

CPUの廃熱利用のための基礎実験

鶴岡工業高等専門学校
制御情報工学科
山川敦士

1 はじめに

あらゆる機器の高性能化で、消費電力と廃熱は年々増え続けており、これらが原因となり環境問題やエネルギー不足が懸念されているのが現状である。

私はこの問題を少しでも解消したいと思い、一番身近な廃熱源であるパソコンの廃熱による発電を考えた。このレポートではパソコンで実際に実験すると故障する恐れがあるので、銅版をCPUに見立てた実験装置を作成し擬似的にパソコンでの発電が可能であるかどうかを確かめる。

発電方法としては、低温でも効率よく発電できる熱電変換を使用する。

2 実験方法

2.1 実験器具

使用したゼーベック素子を図1、各実験機器を図2にそれぞれ示す。

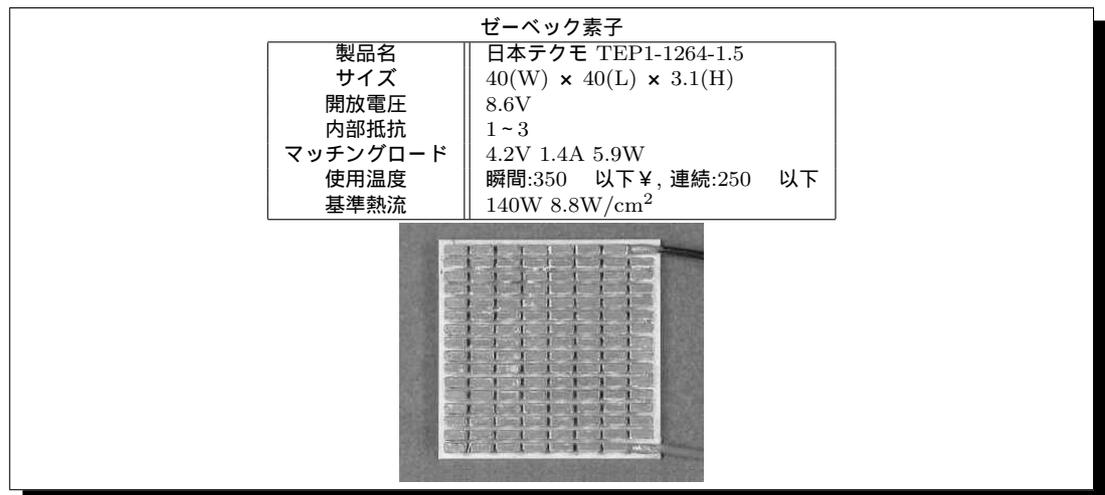


図1: ゼーベック素子のスペック

温度コントローラ

製品名	八光電機製 Digital Fine Thermo DG-2
サイズ	66(W) × 210(H) × 33(D)mm
入力電圧	100V(50/60Hz)
温度調節範囲	0 ~ 600
温度表示精度	± 1 %

カートリッジヒータ

製品名	八光電機製 HAKKO ULTRA FIVI HEATER
サイズ	6.0 × 50mm
定格	100V 100W

断熱材

製品名	八光電機製 赤 ESP Si-100
サイズ	5 × 1000mm

データロガー

製品名	GRAPHTEC 製 midi LOGGER GL200A
サイズ	194 × 122 × 41mm
電源	AC100 ~ 240V(50/60Hz)
使用環境	0 ~ 40 , 30 ~ 80 % RH
アナログ CH 数	10CH
サンプリング間隔	10ms/1CH MAX

直流安定化電源

製品名	ALINCO 製 DM-331D
サイズ	210 × 80 × 240mm
入力電圧	AC90V ~ 130V(50/60Hz)
出力電圧	5 ~ 15V 可変
出力電流	連続 25A(最大 30A)
電圧表示誤差	± 0.3A
電流表示誤差	± 2A

マルチメータ

製品名	ADVANTEST 製 Digital Multimeter R6441
サイズ	88 × 212 × 310mm
電源	AC100V(50/60Hz)
直流電圧測定	6 レンジ (20mV 200mV 2000mV 20V 200V 1000V)
交流電圧測定	5 レンジ (200mV 2000mV 20V 200V 700V)

スライドトランス

製品名	リコー製 スライドトランス RSA-20
サイズ	210 × 237 × 161mm
入力電圧	100V
出力電流	20A
出力電圧調整範囲	0 ~ 130V

CPU ファン

製品名	Spire 製 CPU COOLERS BREEZE
サイズ	80 × 80 × 55mm
スピード	2000RPM ± 10 %



図 2: 使用した実験器具のスペック

2.2 実験装置

図3のように、アルミブロックにカートリッジヒータを挿した熱源を用意し、その上にCPUと同じ大きさの銅版を置く。低温部にはヒートシンクとファンを使用することにより擬似的にパソコンと同じ状況を作り出す。この間にゼーベック素子を挟むことで、実際にパソコンのCPUで発電を行う際のシミュレーションをすることができる。なお、アルミブロックの周りは断熱材で固め、熱を逃がさないようにする。

それぞれの機器が完全に密着していることを確認した後カートリッジヒータの電源を入れ、ヒートシンク、銅版の温度とゼーベック素子の発電量を計測し、これらをデータロガーで管理する。

図4に実際に使用した実験機器を示す。

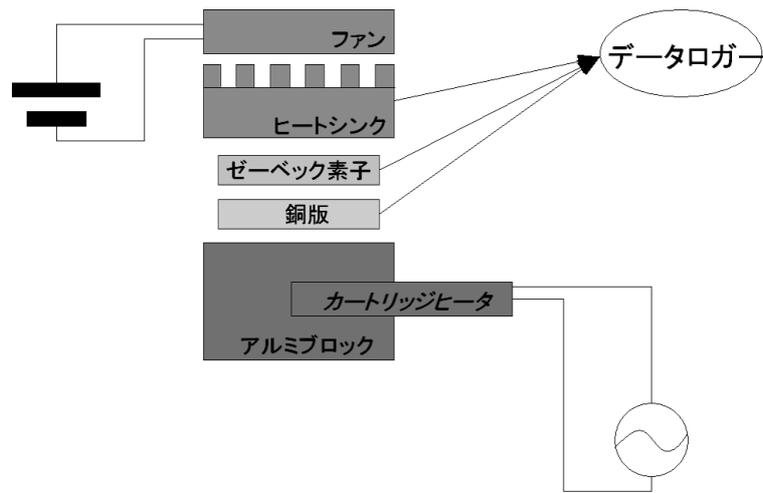


図3: 実験機器イメージ

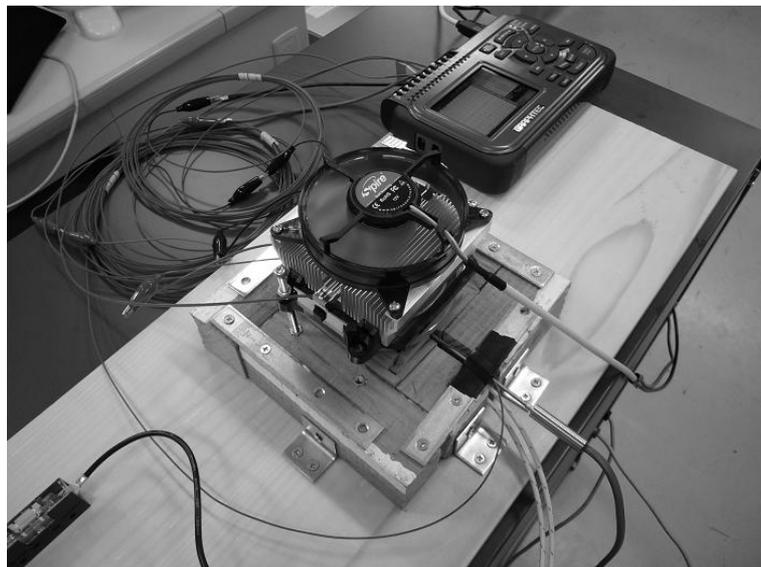


図4: 作成した実験機器

3 結果

計測パターンは 3 つある。

まずはゼーベック素子を挟まず、銅版とファンのみで稼働させてみる。こうすることで、通常私たちがパソコンを使うときどの程度の熱量で CPU の限界が来るのかを調べることができる。

次に、ゼーベック素子を銅版とヒートシンクの間挟む。ここでは銅版-ヒートシンク間の温度差が大きく開き、大量の電力を確保できると予想して実験を行った。

最後に、ゼーベック素子と銅版の間に蓄熱材を入れて実験してみる。理由としては銅版の温度を安全な状態に保ちつつ、一定の温度差を確保することで、安全かつ安定した発電を実現できると考えたためである。

今回使用した主な蓄熱材は図 5 に示すサーモメモリである。

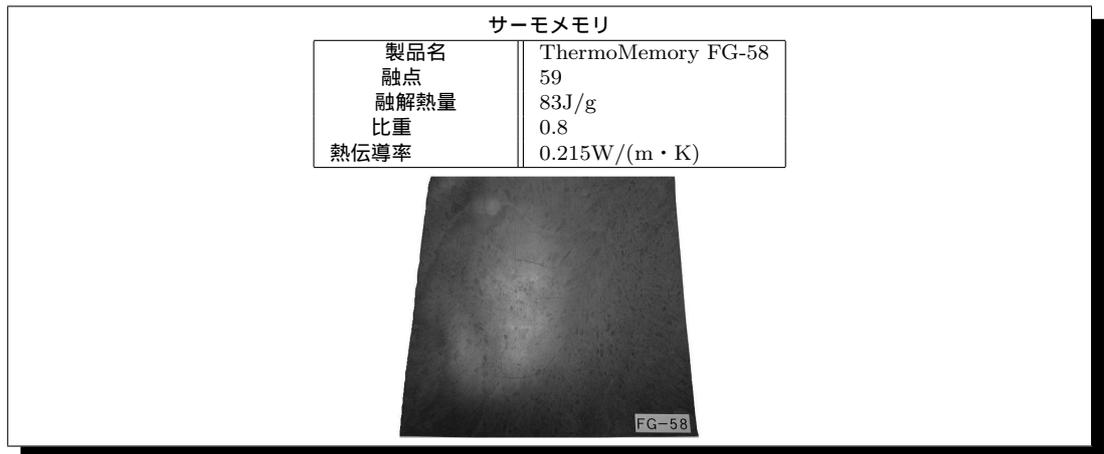


図 5: サーモメモリのスペック

これは、物質が変化するとき融点にて温度が一定になるという性質を利用した素材で、周囲の温度が 58 をはさんで上下に変動しても、サーモメモリの温度は 58 近辺を保持できる。主な使用用途としては CPU にサーモメモリを直接貼り付けて、ファンを使わずとも CPU を安全な状態に保つことが挙げられる。

以上の測定パターンを計測した結果を次に示す。

3.1 銅版とファンのみ

環境：室温 23.0 湿度 39 % 収録時間 1 時間
 熱量 10W ファン 12V
 定常状態：銅版 26.9 ヒートシンク 24.9

熱量 46W ファン 12V
 定常状態：銅版 49.2 ヒートシンク 30.1

熱量 55W ファン 12
 定常状態：銅版 64.3 ヒートシンク 36.7

当然のことながら、熱量の増加に伴い銅版の温度が定常になるまでの時間は長くなった。CPU の平均熱量である 46W 時の結果を見て分かる通り、銅版の温度は 50 を切っていたため、今回使用したファンとヒートシンクの性能は申し分ない。上記の結果より、作成した実験機器は擬似 CPU として機能していることが分かった。

以下の図 6 に熱量 46W 時の実験結果のグラフを示す。CH1 は銅版の温度、CH2 はヒートシンクの温度を表している。

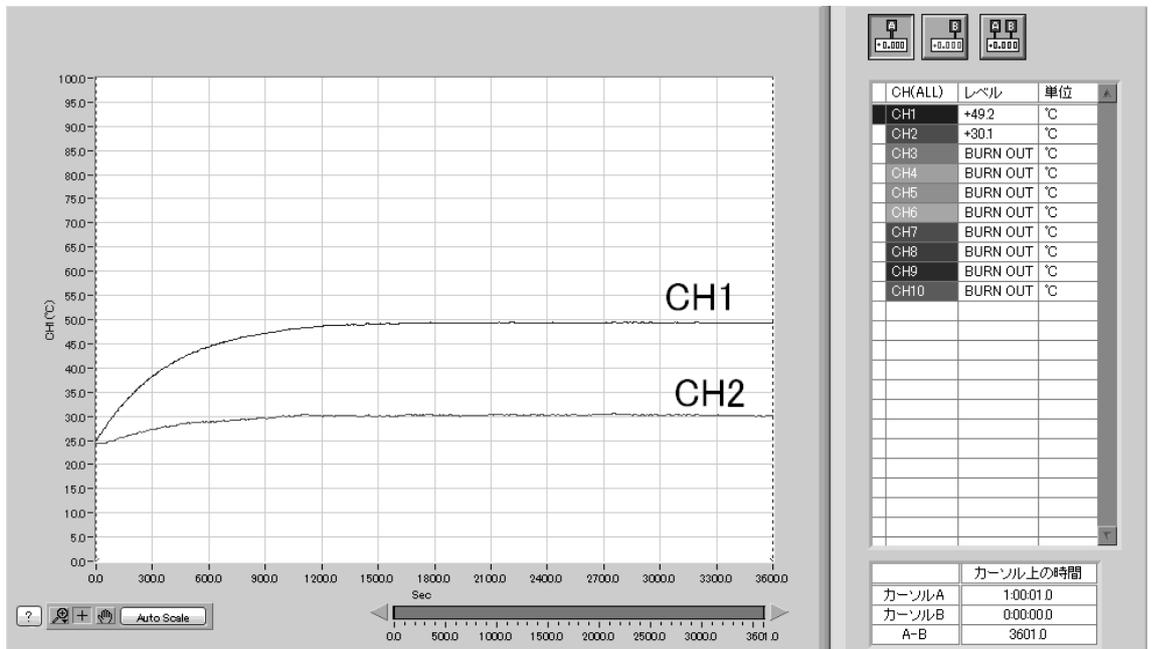


図 6: 銅版とファンのみ (46W)

3.2 ゼーベック素子を挟む

環境：室温 22.8 湿度 38 % 収録時間 1 時間

熱量 10W ファン 12V

定常状態：温度差 26.5 -24.6 発電量 47mV 0.188mA 0.00884mW

開始 1200 秒で温度変化がなくなったため、そこから定常状態に。稼動は非常に安全だが、銅版とヒートシンクとの温度差がほぼないため発電量は少ない。

熱量 35W ファン 12V

定常状態：温度差 55.9 -28.7 発電量 633mV 2.53mA 1.60mW

開始 3600 秒で定常状態に。発電量としては少々少ない気がするが、これ以上銅版の温度は上がらないので安全性としては申し分ない。

熱量 46W ファン 12V

定常状態：温度差 71.2 -29.8 発電量 990mV 3.96mA 3.92mW

35W 時と同様に開始 3600 秒で定常状態に。発電量は有効な電力を確保していると言える。また、CPU が動作する上でこの程度の温度で一定であるならば問題なく動作すると思われるので、作業をしながら放置することで十分に使えるほどの蓄電が行える。

熱量 46W 時 (CPU の平均熱量) の実験結果で、CPU に直接ゼーベック素子を貼り付けることは有効な手段であることが分かった。ただしこれはきちんとしたセッティングをした場合に限る。ほとんどの場合 CPU の大きさはゼーベック素子よりも小さいので、そのまま貼り付けてしまうと CPU の熱がゼーベック素子の一点に集中してしまうため、ゼーベック素子が熱ストレスで壊れてしまう。このようなことが起きないようにするために、CPU とゼーベック素子の間にゼーベック素子と同じ大きさの銅版を挟む必要がある。こうすることで CPU の熱を分散し、ゼーベック素子を安全に稼動させることができる。

以下の図 7 に熱量 46W 時の実験結果のグラフを示す。CH1 は銅版の温度、CH2 はヒートシンクの温度、CH3 は発電量を表している。

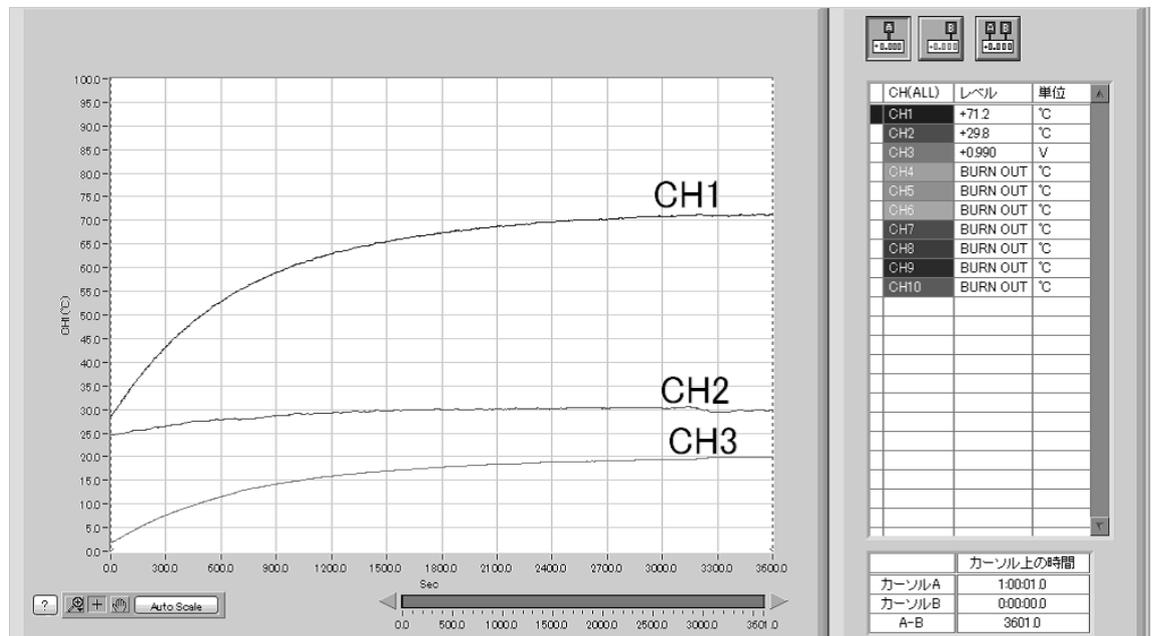


図 7: ゼーベック素子 (46W)

3.3 蓄熱材を入れる

環境：室温 26 湿度 38 % 収録時間 1 時間
 サーモメモリ 熱量 46W ファン 12V
 限界：銅版 77.1 温度差 58.0 -27.4 発熱量 647mV 2.59mA 1.674mW

開始 1200 秒で CPU が稼働できる限界温度に達してしまったため、実際にサーモメモリを蓄熱材としてパソコンに導入することは難しい。

水 50ml 熱量 46W ファン 12V
 限界：銅版 81.4 温度差 56.4 -28.7 発熱量 362mV 1.45mA 0.524mW

こちらもサーモメモリ同様、開始 1200 秒で CPU が稼働できる限界温度に達してしまったため、パソコンに導入することは難しい。

エタノール 50ml 熱量 46W ファン 12V
 限界：銅版 79.2 温度差 50.3 -29.3 発熱量 315mV 1.26mA 0.397mW

上記の結果よりたしかに蓄熱はしていたが、熱の流れを止めてしまったことが裏面にでたのか、銅版の温度が異常に上がってしまった。この結果より、蓄熱をして温度を一定に保つことよりも、いかにして熱を効率よく回すことができるかが大事だということが分かった。

以下の図 8 にサーモメモリの結果、図 9 に水の結果、図 10 にエタノールの結果のグラフを示す。CH1 は銅版の温度、CH2 はヒートシンクの温度、CH3 は発熱量、CH4 は蓄熱材の温度を表している。

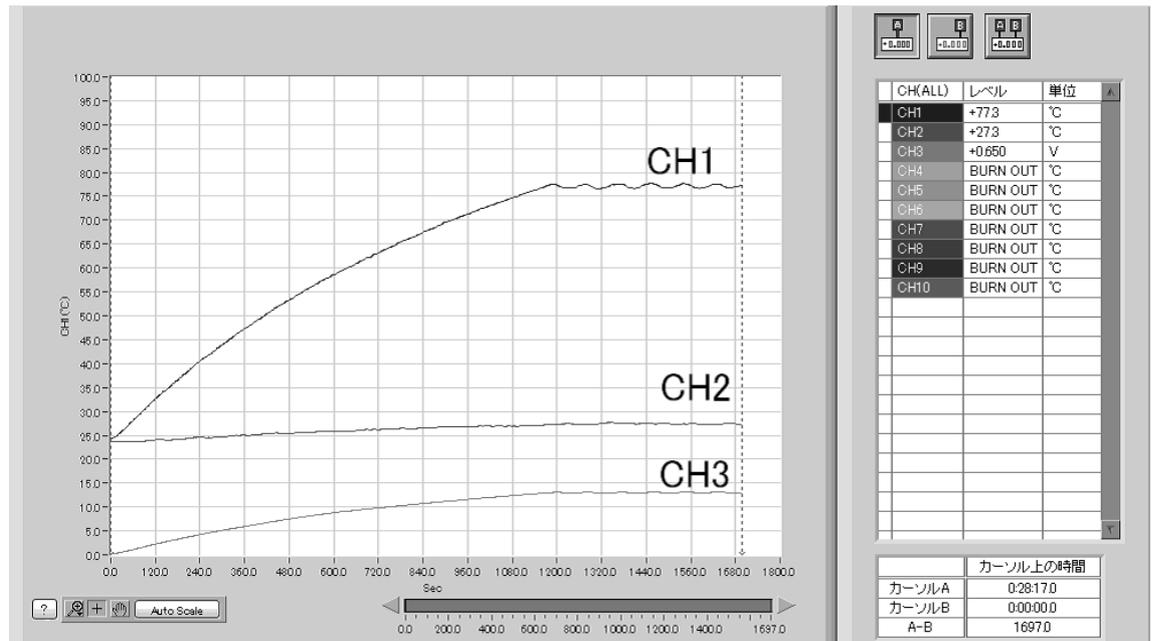


図 8: サーモメモリ (46W)

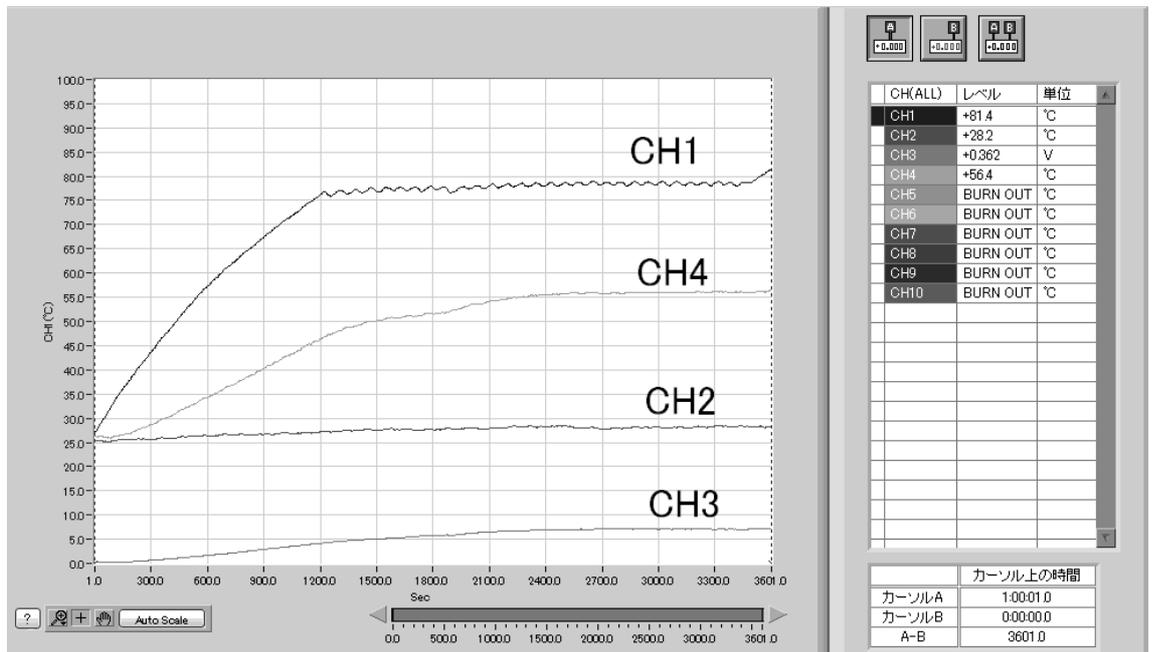


図 9: 水 (46W)

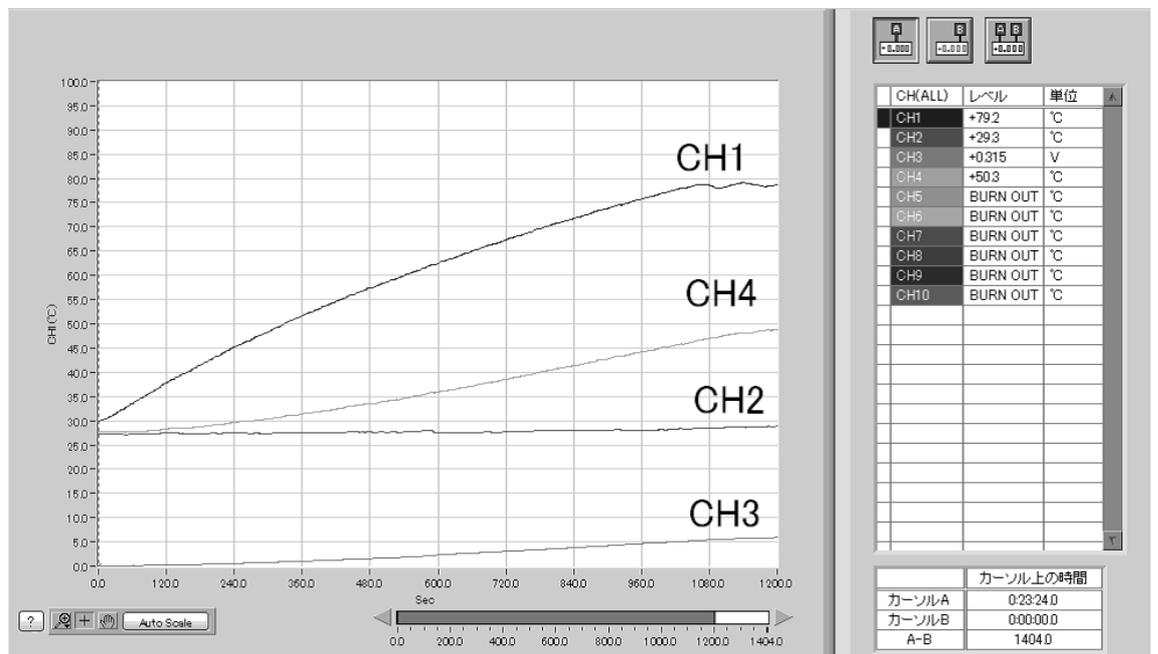


図 10: エタノール (46W)

3.4 番外編

蓄熱材を入れてみた結果，どうしてもすべての材料で CPU の限界が来てしまったため，CPU を低い温度で保つことだけを考慮してこの材料で実験してみた．図 11 に結果のグラフを示す．

環境：室温 19.8 湿度 32 % 収録時間 1 時間
熱さまシート 熱量 46W ファン 12V
収束せず：銅版 61.3 温度差 57.0 -25.3 発電量 5mV 0.02mA 0000.1mW

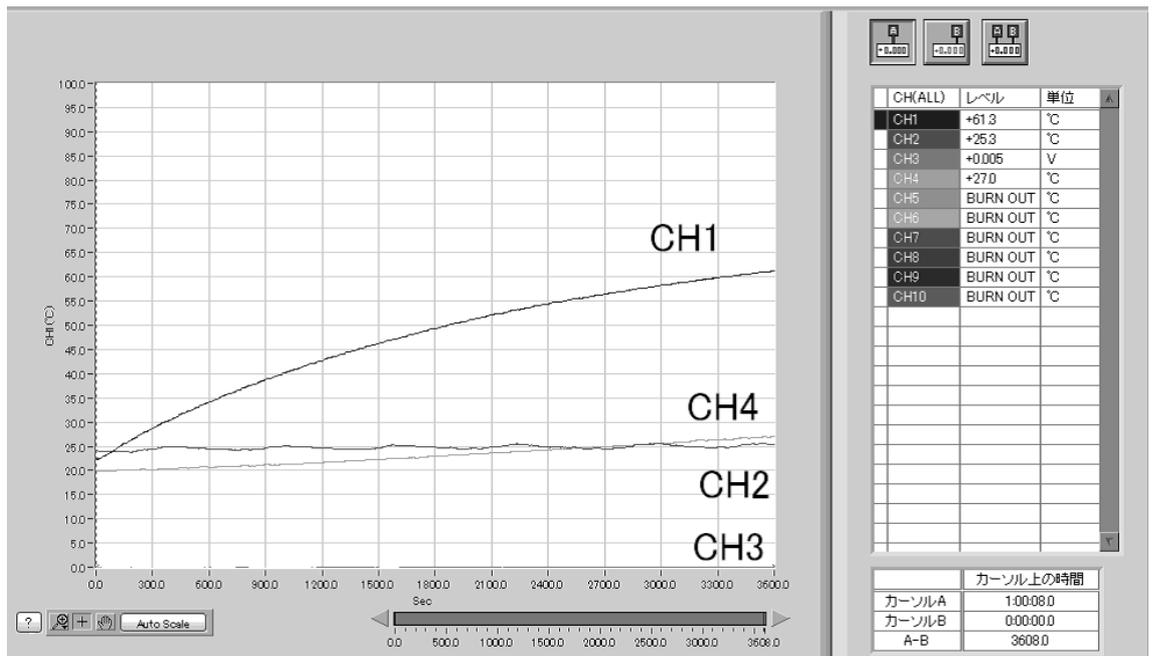


図 11: 熱さまシート (46W)

4 考察

4.1 蓄熱材無し

この実験は、大きな温度差を確保してできるだけ大量の電力を作り出すことを目標として行った。

今回の実験で、CPU に直接ゼーベック素子を貼り付けて発電させることは可能であることが証明された。ただしこれはきちんとしたセッティングをした場合に限る。実際にパソコンの CPU にゼーベック素子を貼り付けるときは、ゼーベック素子を熱ストレスで破壊させないようにするため、間に銅版を挟むなどの工夫が必要となってくる。また、CPU の熱量は今回実験した熱量を超えることは多々あるので、より熱伝導率の高いゼーベック素子を使うことが望ましい。

次に、この実験から得られた電力ははたして日常生活で使うことができるのか、私たちが毎日使っている携帯電話の充電時間で考えてみる。携帯電話のバッテリーの定格は 3.7V 850mAh で、今回得ることのできた最も多い発電量は 3.96mA のため、 $3.96\text{mA} \times t = 850\text{mAh}$ となり充電時間は

$$850\text{mAh}/3.96\text{mA} = 214.65(\text{h}) \quad (1)$$

より約 214 時間である。これは日にちで換算すると約 9 日となり、携帯電話の充電に要する時間としては少々長すぎる。これを解決するには、複数のゼーベック素子を並列で並べて充電するか、1 の温度差当たりの発電量の多いゼーベック素子を使うしかない。

4.2 蓄熱材あり

この実験は、発電量の大小は二の次に置き、蓄熱材を用いることにより銅版の温度を一定にし、安全に安定した発電を実現することを目標として行った。

結果としては、蓄熱はしたが銅版が熱を逃がす手段を失ったため、温度が稼働限界まで到達してしまった。これでは安全な発電どころか普通にパソコンを使うことすらできないので、蓄熱材をパソコンに導入することは不可能に近い。

また、発電量に着目してもたいした温度差が生まれていないため、非常に少ない。

ただ、どうしても蓄熱材を使いたい場合の活路はある。図 8～図 10 をみるとすべてのグラフにおいて蓄熱材の温度が 45 付近で CPU の限界がきていることが分かる。ということは沸点が 45 以下（40 付近が望ましい）の物質を蓄熱材として使用すればパソコンに導入できる可能性がある。ただしこのとき、あまりにも沸点の低い物質を使ってしまうと温度差がなくなってしまい、発電ができなくなるので注意が必要だ。

4.3 番外編

実験開始時発電量はマイナスの数値を示しており、3000 秒を過ぎてからやっと値がプラスになった。予想通り発電能力はなかったが、CPU の温度上昇を抑制することに関しては他の蓄熱材と比べて優れていた。

5 まとめ

今回の研究で以下の内容が達成できた。

- ゼーベック素子のパソコンへの導入が可能であることが証明できた。
- 熱処理に利用できる熱電変換を理解できた。
- 廃熱の利用法を検討することができた。
- 蓄電の応用例を検討することができた。

これからさまざまな機器が高性能化を見せていくだろう。しかしそれに伴い消費電力と廃熱は増す一方で、けして避けては通れない道となる。このような問題に直面したとき、本研究の内容は必要不可欠になるのではないかと私は思っている。

参考文献

- [1] 斉藤彬, コンピュータの廃熱利用のための水冷 PC の構築, 鶴岡工業高等専門学校 制御情報工学科 平成 20 年度卒業論文 (2009).
- [2] 八光電機株式会社, CPU クーラー評価キット, <http://www.hakko.co.jp/use/use22.htm>