

319 ループ型細管ヒートパイプの熱輸送に関する実験的研究

Heat Transfer Properties of Looped Capillary Heat Pipe

○学 宮川 秀太 (室蘭工大) 正 戸倉 郁夫 (室蘭工大)
須藤 有生 (西島製作所) 辻 暁洋 (室蘭工大)

Shuta MIYAKAWA, Muroran Institute of Technology, 27-1, Mizumoto-cho, Muroran-shi, Hokkaido
Ikuo TOKURA, Muroran Institute of Technology
Yuki SUDO, TORISHIMA PUMP MFG. CO. LTD
Akihiro TSUJI, Muroran Institute of Technology

Key Words : Looped Capillary Heat Pipe. Effective Thermal Conductivity. Power Spectrum.

1. 緒言

ループ型細管ヒートパイプ (以下, LCHP とする) は, 加熱部と冷却部との間を何度も蛇行させループを形成した細管に作動流体を封入したものである。熱輸送は, 作動流体の相変化に伴う潜熱, 顕熱によって行なわれる⁽¹⁾。この種の装置は既に電子部品の冷却装置として実用化されているが, 作動範囲や熱輸送量の制御法などには未解明な部分がある。

本研究では, 作動流体の封入率を変えたときの熱輸送量を実験的に求め, 同時に管内の圧力変動および管表面の温度変動を測定し, 管内の作動流体の挙動や最適封入率について考察する。

2. 実験装置および実験方法

本実験装置の概略を Fig. 1 に示す。この装置は内径 2mm, 外径 3mm の銅管を用い, 加熱部と冷却部の間を 8 往復させた LCHP である。作動流体には水またはエタノール (C₂H₅OH) を使用した。加熱部は厚さ 5mm の銅板を介してラバーヒータにより加熱し, 冷却部は水槽内に 20℃ に保った水を循環させることで冷却する。ヒータへの入力電圧は電圧計により調整する。

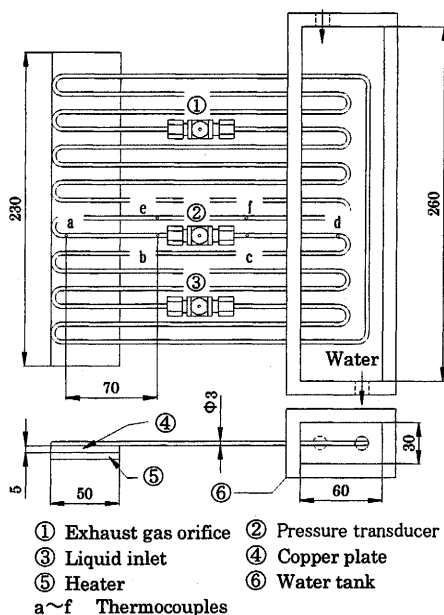


Fig. 1 Looped Capillary Heat Pipe

管の表面温度の測定には, 素線径 0.1mm の銅-コンスタンタン熱電対を Fig. 1 の a 点~f 点に貼り付けた。また管

内圧力は圧力変換器を用いて測定した。

具体的な実験方法は以下の通りである。

- (1) 管内を油回転ポンプにより真空状態にする。
- (2) 任意の封入率 (管内の全容積に対する割合) の作動流体を管内に封入する。
- (3) 恒温水槽と冷却水槽を接続し 20℃ の水を循環させる。
- (4) 電圧計を調整し, 任意のヒータ入力で加熱する。
- (5) 30 分間において管表面温度, 管内圧力を測定する。

なお, 評価に用いる熱輸送量 Q [W] と有効熱伝導率 λ_e [W/mK] は以下の式により算出する。

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T_r$$

$$= \rho \cdot c \cdot V \times \Delta T_r$$

$$\lambda_e = \frac{Q}{A} \cdot \frac{L}{\Delta T}$$

V : 冷却水流量 [m³/sec]

ρ : 水の密度 [g/m³]

c : 水の比熱 [J/g℃]

ΔT_r : 水槽出入り口温度差 [℃]

L : 加熱部と冷却部間の距離 [m]

A : 銅管群の総断面積 [m²]

ΔT : 加熱-冷却部間の温度差 [K]

3. 実験結果および考察

Fig. 2 に, 水とエタノールを作動流体とした場合の封入率 α と有効熱伝導率加熱部 λ_e との関係を示す。図中の "copper" の破線は銅の熱伝導率 (386 W/mK, 20℃) である⁽²⁾。作動流体の封入率とは銅管内の全容積 (11.9ml) に対する割合である。なお, ヒータへの入力は 100W である。

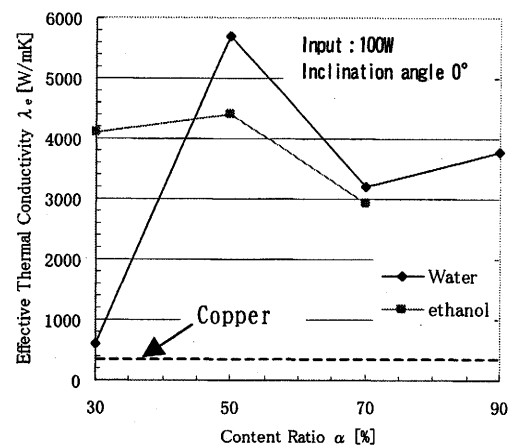


Fig. 2 Effect of content ratio for λ_e ($\theta=0^\circ$)

この図を見ると, どちらの作動流体の場合も封入率 50% のときに最も大きい有効熱伝導率となっていることが分かる。最も良好な熱輸送を実現できる液封入率を "最適封入

率”と定義すると、本実験では作動流体に関わらず、封入率 50%が最適封入率と言える。この結果は、他の研究者らの報告⁽³⁾とも一致する。

エタノールを作動流体とした場合、封入率 90%の条件では加熱部でドライアウトが発生し熱輸送が行なわれない。封入率 30%では、水を用いたときよりも有効熱伝導率が大きい。つまり、作動流体によってヒートパイプの作動する封入率の範囲が異なることがわかる。

Fig. 3 に、装置姿勢を変えたときの熱輸送特性の変化を示す。傾き角 θ (冷却部を加熱部より上方に持ち上げる角度) を 30° とし、有効熱伝導率を算出する。この図より、水を用いた場合には封入率に関わらずおよそ 4200 [W/mK] の有効熱伝導率となることが分かる。Fig. 2 と比較すると、最適封入率の 50%の場合、傾き角 0° の方が有効熱伝導率が大きくなっている。また、エタノールについては、水平状態の場合よりもどの封入率でも有効熱伝導率が増加している。Fig. 2 と比較すると、エタノールを使用し傾き角 30° の場合が最も良好な熱輸送が行なわれていることが分かる。この場合、最適封入率は 70%となり、そのときの有効熱伝導率 λ_e は約 6400 W/mK に達する。これは純銅の熱伝導率の 16 倍にもなる。装置姿勢を変えることで、加熱部-冷却部間の作動液の還流が促進され、熱輸送性能が大きく向上することがわかる。

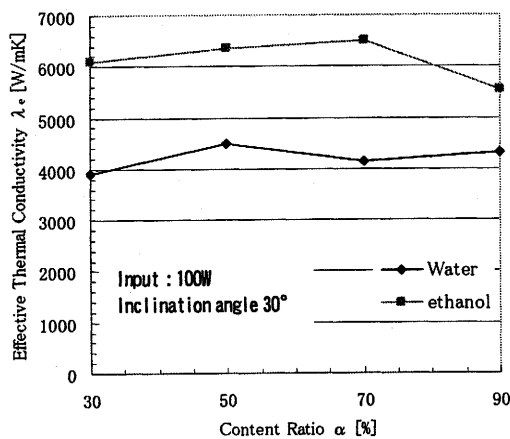


Fig. 3 Effect of inclination angle for λ_e ($\theta=30^\circ$)

つぎに、傾き角 0° 、最適封入率 50%のときの管内圧力の変動を周波数解析する。その結果を Fig. 4, 5 に示す。

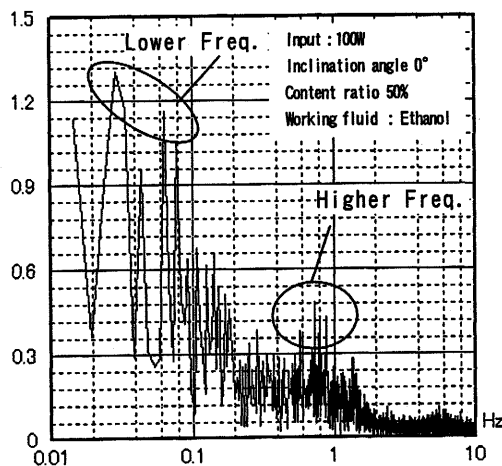


Fig. 4 Power Spectrum (Ethanol)

Fig. 4 はエタノールを作動流体とした場合である。本実験では、多くの条件で 1.0 Hz 以上の周波数帯と 0.1 Hz 付近の周波数帯でスペクトルのピークが現れることが確認されている。そのため、Fig. 4 のようにそれぞれのピークを高周波数ピークと低周波数ピークとする。

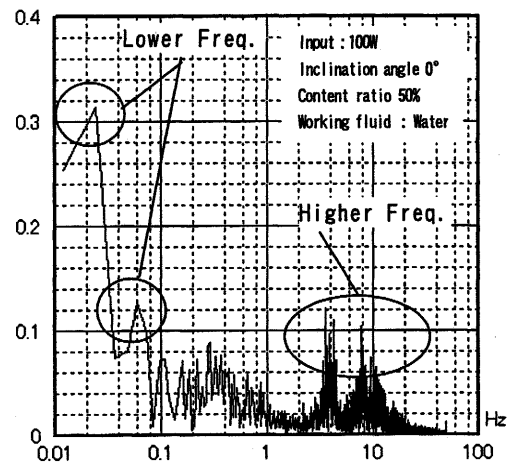


Fig. 5 Power Spectrum (Water)

Fig. 5 は、先ほどと同じ条件で作動流体を水とした場合の結果である。Fig. 4 と比べると、 $0.02 \sim 0.06 \text{ Hz}$ に低周波数ピークが現れていることは同じだが、高周波数ピークは水の場合の方が高い周波数成分でピークとなっていることが分かる。エタノールのときは 1.0 Hz 付近にピークが現れ、水の場合は $4.0 \sim 10.0 \text{ Hz}$ で高周波数ピークが見られる。

管内の圧力は、作動流体の蒸発や凝縮、または循環や振動によって変動する。水とエタノールでは、水の方が蒸発潜熱が大きく、動粘度が小さいなど LCHP を良好に作動させるための物性値を持っているため、Fig. 4, 5 から、作動流体を水に変えることで、蒸発や循環の頻度が増加し、高い周波数でピークスペクトルが現れたと考えられる。熱輸送量 Q についても、水を作動流体とした方が熱輸送量が大きくなることが確認された。

4. 結言

本研究では、作動流体を変えてさまざまな液封入率における有効熱伝導率を求めた。最適封入率における管内の圧力変動について周波数解析し、以下のことが明らかになった。

- 有効熱伝導率は最大で純銅の約 16 倍にも達する。
- 最も効率よく熱を輸送できる“最適封入率”が存在し、本実験では 50%が最適であった。
- 熱輸送には管内の圧力変動が大きく関与し、作動流体を変えることで圧力変動の支配的周波数も変化した。今後、圧力変動の周波数成分と熱輸送量との関連性を見いだす必要がある。

5. 参考文献

- (1) 賛川 潤, 木村 裕一, 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, pp.128-130.
- (2) 関 信弘 他編, 『伝熱工学』, 森北出版株式会社, 2001, p. 5.
- (3) 宮崎 芳郎, 「自励振動ヒートパイプ」, 日本機械学会誌 vol.106 No.1011, 2003, p. 35.