

## 車載部品用熱解析ツール

## Thermal Design Tool for Vehicle Electric Parts

真下啓治\*  
Keiji Mashimo長瀬浩\*  
Hiroshi Nagase斉田幸弘\*  
Yukihiro Saita小泉健\*  
Ken Koizumi陣鎌真一\*2  
Shin-ichi Jingama

概要 車載部品設計に供するCAE連携ソフトウェアツールとそれを用いた設計手法について述べる。自動車の電子化の進展はめざましく、電子回路設計が車の性能に与える影響も大きい。そうなれば回路設計と熱解析を連携させて効率よく最適な設計を行うことのニーズは高まってくる。従来でも市販の回路設計ソフトを活用することで概略の熱解析は問題なく行える状況にはあった。しかしながら、ジュール熱の分布や局所的な熱伝達係数をきめ細かく設定することはできず、実製品の設計ニーズを満足するレベルのものではない。上記問題を解決し、回路設計の効率化に寄与できるソフトウェアツールを開発したので報告する。本開発ツールの主な機能は部品ライブラリから構築した形状データに境界条件を付与して市販解析ソフトに受け渡せるようにしたことである。部品ライブラリ中には形状、各部位の熱伝達率、発生熱量、材料物性、及び熱的に等価な端子構造のデータが格納される。市販のツールのみでも形状データは構築可能であるし、やや手間をかければ各部位への熱伝達率の入力も不可能ではないがそれ以外の必要パラメータを手入力で入れるのは実質的に不可能であった。第一の手順ではCADベースの形状データと主にライブラリから受け渡される部品データが連結される。次にこのデータが加工され市販の解析ソフトで認識できる形式のデータとして出力される。結果として上記開発ツールにより解析に要する時間が約半分に減少した。

## 1. はじめに

回路基板といくつかの電氣的接合部からなるような車載電装部品が本開発ツールのターゲットである。それらの一例としてジャンクションブロック(JB)を挙げることができる。典型的なJBの主要部はリレー、ヒューズ、コネクタを含む電気回路で構成されている。その機能は電力と信号を適切な場所に伝送することである。JBをはじめとするほとんどの電装部品の設計に当たっては妥当な熱解析が必須である。しかし、解析の準備には非常な手間と忍耐を要していた。近年の回路数の増可は事態をさらに悪化させる要因である。

本報告では上記問題を解決するためのソフトウェアツールとそれを用いた設計手法について述べる。

## 2. ツールの構成

図1に示すのは本開発ツールにおけるデータの流れである。このツールの基本部分はカスタマイズされたプリプロセッサであり、市販の解析ソルバにデータを出力することを目的とする

ものである。このプリプロセッサは次の三つのモジュールから構成される。すなわち(1)幾何学データ構築部(2)自動メッシュ生成部(3)境界条件自動入力部である。(1)にはライブラリエディタが含まれている。

従来の手法において最も手間のかかるプロセスは境界条件の設定である。一般的にはメッシュ生成がそれに次いで手間を要する手続きとなる。境界条件のなかでとりわけ発生熱量と熱伝達率は重要な入力項目である。

本開発ツールでは回路パターンからのジュール熱はジュール熱計算ツール(joule heat calculator)によって計算され、実装部品からのジュール熱は実装部品境界条件設定ツール(component's boundary condition generator)によって計算される。実装部品境界条件設定ツールで熱伝達率も算出することができる。

自動メッシュ生成のプロセスは独自開発のソフトで行う。このソフトを用いてライブラリ群から実装部品の形状データを取り込むことにより全体の外形を自動で生成することができる。

本開発ツール即ちプリプロセッサとしては最後に解析データ生成ツールを用いて市販ソルバに送り込むデータを出力する。市販ソルバには幾何学形状と境界条件がセットになって送り込まれる形となる。したがって、手入力による条件設定はほとんど不要である。

\* 研究開発本部 自動車電装技術研究所

\*2 電装・エレクトロニクスカンパニー  
自動車電装部品事業部 ハーネス部

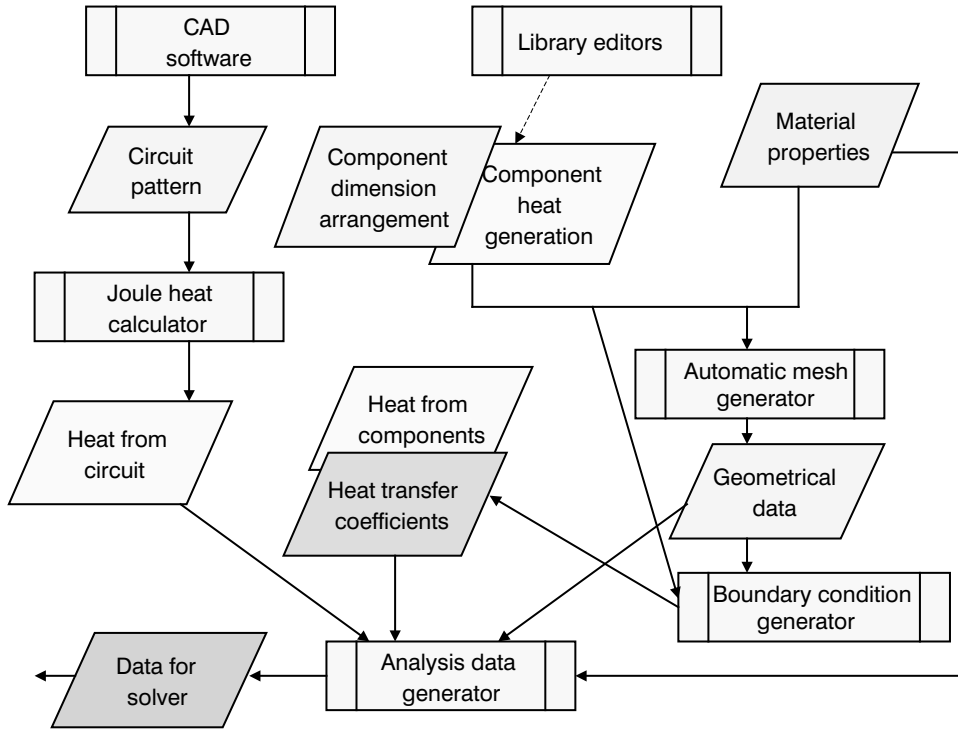


図1 データフロー  
Data flow.

### 3. CADとの連携

車載電装部品の構造特徴により、市販のCADソフトで作成した図面を直接的に利用して解析を行うのは困難である。解析の目的によっては有効な場合もあるが、一般には複雑な内部構造に対して個別に境界条件を与える手間を考えると断念する場合がほとんどである。例えば狭い隙間の認識を考えてみる。CAD上では1本の線にしか見えないような隙間の取り扱いは計算機にとって難しい課題であり、仮に認識がうまくいったとしてもメッシュ生成に問題が残る。類似の課題であるが接触が完全に接着されているかは図面情報からだけでは判断しがたいという問題もある。近年では市販の自動メッシュ生成ソフトで非常に優れたものが出てきている。上記のような隙間の問題や接触の問題を別とすれば、かなり複雑な構造物でも手修正を入れずにメッシュ生成が可能なのである。しかしながら、次のような別の切り口からの問題も存在しまだ十分に満足のいくレベルとは言えない。即ち、3次元自動メッシュが理論上も完全に可能と証明されているのは四面体に限られる。通常の有限要素法解析では四面体要素で特に問題ないとされるが、六面体要素に比べ接点数が多くなること、衝撃など一部の解析において誤差が大きくなることなどの問題がある。誤差の問題は積分点の置き方に工夫を加えるなどの検討がなされてきて改善の方向にあるが、接点数の増大はいかんともしがたいものがある。これは計算時間に直接影響し、複雑な解析対象ほど深刻である。

上記のような状況に鑑み検討を重ね、本開発ツールでは形状データをライブラリ群から取り込む方式により、全体の幾何学形状を自動生成すると同時に、複雑な内部構造に対してきめ細かく境界条件を自動入力することを実現した。ライブラリ群には幾つかの単体のライブラリが含まれており、それぞれが保持

しているデータの種類のほぼ同じである。即ち、幾何学形状、発生熱量、各部の熱伝達率などが格納されている。

市販のCADとの直接的連携を行うのは回路パターンのみで、他はライブラリ経由で形状を生成する。

この方法によれば、わずかな座標点で外形形状を把握できることになる。図2に示すのは本開発ツールで取り込んだ形状情報の模式図である。3次元形状から離散的な座標点、即ち主として隅点を抽出し、適当な層間距離を持つ層状の構造として取り扱う。これはCTスキャンと同じ考え方であり、そこから類推すれば理解しやすい。

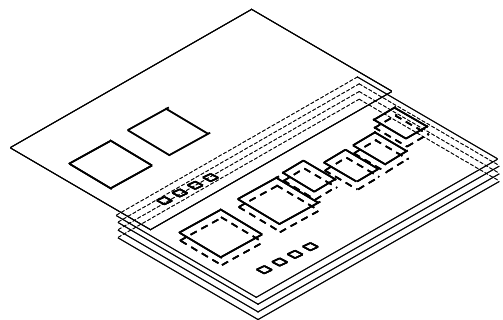


図2 層状の線画による形状把握  
Determination of parts contour using layered line drawings.

### 4. 要素自動分割プログラム

実際のJBからどのようにして解析モデルを構築するかを図3に示している。まず、3次元物体から切り出された2次元スライス面上の線画が各層ごとに生成される。これらの線画、または形状を描くのに必要な隅点座標を基に3次元のメッシュが自動生成される。この例ではJBの構造特徴を利用して構造メッ

シユにより六面体メッシュを実現している。JBのような層状で六面体が支配的な構造であれば構造メッシュが有効であるが、曲面が多用されるような構造では、非構造メッシュの方が向いている場合もある。

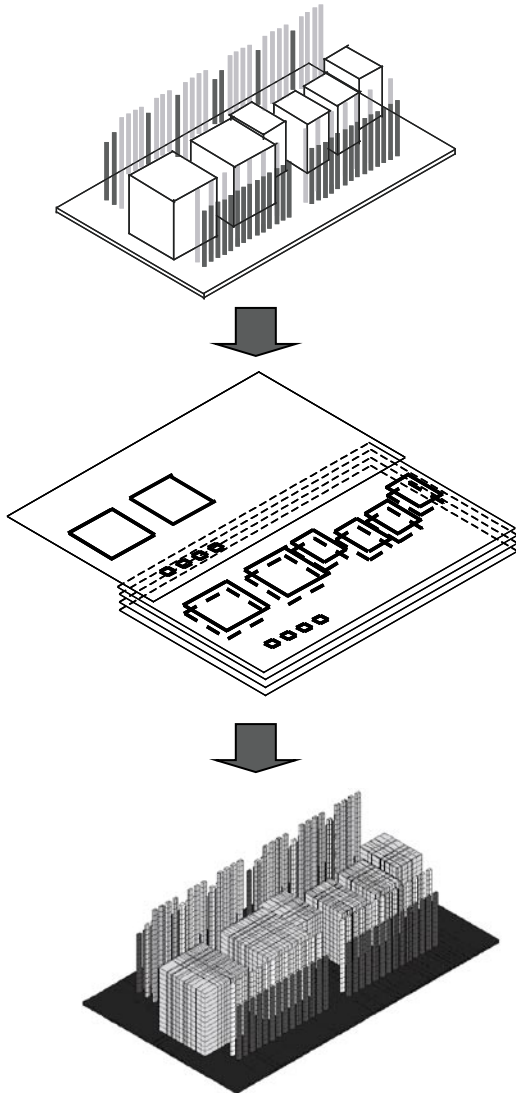


図3 自動メッシュ生成  
Automatic mesh generation.

## 5. 境界条件設定ツール

境界条件設定ツールは2種類のデータを出力する。即ち、発生熱量と各部位の熱伝達率である。これらのデータはリレーなどそれぞれの部品ライブラリに格納されているものが引き出され、自動的に設定される。

回路部の発熱はジュール熱計算ツールによって計算される。このツールはCADによる回路パターンの線画を取り込んで電流値を参照しながら各部分からの発熱量を計算する。

一方、リレーなどの発熱量は部品ごとにライブラリが保持している既知の値を利用することになる。変更が必要になれば、ライブラリエディタを用いて容易に編集可能である。データはテキストベースで保管できるので、簡単な変更ならテキスト編集ツールでも十分である。

各部の熱伝達率も同様であるが、既知の値ではなく、対象物の形状から計算で算出するところが異なる。熱伝達率の計算に

は各部の寸法と向きが必要であり、これらはライブラリから受け渡される。

## 6. 解析結果

### 6.1 伝熱解析結果

実際の回路基板タイプJBをモデル化し計算を行った結果と各部の温度を実測した結果を比較してみた。図4は計算と実測それぞれについて基板上の温度分布を比較したものである。横軸に実測値、縦軸に計算値をとり、基板上のいくつかの適当な点についてプロットした。ΔTは温度上昇値を表し、単位はケルビン(K)である。この例では誤差として2 K程度という結果を得ている。現状の温度測定精度から考えても解析の常識から考えても、実用上十分な精度を原理的に確保できたと考えている。

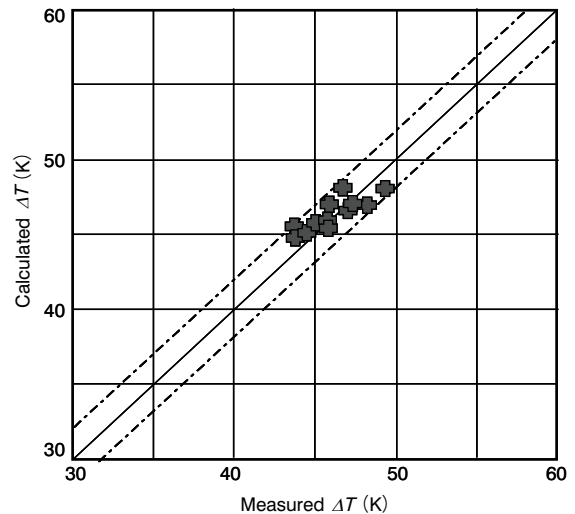


図4 計算と実測の比較  
Comparison of the calculated and measured results for  $\Delta T$ .

### 6.2 計算時間

解析時間は大きくはモデル作成時間と計算時間に分けることができる。計算時間は市販のソルバを使用する以上大きな差はない。モデル作成のうちで境界条件の入力が最も時間を要する。また、車載電送部品においては手入力では境界条件の設定が不可能な場合もある。本開発ツールによれば、境界条件の入力を自動化できることと自動メッシュ生成も可能なことから、モデル作成時間の大幅な削減に成功した。典型的な例で、従来方法による時間の半減を達成した。また、ツールを使用しないと実質的に不可能な解析モデルの構築が可能になった。

## 7. おわりに

新しい熱解析用のソフトウェアツールによって、設計に反映できるレベルの解析精度を達成するとともに、モデル化の手間を半減することに成功した。今後はより適用範囲を広げるとともに、将来の計算機上で試作をシミュレーションできる仮想的試作ツールへとつなげていきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) T. Ikeya et al. ; "Thermal Simulation of the Electrical Distribution Box," SAE 2001-01-0690, (2001)
- 2) Y. Oka et al. ; "Investigation and Evaluation of the Wire Harness for the High Performance Components in the Vehicle, The Institute of Electronics Information and Communication Engineers," Technical Report R97-32, (1998), 19.
- 3) K. Mashimo et al. ; "New Approach of Computer Simulation for Heat Transfer in Automotive Parts," IPC2001D053, Nov. (2001), Shanghai.
- 4) T. Taniguchi; "Automatic Mesh Generation Methods of Arbitrary 3D Domain," J. of Simulation **18** (1999), 12.
- 5) T. Taniguchi and E. Fillion ; "Numerical Experiments for 3-dimensional Flow Analysis in a Fractured Rock with Porous Matrix," Advances in Water Resources, **19** (1996), 97.
- 6) M. de Berg et al. ; Computational Geometry, Springer, (2000)
- 7) A. Okabe et al. ; Spatial Tessellations 2nd ed., John Wiley & Sons, (1998)
- 8) K. Mashimo et al. ; "Development of the Simulation Tool for Vehicle Electronic Parts," SAE 2002 World Congress, Mar. (2002), Detroit
- 9) K. Mashimo et al. ; "Heat Transfer Analysis for Vehicle Electronic Parts," Furukawa Review, No.22, (2002)
- 10) K. Mashimo, K. Moriwaki, H. Ohbayashi, and T. Taniguchi ; "3-D mesh generation methods for vehicle electronic circuit based on its geometry," The Japan Society for Computational Engineering and Science, **9** (2004)