

デスクトップPC用ファン付きヒートシンクの空冷技術の変遷

フジクラタイランドLtd. Pakawat Visudthimark・Vichan Kumthonkittikul・Parichart Sukkasaem
Prasong Ektummakij・Tanaphan Sattapahn・Piyawan Boonsin
サーマルテック事業部 望月正孝¹・齋藤祐士²・Thang Nguyen・Tien Nguyen
フジクラアメリカInc. Vijit Wuttijumnong

Revolution in Fan Heat Sink Air Cooling Technology for Desktop PCs in the Retail Market

P. Visudthimark, V. Kumthonkittikul, P. Sukkasaem, P. Ektummakij, T. Sattapahn, P. Boonsin, M. Mochizuki, Y. Saito, Thang Nguyen, Tien Nguyen & V. Wuttijumnong

本論文では、パーソナルコンピュータ(PC)内の限定された空間で高性能プロセッサを冷却するため、様々なヒートシンクと組み合わせた空冷方法の変遷について概説する。その後、ヒートシンク的能力の拡張等、デスクトップPC市場での価格競争力を維持しながら空冷能力を向上させる方法について論じる。これらの方法は、コストを急激に下げることができれば、ファン付きヒートシンクのデザインに影響を及ぼす可能性を秘めている。また市場での価格競争力を維持するためには、そのコストに見合った冷却技術の採用も必要となる。本論文では、多様なファン付きヒートシンクのデザイン、データ、および写真を示し、デザインの変更により空冷能力がいかに向上してきたかを示す。

This paper describes the overview of revolution on air cooling solutions that have been combined with various heat sink for cooling high power processors in a confined space of PCs. Then discuss how to extend the air cooling capability and optimum heat sink performance to against competition of cost in the retail Desktop PC market. According to the cost impact, it will influence in the limitation of Fan Heat Sink design. To keep the competition of cost in the market, it will be one of factor to limit the design of air cooling to utilize high cooling technologies at this moment. Included in this paper are the design, data, photos of various fan sink air cooling designs showing how the design changes can push the limit of the air cooling capability.

1. ま え が き

エレクトロニクス市場の動向が急激に変動する中、電子部品の熱設計は製品化を成功させるキーポイントの一つとなっている。また、プロセッサ性能と放熱量が毎年著しく増大する傾向にある。放熱量は増加しているが、反対にプロセッサのチップサイズは同じままか小さくなり、そのため熱流束は危険なほど高くなっている。パッシブ冷却ではもはや冷却要求条件を満たすことはできない。従って、現在の要求を満たすためには、ファンと組み合わせたヒートシンクのようなアクティブ冷却が検討されている。デスクトップPCプロセッサ用冷却機器の小売市場では、一般に、マザーボード、CPUシャーシおよび他のデバイス(グラフィックカード、メモリーカード、インターフェイスカード等)とは異なり、冷却装置付きのプロセッサボックスパッケージの使用がPCの設計者に

求められている。それゆえ、このプロセッサボックスパッケージの空冷デザインの目標熱性能には、さらに、限定されたスペース、重量、騒音レベル等の制約が織り込まれることになる。

CPUで発生する熱の大半は、プロセッサの小さなチップ表面(約10mm×10mm)から放出される。また、たいていの場合、チップ表面はインテグレートッドヒートスプレッド(IHS)と呼ばれる金属プレートで覆われており、IHSのサイズは各プロセッサのデザインによって異なる。IHSはその熱源接触面の一部で受け取った熱を内部で拡散させ、他面に配置された放熱部品に熱を伝える部品である。 R_{ca} (CPUケース表面と周囲間の熱抵抗($1/W$))のような目標冷却性能の多くは、金属プレート上面のIHS温度でモニターされる。空冷デザインは、目標熱仕様としての冷却必要条件を満たし、また、制限されたスペース、重量、騒音レベルに関する制約のもとで最適化を行うために、ファンとヒートシンクの性能向上に重点をおいて開発する。

1 開発部長(工学博士)

2 開発部グループ長

デスクトップPC冷却装置の現時点での制約には、製造性とコストがあげられる。ヒートシンクの大部分は依然として、アルミニウム押し出しによる平板状フィンまたは放射状フィン付きヒートシンク、アルミニウム押し出しとアルミニウム製コアまたは銅製コアを組み合わせたものなどの従来方式である。しかし、近い将来、これらのヒートシンクを用いた従来の冷却システムは限界に達する可能性がある。そのため、次世代の空冷デザインとしては、ヒートパイプ、ベーパーチャンバ、液体冷却、熱電冷却等の高度な冷却技術を検討しなければならない。

2. 熱抵抗の計算方法

冷却対策に必要な熱抵抗を計算する方法は、以下の通りである。

$$R_{ja} = R_{jc} + R_{ca} = (T_j - T_a - T_{sys}) / Q \dots\dots\dots (1)$$

ここで、

- Q : 放熱量 (W)
- R_{ja} : CPUチップと周囲間の熱抵抗 (/W)
- R_{jc} : CPUチップとCPUケース表面間の熱抵抗 (/W)
- R_{ca} : CPUケース表面と周囲間の熱抵抗 (/W)
- T_a : 周囲温度 ()
- T_j : CPUチップ内部の接合部の温度 ()
- T_{sys} : 他の発熱部品 (ハードディスクドライブ、グラフィックカードなど) に起因するシステム内部の周囲温度の上昇 ()

CPUのパッケージは熱を拡散させるものであり、 R_{jc} はCPUのタイプやメーカーによって異なる。ほとんどの場合、 R_{jc} は約0.33 /Wである¹⁾²⁾

冷却装置製造メーカーは、 R_{ca} を改善することだけが可能

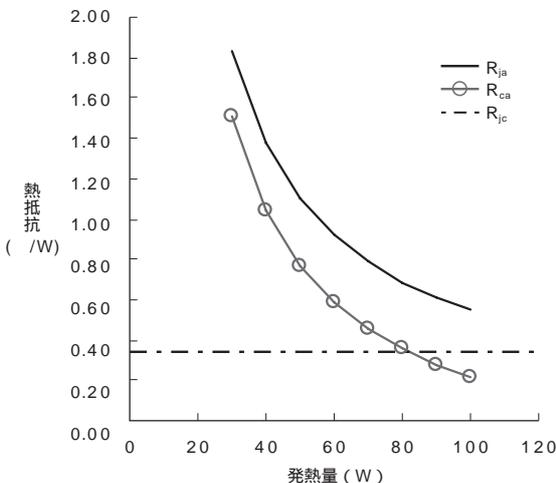


図1 R_{ja} R_{jc} R_{ca} と放熱量
Fig. 1. R_{ja} , R_{jc} , and R_{ca} vs. heat dissipation.

であり、この熱抵抗は、Thermal Interface Material (TIM) と冷却方法で決まる。CPU接合部の最高温度を100、外部周囲温度を35、システムの温度上昇を10と仮定した場合に必要なとされる熱抵抗 R_{ja} 、 R_{jc} 、 R_{ca} とCPU放熱量の関係を図1に示す。

3. 適用事例

3.1 空冷デザインの概要

空冷能力を最大にするためのデザイン変遷の概要を示す。

事例1：第一世代のプロセッサデザイン

このプロセッサは、インテグレートドヒートスプレッド (IHS) を用いており、そのサイズは31 × 31 mmである。このプロセッサへの空冷システムの装着状態は、ファン両端にあるプラスチッククリップによる2点装着である。以下に示す各デザインの冷却容積は、おおよそ70 mm × 90 mm × 65 mm (高さ) である。最高熱性能発揮時の許容騒音レベルは一般に、音源から1 m離れた地点で45 dBである。全体図と装着状態を図2に示す。このプロセッサの放熱量は、プロセッサのクロック周波数によって異なるが、約65 ~ 85 Wである。

デザイン1：アルミニウム押し出しによる通常の平板状フィン付きヒートシンク (フィンのアスペクト比は16.0前後、フィン枚数は1インチ当たり約7枚、フィン厚さは1.2 mm、フィンピッチは3.5 mm、フィン高さは32 mm) であって、軸流ファン (サイズが70 × 90 mm、高さが15 mm) と組み合わせて使用する。このデザインの R_{ca} は0.40から0.45 /Wである。図3に、このデザインを示す。

デザイン2：アルミニウム押し出しによる高アスペクト比の平板状フィン付きヒートシンク (フィンのアスペクト比は24.0前後、フィン枚数は1インチ当たり約10枚、フィン厚さは1 mm、フィンピッチは2.3 mm、フィン高さは32 mm)。このデザインは、押し出し形成の製造限界で成形を行っている。熱拡散抵抗を最小にし、軸流ファン (サイズが70 × 90 mm、高さが

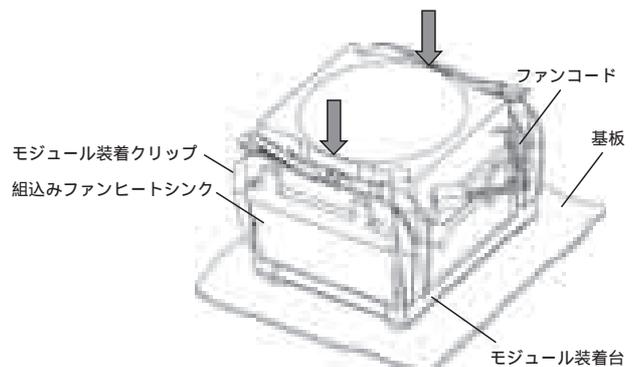


図2 第一世代プロセッサの装着状態
Fig. 2. Loading application for 1st processor.

15 mm) と組み合わせて使用するため、押し出しアルミニウムの底部に追加の銅製ブロックをはんだ付けする必要がある。このデザインの R_{ca} は0.32から0.35 /Wである。図4に、このデザインを示す。

デザイン3: このデザインでは、平板状フィンから放射状フィンに変わり、全体の形状が直径70 mm × 90 mmである(フィン枚数は90枚、フィン厚さは0.5 mm、フィン高さは40 mm)。このヒートシンクの中心部は、基部からフィンまでの熱伝導を向上させるため、銅製コアと一体化している。一般に、放射状フィンには、フィン部分の圧力損失が小さいため、平板状フィンより多量の空気をファンから流すことができる。したがって、フィンから空気への熱伝達率がより高く、冷却がより効率的である。もう一つの利点として、熱源の周りの他の電子部品を冷却するために、ヒートシンクの底を通り抜ける空気流が得られることである。そのため、軸流ファン(サイズが70 × 90 mm、高さが18 mm)と組み合わせて使用する。このデザインの R_{ca} は0.30から0.32 /Wである。図5に、このデザインを示す。

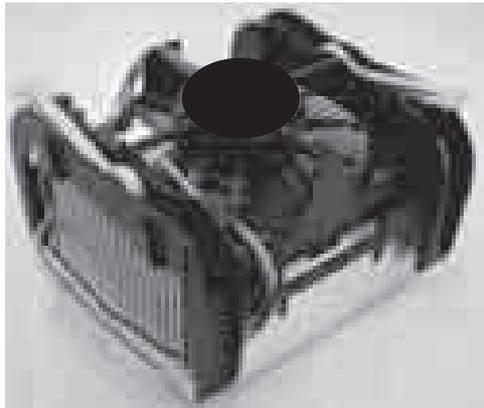


図3 通常の押し出しヒートシンクとファン (70 mm × 90 mm × 高さ 15 mm)
Fig. 3. Normal extrusion HS + Fan 70 × 90 × 15 mm.

事例2: 第二世代のプロセッサデザイン

このプロセッサは、一体化ヒートスプレッド(IHS)を用いており、そのサイズは29 × 29 mmである。このプロセッサへの空冷システムの装着状態は、ファン下部の4隅のステンレス鋼製X形クリップによる4点装着である。これらのクリップは、マザーボードに固定されたプラスチックファスナーでファン下部に組み付けられている。以下に示す各デザインの冷却容積は、おおよそ90 mm × 90 mm × 65 mm(高さ)である。最高熱性能発揮時の許容騒音レベルは一般に、音源から1 m離れた地点で45 dBである。全体図と装着状態を図6に示す。このプロセッサの放熱量は、プロセッサのクロック周波数によって異なるが、約85 ~ 130 Wである。



図5 銅製コアを備えた放射状フィン付き押し出しヒートシンクとファン(70 mm × 90 mm × 高さ 18 mm)
Fig. 5. Radial fin extrusion HS with Cu core + Fan 70 × 90 × 18 mm.



図4 銅製ブロックを備えた高アスペクト比の押し出しヒートシンクとファン(70 mm × 90 mm × 高さ 15 mm)
Fig. 4. High aspect extrusion HS with Cu block + Fan 70 × 90 × 15 mm.

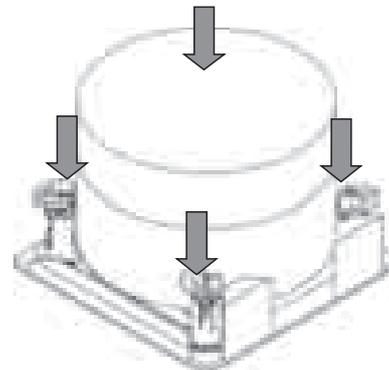


図6 第二世代プロセッサの装着状態
Fig. 6. Loading application for 2nd processor.

デザイン1：分岐状フィンを備えた放射状フィン付き押し出しヒートシンクであって、全体が直径90 mmの円筒に収まる形状である(フィン枚数は104枚,フィン厚さは0.5 mm,フィン高さは30 mm)。このヒートシンクの中心部は、軽量化と同時に、基部からフィンまでの熱伝導を向上させるため、直径33 mmのアルミニウム製コアと一体化している。軸流ファン(直径90 mm,高さが15 mm)と組み合わせて使用する。このデザインの R_{ca} は0.30から0.32 /Wである。図7と8に、このデザインを示す。

デザイン2：デザイン1と同様、分岐状フィンを備えた放射状フィン付き押し出しヒートシンクであって、全体が直径90 mmの円筒に収まる形状(フィン枚数は104枚,フィン厚さは0.5 mm,フィン高さは30 mm)であるが、このヒートシンクの中心部は、基部からフィンまでの熱伝導と、コアの熱伝導率を向上させるため、アルミニウム製コアより熱伝導率の優れた銅製コア(直径33 mm)と一体化している。総重量が要求を満たすように、銅製コアの形状は凹状に設計する必要がある。このヒートシンクと軸流ファン(直径90 mm,高さが15 mm)を組み合わせる。このデザインの R_{ca} は0.29から0.30 /Wである。図9と10に、このデザインを示す。

デザイン3：分岐状フィンを備えた高アスペクト比の放射状フィン付き押し出しヒートシンクであって、全体が直径90 mmの円筒に収まる形状である(フィン枚数は120枚,フィン厚さは0.5 mm,フィン高さは30 mm)。このヒートシンクの中心部は、基部からフィンまでの熱伝導と、コアの熱伝導率を向上させるため、より大きな凹状銅製コア(直径40 mm)と一体化している。このヒートシンクと軸流ファン(直径90 mm,高さが15 mm)を組み合わせる。

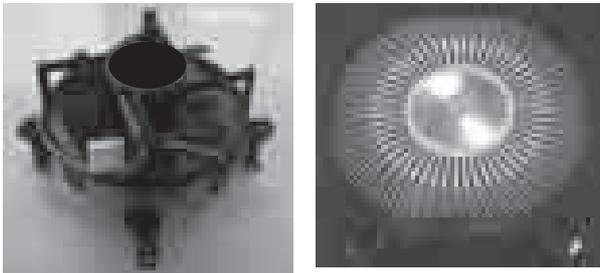


図7 アルミニウム製コアを備えた分岐放射状フィン付き押し出しヒートシンク(フィン104枚)とファン(直径90 mm × 高さ15 mm)
Fig. 7. Bi-Furcating radial fin extrusion HS (104 fins) with Al core + Fan 90 × 15 mm.

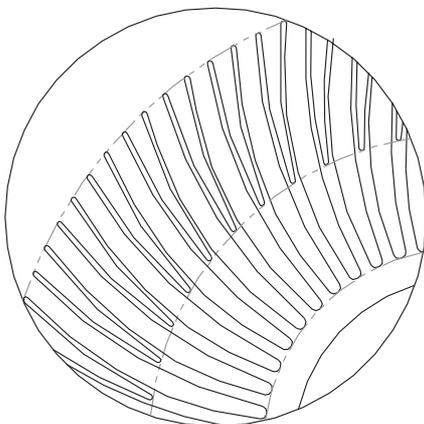


図8 分岐放射状フィンの押し出し形状
Fig. 8. Bi-Furcating radial fin extrusion.

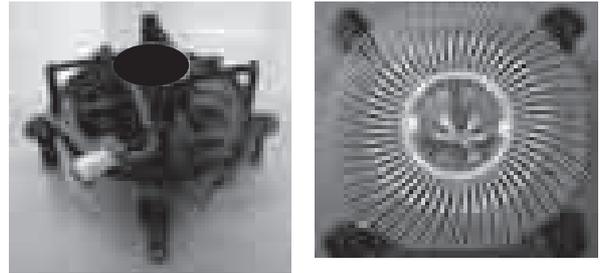


図9 銅製コアを備えた分岐放射状フィン付き押し出しヒートシンク(フィン104枚)とファン(直径90 mm × 高さ15 mm)
Fig. 9. Bi-Furcating radial fin extrusion HS (104 fins) with Cu core + Fan 90 × 15 mm.

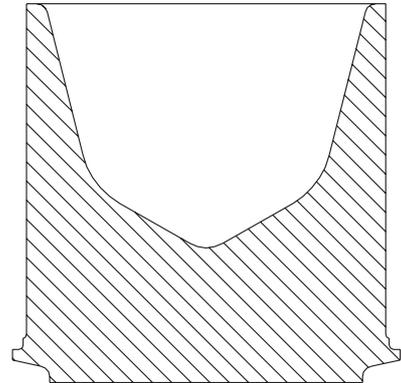


図10 銅製コアを備えた分岐放射状フィン付き押し出しヒートシンクとファン(直径90 mm × 高さ15 mm)
Fig. 10. Bi-Furcating radial fin extrusion HS with Cu core + Fan 90 × 15 mm.

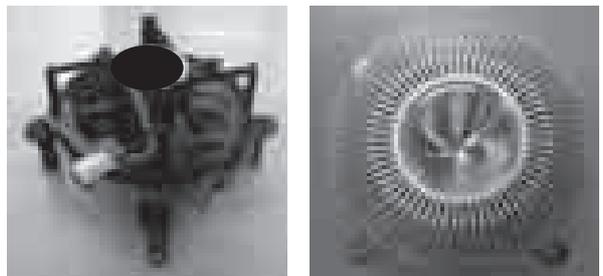


図11 より大きな銅製コアを備えた高アスペクト比の分岐放射状フィン付き押し出しヒートシンクとファン(直径90 mm × 高さ15 mm)
Fig. 11. High aspect Bi-Furcating radial fin extrusion HS with larger Cu core + Fan 90 × 15 mm.

このデザインの R_{ca} は0.23から0.25 /Wである．図11に，このデザインを示す．

3.2 要求騒音レベルの影響

空冷デザインでは，ヒートシンクがCPUプロセッサから放熱面へ熱を伝導するが，ファンもまた，ヒートシンクから熱を放熱させる重要な要素の一つである．通常，ファンを用いた熱対策のデザインでは，ファンの可能な最高回転速度を用いて検討される．これは各ヒートシンクの最大性能を発揮する設計となる．しかし，ファンの可能最高回転速度運転を行う空冷デザインは，許容騒音レベルから制限される場合がある．実際，PCユーザの満足を得られるように，許容騒音レベルは低下する傾向にある．

空冷デザインでの“騒音 (dBA)”レベルと関係ある主要な要素を以下に示す．

3.2.1 空気流の騒音

空気流騒音の大部分は，ファンからヒートシンクを通る空気流から発生する．空気流騒音と関係が深い構造は，以下の2箇所である．

- ・ファンのインペラと，ヒートシンクのフィン部の上端との隙間
- ・ファンのインペラと，ファン銘板 (PCB) 上のファンスポークとの隙間

3.2.2 軸受で回転するシャフトの騒音

この騒音の大部分はシャフトの取付け不釣り合いと関係がある異常状態に起因する．

3.2.3 電気部品の騒音

この騒音の大部分は非常に小さく，人間の聴覚で識別することが困難である．ICのスイッチングノイズなどが当てはまる．

3.3 価格競争力の影響

図12に，ラップトップPC，デスクトップPCおよびサーバに対する現在と今後の熱対策のコストに対する R_{ca} を示す．熱対策の要求性能とコストについては，本フジクラ技報記事「コンピュータ高性能プロセッサ冷却の現状と今後」でも検討されているので，ここでは詳細は省略するが，最近では，熱対策の性能要求が厳しくなり，空冷能力の拡張のために，ヒートパイプやベーパーチャンバを使用する傾向が出てきている．ただし，現在のデスクトップPC市場は価格競争が激しく，そのため，コストの面から銅製やアルミニウム製のブロックやコアを備えた，従来の平板状フィンまたは放射状フィン付きの押し出しヒートシンクも多数使用されている．

4. むすび

本論文では，各世代のプロセッサに求められてきた空冷能力向上のためのデザイン変化を概説した．

また，一体化ヒートスプレッド (IHS) 付きCPUパッケージをモデルとして，空冷デザインの放熱量 (W) と熱抵抗 R_{ca} (/W) の関係を説明した．

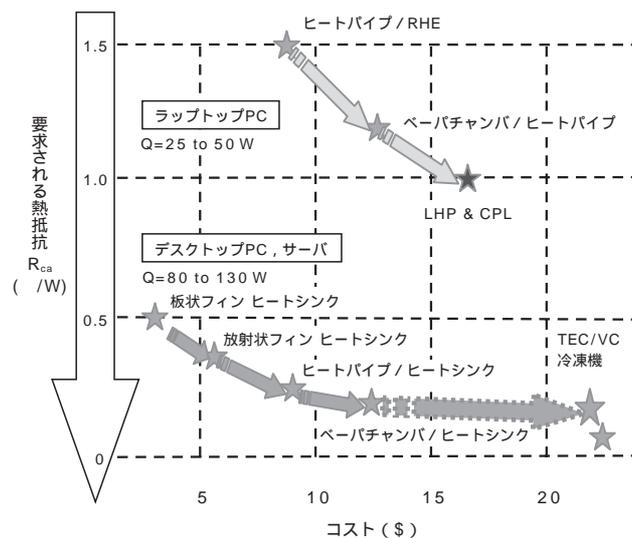


図12 コストを考慮した熱対策の推移

Fig. 12. The thermal solution trend against the cost of solution.

デスクトップPC市場における価格競争のため，大部分の空冷デザインでは，ブロックやコアを備えた従来の平板状フィンまたは放射状フィン押し出しヒートシンクを採用して，熱拡散抵抗を最小にする工夫をし，基部からフィンまでの熱伝導性を向上させている．しかし，空冷システムの限定されたスペース，最大重量，騒音レベルという面からの制約があり，各プロセッサの要求条件に適合するデザインを検討しなければならない．

しかし，こうしたデザインでは，近い将来，従来のフィン押し出し技術の限界に達することが予想され，またプロセッサのクロック周波数と放熱量は依然として増加の傾向にあるので，熱抵抗 (R_{ca}) をさらに低減することが必要である．最新の冷却対策技術の傾向としては，空冷能力を最大にするために，ヒートパイプやベーパーチャンバを多用する方向に向かっている．したがって，十分な冷却能力を提供するためには，熱流束が高く，発熱端と冷却端の間の熱抵抗ができるだけ小さい優れたヒートパイプやベーパーチャンバの研究・開発を続けていくことが極めて重要である．

参考文献

- 1) M. Mochizuki, K. Mashiko, Y. Saito and T. Nguyen: Update Cooling Technology for Personal Computer Using Heat Pipes and Vapor Chamber, Kuala Lumpur, Malaysia, 2004
- 2) M. Mochizuki, Y. Saito, Thang Nguyen, Tien Nguyen, V. Wuttijumngong and X. Wu: Revolution in Fan Heat Sink Cooling Technology to Extend and Maximize Air Cooling for High Performance Processor in Laptop/Desktop/Server Application, San Francisco and California, USA, 2005