

612 ループ型細管内の気泡流動と熱伝達

Bubble Flow and Heat Transfer in Looped Capillary Heat Pipe

○学 磯貝 雅彦 (室蘭工大・院) 正 戸倉 郁夫 (室蘭工大)
大窪 俊英 (室蘭工大・学)

Masahiko ISOGAI, Ikuo TOKURA and Toshide OHKUBO
Muroran Institute of Technology, 27-1 Mizumoto-cho, Muroran, Hokkaido

Observation of bubble flow and the measurement of heat transfer rate in a looped capillary heat pipe were experimentally conducted. The horizontal capillary pipe was made of glass. Ethanol was used as a working liquid. Heat transfer rate and temperature fluctuations of the pipe wall were measured under various temperature differences between the heating and cooling sections. The result shows that the heat transfer rate decreases with increasing the temperature difference. The highest heat transfer rate was obtained when the temperature of the heating section is near the boiling point of the liquid.

Key Words: Heat Pipe, Bubble Flow, Heat Transfer, Temperature Fluctuation

1. まえがき

ループ型細管ヒートパイプは、細管を加熱部と冷却部の間で蛇行するように何度かターンさせループを形成し、一方の領域を加熱部、他方を冷却部としたものである。細管内面は通常のヒートパイプのようなウィックはなく、内部の圧力損失を減らすため逆に平滑に仕上げられている。細管内に封入される作動液は、プラグ状態の液相部分とプラグ状態の気相部分とが、交互に配置された状態となる⁽¹⁾。また、熱輸送は作動液の振動と移動による顕熱と、気泡の発達と減少という潜熱の両方を利用している⁽²⁾。すでに実用化されており冷却等の目的で使用されているが、その作動特性は多くの因子に複雑に影響されるため、いまだ十分には解明されていない。

そこで、本研究では、ループ型細管ヒートパイプの種々の加熱部冷却部温度差における熱輸送量を求め、同時にビデオカメラによる気泡流動の撮影と熱電対による温度変動計測より、熱伝達の機構を考察する。

2. 実験装置および実験方法

Fig.1に、本実験装置の概略を示す。この実験装置は、水平に設置したターン数が4のガラス製細管ヒートパイプであり、一方の端を加熱部、他端を冷却部としている。加熱部は厚さ5mmの銅板を介してアルコールランプにより加熱し、冷却部は水を張った水槽内に埋め込む形で冷却している。加熱部の温度は、アルコールランプの高さを変えることにより調節した。使用したガラス管の寸法は、外径4mm、内径1.6mmであり、作動液にはエタノール (C₂H₅OH) を用いた。

また、ガラス製細管ヒートパイプの管表面温度を計測するため、銅-コンスタンタン熱電対をFig.1にあるようにa~pの16点に取り付けた。そのうちm~pの4点については、サンプリング周波数3Hzで各測定点につき2700点のデータを収集した。加熱部冷却部温度差 ΔT はm点の平均温度とp点の平均温度から求めた。

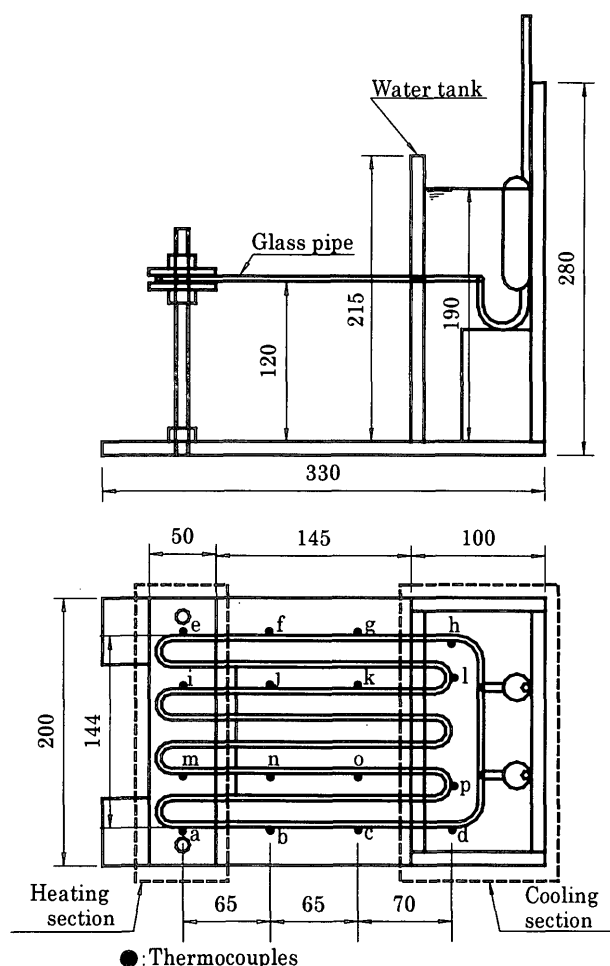


Fig.1 Experimental apparatus

上述の装置を用いて、加熱部と冷却部の種々の温度差における準定常状態で900秒間後の水槽内の水の温度上昇を熱電対に

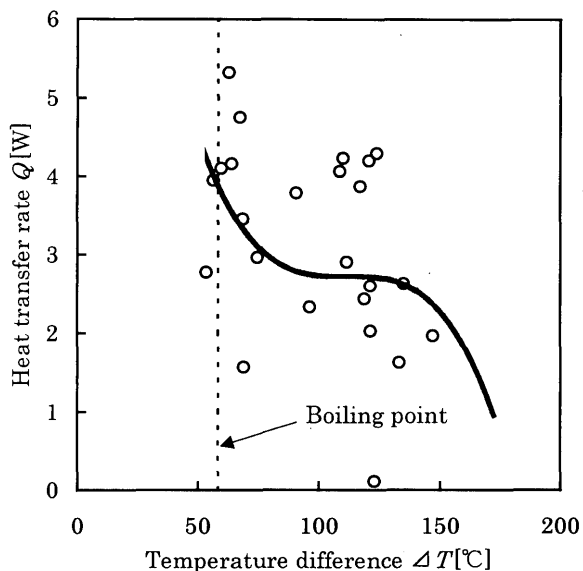


Fig.2 Temperature difference ΔT vs. Heat transfer rate Q

より計測し、熱輸送量を求める。また、同時にビデオカメラによる気泡流動の撮影と熱電対による温度変動の計測を行った。

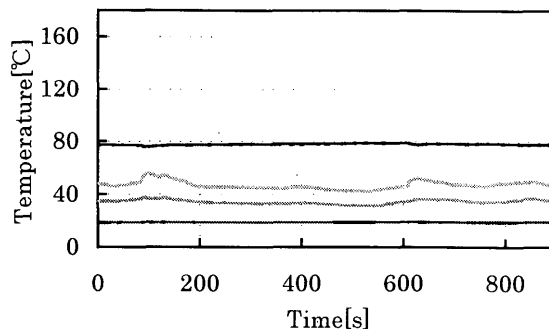
3. 実験結果および考察

3.1 熱輸送量

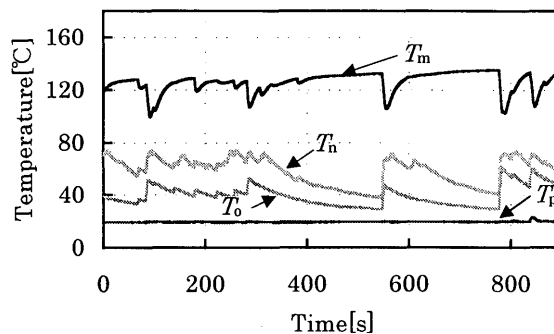
Fig.2に加熱部と冷却部の温度差 $\Delta T = T_m - T_p$ と熱輸送量 Q の関係を示す。ガラス製細管内の液量は全体の約3分の1(約2ml)とした。温度差 ΔT が 60°C 付近で熱輸送量 Q は最大となり、その値は $Q=5.3\text{W}$ である。エタノール ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) の沸点は 78.3°C であり、冷却部の温度は約 20°C であることを考えると、温度差 $\Delta T=60^\circ\text{C}$ 付近がちょうどエタノールの沸点にあたる。つまり、熱輸送量 Q は作動液の沸点付近において、最も高い値を示すのではないかと考えられる。Fig.2 中の実線は実験値の近似曲線を示している。この曲線によると、全体的に右下がりの傾向があり、温度差 $\Delta T=80^\circ\text{C}$ 付近から $\Delta T=120^\circ\text{C}$ 付近においては、熱輸送量 Q がほぼ一定となっている。

3.2 温度変動

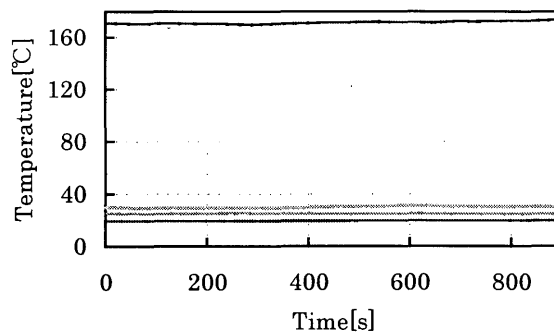
Fig.3に加熱部と冷却部の温度差が 59.2°C 、 106.6°C 、 152.0°C の場合の900秒間の温度変動を示す。Fig.3はそれぞれ上から、m点、n点、o点、p点の4点の温度変動を表している。Fig.2中の近似曲線に見られる水平に近い温度差の領域(温度差 $\Delta T=80^\circ\text{C}$ 付近から $\Delta T=120^\circ\text{C}$ 付近)では、Fig.3(b)に示されるように大きな温度変動が見られる。また、温度差 ΔT が 80°C 付近より低い領域と ΔT が 120°C 付近より高い領域では、Fig.3(a)および Fig.3(c)のように、温度変動がほとんど見られない。Fig.3のグラフ上で温度変動が大きく出ているときは、実際にガラス製細管内で気泡が激しく流動しているのが観察される。以上のことを踏まえて Fig.2 を見ると、気泡の流動が見られる領域(温度差 $\Delta T=80^\circ\text{C}$ 付近から $\Delta T=120^\circ\text{C}$ 付近)よりも、気泡がほとんど動かない領域(温度差 $\Delta T=60^\circ\text{C}$ 付近)の方が熱輸送量 Q の値が大きいことがわかる。



(a) $\Delta T=59.2^\circ\text{C}$



(b) $\Delta T=106.6^\circ\text{C}$



(c) $\Delta T=152.0^\circ\text{C}$

Fig.3 Temperature Fluctuation

4. まとめ

本研究では、水平ループ型細管ヒートパイプの種々の温度差における熱輸送量、温度変動、気泡流動について実験的に調べ、つぎのことが明らかとなった。

- (1) 熱輸送量 Q は、高温側の温度が作動液の沸点付近で最も高い値を示している。また、高温側をより高い温度に増加させても熱輸送量は徐々に低下する傾向がある。
- (2) 温度差 $\Delta T=80^\circ\text{C}$ 付近から $\Delta T=120^\circ\text{C}$ 付近では、気泡の流動が観察されるにもかかわらず、近似曲線によると熱輸送量 Q の値はそれほど大きくない。

参考文献

- (1) 赤地, ループ形蛇行細管ヒートパイプ, 日本機械学会第71期通常総会講演会講演論文集(Ⅲ), (1994-3).
- (2) 賛川・木村, マイクロヒートパイプと放熱技術入門, 日刊工業新聞社(1999) p.128-131.