

流体力学モデルRIAM-COMPACT®を用いた ウインドリスク(地形乱流)の評価について*1

Turbulent Flow Analysis By Using RIAM-COMPACT® CFD Model in WTG Location Points

○川島 泰史*2, 内田 孝紀*3, 荒屋 亮*4, 猿渡和明*5
Yasushi KAWASHIMA, Takanori UCHIDA, Ryo ARAYA, and Kazuaki SARUWATARI

1. 緒言

実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアは、九州大学発IT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。

風力発電分野において、今後解決すべき技術課題の一つは、風車に対する局地的な風況を正確に把握し、風車に対する局所的なウインドリスク(地形乱流)を特定できる数値風況予測技術を確認することである¹⁻³⁾。

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風況評価(ウインドリスク評価)技術を用いて、効率的に風車配置検討を実施している。

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⁴⁻⁶⁾。

2. 実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアによるウインドリスク(地形乱流)評価事例

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。本報で対象とした愛知県渥美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、実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアを用い、その風況の実態を視覚的に再現することを主な目的として、高解像度のLES乱流シミュレーションを実施した。

2.1 愛知県渥美風力発電所の概要

株式会社九電工の協力の下、渥美風力発電所(平成19年3月より運転を開始)の風況解析を実施した(図1および表1を参照)。



図1 愛知県渥美風力発電所周辺の地形
(Google Earthによる)

表1 愛知県渥美風力発電所の概要

	1号機～4号機
風車メーカー、出力	Vestas社 V80 2000kW
風車の高さ (地面～ハブ中心)	78m
翼(ブレード) の直径	80m

*1 平成23年11月30日「第33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 非会員、(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 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 : k-saruwatari@wjec.co.jp)

2.2 計算条件など

図2に示すように、本報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3.5(x)×1.5(y)×0.6(z)kmの空間を有する。

地形標高データ⁷⁾は、国土地理院の基盤地図情報(縮尺レベル25000)の等値線から、空間解像度5mの標高データを作成した。

計算格子数は、各方向に201(x)×151(y)×41(z)点の合計約124万点である。x方向およびy方向の格子幅は、風車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3m、鉛直方向の最小格子幅は0.6mである。

本計算において設定した風向は、風車の異常が確認された南東とした。流入境界面には、図4に示す地表面粗度区分Ⅲ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5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。

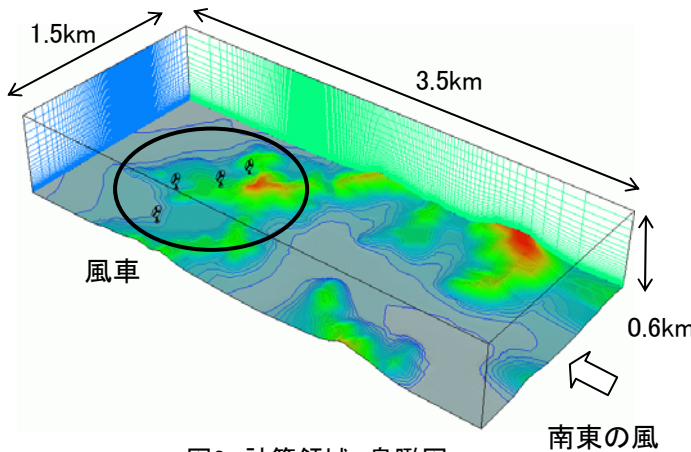


図2 計算領域、鳥瞰図、カラーは標高(最大:130m、最小:10m)を意味する。

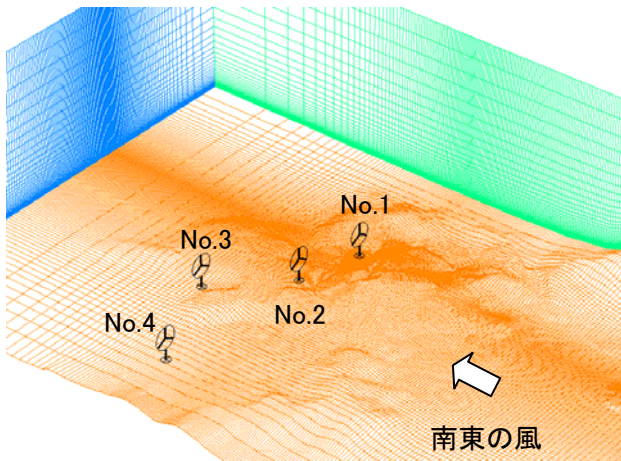
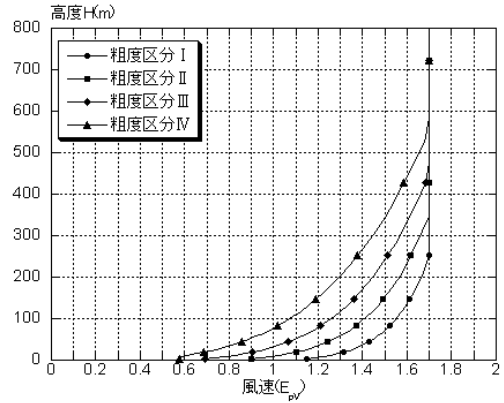


図3 風車周辺の計算格子図



◆高度Hが Z_b 以下の場合

$$E_{pV} = 1.7 \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \quad (9)$$

◆高度Hが Z_b を超える場合

$$E_{pV} = 1.7 \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad (10)$$

粗度区分	Z_b (m)	Z_G (m)	α
I	5	250	0.10
II	5	350	0.15
III	5	450	0.20
IV	10	550	0.27

図4 平成12年建設省告示1454号で与えられる E_{pV} (速度プロファイル)

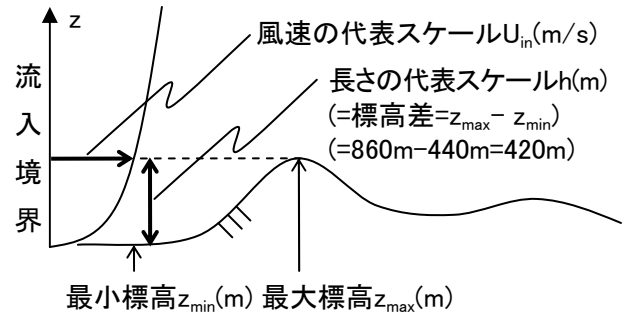


図5 本計算における代表スケールの取扱い

2.3 計算結果と考察

本報では、運転成績の最も良い4号機と、南東の風の場合に地形乱流の影響が大きいと推測される2号機の比較に主眼を置いて議論を進める。

図6には、時間平均風況場に関して、風車ハブ高さ(地上高78m)における速度ベクトル図を示す。平均化時間は、図8に示す無次元時間100~200である。図7には、これに対応した各風車立地点における速度ベクトル図を示す。図6および図7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が出来る。両者の結果を観察すると、風車周辺には地形乱流を示す大きな速度変動や、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。

⇒ 南東の風

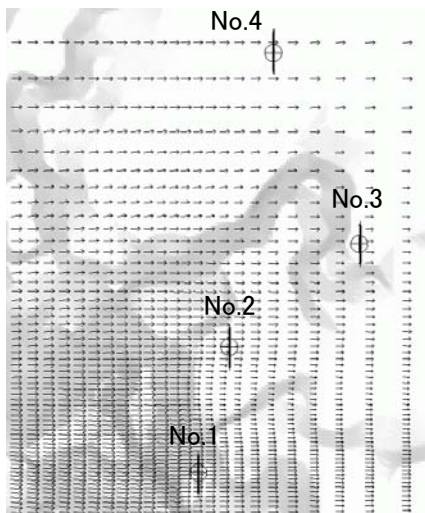


図6 風車ハブ高さ(78m)における速度ベクトル図、時間平均場、平均化時間は図9の無次元時間100~200

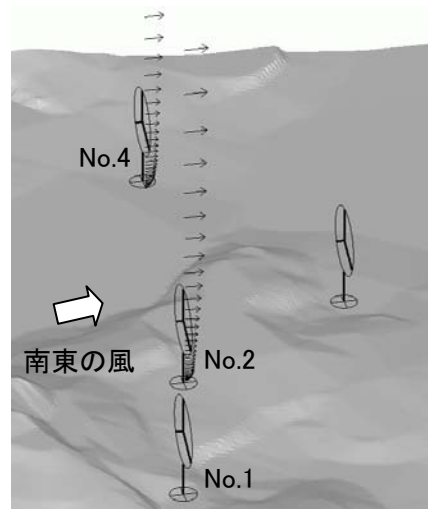


図7 風車立地点における速度ベクトル図、時間平均場、平均化時間は図9の無次元時間100~200

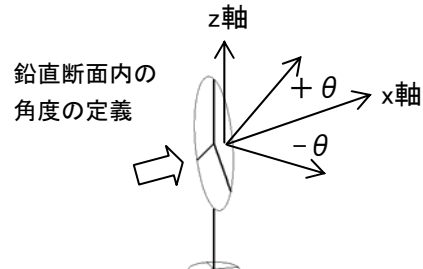
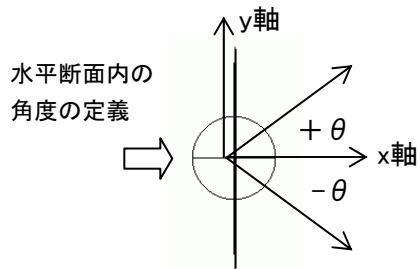
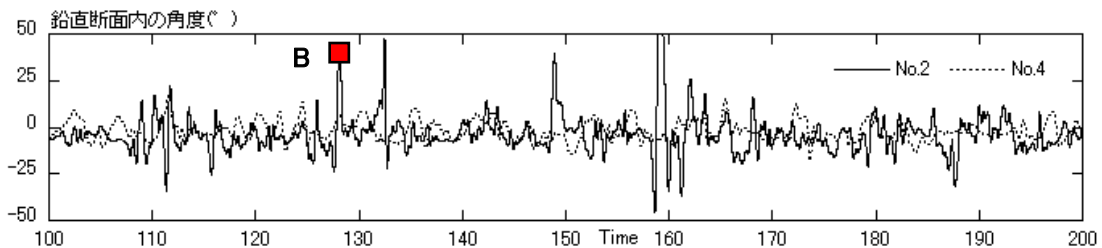
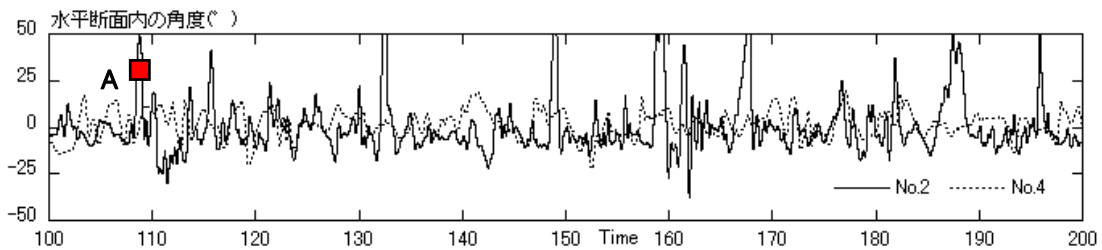
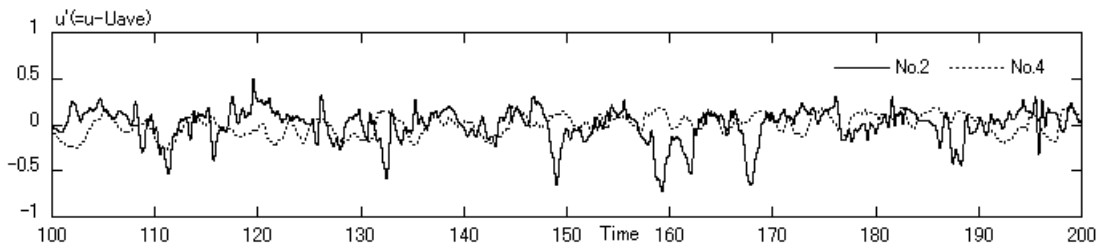


図8 風車ハブ高さにおける主流方向(x)の変動成分、水平および鉛直断面内の角度の時間変化、実風速 $U_{in}=5\text{m/s}$ と仮定すると、約40分間に相当

しかしながら、2号機においてはヨーモーターやヨーギアの故障が生じている。今回のような地形乱流の挙動を忠実に再現するためには、非定常乱流モデルLESを採用しているRIAM-COMPACT®が極めて有効である。RIAM-COMPACT®では、各種物理量の時間挙動を出力することが可能である。

図8には、風車ハブ高さにおける主流方向(x)速度の変動成分(平均値からのずれ)、水平および鉛直断面内の角度の時間変化を示す。ここで横軸は無次元時間を示すが、実風速 $U_{in}=5\text{m/s}$ と仮定すると、約40分間に相当する。また、図8には、水平および鉛直断面内の角度の定義を併せて示す。図8に示す時刻歴波形を観察することで、風車周辺に生じている非定常な風況変化が明確に理解できる。

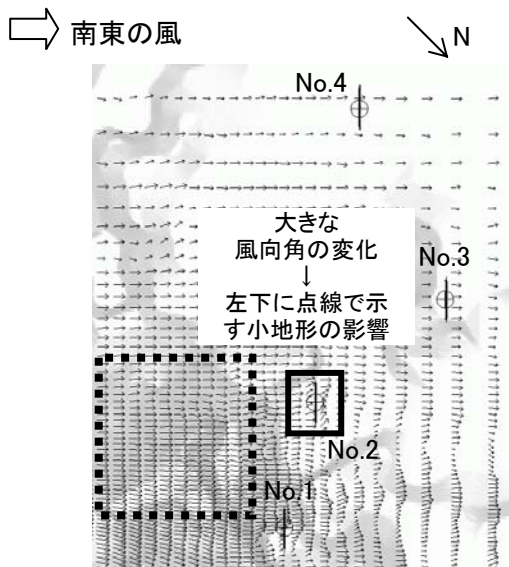


図9 風車ハブ高さ(78m)における速度ベクトル図、瞬間場、時間は図8にAで示す

最後に、鉛直断面内の角度の時間変化に注目する(図8の一番下のグラフ)。この図からも、2号機では、25度を超える吹き上げの風や、吹き下げの風が発生していることが分かる。これらの局所的な風向の変化は、風車上流に存在する小地形が影響していると推測される。

図9および図10には、図8において大きな風向の変化が示された時刻の風況場(速度ベクトル図)を示す。図9を観察すると、2号機において上側に大きく傾いた流れ(東寄りの風)が発生しているのが分かる。また、別の時刻である図10を観察すると、同じく2号機の風車ハブ中心付近において、大きな吹き上げの風が発生している。さらにこの図では、いわゆる、ベキ指数などに従う速度プロファイルではなく、風車のハブ中心からブレード下端の間で、大きな速度欠損が確認される。

一般的に、風車のパワーカーブ(カタログ値)は、風車の存在は仮定せずに、平坦地の下で風車ハブ中心へ流入する風速値で規定されている。また、速度シアも5~7程度のベキ法則に従う分布が前提になっている。よって、ベキ法則から大きく逸脱した速度シアの下では、発電電力量の大幅な低下が予想される。また同時に、この非常識的な大きな速度シアは、風車タワーの振動問題、あるいは、ヨーギアの疲労強度の問題などと関連して今度ますます重要になると考えられる。

3. 結言

愛知県渥美風力発電所(平成19年3月より運転を開始)を対象に、実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアによる数値風況予測を実施した。その結果、南東の風

主流方向(x)速度の変動成分(平均値からのずれ)に注目する(図8の一番上のグラフ)。4号機の時間変化は非常に小さいのに対して、2号機ではスパイク状の変動が存在しているのが分かる。ここでは割愛したが、ブレードの上下端および左右端での風速変化をさらに吟味することでどのようなモーメントが発生しているかを調べることも可能である。

次に、水平断面内の角度の時間変化に注目する(図8の真中のグラフ)。4号機の場合には、速度変化と同様、変動の幅は非常に小さい。これに対し、2号機の場合には25度を超える風向の変化が数多く観察される(図9も参照)。また、正の向きへの変化が多いことから、瞬間的には地形効果により東寄りの風が発生していることが読み取れる。

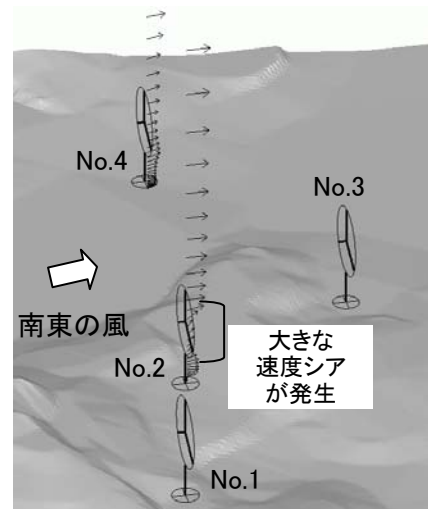


図10 風車立地点における速度ベクトル図、瞬間場、時間は図8にBで示す

の場合において、2号機の風車上流に位置する小地形が起源となり、そこから風の乱れ(地形乱流)が発生し、2号機はその影響を強く受けていることが示された。

風車周辺に点在する小地形や地形の僅かな起伏に起因する局所的な地形乱流の影響は、時間平均型の乱流モデルRANSでは再現が難しく、かつ見落としがちであるため、RIAM-COMPACT®のような非定常乱流モデル(LES)によるアプローチが有効である。

参考文献

- 1) 村上周三、持田灯、加藤信介、木村敦子: 局所風況予測システムLAWEPSの開発と検証、日本流体力学会誌「ながれ」、Vol.22, No.5, pp.375-386, 2003.
- 2) 石原孟: 非線形風況予測モデルMASCOTの開発とその実用化、日本流体力学会誌「ながれ」、Vol.22, No.5, pp.387-396, 2003.
- 3) Sumner, J., Watters, C.S. and Masson, C.: Review: CFD in Wind Energy: The Virtual, Multiscale Wind Tunnel, Energies, Vol.3, pp.989-1013, 2010.
- 4) Uchida, T. and Ohya, Y.: Application of LES Technique to Diagnosis of Wind Farm by Using High Resolution Elevation Data, JSME International Journal, 「Environmental Flows」, Series B, Vol.49, No.3, pp.567-575, 2006.
- 5) 内田孝紀、大屋裕二、諏訪部哲也、李貫行: 非定常・非線形風況シミュレータRIAM-COMPACTによるウインドファーム風況診断の提案、日本風力エネルギー協会誌、Vol.30, pp.101-108, 2006.
- 6) 内田孝紀、大屋裕二、李貫行: 風車立地点近傍に発生する地形乱流の高解像度LES、日本風力エネルギー協会誌、Vol.34, 通巻93, pp.121-126, 2010.
- 7) 内田孝紀、大屋裕二、荒屋亮、田辺正孝、川島泰史: 風況シミュレーションのための紙地図からの高解像度地形データの構築、九州大学応用力学研究所所報、第129号, pp.135-141, 2005.