

局地気象解析を用いた風力発電量の予測

会員 榎本 重朗 会員 猪股 登 会員 山田 俊郎 会員 千葉 浩克 (東北電力)
谷川 亮一 太田 俊広 福田 寿 (CRC総合研究所)

Prediction of Output from Wind Farm
using Local Meteorological Analysis

Shigero Enomoto*, Noboru Inomata*, Toshiro Yamada*,
Hirokatu Chiba*, Ryoichi Tanikawa**, Toshihiro Oota**,
and Hisashi Fukuda**

*Tohoku Electric Power Co., Inc.

7-2-1, Nakayama, Aoba-ku, Sendai, Miyagi, 981-0952 JAPAN
E-mail: enomoto@rdc.tohoku-epco.co.jp

**CRC Research Institute, Inc.

2-7-5, Minamisuna, Koto-ku, Tokyo, 136-8581 JAPAN

ABSTRACT

Accurate prediction of output from wind farms over a few hours (or days) has become far more important as wind energy penetrates increasingly in Japan, because conventional electric power system schedulers will be obliged to predict fluctuate and intermittent behavior of wind energy in order to have their systems work correctly.

We have been developing a method for prediction of output from wind farm using local meteorological analysis. In this model, the hourly data of Regional Spectral Model (RSM) which is the numerical weather prediction model of Japan Meteorological Agency are used as initial values and boundary values.

The prediction has been carried out at Tappi Wind Park in Aomori prefecture. The outline of the model and the accuracy of predicted results are described in this paper.

Key words : Wind power, Prediction, Model, Meteorology

1. はじめに

近年、地球環境問題への意識が高揚するなか、CO₂を排出しないクリーンエネルギーとして、また有限な地下資源に依存しない新しい純国産エネルギーとして、風力発電が注目され、実用化に向けた研究が活発に行われている。

風力発電を実用化していく際、最も重要な問題は発電量の予測である。現在、風力発電は、出力が風況に応じて変動するため、電源としての価値は低い。しかし、数時間から数日先の風力発電量を、時系列的に精

度良く予測することができれば、風力発電の電源としての価値はさらに高まるものと考えられる。

風力発電量を予測する手法としては、デンマークで開発された Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP) が欧州で広く用いられている。WASP を日本のサイトに適用し、比較的良い予測精度を得ている例^{(1)・(2)}があるが、WASP による風況予測には、風況の実測が必須であり、風況実測値のない任意の地点における予測は困難である。また、WASP は過去の風況実測値から統計的に平均風速を推定するものであり、時々刻々と変化する風況を時系列的に予測するものではない。

東北電力(株)は(株)CRC 総合研究所と共同で、局地的な気象解析により、風力発電量を予測するシミュレーションモデルの開発を行っている。このモデルは、気象庁が気象の数値予報に用いている Regional Spectral Model (RSM) の予報値を初期値および境界値として用い、24 時間先までの風向・風速を 3km もしくは 500m のグリッド間隔で計算し、風力発電量の時系列予測値を出力することができるものである。

今回の発表では、青森県津軽半島に位置する東北電力(株)竜飛ウィンドパークにおける発電量の予測結果について報告する。

2. シミュレーションモデルの概要

今回、風力発電量を予測するのに用いたシミュレーションモデルは、(株)CRC 総合研究所が開発した局地気象評価予測システム (LOCALS) を基本とし、風力発電用にグリッド間隔を狭めるなどの改良を行ったモデルを用いた。図 1 に LOCALS の概念^{(3)・(4)}を示す。

日射、放射、大気中の水蒸気量などが複雑に相互作用を及ぼし合った結果、気温、気圧、湿度、降水そして風向・風速といった気象現象が生じる。これら気象現象は、熱力学・流体力学の方程式で表すことができ、数値として計算することができる。LOCALS は、気象庁が数値予報に用いている RSM の予報値を初期値および境界値として用い、局地的な地形や土地利用状況を加味しながら、24 時間先までの風向・風速予測値を、3km もしくは 500m のグリッド間隔で出力することができる。

RSM は、日本列島全域を含む極東アジアの領域(北緯 20° ~ 50°, 東経 120° ~ 150°) で数値予報を行うため、LOCALS を用いると、この領域内の任意の地

点の風況を予測することができる。また、過去のRSMの予報値を用いることにより過去の風況も再現することができるため、LOCALSは、風況を予測だけでなく、風力エネルギー賦存量の推定にも利用できる。

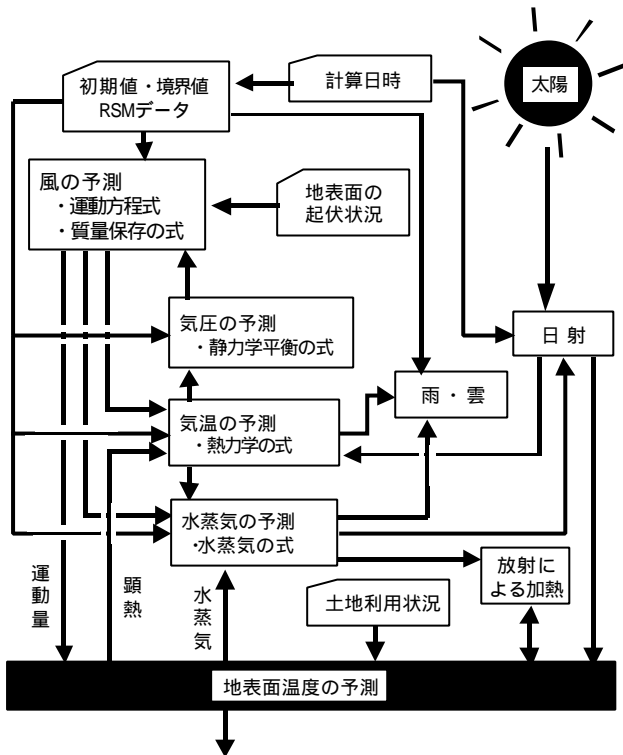


図1 LOCALSの概念

LOCALSにより風況予測を行う場合にLOCALSが必要とするデータを表1に示す。

表1 LOCALSが必要とするデータ

項目	データの種類
初期値・境界値	RSM地上, RSM上空
地形(標高)	数値地図250mメッシュ
土地利用	1/10細分区画土地利用データ

表1に示すとおり、LOCALSによる風況予測は、風況の実測値を必要としない。また、数値地図および土地利用データは日本全国のものがある。

予測値を出力する時間間隔は任意に設定することができるが、今回は1時間間隔とした。

図2に発電量予測フローを示す。発電量予測値は、1時間毎の風速予測値における発電機出力を既知の発電機出力特性より求め、その出力が1時間一定に得られるものとして算出した。

今回、シミュレーションを実施した1999年時点において、竜飛ウィンドパークでは、1～5号機(1機あたりの定格出力275kW)、6～10号機(同300kW)の計10台の風力発電設備が稼働していた。

図3に275kW機および300kW機の発電機出力特性を

示す。

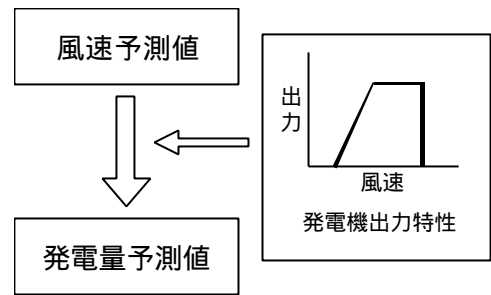


図2 発電量予測フロー

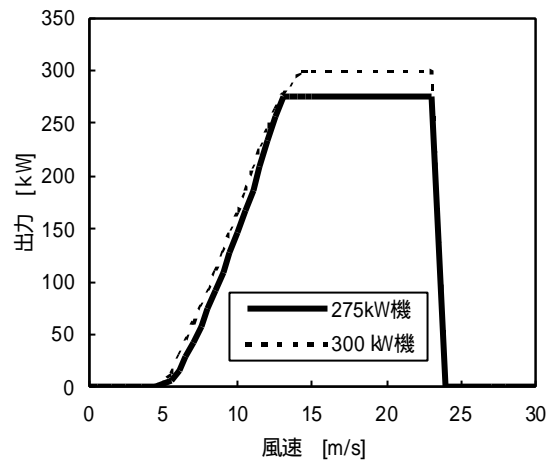


図3 発電機出力特性

3. 竜飛ウィンドパークの地形

竜飛ウィンドパークは、青森県津軽半島北端の竜飛岬に位置している。

図4に竜飛ウィンドパークの地形を示す。図中の数字は、風力発電設備の位置を示している。6～10号機は標高180mほどの丘陵のほぼ頂上付近に設置されているのに対し、1～5号機は丘陵の麓付近に設置されている。7号機と1号機の標高差は約63mであり、風車は複雑な地形上に設置されている。

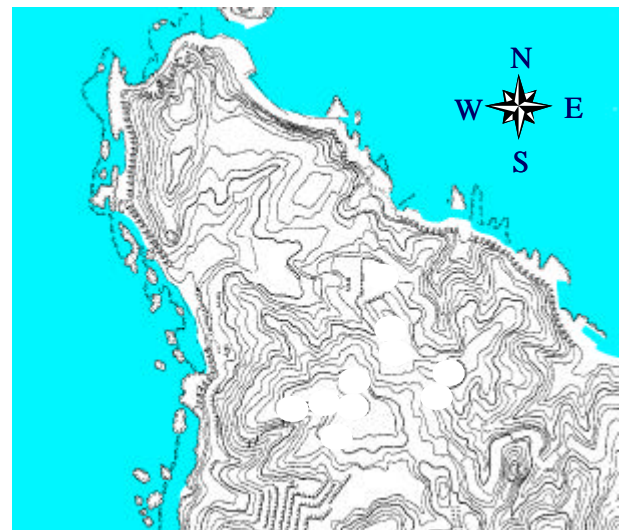


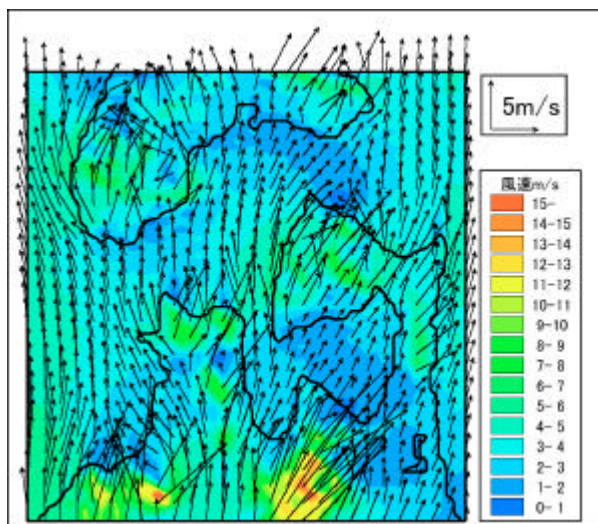
図4 竜飛ウィンドパークの地形

4. 風況予測結果

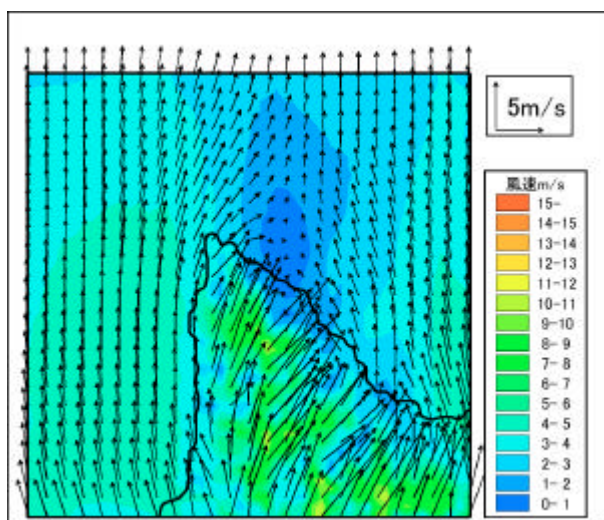
竜飛ウィンドパークにおける 1999 年 5 月 1 日から同年 6 月 30 日までの 2 ヶ月間の風速について、3km および 500m グリッド間隔で計算し、風車ナセル上部に設置された風向風速計により実測された実測値との比較を行った。

図 5 に 1999 年 6 月 11 日午前 9 時時点における 3km および 500m グリッド間隔での風向・風速予測結果出力例を示す。風向・風速は、3km または 500m のグリッド間隔でベクトルを用いて表示される。また風速の強弱の範囲を色分けで示すことができる。

計算領域は、3km グリッド間隔では青森県のほぼ全域および北海道函館周辺を含む地域、500m グリッド間隔では竜飛岬周辺である。また、グリッドは鉛直方向にも設定できるため、様々なハブ高さの風車の発電量を予測することが可能である。



(a) 3km グリッド間隔



(b) 500m グリッド間隔

図 5 風向・風速予測結果出力例
(1999 年 6 月 11 日午前 9 時時点)

図 6 に 1 ~ 10 号機の各風速実測値の一時間平均値と、3km グリッド間隔で計算した風速予測値の散布図を示す。両者の相関係数は 0.80 であり、平均誤差(バイアス)は -0.54m/s、平均二乗誤差(RMSE)は 3.28m/s であった。風速予測値は精度良く計算されており、竜飛ウィンドパーク(約 700m 四方)程度の領域の平均的な風速を予測するためには、3km グリッド間隔の計算が有効であると考えられる。

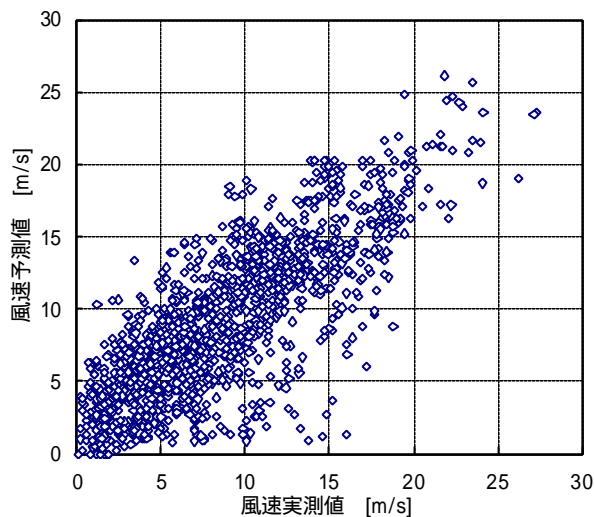


図 6 風速実測値と風速予測値(3km グリッド間隔)の散布図

より局地的な地形による効果を考慮するために、500m グリッド間隔で風況を予測し、号機毎の風速実測値と比較した結果を表 2 に示す。

表 2 風速実測値と風速予測値(500m グリッド間隔)の号機毎の相関係数、バイアス、RMSE

号機	相関係数	バイアス (m/s)	RMSE (m/s)
1	0.77	-0.43	2.84
2	0.71	0.67	2.69
3	0.65	0.39	2.19
4	0.72	2.19	4.42
5	0.79	0.80	2.77
6	0.81	-1.72	3.61
7	0.87	0.44	2.88
8	0.82	-0.97	3.14
9	0.88	0.66	3.46
10	0.88	0.40	2.95

6 ~ 10 号機については、0.8 以上の高い相関係数が得られているが、2 ~ 4 号機については、0.7 前後と低くなっており、3 号機が最も低い値を示している。バイアスおよび RMSE については、4 号機が特に大きい値となっている。このように号機毎に予測精度が異なる

ことは、複雑な地形上に設置された各風車の立地条件に起因しているものと思われる。

複雑な地形が風車に及ぼす影響の一つとして、風速の乱れがあげられる。図7は、発電量予測を実施した期間に観測された号機毎の乱流強度を示している。ここで、乱流強度とは、0.5秒間隔で10分間サンプリングされた風速の標準偏差を10分平均風速で除したパーセンテージで表し、bin法(bin幅=1.0m/s)で平均したものである。

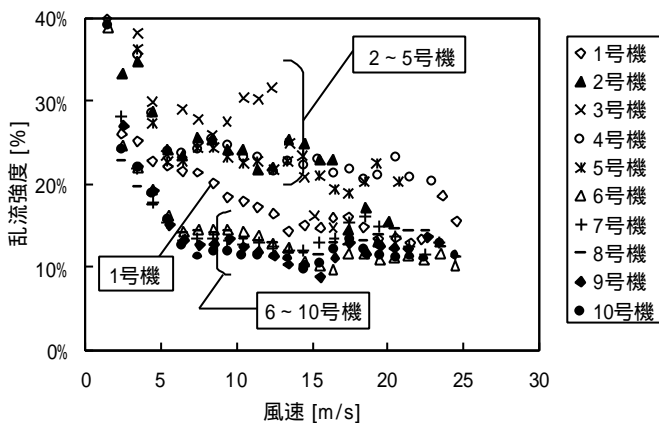


図7 号機毎の乱流強度

図7が示すように、表2における風速予測値と実測値の相関係数が比較的高かった6~10号機の乱流強度は、2~5号機の乱流強度に比べ、10%以上小さい。また、相関係数が最も低かった3号機においては、定格風速13.0m/s付近で30%以上の乱流強度が観測されている。これらのことから、本モデルにおける予測誤差の要因の一つとして、本モデルが風速の乱れを完全に表現していないことが考えられる。

5. 発電量予測結果

500mグリッド間隔で計算した風速予測値に、各号機の発電機特性を掛け合わせ、竜飛ウィンドパークの日総発電量(1日間における1~10号機の発電量の合計)を算出し、実測値と比較した結果を図8に示す。

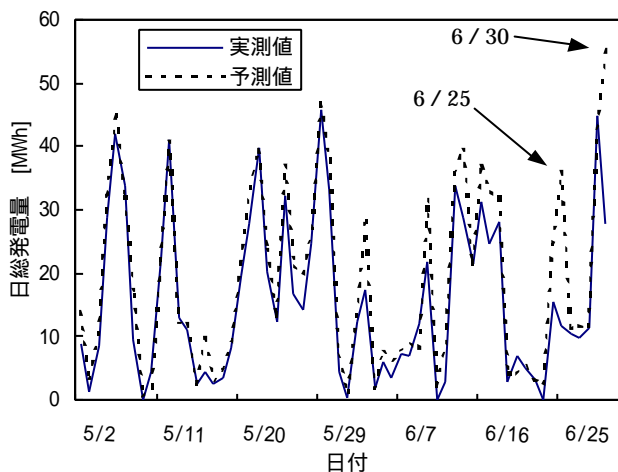


図8 日総発電量の予測値と実測値

500mグリッド間隔の風況予測では、号機毎に精度が異なったが、竜飛ウィンドパーク全体の発電量を考慮すれば、日総発電量は概ね精度良く予測することができる。予測値と実測値の相関係数は0.93、バイアスは3.16MWh、RMSEは6.13MWhであった。

6月25日および6月30日については発電量が過大に予測されているが、これは、強風により全ての風力発電機を10数時間停止したことによるものである。

6. まとめ

竜飛ウィンドパークにおける2ヶ月間の風速ならびに日総発電量を、局地気象評価予測システムを用いて予測した結果、以下のことが判った。

- (1) 3kmグリッド間隔の予測により、風速実測値(1~10号機の各風速実測値の1時間平均値)を精度良く予測することができる。
- (2) 500mグリッド間隔の風速予測値は、号機毎に予測精度が異なる。誤差要因の一つとして、本モデルが風速の乱れを完全に表現できていないことが考えられる。
- (3) 500mグリッド間隔の風速予測値から求めた日総発電量予測値は、実測値と概ね一致した。

現在、誤差要因についてさらに考察し、統計処理(カルマンフィルター)を用いた予測精度の向上について検討している。

文 献

- (1)長井・小島:「山形風力発電研究所の風車発電量の考察」, 風力エネルギー, Vol.21, No.3, pp.44~48, 1997
- (2)T.Matsuzaka et al: "Wind Resource Estimation of TAPPI Wind Park", European Wind Energy Conference, pp.377~380, 1997
- (3)Y.Kikuchi et al: "Numerical Study on the Effects of Mountains on the Land and Sea Breeze Circulation in the Kanto District", Journal of the Meteorological Society of Japan, pp.723~738, 61, 1981
- (4)K.Kimura et al: "A Numerical Experiment of the Nontuanal Low Level Jet over the Kanto plain", Journal of the Meteorological Society of Japan, pp.848~861, 61, 1983