

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12477

研究課題名(和文) 風車の重大事故を引き起こす乱気流の発生機構解明に対する数値流体力学的アプローチ

研究課題名(英文) Numerical Investigation of Terrain-Induced Turbulence in Wind Farm

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)： 風力エネルギーの有効利用に関心が集まる中、風車(ウインドファーム)の建設適地は海岸地区から山間部に移動しており、その結果として複雑地形上に風車(ウインドファーム)を建設せざるを得ない状況にある。

本研究では、そのメカニズムを数値シミュレーションで再現し解明する。これらの問題解決に向け、独自に開発予定の詳細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。

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 the present paper, the reproduction method of the continuous wind direction changes based on the RIAM-COMPACT CFD model that was proposed. In addition, we carried out the large-eddy simulation (LES) of the wake generated behind the wind lens turbine (WLT) under optimal tip speed ratio.

研究分野：風工学

キーワード：風力発電 数値風況診断

### 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(ウインドファーム)の建設適地は海岸地区から山間部に移動しており、その結果として複雑地形上に風車(ウインドファーム)を建設せざるを得ない状況にある。最近になって、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社会問題になっている。

### 2. 研究の目的

本研究では、そのメカニズムを数値シミュレーションで再現し解明する。これらの問題解決に向け、独自に開発予定の詳細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、風車に対するウインドリスクの定量化と視覚化を試みる。

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。NEDOの調査報告書によると、(地形乱流を含む)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、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。両者の因果関係は未だ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)の原因が明らかになる。同時に、その閾値(安全か否かの基準値)も明らかになる。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、風力発電の産業界にも極めて大きなインパクトを与える。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、地形乱流に起因した風車トラブルの原因究明とその回避策の提案で貢献できる。売電による財源確保を掲げる自治体や事業者にとっては、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が可能になる。さらに、今回の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(ウインドファーム)の運用にも繋がる。一方、環境との共生も重要である。野鳥が風車に巻き込まれる、いわゆるバードストライクは最重要検討課題である。最近になり、野鳥の飛来ルートは局所的な風の道であることが分かってきた。本成果を利用すれば、この風の道を事前に可視化でき、バードストライクの回避に寄与できる。

### 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風況シミュレーションでは、国土院の50m標高データの利用が一般的であった。このデータでは空間解像度の不足から、風車直近の地形起伏が発生起源となる風の乱れ(地形乱流)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。10m標高データが北海道地図(株)から販売されているが、その価格は極めて高価である。

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2時間程度へと大幅に短縮される。同時に、航空衛星写真から樹木などの地表面粗度を判別・抽出し、土地利用区分の識別子を保持させながら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数値モデルへ改良する。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、Windows搭載PCに最適な計算コードのチューニングを施す。

具体的な風力発電所の縮尺地形モデル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に、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。

上記に対応する計算時間は、50万格子を用いた1ケース(1風向)の場合、2時間以内に終了させる。

#### (3) 実証試験の実施

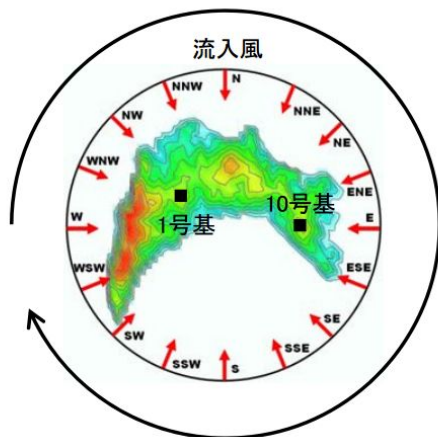
風力発電事業者などの協力を得て、地形乱流に伴うトラブルに遭遇した風車情報入手し、その状況をコンピュータで忠実に再現する。上記で開発した技術に基づき、風車がいかに過酷な状況にさらされているかを定

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

本研究では、非定常乱流場の解析が可能な流体力学CFDモデルRIAM-COMPACT®を用いて、図1に示すように風向変化を360°連続的に再現する計算手法を開発することに成功した。特に、連続的に風向を変化させる移動速度に関してケーススタディを実施し、少なくとも1ステップあたりに移動する風向角度(度)は、 $2.25 \times 10^{-4}$ 、あるいはそれ以下の移動角度を設定することが必要であることを示した。なお、今回得られた数値を他のサイトに適用し、本研究と同様な結果が得られたことを確認した。



風向を分割せずに、一度の計算で360度連続的に風向を変化させる(本研究では、西→北→東→南→西に変化)。

図1 風向の変化を考慮した計算手法

さらに本研究では、流体力学モデルRIAM-COMPACT®に導入したアクチュエータラインモデルの高度化を行い、風車ウエイクを再現することに成功した。図2には複雑地形上に設置された場合の風車ウエイクの流れの可視化を示す。複雑地形を過ぎる乱れた気流が風車に進入している様子が再現されている。風車背後にはTip Vortexの存在が確認されるものの、地形からの剥離流の影響により、その構造を急速に崩れている。

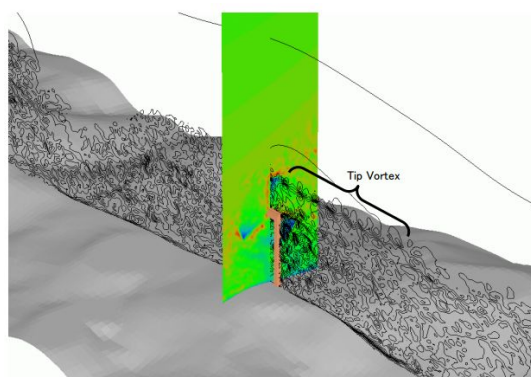
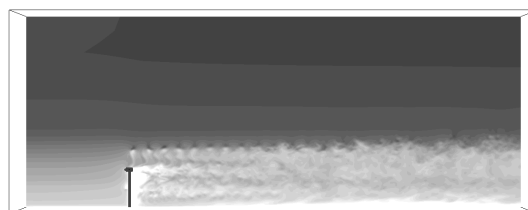


図2 風車ウエイクの計算結果の一例



(a)流入変動なし



(b)流入変動あり

図3 風車ウエイクに対する  
流入変動気流の影響

図3には、風車ウエイクに対する流入変動気流の影響の検討結果を示す。図3(b)の場合には、その影響が明確に確認された。

今後、より定量的な調査を行うとともに、得られた結果から、風車の最適な配置を提案することが大きな課題である。

#### 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2件)

- (1) 内田孝紀, 査読有, LESによる数値風況診断に基づいた風車制御とその経済効果, 日本風力エネルギー学会論文集, Vol. 39, No. 4, 通巻116, pp. 61-68, 2016  
[http://doi.org/10.11333/jwea.39.4\\_A\\_61](http://doi.org/10.11333/jwea.39.4_A_61)
- (2) 内田孝紀, 査読有, 非定常乱流モデルLES

による地形性乱流の数値的再現性, 日本  
風力エネルギー学会論文集, Vol.39,  
No.4, 通巻116, pp.53-60, 2016  
[http://doi.org/10.11333/jwea.39.4\\_A\\_53](http://doi.org/10.11333/jwea.39.4_A_53)

〔学会発表〕(計1件)

第37回風力エネルギー利用  
シンポジウム

発表者: 内田孝紀

発表標題: LESによる数値風況診断に  
基づいた風車制御と  
その経済効果

発表年月日: 2015年11月27日

発表場所(国内): 科学技術館(東京)

〔その他〕

ホームページ等

[http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/aboutus\\_detail03.html](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