

風力発電の導入促進に向けて ～風力発電の現状と展望～



2014年8月8日

一般社団法人

日本風力発電協会

<http://jwpa.jp>



神奈川県 横浜市



千葉県 銚子沖

目次

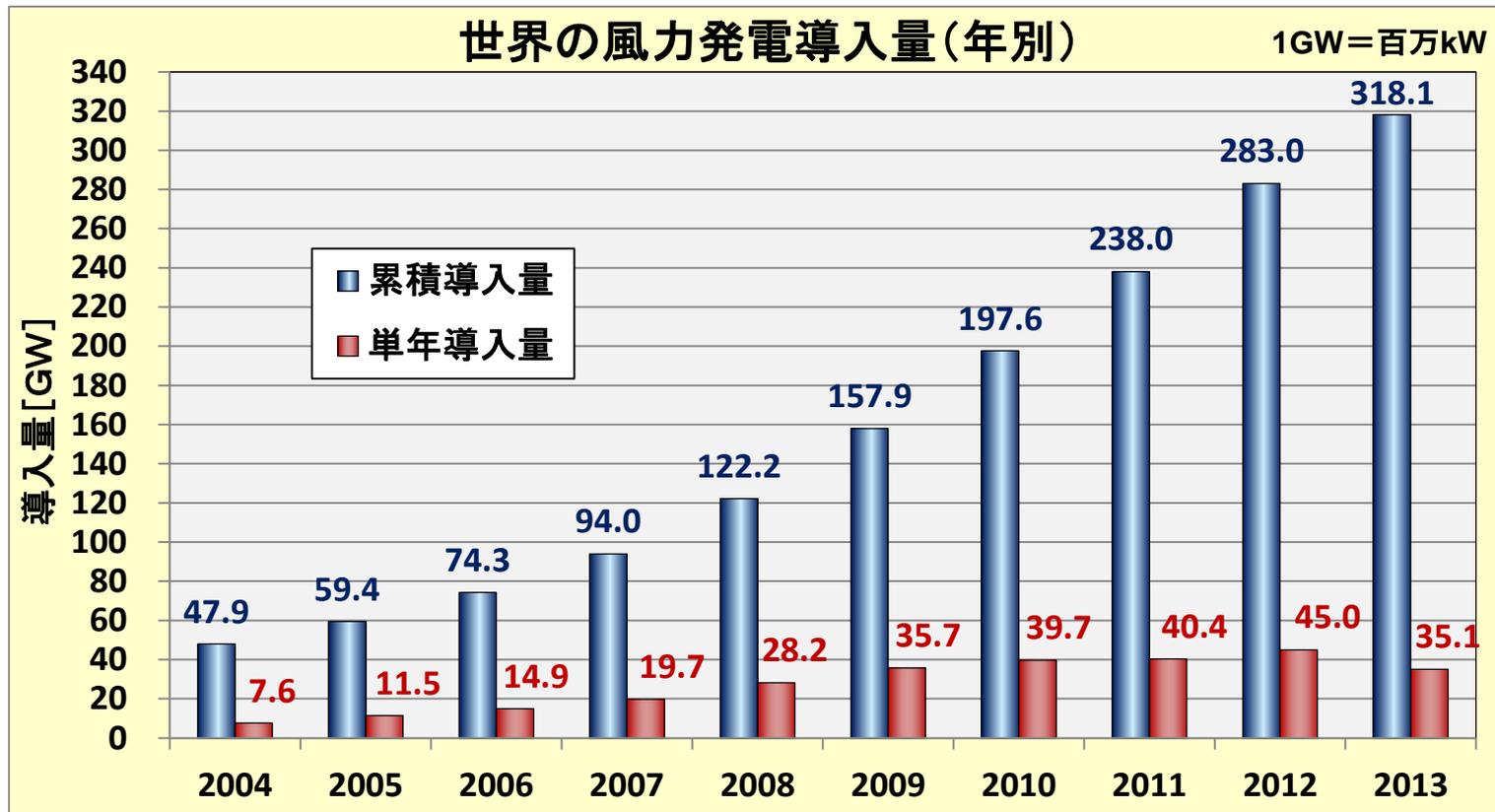


1. 世界の風力発電導入実績 3
2. 日本の風力発電導入実績 5
3. 電力会社別の導入実績と導入計画状況 6
4. 2050年導入目標とロードマップ (JWPAビジョン) 7
5. CO₂削減効果 (JWPAビジョン) 9
6. 経済波及効果と雇用創出効果 (JWPAビジョン) 10
7. 風力発電の発電コスト (2010年・2030年モデル) 13
8. 風力発電の発電コスト低減策 15
9. 自然変動電源の発電電力相関 21
10. 一般社団法人 日本風力発電協会 24

1. 世界の風力発電導入実績(年別)



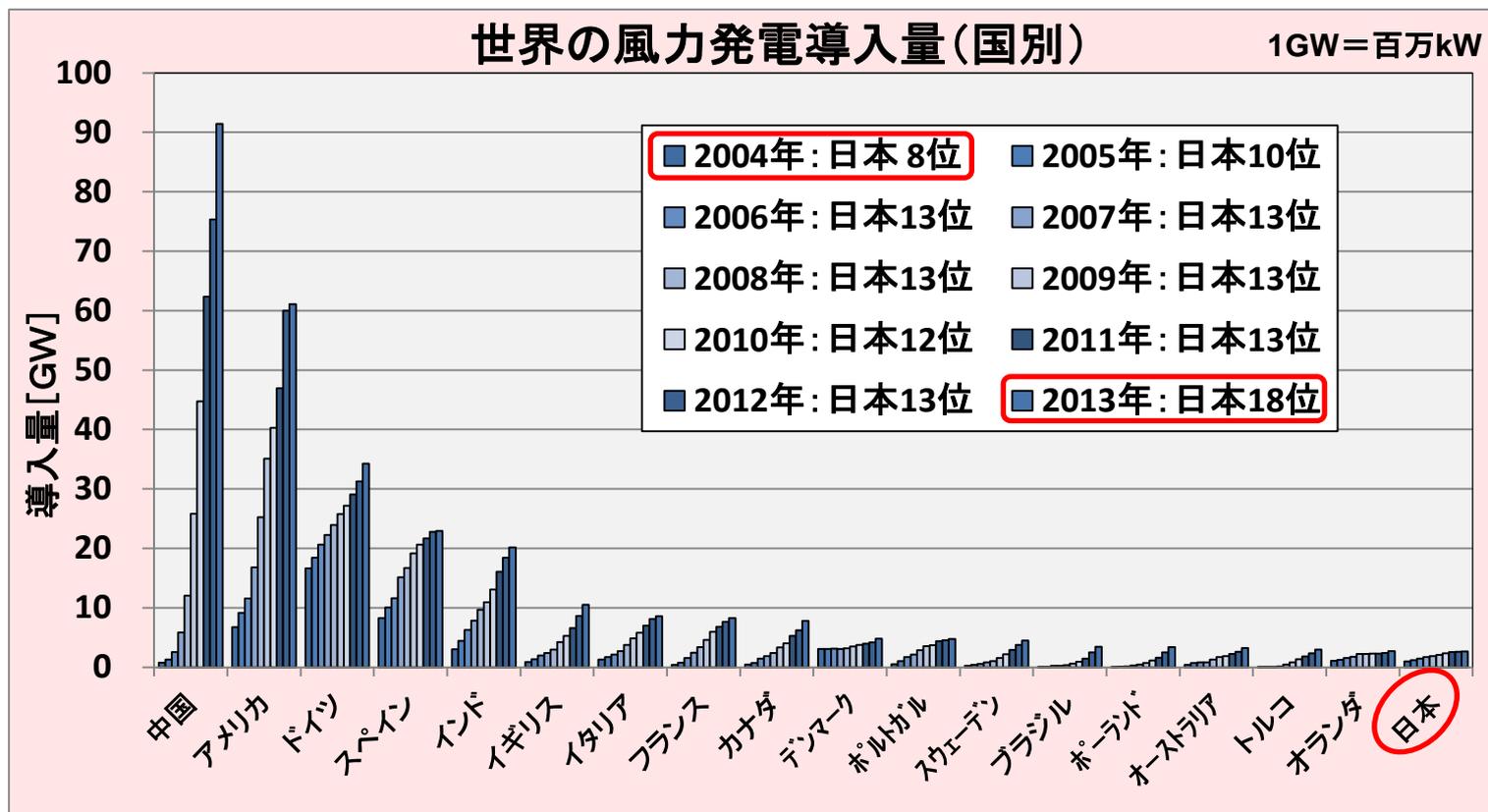
- 2013年累積導入量は、**3億1,814万kW**(国内電力会社の全発電設備容量の約1.6倍)
- 2013年単年(3,509万kW)で、**日本の累積導入量(270万kW)の約13倍**を導入
- 過去10年間に於ける年平均増加率は、約21%



<1. 参考>世界の風力発電導入実績(国別)



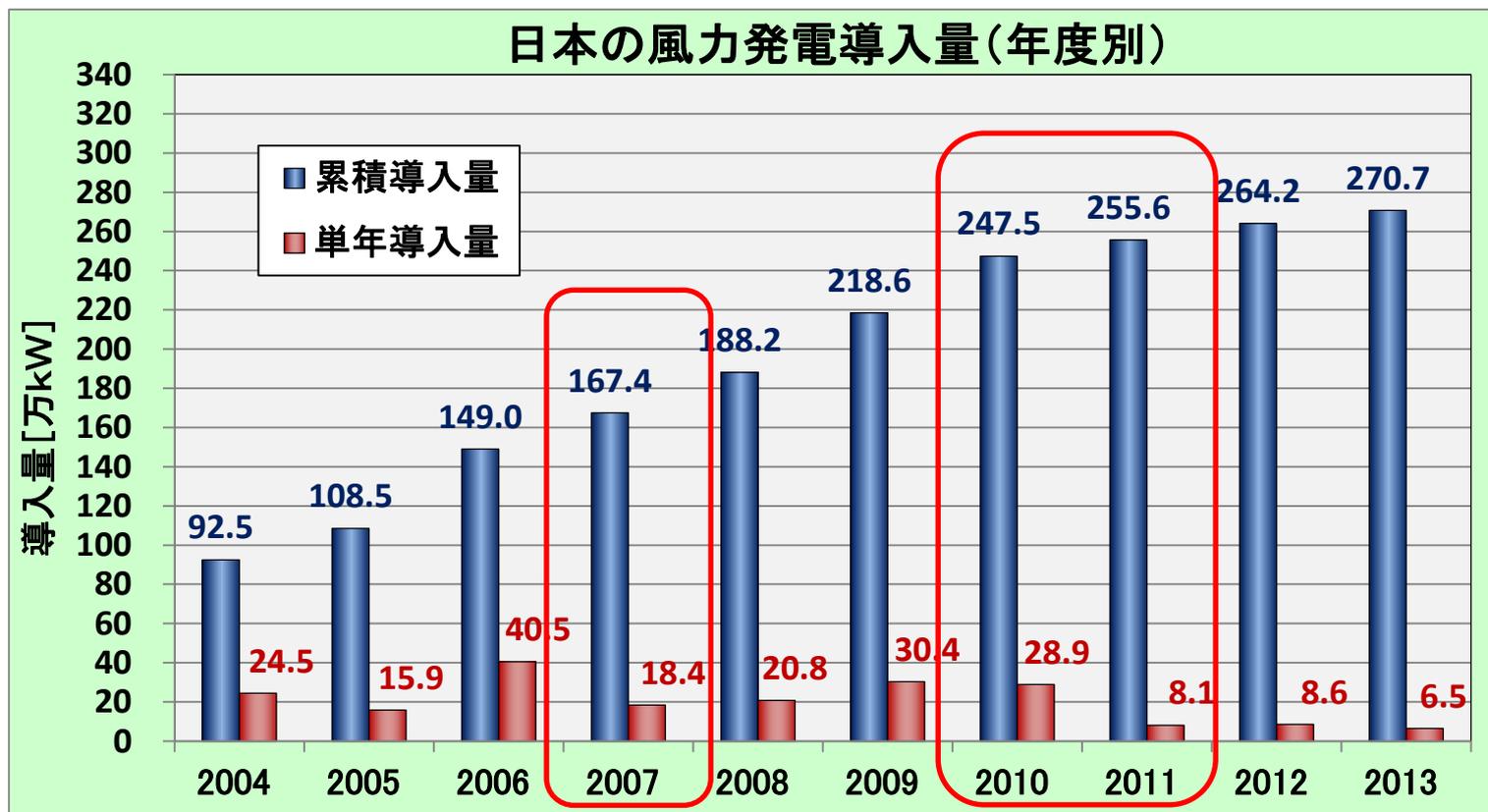
- 1位の中国は、9,143万kW(世界合計の約28.7%)
- **日本は、270.7万kWであり、世界第18位(世界合計の約0.8%)**
- イギリス、フランス、カナダ、スウェーデン、ブラジルも急増中



2. 日本の風力発電導入実績(10kW以上)



- 2013年度累積導入量 **270.7万kW**、**1,934基**、**414発電所**
- 2007年度: 建築基準法の改正により、建設の長期化とコストアップ
- 2010年度: 新規WF向け建設費助成制度廃止 (FIT移行は2012年度)

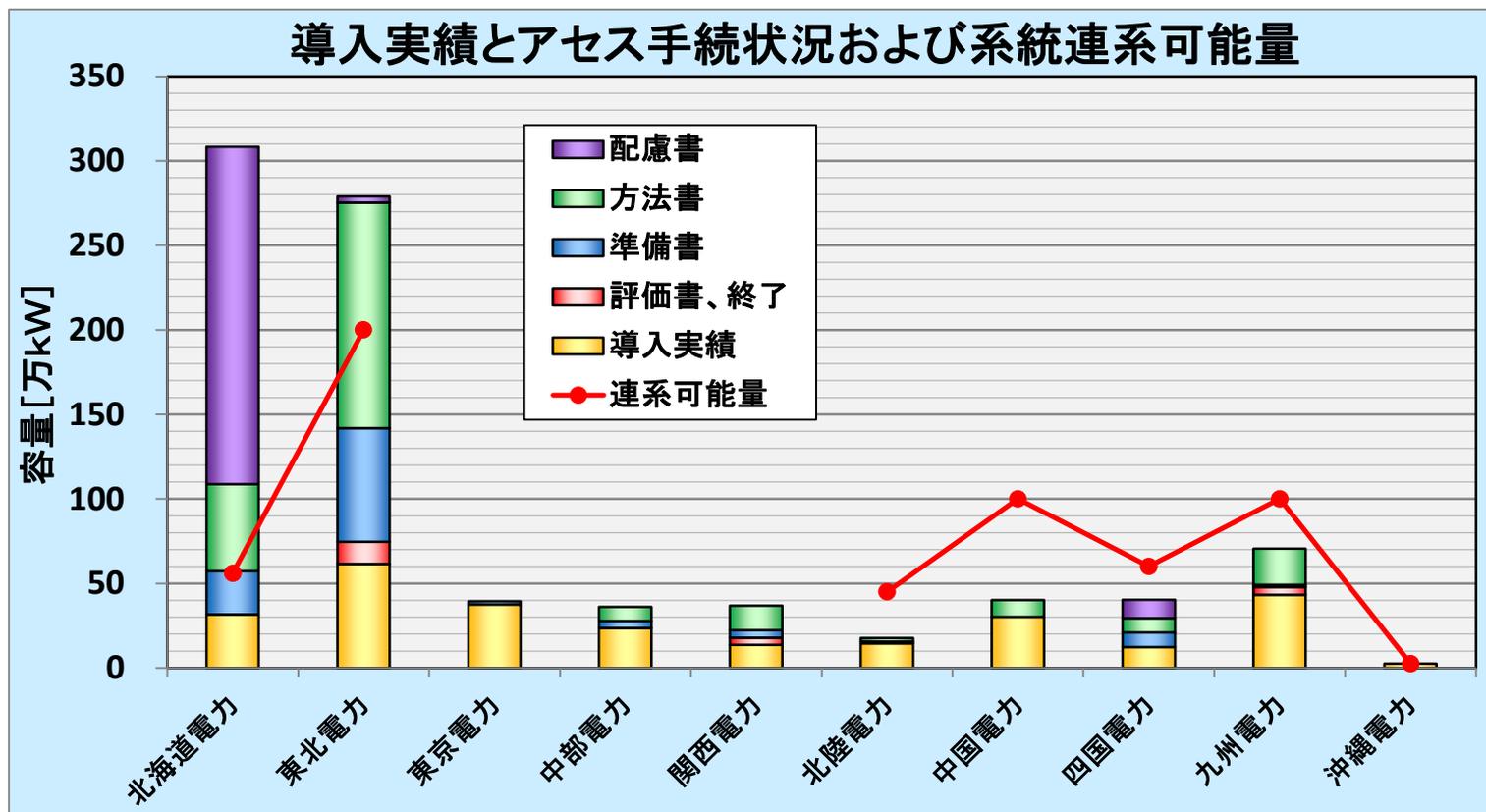


国の導入目標
2010年度
300万kW
達成できず。

3. 電力会社別の導入実績と導入計画状況



- 建設の確実性と建設までの期間短縮を図る為に、以下の措置が必要
 - 系統連系可能量の見直し⇒算定条件の統一化、電力系統の広域運営を考慮
 - 設備認定条件と接続検討申込条件(一部電力)の見直し⇒方法書段階(認定)、条件撤廃
 - FIT: 利潤に配慮する期間(3年間)の延長⇒風力の環境アセス手続期間を考慮



各電力会社の設備容量・設備構成などにより、連系可能量が設定されている。
(東京、中部、関西は設定なし)

【アセス状況】
(2014年7月時点)
☆配慮書段階 約215万kW
☆方法書段階 約250万kW
☆準備書以降 約115万kW

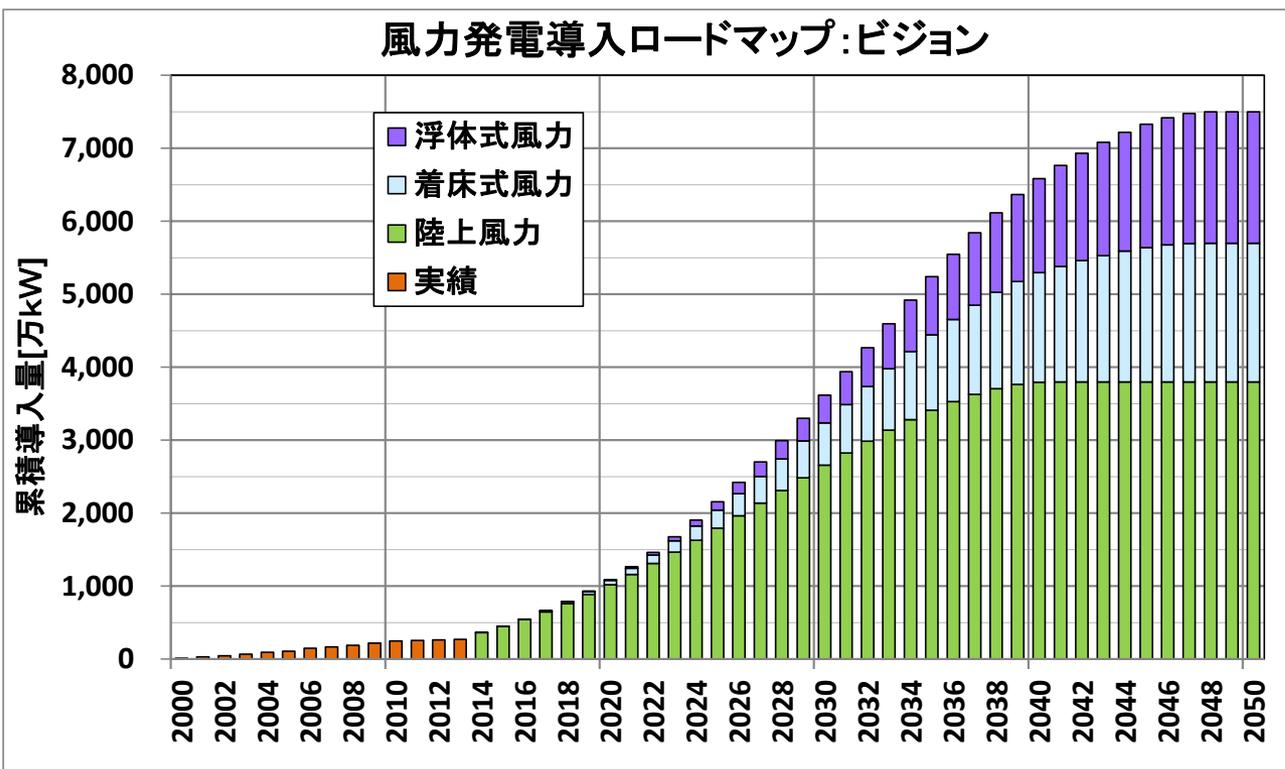
【設備認定】
(2014年3月時点)
約104万kW

出典: NEDO 日本における風力発電設備・導入実績、ESCJ 連系可能量確認WG報告書、環境影響評価支援ネットワークホームページ を基に、JWPA作成

4. JWPA策定の2050年導入目標とロードマップ (JWPAビジョン)



- 2050年度の推定需要電力量* (シナリオA)に対して、風力から20%供給
 - 積極的な電力系統の広域運用、地域間および地域内送電線の新增設
 - 気象予測に基づく「自然変動電源の発電電力予測システム」の適用
 - 風車制御機能(出力上昇率制限運転、最大出力抑制運転)の活用



年度	風力発電導入実績と導入目標値 [万kW]				発電電力量 [億kWh]
	合計	陸上	着床	浮体	
2010	248	245	3	0	43
2020	1,090	1,020	60	10	230
2030	3,620	2,660	580	380	840
2040	6,590	3,800	1,500	1,290	1,620
2050	7,500	3,800	1,900	1,800	1,880

- ☆2050年度推定需要電力量(シナリオA)に対して、風力発電から約20%供給可能
- ☆2050年度推定需要電力量(シナリオB)に対して、風力発電から約25%供給可能
- ☆発電電力量は、2010年以前に建設した発電所設備利用率を20%として算出
- ☆陸上市町村別および洋上ポテンシャルは、添付パンフレットを参照

* : 2050 日本低炭素社会シナリオ(環境省戦略研究開発プロジェクト:2008年6月)

http://2050.nies.go.jp/report/file/lcs_japan/2050_LCS_Scenario_Japanese_080715.pdf

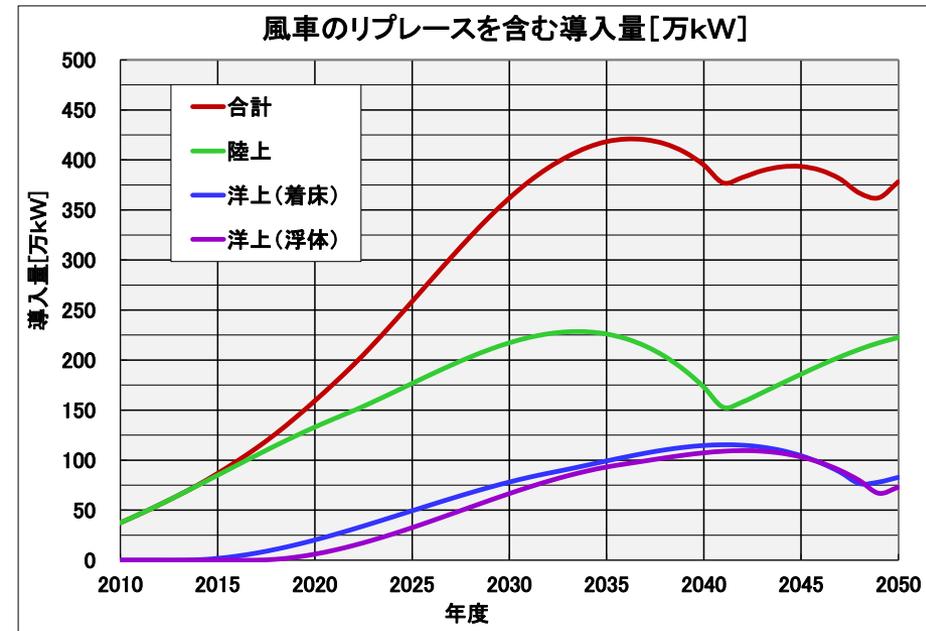
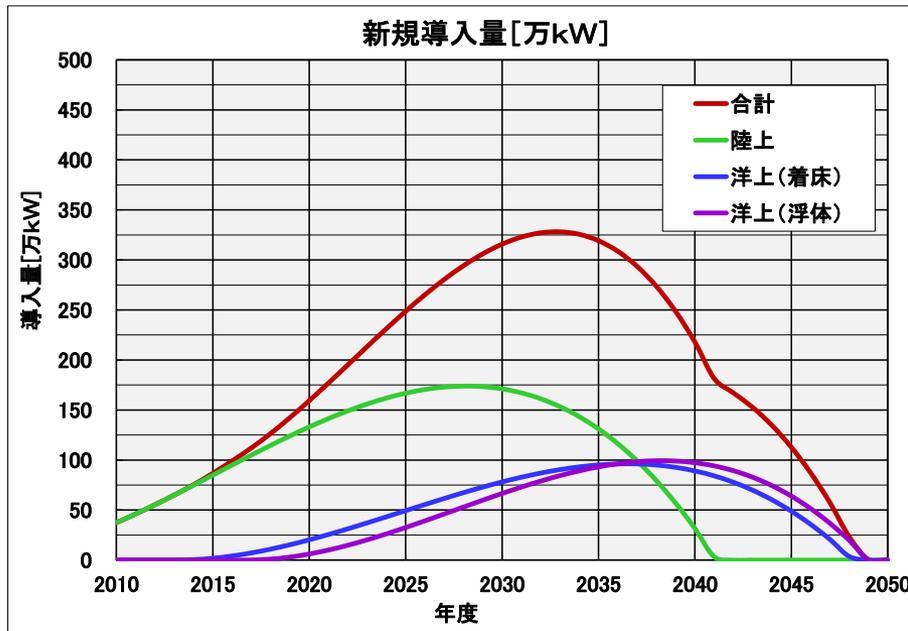
シナリオA:9,300億kWh ・利便性・効率性の追求から都市への人口・資本の集中が進展。

シナリオB:7,580億kWh ・ゆとりある生活の追求により地方に人口・資本が分散化。

<4. 参考> JWPA策定のロードマップ(JWPAビジョン)



- **新規導入量**
 - ピークは、2030年度～2035年度で300万kW/年を超過
- **風車のリプレースを含む導入量**
 - 2030年度以降は、毎年350万kW以上を導入⇒安定的な産業と雇用



5. JWPAビジョン達成時のCO2削減効果



- 風力発電による発電電力量に、排出係数代替値(0.550kg-CO₂/kWh)*¹から、風力発電ライフサイクル排出量(0.025kg-CO₂/kWh)*²を減じて算出
 - 日本の温室効果ガスの総排出量は、京都議定書第一約束期間(2008~2012年度)の5ヶ年平均で、12億7,800万トン*³(2012年度は、13億4,300万トン)

年度	内訳	単位	合計	陸上	着床	浮体
2020	設備容量	万kW	1,090	1,020	60	10
	発電電力量	億kWh	230	212	16	3
	CO2削減量	万t-CO ₂	1,214 (1.0%)	1,116	82	16
2030	設備容量	万kW	3,620	2660	580	380
	発電電力量	億kWh	840	571	152	117
	CO2削減量	万t-CO ₂	4,413 (3.5%)	3,002	799	612
2050	設備容量	万kW	7,500	3,800	1,900	1,800
	発電電力量	億kWh	1,880	830	500	550
	CO2削減量	万t-CO ₂	9,888 (7.7%)	4,369	2,621	2,897

* 1: 環境省: 温対法に基づく政府及び地方公共団体実行計画における温室効果ガス総排出量算定に用いる平成24年度の電気事業者ごとの排出係数等の公表について(平成25年12月)
<https://www.env.go.jp/press/press.php?serial=17532>

* 2: 電力中央研究所: 電源別のライフサイクルCO₂排出量を評価 (2010年8月)
<http://criepi.denken.or.jp/research/news/pdf/den468.pdf>

* 3: 環境省: 日本の温室効果ガス排出量の算定結果 (2014年4月)
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/index.html?sess=6859d4604dc5a737fce a355de0202dd2>

CO2削減量: カッコ内数値は、京都議定書第一約束期間5ヶ年平均値に対する比率

6. JWPAビジョン達成時の経済波及効果と雇用創出効果



- 総建設費・直接費：リプレースを含む導入量[kW] × 建設単価[円/kW]など
- 運転・保守費と保険費：該当年度の累積導入量[kW] × 単価[円/kW]など
 - 累積導入量増加に伴い、運転・保守費と保険費が増大⇒運転・保守は、地元密着
 - 道路・基礎・建設工事費(コンクリートなど)、系統連系設備(電柱など)の約1/3は地元発注
 - 建設工事に係わる作業員の殆どは地元で雇用

年度	内訳	単位	合計	建設	運転・保守、保険
2020	総建設費、直接費	億円	6,140	4,980	1,160
	経済波及効果	億円	11,330	8,980	2,350
	雇用創出効果	千人	74	59	15
2030	総建設費、直接費	億円	16,350	10,090	6,260
	経済波及効果	億円	30,440	18,030	12,410
	雇用創出効果	千人	197	121	76
2050	総建設費、直接費	億円	22,810	8,110	14,700
	経済波及効果	億円	44,840	14,520	30,320
	雇用創出効果	千人	290	97	193

【2万kWのWF建設時】
 ☆地元発注分約5億円
 約520人日

【陸上風力の定期点検】
 ☆約5日/基・年
 ☆約50基
 (10万kW)で定期点検のみでも、専属チームが必要
 (10名程度)

<6. 参考>経済効果と雇用効果(算定手法と前提条件-1)



- 産業連関表*1を用いて、風力発電の産業と雇用の波及効果を算出
 - 算出に際して参照した資料等
 - 早稲田大学 鷲津教授の文献
 - 文部科学省 科学技術・学術政策研究所科学技術動向研究センター「拡張産業連関表による再生可能エネルギー発電施設建設の経済・環境への波及効果分析」(2013年8月)
<http://www.nistep.go.jp/wp/wp-content/uploads/NISTEP-DP096-FullJ.pdf>
 - 中野諭, 鷲津明由『再生可能エネルギー電力施設建設アクティビティの作成と静学的波及効果の推計』早稲田大学社会科学総合学術院ワーキングペーパー, No.2012-3, 2013年3月, p.1~34 (データソースについては上記ワーキングペーパーとNISTEPのDPの2つを引用したうえ, その筆者から詳細な推計結果の提供を受けた)
 - 運転・保守費は、以下の資料から設定(単価は、将来にわたって低減が無いものと仮定)
 - 調達価格算定委員会 平成26年度調達価格及び調達期間に関する意見(平成26年3月7日)
洋上=22.5[千円/kW]、陸上=6[千円/kW]
http://www.meti.go.jp/committee/chotatsu_kakaku/pdf/report_003_01_00.pdf
 - 事業期間中の保険コストは、以下の資料から設定
 - JWPA 着床式洋上風力発電所に係る価格検討資料(平成25年11月28日)、他
洋上=建設費の3%/年、陸上=建設費の1%/年

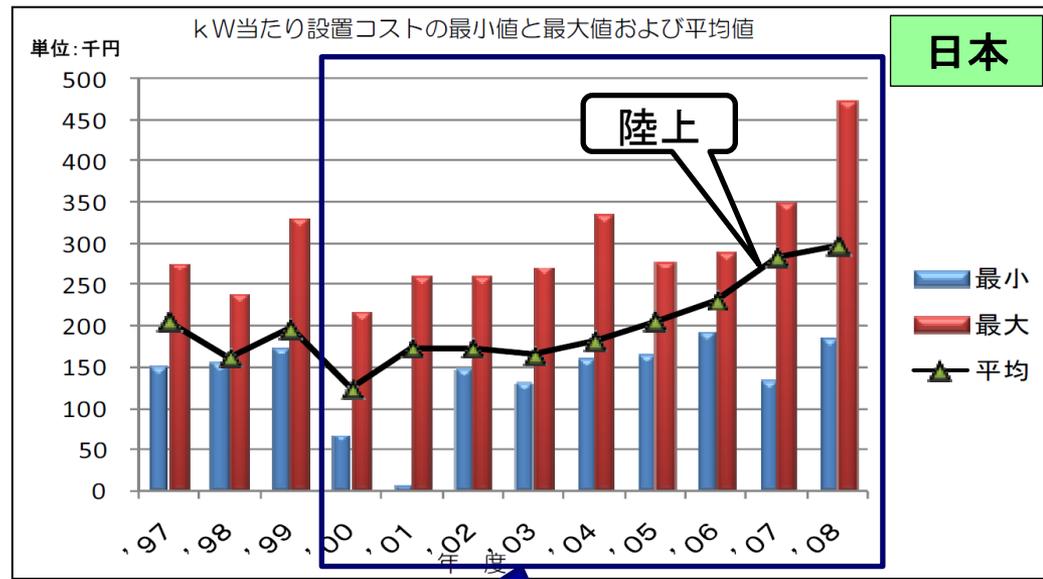
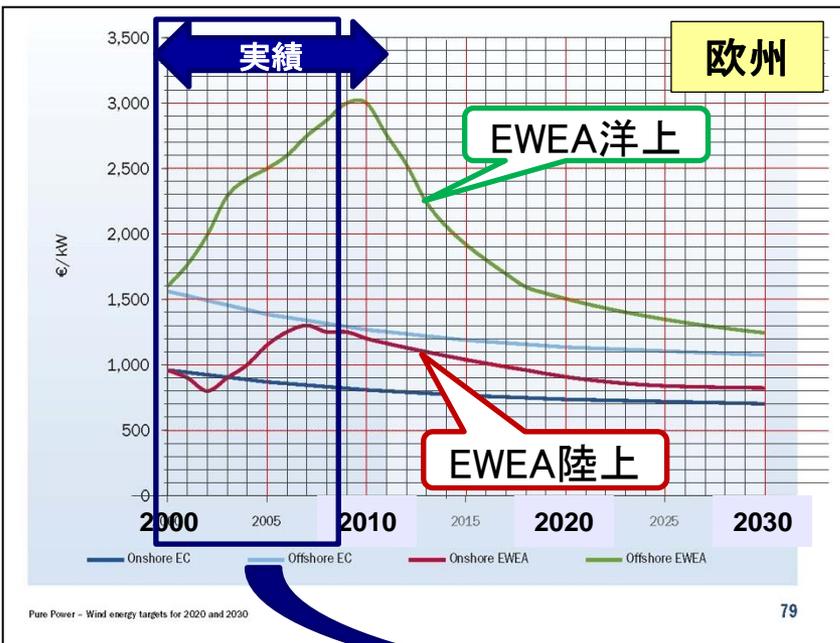
*1: 地域経済を構成する各産業は、域内・域外の産業と相互に密接な取引関係を結びながら生産活動を行い、地域独自の産業構造を形成している。
ある一つの産業は、他の産業から原材料や燃料などの財・サービスを購入(投入)し、これを加工(労働・資本などを投入)して新たな財・サービスを生産する。
さらに、これを他の産業に対し原材料等として販売(産出)する。このような関係が各産業間で連鎖的につながり、最終需要者に対して必要な財・サービスが供給されることとなる。
産業連関表はこのような産業間の取引をまとめたもので、経済活動を財・サービスの取引関係という側面からとらえており、ある地域における一定期間(通常1年間)の経済活動の実態を一つの表(マトリックス)にまとめたものである。

<6. 参考> 経済効果と雇用効果 (算定手法と前提条件-2)



- 算出に際して参照した資料等

- 将来の風力発電建設コスト[円/kW]は、以下の資料から設定
 ⇒ 欧州の価格上昇・低下に比して、日本のズレ年数と市場規模の違いなどを考慮。
 - EWEA Pure Power EWEA調査による建設コストの実績とシナリオ(2011年)
http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/Pure_Power_III.pdf
 - 第29回新エネ部会 資料3-1「風力発電の現状について」(平成20年11月)
<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g81125a05j.pdf>

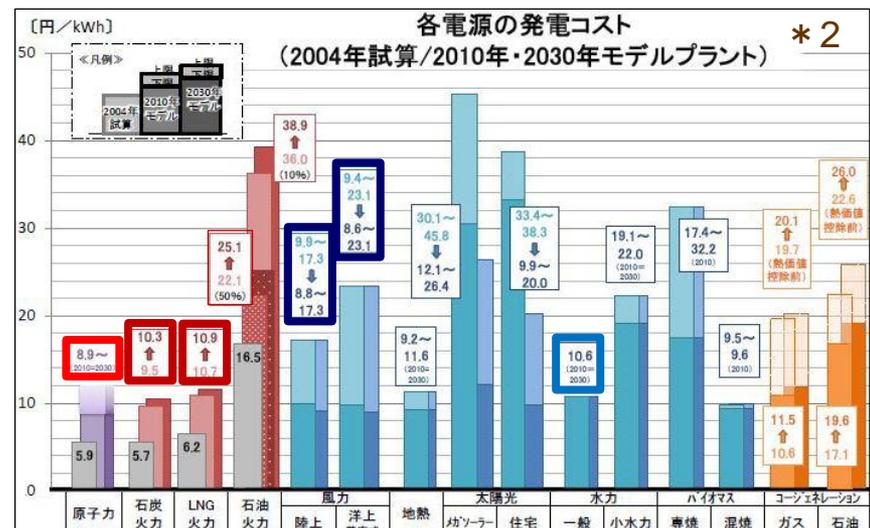
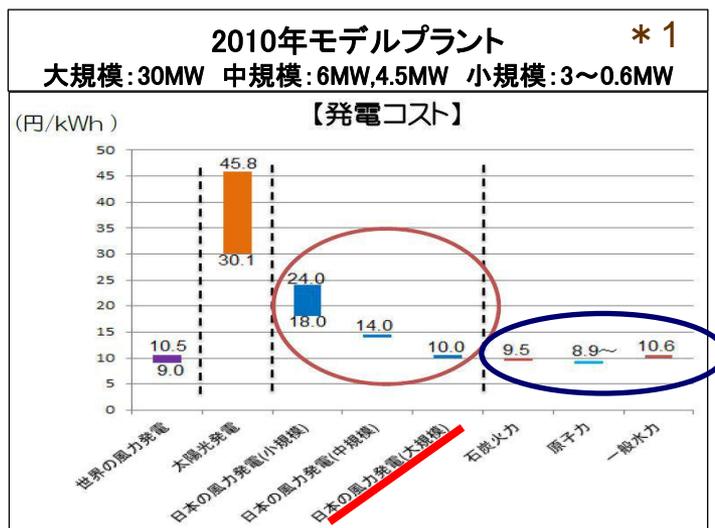


同一期間

7. 風力発電の発電コスト(2010年・2030年モデル)



- 大規模陸上風力の発電コスト[円/kWh]は、石炭火力、原子力などと同等
 - 大規模陸上風力=10.0円/kWh(2010)
 - 陸上風力=9.9~17.3円/kWh(2010) ⇒ 8.8~17.3円/kWh(2030)
 - 洋上風力=9.4~23.1円/kWh(2010) ⇒ 8.6~23.1円/kWh(2030)
 - 石炭火力=9.5円/kWh(2010) ⇒ 10.3円/kWh(2030)
 - 原子力=8.9円/kWh~(2010~)、一般水力=10.6円/kWh(2010~)



- NEDO 再生可能エネルギー技術白書第2版(2014年2月) <http://www.nedo.go.jp/content/100116324.pdf>
 - 陸上風力=7~11円/kWh(2020) ⇒ 5~8円/kWh(2030)
 - 洋上風力=12~17円/kWh(2020) ⇒ 8~11円/kWh(2030)

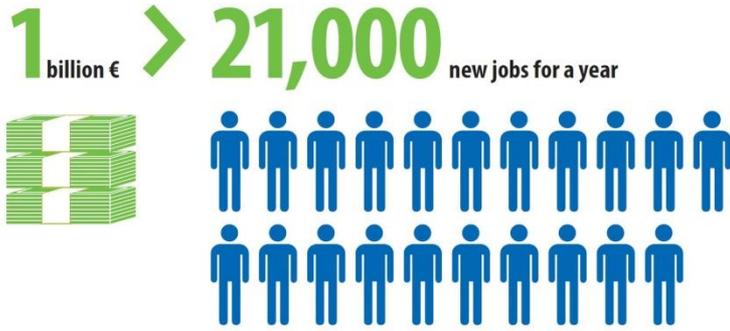
<7. 参考> 欧州の2025年発電コスト試算例



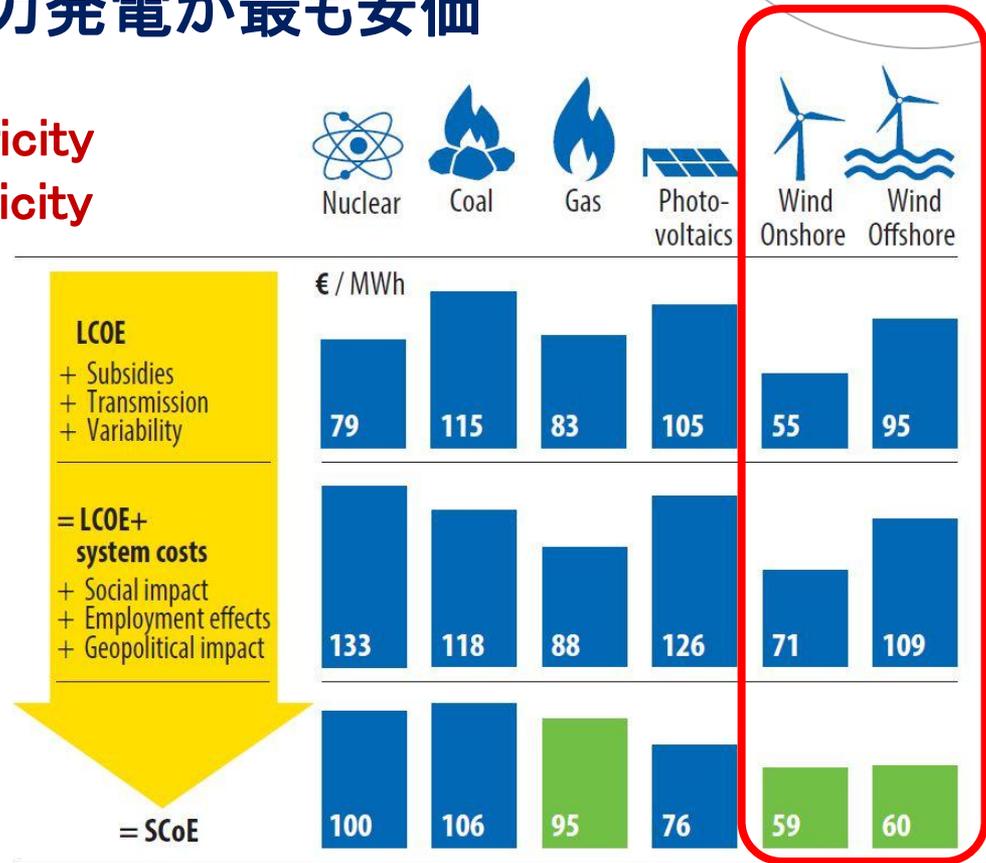
- 発電コスト(LCOE)と、社会的コストを含む発電コスト(SCOE)
 - 2025年においては、風力発電が最も安価

- LCOE : Levelised Cost of Electricity
- SCOE : Society's Cost of Electricity

- 2025年風力LCOE
 - ・陸上: 55€/MWh
 - ・洋上: 95€/MWh



For every billion EUR invested in wind power, 21,000 new jobs for a year are created in the EU.



When judged according to the social cost of electricity (SCoE) concept, wind onshore and wind offshore will be the most competitive power sources in the UK by 2025; gas fired power plants remain the most competitive back up technology.

8. 風力発電の発電コスト[円/kWh]低減策—1



- **ウインドファーム規模の拡大** (建設単価[円/kW]の低減など)
 - 陸上風力: 数万kW以上
 - 洋上風力: 数十万kW以上
- **大型、高性能風車の適用** (設備利用率の向上など) ⇒ 参考スライド17
 - 陸上風車: 500~1,000kW ⇒ 2,000~ 3,000kW: 上空の風(=強風)を活用
 - 洋上風車: 600~2,000kW ⇒ 5,000~10,000kW: 上空の風(=強風)を活用
 - ブレード径の長大化(低風速仕様風車): 発電電力は、受風面積に比例
- **高性能風況シミュレーションの活用** (設備利用率の向上、故障率の低減など)
⇒ 参考スライド18
 - 好風況地域選定、個別風車設置位置確定
⇒ 日本特有の乱流が強い位置を避けた、適地選定と風車の適正配置
- **スマートメンテナンスの開発と活用** (故障停止時間の短縮=設備利用率の向上)
 - 故障発生前の修繕計画立案
 - 早期発見・早期修繕

8. 風力発電の発電コスト[円/kWh]低減策—2



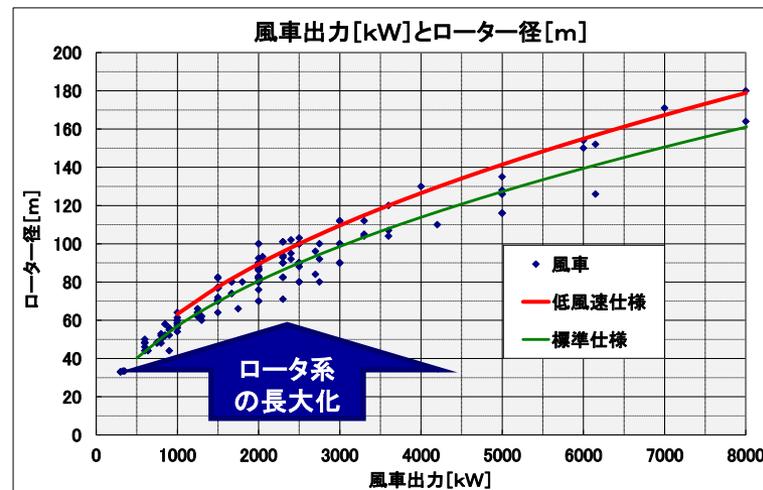
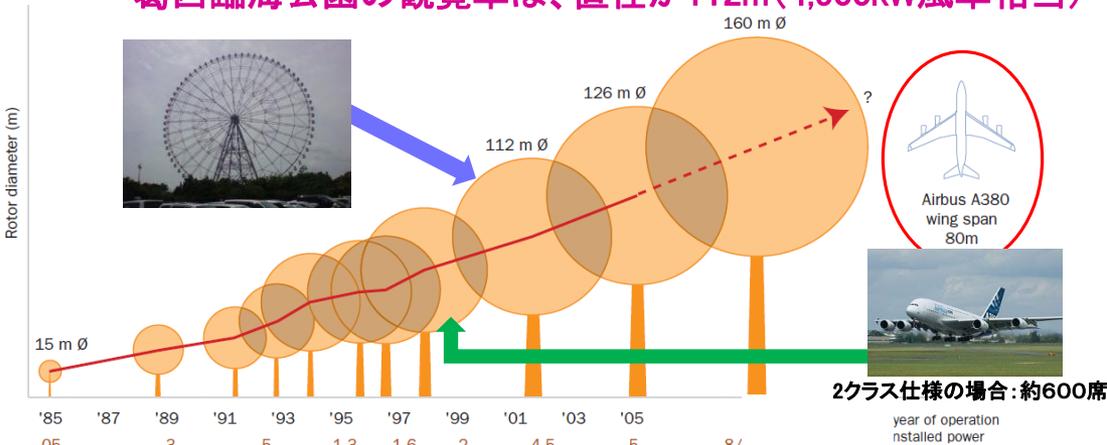
- **国による意欲的な中長期導入目標の設定(市場の創出)**
 - メーカー、事業者などによる自発的な設備投資、研究開発などが実施可能
 - 大量生産による建設コスト[円/kW]の低減
- **国による推進中事業の確実な実施と早期実用化**
 - 電力系統の広域運営(広域的運営推進機関)⇒参考スライド19
 - 地域内基幹送電線の整備・増強
 - 地域間連系インフラの強化
 - 環境アセスメントの迅速化
 - 開発・建設・O&Mに関する法令・制度の緩和と基準等の弾力的運用
 - 地方自治体、港湾管理者などによる協議会の設立・促進(農水省、国交省)
 - 電力系統出力変動対応技術研究開発事業(出力予測、制御・抑制、需給運用): NEDO
 - 風力発電高度実用化研究開発: NEDO
 - 洋上風力発電事技術研究開発: NEDO
- **国による洋上風力支援**
 - 洋上風力のゾーニング⇒参考スライド20
 - 洋上風力対応の港湾インフラ整備
 - 洋上風力の建設船、作業船の整備

<8. 参考>風車の大型化、高性能化など



- 発電電力[kW] = (効率係数) × (風速)³ × (受風面積) × (空気密度)
 - 可変速度風車(風速に応じて回転速度を最適化) ⇒ 低風速時の効率係数が向上
 - 風速が10%増すと、発電電力は約1.3倍 ⇒ 風況精査により適地を探索
 - 羽根の直径(ロータ径)を10%増すと、受風面積は約1.2倍 ⇒ 発電電力も約1.2倍
カーボン繊維の適用と応力解析など、最新技術により低風速仕様の風車が登場
- 大型・高性能風車の適用により、年間平均風速6~7m/sの場合、年間発電電力量[kWh]は6~10%増加する。

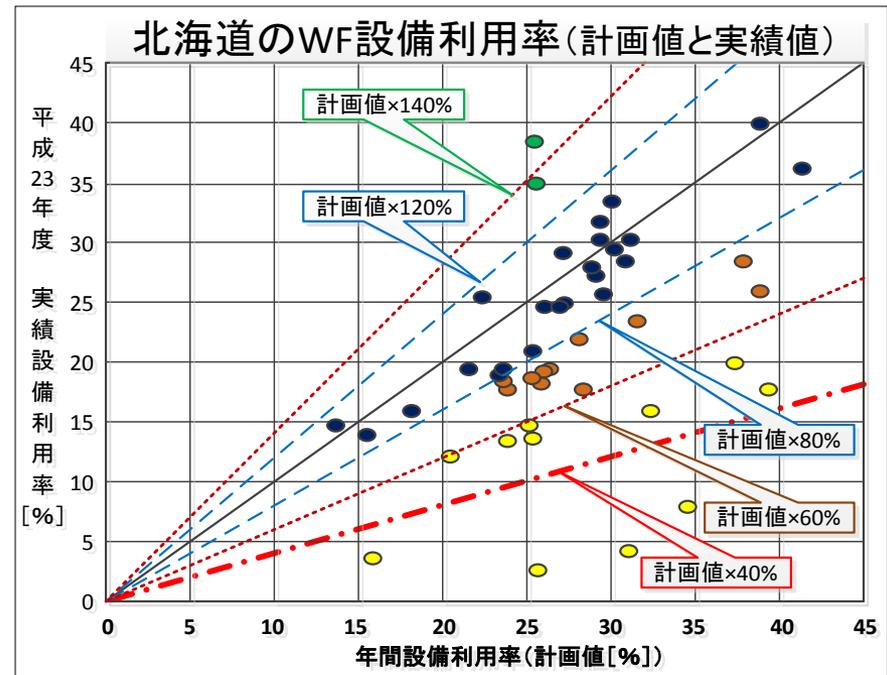
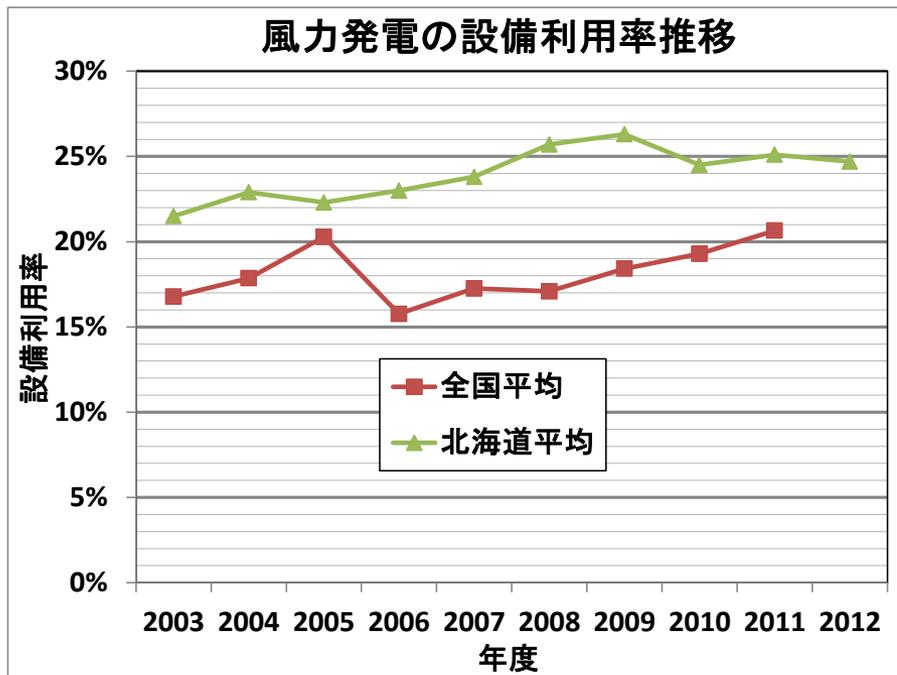
エアバスA380は、主翼両端の長さが80m(2,000kW風車相当)
葛西臨海公園の観覧車は、直径が112m(4,500kW風車相当)



<8. 参考>風力発電機の設備利用率(全国と北海道)



- 風車の大型化・高性能化などにより、全国の平均設備利用率は向上
- 好風況地域である北海道は、全国平均値より約5%高い
 - 北海道において、実績設備利用率が計画設備利用率を下回った発電所は、故障や補修・メンテナンスに要する停止時間が多かった事が影響している。
 - 今後は、風況精査の緻密化による事業化判断を行うと共に、メンテナンスや補修体制の整備・拡充などにより、設備利用率の更なる向上を図る。



<8. 参考>スペインの監視・制御センタ



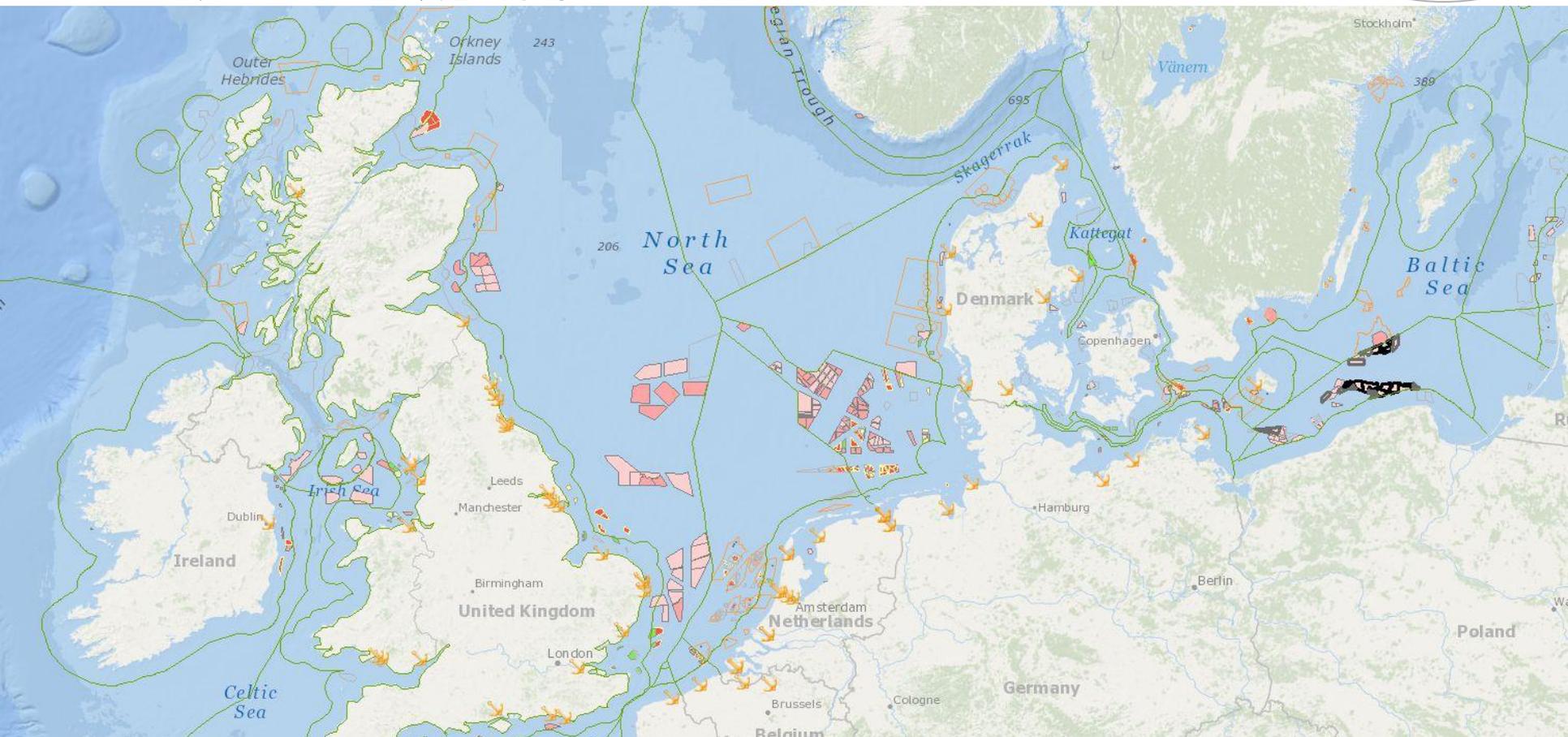
- CECOEL/CECORE: スペインの電力系統全体を監視・制御
- CECRE: 再生可能エネルギー発電を監視・制御 (気象予測による発電出力予測を活用)



<8. 参考> 洋上風力のゾーニング (欧州の例)



- ピンク系の色で囲った部分が、ゾーニングされた地域
 - 色の濃淡違いは、計画の進捗度などによる。
 - 碇のマークは、港の位置



9. 自然変動電源の発電電力相関



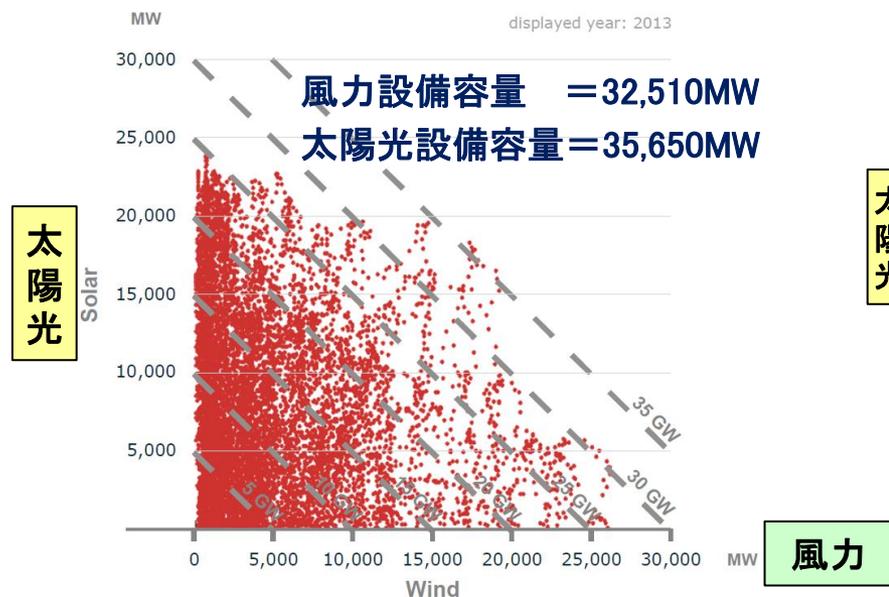
■ 各種自然変動電源の発電電力は、補完関係にある。

- 低気圧 : 風が強い、日射が弱い、雨が多い
- 高気圧 : 風が弱い、日射が強い、雨が少ない

供給力評価、供給信頼度評価および送電線熱容量検討などは、風力や太陽光など個別ではなく合計値で評価・検討を行うのが望ましい！

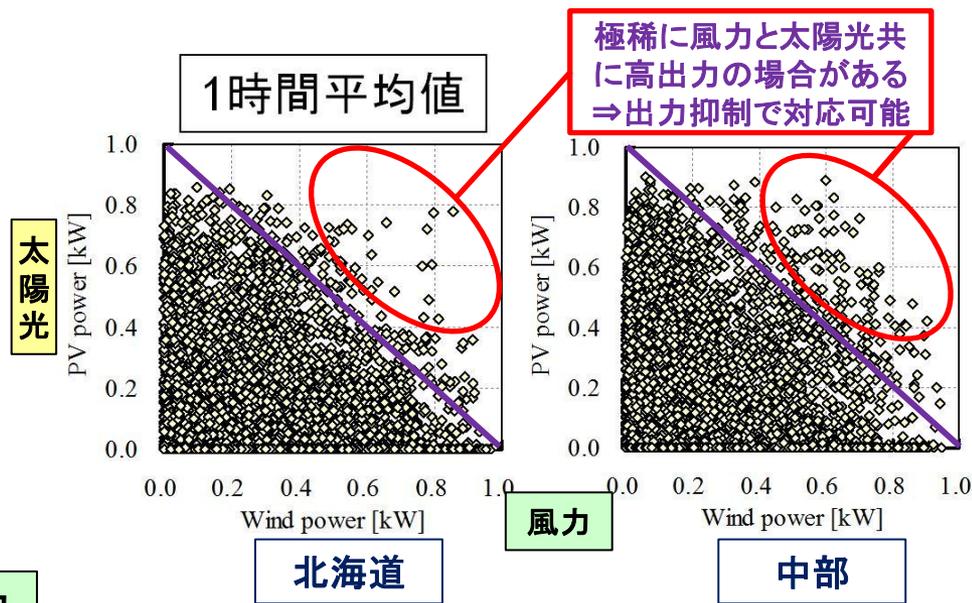
ドイツの実測事例(2013年)

Solar versus Wind Power



出典: Fraunhofer Electricity production from solar and wind in Germany in 2013

日本のシミュレーション例(2011年度)

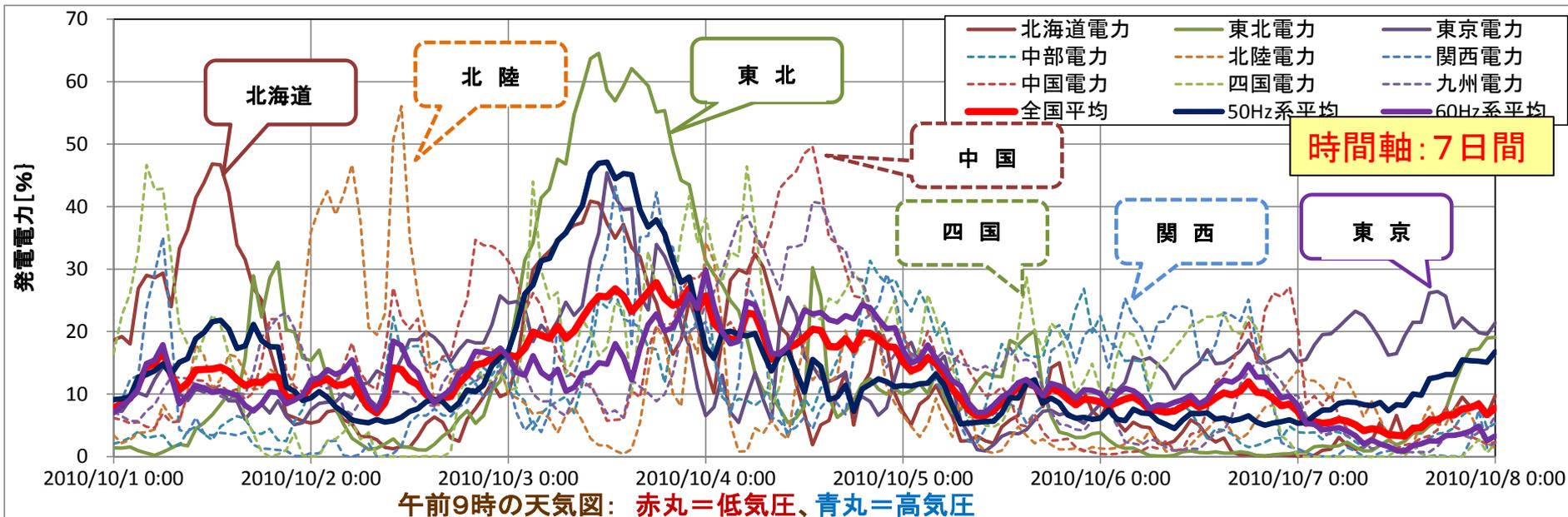


出典: 電気学会 平成24年電力・エネルギー部門大会 名古屋大学 加藤丈佳
風力データ: JWPA収集 太陽光データ: アメダスからの推定

<9. 参考>風力発電の発電電力変動様相



- ウィンドファーム個別では、20分間に100%変動する場合もあるが、多数のウィンドファーム出力を合計すると、変動率は、低減される。
- 日本全国で見ると、短周期および長周期変動率は、更に低減される。
 - 同一時刻に、日本全国が強風となる日は皆無。



<9. 参考>風力先進国の発電状況



■ 2013年末における、風力発電の設備容量と電力量供給比

国	発電設備容量[MW]	電力量供給比[%]
デンマーク	4,747	33.2
ポルトガル	4,557	27.0
スペイン	22,637	20.9
ドイツ	34,468	11.7
イギリス	10,946	7.7
スウェーデン	4,474	7.0
オランダ	2,714	4.8
イタリア	8,448	4.7
アメリカ	61,292	4.1
フランス	8,128	3.1
カナダ	7,813	3.0
中国	91,460	2.6
オーストラリア	3,489	2.4
日本	2,670	0.5

10. 一般社団法人 日本風力発電協会



■ 沿革

- 2001年12月17日：任意団体設立
- 2005年 7月 4日：有限責任中間法人設立
- 2009年 5月27日：一般社団法人へ移行
- 2010年 4月 1日：風力発電事業者懇話会と合併



■ 基本理念

- 我が国のエネルギーセキュリティ向上ならびに地球環境問題の解決に貢献する。
- 全ての関連産業、企業が集結して、風力発電産業の健全な発展を図る。
- 我が国を代表する風力発電業界団体として、その責務を強く自覚し、行動する。
- 内外に影響力を行使できる機能・能力を持つとともに、説明責任を果たし、コンプライアンスを維持する。

■ 会員構成

- 風力発電に係る全ての業種 **249社** (2014年7月20日現在)
 - 風力発電事業者、風車メーカー、風車代理店、部品メーカー
 - 土木建築、電気工事、輸送建設、メンテナンス、コンサルタントなど

国内風力発電設備容量の**約85%**を会員企業がカバー