

効率が良い風力発電のプロペラ

青木 馨右 足立 遼太郎 安田 宗一郎 田中 くおれ

【概要】

日本では、全国各地で地震が発生しており、近いうちに南海トラフ巨大地震が起こると言われている。実際に地震が起こったときに、電気が供給されなくなってしまい、被災地ではしばらく電気が使えなくなった。その際に使えるエネルギーとして持続可能でクリーンな風力に注目した。風力発電は、風があればその場で発電でき、風力発電の中でも、小型風力発電は生活の身近な場所など、どこにでも設置できる。そして、より効率が良い小型風力発電装置があればいいと考え研究することにした。

今回の研究では実験Ⅰでプロペラの羽を刺す位置、実験Ⅱで羽の枚数、実験Ⅲで羽の面積、実験Ⅳで羽の角度を変えて回転数を調べることによって、どの組み合わせが効率よく発電できるのかを見つけることを目標とする。なお、今回は羽の形を（緊急時にも）加工しやすい平らな板で実験した。

結果は、羽を刺す位置が±15mmの時、羽の枚数が3枚の時、羽の角度が±10°の時に回転数が最大となった。羽の面積は、横切りで1/5の時に回転数が最大となり、縦切りではほとんど回転数に変化はなかった。そこで、送風機の風を調べてみると、中心より外側が強いドーナツ型に風が吹いている仕組みになっていたため、風のムラの影響が大きいとわかった。

このことより、その土地の風の吹き方に合わせたプロペラを作ることによって、生活のさまざまな場所で、より効率よく発電できると考えた。

The Nankai Trough earthquake will probably occur within 30 years, and we may lose power then. That's why we tried to find the best turbine for generating electricity. We measured the number of revolutions by changing the blade position, angle, area, and the number of blades. We recorded videos of the turbine's spinning, and counted their revolutions. The best turbine had a blade displacement of 0mm, and three long, thin blades angled at ±10. Next, we want to study the effects of the shape and the quality of material. We hope our results will be useful to turbine makers.

【研究動機・目的】

日本では全国各地で地震が発生しており、近いうちに南海トラフ大地震が起こるといわれている。実際に地震が起こったときに、ライフラインが寸断され、電気の供給が停止した。それが原因で、被災地では長期間不自由な生活が続いた。このことを知り、地震で困ることなく電気を使える方法はないかと考えた。そして、その際に使えるエネルギーとして私たちは持続可能でクリーンな風力発電に注目した。風力発電は、誰でも簡単に作成することができ、風があればその場で発電できる。そして、常備設置することで、寝ている間や、その他の作業をしている間にも発電できるので、必要最低限の電気が使えるようになる。また、風力発電の中でも、マイクロ風力発電は広大な土地にこだわらなく

てもどこでも設置できる。よって、より効率がよいマイクロ風力発電装置があればよいと考え、研究することにした。

そこで私たちはより発電できるようなプロペラを作ることを目的とした。

【研究の仮説】

実験Ⅰでは、羽を2枚にして刺す位置を変えた。2枚の羽の軸が回転中心を通るときに回転が安定すると考え、回転数が最大となると仮説を立てた。

実験Ⅱでは、羽の枚数を1枚から5枚まで変えた。実際に日本の風力発電装置では3枚をよく使われているので3枚のときに回転数が最大となると仮説を立てた。

実験Ⅲでは、羽の面積を変えた。羽を縦に切ったとき(幅を細くしたもの)と横に切ったとき

(長さを短くしたもの)を作った。面積が大きい方が風をよく受けると思い、回転数が大きくなると仮説を立てた。また、同じ面積の場合、実験Ⅱと同様に実際の風力発電装置は羽の形が細いので、横切りよりも縦切りのほうが回転すると仮説を立てた。

実験Ⅳでは、風に対しての羽の角度を変えた。羽の角度が風向きに対して 0° と $\pm 90^\circ$ のときに回転しないと考え、そのあいだの $\pm 45^\circ$ で回転数が最大となると仮説を立てた。

【実験器具】

羽(バルサ材板 $100\text{mm} \times 30\text{mm} \times 2\text{mm}$ + 竹ひご)
 発泡スチロール(形:円柱 半径 20mm 縦 15mm)
 サイエンスセンサー・送風機・導線・スタンド
 モーター・抵抗 ($2.0\ \Omega$)
 ハイスピードカメラ・手作り工作セット



図1 実験器具



図2 手作り工作セット

【実験方法】

実験を行うにあたって、プロペラと送風機の距離を 30cm 、プロペラの受ける風速を 3.0m/s 、ハイスピードカメラで撮影する時間を 1分 とした。どの実験でもこれらは常に一定である。

〈実験Ⅰ〉羽の刺す位置

羽を刺す位置を図3のように -20mm から $+20\text{mm}$ まで 5mm 間隔で変え、プロペラが回転する動画を撮って回転数を数えた。

実験Ⅰでは羽の面積、羽の角度 ($+45^\circ$)、羽の枚数 (2枚) を一定とした。

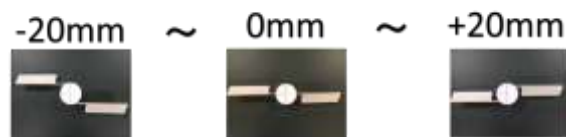


図3 羽の刺す位置

羽の位置の定義は下の図のように決めた。

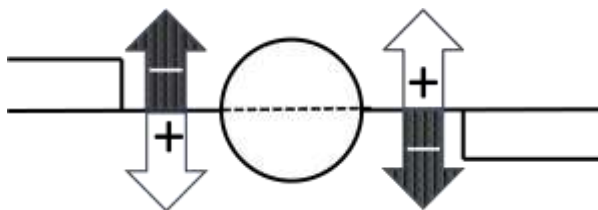


図4 土の方向

〈実験Ⅱ〉羽の枚数

羽の枚数を図5のように1枚から5枚に変え、プロペラが回転する動画を撮って回転数を数えた。また、羽が1枚のとき重心が変わらないように、反対側に粘土をつけた。実験Ⅱでは羽の大きさ、羽の角度 (45°)、羽の刺す位置 (軸が中心を通る) を一定とした。

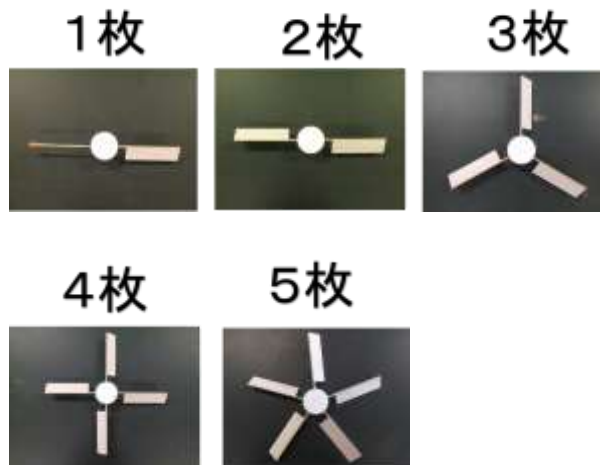


図5 実験Ⅱの羽の刺し方

〈実験Ⅲ〉羽の面積

羽の面積を、通常から幅を細くしたものを縦切り、長さを短くしたものを横切りとした。それぞれ通常大きさから面積を $1/2$ 、 $1/3$ 、 $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ と変え、プロペラが回転する動画を撮って回転数を数えた。

実験Ⅲでは羽の角度 (45°)、羽の枚数 (3枚)、羽を指す位置 (軸が中心を通る) を一定とした。

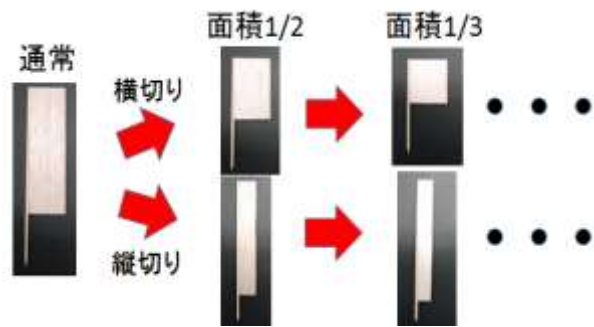


図6 羽の切り方

〈実験Ⅳ〉羽の角度

羽の角度 -90° から $+90^{\circ}$ を 10° 間隔で変え、プロペラが回転する動画を撮って回転数を数えた。

実験Ⅳでは羽の大きさ(1/5)、羽の枚数(3枚)、羽の指す位置(軸が中心を通る)を一定とした。プロペラの角度の定義は図7のとおりである。

プロペラの羽の角度の定義

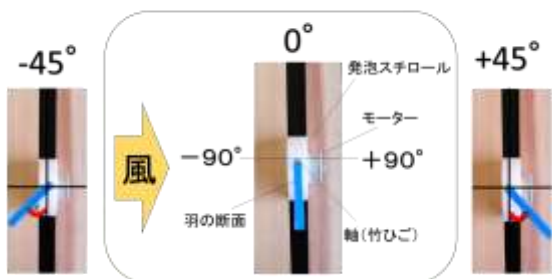


図7 プロペラの羽の角度の定義

【研究結果】

〈実験Ⅰ〉羽の刺す位置

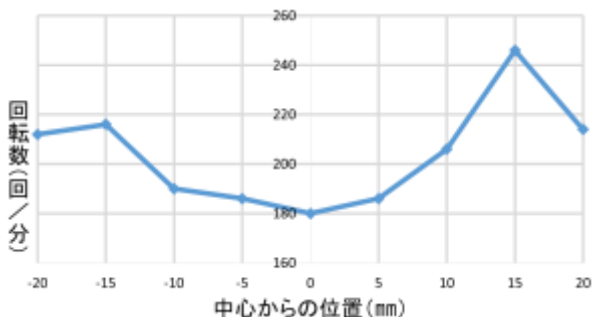


図8 実験Ⅰの結果

羽の刺す位置が $+15^{\circ}$ のときに回転数は最大となった。また、+側の回転数のほうが-側よりも回転数は増えた。

〈実験Ⅱ〉羽の枚数



図9 実験Ⅱの結果

1枚から3枚にかけて回転数が増えた。しかし、4枚、5枚となると回転数が減った。したがって、羽が3枚のときに最も効率よかった。

〈実験Ⅲ〉羽の面積

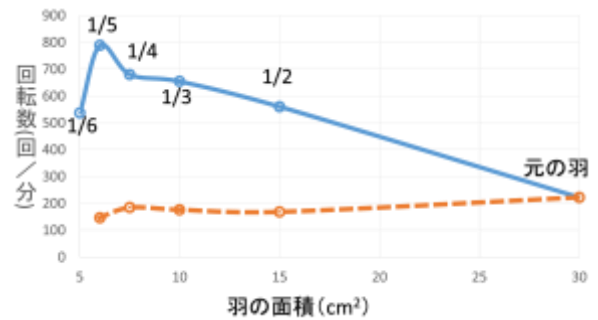


図10 実験Ⅲの結果

縦切りよりも横切りのほうが回転数は増えた。横切りにおいて、5分の1の大きさまで回転数は増えたが、6分の1を超えると回転数は減った。

〈実験Ⅳ〉羽の角度

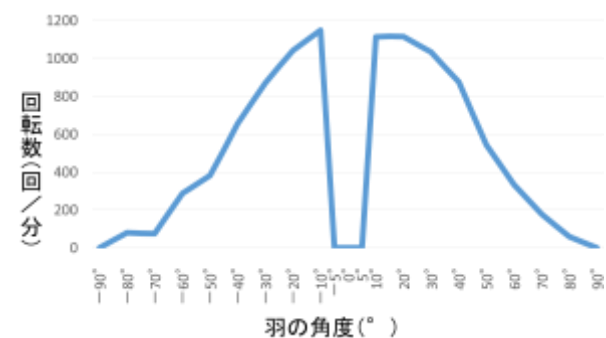


図11 実験Ⅳの結果

±ともに 10° 付近で回転数は最大となり、 90° にかけて回転数は減った。また、 0° で対称な結果となった。± 5° でも測ってみたのだが、回転しなかった。

【考察】

送風機の風の範囲を調べると送風機の風が、中心より外側が強いドーナツ型に風が吹いている仕組みになっていたということが分かった。



強風域

図 12 送風機の強風域

<実験 I>羽を刺す位置

今回の実験では、+15mmで回転数が最大となった。羽の回転中心(発泡スチロールの中心)と羽の中心との距離が一番近いのは、+15mmのときだった。このことから、回転数が+15mmで最大となったのは羽の回転中心と羽の中心との距離が一番近いので羽が回転する力を一番よく羽に伝えていると考えた。



羽の回転中心

羽の中心

図 13 +15mmでの位置

<実験 II>羽の枚数

羽の枚数が3枚のとき、回転数が最大となった。実際の風力発電のプロペラの枚数は、3枚であるから今回の結果と一致している。3枚を超えると回転数が減少したのは、羽が増えると羽同士の間隔が狭くなり、それぞれの羽が回転しようとする力を妨げるからだと考えた。また、微量ではあるが羽の質量が大きくなることが考えられた。そして、プロペラが回転している様子を動画で撮って見てみると羽が風を受けることによって、ほんの少しだけ風の進行方向に羽がしなっていることが確認できた。だから、羽の枚数が増えるとそのしなりによって発泡スチロールの中心が押さえつけられる力が大きくなり、回転数が減ったと考えられた。

<実験 III>羽の面積

縦切りの時、面積を小さくしても回転数はあまり変わらなかったのは、羽に対する強風域の割合が細くしても変わらないからだと考えた。そのことは、羽を作る上で、より細かいほうが材

料の製作コストを抑えられるから実際の風力発電装置では、細い羽が使われていることの説明ができると考えた。横切りの時、面積が1/5で回転数が最大となったのは、羽を横に切ったとき、羽の面積を小さくすると送風機のはね範囲に羽全体がより収まるようになるからだと考えた。また、1/5より面積が小さくなると回転数が減少したのは、羽が風を受ける面積が小さくなりすぎ、回転しにくくなったと考えた。

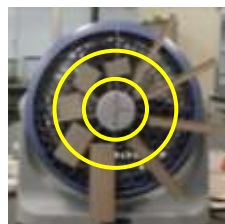


図 14

羽の面積と強風域との位置関係

<実験 IV>羽の角度

$\pm 10^\circ$ で回転数は最大となり、 0° 、 $\pm 5^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$ では回転しなかった。角度が小さくなると風を受ける面積が大きくなるため、回転数が増えたと考えた。また、角度が小さくなると回転するときの空気の抵抗が小さくなるため回転数が増えると考えた。 0° や $\pm 5^\circ$ で回転しなかったのは、羽の回転しようとする力が小さくなってしまったからだと考えた。

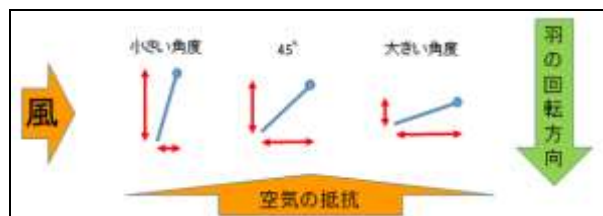


図 15 風と空気抵抗と角度の関係

【結論】

これらの実験から、自分たちで効率が最もいいと思われるプロペラを作成したところ、今回の実験で使った送風機の風での効率がいいプロペラとなった。

【今後の課題】

今回、1つの送風機の風の形でしか実験できなかったため、今後は風の形を考慮した実験をする。