

風況データ収集システムの開発 と風力発電の出力変動解析への応用

Web-Based Data Acquisition System of Wind Conditions and its Application
to Power Output Variation Analysis for Wind Turbine Generation

○小玉 成人*, 松坂 知行*

○Kodama Naruhito*, Tomoyuki Matsuzaka*

*八戸工業大学

*Hachinohe Institute of Technology

キーワード: 風況データ収集システム(web-based data acquisition system), 時系列予測(time series prediction), 風況(wind condition).

連絡先: 〒031-8501 八戸市妙字大開 88-1 八戸工業大学 システム情報工学科
小玉成人, Tel.: (0178)25-8099, Fax.: (0178)25-1691, E-mail: naru@hi-tech.ac.jp

1. まえがき

エネルギーの資源量や環境破壊などの問題のため、近年自然エネルギーに対する関心が高まり、世界各国で開発や導入が進められている。特に風力エネルギーは、他の自然エネルギーと比較して発電コストが相対的に低いこと、建設期間が短期間ですむことなどのため最も実用化が進んでいる。Windpower-Monthly によると世界の風力発電設備容量はドイツが最も大きく 1662 万 kW にも達し、次いでスペインの 826 万 kW、アメリカ 675 万 kW、

デンマーク 312 万 kW、インド 298 万 kW と続く。日本でも 94 万 kW と世界第 8 位であり、1999 年末の 7 万 kW と比較しておよそ 13 倍と大きく成長してきている。特に、日本における風力発電所は、風況の良好な津軽海峡を中心とした北海道、北東北地方に集中しており、その風力発電設備容量は日本の設備容量の 1/2 以上になる。

しかしながら、風力発電は不規則な自然風を入力としているため、その発電機出力は変動する。この出力を電力系統へ大量に接続することにより、

周波数変動や電圧変動などの問題を引き起こしてしまう恐れがある。このような理由により、系統を運営する電力会社は風力発電の電力系統への接続を嫌う傾向にあり、これらの変動を抑制することが重要である。そこで、本研究では自動的に Web 上から風況データを収集する風況データ収集システムを開発する。この風況データ収集システムは、次の2つの機能を持っている。一つ目は、各地の灯台で計測されている風況データを自動的に収集すること。二つ目が、ニューラルネットワークを用いて風速の時系列予測を行うことである。このシステムを用いることにより、同時にそれぞれの地点での風力発電の変動を予測することが可能になり、離島などでのディーゼル発電機の運転や大規模風力発電所の風力発電機の予測制御、電力系統の運営に役立つものと思われる。

2. 風況データ収集システム

風況データ収集システムの概要を図1に示す。このシステムは、データ伝送およびデータ処理にインターネットおよびパーソナルコンピュータを用い、各地に設置されている灯台で計測した風況データを自動的に収集し、そのデータを用いて風速の時系列予測を行っている。風速や風向といった風況データを測定するには、風速計を設置するなど多大な費用と時間を必要とするが、風力発電所は、前述したように津軽海峡を中心とした北海道、北東北地方の沿岸部に集中しているため、図2のように設置されている灯台の気象情報を利用する。また、灯台の風況データは津軽海峡周辺を対象としたため、函館、青森、八戸、秋田のそれぞれの海上保安部のHPから収集している。例として函館保安部の気象情報HPを図3に示す。収集された風況データには、風速(1m/s 単位)、風向(16方位)、気圧などが含まれており、データのサンプリング周期はおよそ30分である。そのため、予測した風速データも30分ごとに更新される。風況データの収集および収集した風況データや予測した風速の表示には、JSP (Java Server Pages)と Tomcat

サーバを用いている。また、風速の時系列予測は MATLAB のニューラルネットワークツールボックスを用いて行っている。

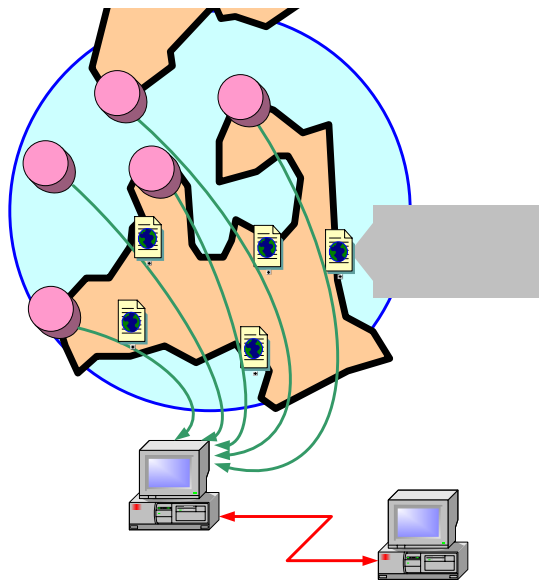


図1 風況データ収集システム

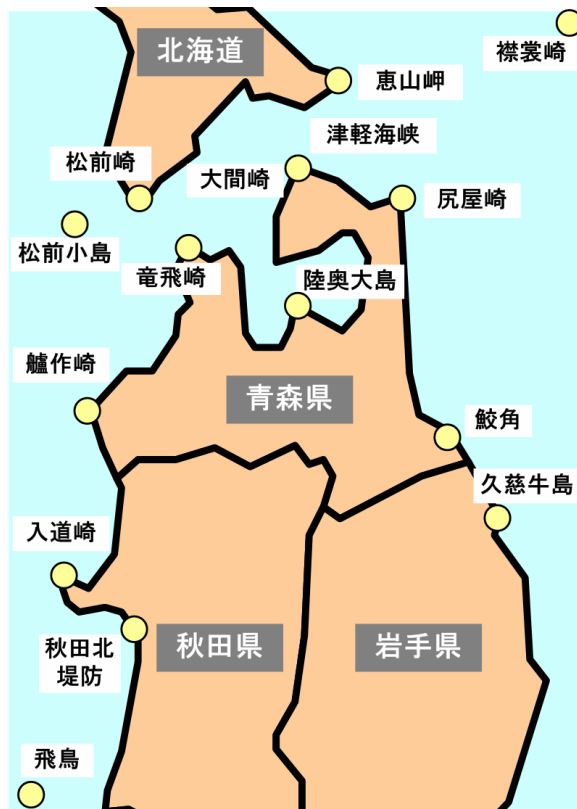


図2 津軽海峡周辺の灯台

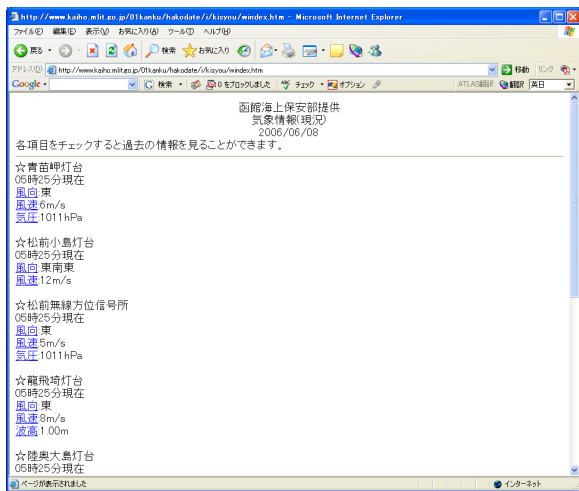


図3 函館海上保安庁HP

3. ニューラルネットワークを用いた風速の時系列予測

図4に本研究で用いたニューラルネットワークのブロック図を示す。このニューラルネットワークは、3層構造であり、入力層と中間層は3つのニューロンとタンジレントシグモイド伝達関数、出力層は1つのニューロンと線形伝達関数で構成されている。さらに、動作を安定させるため出力層の出力を入力層にフードバックさせている。

図4の $V(k)$ は時点 k での風速であり、 $\Delta V(k)$ は次式で表される風速の変化である。ニューラルネットワークの入力にはこの風速と風速の変化の2つを用いている。風速と風速の変化の例を図5,6に示す。

$$\Delta V(k) = V(k) - V(k-1) \quad (1)$$

また、入力には過去の風速を記憶させニューラルネットワークに取り込むため、遅延要素を設けている。図7に示すように、遅延要素の数は正弦波を用いた実験の結果3つ以上用いても誤差の変化が少なかったため、本研究では3つの遅延要素を用いた。

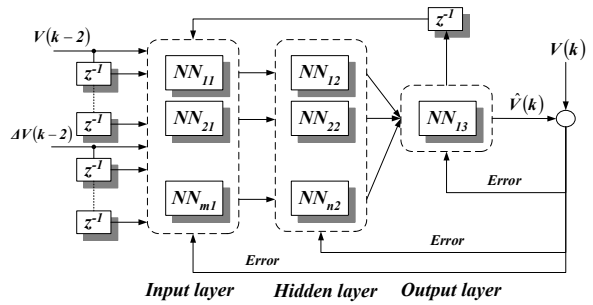


図4 ニューラルネットワークのブロック図

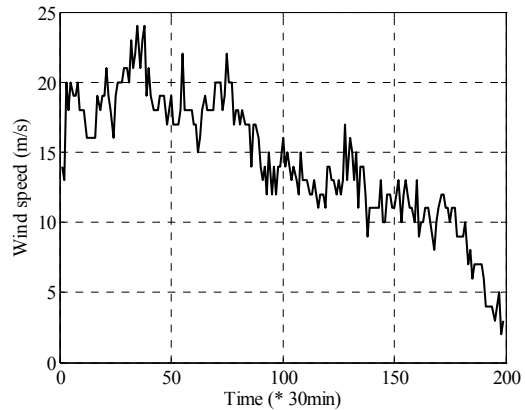


図5 風速

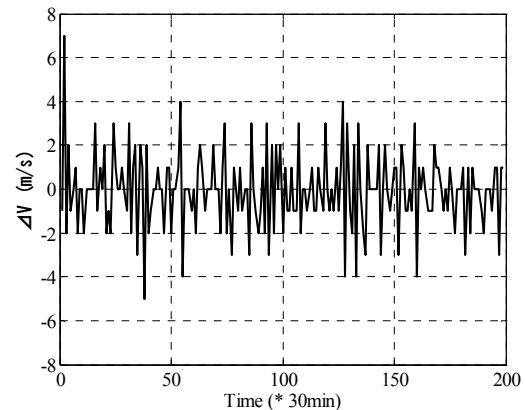


図6 風速の変化

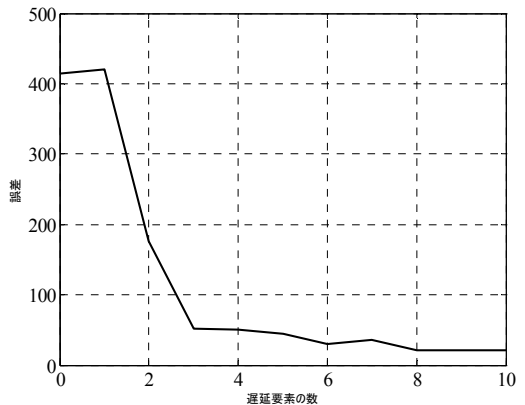


図7 遅延要素の個数による誤差の変化

学習フェーズにおいては、図4に示すように現在の時系列データ $V(k)$ と過去(1時間前)の時系列データ $V(k-2)$ を用いてトレーニングを行う。これにより、2サンプル時間つまり1時間後の予測を行うニューラルネットワークの重みが決定される。

予測フェーズにおいては、上記により決定された重みを用い、現在の風速を入力として用いることにより1時間先の予測を行う。また、学習アルゴリズムには逐次学習法を用いた。これは、一括学習法を用いた場合、風速は常に変動しているため、ニューラルネットワークの重みが風速の変化に対応できないためである。逐次学習法を用いることにより、現在の風速の状況に合った重みへ継続的に更新される。

4. 風速の時系列予測結果

図8に収集した風速と1時間先を予測した風速の比較を示す。図より収集した風速と予測した風速が一致していることが分かる。しかし、時間の早い段階で細かな振動が見られる。これは逐次学習法によって学習している段階であり、学習が完了するには、およそ20ステップ分の学習が必要であることがわかる。また、風速が大きく変化している部分では誤差が大きくなっており、急激な変化にはニューラルネットワークが対応し切れていないこともわかる。

図9に次式で定義される相対誤差を示す。

$$\text{相対誤差} = \frac{V_p - V_m}{V_p} \times 100(\%) \quad (2)$$

ここで、 V_p :予測風速、 V_m :収集風速

図より、相対誤差はおよそ $\pm 20(\%)$ 以下であり、妥当な予測ができていると思われる。しかし、低風速域での相対誤差が大きくなっている。これは、低風速域では、風向が安定していないため不規則な変化にニューラルネットワークが対応できなかったものと思われる。

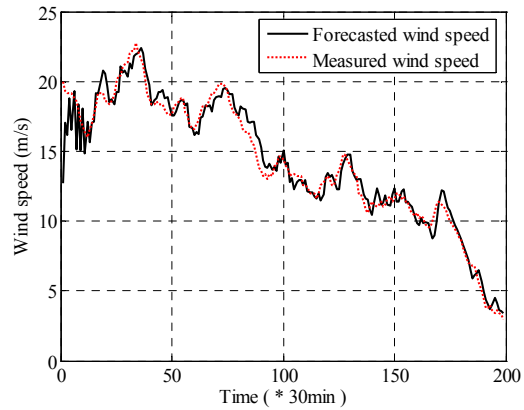


図8 風速の比較

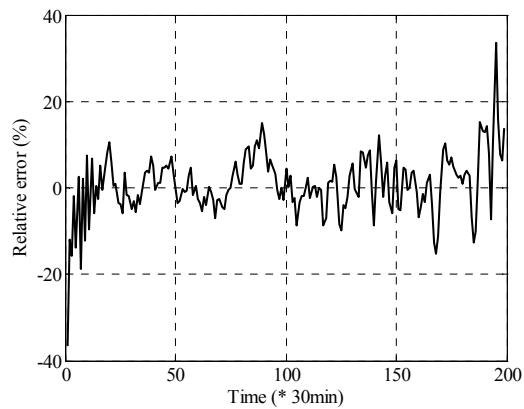


図9 相対誤差

5. まとめ

電力系統への風力発電機出力の増加は、系統の運用において多大な影響を与える恐れがある。そこで、本研究では、JSP、Tomcat および MATLAB を用いて、風況データ収集システムと風速の時系列予測システムを開発した。このシステムを用いて風速を予測した結果、相対誤差は $\pm 20(\%)$ 以下であり、今後の離島などでのディーゼル発電機の運転や大規模風力発電所の風力発電機の予測制御、電力系統の運営などに役立つものと思われる。

参考文献

- (1) 松坂, 星:「風況の時系列予測に関する研究」, 計測自動制御学会東北支部 第 222 回研究集会, 資料番号 222-11, (2005-6)
- (2) Akio Kimura, Tomoyuki Matsuzaka, Yukio Kagawa, "FIR-type and IIR-type neural networks,

- and these applications to shape optimization of a magnetic pole” Inverse Problems in Science and Engineering, Vol.13, No.6, pp.617-634, (2005)
- (3) 小玉, 松坂: 「系統連系時の出力変動抑制のための風況解析」, 平成 17 年度情報処理学会東北支部研究会, (2005-1)
 - (4) 星, 小玉, 松坂: 風力発電の出力変動予測のための風速の同時観測, 電気関係学会東北支部連合大会講演論文集, p221, 2002 年 8 月
 - (5) 谷川: LOCALSTM による風況シミュレーションモデルの開発と風況評価, ながれ 22, p405-415, 2003 年
 - (6) 松坂, 小玉, 星: 「青森県・津軽海峡における風力エネルギーの賦損量推定に関する研究」, 八戸工業大学異分野融合化学研究所紀要, 第 2 巻, (2004-3)
 - (7) Naruhito Kodama, Tomoyuki Matsuzaka, Noboru Inomata, “Power Variations of A Wind Turbine Generator Connecting to Power System” Proc. Of SICE Annual Conference 2002, pp.3057-3062, August, Osaka, Japan, (2002)
 - (8) Windpower monthly,
<http://windpower-monthly.com/>
 - (9) 函館海上保安部
<http://www.kaiho.mlit.go.jp/01kanku/hakodate/>