

電子冷蔵庫の製作

栃木県立宇都宮清陵高等学校 科学研究部
櫻井 利英

1. はじめに

平成10年度、栃木県では「ものづくり体験教室」計画している。小中学生を我々高校生が面倒をみて、何か作品を完成させる体験教室である。主に工業・農業高校で実施されるが、清陵高校は科学技術教育を特色とするので、普通高校であるが本校も選ばれたと説明をうけた。

普通高校での製作例として、ラジオやペットボトルロケット等があったが、小中学生が驚くような物を使った作品作りということで、ペルチェ素子を使った電子冷蔵庫を作ろうと先生からの提案があった。缶ジュース1本を冷やす程度の大きさなら、発熱側にファン付きCPUクーラをつければ簡単に製作できるはずだとの説明だった。

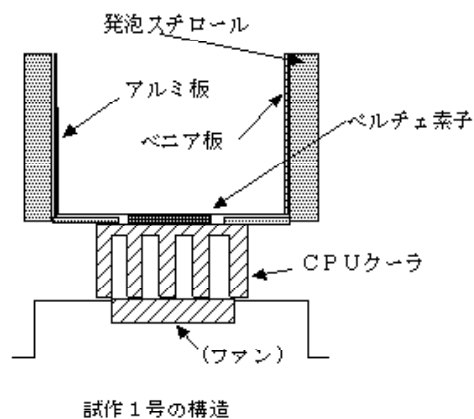
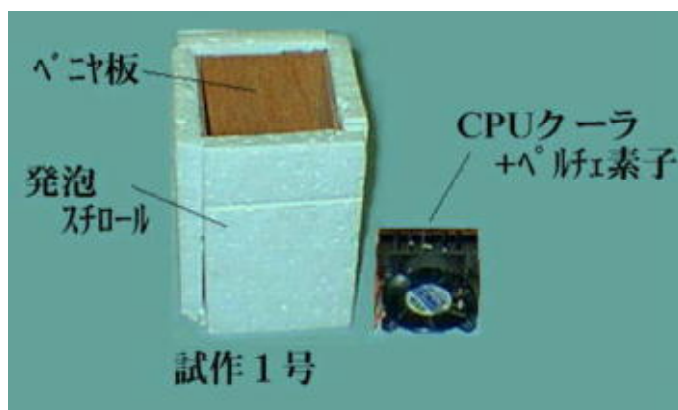
そこで、あり合わせの部品を利用して試作品を製作した。しかし、先生の説明とは違って、とてもジュースを冷やせるような冷蔵庫はできなかった。

2. 研究の動機

ペルチェ素子を使ったサーモ・モジュールを使い電子冷蔵庫の試作品を製作した。試作品は3台ほど製作したが、飲んで冷たいと実感できるほどジュースを冷やすまでには温度が下がらなかった。失敗の原因はそれぞれ違っていった。そして、この失敗が研究の動機になった。そこで、そのきっかけとなった試作品と、その問題点をまず説明する。

2-1 試作第1号

試作1号機の構造と、残骸の写真を示す。



この試作1号機では、あり合わせの発泡スチロールを電熱線で板状に切り取り、写真の様に張り合わせた。またペルチェ素子とCPUクーラは接着剤で固定した。ペルチェ素子と冷蔵庫内を冷却するためのアルミ板は、両面テープで接着してある。缶は縦に入れる。

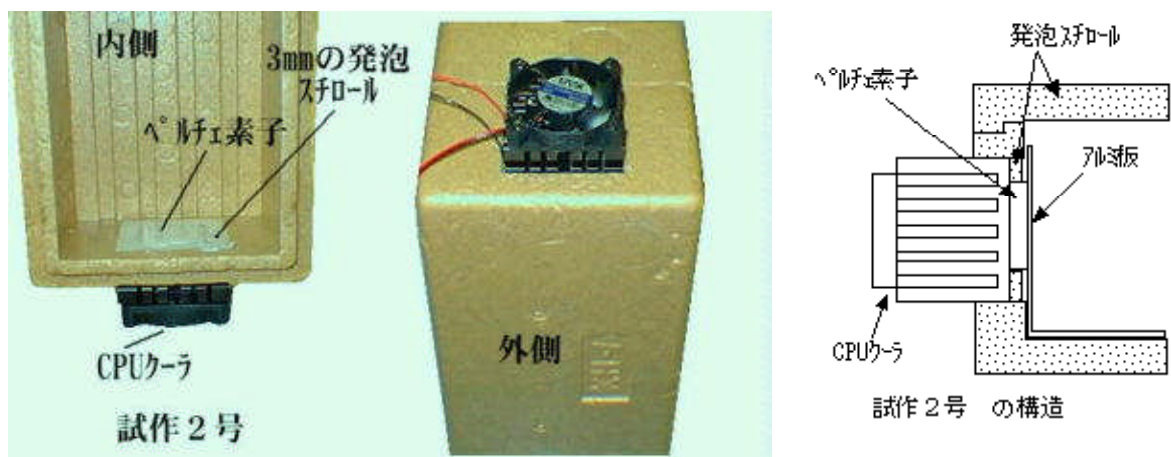
試作1号を動作させた結果、若干内側のアルミ板が冷たくなる程度で、缶ジュースを冷やすにはほど遠い性能であった。結局性能を測定するまでにはいかず壊してしまった。

この試作品を作る前は、利用するペルチェ素子は高性能であり、最大吸熱量が38W、最大温度差70 と示してあったので、適当に作ってもそれなりに性能はだせるものであるとたかをくくっていた。しかし全く問題外であった。考えられる原因は

問題点
断熱材でおおっていないので熱が入り温度が下がらない。

2-2 試作2号

試作1号の失敗の原因は、いい加減に作った「断熱箱」ではないかと考え、発泡スチロールの箱を買い求め、写真の様な冷蔵庫を作った。



CPUクーラ及びペルチェ素子は試作1号をそのまま利用した。ペルチェ素子には6Vの電圧を加えたところ、1.2Aの電流が流れ、室温より庫内は11.1 温度が下がることが確認できた。更に温度を下げようと電圧を10Vにあげると2.0Aの電流が流れ電流をあげた時点で温度差が11.5 になるが、徐々に温度は上昇し、結局温度差は10 程度まで減少した。

気温	25.5		
庫内温度	14.4	14.0	15.0
	6V, 1.2A	10V, 2.0A	
	冷蔵庫の温度変化		

CPUクーラ、ペルチェ素子の電源をOFFにすると、庫内の温度が急に上昇し始めるので、熱の流入が多いようである。手で触っただけでは全く気づかなかったが、ペルチェ素子のまわり

に張り付けた厚さ約 3 mmの発泡スチロールの温度が30℃を越えていることが温度計で計って初めてわかった。

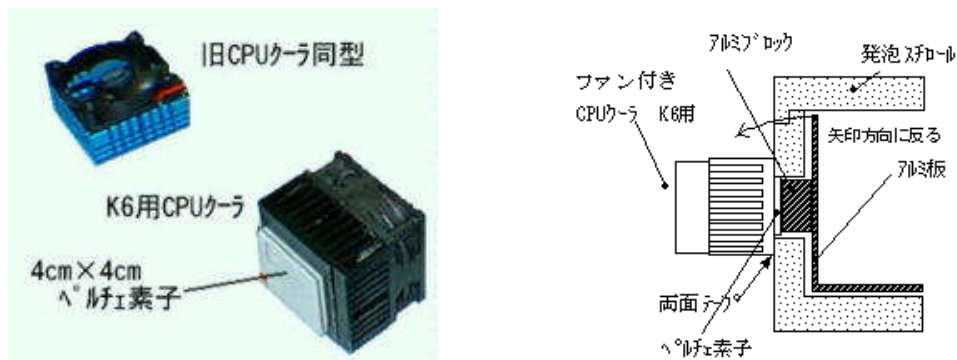
教訓
発泡スチロールの温度は触っただけではわからない。

2号機で温度差がそれほど生じなかった理由は、 μ P素子の高温側の熱が回り込んで冷蔵庫内に入ってくるためであったと思った。

問題点
 μ P素子の吸熱側と高温側の間隔が足りず、熱が回り込む。

3-1 試作3号

試作2号機の問題点は、 μ P素子のまわりを囲んだ断熱材(発泡スチロール)が薄すぎたために熱が入ってしまった点である。そこでこの部分の断熱材の厚みを増すために図のように μ P素子と庫内のアルミの冷却板の間にアルミのブロックをはさんで高温側と低温側の距離をかせぐことにした。またCPUクーラもK6用の大型の物に変更した。



μ P素子も3cm x 3cm(4Amax最大吸熱量38W)から4cm x 4cm(9Amax最大吸熱量80W)の物に変更した。なおCPUクーラへの取り付けはCPUクーラ付属の熱伝導両面テープを利用した。



庫内温度の測定結果

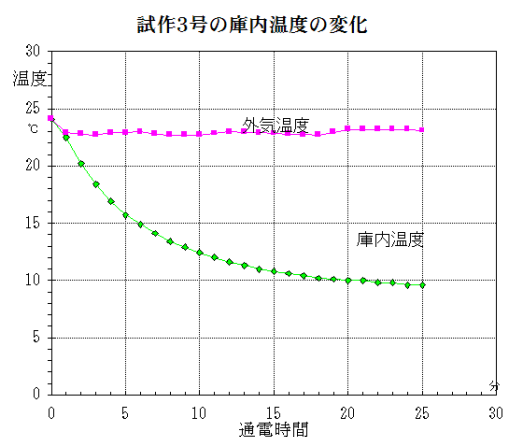
試作3号の冷却特性測定条件

ファン電源：12V

パルチ素子電源電圧：6V

電流：2A

使用温度計：TAKARA DIGIMULTI D611

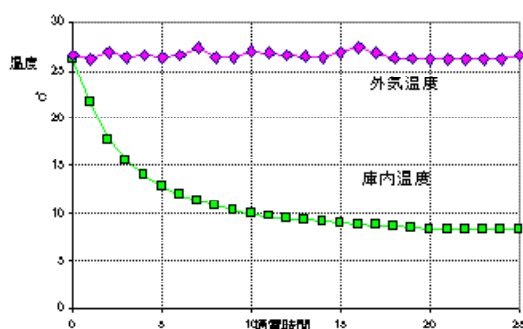


測定結果はグラフのようになった。最大温度差は14.5 である。CPUクーラの取り付けは、両面テープを使って発泡スチロールのケースに取り付けてある。また庫内の冷却用アルミ板とアルミブロック、及びパルチ素子の間にはシリコングリスを十分に塗った。ただしこれらの接触は、庫内アルミ板の弾性を利用して圧着してある。

測定後、思ったほど温度が下がらなかったため、接触が悪いのではないかと疑い、CPUクーラを”ぎゅっと”押し込んだところ、庫内の温度が6 に下がった。

問題点
熱的な接触が不十分であった。

測定の結果、熱的な接触が不十分であったため、十分圧着しさらに電圧を上げてパルチ素子により大きな電流を流して、庫内の温度変化を測定した。



試作3号の冷却特性測定条件

ファン電源：12V

パルチ素子電源電圧：10V

電流：4A

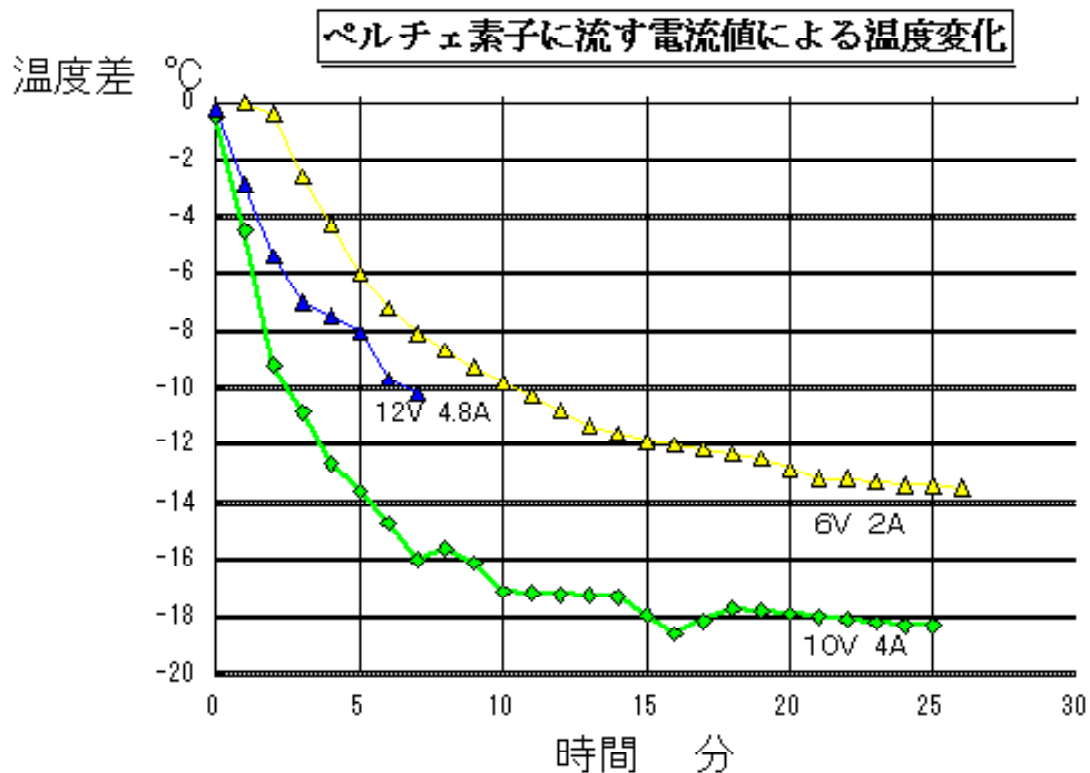
使用温度計：TAKARA DIGIMULTI D611

冷蔵庫内の温度は8.3 まで下がった。このときの気温は26.6 （1998/5/7）であったので温度差は18.3 まで拡大した。

パルチ素子に流す電流をさらに流すために、電源電圧を12Vまであげ、電流を4.8Aまで増やし同じ実験を行ったが、残念ながら温度の下がりかたはおもわしくなく途中で測定を中

止した。

以上の3つの測定を温度差と通電時間のグラフにまとめてみると次のようになった。



このグラフを見ると、電流を多く流しても必ずしも温度差はかくだいしていないことがわかる。この理由はペルチェ素子に流している電流による発熱で、発熱側の温度が高くなりすぎてしまったことが原因である。

原因
発熱側の放熱が不十分

つまり電流を多く流して吸熱量を増やそうとすれば、それにとまって発熱側の放熱も十分に考慮する必要がある。

3 . 研究内容

試作品の製作で、注意しなくてはならないことが色々あることがわかった。また、さらに小学生が簡単に製作できるような構造でなくてはならないので、簡単に作れてしかも十分な性能の電子冷蔵庫を作ることはかなり難しいことが予想できる。

従って、闇雲に試作品を作っても、十分な性能の冷蔵庫は完成できない。

作る以上ある程度実用的な物を完成させたい。そこで、製作する冷蔵庫の目標性能を、既製品の電子冷蔵庫の性能(外気温30 で内部8)を参考にし、

外気温に対して25 の温度差を作る。

を目標に設定する事にした。

試作品の製作をとおして、この目標を達成するたに大切であると思う点、つまり研究内容は次の点にしぼられてきた。

°P_F素子と金属板との熱接触。

放熱板の放熱能力。

°P_F素子に流す電流値。

放熱板の放熱能力と°P_F素子に流す電流値の関係。

冷蔵庫に流入する熱量。

以上の点を分析し、小学生でも簡単に作れる冷蔵庫はどうすればよいかを研究することにした。

4 . 測定装置の製作

熱抵抗の測定をするために発熱体を製作した。熱抵抗を測定するために、発熱体に要求される条件は、発熱量が正確にわかる。熱抵抗を測定する物体にすべての熱を流せる構造の発熱体が必要である。たとえばニクロム線などはこの条件を満足できない。

そこで、2つの条件を満足する発熱体としてパワートランジスタを選んだ。発熱量は電流×電圧で求まるのは当然。また、放熱板にとりつけて使用する構造になっているので、熱伝導によりほとんどの熱を放出する構造をしている。

利用したパワートランジスタの定格は以下の通りである。

2SD1297

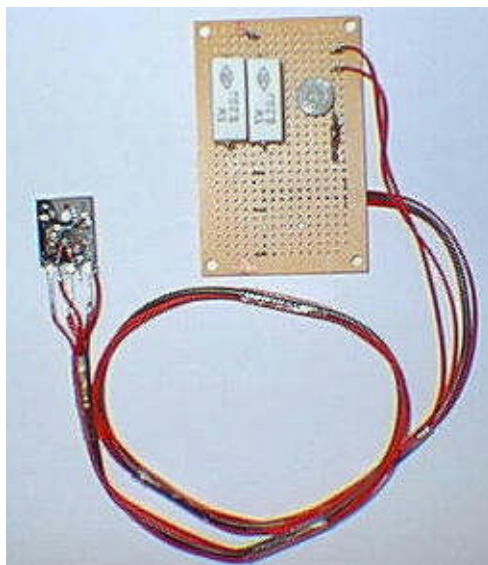
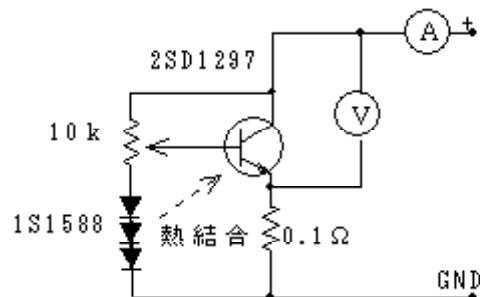
$I_{Cmax} = 10A$

hfe 10000



しかし、実際に電流を流してみると、トランジスタの温度上昇とともに電流値も増加し一定にできなかった。そこで電流を一定にする制御回路を組み込み、とにかく電流値が変化しないように工夫した。

左の回路が、電流値の変化をなくす回路である。温度センサーとしてシリコンダイオードを利用し、トランジスタに接着材で固定した。

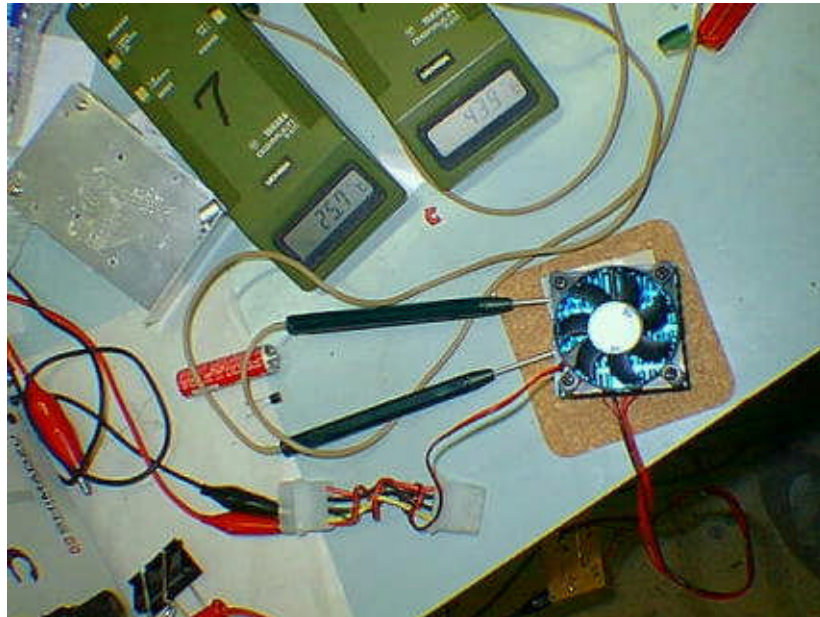


この回路を付加することで、トランジスタの温度が上昇し、電流値が増加しようとする時、ベース・エミッタ間の電圧が減少し、電流の増加を元に戻す働きをさせた。この結果電流値の変化はほぼ無視できる程度になった。

5 . 熱抵抗の測定

5-1 両面テープの熱抵抗の測定

製作する場合、一番悩んだ点はペルティエ素子をどのような方法で放熱板にとりつけるかであった。もっとも簡単な方法は両面テープでとりつける方法である。しかし、残念ながら熱伝導性両面テープは入手困難で、代わりに一般用の厚さ0.1mmの両面テープ(基材：ポリプロピレン)が利用できないかその熱抵抗を測定した。



測定

写真のように、発熱体であるパワー transistor を CPU ケーラ に両面テープで貼り付け、CPU ケーラ とパワー transistor の両方の温度を測定した。なおファンを回転させて測定した。(回転させないと温度差が小さくなり、全体的に温度が高くなる。その結果安定になるのに時間がかかるようになる。)

温度を測定した点は、高温側はパワー transistor の型番がかかっている面で、低温側はCPU ケーラの放熱板の風が当たらない側で測定した。(図参考)

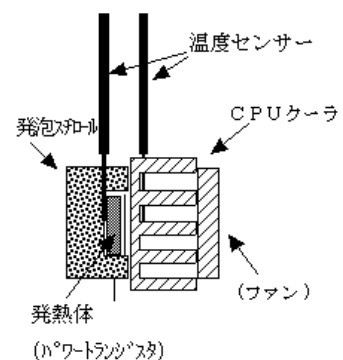
$$\text{発熱量} = 9.0\text{W}$$

$$\text{CPU ケーラ 温度} = 25.7 \quad (\text{気温} : 19.5)$$

$$\text{パワー transistor 温度} = 43.9$$

$$\text{両面テープの熱抵抗} = \frac{(43.9 - 25.7)}{9.0} = 2.02 \quad \left[\frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$$

パワー transistor の面積は $15\text{mm} \times 18\text{mm} = 270\text{mm}^2$ であるので、 1cm^2 あたりの熱抵抗は $5.5 \left[\frac{\text{K}}{\text{cm}^2 \cdot \text{W}} \right]$ であった。



考察

ペルティエ素子の大きさは4cm × 4cmである。従って熱抵抗の値は

$$= 5.5 \div 16 = 0.35 \text{ 【 } \text{ } / \text{W} \text{】}$$

である。ペルティエ素子全体の発熱量は15W程度である。従って両面テープ両側で生じる温度差 t は

$$t = 0.35 \times 16 = 5.3$$

この温度差は無視できない大きさである。従って残念ながら両面テープを使ってペルティエ素子とCPUクーラ(放熱板)の接続はだめである。

5-2 シリコングリスの熱抵抗

両面テープに変えて、CPUクーラとハートラングスタの間にシリコングリスを塗布し、シリコングリスの粘性だけでとりつけ、熱抵抗を測定した。

$$\text{発熱量} = 9.5 \text{ W}$$

$$\text{CPUクーラ温度} = 26.9 \quad (\text{気温} : 18.4 \quad)$$

$$\text{ハートラングスタ温度} = 23.3$$

$$\text{シリコングリスの熱抵抗} = \frac{(26.9 - 23.3)}{9.5} = 0.38 \text{ 【 } \text{ } / \text{W} \text{】}$$

$$1 \text{ cm}^2 \text{ あたりの熱抵抗} = 1.0 \text{ 【 } \text{ } \cdot \text{ cm}^2 / \text{W} \text{】}$$

この結果、CPUクーラとペルティエ素子の間にシリコングリスだけを塗布してくっつけた場合、ペルティエ素子の大きさは4cm × 4cmである。従って熱抵抗は $= 0.063 \text{ 【 } \text{ } / \text{W} \text{】}$ 、ペルティエ素子の発熱量を15Wとすると温度差 t は

$$t = 0.068 \times 15 = 1.0$$

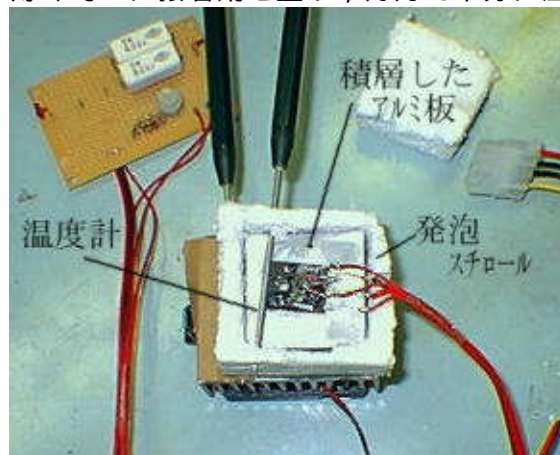
従ってこの程度であれば十分利用できると思われる。

5-3 接着剤の熱抵抗

半導体素子とCPUクーラの接続に最も簡単なのが接着剤である。物理的に固定すると同時に熱的に接続できれば理想的である。そこで接着剤でくっつけた場合の熱抵抗を測定し、評価した。

測定では、3cm×3cm、厚さ1mmのアルミ板15枚を、ゴム系の接着剤(ボンドG17)で接着し1.5cm厚にした板を利用した。板の接着では、薄く均一に接着剤を塗り、万力で十分に圧縮した。また、側面からの熱の流出を防ぐために、発泡スチロールで側面を被った。

アルミ板の一方に発熱体、反対側にはCPUクーラをとりつけ、高温側の温度はアルミ板の面で、低温側はCPUクーラの放熱板のところで測定した。従ってシリコングリスの熱抵抗も直列に入る。



測定結果

$$\text{発熱量} = 7.43\text{W}$$

$$\text{CPUクーラ温度} = 30.6 \quad (\text{気温} : 27.3)$$

$$\text{パワーラングスター温度} = 52.5$$

$$\text{積層アルミブロックの熱抵抗} = \frac{(52.5 - 30.6)}{7.43} = 2.95 \text{【 } \cdot \text{cm}^2/\text{W} \text{】}$$

$$1\text{cm}^2 \text{ あたりの熱抵抗} = 26.6 \text{【 } \cdot \text{cm}^2/\text{W} \text{】}$$

ところでこの熱抵抗は、シリコングリス、アルミニウムの熱抵抗が直列に入っているのだから、これらを差し引く必要がある。

$$1\text{cm}^2 \text{ あたりのシリコングリスの熱抵抗} = 1.0 \text{【 } \cdot \text{cm}^2/\text{W} \text{】}$$

$$1\text{cm}^2 \text{ あたりの厚さ1.5cmのアルミニウム板の熱抵抗} = 0.64 \text{【 } \cdot \text{cm}^2/\text{W} \text{】}$$

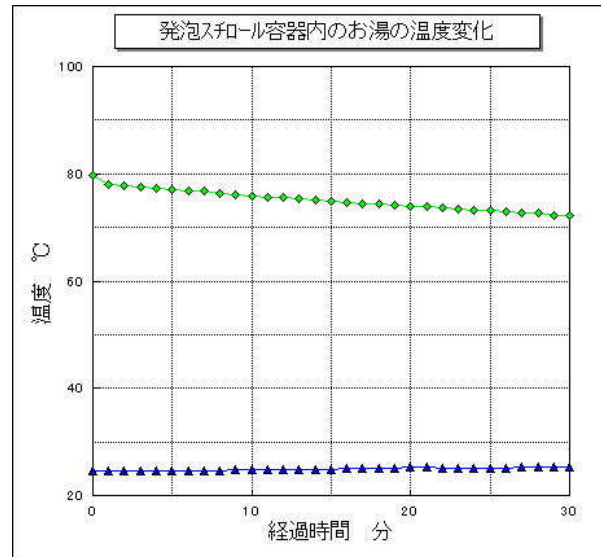
純粋に14面ある接着剤の層の熱抵抗の合計は1cm²あたり25.0【 $\cdot \text{cm}^2/\text{W}$ 】となる。従って1接着面での熱抵抗は1cm²あたり1.8【 $\cdot \text{cm}^2/\text{W}$ 】となることがわかる。

1cm²あたりの熱抵抗の比較

両面テープ	4.7【 $\cdot \text{cm}^2/\text{W}$ 】
シリコングリス	1.0【 $\cdot \text{cm}^2/\text{W}$ 】
接着剤	1.8【 $\cdot \text{cm}^2/\text{W}$ 】

6 . 発泡スチロール容器の断熱性の測定

発泡スチロール容器の断熱性を測定した。どれだけ熱が流入(流出)するのかを、内部に1000gの水を入れて、その温度変化から測定した。



測定結果

測定した発泡スチロールの容器は25×12×13cm，厚さ1.5cmの大きさで，80 °Cのお湯1000mlを入れ，デジタル温度計でお湯の温度を測定した結果をグラフにまとめた。このグラフを見るとかぎりでは，ほぼ直線的に温度が下がっている(理論的には温度差が少なくなると，流出する熱は減るので漸近的に室温に近づかず)。

10分での湯温	75.9	} 温度差3.6	室温25.2
30分での湯温	72.3		
10分～30分の湯温の平均	74.1	室温との温度差	48.9

以上のデータをもとに，発泡スチロールの容器から外に逃げた熱量Qは

$$Q=1000 \times 4.2 \times 3.6=1.5 \times 10^4 [\text{J}]$$

1 秒間あたりに逃げた熱量wは

$$W=1.5 \times 10^4 \div (20 \times 60)=12.6[\text{W}]$$

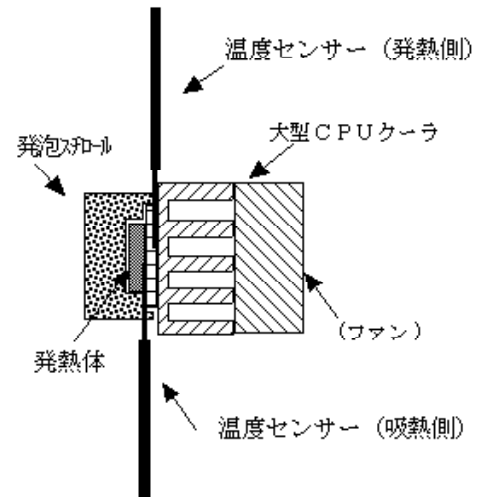
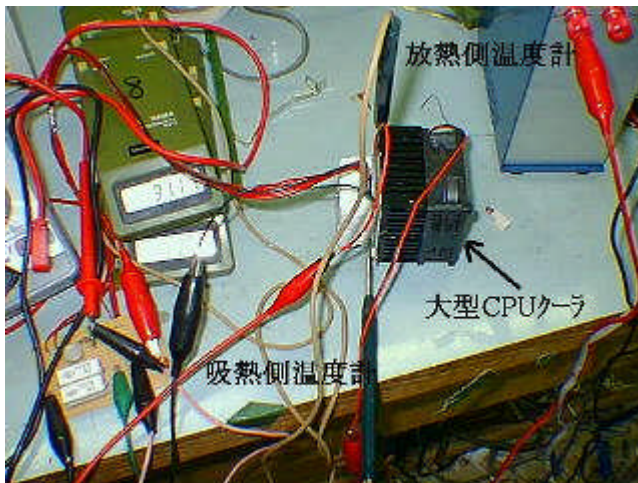
温度差 1 あたりの熱の流出量(熱伝導率) は

$$=12.6 \div 48.9 = 0.25[\text{W/}]$$

以上の結果になった。

7. ペルティエ素子の吸熱量の測定

ペルティエ素子はどの程度の吸熱量があるのか実測した。



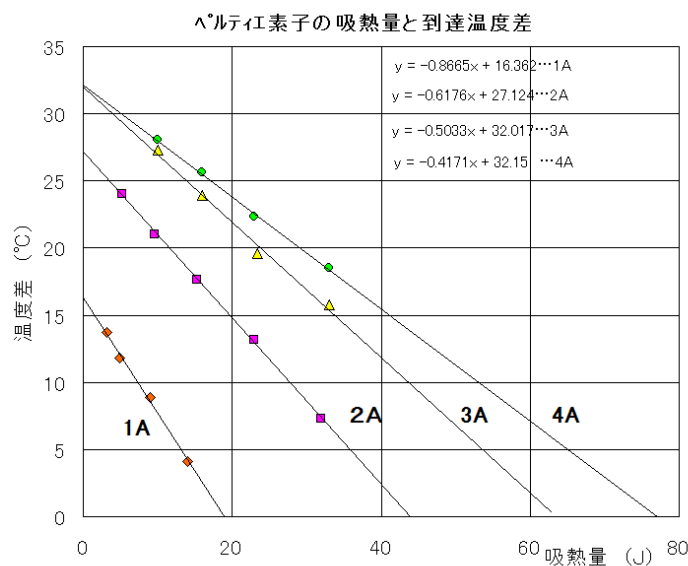
測定方法

写真，及び図のように，ペルティエ素子・吸熱側に発熱体を接続し，放熱側に大型のCPUクーラを接続，吸熱側，発熱側の温度をデジタル温度計で測定する。発熱体は断熱材でおおわれているので，発熱体で発生した熱量が，ペルティエ素子の吸熱量となる。そこでペルティエ素子に流す電流が1.0，1.5，2.0，3.0，4.0[A]の場合，発熱体の電力をおおよそ5，10，15，20，30[W]の値におおまかに設定し，正確な電力値はそのつど実測した。そしてペルティエ素子の両側の温度差を測定し，ペルティエ素子の吸熱量とその大きさの熱を吸収したときの両面の温度差の関係を測定した。

測定結果

測定結果を見ると

グラフ7-1



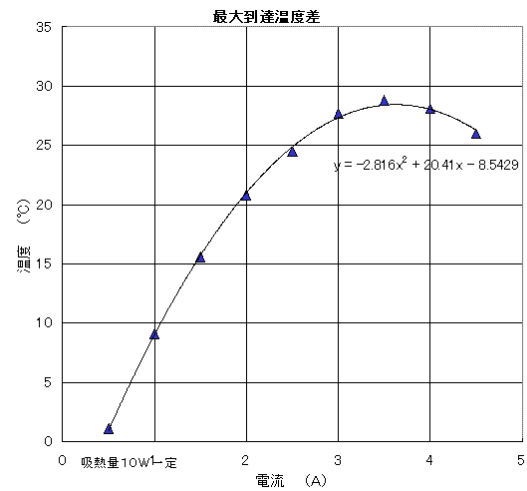
最大温度差(吸熱量がゼロになる温度差)は、 ΔT 素子に流す電流を多くすると大きくなるが、4 Aの場合、ほとんど3 Aの場合と変わらない。

最大吸熱量(温度差がゼロの時)は、電流を多く流すと確実に大きくなる。

などが読みとれる。また、この測定結果を見ると、最も効率的な電流値が存在することを示している。そこで、次の測定を行った。

グラフ7-2

発泡スチロール容器の熱の流入量は約10Wであった(p11, 1秒間に12.6Wの熱が逃げている。をもとに大まかに10Wと見積もった)。そこで10Wの熱を吸収させ、 ΔT 素子に流す電流を可変させたとき、どれだけの温度差を作り出せるか測定した。(パワーソング社:発熱体の発熱量を約10W一定に保ち、 ΔT 素子に流す電流を変えて、吸熱側、発熱側の温度を測定)

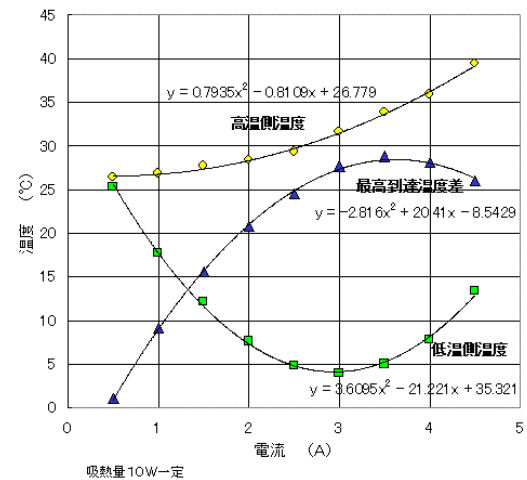


この測定結果を見ると、3.6 Aの電流を流したときに、最も大きな温度差が得られていることがわかる。

グラフ7-3

上の測定では測定は、 ΔT 素子の吸熱側の温度、及び発熱側の温度を測定しているので、その温度を最高到達温度差のグラフとともにプロットしてみた。

このグラフから、低温側の温度が最低になる電流は2.9 Aであることがわかる。この値は最大の温度差を生じる電流とは違っている。

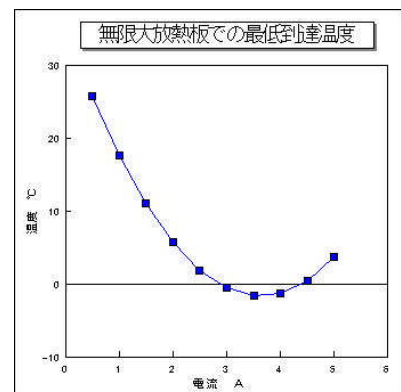


考察

グラフ7-4

ΔT 素子に流す電流値には最適値があることがわかる。仮に無限大の放熱板を付けて、放熱板の温度が変化しないとしても電流値を変化させても最低温度は右のグラフのような変化になる。

従って、必要以上に大きな放熱板を取り付けても無意味である。



8. °ルティ素子の発熱について

°ルティ素子に流す電流を多くすると発熱が多くなる。そこで°ルティ素子の発熱量の考察をする。 °ルティ素子の高温側の発熱量 Q_{tot} は

$$Q_{tot} = \text{吸熱量} + V \times I \quad V, I \text{ は } \text{°ルティ素子へ加えた電圧, 電流}$$

である。°ルティ素子の電圧-電流特性を実測してグラフにすると グラフ 8-1

(4cm × 4cm, タイプ°ルティ素子)

近似曲線を求めると殆ど直線に近いが、2次式が最も誤差が少ない。

その式より抵抗値を求めると

$$R = 2.1 + 0.23 i$$

電流 i [A] を流したときの°ルティ素子での消費電力 w は

$$w = 2.1 i^2 + 0.23 i^3$$

となる。従って、最大温度差が生じ

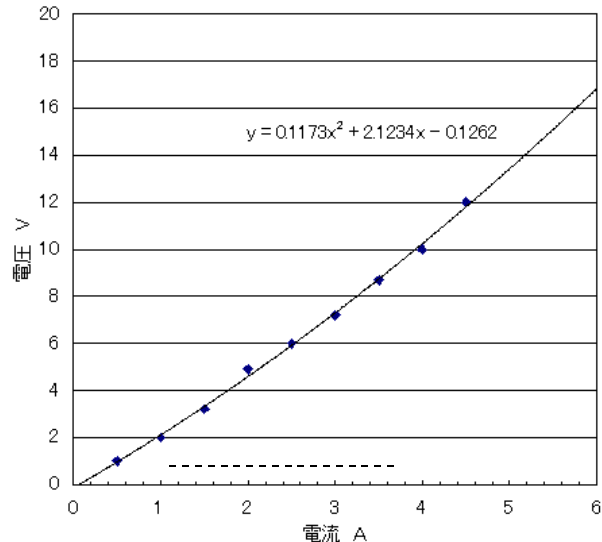
る電流 3.6 A の時のジュール熱は 38 W であり、このとき 10 W の熱を移動させていたことになる。従って計 48 W の熱を移動させている。

このジュール熱は、ペルティエ効果をうち消す効果である。電流に比例した吸熱量が°ルティ素子にあったとしても、電流の 2 乗に比例してジュール熱が増加するので、むやみに電流をふやしてもかえって温度が下がらないことが理解できる。つまり°ルティ素子に流す電流には最適値があることが確認できる。そこで次に、このことを確認するために以下の計算を行った。

p 12 「°ルティ素子の吸熱量と到達温度差」のグラフ 7-1 から、温度差ゼロ、5、10、15、20、25、30 の時の吸熱量を電流ごとにプロットした。各温度差での吸熱量はグラフ 7-1 から各電流での温度差と吸熱量の近似式を持ちいて計算した。もともなった式は

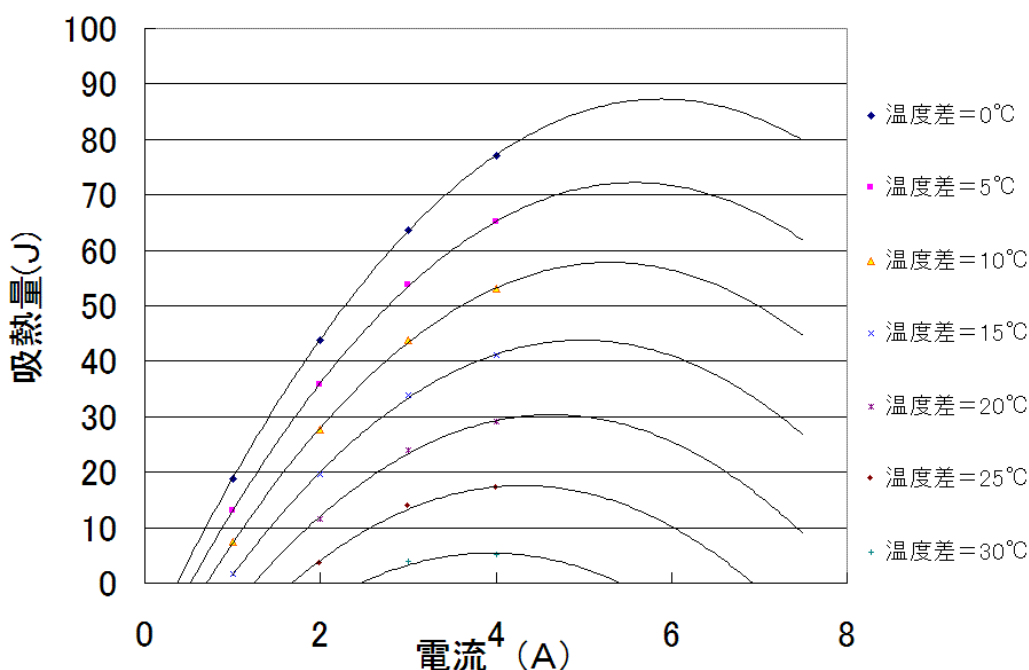
$y = -0.8665x + 16.362$	1 A
$y = -0.6176x + 27.124$	2 A
$y = -0.5033x + 32.017$	3 A
$y = -0.4171x + 32.150$	4 A

ただし y : 温度差 () x : 吸熱量 (J)



その結果をグラフにまとめたのがグラフ8-2である。

グラフ8-2



各温度差での吸熱量と電流の関係は、ほぼ二次曲線になっている。この吸熱量は実験の方法から、純粋にペルティエ素子が吸収して低温側から高温側に運んでいる熱量である。グラフを見ると、実際にペルティエ素子が運ぶ熱量（吸熱量）には最大値があり、電流を流しすぎるとかえって減少してしまうことがよくわかる。この理由はいくらにジュール熱の増加による。

グラフから温度差が小さい場合、たくさん電流を流した方が吸熱量は大きいですが、温度差が大きい場合、その電流値は4 A程度であることがよくわかる。これは今までの試作品を製作し、色々と電流を変えたときの結果と完全に一致している。また、このグラフから電流が4 A程度で最大温度差は25度程度が現実的な性能であることがわかる。

結論

ペルティエ素子を最も効率的に動作させるために、電流値には最適値がある。

電流の最適値以上に電流を流しても吸熱量は増えない。

最大温度差を生じさせる電流の最適値は3.6 Aである。この値はペルティエ素子の特性を測定した結果からも証明される。

放熱板の熱抵抗の関係で、K6用CPUクーラを利用した場合、低温側に最低温度をもたらす電流値は2.9 Aであった。この理由は高温側の放熱板の熱抵抗が有限であるために生じる。従って放熱板の熱抵抗によってはペルティエ素子の最適電流値より小さい電流を流すことがベストとなる。なお、ペルティエ素子に2.9 Aの電流を流すためには約7 Vの電圧を加えればよい。

放熱板の熱抵抗を下げても、ペルティエ素子の特性として最適値があるので、必要以上の大きさの放熱板にしても無意味である。

高度な制御が必要になるが、冷蔵庫を製作して庫内の温度が下がっていったら、ペルティエ素子に流す電流を少なくしていけば、短時間で庫内の温度を下げるができるようになるはずである。（グラフ8-2参照）

9 . 放熱板の熱抵抗。

9-1 アルミ板の熱抵抗

放熱のためにCPUクーラを利用する計画であるが、単なるアルミの板だけですめば安上がりで簡単である。そこでアルミ板の熱抵抗を測定した。

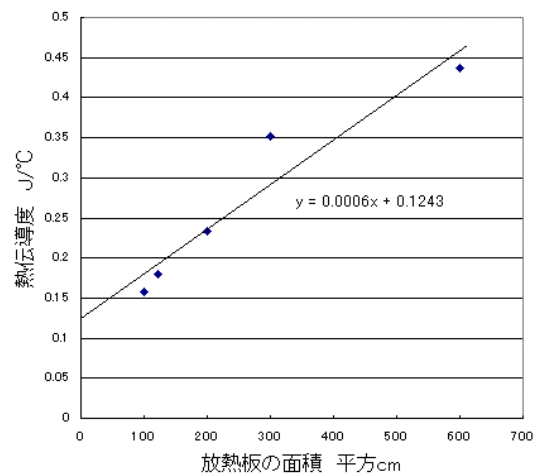


測定方法は発熱体で一定の熱を発生させ、アルミ板の温度、気温を測定しその温度差と発熱量から計算した。測定は写真のように床に板を寝かせた状態で行った。

グラフ9-1

測定結果

温度差	電力	面積	熱抵抗	熱伝導度
49.1	7.73	100	6.35	0.157
51.0	9.21	126	5.54	0.181
39.3	9.19	200	4.28	0.234
25.5	8.97	300	2.84	0.352
17.8	7.76	600	2.29	0.436
	W	cm ²	/W	W/



熱伝導度とアルミ板の面積との関係がほぼ比例していると判断すると。アルミ板の面積とそのアルミ板の熱抵抗との間には

$$\text{アルミ板の熱抵抗 [/W]} = \frac{1}{6 \times 10^{-4} \times \text{アルミ板の面積 [cm}^2\text{]} + 0.12}$$

9-2 CPUクーラの熱抵抗

AMD k6用 として販売されているCPUクーラの熱抵抗を、これまでのやり方と同じ方法で熱抵抗を測定した。(宇都宮 T-ZONE で1050円で購入したもの)

	発熱量 W	放熱板温度	気温	熱抵抗 /W
ファン OFF	8.4	59.0	19.5	4.8
ファン ON	9.0	25.2	19.5	0.63

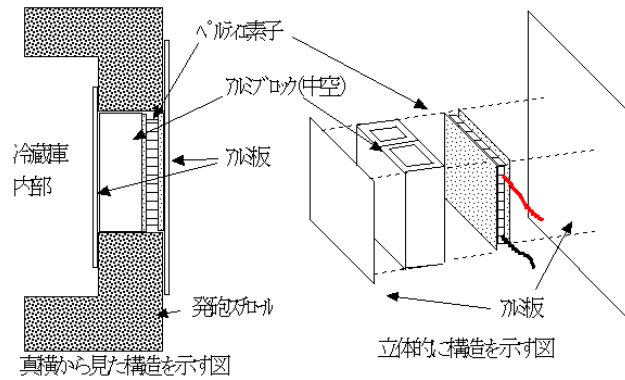
考察

CPUクーラの熱抵抗はファンがOFFの状態では一辺15cm程度の正方形のアルミ板と同程度であるが、ファンを回すと一辺50cmの正方形のアルミ板と同じ程度の熱抵抗に劇的に小さくなる。CPUクーラを利用する方がコンパクトで簡単にできる。

10 . 電子冷蔵庫の製作

10-1 構造

小学生でも簡単に製作可能で、しかも実用的な性能を発揮できるような電子冷蔵とするために、今までの基礎研究をもとに電子冷蔵庫の構造を決定した。



構造はこの図のように決定した。

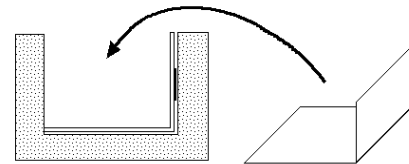
外側のアルミ板は両面テープで発泡スチロールに固定する。

パルティ素子は均一にシリコングリスを塗り、アルミ板にシリコングリスの粘性を利用して接着する。

発泡スチロールの厚みを中空のアルミブロックでかせぐ。熱抵抗を計算した結果肉厚1mm、15×15×40mmのブロックと15×25×40mmのブロックを張り合わせて15×40×40mmのブロックとして利用した。中までアルミが詰まっているブロックでは、簡単に金きり鋸(のこぎり)では切れないが、中空のアルミの棒ならば比較的簡単に切り取れるためである。この中空のアルミブロックの熱抵抗は0.4 /W程度になるが作り易さを優先した。両面に均一にシリコングリスを塗る。

庫内を冷却するのにアルミ板を利用する。このアルミ板は箱の内側の長さに合わせてL字型にまげ、アルミの弾性を利用してブロックと接触させる。

折り曲げたアルミで、押さえられてアルミブロックと接触する。



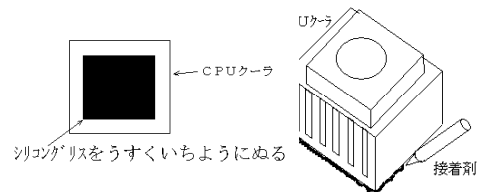
以上のような構造に決定した。当初パルティ素子、

放熱板の接続に接着剤を利用するとした案もあったが、接着剤を使った時の熱抵抗が大きいため採用しなかった。

容器の内側の長さに合わせて折り曲げる。

CPUクーラーは、外側のアルミ板に接着した。その方法は、

まず外側5mm程度残し均一にシリコングリスを塗りアルミ板に押しつけ、最後に周囲から接着剤を流し込んで固定する方法を採用した。

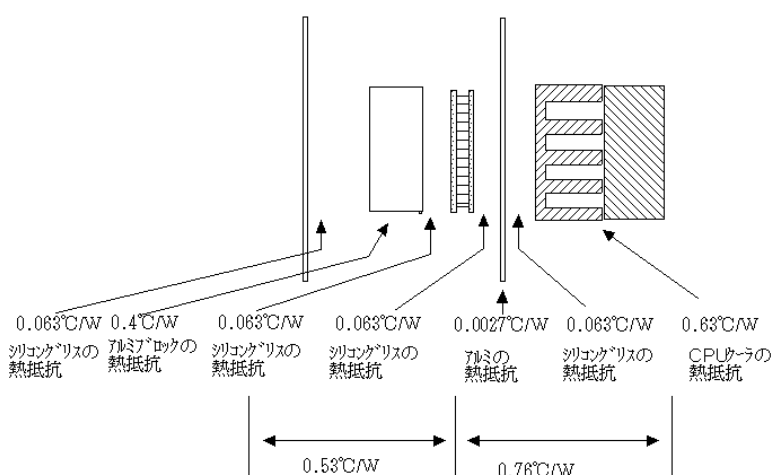


接着剤だけでは熱抵抗が大きくなるためである。

10-2 放熱板について

放熱用のアルミ板は7cm×20cmの大きさである。この大きさのアルミ板はCPUクーラに比較すると放熱効果は小さい。ここでのアルミ板は、CPUクーラを発泡スチロールの箱に取り付けるための土台として使っている。従って放熱効果はあまり期待していない。

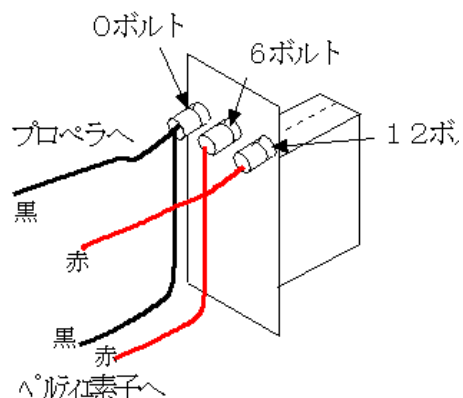
このように結論づけたのはグラフ7-3より（CPUクーラのための放熱である）、電流3Aの時、高温側の温度の上昇が約7℃で、仮に熱抵抗を半分にしても温度はその場合より3℃しか下がらないことが読みとれる。つまりコストの割に性能は向上しないためである。



なお、上図が μ パワートランジスタの両面での熱抵抗を書き出したものである。低温側・高温側ほぼ同じ値であるがこれは低温側のアルミの中空ブロックの熱抵抗が大きいからである。しかし、流れる熱量の大きさは圧倒的に高温側が大きいのでこの程度で十分である。（高温側はこれ以上小さくは容易にはできない。）

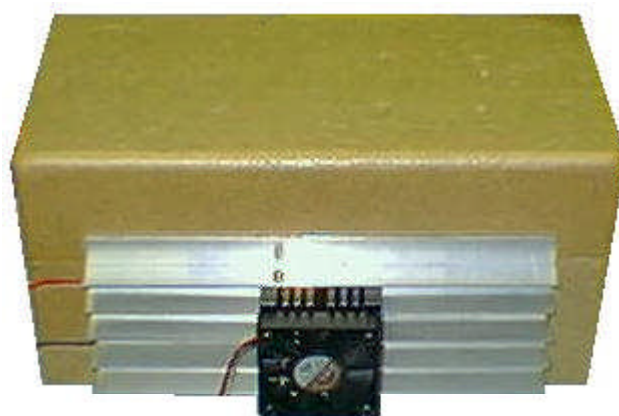
10-3 電源について

乾電池で動作させると長時間の動作は不可能である。そこで電源装置を利用した。利用した電源装置は5V、10Aのスイッチング電源で2個1800円のものである。出力電圧は調整することで6Vまで調整できるが、 μ パワートランジスタへ最適な電流を流す電圧には調整できないが、大きく最適値からずれないので良しとした。



10-4 製作見本

小学生が作るのに参考にしてもらう見本を製作した。その電子冷蔵庫は写真のとおりである。



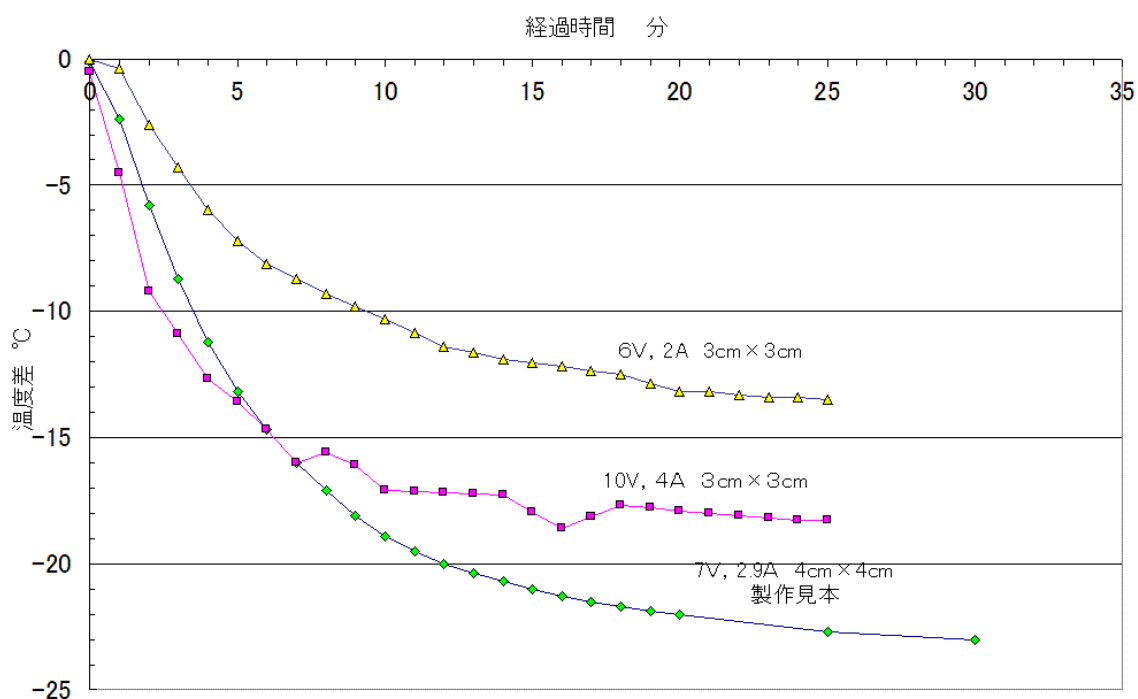
今までの試作品と比較すると、アルミ板とアルミのL型材を組み合わせて放熱効果を高めるようにした。アルミとアルミのL型材の固定は両面テープを使った。

利用したPeltier素子は4cm×4cmの大きさの最大吸熱量80Wのタイプである。

10-5 性能

冷蔵庫の性能を確認するために、Peltier素子に2.9A(7V)の電流を流し、冷蔵庫内の温度を1分ごとに測定した。そして試作2,3号と冷却曲線を比較した。

グラフ10-1



性能を測定した日は気温が低く、しかも雨が降っていた。従って冷蔵庫内の温度は氷点下に下がってしまい、試作2・3号機とは若干条件が違っている。しかし、冷却曲線をみる限り今までの試作器の性能を越えていることがわかる。電流の値を2.9Aに設定した理

由は、実験で低温側の温度が最低になる電流値を選んだが、今回の試作器は放熱板の放熱効果を高めているので温度差が最高になる電流3.6Aに設定するとさらに低い温度になることが期待できる。

しかし、今までのペルチェ素子の特性から考えると、これ以上大きな温度差を生み出すことはかなり大変であることもわかるので、ペルチェ素子1個で作る電子冷蔵庫では、ほぼこの性能が限界であるとも考えられる。

11. 小中学生の作品

ものづくり体験教室でのスナップ写真である。冷蔵庫の構造が簡単なので、こちらで用意した発泡スチロールを使わず、好きな大きさ・形の電子冷蔵庫を製作しようとする者がかなりたくさんいた。箱の大きさにより、発泡スチロールの厚さが違い、アルミブロックだけでは足りなくなり、アルミの板をはさんで対処した。

写真11-1



写真11-2



写真11-3



写真11-1～11-3は小中学生の作品で、男子児童・生徒はこちらで用意した発泡スチロールの容器を使わず、自分でおもしろおもしろの大きさ・形の容器を準備してきた。全員製作に成功

し喜んでくれた。その中で最も良くできたのが写真11-3の作品(小学5年生)で、ふたの裏側に冷却用のアルミ板が取り付けられている。(穴があいていたのでシコパテでうめた。) 構造的に最も優れている。またよく冷えた。

12.まとめ

今回の研究で、電子冷蔵庫の製作のポイントをまとめておく

熱的に接触させるのはかなり重要である。シコパテの塗り方によってもかなり熱抵抗は違ってきます。コツは、平らなへらを使って均一にうすく塗ることである。そして十分に圧力をかけて密着させることである。さらにシコパテを塗る前にアルミ板や放熱器の接触面を1000番程度のヤスリで十分研磨しておくとうい結果が得られる。熱伝導両面テープは入手できなかったが、かわりにうすい両面テープを用いても、放熱板のフィンを板に取り付ける程度ならば十分に利用可能である。また接着剤でもOKである。

冷蔵庫の容器として発泡スチロールの箱を利用し、大ざっぱに見積もって熱流入を10Wとして色々な計算の基準値としてきた。しかし、より細かく計算すると、P11の容器の断熱性の測定結果から、容器の熱伝導率は0.25W/ と出ているので、温度差が25 の時、熱の流入量は6.3W程度である。

この熱の流入量は最低到達温度に影響する。従ってより大きな容器にすると温度があまり下がらなくなる。従ってあまり大きすぎるとジュースを冷やすまでにはならない。容器の大きさは十分に吟味する必要がある。

パルティエ素子の使い方は、実際の利用状況とほぼ同じ条件で測定したので、利用に関する最適な条件が求められたと考えている。試作機では、電流値を増やしてもかえって温度が上昇する事があったが、P15、グラフ8-2からこの傾向が読みとれる。従っておおよそ3Aの電流を流すと最も調子が良いことがわかった。しかしこの値は最大温度差になる電流値3.6Aとは違っている。これは放熱板の熱抵抗による影響である。そこで、製作見本のような工夫をし、電流値を変えるとより温度を下げる事ができるはずである。

今までの研究では冷蔵庫の内部の冷却板の熱抵抗などについては全くふれなかったが、内部の物を早く冷やすにはそれなりの工夫が必要である。まず最も簡単な方法は冷却板を箱の上の方につけることである。小学5年生の作品はこれで成功している。

もう一つは内部にも小型のファンを入れることである。内部の空気が素早く冷えて、中に入れた物もむらなく冷たくなる。ただし、ファンの発熱があるので最低到達温度は若干上昇する。

13.最後に

ものづくり体験教室は、7/18、7/21、7/22、7/23の4日間行われた。31人の小中学生が参加し、目的の電子冷蔵庫も全員完成した。2日目に製作した電子温度計で、冷蔵庫の冷却用アルミ板のところで温度を測定したところ、最も冷えたものが1 となった。このとき気温が低かったのが好結果をもたらしたと思う。(30度に達していなかった。製作した電子温度計の校正が若干狂っていた等の理由もある。)

電子冷蔵庫の製作に関して考慮した点は2点

- 1.小中学生でも容易に製作できる。
- 2.実用的な利用ができる。

であった。1.に関しては、全員が完成したので十分満足できる結果が得られたと思う。もちろん十分に冷えない冷蔵庫もあったが、理由は熱的な接触が悪く(ペルチェ素子を防水加工したときのシリコンパテが表面について凸凹していた等。)放熱が十分にできなかったようであるが、構造が簡単で両面テープで固定するような方法を採用したので、家に帰ってもう一度作り直すことも十分可能であると思う。

2.に関してもある程度満足している。ペルチェ素子1個で作る冷蔵庫としてはほぼ限界の性能は出ていると思えるからである。もう少し予算と時間があれば2個のペルチェ素子、2個のCPUクーラー等を使ってより実用的な冷蔵庫が製作できていると思っている。



今回の研究では、自作パソコンを使って計算をした。利用したソフトはマイクロソフトエクセルである。

実験は科学技術等、準備室でおこなった。

ものづくり体験教室は科学研究部全員で準備した。



実験で使うパルティ素子の防水加工を行っている。



電子温度計の基盤を製作している様子。



部品を箱詰めしている様子。



アルミのブロックを切るのは大変であった。時間の関係で31人分のアルミブロックを金きり鋸で切った。

