

ノートブックPC用マイクロヒートパイプヒートシンクの最新技術

State-of-the-art Techniques of Micro Heat Pipe Heat Sinks for Notebook PCs

大海 勝* 福本智郎* 小林隆雄*
Masaru Oomi Toshiro Fukumoto Takao Kobayashi

杉村政信* 中山克夫* 難波研一*²
Masanobu Sugimura Katsuo Nakayama Ken'ichi Namba

概要 近年、ノートブックPCは、MPUの高速化に伴い、発熱量が急増し増大し放熱対策が必要不可欠になっている。この熱問題を解決するのが、マイクロヒートパイプヒートシンクであり、95年度より実用化が進んできている。しかし、ノートブックPCの高性能化に伴い周辺部品の発熱も増加してきており、従来のヒートシンクでは、最近のMPUの発熱に対し十分な冷却ができなくなりつつある。本報では、上記の背景を踏まえ、ノートブックPC用マイクロヒートパイプヒートシンクの動向及び次世代ヒートシンクの主流になると推定されるフィン差しマイクロヒートパイプヒートシンクについて紹介する。

1. はじめに

コンピュータの高速、高性能化に伴い、演算素子であるMPUの発熱量が増大し、熱対策が焦眉の急になってきている。特にノートブックPCでは、きょう体容積が限定されるので、放熱技術がキーテクノロジーの一つになっている。この問題を解決するのがマイクロヒートパイプ（以後 μ HPと記載）ヒートシンクで、95年度より実用化が進んできている。

μ HPは、直径が3～6 mm程度の小型ヒートパイプの総称で、曲げ加工や偏平加工が容易であるので熱配線材料として使用できる。そのため薄い金属板、ダイカスト、ファン、ラバー等と組み合わせてコンパクトな形状でヒートシンクの機能を持たせることができる。最近 μ HPヒートシンクはその優位性が認められ、特に設置スペースが制限される情報家電、マルチメディア端末機器への実用化が急速に進んでいる。

μ HPヒートシンクが初めてノートブックPCに採用された当時は、MPUの発熱量は5～6 W程度で、 μ HPヒートシンクは μ HPと金属プレートを組み合わせた比較的簡単な構造の製品が主流であった。その後、MPUの高速、高性能化が進み、最新MPUの発熱量は20～25 W程度まで増大している。（現在開発が進んでいるMPUの発熱量は、MPU本体で30 W以上になると予想されており、他の発熱素子を含めると全体の発熱量は35 W程度と予想されている。）このような状況から、今後のノートブックPCには、 μ HPとファンを組み合わせたヒートシンクを用いないと、MPU及びシステム全体の冷却が困難になりつつある。

本報では、これらの背景を踏まえ、これまでに製品化されてきた μ HPヒートシンクの構造の変化について述べるとともに、最新技術で今後の μ HPヒートシンクの主流になると推測できる1 mm厚さのヒートパイプを使用したヒートシンク、ヒートパイプピンジ構造を有するヒートシンク、及び μ HPに多数枚のフィンを差し込んだフィン差しヒートパイプヒートシンクを紹介する。

2. ノートブックPC用 μ HPヒートシンクの開発推移

ノートブックPC内MPUの発熱量の増加に伴いヒートシンクの性能も向上させていく必要がある。図1にノートブックPC用 μ HPヒートシンクの開発推移を示す。

以下に、各世代のヒートシンクの特徴を説明する。

(1) 第一世代のヒートシンク

この世代のヒートシンクは、MPUで発生した熱を受熱ブロックを介して μ HPに伝え、シールドケース等の金属板全体に熱拡散して自然対流により放熱する構造になっている。熱の放熱場所として、主にきょう体（底面）又はキーボードの裏面が使用される。この世代のヒートシンクは、構造が簡単なうえ、ノートブックPC内に熱的に余裕のある場所があればMPUを確実に冷却することができるため、現在でも低発熱量MPUを使用した各種ノートブックPCに使用されている。

(2) 第二世代のヒートシンク

この世代のノートブックPCでは、MPU以外の素子及び周辺機器の発熱量も増加して、ノートブックPC内部に熱的に余裕のある部分が少なくなってきたので従来のヒートシンク（ファン又は第一世代の μ HPヒートシンク）で熱対策を講じるのが困難となる。そのため、ヒートシンクはMPUからの発熱を μ HP

* ELC事業部 サーマル製品部

² 環境エネルギー研究所 部品・実装技術開発部

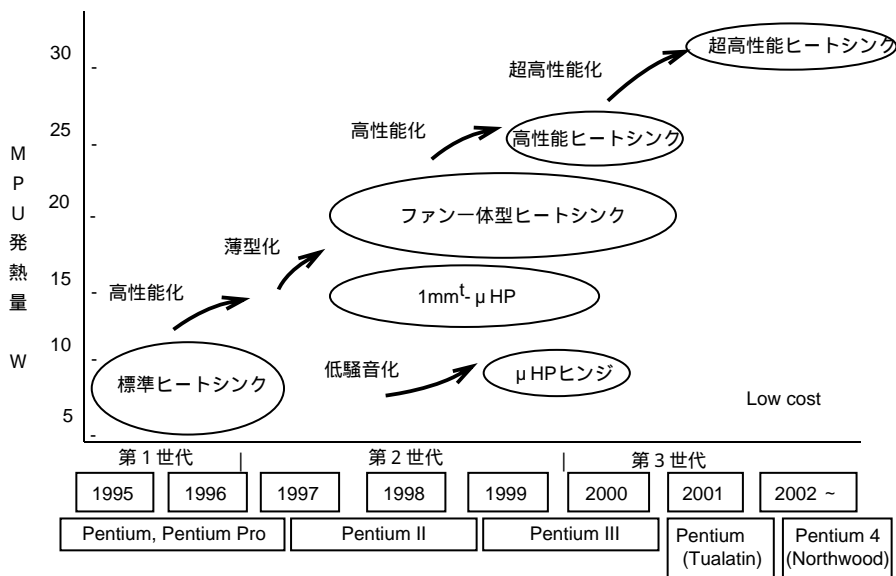
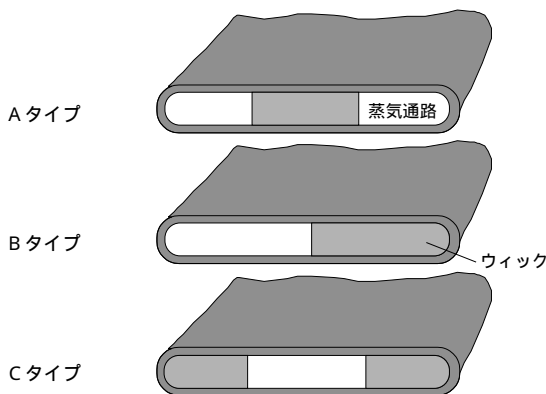


図 1 μ HP ヒートシンクの開発推移
Changes in the development of micro heat-pipe heat-sink

構造



仕様

コンテナ：純銅
 ウィック：純銅ワイヤ（メッシュ）
 作動液：純水
 標準寸法：厚さ 1.0 (1.5) mm
 幅 9.0 mm

図 2 1 mm HP の構造
Structure of 1 mm heat-pipe

に伝え、その μ HP できょう体側面の比較的スペース確保が可能な場所に取り付けられたフィンに熱輸送して、ファンで強制的に冷却を行ない、外部に熱を放出する構造が採用されるようになってきている。また、その一方でノートブック PC の薄型化及び携帯化の要求も強まり、従来の 2 mm 偏平の μ HP ではスペースがなく配置出来ないものには厚さが 1 mm の μ HP を使用したヒートシンク、きょう体本体側のみでの放熱が困難なものにはパネル側に効率よく熱を逃がすことの出来るサーマルヒンジ構造を使用したヒートシンクが採用され始めている。上記 2 種類のヒートシンクは、第 3 章の μ HP ヒートシンクの最新技術で詳細に記載する。

(3) 第三世代のヒートシンク

今後、ノートブック PC の発熱量が更に増大すると、第二世代のヒートシンクを用いても完全な熱対策にならなくなると予想される。この状況に対応するヒートシンクが第 3 世代のヒートシンクである。この世代のヒートシンクでは、軽量小型で単位体積あたりの表面積が広い高性能フィンファンをファンの吹き出し口に設けて、今まで以上に大幅な性能向上を図る必要がある。

このように、MPU の進化に伴い、 μ HP ヒートシンクに代表される放熱技術も高度化してきている。第 3 章では、第二、三世代の最新技術の代表例を記載する。

3. μ HP ヒートシンクの最新技術

(1) 厚さ 1 mm の μ HP を使用したヒートシンク

ノートブック PC の携帯化に対応する μ HP ヒートシンクは薄型化が要求されている。それを実現するために開発されたのが厚さが 1 mm しかない（実用化している HP では世界最薄） μ HP である。

図 2 に 1 mm HP の構造を示す。中央に作動液が戻る通路、両脇に蒸気が流れる通路を設けたことが特徴である。図 3 に、1 mm HP の最大熱輸送量曲線を示す。1 mm HP の最大熱輸送量は作動温度の上昇に伴い通常、ノートブック PC 内で 1 mm HP を使用すると作動温度は 60 ~ 80 に上昇すると推定される。本 1 mm HP の最大熱輸送量は 18 W 以上となるので、板金やダイカストと併用すると MHP の発熱量 35 W 程度まで問題なく熱輸送できるヒートシンクが可能である。

また、図 4 に熱抵抗曲線を示す。1 mm HP をノートブック PC に実装するとき、作動温度が高い程、低熱抵抗が要求されるが、本 1 mm HP は作動温度が高い程、低い熱抵抗になることを示しており十分実用化が可能である。

図 5 に本 1 mm HP を使用したヒートシンク例を示す。MPU は最近開発された低発熱量（8 W 程度）のもので、このヒートシンクを採用することによりファンレス化ができた例である。

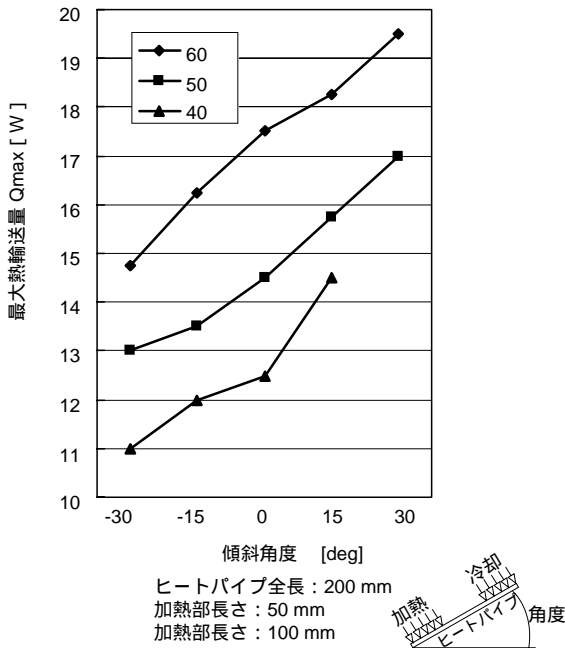


図3 1 mm HPの最大熱輸送量
Maximum heat transfer of 1 mm heat-pipe

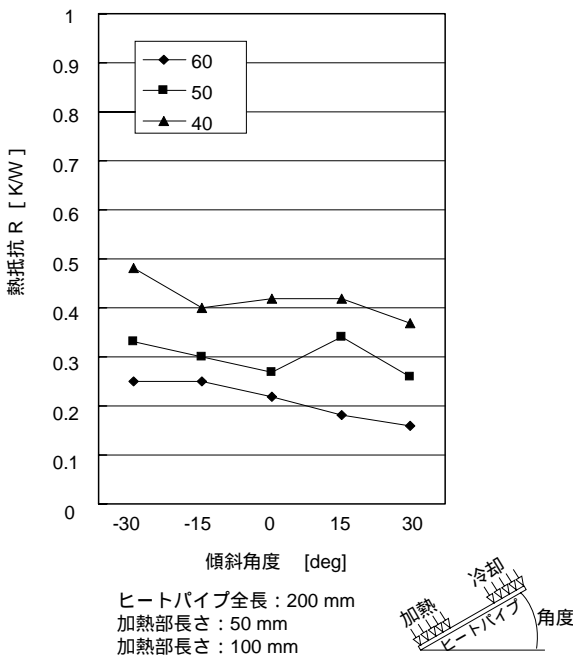
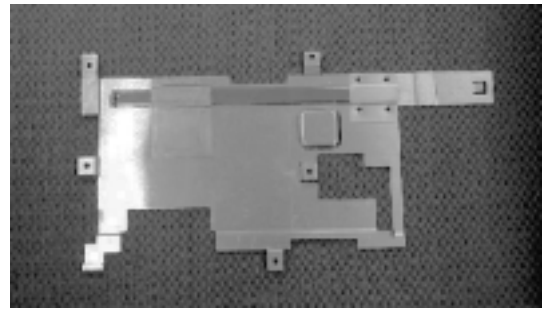


図4 1 mm HPの熱抵抗
Thermal resistance of 1 mm heat-pipe

(2) μ HP ヒンジ構造を有するヒートシンク

ノートブックPCの放熱設計は本体（キーボード）側のみで行われるのが普通であったが、本体側のトータルの発熱量が増大したために放熱スペースが限定されると放熱が非常に困難になる。そのため、温度的に余裕のあるパネル側に本体側の熱を逃がすことは有効である。

図6にヒートパイプヒンジの構造を示す。ヒートパイプヒンジは、MPUからの発熱を本体側とパネル側を接続しているヒンジブロックに伝え、そこから μ HPでパネル側に設置された



- 特長
- 薄型（厚さ 1 mm）
 - 曲げ加工可能
 - 大きな熱輸送量
 - 発熱素子に直接取付可能

図5 1 mm HP ヒートシンクの実用例
1 mm heat-pipe heat-sink assembly

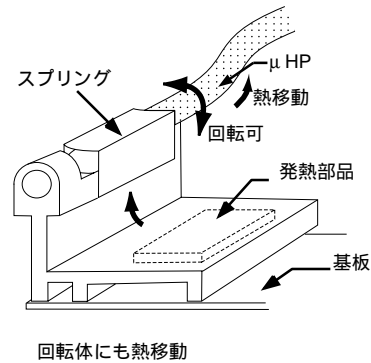


図6 ヒートパイプヒンジ構造
Structure of heat-pipe hinge

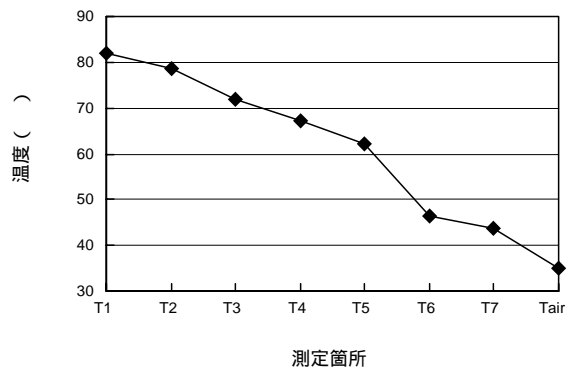


図7 μ HP ヒンジヒートシンク熱測定結果
Results of experiments

放熱板金に熱輸送して、放熱板金に熱拡散する構造となっている。ヒートパイプヒンジを実用化するためには低熱抵抗なヒンジ構造が必要である。

図7に本 μ HP ヒンジ構造を有するヒートシンクを用いた試験結果を示す。キーボード側にあるMPUの熱は低熱抵抗で移動していることがわかる。これは図6に示すヒンジブロックとヒートパイプの固定をバネ方式にすることでヒンジ部の接触熱抵抗を小さくできたためである。また実用化する前に30000回

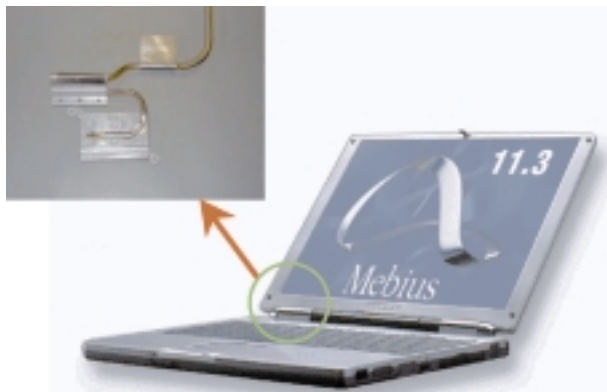


図8 μ HP ヒンジヒートシンクの実用例
Micro heat-pipe hinge heat-sink assembly

のパネル開閉試験を実施しているが劣化は認められなかった。
図8に本 μ HP ヒンジヒートシンクを使用したノートブックPCの1例を示す。

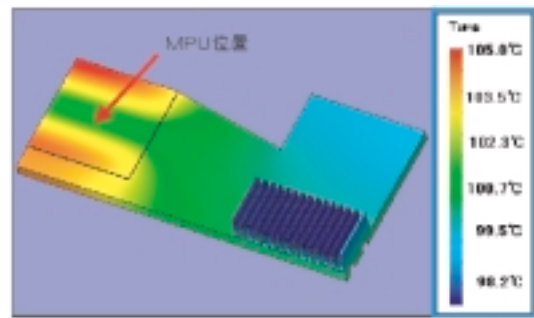
(3) フィン差しヒートパイプを用いたヒートシンク

前述したようにMPUの発熱量は30 Wを超えることが予想される。一方、ノートブックPCの薄型化、小型化に伴い放熱スペースは限定される。従来の冷却方法の1つであるダイカスト一体型ファンは、放熱フィンにダイカストにより一体成形するため放熱フィンの肉厚、高さ及びピッチに制約があり、冷却に必要な放熱面積を設けると大型化しそれをカバーするためにファンも大型化する。

この問題を解決するために考案されたのがフィン差し μ HPを使用したヒートシンクである。フィン差しヒートパイプヒートシンクは、MPUからの発熱を受熱ブロックを介して μ HPに伝え、きょう体の排気口前面に配置されたフィンに μ HPで熱輸送し、ファンにより強制的に冷却を行うとともに、外部に熱を放出する構造である。フィン差しヒートパイプはフィンの肉厚を薄くでき、また、フィンピッチも小さくすることができるため、小型化及び軽量化が可能である。また、ダイカスト一体型ファンとフィン差しヒートパイプのフィンスペースを同一とした場合、ダイカストフィンのフィンピッチ2.5 mmに比べ、フィン差しヒートパイプのフィンピッチは1.2 mmと半分以上小さくすることが可能であり、放熱面積が約2倍以上となるので、性能は大幅に改善されると予想される。

そこでフィン差しヒートシンクの実用化検討として、ダイカスト一体型ファンとフィン差しヒートシンクの同スペースでの性能比較を数値解析により行った。図9、10にダイカスト一体型ファンとフィン差しヒートパイプの数値解析結果を示す。MPUの発熱量を20 Wとした場合、ダイカスト一体型ファンに比べ、MPUの温度が30 °C以上低くなる。そこで、実際に解析モデルと同一形状のサンプルを製作して熱測定を行った。

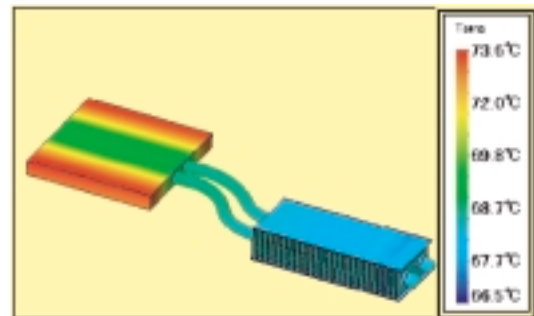
図11に20 W用フィン差しヒートパイプモデル及び熱測定概要、表1に熱測定結果を示す。実測結果も数値解析結果とほぼ一致した。検討したフィン差しヒートパイプは次世代のノートブックPC用ヒートシンクとして最有力候補である。この優位性から、フィン差しヒートパイプを用いたヒートシンクは既に



条件

μ HP : 4 HP × 2本
ファン : 45 mm × 10 mm
フレーム材質 : ADC12
フレーム厚さ : 3 mm
フィン厚さ : 1.5 mm
フィン : P = 2.5 mm × 15枚

図9 数値解析結果(ダイカスト一体型ファンモデル)
Results of numerical analysis (die-cast with fan)



条件

μ HP : 4 HP × 2本
ファン : 45 mm × 10 mm
ブロック材質 : A6063
ブロック厚さ : 5 mm
フィン材質 : A1050
フィン厚さ : 0.3 mm
フィン : P = 1.2 mm × 32枚

図10 数値解析結果(フィン差しヒートシンクモデル)
Results of numerical analysis (heat-pipe with fin)

一部のノートブックPCに実用化され始めている。

今後更にMPUの発熱量がアップすることが想定されるため、現在30 ~ 40 W用フィン差しヒートパイプの開発も行っている。図12、13に30 W用フィン差しヒートパイプモデル及び熱測定概要、表2、3に熱測定結果を示す。フィンを片側にするタイプ及び両側にするタイプともに熱抵抗で約1.0 °C/Wの性能であり40 W程度までのMPU発熱量まで本ヒートシンクで対応可能なことが分かった。

4. おわりに

本報では、主に今後の主流になるとと思われるヒートパイプを用いたヒートシンクについて紹介した。 μ HPヒートシンクは、各PC固有の形状になっており、各設計技術者の創意工夫が盛り込まれている。このことは、各PCメーカーの設計技術者の熱

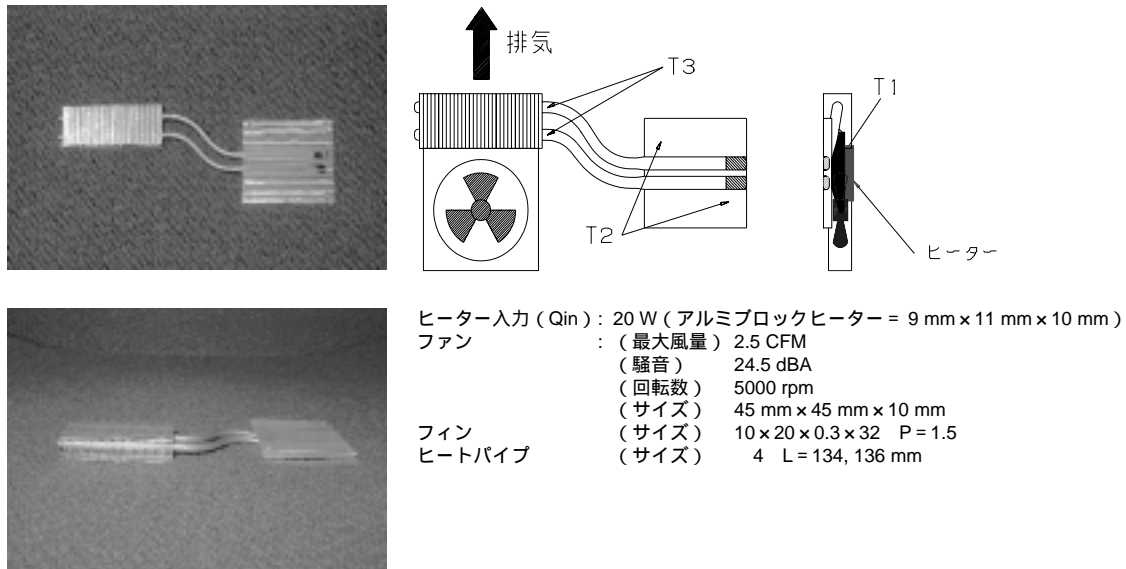


図11 20W用フィン差しヒートパイプモデル及び熱測定概要
 Condition of experiments (case I)

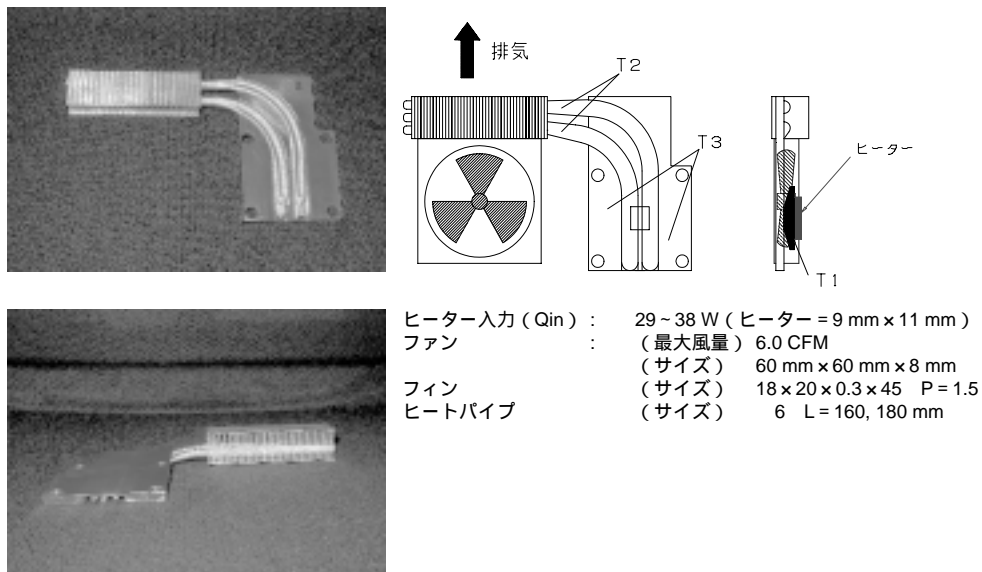


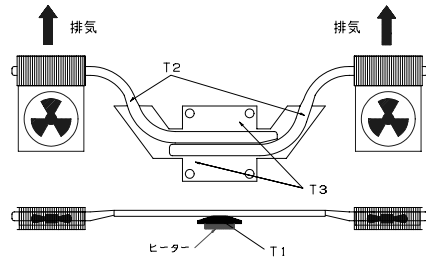
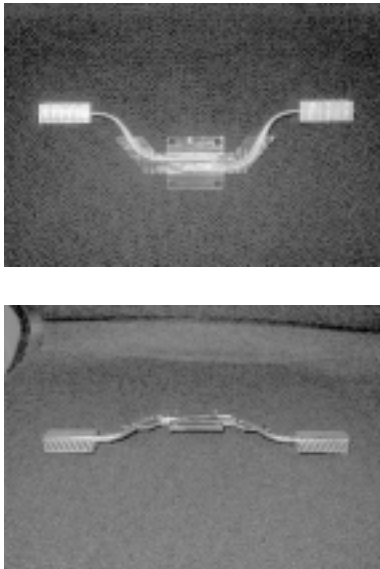
図12 30W用フィン差しヒートパイプモデル: 片側タイプ及び熱測定概要
 Condition of experiments (case II)

表1 熱測定結果 (20 W用フィン差しヒートパイプ)
 Results of experiments (case I)

ヒーター 入力	ファン 入力		T ₁ ()	T ₂ ()	T ₃ ()	T _{air} ()	R:(T ₁ - T _{air})/Q (/W)
20 W	3 V	測定値	77.8	66.6	65.0	35.0	2.14
		ΔT	42.8	31.6	30.0		
20 W	4 V	測定値	73.9	62.2	60.4	35.0	1.94
		ΔT	38.9	27.2	25.4		
20 W	5 V	測定値	73.0	60.0	58.2	35.0	1.90
		ΔT	38.0	25.0	23.2		

表2 熱測定結果 (30 W用フィン差しヒートパイプ: 片側タイプ)
 Results of experiments (case II)

ヒーター 入力	ファン 入力		T ₁ ()	T ₂ ()	T ₃ ()	T _{air} ()	R:(T ₁ - T _{air})/Q (/W)
29 W	5 V	測定値	64.5	52.7	53.6	35.0	1.02
		ΔT	29.5	17.7	18.6		
33 W	5 V	測定値	68.7	54.7	55.9	35.0	1.02
		ΔT	33.7	19.7	20.9		
38 W	5 V	測定値	73.6	57.3	58.9	35.0	1.02
		ΔT	38.6	22.3	23.9		



ヒーター入力 (Qin) : 29 ~ 38W (ヒーター = 9 mm × 11 mm)
 ファン : (最大風量) 3.0 CFM
 (サイズ) 44.6 mm × 44.6 mm × 8 mm
 フィン (サイズ) (15 × 20 × 0.3 × 31) × 2 P = 1.5
 ヒートパイプ (サイズ) 6 L = 202, 204 mm

図13 30W用フィン差しヒートパイプモデル: 両側タイプ及び熱測定概要
 Condition of experiments (case III)

表3 熱測定結果 (30 W用フィン差しヒートパイプ: 両側タイプ)
 Results of experiments (case III)

ヒーター 入力	ファン 入力		T ₁ ()	T ₂ ()	T ₃ ()	T _{air} ()	R:(T ₁ - T _{air})/Q (/W)
29 W	5 V	測定値	64.3	51.8	52.5	35.0	1.01
		ΔT	29.3	16.8	17.5		
33 W	5 V	測定値	68.7	53.7	54.6	35.0	1.02
		ΔT	33.7	18.7	19.6		
38 W	5 V	測定値	74.8	57.1	58.7	35.0	1.04
		ΔT	39.8	22.1	23.7		

意により製品化が実現したことを表すものであり、各メーカーの技術者に感謝する次第である。

今後、ノートブックPCにおける熱対策は更に重要度を増すため、早急に今回紹介した第三世代のヒートシンクの標準化を図る一方で、次世代のヒートシンクの開発に注力していきたい。

参考文献

- 1) 北野谷 惇, 素谷 順二他:古河電工時報, 第97号 (1995)
- 2) 橋本 信行, 素谷 順二他:古河電工時報, 第101号 (1998)