

アルミ製平面型ヒートパイプの開発

Development of an Aluminum Flat Heat Pipe

志村隆広*
Takahiro Shimura

榎本久男*
Hisao Enomoto

尚 仁*
Hitoshi Sho

中村芳雄*
Yoshio Nakamura

概要 近年、平面型ヒートパイプが放熱・冷却用部材として注目されているが、電子機器内部の高密度実装化がすすむにつれ、より薄型のヒートパイプが求められつつある。当社ではアルミニウム押出しにより形成される多穴管をコンテナとした、薄型でかつ自在に曲げられる平面型ヒートパイプを開発した。このヒートパイプは各穴にワイヤーを挿入することでウィック構造を容易に実現したもので、従来の平面型ヒートパイプにはない特長を有している。

このような特長をもつヒートパイプを光通信用架空密閉筐体（NTT 殿向け光加入者終端装置用の筐体）に適用し、熱性能評価及び信頼性評価を行ったところ、良好な性能が確認できたので報告する。

1. はじめに

電子部品の高性能化、及び、それらの実装の高密度化にともない電子部品の放熱・冷却は重要な問題となっている。熱の輸送には、伝導、対流、輻射の3形態があるが、伝導による熱輸送を効果的に行う手段として、ヒートパイプは注目されてきた。特に、ファンを用いた強制対流による冷却が使えない場合は、ヒートパイプは不可欠とも言える。

ヒートパイプには形状の観点から筒型^{1),2)}、平面型の2通りが知られており、CPUや、IGBTの冷却などの用途で実用化されている。特に、平面型のヒートパイプは発熱体とヒートパイプの間の熱抵抗を低減させるという観点から注目されていて、当社でもパワープレート³⁾が開発・実用化されてきた。パワープレートでは、1枚の平板と、プレスにより作動液の流路をもうけられたもう1枚のアルミ板とをろう付けによりはり合わせることでコンテナを形成するが、その製法では薄型化には限界がある。その一方で、高密度実装化が進むにつれて、より薄く自在に曲げられる平面型ヒートパイプが必要になってきている。また、パワープレートでは毛細管力により作動液を環流させるためのウィック構造を設けることが困難であり、ヒートパイプとして有効に作動させるには設置の仕方に大きな制約があった。

以上のような問題点を改善すべく、アルミニウムの押出し多穴管をコンテナに用いた平面型ヒートパイプの開発を行った。本報告では、アルミニウムの押出し多穴管を用いた平面型ヒートパイプについて、実用例をもとにした熱性能や信頼性の評価結果を述べる。

2. 構造と特長

図1に今回用いた多穴管の断面図を示す。多穴管の幅は60 mmで24個のトンネル状の穴があいている。厚さは1.9 mmと薄型である。押出しにより成形されるため、コンテナの長さは自由に設計できる。また、図2に示すように肉厚は0.5 mm、穴部の高さは0.9 mmであるが、曲げに対しては各穴を仕切る隔壁によって曲げに対する強度が保たれ、10R程度の曲げで穴が閉塞することはない。したがって、性能を損なうことなく自在に曲げられるヒートパイプが可能になる。

一方、図2に示すように、トンネル状の穴にワイヤーを挿入することにより、ワイヤーと多穴管内面との間に毛細管力が生じ、ウィック構造を形成することができる。ウィックの必要性については後で詳しく述べる。

また、多穴管の各穴は図3に示すように、両端部で互いに連通している。これにより各穴間で作動液が自由に循環することができるようになってきている。端部は溶接によりふさがれ、内部には作動液が封入される。今回は作動液としてHCFC - 123又はペンタンを用いたものを作製した。

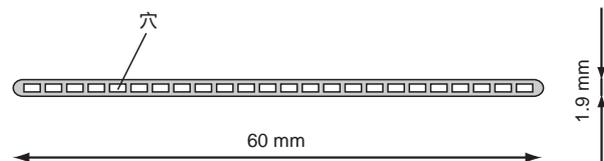


図1 多穴管の断面図
Cross section of a multi-channelled flat tube

* 環境・エネルギー研究所 部品・実装技術開発部

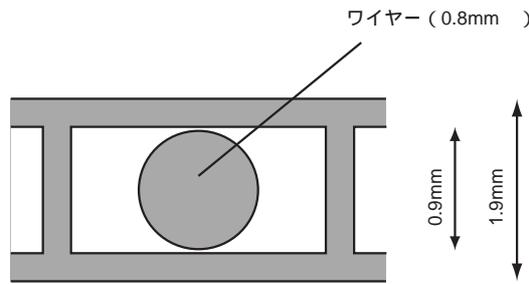


図2 ワイヤー挿入後の多穴管の断面
Cross section of the wire inserted channel

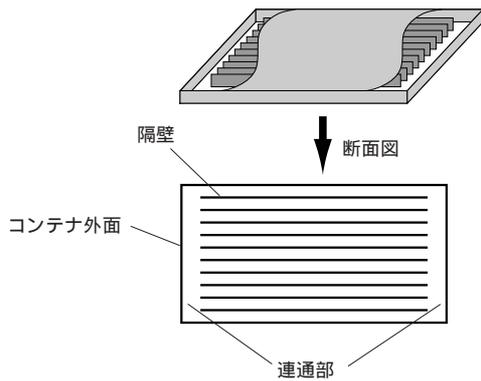


図3 連通部の模式図
Schematic picture showing connection of each channel

3. 熱性能評価結果

アルミニウム製多穴管を用いた平面型ヒートパイプ（以下、単にヒートパイプ = HP と略す）は NTT 殿向け光加入者終端装置（システム）に用いる架空筐体の放熱対策として開発され、初めて実用化された。ここではアルミニウム製多穴管を用いた平面型ヒートパイプの代表的な熱性能を示すため、システム用のヒートパイプ（以下、 π HP と略す）の熱性能評価結果を中心に報告する。

光加入者終端装置とは光信号を電気信号に変換する通信用の装置のことで、基地局から終端装置までを光ケーブルで配線し、終端装置から各家庭（システムでは 10 回線）にはメタルケーブルで信号が分配される。このような装置は fiber to the home の前段階として NTT 殿で導入が進められている。装置は基本的に屋外に設置されることから、密閉筐体となっており、内部の IC からの効率的な放熱が課題となっていた。 π HP の外観を写真 1 に、模式図を図 4 に示す。 π HP は曲げられた 5 枚の HP を組み合わせたもので、凝縮部（放熱部）は 5 枚の HP が熱伝導性の接着剤や両面テープではり合わされている。冷却対象



写真 1 π HP の外観
Appearance of π HP

となる IC は図 4 のように層状に配置され、輻射又は自然対流により（非接触で）各 HP に熱が伝えられる。その際の熱量は HP 1 枚あたり 2 ~ 4 W である。また、 π HP は通常図 4 に示すような姿勢で使われるが、場合によってはトップヒートモード側に（図 4 で時計回りに）10 度程度まで傾けて使用される場合もある。そこで各 HP 単体について、蒸発部 - 凝縮部温度差 ΔT の傾き依存性を測定することで熱性能評価を行った。

まず、ワイヤーウィックの有無による性能の違いについて述べる。測定は図 5 に示すように、曲げられた平面型ヒートパイプにおいて、図 5 左側の配置から蒸発部が高い位置になる向き（トップヒートモード）に θ 度傾けた場合の蒸発部と凝縮部の温度差 ΔT (2 W 入熱時) を測定することで評価を行った。図 6 に結果を示すが、ウィックを入れた場合と入れない場合では特にトップヒートモードで蒸発部 - 凝縮部間の温度差に顕著な差がでることがわかった。また、穴部の高さ 0.9 mm に近い径のワイヤーを使用したほうがより効果があることがわかった。

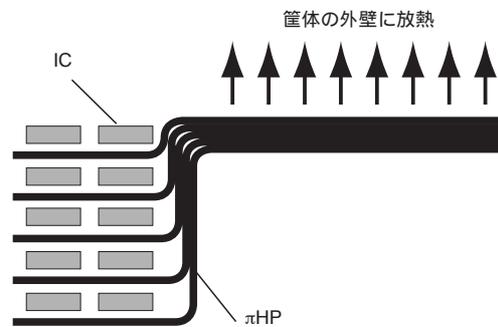


図4 π HP の概略図
Schematic of π HP

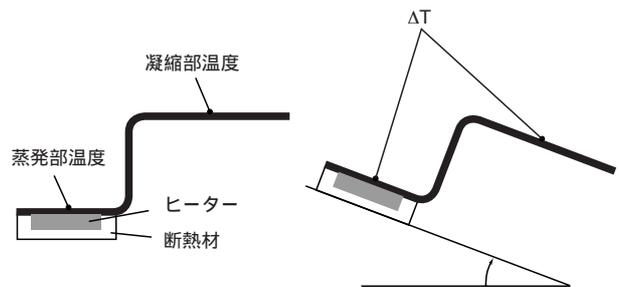


図5 傾き特性測定概略図
Setup for measurement of inclination-angle dependence

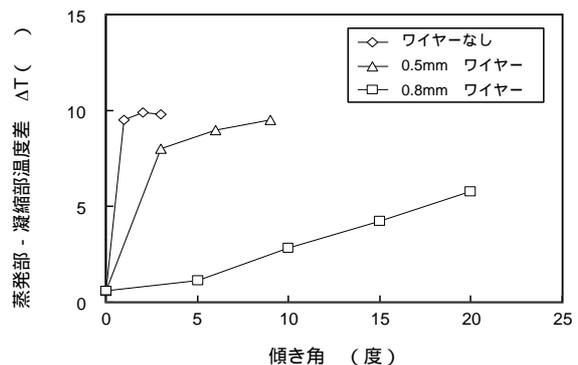


図6 ワイヤーウィックの効果
Effect of the wire wick to inclination-angle dependence

つぎに、 π HPの各HP単体についての評価結果について述べる。測定の概略図は図3に示すものと同じであり、各HPの長さ方向の寸法は図7及び表1に示すとおりで、幅は60 mm、厚さは1.9 mmで、各タイプで主に段差Hが異なっている。また、湾曲部は10Rで曲げられている。24穴の多穴管の各穴に（厳密には外側の2穴を除いて）0.8 mm のワイヤーが1本ずつ挿入され、作動液としてHCFC - 123 が内容積の40% ~ 50%の量だけ封入されている。温度測定は図7に示す蒸発部、凝縮部の中央部に取り付けた熱電対で行った。

図8にタイプA, C, Eでの傾き特性（4 W入熱時）を示す。すべてのタイプで10度の傾き角のときの熱抵抗が2.5 /W以下であり、 π HPとしての性能を満足している。しかし、タイプAのように段差の小さいHPでは θ が大きくなるにつれ、 ΔT が大きくなっている。このことは今回の測定条件の範囲内では蒸発部の全面に十分に作動液を環流させるほどはウィックの能力が高くないことを意味し、より性能の優れたHPの開発にあたっての課題である。図8にペンタンでの測定結果も合わせて示してあるが、HCFC - 123よりも大幅に改善されることがわ

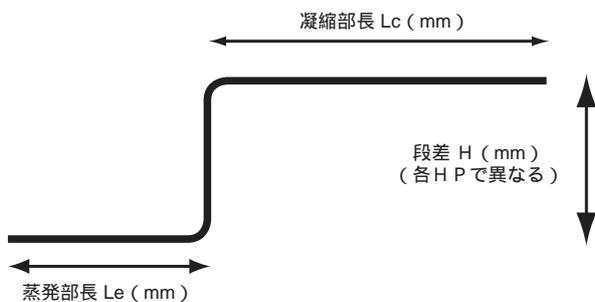


図7 HP単体の模式図
Schematic representation of single HP

表1 各HPの寸法一覧
Dimensions of each type of HP

タイプ	Le (mm)	Lc (mm)	H (mm)
A	128	211	18
B	129	209	36
C	131	207	54
D	133	205	72
E	135	203	91

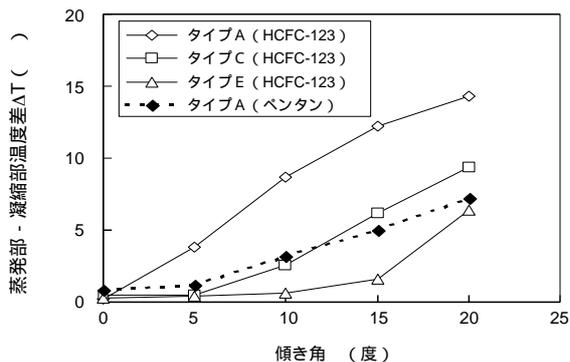


図8 各HPでの傾き特性
Inclination-angle dependence of each type of HP

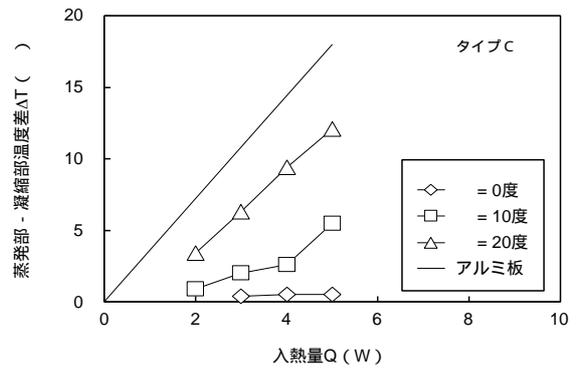


図9 HPとアルミ板の性能比較
Comparison of thermal performance between HP and aluminum plate

かる。ペンタンは地球温暖化係数が小さく、オゾン破壊係数がゼロであることから、フロンで言われているような地球環境上の問題がないのも利点である。ただし、ペンタンは可燃性であり、取扱いに注意が必要である。

つぎに、金属板、例えばアルミ板と比較した場合の優位性について調べた。入熱量及び傾き角を変えて測定したタイプCにおける測定結果と同サイズのアルミ板での値を図9に示す。まず、 $\theta = 0$ ではHPでは5 W入熱時で ΔT は1以下であり、非常に優れた熱性能を示していることがわかる。5 W入熱時で $\Delta T \sim 20$ となるアルミ板と比べれば、性能の差は歴然である。また、トップヒートモード側に傾けると、HPの熱性能は低下するが、5 W程度の熱量であれば、20度程度傾けても依然としてアルミ板よりも優れた熱性能を示していることがわかる。

4. 信頼性評価結果

つぎに、作動液としてHCFC - 123を使用した場合の信頼性を評価した結果について述べる。サンプルとして、タイプEの直管を用いた。測定の模式図を図10に示す。評価は垂直に立てられたHPの下端をヒーターで加熱し、所定の温度で連続作動させた場合の蒸発部 - 凝縮部温度差 ΔT の経時変化を測定することで行った。ここで、作動液の蒸気圧が一定であれば、 ΔT はHP内の非凝縮性ガス量にほぼ比例して大きくなるので、 ΔT の経時変化を見ることで非凝縮性ガス量の経時変化を定性的に見積もることが可能になる。作動液の蒸気圧を一定にする

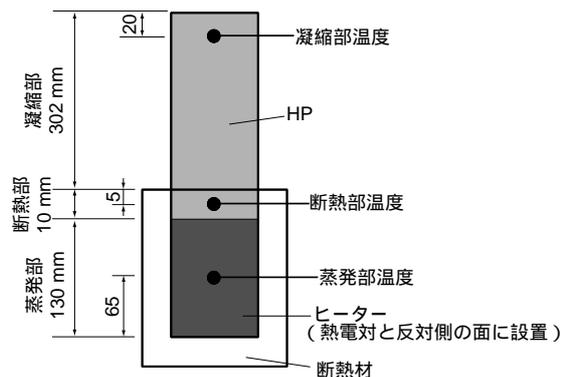


図10 信頼性評価試験概略図
Schematic illustration of reliability test

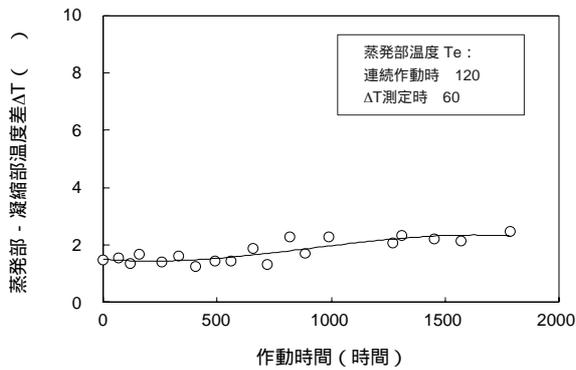


図 11 信頼性評価試験結果
Reliability test results of π HP

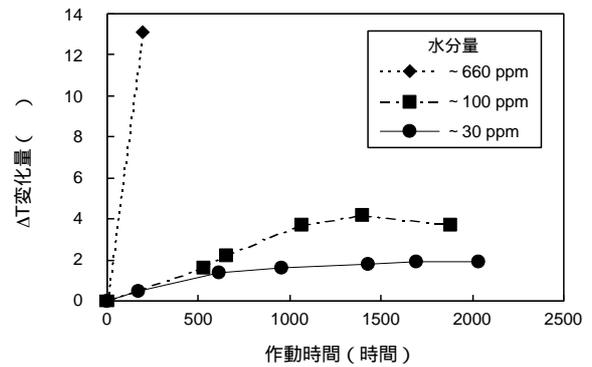


図 12 ΔT のHP内含有水分量依存性
Dependence of ΔT on the concentration of water in HCFC-123

には、蒸発部の温度を一定にする必要があるが、今回の評価では経時変化中は加速試験のため蒸発部温度を 120 とし、 ΔT の測定時のみ蒸発部温度を 60（実用時の推定温度）とした。

図 11 に測定結果を示す。なお、が測定値、実線は傾向を見やすくするためのガイドラインを示したものである。この結果から、2000 時間以内でゆっくりと非凝縮性ガスが HP 内で発生し、一定値で飽和することがわかる。これは HP 内に（特に作動液内に溶解している）不純物として含まれる水分とコンテナ材などのアルミニウムの反応により水素ガスが発生し、反応の終了とともに ΔT の上昇が飽和したためと考えられる。そこで、含有水分量を変えて同様の評価を行ったところ、図 12 のような結果となり、含有水分量が長期使用後の ΔT を大きく左右することが確認された。なお、図 12 の縦軸は製造直後の ΔT からの増分であり、作動時間内に HP 内部で発生した水素ガスの量に対応している。以上のことから、作動液内部の水分量が図 11 の評価で用いた HP と同程度であることが確認できれば、製造直後の ΔT と飽和後の ΔT との差は 2 以内と見なせることがわかる。当社では HCFC - 123 内の水分量を厳密に管理しているが、水分量が規定値以下で安定していること、すなわち、長期信頼性に問題がないことを確認している。

5. おわりに

押し出し多穴管をコンテナに用いたアルミ製の平面型ヒートパイプを開発した。その特長としては

- ・薄型で軽量である。
- ・自在に曲げることができる。
- ・各穴にワイヤーを挿入することでウィック構造を組み込める。

といったことがあげられる。

また、NTT 殿向け光加入者終端装置の放熱対策として実用化されている HP について、熱性能や信頼性について評価した結果、

- ・水平作動時はアルミ板と比べて、極めて優れた熱性能を示す。
- ・熱輸送量が 5 W 以下であれば、水平作動状態からトップヒートモード側に 20 度まで傾けてもアルミ板より優れた熱性能を示す。
- ・作動液内の水分量を管理することにより、長期信頼性が保証できる。

といったことが確認された。

今後は、環境問題上の観点（HCFC - 123 は地球温暖化係数は代替フロンの中では小さいが、オゾン破壊係数がわずかながらあるのが問題である）から、より環境にやさしい作動液の開発が主な課題である。また、高性能化の観点からも作動液の開発は課題となる。パソコン用など、小型で封入量が少ないものについてはペンタンなど可燃性の作動液が候補となりうるが、不燃性の作動液が望ましいことは言うまでもない。

また、電子機器の小型化、高密度実装化は今後、ますます進むと思われるが、それに対応するには、より薄い平面型ヒートパイプの開発も課題である。

参考文献

- 1) 村瀬孝志，：古河電工時報，91（1992），88
- 2) 北野谷惇，他：古河電工時報，97（1995），64
- 3) 山本雅章，他：古河電工時報，101（1998），16