

風力発電の地域への貢献

1. 風力発電の意義
2. 風力発電産業の現状
3. 風力装置の地域への貢献
4. 今日の風車の技術課題
5. 最後に

2013年6月27日

一般社団法人日本風力エネルギー学会 会長

勝呂 幸男

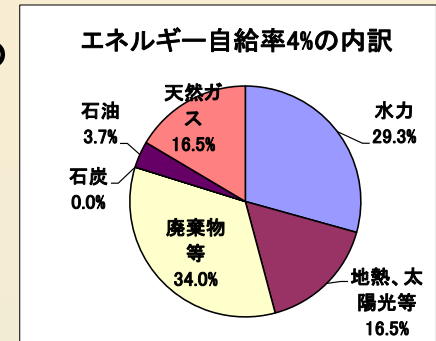
1. 風力発電の意義

現在の人類が直面している3Eと呼ばれる
トリレンマの克服に風力発電等再生可能
エネルギーの早期導入が必要。

第一のE: エネルギー問題の克服

(エネルギー自給率の向上: 2007年度自給率=4%*)

純国産エネルギー
石油代替エネルギー
原子力代替エネルギー



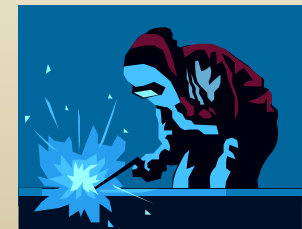
第二のE: 環境の保全

環境に与える負荷が小さいクリーンエネルギー
地球温暖化対策
低炭素社会の実現



第三のE: 経済成長

新規産業の育成
世界合計で約5.8兆円**
雇用の促進



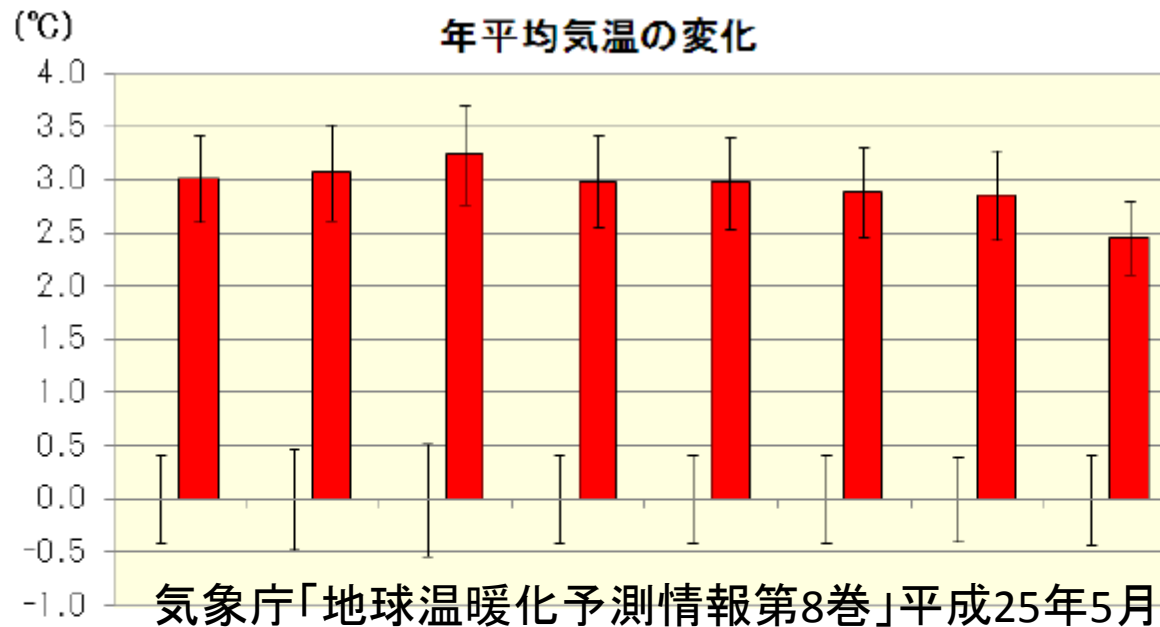
世界合計で約63万人**

*: 出典: エネルギー白書 2010を改変

** : 出典 GWEC Global Wind Report 2010
Global Wind Energy Outlook 2010

今後の温暖化の予想

最新の予想で,現在の状態を続けると?



キーワードは

「持続可能な開発」

(Sustainable Development)

持続可能な開発を進めるには

再生可能エネルギーの採用

- 風力発電 …… 世界中で実用化中。更なるコストダウン。
- 太陽光発電 …… 高効率化と大幅なコストダウンが必要。
- バイオマス発電 …… コストダウンと社会資本整備が必要。
- 地熱発電 …… 地熱エネルギーの存在が限定的。
- 波力発電 …… 海洋エネルギー資源の場所が限定的。
- 原子力発電 …… 安全性, 廃棄問題の先決課題。
- 水力発電等 …… 自然環境を破壊する。

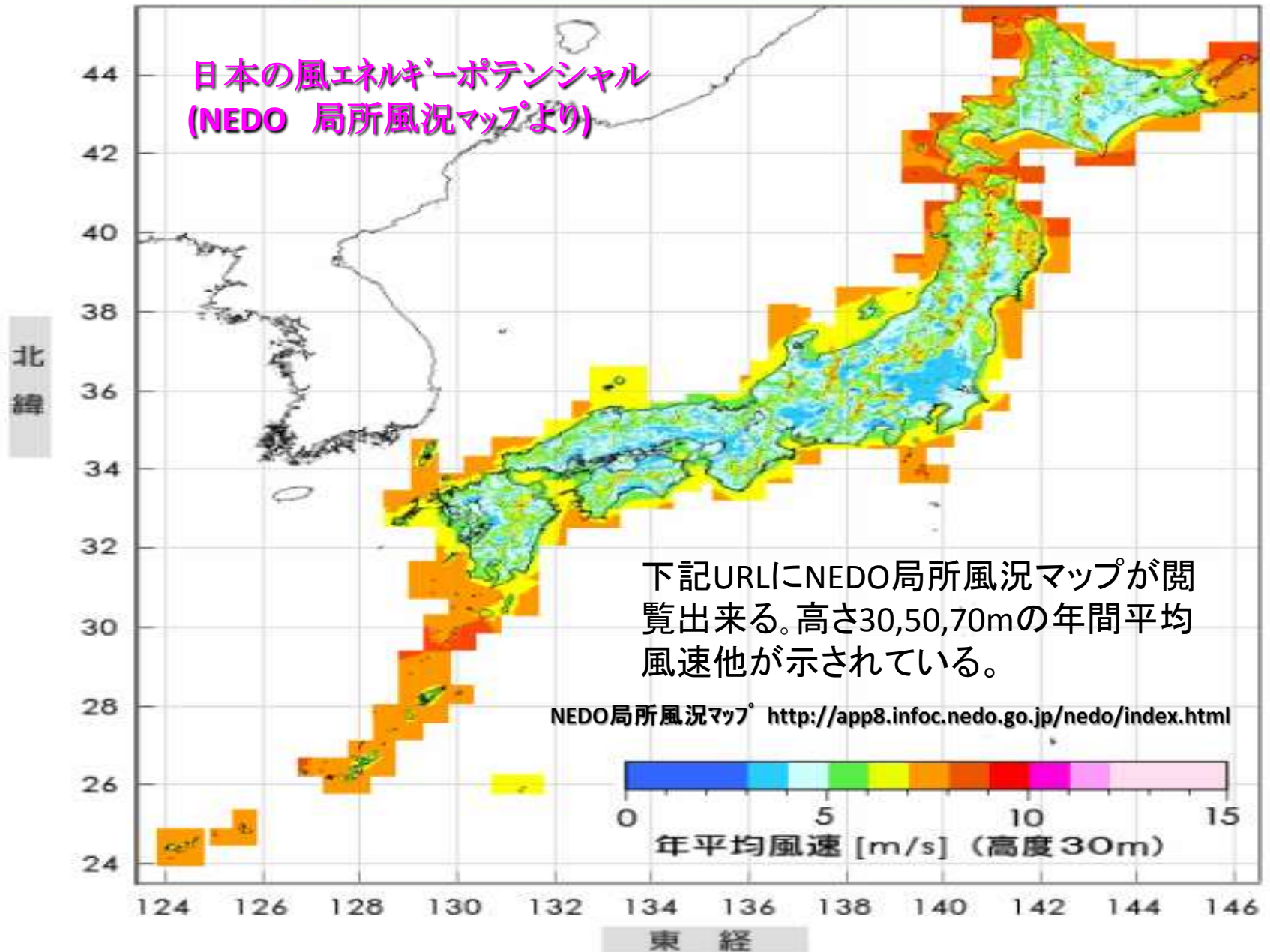
最も賦存エネルギーが大きい

最も地球環境に影響を一番与えない ⇒ 風力発電!!

2. 風力発電産業の現状



自前のエネルギー源としての風力発電ポテンシャル



陸上風力のポテンシャル

風力エネルギーポテンシャルの殆どが、北海道、東北、九州に集中。

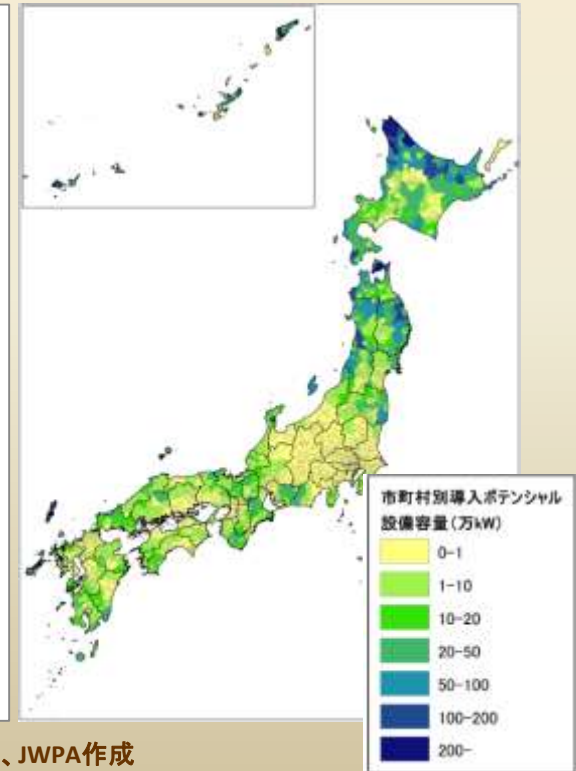
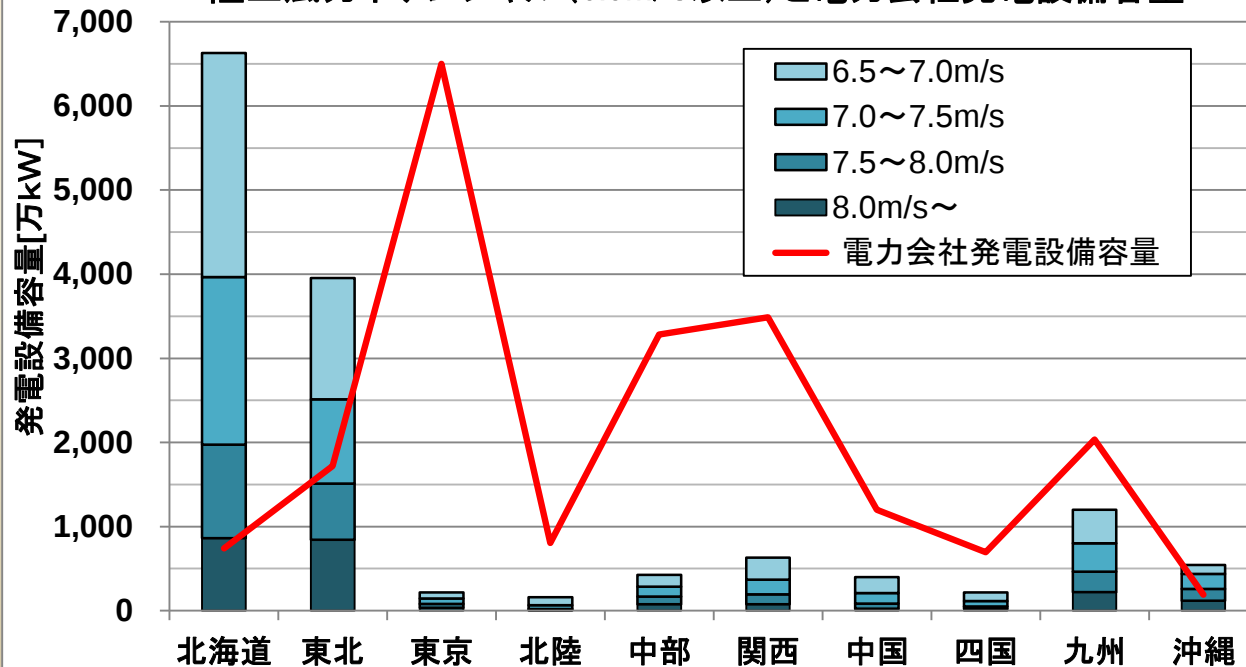
事業性を考慮して80m 高さで平均風速 6.5m/s以上 の賦存量から、社会的制約条件を考慮した、「陸上風力ポテンシャル*」は、以下の通り。

各電力会社の設備容量を考慮しない場合：14,376万kW(全発電設備容量の0.76倍)

各電力会社の設備容量を上限とした場合：5,905万kW(全発電設備容量の0.29倍)

上記に加えて開発率を約1/2とした場合：3,000万kW(全発電設備容量の0.15倍)

陸上風力ポテンシャル(6.5m/s以上)と電力会社発電設備容量



* : 出典 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査(環境省)から、JWPA作成

洋上風力のポテンシャル (諸島を含む場合)

ポテンシャルは陸上よりも多い。(離岸距離: 30km未満、水深: 200m未満)

事業性を考慮して80m 高さで平均風速 7.5m/s以上 の賦存量から、社会的制約条件を考慮した、「洋上風力ポテンシャル*」は、以下の通り。

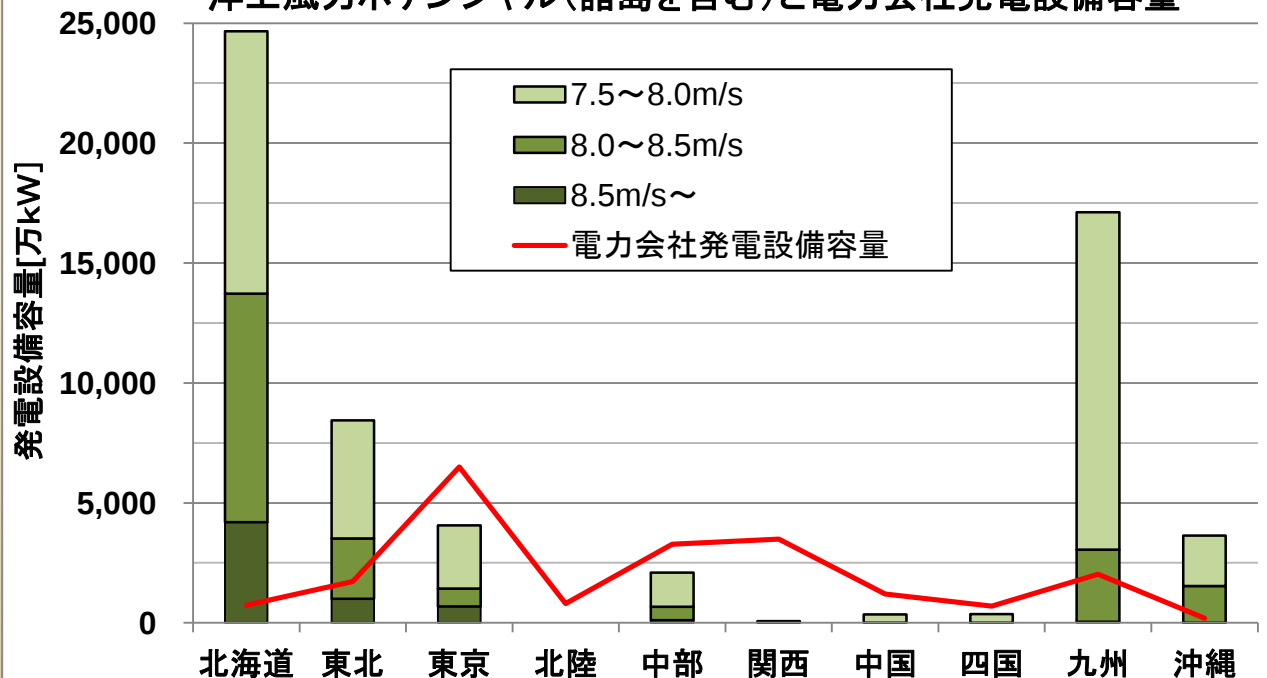
各電力会社の設備容量を考慮しない場合: 60,784万kW(全発電設備容量の2.94倍)

各電力会社の設備容量を上限とした場合: 11,612万kW(全発電設備容量の0.56倍)

上記に加えて開発率を約1/4とした場合: 3,000万kW(全発電設備容量の0.15倍)

諸島を含まない場合は出力は減少するが、離島こそ再生可能エネルギーが必要となる地域である。

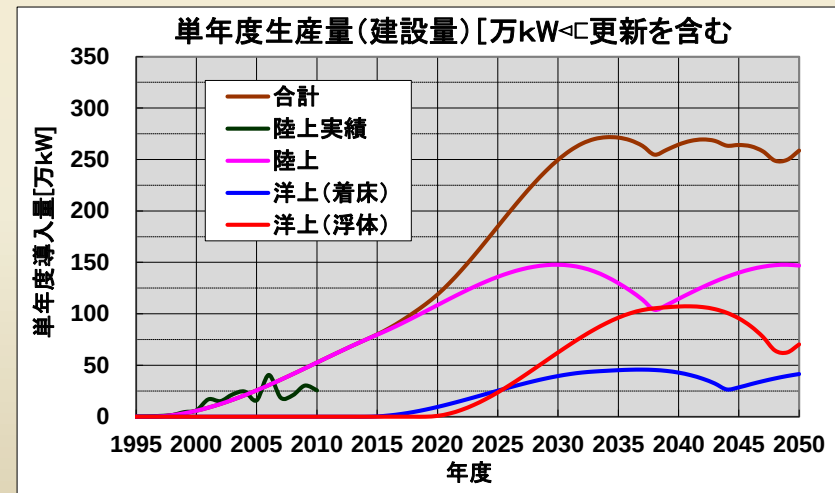
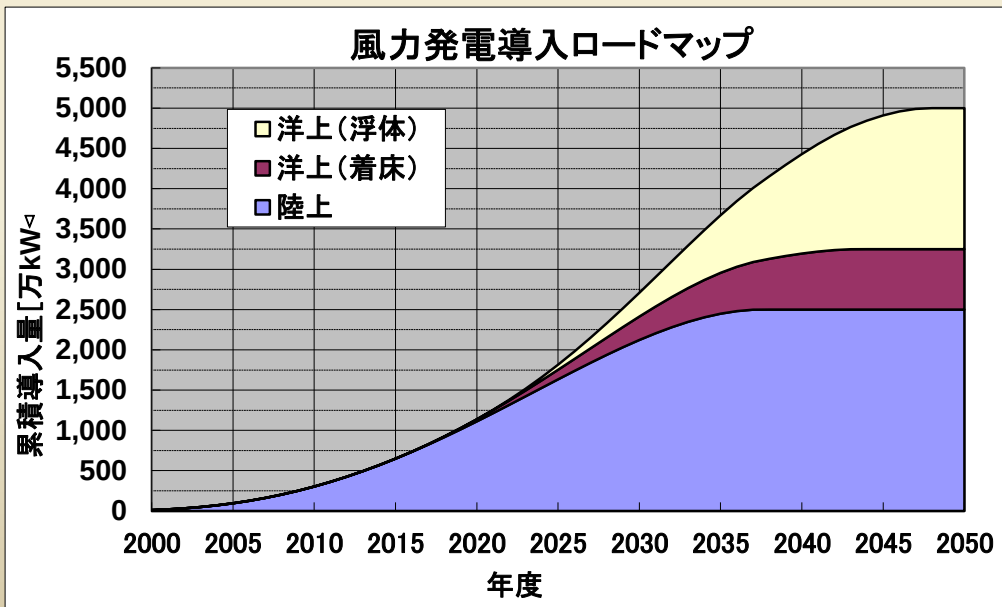
洋上風力ポテンシャル(諸島を含む)と電力会社発電設備容量



* : 出典 平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査(環境省)から、JWPA作成

現在の導入目標値

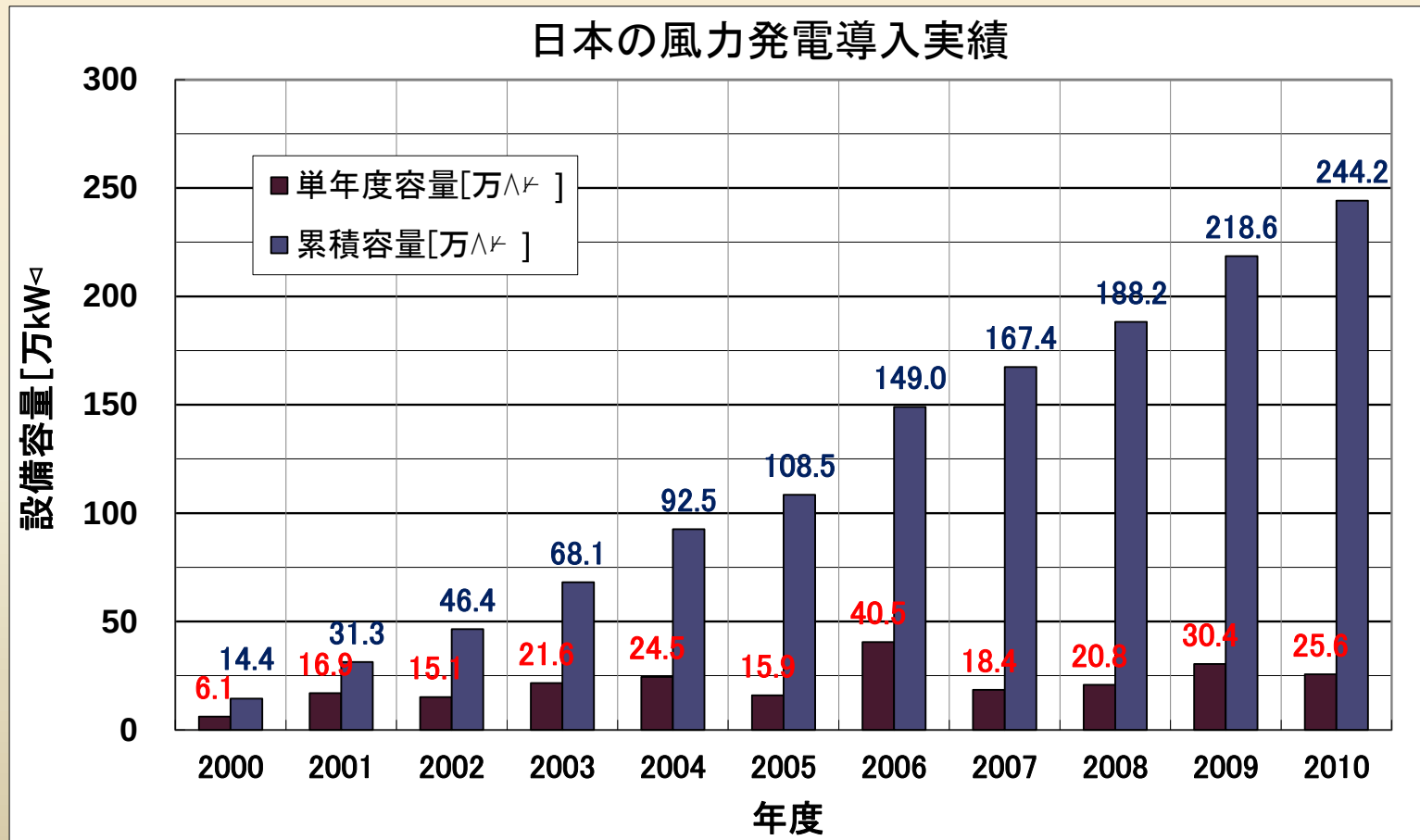
- 国の中長期導入目標値は、今後検討されるが、現時点では京都議定書に対応した、「2010年度までに300万kW」のみである。
 - JWPAの報告では2010年度実績＝244.2万kW(1,807基)
- JWPAの作成した目標は、「2050年度までに5,000万kW導入」である。
 - 2050年時点では、設備容量(kW)比で約20%、需要電力量(kWh)供給比で約15%に相当する。(2010年におけるスペインの実績比と同等)



2030年度以降は、毎年250万kW以上を継続的に生産(安定的な産業・雇用の確保)

日本の風車導入量の実績

2011年3月末時点で244万kW。 300万kWの目標未達。
2012年7月に施行された固定価格買取制度で低迷を打破を!!



出典: NEDO 日本における風力発電設備・導入実績を加筆、2010年度はJWPA調べ

現在の風力発電による電力コスト

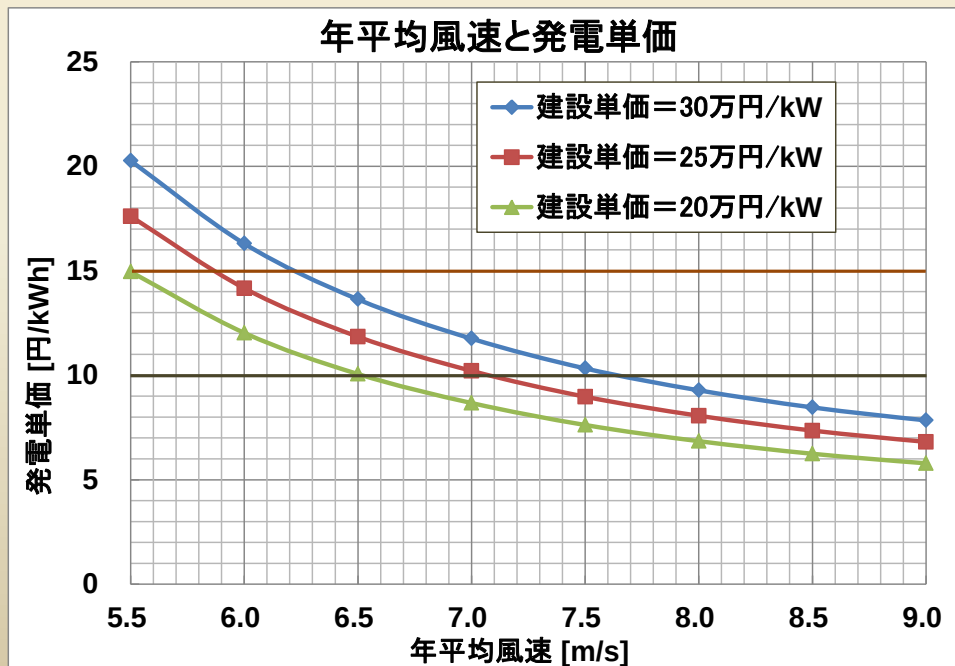
風力発電の発電単価[円/kWh]は、建設単価[円/kW]と年間平均風速 V_{ave} [m/sec]により変わる。**概ね水力や火力発電所と同等。**

建設単価をパラメータとし、年間平均風速と発電単価との関係を示す。

NEDO 風力発電導入ガイドブック第9版による発電単価計算式を適用

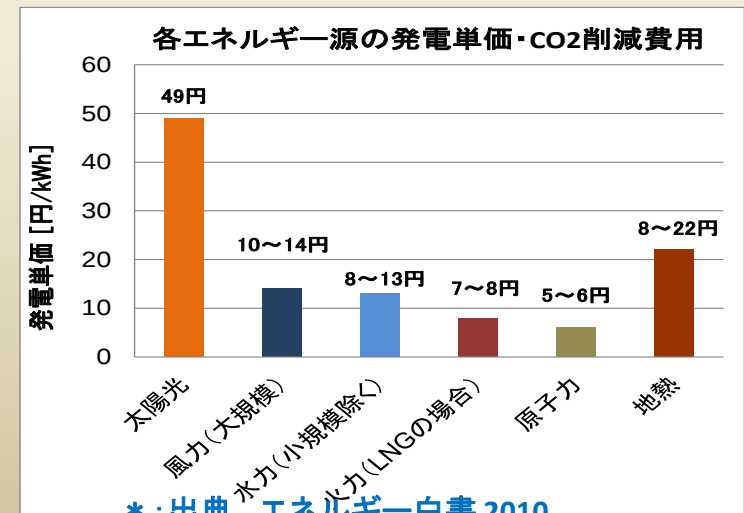
補助金＝なし、金利＝4%、事業期間＝20年、運転・保守・修繕費＝6,000円/kW

利用可能率＝95%*、出力補正係数(レーレ分布と実分布との差補正)＝90%



*:初期の風力発電所は、落雷や乱流などの影響により利用可能率が低下⇒発電単価が上昇している。

参考:各エネルギー源の発電単価・CO2削減費用
(現在、見直しが行われている。)



風力発電導入に効果のある施策は。

将来に向けたビジョンの明確化が必要

**国による意欲的な中長期導入目標の
早期策定と再生可能エネルギー社会構築
の宣言と国民的合意の形成**



具体的な目標達成手段は以下のようなものがある。

インフラの整備

抜本的な系統連系対策の実施

再生可能・分散型エネルギー設備に適した系統連系対策

適正価格による再生可能エネルギーの購入義務

適正価格による長期間の買取 **FITの価格と期間**

建設の迅速化

規制・制度の緩和

開発・建設に関する規制緩和と設置許可の早期化・柔軟化・明確化

技術開発の促進

調査・研究開発の実施

着床式洋上風力および浮体式洋上風力

気象予測と発電量予測を取入れた電力系統広域運用



これ等を行うことでおのずから事業性の確保が可能になる。

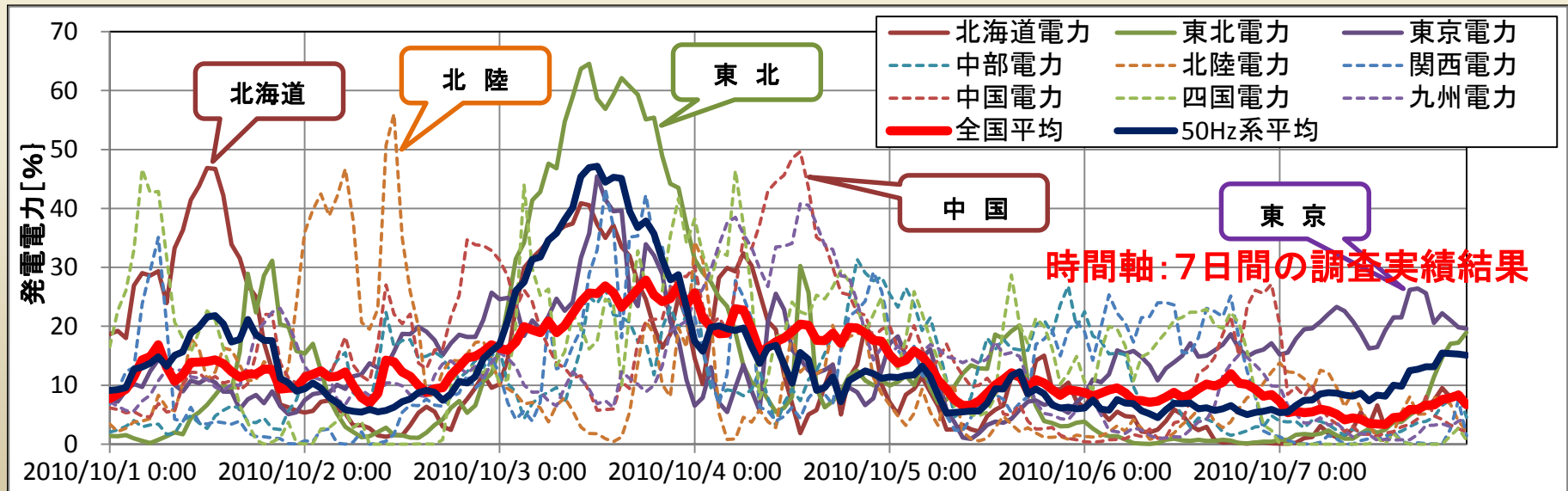
変動電力の吸収と電力セキュリティ

日本全国で見ると、短周期変動量および長周期変動量は少ない。
(多数になるほど、また広域に分散配置されるほど)

☆風車の分散配置は平滑化効果を生み、変動は小さくなる。即ち、広域電力網を作ることによって再生可能エネルギー有効活用が可能。

☆同一時刻で、日本全国で同じ風の吹く時はない。

☆大型発電所(例えば原発)では地震等で殆どの機器が停止。
小型分散風力発電装置は全てが停止することは無く、電力供給は確保され、停電発生の可能性は非常に少ない。



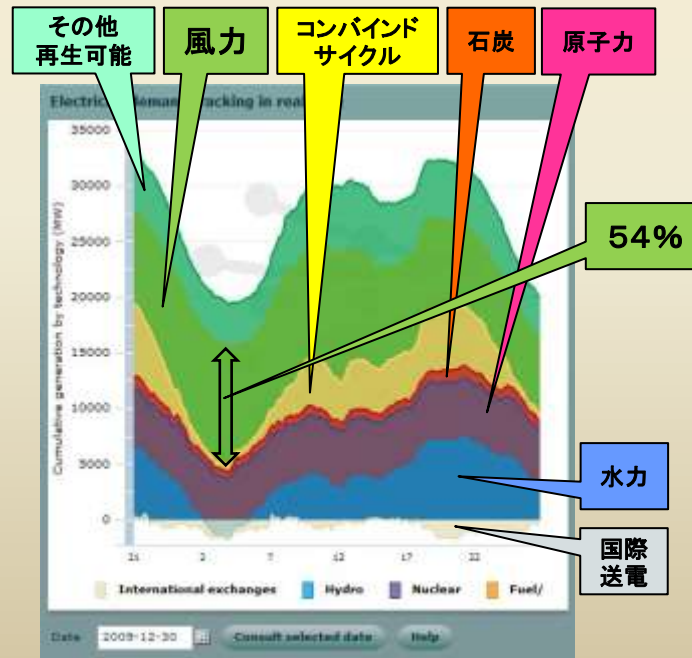
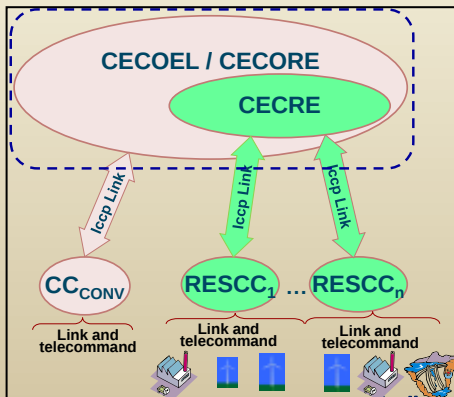
風力先進国は、これらの課題に対応

広域運用と気象予測による発電予測の活用

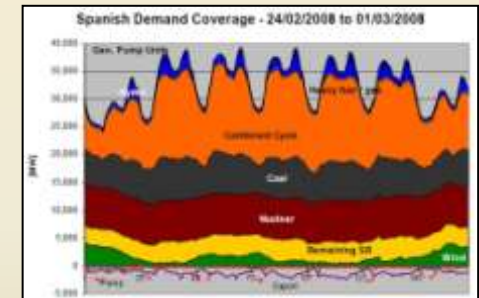
需要電力量[kWh]に対する、風力発電による供給比*

デンマーク≒21.9%、ポルトガル≒17.0%、スペイン≒16.4%、
日本≒0.4%

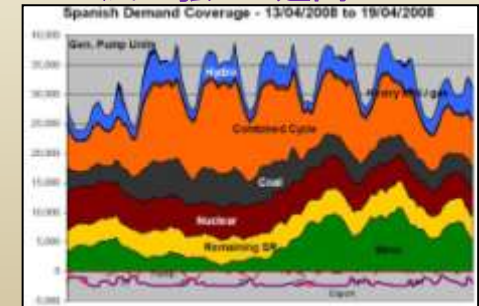
例えばスペイン**では再生可能エネルギー監視・制御センターと、中央給電センタとを一体運営で、風力の発電予測結果(24時間先まで)を、電力系統運用に活用中。極まれに、風力発電の発電出力抑制を実施



風が弱い1週間



風が強い1週間



3. 風力発電の地域への貢献

1. 風力発電装置の建設や製造による貢献

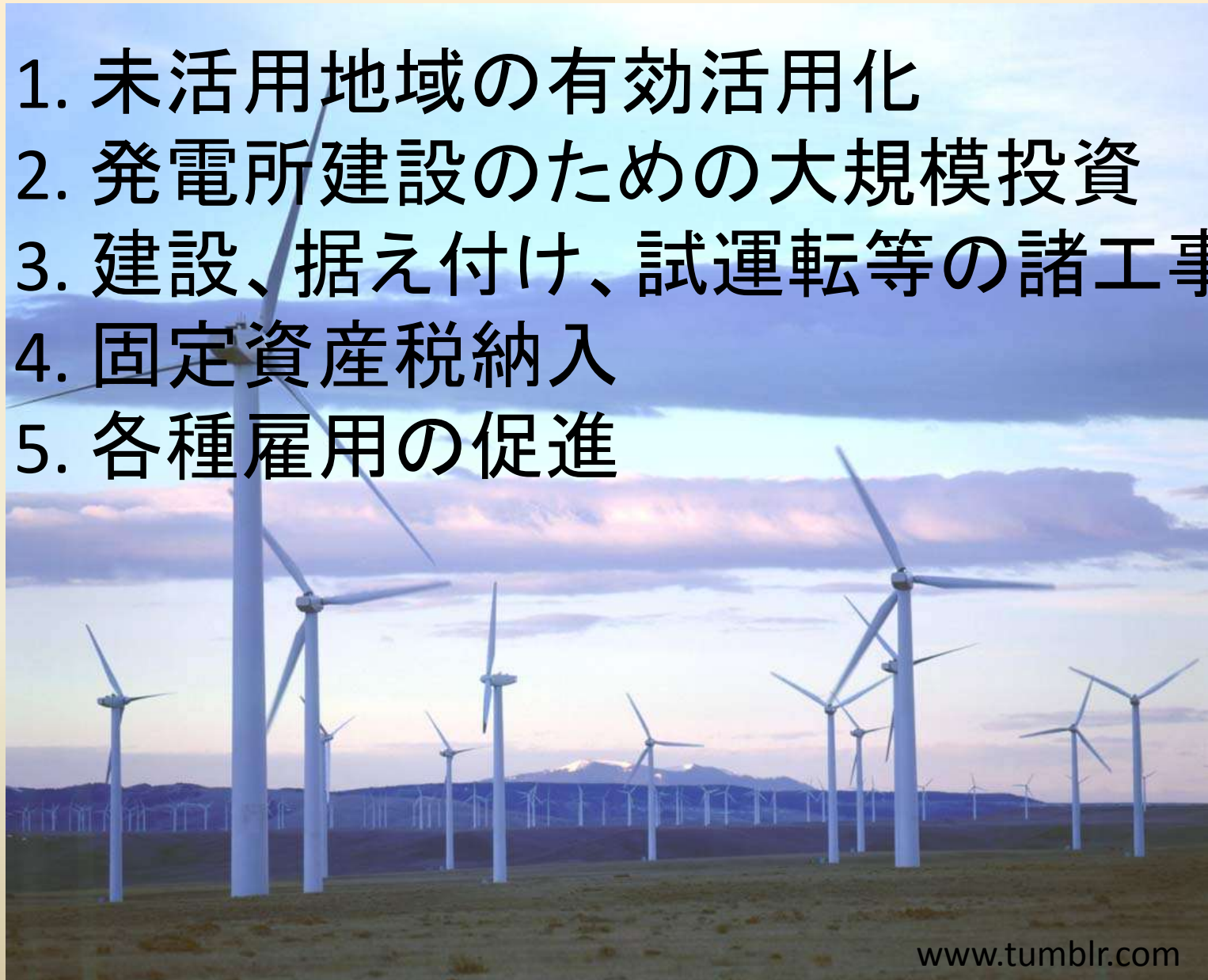
- ① 風車の設置による貢献
- ② 風車製造と部品製造による貢献
- ③ 風車の運転と保守による貢献

2. 風車設置による環境問題改善で貢献

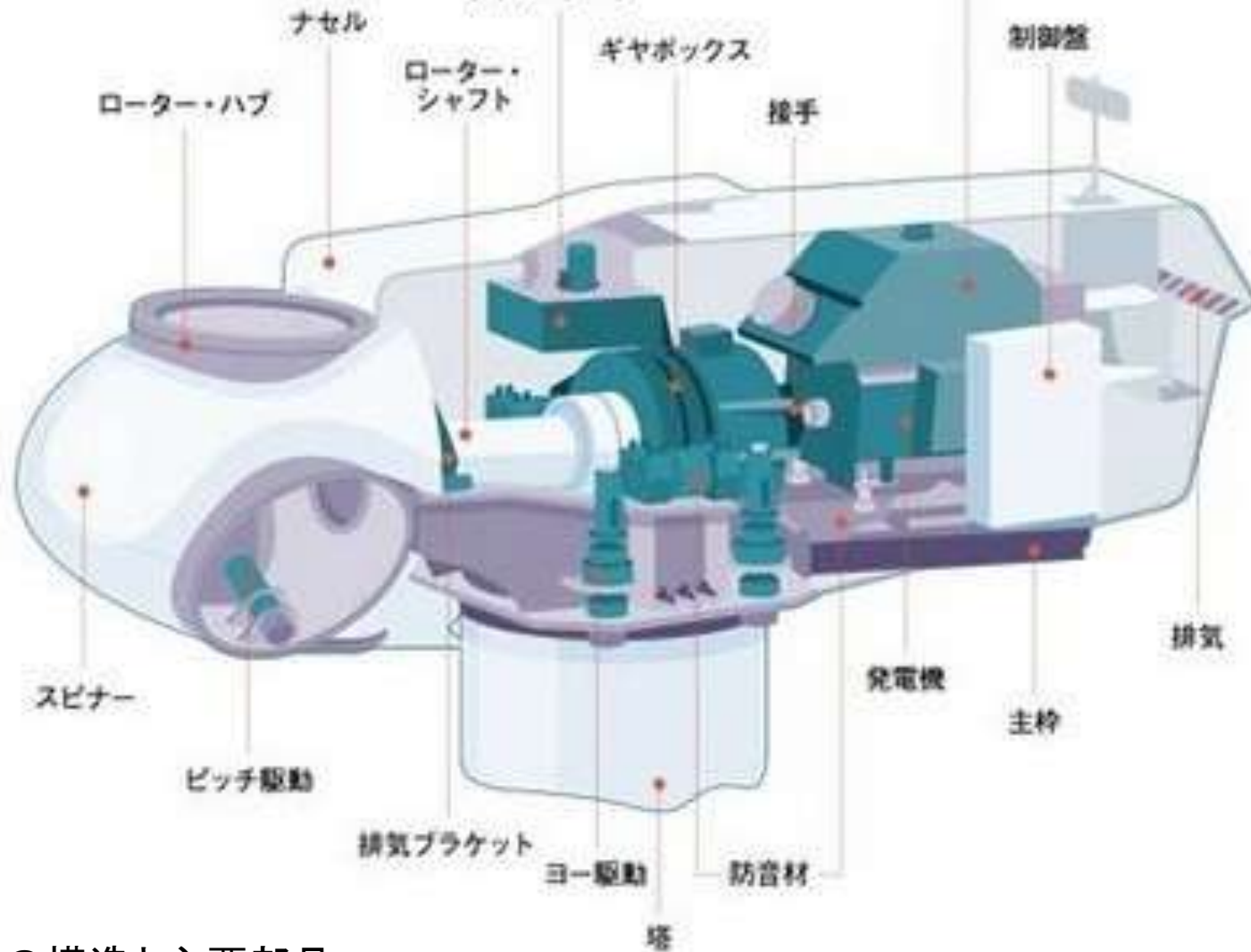
- ① 地産地消のエネルギーシステムで環境保護
- ② 災害に強い分散エネルギーシステムで、ライフラインの確保

① 風車の設置による地域への貢献

1. 未活用地域の有効活用化
2. 発電所建設のための大規模投資
3. 建設、据え付け、試運転等の諸工事
4. 固定資産税納入
5. 各種雇用の促進



② 風車製造と部品製造による地域への貢献



風車ナセルの構造と主要部品

風車のナセルは地上から100mの高所に設置される。したがって、内部の動力伝達部品は堅牢でかつ軽量である必要がある

風車製造の関連産業と部品

1. 風力発電機器の製造

1. 風車は約1万点の部品で構成

2. 主要機器

翼を持つロータとハブ、歯車や発電機を格納するナセル、その他の機械部品、タワーと基礎等

風車年産1MW 当たりで、ナセル組立で1人、翼で2人、タワーや部品の製造まで含めると、10～15 人の雇用が。

2. 風力発電用部品と制御装置製造

1. 発電機

2. 制御装置

3. 保安装置

3. 風力発電用系統連系機器の製造

1. 変圧器

2. 遮断器

3. 系統連系盤



現在と将来の風車主要寸法と重量

		Reference wind turbine 5 MW	Extrapolated turbine 10 MW	Extrapolated virtual turbine 20 MW
Rating	MW	5.00	10.00	20.00
Wind regime		IEC class 1B ²	IEC class 1B	IEC class 1B
No of blades		3	3	3
Rotor orientation		Upwind	Upwind	Upwind
Control		Variable speed, control pitch	Variable speed, control pitch	Variable speed, control pitch
Rotor diameter	M	126	178	252
Hub height	M	90	116	153
Max. rotor speed	Rpm	12	9	6
Rotor mass	Tones	122	305	770
Tower top mass	Tones	320	760	880
Tower mass	Tones	347	983	2,780
Theoretical electricity production	GWh	369	774	1,626

風車の主要部品材料比率

大型風車における主要部品と材料(数字は小型風車を示す。)

Component/ Material (% by weight)	Permanent Magnetic Materials	Pre- stressed Concrete	Steel	Aluminum	Copper	Glass Reinforced Plastic ⁴	Wood Epoxy ⁴	Carbon Filament Reinforced Plastic ⁴
Rotor								
Hub			(95) - 100	(5)				
Blades			5			95	(95)	(95)
Nacelle ²	(17)		(65) - 80	3 - 4	14	1 - (2)		
Gearbox ³			98 - (100)	(0) - 2	(<1) - 2			
Generator	(50)		(20) - 65		(30) - 35			
Frame, Machinery & Shell			85 - (74)	9 - (50)	4 - (12)	3 - (5)		
Tower		2	98	(2)				

1. 小型風車は100kW以下
2. ナセルの構成は1/3が歯車装置、1/3が発電機、1/3が架台と仮定
3. 小型風車の約半分は歯車レス
4. 翼はガラス強化プラスチック、エポキシ集積木材及び炭素繊維強化プラスチック

風車産業の特徴と部品産業への貢献

大型風車は自動車のような組立産業

- ・コストの約7割は部品購入費。
- ・国内生産風車部品の大半(金額ベース)は国内部品

広く国内部品メーカーに波及

- ・小物部品・素材を考慮すると完成風車の2～3倍の波及効果。

日本の風車部品メーカーの海外進出

- ・海外風車メーカーへの部品納入も多く風車工業全体では日本企業のシェアは、完成品の日本風車メーカーのシェアより大きい。

競争力のある部品とメーカー

大型軸受、パワーエレクトロニクス(発電機・インバータ類)、炭素繊維(ブレード用)の分野では強力な日本メーカーが存在。

③ 風車の運転と保守・整備による地域への貢献

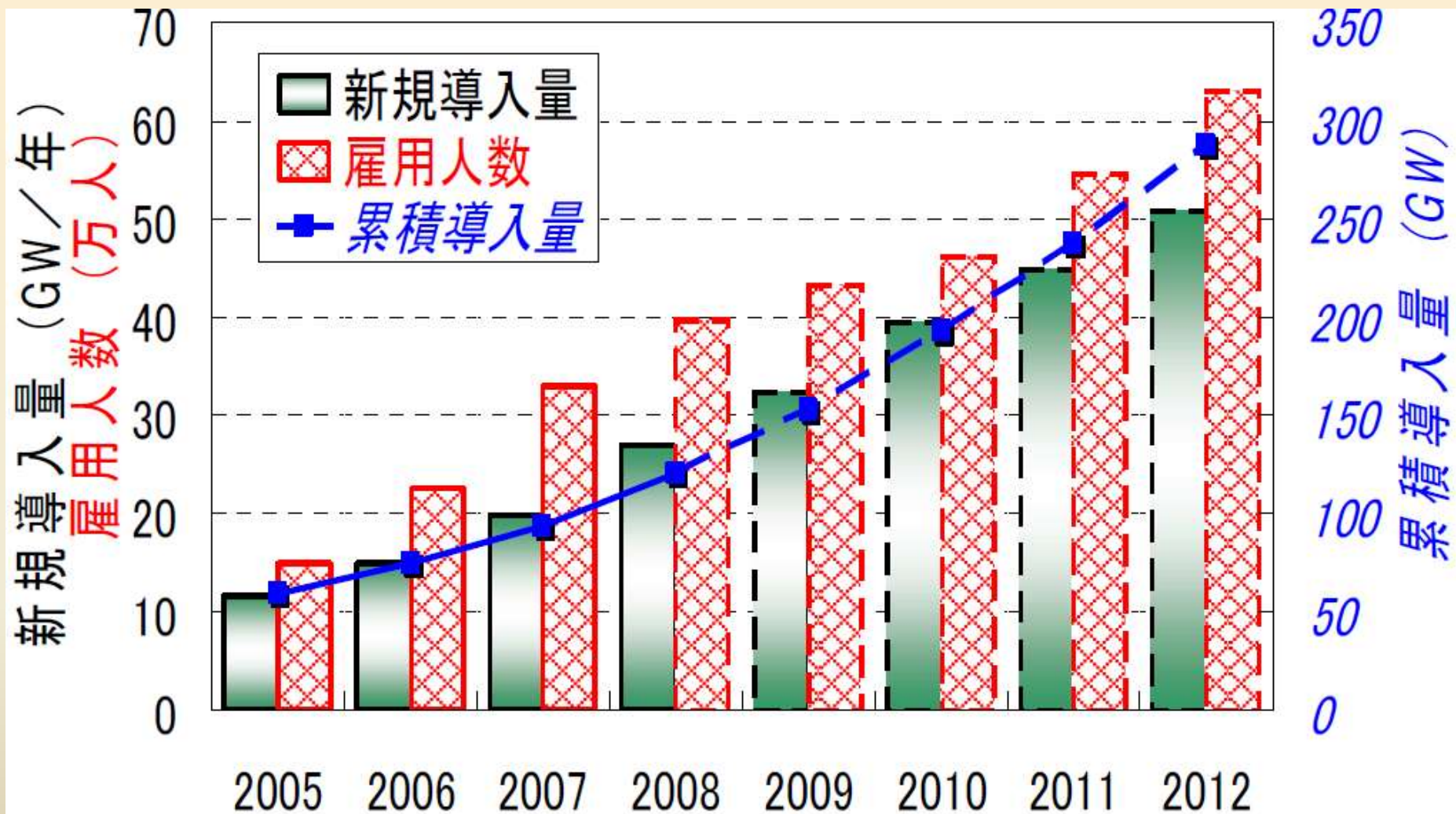
風車運転体制の確立による直接運転員の雇用

保守整備体制確立による整備工場の要求と雇用。
また各種保守修理技術の促進

世界的に風車の保守要員が不足しており、運転・保守・修理経験者は期待されている。また、世界的に保守作業者養成組織(学校若しくはそれに類する施設)が作られている。

風車は通常設計寿命が20年程度であり、期限のきた機械はリプレースの需要が出てくる。

世界の風力産業における雇用実績



出典: BTM Report, GWEC の Global Wind Energy Outlook 2008 より

欧州では、風車産業で約30万人が働いている。ドイツ・スペイン・デンマークでは、国を挙げた支援活動が行われている。

風車産業の経済貢献を別の角度から考える

風車の特徴を理解し、新しい切り口で産業基盤整備
～風車設置と風車製造は広い技術の集積機器～

従来型発電用機器(蒸気タービンプラント、コンバインドプラント、原子力プラント、ディーゼルプラント等)は“In House Technology”

システム工学若しくは技術

風車及び風力発電所は広い技術(気象学、地勢地理学、統計学、機械力学、空気力学、土木工学、電気工学等)の最新技術の集積工学で“Integrated Technology”

集積工学若しくは技術

風況解析から設計・部品調達・組立製造・建設・試験・運転・保守整備を一気通貫で行う応用工学。世界中から最高品質の部品を設計条件に従って調達し機器組立を行う集積産業。

風力発電装置の生産工学的特徴

1. 設計条件が一定でない。通常は100通り以上の条件を想定する。
入力調整(燃料弁)がない → 強度設計点が一つに定まらない
2. 有限寿命設計(20年で 10^8 回相当)
風車の翼はFRP製 → FRPには疲労限がない。
3. 強度検討は統計的評価手法(従来機器は決定論的評価手法)
平均応力・変動応力が共に変動する → レインフロー評価
4. 強度解析は全て**3D-FEM**(裕度小の高精度解析と軽量化)
5. 制御が重要(例: 台風時の停電対策)
制御方法(ピッチ、ヨー)の有無と反応速度によって荷重が変わる。
6. 車室(ケーシング)の無い回転体
翼飛散リスク + 故障すると丸見え
7. 産業としては量産品種
価格と性能が重要。生産台数的にはバス・トラックのレベル
8. 自然エネルギー
燃料代不要であるがエネルギー密度が低く機器サイズ大
9. 第三者(外部)設計審査が重要(輸出商談のFinance条件になっている)
IEC61400準拠、ドイツのGL(Germanischer Lloyd)社 他が審査。

風車を中心として地域産業とするために ～4つのキープoint～

1. 風や波といった風車設計条件と風車設置と製造手法の研究や専門性の確立

1. 風況解析、波浪解析等設計条件に関する基礎研究と風車設置に関する実務的研究との融合
2. 風車の実機試験場と試験・解析機関設立
3. 風況観測や波浪解析結果の機器適用技術の総合研究機関
4. 第三者認証機関の確立で故障のない安全・安定した風車の製造をバックアップ
5. 個別技術に関する試験機関

風車を中心として地域産業とするために ～4つのキープoint～

2. ウィンドファームの建設・運営と設計・施工を 管理する事業化専門性と保守技術の確立

1. 風力発電事業者またはアドバイザーを想定
2. 風力発電所計画、ファイナンスと発電所収支、環境問題、系統連系等BOPを中心に事業化推進ノウハウを持つ専門家の育成
3. 風車購入、輸送・建設・現地試験・検査等を管理するウィンドファーム設計管理するプラント技術者育成
4. 商業運転・保守整備等運転開始後の発電所の維持管理を行う技術者育成

風車を中心として地域産業とするために ～4つのキープoint～

3. 大型化する風車の設計製造を高品質で 製造する工場設置と品質管理

1. 風車組立取り纏めと品質管理で最高品質の風力発電設備の製造
2. 競争力のある工場設置と世界中に拡販出来る高性能・高品質メーカーの育成
3. 世界中の設置場所の設計条件に適した風車を詳細に検討し商品化できる工場と品質管理
4. 世界中に高品質風車を納入できる技術力を持ったメーカー技術者の養成
5. 集積技術としての最も安価で高品質な部品を調達する品質管理システム

風車を中心として地域産業とするために
～4つのキープoint～

4. 日本のものづくり技術が活かせる高品質 高信頼性部品づくりの拠点創造

1. 部品メカ技術の更なる技術力向上
2. 風車の大型化に対応した各種部品の加工技術の向上の設備投資
3. 大型歯車、大型鋳物、軸受等機械部品とハイテク化した発電機や電力変換装置など、回転機械を製造する専門工場
4. 翼やナセルの様な新複合素材の専門工場
5. 運転開始後の運転・保守作業の技術を持つメンテナンス工場

4. 今日の風車技術の課題

☆高強度化＝高稼働率化

- ・気象条件の克服

台風や低気圧による強風と山岳地形による乱流に耐える風車

- ・日本に特有の高エネルギー雷を克服

落雷事故や故障を減少させて、エネルギー製造機器としての高性能、高信頼性、低コストの達成。

☆高効率化＝大型化＝高出力化

陸上は、3MW級が今日の量産機では最大級。既に6MWの商用機が有る。

既に多くのメーカーが5MW以上で、7MW,10MWの大型風車を開発中。欧州では2020年までに20MW。

従来からの解決すべき課題

☆電力系統連系技術の開発

- a. 系統連系量拡大のための中長期送電網の構築
- b. 気象変動予測高精度化と系統運用の検討

☆超低周波騒音を含む騒音低減

第一世代風車からは大きく進歩しているが未だ改良すべき状態である。

☆バードストライク

事前検討が進み鳥の事故は少なくなっているが、無くなったわけではない。但し確率は低い。

☆景観対策等

これからの風力発電技術

☆洋上用風力発電設備

・欧州の主力は洋上に

欧州の主力は着底式、国内は着床式と浮体式を推進中

・洋上風車は大型化

更なる大型風車を目指して、多くのメーカーが開発中。

・風車の構造は今と大きく変化無い

陸上と同様歯車式又は直結式(歯車なし)、一部で新方式風車を志向(歯車メーカーが部品供給のネックになりつつあるため)

・強風域用風車の高信頼性が必要

比較的短い翼と運転・保守の困難さを考慮した高信頼性
波浪、強風、荒天対策、塩害対策を考慮した機器

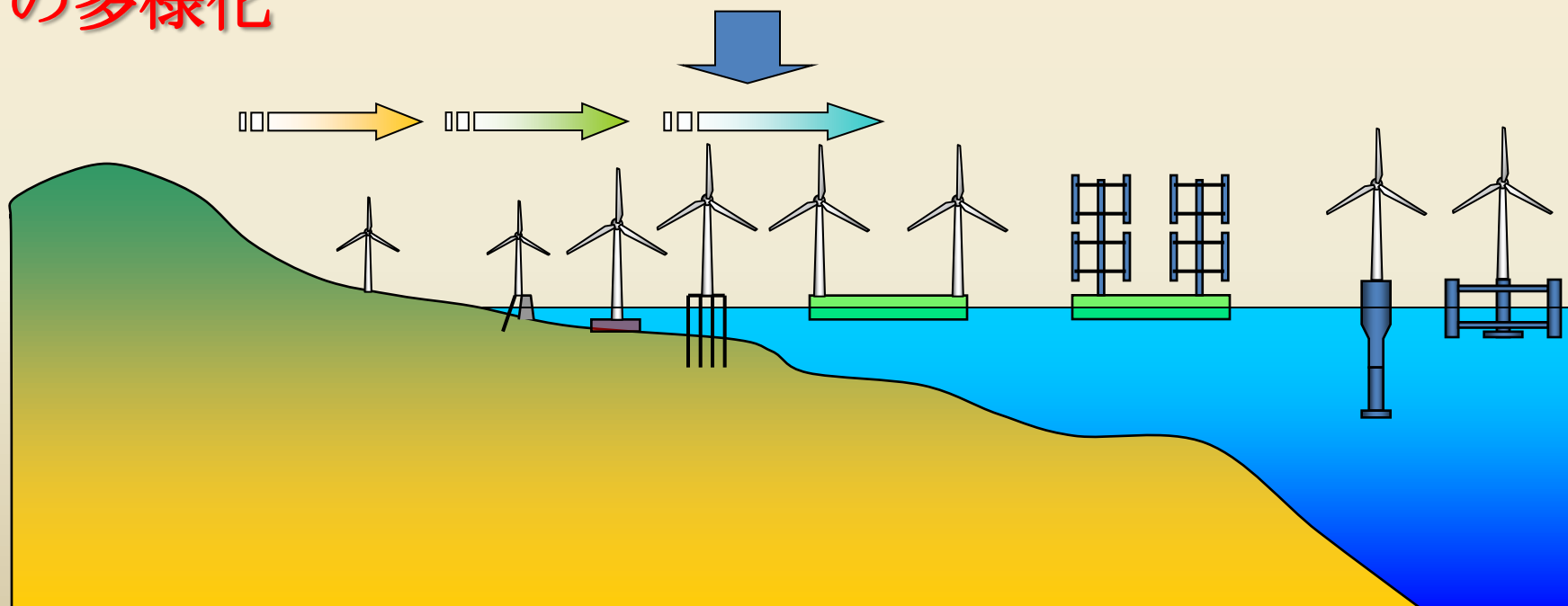
・新技術との連携

支持構造、港湾土木、海底ケーブル等の新技術と連携。
運転保守を考慮した遠隔監視システム等

洋上風力発電設備支持構造物

洋上風車：全コストに占める基礎の割合が風車本体に比べて大きくなるから大型化を図りコスト削減を推進

- ・風車大型化による基礎の最適化、コスト低減
- ・設置場所(環境条件)や水深により様々な基礎形式の多様化



風力エネルギーを核とした新技術の開発と連携 ～将来技術との開発・連携と社会貢献～

1. 化石燃料資源の輸入削減による貢献
2. 安定したエネルギー供給システムの構築で社会の安心・安全に貢献
3. 風力エネルギー(再生可能エネルギー)と新技術との連携で社会の貢献.例えば
 1. 「風車と蓄電システムで離島用独立電源システム開発」
 2. 「風力発電による海水淡水化システム開発」
 3. 「風力-水素-燃料電池システムの技術開発」で自動車用エンジンと地域完全無排出ガスシステムの構築
 4. 海外の風力資源活用や、エネルギーキャリアーとしての水素の活用である「水素輸送システム ～液化水素輸送船、有機ハイドライド輸送～

風車・水素・燃料電池システム

欧州はIEAを中心に風力水素の研究が開始済。

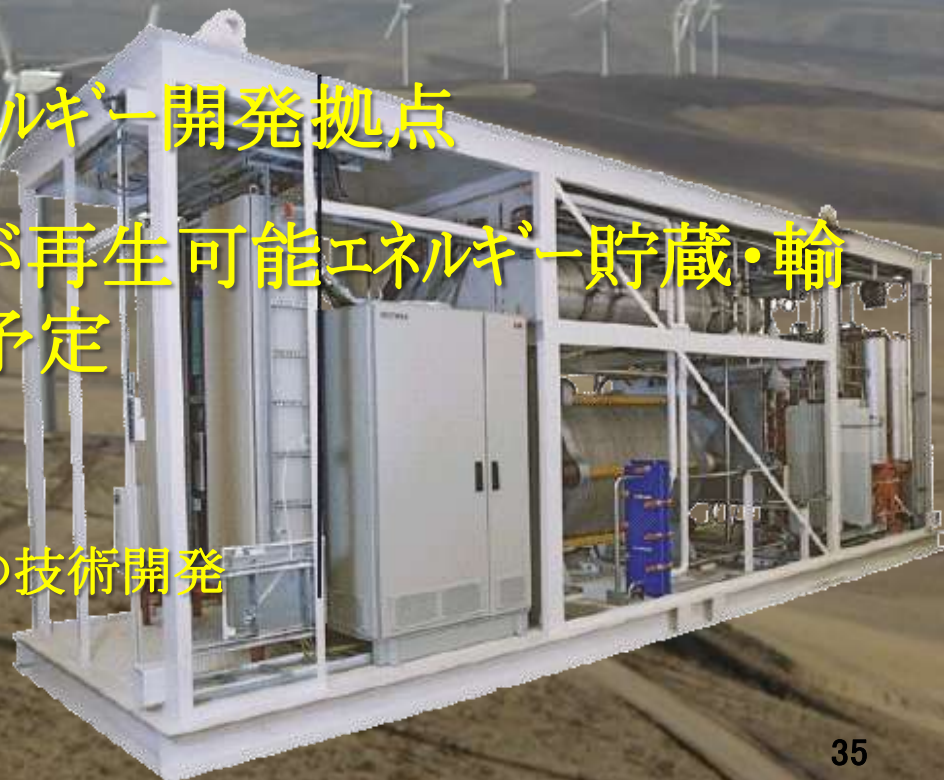
スペイン, キリシャ等で風力の電力で水素製造を研究中。

燃料電池の開発と水素製造の開発で完全無公害排出ガス社会が可能。

九州大学は国内水素エネルギー開発拠点

本年度から経済産業省が再生可能エネルギー貯蔵・輸送等技術開発を推進の予定

- ・低コスト水素製造システム
- ・高効率水素製造技術の研究
- ・周辺技術(水素液化貯蔵システム)の技術開発
- ・エネルギーキャリアシステム研究
- ・トータルシステム導入シナリオ研究



5. 最後に

- ・環境悪化は国境を超えて広がる新しい国際問題
- ・環境問題は産業革命以降あらゆる点で急速に拡大
- ・環境問題は南北問題であり即ち経済問題
- ・温暖化で国土消失が発生している所がある。

2011.3.11の大地震以降忘れられているが、
世界的な異常気象を引き起こしている

地球温暖化=
世界のエネルギーに関する問題である。

風力発電の発展で日本のトリレンマを解決するために、この地からエネルギー問題、環境問題、経済問題の克服に取り組みましょう。

終

ご清聴ありがとうございました。

2013年6月27日 JWEA日本風力エネルギー学会 勝呂 幸男