

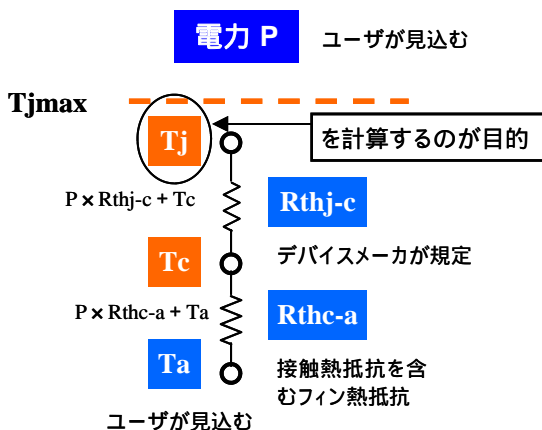
# ヒートシンクの熱抵抗

## ヒートシンクの熱抵抗

ヒートシンクはパワー半導体で発生した熱を外部へ逃がす仲立ちとなるものである。その熱抵抗が低いほど熱を効率的に外部に逃がすために温度上昇を低く抑えることができる。

CPUを扱う上で熱抵抗はそれほど重要ではない。熱抵抗値を理論的に扱おうとすれば数々の仮定を設けられている。例えば、発熱体がヒートシンクの中央にある、ヒートシンク全体が75℃上昇したら、他の発熱体の影響を受けない、といった具合である。そして、最後に「実機でご確認ください」との断りが必ず付け加えられている。

これに対してCPU用ヒートシンクであれば付け替えて実際に動かしてみれば、CPU温度が何になったから熱抵抗がいくらといえるのである。熱抵抗が先にあるのではなく副産物にすぎない。では、一般的なパワー半導体で熱抵抗が分かっていることを前提に、どのように使われるかを図にした。要は熱抵抗からジャンクション温度Tjを計算するのである。



### 熱抵抗を利用したTjの計算

## ヒートシンク材質と熱抵抗

ヒートシンクの材質はほとんどがアルミか銅である。参考のために鉄を加えた物理定数を表にまとめた。銅はアルミに比べて熱伝導率は1.68倍、比重は3.32倍である。銅製ヒートシンクは熱抵抗が低い代わりに重いことになる。

|     | 熱伝導率<br>@27<br>(Wm/K) | 比重<br>@20<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 比熱<br>@25<br>(J/g K) | 熱拡散率<br>(mm <sup>2</sup> /s) |
|-----|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------|
| 鉄   | 80.3                  | 7.87                              | 0.448                | 22.7                         |
| アルミ | 237                   | 2.70                              | 0.902                | 96.8                         |
| 銅   | 398                   | 8.96                              | 0.385                | 117                          |

熱拡散率 = 熱伝導率 / (比重 · 比熱)

フィン熱抵抗Rthf-aは次のように表現できる。

$$1/R_{thf-a} = \eta S (hr + hc)$$

ここで

η : ヒートシンク効率

S : ヒートシンクの放熱面積 (m<sup>2</sup>)

hr : 輻射熱伝達率 (W/m<sup>2</sup>)

hc : 対流熱伝達率 (W/m<sup>2</sup>)

である。熱の伝わり方には、輻射・対流・伝導の3つがあり、ヒートシンクから空気への伝導は無視できる。輻射とは、物質を介さず高い温度から低い温度に熱移動する現象である。冬、縁側でひなたぼっこをしていると、外気温が低くても身体がポカポカと暖まるのは輻射の例である。

ヒートシンクにファンを回して、この風を当てて冷却するのは風冷、特別に風を当てない冷却を自冷といっている。いずれであっても、熱抵抗はヒートシンク面積に反比例する。つまり面積が大きいほど冷えやすいことになる。

輻射と対流の貢献度合いは

自冷では輻射と対流とが同程度

風冷では対流が支配的

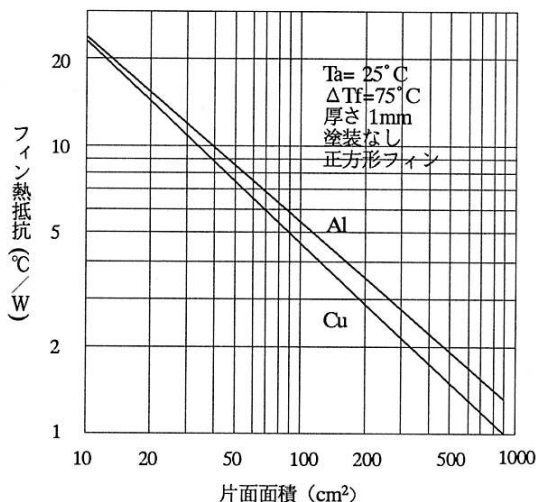
である。

したがって風冷時には

$$1/R_{thf-a} = \eta S hc$$

となる。

下图が自冷時平板ヒートシンクを垂直に立てた時の面積対熱抵抗である。これは周囲温度が25℃、フィン温度上昇が75℃、厚さが1mm、正方形、熱源との接触面積は全体の1/50、塗装なしが条件となっている。塗装、あるいは、アルマイト処理の有無は自冷の場合のみ効果があり、熱抵抗



平板ヒートシンクの熱抵抗

## ヒートシンクの熱抵抗

は10%減となる。ここにはないが鉄製ヒートシンクの熱抵抗はアルミ製の約1.5倍である。

板厚が厚ければ熱抵抗は下がり1mmを基準としておよそ次のようになる。(アルミ100mm角)

| 板厚 | 1mm | 2mm   | 3mm   | 4mm   | 5mm   |
|----|-----|-------|-------|-------|-------|
| 倍率 | ×1  | ×0.91 | ×0.85 | ×0.81 | ×0.78 |

風冷では風速に応じて自冷比でおよそ次のように熱抵抗は低くなる。

| 風速 | 0m/s | 1m/s  | 2m/s  | 5m/s  | 10m/s |
|----|------|-------|-------|-------|-------|
| 倍率 | ×1   | ×0.80 | ×0.62 | ×0.37 | ×0.30 |

自冷について補足すると空気がヒートシンクを自由に対流できることは条件となる。次の電源の外に取り付けられたヒートシンクが自冷熱抵抗値を適用できる例である。



Silentmaxx製電源の自冷ヒートシンク

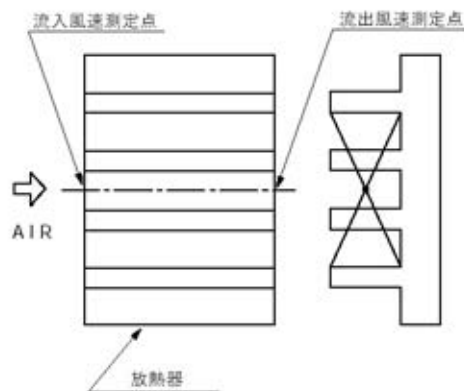
これに対して次のように基板に取り付けられたヒートシンクは自冷には違いないが、妨げのない対流はおこらないので、熱抵抗はここでいう自冷熱抵抗値をそのまま活かすことはできない。



ヒートシンクの自冷熱抵抗値をそのまま適用できない例(基板で対流が妨げられる)

風冷時の風速だが風洞のなかにヒートシンクを置き、平板フィンでは流入風速である。またブロックヒートシンクではヒートシンク自体が風圧を低下させるので流入風速と流出風速の平均である。

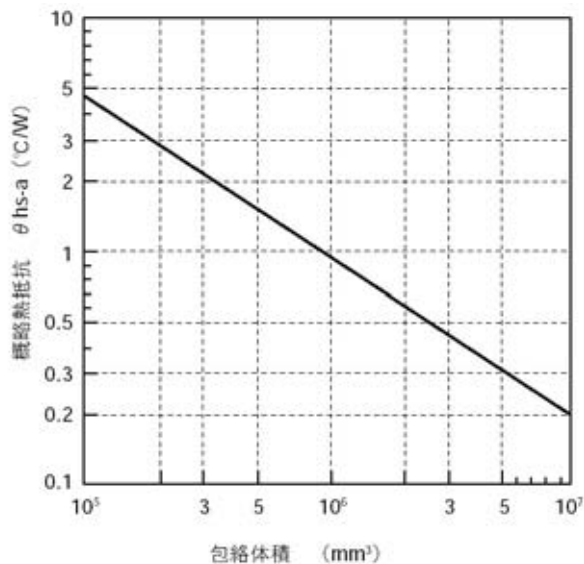
$$\text{平均風速} = (\text{流入風速} + \text{流出風速}) / 2$$



流入風速と流出風速

アルミブロックヒートシンクの熱抵抗についてデンセイラムダ(株)アプリケーションノート パワーモジュール放熱設計から紹介したい。

([http://www.densei-lambda.com/products/sps/catalog/jp/pm\\_application\\_radiation.pdf](http://www.densei-lambda.com/products/sps/catalog/jp/pm_application_radiation.pdf))



ヒートシンク体積と熱抵抗

ここでの包絡体積とはヒートシンク輪郭の占める体積である。ケース内に部品を配置したモックアップを製作してファンを回して平均風速を求められるように書かれている。ヒートシンクを収容できる場所に収まる自冷ヒートシンクの熱抵抗をこの図から求める。もし熱抵抗を下げる必要があれば、どれだけの風速が必要かを別途用意された個

## ヒートシンクの熱抵抗

別ヒートシンクの風速 対 熱抵抗から決める。例えばHAA-041 86(W)×41(D)×22.5(H)mm黒色アルマイト処理自冷熱抵抗 約3.9 /Wであり、風速に対して次のように変化する。

| 風速 | 0m/s | 1m/s  | 2m/s  | 5m/s  |
|----|------|-------|-------|-------|
| 倍率 | ×1   | ×0.46 | ×0.35 | ×0.21 |

注目に値するのは1m/sという弱い風でも熱抵抗が半分以上に下がっていることである。ファン回転数を落としても、あるいは、間接的な風冷であっても風が当たる効果は大きい。このことから明らかだが風冷はファン故障時対策が不可欠である。もしファンが止まれば熱抵抗が2倍とか5倍となり、これに比例して温度上昇も高くなるからである。この点でモニタICのおかげでPCは完全に対応できている。

また、吸入ファンにフィルターをつければ効率は低下するが内部へのほこりの侵入を防ぐことができる。目詰まりしていなか最低1年1回のメンテナンスが必要である。

### ヒートシンク製法と熱抵抗

ペンティアム4用リテールクーラー(写真左)はアルミ製で製法は押し出し法で作られている。一方のクーラーマスターIHC-L71は銅製である。No.1PCにはIHC-L71を使っている。このCPUダ



ペンティアム4用リテールクーラー(左)とクーラーマスターIHC-L71

イ・周囲間熱抵抗  $R_{thj-a}$  を測定してみると  $T_a=40$  で  $T_j=54$  なので、TDPの60Wから0.23 /Wと計算できる。使っているTIMはごく普通のシリコングリースで熱伝達率は特に高いものではない。また、リテールクーラーでの熱抵抗はこの30%弱増し程度である。ヒートシンクとしての熱抵抗  $R_{thf-a}$  はいずれも十分低い数字である。

押し出し製法はアルミ素材を型から搾り出して成型する方法である。1本は30mにもなり、これを切り分ける。大量生産向きで比較的低価格となる。リテール品はこの方法で作られている。IHC-

L71のような銅製フィンがロウづけする製法がとられている。原材料費よりも加工費が銅製ヒートシンクの価格を押し上げている。

IHC-L71にはヒートパイプが使われている。CPU接触部の熱をフィンに導いて放熱効果を高めている。ここではそれほど効果的とはいえないがヒートパイプはスペースの限られたノートPCの放熱では重要な役割を果たしている。これについては後述するがTDPがますます大きくなり100Wを超えるようになればデスクトップPCでもごく当たり前に使われそうである。



IHC-L71のヒートパイプ

## 温度と信頼性、寿命

半導体を含むPCに組み込まれた部品の信頼性・寿命は使用温度に左右される。温度を低く抑えれば信頼性が向上し、寿命は長くなる。CPUをはじめとする半導体の寿命はかなり長く、現実的にPCの寿命を決定するのは、電解コンデンサとファンである。

モニタICはDC電源電圧とファン回転数をモニタしている。異常を検知すれば警報を発し、PC動作を停止するように設定できる。動作を続けられれば決定的な故障につながる恐れがあるからである。このような事態を招く重要な部品はCPU、電解コンデンサ、ファンなので、これらを監視しているといえる。

それではまず電解コンデンサとファンについてメーカー資料をもとにして温度と寿命との関係を見た上で、CPUをはじめとする半導体の信頼性理論を説明していきたい。根拠となる考え方はいずれも同じである。

なお、ここでいう信頼性・寿命はあくまで確率の話である。したがって目の前にあるPCが故障した、あるいは、いつ故障するかには対応しない。あくまで、どう考えて、どう設計したかである。

### 電解コンデンサの温度と寿命との関係

PCの電源、マザーボード、拡張カードには多数の電解コンデンサが使われている。



マザーボード上の電解コンデンサ

電解コンデンサは例えば85℃で5,000時間のよう寿命が明記されている。これは劣化するメカニズムが認知された、寿命が比較的短い部品だからである。電解コンデンサは小型で大容量とするために密閉されたケースに電解液が充填されている。時間の経過とともに電解液が蒸発したり化学変化を起こして容量が減少する。温度が上がるとこの現象はますます加速されることになる。

電解コンデンサの寿命と温度との関係はアレニウスの10℃則が適用される。

$$L = L_0 \times 2^{(T_a - T_0)/10}$$

ここで

- L: 使用温度T0での推定寿命
- L<sub>0</sub>: 最高使用温度での寿命時間
- T<sub>a</sub>: 最高使用温度
- T<sub>0</sub>: 使用温度

である。

寿命は使用温度を10℃上げれば半分に、10℃下げれば倍となる。

例えば寿命が85℃で5,000時間の電解コンデンサは45℃では温度差が40℃なので、2<sup>4</sup>倍イコール16倍で

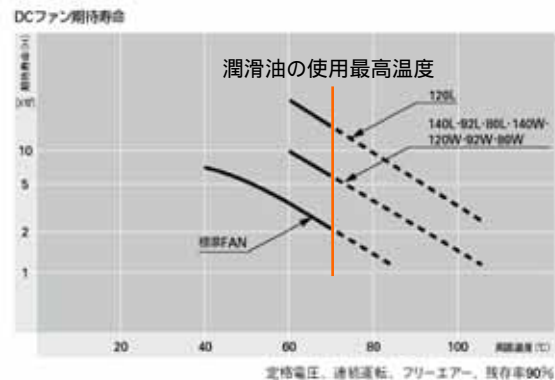
16×5,000 = 80,000時間が推定寿命となる。

シャシ温度は40℃に抑えるとして45℃という数字を出した。1年は8,760時間なので80,000時間は約9年である。電解コンデンサには105℃品もあり、同様な計算をすれば2<sup>6</sup>倍イコール64倍の320,000時間の36年となる。これがATX電源内で60℃で使われれば前の例と同じ80,000時間となる。このように使用温度に応じた電解コンデンサの選択にも上式が使われる。PCに限らず電気機器は電源がないと動かないので温度を低く抑えることがその寿命を延ばすことにつながるという。

### ファンの温度と寿命との関係

PCに多く使われているDCブラシレスモータの寿命について山洋電気の資料から紹介する。

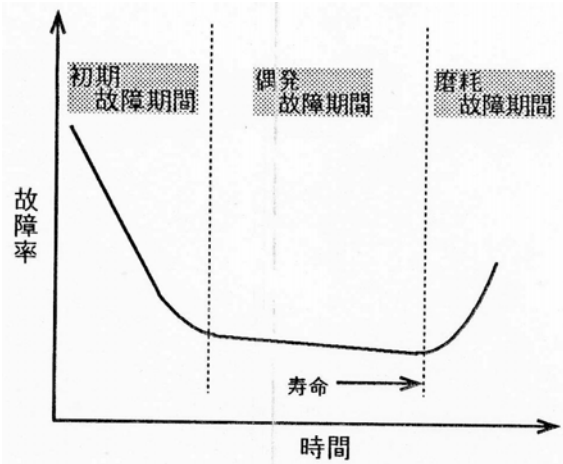
ファン軸受け寿命は潤滑が理想的に行われた場合の理論値であり、潤滑寿命がファンの寿命といえることができる。60℃での寿命は一般品で40,000時間であり、温度が15℃低くなれば寿命は2倍になる。温度が変わった時の寿命の考え方は電解コンデンサと同じである。



山洋電機製DCファンの温度対期待寿命

**信頼性理論**

電子部品の信頼性理論を垣間見てみたい。



半導体の時間に対する故障率

これは俗にバスタブカーブとよばれる時間に対する故障率を表現したグラフである。初期故障とは使い始めにおきる故障で、ある期間が過ぎれば初期故障は出尽くすことになる。

偶発故障期間の終わり、あるいは磨耗故障の起きる前までが半導体の寿命である。同じような故障が次々に起きるようであれば、もはやその半導体の寿命はつきたと判断できる。半導体の寿命はメーカー側の基本設計、作り込み、そして、ユーザ側の使用条件の厳しさで決まる。

期待する信頼性(どれだけの期間で、どれだけの不良率にしたいか)を踏まえて、どのような使い方をするか問題である。

**信頼性の尺度 MTBF**

使用期間中の故障率が低ければ信頼性は高いといえる。平均故障率は

$$(\text{平均故障率}) = \frac{(\text{稼働時間中の総故障数})}{(\text{稼働時間}) \times (\text{稼働数})}$$

であり、単位として FIT (Failure In Time)がよく使われる。

$$1\text{FIT} = 1 \times 10^{-9} = 1 \text{ ppm} / 1,000\text{時間}$$

ppm: parts per million

故障率は確率であり、個々の製品の故障に至る時間とは解釈しない。すなわち故障率が 10 FITsの製品のある1個の製品の寿命が $10^8$ 時間と

いうわけではない。

半導体は一度故障してしまえば原則として良品に回復することはない。これに対して電子部品を組み込んだ機器は故障した部品さえ交換すれば再び所定の性能を回復できる。半導体には修理という観念がないので「非修理系」であり、これを組み込んだ機器は「修理系」として区別される。修理系で故障と故障との間隔が平均故障間隔 MTBF (Mean Time Between Failures)である。



MTBF300,000時間のセラミックファン!!

故障率1FITの部品の平均寿命である $10^9$ はいかにも長い時間という印象かも知れない。しかし、この部品を1,000個搭載した基板の MTBFは $10^6$ である。これは0.1% / 1,000時間の故障率に相当し、1,000時間、すなわち僅か40日間連続稼働させれば確率的には基板1,000枚に1枚は故障することになる。ただし、温度を下げた使い方をすれば、このように短時間で故障が起きることはない。

**反応論モデル - アレニウス反応式**

故障はミクロ的に見れば原子や分子レベルでの変化によって引き起こされる。有害な反応が進むと構成材料や部品を劣化させ、半導体はあるレベルで故障にいたると考えられる。

使用条件のうち温度による反応の依存性はアレニウスの式によるとされる。これは反応速度をKとすると

$$K = \Lambda \cdot \exp(-E / kT)$$

$\Lambda$  : 定数

E : 活性化エネルギー

k : ボルツマン定数

$$8.62 \times 10^{-5} (\text{eV/K})$$

T : 絶対温度

## 温度と信頼性・寿命

反応速度  $K$  と寿命  $L$  は逆数の関係にあり

$$\ln L = A + E / kT$$

となる。

この式から温度  $T_1$  と  $T_2$  での寿命を各々  $L_1$  と  $L_2$  とすると次の関係が成り立つ。

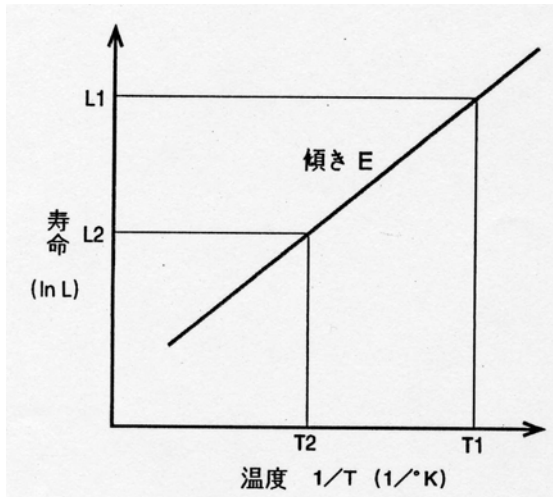
$$\ln(L_1 / L_2) = (1 / T_1 - 1 / T_2) \cdot E / k$$

また、加速係数  $AF = L_1 / L_2$  は

$$AF = \exp\{(1 / T_1 - 1 / T_2) \cdot E / k\}$$

となる。

この式は温度を変えて試験を行い、活性化エ



アレニウスモデルによる温度と寿命の関係

ネルギー  $E$  を求めておけば温度に対する寿命を推定できることを意味する。例えば  $150^{\circ}\text{C}$  での故障率試験結果をもとに  $100^{\circ}\text{C}$  での寿命が何倍になるかを推定できることになる。

ここではアレニウスモデルを取り上げたが、温度の他に電圧や電流、そして湿度などの信頼性に影響するパラメータがある。温度に愛するアレニウスモデルは電解コンデンサやファンの寿命にも適用されていることから分かるように広く認知されたモデルといえる。故障をモデル化する手順は次のとおりである。

- 1, 何が支配的な故障メカニズムか
- 2, 加速寿命試験を行う
- 3, 結果を分析して適用できるモデルを見つける
- 4, 実用的なグラフに表す

モデル化できるのは特定の要素に対してであり、実使用条件は温度、電圧、電流、湿度が複合して影響するので実際のところ話はもっと複雑である。

### コラム 摂氏、華氏、絶対温度

(degree Centigrade または Celsius) は摂氏である。アメリカでは温度は華氏で degree Fahrenheit だ。そして、絶対温度の単位は Kelvin である。

摂氏 Celsius、華氏 Fahrenheit はいずれも人名からきている。Kelvin もまた人名そのものである。

スウェーデン人セルシウスの中国語音訳である摂爾修から摂氏、ドイツ人ファーレンハイトの同じく中国語音訳である華倫海から華氏が来ている。ケルビンはイギリスの物理学者である。

摂氏は水の凝固点を  $0^{\circ}$ 、沸点を  $100^{\circ}$  とし、その間を  $100$  等分した温度である。その後の物理的な計測方法の進歩と絶対温度の採用により、現在は定義は

摂氏 = (絶対温度 -  $273.15$ )

であり、水の凝固点も  $0^{\circ}$  ではなく  $0.01^{\circ}$  である。

華氏はもともと、食塩水の凝固点を  $0^{\circ}$ 、人間の体温を  $96^{\circ}$  とし、その間を  $96$  等分した温度単位である。後に一気圧における純水の凝固点を  $32^{\circ}$ 、沸点を  $212^{\circ}$  とする単位に変更された。

華氏と摂氏との変換式は

$$(\text{華氏温度}) = 1.8 \times (\text{摂氏温度}) + 32$$

である。

$0$  は  $32^{\circ}\text{F}$

$10$  は  $50^{\circ}\text{F}$

$20$  は  $68^{\circ}\text{F}$

$30$  は  $86^{\circ}\text{F}$   $100$  は  $212^{\circ}\text{F}$

くらいが頭にあれば役に立ちそうだ。

## 温度と信頼性・寿命

### 10 上がると1/2, 15 で1/2, どちらが正しい?

もう一度、温度に対する加速係数AFに登場させよう。

$$AF = \exp\{(1/T_1 - 1/T_2) \cdot E/k\}$$

E : 活性化エネルギー

k : ボルツマン定数

$$8.62 \times 10^{-5} (\text{eV/K})$$

T : 絶対温度

Eとしてはインテルの資料にある0.75eVとして温度が10 と15 上がった時のAFを計算する。

| AF  | 25   | 50   | 75   | 100  | 125  | 150  |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| +10 | 2.58 | 2.24 | 2.01 | 1.84 | 1.71 | 1.61 |
| +15 | 4.04 | 3.30 | 2.81 | 2.46 | 2.21 | 2.02 |

また、Eは0.7から0.8eVといわれているので0.7eVで計算すると次のようになる。

| AF  | 25   | 50   | 75   | 100  | 125  | 150  |
|-----|------|------|------|------|------|------|
| +10 | 2.41 | 2.12 | 1.92 | 1.76 | 1.65 | 1.56 |
| +15 | 3.68 | 3.05 | 2.62 | 2.32 | 2.10 | 1.93 |

Eは加速寿命試験から決められるものである、Eが0.7から0.8eVであれば低めの温度(50~75)であれば10で、高めの温度(100~150)では15で、それぞれAFは2に近い値となる。結論としては10と15とは、どちらも間違っていない。

### インテルが目標とする寿命・信頼性

ペンティアム4が目標とする不良率は

7年で 1%未満

10年で 3%未満

と明記されている。繰り返しになるが7年経てば100個のうちの1個が、そして10年で33個で1個が必ず壊れるわけではなく、想定した確率上の話である。

この信頼性をは次の信頼性試験を満たすことに目標を達成できる。

#### \*温度サイクル試験

$\Delta T=40$  1,500サイクル(7年)

2,150サイクル(10年)

#### \*電圧バイアスの高温高湿(THB)試験

62,000時間 at 30、85%RH (7年)

89,000時間 at 30、85%RH (10年)

#### \*高温保存試験

62,000時間 at  $T_{jmax}$

89,000時間 at  $T_{jmax}$

ここで62,000時間と89,000時間は、7年と10年を時間に置き換えたものである。信頼性確認のために7年とか10年をかけることはできない。モデルを決めて加速寿命の考え方を適用すれば試験時間を短縮できる。THB試験の89,000時間 at 30、85%RHは30に対する85の加速係数が仮に180であれば494時間 at 85、85%RHに置き換えることができる。つまり10年かかる試験が21日で終わることになる。

信頼性試験項目に半田耐熱試験(例えば260 10秒)がない。これはソケットに差して使うので半田付けはしないからである。この点を除けば一般的なパワー半導体並み信頼性が要求されているようである。

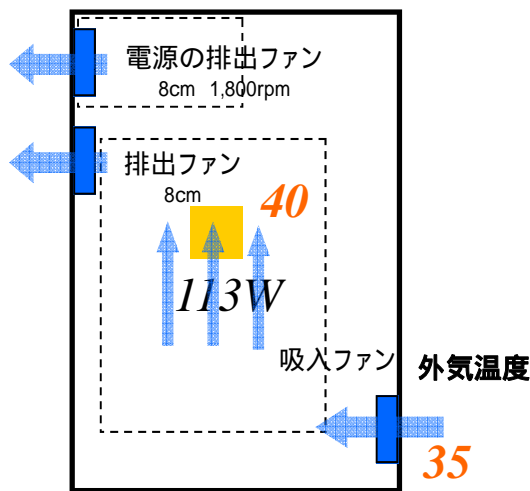
7年、または、10年という期間であるが、電解コンデンサやファン寿命と同じ線といえる。その意味で適切な設定といえる。ただし、みんながそんなに長く使ったらインテルは干上がってしまう。しかし、あまり短期間で壊れてしまったら、もう買ってもらえないだろうから、難しいところではある。

## デスクトップPCケースと熱設計

### ファン風量と温度上昇

No.2PCのケース内風の流れは下図ようになっている。シャシ温度を所定の数字に収めるにはどのくらいの風量が必要なのかを計算してみたい。

ケース内への外気の取り入れは吸入ファンと底面スリット、隙間からである。ファン回転数は1,000rpm程度なのであまり効いてはいない。



ケース内熱設計の条件

排出は電源に組み込まれた8cmファンと背面に取り付けた8cmファンとの2つによる。おのおのは騒音を下げのために1,800rpmと1,650rpmに回転を落としている。ファンの仕様は

\*電源ファン (EnermaxEG365P-VEに組み込まれたもの)

Globe Fan B01138812H-3M  
12V 0.23A, 3,000rpm, 39.8CFM, 32.0dBA  
1,800rpmで使用

\*ケース排気ファン

パナフロー FBA08A12H  
12V 0.173mA; 2,950rpm, 1.12m<sup>3</sup>/min, 32dBA  
1,650rpmで使用

である。

全発生熱量は、Hot CPU実行時(全負荷時)実測入力電力が113Wなので、これをそのまま使うことにする。(No.2PCの構成は\*ページ参照)

ペンティアム4 2.8GHz以下に対してインテルが規定するシャシ温度(ヒートシンクの周囲温度)は40 以下である。最高外気温度は35 としている。

以上の条件でシャシ温度上昇 Tを計算する。

$$\Delta T = P/\rho C_p V$$

P: 熱量 (電力)

$\rho$ : 空気密度 1.18kg/m<sup>3</sup>

C<sub>p</sub>: 空気比熱 1005J/kg

V: 風量 m<sup>3</sup>/min

であり、これは

$$\Delta T = P/19.7 \cdot V$$

となる。CFMはCubic Feet per minuteで

$$1\text{m}^3/\text{min} = 35.3\text{CFM}$$

の関係である。

ファンは2つとも回転数を落としているが風量は回転数に比例するので

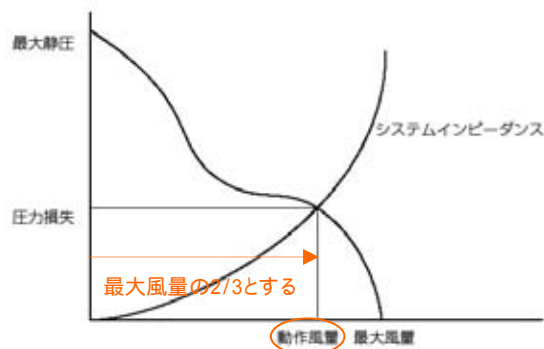
電源ファン

$$39.8/35.3 \times (1,800/3,000) = 0.68\text{m}^3/\text{min}$$

ケース排気ファン

$$1.12 \times (1,650/3,000) = 0.63\text{m}^3/\text{min}$$

なので合計風量は1.31m<sup>3</sup>/minとなる。ファン風量は実動作状態では低下し、経験的に2/3とする。



動作風量は最大風量の2/3とする

1.31の2/3は0.87m<sup>3</sup>/minなので

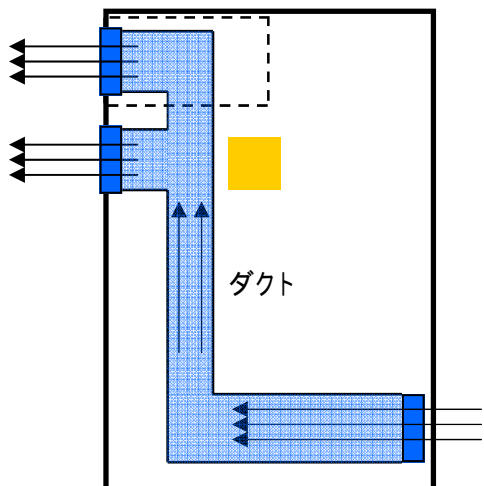
$$\Delta T = 113/(19.7 \times 0.87)$$

から6.6 と計算できる。外気温度が35 なのでシャシ温度は41.6 となる。逆算すれば室温が33.4 までならシャシ温度は40 に収まることになる。暑ければエアコンを入れるわけで自室の室温はここまでは上がらないのでNo.2PCは計算上規定された温度を守って動いていることになる。なお、ペンティアム4 3GHz以上ではシャシ温度上限は38 と規定されているので室温は31.4 まで許容できることになる。

この計算はケース全体の吸入される空気温度と出て行く空気温度との関係で成り立っていて、内部がどうなっている、極端にいえば吸入ファンと排出ファンがダクトで直接つながっていても計算結果は同じである。大切なことは冷やしたい個所をいかに効果的に冷やすかである。

こんなことはあり得ないと思われるかもしれない

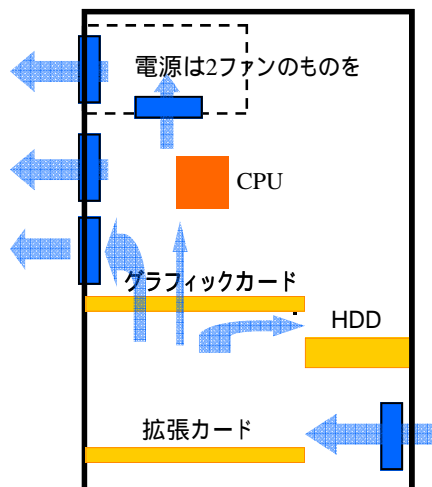




空気の流れが冷却にまったく役立たない例

い。しかし、ケース内では空気が流れやすいところ、そうでないところがある。流れにくいところとして拡張グラフィックカードにさえぎられる形となるCPUがあげられる。つまり一番冷やしたいものが冷えないことになる。要はどこを冷やすのかを考えて有効な空気の流れを作らないといけないのである。ポイントをあげると

- \*グラフィックカードは使わない。使うなら巾の狭いものを。損失が数10Wというグラフィックカードは熱管理の面で間違いなく悪である。
- \*PCIスロットに装着する拡張カードできる限り使わない。使うなら下側の方が通風の妨げにならない。
- \*電源はファンが2つついたものを。温度の高いCPU周辺の空気を排出する効果がある。



ケース内空気の流れの注意ポイント

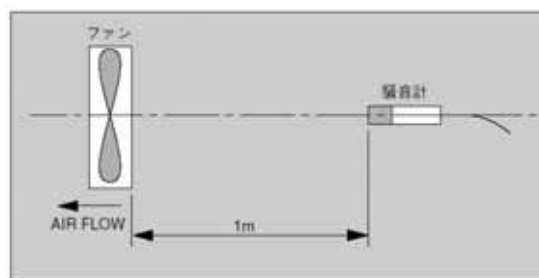
ファンつき電源は重要な冷却要素なのでファンをもたない自冷電源を使う場合はこれを補う対策要。

- \*過度にサイドの取り入れ口のあるケース、裏面の排出ファンの数を増やすと、取り入れられた外気が冷却に貢献せずに排出されてしまう恐れがある
- \*CPUにダクトなどで直接外気を取り込むのは有効

といったところだ。3次元熱解析をやりたいとこだがちょっと手が出ない。それだからというわけではないが、手の感覚は意外に役に立つ。何 くらいになっているか、温度分布がどうなのか、慣れると結構わかるものだ。案外プロもそんなことをやっていたりする。

### ファン騒音の計算

ファン騒音の次のように測定される。無響室でファンを宙吊りにして吸込み面から



ファンの騒音測定  
(山洋電気資料より)

1mで測定した中心値である。(JIS B 8330による)  

$$\text{騒音値(dB)} = 10 \log(P/P_0)$$
 で表される。ここでPは騒音のエネルギー、P0は人間が聞き取れる最小音のエネルギーである。人間の感覚は対数スケールなので、このようにdBで表される。人間の耳には聞き取りやすい周波数と、逆に聞き取りにくい周波数とがあるので人間の感覚に合うように補正する操作が加えられ(Aレンジ補正)dB (A)で表される。(騒音例を参照)

ファン回転数と騒音の関係は

$$\Delta S = 50 \log(n1/n2)$$

となる。例えば 2,950rpm で 32dBA のものを 1,650rpmで使用すれば

$$50 \log(1,650/2,950) = - 12.6(\text{dB})$$

なので騒音は19.4dBに下がることになる。

複数のファンを使ったときの騒音は

$$St = 10 \log(10^{S1/10} + 10^{S2/10} + 10^{S3/10} \dots)$$

となる。例えば30dBと20dBとの2つのファンを動

# デスクトップPCの熱設計

かしたときの騒音は30.4dBとなる。

騒音は1mでの値だがR(m)での値は

$$S_{Rm} = S_{1m} - 20 \log R$$

で計算できる。例えば1mで30dBは50cmではプラス6dBの36dBとなる。

インテルのPerformance ATX Desktop Thermal Design Suggestions Ver 1.0の22ページに次の表がある。回転数対騒音、合成した騒音を計算値と比較できる。上記計算法をチェックしてみるとかなりいい線となるようだ。

No.2 PCの騒音を計算すると3,000rpmで32dBAを1,800rpm、2,950rpmで32dBAを1,650rpmで動かしているの、各々20.9dBAと19.4dBAとなる。

| CPUファン回転数 (rpm) | 排出ファン回転数 (rpm) |        |        |        |        |
|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 0              | 1,730  | 2,320  | 2,840  | 3,250  |
| 0               | 17.2dB         | 31.3dB | 37.3dB | 41.1dB | 45.0dB |
| 2,260           | 35.7dB         | 36.3dB | 39.0dB | 41.7dB | 44.5dB |
| 4,540           | 38.8dB         | 40.6dB | 41.7dB | 43.4dB | 45.5dB |

合成して23.2dBA、0.5mではプラス6dBの29.2dBAである。これは、郊外の深夜、あるいは、ささやき声のレベルということになる。自分の耳を

| 騒音例   |                          |
|-------|--------------------------|
| 120dB | 飛行機エンジン近く                |
| 110dB | 自動車の警笛(前方2m)、リベット打ち      |
| 100dB | 電車が通る時のガードの下             |
| 90dB  | 大声による独唱、騒々しい工場の中         |
| 80dB  | 地下鉄の車内、電車の車内             |
| 70dB  | 電話のベル、騒々しい事務所の中、騒々しい街頭   |
| 60dB  | 静かな乗用車、普通の会話             |
| 50dB  | 静かな事務所                   |
| 40dB  | 市内の深夜、図書館、静かな住宅地の昼       |
| 30dB  | 郊外の深夜、ささやき声              |
| 20dB  | 木の葉の触れ合う音、置時計の秒針の音(前方1m) |
| 0dB   | 最小可聴限度(人が聞き取れる最低限の音)     |

## 騒音例

頼りに騒音が気にならない回転数に調整したのだが、計算上でも十分静かだとお墨付きがもらえたようである。

## コラム 抵抗によるファン回転数のコントロール



ファン騒音が気になるかどうかの境目は個体差があるが2,000rpmあるいは1,600rpmくらいのような。回転数を下げるにはどうするか？いちばん簡単なのは抵抗をファンの電源+側に入れることである。写真の追加ケーブルには51オームが入っている。これを付け足

したところパナフロー-FBA08A12H 8cmファンでは2,800rpmが1,550rpmに下がった。抵抗値によって回転数が変わるかは簡単に計算できる。12Vで173mAという数字から抵抗は69.3オームが計算できる。2,800×69.3/(69.3+51)は1,610rpmとなり、実際の回転数とほぼ合っている。このファンの最低動作電圧は7Vのところ、

この状態でファンにかかる電圧は6.9Vである。ということは、このあたりが下限ということになる。さらに抵抗を増やして回転を下げようとする低温時に起動しない(ファンが回りださない)恐れがある。

電力を計算すると元は12Vで173mAより2.08Wだったところ回転が下がったおかげで1.20Wに減った。このうち51Ωの抵抗で消費される電力は0.51Wである。PWM制御でファンコントロールすれば、この損失はゼロに近くなる。しかし、ATX電源で50Wくらいがむだになっているので、これに比較すれば、小さな数字なのでファン回転は抵抗で落としても大勢に影響なしである。

(写真のファンはパナフローではありません)