

風力発電機の出力変動解析による ウィンドファームコントローラモデルの開発

石丸 将愛*¹ 原田 翔平*²

Development of a Wind Farm Controller Model by Making an Analysis of Wind Turbine Generator Output

by

Masachika ISHIMARU*¹ and Shohei HARADA*²

(Received on Mar. 31, 2015 and accepted on Jul. 9, 2015)

Abstract

Since the Great East Japan Earthquake, renewable energies have received attention as being cleaner. They do not emit greenhouse effect gases. However, estimation of electrical generation output from renewable energies (ex. wind, solar etc.) is difficult. Also, renewable energy generators interconnected to the power system may cause problems in frequency and/or voltage. In analysis of such power system problems, a wind farm controller model has required a simulation model. In this paper, a development method of a wind farm controller model has been proposed.

A wind turbine generator generates electric power from exceeding the cut-in wind velocity value. However, the electric output has a time delay before appearing. Therefore, the proposed model needs to be implemented using a first-order lag transfer function. The constants of the transfer function are derived by making an analysis of measured data of electric power and wind. Moreover, the power curve is formulated by a 3rd order equation and is contained as a non-linear gain in the proposed model. In a period that wind velocity is abated, a wind turbine output decreases without having the time delay. The proposed model permits reduction of its output quickly in such periods. This paper has verified the viability of the proposed model using simulations.

Keywords: Wind farm controller model, Non-linear power curve model, Ramp response

1. はじめに

東日本大震災の影響により、我が国の電力供給は原子力発電の推進を方針転換し、これまでの化石燃料による発電の維持・継続を余儀なくされている。しかし、地球温暖化対策としてのCO₂排出削減には逆行しており、継続して石炭火力発電やLNG発電に頼ることは避けなければならない状況にある。このような状況のなか、温室効果ガスである二酸化炭素を排出しないクリーンな発電を可能とする再生可能エネルギーを利用した発電が注目されている。

再生可能エネルギーとは、『自然界で繰り返し起こる現象から取り出せるエネルギー源』と定義されている¹⁾。現在までに太陽光発電や風力発電、地熱発電やバイオマス発電など、実用化されている発電方式も多数ある。しかしながら、再生可能エネルギーは自然界の現象をエネルギー源としているためその予測は難しく、電力の安定供給を保障することは困難である。

このような特徴を持つ再生可能エネルギー発電ではあ

るが、昨今の電力供給力不足の課題を解決する有効策として注目されており、今後、大規模な発電施設が開発・設置され、既存の電力系統に系統連系されてくることが予想されている。

一方で、電力の安定供給を義務とする電力系統運用者の視点からは、出力変動が大きいため安定供給に対する外乱としての要因が強く、また予測ができないことから、供給力の計画に影響を与える要因にもなっている。このように、安定供給に悪影響を及ぼす再生可能エネルギーの中でも、太陽光発電のように日中のみ発電し、気象予測によりある程度の予想がつく自然エネルギーもあるが、昼夜を問わず発電できる風力発電は、一方で、予想が難しい自然エネルギーであるといえる。とりわけ、夜間は需要（電力使用量）が低下しているため、発電力も抑えている状況で風力を使って発電すると、需要量と発電量を合わせるために電力系統の発電力を下方へ調整せざるを得ない状況になる。このとき、電力系統の発電機は、翌日の発電力を維持するために停止させることなく最低出力で運転されているものが多いため、それ以上の出力低減は難しく、調整しきれなかった変動が周波数の乱れとして顕在化する、いわゆる下げ代問題が発生す

*1 工学部電気電子工学科専任講師

*2 工学部電気電子工学科学部生

る²⁾。このような問題を避けるため、風力発電による出力を予測する研究も進んでいる。

風力発電の出力予測の研究では、出力予測モデルとして、ウィンドファームの所有者が運営管理を目的としたWF 発電出力予測モデルと、系統運用者が利用することを目的とした電力系統制御エリア発電出力予測モデルが作成されている³⁾。いずれの予測モデルにおいても、予測の時間スケールは、30分から24時間先を、30分間隔で予測するものである。しかし、風速から発電出力までの過程をモデリングして予測モデルを作ることは困難であり、予測誤差の低減には統計的手法が用いられている。

また、風力発電 (WF) の系統連系には、前述の下げ代問題の他にも、系統における電圧や周波数などの電力品質に与える影響も懸念されている。このような電力品質への影響を評価・制御するために、電力系統解析ではシミュレーションが用いられる²⁾。風力発電の制御としては、個別の風力発電機において電圧制御および出力制御を行っており、汎用モデルとして4種類の風力発電機モデルが提案されている⁴⁾。しかし、電力系統の安定運用を考えた場合、風車単体での制御ではなく、WF の連系点において出力制御を行う必要がある。このような制御は、ウィンドファーム (WF) コントローラ (パークコントローラ) と呼ばれる。

本研究では、東海大学湘南校舎 17 号館屋上に設置されている実際の風力発電機からの実出力データを使用し、電力系統解析に使用できる WF コントローラ用モデルを作成する。このモデルは、風速[m/sec.] (予測値でも可) を入力データとし、WF 発電出力[W]を出力結果とする。これにより、風力発電の系統連系に対する影響を評価するためのシミュレーションが可能となる。

2. 本学 17 号館屋上風力発電機の出力解析

2.1 本学 17 号館屋上風力発電機

本研究で使用した風力発電機は、直線翼垂直軸型風車であり、この風車に関して本学とライセンス事業契約を締結しているエネルギープロダクト株式会社により、本学湘南校舎 17 号館屋上に設置された定格出力 1,000[W]の小型風力発電機である。Table 1 に本研究で使用した風力発電機の仕様を示した。

Table 1. Specifications of Wind Turbine Generator

項目	仕様
カットイン風速	3.0 [m/sec.]
定格風速	11.0 [m/sec.]
カットアウト風速	18.0 [m/sec.]
定格出力	1,000 [W]

2.2 風力発電機の出力特性 (パワーカーブ)

風力発電の出力は、風速の 3 乗に比例する。本研究で使用した直線翼垂直軸型風車とその出力特性 (パワーカーブ: エネルギープロダクト株式会社提供) を Fig.1.1 および Fig.1.2 に示す。垂直軸風車は、回転軸が風向きに対して垂直であり、風向きに対する依存性がないことが特

徴である。そのため、プロペラ式風力発電機の制御機能の一つであるヨー制御は必要ない。

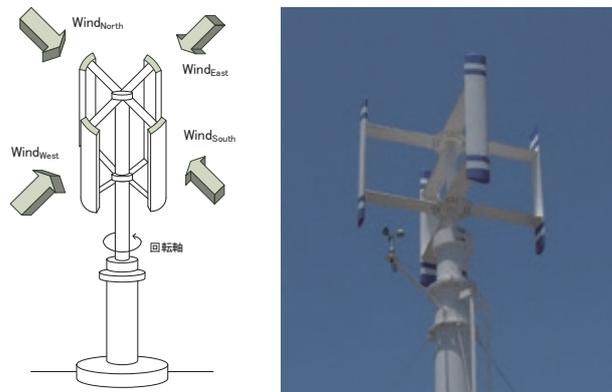


Fig. 1.1 Wind Turbine Generator

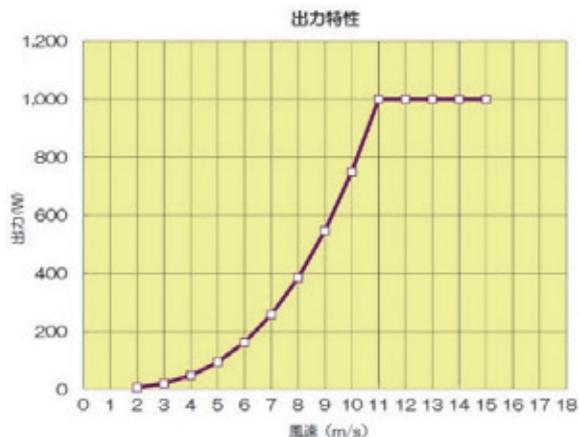


Fig. 1.2 Generator Output Performance (Power Curve)

2.3 屋上風力発電機のデータ

本研究では、本学 17 号館屋上風力発電機の実測データを用いる。実測データは、2013 年 1~2 月および同年 6~12 月の期間における 5 秒間隔の時系列データである。また、取得しているデータ項目は、

- ・風速 [m/sec.]
- ・回転数 [rpm]
- ・有効電力出力 [W]

など、解析に十分な計測値が得られている。

2.4 屋上風力発電機の発電出力解析

WF コントローラモデルを作成するに先立ち、観測された風速と計測された風力発電機からの実出力の時系列データ解析を行った。

2.4.1 風況パターンと発電出力の時系列解析

実測データのうち、風速[m/sec.]と有効電力出力[W]について、時系列グラフ化した。これらを解析したところ、風況には様々なパターンがあることが確認された。Table 2 に風況—風力発電機出力パターンを示し、対応するグラフ番号を示した。いずれのグラフも 24 時間分のデータをグラフ化したものであり、2 日間に亘るケースは、夜

間を中心としたグラフである。

Table 2. Wind – Power Output Pattern

No.	特徴	日時	図番
i)	終日出力維持	2013年9月23日	図2.1
ii)	昼間高出力	2013年11月27日	図2.2
iii)	夜間高出力	2013年2月22～23日	図2.3
iv)	風速急変	2013年12月20～21日	図2.4
v)	強風	2013年12月13日	図2.5

- i) 終日出力維持
24 時間に亘って風が吹き続けた（小笠原諸島に台風 20 号）。そのため、終日発電を継続。
- ii) 昼間高出力
昼前から日中にかけて発電し、夕方に発電停止。
- iii) 夜間高出力
夜から深夜にかけて発電し、朝方には発電停止。下げ代対策に影響大。
- iv) 風速急変
風速の急上昇および急降下により、発電と停止がステップ応答的に変化。出力変動解析に使用。
- v) 強風
低気圧が発達しながら日本海を進み、前線が本州を通過したとのこと（気象庁 HP 記録参照）。沿岸部を中心に風が強く吹いた。カットアウト風速(18[m/sec.])になる前にブレーキが動作（回転数 218[rpm]以上でもブレーキが作動）。その後、間欠的に定格発電と停止を繰り返す。運用上、課題あり。

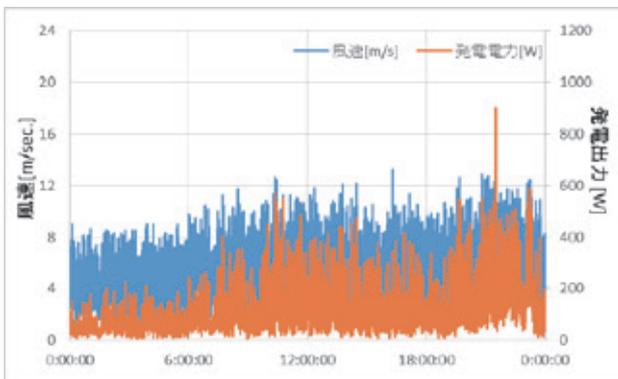


Fig. 2.1 Wind & Power Output on September 23, 2013

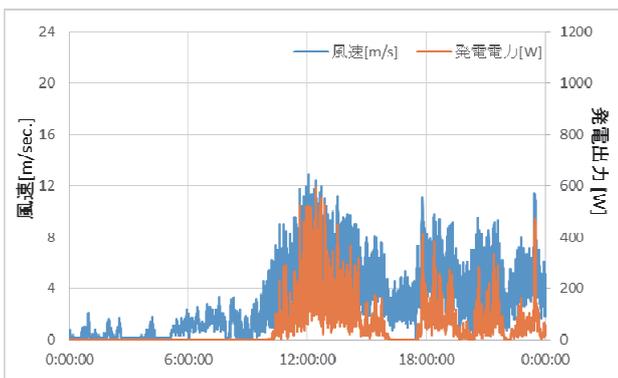


Fig. 2.2 Wind & Power Output on November 27, 2013

2.4.2 風速と発電出力の関係

次に、風速と発電出力の関係を解析する。前述のように、風力発電の出力は、風速の3乗に比例するという関係がある。したがって、横軸を風速[m/sec.]、縦軸を発電出力[W]として実測データをプロットすると、理論上、パワーカーブが得られる。実測値の風速-出力分布を Fig.3 に示した。Fig.3 から明らかなように、ある風速に対する同時刻の出力は、パワーカーブ上に乗ることは少なく、下方にぶれる。これは、カットイン風速を超えた瞬間に発電するわけではなく、時間の遅れをもって発電出力に現れることにある。また、風速が弱まる場合には、発電出力の低下は遅れるのではなく、ほぼ同時に低下する傾向を示している。これを明らかにするため、2013年12月20日の夜間と翌21日の早朝の時間帯を拡大したものを Fig.4.1 および Fig.4.2 に示した。

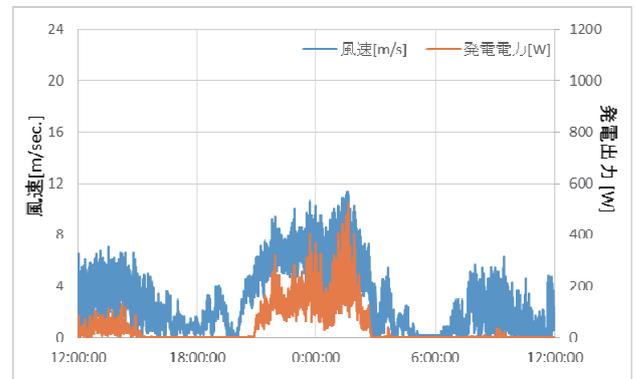


Fig. 2.3 Wind & Power Output on February 22-23, 2013

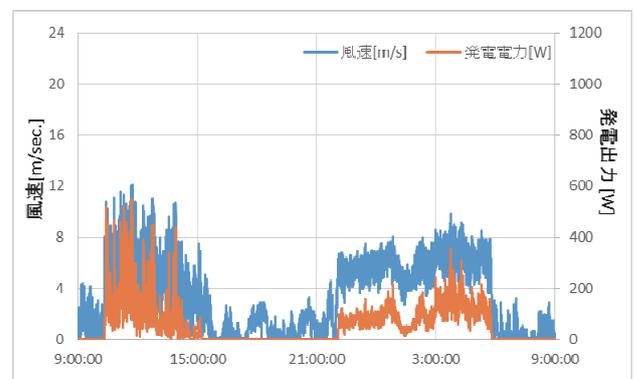


Fig. 2.4 Wind & Power Output on December 20-21, 2013

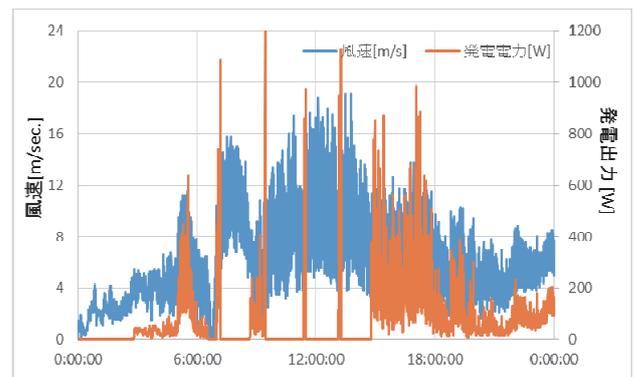


Fig. 2.5 Wind & Power Output on December 13, 2013

風速と発電出力の実測データの解析により得られた特徴から、WF 発電出力モデルには、一次遅れモデルが適していると考えられる。しかし、単純に時間遅れを持つだけではなく、出力減少時には、風速が弱まるとほぼ同時に減少に転じるようなモデルとする必要がある。

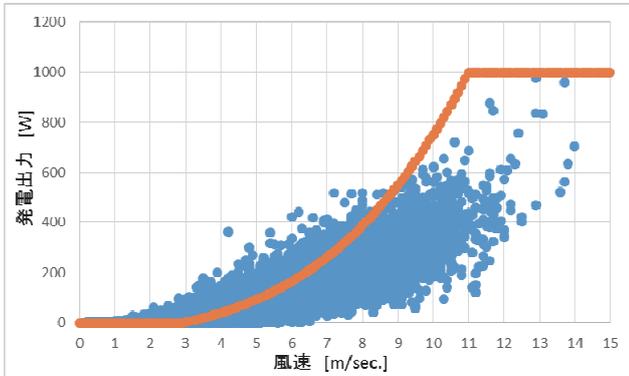


Fig. 3. Distribution of Wind - Power Output and Power Curve

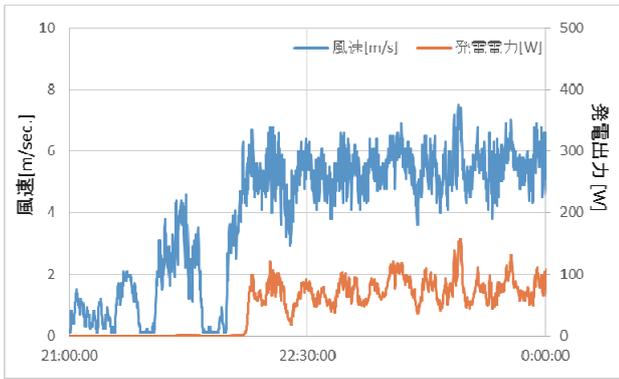


Fig. 4.1 Power Output Delay on December 20, 2013

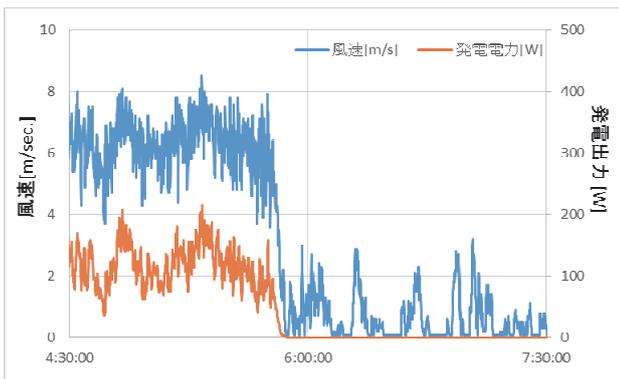


Fig. 4.2 Power Output Delay on December 21, 2013

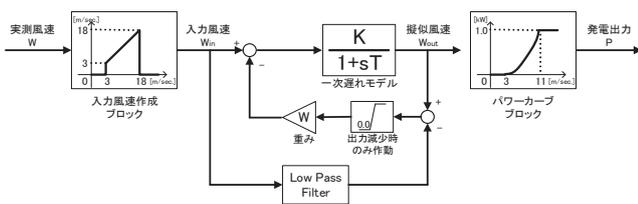


Fig. 5. Wind Farm Controller Model

3. ウィンドファームコントローラモデル

3.1 ウィンドファームコントローラモデル

風況と発電出力の解析より、ウィンドファーム (WF) コントローラモデルを作成する。WF コントローラモデルは、風速[m/sec.]を入力データとし、出力データを発電機出力[W]とする。ここで、風速から発電機出力までには時間遅れがあることを考慮して、一次遅れ伝達関数モデルとした。また、入力が実測風速の場合、カットイン風速以下の風速値が含まれる。その風速が入力されることで一次遅れブロックに影響を与えることを避けるため、カットイン風速以下の風速データを削除するブロックを追加した。同様に、カットアウト風速以上も削除できるブロックとした。さらに、パワーカーブを非線形ゲインブロックとして使用した。本研究で提案する WF コントローラモデルを Fig.5 に示した。このモデルの一次遅れ伝達関数の時定数 T[sec.]とゲイン K[-]は、実測の風速と発電機出力の変動解析により決定する。

3.2 3次関数によるパワーカーブ近似関数化

WF コントローラモデルの発電出力 P を得るため、パワーカーブを利用した非線形ゲインブロックを作成した。

パワーカーブは、風速[m/sec.]と発電機出力[W]を関係づける役割を果たしている。本研究で使用した風力発電機のパワーカーブは Fig.1.2 であるが、これを関数化するため、多項式近似を用いた。多項式近似する際の次数は、

- ・ 風力発電の出力は風速の 3 乗に比例すること
- ・ 擬似風速をパワーカーブから作成すること

を念頭におき、3 次多項式で近似することとした。Fig.1.2 のパワーカーブから最小二乗法により作成した近似パワーカーブ関数は、以下のように定式化した。

$$P = 0.0 \quad (0 \leq W_{out} < 3) \quad (1)$$

$$P = 0.89W_{out}^3 - 3.82W_{out}^2 + 33.43W_{out} - 89.45 \quad (3 \leq W_{out} \leq 11) \quad (2)$$

$$P = 1000.0 \quad (W_{out} > 11) \quad (3)$$

上式をグラフ化したものが、Fig.3 に示したパワーカーブである。

3.3 風速低下時の出力低減モデル

Fig.4.1 および 4.2 から明らかなように、出力増加時にみられる時間遅れは、出力低減時には顕著ではなく、風速低下とほぼ同時に出力低減が実施されている。これを提案する WF コントローラモデルに追加した (Fig.5 参照)。具体的には、高周波成分 (短周期変動) を除去するため、入力風速 W_{in} にローパスフィルタをかけたものと擬似風速 W_{out} の差分をとり、負値を避けるためのリミッタを介し、重みをつけて一次遅れモデルの入力に戻すモデルとした。これにより、風速が低下トレンドに転じたときのみ一次遅れモデルに入力される風速を低下させ、いち早く WF モデルの出力低減を実現できる。

4. 風速－発電機出力の変動解析

4.1 実測データの変動解析

WF コントローラの一次遅れモデルにおけるゲイン $K[-]$ および時定数 $T[\text{sec.}]$ を求めるため、実測データの変動解析を行った。通常、一次遅れの定数 K や T は、実機のステップ応答から推定可能であるが、風速をステップ状に変化させることは不可能である。したがって、一次遅れモデルの入出力結果を解析することにより推定を試みた。具体的には、Fig.5 における入力風速 $W_{in}[\text{m/sec.}]$ と疑似風速 $W_{out}[\text{m/sec.}]$ がそれぞれ入力および出力の時系列データであるとし、これらの変動を解析することで、適切なゲイン K および時定数 T を推定する。

4.2 疑似風速の作成

上記の出力変動解析を実施するにあたり、実測されているデータは実測風速 $W[\text{m/sec.}]$ と発電出力 $P[\text{W}]$ である。実測風速 W は、入力風速 W_{in} と等価であると考えて良い。しかし、発電出力 $P[\text{W}]$ と疑似風速 $W_{out}[\text{m/sec.}]$ は、物理単位も異なる。したがって、本研究では、疑似風速をパワーカーブの関数式を使用して、発電出力 P から逆算することとした。前述のように、この疑似風速を求めるため、パワーカーブを3次多項式近似した。その理由は、3次関数の根が、

- i) 重解
- ii) 一つの実数解と二つの共役複素解
- iii) 異なる三つの実数解

となり、必ず1つは実数解が得られるためである。また、パワーカーブの形状から、異なる三つの実数解を持たないこと、および共役複素解は無視できることが予め分かっている。このため、発電機出力から疑似風速を求めるのに適していると考えたからである

4.3 時系列データの10分間移動平均

出力変動解析で使用する時系列データは、5秒間隔で計測されている。Fig.2.1～2.5からも明らかなように、かなり激しく変動していることが分かる。このことから、風力発電は変動的な電源であると考えられている。この変動が電力系統へ及ぼす影響については、以下のように評価されている⁵⁾。

- (i) 1分以内の変動：顕著な影響はない
- (ii) 1時間以内の変化：風力発電の導入率が大きくなると顕著になる
- (iii) 数時間毎のタイムスケールにおける変動：予測可能だが不確実性が大きくなる

したがって、5秒間隔の変動は、今回のような系統連シミュレーションのためのWFコントローラモデルとしてのモデル化には不要であると考え、移動平均によるフィルタをかけることとした。移動平均の平均処理時間として、風速の10分間平均値(10分間平均風速⁶⁾)を使用した。これにより、激しく変動していた実測結果から、長いスパンでの風速の変動トレンドを浮き彫りにできる。また、後述する疑似風速についても、同様に移動平均フィルタ

を使用することとした。2013年11月27日の実測風速を10分間移動平均処理したグラフをFig.6に示した。Fig.6では移動平均が実測風速の変動のほぼ中心を通っており、風況のトレンドを捉えている。

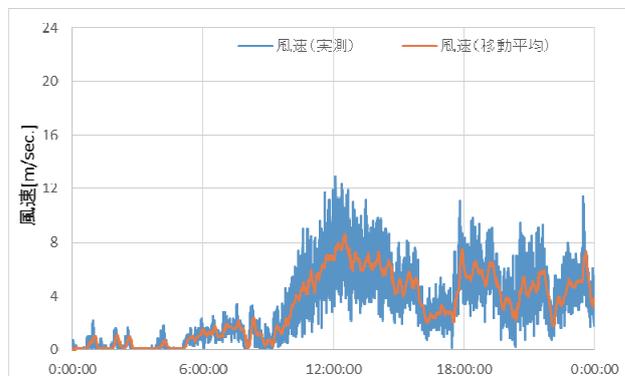


Fig. 6. Moving Average of Wind on November 27, 2013

5. ウィンドファームコントローラモデルの開発

5.1 疑似風速データ W_{out} の作成

発電機出力の実測データ $P[\text{W}]$ から、疑似風速データ $W_{out}[\text{m/sec.}]$ を作成した。具体的には、式(2)の P に実測値を代入し、この3次方程式の根として W_{out} を算出した。次に、実測風速 $W_{in}[\text{m/sec.}]$ 、疑似風速 $W_{out}[\text{m/sec.}]$ それぞれに10分移動平均フィルタ処理を施した。

2013年12月20～21日(iv:風速急変ケース)において、疑似風速を作成し、さらに風速および疑似風速の10分移動平均したデータを作成した。20日21:00～翌0:00までの3時間を拡大したものをFig.7に示した。

5.2 一次遅れモデルゲイン K および時定数 T の推定

Fig.7に示した変動から、以下の特徴に着目した。

- 1) ある一定の傾きの入力信号に対し、その傾きに応じた応答がある(ランプ応答)
- 2) ほぼ横ばいの入力に対して、それに応じた横ばいの応答がある(一定値出力)

この特徴を利用し、22:30以降における比率からゲイン K を推定し、次に、ランプ応答から時定数 T を推定した。

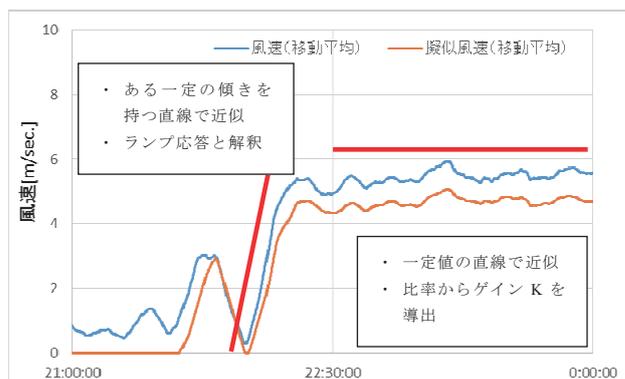


Fig. 7. Estimation of Gain K and Time Constant T

5.2.1 ゲイン K の算出

Fig.7において示された 22:30 以降の擬似風速は、モデルに入力された風速がゲイン K 倍されて出力されていると推測できる。したがって、

$$K = \frac{\sum \text{擬似風速}}{\sum \text{実測風速}} \quad (22:30 \sim \text{翌 } 0:00 \text{ の } 90 \text{ 分間}) \quad (4)$$

により算出した。これは、当該期間の比率の平均値を示している。式(4)の式より、ゲイン $K=0.86[-]$ と決定した。

5.2.2 時定数 T の算出

Fig.7において、風速がある一定の傾きで増加している期間を対象とし、時定数 $T[\text{sec.}]$ を推定した。この風速 $[\text{m/sec.}]$ が一次遅れモデルに入力されると仮定すると、擬似風速 $[\text{m/sec.}]$ が一次遅れモデルのランプ応答である。ここで、ランプ入力 $X(s)$ は、傾き $a[\text{m/sec.}^2]$ とすると、

$$X(s) = \frac{a}{s^2} \quad (5)$$

となる。ランプ応答 $Y(s)$ は、

$$Y(s) = \frac{K}{1+sT} X(s) \quad (6)$$

である。このとき、ランプ応答 $Y(s)$ は、

$$Y(s) = \frac{K}{1+sT} \cdot \frac{a}{s^2} \quad (7)$$

であり、これを逆ラプラス変換して擬似風速 $y(t)$ を計算すると、

$$y(t) = Kat + KaT \left(e^{-\frac{t}{T}} - 1 \right) \quad (8)$$

が得られる。

Fig.7より、式(8)を解くために必要な定数を求めた。まず、ランプ入力の傾きを $a=0.0067[\text{m/sec.}^2]$ と読み取った。その後、このランプ入力と実風速とを重ね合わせ (Fig.8)、 $t=500.0[\text{sec.}]$ のときの擬似風速 $y(t)=2.289[\text{m/sec.}]$ を式(8)に代入して、時定数 T を求めたところ、 $T=109.7[\text{sec.}]$ を得た。この一次遅れモデルの妥当性を Fig.8 に示した。

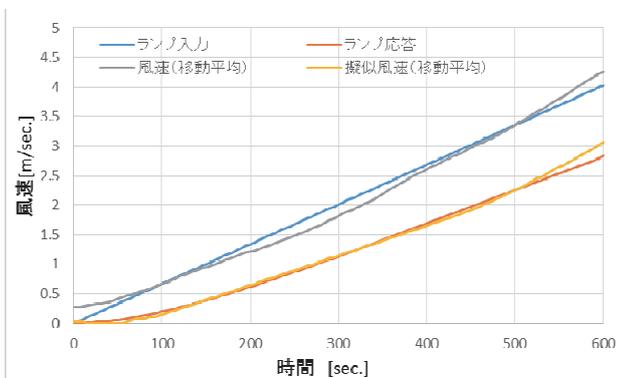


Fig. 8. Ramp Response of WF Controller Model

5.3 風速低下時の出力低減ブロック

5.1 節の移動平均処理を行った結果のうち、21日 4:30 ~ 7:30 までの 3 時間を拡大したものを Fig.9 に示した。ここでは、実測風速の減少が時間遅れを伴って擬似風速に現れている。このような時間遅れは、移動平均を一次遅れに変更しても同様になることが推測される。そこで、風速の低下トレンドを発電出力の減少にいち早く反映させるため、Fig.5 に示したローパスフィルタと追従速度に影響を与える重み W を設定した。ここで、ローパスフィルタの時定数は、短周期の変動がスパイク状に現れるのを平滑化するように、スパイク状データの前後データを含めた 15 秒とした (データは 5 秒間隔)。また、追従速度も維持できるように、重みを $W=2.0$ とした。

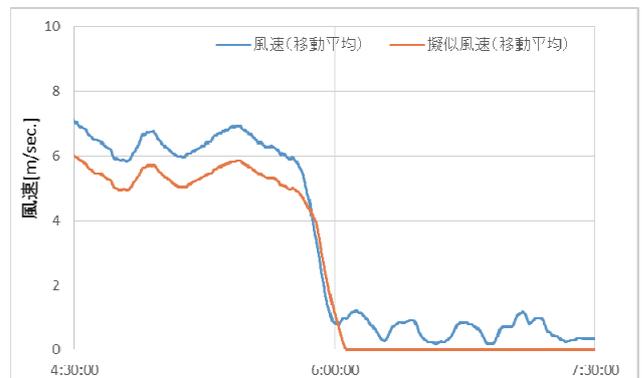


Fig. 9. Moving Average of Estimate Wind in Wind Abating Period

6. ウィンドファームコントローラモデルの検証

WF コントローラモデルを検証するため、Table 2 に示した風況-風力発電機出力パターンのうち、

- ii) 昼間高出力
- iii) 夜間高出力
- iv) 風速急変

のケースを使用して、性能検証を行った。上記の 3 ケースに絞った理由は、その他のケースは、シミュレーションモデルの性能検証には不必要であると考えたためである。(ケース i) 終日出力維持は周期性もなく、単調であるため。ケース v) 強風はブレーキが作動しているため。)

ケース ii)~iv)のケースの実測風速を用いて WF コントローラモデルをシミュレーションにより検証した。検証結果を Fig.10.1~10.3 に示した。これらの図には、モデルの入力となる実測風速 $[\text{m/sec.}]$ と一次遅れモデルの出力である擬似風速 $[\text{m/sec.}]$ 、さらに、WF コントローラモデルの出力である発電出力 $[\text{W}]$ をグラフ化した。

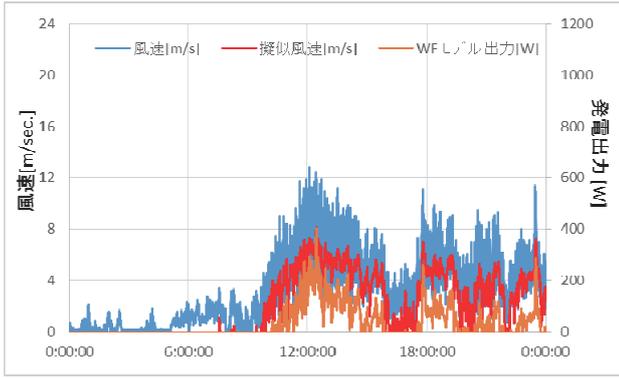


Fig. 10.1 Verification of WF Controller Model on November 27, 2013

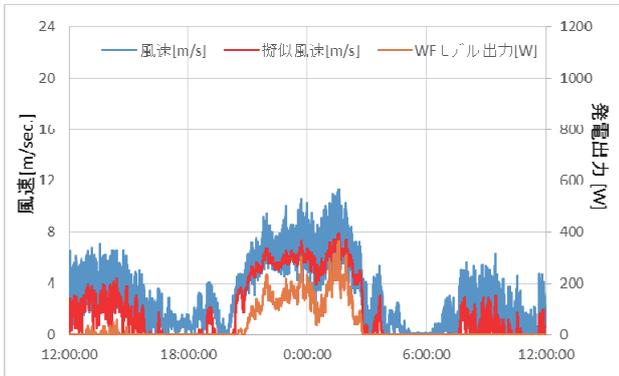


Fig. 10.2 Verification of WF Controller Model on February 22-23, 2013

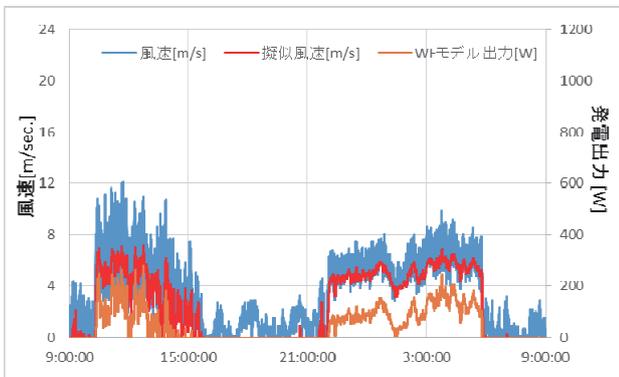


Fig. 10.3 Verification of WF Controller Model on December 20-21, 2013

Fig.10.1～10.3 より、発電出力の変動傾向がモデル化されていることが分かる。しかし、短期間の変動幅は、若干小さくなっている。この原因は、一次遅れモデルを使用していることにあり、擬似風速自体の変動幅が小さくなっている。今回は、発電機 1 機から WF コントロールモデルを作成しているが、本来のウィンドファームでは、多数の発電機の出力が合算される。そのため、出力タイミングのずれが生じることとなり、平滑化効果が見込まれる。このような状態では、自ずと変動幅が小さくなる。また、前述したように、1 分以内の変動は、電力システムに対しての顕著な影響はない。そのため、提案モデルを使用することで、変動が小さくなることについては問題な

いと考えている。

次に、WF コントローラモデルの発電出力の遅れ特性および風速低下時における発電出力の減少特性の検証を行った。これらを検証するため、Fig.4.1 および 4.2 に示した時間帯の WF コントローラのシミュレーション結果を Fig.11.1 および 11.2 に示した。これらの結果より、風速の上昇が発電出力に至るまでの時間遅れ特性、および風速低下時の発電出力の減少特性のモデル化に成功していることが分かる。

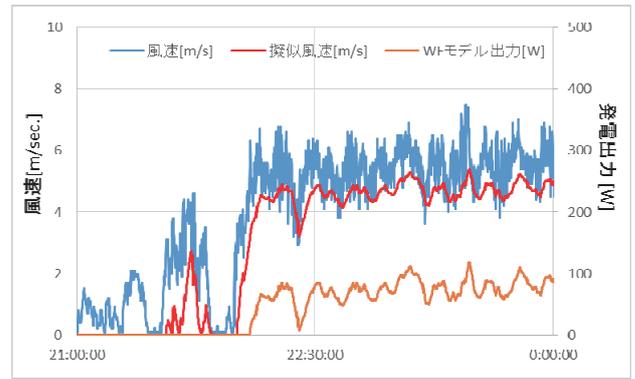


Fig. 11.1 Verification of WF Controller Model on December 20, 2013

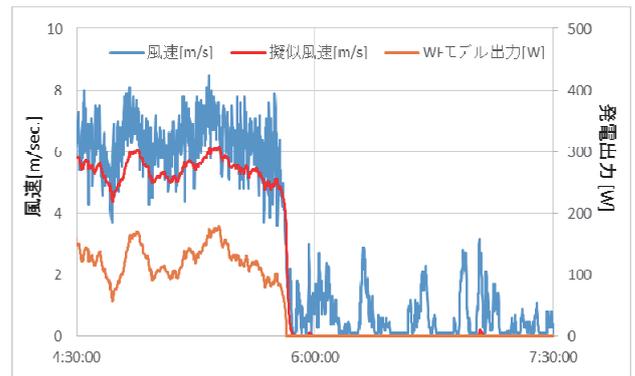


Fig. 11.2 Verification of WF Controller Model on December 21, 2013

7. まとめ

本論文では、風力発電機が大量に系統連系することで生じるであろう現象や課題についてシミュレーションすることを目的としたウィンドファームコントローラモデルの作成法を提案し、東海大学湘南校舎の 17 号館屋上に設置された風力発電機の実出力と観測された実測風速を用いて、ウィンドファームコントローラモデルを作成した。このウィンドファームコントローラモデルの作成にあたり、1 機の風力発電機の実測データを使用した。本来は、ウィンドファームのように多数の風力発電機が連系されている状態のモデルを作成することに主眼をおいている。そのため、多数の風力発電機が連系されるウィンドファームのモデルを作成する際には、図 5 に示した提案モデルのパワーカーブブロックを、風力発電機数分合成したパワーカーブに置き換えることで、簡単に対応することが可能である。また、提案手法のメリットと

して、発電機 1 機を精緻にモデル化し、それを発電機台数分積み上げるよりも、簡便に出力モデルが得られることが挙げられる。

本研究において作成したウィンドファームコントローラモデルを使用することにより、多数の風力発電機が系統連系された場合の出力変動が系統に与える影響をシミュレーションすることができる。その際、厳しい系統状態として、夜間運用中の電力系統を念頭におき(例えば、表 2 ケース iii) 夜間出力)、系統の発電機に調整能力が乏しい状態での風力発電の出力変動が与える悪影響を評価し、その解析を行うことが可能である。

本モデルを使用することにより、WF からの出力変動を模擬できる一方で、移動平均をローパスフィルタとして使用した場合と比較すると、本モデルの擬似風速が小さく推定されている。これは、移動平均フィルタの出力の積分値は、入力データの積分値がそのまま保持されているのに対し、一次遅れフィルタにはそのような保証がないことが要因として挙げられる。これにより、本モデルからの出力[W]の積分値[Wh]は、実測より小さく推定される傾向を持っている。このような移動平均フィルタと一次遅れフィルタとの特徴の差異を考慮した上で、本モデルでは、今後の制御モデルとしての発展性を重視し、一次遅れモデルを採用した。

一方で、例えば、実測値[W]から算出した電力量[Wh]と本モデル出力[W]からの電力量[Wh]とを比較し、その比率を予め算出し、電力量補正ゲインとして本モデルに追加することで、発電電力量推定モデルとしても拡張可能となる。

本研究は、学校法人東海大学総合研究機構「研究スタートアップ支援」の援助を受けて行ったものである。

参考文献

- 1) 電力エネルギー時事用語事典 2007、電気新聞社
- 2) NEDO 再生可能エネルギー技術白書(第 2 版)、独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構、森北出版株式会社
- 3) 風力発電電力系統安定化等技術開発—気象予測システム—気象予測に基づく風力発電量予測システムの開発、(風力発電出力予測技術ガイドブック)平成20年3月、NEDOホームページよりダウンロード、
http://www.nedo.go.jp/library/shiryuu_database.html
- 4) 風力発電導入のための電力系統工学、Thomas Ackerman、一般財団法人 日本風力エネルギー学会、オーム社
- 5) European Wind Energy Association, 日本風力エネルギー学会(翻訳):「風力発電の系統連系 ~欧州の最前線~」、日本風力エネルギー学会, 2012年2月(電子書籍PDF版:一般社団法人日本風力エネルギー学会ホームページよりダウンロード)
- 6) JIS C 1400-0:2005 風力発電システム-第 0 部: 風力発電用語