

電子機器の冷却に関する 3次元熱流動解析 プログラムの開発

— 研究開発の中間報告（平成5年度） —

能登 勝久[†] 中島 健

神戸大学工学部 機会工学科

Development of Programs for Cooling Electronic Equipment
by Analysing Three-Dimensional Thermal Flow

1 研究の概要

1.1 報告内容の範囲

本一連の研究のうち、平成5年度の研究概略のみを、主に記す。

1.2 目的

平成4年度に、電子機器の冷却に関する伝熱が、3次元熱流動の効果で、伝熱が抑制または促進することの一部を、著者は初めて見いだした。この伝熱抑制を扱った従来研究はない。平成5年度は、1枚の加熱板に関する電子機器の冷却の3次元熱流動伝熱での、伝熱抑制と促進の特性と、これらの原因を、明らかにすることを目的にした。この目的達成のために、平成4年度までに開発したプログラムを発展させた。

1.3 解析対象

電子機器の発熱部とその周囲の流れを模擬するために、解析モデルは、十分に広い空間中に、厚さの小さい正方形または、矩形板が設置されているとした。この板を加熱した。板の加熱方法は、等熱流束条件である。板は鉛直姿勢である。この板から、自然対流が発生する。この自然対流は、定常状態の3次元現象と考えられる。この自然対流によって、加熱板は自然放冷される。流体を空気とした。

[†]Tel:078-881-1212 ext.5309, Fax:078-803-1131, E-mail : noto@mech.kobe-u.ac.jp

1.4 数値解析の概要

この現象は、浮力項をもつ3次元の非線形の Navier-Stokes 方程式、3次元の非線形の温度方程式、3次元連続の式で定式化される。これらの基礎方程式を連立させて、ベクトル・ポテンシャルを導入して、差分法で、これらの式を、離散化した。離散化スキームは、数値的に最も安定な中心差分とした。離散化された方程式群の数値解法は、3DSOR 法を基本とした。

1.5 手法の開発

平成5年度の数値解析で開発した手法は、次の2点である。

- (1) 「外側境界設定法」：伝熱板から発生する自然対流は、どの領域まで及ぶかを、予め特定することができない。よって、外側境界を、適当な位置に設定してしまうと、誤った計算結果になる。そのため本研究では、独立変数の空間座標の座標変換を行うことによって、外側境界を、無限遠位置に設定した。上記の座標変換式で、すべての基礎方程式系を変換した。
- (2) 「形状変換法」：伝熱板の形状は、正方形とは限らず、縦長状、横長状もある。縦長形状、横長形状の伝熱板からの自然放冷の数値計算では、格子数が膨大になる。この困難を克服するために、伝熱板の形状を変換し、数値計算を実行し、計算結果を現実の形状に戻す方法を、考案した。

1.6 計算精度の検討と計算回数の低減

計算実行に先だって、次の重要な事柄を検討し、明らかにした。

- (1) 「収束判定のクライテリオン」
- (2) 「収束回数の低減」
- (3) 「格子依存性」
- (4) 「伝熱面上の温度勾配の近似精度依存性」

1.7 研究成果

数値計算手法上の解明事項（1.5 項と 1.6 項参照）を応用して、数値計算を実行した。局所ヌセルト数と平均ヌセルト数を、二次元境界層理論の値と比較し、伝熱の抑制と促進の領域と条件を、特定した。伝熱抑制と促進の原因も、次のように明らかにできた。伝熱が抑制される原因は、伝熱板の近傍に、3次元効果として、循環流が発生し、この循環流領域に熱が籠ることによる。伝熱が促進される原因は、両側端からのエントレイメントによる。これらの事柄は、電子機器の冷却に関して、重要な知見を与える。電子機器の冷却の伝熱抑制と促進が、上記のように特定可能な、3次元熱流動解析プログラムが、下記のように開発できた。

2 開発プログラムの概要

2.1 開発プログラムの種類

開発したプログラムは次の二つである。使用言語は FORTRAN77 である。

- (1) 『3次元自然対流の計算プログラム』：平成4年度に開発した計算プログラムに、平成5年度開発した『外側境界設定法』と『形状変換法』を組み込んだ。
- (2) 『3次元自然対流の作図プログラム』：平成4年度開発したプログラムを、使い易くした改良版である。

これらのプログラムに類する市販のソフトウェアはない。

平成5年度は、平成5年度に開発した『外側境界設定法』と『形状変換法』を、平成4年に開発した『計算プログラム』に組み込んだ。平成4年度に開発した『作図プログラム』の使い易さを向上させ、バージョン・アップを行った。なお、平成5年度に開発した『計算プログラム』を、利用しやすくするために、必要かつ重要な、プログラムの、汎用性、計算速度の向上、使いやすさは、今後の課題と考えている。

2.2 3次元自然対流の作図プログラム

開発した『3次元自然対流の計算プログラム』の概要とその取扱は次のようである。なお、数値計算は倍精度で行うため、プログラムに含まれる変数のみならず定数の全てを、倍精度表記した。プログラムの見通しを良くするためと、簡素化のために、変数を4次元配列にした。

- A-1: 入力データは、X,Y,Z 方向への格子数、伝熱板のアスペクト比、伝熱板の傾斜角度、流体プラントル数、グラスホフ数、緩和パラメータ、収束判定条件値、形状変換パラメータである。
- A-2: 初期分布の値は、プログラムに記述した。
- A-3: A-1 の入力データを入力するだけで、数値計算は実行され、収束判定も行って、数値解が収束すれば、計算は停止する。
- A-4: 計算結果を、現実の形状に戻す計算をする。
- A-5: 出力データは、次の10変数である。X,Y,Z 方向の速度、X,Y,Z 方向の渦度、X,Y,Z 方向のベクトルポテンシャル、温度である。
- A-6: 10変数の計算値は、繰り返し計算の度びごとに、置き換えられるため、計算時の変数の数は20である。X,Y,Z 方向の格子数が、例えば20,20,20のときには、繰り返し計算回数は約6000回で収束する。
- A-7: これらの数値データ群を、磁気テープにメモリーする。

2.3 3次元自然対流の作図プログラム

バージョン・アップした『3次元自然対流の作図プログラム』の概要の骨子は、平成4年度版と同様である。

B-1: 各変数の各断面上の等高線やベクトル分布が作図できる。

B-2: 本作図プログラムの入力データは、A-7の磁気テープにメモリーされた数値データである。

B-3: 作図計算がなされる。

B-4: 次に諸分布が作図される

3 研究発表

- (1) 能登 勝久・山本 和順・中島 健、『正方形板からの三次元自然対流の伝熱』、日本伝熱学会主催「第30回日本伝熱シンポジウム」(於:横浜), 1993年5月.
- (2) 能登 勝久・清田 隆・中島 健、『3次元自然対流の熱伝達の劣化と促進』、日本機械学会主催「第71期全国大会」(於:広島), 1993年10月.
- (3) 能登 勝久・清田 隆・中島 健、『三次元自然対流におけるベクトル・ポテンシャル法による収束』、日本学術会議主催「第43回応用力学連合講演会」(於:東京), 1994年1月.
- (4) 能登 勝久・清田 隆・佐藤 輝・中島 健、『自然対流熱伝達の3次元熱流動による劣化』、日本伝熱学会主催「第31回日本伝熱シンポジウム」(於:札幌), 1994年5月.
- (5) 能登 勝久・佐藤 輝・中島 健、『3次元自然対流の熱流動による熱伝達の抑制』、日本機械学会主催「北九州地方講演会」(於:北九州), 1994年11月.
- (6) NOTO,K. and NAKAJIMA,T., 『Numerical Analysis of Three-Dimensional Natural Convective Heat Transfer from an Inclined, Isothermally Heated, Square Plate』, Theoretical and Applied Mechanics, Vol.42, 1993, pp.245-252.
- (7) NOTO,K., YAMAMOTO,Y. and NAKAJIMA,T., 『Augmentation and Suppression of Heat Transfer in the Three-Dimensional Natural Convection from a Square Plate with Uniform Surface Heat Flux』, Proc. of 10th International Heat Transfer Conference, Vol.5, 1994, pp.531-536.
- (8) NOTO,K. KIYOTA,T. and NAKAJIMA,T., 『Convergence with the Vector-Potential Method for Three-Dimensional Natural Convection』, Theoretical and Applied Mechanics, 1994(in print).