

日本の環境に適した新型風車の開発

～小規模風力発電機 ジャイロニウス風車～

兵庫県立龍野高等学校 上田 日花里

指導者 水田 佳希

1. 研究目的

現在最も一般的で普及している風力発電機は、大型で水平軸の3枚羽のプロペラ型風車(写真1)である。

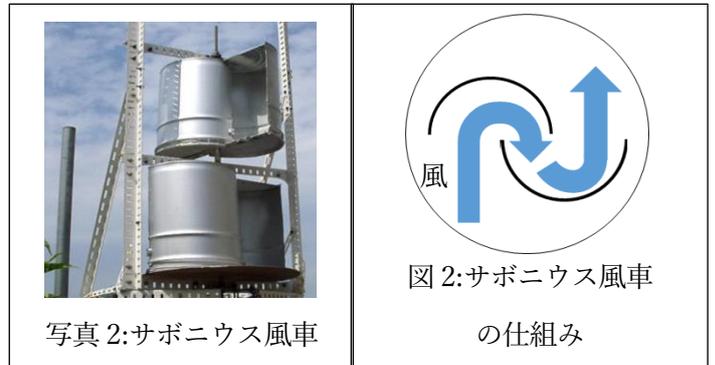


この風車には、大規模なので発電効率が良いという長所があるが、短所も存在する。1つ目は、特定の方向からの風にしか対応できず、1年を通して多方向から風の吹く日本では、能力を最大限に発揮できない点。2つ目は、回転に大きな力が必要な点。3つ目は、国土の狭い日本では、大規模風力発電機を設置する土地の確保が難しい点。4つ目は、大きな羽が回転するため、騒音が発生し近隣住民の迷惑になる点だ。私たちはこれらの短所を解決すべく、日本の環境に適した風力発電機の作成を目指した。

2. 作成する風車

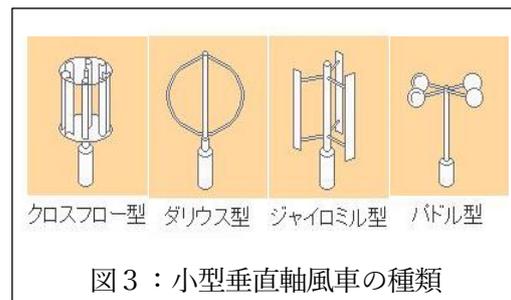
私たちが注目したのは、垂直軸型の小規模風力発電機であるサボニウス風車(写真2)だ。サボニウス風車の長所は、全方向からの風に対応可能な点。同じ風を2度利用する

(図2)ため、弱風でも回転可能な点。小型のため騒音が少なく、また設置場所が確保しやすい点等が挙げられる。しかし、風の流れに対して水平に働く抗力を利用して回転するので、風速以上の速度での回転が不可能という



短所が存在する

そこで、私たちはこの短所を異なる風車と組み合わせることで解決しようと考えた。組み合わせる風車の選考は以下の流れで行った。まず、風車の形はサボニウス風車と同じ小型かつ垂直軸型とする。候補はクロスフロー型、ダリウス型、ジャイロミル型、パドル型の4種類の風車が挙げられる。(図3)



しかし、クロスフロー型、パドル型の2種類は、サボニウス風車と同様に抗力で回転するため、短所を補うことができない。また、ダリウス型は曲線形の羽の加工が手作業では難しく、実験で使用する際に正確性に欠ける。よって、揚力で回転し(図4)、羽が加工の比較的容易な板状であるジャイロミル風車を組み合わせることに決定した。

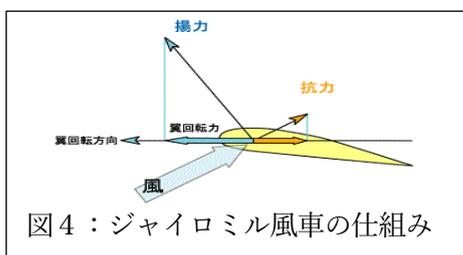


図4：ジャイロミル風車の仕組み

サボニウス風車とジャイロミル風車の2台を組み合わせた新しい風車(写真3)を作成した。弱風の際はサボニウス風車(内側の透明な羽)で回転し、強風になるとジャイロミル風車(外側の青色の羽)に移行する。2台の長所を組み合わせた新風車「ジャイロニウス風車」だ。



写真3：ジャイロニウス風車

3. 研究方法

2018年に行った実験(1)~(3)までは写真3の小型のモデル機(写真4)を使用した。2019年に行った実験(4)からは実験(1)~(3)の結果をもとに作成した風車(写真3)を使用した



写真4:実験に使用したモデル機

(1)サボニウス風車の発電効率を上げる

①実験方法

サボニウス風車の羽(直径15cm)が重なる部分(図5)を2~10cm間で2cmごとに変化させ、各重ね幅の発電量を電流計で計測し、最も発電効率の良い羽の直径と重ね幅の比を調べる。風速は扇風機と風速計を使用し2.5m/s~3.0m/sで一定に保つ。ジャイロミル風車の羽は取り外しサボニウス風車のみの状態で実験を行う。

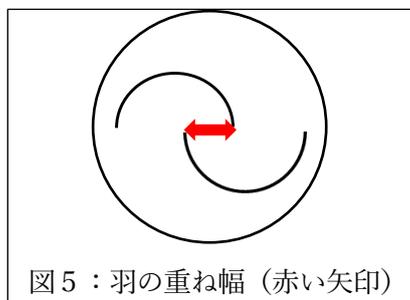
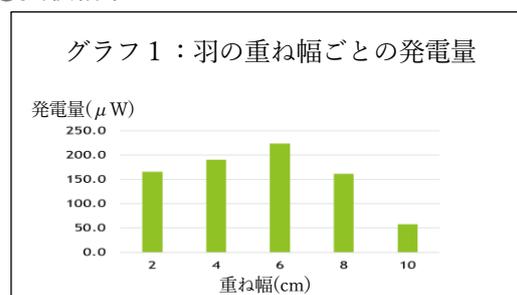


図5：羽の重ね幅(赤い矢印)

②仮説

羽根の直径と重ね幅が3:1の時、風を受ける部分と風の通り道となる部分の両方が十分に確保でき、発電量が最も多くなる

③実験結果



重ね幅 6 cm のとき最も発電量が多かった

④考察

羽の直径と重ね幅の比が 5:2 のときに最も発電量が多くなる。風を受ける部分と風の通り道となる部分がほぼ同じ面積となった。これよりサボニウス風車の発電方法において 1 度に多量の風を受け大きな力で回転する仕組みと同じ風を 2 度使用し弱風で回転する仕組みは同等に重要であると考えられる。

(2) ジャイロミル風車の発電効率を上げる

①実験方法

ジャイロミル風車の羽を 6 種類(図 6)作成し、各羽を使用した時の発電量計測し、最も発電効率の良い羽を調べる。風速は実験(1)同様に 2.5m/s~3.0m/s で一定に保つ。サボニウス風車の羽は取り外し、ジャイロミル風車のみの状態で実験を行う。

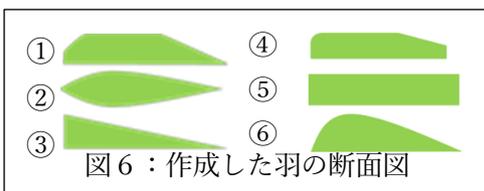


図 6：作成した羽の断面図

②仮説

ジャイロミル風車は揚力で回転し、飛行機も揚力で飛行する。よって飛行機の羽を参考にした⑥の羽が最も多くの揚力を発生させ、最も多く発電する。

③実験結果

①		×	④		×
②		×	⑤		×
③		×	⑥		○

表 1：羽の形状と回転の有無

⑥の羽のみ回転した。

④考察

図 3 からジャイロミル風車は揚力で回転する。揚力は羽の上下に生じる気圧差で発生する。つまり、羽の上下で面積に差がない場合揚力は発生しない。よって②・⑤の羽は揚力が発生せず回転しない。また、①・③・④の羽は上下の形状に多少の差はあるが、羽の先端が平らで風を受ける面積が大きいため、回転方向と逆向きに働く抗力を受けやすく、それを上回る揚力が発生せず、回転しなかった。よって、羽の上下の面積に大きな差があり揚力が発生しやすく、先端が鋭く比較的抗力を受けにくい⑥の羽が回転した。

(3) 2 台の風車の最適な位置関係を調べる

①実験方法

風車の天板に 1 cm ごとに目盛りを打ち、5 cm ずつジャイロミル風車の羽を移動させる。目盛りはジャイロミル風車の羽の末端部分(写真 5 の赤丸)に合わせる。発電量を計測し、最も発電効率の良い位置関係を調べる。風速は実験(1)同様 2.5m/s~3.0m/s で一定に保つ。サボニウス風車の重ね幅は実験(1)より 6 cm、ジャイロミル風車の羽は実験(2)より⑥の羽を使用した。

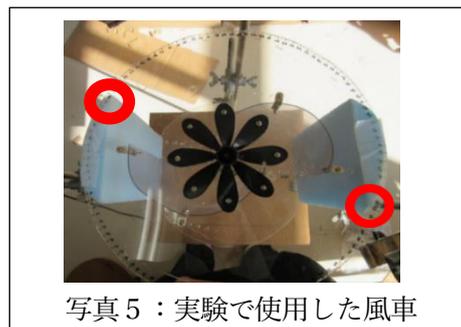


写真 5：実験で使った風車

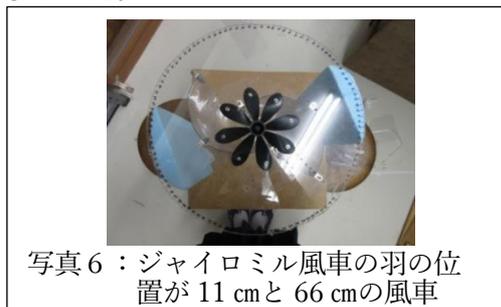
②仮説

ジャイロミル風車の羽がサボニウス風車の裏側にあるとき互いが受ける風を遮らず、最も多く発電する。

③実験結果



11 cm と 66 cm (写真 6) のとき最も発電量が多かった。



④考察

ジャイロミル風車が 11 cm と 66 cm のとき写真 6 からジャイロミル風車の羽はサボニウス風車の羽の裏側にある。そのため、ジャイロミル風車はサボニウス風車が受ける風を遮らない。さらに、サボニウス風車単体では使われない羽の裏側の風を有効に利用できる。

(4)3 台の風車の発電量の比較

①実験方法

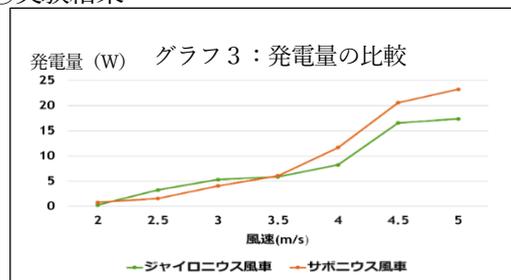
風車は実験(1)~(3)の結果をもとに作成した風車(写真 3)を使用する。風速は扇風機と風速計を用い 2.0m/s~5.0m/s で 0.5m/s ずつ

変化させる。扇風機で風を送ると風に渦が生まれ風速にむらができるため、ハニカム構造を設置し、まっすぐな風で実験を行う。

②仮説

抗力で回るサボニウス風車は弱風でよく発電し、強風では発電量が伸びない。揚力で回るジャイロミル風車は強風でよく発電するが弱風ではあまり発電できない。2 台を合わせたジャイロニウス風車は常によく発電する。

③実験結果



2.5m/s~3.0m/s でジャイロニウス風車がサボニウス風車を上回った。3.5m/s~5.0m/s でサボニウス風車がジャイロニウス風車を上回った。ジャイロミル風車は回らなかった。

④考察

ジャイロミル風車は小型だが、揚力で回転するため弱風での回転には向かず、発電には強い風が必要だ。しかし、実験では扇風機の風力の限界の風速 5m/s までの風しか発生させられない。そのためジャイロミル風車が回るのに十分な風力が得られず回らなかった。

しかし、ジャイロミル風車が回転できないはずの 2.5m/s~3.0m/s でジャイロニウス風車がサボニウス風車の発電量を上回った。

2.5m/s~3.0m/s でジャイロミル風車が回転

する揚力が発生したとは考えにくい。そこでジャイロミル風車の羽が本来の風車の働きとは別の働きをしたと考えた。具体的には整流板の働きだ。整流板とは風の流れを一定に整えるため設けられた板のことだ。同じ風速でもより風車が風を受けやすくなる。よって、2.5m/s~3.0m/s でジャイロニウス風車がサボニウス風車を上回ったと考えられる。

(5)整流板効果の検証

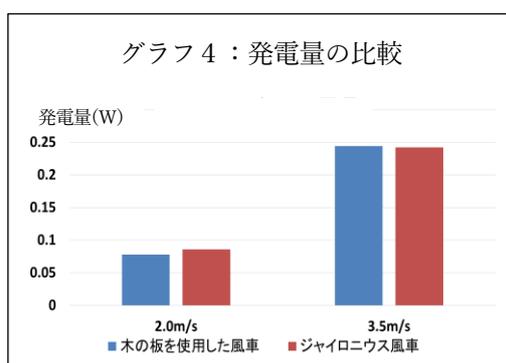
①実験方法

ジャイロニウス風車のジャイロミル風車の羽を揚力が発生しない木製の板に取り換えて発電量を計測し、実験(4)の結果と比較する。風速は 2.5m/s~3.0m/s で 0.5m/s ずつ変化させる。

②仮説

実験(4)のジャイロニウス風車の結果と同様の結果になる

③実験結果



2台の発電量にはほとんど差がなかった。

④考察

実験(4)のジャイロニウス風車と同様の結果となったことから、実験(4)の考察で挙げ

たジャイロミル風車の羽が整流板の働きをしたという仮説は正しい。

4. 結論

サボニウス風車の羽の重ね幅は羽の直径との比が 5:2 のときに最も発電量が多くなる。風を受ける部分と風の通り道となる部分がほぼ同じ面積であることからサボニウス風車の発電方法において、1度に多量の風を受け大きな力で回転する仕組みと同じ風を2度使用することで弱風で回転しやすくする仕組みは同じくらい重要である。

ジャイロミル風車の羽は揚力が発生しやすいように羽の上下の面積に大きな差があり、受ける抗力を小さくするために先端が鋭い形状が適している。

ジャイロミル風車とサボニウス風車を組み合わせる際には、ジャイロミル風車の羽はサボニウス風車の羽の裏側に設置するのが良い。ジャイロミル風車はサボニウス風車を受ける風を遮ることを防ぐことができ、さらに、サボニウス風車単体では使用することがないと考えられる羽の裏側の風を有効に利用することができる。

ジャイロニウス風車は、ジャイロミル風車の羽が整流板の働きをすることにより、2.5m/s~3.0m/s 間でサボニウス風車よりも多く発電できる。また、この整流板は従来の整流板と異なり風車と共に回転するため、サボニウス風車本来の長所である、全方向からの風に対応可能という点を損なわない。