

ダウンウィンド2 MW 風力発電システムの技術開発

Development of 2-MW Downwind Wind Power Generation System

稲村 慎吾

Inamura Shingo

清木 荘一郎

Kiyoki Soichiro

繁永康

Shigenaga Yasushi

吉田 茂雄

Yoshida Shigeo

世界各国で再生可能エネルギーの導入が進められている。特に風力発電システムは、国内においても、丘陵に設置できることや洋上への展開が期待されること、また、2012年7月に固定価格買取制度が開始されたことから、さらなる導入拡大が予想されている。

これまで日立製作所と富士重工業は、2 MW級ダウンウィンド型風力発電システムを共同開発してきた^{1), 2)}。2012年7月には、両社の風力発電システム事業を統合し、日立グループは、ダウンウィンド型風車技術と電力制御技術や系統連系・安定化技術の融合をより強固にすることで、発電から電力安定供給システムまでをトータルで提供できる体制を整えた。

1. はじめに

近年の世界的な環境意識の高まりを背景に再生可能エネルギーが注目されており、風力発電市場もその伸びが期待されている。GWEC (Global Wind Energy Council : 世界風力会議) のGlobal Wind Report 2011によれば、2011年の世界の総設備容量は237,669 MWに達し、前年比で約20%増加している。それに伴い、風車の大型化が進んでおり、特に洋上風車での大型化が著しい。

大型風車では、タワーよりも風上側にロータを配置したアップウィンド風車が一般的である。一方、風下側にロータを配置するダウンウィンド風車は、複雑地形における性能上の優位性などにより、有望視される技術である。日立グループは、富士重工業株式会社との風力発電システム事業の統合により、富士重工業で開発されてきたダウンウィンド風車を採用している。

ここでは、台風や複雑地形など厳しい環境に適したダウンウィンド2 MW風力発電システムの仕様と技術的な特徴について述べる。

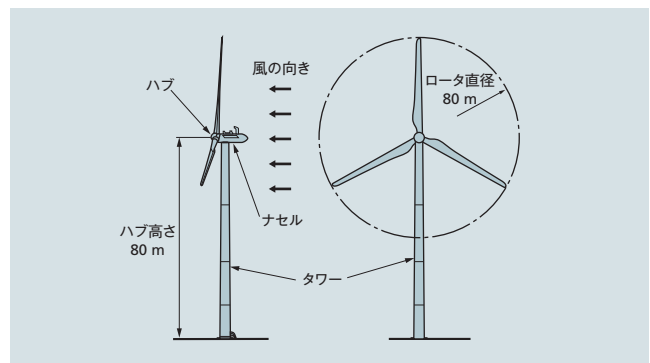


図1 | 2 MWのダウンウィンド風車

風下側にロータを配置するダウンウィンド風車の概要を示す。

表1 | 風力発電システムの主要仕様

2 MWダウンウィンド風力発電システムの主な仕様を示す。

| | |
|--------|------------------------------|
| 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 |
| 運転風速 | 4~25 m/s |
| チルト角 | -8° |
| 出力制御方式 | 可変速・ピッチ制御 |
| ヨー制御 | アクティブヨー(発電時) フリーヨー(暴風待機時) |

2. 風力発電システムの仕様

2 MWのダウンウィンド風車の概略図および風力発電システムの主要仕様を図1、表1に示す。

3. ダウンウィンド風車技術

3.1 複雑地形における発電量

ダウンウィンドロータは、ロータとタワー間のクリアランスを確保するため、負のチルト角を持つ(図2参照)。これによってロータ軸の角と吹上風角との差が小さくなるため、発電量が増加する³⁾。

出力曲線に対する吹上角の影響の補正法として、運動量

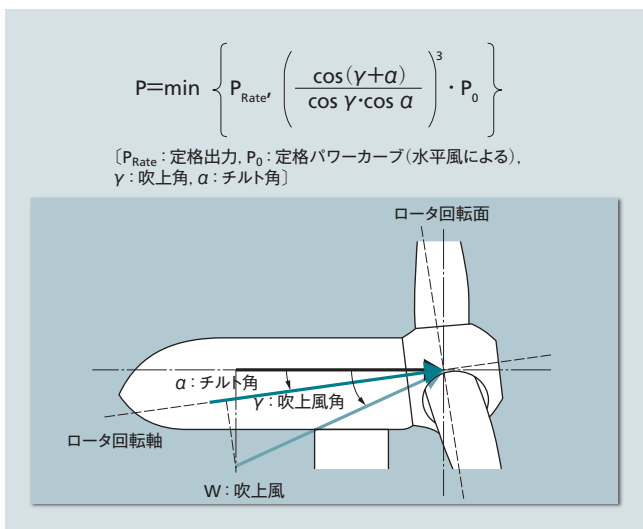


図2 | ダウンウィンドロータと吹上風の関係
ロータ軸の角と吹上風角との差が小さくなるため、発電量が増加する。

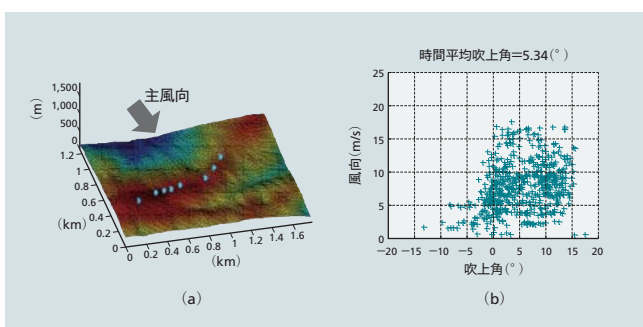


図3 | 複雑地形におけるモデル
モデル地形を (a) に、風速・吹上角分布を (b) に示す。各点は各風車の1時刻 (6時間ごと) である。

理論に基づいて同図に示す数式を誘導することができる⁴⁾。

複雑地形において1年間の設備利用率を計算した。吹上角に対する風速を図3に示す。

ダウンウィンド風車と出力曲線が同一であるアップウィンド風車(チルト角+5度, コーニング角0度)の設備利用率を計算した(図4参照)。計算の結果, ダウンウィン

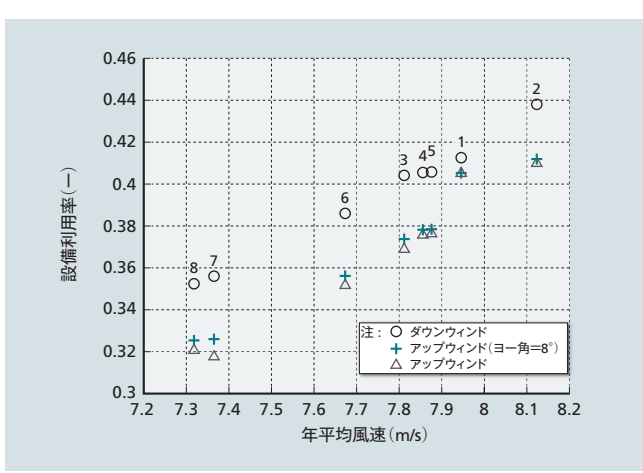


図4 | 年平均風速・設備利用率
ダウンウィンド風車は、アップウィンド風車に比べて約7%高い設備利用率(発電量)となった。

ド風車はアップウィンド風車と比べて約7%高い設備利用率(発電量)となった。

3.2 複雑地形におけるナセルヨー計測

発電時にナセルの方位制御(ヨー制御)を行うため、ナセルの頂部にナセルヨーセンサー(風向計)を設置している。一般的にナセルヨーセンサーは、アップウィンド風車ではロータやナセルの影響を強く受けるのに対し、ダウンウィンド風車ではほとんど影響を受けない(図5参照)。

CFD(Computational Fluid Dynamics: 数値流体力学)の例を図6に示す。アップウィンド風車では風上側のナセルとロータの干渉により、ヨーセンサーの位置に流入する風は大きく偏向する。それに対し、ダウンウィンド風車では、ほとんど干渉の影響を受けていない。これにより、ダウンウィンド風車の方が複雑地形におけるヨー計測精度が高く、設備利用率(発電量)の向上や疲労ダメージ低減の点で有利である⁵⁾。

3.3 ナセル風速計

風車の出力や疲労荷重は、発電中の乱流強度の影響を強く受けるため、乱流強度を精度よく計測できることが必要である。2 MWのダウンウィンド風車では、ナセルとロー

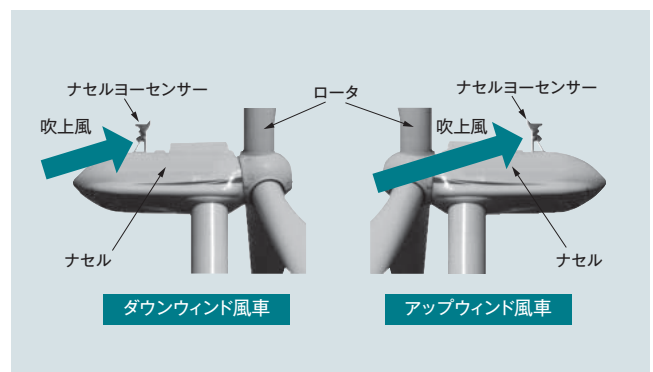


図5 | 吹上風とヨーセンサの位置関係
ダウンウィンド風車では、ナセルヨーセンサーがロータやナセルの影響を強く受けない。

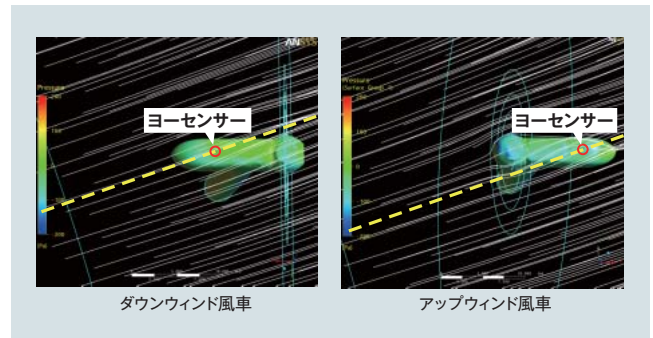


図6 | CFD(数値流体力学)によるナセルヨーセンサー周りの流線(吹上角16度, ヨー角16度)
ダウンウィンド風車では、ナセルとロータの干渉の影響をほとんど受けていない。

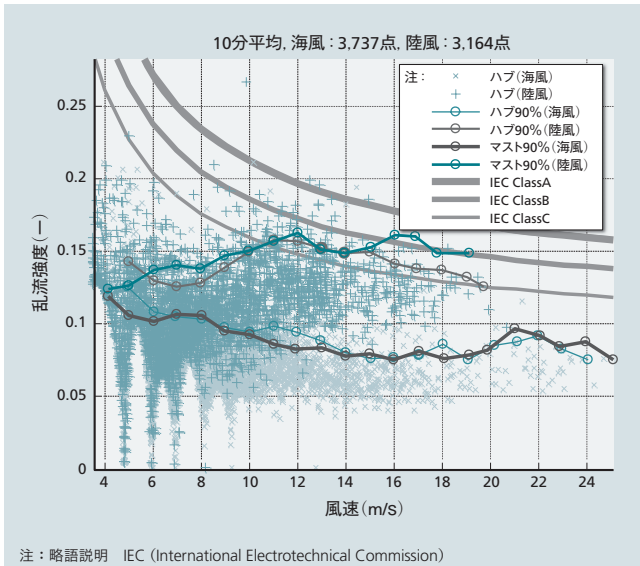


図7 | マスト乱流強度とナセル乱流強度(補正)比較
ナセル風速計による推定値は、風況マストによる観測結果とよく一致している。

タの風上側にナセル風速計を配置しているため、タワー振動に関して適切な補正を加えることにより、乱流強度を推定することができる⁶⁾。風況マストによる観測結果と、ナセル風速計による推定値を図7に示す。陸風と海風の乱流強度の大小や風速に対する効果など、よく一致していることが確認できる。

3.4 フリーヨー暴風待機

フリーヨーは、風見鶏のように自然と風下にロータを向けるナセル制御方法であり、ダウンウィンド風車の長所の一つである(図8参照)。特に日本においては、暴風中に風車にかかる荷重の低減に有効であり、2 MWのダウンウィンド風車では暴風待機時にはフリーヨーを採用している。

風力発電機設計ツールGH Bladed^{※)}、⁷⁾によるシミュ

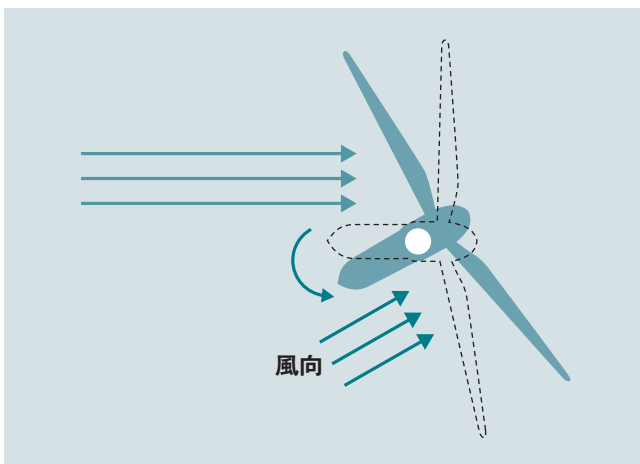


図8 | フリーヨー
ダウンウィンド風車では、風見鶏のように自然と風下にロータを向ける効果がある。

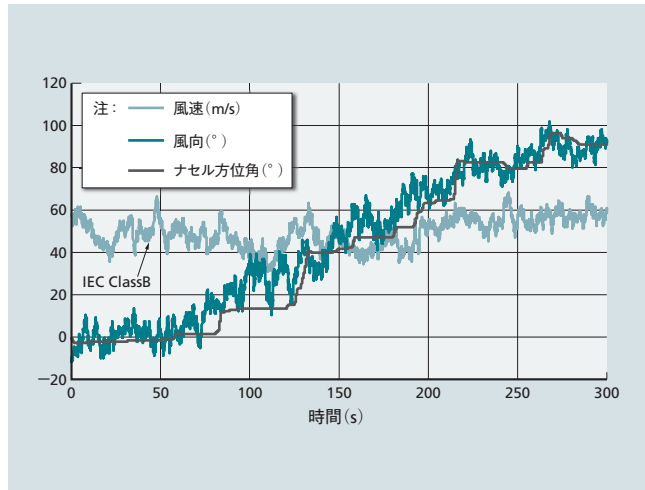


図9 | 風速・風向とナセル方位角(フリーヨー)
フリーヨーによってナセルが風向変化に追従している。

レーション結果を図9に示す。シミュレーションでは、平均風速50 m/sの変動風を、風向0度から90度まで300秒の間で変化させたときのナセルの追従を計算した。その結果、フリーヨーにより、ナセルが風向変化に追従していることを確認した。

3.5 タワーシャドウモデル

ダウンウィンド風車では、ロータの旋回領域がタワーの風下に位置するため、ロータが1回転するごとにタワーの後流(Wake)を通過する。このとき、タワー後流とロータとが空力干渉することになるが、これをタワーシャドウ効果と呼ぶ。ダウンウィンド風車では、このタワーシャドウが疲労ダメージに影響するため、精度のよい計算が要求される。しかし、従来のタワーシャドウモデルはCFDや風洞試験によって孤立タワー後流のプロファイルモデル化し、それをロータへの流れ場として与えるものであり、ブレードによるタワーシャドウに対する空力干渉は考慮されていなかった。

そこで、2 MWダウンウィンド風車開発時に、CFDとBEM (Blade Element and Momentum Theory: 翼素運動量理論)によるシミュレーションにより、この干渉の影響を考慮した荷重等価モデルを考案した(図10参照)。このモデルの妥当性は、運転試験でのロータ主軸の曲げを比較することで確認した(図11参照)。また、従来の孤立タワーモデルでは、タワーシャドウが過剰に推算されていることも確認でき、適正な荷重レベルまで低減して2 MWダウンウィンド風車を開発することが可能になった^{8), 9)}。

※) GH Bladedは、Garrad Hassan and Partners Limitedの製品名称である。

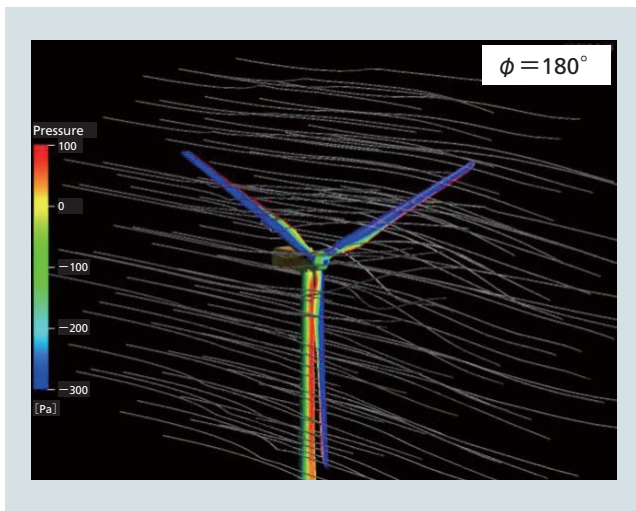


図10 | 翼のタワー後流通過時のCFD

ブレードによるタワーシャドウに対する空力干渉を考慮し、開発時にCFD (Computational Fluid Dynamics)によってシミュレーションした結果を示す。

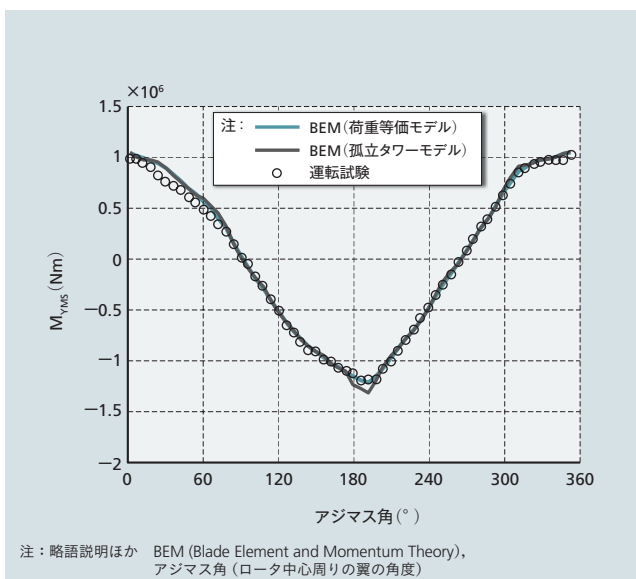


図11 | アジマス角に対する主軸曲げ (風速: 13 m/s)

運転試験でのロータ主軸の曲げを比較し、荷重等価モデルの妥当性を確認した。

4. おわりに

ここでは、台風や複雑地形など厳しい環境に適したダウンウィンド2 MW風力発電システムの仕様と技術的な特徴について述べた。

風力発電システム事業の統合は、ダウンウィンド型風車技術と電力制御技術や系統連系・安定化技術のより強固な融合につながる。日立グループは、今後も発電から電力安定供給システムまでのトータルなソリューションの提供に向けて取り組んでいく。

参考文献

- 1) 松信, 外: 大型風車「ダウンウィンド2 MW機」の開発 —日本の環境に適した風力発電システム—, 日立評論, 91, 3, 306~309 (2009.3)
- 2) 坂本, 外: 大型風力発電システムとスマートグリッド, 日立評論, 93, 8, 550~553 (2011.8)
- 3) S. Yoshida: Performance of Downwind Turbines in Complex Terrains, Wind Engineering, Vol. 30, No. 6, 2006, pp. 487-501 (2006)
- 4) 吉田, 外: 複雑地形における推算精度を向上させる三次元的発電量解析法, 風力エネルギー, Vol. 74, pp. 75~83, 日本風力エネルギー学会 (2005.6)
- 5) S. Yoshida: Nacelle Yaw Measurement Downwind Turbines in Complex Terrain, Windtech International (2008.11)
- 6) 清木, 外: ダウンウィンド風車のナセル風速計による乱流強度計測, 風力エネルギー, Vol. 87, pp. 140~145, 日本風力エネルギー学会 (2008.11)
- 7) Garrad Hassan and Partners: Bladed for Windows (2004)
- 8) S. Yoshida, et al.: Load Equivalent Tower Shadow Modeling for Downwind Turbines, EWEC (2007)
- 9) 吉田, 外: ダウンウィンド風車の荷重等価タワーシャドウモデリング, 日本機械学会論文集, 第73巻, 第730号, B編, p.1273~1279 (2007.6)
- 10) 清木, 外: SUBARU80/2.0, 2MWダウンウィンド風車の超低周波騒音測定, 日本機械学会, 第12回動力・エネルギー技術シンポジウム (2006.6)

執筆者紹介



稲村 慎吾

2003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・設計に従事
博士 (工学)
電気学会会員



繁永康

2001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 応用エネルギーシステム研究部 所属
現在, 風力発電システムの開発・研究に従事
日本機械学会会員



清木 荘一郎

2005年富士重工業株式会社入社, 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
2012年より富士重工業株式会社から出向中
現在, 風力発電システムの開発・設計に従事



吉田 茂雄

1990年富士重工業株式会社入社, 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
2012年より富士重工業株式会社から出向中
現在, 風力発電システムの開発・設計に従事
博士 (工学)
日本風力エネルギー学会会員, 日本太陽エネルギー学会会員, 日本機械学会会員, ターボ機械協会会員