

マイクロヒートパイプの高性能化

High-Performance Micro Heat-Pipe

山本 孝司*
Koji Yamamoto

中溝 賢治*
Kenji Nakamizo

亀岡 秀光*2
Hideaki Kameoka

難波 研一*3
Kenichi Nanba

概要 電子機器の高速化，高性能化に伴い発熱量の増大が問題視されている。このため当社では、95年よりマイクロヒートパイプを組み込んだヒートシンクを商品化している。形態及び構成部品を変えながら、増大する発熱量に対応させた製品を開発してきたが、今後の更なる発熱量増大に対してマイクロヒートパイプ単体の熱特性改善をおこなった。

1. はじめに

電子機器の高速化，高性能化の発展にはめざましいものがあるが、それに伴い発熱量の増大が問題視されている。特にノートブックPCなどの小型化を伴う場合には機器の安定性，処理能力にも絡み、放熱技術は重要課題の一つである。このような技術動向を背景に当社は、95年よりマイクロヒートパイプ（μHPと記載）を組み込んだヒートシンクを商品化している。

μHPはφ3～6 mmの小径ヒートパイプの総称であり、金属板，放熱フィン，ファン等と組み合わせることにより，コンパクトで放熱特性の良いヒートシンクが可能になる。このため図

1に示すようにMPU発熱量の増大とともに，形態及び構成部品を変えながら新製品を開発してきた。

本報では今後の更なる発熱量増大に対して，このようなヒートシンクに使用されているμHP単体の熱特性の改善をおこなった。

2. 高性能マイクロヒートパイプ

μHPを使用したヒートシンクの一例を図2に示す。MPUなどの発熱体に密着させたアルミブロックにμHPの片端を接合させて吸熱し，もう一方の片端にアルミフィンを着装してファンで排気することにより放熱するもので，μHPの高い熱輸送

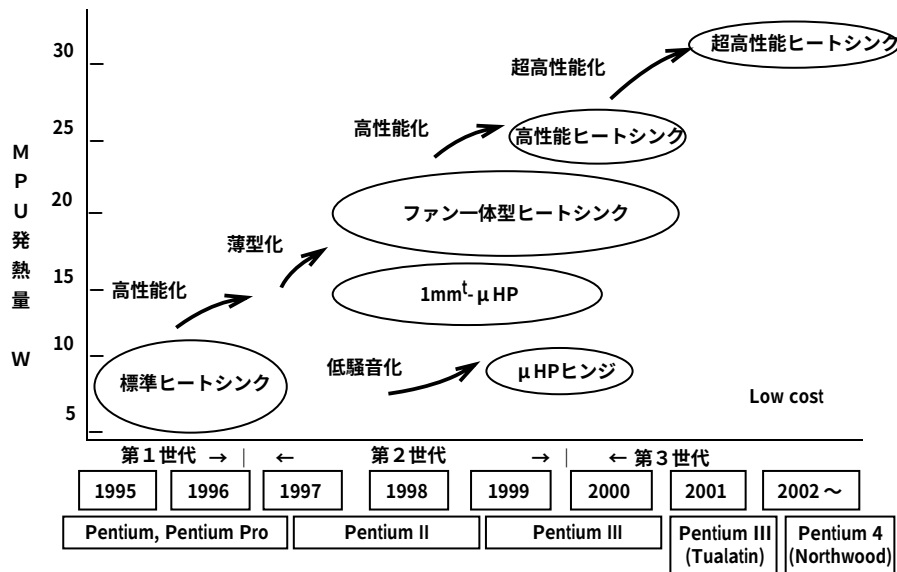


図1 μHP ヒートシンクの開発推移¹⁾
Changes in the development of micro heat-pipe heat-sink

* メタル総合研究所 第一研究部

*2 ELC事業部 サーマル製品部

*3 環境エネルギー研究所 部品・実装技術開発部

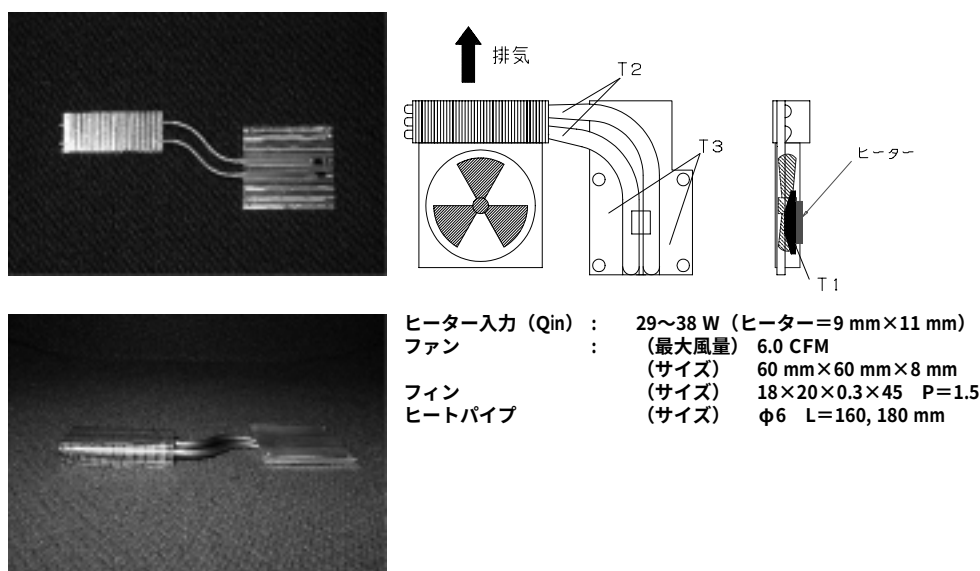


図2 μ HPを使用したヒートシンクの一例¹⁾
Typical micro heat-pipe heat-sink

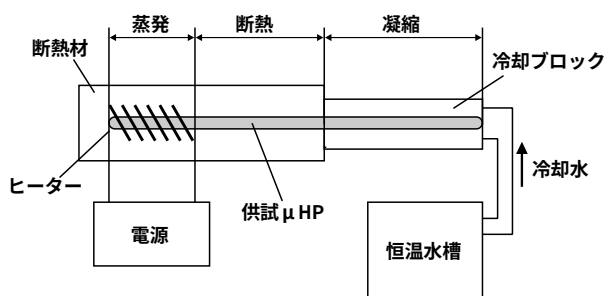


図3 測定装置系統図
Block diagram of experiment on micro heat-pipe

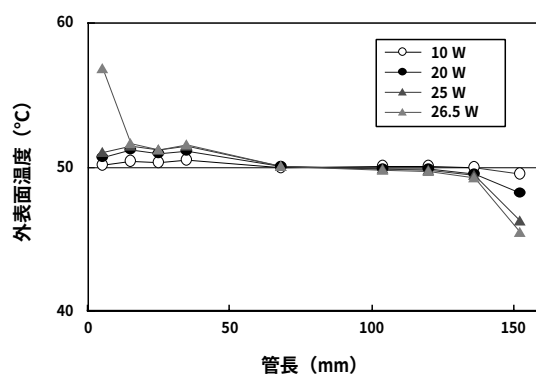


図4 外表面温度分布
Surface temperature distribution of micro heart-pipe

特性により効率よく放熱を行うものである。 μ HP単体は銅管内に作動液として水を封入したもので、発熱側で作動液を蒸発させ、その蒸気を放熱側で凝縮させる。また放熱側で凝縮された作動液は銅管の内表面に形成されたウィック構造の毛細管力により蒸発部へもどす。このように潜熱移動により熱輸送を行うために通常の熱伝導による場合に比べて、熱輸送量を飛躍的に向上させることができる。

μ HPのウィック構造にはメッシュ、ワイヤー、焼結等の方法があるが、当社では銅管の内表面に微細な溝を多数形成させた内面溝をほとんどの製品で採用している。内面溝の特徴としては比較的性能が安定していること、安価に製造が可能であること等の利点が上げられる。内表面のウィック構造は μ HPの熱特性を決定する重要要因である。そこで、今回高性能タイプの内面溝構造を開発し、従来タイプとの比較検討を行った。以下にその結果を示す。

3. 実験方法

図3に測定装置の系統図を示す。ヒートパイプの片端を蒸発部としてヒーターを一定間隔で巻き付け、そのヒーターに電圧を負荷し加熱量の調整を行った。またもう片端を凝縮部として冷却ブロックに挿入し、冷却ブロックを循環する冷却水の温度

により放熱量を調整した。そしてその間を断熱部として断熱材で断熱した。十分断熱されているとして蒸発部の加熱量を熱輸送量とした。また μ HPの外表面温度をそれぞれの部分で測定し、断熱部の外表面温度を μ HPの作動温度とした。

4. 実験結果

4.1 $\phi 4$ mm μ HP 高性能タイプの熱特性

4.1.1 外表面温度分布

図4に $\phi 4$ mm μ HP 高性能タイプ作動時の代表的な外表面温度分布を示す。

熱輸送量が10 Wと比較的小さい場合には、外表面温度は全長にわたり、作動温度と均等な温度で分布している。熱輸送量が増加すると徐々に蒸発部外表面温度は上昇し、凝縮部外表面温度は低下する。そしてある熱輸送量に達すると蒸発部の端部で外表面温度が上昇する。これは加熱量が μ HPの最大熱輸送量を越えたために内表面がドライアウトすることによる。また凝縮部では逆に端部で温度が低下する。これは余剰液が凝縮部端部に溜まり熱伝達を妨げているためであると考えられる。

4.1.2 熱抵抗

ヒートパイプの重要な特性の一つに熱抵抗特性がある。熱抵抗は以下のように算出される。

$$\text{熱抵抗 (}^{\circ}\text{C/W)} = \frac{\text{蒸発部平均外表面温度} - \text{凝縮部平均外表面温度}}{\text{熱輸送量}}$$

蒸発部と凝縮部の外表面に一定の温度差がある場合、 μHP により移動できる熱量はその μHP の熱抵抗特性により決められる。

図5に $\phi 4\text{ mm}$ μHP 高性能タイプの熱抵抗を示す。

ウィック構造が内面溝タイプの μHP は、管内表面に直接ウィック構造が形成されているために、その他のメッシュやワイヤータイプに比べ熱抵抗が小さいとされている。熱輸送量が10 Wと小さい場合には、従来タイプでも熱抵抗は 0.1°C/W 以下であるが、高性能タイプでは更に熱抵抗が小さく改善されている。また従来タイプが15 Wを越えた辺りで最大熱輸送量に達し急激に熱抵抗が増加しているのに対して、高性能タイプでは25 W以上で最大熱輸送量に達するまで熱抵抗は低いままである。

4.1.3 最大熱輸送量

上述のように、 μHP を使用したヒートシンクでは最大熱輸送量以上の熱負荷をかけた場合には熱抵抗が悪化し、発熱部の温度が急激に上昇する。このために最大熱輸送量を向上させる

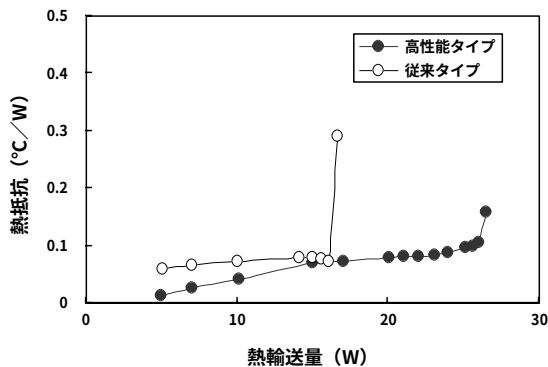


図5 熱抵抗の比較
Comparison of thermal resistance

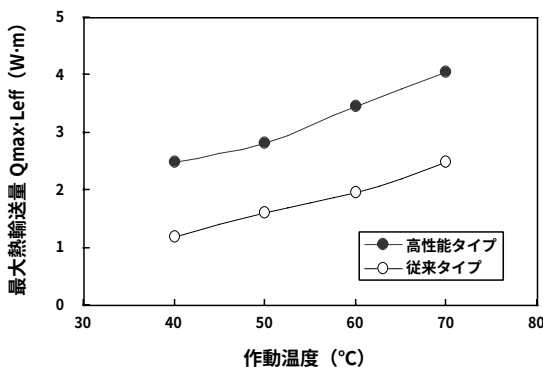


図6 最大熱輸送量の比較
Comparison of maximum heat transfer rate

ことは μHP の重要課題の一つである。

図6に $\phi 4\text{ mm}$ μHP 高性能タイプの最大熱輸送量を示す。

一般的に μHP が使用される作動温度 $40\sim 70^{\circ}\text{C}$ において、高性能タイプは従来タイプに比べ160～200%と飛躍的に最大熱輸送量が向上しており、高性能タイプの内面溝形状の改善は特に最大熱輸送量の向上に効果的であることがわかった。

4.1.4 傾斜角度の影響

μHP 内の作動液は重力の影響を受けるために、蒸発部を下に設置した場合（ボトムヒートモード）で最も最大熱輸送量が向上することが知られている。逆に蒸発部を上にした場合（トップヒートモード）では、凝縮部の作動液は重力に逆らい蒸発部へ移動する必要があるため、ウィックの毛細管力のみにより作動液の移動を行っている μHP では性能低下は免れない。

今回は μHP の水平設置（ 0° ）に対して、 $\pm 30^{\circ}$ で傾斜させた実験を行った。 μHP の傾斜角はボトムヒートモードを正とし、トップヒートモードを負とした。

図7に傾斜角による最大熱輸送量の影響を示す。

高性能タイプ、従来タイプともにボトムヒートモードで性能が向上している。トップヒートモードでは従来タイプが傾斜角が -5° 以下で急激に最大熱輸送量が低下しているのに対して高性能タイプでは低下はなだらかであった。このために従来品と高性能品の最大熱輸送量差は $-10\sim -20^{\circ}$ 度付近で最も大きくなっている。高性能タイプがトップヒートモードで顕著に改善されていることから内面溝の改善による毛細管力の向上が最大熱輸送量向上に大きく作用していることがわかる。

4.1.5 扁平特性

ノートブックPCなどの小型化のニーズにともない μHP は一部あるいは全体が扁平加工された状態で使用されることが多い。このために $\phi 4\text{ mm}$ μHP 高性能タイプについて扁平加工時の熱特性を測定した。扁平率は以下のように算出した。

$$\text{扁平率 (\%)} = \frac{\text{扁平加工前の管外径} - \text{扁平加工後の扁平高さ}}{\text{扁平加工前の管外径}} \times 100$$

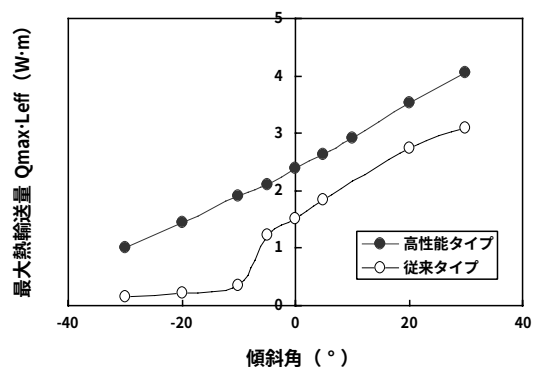


図7 傾斜角と最大熱輸送量
Maximum heat transfer rate vs. tilt angle

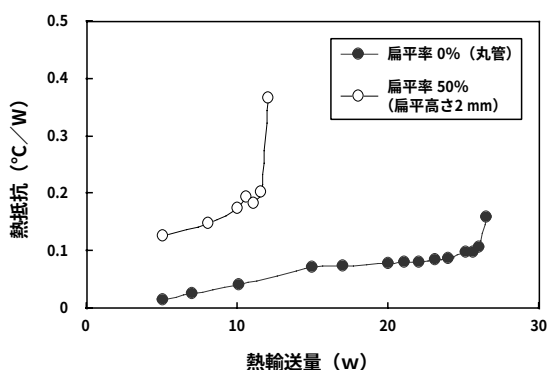


図8 扁平時の熱抵抗
Thermal resistance of flat micro heat-pipes

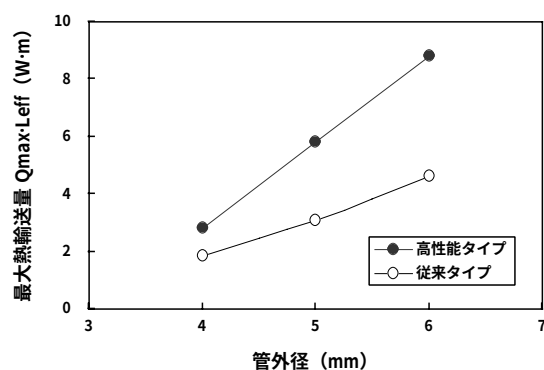


図10 管外径と最大熱輸送量
Maximum heat transfer rate vs. outer diameter

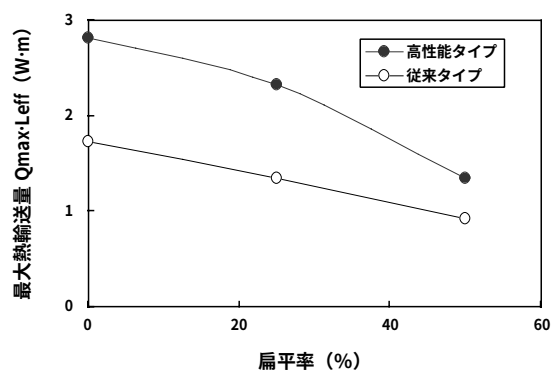


図9 扁平率と最大熱輸送量
Maximum heat transfer rate vs. flatness of micro heat-pipes

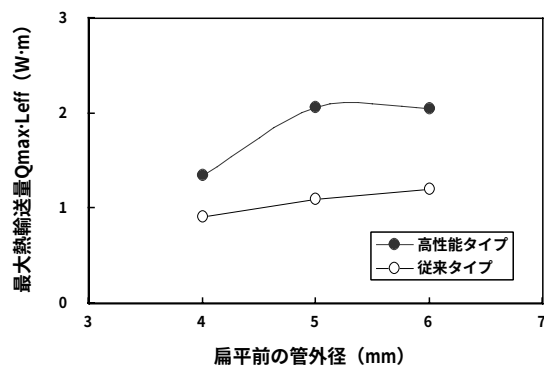


図11 扁平高さ2 mm時の最大熱輸送量
Maximum heat transfer rate of flat micro heat-pipes 2 mm in height

図8に扁平時の熱抵抗，図9に扁平時の最大熱輸送量を示す。

熱抵抗は扁平にすることにより増加し，熱性能を阻害する傾向にある。また扁平率が大きくなるほど，最大熱輸送量も低下する傾向にある。扁平時にも高性能タイプは従来タイプよりも最大熱輸送量が高いが，扁平率に対する性能低下は高性能タイプのほうが大きい。

4.2 管外径の影響

上述のようにφ4 mm μHPにおいて高性能タイプは従来タイプに比べ，最大熱輸送量が向上するなど，熱特性が飛躍的に改善されることがわかった。このためにφ5 mm及びφ6 mm μHPについても同様に内面溝を改善した高性能タイプを製作し，熱特性を調べた。

図10にφ4～6 mm μHP高性能タイプの最大熱輸送量を示す。

管外径の影響は大きく，管外径が大きいほど最大熱輸送量は向上している。特に高性能タイプでは最大熱輸送量向上の効果は大きかった。

図11に高さ2 mmに扁平したφ4～6 mm μHP高性能タイプの最大熱輸送量を示す。扁平前は外径が大きくなるほど最大熱輸送量は飛躍的に向上したが，扁平高さ2 mmでは扁平前外径が大きいほど扁平率が大きくなるために，扁平前からの最大熱輸送量低下率も大きくなり，扁平前外径の影響は小さくなる傾向にある。

5. まとめ

電子機器の高速化，高性能化に伴う発熱量の増大に対して当社では‘95年よりマイクロヒートパイプを組み込んだヒートシンクを開発してきた。本報では内面溝の最適化によりマイクロヒートパイプ単体の熱特性の改善をすすめた。φ4～6 mmマイクロヒートパイプの高性能タイプにおいて，従来タイプに比べ最大熱輸送量等の熱特性を飛躍的に向上させることができた。今後更なる電子機器の発熱量増大に対して，これらの改善をヒートシンクとして有効に活用することができるものと考えられる。

参考文献

- 1) 大海勝，福本智郎他：古河電工時報，第108号（2001）