C106

ベーパーチャンバー加熱部の熱伝達特性に関する 三次元数値解析*

志岐 有太[☆] (熊本大学), 小糸 康志 (熊本大学), 鳥居 修一 (熊本大学),
富村 寿夫 (熊本大学), 望月 正孝 (フジクラ)

Three-dimensional Numerical Analysis on Heat Transfer Characteristics in a Heated Section of a Vapor Chamber

Yuta SHIKI, Yasushi KOITO, Shuichi TORII
Toshio TOMIMURA and Masataka MOCHIZUKI

ABSTRACT

A steady-state three-dimensional numerical analysis of "Vapor Chamber" is carried out. The vapor chamber is essentially a flat-plate type heat pipe and works as a heat spreader for cooling high-power/high-heat-flux microchips, such as CPUs in personal computers and workstations. The mathematical model of the vapor chamber consists of three regions of a solid wall, a liquid-wick and a vapor. Wick columns as well as wick sheets are placed inside the vapor chamber. The heat flux is applied from a small heat source to a part of the bottom of the vapor chamber, while the top of the vapor chamber is entirely cooled by a large heat sink. Based on a control volume method, governing equations are solved numerically with boundary conditions. Numerical results are obtained by changing design parameters, and the discussion is made on the heat transfer characteristics in the heated section of the vapor chamber.

Keywords : Heat transfer, Vapor chamber, Heat pipe, Heat spreader, Numerical visualization

1. 結 論

パソコンやワークステーション等に搭載されているCPU (central processing unit) の発熱量の増加に対し、新型熱拡散板として“ベーパーチャンバー”が開発され、それをヒートシンクに取り付けたCPU冷却器が実用されている。ベーパーチャンバーは、本質的に平板状のヒートパイプであり、密閉容器内に作動液が封入され、還流のためのウイックシートやウイックコラムが取り付けられたものである。従来の棒状ヒートパイプと異なり、作動液の蒸発・凝縮潜熱を利用して熱を二次元的に拡散させる特長を有する。

本研究では、ベーパーチャンバーの定常三次元数値解析を実施した。CPUからの熱を受け、温度勾配が顕著なベーパーチャンバー加熱部の熱伝達特性を数値的に可視化し、設計パラメータとの関係を調べた。

2. 数値モデル

本研究では、ベーパーチャンバーの定常三次元熱伝導モデルを用いた。Fig. 1に示したように、本モデルは固体壁領域(s)、液-ウイック領域(l)、蒸気領域(v)から構成されており、内部にはシート状ならびにコラム状の

Fig. 1 Mathematical model of vapor chamber.

ウイックが設置されている。また、下面中心部はヒートソースからの熱を受け、上面は全面ヒートシンクによって冷却される。便宜上、蒸気領域内に極わずかな温度分布を仮定すると、支配方程式は、

$$\nabla \cdot (\Gamma_j \nabla T_j) = 0 \quad (j = s, l, v) \quad (1)$$

と表され、領域毎に、

$$\Gamma_s = k, \quad (2) \quad \Gamma_l = k_{\text{eff}} \quad (3) \quad \Gamma_v \rightarrow \infty \quad (4)$$

と与えられる。ここで、 T は温度、 k は熱伝導率、 k_{eff} は有効熱伝導率である。

境界条件については、ベーパーチャンバーの加熱部と

冷却部に対してそれぞれ,

$$\text{＜加熱部＞} \quad -k_s(\partial T_s / \partial z) = q \quad (5)$$

$$\text{＜冷却部＞} \quad -k_s(\partial T_s / \partial z) = (T_s - T_{\text{air}}) / (A_c R_{hs}) \quad (6)$$

と与えられ, 加熱部と冷却部を除くベーパーチャンバー外壁は断熱条件である. ここで, q はヒートソースからの熱流束, T_{air} は冷却空気温度, A_c は冷却部の面積, R_{hs} はヒートシンクの熱抵抗である.

支配方程式は, 境界条件のもと, コントロールボリューム法によって離散化し, 数値解析を実行した.

3. 結果および考察

本研究では, 前報¹⁾と同じく, 外形寸法 $76.2 \text{ mm} \times 88.9 \text{ mm} \times 4.6 \text{ mm}$ ($A_c = 67.7 \text{ cm}^2$) のベーパーチャンバーを解析対象とした. また, 加熱部の面積 A_h は 3.0 cm^2 であり, ウィックには銅粒焼結体を採用しているため, k_{eff} の値は矢木・国井の式²⁾を用いて算出した.

Fig. 2 に数値解析結果の代表例を示した. 図中の破線は各領域間の境界を表す. ベーパーチャンバー内部では潜熱輸送が行われるため, ヒートシンク側の冷却部はほぼ一様温度になるが, ヒートソースからの熱を受ける加熱部は温度勾配が著しく, ウィックが熱抵抗になっていることが確認できる. Fig. 3 に示したように, ウィックカラムの配置を変化させた場合の加熱部熱伝達特性の相違を, 次式で定義した加熱部熱抵抗 R_h を用いて Table 1 にまとめた.

$$R_h = (T_b - T_v) / (q A_h) \quad (7)$$

ここで, T_b はヒートソースと接する下面中心温度であり, 前掲 Fig. 2 の計算では Case A のようにウィックカラムが配置されている. Case A と Case C, Case B と Case D の R_h はほぼ等しく, 加熱部でのカラム存在有無により R_h に明確な差が現れることがわかる. さらに, Case C のようにウィックカラムを加熱部中心にのみ配置し, その位置を x 方向に変化させた場合の, R_h と変位 x_d の関係を Fig. 4 に示した. 加熱部では, カラム位置のわずかな差によって R_h に明確な差異が現れることがわかる.

4. 結論

ベーパーチャンバーの三次元数値解析を行い, 加熱部熱伝達特性と設計パラメータとの関係を明らかにした.

参考文献

- 1) Koito, Y., Komiya, M., Nakano, Y., Imura, H., Mochizuki, M., Torii, S.: Proc. of the 8th International Heat Pipe Symposium (2006) pp. 260-265.
- 2) 日本ヒートパイプ協会編: 実用ヒートパイプ, 第2版, 日刊工業新聞社 (2001) p. 31.

Fig. 2 Temperature distribution inside vapor chamber ($q = 24 \text{ W/cm}^2$, $T_{\text{air}} = 25^\circ\text{C}$, $R_{hs} = 0.263 \text{ K/W}$).

Fig. 3 Layout of wick columns.

Table 1 Effect of wick layout.		
	$q = 24 \text{ W/cm}^2$	$q = 48 \text{ W/cm}^2$
Case A	$R_h = 0.195 \text{ K/W}$	$R_h = 0.195 \text{ K/W}$
Case B	0.175	0.175
Case C	0.193	0.194
Case D	0.173	0.174

Fig. 4 Effect of wick position.