D122

電子機器の熱設計における熱流体解析の現状と課題

Research Topics of Thermo-fluid Analysis on Electronic Equipment Thermal Design

正 横野 泰之 (東芝)

Yasuyuki Yokono, Corporate Research & Development Center, Toshiba Corp.

In order to utilize thermal analysis techniques in the actual design process, not only the thermal analysis techniques themselves, but the procedures for applying those techniques in the design, were examined. According to the stage of a design, the example of application of heat fluid analysis and visualization in the thermal design of an electric equipment was divided into the system performance analysis which drops a product concept on a system function, the layout analysis which determines a system function to a part layout, and the parameter analysis which determines the design parameter of each part. The progress of the utilization technology including new analysis and visualization techniques are expected.

Key Words: Thermal Design, Electronic Equipment, Thermal Analysis

1. はじめに

電子機器では小型軽量化の要求が強く、同時に処理能力の向上も強く望まれている。電子機器の熱設計は高密度化によって増大した発熱密度から、機器をいかに守りその動作や信頼性を保つかというものである。また、電子機器ではその開発サイクルが短く、設計が固まった後に熱対策を行うことでは製品開発のスピードに対応できず、より効率的な設計が求められている。このような背景から、開発の効率化を目的として熱設計への熱流体解析の取り込みには大きな期待がかけられている。ここでは、熱流体解析の利用技術を設計の段階によって分類して、電子機器の熱設計における熱流体解析と可視化の適用例を紹介し、その現状と課題について述べる。

2. 熱設計とは

熱設計は、CPUなど各種電子部品が安定動作するように動作温度を許容値以下に抑える冷却装置を構成し、それらの設計パラメータを決めていくことである。Fig.1に示すように製品コンセプトをシステム機能へ、さらに、部品レイアウト、設計パラメータへと順に落とししていく作業といえる。この上から下への詳細な値を決めていく流れが設計であり、逆に設計パラメータが決まり、部品がそろい、システム性能を調べるという上向きの流れが検証である。システム性能が容易に想像でき、部品の設計パラメータ選別に余裕がある場合は、この検証は設計者の頭の中で行われる。発熱密度の上昇などによりそのシステム性能に余裕が無く、その性能を容易には想像できない場合は実験などによる検証が必要になる。一度でシステム性能を満たせばよいが、通常この設計と検証が繰り返して行われる事が多い。設計に数値解析を適応するのはこの検証を勘や実験から数値解析に置き換えようとするものであり、設計と検証の繰り返しのコストを下げ、開発の速度を上げるのが目的である。数値解析は検証を行う技術であり、設計との繰り返しがあってもはじめて開発の効率化に寄与する⁽¹⁾。ここでは、電子機器における熱流体解析の適用を、製品コンセプトをシステム機能に落とすシステム性能解析、システム機能から部品レイアウトを決めるレイアウト解析、各部品の設計パラメータを決めるパラメータ解析に分けて考えてみる。

3. 数値解析事例

3.1 パラメータ解析

半導体パッケージや冷却フィン、ファンといった部品ではその寸法が小さく比較的低流速で用いられることから、

定量的な熱流体解析が可能となっている。このような例として、フィン付き半導体パッケージの熱設計⁽²⁾を示す。Fig.2にはピンフィン放熱器の概観とその解析結果として温度分布を示す。このような細線を用いた放熱器ではフィン効率の低下が問題となるため、流れの解析は2次元としているが、フィンの高さ方向に1次元熱伝導方程式の解析解によるフィン温度境界条件を与え、流れ解析から得られる熱伝達率との繰り返し計算によりフィン効率を算出した。これより、 $Re=150$ の場合では、前段のフィンでは定常的な温度分布を示し、熱伝達率も一定であるが、後段ではカルマン渦に伴う周期変動が生じ、熱伝達率も変動することなどがわかった。このようにして得られた熱伝達率をパッケージ表面への熱伝達境界条件としたパッケージの熱伝導計算をおこなった。この結果、パッケージ熱抵抗を様々な流速やフィン高さにより記述されるパッケージ表面でのフィン相当熱伝達率により整理できた。

このように、部品におけるパラメータ解析では解析結果の定量的な検討や速度、圧力、温度といった物理量の詳細な観察から設計改良のヒントを得ることができる。さらに、最適化手法と数値解析の組み合わせによる設計案の算出や設計パラメータの変動によるロバスト性検討なども行われており、数値解析が有効な手段となっている。

3.2 レイアウト解析

部品のレイアウトを決めるようなシステム全体を対象とした場合では、詳細な CAD データを用いて詳細な解析を実施するのではなく、ある程度ラフな解析モデルに変換する努力がなされている。また、解析の結果による形状変更やレイアウト変更は構造設計など他の設計にも影響を与えるので、このラフなモデルでの設計変更は詳細な CAD 情

Fig.1 Design flow

報そのものに反映される必要があるが、自動的にフィードバックすることは困難で、人の手を介して CAD データを変更しているのが現状である。

Fig.2にはこのような解析結果の一例として、モバイルノートPCの解析例⁽³⁾を示す。このモデルでは筐体が非常に薄く、2次元断面の温度分布によりほぼ筐体内部の温度分布が把握できた。このように温度分布を分かりやすく表示し、設計者間で共有することにより、放熱経路の検討や今後の設計変更に対する知見として有効な情報となった。

このような用い方においては、様々な内蔵部品を取り替えるなどの柔軟なレイアウト変更には対応不十分な点があり、モデル構築技術に関しては進展を期待したい。また、定量性の向上や部品ごとの詳細な設計パラメータ表現が可能になれば新たな用い方が広がり、CAD データへのフィードバックなども望まれている。これらは、解析モデルの大規模化や解析の高速化の進展に期待するところが多く、近い将来に実現されると信じている。

3.3 システム機能解析

この段階では、製品コンセプトからシステムでの機能がどのようになるべきか、あるいはならざるを得ないかをブレークダウンする。電子機器では、ある発熱量の CPU をどのくらいのファンで冷却するか、その際に筐体の大きさや重量はどのようにすべきか、また、バッテリー持続時間との兼ね合いはどのようにするかといったような様々な機能を定める段階といえる。

ここでは、多目的最適化を用いたパワーユニットの設計例⁽⁴⁾を紹介する。パワーユニットでは、素子の温度を所定の値以下に保つのみではなく、熱膨張差による歪の低減や冷却に必要な送風機の低圧力損失と低騒音、さらには機器の小型化を同時に満たしていく必要がある。これに対応するため、あらかじめ熱伝導解析などにより求めておいた設計パラメータと各目的関数の関係を基に、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms)による多目的最適化を実施した。この結果の一例として、熱抵抗とフィン高さ、冷却空気流速の関係をFig.4に示す。これらの目的関数のトレードオフ関係が分かると共に、ある評価基準の値を改良するためには残りのどれかの評価基準の値を改悪しなければならない解、すなわちパレート解が得られた。一対比較による目的関数の重み決定などにより、このパレート解の中から設計解を選択すること、およびその選択のプロセスを明らかにすることができた。

数値解析が、どの程度の定量性を持つか、システムレベルや部品レベルのパラメータをどれほど盛り込む必要があるかには議論があるが、いわゆる多目的最適化などによる異なる指標間での定量的なトレードオフ把握がシステム機能解析で求められるものの一つと考える。異なる指標としては、これまでの熱抵抗や材料強度など機械的特性のみではなく、電気的特性や使いやすさ、製品全体での騒音、品質感など解析困難な指標も含まれる。また、まったく新しい概念が生まれてきた時にそれがどのような性能を発揮するかを定量的に把握するといった利用目的もあり、適用例が少なくまだ利用の形態についても明確ではなく、システム機能解析には今後の進展を期待したい。

4. おわりに

演算能力の高いハードウェアや様々な解析ソフトウェアが出現し、電子機器における熱流体解析が実施できる環境が整ってきた。設計の段階によってその適用方法や課題が異

なる。電子機器の熱設計においては、解析結果をいかに利用して開発プロセスの中に取り込むかが求められており、新たな解析技術や可視化を含めたその利用技術の進展が期待されている。

Fig.2 Pin fin heat sink

Fig.3 Temperature distribution in mobile PC

Fig.4 Multi objective optimization

5. 参考文献

- (1) Yokono, Y., Hisano, K. and Ishizuka, M., Thermal Science and Engineering Vol.8, No.1, (2000), pp.39-45
- (2) Yokono, Y., and Hisano, K., ASME EEP-Vol. 4-2, (1993), pp. 887-892.
- (3) Hisano, K., Iwasaki, H. and Ishizuka, M., Thermal Science & Engineering, Vol. 5, No. 2, (1997), pp.7-12.
- (4) 横野泰之, 黒岩正, 古川亮, 向井稔, 可視化情報学会論文集, Vol.24, No.10, (2004), pp.49-54