

基板上に配置された複数熱源からの複合伝熱に関する数値計算

Numerical study of conjugate heat transfer from heat sources mounted on a conductive wall

伝正 *吉野 英夫(富士通九州システムエンジニアリング)

伝正 張 興 (九大機能研) 伝正 藤井 丕夫 (九大機能研)

Hideo YOSHINO¹, Xing ZHANG² and Motoo FUJII²

¹Fujitsu Kyushu System Engineering Limited, 2-2-1 Momochihama, Sawara, Fukuoka 814-8589

²Institute of Advanced Material Study, Kyushu Univ., 6-1 Kasuga-Koen, Kasuga 816-8580

This paper reports on the numerical simulation of conjugate heat transfer from multiple electronic module packages on a printed circuit board. In the series arrangement, two module packages are installed along the airflow direction. In the parallel arrangement, two and/or four module packages are installed normal to the airflow direction. Using the concept of effective heat transfer area, a unique non-dimensional correlation is proposed, which can predict the maximum temperature for the series arrangement and the parallel arrangement for a low thermal conductivity PCB for various module package distance.

Key Words : Conjugate heat transfer, Effective heat transfer area, CFD

1. 緒言

日本機械学会の研究分科会で電子機器熱設計に関するビルドアップアプローチ (BUA) 計画⁽¹⁾が進められている。BUA 計画に基づいて、空気に接する固体表面の熱伝達係数を境界条件として、固体内部の熱移動解析を行うステップが提案されており、筆者ら⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾は、適切な境界条件を求め、基板上に配置された単一熱源に対し、実験および数値計算を行い、配置と境界条件との関係の定量化を試みてきた。本研究では、さらに基板上の複数熱源からの複合伝熱に関して、風速、基板の熱伝導率、熱源間隔を変化させた数値計算を行った。計算結果を整理するために、等価伝熱面積 A_{eff} の概念を導入し、 A_{eff} に及ぼす風速、基板の熱伝導率、熱源間隔について検討を加えた。また、等価伝熱面積に基づいた複合伝熱に関するヌセルト数とレイノルズ数の関係を導いた。

2. 等価伝熱面積

Fig.1 に、等価伝熱面積の概念を示す。一般的に、Fig.1 (a) に示すように熱流束 q_{ref} は、熱源からの熱がすべて放熱面積 A_{ref} から空気中に放熱されるとして定義される。一方、熱伝導による放熱を考慮した場合、Fig.1 (b) に示すように、 A_{ref} から放熱される正味の熱流束 q は、式(1)で定義される。

$$q = (Q - Q_{cond}) / A_{ref} = Q_{conv} / A_{ref} \quad (1)$$

ここで、 Q は熱源の全発熱量、 Q_{cond} は周囲の固体に熱伝導によって伝達された熱量、 Q_{conv} は実際に熱源表面か

ら放熱された熱量である。従って、等価伝熱面積は式(2)で定義される。

$$A_{eff} = Q / q = A_{ref} q_{ref} / q \quad (2)$$

3. 数値計算モデル

熱源配置と間隔の伝熱性能に与える影響を調べるため、Fig.2 に示すように、熱源の配置パターン 3 種類の数値計算を実施した。Fig.2 (a) は、熱源を風向き方向に 2 個配置したモデル、Fig.2 (b) および Fig.2 (c) は、それぞれ、熱源を風向きに対して直角方向に 2 個、あるいは 4 個配置したモデルである。Fig.2 (d) は側面図である。なお、熱源は、辺長 $L_{ps}=45.0$ mm のパッケージ基板、辺長 $L_{hs}=28$ mm のヒートスプレッドおよびヒータの 3 部品から構成されたモデルパッケージであり、プリント配線板 (以後、PCB と呼ぶ) 上に設置されている。なお、ヒータの発熱量 $Q_i=1.0$ W とし、PCB の熱伝導率として $\lambda_p=0.3, 3.0, 20.0$ W/m/K を設定した。境界条件として、ダクト上流側入口で大気圧、下流側出口で一樣風速 $U=0.33, 0.67, 1.00$ m/s を与えた。モデルパッケージ中央鉛直断面では、流れに対して対称条件を設定し、断熱条件を設定した。また、ダクト外部壁面での熱伝達率は、モデルパッケージから外部空間への熱抵抗が実測と一致するよう 7.5 W/m²/K とした。熱源間隔の影響については、風向き方向の間隔 $L_A=90.0, 67.5, 54.0$ mm、風向きと直角方向の間隔 $L_B=90.0, 67.5, 54.0$ mm の場合について、数値計算を実施した。なお、数値計算には、汎用の商用 CFD コード CFdesign を使用した。

4. 数値計算結果

Fig.3 に、熱源を風向きに対して直角方向に 2 個配置した数値計算モデルについて、等価伝熱面積の概念に基づいた Nu と Re の関係を示す。 $\lambda_p/\lambda_a=11.7$ の場合 (Fig.3 (a))、 L_A は Nu と Re の関係に影響を与えない。これは、 λ_p が小さい場合には、ヒートスプレッド表面上の熱流束が L_A に影響されないためである。一方、 $\lambda_p/\lambda_a=780.3$ の場合 (Fig.3 (b))、 L_A が小さい場合に Nu が大きく低下する。これは、PCB の

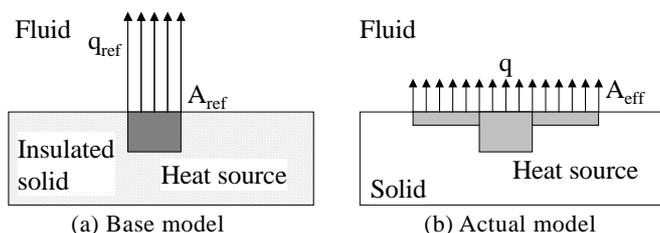


Fig. 1 Concept of effective heat transfer area

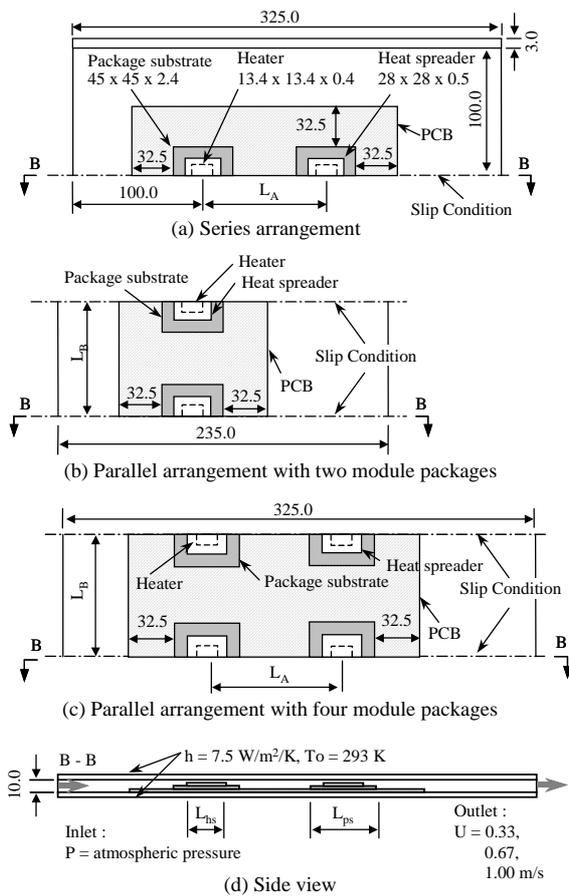
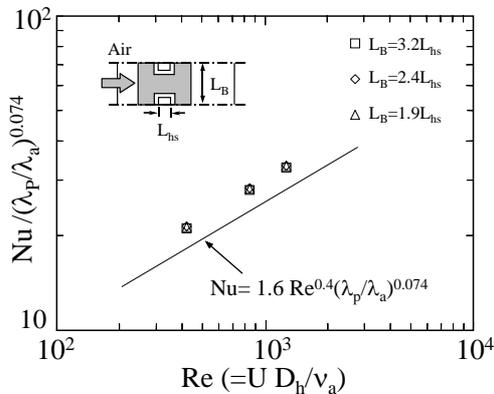
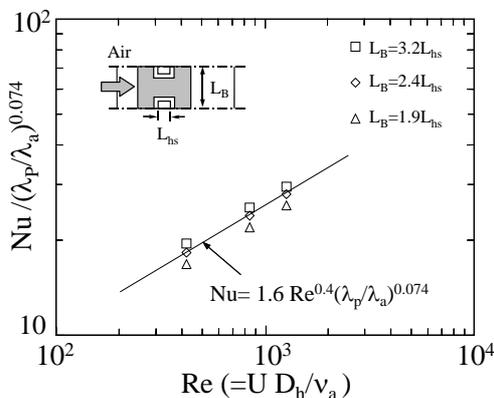


Fig. 2 Physical model for multiple module packages



(a) $\lambda_p/\lambda_a = 11.7$



(b) $\lambda_p/\lambda_a = 780.3$

Fig. 3 Nu vs Re for parallel arrangement with two module packages

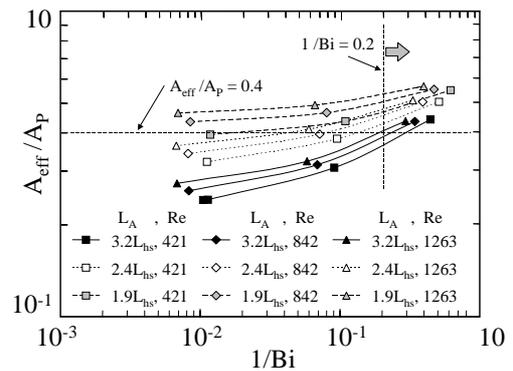


Fig. 4 A_{eff}/A_P vs $1/Bi$ for parallel arrangement with two module packages

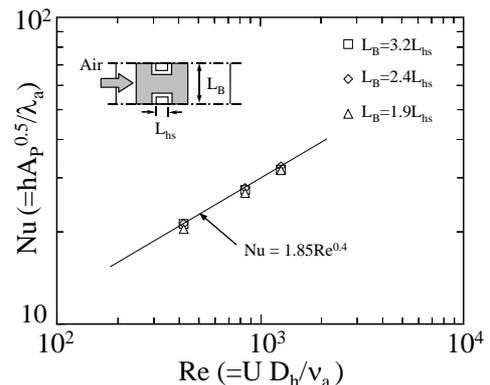


Fig. 5 Nu vs Re

熱伝導による放熱効果が低下したためである。従って、高熱伝導率の PCB 上に配置された複数熱源については、そのままでは、等価伝熱面積に基づいた Nu と Re の関係式を適用できない。そこで、等価伝熱面積と PCB 面積の比 A_{eff}/A_P と式(3)で定義されるピオ数を導入して数値計算結果の整理を行った。

$$Bi = h A_{eff} / t_p / \lambda_p \quad (3)$$

ここで、 t_p は PCB の板厚(1.2mm)である。Fig. 4 に熱源を風向きに対して直角方向に 2 個設置したモデルの A_{eff}/A_P と $1/Bi$ の関係を示す。また、Fig.5 に、等価伝熱面積を PCB の全表面積として定義した場合の Nu と Re の関係を示す。 A_{eff}/A_P が 0.4 以上、かつ $1/Bi$ が 0.2 以上の領域においては、PCB の全表面積を等価伝熱面積として定義した Nu と Re の関係式を用いて、熱源の最高温度を予測できる。

5. 結言

等価伝熱面積の概念に基づいて Nu と Re の関係式を導いた。この関係式は、低熱伝導率 PCB 上の単一、直列および並列熱源配置熱源の最高温度予測に有効である。一方、高熱伝導率 PCB 上に配置された複数熱源については、PCB の全表面積を等価伝熱面積として定義した Nu と Re の関係式を用いて、熱源の最高温度を予測できる。

参考文献 (1) W. Nakayama, IPACK2001 - 15532 (CD-ROM), (2001). (2) M. Fujii, et al., IPACK2001 - 15640 (CD-ROM), (2001). (3) X. Zhang, et al, Proc. of Int. Intersociety Electronic Packaging Conf. - INTERpack '99, vol.1, (1999), 511. (4) H. Yoshino, et al, Proc. of the Twelfth International Heat Transfer Conf., vol.4, 63, (2002).