

戦略調査セミナー

自然エネルギー利用の現状と課題

平成18年9月20日

経営企画部戦略調査室

佐藤 治

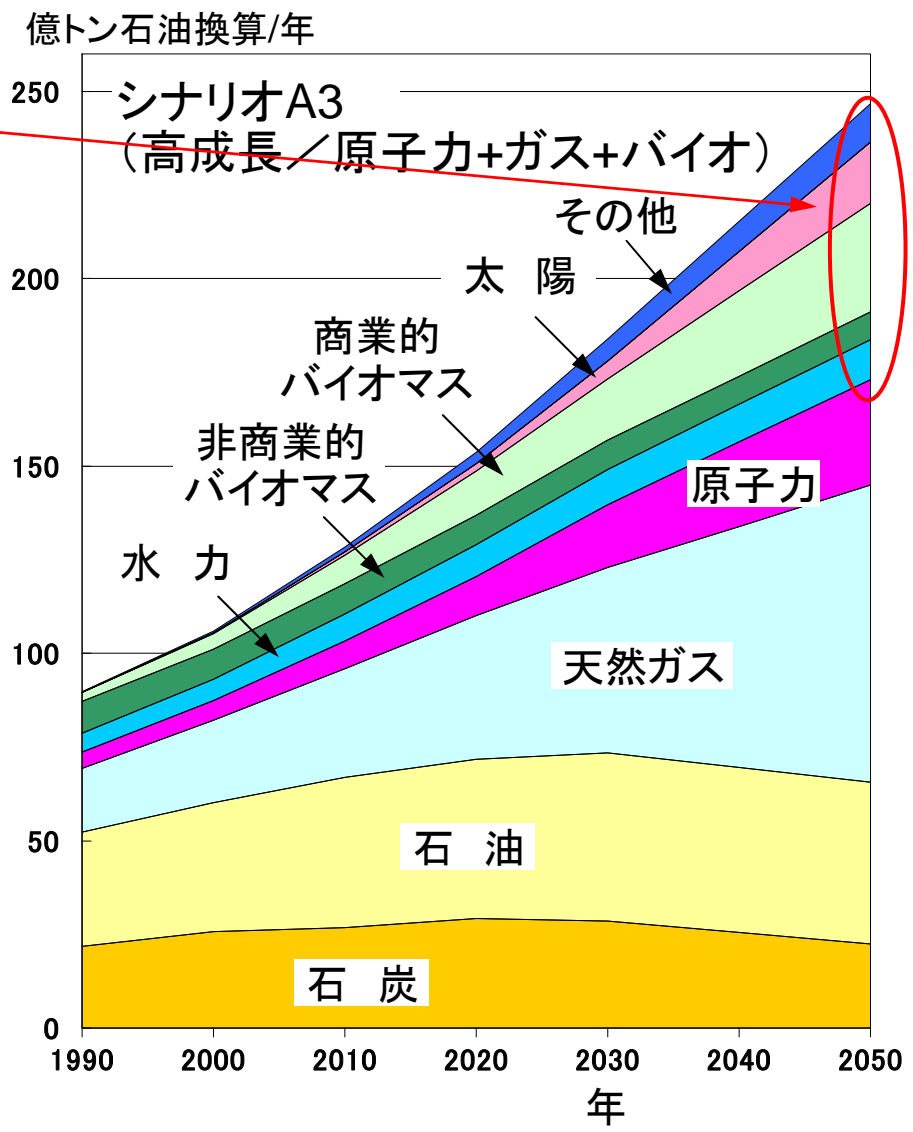
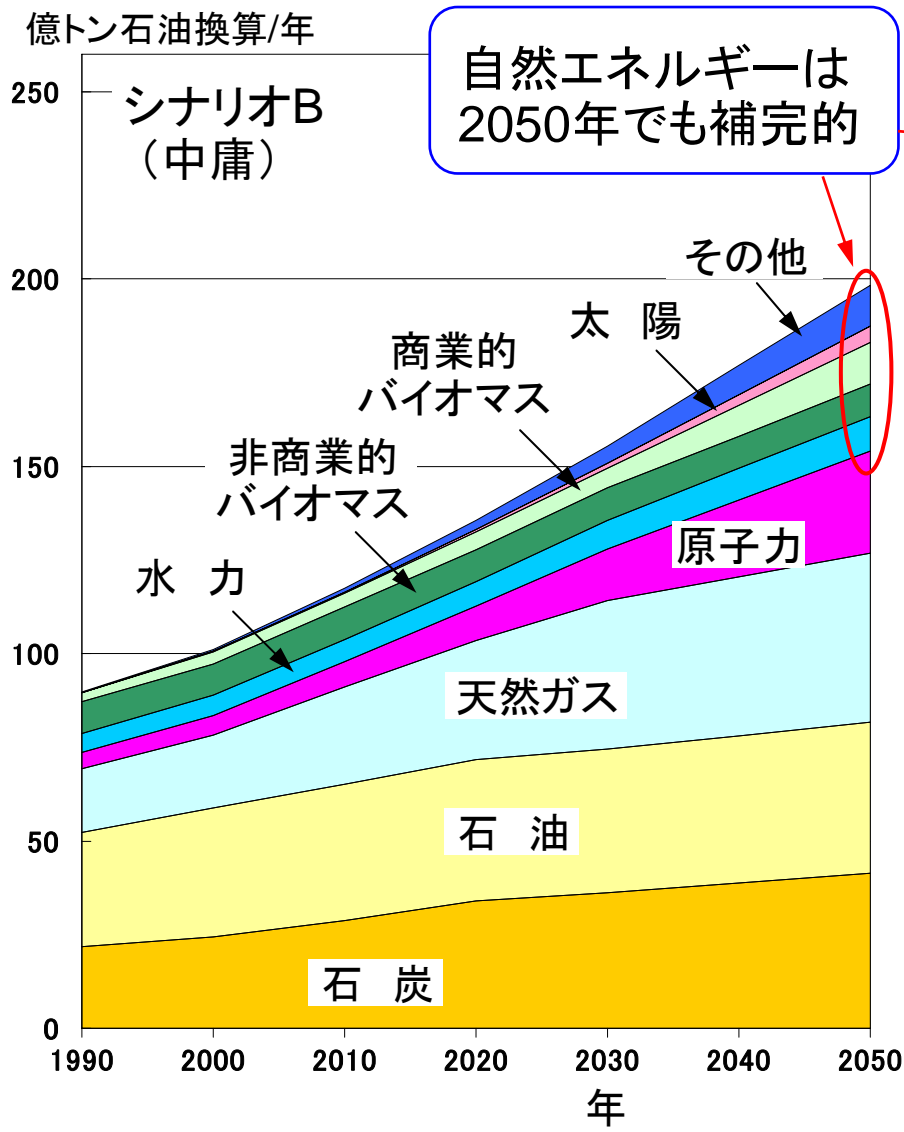
目次

- I. エネルギー長期展望の事例
と自然エネルギーへの期待
- II. 太陽光発電の現状と課題
- III. 風力発電の現状と課題

I . エネルギー長期展望の事例 と自然エネルギーへの期待

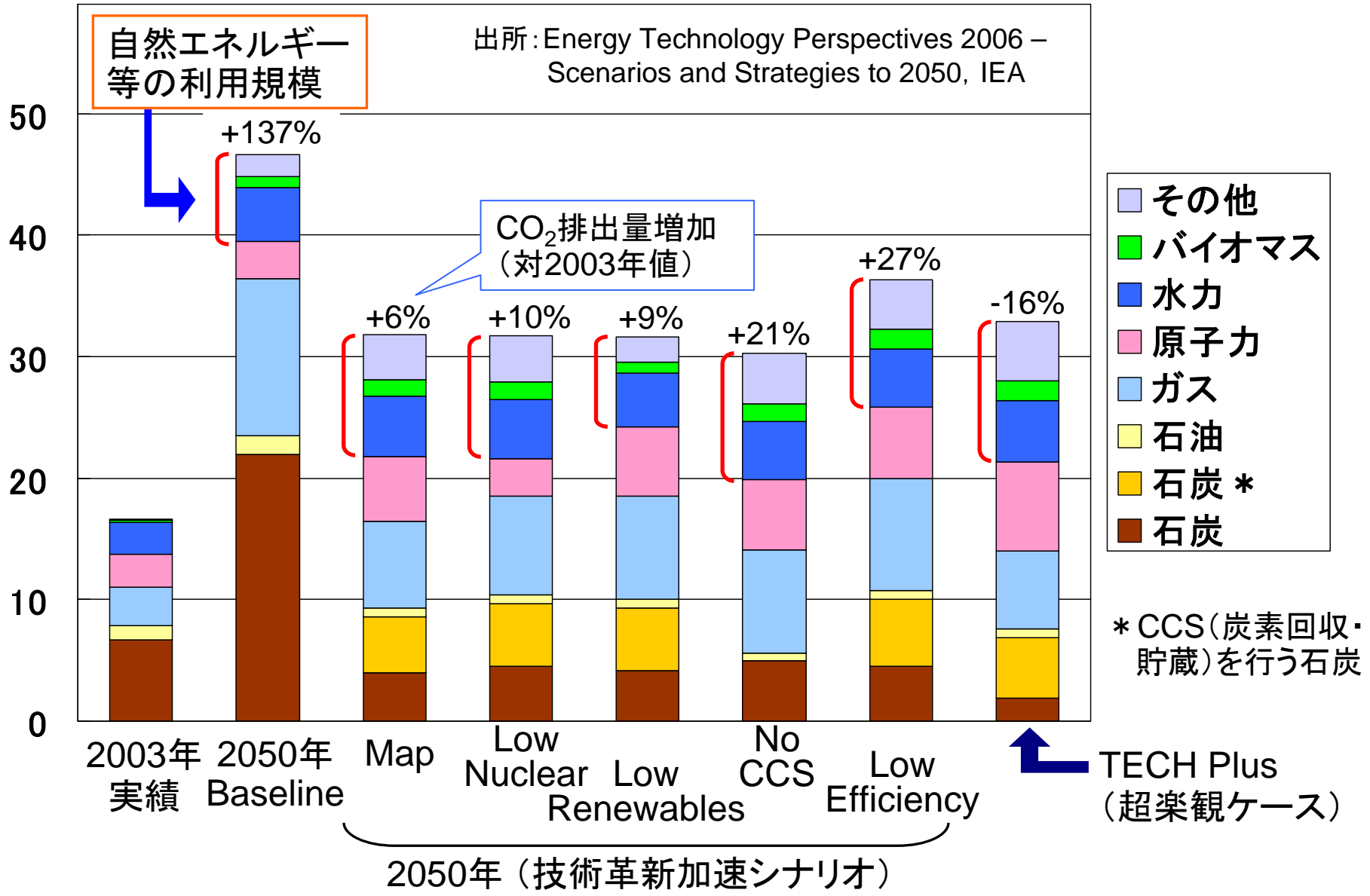
1. エネルギー需給の長期展望

① 一次エネルギー消費量 (IIASA-WEC)



② 2050年における世界の電源構成 (IEA「エネルギー技術展望2006年版」)

兆kWh/年

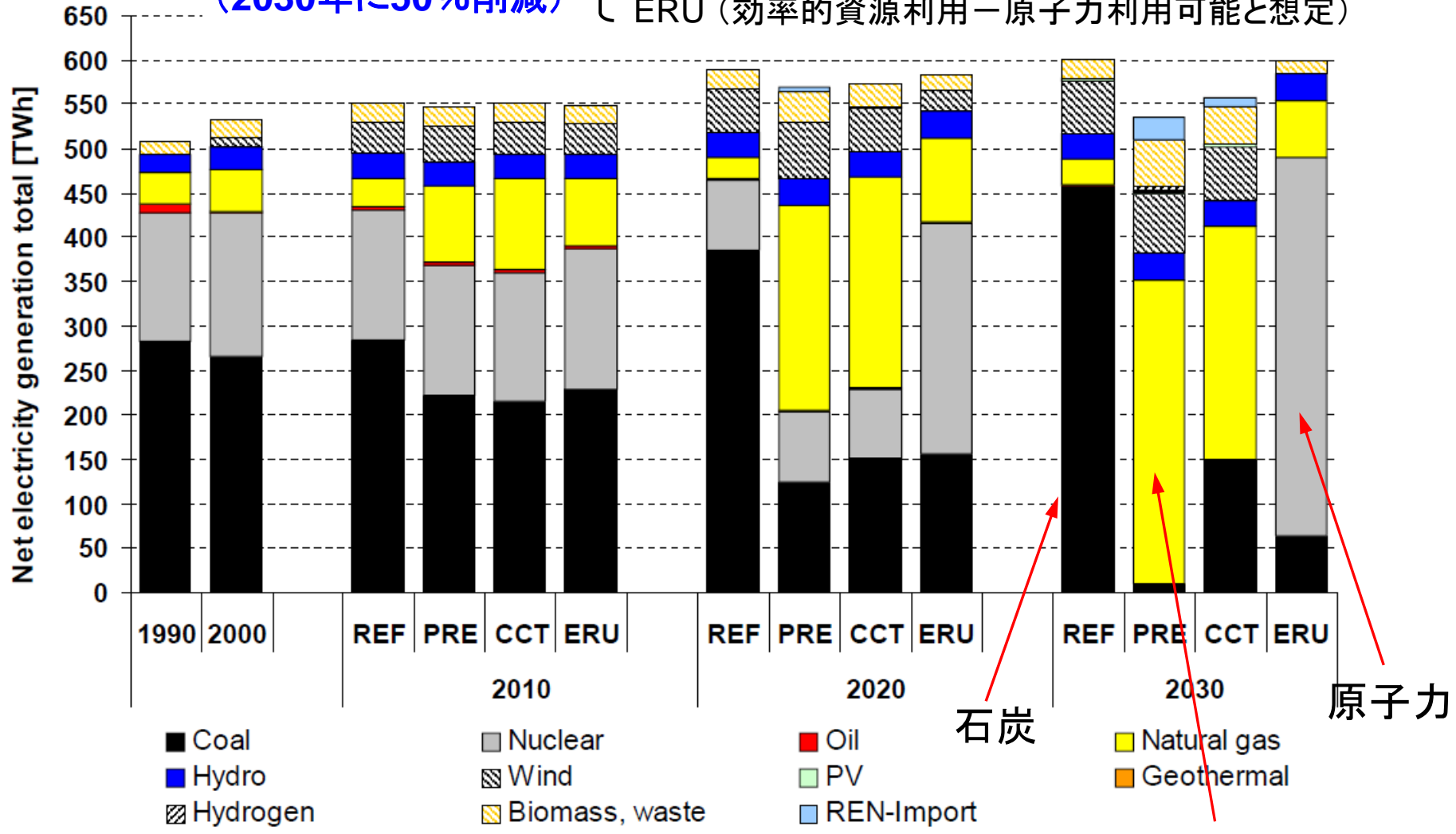


③ ドイツの電源構成の展望

トレンド外挿シナリオ

**GHG排出削減シナリオ
(2030年に50%削減)**

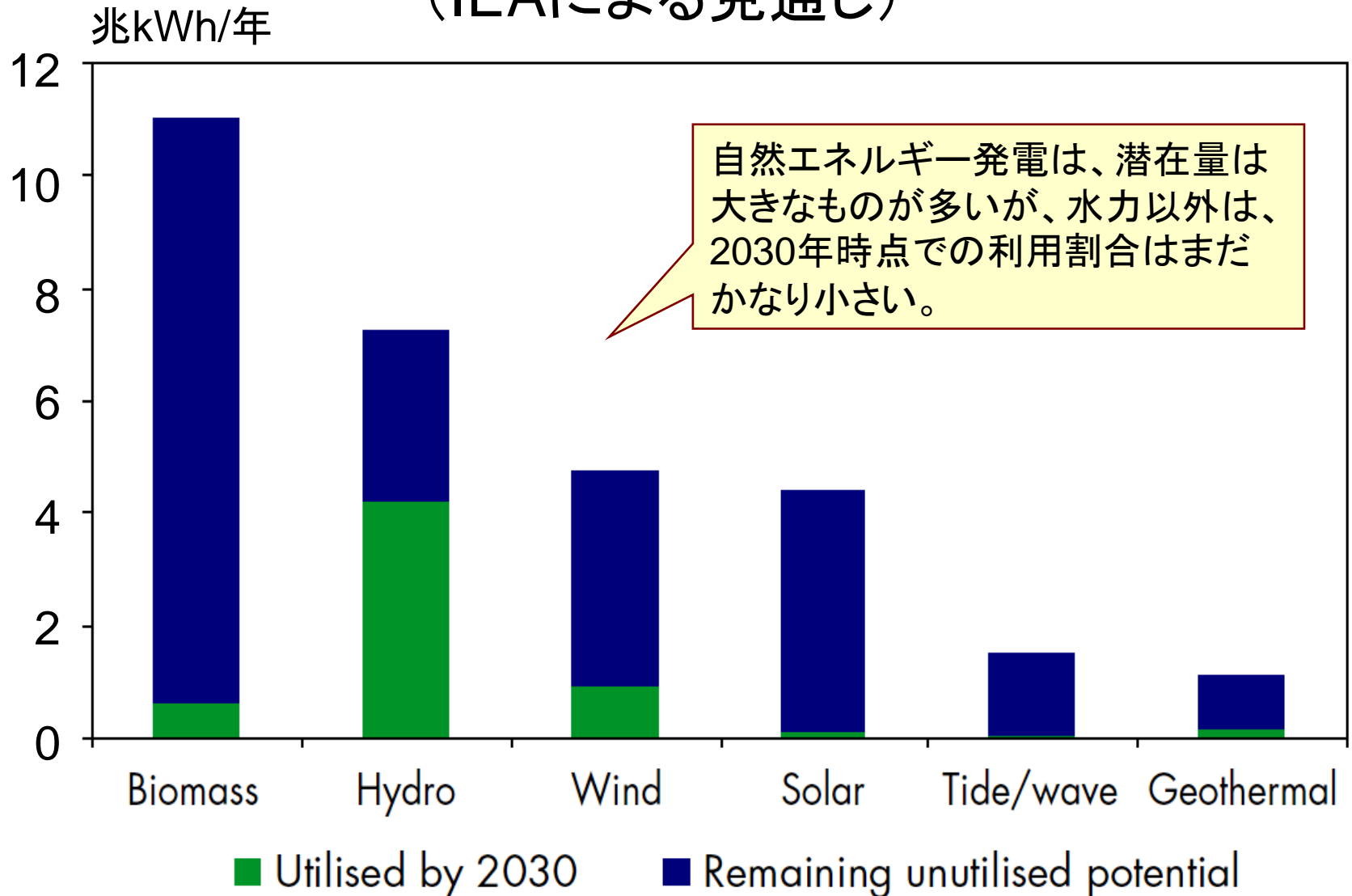
- REF (Reference)
- PRE (自然エネルギー発電シェア30%(2030年))
- CCT (クリーン石炭技術+炭素回収・貯蔵)
- ERU (効率的資源利用-原子力利用可能と想定)



出所: A. Voss, et al, Sustainable Energy Provision – What are the Key Energy Technologies? International Energy Workshop, Cape Town, June 2006.

天然ガス

④ 自然エネルギー発電の潜在量と2030年利用量 (IEAによる見通し)



2. 「新エネルギー」に対する期待

① 総理府「エネルギーに関する世論調査」(H11.2)

「エネルギーの安定供給のために
講ずるべき対策(複数選択可)」

選択率 = 選択数 / 総回答数 (%)

0 10 20 30 40 50 60

太陽光発電、風力発電などの
新エネルギーの導入推進

62.6

省エネルギーの推進

54.9

石油の安定供給の確保

22.6

原子力発電の開発推進

20.0

石炭、天然ガスの安定供給の確保・利用推進

13.9

特に何も行う必要はない

1.0

わからない

6.3

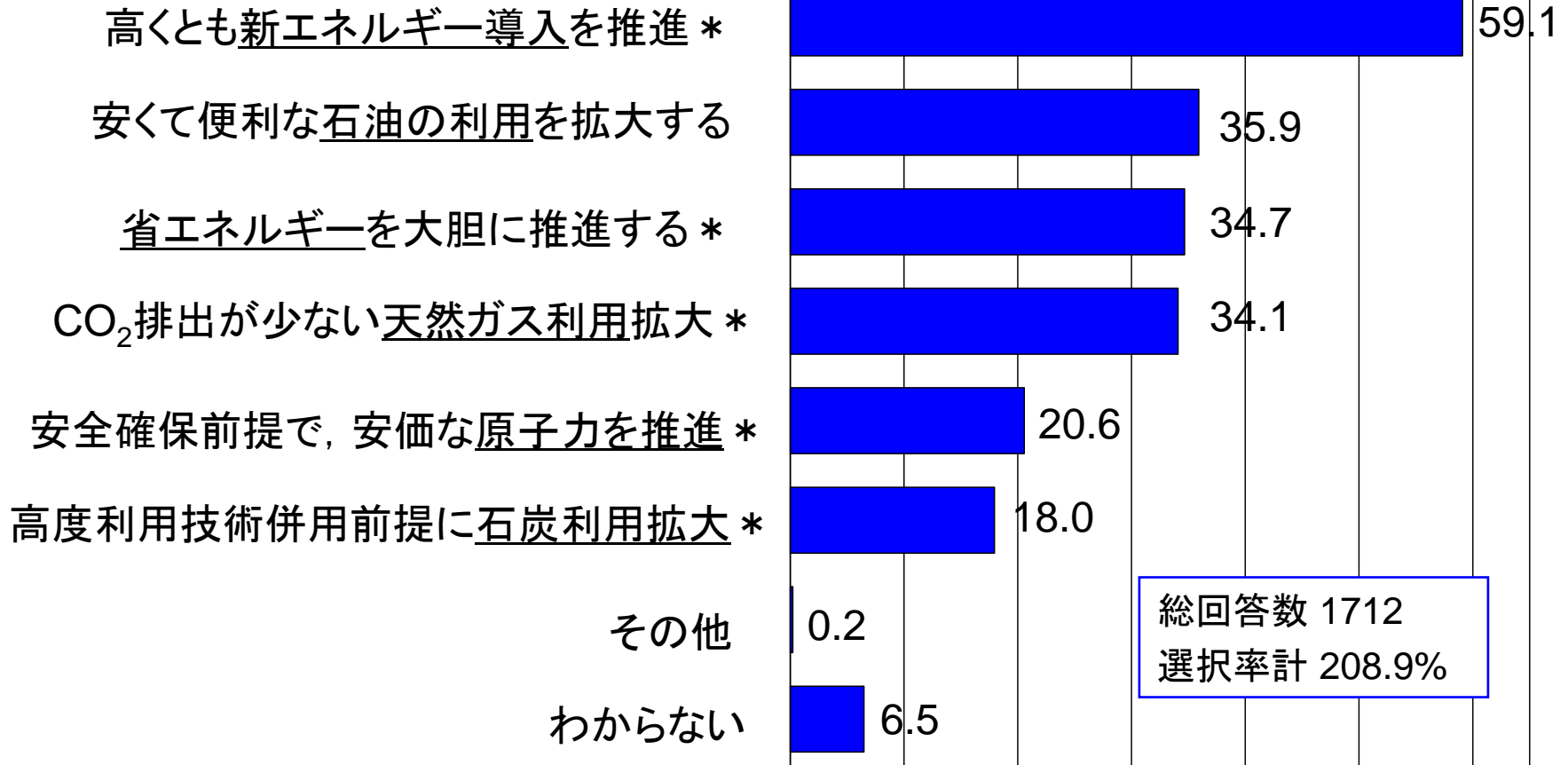
総回答数 2125

選択率計 181.5%

② 内閣府「エネルギーに関する世論調査」(H17.12)

「エネルギー政策として最優先すべき課題(3つまで選択可)」

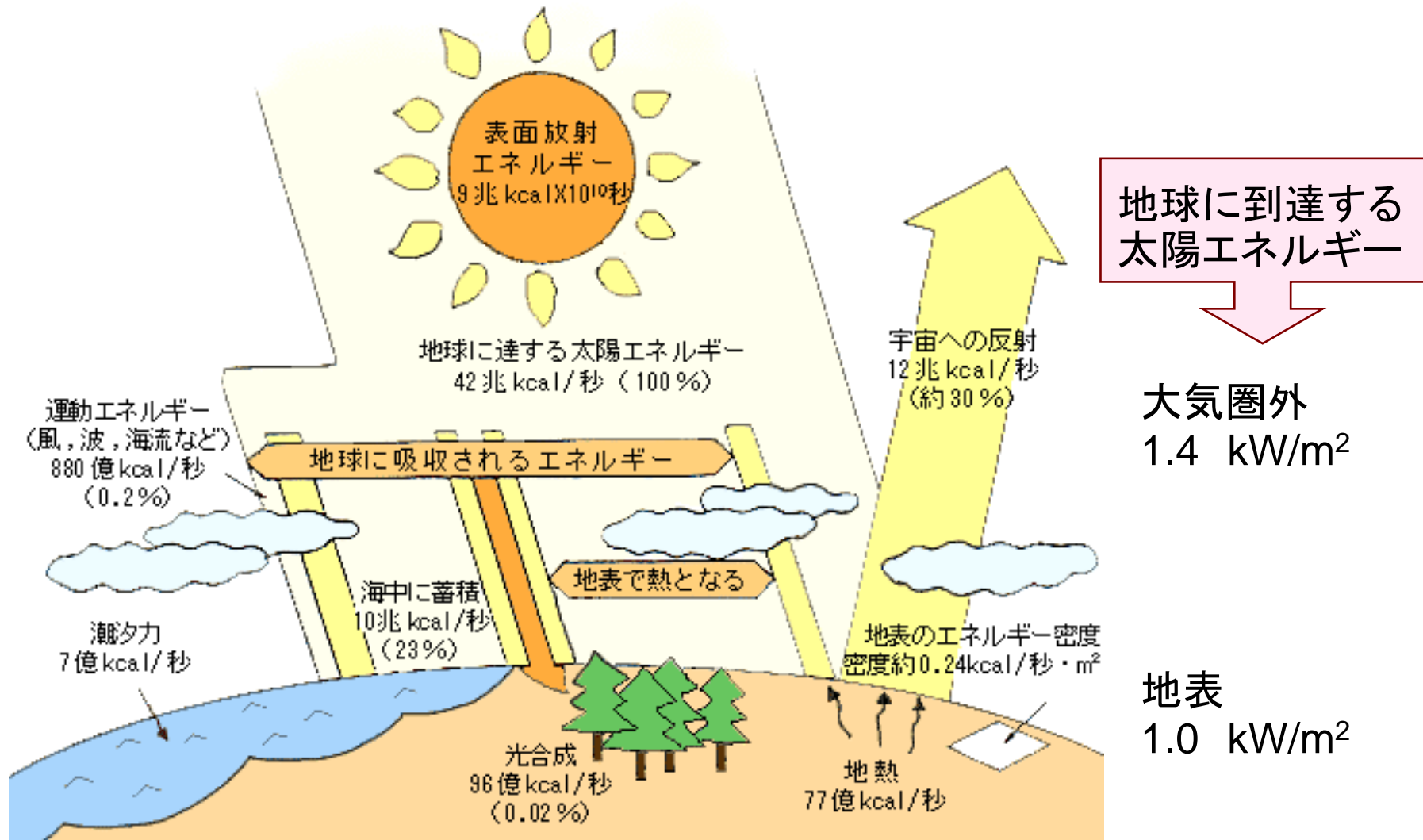
(* は記述を実際より簡略化したもの)



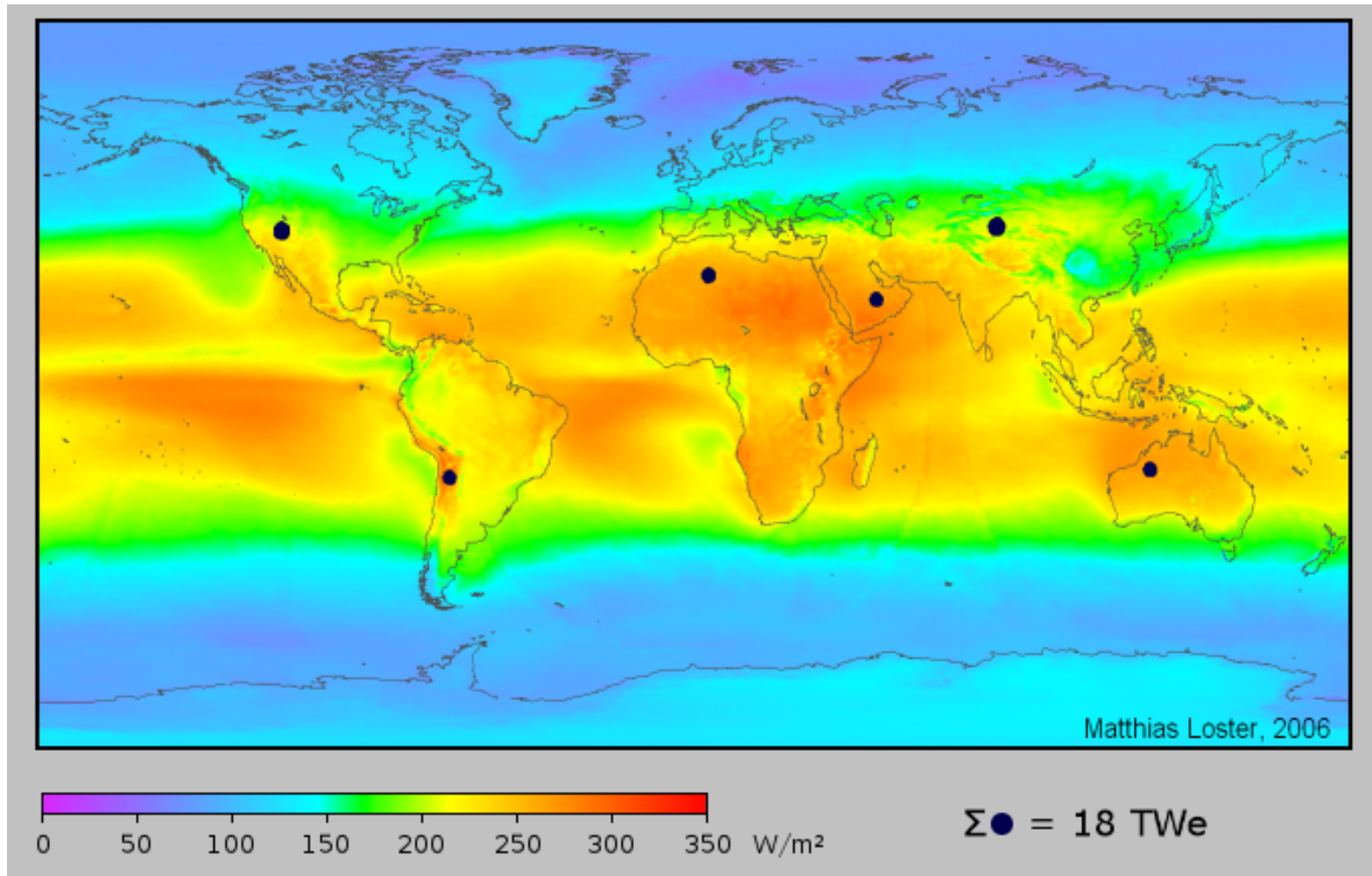
Ⅱ．太陽光発電の現状と課題

1. 太陽電池

① 地球が受ける太陽エネルギー



② 太陽エネルギーの平均強度分布



1991～1993年にわたる気象衛星観測データに基づく太陽エネルギー平均強度分布（夜間や曇天を考慮に入れた平均値）。現在の世界のエネルギー需要は、量的には黒丸の面積の合計に相当する太陽光発電設備（変換効率8%を想定）で満足できる。

③ 太陽電池の原理

pn接合型の場合
(シリコン系及び化合物系)

5価の不純物を
加え電子過剰

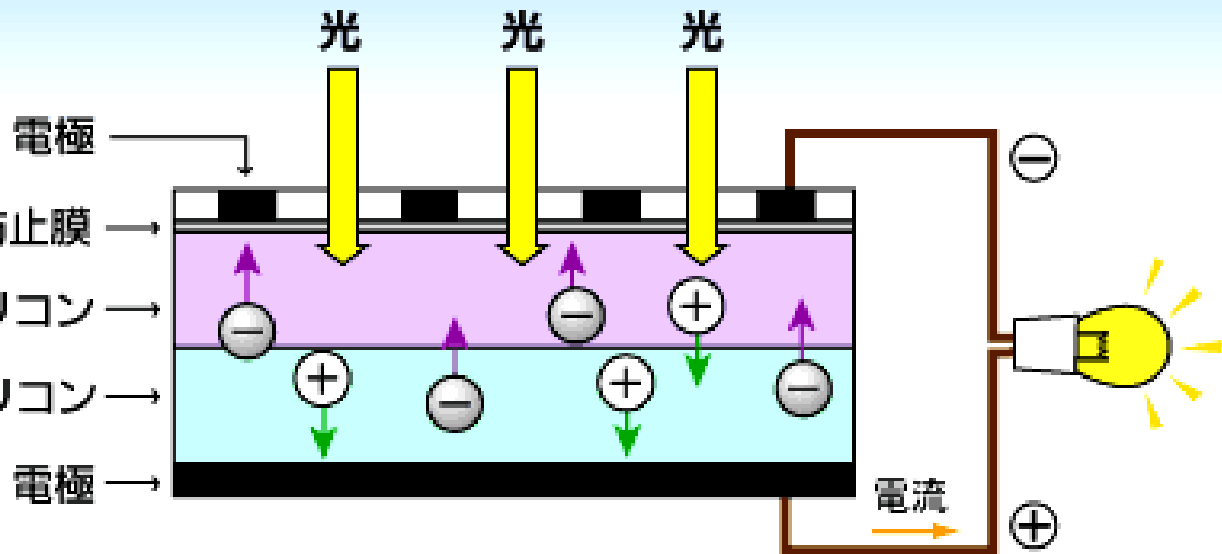
反射防止膜

n型シリコン

p型シリコン

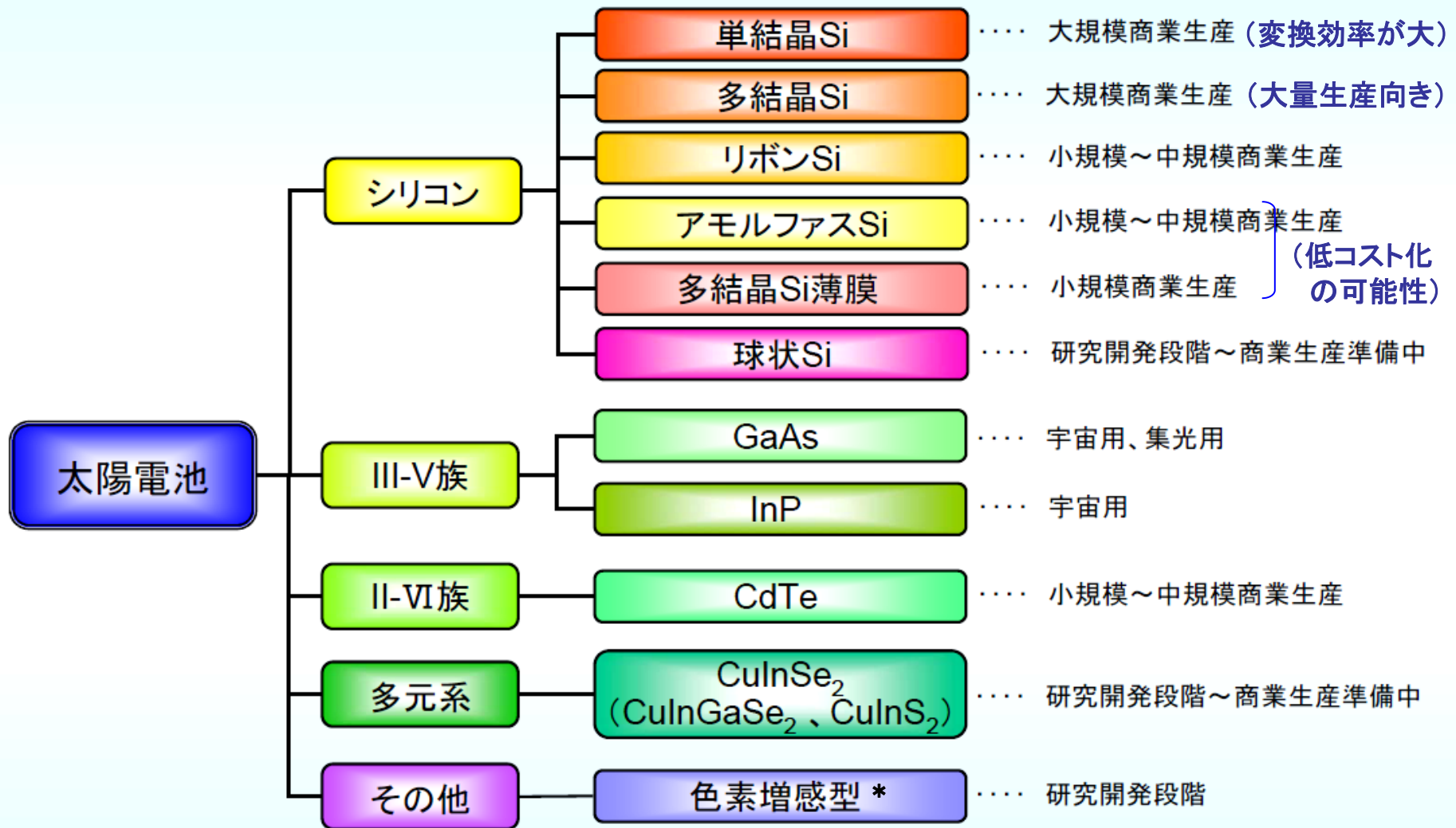
電極

3価の不純物を
加え正孔過剰



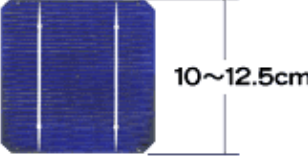
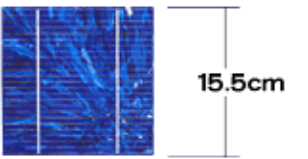
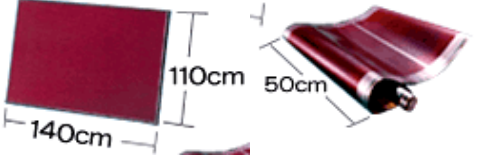
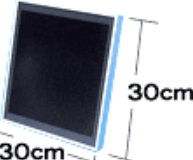

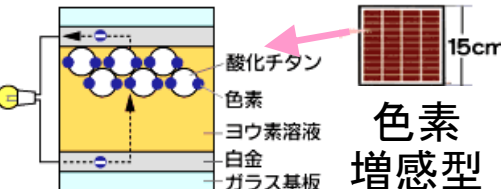
太陽電池に光があたると、プラスとマイナスを持った粒子(正孔と電子)が生まれ、マイナスの電気はn型シリコンの方へ、プラスの電気はp型シリコンの方へ集まります。その結果、電極に電球などをつなぐと電流が流れます。これが太陽電池の原理です。

④ 太陽電池の種類と開発段階

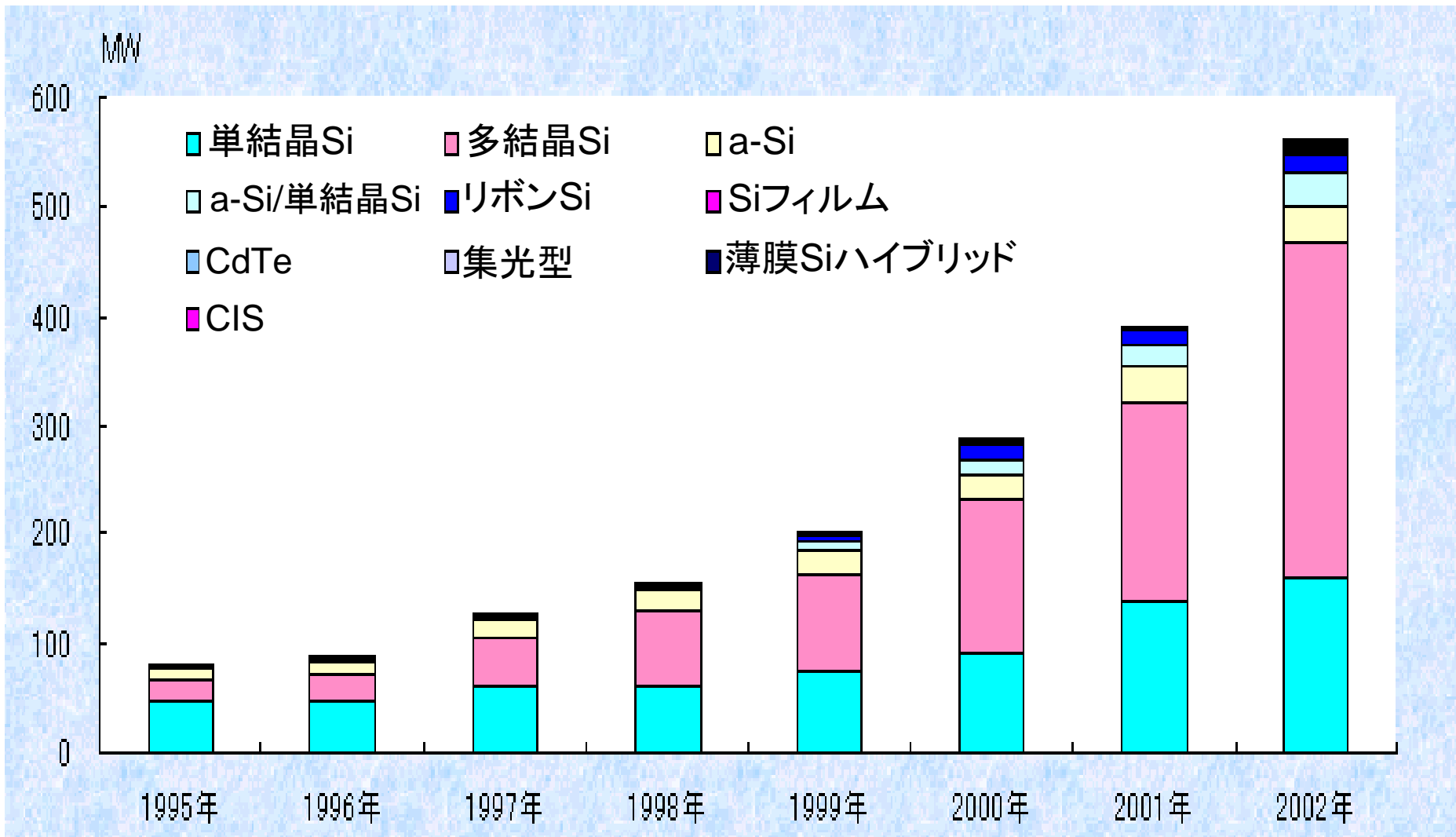


* 太陽光を活発に吸収する色素が光を吸収して電子を放出することにより発電する方式の太陽電池。(電池に光が当たると電池中の色素が励起状態となり、電子を放出する。電子は酸化チタン(TiO₂)を通して透明電極へと達し、外部に放出される。他方では、電子を放出して陽イオンになった色素がもう一方の電極から供給される電子を電解液中のヨウ素を通じて受け取り、そして元の状態になる。)

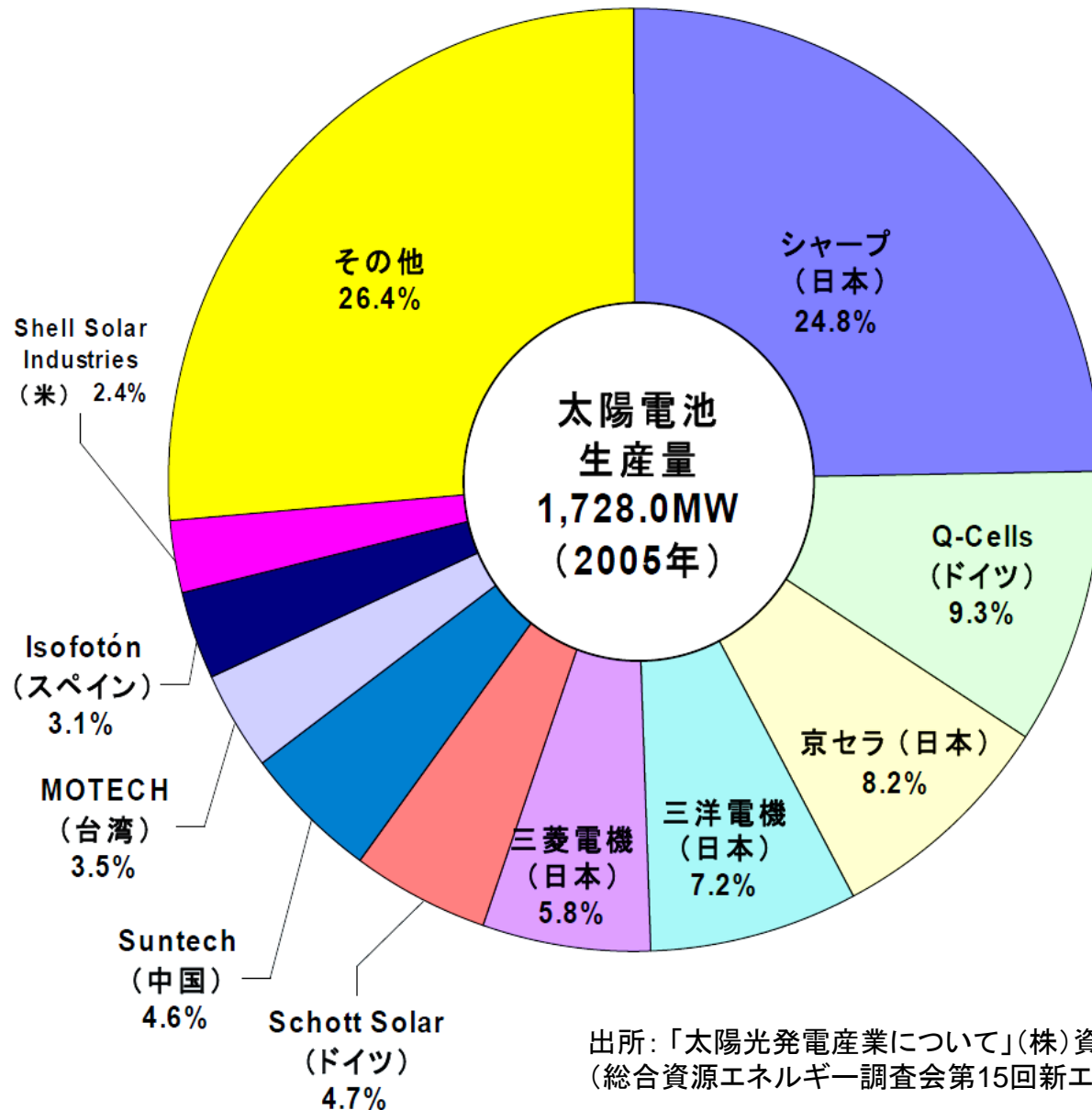
⑤ 代表的な太陽電池の概要と特徴

シリコン系	結晶系 Si	単結晶  10~12.5cm 多結晶  15.5cm	<p>最も古い歴史がある。200μm~300μmの薄いシリコンの単結晶の板(基板)に太陽電池を作る。基板の値段が高いのが欠点だが、性能や信頼性に優れている。</p> <p>比較的小さな結晶が集まった多結晶でできている基板に太陽電池を作ったもの。単結晶より安価で、作りやすいことから現在の主流。変換効率は、やや単結晶に劣る。</p>
	薄膜系 Si	 110cm 50cm 140cm	<p>アモルファス(非晶質)シリコンや結晶シリコンをガラスなどの基板の上に1μm内外の非常に薄い膜を形成させて作った太陽電池。大面積で量産ができるという特長があるが、結晶系シリコンと比較して性能面に課題がある。</p>
	化合物系	CIS系  30cm 30cm 高効率化合物半導体  数mm~数cm	<p>化合物半導体の一種で、銅とインジウムとセレン等を原料とした薄膜太陽電池。製造工程が簡単で高性能が期待できることから技術開発が進んでいる。</p> <p>ガリウムヒ素など特別な化合物半導体の基板を使った超高性能(変換効率:30~40%)太陽電池。現在は、コストが高く宇宙などの特殊用途のみだが、将来は身近で使えるよう技術開発が行われている。</p>
その他	有機物系  15cm 色素増感型	<p>酸化チタンについた色素が、光を吸収して電子を放出することで発電する、新しいタイプの太陽電池。簡単につくれ、応用範囲が広いため今後の発展が期待される。</p>	

⑥ 世界の種類別太陽電池生産量

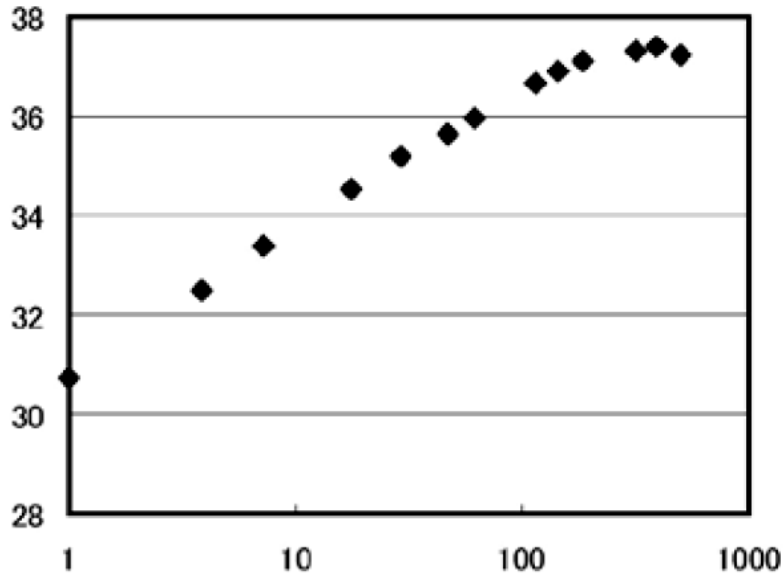


⑦ 世界の主な太陽電池生産企業



⑧ 集光型／多接合型による変換効率の向上

変換効率 (%)



集光倍率

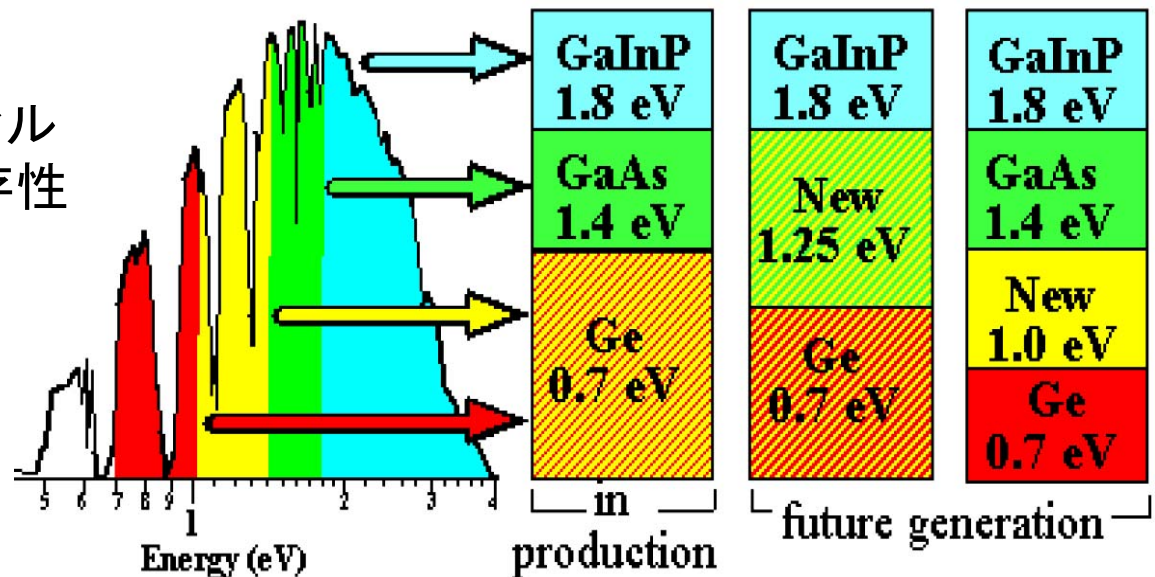
InGaP/InGaAs/Ge 3接合セル
の変換効率の集光倍率依存性

出所: 高本、兼岩「集光型化合物太陽電池」
シャープ技報第93号(2005年12月)

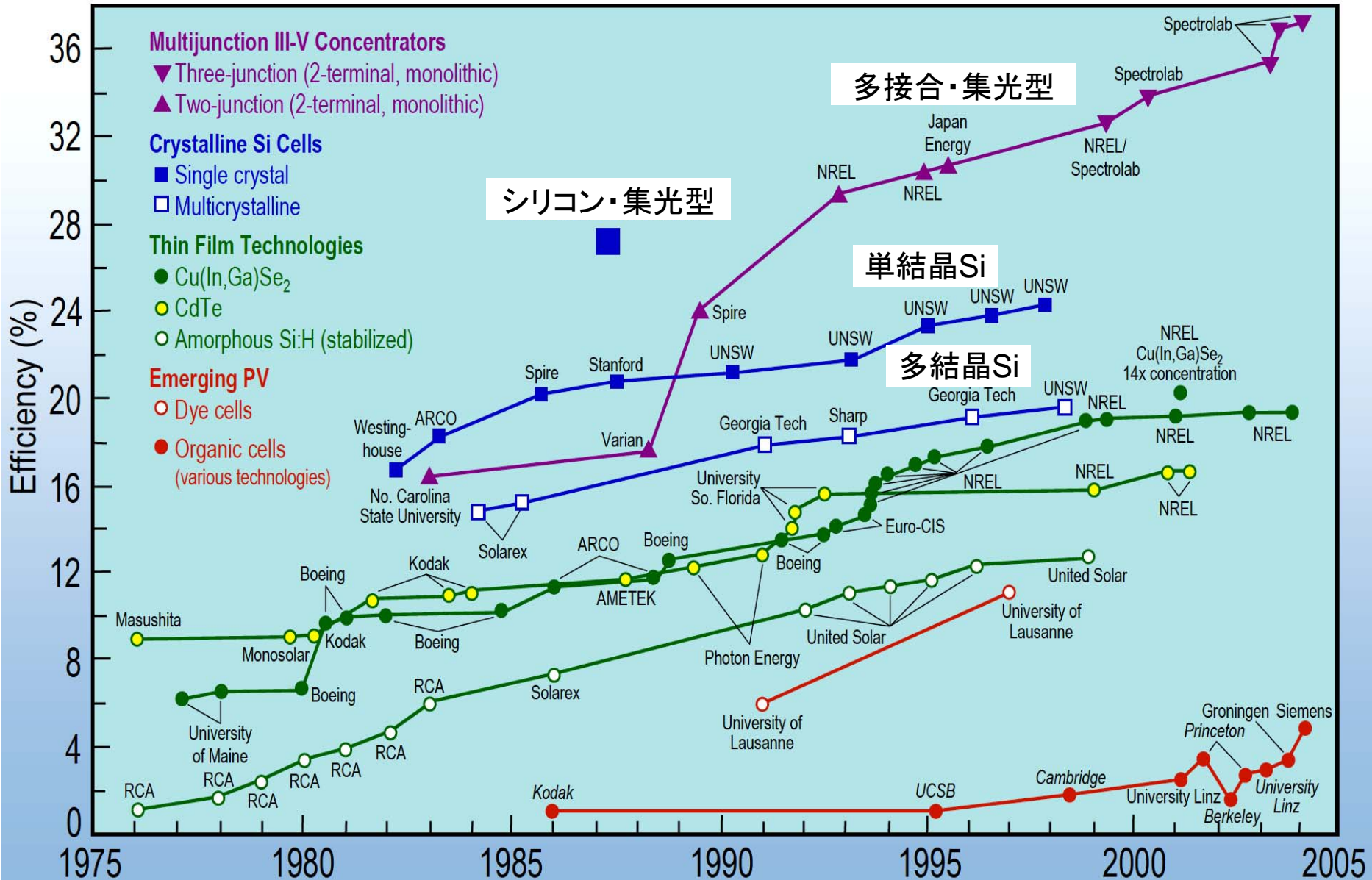
多接合型の化合物太陽電池に
よる変換効率の向上

出所: National Center for Photovoltaics
(<http://www.nrel.gov/ncpv/higheff.html>)

projected real-world efficiencies at 500 suns
39% 42% 42%



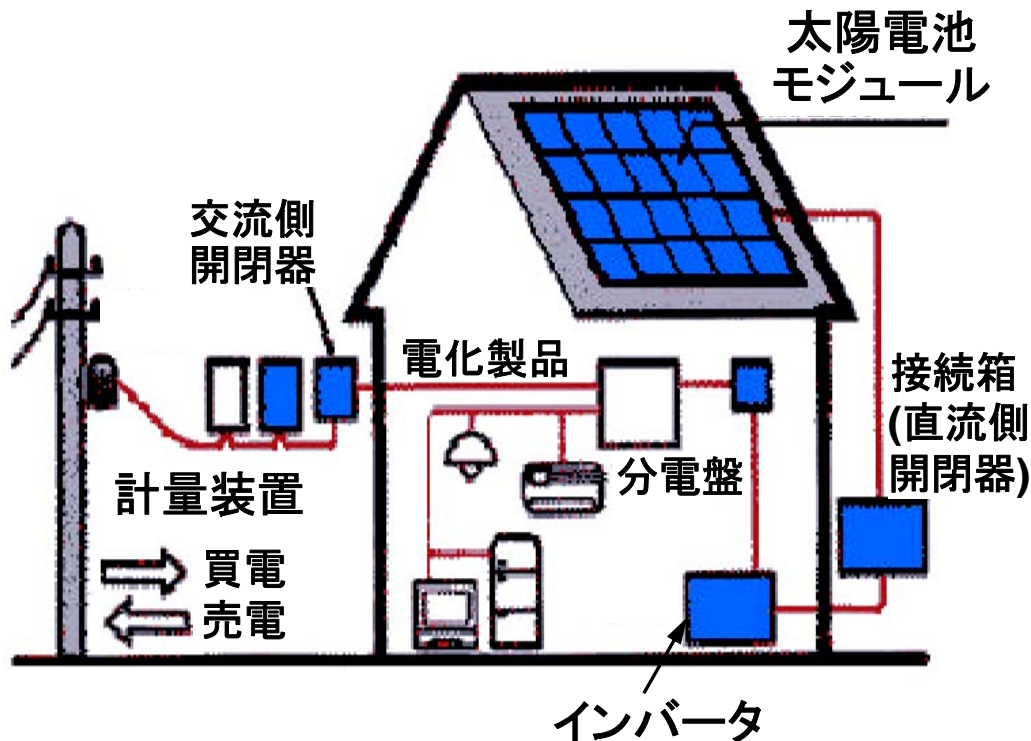
⑨ 太陽電池の変換効率の向上



出所: S. Kurtz, Generation X Photovoltaics, NREL, World Renewable Energy Congress Aug. 31, 2004

2. 太陽光発電システム

① 住宅用システムの概要



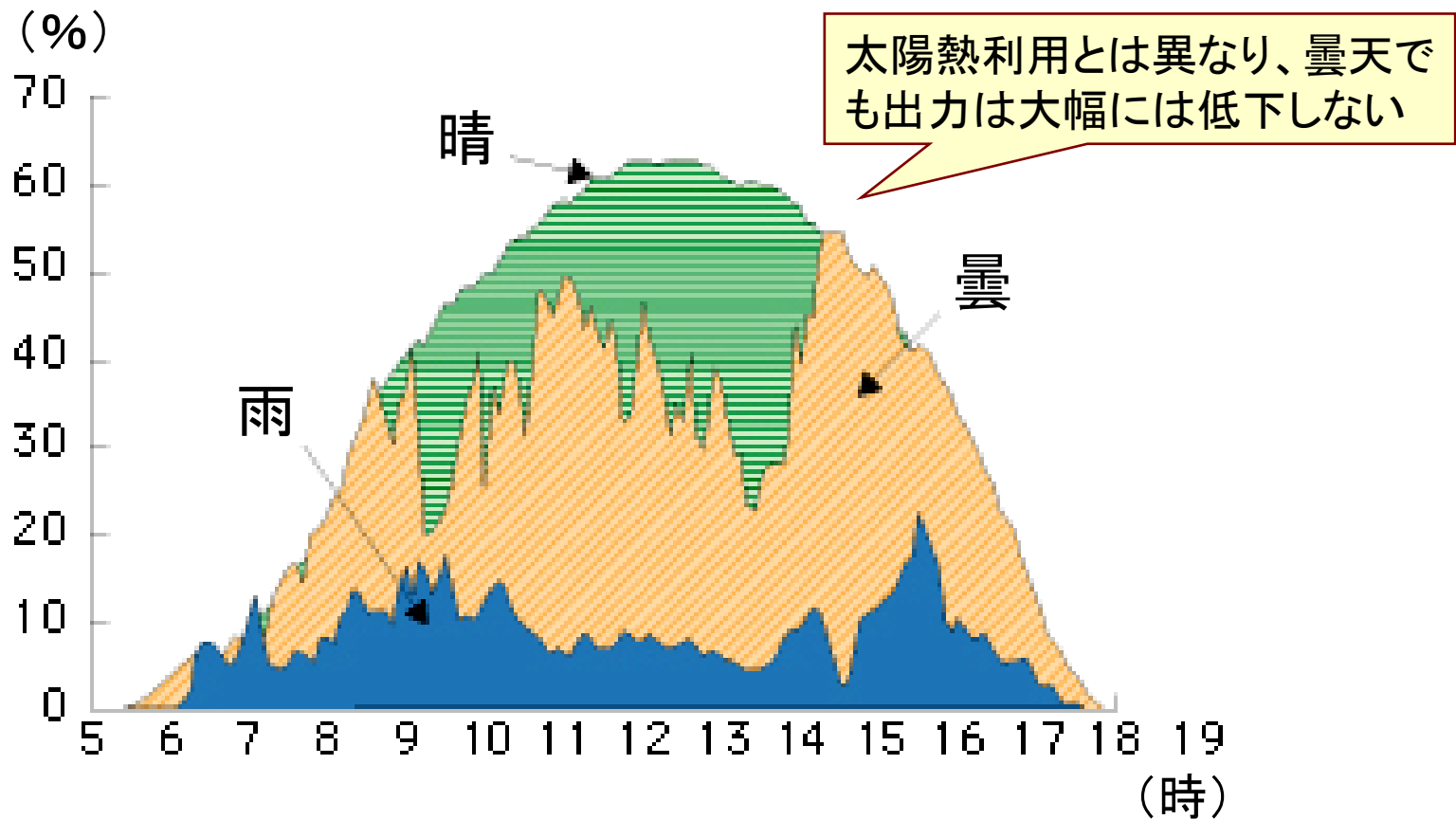
3.5kW設置の場合

- ・必要となる敷地面積: 35m^2 ($100\text{W}/\text{m}^2$)
- ・発電量: 約 $3,680\text{kWh}/\text{年}$
(試算式: $3,680\text{kWh}/\text{年} = 3.5\text{kW} \times (24\text{h} \times 365\text{D}) \times \text{利用率}12\%$)
- ・一般家庭の消費電力 年間約 $3,600\text{kWh}$
- ・耐用年数: 10年~20年以上
※法定耐用年数 15年
- ・コスト: 工事費込で約300万円程度 (2000年度)

インバータ: 発電した直流電力を交流電力に変換
計量装置: 電力会社から買う電力と売る電力を計算

② 太陽光発電の天候別の発電能力

出力比(発電出力/定格出力)

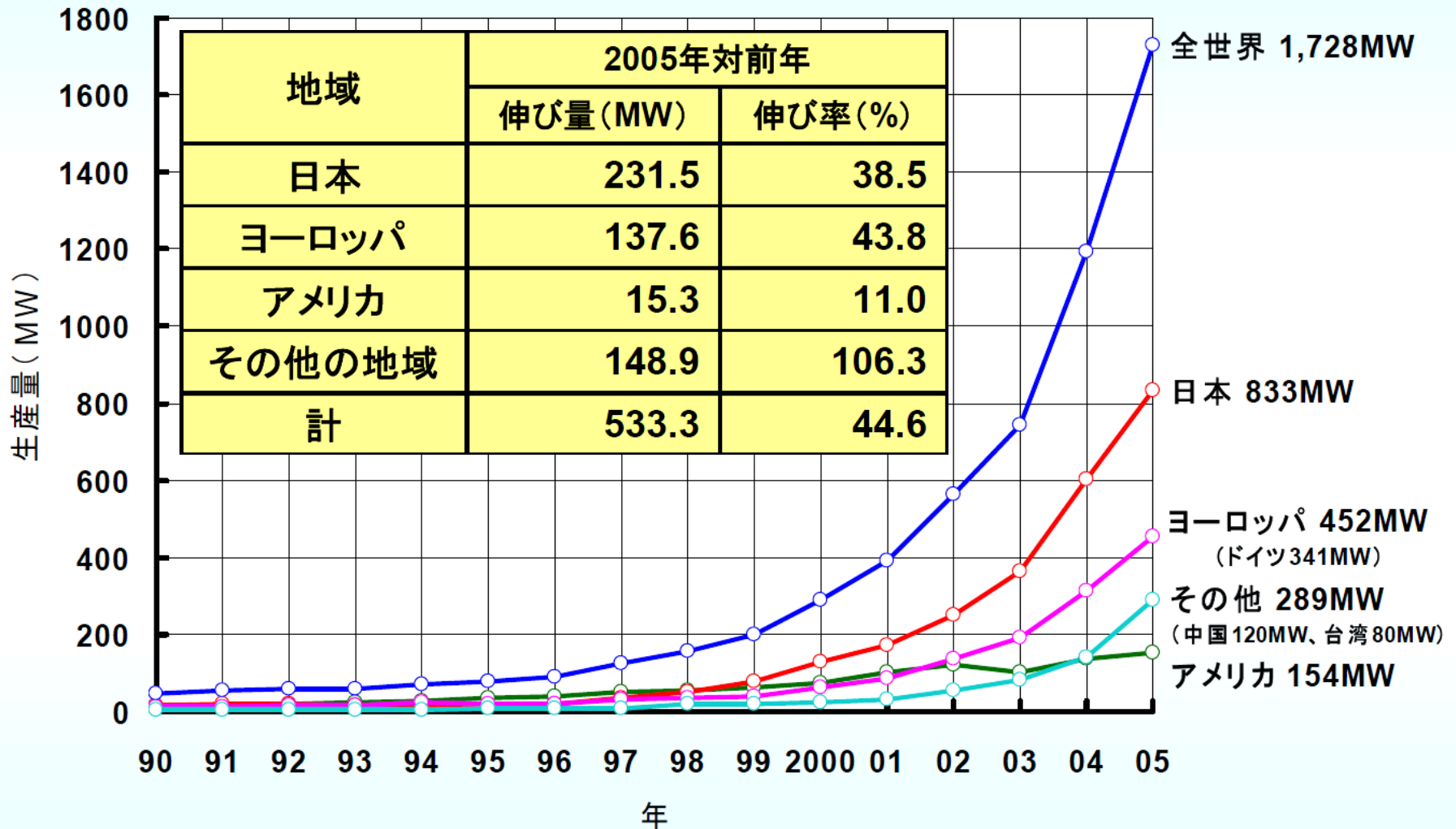


資料: 資源エネルギー庁調べ

出所: 「エネルギー白書2004年版」 資源エネルギー庁 (2004年5月)

(<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2004/html/16021332.html>)

③ 太陽光発電システムの年間生産量

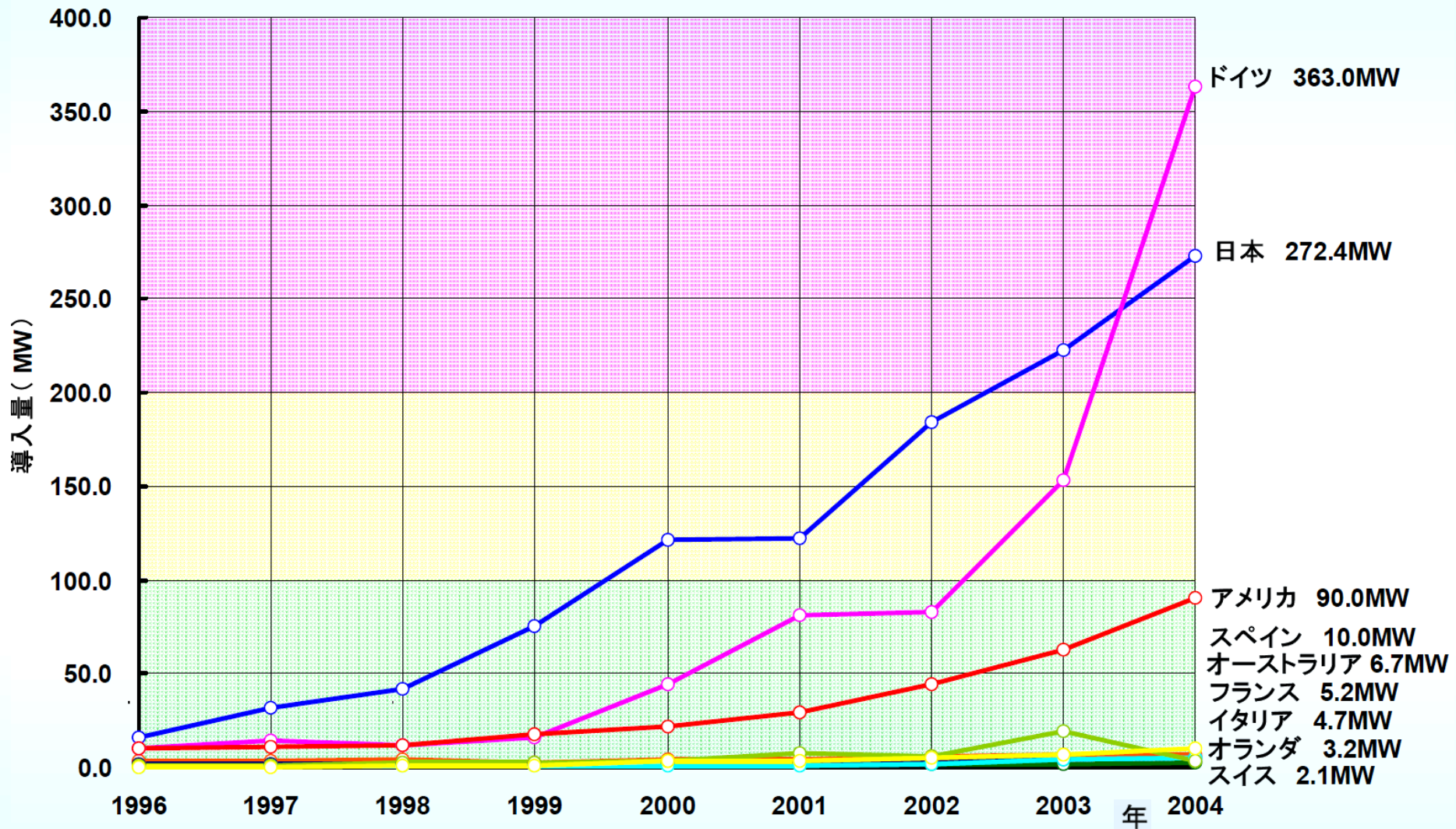


出典: PV News 3月号を基に(株)資源総合システムが一部修正して作成

RIS Corporation

出所: 「太陽光発電産業について」(株)資源総合システム(総合資源エネルギー調査会第15回新エネルギー部会(平成18年3月))

④ 太陽光発電システムの年間導入量

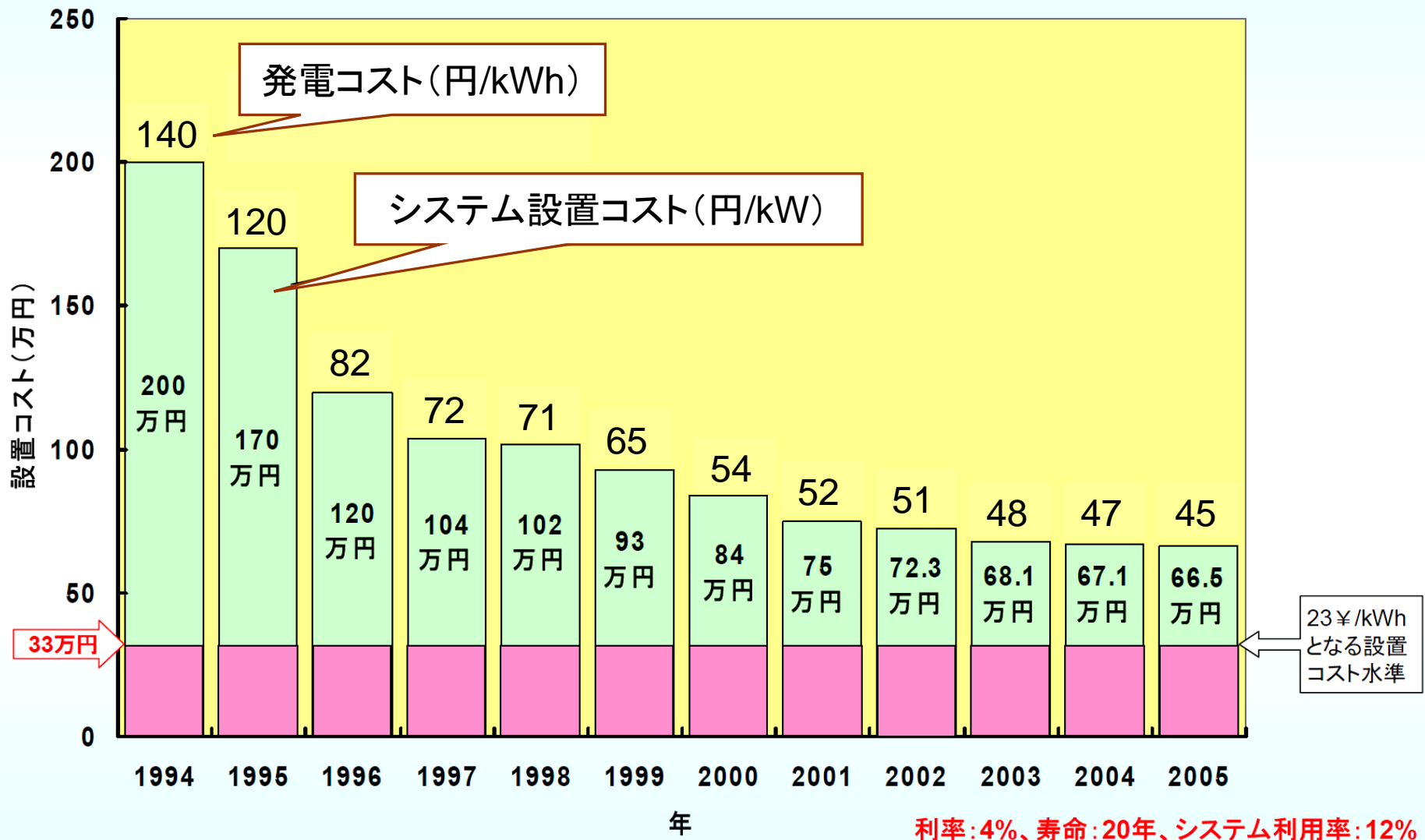


出典：Trends in photovoltaic applications in selected IEA countries between 1992 and 2004他

RTS Corporation

出所：「太陽光発電産業について」(株)資源総合システム(総合資源エネルギー調査会第15回新エネルギー部会(平成18年3月))

⑤ 住宅用太陽光発電システムの価格の推移



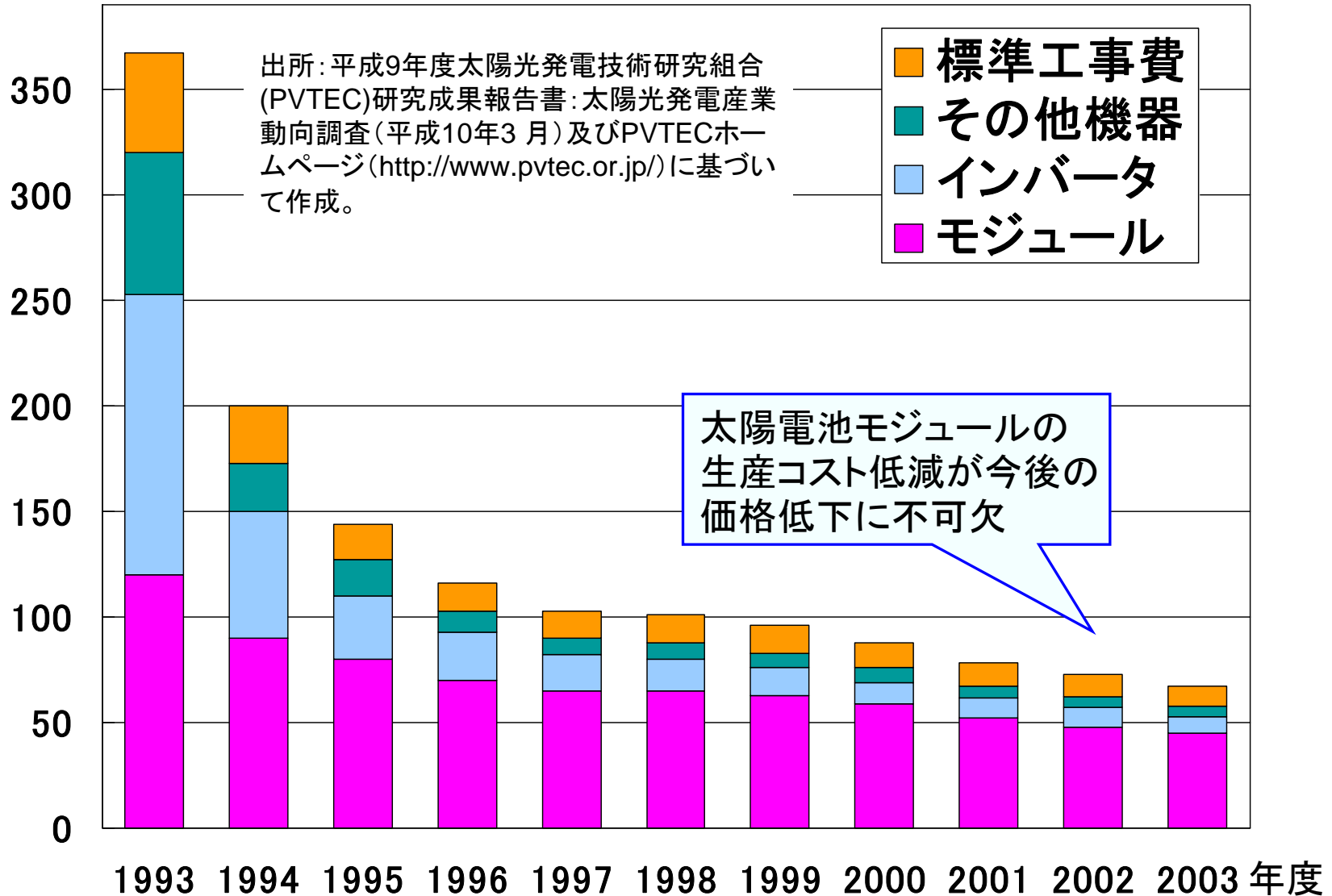
出典: 経済産業省資料及びNEF資料を基に、(株)資源総合システムが追加、加筆

RTS Corporation

出所: 「太陽光発電産業について」(株)資源総合システム(総合資源エネルギー調査会第15回新エネルギー部会(平成18年3月))

⑥ 住宅用太陽光発電システムの価格構成の推移

万円/kWe



(補)日本の太陽光発電事業の現況 (その1)

		1994年	⇒	2004年	
導入量	累積	31.2MW(世界2位)		1,132MW(世界1位)	
	年間	6.37MW(世界2位)		272MW(世界2位)	
太陽電池	生産量	16.5MW(世界2位)		601MW(世界1位)	
	価格(住宅用)	90万円/kW		43万円/kW	
	生産額	149億円		2911億円	
	変換効率	単結晶Si	13~14%		15~19%
		多結晶Si	12~13%		13~16%
		a-Si	~6%		6~8%
		a-Si/単結晶Si	研究開発段階		19~20%
輸出量	8.0MW		318MW		

出典:(株)資源総合システム調べ

RIS Corporation

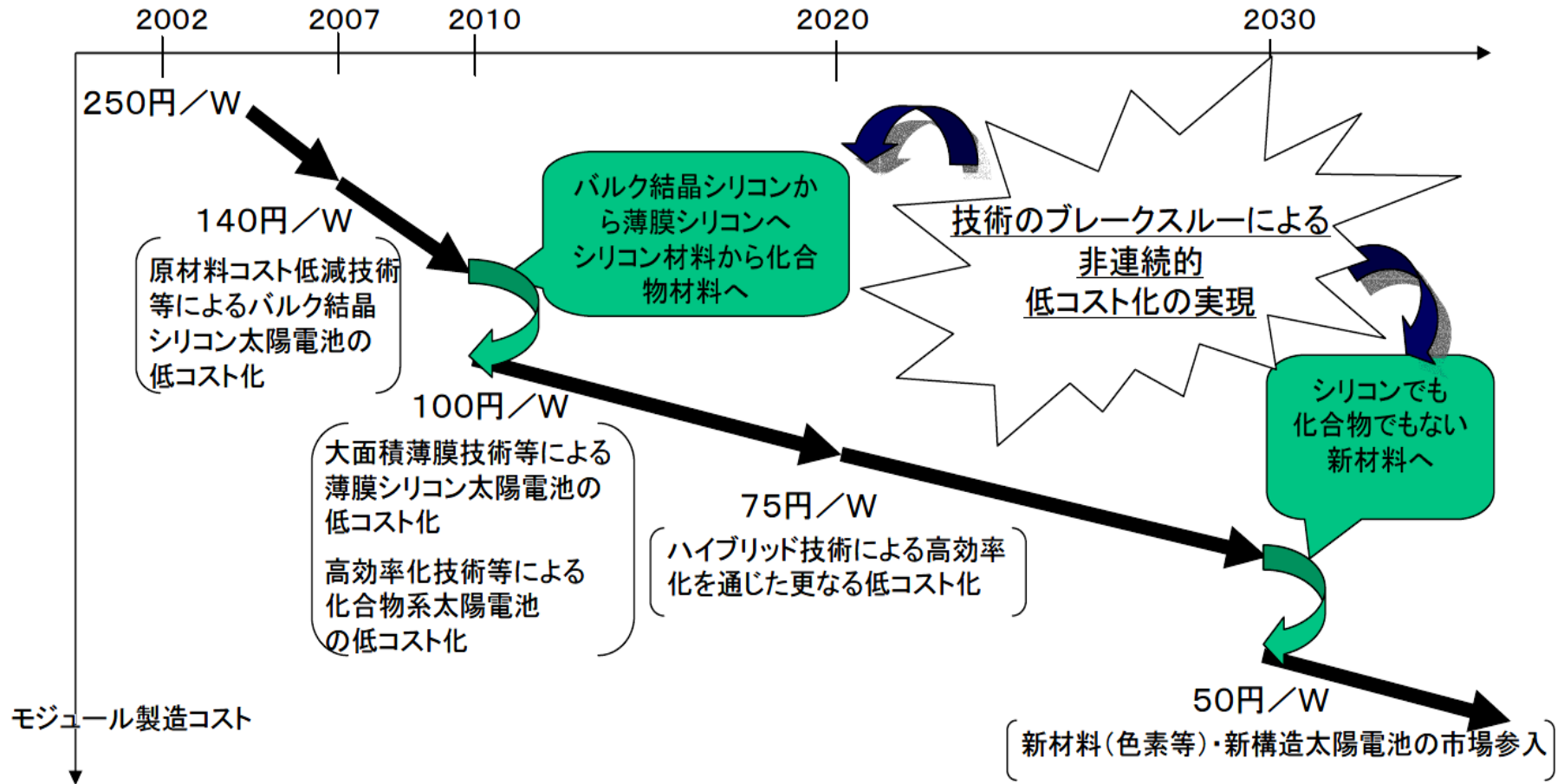
出所:「太陽光発電産業について」(株)資源総合システム(総合資源エネルギー調査会第15回新エネルギー一部会(平成18年3月))

(その2)

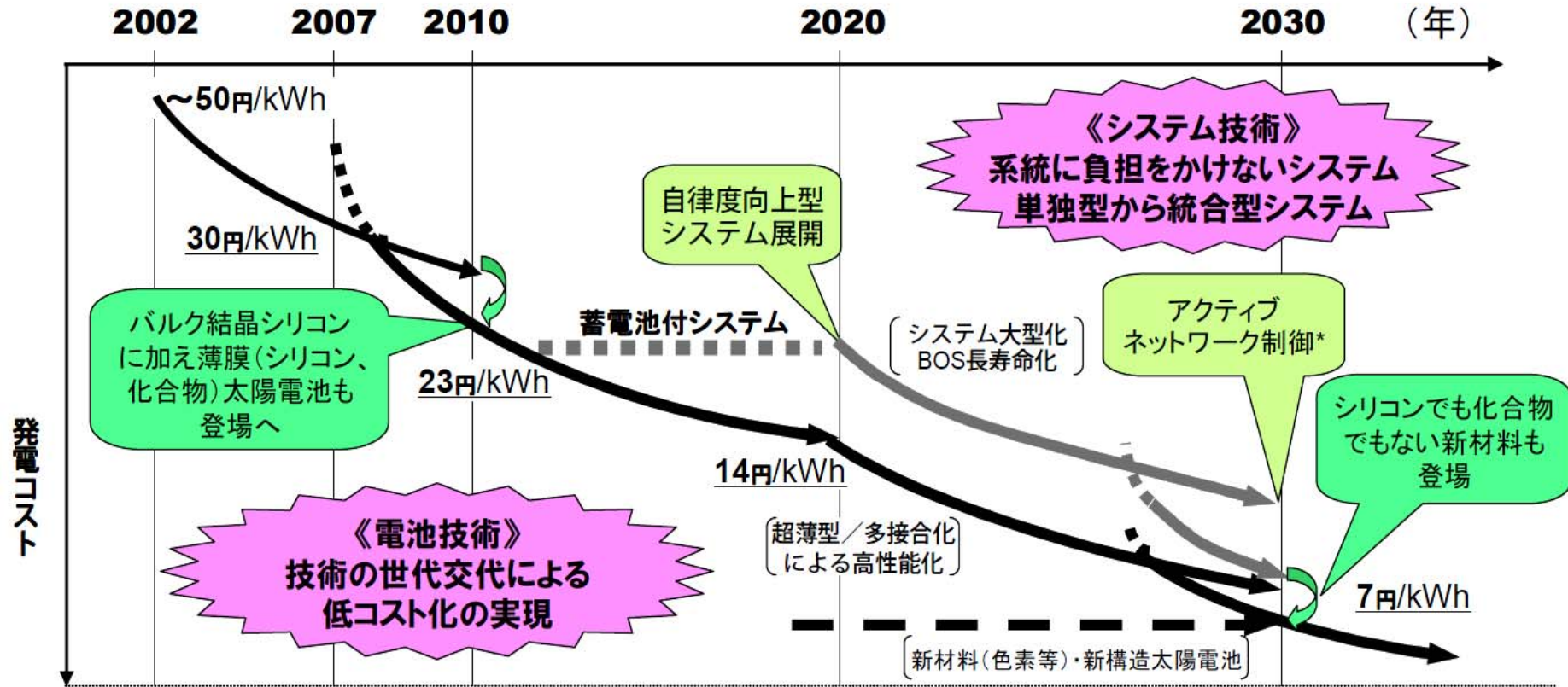
		1994年	⇒	2004年
太陽光発電システム	中心市場		電力応用商品、電力会社用、住宅、公共・産業用	住宅用(90%)、公共・産業用(7.6%)
	住宅用 太陽光発電システム (NEFベース)	価格	200万円/kW	67万円/kW
		規模	539台	54,475台
	公共・産業施設用 太陽光発電システム (NEDOベース)	価格	286万円/kW	80万円/kW
		規模	54台	596台
	太陽電池メーカー	生産企業数		6社
生産能力		40MW	850MW	
生産能力/社		10MW/社	~500MW/社	
各社生産 工場立地		セル	国内1ヶ所	国内1ヶ所
		パネル	国内1ヶ所	国内分散化、海外立地
事業の位置付け		1事業本部の中の1部門	単独の事業本部に昇格	

3. 太陽光発電の技術革新

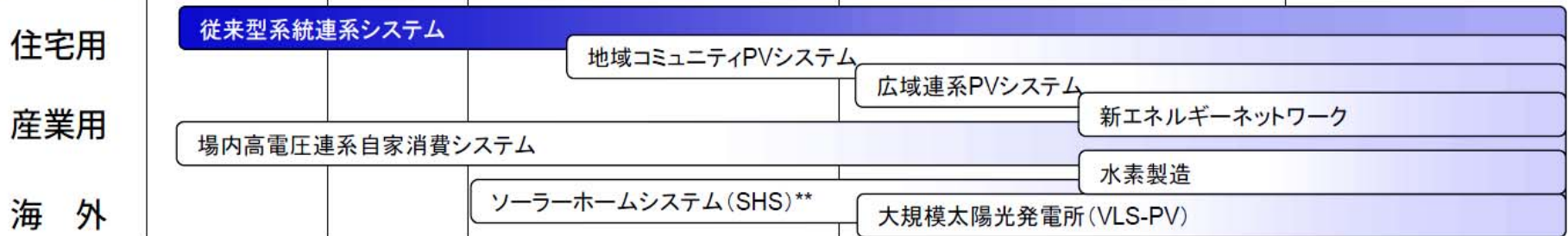
① 太陽光発電システム技術革新のイメージ



② 太陽光発電の経済性改善シナリオ



[参考:太陽光発電の展開イメージ]



③ 2030年に向けた太陽光発電の目指す姿

項目	現在の状況		2030年の状況	備考
電力価格	高い(2倍)	→	汎用電力並	低コスト高性能モジュール
発電信頼性	気象依存	→	安定電源	蓄電機能、自律度向上システム
設備寿命	20年	→	30年以上	材料開発、構造改善
導入形態	個別導入	→	地域/広域導入	コミュニティPV アクティブネットワーク制御システム
必要面積/kW	大面積	→	小面積	高性能化
発電シェア	電力の0.1%以下	→	~10%	住宅、産業、公共施設、その他
新たな芽生え	なし	→	水素製造電源 超大型太陽光発電所(VLSPV)	未利用地利用、大規模システム

④ 太陽光発電の技術開発目標

● 2030年に向けた個別技術課題の開発目標

項目	現状	開発目標 (達成年)
モジュール製造コスト低減	生産250 円/W (2003) 開発140 円/W(2007見込)	100 円/W (2010)
モジュール高性能化		75 円/W (2020) <50 円/W (2030)
モジュール耐久性向上	20年	寿命 30 年(2020)
原料需給の安定化	10~13 g/W	シリコン原単位,1 g/W(2030)
インバータ	~30,000 円/kW	15,000 円/kW(2020)
蓄電装置	~10 円/Wh(自動車用)	10 円/Wh(2020), 耐用10年

● 太陽電池モジュール変換効率目標 (%) ()内はセル効率

太陽電池の種類	現 状	変換効率目標 (%)		
		2010年	2020年	2030年
結晶シリコン太陽電池	13~14.8(18.4)	16(20)	19(25)	22(25)
薄膜シリコン太陽電池	10(14.7)	12(15)	14(18)	18(20)
CIS系太陽電池	10~12(18.9)	13(19)	18(25)	22(25)
超高効率太陽電池	集光(38.9)	28(40)	35(45)	40(50)
色素増感太陽電池	(10.5)	6(10)	10(15)	15(18)

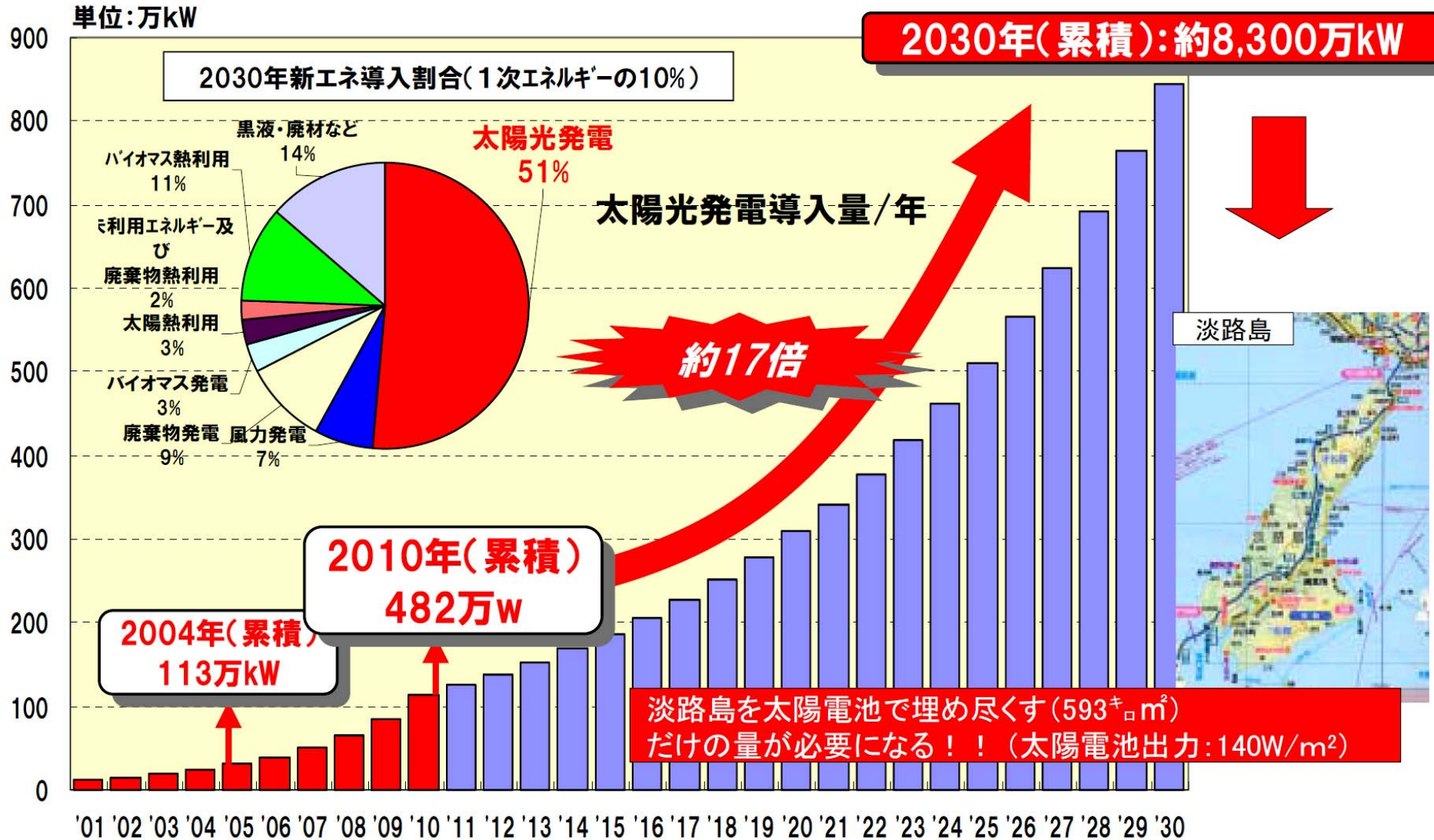
出所:「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ(PV2030)」NEDO新エネルギー技術開発部(2004年6月)

⑤ 太陽光発電システムの国内導入可能量 (NEDO太陽光発電ロードマップでの推計)

(MW)

設置場所	ケース 1 : 技術開発が産 業界に任せら れた場合	ケース 2 : 技術開発とその実用 化が2030年頃まで本 ロードマップにより 実施される場合 (標準ケース)	ケース 3 : 技術開発が前倒しで 完成して、2030年頃 には大規模発電の実 用化も大規模に実現 している場合
戸建住宅	37,100	45,400	53,100
集合住宅	8,200	16,500	22,100
公共施設	3,800	10,400	13,500
大型産業施設	5,100	10,200	53,100
道路・鉄道	0	14,800	16,400
民生業務	0	4,600	8,600
未利用地 (水素製造等)	0	0	35,000
合計	54,200	101,900	201,800

⑥ 太陽光発電の導入見通しの例



出典 :JPEA「太陽光発電自立に向けたビジョン」、新エネ部会報告資料(2001年6月)、2030年のエネルギー需給展望(総合資源エネルギー調査会エネルギー需給展望2004年6月)をもとに推計

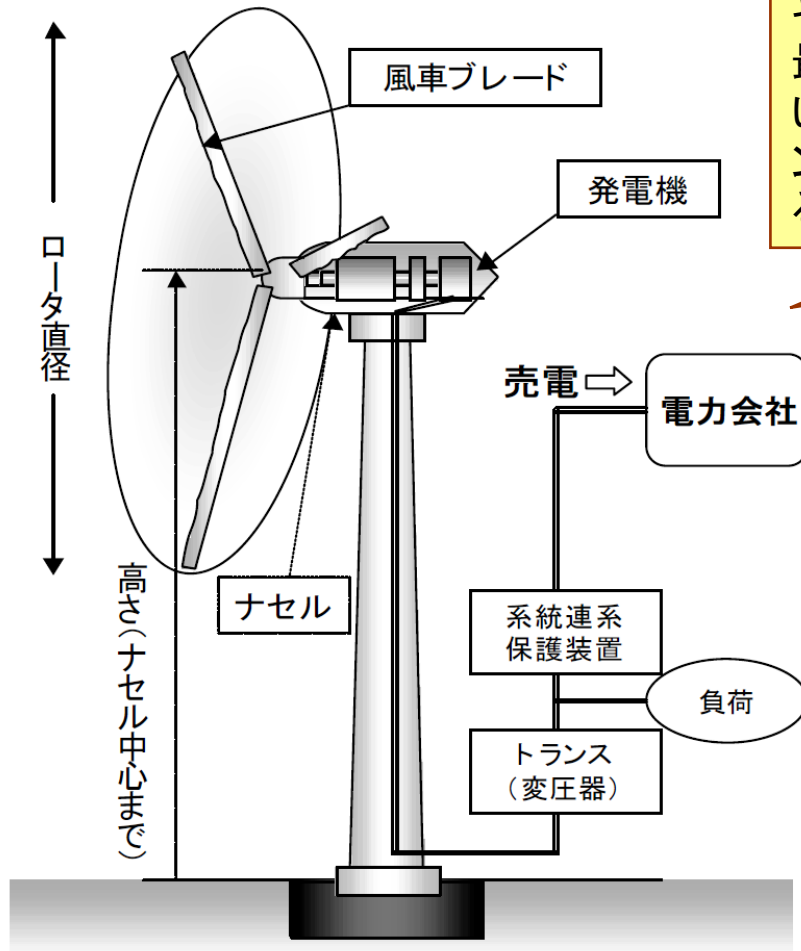
出所:「日本の太陽光発電の現況について」(株)京セラソーラーコーポレーション(2005年7月)

Ⅲ. 風力発電の現状と課題

1. 風力発電の概要

① 風力発電の仕組み

(プロペラ型風力発電システム)



この図はACリンク方式の場合(交流を変圧器を経てそのまま供給)。

最近では、可変速運転の可能なDCリンク方式も用いられている。これは、交流を直流に変換し、再度インバータで交流に戻した後に、変圧器を経て供給する方式。発電量は増えるが、装置コストも増大。

1000kW設置の場合

(ロータ直径: $D=56\text{m}$ 、高さ(ナセル中心まで): 60m)

- ・必要となる敷地面積: 約 5万m^2
- ・発電量: 約 $175\text{万kWh}/\text{年}$
(試算式; $175\text{万kWh}/\text{年} = 1000\text{kW} \times (24\text{h} \times 365\text{D}) \times \text{利用率}20\%$)
(一般家庭 約486軒分)
- ・耐用年数: 17年(法定耐用年数)
- ・コスト: 工事費込で約2~3億円程度(2000年度)

② 風車の出力とトルク

風の運動エネルギー

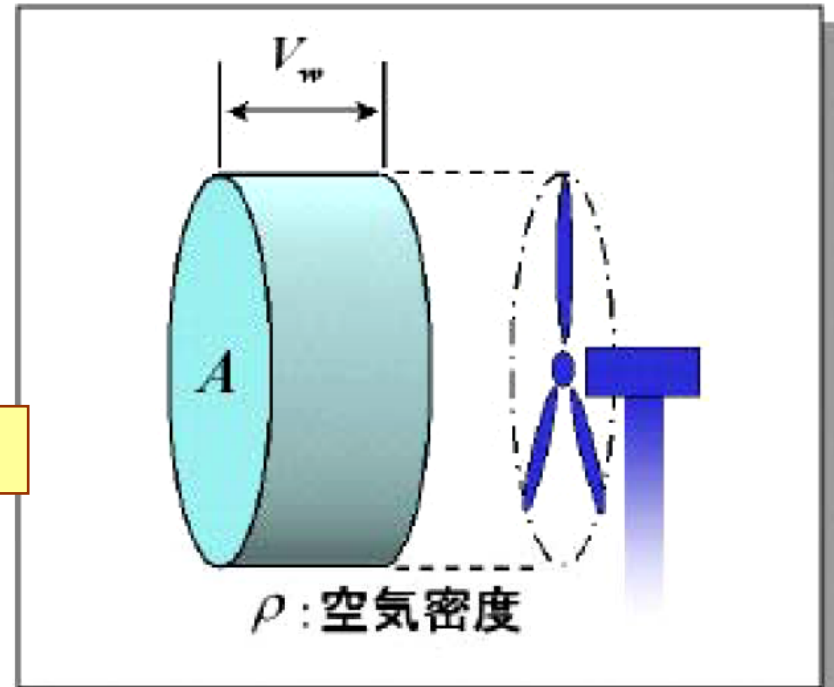
$$P_m = \frac{1}{2} m V_w^2 \quad m = \rho A V_w$$

$$= \frac{1}{2} \rho A V_w^3$$

風車の出力

$$P_w = C_p \frac{1}{2} \rho A V_w^3$$

風速の3乗に比例

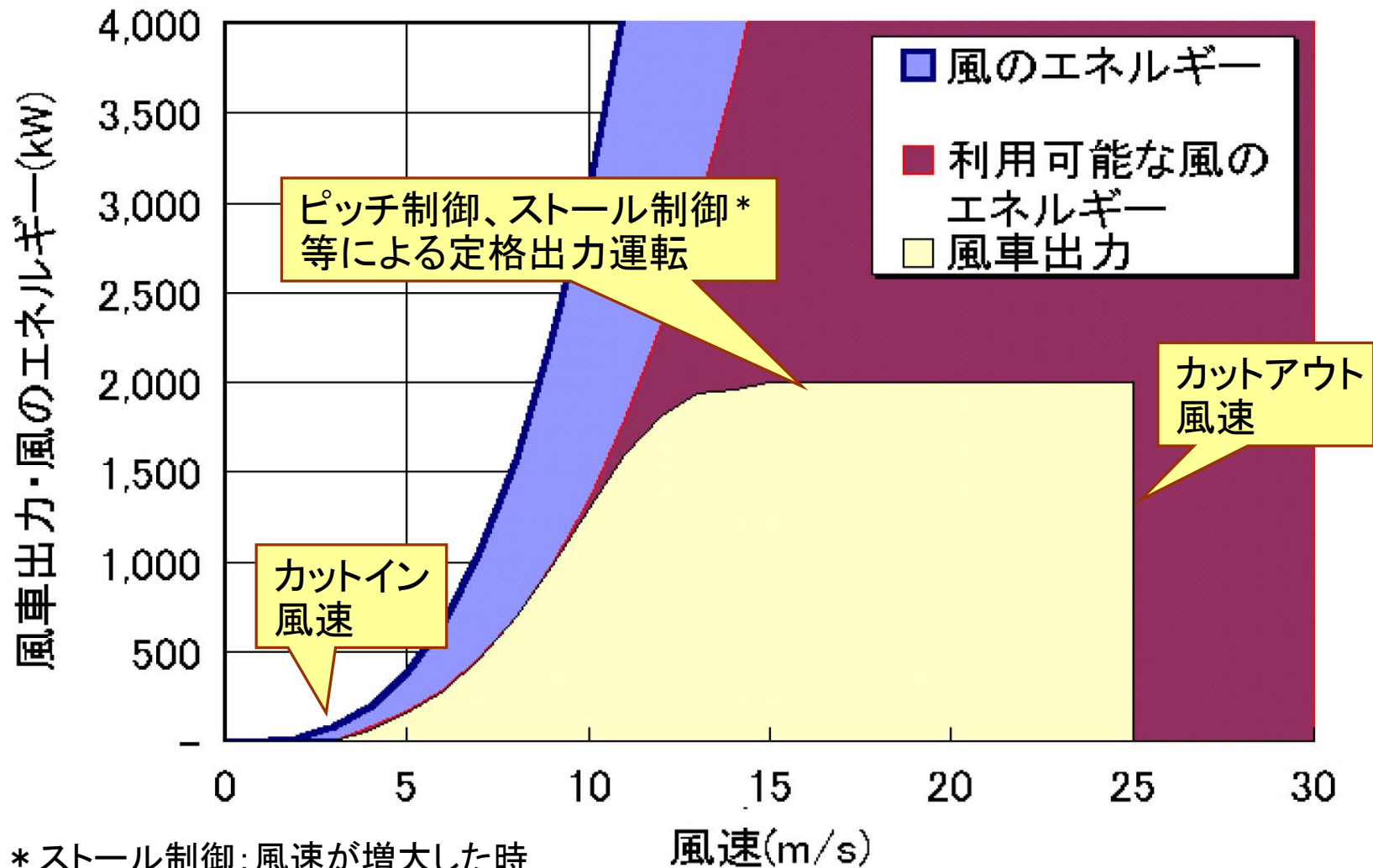


風車トルク

$$T_w = \frac{P_w}{\Omega} = \frac{C_p \rho A V_w^3}{2\Omega}$$

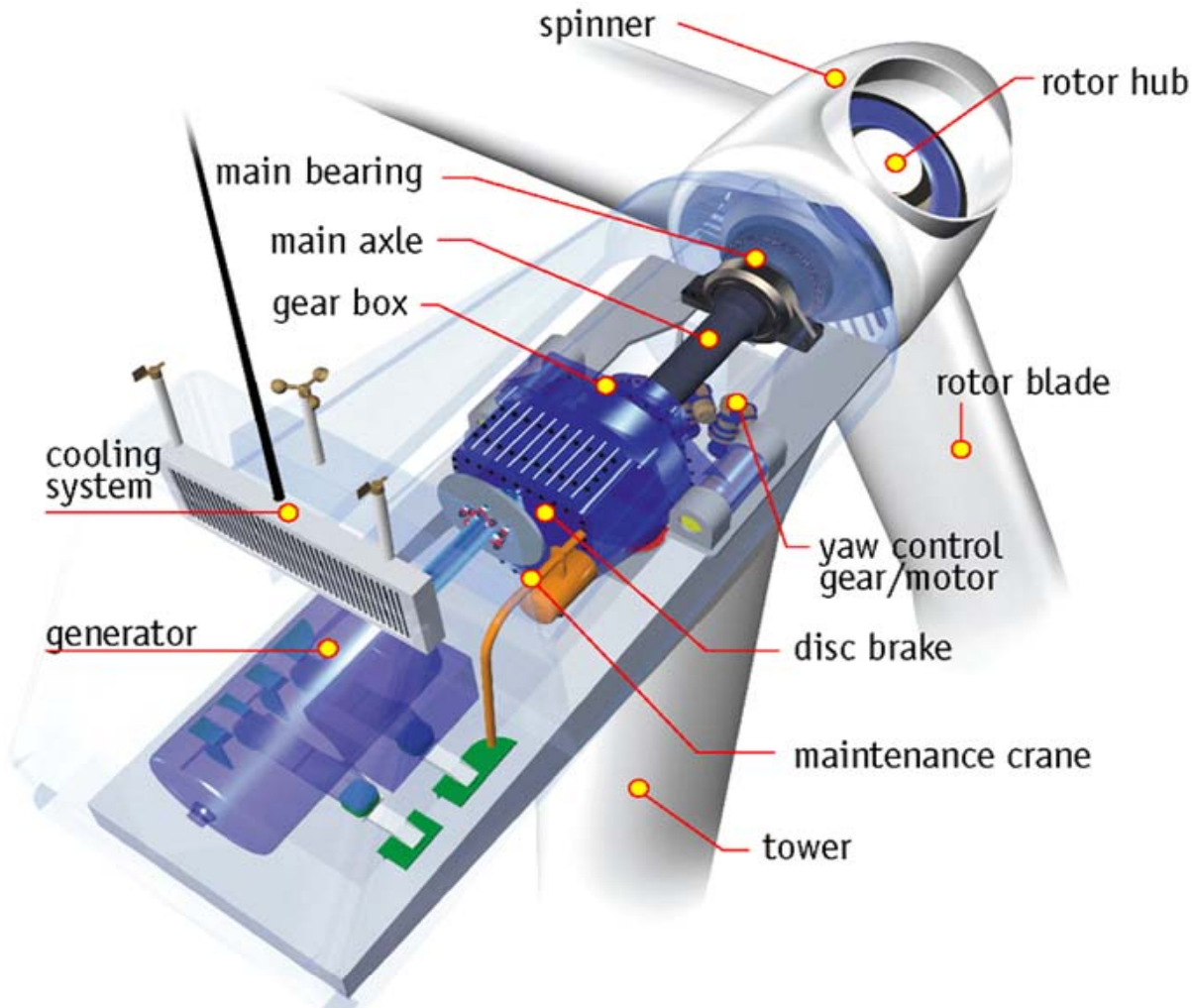
m : 風の質量 ρ : 空気密度
 A : 回転断面積 V_w : 風速
 Ω : 風車の角速度
 C_p : 出力係数 (最大45%程度)
 (ピッチ角 β と周速比 λ の関数)

③ 風のエネルギーと風車出力の関係



*ストール制御: 風速が増大した時に失速状態にして回転を制御

④ 風力タービンの構造例ーギア式・固定翼



- ・歯車でプロペラ回転速度(数十RPM)を1500~1800RPMに増速。
- ・軽量・低コストの誘導発電機(同期速度以上になると発電)を使用。
- ・固定翼のため、構造は簡素で安価だが、風速による出力変動が大。

model NEG Micon 52/900 - technical data -

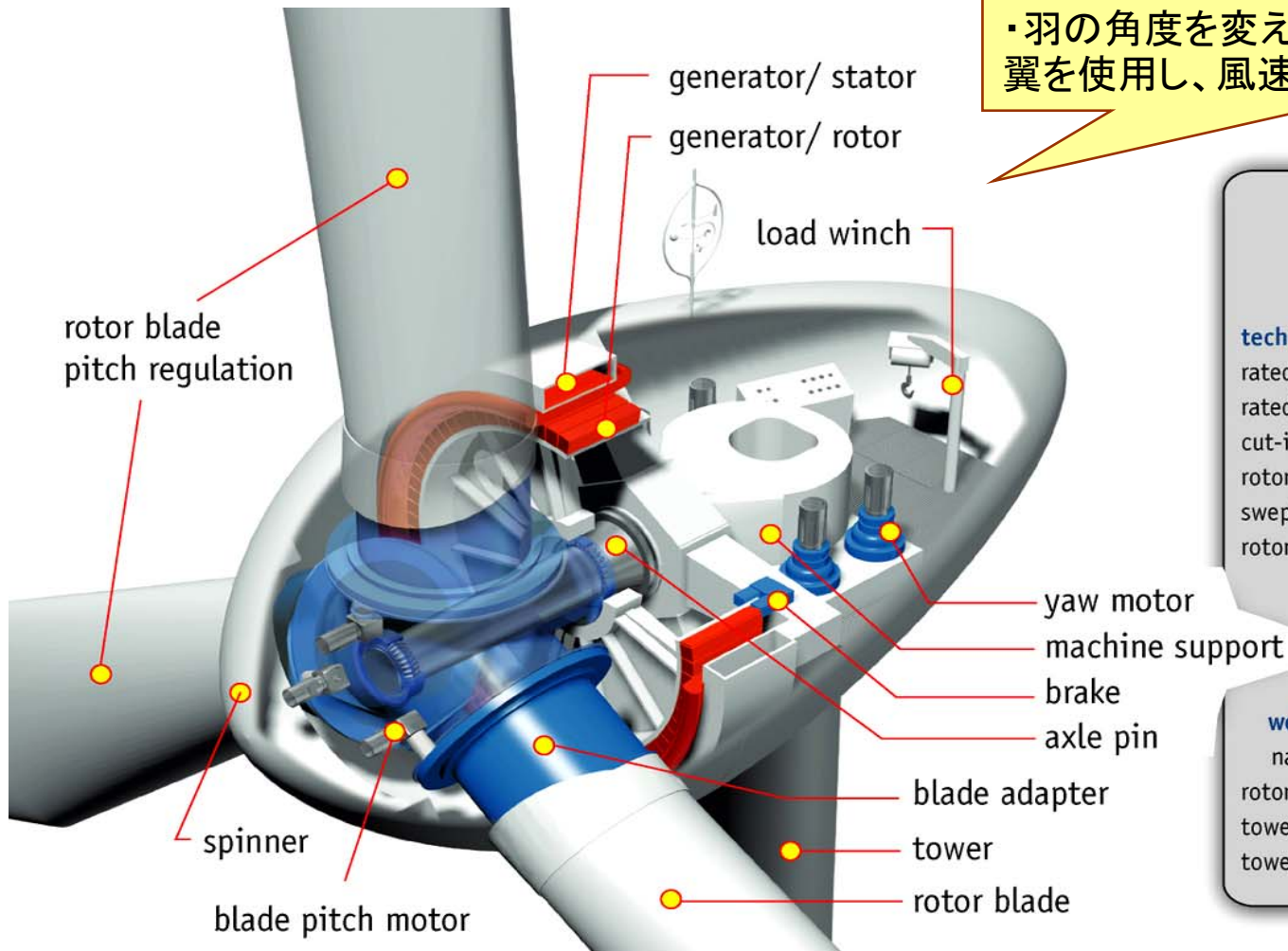
technology

rated power	: 900 kW
rated wind speed	: 16.0 m/s
cut-in wind speed	: 3.5 m/s
rotor diameter	: 52.0 m
swept area	: 2,140 m ²
roor speed	: 15-22 rpm
generator	: asynchronous

weight

nacelle	: 26.5 t
rotor (incl. hub)	: 16.5 t

⑤ 風力タービンの構造例—非ギア式・可動翼



- ・増速歯車がなく、静かで信頼性も大。
- ・同期発電機を使用し、単独運転が可能。
- ・羽の角度を変えるピッチ制御方式の可動翼を使用し、風速による出力変動が小。

model Enercon E-66 - technical data -

technology

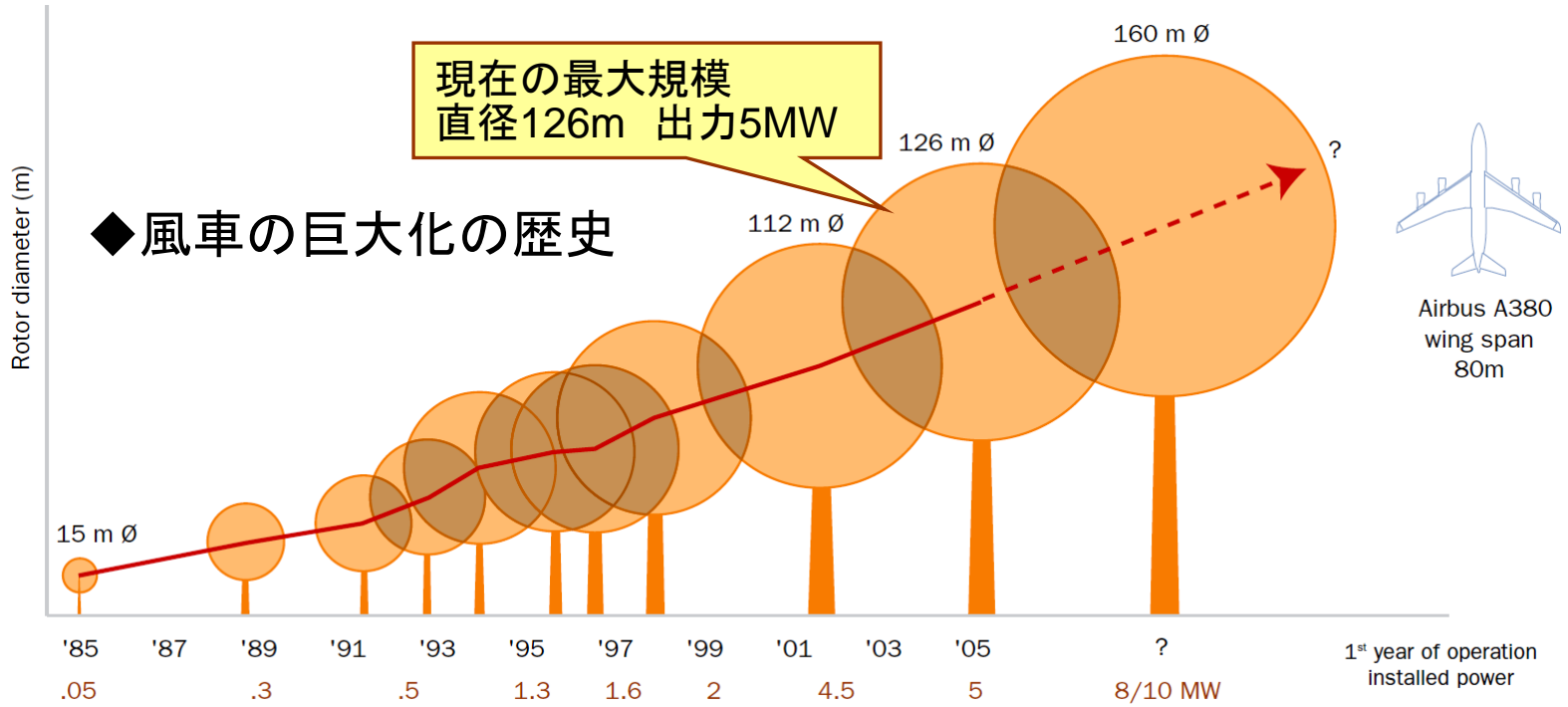
rated power	: 1.8 MW
rated wind speed	: 12.0 m/s
cut-in wind speed	: 2.5 m/s
rotor diameter	: 70.0 m
swept area	: 3,848 m ²
rotor speed	: 10-22 rpm

generator	: synchronous ring generator
gearbox	: none

weight

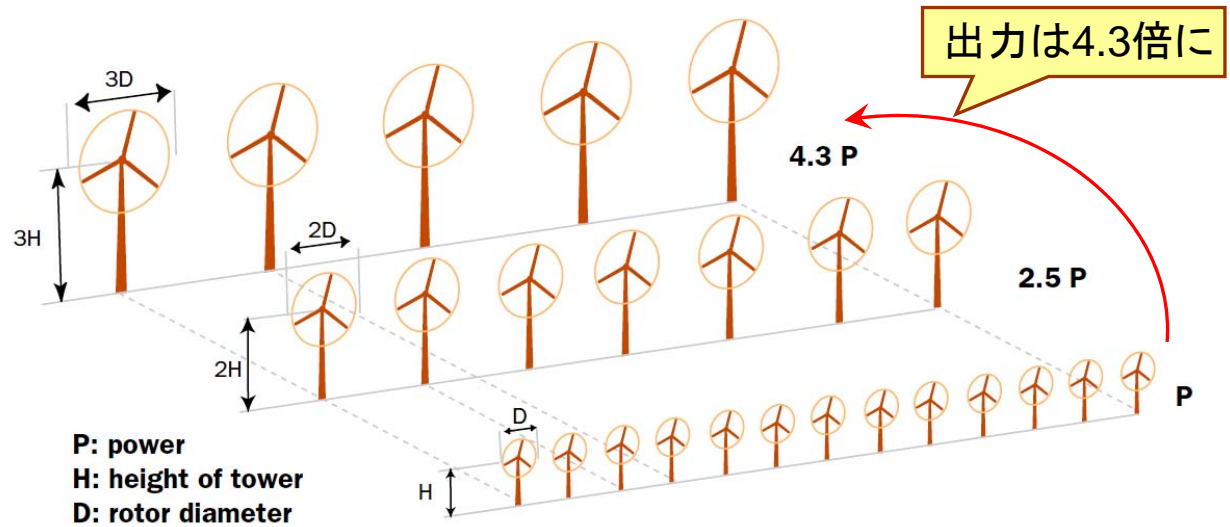
nacelle	: 68.8 t
rotor (incl. hub)	: 31.7 t
tower (98m, concrete)	: 861 t
tower (86m, steel tubular)	: 219 t

⑥ 風車の巨大化とそのメリット

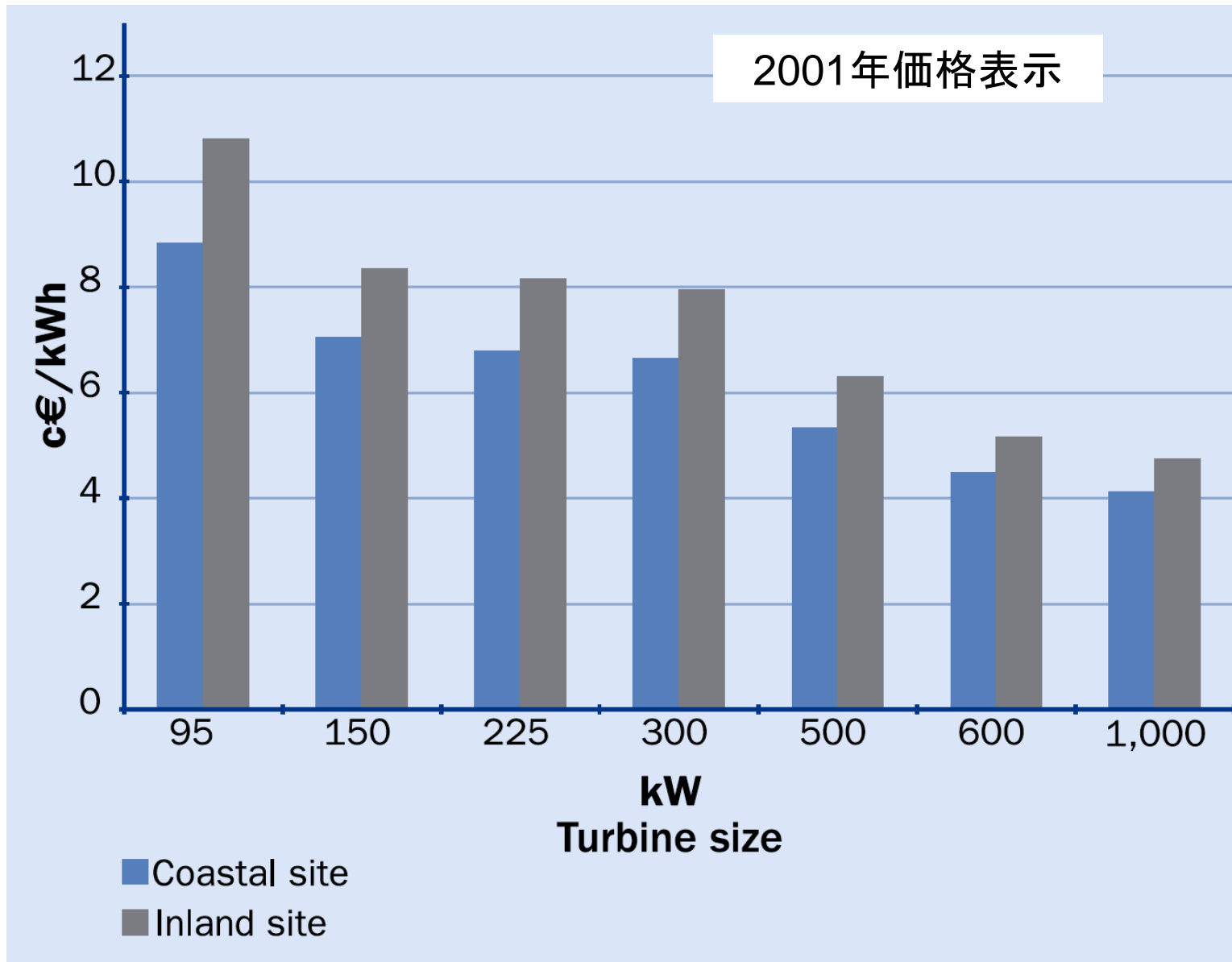


◆ 風車巨大化による出力の増大

- ・回転断面積の増大
- ・ロータ高度上昇による平均風速増加

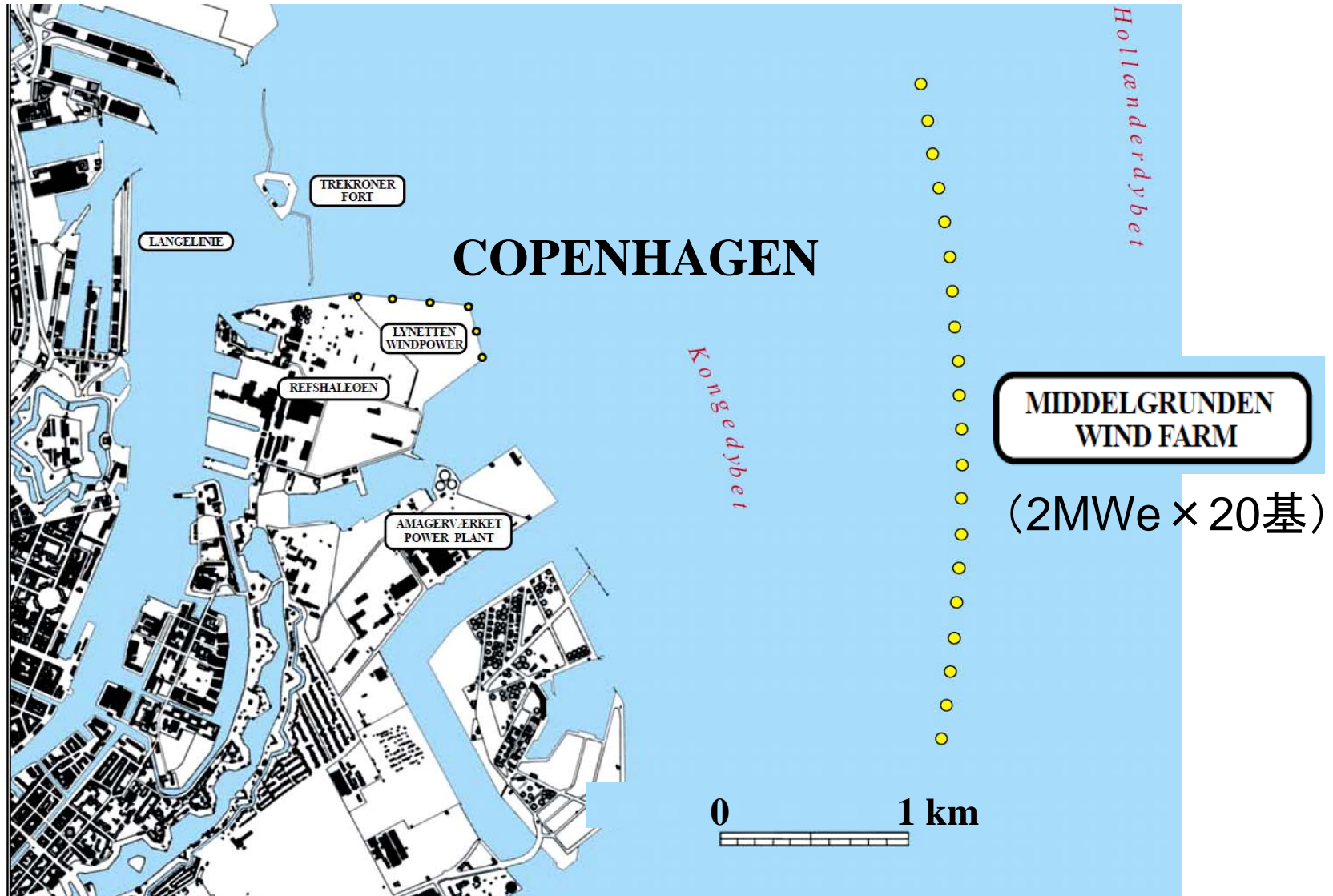


⑦ 風力タービン容量と発電コスト



2. 洋上風力発電所の建設事例

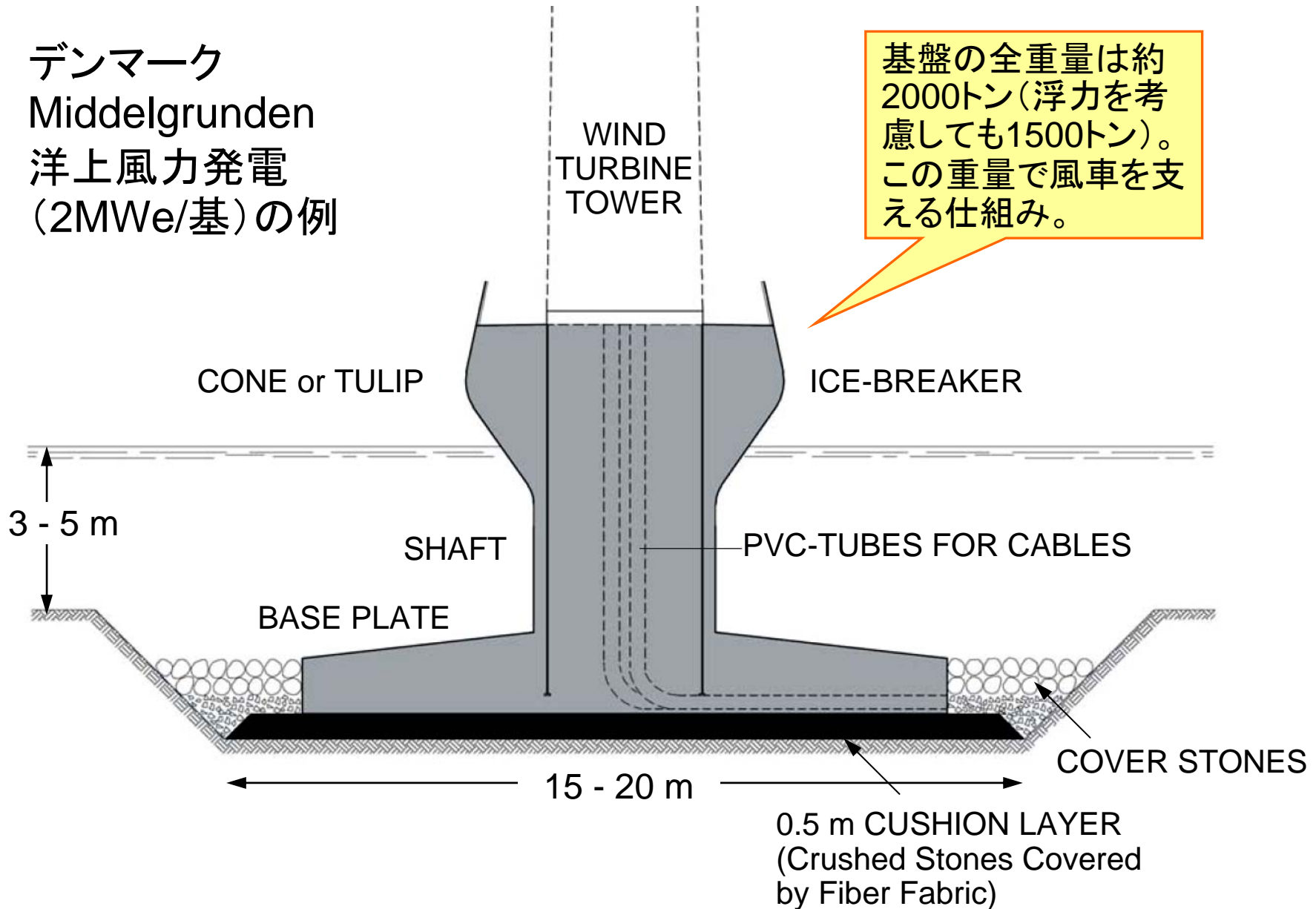
① デンマーク Middelgrundten ウィンドファーム



出所: Middelgrundten Offshore, 1 July 2001, BONUS Energy A/S (www.bonus.dk)—以下⑤まで同じ

② 洋上風力発電の海底基盤構造

デンマーク
Middelgrunden
洋上風力発電
(2MWe/基)の例



③ 基盤及び下部タワーの組み立て



④ 基盤及び下部タワーの曳航と設置



輸送中の

- ・上部タワー
- ・ナセル
- ・ロータ



左図

ナセル取り付け



右図

ロータ取り付け



⑥ 完成したウィンドファーム

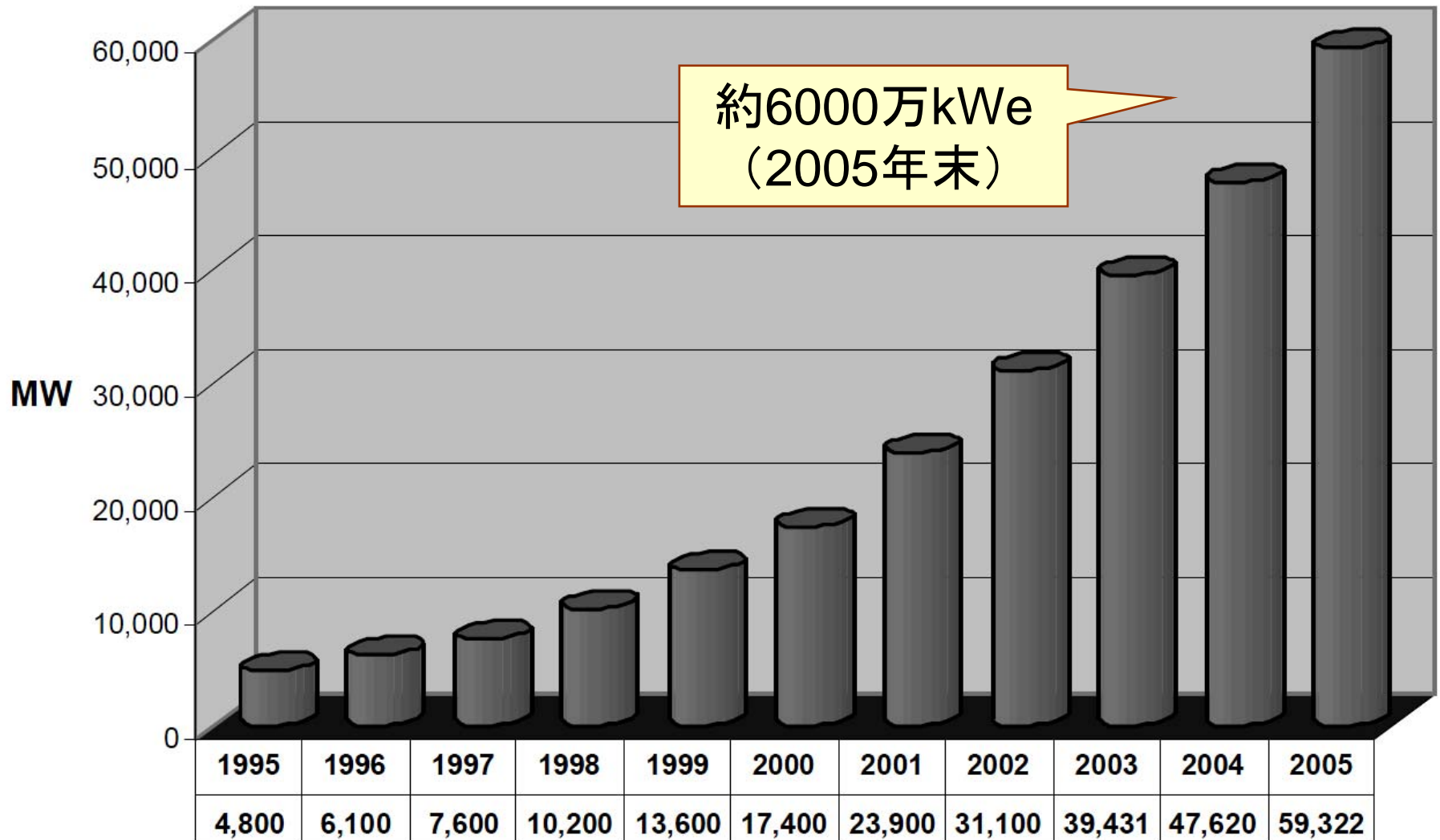
出所:

<http://www.middelgrunden.dk/byggepladsen/m53.htm>

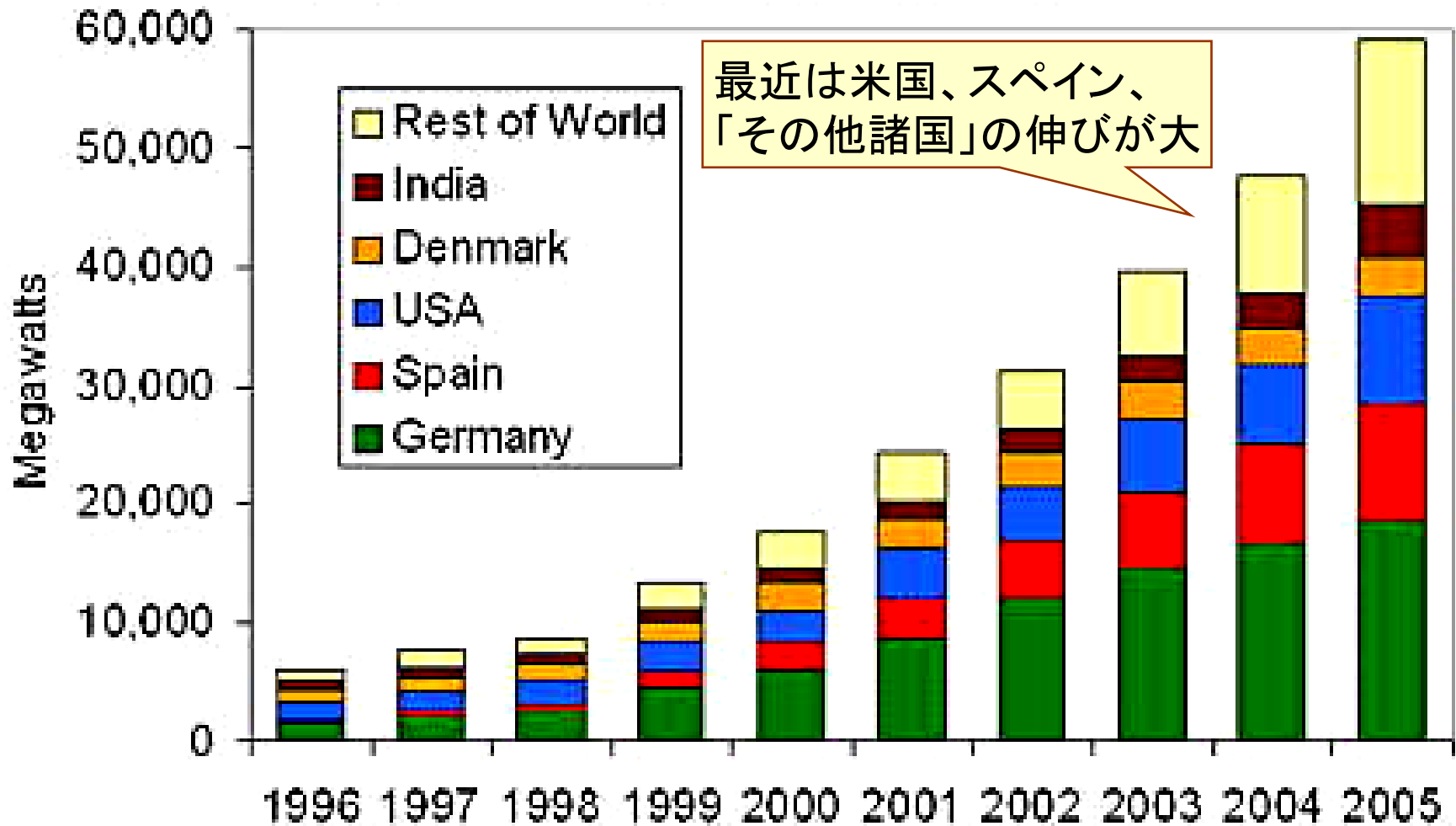


3. 世界の風力発電の普及状況

① 世界の風力発電設備容量の推移



② 風力発電設備の国別構成の推移



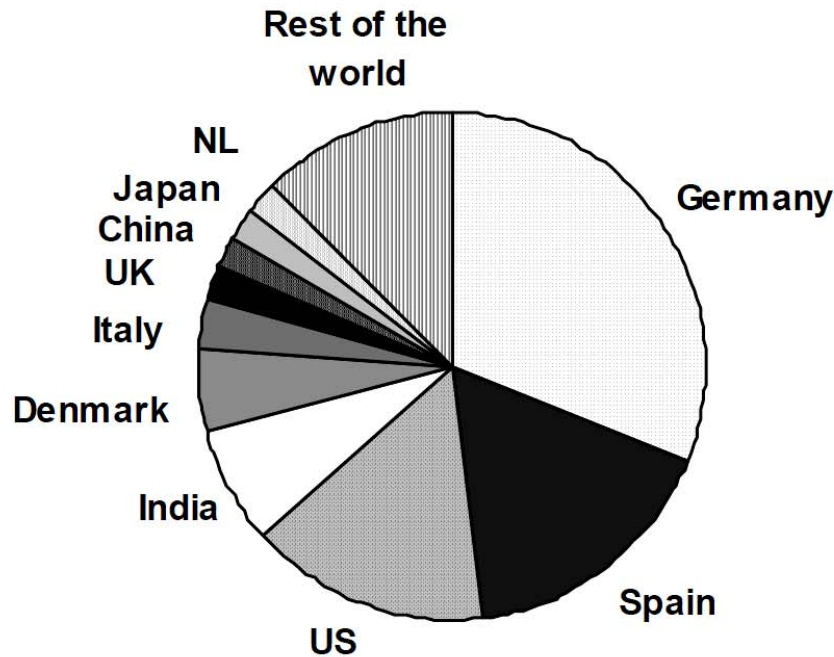
Data Source: Wind Power Monthly

出所: Union of Concerned Scientists

(http://www.ucsusa.org/clean_energy/renewable_energy_basics/how-wind-energy-works.html)

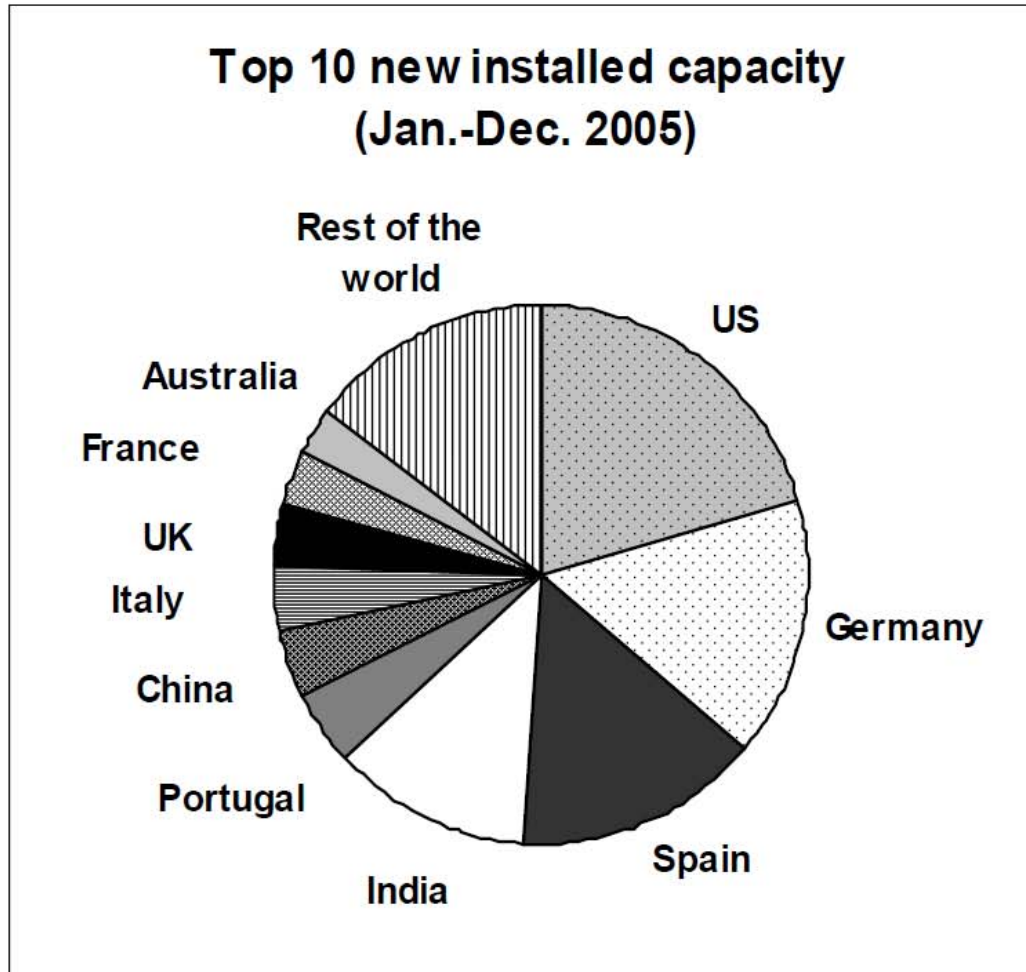
③ 世界の風力発電設備容量の国別構成

Top 10 cumulative installed capacity
(Dec. 2005)



Total capacity	MW	%
Germany	18,428	31.0
Spain	10,027	16.9
US	9,149	15.4
India	4,430	7.5
Denmark	3,122	5.3
Italy	1,717	2.9
UK	1,353	2.3
China	1,260	2.1
Japan	1,231	2.1
NL	1,219	2.1
Top 10 – Total	51,936	87.5
Rest of the world	7,368	12.5
World total	59,322	100

④ 2005年の風力発電新設容量の国別構成

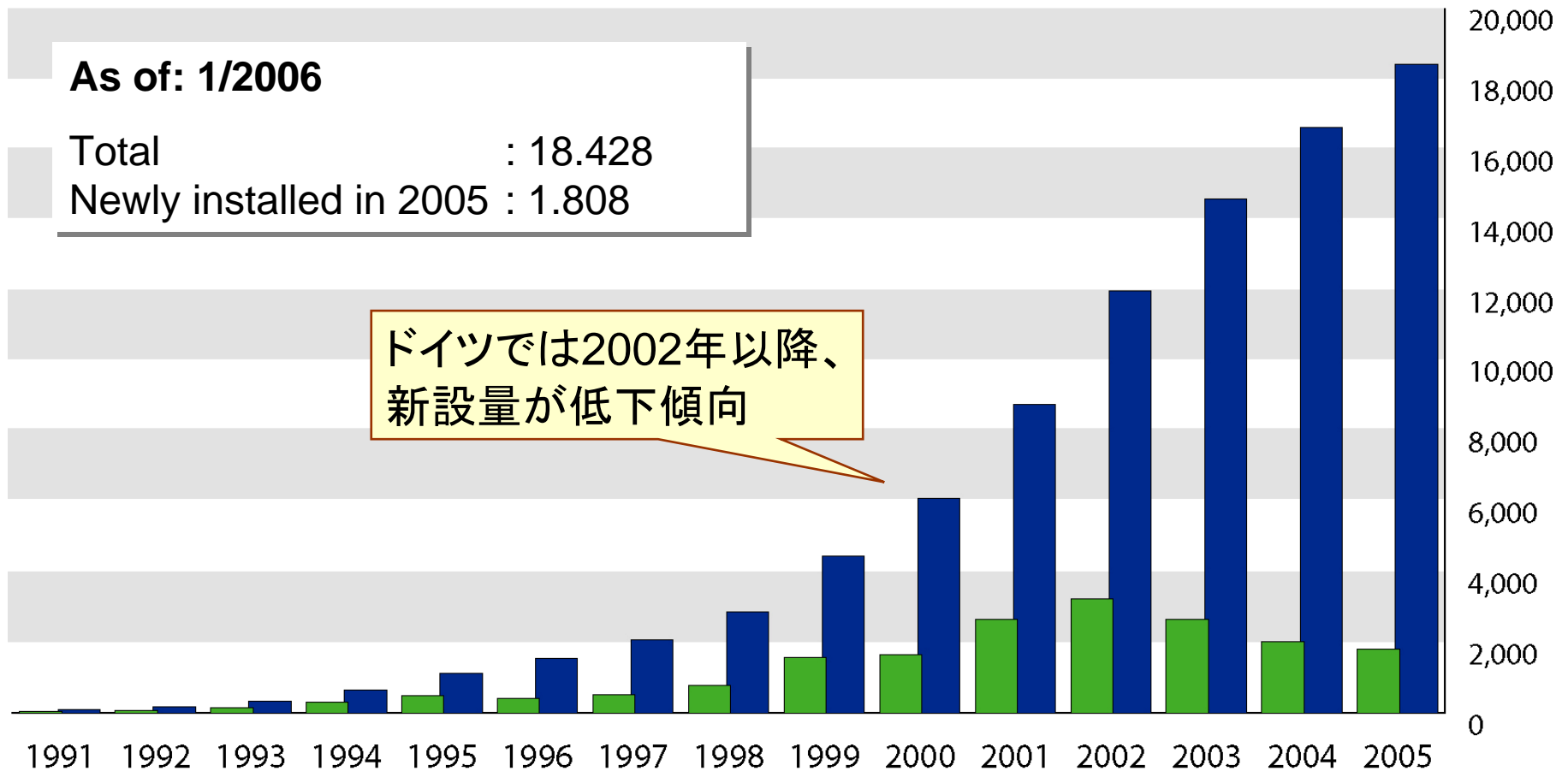


New capacity	MW	%
US	2,431	20.7
Germany	1,808	15.4
Spain	1,764	15.0
India	1,430	12.2
Portugal	500	4.2
China	498	4.2
Italy	452	3.8
UK	446	3.8
France	367	3.1
Australia	328	2.8
Total top 10	10,024	85.2
Rest of the world	1,745	14.8
World total	11,769	100.0

2005年の年間新設量：約1200万kWe

⑤ ドイツの風力発電の新設量と設備容量

- 総設備容量 (MW)
- 年間新設容量 (MW)



⑥ 欧州主要国の電源構成(2003年)

デンマーク

Technology	Thermal	Hydro	Nuclear	Wind	Others	Total
Capacity (GW)	10.19	0.01	0	3.12	0	13.31
Capacity (%)	76.5	0.1	0	23.4	0	100
Electricity Generation (TWh)	38.2	0.0	0	5.6	0	43.8
Electricity Generation (%)	87.3	0.0	0	12.7	0	100

スペイン

Technology	Thermal	Hydro	Nuclear	Wind	Others	Total
Capacity (GW)	37.31	18.04	7.58	5.95	0	68.88
Capacity (%)	54.2	26.2	11.0	8.6	0	100
Electricity Generation (TWh)	137.3	43.4	59.5	12.0	0	252.3
Electricity Generation (%)	54.4	17.2	23.6	4.8	0	100

ドイツ

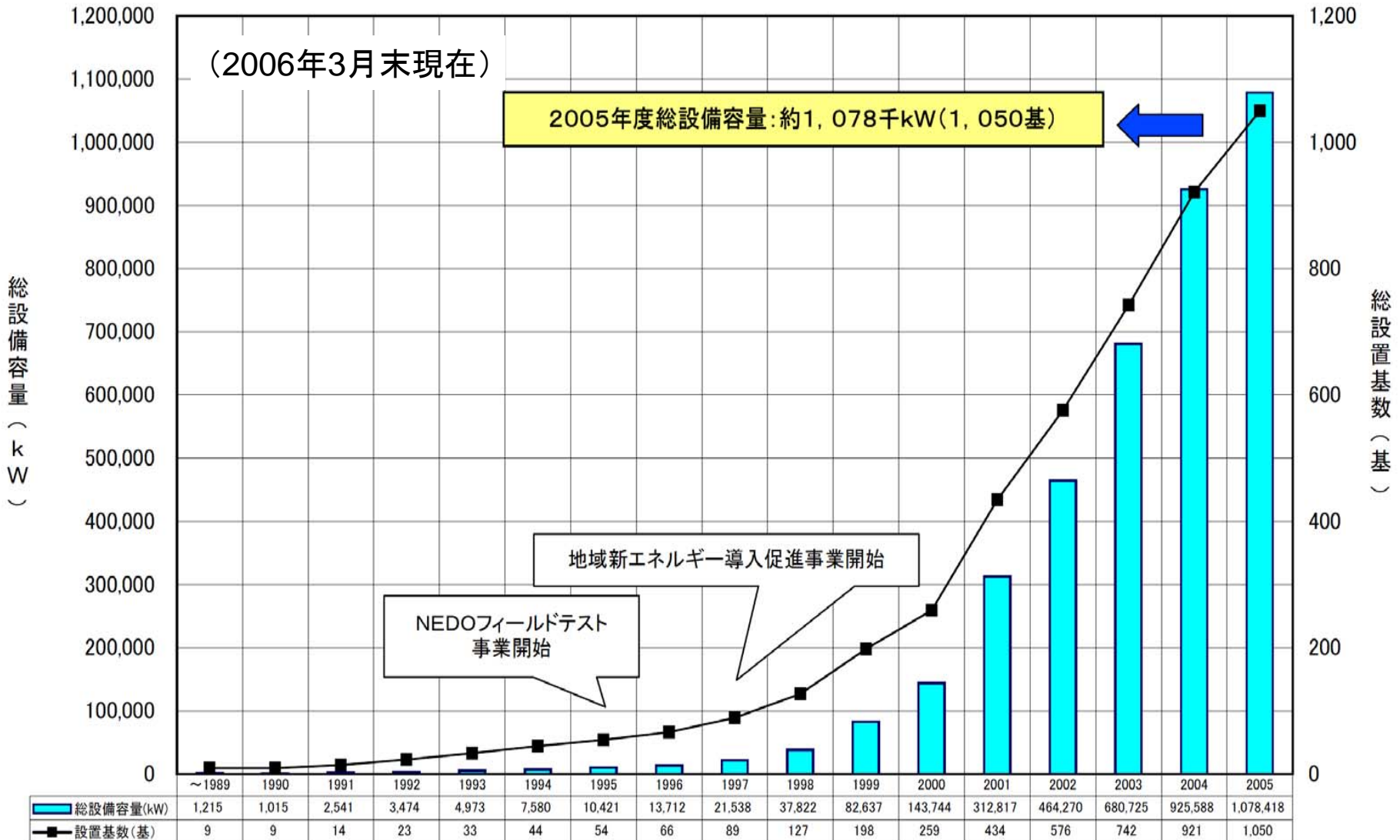
Technology	Thermal	Hydro	Nuclear	Wind	Others	Total
Capacity (GW)	80.37	8.26	21.44	14.61	0	124.67
Capacity (%)	64.5	6.6	17.2	11.7	0	100
Electricity Generation (TWh)	365.2	24.1	156.5	18.9	0	564.7
Electricity Generation (%)	64.7	4.3	27.7	3.3	0	100

オランダ

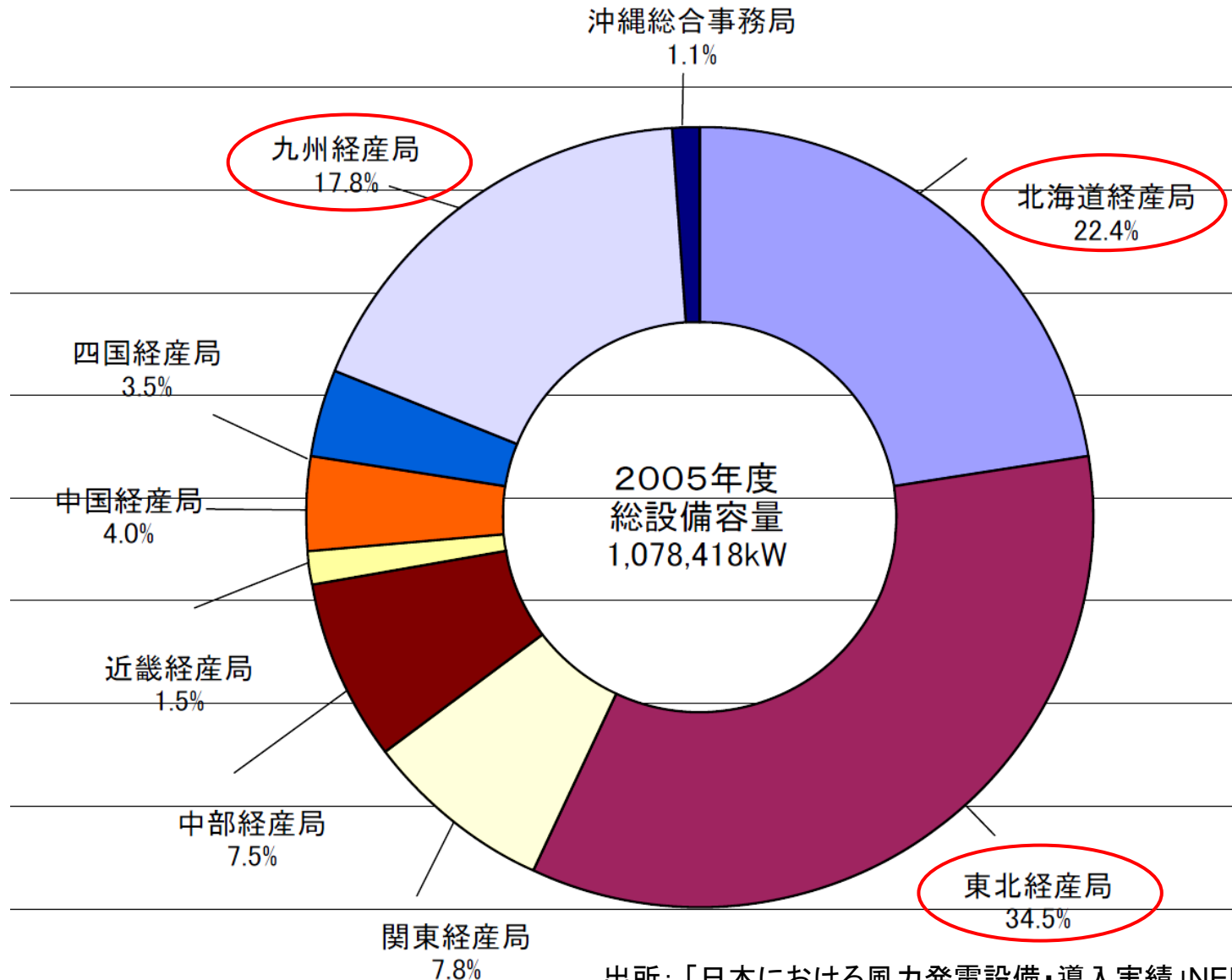
Technology	Thermal	Hydro	Nuclear	Wind	Others	Total
Capacity (GW)	19.42	0.04	0.45	0.88	0	20.79
Capacity (%)	93.4	0.2	2.2	4.3	0	100
Electricity Generation (TWh)	87.7	0.1	3.8	1.3	0	92.9
Electricity Generation (%)	94.4	0.1	4.1	1.4	0	100

4. 日本における風力発電の普及

① 風力発電導入量の推移



② 地域別の風力発電導入量

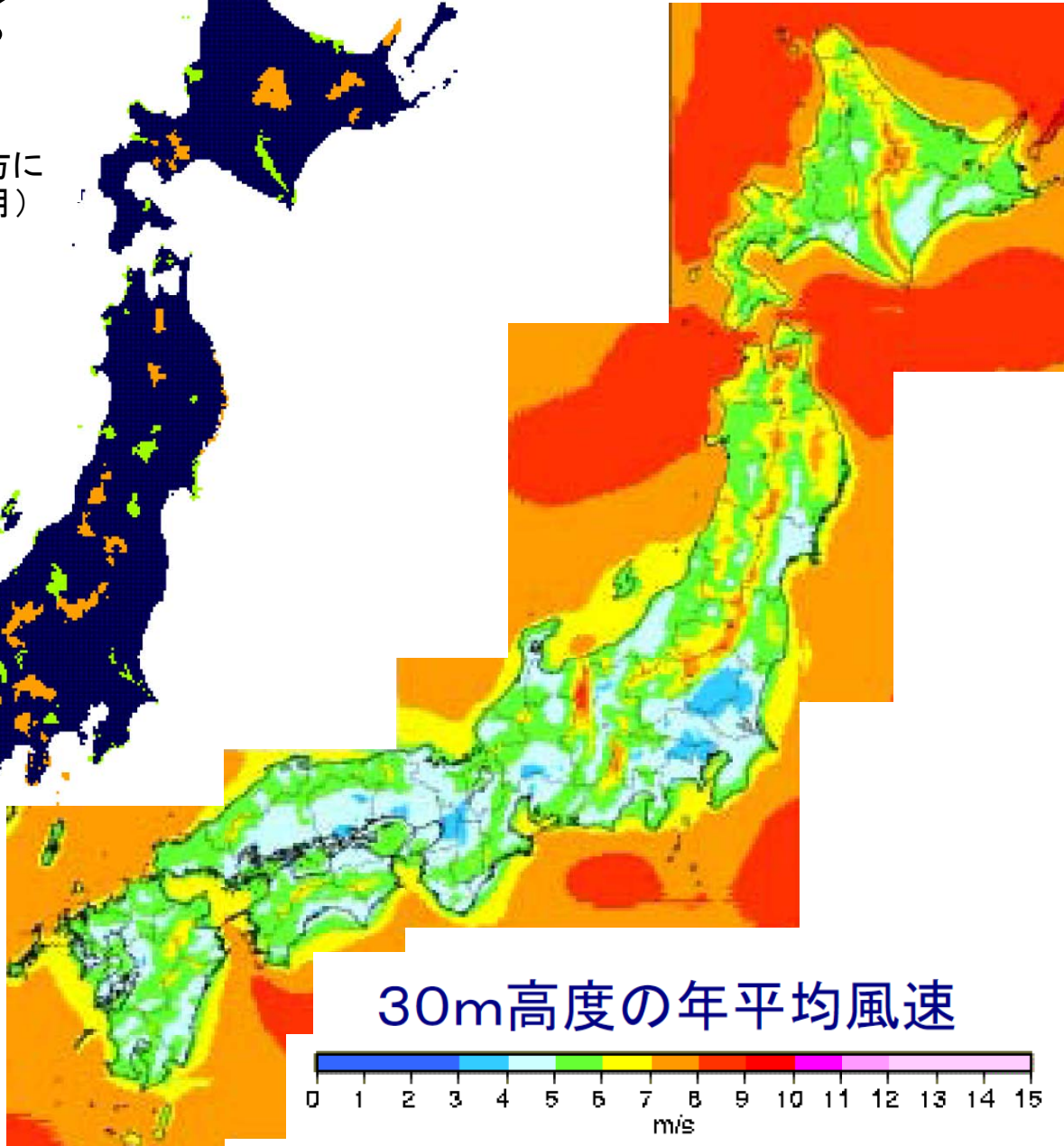


出所: 「日本における風力発電設備・導入実績」NEDOホームページ
(<http://www.nedo.go.jp/enetai/other/fuuryoku/>)

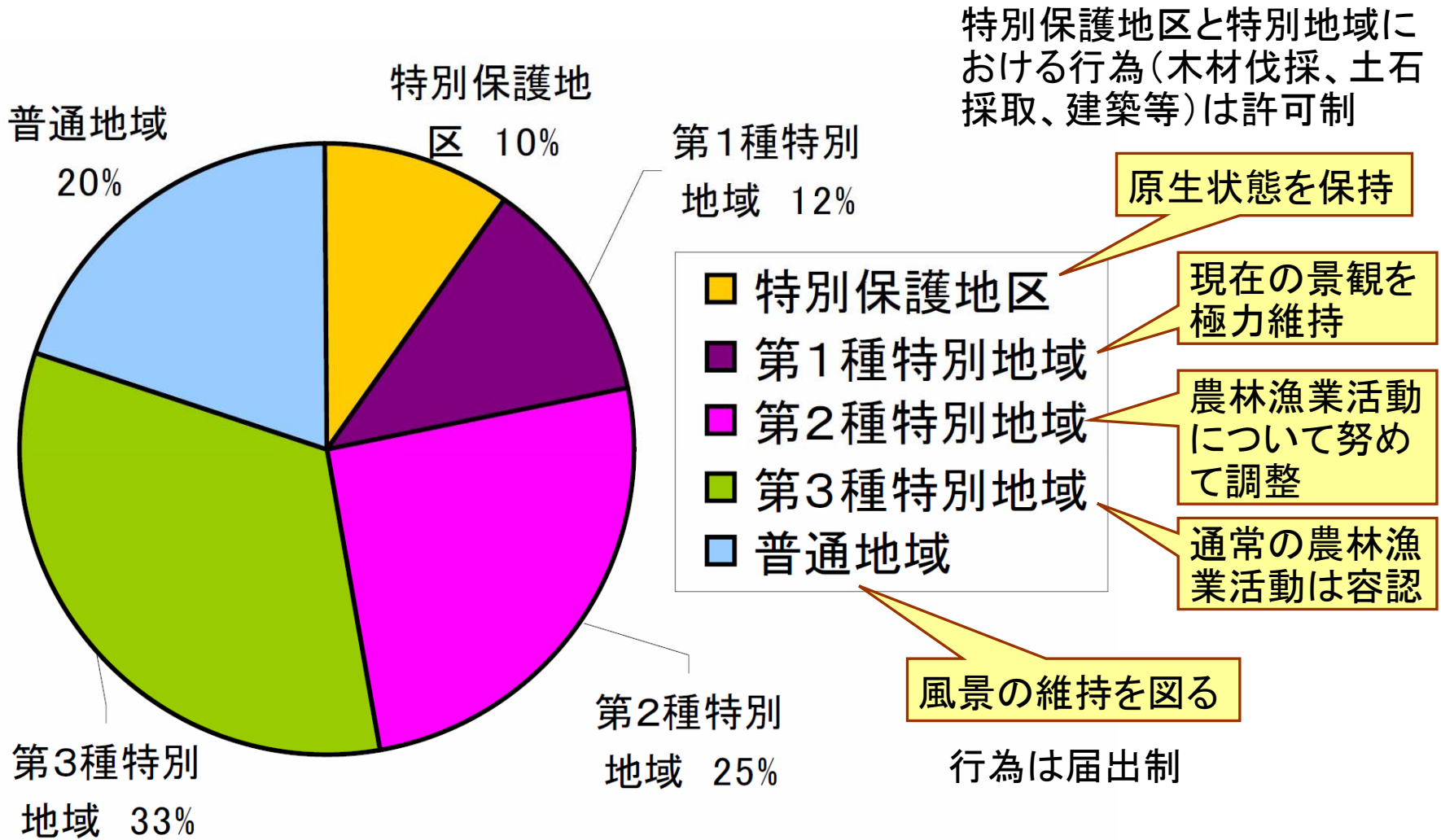
③ 国立・国定公園の 配置と風況マップ

出所:環境省「風力発電施設設置のあり方に関する検討会」第1回資料3(平成15年8月)

 国立公園
 国定公園



④ 国立・国定公園内の地種区分と面積比率



⑤ 国立・国定公園内での風力発電設備事例

(平成15年2月、環境省調査)

	箇所・地区数		基数	総出力(kW)	最高部
国立公園内	8公園	13地区	39	558.85	
(うち、売電目的)	1公園	1地区	1	500	高さ64m
国定公園内	13公園	14地区	54	22,141	
(うち、売電目的)	1公園	1地区	19	14,250	高さ75m

- ・国立公園内では商業用大型風車は1基のみ
- ・国定公園内には1公園(三重県青山高原)に大型ウィンドファーム

⑥ 国立公園内での設置事例

仙丈避難小屋

(南アルプス国立公園 特別保護地区)

事業主体:長野県長谷村

出力:400W×16基、高さ3.8m



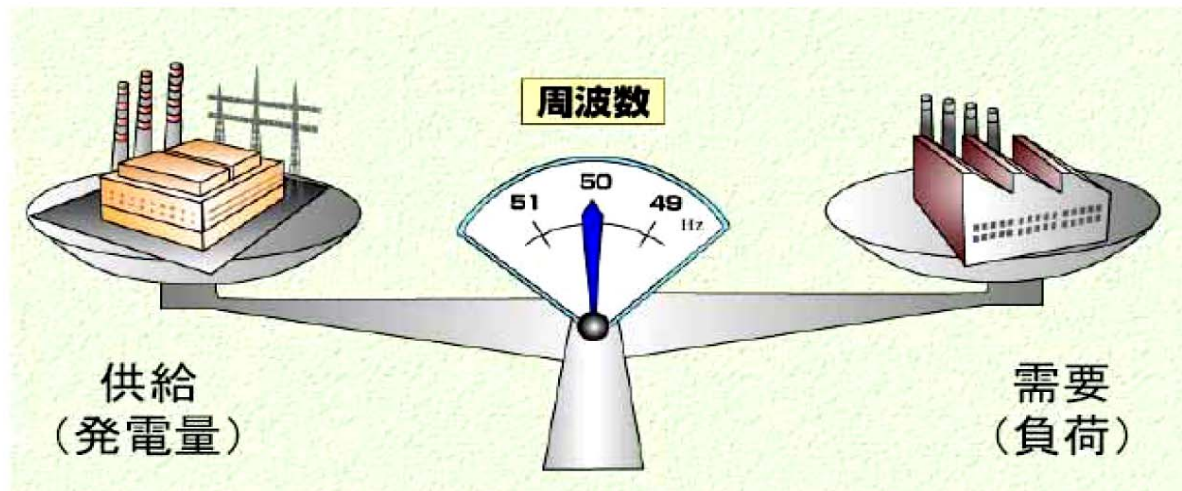
5. 風力発電普及の課題—系統連系

① 需給バランス急変による周波数変動

○周波数の特徴

- ・系統で使用される電力と、発電される電力のバランスに応じて変動
- ・電力需給のインバランスに応じ、瞬時(数秒以内)に系統全体の周波数が変動

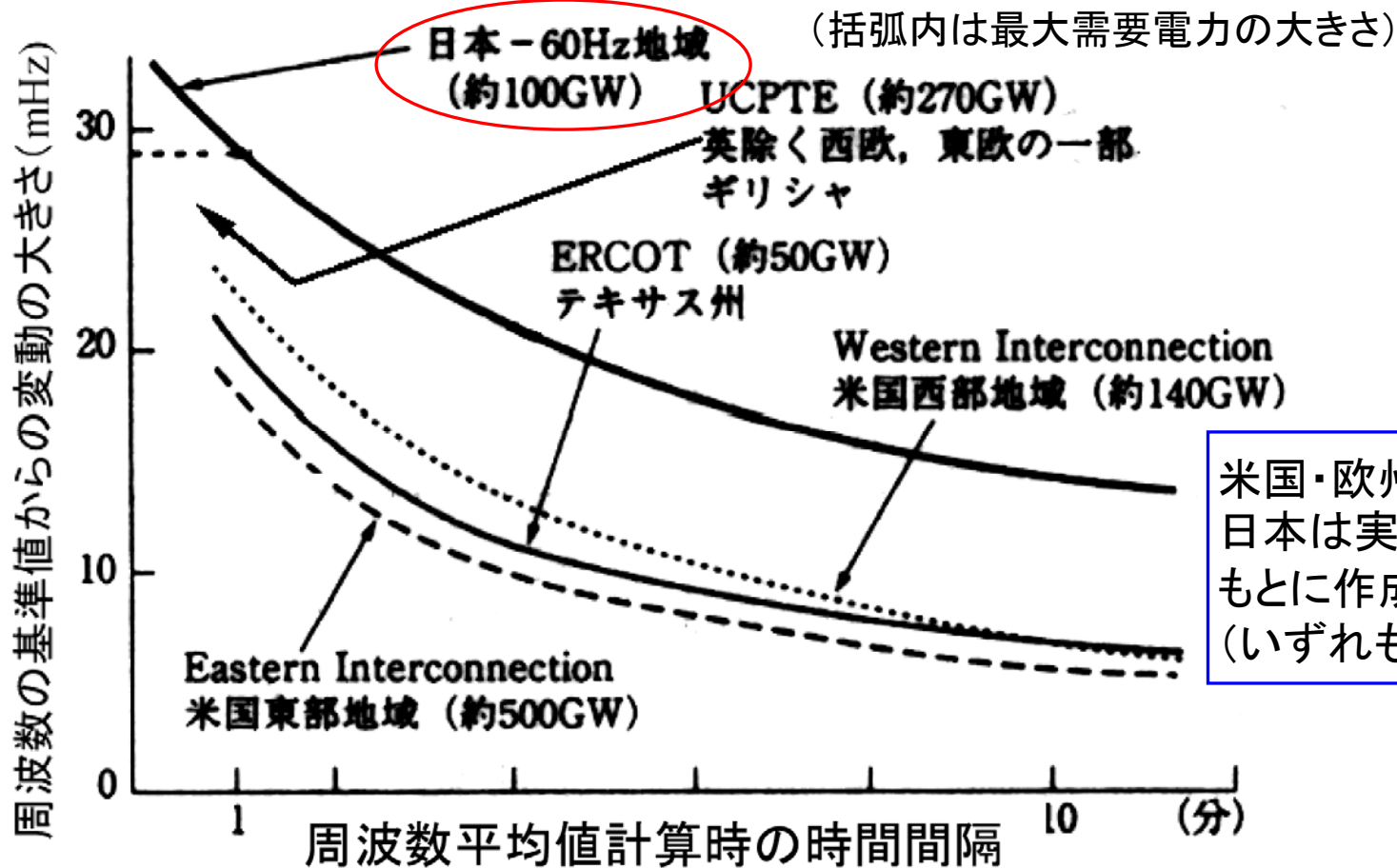
需要(負荷) > 供給(発電量) ⇒ 周波数低下
需要(負荷) < 供給(発電量) ⇒ 周波数上昇



- ➡
- ・周波数偏差が0.2Hzを超えると、一部の客から問い合わせあり。
 - ・タービン翼共振や発電機軸ねじれを防ぐため、数%の変動で発電機を停止せざるを得なくなる。(東京電力資料)

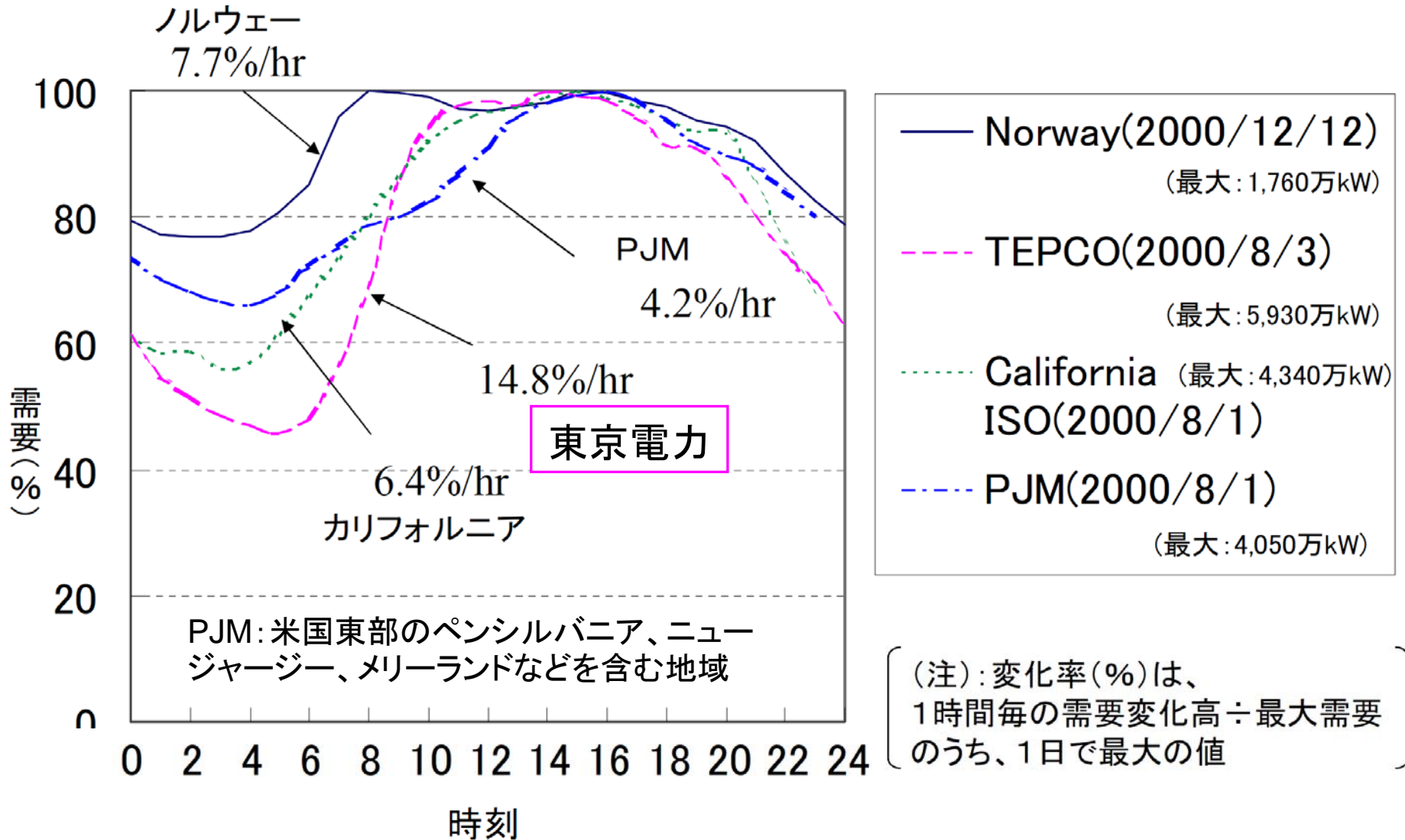
② 電力系統の大きさ(系統容量)と周波数変動

- 日本は他国との連系がないため、系統容量が小さく周波数は変動しやすい
- なお、テキサス州や米国西部地域は日本の規模に近いが、需要変動が日本ほどでないことが影響。



米国・欧州は周波数管理値
日本は実績値(H10年度)を
もとに作成したもの
(いずれも標準偏差 σ)

③ 各国の電力需要曲線の比較



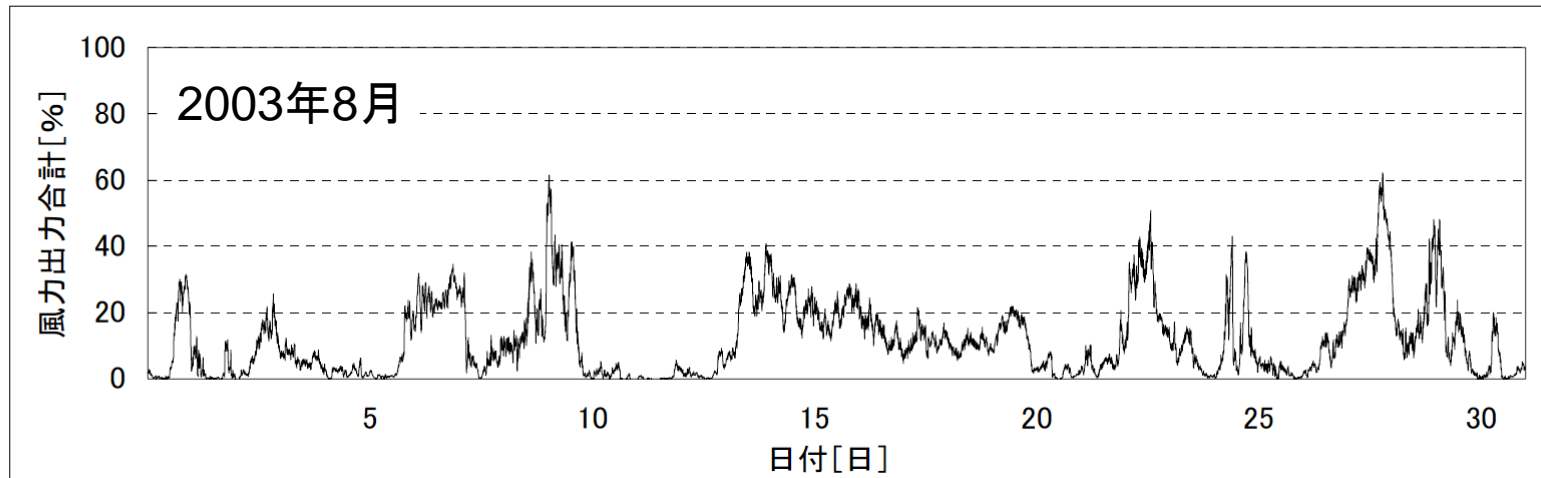
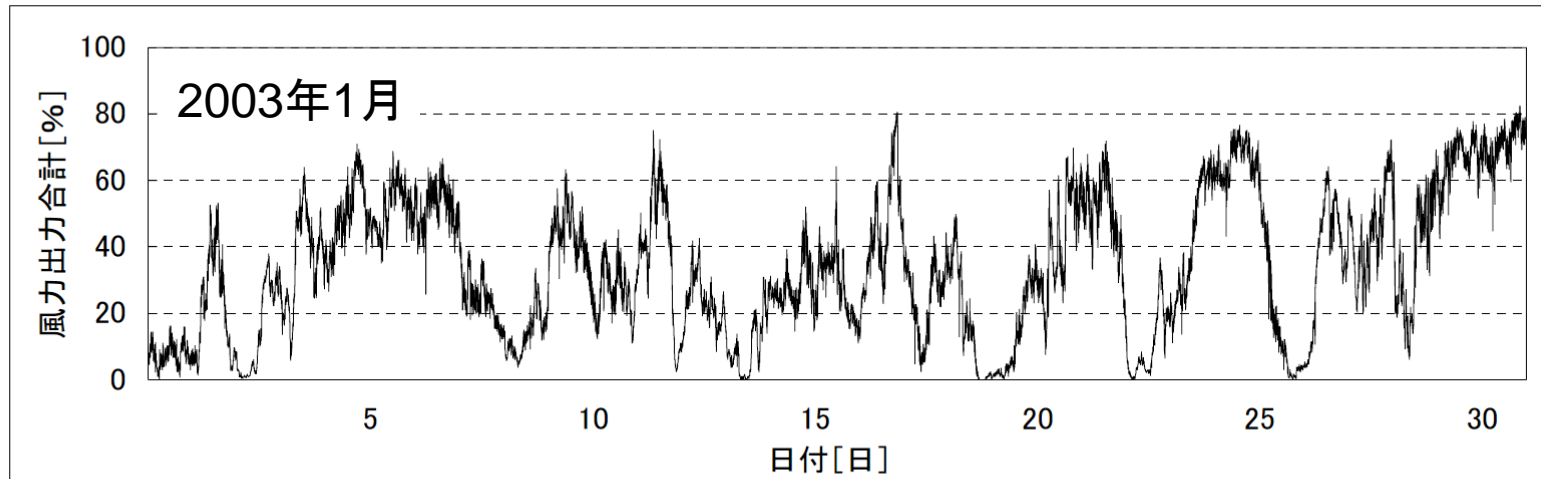
④ 電力会社の周波数許容偏差と管理実績

電力会社	周波数許容偏差 (Hz)		周波数許容偏差 逸脱回数	周波数許容偏差内 時間滞在率	備考
	北海道	±0.3	【管理目標値】	43回/年	—
東北	±0.2	【管理目標値】	—	99.99904%	至近10年平均
東京	±0.2	【管理目標値】	—	99.99904%	〃
中部	±0.1	【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
北陸	±0.1	【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
関西	±0.1	【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
中国	±0.1	【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
四国	±0.1	【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
九州	±0.1	【目標滞在率95%】	—	98.84%	〃
沖縄	±0.3	【管理目標値】	118回/年	—	至近3年平均

出所：「風力発電の系統連系について」資源エネルギー庁新エネルギー対策課(平成16年11月1日)に基づく

⑤ 風力発電の出力変動

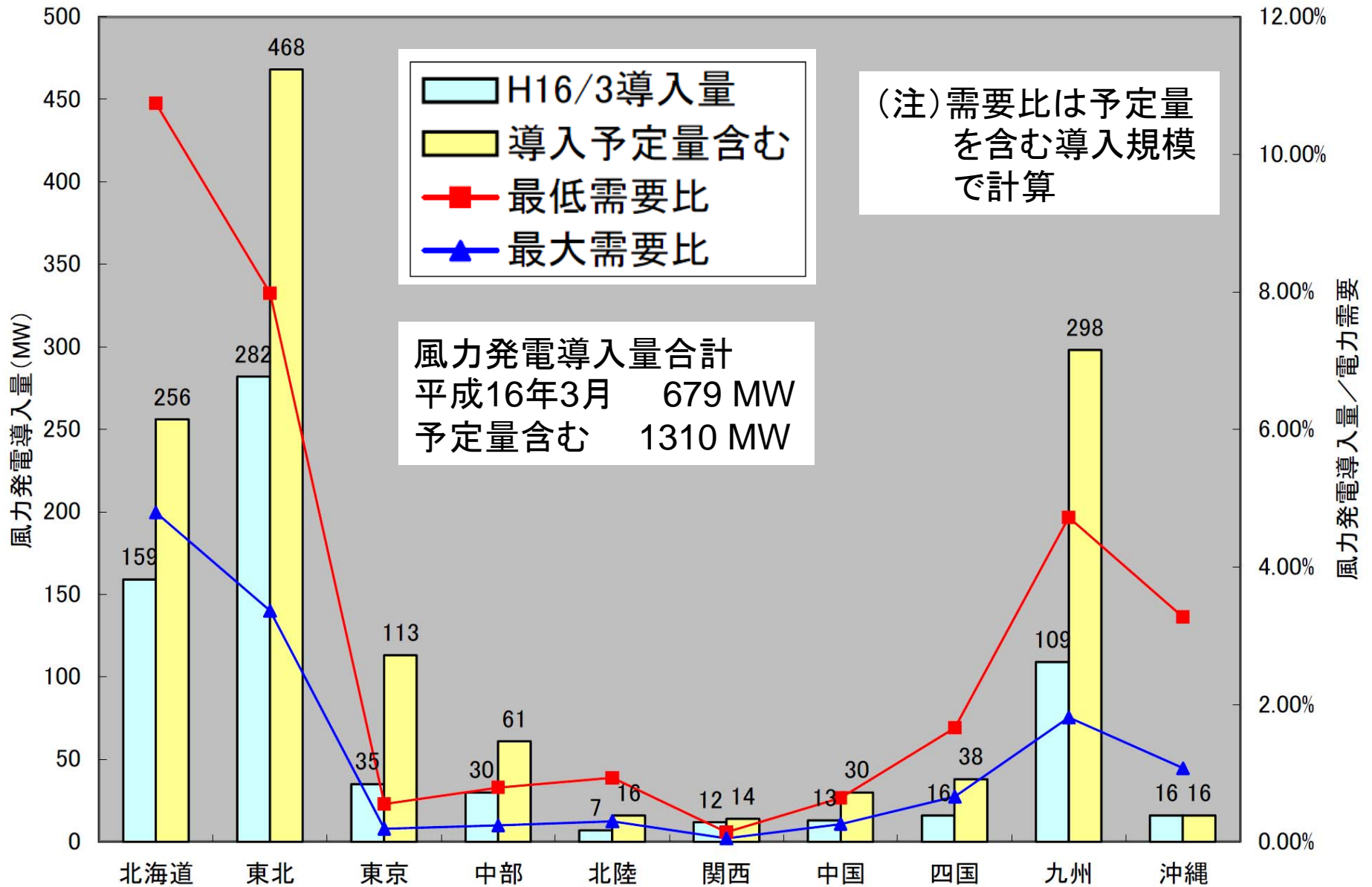
○東北エリア全体における風力出力合計の変動例



(風力発電の出力合計) ÷ (風力発電の設備容量合計値) として計算

出所: 「風力発電の電力系統への影響について」東京電力(平成16年4月7日)

⑥ 各電力会社の風力発電導入量と需要比



出所: 「風力発電の現状と系統連系」資源エネルギー庁(平成16年4月7日)

⑦ 電力システムの周波数維持のための対策

○発電機の出力を需要の変化に追従させて対応

- ・短周期(数分以内) → 调速機(ガバナ)フリー運転
- ・中周期(数分～十数分) → 自動周波数制御(LFC)
- ・長周期(十数分以上) → 運転基準出力制御(EDC)

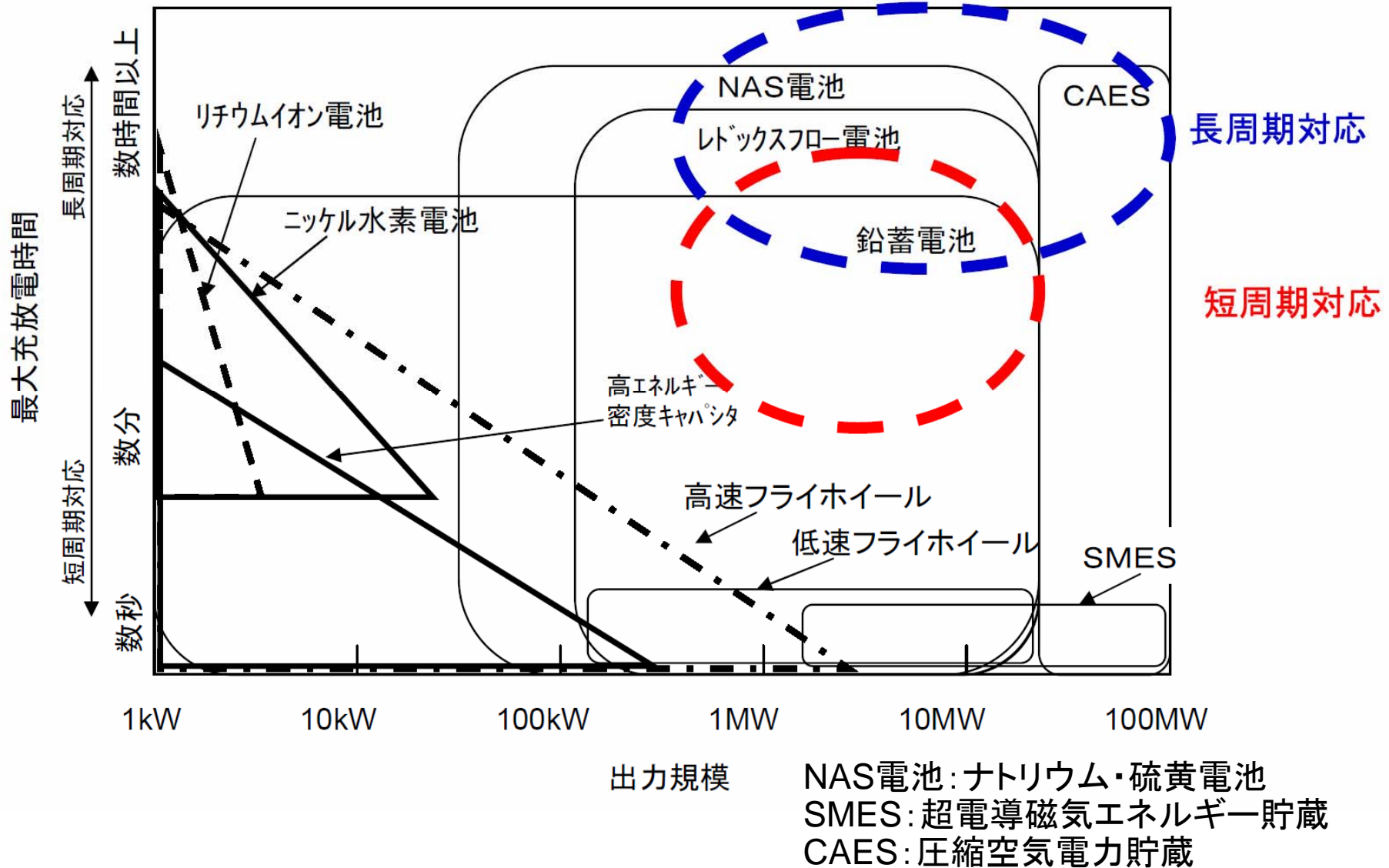
○会社間の系統連系を強化

- ・供給予備力の低減、会社間の需要特性、電源構成の違いを利用した効率的運用にも貢献
- ・ただし、2点以上での連系(ループ化、メッシュ化)には、ループフロー、事故波及(カスケードイング)などの短所あり

○風力発電所の実出力変動の制御

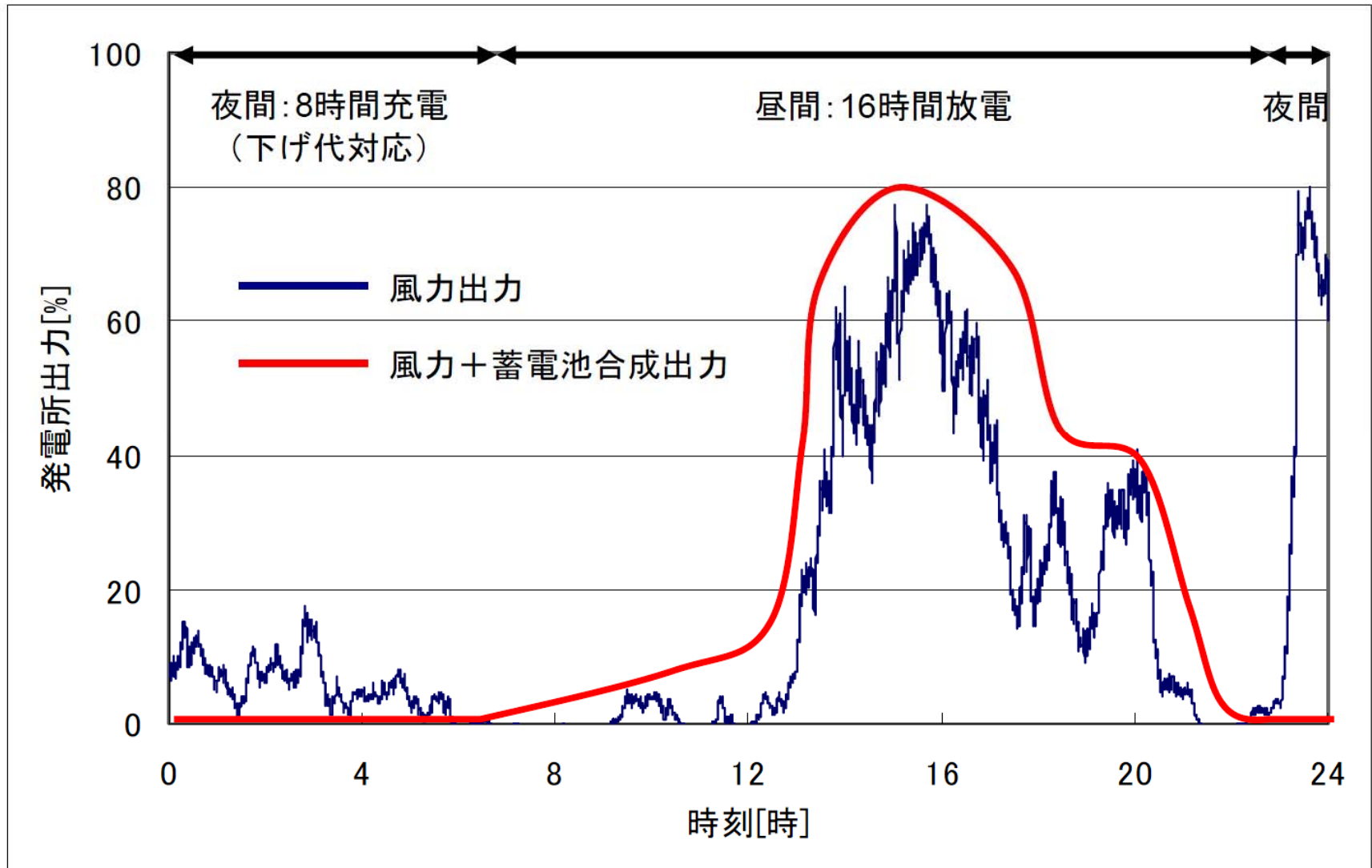
- ・各種蓄電池を活用した出力の平滑化
- ・系統側の調整能力の低い低需要時間帯での発電の抑制

⑧ MW級出力で数時間放電可能な蓄電池



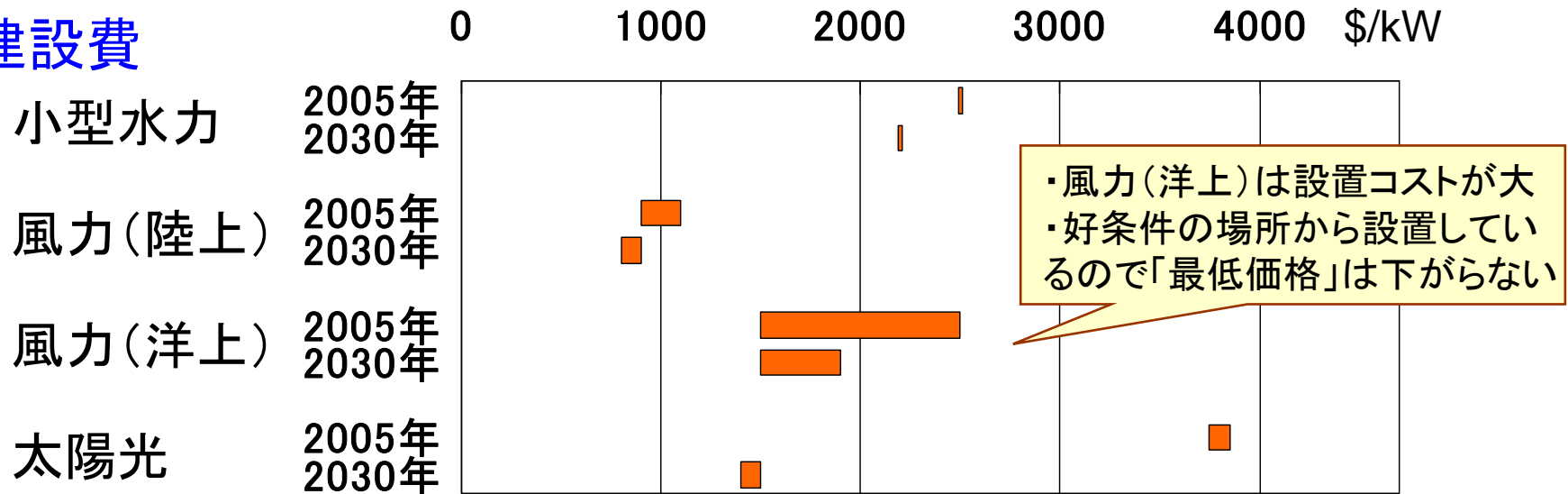
出所: 「蓄電池導入によるシミュレーションの実施」資源エネルギー庁新エネルギー対策課(2005年6月)

⑨ 蓄電池導入による長周期変動対策(イメージ)



(参) 自然エネルギー発電コストの現状と展望

建設費



発電コスト

