

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月 8日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560282

研究課題名（和文） 風力発電導入量拡大のための風速変動高精度予測・電圧制御手法の研究

研究課題名（英文） Highly accurate prediction of wind speed and its application to power grid voltage control for bigger penetration of wind power generation

研究代表者

熊野 照久 (KUMANO TERUHISA)

明治大学・理工学部・専任教授

研究者番号：80371243

研究成果の概要（和文）： 風力発電導入量拡大において現在課題となっている系統電圧の変動を抑えるため、事前に風速の変動を高精度に予測する手法を数値流体解析（コンピュータによる計算により地形の影響まで考慮して各地の風速を計算すること）を利用して開発した。また、この計算に基づき電圧の不適切な変動を抑えるための制御論理を開発した。これら開発した手法の有効性を実測データに基づくシミュレーションにより確認した。

研究成果の概要（英文）： A CFD based highly accurate wind speed prediction method is developed for the purpose of avoiding power grid voltage fluctuation. Based on this prediction grid voltage can be securely controlled by a newly developed optimal control method based on direct numerical integration of Euler's equation in the field of calculus of variations. Numerical simulation is done using real field data to show the validity of these methods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2011年度	400,000	120,000	520,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学、電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気エネルギー工学・風力発電・出力変動・予測・安定化

1. 研究開始当初の背景

(1) 風速変動や風力発電機出力変動の予測については多くの研究が実施されていたが、その多くはデータの時系列解析やパターン認識、インテリジェントシステム等によるものであった。一方、この分野への数値流体力学解析の適用は重要性は唱えられながらも報告者の知るかぎり公開文献の中では行われていなかった。

(2) 風力等の自然エネルギー導入によって発生する電圧変動の制御には多くの方式の適用が研究されていたが、ここに最適性を担保する場合、従来はモデルに内在する非線形性を無視し制御論理からも非線形性を排除することによって最適レギュレータ理論を適用することが普通であり、モデルの非線形性（リミッタ等の制約も含む）や非線形の制御演算を考慮するものは少なかった。

2. 研究の目的

(1) 短時間先の風速変動を数値流体力学解析を用いて高精度に予測する手法を開発する。数分から一日程度の間で予測される風速変動が予測できれば、風力発電出力や系統電圧変動も予測できる。現在、気象庁は 5km メッシュの空間分解能で各地で想定される風速を GPV という形で提供しているが、これでは考慮できない細かい地形、起伏の影響を、数値流体力学によって正確に考慮することによって、風速変動を高精度に予測する計算手法を開発することが目的である。

(2) 上記の風速変動予測手法に補足的に用いることができる手法として、インテリジェントシステムの種々の手法がある。本研究では、このうち ANFIS (適応型ニューロファジィ推論) に注目し、これを適用する手法についても検討する。

(3) 風速変動およびこれに起因する出力変動を高精度に予測できるようになれば、その情報に基づいて電圧変動を制御できるようになると考えられる。風力発電所自体の電力変換機器や蓄電池等の電力貯蔵要素を用いて、最適な電圧制御を行う方法について検討する。特に、これまであまり検討されていない非線形制御系の構築に着目し、そのための手段としてオイラーの方程式を直接数値積分することを試みる。

3. 研究の方法

(1) 定評ある市販の風速場計算用数値流体力学解析ソフトを導入し、これを用いて具体的な地点で期待される風速変動を、実際に配信される GPV 予測の風速をもとに計算した。この結果を実測風速と比較することによって精度を評価した。

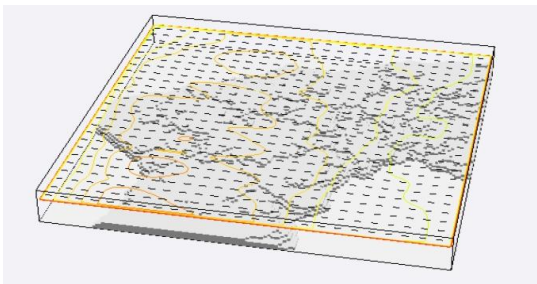


図 1. 数値流体解析の一例

(2) 上記手法によって得られた予測風速から期待される風力発電機出力変動を計算し、具体的なマイクログリッドモデルにおいてこれをもとに ELD を行った場合に、予測を行わなかった場合に比べて、どの程度のメリットが得られるかを発電コストの比較によって算出した。

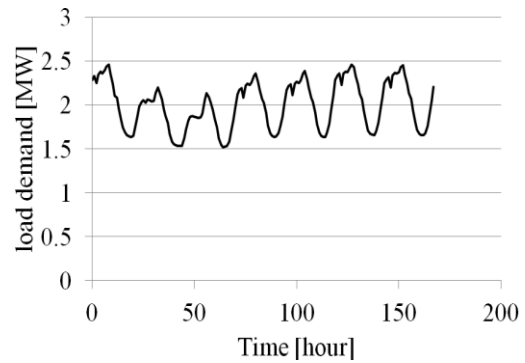


図 2. 想定した一週間分の需要変動

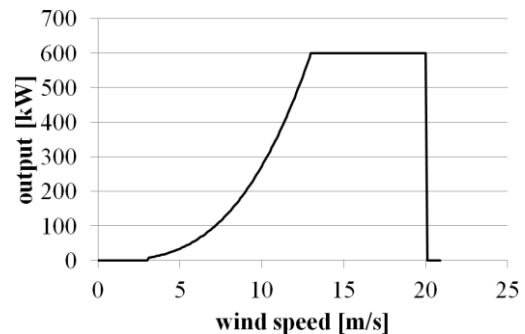


図 3. 風力発電機のパワーカーブ

(3) 実測された風速変動データを用いて将来の風速変動を予測するニューロファジィ推論システムの開発を進めた。このシステムは人間系の関与を抑えデータ駆動型の自動学習機能を備える方向で検討した。

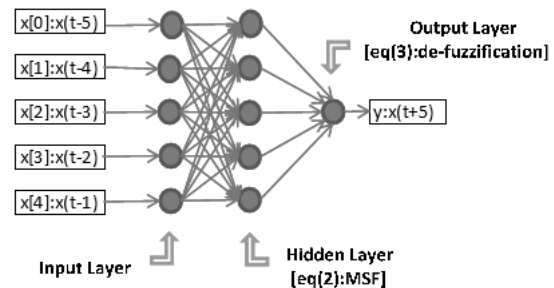


図 4. ニューロファジィ推論システム

(4) 変分法で得られるオイラーの方程式を直接数値積分することで、最適な制御を得る手法を開発し、モデルシステムを用いた数値シミュレーションによって有効性を確認した。

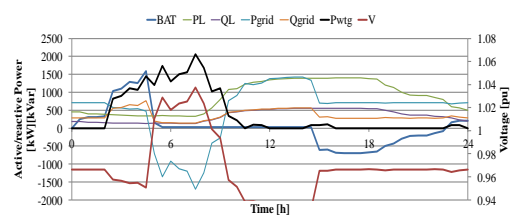


図 5. 最適な制御パターンの一例

4. 研究成果

(1) Terrain Mapping を提案し、その有効性を実際の土地の起伏データを用いて検証した。Terrain Mapping とは、対象とする領域に予想される風の概況 (GPV 数値予報から取得できる) を入力とし、土地の起伏により風車設置点の風速が受ける局地的影響を数値流体力学解析を用いて正確に考慮して当該地点の風速を出力する写像である。対象とする領域について 16 方位の風向と、当該地点で予想される範囲の風速について Terrain Mapping を予め求めておけば、個別の場合においてはいちいち計算し直す必要がなく高速であるとともに、精度の高い予測が可能となることが分かった。

報告者の知るかぎり、この種の手法が当該領域の公開文献でこれまで提案されたことはなく、これを用いることによって風速変動や風力発電出力変動の予測が各段に高精度化できると期待される。



図 6. 計算に用いた地形例

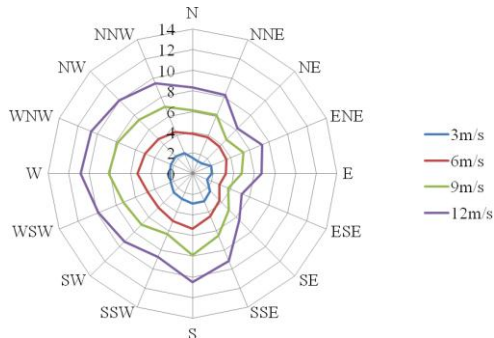


図 7. Terrain Mapping の例

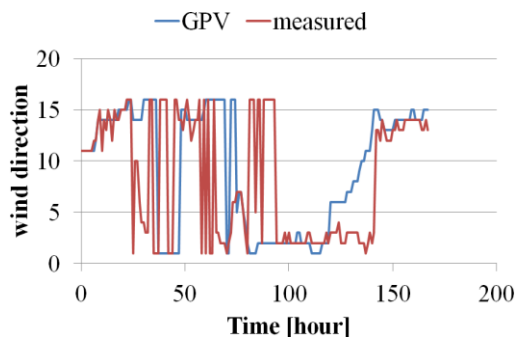


図 8. 風向変動に関する GPV 予測の精度

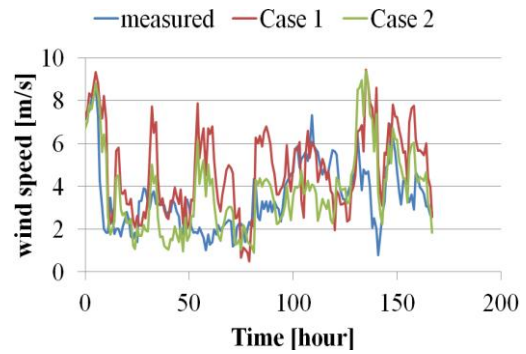


図 9. 風速変動の予測結果の例

(2) 風速変動予測高精度化の価値を定量的に評価することに成功した。具体的なマイクログリッドの数値例に対して、GPV 予報によって得られる風速をそのまま用いて算出した ELD によって運用した場合と、提案手法によって高精度予測した風速を用いて算出した ELD により運用した場合とで、実際に必要となるであろう燃料費を比較することで得られた。提案法では風速変動予測が高精度に可能であるため、必要な発電出力の誤差も小さく、結果として発電コストの削減に貢献できた。

この種の評価は電力システム運用全般においては、よく用いられているが、具体的な地点を対象として実際の GPV 予報をもとに計算し、定量的に評価した例は少なく、学術的にも意義があると考えられる。

(3) データ駆動型の適用型ニューロファジィ風速予測システムを開発した。人間系が予めメンバーシップ関数等を用意する必要なく、新しく得られた風速データに基づき自動的に推論システムが自身を更新できる。開発したシステムを実際の観測データに適用したところ、その有効性が確認された。

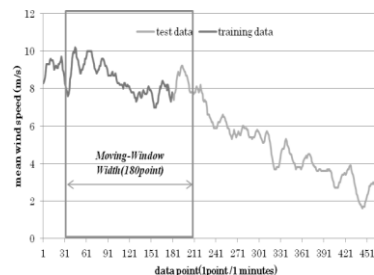


図 10. データ駆動型知識獲得

(4) 風力発電機からの出力変動が、本研究で開発した予測手法で高精度に予測できることを前提に、予測される出力変動に対する電圧制御の手法を開発した。第一の手法では蓄電池等の電力貯蔵装置の運用を、また第二の手法では風力発電機 (PMSG 型発電機を直流リ

シミュレーション方式を想定) 自身の電力変換器制御を対象とする。これらは共に、系統モデルや制御系を線形化することなく変分法のオイラーの方程式を直接数値積分するため、従来の「最適制御」手法ではシステムの線形化や制御系動作を線形範囲内にかぎっていたことに比べて、さらに性能のよい制御系が得られる。提案手法の有効性は具体的な数値例を用いた数値シミュレーションによって確認した。

なお、この制御方式は本研究で対象とした風力発電機の制御にとどまらず、広くシステム制御一般に適用可能であると考えられ、ハードウェア実験等も含めた現実的な検討が今後重要であると考えられる。

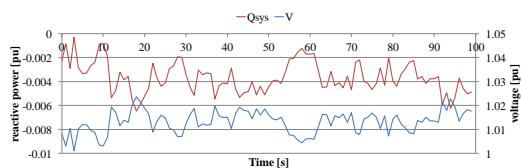


図 1 1. 得られた最適制御の応答例

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Teruhisa Kumano, Accuracy Improvement in One-day Ahead Wind Power Output Prediction by Computational Fluid Dynamics Calculation, The Renewable Energies & Power Quality Journal, 査読有, Paper 303, ISSN:2172-038X, Vol 10, 2012
<http://www.icrepq.com/icrepq'12/303-kumano.pdf>

[学会発表] (計 5 件)

- ① Teruhisa Kumano, Hiroki Saito, “A Data Driven ANFIS-based Very Short Term Forecast of Wind Power Output and its Impact on the Reduction of Necessary Battery Capacity”, ISAP 2013, Paper 832, Tokyo, Jul 1-4, 査読有, 2013 (採択済)
- ② Teruhisa Kumano, “Determination of Control Structure of PMSG Wind Turbine Generator by Calculus of Variations”, IEEE PECon 2012, pp454-459, 査読有, Kota Kinabalu, Malaysia, Dec 2-4, 2012
- (3) Kazuaki Higashi, Hiroki Saito, Teruhisa Kumano, “Very Short Term Wind Speed Prediction by Computational Fluid Dynamic Calculation for Advanced Control of Wind Turbine Generators”, MJJS (MJIT-JUC Joint Symposium) 2012, 査読有, Paper 24, Kuala Lumpur, Malaysia,

Nov 21-23, 2012

- (4) Teruhisa Kumano, Toyohiro Abe, Fumiaki Tamashima, “A Functional Optimization Method to Determine Battery Capacity for Voltage Control in Power System with Large Wind Power Generation”, 2012 CIGRE SC C4 Colloquium in Japan, October 10-13, 査読有, Hakodate, 2012
- (5) 齋藤大樹, 熊野照久: 「データ駆動型 ANFIS による短期風速予測及び知識獲得におけるデータの影響」, 電気学会電力技術・電力系統技術合同研究会 PE-12-137, PSE-12-153, 東京, 査読無, 8月6日～8日, 2012年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

熊野 照久 (KUMANO TERUHISA)
 明治大学・理工学部・専任教授
 研究者番号: 80371243

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし