

ペルチェ素子を用いたCPU冷却実験

*Dr. キッチュ

はじめに

T.M.S.R. vol.23にて、CPUの高速化における熱問題を議論した我々は、ヒートシンクの能力と限界について一定の知見を得た。パッシブ型の冷却システムでは冷却限界が周囲温度で定まることから、さらなる能力向上のためには熱輸送型の冷却システムが必要となる。

ここで、熱輸送デバイスとしてペルチェ素子を利用した冷却システムを実験した。構造に銅板を用いる本システムでは過冷却による結露の心配も無く高価なペルチェコントローラ、大容量電源を不要とせしめた。

ペルチェ素子の概要

ペルチェ素子は Jean Charles Peltier (仏) が19世紀に発見した電流による熱輸送現象を応用したデバイスである。異種金属材料接合面に電流を流す事によりこの部分から熱を放出・吸収することができる。現在市販されているペルチェ素子においては、効率化のために金属の代わりに化合物半導体を用いており、このエレメントがセラミック板の間に多数形成されたモジュールの形態を成している。

この動作原理図を図1に示す。

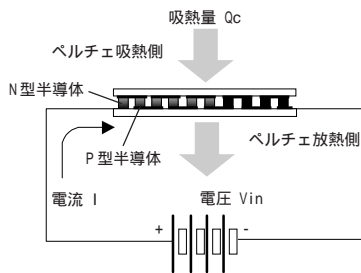


図1 ペルチェ素子によるペルチェ効果動作原理

PN接合に電流を流す事で、N-P接合部分では吸熱現象が、P-N接合部分では放熱現象が発生する。この熱輸送量 Qc と電流 I の関係は、

$$Q_h = Q_c + V \times I \quad (1)$$

ただし Qh はこの系全体の発熱量である。

この素子でCPUを冷却しようとした場合、Qc がCPUの発熱量 Qcpu に相当する。市販の素子では、ほぼ

$$Q_c = Q_{cpu} = Q_h / 2 \quad (2)$$

と設計されているので、例えば30WクラスのCPU冷却にはトータル60Wの発熱を見込む必要がある。

従来のペルチェ冷却システム

このようにペルチェ素子を利用すれば、CPUで発熱する熱を輸送し、これを冷却する事が可能である。このため、CPUオーバークロックを実践する者の間では、比較的ポピュラーな手法である。

しかしながら、実用的なペルチェ運用となると色々な問題点が発生してくる。最も大きな問題は結露問題である。

この結露現象は、CPUが周囲の露点温度(水蒸気が100%rhとなった温度)以下になった場合、過剰な水分が水滴となってCPUを濡らす現象である。

式(1)を見て解る通り、ペルチェが理想状態で作動した場合、吸熱する熱量はきっかり Qc である。CPUがこれ以上の発熱をした場合、余剰の熱量は系全体の温度を上昇させる。これでは冷却効果がないので、一般的に

$$Q_{cpu} < Q_c \quad (3)$$

という設計がなされる。すると、過剰吸熱量 dQ

$$dQ = Q_c - Q_{cpu} \quad (4)$$

の熱量が回りから供給されなければならない。CPUの熱抵抗を R とするとこの時の温度減少分 T は

$$T = dQ / R \quad (5)$$

となる。

CPUの発熱はシステム負荷に大きく依存するので、Qcpuを全速運転時:Qmax/待機時:Qminで場合分けし、結露を起さない最大温度差を Tmax とすると

$$Q_{max} < Q_c \quad (6)$$

かつ

$$T_{max} > (Q_c - Q_{min}) / R \quad (7)$$

したがって、

$$T_{max} * R > (Q_{max} - Q_{min}) \quad (8)$$

が結露を起さない条件式となる。

一般的なCPUでは、放熱特性を高めるために R は 0.4 [°C/W]程度と考えられ、Tmaxも通常20~30であるから、Qmax-Qminは最大でも

$$Q_{max} - Q_{min} < 0.4 \times 30 = 12W \quad (9)$$

となる。

WindowsNTの場合、オペレーション休止中はCPUがアイドル状態になるため、Qmin ~ 0[W]となる。またCeleronでのクロックアップの場合、Qmax = 30W程度であるので、Qmin Qmax両面から考えても単純なペルチェ冷却ではCPUは濡れてしまい、昇天するは必至である。

この危険を回避するため、市販のペルチェコントローラというものも存在する。これはCPU温度をモニターすることにより、式(1)における V x I を変動させCPUが結露しない温度に保つ働きをする。ペルチェ冷却には最適な解答であるが、コントローラの信頼性やコストが問題となってくる。

* 超越科学研究所・ワークスキッチュ
マッドサイエンス学会正会員
Laboratory of Hyper-Science
Tokyo JAPAN

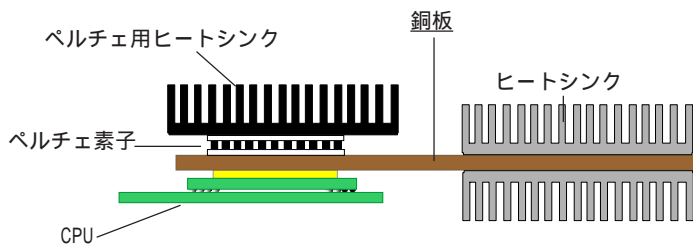


図2 今回実験したペルチェ冷却システム構成

今回実験したペルチェ冷却システム

図2に今回実験したペルチェ冷却システムの構成を示す。冷却対象は Celeron 300A /465MHz 駆動である。

本システムの特徴は、CPUとペルチェ素子の間に設置した銅板(厚さ2mm)の存在である。この銅板はCPU-ペルチェの界面での吸発熱を緩衝する働きをする。

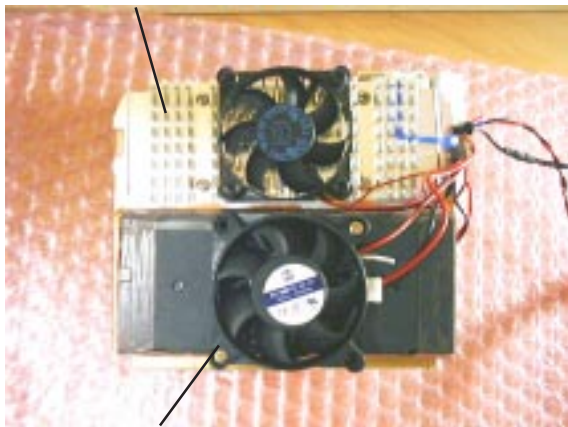
ペルチェ素子の吸熱量 Q_c は、あらかじめ CPU 発熱量 Q_{max} より下方に設定しておく。このため、ペルチェ単独ではCPUは容易に熱暴走してしまう。

ここで、CPU-ペルチェ界面に設定した銅板が効果を発揮する。過剰な熱量 $Q_{max}-Q_c$ は、この銅板を伝わって放熱されることになる。過剰とは言うても、ペルチェで放熱された残りであるため、銅板で容易に放熱することができる。

一方、CPUがアイドル状態になった場合は、反対に銅板がCPU-ペルチェ界面に熱を供給する。このため、式3~8で検討した条件を、広いCPUパワーレシオ領域で満たす事が可能となる。

図3に、今回の冷却システムの外観を示す。

銅板に装着した放熱器



リテール放熱器と追加したファン

図3 本検討によるペルチェ冷却システム

ペルチェを冷却する放熱器並びに銅板を挟みこむ放熱器はCeleronリテール品に附属していた物や市販のCeleron用を用いている。特にリテール放熱器には小型ファンが附属しているが、今回はさらに外側に追加ファンを装着した。このファンはもともとあるファンと反対方向に回転するので、ターボ

ファンのように空気圧縮効率を高め放熱風量を稼ぐ事ができる。

図4に、このシステムの冷却能力実験結果を示す。CPU負荷=0のアイドル状態から、重い負荷であるベンチマークソフト・Final Reality 1.01をループさせた時のCPUコアの温度上昇をサーミスタ温度計で計測した。室温は27である。

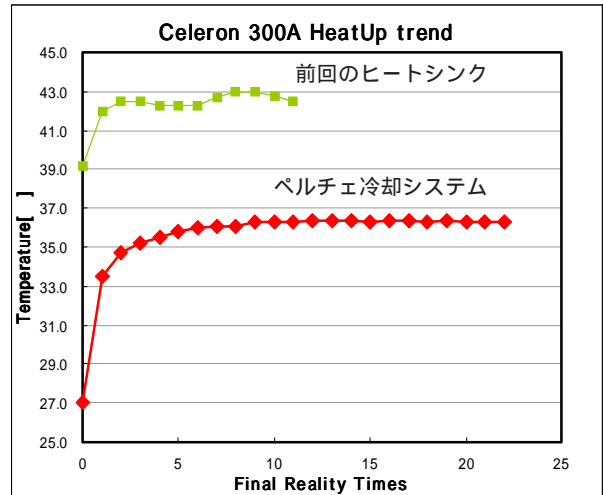


図4 ペルチェ冷却システム温度変化トレンド

文献1)で報告した前回の剣山型ヒートシンクではループを繰り返すにつれ39 から43 へ上昇しているが、今回のシステムは最大でも37 以下をキープしている。アイドル時の最低温度は27 であり、結露も心配ない。

まとめ

Celeron用冷却システムとして、ペルチェ素子を利用したものを検討した。結露問題を回避するために銅板を挟みこむ構造を採用し、結露問題のないシンプルな冷却ユニットを構築できた。

さらに熱輸送の観点からは、作業物質に H_2O を使用する液冷システムなども考えられ、本分野でのさらなる研究が期待される。

参考文献

- 1) T.M.S.R. Vol.23 Aug.16 1998
CPU高速化における熱問題について
Dr. キッチュ
- 2) つきなみ COMICS ホームページ
<http://www2r.biglobe.ne.jp/~TSUKI/index.html>
Dr. キッチュの研究室
- 3) サーマ・モジュールデータシート
秋月電子発行