

壱岐芦辺風力発電所リプレースを目的とした数値風況診断*1

Large-eddy simulation of airflow over complex terrain aiming at Update construction of wind turbine

○川島 泰史*2, 内田 孝紀*3, 古賀 和宏*4, 中原達夫*5, 丸米真司*6

Yasushi KAWASHIMA, Takanori UCHIDA, Kazuhiro KOGA, Tatsuo NAKAHARA, and Shinji MARUKOME

1. 緒言

近年の風力発電設備は、山岳部などの複雑地形上に建設される風力発電所が増加し、風車ブレードの破損等の事故が増加傾向にある。こうした近年の風車事故の増加傾向を受けて、国は事故防止対策の検討を行い、平成29年4月1日より、単機出力500kW以上の風力発電設備を設置する発電所にも定期安全管理審査制度を導入する電気事業法の改正が行われた。

この様に国の風力発電設備に対する安全規制が強化される中、著者らの最近の研究から、風車の事故に対して、地形性乱流が強く関係していることが指摘されている^{1)~3)}。今後、日本国内の山岳部などの複雑地形に設置された風車の事故や故障を低減するため、高精度な数値風況面からの故障分析手法の確立が保守や運用管理に必要である。

このような状況を受け、我々の研究グループでは、「実地形版RIAM-COMPACTソフトウェアによる精密な数値風況シミュレーション(数値風況診断)」を各所に展開してきている^{1)~5)}。今回の論文では、長崎県壱岐市芦辺町壱岐芦辺風力発電所リプレースにおける、風車建設計画位置を対象に、ラージ・エディ・シミュレーション(LES)に基づいた数値風況シミュレーション(数値風況診断)を実施し、リプレース前に計測した実測データから特定された卓越風向である北東風に着目し、最適配置のために行った風況シミュレーション結果と運用開始後の、運転データ(実測データ)との比較の結果、最適配置を行う上で数値風況シミュレーションが有意であることが分った。

2. 壱岐芦辺風力発電所の概要

㈱なかはら殿の協力の下、2000年3月稼働の既設風車2基(Lagerwey製750kW×2基)のリプレース工事のため、風車建設計画位置の数値風況診断を実施し、その座標位置に風車を建設。2019年4月に運用を開始し、現在も順調に稼働を続けている。本報では、風車建設計画位置の風況診断結果の内、当該地点の卓越風向である北東風の結果について実測データを基に報告する。



図1 現場の写真
(著者が2019年5月24日撮影)

風車の概要	
定格出力:	1,990kW
風車の高さ:	78m (地面～ハブ中心)
翼(ブレード)の 直径:	86m
風車クラス(疲労)	: GL 2A

3. 運転データ解析 (実測データ解析)

風車のナセル上に設置された風向風速計データ収録期間(2019年6月1日～2019年9月30日)において、16方位別に10分間の風速・風向データを解析した。その結果、3ヵ月間の平均風速は5.9m/sで、最も出現率が高い風向は北東風で17.5%、平均風速は7.4m/sであった(表1、図2参照)。北東風が連続して発生した2019年7月9日0時から23時の風速・風向・電力量を解析した結果、性能曲線(パワーカーブ)通りの適正な発電量が発生しており、安定して運転していることが分った(図3参照)。

また、北東風が連続して発生した際、剥離流(地形性乱流)の影響による風向変動は小さく、これはナセルが風向に追従して運転していることが分った(図3参照)。

*1 令和元年12月5日「第41回風力エネルギー利用シンポジウム」にて講演

*2 会員、西日本技術開発㈱(〒810-0004福岡市中央区渡辺通2-1-82 電気ビル共創館7F、連絡先 : y-kawashima@wjec.co.jp)

*3 会員、九州大学応用力学研究所(〒816-8580春日市春日公園6-1、連絡先 : takanori@riam.kyushu-u.ac.jp)

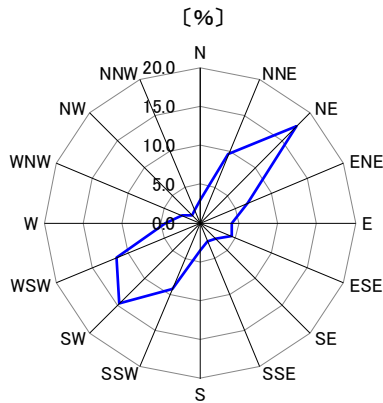
*4 会員、西日本技術開発㈱(〒810-0004福岡市中央区渡辺通2-1-82 電気ビル共創館7F、連絡先 : kaz-koga@wjec.co.jp)

*5 非会員、株式会社なかはら(〒811-5463壱岐市芦辺町箱崎中山触828-1)

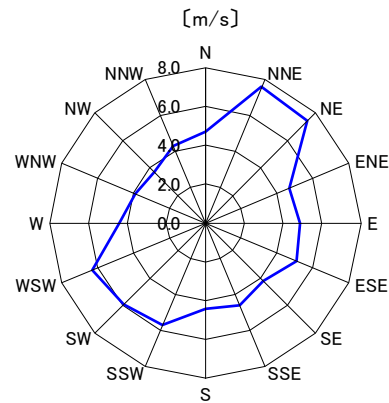
*6 非会員、株式会社なかはら(〒811-5463壱岐市芦辺町箱崎中山触828-1、連絡先 : s.marukome@nakahara-iki.co.jp)

表1 出現率および方位別平均風速, ハブ高さ78m
(解析対象期間:2019年6月1日0時00分~2019年8月30日23時50分)

高度	項目	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	静穏	計
78m	出現率(%)	3.0	9.6	17.5	6.7	4.1	4.4	2.9	2.6	3.5	9.2	14.6	11.6	4.5	2.5	1.4	1.8	0.0	100.0
	平均風速(m/s)	4.7	7.6	7.4	4.7	4.9	5.1	4.2	4.6	4.4	5.7	5.9	6.3	4.4	3.9	3.7	4.3	—	5.9

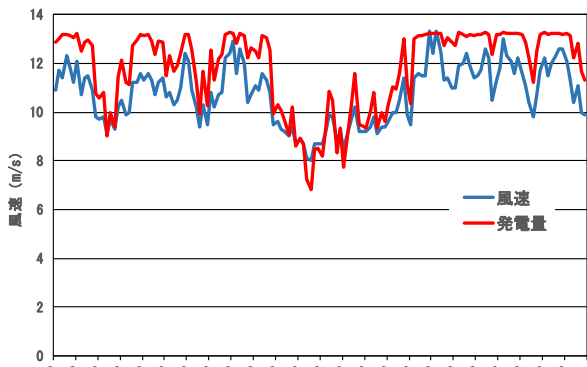


(a) 出現率

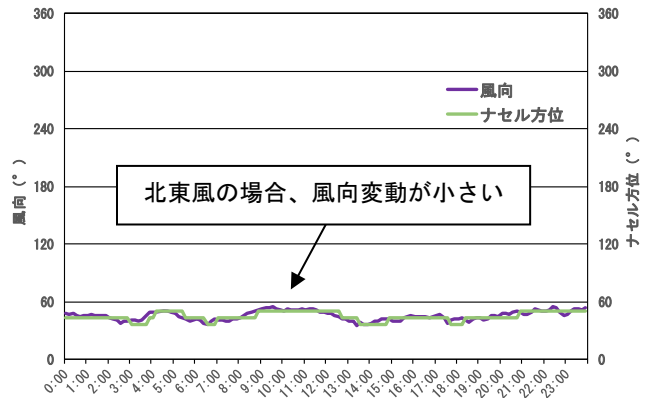


(b) 方位別平均風速

図2 出現率(%)・方位別平均風速(m/s), ハブ高さ78m
(解析対象期間:2019年6月1日0時00分~2019年8月30日23時50分)



(a) 北東風時の風速・発電量



(b) 北東風時の風向・ナセル方位

図3 風速(m/s)・発電量(kWh)及び風向(°)・ナセル方位(°)
〔実績データ(10分値)、ハブ高さ78m、2019年7月9日0:00~23:50〕

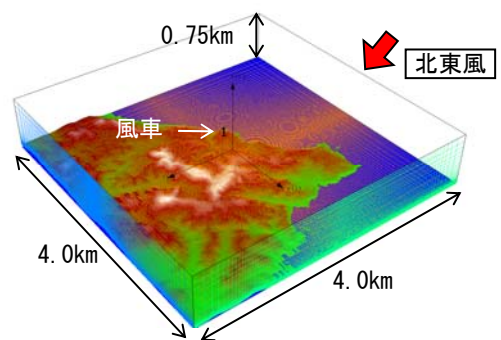
4. 数値風況シミュレーション条件の概要

リプレース工事のために事前に行われた風況マストによる実測データを解析した結果、主風向は北東風であった。

本報では、リプレース工事のための最適配置を目的として、主風向である北東風に着目し、数値風況シミュレーションを実施した結果を報告する。

数値風況シミュレーションでは、実地形版 RIAM-COMPACTを用いた¹⁻³⁾。

図4に示すように、風況シミュレーション条件を設定し、地形標高データは、国土地理院の空間解像度10mの標高データを用いた。



- ・メッシュ数:201×201×51点(約200万点)
- ・流入風速分布:N=7.0に従うべき乗則分布
- ・水平方向の最小メッシュ幅:8.52m(不等間隔)
- ・鉛直方向の最小メッシュ幅:0.5m(不等間隔)

図4 北東風の風況シミュレーション条件の概要

5. 計算結果の考察

ここでは、順調な稼働状況が確認された北東風の場合の地形性乱流の影響について考察を行う。

図5には風車に進入する主流方向風速の分布(平均場)を示す。この図を観察すると、北東風が吹いた場合、剥離流(地形性乱流)による減速の影響はなく風車ブレード面内で安定した風速であることがRIAM-COMPACTの解析結果からも明らかになった。

図6は、北東風時の風車立地点における主流方向u成分の風速の鉛直分布を示す。解析の結果、ブレード面内において均一な速度となっていることが分った。

図7は、北東風時の風車立地点における標準偏差3成分の鉛直分布を示す。横軸に示す各標準偏差は流入境界面の最大標高位置における風速U(=10m/s)で正規化した、乱流評価指標³⁻⁵⁾を示している。

図8は、北東風時の水平断面内の角度変化を示す。解析の結果、風車ハブ高さにおいて風向変動が非常に小さいことが分った。

図7により、北東風時の標準偏差の(x)成分はブレード受風面において乱流評価指標の閾値(0.2)を大きく下回っているのが分る。

本報では、地形の凹凸を発生起源として生成された地形性乱流の気流変動のみを評価するため、流入気流

が有する変動成分(風の息)は考慮していない。

風力発電施設の風条件(乱流)の扱いとして、電気事業法に基づく風力発電施設に関する技術基準を定める省令(風技省令)の第4条で主流方向、主流直交方向、鉛直方向の3方向の乱流を考慮した現地風条件を踏まえて「風圧」を計算することが規定されている。よって、本報では、数値風況シミュレーションの結果から得られた、乱流評価指標3成分についても確認を行った。

表2には、北東風時の風車立地点におけるハブ中心の乱流評価指標3成分を示す。北東風の場合、乱流評価指標(x)成分は0.02となっている。また、北東風時の(y)成分及び(z)成分も閾値(0.2)以内となっており、北東風時の風車ブレード耐久性への影響は小さいと考えられる。

表2 風車立地点におけるハブ中心(地上高78m)の乱流評価指標³⁻⁵⁾

風向	風速標準偏差(m/s)/流入境界面風速		
	主流方向(x)の成分	主流直交方向(y)の成分	鉛直方向(z)の成分
北東風	0.05	0.11	0.03

注) 乱流評価指標 = σu (風車ハブ高さ風速標準偏差) / U (流入境界面風速=10m/s)

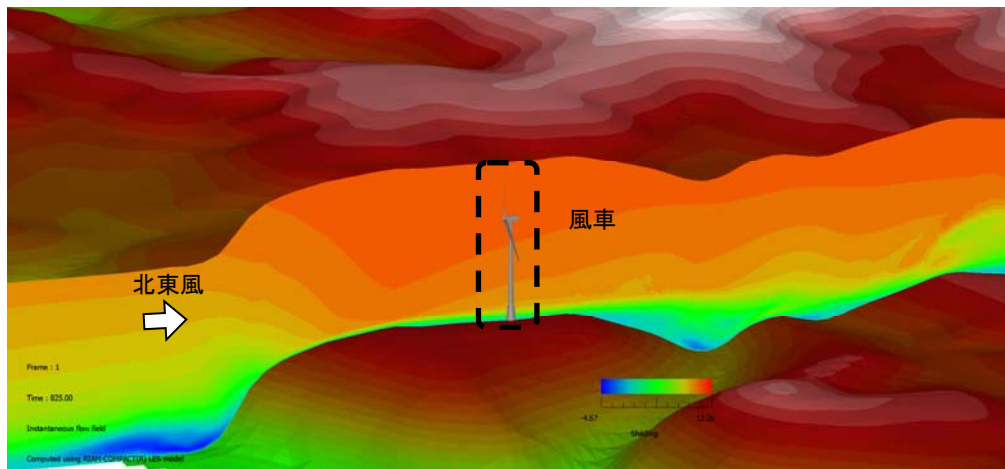


図5 北東風時、風車の受ける主流方向(x)の風速分布(平均場)

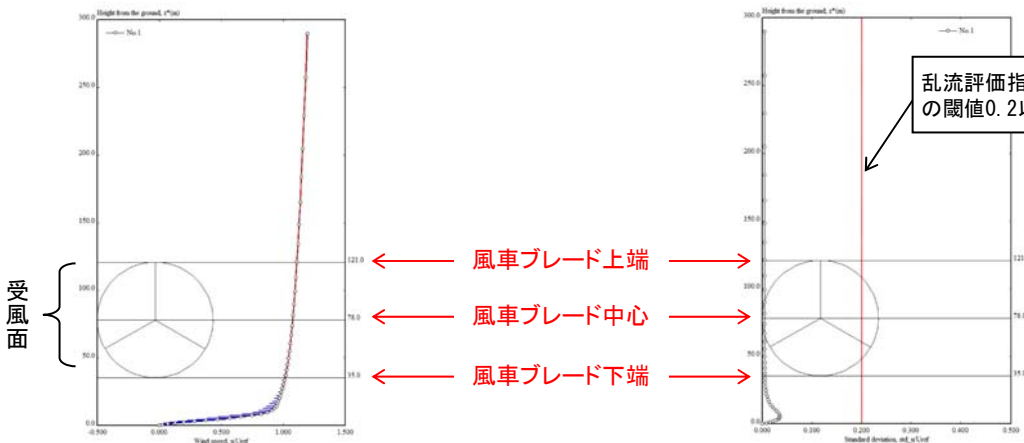


図6 北東風時・風車立地点における主流方向(x)成分の平均風速の鉛直分布、赤色の線は平均風速

図7 北東風時、風車立地点における主流方向(x)成分の乱流評価指標の鉛直分布

水平断面内の角度(°)

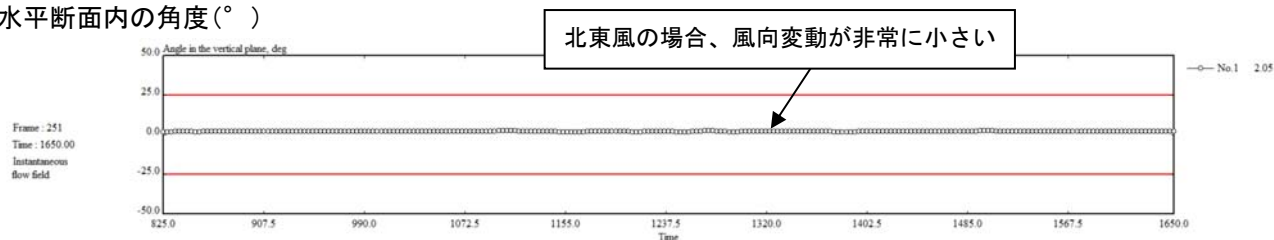


図8 風車ハブ高さにおける主流方向(x)の変動成分、水平断面内の角度の時間変化、(図の赤色の線は±25度の範囲を示す。水平断面内の角度の定義は図9参照)

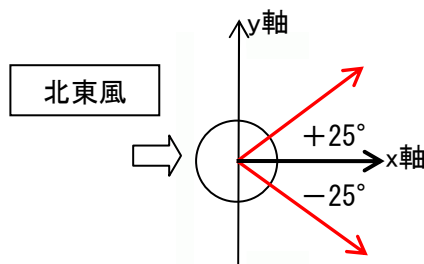


図9 水平断面内の角度の定義

6. 結言

(株)なかはら殿が実施した、リプレース工事において長崎県壱岐市芦辺町に位置する壱岐芦辺風力発電所(2019年4月より運用開始)を対象に、運転データ解析(実測データ解析)およびラージ・エディ・シミュレーション(LES)に基づいた高解像度数値風況シミュレーションを実施した。その結果、北東風が発生した場合、風車立地地点では剥離流(地形性乱流)による風速の減速は確認されず、風車ブレード面内では安定した風速であること、風向変動が小さいことがRIAM-COMPACTの解析結果から明らかになった。また、運転データ(実測データ解析)の結果、主風向である北東時に性能曲線(パワーカーブ)に対応した発電量が発生しており安定して運転していることが分った。さらに、風向変動は小さく、ナセルが風向に追従していることが分った。最後に乱流評価指標³⁻⁵⁾3成分が「0.2以内」であることから風車ブレードの耐久性への影響が小さいことが示された。

今回の検証結果を踏まえ、リプレース工事の最適配置を目的として行った、数値風況シミュレーションから出力される「平均風速の鉛直分布」、「乱流諸量の鉛直分布」及び「水平断面内の角度の時間変化」などを用いることが、安定して発電する風車立地地点の選定に有意であることが確認された。国の定期事業者検査においては、事故防止のため、ブレードやタワーなどの検査対象部位毎にボルトナット検査などの実施が義務付けられている。このため、特に山岳部などの複雑地形上に建設された風車立地地点では、気流性状を詳細に把握することが、風力発電設備の予防保全や安全管理に繋がると考えられる。今後、風車構成機器の疲労強度や寿命などを把握・予測するため、RIAM-COMPACTから出力され

る3次元風況データと風車運転データとの関係性を明らかにし、高度な風車故障分析手法の確立を目指す予定である。

謝辞

本報告で対象とした壱岐芦辺風力発電所地点において、(株)なかはら殿で取得された実測データを使用させて頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 内田孝紀、大屋裕二、LES技術を用いたウィンドファーム風況診断—熊本県阿蘇車帰風力発電所を例として—、土木学会論文集A2(応用力学、Vol.67、特集号、2011
- 2) T.Uchida and Y.Ohya, Latest Developments in Numerical Wind Synopsis Prediction Using the RIAM-COMPACT® CFD Model-Design Wind Speed Evaluation and Wind Risk (Terrain-Induced Turbulence) Diagnostics in Japan, Energies, 4(3), pp.458-474, 2011
- 3) 川島泰史、内田孝紀: 地形性乱流が風車構造強度に与える影響に関する研究(非定常乱流モデルLESによる地形性乱流診断)、日本風力エネルギー学会論文集、Vol.41、No.2、pp.17-24、2017
- 4) 川島泰史、内田孝紀他4名: 非定常乱流モデルLESによる地形性乱流診断と安全管理への応用、日本風力エネルギー学会主催、第40回風力エネルギー利用シンポジウム、pp.459-462、2018
- 5) T.Uchida and Y.Kawashima, New Assessment Scales for Evaluating the Degree of Risk of Wind Turbine Blade Damage Caused by Terrain-Induced Turbulence, energies 2019,12