



電気学会 B部門大会
震災特別セッション

風力への期待

2011年8月30日
三菱重工業(株) 風車事業部
(日本風力エネルギー学会 理事)
上田 悦紀

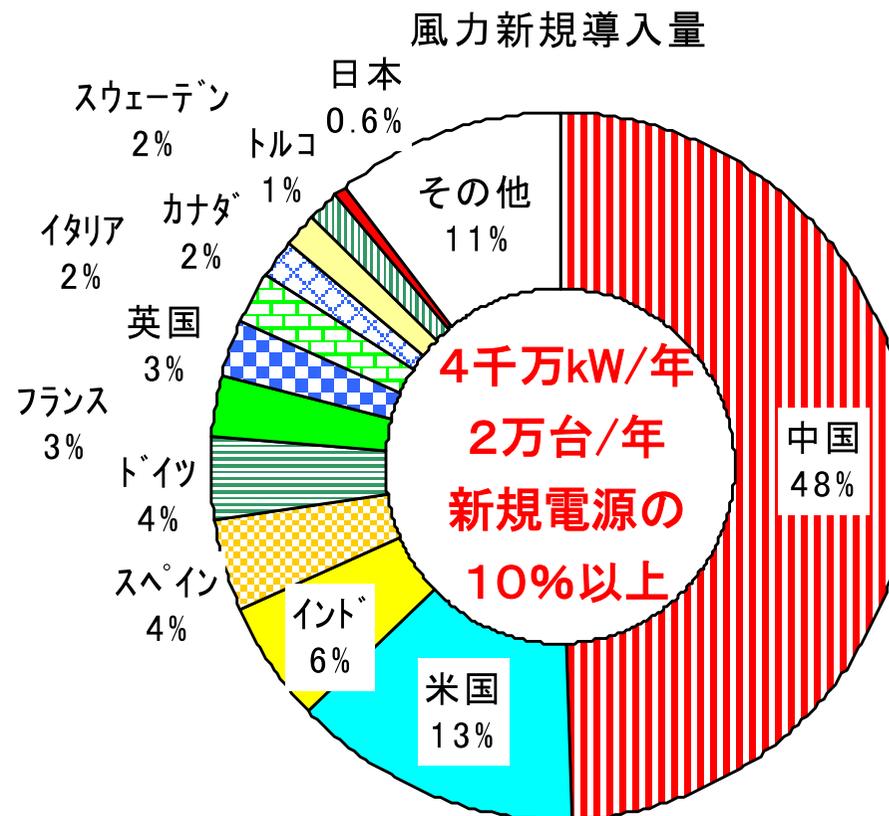
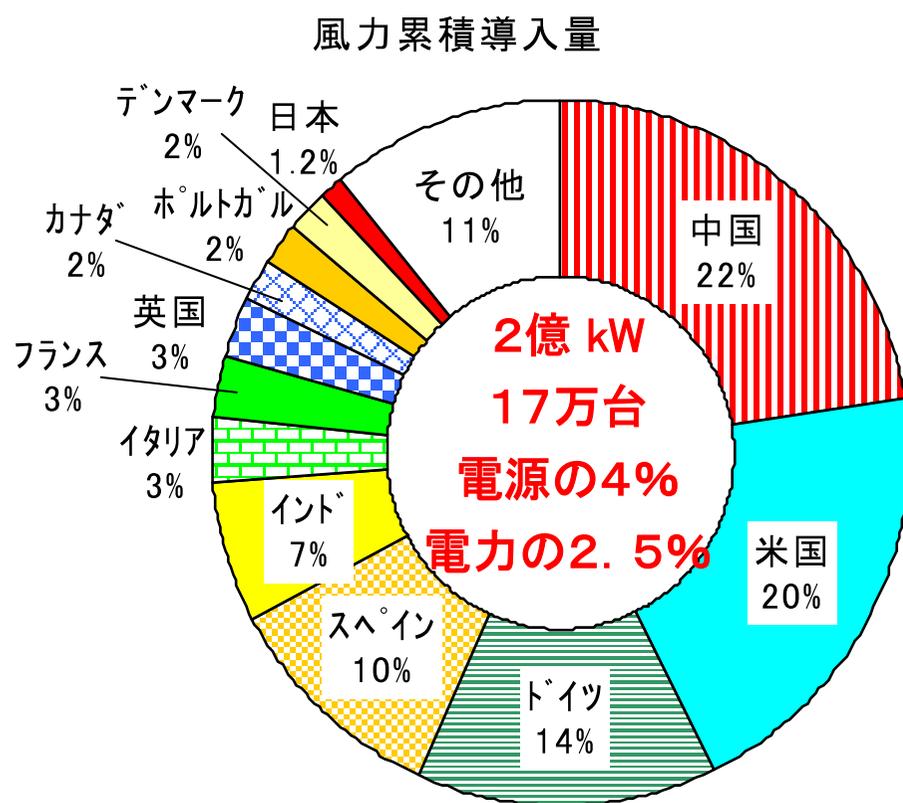
Contents

1. 世界の風力発電の状況
2. なぜ風力発電なのか？
3. 日本の現状と潜在力
4. 震災復興と風力発電



▶世界の風力発電の導入状況

- ・世界中で **2億kW・17万台** の風車が回っている。
- ・日本は **230万kW・1742台** で、世界の**1.2%**(12位)。
- ・世界の**2.5%**、日本の**0.4%**の電力を供給。



▶ 主要国の風力発電の導入状況(2010年末)

- ・京都議定書を未批准の米国と中国が世界1を競い、
原子力のフランスや島国の英国も日本の数倍も導入済み。

2010年末時点

	風力発電の導入量 ¹⁾		風力発電の比率		導入促進策
	累積	新規	電源設備	電力需要 ²⁾	(FIT、PTC、RPS、ROC)
中国	44.8GW	18.9GW/年	約5%	1.2%	FIT
米国	40.3GW	5.1GW/年	4%	2.3%	連邦は PTC、29州+DCで RPS
ドイツ	27.4GW	1.6GW/年	約20%	7.0%	FIT
スペイン	20.3GW	1.5GW/年	約20%	16.4%	FIT
フランス	6.0GW	1.2GW/年	5%	約2%	FIT
英国	5.9GW	1.5GW/年	7%	2.6%	洋上 ROC
日本	2.3GW	0.2GW/年	0.8%	0.4%	FIT (2012年7月施行)

導入促進策：FIT：Feed in Tariff 固定価格買取制度

PTC：Production Tax Credit 発電量に応じた税金還付

RPS：Renewable Portfolio Standard 一定比率義務付け

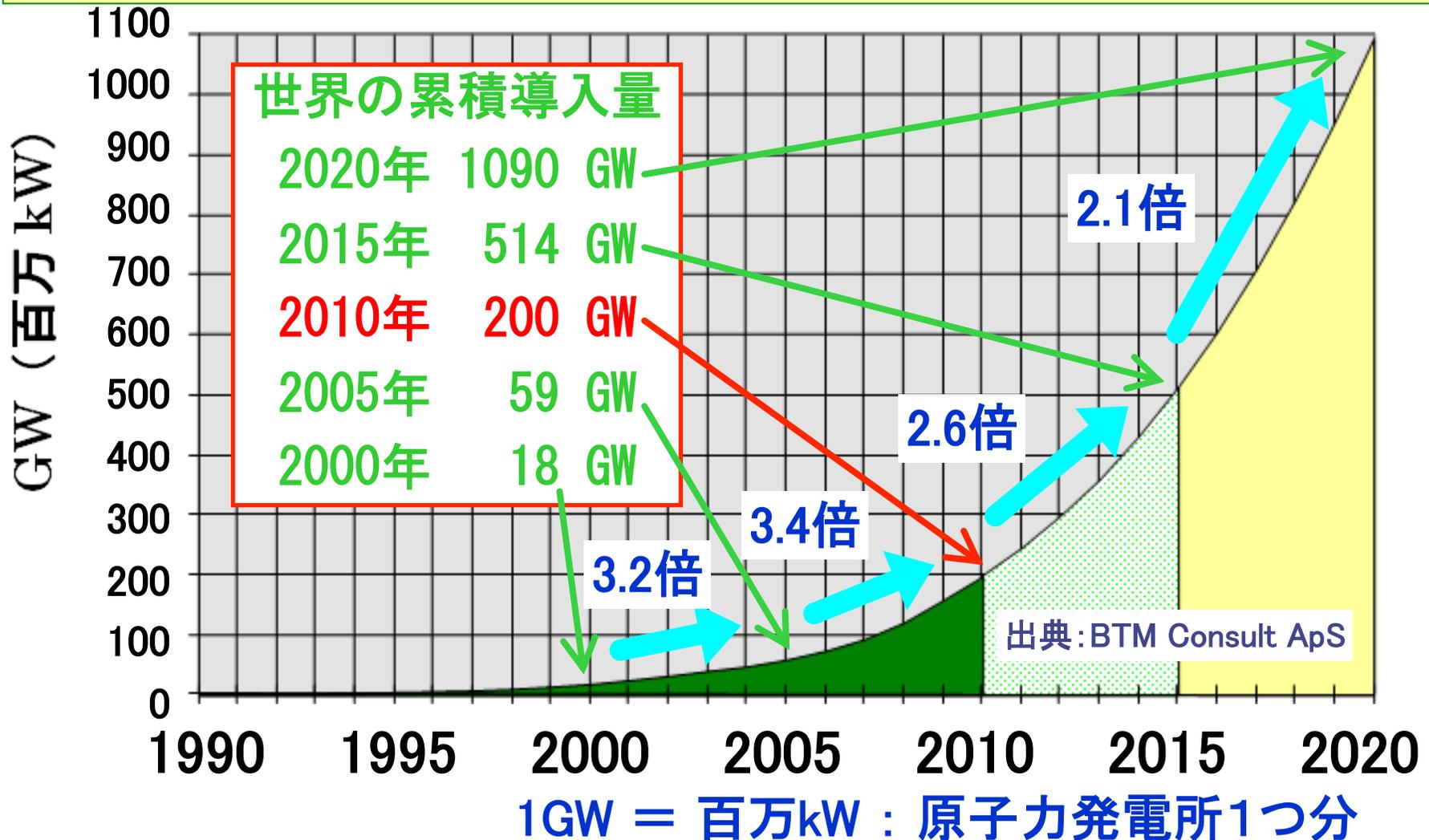
ROC：Renewable Obligation Certificate 再生エネルギー使用義務証明書

出典：1) Global Wind Report / Annual Market Update 2010、GWEC

2) IEA Wind 2010 Annual Report

風力発電の今とこれから : 5年で2~3倍に!

- ・石油節約 : 6千万トン/年 (日本の石油輸入量の3割相当)
- ・CO2削減 : 2億トン/年 (日本の京都議定書公約に匹敵)



➤ 主要国の風力発電の導入目標

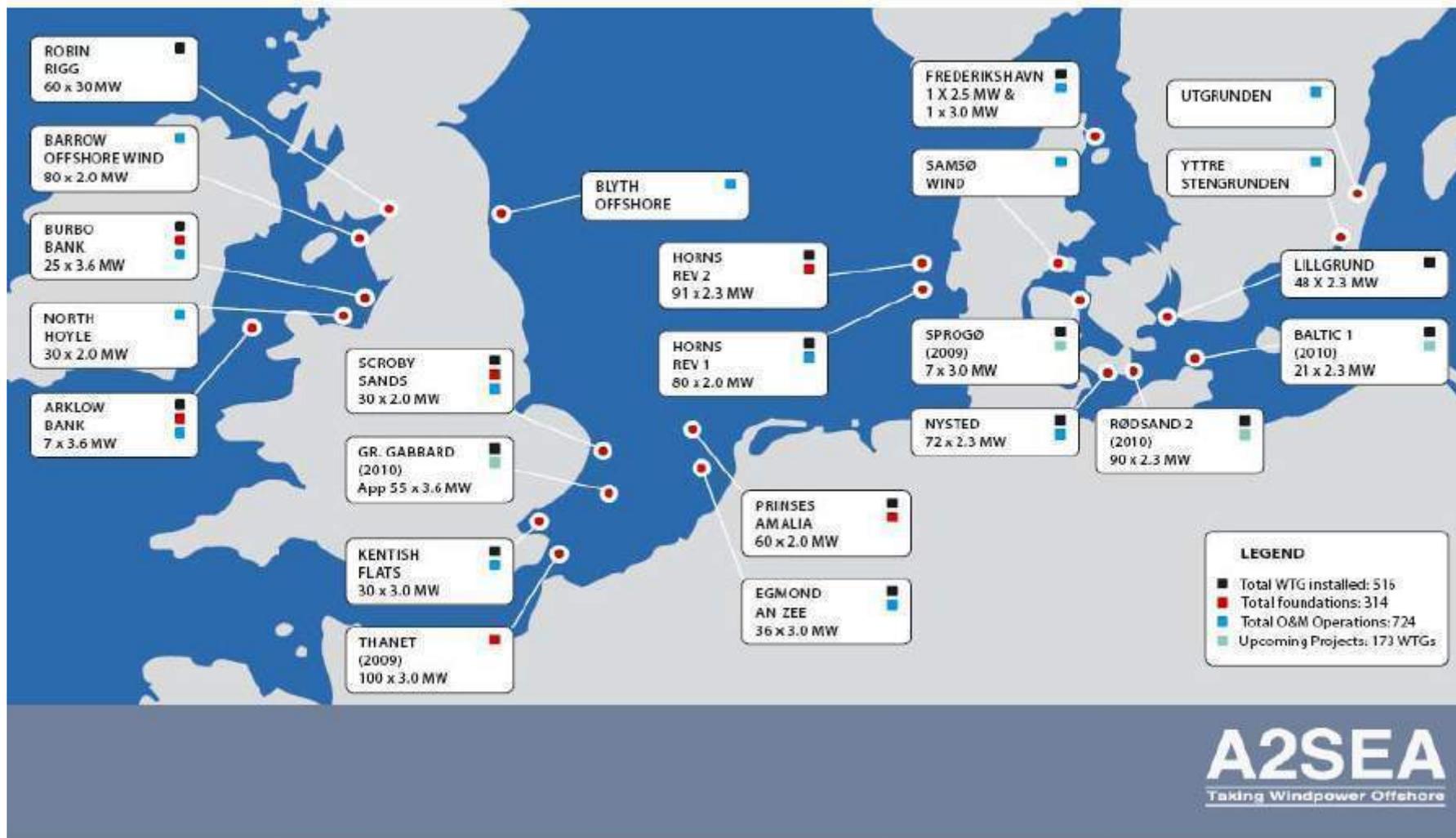
・主要国は 数百GW・数十兆円 の導入目標を掲げて民間投資を呼び込んでいる。

	欧州	米国	中国	日本
2010年 新規導入量	9.9GW/年 <i>内、洋上 1.4GW/年</i>	5.1GW/年	18.9GW/年 <i>内、洋上 0.04GW/年</i>	0.22GW/年 <i>内、洋上 0.014GW/年</i>
2010年末 累積導入量	86.3GW <i>内、洋上 3.5GW</i> (電力需要の約5%)	40.2GW <i>洋上はまだなし</i> (電力需要の約2%)	44.7GW <i>内、洋上 0.1GW</i> (電力需要の約2%)	2.3GW <i>内、洋上 0.025GW</i> (電力需要の約0.4%)
導入目標	2030年 <i>洋上だけで 150GW</i> (電力需要の約20%)	2030年 305GW <i>内、洋上 54GW</i> (電力需要の約20%)	2020年 150~230GW <i>内、洋上 30GW</i> (電力需要の約10%)	公的にはなし 2020年 4.9GW (総合資源エネルギー調査会需給部会)
導入促進制度 FIT: 固定価格買取 RPS: 比率義務付 PTC: 税金還付 ITC: 初期投資補助 CDM: 環境開発援助	FIT ・価格は各国で異なる ・洋上や弱風地域は 価格割増あり	連邦レベル ・PTC (2円/kWh) ・ITC (30%還付) の選択制 州レベル ・RPS: 29州+DC ・FIT: カリフォルニア、ミシガン	FIT ・0.5~0.6元/kWh 資金源は GDMで、 地方開発も兼ねる	従来 ・RPS (2014年に再生 エネルギー比率で1.63%) ・ITC (27%→既に廃止) FITが国会提案中 ・15~20円/kWh

1GW = 百万kW : 原子力発電所1つ分

欧州では既に洋上風力が33サイトで運転中

Offshore knowledge and experience 2002-2009



洋上ウインドファーム

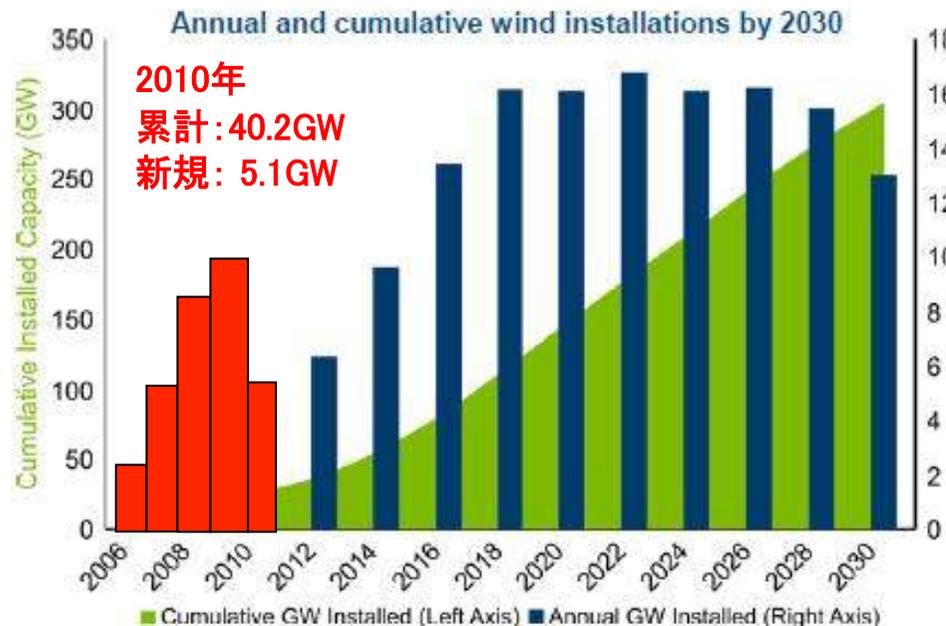
スウェーデン マルメ
リルグランドWF
Siemens 2.3MW×48台
=110.4MW

2007 / 9 / 3



米国DOEの20%風力計画：300GW(約60兆円)

- ・米国エネルギー省DOE主催の国家プロジェクト。
- ・2030年に電力需要の20%を風力発電でまかなう。
設備容量に直せば、**305GW(約60兆円・2010年末世界累計の1.5倍)**。
- ・新規導入量は2017年で **16GW・7000台・約2.4兆円/年(10年の3倍)**。



The 20% Wind Scenario:
Near, Mid, and Long-Term

	2007	2012	2017	2030
Total Installed Capacity	13GW 16.9GW	34GW	117GW	305GW
Annual Installed Capacity	3GW 5.2GW	6.5GW	16GW	~16GW
Total Turbines Installed	11,891	~23,000	~38,000	~100,000
Turbines Installed/Year	~2000	>3,000	7,000	7,000 ²¹

▶ 米国では陸上に 巨大ウィンドファーム

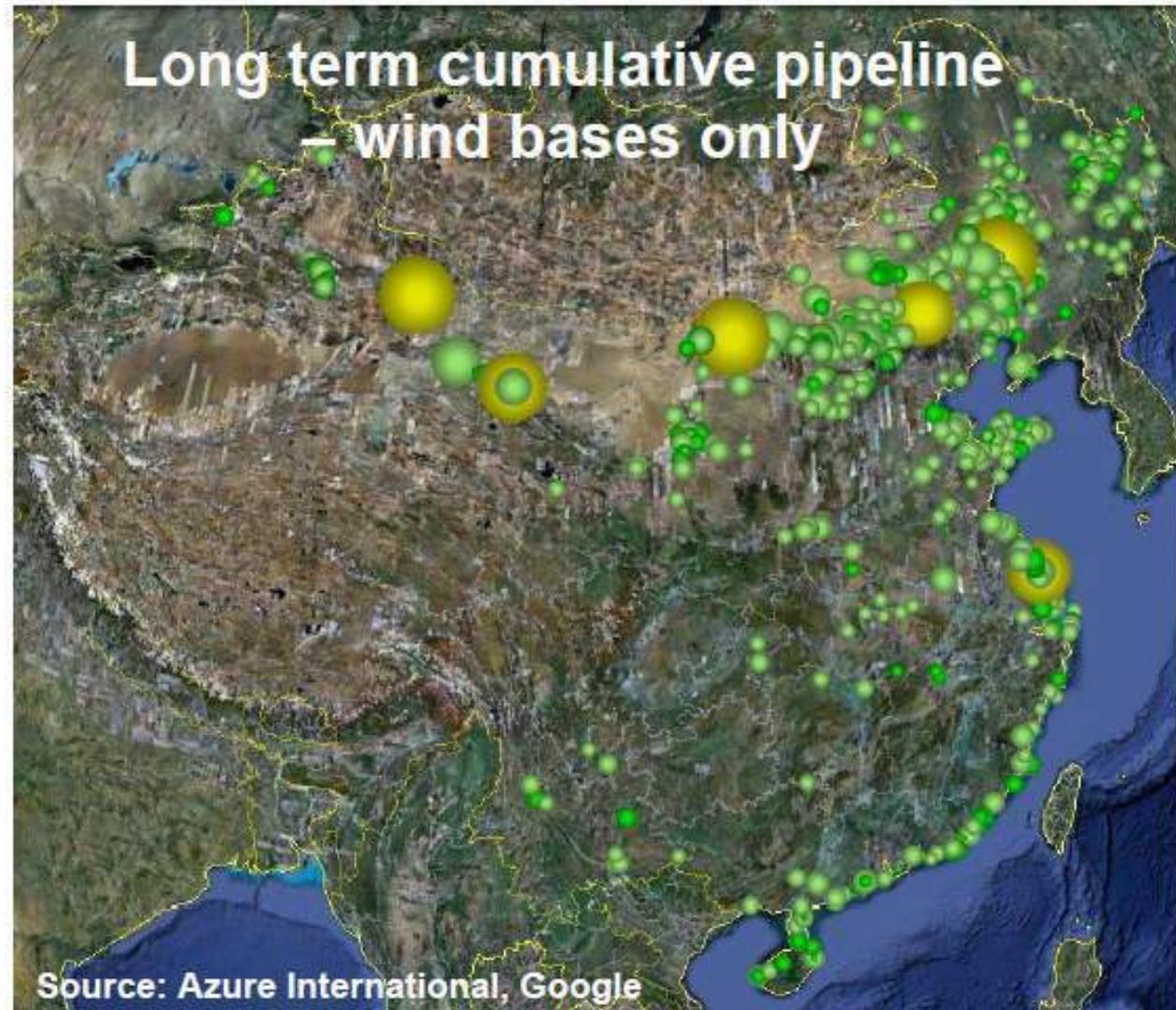
テキサス州 メキシコ湾岸
2400kW×84台=201.6MW
(さらに隣にも
2400kW×118台=283.2MW)



中国は2015年までに**100GW**(約20兆円)

7地域で10GW規模の計画が進行中。内1つは洋上風力。

- 100GW achieved with no new “near-term” as of today
- 7x10+ GW wind bases represent future pipeline
 - 1) Jiuquan
 - 2) Hami
 - 3) E. IMAR
 - 4) W. IMAR
 - 5) N Hebei
 - 6) Jilin
 - 7) Jiangsu
- Better coordinated grid development?
- IMAR Baotou proposing slowed roll-out (50MW pd/pa) Gansu could follow



➤世界のGW級風力PJ

- 最近の風力PJの規模は、”GW=百万kW≒数千億円”
大市場は、欧州洋上、米国(陸上)、中国(陸上)、の3つ

- 米国 他にも700MW超のPJ計画あり

780MW・627台： 2009年、テキサス州 Roscoe PJ

742.5MW・450台： 2009年、イリノイ州 Twin Groves PJ

736.5MW・491台： 2006年、テキサス州 Horse Hollow PJ

662.5MW・375台： 2008年、テキサス州 Capricorn Ridge PJ

585.3MW・約400台：2007年、テキサス州 Sweetwater PJ

- 中国 北西部内陸や上海近郊など7ヶ所で各10GW計画あり。

10GW： 2009年から建設中、甘肅省酒泉PJ

- 欧州洋上

1GW・341台： London Array PJ(建設中)

25GW： 英国洋上 Round3 PJ(建設中)

30GW： ドイツ洋上PJ(計画中) 注：1GW=千MW=百万kW

Contents

1. 世界の風力発電の状況
2. なぜ風力発電なのか？
3. 日本の現状と潜在力
4. 震災復興と風力発電



➤ 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

- CO₂ Free な電源
- 経済性・大規模化
- 国内資源
- 5.5兆円・50万人

- ・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かった。

➤再生エネ分野での風力発電の優位性

太陽光より優る点

- 経済性が良い。設備単価で1/3、発電原価で1/6。
- 発電効率(3倍)と設備利用率(2倍)で優る。
- 大規模化が容易。単機容量は2~3MW、
米国・中国や洋上のウインドファームは既にGW規模。
- 技術的な成熟度が高い。

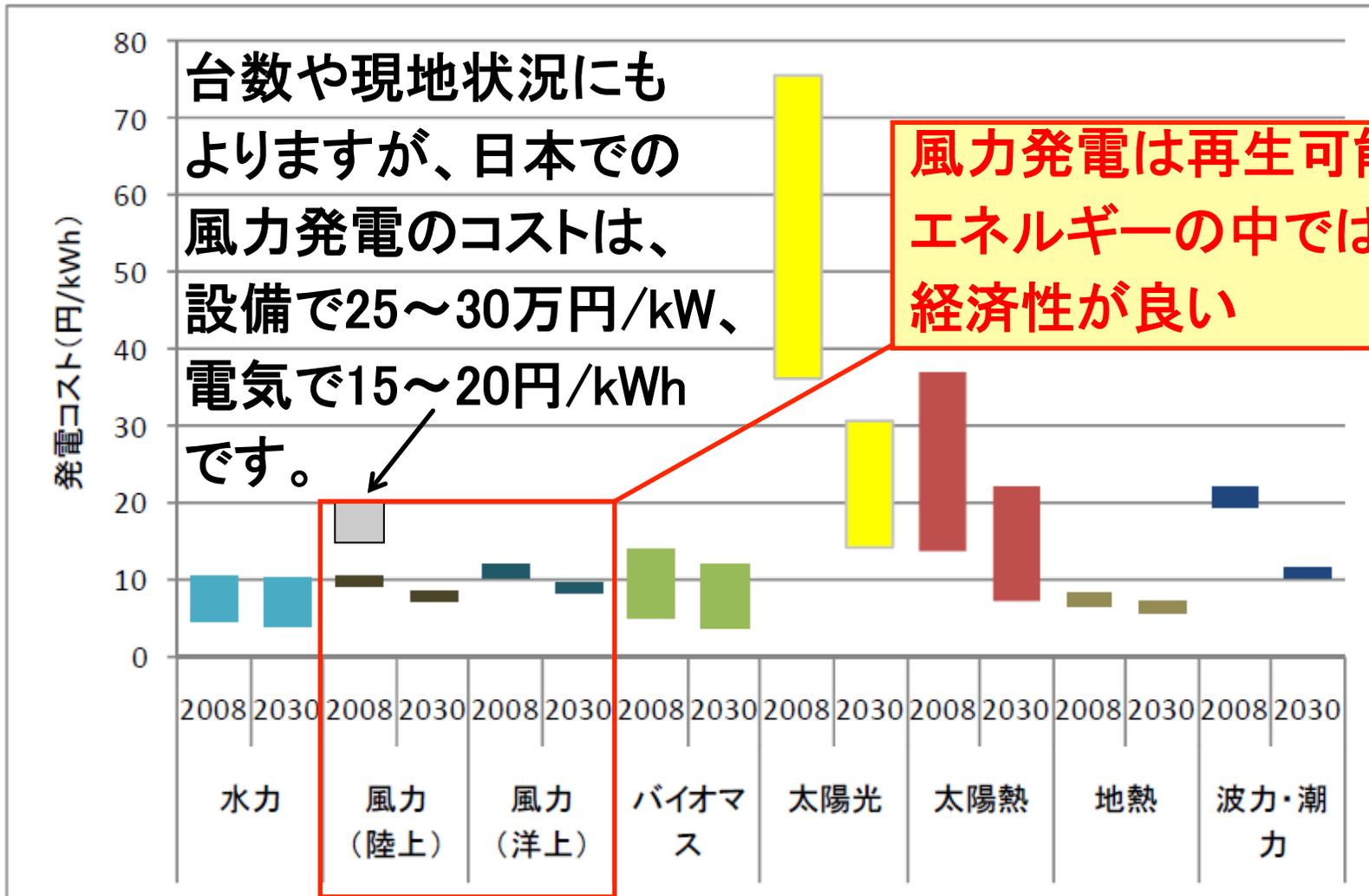
水力・バイオマスより優る点

- 立地可能な場所が広い。

再生可能エネルギーの発電コスト

NEDO再生可能エネルギー技術白書 2010年7月

図表 3.46 風力と他の再生可能エネルギーの発電コスト



出典：“World Energy Outlook 2009” (IEA)より作成

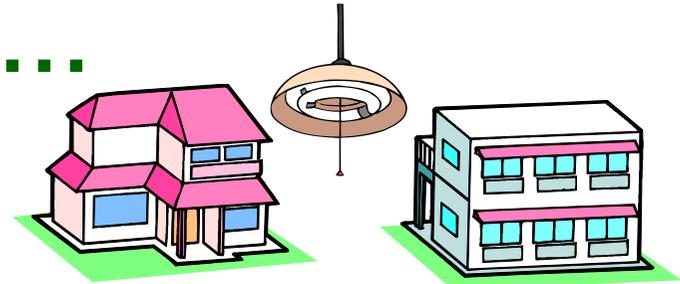
環境貢献度：2400kW風車での試算例

➤平均風速 8m/s で 約900万kWh/台・年、発電する。

→ 10万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1,800世帯分に相当



→石油火力発電所(石油量)に換算すると…

約2,200kL(ドラム缶11,000缶)に相当



→CO₂削減量に換算すると…

約6,300tonに相当



→上記CO₂削減量を吸収するための杉の木に換算すると…

約45万本に相当

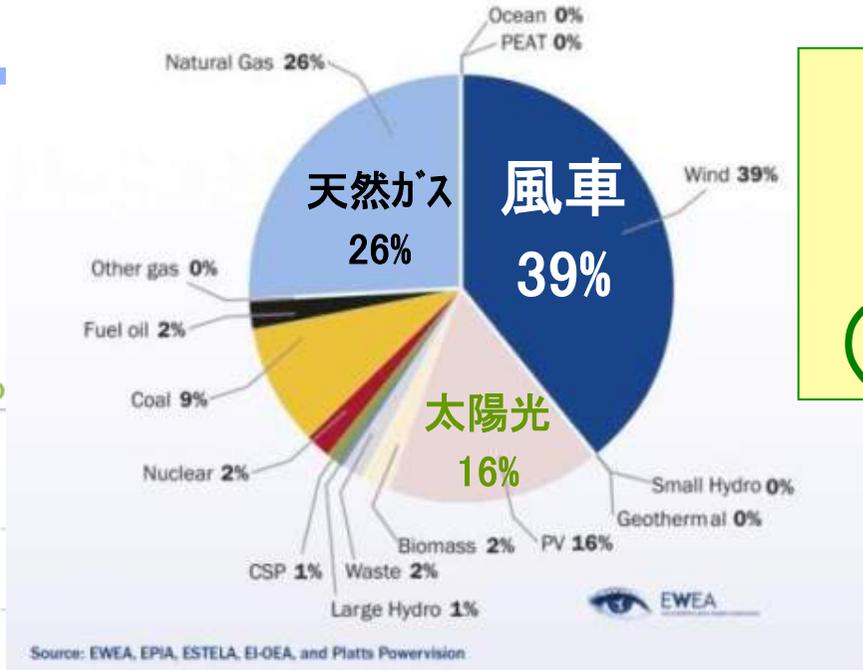


欧州のエネルギー確保は挫折と挑戦の歴史

- 20世紀前半：中東の石油の確保 → 2回の世界大戦
 - ↓ 欧州地域内でのエネルギー自給を目指す
- 戦後：石炭火力 → 酸性雨で森林壊滅
 - 原子力 → チェルノブイリ事故
 - ↓ 燃料源を北海油田と天然ガスに転換
- 1990年代：北海油田 → 21世紀前半には枯渇
 - 黒海からパイプライン輸送 → ロシアが禁輸
 - ↓ 自然エネルギーへのシフト
- 21世紀：風力の大量導入 → 陸上適地の蕩尽
 - 太陽光の大量導入 → コスト高
 - ↓ エネルギー源の多様化
- 現在：洋上風力発電（北海油田から産業転換）
 - 原子力カルネサンス

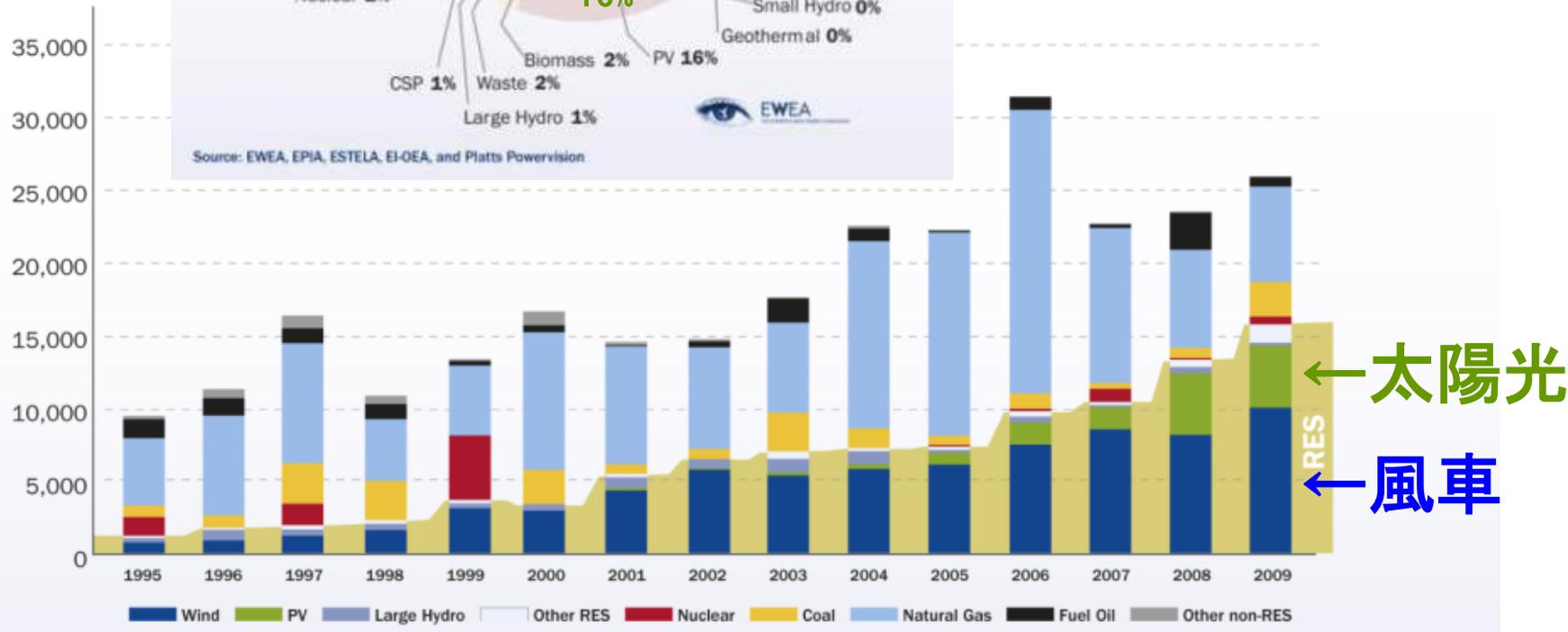
欧州では過去の歴史を通じて、
“安全と環境のためにお金を使う”
国民的合意ができている。：日本との差

SHARE OF NEW POWER INSTALLATIONS IN EU FIGURE 1.3



EUでは新設電源の
約40%が風車。
(国内資源が過半数)

NEW INSTALLED



➤ 風車は産業の裾野が広く、雇用を生む

風車のナセル工場は”組立工場”。

風車の生産には、ブレード、タワー、発電機、増速機、主軸、軸受、鋳物、電気部品などの多種多様な約1万点の部品が必要。

2. 4MW風車 約2万部品/台

1MW風車 約5千部品/台

(ガソリン車は3万部品、電気自動車は1万部品)

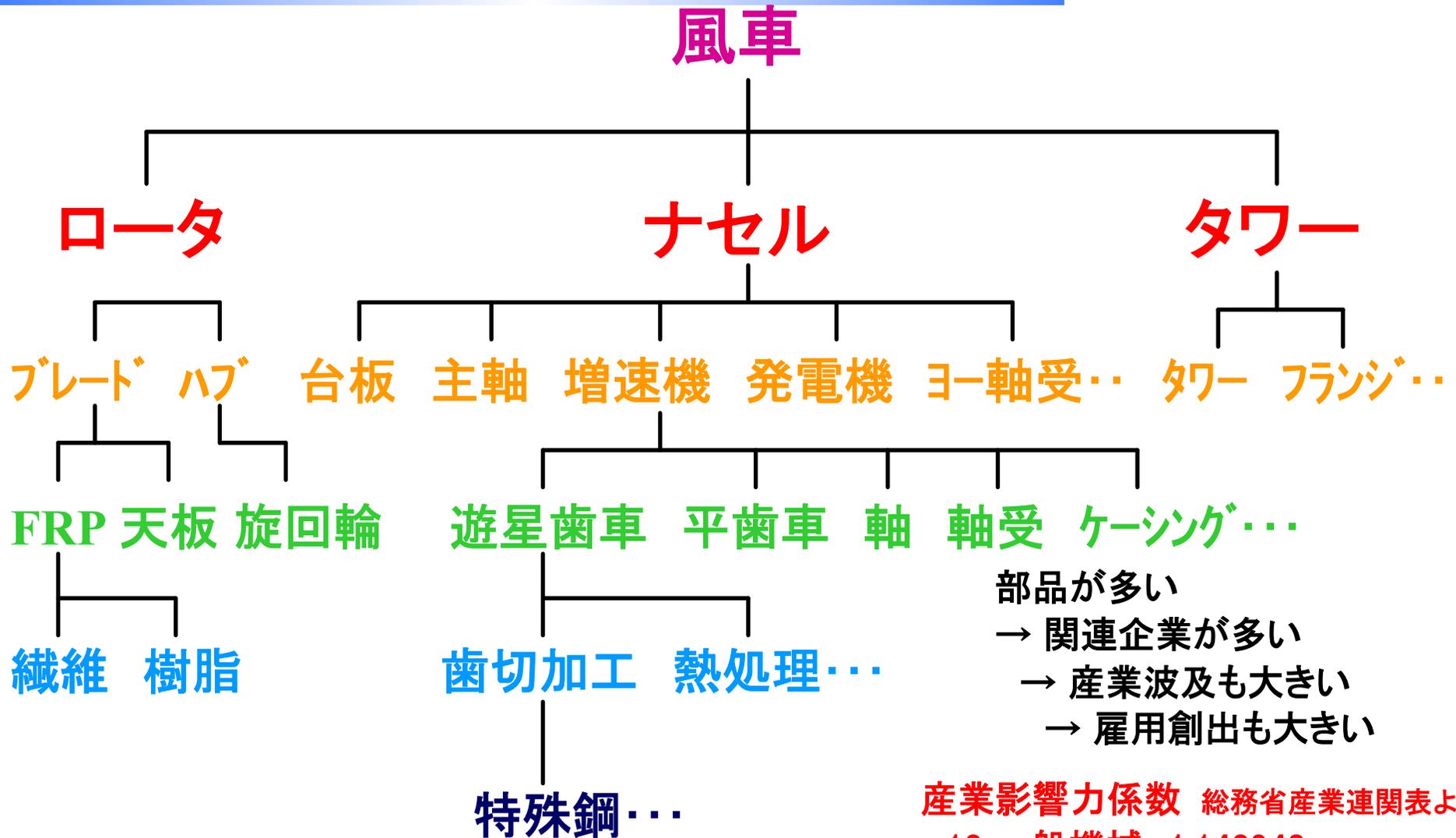
産業波及(乗数効果)は約2.5倍。雇用効果も大きい。

世界: 風車5.5兆円+部品8兆円 雇用50万人

国産風車: 風車約1.5千億円+部品約1.5千億円

今の日本で約3千億円・雇用5千人の経済雇用効果あり。

➤ 部品工業への波及効果
(完成品の1.11~1.46倍に相当)



産業影響力係数 総務省産業連関表より

12 一般機械 1.143948

13 電気機械 1.111671

16 輸送機械 1.460793

Contents

1. 世界の風力発電の状況
2. なぜ風力発電なのか？
3. 日本の現状と潜在力
4. 震災復興と風力発電



➤ 日本の風力発電のポテンシャルは十分大きい

■ 日本の電力需要： 約1兆 kWh/年

■ 日本の電力需要の最大値： 約180 GW

■ 日本の発電所の合計： 約200 GW



■ 環境省の今年4/21の発表

(平成22年度 再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査の結果)

風力は 陸上 : 270 GW

洋上 : 140 GW

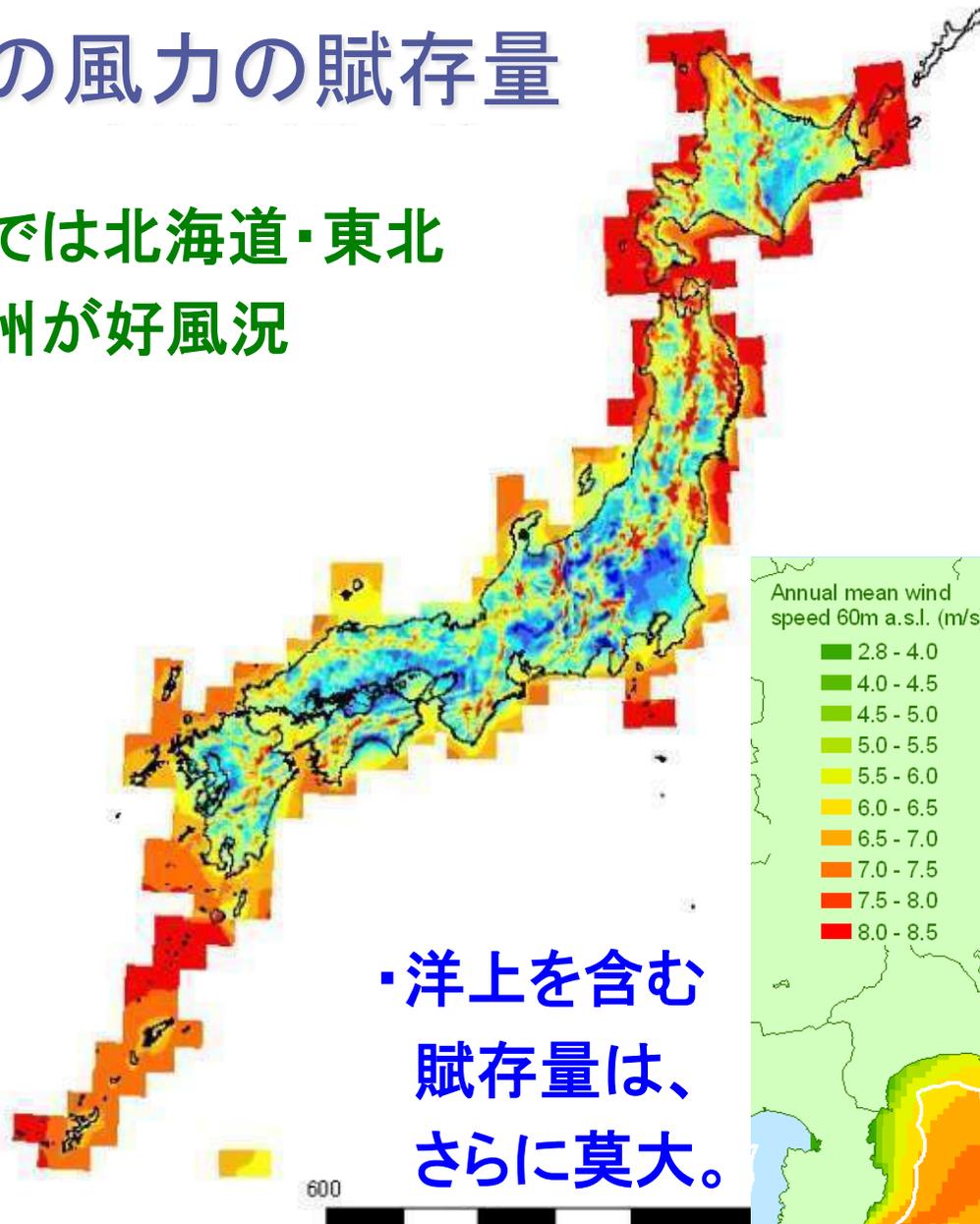
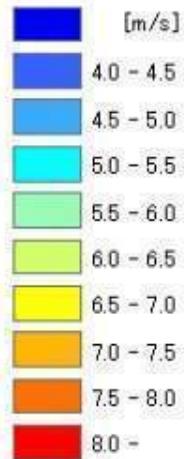
合計 : 410 GW が導入可能。

能力的には足りる(ある程度のコストは必要)。

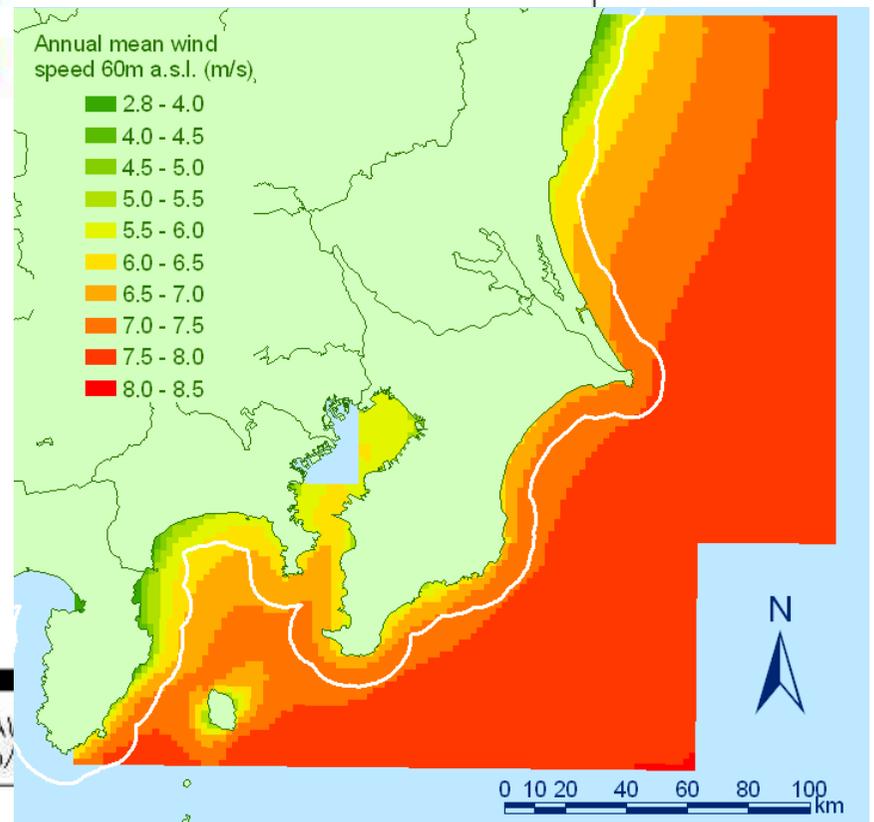
日本の風力の賦存量

- ・陸上では北海道・東北と九州が好風況

70m 高さ風速



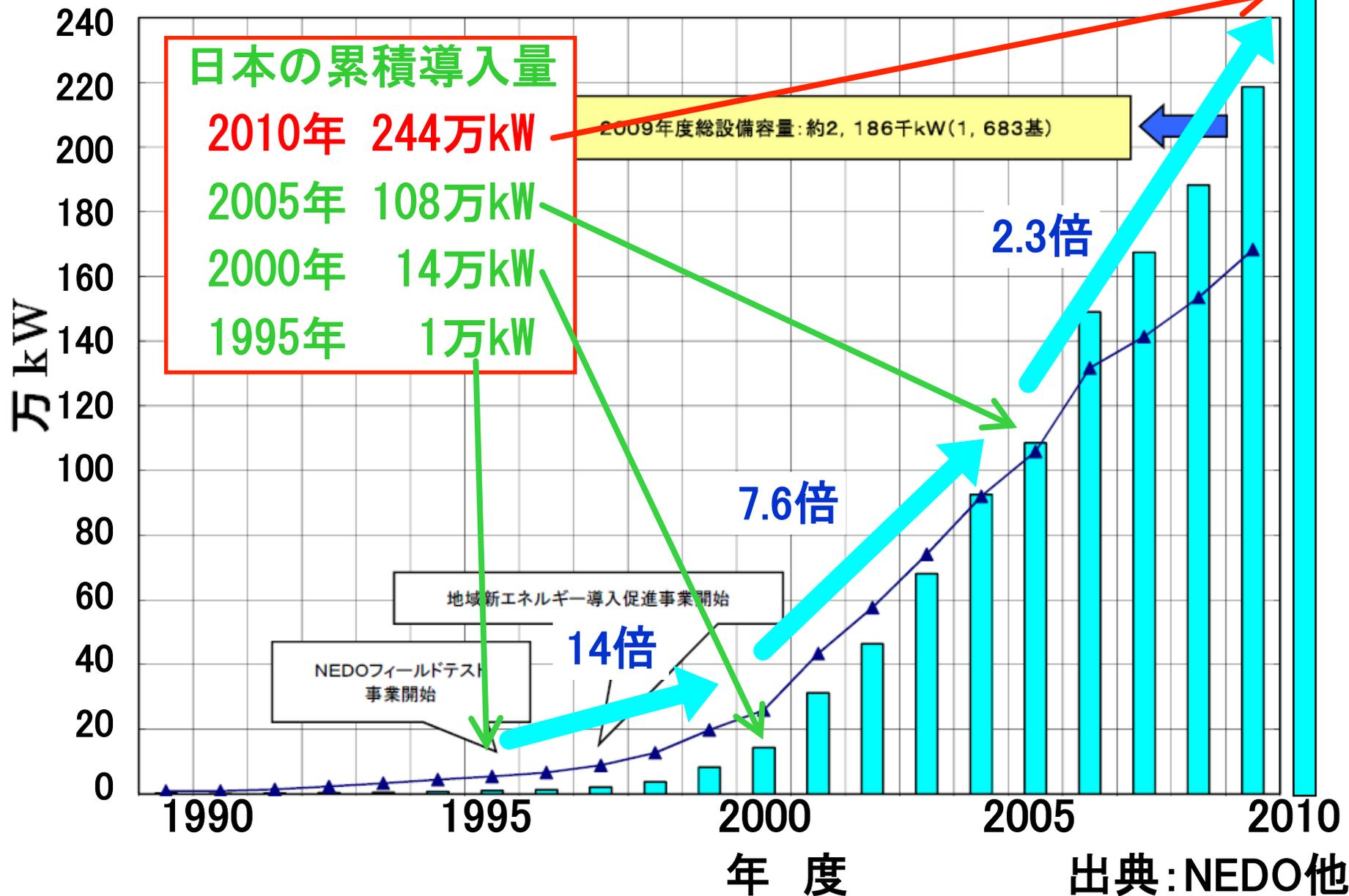
- ・洋上を含む賦存量は、さらに莫大。



出典：NEDO技術開発機構 LAV
<http://app2.infoc.nedo.go.jp/>

➤ 日本でも徐々に増えています

(しかし世界の1.2%、日本の潜在量の0.6%に過ぎない。)



➤ 日本は風車の関連企業が多い



➤ 風車の産業統計の調査結果

(経済研究所の「風力関連機器産業に関する調査研究」報告書より)

表1 2009年度における調査結果例 (業種別の売上高, 風力関連の従業員数, 工場数)

大分類	中分類	小分類	会社数	売上高 (百万円)	海外出荷 比率(%)	風力発電関連 の従業員数	工場数
風力発電機	風力発電機本体	マイクロ風力発電機 1kW未満	10	836	1	108	10
		小形風力発電機 1kW以上50kW未満	13	2,466	27	104	13
		中型風力発電機 50kW以上1000kW未満	6	440	20	88	6
		大型風力発電機 1000kW以上	5	152,510	82	903	7
		ブレード本体/ナセルカバー	4	3,121	0	96	7
		ブレード素材(繊維・樹脂)	6	1,030	78	25	4
		ロータハブ	-	-	-	-	-
		主軸(シャフト)	-	-	-	-	-
		増速器/歯車	5	16,226	4	201	5
		制御盤	-	-	-	-	-
		軸受	6	20,680	73	839	10
		発電機	5	11,749	94	206	6
		コンバータシステム/変圧器	4	6,470	75	240	7
		ヨー駆動システム/ブレーキシステム/油圧機器	5	1,697	40	48	4
		タワー本体/フランジ/その他付属品	5	2,523	0	67	2
付帯設備	系統安定化装置(蓄電池, 電力変換装置, その他)		4	20,320	24	644	5
その他			18	11,266	-	-	23
合計			75	251,334	65	3,097	92

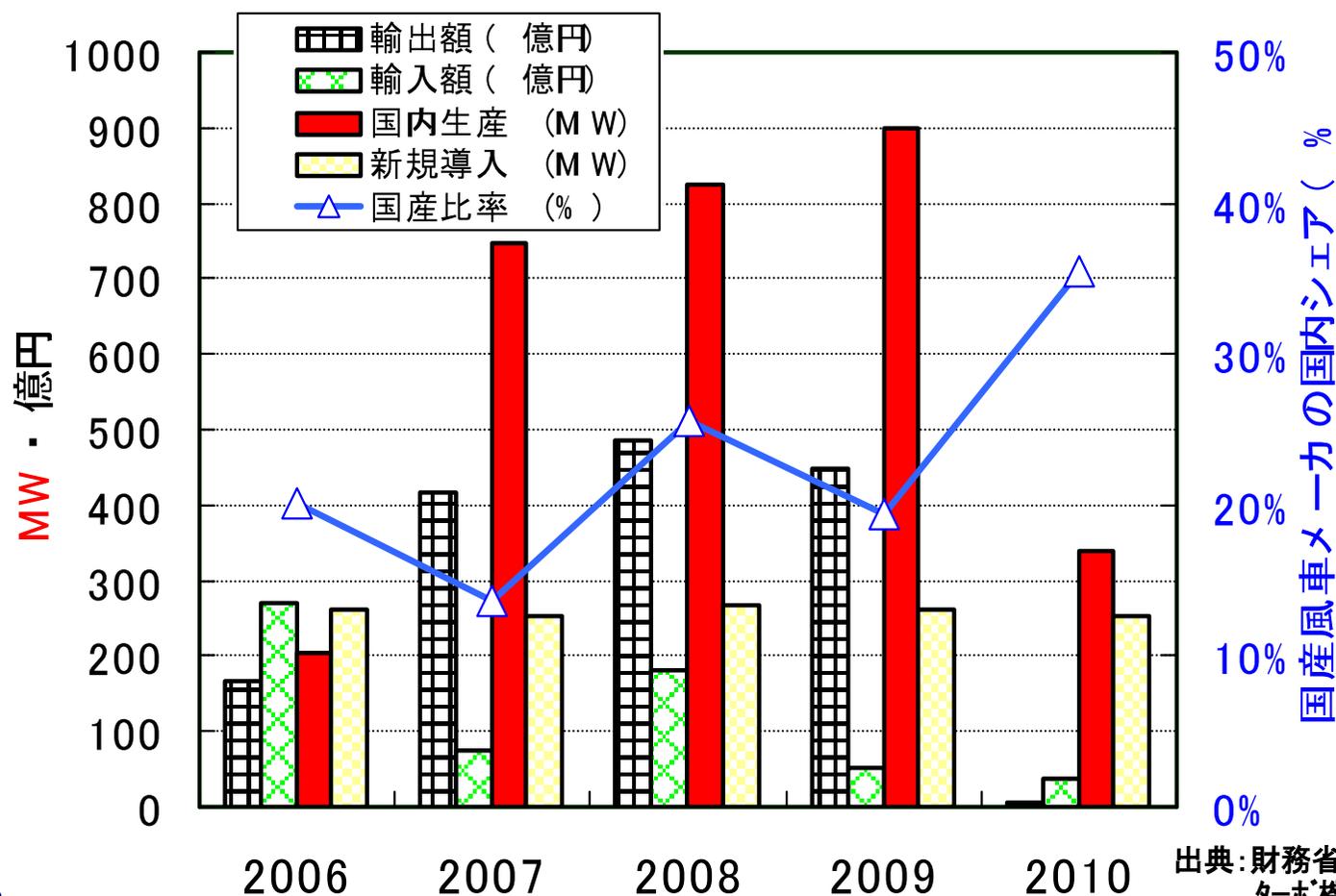
※無記入箇所「-」は、回答なし。

2500億円 3千人 以上

- ・まだ予備調査なので、風車の輸送・建設・メンテ・金融・コンサル、工業面では二次部品(インバータ、ケーブル、ボルト等)は含まず。

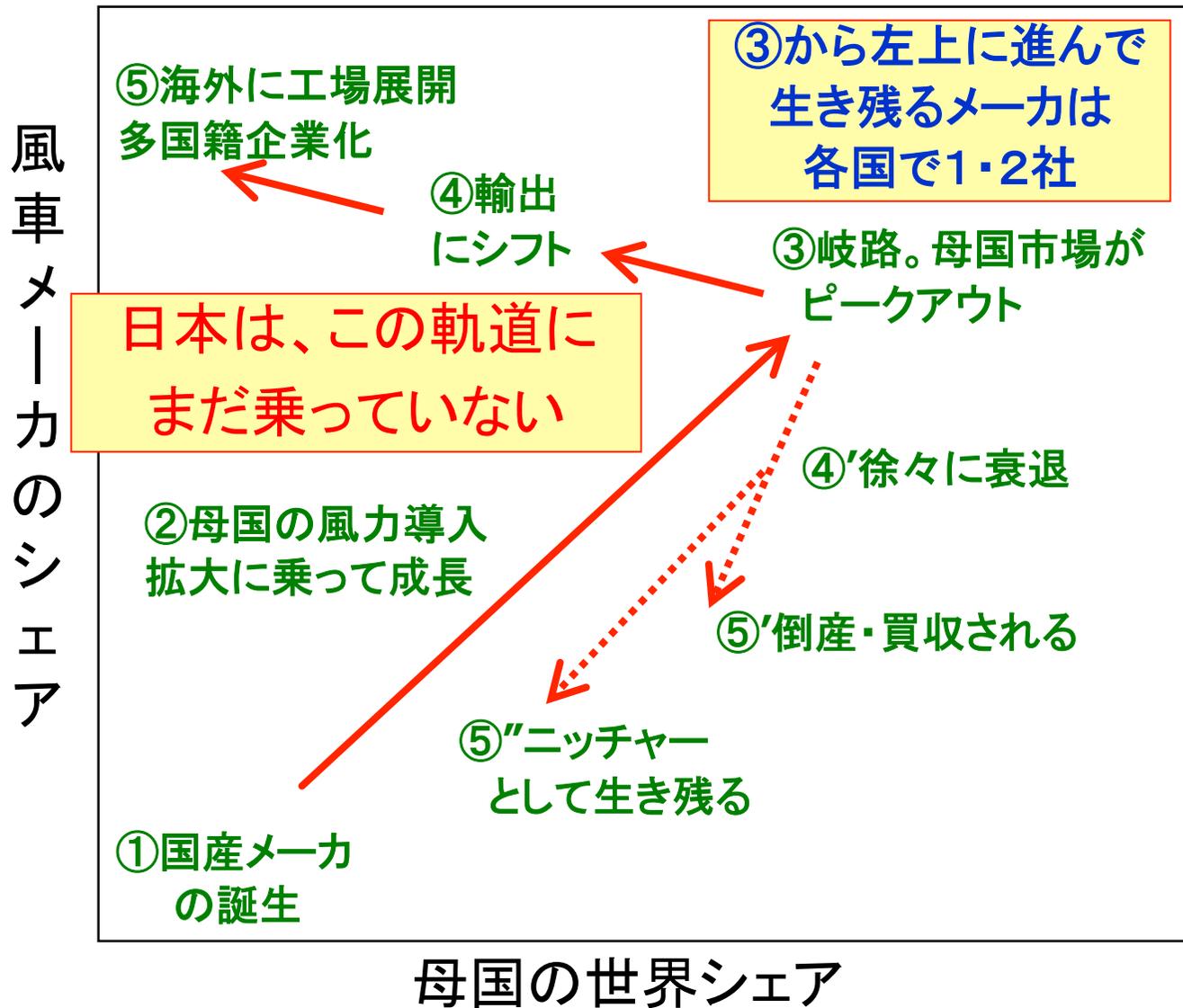
➤ 日本の風車工業の状況

- ・日本は風車の“輸出国”。
- ・国内の風車生産は既に“年産1GW”。
- ・部品工業を含む産業効果は、年商約3千億円・5千人。
- ・国内市場での国産風車のシェアも“4割を越す勢い”



出典: 財務省の貿易統計
ターボ機械学会 生産統計
NEDO風力導入統計

世界の風力産業の成長パターン



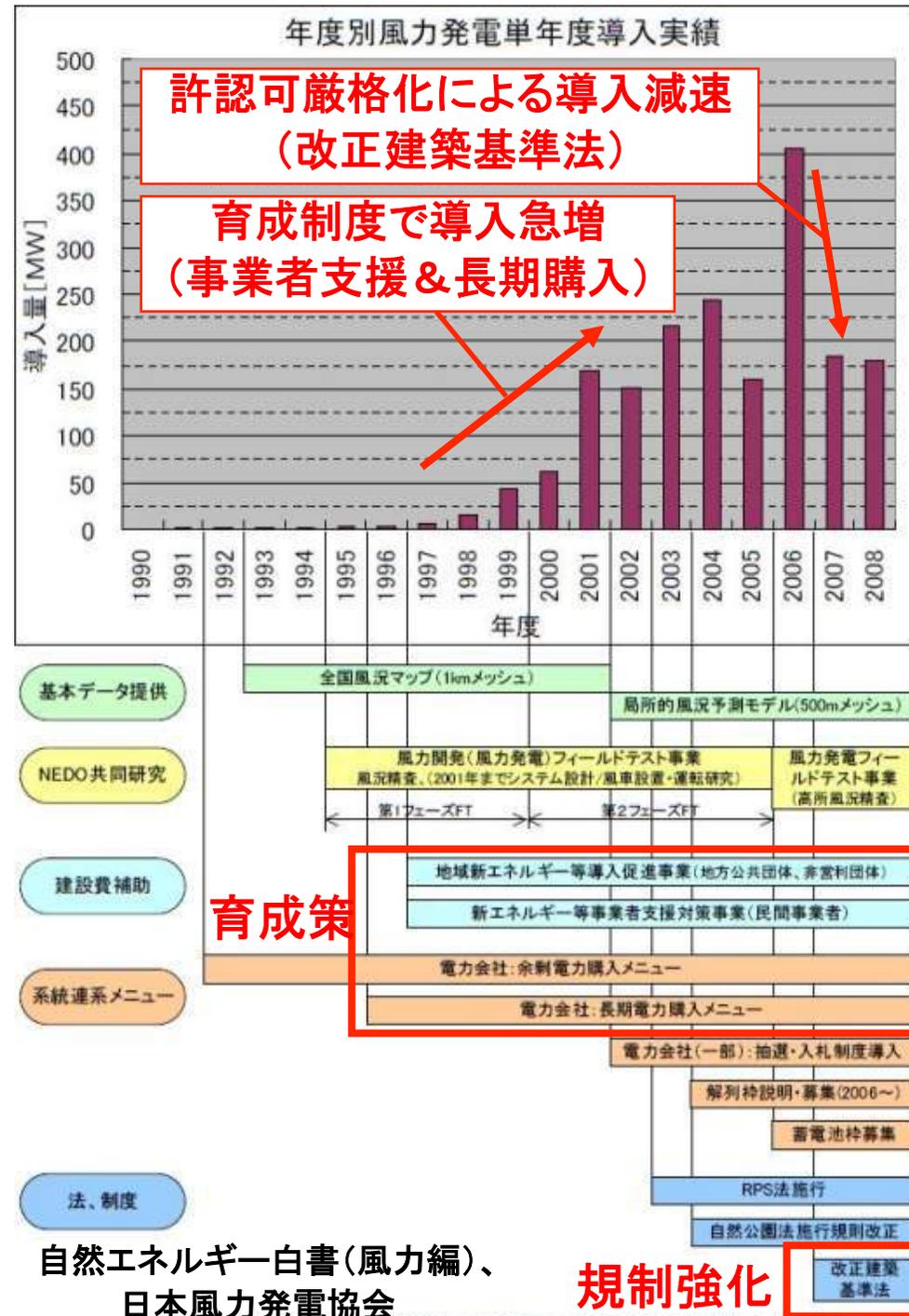
➤ 日本は停滞中
世界13位・1.3%

風力導入の成否は
政策次第！

育成策→導入拡大

規制強化→減速

全体への影響を
鑑みた制度設計
が望まれる。



自然エネルギー白書(風力編)、
日本風力発電協会

図 3-3 1990 年度から 2008 年度までの単年度導入実績と関連施策

➤ 日本の風力発電の課題と解決法

- 採算性が不透明 → FIT法案で解決？
- 資源（東北・北海道）と需要（首都圏）のミスマッチ
→ 今後の議論
- 規制緩和 → 国会で検討中。特区の活用？
- 立地不足 → 森林や自然公園の一部開放、洋上風力
- 台風、落雷 → “日本型風力発電ガイドライン”で対処済
- 環境問題 → 適切なアセス、ゾーニング、洋上風力

➤ 最近の状況

■ 導入促進の方向

- ・鳩山首相が”CO₂を25%削減”を表明
- ・固定買取制度(FIT)を風力発電にも適用へ
- ・規制緩和に向けた検討が開始された

■ 導入抑制の方向

- ・採算・安全・地元を軽視した開発例の顕在化
→ 風車の反対運動
- ・環境規制の法制化 → 開発の長期化 & コストUp

■ 残る課題

- ・国の統一方針が無い(長期エネルギービジョン)
→ 風力発電の長期導入目標が無い
→ 電力系統の整備の議論

Contents

1. 世界の風力発電の状況
2. なぜ風力発電なのか？
3. 日本の現状と潜在力
4. 震災復興と風力発電



➤ 震災復興の課題

■ 電力不足(特に東日本)

→ 短時間に大量に導入できる電源

■ 原子力発電休止分の補てん

→ 経済的には天然ガス・石炭火力だが、
燃料輸入(毎年3兆円)とCO2排出増を招く

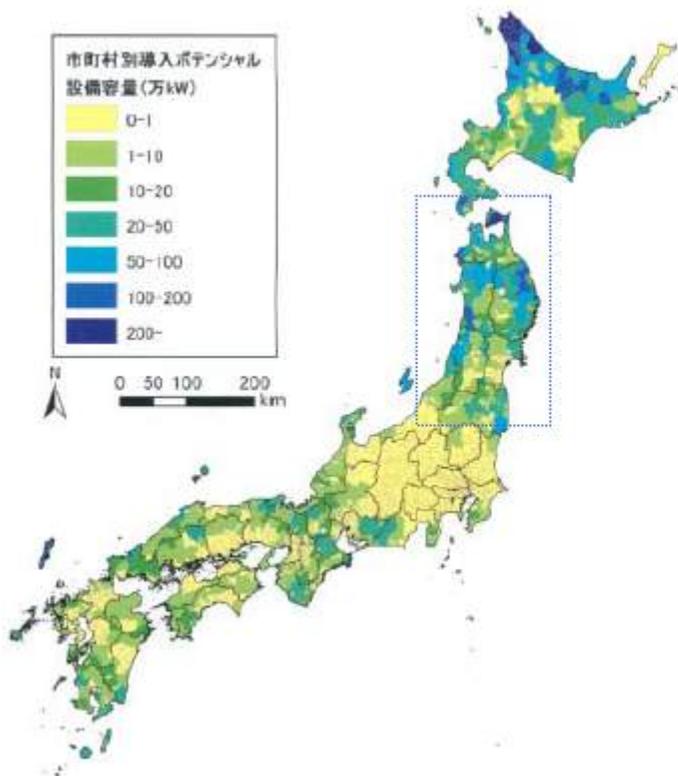
■ 被災地域の産業と雇用の振興

→ 地元根ざした産業が望ましい

➤ 東北には豊富な風力資源がある

■ 東北電力の平成22年度の風力発電募集には、
20万kWの募集枠に96件・257万kWの応募あり。

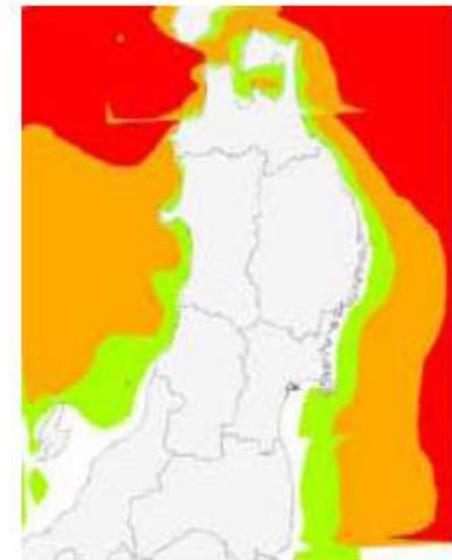
陸上風力の市町村別導入ポテンシャル



陸上風力の賦存量



洋上の風速分布

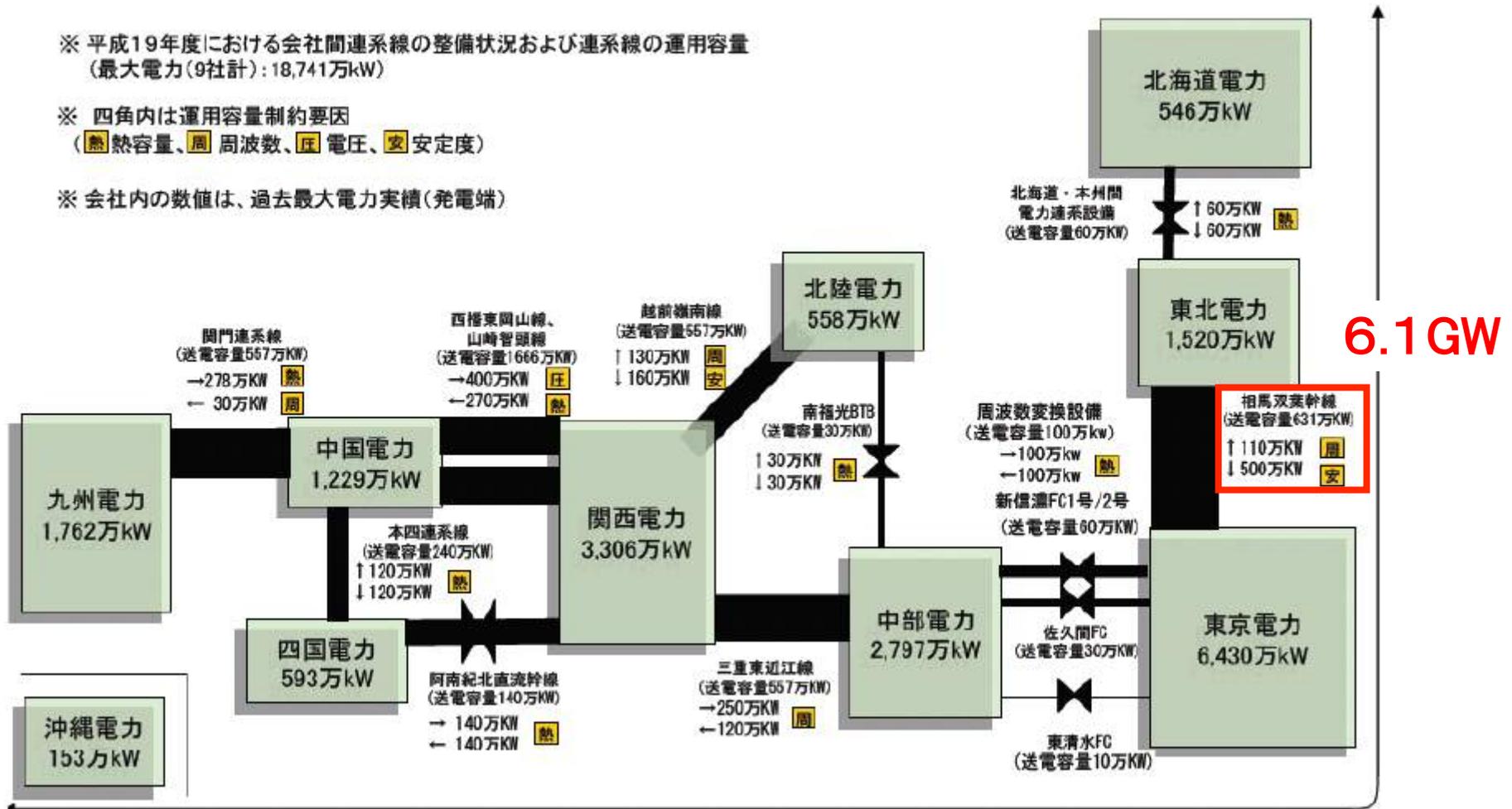


(出所)環境省、風力発電協会よりみずほコーポレート銀行産業調査部作成

経済・金融的側面から見た風力発電の必要性とポテンシャル
みずほ一ポレート銀行、2011年6月22日 プレゼン資料より

▶ 首都圏への送電インフラも既にある

図1 現状の地域電力会社間の連系線と運用容量



出所：「電力の安定供給と環境適合について」(第28回電気事業分科会資料)

次世代のエネルギー政策③

再生可能エネルギー普及の基盤となる透明性の高い広域送電網
日本総合研究所、2011年7月19日 より

▶ 気象予測による 風力発電量の 予測技術も既に 試行されている

局地気象解析を用いた風力発電量の予測

非会員 榎本重朗 (東北電力) 会員 猪股 登 (東北電力) 会員 山田俊郎 (東北電力)
 会員 千葉浩克 (東北電力) 非会員 谷川亮一 (CRC 総合研究所)
 非会員 太田俊広 (CRC 総合研究所) 非会員 福田 寿 (CRC 総合研究所)

Prediction of Output from Wind Farm by using Local Meteorological Analysis
 Shigero Enomoto, Non-member, Noboru Inomata, Member,
 Toshiro Yamada, Member, Hirokatsu Chiba, Member (Tohoku Electric Power Company)
 Ryoichi Tanikawa, Non-member, Toshihiro Ohta, Non-member,
 Hisashi Hukuda, Non-member (CRC Research Institute)

1. まえがき

近年、地球環境問題への意識が高揚するなか、CO₂を排出しないクリーンエネルギーとして、また有限な地下資源に依存しない新しい純国産エネルギーとして、風力発電が注目され、実用化に向けた研究が活発に行われている。

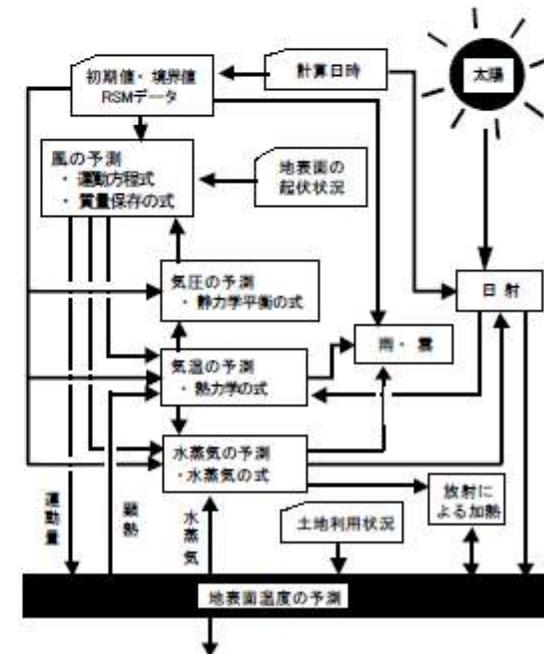
風力発電を実用化していく際、最も重要な問題は発電量の予測である。現在、風力発電は、出力が風況に応じて変動するため、電源としての評価は低い。しかし、風力発電量を精度良く予測し、電源や系統の運用に供することができれば、風力発電の価値はさらに高まるものと考えられる。

風力発電量を予測する手法としては、デンマークで開発された Wind Atlas and Analysis Programme (WASP) が欧州で広く用いられている。WASP を日本のサイトに適用し、比較的良好な予測精度を得ている例^{(1), (2)}があるが、WASP による風況予測には、風況の実測が必須であり、風況実測値のない任意の地点における予測は困難である。また、WASP は過去の風況実測値から経験的に平均風速を予測するものであり、時々刻々と変化する風況を時系列的に求めたものではない。

東北電力(株)は(株)CRC 総合研究所と共同で、局地的な気象解析により、風力発電量を予測するシミュレーションモデルの開発を行っている。このモデルは、気象庁が気象の数値予報に用いている Regional Spectral Model (RSM) の予報値を初期値および境界値として用い、24時間先までの風向・風速を 3km もしくは 500m

2. シミュレーションモデルの概要

今回、風力発電量を予測するのに用いたシミュレーションモデルは、(株)CRC 総合研究所が開発した局地気象評価予測システム (LOCALS) を基本とし、風力発電用にグリッド間隔を狭めるなどの改良を行ったモデルを用いた。図1に LOCALS の概念^{(3), (4)}を示す。



平成12年電気学会電力・エネルギー部門
大会予稿集より

➤ 風力発電の震災復興への役立て方(案)

- 1) 既存の送電インフラを有効利用して、東北地域に風力発電を導入する。
- 2) 鹿島～福島の間で洋上風力発電を進める着床式で始めて、将来は浮体式へ拡大する。
- 3) 1)2)を推進しつつ、日本の長期エネルギー計画の見直しに応じて送電インフラの増強を行う。
- 4) 増強された送電インフラを活用して、国内電力需要の一部を風力発電で賄う。
- 5) 1)2)4)を踏まえて、東北地域に風力関連の生産設備と研究設備を誘致して地域復興に繋げる。