

タイトル	ウィンドファーム制御装置を活用した出力一定運転
抄録	風力発電設備に適用したウィンドファーム制御装置を用い、風速に見合った目標出力の自動判定と発電出力の抑制制御とを組み合わせることで異なる風速の風力発電機の連系点出力をほぼ一定に制御できることを確認した。また一定運転を解除することでの出力増加の応答性を確認することもでき、風力発電設備における負荷周波数制御などの系統要求制御やバランシングの可能性を定量的に考察するデータを得ることが出来た。 This study shows that using a wind farm controller applied to wind turbine, the wind power output at point of common coupling (PCC) with different wind speeds can be controlled to an almost constant value by combining automatic determination of the target output according to the wind speed and suppression control of each wind turbine power output. Also, the responsiveness of the output increase by using the suppressed operation is obtained, and it may be data for quantitatively considering the possibility of grid demand control such as a load frequency control or a balancing control in wind power generation.
著作者	山田敏雅, 小坂葉子, 薬師宏治 ^{*1} , 池田史晃 ^{*2} , 野沢亨介 ^{*2} , 小林孝士 ^{*2}
所属機関	東芝エネルギーシステムズ株式会社 エネルギー・アグリゲーション事業部 風力発電技術部 ^{*1}東芝エネルギーシステムズ株式会社 N e x t ビジネス開発部 G X 事業推進室 デジタルライズドインフラストラクチャー&エネルギー事業開発部 ^{*2}東芝エネルギーシステムズ株式会社 府中工場 発電システム制御部
責任著者	山田敏雅
e メール	toshimasa.yamada@toshiba.co.jp
キーワード	風力発電, 風車, IEC61400-25, ウィンドファーム制御, 出力抑制, 出力上限制御
引用文献	1) IEC TS 61400-25-71 Edition 1.0 2019-09 Wind energy generation systems – Part 25-71: Communications for monitoring and control of wind power plants – Configuration description language 2) IEC 61400-25-2 Edition 2.0 2015-06 Communications for monitoring and control of wind power plants – Information models 3) 山田, 薬師, 池田, 野沢, 小林, ウィンドファーム制御装置を活用した乱流風況での風力発電機の運転, Jxiv

はじめに

再生可能エネルギーの大きな柱の一つとして風力発電が世界的にも着目され特にここ 10 年程の間には単機出力の規模も急激に高くなり導入量も着実に増えている。日本国内では固定価格買取制度 (FIT: Feed In Tariff) の適用から導入拡大が促進され北海道や東北地方などでは着実に発電所が増加し、加えて再エネ海域利用法によって洋上案件の公募が進められていることで将来的に更に拡大する見通しが立てられている。一方で昨今の資材価格の高騰や円安の影響から建設計画の遂行が困難になっていることが大きな問題でもある。もとより電力の調達価格算定の展望においては風力発電設備は FIT にも FIP(:Feed In Premium)にも頼らない自立電源として成り立つことが目標として掲げられている。このためには発電事業者はアグリゲータに計画的に売電することが要求され、電力市場では発電電力量だけではなく調整力で

も電気を売っていかなければ事業として十分な採算が見込めないことになる。従来電源の負荷一定運転や蓄電池による調整力などとは異なり太陽光発電や風力発電は発電出力が常に変動するために出力調整がままならないという根本的な特性を抱えている。それでも欧州では entso-e により風力発電も含む連系要件に様々な調整力機能が要件化されており IEC61400-21 ではその計測方法の規格化も進められている。しかし欧州の系統では再エネ電源は電力供給の優先順位が高いこともあってか実際の制御性能の実力が明確に紹介されることがあまりない。日本国内においてはいまだ FIT が主流であることから発電電力量を最大化するための最低限の制御機能で運用されており、出力制御の実際の実力などを判断することが容易ではない状況にある。上述の通り既設電源や蓄電池と同等の調整力を風力発電で実現することは不可能であることから、風力発電で実現可能な範囲を見極めな

がら、系統安定に貢献できる機能を定量的に示せる技術を蓄積していくことが現状も続く課題と言える。

ウィンドファーム制御装置

ウィンドファーム制御装置は風力発電所の系統連系点の有効電力、無効電力を調整する目的で設置され、発電所内の各風車の発電出力を任意に抑制することで、風速の変動に因って変動する発電出力に対し上限や変化率の制限を与えることが出来る。これを実現するために風車個々の出力制御機能に対して上限値を指令値として送信しており、連続制御とすればこの指令値を常時調整することも出来る。

この出力上限値が与えられた場合には各風車は定格出力を維持するために動作するブレードの迎え角制御（ピッチ制御）を定格出力ではなく目標上限値に従って動作させ、ブレードに受ける風荷重を減らすことで出力を抑制する。連系点の有効電力・無効電力を制御する要求機能は IEC61400-25-2 Annex に提示されており日本国内の系統の下げ代不足対策としての出力抑制運用においても機種に依ってはこの機能が応用されている。また IEC61400-25 は通信のプロトコルと情報モデル、情報サービスを規定したものであり、この規格に則れば風車の機種型式に依らずウィンドファーム制御装置で一括の出力調整が可能となる。つまりウィンドファーム制御装置が風車メーカーの製品ではなくとも風車と直接通信が可能となる。また異なる制御ネットワークが風車・SCADA 間のネットワークに混入することを避ける場合にはゲートウェイを設ける構成も可能である¹⁾。

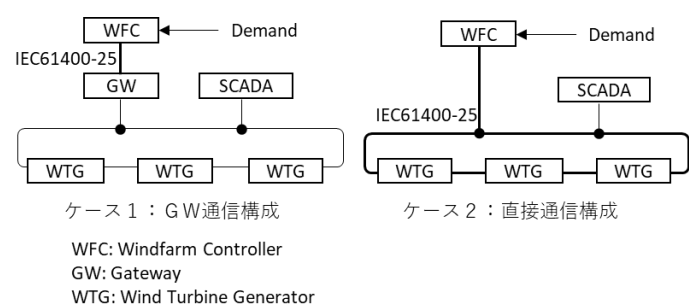


図1) ウィンドファーム制御装置システム構成

今回用いたウィンドファーム制御装置は発電所運開後に追設した設備であり、東芝エネルギーシステムズ(株)の TOSMAP-LX™を適用。従来は火力発電所の監視制御向けに適用されていたシステムを最低限の構成で構築したもので、エンジニアリングコンソールを別置きにすれば小型ラックで床置き出来る設備である。基本機能は系

統からの出力抑制指令の対応であり、今回の乱流対策のソフトウェア機能追加と調整の一連の作業は全て遠隔作業にて改造を行った。IEC61400-25 通信の実装には当該システムの IEC61850 クライアント機能を適用し、風車側の制御装置である Bachmann 製 PLC の MMS サーバとの通信を実現した。

有効電力制御機能

IEC61400-25-2Annex にて提案された有効電力制御には次の5種類がある

Active power limitation control	発電出力の上限を制御
Gradient power control	発電出力の変化率を制限
Delta power control	任意の抑制幅を制御し予備力を保持
Combined power control	上記3つの制御を組み合わせた制御
Apparent power control function	無効電力制御と併せた皮相電力値の制御

今回に運転のデータが得られたのは上表の Active power limitation control である。

出力制御の実績

当該の日は系統保守の理由から昼間の売電電力を定格の62.5%に抑えることが要求されていた。この時に8基中の1基が保守停止していたので実際には71.4%に制御しての運転ということになる。この日は午前中から出力上限を設定して運転していたが風速が十分ではなく、15時過ぎに定格出力の風速となり16時から出力抑制解除の18時までの約2時間の間、発電出力の上限を一定にする運転結果が得られた。

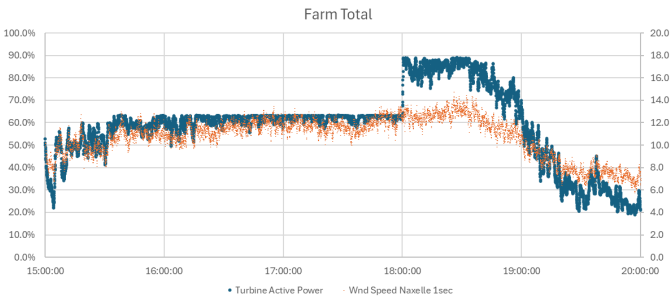


図2) ファーム全体の発電出力と平均風速
(左縦軸：発電出力、右縦軸：風速(m/s))

図2はこの15時から20時までの8基の発電出力合計値と風速の平均値の2秒間隔の瞬時値を示したグラフ

である。当該時間は風速が非常に安定した条件ではある。図3には同じ時間の各号機ごとの発電出力と風速をグラフに示す。これらのグラフを見てもどの号機も風速が安定しており制御がしやすい条件ではあったが、各号機で変動の仕方も平均風速も同じではない。このためファーム全体の出力を一定に制御するにはこの号機間のばらつきを補完し合うように個別に調整する必要がある。

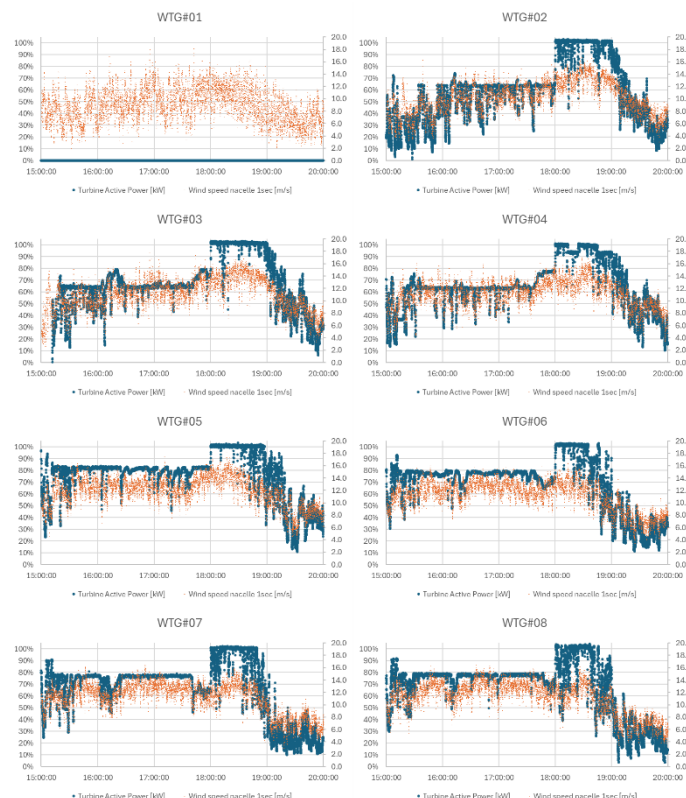


図3) 各風車の発電出力と平均風速
(左縦軸：発電出力, 右縦軸：風速(m/s))

次に図4-1および図4-2にウィンドファーム制御装置から各号機に出力した指令値の推移を示す。ここで各号機に80%付近, 70%付近, 60%付近の異なる指令値がほぼ一定値として出力されていることが分かる。これは当該サイトの運用上、風速乱流を検知して出力抑制を行う運転も含まれていることに因る³⁾。つまり系統要求だけではなくサイト固有の運転条件も満たした上で的一定運転を実現していることになる。この運用により結果的に平均風速が高ければ指令値も高くなり平均風速が低くなれば指令値も低くなる。加えて風速の乱流度合いが高ければ指令値は低くなり風速が安定すれば指令値は高くなる。

細かく見ていくと、15時から16時の運転では2基が風速乱流を検知していることにより断続的に38%の指令値で運転している。またこの間に停止していた1基が起動したことから、80%以上の出力で運転していた2基

は出力を約80%と75%に抑制した運転に切り替わっている。さらに60%付近で運転している号機が他の号機の出力低下に合わせて出力を増加させている動作も見られる。16時から17時にかけても同様な号機間の変動の相関性が見られ、出力の分配調整が連続的に動作していたことが分かる。

17時から18時にかけては60%付近で運転していた号機が75%付近に切り替わっており、それに合わせて1基が60~70%帯での運転に移動している。これは風速乱流が緩やかになった号機の出力抑制値が高めに切り替わり、それに合わせて他の号機が出力を下げた動作である。



図4-1) ウィンドファーム制御装置からの出力指令値

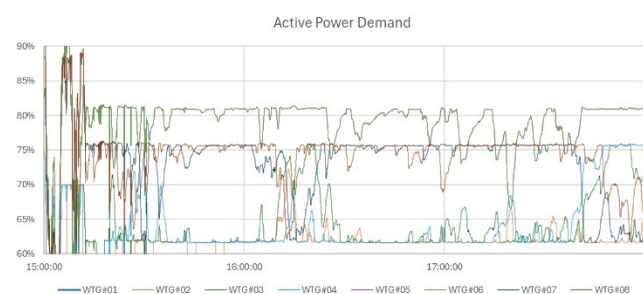


図4-2) 図4-1の拡大

これらの時間帯では80%付近を運転する号機の過渡的な指令値の低下が顕著に見られるが、これは風速が目標出力に満たない場合には指令値自体を風速に沿って下げていることに因る。ウィンドファーム制御装置の制御方法として、発電出力を高く維持できる号機を優先して出力制御していることから高い風速域ほど風速の変動の影響が現れ易くなる。このように高出力域の号機の出力が下がった場合には60%近辺で抑制運転する号機が出力を上げて全体を補完する動作となっている。今回のケースでは60%付近の運転域を下回るまでの風速の低下は見られていない、風速が低いかもしれない風速の変動が大きい号機の指令値が高めなるとファーム全体の発電出力がより不安定になると想像出来る。仮にファーム全体出力を一定値に狙って運転するのであれば、風速と風速乱流の度合いを加味したファーム全体の発電出力を目標

値として設定する必要がある、発電出力を一定にしながらより高く出力するためにはこのような適切な号機間の指令値の補完の動作が必要と考えられる。

次に図2のグラフを1分移動平均値で表したものを図5に示す。ここで17時から18時の1時間は目標値に対して上方向には約0.3%以下、下方向には4%以下の変動幅での運転を実現出来ていることが分かる。尚、18時以降の偏差は出力抑制解除後の定格出力に対する偏差を示したが、これと18時前の運転を比べるとともに風速が安定した条件であっても出力抑制した状態での分配制御による補完が無ければ変動が大きくなることが推測できる。

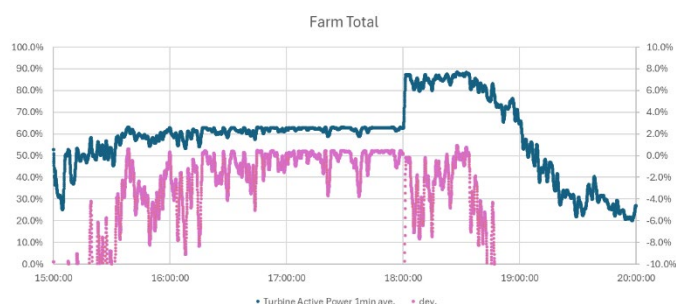


図5) ファーム全体出力と目標値との偏差 (1分移動平均値)
(左縦軸：目標値, 右縦軸：偏差)

制御による出力増加能力の可能性

図6には18時に出力抑制を解除した際の出力変動を示す。ここでは出力が62.5%から88%付近に約30秒間で一気に上昇していることが分かる。尚、この時点でも8基中の1基は停止したままであったので、実際には71.4%から100%への上昇となり、負荷変化率としては約57%/分になる。これは負荷周波数制御(LFC)のような系統からの出力指令にも幅広く応えられる出力調整能力になり得ると考えられ、小規模系統やVPPなどにおけるbalancing運用などにも活用が出来ると考えられる。

また、今回は出力上昇時の変化率制限は適用しておらず上述の負荷変化率は風車単機の性能に依存している。これに変化率制限機能を稼働させ目標値を指定の変化率で変化させることで、今回の応答性を踏まえれば例えば上方向には2%/分程度の精度での出力増加も可能と考えられる。

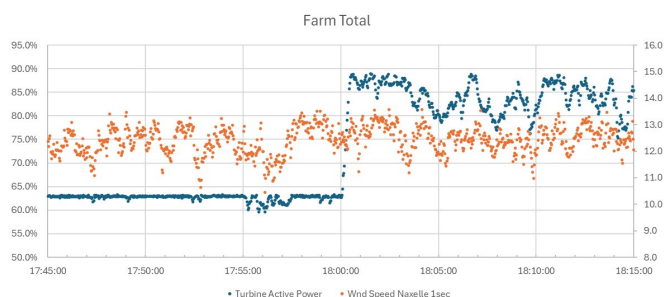


図6) ファーム全体の発電出力の負荷変化率
(左縦軸：発電出力, 右縦軸：風速(m/s))

まとめ

風力発電設備に適用したウィンドファーム制御装置を用い、風速に見合った目標出力の自動判定と発電出力の抑制制御とを組み合わせることで異なる風速の風車群の連系点出力を一定に制御できることを確認した。また一定運転状態を解除することでの出力増加の応答性を確認することもでき、風力発電設備における負荷周波数制御などの系統要求制御などの可能性を定量的に考察する材料を得ることが出来た。

尚、今回は系統要求と風況が好条件となりデータを採取することが出来たが、発電所は通常は売電を優先するために安易に抑制をかけるわけにもいかず、また風況の条件も狙って得られるわけでもない。こういったデータは時間をかけて蓄積していくことが必要と考える。

参考文献

- 1) IEC TS 61400-25-71 Edition 1.0 2019-09 Wind energy generation systems – Part 25-71: Communications for monitoring and control of wind power plants – Configuration description language
- 2) IEC 61400-25-2 Edition 2.0 2015-06 Communications for monitoring and control of wind power plants – Information models
- 3) 山田, 薬師, 池田, 野沢, 小林, ウィンドファーム制御装置を活用した乱流風況での風力発電機の運転, Jxiv