

菊武(キクタケ)スポーツヒルズ小型風力発電所建設報告書

Construct Resarch Report of Small Horizontal Axis Wind Turbine on Kikutake Sport Hills

清水幸丸・岡村聖

SHIMIZU Yukimaru*, OKAMURA Kiyoshi*

*名古屋産業大学 Nagoya Sangyo University

Abstract: Three small horizontal axis wind turbines are constructed in Kikutake sport hills of eco campus enterprise of Kikutake educational institution, July, 2013. The maximum output of these small wind turbines is 9kW. The rotor diameter is 3.6m. Height is 9.8m. Kikutake Sport hills are located on the boundary between Nagoya city and Owari Asahi city. Famous Tomei high-way is close to Kikutake sport hills. The area of kikutake sport hills is 8ha, in which baseball ground, soccer ground, tennis court, athletic museum and so on are set. The electric power which is generated from three small wind turbines is supplied to 5 emergency bulbes on the poles, which guides people to the safety ground on the emergency. Also, the electric power is used to many general purposes. The paper describes on the detail of these small wind turbines which have several advanced technologies. The advanced technologies are explained on this paper. One of advanced technologies is passive variable pitch control mechanism, and Mie-vane and new developed aerofoil section are applied to design the new wind turbine blade. You can understand the details of new technologies on the paper.

Keywords: eco campus project, small horizontal axis wind turbine, kikutake sport hill, new small HAWT, passive variable pitch control mechanism, double pitch control mechanism

1. まえがき

2013年7月に菊武学園エコキャンパス事業として、菊武(キクタケ)スポーツヒルズに3機の小型水平軸風力発電機(最大出力3kW)が建設された。

3機合計で最大約10kW程度が出力されることになる。本報告では、これらの風車について、比較的詳細に解説を行う。設置場所について説明する。

菊武スポーツヒルズ(キクタケスポーツヒルズ)は、菊武学園が所有するスポーツ施設で、図1に示すように、名古屋市守山区と尾張旭市にまたがる場所にある。合計8haとかなり面積は広く、東名高速道路沿いに位置する。この施設の一角にあるサッカー場に隣接して、3機の小型水平軸風車が建設されている。

図2には、これら3機の小型風車を示す。図3(a)および(b)には、小型風車の概略を示す。高さ9.8m、風車回転軸高さ8m、風車直径は3.6mである。

図3(a)に従って、風車各部の名称を説明する。上から風車ブレード(羽根)、風車ポール、風車架台、風車

基礎となる。図3(b)には、図3(a)で示されなかった風車発電機、風車尾翼(風向制御尾翼)が追加されている。図4には、風車コントロールパネルを示す。風によって回転させられた風車が発電機を回転させて電気を起こす、すなわち、発電する。このコントロールパネルによって発電した電気をバッテリーに蓄電する。また、パワーコンディショナーと称する制御装置によって商業用の配電線へ発電した電気を送り込むことも可能である。これを系統接続すると称する。現在の装置では、系統接続の能力は持つが、接続はしていない。接続するためには、電力会社の許可が必要である。本学の風力発電機では、発電した電気は、バッテリー(12V8個)に蓄電し、独立の非常用電源として街路灯を点灯するのに使用している。この電力は、幅広く使用することが可能なので、今後利用方法を考えて行くことが必要である。

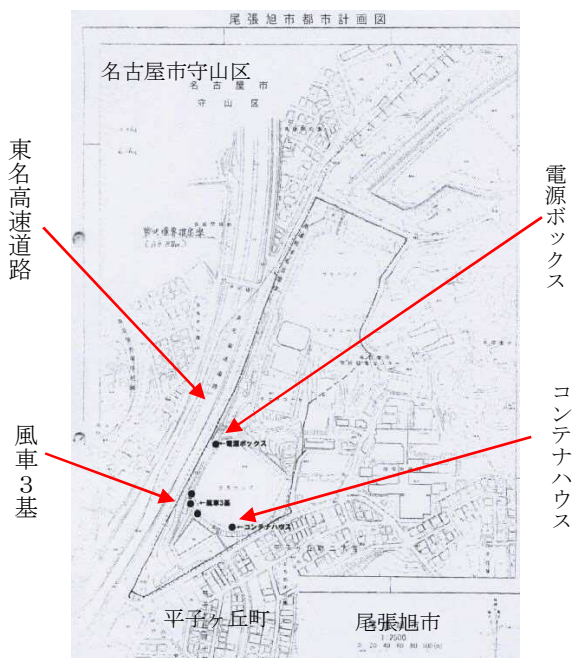


図1：菊武スポーツヒルズの地図上の位置

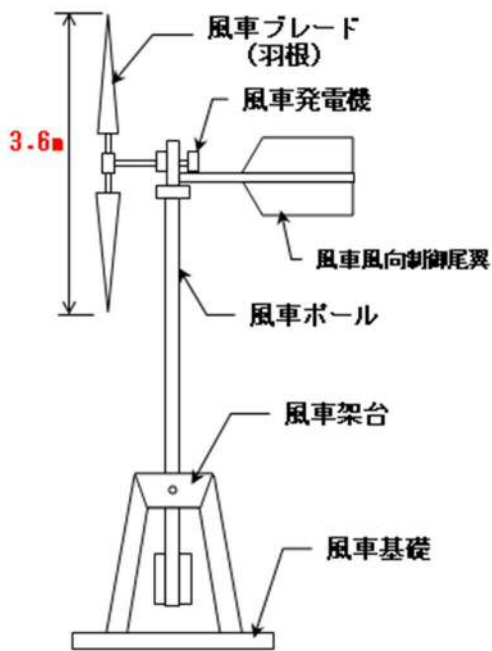


図3(b)：小型風車の概略説明



図2：小型水平軸風車全景



図4：風車のコントロールパネル(コントローラ)

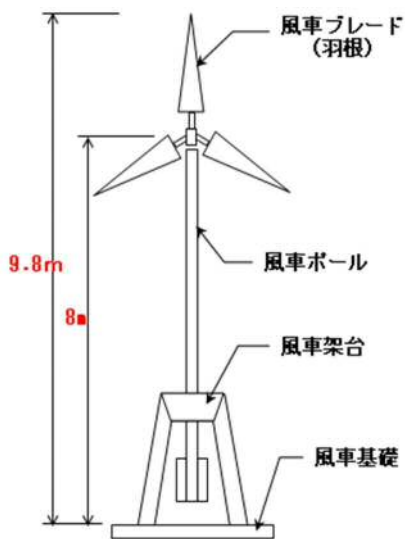


図3(a)：小型風車の概略説明

2. 本小型水平軸風車の特徴

2.1 小型風車の全体的特徴

風車は、一般的に吹いてくる風を風車ブレードが受けて、回転力を発生させて、回転し、発電機を回す。風が弱ければ回転力は弱く、風が強くなると回転力は大きくなり、発電量が増加して来る。風車が回るために必要な最低風速は2.5m/s～3m/sの間である。風速が15m/s程度と強くなると、風車回転数は、大きくなる。すなわち、早く回転することになる。1分間に350rpm以上回転すると、風車ブレードに働く遠心力が大きくなり、ブレードが破損する危険があるので、風を逃がしてやり、それ以上回らないようにするか、あるいは、ブレーキをかけて、停止させてしまうかす

る。自然の風は、一般的に、均一には吹いていない。地上高さが 30m 以上になると比較的乱れの少ない均一流に近づいてくるが、地上高 30m 以内では、速度変動は大きく、高さが 5m~10m では、変動は極めて大きくなる。例えば、5m/s 風速というのは、1m/s~7m/s ぐらいの幅で変動している。風速 15m/s の風ということになると 5m/s から 20m/s ぐらいの範囲で大きく変動する。

本風車の回転軸の高さは、8m である。風の変動幅は極めて大きい。この変動する風を風車ブレードで平均的に受け止めて、発電機を可変速で回転させながら周波数一定の良質な電力を得ることはそんなに簡単な技術ではない。

本風車では、変動の大きい地面近くの風で良質の電力を得るためいくつかの工夫がされている。その工夫は、特許という形で社会的に認められている。その 1 が、特許第 4649570 号、名称：風車ブレードピッチダブルピッチ制御。その 2 が、特許第 4104037 号、名称：パッシブ・アクティブ・ピッチ・フラップ機構である。この原理については、後述の図 8 で説明する。ここでは、簡単に説明する。15m/s 前後の強風が吹く場合を考える。この場合 5m/s から 20m/s の変動の大きい風が風車ブレードに吹き付ける。この風を受けて、風車ブレードの回転中心近くに取り付けられているバネ力を使って、風車ブレードの傾き角とピッチ角が変化する。これによってブレーキ力を発生させて風車の過回転を防ぐ。

2. 2 全体的特徴

図 5 には、本風車の特徴を示す。

1. ブレードダブルピッチ制御
2. 翼端小翼(ミエバーン)による出力増大
3. 風車専用翼型の使用
4. 4つの安全装置
 - ① ダブルピッチ制御装置
 - ② 電磁ブレーキ
 - ③ 短絡ブレーキ
 - ④ 台風時起倒式ポール
5. パワーコンディショナーを装着し、高品質電力の提供
6. バッテリーシステムを装着した独立電源として使用可能

発電された電力は、8 個のバッテリーを直列に接続されたバッテリー群に 96 ボルトで蓄電される。その後、パワーコンディショナーを経て避難誘導用電灯、一般

使用電源として供給される。

台風情報が出て、影響が考えられる場合は、図 5 下図に示すように横転させる。2013 年には、7 月~9 月の間に 6 回程度横転させ台風にそなえた。

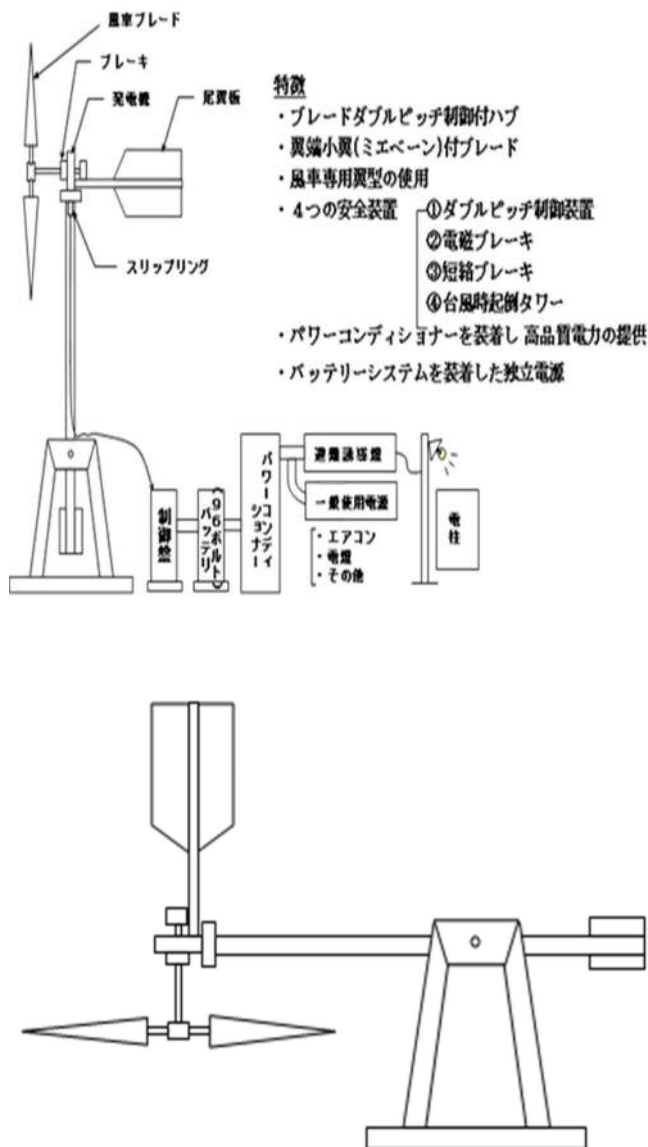


図 5：本小型水平軸風車の特徴説明図

2. 3 風車の代表的機構の説明

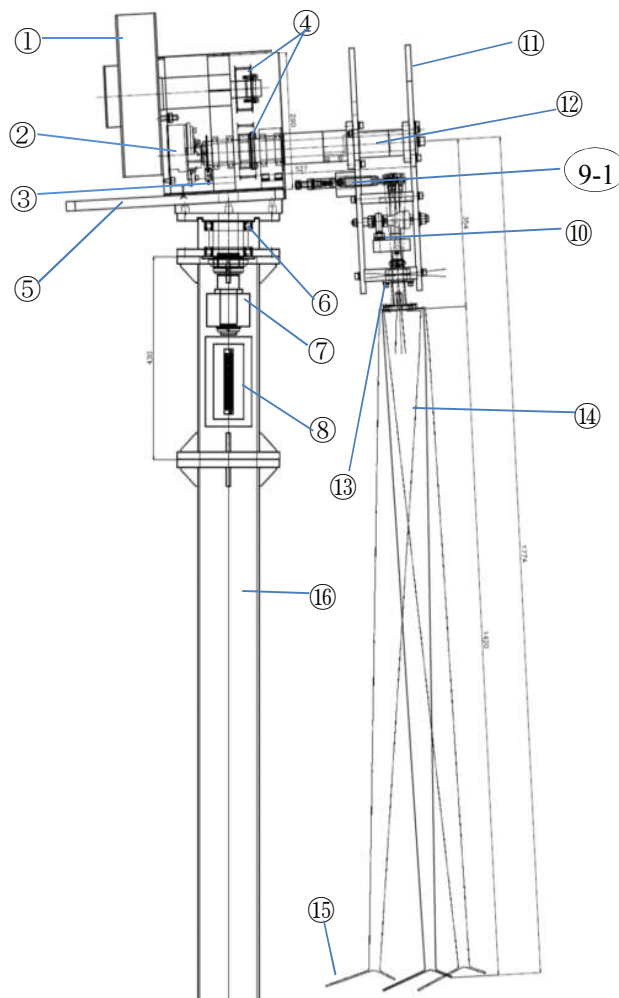
図 6 および図 7 には風車の心臓部分を示す。図 6 および図 7 中に○数字で主な風車構成要素の部品名称を示す。名称は、図中に英語、本文中には、理解しやすいように日本語で示してある。①風車用多極交流発電機、②電磁ブレーキ、③回転計、④増速用タイミングベルトギア、⑤風車台(基板)、⑥風向変化用ベアリング、⑦電力輸送用スリップリング、⑧各種電気輸送用ケーブルコネクター、⑨ブレードピッチ制御用

スプリング, ⑨ - ①主流方向制御スプリング, ⑨ - ②回転面平行方向制御スプリング, ⑩フレキシブルコネクタロッド, ⑪風車ハブ⑫風車回転主軸, ⑬ブレードピッチ制御用支点, ⑭風車ブレード, ⑮風車出力増大用 Mie タイプチップペーン, ⑯風車ポール, ⑰風車ブレード接続フランジ, ⑱風車ブレードピッチ制御用接続シャフト

これらの部品は、以下に述べる各種風車機構が滑らかに作動するように組合されている。

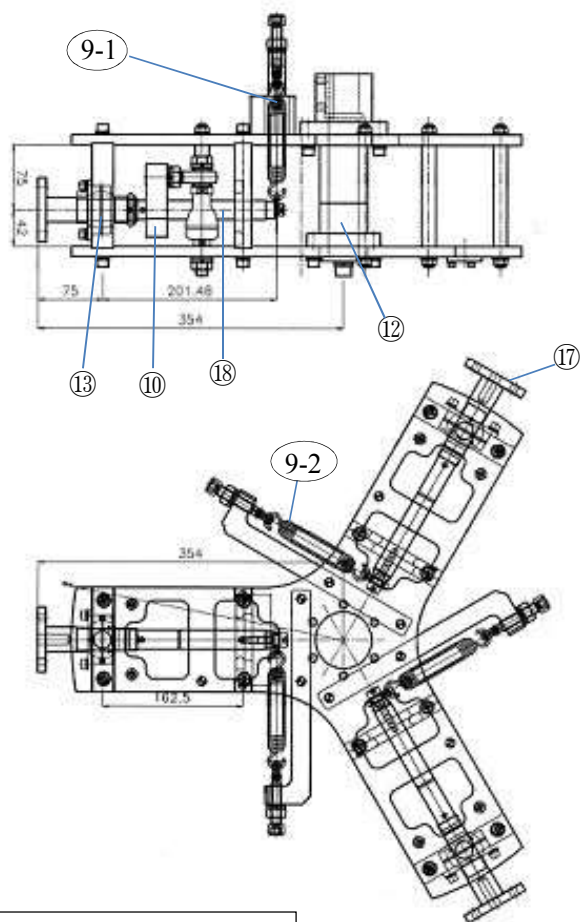
図6の風車ブレード⑭は風速 0m/s では、前方に 3° 傾いている。その時のブレードピッチ角は+3° である。ピッチ角が深く取ってあるのでブレードの揚力発生が大きく、風車ローター全体として、回転力が大きく出て、起動しやすく設計してある。風速が上昇し、風車ローターが回転し始めると、ブレードは、余々に回転面に平行に近づき、直立して行く。風速がさらに上昇するとバネで引っ張っている力に打ち勝って、ピッチ角 0° となり、直立し、最大出力を達成する。さらに、風速が上昇すると風車ブレードは、後方に倒れるようになる。この際ブレードピッチ角はマイナスピッチ角になり、揚力発生がストップし、回転をブレーキする方向に力が作用するようになる。これ以上出力増大が困難になる。すなわち、強風 15m/s~20m/s で発電機容量一杯の電力を発生させ、それ以上発電すると発熱のため、発電機が焼損するのを防ぐことになる。スプリング⑨-1,⑨-2は、このような役割を持つことになる。

④のタイミングベルトによる増速は、1.24 倍である。この目的は、風車のブレードが設置されているハブの回転数を低くするためにである。発電機については、後程詳述するが、この発電機では、350rpm で連続長時間運転しても、発生する熱で、発電機内のコイルが焼損することがないように設計されている。発電機を 350rpm で回すと風車ローターは、増速比が 1.24 であるから 282rpm になる。風車ブレード一枚重量は、5.6 kg である。このブレードを 300rpm 以上で連続長時間回転させることは、多少問題である。従って、一応設計の目安として、風車ローターは、300rpm 以下で回転させることにしてある。すなわち、風速 20m/s~30m/s という超強風が吹いても、風車ローターは、300rpm 以下で回転が押えられておれば、破損することはないという考えである。



- ① Generator
- ② EM brake
- ③ Rotation meter
- ④ Timing belt gear
- ⑤ Base plate
- ⑥ Bearing
- ⑦ Slipring
- ⑧ Wire connector
- ⑨ Spring
- ⑩ Connector rod
- ⑪ Hub
- ⑫ Main shaft
- ⑬ Foruculum center
- ⑭ Blade
- ⑮ Mie type tip vane
- ⑯ Main pole

図6：風車機械部の名称及び寸法



⑰blade connect frange
⑱blade connect shaft

図7：風車ナセルの名称および寸法

ダブルピッチ制御機構の概略

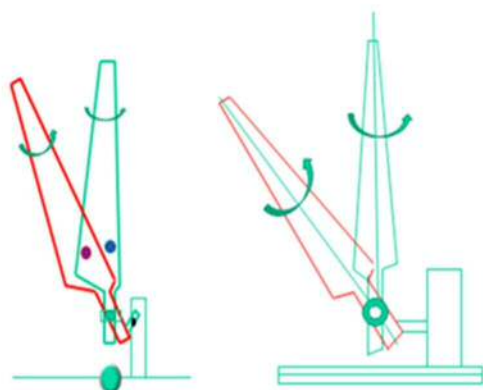


図8：ダブルピッチ機構の説明図

図8を用いて、上述のダブルピッチ機構の説明を再度行う。ダブルピッチ制御機構は、著者の一人清水等の発明品である。特許第649570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8に示す説明用概略図を用いる。本機構は、2つの機構が組み合わさっている。

その1：図8の右：風車ブレードの風速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、スタート時引っ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ち勝って垂直に立ち、さらに強風になると後傾し、逆ピッチとなり、失速状態になる。

その2：図8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力に打ち勝って、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。その運動の課程でブレードは、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、安全性を保つ。

2.4 風車ブレードについて

図9には、風車ブレード全体の写真を示す。図10には、ブレードの翼型配置図を示す。全長は、翼端のミエバーンを除いて、 1.4m である。図には、翼断面形状および各断面のひねり角度が記されている。翼の回転中心側には、風車専用翼形が配置されている。



図 9 : 使用した風車ブレードの写真

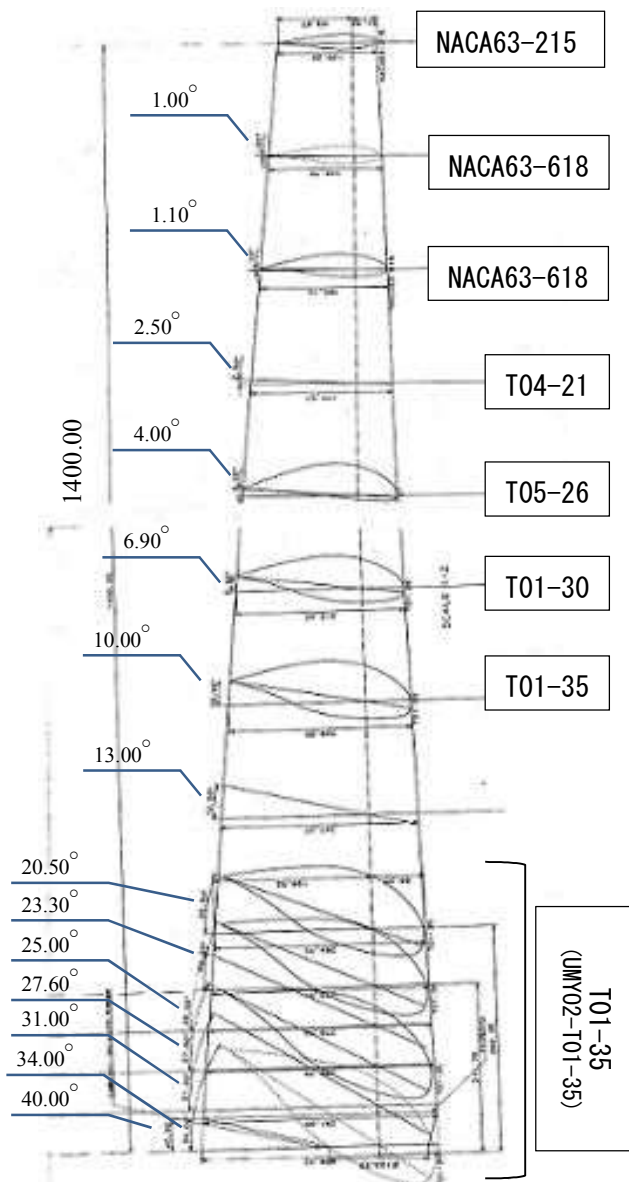


図 10 : 風車ブレードの翼断面形状およびひねり角度分布

2. 5 風車の基礎

図 1 に示した地図上の一角に図 11 に示すようなコンクリート製の基礎を作り、その上に、3 台の風車を設置した。図 12 には、設置した風車ポール：可倒式風車ポールの概略寸法を示す。風車回転軸高さは、8m であり、最大高さは、9.8m (8m+1.8m) である。この高さであれば、国立公園の最大高さが 13m で規制されている場所でも問題はない。

2. 6 風車用多極交流発電機

図 13 には、風車用多極発電機を示す。この発電機は、一般市販品でなく特注品である。日本電子技術㈱で設計・製作された。図 14 には、発電機およびコントローラ(電子制御盤)の結線図を示す。図 15 には、3機の小型風車のコントローラを示す。このコントローラは、風車設置場所近くに置かれたコンテナの中に収納されている。コントローラ前面には、図 16 に示すように電圧計、電流計、回転計、外部電源スイッチ、風車ブレーキ表示灯、手動短絡ブレーキボタン、電磁ブレーキ ON-OFF スイッチが設置されている。なお、風車のブレーキシステムは、図 17 に示されている。図 17 に示された指示に従ってブレーキ操作を行えば、安全運転が可能である。



図 11 : キクタケスポーツヒルズに作られた風車の基礎

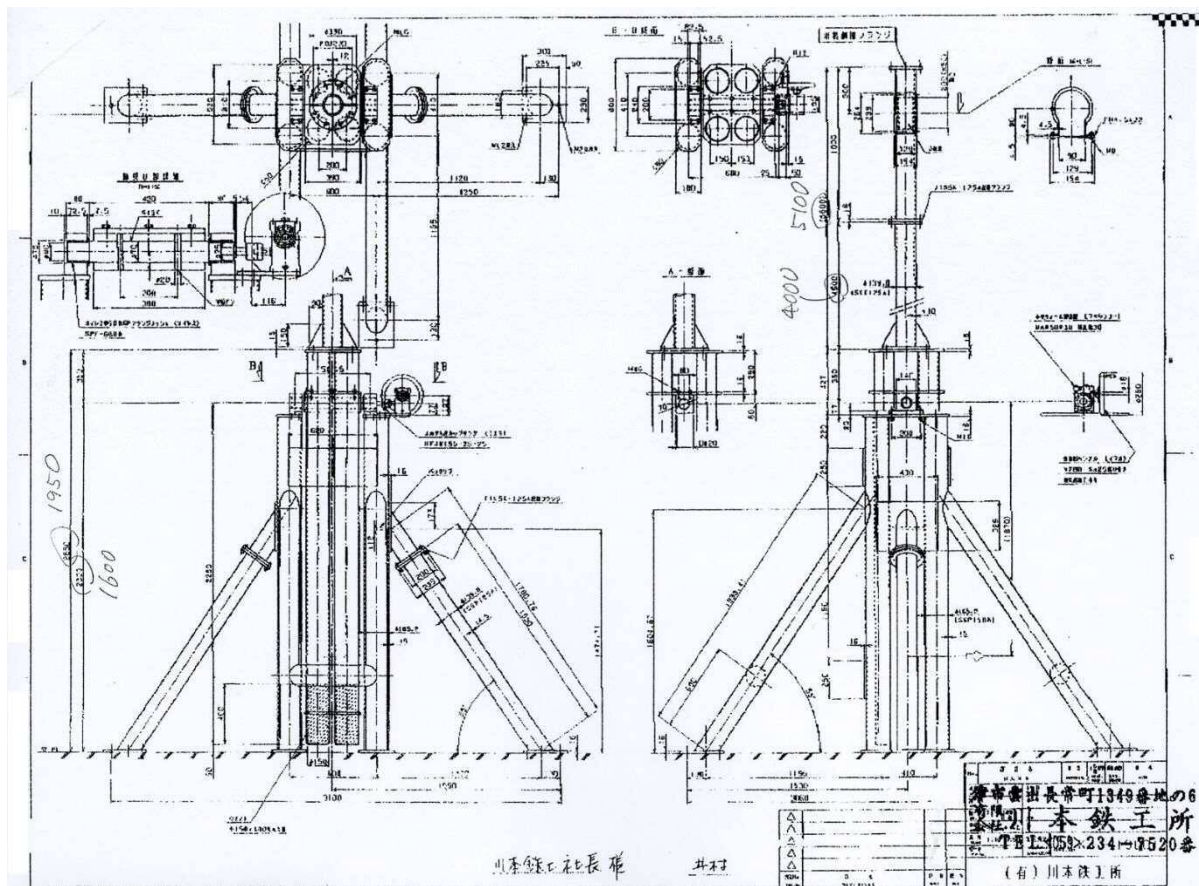


図 12：風車タワーの概略図

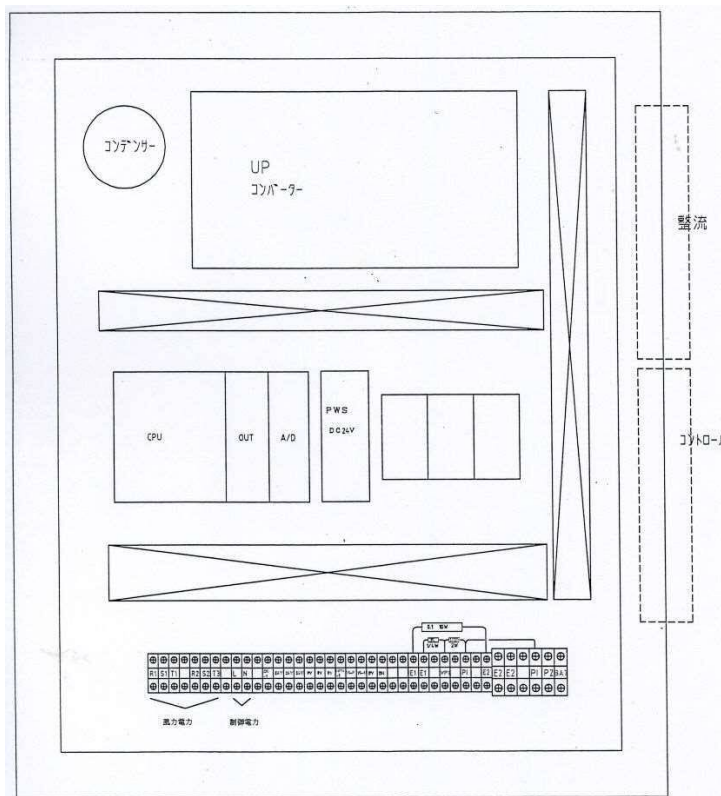


図 13：風車用多極発電機

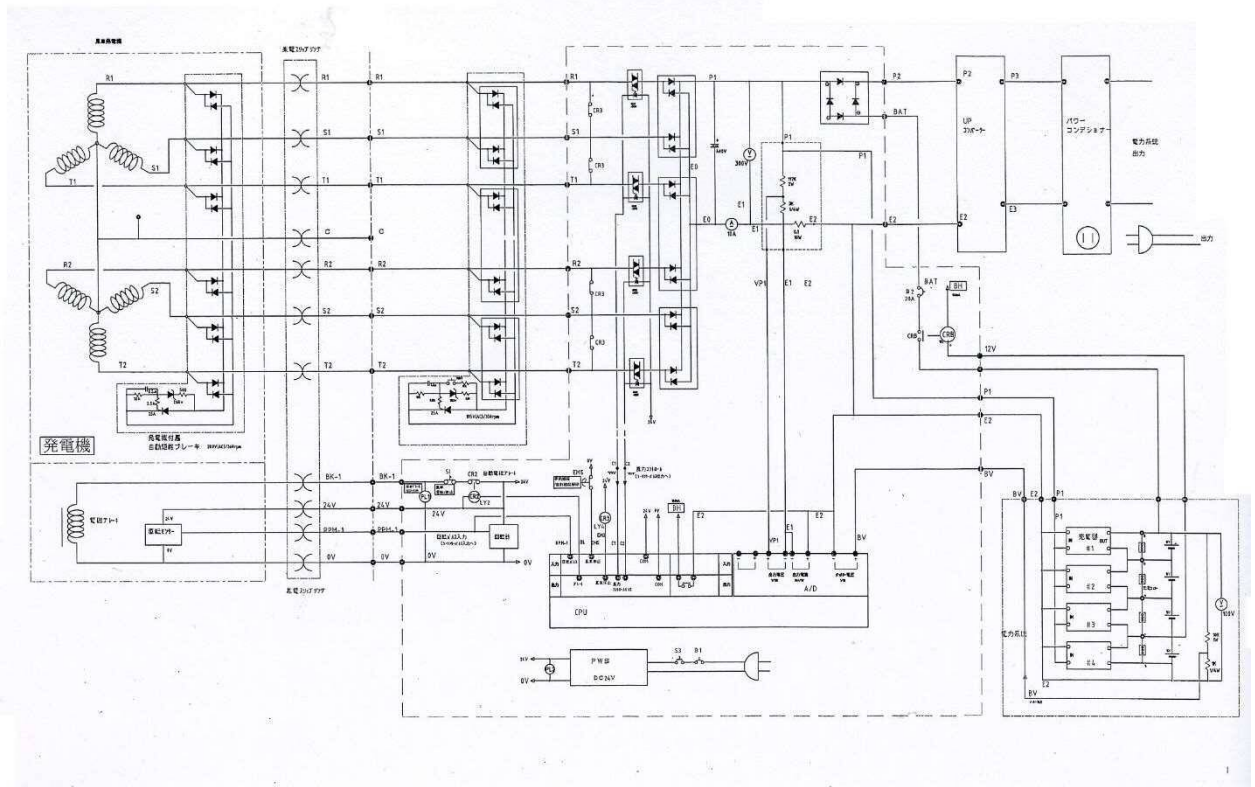


図 14 : 発電機およびコントローラ(電子制御盤)の結線図



図 15 : 風車コントローラ

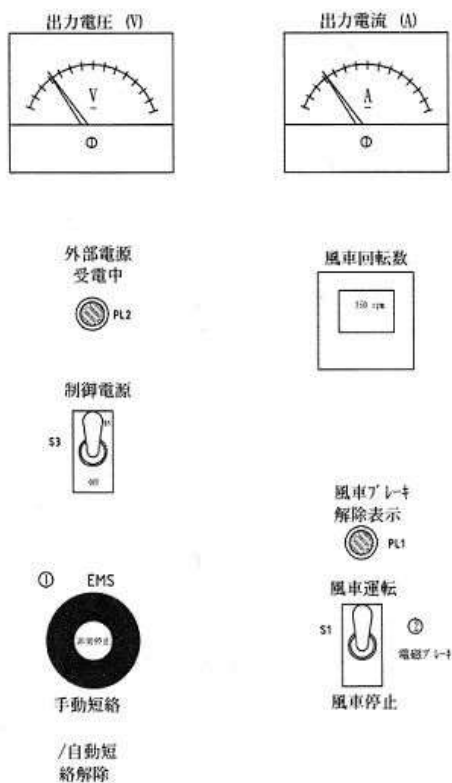


図 16 : 風車コントロールパネル前面のメーター類とスイッチ

風車運転/停止操作手順

風車停止	<ol style="list-style-type: none"> ① 非常停止ボタンを押す。 <small>(強く押し込み、押し下げた位置でかけられるのを確認。)</small> 3秒待つ ② 電磁ブレーキスイッチを風車停止にする。 <small>(S1ボタンを下に押し下げる。)</small>
風車運転	<ol style="list-style-type: none"> ① 非常停止ボタンを右に回す。 <small>(押し直しがつかないことを確認。)</small> ② 電磁ブレーキスイッチを風車運転にする。 <small>(S1ボタンを上押し上げる。)</small>
自動停止確認	<p>無人運転を行う場合に必ず実行してください。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 発電出力電圧DC60V以上を確認後、自動短絡ブレーキボタンのテストボタンを押す。 ② 風車回転が急激に減速するのを確認する。 ③ 風車停止操作を行う。 <small>(この操作を行わないと自動短絡ブレーキが解除されません。)</small> ④ 風車運転操作を行う。
注意	<p>制御電源はONの状態でないとは運転できません。 バッテリー放電によるバックアップシフトからの出力も出ません。</p>

図 17 : 風車ブレーキ手順

3. 小型風車の発電結果

図 18 には、2 号機、3 号機の発電結果を示す。図 18 には、2 号機、3 号機の電圧、電流、回転数、バッテリー電圧、電力が示されている。値は 10 分間平均値である。順調に発電している。

4. むすび

ここに紹介した 3 機の小型水平軸風車は、菊武学園のエコキャンパス事業として取り組まれた。建設に当たっては、高木弘恵理事長の熱意によって、スムーズに進んだ。また、台風シーズンの風車ポールの起倒に当たっては、菊華高校サッカー部部長浅野先生にご援助頂いている。ここに合せて謝意を表する。

日時	2号風車 電圧 (DC0.1V)	2号風車 電流 (0.1A)	2号風車 電力 (0.1W)	2号風車 回転数 (rpm)	2号バッテ リー電圧 (DC0.1V)	3号風車 電圧 (DC0.1V)	3号風車 電流 (0.1A)	3号風車 電力 (0.1W)	3号風車 回転数 (rpm)	3号バッテ リー電圧 (DC0.1V)
2014/4/4 14:40	5.15	2.84	5.70	5.70	1019.79	28.84	12.19	461.89	5.00	1023.44
2014/4/4 14:50	4.70	3.48	4.21	4.21	1027.41	25.62	14.99	469.10	5.00	1026.88
2014/4/4 15:00	2.85	2.85	2.94	2.94	1019.20	24.14	12.34	406.70	5.00	1024.04
2014/4/4 15:10	3.58	2.37	3.68	3.68	1016.99	29.02	9.46	405.23	4.15	1021.47
2014/4/4 15:20	2.16	2.01	2.74	2.74	1021.82	22.26	8.57	257.13	4.00	1019.00
2014/4/4 15:30	2.36	2.52	3.23	3.23	1020.40	21.17	10.25	307.02	4.00	1017.96
2014/4/4 15:40	2.60	2.45	4.60	4.60	1025.16	21.95	10.60	290.09	4.00	1021.53
2014/4/4 15:50	10.19	3.07	10.11	10.11	1024.73	69.17	13.31	950.86	2.90	1025.02
2014/4/4 16:00	8.55	2.50	8.38	8.38	1019.81	65.05	12.15	820.94	2.87	1023.10
2014/4/4 16:10	7.11	1.89	10.14	10.13	1021.50	79.47	7.11	451.02	4.83	1015.60
2014/4/4 16:20	13.05	3.24	9.62	9.62	1024.68	97.30	14.91	1432.25	4.88	1026.85
2014/4/4 16:30	12.14	2.31	9.49	9.49	1024.01	69.90	9.35	792.85	2.40	1017.50
2014/4/4 16:40	8.33	2.18	9.57	9.57	1019.61	74.42	11.13	670.49	2.72	1025.22
2014/4/4 16:50	11.41	3.01	12.97	12.97	1020.70	106.28	13.28	1537.00	2.81	1024.31
2014/4/4 17:00	13.50	2.94	16.21	16.22	1023.50	108.85	12.45	1391.51	5.89	1024.65
2014/4/4 17:10	9.75	2.06	11.88	11.88	1020.66	104.90	9.73	1048.18	5.99	1021.34
2014/4/4 17:20	8.13	2.56	11.45	11.45	1018.69	76.18	11.73	1032.25	3.20	1023.31
2014/4/4 17:30	9.10	1.90	11.45	11.44	1018.00	83.48	9.19	905.93	4.82	1022.09
2014/4/4 17:40	8.78	3.04	9.50	9.51	1022.18	54.88	13.06	743.71	1.83	1023.99

日時	2号風車 電圧 (DC0.1V)	2号風車 電流 (0.1A)	2号風車 電力 (0.1W)	2号風車 回転数 (rpm)	2号バッテ リー電圧 (DC0.1V)	3号風車 電圧 (DC0.1V)	3号風車 電流 (0.1A)	3号風車 電力 (0.1W)	3号風車 回転数 (rpm)	3号バッテ リー電圧 (DC0.1V)
2014/4/6 14:00	10.91	1.97	10.47	10.47	1018.40	105.41	10.34	988.49	5.44	1024.82
2014/4/6 14:10	8.77	2.75	13.18	13.18	1025.17	143.15	11.50	1612.40	8.82	1021.02
2014/4/6 14:20	11.86	2.14	12.17	12.16	1021.95	136.41	9.53	1304.52	7.99	1020.99
2014/4/6 14:30	8.32	1.52	11.29	11.29	1016.72	111.37	7.71	926.37	7.09	1019.76
2014/4/6 14:40	6.27	2.26	7.58	7.59	1021.00	41.91	10.86	552.69	1.40	1023.23
2014/4/6 14:50	7.96	2.64	9.11	9.11	1024.50	41.54	12.16	593.79	0.67	1023.51
2014/4/6 15:50	5.10	2.09	9.70	9.70	1015.41	49.83	10.97	652.74	1.09	1024.71
2014/4/6 16:00	8.62	1.95	9.95	9.95	1018.97	86.16	9.02	860.50	4.04	1023.33
2014/4/6 16:10	6.35	2.42	11.47	11.47	1021.78	43.23	10.17	481.90	0.22	1019.90
2014/4/6 16:20	6.99	1.95	9.62	9.62	1016.71	26.10	10.08	358.64	0.96	1022.86
2014/4/6 16:30	5.53	2.44	5.81	5.81	1023.51	25.51	10.42	340.03	3.00	1021.91
2014/4/6 16:40	4.92	1.77	6.46	6.46	1020.19	22.77	8.40	224.67	3.00	1021.37
2014/4/6 16:50	5.64	2.32	7.85	7.85	1021.14	26.17	11.62	365.83	3.00	1025.14
2014/4/6 17:00	5.70	2.99	9.26	9.26	1027.13	28.04	12.18	399.43	0.54	1020.55

図 18 : 小型風車の発電結果の一部