



Title	Wind speed and wind power forecasting system based on data decomposition and deep learning neural network [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	劉, 倬驛
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第15091号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85638
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Zhouyi_Liu_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学) 氏名 劉 倬驛

審査担当者 主査 准教授 原 亮一
副査 教授 北 裕幸
副査 教授 五十嵐 一
副査 教授 小笠原 悟司

学位論文題名

Wind speed and wind power forecasting system based on data decomposition and deep learning neural network

(データ分解と深層学習ニューラルネットワークに基づく風速・風力発電出力予測システム)

カーボンニュートラルの実現に向けた動きは世界的な潮流であり、その実現にむけた努力が求められている。日本においては総一次エネルギー消費量の約 45% が発電のための消費となっており、発電部門の脱炭素化は欠かすことができない。特に太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギー電源の一層の導入拡大は必要不可欠である。ところで、これらの再生可能エネルギー電源は、その出力が気象条件に左右される不安定な電源である。瞬時瞬時での需要等供給のバランス維持が求められる電力システムの安定運用に当たっては、これらの電源の発電出力を事前に把握しておくことが肝要であり、そのための技術が発電出力予測である。本論文では特に今後の導入拡大が期待されている風力発電を対象に、発電出力そのもの、ならびに発電出力に強い影響を与える風速を、地上高で観測可能な情報に基づいて予測するための手法を開発したものである。

まず第 2 章では、開発した各種予測手法の中で用いられている要素技術について、その概要を取りまとめている。具体的には、風況の類似した地点を探索するためのクラスタリング手法の 1 つである K-means、時系列データをその特徴に基づいて固有のモードに分解する Complementary ensemble empirical mode decomposition(CEEMD)、時系列データの複雑性を評価するための Permutation Entropy(PE)、風速・発電出力予測のコアを提供する Long Short-term memory neural network (LSTM-NN) などについてまとめている。本章については第 3 章以降で用いている技術を紹介することが目的であり、本論文の独自性を求める部分ではない。

次に第 3 章では、超短期風速予測、すなわち数分から 10 分程度の将来の風速を予測するための開発手法について述べている。先行研究等では予測対象地点の直近の気象情報のみを用いているものが多いが、開発した手法では複数の近隣地点の直近の気象情報も利用している点に大きな特徴がある。具体的には、まず風況の類似度に基づいて予測の入力情報に用いる地点を絞り込み、その後、地点間距離と風向の季節性を考慮して最終的な採用地点を選択している。また、これまで信号解析などで用いられてきた経験的モード分解手法 (EMD) を学習用風速データに適用して固有モードに分解し、各固有モードに対して個別の予測器 (LSTM-NN ベース) を構成している点も特徴的である。本章では気象庁にて公開している北海道稚内市における実観測気象データに基づいて開発予測手法の有効性を検証しており、先行研究の各手法と比較して予測誤差を 20% 程度以上縮小可能であることを明らかにした。

第4章では、短期、すなわち1時間から24時間先までの将来の風速を予測するための開発手法について述べている。開発手法の基本構成は第3章で取りまとめている超短期風速予測と同様であるが、予測の対象(予測器の出力)が将来の24時間コマ(1コマ=1時間)の風速であるため、まず4時間コマ分をLSTM-NNにより予測し、その結果を次の4時間コマの予測の入力データの一部として採用する工夫を施している(以下の時間コマも同様)。開発手法の有効性は気象庁公開の実観測気象データを用いた数値試算により検証しており、最も手前の時間コマ(1時間先)に対する予測の精度を10~20%程度改善できることを明らかにしている。

第5章では、予測の対象を10分先の風力発電出力に変え、複数の予測手法を開発した結果について取りまとめている。開発した手法は大きく分けて二つの方法があり、その一つ目は、まず風速を予測し、その結果に風力発電のパワーカーブ(風速と発電出力の関係式)を適用することで発電出力を得るものである。風速予測には、第3章で開発した手法を用いている。二つ目の手法は過去の風速・発電出力データから直接、将来の発電出力を予測する直接予測手法である。直接予測手法については、将来の発電出力と強い相関を持つ直近の風速・発電出力を入力とするLSTM-NNによる予測手法と、直近の発電出力を入力とするCEEMD+LSTM-NNによる予測の2つを検討している。さらに本論文では間接手法、2つの直接手法はそれぞれ一長一短を有している特徴を踏まえて、各手法の重み付け和をとるアンサンブル手法についても提案している。スペインの実際のウインドファームを対象とした数値試算により、予測精度を数%~40%程度改善できることを明らかにした。

これを要するに、著者は、今後ますます導入が拡大していく風力発電を対象に、電力系統の安定運用に必要な発電出力予測手法を提案したものであり、電力システム工学の発展ならびにカーボンニュートラル社会の創造に寄与するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格があるものと認める。