

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01574

研究課題名(和文) 2MW大型風車ブレードとナセル内部機器に与える地形起因の乱流影響に関する実証研究

研究課題名(英文) Empirical research on the effects of terrain-induced turbulence on 2MW large wind turbine blades and internal equipment of the nacelle

研究代表者

内田 孝紀 (Uchida, Takanori)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：90325481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、大型商用風車のブレードとナセル内部に歪ゲージを設置し、これらの計測データに基づいて、「地形性乱流」および「回転性乱流」と「風車振動(風車の疲労荷重)」との相関性を明確化する実証研究を実施した。また同時に、本研究で対象とした風車周辺の地形データを詳細に再現した後、CFDによる数値風況シミュレーションも実施した。3次元の複雑な気流構造を視覚化するとともに、風車ブレードおよびナセル内部機器に与える乱流影響に関する評価指標の策定を試みた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究開発で得られた種々の知見を複雑な山間部に風車を建設する際、さらには風車建設後の維持・管理(メンテナンスシステム)に効率的に反映されれば、風車の重大故障を未然に防ぎ、かつ風車あるいはウィンドファームの最適な運用に繋がることは確実である。

さらに本研究で得られた一連の知見は、現在注目を集めている大型洋上風力発電へも即座に適用可能である。具体的には、複数の風車の設置間隔などを適切に決定する際に非常に有用となる。また、上記の陸上風力と同様、建設後の維持・管理にも適用可能である。

研究成果の概要(英文)：In this study, strain gauges were installed inside the blades and nacelle of a large commercial wind turbine. Based on these measurement data, we conducted an empirical study to clarify the correlation between "topographic turbulence" and "rotational turbulence" and "wind turbine vibration (wind turbine fatigue load)." At the same time, we also reproduced in detail the topographical data around the wind turbine targeted in this study. Using these data, we also conducted numerical wind condition simulations using CFD. In addition to visualizing the complex three-dimensional airflow structure, we attempted to develop evaluation indicators regarding the effects of turbulence on the wind turbine blades and internal components of the nacelle.

研究分野：風力エネルギー工学

キーワード：風力発電 地形性乱流 数値流体シミュレーション

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

これまでの我々の研究成果から、風車重大事故の主要な原因が、地形起因の「地形性乱流」であることが示された((1)Takanori UCHIDA, Numerical Investigation of Terrain-induced Turbulence in Complex Terrain by Large-eddy Simulation (LES) Technique, Energies, 11(10), 2638, 2018 (2)Takanori UCHIDA, LES Investigation of Terrain-Induced Turbulence in Complex Terrain and Economic Effects of Wind Turbine Control, Energies, 11(6), 1530, 2018). 風車近傍の地形起伏や地表面粗度の急変に起因した「地形性乱流」は、風車ブレードやタワー、ナセルを「振動」させ、金属疲労を著しく進展させるとともに、風車の発電出力にも多大な影響を与える。また、風車ブレードが回転する「風車ウエイク」に起因した「回転性乱流」も同様な影響を与える。こうした状況の中、「地形性乱流」と「回転性乱流」が複合した複雑な状況下では不明な点が多い。

### 2. 研究の目的

本研究では、上記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。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。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(ウィンドファーム)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

本研究では、数値風況予測モデルRIAM-COMPACT(リアムコンパクト)をコア技術に研究開発を実施し、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性乱流の力学的発生メカニズム、風車ブレードの回転に伴う乱気流の力学的発生メカニズム、それらが風車構造強度(疲労荷重)に与える影響を、実際に稼働している山間部の大型風力発電所において実証した。

### 4. 研究成果

本研究では、2012年11月より運転を開始した鹿児島県の串木野れいめい風力発電所を対象とした。串木野れいめい風力発電所には、日立製作所製の2MW商用大型風車(ハブ高さ60m、ブレード直径80m)が10基設置されている(図1)。本研究では、ターゲット風車である10号機風車のブレード3枚の根元(ルート部:ハブ接合面から約1.3mの位置、図2)に2種類の電気式の歪ゲージを設置し、この測定値と風車運転基本情報(ナセル風向、ナセル風速など8項目)を同期計測するシステ

ムを構築した。このシステムを用い、実測データを50Hz(0.02間隔、1秒間に50回)にて収集した。ナセル風向およびナセル風速の実測データは、風車ナセル上に設置されている風車制御用の風向センサーおよび風速センサー2セットの平均値を使用した(図2)。

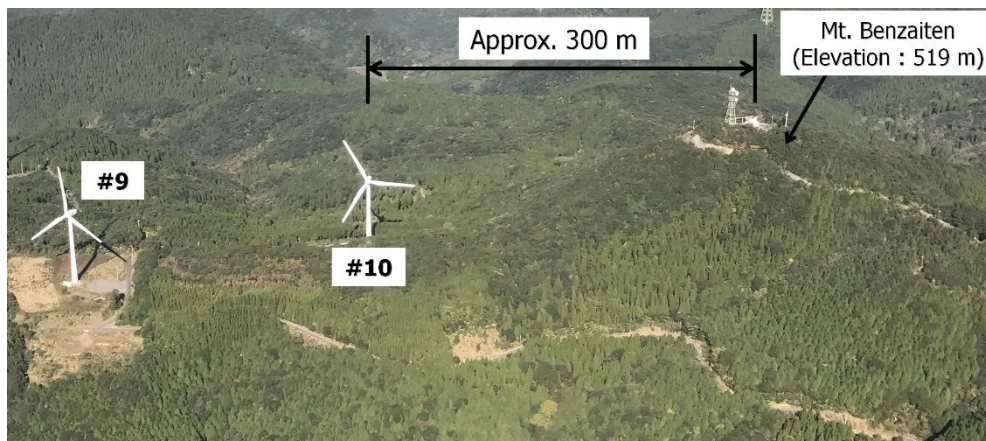


図1. 弁財天山(標高519m)と10号機風車の位置関係。

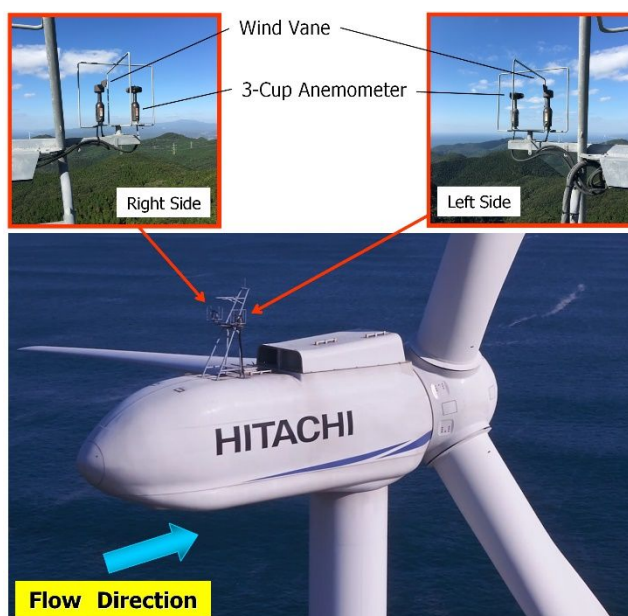


図2. 風車の概要。

本研究では、一連の研究成果に基づいて、地形性乱流が大型風車のブレードに与える2種類の新しい定量化指標を提案することに成功した。一つは、風況に関する定量化指標(乱流評価指標)であり、Uchida-Kawashimaスケール1(便宜上、U-Kスケール1)と名付けた(式(1))。

「Uchida-Kawashimaスケール1:乱流評価指標(Turbulence Evaluation Index)」

$$U\text{-K Scale}_1 = \frac{\sigma_u}{U_{in}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}}{U_{in}}$$

(1)

本研究では、風車10号機の風車ブレード3枚の根元に電気式の歪センサーを設置し、歪変動の時系列データに基づいて疲労等価荷重(DEL:Damage Equivalent Load)を算出した。本研究では、実測値により算出した2種類の回帰直線、すなわち、「Low-Turbulence Flow Case」としての北風の結果、「High-Turbulence Flow Case」としての東風の結果、Bladedにより算出した設計値に基づいて荷重に関する定量化指標(疲労損傷評価指標)としてUchida-Kawashimaスケール2(便宜上、U-Kスケール2)を定義した(式(2))。

「Uchida-Kawashimaスケール2: 疲労損傷評価指標(Fatigue Damage Evaluation Index)」

$$U-K \text{ Scale}_2 = \frac{\sum_{i=1}^n DEL_{Proposal}}{\sum_{i=1}^n DEL_{Design}} \quad (2)$$

本研究では、風車10号機の風車ブレード3枚の根元に電気式の歪センサーを設置し、歪変動の時系列データに基づいて疲労等価荷重(DEL:Damage Equivalent Load)を算出した。本研究では、実測値により算出した。

さらに、本研究では風車のウエイク影響を取り入れた解析を行い、地形性乱流と風車ウエイクの回転性乱流が複合した場合の検討を試みた。これらの解析結果と観測データをさらに詳細に検討し、第三番目の評価指標を定めることが急務である。

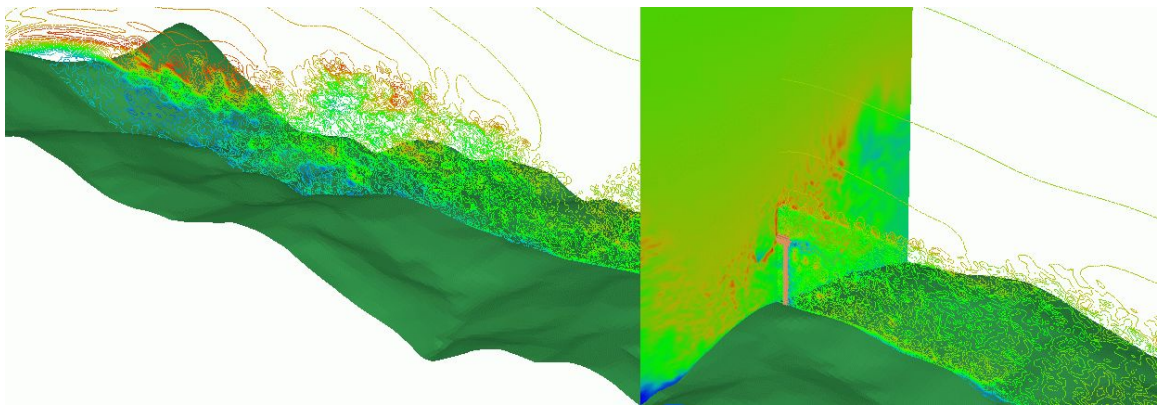


図3. 風車ウエイクを忠実に再現した例.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 内田 孝紀, その他7名	4. 巻 Vol.45 No.4
2. 論文標題 スパコン版リアムコンパクトによる風車ウエイクの相互干渉に関する大規模数値シミュレーションーウエイク領域内の平均風速欠損量の予測精度検証ー	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本風力エネルギー学会論文集	6. 最初と最後の頁 pp.71-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 内田 孝紀, 小野 謙二, 飯田 明由, 吉村 忍, 加藤 千幸, 山出 吉伸, 今村 博, 植田 祐子	4. 巻 Vol.45
2. 論文標題 スパコン版リアムコンパクトによる風車ウエイクの相互干渉に関する大規模数値シミュレーションーウエイク領域内の平均風速欠損量の予測精度検証ー	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本風力エネルギー学会論文集	6. 最初と最後の頁 71-82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 内田 孝紀
2. 発表標題 スパコン版RIAM-COMPACTの開発と風車ウエイクシミュレーションへの適用 - ドイツAlpha Ventus洋上風力発電所の実測データの再現性について -
3. 学会等名 第44回風力エネルギー利用シンポジウム
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------