

ハイブリッド発電機

システム科学技術学部 機械工学科

1年 高橋 汰隼

1年 熊本 航

1年 白井 魁人

1年 高橋 涼介

1年 松本 拓真

指導教員 システム科学技術学部 機械工学科

准教授 須知 成光

1. はじめに.

由利本荘市は風が強く、その風を利用したプロペラ型風車が多く設置されている。しかし、1年を通して安定して強い風が吹いているわけではなく、風車が全く動いていない日も少なくない。

そこで私たちは、風車の羽根に太陽電池を貼り付けることにより無風時でも太陽光による発電が可能で、風があるときは風力発電と太陽光発電を同時に行うというより効率的な発電が可能な風車をつくることが出来るのではないかと考えた。

今回の研究では、サボニウス型風車の羽根に太陽電池を貼り付けることで、より効率的な発電が可能なのかを検証することにした。

2. 装置の概要

風車の羽の寸法は縦 470mm, 横 216mm で、太陽電池は風車の上端から 50mm 間隔で 2 枚, 2 つの翼に取り付けた。

私たちが制作した装置はサボニウス型の風車を採用している。これは、風車の羽根に太陽電池を取り付ける場合、翼 1 枚当たりの面積がプロペラ型よりもサボニウス型のほうが大きく、光量をより多く受け取れると考えたからである。さらに太陽光をより多く受け取れるように、端板にアクリル板を採用し、太陽電池を風車の羽根の凸面に取り付けた。

風車回転軸の上端には発電機をカップリングを介して取り付け、風車が回収した風のエネルギーを電力として取り出せるようにしている。また、装置の下部では太陽電池で得られた電力を取り出せるように、スリップリングで導線を繋げて電力を取り出せるようにしている。

図 1 に風車の写真を示す。



図1 風車の写真

3. 実験内容

実験では一定の風速条件での風車性能を評価するため室内で行った。制作したハイブリッド発電機に対して扇風機で風を送り、その際に①風車が受ける風速、②風車に取り付けた発電機の開放電圧、③風車の回転数を計測し、太陽電池を取り付けた場合には上記の①～③に加えて、④太陽電池の開放電圧を計測した。

手順は以下のとおりである。

(a) サボニウス風車のみの場合

- ①サボニウス風車の受風面積を 20 分割し、各範囲での扇風機の風速を風速計で測定する。
- ②風車に取り付けた発電機の開放電圧を電圧計で測定する。
- ③風車に反射材を付けて回転速度をタコメーターで測定する。
- ①～③を扇風機の位置を風車の羽から 15cm, 30cm, 45cm と変えて測定する。

(b) サボニウス風車に太陽電池を取り付けた場合

- 上記の①～③は同様に行う。
- ④風車とライト(光量は 485 ルーメン)を 30cm 離して光を当て、太陽電池の電圧を電圧計で測定する。さらに、ライトを当てる角度を夏至、春分・秋分、冬至の南中高度(78° , 55° , 38°)を参考に、それぞれの角度で測定する。
- こちらも同様に①～④を扇風機の位置をそれぞれの位置で測定する。

4. 結果と考察

表 1 に風速と風車出力の関係を示す。

表 1 風速と風車出力の関係

太陽電池無し	
風速 V_{w1} (m/s)	風車出力 P_{e1} ($\times 10^{-6}$ W)
2.65	1.96
2.97	4.37
3.32	15.92

表 1 より，風速が 2.65[m/s]から 2.97[m/s]に変化する時よりも，2.97[m/s]から 3.32[m/s]に変化する時の方が風車出力の増加量が大きくなっていることが分かる。これは，風力発電機の出力は風速の 3 乗に比例するという法則に基づいて増加したと考えられる。

表 2 に風速と風車の周速比，パワー係数，出力を示す。

※周速比，パワー係数，出力の値は風車から送風機までの距離が 15 cm の場合の値である。（目標にしていたサボニウス型風車の周速比とパワー係数を除く）

表 2 風速と風車の周速比，パワー係数，出力

目標値		太陽電池無し		太陽電池有り	
風速 V_{w0} (m/s)	6.00	風速 V_{w1} (m/s)	3.32	風速 V_{w2} (m/s)	3.45
周速比 λ_0	1.00	周速比 λ_1	0.29	周速比 λ_2	0.28
パワー係数 C_{p0}	0.23	パワー係数 $C_{p1} (\times 10^{-6})$	7.84	パワー係数 $C_{p2} (\times 10^{-6})$	6.99
風車出力 P_{e0} (W)	0.47	風車出力 $P_{e1} (\times 10^{-6})$ (W)	15.9	風車出力 $P_{e2} (\times 10^{-6})$ (W)	15.9

周速比とパワー係数と出力の定義は次のとおりである

$$\text{周速比 } \lambda : \lambda = \frac{2\pi Rn}{V_w} \quad \text{パワー係数 } C_p : C_p = \frac{P_e}{\frac{1}{2}\rho AV_w^3} \quad \text{出力 } P_e : P_e = \frac{V^2}{R}$$

R_w : 風車半径 (0.108 [m])， n : 回転数 [rps]， ρ : 空気密度 (1.18 [kg/m³])，

V_w : 風速 [m/s]， A : 受風面積 (0.094 [m²])， V : 電圧 [V]， R : 抵抗 (100 [Ω])

表 2 より，目標にしていたサボニウス型風車の目標値が，周速比 $\lambda_0 = 1.00$ ，出力 $P_{e0} = 0.47$ [W] であるのに対して，今回私たちが作製したサボニウス型風車 (太陽電池を貼り付けていない状態) は周速比 $\lambda_1 = 0.28$ ，出力 $P_{e1} = 15.9 \times 10^{-6}$ [W] という結果になった。

このような結果になったのは，風車の軸が正確にとれておらず上部と下部でずれが生じてしまっていたことと，軸に使用していた部品がわずかに歪んでいたことが原因で，余分な摩擦が生じて回転に必要な力が不十分になってしまい，回転数が減少したためであると考えられる。

また，上記の私たちが作製したサボニウス型風車のパワー係数が $C_{p1} = 7.84 \times 10^{-6}$ であるのに対して，風車の羽根に太陽電池を貼り付けた場合の風車のパワー係数が $C_{p2} = 6.99 \times 10^{-6}$ という結果になり，パワー係数に約 10% の減少が見られ，太陽電池を取り付けることで性能が落ちることが確認された。これは，太陽電池を取り付けたことで風車の羽根が重くなり，風車を回転させるために必要な風のエネルギーがより大きくなってしまったことが原因であると考えられる。

なお，パワー係数が太陽電池の有無でかなり異なっているのに出力が同じ値になっているのは，パワー係数は太陽電池無しが 7.84，有りが 6.99 であるのに対して，計測した風速は太陽電池無しが 3.32 [m/s]，有りが 3.45 [m/s] となっているからである。

表 3 に太陽電池の開放電圧，開放電圧での出力，定格電圧，定格電圧での出力を示す。

ここで出力は実験で測定した開放電圧と定格電圧に対して負荷抵抗値として 100 Ω を接続したと仮定した推定値を記載した。なお，実際に太陽電池に負荷を接続して出力を取り出す場合，電圧

降下により出力はここでの推定値より低くなる。

表3 太陽電池の開放電圧，開放電圧での出力，定格電圧，定格電圧での出力

	太陽電池の開放電圧 V_2 (V)		
	照射角度 θ		
回転数 (rpm)	38°	55°	78°
31.8	3.4	3.3	3.1
70.0	3.0	2.9	2.8
84.4	3.0	2.9	2.7

	太陽電池の開放電圧での出力 P_{e4} (W)		
	照射角度 θ		
回転数 (rpm)	38°	55°	78°
31.8	0.12	0.11	0.10
70.0	0.09	0.08	0.08
84.4	0.09	0.08	0.07

太陽電池の定格電圧 V (V)	太陽電池の定格電圧での出力 P_{e5} (W)
3.00	0.09

風車の回転速度に関わらず太陽電池に光が照射されている時間は同じであるが，表3より，回転速度が高いほど太陽電池の出力は少なくなっていることがわかる。

これは，太陽電池は光を照射してから定格電圧に達するまでわずかに時間がかかるという性質が影響している。そのため，風車の回転速度が高くなり，風車1回転あたりの太陽電池への光の照射時間が短くなると，太陽電池から取り出せる電圧の値は小さくなるのではないかと考えられる。

5. 結論

サボニウス型風車の羽根に太陽電池を貼り付けることで，効率的に発電出来る可能性があることが分かった。

しかし，この研究においては太陽電池の開放電圧(電流が0[A])を用いて出力を計算したが，太陽電池の特性として電流が流れると電圧は減少していくため，電流を流して本来の出力を得ようとすると計算結果より小さくなってしまう。

また，回転速度が高いほど太陽電池の出力は少なくなっている。これは，太陽電池は光を照射してから定格電圧に達するまでわずかに時間がかかるという性質が影響している。そのため，風車の回転速度が高くなり，風車1回転あたりの太陽電池への光の照射時間が短くなると，太陽電池から取り出せる電圧の値は小さくなるのではないかと考えられる。

この問題点を取り除くことが出来たなら，風車に太陽電池を貼り付けるとより効率的に発電出来るのではないかと考えられる。