

流体工学モデルRIAM-COMPACT®を用いた 海外サイトにおける風力発電のマイクロサイティング*1 Micro-Siting Technique in Foreign Countries by Using the RIAM-COMPACT® CFD Model

○川島 泰史*2, 内田 孝紀*3, 荒屋 亮*4, 藤本 弘明*5

Yasushi KAWASHIMA, Takanori UCHIDA, Ryo ARAYA and Hiroaki FUJIMOTO

1. 緒言

ここ数年、京都議定書に基づく「クリーン開発メカニズム(CDM)」を活用した海外大型ウインドファームプロジェクトの事例が急速に増加してきた。我々のグループでは、実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェア^{1,2)}を海外サイトにも適用し、精密な風況評価(ウインドリスク評価)を実施している。

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、(株)FSコンサルティング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。

本報では、実地形版RIAM-COMPACT®ソフトウェアを用いた海外サイトにおける高精度風況シミュレーションによる風力発電立地の風況評価技術と、具体的な実施事例を紹介する。

2. ALOS PRISMデータから生成された 詳細地形データの活用

風況シミュレーションにおいて地形や地物における風の乱れを正確に再現するには、できるだけ詳細かつ高精度な地形データが重要となる。海外の風車建設サイトにおいては詳細な地形図の入手が困難であることも多く、代替となる地形情報の入手が必要であった。そこで、海外でも使用可能で一定の品質で入手可能な高分解能衛星画像を利用した標高データの活用を検討した。現在提供されている衛星データを基にした詳細地形の中で、財団法人リモートセンシング技術センターが受注生産、販売を行っているPRISMのステレオ画像より作成されている地形データを使用した。PRISMとは、2006年に宇宙航空研究開発機構(JAXA)が打ち上げた地球観測衛星ALOS(日本語名「だいち」)に搭載されている可視域のセンサーの名称であり、高解像度に地上の地物をとらえることができる可視域センサーである。作成された標高データはDSM (Digital Surface Model)と呼ばれる

地形に加え建物、道路、樹木等の地上の地物の形状も含んだ標高データとなっている。国土地理院から提供されているメッシュ標高データを始めとする多くのメッシュ標高データは、DEM(Digital Elevation Model)と呼ばれる地表面の標高のみを表したデータとなっているが、風況シミュレーションにおいては地上の地物によって生じる風の乱れをシミュレーションで忠実に再現できるDSMの方が、解析の用途に適している。

DSMはおよそ10m程度の地上分解能を持ち、位置補正のための参照点(GCP)を用いない場合、水平方向20m、垂直方向で40mの位置精度とされている。一方で、相対誤差は5mとされており、地形地物の位相的な誤差は小さいことから地形全体の歪は少ない点も特徴である。本研究では、このDSMからシミュレーション対象領域を切り出し、RIAM-COMPACT®で読み込めるデータ形式に変換したうえで解析を行っている。提供されるデータの座標地測地系はITRF97で等緯度経度に分割された地形データであるため、GPS等で取得する緯度・経度の座標系とほぼ同一である。よって提供されているデータに対して座標変換等を行わずにそのまま風力発電立地検討に利用することができる。

ちなみに、風力開発の検討地点においてDSMの利用の可否については、過去に対象地を含む領域がPRISMによって3方向からの撮影がなされている必要がある。海外では地域によって未だ画像ライブラリが少なく入手できない場所もある。また、可視域の画像を使用して地形を作成することから、雲などにより地表が撮影されていない場合はその領域の標高値が算定できず欠損値となる。よって、年間を通じて雲の多い亜熱帯地域では地形構築に利用できる画像データが少ない傾向にある。しかし、今後の継続的な撮影によりライブラリが充実していくことが予定されており、より領域で利用できるようになると考えられる。発展途上国を含む地形情報の入手が困難な地域での風力開発プロジェクトで、こうした衛星画像を用いた詳細地形データの活用は今後一層期待できるものである。ALOSデータに関する詳細は、<http://www.alos-restec.jp/products2.html>を参照して頂きたい。

*1 平成21年11月27日「第31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 非会員、(株)FSコンサルティング(〒754-0893山口県山口市秋穂二島3822-1, 連絡先: nf@c-able.ne.jp)

3. RIAM-COMPACT®による風況評価事例

(1) 中国風力発電プロジェクト地点

ここでは、九州電力(株)の中国風力発電プロジェクト(以下、「本プロジェクト」)において、西日本環境エネルギー(株)より受託した、風力発電立地地点の風況評価の実施事例を紹介する。

本プロジェクト開発規模は5万kW(風車:2,000kW×25台)である。立地地点の標高は約1,700mで、周辺地形の一部は谷地形の複雑地形を有している。

本プロジェクトにおいてRIAM-COMPACT®による16方位の風況シミュレーションを行い、WFエリア及び風車位置毎の風況評価を実施した。

風況シミュレーションは、図1に示す風車配置計画範囲を包含する領域において約100万点の数値計算を行った。

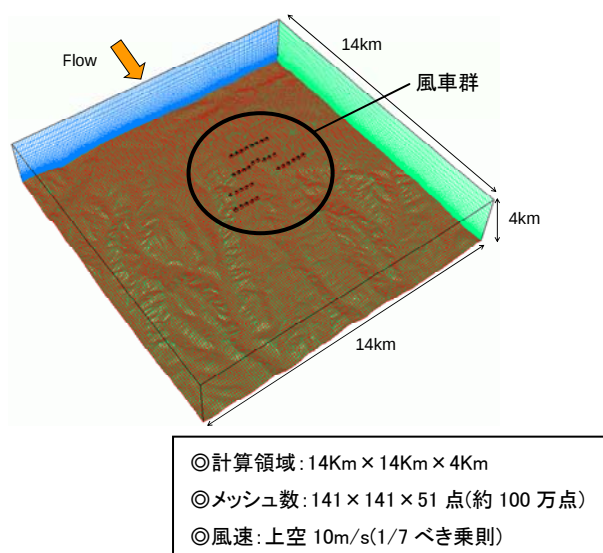


図1 計算領域の鳥瞰図

最近、国内のWFにおいて、設備利用率が当初の予想を下回り、発電出力が著しく低下するWTG(Wind Turbine Generator)の問題が顕在化している。これは、WTG近傍のわずかな地形起伏の変化が起源となり、そこから機械的(直接的)に発生する風の乱れ(地形乱流)の影響であると考えられている。

このため、地形乱流の影響に重点を置いた評価を行った。以下では、計算結果に基づく風況評価内容について、代表的な結果を紹介する。最初の評価として、地形的影響により速度変動の大きな領域が時間とともに移動している様子が見て取れるアニメーションを作成し、視覚的に地形乱流の影響の有無を確認した。

図2にWTGハブ高さにおける速度ベクトルの時間変化(瞬間場)を示す。また、図3には図4に対応した主流方向の速度変動成分 $|u'|$ ($= |u - U_{ave}|$) のコンター図(瞬間場)を示す。ここで示す静止画では、風の乱れが分りにくい、アニメーションを観察することにより、地形乱流の空間変動を確認した。

ここで示す地形乱流の時間変化は、非定常な風況シミュレーションを実施することで捉えられるものである。

RIAM-COMPACT®を使用した我々の風況評価では、複雑な風の流れや乱れを視覚化し、3次元的な気流条件を考慮した風車配置検討が可能である。

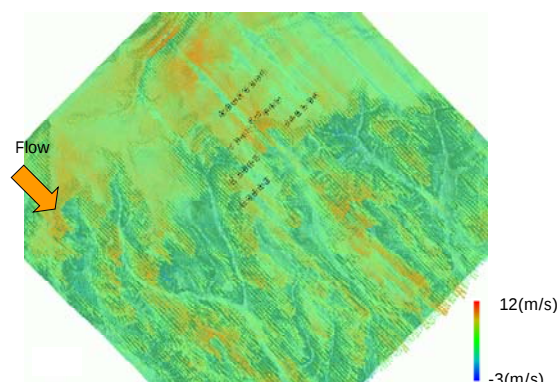


図2 風車ハブ高さにおける風速ベクトル図

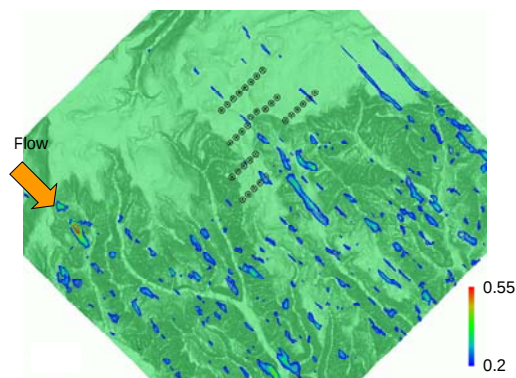


図3 風車ハブ高さにおける主流方向変動速度成分の分布

2番目の評価として、時間平均統計量分析を行った。WTG内における4基のWTG位置での平均風速の鉛直プロファイルと、主流方向速度成分に関する乱流強度の鉛直プロファイルを図4および図5に示す。

縦軸は実スケールにおける地上高 z^* (m)を示しており、横軸は流入風速 U_{in} で正規化された無次元風速を示す。また、図中にはロータ径を示す。我々の事前評価では、平均速度の鉛直プロファイルにおいて、大きな速度シアーが無いこと、大きな速度欠損がないことをWTG設置点の重要な判断基準としている。また同時に、乱流強度の鉛直プロファイルにおいては、乱流強度に係わる独自の評価基準値を定めている。数々のWF風況診断により、その値以内であれば、WTGの発電出力が著しく低下しないことを確認している。平均風速や乱流強度の鉛直分布を評価し、風車に対する風荷重の軽減を考慮することは、故障頻度の低減にも繋がると言える。今回の事例では、本プロジェクトWF内のWTG統計量の相対比較を示したが、これらのWTGについては概ね安定した運転が期待出来ると考えられる。なお、ここで示す配置は、検討の一例であり最終的な配置ではない。

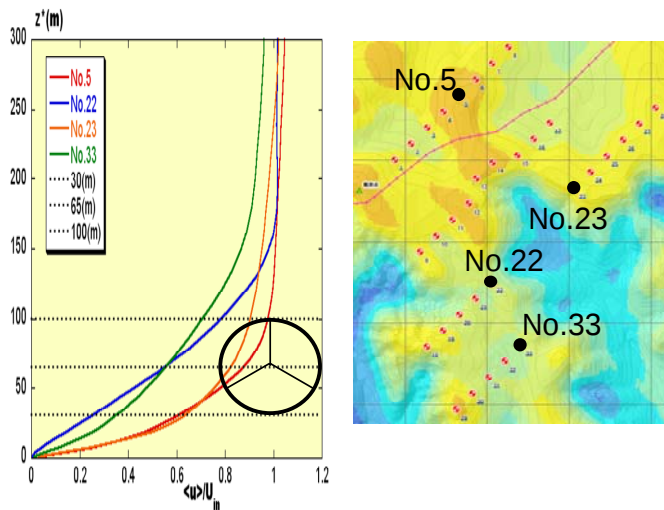


図4 平均速度の鉛直プロファイル

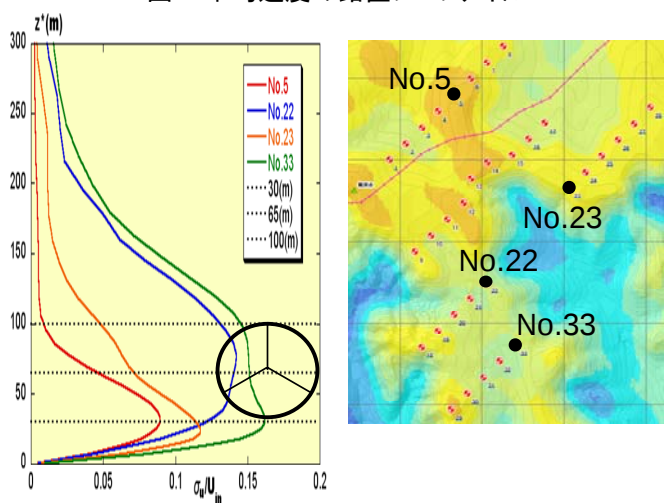


図5 乱流強度の鉛直プロファイル

(2) 米国パームスプリングス地点

ここでは、米国カリフォルニア州パームスプリング地区の巨大ウィンドファームを対象にした計算事例を紹介する。海外サイトの風況シミュレーションを行う際、標高データの入手は必要不可欠である。現在、我々のグループでは、先に記述した地球観測衛星「だいち (ALOS)」地形データを主に使用している。これと併用して、スペースシャトルSRTM地形データの利用も進めている。ここでは、SRTM地形データを利用した事例を紹介する。

SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)は、スペースシャトルに積み込んだレーダにより、全世界の詳細な立体地形データを作成すること目的としたミッションである。現在公開されている立体地形データは2種類ある。1つはSRTM-1と呼ばれる1秒メッシュ(約30m)で、アメリカのみである。もう一つはSRTM-3と呼ばれる全世界3秒メッシュ(約90m)である。データの詳細は<http://srtm.usgs.gov/index.html>を参照して頂きたい。本研究では、1秒メッシュ(約30m)データを利用した。

本計算では、主流方向(x)、主流直交方向(y)、鉛直方向(z)に20km×10km×7kmの計算領域を設定した。計算メッシュ数は各方向に201×101×41である。その他の条件設定などはすべて中国風力発電プロジェクト地点と同じである。

図6には、このサイトの卓越風向における速度ベクトル図を示す。表示位置はおおよそ風車のハブ高さ位置である。本研究で対象にした領域では、左右に標高の高い山脈が連なり、その谷部が風の通り道となっている。ここに複数の風車が集中的に建設されている。数千台ある風車位置の代表的なものをGoogle Earthから目視で採取し、これを計算結果に反映させた。図6を吟味すると、計算領域の中央の谷部では、風の変化は少なく風の収束が見られる。一方、その両側では、複雑な風況パターンが観察される。

図7には、図6の黒線で囲んだ地域の拡大図を示す。併せて、図8には該当部分の現地写真を示す。図7に注目すると、風車のすぐ横に位置する地形の影響が見られる。すなわち、地形を迂回する局所的に増速した流れを風車がとらえている。このような状況では、効率良い発電が期待されるものと考えられる。

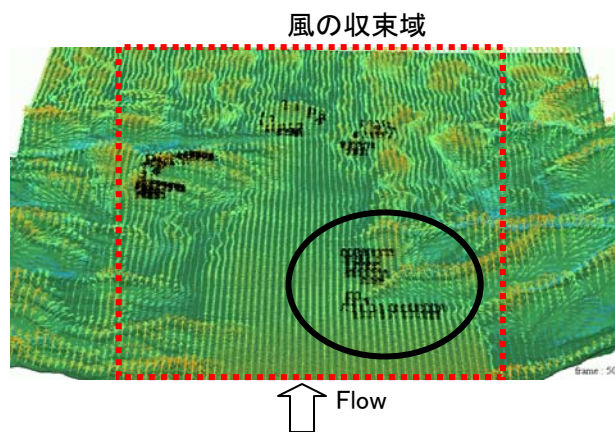


図6 卓越風向(西風)を対象にした速度ベクトル図

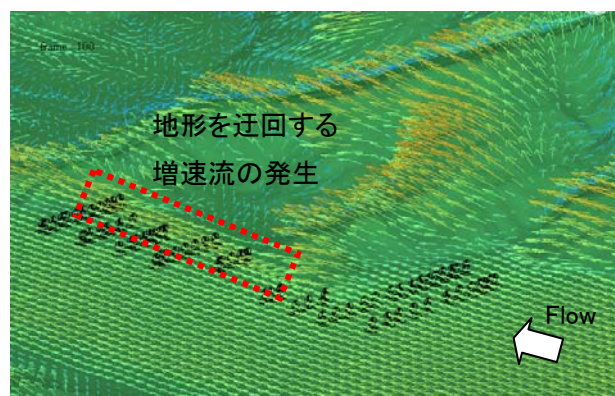


図7 図6の黒線部分の拡大図



図8 図6の黒線部分の現地写真
(2008年12月に著者の一人が撮影)

4. 結 言

きめ細やかな調査が必要とされる風車配置決定のための風況評価は、非定常な風況シミュレーション技術と最新の状況を反映した詳細地形データの構築技術が必要である。また、風況場の可視化手法に関しても、従来までのハブ高さにおける水平断面の定常的な速度分布を可視化した風況マップだけでは不十分である。特に、WTGの大型化に伴い鉛直断面内の評価が重要であり、平均速度や乱流強度の鉛直分布の表示は、今後ますます重要になる。

どの程度以上の風速変動が、発電成績に悪影響を及ぼすのかを数値実験、風洞実験、野外観測から、さらに細かく検討する必要がある、これらは今後の課題である。

謝 辞

本発表の中国風力発電プロジェクト地点において、九州電力(株)のデータを使用させていただきました。また、西日本環境エネルギー(株)より受託した業務のデータを使用させていただきました。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, 「Micro-siting Technique for Wind Turbine Generator by Using Large-Eddy Simulation」, J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. , Vol. 96, pp. 2121-2138, 2008
2. 内田孝紀, 大屋裕二, 「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