

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 —串木野れいめい風力発電所を例として—

川島 泰史* 内田 孝紀**

(2015年1月30日受理)

Large-eddy simulation of airflow over complex terrain aiming at operating method examination of wind turbines —In the case of the kushikinoreimei wind farm—

Yasushi KAWASHIMA and Takanori UCHIDA

E-mail of corresponding author: y-kawashima@wjec.co.jp

Abstract

Recently to become, in wind farm, which was built on the complex terrain, the operation rate is less than the initial expectations, ie, power generation output and significantly bad windmill, failure of windmill inside and outside (for example, failure of the yaw motor and Yogia, windmill blades cracks, etc.) of the problem of is actualized. The main cause is a change in the windmill most recent slight terrain relief becomes origin, I considered to be a disorder of the wind (terrain turbulence) generated from there.

In response to this situation, in our group, precise numerical wind diagnosis by real terrain version RIAM-COMPACT® software (the window risk assessment) was performed, has conducted studies safe windmill operating method¹⁾. In this paper, under the cooperation of Kyudenko new energy Co., Ltd., Numerical wind conditions diagnosis for the purpose of examination of windmill 10 Unit method of operation of the kushikinoreimei wind farm (start the operation from November 2012) since the was carried out, we report on the results.

Key words : Large-eddy simulation, Wind energy, Complex terrain, Operating method

1. 緒言

最近になり、複雑地形上に建設された風力発電所において、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診断(ウインドリスク評価)を実施し、安全な風車運転方法の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11月より運転を開始)の10号機風車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

先に記述したように、複雑地形上に建設された風力発電所において、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においても、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、運転方法の検討を目的として高解像度のLES乱流シミュレーションを実施した。

2.1 串木野れいめい風力発電所の概要

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11月より運転開始)の数値風況診断を実施した。本発電所は鹿児島県いちき串木野市羽島地区に位置する(図1を参照)。風力発電所の概要、風車外形図は次頁に示す通りである(表1、図2を参照)。

*西日本技術開発(株)[九州大学航空宇宙工学専攻社会人博士課程在籍], **九州大学応用力学研究所



図1 串木野れいめい風力発電所の位置 (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 2,000kW
風車の高さ (地面～ハブ中心)	60m
翼(ブレード) の直径	80m

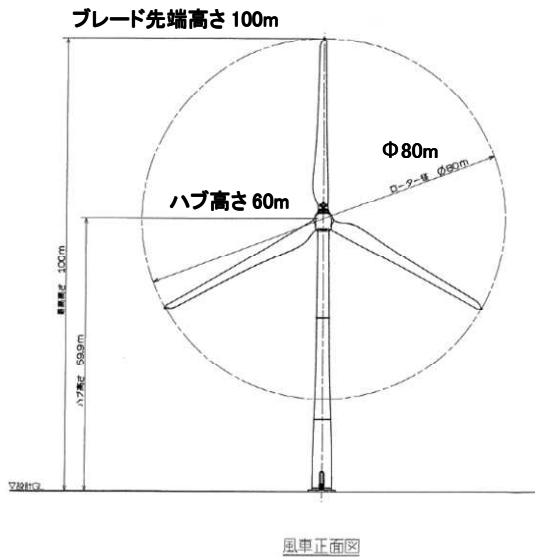


図2 風車外形図

2.2 風力発電所のナセル風向・風速計による気流場解析(実測データ解析)

9号機と10号機を対象として、2013年1月～12月の東風の年間平均風速(実測データ)を確認した結果、9号機と比較して、10号機は1.2m/s低いことが確認された。また、月別平均風速(実測データ)を確認した結果、6月と9月において明確な平均風速の差異(特に6月は10号機

が1.7m/s低い)が確認された(表2・3を参照)。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(次頁に示す表4と図3を参照)。さらに、6月と9月の風向・風速の時系列データを比較すると、風向が東(風向コード:12)の際、10号機の風速は9号機に比べて減速していることが示された(図4を参照)。これは10号機の東側約300mに位置する弁財天山(標高519m)の影響と推察された(図5・6と表5を参照)。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 東風の年間平均風速、風車9・10号機、実測データ、2013年

方位	9号機		10号機	
	平均風速 (m/s)	風向 出現率(%)	平均風速 (m/s)	風向 出現率(%)
E	6.0	5.1	4.8	4.8

表3 東風の6・9月の月別平均風速、風車9・10号機、実測データ、2013年

(単位:m/s)

年月	①9号機	②10号機	②-①
2013年6月	7.5	5.8	-1.7
2013年9月	5.4	4.4	-1.0

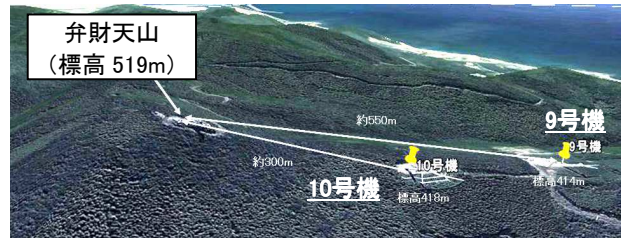


図5 弁財天山(標高519m)と9号機と10号機の位置関係

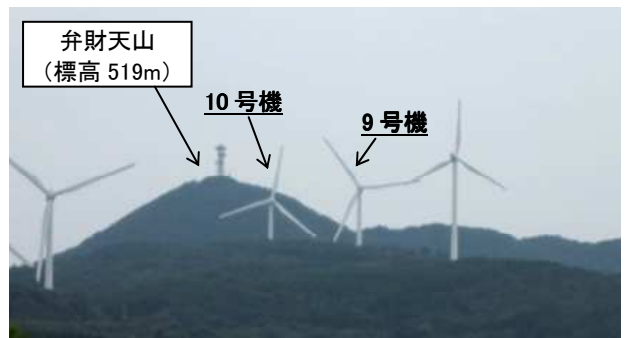


図6 現場の写真(著者が2013年8月9日撮影)

表5 弁財天山(標高519m)と9号機と10号機の位置関係

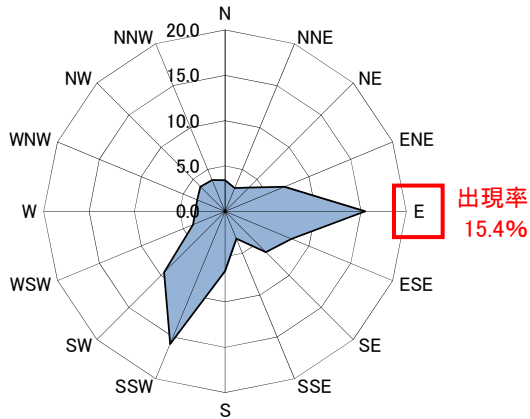
風車No.	標高	ブレード 先端高度	離隔距離
9号機	418m	518m	約300m
10号機	414m	514m	約550m

表4 6・9月の風向出現率(%), 風車9・10号機、実測データ、2013年

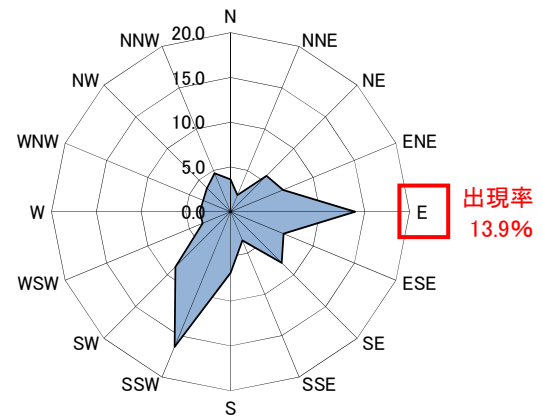
(単位: %)			(単位: %)		
方位	6月	9月	方位	6月	9月
N	3.4	11.3	N	3.6	13.1
NNE	2.8	8.4	NNE	2.0	6.3
NE	3.7	8.8	NE	5.7	11.5
ENE	7.1	10.6	ENE	6.4	8.8
E	15.4	14.3	E	13.9	13.2
ESE	7.9	11.0	ESE	6.4	8.9
SE	6.4	6.6	SE	8.1	8.8
SSE	3.3	5.0	SSE	3.5	5.5
S	6.6	4.1	S	6.9	2.7
SSW	15.8	3.8	SSW	16.4	4.2
SW	9.5	2.5	SW	8.7	1.9
WSW	3.8	1.3	WSW	3.4	0.9
W	3.3	1.4	W	3.5	1.0
WNW	3.3	2.2	WNW	3.3	2.3
NW	3.8	3.1	NW	3.7	4.5
NNW	3.7	5.7	NNW	4.7	6.3
計	100.0	100.0	計	100.0	100.0

9号機 10号機

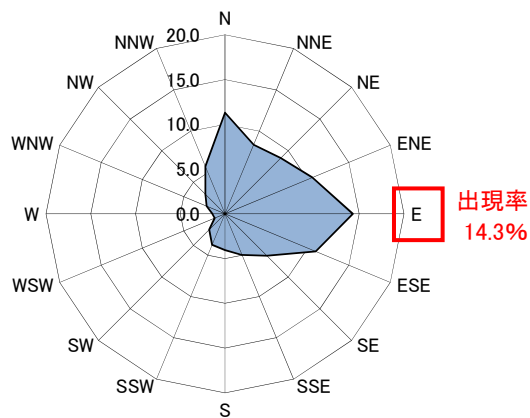
2013年6月 出現率(%)



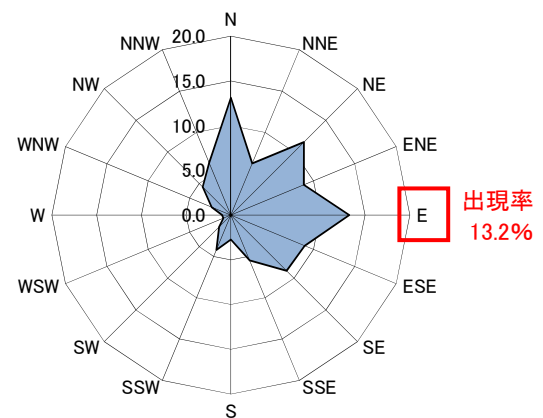
2013年6月 出現率(%)



2013年9月 出現率(%)



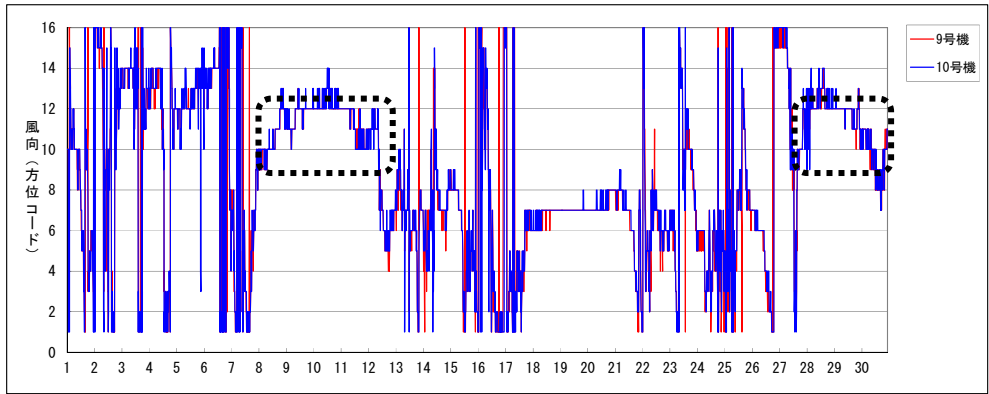
2013年9月 出現率(%)



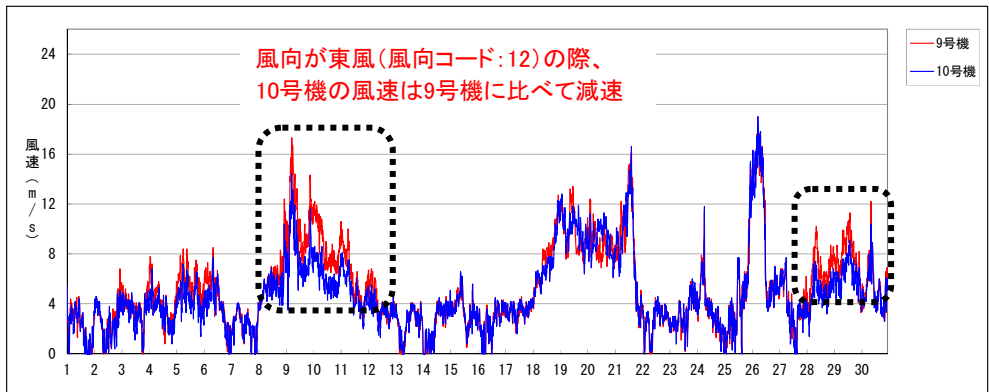
9号機

10号機

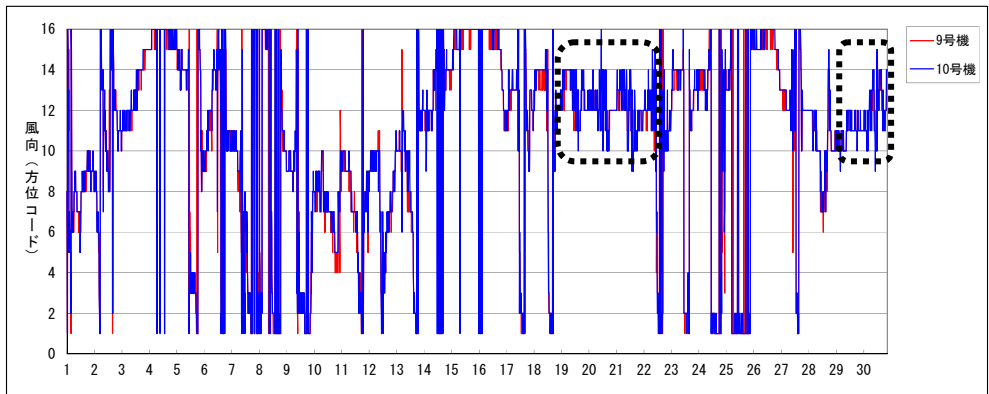
図3 6・9月における風配図と風向出現率(%), 風車9・10号機、実測データ、2013年



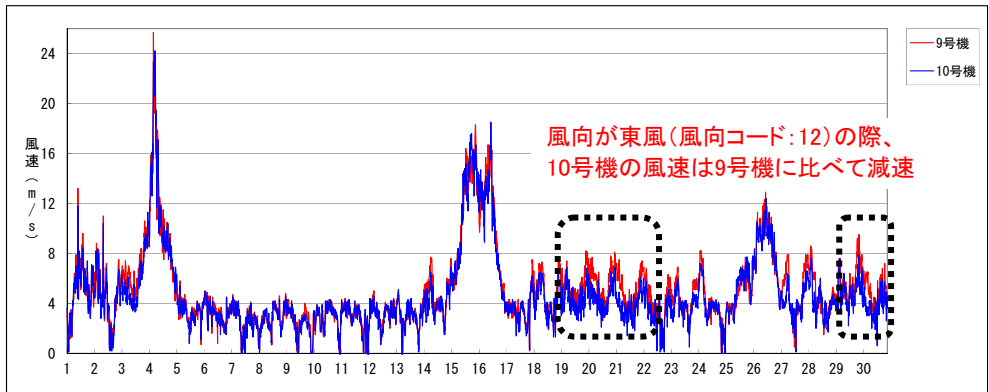
注)・風向コード N:16、NNE:15、NE:14、ENE:13、E:12、ESE:11、SE:10、
SSE:9、S:8、SSW:7、SW:6、WSW:5、W:4、WNW:3、NW:2、NNW:1



2013年6月



注)・風向コード N:16、NNE:15、NE:14、ENE:13、E:12、ESE:11、SE:10、
SSE:9、S:8、SSW:7、SW:6、WSW:5、W:4、WNW:3、NW:2、NNW:1



2013年9月

図4 6・9月における風向・風速の時系列データの比較、実測データ、2013年、赤線は9号機、青線は10号機

2.3 計算条件の概要

図7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)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、べき指数(N=7)に従う風速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8に示す通りである。hは計算領域の標高差、 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 $\Delta t = 2 \times 10^{-3} / U_{in}$ とした。

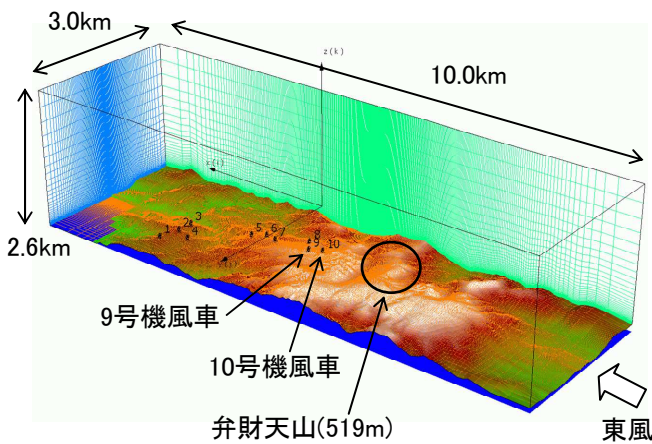


図7 計算領域の鳥瞰図

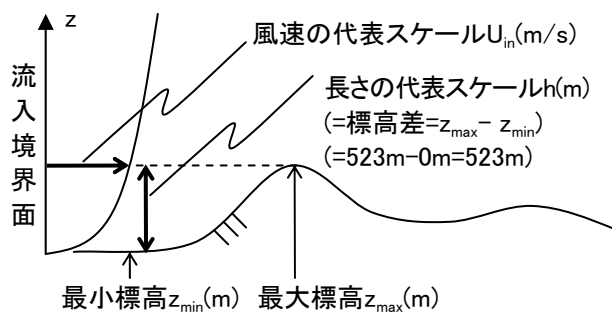


図8 本計算における代表スケールの取扱い

2.4 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9には、平均風速の鉛直分布図を示す。平均化時間は、図11の横軸に示す無次元時間200~300である。図10には、これに対応した各風車立地点における主流方向の標準偏差の鉛直分布図を示す。図9および図10に示す結果は、時間平均型乱流モデルRANSの計算結果とみなすこともできる。両者の結果を観察すると、風車立地点には地形乱流に伴う平均風速の極端な欠損や標準偏差の極大値は存在しない。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。

10号機風車の東方位における2013年の年間発電電力量(実測値)は、風車9号機と比較して約150MWh低下[風速で1.2m/s低下(表2を参照)]していたことから、平均速度プロファイルの差異は、発電電力量の低下に直結していることが示された。

図11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12には角度の定義を併せて示す。図11における横軸は無次元時間を示す。例えば、実風速を $U_{in} = 5\text{m/s}$ と仮定すると、横軸は実スケール換算で約40分間に相当する。図11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11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)が影響していると示唆された(図13を参照)。

図13は10号機風車を通る鉛直断面内の主流方向風速の分布図を示す。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。図13に示す瞬間場における10号機風車位置での気流の鉛直分布図を観察すると、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、耐久性の評価には風速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風速シアが頻繁に(日常的に)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。この極端な風速シアの発生は、風車タワーの振動問題、あるいは、ヨーギアなどの疲労強度の問題など強く関連しているため、今度、より詳細に研究を進める予定である。

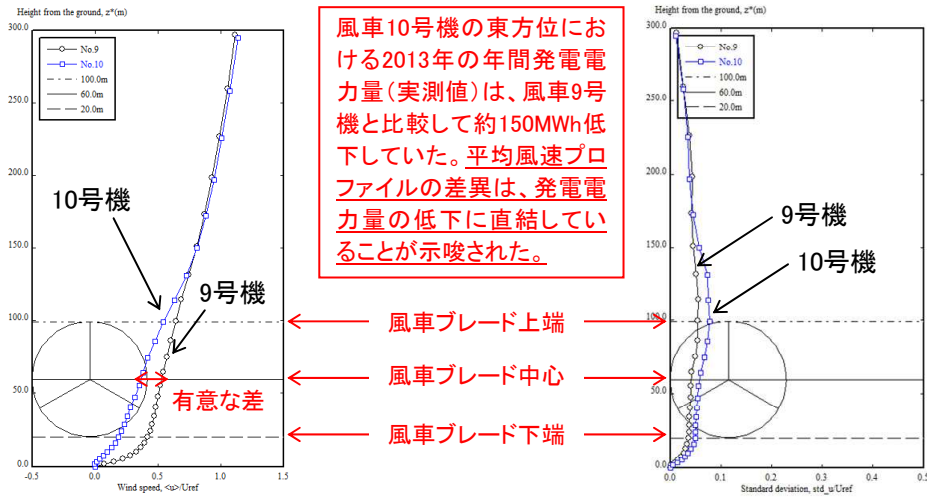
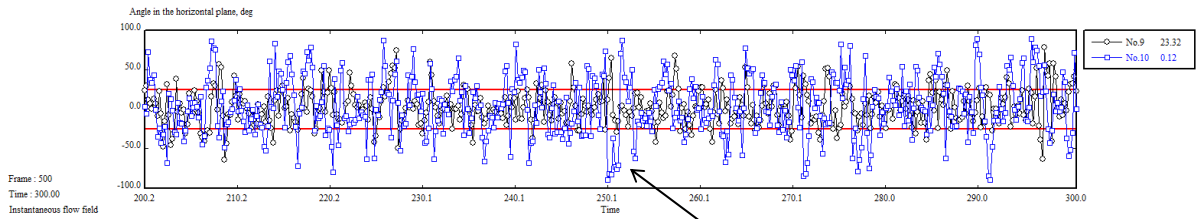


図9 風車立地点における平均風速の鉛直分布、平均化時間は図11の横軸に対応

図10 風車立地点における主流方向の標準偏差の鉛直分布、平均化時間は図11の横軸に対応

水平断面内の角度(°)



鉛直断面内の角度(°)

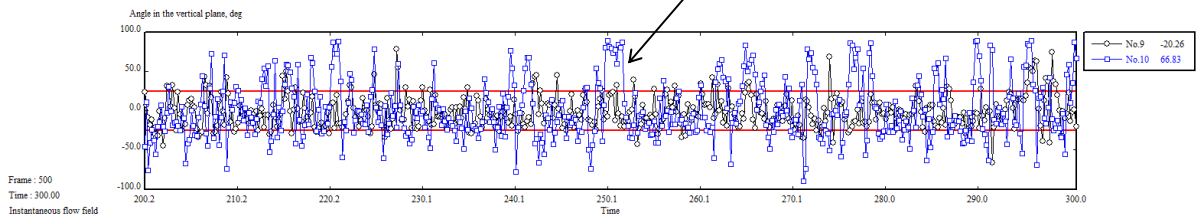


図11 風車ハブ高さにおける水平および鉛直断面内の角度の時間変化、実風速 $U_{in}=5m/s$ と仮定すると、横軸は実スケール換算で約40分間に相当する。(図の赤線は±25°の範囲を示す)

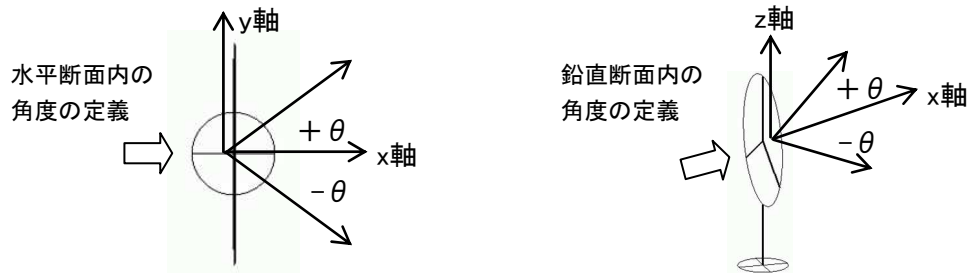


図12 水平および鉛直断面内の気流の進入角度の定義

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新エネルギー(株)の串木野れいめい風力発電所(平成24年11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11および図13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している)。

現在、10号機風車については、数値風況面の考察結果と実機の「ヨー誤差過大」のアラーム頻度が多かったことなどを総合的に考慮し、予防保全(疲労荷重を軽減)を目的として、東方位の風を対象に風車を自動停止する制御が導入されている(平成26年12月25日設定、表6を参照)。今後、風車機器の疲労強度や寿命などを正確に把握・予測するため、RIAMCOMPACT®から出力される各種物理量による評価指標の定量化を試みる予定である。

表6 10号機風車の運転制御

風車No.	設定方位	設定風速
10号機	85° ~ 130°	9m/s以上

謝辞

本研究で対象とした串木野れいめい風力発電所の実測データは、九電新エネルギー(株)より提供して頂きました。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, No.2, (応用力学論文集Vol.14), L757-L764, 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

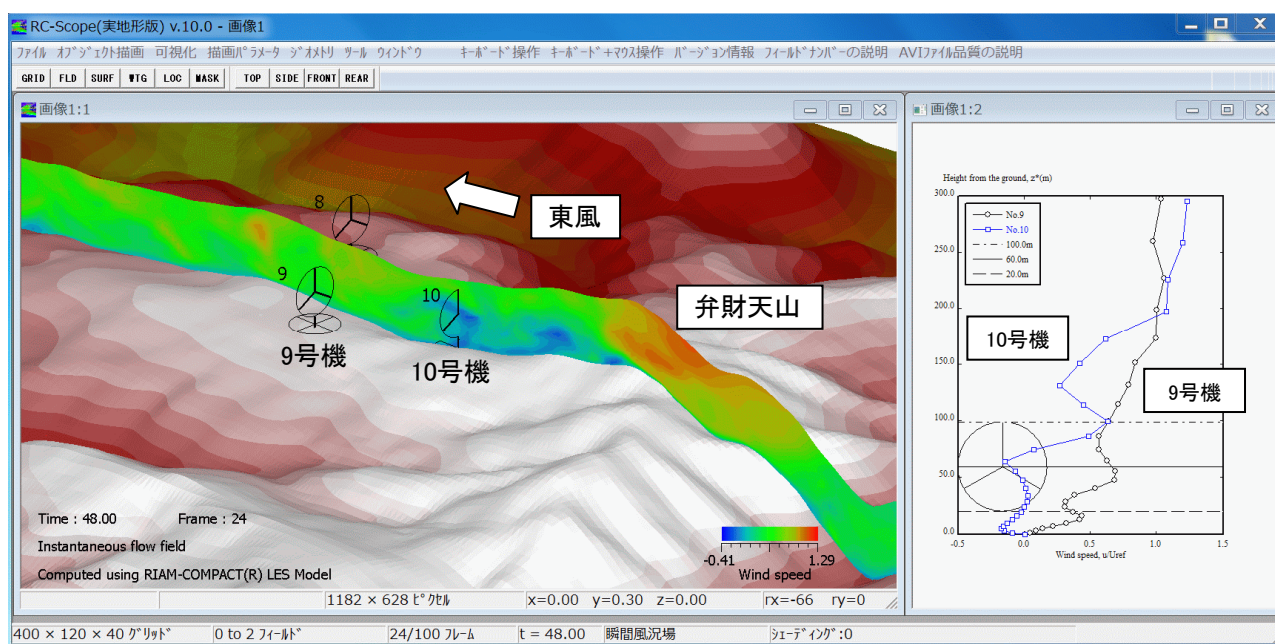


図13 主流方向風速の分布図(赤色ほど風速が大きいことを意味する)と、風車立地点における風速の鉛直分布図、東風の場合、瞬間場