

# 太陽光発電・風力発電 の概要と動向



電力土木第20回会誌「講座」講習会

2015年7月16日



七原 俊也

東京工業大学大学院 電気電子工学専攻  
nanahara@ee.titech.ac.jp



[写真]オトソレイ風力, 電中研赤城試験センター

2

## 自然(再生可能)エネルギー発電

- 一般水力(中小水力)
- 太陽光発電
- 風力発電
- バイオマス発電(各種)
- 地熱発電

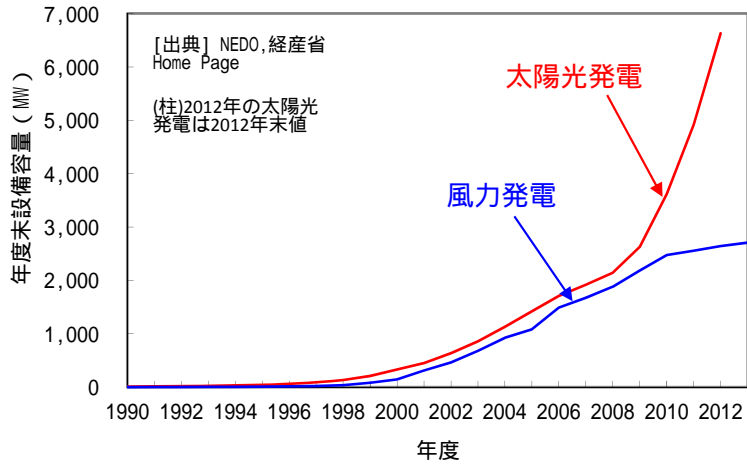


.....

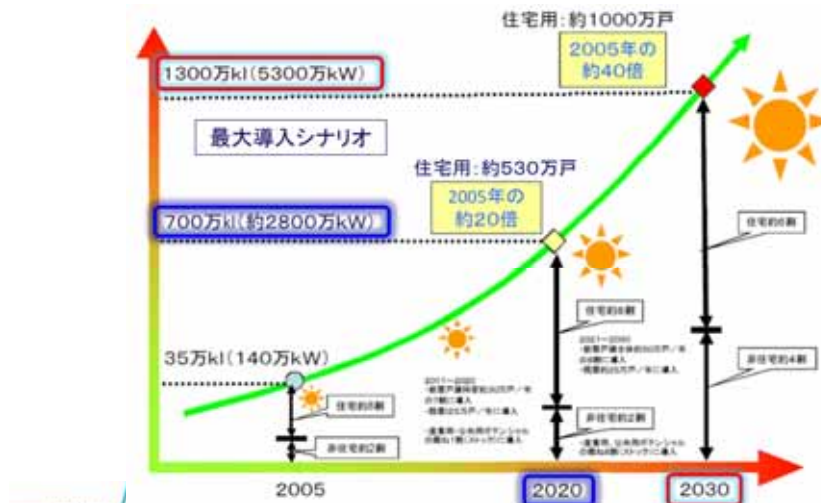
- 
- (ヒートポンプ)



# 太陽光発電・風力発電の増加




# わが国の太陽光発電の見通し？



## FIT導入後の導入量 (H26.11末)

5

種類	固定価格買取制度導入前	固定価格買取制度導入後			
	平成24年6月末までの累積導入量	平成24年度導入量(7~3月末)	平成25年度導入量	平成26年度導入量(~11月末)	認定容量(H24.7~H26/11末)
太陽光(住宅)	約470万kW	96.9万kW	130.7万kW	52.2万kW	334万kW
太陽光(非住宅)	約90万kW	70.4万kW	573.5万kW	532.2万kW	6,688万kW
風力	約260万kW	6.3万kW	4.7万kW	10.7万kW	143万kW
中小水力, バイオマス, 地熱	約1240万kW	2.4万kW	4.9万kW	8.3万kW	183万kW
合計	約2,060万kW	175.8万kW	713.9万kW	603.4万kW	7,349万kW

 [データ出典] 経産省, 「再生可能エネルギー各電源の導入の動向について」, 平成27年3月

## 固定価格買取制度: 買取価格(H27)

6

種類	10kW未満			
	太陽光	太陽光		浮上風力(90)
	出力制限なし 設置費あり*	出力制限あり** 設置費あり*	出力制限なし 設置費あり*	出力制限なし 設置費あり*
調達価格	33円	35円	27円	29円
調達期間	10年間		10年間	
	※北海道電力・東北電力・北陸電力・中国電力・四国電力・九州電力・沖縄電力の供給地域に係る区域において、平成27年4月1日以前に締結契約申込が受理された発電設備は、出力制限対応機器の設置が義務付けられます。			
種類	10kW以上			
	太陽光	風力		
	平成27年4/1~5/30 (利源配産期間)	平成27年1/1~		
調達価格	29円+税	27円+税		
調達期間	20年間	20年間		
	20kW以上	20kW未満	浮上風力(90)	
調達価格	22円+税	55円+税	36円+税	
調達期間	20年間	20年間	20年間	
	※建設及び運転保守のいずれの場合にも船舶等によるアクセスを必要とするもの。			

1kWhあたりの価格



[出典] 資源エネルギー庁ホームページ

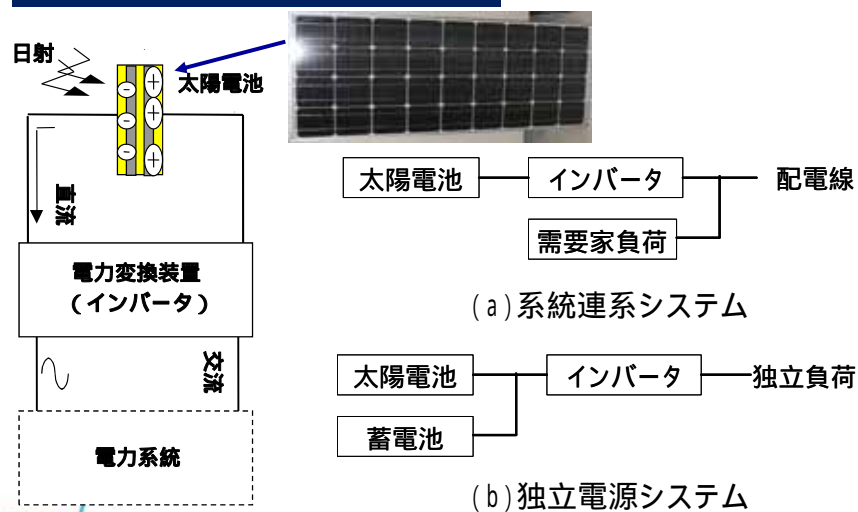
[http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving\\_and\\_new/saiee/kaitori/kakaku.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saiee/kaitori/kakaku.html)

## 発表の流れ

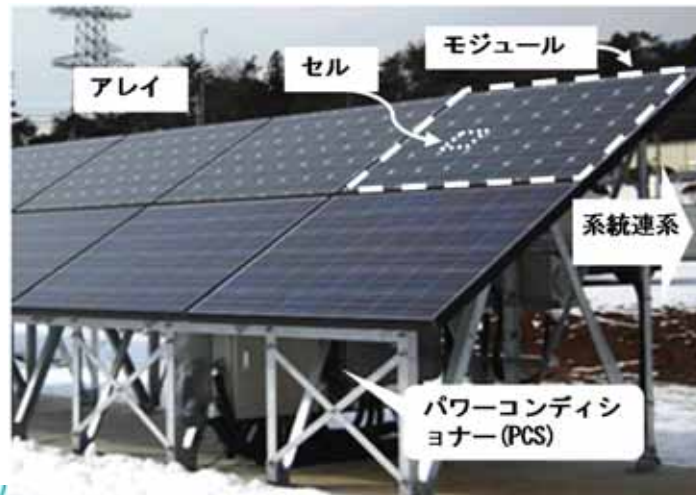
1. はじめに
2. 太陽光発電の概要と特徴
  - A) 概要と得失
  - B) エネルギー取得
  - C) 経済性
3. 風力発電の概要と特徴



## 太陽光発電の構成



## 太陽光発電の設備構成



[出典] 宇佐美, 「太陽光発電技術の動向と課題」, 電力土木, 2012年11月

## 太陽光発電(例)

[住宅用システム]



[Photo] By courtesy of Dr. Nakaoka

[大規模システム]



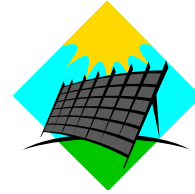
[Photo] 沖縄電力プレスリリース (H22/10/15)



## 太陽光発電の得失

### [長所]

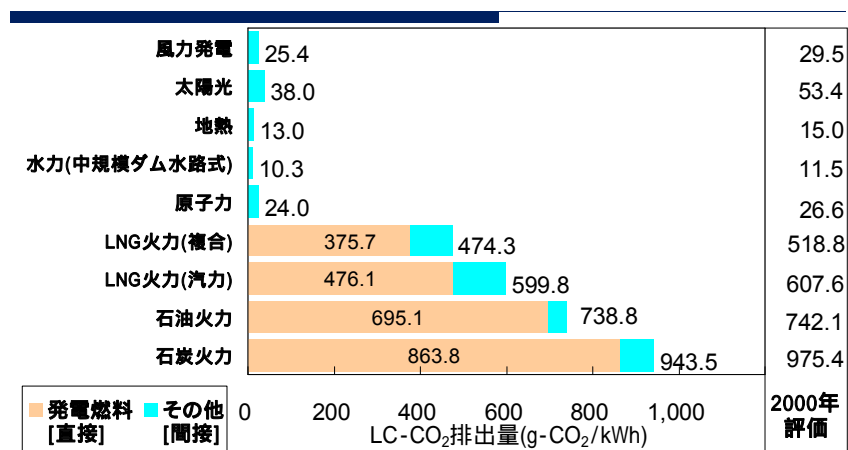
- 無尽蔵な国産エネルギー
- クリーン（二酸化炭素排出）
- 受け入れやすさ
- 可動部なし，メンテ労力小
- 身の丈のエネルギー 等



### [短所]

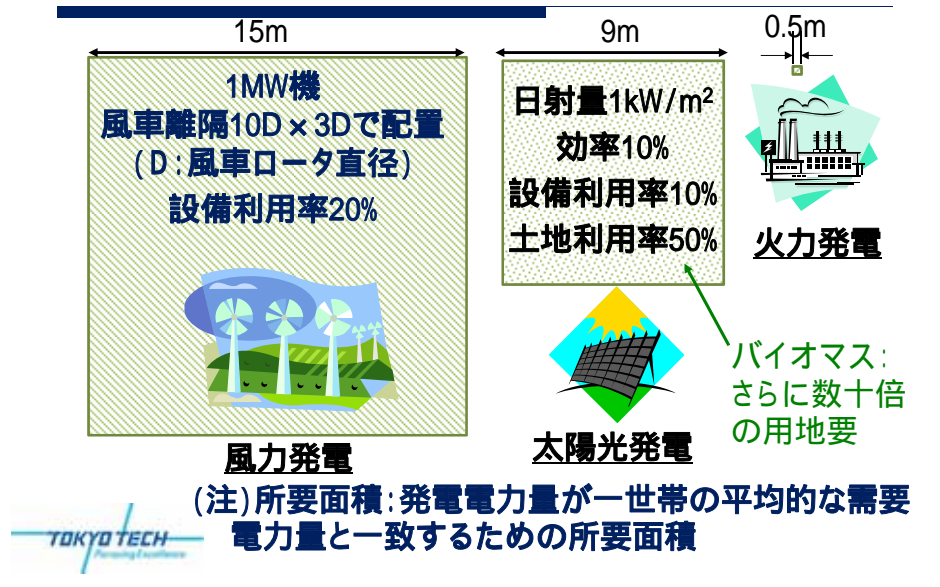
- ◆ エネルギー密度低 + 発電コスト高
- ◆ 出力が不安定
- ◆ 連系した電力系統への影響の恐れ 等

## 発電技術のライフサイクルCO<sub>2</sub>排出量

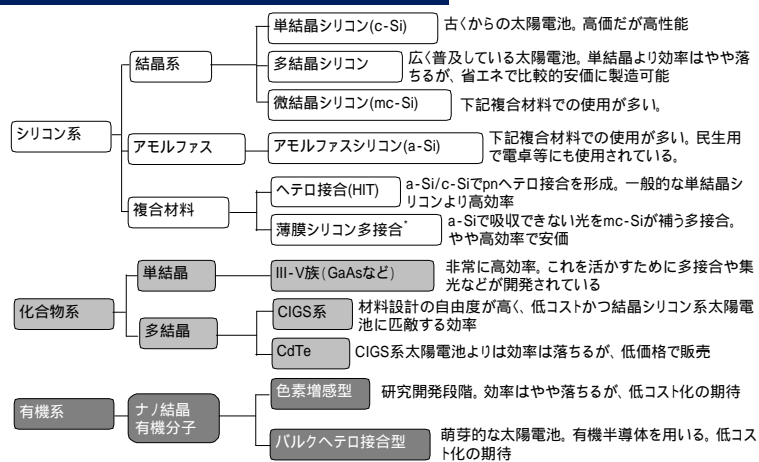


注) 上記は発電技術毎に算出したLC-CO<sub>2</sub>排出量を，各発電技術に属するプラントの総設備容量で加重平均した「電源別平均LC-CO<sub>2</sub>排出量」

## 一世帯の電力需要のための面積

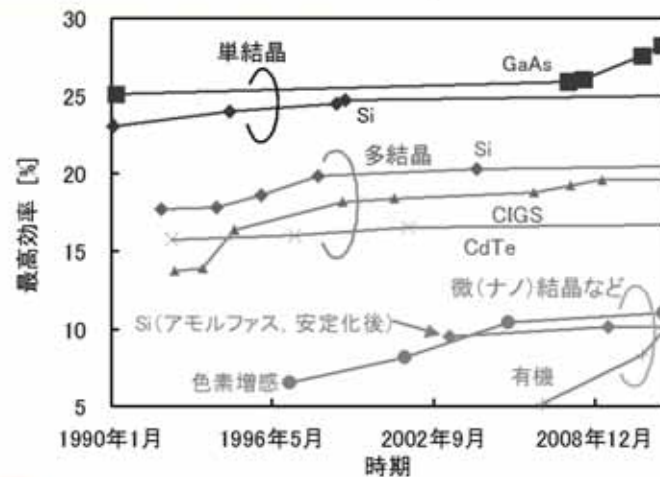


## 太陽電池の種類



\* 多接合: 分光特性の違う太陽電池を複数重ねて性能を高めたもの

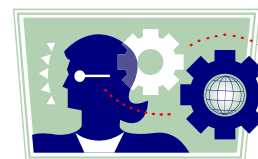
## 太陽電池の効率の推移



## PV増大にあたっての技術課題

1. 潜在量は非常に大も, エネルギーを増すには設置面積を大きくする要有り。現実的な制約は何か
2. 高コスト(少なくとも現在は)。どこまでコストを下げうるか
3. 間欠電源かつ分散形電源。電力系統への影響が懸念

など



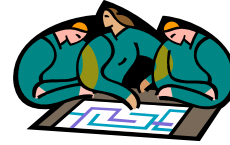


## エネルギー取得を増やす

**潜在量:** 日射量の1%でもわが国全体では兆kWhに及ぶ

**実際の設置:** 住宅用or大規模？

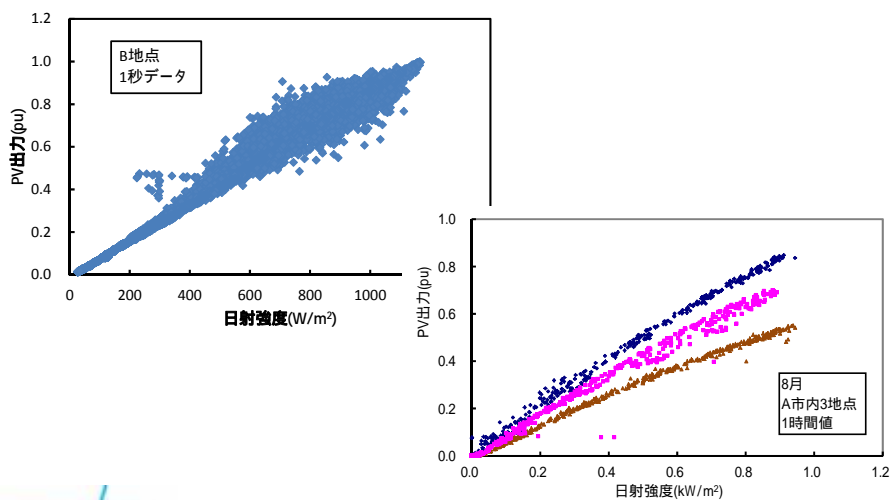
- 日当たりの良い広い敷地の確保
- 設置可能な建物
- 設置のしやすさ(架台等を含む)
- 電力系統との連系 など



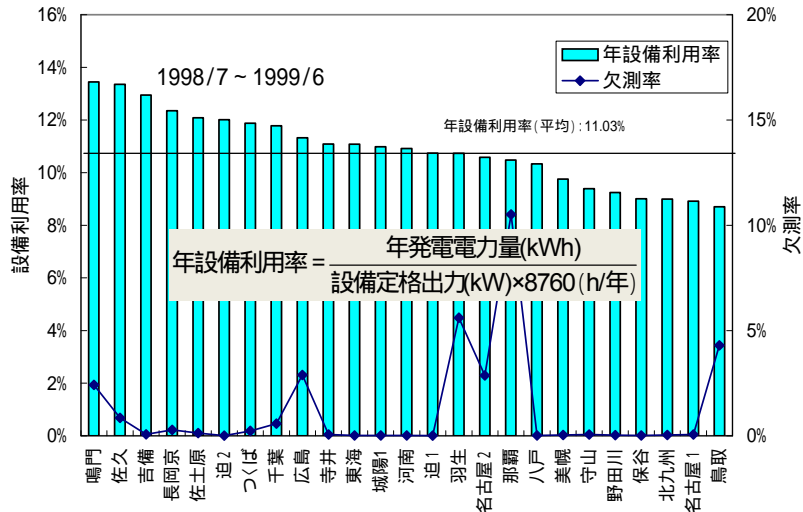
**設備利用率:** 12%程度が標準的

- 地域の気象条件
- サイトの日照条件(日陰など) など

## 日射強度とPV出力の関係の例

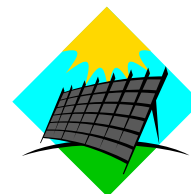
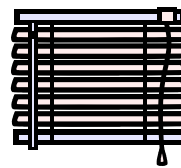


## 太陽光発電の年設備利用率の例

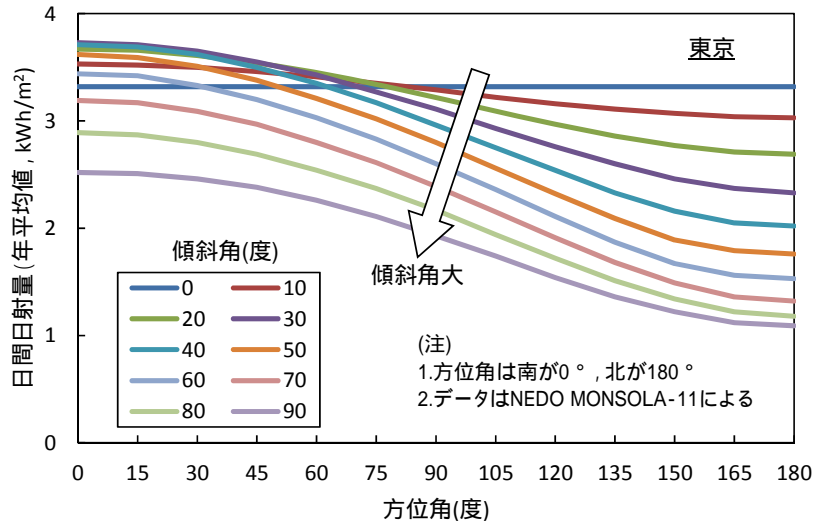


## PVの設備利用率に効く要因

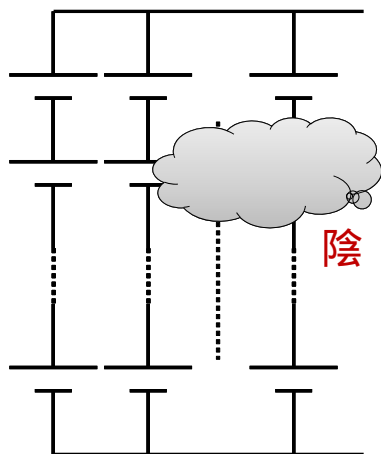
- 方位角, 傾斜角  
: 南向けの設置比率
- 日陰: 意外に軽視されることの多い要因
- 電池面への積雪など
- 電池種別: 薄膜型など
- 電圧上昇に伴う出力抑制  
など



# アレイの方位・傾斜角と利用率例 <sup>21</sup>



# 日陰の影響 <sup>22</sup>



日陰の影響



・古い電池と新しい電池  
・種類の違う電池  
の混用をしないで下さい

# 太陽光発電(例)



[Photo] By courtesy of Dr. Nakaoka



# 太陽光発電の導入ポテンシャル(例)



[出典] 資源エネルギー庁、「エネルギーミックスの選択肢の策定に向けた再生可能エネルギー関係の基礎資料」, 平成22年2月22日



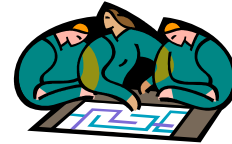
## 発電コストの低減

導入のための制度: RPS制度から固定価格買取(FIT)制度へ

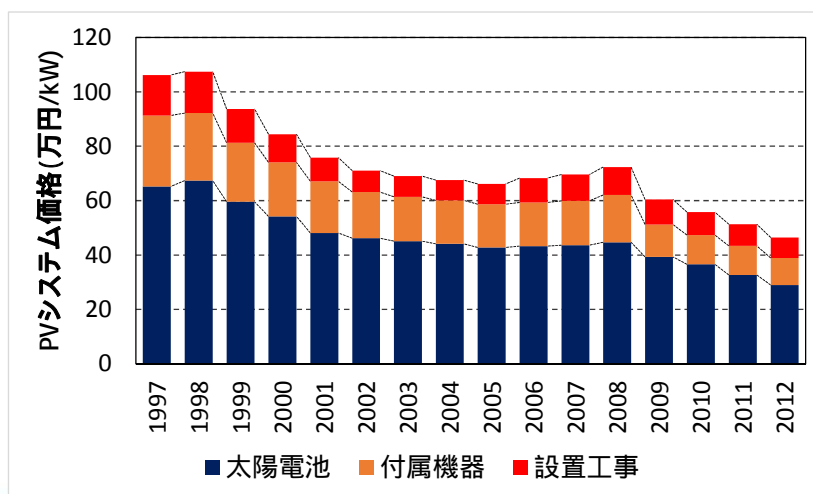
建設コストの低減:

- 技術進歩による太陽電池モジュール等のコスト低減
- 架台費用, 工事費などのコスト低減要
- 発電効率向上? など

設備利用率向上: 上述

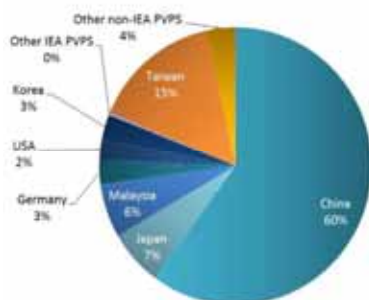


## 住宅用PVシステムの価格の推移

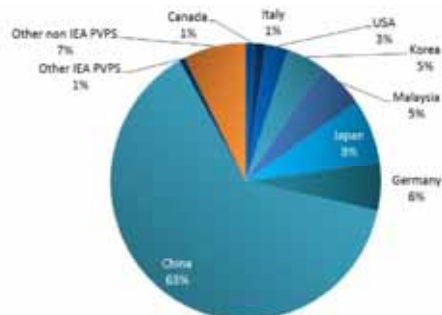


## 各国の太陽電池生産(2012)

[セル]



[モジュール]



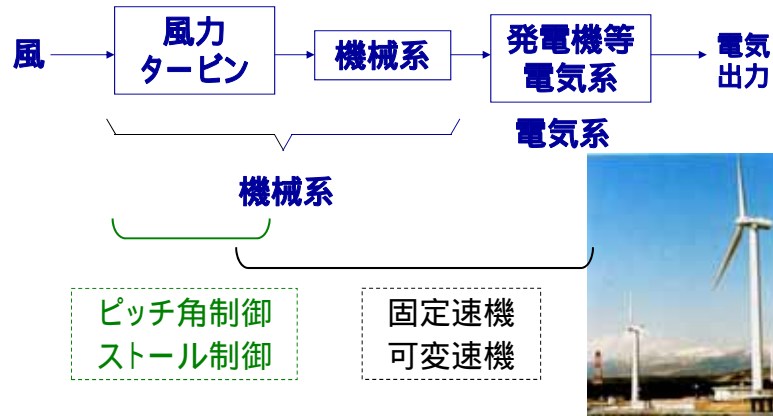
[出典] IEA PVPS, "TRENDS 2013 IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS," 2013.

## 発表の流れ

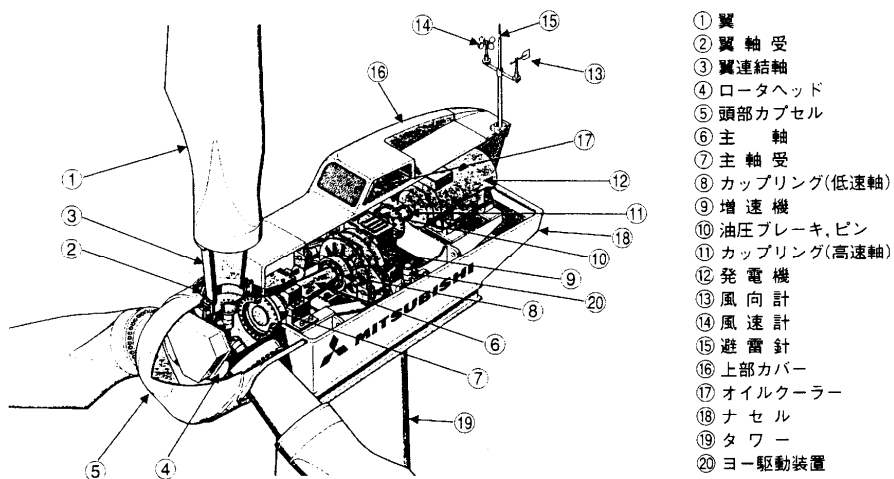
1. はじめに
2. 太陽光発電の概要と特徴
3. 風力発電の概要と特徴
  - A) 概要
  - B) 風と風車
  - C) 風力発電プラント



## 風力発電の構成



## 風力発電の構造



# 風力発電の例



風力発電機



ウィンドファーム

## 風力発電の適地の条件とは？



# 風力発電の特徴

### [長所]

- 国産かつ無尽蔵なエネルギー源
- クリーン・エネルギー (CO<sub>2</sub>排出)
- 再生可能エネルギーの中ではコスト低 など

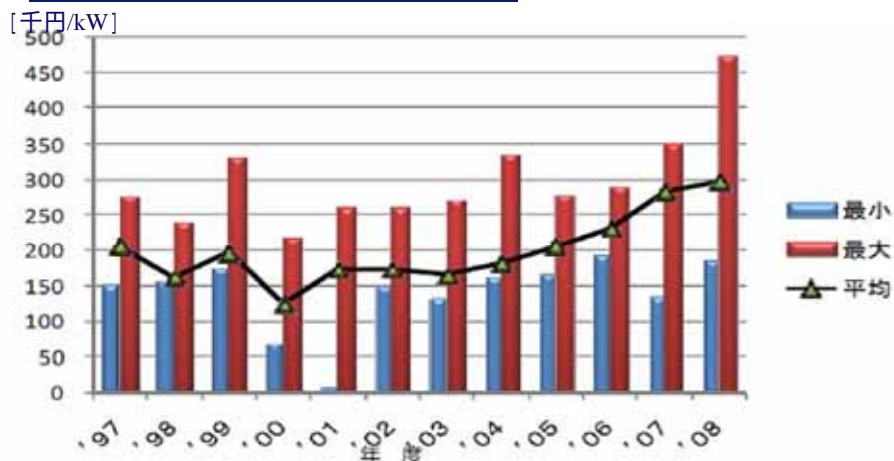
### [短所]

- 風のエネルギー密度は通常低い
  - 風を手なずけることは難しい
  - 気象条件により出力が変動
  - 風況の良い地点 人口密度低
  - 騒音、景観などの環境影響 など
- 系統への影響



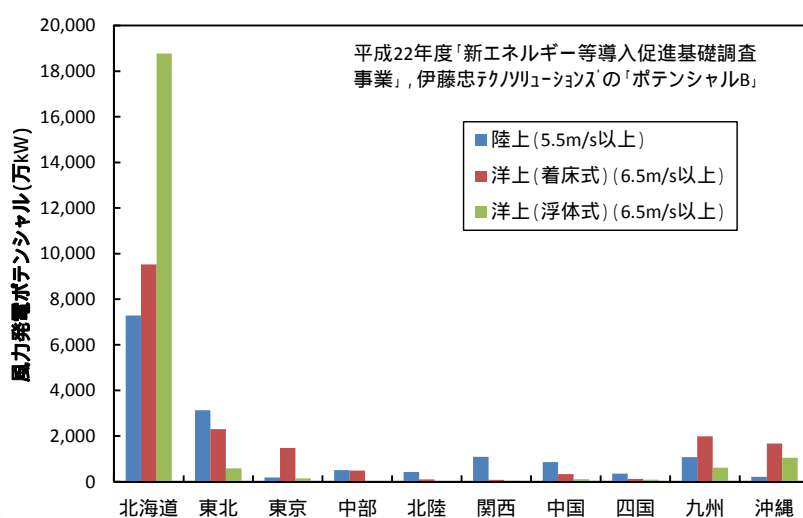


## 風力発電のシステム価格



[出典] 総合資源エネルギー調査会新エネルギー部会資料(2008年11月)

## 風力発電のポテンシャル評価例(地方別)



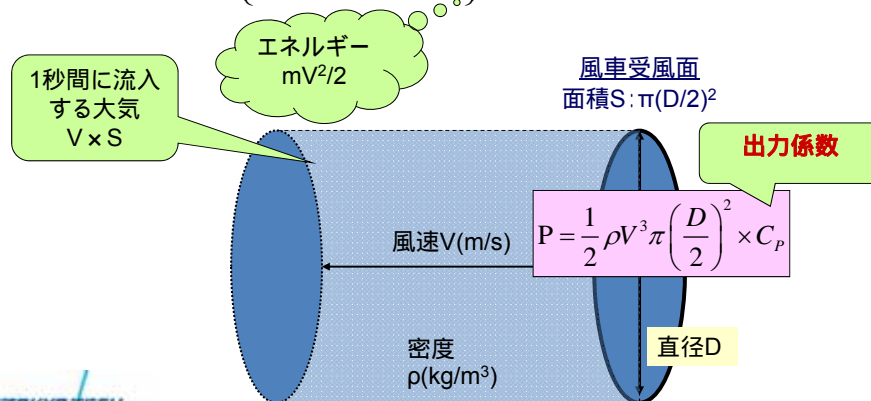
## 発表の流れ

1. はじめに
2. 太陽光発電の概要と特徴
3. 風力発電の概要と特徴
  - A) 概要
  - B) 風と風車
  - C) 風力発電プラント



## 風のエネルギーフラックス

$$P_{\text{wind}} = \frac{1}{2} \left\{ \rho \times V \times \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2 \right\} V^2 = \frac{1}{2} \rho V^3 \pi \left( \frac{D}{2} \right)^2$$



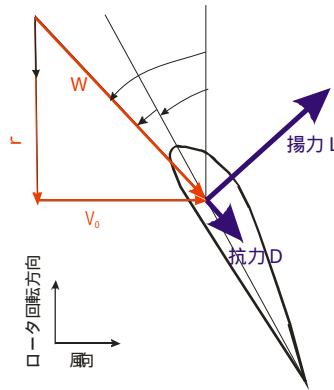
## 速度の三角形と相似則

速度の三角形は周速比により定まる

$$\text{周速比 } \lambda = \frac{r \cdot \omega}{V_0}$$

$$= \frac{r\Omega}{V}$$

↑  
相似則

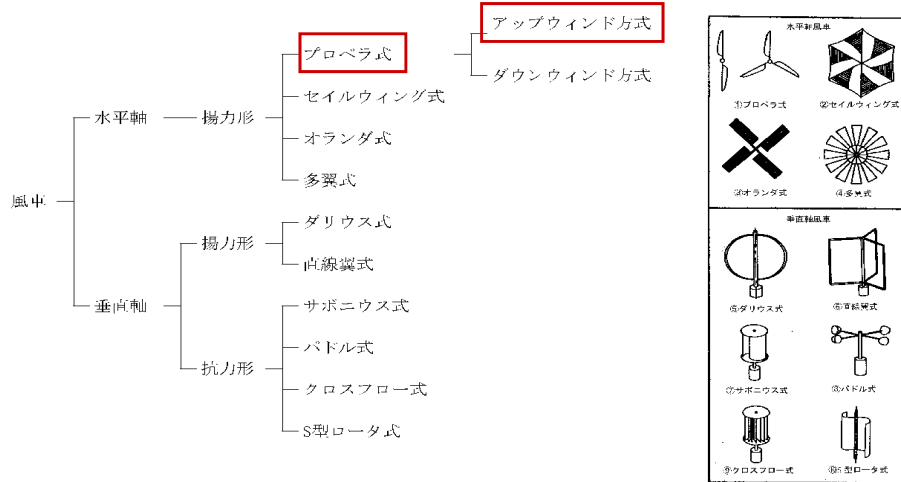


## 出力係数の最大値: ベッツ限界

- 出力係数の理論的最大値  
揚力形風車:  $16/27 (=0.59)$   
← ベッツ係数  
抗力形風車:  $4/27$
- エネルギー保存(ベルヌーイの定理), 運動量保存, 質量保存の法則等から導出。
- もし効率が100%なら, 風車背後で風が止まりブロッキング状態となる ← 矛盾

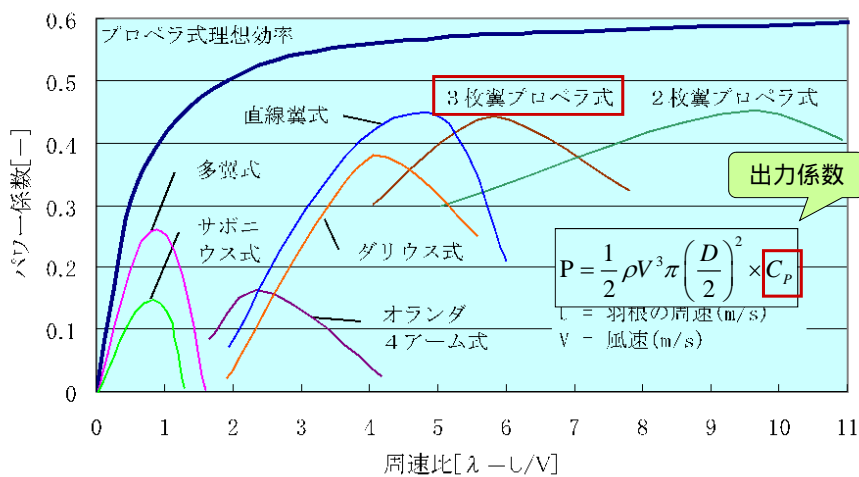


# 風車の種類



[出典]NEDO:風力発電ハンドブック

# 風車の出力係数

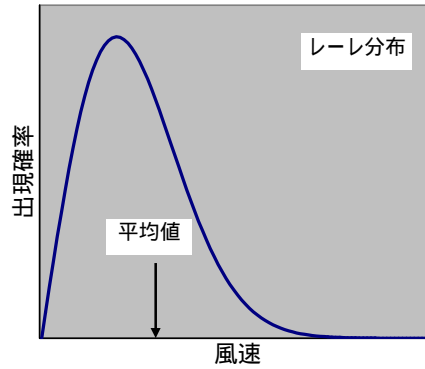


[出典]NEDO:風力発電ハンドブック

## 風速の分布と平均風速

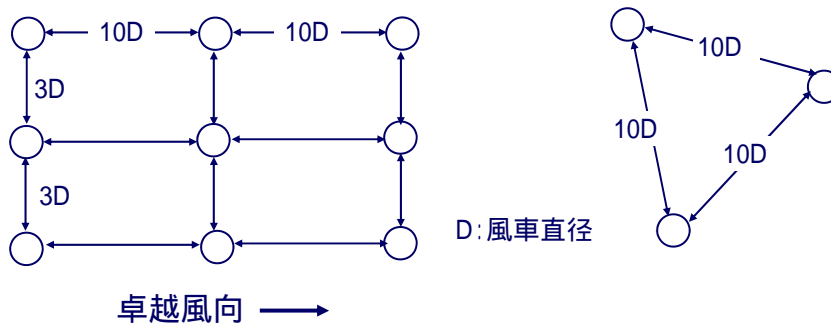
- 風力発電については高風速の地点に設置することが必須
- [条件例]  
地上高30mでの年平均風速が6m/s以上

[出典]NEDO:風力発電導入ガイドブック, 1996



風速の分布例(レーレ分布)

## 風車の離隔(後流影響)



(a) 卓越風向が明瞭な場合 (b) 卓越風向が明瞭でない場合

[出典] NEDO:風力発電導入ガイドブック, 1996

## 風力発電の種別(基本)

- 単位時間に風車回転面を通過する風の保有するエネルギー: 風速の3乗に比例



強風時にいかにエネルギーを逃がすか:  
ピッチ角制御とストール(失速)制御

- 出力は基本的に風任せ



多少でも制御を可能とするか否か:  
固定速機と可変速機  
(パワーエレクトロニクスの利用)

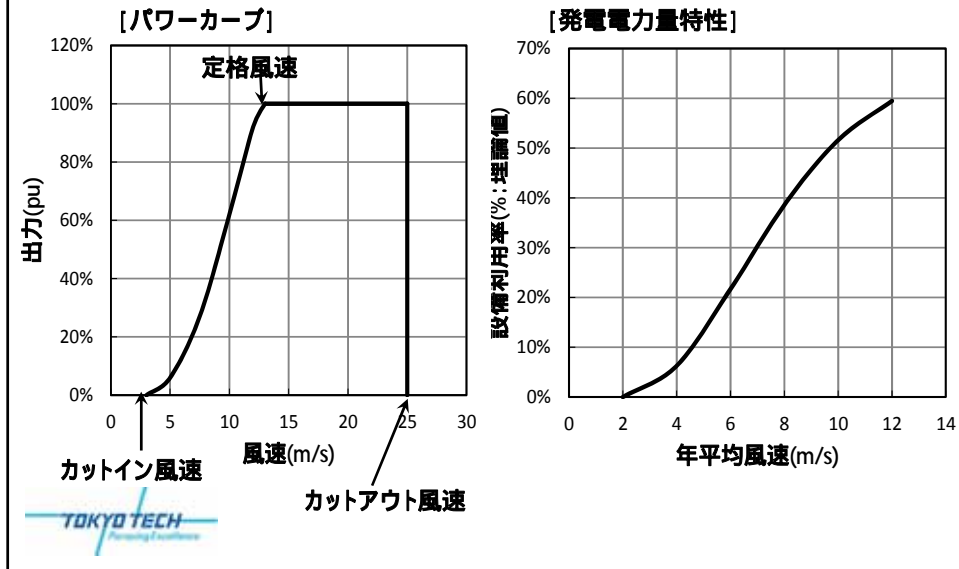


## 発表の流れ

1. はじめに
2. 太陽光発電の概要と特徴
3. 風力発電の概要と特徴
  - A) 概要
  - B) 風と風車
  - C) 風力発電プラント

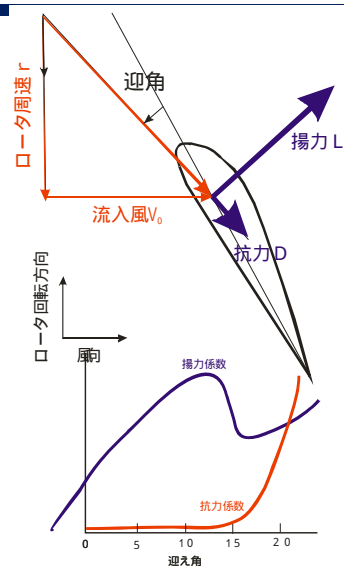


## 風力発電のパワーカーブ例



## 空カトルクの制御方法(基本)

- ピッチ角制御:  
風速に応じ迎え角を変える
- ストール制御  
(失速制御):  
翼の失速特性(+速度の三角形)を利用



## 風力発電の種別(基本)

- 単位時間に風車回転面を通過する風の保有するエネルギー: 風速の3乗に比例



強風時にいかにエネルギーを逃がすか:  
ピッチ角制御とストール(失速)制御

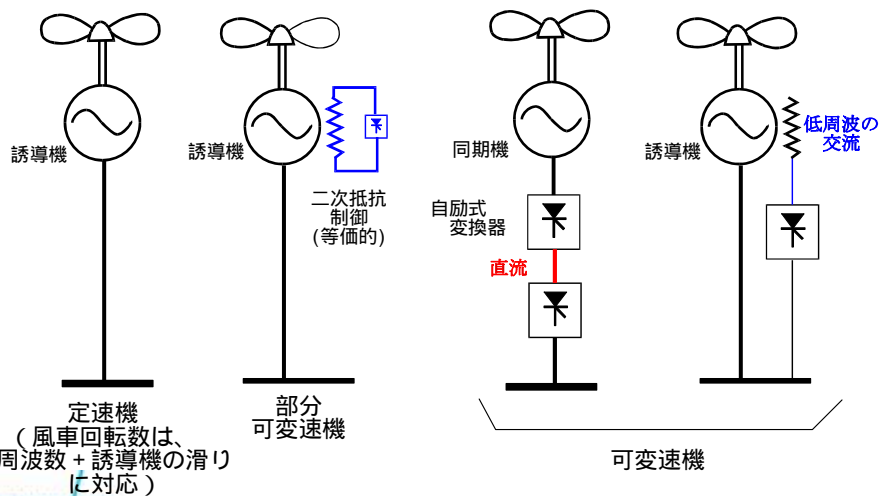
- 出力は基本的に風任せ



多少でも制御を可能とするか否か:  
固定速機と可変速機  
(パワーエレクトロニクスの利用)



## 風力発電のタイプ

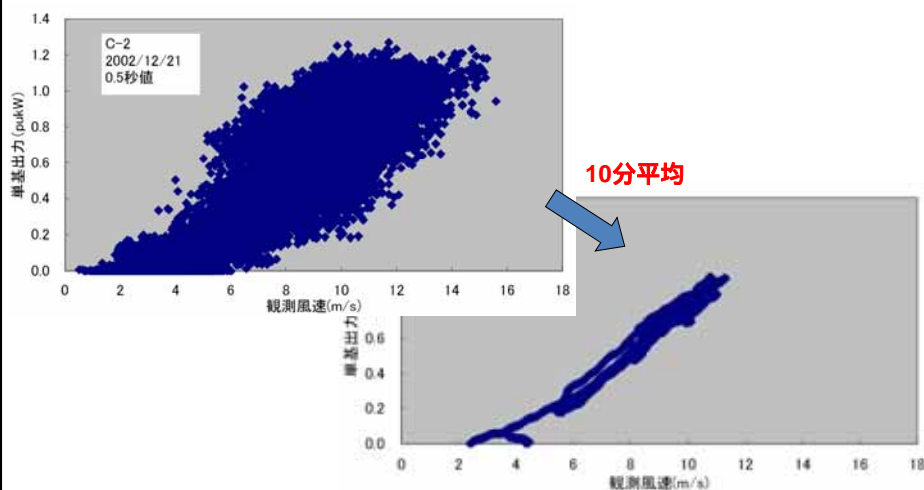




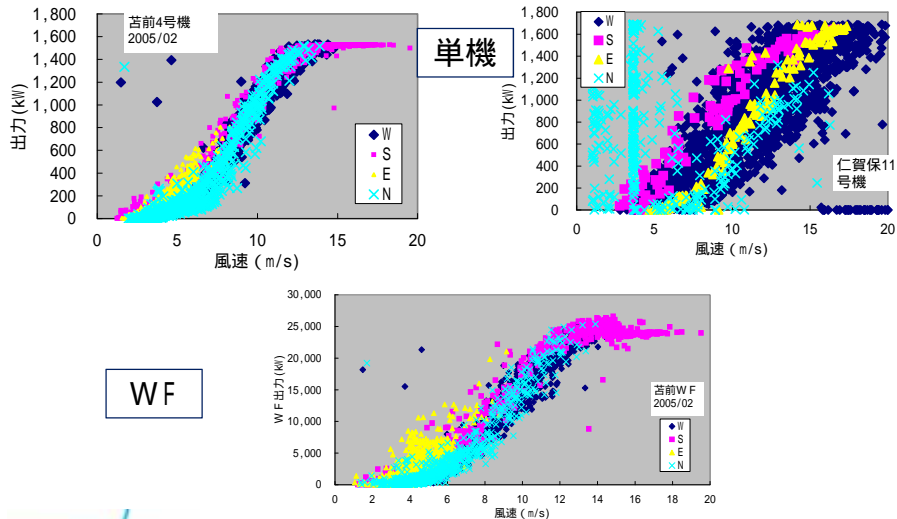
## 固定速機と可変速機の特⼒比較 49

	固定速 (二速機)	部分 可変速	可変速 (セルビウス)	可変速 (DCリンク)
出力変動	×	× ~	× ~	× ~
利用率	?	?	?	?
突⼊電流	×	×		
力率	×	×		
荷重	×	×		
騒音	×	× ?		
その他	極数切替時の系統影響			増速機不要 電気系のみ大

## 単基の風速 - 出力特⼒例 50

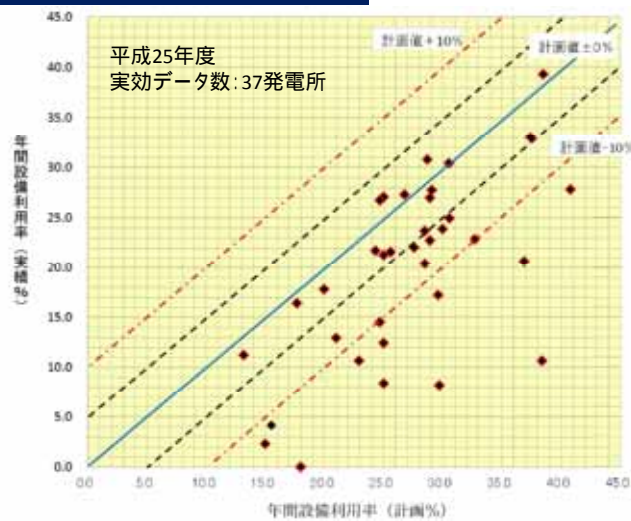


# 風速 - 発電出力(10分値)特性の例



[ 出典 ] NEDO : 風力発電電力系統安定化等技術開発

# 設備利用率: 計画値と実績値の例



[ 出典 ] 経済産業省北海道産業保安監督部「平成25年度 北海道における風力発電の現状と課題」, 平成26年9月25日

## 設備利用率が計画値を下回った原因

	原因	発電所数
1	計画通りの風況が得られなかった	10発電所
2	風況はほぼ計画通りであったが、パワーカーブどおりの性能が発揮できなかった	1発電所
3	故障による停止や補修、メンテナンスにかかる時間が多かった	21発電所
4	その他	7発電所



[出典] 経済産業省北海道産業保安監督部「平成25年度 北海道における風力発電の現状と課題」, 平成26年9月25日

## 風力発電機の様々なトラブル

苛酷な環境 + 技術の成熟度？

- 雷害: ブレード, 発電機等
- 強風: 倒壊, ブレード折損等
- 塩害: 絶縁不良
- 機械系: 翼, 増速ギア等
- 電気系: 制御不安定等
- 環境: 低周波音 など



技術的知見蓄積の必要性

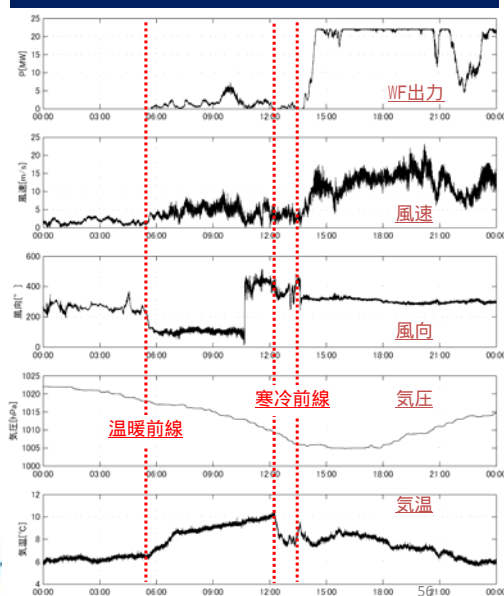


## 発表の流れ

1. はじめに
2. 太陽光発電の概要と特徴
3. 風力発電の概要と特徴
  - A) 概要
  - B) 風と風車
  - C) 風力発電プラント
  - D) 時間があれば……

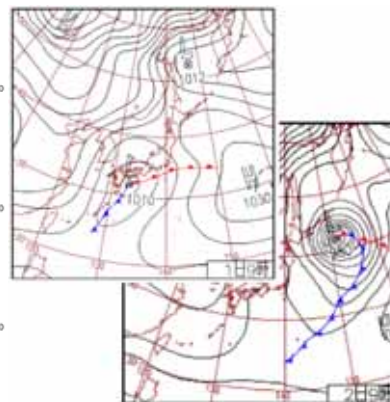


## 出力変動大: 前線通過



低気圧 + 寒冷前線の通過  
による出力急増

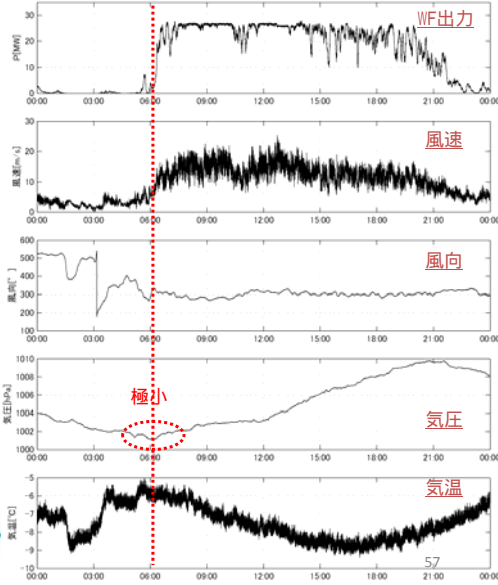
T2-WF 2006/02



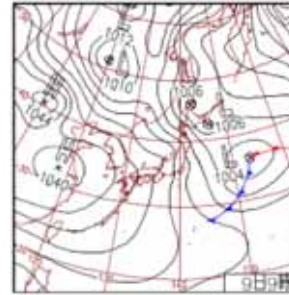
[出典]NEDO:  
風力発電電力系統安定化等技術開発

# 出力変動大: 低気圧通過

57



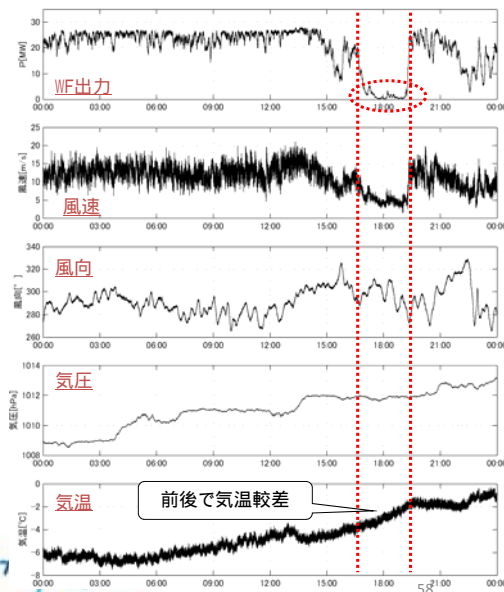
低気圧通過(+季節風の吹き出し)による出力急増  
T1-WF 2006/02



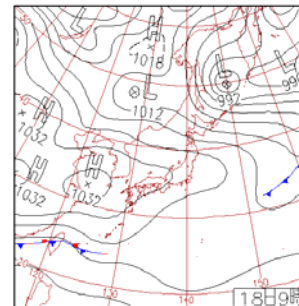
[出典]NEDO:  
風力発電電力系統安定化等技術開発

# 出力変動大: 理由?

58



出力急減+急増(理由?)  
T1-WF 2006/02



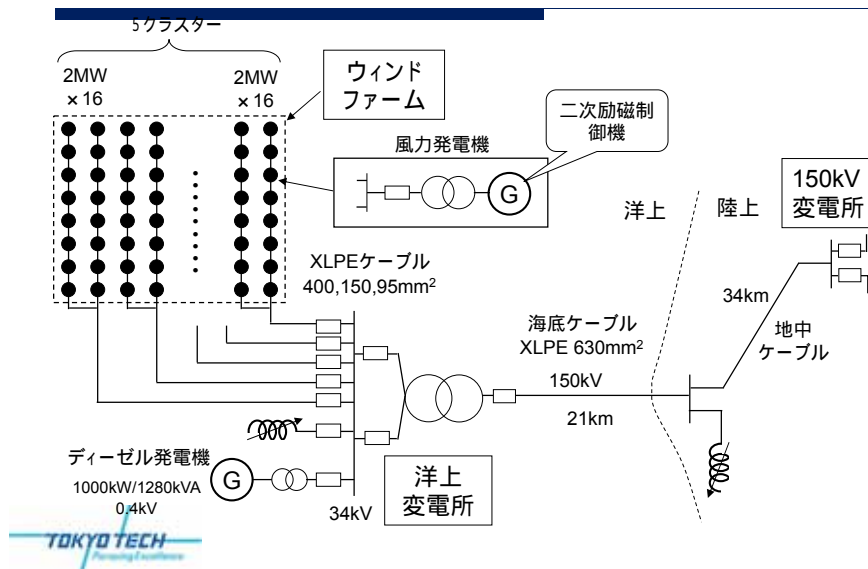
[出典]NEDO:  
風力発電電力系統安定化等技術開発

## 洋上風力

- 得失
  - メリット: 風況が良い など
  - デイメリット: コスト高, メンテナンス など
- 着床式と浮体式
- 海外では送電距離大の場合, 直流送電の採用も
- 電気設備の技術トラブル: 電力ケーブル, 変圧器など



## 洋上風力発電所の構成例 (Horns Rev)



## むすびにかえて(私見)

特に風力発電については，過去は様々な技術的トラブルもあったが，かなり成熟という印象



太陽光・風力ともに

- 適地への設置が不可欠
- 長期的な信頼性？
- コストについては，原点に戻ってみる必要もある？



ご清聴ありがとうございました

ございました

