

ダブルピッチ制御付小型水平軸風車の開発研究 第4報 (風車直径を大きくして、回転数を押え、発電量を増加させる研究)

Studies on Small Horizontal Axis Wind Turbine with Double Pitch Control (4th report Power Up of small HAWT by Improvement of Blade length and Rotation Speed Control)

清水幸丸*・石宝华**・岡村聖***

SHIMIZU Yukimaru*, SHI BAO HUA**, OKAMURA Kiyoshi***

*名古屋産業大・大学院教授、**名古屋大学大学院M2、***名古屋産業大・大学院准教授

Abstract: The paper describes for the improvement of small HAWT as the followings.

1) enlargement of wind turbine diameter on the same generator. 2) Potation speed Control. 3) the regulation effect of spring strength of double pitch control mechanism. 4) In summer season, small PV (150W) can assist the wind turbine power system, effectively, as the result of checking experiment describes above, C_p (output co-efficient) is improved from 20% to 40% level.

Keywords: small HAWT, Double pitch control, output co-efficient

1. はじめに

本研究で取り扱っているダブルピッチ付小型水平軸風車は、発電機回転数 500rpm で 2.5kW 出力に達する。500rpm～600rpm の間で 3kW に達するが、3kW 出力を 20 分間以上続けると発電機の焼損事故を起こす危険がある。今回の風車改良では、風車直径を 2.98m から 3.528m まで約 0.54m 大きくした。すなわち、翼車受風面積は 1.4 倍になる。風車ブレードの長さを大きくすると風車ブレードの荷重が大きくなりブレード重心半径位置も半径外側に移動する。その結果、従来通り風車を回転させると遠心力荷重が大きくなり、安全強度が低下する。これを避けるため、今回風車回転軸を 2 段にし、増速比を 1.37 倍に設定した。その結果翼車回転数 350 回転近くで、発電機回転数を 500rpm に保つことができる。このような対応により、風車ブレードの遠心力荷重を低下させ、安全強度を高めることができる。以上の考えに基づき、風車の全面改造を行った。

本研究では、改造前の風車と改造後の風車では、どの程度性能改善が行われたか、比較検討した。比較は、発電電流、電圧、電力、回転数と風速の関係および風速と出力係数 C_p との比較によって行った。

2. 主な記号

N : 回転数 (rpm)
V : 電 圧 (V)
I : 電 流 (A)
P : 電 力 (W)
U : 風 速 (m/s)
D : ロータ直径 (m)
WS : 風 速 (m/s)
WD : 風向
A : 風車翼車の受風面積 (m^2)
P : 空気密度 (kg/m^3)

3. 実験場所、実験装置及び実験方法

3.1 実験場所



図 3-1 : 風車設置場所

実験に使用した小型水平軸風車は、図 3-1 に示す、三重県津市木造町（図中の十印）の名古屋産業大学風車実験場に設置した。この場所は、地上高 6.5m で昨年 6.1m/s、今年少し場所を変えたが（木の影響が少し入ったようである）5.1m/s である。小型風車の実験場としては、最適で、最大 30m/s を超える風速で実験が可能である。設置場所は、畑で、周囲は水田が広がる。夏 5 月、6 月は、風は弱い が 11 月から 4 月までは、10m/s 前後の強風がしばしば吹く。

3.2 実験装置

3.2.1 風車およびその風速制御システム

図 3-2 には、風車実験装置の概略図を示す。左側には、3 枚翼の小型水平軸風車、中央には、風向・風速計、右は、観測小屋およびバッテリー置場を示す。小屋には、各種計測機器、発電機コントローラおよび制御および記録用のパソコンが設置されている。パソコンデータは、無線 LAN を用いて、NTT 回線に接続され、インターネットを用いて、尾張旭市の名古屋産業大学から実験風車の映像確認や取得データのチェックが可能である。小屋の屋根には、150W のソーラパネルが設置され、5 月、6 月の弱風時期にバッテリーチャージ電力が低下し、システム全体が停止してしまうのを防いでいる。わずか 150W の太陽光発電装置ではあるが威力を発揮している。このソーラ発電のおかげで、システム全体の停止は生じていない。

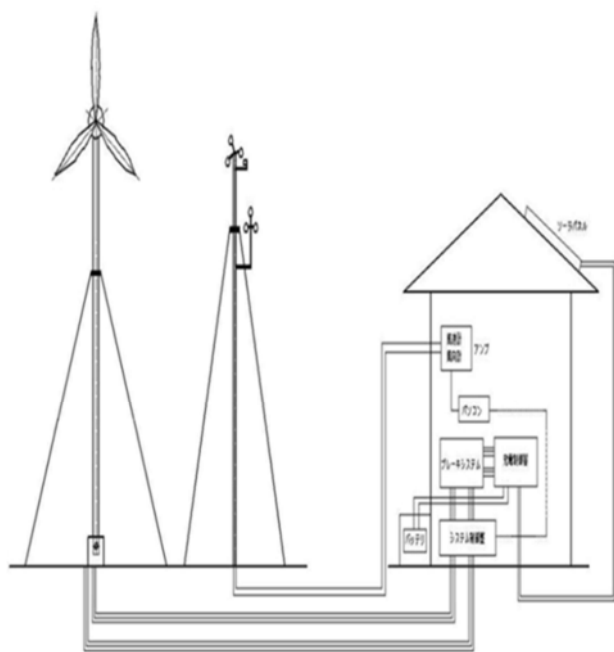


図 3-2：小型風車実験装置全景概略図

今回の研究では、旧タイプ、すなわち、風車翼車発電機が直結された風車と翼車直径を大きくして、2 段軸として、風車翼車と発電機を接続した改良型が比較検討されている。このような改良を行った目的は、翼車直径を大きくして、なるべく低風車で発電機回転数を 500rpm まで持ち込み、年間の発電量を増加させようと考えた結果である。図 3-3 には、旧風車と発電機の関係を示す。翼車直径は 2.84m 発電機とハブが直結。

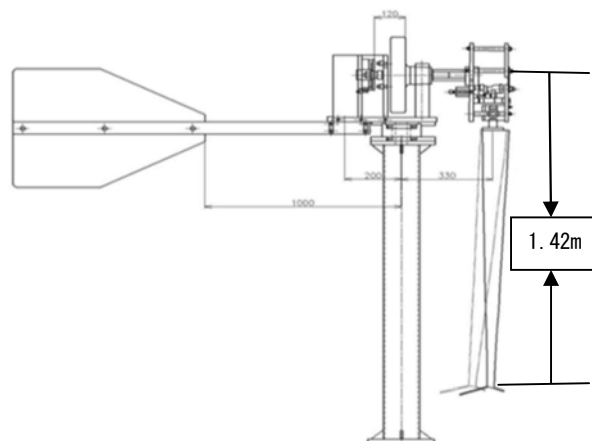


図 3-3：風車の概略図（旧型）

図 3-4 には、風車ハブ（旧型）の詳細を示す。回転軸中心とブレード付根との距離は、0.2m である。すなわち、ハブ半径は 0.2m になる。

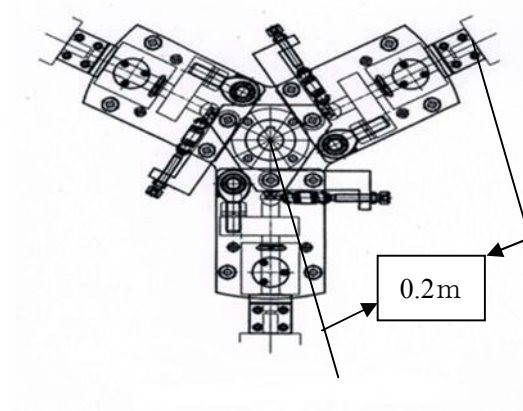


図 3-4：風車のハブ（旧型）



写真 1：旧風車実験装置実景

写真1には、旧型風車を示す。この風車は、当初、バネの破断が続いた。また、ブレードの取付けシャフトの付根部分での破断等が続いた。ここ2年程は、破損事故は、無くなった。改良点は、バネの改良、バネ線径を太くし、バネに回転部分を設けた。取付シャフトの破断は、教科書に書いてある通りに、角部にアールを設けることにより解決できた。また、旧型の風車ポールは、ワイヤで4方向から引っ張る方法であったが、3年程の間に、いくつかワイヤ関係トラブルが続いた。ポールのワイヤによる支持は、長期に渡る場所は、色々問題であると思われる。問題とは、ワイヤのメンテナンス、ワイヤ中心部に心として織り込まれている麻ひもへの油の注入がかかさないこと、注油を欠かすとワイヤが錆びて、破断する危険がある。ワイヤの先端に取り付けてあるターンバックルは、強風時支持ワイヤがギャロッピングをおこして、ねじがゆるんでしまうことがしばしば生じる。図3-5には、改良型の2段軸ナセルとハブを示す。風車翼車半径は、1.764m（直径3.528m）である。2段軸の増速比は、1.37倍である。図3-6には、ハブの詳細を示す。ハブの中心と風車ブレードの取付けフランジまでの半径は、0.354mである。引っ張りバネは、さらに線径を太くし、長さを長くした。風車ブレードは、旧ブレードが1.2mであったが、20.1mm長くして、1.41mまで長くした。

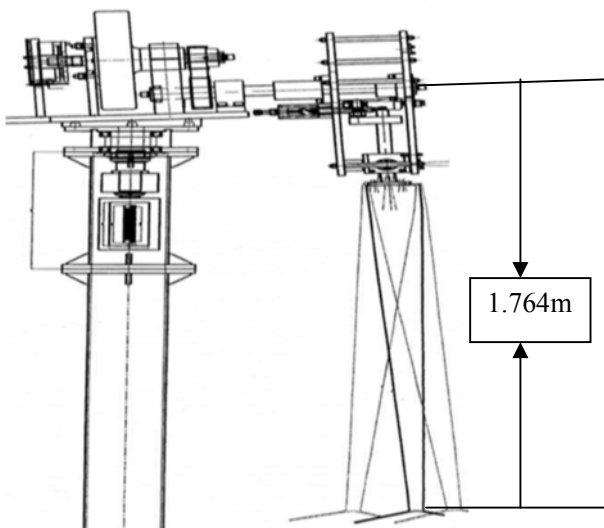


図3-5：風車の概略図（改良型）

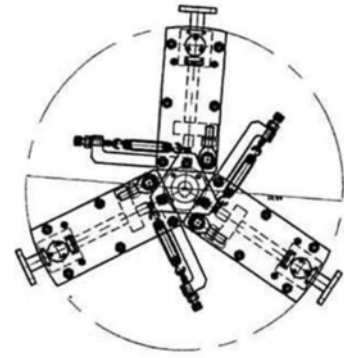


図3-6：風車のハブ（改良型）

写真2には、改良型風車実験装置周辺の全景を示す。風車位置が15m程移動された。また、風車ポールは、9mmφのワイヤで、4方向より、引っ張り固定されていたが、このワイヤ固定方法をやめて、固定スタンド、横転可能ポールに変更した。この工事は、難航した。畑地ではあるが、周辺は水田である。さらに、その昔、雲出川の河川敷と予想されるが、畑を1m掘り下げると水が湧き出してきた。コンクリートを打つにも、通常のコンクリートは、使えず、水中で使用可能な特別成分配合の生コンを作ってもらい、約2m畑地を掘り下げて、鋼製アングル枠を設置し、底部を特性生コンで固めた。その上に角パイプ4本で架台を作り、そこに軸受け等を設置し、風車ポールが横転可能なように製作した。風車ポールの下部には、バランスウェイトとして約600kg程度鋼板を四角に切ったものを取り付けた。当初、ポール高さは、8mを考えたが、バランスウェイトが過大になり、風車ポール取付け架台とのバランスが悪くなったので、高さを6.5mに変更した。





写真2：改良風車実験装置実景

写真3には、風車翼車を拡大して撮影した写真とその反対側から撮影した写真を示す。太陽光の関係で上側写真は黒くなった。この写真より、風車ブレード付根側に主翼と切り離されて小翼が付いている。この小翼部分が201mmあり、主翼部分1200mmに加えて、全長1,401mmの風車翼を構成している。付根の小翼は、図3-7に示す三重大学開発の厚翼 UMY02-T01-35、35%厚翼、翼弦長265mmが使用されている。この厚翼断面小翼によって風車の起動特性が改善されている。



写真3：ブレード改良後の風車実験装置実景



写真4：臨時改造ブレード

写真4には、臨時改造ブレードを示す。ここで示す臨時改造風車ブレードによる風車フィールド実験は、2013年3月まで連続的に行われた。幸い風車の破損等のトラブルは、全くなかった。30m/sを超える風速も数回経験しているが、風車の特性通りに運転された。ダブルピッチ制御の期待通り、強風の為発電機回転数が500rpmに達したところで、短絡ブレーキが作動し、その3秒後に電磁ブレーキが作動し、風車が停止する、プロセスを経て、運転停止が生じている。停止発見後手動で復帰させ、その後問題なく発電運転している。ピッチ制御に使用されているバネは、その際、破断したものと思えるが、6本のバネの内、2本を取り替えた(写真6)。

3-2-2. 発電システム

ここでは、発電機に関するシステムを説明する。使用した発電機の特徴は、500rpmで2.5kW出力、500～600rpmで3kWに達する。3kW出力で20分以上連続運転すると発熱のため、発電機が焼損する危険があるため、一定温度に達すると短絡ブレーキが作動するようにしてある(回転数500rpm)。この風車発電装置には、以下の保護装置が設置されている。

- ① ダブルピッチ過回転防止制御機構(別途説明)
- ② 電氣的過回転防止装置：発電機電圧が250Vに達すると短絡ブレーキ回路が作動。500rpmで250Vに達する。
- ③ 短絡ブレーキ作動後3秒経つと電磁ブレーキが作動し、風車回転は、自動停止する。復帰は、手動で行われる。
- ④ 台風時等で風速40m/sを越える風速が予想される場合には、風車ポールを安全に横転させ、破損を防ぐ対策がとられている。

写真5には、発電機コントローラ、充電制御器の
パネル部分を示す。

[1]は制御コネクター、[2]負荷出力端子台：負荷機器
の接続用で現在は、バッテリー（12V）に直接接続し
ている。[3]過電流遮断：負荷出力に接続した機器が
過電流になると、負荷出力を遮断して、このLED
を点灯させる。[4]リセット：負荷出力を遮断した後、
再接続するときにONにする。[5]入力端子台、[5-
1]太陽光パネル接続端子台、[5-2]風力発電機を接
続する端子台。[6]充電出力端子：バッテリー接続端子
[7]ブレーキスイッチ：このスイッチをONにすると
風力入力を短絡して風力発電機にブレーキをかける。
風力発電機の保守時や台風の時などにONにする。

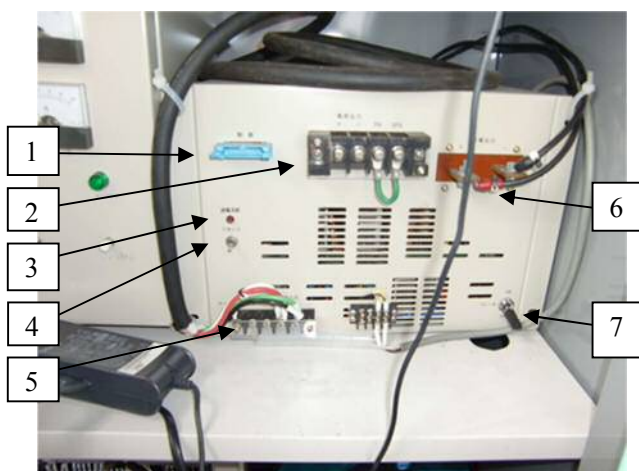


写真5：発電機コントローラ、充電制御器

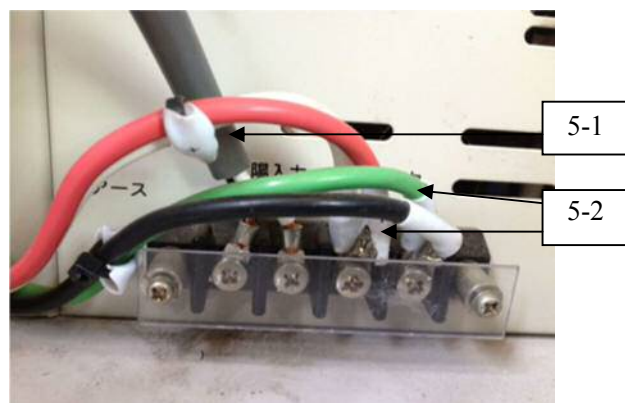


写真5：充電制御器の発電機と太陽電池の接続端子

3-3 データの自動連続測定方法

風力発電に関するデータ、電流、電圧、風車回転
数は、1分間隔、10分間隔で、データ処理ソフト、
データビルダーを用いて測定されている。パソコン
でエクセルを用いて、電流、電圧、風車回転数の平
均値、また電力、風車の出力係数 C_p を求めた。風

速の測定には、2種類の風速計を用いた。1つはノ
ーマッドという長期風速観測用1分間隔、10分間隔、
もう一つは、wind110という風速計で、1分間隔に測
定され、専用ソフトを用いて、データ整理を行った。
風車実験場（三重県津市木造町）と尾張旭市の名古
屋産業大学は、無線LANとNTTのインターネット
回線で結ばれており、大学研究室でLogMeimとい
うソフトとCarot DAVというソフトを使ってデー
タ収集が可能になっている。また、カメラとカメラ
ソフトもパソコン入力されていて、風車運転をリア
ルタイムで観察できる。風速データは、Wind110で
は、1分間隔と10分間隔で処理された。

3-4 ダブルピッチ制御機構の説明

図3-7には、ダブルピッチ制御機構の設計図の一
部を示す。特許第649570号平成22年12月24日、
発明の名称：風車ブレードピッチダブル制御機構、
図3-7より直接説明するのは、難しいので、図3-8
に示す説明概略図を用いることにする。本機構は、
2つの機構が組合わさっている。

その1：図3-8の右：風車ブレードの風車回転軸を
含んだ平面内の運動

- ① 風車が停止している状態では、風車回転平面か
ら $3^{\circ} \sim 4^{\circ}$ 程度前傾している。回転し始めて、
風速が高くなるにつれて、前傾状態から回転平
面に近づいて行き、風速 $12\text{m/s} \sim 13\text{m/s}$ 程度で回
転軸に垂直になる。すなわち、回転平面と平行
になる。
- ② さらに風速が高く、 $15\text{m/s} \sim 20\text{m/s}$ になると、ブ
レードが後傾して行く。すなわち、前傾→垂直
→後傾となる。この際、ブレードピッチ角は、
前傾時はプラスピッチ角、垂直時はピッチ角零、
後傾時には、逆ピッチ角、すなわち、ブレード
は失速状態になる。
- ③ 風車ブレードは、スタート時引っ張りバネであ
る程度引っ張られている。風速と回転数が増す
と引っ張りバネに打ち勝って垂直に立ち、さら
に強風になれば後傾し、逆ピッチで失速状態に
なる。

その2：図3-8左：風車ブレードの回転平面内の運動

- ① 風車ブレード重心位置が風車ブレードの支持点
と回転中心を結んだ線上から 3° 程度傾けてあ
る。
- ② ブレードの回転軸側端は、引っ張りバネで強く

引っ張られている。風車回転数が極端に大きくなると引っ張りバネに打ち勝って、ブレード支持点回りに運動し、最終的には、ブレード重心と遠心力の作用方向が一致する。

- ③ その運動の過程でブレードは、ブレード羽軸回りに、逆ピッチ方向に回転する。この運動により、ブレードは失速状態となり、過回転が防がれる。

本機構では、その1とその2を同時に組み合わせて、過回転を防ぎ安全を保つ。

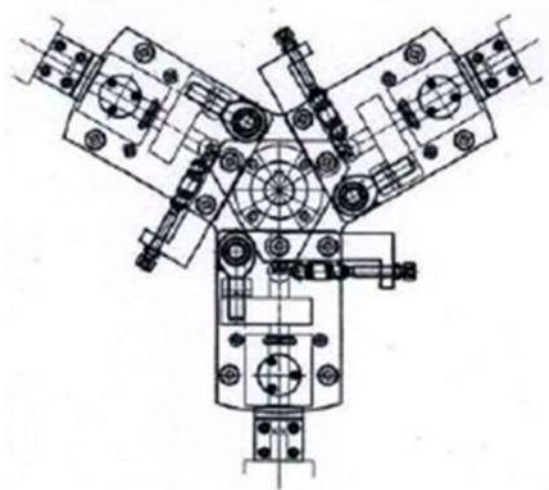


図 3-7: ダブルピッチ制御機構の設計図

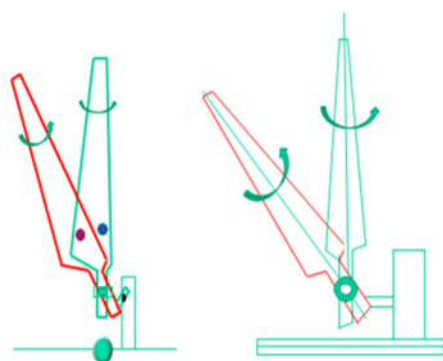


図 3-8: ダブルピッチ機構の説明図

4. 実験結果と考察

4.1.1

11月1日から12月5日までの改良風車の実験結果

図4-1には、改良風車のフィールド実験結果を示す。測定値は、1日平均値で、電流A、電圧V、電力W、風速m/s/day、回転数rpm、出力係数Cpであ

る。この35日間において、1日平均風速が8m/s前後の比較的風の強い日には、発電出力ものびて、120wh/day、すなわち、2.88kWhの電力を発電している。風速が2m/sから4m/sの風の弱い状態では、電流、電圧は一応出ているが、評価できる発電量にはならない。続いて、本風力発電装置を評価するために、弱風(2m/s~5m/s)、中風(5m/s~8m/s)、強風(9m/s~13m/s)、スーパー(13m/s~20m/s)、超スーパー(20m/s~30m/s)に分類して考察する。ただし、この時期には、スーパーから超スーパーの風はほとんど生じない。

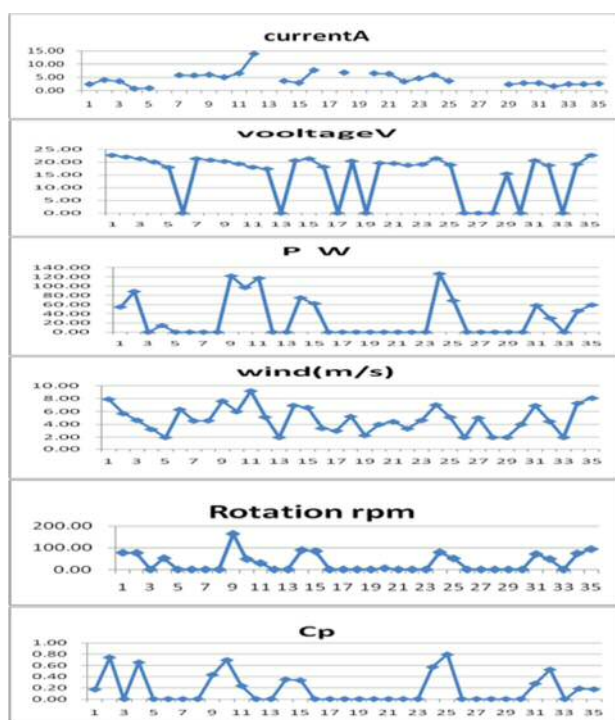


図 4-1: 2012年11月1日~12月5日までの電流、電圧、電力、風速、回転数、Cp、1日の平均値

4.1.2

図4-2には、弱風1時間平均風速3.53m/hでの1分間平均出力の60分間の電流、電圧、風速、電力、回転数出力係数Cpを示す。Cpを見ると0.2から0.6の間を移動している。Cpが0.3から0.5の間が最も多い。この値は、結構評価できるよい値である。

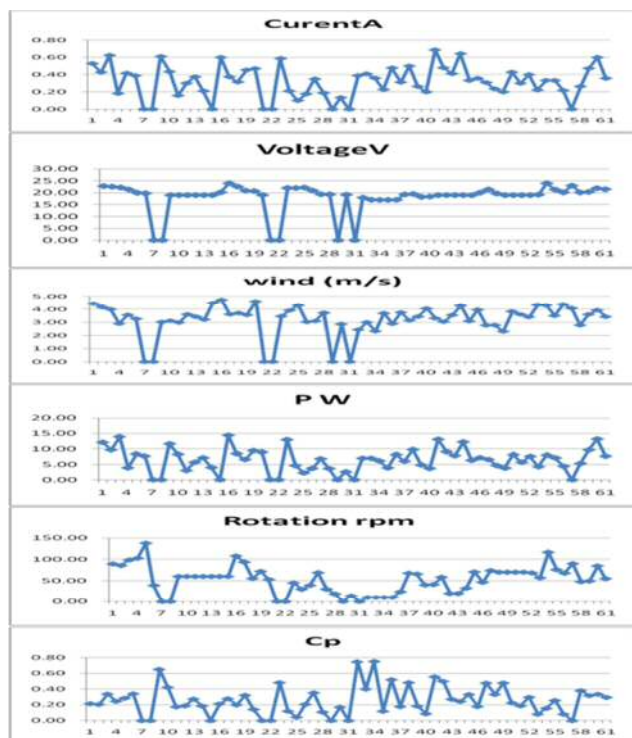


図 4-2 : 2012 年 11 月 8 日風速 3.53m/時の電流, 電圧, 電力, 風速, 回転数, C_p , 1 分間の平均値

図 4-3 には、弱風、時間平均値 4.16m/h の 1 時間の 1 分間平均電流, 電圧, 風速, 電力, 回転数および出力係数である。 C_p を見ると回転している時には、0.35 を示している。

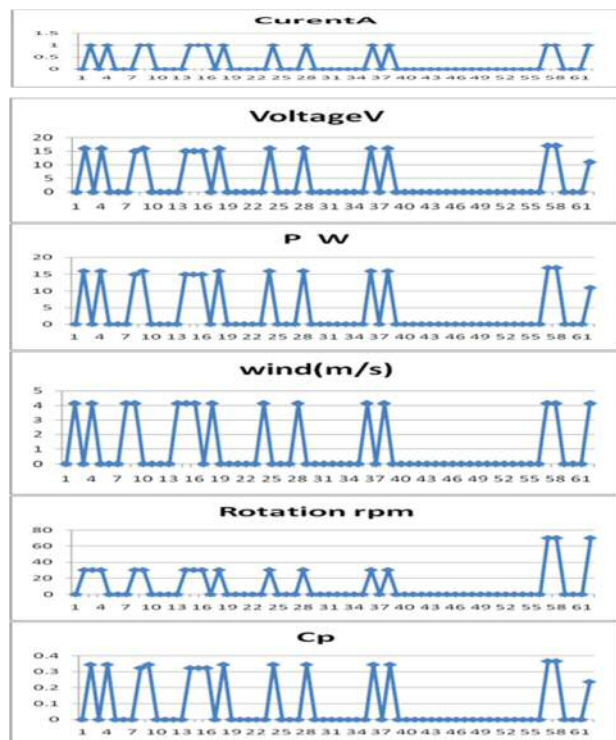


図 4-3 : 2012 年 11 月 8 日風速 4.16m/時の電流, 電圧, 電力, 風速, 回転数, C_p , 1 分間の平均値

図 4-4 には、平均 6.36m/s での 1 時間の各値を示す。 C_p を見ると、0.1 から 0.4 の間にあり、0.2 程度が多く見られる。

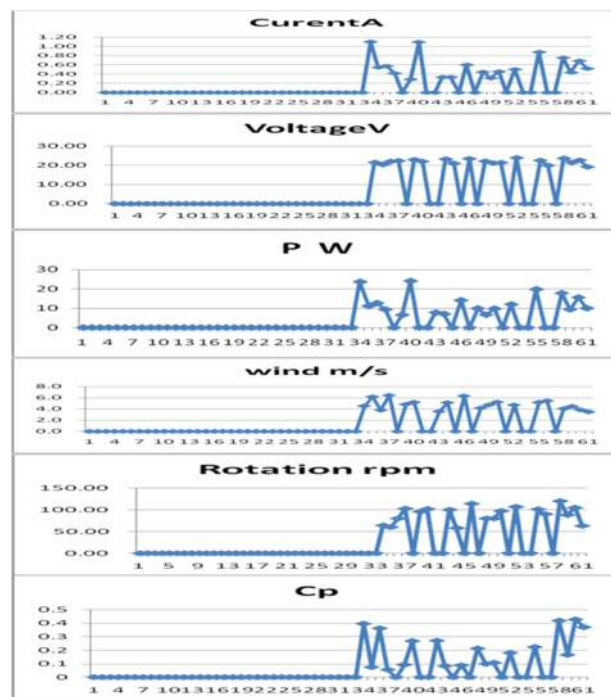


図 4-4 : 2012 年 11 月 7 日風速 6.36m/時の電流, 電圧, 電力, 風速, 回転数, C_p , 1 時間の平均値

図 4-5 には、1 分間平均風速 6.2m/s での 1 時間の 1 分ごとの各値を示す。 C_p に着目する。0.6 から 0.1 まで変動しながら減少して行く。

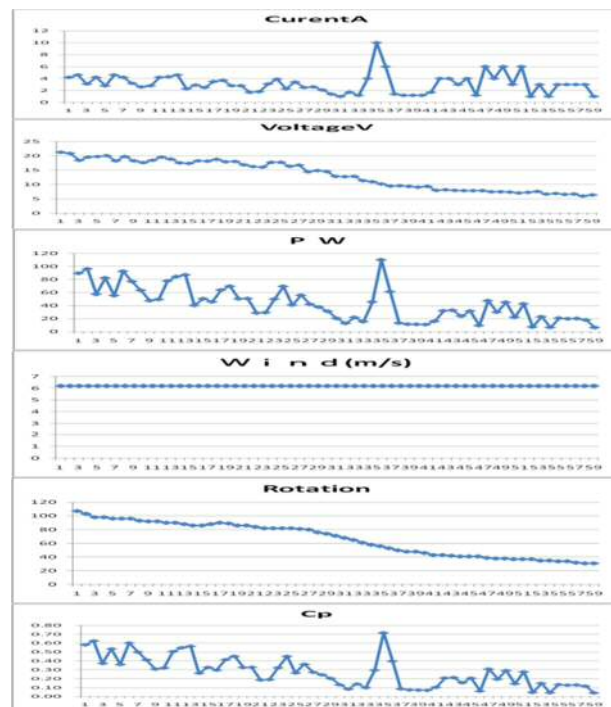


図 4-5: 2012 年 11 月 8 日風速 6.2m/時の電流, 電圧, 電力, 風速, 回転数, C_p , 1 分間の平均値

図4-6には、10m/sの値が多くみられる。1時間の各値を示す。1分間平均値を示す。風速10m/sに対応する C_p は0.4~0.5に対応し、よい値を示している。

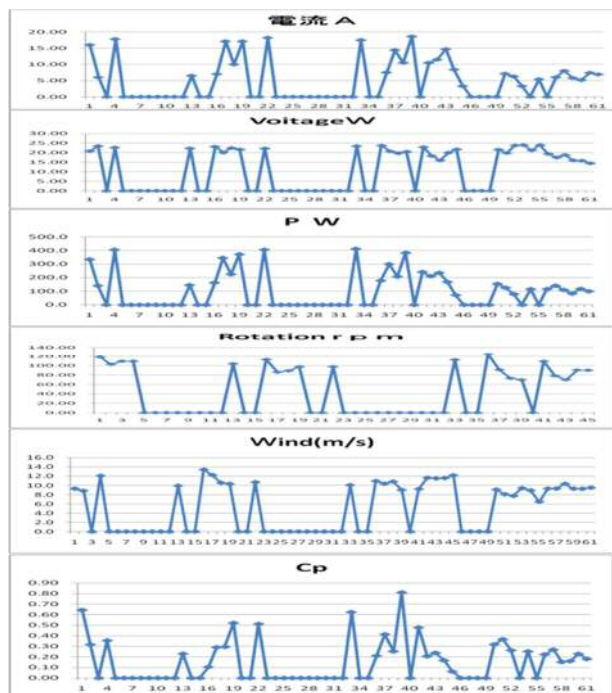


図4-6：2012年11月08日風速10.02m/時の電流，電圧，電力，風速，回転数， C_p ，1時間の平均値

図4-7には、風速10.3m/sの場合の代表的な1分間の1秒ごとの各値を示す。 C_p は0.2から0.3の値を示す。

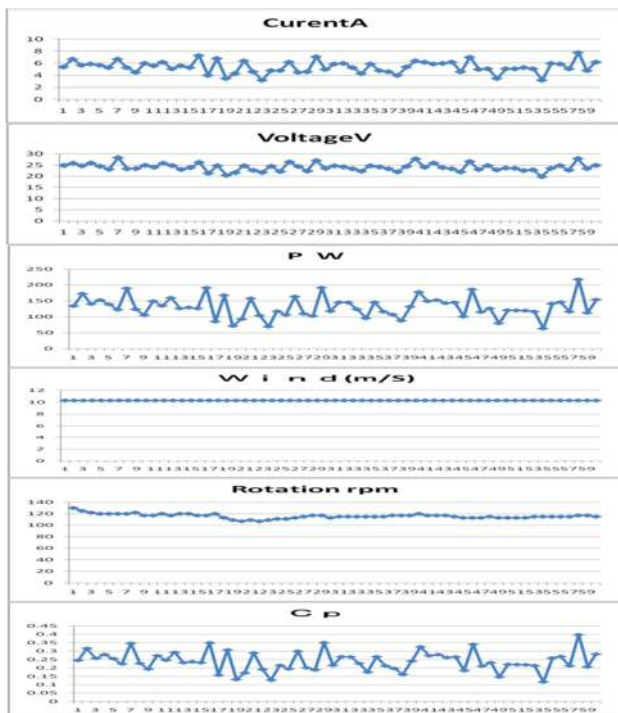


図4-7：2012年11月07日風速10.3m/時の電流，電圧，電力，風速，回転数， C_p ，1分間の平均値

図4-8には、風速13.24m/sの風が吹いている場合の1分間の各値を示す。出力150w/sから250wh/sの高い値を示す。これは、13.24m/sという強風のため、ダブルピッチ制御装置が作動しているため出力が上がらない結果である。

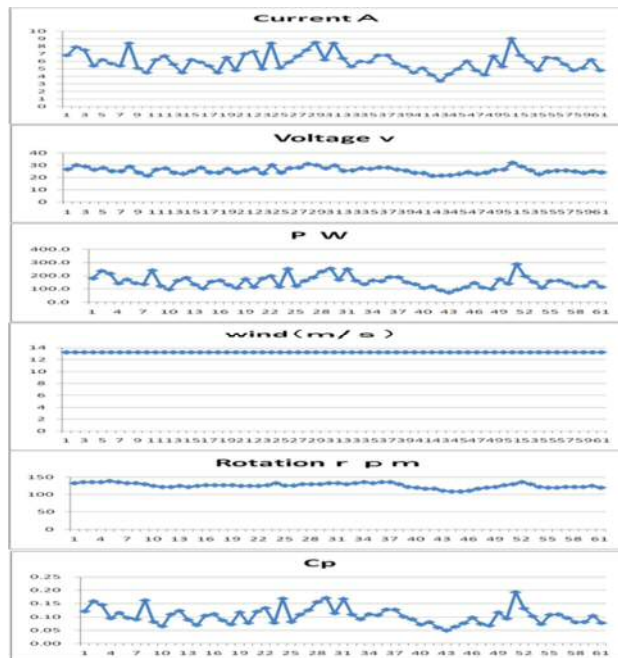


図4-8：2012年12月04日風速13.24m/時の電流，電圧，電力，回転数， C_p ，1分間の平均値

4.1.3 旧風車と改良風車の C_p （出力係数）の比較

旧型風車の実験結果は、2011年の11月から2012年の3月までの間、改良型は2012年の11月1日から2012年12月5日の間のデータである。

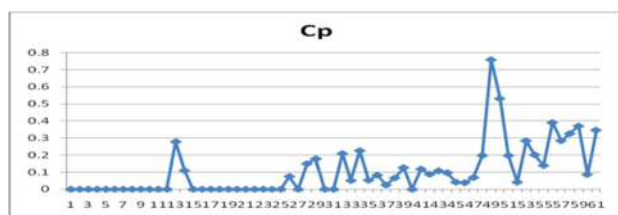


図4-9：旧型風車2012年1月9日
風速3.8m/時の C_p ，1時間の平均

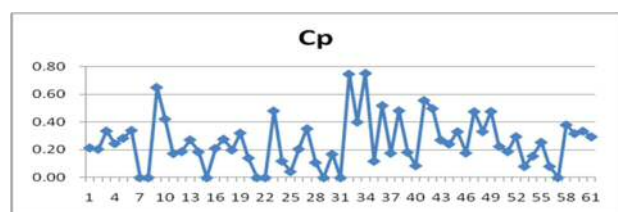


図4-10：改良型風車2012年11月8日
風速3.53m/時の C_p ，1時間の平均

風速は1時間平均値は、図4-9の旧型では、3.8m/s（風速は2m/s～5m/sの範囲で変わる）である。図4-10の風速の1時間平均値は3.53m/sである。旧型では、 C_p は、0.1～0.4の範囲で変動し、図4-10の改良型では、 C_p は0.2～0.5の範囲で変動し、改良型の性能改善は顕著である。

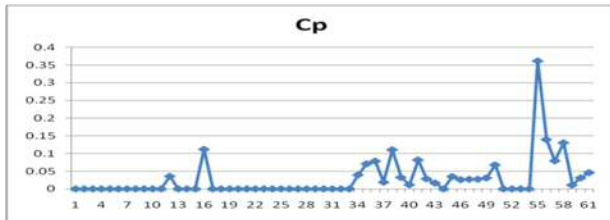


図4-11：旧型風車 2011年12月29日
風速6.3m/時の C_p 、1時間の平均値

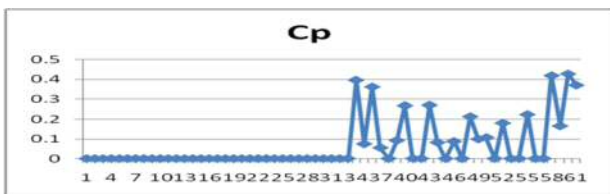


図4-12：改良型風車 2012年11月
風速6.36m/時の C_p 、1時間の平均値

図4-11と図4-12には、風速は、中風速で6m/s～8m/sの範囲で変動する場合の旧型と改良型風車の C_p を示す。旧型の1時間平均風速は、6.3m/s、改良型では、1時間平均風速6.36m/sである。旧型では、 C_p は0.05前後になり、改良型では0.1～0.3の範囲の値を示す。

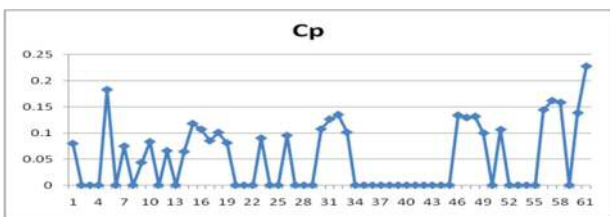


図4-13：旧型風車 2012年1月13日
風速9.8m/時の C_p 、1時間の平均値

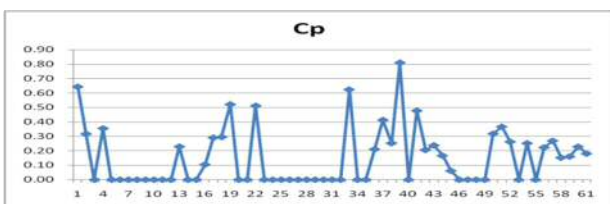


図4-14：改良型風車 2012年11月08日
風速10.02m/時の C_p 、1時間の平均値

図4-13と図4-14では、風速が強風領域、9m/s～12m/sの結果を示す。旧型では、1時間平均風速9.8m/sである。改良型では、1時間平均風速10.02m/sである。図4-13の旧型では、 C_p は0.05～0.15の範囲で変動する。図4-14の改良型では、 C_p は0.2～0.5の範囲で変動する。改良型が相当高い値を示す。

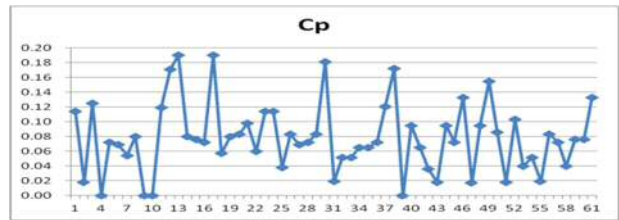


図4-15：旧型風車 2012年1月13日
風速13.03m/時の C_p 、1時間の平均値

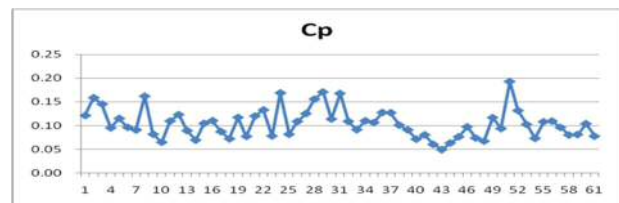


図4-16：改良型風車 2012年12月04日
風速13.24m/時の C_p 、1時間の平均値

図4-15と図4-16には、スーパー風速領域、13m/sから15m/sの風が吹く代表的1時間の C_p 値を示す。図4-15の旧型では1時間平均風速13.03m/sである。図4-16の改良型では、1時間平均風速13.24m/sである。旧型では、 C_p は0.02から0.18の範囲で変動する。改良型では、 C_p は0.06から0.17の範囲で変動する。両者の変動幅を比較すると、改良型で変動幅は小さく、旧型の変動幅は大きくなる。

以上、弱風、中風、強風、スーパー風領域での1時間代表例を抽出し、改良型風車と旧型風車の出力係数 C_p の比較を行った。ここで、明確にしておかねばならないことが、2、3ある。

- 1) ダブルピッチ制御に使用されているバネは、両者異なるバネである。



写真6：旧型バネ（上）、改良型バネ（下）

2) 電流、電圧の測定位置

電流および電圧は、発電機直後ではなく、発電機から充電制御器を経て、バッテリーにチャージされる場所で測定されている。したがって、発電機直後で測定すると、充電制御器通過時の損失と電線 20m～30m 分の損失がなくなり高い値を示すと推定される。ここで示すデータは、バッテリーにチャージされた電流、電圧である。バッテリーは、旧型では、65Ah のバッテリー 1 個のみ使用されたが、改良型では 4 個のバッテリーが並列で使用された。4 個の内 1 個は相当老朽化しているものを使用した。

4-1-4 旧型と改良型の発電量比較

旧型および改良型風車は、使用している発電機および発電機制御システムは、同一のものである。風車翼車直径はことなり、ダブルピッチ制御機構の大きさ、使用バネも異なる。以下では、発電機側から見た両者の性能比較になる。

図 4-17 および図 4-18 には、弱風、風速 2m/s～5m/s の代表的な 1 時間の発電量比較である。

図 4-17 旧型では、1 時間平均風速 3.8m/s で 2W から 8w 程度の出力が見られ、図 4-18 改良型では、1 時間平均風速 3.53m/s で 3W から 15W まで万遍なく出力が見られる。

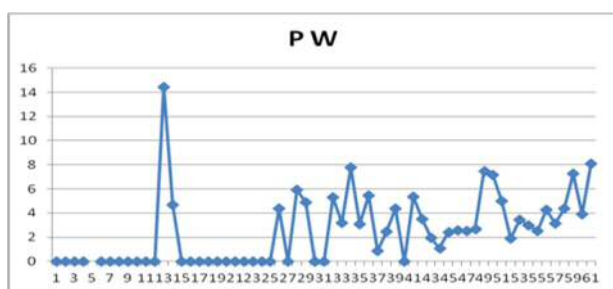


図 4-17：旧型風車 2012 年 1 月 9 日
風速 3.8m/時の発電量 1 時間の平均

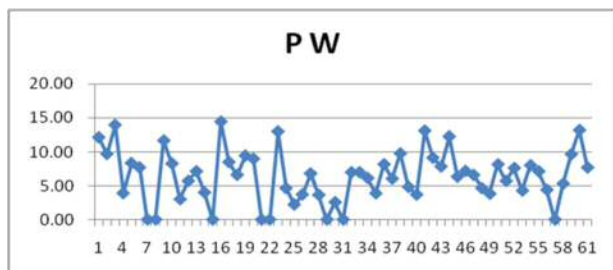


図 4-18：改良型風車 2012 年 11 月 8 日
風速 3.53m/時の発電量 1 時間の平均

図 4-19、旧型及び図 4-20 (改良型) では、弱風 1 時間平均風速 4.65m/s および 4.75m/s の旧発電量の 1 時間平均値出力を示す。従って、24 時間分、24 個のデータが示されている。

旧型では、80Wh 近くの値が 7 時～8 時に見られ 19 時～23 時には 70Wh～40Wh～70Wh の値が見られる。新型では、4 時 80Wh, 7～8 時, 50Wh, 9～10 時, 100Wh, 13 時～17 時では、140Wh～100Wh～70Wh と比較的高い値が見られる。

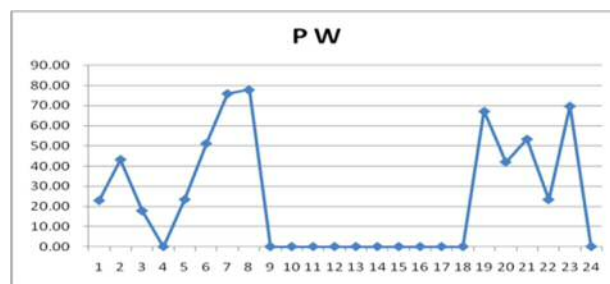


図 4-19：旧型風車 2011 年 12 月 24 日
風速 4.65m/時の発電量 1 日の平均値

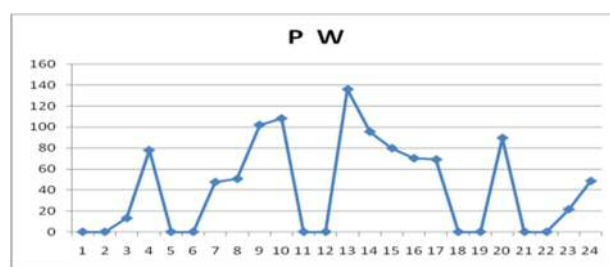


図 4-20：改良型風車 2012 年 11 月 10 日
風速 4.75m/時の発電量 1 日の平均値

図 4-21 および図 4-22 には、中風領域、6m/s～8m/s の代表的 1 時間の発電出力を示す。旧型では、33 分～49 分まで 120W～20W～130W～40W の連続発電出力が得られている。一方、改良型では、21 分～22 分 100W～130W, 27 分から 37 分にかけて、80W～120W～80W～170W, 51 分から 55 分にかけて 110W～160W が得られている。

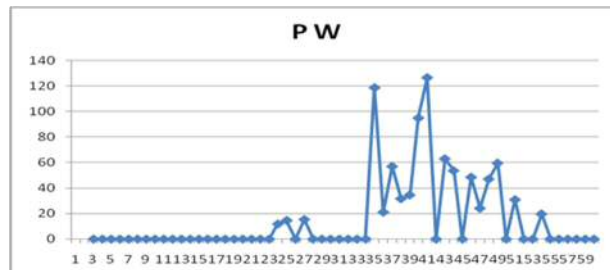


図 4-21：旧型風車 2011 年 11 月 26 日
風速 7.10m/時の発電量 1 時間の平均値

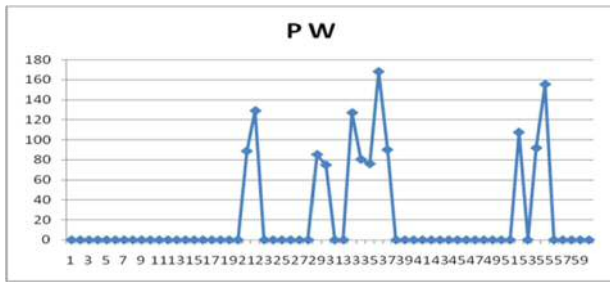


図 4-22：改良型風車 2012 年 11 月 22 日
風速 6.63m/時の発電量 1 時間の平均値

図 4-23 および図 4-24 には、中風速 6m/s～8m/s の代表的な 1 日の発電量を示す。旧型では、旧平均風速 7.1m/s で、2 時～7 時、50W 出力、9 時～13 時まで 110W～60W～40W～110W～0W、15 時～24 時まで 350W～50W～10W～150W～20W～100W～50W の電力が連続で得られている。
改良型では、旧平均風速 6.6m/s で、1 時～12 時まで 130W～50W、16 時～24 時まで 200W～150W～50W の電力が連続で得られている。

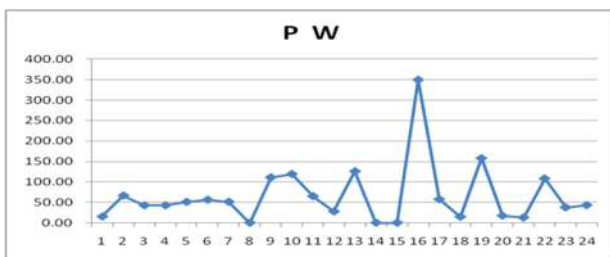


図 4-23：旧型風車 2011 年 11 月 26 日
風速 7.10m/時の発電量 1 日の平均値

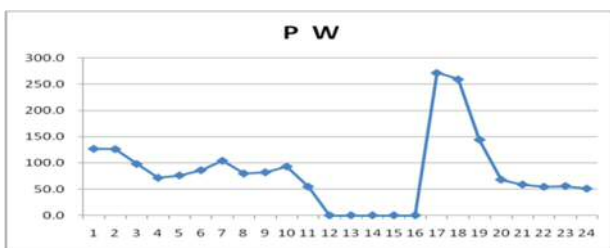


図 4-24：改良型風車 2012 年 11 月 16 日
風速 6.60m/時の発電量 1 日の平均値

図 4-25 および図 4-26 には、強風 9m/s～12m/s 領域の代表的な 1 時間の発電出力を示す。
図 4-25 の旧型では、1 時間平均風速 10.3m/s で、スタートの 1 分から 8 分まで 150W～100W～80W、13 分から 59 分まで 160W～200W～180W～150W～200W の値がほぼ連続で得られている。
図 4-26 の改良型では、スタートからそのまま 60 分

150W～200W～100W～200W の電力が連続で得られている。

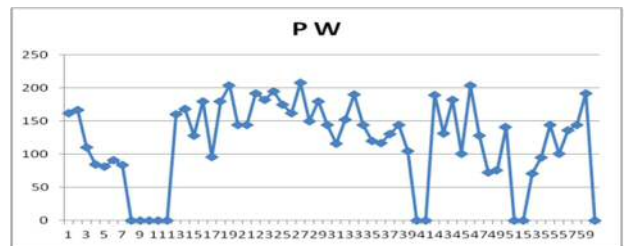


図 4-25：旧型風車 2011 年 12 月 2 日
風速 10.3m/時の発電量 1 時間の平均値

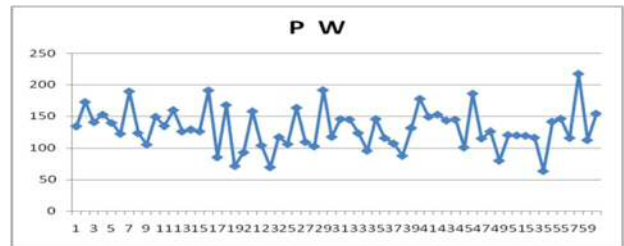


図 4-26：改良型風車 2012 年 11 月 08 日
風速 10.02m/時の発電量 1 時間の平均値

図 4-27 および図 4-28 には、風速 13m/s～15m/s の強風領域の 1 分間の発電量を示す。

図 4-27 には、1 分間平均風速 14.52m/s の風が吹いている。1 秒ごとの発電量である。スタートより 100W～270W～300W～200W～100W～200W～250W の電力が連続的に出力している。

図 4-28 の改良型では、1 分間平均風速は、13.24m/s で、スタートより 200W～250W～100W～300W～150W の電力が連続出力している。
この風速では、ダブルピッチ制御機構が既に作動していると考えられるのでバネ強度ももう少し、強くし、出力を上げることが望ましい。

1000W～2000W 程度の出力が欲しい風速範囲である。バネ線径を太くし、バネ定数を大きくすれば、出力は、2500W まで増加して行く。ただし、2500W を得るためには、18m/s 程度必要と推定される。2012 年 11 月 1 日から 2012 年 12 月 5 日の期間には 20m/s 前後の強風は得られなかった。

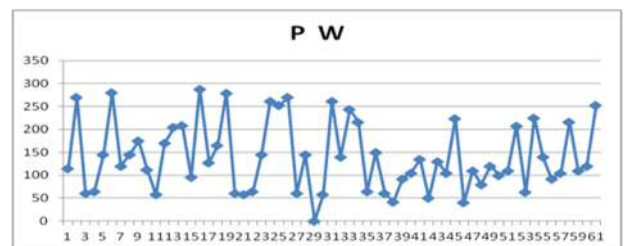


図 4-27：旧型風車 2011 年 12 月 20 日
風速 14.52m/時の発電量 1 分間の平均値

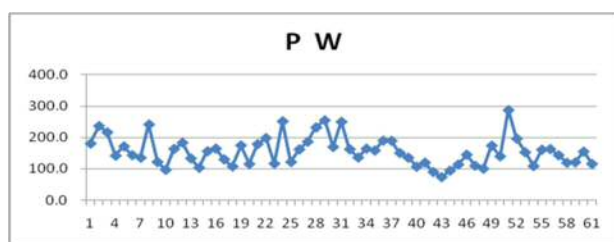


図 4-28：改良風車 2012 年 12 月 04 日
風速 13.24m/時の発電量の 1 分間の平均値

4-1-5 2012 年 1 年間の月別平均風速

表 4-1 には、2012 年 1 年間の月別平均風速を示す。2012 年は、年間平均風速 5.1m/s であった。昨年は、表を作っていないが、6.1m/s で 1m/s 差がある。この原因は、風速計の設置場所が水田の中から低木ではあるが、柿木、みかんの木のある中に移動させたことが主因と考えている。

時 間	風速 (m/ s)
2012 年 1 月	5. 47
2012 年 2 月	4. 78
2012 年 3 月	4. 25
2012 年 4 月	5. 17
2012 年 5 月	4. 70
2012 年 6 月	5. 03
2012 年 7 月	4. 60
2012 年 8 月	5. 56
2012 年 9 月	5. 19
2012 年 10 月	4. 6
2012 年 11 月	6. 45
2012 年 12 月	5. 25
平均	5. 1

表 4-1：2012 年度一年間の平均風速

5. 結論

本論文は世界で唯一の小型ダブルピッチ制御風車を設計、製作、改良して、性能に関する比較実験を行った。本実験は、2012 年で 4 年目になる。その間種々の風車の改良を行ってきた。各種の損傷・故障も多々経験している。

研究を行った結果、次のような結論を得た。

1. 改良型風車と旧型風車の C_p (出力係数) から見て旧型は 20%~30%程度、改良型結果では 20%~40%になった。
2. 改良型風車と旧型風車の発電量を比較すると改良型風車は同じ時間の範囲で 50Wh ぐらい多かった。
3. 風力発電のエネルギー源である風力と太陽光発電のエネルギー源である太陽光の安定性の季節による違いが発電量に明確に現れるので、夏場と冬場では役割が異なるが明らかになった。冬場は風力発電、風の弱い夏場は太陽光がすぐれている。
4. また、さらに風車を改良した結果、改良型風車は低風速でも回りがよくなった。

改良点について

1. 風車直径を 1.41m から 1.764m におおきくした。
2. 旧型風車は、発電機と風車が直結されている。改良型は、2 段軸にして、風車に対して、発電機が 1.37 倍の速さで回るように増速されている。

改良の理由

風車直径を大きくすることによって、風の持つエネルギーが沢山入ってくるようになった。その結果、低風速でも発電機がまわりやすくなった。

発電機は、500rpm で回ると 3kW に達する。改良前の風車では、風速が 20m/s から 25m/s でようやく 500rpm に達する。

これに対して、改良型風車では 2 段軸で発電機は風車の 1.37 倍で回転するようになっているので、発電機が 500rpm に達する時、風車は 350rpm で回転すればよい。風車の直径を大きくすることによって、風速が 15m/s から 18m/s で風車は 350rpm で回るようになった。

一般に風の比較的強いフィールドであっても、20m/s ~25m/s の風速にはあまりない。

15m/s ~18m/s の風は比較的よく吹いている。

従って、この風車実験場では、風車直径を大きくすると風の利用効率がよくなってくる。