

ダブルピッチ制御機構が搭載された小型水平軸風車 (直径 3m、最大出力 3 kW)の開発研究

Studies on small horizontal axis wind turbine with Double pitch mechanism

清水幸丸・廖 立江

SHIMIZU Yukimaru & RYO Rikko*

*名古屋産業大学大学院環境マネジメント研究科 Nagoya Industrial University graduate school environment management graduate course

Abstract: 本報告は、ダブルピッチ制御機構付小型水平軸風車試作機に関する性能評価の中間報告である。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。
 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。
- 以上の2点をそなえた、耐強風性能の高い小型水平軸風車に関する実験結果を述べている。実験はまだ半分である。

This paper describes the performance test for small horizontal axis wind turbine with special double pitches mechanisms. But the experimental result is a half because the experiment is going to be done now. Double pitches mechanisms will be described as the following.

1. When the blades of small horizontal axis wind turbine is attacked by the gust wind, the blade is a little declined to downstream side and the pitch angle of blade is reversibly changed and the stall is happened on the blade surface. As the result, the rotor of wind turbine loses the rotating torque.
2. When the rotor of wind turbine rotates to excessive speed, the centrifugal force operates to the gravity center of blade and the pitch of blade is changed to the direction of reversible pitch angle. As the result, the stall is happened on the blade surface and the torque of the rotor is lost. The excessive rotation speed is saved.

Keywords: HAWT, Double pitch mechanism, Test of performance, save of excessive rotation speed

1. まえがき

本報告では、清水等によって発明された2つの特許（特許第 4104037 および特願 2008-314822）を基に設計製作されたダブルピッチ制御機構小型水平軸風車について述べる。ダブルピッチ制御機構とは、次のように説明される。

- 1) 突風時において受風面積が増大し、ピッチ角が逆ピッチになることによる失速制御が実現できる。
- 2) 過回転時においては、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。

それらの失速制御運動は、風速・風圧の増大に応じて前後方向、および回転方向への独立な運動、あるいは、それらが錬成された運動を行うことも可能とする。この機構をダブルピッチ失速制御機構と呼ぶ。以上の能力を持つ小型水平軸風車である。

現在の水平軸風車は、大型化が進み、世界の主力機は 2千 kW、直径 80m、ハブ高さ 80m であり、さらに試作機としては、6000kW 機や 9000kW が出現している。その結果風力による電力供給は、1億 6000 万 kW 近くに達している。機器類の品質改善が進み、

風車発電装置の信頼性も著しく向上している。一方小型風車（数百ワットから 10kW 程度）の進歩は期待程でなく、信頼性も低い。この主な理由の一つは、小型風車供給電力量が小さく、現代社会が要求する発電量に対応しきれていないことである。また、研究開発もアマチュアの域を脱しえず、本格的な研究が少ない。この点を十分考慮し、筆者等は、直径 3m、最大出力 3kW 水平軸風車を開発することにチャレンジしている。

小型の中でもマイクロ風車と言われるものは、数百ワットから 1kW 程度であり、平均出力は、定格出力の 1/5 から 1/8 程度と極めて小さい。従って、風車の経済性と一台の風車が社会に貢献する割合は低い。現在太陽光発電が普及し始めており、一般家庭に設置されている大きなものは 3kW 程度である。この電力も 48 円/1kW で購入すると、10 年程で投資資金が回収されるとのことで人気を呼んでおり、世界中で普及が進んでいる。風車と太陽光発電を比較すると、平均風速 4m/s で 1 m²の面積から得られる風車の電力は、1 m²から得られる太陽光発電とほぼ等しいと言われているので、4m/s 以上の風が吹く場所であれば、小型風車も太陽光発電と同程度あるいはそれ以上の電力供給が期待される。

さらに風車の場合、昼夜に関係なく発電される。また、太陽光では照ったり、曇ったりによって、発電量がシャープに変化するのに対して、回転する風車は、慣性力があるため、発電量の変化が緩和されて、ゆるやかになる利点がある。小型風車の難点は、背が低く、地上より 10m 前後で回される。地上 10m での風は、地面や地表構造物の影響で風が大変乱れている。このため、出力変動が大きい。大型風車では、地上高さ 50m 以上の風を利用するので相対的に風の乱れが少なく、比較的安定した風速が得られる。

小型風車の安全性は、大型風車のように十分な大きさの安全率にすることが難しい。理由は、小型故に安全率を大きくしていくと重量が増し、低風速で回りにくくなる。小型風車も風速 2~3m/s から発電回転が求められるので、ブレードを軽量化する必要がある。軽量化と安全率の関係を十分にするためには、ブレード材質の高強度、軽量化が必要になる。安全率が低下する分を別の機構を用いてカバーする必要がある。風の利用範囲も 2~3m/s から 30m/s 前後まで対応が求められる。小型風車に求められる性能は、軽量で低風速から回って、強風で壊されないような高強度材質のブレードをそなえていることで

ある。

2. 実験装置および方法

図 1 には、今回試作した小型水平軸風車の全体写真を示す。図 2 は概略寸法図を示す。風車直径は、2.99m (約 3m)、最大高さ約 6.5m、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 1 小型水平軸風車

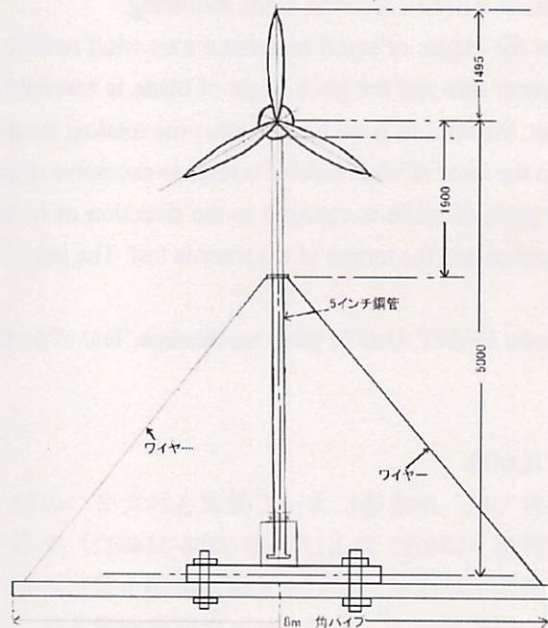


図 2 供試小型水平軸風車の概略図

図 3 には、風車ナセル部の詳細図を示す。図左は正面図、図右は断面図を示す。図右において、左側から尾翼、ブレーキ、発電機、ハブ、ブレード、スリップリング、支柱上部が示されている。

図 4 にはハブの正面図を示す。ブレードは、ダブ

ルピッチ機構を通して、一對 2 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、停止時は、3 度程度前方に傾いており、回転が始まると徐々に垂直になる。風速 12m/s ~ 13m/s で垂直になり、それより強風になると後方に傾斜し始め、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。この働きにより、それ以上の強風になっても風車は暴走回転しない。

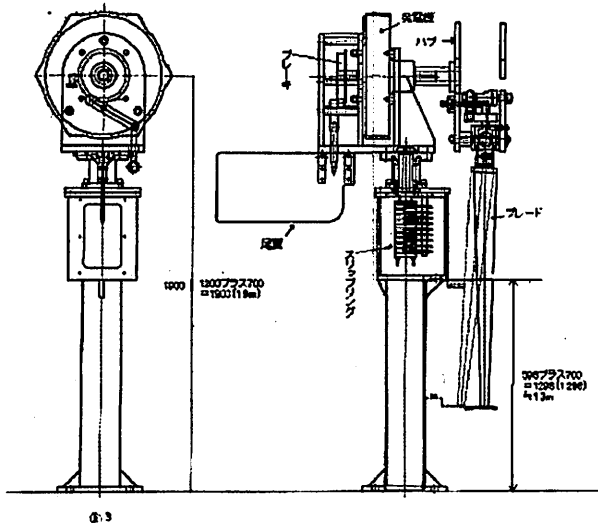


図3 小型水平軸風車詳細図

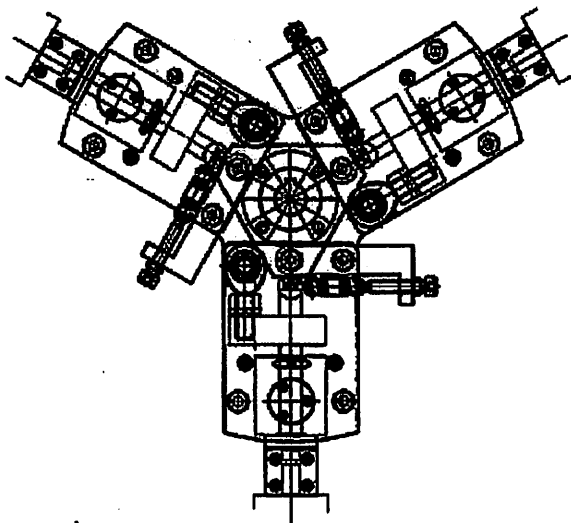


図4 ハブの正面図

図5には、実験に使用した風車ブレードの断面図を示す。全長 1.2m で、翼断面は、NACA623-215 から始まりブレード付根の厚翼断面まで 4 種類の翼断面形状が組合されて使用されている。ブレード端には、三重ベーンが取り付けられており、全体として世界

のトップを行く性能のブレードである。

図6には、発電機から LED 電球負荷までのブロック線図を示す。風車発電機 (0V から 300V まで回転数に応じて電圧上昇し、250V で 3kW に達する)、充電制御機をへて 12V のバッテリーに充電される。バッテリーには、過充電防止制御器 (14V で作動)、過放電防止制御器 (11V で作動) が設置され、バッテリー保護のため 11V から 14V の範囲でバッテリーが守られている。バッテリー電力は負荷として用いられている LED 電球に供給され、11V から 14V の範囲で作動している。電気ブレーキシステムとして、250V に達すると短絡ブレーキ回路が作動し、その 3 秒後あるいは 300V に達すると電磁ブレーキが作動する。この電磁ブレーキは、25W 程度の電力を流すと開き、ノーブレーキ状態になり、無電流状態でブレーキが作動するタイプである。

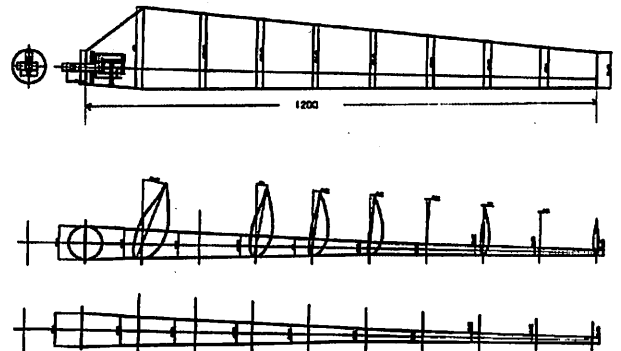


図5 供試風車ブレード断面図

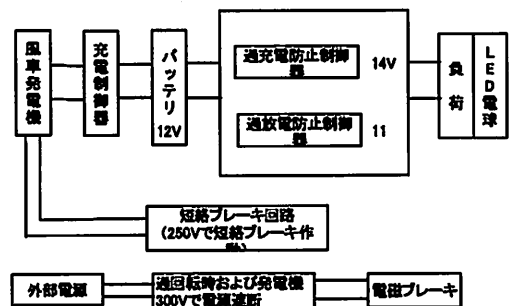


図6 発電機から負荷およびブレーキシステムのブロック線図、ブレーキは 2 種類
1. 短絡ブレーキ、2. 電磁ブレーキ

3. 実験結果と考察

実験結果を考察するに当たり、あらかじめことわっておく事項がある。今回の報告書に取り上げる実験データは、本小型水平軸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、風速データが自動並列記録

できず、目読値を使っていること。従って、人力で測定を行っているので、20m/s 前後の強風時に測定が行われず、最大風速で 13m/s 程度の範囲である。

さらに、もう一つ重要ポイントは、本風車は、ダブルピッチ機構をそなえているが、そのピッチ機構の機能チェックを行っている段階の実験結果であること。本機構は、一対 2 本のバネ、合計 6 本のバネを使って制御が行われている。バネ力は 3 ないし 4 段階に分けて実験を行う予定であるが、現在 2 段階目の実験が行われたにすぎない。一つは、バネ自然長、二つ目はバネを 10mm 引っ張り、初期値を少し高めていること。従って、風車の設計値運転までは、まだ達していないため、ダブルピッチ機構が低風速で作動し始め 12m/s～13m/s までの発電しかしていないことである。この為、本実験結果から本風車の全性能評価は、現段階では不可能である。今後継続的に実験を実施し、全性能を評価するが、現在は、その中間報告を行うことにする。

図 7 には、発電機出力と風速の関係を示す。風速 12m/s で最大値は 750W に達している。12m/s での平均値は 580W 程度である。低風速側では、2m/s 強から風車の回転が見られ、数 10W の電力が得られる。

図 8 には、発電機出力と風車回転数の関係を示す。最大回転数は 400rpm に達している。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 に達する。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 9 には、風速と風車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 400rpm に達している。最大風速 12m/s 程度では 350rpm 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 10 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 3 個（300W）、10 個（1000W）負荷では傾向は、図のごとく異なってくる。

図 11 には、図 10 と同一の条件で求めた、電力と電流の関係を示す。

図 12 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 10, 11 の場合と同一である。図 13 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、負荷変化の影響は極めて大きくなる。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 14 と図 15 には、発電機負荷の変化と風速と電圧、風速と電流の関係を示す。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、電流変動幅は負荷が 300W と小さいと大きくなる。

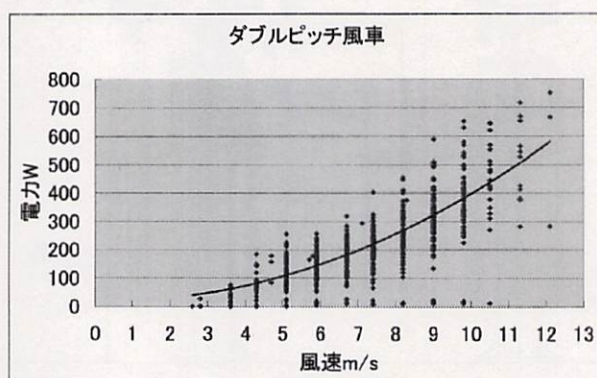


図 7 発電機出力と風速の関係：初期バネ力 10mm 引張

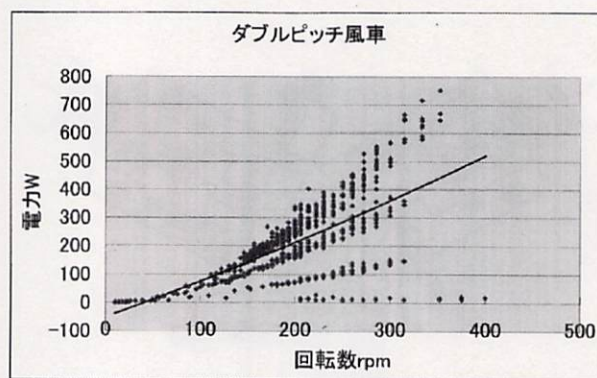


図 8 発電機出力と風車回転数の関係：初期バネ力 10mm 引張

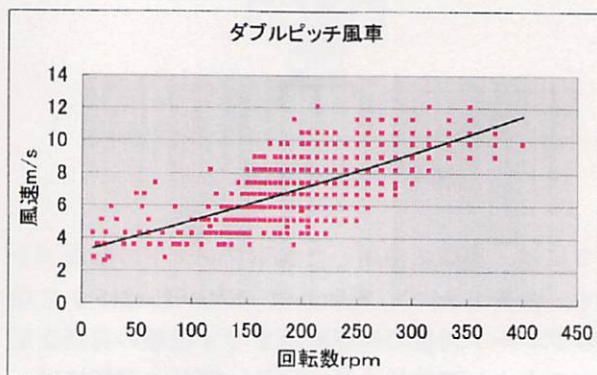


図 9 風速と風車回転数の関係：初期バネ力 10mm 引張

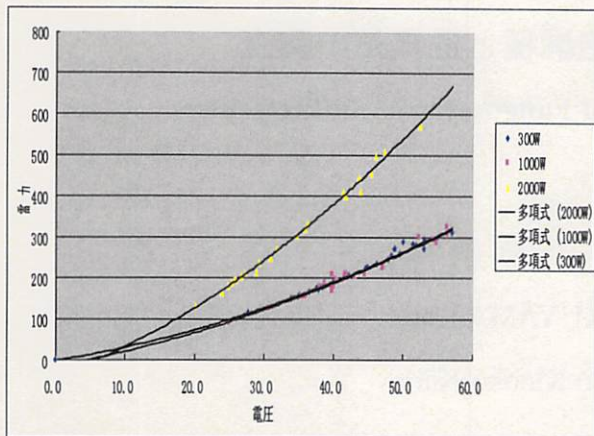


図 10 電力と電圧の関係

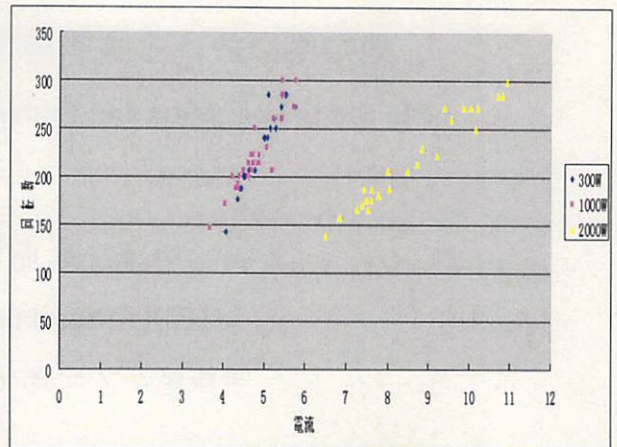


図 13 回転数と電流の関係

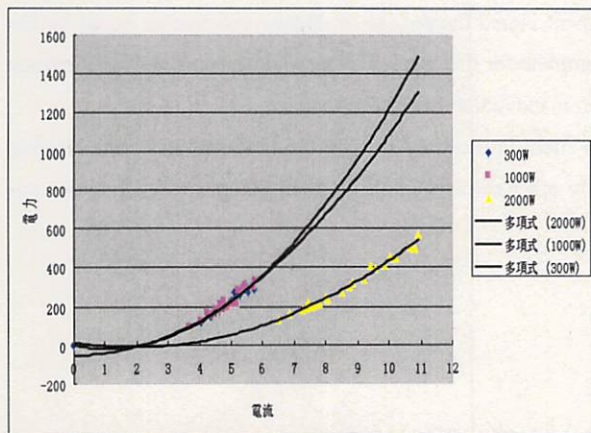


図 11 電力と電流の関係

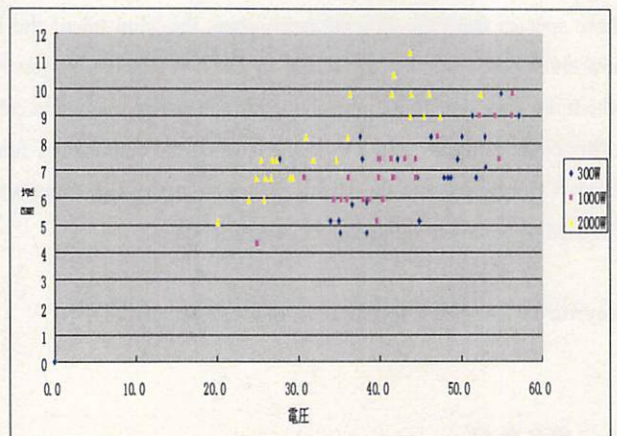


図 14 風速と電圧の関係

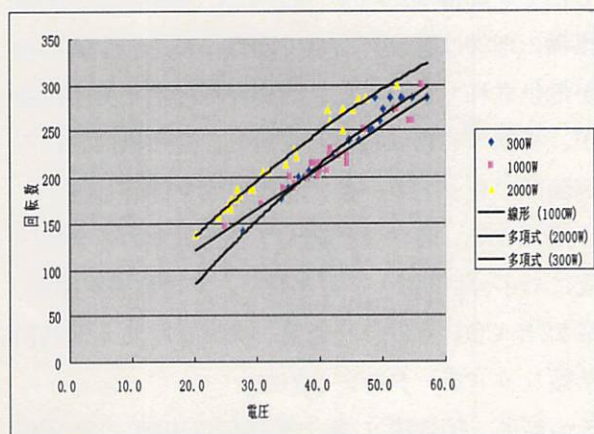


図 12 回転数と電圧の関係

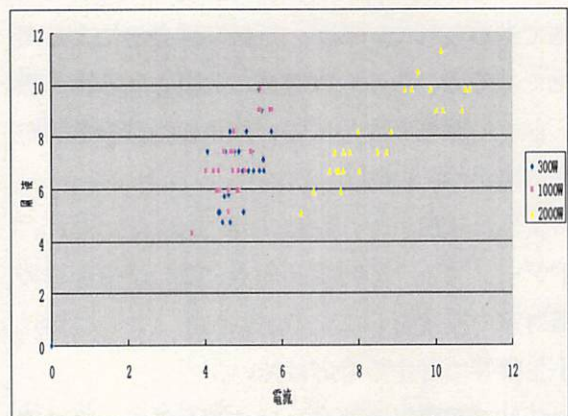


図 15 風速と電流の関係

結言

以上、ダブルピッチ制御風車の性能試験を行い、その中間報告を行った。まだ、性能試験の入り口段階なので、結論らしきことを述べることはできない。今後鋭意実験を進める予定である。