

応答曲面法を用いた熱設計用コンパクトモデルの計算方法

葛野 正典、西尾 俊彦、小山田 耕二*
日本アイ・ピー・エム株式会社 設計技術開発
*岩手県立大学 ソフトウェア情報学部

概要

本報告では応答曲面法を用いた熱設計用コンパクトモデル計算方法について提案する。コンパクトモデルは、少ない計算コストで熱解析の計算精度を向上させるために必要なモデルとして認識されている。電子部品のコンパクトモデルを計算するために、我々は、それが筐体内でさらされるであろう様々な環境を想定した熱計測を行い、その結果を使ってモデルパラメータを同定する。同定のために行う最適化計算手法として遺伝的アルゴリズムのみを用いた場合との比較を行い、その有用性を確認した。

A thermal compact modeling method using Response Surface Methodology with Genetic Algorithm.

Masanori Kuzuno, Toshihiko Nishio, Kohji Koyamada*
Design Methodology, Yasu, IBM Japan Ltd.
*Iwate Prefectural university

Abstraction

In this paper, compact model calculation method for thermal design using the response surface methodology is proposed. The compact model has been recognized as a model necessary for improving calculation accuracy of thermal analysis at the little calculation cost. In order to calculate the compact model of the electronic component, we carry out the heat measurement on the assumption of the various environments where it will be revealed in the internal, and model parameters are identified using the result. It was compared, when only the genetic algorithm was used as an optimized calculation technique for the identification, and the usefulness was confirmed.

1. はじめに

CPUに代表されるLSIなどの電子部品は、その動作及び寿命信頼性を保証するための動作上限温度がある。電子機器の設計においては、動作上限温度を超えないようにするために、設計初期段階からコンピューターシミュレーションによる熱解析を併用して開発が行われている。電子機器は高密度実装が進み、設計段階で行われる熱解析モデルは、部品点数の増加に応じて大規模になり、コンピューターによる計算時間も長時間となる (Figure 1.)。開発段階での計算時間は12時間以内を要求され、実際の温度との差として $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以下の精度が要求されている。

そこで、計算時間を短縮するためにコンパクトモデルと呼ばれる、複雑な形状や構造を排除し単純化する手法が一般的になってきている。

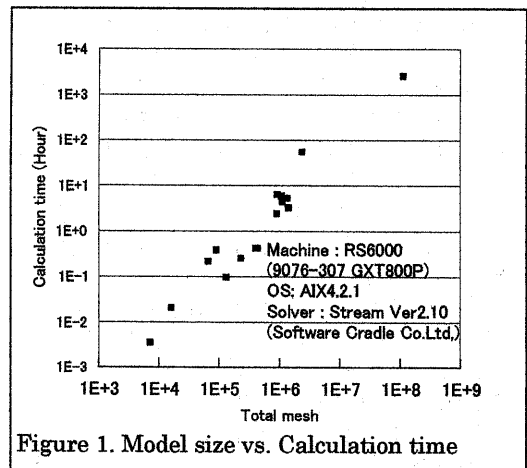


Figure 1. Model size vs. Calculation time

しかし、そこに使われる熱伝導率や熱伝達係数などのパラメータは計算温度結果に大きく影響するので、最適な値を用いなければならない。筆者等は、遺伝的アルゴリズム(GA : Genetic Algorithm)^(1~2)を利用したコンパクトモデリング技法(GOD : GA based Optimized Design)を用いて、ノートブックコンピュータのキーボードやハードディスクなどのモデリングにおいて、パラメータの最適化を行い、コンパクトモデルを実用化してきた。^(3~7)

しかし、最適化の作業においてはGAによりパラメータを変化させて、多数回のシミュレーション計算を行うのが実際で、コンパクトモデルを完成させるには多くの時間を要する。⁽⁸⁾

近年、強度や疲労、形状など力学的構造のシミュレーションにおける材料特性の最適化問題の解決手段として応答曲面法が提言されている⁽⁹⁾。本稿では、熱解析におけるパラメータの最適化手段として応答曲面法を応用し、最適化の時間短縮に有効性が確認できたので報告する。

2. GOD と RSMGOD (Response Surface Methodology with GA based Optimized Design)

Figure 2. に GOD におけるパラメータ最適化の流れを示す。まず、①シミュレーションモデルにおいて最適化すべきパラメータの範囲を入力し、②遺伝的アルゴリズムに基づいてパラメータを生成する。そのパラメータを使って③シミュレーションを実行し、④実行結果と参照温度とを適応度評価関数を用いて評価する。評価関数の値 f は $0 < f \leq 1$ の実数とし、実行結果と参照温度が近づくほど 1 に近い結果となる関数(1)を定義している。②評価結果に基づいて GA は新たなパラメータを生成し、再びシミュレーションを実行する。評価結果 f が 0.9 を超えた時点か、最大 300 回のシミュレーション計算が実行された時点で最適化作業を終了し、もっとも評価結果 f の大きくなったパラメータを⑤最適化結果とみなす。

$$f = \frac{1}{1 + \sum_p (T_{ref_p} - T_{cal_p})^2 \times W_p} \quad (1)$$

T_{ref_p} : p点における参照温度

T_{cal_p} : p点におけるシミュレーション結果温度

p: 参照点位置(1~3)

W_p : p点の重み付け(=1)

一方、応答曲面法を用いたモデル最適化(Figure 3)では、①シミュレーションモデルにおいて最適化すべきパラメータの範囲を入力し、②D 最適規準計画⁽¹⁰⁾によりパラメータを決定する。ここで、GA によって D 最適規準を満たすパラメータの組み合わせを探索している。今回は 11 個の組み合わせを選ぶようにしている。③11 個の組み合わせを使ってシミュレーションを実行し、④実行結果と参照温度から評価関数式(1)で評価する。最後に⑤応答曲面をパラメータと評価結果 f の近似式で求め、⑥パラメータの範囲内での極値を GA を使って計算する。この方法では、シミュレーション計算の実行は 11 回となり、最適化における大幅な時間短縮が期待できる。

いずれの方法も GA を用いることが特徴である。GOD では最適結果が導かれるまで GA を用いることが特徴である。すなわち、最適化過程である GA の計算ループの中にシミュレーション実行部分が含まれている。RSMGOD では D_{eff} を最大にする設計点集合を探索するため、そして得られた応答曲面から極値を計算するために GA を用い

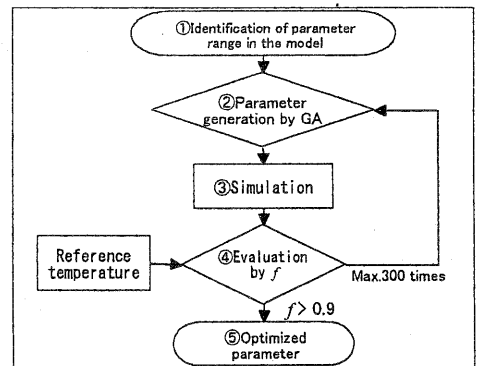


Figure 2. Optimization process flow in GOD

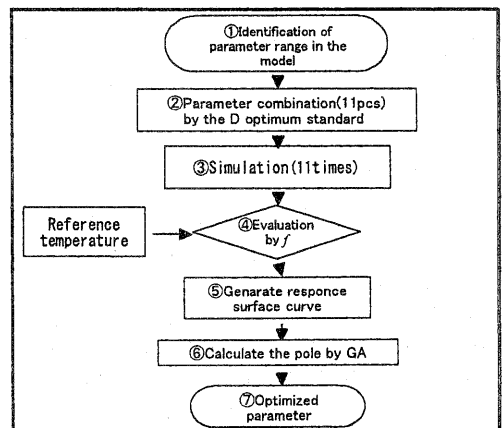


Figure 3. Optimization process flow in RSMGOD

ている。このため最適化過程とシミュレーション実行を切り離すことができ、計算時間の短縮が実現できるものと期待できる。

3. 実験による比較

実験は、測定による誤差を排除するためにすべてシミュレーションを用いて行われた。Figure 4. に示すような 3 層構造のモデルから Figure 5. のようなコンパクトモデルを作成する。まず、Figure 4. の規準モデルについてシミュレーションを行い、Figure 6. の P1~P3 の参照温度を求める。

参照点 P1~P3 の温度にもっとも近い結果を導き出せる図 5 の熱伝導率 MAT_A 及び MAT_B の値を GOD、RSMGOD それぞれの手法で最適化する。最適化の範囲は MAT_A、MAT_B とともに 0.5~398Watt/m·K の範囲とした。

4. 結果

それぞれの方法で最適化されたパラメータ値結果を表 1 にまとめる。MAT_A の値はいずれも 0.5 Watt/m·K となったが、MAT_B に差が見られた。最適化に要した時間を Table 2. にまとめる。RSMGOD による最適化時間は GOD の約 36%と半分以下に抑えられた。この時 GOD における実際のシミュレーションの実行回数は 50 回で評価値 f が 0.9 を超え、最適値を得た。RSMGOD のシミュレーションの回数は 11 回で、GOD の 22%である。概して、残りの 14%程度が最適化の過程の違いによる時間と考えられる。今回のモデルでは GOD におけるシミュレーションの回数は 50 回であったが、最適化すべきパラメータの数が変わった場合や、最適化すべき範囲が増えた場合、シミュレーションの回数は容易に増加すると考えられるので、RSMGOD による最適化時間の短縮への効果はより大きいと言える。

次に、最適化されたパラメータを用いてコンパクトモデルをシミュレーションした場合の参照点での温度の比較結果及び結果精度を Table 3. にまとめる。ここで最大誤差、平均誤差を式 (2), (3) で定義した。

$$\text{誤差 } e = \frac{|T_{ref_p} - T_{cal_p}|}{T_{ref_p}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{平均誤差 } E = \frac{1}{n} \cdot \sum_p e \quad (3)$$

T_{ref_p} : p点における参照温度
 T_{cal_p} : p点におけるシミュレーション結果温度
 p: 参照点位置(1~3)
 n: 参照点の数(=3)

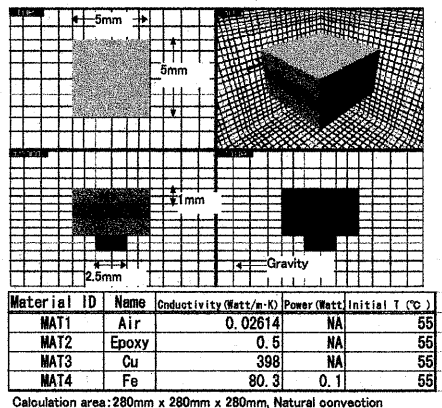


Figure 4. Standard model and condition

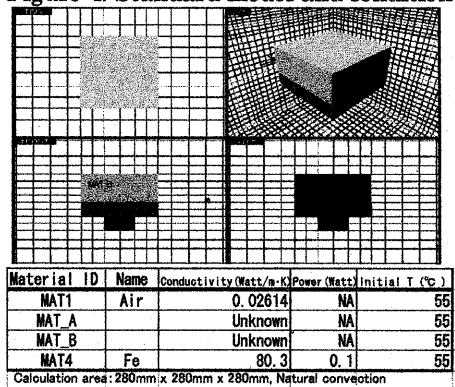


Figure 5. Compact model and condition

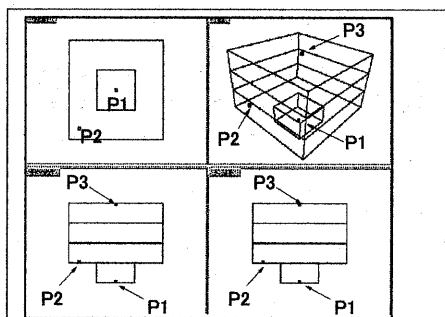


Figure 6. Reference point placement

Table 1. The resulting optimized parameters				Table 3. Optimization time.	
Material ID	Conductivity (Watt/m·K)		Calculation time (sec)		
	GOD	RSMGOD	GOD	RSMGOD	
MAT_A	0.5	0.5	3681.23	1324.1	
MAT_B	171.2	283.2			

RSMGODの精度がGODより劣ることから、今回選ばれた11個のパラメータからできる応答曲面(Figure 7.)では、真の極値が探索しきれていないと言える。精度を上げるには、パラメータの探索範囲を狭くするか、選択するパラメータの数を増やす(シミュレーションの回数を増やす)ことで解決できると考えられる。しかし、今回のモデルに対して得られた精度は、製品の開発段階で要求されている精度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内を十分満足するもので、他の製品に早期に応用したいと考えている。

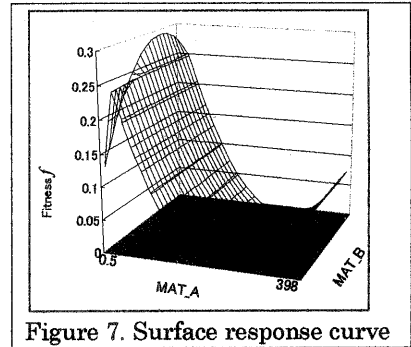


Figure 7. Surface response curve

4. 結論

この論文では、熱解析用コンパクトモデルの作成に応答曲面法を応用して、パラメータの最適化が行われた。その最適化方法は、従来の遺伝的アルゴリズムを用いたパラメータの最適化方法に比べ、最適化過程に行われるシミュレーションの実行回数を少なくでき、最適化に要する時間を半分以下(36%)に短縮できた。

求められたパラメータを使つてのシミュレーション結果の精度は、従来の方法に比べ悪くなるが、実際の使用に十分な精度($< 5^{\circ}\text{C}$)を持っている。

5. 参考文献

- (1) Goldberg, D.E. : Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, 1/25, Addison-Wesley(1989).
- (2) Michalewicz, Z. : Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs Second Extended edition, Springer (1994)
- (3) 小山田、西尾、山田、小寺 : Compact modeling approach using GA for accurate thermal simulation, ASME PVP'99
- (4) 葛野、西尾、山田、小山田、: A Compact thermal Modeling Approach using a Genetic Algorithm for the Hard Disk Drive, Advances in Electronic Packaging 1999 Vol.1, p65/73(1999)
- (5) 西尾、山田、小寺 : 遺伝的アルゴリズムを用いた熱シミュレーションモデルの高精度化、日本機学会論文誌 B Vol. 65, No. 632, 1370/1376(1999)
- (6) 西尾、山田、小山田 : Compact Modeling Approach for Accurate Thermal Simulation of Mobile Computer, 2nd 1998 IEMT/IMC Symposium, 167/172(1998)
- (7) 葛野、西尾、山田、小山田 : ハードディスクドライブの遺伝的アルゴリズムを利用した効率的熱解析モデルの作成、第12回計算力学公演会 公演論文誌、663/665(1999)
- (8) 山崎 : 最適化手法の現在と将来、日本機学会学会講習会教材 応答曲面法による非線形問題の最適設計入門、1/9(1999)
- (9) 轟、R. T. Haftka : 積層パラメータを変数とした座屈荷重応答曲面を用いた遺伝的アルゴリズムによる複合材料積層構成最適化、機械学会論文誌A, Vol. 64 No. 621, 1138/1146(1998)
- (10) 轟 : 2 応答曲面法、日本機学会学会講習会教材 応答曲面法による非線形問題の最適設計入門、11/23(1999)