

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 12 日現在

機関番号：35403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26340107

研究課題名(和文) 風力発電安定化のための数時間先局所風況予測手法の研究

研究課題名(英文) Study of wind speed prediction method for wind power generation

研究代表者

前田 俊二 (Maeda, Shunji)

広島工業大学・工学部・教授

研究者番号：00626799

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：風力発電のための風速予測手法を検討した。時系列風速データを対象にした回帰モデルの使用を前提に、類似した過去データを活用する予測手法を組み合わせ、予測誤差の把握と低減を狙う。風速の短期先予測において、複数地点のデータの因果関係をインパルス応答関数と言った手法を用いて分析し、この結果に基づき、ニューラルネットワーク(NN)において、過去の類似風速データを用いてモデルを毎時生成する際、過去の類似データ選択に、ベクトル自己回帰(VAR)モデルの係数に着目して、VAR係数をデータの選択条件に含める方法と、VAR係数自体が高い過去の風速データをNNへの入力とする風速予測を提案した。

研究成果の概要(英文)：Nobel method of forecasting the wind speed for short time is proposed. In wind speed prediction using a neural network, the model is generated every time using past similar wind speed data. To select the past wind speed data similar to the present situation, the coefficients of the vector auto regressive (VAR) model are focused. The VAR coefficients are used for the selection of the data and the past wind speed data which have high VAR coefficients are input to the neural network. The proposed method is confirmed that combination of the above idea is effective. Specifically, the wind speed prediction error (average absolute value error), one hour ahead in the Tohoku region is 1m/s that is close to the target.

研究分野：時系列データ分析、マシンビジョン

キーワード：風速予測 ニューラルネットワーク ベクトル自己回帰モデル

### 1. 研究開始当初の背景

風力発電の出力は自然現象に左右され、出力が大きい場合や多数台の連携運転を行う場合に系統への影響が大きくなる懸念される。このため、風力発電量を予測し、系統運用に反映させることが可能になれば、風力エネルギーの高効率利用が期待できる。

風況予測に関して、今まで多くの研究がなされ、例えば、「風力発電のための広域気象データによる風速時系列予測の検討」(電学論B, 128巻, 2号, 2008年)では、気圧配置や前線の種類と位置などからなる気象データをデータベースとして蓄積し、この蓄積データから類似天気日を抽出し、このデータを教師データとして、ニューラルネットワークを用いて1時間先の風速を予測する手法が提案されている。しかし、平均風速 4.9m/s に対し最大誤差は 4.3m/s とされており、1時間先の予測も精度が十分とは言えない。

また、「秒スケールから分スケールの風速のオンライン予測：予測誤差の評価」(電気学会, 電力技術・電力系統技術合同研究会, 2012年)では、Kwasniok and Smith 手法に基づき、過去データを用いて数分先を予測するオンライン予測手法が提案されている。ここでは、線形カルマンフィルタによる回帰と比較して性能が良いとされているが、数時間先の予測は適用外である。

### 2. 研究の目的

化石エネルギー資源の枯渇と二酸化炭素排出抑制のため、風力や太陽光と言った自然エネルギーの活用が望まれている。しかしながら、例えば風力発電を電力系統に導入すると、風力発電の出力変動のため、電力系統が不安定になる恐れがある。電力系統の安定性を保ち、より多くの風力発電を導入するには、風力発電の発電量の予測値に基づいて、併設した蓄電池の充電・放電サイクルの制御や水力発電や火力発電の発電量の制御が必要である。

このためには、風力発電を左右する風況の予測誤差 1m/s を切る on-site 高精度予測を行うことが必要とされる。本研究は、数時間先でも、この要求を満たす局所風況予測を行うための手法開発を目的とする。

### 3. 研究の方法

時系列風速データを対象にしたサポートベクトル回帰やベクトル自己回帰モデルの使用を前提に、類似した過去データを活用する予測手法を組み合わせ、予測誤差の把握と低減を狙う。

具体的には、風速の短期(1時間)先予測において、複数地点のデータの因果関係をインパルス応答関数や予測誤差分散分解と言った手法を用いて分析した。

この分析結果に基づき、対象とする風力発電所以外の近傍の多地点も対象とし、

(1)上記多地点風速データを用いたサポー

トベクトル回帰による風速予測

(2)ベクトル自己回帰モデルを用いた過去の学習データ選択

(3)ニューラルネットワークを用いた風速予測において、過去の類似風速データを用いてモデルを毎時生成する際、現在と類似した過去の風速データ選択に、ベクトル自己回帰(VAR)モデルの係数に着目して、VAR 係数をデータの選択条件に含める方法と、VAR 係数自体が高い過去の風速データをニューラルネットワークへの入力とする風速予測などを検討した。

### 4. 研究成果

上記提案手法において、下記の手法が優位であった。

多地点風速データを用いたサポートベクトル回帰による風速予測において、過去の類似風速データを用いてモデルを毎時生成する。このとき、k近傍法による風速類似時点とベクトル自己回帰モデル(VAR)の係数が高い時点の過去データを学習データとすると、予測精度が高い。

また、ニューラルネットワークを用いた風速予測において、現在と類似した過去の風速データを選択する際、ベクトル自己回帰モデルの係数に着目して、VAR 係数をデータの選択条件に含める方法と、VAR 係数自体が高い過去の風速データをニューラルネットワークへの入力とする手法の組合せが有効であることを確認した。

具体的には、東北地方の風力発電所において、1時間先の風速予測誤差(平均絶対値誤差 MAE)が 1m/s であった。特に、風速が急変する時期にも有効であった。

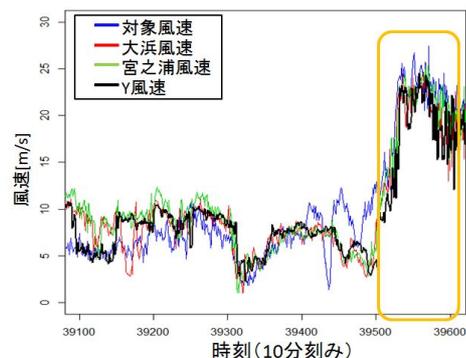


図1 対象とする多地点の風速

表1 サポートベクトル回帰による風速予測評価結果

学習データ選択法	予測誤差	
	標準偏差 SD[m/s]	平均絶対誤差 MAE[m/s]
全データ	1.57	1.18
k近傍法	1.49	1.08
地点間相関 (宮之浦VAR係数大)	1.49	1.09
k近傍法 AND 地点間相関	1.43	1.04

(注)宮之浦は対象風力発電所の近隣位置

表2 ニューラルネットワークによる  
風速予測評価結果

予測手法	予測誤差[m/s]			
	1000期間		急峻な期間	
	標準偏差	平均絶対誤差	標準偏差	平均絶対誤差
(参考)持続モデルによる予測	1.64	1.12	2.67	2.15
NNIによる多地点風速を用いた予測	1.40	1.03	2.03	2.05
[提案1] VARIによる学習データ選択(現在風速のみ)	1.36	1.00	1.96	1.75
[提案2] VARIによる学習データ選択(現在風速+VAR係数の大きい風速データ)	1.42	1.04	1.91	1.85
[提案3] VARIによる学習データ選択(現在風速+VAR係数の大きい風速データ)	1.36	1.01	1.85	1.75

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 18 件)

長谷 智紘, 森山 健, 西村 晃紀, 前田俊二, ニューラルネットワークによる短時間先風速予測の初期検討, A20, 精密工学会, 2017 年度春季大会(2017.3.13)、慶應義塾大学(神奈川県横浜市)

長谷智紘, 湯山藍美, 水野太介, 山先純也, 前田俊二, 高橋雅也, 田中和英, 星平祐吾, 因果関係を考慮した風速予測の検討, A-8- 26, A-8- 26, 2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会(2016.9.21) 北海道大学(北海道札幌市)

湯山藍美, 長谷智紘, 水野太介, 山先純也, 前田俊二, 高橋雅也, 田中和英, 星平祐吾, SVR 風速予測における学習データ選択に関する検討, A-8- 27, 2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会(2016.9.21) 北海道大学(北海道札幌市)

水野太介, 長谷智紘, 山先純也, 湯山藍美, 前田俊二, 高橋雅也, 田中和英, 星平祐吾, SVR 風速予測における学習データセットの役割の実験検討, A-8- 28, 2016 年電子情報通信学会ソサイエティ大会(2016.9.21) 北海道大学(北海道札幌市)

山先純也, 湯山藍美, 前田俊二, 高橋雅也, 田中和英, 星平祐吾, 多地点の風速時系列データを用いたサポートベクトル回帰による風速予測手法の検討, 平成 28 年電気学会電子・情報・システム部門大会, TC3-4(2016.8.31)、神戸大学(兵庫県神戸市)

湯山 藍美, 山先 純也, 前田俊二, 高橋雅也, 田中 和英, 星平 祐吾, サポートベクトル回帰による風速予測の検討, 第 3 回電子デバイス・回路・照明・システム関連教育・研究ワークショップ(2016.5.28)、広島工業大学(広島県広島市)

水野 太介, 森山 健, 山先 純也, 長谷 智紘, 湯山 藍美, 前田俊二, 高橋 雅也, 田中 和英, 星平 祐吾, 多変量時系列デ

ータへのベクトル自己回帰モデルの適用に関する考察, H16, 精密工学会, 2016 年度春季大会(2016.3.15) 、東京理科大学(千葉県野田市)

長谷 智紘, 森山 健, 湯山 藍美, 前田俊二, 高橋 雅也, 田中 和英, 星平 祐吾, ベクトル自己回帰と過去の類似データの活用による風速予測, H15, 精密工学会, 2016 年度春季大会(2016.3.15) 、東京理科大学(千葉県野田市)

湯山 藍美, 長谷 智紘, 水野 太介, 前田俊二, 高橋 雅也, 田中 和英, 星平 祐吾, VAR モデル風速予測における予測誤差の分析, H14, 精密工学会, 2016 年度春季大会(2016.3.15)、東京理科大学(千葉県野田市)

長谷 智紘, 森山 健, 藤井 周, 前田俊二, 高橋 雅也, 田中 和英, 星平 祐吾, VAR モデルによる風速予測に与える多地点データの影響分析, abstract 査読, B-12, pp.302-305, 第 17 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム(2015.11.21,22)、岡山大学(岡山県岡山市)

古賀 和喜, 長谷 智紘, 森山 健, 前田俊二, 高橋 雅也, 田中 和英, 星平 祐吾, 過去の誤差を加味した類似データ選択による風速予測, 6-13, pp. 147 - 148, , 第 66 回電気・情報関連学会中国支部連合大会(2015.10.17) 、山口大学(山口県宇部市)

長谷 智紘, 森山 健, 藤井 周, 前田俊二, 高橋 雅也, 田中 和英, 星平 祐吾, VAR モデルによる風速予測に与える多地点の影響検討, 6-14, pp. 149 - 150, 第 66 回電気・情報関連学会中国支部連合大会(2015.10.17)、山口大学(山口県宇部市)

長谷智紘, 森山 健, 藤井 周, 前田俊二, 高橋雅也, 田中和英, 星平祐吾, 風速予測における他地点風速データ活用方法の検討, 電気学会 C 部門大会, GS13-5, pp.1456-1461(2015.8.29)、長崎大学(長崎市文教町)

橘高滋成, 住田隼雅, 田坂翔, 和田義人, 隅田将太, 前田俊二, 高橋雅也, 田中和英, 星平祐吾, 類似データ選択による風速予測手法の基礎検討, 平成 27 年電気学会全国大会, 6-094, pp.133-134(2015.3.24)、東京都市大学(東京都世田谷区)

住田隼雅, 橘高滋成, 田坂 翔, 和田義人, 隅田将太, 前田俊二, 高橋雅也, 田中和英, 星平祐吾, 線形予測 VAR モデルによる風速予測の基礎検討, 平成 27 年電気学会全国大会, 6-205, pp.338-339(2015.3.26)、東京都市大学(東京都世田谷区)

和田義人, 田坂 翔, 隅田将太, 前田俊二, 高橋雅也, 田中和英, 星平祐吾, 過去データを用いた風速予測のための類似デー

夕選択,精密工学会 2015 年度春季大会,  
E17, pp.283-284(2015.3.17)、東洋大学  
(東京都文京区)

田坂 翔,和田 義人,隅田 将太,前田  
俊二,高橋 雅也,星平 祐吾,風速予測  
のための予測誤差分析と予測値の修正,  
精密工学会秋季大会学術講演会講演論文  
集,023(2014.9.16)、鳥取大学(鳥取県鳥  
取市)

和田 義人,隅田 将太,田坂 翔,前田  
俊二,高橋 雅也,星平 祐吾,類似デー  
タ選択に基づく風速予測手法の検討,  
imec008, pp.131-136, 第 19 回知能メカ  
トロニクスワークショップ(2014.7.12)、  
高野山宝城院(和歌山県伊都郡高野町)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 2 件)

名称:気象予測装置及び風力発電所  
発明者:田中和英、高橋雅也、星平祐吾、前  
田俊二、長谷 智紘  
権利者:株式会社日立パワーソリューションズ  
種類:特許  
番号:特願 2016-75983  
出願年月日:平成 28 年 4 月 5 日  
国内外の別:国内

名称:風力発電量の予測方法  
発明者:田中和英、高橋雅也、星平祐吾、前  
田俊二  
権利者:株式会社日立パワーソリューションズ  
種類:特許  
番号:特願 2014-264916  
出願年月日:平成 26 年 12 月 26 日  
国内外の別:国内

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

前田俊二(Shunji Maeda)  
広島工業大学・工学部・教授  
研究者番号:00626799