

太陽熱利用マイクロ風車駆動装置の設計製作

Design of micro wind turbine driving device on base of solar air heat collector

中村俊弘・清水幸丸

NAKAMURA Toshihiro* & SHIMIZU Yukimaru,

*名古屋産業大学環境情報ビジネス学部学生 Nagoya Sangyo University, Environmental Information Business faculty student

Abstract: It is very interest how to convert solar thermal power to electric power. Solar air heat collector and chimney are applied to the converting system. First, outside air is heated by solar air heat collector and, after, heated air is drafted by the chimney system. Small axial wind turbine is set in the base of chimney and is drove by the heated air flow. The power added to the solar collector by sun light is about 2kW, but the output power of wind turbine is about 0.22W. This value is very small. Our device has many defects, and these defects are going to be improved.

keywords: Sun heat system, voile Charles' low,

1. はじめに

本研究は、太陽熱を空気集熱器を用いて集め、煙突システムを用いて、煙突内に上昇気流を発生させ、その上昇気流で小さな風車を駆動し、発電を行うとするものである。

この方式は、超大規模なものは、オーストラリアやスペインで開発されている。著者等は、普通の街並で使用できる比較的小規模のものを開発したいと考えている。

実験では、現在 15 m²程度の小さい太陽熱空気集熱器を自作し、最大の集熱条件等を求めた。この方法では、空気集熱器と煙突システムを組み合わせた高さが相当高くなり、危険のため思うように実験ができなかったが、風車を回転させることは十分できた。

本報告では、この実験結果を報告する。

2. エネルギー状況と研究概要

日本は2008年から2012年の間に京都議定書にもとづいて、1990年レベルのCO₂排出量の6%の削減が、国際的に義務付けられている。このような状況のなかで、再生型自然エネルギーの開発が世界的に活発になっている。最も普及している発電方法としてはシリコン太陽電池が支配的である。シリコンは素材に不純物を含有するため太陽が照射し発電を

始めると発熱し、セルの温度上昇により効率が低下、最高効率でも25%程度が限度である。今後、この原理的発熱損失の無い非シリコン系（窒化物系）の素子により発電効率50%の目標で研究開発が進められる。一方、風力発電においては大型の風力発電機を用いて、現在では世界全体では、1億kWを超えるにいたっている。これは、100万kW原子力発電所25機～30機の発電量に相当する。また、太陽熱利用の分野で、一時ソーラコレクター温水用が活発に利用されたが、現在は下火になっている。米国等においては大規模出力の太陽熱利用発電所がみられるが、まだ世界を動かす力にはなっていない。太陽熱で空気を加熱し、エントツ内で、上昇気流を発生させ、その気流の中で発電を行う試みは、オーストラリア、スペイン等で1000kW相当の大規模装置の開発が試みられている。この提案は小規模なソーラ空気集熱器を使って、上昇気流を発生させ、マイクロ風車を駆動し動力を得るという研究テーマにおいては著者等の研究以外にはみられない。この発電方式の利点は①弱風の利用のため設置構造が簡単である。②発電機の設置位置が低く羽根応力、重力モーメントによる支持物破壊の心配が少ない③維持費用が不要である。

2005年度の研究では、直径180mmのマイクロ多

翼風車が、温風によって駆動回転させ微小電圧が発生可能であることを実証した。今回はマイクロ多翼風車の直径を 550 mm、約 2 倍、回転力のアップを図り、装置容量も増大改良した。この空気集熱器の出力を計算、測定したので報告する。本研究の最終的な目的は、発生した電気出力を用いて涼房装置(最低 1.5kw 程度)を駆動したいと考えている。これ対応するソーラ集熱器は、極めて大型になる見込みである。

3. これまでの成果

3-1 平成 18 年成果(2006 年)

平成 18 年 8 月、屋外実験において、無風状態で、1.5m/sec の高温気流の風速を確認した。改良発電機の風車直径 20 cm を用いたこの実験では、室内で青色の LED(2.7m/sec 1.8v 1 個)を点灯することを確認したが屋外のシステムではこの風速が達成できず点灯出来なかった。大型商用の発電機では 4~5m/sec 以下で風車は停止する。この「微弱風力」をく死に風と名づける。この風を利用することが、この研究のテーマとも言える難しい技術である。微風用の風車のポイントは地表の風速とゆらぎ(1/f)に対応できることが不可欠な条件である。原因は、排出温度が高い結果から内圧と口径の関係、即ち内圧が拳がらないまま外気に排出していないためではないかと考えた。

3-2 平成 19 年度成果(2007 年)

前年度の成果から、風速を上げ排出温度が低くても、排出速度の向上を目指した。この対策として、過熱器から取出すパイプを 5 本から 8 本に増設し集熱箱を設け排出速度を変更できる構造とした。この測定結果は①最大風速 2.5m/sec②集熱器温度は最大 61.3℃となった。しかし集熱エネルギーは大きい最大 2.5m/sec であったが風速が持続せず LED(20mA 1.7v 1 個)を点灯に達しなかった。これには 1.7m/sec 以上の連続した風速が必要であることが分かった。さらに、目標である羽根の大型化と排出径 580φ の製作を開始した。

3-3 平成 20 年度成果(2008 年)

実験室での試験運転により、完成したこの羽根は重量 80g と軽量化に成功した。この 550φ の室内実験では改良風車の場合の風速 2.7m/sec から 1.1m/sec に低下した。この原因は空気の排出径、羽根の径が大き過ぎて内圧が上がらないと考える。また屋内実験では 0.8 m/sec と低い風速で初速回転したが、屋外では回転しなかった。このため連続して 2.5 m/sec の風速が期待できる、排出直径 200φ によるデータ

を収集し成果とすることとした。

4. 集熱器の容量

装置は気密密封性が性能を大きく左右するが、温度上昇による材質の劣化が著しい。また出力は外気温度と日射量によって大きく変わる。温度差 7 電気設備が大きいほど、外気温度が高いほど、大きなエネルギーが期待できる。外気温度が 30℃、無風状態での確認できる平均的容量は次の通りである。

性能	数値
平均熱出力	2kW
5 点平均風速	2.3m/sec
加熱室温度最高	98℃
集熱部温度	61℃
排出口径	200mm
受光全体面積	15m ²
風量	15m ³ /min

5. 電気設備

5-1 発電機容量について

発電機容量はこの装置から発生可能な値を正しく把握して大きさを決定して、これにより回転できる発電機を決めなければならない。過大に大きな発電機を選定すると羽根の重量、反抗トルクで回転できない。総合的に計算で、システムに適用する容量を決定する必要がある。

5-1-1 熱力学的容量

製作した空気加熱器容量を 2kw と仮定して密度を 1/900、熱ロス効率 0.1 とすると、容量 $P=2000 \times 1/900 \times 0.2=0.22$ になる。この値は、蒸気機関車のような効率の悪い動力機関の値である。

すると羽根の重量、反抗トルクで回転できない。この大きさを計算して、システム容量を決定する。

5-1-2 空気力学的容量

出力を試算すれば、風速を $V[m/s]$ として、風に垂直な $1m^2$ の枠を 1 秒間に通過する空気の質量を $m[kg]$ とすると、風の持つ運動エネルギーは

$$K = \frac{1}{2} m V^2 = \frac{1}{2} (\rho V) V^2 = \frac{1}{2} \rho V^3 [J/m^2 \cdot s]$$

ρ : 密度 $[kg/m^3]$

である。また受風面積 A 、プロペラの

半径 R の理想の風車のエネルギーは

$$W = \frac{1}{2} \rho A V^3 = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho V^3 [J/s]$$

となり、風車の受風面積に比例し、風速の 3 乗に比例する。エネルギーを大きくするには

- ① R 、羽の径を大きくする。
- ② 風速を速くする。
- ③ 空気密度を大きくする。の三つの方法がある。

風速三乗の式により空気加熱器によって発生した風速を度 1.5m/sec 、面積 0.1256 、機械的ロス 0.6 として、計算すると $P = 1/2 \rho A v^3 = 1/2 \times 1.225 \times 0.02857 \times 1.5 \times 1.5 \times 1.5 \times 0.1 \times 9.8 = 0.06\text{w}$ となる。

5-1-3 水力発電方式の容量

システムを水力で発電可能であるとして計算すれば、 $p = 9.8 \times QH\eta$ を用いて $p = 9.8 \times 0.1256 \times 1.5 \times 4 \times 0.8 = 5.9\text{w}$ となる。ここで、水量 $Q = 0.2$ 位置 $= 4$ 効率 $= 0.8$ で計算。この数値から、空気は水の密度 $1/900$ の大きさであり、能力的には圧倒的に水力発電が有利である。

5-2 発電機と負荷の選択

このシステムに適用できる負荷は、LED 以外に無い。LED の販売される前の最小電力のミニチュア電球 ($1.5\text{v} 1.8\Omega$) は 1.3w であった。LED の消費電力は 1 つで $1.9\text{V} \times 17/1000\text{A} = 0.04\text{w}$ と小さいが初期内部

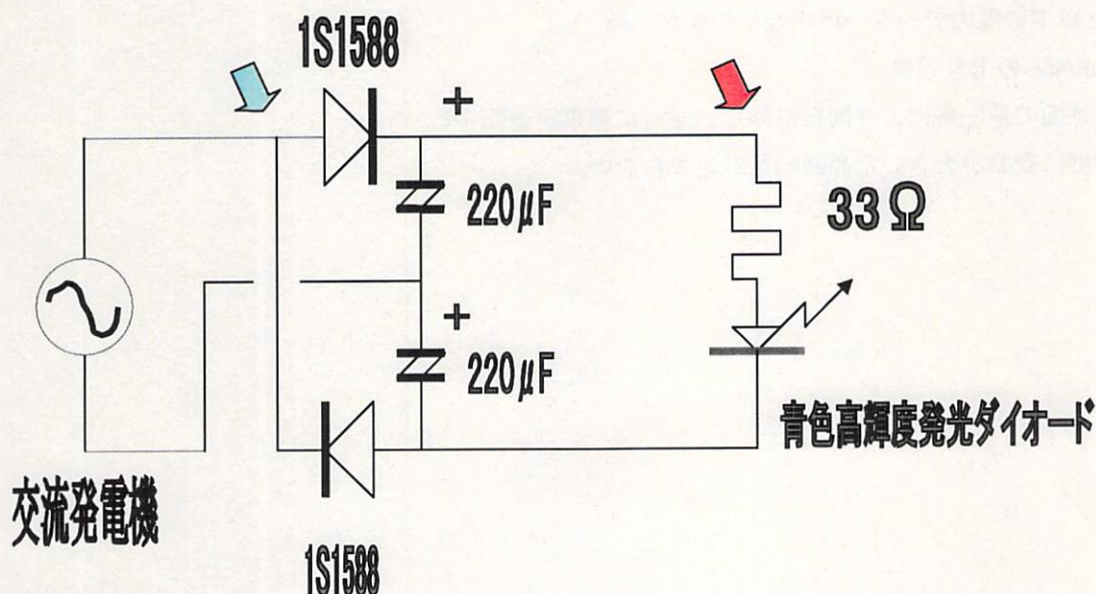
抵抗が大きい欠点があり点灯の持続条件が難しい。

これには、初期の起動電圧が高い必要がある。また点灯を持続させる安定抵抗が必要になる。電圧の大きさは、風車の回転数で決まるためどの程度の回転数か見極めなければならない。また電圧を上昇するには発生する電気が交流でなければ電圧を上げられない。トランスによる昇圧は鉄損失が大きいため不能である。また回転数 N は室外実験においては、風車重量 35g 、軸受ロスから 160rpm が限度であった。この試験結果から $N = 120 \cdot f/p$ の基本式により、測定回転数は 22 極となる。発電機は低い回転数でのトルクの大きい、電圧の発生が高い能力のある汎用 MR-2 ステッピングモーター (数値制御用) を選定した。この回転数による発生電圧は約 1.5V であり点灯可能な電圧 1.9V を下廻る。このため、交流発電機の負担が少ない電圧倍増回路を作成した。一般的に発電機が安定して負荷することが出来る容量は負荷の 50~100 倍と言われているが、慣性エネルギーの小さい小型な発電機ほど突入電流の負荷に対して、安定な電圧維持が出来ない点を考慮する必要がある。

5-2-1 電圧上昇回路

発生電圧は約 1.5V と低く点灯可能な電圧 1.9V を下廻るため点灯電圧を上げる必要があるため電圧倍増回路を製作した。

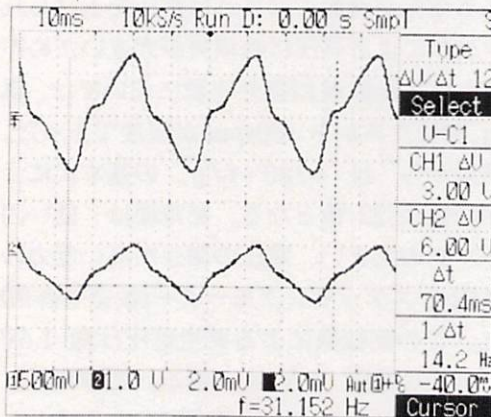
5-2-2 電圧倍増回路



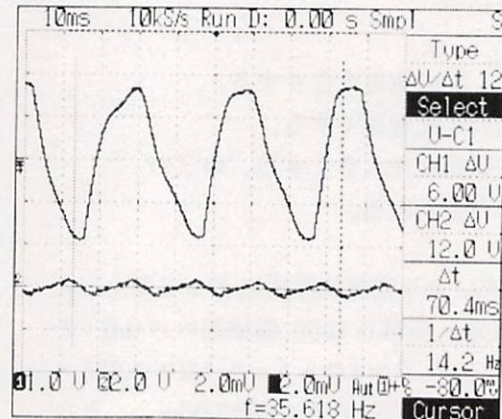
5-3 LED 点灯波形

発電機と LED の点灯結果の波形を以下に示す。

LED 点灯中



LED 点灯なし





Ch1 電圧波形 ch2 電流波形

LED の点灯中は電圧波形が歪む。これは発電機の容量が小さいためである。最大値 1.6V

Ch1 電圧波形 ch2 電流波形

LED の無負荷で最大値 3.2V で電圧倍増回路が機能している。

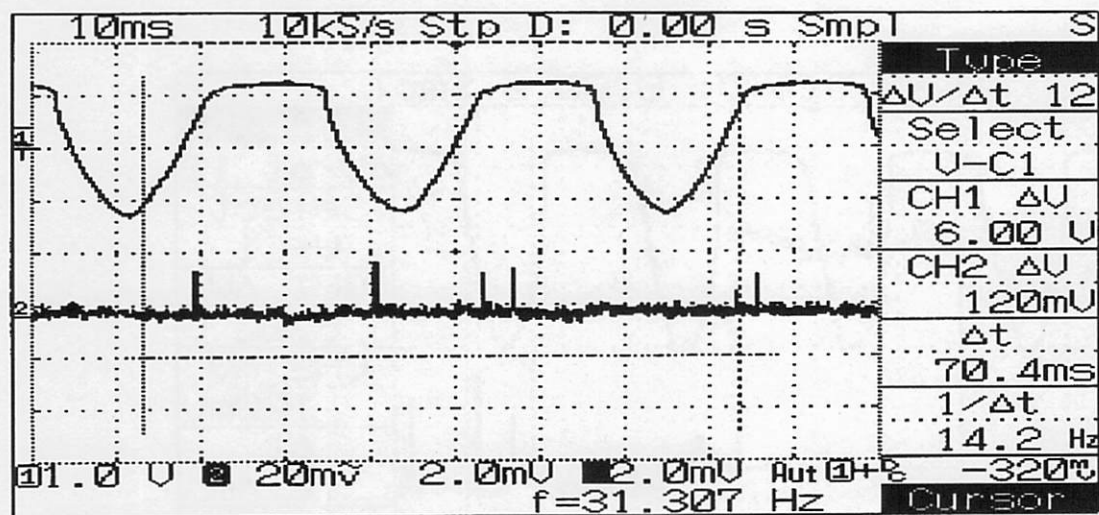
Ch1  ch2  回路図参照

扇風機の風速は 2.2~4m/sec 程度である。製作した回路による青色の LED 点灯試験では、風速 1.7m/sec 1v 160rpm 0.04W が点灯することを確認した。また風速調整のためスライダックによる電圧調整を行った。実際の業務用発電では 5m/sec 以下の低風ではシステム上、風車は回転しない。この「微風」<死風>は地表風のため一定せず吹き上げ、ダウンプロウを繰り返す欠点を持っている。このほかの問題点として、

- ① 4m 以下の風の場合測定器ケストラルは自動測定が不能
 - ② 4m/sec 以下の風力データーは少なく比較が困難
 - ③ 風力 0m/sec の上昇効果
 - ④ 上層と地面の逆転風により回転が停止、さらに風車が逆転する。
 - ⑤ 風の速度に変動が大きいため回転数が定まらない。
- がある。

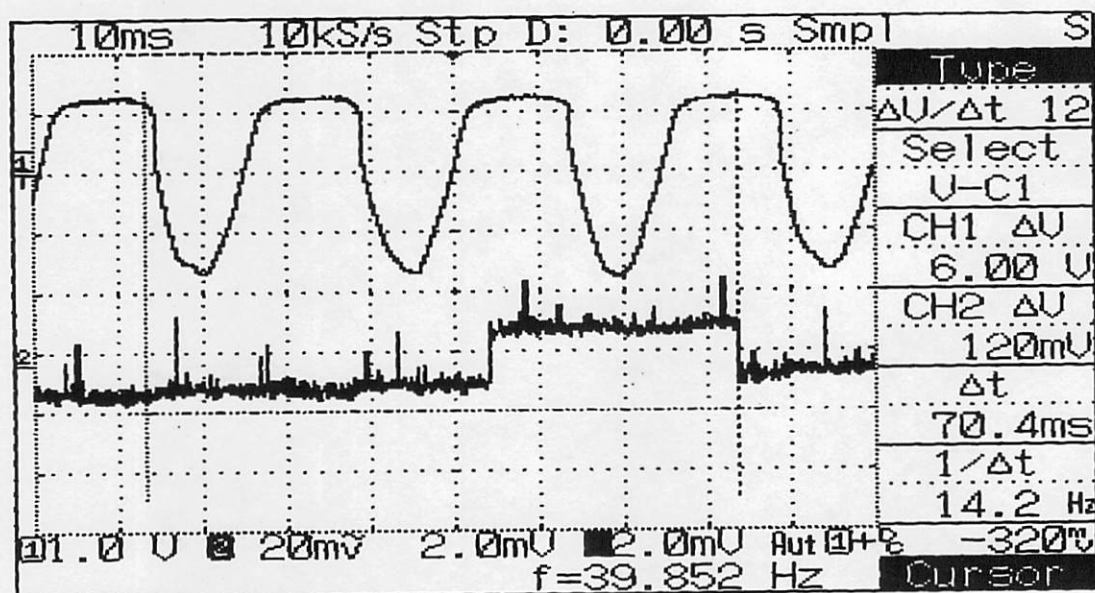
5-3-1 微風状態に於ける波形

風速 2.2m/sec 160rpm 点灯確認判定△ AC 最大値 1.3V



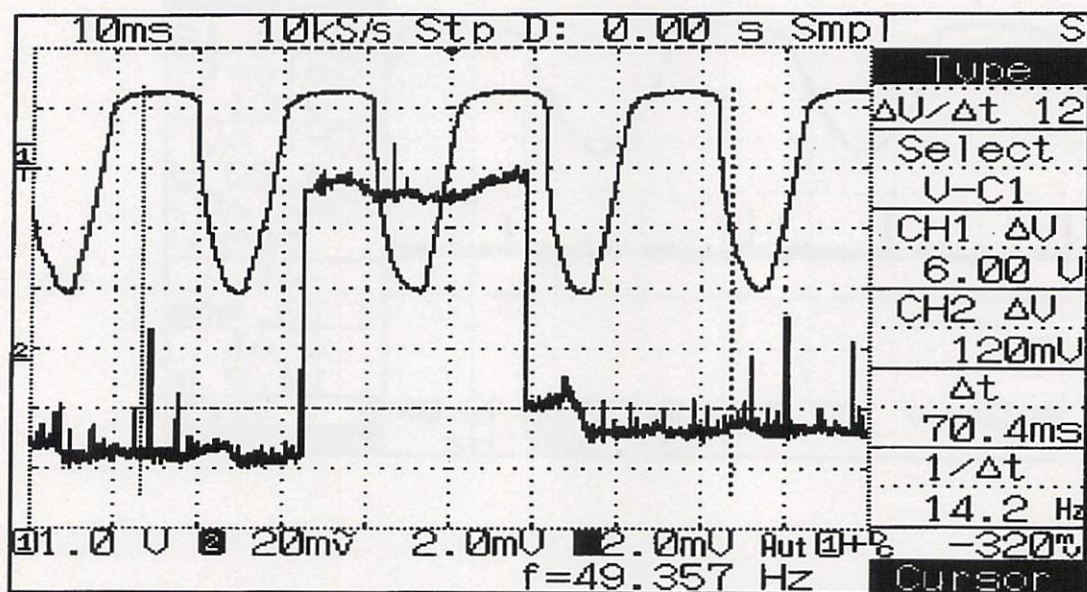
5-3-2 涼風状態に於ける波形

風速 3.2m/sec 203rpm 点灯良好 判定○ AC 最大値 1.5V



5-3-3 強風状態に於ける波形

風速 4.0m/sec 252.2rpm 点灯安定良好 判定 ◎ AC 最大値 1.7V



5-4 点灯状況

屋外での点灯は光が弱く白色 ELD、ドラエモン回転式 ELD の両方を試みた。

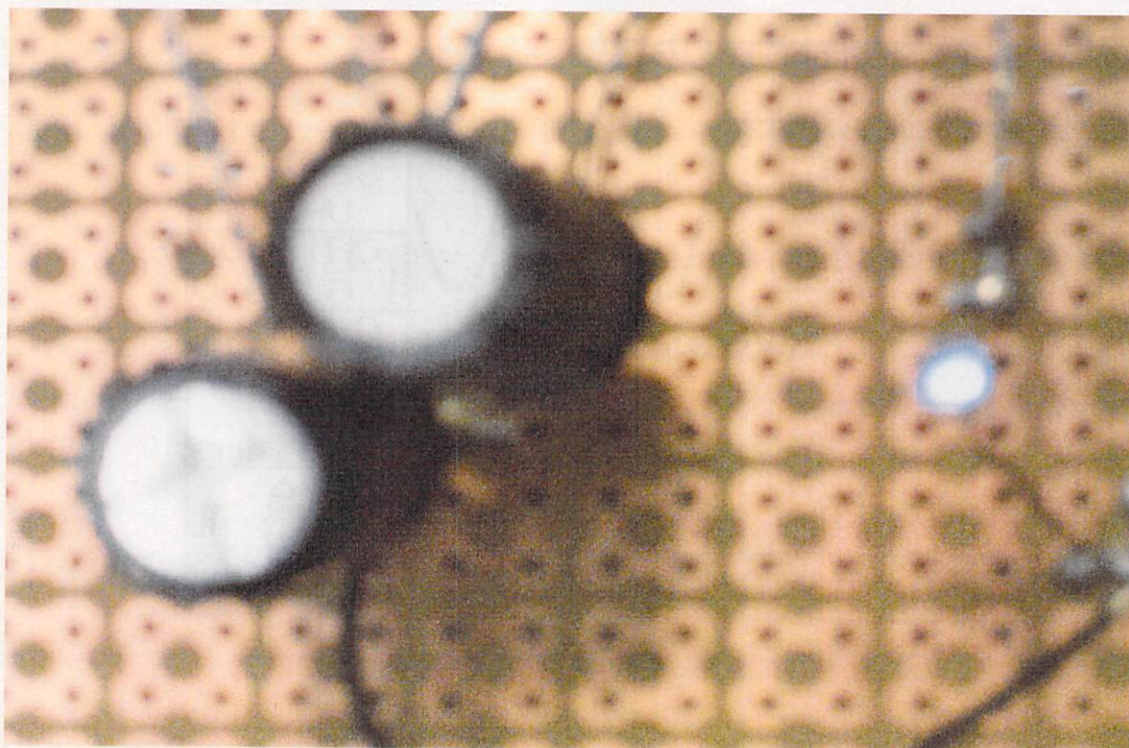


写真-5-1 ELD 点灯



写真-5-2 ドラエモン式の回転 ELD

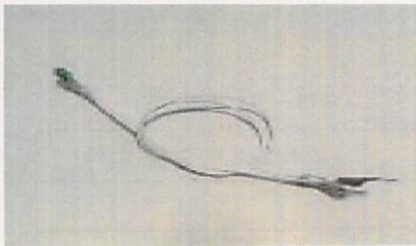


写真-5-3 2005 年ミニチュア電球とリード線

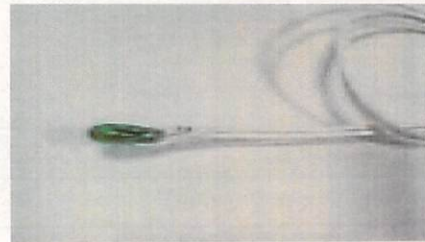


写真-5-4 定格 1.5v 1.8Ω 1.3w

6. まとめ

研究初期の実験室で、電球の輻射熱の対流により、180φのタービンを約1.0m/secの熱風により回転できることを実証した。この測定では0.35v(電圧波形の測定が無く、マブチモーターからブラシ式1.5w 1800rpm)の直流電圧であった。この直流低電圧は電圧上昇の手段が無く、装飾用電球1.3wは点灯できなかった。また回転数、羽根重量など、不明な点が多々あり、今回の研究は、数値化、データ化、実証による証明、方法の明確性に重点を置いた。システム構築においては、高所作業が多く墜落の危険性と隣り合わせであったため、常に安全に注意して、排気集熱箱の高さは地上3.8m(2間)として、計測用の

踊り場は広く構築して、倒壊防止に努めた。

当初の問題点を摘出、改善した主な点

- ①回転持続耐久性のある発電機と羽根、支持プレート一体化。
- ②発電機と羽根のカップリングをゴムからスプリング直結螺子留式高速対応。
- ③装置の気密を保持する木製空気箱、パイプ支持板を設置。
- ④加熱器Aを8cm→18cmに改造。加熱器Bを深さ11cm 3組増設。
- ⑤大型580φの試作と実験および運転。

約2kwの熱容量から、発生できる発電力は0.1w以下となる。空気密度が水と比べて1/900と小さい

ことに起因して絶対的に不利である。しかし瞬間的には 4kw の熱出力が計測した事実を考えると、太陽電池より大きな瞬間的熱出力を発生できる可能性がある。現状のシステムにおいては、風速は地表風によって、安定せず、風車の回転が停止、また逆転する。この地表の風速は 5m/sec 程度あるため、安定して電力を得るには、常に 5m/sec 以上の速速が求められ、現状の 2～3 倍の集熱器(容量と面積)が必要である。回転数の増加にはベルトによるプーリーを試験的に試みたが風車、プーリー、ベルト、の負担が 300g 以上になり回転は不能であった。熱容量の増加、羽根の軽量化、伝達損失の低減、増速の改良、などが必要である。

後記

当研究はこのシステムの製作に 3 年を要した。今後の研究も、機密性の向上、空気排出口径の適切さ、排出風速の向上、についてさらに改善の余地があり、

この点を留意した研究を進めたい。この数値的知見によりさらに高度の研究が望まれる。

参考文献

- [1] 小倉義光,『一般気象学』, 東京大学出版会, 2004
- [2] E. B スミス,『基礎化学熱力学』, 化学同人, 2006
- [3] 藤田正一,『化学反応の見方・考え方』, オーム社, 1989
- [4] 牛山 泉,『小型風車ハンドブック』, パワー社, 1990
- [5] 清水幸丸,『風力発電技術』, パワー社, 1999
- [6] 久保大次郎『マイクロ発電機の製作と設計』, CQ 出版社, 2007

別紙 1

システム機能比較

(条件 仰角 35 度)

項目	2005/9 の報告 (実験室)	2008/12 の報告(屋外)
タービン大きさ ϕ (cm)	180	200
重さ (g)	60	35
風速 (m/sec)	1.00	2.30
発電機 メーカー	マブチ RF-500TB-14415	Sunritz OR-20CI
発生電圧(V)	DC 0.35	AC 3.2
回転数 (rpm)	100	170
加熱器排気温度 (°C)	57.4	61.5
加熱器(長×幅×深×個)	1.8×3×0.05×1	1.8×3×0.08×4
負荷試験	なし	LED 点灯

別紙2 計測-3 2008.6.17 空気管 8 本集熱管排気径 200 φ

熱容量=比熱*密度*体積*温度差

管数	排気径	縦	横	深さ	最大容量
8	200	600	600	150	1.32

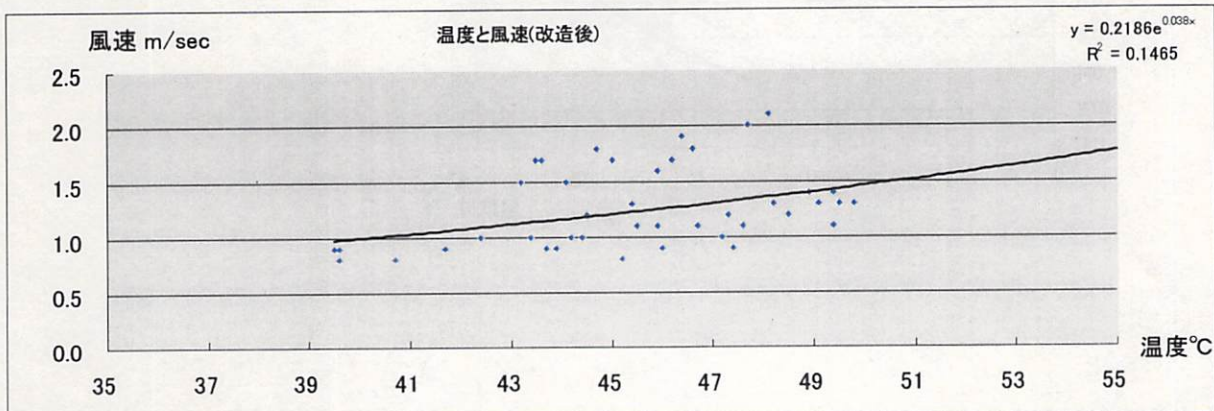
最大容量は5つの平均値

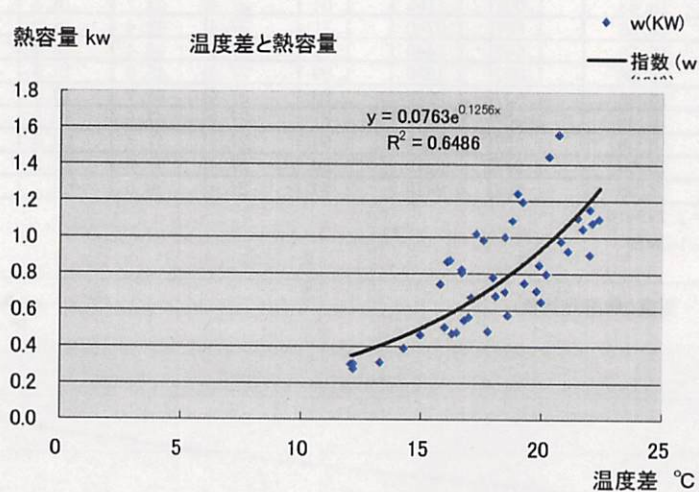
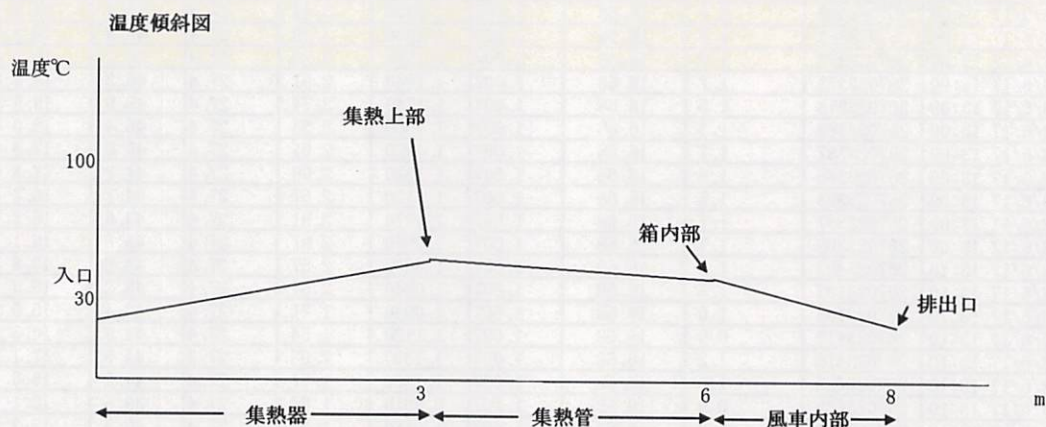
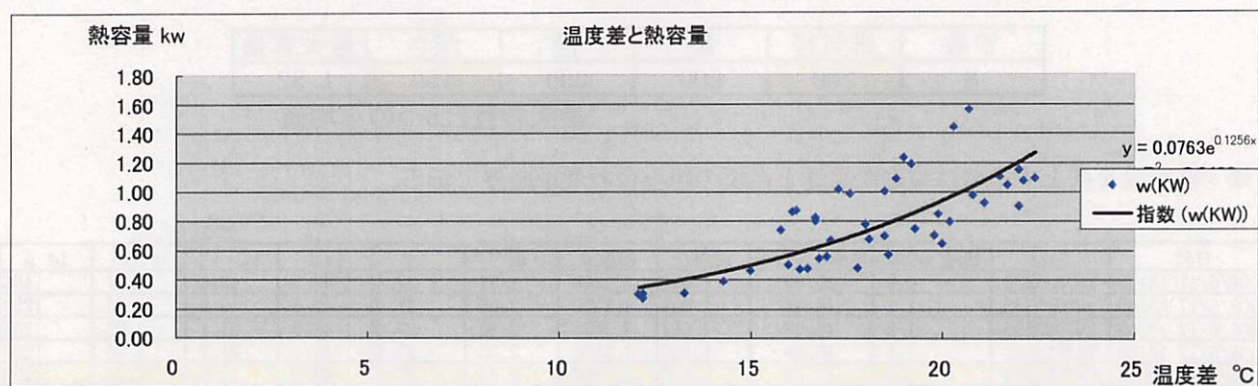
結果：熱容量を向上するには最適な風速と温度の組み合わせが必要である。

2008.06.17

日付	DATA	風速 m/sec	定数0.278*60	比熱C	密度d	Vm ^{3/min}	t1	t2	t2-t1	w (KW)	DA m
2008/6/17 13:08	267023328	0.9	16.68	1.007	1.1860	1.54	27.4	46.0	18.6	0.57	1186
2008/6/17 13:08	267023333	1.2	16.68	1.007	1.2300	2.06	27.4	47.3	19.9	0.85	1230
2008/6/17 13:08	267023338	1.2	16.68	1.007	1.2670	2.06	27.4	48.5	21.1	0.92	1267
2008/6/17 13:09	267023342	1.3	16.68	1.007	1.2890	2.23	27.4	49.1	21.7	1.05	1289
2008/6/17 13:09	267023343	1.4	16.68	1.007	1.2990	2.40	27.4	49.4	22.0	1.15	1299
2008/6/17 13:09	267023345	1.3	16.68	1.007	1.3040	2.23	27.4	49.5	22.1	1.08	1304
2008/6/17 13:09	267023348	1.3	16.68	1.007	1.3090	2.23	27.4	49.8	22.4	1.10	1309
2008/6/17 13:09	267023353	1.1	16.68	1.007	1.2950	1.89	27.4	49.4	22.0	0.90	1295
2008/6/17 13:09	267023355	1.4	16.68	1.007	1.2770	2.40	27.4	48.9	21.5	1.11	1277
2008/6/17 13:09	267023358	1.3	16.68	1.007	1.2530	2.23	27.4	48.2	20.8	0.98	1253
2008/6/17 13:09	267023363	2.1	16.68	1.007	1.2490	3.60	27.4	48.1	20.7	1.56	1249
2008/6/17 13:09	267023363	2.0	16.68	1.007	1.2350	3.43	27.4	47.7	20.3	1.44	1235
2008/6/17 13:09	267023368	1.8	16.68	1.007	1.1980	3.09	27.4	46.6	19.2	1.19	1198
2008/6/17 13:09	267023372	1.9	16.68	1.007	1.1910	3.26	27.4	46.4	19.0	1.24	1191
2008/6/17 13:09	267023373	1.7	16.68	1.007	1.1840	2.91	27.4	46.2	18.8	1.09	1184
2008/6/17 13:09	267023378	1.6	16.68	1.007	1.1740	2.74	27.4	45.9	18.5	1.00	1174
2008/6/17 13:09	267023383	1.3	16.68	1.007	1.1560	2.23	27.4	45.4	18.0	0.78	1156
2008/6/17 13:09	267023387	1.7	16.68	1.007	1.1420	2.91	27.4	45.0	17.6	0.98	1142
2008/6/17 13:09	267023388	1.8	16.68	1.007	1.1330	3.09	27.4	44.7	17.3	1.02	1133
2008/6/17 13:09	267023393	1.5	16.68	1.007	1.1120	2.57	27.4	44.1	16.7	0.80	1112
2008/6/17 13:09	267023397	1.7	16.68	1.007	1.0970	2.91	27.4	43.6	16.2	0.87	1097
2008/6/17 13:09	267023398	1.7	16.68	1.007	1.0950	2.91	27.4	43.5	16.1	0.86	1095
2008/6/17 13:10	267023402	1.5	16.68	1.007	1.0830	2.57	27.4	43.2	15.8	0.74	1083
2008/6/17 13:10	267023403	1.5	16.68	1.007	1.0840	2.57	27.4	43.2	15.8	0.74	1084
2008/6/17 13:10	267023408	1.0	16.68	1.007	1.0940	1.71	27.4	43.4	16.0	0.50	1094
2008/6/17 13:10	267023413	0.9	16.68	1.007	1.1120	1.54	27.4	43.9	16.5	0.48	1112
2008/6/17 13:10	267023418	1.2	16.68	1.007	1.1330	2.06	27.4	44.5	17.1	0.67	1133
2008/6/17 13:10	267023423	1.0	16.68	1.007	1.1260	1.71	27.4	44.2	16.8	0.54	1126
2008/6/17 13:10	267023433	0.9	16.68	1.007	0.9610	1.54	27.4	39.5	12.1	0.30	961
2008/6/17 13:10	267023458	0.8	16.68	1.007	1.0180	1.37	27.4	40.7	13.3	0.31	1018
2008/6/17 13:11	267023463	0.9	16.68	1.007	1.0540	1.54	27.4	41.7	14.3	0.39	1054
2008/6/17 13:11	267023488	0.8	16.68	1.007	0.9800	1.37	27.4	39.6	12.2	0.28	980
2008/6/17 13:11	267023493	1.5	16.68	1.007	1.1410	2.57	27.4	44.1	16.7	0.82	1141
2008/6/17 13:11	267023498	0.8	16.68	1.007	1.1750	1.37	27.4	45.2	17.8	0.48	1175
2008/6/17 13:11	267023503	1.1	16.68	1.007	1.1820	1.89	27.4	45.5	18.1	0.68	1182
2008/6/17 13:11	267023508	0.9	16.68	1.007	1.1150	1.54	27.4	43.7	16.3	0.47	1115
2008/6/17 13:12	267023523	1.0	16.68	1.007	1.0740	1.71	27.4	42.4	15.0	0.46	1074
2008/6/17 13:12	267023528	1.0	16.68	1.007	1.1440	1.71	27.4	44.4	17.0	0.56	1144
2008/6/17 13:12	267023533	1.1	16.68	1.007	1.1930	1.89	27.4	45.9	18.5	0.70	1193
2008/6/17 13:12	267023538	1.1	16.68	1.007	1.2220	1.89	27.4	46.7	19.3	0.75	1222
2008/6/17 13:12	267023543	1.0	16.68	1.007	1.2350	1.71	27.4	47.2	19.8	0.70	1235
2008/6/17 13:12	267023548	0.9	16.68	1.007	1.2430	1.54	27.4	47.4	20.0	0.64	1243
2008/6/17 13:12	267023553	1.1	16.68	1.007	1.2470	1.89	27.4	47.6	20.2	0.80	1247
2008/6/17 13:13	267023588	0.9	16.68	1.007	0.9610	1.54	27.4	39.6	12.2	0.30	961

注 熱量換算1 J = 2.778*10⁻⁷
1 カロリー = 1.163*10⁻⁷





別紙 3

集熱理論

4-1 状態方程式による理論

大気は地球の引力によって地球に引きつけられている。このため地表に近づくほど、大気は圧縮されて密度は大きくなり、また気圧も大きくなる。気体の圧力・温度・密度は相互に無関係でなく状態方程式(equation of state)という関係が結ばれている。

集熱器容量はこの理論式から、温度上昇により温度と値が変化する、密度の変化を理論的に求める。

$$\text{基本式} \quad P \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

但し

P	気圧hpa	z	高度km	T	絶対温度 273.15+℃	m	質量 kg
g	加速度m/s ²	R	気体定数 287m ² S ⁻² K ⁻¹	τ	単位高度の温度低下(k)	v	容積 m ³

上式から気圧の変化を微分で表わせば

$$\frac{dp}{p} = - \frac{g \cdot dz}{Rd \cdot T}$$

これにより気圧の高度を求める積分は次のようになる。

$$\ln \frac{p_1}{p_0} = - \frac{g}{Rd} \int_0^{z_1} \frac{dz}{T}$$

ここで温度が高さに比例するものとして温度分布を $T_0 - \tau \cdot z$ とする。

$$\begin{aligned} \ln \frac{p_1}{p_0} &= - \frac{g}{Rd} \int_0^{z_1} \frac{dz}{T_0 - \tau \cdot z} = - \frac{g}{Rd} \log [T_0 - \tau \cdot z] \Big|_0^{z_1} = - \frac{g}{Rd} \frac{-1}{\tau} \log [T_0 - \tau \cdot z_1 - T_0] \\ &= \frac{g}{Rd} \frac{1}{\tau} \ln \frac{T_0 - \tau \cdot z_1}{T_0} \end{aligned}$$

$$\therefore p_1 = p_0 \left(\frac{T_0 - \tau \cdot z_1}{T_0} \right)^{\frac{g}{Rd \cdot \tau}}$$

この式から気圧と密度は温度の上昇によって、指数関数的にその値が小さくなる。

比較的高度が低いこのシステムに適用する容量決定の場合、密度に留意すべきである。

国際標準大気表(国際民間航空機関)

高度km	気温	気圧hpa	密度kgm ³	重力加速度m/s ²
0	15.00	1013.25	1.2250	9.8066
0.5	11.75	954.61	1.1673	9.8051
1	8.50	898.75	1.1116	9.8036
1.5	5.25	845.56	1.0581	9.8020
2	2.00	794.95	1.0065	9.8005
3	-4.50	701.09	0.9091	9.7974
4	-11.00	616.40	0.8191	9.7943
5	-17.50	540.20	0.7361	9.7912
6	-24.00	471.81	0.6597	9.7881
7	-30.50	410.61	0.5895	9.7851
8	-37.50	356.00	0.5252	9.7820
9	-43.50	307.42	0.4664	9.7789
10	-50.00	264.36	0.4127	9.7758

参考 この表は国際民間航空機関が使用している高度と気圧などの関係を表にしてまとめたものである。

航空機は飛行中に気圧計で計測して飛行しているがこのような表を常備して安全航行(相互の値確認)を図る。