



WWFジャパン
セミナー

風力発電
大量導入へ
向けての挑戦

2014年1月31日

風力発電にまつわる誤解と神話

～欧州の経験に基づいた日本での可能性～

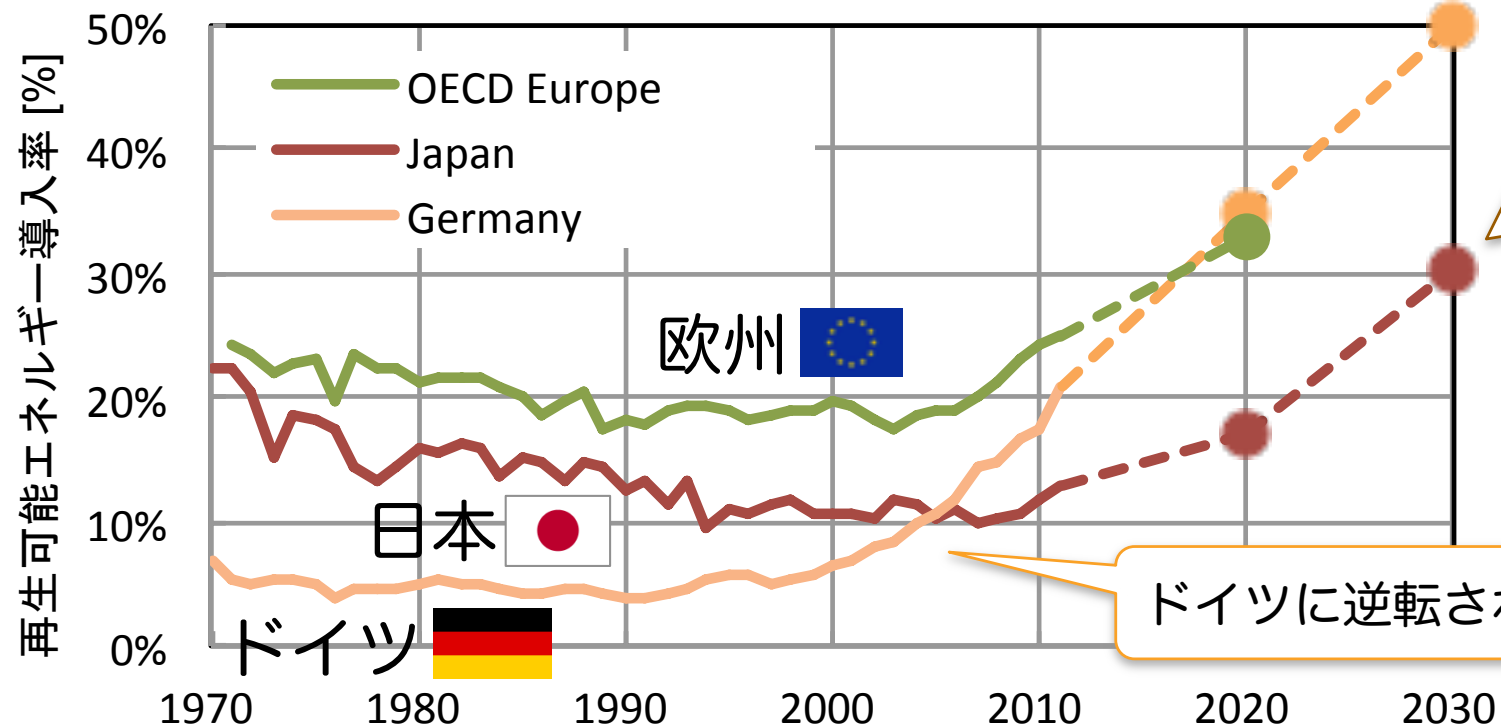
関西大学 システム理工学部 准教授 安田 陽

+ 風力発電にまつわる誤解と神話

- 風力発電は風まかせ？
- 風力は不安定？ 蓄電池が必要？
- 北海道や東北はもう容量が一杯でこれ以上風力を入れる余地がない？
- 風力発電を導入すると電気代が上がる？

+ 再生可能エネルギー導入動向と 政策目標 (欧州と日本の比較)

年間発電電力量における再生可能エネルギーの導入率



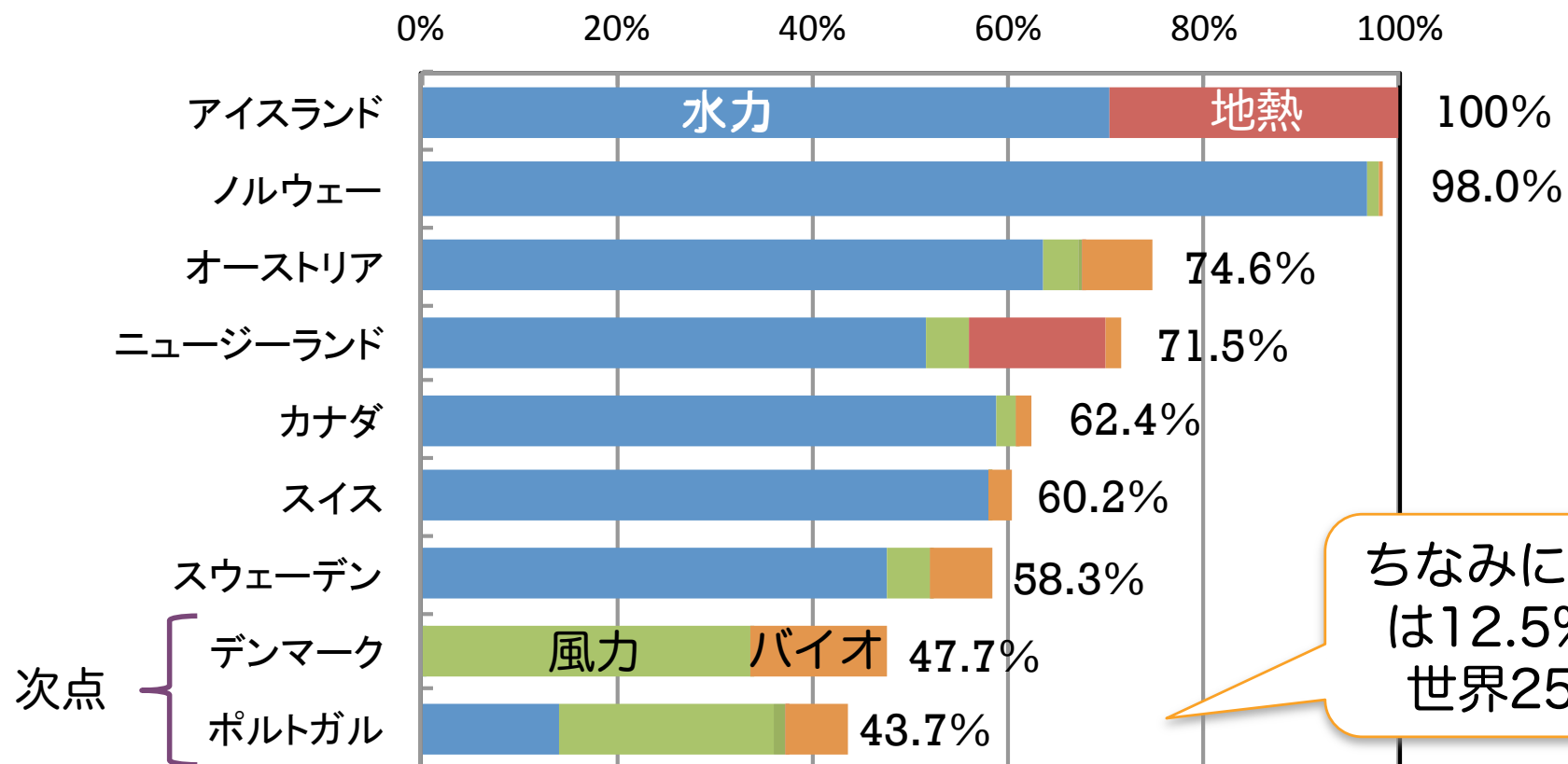
この目標を達成したとしても欧州に10年遅れ

ドイツに逆転される

(データソース) IEA: Electricity Information 2013
EWEA: Pure Power III, 2011
REN21: Global Status Report, 2012
エネルギー・環境会議: 「革新的エネルギー・環境戦略」, 2012

+ 再生可能エネルギー導入率

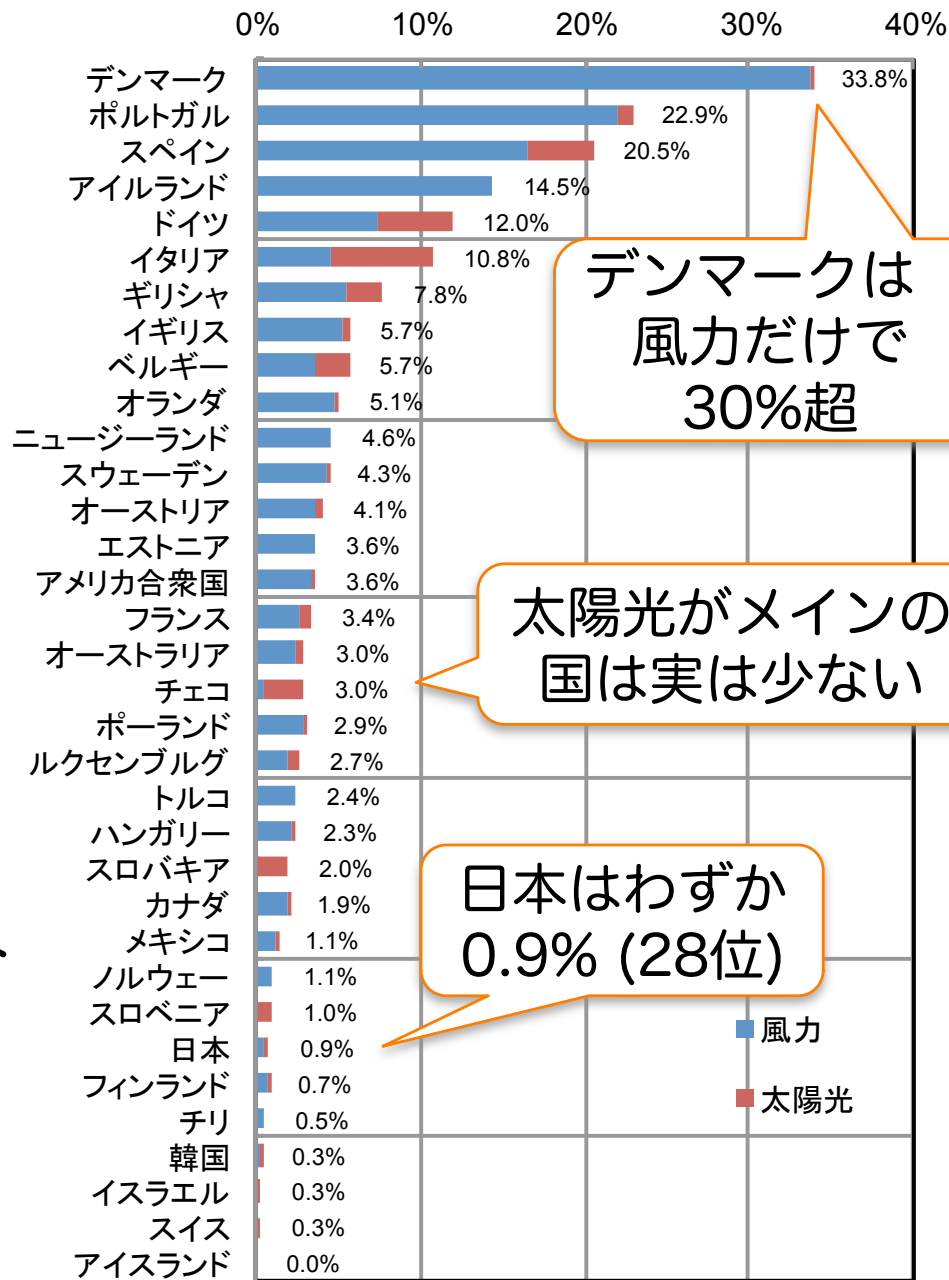
- 再生可能エネルギー50%供給(但し電力)を実現している国は、2012年時点で7ヶ国。



+ OECD各国の 風力発電および 太陽光発電導入率 (2012年)

■ **導入率：**
その国の全ての電源が
1年間で発電した
電力量 (kWh)に対する
発電電力量 (kWh)の割合

「日本は欧州と環境が違う
から・・・」という理由で
は済まされない大きな乖離



デンマークは
風力だけで
30%超

太陽光がメインの
国は実は少ない

日本はわずか
0.9% (28位)

+ 欧州の言説

- 「欧州の電力系統に連系できる風力発電の量を決めるのは、技術的・実務的制約よりも、むしろ経済的・法制的枠組みである。」
- 「風力発電は今日すでに、大規模電力系統では深刻な技術的・実務的問題が発生することなく電力需要の20%までを占めることができると一般に見なされている。」
- 「20%以上というさらに高い導入率のためには、電力系統および風力発電を受け入れるための運用方法における変革が必要である。」

+ ここまでのまとめ

- 日本の再エネ導入は欧州の動向に比べ周回遅れ
- 欧州は風力がメイン。日本は何故か太陽光。
- 世界の潮流の中で異質で独自路線な日本。



- 世界の情報が国民にきちんと伝わっているか？
- データに基づかない感覚論が流布していないか？
- 国民の中できちんと議論されているか？

+ 系統連系にまつわる誤解と神話 1

■ 「風力発電は風まかせ」？



- A: 風力発電は天候依存の変動電源ではあるが、広域で集合化すれば、電力系統に大量導入が可能。
- そもそも**負荷需要**自体、天候に左右される。負荷変動に対する**予測**や運用は昔から確立されている。
- **変動電源**の**予測**や運用は、欧米で実用化が進み既に実際の系統運用に組み込まれている。
- 日本の現在の電力系統の運用方法では、そもそも変動電源を受け入れる体制がほとんどできていない。

+ 系統連系のキーワード

■ 「変動電源」 variable generation: VR

- 自然エネルギーなどを由来とする変動する電源。
- 従来も変動電源はあった。(流れ込み式水力)
- 変動電源を如何に系統運用に組み込むかが現在の欧米の系統運用者の責務

言葉がないのは
思想がないのと同じ。

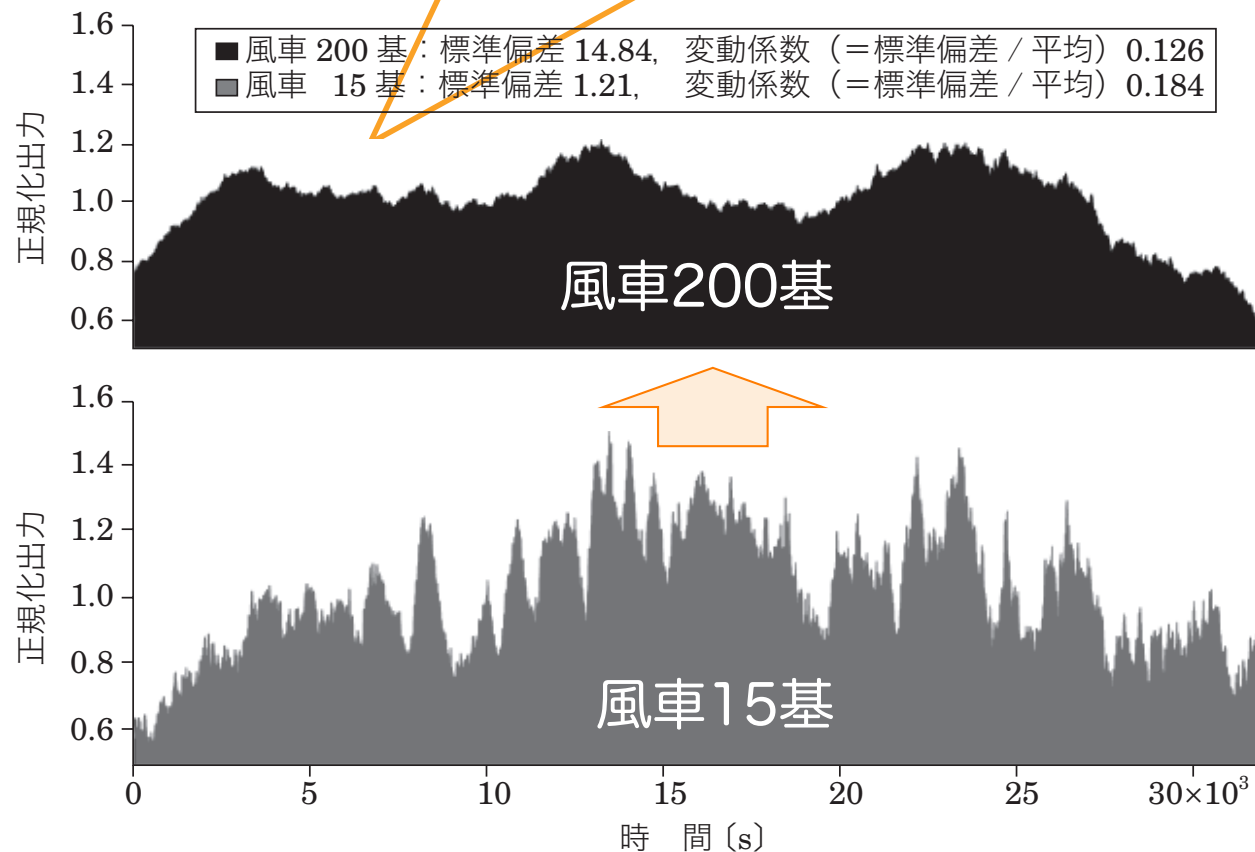
■ 「集合化」 aggregation

- 変動電源の変動性は系統に混ぜて平滑化する。
- 広域で考えれば変動性はより少なくなる。
- 実は負荷変動も同じ考え。

+ 集合化 aggregation のコンセプト

10

個々の風車で変動抑制するよりも、
エリア全体で混ぜた方がむしろ
制御しやすい！



変動すれば直ちにアウト！
ではなく、問題は
その変動が管理できる
範囲内にあるかどうか。

+ 風力発電にまつわる誤解と神話2

■ 「風力は不安定」？「蓄電池が必要」？

- 「不安定」という観点では、原子力や火力の不測の停止も当然考えられる。
- それらを全て考慮した電力系統全体の「系統安定度」「系統信頼度」という指標で考えるのが一般的。
- 系統安定度・信頼度を低下させることなく、風力を大量に導入できることが欧米で実証されている。
- 電源側に専用蓄電池を導入するのは技術的にも経済的にも非合理。欧米では系統側・負荷側に設置し、リアルタイム市場などで利ざやを稼ぐ。

+ 風力発電にまつわる誤解と神話 2

- 「風力は不安定」？ 「蓄電池が必要」？



(前ページからのつづき)

- 個別の風車出力を見ると、確かに変動は多い。
- 欧米では、広域出力を「**集合化 (aggregation)**」して、系統全体でその変動を吸収する方法が取られている。
- 実は、負荷変動の平滑化も同じ方法。
- 日本では、なぜか個々の風力に変動抑制が求められる。
(**社会コスト**全体としては最適か？)

+ 風力発電にまつわる誤解と神話 3

- 「北海道や東北はもう容量が一杯でこれ以上風力を入れる余地がない」？



- 欧州
 - デンマーク、ドイツは連系線を豊富に持つ。
 - アイルランド、スペイン、ポルトガルなど、連系線が少ないところでも風力は大量導入されている。
- 日本
 - 北海道や東北に連系線はないのか？
 - 連系線は本当に「足りない」のか？

+ 風力・太陽光発電の系統連系問題

■ よくある誤解と神話

- 「風力・太陽光は変動するので系統に悪影響」
- 「(特に北海道と東北は)電力の安定供給のため、これ以上風力・太陽光を入れる余地がない」
- 「日本は会社間連系線の容量が少ない」

■ 国際的レベルで考えると・・・。

- 連系線がないと変動電源 (風力+太陽光) が大量導入できないというのは「神話」にすぎない。
- 日本に連系線容量が少ないというのも「神話」。
- 現状の連系線容量でも大量導入は可能。
- 技術的問題ではなく、ルール整備など制度的問題。

+ 電力会社による接続拒否

大型の太陽光発電、北電の受け入れ能力は4分の1のみ : 日本経済新聞

日本経済新聞 小 中 大 印刷

大型の太陽光発電、北電の受け入れ能力は4分の1のみ

2013/4/18 6:00 | 日本経済新聞 電子版

北海道電力は17日、売電申請のあった出力2000キロワット以上の太陽光発電所計画の4分の1しか発電電力を受け入れられないと発表した。北電はすでに156万キロワット分の計画を受け付けたが、上限は40万キロワットと初めて公表した。事業者の計画は再考を迫られる。再生エネルギー普及の先端地とし注目を集める北海道だが、容量設備の限界が大きな壁となっている。

3月末までに北電の送電網への接続を申し込んだメガソーラーの事業者は343件。このうち出力2000キロワット以上の計画が87件、156万キロワットあった。ただ北電は送電容量が小さいと指摘されており、内部で数字の精査を進めていた。

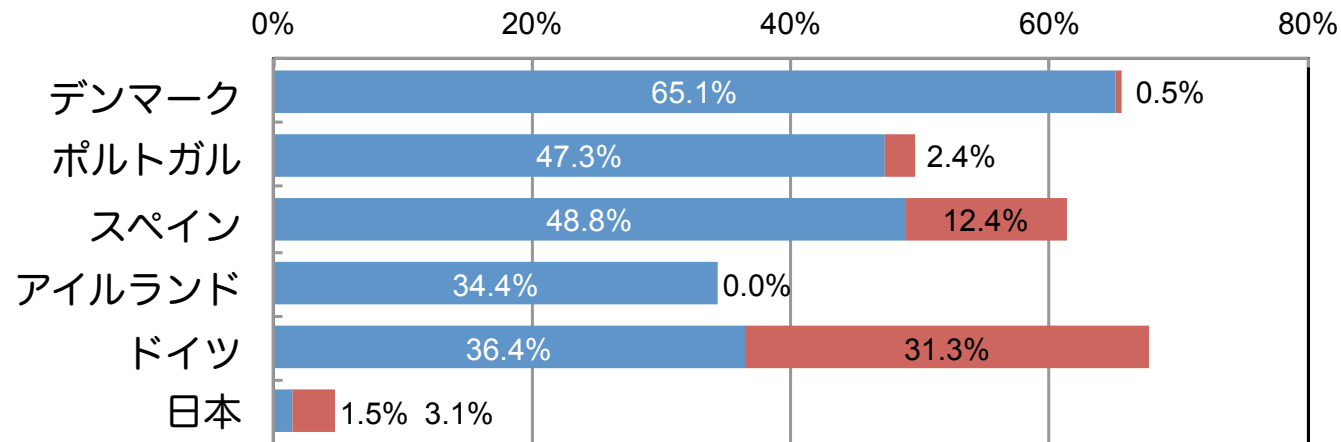
北電は固定価格買い取り制度が始まった昨年7月以来、メガソーラー計画を受け付けてきた。制度では発電した電力を買い取る義務があるが、接続できるのは4分の1だけで、残り4分の3は「接続拒否するしかない」（北電）。

建設を始めている案件はほとんどないとみられるが、実際に土地賃借の契約を結んだ事業者がいる可能性がある。北電と契約できなければ計画は再考が求められる。今後、各事業者には説明をする予定という。

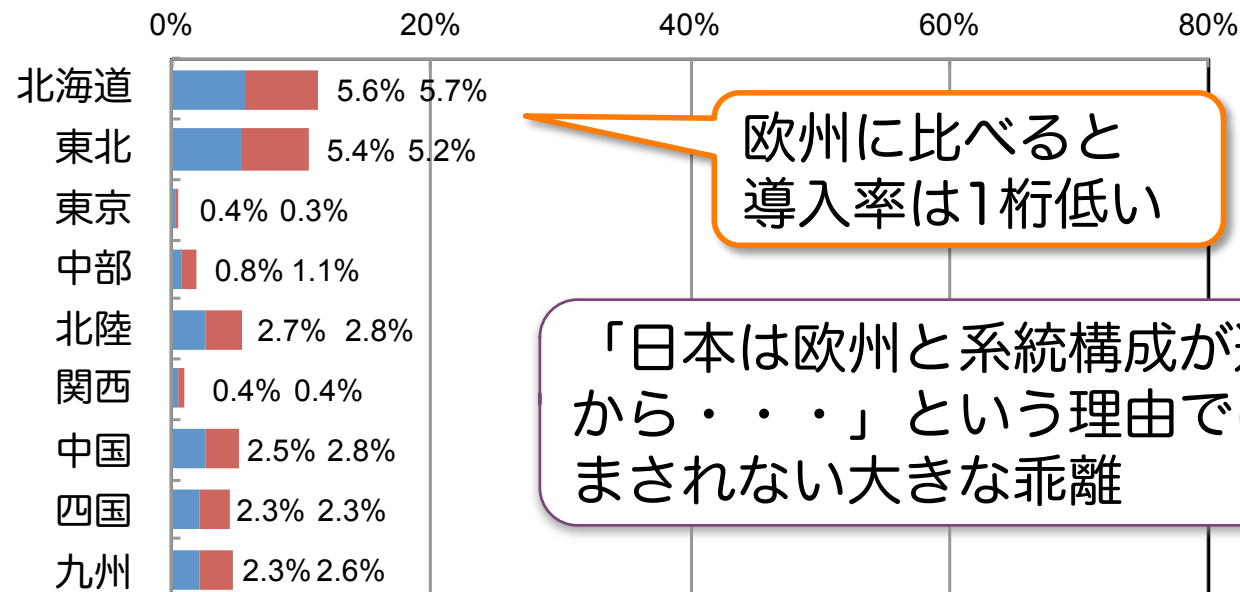
+ 風力+太陽光発電設備容量導入率 (ピークに対する設備容量, 2011年)

Wind & Solar Penetration Ratio per Peak Demand (% of GW)

欧州
主要国



日本
各電力
エリア







欧州に比べると
導入率は1桁低い

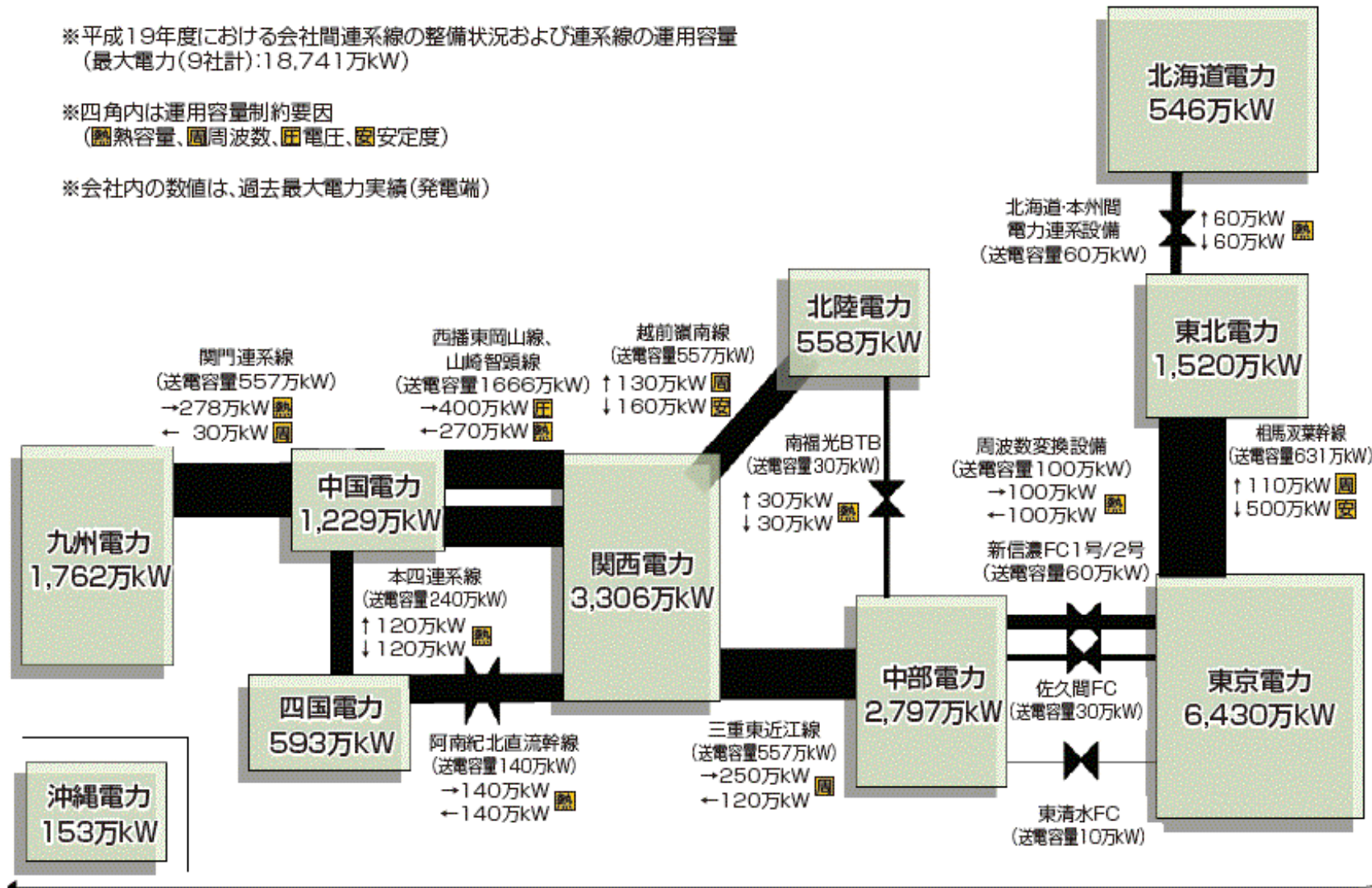
「日本は欧州と系統構成が違うから・・・」という理由では済まされない大きな乖離

+ 日本の会社間連系線

※平成19年度における会社間連系線の整備状況および連系線の運用容量
(最大電力(9社計):18,741万kW)

※四角内は運用容量制約要因
(熱容量、周波数、電圧、安定度)

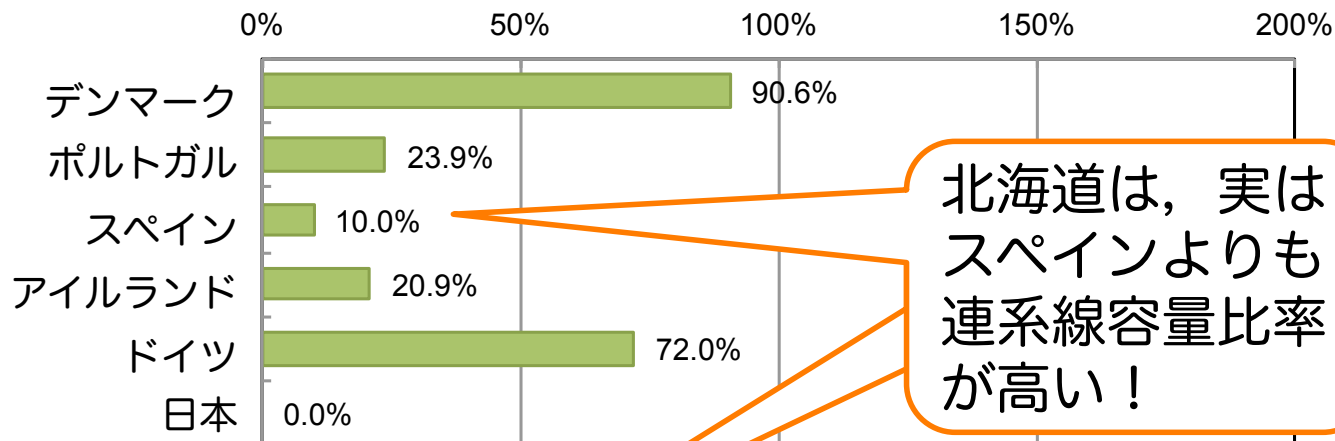
※会社内の数値は、過去最大電力実績(発電端)



+ 連系線設備容量比率 (ピーク負荷対する設備容量)

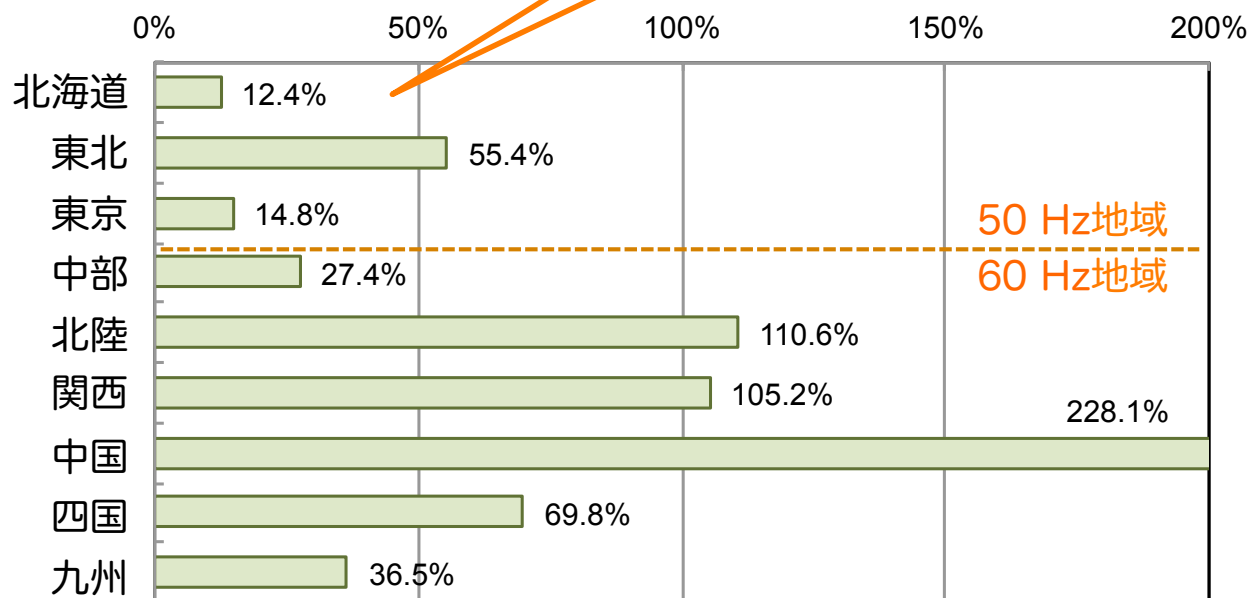
Interconnection Capacity Ratio per Peak Demand (% of GW)

欧州
主要国



北海道は、実は
スペインよりも
連系線容量比率
が高い！

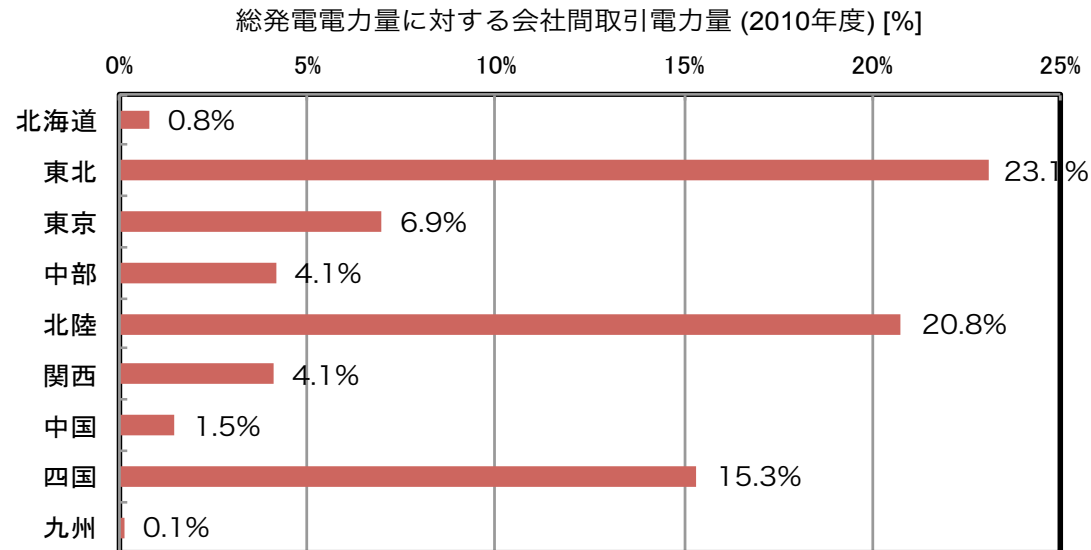
日本
各電力
エリア



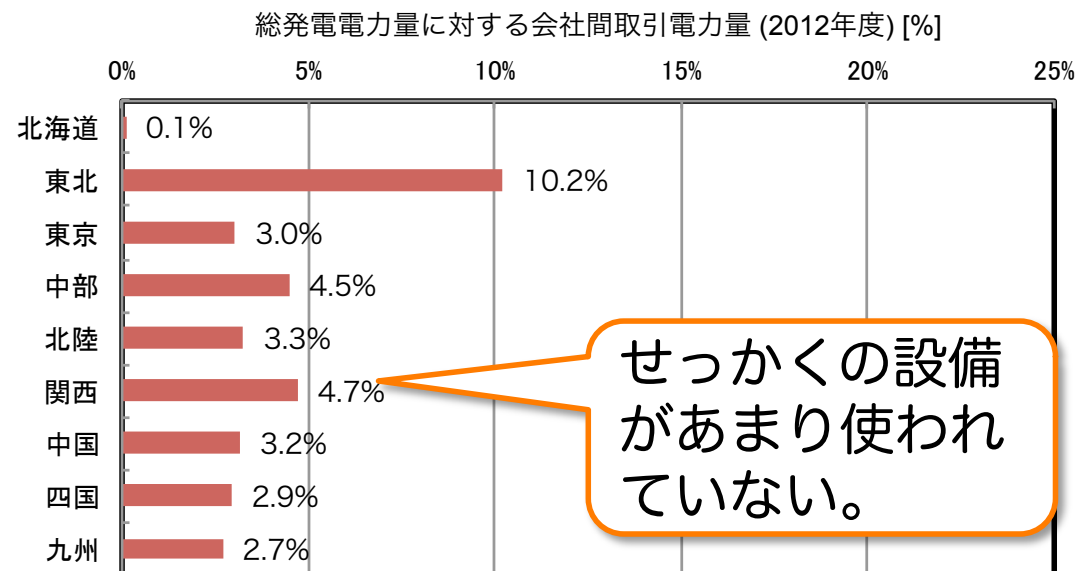
50 Hz地域
60 Hz地域

+ 我が国の連系線利用状況

2010年
(原発事故前)



2012年
(原発事故後)



(データソース)
資源エネルギー庁:
電力調査統計

+ 風力・太陽光発電の系統連系問題

- 北海道から東京への送電は・・・
 - 技術的には既存設備で十分可能。
 - ただし、現在では制度的に難しい。
 - 現時点では変動電源(再生可能エネルギー電源)を優先的に託送・融通するルールがない。
 - 緊急時の融通や計画的な託送しか許可されていない。
 - 現在の運用では十分な電力量を送ることができない。
 - 経済産業省や電力利用協議会(ESCJ)はこのルールを変更することを現在検討中。
 - 北海道/東北/東京電力三者で広域運用の実証試験中。
 - 実証試験で確かめられれば、爆発的に導入が進む可能性大。

+ 広域運用機関

■ 日本

- 電力自由化・電気事業法改正の流れの中で議論。
- 2013年11月「改正電気事業法」として国会可決。
- **広域的運営推進機関**の2015年までの設置を目指す。
- 当初案「広域運用機関」が「広域的運営推進機関」と名称変更となったが、その機能は・・・？

■ 欧州

- **ENTSO-E**という系統運用統括組織が2008年に発足。
 - 現在EUを含む34ヶ国41事業者が加盟。
- **ACER**という強力な規制機関をEUに設置。
- 系統増強と再生可能エネルギー導入の原動力となる。

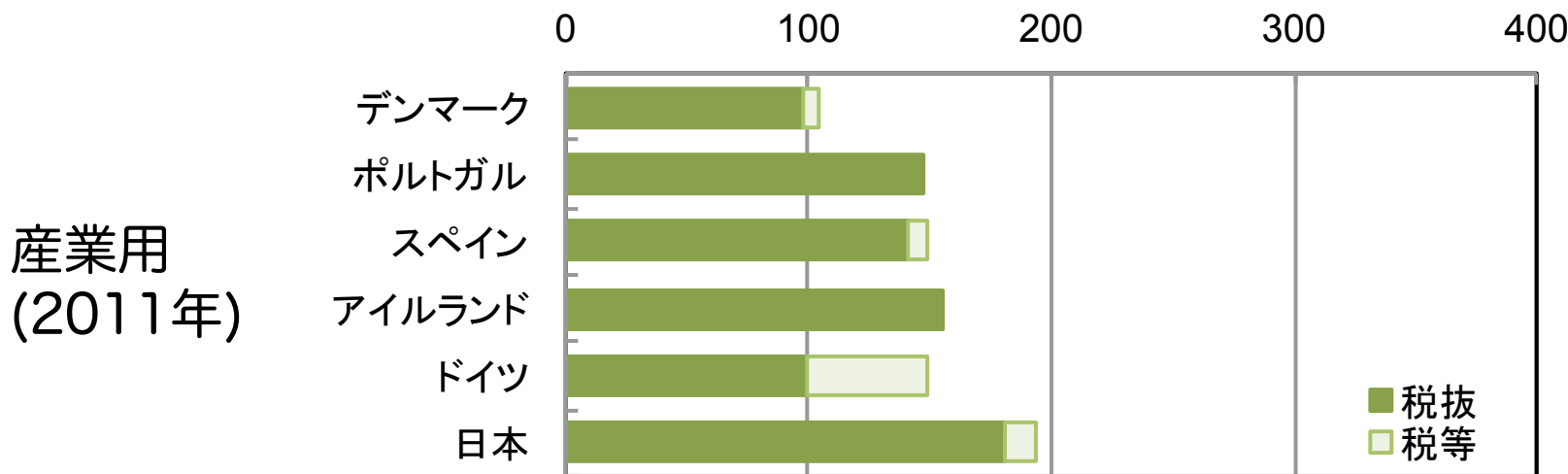
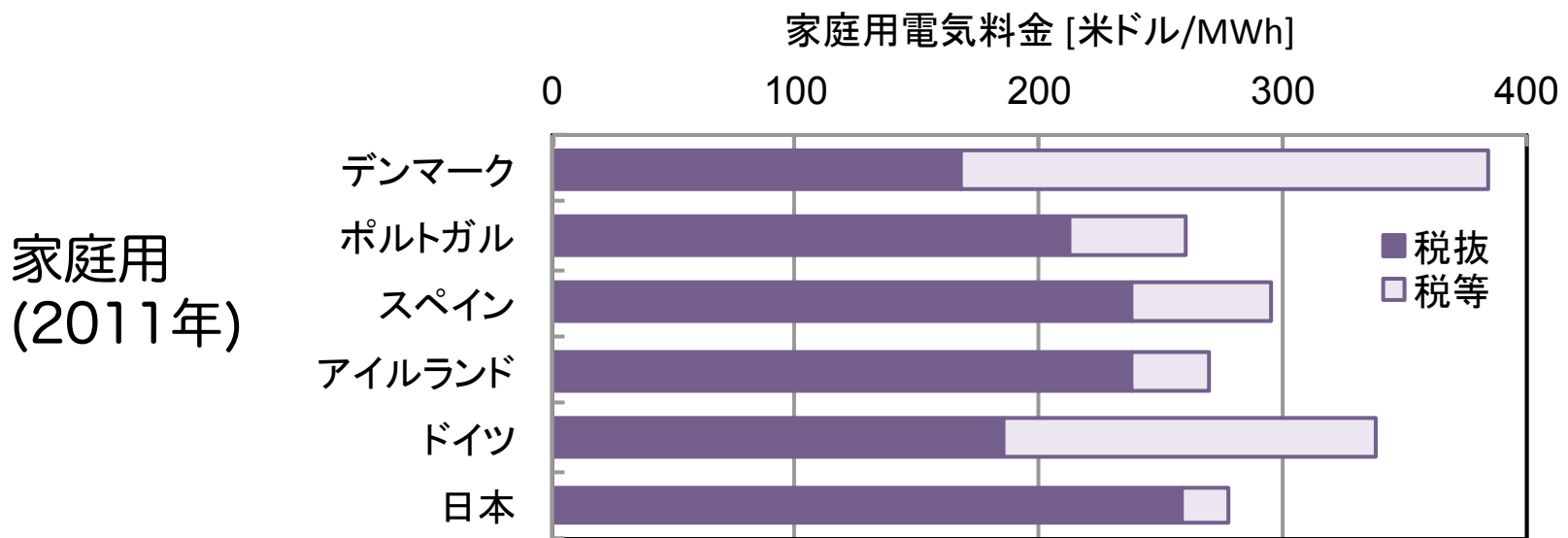
+ 系統連系にまつわる誤解と神話 4

■ 風力が増えると電気料金が上がる？



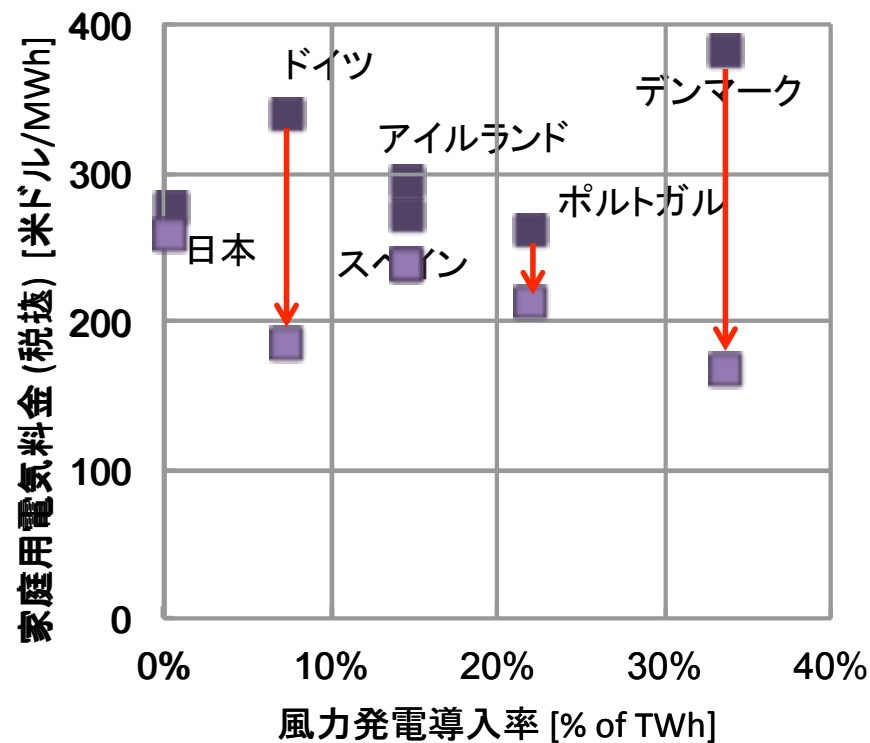
- 日本ではドイツの例だけが喧伝されているが，世界的にみれば，むしろ逆の傾向を見られる。
- 風力発電の導入率が高くても電気料金が日本より低い国もある。
- 特に産業用電気料金は，風力発電の導入が進むにつれ低下する傾向が見られる。
- 租税や賦課金の方針は各国それぞれで，その高さ自体が直ちに再エネの導入に起因するわけではない。

+ 風力導入上位国の電力料金比較

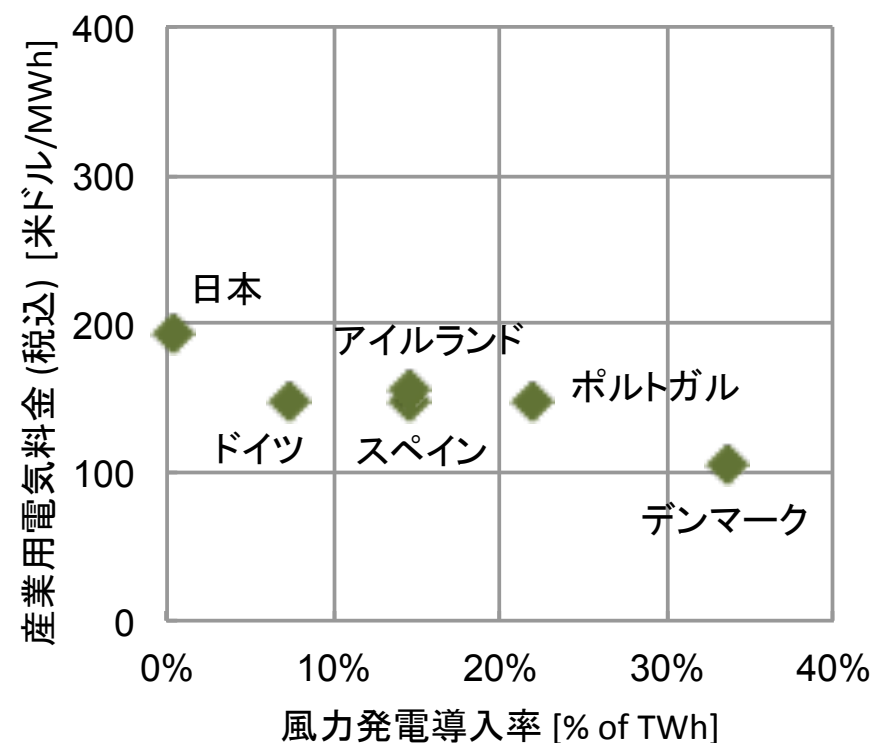


+ 風力導入上位国の電力料金比較

家庭用 (2011年)



産業用 (2011年)



+ 各国の事例（資料編）

- デンマーク
 - 風力発電導入率 33.8% (2011年)
- ポルトガル
 - 同 22.9%
- スペイン
 - 同 20.5%
- アイルランド
 - 同 14.5%

+ 風力発電の変動抑制

風力を調整するのは
火力だけではない！

- 「柔軟性」 flexibility
 - 変動電源を調整するための系統能力。
 - 例：水力発電、ガスタービン、コージェネ
揚水発電、
連系線、
デマンドレスポンス (電気自動車等) etc.
 - 欧米の系統運用者は、変動電源を受け入れるために如何に柔軟性を増やすかに工夫を重ねている。
 - 日本では・・・？

+ デンマークの事例

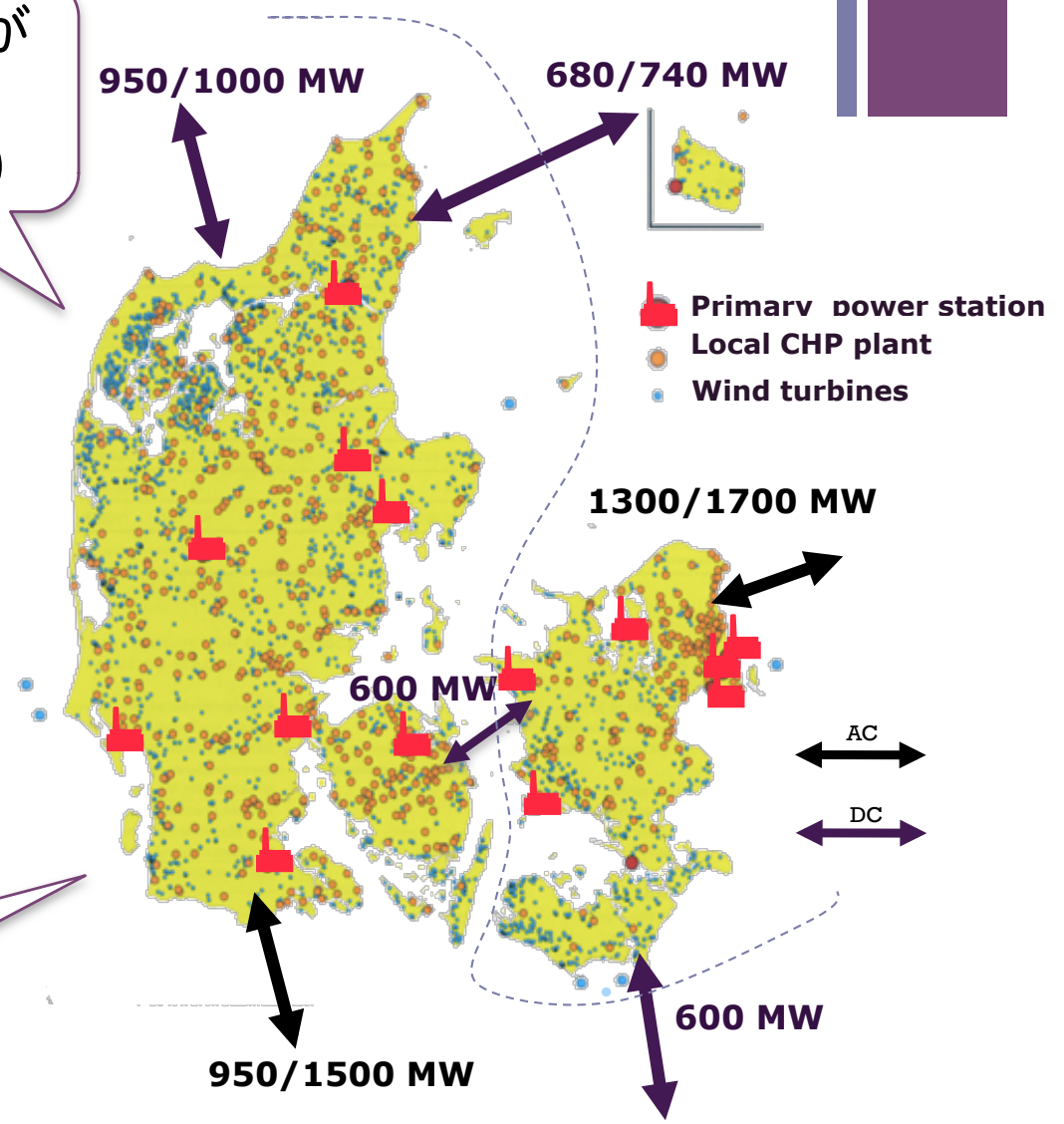
現在

1990年代

国際連系線が豊富 (ピーク容量の90%)

90年代までは大規模石炭火力がほとんど

小規模分散型コジェネを積極的に導入



(出典) A. Orths: Wind Integration Workshop in Tokyo, 2012

+ コージェネがなぜ柔軟性を持つのか？

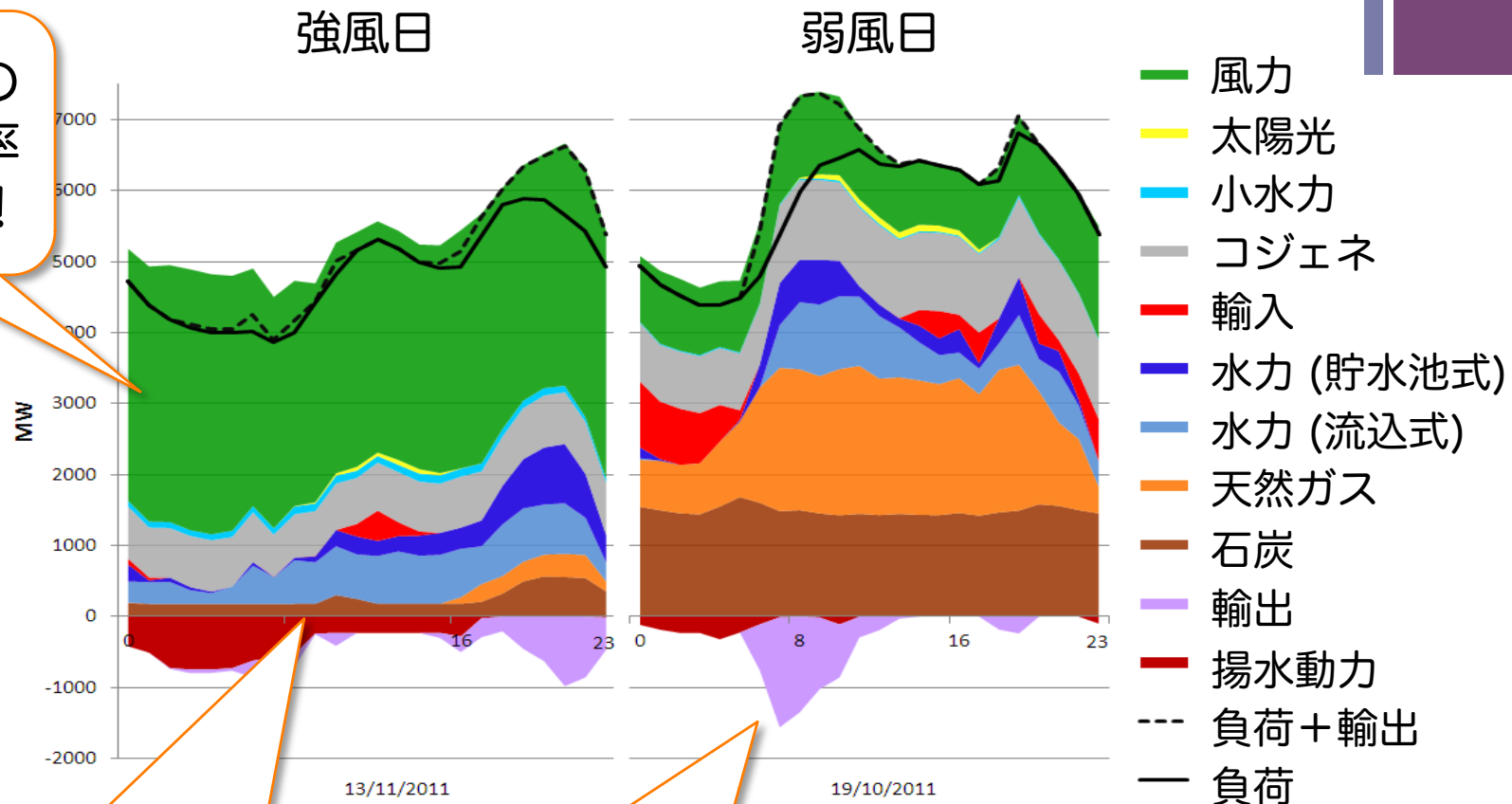
- コージェネ (熱電併給) は分散型電源
- 分散型電源は系統運用からみると厄介者。
 - 今どれくらい発電しているのかわからない。
 - 必要なときに働いてくれない。
 - いざというときに止めてくれない。



- デンマークでは、コージェネに通信要件を課すことによりそれを解消。
 - 監視・制御機能を義務づけ (FIT認定条件)
 - 系統運用を支援する「柔軟性」のある電源に。

+ ポルトガルの事例 (2011年秋)

風力発電の
瞬時導入率
が70%に!



石炭火力も出力抑制
(ベース電源という概念は
なくなりつつある。)

揚水+電力輸出で
対応することも

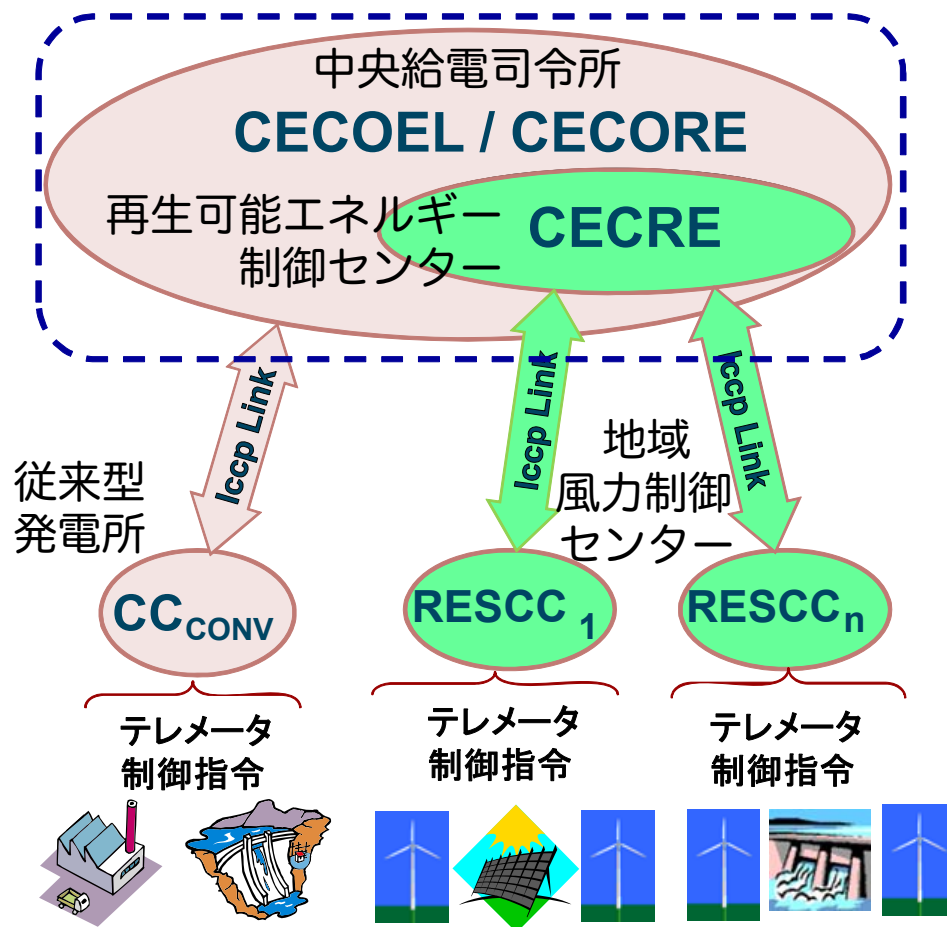
+ スペインの事例

- スペインでは中央給電司令所に再生可能エネルギー制御センターを世界に先駆け設置。
- 全ての大規模風力+太陽光をリアルタイムで監視。
 - 今どれくらい発電しているのかわかる。予測精度向上。
 - いざというときに止められる (但し年間0.8%程度)。



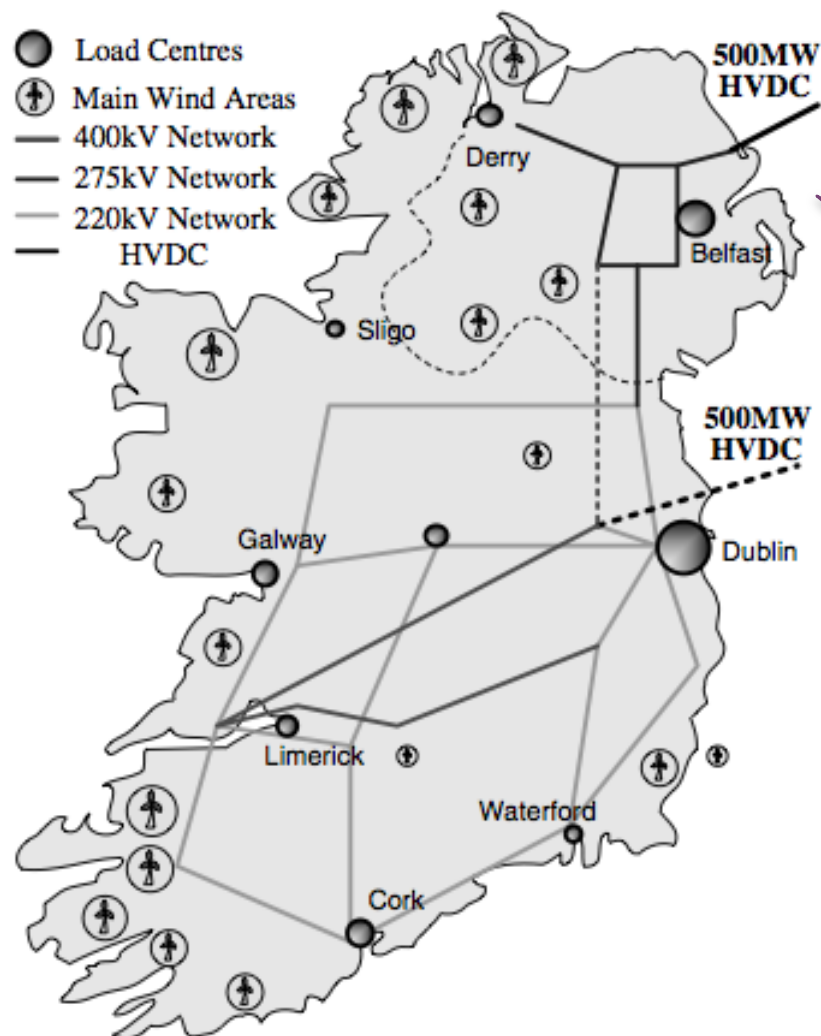
- スペインでは、変動電源に通信要件を課すことにより大量導入を可能に。
 - 監視・制御機能を義務づけ (スペイン王令)
 - 系統安定度を維持しながら大量導入を実現。

+ 風力発電出力予測・制御技術 (スペインでの実用例)



+ アイルランド島の電力系統

Ireland and Northern Ireland Power System Current and Planned



アイルランド島
 は北海道と、
 ほぼ同じ面積
 ほぼ同じ人口
 ほぼ同じ消費
 電力量
 ほぼ同じ連系
 容量

アイルランドは
 国際連系線が
 少ない

それでも風力発電
 導入率は約15%。
 2020年までには
 40%を計画。

+ 各国事例のまとめ

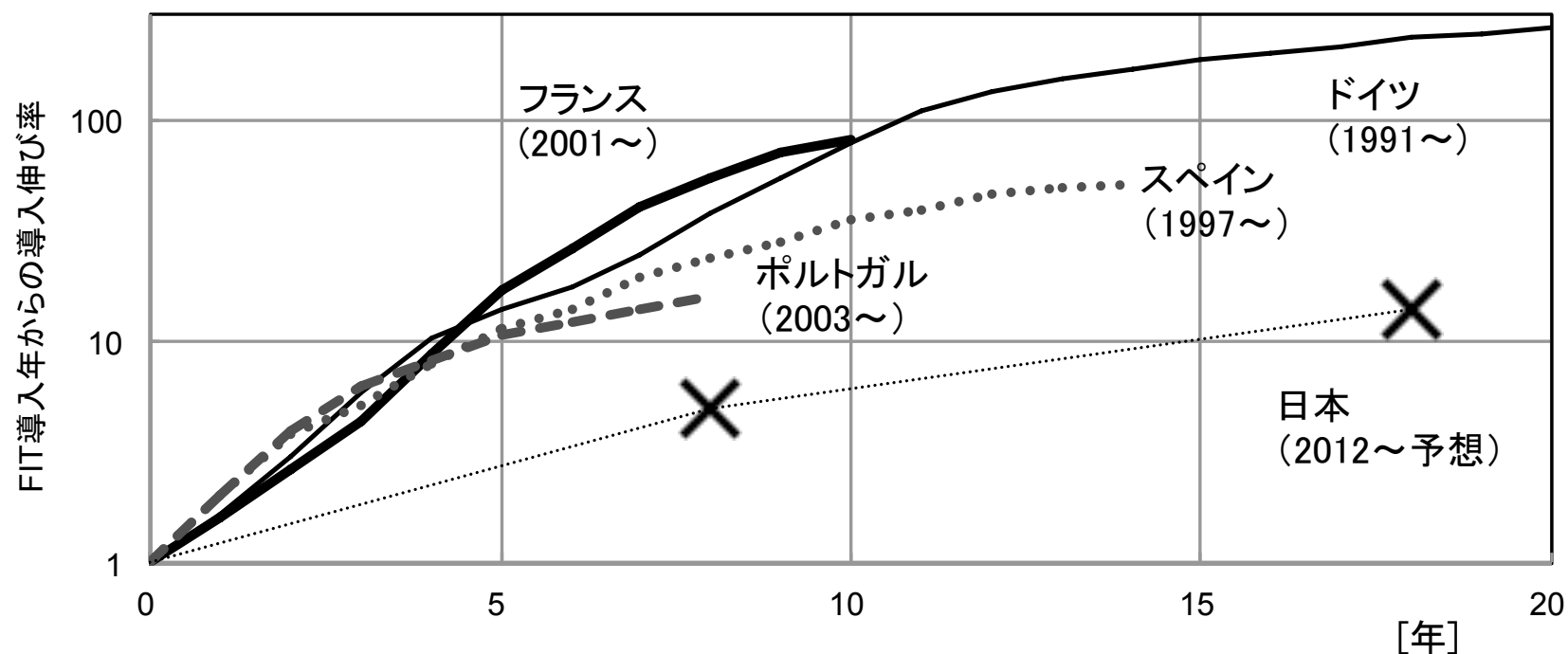
- デンマーク
 - 連系線+コジェネによる変動抑制
 - 導入率30%超を達成
- ポルトガル
 - 水力(揚水発電含む)による変動抑制
 - 瞬間導入率は90%にも達する
- スペイン
 - オンラインで風力発電の出力予測・制御
- アイルランド
 - 北海道とほぼ同じ島で導入率15%達成

風力の変動抑制は火力や連系線だけではない。

その国・地域にあった多様な手段がある！

+ 国際比較からみた我が国の可能性

- FIT導入国は導入後10年後に風力発電を35～80倍に増加している
- 日本の目標値(予測値)は国際的視点から見て妥当か？

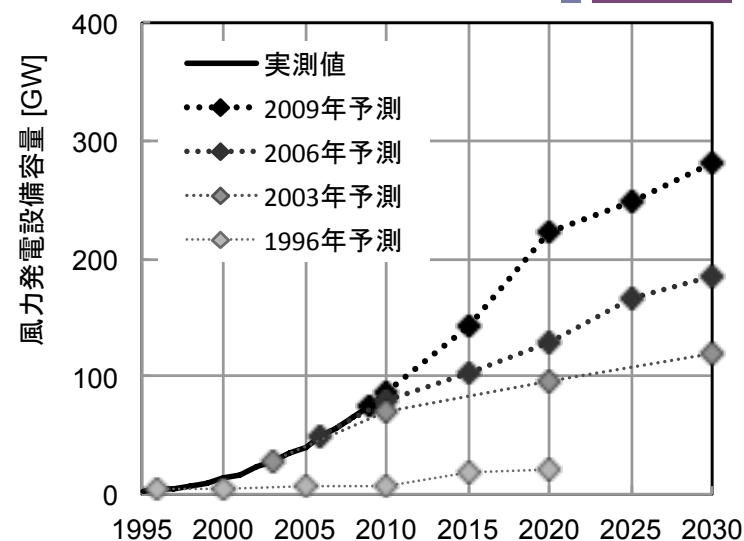


(データソース) IEA: Electricity Information 2013 および
環境省: 「低炭素社会づくりのためのエネルギーの低炭素化に向けた提言」, 2012

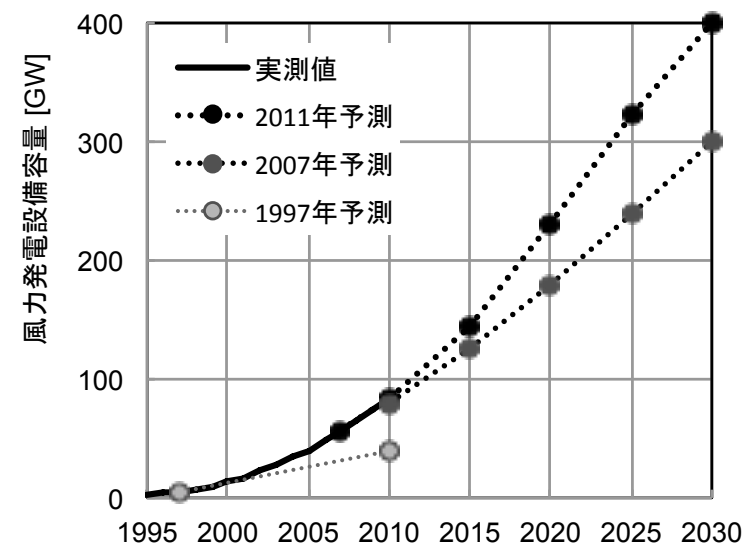
+ 最後に (未来に向けて)

- 目標値やロードマップは
 - 「誰かが与えてくれるもの」ではない。
 - 固定化されたものではない。
 - 金科玉条にしてはいけない。

- 常に見直されるもの。
- ダイナミックに進化するもの。
- 再生可能エネルギーの目標値は、欧州ではこれまで常に上方修正されてきた。



欧州委員会の目標値



欧州風力エネルギー協会の予測値

+ おまけ (本の紹介)

■ その他の誤解と神話

- 風力発電は効率が悪い？
- バードストライクや低周波音など，環境に悪い？
- 雷や台風などがあり，日本に向かない？
- 日本にはもう風車を建てる余地はない？
- 風力発電は大停電を引き起こす？

■ 答えは拙著をお読み下さい。

- 安田陽: 「日本の知らない風力発電の実力」, オーム社





風力発電大量導入へ 向けての挑戦

ご清聴ありがとうございました。

WWFジャパン
セミナー