

平成 21 年 6 月 1 日現在

研究種目： 若手研究（B）  
 研究期間： 2007 年 ～ 2008 年  
 課題番号： 19760296  
 研究課題名（和文）  
 インテリジェントシステムを用いた風速予測法開発の基礎研究  
 研究課題名（英文）  
 Basic Study of Wind Speed Prediction Method Using Intelligent System  
 研究代表者  
 曾利 仁 （ 独立行政法人国立高等専門学校機構  
 津山工業高等専門学校 情報工学科 講師 ）  
 研究者番号： 10353327

## 研究成果の概要：

導入されている風力発電のほとんどが電力系統と連系されており、また、風力発電出力は風によって大きく変動するため、周波数変動問題による電力系統への影響が懸念されている。もし、一定期間先の風速を予測し未来の風力発電量を把握することができれば、電力系統の安定性確保や発電電力の計画的な運用が可能と考えられる。

本研究では、対象地点の局地的気象データを用いてリカレント型ニューラルネットワークにより 10 分先の平均風速を予測する手法提案した。また、10 分先の風速予測システムをモジュール化し、このモジュールを複数個カスケード接続することにより、短時間先の予測期間に対応可能な風速予測システムも提案した。提案手法の有用性を確認するために、予測期間を 10 分先から 24 時間先に設定しシミュレーションを行った。その結果、従来の予測法と比べ、30 分先から 6 時間先の予測期間において予測精度の改良が見られた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	500,000	0	500,000
2008 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
年度			
総計	800,000	90,000	890,000

研究分野：制御工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：知識型制御，風速予測

## 1. 研究開始当初の背景

1990 年以降、化石燃料の枯渇や地球温暖化問題等によって、無尽蔵でクリーンな自然エネルギーが注目されている。なかでも、風力発電は我が国においては 1990 年代から導入量が急増し、2006 年末で約 150 万 kW に達している。しかし、導入されている風力発電のほとんどが電力系統と連系されており、また、風力発電出力は風によって大きく変動するため、周波数変動問題による電力系統への影響が懸念されている。

これらの背景を踏まえ、資源エネルギー庁で設置された電力系統連系対策小委員会では、周波数変動対策の一つとして、気象予測に基づく風力発電量予測システムの導入を目標に掲げている。一定期間先の風速を予測し未来の風力発電量を把握することができれば、電力系統の安定性確保や発電電力の計画的な運用が可能と考えられる。風力発電の導入が進んでいる欧米では、すでに風力発電量予測システムが実用化され、電力系統の安定運用のために風力発電以外の発電源での調整に要する費用を、年間約 60 億円節約できたとの報告もある。

## 2. 研究の目的

ソフトコンピューティング技術の一つであるニューラルネットワーク（以下、NN）を用いた風速予測法を提案する。この予測手法は、予測対象地点で観測される局地的気象データのみを用いて現在から 10 分先の平均風速を予測する手法である。また、ニューラルネットワークに輸入される最適な気象データを組み合わせの調査を行い、予測誤差低減を目指す。

しかし、この予測手法は、10 分先という短期の平均風速の予測を対象としているため、電力会社が実施している経済負荷配分制御（電力系統安定運用制御）への組み込みは困難である。そこで、10 分先の風速予測システムをモジュール化し、このモジュールを複数個カスケード接続することにより、任意の予測期間に対応可能な風速予測システムの構築を目的とする。提案する風速予測システム

により、風力発電機が多く導入された電力系統の需給運用・制御の面などで、極めて大きな発展を見せる物と思われる。

## 3. 研究の方法

### (1) 風速予測モジュール

図 1 に、リカレント型 NN を用いた風速予測モジュールの構成図を示す。本予測モジュールは、リカレント型 NN により、現時点から 10 分先までの平均風速の予測値  $\hat{v}_a(x+m)$  を出力する。

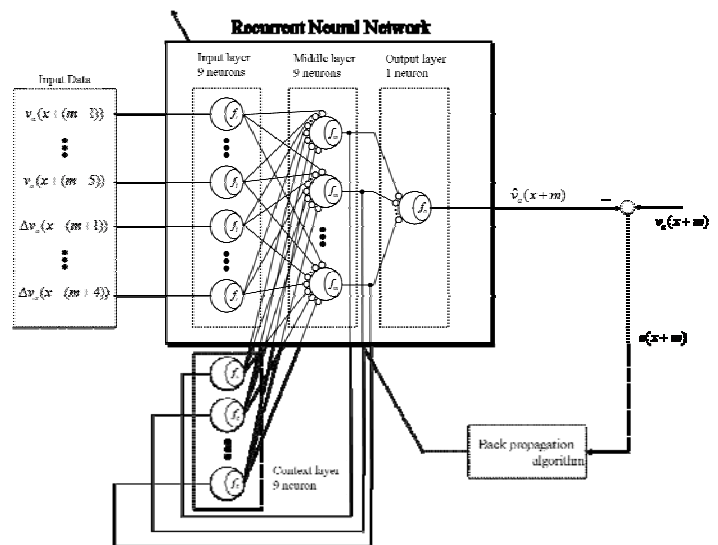


図 1 風速予測モジュール

また、リカレント型 NN にはエルマン型を適用している。エルマン型は、階層構造のネットワークにコンテキスト層を追加し、中間層の出力信号がコンテキスト層への入力信号となり、コンテキスト層の出力信号がふたたび中間層の入力信号となるフィードバック結合を持つ。リカレント型 NN は、中間層 1 層の 3 層型とコンテキスト層から構成されており、各層のユニット数は以下のようにになっている。

- 入力層ユニット数: 気象データ数 (9)
- 中間層ユニット数: 入力層ユニット数と同数 (9)
- 出力層ユニット数: (1)

リカレント型 NN の学習は、図 1 において点線で示す部分を追加し、逆誤差伝搬 (BP:Back Propagation) 法により行う。BP 法は、リカレント型 NN の出力である 10 分先の予測平均風速  $\hat{v}_a(x+m)$  と教師信号である 10 分先の観測平均風速  $v_a(x+m)$  との二乗誤差  $e^2(x+m) = \{v_a(x+m) - \hat{v}_a(x+m)\}^2$  が最小となるように、各層間における重み係数を調整する。ここで、 $m$  はサンプリング数を表している。

### (2) 気象データ

一般に、風速予測に相関があり、しかも、気象庁より容易に入手可能である気象データとしては、風速、風向、気圧、気温などが考えられる。本研究は、簡易の平均風速予測システムの実現を目的としているため、風速の予測に直接関係のある風速のみを気象データとして用いる。

風速は、風力発電機導入時に必ず設置される風速計から容易に計測できるため、別途コストがかからず、利用しやすい気象情報である。また、提案する風速予測モジュールで風のダイナミクスを表現するために、風速データから予測時刻までに得られる 9 個の気象データを生成し、それらをリカレント型 NN の入力情報として与える。

- ・現時点から 50 分前までの 10 分ごとの平均風速

$$v_a(x-m) \quad (m=0 \sim 4) \quad (1)$$

- ・現時点から 50 分前までの 10 分ごとの平均風速変化量

$$\Delta v_a(x-m) = v_a(x-(m+1)) - v_a(x-m)$$

$$(m=0 \sim 3) \quad (2)$$

図 2 に NN の入力データと予測期間の関係を示す。図中、例えば  $x$  は 12 月 31 日の 23:50 ~ 1 月 1 日の 0:00 の 10 分間を表し、 $x+1$  は 1 月 1 日の 0:00 ~ 1 月 1 日の 0:10 までの 10 分間を表している。

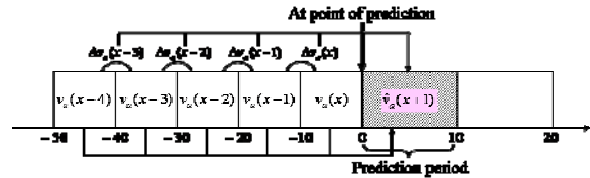


図 2 入力データと予測期間の関係

### (3) 風速予測システム

図 3 に、提案する風速予測システムの構成図を示す。本システムは、図 1 に示す風速予測モジュールを十分学習させ、 $n$  個カスケード接続したものである。

まず、(1)式と(2)式で示した 9 個の気象データを第 1 番目の風速予測モジュールに入力し、現時点から 10 分先までの平均風速  $\hat{v}_a(x+1)$  を予測する。次に、予測された 10 分先の平均風速  $\hat{v}_a(x+1)$  を含む 9 個の気象データを、第 2 番目の風速予測モジュールに入力し、10 分先から 20 分先までの平均風速  $\hat{v}_a(x+2)$  を予測する。同様に、 $n$  個の風速予測モジュールをカスケード接続することで、 $n/6$  時間先までの 10 分ごとの平均風速を予測できる。

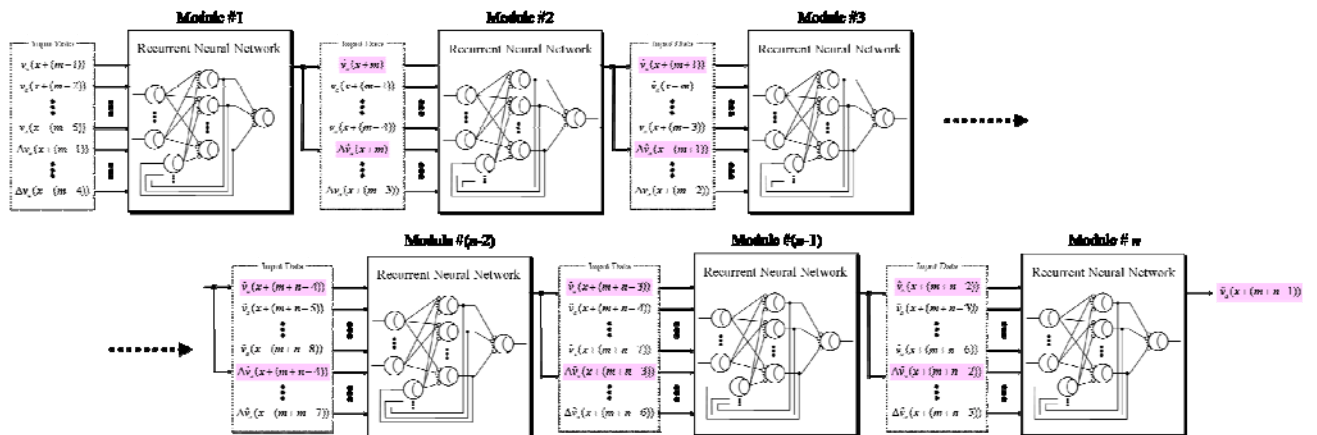


図 3 風速予測システム

#### 4. 研究成果

##### (1) 学習結果

本研究では、風力発電機を多く設置している北海道留萌市の留萌測候所で 2000 年～2004 年に測定された時別値データ (アメダスデータ) を使用している。そして、各年 1 月の 10 分間平均風速を教師データとして与え、2005 年 1 月の風速予測モジュールの学習を行った。教師データは、2000 年 1 月から順に 2004 年 1 月まで与え、学習を 1 回終了することとした。ここで、学習回数は 10 万回とした。その結果を二乗誤差の推移として図 4 に示す。二乗誤差は、約 7 万回で約 0.38 まで減少し、一定値に収束していることがわかる。

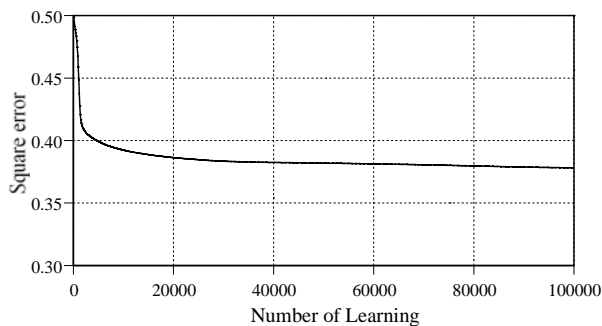


図 4 学習結果 (2005 年 1 月)

##### (2) 風速予測結果

学習によって得られた重み係数を用いて、学習時の教師データには使用していない 2005 年 1 月における 10 分ごとの平均風速の予測を行った。また、図 3 において、風速予測モジュールを 10 分先 ( $n=1$ )、30 分先 ( $n=3$ )、1 時間先 ( $n=6$ )、2 時間先 ( $n=12$ )、3 時間先 ( $n=18$ )、4 時間先 ( $n=24$ )、6 時間先 ( $n=36$ )、8 時間先 ( $n=48$ )、12 時間先 ( $n=72$ )、24 時間先 ( $n=144$ ) に設定し予測結果と予測誤差の比較を行った。

提案手法との比較のため、持続モデルを用いる。持続モデルは、予測時の実測風速を予測期間先の予測風速とする手法である。予測精度を (3) 式に示す MAE (Mean Absolute Error) [m/s] を用いて評価した。

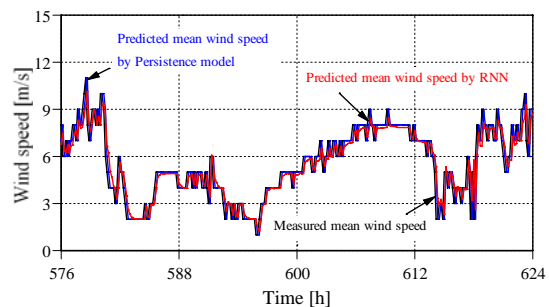
$$MAE = \frac{\sum_{m=1}^z |\hat{v}_a(x+m) - v_a(x+m)|}{z} \quad (3)$$

ここで、 $z$  は予測回数を表している。また、(4) 式に示す持続モデルに対する改善率 IR (Improvement Rate) [%] も用いている。

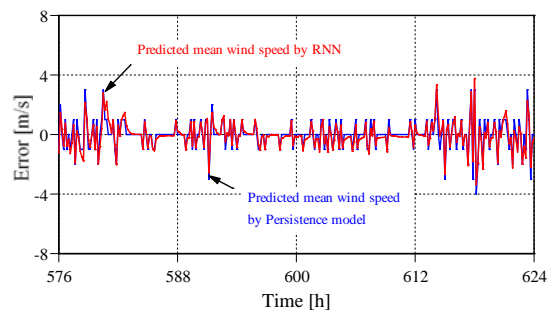
$$IR = \frac{MAE_p - MAE_n}{MAE_p} \quad (4)$$

ここで、 $MAE_p$  は持続モデルの MAE、 $MAE_n$  は提案手法の MAE を表している。

図 5(a), (b) は、10 分先の予測期間 ( $n=1$ ) における風速予測結果を示している。これらの結果から、予測平均風速と実測平均風速はよく一致していることが確認できる。しかし、風速が急速に変化するとき、予測誤差が顕著に大きくなる。予測期間 (2005 年 1 月) における MAE は、提案手法 : 0.624 m/s、持続モデル : 0.581 m/s であった。図 6(a), (b) は、予測期間を 4 時間先 ( $n=24$ ) に設定した場合の予測結果を示している。風速予測モジュールの数が增加すればするほど、予測誤差が増加することを確認できる。

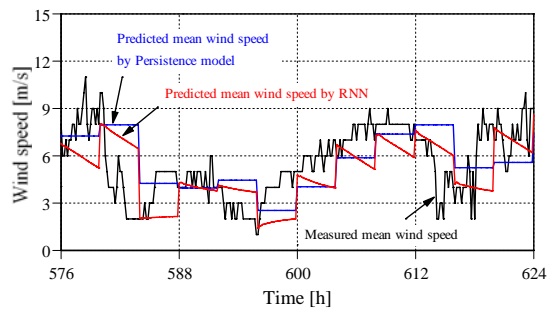


(a) 実測風速と予測風速

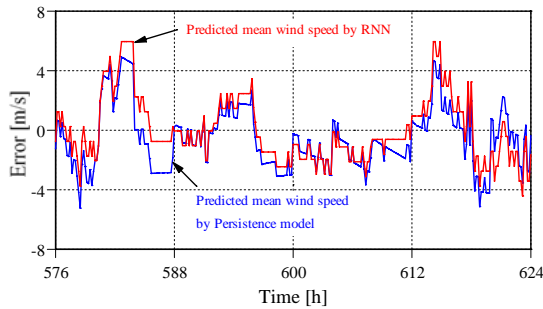


(b) 予測誤差

図 5 10 分先 ( $n=1$ ) 平均風速予測結果 (2005 年 1 月 24 ~ 26 日)



(a) 実測風速と予測誤差



(b) 予測誤差

図6 4時間先( $n=24$ )平均風速予測結果(2005年1月24~26日)

表1は、風速予測モジュール数 $n$ による予測精度の比較を示している。提案手法と持続モデルおよび階層型NNと比較すると、30分先( $n=3$ )から6時間先( $n=36$ )の予測期間において、予測精度の改良が見られた。しかし、予測期間が8時間先( $n=48$ )より長くなると、予測精度は低くなるのがわかった。

### (3) まとめ

本研究では、リカレント型NNを用いた風速予測システムをモジュール化し、それを複数個カスケード接続することにより、短時間先の予測期間に対応可能な風速予測システムを提案した。提案手法の有用性を確認するために、予測期間を10分先から24時間先に設定しシミュレーションを行った。その結果、30分先から6時間先の予測期間において、予測精度の改良が見られた。

今後、8時間先から数日先までの予測期間における予測誤差低減のために、風速予測システムの改善に取り組むことが考えられる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- ① Hitoshi Sori, Takashi Yasuno, 「Several-Hours-Ahead Wind Speed Prediction System Using Hierarchical Neural Network」, Journal of Signal Processing, Vol. 12, No. 6, pp. 507-514, 2008, 査読有り

〔学会発表〕(計8件)

- ① 曾利 仁, 安野 卓, 「階層型ニューラルネットワークを用いた1時間先風速予測」, 平成19年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, No. 8-8, p. 69, 2007, 査読なし
- ② 曾利 仁, 安野 卓, 「ニューラルネットワークを用いた短時間風速予測における入力データの検討」, 平成19年度電気・情報関連学会中国支部連合大会講演論文集, No. 17/18-3, p. 289-290, 2007, 査読なし
- ③ 曾利 仁, 安野 卓, 「階層型ニューラルネットワークを用いた簡易風速予測法による1時間先風速予測」, 第29回風力エネルギー利用シンポジウム, pp. 263-266, 2007, 査読なし
- ④ Hitoshi Sori, Takashi Yasuno, 「Correction Method for Wind Speed Prediction After a Short Time Using Hierarchical Neural Network」, 2008 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing, pp. 259-262, 2008, 査読あり
- ⑤ 曾利 仁, 安野 卓, 「補正ニューラルネットワークを用いた簡易風速予測法」, 平成20年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集, No. 242, pp. 271-272, 2008, 査読あり
- ⑥ 北島孝弘, 曾利 仁, 安野 卓, 「階層型ニューラルネットワークを用いた風速予測システムの精度評価」, 平成20年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集,

No. 3-10, p. 36, 2008, 査読なし

- ⑦ 曾利 仁, 安野 卓, 「階層型ニューラルネットワークを用いた簡易風速予測法による1時間先風速予測」, 第30回風力エネルギー利用シンポジウム, pp. 125-128, 2008, 査読なし
- ⑧ Hitoshi Sori, Takashi Yasuno , 「Several-Hours-Ahead Wind Speed Prediction System Using Correction Recurrent Neural Network」, 2009 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing , pp. 621-624, 2009, 査読あり

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

曾利 仁 (SORI HITOSHI)

津山工業高等専門学校・情報工学科・講師

研究者番号: 10353327

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし