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 Simulations for Conjugate Heat Transfer from Heat Sources Mounted on a Conductive Wall

正　○吉野　英夫 (富士通九州ｼｽﾃﾑｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ)
正　　張　興　(九大機能研)　　正　藤井　丕夫　(九大機能研)

Hideo YOSHINO, Fujitsu Kyushu System Engineering Limited, 2-2-1 Momochihama, Sawara, Fukuoka
Xing ZHANG, Institute of Advanced Material Study, Kyushu Univ., 6-1 Kasuga-Koen, Kasuga
Motoo FUJII, Institute of Advanced Material Study, Kyushu Univ., 6-1 Kasuga-Koen, Kasuga

Key Words : Conjugate Heat Transfer, Effective Heat Transfer Area, Multiple Chips, 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るため，典型的なモデルパッケージに対し，実験および数値解析を行い，配置と境界条件との関係の定量化を試みている．本研究では，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．さらに，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. 数値計算モデル

Fig.1 に，モデルパッケージおよびダクト形状を示す．ダクト内部には，辺長 L_{ps}=45.0 mm のモデルパッケージを搭載したプリント配線板（以後，PCB と呼ぶ）が設置されている．モデルパッケージは，パッケージ基板，ヒータおよびヒートスプレッダの 3 部品から構成されている．なお，モデルパッケージの隙間間隔 L の伝熱性能に与える影響を調べるため，$L=L_{ps}$(45.0 mm)，$0.5L_{ps}$(22.5 mm)，$0.2L_{ps}$(9.0 mm)の 3 ケースの数値計算モデルを作成した．ヒータの発熱量 Q_t=1.0 W とし，PCB の熱伝導率としてλ_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，下流側出口で一様風速 U=0.333, 0.667, 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 7.46 W/m^2/K とした．なお，数値計算には，汎用の商用 CFD コード CFdesign を使用した．

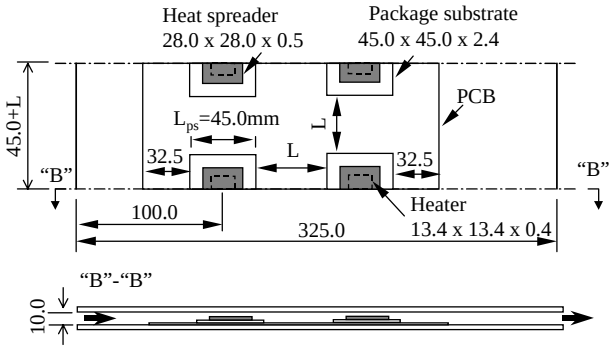

Fig. 1　Simulation model

3. 数値計算結果

Fig.2 に U=1.00 m/s におけるモデルパッケージ中央部固体表面上の温度分布を示す．モデルパッケージの隙間間隔 $L=L_{ps}$(45.0 mm)の場合，λ_p が 0.3 から 20.0 W/m/K に増加するとともに，モデルパッケージ表面温度が大きく低下するものの，$L=0.2L_{ps}$(9.0 mm)の場合には温度低下幅が小さい．従って，$L= 0.2L_{ps}$ の条件では，PCB の熱伝導による放熱促進のための十分な間隔が確保されていないと考えられる．

Fig.3, Fig.4 にλ_p =0.3, 20.0 W/m/K における表面熱流束分布を示す．

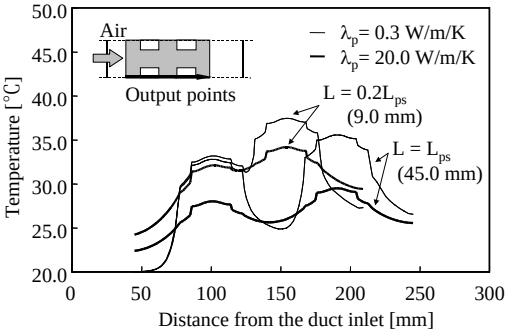

Fig. 2　Temperature distribution

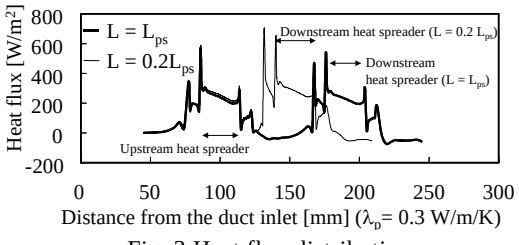

Fig. 3 Heat flux distribution

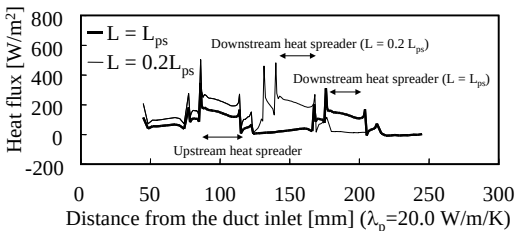

Fig. 4 Heat flux distribution

λ_P =0.3 W/m/K の場合（Fig.3），パッケージの隙間間隔が変化しても，ヒートスプレッダ表面上の熱流束は変わらない．一方，λ_P =20.0 W/m/K の場合（Fig.4），パッケージの隙間間隔が広くなると，ヒートスプレッダ表面上の熱流束が大きく低下する．

モデルパッケージ表面からの熱伝達を整理するため，式(1)で定義される等価伝熱面積 A_{eff} を導入し，ヌセルト数 Nu_{eff} とレイノルズ数 Re の関係を導いた．

$$A_{eff} = (Q_{net}/ Q_{conv})A_{ref} \quad (1)$$

ここで，Q_{conv} はヒートスプレッダ表面からの対流伝熱による放熱量，Q_{net} はダクト外部壁面からの放熱量を除いた正味の放熱量，A_{ref} はヒートスプレッダ表面積である．また，A_{eff} に基づいた熱伝達率 h_{eff} は，式(2)で定義される．

$$h_{eff} = Q_{net}/A_{eff} /(T_{max} -T_o) \quad (2)$$

ここで，T_{max} はヒートスプレッダ表面最高温度，T_o は室温である．従って，等価伝熱面積 A_{eff} に基づいた Nu_{eff} は式(3)で定義される．また，Re は式(4)で定義される．

$$Nu_{eff} = h_{eff} A_{eff}^{0.5} /\lambda_a \quad (3)$$

$$Re = U D_H/\nu \quad (4)$$

ここで，λ_a は空気の熱伝導率，D_H はダクトの水力直径，ν は空気の動粘性係数である．

Fig.5, Fig.6 に，数値計算結果から求めた上流側および下流側モデルパッケージそれぞれに対する A_{eff}/A_{ref} と λ_P/λ_a の関係を示す．Fig.5, Fig.6 より，L が小さい場合，有効伝熱面積 A_{eff} が小さくなる．これは，Fig.2 で示したように，L が小さくなると，PCB の熱伝導による放熱効果が低下するためである．

Fig.7 ， Fig.8 に λ_p=0.3 (λ_P/λ_a =11.7), 20.0 W/m/K (λ_P/λ_a=780.3)での Nu_{eff} と Re の関係を示す．なお，実線および破線は，流れ方向に 2 個モデルパッケージを直列に配置した場合の数値計算結果[4]によって整理した Nu_{eff} と Re の関係式で，それぞれ式(5)，式(6)で表される．

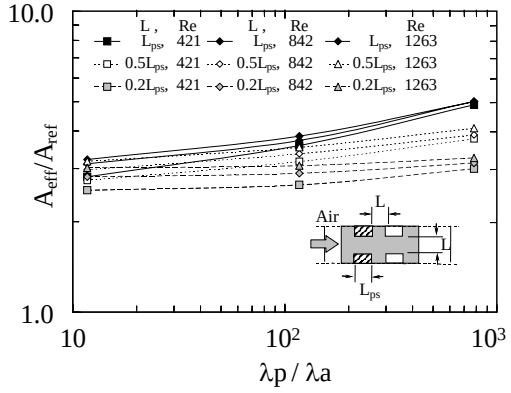

Fig. 5 Relationship between A_{eff}/A_{ref} and λ_P/λ_a (Upstream)

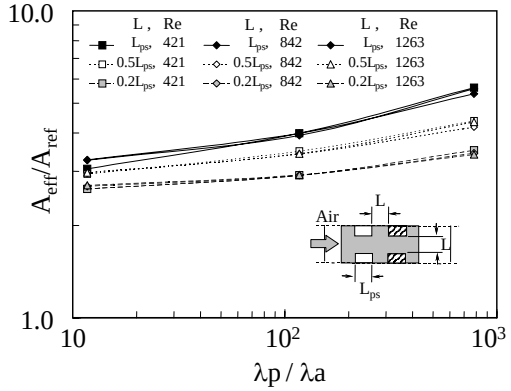

Fig. 6 Relationship between A_{eff}/A_{ref} and λ_P/λ_a (Downstream)

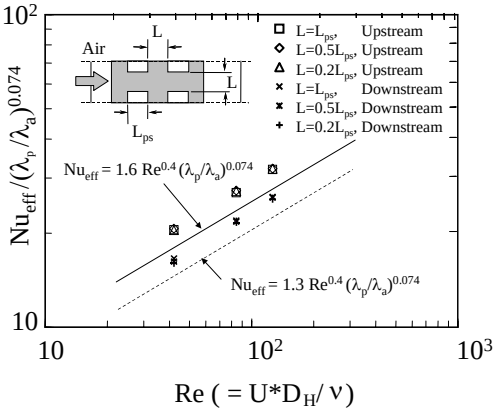

Fig. 7 Nu_{eff} vs Re ($\lambda p/\lambda a$ = 11.7)

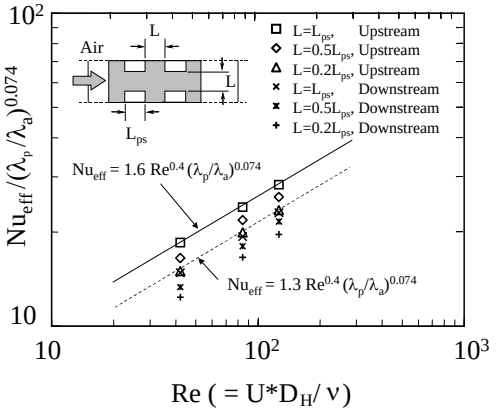

Fig. 8 Nu_{eff} vs Re ($\lambda p/\lambda a$ = 780.3)

$$Nu_{eff} = 1.6\ Re^{0.4} (\lambda_P/\lambda_a)^{0.074} \quad (5)$$

$$Nu_{eff} = 1.3\ Re^{0.4} (\lambda_P/\lambda_a)^{0.074} \quad (6)$$

$\lambda p/\lambda a$ =11.7 の場合（Fig.7），L は Nu_{eff} と Re の関係に影響を与えない．これは，Fig.3 で示したとおり，λ_P が小さい場合には，ヒートスプレッダ表面上の熱流束が L に影響されないためである．一方，$\lambda_P/\lambda a$=780.3 の場合（Fig.8），L が小さいときに Nu_{eff} が大きく低下する．これは，PCB の熱伝導による放熱効果が低下したためである．また，複数熱源の本計算結果は，そのままでは，流れ方向に 2 個モデルパッケージを直列に配置したモデルから得られた Nu_{eff} と Re の関係式を適用できないため，さらに検討を加える必要がある．

4. 結言

汎用の商用 CFD コード CFdesign を使用した数値計算を行った．数値計算結果に基づき，モデルパッケージ隙間間隔，PCB 熱伝導率およびダクト内風速が，等価伝熱面積 A_{eff} および Nu_{eff} と Re の関係に及ぼす影響を検討した．今後，さらに有効伝熱面積の再定義を含めてこれらの影響を詳細に検討する必要がある．

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).