

サーモサイホン型ヒートパイプの冷却特性

日大生産工(院) ○薄井 龍右 日大生産工 松島 均

1. 緒言

近年ではコンピュータの高速, 高性能化や, パワー素子の高電力化にともない, CPUなどの発熱素子における発熱量が増大し, その熱対策が焦眉の急になってきている. 特に電子機器は筐体容積が限定されるので, 熱輸送技術の進歩が一つの課題になっている¹⁾. そこで, 本研究では少ない温度差で離れた場所への熱輸送が可能なヒートパイプ (以後 HP と表記する) に着目し, 熱輸送量の能力の向上により, この問題を解決しようと考えた.

本研究では, 最も機構が単純なサーモサイホン型 HP について, その伝熱性能の更なる向上の可能性について検討を行った. サーモサイホン型 HP の構造は, 密閉容器と作動流体のみで, 非常に簡単な作りである. この構造上, 熱交換の部分である蒸発部や凝縮部, 特に凝縮部の面積の増大, または作動流体の相変化状態の改善が HP の熱抵抗の低減に大きく関わると考えられる. そこで, 作動流体に界面活性剤を添加することや, 凝縮部の形状変化による HP の冷却性能向上の可能性について実験的に検討を行った.

2. 実験装置及び実験方法

2.1 実験装置

本研究の実験装置の概要を Fig. 1 に示す. 実験装置は主に HP 本体と計測装置, 真空ボ

ンプ, 冷却装置からなる. また, HP 本体は蒸発部, 断熱部, 凝縮部の3つで構成される.

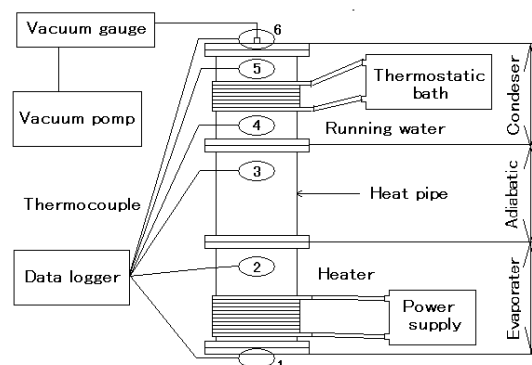


Fig. 1 Experimental apparatus

2.2 供試ヒートパイプ

今回製作した HP 本体は, 外径 40mm, 内径 34mm の円筒型である. 全長は凝縮部, Fig. 2 の TypeA の部材を取り付けた場合 600mm, TypeB の部材を取り付けた場合 450mm となる. また, 上部の凝縮部及び, 下部の蒸発部には, 熱伝導が良い銅を用いている. 断熱部である中央のパイプには, 110°Cまで耐えることができるポリカーボネートを用いた. これにより, 純水の沸点温度でも軟化せず, 内部を可視化できるようにした. 凝縮部では低温恒温水槽からの冷水を, 凝縮部に巻いた銅管内に流すことで冷却している. また, Fig. 2 に示すように, HP の凝縮部に二つタイプを用意した. Fig. 2(a) の形状を TypeA とし, 単純な筒状の形状をしているサーモサイホン型 HP の基本的な冷却構造である.

それに対し, Fig. 2(b) をタイプ B とし, 凝縮部を小さくしながらも、内部に螺旋状の冷却管を通すことで有効な伝熱面積の増大を可能にした構造である. 蒸発部は下部に巻いたフレキシヒーターを用いることで加熱し, ヒーターは熱伝導性の高い伝熱セメントを用いて固定している. それぞれのパイプは O リングを用いて, 気密を保っている.



(a) TypeA

(b) TypeB

Fig. 2 Condenser section

2.3 作動流体の作成方法

作動流体は, 純水 1000ml を量り取り, 電子天秤で混入させる界面活性剤であるミリスチン酸カリウムを 0.01g 量ったのち, 純水に界面活性剤を加え, 攪拌機を使って 1 時間程度脱気して作成した. 同様の操作を行い界面活性剤濃度 0.001~0.003wt% の作動流体を作成した.

2.4 封入方法

作成した作動流体を, 約 120ml 程度量り取る. 真空ポンプを用いることで HP 内の減圧することで, 下部から作動流体を約 100ml 吸い込み, 再度の減圧を行った.

2.5 測定方法

熱電対を蒸発部に 2 点, 凝縮部に 3 点, 断熱部にも 1 点貼り付け, データロガーを使用し 30 秒ごとの温度変化を記録した. ま

た凝縮部に低温恒温水槽を用いて 25, 30, 35, 40℃ の各温度に固定し, ヒーターには 500W 加え, 蒸発部の温度が定常化した時の温度を測定した.

2.6 実験結果及び考察

測定結果は次式で定義される熱抵抗により評価した. ここで, R : 熱抵抗 [℃/W], ΔT : 蒸発部 2 点 (Fig. 1 の①, ②) の平均温度と凝縮部 3 点 (Fig. 1 の④, ⑤, ⑥) の平均温度 [℃] との差である. また, Q : 入力 [W] である.

$$R_{total} = \Delta T / Q [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad \cdot \cdot \quad (1)$$

凝縮部と蒸発部の熱抵抗を各々評価する. 凝縮部の ΔT は上記の凝縮部 3 点の平均温度 [℃] と断熱部 (Fig. 1 の③) との温度差とし, 蒸発部も同様に ΔT : 蒸発部 2 点の平均温度と断熱部③との差として, 熱抵抗を算出する.

3 実験結果及び考察

3.1 凝縮部の違いによる熱抵抗の変化

作動流体に純水を用いて, Fig. 2(a), (b) で示した凝縮部構造の違いによる熱抵抗の変化を Table. 1 に, 凝縮部の温度分布を Table. 2 に示す. Table. 1 より TypeB の凝縮部構造の方がすべての部分で熱抵抗が低くなっていることが分かる. これは, 螺旋状の冷却管を用いることで, 凸面が増え凝縮部の液膜厚さを減少させられたことが考えられる. また, 螺旋形状のため HP 上部の待機蒸気を効率的に冷却できたのではないかと考えられる. さらに, Table. 2 より TypeA では熱電対⑥と④で大きな温度差が発生しており, 凝縮部上部が有効に機能していないことが分かる. 一方 TypeB では螺旋構造の

導入により効率的に冷却面積を増やすことができていることが分かる。

この結果を元に 3.2 以降ではタイプ B を用いて実験を進めることとした。

Table.1 Change of thermal resistance with shape of condenser types

Thermal resistance [K/W]	Type A	TypeB
Condenser	0.01025	0.00996
Evaporater	0.00821	0.00652
Total	0.01846	0.01648

Table.2 Temperature distribution in condenser

Temp.[°C]	T③	T④	ΔT
Type A	37.9	46.5	8.6
Type B	40.0	43.3	3.3

3.2 界面活性剤添加時の熱抵抗の変化

Fig. 3 に純水と界面活性材の各濃度と熱抵抗の関係を示す。Fig. 3 は作動流体の封入率を 45%、凝縮側の冷却温度を 30℃にした場合である。ここで、濃度 0%は純水の状態を示す。Fig. 3 より、界面活性剤の濃度が增大するに伴って熱抵抗が減少し 0.002wt%で極小値をとり、その後は逆に増大していることがわかる。濃度 0.002wt%における純水からの熱抵抗の低減率は約 60%である。これは、界面活性剤を添加したことで表面張力が減少した影響により、加熱部での沸騰が促進されたためであると考えられる。また、界面活性剤の影響により、凝縮部では膜凝縮が液滴凝縮に変化した可能性も考えられる²⁾。Fig. 4 に、加熱時の純水と界面活性剤入り作動流体における HP 内部での流動状況を示す。Fig. 4 より、界面活性剤の濃度の増加に伴って沸騰状態が活発になるとともに、気泡の発生量が増加し 0.003wt%では内部が全て気泡で満たされていること

がわかる。0.003wt%では 0.001wt%、0.002wt%に比べ熱抵抗が増大したが、これは Fig. 4 に示すように HP 内部が気泡で満たされてしまったことにより、凝縮部でのガスが、気泡により阻害されるとともに、凝縮液が蒸発部に戻りにくくなってしまったことが原因であると考えられる。

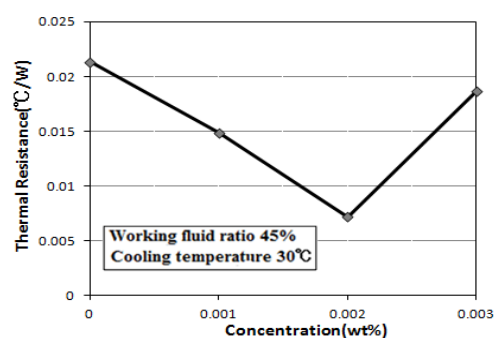


Fig.3 Change of thermal resistance with surfactant concentration

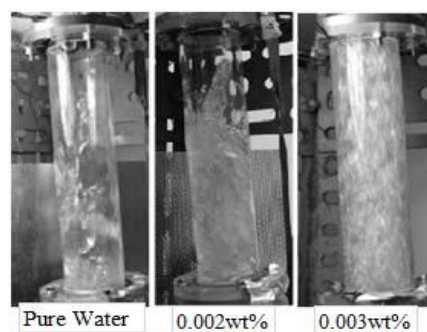


Fig.4 Flow inside of the heat pipe (vertical)

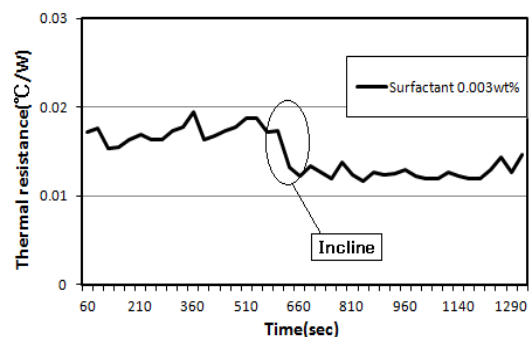


Fig.5 Time history of thermal resistance

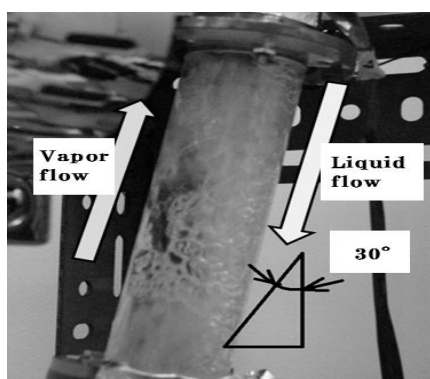


Fig.6 Flow inside of the heat pipe with surfactant concentration of 0.003wt% (inclined at 30°)

3.3 傾斜時の熱抵抗の変化

HP を傾斜させた場合, 通常より伝熱性能が向上することが報告されている³⁾. 本研究では界面活性剤を添加した際の傾斜の影響について検討した.

Fig. 5 に, 界面活性剤 0.003wt%において, 計測の途中で HP を 30° 傾けたときの時間と熱抵抗の関係を示す. 今回測定した封入率 45%, 界面活性剤濃度 0.003wt%の条件では, 約 660 秒付近で 30° の傾斜を設けることで, 熱抵抗が 20%程度減少していることがわかる. 純水でも同様な実験を試みたが, 界面活性剤の場合ほどは熱抵抗の変化は大きくなかった.

Fig. 6 に傾斜時の作動流体の流動の様子を示す. Fig. 6 では, Fig. 4 と違い蒸気と凝縮液の流路が明確に分離され, 循環が非常に良くなっていることがわかる. また, これに伴い発生した気泡が, 一緒に循環する流れが起きており, 蒸気だけでなく液膜も伴っている様子が確認された. そのため, 蒸気と重力による液滴の落下のみで作動する純水に対し, 界面活性剤 0.003wt%の作動流体では気泡を伴う流体循環が付加されており,

熱抵抗を下げたのではないかと考えられる. そのため, ループ型 HP のような特性を持つサーモサイホン型 HP 作成ができる可能性があるものと考えられる.

4. 結言

サーモサイホン型 HP において, 純水に界面活性剤を添加した作動流体を用いた場合における伝熱性能に関して, 実験的に検討を行った. その結果, 次のような結論が得られた.

- (1) 内部に螺旋状の冷却管を通す構造により, 熱抵抗が約 10%減少した(純水の場合).
- (2) 界面活性剤(ミリスチン酸カリウム)を純水に 0.002wt%添加することで, 純水に比べ熱抵抗が約 60%低減した.
- (3) 界面活性剤の添加量が多い場合には, 気泡が大量に発生するため, 界面活性剤には適正な濃度が存在する.
- (4) 界面活性剤を 0.003%添加した場合は, 傾斜を約 30° 設けることで熱抵抗が約 20%低減した. この場合, 気泡が循環しているため, ループ型のような特性を持つ HP を作成できる可能性がある.

参考文献

- 1) 豊田浩之他 3 名, CPU 冷却用熱サイフンの傾斜に関する研究, 第 48 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2011-6), 425.
- 2) 相原利雄 伝熱工学 (2009-2 第 14 版)
- 3) 佐藤翔太他 2 名, ループ型ヒートパイプ熱輸送特性の実験, 第 48 回伝熱シンポジウム講演論文集, (2011-6), 419.