

ダブルピッチ制御付小型3kw水平軸風車の実験的研究

(第2報 主にフィールド実験結果について)

Studies on 3kw small horizontal axis wind turbine with double pitch control mechanism (2nd report the result of field test)

清水幸丸・廖立江

SHIMIZU Yukimaru & Ryo Rikkou

Abstract: This paper describes the performance of 3kw small horizontal axis wind turbine (HAWT) with double pitch control mechanism. Small HAWT has the cost problems. Small HAWT becomes more high cost than one of large scale HAWT if the control mechanism as same as large scale HAWT is set to small scale HAWT. New developed double pitch control mechanism is set to this small HAWT and the field test is carried out for new small HAWT. The experimental results are explained in this paper. As the result, new low cost HAWT appears.

keyword: small horizontal axis wind turbine, double pitch control mechanism, field test results

1. はじめに

大型風車開発は、世界的に見て順調に進んでいる。現在、世界全体で設置容量は、2億kwに達している。これに対して、小型風車は、どうであろうか。小型風車を取り巻く世界の情勢は、変化の兆しを示している。欧米および中国では、“おもちゃ”の領域から脱して商品としての条件を満たす小型風車が求められている。日本においてもIECの国際標準規格を満たす風車がラベリングと称する方法で検討され始めている。2, 3社がこの基準をクリアしつつある。ドイツにおいては、2011年3月17日から20日まで、第2回小型風車世界サミット (the 2nd World Summit for small wind, WSSW2011) がドイツ北部Husum (フスム) で開催され、小型風車のoff-gridとon-gridの利用について議論された。同時に小型風車の見本市も開催されている。中国でも同様な小型風車専門の会議が開催されている。小型風車のマーケットが形成されており、約50万機の小型風車が活躍していると報告されている。

本研究で取り扱う小型風車の場合、制作コストの問題があり、受動式ピッチ制御装置を装着した安価で安全な風車にすることが必要である。同時に、発生した電力を系統連携するためのシステムが必要になってくる。著者らは、沖縄の離島津堅島において“トロピカル・フルーツ プロジェクト”の名前で小型風車を利用した小規模灌漑施設の開発研究を行ってきた。その結果、ある程度の成果も上げた。しかし、直径3m、最大出力3kwの水平軸風車としては、まだまだ改良の余地が有ることが判明している。また、都市部の人口密度の高い場所での使用には、一段の改良開発研究の必要性を実感している。すなわち、満足のいく性能と同様に安全性、似たような表現であるが、各種部材の強度の確認が必要である。

今回は、新たに三重県津市木造町に実験場を設け、改良した3kw水平軸風車を設置し、実験を行った。風車には、過去に筆者が発明した特許 (特許番号4104037号、パッシブ・アクチブ・ピッチ・フリップ機構と特許番号4649570号、風車のブレードピッチダブル制御機構) の2件が採用されて

いる。本研究では、これら特許の有効性を確かめることを一つの目的にしている。

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)
P	風圧	(kPa)
VI	発電力	(kVA)
D	ロータの直径	(m)
W	風速	(m/s)
WD	風向	(-)

3. 実験

3-1 実験場所及び実験装置

本実験は、図3-1に示す三重県津市木造町周辺のある田んぼの中で行った。そこは、海からわずか1.5キロほど離れており、海からの風が吹き込む。また、冬場には、青山高原上空を吹き抜けた風が強風となって吹き付ける。500m程離れた場所には雲出川がながれている。



図3-1 風車設置環境

3-1-1 実験装置全体図



図3-2 実験装置実景



図3-3 実験装置実景

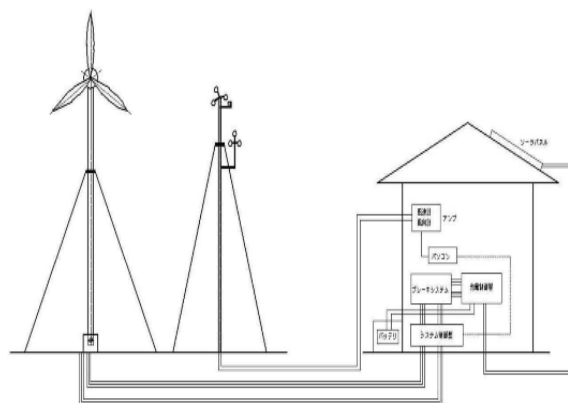


図3-4 実験装置全景概略図

図3-3には名古屋産業大学風車実験場の全景を示す。畑の中に小型水平軸風車、測定用風速計、測定装置を収納する小さい小屋がある。

図3-4 実験装置の概略図を示す。小型水平軸風車、風向、風速計、そこから得られたデータは、観測小屋内に設置されている各種計測機器、コントローラ、アンプに接続されている。それらのデータは、最終的にはパソコンに入力される。



写真 3-5 風車装置全景

写真 3-5 は本研究に用いた供試風車を示す。図 3-6 に供試風車の概略図を示す。地上から風車の回転軸までの高さは約 6.5m、風車の直径 3 m、ブレードの長さは 1.2m、最大出力は 3 kW。風車の支柱は 5 インチの鋼管からなり、周囲を 4 本のワイヤーで引っ張り固定されている。

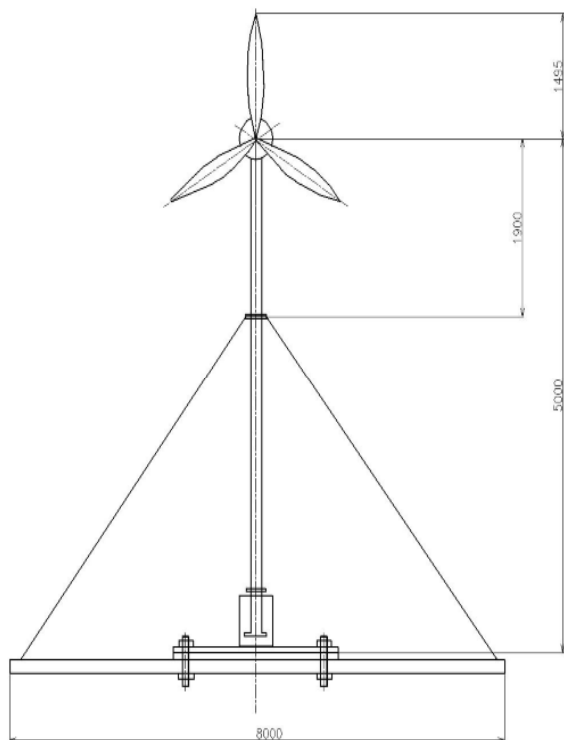


図 3-6 供試小型水平軸風車の概略図

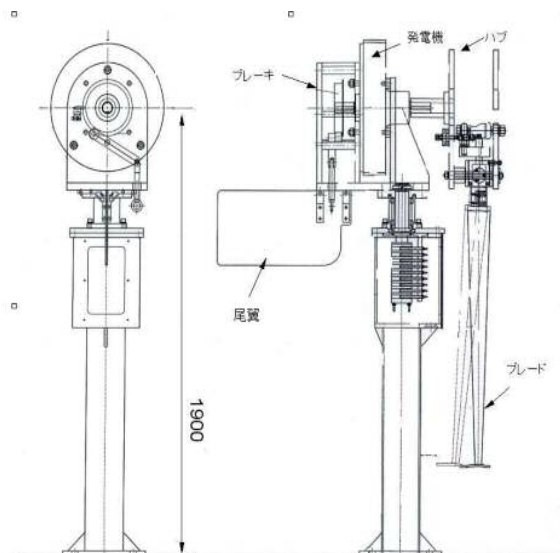


図 3-7 供試小型水平軸風車の上部詳細図

図 3-7 に供試風車上部の詳細図を示す。右からブレード、ハブ、軸受け、発電機、スリップリング、ブレーキ、尾翼である。尾翼は、スタート時のものは、方向追従性能が悪かったので、実験の途中で改造した。

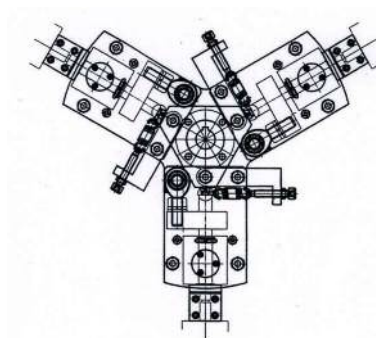


図 3-8 ハブの正面図

図 3-8 にハブの正面図を示す。ブレードはダブルピッチ機構を通じて、一対二本のバネで回転面に平行な方向とそれに直交する方向に引っ張られている。ブレードは停止状態では、3度程度に前方に傾いており、回転が始まると徐々に垂直になる、風速 12m/s---15m/s で後方に傾斜し始め、風速 17m/s---18m/s 程度になると後方にさらに傾き、ピッチ角がマイナスになり、失速状態になり、回転が低下する、この動きにより、それ以上の強風になっても風車は暴走回転しない。

さらに、台風など過大突風が吹くときには、もう

一つの安全運転方法を提案している。図3-9に示す風車支柱である。本体を90度近く倒すことができる風車で、台風の強風に耐えるのではなく台風時の強風を避ける新たな方法である。

図3-9には、可倒式風車支柱を示す。(a)図は正位置状態、すなわち、発電状態、(b)図は、台風襲来時、および風車を修理するときに支柱を倒した状態を示す。

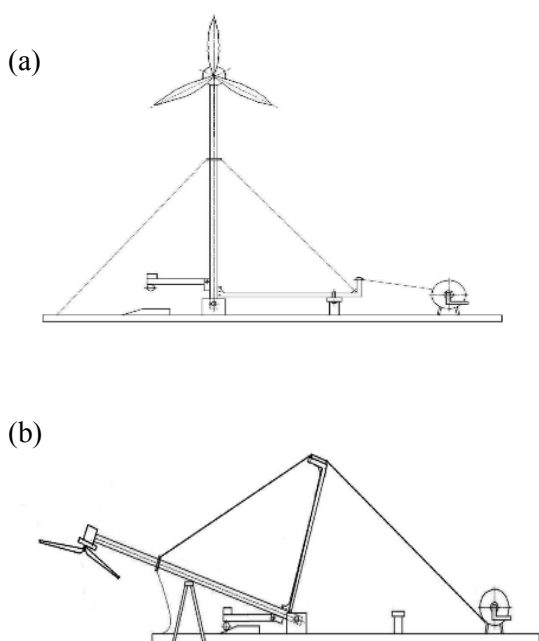


図3-9 可倒式風車支柱

(a) 正位置状態 (b) 風車支柱を倒した状態

3-1-2 ダブルピッチ制御風車について

ダブルピッチ制御機構とは、

1. 突風時において、ピッチ角が逆ピッチになることによって、失速制御が実現できる。図3-10に示す。
2. 過回転時において、遠心力の作用により前傾および回転中心からわずかに傾いたブレードが中心軸から半径方向の作用点に遠心力を受けてピッチ角が逆ピッチ方向に変化し、失速制御が実現できる。図3-11に示す。

風車が強風時過回転によって破壊することを防ぐために、回転数を抑えるための機構を備える必要がある。プロペラのピッチ角を変えることでプロペラ

に当たる風を調節する。風力発電は発電機的能力(定格出力)が限られているため、一定速度を超える風が吹いた時には、風車による出力(回転)を制御する必要がある。ピッチ制御はブレードの取り付け角度(ピッチ角)を大きくすると、ブレード周囲の空気の流速も変化し、揚力が減少する。

ピッチ制御は風速・発電機出力を検知し、ピッチ角を変化させることで、揚力をコントロールし、風車の回転を制御する。通常、ピッチ制御は弱風時の効率向上、強風時の効率低下により出力制御を行うが、台風等の強風時にはピッチ角を風向に平行にして、ロータを停止させ風圧を小さくする機能や、過回転防止等の安全・制動装置としても用いられる。

ダブルピッチ制御ではブレードがスタート時、前傾している。ブレード軸は回転可能で、流体力で前傾していたブレードが起立して行く。軸端のレバーに取り付けられたスプリングによって、引っ張られて、回転する。これが逆ピッチ運動になる。プラスピッチ→0ピッチ→逆ピッチのように変化する。

0ピッチになる時、最高出力になる。逆ピッチになると、ブレードには失速が生じ、出力が低下し、ブレーキング状態になる。

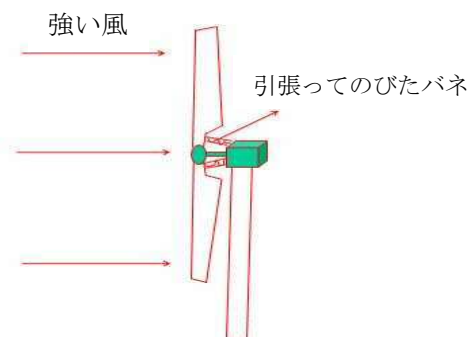
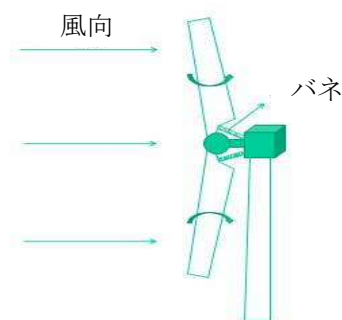


図3-10

ピッチ角変化：プラスピッチ→0ピッチ→逆ピッチ

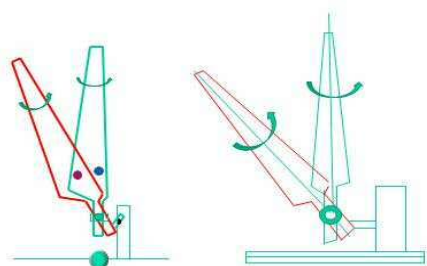


図 3-11

中心軸から半径方向の作用点に遠心力を受けてブレードが直立する。その際、ピッチ角が逆ピッチ方向に変化する

3-1-3 発電電気系統の説明

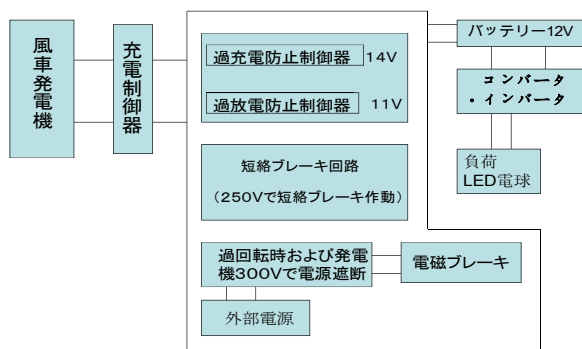


図 3-12

発電機から負荷ブレーキシステムのブロック線図

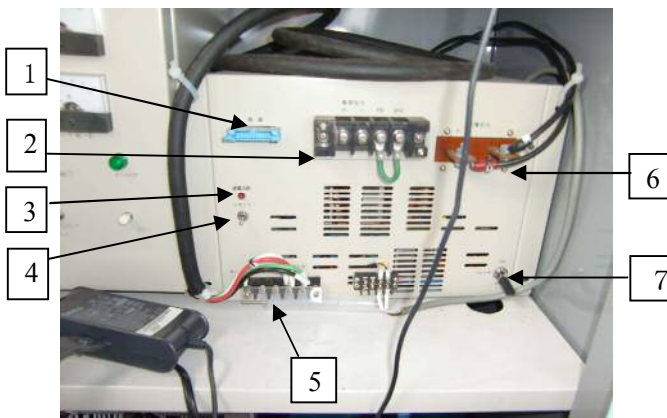
ブレーキは短絡ブレーキと電磁ブレーキ 2 種類が装備されている。短絡ブレーキは、または電磁ブレーキは過回転になった場合、自動的に作動するようになっている。負荷として、LED 電球とバッテリーを用いて、それぞれの測定を行った。

流入風速から発電機出力までの伝達特性と、ピッチ角から発電機出力までの伝達特性をモデル化し、計測した流入風速に対し、発電機出力を定格出力に制御するために必要なピッチ角を算出してフィードフォワードすることにより風車の動特性を補償して、風車発電機出力の変動を抑制する、フィードフォワード制御を用いたピッチ角制御方法が開示されている。

しかし、開示手法では、風力発電システムにおけるパラメータ変化の影響や、風力発電設備で発生するウィンドシェアの効果を考慮していない。したがって、パラメータの変動やウィンドシェアの発生により制御特性が変化して効果的な出力調整ができず出力が不安定になったりする場合がある。

また、風力発電機は非線形性が強いいため直接にモデル化すると、極めて高次の式が必要になり、オンライン制御を実行するためには演算負荷が過大となり実用性が未だ十分ではない。

充電制御器の仕様



- | | |
|-------------|---|
| 1. 制御コネクタ | 制御部を接続するとき使用する。 |
| 2. 負荷出力端子台 | 負荷機器の接続用ですが、今はバッテリーに直接負荷機器を接続している。 |
| 3. 過電流断 | 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 ON にする。 |
| 5. 入力端子台 | 太陽光パネルと風力発電機を接続する端子台。定格 200W までの太陽光パネルを接続できる。 |
| 6. 充電出力端子 | バッテリーを接続する端子。 |
| 7. ブレーキスイッチ | このスイッチを ON にすると発電出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強風の時などに ON する。 |

発電機電圧確立時及び確立後の制御の安定化を図ると共に、オーバーシュート・アンダーシュートを防止すること。

発電機電圧が設定電圧以上になるまで、切換スイッチは手動側に切換えて制御する際に、界磁電流設定器の設定値を変更し、界磁電流を目標値まで、設定時間にて直線的に増加させる。このために、次のような制御を行う。界磁電流増加変更処理部を設け、この処理部は、内部自動演算処理部とスイッチから構成される。内部自動演算処理部は、界磁電流設定器の設定値に時間当たりの増加分を加算処理し、この加算処理した値と界磁電流 I との偏差を制御して、D/A変換器を介してIGBT制御部からなる励磁装置に供給する。発電機電圧が確立したなら、切換スイッチを自動側に切換えて、制御にて行う。

3-1-3-1 電球負荷を用いた実験(手動実験)



3-13 電球負荷を用いた実景図

図3-13に電球負荷実験装置を示す。これは本小型水平軸風車の電気システム初期の実験である。図の左側は100Wの電球30個を並べた状態で、その目的は風車の発電量、電流、電圧をチェックすることである。図の右側は風車のブレーキ制御システムと電気制御システムをチェックするコントローラである。その電球負荷と電気制御、ブレーキ制御の間に電力のコントロールスイッチを設置しており、負荷としては、300W、1000Wと2000W、3000Wを設定している。そして、電気制御システムのところにコントロールスイッチボタンを繋がっている。この実験の段階では、風車の全運転範囲をフォローしていない、その理由は風力発電装置のデータ処理系が未完成のため、風速データの並列記録が出来なかったためである。したがって、実験では目読値を使用した。実験は20m/sの強風時には行われず、最大風速で13m/s程度の範囲で行われた。

3-1-3-1 バッテリーを用いた場合(自動連続計測実験)

蓄電池への充電や放電を制御し、不安定な自然エネルギー発電の出力安定化などの取り組みを行った。ハイブリッドシステムは「日が差さなければ風が吹く」という認識に基づいており、本当に風力と太陽光が相補的に機能するとは限らない。この相補性は各地域の気象によって差があると思われる。

計測されたバッテリーへの風力と太陽光の充電電流より、自然エネルギーの発電は非常に不安定であることが分かる。それゆえ、一度バッテリーに充電させ、電圧レベルを安定化し、それから電力を得ることにより、システム全体を安定して稼動することが出来る。また、バッテリーの蓄電残量を把握し、バッテリー電圧が一定以下に低下した場合は、負荷への放電を停止するシステムを構築する必要がある。

ソーラーパネルモジュール仕様

シャープ(株)製			
	出力(W)	開放電流(A)	最大出力電圧(V)
ND-153AU	153.00W	8.21A	20.30V
外形寸法			
幅(mm)	奥行(mm)	高さ(mm)	質量(kg)
1165mm	990mm	46mm	14.5kg

3-2 実験方法

3-2-1 電球負荷を用いて、手動実験を行う場合

電球負荷を用いて、手動実験を行う場合には、電球負荷を100w、200w、300w、1000w、2000をよび3000wにそれぞれ変えて、一連の測定をおこなった。

3-2-1

バッテリーを用いた、連続自動測定方法の開発

電球負荷をバッテリー負荷に取り換え、安定的な充電、放電システムを立ち上げて、発電データを連

続自動測定することである。

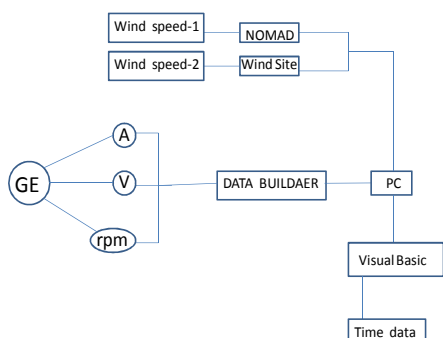


図: 運転記録データベース

データの記録は1分間隔で開始したが、その後1秒間隔に変更した。取得データはキーエンス社の操作ソフト DATA BUILDER を使い処理をおこなった。電流、電圧、電力、回転数のデータをグラフおよび数表で表現することができる。またデータを Excel などの数表ソフトへエクスポートすることも容易におこなえる。

4. 実験結果と考察

4-1 手動で実験を行った場合の結果

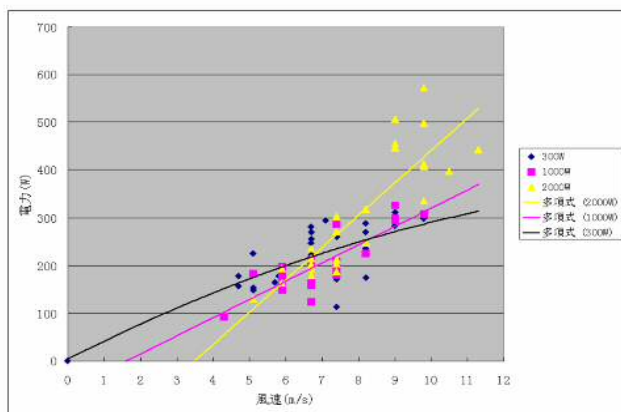


図 4-1

発電機出力と風速の関係：初期バネ力 10mm 引張

図 4-1 には、発電機出力と風速の関係を示す。風速 10 m/s で最大値は 580 W に達している。低風速側では、2 m/s から風車の回転が見られ、数 W の電力が得られる。

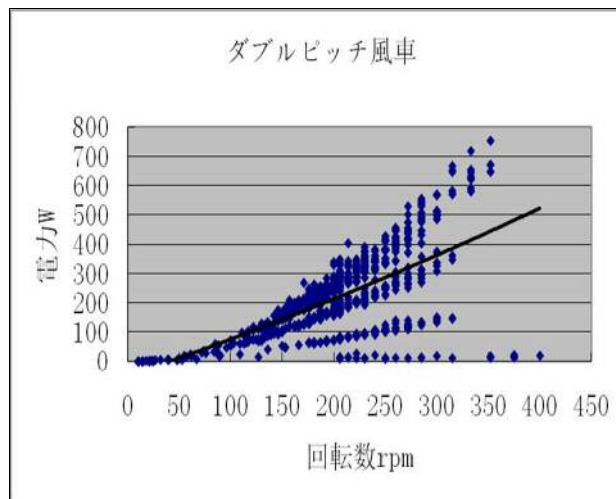


図 4-2

発電機出力と風車の回転数の関係:初期バネ力 10mm 引張

図 4-2 には、発電機出力と風車の回転数の関係を示す。最大回転数は 400rpm 達している。この回転数では出力が零に近いが、その理由は次のように説明される。350rpm で最大値 750W 達している。この時、ピッチ制御機構が作動し始め一瞬無負荷運転状態になり、出力は零に近くなる。回転数が 300rpm 程度では、平均出力は 350W 程度である。

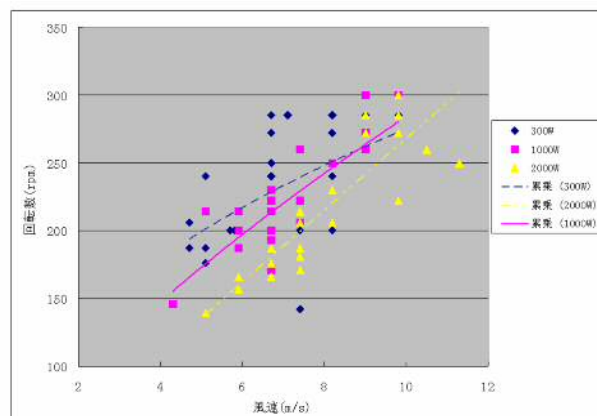


図 4-3

風速と風車の回転数の関係：初期バネ力 10mm 引張

図 4-3 には、風速と風車の回転数の関係を示す。初期バネ力 10mm 引張である。風速 10m/s の時に 300 rpm に達している。風速 10 m/s 程度では最大 300 rpm になる。風速 8m/s 程度では平均 250rpm になり、5m/s 程度では、平均 100rpm である。2~3m/s では、平均 10rpm 程度である。

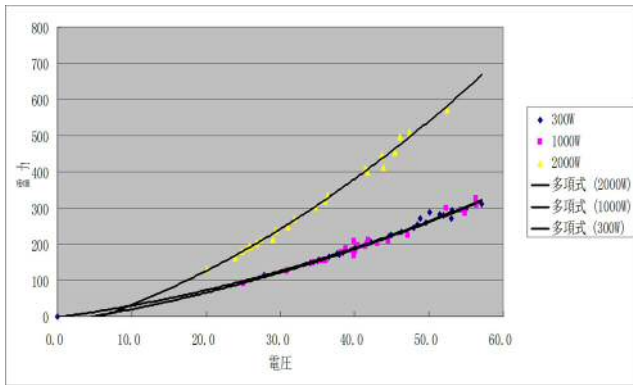


図4-4 発生電力と電圧の関係:初期バネ力10mm引張

図4-4には、発生電力と電圧の関係を示す。発電の場合、発電電力負荷によって、電力の発生状態が異なってくる。今回の実験では電力負荷として100W電球を用いた。負荷は電球3個300W、電球10個1000W、電球20個2000Wと変化させた。電球20個負荷2000Wと電球10個1000W、電球3個300W負荷では傾向は、図のごとく異なってくる。

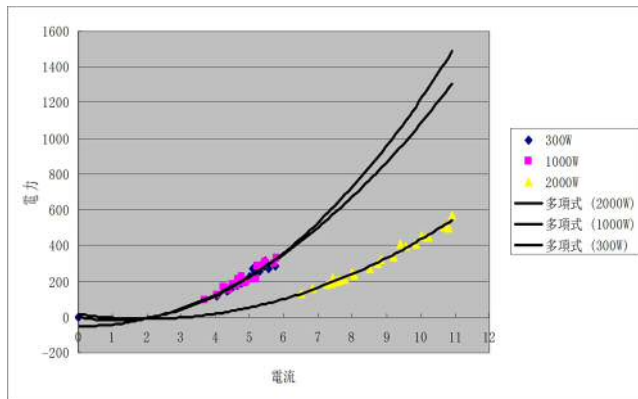


図4-5

発生電力と電流の関係:初期バネ力10mm引張

図4-5には、電力と電流の関係を示す。

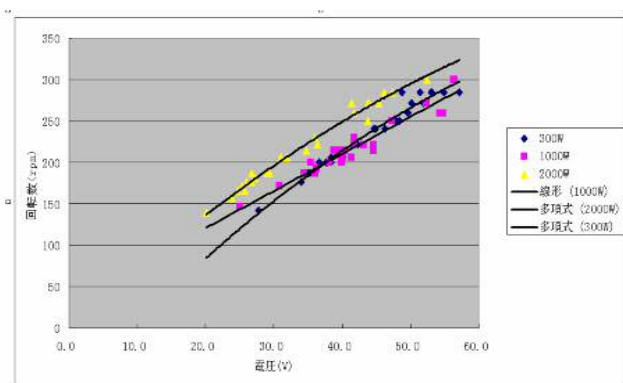


図4-6

発電機回転数と電圧の関係:初期バネ力10mm引張

図4-6には、発電機回転数と電圧の関係を示す。負荷変化の条件は、図4-5の場合と同一である。図4-7には、回転数と電流の関係を示す。回転数と電圧に対する負荷変化の影響はあまり大きくないが、回転数と電流の関係には、負荷変化の影響極めて大きくなる。すなわち、負荷変化に対する電圧変化は余り大きくないが、負荷による電流の変化は顕著になることを明記したい。

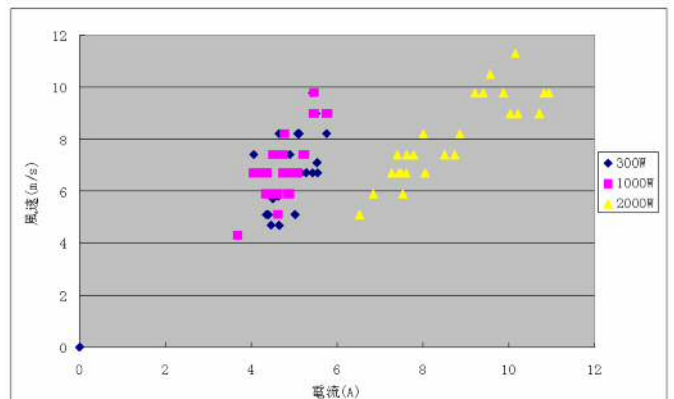


図4-7 風速と電流の関係:初期バネ力10mm引張

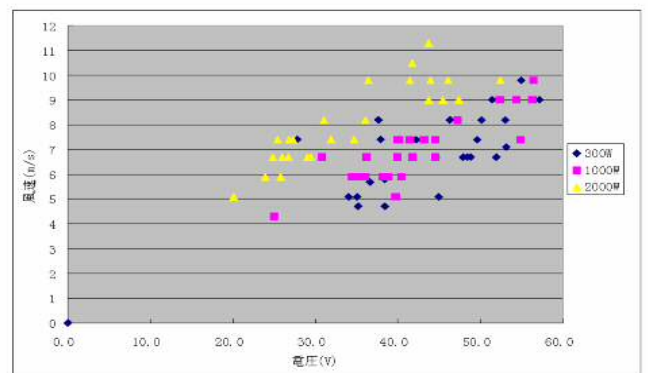


図4-8 風速と電圧の関係:初期バネ力10mm引張

図4-8には、発電機負荷の変化と風速と電圧の関係を示す。電圧に対する風速の影響は、小さい300W負荷では、大きい負荷1000W、2000W、負荷の場合より小さく電流変動幅は300Wと小さいと大きくなる。

4-2 連続・自動測定の結果

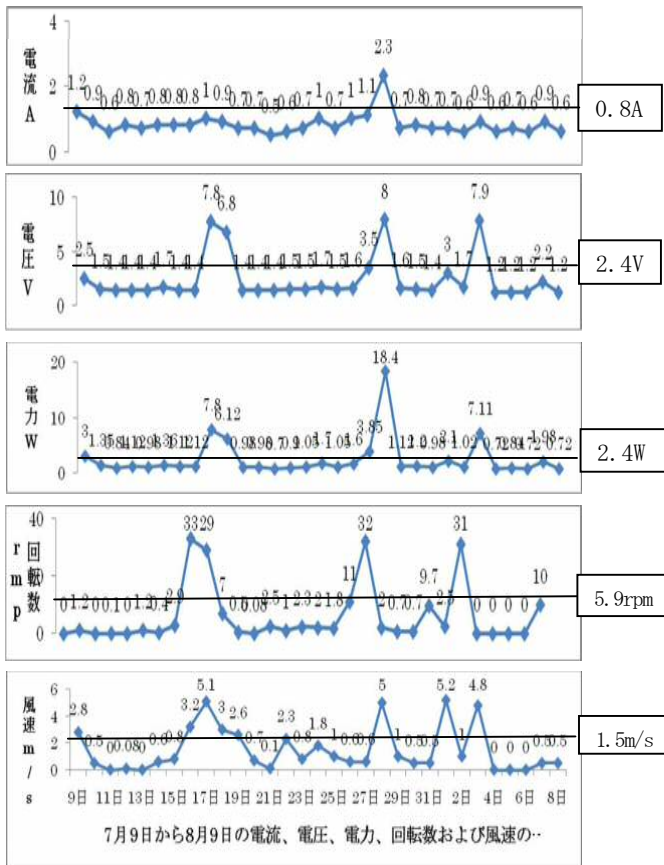


図 4-2-1

7月9日から8月8日までの1カ月間の電流A、電圧V、電力W、風車回転数rpm、風速m/sの変化、1日平均値で表示する。

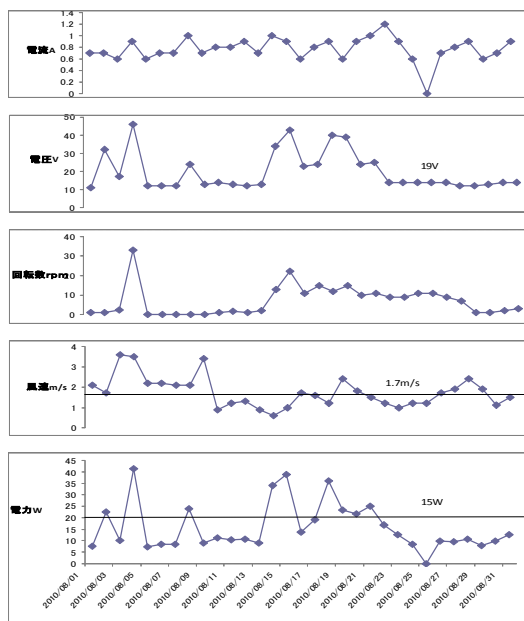


図 4-2-2

8月1日から8月31日まで8月の電流、電圧、電力、回転数、および風速の平均変化、1日平均値表示

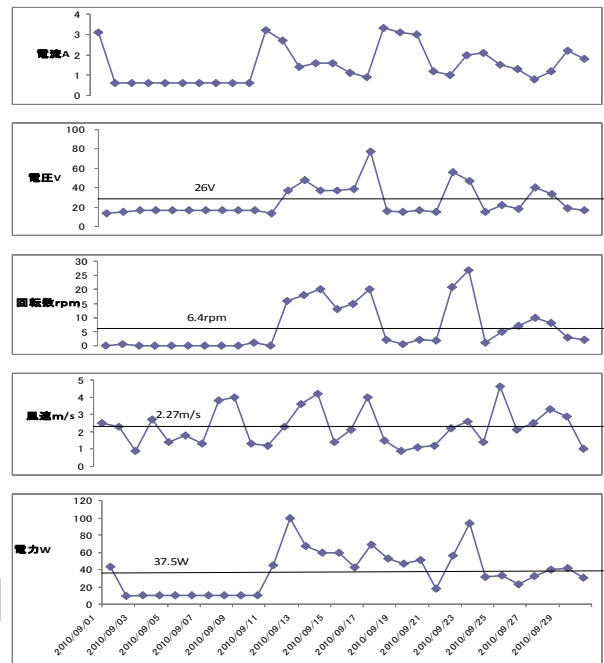


図 4-2-3

9月1日から9月3日まで9月の電流、電圧、電力、回転数、および風速の平均変化、1日平均値表示

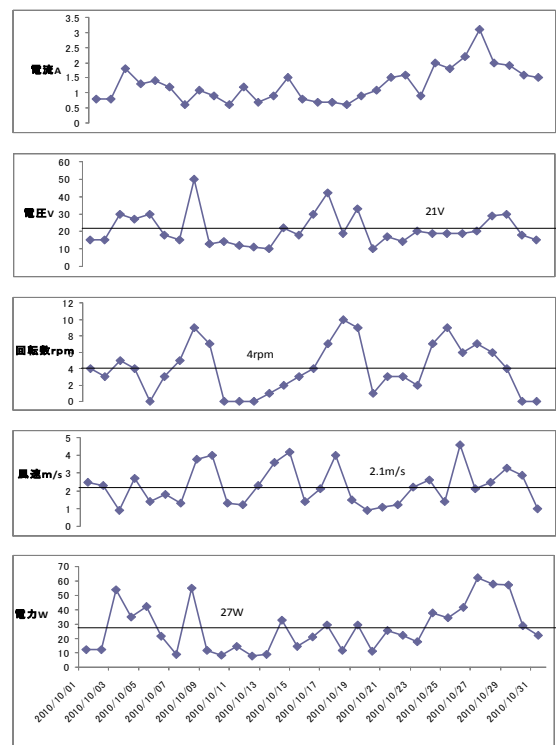


図 4-2-4

10月1日から10月31日まで10月の電流、電圧、電力、回転数、および風速の平均変化、1日平均値表示

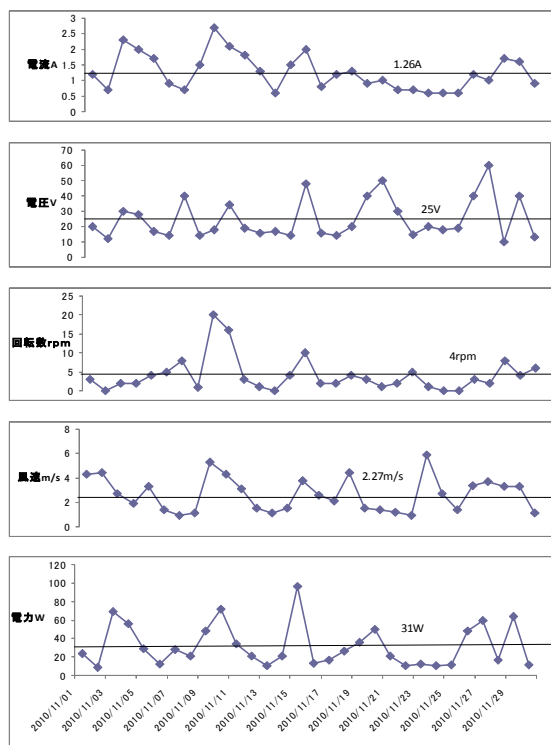


図 4-2-5

11月1日から11月29日まで10月の電流、電圧、電力、回転数、および風速の平均変化、1日平均値表示

この節では、発電電力を充電制御器を用いてバッテリー(12V 65Ah)1個に連続充電する実験結果の考察を行う。実験では、バッテリーに充電された電力を市販の簡易インバータをとうして、LED電灯8wに接続し、放電を行った。LED電灯の点灯時間は、タイマーで調節した。なお、この実験は100w電球30個を用いて、手動、目視データ読み取り実験に引きつづき、自動計測と計測値の自動連続パソコン入力手法が完成して行われた。6月から自動計測パソコン入力が行われたが、残念ながらこの時期風がなく、しかも連日降雨のため、バッテリーが過放電状態になり、電圧が4V以下になり、システムが稼働できない状態に追い込まれた。そのたびに、充電器を用いてバッテリーチャージして電圧を回復させた。これでは、実験が進められないので、150wの小さいソーラパネルを購入し、充電制御器のソーラパネル端子を利用し、わずかながらバッテリーへの充電を行った。これが功を奏して、その後7月、8月、9月、10月、11月、12月と順調に連続運転実験を行う事が出来た。

図4-2-1には、7月9日から8月8日までの

1か月間の電流A、電圧V電力w、風車回転数rpm、風速m/sの1日平均値を示す。データは、風速は2秒間隔、その他のデータは、1秒間隔でサンプリングされているが、この図での表示では、エクセルを用いて1日平均値を求め、表示してある。なお、図中の実線は、1か月平均値を示す。その値は右端に枠で囲って示した。7月の発電結果を見ると1か月平均風速は1.5m/s、風車回転数5.9rpm、電力2.4w、電圧2.4V、電流0.8Aになる。平均的に見れば、ほぼ無風に近い状態である。

図4-2-2には、8月1日から8月31日まで1か月間の風速m/s、電力w、平均回転数rpm、電圧V、電流A、を示す。7月とほぼ同程度であるが、風速が少し上昇した分、電力も15wと少し上昇している。

図4-2-3には、9月1日から9月30日までの1か月間の値を示す。このシーズンには、台風が現れる。この年は、本土直撃の台風はこなかったが、それでも季節の変わり目で、平均風速2.27m/sと8月に比べて0.57m/s上昇し、電力量も37.5wまで上昇している。この37.5wという値は、実用上意味があるかといえ、意味があるといえる。揚程20m、200wの揚水ポンプを1日2時間駆動して灌漑が可能な値である。

図4-2-4には、10月1か月間の平均値を示す。9月より平均風速は、やや減少し、2.1m/s、電力27wになる。まだ、20wを越えているので、200wの揚水ポンプを1日1時間程度駆動が可能である。10月という月は、5月と並んで、日本列島では大きな季節の変わり目で、風の種類が変わるシーズンである。風の種類とは、冬場の風は、シベリア大陸の高気圧による冷たく強い風であり、6月から9月の風は、太平洋高気圧によるあまり強くないが、温かい、最近では暑い風である。この中に台風も混ざってくる。5月、10月という月は、風が弱いので、渡り鳥の移動に都合がよく鳥の移動が多い月である。

図4-2-5には、11月、1か月間の平均値を示す。10月より風が強くなり、9月と同程度であるが、1日ごとの値を比較すると、9月より高くなる。電力を平均31wになり、1時間半の運転が可能になる。

12月のデータは、修士論文の締め切りが12月末という理由から、本報告には採用できなかった。データは取得されているので、つぎに機会に述べる

ことにする。

図4-2-1、図4-2-2、図4-2-3、図4-2-4、図4-2-5には2010年7月、8月、9月、10月、11月各1カ月間の1日平均風速 m/s、回転数 rpm、電力 W、電圧 V、電流 A の値を示す。再度述べるが、値は、1日平均値である。7月1カ月の平均風速は、1.2m/月で、平均電力は10W程度、8月平均風速1.7m/日で、平均電力15W/日、9月平均風速2.27m/日、電力は37.5W/日、10月平均風速2.1m/日で平均電力27W/日、11月平均風速2.7m/日で平均電力31W/月にてである。

この時期は、風速は弱く、風車の起動風速が3.5m/s前後であるから、停止したままの状態が相当続くことがわかる。11月になるとやや風が強くなり、1日平均で100W/日を越える日も出現する。7月—10月までは、9月の台風接近時を除いて、100W/日を越える日はない。9月には2日程度100W/日に迫る日が出現している。

この時期には、太陽光発電は極めて重要になる。本実験においては、6月まで、風車みの発電に依存したため、梅雨時の湿気と連続無風状態(3m/s以下の日が続く)のため、バッテリー(12ボルト65Ah)が小さすぎて、バッテリーが4ボルト程度まで降圧してしまい、システム全体の発電機能が失れた。この問題を解決するため、150Wという小さいソーラパネルを小屋に設置して、ハイブリッドシステムを構築した。その結果、7月—8月の月平均15Wと30Wという低レベルの風車発電ですら、バッテリーの11ボルト以下の降圧がなくなり、システム全体の破壊を防ぐことができた。その結果、風車が長時間停止した状態でも、平均値の測定が可能になった。小規模風車発電では、システムの安定化を計るため、小さいソーラパネルを併置して、ハイブリッドシステムを構築しておく、有効であることがわかった。

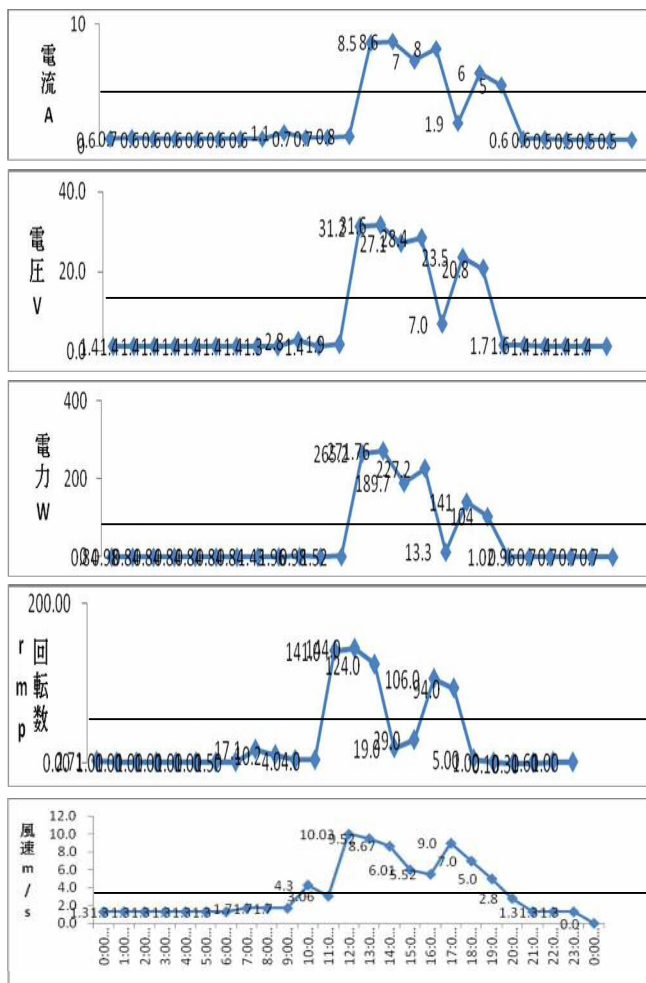


図4-2-6

図4-2-6には、8月3日1時間平均風速が10m/sが出現した場合の1時間平均値、風速 m/hour、回転数 rpm/h、電力 W/h、電圧、電流値を示す。1時間平均風速10m/sというのは、最大値17,18m/sから5m/sの範囲で変化する風速になると推定されるが、出力は約260W程度とあまり上がっていない。この現象は、突風に対して、ピッチ・フラップ機構が瞬時に作動して、出力上昇、回転数上昇が、押さえられた結果と推定される。

風車の性能評価

一般的に風車の性能を評価する場合、パワー係数、周速比、ソリディティなどの特性係数を利用して性能評価して。パワー係数とは風車の受風面積から得られる風のパワーを基準にして、風車から取り出せるパワーとの割合を示す。実際の風車では揚力形の高性能プロペラ型大型風車で0.4、抗力形のサボニウス風車では0.15程度である。

風速(秒速)を V [m/s]、翼の受風面積を A [m²]、空気密度を ρ [kg/m³]、風車のパワー係数を C_p とすると、風車から得られるパワー P [W]は

$$P = C_p \cdot (1/2) \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

という計算式で求められる。ベッツの法則では風から取り出せるパワー係数 C_p は最大で16/27(ベッツ係数)になる。風の持っているパワーの0.593までは理論的には取り出せることを示している。 C_p が大きくなるほど風車の発電出力性能が高いと言える。上記の計算式から風車のパワーは受風面積と風速の3乗に比例することがわかる。

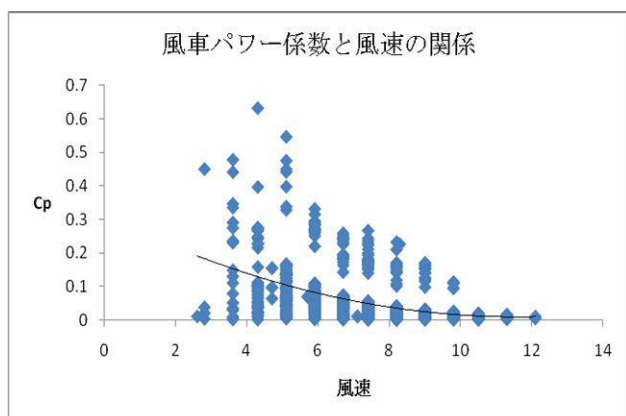


図4-3

図4-3には、現在行っているダブルピッチ制御小型水平軸風車のパワー係数 C_p と風速m/sの関係を示す。この実験では、ダブルピッチに使用されるバネ力は、比較的小さい値で作動する状態で設定されている。図の平均値は、ビンメソッドという方法で求めている。すなわち、例えば4m/s—5m/sの間の値の風速値にたいする電力値を全てプラスして、それをデータ個数で除することによって、4.5m/sの平均出力値として、この値より C_p 値を求めるという方法である。図4-3の結果より、風速が弱く、バネ力が充分作用している場合は、 C_p 値は0.1—0.5の範囲を示しており、性能は悪くないものと推定している。これについては、今後の実験でバネ力を変えて、数種類の実験が必要と思われる。風速が大きくなるとバネ力不足でブレーキ作用が顕著になり、性能が低下(C_p 値が低下)していることがよく判る。

4-4 太陽光発電とのハイブリッドによる発電システムの安定化について

自然エネルギー発電は、気まぐれな自然をパートナーとするので、特性の異なった発電機を複数組み合

わせることで、偏った発電特性を平均化できるメリットがある。1日単位では、日中は太陽光+風力両方を利用できるが、当然夜間は風力だけの利用になる。1年単位では日射量が多く得られる春から秋にかけては太陽光発電が活躍し、日射量が不足しがちで平均風速が大きくなる冬季間は風力発電が活躍するなど、相互の特性を補い合うことができる。

三重県実験現場で、七月、八月、九月の夏場データについて、単に風力発電だけで、バッテリーに充電したら、風力は不安定なので、充電量がすぐ減ってしまう。こんなことになったら、システムが壊れる可能性がある。小さいソーラーパネルを導入するとシステムにチャージができる。バッテリーがいっぱいになったら、また8WのLEDで放電する安定的なシステムを支える。

そして、鉛蓄電池は放電深さが浅いと寿命が伸びる。風力発電機だけでは発電量がぎりぎり、蓄電池が放電気味になるようなケースでは、太陽光発電を加えると蓄電池を満充電状態にリカバリすることができ、蓄電池の長寿命化に寄与する。

4-5 太陽光発電とのハイブリッドシステムによる連続発電の結果

風力と太陽光ハイブリッド発電システムを構築し、その発電、充電、放電特性を持つ計測システムで実験を行った。

安定な発電システムを作る、これは最大の結果と思います。バッテリーの安定電圧は12Vである、太陽電池からの電力をバッテリーに蓄え、コントローラで負荷に電力を供給するシステムである。風車で発電した電力はコントローラを通じてバッテリーに充電します。コントローラは、バッテリーの電圧を監視し、風力発電からの過充電を防ぐとともに、負荷へ放電しすぎないようにする。

5. 結言

世界で唯一の小型ダブルピッチ制御風車を設計、製作し、性能に関する実験的研究を行った結果、次のような結論を得た。

1. ダブルピッチ制御機構の失速制御原理が十分作動することが明らかになった。
2. 風力発電機の適正負荷 風力発電機につなぐ負荷抵抗を変えてみると、最も大きな電力が得られる抵抗値があることが明らかになった。
3. 風力発電のエネルギー源である風と太陽光発電

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。

4. 負荷を稼働させる場合、バッテリー電圧などから、バッテリー蓄電残量を考慮して使用するなど、バッテリーに負担のかからない使用が重要であることが明らかになった。

参考文献

1. 清水幸丸、風力発電技術、パワー社、1999
2. 清水幸丸、風力発電入門、パワー社、2005
3. 牛山 泉、風車工学入門、2002
4. 牛山 泉、風力発電の本、日刊工業新聞社、2010
5. 金網 均他 1 名、風力発電機製作、パワー社、2008
6. 濱川圭弘、太陽光発電、シーエムシー社、2000