

八丈島風力発電所における風況予測に関する検討

A Wind Climate Assessment for the Hachijojima Wind Power Plant

福本 幸成*

村口 英之*

石原 孟**

Yukinari FUKUMOTO

Hideyuki MURAGUCHI

Takeshi ISHIHARA

1. はじめに

平成 15 年 4 月から施行された RPS 法（電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法）で、電気事業者は新エネルギーから作る電気を、一定以上利用することが義務づけられた。新エネルギーのうち風力発電の導入量は、2003 年度の 1 年間で 22 万 kW、同年度末の累計導入量で 68 万 kW と急速に増加しており、新エネルギー分野において着実に利用可能エネルギーの地位を築いている。また、NEDO の風況マップによれば、風力発電のポテンシャルは 687 万 kW と推定されており、その絶対量も大きい。これらのことから、RPS 法における新エネルギー利用の拡大において、風力発電は重要な電源と考えられる。

風力発電設備を導入するうえで、重要になるのが風車設置位置の選定である。現在、風況予測に広く使われている線形モデルは急峻な地形に適用できない上¹⁾、観測地点と検討対象地点の地形が異なる場合には大きな誤差が生じる²⁾。一方、非線形風況予測モデルはこのような制限を受けない。非線形モデルの一つとしては最近東京大学橋梁研究室で開発した非線形風況予測モデル MASCOT（Microclimate Analysis System for Complex Terrain）^{3)~5)}があり、風車設置位置の比較的近傍（約 1 km）の実測風況データを用いたときに、良好な予測精度を持つことが検証されている。しかし、風況観測点と風車設置位置とが離れている場合の有用性は、十分に検証されていない。

そこで、本研究では、比較的離れた測候所の風況データを基に、MASCOT にて急峻な山の中腹にある八丈島風力発電所での風況を予測し、実測から得られた風況データと比較することにより、非線形モデル MASCOT の予測精度を検証した。

2. 八丈島風力発電所と八丈島測候所の概要

八丈島風力発電所と八丈島測候所測風塔の諸元を、それぞれ表-1 と表-2 に示す。八丈島風力発電所（以降、風力発電所と記す）は、2000 年 4 月から運転を開始し、2003 年 3

月まで約 300 万 kWh の電力を生産している。写真-1 に風力発電所の全景を示す。

表-1 八丈島風力発電所の諸元

項目	諸元
風車位置	緯度 33° 04' 14"
	経度 139° 48' 57"
運転開始年月日	2000年3月31日
発電所出力	500kW
風車中心高さ	44m
ブレード長さ	19.2m
ブレード枚数	3枚
発電開始風速	2.5m/s
発電停止風速	25.0m/s

表-2 八丈島測候所測風塔の諸元

項目	諸元
測風塔位置	緯度 33° 06' 18"
	経度 139° 47' 00"
測定高さ	E.L. 74.2m (地上高さ18.8m)

図-1 に、風力発電所と八丈島測候所測風塔（以降、測風塔と記す）の位置を示す。風力発電所は八丈島の南側あり、標高 701m の三原山の急峻（一般的に $H/L=0.15$ 以上が急峻といわれており、八丈島は $H/L=0.18$ ）な中腹に位置する。風力発電所と測風塔との直線距離は約 6 kmあり、三原山を挟むような位置関係となっている。測風塔は、標高 854m の八丈富士と三原山との中間に位置し、風力発電所よりも低い位置で八丈島の風況を観測している。

測風塔での風況を図-2、3 に示す。図-2 は過去 3 年間に測風塔で観測された 1 時間毎の風向出現率を示したものである。図-2 より、西、南西及び東北東の出現率が高いことがわかる。また、図-3 は測風塔での風速頻度分布を示している。測風塔における平均風速 5.5m/s 付近を中心に分布し、一般的な陸上風の形状である。

* 非会員 東京電力株式会社 〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1

** 会員 東京大学大学院 工学系研究科 総合研究機構 〒113-8656 東京都文京区弥生 2-11-16



写真-1 風車の全体写真



図-1 風車と測風塔の位置



図-2 測風塔での
風向出現率

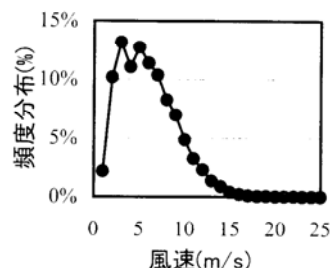


図-3 測風塔での
風速頻度分布

3. 風況予測モデルの概要

非線形風況予測モデル MASCOT は、質量および運動量保存の法則を満足する有限体積法を用い、乱流モデルとして $k-\epsilon$ モデルを用いることにより平均風速場のみならず剥離を含む複雑流れ場の変動風速の標準偏差を予測することが可能である。また、このモデルを用いれば、ある1地点において実測された風況から、検討対象地点の風況と風力発電量を予測することができる。したがって、気象台など周囲の風況データをもとに風車設置位置の選定に利用できる。MASCOT の解析フローを図-4 に示す。

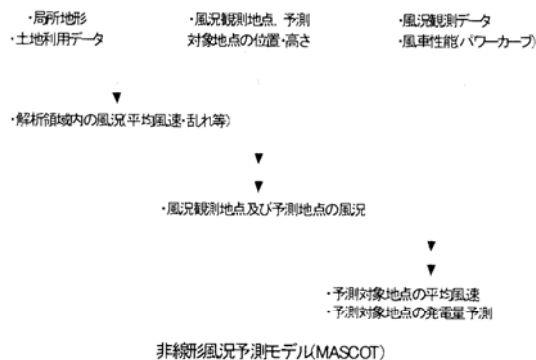


図-4 MASCOTの解析フロー

図-5 は、MASCOT の解析領域の概念を示している。本検討

では測候所と風力発電所の両方を解析領域とするため、長さが8 kmの正方形領域を解析領域として設定し、それを外接する円を内接させる正方形領域を全体の対象領域とする。また、対象領域の上流側に、対象領域と同等の正方形の付加領域を設け、周囲には緩衝領域を設定した。風況予測の対象領域中心の矩形領域は、風力発電所近傍の風況を精度良く予測するため、最も細かいメッシュを設定し、その間隔は、50m(鉛直は、5m)とした。MASCOT の解析格子は、不等間隔格子であり、最小メッシュの1.2 倍の拡大率で外側に向かって格子間隔が大きくなっている。これを各風向で設定し、解析を行った。

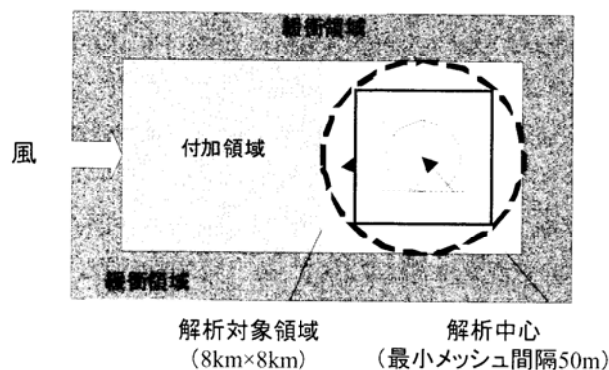


図-5 MASCOTの解析領域の概念図

4. 解析結果

4.1 風力発電所の風況

風力発電所の風況解析結果を図-6～9 に示す。図-6 は、風力発電所における水平風速予測値(水平成分： u)を正規化するために、解析領域上流に入力した水平風速(水平成分： u)分布で除したものを示す。また、図-7 は、鉛直風速予測値(鉛直成分： w)を正規化するために、解析領域上流に入力した水平風速(水平成分： u)分布で除したものを示す。

全体的に水平成分 u の減少が激しい北風(N)について考察する。水平成分 u については、入力風向に対して風速が逆方向になる。また、鉛直成分 w はほとんど出現しない。これは、風力発電所上流の三原山による地形効果を受けて風が山頂付近で剥離し、風速が減少したためと考えられる。これは、北方向の風全般(北東：NE、北西：NW)に言え、図-8 に示す北風による風速ベクトルとコンター図で確認できる。

出現頻度の比較的高い南西風(SW)は、ナセル地点($H=44.0\text{m}$)で水平成分 u の増速効果大きい。また、鉛直成分 w も、他方位と比較すると大きい。これは、南西からの風が、地形効果によって、斜面に沿って増速していることを示しており、図-9 の南西風による風速ベクトルとコンター図でも確認できる。他の風向に関しては、水平成分、鉛直成分ともに、大きな変化は見られない。

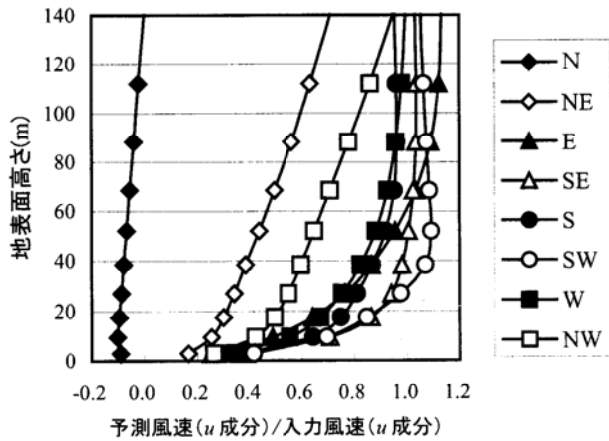


図-6 風速(u 成分)の鉛直分布

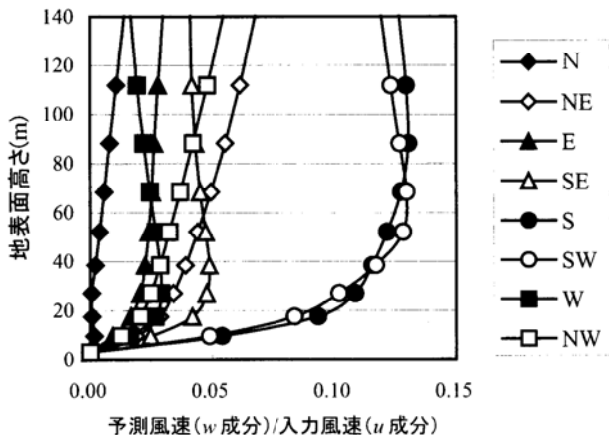


図-7 風速(w 成分)の鉛直分布

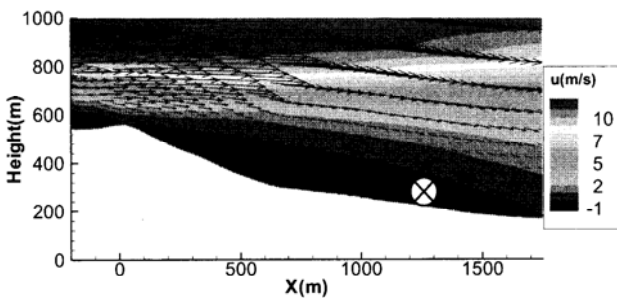


図-8 北風による風速(u 成分)コンター図

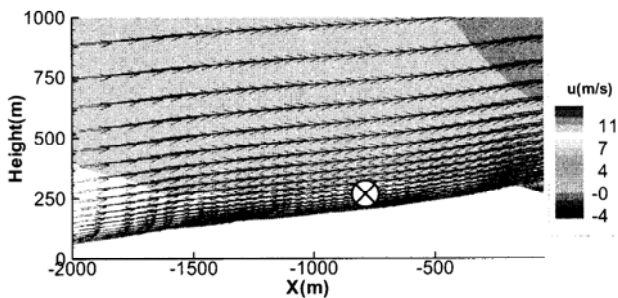


図-9 南西風による風速(u 成分)コンター図

4.2 測風塔の風況

測風塔の風況解析結果を図-10、11に示す。図-10は、図-6と同じく測候所での水平成分 u の鉛直分布を示し、図-11は、図-7と同じく鉛直成分 w の鉛直分布を示している。

図-10より、南東(SE)では、入力風に対して水平成分 u の減少が確認でき、図-11より鉛直成分もほとんど見られない。これは、観測地点上流の三原山による地形効果を受けて風が山頂付近で剥離したためと考えられる。

逆に、南西(SW)では、観測地点高さ($H=18.8\text{m}$)において、水平成分 u の増速が見られ、図-11では鉛直成分 w が大きい。これは、地形の影響を受けて、斜面に沿って風が増速しているためである。他風向は、水平成分、鉛直成分ともに大きな変化は見られない。

ここで、風況を予測する際に、観測されたデータが剥離による影響が大きいと、予測精度が落ちる恐れがあるが、図-2から、剥離が顕著な南東風の出現率は、全体の4.1%であり、八丈島風力発電所の平均風速を求める際の使用データとして、問題ないとする。

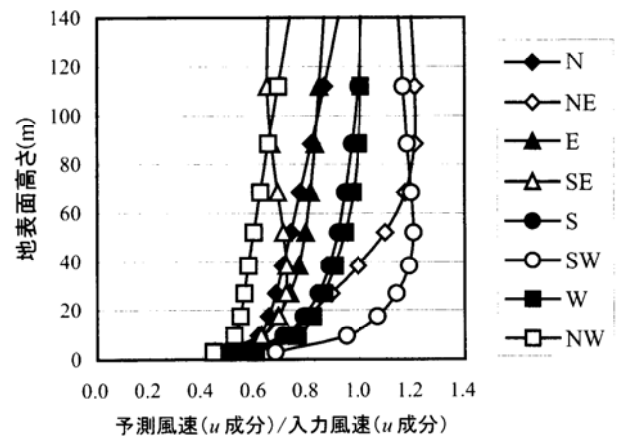


図-10 風速(u 成分)の鉛直分布

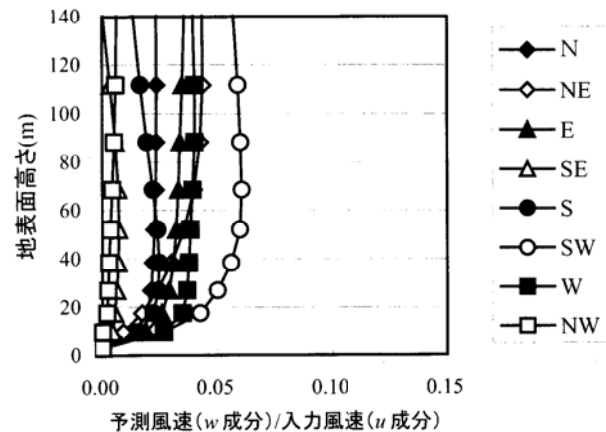


図-11 風速(w 成分)の鉛直分布

4.3 風況予測モデルの検証

風車ナセル高さにおける風速を予測し、実測値との比較を行った。その結果を図-12、13に示す。

図-12(1)、(2)は、2000年4月から2003年3月まで3年間の風車ナセル高さでの実測月平均風速と、予測月平均風速を時系列で比較したものである。また、図-13は、実測値と予測値の散布図と回帰式を示している。これらの図から、3年間の実測値/予測値の平均は0.98であり、実測値と予測値の相関係数は0.93となった。

このことから、急峻な地形に対し、比較的離れた地点の風況データを用いても、MASCOTの平均風速の予測精度は高く、その有用性を確認できた。

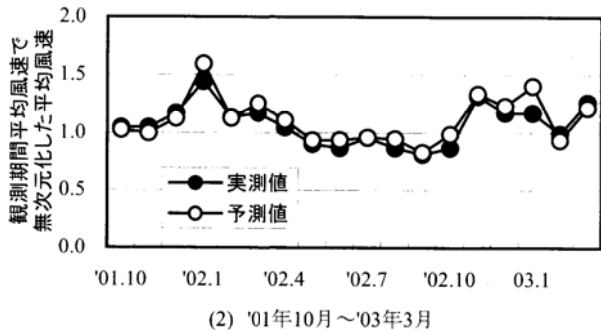
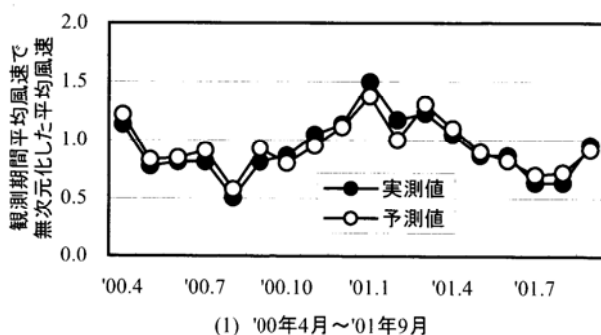


図-12 風車ナセル高さ実測値と予測値との比較

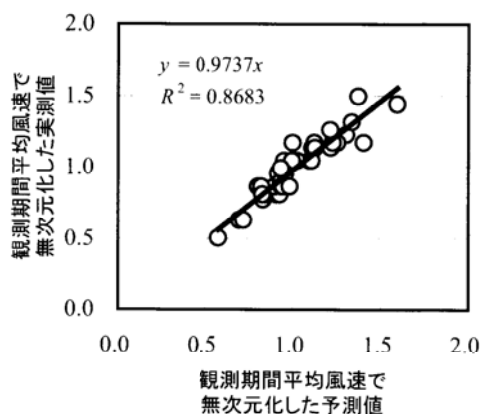


図-13 風車ナセル高さ実測値と予測値との相関

5. まとめ

非線形風況予測モデル MASCOT を利用して、風力発電所における風況シミュレーションを実施し、平均風速の予測値と実測値との比較によりモデルの検証を行った。その結果を以下に示す。

- 1) 風力発電所近傍の風況のうち北風は、三原山の影響を強く受け減速する。南西風はナセル付近で増速する。
- 2) 測候所の風況のうち南東風は、地形による風速の減少が大きい。しかし、出現頻度がわずかなため、風況予測への影響は小さい。
- 3) 風観測地点と風車設置位置が約6 km離れ、標高差が700mある急峻な地形において、予測値と実測値とを比較した。この結果、平均風速の予測誤差は2%で、相関係数は0.93であり、MASCOTの有用性を確認できた。

文 献

- 1) A. J. Bowen and N. G. Mortensen, Exploring the limits of WAsP, Proc. of European Union Wind Energy Conference Exhibition, pp. 23-26, 1996.
- 2) 都築明生, 他, WAsP による広域風況解析のための基礎的モデル検討, 第23回風力エネルギー利用シンポジウム, pp.207-210, 2001.
- 3) 石原孟, 日比一喜: 急峻な山を越える乱流場の数値予測, 日本風工学会論文集, No.83, pp.175-188, 2000.
- 4) 石原孟, 非線形風況予測モデル MASCOT の開発とその実用化, 日本流体力学会誌, 第22巻, 第2号, pp.387-396, 2003.
- 5) 石原孟, 山口敦, 藤野陽三, 複雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証, 土木学会論文集, No.731/I-63, pp.195-221, 2003.