエリア別導入イメージ



出典「第25回再生可能エネルギー大量導入小委員会」（2021.3.1 経済産業省）

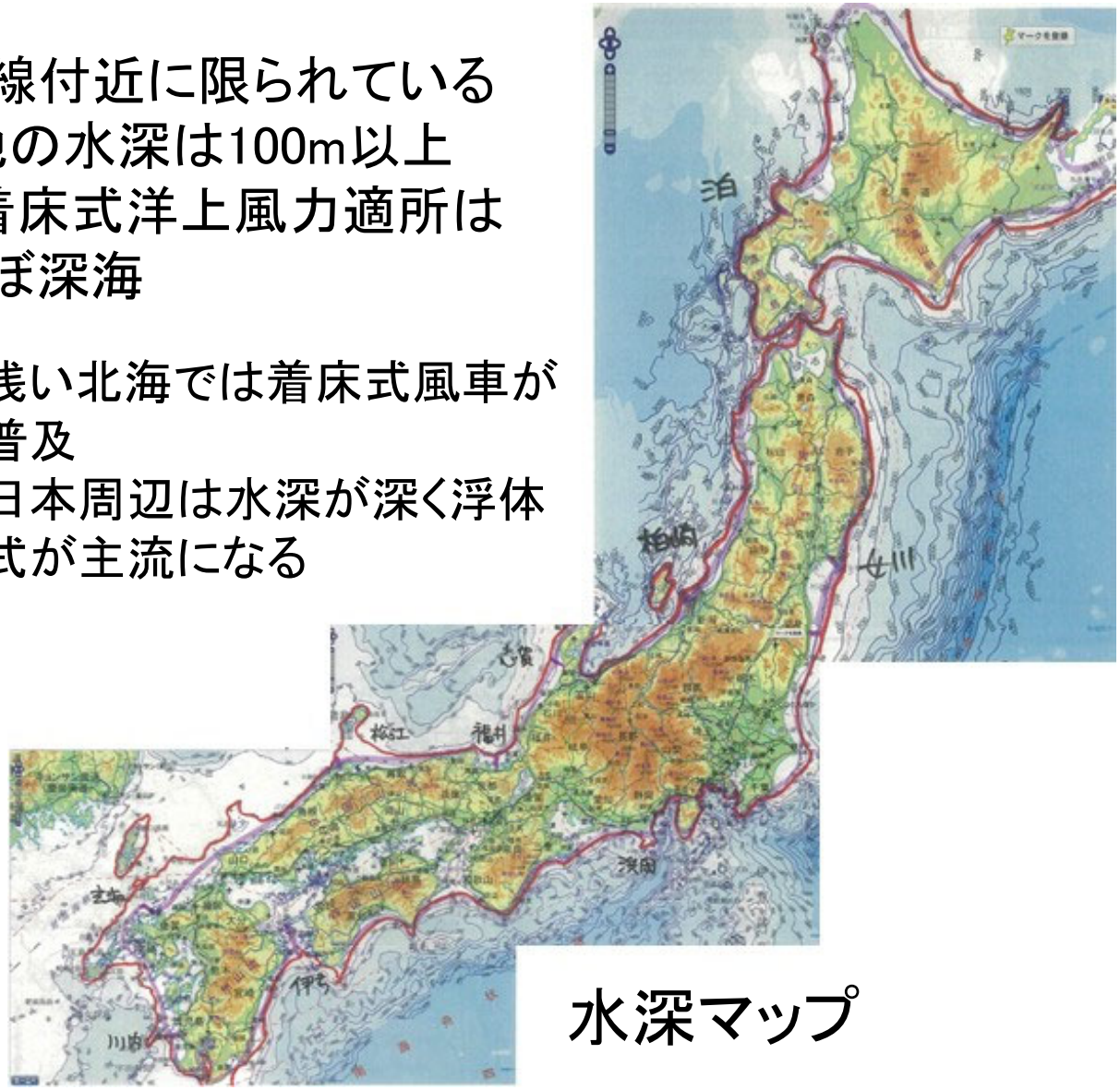
洋上風力発電の課題

水深100m未満の領域は海岸線付近に限られている
平均風速10m/s以上の好適地の水深は100m以上
水深100mの領域(右図赤線)着床式洋上風力適所は少ない　平均風速10m/sはほぼ深海



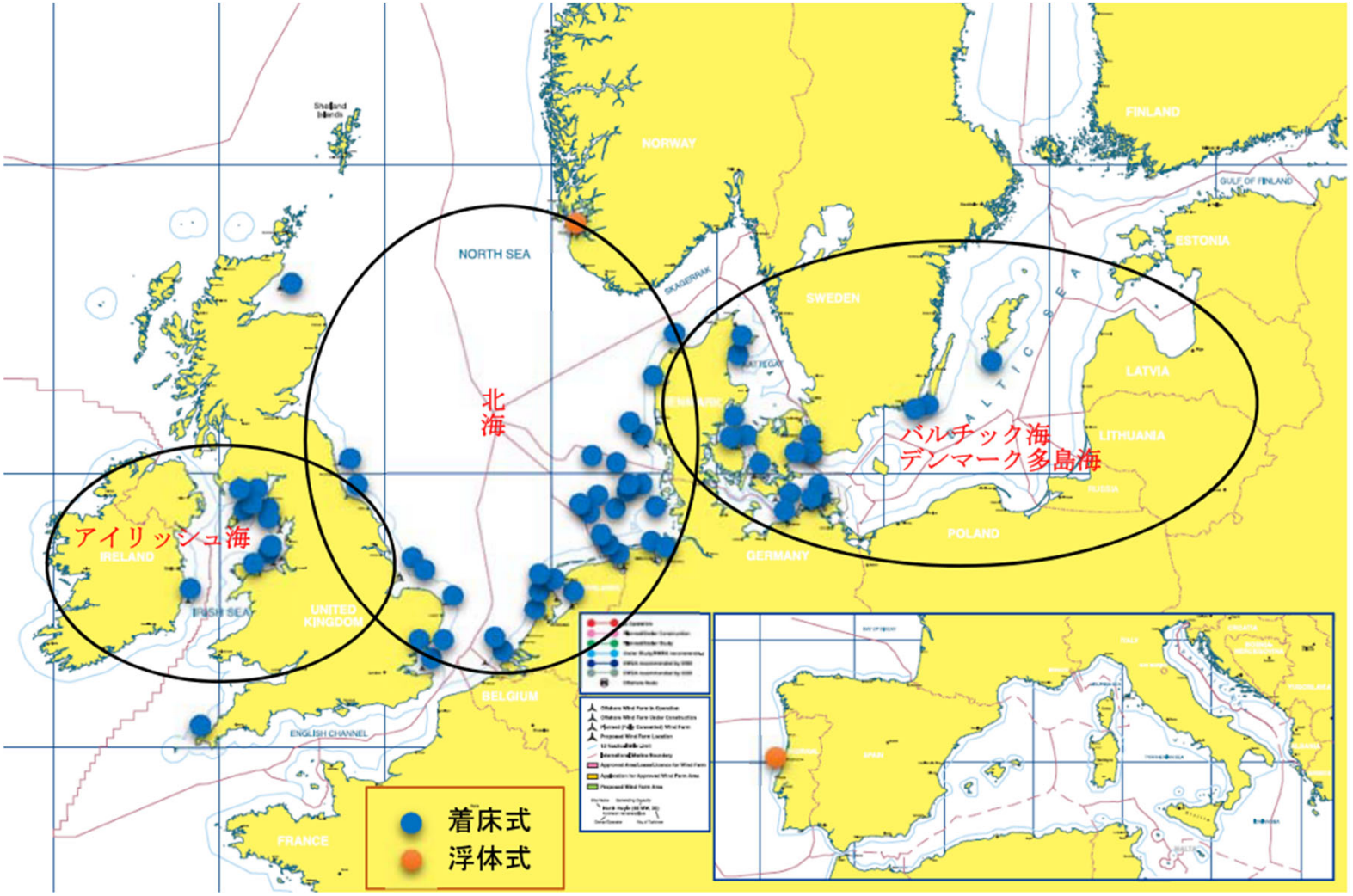
風況マップ
出典:NEDO風況マップ

浅い北海では着床式風車が普及
日本周辺は水深が深く浮体式が主流になる



水深マップ

欧州の洋上風力発電

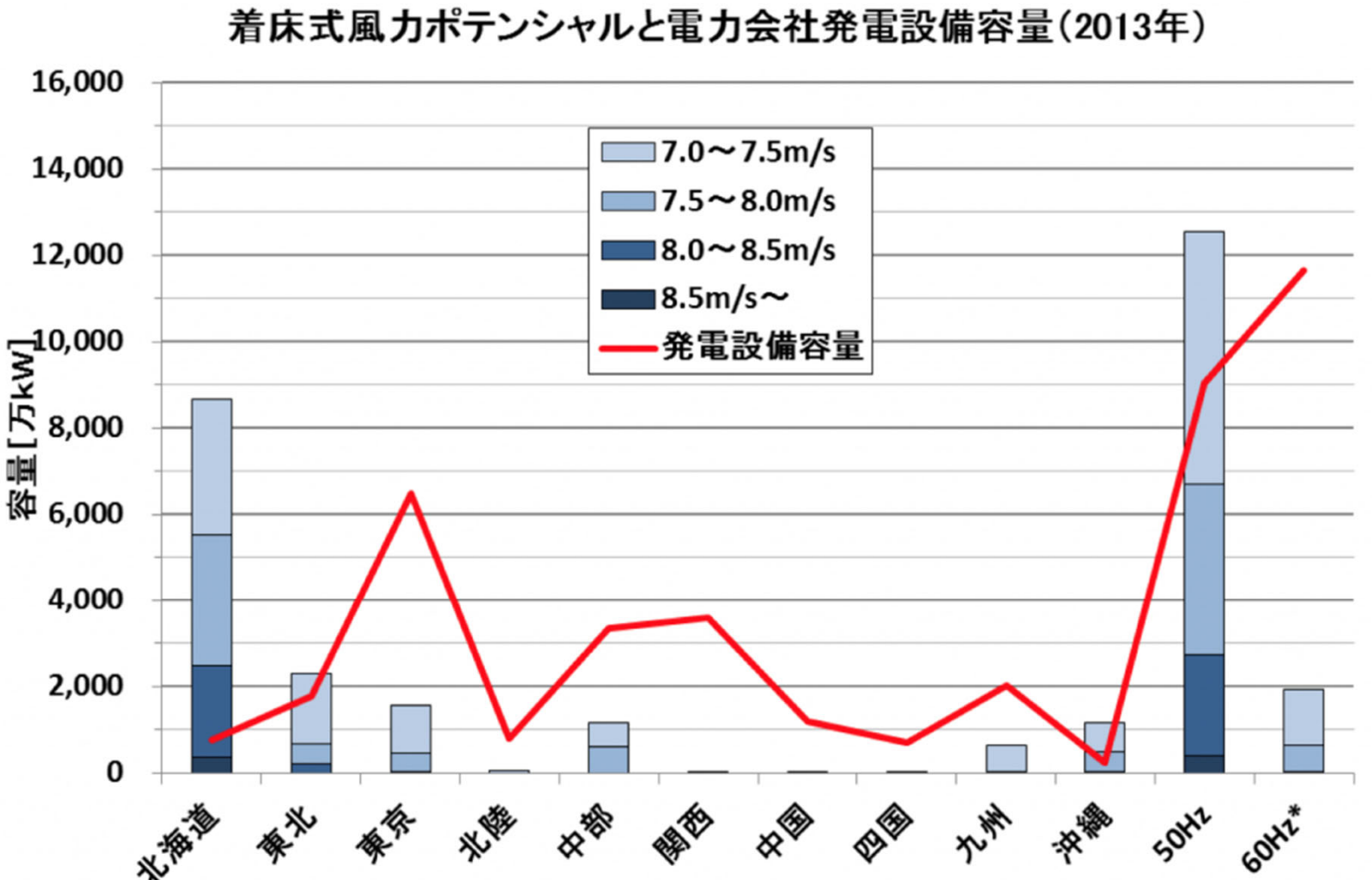


着床式が標準。設置海域はバルチック海から北海へ

着床式洋上風力のポテンシャル

- 離岸距離30km未満,水深50m未満の内,事業性の面から80m高さで年間平均風速7.0m/s以上に限定したポテンシャル
  - 各電力会社の設備容量を考慮しない場合：1億5,646万kW（国内全発電設備容量の76倍）
  - 各電力会社の設備容量を上限とした場合：6,165万kW（国内全発電設備容量の30倍）

着床式洋上風力のポテンシャル



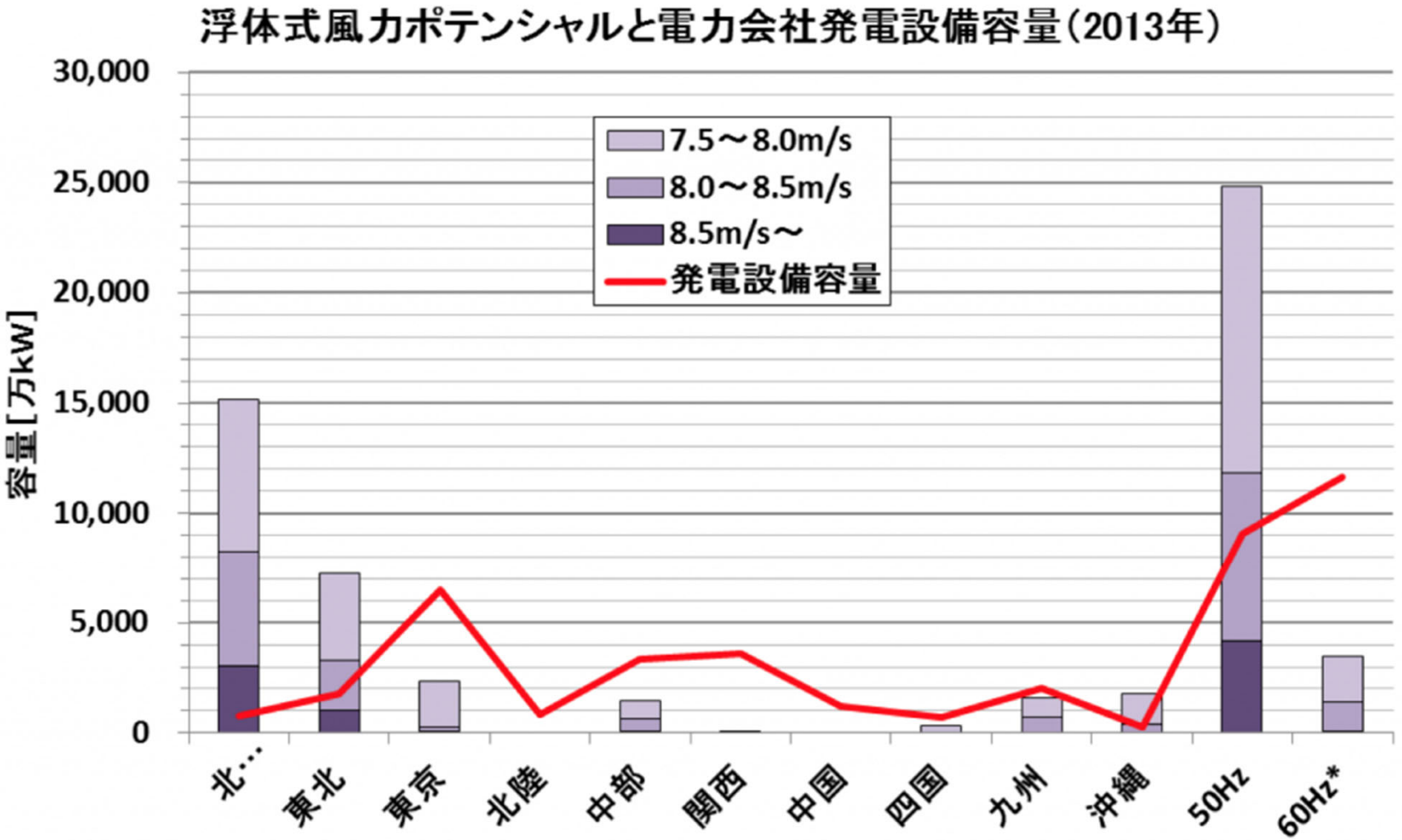
各電力会社管内別の着床式洋上風力ポテンシャル（島嶼を除く）

出典:JWPA

浮体式洋上風力発電のポテンシャル

- 離岸距離30km未満、水深50m以上200m未満の内、事業性の面から80m高さで年間平均風速7.5m/s以上に限定したポテンシャル
  - 各電力会社の設備容量を考慮しない場合：3億46万kW（国内全発電設備容量の1.45倍）
  - 各電力会社の設備容量を上限とした場合：8,480万kW（国内全発電設備容量の0.41倍）

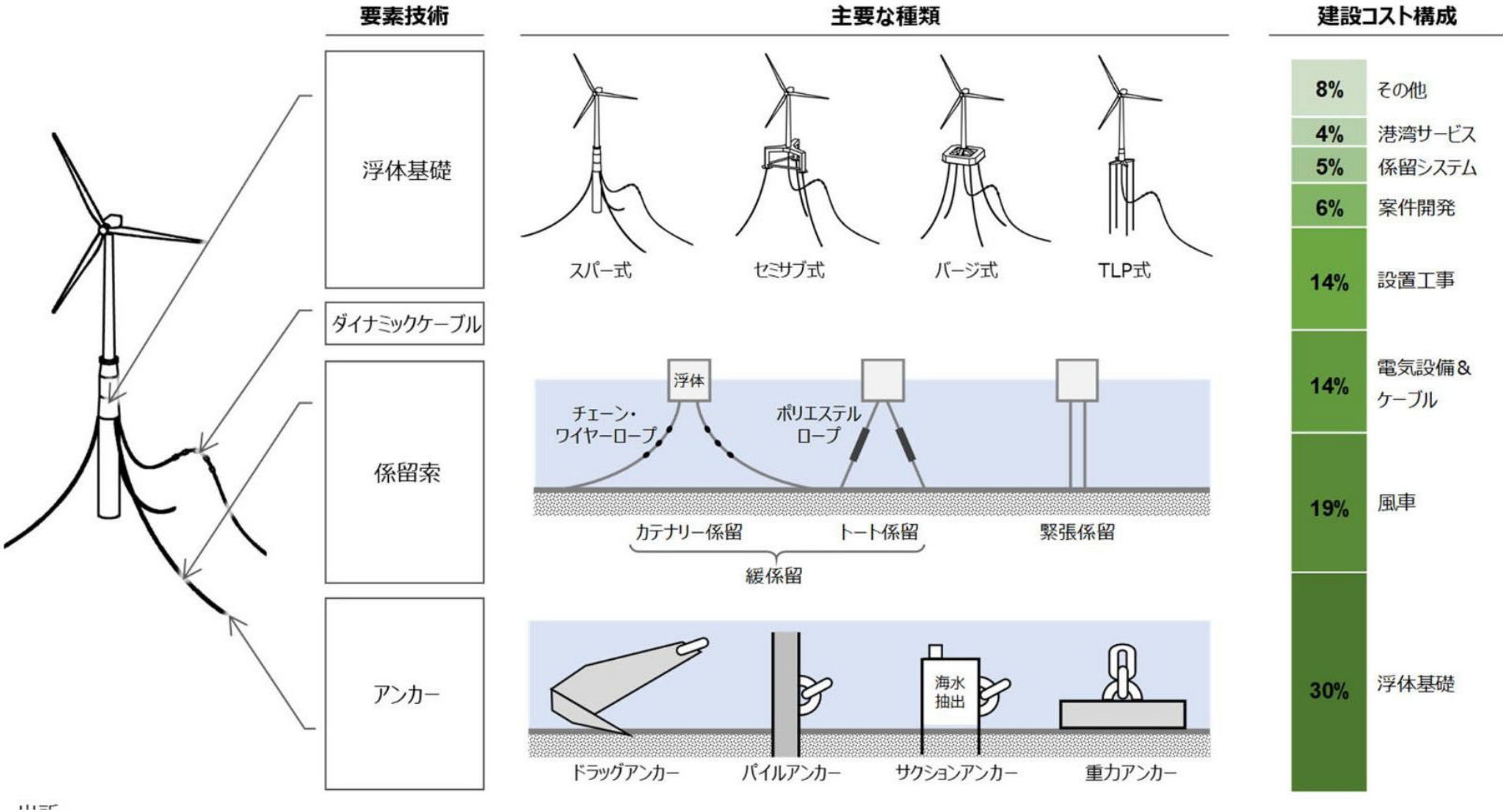
浮体式洋上風力発電のポテンシャル



各電力会社管内別の浮体式洋上風力ポテンシャル（諸島を除く）

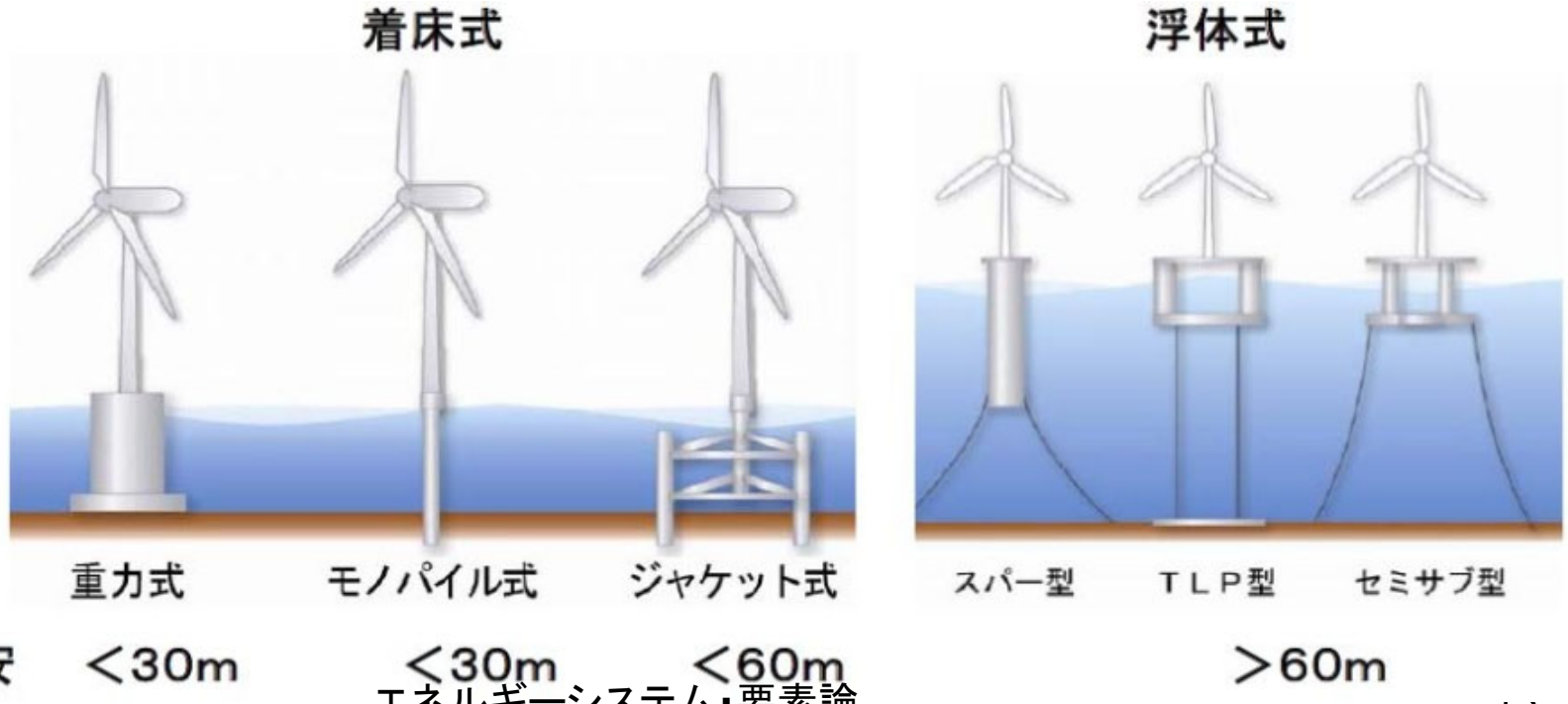
出典:JWPA

係留方式別洋上風車の分類



洋上風力発電の設置形式

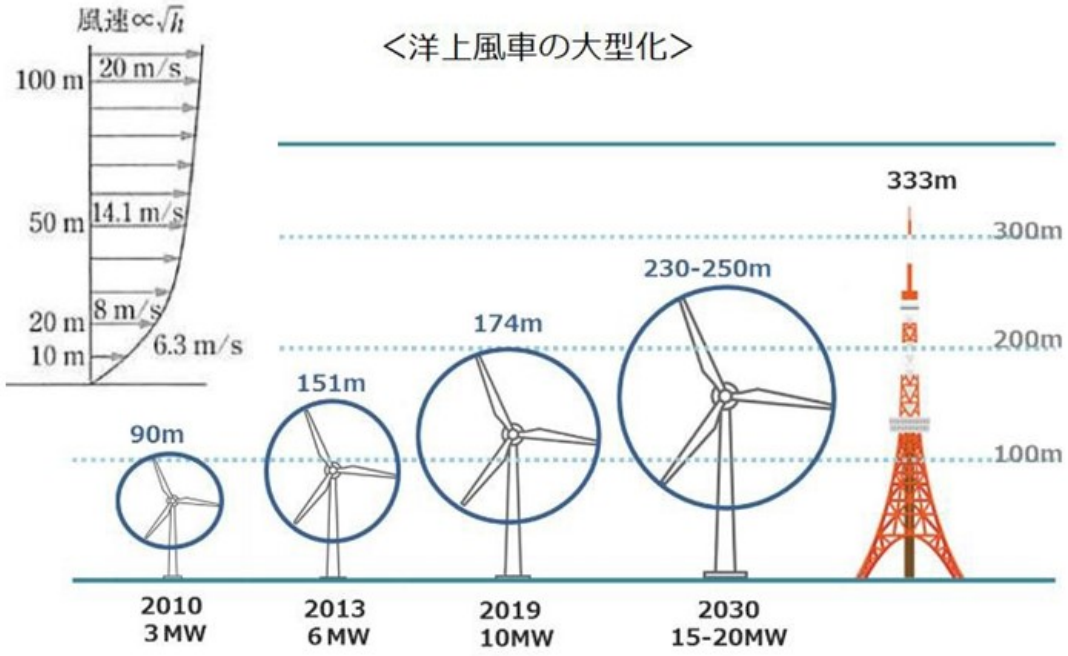
- 水深30m未満 円柱型基礎
- 80m未満　重力着底型構造物
- 大水深　浮体式



洋上風車の大きさ

欧州における洋上風力発電技術の発達

- 欧州においては、**風車の大型化とプロジェクトの大型化が同時に進展**。更に、基礎部分や据付船も大型化し、**専用船化の進展や建設工法も改良**。
- 建設工事の効率化、発電効率の向上により、**発電コスト低減が加速**。



【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



サネット, 英国 (V90-3.0MW) 2010年

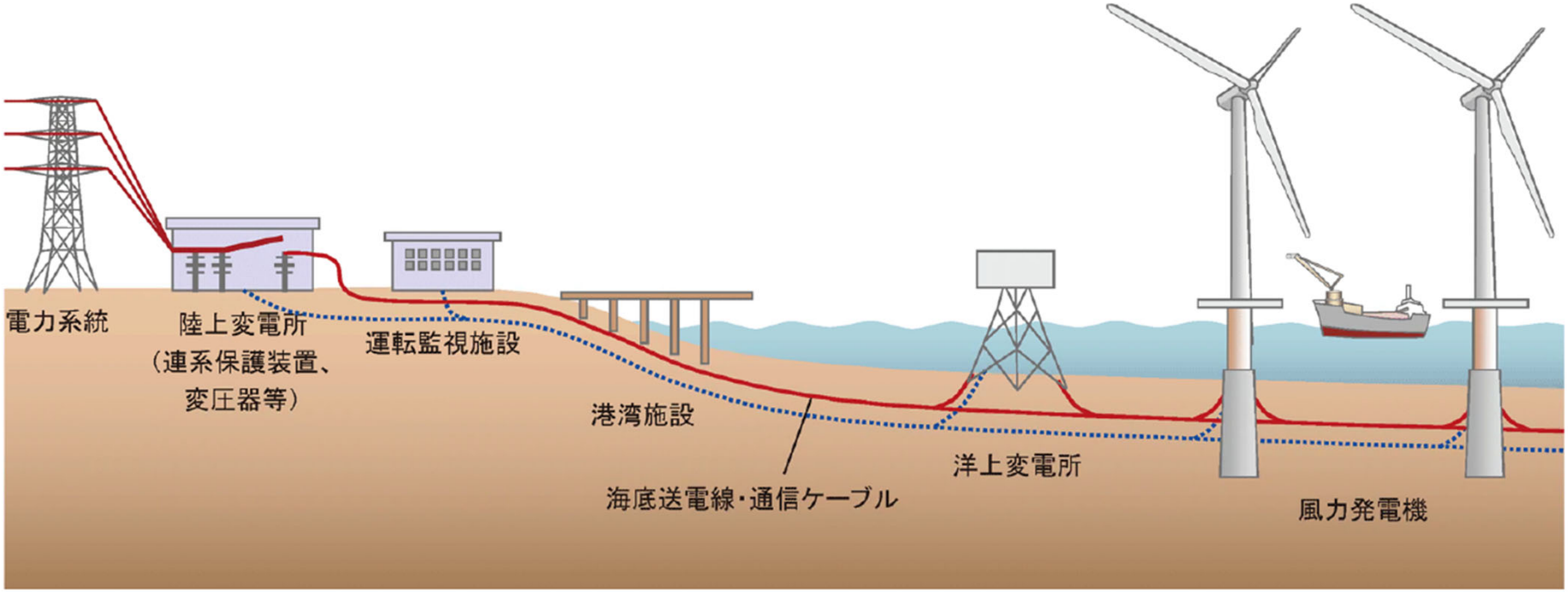
一日に最大2基の洋上風車を据付



ルフタダウネン, オランダ (V112-3.0MW) 2015年

中国東方電気集団有限公司
26MW,ブレード長153m、ローター直径310m

洋上風力発電からの送電

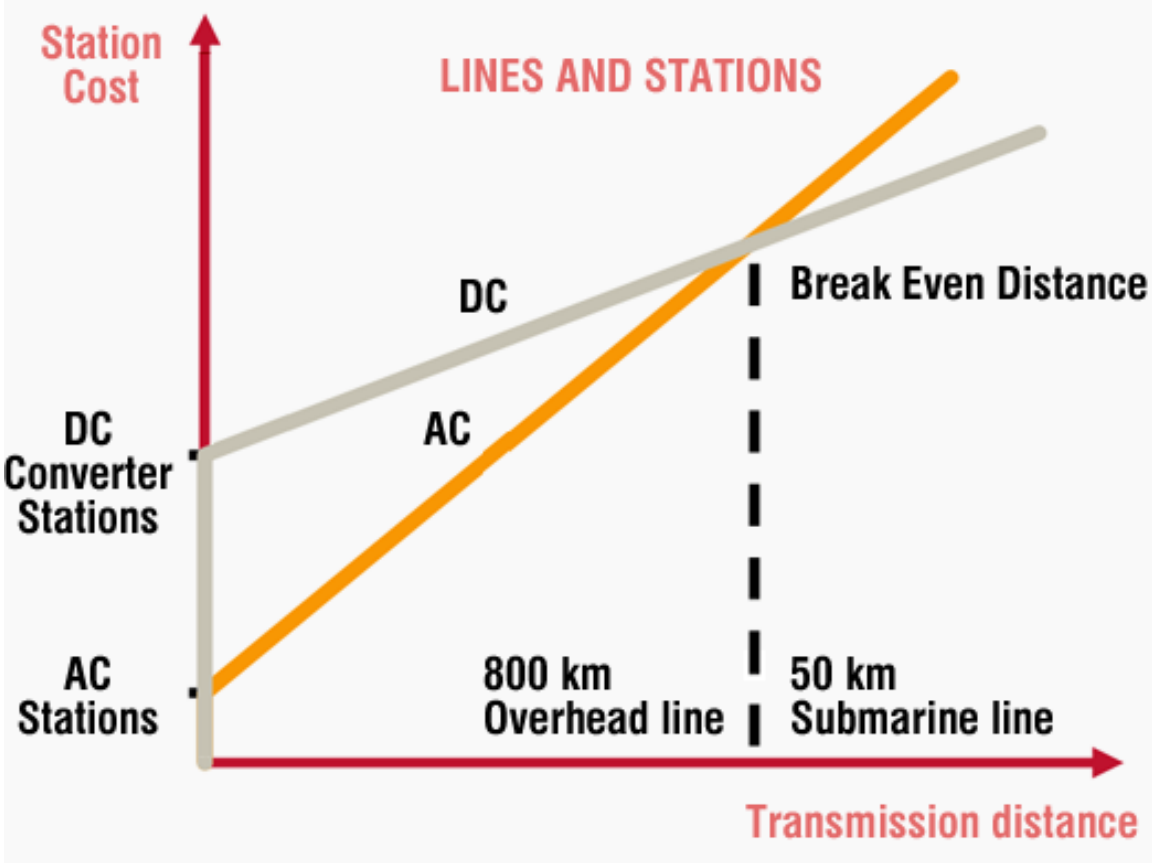


出典：NEDO再生可能エネルギー技術白書（2013-12）

洋上風力発電に必要な設備

- 風車
- 洋上変電所
- 海底送電線・通信ケーブル
- 港湾施設
- 運転監視施設
- 陸上変電所（連系保護装置、変圧器等）

長距離送電の問題



直流が交流に比べてコストメリットが生じる分岐点
架空送電線路:800km以上
海底ケーブル:50km以上

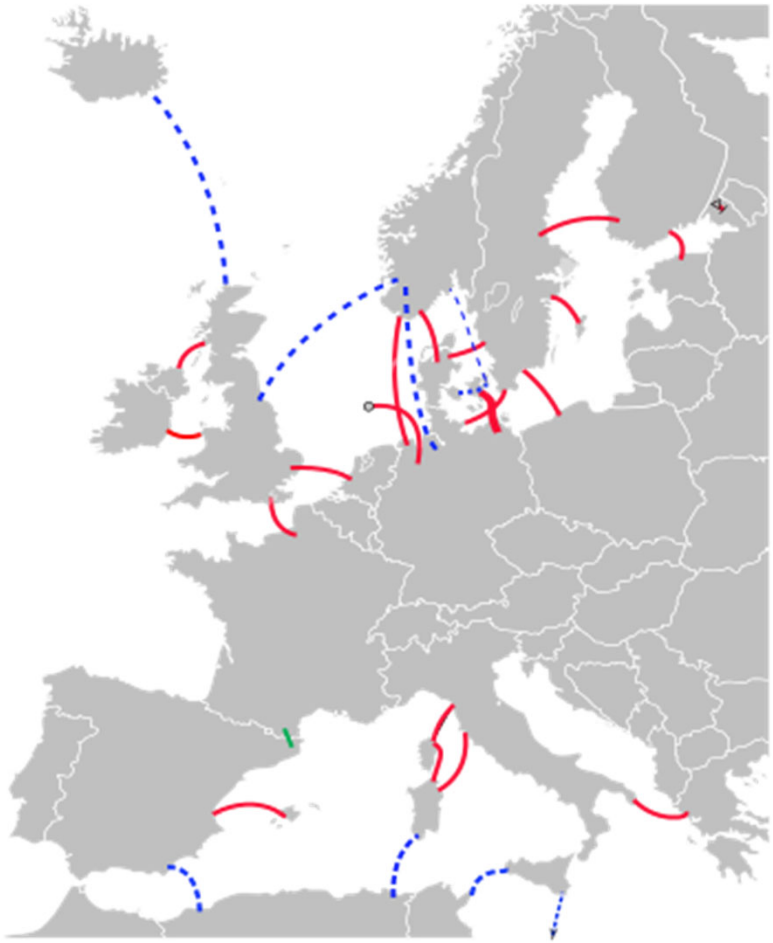
- 直流は距離によらず交直変換器が必要
- 交流は3線、直流は2線
- 距離が長くなると交流には調相設備が必要
  - 架空線:コンデンサ
  - ケーブル:リアクトル

※Analysing the costs of High Voltage Direct Current (HVDC) transmission (August, 6th 2014)

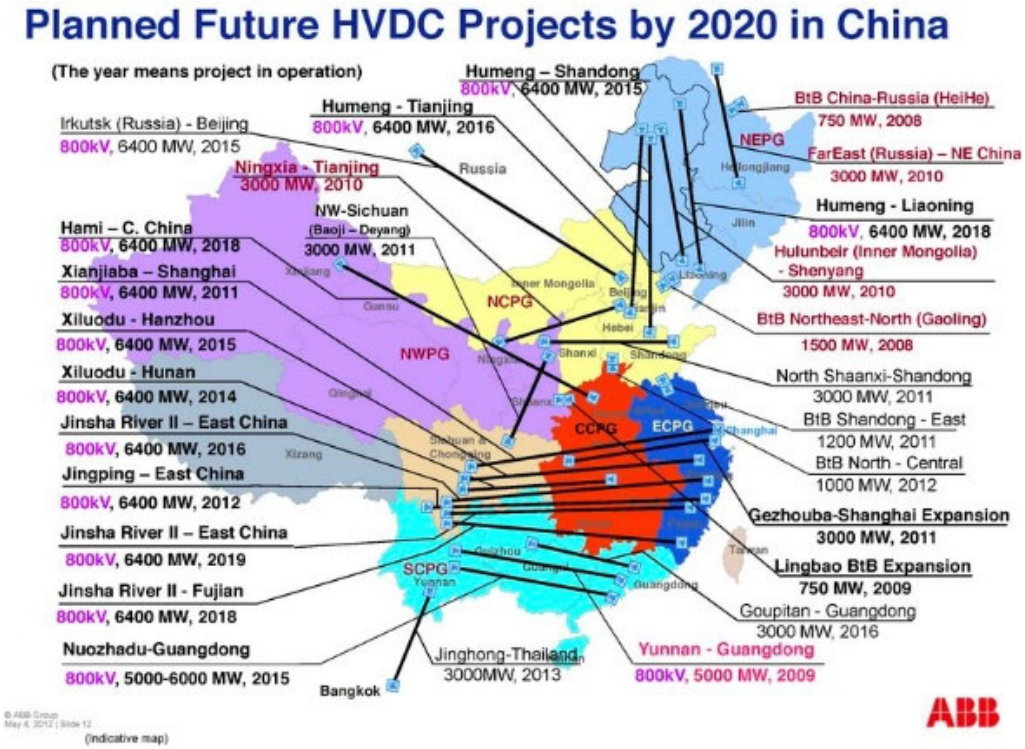
直流送電と交流送電の利点･欠点

項目	直流送電	交流送電	備　考
長距離送電	○	× （ﾌｪﾗﾝﾁ等,系統安定度難）	C成分が大きくなる長距離送電ケーブルの場合は、直流が適
送電容量	○ 熱制約のみ	× 熱制約あり（導体抵抗ﾛｽ） LC制約あり（無効電力ﾛｽ）	同　上
絶縁設計	○	$\times\sqrt{2}$	
送電効率	○	×	
電圧変換	× 変換器必要	○ 変圧器	
交直変換設備	×	○	主系統が交流の場合
遮断	× 難（ｱｰｸ対策要）	○ 容易（ゼロ点あり）	

世界の直流送電



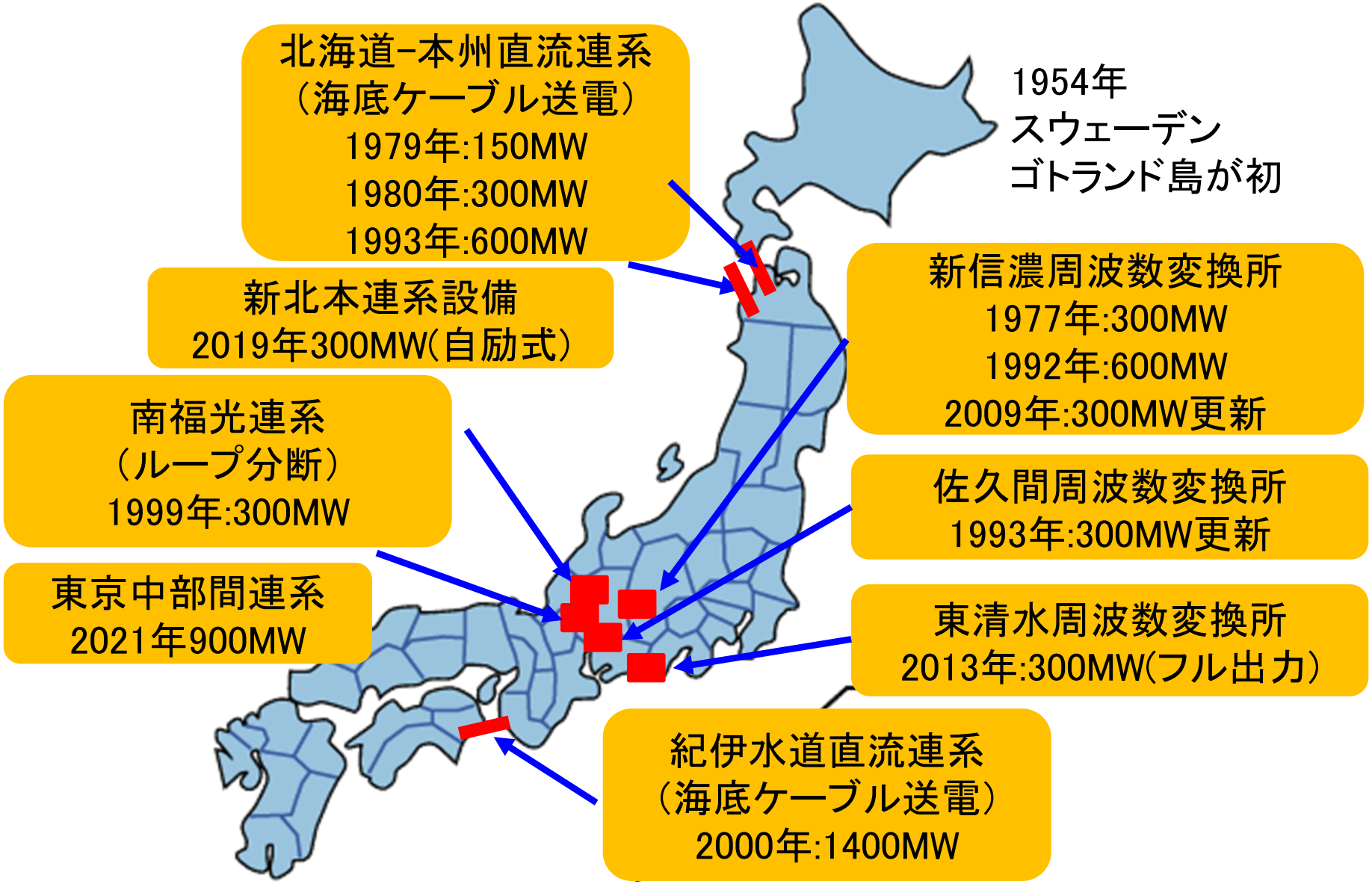
ヨーロッパ



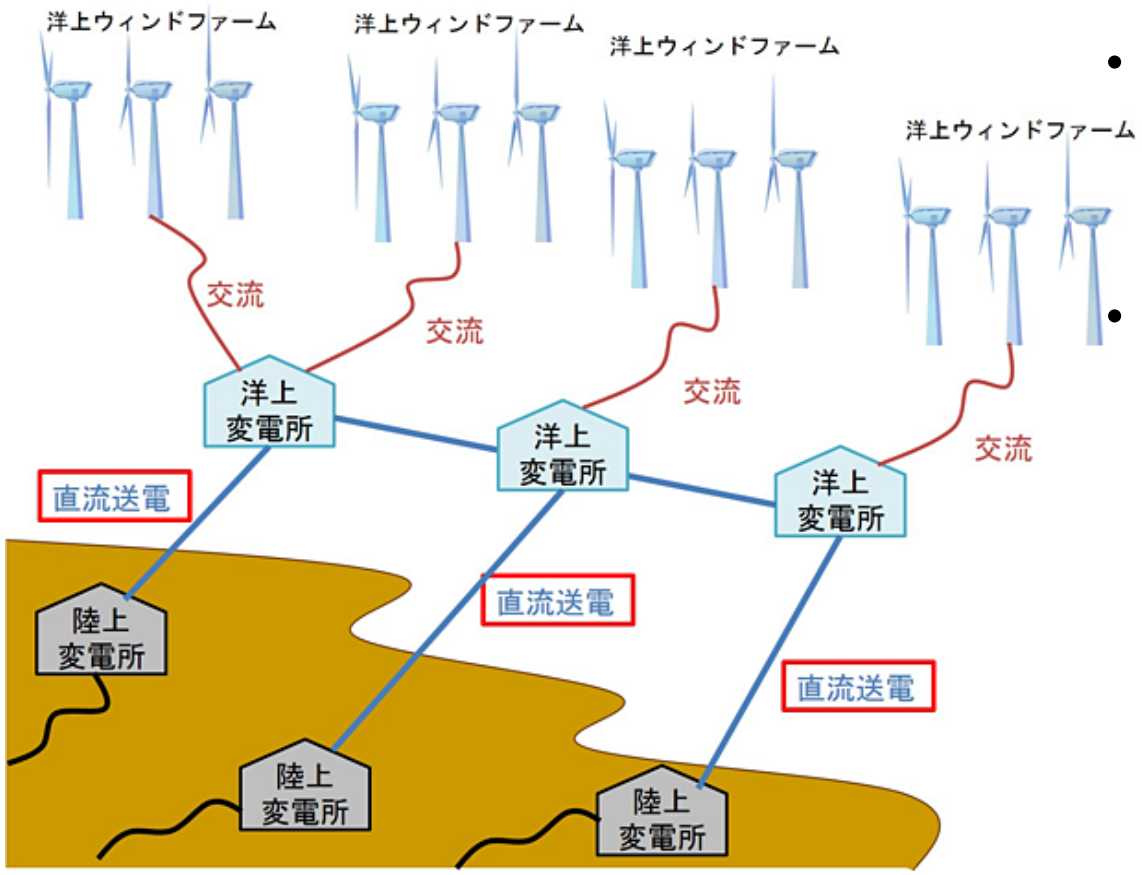
中国

海底ケーブル
長距離架空線送電

日本の直流送電・連系設備



日本に適した
洋上風力発電の構成

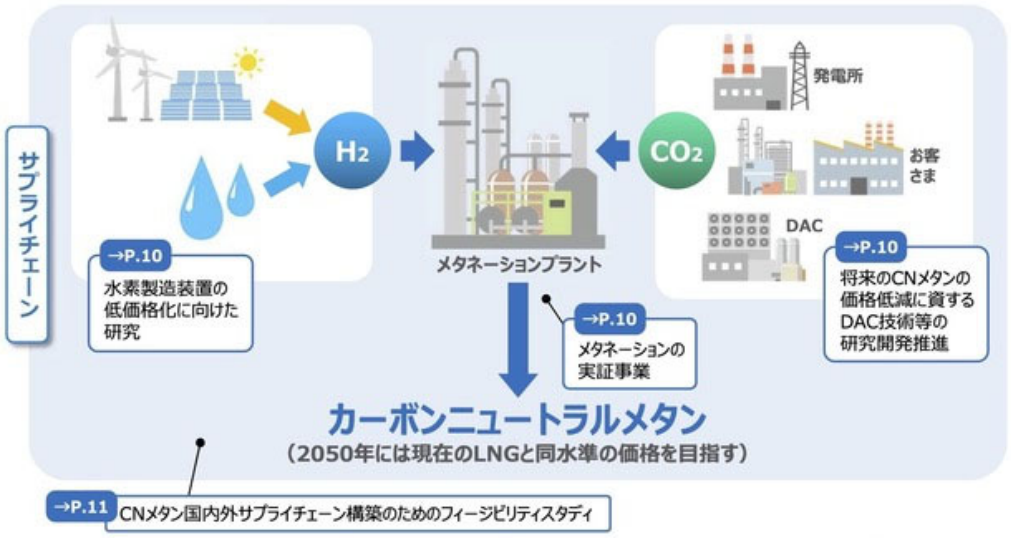


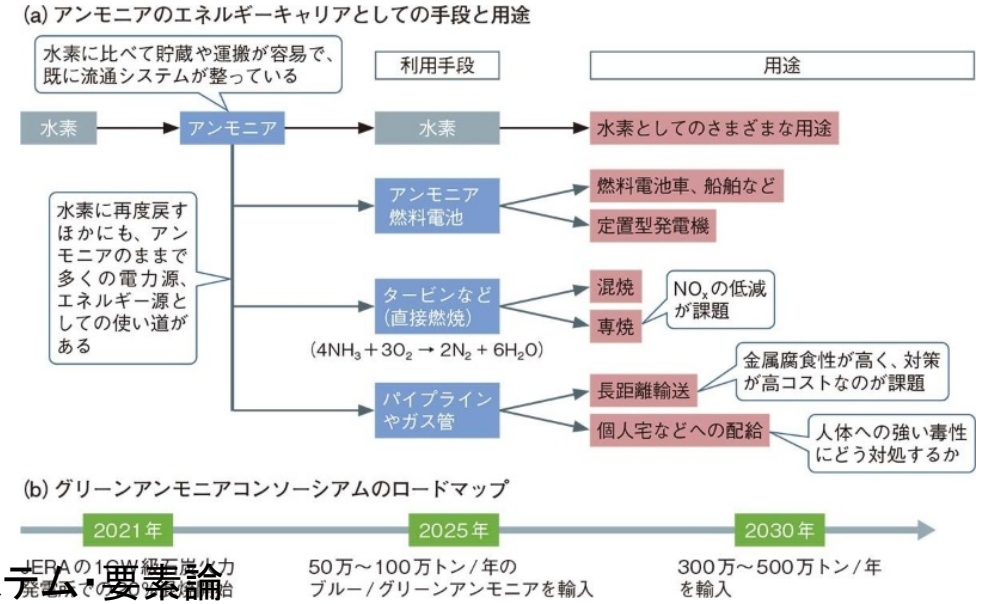
直流多端子送電の概念図

- 欧州は北海など遠浅な海域が広がる
  - 洋上WFと電力系統を1対1で結ぶ2端子直流送電システムを複数構築で対応可能(BorWin3,DolWin3)
- 日本は離岸距離が長くなると水深が急に深くなるため，洋上風力の導入ポテンシャルが沿岸に帯状に分布
  - 複数の洋上WFを既存の大容量の送電系統または大需要地に直接接続して，電力供給を柔軟に行う多端子洋上直流送電システムが供給信頼度やコスト面において有効

2050年の風力発電

- 風力発電で電気を作っても
  - 需給バランスをとる必要あり
  - 蓄電池が必要　→　大容量は難しい
  - 政府が水素社会と言っとるので水素をつくる
    - キャリアはメタン･アンモニア

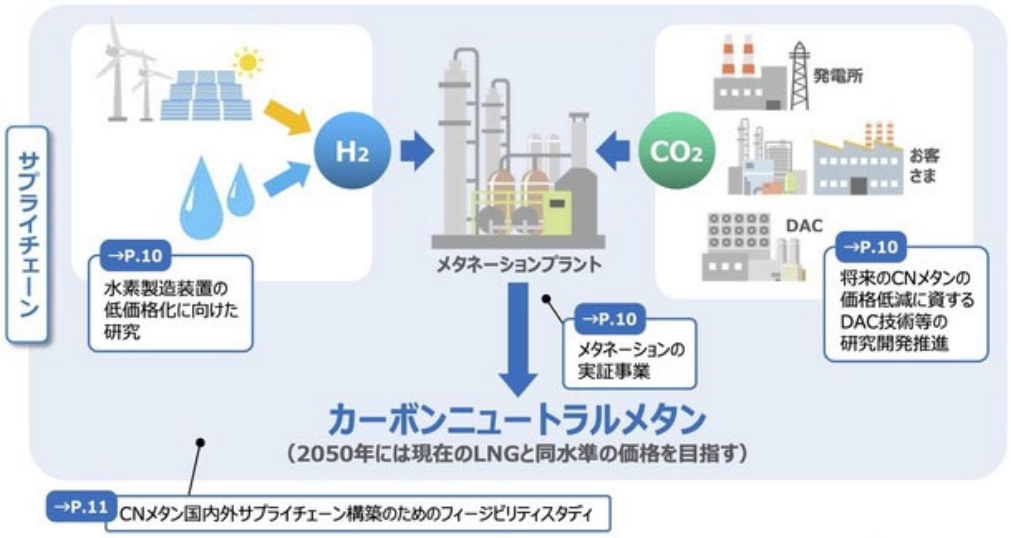


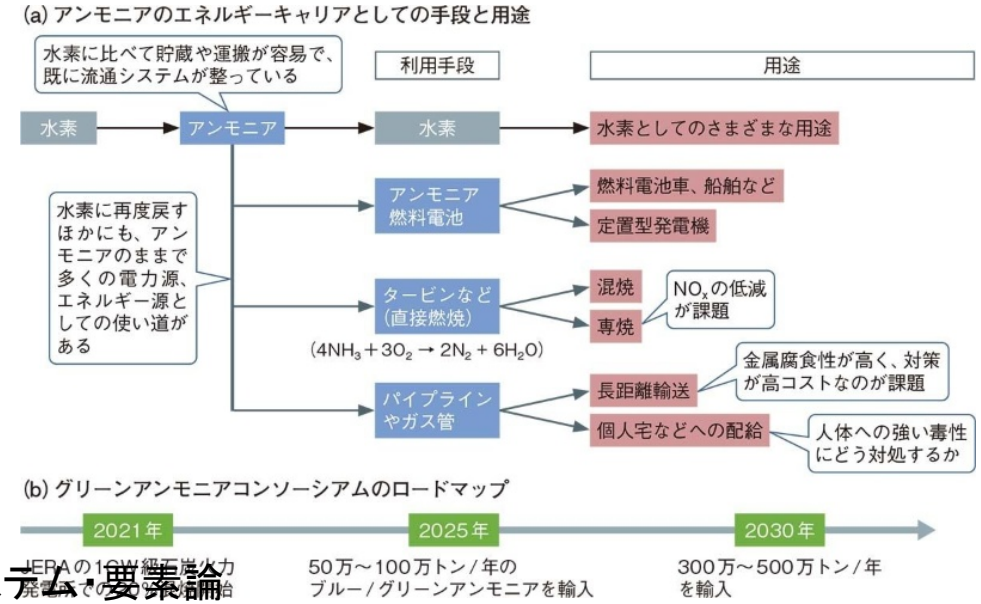


© 2021 The Japan Gas Association

2050年の風力発電

- 風力発電で電気を作っても
  - 需給バランスをとる必要あり
  - 蓄電池が必要　→　大容量は難しい
  - 政府が水素社会と言っとるので水素をつくる
    - キャリアはメタン･アンモニア





© 2021 The Japan Gas Association

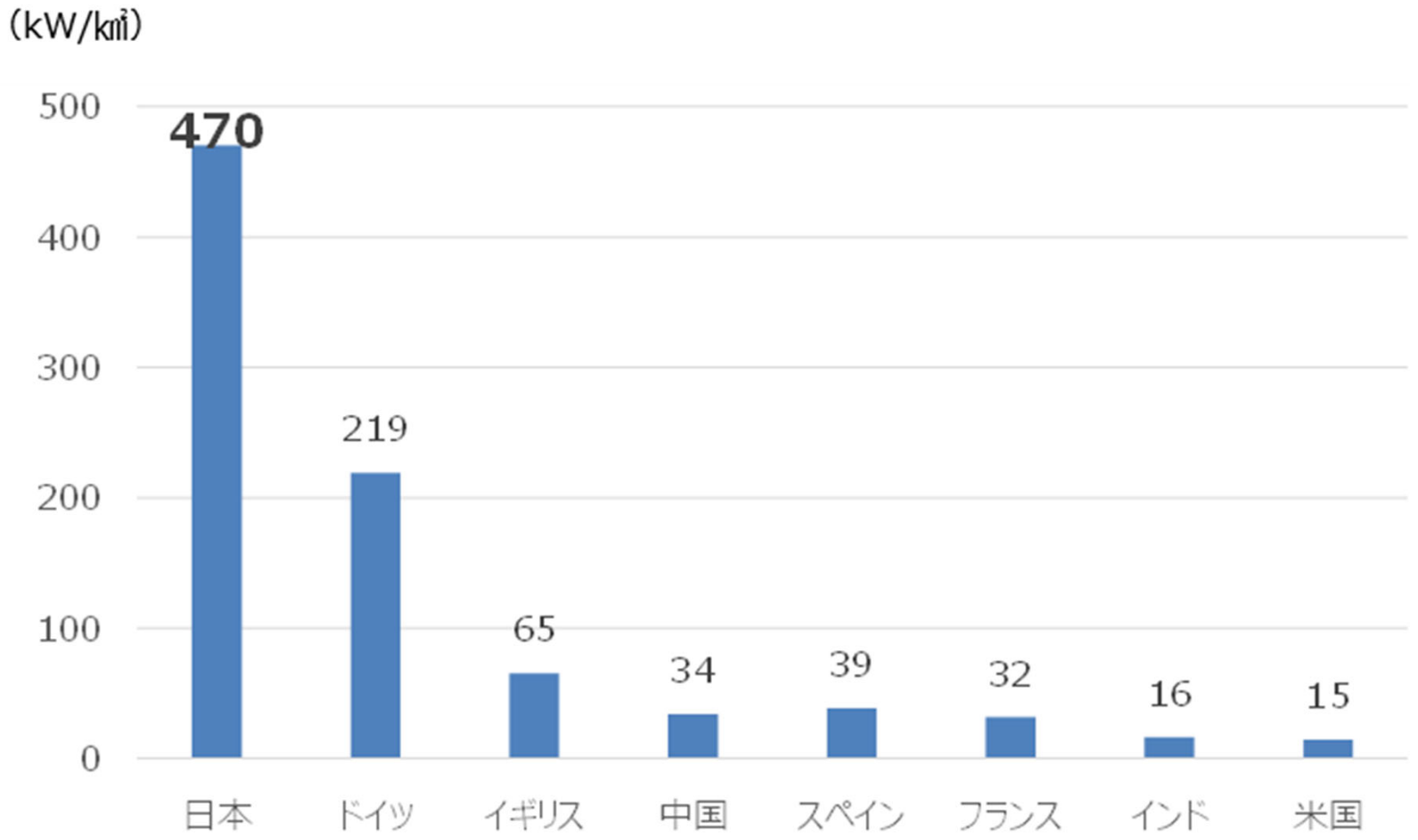
電池の種類

- 物理電池
  - 物理エネルギーを電気エネルギーに変換
  - 太陽電池
  - 熱電対
- 化学電池
  - 化学エネルギーを化学反応によって電力(直流)に変換
  - 一次電池　放電のみ可能
  - 二次電池　充電可能
  - 燃料電池

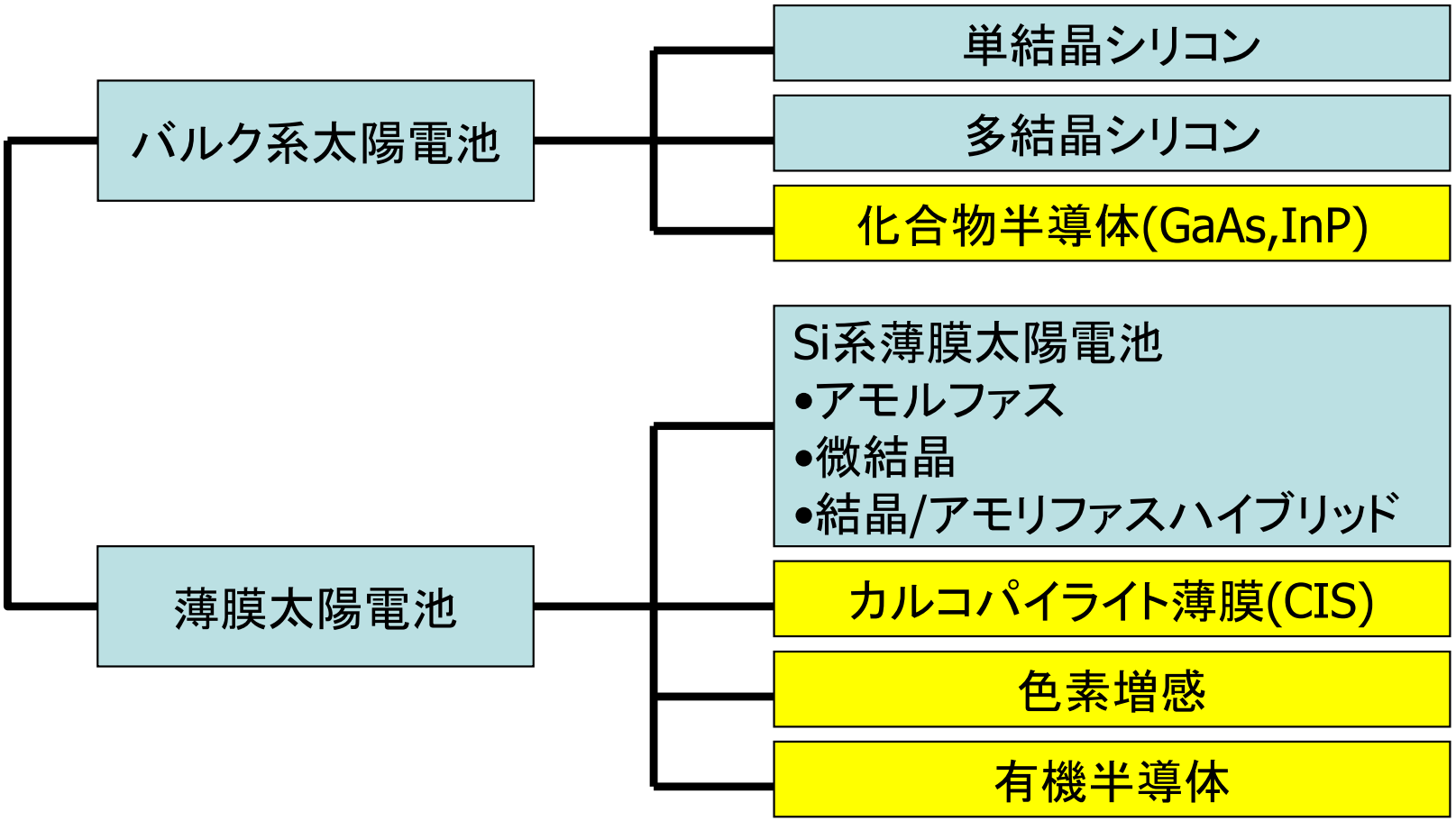
ネルンストの式

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \log_e \frac{Rd_1 Ox_2}{Ox_1 Rd_2}$$

平地面積あたりの太陽光設備容量



太陽電池の種類


バルク系太陽電池
単結晶シリコン
多結晶シリコン
化合物半導体(GaAs,InP)
薄膜太陽電池
Si系薄膜太陽電池
•アモルファス
•微結晶
•結晶/アモリファスハイブリッド
カルコパイライト薄膜(CIS)
色素増感
有機半導体