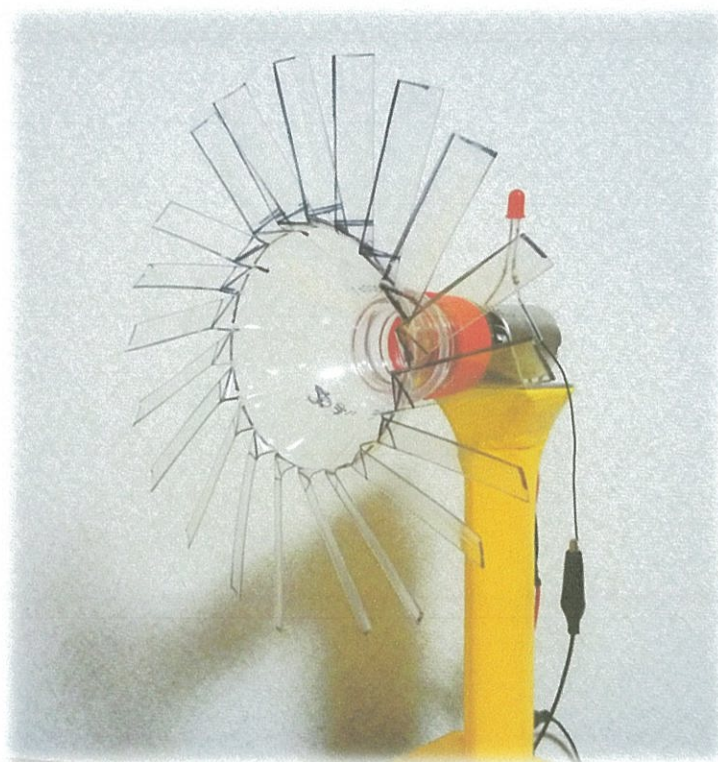


# 風力発電に適した羽根の研究

## ～ペットボトルを使った風力発電に適した羽根とは～



長崎大学教育学部附属中学校  
2年 山道陽輝

## 研究のきっかけ

現在、地球の温暖化が問題になっており、温室効果ガスとなる二酸化炭素を出さない発電方法の確立が必要である。二酸化炭素を出さない発電方法には自然エネルギーを使用する太陽光発電や潮力発電、燃焼を伴わない原子力発電などがあるが、風力発電もその1つである。この風力発電をより効率よく行うことができれば、さらに風力発電が使いやすくなると考えられるため、実験によりその形状を見つけようと考えたこと。

## 実験の方法

今回の実験は、容易に複数の羽根の形を比較できるようにペットボトルを使用する風力発電器を使用し、羽根の枚数や角度、および風の強さを変化させて、その時の発電量を比較することにした。同じ風の強さにおいて、発電量が大きいものを発電効率が良いものとする。

## 実験装置

実験には自作した下記装置を用いた。

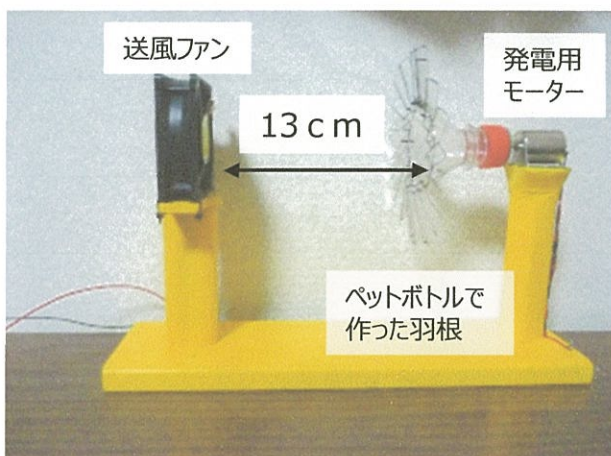


写真1：実験装置



写真2：電源装置

- 発電用モーター：ペットボトル発電キットのモーター
- 羽根の材料：コカ・コーラ社製300mlペットボトル
- 送風ファン：パソコン冷却用ファン（Japan Servo製 PUDC12Z4S）
- 電源装置：株式会社島津理化 J-5FN
- 電圧計：HIOKI CARDHiTESTER
- 電流計：株式会社島津理化 直流電流計
- 風速計：testo社 熱線式風速計

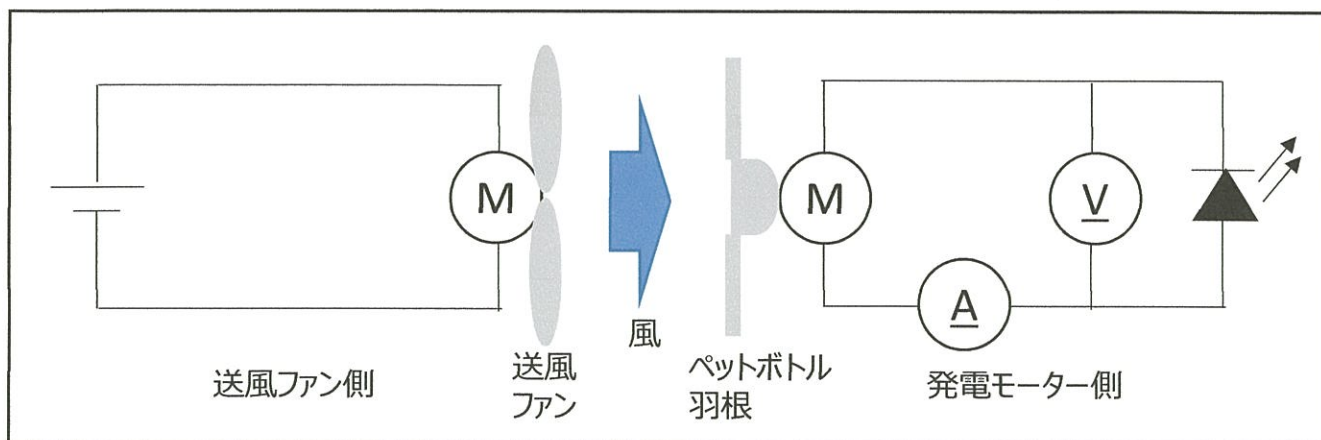


図1：実験装置回路図

### ①実験装置の作成方法

実験装置は送風ファンとペットボトル羽根の回転軸が直線上に並ぶように高さを揃え、ファンの羽根とペットボトルの羽根の距離が13cmになるように土台を作成した。

### ②ペットボトル羽根の作成方法

ペットボトル羽根の材料にはコカ・コーラ社製の300mlペットボトルを使用した。

このペットボトルを選んだ理由

- ・炭酸用で硬く、風を当てても変形しにくい
- ・上半分が円柱形であり、羽根にしやすい
- ・10等分に模様が入っており、印を付ける時の目安になる
- ・内容量が少ないため、準備が容易である（500mlや1500mlだと飲むのに時間がかかる）

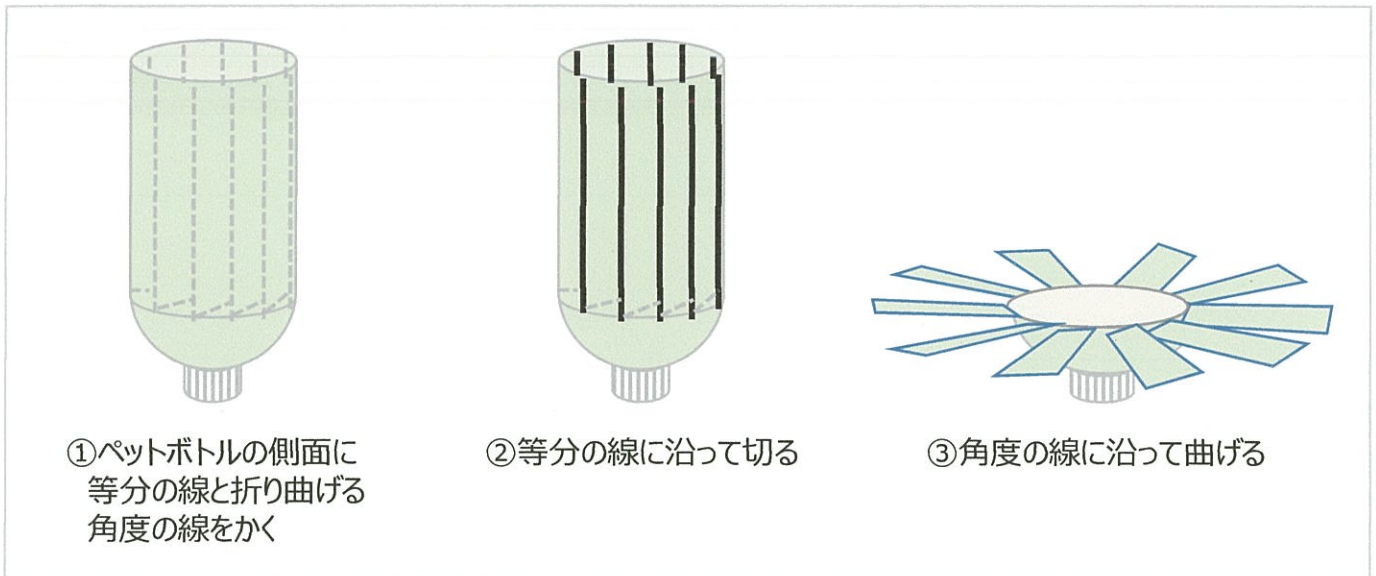
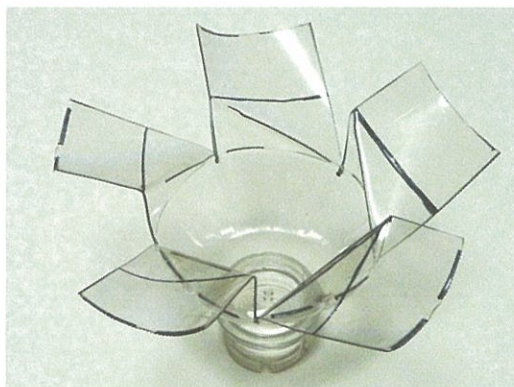


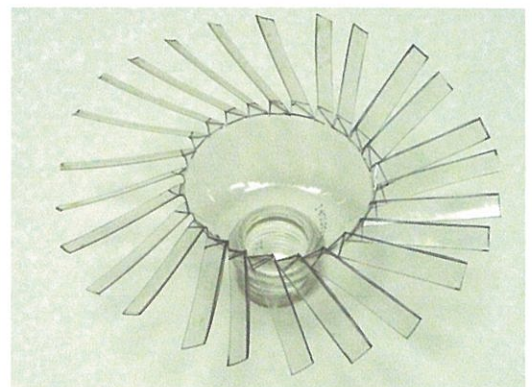
図2：ペットボトル羽根の作成方法



写真3：ペットボトル



5枚30°の羽根



25枚30°の羽根

写真4：ペットボトル羽根

## 事前実験

### ①目的

今回の実験において、風の強さ（風速）は送風ファンにかかる電圧を変えて変化させる。  
そのため、電圧と風速の関係を調べ、実験するときの風速を決めるとともに、その風速の電圧を把握しておく。

### ②実験方法

送風ファンにかかる電圧を、送風ファンが回り始めるギリギリの4Vから14Vまで1Vずつ変化させ、その時の風速を測る。風速を測る場所は、発電側のモーターの回転軸の3cm右とし、10秒間の平均を3回とり、その平均を送風ファンの風速とした。

### ③実験結果

送風ファンにかかる電圧と、風速の関係を下の表とグラフに示す。

表1 ファンにかかる電圧と、風速の関係

電圧	4.00V	5.00V	6.00V	7.00V	8.00V	9.00V	10.00V	11.00V	12.00V	13.00V	14.00V
風速	0.48m/s	0.70m/s	0.80m/s	0.93m/s	1.02m/s	1.14m/s	1.29m/s	1.32m/s	1.43m/s	1.43m/s	1.58m/s

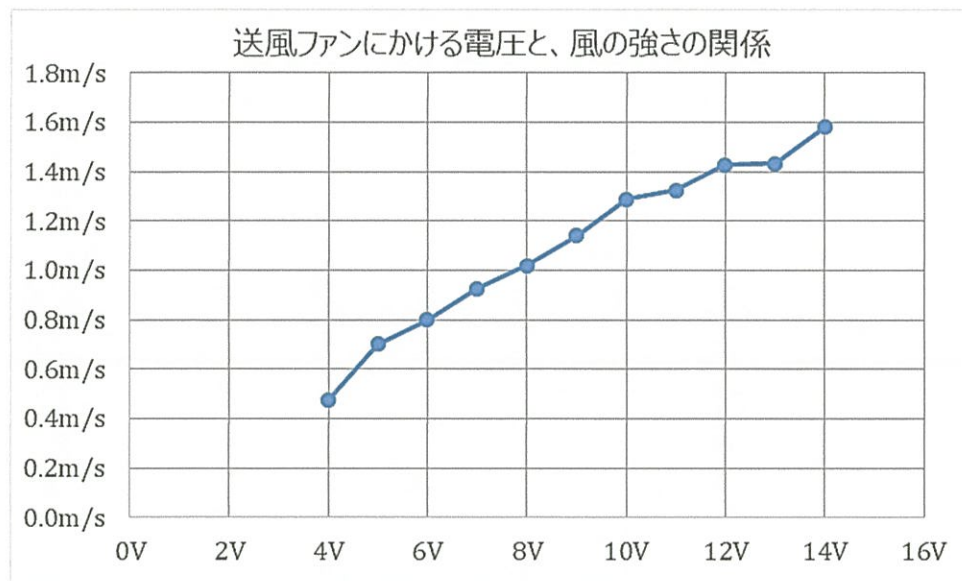


図3 送風ファンにかかる電圧と風速の関係

送風ファンにかかる電圧と風速の関係はほぼ比例関係であった。  
今回使用した送風ファンは12V用のものだったので、今回の実験は10V、12V、14Vで行うことにした。

## 実験 1：羽根の枚数と発電効率の関係

ペットボトルで羽根を作る場合、まず羽根の枚数を決めることが重要である。  
そこで、羽根の枚数が発電量に対する影響を知るための実験を行う。

### ①仮説

羽根の枚数を変えることで、同じ風速でも発電できる量は変化する。  
また、枚数が多い方が羽根の厚さが薄くなり、回転方向の空気抵抗が小さくなるので、発電量が最も大きくなるのではないかな？

### ②実験方法

ペットボトルの側面をそれぞれ5、10、15、20、25等分し、30°の角度で折り曲げて羽根を作成する。  
この羽根を発電用モーターにとりつけ、送風ファンの電圧を10V、12V、14Vの三段階に変化させて発電量を比較した。

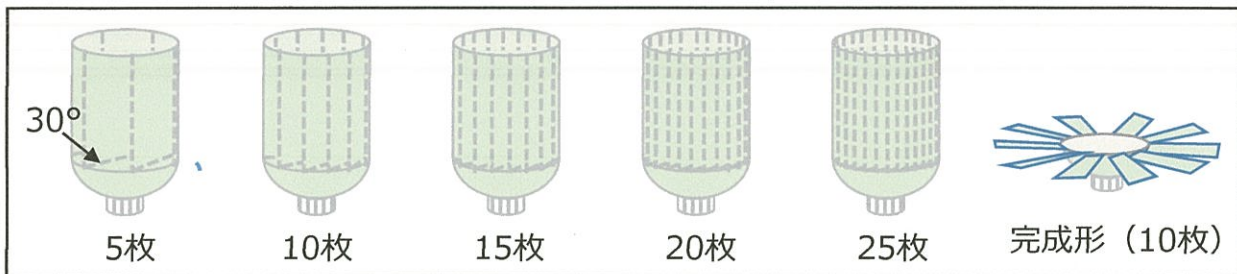


図4 作製する羽のイメージ

### ③実験 1 結果

実験結果を以下の表とグラフに示す

表2 羽根の枚数と発電効率の関係

	5枚	10枚	15枚	20枚	25枚
10V (1.29m/s)	0.0mW	2.7mW	4.1mW	4.4mW	4.6mW
12V (1.43m/s)	0.0mW	5.3mW	9.2mW	8.0mW	6.5mW
14V (1.58m/s)	0.3mW	8.6mW	13.6mW	10.8mW	8.8mW

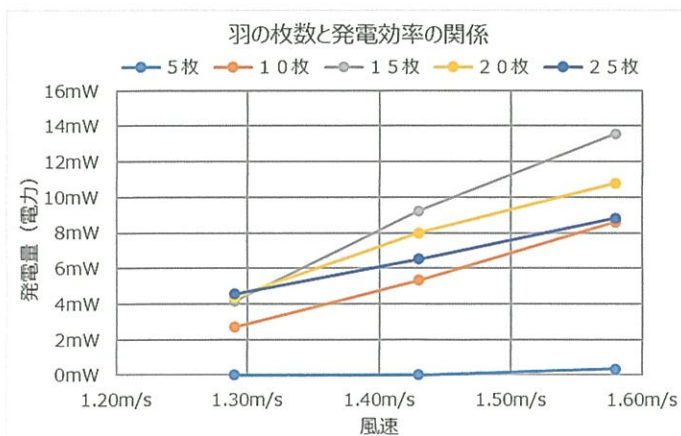


図5 羽根の枚数と発電効率の関係(1)

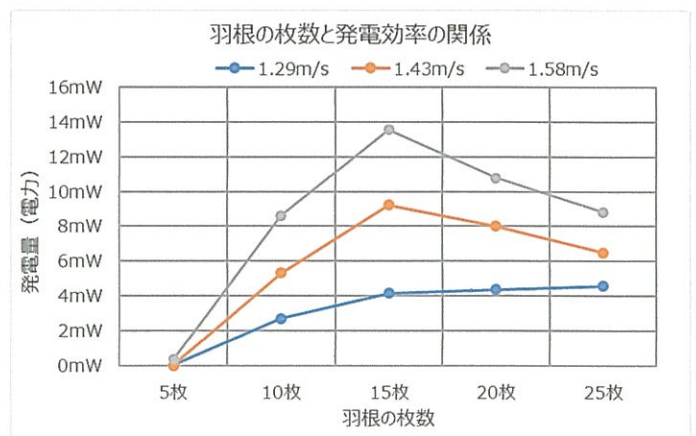


図6 羽根の枚数と発電効率の関係(2)

図5に示すように、すべての羽根の枚数において風速が大きくなると発電量も大きくなっている。実験前の予想では羽根の枚数が多い方が発電量が大きくなると考えていたが、実験の結果をみると風速が最も小さい時を除き、15枚の羽根が最も発電量が大きかった。15枚の羽根は風速の増加に対する発電量の増加量が最も大きく、発電量が大きいことを期待していた25枚の羽根は風速の増加量に対して発電量の増加が小さかった。風速毎に羽根の枚数と発電量の変化を見ると、図6に示すように、風速が小さい(1.29m/s)時は羽根の枚数が増えるごとに発電量が増加したが、風速が大きくなると15枚羽根が最も発電量が大きく、20枚、25枚と羽根の枚数が増えると発電量は小さくなっていった。これらの結果より、羽根の枚数が多いと風速が小さい時には発電量が大きくなるが、風速が大きいときには発電量は小さくなる、つまり風速に対して最適な羽根の枚数があることを示している。

## 実験2：羽根の強度の影響

実験1では風速が大きくなると羽根の枚数が多いと発電量が小さくなっていった。この理由を考えるため、風速が小さい時と大きい時の羽根が回転している様子を比較しながら見ていると、風速が大きいときには羽根の回転する面が後ろ側に下がり、更に前後に振れていることに気づいた。

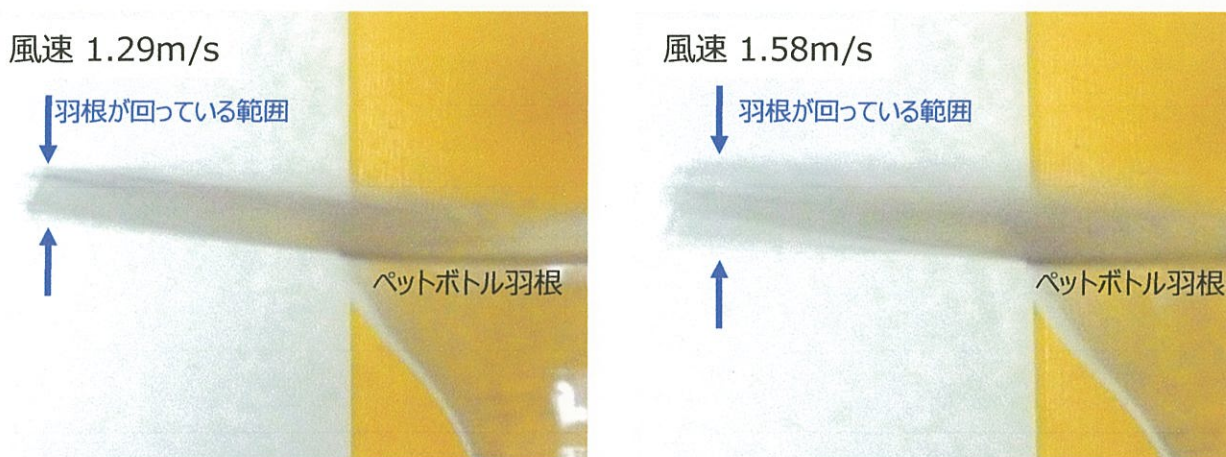


写真5 羽根の回転する様子を上から見たところ(25枚羽根)

この様子より、風速が大きくなったときには25枚の細い羽根では羽根の強度が足りず、曲がったり、ねじれたり等、羽根が変形してしまっ風力しっかりと回転する力に変えることができていないのではないかと考えた。そこで、羽根が強い風でもねじれない強度を持っていれば発電量が多くなるのではないかと考えた。

### ①仮説

羽根の強度を増すと、風速が大きい時でも羽根の枚数が多い方が発電量が大きくなるのではないかと？

### ②実験方法

羽根の強度が最も弱いと考えられる25枚羽根を用いて、羽根がねじれないような加工を施して発電量が増加するかを確認する。

今回の実験では、別のペットボトルより骨となる板を切り出して、ホットボンドで固定して強度を上げた。また、羽根の先をひっぱってみると、羽根の根元の方が大きく曲がったので、骨の形状は根元を広く、先を細くした三角形とした

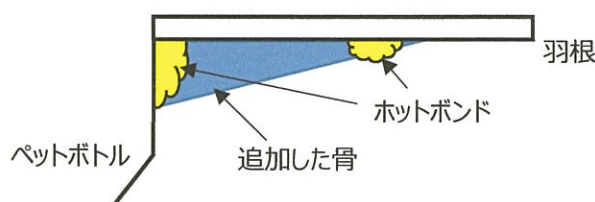


図7 羽根の補強の様子

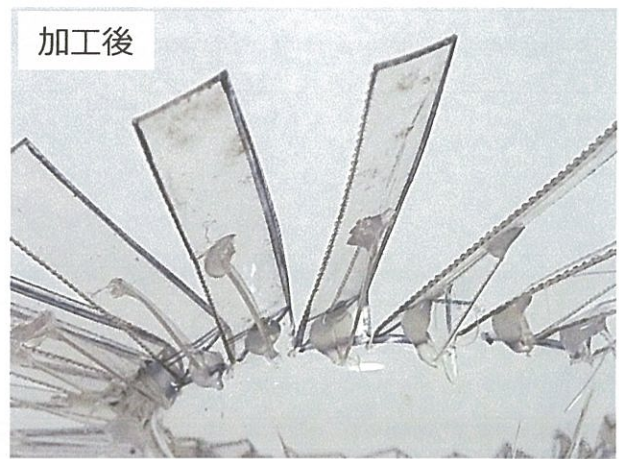
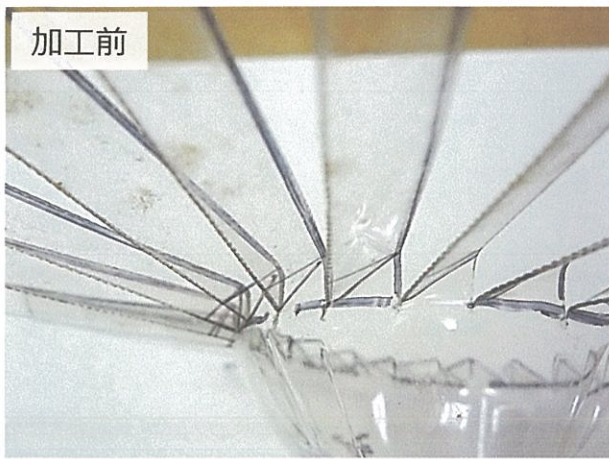


写真6 25枚羽根の加工前後

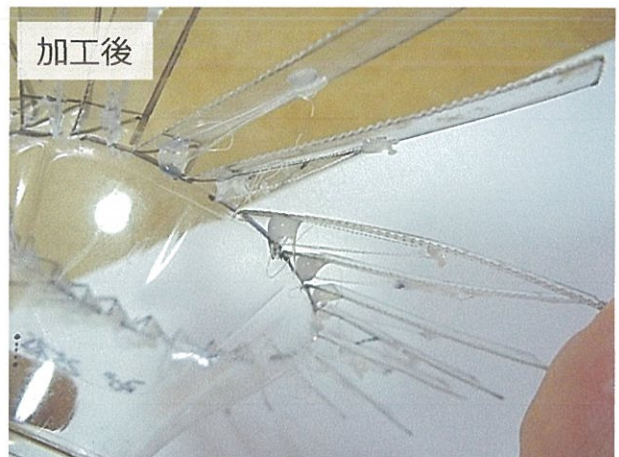
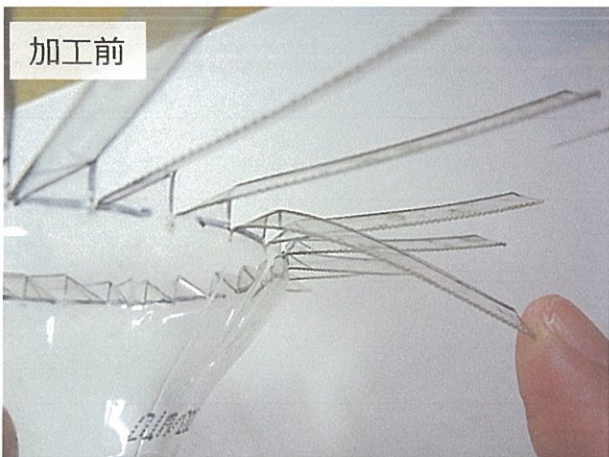


写真7 加工前後の羽根の曲がり方の違い

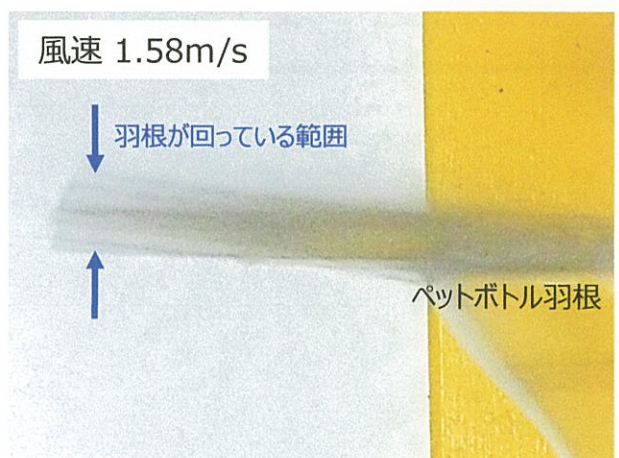
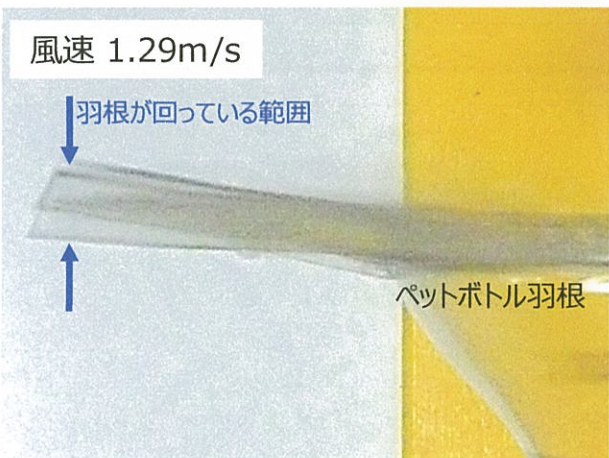


写真8 羽根の回転する様子を上から見たところ (25枚羽根加工後)

軽い力で根元が曲がっていた羽根が骨を追加することで同じ力でも曲がる量が小さくなり、追加後は曲がり方が羽根全体が大きくなるように変わった。  
 また、羽根が回転している様子を見ても、風速が大きくなっても羽根が後ろに下がることもなく、羽根が振れる範囲の同程度になり、強度が増していることが確認できた。

### ③実験 2 結果

骨を追加加工し、強度が上がった羽根で実験 1 と同様の測定を行い、その結果を実験 1 の結果に追記した。

表 3 25枚羽根加工後の結果

	5枚	10枚	15枚	20枚	25枚	25枚 (加工後)
10V (1.29m/s)	0.0mW	2.7mW	4.1mW	4.4mW	4.6mW	2.3mW
12V (1.43m/s)	0.0mW	5.3mW	9.2mW	8.0mW	6.5mW	5.6mW
14V (1.58m/s)	0.3mW	8.6mW	13.6mW	10.8mW	8.8mW	9.0mW

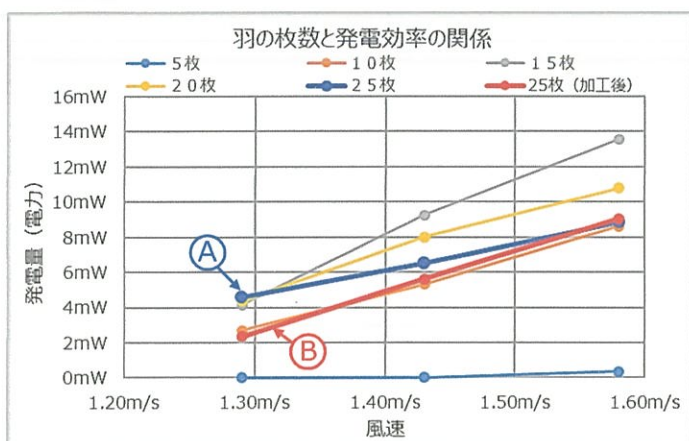


図 8 羽根の枚数と発電効率の関係(3)

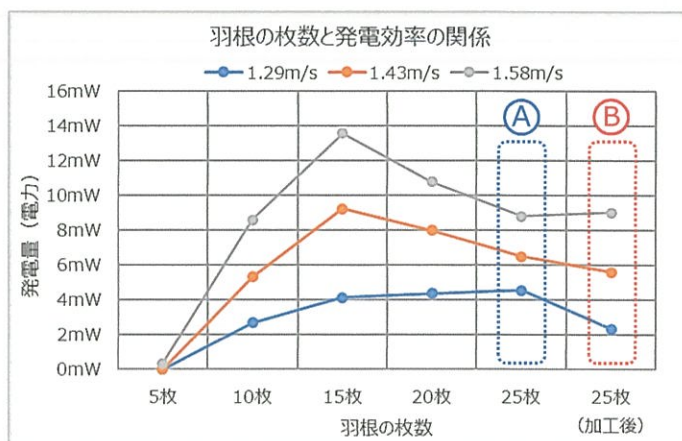


図 9 羽根の枚数と発電効率の関係(4)

25枚羽根に骨をつけて強化して発電効率が向上するか確認した。

強度を増したことで発電量が最も大きくなることを期待したが、15枚羽根を超えることはできなかった。

加工前 ( A ) と骨追加の加工後 ( B ) の発電量の変化を比べると、風速が小さい時は加工前に比べて発電量は小さくなり、風速が大きい時でもわずかに増えたただけであった。

しかし、図 8 に示す通り、加工後の風速に対する発電量の増加の割合 ( 傾き ) を見ると、羽根の枚数が少ないものと同等になっており、骨をつけたことで風速が大きくなることに対して強くなっていることが分かった。

風速が小さい時の発電量が加工前よりも発電量が小さくなってしまったのは、骨をつけたことにより回転方向への空気抵抗が増し、発電効率が悪くなったためと考えられる。

この実験の結果より、同じ形状で強度を増した羽根を作ることができれば、風速が大きいときであっても羽根の枚数が多い方が発電量が多いという結果が得られた可能性は高いと考えられる。



### 実験3：羽根の角度と発電効率の関係

#### ①仮説

角度が緩すぎると風の力を回転方向に使えなくなり、角度が急過ぎると風が抜けてしまうと考えられるのでちょうどよい角度があるのではないかと？

#### ②実験方法

ペットボトル羽根の角度を 15°、30°、45°、60° の4種類で作製し、実験1と同じように風速を3段階に変化させたときの発電効率を比較した。

羽根の枚数は15枚と20枚の2種類で行った。

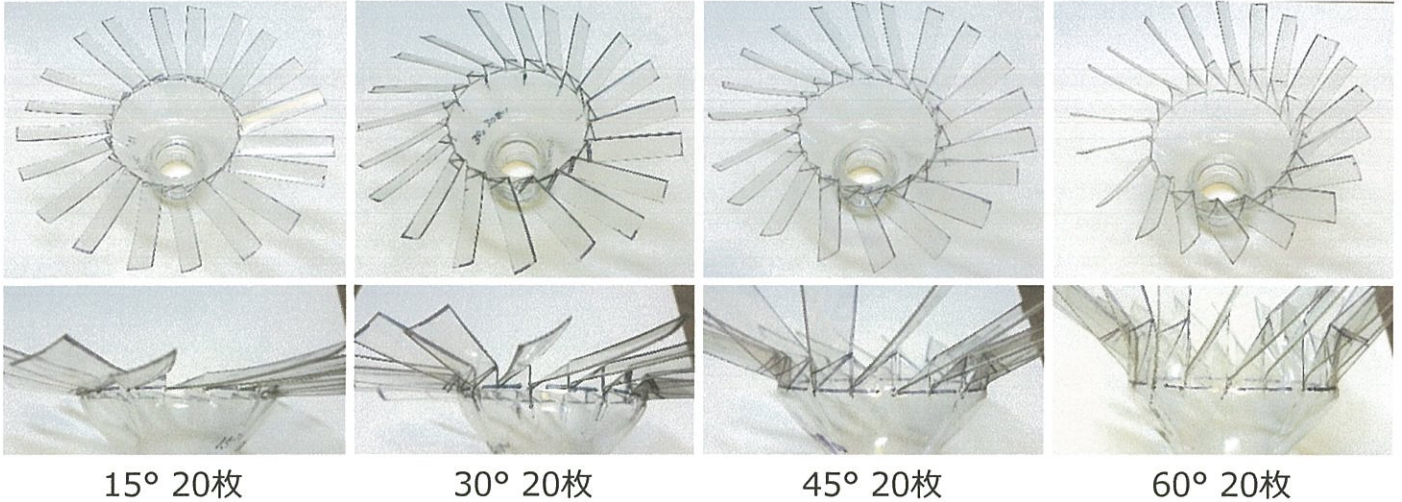


写真10 実験に用いた羽根（20枚羽根）

#### ③実験3 結果

実験結果を以下の表とグラフに示す。

表4 羽根の角度と発電効率の関係（15枚）

	1.29m/s	1.43m/s	1.58m/s
15°	3.4mW	7.8mW	11.4mW
30°	4.1mW	8.4mW	13.6mW
45°	3.6mW	7.8mW	13.0mW
60°	2.6mW	5.8mW	7.4mW

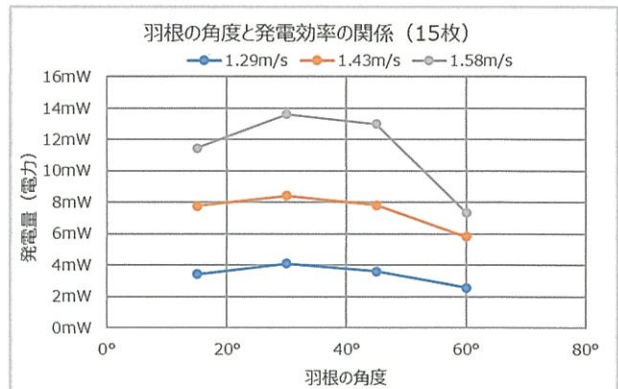


図12 羽根の角度と発電効率の関係（15枚）

表5 羽根の角度と発電効率の関係（20枚）

	1.29m/s	1.43m/s	1.58m/s
15°	3.6mW	7.1mW	10.3mW
30°	4.4mW	7.4mW	12.6mW
45°	4.8mW	8.0mW	12.9mW
60°	3.1mW	6.2mW	8.0mW

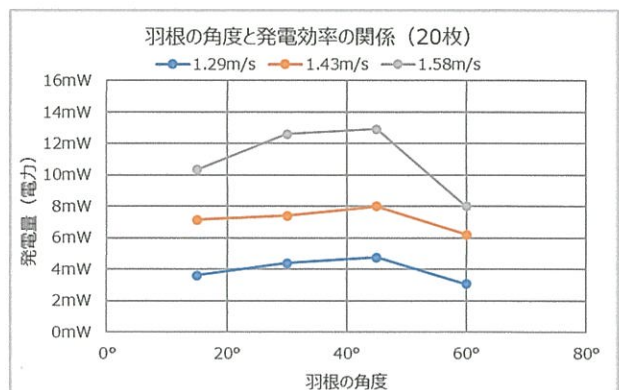


図13 羽根の角度と発電効率の関係（20枚）

表 6 羽根の枚数と発電効率の関係 (15°)

15°	1.29m/s	1.43m/s	1.58m/s
15枚	3.4mW	7.8mW	11.4mW
20枚	3.6mW	7.1mW	10.3mW

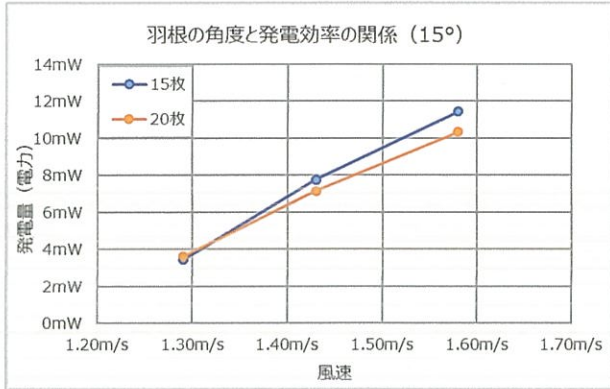


図 1 4 羽根の枚数と発電効率の関係 (15°)

表 7 羽根の枚数と発電効率の関係 (30°)

30°	1.29m/s	1.43m/s	1.58m/s
15枚	4.1mW	8.4mW	13.6mW
20枚	4.4mW	7.4mW	12.6mW

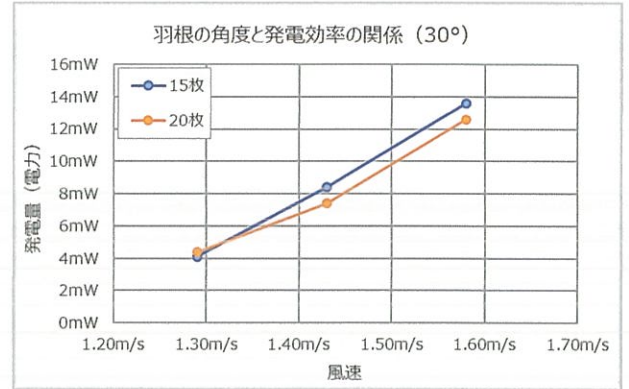


図 1 5 羽根の枚数と発電効率の関係 (30°)

表 8 羽根の枚数と発電効率の関係 (45°)

45°	1.29m/s	1.43m/s	1.58m/s
15枚	3.6mW	7.8mW	13.0mW
20枚	4.8mW	8.0mW	12.9mW

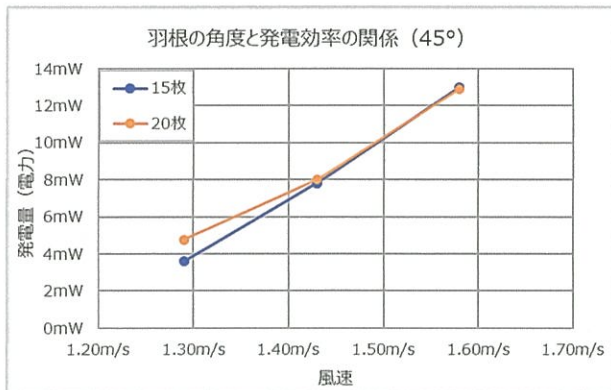


図 1 6 羽根の枚数と発電効率の関係 (45°)

表 9 羽根の枚数と発電効率の関係 (60°)

60°	1.29m/s	1.43m/s	1.58m/s
15枚	2.6mW	5.8mW	7.4mW
20枚	3.1mW	6.2mW	8.0mW

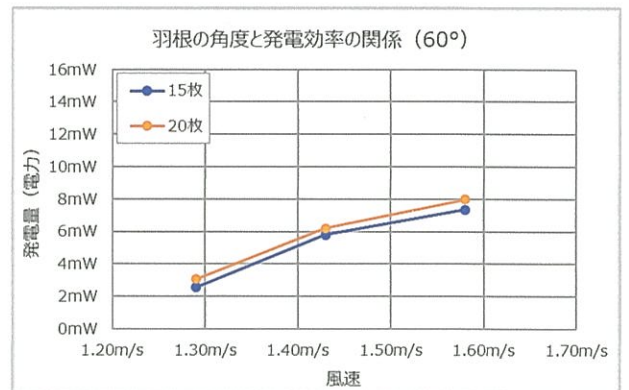


図 1 7 羽根の枚数と発電効率の関係 (60°)

表 4、表 5、および図 1 2、図 1 3 が示す羽根の角度と発電量の間を見るとき、羽根の角度が15°や60°などは発電量が小さくなってしまい、30°~45°が最も発電量が多いということが分かった。また、羽根の角度別に羽根の枚数と各風速での発電量を比べてみると、60°を除いて実験 1 と同様に風速が大きくなると羽根の枚数が少ない方が発電量が多いという結果が得られた。60°はすべての風速で20枚の方が発電量が大きくなっているが、全体的に発電量が小さいという点から考えると、60°はもともと風を十分に受けることができず発電の効率が悪いが、その状況の中で、羽根の枚数が多い方が効率が良いという点が現れたと思われる。

## まとめ

ペットボトルで作製した羽根を用いた風力発電器を用い、羽根の枚数と角度を変化させて発電量を調べ、下記の知見を得た。

- ・同じ風速であれば羽根の枚数が多い方が発電量が多い
  - ・同じ羽根の枚数であれば羽根の角度は $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ が最も効率が良い
  - ・羽根の枚数が多くなりすぎると、羽根の強度が落ちるため風速が大きい時に発電効率が悪くなる
- これらの結果より、ペットボトルを使った風力発電に適した羽根とは「羽根の角度が $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ で、羽根の枚数は風速により適した枚数は異なる」と言える。

## 考察

今回の実験により、羽根の枚数が多く、羽根の角度は $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ が発電効率が良いという結果が得られた。この理由を下記のように考えた。

ペットボトルの羽根はペットボトルの側面を等分して作っており、羽根の枚数が少ないと1枚の羽根の大きさは大きくなる。図18に示すように、羽根の枚数が多い場合は羽根が小さくなり、羽根の厚さも薄くなることにより、回転方向の空気抵抗が小さくなるので、回転する力が羽根の枚数が少ないものに比べて大きいのではないかと考えられる。



図18 羽根の大きさと回転する力

また、羽根の角度については図19に示すように、角度が小さすぎると風に対して垂直な部分ができ、逆に角度が大きすぎる時には風に対して水平の部分が出てしまうために、風の力を有効に回転する力にする部分が小さくなってしまふので発電量が小さくなると考えられる。

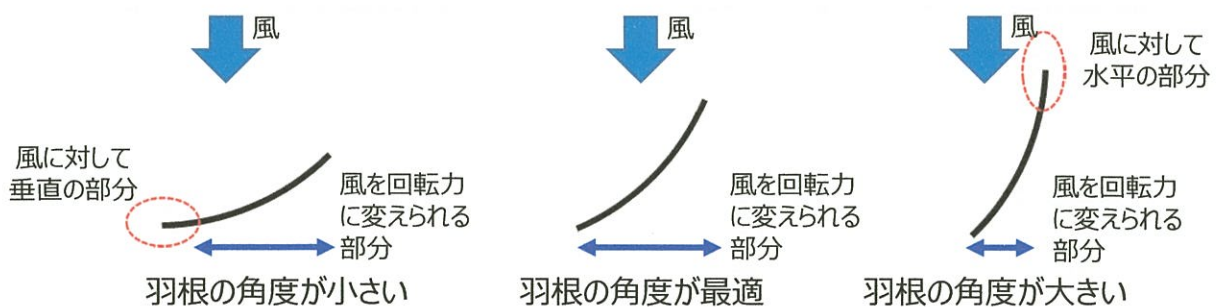


図19 羽根の角度と風を受ける部分の関係

## 実験を行ってみて

今回の実験にあたり、実験材料の決定から実験結果が得られるまでかなりの労力を要しました。羽根の作りやすさや硬さ等を考え、コンビニやスーパー等で新しいペットボトルを見つけては購入して試作を繰り返し、実験に用いるペットボトルを決定しました。更に実験を行うためにこのペットボトルを使っていくつもの羽根を作製し、それらを使ってデータ採りを行うまで多くの時間を費やしました。また、予想に反する結果について考察する際には分からないことがたくさんあり、悩み、大変苦労しましたがなんとか研究結果をまとめることができました。苦労した分、結果をまとめ終わった時の喜びは大きく、また、あらゆる方向から自分の考えを広げ研究の楽しさをあらためて感じる、実り多き研究となりました。この経験を糧として、これからも自らの疑問を追求し、研究を続けていきたいと思ひます。