

# 高性能ヒートシンク「クリンプ フィン<sup>®</sup>」の開発

## Development of High-Performance Heatsink “Crimped fin<sup>®</sup>”

野田一\*  
Hajime Noda

池田匡視\*  
Masami Ikeda

木村裕一\*  
Yuichi Kimura

川畑賢也\*<sup>2</sup>  
Kenya Kawabata

**概要** 近年、CPUの発熱量は余曲折を経ながらも着実に増大しつつあり、ヒートシンクの熱性能に対する要求は緊急性が高まっている。その一方で体積の制約、コストの制約、環境の制約、低騒音化の要求など様々な条件が加えられるため、リモート型などの高性能型ヒートシンクやペルチェ素子の適用などが困難な場合もあり、あくまでも従来型のヒートシンクで、こういった要求に応えなければならないことが多い。本稿は、そういった従来型のヒートシンクのうち、銅やアルミのベース板に同じく銅やアルミの放熱フィンを機械的に接合した、いわゆるクリンプ フィンヒートシンクについて、その長所と限界を論じたうえで、新形状のクリンプ フィンヒートシンクの開発の経緯と応用例について報告するものである。

### 1. はじめに

CPUの発熱量は、マーケットや周辺機器の技術革新など周囲の状況に左右されながらも、着実に増大する傾向にあり、今後の高性能CPUは消費電力として数十Wから、百Wを越える熱を取り除かなければ、所定の性能を発揮できない状況を余儀なくされている。

今後は半導体の設計ルールが微細化するのでCPUが低消費電力化すると期待されているが、一方発熱密度は従来よりも高くなるため、いずれにせよ高性能ヒートシンクが必要である。その一方で、必ずしもヒートシンクに対する要求は熱性能ばかりではなく、体積の制約、コストの制約、環境の制約、低騒音化の要求など様々な条件が加えられつつある。

特に体積の制約、コストの制約のために、いわゆるヒートパイプを用いたリモート型やベーパーチャンバなどの高度な技術は用いることができず、あくまでも従来型のヒートシンクで対応せざるを得ない場合は多い、というよりも、そういう場合が、ほとんどである。ここで論じるクリンプ フィンヒートシンクは、金属の熱伝導率にもっぱら依存するタイプのヒートシンクの中では、最も設計自由度が大きく、上述のごとき条件の中で解を得やすい技術と言える。

### 2. クリンプ フィンヒートシンクの特徴

#### 2.1 クリンプ フィンヒートシンクの位置付け

クリンプ フィンヒートシンクとは銅やアルミのベース板に

同じく銅やアルミの放熱フィンを機械的に接合したヒートシンクであり、フィンをちゅう密に配することができるため、高性能である。これは、以前からよく使用されている従来のアルミ押出一体型のヒートシンクでは熱的に対応ができなくなったところで、開発されたものである。

アルミ押出一体型のヒートシンクは、ヒートシンクの形状そのままに押し出し、長手方向に切断してなるもので、最も安価に製作できるヒートシンクである。しかし、押出金型の形状の制約から、現状では0.5 mm厚、2.3 mmピッチ程度のフィンが限界である。これ以上、伝熱面積を増大させようとする、ベース板と、フィンを別々に作り、それらを接合する方式で対応するしかない。

この接合方法には大きく分けて2通りの方法がある。はんだ付等のろう付方法または機械的接合である。

クリンプ フィンヒートシンクは後者の機械的接合によるものである。ベース板に溝を付け、その溝にフィンを挿入し、溝の両側に機械的変形を与えることにより、フィンを固定する方式である。

即ち、クリンプ フィンヒートシンクの位置付けは、アルミ押出一体型ヒートシンクに代わるものとして登場してきた2つの方式のうち的一方のものであると言える。

クリンプ フィンは、アルミ押出一体型ヒートシンクに比すれば、当然、熱性能の面で有利である。それでははんだ付方式と比すればどうかと言うと、熱性能的には、ほとんど同等であるが、以下の4つの点でクリンプ フィンヒートシンクが優れている。

- (1) 小型の金型を用いて、プレスでフィンを接合するため、製造コストは安価である。はんだ付は、はんだ材料費分、確実にコストアップである。また製造工程の中で、はん

\* 研究開発本部 環境・エネルギー研究所

\*<sup>2</sup> 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

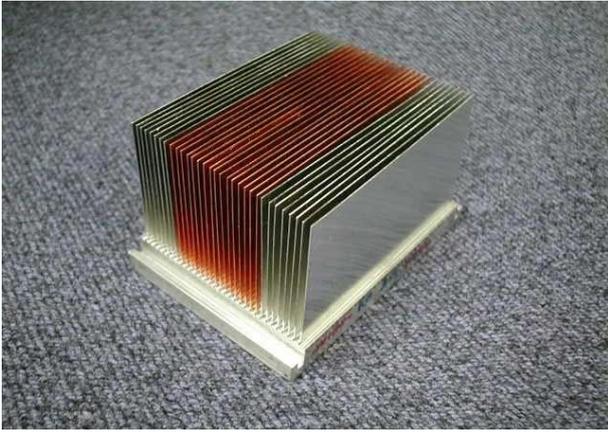


写真1 クリンプ フィンヒートシンク  
Crimped fin heatsink.

だ炉に流す工程が、機械的プレスに比すれば、時間がかかりコストアップ要素であると言えよう。

- (2) 熱性能は同等であるが、クリンプ フィンヒートシンクは機械的に一律にプレスで加工されるため、熱性能の個体差は、はんだ付に比べると小さい。(はんだ付は、はんだのむらや炉に流す時の固定の仕方により、ばらつきやすい。)
- (3) 通常の鉛-錫はんだは環境規制から使用は難しい傾向にある。鉛フリーのはんだは種々開発されているが、いずれも高価である。クリンプ フィンヒートシンクは、環境に対して完全にクリーンである。
- (4) はんだ付の場合、アルミ対アルミ、アルミ対銅の接合は、技術的に難しい。しかし、アルミにめっきを施すことによって、銅と同様に扱える。ただし、めっき代は高価である。対するにクリンプ フィンヒートシンクは、銅とアルミのいかなる組み合わせでも対応できる。写真1のごとく、ベースとフィンで材料を変えるのみならず、銅フィンとアルミフィンを混ぜて使用することも可能である。したがって、要求性能に応じた最適設計ができる。

クリンプ フィンヒートシンクは、CPU 発熱量が増大していくとともに環境規制や騒音などの種々の条件が新たに加わってきているこの時期において、十分な存在理由があり、様々な使用方法に適用できる。

## 2.2 放熱特性

図1にクリンプ フィンヒートシンクの性能曲線(△, ×)を示す。一般には、CPU 自体の表面温度  $T_c$  と冷却空気の温度(雰囲気温度)  $T_a$  の差をとり、それをCPU 発熱量で除したところの熱抵抗  $R_{ca}$  をもってヒートシンクの性能とする。

ここでもそれを踏襲し、クリンプ フィンヒートシンクの熱抵抗の風速依存性を、アルミ押出一体型ヒートシンク、はんだ接合型ヒートシンクと比較する形で示している。

これらのヒートシンクは、65幅×90長×50 mm 高の容量の制約の下にすべて統一している。また、フィンは、押出一体型ヒートシンクを除いて0.4 mm 厚のものを1.9 mm ピッチで配している。押出ヒートシンクだけは、製造上そこまで細かいピッチのものはできず、2.8 mm ピッチ×0.6 mm 厚フィン高さ47 mm である。

クリンプ フィンヒートシンクが、押出一体型ヒートシンク

(●) に比べて高性能であるのは当然であるが、はんだ接合タイプに比べてもわずかながら良好である。

図中におけるはんだ接合タイプ(■)は、設計上クリンプ フィン(×)と全く同一のフィン材質(アルミ)、ベース材質(銅)、フィンピッチ、フィン肉厚、ベースサイズのものを比較対象として測定している。これらすべてのヒートシンクは、基本的に金属の塊であり、形状と材質が同一で、接合に問題がなければ、性能も同一のはずである。ただ、ここで比較に使用したはんだ接合タイプは、フィンを蛇腹上に折り曲げたタイプであり、図面上の伝熱面積は同一であっても、若干各フィンが湾曲している傾向にある。それだけ風流れが不均一になる。即ち、クリンプ フィン(×)の方が、はんだ接合タイプより若干良好である原因は、フィンの整直性に帰すると思われる。

また、クリンプ フィンでは、前述のごとくベースの方は銅ではなくアルミにしてフィンの一部に銅を用い、その枚数を加減して、要求性能の達成と更なる低コストの両立を図るような設計も可能である。図中のハイブリッド(◇)は、そういった思想によるものである。

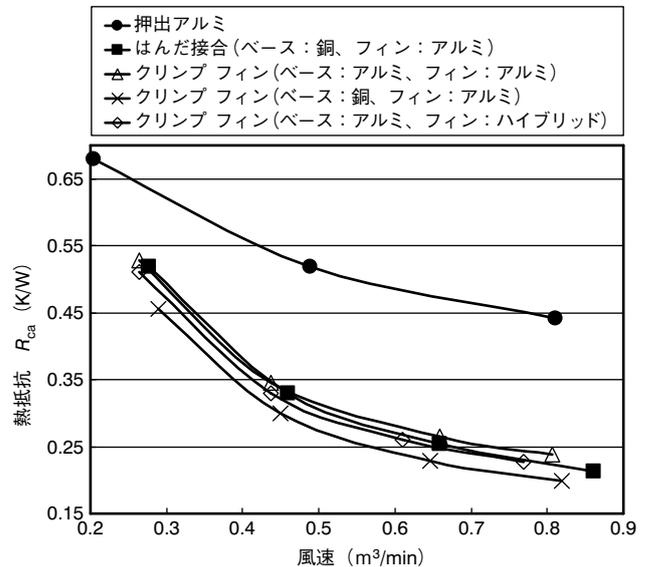


図1 クリンプ フィンヒートシンクの熱性能  
Thermal performance of Crimped fin heatsink.

## 2.3 性能の安定性

表1にクリンプ フィンヒートシンクの性能安定性確認結果を示す。

これは、クリンプ フィンヒートシンク2種とはんだ接合ヒートシンクの計3種につき、各々8個づつについて、前項の熱抵抗を計測し、その個体差を比べたものである。

表1 性能の安定性  
Comparison of stability of thermal performance.

ベース	銅	アルミ	銅	
フィン	アルミ	アルミ	アルミ	
接合方法	はんだ接合	クリンプ フィン	クリンプ フィン	
供試個数	$N = 8$	$N = 8$	$N = 8$	
熱抵抗 $R_{ca}$ (K/W)	平均 mean	0.325	0.338	0.296
	標準偏差 $\sigma$	0.0105	0.0048	0.0042
	mean + 3 $\sigma$	0.357	0.355	0.309

8個の標準偏差をとっているが、この値からクリンプ フィンは、はんだ接合に比して個体差が実に小さいことが分かる。

工業製品としての評価は、熱抵抗の平均値ではなく最低保障値で行われるべきであるという考えからすれば、標準偏差の3倍を平均値に足した値と比較すべきである。

前項で、形状と材質が同一で接合に問題がなければ、接合方法によらず性能も同一のはずであると述べたが、このばらつきの要素を考慮すれば、クリンプ フィンは同一形状ではんだ接合よりも良好な性能とすることができる。

### 2.4 比較表

表2に他のタイプのヒートシンクとの比較をまとめとして示す。それぞれの得失はあるが、クリンプ フィンヒートシンクは、広範囲で最適解となりうるであろうことがうかがえる。

## 3. クリンプ フィンヒートシンクの限界

### 3.1 上下流と水平流

一般にCPUの冷却は、ヒートシンクとファンによって行われるが、ファンをヒートシンクの上に直付けにして上から下に風を流す図2のごときタイプと、ファンを横に置き、ヒートシンクに対して水平に風を流す図3のごときタイプの2通りがある。

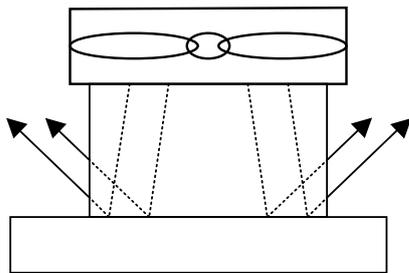


図2 上下流タイプヒートシンク  
Heatsink with vertical air flow.

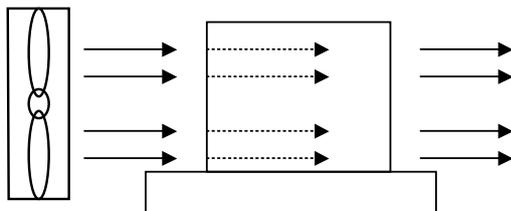


図3 水平流タイプヒートシンク  
Heatsink with horizontal air flow.

前者は、主にデスクトップに用いられ、後者はサーバ用であることが多い。

前者は、ファンも含めてCPU直上に納めなければならない場合に有効であるが、冷却効率としては後者に劣る。

その原因としてはファンとフィンとが近接して、ヒートシンク中央部にはファンの軸受け部が向き合うため、中央部が無風地帯になりやすいことが大きい。もう一つの理由としては、風がベースプレートに当たって跳ね返り横に抜けるという経路をたどり、滞留、偏流が起りやすく均一な風流れが実現しにくいことが挙げられる。

したがって、いかに細密のフィンベース上に接合し得たとしてもその伝熱面積のかなりの部分は、熱性能に寄与していないということになる。押出型にしても、はんだ接合型にしても、またクリンプ フィンヒートシンクにしても、ファンが上に付くタイプについては、ともに性能上、上述の難点を抱えていた。かかる難点を解決するためには、例えば、ファンの軸受け部の面積を絞るとか、写真2のようにヒートシンクのベースプレートのサイズを絞ったり、切り欠きを設けたりすることで、まっすぐベースプレートを通過して下へ抜ける風の成分を増やそうというような試みがなされたが、本質的改善ではなかった。

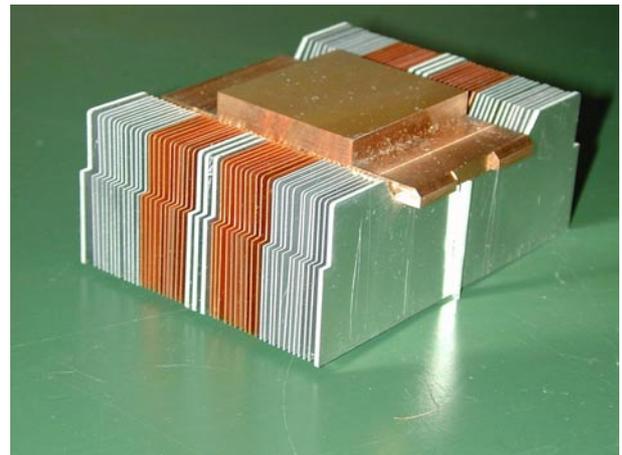


写真2 ベース縮小型クリンプ フィンヒートシンク  
Heatsink with a base smaller than the fin area.

### 3.2 アルミ押出銅インサート型ヒートシンク

そういった状況下で、押出しのヒートシンクで発想を大きく変え、写真3のごとく放射状にフィンを設けた円筒状の形状を

表2 各種ヒートシンクの比較  
Comparison of various types of heatsinks.

		クリンプ フィンヒートシンク	押出型ヒートシンク	はんだ接合フィンヒートシンク
設計自由度	フィンピッチ, 高さ	制約はない	○ 製造上, 高さ／幅の比に限界がある	× 制約はない
	フィン材料, ベース材料	銅, アルミのどちらでも, どこにでも配せる	○ アルミしかない	× フィンの一部だけ材質を変えるなどは難しい
プロセス		○ シンプル	◎ 最もシンプル	× 炉に流す工程が必要で複雑
コスト		○ 廉価	◎ 廉価	× 高価
信頼性		○ 問題なし	○ 問題なし	× 亜鉛はんだは高温多湿に弱い
環境		○ 問題なし	○ 問題なし	× 鉛はんだは環境に有害
熱性能		○	× 他二者と比して熱抵抗は高い	○

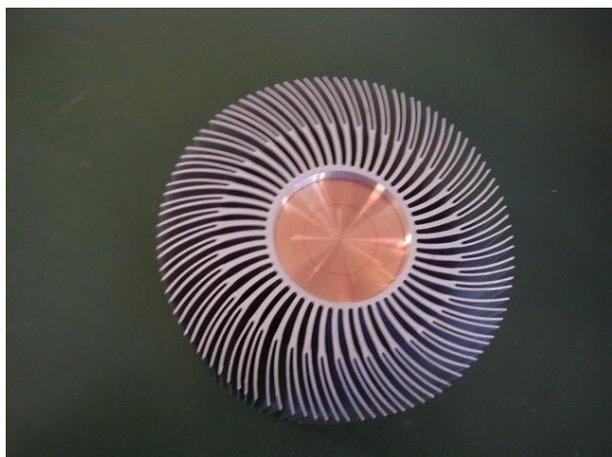


写真3 アルミ押出銅インサート型ヒートシンク  
Aluminum extrusion with copper block insertion.

円筒の軸方向にアルミを押し出して造り、その円筒の中央部を空芯とし、その空芯の部分に銅柱を圧入してヒートシンクとしたものが、市場に現れた。これをアルミ押出銅インサート型ヒートシンクと呼ぶ。この形状は、上にファンが取り付けタイプとして最適解と言わざるを得ない。クリンプ フィンヒートシンクでは達成し得ない以下のような長所を有する。

- (1) ファンにとってみるならば、ファンの軸受け部に当たる部分には、ちょうど銅柱が存在し、フィン部はすべてファンの風の出口に向き合う。
- (2) フィンの下にはベース板が存在しないため、風は上から下へ抜け、結果的に水平流型の風流れと同等であり、上下流の難点であるところの偏流、滞留が無い。
- (3) フィンはファンの風流れを受ける方向、あるいはその反対方向に湾曲させることが可能であり、ファンからの風の流出のベクトルに合わせたフィンの形態が設計可能である。
- (4) フィン部はアルミの押出しで造るので安価である。

このような押出銅インサート型ヒートシンクは、特に(1)～(3)の特長により、フィンがより細密で伝熱面が大きいはずのクリンプ フィンヒートシンクよりも熱性能においてむしろ優れている。

したがって、ファンがヒートシンクの直上に付くようなタイプにおいては、押出銅インサート型ヒートシンクが有利であり、クリンプ フィンヒートシンクの用途はあくまでも水平流式に限られることになりつつあった。

しかし、換言すれば、もし銅インサートと同等の構造がクリンプ フィンヒートシンクによって形成できたならば、クリンプ フィンの方がフィン自体は細密なので、より優れた性能を実現できる可能性があるとも言える。筆者らが、新形状のクリンプ フィンヒートシンクの開発に着手したのはそういった背景による。

#### 4. 新形状クリンプ フィンヒートシンクの開発

しかしながら、クリンプ フィンヒートシンクは、基本的に直交する平面と平面の技術であり、円筒から放射状のフィンが生えているような形状を作り出すことは、困難である。

図4のごとく、ベース板の同一平面上に平行に走る溝に長方

形のフィンを挿入し、それをベース板と垂直の方向から、ベース板のフィン間を圧することにより変形せしめフィンを固定する技術である。したがって、ベース板自体が湾曲している場合、フィンをかきめることがそもそもできない。

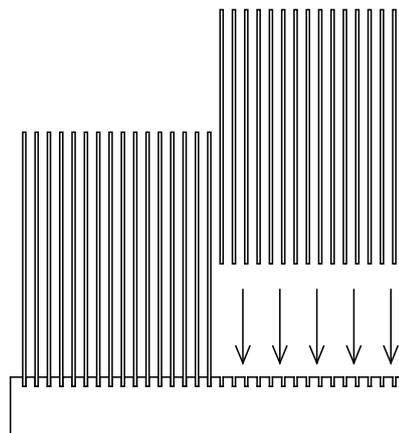


図4 クリンプ フィンの製造方法  
Manufacturing method of Crimped fin heatsink.

筆者らは、柱状のブロックから放射状に延びるフィンというイメージと、クリンプ フィンの平面と平面の直交する形状とを重ね合わせて考えたうえで、結局円柱ではなく多角柱を採用することで、クリンプによる放射状フィンの形状を曲がりなりに形作ることを考えた。3角柱や5角柱等の奇数個の側面を有する多角柱ではなく、偶数個の側面を有する正角柱ならば、対向する平行な二面において、従来と同様にプレスすることでクリンプ フィンが製造できると想定し、更にクリンプした後フィンを折り曲げれば放射状の形状を形成することは可能であると判断した。

円形に近い放射形状のフィン群に仕上げるためには、四角柱では難しく六角柱以上が必要である。むろん八角柱、十角柱と円に近くなれば、それだけ理想的ではあるが、加工もより煩雑になるので六角柱を選定した。六角柱クリンプ フィンヒートシンクは、図5のごとく両面クリンプを3回行い、しかる後にフィンを折り曲げるといった工程をとる。

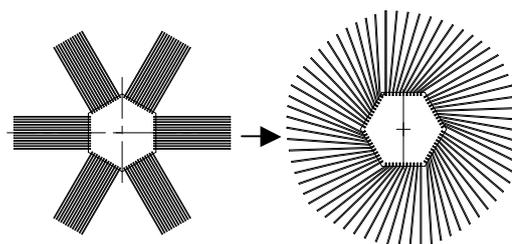


図5 六角柱クリンプの製造法  
Manufacturing method of hexagonal Crimped fin heatsink.

#### 5. 新形状クリンプ フィンヒートシンクの性能

表3に六角柱クリンプ フィンヒートシンクのフィン肉厚、フィンピッチ等の諸元を変えた4種類の試作品の性能を示す。これらは、φ90×H35 mmの容積、350 gの重量の制約の下に設計したものである。

クリンプ フィンヒートシンクの利点の一つとして、銅フィン、アルミフィンを適宜、重量に合わせて混合できることが挙

げられるが、ここではその手法を十全に活用している。

風流れとしては、押出銅インサート型ヒートシンクと同様の効果を持ち、かつクリンプ フィン固有の細密なフィンを兼ね備えた仕様が、この新しいクリンプ フィンヒートシンクではあるが、最初の試作1、2などにおいては押出銅インサート型には熱性能は及ばず、0.015 K/Wの差があった。

銅フィンの採用にもかかわらず、このような結果になるのは、クリンプ フィンは押出よりフィンが薄く、そのファクタが銅とアルミの熱伝導率の差よりも大きいいため、フィン根本部(内周部)から先端部(外周部)における温度分布が大きくなるのが原因である。即ちフィン効率が悪いということである。しかしながら、だからといって厚肉にしていく方向は、結局押出銅インサートの長所に追従していくことであり、クリンプ フィンの長所が生かせないことになる。

改善の方向性としては、フィン効率の悪さを補って余りある程度まで伝熱面を拡大していくこと、即ちフィンをより細密化していくこととした。放射状のフィンは、いかに内周側でちゅう密であっても、外周側では粗いピッチになってしまう。これは幾何学的に当然である。押出銅インサートタイプの場合も、これを考慮して、各フィンは先端で分岐している。そこで一つの溝に2枚のフィンを挿入してかしめ、最終的にその2枚のフィンをV字型に開くことにより、外周部でのフィンピッチを密にすることとした。それが試作3である。この試作において、ようやくクリンプ フィンは押出と性能で並んだ。

また伝熱面積を増加させるもう一つの手法として、一枚のフィンを大きくする方法がある。もともとアルミ押出銅インサート型は、銅柱の中心から放射する半径方向に対してフィンは湾曲しており、オフセットが付いている。これは一定の円形の中で一枚のフィンを長くできる手法である。結果的にその分伝熱面を増やすことができる。六角柱クリンプ フィンヒートシンクもまた、半径方向に対しオフセットを設けているが、フィンの中腹において更にもう一度折り曲げ点を設け、最終的曲げ角度を大きくした。これが試作4である。この方法により伝熱面は更に増大し、熱性能で押出型をりょうがした。

なお、これらのデータにおいて、フィンの折り曲げの方向は、ファンの回転方向とは逆に設定している。また、これらのすべての熱抵抗の値は、同一のファンを用い騒音値として45 dB一定となる回転数で評価している。

更にフィンの肉厚と伝熱面積との最適化を図り、また接触するチップ面積に汎用性を持たせる意味で六角柱自体を拡大し、最終的に写真4のごとき形状が、先に示した容積制限、重量制限を前提にすると、最良の熱性能を示すことを確認した。

0.3 mm厚のフィン132枚により伝熱面積は2850 cm<sup>2</sup>である。重量調整の点から銅フィンは使用していない。

しかし、熱抵抗は0.246 K/Wとなり、アルミ押出銅インサート方式の場合の0.265に対し、約0.02 K/W低減されている。

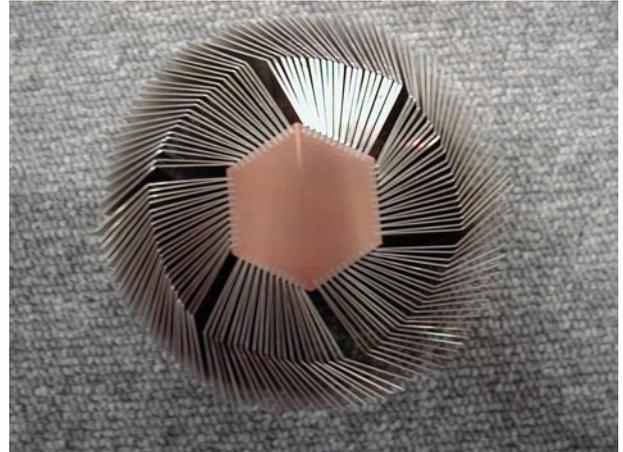
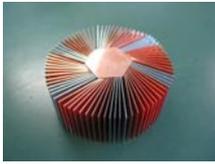
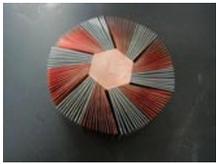


写真4 六角柱クリンプ フィンヒートシンク最適化形状  
Optimized hexagonal Crimped fin heatsink.

六角柱クリンプ フィンの設計上の代表的なパラメータとして、フィン肉厚と伝熱面積をとり、上記5種類の試作品の熱抵抗の変化を示すと図6のごとくなる。これは、銅フィン、アルミフィンの違いや中央部ブロックのサイズなどのパラメータを捨象したものではあるが、六角柱クリンプ フィンヒートシンクにおけるフィン効率と伝熱面積の影響を示しており、条件の異なる場合の設計の目安にはなりうると考える。

表3 六角柱クリンプ フィンヒートシンクの変遷  
Development of prototypes for hexagonal Crimped fin heatsink.

	アルミ押出銅インサート	試作1	試作2	試作3	試作4
					
フィンピッチ		1.3 mm	1.1 mm	1.3 mm	1.3 mm
フィン肉厚	1.0 mm → 0.6 mm	0.4 mm	0.3 mm	0.2 mm	0.2 mm
フィン枚数	根本部52枚 →先端部104枚	銅フィン：36枚 アルミフィン：30枚	銅フィン：54枚 アルミフィン：24枚	銅フィン：72枚 アルミフィン：60枚	銅フィン：60枚 アルミフィン：132枚
伝熱面積	1740 m <sup>2</sup>	1370 m <sup>2</sup>	1620 m <sup>2</sup>	2740 m <sup>2</sup>	3150 m <sup>2</sup>
熱抵抗R <sub>ca</sub>	0.265 K/W	0.280 K/W	0.275 K/W	0.265 K/W	0.250 K/W

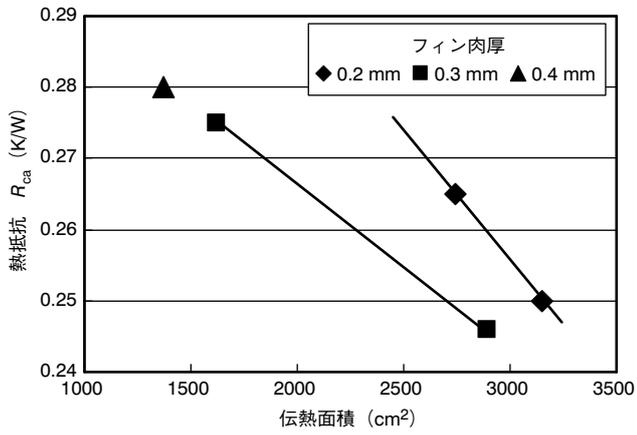


図6 伝熱面積とフィン肉厚の影響  
Effects of the area and thickness of fins on the thermal performance.

## 6. おわりに

クリンプ フィンヒートシンクは、熱性能、信頼性、環境問題への対応等において、優れた特長を持つヒートシンクである。しかし、ファンがヒートシンクの直上に付くような使用方法では、構造的に対応が難しかった。本稿は、両面クリンプ、2枚フィン挿しといった試みを駆使した新しいクリンプ フィンヒートシンクで、そういった要求に対応できることを報告した。