

ダブルピッチ制御付小型水平軸風車(2.5kW)の開発研究 (第3報 3年目の連続フィールド実験結果)

Studies on 2.5kW small horizontal axis wind turbine with double pitch control mechanism

(3rd report the result of field test in third years)

清水幸丸・クルシドアラム・石 宝华・岡村 聖

SHIMIZU Yukimaru*・KHURSHID Alam**・SHI BAO HUA***・OKAMURA Kiyoshi****

*名古屋産業大学・大学院教授 **名古屋産業大学大学院M2 ***名古屋産業大学大学院M1 ****名古屋産業大学准教授

Abstract: This paper describes the study for small horizontal axis wind turbine,(diameter 3m and maximum output 2.5kW with double pitch control mechanism.

R and D for this SHAWT continues during about three years, Since the start of the experiment, many damages happen in several months interval. But, the trouble for wind turbine is going to stop during about one year.

Next target of the R&D is to search to high performance and high quality for double pitch control mechanism.

The data for current, voltage, power, rotation speed and wind speed is measured on or ten minutes interval in the field. Also, the performance for SHAWT and the quality for the double pitch control mechanism are analyzed in this paper.

keywords: small horizontal axis wind turbine, double pitch control of blade, field test of SHAWT,

1. はじめに

世界の風力発電所の設置設備容量は、2011年末で2億1500kWを越えた。それらは、中型および大型風車である。現在、20kW以下の小型風車の一般的発電設備として存在感は極めて低い。上記の数値の中には全く含まれていない。それでは、20kW以下の小型風車は、社会に必要なでないかと言えば、そうとも言えず、たえず活躍が期待されている。小型風車の難点は、大型風車に比べ、吹いてくる風の条件が悪い。大型風車では、地上50m以上、150m前後の比較的乱れの小さい上質の空気流を利用できるが、小型風車になると地上5m~10m程度、乱れに乱れた乱気流、攪乱流の中で発電回転させる必要がある。

これまで、小型風車は発電設備としての経済性が議論されることなく、“おもちゃ”の延長線上で、ある程度バッテリーに蓄電できる程度の電力量が手に入ればそれで満足であった。しかし、ここに来て、世界的に小型風車に対する見方が変わって来た。例えば、日本においてこれまで見向きもされなかった小型風車20kW未満の1kWの買取価格が57.5円/kWhとさ

れている。大型風車23.5円/kWhであるからこの価格によって、今後小型風車は大いに普及拡大することになると期待される。大型風車と小型風車では2倍以上も買取価格に差を付けねばならない理由については、紙面の都合上ここでは、取り上げないことにする。

さて、このような状況の中で細々と行われている“ダブルピッチ制御付小型水平軸風車2.5kW出力”の到達段階は、どの程度であろうか。2009年10月からスタートし、2010年10月までは、初期の段階で風車実験データを“比較的正確”に取ることで精一杯であった。2010年10月からは、比較的順調にデータが取得できた。2011年11月までには、ブレード取付部シャフトの破損が2回(1回目2010年12月、2回目2011年3月)生じたが、その後一年間は、ほぼ無破損で発電運転が続けられた。本研究では、その結果を報告する。

2. 実験装置および方法

2-1. 実験装置

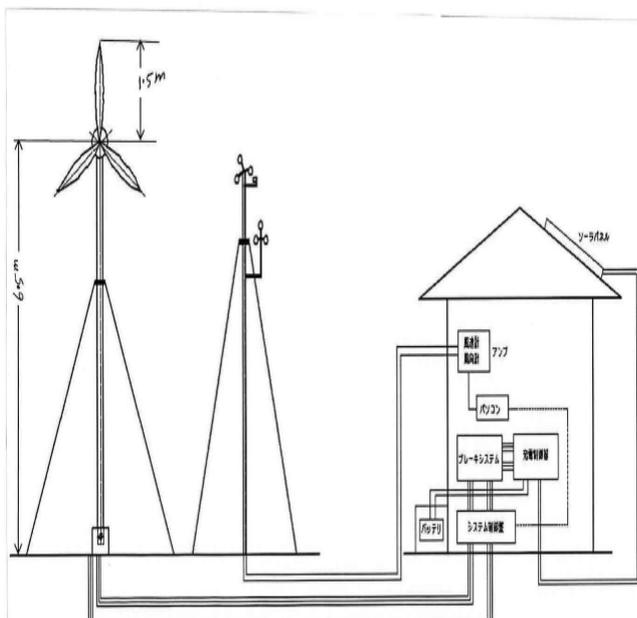


図1 小型水平軸風車実験装置

図1には、実験装置の概略を示す。3枚翼の小型水平軸風車でナセルの地上高さ6.5mと低い。風車翼車直径は、3mで、翼(ブレード)先端には、著者の一人の発明による三重ベーンが出力増加と低騒音化の為に設置された。すなわち、三重ベーン付風車ブレードである。この三重ベーンにより、出力は10%~15%増大する。

発電電力の流れについて説明する。発電機より充電制御器を通して、バッテリー12Vに充電される。充電された電力は、インバータを介して100V単相になり、LED電燈へ供給され消費される。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: 発電機が500rpm以上になると短絡ブレーキ回路が作動
- 3) 短絡ブレーキ作動後3秒経つと電磁ブレーキが作動
- 4) 台風時等で風速40m/sを越える強風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。

以上、本小型水平軸風車は、高性能・高安全機能をそなえている。また、本風車システムには、150Wの小さな太陽光発電パネルが設置されていて、例えば、6月の梅雨時に風が弱く、1ヶ月程度風車が零発電状態を続けても、車用65Ah程度のバッテリーが過放電

状態に落ち入らないように、システムの正常状態維持が計られている。

2-2. 実験方法

実験用小型風車は、写真1を示す。三重県津市木造町の一級河川雲出川から1km程離れた場所の水田地帯に設置されている。主たる風は、青山高原越えて雲出川に沿って吹き下ろしてくる風で、冬場はしばしば30m/sを越える風が吹きつける。海、伊勢湾からは2km程離れており、夏場は海からの2m/s~4m/s程度の風が吹いている。年間平均風速は、6.1m/sを記録しており、大型風車でも採算ベースに乗る好風況の場所である。風力発電に関するデータ、電流、電圧、風車回転数は、1分間隔あるいは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、PC(パソコン)でエクセルを用いて各種平均値が求められる。風速計は2種類用いられており、一種類は、ノーマッド(測定機名)で長期風速観測用に1分間隔、もう一種類は、wind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直接PCに入力される。風車のフィールド実験では、1年~2年と長期間連続的にデータ収集が行われているのでデータ数を減らすため、10分間隔でデータが収集する場合もたびたび生じる。本実験では、風速計データは1分間隔、他データは10分間隔で整理されている場合が多い。



写真1

2-3. ダブルピッチ制御機構の説明

ダブルピッチ制御機構は、著者の1人清水の発明品である。特許第4649570号平成22年12月24日 風車のブレードピッチダブル制御機構。

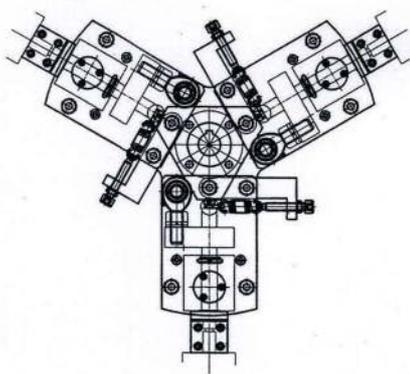


図2 ダブルピッチ制御機構の設計図

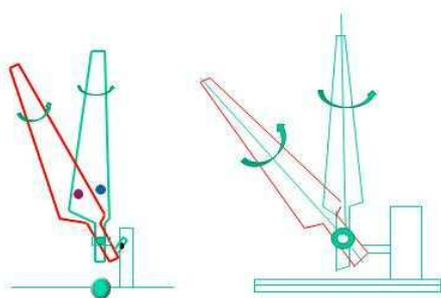


Fig-Left Fig-Right

図3 ダブルピッチ機構の説明図

図2には、ダブルピッチ制御機構の設計図を示す。図2より直接説明するのは、難しいので、図3に示す説明用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の右：風車ブレードの風車回転軸を含んだ平面内の運動

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 $12\text{m/s} \sim 13\text{m/s}$ で回転軸に垂直、すなわち、回転平面と平行になる。それより風速が高くなると、 $15\text{m/s} \sim 20\text{m/s}$ 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。

風車ブレードは、スタート時引張りバネである程度強く引っ張られている。風速と回転数が増すと引っ張りバネ力に打勝って垂直に立ち、され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の左：風車ブレードの回転平面内の運

動。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。ブレードの回転軸側端は引張りバネで強く引張られている。風車回転数が極端に大きくなると引張りバネ力に打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。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を同時に組合せて、過回転を防ぎ、安全運転を保つ。

3. フィールド実験結果の考察

3-1. 各種測定値を用いた考察

図4-1から図4-13には、2010年10月から2011年11月まで13ヶ月(3月が欠)に渡るフィールド実験結果を示す。各図には、2010年10月、11月、12月、2011年1月から11月までの各月の1日平均値データが記述されている。各図とも上から、日平均電流A、電圧V、発生電力W、風車回転数rpm、日平均風速m/s/dayが記述されている。表1には、各図から求めた各月の平均値を表にして示した。

表より年間でみた月平均風速は、 6.08m/s/month 、月平均日電量は 80.9w/時/year 、1年間に換算すると $80.9\text{w} \times 24\text{時間} \times 365\text{日} = 708,684\text{w}$ (708.7kwh)になった。

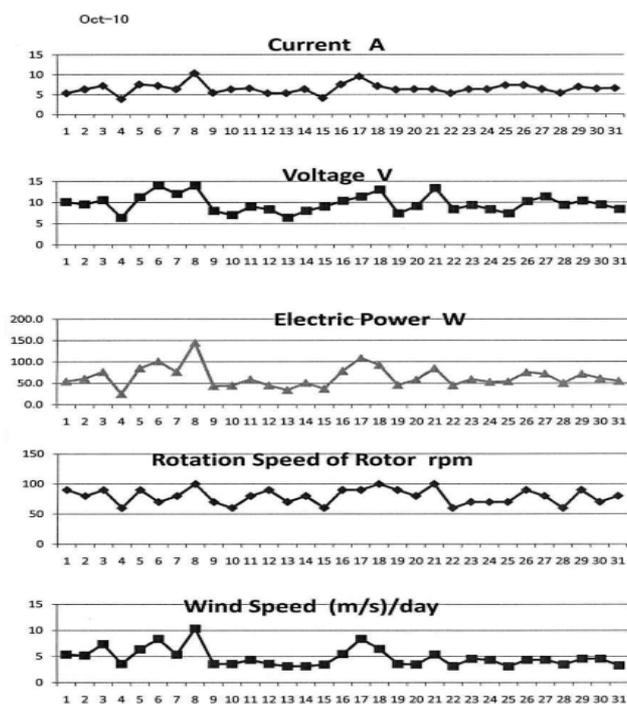


図4-1 October 2010

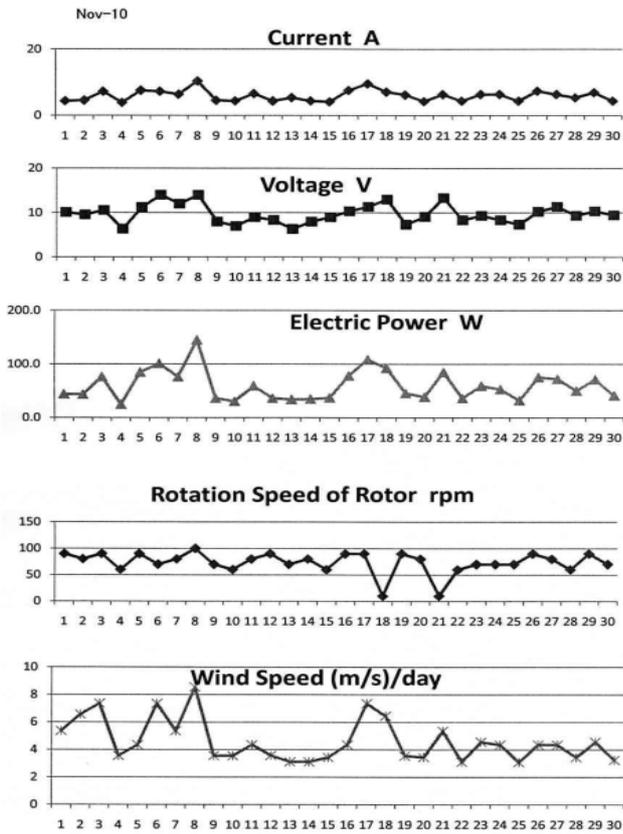


図 4-2 November2010

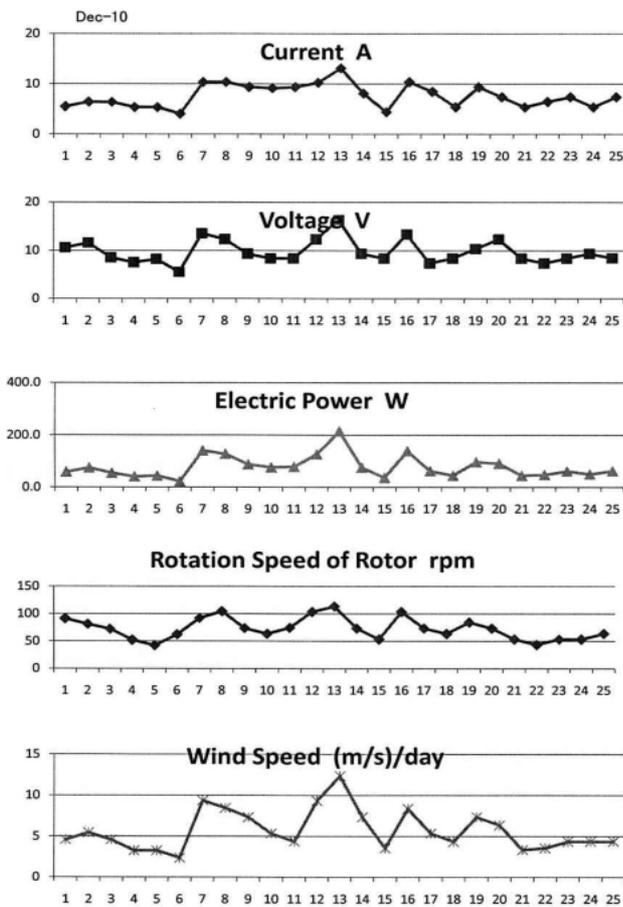


図 4-3 December2010

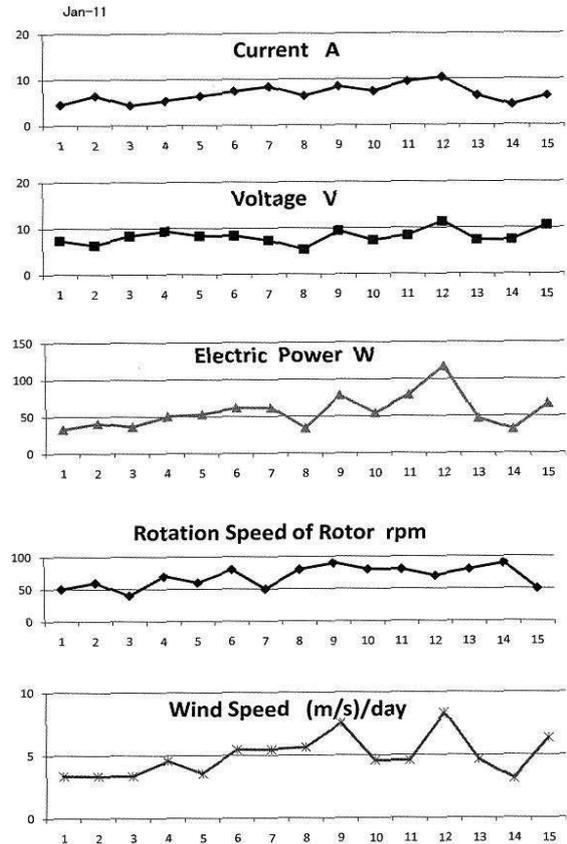


図 4-4 January 2011

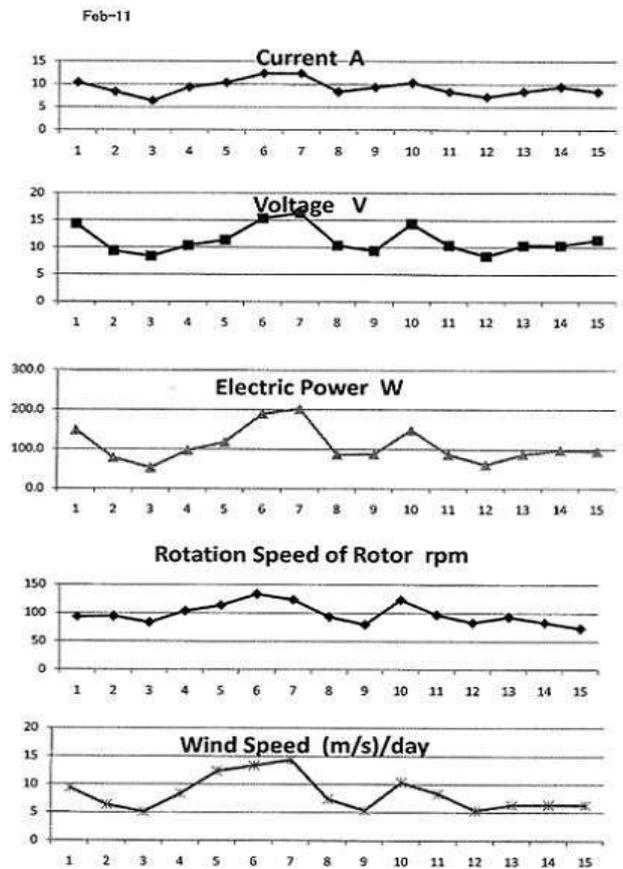


図 4-5 February 2011

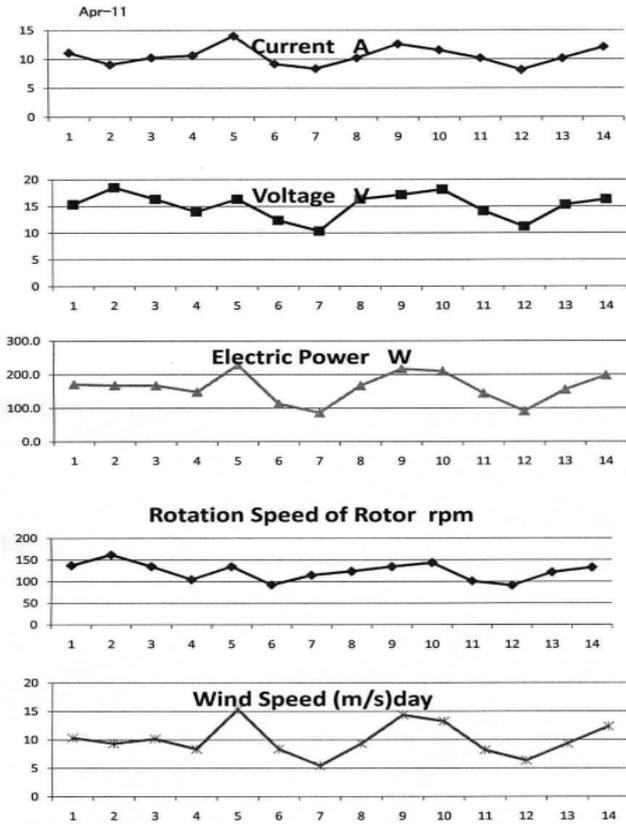


図 4-6 April2011

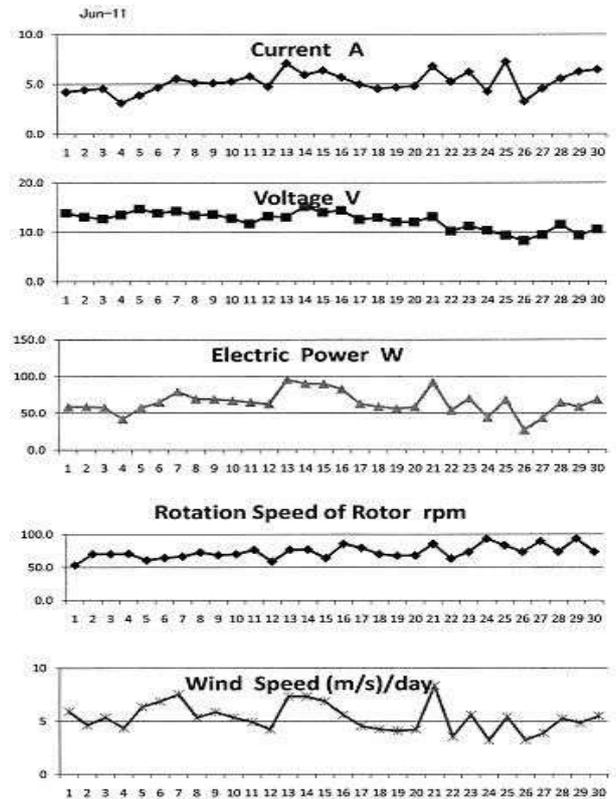


図 4-8 Jun2011

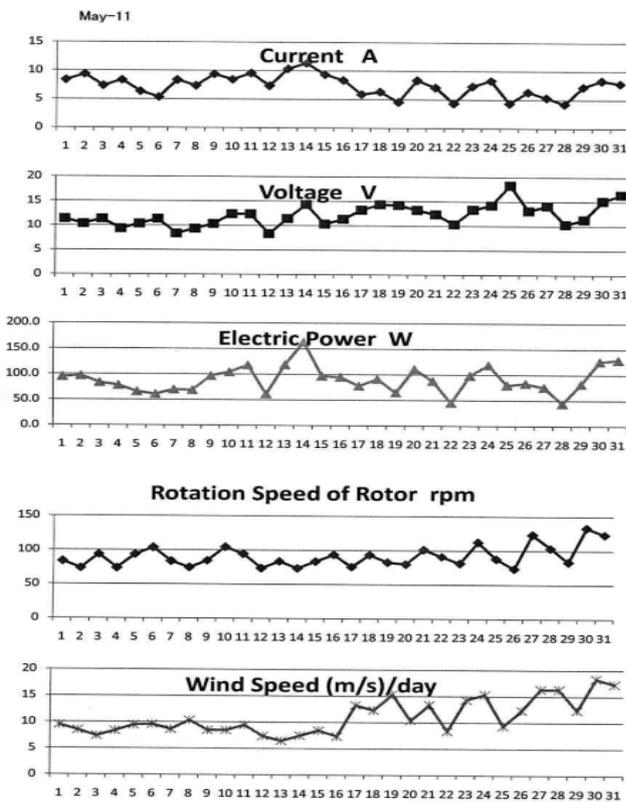


図 4-7 May2011

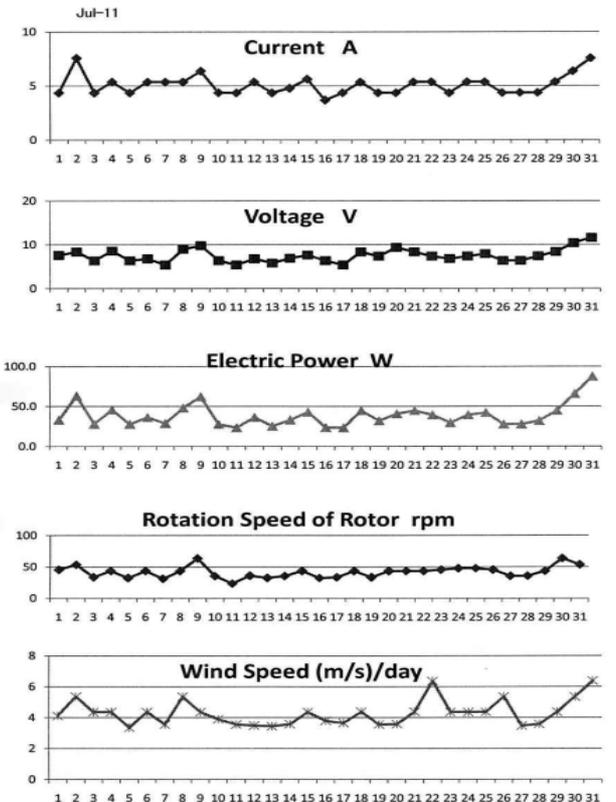


図 4-9 July2011

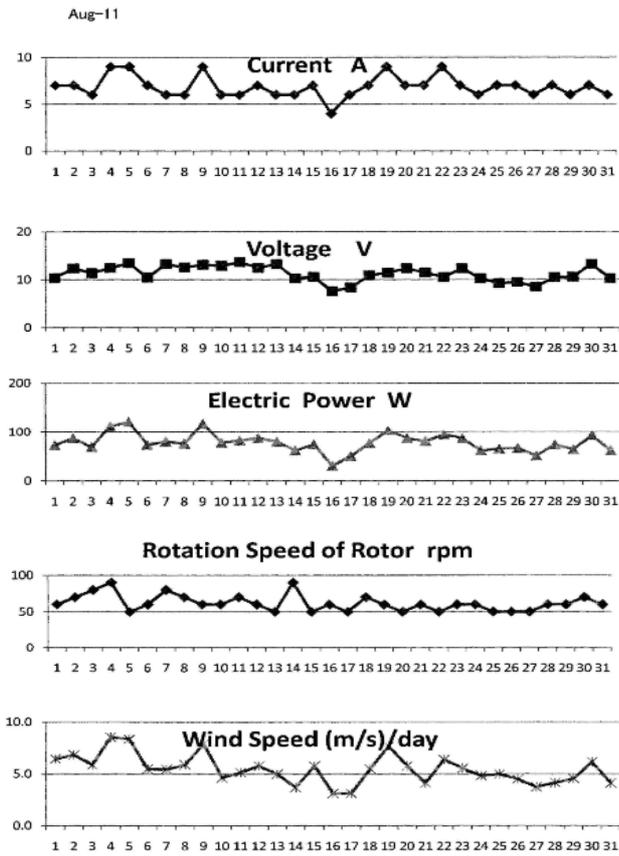


図 4-10 August 2011

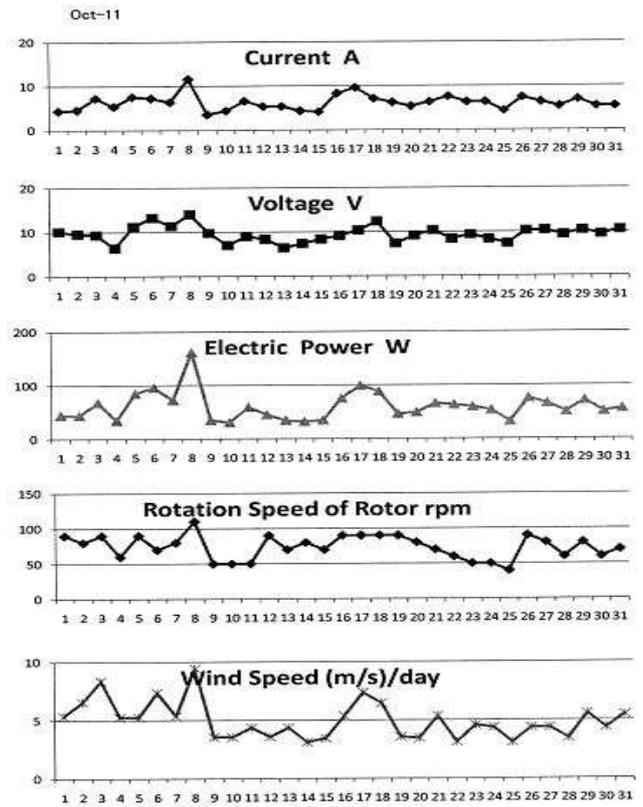


図 4-12 October 2011

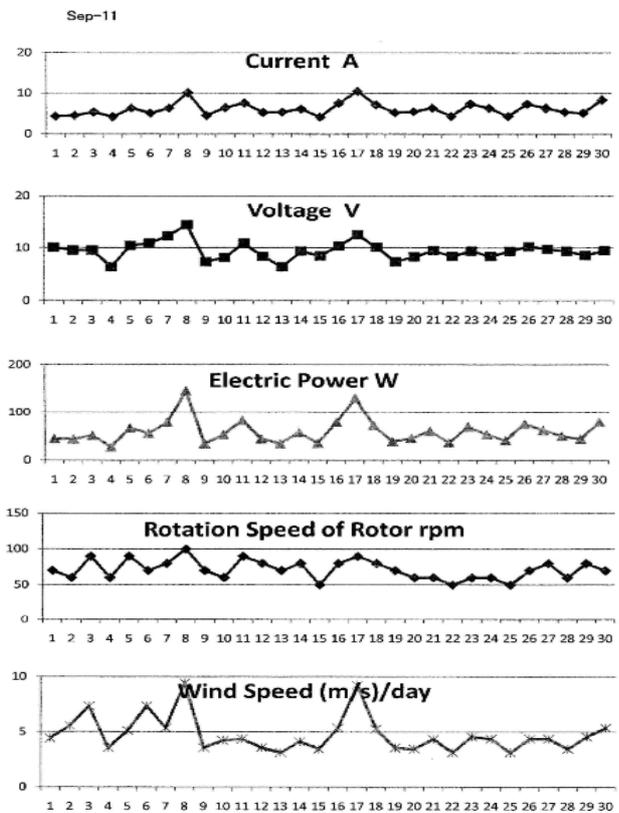


図 4-11 September 2011

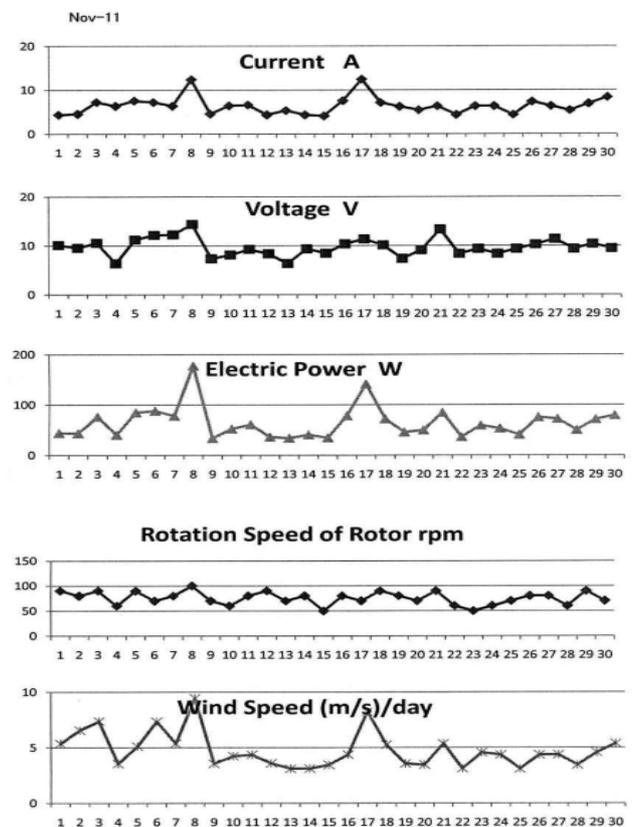


図 4-13 November 2011

From 2010 October to 2011 November monthly average
Current, Voltage, Electric power, Rotation speed rotor, Wind speed

Month	Current A	Voltage V	Electric p	Rotation speed rpm	Wind speed (m/s)/month
Oct-10	6.50	9.70	64.59	79.4	4.81
Nov-10	5.94	9.74	60.18	79.3	4.63
Dec-10	7.61	9.77	78.30	72.8	5.71
Jan-11	6.78	8.17	56.37	68.3	4.93
Feb-11	9.30	11.36	109.15	98.3	8.34
Apr-11	10.54	15.14	161.89	123.4	10.05
May-11	7.46	12.17	159.04	99.2	10.98
Jun-11	5.21	12.35	64.47	73.2	5.34
Jul-11	5.08	7.48	38.94	41.6	4.29
Aug-11	6.84	11.27	77.70	61.9	5.45
Sep-11	6.10	9.44	59.43	71.3	4.77
Oct-11	6.20	9.48	60.47	73.5	4.94
Nov-11	6.42	9.73	64.53	75.3	4.77
Average	6.9	10.4	81.2	78.3	6.1

表 1: From 2010 October to 2011 November monthly average current, voltage, electric power, rotation speed of rotor & wind speed

図5には、2010年10月から2011年11月までの13ヶ月間(2011年3月は風車故障のためデータなし)の月別の電流、電圧、発電出力、回転数および平均風速を示す。2010年から2011年においては、2月から5月までの風は強く6月から12月までは比較的弱かった。

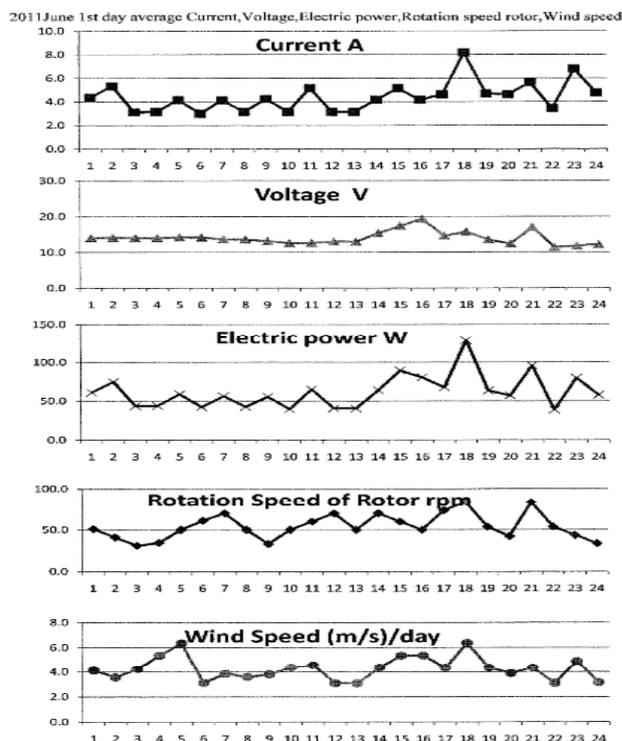


図5: 2010年10月から2011年11月までの13ヶ月間の月別電流、電圧、発電出力、回転数および平均風速の変化

2011 June 1st day average Current, Voltage, Electric power, Rotation speed rotor, Wind speed

Hour	Current A	Voltage V	Electric p	Rotation speed rotor rpm	Wind speed (m/s)/day
1	4.36	13.98	60.94	51.0	4.12
2	5.32	14.07	74.84	41.0	3.56
3	3.12	13.98	43.63	31.0	4.25
4	3.15	13.97	44.00	34.4	5.36
5	4.15	14.21	58.98	50.0	6.35
6	3.00	14.14	42.42	61.0	3.12
7	4.12	13.69	56.40	70.0	3.85
8	3.15	13.55	42.69	50.0	3.60
9	4.23	13.13	55.56	33.0	3.80
10	3.15	12.56	39.57	50.0	4.36
11	5.16	12.62	65.11	60.0	4.56
12	3.15	12.99	40.91	70.0	3.10
13	3.15	12.92	40.71	50.0	3.10
14	4.15	15.36	63.74	70.0	4.36
15	5.15	17.36	89.40	60.0	5.36
16	4.15	19.36	80.34	50.0	5.36
17	4.62	14.62	67.54	73.6	4.36
18	8.17	15.72	128.43	83.6	6.36
19	4.68	13.52	63.27	53.6	4.36
20	4.62	12.36	57.10	42.3	3.89
21	5.62	17.03	95.71	83.6	4.36
22	3.42	11.32	38.71	53.6	3.10
23	6.77	11.77	79.68	43.6	4.89
24	4.75	12.15	57.71	33.6	3.14
Average	4.39	14.02	61.98	54.12	4.28

表 2: 2011 June 1st day average current, voltage, electric power, rotation speed of rotor & wind speed

図6には風が比較的弱い2011年6月1日を取り上げ1日24時間の1時間後の電流、電圧、電力、回転数および風速の関係を追跡してみた。

風が弱くても1日の内には6m/s程度の風は現れる。表2には、図6に対応する6月1日、1日間の1時間ごとのデータを示す。平均値は、出力62W/時/day 風速は4.28m/s/dayになる。

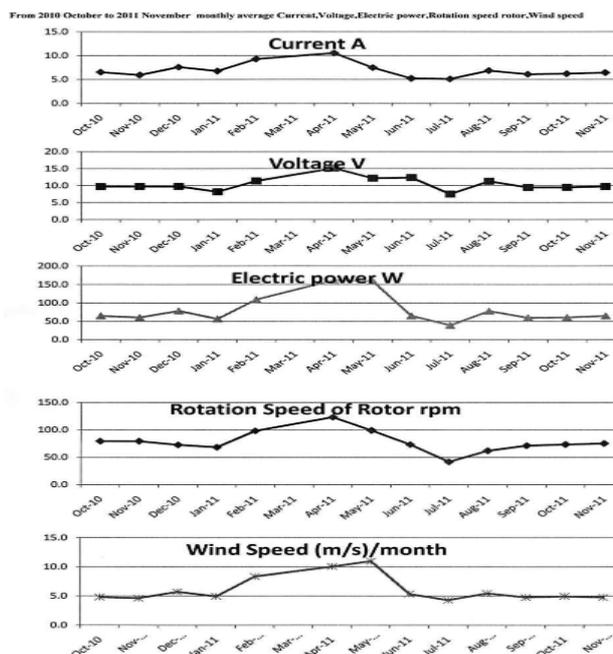


図6: 2011年6月1日、1日間の1時間ごと24時間の時間ごと電流、電圧、発電出力および風速の変化

図7には、風の強い2011年2月20日1日間風力発電データおよび図8には、2月20日の中で比較的強風が吹いていると推察される時間12時(正午)、1時間の1分ごとの出力データを示す。平均風速に注目する。図7の1時間平均値が11m/s時の1分間出力値を見ると、図8の1分~5分の間では最高21m/sから9m/sまで大きく変動している。表3参照。

表4には、風の強い2011年2月20日、1日間の1時間平均電流、電圧、電力、回転数、風車を示す。電力は2月20日の1時間出力平均は、93.25W/時/day、風速は8.58m/s/dayになる。

図9には、2011年4月21日21時1時間の1分ごとの各種出力値を示す。風速に注目すると、21時21分には26m/sに達している。この時間の1時間平均値は、図10および表6より13.7m/sである。

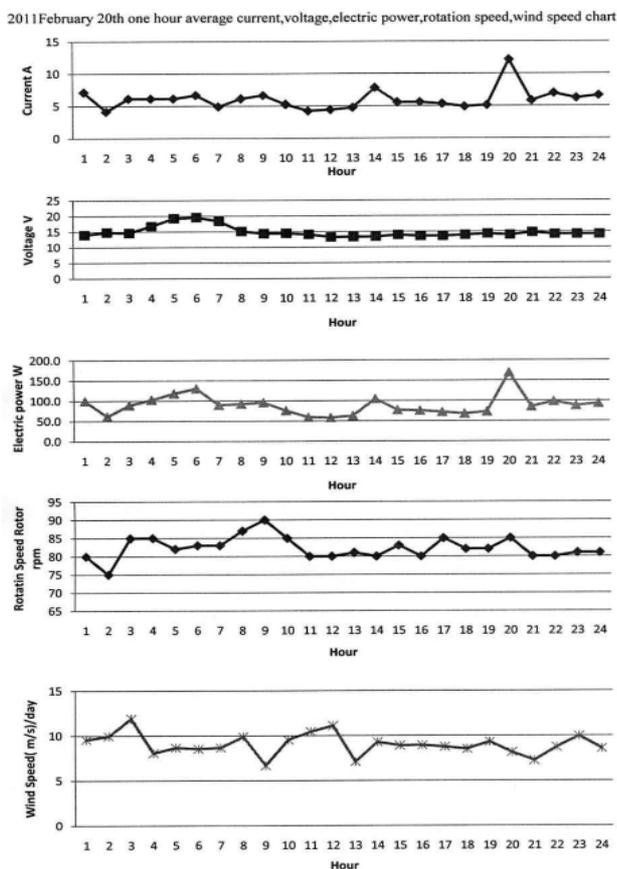


図7

2011 February 20th 12 o'clock one minute average current, voltage, electric power, rotation speed & wind speed

Minute	Current A	Voltage V	Electric Power W	Rotation Speed rotor rpm	Wind Speed (m/s)
1	3.66	12.56	45.97	81.20	20
2	5.68	14.36	81.56	71.50	21
3	3.55	13.34	47.37	80.90	18
4	3.63	13.51	49.09	80.90	17
5	3.68	13.41	49.40	80.90	9
6	3.55	13.54	48.08	80.90	11
7	3.17	13.47	42.65	82.90	10
8	3.77	13.48	50.77	81.90	9
9	3.08	13.17	40.60	80.90	7
10	3.65	13.46	49.13	80.90	10
11	3.62	13.36	48.32	80.90	9
12	3.50	13.41	46.93	80.90	10
13	3.78	13.46	50.94	80.90	11
14	3.13	13.34	41.78	80.90	9
15	3.05	13.18	40.21	80.90	9
16	3.57	13.14	46.88	80.90	10
17	3.35	13.19	44.18	80.90	10
18	3.10	13.20	40.93	80.90	9
19	3.60	13.19	47.50	80.90	10
20	3.42	13.26	45.29	80.90	10
21	3.45	13.41	46.28	80.90	9
22	3.87	13.25	51.25	80.90	10
23	4.10	13.29	54.49	80.90	11
24	5.28	13.27	70.14	80.90	9
25	4.93	13.28	65.55	80.90	8
26	5.00	13.20	66.02	80.90	9
27	5.10	13.20	67.35	80.90	9
28	5.33	13.36	71.25	80.90	8
29	3.43	13.26	45.54	80.90	8
30	3.42	13.22	45.20	80.90	9
31	3.13	13.19	41.33	80.90	9
32	3.28	12.94	42.50	80.90	8
33	4.77	13.26	63.24	80.90	9
34	5.00	13.25	66.27	80.90	8
35	3.98	13.13	52.33	80.90	8
36	3.88	13.16	51.14	80.90	10
37	3.80	13.20	50.17	80.90	11
38	3.55	13.24	47.03	80.90	10
39	5.02	13.07	65.57	80.90	12
40	5.20	12.99	67.55	80.90	12
41	5.35	12.96	69.33	80.90	8
42	5.32	13.01	69.16	80.90	7
43	5.23	12.89	67.46	80.80	9
44	5.17	12.87	66.51	80.80	9
45	4.93	12.87	63.49	80.90	9
46	5.07	12.87	65.22	87.80	7
47	4.88	12.88	62.92	72.90	8
48	4.80	12.88	61.84	72.90	9
49	5.18	12.87	66.73	82.90	7
50	4.95	12.87	63.70	82.90	6
51	4.92	12.87	63.27	80.90	11
52	5.05	12.87	65.00	80.90	10
53	5.02	12.87	64.57	80.90	8
54	4.95	12.87	63.70	80.90	11
55	4.98	12.90	64.30	80.90	10
56	5.28	12.89	68.11	80.90	11
57	7.98	14.12	112.68	73.60	10
58	6.78	13.25	89.84	63.60	10
59	8.36	14.36	120.05	73.60	8
60	8.36	12.36	103.33	83.60	10
Average	4.49	13.19	59.32	80.22	9.90

表3: 2011 February 20th 12 o'clock one minute average current, voltage, electric power, rotation speed of rotor & wind speed

2011 February 20th one hour average current,voltage,electric power,rotation speed,wind speed

Hour	Current A	Voltage V	Electric power W	Rotation speed rotor rpm	Wind speed (m/s)/d
1	7.15	14	100.10	80	9.57
2	4.15	14.81	61.46	75	9.97
3	6.12	14.63	89.54	85	11.9
4	6.13	16.77	102.80	85	8.07
5	6.14	19.26	118.26	82	8.69
6	6.66	19.6	130.54	83	8.55
7	4.89	18.37	89.83	83	8.69
8	6.14	15.12	92.84	87	9.91
9	6.66	14.41	95.97	90	6.68
10	5.25	14.5	76.13	85	9.56
11	4.24	14.09	59.74	80	10.45
12	4.42	13.25	58.57	80	11.13
13	4.74	13.31	63.09	81	7.12
14	7.83	13.39	104.84	80	9.29
15	5.55	13.91	77.20	83	8.92
16	5.57	13.58	75.64	80	8.95
17	5.32	13.59	72.30	85	8.75
18	4.89	13.89	67.92	82	8.53
19	5.1	14.28	72.83	82	9.32
20	12.17	13.91	169.28	85	8.15
21	5.8	14.72	85.38	80	7.25
22	6.95	14.13	98.20	80	8.74
23	6.21	14.16	87.93	81	9.97
24	6.59	14.15	93.25	81	8.58
Average	6.03	14.83	89.32	82.29	9.03

表 4: 2011 February 20th one hour average current, voltage, electric power, rotation speed of rotor & wind speed

2011 February 20th 12 o'clock one minute average current,voltage, electric power,rotation speed,wind speed chart

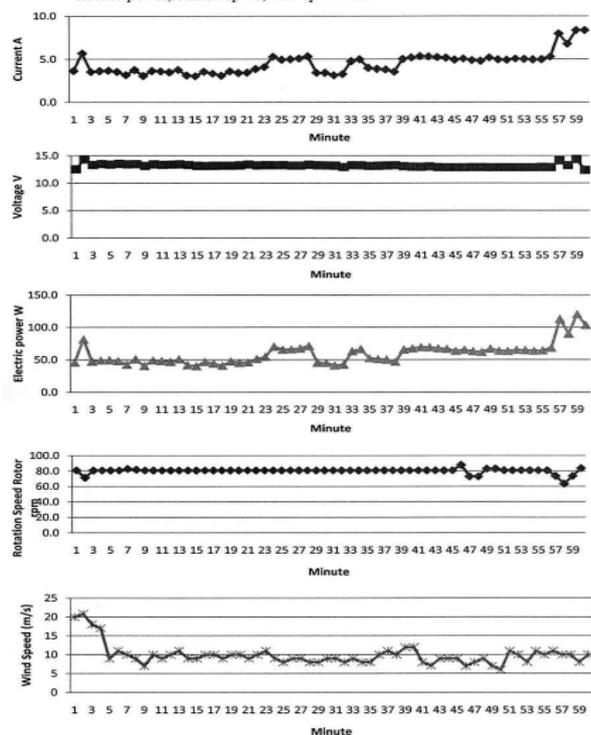


図 8: 2011 February 20th 12 o'clock one minute average current, voltage, electric power, rotation speed of rotor & wind speed

Minute	Current A	Voltage V	Electric Power W	Rotation Speed Rotor	Wind Speed m/s
1	2.92	6.13	17.90	69.00	4.36
2	7.38	15.54	114.69	66.90	5.63
3	9.57	18.74	179.34	70.00	5.70
4	4.85	8.25	40.01	63.90	2.21
5	9.58	17.12	164.01	70.00	4.23
6	5.36	9.23	49.47	57.80	4.23
7	2.60	5.13	13.34	60.90	6.97
8	9.10	17.36	157.98	70.00	8.76
9	3.43	7.94	27.23	73.00	8.08
10	3.57	8.74	31.20	70.00	11.31
11	5.12	9.00	46.08	66.90	13.94
12	4.20	7.54	31.67	66.90	17.43
13	3.38	6.14	20.75	60.90	17.77
14	4.22	7.54	31.82	66.90	19.64
15	6.97	7.53	52.48	63.90	20.32
16	5.10	9.34	47.63	63.90	20.91
17	3.23	6.14	19.83	60.90	20.57
18	6.68	7.53	50.30	66.90	21.59
19	2.68	5.53	14.82	60.90	25.16
20	3.40	8.74	29.72	70.12	23.55
21	4.80	7.55	36.24	66.90	26.27
22	5.49	10.41	57.15	63.90	21.51
23	3.18	5.17	16.44	60.90	20.06
24	4.87	7.56	36.82	66.90	19.04
25	5.45	10.35	56.41	63.90	15.22
26	5.48	11.25	61.65	63.90	6.80
27	4.37	7.56	33.04	66.90	14.03
28	3.12	6.34	19.78	60.90	10.29
29	7.39	11.36	83.95	57.80	7.31
30	7.75	15.12	117.18	57.80	5.30
31	5.10	9.00	45.90	45.80	6.89
32	7.13	16.13	115.01	57.80	4.28
33	6.65	12.76	84.85	51.80	11.31
34	3.49	8.84	30.85	70.00	10.71
35	2.39	4.22	10.09	47.00	10.37
36	7.39	16.17	119.50	57.90	10.37
37	3.30	8.42	27.79	60.90	7.99
38	7.29	16.19	118.03	57.90	6.72
39	5.35	11.67	62.43	63.90	2.81
40	3.60	9.06	32.62	70.00	4.85
41	3.53	9.01	31.81	70.00	7.58
42	4.84	8.11	39.25	57.90	9.36
43	5.13	11.52	59.10	63.90	5.23
44	3.53	7.29	25.73	60.90	4.36
45	6.54	12.36	80.83	51.80	4.23
46	3.14	6.22	19.53	57.90	3.36
47	3.89	9.16	35.63	70.00	4.36
48	4.65	10.99	51.10	67.00	3.56
49	3.66	9.13	33.42	70.00	3.36
50	4.55	10.88	49.50	67.00	5.45
51	5.10	9.00	45.90	52.00	5.42
52	4.65	11.96	55.61	67.00	4.00
53	3.15	6.60	20.79	60.90	4.00
54	3.25	7.62	24.77	60.90	5.00
55	5.26	11.77	61.91	64.00	6.00
56	4.41	9.89	43.61	67.00	3.60
57	4.83	11.35	54.82	57.90	4.36
58	4.10	10.22	41.90	70.00	3.36
59	5.12	13.77	70.50	64.00	3.00
60	3.38	9.19	31.06	70.00	3.23
Average	4.89	9.84	53.05	63.38	9.62

表 5: 2011 April 21th 21 o'clock one minute average current, voltage, electric power, rotation speed of rotor & wind speed

2011 April 21th 21 o'clock current,voltage,electric power,Rotation Speed of Rotor and wind speed

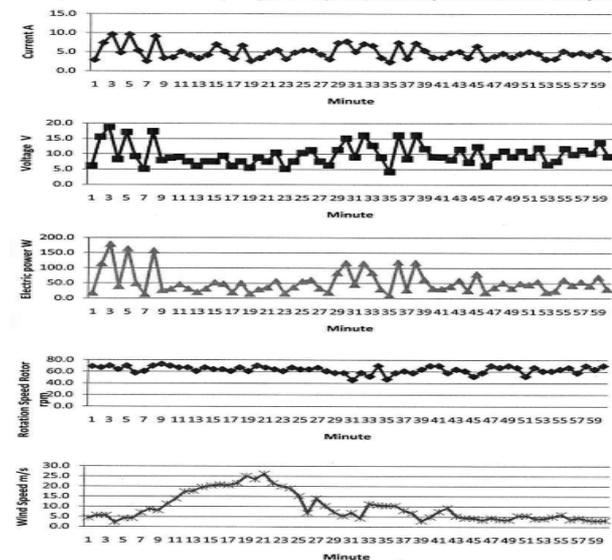


図 9

2011 April 21th one hour average current, voltage, electric power, Rotation Speed of Rotor and wind speed

Hour	Current A	Voltage V	Electric Power W	Rotation Speed Rotor	Wind speed (m/s)/day
1	7.83	34.44	269.70	91.00	9.7
2	4.33	34.47	149.27	91.00	5.6
3	8.26	34.39	284.06	91.00	6.5
4	9.61	34.67	333.23	91.00	6.4
5	9.90	34.37	340.28	91.00	8.7
6	8.56	34.51	295.44	91.00	3.1
7	3.99	35.00	139.67	91.00	6.2
8	9.91	36.45	361.20	100.00	7.2
9	6.88	35.23	242.38	110.00	8.4
10	4.55	31.77	144.57	91.00	8.6
11	8.27	28.16	232.92	80.00	9.1
12	4.60	21.78	100.17	100.00	6.1
13	6.21	19.81	123.03	110.00	4.4
14	3.52	19.82	69.78	70.00	9.0
15	6.72	20.41	137.15	90.00	4.7
16	4.87	22.61	110.11	90.00	8.4
17	6.33	22.49	142.34	85.00	4.8
18	5.60	22.54	126.24	95.00	8.6
19	4.56	24.81	113.12	100.00	8.0
20	5.89	26.91	158.53	110.00	10.9
21	3.42	31.99	109.39	82.00	13.7
22	2.07	32.63	67.55	87.00	8.3
23	5.16	33.39	172.31	90.00	3.0
24	5.18	33.89	175.56	95.00	3.4
Average	6.09	29.44	183.25	92.58	7.20

表 6: 2011 April 21th one hour average current, voltage, electric power, rotation speed of rotor & wind speed

2011 April 21th one hour average current, voltage, electric power, Rotation Speed of Rotor and wind speed

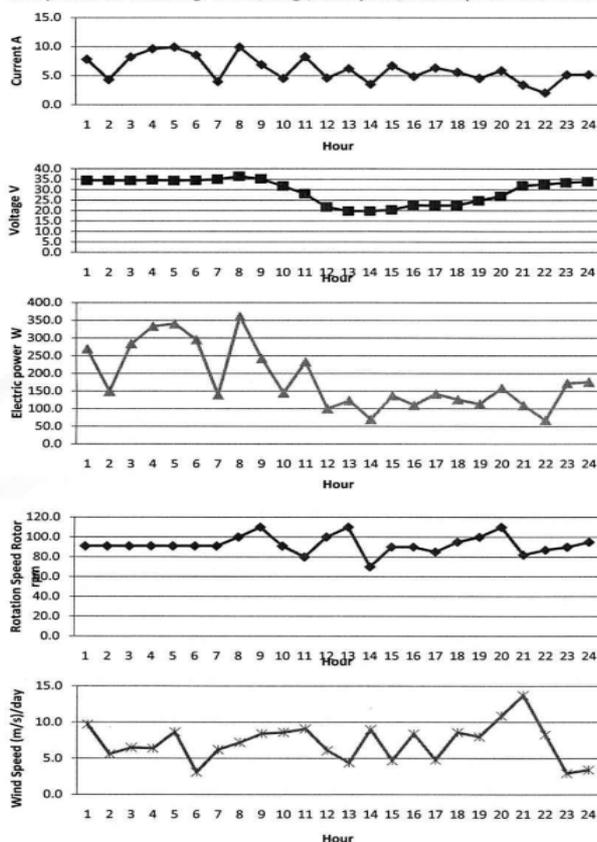


図 10

3-2. 風車出力係数 Cp から見た風車性能の考察

出力係数は次のように定義される。

$$C_p = P / \frac{1}{2} \rho a v^3$$

P: 風車発電出力、 ρ : 空気密度、A: 風車回転面積、V: 風速

出力係数 C_p は、風車の性能を評価する値として有効である。図 11-1 から図 11-13 まで 2010 年 10 月から 2011 年 11 月までの 13 ヶ月の各月の C_p と風速の関係を示す。2011 年 3 月は風車故障のためデータがなく、省略してある。

C_p を求めるに当って、風車の各種出力データは、多数取得されるのでビンメソッドを用いて、風速 1 m/s ごととの間隔でその中に入る値の平均値を用いて表示してある。

図 11-1 の 2010 年 10 月では、 C_p の最高値は、3 m/s 程度で 0.42、7 m/s 程度で $C_p = 0.05$ 程度。

図 11-5 の 2011 年 1 月では、3 m/s で $C_p \approx 0.27$ 、7 m/s では、 $C_p \approx 0.1$ 。

図 11-6 の 2011 年 4 月では、3 m/s で $C_p \approx 0.07$ 15 m/s では $C_p \approx 0.03$ 図 11-10 の 2011 年 9 月では、3 m/s で $C_p \approx 0.05 \sim 0.2$ 、7 m/s $C_p \approx 0.12$ 。

図 11-13 の 2011 年 11 月では、3 m/s で $C_p \approx 0.06 \sim 0.25$ 、7 m/s $C_p \approx 0.14$ と値がバラバラである。この理由は、次のように考察される。

第 2 章の 2-3 節ダブルピッチ機構の説明のその 1 およびその 2 で説明した引張りバネの引張り初期長さを種に変えて実験を行った結果である。すなわち、引張りバネの初期を変えて、風車ブレードの傾き角度変化を変えると C_p は複雑に変化する。この実験では、系統的にバネの初期値チェックを行う必要があるが不注意からデータがなくなってしまったので、結果のみ残り、考察ができないという不手際が生じてしまった。反省しているが、次の実験ではきびしくデータ管理を実施したい。

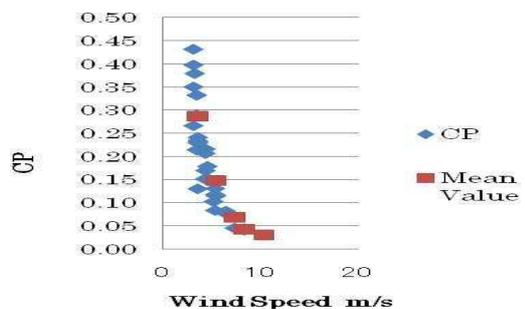


図 11-1: October 2010

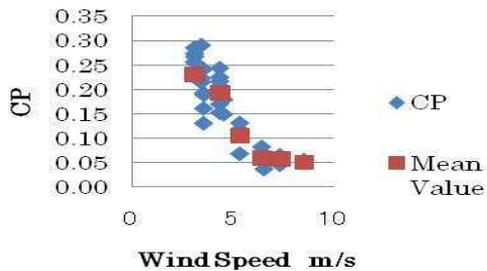


図 11-2: November 2010

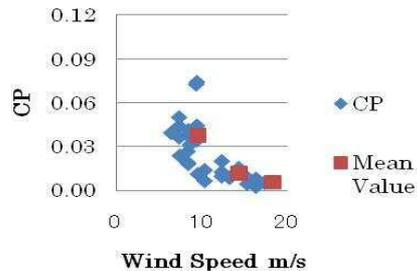


図 11-7: May2011

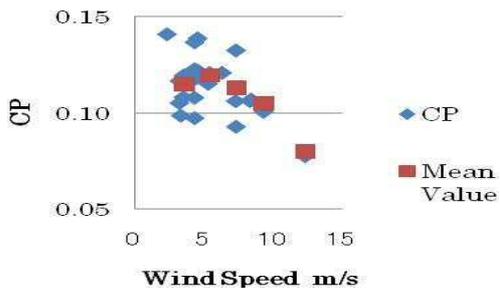


図 11-3: December2010

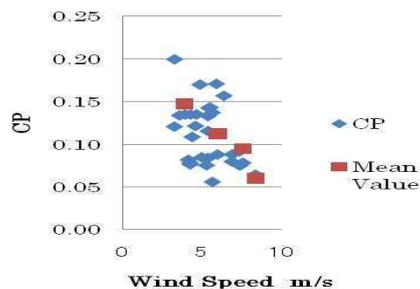


図 11-8: Jun2011

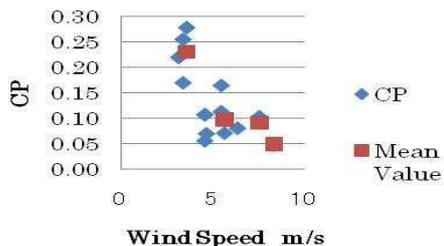


図 11-4: January2011

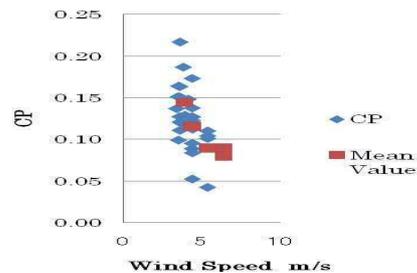


図 11-9: July2011

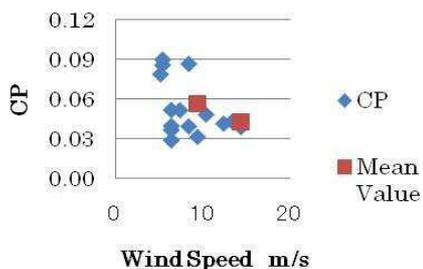


図 11-5: February2011

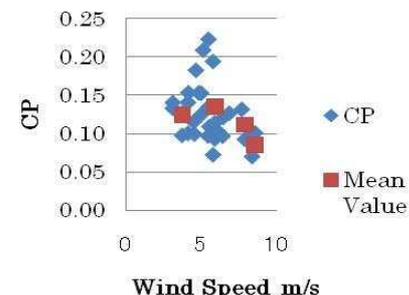


図 11-10: August2011

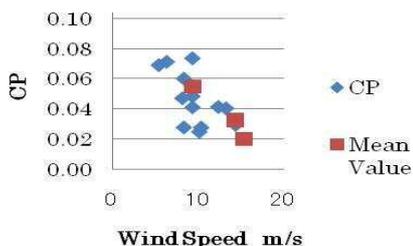


図 11-6: April2011

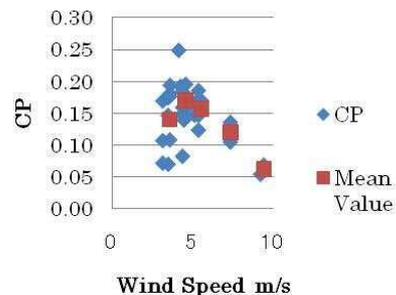


図 11-11: September 2011

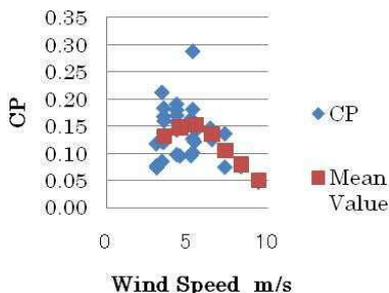


図 11-12: October 2011

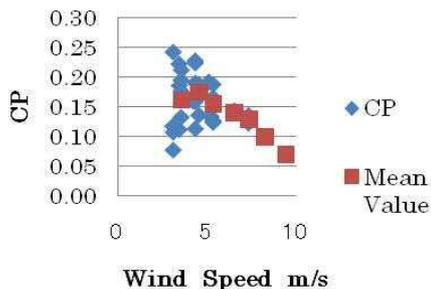


図 11-13: November 2011

図 12 および図 13 には、2011 年 9 月および 11 月について、1 日平均値で風車出力係数 C_p と平均風速の関係性を考察した。

3 m/s ~ 4 m/s の低風速では、 C_p は 0.1 ~ 0.25 の間、風速 10 m/s になると C_p 0.1 ~ 0.25 の間、風速 10 m/s になると $C_p \approx 0.06 \sim 0.07$ と著しく低下する。この原因は、引張りバネ強度の初期値が弱すぎてブレードの逆ピッチが低風速 10 m/s 程度で生じてしまった結果と推察される。従って、次の実験では現在使用中のバネを強く引張って初期値を高め高風速 20 m/s 程度から逆ピッチが生じるようにする必要がある。このようにすれば、 C_p のカーブは赤線で描いたようになると考察される。もし初期値が現在のバネで不足であれば、バネの強度を増加させるため線径を太くした特注バネを作る必要がある。

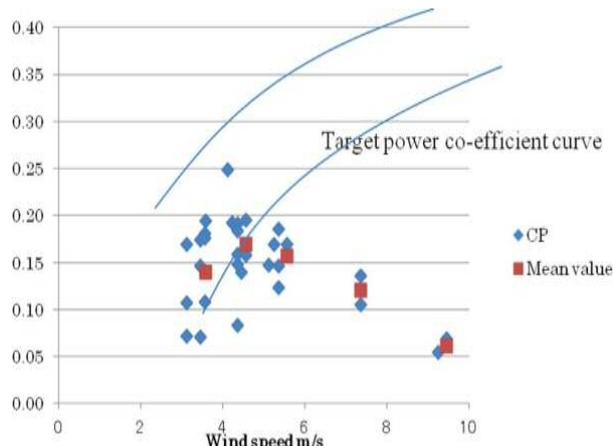


図 12 : Relationships between power co-efficient C_p and one day average wind speed m/s September 2011.

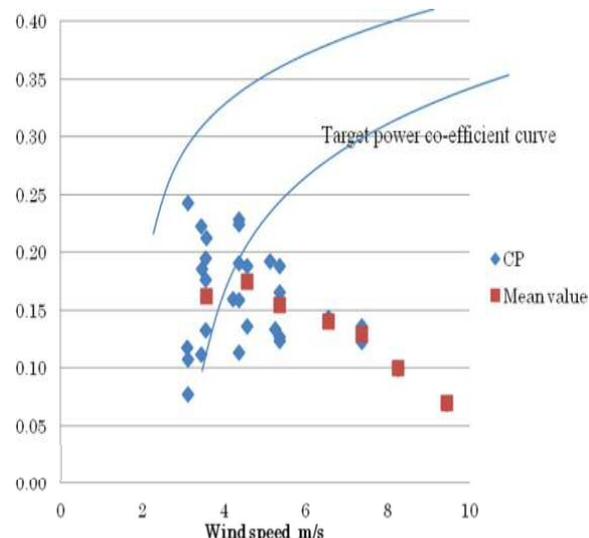


図 13: Relationships between power co-efficient C_p and one day average wind speed m/s November 2011.

4. 結び

昨年 3 月以来、ここ一年間ブレード取付部破損等の故障は生じなくなった。この点は、乗り越えられたような感じである。次は、風車高さを 6.5 m から 8 m と高くし、しかも翼車回転速度最大 350 rpm、発電機を増速比 1.3 倍および翼車直径 3.2 m と大きくするので、これに合わせて、バネ強度の改善を計り、風車の大幅な出力アップを実現したいと考えている。小型水平軸風車の幕明けをなしとげたいと考えている。