

電子機器の熱設計に関する研究

～放熱シートの熱解析モデル～

**中部エレクトロニクス振興会
名古屋市工業研究所**

令和4年1月

目 次

	頁
1 はじめに	
1.1 本研究の背景	1
1.2 これまでの活動	1
1.3 本研究（第5次活動）の内容	2
2 放熱シート	
2.1 放熱シートの種類と放熱構造	4
2.2 放熱シートの熱伝導率と接触熱抵抗	5
3 放熱シートの熱伝導率	
3.1 熱伝導率の測定原理と測定結果	6
3.2 準定常法と過渡熱伝導解析による評価	14
3.3 複合体解析によるメカニズム推定	17
3.4 考察	21
4 放熱シートの接触熱抵抗	
4.1 平面	25
4.2 丸棒を並べた凹凸面	27
5 コイル冷却時の熱抵抗評価	
5.1 コイル解析（巻線1本のみ冷却）	35
5.2 コイル解析（通常冷却）	41
5.3 部品のモデル化	49
6 結論と今後の取り組み	
6.1 結論	54
6.2 今後の取り組み	55
参考文献	56

1 はじめに

1.1 本研究の背景

電子機器の小型・高機能化の進展に伴って、電子機器の発熱密度増大と高密度実装化が進み、信頼性を確保した設計が難しくなっている。一方で、グローバルな競争の下、新製品を低コストで市場へタイムリーに投入する必要があり、設計工数の低減と開発期間の短縮が求められている。

従来は、「設計→試作→評価→設計変更」を繰り返して設計仕様を満足させてきたが、この手順では設計が一旦完了した後に、「評価→設計変更→試作」を繰り返すために、設計期間・設計工数がかかる上、対策費用が高つくという問題があった。

この対策として、試作レスで評価可能なシミュレーション技術の活用が広がっている。シミュレーションによる性能予測が可能であれば、バーチャルで「設計→評価→設計変更」のサイクルを繰り返した後に、設計確認の意味で試作、評価を行うことができ、設計期間短縮と設計工数低減ができる。加えて、設計のフロントローディング化（設計不具合の前出し）を実現できるため、結果として、設計自由度が高い初期段階から対策を折り込んだ、競争力のある製品開発が可能になる。

シミュレーションは、ソフトを購入して、使い方を学べば結果を出すところまではできるが、設計に用いるためには結果の確からしさを担保する必要がある。そのためには、実測との比較を通して、解析手法、解析範囲や境界条件などシミュレーションの設定が実現象と合っているか検証しなければならない。しかしながら、設計・開発に熱流体シミュレーションが活用されてきたのは10数年前くらいからであり、部品のモデル化に関する情報が足りないという課題がある。特に電子部品は、複雑な形状のまま解析することはできないが簡略化すると誤差が大きくなることがあるので注意が必要である。

1.2 これまでの活動

(1) 第1次活動（2001年7月～2004年11月）¹⁾

平板の自然対流熱伝達率の計算式について検討した。

伝熱の教科書に載っている式^{2),3)}でも10%以内の精度で予測できること、密閉筐体の温度分布も平板の熱伝達計算式の組み合わせで概ね予測できることを明らかにした。その上で、新たに上下に発熱分布がある平板の熱伝達予測式を考案した。

また、設計者が構想段階で実用的かつ短時間で計算できるように、平板温度の予測式を用いた熱回路網法プログラムを開発し、その有効性を示した。

(2) 第2次活動(2004年12月～2008年3月)⁴⁾

熱流体シミュレーション用の部品のモデル化手法をテーマとし、基板と、基板上の部品で最も発熱が大きい半導体(TO-220型, SOP型)のモデル化手法を研究した。

試行した簡易モデルの解析精度を、サーモグラフィによる温度分布と比較して評価し、目標精度に応じたモデリング指針を作成した。

(3) 第3次活動(2008年4月～2011年5月)⁵⁾

第2次活動では1つの部品が実装された基板単体の評価であったが、基板を筐体内に入れた実製品に近い状態での検討を行った。

発熱部品同士の間隔や基板内の配置が違う9種類の基板を作成し、それぞれの温度を用途に応じた3段階の簡易モデルで解析し、相対比較が正しくできるかを評価した。その上で、部品や基板のモデル化の注意点をまとめた。

(4) 第4次活動(2011年6月～2016年3月)⁶⁾

第2次、第3次に引き続き、部品のモデル化手法をテーマとした。ここでは、総発熱に占める割合がパワー半導体に次いで大きいトランス、コイルのうち、発熱計算・評価が比較的単純なコイルを対象とした。

想定機器は、これまでと同じく自然空冷の電源とし、基板に実装されたときの温度、近隣に実装される熱に弱い電界コンデンサへの熱影響を評価した。

1.3 本研究(第5次活動)の内容

本研究では、トロイダルコイルの熱をソフトタイプの放熱シートでケースに逃がす構造について、放熱シートの熱解析モデル化を検討した。研究内容は、ソフトタイプ放熱シートの熱伝導率と、接触熱抵抗の2点である。

第2章では、トロイダルコイルを放熱シートで冷却する場合の熱設計上の課題について説明する。

トロイダルコイルは、電源回路のノイズフィルタに使われ、大電流が流れてジュール発熱が大きい部品である。巻線による表面の凹凸や公差を吸収する必要があるため、樹脂ポッティングやソフトタイプの放熱シートを使ってケースに放熱することが多い。

熱シミュレーションでは、放熱シートの熱伝導率、部品との接触熱抵抗が必要になるが、放熱シートの熱伝導率は測定方法によって異なり、どの測定値を使うべきかの指針がない。また、接触熱抵抗についても、複雑に変形した場合の評価事例はないという課題がある。

第3章では、熱伝導率の測定方法による測定値の違い、その差のメカニズムについて考察した内容を記す。

熱伝導率の測定方法は、定常法と非定常法の 2 つに分類できる。本研究で対象としたソフタイプ放熱シートでは、前者が後者よりも 2 割高い値となった。

そこで、実製品で放熱シートが影響する数秒レベルの過渡現象に対して、どちらの値を用いれば良いかを判断するため、シミュレーションと比較して熱伝導率を同定したところ、定常法の熱伝導率に近くなった。

また、熱伝導率測定方法による差異のメカニズムを解明するため、フィラーとゴムの複合状態における熱伝導率を 2 次元の熱回路計算、および 3 次元の熱シミュレーションで評価した。しかし、熱回路計算やシミュレーションの結果からは、定常法の熱伝導率が大きくなる原因は見つからなかった。

定常法が大きくなるのは、接触熱抵抗を取り除く処理の中で、シート表面付近の熱伝導率が低い領域の影響まで取り除いていることが原因と仮説を立てた。

第 4 章では、放熱シートの接触熱抵抗についてまとめる。

平板で挟んだ場合の接触熱抵抗は、接触圧で整理すると、シート厚さや種類に依らず 0.05Mpa 以下で急激に増加することが分かった。

また、コイルの巻線との接触熱抵抗を明らかにするため、丸棒を押し付けた場合の接触熱抵抗を構造-熱の連成解析を元に評価した。シートの熱抵抗の解析値は、接触熱抵抗 0 で実測と誤差 10%以内で一致した。

第 5 章では、第 3、第 4 章で得た知見をもとに、放熱シートを使ってコイルを冷却するときのモデリングについて整理した。また、巻線径を変えた場合の差異についても評価した。

第 6 章では、本研究の結論と今後の取り組みについて述べる。

2 放熱シート

本章では、放熱シートを使うときの熱解析上の課題を整理する。

2.1 放熱シートの種類と放熱構造

放熱シートには、大きく高硬度のハードタイプと低硬度のソフトタイプがある。

ハードタイプは、厚さが薄くてシート自体の熱抵抗は小さいが、圧力に対してほとんど厚みが変わらない。圧力が低いと隙間が埋まらずに接触熱抵抗が大きくなるため、フラットで十分に圧力がかけられる箇所（主にディスクリートのパワー半導体とヒートシンクの間）に放熱と絶縁を目的として使われる（図 2.1）。

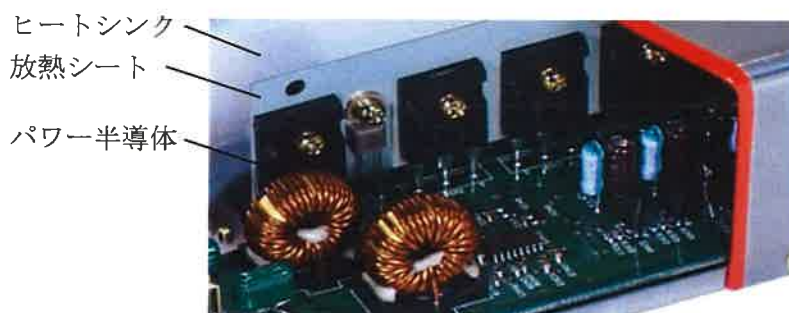


図 2.1 ハードタイプ放熱シートの適用例

一方、ソフトタイプは、柔らかく形状に追従するため接触熱抵抗は小さいが、圧力に対して厚さが大きく変化する。コイルやトランスの巻線など寸法公差が大きい部品や組付け公差が大きくなる箇所の放熱に使われる。図 2.2 の製品では、トランス、電解コンデンサだけでなく、手前のコイルの上にも使われている。コイルは写真からも分かるように、巻線高さにばらつきがある。シートには、ばらつきを吸収できるほどの厚さと柔らかさが必要になる。

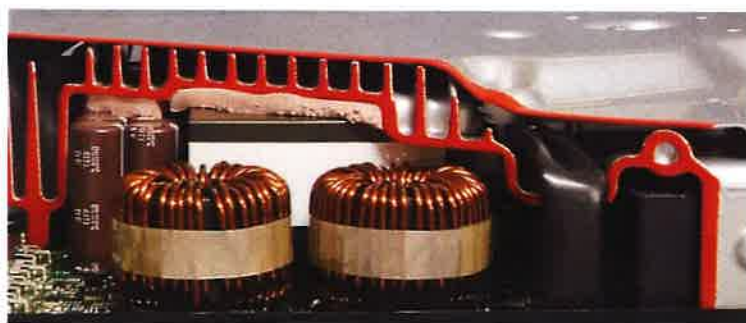


図 2.2 ソフトタイプ放熱シートの適用例

図 2.3 は、基板とケース（ヒートシンク）間に、ソフトタイプでなく、ハードタイプを使用した例である。薄くなるので熱抵抗を下げるができるが、締結箇所を近くに設ける