

## Effect of a Wick Column on Heat Transfer Characteristics of a Vapor Chamber

正 小糸 康志 (熊大)

○学 中野 吉伸 (熊大院)

正 井村 英昭 (熊大)

正 望月 正孝 ((株)フジクラ)

正 齊藤 祐士 ((株)フジクラ)

正 鳥居 修一 (熊大)

Yasushi KOITO<sup>1</sup>, Yoshinobu NAKANO<sup>1</sup>, Hideaki IMURA<sup>1</sup>,  
Masataka MOCHIZUKI<sup>2</sup>, Yuji SAITO<sup>2</sup>, Shuichi TORII<sup>1</sup><sup>1</sup>Dept. of Mech. Eng. & Materials Sci., Kumamoto Univ., 2-39-1, Kurokami, Kumamoto 860-8555<sup>2</sup>Fujikura Ltd., 1-5-1, Kiba, Koto-ku, Tokyo 135-8512

Key Words: Heat Transfer, Vapor Chamber, Heat Spreader, Heat Sink, Numerical Analysis

## 1. 緒言

近年、パソコン、ワークステーション、サーバー等に搭載されているCPU(central processing unit)の高速化・小型化に伴い、発熱量、発熱密度が増加している。標記のベーパーチャンバーは、この熱処理対策の一方策として開発された新型熱拡散板であり、本質的には平板型のヒートパイプである。したがって、ベーパーチャンバー内部には、後掲Fig.1に示したように、還流用のウィックシートが取り付けられており、さらに還流を保障するウィックカラムも設置されている。本報ではウィックカラム径を変化させて数値解析を行い、ベーパーチャンバーの熱輸送特性に及ぼす影響について検討する。

## 2. 数値モデル

数値モデルに関しては、前報<sup>(1)</sup>に示したものと本質的に同一であるので、ここでは簡単な記述にとどめる。

Fig. 1 に数値モデルを示した。数値モデルは、二次元円柱座標系において構築し、蒸気領域、液-ウィック領域、固体壁領域から構成されている。また、下面の中心部は熱源と接しており、上面は全面ヒートシンクによって冷却される。

この解析系に対し、

- ベーパーチャンバー内は定常状態である
- 蒸気の流れは層流である
- ウィックは等方性である
- 作動液の還流は保障されている
- 蒸気領域と液-ウィック領域との境界面においてのみ蒸気は凝縮し、液は蒸発する

と仮定すると、蒸気領域、液-ウィック領域、固体壁領域のそれぞれに対して、次の支配方程式が与えられる。

&lt;蒸気領域&gt;

$$\nabla \cdot \mathbf{V}_v = 0 \quad (1)$$

$$\rho_v \mathbf{V}_v \cdot \nabla \mathbf{V}_v = -\nabla p_v + \mu_v \nabla^2 \mathbf{V}_v \quad (2)$$

$$\rho_v c_{p,v} \mathbf{V}_v \cdot \nabla T_v = k_v \nabla^2 T_v \quad (3)$$

&lt;液-ウィック領域&gt;

$$\nabla \cdot \mathbf{V}_l = 0 \quad (4)$$

$$\rho_l \mathbf{V}_l \cdot \nabla \mathbf{V}_l = -\nabla p_l + \mu_l \nabla^2 \mathbf{V}_l - \varepsilon \mu_l \mathbf{V}_l / K \quad (5)$$

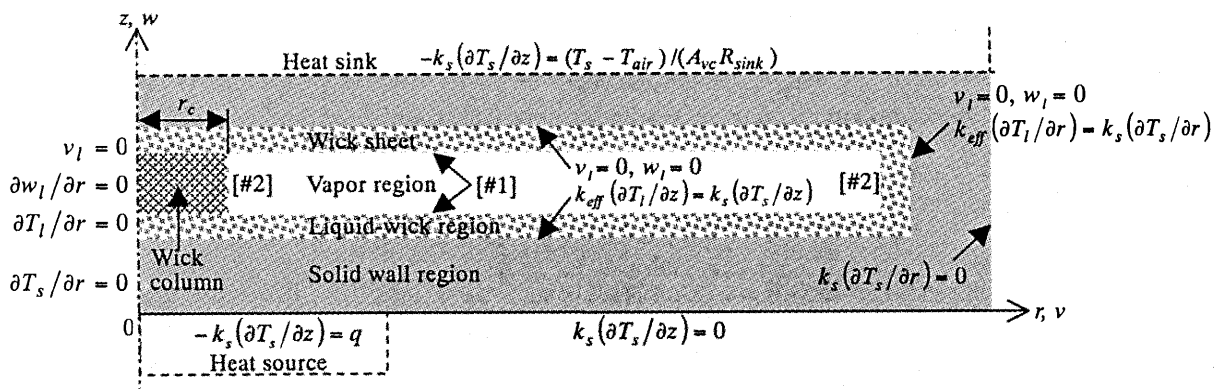
$$\rho_l c_{p,l} \mathbf{V}_l \cdot \nabla T_l = (k_{eff} / \varepsilon) \nabla^2 T_l \quad (6)$$

&lt;固体壁領域&gt;

$$\nabla^2 T_s = 0 \quad (7)$$

ここで  $\mathbf{V}$  は速度ベクトル、 $p$  は圧力、 $T$  は温度、 $\rho$  は密度、 $\mu$  は粘度、 $c_p$  は比熱、 $k$  は熱伝導率、 $K$  は透過率、 $\varepsilon$  は空隙率である。また液-ウィック領域の速度には細孔速度を用いた。 $k_{eff}$  は液-ウィック領域の有効熱伝導率であり、矢木・国井の式<sup>(2)</sup>を用いて算定した。下添え字の  $v, l, s$  はそれぞれ蒸気領域、液-ウィック領域、固体壁領域を表す。

境界条件は Fig. 1 に併記しており、 $r, z$  および  $u, v$  はそれぞれ半径方向、軸方向の座標および速度である。 $T_{air}$  は冷却空気温度、 $h_{fg}$  は蒸発・凝縮潜熱、 $q$  は熱流束、 $A_{vc}$  はベーパーチャンバーとヒートシンクの接触面積であり、蒸気領域と液-ウィック領域の境界面の温度は飽和温度  $T_{sat}$  とした。 $R_{sink}$  はヒートシンクの熱抵抗であり、前報<sup>(3)</sup>の実験結果から算定した。なお、ウィックカラム半径を  $r_c$  で表す。



$$\text{At \#1: } \mu_v(\partial v_v / \partial z) = \mu_l(\partial v_l / \partial z), \quad \rho_v w_v = \rho_l w_l = \{k_v(\partial T_v / \partial z) - k_{eff}(\partial T_l / \partial z)\} / h_{fg}, \quad T = T_{sat}$$

$$\text{At \#2: } \mu_v(\partial w_v / \partial r) = \mu_l(\partial w_l / \partial r), \quad \rho_v v_v = \rho_l v_l = \{k_v(\partial T_v / \partial r) - k_{eff}(\partial T_l / \partial r)\} / h_{fg}, \quad T = T_{sat}$$

Fig. 1 Mathematical model and boundary conditions

### 3. 数値解析結果および考察

本報では、Table 1 に示した仕様のベーパーチャンバーを対象とした。解析は、熱源面積  $A_{sou} = 6.0 \text{ cm}^2$ ,  $T_{air} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $q = 12\text{--}36 \text{ W/cm}^2$ ,  $r_c = 0.43\text{--}8.6 \text{ mm}$  の範囲で行った。また、ウィックカラムを取り外した場合 ( $r_c = 0 \text{ mm}$  に相当) の解析も実施した。

ベーパーチャンバー内の液-ウィック領域における速度分布を Fig. 2 (a), (b) に示した。(a) はウィックカラムを取り外した場合、(b) は  $r_c = 4.3 \text{ mm}$  のウィックカラムを設置した場合の解析結果である。なお、図中の破線は蒸気領域と液-ウィック領域、もしくは液-ウィック領域と固体壁領域との境界を示す。また、液-ウィック領域内において、圧力が最大  $p_{l,max}$  および最小  $p_{l,min}$  となる位置を記号で示した。ベーパーチャンバーは、下面の熱源から熱を受け取り、上面のヒートシンクで放熱するので、作動液は上部の液-ウィック領域から下部へと還流する。(a) の場合、作動液はウィックシート内のみを還流するのに対し、(b) のようにウィックカラムを設置すると、その一部はウィックカラム内を還流するようになり、同時に、 $p_{l,max}$  および  $p_{l,min}$  が生じる位置にも違いが現れる。さらに、 $p_{l,max}$  と  $p_{l,min}$  の差  $\Delta p_l$  を求めると、(a) の場合、 $\Delta p_l = 10 \text{ kPa}$ 、(b) の場合、 $\Delta p_l = 4.1 \text{ kPa}$  となっており、ウィックカラムの設置が作動液の還流を促進していることが確認できる。

ベーパーチャンバーの熱抵抗  $R_{vc}$  を、ベーパーチャンバーの下面中心温度  $T_b$ 、上面平均温度  $T_t$  を用いて次式で定義する。

$$R_{vc} = (T_b - T_t) / (qA_{sou}) \quad (8)$$

$\Delta p_l$ ,  $R_{vc}$  に及ぼす  $q$ ,  $r_c$  の影響を Fig. 3 に示した。本解析範囲においては、 $r_c$  の方が  $q$  よりも、 $\Delta p_l$ ,  $R_{vc}$  に及ぼす影響が大きいことがわかる。 $r_c$  が大きくなると、 $\Delta p_l$  は小さくなる一方、 $k_{eff} = 8.32 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$  と低いことに起因して  $R_{vc}$  は増加することが確認できる。

### 4. 結言

ウィックカラムの有無およびカラム径がベーパーチャンバーの熱輸送特性に及ぼす影響について、数値解析により検討した。ウィックカラム径が大きくなるのに伴って、作動液の還流は促進されるものの、ベーパーチャンバーの熱抵抗は増大することを示した。

### 参考文献

- (1) Koito et al., *Thermal Science & Engineering*, 13-1 (2005), 23-30.
- (2) 日本ヒートパイプ協会編, 実用ヒートパイプ, 第2版, (2001), 31, 日刊工業新聞社.
- (3) Koito et al., *Proc. 7th Int. Heat Pipe Symposium*, (2003), 247-251.

Table 1 Specification of the vapor chamber

Material (chamber)	Copper
Material (wick sheet and wick column)	Sinter made of copper particles (porosity: 40%)
Working fluid	Water
Height of vapor chamber	4.6 mm
Radius of vapor chamber	46.5 mm
Height of vapor region	1.1 mm
Radius of vapor region	45.0 mm
Thickness of wick sheet	0.5 mm

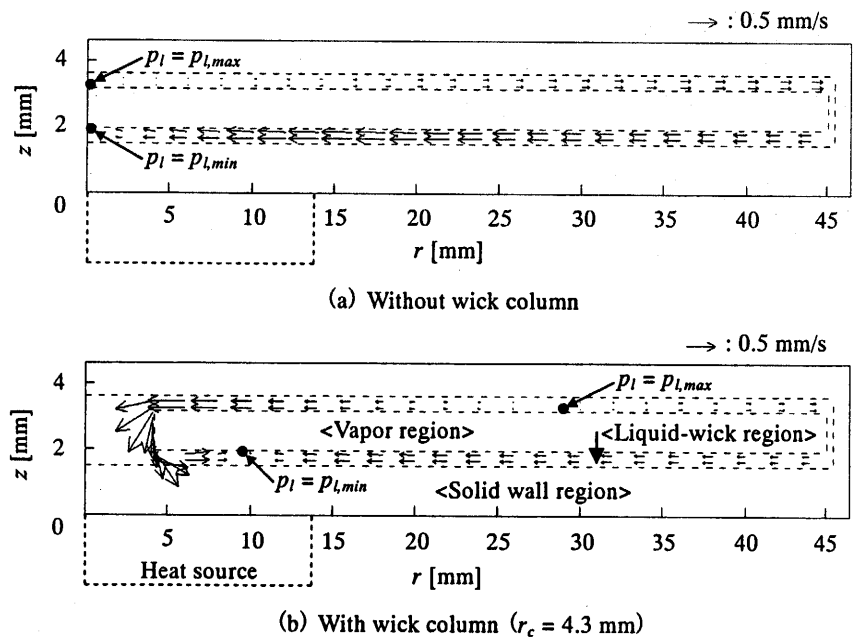


Fig. 2 Velocity distributions in the liquid-wick region inside the vapor chamber ( $A_{sou} = 6.0 \text{ cm}^2$ ,  $T_{air} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $q = 24 \text{ W/cm}^2$ )

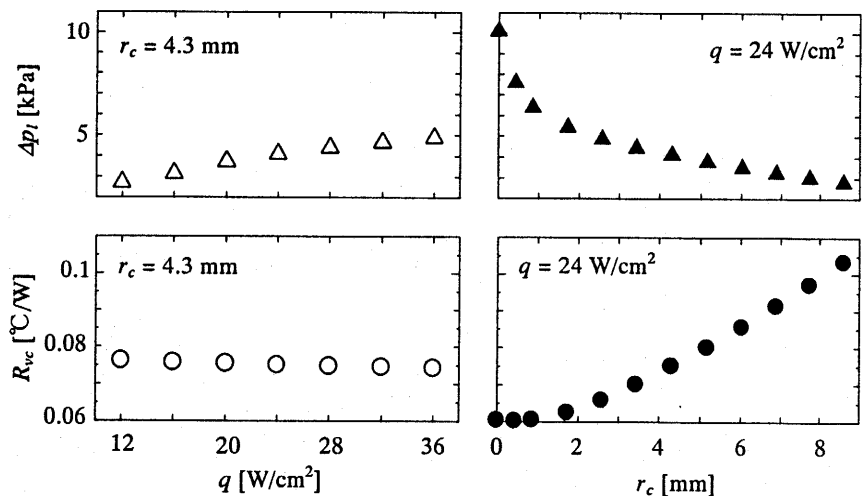


Fig. 3 Effects of heat flux and column radius on pressure drop and thermal resistance ( $A_{sou} = 6.0 \text{ cm}^2$ ,  $T_{air} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ )