

進化するヒートシンク

Technology Evolution of Heatsink

平澤 壮 史*
Takeshi Hirasawa

川 畑 賢 也*
Kenya Kawabata

大 海 勝*
Masaru Oomi

概 要 ヒートシンクを取り巻く環境は、日々厳しくなっている。電子機器の発生する熱量は増加の一途をたどり、一方できょう体は小型化されてきている。更に軽量化、環境関連物質の不使用など、環境対応への取り組みも急務となっている。本稿では、これら要求に対応するべく開発してきたヒートシンク製造技術を紹介するとともに、これら技術を利用したヒートシンクを紹介する。

1. はじめに

電子機器には発熱を伴う素子を使用されるが、近年これらの熱密度がかつてないほど高くなっている。パソコンなどいわゆる情報家電においては、CPU（中央演算素子）、GPU（グラフィックチップ）などの集積回路であり、鉄道などにおいてはIGBT（絶縁ゲート型バイポーラ・トランジスタ）に代表されるパワー半導体である。これら高発熱素子の熱密度は、今や核反応炉にひっ迫するレベルと言われており、もはや部品単体での放熱は全く成り立たなくなっている。このため、効率よく熱を分散することのできる高性能なヒートシンクによる放熱が必要となっている。

一方、これら素子を使用する製品は小型化、軽量化を進めており、その結果としてヒートシンクをはじめとした放熱部品の使用できるスペースが非常に小さくなっている。この点でも高性能のヒートシンクの開発が急務である。更に、ヒートシンクを製造するために一般的に使用されるはんだも、RoHS指令（欧州委員会により発行された有害物質削減指令）により「欧州で販売される電気機器の鉛を2006年7月1日までに原則として非含有」にすることが求められるなど、鉛フリーとすることが必要となっている。

これらのことにより、当社では各種ヒートパイプを用いた高性能ヒートシンクの開発をはじめ、はんだをはじめとしたろう材を使用しない接合方法の開発などを行い、これら市場の要求に対応してきた。

2. ヒートシンクの進化の過程

ここで、主にパソコンに使用されてきたヒートシンクのこれまでの流れを示す。当初、CPUの発熱量そのものも小さく、また熱密度も高くはなかったため、ヒートシンクは必要なく、

したがってCPUのパッケージもプラスチックであり、ソケットを通じてプリント基板へ放熱を行っていた。その後CPUが高集積化し配線ルールが微細化することにより、また動作周波数の上昇により、発熱量は増加の一途をたどるようになる。そこで、ヒートシンクによる冷却が必要となり、デスクトップでは、押出しやダイカストにより作製されたヒートシンクが利用されるようになった。やがて、更に発熱量が上がると、これら自然空冷方式では十分にCPUを冷却することができなくなり、電動ファンを利用した強制空冷方式が使用され、各部改良が行われながら現在に至っている^{2), 3)}。

一方、ノートパソコンにおいては、当初アルミの板金できょう体全体に熱を拡散し、これを自然空冷していたものが、1993年に板金にヒートパイプを組み合わせることで、熱の拡散性能を向上させた製品が登場したのをはじめ、更にその後電動ファンを使用するなどして、年々性能を向上させてきた。しかし、今やCPUの発熱量は100 Wを超えるものが登場し、ノートパソコン用に開発された製品も30 Wを超えるまでに発熱量は増大している。また、GPUなど他の素子も発熱量が10 Wをはるかに超えるようになってきており、きょう体内部の温度は更に上昇する傾向にある。このように現在、ヒートシンクは非常に高い性能を要求される場所で使用されるようになってきている。そのため、固体中最大の熱伝導率を誇るダイヤモンドをはるかにしのぐヒートパイプをヒートシンクに利用し、フィン効率を最大限高めることが不可欠になってきている。

3. ヒートシンクへの新たな要求

このように高パフォーマンスを要求されるヒートシンクであるが、熱性能以外にも様々なことが要求されてきている。例えば、ノートパソコンにおいては、軽量化に対する要求が強い。もちろんこれは持ち運びを楽にするためであるが、近年LCDが大画面化する傾向にあり、製品重量が増加する傾向にある。そこで、前機種との比較で重量増を抑えるためにも、また他の部品の重量増をカバーするためにも、ヒートシンク的大幅な軽

* 電装・エレクトロニクスカンパニー
エレクトロニクス・コンポーネント事業部 サーマル・電子部品部

量化が必要となっている。

また、薄型化への要求も強い。前述した通り、大画面化により製品の面積は増加している。そこで、体積の増大を最大限に抑えるため、より薄いきょう体が望まれている。同様にヒートシンクも薄型化が必要となり、ヒートパイプで発熱部の熱を吸収し、きょう体の端にあるフィンに熱を伝え、これをファンで冷却する構造が一般的である。

更に、環境問題へ対応するための要求も増えている。RoHS指令をはじめとした鉛フリーへの対応、リサイクル性の向上、環境関連物質の不使用、などの要求が挙げられる。これらはすべて廃棄される時のことを考慮しての要求であり、使用される時の利便性や性能を向上させるものではないこともあり、これらに対応しながらパフォーマンスを維持することが必要である。このため、高度な設計力や加工精度の管理が必要となっている。

4. 軽量化のためのソリューション

軽量化するためには、

- (1) 軽い材料を使う
- (2) 使用する部材を減らす
- (3) 形状を工夫する

などが主な方策である。

ヒートシンクに使用される部材は、熱伝導に優れていることが必要で、この点で銅材は非常に優れている（約400 W/m・K）。しかし比重が8.96 g/cm³と重いため、放熱量に比例して大型化してきたヒートシンクは、今やデスクトップパソコンのパーツの中で最も重い部品になっており、すべてを銅で構成したヒートシンクの重量は1 kgを超えるに至っている。このため金属製のプレートで補強をするなどしているものの、ヒートシンクを取り付ける回路基板も形状を保持することが困難になっており、発熱体との熱接合に支障をきたす恐れも出てきている。そこで、熱伝導率は240 W/m・Kと銅と比較して低いものの、比重が2.7 g/cm³と約1/3であるアルミニウムおよびその合金を使用することが望まれている。これは、銅と熱伝導が同じになるよう倍の厚さの部材を用いたとしても30%軽いヒートシンクを作製できることを意味し、設計を最適化することで更に軽くすることも可能なことを示唆している。

しかし、アルミニウム製のヒートシンクは、鋳造や押出しなどの加工法により、比較的容易にヒートシンクを整形できるため以前から利用されてきたが、これらの加工方法では薄肉狭ピッチのフィンを作ることができなかつたり、熱伝導の劣るアルミニウム合金を使用したりするため、高性能を要求されない場面での使用に限られてきた。そのためアルミニウム材を使用した高性能なヒートシンクを作製するには、同一体積当りの表面積を増やすため、フィン部に純アルミニウムの薄いシート材を使用することが必要となる。シート材を用いたフィンはプレス加工を用いて形成するが、薄くなるほど扱いが難しくなり技術を要する。現在0.2 mm厚のフィンを持つヒートシンクが製造できるようになっており、軽量化や高性能化に貢献している。

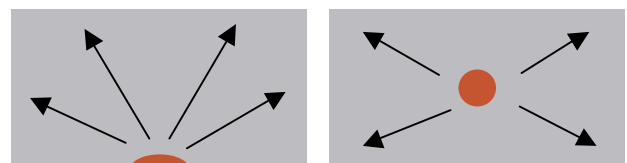
また、ヒートパイプの利用も軽量化に大きく寄与する。ヒートパイプは約10,000 W/m・Kもの熱伝導率を有しながら、見かけ上の比重は直径6 mmのもので2 g/cm³程度と非常に軽

い。このヒートパイプを効果的にヒートシンクに配置することで、性能を大幅に向上させつつ軽量化を達成することができる。例えば、4 mm厚の銅材のベースプレートを、1 mm厚の銅材で2 mmにへん平したヒートパイプを挟んだ構造のものに変更することで、熱の拡散性能を上げながら重量をほぼ半減するとともに製造コストも大幅に削減することができた。このようにヒートパイプを用いて最適な設計ができた時の効果は絶大である。

5. 薄型化のためのソリューション

前述したとおり、特にノートパソコンの分野では薄型化の要求が強い。このため発熱源の上にフィンを設置し冷却することが困難で、何らかの手段で熱をきょう体の端部まで運び、そこにフィンとファンを設置し冷却するのが一般的で、更にこの熱の伝達にヒートパイプを用いるのが必須になっている。

また、ヒートパイプとフィンを接続する際は、フィンの端にはんだなどで接続するのが一般的であった。しかし、この接合方式ではフィンの一端から他端まで熱を伝えなければならずフィンを有効に利用することが困難であった。しかし、その中央部に接続すれば、ヒートパイプの全周から熱をフィンに伝えることができるばかりでなく、いずれの端部までの距離も短くなるため、フィン効率が良くなる。そのため弊社ではフィン差しヒートシンクを開発し、これを使用している（図1）。



(a) フィン端部に温度差が生じ (b) 熱源が中心にあるとフィン効率が低下
効率が向上

図1 フィン差しヒートシンクの効果
Effects of stacked fin in heatsinks.

更に、フィン高さもきょう体の薄型化に伴い低くなってきており、ヒートパイプ自身の風の流れに対する影響、即ち圧損が無視できなくなるため、へん平したヒートパイプでフィン差しする技術も開発した（図2）。これは、同じファンでも風量が上がることを意味し、ファンとフィンのトータル性能が向上する。

また、ファンのケーシングとヒートシンクを一体化し、これにヒートパイプを沿わせることで、フィン以外の部分にも冷却機能を担わせ、非常に高性能なヒートシンクを実現している例

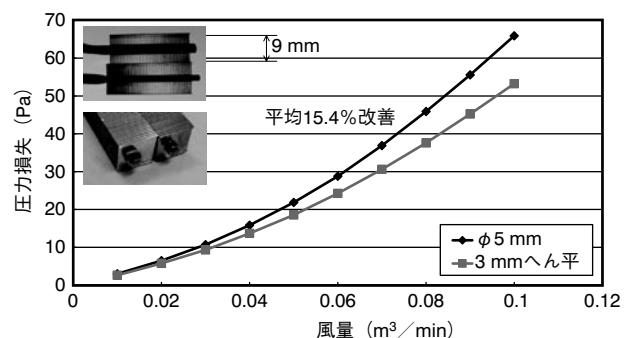


図2 へん平フィン差しの圧損低減効果
Pressure loss reduction of flat heat pipe with stacked fins.

もある。

6. 環境対応のためのソリューション

現在市場で流通しているかなりのヒートシンクは、各パーツの接合にはんだを使用している。これまでのはんだには鉛が使用されており、製品が廃棄されたあと酸性雨などにより鉛が溶け出し、土壌や水源汚染などを引き起こすため、鉛の使用を中止することが急務である。そのため弊社でも随時ヒートシンクに使用するはんだを鉛フリーに変更している。

しかし、このような鉛フリーのはんだ使用だけでなく、はんだそのものを使用しない接合方法も開発している。その一つが、前述したフィン差し技術であり、これ以外にもクリンプ フィン[®]製造技術がある。フィン差し技術は、フィン材にバーリングを立て、これにヒートパイプを圧入して機械的にフィンを固定する技術で(図3)、薄いフィンを破らずに充分な機械的強度を持って固定するためには、高い金型加工精度や管理能力が必要である。特に近年採用し始めたへん平フィン差しで充分な熱伝達を実現するには、更に高い技術が必要であり、製造技術の完成までにはかなりの労力を要した。

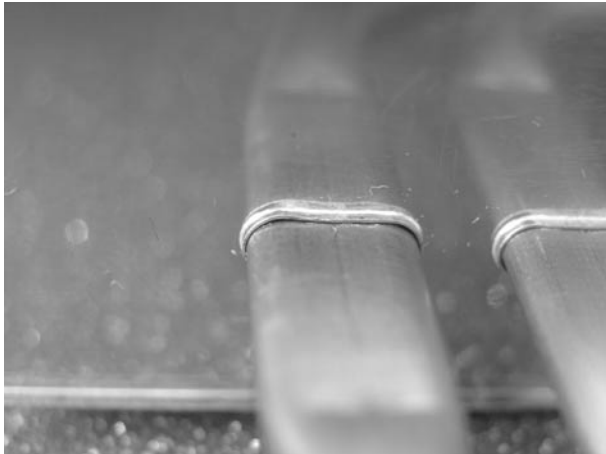


図3 へん平フィン差し
Photo of flat heat pipe with stacked fins.

一方、クリンプ フィンはベースプレートに彫った溝にフィンを差し込んだ後、フィンの間のベースプレートをブレードで押し、変形した部分がフィンを両側から挟みこむことで、フィンを強固に固定する技術である。

このようにクリンプ フィンは金属の塑性変形を利用して接合するので、はんだをはじめとしたろう材や接着剤などが接合面に介在しないため、フィンとベースプレートの熱伝導が良く、更にはんだでは接合が難しいアルミ同士の接合、他のろう材を使用しても接合が困難な銅とアルミの接合も可能である。

更に、受熱部に使用されるダイカストなどのブロック形状のものにヒートパイプをかしめる技術も開発しており、これらの技術を駆使することで、はんだフリーでヒートシンクを製造することが可能となる。

更に、これらの接合技術はリサイクルにも貢献する。まず、塑性変形で部品を固定しているので、再度各部品に分けやすい。例えば、クリンプ フィンはフィンが扇形に広がるようにベースプレートを変形させると、フィンが簡単に外れる。また接着剤も使用しないので、部材を再溶解する際にも有害なガスが発

生しない。更にアルミニウム材をはんだで接合するために必要なNiめっきをしなくてよいので、環境に対する負荷を減らすことができる。

7. 最新のサーマルソリューション

いくつか実例を紹介する。

まず、これはデスクノート型と呼ばれるノートパソコン用に開発されたヒートシンクである(図4)。

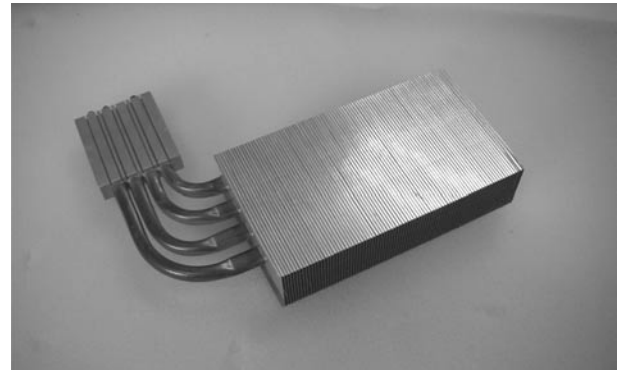


図4 デスクノート用ヒートシンク
Heatsink for desk-notebook PC.

デスクノートパソコンは、ノートブック型のきょう体にデスクトップ用の高性能高発熱型のCPUを搭載しており、スペースの制約が大きい。

よって、熱輸送量の大きな太いヒートパイプを使用するよりも、細いヒートパイプをへん平し複数本使用の方が、薄いスペースの中でも圧損が上昇しにくいいため、このヒートシンクでは6 mm径のヒートパイプを4本使用している。これらを軽量なアルミニウムフィンの中央部にフィン差ししている。また、受熱部はやはり軽量なアルミニウムを使用し、軽量化を図っている。

ここで、受熱面とヒートパイプの距離を短くした方が熱抵抗も小さくなり性能も向上するが、4本のヒートパイプになるべく均等に熱を分散させることも必要なため、最適値が存在し設計には注意を要する。

また、ここではヒートパイプを受熱ブロックにかしめ固定しており、はんだやNiめっきは使用していない。このような構成をとることで、フィンと受熱ブロックに銅材を使用したヒートシンクと比較して約60%もの軽量化ができています。

更にこの2種類のヒートシンクの性能を比較した。サンプルを風洞にセットし、ヒータブロックに熱電対を設置するとともに80 Wを入力し、風量を変化させながらヒートシンクの熱抵抗を測定した。その結果、図5に示すようにフィンとヒートパイプの位置関係やフィンピッチを最適化した設計のため、アルミニウム製のヒートシンクでも、銅製のヒートシンクと同等の性能を有していることが確認できた。

また、風量が0.3 m³/minあれば、熱抵抗は0.25 k/Wとなり、これは、熱源が120 Wで外気温40℃の時、熱源の温度が70℃になることを意味しており、次世代の高性能CPUに対しても充分対応できる性能を有していることが確認できた。更に、このヒートシンクは、150 W入力に対してもその熱抵抗に変化はなく、熱輸送量も充分であることが確認されている。

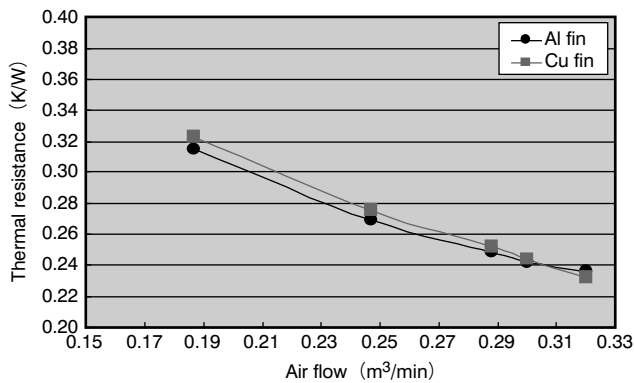


図5 デスクノート用ヒートシンクの特性
Thermal characteristics of heatsink for desk-notebook PC.

次に高性能なヒートシンクを用いることにより、製品の省電力化が達成できた例を紹介する。図6は、光通信に用いられるラマンアンプ^{4), 5)}である。

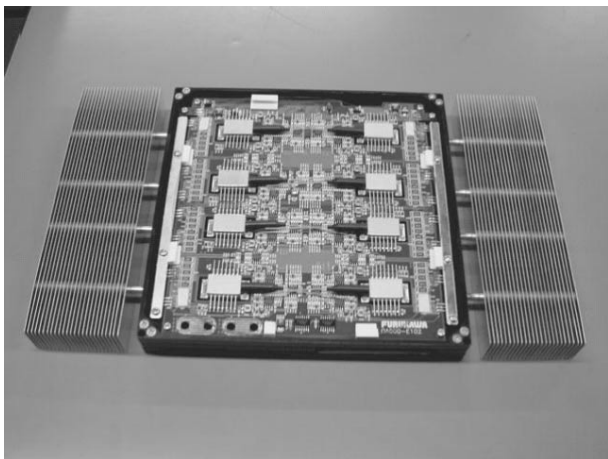


図6 ラマンアンプ (HPU-1001)
Photo of Raman amplifier (HPU-1001).

このきょう体の中には高出力のレーザダイオードモジュール(以下LDM)が8個使用されており、それぞれ最大15 Wの発熱量があり、トータル120 Wの発熱量である。それぞれのLDMはペルチェクーラを搭載している。ペルチェクーラは、LDM内のレーザダイオードの温度を一定に保つために、レーザダイオードを冷却し、代わりにヒートシンク側に熱を放出する働きをしている。この能力はペルチェクーラに供給する電力に比例しており、ヒートシンクの性能が悪く、LDMの温度が高くなるほど、LDMの温度を下げ一定にするためには、多くの電力を消費する。このため、より効率の良いヒートシンクが必要である。

一方、このラマンアンプはラックの中に収納されるため、薄型のきょう体にする必要があり、LDMの裏面に充分な大きさのフィン配したヒートシンクを設置することができなかった。そのため、ベースプレートに埋め込んだヒートパイプでLDMの熱を側面に移動させ、そこにフィン差しフィンを配置することで、薄型でありながら効率的に排熱できるように設計した。その結果、同体積のアルミニウム押出ヒートシンクと比較してLDMの温度を大幅に下げることができた。これにより、LDM内部のペルチェ素子の負荷が軽減するため、結果的に図

7に示すように30%の電力消費量の削減ができたことになる。

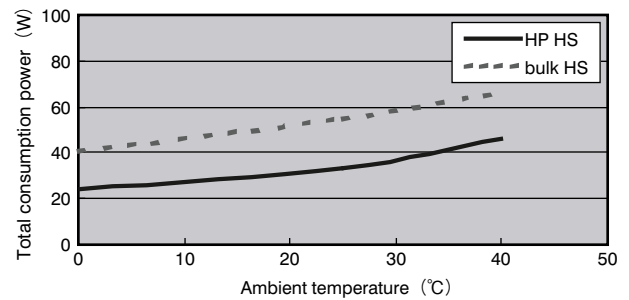


図7 ヒートシンクの性能によるLDM消費電力の違い
Difference in LDM consumption power due to heatsink performance.

8. これからのサーマルソリューション

以上、述べてきたように、これからのヒートシンクはヒートパイプを効果的に使用し、かつフィンにはアルミニウムを使用し、軽量化と高性能化を同時に図ることがますます必要になってくると思われる。

また環境問題に対応するため、リサイクルのしやすさも考慮に入れながら設計を行う必要がある。

更に、高効率なヒートシンクを採用することで、他のアクティブな部品、例えばペルチェクーラやファンなどの負荷が減り、結果的に使用電力も削減できることを考慮して、より高性能なヒートシンクを使用することが必要とされるであろう。

(参考文献)

- 1) 賛川潤, ほか: マイクロヒートパイプと放熱技術入門, 日刊工業新聞, (1999)
- 2) 大海勝, ほか: 古河電工時報, No.108, (2001), 11.
- 3) 島田守, ほか: 古河電工時報, No.108, (2001), 23.
- 4) Emori, et al.: OFC'99, PD19
- 5) Namiki: ECOC2001, We.M.2.1