

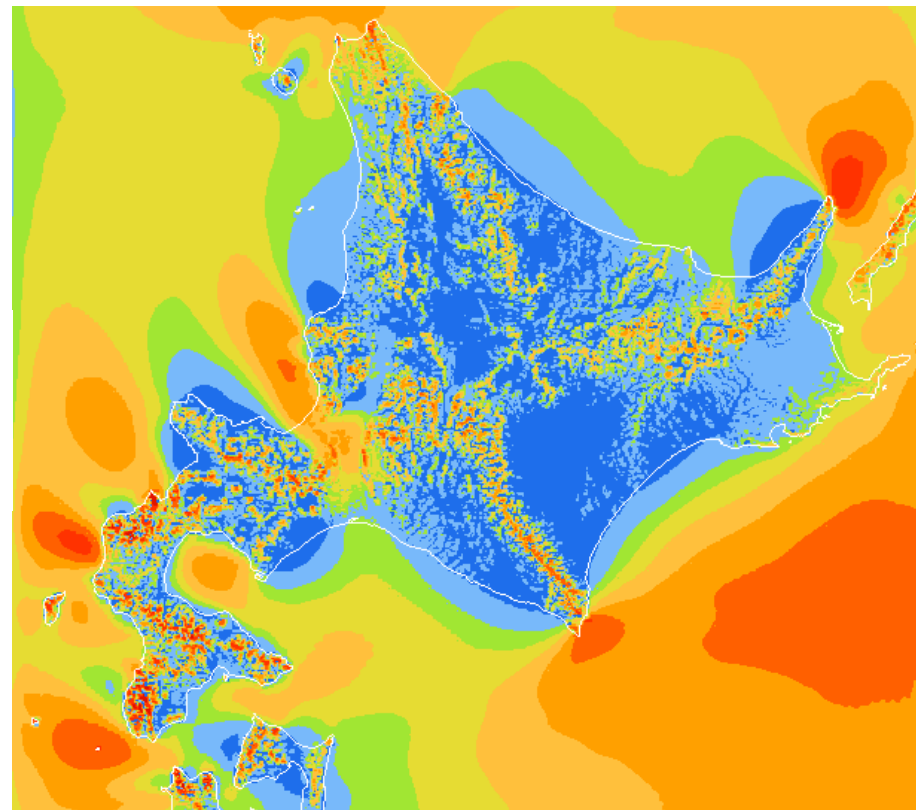
風力発電出力予測技術 の現状と課題

2014年3月25日

伊藤忠テクノソリューションズ株式会社（CTC）

エネルギービジネス推進部 新エネルギー・開発課

課長 早崎 宣之



目次

- 風力発電出力予測技術の概要
- 風力発電出力予測技術の現状と課題
 1. 予測システムの運用状況と精度（東北電力様）
 2. 予測システムの開発事例（NEDO事業）

目次

- 風力発電出力予測技術の概要
- 風力発電出力予測技術の現状と課題
 1. 予測システムの運用状況と精度(東北電力様)
 2. 予測システムの開発事例(NEDO事業)

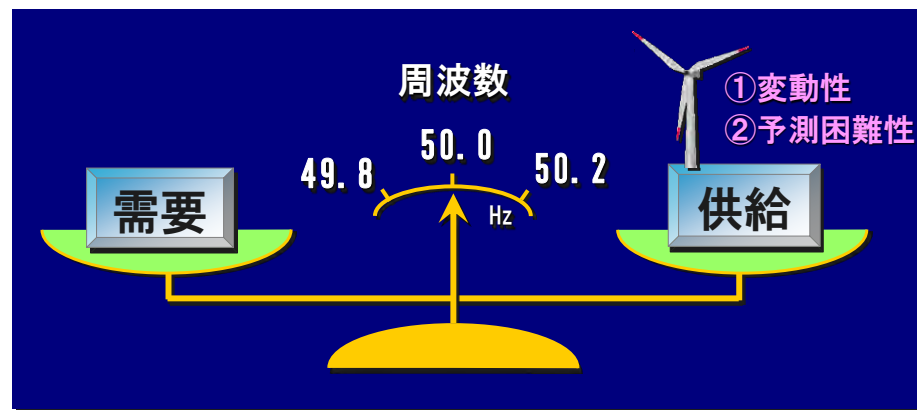
風力発電出力予測システムの必要性

✓ 風力発電の特徴

- ① 気象条件によって出力が変動する(→変動性)
- ② いっどれだけ発電するかわからない(→予測困難性)

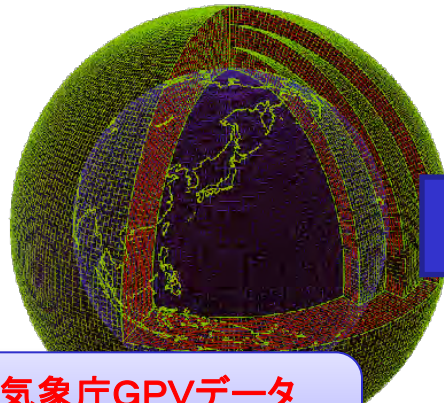
✓ 風力発電の連系量拡大

⇒ 周波数調整などの電力系統の安定運用に影響を与える可能性があり、系統運用の不確実性拡大リスクへの対応が急務

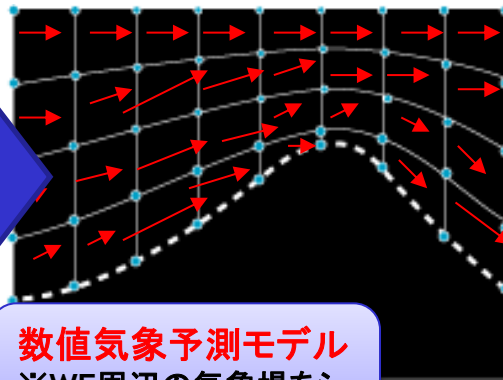


⇒ わが国固有条件(地形・気象条件等)に対応した
「電力系統エリア向けの再エネ発電出力予測システム」が必要

風力発電出力予測システムとは？



気象庁GPVデータ
※地球全体の気象
状況を予測



数値気象予測モデル
※WF周辺の気象場をシ
ミュレーションで予測



風力発電出力予測
※風力発電出力を予測



現地観測データ
※SCADA・発電出力情報

- 最新の**気象予測・統計技術**や**IT技術**を駆使して、発電出力変動が激しい風力発電の出力予測をするシステム。

- 風力発電出力予測の利用により、電力系統における運転計画の精度向上に役立てることが可能。

⇒風力発電の導入量の拡大や電力系統の運用コスト削減への貢献を目指している。

風力発電出力予測手法の概要

物理モデル

入力値：気象庁GPVデータ、地形データ等

特徴：

- ・気象学、流体力学に基づく全体的な傾向の予測を行う
- ・実績値を使用しなくても予測が可能
- ・入力値の誤差に予測値が引きずられる

物理モデルの例

- メソスケール気象モデル(LOCALS、WRF、MM5など)
数百km～数kmのスケールでの気象予測を行う
- マイクロスケールモデル(k-ε、LESなど)
メソスケールモデルよりも小さい領域(～数km)の予測を行う

統計モデル

入力値：予測値および実績値

特徴：

- ・予測値と実績値の関係のみを使用して誤差補正を行う手法
- ・特異な気象現象の発生時など、誤差が補正しきれない場合がある

統計モデルの例

○カルマンフィルター

予測式を設定し、予測式から算出した予測値と実測値の誤差が最小になるように予測式のパラメータを調整する方法

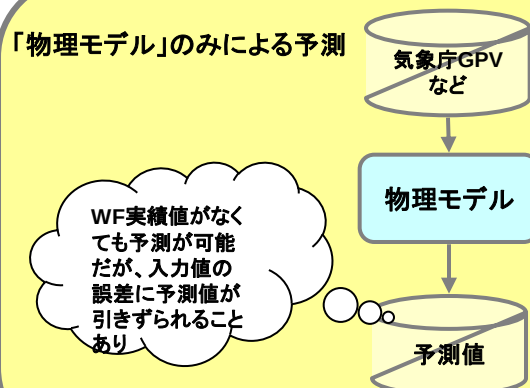
○OMOS

予測と対応する実測との間の統計的関係式を作り、予測値を関係式に代入して実測値を推定する方法

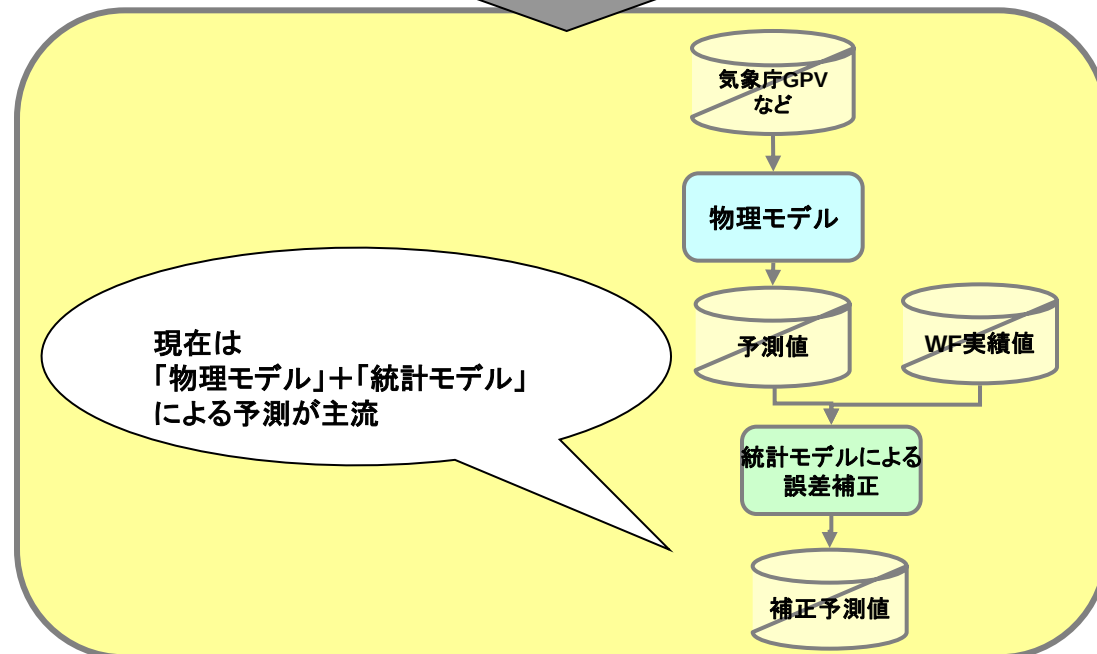
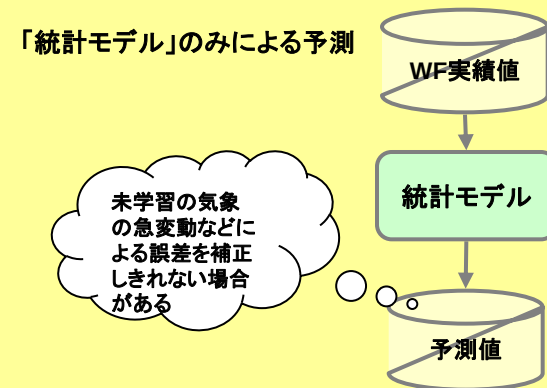
○ニューラルネットワーク

予測値、実測値を蓄積し、誤差傾向を学習して予測値を修正する

「物理モデル」のみによる予測



「統計モデル」のみによる予測



目次

- 風力発電出力予測技術の概要
- 風力発電出力予測技術の現状と課題
 1. 予測システムの運用状況と精度(東北電力様)
 2. 予測システムの開発事例(NEDO事業)

風力発電出力予測システムの開発経緯

CTCと東北電力は、風力発電所(WF: Wind Farm)単体の予測技術開発からスタートし、エリア全体を予測するシステムの開発に取り組んできた。

FY1997～2000

WF予測技術開発

FY2001～2003

オンラインWF予測システム実証試験

FY2003～2006

エリア予測技術開発

FY2007～2009

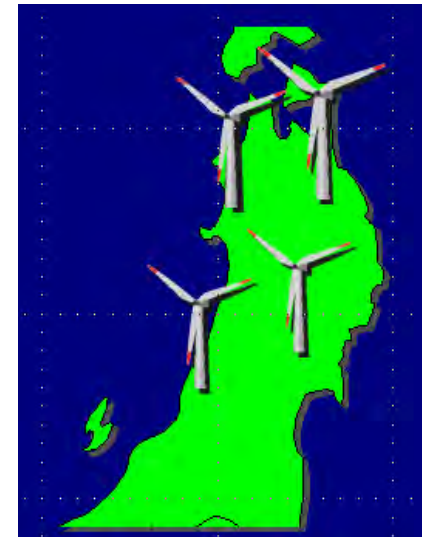
オンラインエリア予測システム実証試験

FY2010～

本運用(→電力系統運用の参考情報として活用)



東北電力-竜飛ウィンドパークを
対象としたWF予測

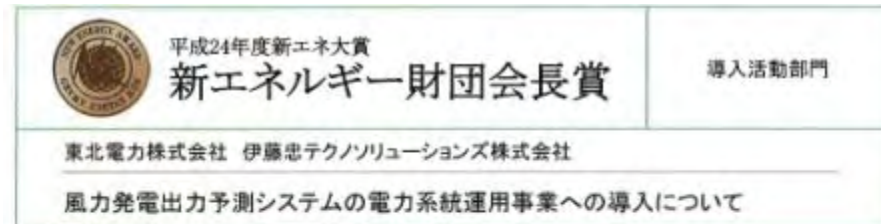


東北電力管内に導入されたWFを
対象としたエリア予測

新工ネ大賞受賞 —平成24年度新工ネ大賞

◆平成24年度 新工ネ大賞「新エネルギー財団会長賞」を東北電力様と共同で受賞

(受賞件名) 「風力発電出力予測システムの電力系統運用事業への導入について」



受賞のポイント

複数の統計モデルを組合せた高精度な風力発電出力予測システムを導入し、電力需給運用や発電計画支援を実施している。電力系統運用の経済性ははかれるとともに今後の風力発電の導入拡大に貢献するもので、その将来性が評価された。

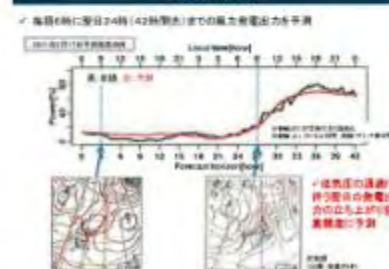
商品・システムの概要

東北電力の電力系統運用に活用するため、電力系統エリアの風力発電出力を予測する「風力発電出力予測システム」(東北電力と伊藤忠テクノソリューションズ(CTC)で共同開発)を導入した。
風力発電等の再生可能エネルギーは、気象条件とともに出力が変動し、電力系統運用の計画性を阻害する要因になるため、出力を高精度に事前把握する風力発電出力予測システムが必要とされていた。
本システムの予測は、東北電力の中央給電指令所において、日々の電力系統運用業務に活用され、適切な供給予備力の確保などを通して電力系統の安定運用に貢献している。
今後、ますますの風力発電の導入拡大が予想され、国内の他の電力系統エリアや海外への導入も期待される。

風力発電出力予測システムの全体像

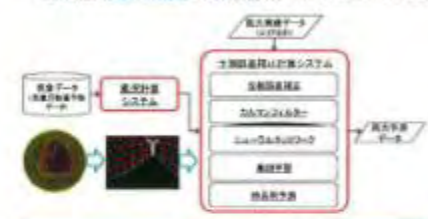


予測例(1)

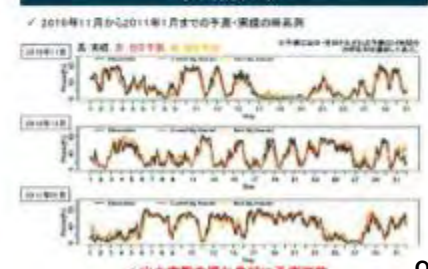


予測方法

- ✓ 「高度計算」と「予測精度向上計算」による予測(特許取得)
- ✓ 予測精度の検証結果が異なる複数の統計モデルの組合せ(特許取得)
- ✓ 翌日予測で誤差10%程度での高精度を実現



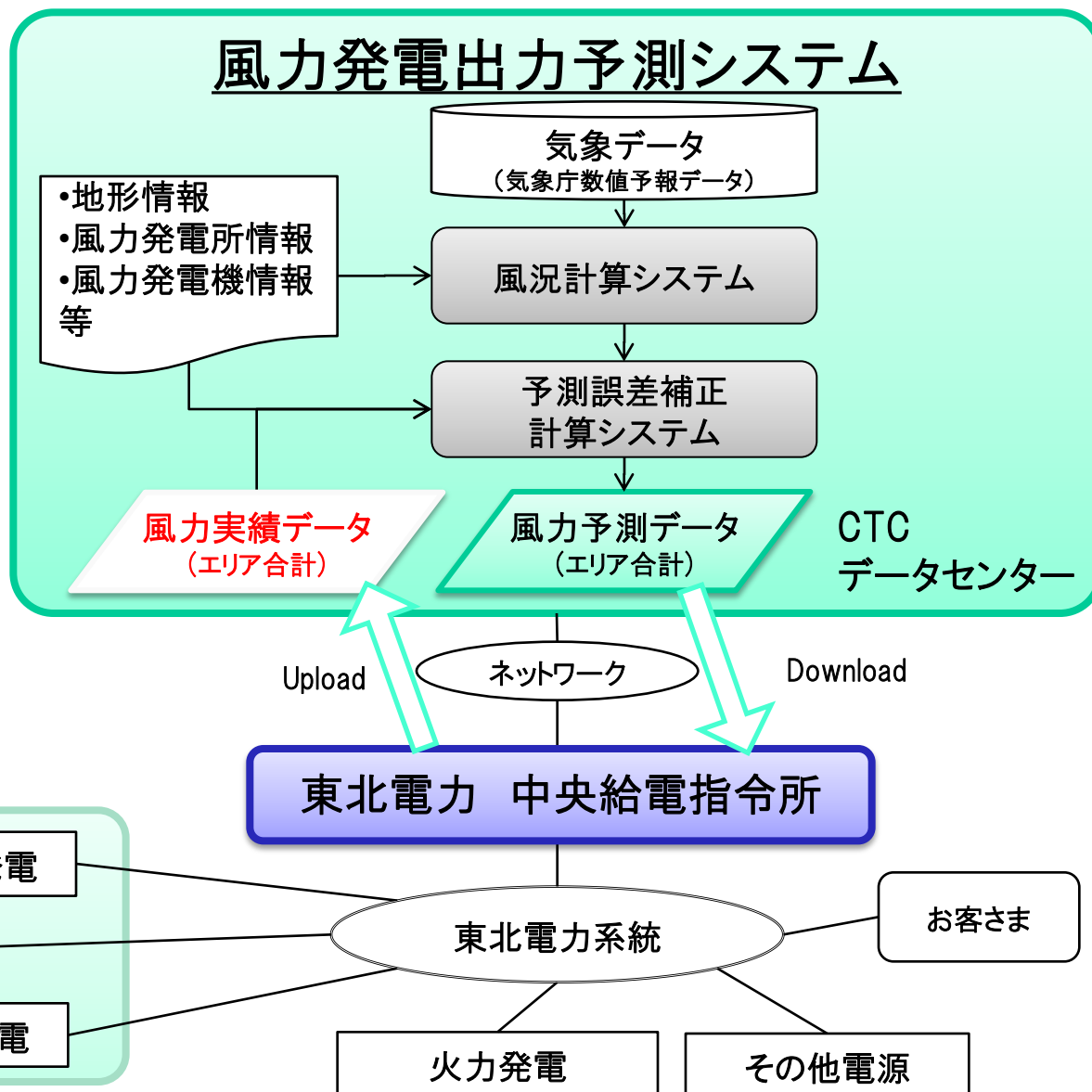
予測例(2)



風力発電出力予測システム① 概要



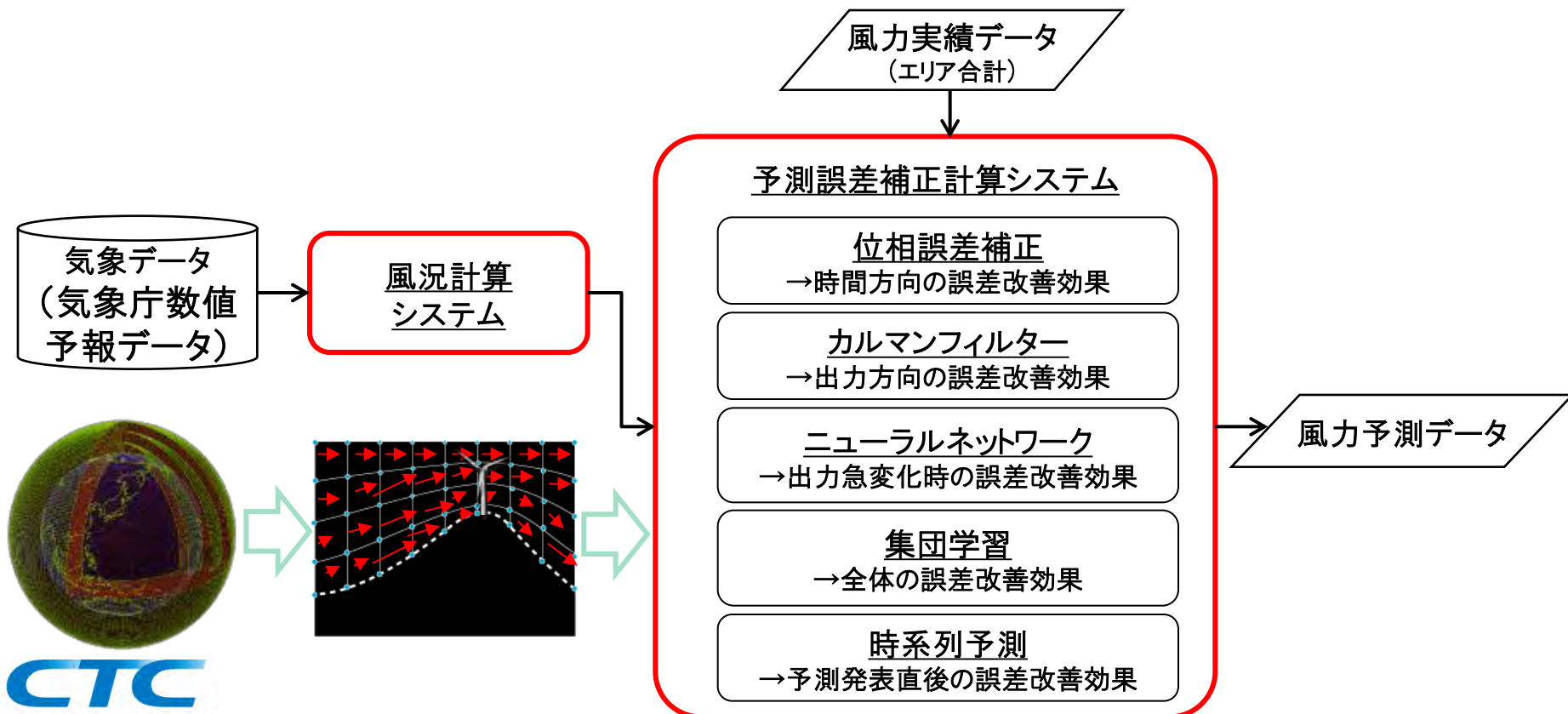
予測対象風力発電所



風力発電出力予測システム② 予測方法

- ✓ 「**風況計算**」と「**予測誤差補正計算**」による予測
- ✓ 予測誤差の補正効果が異なる**複数の統計モデルの組合せ**
- ✓ 翌日予測で**平均的に誤差10%程度※**の高精度を実現

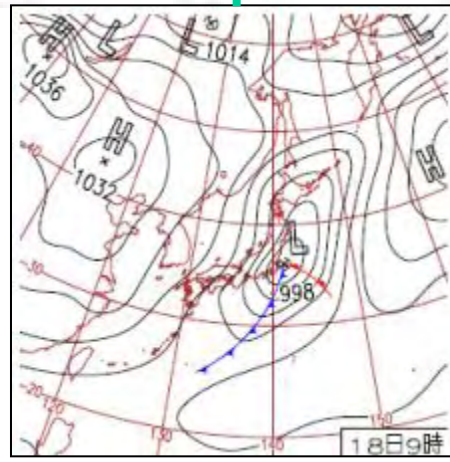
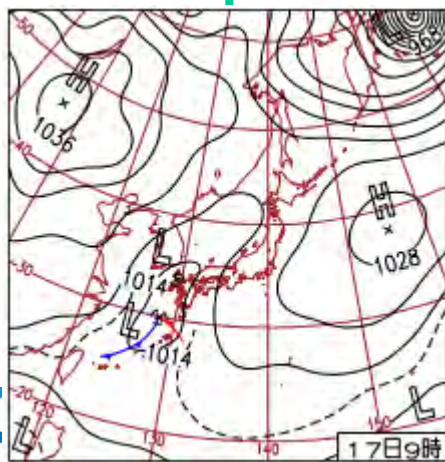
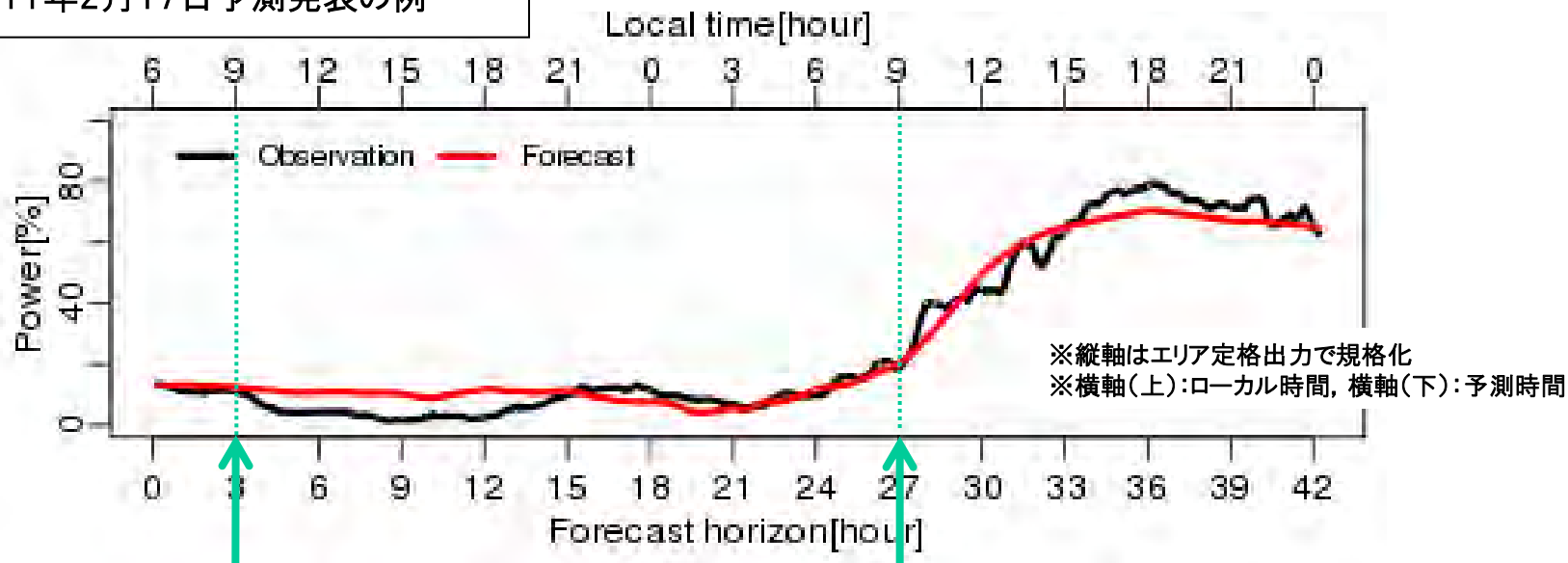
※ エリア風力発電定格出力比の平均二乗誤差



風力発電出力予測システム③ 予測例

✓ 毎朝6時に翌日24時までの風力発電出力を予測

2011年2月17日予測発表の例



低気圧の通過に伴う翌日の発電出力の立ち上がりを高精度に予測

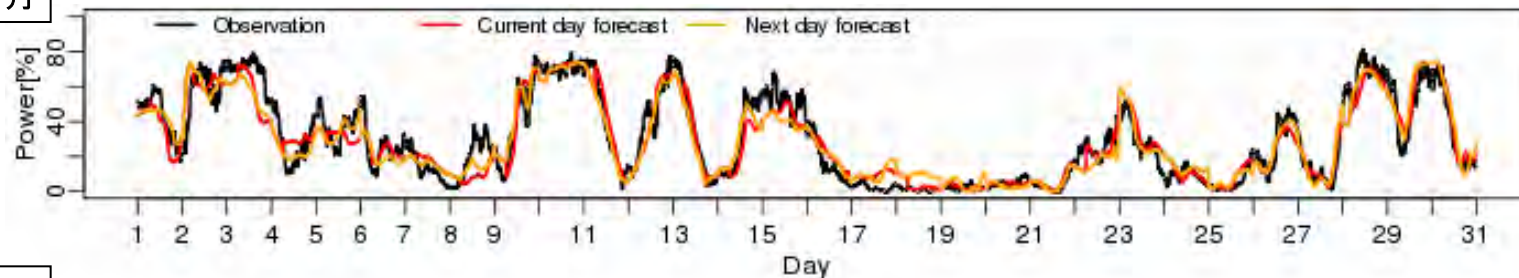
天気図
(出典: 気象庁HP)

風力発電出力予測システム④ 予測例

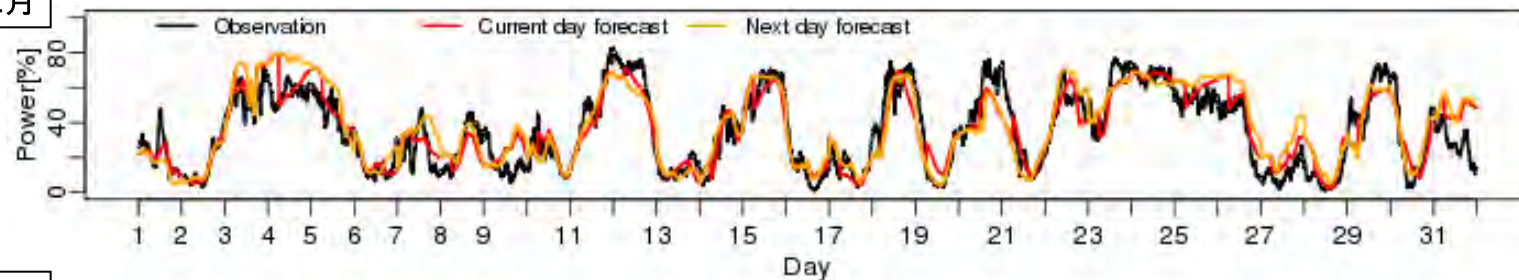
✓ 2010年11月から2011年1月までの予測・実績の時系列

2010年11月

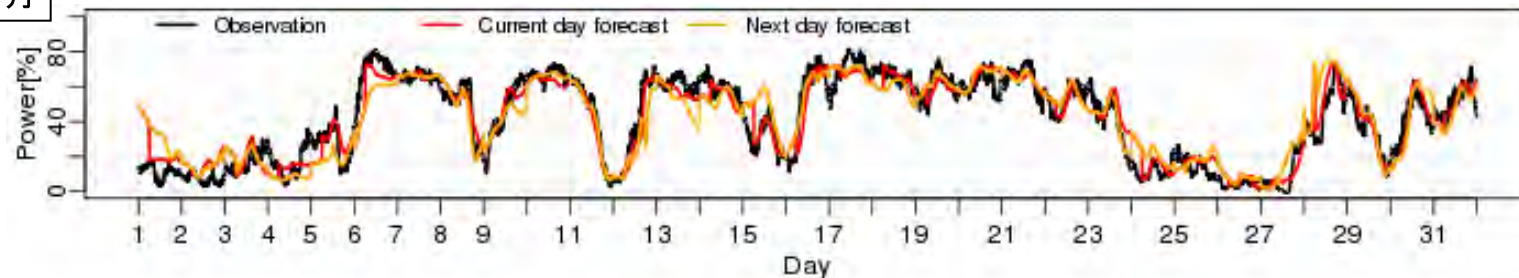
黒:実績, 赤:当日予測, 橙:翌日予測 ※予測は当日・翌日それぞれの予測の24時間分の時系列を連結して表示。



2010年12月



2011年01月



✓ 出力変動を概ね良好に予測可能

風力発電出力予測システム⑤ 精度検証

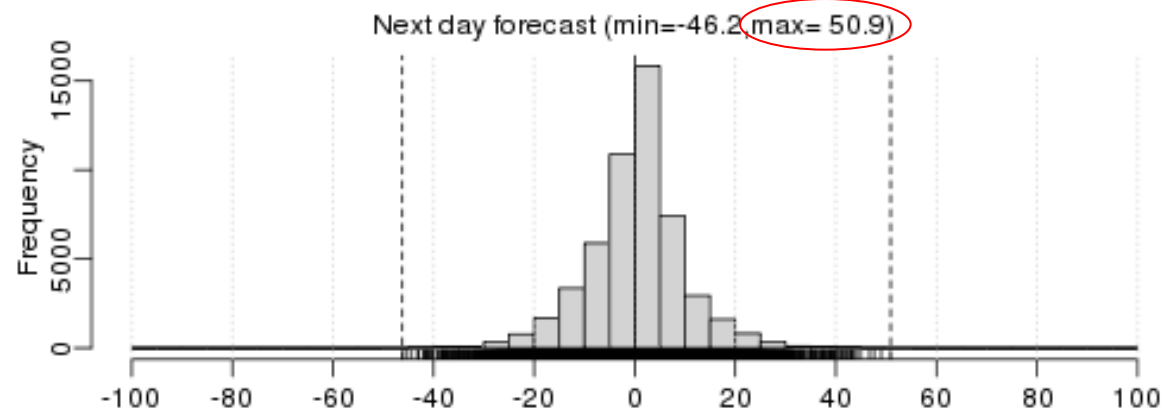
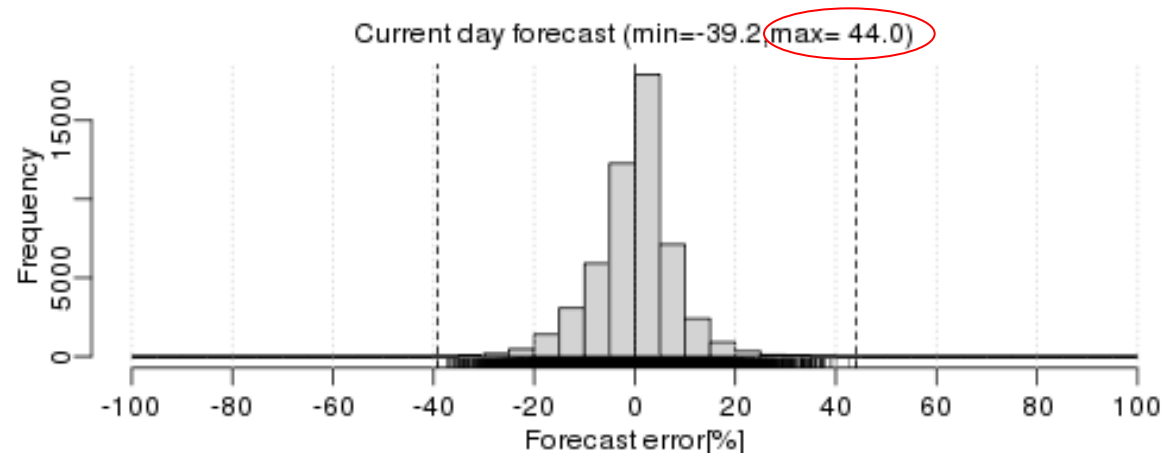
◆年度により気象条件や予測対象WF数が異なるため精度検証値に多少の変動はあるが、**長期にわたって安定した予測精度が得られることを確認した。**

- ◆BIAS **ほぼゼロに近く、予測の偏りは小さい**
- ◆RMSE **当日予測で5-6%程度、翌日予測で6-7%程度**
- ◆相関係数 **0.8後半～0.9前半の相関**

	期間	エリア 定格出力 [MW]	BIAS [%]	MAE [%]	RMSE [%]	相関係数 CORR
当日予測	FY2007	415	0.3	6.1	8.4	0.900
	FY2008	415	-0.2	5.4	7.5	0.924
	FY2009	431	0.3	6.2	8.6	0.919
	FY2010	449	0.0	5.7	7.8	0.929
翌日予測	FY2007	415	-0.2	7.4	10.0	0.855
	FY2008	415	-0.2	6.7	9.3	0.883
	FY2009	431	0.4	7.2	10.2	0.886
	FY2010	449	0.3	6.9	9.5	0.896

風力発電出力予測システム⑥ 精度検証

- ◆誤差は中心に凸に分布し、過大な誤差の割合は比較的小さい。
- ◆誤差が定格の±10%以内に収まる確率は当日予測で83%・翌日予測で77%程度。
- ◆最大の誤差は当日予測で定格の±45%以内、翌日予測で±51%以内に収まる。



誤差幅内に誤差が収まる確率

誤差幅[%]	確率[%]	
	当日予測	翌日予測
±10%	82.7	76.5
±20%	97.6	94.9
±30%	99.7	99.2
±40%	99.994	99.8
±50%	100.0	99.998
±60%	100.0	100.0

予測誤差頻度分布

(上：当日予測，下：翌日予測)

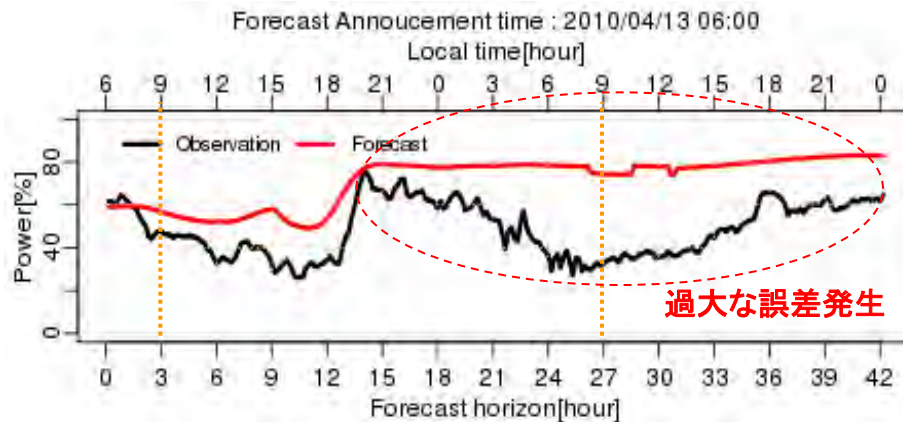


本運用の予測精度 一過大な誤差の発生例

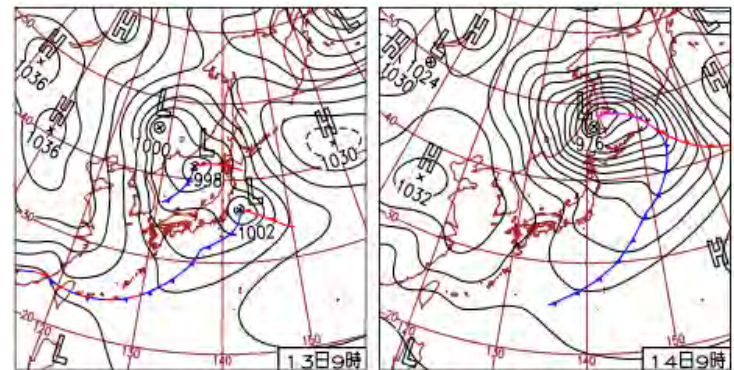
◆ 過大な誤差が発生した事例

- 定格の70%を超える高出力を予測したが、実績では出力低下による過大な誤差が発生。
 - 強風によるWF制御等による出力低下(風力発電機のカットアウトおよび保安停止等)の影響が推測される。
 - 本システムでは風力発電機の稼動情報等の個々のWF実績情報を使用していないため、このような誤差の発生を踏まえた予測の活用が必要。
- ※ その他にも、気象予測外れ(前線の位置のズレ等)によっても大きな誤差が発生する。

e. 2010年4月13日6時発表予測



※横軸(上):ローカル時間, 横軸(下):予測時間



13日(火) 関東甲信、初夏の陽気

関東甲信～東北では気温が上がり、最高気温は5月～6月並。長野県軽井沢で22.2℃の7月上旬並。仙台市、長野市等でサクラ開花や満開。札幌市最大風速20.7m/s、4月の極値。

14日(水) 北日本中心に暴風

日本海北部の低気圧が急発達して、冬の気圧配置に。強い寒気が流れ込む。東～北日本は風が非常に強く海は大しけ。北海道は吹雪の所も。北海道広尾で最大瞬間風速40.6m/s。

天気図出典:気象庁HP

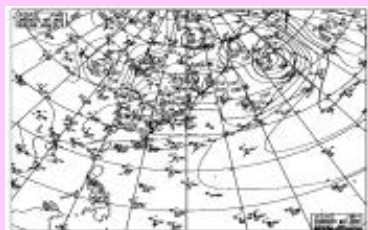
目次

- 風力発電出力予測技術の概要
- 風力発電出力予測技術の現状と課題
 1. 予測システムの運用状況と精度（東北電力様）
 2. 予測システムの開発事例（NEDO事業）

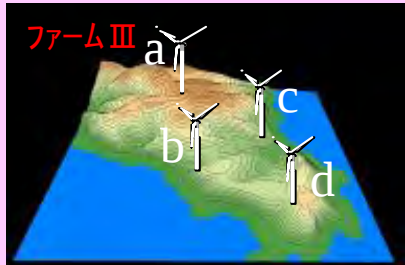
NEDO事業「気象予測に基づく風力発電量予測システムの開発」

(2005～2007年度)

数値気象予報データ



単機出力/ナセル風速データ



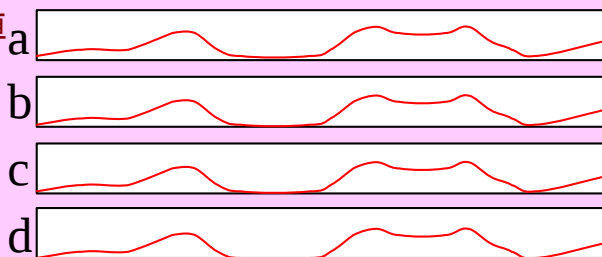
WF総出力データ



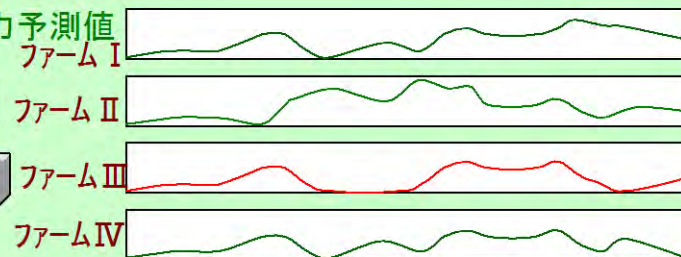
数値気象予報データ



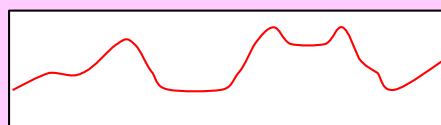
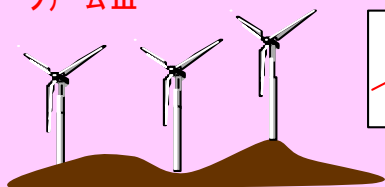
単機出力予測値



WF総出力予測値



ファームⅢ



WF総出力予測値
(a+b+c+d)

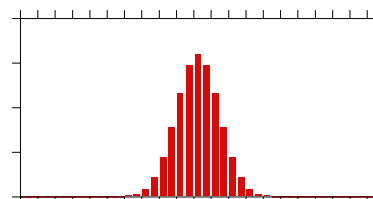
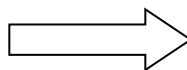
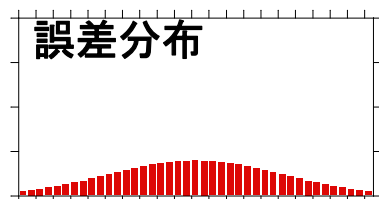
エリア総出力予測値
(Ⅰ+Ⅱ+Ⅲ+Ⅳ)



わが国に適した風力発電出力予測モデルの研究および向上を行いながら開発目標を達成し、さらに本研究で開発された様々な風力発電出力予測技術の実用化と普及促進に資する。

【開発目標】

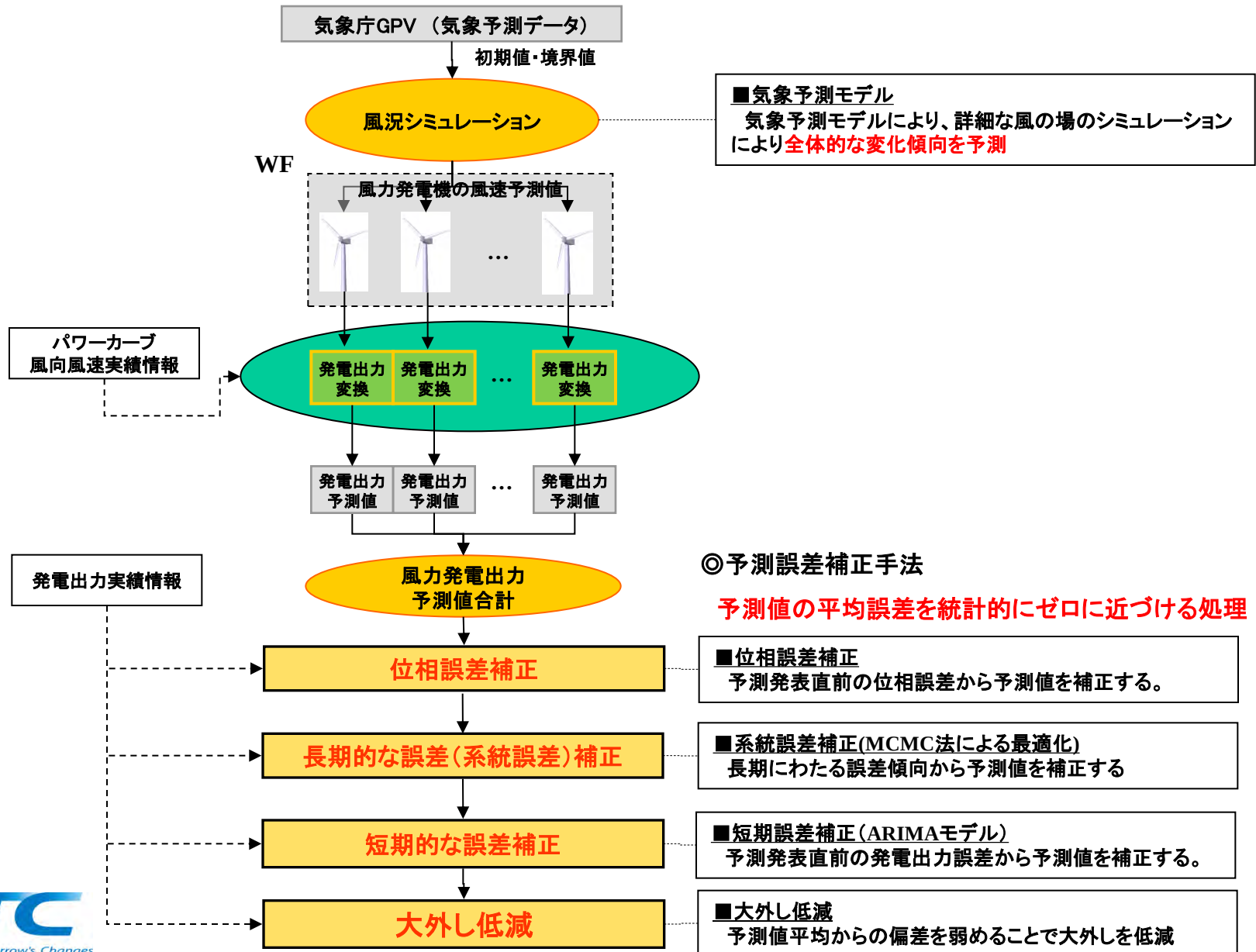
	当日予測	翌日予測
改善率	20%削減	30%削減
予測誤差(MAE)	15%以内	20%以内



- 当日予測: 予測発表時刻から24時間先まで24時間分の30分毎(毎時00分および30分)を予測
- 翌日予測: 予測発表時刻の24時から48時間先までの24時間分30分毎(毎時00分および30分)を予測
- 改善率: 持続モデルに対するMAEの改善率
- 持続モデル: ある時刻tにおける実測値がそのまま継続すると仮定する予測モデル

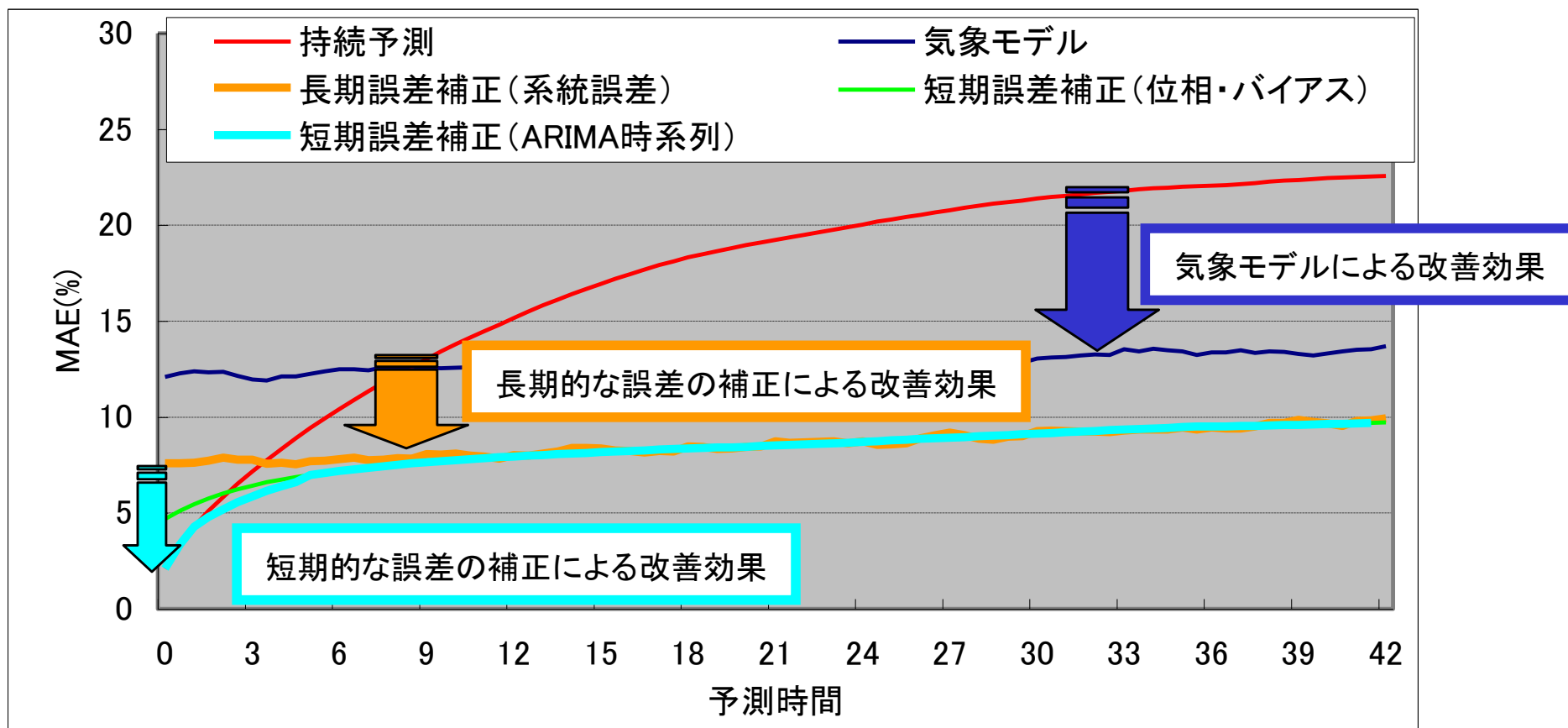
エリア予測手法

NEDO気象予測に基づく風力発電量予測システムの開発
(2005~2007年度)



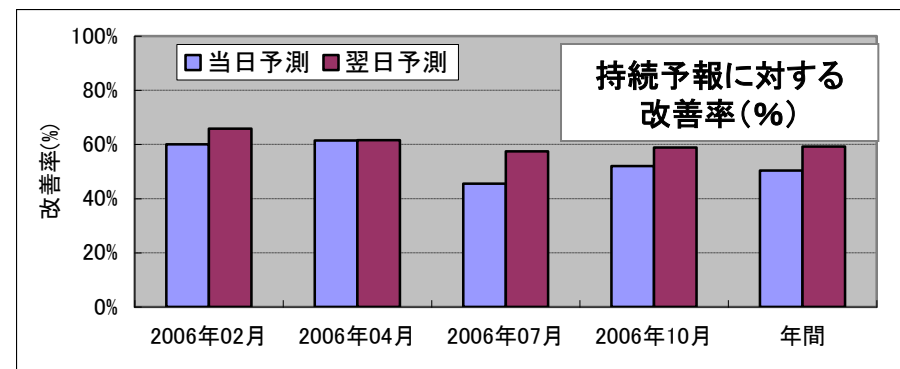
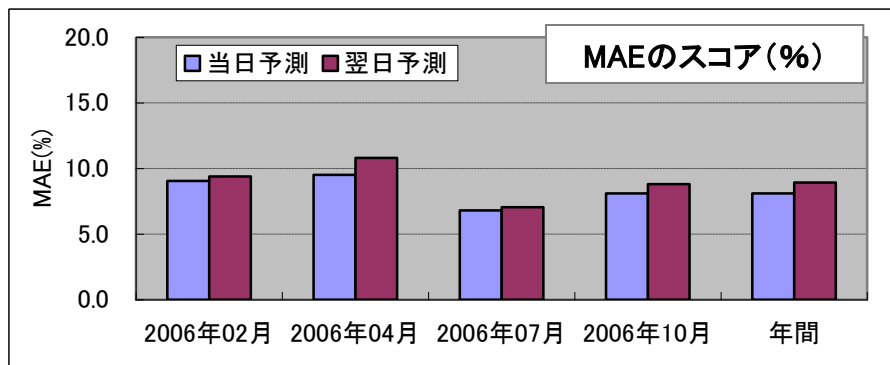
予測誤差補正の効果

NEDO気象予測に基づく風力発電量予測システムの開発
(2005~2007年度)



出力予測の精度検証

NEDO気象予測に基づく風力発電量予測システムの開発
(2005～2007年度)



MAE(%)	当日予測	翌日予測
2006年02月	9.06%	9.40%
2006年04月	9.52%	10.8%
2006年07月	6.81%	7.05%
2006年10月	8.09%	8.80%
年間	8.10%	8.92%

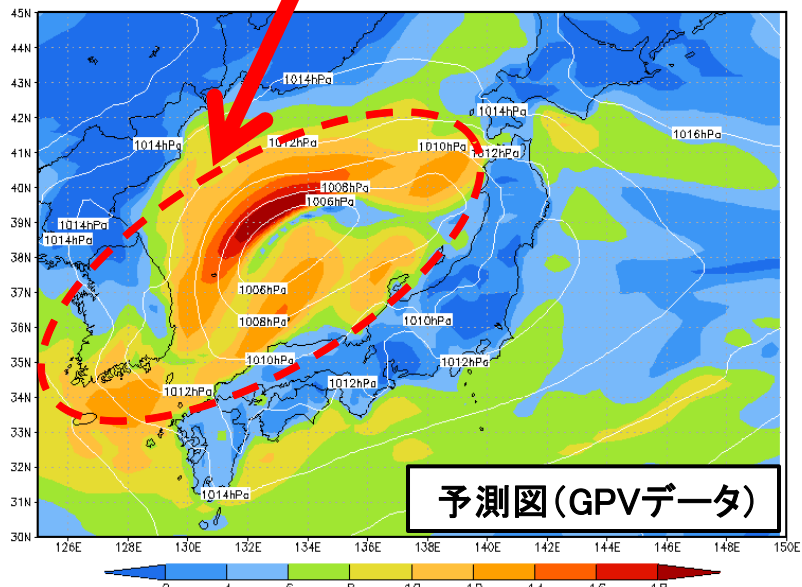
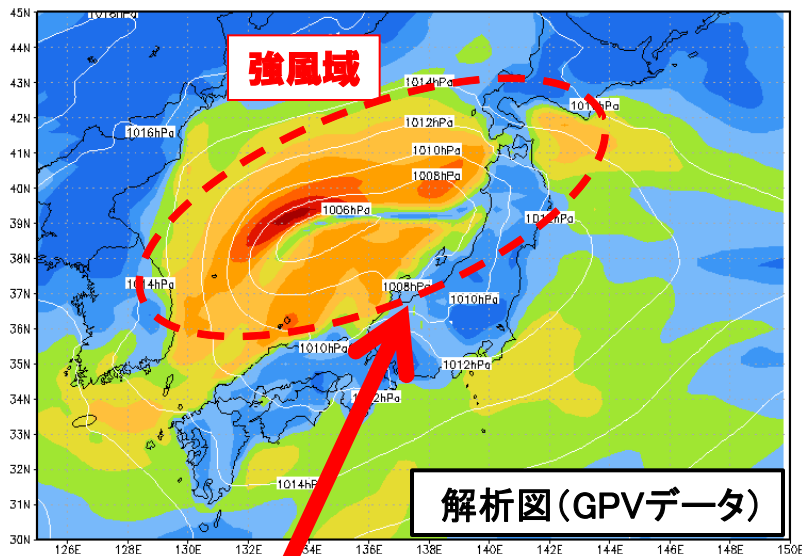
改善率	当日予測	翌日予測
2006年02月	60.1%	65.8%
2006年04月	61.5%	61.6%
2006年07月	45.5%	57.4%
2006年10月	52.0%	58.9%
年間	50.4%	59.3%

- 当日予測と翌日予測の**MAE**は、年間でそれぞれ**8.10%, 8.92%**であった。
- 当日予測と翌日予測の持続予報に対する**改善率**は、年間でそれぞれ**50.4%, 59.3%**であった。
- MAEは、目標である**当日予測15%、翌日予測20%のスコアをクリア**していることがわかった。
- 改善率は、目標である**当日予測20%、翌日予測30%のスコアをクリア**していることがわかった。

※当日予測は予測発表6h～24hの範囲。

翌日予測は予測発表18h～42hの範囲

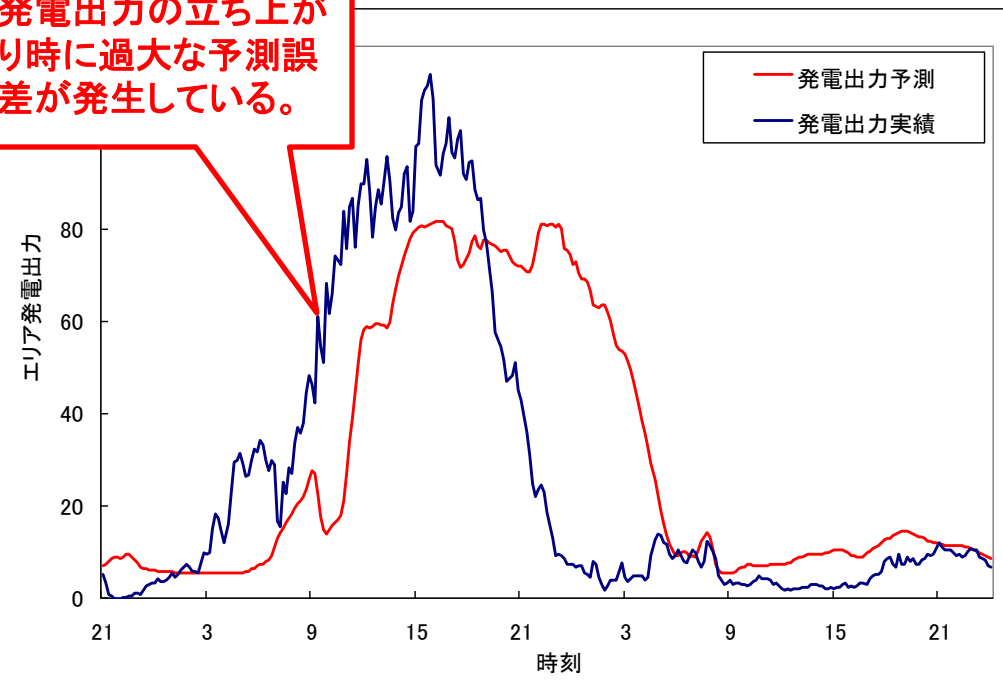
出力予測の大外し事例 — 低気圧



予測計算の入力データ自身 (GPVデータ等) に予測誤差 (低気圧や台風などの移動等のズレ) が生じている場合、発電出力予測にも過大な誤差が生じる場合がある。

※GPV (Grid Point Value) : 数値気象予報データ

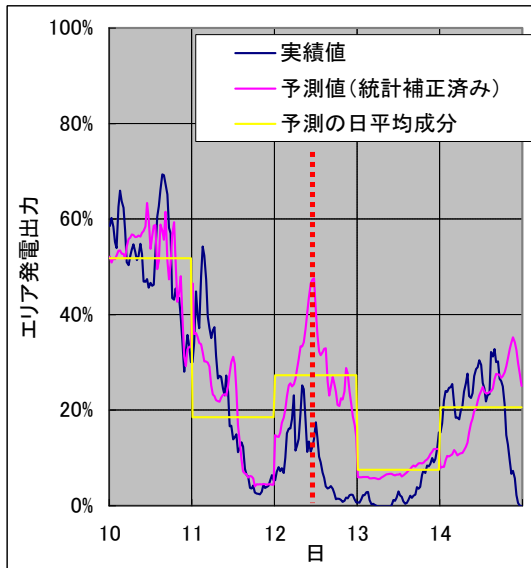
発電出力の立ち上がり時に過大な予測誤差が発生している。



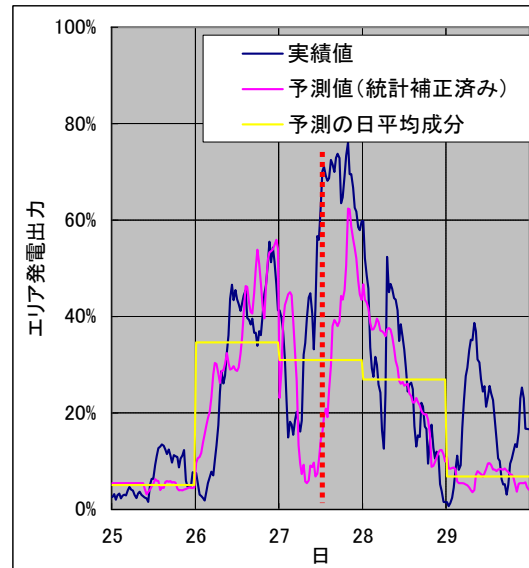
地上風速 (色) と気圧分布 (コンター)

発電出力予測と発電出力実績の時系列図

出力予測の大外し事例 — 前線・台風



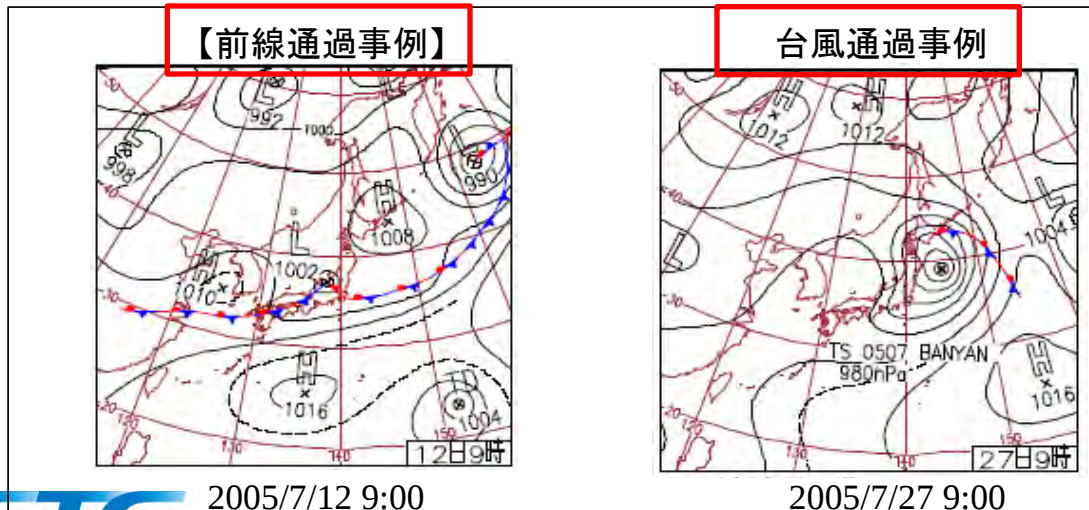
誤差: +35.2% (2005/7/12 10:30)



誤差: -54.3% (2005/7/27 12:30)

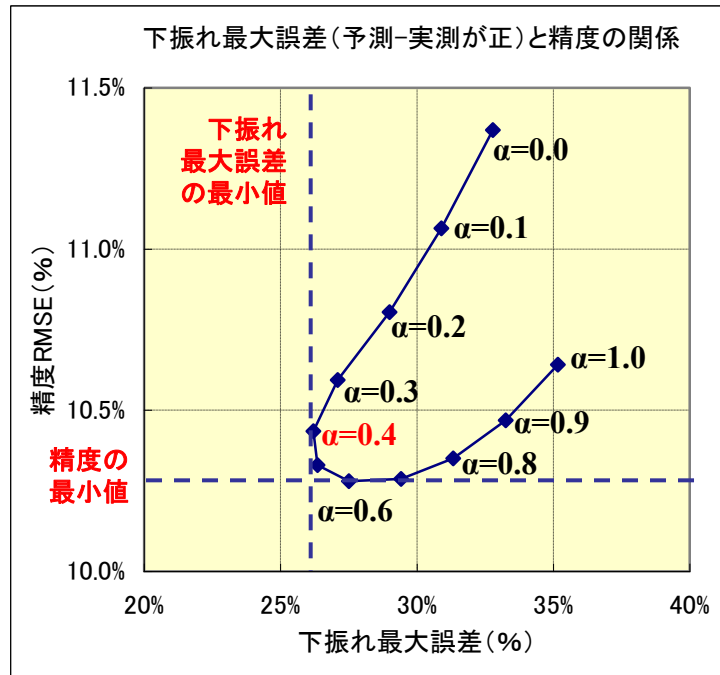
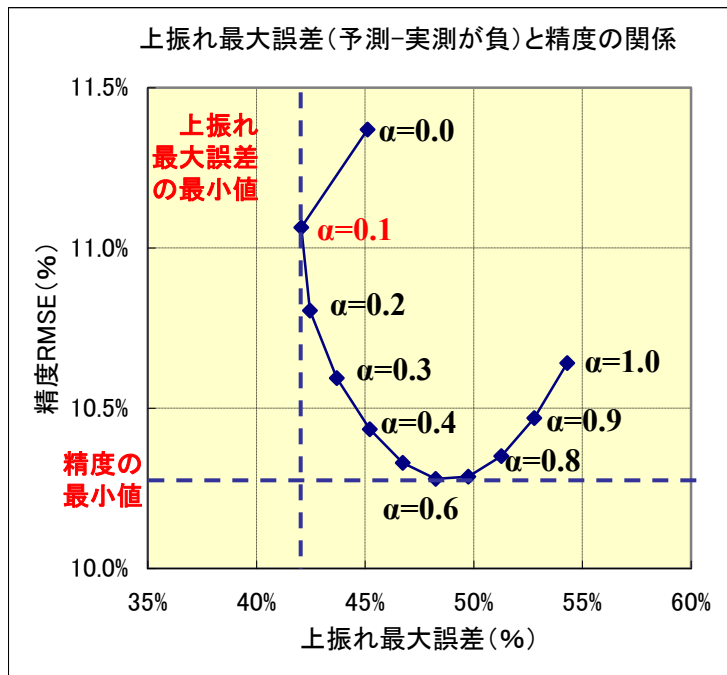
■ 予測の大外し事例
大きな気象擾乱を伴う
現象に伴い誤差が発生。

■ 前線通過事例
最大下ブレ誤差: +35.2%
(2005/7/12 10:30に発生)



■ 台風通過事例
最大上ブレ誤差: -54.3%
(2005/7/27 12:30に発生)

出力予測の大外し低減の検討



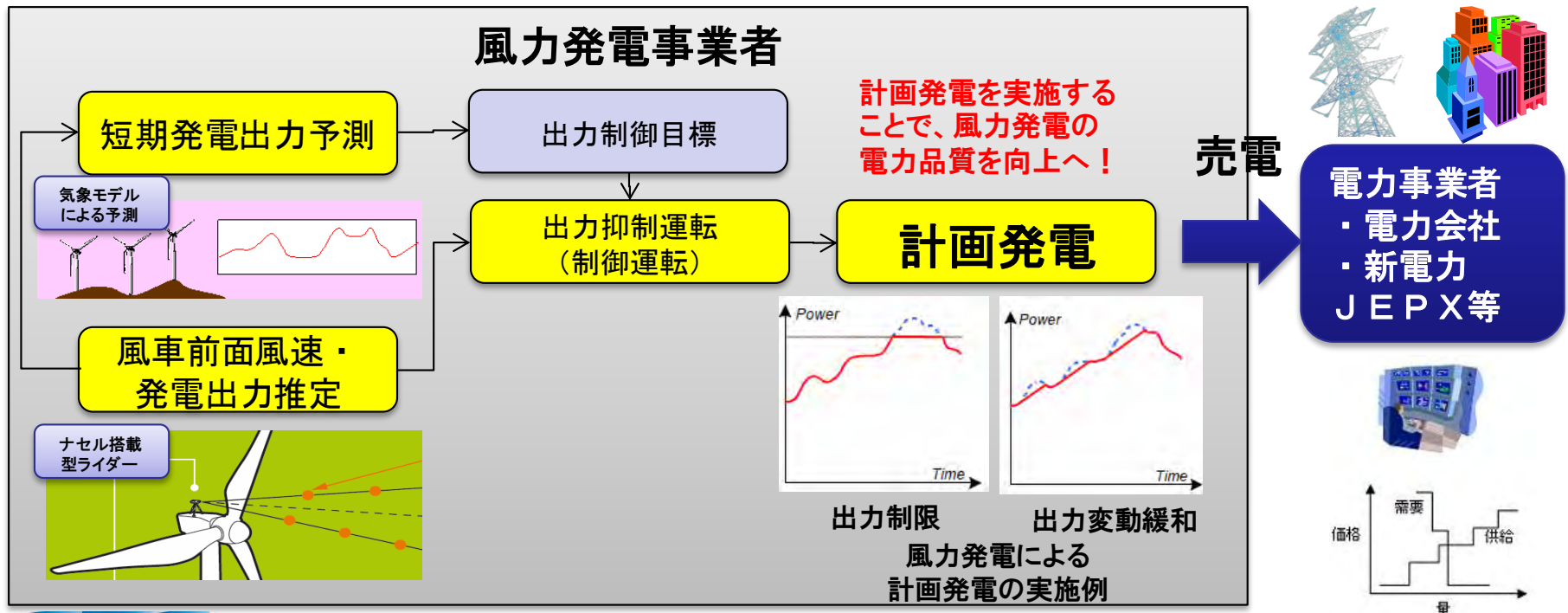
- 大外し低減パラメータ α を変化させることで、最大誤差がどの程度変化するかについて、分析を実施.
- 本事例において、上振れ最大誤差が最小となるのは $\alpha = 0.1$, 下振れ最大誤差が最小となるのは $\alpha = 0.4$ であった.

⇒最大誤差が低い予測手法は、必ずしも精度(RMSE)が高い予測手法とは限らない.

その他の検討事例 — METI 事業

■ 風力発電出力制御技術開発 (東大・三重大・AIST・CTC)

- ✓ 現在、METI/新エネルギー等共通基盤整備促進事業において、短期発電出力予測 (数時間先予測) を活用した、**風力発電の出力制御技術の確立**に取り組んでいる。
⇒ WF周辺や風車前面の風況データを出力予測に活用。
- ✓ 「風まかせ発電」から予測し発電制御するという「計画風力発電」へのシフト
⇒ **風力発電の品質向上へ!**



まとめ

1. 風力発電の導入拡大にともない、気象予測・統計技術とIT技術を駆使した、出力予測の取り組みが始まっている。
2. 風力発電の出力急変に伴う、予測の大外しは大きな課題。予測の誤差要因としては、主に以下の2点。
 - 気象モデルの予測誤差
 - 実績データの収集不足（風車の運転情報等）
3. 一方で、出力予測には絶えず誤差はつきもの。
 - 今後、予測誤差が発生した場合でも系統運用に支障をきたさないような技術開発が期待されている。
（風力発電設備の 出力制御技術開発等）



コーポレートロゴマークには、「世の中の変化を素早く読み取り、市場の変化に即応するだけでなく、

CTC自らがその変化を誘発する側に立とう」という熱い志を凝縮しました。

マークの下にある「**Challenging Tomorrow's Changes**」は、この志を一文で表したものです。