C113

単相密閉型サーモサイフォン内の熱・流動特性

禰 顕久[○](関西大学), 石原 勲(関西大学), 松本亮介(関西大学)

Flow and Heat Characteristics in a Single Phase Closed Thermosyphon

Akihisa KAMURO, Isao ISHIHARA and Ryosuke MATSUMOTO

ABSTRACT

As the heat transfer in the thermosyphon depends on natural convection flow inside, it is important to reveal the flow characteristics. Upward and downward flows meet each other in the intermediate section of thermosyphon and then a complicated flow would take place. Under certain condition, mutual interaction between both flows results in multi-branched flow. Present study focuses on such flow regime. Flow field in a series of vertical planes was measured by means of PIV technique. Experiments were conducted by using thermosyphon models; 100mm length, 34 or 46mm diameters. Three kinds of silicon oil with different viscosity were used as the working fluid and temperature difference between cooled and heated surfaces was changed up to 12K. The number of branches increased when increasing in the modified Rayleigh number Ra^* and at maximum 7 pairs of branches appeared for $Ra^* = 2.9 \times 10^6$

Keywords: Thermosyphon, Flow and Heat Transfer characteristics, Flow Branch

1. 緒 論

サーモサイフォンの熱輸送特性は内部の流動によって支配されるので、それを把握することは重要である。本研究ではサーモサイフォン内の詳細な流動・温度特性を明らかにするため、作動流体にシリコンオイルを用い、下部側壁 1/3 を加熱、上部 1/3 側壁を冷却、他面を全て断熱とした単相密閉型サーモサイフォンを研究対象とした。既に筆者ら⁽¹⁾はサーモサイフォン内の流動を明らかにしているが、特に上昇流と下降流の会合部の流動をさらに詳細に調査した。

流動の可視化は感温液晶粒子をトレーサ粒子として用い、粒子の軌跡から PIV 法によって速度場を、粒子の色相から温度場を求めた。実験はサーモサイフォンの直径 D 、上下伝熱面間の温度差 ΔT を変え、三種の粘性、したがってプラントル数 Pr の異なるシリコンオイルを用いて行った。

2. 実験装置、実験方法

図 1 にサーモサイフォンを示す。テストセクションは高さ $L=100\text{mm}$ 、内径 $D=34$ または 46mm で下部の加熱部と上部の冷却部は円筒の銅ブロックからできており、中央部(断熱部)は厚さ 0.5 または 1mm の厚さの亚克力円筒である。冷却部の周囲に円筒のウォータージャケットを設け、内部に恒温水を循環させて冷却をしている。加熱部はシリコンラバーヒータによって一定温度に加熱している。テストセクションをボックス内に設置し、空

気温度を加熱、冷却温度の中間温度に設定することによって中央部の断熱を促進している。伝熱面温度差を $\Delta T=1 \sim 12\text{K}$ に設定し、定常状態になった後でテストセクション上部よりキセノンのシート光を鉛直下方に照射し、 1mm 間隔で移動させて垂直断面を撮影した。撮影した垂直断面を PIV 処理、また色-温度変換をすることによって速度場、温度場を求め、それらの連続した垂直断面のデータから水平平面に再構成することにより水平断面の速度場、温度場を求めた。

Fig. 1 Thermosyphon model

3. 実験結果および考察

3.1 基本的な流動特性 作動流体は加熱部で加熱されることによって上昇流を生じる。同様に冷却部で冷却され

ることによって下降流を生じる。これらの上昇、下降流はそれぞれ側壁に沿った環状の境界層を形成し断熱部へ流れる。伝熱部から断熱部に流入すると上昇流および下降流は互いに衝突を避けるように分岐した流れを形成する。これは上昇流と下降流を一对とした流動様式となり偶数個の分岐流となる。そして分岐数は管直径、作動流体の物性、伝熱面温度差によって変化する。

3.2 速度場と温度場 図2は断熱部での速度場を左に、温度場を右に示したもので、速度場では赤色が上昇流、青色が下降流である。温度場は青から赤色になるにつれて高温になることを示している。図から上昇流が高温で下降流が低温の関係を持ち、同じ分岐数を示す。そしてそれは図3のように条件が変化しても同様の関係を示す。

3.3 分岐数 図2と3は同じシリコンオイル、管直径で ΔT が2Kと4Kの場合である。分岐数は図2では4個(2対)であるが図3では6個(3対)となっており、 ΔT が大きくなると垂直方向の流速が速くなり、分岐数が増加することがわかる。そして、図4に修正レイリー数 Ra^* と分岐数との関係を示す。

$$Ra^* = \frac{g\beta\Delta T D^3}{\alpha\nu} \left(\frac{D}{L} \right) \quad \begin{array}{l} \alpha: \text{熱拡散係数}, \beta: \text{体膨張係数}, \\ \nu: \text{動粘性係数}, g: \text{重力加速度} \end{array}$$

Ra^* は作動流体の物性値、管直径、伝熱面温度差だけではなく管高さも考慮したものである。図4においてPrが同じで管直径が $D=34$ と 46mm の場合を比較すると、 D が大きくなるほど分岐数が増加している。これは半径方向に空間が広がることによって分岐が起こりやすくなり、数が増加すると考えられる。また、 D が同じでPrが増加すると分岐数が減少している。これは本研究ではPrが粘性係数によって変化するので、粘性が大きいかほど流動抵抗が大きくなるため分岐しにくくなるからである。分岐数の支配因子を Ra^* と考えると整理すると、 Ra^* が増加するほど分岐数が増加することがわかる。

4. 結論

サーモサイフンの熱輸送特性は内部の流動によって支配されることから、サーモサイフン内部の流動を可視化し、流動特性を明らかにした。その結果、断熱部での流動様相について以下のことが導かれた。

(1)鉛直方向の速度分布は速度場、温度場とも中央面では上昇流と下降流が円周状に交互に並んだ幾何学的に規則正しい配列を形成する。

(2)修正レイリー数 Ra^* の増加にともない分岐数が増加し、 Ra^* が 1.1×10^4 から 2.9×10^6 の範囲では分岐数が2個(1対)から14個(7対)まで観察された。

参考文献

- 1) 中川佳珠雅, 石原勲: 日本機械学会論文集(B編) 70巻 697号 (2004-9) pp111-116.

Fig. 2 Vertical Velocity and Temperature distribution for $D=46\text{mm}$, $\Delta T=2\text{K}$, $Pr=914$, $Ra^*=7.65 \times 10^4$

Fig. 3 Vertical Velocity and Temperature distribution for $D=46\text{mm}$, $\Delta T=4\text{K}$, $Pr=914$, $Ra^*=1.53 \times 10^5$

Fig. 4 Number of flow branches in adiabatic zone