

CPU 高速化における熱問題について

*Dr. キッチュ

はじめに

このごろ CPU が熱い話題である。中でも Celeron (韋駄天の意) は Pentium II のコアを利用した廉価版の CPU であり、クロックアップ特性の良さから急速に人気が高まっている。

しかし、クロックアップすることで問題となるのが CPU の発熱である。この「熱」が、飛行機と同様に CPU 高速化の壁になってきたのである。

ここで、CPU に Celeron を利用した PC の放熱手段を実験し、今後の展望を考察する。

クロックアップの価値

図 1 につきなみ COMICS の CPU トレンドを示す。このトレンド図は、文献 1 にあるように、つきなみ COMICS が過去採用してきた PC の CPU パワーを示すものである。この流れによると、1998 年夏は 400MHz クラスの CPU が当然のように要求される事になる。

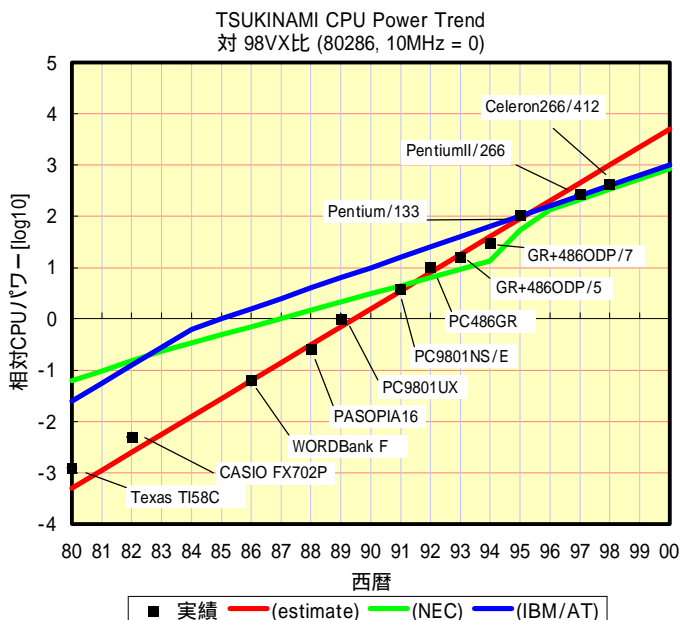


図 1 つきなみ COMICS における CPU トレンド

ではこの要求になにをもって答えるべきなのか。正攻法では Pentium II 400MHz という CPU が候補に上げられる。しかし、この CPU は市販価格 12 万円台 (98/06) というように非常に高価なものである。

そこで今回は、より安価な Celeron 266MHz という CPU を選択した。この CPU は、L2 キャッシュがない関係でクロックアップへの耐性が高く、オーバーオール性能を Pentium II 333MHz 以上に上げる事が可能である。

この場合問題になるのは「発熱」である。定格を

* 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

越えたクロックで駆動された CPU の発熱は適切な方法で放熱せねばならない。

ヒートシンクの検討

では、クロックアップによる発熱量を検討する。最新 CPU は CMOS プロセスで製造されているので、電流は CMOS インバータ回路素子が ON/OFF するときの電流が支配的である。回路が ON/OFF する回数は駆動周波数に比例するため、従って消費電力 W_{cpu} はクロック周波数 F_{clock} に比例することになる。

$$W_{cpu} = k * F_{clock} \quad (1)$$

Celeron 266 の定格 (266MHz) における消費電力は、文献 2 によると 17W なので、400MHz 駆動での消費電力は

$$W_{400} = W_{266} * 400/266 = 25.6W \quad (2)$$

となる。

この、ほぼ 30W の発熱をヒートシンクを使って放熱する。ヒートシンクの性能は、発熱体から放熱部分へ流れる熱量 W と温度差 T から、電気回路と同様な抵抗を定義できる。この抵抗は一般的に「熱抵抗 R 」と呼ばれ、

$$R = T/W \quad (3)$$

と定義される。この値が小さいほど、同じ発熱でも温度上昇を押えることができ効率が低い。

図 2 に、一般的なヒートシンクにおける熱抵抗特性を示す。放熱のメカニズムでは、熱を空気に逃がすように作動するので、効率はヒートシンクが含む空気の量つまり包絡体積に比例する。

また、ヒートシンクを通り抜ける空気量が多いほど多くの熱を逃がす事ができるので、ファンを追加すると放熱効率が向上する。

今回は、グラフ右下円に相当するヒートシンクを採用した。強制空冷時の熱抵抗は約 0.4 [$^{\circ}C/W$] である。

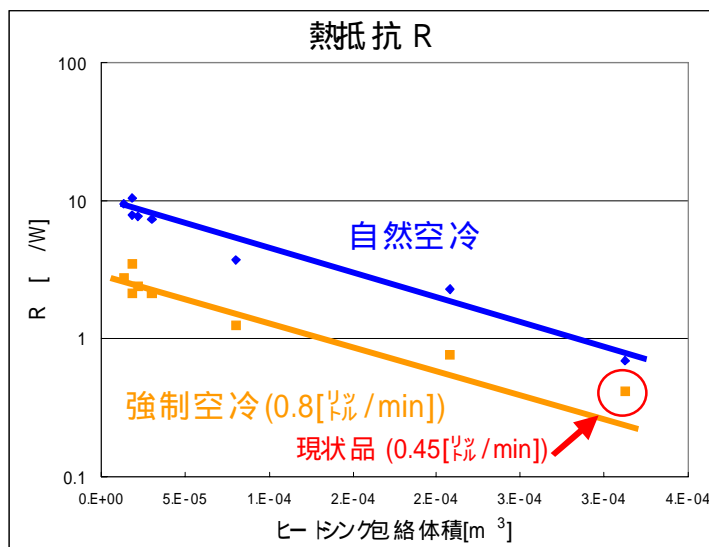


図 2 ヒートシンク体積と熱抵抗の関係



図3 Celeronとヒートシンク、ファンの様子

ヒートシンク実験結果

図3に、Celeronとヒートシンクの様子を示す。ヒートシンクは剣山状の突起があるもので、風向きに依らず良好な放熱特性が期待できる。

ファンはCPUコアの近傍に風をあてるように設置し、CPUにはバスボンドを利用してサーミスタを張付け、温度上昇をモニタすることができる。

計算上では、ヒートシンクの熱抵抗が0.4 /W Celeron 発熱量が25.6Wなので、温度差 Tは、

$$T = 0.4 [/W] \times 25.6 [W] = 10.2 \quad (4)$$

となる。実測では、

$$\text{室温} \quad R_t = 27 \quad (5)$$

$$\text{ボード温度} \quad R_a = 35 \quad (6)$$

$$\text{CPU温度} \quad R_c = 39 \quad (7)$$

となり、CPU～室温の温度差が12 となり、ほぼ計算通りの結果となった。

その他の対策について

さらに有効な熱対策について考察しよう。物理的に冷却効率を上げるには、ペルチェ素子等が考えられる。ただし、ペルチェ素子は電流で熱を輸送する素子であるので、本質的には発熱素子である。

また、輸送可能な熱量は、素子損失の半分であるので、30Wクラスの冷却には60Wのペルチェが必要になる。これ以下の定格のペルチェでは、CPUで発熱した熱量がすべて輸送できずに、かえってCPUの温度を上昇させることになってしまう。

また、ソフトウェア的にCPUを冷却するものもある。(CPUIDLE, WataerFall, Rain等)

これは、冷却というよりもCPU自体の発熱を押えるもので、CPUをHALTすることで式1におけるFclockを下げて発熱量を下げるものである。

「熱の壁」について

CPUが今のルールで高集積化する場合、熱の壁にはいつごろ到達するだろうか。

DRAM等のプロセストrendは、3年で集積度が2.7倍、すなわちデザインルールが1/ 2.7になる。

CPUも同じtrendをたどると仮定する。CMOS回路のスピード(時定数)は1/(ルール²)、集積度が1/ルールに従うとする。

現状の設計思想ではルールが小さくなった時には機能を盛込む方向なので、電力は増加することになり、図4のようなtrendが考えられる。

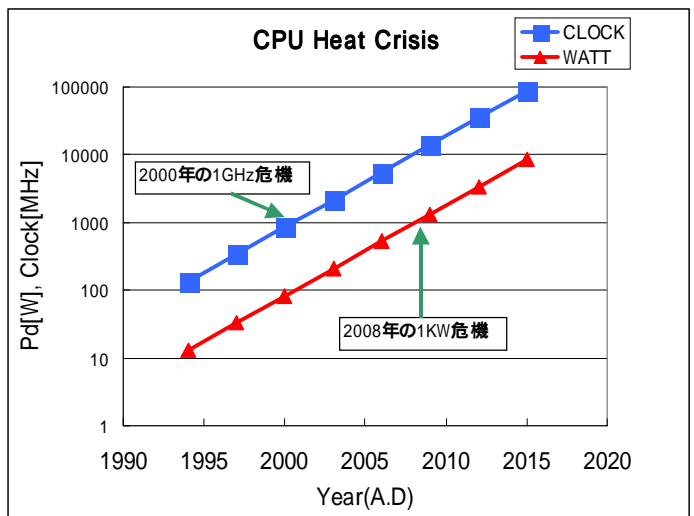


図4 本研究により推定される2つのCPU危機

このグラフでは、1997年に266MHz-25WのCPUは2000年に周波数1GHzに到達する。この周波数を越えると、基盤材料が現在主流のガラエポでは損失が大きくなり、動作が困難になる。

周波数をCPU内部に取込み、1GHz危機を回避したとしても、2008年にはCPU損失が1KWに達する。

さすがに1KWを簡易な放熱器で放熱することは困難であろう。PC筐体内での発熱限界が最大150Wとすると、危機は早くも2002年にやってくる。

まとめ

Celeronを通じて、CPUの熱対策の現状と展望について考察した。「CPUの熱の壁」を越えられないとしたら、我々はなにかを犠牲にしなければならない。動作周波数なのか機能なのか。あるいは斬新なアーキテクチャによる問題回避なのか。どちらにしろ、アマチュアがCPUクロックアップ等を楽しめる期間はあと数年程度となるであろう。

参考文献

- 1) T.M.S.R. Vol.12 Aug.16 1992
98 アーキテクチャの危機と展望
Dr. キッチュ
- 2) 24365802.pdf
Intel Celeron™ Processor at 266MHz and 300MHz
データシート