

垂直軸風車の研究

早稲田大学高等学院
赤松一馬

1. はじめに

近年、地球温暖化問題が注目され始め、その大きな原因である二酸化炭素の排出量削減が日本の大きな課題となっている。図1からわかるように、日本の二酸化炭素排出量はインドや中国よりは少ないものの、先進国の中では排出量が多く、現在も減ってはいない。図2のような火力発電に頼っている日本の現状は、二酸化炭素の削減を困難にしている原因のひとつとしても考えられている(図3参照)。打開策として原子力発電が普及し始めているが、先日起こった中越沖地震のような災害が起こったときにはどうしようもなくなってしまう。なので、原子力発電のみに頼るのも問題があると考え。

最近、新エネルギーとして注目されている自然エネルギーは既存のエネルギーに比べ環境にやさしい。しかし、図2からわかるように、設置にコストがかかるためにあまり普及していないのが現状である。そこで、低コストで設置が可能な発電器具の必要性を感じた。

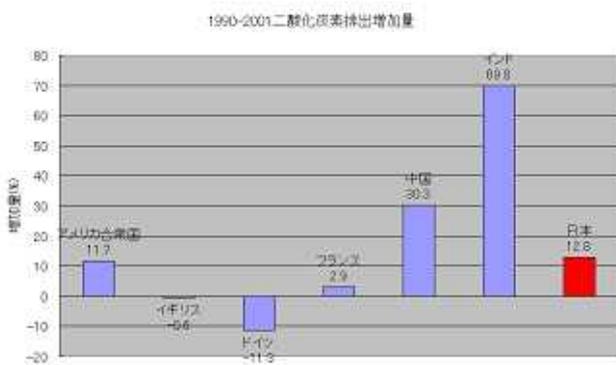


図1 1990 - 2001 二酸化炭素排出増加量

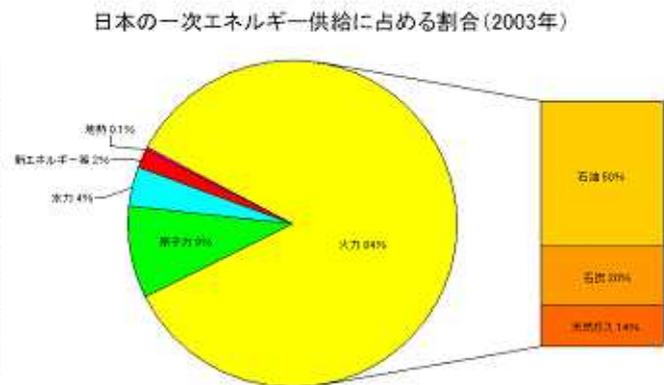


図2 日本の一次エネルギー供給に占める割合(2003年)

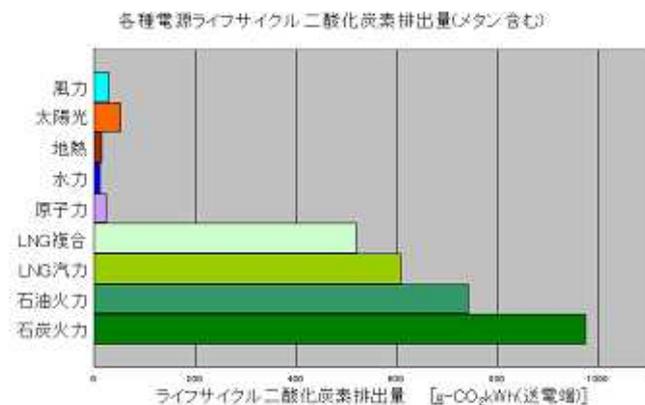


図3 各種電源ライフサイクル二酸化炭素排出量(メタン含む)

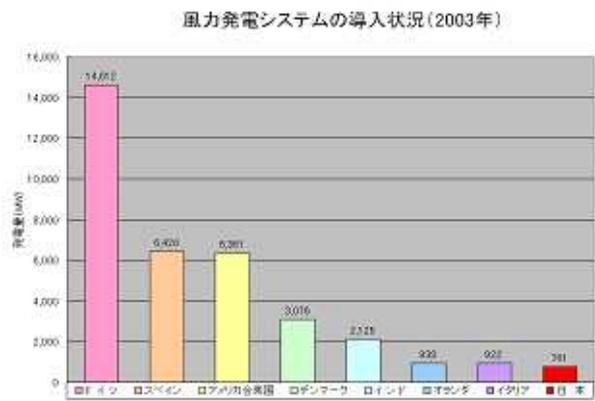


図4 風力発電システムの導入状況(2003年)

自然エネルギーには、太陽光発電システムや風力発電システム、水力発電システム、地熱発電システムなどがあるが、今回は一番容易に低コストにできそうな、風力発電システムに注目してみた。図4からわかるように、各国に比べて日本の風力発電は特に普及していない。その理由として、先ほど理由に挙げたコストの問題があると考えた。日本のように年間を通して安定した風が吹かない環境では、設備投資に見合うだけの発電能力が得られないという現状がある。そこで、風力発電システムを低コストで設置するためには、低コストで作れる効率の良い風車が必要だと考えた。

2. 前回研究結果

2001 年

風車は大きく分けると、水平軸風車と垂直軸風車に分けられる。それぞれの代表的な風車の模型を作成し実際に風を当てることにより、それぞれの特徴を見つけることを目的としてこの実験を行った。実験結果は図5である。この実験からわかったことは以下の通りである。

- 垂直軸風車よりも水平軸風車の方が速く回転し、よく発電する。
- 受風面積が多い方が良い。
- 水平軸風車において、風向に対して羽の角度は 80 度以上 90 度未満の間に最高点がある。
- 羽の質量は重いほうがよく、高速回転時により影響が大きくなる。
- 偏って削った羽を用いた場合は揚力が発生する。

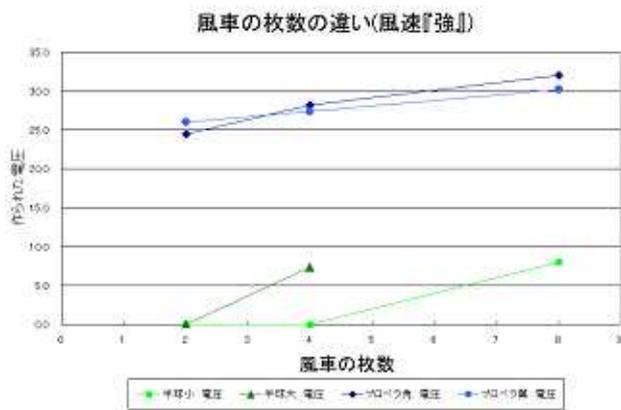


図 5 2001 年実験結果

2002 年

コスト面を考えたときに、水平軸風車は風が吹いてくる方向に風車を常に向けておく装置が必要でコストがかかる。また、軸には発電機を取り付けなければならないので軸が重くなり、動かすためには力が必要である。よって、その力を上回る発電をおこなわなくてはならず風車を巨大なものにしなければならない。設置環境を考えたときに、日本はヨーロッパに比べ風がいろいろな方向から吹いてくる国である。このような国においては、水平軸風車では無駄が多くなってしまふ。このような点を踏まえ、垂直軸風車に絞り、実験をすることにした。

実験には、サボニウス型と S 型ロータと呼ばれる風車を使用し、風洞実験も同時に行うことにより羽の形状による回転数への影響を調べることを目的としてこの実験を行った。図6が実験結果である。この実験からわかったことは以下の通りである。

- S 型ロータよりもサボニウス型のほうがよく回転する。
- 垂直軸風車の場合風の流れが重要で、微風で回すには風を効率よく何度も使い、回転力と非回転力との差異を大きくすることが必要である。

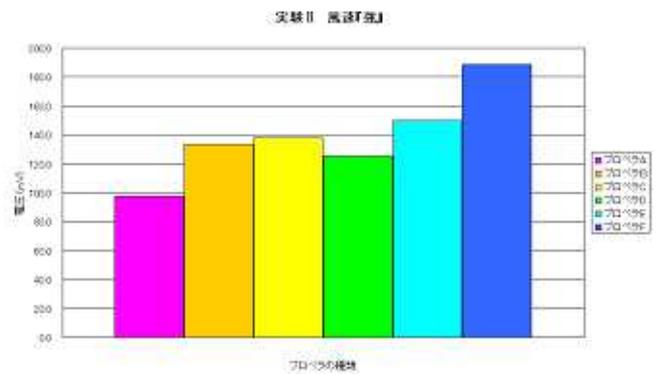


図 6 2002 年実験結果

3. 実験器具

- 扇風機 (National F-C301J)

扇風機からの距離 300 mm (m/s)

風速	弱	中	強
130 mm	2.0	2.8	3.5
0 mm	1.5	1.8	2.5
差	0.5	1.0	1.0

扇風機からの距離 700 mm (m/s)

風速	弱	中	強
130 mm	1.6	2.2	2.5
0 mm	1.6	2.5	2.8
差	0.0	-0.3	-0.3
平均	1.6	2.4	2.7

図 7 扇風機の風速

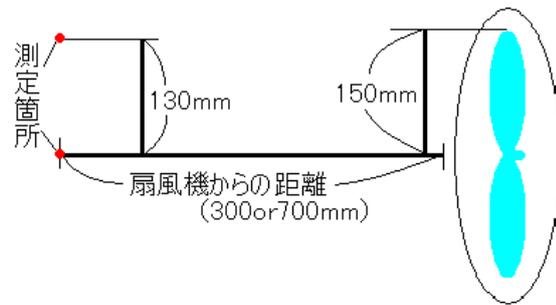


図 8 風速の測定箇所

- 風車本体
- 風速測定器(LM-8000)



図 9 風速測定器

4. 実験方法

風車の模型を作成し実際に扇風機から風を当てて風車の回転数を測定する。風車の回転軸と扇風機の距離は 0.7m とする。前回実験では 0.3m だったが、今回風速を計ることによって 0.3m では風速にばらつきがあることがわかった為、0.7m とした。風車の上部と扇風機の上を同一水平面上になるようにセットする。回転数の測り方は、1 分間に回転する回数を測定し、同じ実験を 5 回ずつ行い、平均値を出す。扇風機は National F-C301J を使用し、風速は弱、中、強とする。

回数の測定の仕方は、準備として、プロペラの同軸に一箇所切り込みの入った円盤を取り付け、光の通過を感知したときにカウントする装置(図 10 参照)を、円盤を挟みつつ固定した板に取り付ける。測定は円盤が回り、切り込みが装置を通過したときに、光が通過しカウントが増える要領で 1 分間測定する。(図 11 参照)

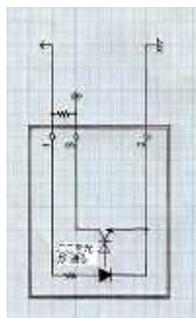


図 11 回路図 2

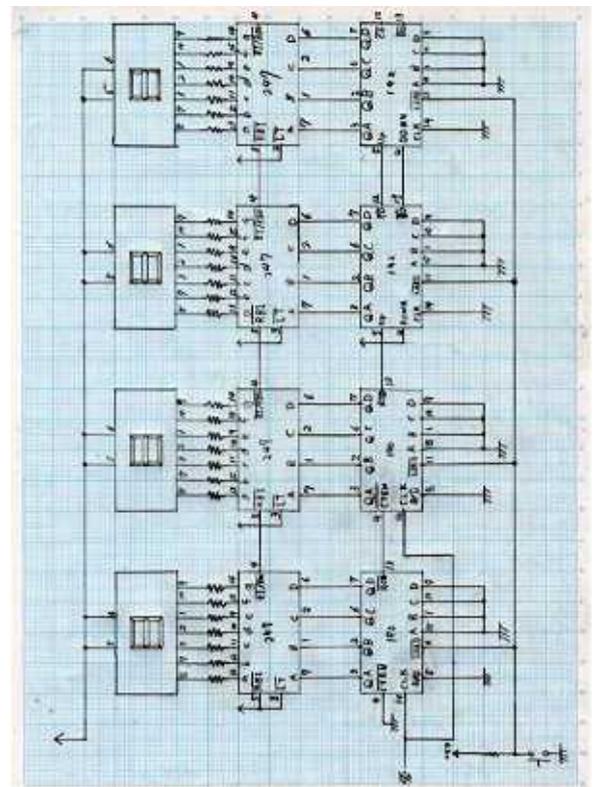


図 10 回路図 1

右の図は実験器具を上から見た図である。赤の円は風車の羽で、青い円は風誘導装置の羽である。実験では、風車は8枚か2枚(サボニウス型)、風誘導装置は16枚で実験した。角度表記は羽の中心と回転軸を結んだ直線を0度として、赤い矢印の方向を+、逆の方向を-とした。回転軸から風車の羽の中心までは、65mm、風誘導装置の羽の中心までは、105mmとした。風誘導装置の羽は回転せず、風車の羽のみが回転する。サボニウス型実験時には赤い円がなくなり、その部分にサボニウス型風車が設置される。

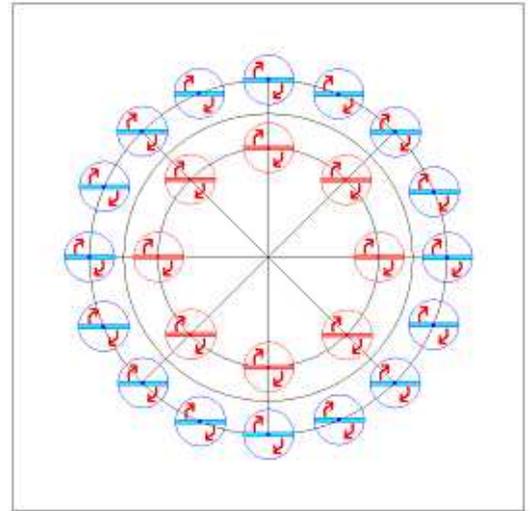


図 12 実験器具の上から見た図

実験では直線翼型風車の場合、風車の羽の角度は -60 度、 -30 度、 ±0 度で、風誘導装置無し、角度 -75 度、 -60 度、 -45 度、 -30 度、 -15

度、 ±0 度、 +15 度、 +30 度、 +45 度、 +60 度、 +75 度でそれぞれ組み合わせて実験を行った。サボニウス型風車の場合、羽の重なる間隔を 0 mm、 10 mm、 20 mm、 30 mm、 40 mm、 50 mm、 60 mm、 70 mm で風誘導装置無しで実験し、羽の重なる間隔が 10 mm の時だけ、風誘導装置の角度 -75 度、 -60 度、 -45 度、 -30 度、 -15 度、 ±0 度、 +15 度、 +30 度、 +45 度、 +60 度、 +75 度でも実験を行った。

右の図は実験器具を横から見た図である。ピンクのネジを締めることで羽を固定し、羽の角度は自由に変えられるようになっている。緑の装置によって、回転の回数を数える。水色が風車の羽で、黄色が風誘導装置の羽である。風誘導装置の羽の角度は上下の板で挟むことによって固定している。実験では、風車の羽が 30 度刻み、風誘導装置の羽は 15 度刻みで実験を行った。サボニウス型の実験時は青い部分がなくなり、サボニウス型風車に変わる。

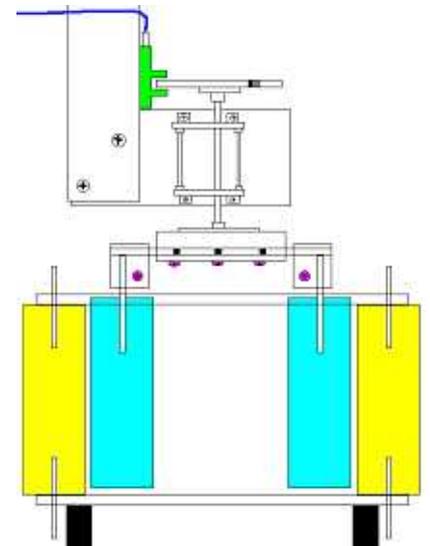


図 13 実験器具の横から見た図

5. 実験を計画する上で考えたこと

扇風機と風車との距離について、前回実験では 0.3m だったが今回の実験では 0.7m にした。理由として扇風機の軸の部分には羽がついておらず、0.3m では風の強さにむらがあることがわかった。(図 7 参照) なので、今回は 0.7m はなして、むらのない風で実験することにした。

風車の羽の角度が +30 度と +60 度の実験は、 -30 度と -60 の実験を逆さにして行ったものと同じになるので、今回は実験しない。

前回実験から、回転数は受風面積に大きく影響されることがわかっているので、今回は 8 枚のみで実験を行い、4 枚や 2 枚は実験を行わないことにした。

6. 実験結果

右下にあります。

7. 考察

すべてのときに下に凸のグラフになっている。つまり、風速があがることにより回転効率はよくなることがわかった。今回の実験の中で、一番高い回転数を出したのは、風車の羽の角度が±0度で風誘導装置の羽の角度が+45度の強風のときであった。しかし、日本は強風ばかり吹いている国ではないので、弱風でよく回るほうが実用的だと考えた。よって、今回の実験の中では風速によらず常に発電するほうが良いと思われるので、傾きの緩い-30度が良いと結論付ける。今後は、風車の羽の角度が±0度から-30度の間を重点的に実験することにより、より良い角度を見つけられると予想する。よって次回は-10度と-20度で実験を行いたい。

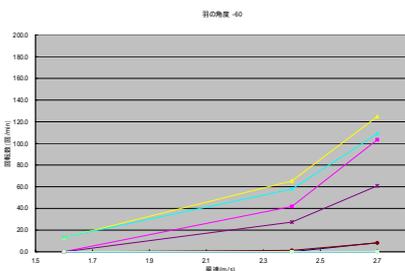


図 14 実験結果

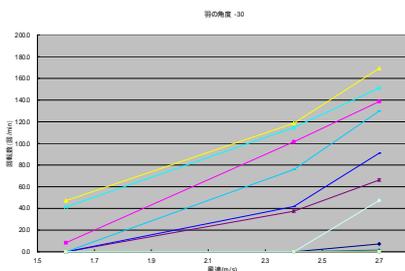


図 15 実験結果

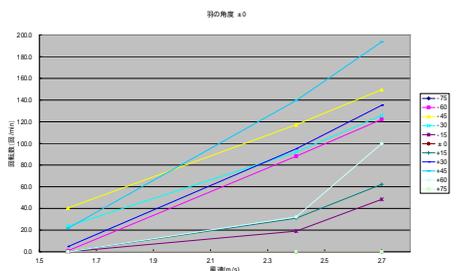


図 16 実験結果

上記のグラフのそれぞれの数値を3乗ずつすると、以下のようなグラフが得られる。グラフからわかるように、ほぼ、グラフが一直線になった。このことから、風速と回転数は3乗の関係にあると予想付けられる。

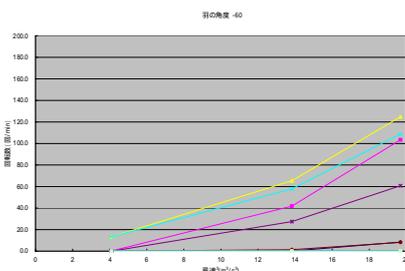


図 17 実験結果

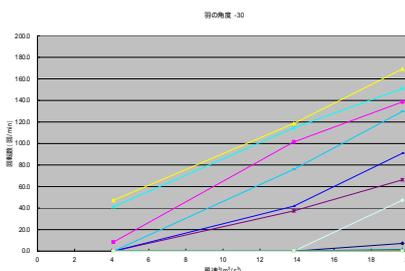


図 18 実験結果

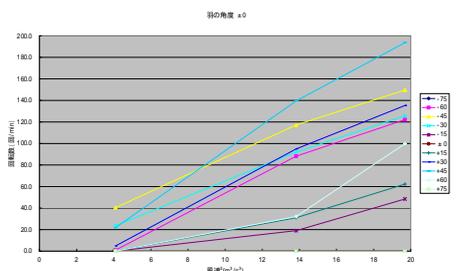


図 19 実験結果

風速ごとに実験結果を分けてみた。それぞれ風誘導装置無しのグラフを横一線引いた。このことにより、各色事に横一線よりも高いところは風誘導装置が意味をなしていることがわかる。ほぼすべての結果において、風誘導装置が効率よく働いていることがわかる。

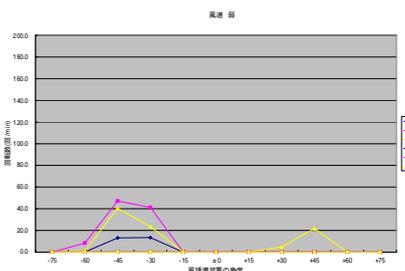


図 20 実験結果

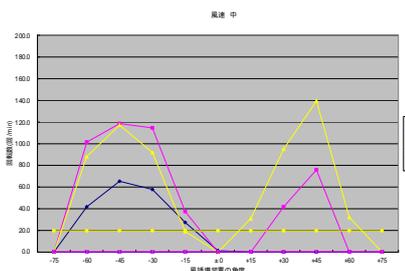


図 21 実験結果

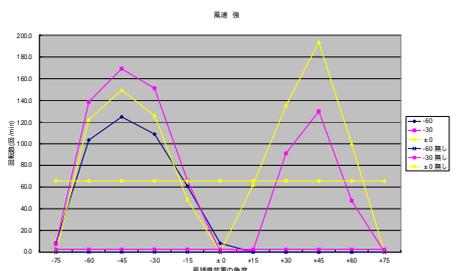


図 22 実験結果

サボニウス型の実験結果を風速ごとにグラフにした。

図 23 から、グラフがきれいな山型になっていない。実験結果に誤差があるか、回転方向が実験装置の関係で逆になるため、風の当たり方の違いの可能性も考えられる。なので、今後の実験で原因を追究したい。

図 24 は一番回転数が大きかった羽の感覚 10 mm に風誘導装置をつけて実験した。実験結果から、風誘導装置の効果があるのはごく一部の羽であることがわかった。このことから、サボニウス型はどのような風でもより効率よく働いていることがわかる。

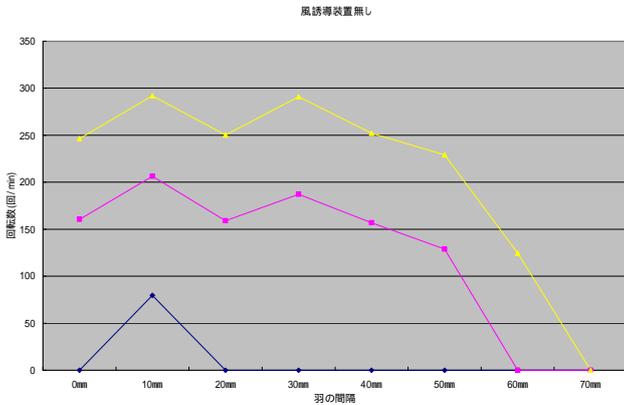


図 23 実験結果

8. 結論

風速による影響を受けずに一定の発電量が得られるほうが、設置台数の計画や発電量の見積もりが立てやすいので、今回の実験した組み合わせの中では、風車の羽の角度は - 30 度で、風誘導装置の羽の角度は - 45 度がよいという結論に至った。サボニウス型のほうは羽の間隔を 10 mm 以外でも風誘導装置ありの実験を行う必要があるので、現時点では結論を出すことは難しい。しかし、サボニウス型は風誘導装置がなくてもよく回るので今後に期待ができる羽である。

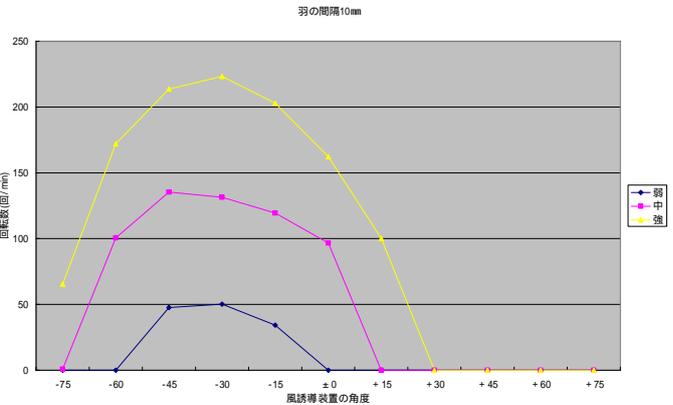
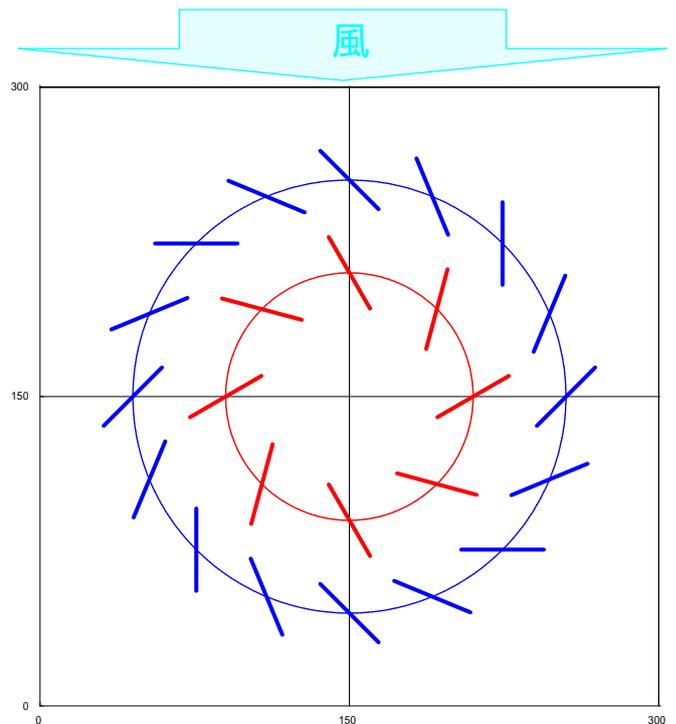


図 24 実験結果



9. 今後の課題

1. 羽の利用効率が悪い

今回の風車では、一番良く回っていた風車が - 30 度の風誘導装置が - 45 度のときでも、図 25 の緑で囲まれた部分の羽しか使用されず、8 枚の羽のうち、3 枚程度しか機能していない。何らかの方法で、今後は 8 枚全体が機能するような羽を考えたい。

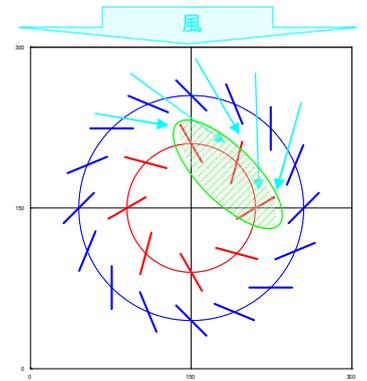


図 25 利用効率

2. 風の逃がし方

今回は風洞実験を行わなかったので、風の動きが分からなかった。

しかし、考察するに、風誘導装置を通った風は、風車の羽を動かした後、風車中央にたまる。その風は、風車中央から出るときに回転を妨げる可能性がある。よって、中心に円錐を設置することによって、中央に集まった風を上部に逃がし、回転効率がよくなると予想できる。

また、ただの円錐では思ったような効果は得られないと予想されるので、図 26 のような、円錐に風誘導のための突起を付けることを提案する。

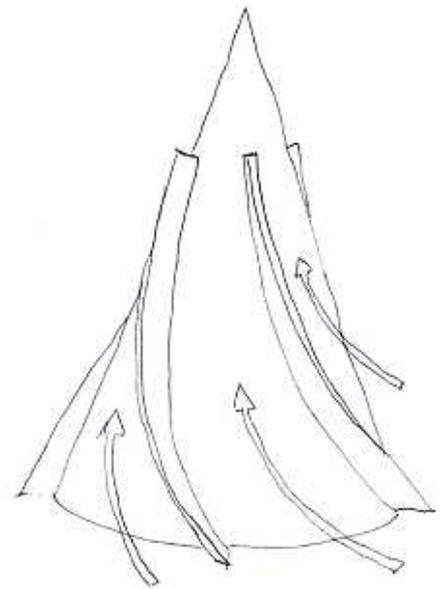


図 26 特殊円錐

3. サボニウス型の実験

サボニウス型の実験は羽の間隔が 10 mm の時しか、風誘導装置との組み合わせ実験を行っていないので、他の間隔の時の実験を行う。

また、風誘導装置無しの際のサボニウス型の実験から得られたように、回転する方向によって回転数に差があることがわかった。つまり、軸の左右で風速が異なる可能性が考えられるので、そのあたりも踏まえた上で新たな実験を行いたい。

4. 揚力で回転する風車

前回研究で見つけた揚力をうまく使った風車を考案したいと考えている。揚力は回転力によって発生させられるので、日本のようなほとんど微風しか吹かない地域ではかなり有効であると考えられる。今後は揚力を持つ風車と風誘導装置との組み合わせ実験も行いたい。

実験結果

羽の角度 -60

風速	無し			-75			-60			-45			-30			-15			±0			+15			+30			+45			+60			+75		
	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強
回転の向き	無	無	無	無	右	右	右	右	右	右	右	右	右	右	右	右	右	右	無	右	右	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無	無
1回	0	0	0	0	0	9	0	39	105	13	65	128	16	58	108	0	29	60	0	1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2回	0	0	0	0	0	8	0	45	101	13	69	128	12	61	109	0	29	63	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3回	0	0	0	0	0	11	0	38	103	11	64	121	11	58	108	0	27	62	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4回	0	0	0	0	0	7	0	48	103	13	65	124	12	55	109	0	26	59	0	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5回	0	0	0	0	1	7	1	38	105	16	64	123	16	57	110	0	27	60	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平均	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	8.4	0.2	41.8	103.4	13.2	65.4	124.8	13.4	57.8	108.8	0.0	27.4	60.8	0.0	1.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

羽の角度 -30

風速	無し			-75			-60			-45			-30			-15			±0			+15			+30			+45			+60			+75		
	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強
回転の向き	右	右	右	無	無	右	右	右	右	右	右	右	右	右	右	無	右	右	無	無	無	無	無	左	無	左	左	無	左	左	無	無	左	無	無	無
1回	0	0	1	0	0	5	9	105	151	50	116	164	46	112	148	0	34	68	0	0	0	0	0	0	3	0	46	91	0	89	140	0	50	0	0	0
2回	1	1	1	0	0	5	8	97	139	43	118	173	44	114	153	0	35	64	0	0	0	0	0	0	1	0	41	92	0	76	134	0	61	0	0	0
3回	0	0	5	0	0	9	8	104	140	45	119	172	41	119	149	0	37	65	0	0	0	0	0	0	2	0	39	89	0	78	127	0	48	0	0	0
4回	0	0	4	0	0	6	9	99	131	48	122	169	36	115	153	0	38	67	0	0	0	0	0	0	1	0	49	93	0	71	125	0	40	0	0	0
5回	0	1	2	0	0	11	8	102	132	50	118	168	39	113	152	0	43	67	0	0	0	0	0	0	1	0	34	90	0	66	123	0	38	0	0	0
平均	0.2	0.4	2.6	0.0	0.0	7.2	8.4	101.4	138.6	47.2	118.6	169.2	41.2	114.6	151.0	0.0	37.4	66.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	41.8	91.0	0.0	76.0	129.8	0.0	47.4	0.0	0.0	0.0

羽の角度 ±0

風速	無し			-75			-60			-45			-30			-15			±0			+15			+30			+45			+60			+75		
	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強			
回転の向き	右	右	右	無	無	無	右	右	右	右	右	右	右	右	右	無	右	右	無	無	無	無	左	左	無	左	左	無	左	左	無	無	左			
1回	1	18	69	0	0	0	0	86	126	35	122	145	29	97	125	0	17	50	0	0	0	0	0	30	62	7	89	137	28	137	198	0	44			
2回	0	18	68	0	0	0	1	80	121	40	118	148	25	92	127	0	19	44	0	0	0	0	0	35	60	4	96	131	29	136	198	0	33			
3回	0	24	61	0	0	0	1	91	130	43	117	152	21	90	125	0	20	50	0	0	0	0	0	30	62	4	93	131	15	136	188	0	28			
4回	0	17	64	0	0	0	2	92	134	44	110	150	22	92	126	0	20	48	0	0	0	0	0	32	64	4	98	136	21	139	195	0	24			
5回	0	24	66	0	0	0	1	92	130	40	119	153	21	89	126	0	19	50	0	0	0	0	0	28	63	5	99	141	17	150	189	0	32			
平均	0.2	19.8	65.6	0.0	0.0	0.0	1.0	88.2	122.2	40.4	117.2	149.6	23.6	92.0	125.6	0.0	19.0	48.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.0	62.2	4.8	95.0	135.2	21.8	139.6	193.6	0.0	32.2			

回転の向き	0mm			10mm			20mm			30mm			40mm			50mm			60mm			70mm		
	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右	左	中	右
風速	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強
1回	0	162	245	81	212	299	0	165	208	0	184	263	0	149	253	0	130	237	0	0	123	0	0	0
2回	0	159	246	76	209	292	0	160	200	0	187	289	0	153	252	0	114	229	0	0	127	0	0	0
3回	0	159	249	79	213	295	0	158	200	0	188	288	0	161	251	0	128	229	0	0	123	0	0	0
4回	0	163	246	82	198	289	0	155	249	0	191	290	0	162	255	0	132	224	0	0	126	0	0	0
5回	0	159	246	80	199	285	0	157	244	0	186	295	0	159	250	0	140	226	0	0	123	0	0	0
平均	0	160.4	246.4	79.6	206.2	292	0	159	200.2	0	187.2	291	0	156.8	252.2	0	128.8	229	0	0	124.4	0	0	0

羽の量なり具合 10mm 右

風速	無し			-75			-60			-45			-30			-15			±0			+15			+30			+45			+60			+75		
	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強	弱	中	強			
1回	81	212	299	0	1	72	0	99	170	42	142	220	48	135	221	31	121	200	0	98	165	0	0	99	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
2回	76	209	292	0	1	64	0	100	171	44	136	209	50	131	222	38	118	208	0	98	160	0	0	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
3回	79	213	295	0	1	62	0	102	172	48	133	215	50	130	223	35	119	200	0	94	164	0	0	98	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
4回	82	198	289	0	0	70	0	98	172	51	132	213	53	129	223	33	121	202	0	95	161	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
5回	80	199	285	0	1	59	0	104	175	53	134	211	50	132	227	34	118	204	0	98	161	0	0	102	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
平均	79.6	206.2	292	0	0.8	65.4	0	100.6	172	47.6	135.4	213.6	50.2	131.4	223.2	34.2	119.4	202.8	0	96.6	162.2	0	0	100.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			