

熱サイフォン型ヒートパイプの傾斜伝熱特性

— 作動流体及び形状の影響 —

日大生産工(院) ○佐藤 京介 日大生産工 松島 均

1. 緒言

近年の電子機器における集積回路は高密度化し、単位面積当たりの発熱量が増加している。そこで発熱体から離れた位置まで熱を輸送し、十分な大きさのヒートシンクにより冷却する必要が生じている。本研究では、効率的に熱を輸送する手段として熱サイフォン型ヒートパイプに注目した。⁽¹⁾ 熱サイフォン型ヒートパイプは重力によって動作するため、装置の姿勢や作動流体の量の影響を強く受ける。通常、熱サイフォン型ヒートパイプは垂直に立てて使用されることが多いが、ヒートパイプを傾斜させた場合、ヒートパイプの伝熱性能の変化が見込まれる。

本研究では熱サイフォン型ヒートパイプを対象に、ヒートパイプの内径の違いや傾斜角度、封入率、熱輸送量が伝熱性能に及ぼす影響について検討を行うとともに動作時の作動流体の挙動の変化についても観測を行う。前報⁽²⁾では、内径 34mm のヒートパイプにおいて作動流体に純水、オレイン酸カリウム水溶液、ミリスチン酸ナトリウム水溶液を用いた際の傾斜伝熱特性について検討を行い、熱輸送量 300W 程度、封入率 20% の条件において、ヒートパイプを傾ける事により、垂直時と比較し熱抵抗が減少する事が分かった。本報では熱輸送量 100W, 200W, 300W 封入率 10% という条件での傾斜の影響を調べた。なお、実験では、作動流体に純水及びオレイン酸カリウム水溶液を使用した。

2. 実験

2.1 実験装置

Fig.1 に本実験装置の概略図を示す。本実験では、内径 34mm と内径 22mm の 2 種類の内

径の違うヒートパイプを製作し実験を行った。蒸発部、断熱部(観測部)の長さは各 150mm であり、凝縮部の長さは 300mm である。蒸発部、断熱部、凝縮部の間は O リングにより気密が保たれている。蒸発部と凝縮部は銅でできており、断熱部はポリカーボネートを用いており内部の観察が可能である。ヒートパイプは架台に設置されており任意の角度で固定できるようになっている。加熱部にはフレキシブルヒータを巻きつけ、電圧の調整により任意の加熱量を与える。凝縮部は、その外壁に巻きつけた銅管に恒温水槽からの冷却水を流すことで冷却する。

また、熱電対を Fig.1 の①から⑥で示すヒートパイプの 6 箇所 18 点(蒸発部 4 点、断熱部 4 点、凝縮部 2 箇所 8 点、冷却水入口、出口各 1 点)に取り付け、各部の温度を測定する。

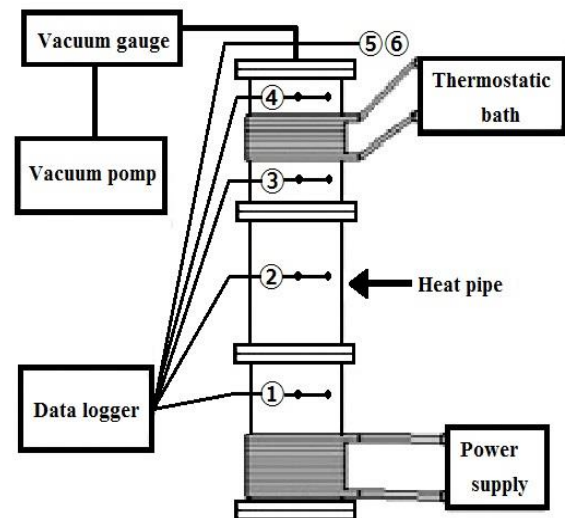


Fig.1 Experimental equipment

Heat Transfer Characteristics of Thermosiphon Type Heat Pipe
(Effect of Inclination and Pipe Shape)

Kyousuke SATO, and Hitoshi MATHUSHIMA

2.2 実験方法

純水ないし添加後十分に攪拌を行ったオレイン酸カリウム水溶液を、真空ポンプにより減圧したヒートパイプ内に注入したのち、再び真空ポンプによりゲージ圧 -0.1MPa まで減圧する。凝縮部に巻きつけた銅管に恒温水槽から 30°C の冷却水を流した。熱輸送量は冷却水温度(冷却水入口,出口)の差分と冷却水流量から算出し、ヒーターへの入力を調整することで制御した。各部の温度はデータロガーにより1秒毎に記録した。伝熱性能の評価には次式で定義される熱抵抗を用いた。

$$R_{total} = \Delta T / Q \quad (1)$$

ここで、 R_{total} : 熱抵抗 $[\text{C}/\text{W}]$, ΔT : 蒸発部4点の平均温度と凝縮部8点の平均温度 $[\text{C}]$ との差, Q : 熱輸送量 $[\text{W}]$ である。熱輸送量 Q はヒートリークの影響を排除するため次式で示す冷却水での交換熱量から算出した。

$$Q = GC\Delta T \quad (2)$$

ここで、 G : 質量流量 $[\text{kg}/\text{s}]$, C : 比熱 $[\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}]$, ΔT : 冷却水出入口の温度差 $[\text{C}]$ である。

本実験では、作動流体の種類と封入率、ヒートパイプの内径の違い、傾斜角度をそれぞれ変化させた場合の性能の変化について比較を行った。実験は冷却水温度 30°C , 封入率10%, 熱輸送量が100W, 200W, 300Wにおいて行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 純水を用いた場合

作動流体に純水を用い実験を行った結果をFig.2に示す。傾斜角度を0度(垂直)から75度まで15度おきに変化させた。まず、ヒートパイプの内径の違いに注目すると、熱輸送量100W, 200W, 300Wいずれの条件でも内径22mmのヒートパイプの方が内径34mmのヒートパイプより熱抵抗が低いことが分かる。目視によると内径22mmのヒートパイプでは断続的に激しく沸騰し凝縮部にまで作動流体が達することが観察されたのに対し、内径34mmのヒートパイプでは凝縮部まで作動流体が到達するような沸騰とならなかった。本研究では、熱輸送量一定で実験を行っているため内径34mmと内径22mmのヒートパイプでは熱流束が1.5倍ほど異なっている。内径34mmの熱

輸送量200Wと内径22mmの熱輸送量100Wが熱流束として近い条件となるが、その場合でも内径22mmの方が内径34mmと比較して熱抵抗が低かった。また、熱輸送量による影響については次のような影響が見られた。内径22mmでは熱輸送量を増加させるとわずかに熱抵抗が増加しているが、内径34mmでは熱輸送量を増加させると熱抵抗が大きく減少した。内径34mmのヒートパイプでは熱輸送量を300Wよりも増加させた場合、熱抵抗がさらに低下すると考えられる。今回の実験で行った熱輸送量300Wの場合、内径34mmのヒートパイプでは熱流束の値が十分高くなく、ヒートパイプとして良好に機能していなかった可能性が考えられる。

熱抵抗の傾斜角度依存性については次のような傾向が見られる。熱抵抗は傾きが0度(垂直)の時に最も高く、傾斜させると熱抵抗が内径34mmでは最大20%, 内径22mmでは最大70%程度減少する。また、傾斜角度30度から75度の間では熱抵抗の変化はあまり見られない。熱輸送量100Wでは傾斜させると熱抵抗が大きく低下するが、熱輸送量200W, 300Wではゆるやかに熱抵抗が低下した。

以上のように熱輸送量や封入率、ヒートパイプの内径が異なる場合でも福山ら^④の実験結果と同様にヒートパイプを傾斜させて動作させることにより熱抵抗が低くなることが分かった。

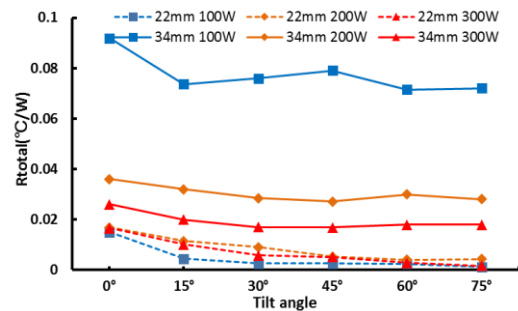


Fig.2 Thermal resistance using pure water.

3.2 界面活性剤水溶液(オレイン酸カリウム30ppm)を用いた場合

作動流体に界面活性剤水溶液(オレイン酸カリウム30ppm)を用い実験を行った結果をFig.3に示す。傾斜角度を0度(垂直)から75度まで15度おきに変化させた。純水での実験結果と同様にオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)を用いた場合でも内径22mmのヒートパイプが

内径 34mm のヒートパイプより熱抵抗が低いという結果となった。これは作動流体として純水を用いた場合と同様の原因によるものであると考えられる。

内径 22mm のヒートパイプと内径 34mm のヒートパイプそれぞれにおいて作動流体の違いによる熱抵抗の違いを見ると、内径 22mm のヒートパイプでは傾斜角度によらず作動流体にオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)を用いた場合の方が純水の場合より熱抵抗が高いことが分かる。目視によると界面活性剤を添加することで表面張力が低下し蒸発部の沸騰が連続的になったため、前述のような凝縮部に達するような激しい沸騰が起こらなくなっていた。このことが純水と比較し低い伝熱性能となったことに関係している可能性が考えられる。一方、内径 34mm のヒートパイプでは作動流体にオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)を用いた方が純水を用いた場合より熱抵抗がやや低いという福山ら²⁰と同様な実験結果が得られた。

熱抵抗の傾斜角度依存性については次のような傾向が見られる。熱抵抗は傾きが 0 度(垂直)の時が最も高く、傾斜させると熱抵抗が内径 34mm では最大 20%、内径 22mm では最大 70% 程度減少する。また、傾斜角度 15 度から 75 度の間では熱抵抗の変化はあまり見られない。この傾向は純水の場合とほぼ同じである。

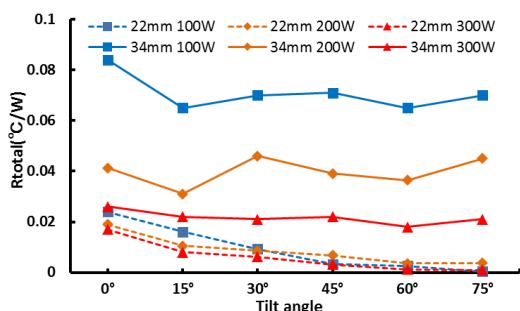


Fig.3 Thermal resistance using aqueous surfactant solution. (potassium oleate 30ppm)

3.3 界面活性剤水溶液(オレイン酸カリウム 100ppm)を用いた場合

作動流体に界面活性剤水溶液(オレイン酸カリウム 100ppm)を用い実験を行った結果を Fig.4 に示す。傾斜角度を 0 度(垂直)から 75 度まで 15 度おきに変化させた。純水及びオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)での実験結果と同様にオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)を用い

た場合でも内径 22mm のヒートパイプが内径 34mm のヒートパイプより熱抵抗が低いという結果となった。これも作動流体として純水及びオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)を用いた場合と同様の原因によるものであると考えられる。

内径 22mm のヒートパイプと内径 34mm のヒートパイプそれぞれにおいて作動流体の違いによる熱抵抗の違いを見ると、内径 22mm のヒートパイプでは傾斜角度によらず作動流体にオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)を用いた場合の方が純水及びオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)の場合より熱抵抗が高いことが分かる。界面活性剤の濃度を 30ppm から 100ppm と増加させたことにより 30ppm の場合よりさらに表面張力が低下し蒸発部の沸騰が連続的になったため、前述のような凝縮部に達するような激しい沸騰が起こらなくなり、純水及びオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)と比較し低い伝熱性能となった可能性が考えられる。一方、内径 34mm のヒートパイプでは作動流体にオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)を用いると純水及びオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)より熱抵抗が減少した。

熱抵抗の傾斜角度依存性については次のような傾向が見られる。熱抵抗は傾きが 0 度(垂直)の時が最も高く、傾斜させると熱抵抗が内径 34mm では最大 50%、内径 22mm では最大 30% 程度減少する。純水では傾斜角度 15 度から 75 度の間では熱抵抗の変化はあまり見られなかったのに対し、オレイン酸カリウム水溶液(100ppm)では角度により熱抵抗が変動することが分かった。また、傾斜角度 45 度程度、内径 34mm でオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)を用いた場合では純水、オレイン酸カリウム水溶液(30ppm)を用いた場合と異なり少ない熱輸送量においても低い熱抵抗となった。

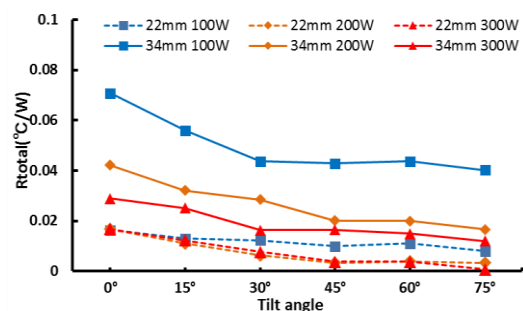


Fig.4 Thermal resistance using aqueous surfactant solution.

(potassium oleate 100ppm)

Fig.5, Fig.6 に作動流体にオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)を用い,熱輸送量 200W としたときの内径 34mm,内径 22mm の内部の様子を示す.内径 22mm の方では,ときおり断熱部に達する沸騰が発生しており,同様の挙動が純水及びオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)でも観測されている.一方,内径 34mm ではオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)の場合,断熱部上側を沸騰流が高速で上昇し,断熱部下側を凝縮流が下降している.上昇流と下降流は目視で8:2ほどの割合で分離して流れている.この流れは純水やオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)では見られなかった挙動であり,これによって内径 34mm でオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)を用い,傾けた場合の伝熱特性が良くなった結果につながったと考えられる.

以上のように作動流体に界面活性剤水溶液を用い,熱輸送量を変化させた場合でも傾斜させることにより熱抵抗が減少するという福山⁽²⁾の実験結果と同様の結果が得られた.



Fig.5 Flow inside of the heat pipe.
(diameter 34mm,potassium oleate 100ppm)

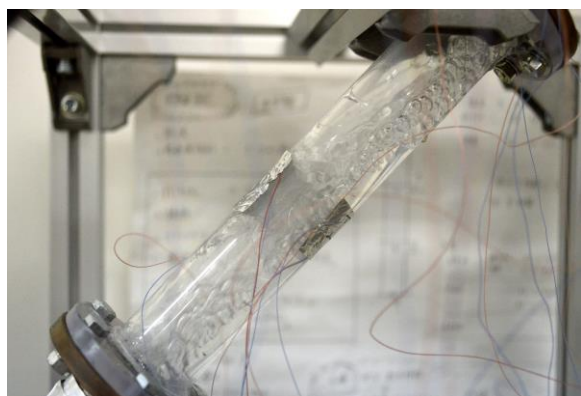


Fig.6 Flow inside of the heat pipe.

(diameter 22mm,potassium oleate 100ppm)

4. 結言

熱サイフォン型ヒートパイプを対象として,ヒートパイプの内径の違いや傾斜角度,作動流体の種類や濃度が伝熱性能に及ぼす影響について実験的に検討を行った.その結果,以下のような結論が得られた.

(1) 傾斜角度や作動流体によらず封入率 10%の条件では内径 22mm のヒートパイプの方が内径 34mm のヒートパイプより熱抵抗が低い値となった.

(2) 内径 34mm の場合,熱輸送量の増大とともに熱抵抗が大きく減少した.一方,内径 22mm の場合,熱抵抗の熱輸送量増大による変化は小さかった.

(3) 作動流体に純水,オレイン酸カリウム水溶液(30ppm)を用いた場合,ヒートパイプを 15 度以上傾斜させることで熱抵抗が垂直時に対し最大 20%(内径 34mm)~最大 70%(内径 22mm)程度低減した.

(4) 作動流体にオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)を用いた場合ではヒートパイプを 15 度以上傾斜させることで熱抵抗が垂直時に対し最大 50%(内径 34mm)~最大 30%(内径 22mm)程度低減した.また,純水やオレイン酸カリウム水溶液(30ppm)とは異なり,内径 34mm でオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)の場合,傾斜角度 30 度まで熱抵抗が減少し低い熱輸送量においても熱抵抗が低かった.

(5) 作動流体に界面活性剤を添加することで,内径 34mm のヒートパイプでは熱抵抗の低減が見られた.特にオレイン酸カリウム水溶液(100ppm)を用い傾けると上昇流と下降流が分離し,熱抵抗が減少した.

参考文献

(1) 松島均, 薄井龍右, 伝論, 21-4, (2013), 95-103.

(2) 福山和宏, 松島均, 薄井龍右, 第 50 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, (2013), H222.