

効率の良い垂直軸型風車の形状の研究Ⅲ

静岡県立焼津中央高等学校 科学部

2年 大石竜輝・石川裕人・田川凌大 1年 大竹龍界・八木琢斗

1. 研究の目的

本研究は、一昨年度(2014年度)、昨年度(2015年度)の研究を引き継いだものである。一昨年度は垂直軸型風車の中で、受けた風の力をそのまま回転する力に変える抗力型風車について研究した。昨年度は揚力を利用して回転する揚力型風車について研究した。今年度は昨年度までの風車と新たに製作した風車の電圧を屋内で測定し、それに加え実際に屋外ではどのくらいの電圧が出るのかについて研究することにした。

2. 風車の種類

今年度研究するにあたって、新たに抗力型の「パドル型風車」、揚力型の直線翼型風車にウィングレット(航空機の主翼端に取り付けられる小さな翼のこと)をつけたベルシオン式垂直軸型風力発電機(登録商標)を参考にした「ベルシオン型風車」、抗力型風車と揚力型風車の性質をもったトルネード型発電機(登録商標)を参考にした「トルネード型風車」、昨年度製作した揚力型の直線翼型風車の質量を増やした「直線翼型風車重」の計4種類を新たに製作することにした。

＜揚力型風車＞

(1) 直線翼型軽 (昨年度製作)

使用した材料 羽部分 アルミ板 0.3mm アルミテープ
接合部分 アルミ板 0.5mm 低発泡塩ビ板

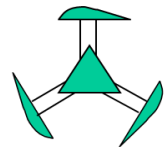


図1：直線翼型

特徴 揚力を使い回転する。自力での回転開始が難しいという問題がある。

(2) 直線翼型重 (今年度製作)

使用した材料 羽部分 アルミ板 0.3mm 油粘土 アルミテープ
接合部分 アルミ板 0.5mm 低発泡塩ビ板

特徴 基本的特徴は直線翼型と同じだが、後述のベルシオン型と比較するために質量を増やしてある。

(3) ベルシオン型 (今年度製作)

使用した材料 羽部分 アルミ板 0.3mm 手芸用樹脂粘土 アルミテープ
接合部分 アルミ板 0.3mm 低発泡塩ビ板

ウィングレット

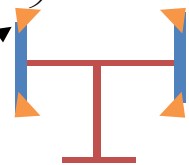


図2：ベルシオン型

特徴 直線翼型にウィングレットをつけることにより整流効果を得ることができる。

＜抗力型風車＞

(4) パドル型 (今年度製作)

使用した材料 羽部分 カプセルトイ用空カプセル
直径 6.5mm ガムテープ
接合部 アルミ板 0.5mm

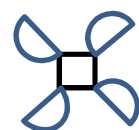


図3：パドル型

特徴 抗力を使い回転する。風が貫流しないため風を受け止めやすい。

(5) S字型 (一昨年度製作)

使用した材料 アルミ板 0.5mm

スタイロフォーム 1820×910mm厚さ 50mm

特徴 抗力を使い回転する。風が貫流しないため
風を受け止めやすい。



図4：S字型

(6) クロスフロー型 (一昨年度製作)

使用した材料 アルミ板 0.5mm デコパネ素板

発泡ポリスチレン A3 厚さ 5mm

特徴 風が貫流する。抗力型で初速度が低くても回転しやすい。



図5：クロスフロー型

(7) サボニウス型 (一昨年度製作)

使用した材料 アルミ板 0.5mm

スタイロフォーム 1820×910mm 厚さ 50mm

特徴 抗力を使い回転する。風を切らない構造なので騒音が出にくい。

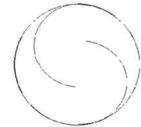


図6：サボニウス型

<抗力と揚力の両方を利用する風車>

(8) シグナスミル型 (昨年度製作)

使用した材料 羽部分 アルミ板 0.3mm アルミテープ

接合部分 アルミ板 0.5mm 低発泡塩ビ板

特徴 抗力と揚力の両方を使い回転する。



図7：シグナスミル型

(9) トルネード型 (今年度製作)

使用した材料 羽部分 アルミ板 0.3mm

接合部分 アルミ板 0.5mm

特徴 シグナスミル型と同様、抗力と揚力を使い回転する。



図8：トルネード型

3. 屋内での実験

(1) 実験方法

風車の発電効率を調べるために電圧を計測した。製作した風車(1)～(9)は大きさによる違いをなくすために縦、横、高さを20cmに収まるように大きさを統一した。そして、計測には製作した風洞、ラボディスク、扇風機を使用した。また風洞の内部には整流効果のある円筒を入れてある。

計測方法は、初めに風速を1.0m/sから6.0m/sまで1.0m/sごとに設定してから風車を風洞の図20の位置(風車の軸が扇風機から138cm)になるように設置する。そして1秒ごとに電圧を記録し、それを10分間繰り返し、1つの型につき計600回分の電圧のデータを取った。

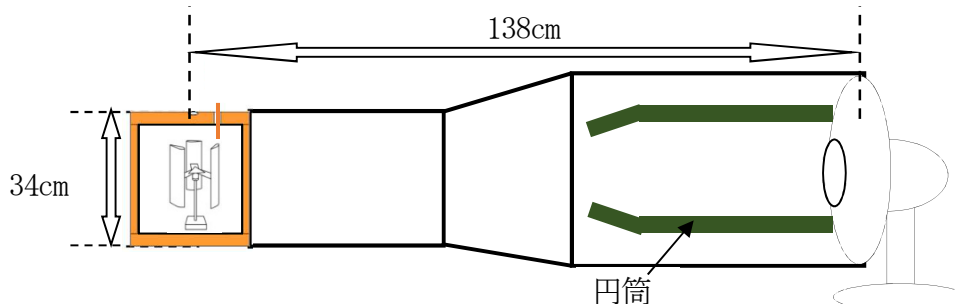


図9：風洞内

(2) 実験結果

表記方法：右から羽の枚数・風車の型・接合部の素材 直線=直線翼型 ベル=ベルシオン型 パドル=パドル型 S字=S字型 クロ=クロスフロー型 サボ=サボニウス型 シグ=シグナスミル型 トルネ=トルネード型 アル=接合部アルミ板 塩ビ=接合部低発泡塩ビ板

風速 (m/s)	3・直線・ 軽・アル	3・直線・ 軽・塩ビ	4・直線・ 軽・アル	4・直線・ 軽・塩ビ	3・直線・ 重・アル	3・直線・ 重・塩ビ	
1							
2							
3	0.47	1.27	1.48	1.33	1.34	1.12	
4	1.11	1.38	2.01	1.56	1.49	1.42	
5	1.76	2.31	2.76	1.6	2.02	1.6	
6	2.19	2.49	3.1	1.93	2.12	1.67	
風速 (m/s)	4・直線・ 重・アル	4・直線・ 重・塩ビ	3・ベル・ アル	3・ベル・ 塩ビ	4・ベル・ アル	4・ベル・ 塩ビ	
1							
2	0.91	1.05	0.74		0.94	0.99	
3	1.56	1.44	1.29	1.55	1.39	1.43	
4	2.16	1.79	1.67	1.86	1.87	1.77	
5	2.44		2.22	1.74	2.24	1.79	
6		* 1	2.33	1.71	2.42	1.68	
風速 (m/s)	パドル	s字軽	s字重	クロ軽	クロ重	サボ軽	サボ重
1	0.16 * 2			0.13 * 4			
2	0.59			0.64	0.39		
3	0.87	1.43	1.36	1.24	0.87	0.81	1.08
4	0.92	2.12	2.05	1.69	1.24	1.36	2.04
5	1.34	2.72	3.41	2.15	1.67	1.79	2.69
6	1.72	3.1	4.33 * 3	2.74	2.01	2.29	3.26
風速 (m/s)	3・シグ・ アル	3・シグ・ 塩ビ	4・シグ・ アル	4・シグ・ 塩ビ	トルネ		
1							
2					0.47		
3	1.45	1.61	1.91	1.35	1.17		
4	2.18	2	2.15	1.51	1.68		
5	2.9	2.68	2.51	1.72	2.03		
6	3.45	3.22	3.01	1.92	2.22		

表1～4：風車の電圧

空白の部分は風車が回転しなかったところ。

<揚力型について>

表1～4より接合部に塩ビ板を用いたものはアルミ板のものより電圧が低いので、以降はアルミ板を用いた風車のみを比較する。直線翼型軽は風速3～5 m/sの間で電圧が大きく上がるが、風速2 m/s以下では回転しにくいものが多い。

表1、2より直線翼型軽と直線翼型重を比較すると、低風速では直線翼型重の方が高電圧を出すことが多いが、高風速では直線翼型軽の方が高電圧をよく出すことがわかった。

表1、2より3枚羽の直線翼型重と3枚羽のベルシオン型を比較すると、基本的にベルシオン型の方が高電圧を出す。4枚羽では逆に直線翼型重の方が高電圧を出すことが多いが、4枚羽の直線翼重は風速6 m/sでは回転しなかった(*1)。

<抗力型について>

抗力型は低風速でも回転できる型が揚力型より多く、表3よりパドル型とクロスフロー型軽は風速1 m/sで回転している(*2、*3)。そして、S字型重は全風車の中で電圧が最も高かった型である(*4)。パドル型とクロスフロー型軽はともに風速が1 m/sで回転した型だが、表3よりパドル型は風速が上がっても電圧があまり高くない。

<抗力と揚力の両方を利用した型>

表4よりシグナスミル型とトルネード型は抗力と揚力の両方を利用しているがシグナスミル型の方が基本的に高電圧を出す。さらにシグナスミル型は、風速3 m/s以上で安定して高電圧を出しているものが多い。

(3) 実験結果の考察

<揚力型について>

表1～4より、接合部にアルミ板を用いたものの方が、塩ビ板を用いたものより電圧が高かったことから、アルミ板の方が塩ビ板より耐久力があり、羽のぶれをより抑えることができると考えられる。

表2(*1)の4枚羽の直線翼型重が高風速(6m/s)で回転できなかったのは、風車の羽が高速で回転することで軸に強い負荷がかかり、ぶれてしまったためであると考えられる。また、揚力型は風速2m/s以下で回転するものが少ないことから揚力型は低風速での発電には適していないと考えられる。

表1、2より直線翼型軽と直線翼型重を比較すると、低風速では直線翼型重の方が高電圧を出すことが多いが、高風速では直線翼型軽と同程度の電圧を出すことが分かる。これは直線翼型軽の、風速に対する回転の伸び率が直線翼型重の伸び率より大きいいため同程度の電圧になると考えられる。

表1、2より3枚の直線翼型重とベルシオン型を比較すると、基本的にベルシオン型の方が高電圧を出すことから、ウィングレットがうまく作用したのだと考えられる。逆に、4枚羽では直線翼型重の方が高電圧をよく出すことから、4枚羽のときに付け加えたおもりが回転に作用した力がウィングレットの効果を上回ったためであるか、ウィングレットがうまく作用できず整流効果があまり働かなかったためであると考えられる。

<抗力型について>

抗力型は低風速でも回転できる型が多いことから、低風速では抗力型の方が揚力型より効率が良く考えられる。さらに表3(*4)よりS字型重は全風車の中で高風速での電圧が最も高かった型であることから、S字型が今回実験した風車の中では高風速中で発電するには最も適していると考えられる。しかし、あくまで1～6m/sの話であり、このS字型風車は風が貫流しない構造であるため、風が強すぎると壊れてしまう可能性がある。

パドル型とクロスフロー型軽が風速1m/sで回ったのは、両方とも軽く、弱い力でも回り始めることのできたためであると考えられる。また、クロスフロー型軽の方が風速に対する電圧の伸び率が良かったことは、クロスフロー型軽の方がパドル型より風を受けられる面積が大きかったためだと考えられる。

<抗力と揚力の両方を利用した型について>

表1～3より抗力型の方が揚力型より性能が良かったことから、シグナスミル型は揚力よりも抗力の影響が大きいと考えられる。そして、シグナスミル型は風速2m/s以下では回転しないものの、風速3m/s以上では安定して高い電圧を出しているものが多いことから、シグナスミル型は1～2m/sでは抗力の影響が小さく、回転できなかったが、3m/sからは抗力の影響が大きくなり回転できたと考えられる。

4. 屋外での実験

(1) 実験方法

屋外での風車の発電効率を調べるために電圧および風速を計測した。

電圧の計測にはラボディスク、風速の計測には風速計を使用した。風車は「3. 屋内での実験」の中で風速1m/sで回転したクロスフロー型軽とパドル型を使用した。

計測場所は前回の研究で屋外で風速を計測したときに、風速が0m/sの日がちが最も少なかった1階校舎体育館通路と、今回新たに校舎屋上の2ヶ所で行った。計測方法は、

1秒ごとに電圧、5秒ごとに風速を計測し、それぞれ600回分の電圧データと120回分の風速データを取った。

(2) 実験結果の考察

風速が上がると電圧が上がっていることから、風速と電圧に相関があることが分かる。

昨年度の研究を踏まえ体育館通路と屋上を比較すると、体育館通路の最大風速は3m/s強であるが屋上の最大風速は8m/s弱である。さらに平均風速は体育館通路は0.50m/s、昨年度の結果と平均しても0.53m/sであるが、屋上は1.26m/sであることから屋上のほうが高風速の風が吹きやすいといえる。このように、屋上のほうが体育館通路よりも高風速の風が吹きやすいのは屋上が体育館通路に比べ障害物が少ないことと高所であることが考えられる。

「3 (3) 実験結果」と比較すると屋内の実験ではパドル型は風速1m/sの時に電圧が0.16vであったが、屋外の実験では平均風速が0.50m/sの体育館通路では平均電圧が0.23vであり、平均風速が1.26m/sである屋上では0.56vであった。また、クロスフロー型軽は屋内では風速1m/sの時に電圧が0.13vであったが、平均風速0.50m/sの体育館通路では0.41v、平均風速1.26m/sの屋上では1.10vという結果になり、屋外での電圧のほうが屋内で計測した電圧よりも高いことが分かった。このような結果になった理由は、私たちが制作した風洞は一定の方向からしか風を送れないことに対し、自然の風はあらゆる方向から吹き、垂直軸型風車はこれらの風を利用できるため、私たちが使用した風速計では計測しきれなかったことが原因であると考えられる。また、風車を設置する際には、屋外での実験によって平均風速が0.5~1.26m/sと低風速なのだと分かったので、低風速で回転し、かつ高い回転数を出せるものが適していると考えられる。

5. 結論

屋内計測での結果から低風速の場所ではパドル型とクロスフロー型軽が適しており、高風速の場所ではS字型重や直線翼型軽、シグナスミル型が適していると考えられる。しかし、S字型は風が貫流しないので突風などにより風車が破損する可能性があるため、突風が多い場所では直線翼型軽とシグナスミル型が適していると考えられる。このように**風車の特徴に合わせて風車を設置する場所を決めていくことが必要**である。

屋外計測では平均風速0.5m/sでパドル型は0.23v、クロスフロー型軽は0.41v、平均風速1.26m/sでパドル型は0.56v、クロスフロー型軽は1.1vという電圧を出している。このことから私たちが制作した風車は屋外での平均風速1.26m/sで一般的なアルカリ乾電池の電圧1.5vを超えていないのでまだまだ発電できていないことが分かる。

6. 3年間の総括

私たちはこの3年間効率のよい垂直軸型風車について研究してきた。

1年目は送風機製作による研究の土台作りと風車の回転数について研究をした。送風機は風車に一定の風を与えられるようにするために試行錯誤をし、その結果一定の風を送ることのできる風洞が完成した。また、風車の実験では主に抗力型について調べた。

2年目は1年目ではあまり研究のできなかった揚力型風車について研究をした。この研究では羽の枚数や形状、接合部の素材を変えるなどして揚力型について深く掘り下げていった。

3年目はいままで回転数で計測してきた風車の性能を電圧の計測で比較することにした。また、実用化に向けて実際に屋外に出て自然の風での計測も行った。

これらの研究の結果、風車の性能にはそれぞれ特徴があるため一概にどの風車が最も優れているとは言い切れなかった。そのためそれぞれの風車の特性を活かすことのできる場所に設置することが大切である。