

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：37501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K04231

研究課題名(和文) 強風下においても壊れない柔軟性を持つコルゲート翼風車の凹凸形状の設計手法の解明

研究課題名(英文) Elucidation of the design method for the uneven shape of a corrugated blade wind turbine with flexibility that will not break even in strong winds

研究代表者

原田 敦史 (Harada, Atsushi)

日本文理大学・工学部・准教授

研究者番号：40612023

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、トンボの翅を模したコルゲート翼型タービンを持つ風力発電に関する研究である。この風力発電装置は、低風速領域において安定した出力が得られる。しかし、柔軟な翼構造のため、強風時などで破壊するという問題が生じている。本研究では、強風時におけるタービン翼の破壊に注目して研究を進めた。フィールド実験において、台風などの通過時に20m/s以上の強風における環境下で実験を行ったが、破壊することはなかった。この中で、当初予想していたよりも低い風速で破壊が生じることが明らかになった。風洞装置を用いて同じ風速で実験を行うとタービン翼が激しく振動し、効率が大幅に低下する領域があることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自然エネルギーの利用は、環境問題の観点などから注目されている。また、災害が発生した場合などの非常電源に活用することなども活用が見込まれている。本研究は、これまで比較的大規模な発電様式とは異なり、数W程度の小規模な発電領域において有効な技術である。この研究により、さまざまな条件で安定した発電を行い、さらに破壊および故障を避けることができる設計手法の手がかりを明らかにすることができた。今後は、共振点をずらす設計手法を明らかにすることによって、幅広い利用を行うことが可能になることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：This research is about wind power generation with a corrugated blade turbine that imitates the wings of a dragonfly. This wind power generation device can obtain stable output in low wind speed areas. However, due to the flexible blade structure, there is a problem that it breaks in strong winds. In this study, we focused on the breakage of turbine blades in strong winds. In field experiments, experiments were conducted in an environment with strong winds of over 20 m/s when a typhoon passes, but no breakage occurred. It was revealed that breakage occurs at wind speeds lower than initially expected. When experiments are conducted at the same wind speed using a wind tunnel device, it is shown that there are areas where the turbine blades vibrate violently and efficiency drops significantly.

研究分野：設計工学

キーワード：流体力学 エネルギー工学 風力発電 バイオミメティクス 自然エネルギー

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

小型風車は実用化が始まり、価格や設置面で有利な点が多いため、導入が進んでいる。しかし、設置場所の多くは、安定に発電ができる風速に達していない。そのような中、流体工学とバイオミメティクスの融合分野では、トンボの翼の凹凸により渦の発生が誘発され、この現象により低レイノルズ数領域において高い揚抗比を得ることができると実験から明らかにされた。さらに、風力発電装置に、この凹凸の形状を持つコルゲート翼を用いると、低風速領域にて安定した発電を行うことが明らかになった。しかし、技術の有効性は示されたが、最適化という領域までは到達していない。

申請者は、小型の風力や水力発電の研究を行いながら、コルゲート翼を用いた風力発電技術に関する基礎研究を進めてきた。風洞実験からコルゲート翼の凹凸形状の溝深さや分布等の形状の違いが変換効率に大きく関わり、低速領域(0.5~3m/s)において常に20%程度の高い効率を維持することを明らかにした。低速領域においてコルゲート翼の性能が有効であることを示すことができ、現在も凹凸の形状や配置から変換効率に与える影響を実験から明らかにしている。その一方で、コルゲート翼の形状によっては効率が良いにも関わらず、強度が落ち、回転中に破壊する形状も得られている。「高い発電効率」と「強風にも耐えうる強度」の2つの条件を満たす新たなコルゲート翼の凹凸形状の探索が求められ、実用化のためには凹凸形状と2つの条件(強度と効率)の関係を明らかにする必要があると強く感じた。

2. 研究の目的

トンボの翅が持つ凹凸をヒントにしたコルゲート翼型風車は、風速0.5~5m/sにおいて高い性能が得られることが明らかにされている。これまでの研究は、この凹凸形状とエネルギー変換効率に注目した研究を中心に進めてきたが、本研究では強風下でも壊れない形状を明らかにすることを目的とする。この研究では、低風速において高いエネルギー変換効率を示し、さらに強風の環境下では壊れることのない凹凸形状の配置を実験から明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、コルゲート翼を用いた風車の更なる性能向上のため、形状を簡素化したコルゲート翼による風車タービンの開発と高効率化を行う。さらに、強風環境下においても風車の破壊を抑制するための凹凸形状の設計指針を示す。

(1) 低速領域におけるコルゲート翼の凹凸形状と効率の関係の解明

コルゲート翼の低レイノルズ数領域における効率は、航空機用の翼よりも良いが、風車のように回転する場合は、飛行機に取り付けた羽の流れとは条件が異なる。回転機械のタービン翼として用いた場合の形状と効率の関係を明らかにする。申請者の先行研究から、0.1~1.0mm程度のわずかな凹凸の変化でも、出力が数%変化することが明らかになっている。本研究は、コルゲート翼の凹凸形状やひねり角などのパラメータを変化させた場合の出力を計測し、最適な形状を探索する。さらに、これまで得られた結果との関係を明らかにし、翼単体とタービンとしての性能に相関の有無を明らかにする。

強風環境下における風車の破壊過程と抑制するための設計手法の解明

強風の環境下における風車は、羽根が遠心力に負け、折れてしまうことがある。提案する風車は、PETを材質としているため柔軟性を持っており、風を受け流す機能を有しているが、まだ設計が不十分であるため、同様の破損が生じる。そこで、風洞実験装置(風速設定範囲:1~50m/s)を用いて、強風の環境下で凹凸形状と破壊の関係を明らかにし、壊れにくい形状を明らかにする。また、自然界の風は常に変化しており、風車は変動のある流体力を受けながら回転している。本研究では、強風環境下の試験に加えて、周期的な変動を与えることができる風洞装置を自作し、変動のある風の環境条件の中でコルゲート翼が破壊する箇所を特定し、自然風に近い変動のある条件でも壊れにくいコルゲート翼の形状を明らかにする。

4. 研究成果

フィールド実験や変動を与えた風速内で実験を行ったが、破壊につながるような現象が生じることは少なく、柔軟な構造から風を受け流すことやタービンの回転時に作用する遠心力などによって破壊が生じることは無かった。その一方で、比較的低い流速が長時間続く状態において、破壊が進むことが明らかになった。本研究の成果として、図1を示す。横軸は、風の風速とタービン先端の周速度の比である周速比であり、縦軸は風の持つ直進エネルギーをタービンによって回転のエネルギーに変換する割合を示しているパワー係数である。また、図の白丸は板厚0.5mm、他方は1.0mmである。この結果より、板厚0.5mmは風速が上昇するに従い、周速比が低下していることが分かる。本来、風車の回転数は風速の増加と共に上昇するが、回転数が上がっていないことを意味している。これは、風車に大きな振動が生じており、図2のような時系列データより安定したデータが得られず、振動が生じていることが原因である。また、板厚1mmのデータは周速比が上昇しており、このような現象は生じていない。次に、コルゲート翼の凹凸形状

を変化させた場合の結果である。この結果より、同様の風速条件においても凹凸の比を3:7としたものは周速比4.5付近において、急激に効率が低下している。これは、図3の図中にあるように回転時の羽根のなびき方が変化したによって、このような効率の低下が見受けられた。柔軟な構造を持つタービンであるため、2つの回転モードが存在しており、このモードが切り替わる領域において激しい振動とそれに伴って生じる破壊現象が起こることが予想される。

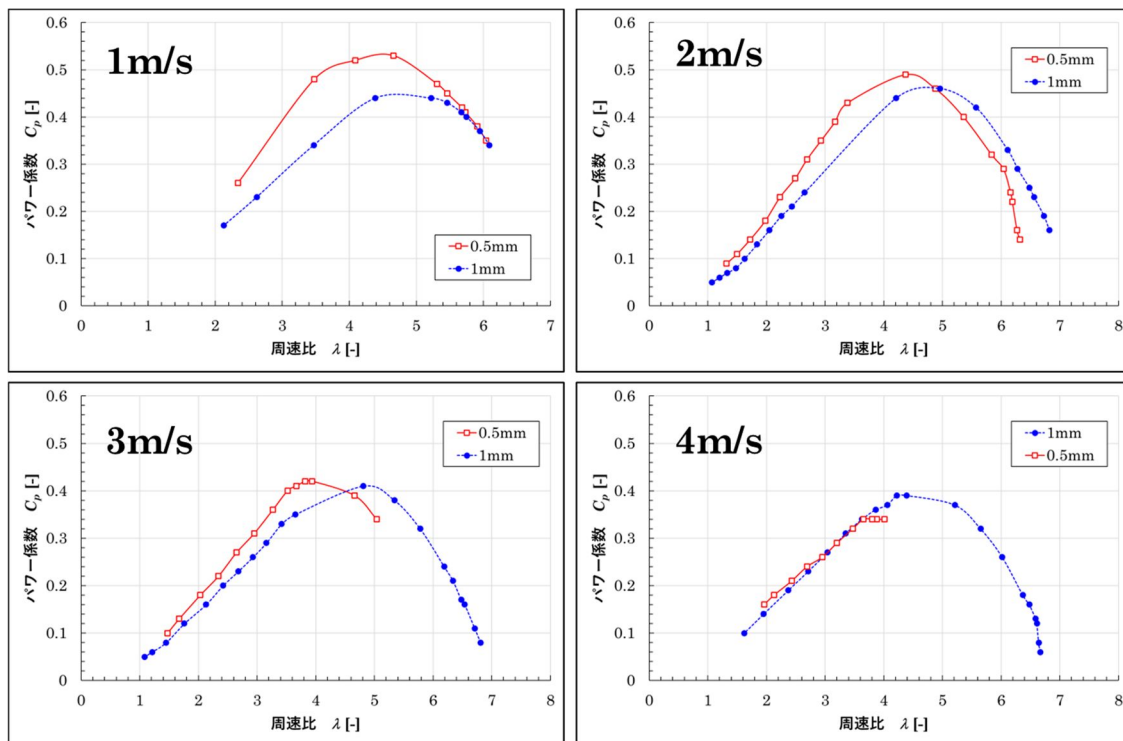


図1 タービン翼の板厚と各風速における効率の関係

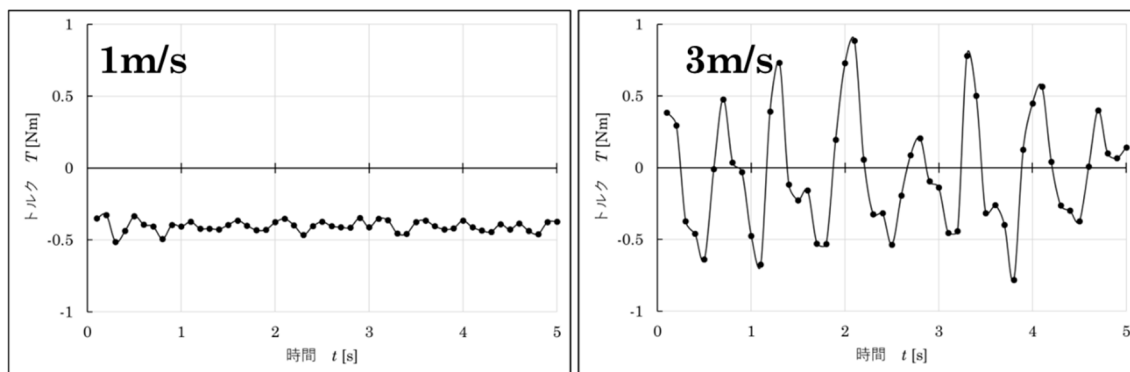


図2 時系列データ

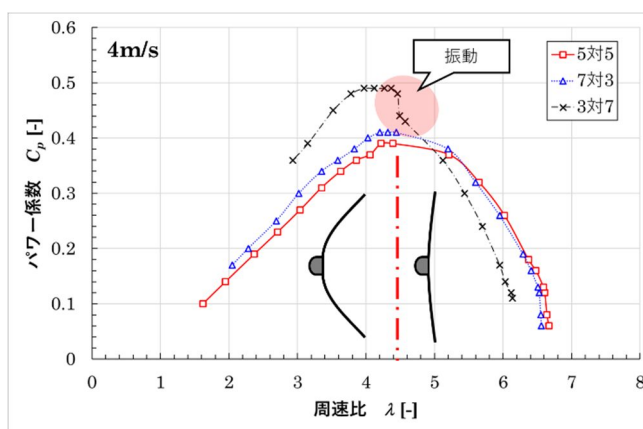


図3 風車の回転時の翼の状態と効率

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 原田敦史, 下東 史弥
2. 発表標題 トンボの翅周りの流れに関する実験的研究
3. 学会等名 日本機械学会 第99期 流体工学部門 講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 下東史弥, 原田敦史
2. 発表標題 コルゲート翼の後流の流れ構造に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会 九州支部 九州学生第53回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 原田 敦史, シム ミンギョ
2. 発表標題 コルゲート翼型風力発電機の翼厚が性能に及ぼす影響に関する研究
3. 学会等名 九州学生会第55回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 原田敦史
2. 発表標題 コルゲート翼型風車に発生する翼振動に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会九州支部第77期総会・講演会
4. 発表年 2024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
---------	---------