

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 24 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560166

研究課題名(和文) 数値風況予測技術リアムコンパクトをコア技術とした風車の安全運転に関する研究開発

研究課題名(英文) Research and development about safe driving in a wind turbine generator by using the RIAM-COMPACT CFD model

研究代表者

内田 孝紀 (UCHIDA, TAKANORI)

九州大学・応用力学研究所・准教授

研究者番号：90325481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：2011年3月11日に発生した東日本大震災や、2012年7月から施工される再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度(FIT)を受け、風力発電に大きな注目が集まっている。

本研究では、非定常乱流場の解析が可能な流体工学CFDモデルRIAM-COMPACTを用いて、風車に対する地形性乱流の影響を定性的に、かつ定量的に明らかにすることに成功した。

研究成果の概要(英文)：It is highly important in Japan to choose a good site for wind turbines, because the spatial distribution of wind speed is quite complicated over steep complex terrain. We have been developing the unsteady numerical model called the RIAM-COMPACT (Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, COMputational Prediction of Airflow over Complex Terrain). The RIAM-COMPACT is based on the LES (Large-Eddy Simulation).

In this paper, a numerical wind simulation for the actual Wind Farm is performed using high-resolution terrain elevation data. The results suggest that the wind turbines are subject to significant influence from separated flow (terrain-induced turbulence) which is generated due to the topographical irregularities in the vicinity of the wind turbines.

研究分野：数値流体力学

キーワード：風力発電 複雑地形 地形性乱流 風車の故障

1. 研究開始当初の背景

風力エネルギーの有効利用に関心が集まる中、風車の適地は海岸地区から山間部に移動しており、複雑地形上に風車を建設せざるを得ない状況にある。最近では、風車近傍の僅かな地形の凹凸や地表面粗度の急変が作り出す風の乱れ(地形性乱流)が原因で、風車の発電成績が計画段階よりも著しく悪い、風車の故障が多発する、などの事例が新聞などで数多く報道されて問題になっている。

2. 研究の目的

本研究では、地形性乱流の発生メカニズムを数値流体シミュレーションで再現して解明する。これらの問題解決に向け、独自に開発予定の地形データ構築法で風車周辺の土地造成状況を精緻に再現する。また、散発的に存在する樹木などの地表面粗度の影響も考慮する。野外観測データと比較し、風車に対するウィンドリスクの定量化と視覚化を試みる。

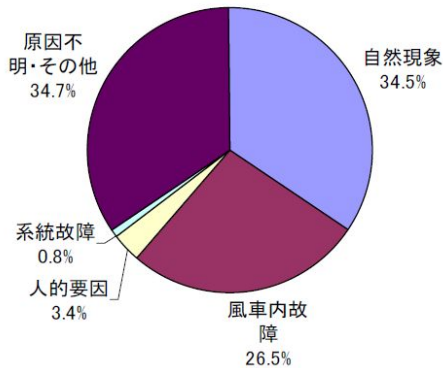


図1 風車事故の状況, NEDOより引用

本テーマは風力発電分野では、初の試みであり、早急に解決すべき課題である。上に示すように、(地形性乱流を含む)自然現象による風車の故障・事故は全体の35%弱にも及ぶ。また、円グラフ中では2番目に多い要因とされている風車内故障は、自然現象と極めて相関が高いことが指摘されている。両者の因果関係は明らかになっていない。

現在の風力発電分野では、風車立地後の発電量低下や風車内外の故障に繋がる地形乱流の発生メカニズム、それらの3次元的な挙動、風車に対する定量的な影響(リスク)はほとんど解明されておらず、コンピュータシミュレーションで調査する技術も見当たらない。

本研究開発を遂行すれば、地形性乱流に起因した風車トラブル(発電量低下や風車内外の故障など)の原因が定性的にかつ定量的に明らかになる。同時に、その閾値(安全か否かの基準値)も明確になる。こうした知見は、風力発電の学術的進歩に大きく貢献するばかりでなく、風力発電産業界にも極めて大きなインパクトを与えるものと考えられる。具体的

には、既に建設された風車を有する自治体や事業者には、地形性乱流に起因した風車トラブルの原因究明とその回避策を講じることが可能になる。また同時に、風車の新規地点の探査や建築確認申請に必要な設計風速の高精度な評価も可能になる。

本研究で得られた知見が風車建設後の維持・管理システムに反映されれば、効率的な風車(ウィンドファーム)の運用にも繋がる。

3. 研究の方法

(1) 標高データの構築法の高度化

従来、風力発電の適地選定を目的とした数値風況シミュレーションでは、国土地理院の50m標高データの利用が一般的であった。このデータは作成時期が古く、解像度の不足から、風車直近の地形起伏が発生起源となる地形性乱流の影響を再現できない。現在、50m解像度以下の詳細地形を3次元デジタルデータとして取得し、風況シミュレーションの入力データとして利用するには多大な労力が必要である。

本研究では、自治体などから一般的に入手可能な1/2,500~1/10,000程度の紙地図やレーザープロファイラデータに基づいて3次元デジタルデータを構築する技術を、地理情報システム(GIS)と連携して開発する。構築した高解像度標高データを数値風況シミュレーションの入力データフォーマットに自動変換する技術を開発する。これに伴い、一連の前処理の作業時間は、数日から数時間へ大幅に短縮される。

また同時に、航空測量データから地形起伏と樹木などの地表面粗度を同時に判別・抽出しテキストデータ化する技術を開発する。

(2) 数値流体シミュレーション技術の高度化

安定時、不安定時などの任意の大気安定度に適用可能なモデルへ改良する。同時に、汎用性とロバスト性に優れた最新のLES乱流モデルの導入、流入気流条件、境界条件、地面境界条件などの精緻化を行う。

計算時間を短縮するため、GPGPU技術に対応した計算コードのチューニングを施した。GPGPU (General Purpose computing on GPU: GPUによる汎用計算)のコンセプトとは、グラフィック・レンダリングに限らず、GPU(Graphics Processing Unit)が有する浮動小数点演算能力を、他の数値演算にも幅広く利用することである。その結果、スーパーコンピュータ並みの計算速度の短縮化に成功した。

具体的な地域の縮尺模型を作成して風洞実験を実施する。風洞実験では、流れの剥離を含む3次元複雑乱流場を測定できるよう、特殊な熱線風速計を用いて気流自動計測システムを開発する。これにより複雑地形上の風況特性を明らかにし、高精度な検証データ

を取得する。この結果に基づき、計算コードの予測精度を多角的に検証し、精度向上へフィードバックする。数値目標として、平均風速、風車の耐風安定性評価に必要な風速の乱れ強度は、風洞実験値と比較して数%の範囲で一致させる。

(3)実証試験の実施

風力発電事業者、自治体、風車メーカーなどの協力を得て、地形性乱流に伴うトラブルに遭遇した風車情報を入手し、その状況をコンピュータで忠実に再現する。上記で開発した技術に基づき、風車がいかに過酷な状況にさらされているかを定量的に明らかにし、発電量低下や風車故障の原因となるウィンドリスクを特定する。さらに、それらのウィンドリスクの状況を、コンピュータグラフィックス技術を用いて3次元として立体的に視覚化する。さらに風車ウエイクの乱れの様子も解析する。

提案する一連の解析作業に要する時間や、予測精度を検証するための実証試験を行う。これは、風況シミュレーション方法や結果の表現方法を調査・分析することが主たる目的である。具体的には、上記の個別開発項目を統合し、計算領域の選定から実際の風況シミュレーション、計算結果のアニメーション作成などを行う。

4. 研究成果

平成25年3月12日、京都府太鼓山風力発電所で3号機風車の発電機付きブレード部分(高さ約50m、重さ約45t)が地上に落下する「重大事故」が発生した。時故当時は風速15m/s程度と設計基準内に収まっており、「金属疲労」が事故の主原因との見方で調査が進められ、報告書も既に公表されている。本研究では、この太鼓山風力発電所で起きた「重大事故」を数値風況面から詳細に考察した。

「地形乱流」の影響に注目した著者の最新の研究成果から、主風向の西南西の場合、全ての風車位置でべき乗則から逸脱した速度シアが存在すること、また大きな風向変化が風車のヨー方向で頻繁に発生していることが示された。以上から、「地形乱流」の影響により励振力が増大し、風車支柱とブレードを結合する根元付近に付加的な荷重が発生してボルトの「金属疲労」がより進行したのではないかと推測された。

時間平均風況場と瞬間場を比較してみると、当然ながら両者の結果には明確な違いが見られた。時間平均場のみから判断すると、全ての風車位置で大きな速度シアが観察されていないので、風況面からは全ての風車位置で重大な問題は生じないという結論になりがちである。よって、「地形乱流」の影響の調査には、「非正常な」流動現象を踏まえての考察が不可欠である。

今後、風力発電を適切に普及・拡大させる

ためには、新設、既設、小型風車、大型風車を問わず、風車の「重大事故」を未然に防ぎ、風車を安全に運転させる、すなわち、稼働率を高水準に保つための「数値風況診断」が必要不可欠であることを示した。

特に風力業界では、「産学官連携」が重要なキーワードである。今一度、風力発電の成功には「局所風況」の把握が極めて重要であるとの共通認識を持つべきであると言える。太鼓山風力発電所を含めて、改めて厳密な数値風況診断を行い、最新の風車を最適な配置に建設することが出来れば、風車本来の寿命を全うし、新たな風力発電所として生まれ変わることが可能であることを示すべきである。それを強力に支援する「純国産」の技術が日本には存在することを示すことに成功した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計5件)

- (1) 内田孝紀、最新のGPUアクセラレータによるLES乱流モデルに基づいた数値風況予測技術の高速化、日本風力エネルギー学会誌, Vol. 38, 通巻109, pp. 101-104, 2014
- (2) 内田孝紀、GPGPUコンピューティングによるLES乱流モデルに基づいた数値風況予測技術の高速化、日本風力エネルギー学会誌, Vol. 37, 通巻108, pp. 533-536, 2014
- (3) 内田孝紀、京都府太鼓山風力発電所で起きたナセル落下事故に対する数値風況面からの一考察、九州大学応用力学研究所所報, 第147号, pp. 45-50, 2014
- (4) 内田孝紀、川島泰史、山間部における気象GPVデータを用いた簡易風況推定法の試み - 阿蘇車帰風力発電所を例として -, 九州大学応用力学研究所所報, 第147号, pp. 31-43, 2014
- (5) 内田孝紀、川島泰史、沿岸部における気象GPVデータを用いた簡易風況推定法の試み - 鹿児島県内の風力発電所を例として -, 九州大学応用力学研究所所報, 第147号, pp. 15-29, 2014

[学会発表](計3件)

第35回風力エネルギー利用シンポジウム, 2013

宇宙飛行の力学シンポジウム2014(招待講

演)

第133回NEC C&CシステムSP研究会2014(招待講演)

〔その他〕
ホームページ等

http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/aboutus_detail03.html

6．研究組織

(1)研究代表者

内田 孝紀 (UCHIDA TAKANORI)
九州大学・応用力学研究所・准教授
研究者番号：90325481