

風車の運転方法の検討を目的とした リアムコンパクトによる数値風況診断^{*1}

Large-eddy simulation of airflow over complex terrain aiming at operating method examination of wind turbines

○川島 泰史^{*2}, 内田 孝紀^{*3}, 荒屋 亮^{*4}, 西田 利彦^{*5}

Yasushi KAWASHIMA, Takanori UCHIDA, Ryo ARAYA, and Toshihiko NISHIDA

1. 緒言

実地形版RIAM-COMPACT[®]ソフトウェアは、九州大学発ベンチャー企業の(株)リアムコンパクトを中心に西日本技術開発(株)、(株)環境GIS研究所で開発が進められている。本ソフトウェアのコア技術は、著者の一人である内田博士(九州大学・准教授)を中心に開発され、(株)産学連携機構九州(九大TLO)から(株)リアムコンパクトが独占的ライセンス使用許諾を受けている。

最近になり、複雑地形上に建設されたウインドファームにおいて、稼働率が当初の予想を下回る、すなわち、発電出力が著しく悪い風車や、風車内外の故障(例えば、ヨーモーターやヨーギアの故障、風車ブレードのクラックなど)の問題が顕在化している。この主たる原因は、風車直近の僅かな地形起伏の変化が起源となり、そこから発生する風の乱れ(地形乱流)であると考えられる。

このような状況を受け、我々のグループでは、実地形版RIAM-COMPACT[®]ソフトウェアによる精密な数値風況診断(ウインドリスク評価)を実施し、効率的な風車配置検討を実施している¹⁾。本報では、九電工新エネルギー(株)の協力の下、串木野れいめい風力発電所(平成24年12月より運転を開始)の風車10号機の運転方法の検討を目的とした数値風況診断を実施したので、その結果について報告する。

2. 実地形版RIAM-COMPACT[®] ソフトウェアによる数値風況診断

2.1 風力発電所の概要とナセル風向・風速計 の気流性状解析(実測データ解析)

先に記述したように、複雑地形上に建設されたウインドファームにおいて、稼働率が当初の予想を下回る、すなわち、発電出力が著しく悪い風車や、風車内外の故障の問題が顕在化している。本報で対象とした串木野れいめい風力発電所も風の乱れ(地形乱流)による影響が指摘されている。

本報では、九電工新エネルギー(株)の協力の下、串木野れいめい風力発電所(平成24年12月より運転を開始)を対象に高解像度のLES乱流シミュレーションを実施した。本発電所は鹿児島県いちき串木野市羽島地区に

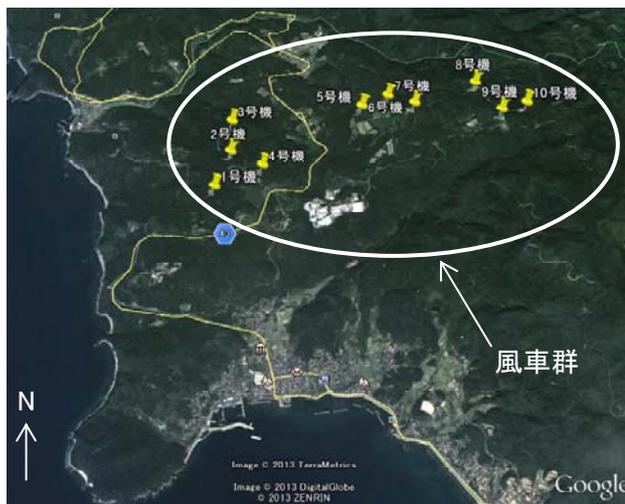


図1 串木野れいめい風力発電所周辺の位置
(Google Earthによる)

表1 串木野れいめい風力発電所の概要

	1号機～10号機
風車メーカー、出力	日立製作所 HTW2.0-80
風車の高さ (地面～ハブ中心)	60m
翼(ブレード) の直径	80m



図2 弁財天山(標高519m)と9号機と10号機の位置関係

位置する(図1を参照)。表1には風力発電所の概要を示す。

9号機と10号機を対象として、2013年1月～12月の月別平均風速(実測データ)を確認した結果、6月と9月に

^{*1} 平成26年11月28日「第36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(株)(〒810-0003福岡市中央区春吉1-7-11 スペースキューブビル3F、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、(株)環境GIS研究所(〒814-0001福岡市早良区百道浜2-1-22 福岡SRPセンタービル308、連絡先 : araya@engisinc.com)

^{*5} 非会員、九電工新エネルギー(株)(〒810-0005福岡市中央区清川3-26-19 ベルファース天神南201、連絡先 : t-nisida@kyudenko.co.jp)

において明確な平均風速の差異(10号機が低い)が確認された。また、実測データを用いて6月と9月の風向別出現頻度を比較すると、両地点ともに東風の出現率が高いことが示された。これは10号機東側約300mに位置する弁財天山(標高519m)の影響と推察された(図2と表2を参照)。よって、弁財天山(標高519m)による影響を詳細に調査するため、実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアを用いて数値風況診断を実施した。

表2 弁財天山(標高519m)と9号機と10号機の位置関係

風車No.	標高	ブレード先端高度	離隔距離
9号機	418m	518m	約300m
10号機	414m	514m	約550m

2.2 計算条件の概要

図3に示すように、本研究における計算領域は、主流方向(x)、主流直交方向(y)、鉛直方向(z)方向に10.0(x)×3.0(y)×2.6(z)kmの空間を有する。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。計算格子数は各方向に401(x)×121(y)×41(z)点の合計約200万点である。計算領域中の最大標高は523.0m、最小標高は0.0mである。x方向およびy方向の格子幅は、風車10号機周辺で密になるように不等間隔に分布させた。z方向の格子幅においても不等間隔とし、地表面付近に滑らかに引き寄せた。水平方向の最小格子幅は9.3m、鉛直方向の最小格子幅は1.6mである。

本研究において設定した風向は、9号機と比較して風速の差異が確認された東とした。境界条件に関して、流入境界面には、ベキ指数(N=7)に従う速度プロファイルを与えた。側方境界面と上部境界面は滑り条件、流出境界面は対流型流出条件とした。地面には粘着条件を課した。ここで、本計算における代表スケールの取扱いは図4に示す通りである。hは計算領域の標高差h、 U_{in} は流入境界面の最大標高における風速、 ν は動粘性係数である。時間刻みは $\Delta t = 2 \times 10^{-3} h / U_{in}$ とした。

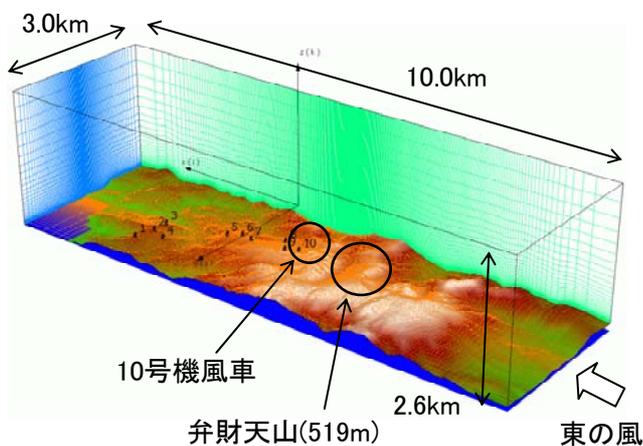


図3 計算領域の鳥瞰図

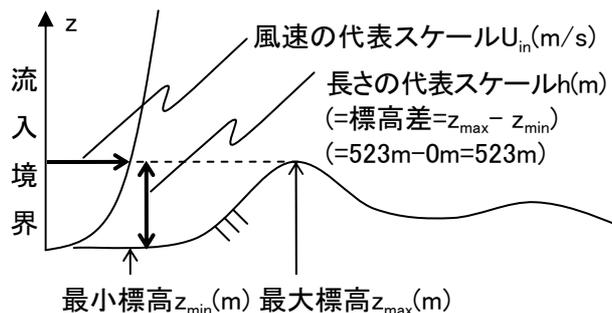


図4 本計算における代表スケールの取扱い

2.3 計算結果と考察

本報では、運転成績の最も良い9号機と、東の風の場合に地形乱流の影響が大きいと推測される10号機の比較に主眼を置いて議論を進める。

図5には、平均風速の鉛直分布図を示す。平均化時間は、図7の横軸に示す無次元時間200~300である。図6には、これに対応した各風車立地点における主流方向風速成分に対する標準偏差の鉛直分布図を示す。図5および図6に示す結果は、時間平均型乱流モデルRANSの計算結果と見ることも出来る。両者の結果を観察すると、風車周辺には地形乱流を示す速度プロファイルの極端な欠損などは一切存在しない。すなわち、これらの結果から風車周辺の風況場を評価すると、風力発電に適切な風況場である、と結論付けられる。

図7には、風車ハブ高さ(地上高60m)における水平断面および鉛直断面内の気流の進入角度の時間変化を示す。図8には角度の定義を併せて示す。図7における軸は無次元時間を示すが、実風速 $U_{in} = 5m/s$ と仮定すると、実スケール換算で約40分間に相当する。図7に示す時刻歴波形を観察すると、10号機では25度を超える吹き上げの風や、吹き下げの風が多数発生していることが見て取れる。図7で得られた局所的な風向の変化は、東風の場合に10号機風車の上流に位置する弁財天山(標高519m)が影響していると推測された(図9を参照)。

図9は10号機風車を通る鉛直断面内の主流方向速度成分の分布図を示す。この図を観察すると、東風が吹いた場合、10号機の上流に位置する弁財天山から剥離流(地形乱流)が形成され、10号機風車はこの影響を強く受けていることが明確に理解される。なお、紙面の都合上ここでは割愛したが、瞬間場における10号機風車の立地点における気流の鉛直分布図を見ると、9号機風車と比較して、風車受風面内(風車のハブの中心からブレード下端の間)で大きな速度欠損が発生していることも確認された。

一般的に、風車の疲労強度、すなわち、耐久性の評価には速度シアの平均値が使用される。しかしながら、本研究で対象にした10号風車位置では、過渡的に大きく速度欠損した速度シアが頻繁に確認され、これに伴い、風車機器の金属疲労を想定より早く進行させているのではないかと推測される。この非常識的な速度シアの発生は、風車タワーの振動問題、あるいは、ヨーギア等の疲労強度の問題などと関連して今度、より詳細に研究を進める予定である。

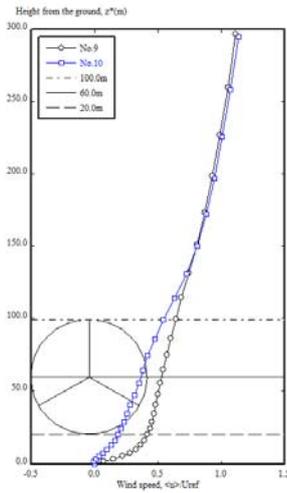


図5 風車立地点における平均風速の鉛直分布、平均化時間は図7の横軸に対応

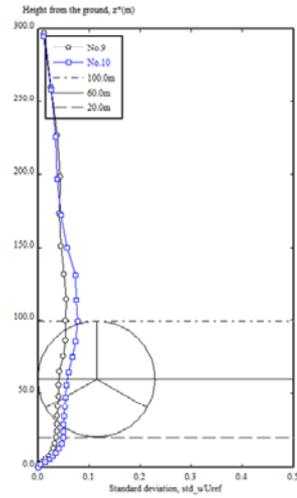
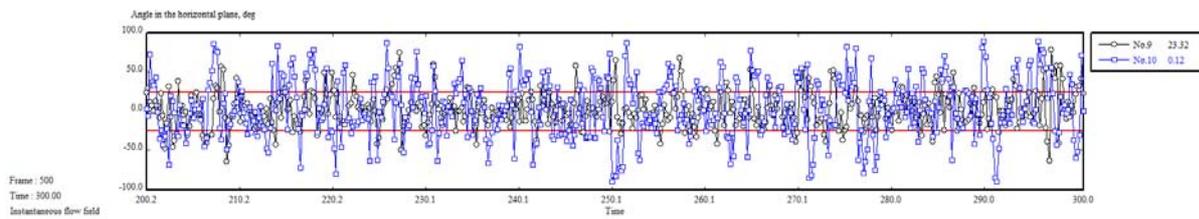


図6 風車立地点における主流方向風速成分に対する標準偏差の鉛直分布、平均化時間は図7の横軸に対応

水平断面内の角度(°)



鉛直断面内の角度(°)

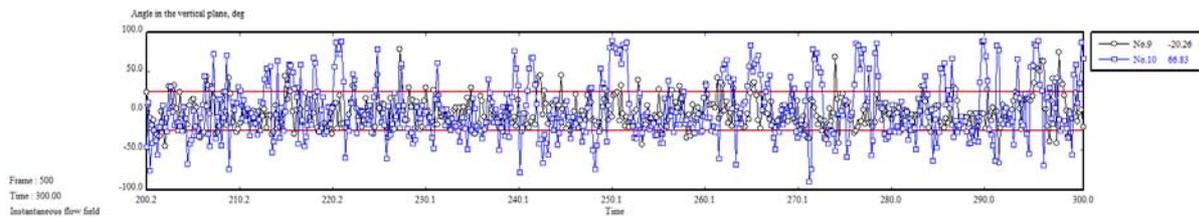


図7 風車ハブ高さにおける主流方向(x)の変動成分、水平および鉛直断面内の角度の時間変化、実風速 $U_{in}=5\text{m/s}$ と仮定すると、実スケール換算で約40分間に相当する。(図の赤色の線は ± 25 度の進入角度の範囲を示す。)

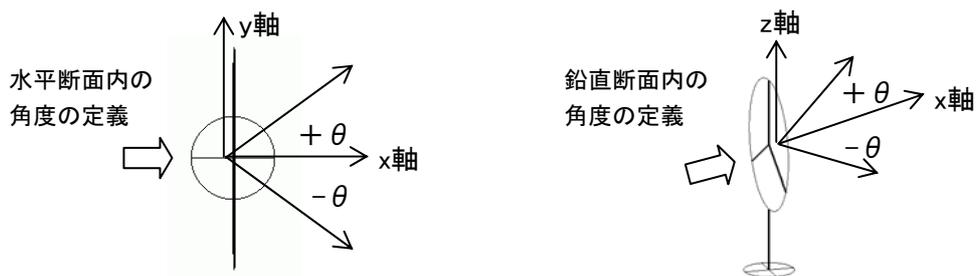


図8 水平及び鉛直断面内の角度の定義

3. 結 言

鹿児島県いちき串木野市羽島地区に位置する九電工新エネルギー(株)の串木野れいめい風力発電所(平成24年12月より運転を開始)を対象に実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアを用いて高解像度のLES乱流シミュレーションを実施した。

その結果、東風が発生した場合、10号機の風車上流に位置する弁財天山(標高519m)が起源となり、そこから風の乱れ(地形乱流)が発生し、10号機はその影響を強く受けていることが示された(図7および図9の結果は10号機風車位置において水平断面内(ヨー方向)の気流の時間的・空間的な変動が大きいことに対応)。

現在、10号機風車については、数値風況面の考察結果と「ヨー誤差過大」のアラーム頻度が多かったことから予防保全を目的に、東風が連続して吹くことが予測された場合、風車を停止する運転が導入されている。今後、風車機器の疲労強度などに対して、RIAM-COMPACT®から出力される各種物理量による評価指標を定量化するなど、運転方法の詳細調査を行う予定である。

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) 内田孝紀 他4名: 白滝山ウィンドファームの風車ブレード損傷事故の原因解明—コンピュータシミュレーションによるアプローチ—, 風力エネルギー協会誌, Vol.34, 通巻.96, pp.77-84 (2011)
- 4) T.Uchida and Y.Ohya : Micro-siting Technique for Wind Turbine Generator by Using Large-Eddy Simulation, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol.96, pp.2121-2138, (2008)

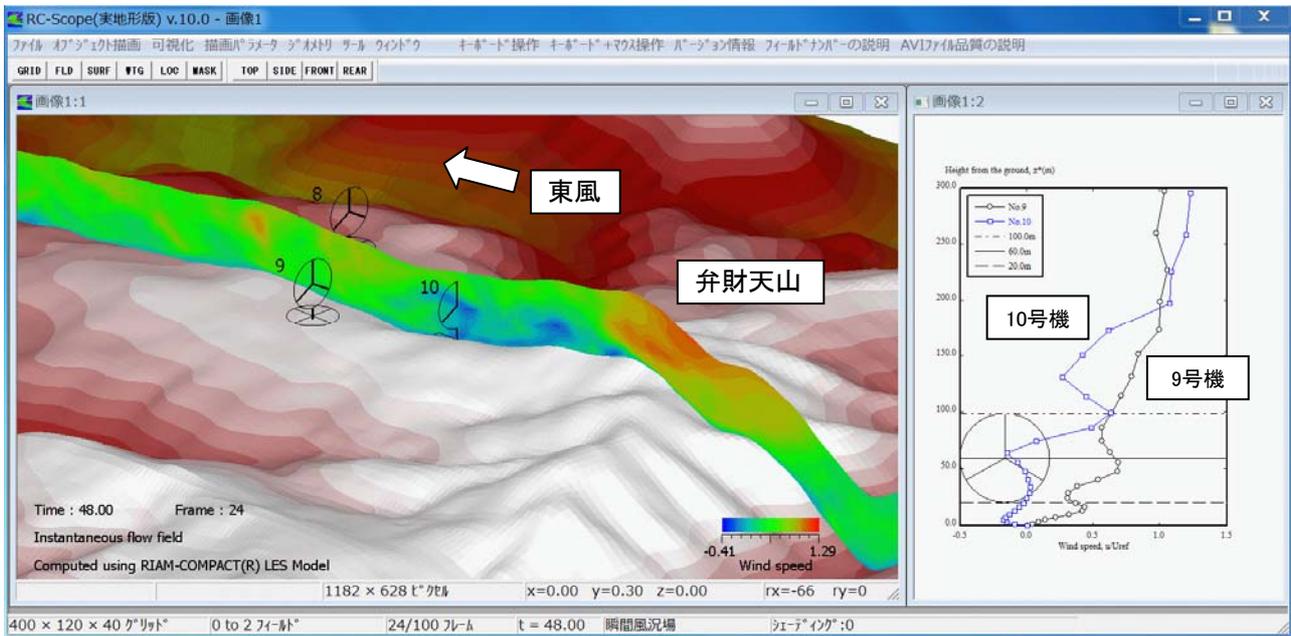


図9 主流方向風速の分布図(赤色ほど風速が大きいことを意味すると)、風車立地点における風速の鉛直分布図、東風の場合