

再生可能エネルギー電源の大量導入 に伴う技術課題とその対応方策

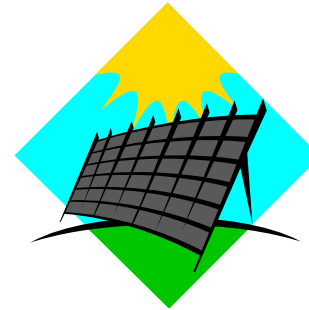
研究集会：「スマートグリッドのモデル
化とシミュレーション技術」
平成26年10月24日

東北大学・電力中央研究所
七原 俊也



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



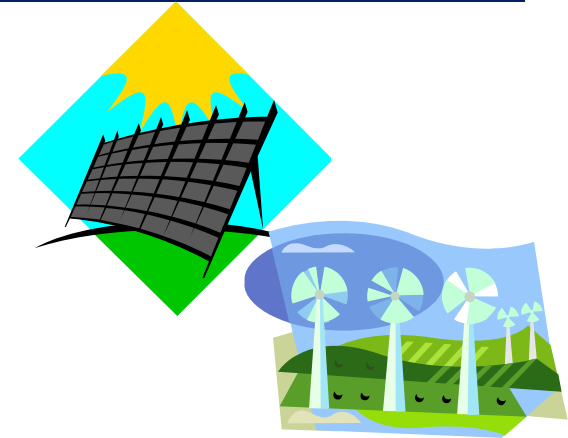
.....

-
- (ヒートポンプ)

太陽光・風力発電の得失

[長所]

- 無尽蔵かつ国産エネルギー
- クリーン（二酸化炭素排出）
- 受け入れやすさ（PV等）
- 可動部なし，メンテ労力小(PV) 等

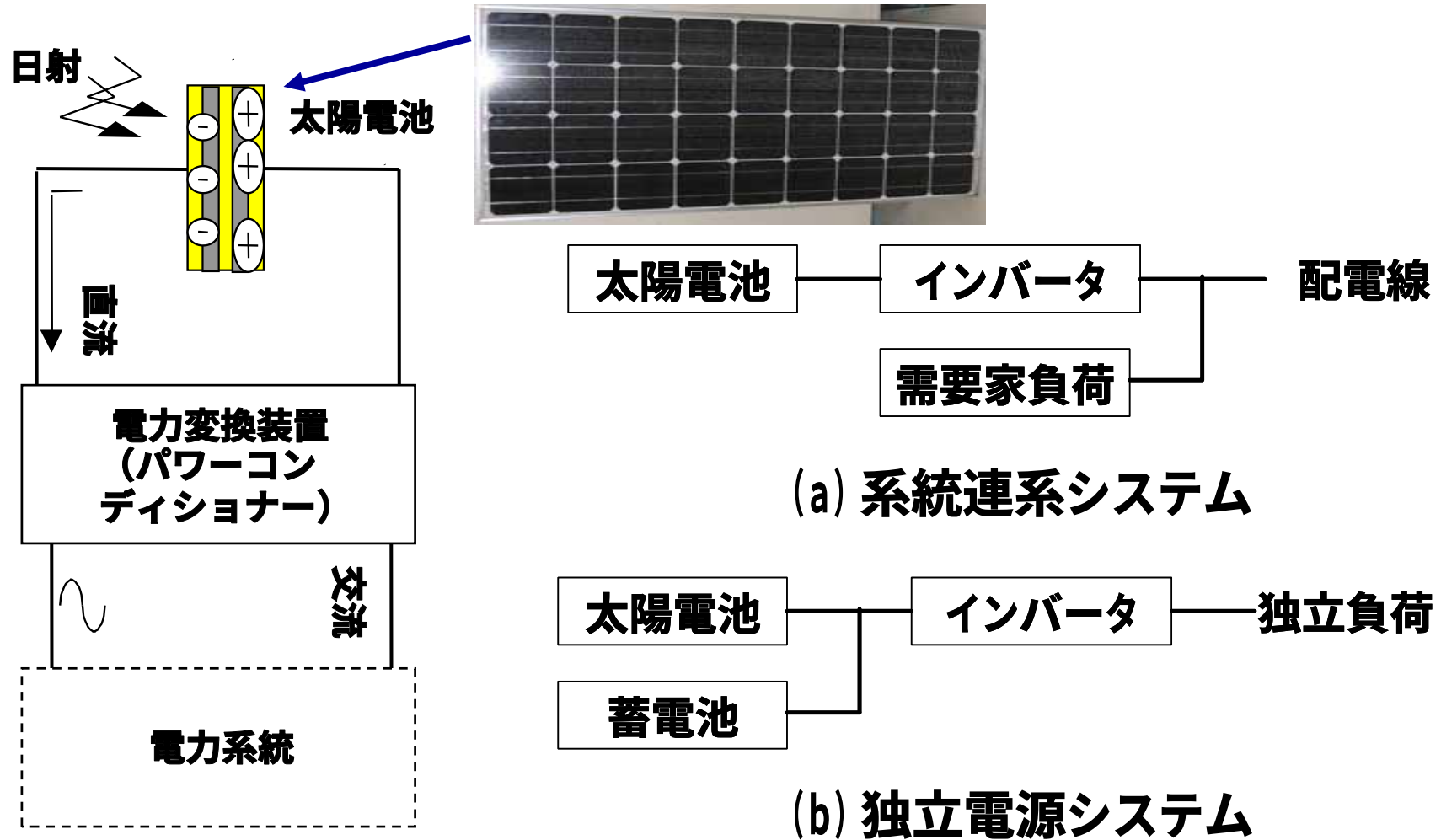


[短所]

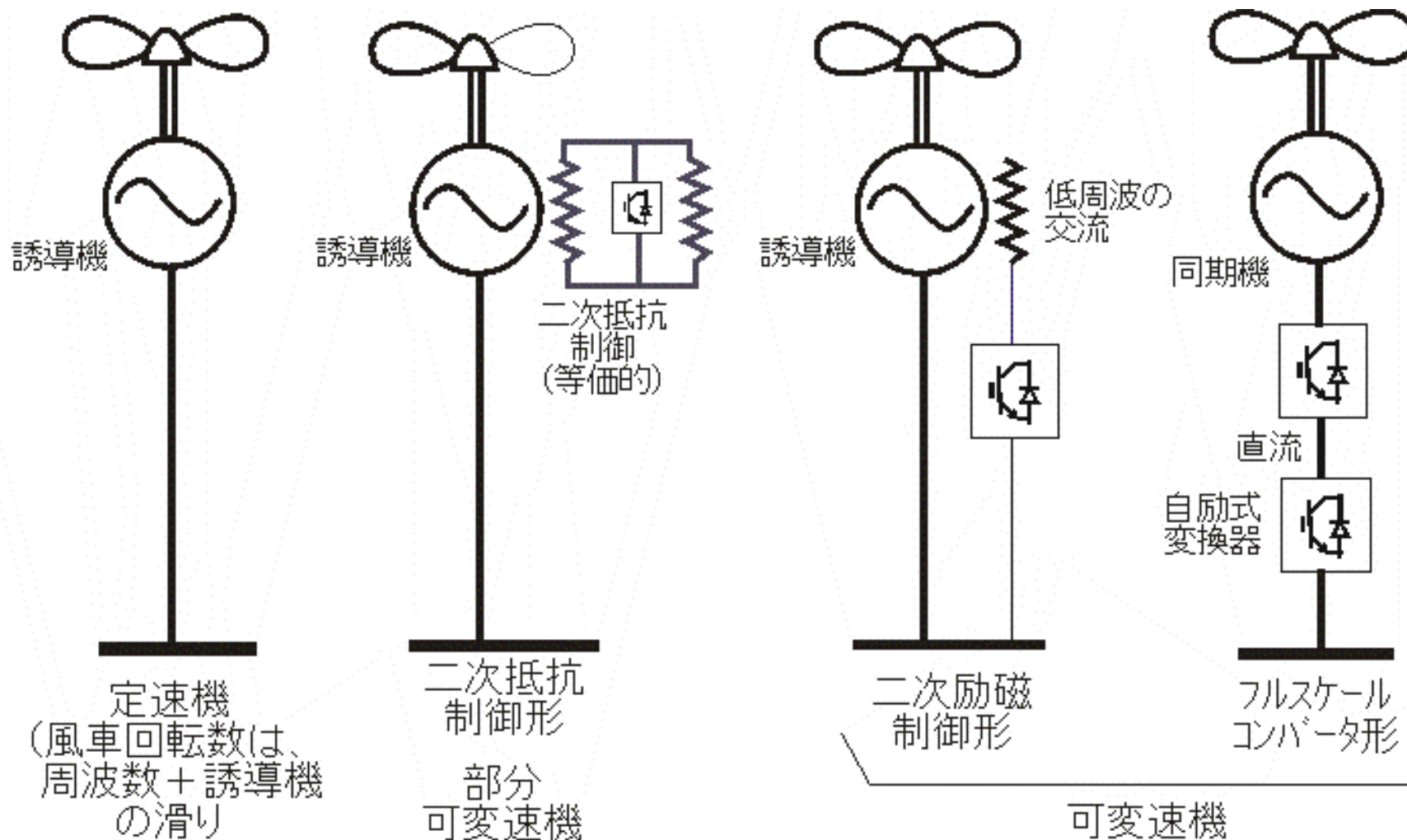
- ◆ エネルギー密度低＋発電コスト高（特にPV）
- ◆ 設備利用率低
- ◆ 出力が不安定
- ◆ 連系した電力系統への影響 等

今日の話

太陽光発電 (P V) の構成



風力発電の主要なタイプ

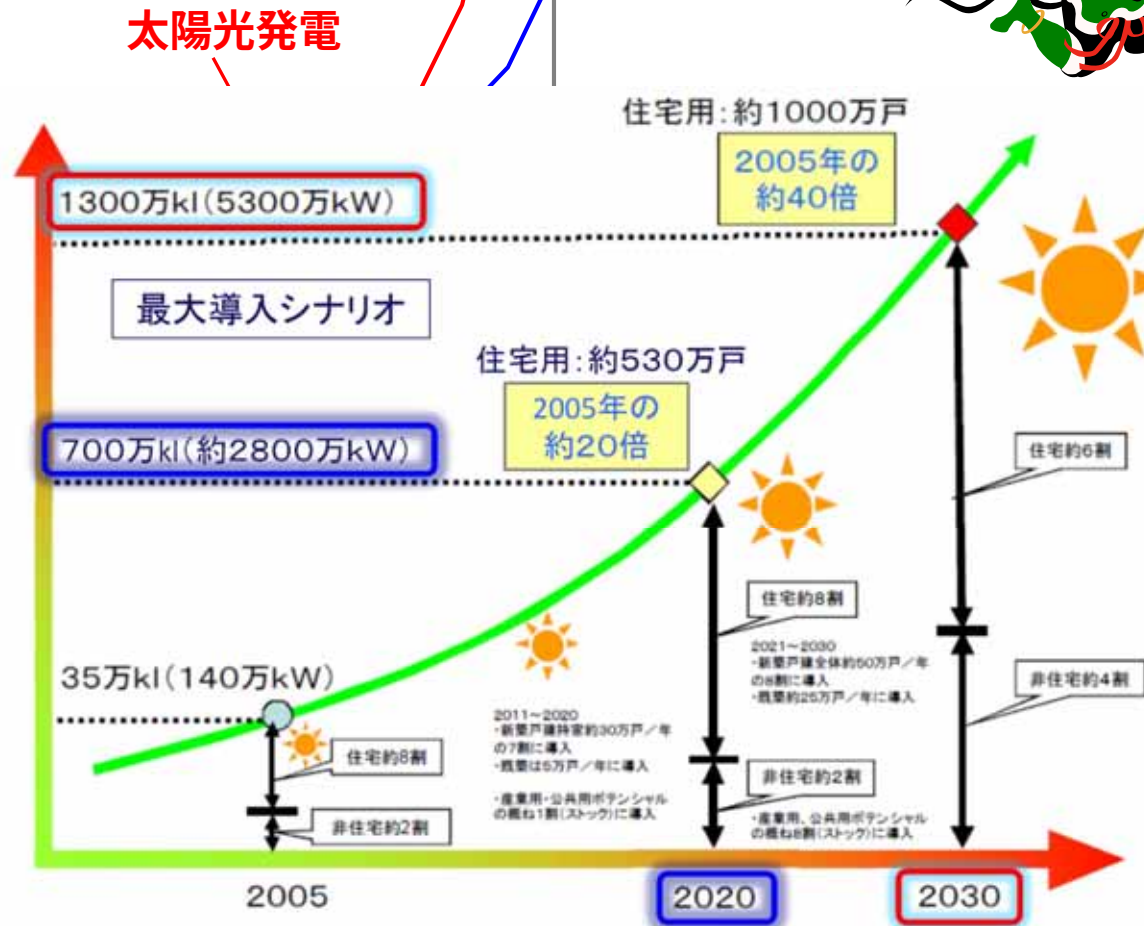
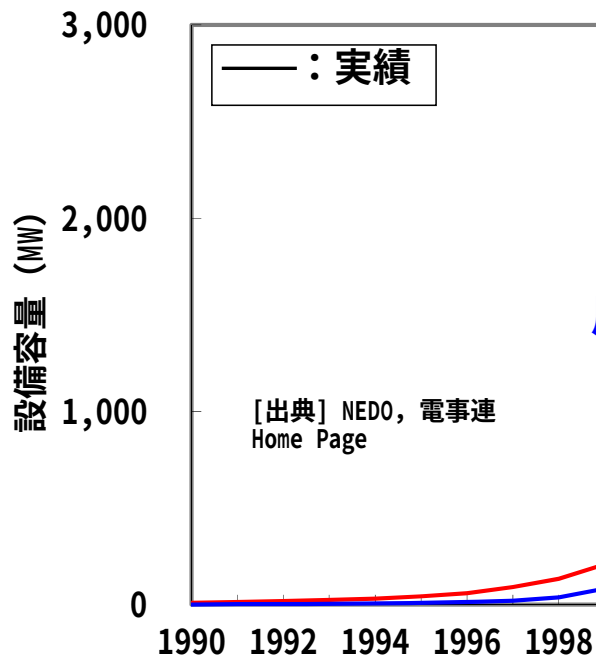


発表の流れ

1. はじめに：太陽光・風力発電の概要
2. 太陽光・風力の電力系統に及ぼす影響
 - ・ 概要
 - ・ 個別の影響
3. 研究事例の紹介
4. シミュレーションとモデル化からの課題
5. むすび



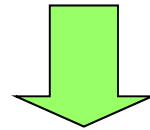
わが国の風力・太陽光発電容量



出典: 新エネルギー部会資料

太陽光発電(PV)：5,300万 kW

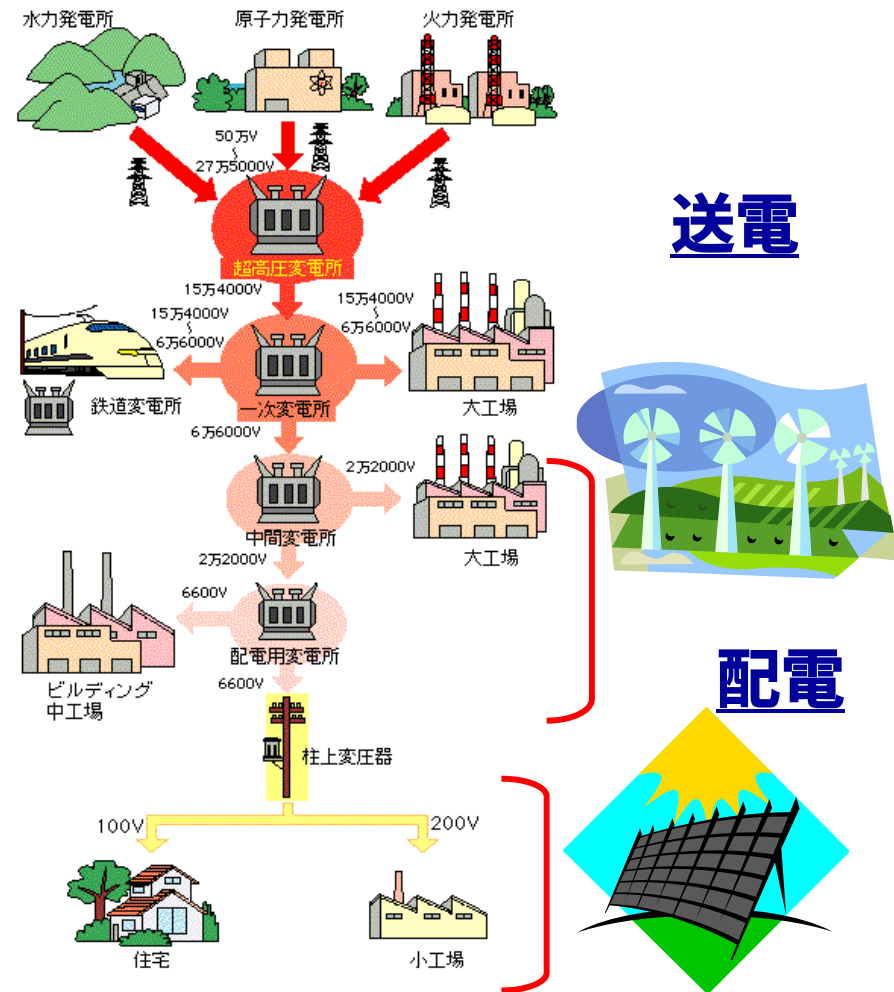
- 太陽光発電：5300万 kW ← 系統連系
 - ピーク電力需要の30%
 - 半数程度の一戸建て住宅にPVを設置
等



電力系統への影響が正確に把握できるか？
基軸電源としての役割？

太陽光・風力の連系に関わる課題

- 弱い系統に連系されることが多い**分散形電源**（例）低圧連系の太陽光発電
- 大きな出力変動を伴う**間欠電源**。またその出力の正確な予測は困難
- 従来型電源と違う発電機：（例）インバータ，誘導発電機



[出典] 電事連 HP

PV, 風力発電の電力系統への影響

	影響の内容	影響を左右する要因		
		脆弱系統	出力変動	発電機種別
ローカル 影響	送電容量の上限	○		
	電圧変動	○	○	△
	保護協調	△	△	○
	単独運転			○
	電力品質	---	---	---
	ー高調波	○		○
	ー電圧フリッカ	○	○	○
	その他	---	---	---
全系 への 影響	需給運用・制御 (周波数影響)		○	
	バックアップ電源要		○	
	系統擾乱時の安定性			○
	系統動特性への影響			○
	その他	---	---	---

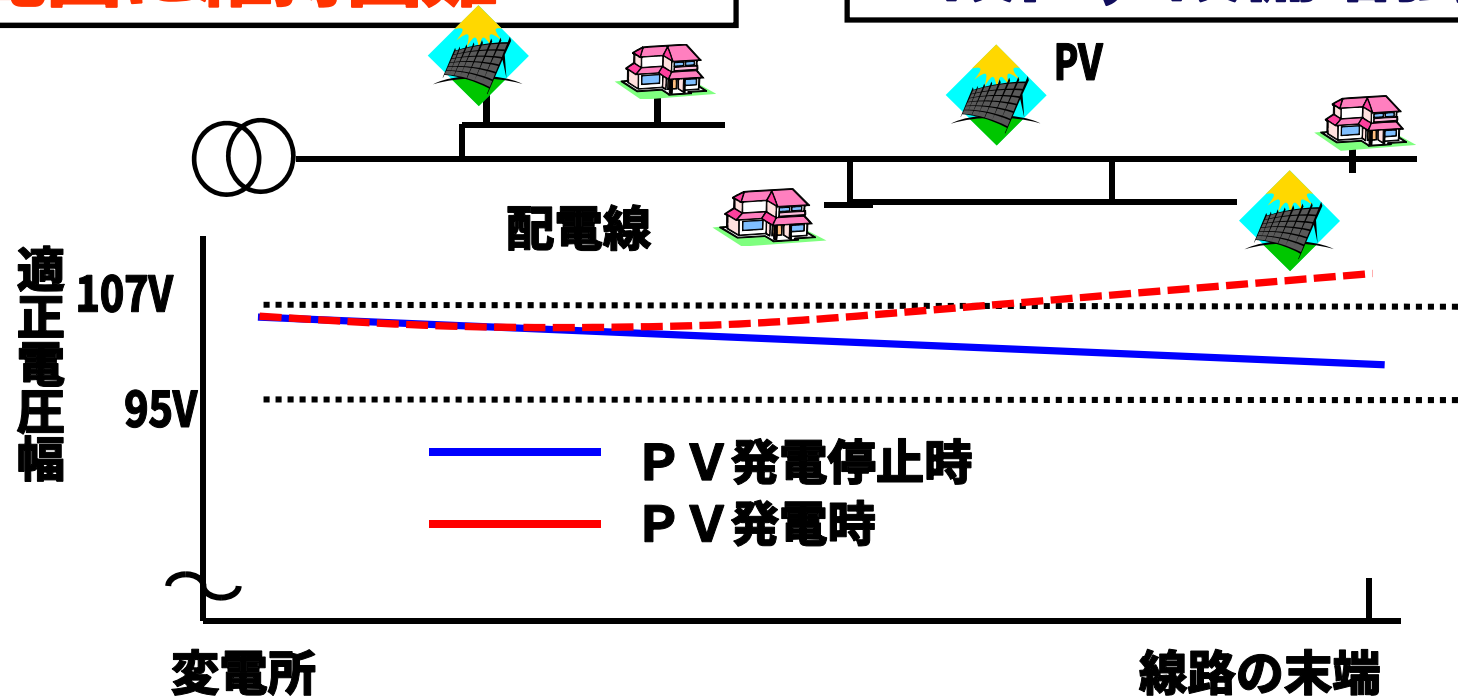
課題 1 : 電圧変動

課題

PV等の導入量が大
→ 供給電圧を適正
範囲に維持困難

解決策

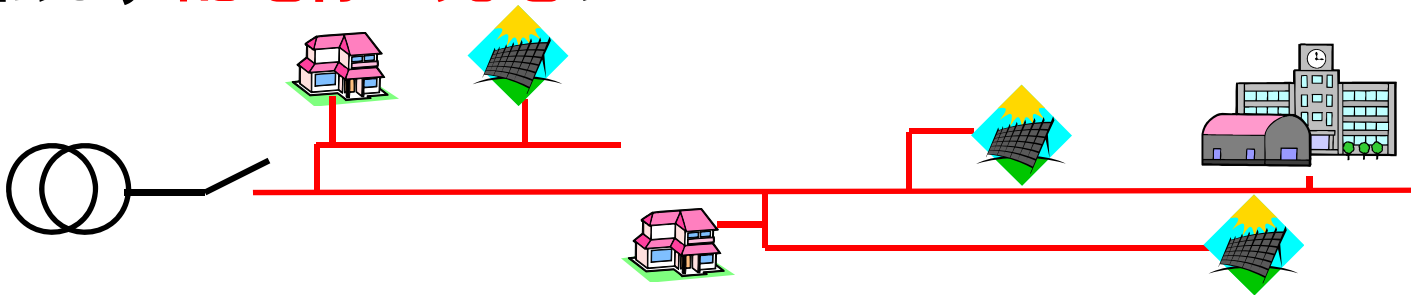
PV等に電圧調整機能を
付加, 対策機器 (SVC等)
の設置, 設備増強など



課題 2：分散形電源の単独運転

単独運転とは：

配電線が供給停止した後も分散形電源が継続して運転し、**配電線を充電する**



- 問題点**
- 充電された電気の電圧，周波数は保証されない
(接続されている**電気機器の故障**)
 - 保守要員が充電していることの確認に時間を要す
(保守作業員の**安全性の低下**)
 - 再閉路時に電源側の電圧との位相差により問題を
生じる

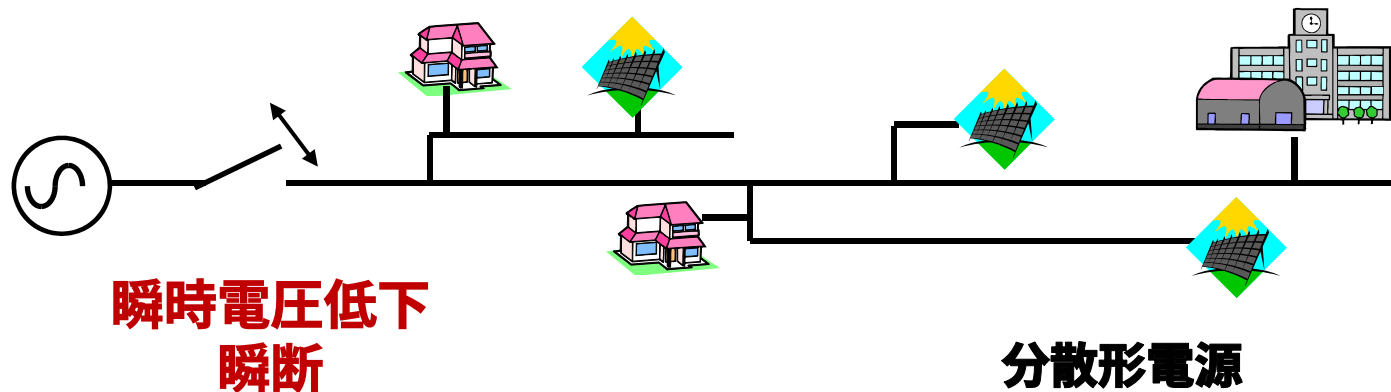
単独運転の検出方式

- 局限化リレー：電圧，周波数リレー
←盲点（需給のバランス時）の存在
- 単独運転検出
 - 受動方式：位相跳躍，周波数変化率，3次高調波検出など
←盲点の存在と不要動作の可能性
 - 能動方式：無効電力変動，周波数シフト，負荷変動など
←大量導入時の干渉，動揺と系統擾乱？

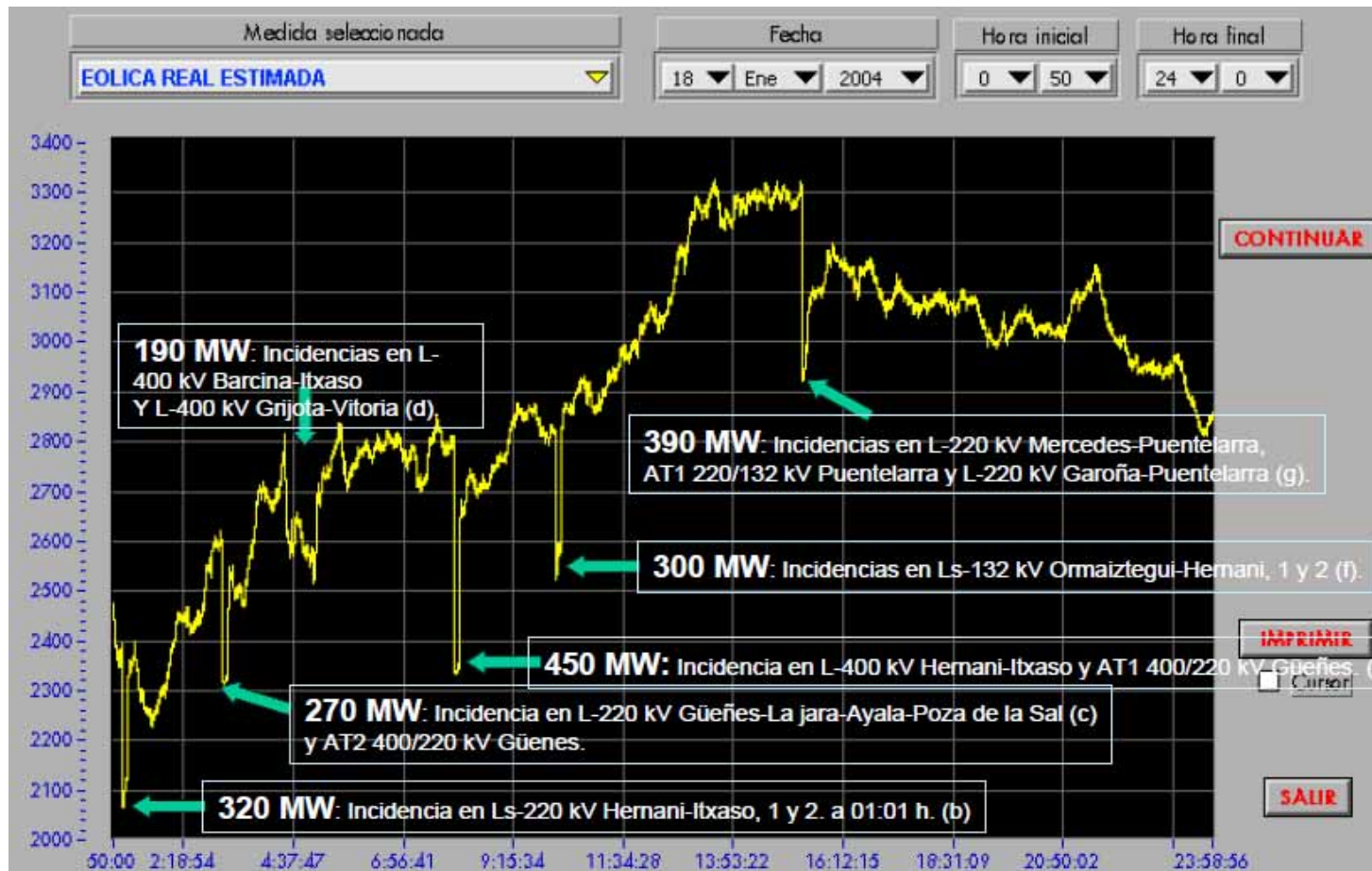
課題3：系統擾乱による脱落

瞬時電圧低下などの系統擾乱

→ 分散形電源の安定運転？



瞬低による一斉脱落の例



[出典] Juan F. Alonso-Llorente, "Integration of wind Generation within the Power System – Experiences from Spain," Eolica Mediterranean, Rome, September, 2005.

P V の安定性(例)

項 目	インバータ型電源
○瞬時電圧低下試験 - 上位系統事故を模擬	5社のうち4社は残電圧約70%で 瞬時停止 (主に機器保護の動作による)
○電圧位相急変試験 - 系統切替を模擬	5社のうち4社は約10度で瞬時停 止 (主に受動的単独運転検出機能の 不要動作による)

現状のインバータ型電源（太陽光発電用 等）は常時起こりうる擾乱（瞬低，位相急変）に対して停止しやすい。

→ 大量導入時には一斉脱落の可能性高

PV，風力発電ともに規程改定

課題 4：電力系統の需給バランスへの影響

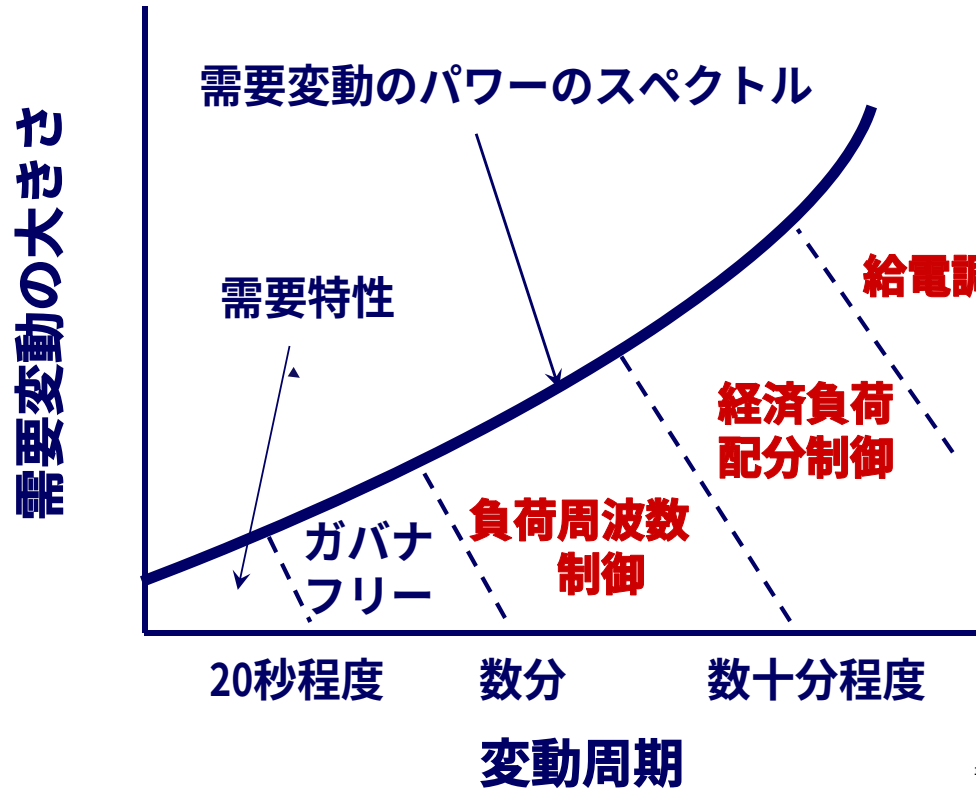
PV, 風力発電については、出力変動が大きく、予測が困難であるため、需給バランスの維持が難しくなる



- ・ 火力等で変動を補償要
- ・ 蓄電池の活用：新技術等



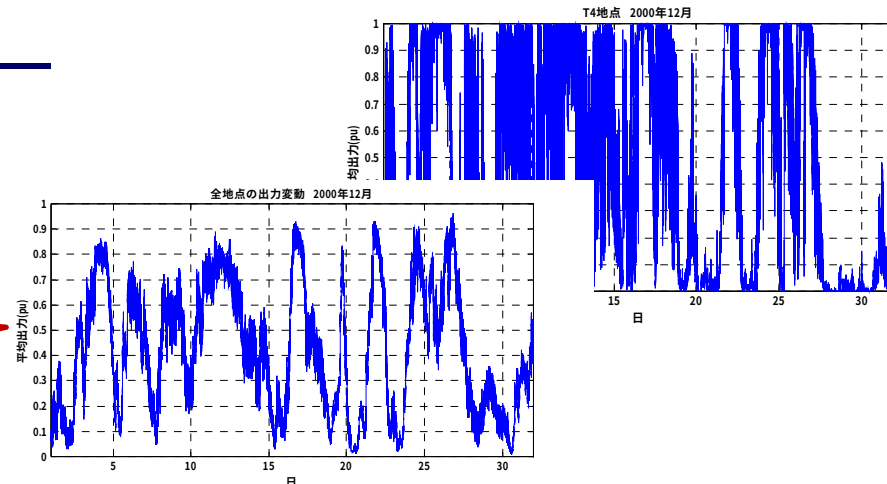
需給制御と平滑化効果



[平滑化効果]

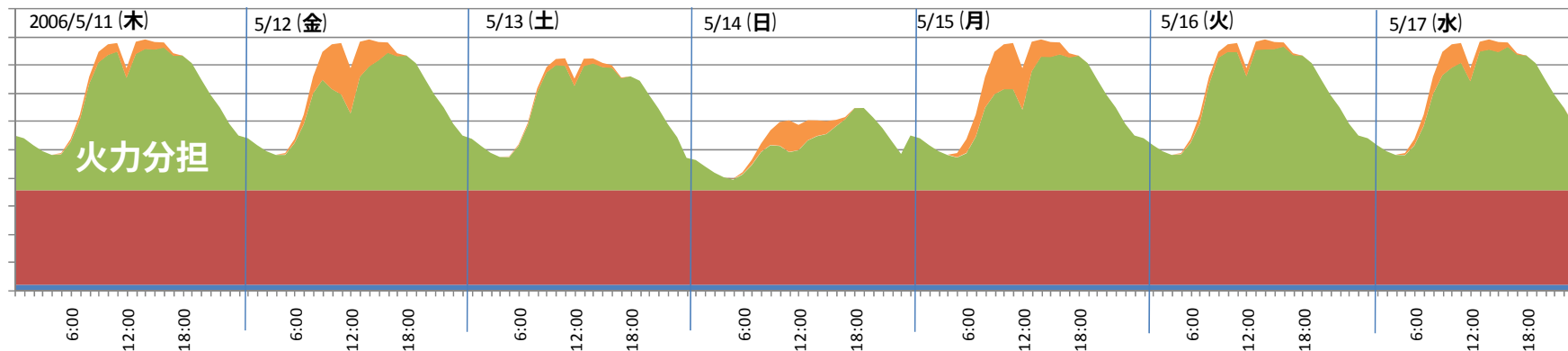
風，日射は確率的に変動
→たくさんあればバラバラに動くため，総合的に見た変動は小に

短周期変動の方が長周期変動よりも平滑化が効く

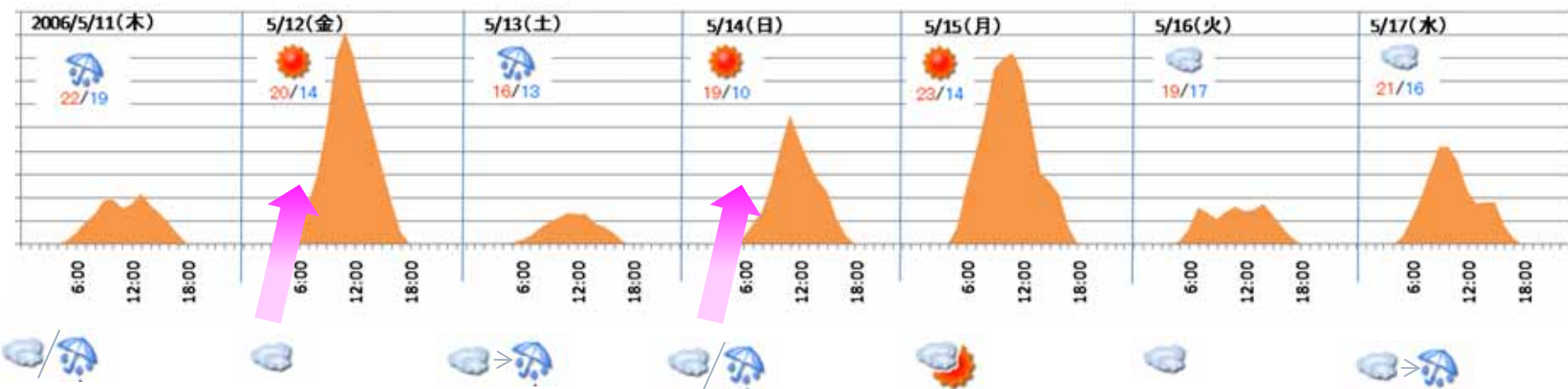


需給運用上の課題

・ 需給調整上の問題



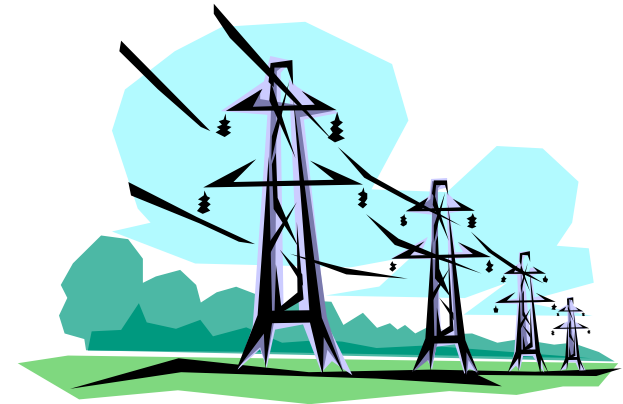
・ 予備力確保の問題



課題 5 : 基幹系統の動特性への影響

事故時の動特性：風力が増大した場合どう変化？

- 周波数異常の連鎖
- 電圧異常の連鎖
- 同期運転の不安定化（脱調）



[P V , 風力発電機の特徴]

- 有効電力供給（例: inertia response, GF, ...）
- 無効電力供給（事故時を含む）
- 系統擾乱時の一斉脱落 → Fault Ride Through 等

発表の流れ

1. はじめに：太陽光・風力発電の概要
2. 太陽光・風力の電力系統に及ぼす影響
3. 研究事例の紹介
 - ① 平滑化効果の特徴分析
 - ② 電力貯蔵設備による出力安定化
 - ③ 風力発電出力予測
 - ④ 系統擾乱時のPVの応動
4. シミュレーションとモデル化からの課題
5. むすび

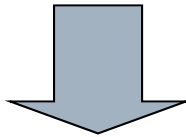


1. 平滑化効果の特徴分析

[平滑化効果]

風は確率的に変動する

→たくさんあればバラバラに動くため、総合的に見た変動は小さくなるだろう

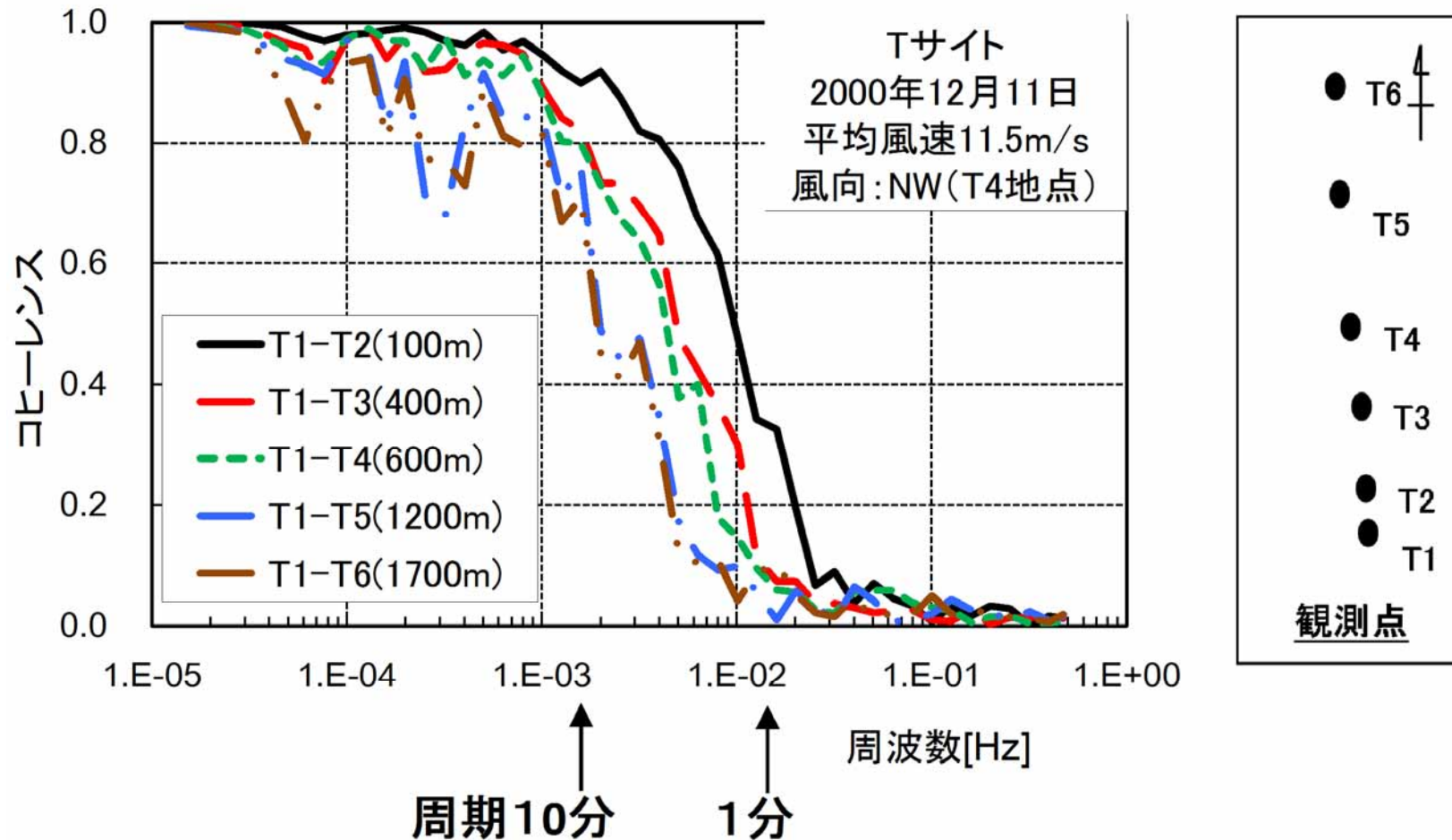


「上記が本当か？」を次の2つについて検討

- ・ ウィンドファーム規模 < 数km以下
- ・ 広域レベル > 数十km以上

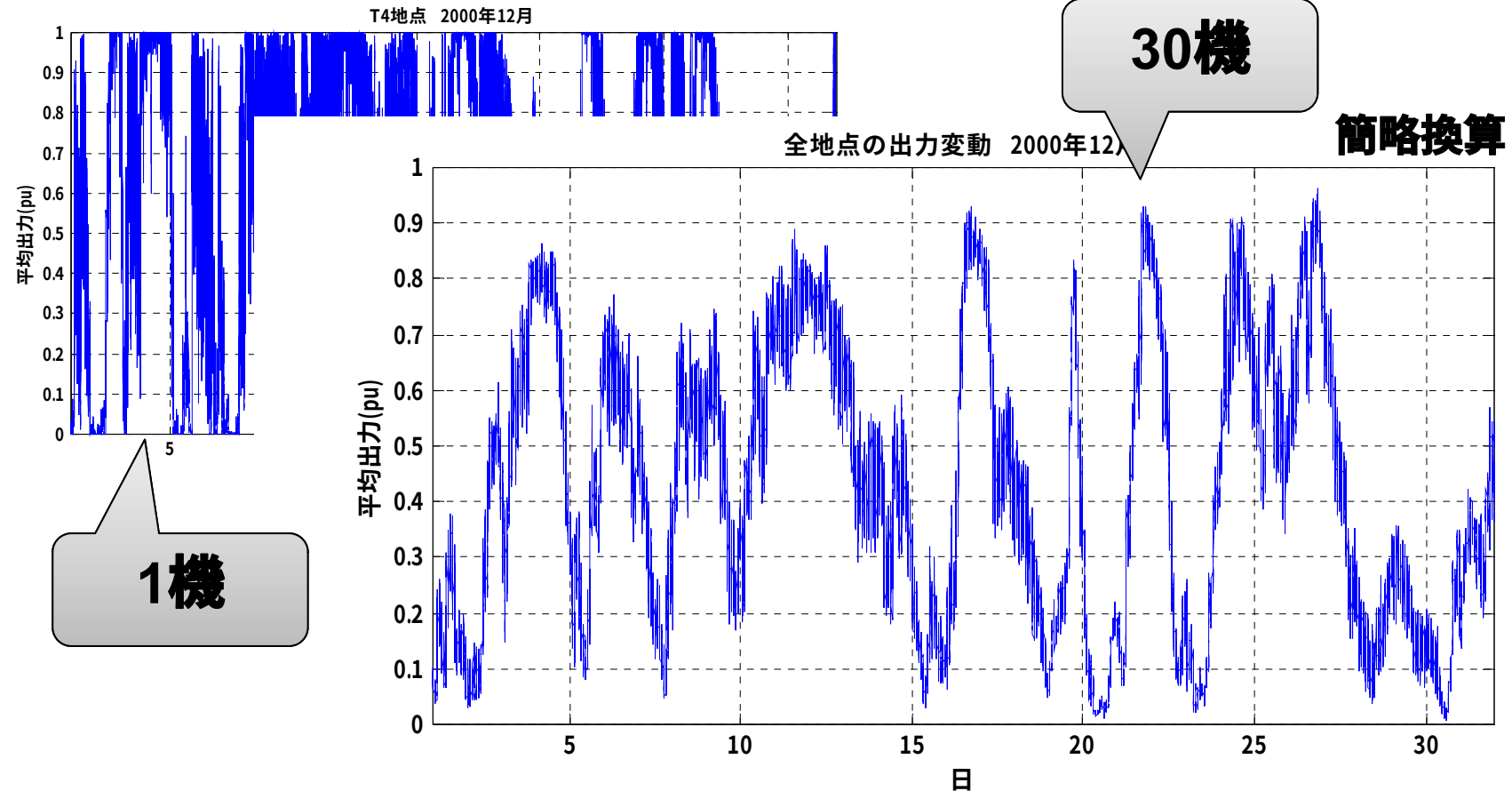


WFスケールでの風速の相関の例



[出典] NEDO: 風力発電電力系統安定化等調査

30地点平均出力(2000/12)



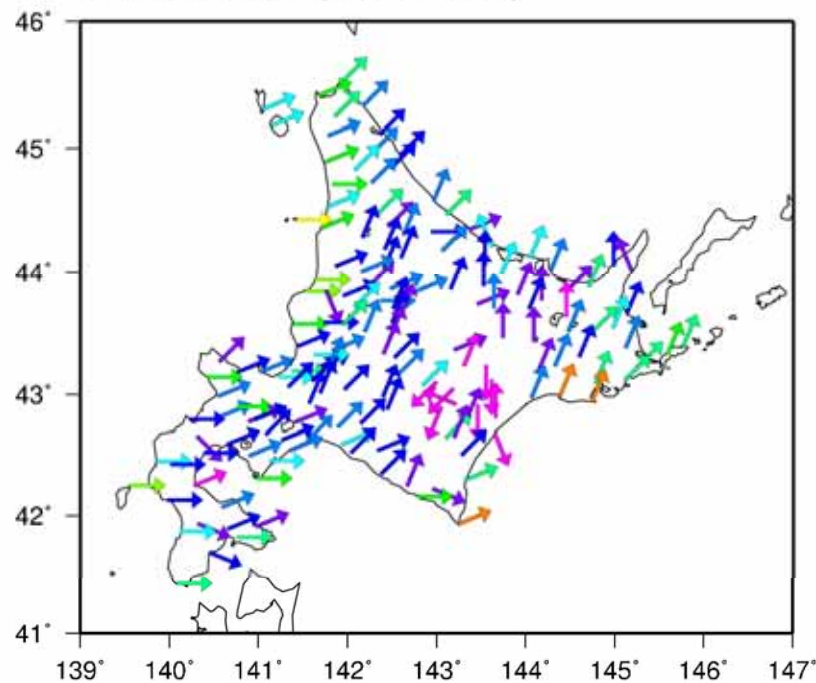
広域に分布していても、出力はほぼ零～フルまで

[出典] NEDO: 風力発電電力系統安定化等調査

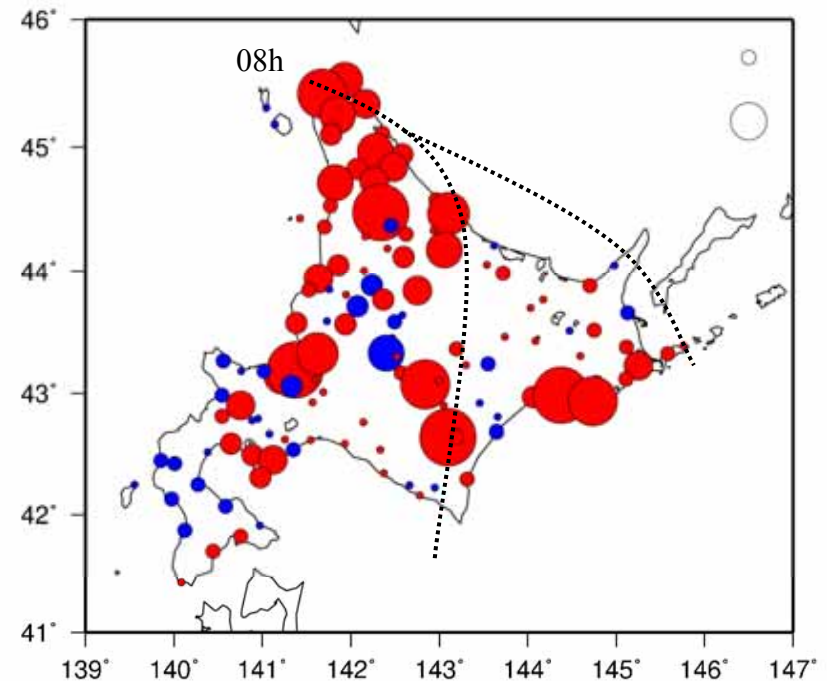
地方全体での風速急増事例

[2003年11月16日]

Amedas ws data(2003111608)



Amedas ws data(2003111608)



● 風速増 ● 風速減

8時における風速

8～9時における風速の変化

寒冷前線、温暖前線の直接同時影響

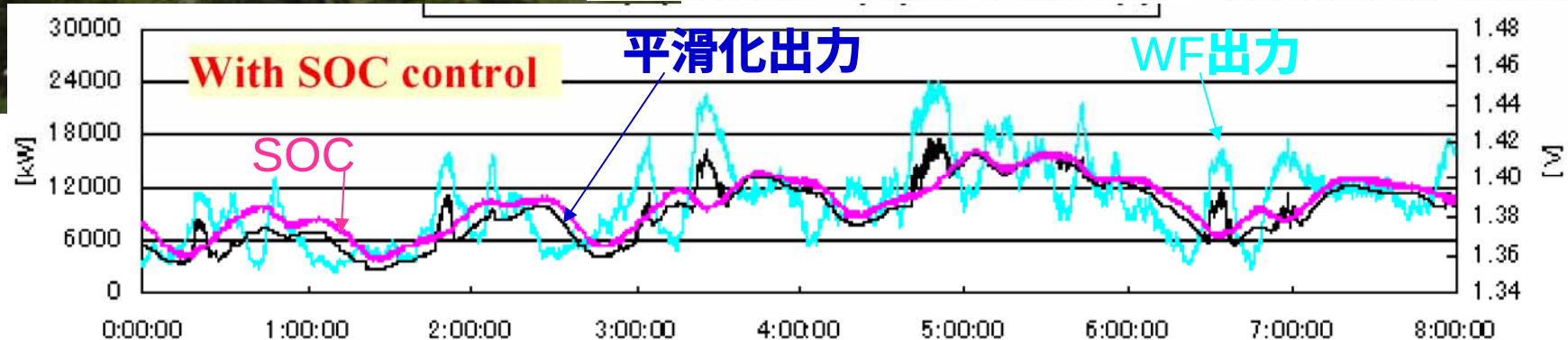
2. 蓄電池による風力発電変動補償 (苫前)

ウィンドファーム:
30.6MW
(19 turbines)



電池盤

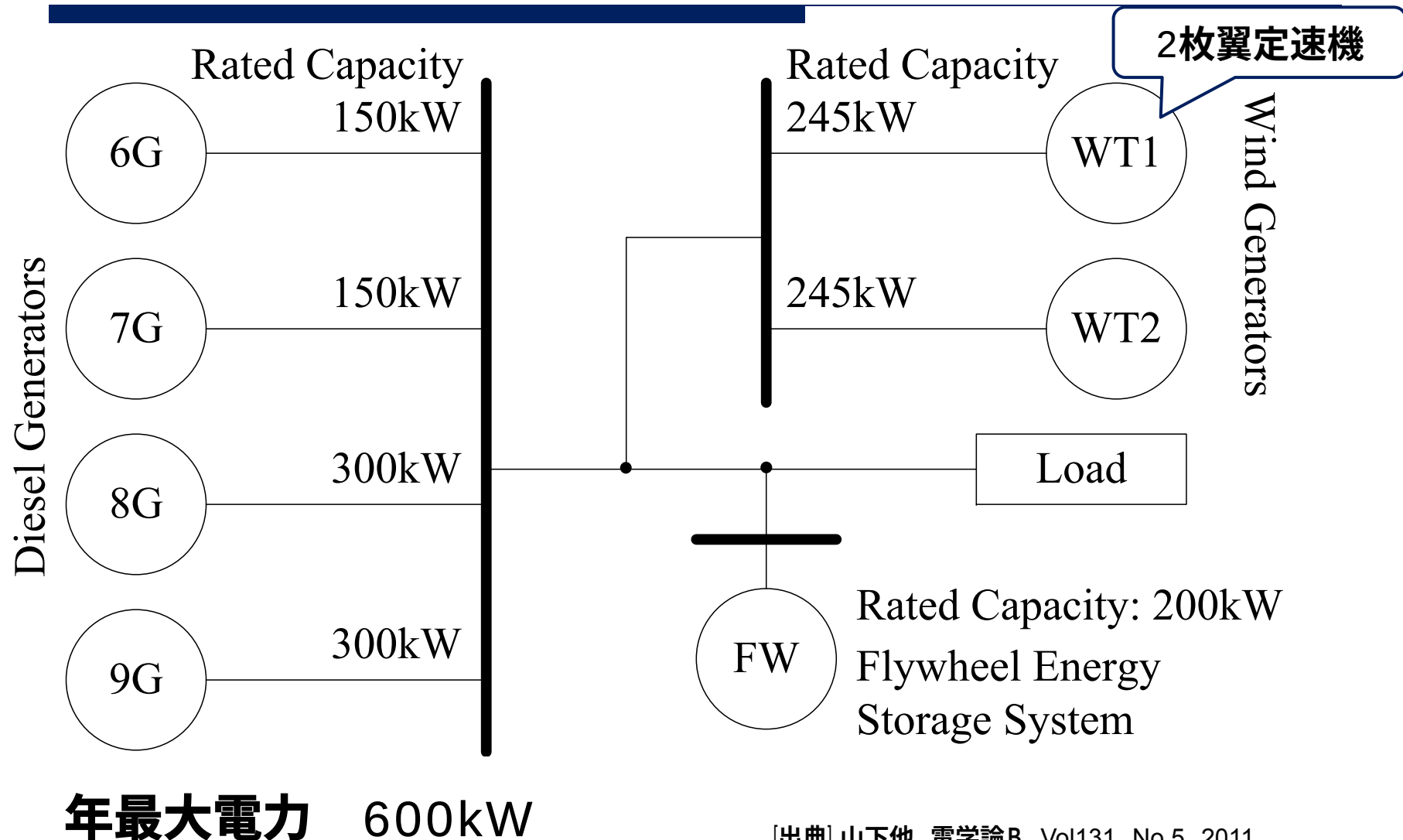
レドックス電池:
4MW、6MWh



短周期変動対応での蓄電池システムの制御法について検討.

[Source] NEDO: 風力発電電力系統安定化等技術開発

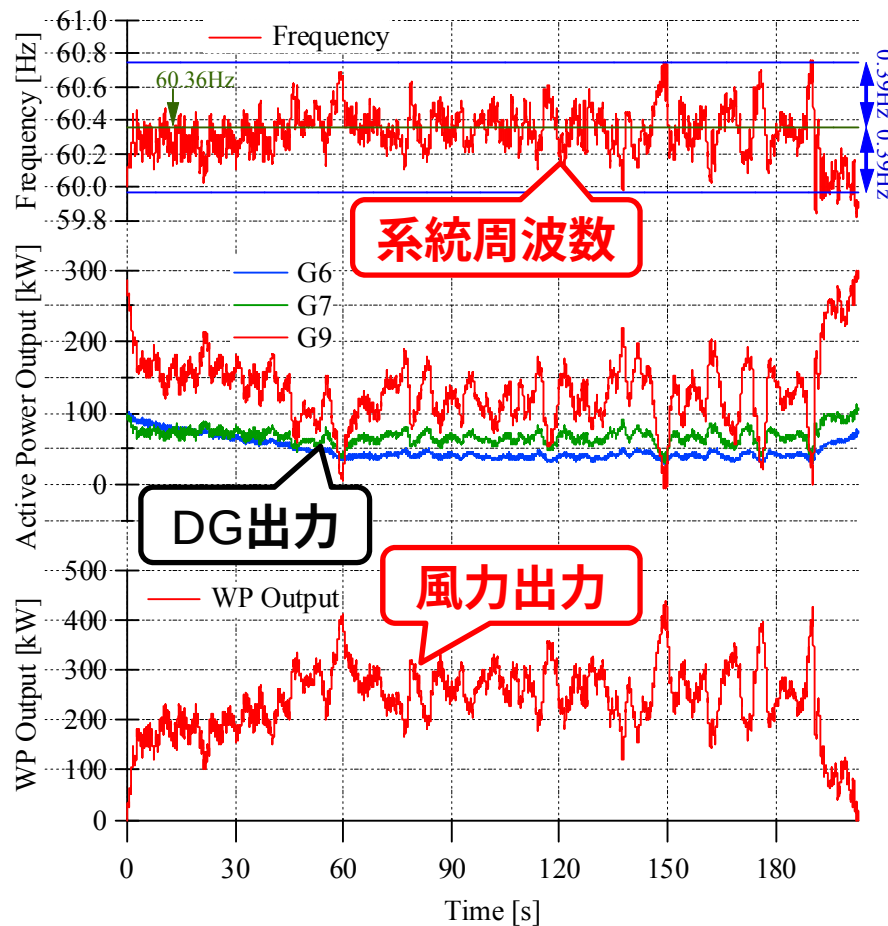
2 電力貯蔵（離島系統のFW）



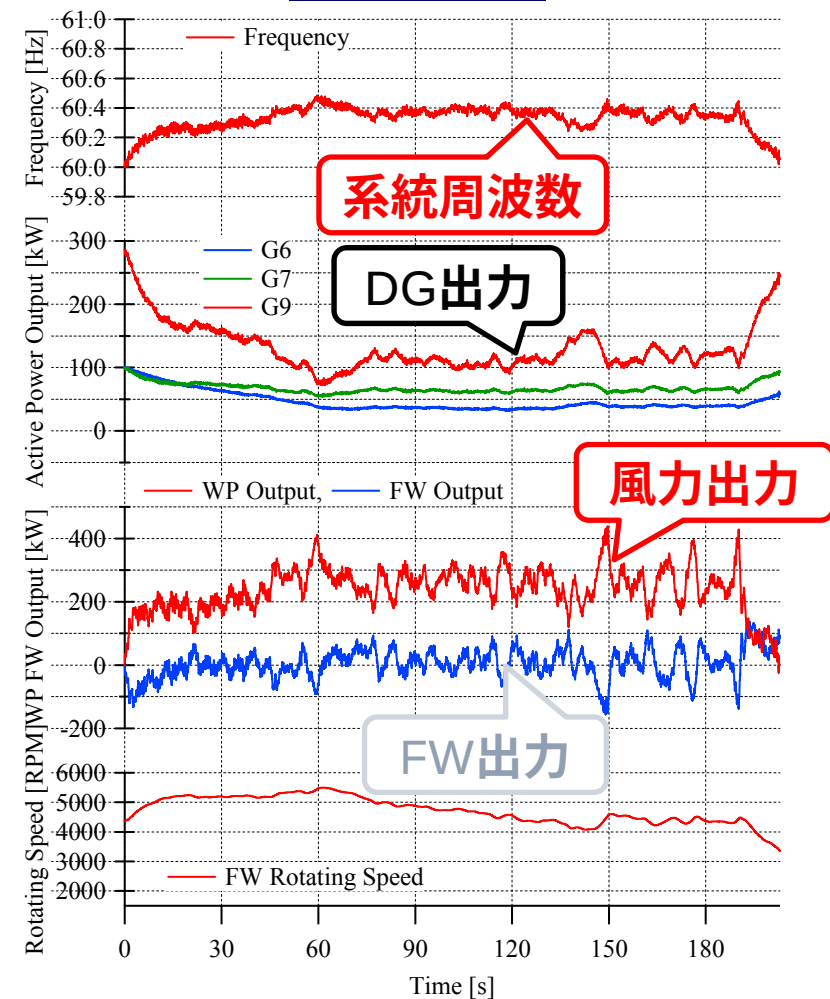
[出典] 山下他, 電学論B, Vol131, No.5, 2011

開発したFW制御手法の検証

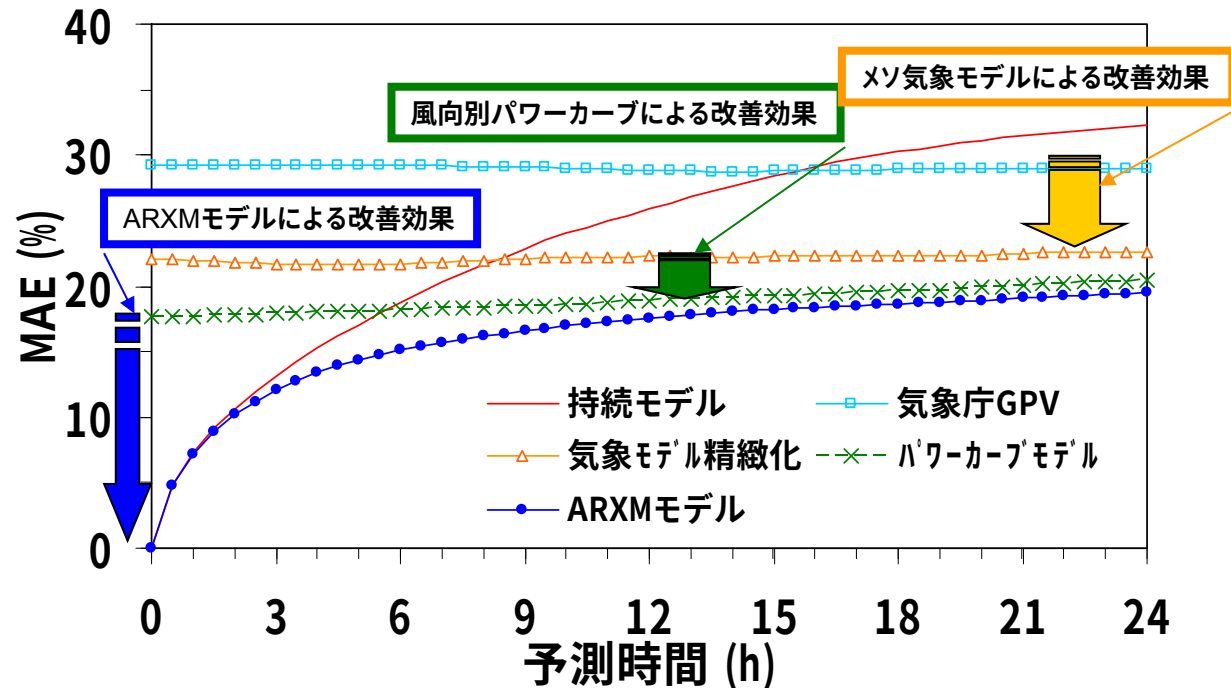
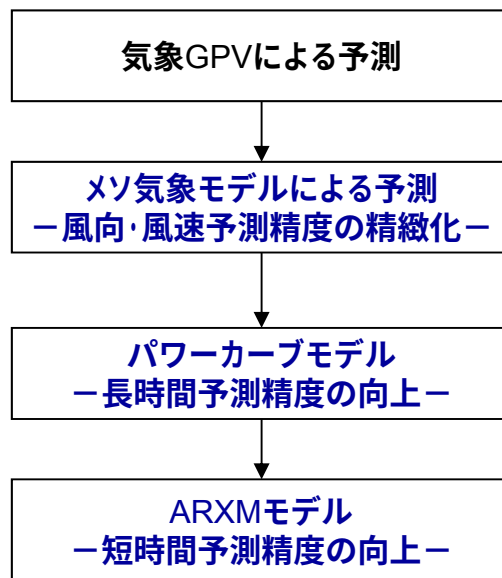
FWなし



FWあり



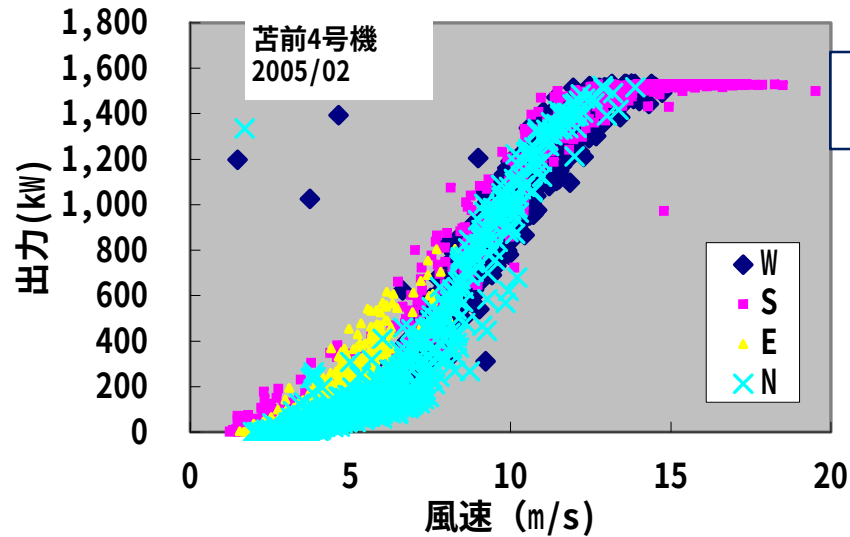
3. 風力出力予測：誤差低減手法の効果



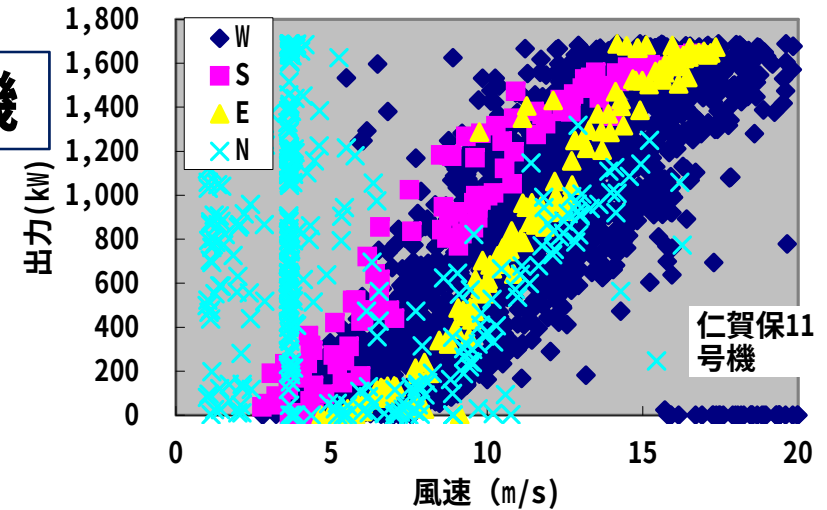
Aサイト2006年の予測時間別 精度検証値(MAE)

- メソ気象モデルにより、風向・風速予測の精度を精緻化することで気象庁GPVデータを用いた予測に比べ、約7%精度を改善できることがわかった。
- 風向別パワーカーブを用いることにより、従来のパワーカーブを用いた予測に比べ、平均約3%精度を改善できることがわかった。
- ARXMモデルを用いることで、短時間（予測発表から約6時間の範囲）予測精度が大幅に向上し、それ以上の予測時間でも予測精度が向上することが分かった。

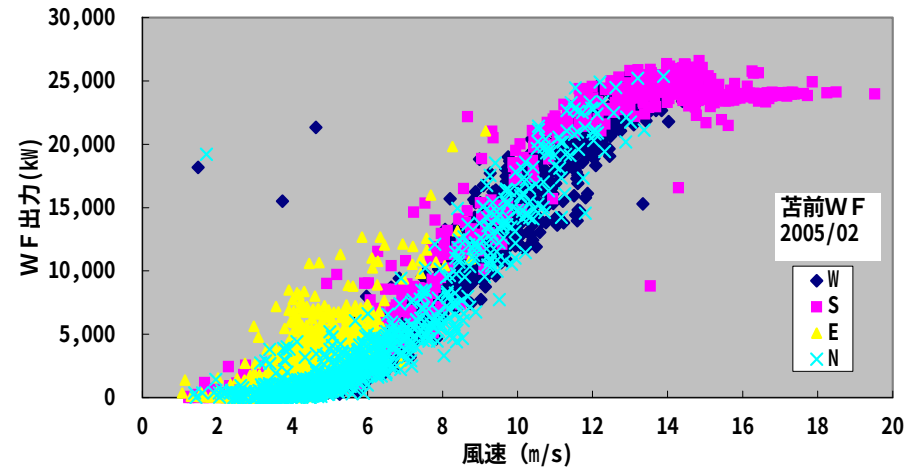
風速－発電出力 (10分値) 特性の例



単機

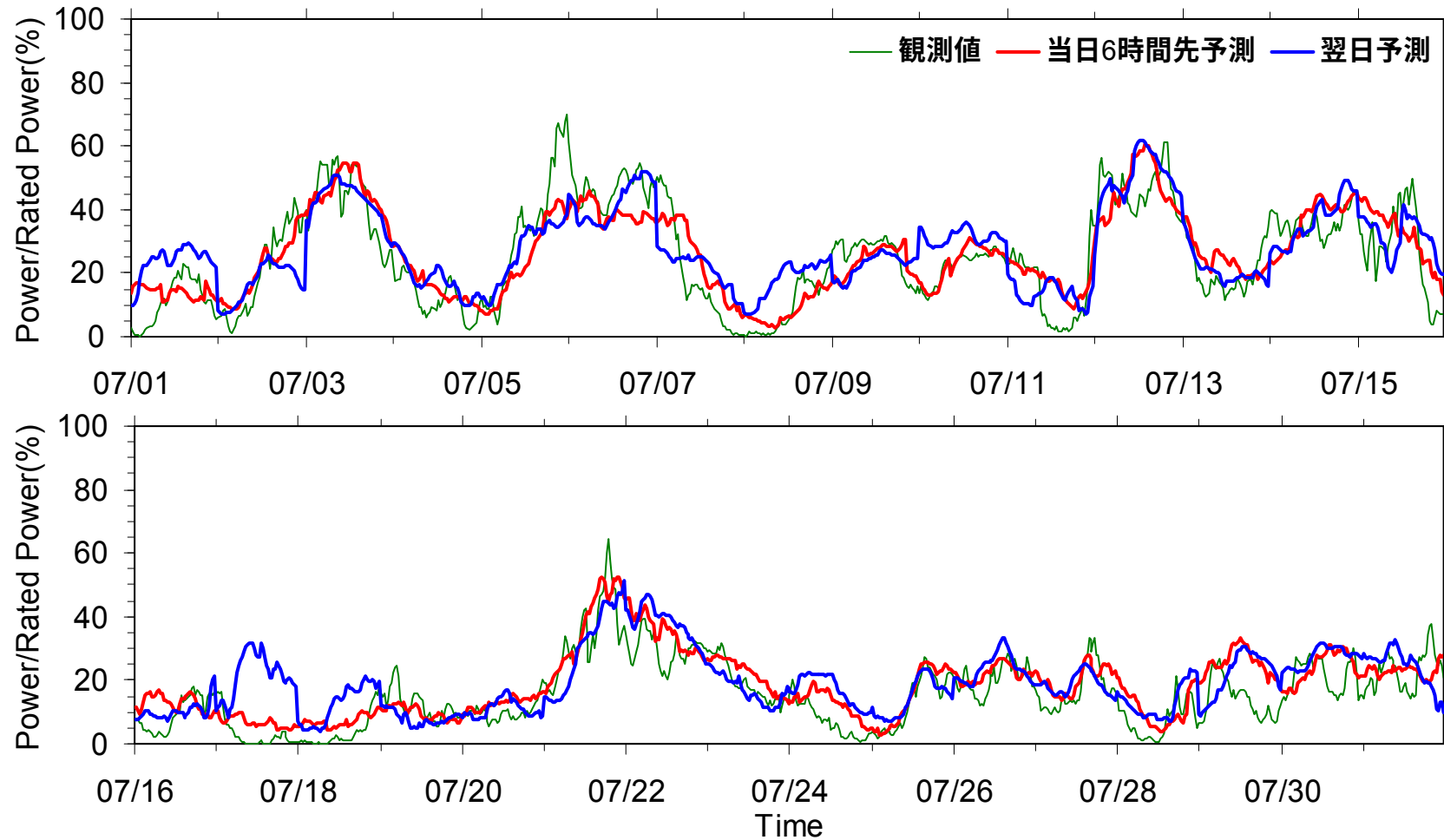


WF



[出典] NEDO：風力発電電力系統安定化等技術開発

予測結果例：A地方(7月)



[出典] NEDO: 風力発電電力系統安定化等技術開発

4. 系統擾乱時の応動：PVの特徴と留意点

特徴

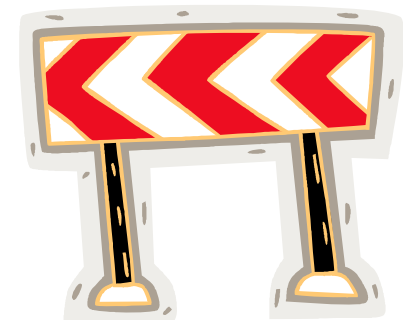
- 回転していない：蓄積エネルギー小
- パワーコンディショナ内のパワーエレ素子：過電圧，過電流に弱い
- パワーコンディショナ：制御機能はプログラムにより実現

など

留意点

- ◆ 周波数低下時にエネルギー放出なし
- ◆ 瞬時電圧低下など系統擾乱時に停止の可能性有り
- ◆ 系統擾乱時などの応動？

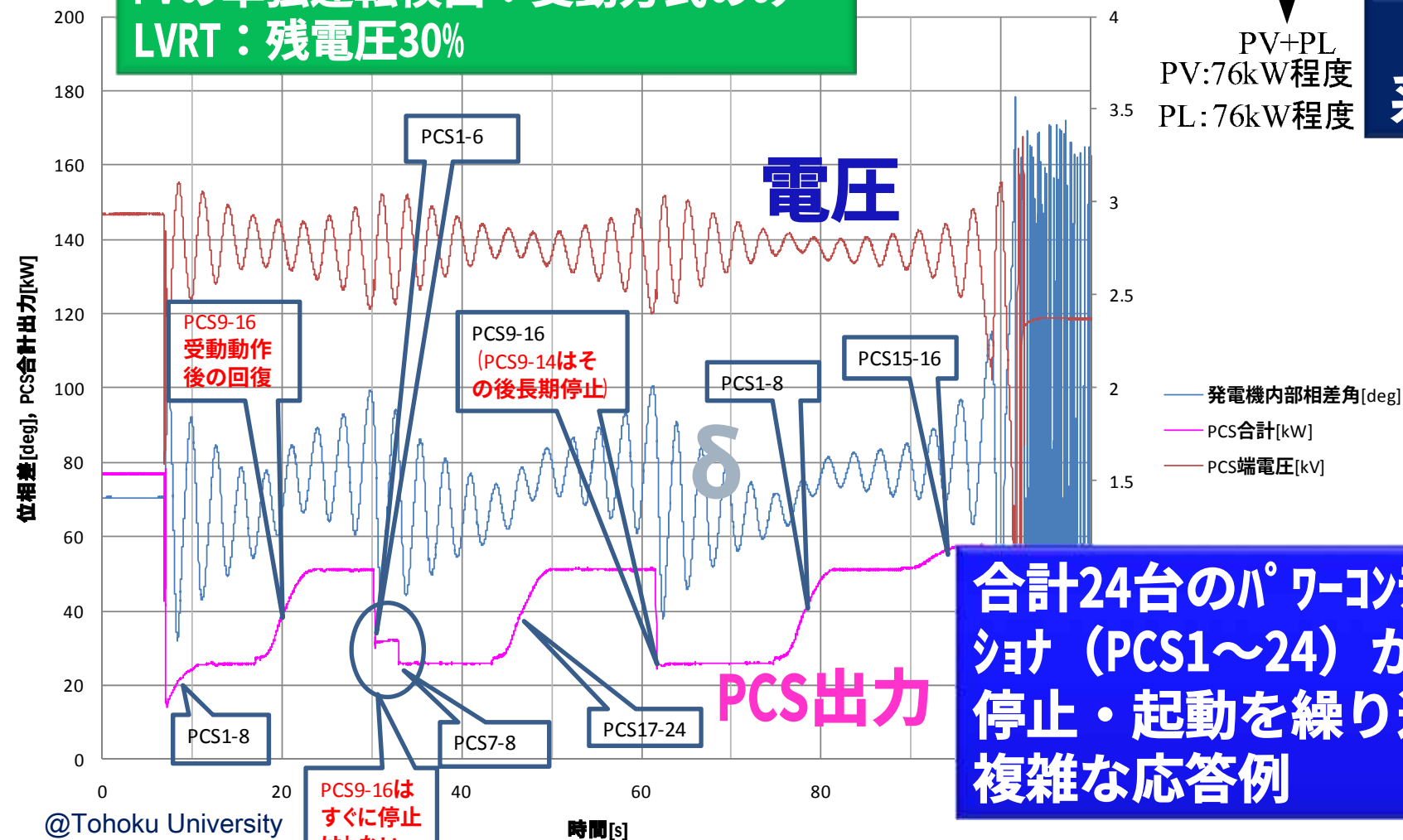
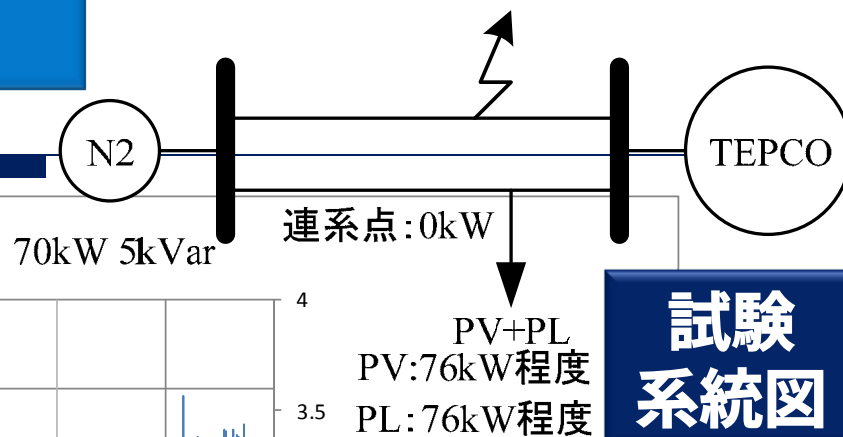
など



系統事故時のパワーコンディショナの複雑な応答(試験結果例)

Power Engineering Laboratory

故障継続時間：4cyc
PVの単独運転検出：受動方式のみ
LVRT：残電圧30%



合計24台のパワーコンディショナ (PCS1~24) が停止・起動を繰り返す複雑な応答例

発表の流れ

1. はじめに：太陽光・風力発電の概要
2. 太陽光・風力の電力系統に及ぼす影響
3. 研究事例の紹介
4. シミュレーションとモデル化からの課題
5. むすび

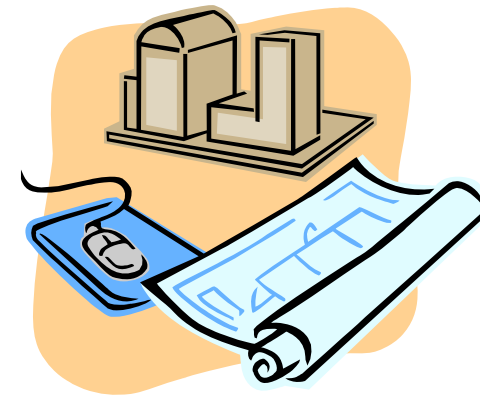


シミュレーションとモデル化

上述の技術課題についてはシミュレーション分析を行うニーズ大。しかし**PV, 風力発電のモデル化には課題山積。**

1. 系統擾乱時の動特性解析
2. 発電出力変動とその影響解析
3. 発電出力予測

皆様のご意見も頂きたい。



1. 動特性解析用モデルの課題

特に下記の正確なモデル化が必要

- インバータの制御
- 風力発電の制御 (インバータとピッチ角制御)
- 単独運転検出などの保護

[課題]

- ・メーカ, 機種による違いあり (違い大)
- ・データ取得の困難さ
- ・妥当性検証の方法
- ・実効値解析で分析可能な範囲の把握
- ・一般モデル (generic model) の可能性と限界



2. 発電出力モデルの課題

1. 出力変動とその平滑化効果のモデル化

複雑かつ十分に解明されていない現象

- 代表的な変動パターンの抽出
- モデル時系列パターンの作成方法 など

2. 風力発電の風速・出力特性のモデル化

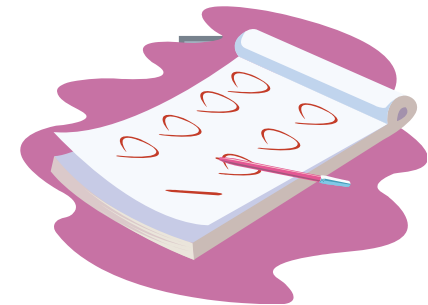
複雑な様相を呈する場合あり

- 要因分析とモデル化

3. 蓄電池のモデル化

実際の蓄電池と本物の蓄電池のギャップ

← **すべて実データに基づく議論が必須**



3. 発電出力予測モデルの課題

わが国で3件のうち最も組織的な技術開発を実施。
ただし以下は課題か



1. コスト・パフォーマンスの優れた予測

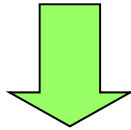
- 気象モデルを用いたアプローチが主流だが、もっと軽いモデルでの対応がありうる？
- 発電機の稼働状態の変化を考慮した精度改良の可能性 など

2. 短時間（～数時間）予測のためのモデル化

- 数値気象予報よりも現況値に重きを置いたモデル開発の可能性

むすびにかえて(私見)

- 再生可能エネルギー
：将来の重要なエネルギーの1つ



大量導入が視界に入らる中、

- 電力系統への連系の課題
←研究を続けていく計画
- PV，風力発電の的確な
モデル化はそのための
最優先課題の1つ



ご清聴ありがとう
ございました

