

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：37501  
研究種目：若手研究(B)  
研究期間：2017～2019  
課題番号：17K18322  
研究課題名(和文) 遺伝的アルゴリズムを用いたコルゲート翼型風力発電装置の最適設計と実用化への研究  
  
研究課題名(英文) shape optimization of a wind turbin with a corrugate wing Using Genetic Algorithms.  
  
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) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：コルゲート翼を持つ水平軸風車は低い風速の領域で優れた性能を示すことが知られている。これまでの研究で調べられたコルゲート翼の凹凸は、各々の山の頂点の位置が中心になるような形状であった。本研究は山の頂点の位置を変更したコルゲート翼のブレードを数種類作成し、タービン直径500mmの水平軸風車を製作し、風洞実験により調べた。この実験により、コルゲート翼の形状の違いが効率に与える影響を明らかにした。

#### 研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で着目した風車はトンボの翅から着想を得た凹凸を持つタービンとなっている。凹凸を持つ風車はコルゲート翼と呼び、これを風車に用いることにより、風速が5m/s以下で高い発電効率を持ち、安定した発電を可能としている。本研究では、この風車の効率改善に向けて最適な形状を得るための設計手法を模索するため、実験により形状の探索を行った。様々な形状と効率の関係を明らかにし、高い効率で風のエネルギーを電力に変えることができる形状を明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：It is known that a horizontal axis windmill with corrugated wings shows excellent performance in low air velocity regions. The irregularities of corrugated wings that have been studied so far were in the shape that the location of each vertex comes to center. In this study, the authors prepared several types of corrugated wings with various vertex locations and a horizontal axis windmill with a turbine of 500mm in diameter, and examined them by wind tunnel experiment. The result revealed influence of difference in shape of corrugated wings on efficiency.

研究分野：流体工学

キーワード：流体工学 風洞実験 風力発電 生物模倣技術 エネルギー工学 設計工学

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景近年、地球温暖化など地球規模の問題が深刻化しており、自然エネルギーの活用における研究が盛んに行われている。その中で、昼夜を問わず自然エネルギーを比較的容易に集めることができる風力発電の普及が進んでいる。日本では欧州のように年間を通して安定した強い風が吹く地域が限られているため、小さな自然エネルギーを容易に集めることができる小型風車に注目が集まっている。しかし、既存の小型風車は十数 m/s の風速での発電を想定しているものが多く、日本では年間平均風速が数 m/s の地域が多いため既存の小型風車では十分な発電を行うことができない。そのため、日本の風況にあった風力発電方式が必要となっている。

また、自然にあるものから着想を得て、もの作りに活かすバイオミメティクスに注目が集まっている。図 1 はとんぼの翅から着想を得たコルゲート翼の断面形状を示したものである。この凹凸形状の間に渦を作り翼の周りは航空機の翼型のように空気が流れる。また、コルゲート翼は微風でも流れが剥離しにくいという特徴がある。風力発電のタービンとして活用すると微風でも安定して発電を行うことができる。コルゲート翼は風速ごとに揚抗比が異なることが知られている(2)が、風車のタービンとして最適な凹凸の深さや比率は未だ明らかにされていない。



図 1 コルゲート翼の概略図

## 2. 研究の目的

日本には年間平均風速が数 m/s の地域が多いため、微風でも安定して発電を行うことができるコルゲート翼風車の最適形状を明らかにする必要がある。本研究では、様々な翼端形状のコルゲート翼風車を製作し、風洞実験によりパワー係数の比較を行う。この実験により、翼端形状の変化が風速ごとにパワー係数にどのように影響するかを明らかにする。

## 3. 研究の方法

本研究は、ダウンウィンド型水平軸風車を対象とし、翼断面に凹凸を持つコルゲート翼型のタービンを製作し、風洞実験により明らかにする。以下に実験装置の詳細を示す。

### (1) 風洞実験装置

風洞実験装置は、三菱重工業製 1m×1m 角ゲッチング風洞を用いた。計測部は、流れ方向長さが 2.5m、最高風速 50m/s(乱れ度 0.2%)である。本実験では、風洞の測定部分に測定胴を設け、この内部に測定装置を設置している。本研究は、低速領域を研究の対象としているため、風速を 2~5m/s の範囲で実験を行っている。

### (2) 測定装置

タービンは、風の持つエネルギーを回転エネルギーに変換する装置である。本節では、回転エネルギーを計測するため、風力タービンを支える軸に抵抗となる発電機を設け、タービンと発電機の間にはトルクメータを取り付けた。また、このモータには電子負荷装置を接続し、抵抗値を変化させることにより、軸に与える負荷を変えている。トルクメータから得られるトルクと角速度を用いてパワー係数を算出した。計測結果を図示する際に用いるパワー係数と周速比は式(1)および(2)のようになる。

$$\text{パワー係数} \quad : \quad C_p = \frac{T\omega}{\frac{1}{2}\rho U^3 A} \quad (1)$$

$$\text{周速比} \quad : \quad \lambda = \frac{2\pi\omega R}{60 U} \quad (2)$$

式中の変数は、 $T$ :トルク[N/m]、 $\omega$ :角速度[rad/s]、 $\rho$ :空気密度(=1.2[kg/m<sup>3</sup>])、 $A$ :風を受ける面積[m<sup>2</sup>]、 $R$ :ブレード半径(=0.5[m])である。

### (3) コルゲート翼

コルゲート翼は、航空機の翼などに用いられる流線型の断面形状を持たず、凹凸を持つ形状である。本研究では、この形状を製作するため低温で変形し、さらに風車の回転力に耐える強度を持つ PET を材料として用いた。コルゲート翼は、加熱した PET 平板を型に押し付けることにより成型しており、板材から 3次元形状を作り出していることになる。

図 4 は、本研究で用いた翼の形状である。過去の研究により、凹凸を翼先端まで設けず、翼先端近傍は緩やかな曲板翼の形状が良いことが明らかにされており、本研究でもこの形状を用いた。図 4 の No.0 に示す翼後縁を基準線とし、翼端の前縁側を頂点とする三角形形状を持つものを基

準の翼とする．角度  $\theta$  を小さくしていき，翼端に幅を持たせた形状を No.1-1 とし， $\theta = 0$  とし翼端の幅をさらに広げたものを No.1-2 とする．また，No.2 は基準線から No.0-No.1 と反対側に角度を取った翼端形状である．このタービン形状に対して風速を 2.5m/s, 3.0m/s, 3.5m/s と変化させて実験を行った．また，図 5 は本研究で用いた翼の断面形状である．断面形状は凹凸の比率が 7 : 3 の位置が頂点になるように設計をしている．

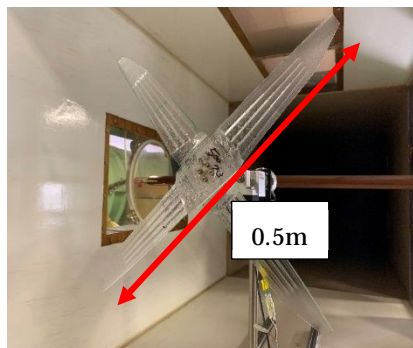


図 2 コルゲート翼を用いた風車

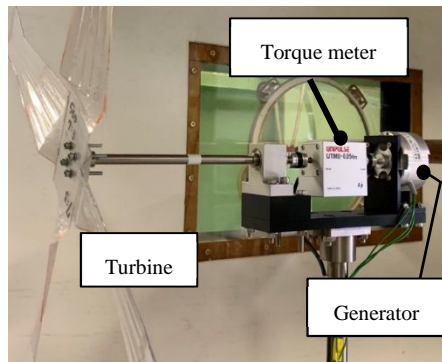


図 3 実験装置

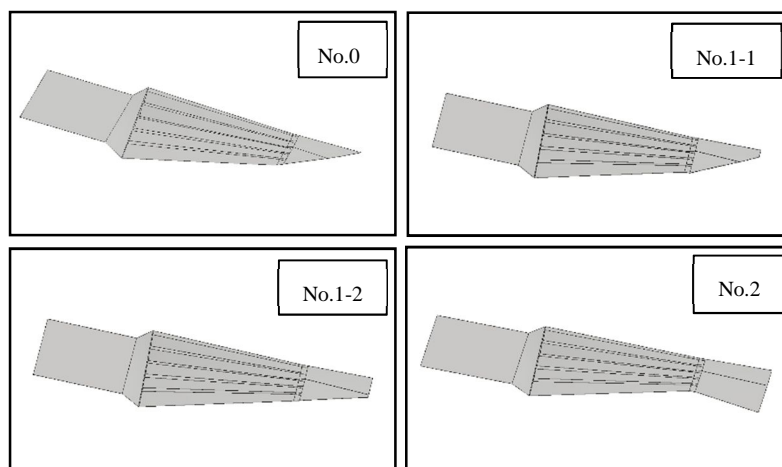


図 4 コルゲート翼形状

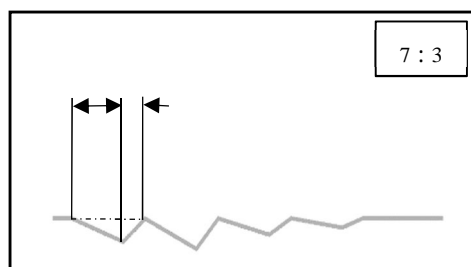


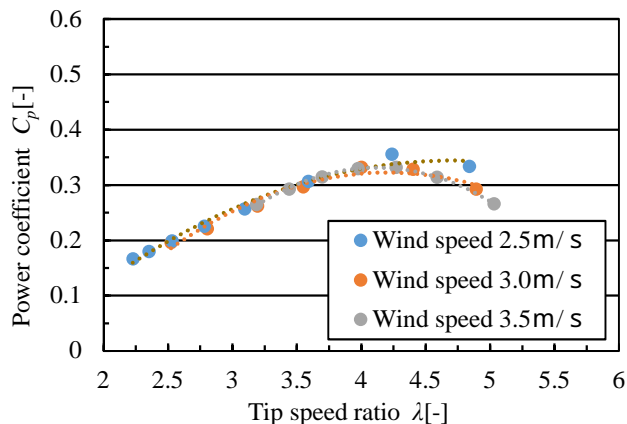
図 5 断面図

#### 4. 研究成果

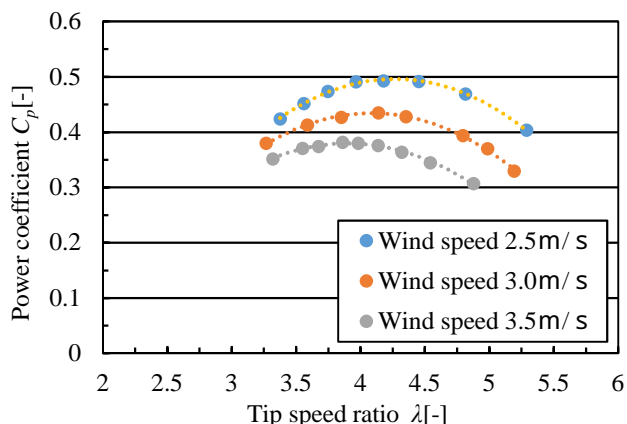
本実験で得られた結果を図 6 に示す．図 6(a) は，No.0 形状の翼に対する風速を変化させた実験結果を示したものである．風速 2.5 から 3.5m/s まで 0.5m/s ごとの風速でパワー係数分布を示している．横軸は周速比  $\lambda$  を示している．今回の実験では発電機に接続した電子負荷装置の抵抗値を増加させることにより負荷が変動し，回転数が上がるため，周速比が大きくなる．したがって，横軸は，風車に働く抵抗を変化させていることと同意である．先端に頂点を持つ形状は風速に対してパワー係数が変化することが無く，同様の分布を示し，最大効率

33%程度となった．図 6(b) は No.2 のパワー係数の分布を示したものである．No.2 は翼端の直線部分を最も長く設けており，低速の 2.5m/s で最も高いパワー係数を示し，風速が大きくなるに従い，パワー係数が低下した．しかし，最もパワー係数が低い風速 3.5m/s においても，No.0 より高い値となり，翼端に直線部を設ける有効性が確認できる．No.0 と No.1-2 のパワー係数分布の比較を図 6(c) に示す．No.1-2 は No.0 と比較すると，すべての風速で 10%程度パワー係数が向

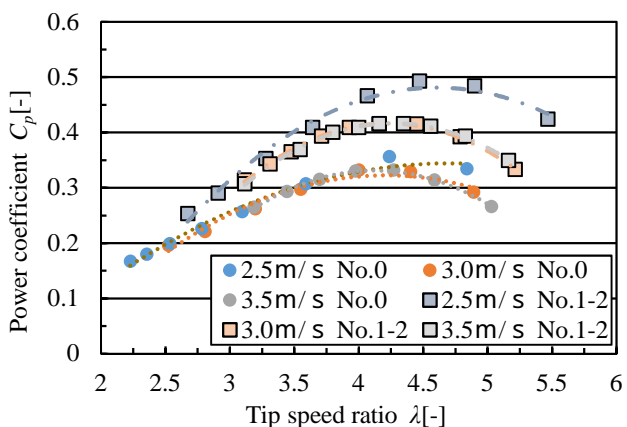
上し、風速 2.5m/s で最高パワー係数は 50%弱の値となった。同様に No.1-2 と No.2 のパワー係数の比較を図 6(d)に示す。図に示すように No.2 は No.1-2 と比べ、風速 2.5m/s と 3.0m/s でパワー係数は向上し、最高パワー係数が得られる周速比が小さくなった。しかし、周速比が約 4.5 以上では風速 2.5m/s は No.1-2 のパワー係数が高く、風速 3.0m/s は No.2 と No.1-2 のパワー係数が同程度となった。また、風速 3.5m/s では、ほぼすべての点で No.2 は No.1-2 より低い値を示した。



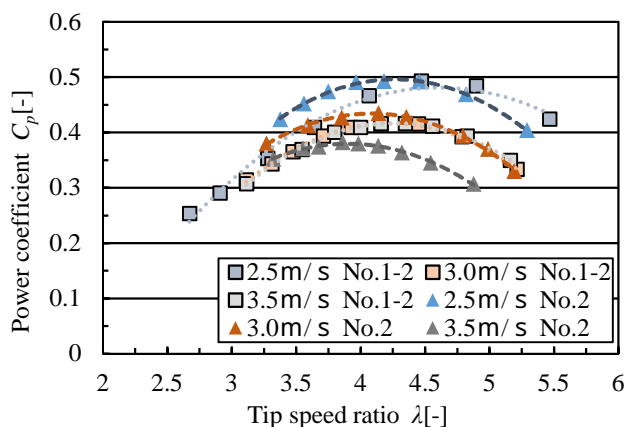
(a) Power coefficient of No.0



(b) Power coefficient of No.2



(c) Comparison with No.0wing to No.1-2



(d) Comparison with No.1-2wing to No.2

図 6 周速比と発電効率の関係

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, 岡崎 覚万
2. 発表標題 RANS モデルを用いたコルゲート翼を有する水平軸風車の性能予測
3. 学会等名 第39回風力エネルギー利用シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 瀬戸 菜月, 原田 敦史
2. 発表標題 コルゲート翼周りの流動ダイナミクスに関する研究
3. 学会等名 第3ブロック専攻科研究フォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原田 敦史
2. 発表標題 コルゲート翼を有する小型水平軸風車に関する実験的研究～凹凸形状が効率に与える影響～
3. 学会等名 第41回風力エネルギー利用シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 原田 敦史, 山本 暁
2. 発表標題 コルゲート翼を有する小型水平軸風車に関する実験的研究～翼端形状が効率に与える影響～
3. 学会等名 日本機械学会九州支部_九州学生会第51回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

解説記事「トンボのはねの構造から着想したマイクロエコ風車」プラスチック

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