

# 第4回 再生可能エネルギーを普及させる 制度の現状と課題

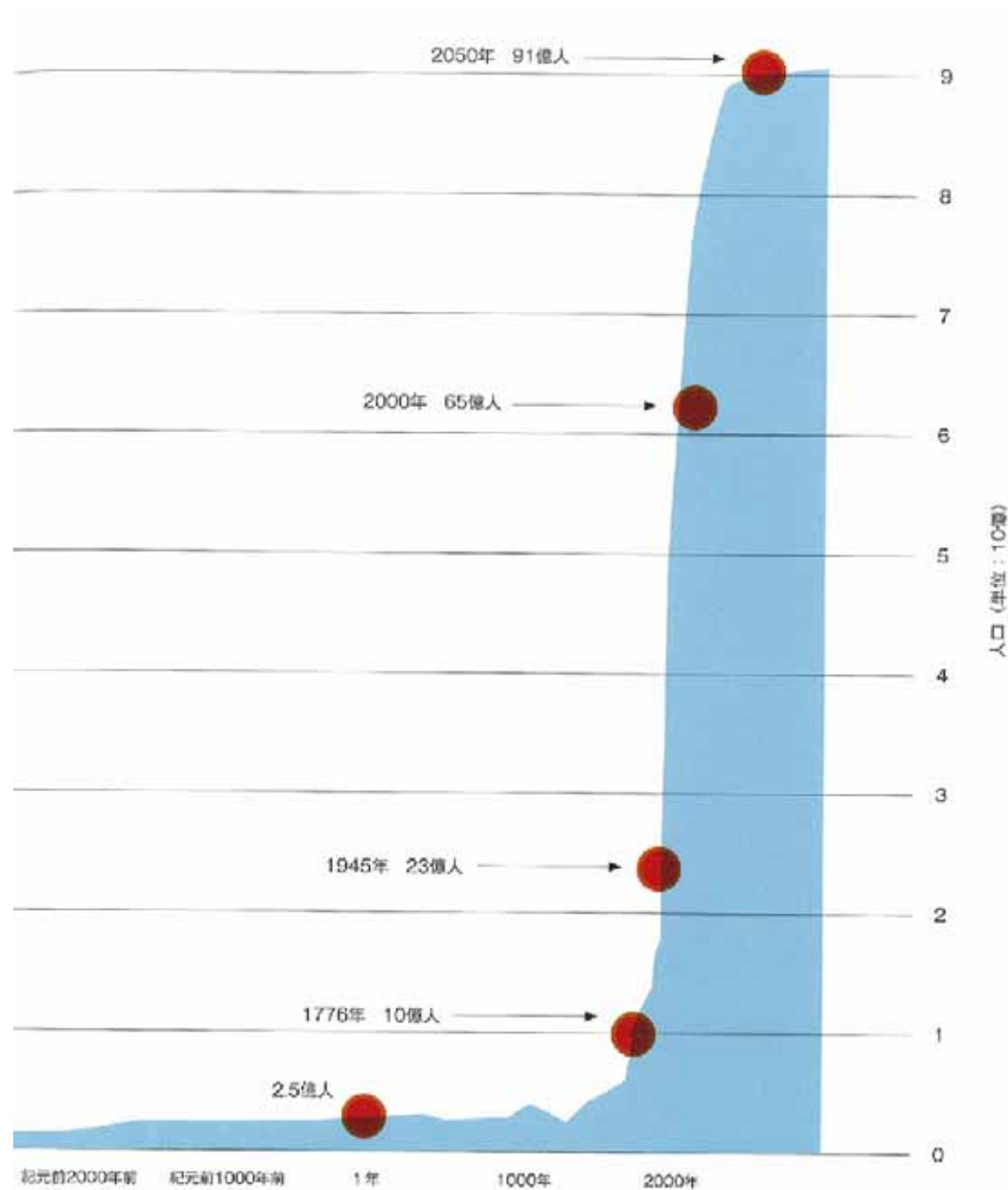
---

足利工業大学 学長

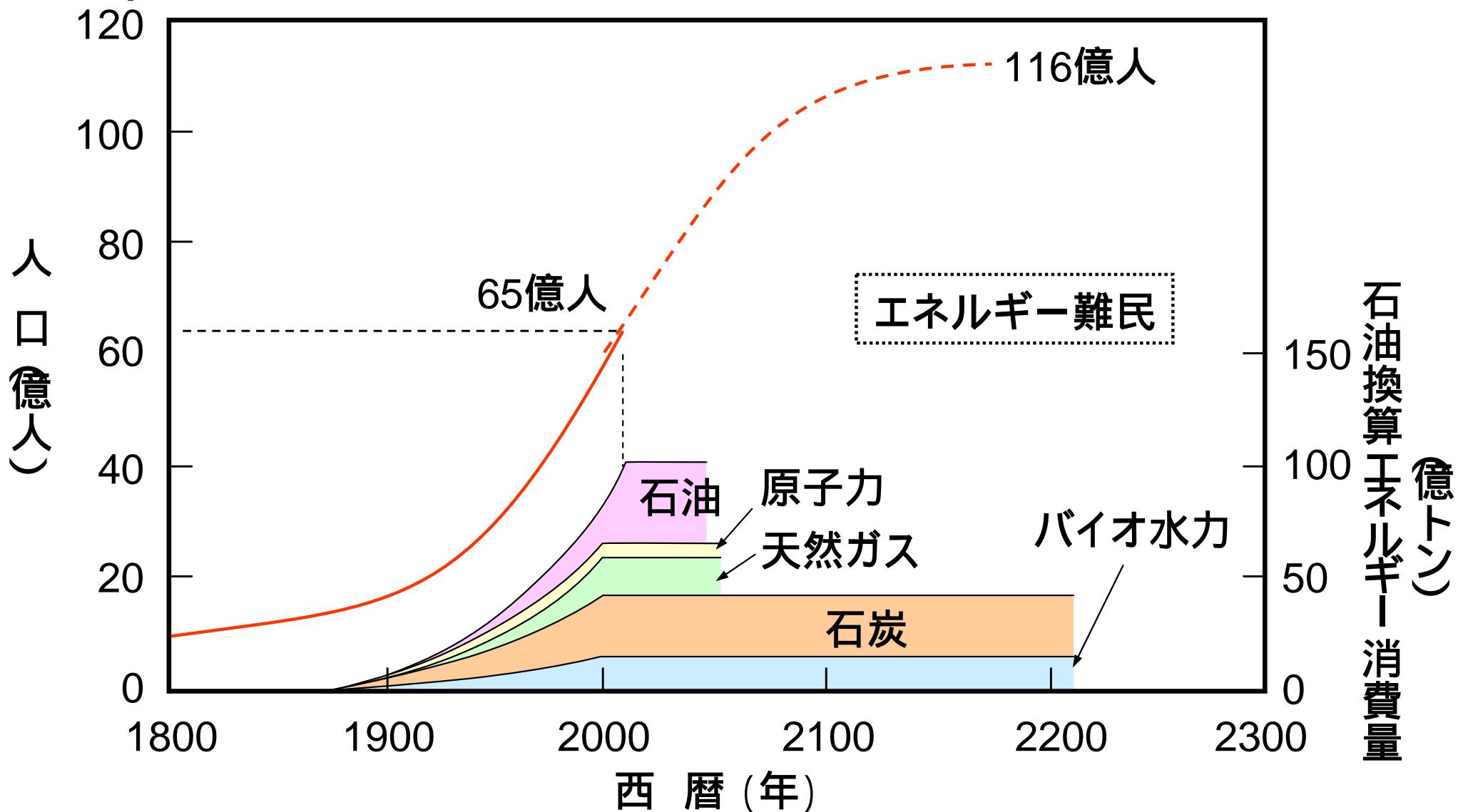
牛山 泉

[ushiyama@ashitech.ac.jp](mailto:ushiyama@ashitech.ac.jp)

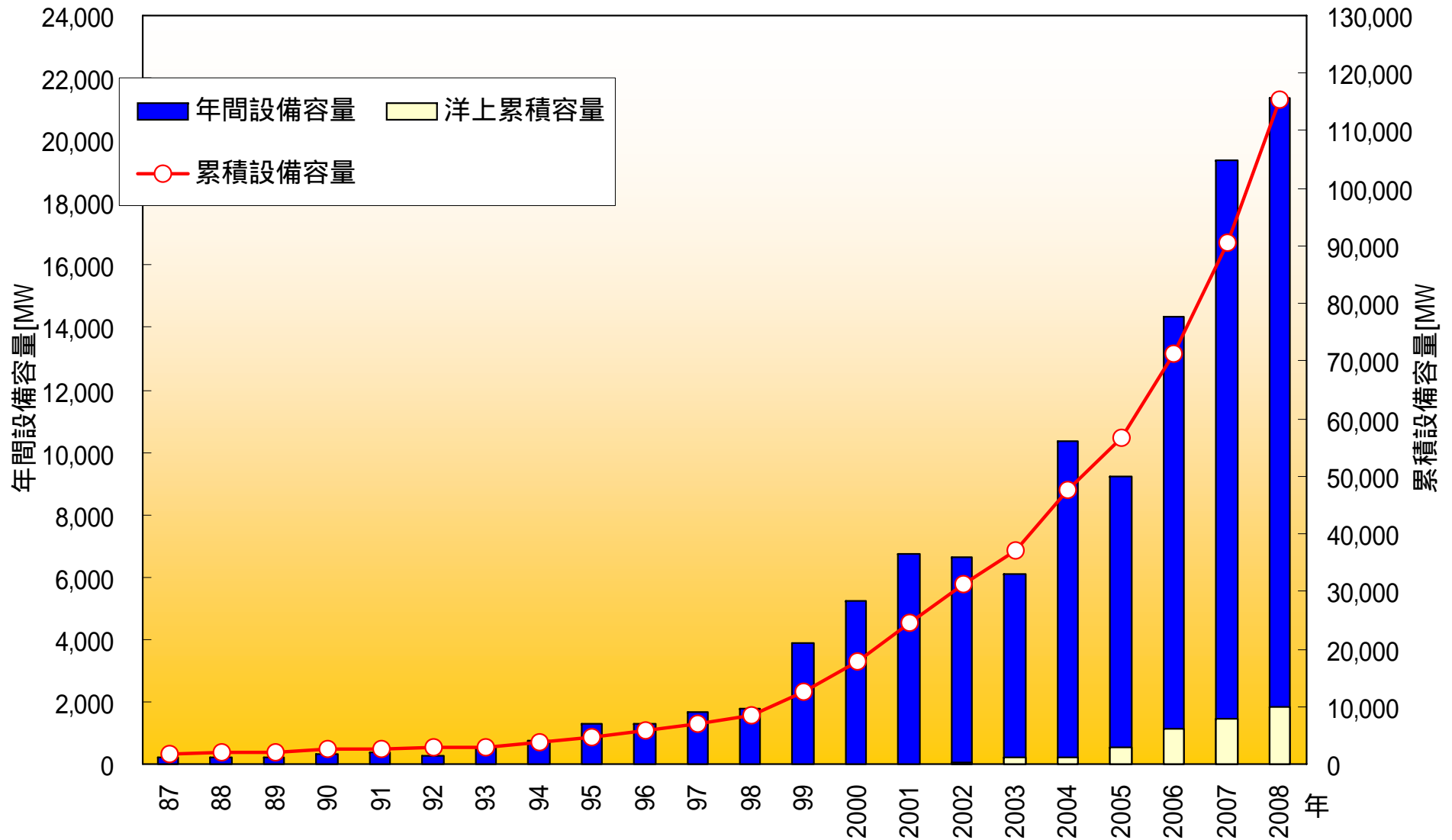
# 人類史における人口増加の推移



# 世界人口増加とエネルギーの需給



# 世界の風力発電設備容量の推移



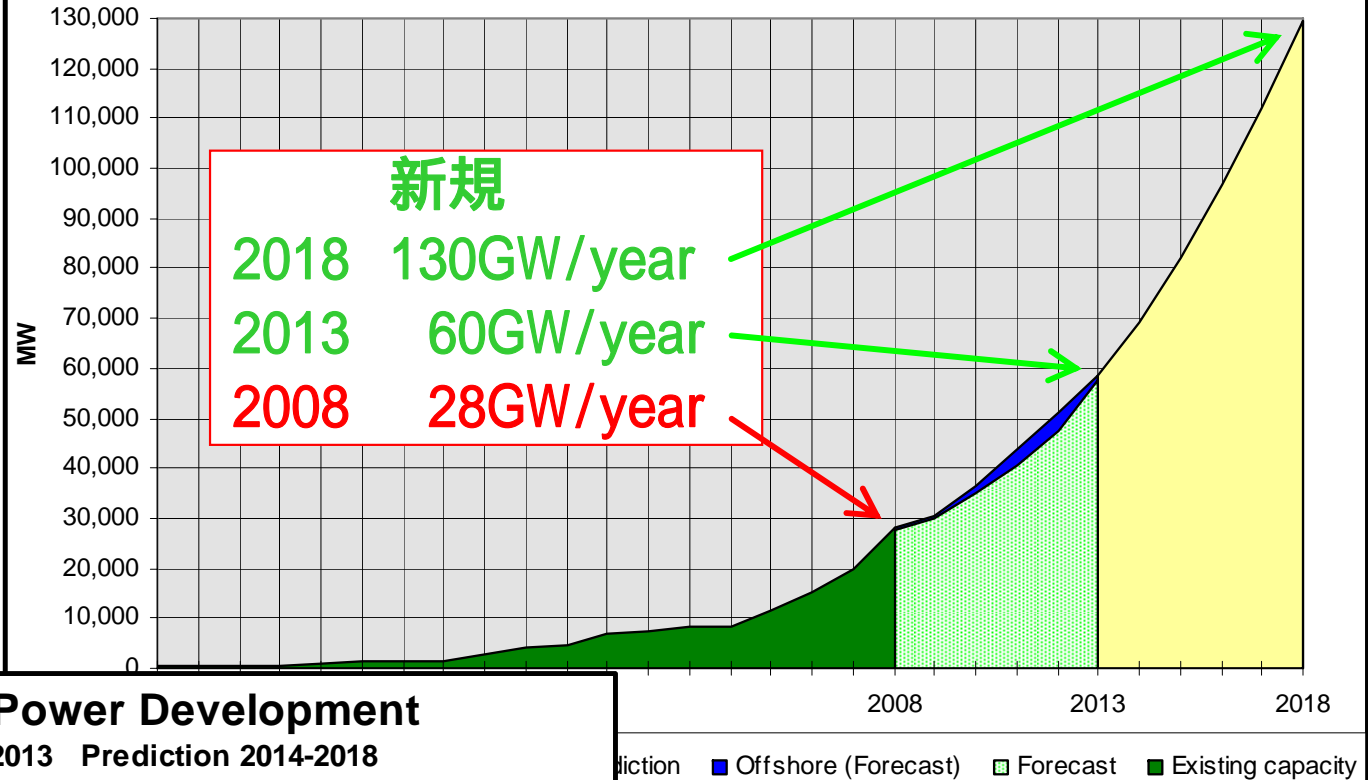
# ➤ 風力発電の現在と未来：既に兆円産業

## 新規導入量

- ・28GW・2万台/年 (原発28基分)
- ・市場規模は、4兆円/年以上。
- ・5年で3倍のペースで成長中

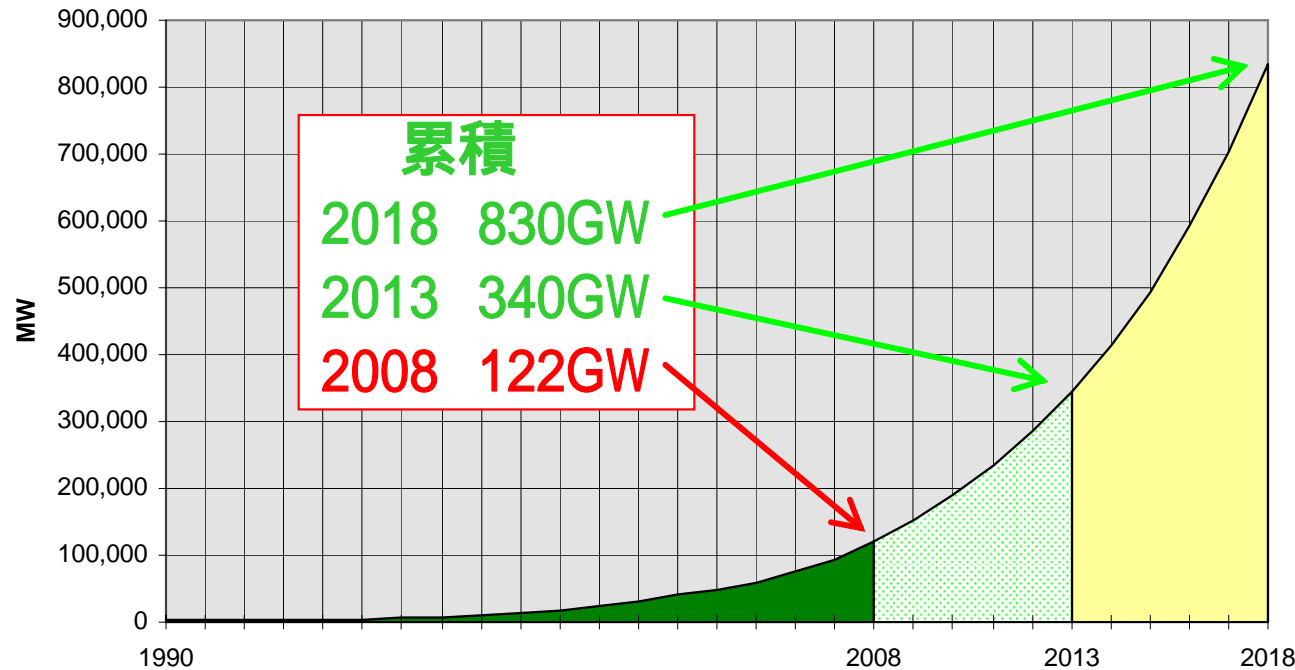
## 累積導入量

- ・122GW・13万台 (原発120基分)
- ・世界の電力需要の1.3%



## Cumulative Global Wind Power Development

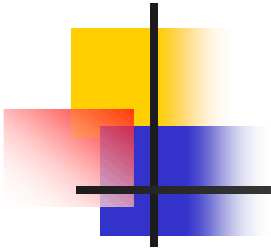
Actual 1990-2008 Forecast 2009-2013 Prediction 2014-2018



## 環境保護効果

- ・石油節約：56 百万ト/年  
(日本の石油輸入量の3割相当)
- ・CO2 削減：180 百万ト/年

出典：BTM Report 2008



# 風力発電が広がる4つの理由

## 世界のニーズ

- 1) 環境保護
- 2) 石油代替エネルギー
- 3) エネルギー安全保障
- 4) 産業振興と雇用確保

## 風力発電のシーズ

CO<sub>2</sub> Free な電源  
経済性・大規模化  
国内資源  
5兆円・40万人

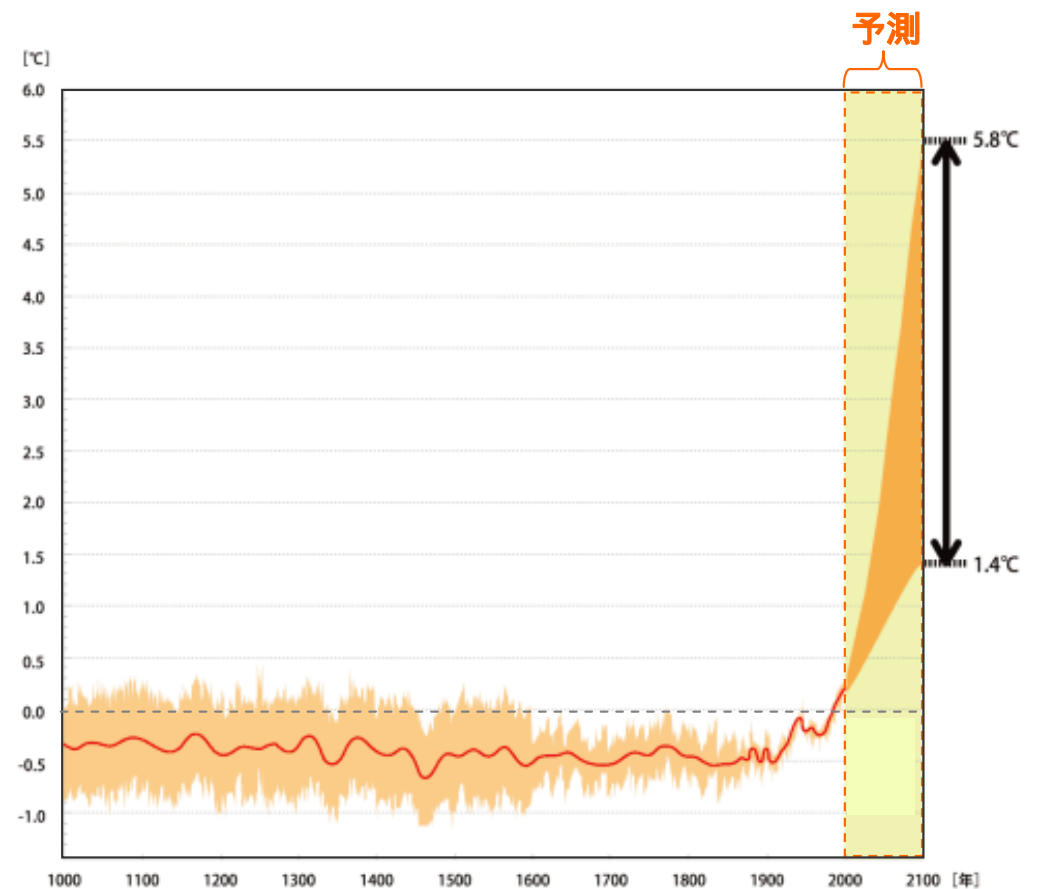
- ・経済発展と環境保護を両立させる解決策は、現時点では原子力と風力発電の2つしかない。  
(将来は、太陽光とIGCCが加わる。)
- ・身近でチェルノブイリを経験した欧州では、政治的に原子力は進めにくい。

# 1) 環境保護 地球温暖化

## アル・ゴア “不都合な真実” レスター・ブラウン “プランB” “IPCC報告” “スターン報告”



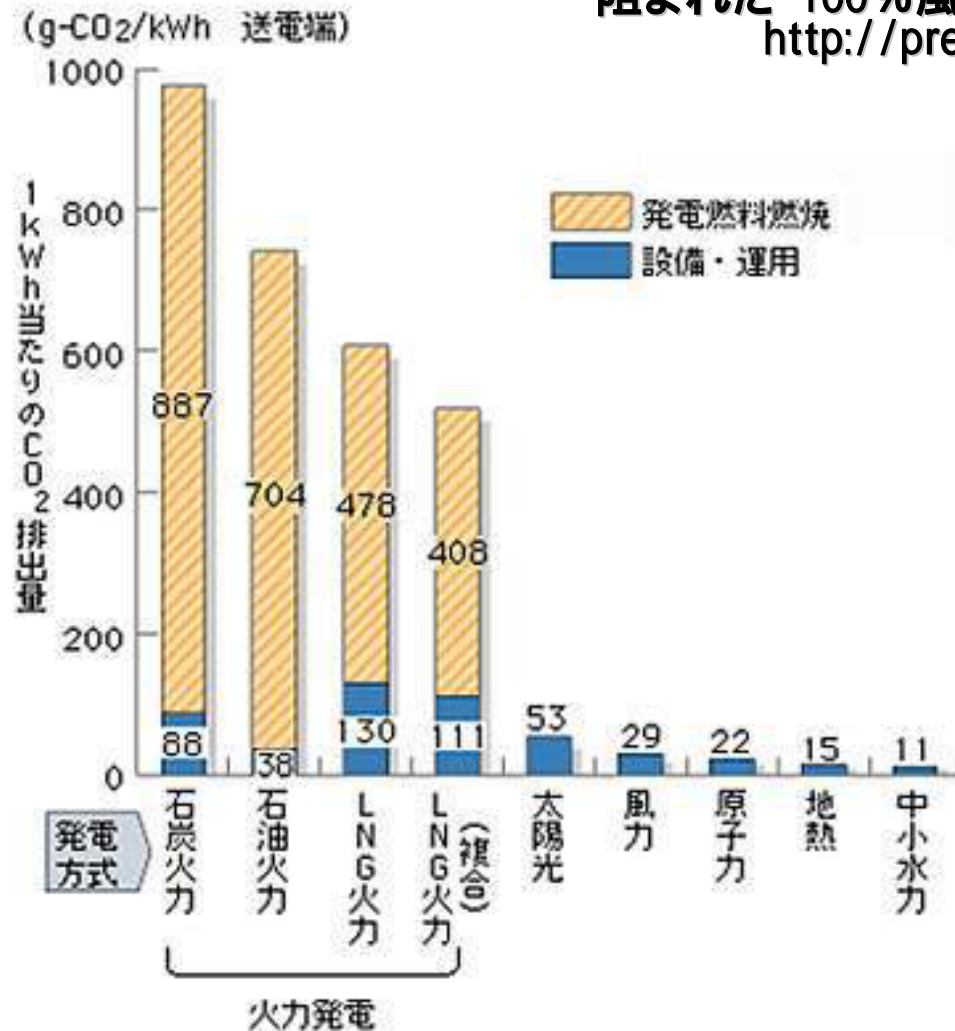
### 1000年から2100年までの気温変動 (観測と予測) “ホッケースティック”



# 風力発電のCO2排出量は火力の1/30～1/14

## 建設・運転・廃却を含むLife Cycle評価

阻まれた「100%風力」の夢、山根一眞の「The環業革命」、ECOマネジメント  
<http://premium.nikkeibp.co.jp/em/column/yamane/08/04.shtml>



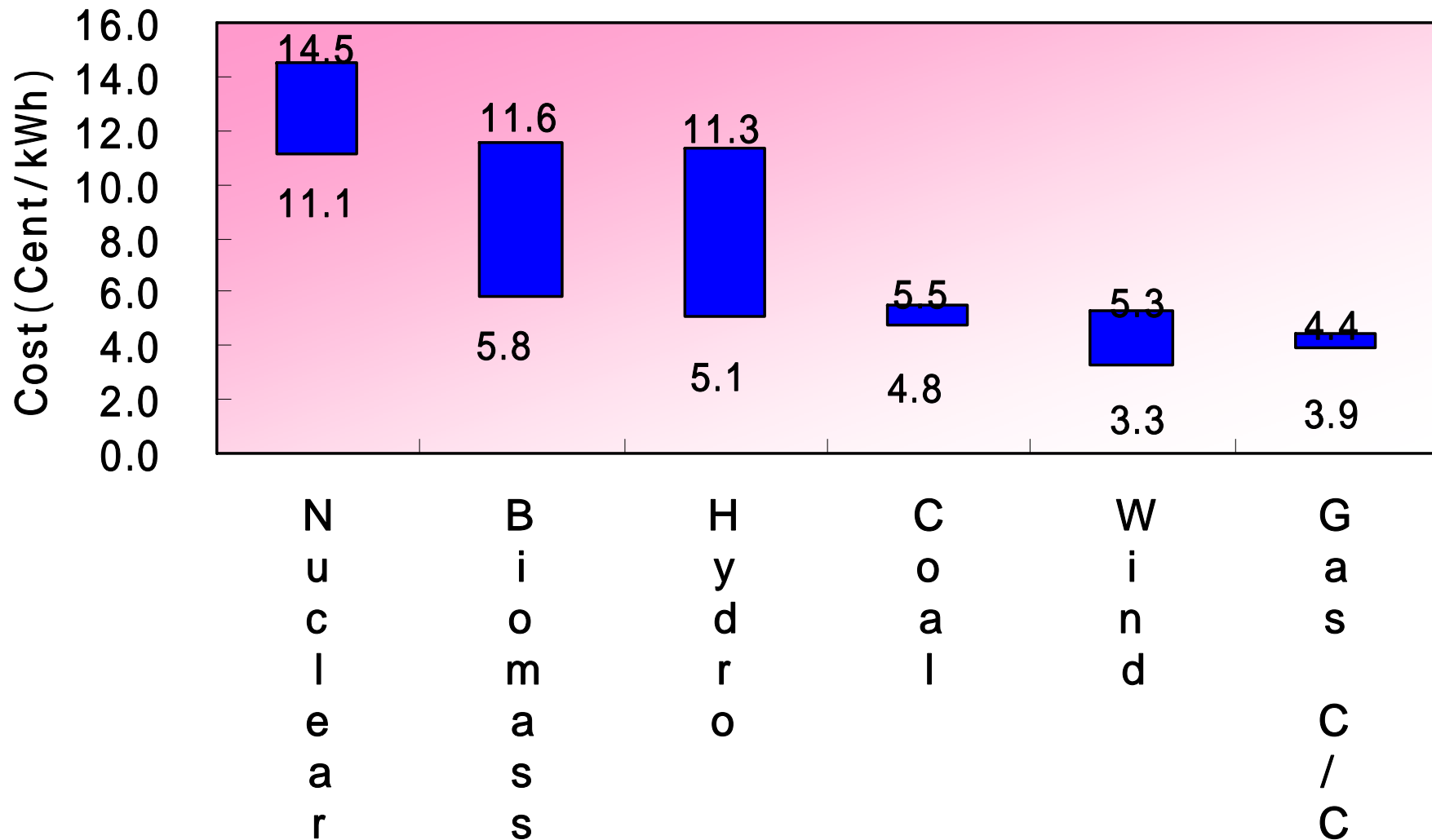
風力への期待は当初は「環境にやさしい」や「新エネルギー源」が狙いだったが、2005年頃から二酸化炭素の排出がきわめて少ないため「温暖化対策への切り札」と意識が変わった感がある。

資料：電力中央研究所

- (注) 1. 発電燃料の燃焼に加え、原料の採掘から発電設備等の建設・燃料輸送・情報・運用・保守等のために消費される全てのエネルギーを対象としてCO<sub>2</sub>排出量を算出。  
2. 原子力については、現在計画中の使用燃料国内再処理・プルサーマル利用(1回リサイクルを前提)・高レベル放射性廃棄物処理等を含めて算出。

# 世界では風力発電は既に低コストな電源

## Wind Power is Cheap Energy



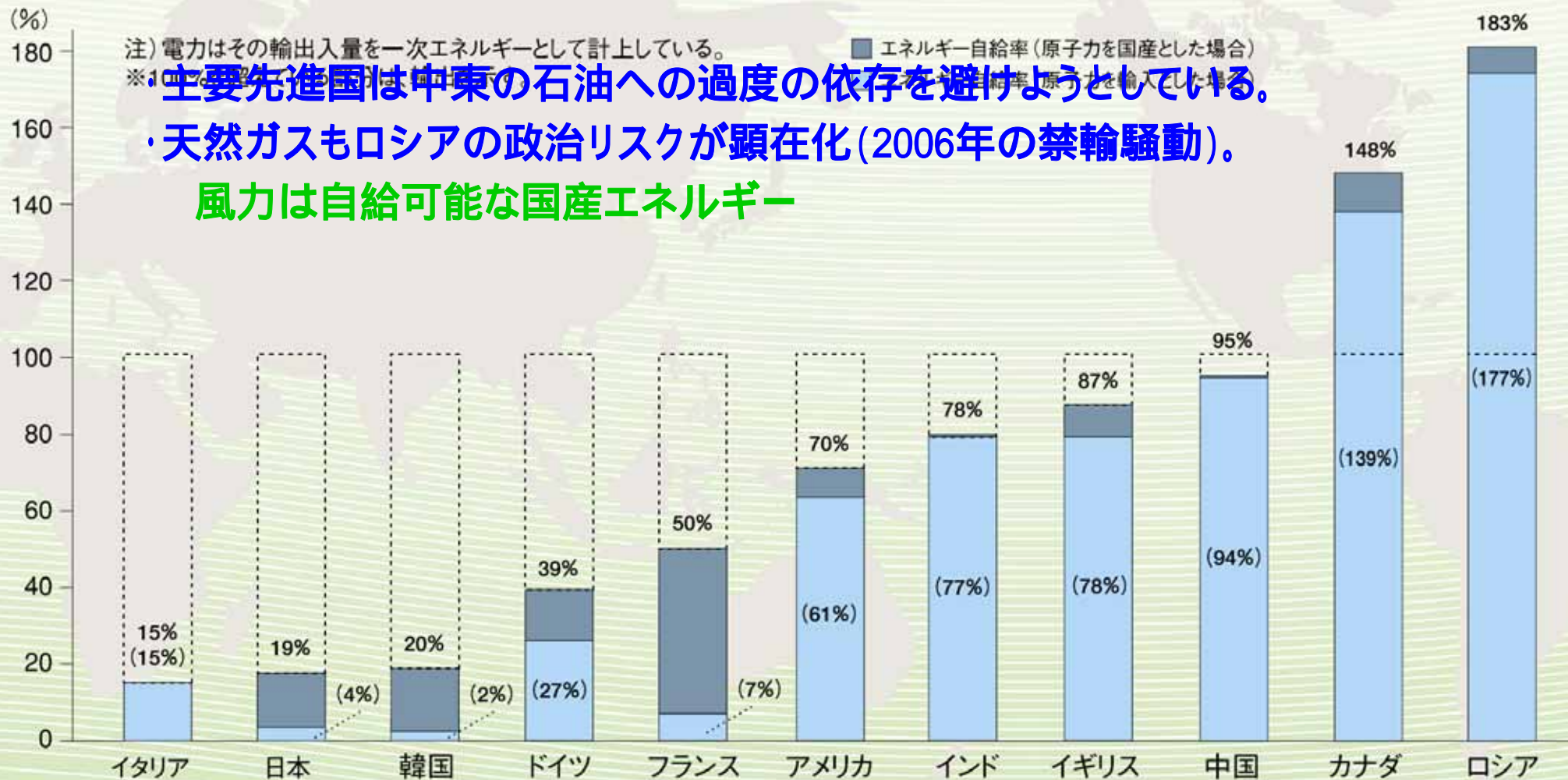
出典: World Watch 研究所、レスタ - ブラウン

# エネルギー安全保障

## 諸外国に比べ低い日本のエネルギー自給率

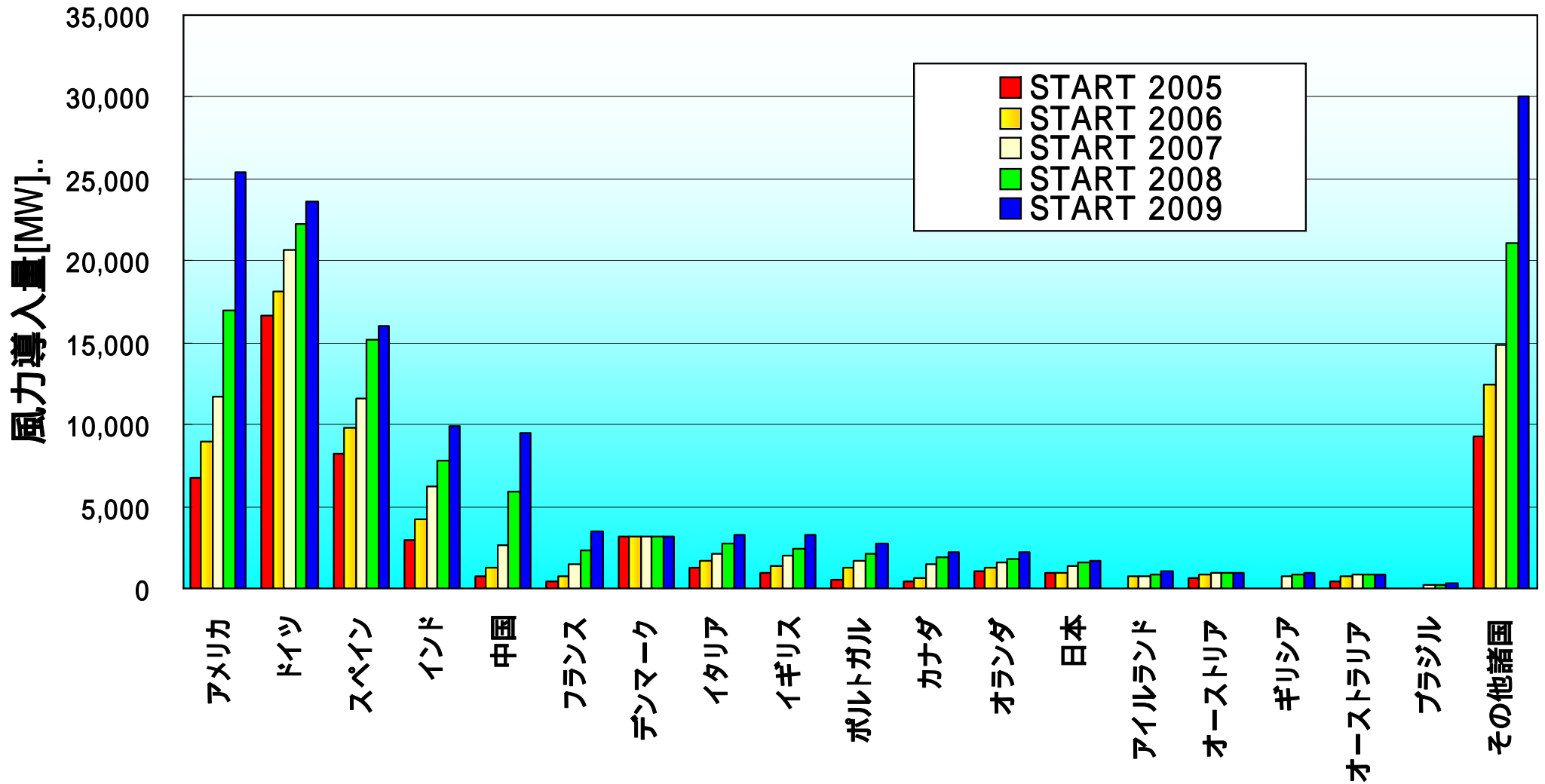
### ■ 主要国のエネルギー自給率 (2005年) (図-12)

出所: IEA/ Energy Balances of OECD/NON-OECD Countries 2004-2005 (2007 Edition)



主要先進国は中東の石油への過度の依存を避けようとしている。  
・天然ガスもロシアの政治リスクが顕在化(2006年の禁輸騒動)。  
風力は自給可能な国産エネルギー

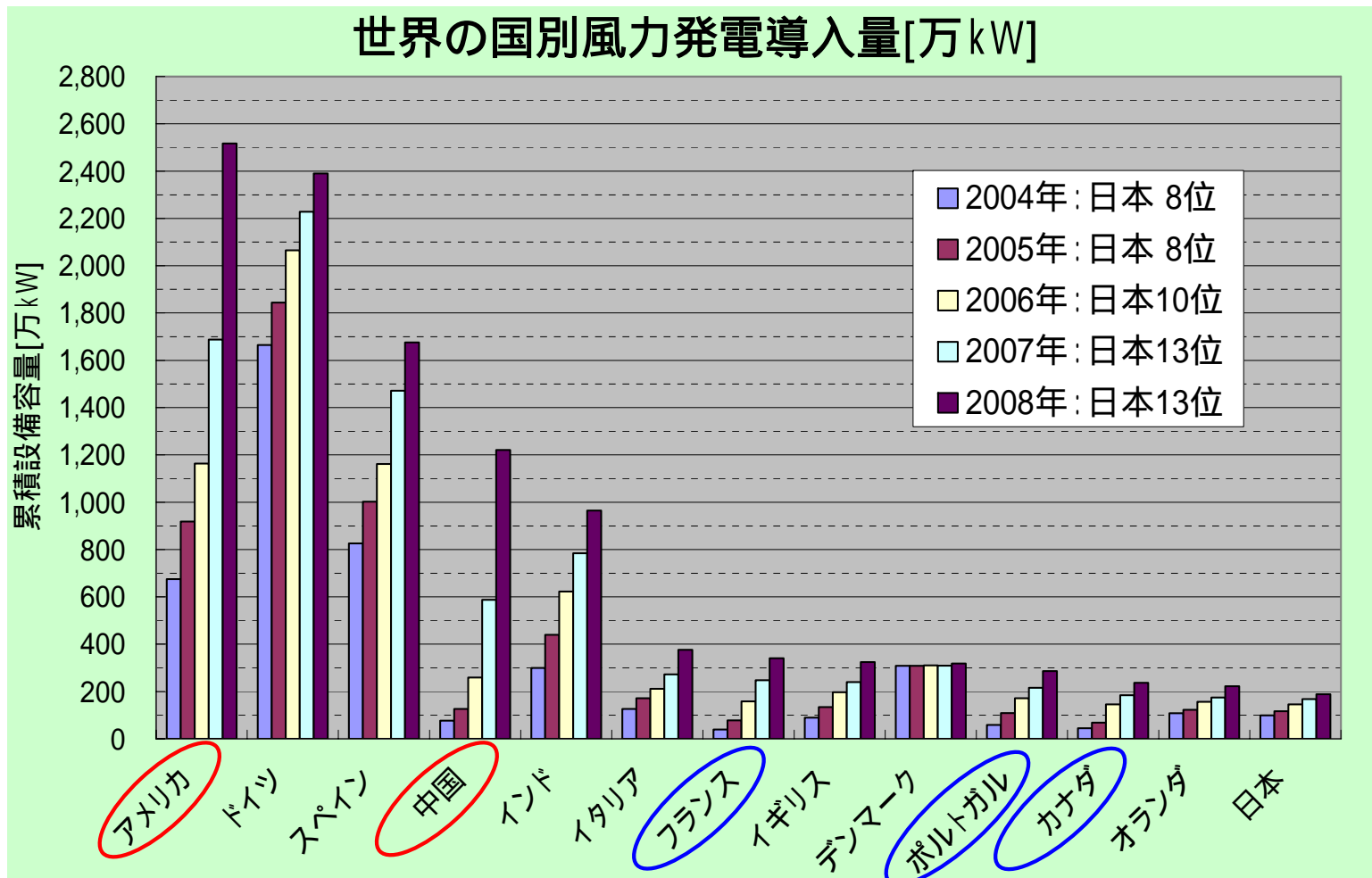
# 主要国の風力発電導入比率



# 日本と世界の風力発電の導入実績

## 国別の風力発電導入実績

- アメリカ、中国の導入量が急増
- 2004年時点で日本より下位であったフランス、ポルトガル、カナダも増加
- 日本は、世界第13位(約1.6%)で、1位アメリカの約1/13



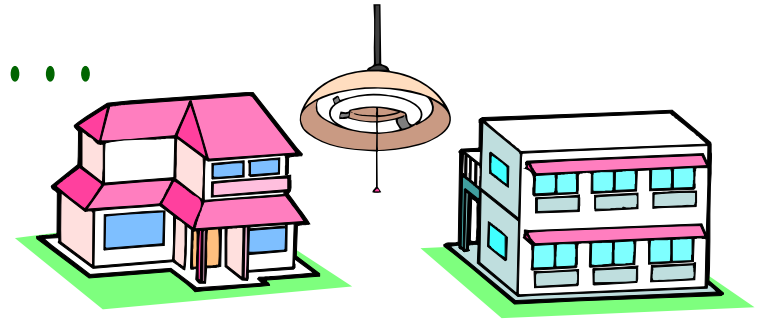


# 2MW級風車の環境貢献度

- ▶ 平均風速 7m/s で 707万kWh/台・年、発電する。  
13万台で日本の全電力需要をまかなえる。

一般家庭の消費電力に換算すると…

約1,400世帯分に相当



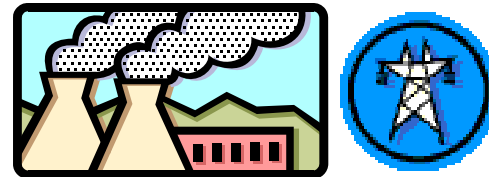
石油火力発電所(石油量)に換算すると…

約1,700kL(ドラム缶8,600缶)に相当



CO<sub>2</sub>削減量に換算すると…

約5,000tonに相当



上記CO<sub>2</sub>削減量を吸収するための杉の木に換算すると…

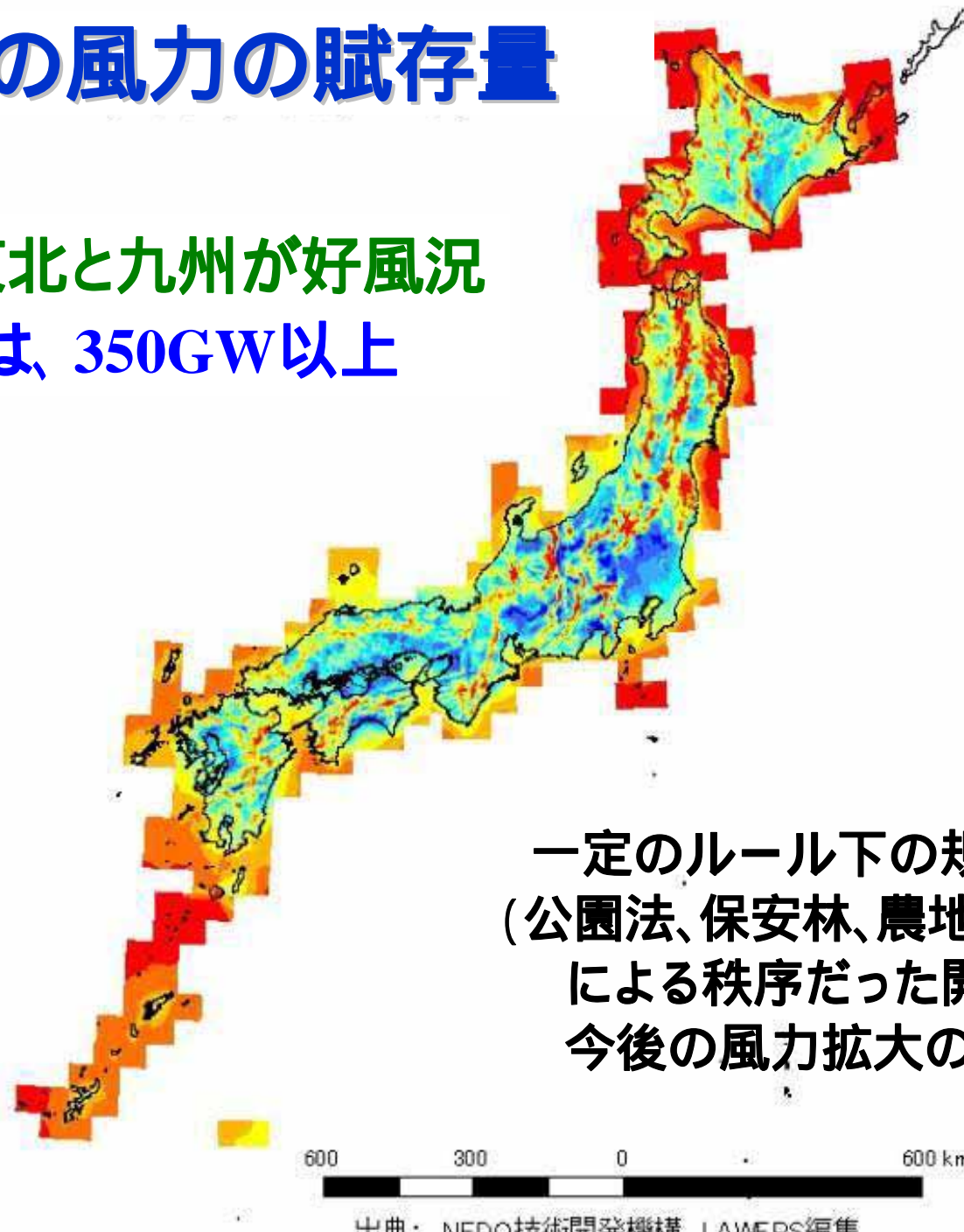
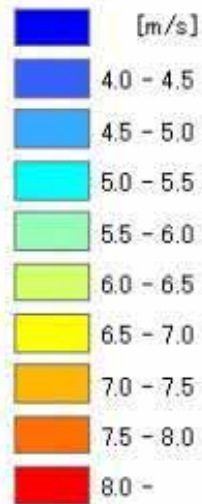
約36万本に相当



# 日本の風力の賦存量

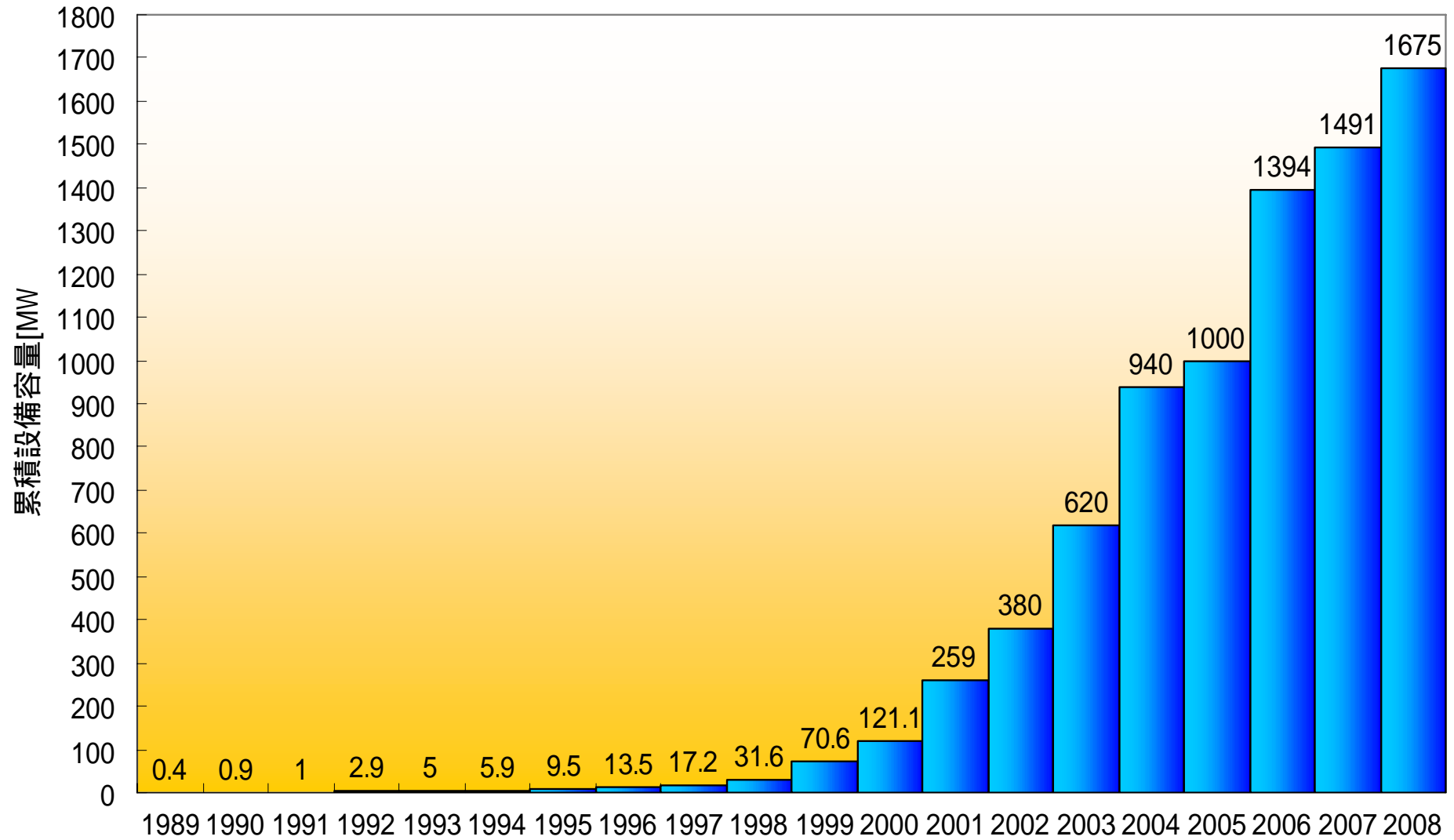
陸上では北海道・東北と九州が好風況  
洋上を含む賦存量は、350GW以上

70m 高さ風速



一定のルール下の規制緩和  
(公園法、保安林、農地転用、等)  
による秩序だった開発が  
今後の風力拡大のカギ

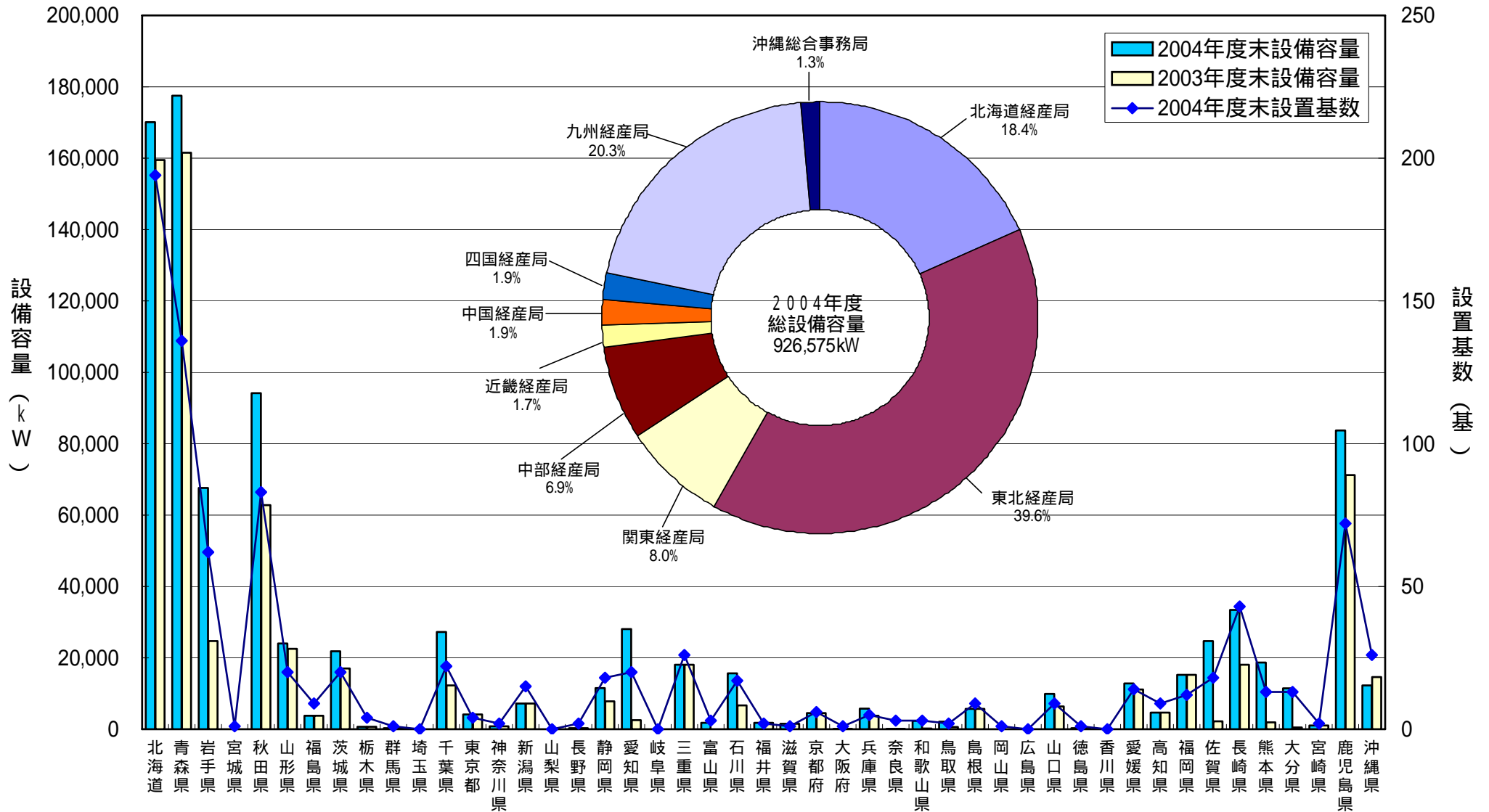
# 日本の風力発電導入推移



# 都道府県別風力発電導入量

NEDO技術開発機構  
(2005年3月末現在)

## 都道府県別風力発電導入量





# 日本のウィンドファームの例（沿岸丘陵）



**北海道 宗谷岬 2005 1000kW×57台（台数で日本最多）**  
（三菱自動車の電気自動車 i MiEV のコマーシャルに登場中）



# 米国のグリーンニューディール

## 米、沿岸で風力発電推進

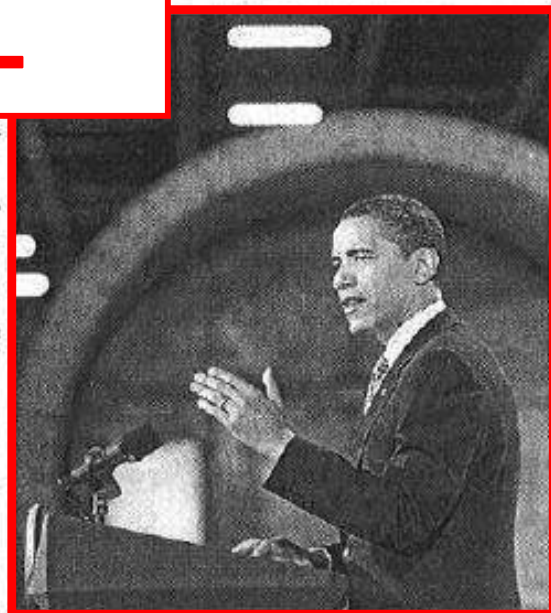
### 統領「環境と景気回復両立」

大統領は環境問題を考  
える「アースデー(地球の  
日)」にちなみ、以前は  
白物家電を製造していた  
風力発電設備の工場で演  
説。「われわれが直面して  
いるのは環境が経済かの  
選択では  
退かの選  
対策への  
同時に  
ルギー  
が二十  
のリー  
はその  
ならな  
部の「  
ばれる  
力、潮

**就任前後の演説の  
場所は「風車工場」**

### 年電力の2割賄う

**背景は製造中  
のタワー**



22日、アイオワ州で演説する  
オバマ米大統領—ロイター

### 「代替エ 50万人」

#### 雇用効果、

【ワシントン＝西崎香】オ  
バマ次期大統領は16日、米  
中西部オハイオ州の風力発電  
部品メーカーを訪れ、環境対  
策で景気も回復させるグリー  
ン・ニューディール政策の重  
要性を指摘した。代替エネ  
ギーの生産増などが「50万人  
近くの雇用につながる」と述  
べ、実施を急ぐ景気刺激策の  
利点を強調した。

同州に拠点があるカーディ



16日、米オハイオ州ベッドフォード  
ハイツで、風力発電機の部品工場を視  
察するオバマ次期大統領 (右)  
(EPA=時事)

計画されている風  
道を開き、二〇  
までに電力の二〇  
で賄えるように  
と訴えた。  
一三年以降の温暖化対  
策の国際的な枠組み(ポ  
スト京都議定書)を話し  
た米環境保護局  
エネルギー産業の育成と支援に  
約520億ドル(約5兆円)を  
初めて開  
「米

# WIND FORCE 12 (EWEA)

2020年迄に、全世界の電力の12%を  
風力発電によりまかなう。

風車基数: 907,000基  
風車規模: 1,261,157MW  
風車発電量: 3,093TWh / 年  
建設コスト: \$ 447 / kW  
発電コスト: 2.11 ¢ / kWh

全世界の風力資源量: 53,000TWh

オバマ大統領のグリーンニューディール

2030年迄にアメリカの電力の20%を風力発電で賄う

# 風力発電導入に際しての課題

## ● 風力発電の位置付けが不明確

- CO<sub>2</sub>削減効果は認めるものの、総合的な経済効果の算出・検討が必要(系統連系対策費などは、短期的な追加費用としての算定)

- 化石燃料削減
  - CO<sub>2</sub>排出権国際取引
  - 経済効果
  - 雇用効果
- } 風車関連部品産業、電機設備産業、土木建築産業なども含む

- 世界的に風力は、再生可能エネルギーの切り札

## 2010年に300万kW導入に向けた施策を実施

- 抜本的な系統連系対策なし
- 電力会社殿の募集容量は、出力変動実績を調査後に決定

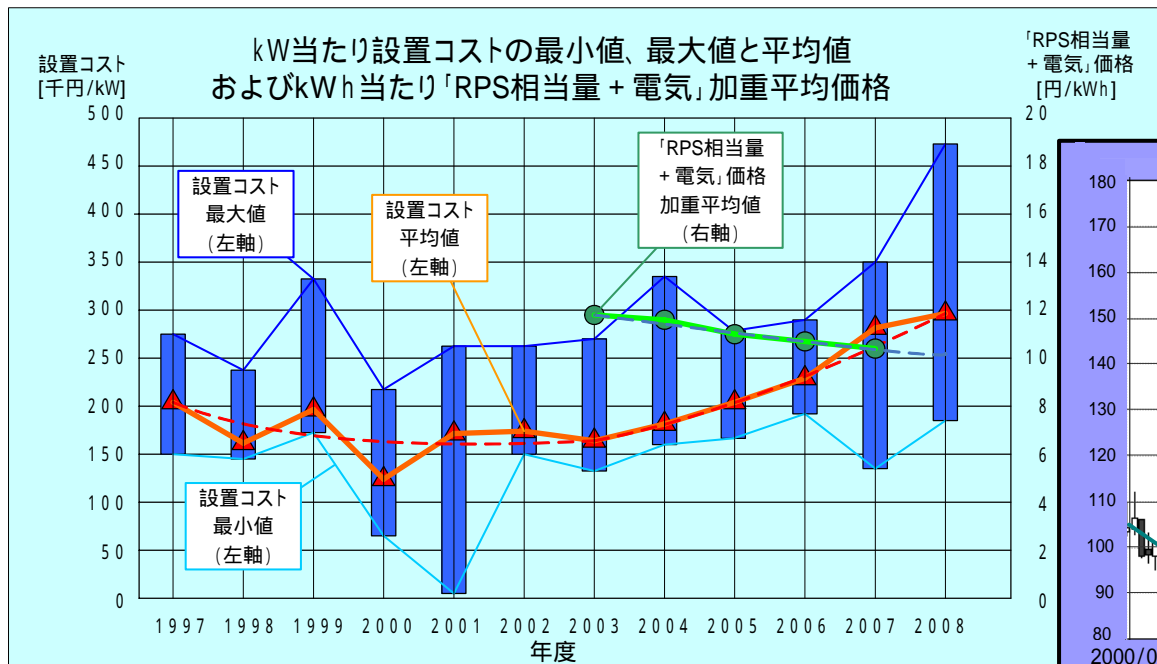
## 現行の電力ネットワークによる連系可能量

- 約500万kW(2008年5月:電事連会長定例記者会見)
- 中央三社を除き、330万kW  
(2008年11月までに各電力会社殿が公表した導入可能量をJWPAにて加算)
- 更なる連系可能量拡大は、現行の運用・設備では限界

# 風力発電導入に際しての課題

## 風力発電の事業性悪化

- 設置コスト(kW単価)が上昇(20万円 30万円/kW\* 1997 2008)
- 「RPS + 電気」価格(kWh単価)が低下(11.8円 10.4円/kWh 2003 2007)
- 風車の価格上昇と調達期間の長期化(世界的に風車不足)
- 為替変動(前金:発注時と出荷時とに、合計約80から90%を支払)
- 鋼材等材料費の高騰、消耗品・交換部品のコスト上昇
- RPSバンキング量増加(RPS義務量と電力会社殿の努力)
- 「抽選」による系統連系候補者に選定後、詳細設計による辞退件数も増加



\* : 設備利用率 = 22%、金利 = 4%  
17年回収の場合: 8.5円/kWh 11.4円/kWh



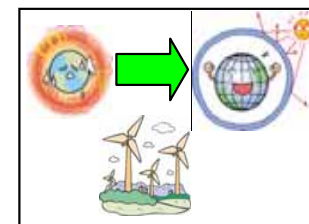
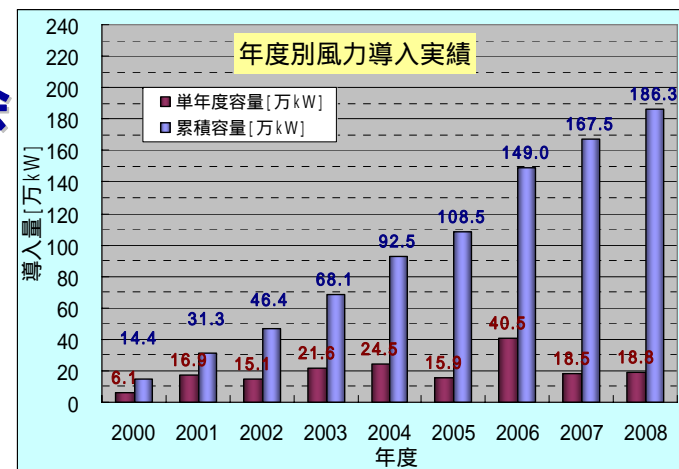
# 風力発電導入拡大に向けた要望

## 中・長期導入目標の早期策定

- 風力発電を「重要電源」と位置付け、低炭素社会実現に向けた、意欲的な中・長期導入目標値の早期策定  
地球温暖化対策、エネルギー安定供給、産業・雇用の創出

### 現在までの目標値・見通し・試算値

- 京都議定書・総合資源エネルギー調査会  
2010年:300万kW
- RPS法義務量  
2010年:122億kWh = 300万kW  
2014年:160億kWh
- 総合資源エネルギー調査会 需給部会  
2020年:200万kW 490万kW  
2030年:269万kW 660万kW
- NEDO風力発電ロードマップ検討委員会(2005年3月)  
2020年:1,000万kW(陸上:620万kW、洋上:180万kW)  
2030年:2,000万kW(陸上:700万kW、洋上:1300万kW)  
最新情報に基づく「利用可能量」の再調査実施も要望



# 風力発電導入拡大に向けた要望

## 適正価格による長期間の買取り

- 風力発電による発電電力の適正価格制定と買取り期間の延長

### 中・長期導入目標値と整合したRPS義務量の設定

- 市場原理が働く義務量と最低価格の設定
- RPS義務者へのインセンティブ(環境付加価値との整合など)

### 風力発電による発電電力の適正価格の制定

- 現行
  - 火力発電所の焚き減らし相当の単価のみ
- 今後
  - 現行に加えて、地球温暖化防止対策の対価などを加味
  - 蓄電池システム併設の有無を考慮(変動緩和制御方式でも、数円/kWhの上昇)
  - 洋上風力への配慮(欧州では、陸上風力の約1.5倍で買取り)

### 風力発電による発電電力の買取り期間の延長

- 風車の設計耐用期間 = 20年
- 現状の買取り期間 = 15年 ~ 17年



# 風力発電導入拡大に向けた要望 調査・研究開発の実施

## ・ 導入目標実現に向けた調査・研究開発の実施

送電線・調整電源および電力貯蔵設備の新增設計画の策定と実施

- ・ 適正容量で適正配置により、資源の有効活用を図る

気象予測を取り入れた広域電力系統運用システムの確立と実施

- ・ 送電線、調整電源および電力貯蔵設備などの新增設および広域電力系統運用システムの確立には10年単位の期間を要す

着床式及び浮体式洋上風力の研究開発・実証と導入促進

- ・ 日本は、海岸線が長い海洋国家
- ・ 世界は、着床式洋上風力の建設計画が急増
- ・ 日本独自の技術開発によりIEC規格への反映を行うと共に、浮体式洋上風力で、世界のトップランナーへ！  
(世界に誇れる日本の三大技術として：太陽光・高性能蓄電池・浮体式洋上風力)
- ・ 研究開発機関または専門プロジェクトチームの創設



# 風力発電導入拡大に向けた要望 まとめ

- **方針の明確化**
  - 中・長期導入目標の早期策定
- **インフラの整備**
  - 抜本的な系統連系対策の実施
- **事業性の確保**
  - 適正価格による長期間の買い取り
- **建設の迅速化**
  - 規制・制度の緩和と創設
- **上記を支える**
  - 調査・研究開発の実施





# 日本の風力市場が低調な理由

---

## 1. 風車には厳しい気候風土

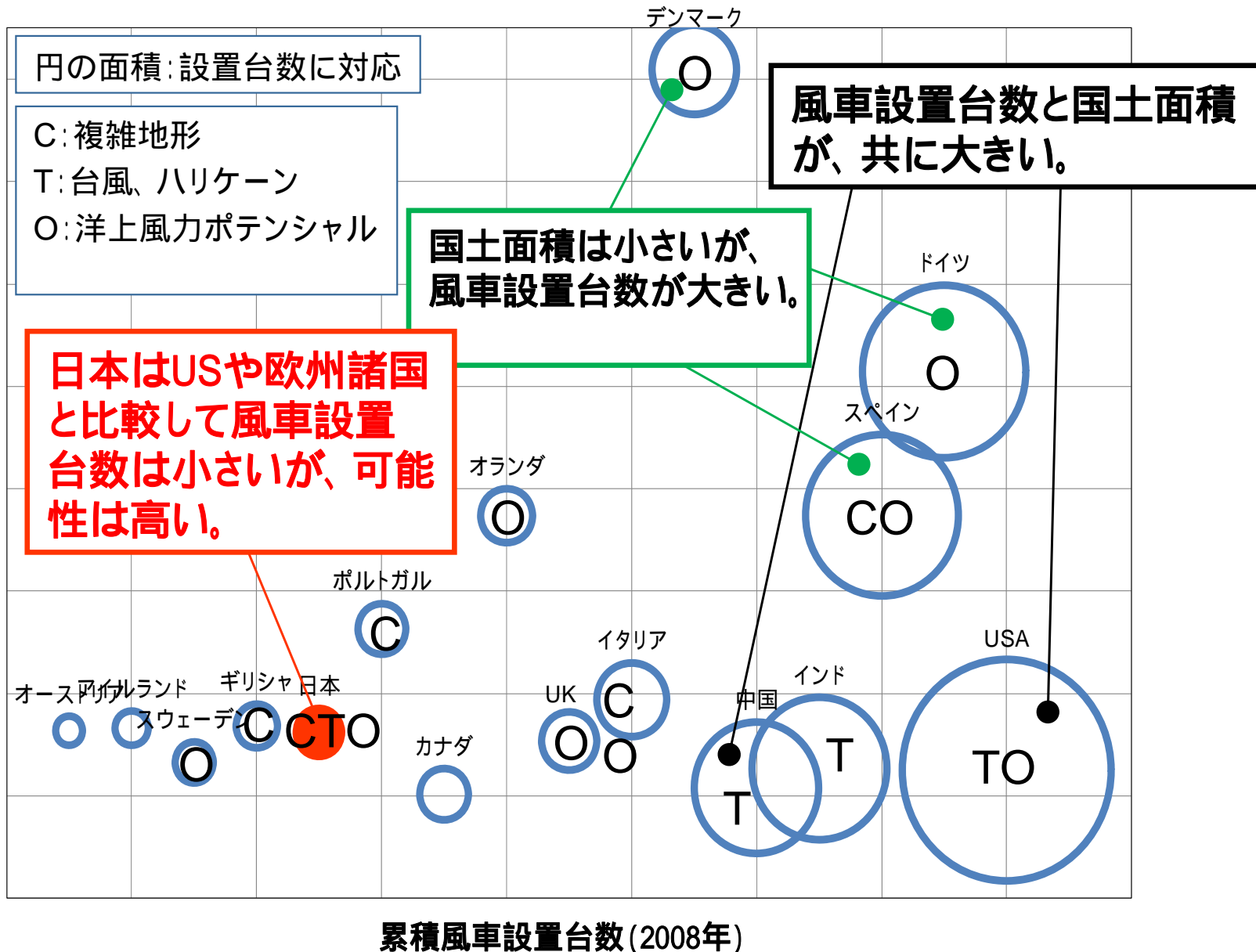
- 普段の平均風速は大きくないのに、台風の時だけ猛烈な突風が吹く。
- 山がちな地形なので、風の速度と向きの変動が大きい。
- 北陸地方には、「冬季雷」と呼ばれる特殊な強い雷がある。
- 北海道、東北、九州などには、風の強い地域が多い。

## 2. 社会条件も不利

- 人口密度が高いため、風車を建てる広い土地の確保が難しい。
- 島国なので周囲と電気の融通ができず、欧米に比べて送電系統が弱い。末端の弱い送電線には風車を繋げない。
- 曲がり道の多い山岳部や、歩道橋や交差点のある都市部では、風車の長い羽根は運びにくい。

# 主要国における風車設置台数・密度

国土単位面積「km<sup>2</sup>」あたりの風車設置台数



【データ出典】

風車設置台数: BTM, World Market Update 2008 Forecast 2009-2013, International Wind Energy development, March 2009

国別面積: CIA, The World Factbook 2003, Feb 2004

# 大型化の効果

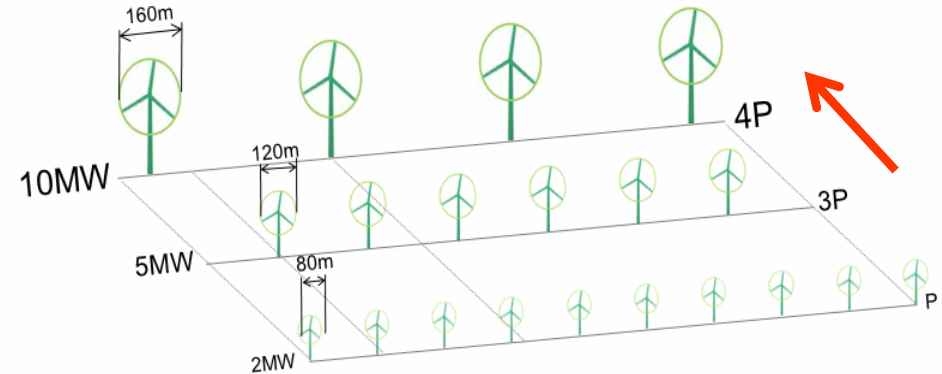
## 大型化の利点

- ✓ ハブ高さの高度化およびロータ受風面積の拡大により取得エネルギーが増加する。
- ✓ 設備利用率が大幅に向上する。  
2MWの25%から5MWまたは10MWに大型化することで、それぞれ30%または33%の設備利用率が見込める。

風車大型化による設備利用率の向上\*1

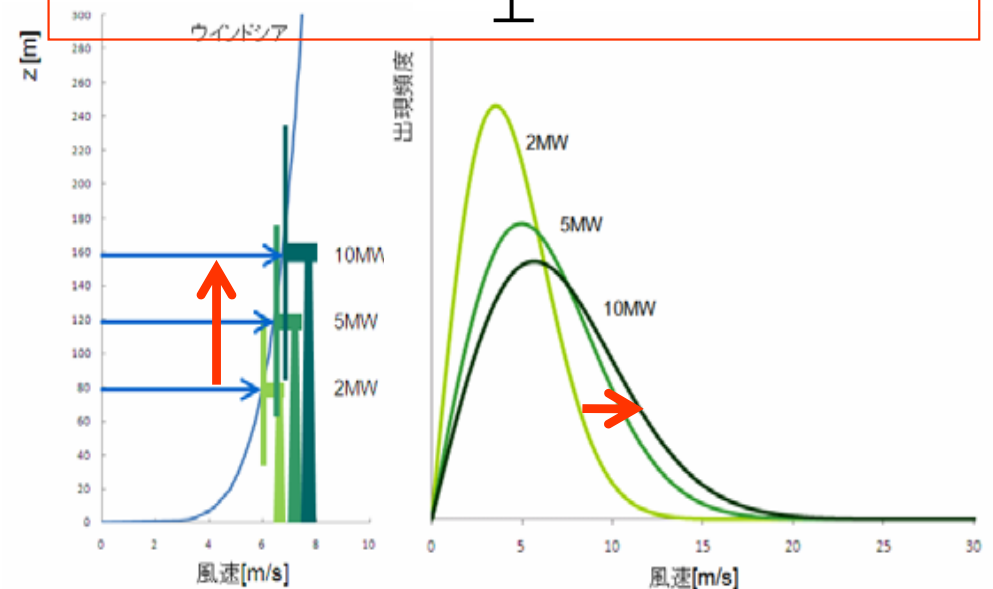
定格出力 [MW]	ハブ高 [m]	ハブ高風速 (n=5)[m/s]	設備利用率 [%]
10	160	7.3	33
5	120	6.9	30
3	100	6.6	28
2	80	6.4	25
1	60	6.0	22

## 設備容量の向上



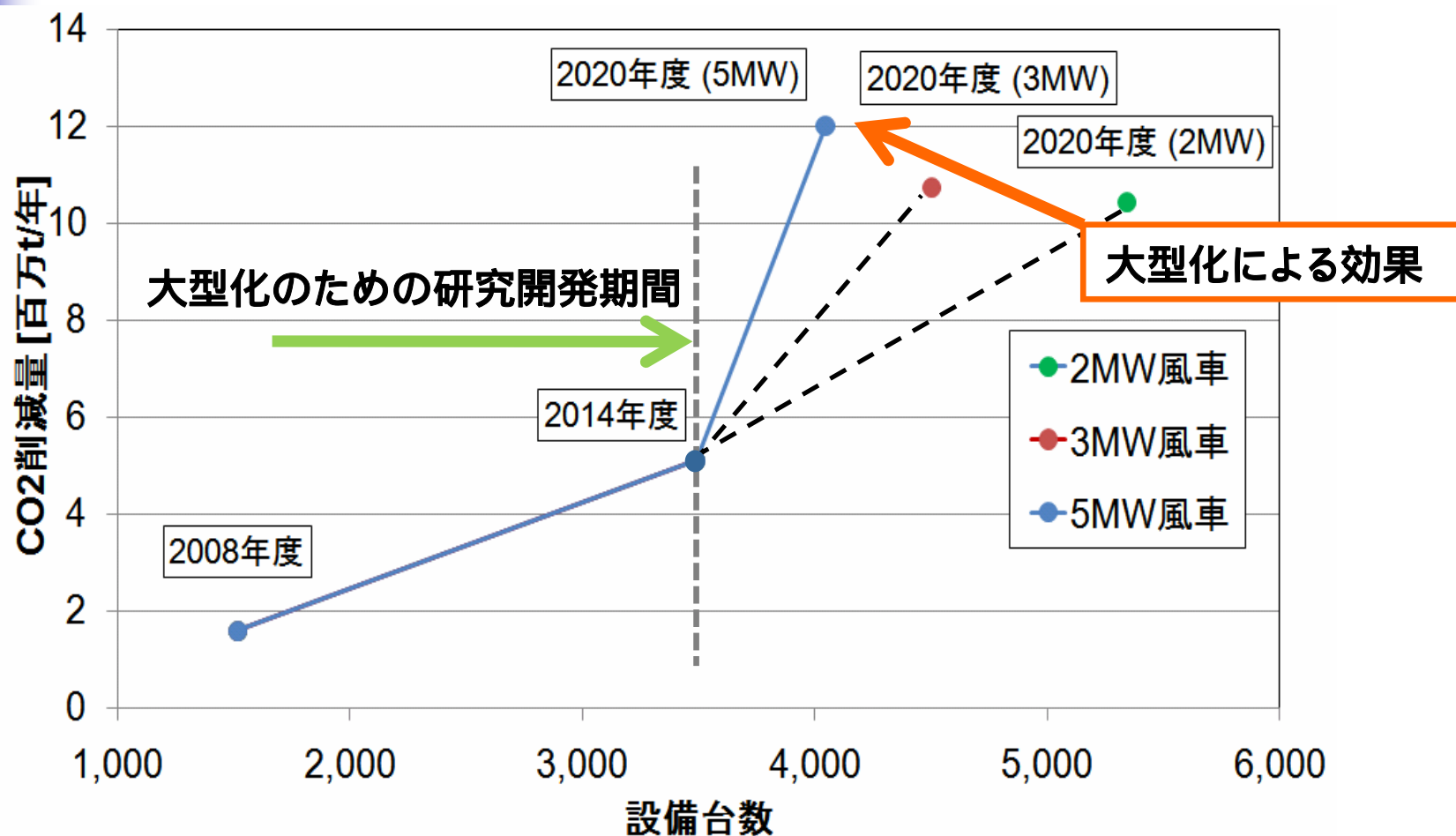
P: 2MW機10台設置の場合の取得エネルギー(出現頻度は考慮していない)風車の間隔は2.5D(D: 風車直径)

## 風速が増大することによる設備利用率の向上



\*1 IEA annual report 2008、日本の場合

# 風車の大型化によるCO2削減効果



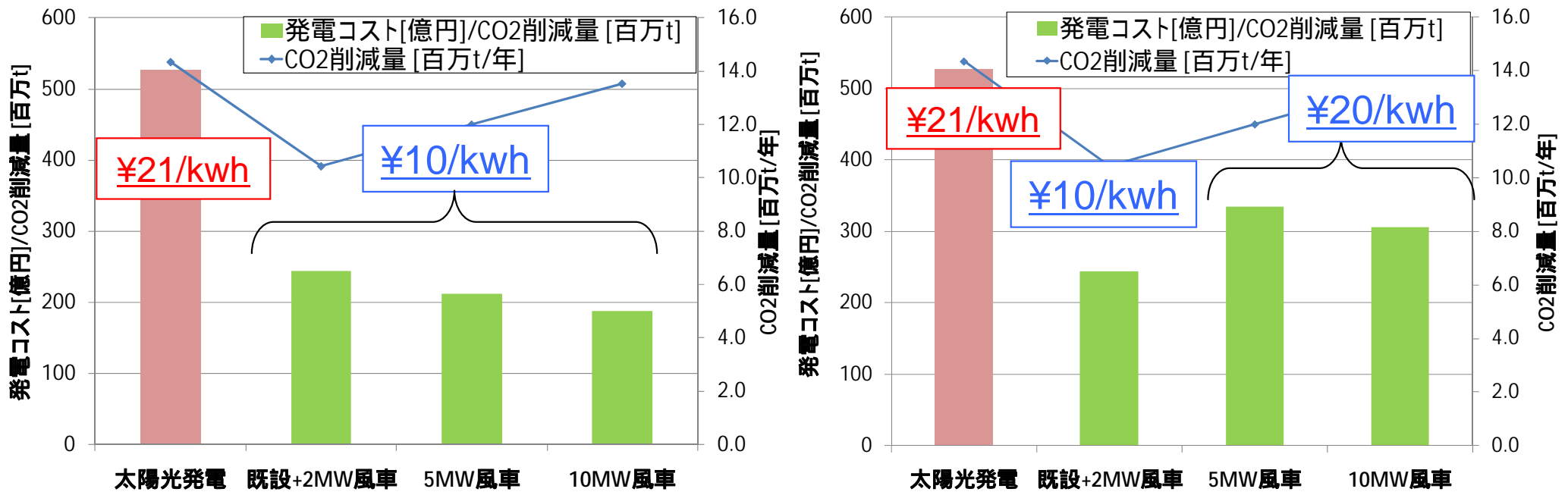
- ✓ 立地条件の制約が厳しい日本では風車の大型化が有効である。
- ✓ 風車を大型化(2MW 5MW)するほど、少ない設備台数および低い発電コストで高いCO2削減効果が得られる。

参考: 日本における送電鉄塔数 約 28万 基

(加藤:「送電鉄塔塗替え用飛散防止形塗料 タワーマン」, 塗料の研究 135号, 2000年10月)

\*1 2020年の目標値は、JWPA-WPDAの2020年提案条件:陸上10,000MW(2MW機)による。

# 発電コストとCO2削減量【風力-太陽光】



## 太陽光 (風力に比較して発電コストが高い)

- ✓ 発電コスト48円/kWh(発電コストの安価な住宅用)、3500万kW導入ケース\*1

## 風力

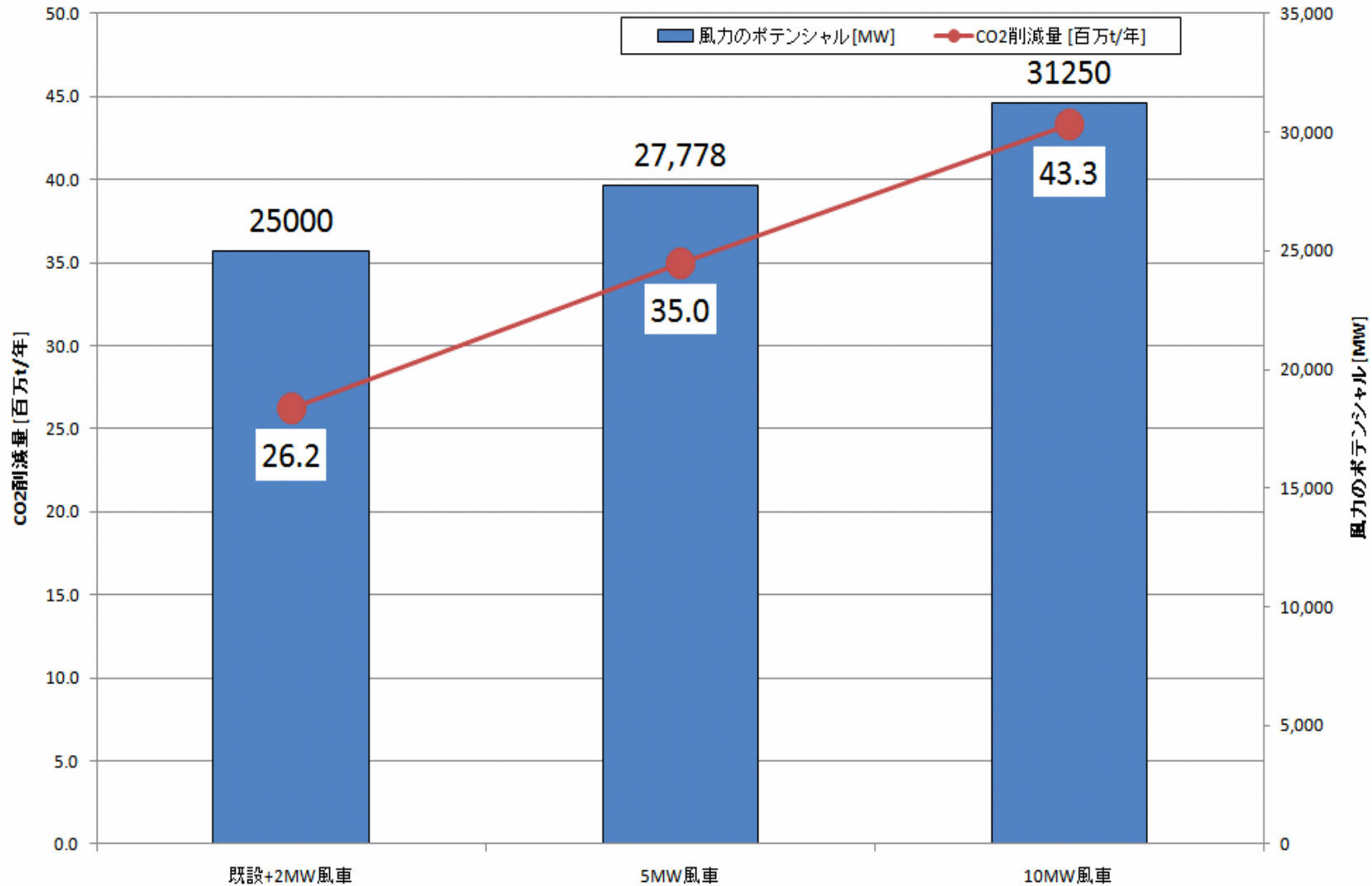
- ✓ 2MW機導入量はJWPAの提案を使用\*2
- ✓ 左図:風力(2MW)の試算は、発電コスト 8.2-11.5円/kWhの中間値 10円/kWh
- ✓ 右図:5M機および10M機は、2MW機の発電コストの2倍を仮定、20円/kWh

- ✓ 風力のCO2削減量は10MW機で効果が高い。
- ✓ CO2削減量に対する発電コストは風力の効果が高い。

\*1 NEDO:新エネルギーガイドブック 太陽光roadmap

\*2 JWPA-WPDAの2020年提案条件:陸上10,000MW(2MW機)、別スライドに詳細を記載

# 風力発電によるCO2削減ポテンシャル



✓ 大型機の方がCO2削減量が大きい

# 風力産業育成の長期ビジョンを！

## 1. 「長期ビジョン」が産業投資を呼び込む

- ・2010年300万kW・2012年1.65%

期間が短く、数字も小さい。

10～20年後で、1桁上の数字を！

## 2. 産業に優しい制度設計を！

- ・入札や抽選：先行投資のリスク要因 = 企業努力を削ぐ。

買取義務付けに近い制度へ！

- ・IEC/GL・建築基準法・電気事業法：相互に異なる3重規制

国際的に整合性の取れた形で一本化へ！

## 3. 技術革新と標準化の促進

- ・日本の風力技術の育成：ガイドライン・洋上・蓄電池

国際化・標準化(IEC)・知財化も狙っていく。

風車外の分野との共闘(炭素繊維・超伝導・浮体構造など)





# 風力発電の将来像 / 普通の電源の一つへ

---

- 大量導入へ: 世界の電力の12%を賄う  
(米国・EUは20%が目標値)
- 系統安定化      Smartgrid、送電網整備  
蓄電池活用、同期風車
- 立地の拡大      洋上風車(着底～浮体式)
- 経済性向上      大型化、翼の高性能化



# 參考資料

---

# CO2削減効果の試算条件

## 試算条件

- JWPA-WPDAの2020年提案条件:陸上10,000MW(2MW機)の試算条件に基づいた計算  
( <http://jwpa.jp/pdf/50-08teigen090409.pdf> )
- 2009年度以降の設備容量は、JWPAの目標値に対して線形内挿
- 2009年度～2014年度は2MW機を導入するものと仮定
- 風車利用可能面積はJWPA-WPDA の試算と同一とし、風車導入間隔はロータ直径の10D×3Dとした。
- 2003年度までに導入された風車は2020年までに大型機に置き換えられるものとした(耐用年数17～20年)。
- 研究開発の成果および大型風車導入の効果は、2015年度以降の風力発電導入に寄与するものとした。
- 風車の設備利用率は日本の実績データを参考にした。

## CO2換算データ

CO2排出原単位 [電力 [g/kWh]]	410	CO2削減量 電力換算(2001-2005年実績平均) 出典:電力事業における環境行動計画、電力事業連 合会 ( <a href="http://www.lifecycle.jp/manual/CO2_unit_2007.pdf">http://www.lifecycle.jp/manual/CO2_unit_2007.pdf</a> )
日本のCO2排出 量 [Ton/Yr] 1990年 度	1,143,000,000	全国地球温暖化防止活動推進センター ( <a href="http://www.jccca.org/content/view/1045/785/">http://www.jccca.org/content/view/1045/785/</a> )

## 風車データ

定格出力 [MW]	ハブ高 [m]	ハブ高風 速 (n=5)[m/s]	設備利用 率 [%]
10	160	7.3	33
5	120	6.9	30
3	100	6.6	28
2	80	6.4	25
1	60	6.0	22

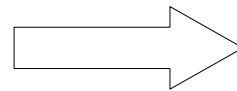
# 風力発電の現状

## 風力発電促進により期待される効果

- ✓現時点で大型化風車の技術研究開発を推進することで、**21世紀の世界経済をリードする自然再生エネルギー産業基盤の国内への構築**が可能となる。
- ✓**2020年までに16万人規模**の新たな雇用が創出できる。
- ✓風力発電産業は、太陽光発電に比較し関連産業への波及効果が大きい。
- ✓CO2削減効果についても、風力発電は太陽光発電に比較しコスト対効果が大きい。

## 克服すべき点

- ✓立地条件の制約が厳しい日本には、風車の大型化が有効だが、大型化には技術研究開発が必要
- ✓一部報道に事実と偏見が混在



## 必要なアクション

- ✓国のプロジェクトとして風車大型化技術の研究開発促進
- ✓北海道・海岸線・洋上への風力発電の導入
- ✓マスコミに向けた正しい情報発信

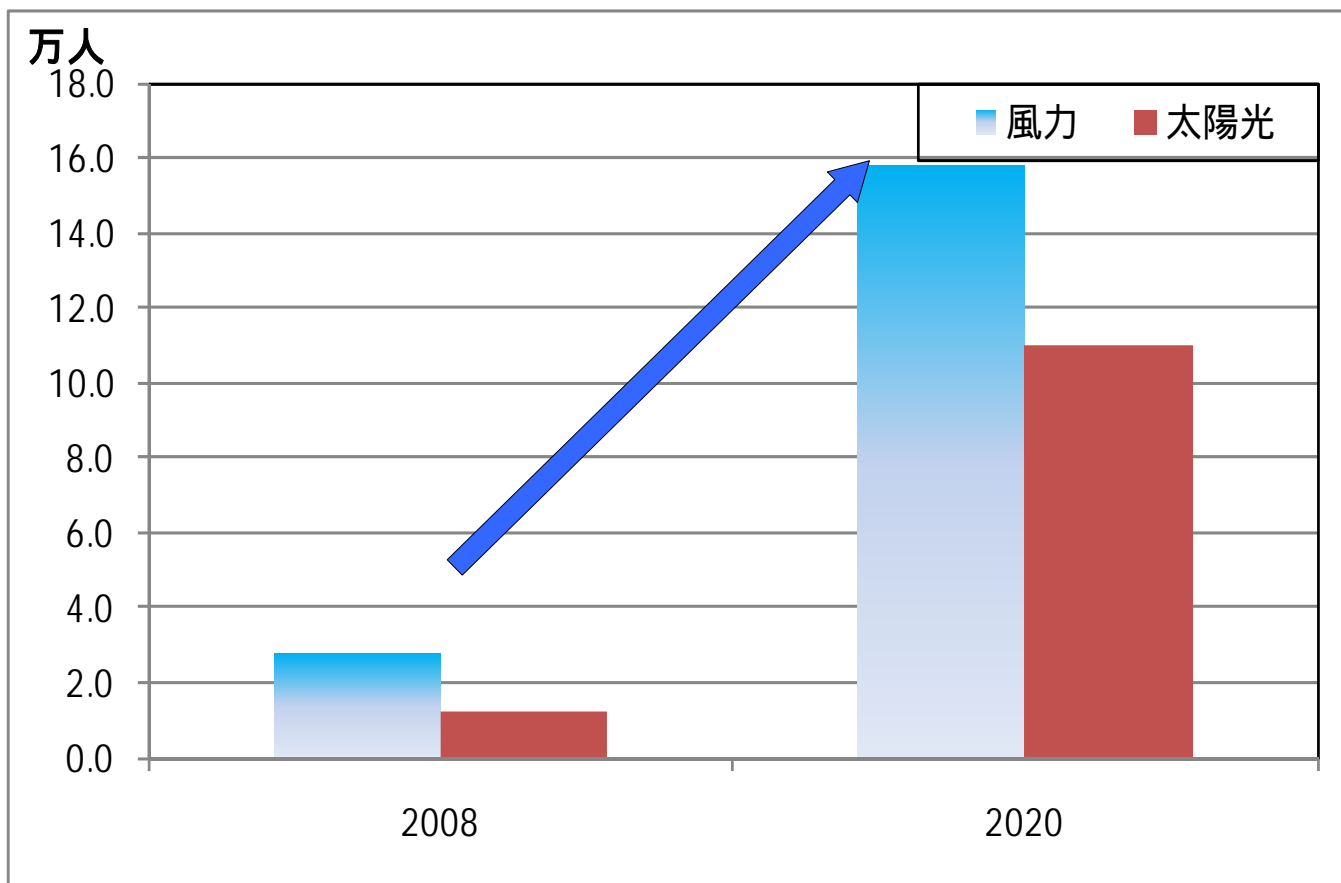
## 主要国政府の風力発電支援動向 ( from Wind power monthly , 2008 Oct)

- ✓UK: 大型10MW風車プロトタイプ開発へ4.4百万ポンド(約6.5億円)助成金交付
- ✓USA: 風力事業プロジェクトへ499百万ドル(約450億円)の助成金交付

# 風力発電推進による雇用創出効果

✓2020年度の風力発電関連雇用16万人

✓風力は、太陽光発電に比較して大きな波及効果が期待できる



風力発電試算根拠:

I.2020年度新規生産2.1GW/年, 10MW風車導入のケース

II.15人(雇用)/新規導入MWを仮定 [EWEA試算による]

太陽光発電試算根拠: (世界シェアの3分の1を想定)ソーラー・システム産業戦略研究会報告書, 平成21年3月