

大型風力発電システムとスマートグリッド

Wind Turbine Generator Systems and Smart Grid

坂本 潔

Sakamoto Kiyoshi

佐藤 和彦

Sato Kazuhiko

松信 隆

Matsunobu Takashi

近藤 真一

Kondo Shinichi

地球環境改善の観点から自然エネルギーの需要が高まっている。特に、大型風力発電システムは欧米や中国を中心に導入量が拡大しており、今後も導入量の増加が見込まれる。

日立製作所と富士重工業株式会社が共同開発したダウンウィンド2,000 kW大型風力発電システムは、2010年、2011年に日本国内2カ所で営業運転を開始した。発電機の制御には出力変動を抑制する技術を用いており、風力発電の電力系統容量に占める割合が増加しても系統安定化に対応できる特長を備えている。

自然エネルギー電源の増加に対応した次世代電力系統の実現に向け、日立グループは、発電から電力安定供給システムまでトータルソリューションを提供する。

1. はじめに

地球環境の改善のため、風力、太陽光、水力などの自然エネルギー利用の需要が高まっている。特に風力発電は、他の発電方式に比べて建設、燃料の採掘・輸送・精製、運転、保守に関するCO₂排出量が少ないことが知られており、欧米や中国を中心に導入量が拡大している。GWEC (Global Wind Energy Council) のGlobal Wind Report 2010によれば、2010年の世界の総設備容量は197,039 MWに達し、前年比で24%増加している。

また、欧州EREC (European Renewable Energy Council) が2011年5月に発表したシナリオでは、EU域内の最終エネルギー消費に占める自然エネルギー(原典ではRenewable Energy)の割合を、2020年に20%、2030年に45%とする目標を示している。以上により、風力発電の導入拡大は今後も続くと考えられる。

ここでは、日立製作所が提供する大型風力発電システムの仕様と適用事例、今後の風力発電の大量導入に備えた取り組み、およびスマートグリッドへの展開について述べる。

2. 大型風力発電システム

2.1 システムの特徴

日立製作所と富士重工業株式会社が共同開発した2,000 kWの大型風力発電システム「SUBARU 80/2.0」の外観を図1に、主な仕様を表1に示す^{1), 2)}。

大型風車においては、タワーよりも風上にロータを配置

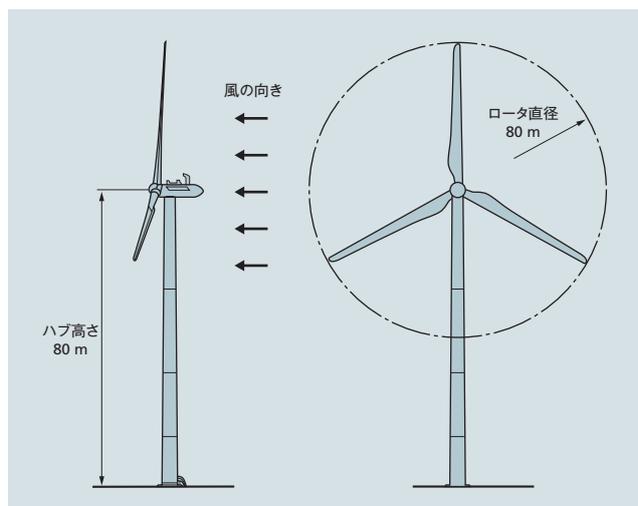


図1 | 大型風力発電システムの外観

ロータ直径80 m、ハブ高さ80 m、風下側にロータを配するダウンウィンド方式を採用している。

表1 | 大型風力発電システムの主要仕様

発電機には、回転子と固定子それぞれに巻線を備えた4極空冷式発電機を採用し、電力変換器で回転子の磁界を制御している。

分類	項目	仕様
基本仕様	ロータ径	80 m
	ハブ高さ	80 m/60 m
	定格出力	2,000 kW
	定格風速	13 m/s
	カットイン風速	4 m/s
	カットアウト風速	25 m/s
発電機	発電機型式	交流励磁同期機
	極数	4極
	周波数	50 Hz/60 Hz



図2 | ウインド・パワーかみす洋上風力発電所

茨城県神栖市の鹿島港湾区域の海岸から50 mの外洋に建設された洋上ウィンドファームである。(写真提供：株式会社ウインド・パワー・いばらき)

したアップウィンド風車が一般的だが、同機では、風下に配置するダウンウィンド方式を採用している。ロータが風下側に向く構造のため、台風などによる突風に対して主要構造部分への負担が軽減され、より安全で強固なシステムとなっている。また、山岳・丘陵地における発電量の上昇が見込まれる。

発電機は全閉型構造をとっており、外気で直接冷却しないため、塩分の多い風を利用する海岸線への設置において強みを発揮する。

2.2 適用事例

営業運転を開始したウインド・パワーかみす洋上風力発電所、および御前崎風力発電所について、概要を以下に述べる。

(1) ウインド・パワーかみす洋上風力発電所

茨城県神栖市南浜地先の鹿島港湾区域内に建設された国内初の本格的な洋上ウィンドファーム（風力発電所）である（図2参照）。株式会社ウインド・パワー・いばらきが発電所の建設と運用を行っている。海上に設置される風車の基礎部分には、モノパイル（長さ24.5 m、設計水深-5 m）を採用している。2010年7月1日に本格稼働を開始した。

なお、2011年3月11日の東日本大震災では大きな動揺と津波襲来を受けたが、総点検により発電設備に大きな被害はないことを確認した。震災3日後以降、全機が正常運転を続けている³⁾。

(2) 御前崎風力発電所

中部電力株式会社が建設し、運営する風力発電所である。静岡県御前崎市の遠州灘に面する海岸線にあり、浜岡原子力発電所の東側および西側の約10 kmにわたって風車11基が建設された。2011年1月28日に全号機が営業運転を開始した（図3参照）。

この発電所の建設は、日立製作所がフルターンキー契約



図3 | 御前崎風力発電所（中部電力株式会社）

静岡県御前崎市の遠州灘に面する海岸線に、約10 kmにわたって風車11基を配置した。



図4 | 据付け工事

御前崎風力発電所では、日立製作所がフルターンキー契約で建設を進めた。

により、輸送、基礎工事から試運転調整までを請け負ったものである（図4参照）。

3. 風力発電システムの出力変動対策

自然風の風速変動は、周期1~2分の短周期変動、および周期12~15時間や100時間の長周期変動が多いことが知られている。この風速の変動によって、風力発電システムの発電出力も変動する。

今後、風力発電システムの導入量が増加すれば、発電出力の変動によって電力系統の電圧や周波数が不安定になるなどの影響が懸念されている。次に、風力発電システム自身が成しうる出力変動の対策について述べる。

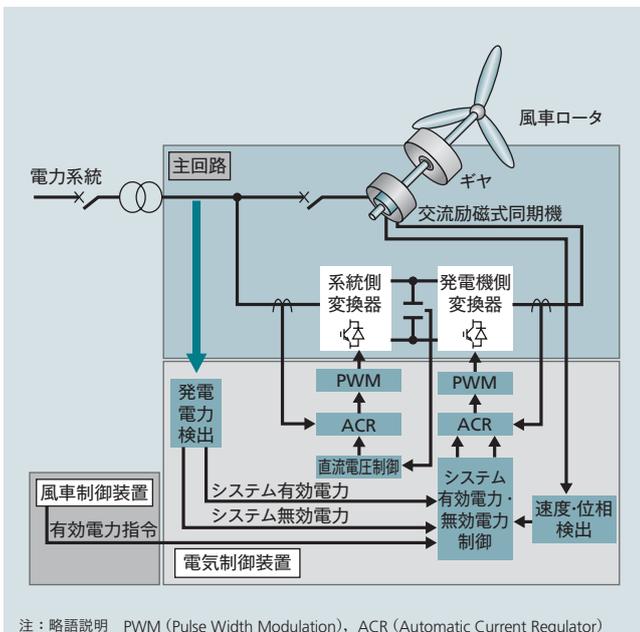
3.1 電力優先制御による短周期の出力変動抑制

風力発電システムは、ブレードに受けた風のエネルギーで発電機の回転子を回転させ、その回転力によって発電する。そのため、風速が変動すると回転子回転速度が変化する。発電電力は、トルクと発電機回転子の回転速度の積に比例するため、従来のトルク制御方式では風速変動で回転速度が変動すると、発電出力が変動する傾向があった。こ

のため電力系統に連系すると、短周期変動によってフリッカなどの電圧変動を引き起こす問題があった。

前述した大型風力発電システムでは、発電機の制御法に有効電力 (= 発電電力) を制御する有効電力優先制御^{2), 4)}を適用している。この制御方式は、系統側変換器と発電機固定子を合わせたシステム有効電力を検出し、風速によって計算された有効電力指令に一致するように電力変換器を使って電力を高応答に制御する方式である (図5参照)。

風速変動による風からの入力エネルギーの変動分は、ブレード、ギヤ、回転子の回転エネルギーとして蓄積 (または放出) し、発電指令に従った安定した電力を発電する。この制御方法を搭載した風力発電システムの実測データを図6に示す。風速が急変しても、回転子回転数が変動することで発電電力は維持される。この制御方法により、電力系統への影響を小さくした「系統に優しい風力発電システム」を実現している。



注：略語説明 PWM (Pulse Width Modulation), ACR (Automatic Current Regulator)
図5 | 発電機制御系の構成
 主回路からシステム有効電力を検出し、風車制御装置から与えられる有効電力指令に一致するように発電機 (回転子) 電流を制御する。

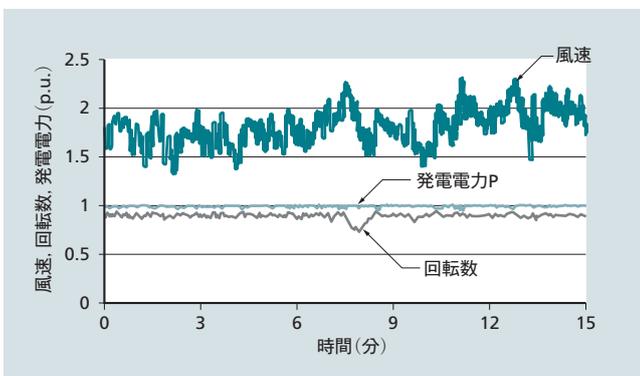


図6 | 有効電力優先制御の効果
 風速の減少に対し、回転体のエネルギーを放出することで発電電力Pを一定に保つことができる。

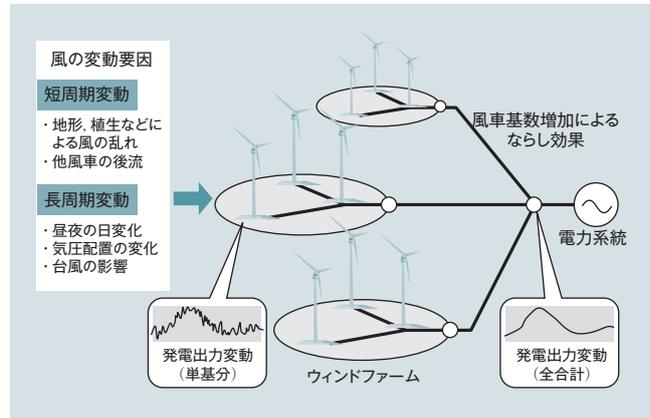


図7 | 風力発電所発電電力のならし効果
 風の変動によって生じる発電出力変動は、風車基数を増やすことで短周期の変動は平準化される。

3.2 その他の出力変動抑制手法

風力発電システム側による他の対策としては、蓄電設備を風車に併設して出力変動を緩和する方法⁵⁾や、ウィンドファームの各風力発電機の出力制御と複数台の協調制御を組み合わせてウィンドファーム全体の出力変動を平滑化する技術⁶⁾などが検討されている。

また、広範囲にわたって風力発電所数を増やせば、「ならし効果」によって電力系統全体で見た発電電力の短周期変動は平準化される。これは、短周期変動は地形などによる風の乱れで生じるため、各基で独立して発生する傾向があるためである。なお、昼夜の日照時間の変化、気象条件の変化により生じる長周期変動は、各基の変動に相関が高くなるため、平準化されにくい⁷⁾。(図7参照)

4. スマートグリッド

2011年5月に開催された主要国首脳会議 (G8サミット) で菅首相は、発電電力量に占める再生可能エネルギーの割合を、2020年代のできるだけ早い時期に少なくとも20%を超える水準にすると宣言した。次世代電力系統 (スマートグリッド) は、自然エネルギー電源容量の比率上昇によって変動が増加する供給側と、負荷が複雑化する需要側のバランスを取ることが課題である (図8参照)。

同図に示すように、今後、自然エネルギーの中でも風力や太陽光など新エネルギーによる大規模発電所の接続が増加するのは地方系統である。新エネルギー電源の発電電力変動は、数十秒から数分程度の短周期成分は前述した手法により平準化され、さらに火力発電のガバナフリー運転でも調整される。一方、長周期の変動成分への対策としては、揚水発電、大容量蓄電池装置による電力貯蔵が有効である。

揚水発電の中でも可変速揚水発電は、大容量蓄電池装置と同様、秒以下のオーダーから時間オーダーまでの広範囲な電力調整が可能のため、系統全体の需給調整能力の増強

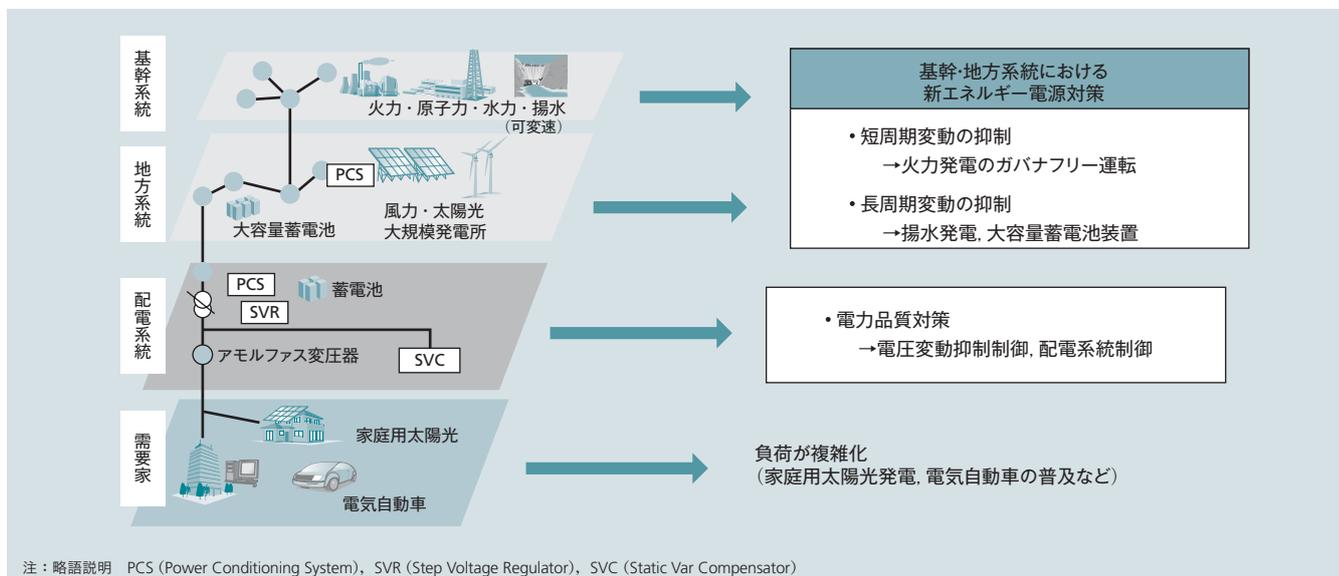


図8 | 次世代電力系統（スマートグリッド）

環境対応のため、自然エネルギー電源容量の比率上昇が予想される。電力系統の階層に応じた対策が必要となる。

にも寄与できる⁸⁾。今後、新エネルギー電源の容量比率上昇に応じて、揚水発電の変動抑制容量を新エネルギーに有効に活用できる仕組みを構築すること、あるいは既建設の揚水発電設備を可変速化するなどの取り組みが重要になる。

また、大容量蓄電池装置による電力貯蔵については、その容量を最小限にするために風況予測および需要予測に基づく蓄電池装置の運転計画が必要となる。日立グループは、電力貯蔵を用いた系統安定化技術、新エネルギーに対応した発電計画技術などの開発を進めている⁶⁾。

5. おわりに

ここでは、大型風力発電システムの仕様と適用事例、風力発電の大量導入に備えた取り組み、およびスマートグリッドへの展開について述べた。

日立グループは、発電から電力安定供給システムまでトータルソリューションを提供しており、自然エネルギー電源が大量に連系される次世代電力系統の実現に向けて貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 永尾：2MW大型風車「SUBARU80/2.0」の開発，風力エネルギー，Vol.30，No.1，19～23，日本風力エネルギー協会（2006）
- 2) 松信，外：大型風車「ダウンウィンド2 MW機」の開発—日本の環境に適合した風力発電システム—，日立評論，91，3，306～309（2009.3）
- 3) 上田，外：東日本大震災と風力発電機情報 その1-3，風力エネルギー，Vol.35，No.1，4～7，日本風力エネルギー協会（2011）
- 4) 一瀬，外：新エネルギー分野を開拓するパワーエレクトロニクス製品，日立評論，90，12，1,000～1,005（2008.12）
- 5) 五味，外：新エネルギー導入をサポートする電力貯蔵を用いた系統安定化技術，日立評論，92，3，234～237（2010.3）
- 6) 今家，外：次世代送配電ネットワーク構築に向けた対応技術，日立評論，92，4，314～317（2010.4）
- 7) 七原：風力発電の出力変動とその電力系統への影響，風力エネルギー，Vol.29，No.4，76～82，日本風力エネルギー協会（2005）
- 8) 名倉，外：地球温暖化防止に貢献する可変速揚水発電システム，日立評論，92，4，309～313（2010.4）

執筆者紹介



坂本 潔

1994年日立製作所入社，電力システム社 電機システム事業部 FH推進部 所属
現在，風力発電システムの取りまとめに従事
工学博士
電気学会会員



松信 隆

1983年日立製作所入社，電力システム社 電機システム事業部 FH推進部 所属
現在，風力発電システムの取りまとめに従事



佐藤 和彦

1982年日立製作所入社，電力システム社 日立事業所 電機プラントシステム部 所属
現在，風力発電システムの開発に従事



近藤 真一

1993年日立製作所入社，日立研究所 エネルギー・環境研究センター 電力流通研究部 所属
現在，自然エネルギー電源の運用制御技術の研究に従事
電気学会会員