

令和 6 年 6 月 1 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01413

研究課題名（和文）降雪を用いた粒子画像流速測定法（PIV）による風車の後流計測に関する研究

研究課題名（英文）Study on wake measurement of wind turbine by particle image velocimetry (PIV) using snowfall

研究代表者

本田 明弘 (Honda, Akihiro)

弘前大学・地域戦略研究所・教授

研究者番号：60620606

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,600,000円

研究成果の概要（和文）：回転する風車の風下に生じる後流は複雑な流れ場で形成されており、従来は簡易的な工学モデルを適用して対応してきた。しかしながら現在の風車の大型化に伴う安全性リスクや多数の風車からなるウィンドファームとしての発電性能を確保するには、実際の現象に即したモデル化が必要である。本研究では、3種類の大きさの実風車を対象に、降雪による風車後流の流れの可視化を実施して、定量的な評価を実施した。その結果後流の可視化領域はロータ直系の2倍程度まで翼端渦の挙動を明確にとらえることができた。さらに可視化画像をPIV処理して後流内部の流速分布も把握することが可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

冬季の降雪という地域性のある流体可視化のシードを用いる必要があるが、学術的には実験室レベルでの流体実験よりも大きなスケールでの野外での流体現象を把握するための手法が得られたものと考えられる。また本研究成果は、現地において実機で生じている現象をとらえることができ、設計時の設定と比較検討することでリスク評価につなげ、今後新設される計画への反映もさることながら、既存のウィンドファームの最適運転の制御ロジック構築にも反映できる。

研究成果の概要（英文）：The wake that occurs downwind of a rotating wind turbine is formed by a complex flow field, which has traditionally been addressed by applying simple engineering models. However, to address the safety risks associated with the increasing size of modern wind turbines and to ensure the power generation performance of a wind farm consisting of many turbines, modeling that reflects actual phenomena is necessary. In this study, we visualized the wake flow caused by snowfall on three different sizes of actual wind turbines, and performed a quantitative evaluation. As a result, the behavior of the tip vortex could be clearly captured in the visualized wake area up to about twice the direct line of the rotor. Furthermore, it became possible to grasp the flow velocity distribution inside the wake by processing the visualized images with PIV.

研究分野：流体力学

キーワード：流体力学 可視化 降雪 PIV 風車 後流

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

研究開発当初である令和3年当時は、日本国内で洋上風力の商業用プロジェクトの建設が始まるタイミングであり、風車の後流が風下の風車に及ぼす影響に関して関心が集まっていた。特に洋上風力に関して先進地域である欧州においては陸上よりも風車後流が及ぶ距離が長く、風下となる風車では発電効率の低下や機器の損傷を招き、後流の特性を把握する事が重要であることが叫ばれていた。

2. 研究の目的

実機風車後流の複雑な流れ場を可視化し、現在用いられている後流の簡易的な工学モデルとの比較を行い、必要に応じて修正を行うことを目的とする。

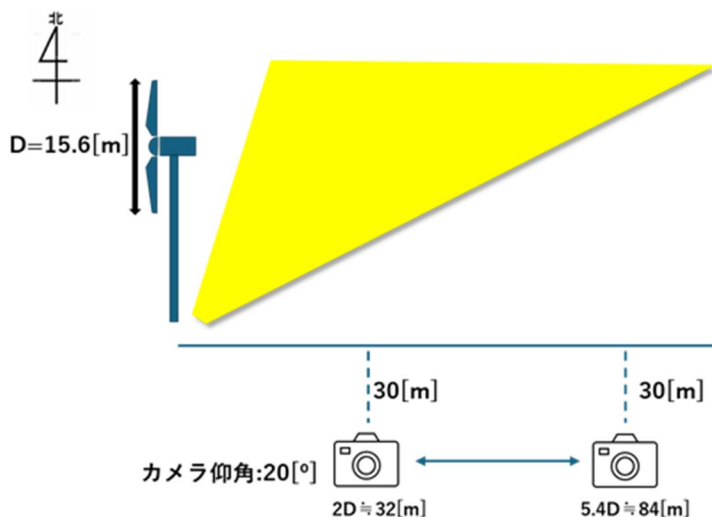
3. 研究の方法

従来は地表に設置した風速計で観測された平均風速の簡易モデルが用いられているが、後流の揺らぎや渦による乱れを含めた高度な観測が求められている。これに対して高価なスキニングライダーを用いた観測では、空間分解能が数10m程度の平均的スカラー量であり、風車翼先端渦の減衰などの微視的な検討は難しい。

本研究では、上記の既往の実験手法での短所を補うべく、大小の実機風車ロータ近傍の非定常な流れを降雪により可視化した。また、可視化する被写体が大規模になるために映像の歪が増大するため、画像補正のプログラムを独自に開発した。さらに粒子画像流速測定法(PIV)を用いて、非定常流れを評価した。

光源は当初予定したLAXISを用いて、ホログラフィックディフューザーで扇形に偏光した。地上から鉛直面に光源を照射する場合には積雪時に光源およびバッテリーを移動可能なようにソリを改造した台車に固縛し風向に応じて光源の向きを調整した。ハブ高さから水平面に光源を照射する場合には、光源の向き、見上げ角は固定した。

また撮影は、高解像度一眼カメラを用いて動画撮影を実施。カメラの向き、見上げ角などは記録して、光源の情報と合わせて画像の歪補正に用いた。小型風車の実験レイアウトを下図に示す。



なお現地での実験に際しては、コロナによる制限や、降雪量の少なさ、隣接風車の倒壊事故の影響を受けて、当初の予定から変更せざるを得ない部分もあったが、関係各位の協力のもと何とか当初計画の実験パラメータは対応できた。

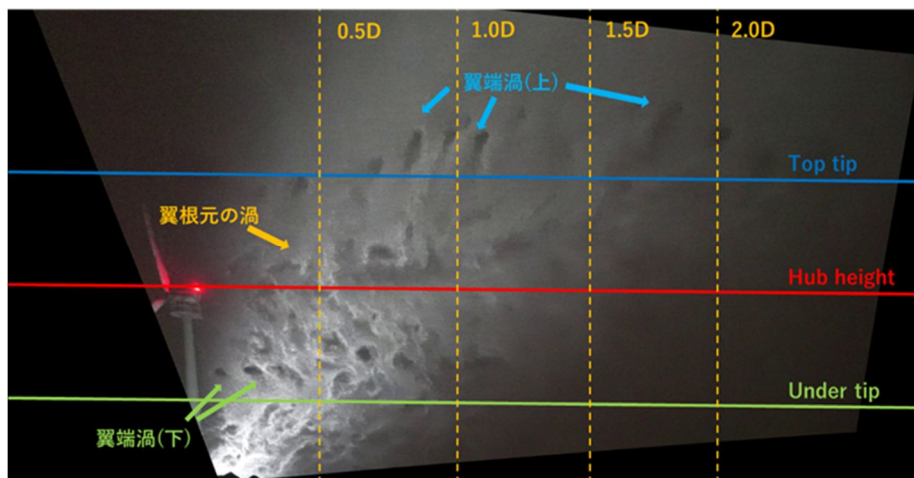
4. 研究成果

本研究の成果は以下のとおりである。

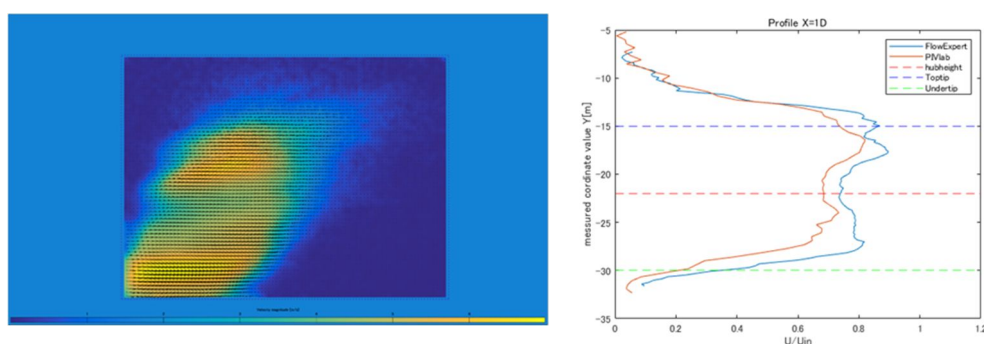
実機風車の後流可視化に関しては、比較的平坦な地上に設置された3種類の風車を対象に降雪時の流れの可視化を実施した。具体的には、青森県下北半島の六ヶ所にある定格出力1.5MWの大型風車、津軽半島中泊にある定格出力19.8kWおよび5kWの、小型およびマイクロ風車の3種類で実験を実施した。

そのうち下図に代表的な小型風車での後流の可視化画像を示す。流下距離2D程度まで可視化ができ、ロータの上下の翼端から放出される渦が明確にとらえられているほか、後流が流下するにつれて、全体的に上昇してゆく傾向が認められた。

なお現地における風向の変化が少ない場合には、光源の位置を変更することで更に下流まで可視化は可能である。



これらの可視化画像を2種類のPIV処理をして得られた流速のカラーコンタと、流加距離1Dの位置における流速分布を下図に示す。



光源からの扇形の光面が降雪により反射される輝度は扇形の外側になるほど低下し、PIV処理においては流速の判定が不可能な領域となる。しかしながら上図右側に見る流速分布はナセル中心付近で低く、翼端に近づくにつれて増大傾向にある。ただし、上下方向の流速は非対称であり、後流全体が地面と平行ではないことが分かった。

このことは従来の後流の工学モデルでは再現できないため、別途実施した数値流体解析により、風車の上流側での風速の高度分布などが後流に影響していることも判明したため、後流の工学モデルを修正方法を考案した。今後とも学会での発表は継続してゆく。

本研究成果は流れの可視化学会、日本風力エネルギー学会や日本風工学会にて発表し、日本風工学会より2023年度優秀修士論文賞を受賞した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大槻映玲永, 本田明弘, 久保田健, 笹沼菜々子
2. 発表標題 降雪を用いた実風車後流の可視化の試み
3. 学会等名 第51回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大槻 映玲永, 本田 明弘, 久保田 健, 笹沼 菜々子, 岡崎 衆介
2. 発表標題 降雪を用いた実機風車の後流の可視化手法に関する研究
3. 学会等名 第45回風力エネルギー利用シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本田 明弘, 久保田 健, 笹沼 菜々子, 大槻 映玲永
2. 発表標題 風車後流に及ぼす諸因子に関する検討
3. 学会等名 第45回風力エネルギー利用シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大槻 映玲永, 本田 明弘, 久保田 健
2. 発表標題 降雪を用いた風車後流の可視化および PIV処理
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
研究分担者	松田 寿 (Matsuda Hisahi) (30595343)	北海道科学大学・工学部・教授 (30108)	
研究分担者	千葉 隆弘 (Chiba Takahiro) (40423983)	北海道科学大学・工学部・教授 (30108)	
研究分担者	久保田 健 (Kubota Takeshi) (70400405)	弘前大学・地域戦略研究所・准教授 (11101)	
研究分担者	内田 孝紀 (Uchida Takanori) (90325481)	九州大学・応用力学研究所・准教授 (17102)	

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
---------	---------