

卒業研究

弱風下における効率的なエネルギー収集

指導者 : 宮内 正厚 教授

東京家政大学 家政学部 環境情報学科

022639 深津 加奈絵

022667 大澤 紀子

目次

1. はじめに

2. 効率よくエネルギー収集を行うために

- 2. 1 風車ブレードの構造と基礎知識
- 2. 2 風車ブレードと風の関係

3. 台風下における測定例（45度）

- 3. 1 測定の流れ
- 3. 2 測定結果と考察

4. 発電量の弱風化におけるブレード角度依存性

- 4. 1 ブレード角度45度における風速と発電量の関係
- 4. 2 ブレード角度40度における風速と発電量の関係
- 4. 3 ブレード角度35度における風速と発電量の関係
- 4. 4 考察

5. 出力係数の弱風化におけるブレード角度依存性

- 5. 1 ブレード角度45度における風速と出力係数の関係
- 5. 2 ブレード角度40度における風速と出力係数の関係
- 5. 3 ブレード角度35度における風速と出力係数の関係
- 5. 4 考察

6. まとめ

7. 謝辞

8. 参考文献

1. はじめに

現在、私達を取り巻く社会の移り変わりにより、大気の温暖化や酸性雨などさまざまな自然環境問題が顕在化しつつある。そのため、私達の生活を支えてきた石油・石炭・天然ガスなどの化石燃料をはじめとするエネルギー源に対する見直しが大きく注目されてきている。このような状況下においていかに化石燃料を使用することなく、二酸化炭素（CO₂）などの温室効果ガスの排出に配慮したクリーンなエネルギー源を構築していくかということに注目が集まってきている。近年温室効果ガスの排出に配慮した、クリーンエネルギー源の利用が活発化しているのもそのためであろう。

現在、最も注目されつつあるクリーンエネルギー源の一つに風力エネルギーがあり、それを利用したものに風力発電が存在する。風力発電は、風というエネルギーを利用するため CO₂を排出しないというメリットを持つクリーンな発電システムであると同時に、エネルギー資源となる風は、地球上どこにでも存在する。そのため絶えることのない無尽蔵なものであり、生産されるエネルギーは風速の3乗に比例という長所を兼ね揃えている。

現代の風力発電は、従来に比べ技術的・経済的にも進歩を遂げつつあり、投資対効果は原子力・火力などの従来型発電システムと肩を並べられる段階にまで到達するようになってきた。しかし、空気の密度は水と比較して小さい。このため水力発電のように大きなエネルギーを収集することが困難であるのも事実だ。このように、風力発電の実用化に当たっては、まだまだ多くの課題が残されている。

そこで私たちは、風という魅力的、且つクリーンなエネルギーを利用した風力発電を、家庭において利用可能な小型風車をもちい、「いかに効率よくエネルギーを収集できるか」ということを目標に、住環境下における弱風下における小型風力発電機の実用化を研究することにした。

尚、この実験は、昨年先輩方の実験「効率的な風力発電装置の試作」を基盤とし、そこから更に発展させていくことを目標にしている。そのため、同じ風力発電機を用い、ブレードの角度やブレードの枚数の試行錯誤に重点を置き、より私たちの発電機、また、より弱風下に適した効率の良いものに変えていくということが一番の課題となった。

2. 効率よくエネルギー収集を行うために

風車システム的设计において、風の持つ運動エネルギーをいかに有効に機械的な回転エネルギーに変換させるか、ということは最も重要な要素の一つである。

そこで私達は、私達がエネルギー収集に用いる風車ブレードから、弱風化において最も効率よくエネルギー収集できる ●風車ブレードの角度 ●風車ブレードの枚数を実際に測定した上で求めることにした。

まずは基礎となる、風車ブレードと風の関係からみてく。

2. 1 風車ブレードの構造と基礎知識

まず、風車の最も大事な部分となる、ブレードについて考えていく。現在、風車ブレードの種類に関しては、水平軸風車と垂直軸風車に分けられる。

まず水平軸風車とは、風車の回転軸が地面に対して水平のものである。中世にオランダを中心に製粉などに用いられたオランダ型風車や、〈図2-1〉発電用として小型から大型まで用いられているプロペラ型風車〈図2-2〉などが水平軸風車の代表である。特徴としては、構造が比較的簡単である。効率が良く大型化しやすい。風力発電に多く用いられている。ということがあげられるであろう。



〈図2-1〉オランダ型風車



〈図2-2〉プロペラ型風車

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%A2%A8%E5%8A%9B%E5%8E%9F%E5%8B%95%E6%A9%9F>

より引用

次に、垂直型風車とは、風車の回転軸が地面に対して垂直のものである。製造が比較的容易だが、風力をエネルギーに変換する能力はあまり高くないため、オブジェとして利用されやすいパドル型風車〈図2-3〉や、低速回転ではあるが、弱風下でも回転し始め、エネルギーも大きいため、近年ビル風を活かした風力発電に多く用いられているサポニウス型〈図2-4〉などが垂直軸風車の代表である。特徴としては、水平軸風車と比較して効率的ではない。比較的設置が容易だが設置面積が大きい。モニュメントやオブジェとして利用されやすいということがいえる。



〈図2-3〉パドル型風車



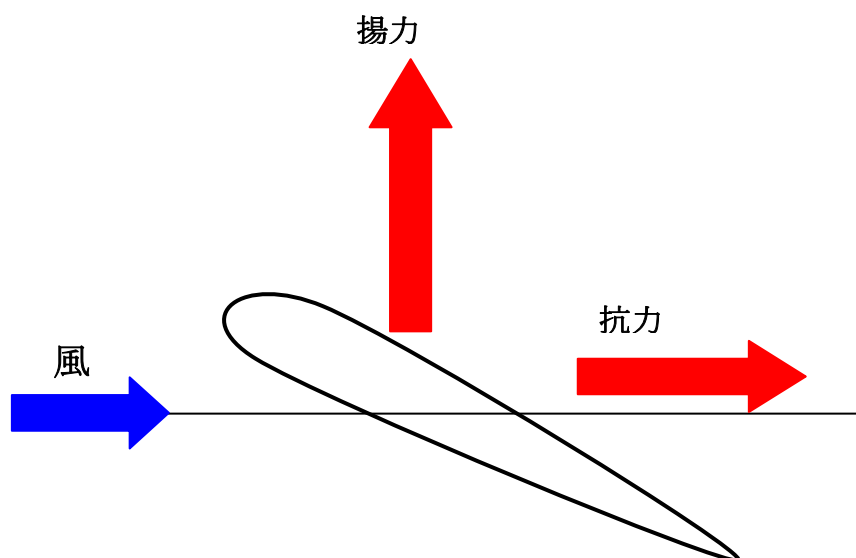
〈図2-4〉サポニウス型

<http://www.kk-kk.net/index.html> より引用

それらの点を踏まえ、私たちはこの測定において、発電用として一般的であり、エネルギー収集が比較定期容易であるプロペラ型風車を用いて発電を行っていった。

2. 2 風車ブレードと風の関係

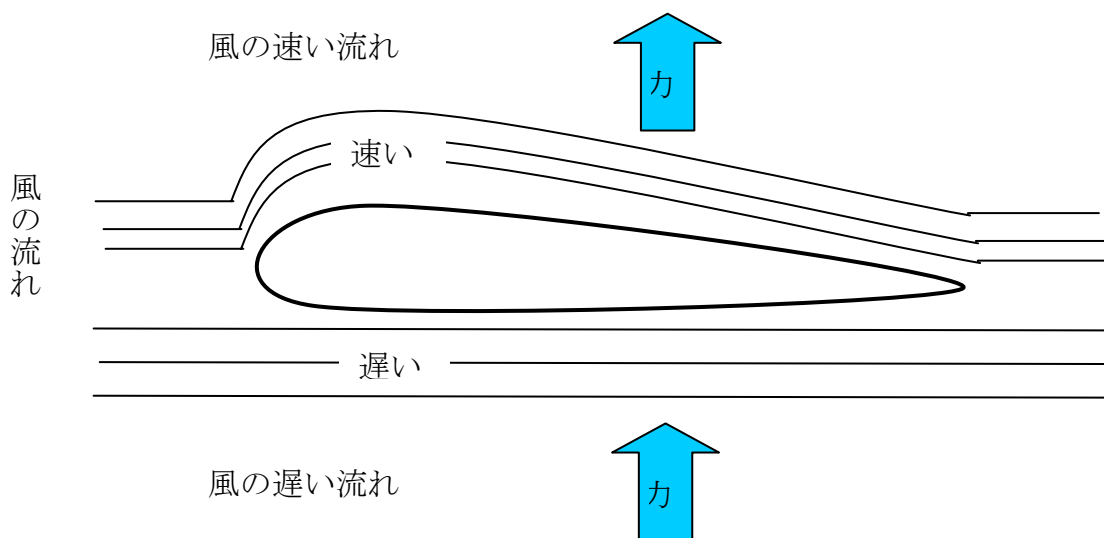
風車ブレードの表面を流れる空気は、風車に直接影響を及ぼす二つの力、揚力と抗力を発生させる。揚力とは、流入する空気の流れに対し直角方向に作用する力であり、ブレードを回転させる力のことである。次に抗力とは、流入する空気の流れと並行方向に作用する力であり、抵抗としてはたらく力のことである。〈図2-5〉



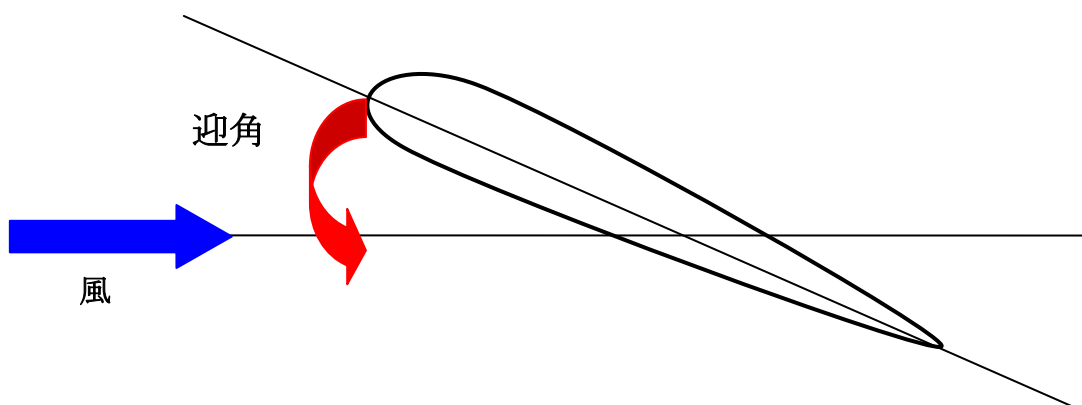
〈図2-5〉 揚力と効力

揚力の発生メカニズムを見ていくと、ブレードの周りに空気が前から後ろに流れるとブレードの上では風の流れが速くなり、それによって圧力が小さくなる。そして、ブレードの下との圧力に差が生まれるのである。これによりブレードは圧力の低い方に移動しようとする。つまり、ブレード全体を上を持ち上げる力が発生する。この力のことを「**揚力**」(ようりょく)と呼ぶのである。〈図2-6〉

また、風車ブレードを効率よく回転させ、エネルギーを発生させるためには、風に対しある角度を保持することが必要である。一般的には、大きな揚力を発生させるためには、より大きな角度が必要になる。この場合の角度とは、風車ブレードの前縁と後縁を結ぶ線と風の方向との間の角度である。この角度を風車ブレードの迎角と呼ぶ。〈図2-7〉



〈図 2 - 6〉 揚力の発生メカニズム



〈図 2 - 7〉 風車ブレードの迎角

前述のように、エネルギーを最も効率よく取得するためには、最大の揚力と最小の効力を発生させるようなブレードを用いることである。上記のように、高い揚力を発生させるためには、一般的により大きな迎角が必要となるのであるが、ブレードが失速してしまうほど大きな迎角であってはならないのである。そのためここでは、弱風下において、より効率よくエネルギーを発生させるべく「適した迎角」を測定から模索していく。また、この測定に用いる発電機のブレードはねじれのある形状のため、迎角は一定ではない。そのため、私たちは、ブレードとハブの設置面が成す角度をブレード角度として測定を行った。

3 台風下における測定例（45度）

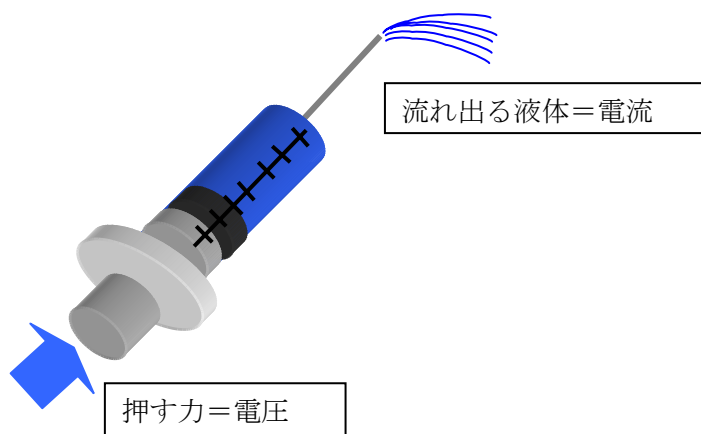
私たちは測定を行うにあたり、測定に用いる風車の性能や仕組みをよりよく理解することが最も重要と考えた。そのためには正しい測定の流れをつかみ、幅広い風速下における測定を行う事が必要となった。そこで、短時間に幅広い風速が観測される最も適した状況として、台風下での測定を行った。

3.1 測定の流れ

- ①モバイルコーダで測定（配線図参照）
- ②FD にデータを保存
- ③DAQSTANDARD でデータ開く
- ④DDS データをエクセルに変換
- ⑤10分平均発電量を求める（発電量データ処理プログラム参照）
- ⑥10分平均風速と発電量を比較

プロペラが回ると交流の電圧が生じ、整流器によって直流に変換された電圧が回路全体に流れる。その電圧をモバイルコーダの1chに測定される。〈図3-2〉

電圧は、電流を流すために必要となる。例えば、注射器を強く押すと圧力（水圧）が生じ、中の液体は針の先から流れ出す。このように、電気の流れを水の流れにたとえると、電圧とは水圧であり、水の流れに必要な不可欠のものとなるのである。〈図3-1〉



〈図3-1〉 電流と電圧の関係

回路全体の電流は抵抗器の電圧を測ることによって求められるため、モバイルコーダの 3 c h に抵抗器の電圧を測定する。〈図 3 - 2〉この時、抵抗器の抵抗 (Ω) は 0.025 Ω と一定なので、

回路全体の電流(A)は

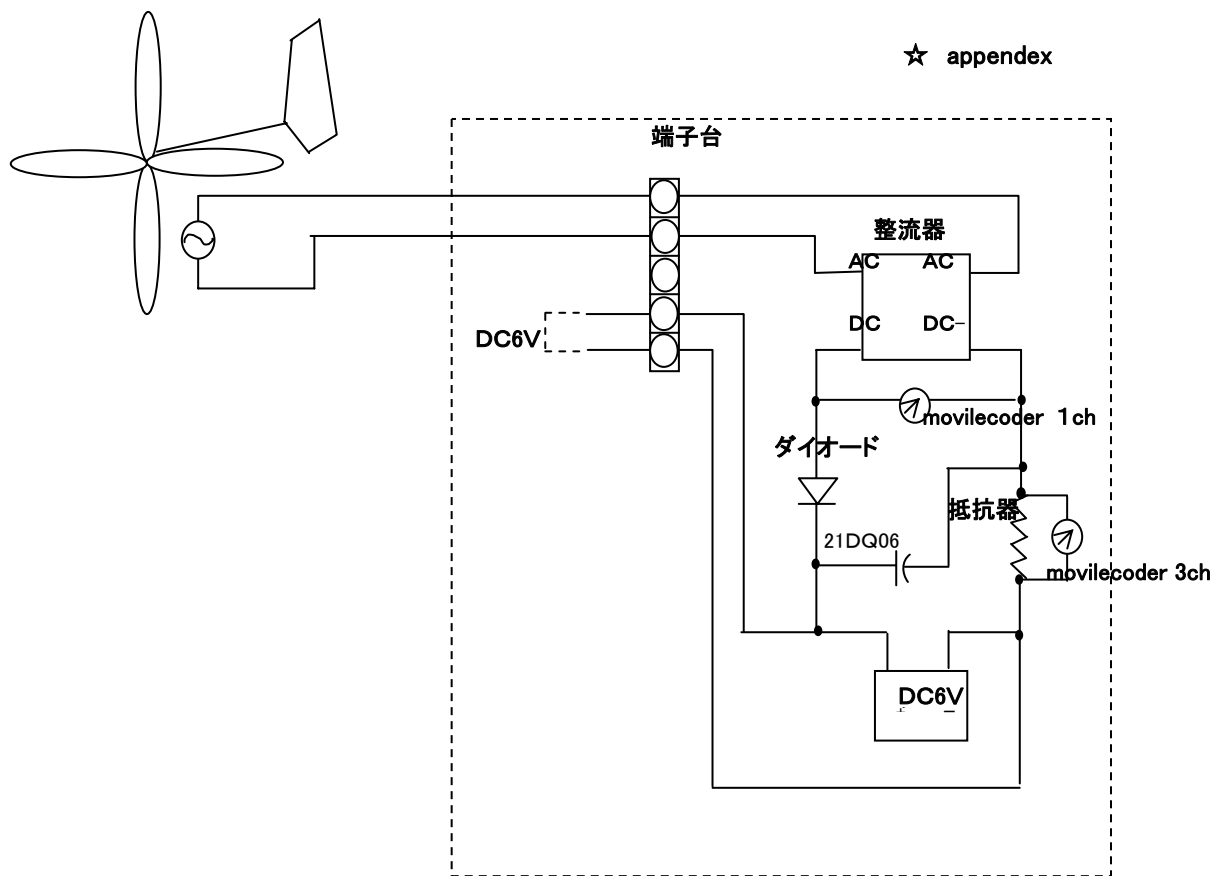
$$\begin{aligned} \text{回路全体の電流(A)} &= \text{3 c h の電圧(V)} / \text{抵抗器の抵抗 (}\Omega\text{)} \\ &= (\text{3 c h の電圧(mV)} / 1000) / 0.025 \end{aligned}$$

で求めることが出来る。

発電量は

$$\begin{aligned} \text{発電量 (W)} &= \text{回路全体の電圧 (V)} \times \text{回路全体の電流 (A)} \\ &= \text{1 c h の値 (V)} \times (\text{3 c h の値} / 1000)(\text{V}) / 0.025(\Omega) \end{aligned}$$

となる。



〈図 3 - 2〉 配線図

次に、FDに記録されたモバイルコーダの測定結果を解析する。手順としてはPCでDAQSTANDARDというソフトを用いて、データを読み込みエクセル変換する。ここで、私たちが使用している東京家政大学測候所の風速データは10分平均になっているので、モバイルコーダにより測定された1分間隔のデータを10分平均にして比較することが必要となってくる。そのため、以下のような発電データ処理プログラムを用いてデータ解析を行った〈図3-3〉。

※塗りつぶしてある部分は必要に応じて変更する必要あり。

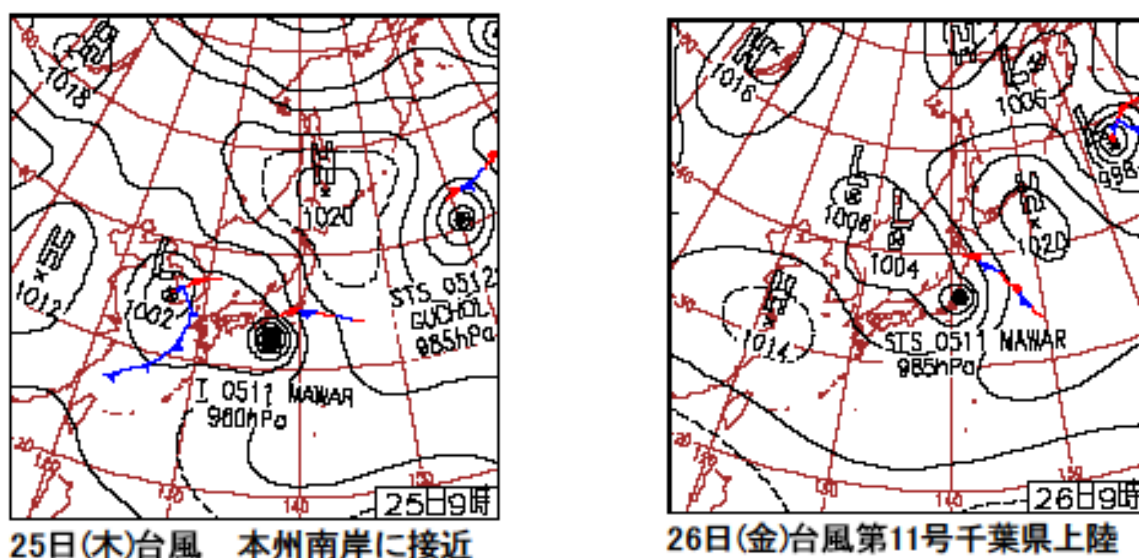
変数定義文	Private Sub 25_Click()	コマンドボタンの name 名前に合わせて変更する
	Dim i As Single Dim j As Single Dim x As Double Dim a As Single Dim b As Single Dim y As Double	i = 1CH のデータが格納されているセルの行 j = 1CH のデータを処理したものを格納するセルの行 a = 1CH のデータが格納されているセルの行 b = 1CH のデータを処理したものを格納するセルの行 x, y は計算上必要な変数
変数に数値を代入	Const N As Long = 10	10分平均を求めたいので、命令文の式にあるNに10を代入するように設定
	i = 1 j = 2305 x = 0 a = 1 b = 2305	データが入っているシート名を指定
1CHのデータ処理命令文	Do Until Worksheets("25日").Cells(i, 5).Value = "" x = x + Val(Worksheets("25日").Cells(i, 5).Value) If i Mod N = 0 Then j = j + 1 Worksheets("sheet1").Cells(j, 1).Value = x / N x = 0 End If i = i + 1	Cell(行、列) データが格納されているセルを指定 Cell(行、列) 処理したデータを格納するセルを指定 処理したデータを入れるシート名を指定
	Do Until Worksheets("25日").Cells(a, 9).Value = "" y = y + Val(Worksheets("25日").Cells(a, 9).Value) If a Mod N = 0 Then b = b + 1 Worksheets("sheet1").Cells(b, 2).Value = y / N y = 0 End If a = a + 1 Loop	
3CHのデータ処理命令文	Call MsgBox("終了")	

〈図 3 - 3〉 発電データ処理プログラム

3. 2 測定結果と考察

ブレード角度45度の測定における分かりやすい例として、8月25日から26日にかけての測定結果を基に、データの解析をおこない、角度と風の関係を見ていくことにした。

〈図3-4〉の二つの天気図は、2005年8月25日、26日の天気図である。この日は、台風11号が関東地方に接近したため、普段、弱風しか観測されない東京家政大学においても、幅広い風速を観測する事が出来た。このとき、風力エネルギーがどれだけ電力エネルギーに変換できているかを確認するため、風力エネルギーと電力エネルギーのデータを、それを基にした二つのグラフを作成し比較をしていくことにした。



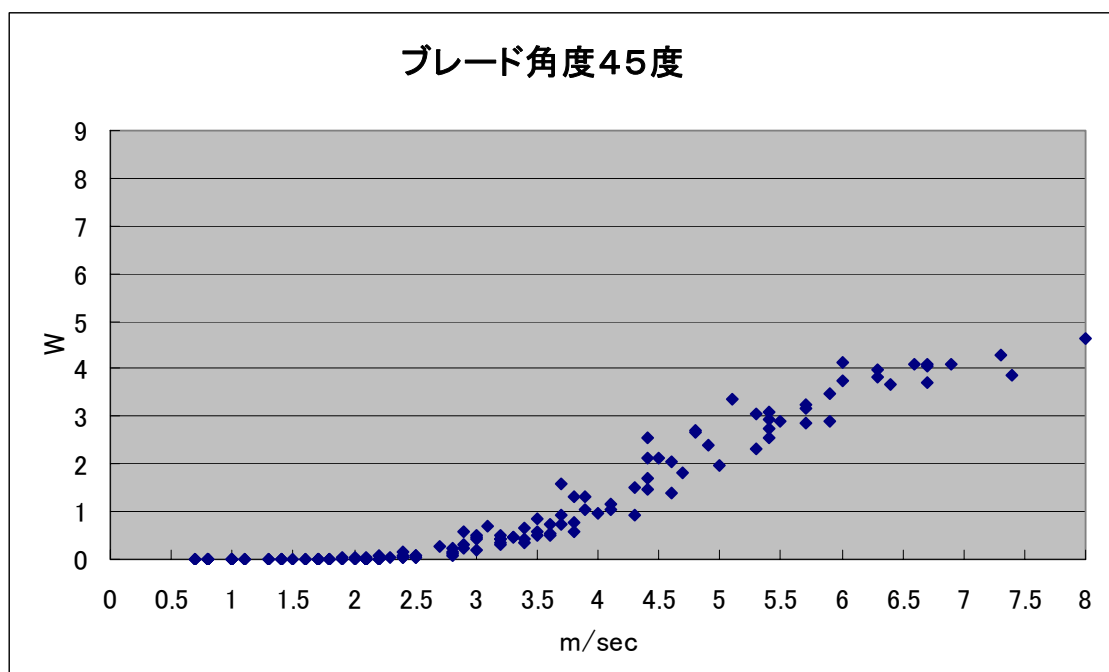
〈図3-4〉 2005年8月25日・26日の天気図
気象庁ホームページより引用

〈図3-5〉はブレード角度45度での測定結果を示したもので、東京家政大学気象観測台の10分平均風速〈図3-5横軸・m/sec〉と、1分間隔で測定した発電量の10分平均〈図3-5縦軸・W〉とを比較したグラフである。

この日は風速0.7 m/sec から風速8 m/sec の風が吹いていたということがいえる。また、ブレード角度45度では風速1.9m/secの風が吹いたとき初めて0.028084W発電し、これより発電が始まり、風速6.0m/sec以降の発電量は風速が大きくなっていても4.0Wくらいとほぼ横ばいになっている。

このとき、発電し始める風速を始動風速(cut in speed)、フェザーリング状態に入るときの風速を定格風速(rated speed)という。フェザーリング状態とは、発電量が横ばいになる状態のことをいい、発電機容量以上の風力エネルギーが失われるためにおこる。

つまり、私達が使用している風車のブレード角度45度における始動速度は1.9m/sec、定格速度は約6.0m/secといえる。



〈図3-5〉台風下におけるブレード角度45度での測定結果

始動速度、定格速度、さらに風車が発電に耐えうる上限の速度である停止速度(cut out speed)の3つの速度の設定は風車の性能を表すのに必要となってくるが、都会の弱風下においては、定格速度、停止速度にいたることはあまりないと考えられる。

また、ブレード角度を45度より小さくすると、抗力も小さくなり、始動速度が1.9m/secより小さくなると考えられる。しかし、ブレード角度を極端に小さくしてしまうことによって、ブレードを通り過ぎる風が増えるため、発電エネルギーに変換できる風力エネルギーが減少してしまうという短所も生じる。

逆にブレード角度を大きくすれば、抗力も大きくなり、始動速度が1.9m/secより大きくなると考えられるが、風力エネルギーが失われることなくブレードが回転するエネルギーに変えることができるので、定格速度は6.0m/secより大きくなり4.0W以上の発電も期待できる。

平均風速3～4 m/secの東京家政大学では風速6.0m/sec以上の風が吹くことは今回のような台風などの時期を除いてほとんどないので、いかに始動速度を小さくしていくことが重要となると考えた。よって、ブレード45度より小さい角度での測定が必要となる。

風車の性能を表すのもう一つ必要となってくるのが出力係数である。出力係数とは、風が吹くことで発生した風力エネルギーを、どれだけ発電エネルギーに変換できているか割合を示したもので、求める式は

$$\text{出力係数} = \frac{\text{発電量 (W)}}{\text{風力エネルギー (W)}}$$

と表される。

まず風力エネルギーとは何なのかということから触れていく。

運動エネルギーは

$$E = 1/2mV^2$$

と表されるが、風の運動エネルギーの場合、物体の質量は空気密度と風速、その風を受ける面積で表されるので、

$$m = \rho VA$$

と表される。よって、風力エネルギーは

$$E = 1/2(\rho VA)V^2$$

$$E = 1/2 \rho AV^3$$

で求められ、**風速の3乗**のエネルギーを得ることができる。出力係数はこの式を利用すると

$$\text{出力係数} = \frac{\text{発電量 (W)}}{1/2\rho AV^3(W)}$$

となる。

E : エネルギー(W)

m : 物質の質量(kg)

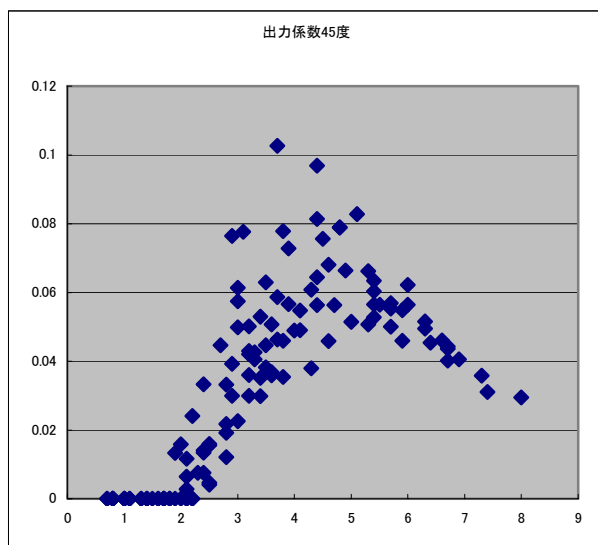
V : 物質が動く速度 (風速 m/sec)

ρ : 空気密度 (約 1.125kg/m³)

A : 空気を受ける面積(m²)

以上のことを踏まえて、台風下で計測したデータを用いて出力係数を計算した結果が〈図3-6〉のとおりである。発電し始めてから徐々に出力係数の値は大きくなっていき、風速 3.7m/sec のときが最も効率よく発電できていることが分かる。風速 3.7m/sec 以上の風が吹くと、出力係数の値はだんだん効率が下がっていつている。

このことから、ブレード角度 45 度で一番効率よく発電できる風の強さは、風速 3.7m/sec であるといえる。しかし、出力係数はこの最も効率よく発電できているときでも約 0.102 であり、発生した風力エネルギーの 10%程度しか発電エネルギーに利用されていない。今後、効率をさらにあげていく工夫が必要である。



〈図3-6〉 台風下におけるブレード角度 45 度での出力係数

4. 発電量の比較

ここでは、台風下における測定例を参考に、ブレード角度45度を継続して測定するとともに、ブレード角度45度以下（40度・35度）の発電機を用い測定を行っていた。それぞれの特性を発電量、出力係数などの数値を基に、より観測地の風に適したブレード角度を模索していくことが課題となった。

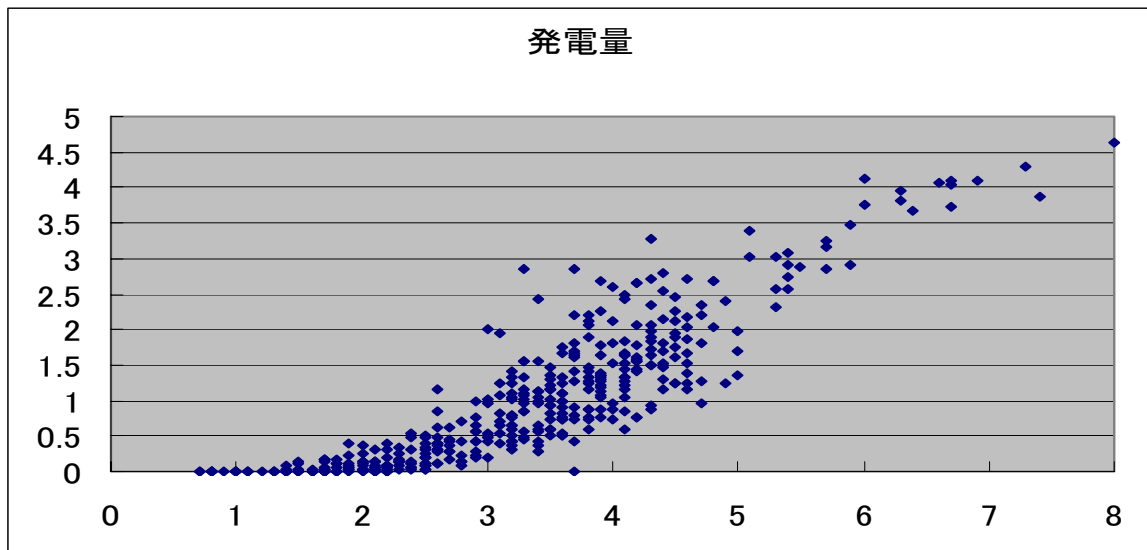
なお、風速は不規則に計測されるものであるため、それぞれのブレード角度の測定で得られる風速データは上限8 m/sec と定めて比較を行うものとする。

4. 1 ブレード角度45度における風速と発電量の関係

〈図4-1〉はブレード角度45度での観測結果を示したもので、東京家政大学測候所の10分平均風速（横軸・m/sec）と、1分間隔で測定した発電量の10分平均（縦軸・W）とを比較したグラフである。

まず〈図4-1〉より、風速0.7 m/sec から風速8.0 m/sec の風が観測された。また、風速1.2 m/sec の風が吹いたとき初めて0.00194W 発電し、これより発電が始まっている。また、フェザーリング状態に風速約6.0m/sec で陥っているということが見て取れるであろう。

つまり、私達が使用している風車のブレード角度45度における始動速度は1.2m/sec、定格速度は約6.0 m/sec といえる。

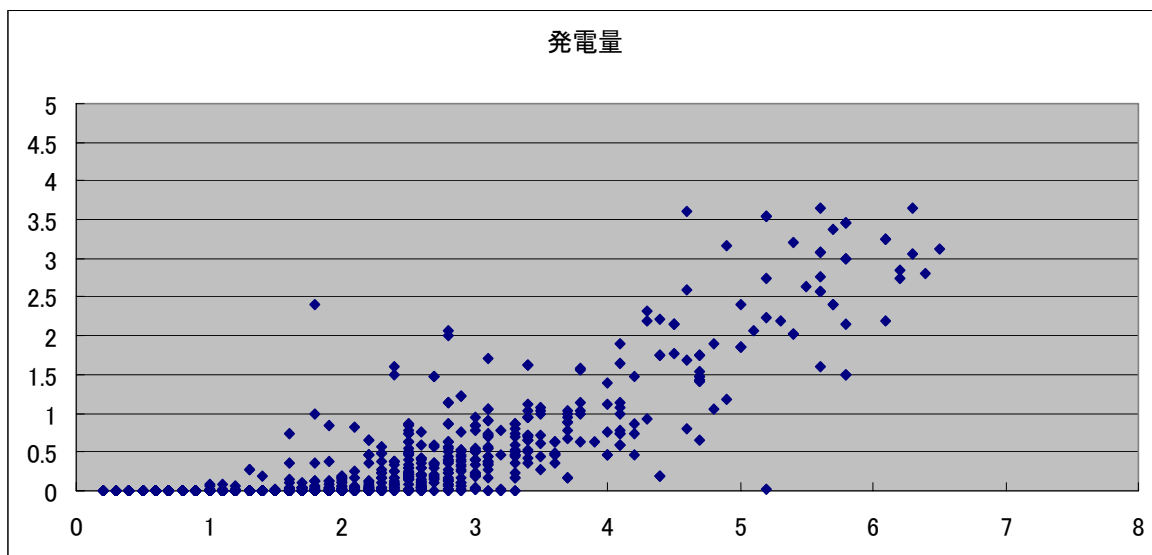


〈図4-1〉 ブレード角度45度における風速と発電量の関係

4. 2 ブレード角度40度における風速と発電量の関係

〈図4-2〉はブレード角度40度での観測結果を示したものである。まず〈図4-2〉より、風速0.2 m/sec から風速6.5 m/sec の風が観測された。また、風速0.7 m/sec の風が吹いたとき初めて0.000503W 発電し、これより発電が始まっている。また、フェザーリング状態に陥る速度は、最大風速は6.5m/sec と比較的小さく、このグラフからは読み取ることができない。

つまり、私達が使用している風車のブレード角度40度における始動速度は0.7m/sec ということのみがわかる。

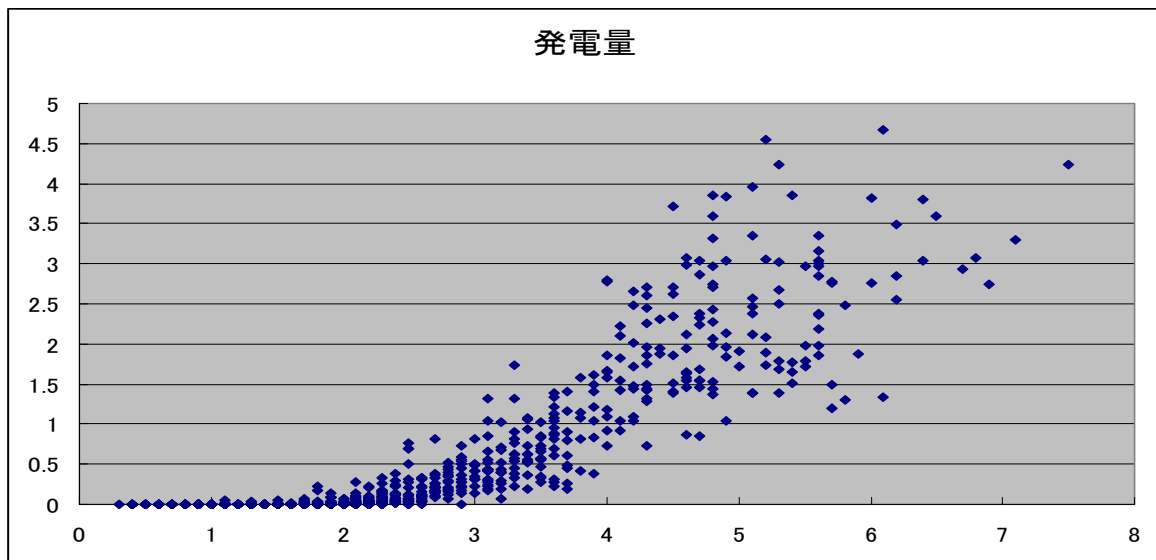


〈図4-2〉 ブレード角度40度における風速と発電量の関係

4. 3 ブレード角度35度における風速と発電量の関係

〈図4-3〉はブレード角度35度での観測結果を示したものである。まず〈図4-3〉より、風速0.3 m/sec から風速8.1 m/sec の風が観測された。また、風速0.6m/sec の風が吹いたとき初めて0.003882W 発電し、これより発電が始まっている。また、フェザーリング状態に風速約5.0m/sec で陥っているということが見て取れるであろう。

つまり、私達が使用している風車のブレード角度35度における始動速度は0.6m/sec、定格速度は約5.0 m/sec といえる。



〈図4-3〉 ブレード角度35度における風速と発電量の関係

4. 4 考察

上記より、45度、40度、35度とブレード角度が小さくなるにつれて、始動速度も1.2m/sec、0.7m/sec、0.6m/sec と小さくなっていることが分かる。これより、ブレード角度をより小さくすることで、より弱い風のもとでも発電をし始めることが分かった。

よって、私達が求める効率のよい発電が行われているのは、始動速度の早さという点においては、ブレード角度35度が最も効率がよいと考えられる。では、発電し始めてからの効率はどのようになっているのかを出力係数をもとに模索していこうと思う。

5. 出力係数の比較

前述で、それぞれのブレード角度での始動速度から定額速度までの範囲が分かった。ここでは、その風速範囲内の発電効率はどうなっているのかを出力係数を用いて見ていく。

3-2の台風下での測定例で説明したとおり、出力係数は風力エネルギーをどれだけ発電エネルギーに変換できているかの割合を見ることができる。よって、同じ風速下において、ブレード角度に変化をつけたとき、発電量に変換できる風力エネルギーの割合はどのように変化するかを、出力係数を比較することで解析していくことにした。

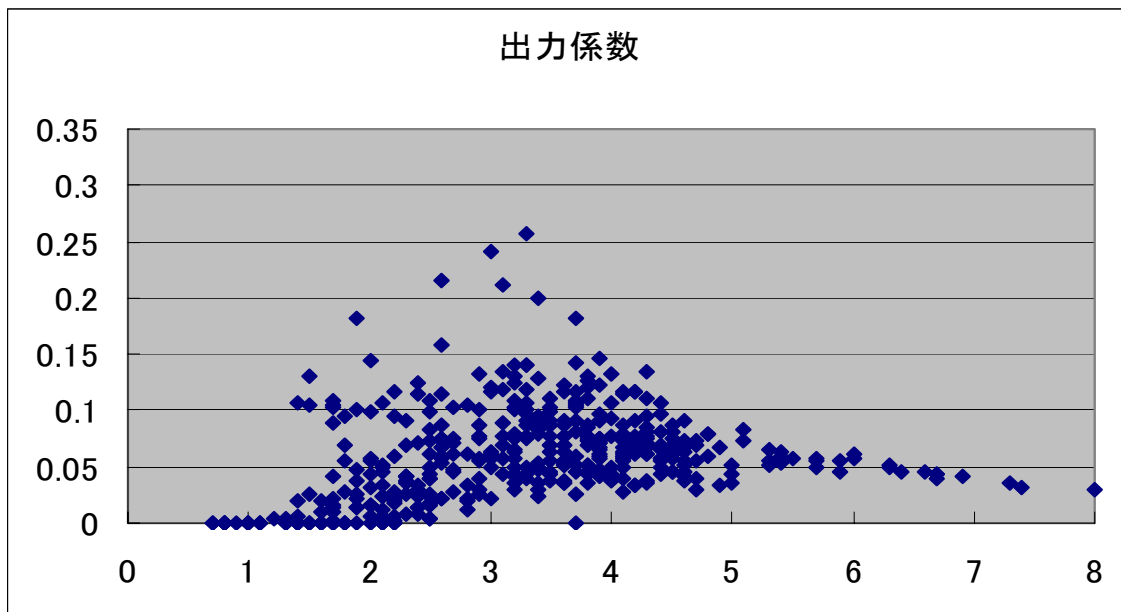
5. 1 ブレード角度45度における風速と出力係数の関係

〈図5-1〉はブレード角度45度での観測結果を示したもので、東京家政大学測候所の10分平均風速（横軸・m/sec）と、出力係数を比較したグラフである。

まず〈図5-1〉より、始動速度は風速1.2m/sec、定格速度は風速約6.0m/secということが分かっている。〈図4-1〉でその範囲の波形を見てみると、発電をし始めてから風速3m/secを過ぎるころまで上昇し出力係数0.25付近で最大値となり、それ以降より下降していることがわかる。よって最大出力係数0.25の風速は3.3m/secであることから、ブレード角度45度における最も効率の良くエネルギー収集が行える風速は3.3m/secであるということがいえるであろう。しかし、〈図5-1〉見て分かるように、同じ風速下における出力係数の値には、大きくばらつきが生じている。これは、測定に用いた風速データが10分間平均で求められたものであるために起こったことである。

例えば、まったく風が吹いていない状況で突発的に風速10m/secの強風が吹くことによって5Wのエネルギーが得られたとする。しかし、風速を10分間平均として用いるため、平均風速は1m/secになる。つまり、平均風速1m/secのときに5Wのエネルギーが得られたことになってしまい、グラフ上では、10分間に風速1m/secの風が吹き続けた場合と同じとみなされる。風速1m/secのときは、微量のエネルギーしか収集することが出来ないため、出力係数の値に違いが出てきてしまうのである。

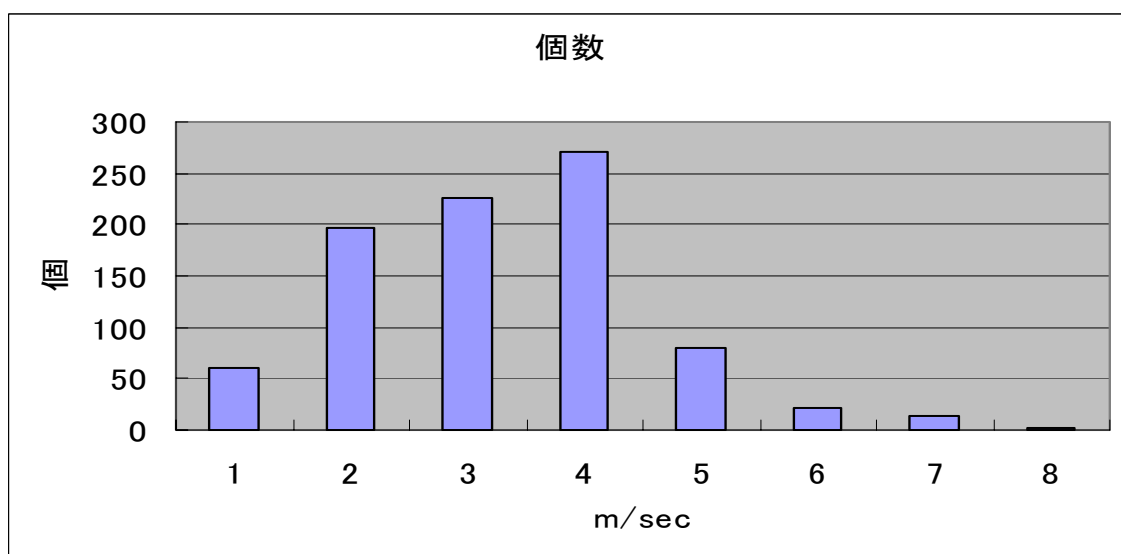
そこで、私たちは出力係数の値を、頻度分布図を用いて解析し、高い頻度で生じる出力係数の値を求め比較していくこととした。



〈図5-1〉 ブレード角度45度における風速と出力係数の関係

〈図5-2〉は、ブレード角度45度の測定によって得られた出力係数の分布図である。ここから分かるとおり、この測定では平均風速2~4m/secの風で多くの標本が得られている。そこで、更に詳しく平均風速2m/sec・3m/sec・4m/secの時の出力係数の分布を見ていくことにした。

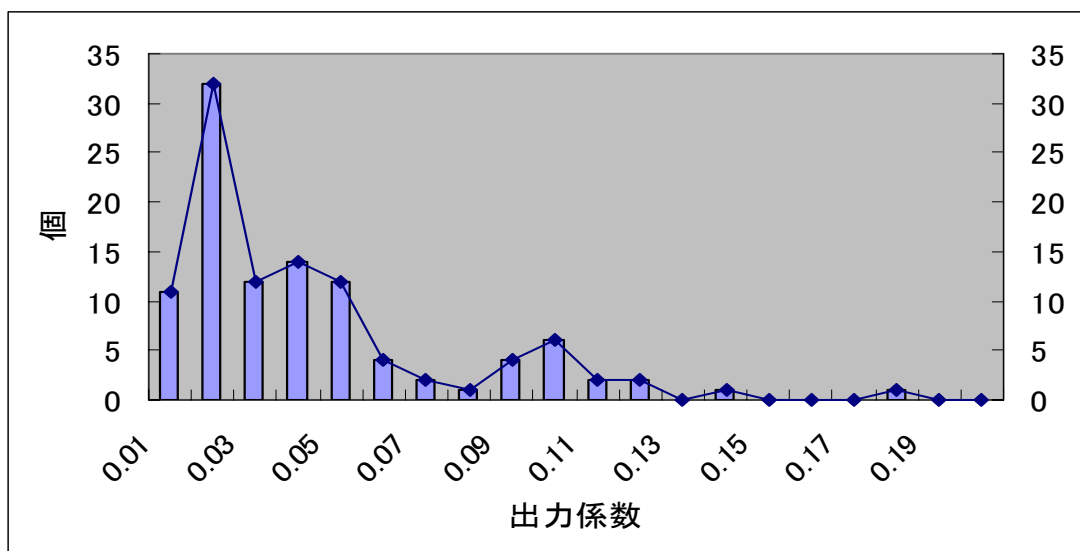
※なお、各風速における出力係数の分布グラフのx軸の表示単位は、 $0 \leq x < 0.01$ は0.01、 $0.02 \leq x < 0.03$ は0.03 というように表示されている。



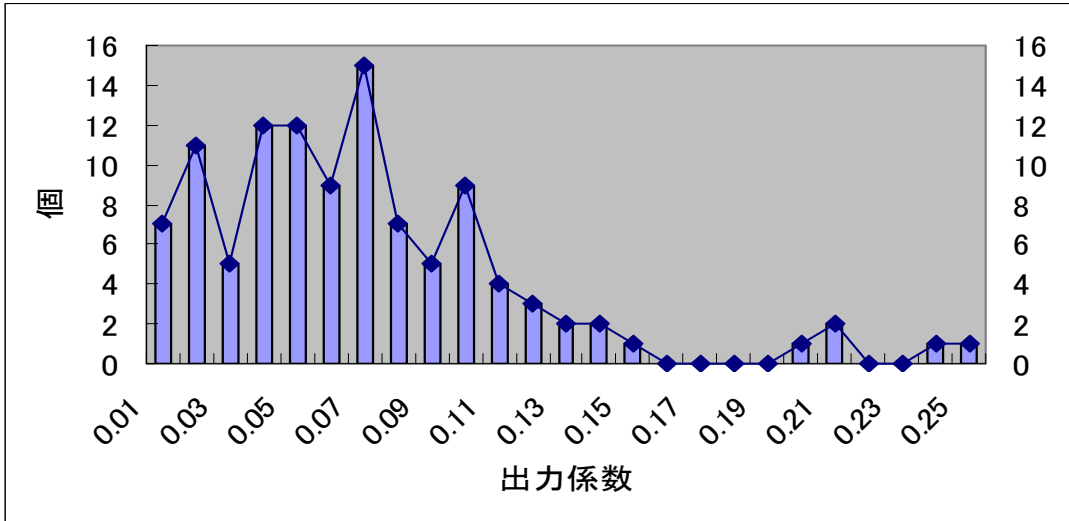
〈図5-2〉 ブレード角度45度の出力係数の分布

ブレード角度45度において、〈図5-3〉では風速2m/secのとき出力係数0.02がもっとも多く計測されている。同様に、〈図5-4〉では風速3m/secのとき出力係数0.07、〈図5-5〉では風速4m/secのとき出力係数0.06~0.07がもっとも多く計測されていることが分かる。これらを比較すると、風速3m/secのときの出力係数の値0.07が最も高い数値となっている。これより、風速3m/secの 때가最も効率よく発電が行われており、風力エネルギーを発電量に変換できている割合は0.07と言えるであろう。

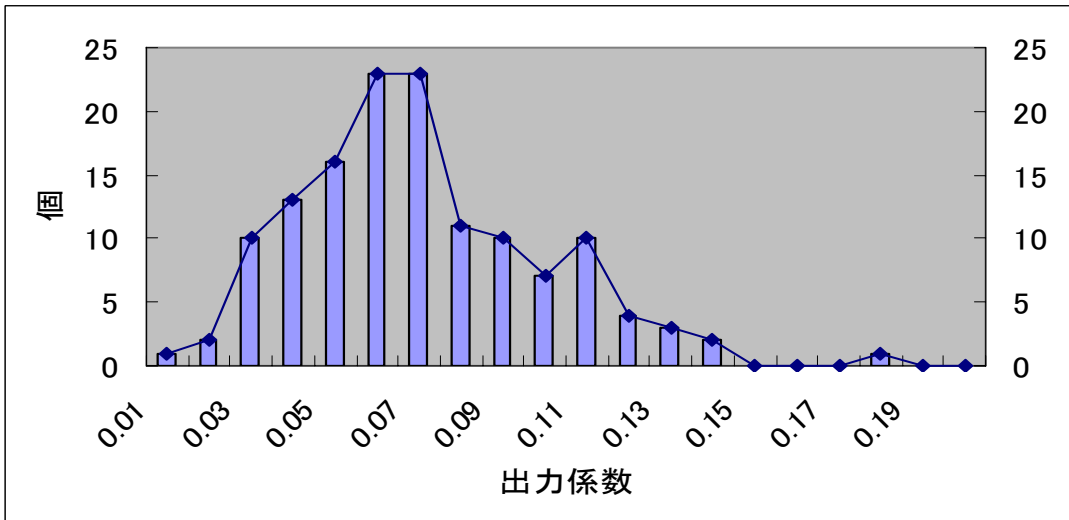
〈図5-1〉のグラフからは平均風速3.3m/secのときに最大出力係数0.25が読み取れたが、更に細かく解析することにより、平均風速約3m/secのときに出力係数の値が0.07という数値が最も多く得られたことが読み取れた。



〈図5-3〉 平均風速2m/secでの出力係数の分布（ブレード角度45度）



〈図 5 - 4〉 平均風速 3m/sec での出力係数の分布 (ブレード角度 4 5 度)

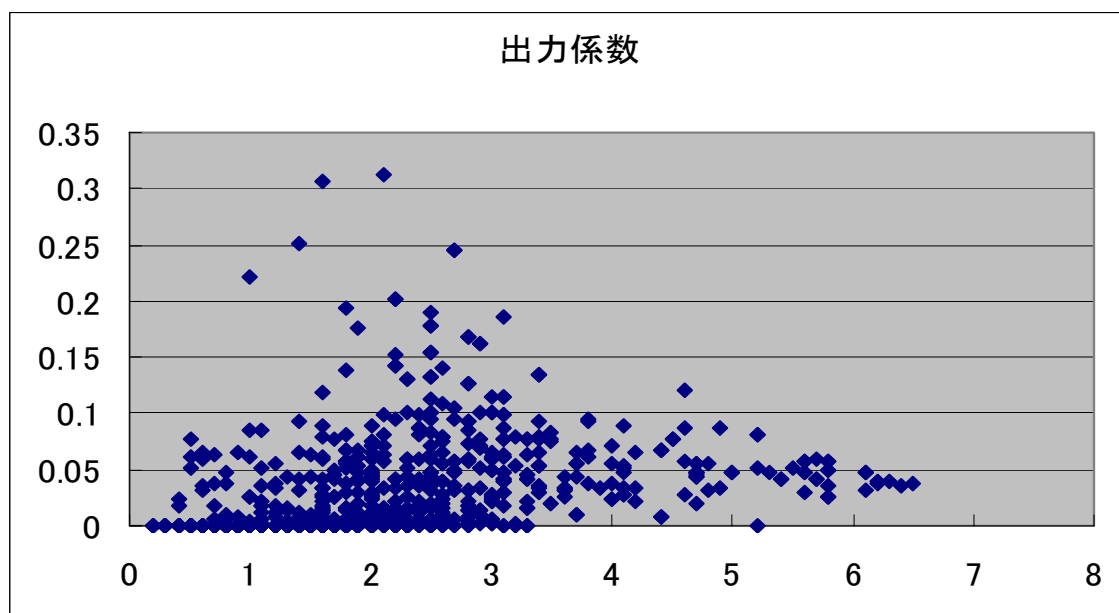


〈図 5 - 5〉 平均風速 4m/sec での出力係数の分布 (ブレード角度 4 5 度)

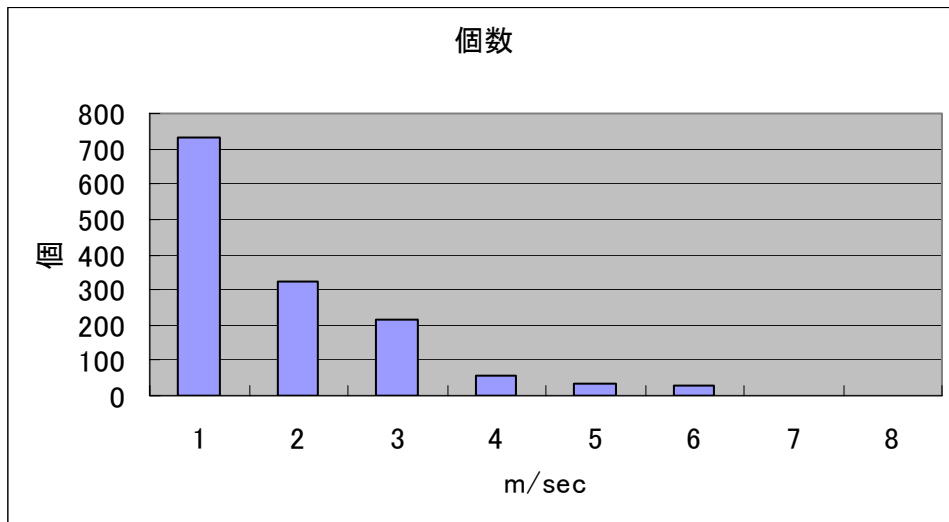
5. 2 ブレード角度40度における風速と出力係数の関係

〈図5-6〉からはブレード角度40度における最大出力係数は、平均風速2.1m/secのとき0.31と見て取れる。しかし、ブレード角度45度の場合と同様にして解析していくと、〈図5-7〉では平均風速1~3m/secの風で多くの標本が得られている。ここで、平均風速1m/secのときは発電されていない数値が多くを占めているため比較からは除き、平均風速2m/sec・3m/secの時の出力係数の分布を見ていくことにした。

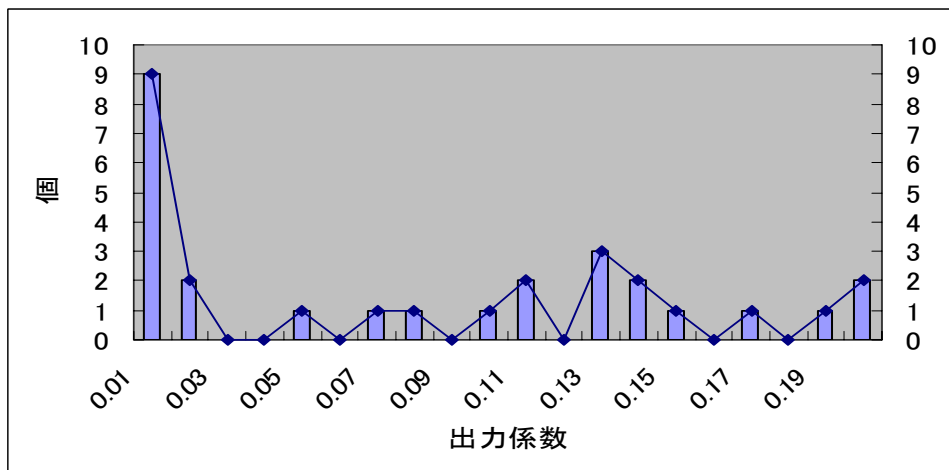
〈図5-8〉では、風速2m/secのとき出力係数0.01、〈図5-9〉では風速3m/secのとき出力係数0.04が最も多く計測されていることが分かる。〈図5-6〉のグラフからは平均風速2.1m/secのときに最大出力係数0.31が読み取れたが、更に細かく解析することにより、平均風速約3m/secのときに出力係数の値が0.04という数値が最も多く得られたことが読み取れた。



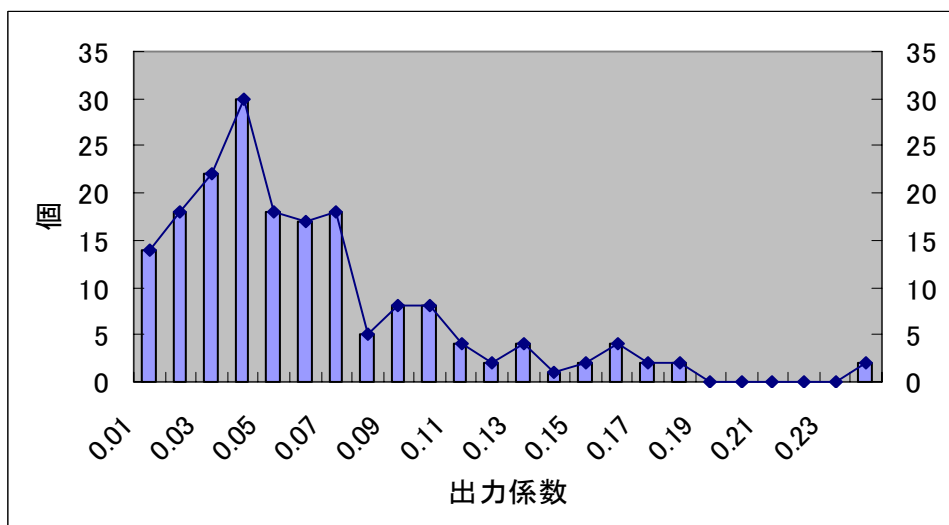
〈図5-6〉 ブレード角度40度における風速と出力係数の関係



〈図5-7〉 ブレード角度 40 度の出力係数の分布



〈図5-8〉 平均風速 2m/sec での出力係数の分布 (ブレード角度 40 度)

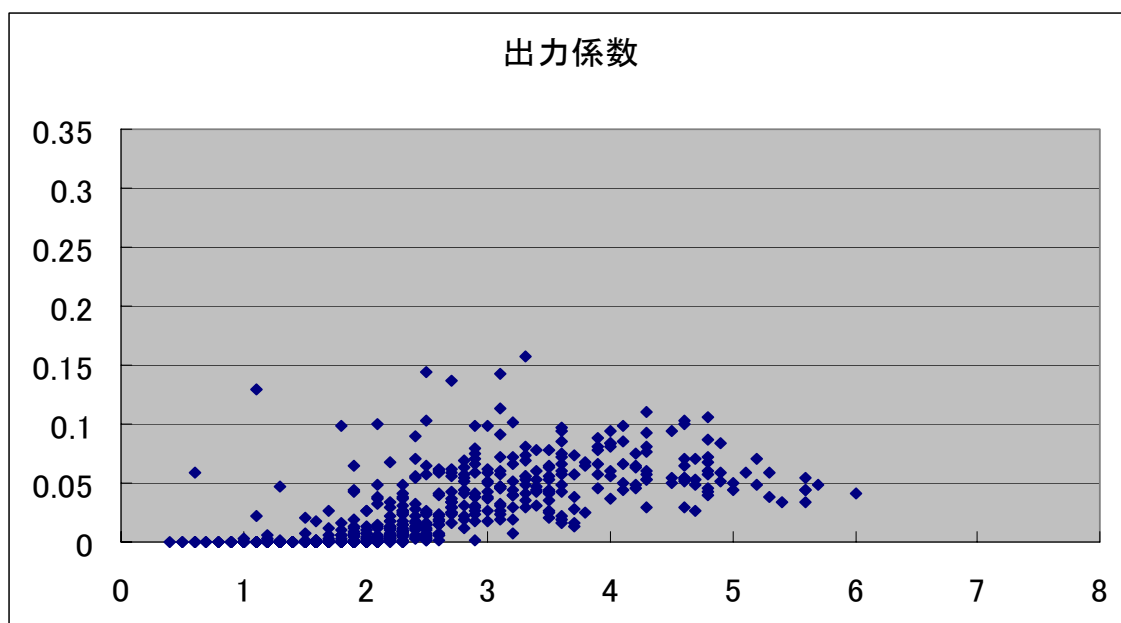


〈図5-9〉 平均風速 3m/sec での出力係数の分布 (ブレード角度 40 度)

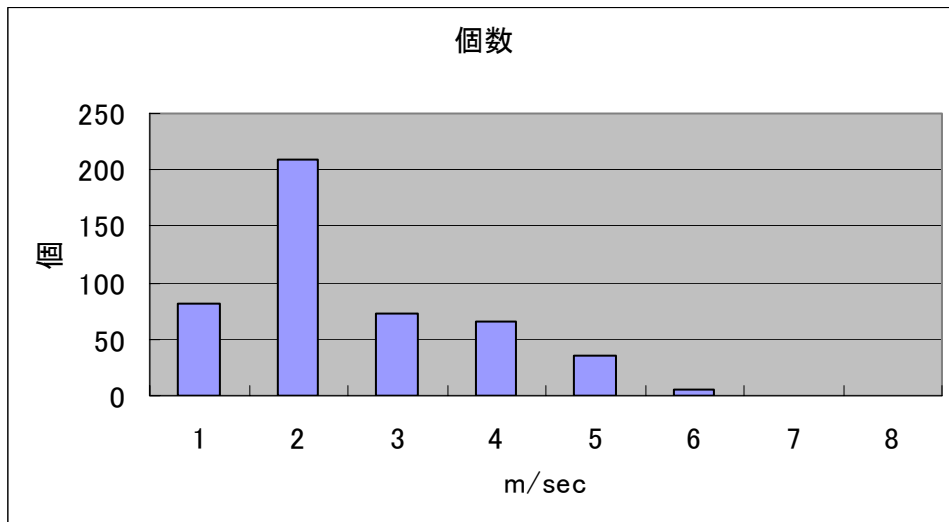
5.3 ブレード角度35度における風速と出力係数の関係

〈図5-10〉からはブレード角度35度における最大出力係数は、平均風速3.3m/secのとき0.15と見て取れる。同様に解析していくと、〈図5-11〉では平均風速1~4m/secの風で多くの標本が得られている。ここでも、平均風速1m/secのときは発電されていない数値が多くを占めているため比較からは除き、平均風速2m/sec・3m/sec・4m/secの時の出力係数の分布を見ていくことにした。

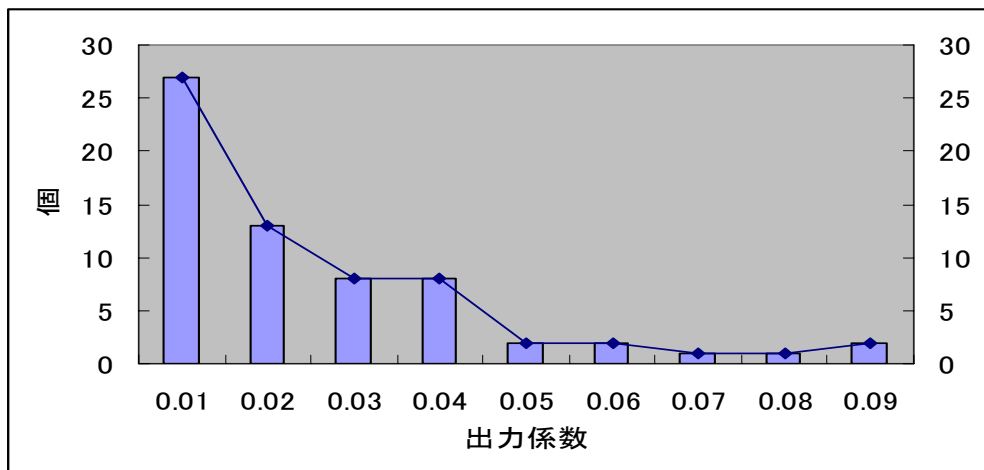
〈図5-12〉では、風速2m/secのとき出力係数0.01、〈図5-13〉では風速3m/secのとき出力係数0.02、〈図5-14〉では風速4m/secのとき出力係数0.06が最も多く計測されていることが分かる。〈図5-10〉のグラフからは平均風速3.3m/secのときに最大出力係数0.15が読み取れたが、更に細かく解析することにより、平均風速約4m/secのときに出力係数の値が0.06という数値が最も多く得られたことが読み取れた。



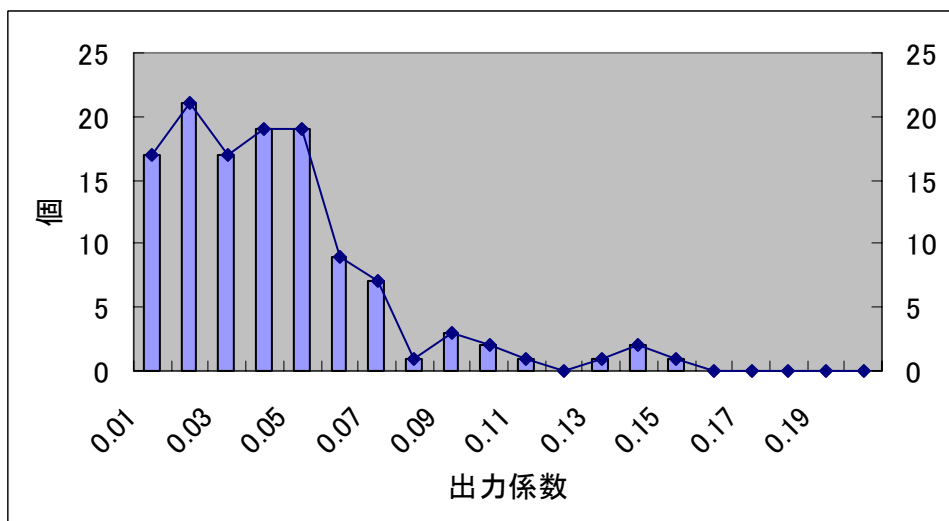
〈図5-10〉 ブレード角度35度における風速と出力係数の関係



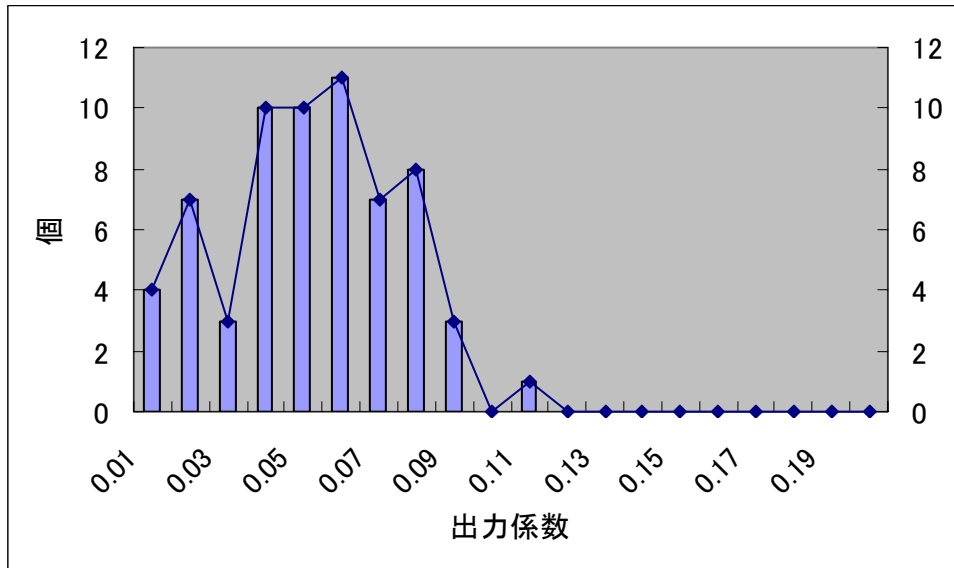
〈図 5 - 1 1〉 ブレード角度 35 度の出力係数の分布



〈図 5 - 1 2〉 平均風速 2m/sec での出力係数の分布 (ブレード角度 35 度)



〈図 5 - 1 3〉 平均風速 3m/sec での出力係数の分布 (ブレード角度 35 度)



〈図 5 - 1 4〉 平均風速 4m/sec での出力係数の分布 (ブレード角度 35 度)

5. 4 考察

上記のように、出力係数のグラフから更に詳しく解析していった結果をまとめると〈表 5 - 1〉のようになった。これは、風速 2~4m/sec における各ブレード角度の出力係数の最も頻度が高かった数値を表したものである。この表から分かることとして、ブレード角度が小さくなるにつれ、それぞれの風速の出力係数の値も小さくなっていることが分かる。このことから、出力係数を用いた比較においては、ブレード角度が大きい程、効率が良くなっているといえるであろう。

	2m/sec	3m/sec	4m/sec
45 度	0.02	0.07	0.065
40 度	0.01	0.04	
35 度	0.01	0.02	0.06

〈表 5 - 1〉 各ブレード角度の出力係数の最も頻度が高かった数値

全ての測定より、始動速度はブレード角度が小さいほど早いですが、始動してからはブレード角度が大きいほど風力エネルギーを発電量に変換できている。このように、風力発電機のブレードが回り始めるまでと回り始めた後は別々に考える必要がある。そこで、効率よくエネルギー収集を行う為には、始動に必要なエネルギーを省き、始動し始めてから効率よく発電し続けるような発電機が理想的であると考えた。そのため、常にブレードを回転させておく必要があるのではないだろうか。

この方式は、一般的に大型風力発電機で用いられている発電方法である。しかし、弱風下において小型風力発電機を用いて行う発電の場合、常に風が吹くとは限らず、また、風が吹いても大きなエネルギーを得られるわけではない。そのため、ブレードを常に回転させ続けるとエネルギーに無駄が生じてしまうため、適したものとは言えない。つまり、他の方法を用いた工夫が必要となってくるだろう。

また、風力発電の測定では、本来発電力の蓄積量 (J/sec) を用いるが、この測定では、10分間平均された風速(m/sec)と、10分間平均された発電量(W)を比較しているため、発電量の単位は $[W]$ を用いている。これは、どの風速下で実際にどのくらい発電できているかを、風力エネルギー(W)と発電量(w)の関係から求めるためである。

6. まとめ

この研究は、小型風車を用いて、いかに弱風下で効率よくエネルギーを収集できるかということを目指してすすめられた。

研究を始めるにあたり、昨年先輩方の実験「効率的な風力発電装置の試作」を基盤とし、さらに発展させるため、ブレードの角度の試行錯誤に重点を置き、より弱風下に適した効率の良いものに変えていくということが一番の課題となった。そのため、昨年の先輩方が残してくれた配線図や器具の基礎知識などのさまざまな研究成果のおかげで、研究を円滑にスタートすることが出来た。

研究を引き継ぎ、私達が得た成果といえば、長期的な発電量の計測から発電機の特徴を知れたことである。風は一定に吹き続けることはほぼなく、常に変化しながら吹いている。時には、全く風が吹かないこともある。だが、長期的に測定することによって、様々な風速下でのデータが得られ、そこから風速と発電量の関係をS字曲線として示すことが出来た。また、ブレード角度の調節において、見た目では分かりにくいですが、角度を5度変化しただけでも、測定結果には微量な変化が見られた。このように、実際に測定することで、ブレード角度と、揚力・抗力の関係を見ることが出来た。

しかし、風速・ブレード角度・発電量の関係を示せても、その効率を上げるための模索には不十分さが残った。約一年にわたる研究を通して、風力発電を効率よく行うためにはブレード角度だけでなく、ブレード枚数など発電機の設置条件を更に研究し追求していくことが必要であるとわかった。私たちが遣り残したことを更に追求し、後輩の皆さんたちにはよりよい研究をしていただきたいと思う。

風力エネルギーという、形もなく、いつどれくらい得られるか予測することもできない自然エネルギーを利用するこの研究は、季節や気候に左右されるなかでの測定で、予定通りにうまくいかないことも多々あった。けれど、この研究に携わったことで、風に対する感覚が以前より研ぎ澄まされたように思う。弱風下における小型風力発電の研究は、各家庭でも自家発電出来るようになることを願う、夢のある研究であり、この研究に携わることが出来たことを嬉しく思う。今後もこの研究が発展し、全ての人が風を通して、自然エネルギーを肌で感じ、エネルギーの大切さを感じて欲しいと願っている。

7. 謝辞

最後になりましたが、風力発電の研究を行うにあたりお世話になった皆様に深く御礼申し上げます。特に、宮内正厚先生には適切な助言や熱心なご指導をして頂き、私達だけでは出来ない設置作業の補助などにもお力を添えて頂いたことに深く感謝するとともに、心からの御礼を申し上げます。また、風力発電装置の修理にあたって下さった株式会社プリードの笹本和敏様に大変感謝いたします。

なお、この研究は昨年度の研究を引き継いで行ったものであり、先輩方が得た装置や配線など様々な知識を参考にさせて頂きました。ここまでの土台を作って下さったことに深く御礼申し上げますとともに、この先もこの研究が引き継がれより深まることを期待し謝辞とさせていただきます。

8. 参考文献

- | | | |
|---------------------------|------------|-----------|
| 『図解でわかる はじめての電気回路』 | 株式会社技術評論社 | 大熊康弘 |
| 『小型風車ハンドブック』 | パワー社 | 牛山泉・三野正洋 |
| 『風力発電技術（改訂版）』 | パワー社 | 清水幸丸 |
| 『新エネルギー技術入門』 | 株式会社オーム社 | 足立芳寛 |
| 『環境統計学入門 ー環境データの見方・まとめ方ー』 | 株式会社オーム社 | 片谷数孝・松藤敏彦 |
| 『風力発電マニュアル 2005』 | エネルギーフォーラム | 牛山泉 |