

# 車載用各種材料の熱物性評価

千葉ラボラトリー 栗石 拓也

自動車産業における各種材料（電子機器、機能性材料）は、製品の長寿命化と信頼性の向上を実現するために、熱マネジメント（熱対策）が重要な課題とされている。

本稿では、各種熱分析技術の中から、熱マネジメントにおける主要な熱物性である“熱伝導率（放熱材料の異方性評価）”と“熱膨張・熱応力（FRPの異方性評価）”の評価技術、ならびに熱分析の複合化による高精度な熱伝導率解析技術（熱伝導率解析の熱膨張補正）について紹介する。

## 1 はじめに

現在のカーエレクトロニクス分野では、自動車の機能性ととともに快適性を向上するために、高性能、かつ小型のモジュール開発が盛んに進められている。しかし、このモジュールには多数の電子部品が限られた面積内に集積されているため、駆動（通電）に伴い熱を発生し、その発熱によって周辺の構成材料が劣化する、或いは熱的影響で性能が低下するなど、製品自体の寿命と信頼性に影響が及ぶ懸念がある。

一方、自動車の燃費向上につながる車体軽量化を目的として、樹脂材料に繊維を添加した繊維強化樹脂（Fiber-Reinforced Plastics：FRP）の開発が積極的に進められている。しかし、この機能性材料は、製品化される場合において、自動車のベースとなる金属筐体などに接合、或いは物理的にネジ止めされた閉鎖的な空間で利用されるため、使用環境に対する熱寸法安定性が重要とされている。

すなわち、自動車産業全般において、車載用電子部品や機能性

材料の“熱”対策の重要性が高まっており、製品の長寿命化、ならびに信頼性の向上を実現するためには、熱により変化する材料物性を多角的、かつ高精度に評価・計測する技術が必要となっている。

本稿では、主に車載向け各種材料の熱物性（熱伝導率、熱膨張、熱応力）の評価技術について紹介する。

## 2 熱物性評価技術

一般的に材料の熱物性評価には4種類ある。①転移（融解、ガラス転移、結晶化）及び反応（硬化、重合）の評価には、示差走査熱量計（Differential scanning calorimetry：DSC）、②分解などの重量変化を伴う熱挙動の評価には、熱重量測定（Thermogravimetry：TG）、③材料内における熱の伝わり易さ（伝わり難さ）を数値化するための評価には、熱伝導率（Thermal conductivity）、④熱に依存する寸法変化（熱膨張）や応力の測定には、熱機械分析（Thermomechanical Analysis：TMA）が用いられる。

図1に示す通り、これら4つの熱物性は、互いに相関性のある物理現象であり、各々の評価方法を複合的に用いることにより、熱によって変化する材料特性の総合的な評価を行うことが可能となる。

## 3 熱伝導率

集積化された小型電子機器の駆動熱に対する代表的な対策として、ヒートシンクによる“吸熱”と“放熱”、或いはグラファイトシートなどの高熱伝導材料による周辺領域への“熱分散”が用いられる。

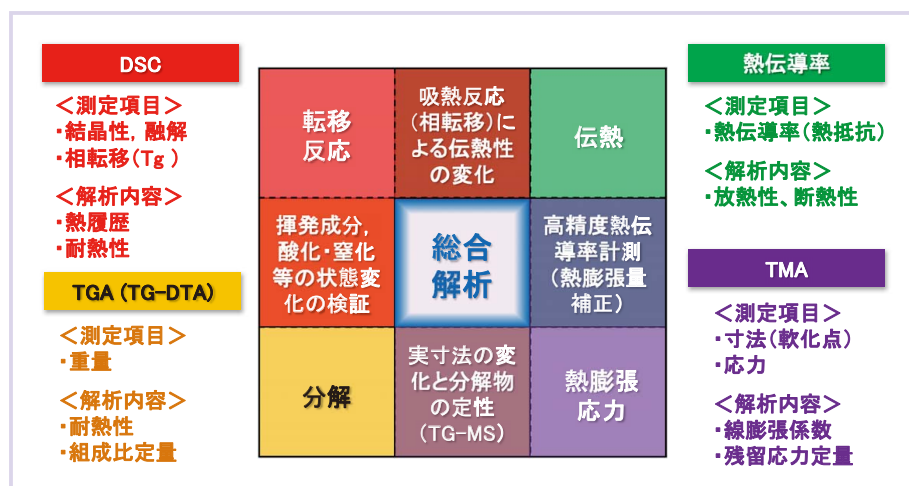


図1 熱物性の相関図

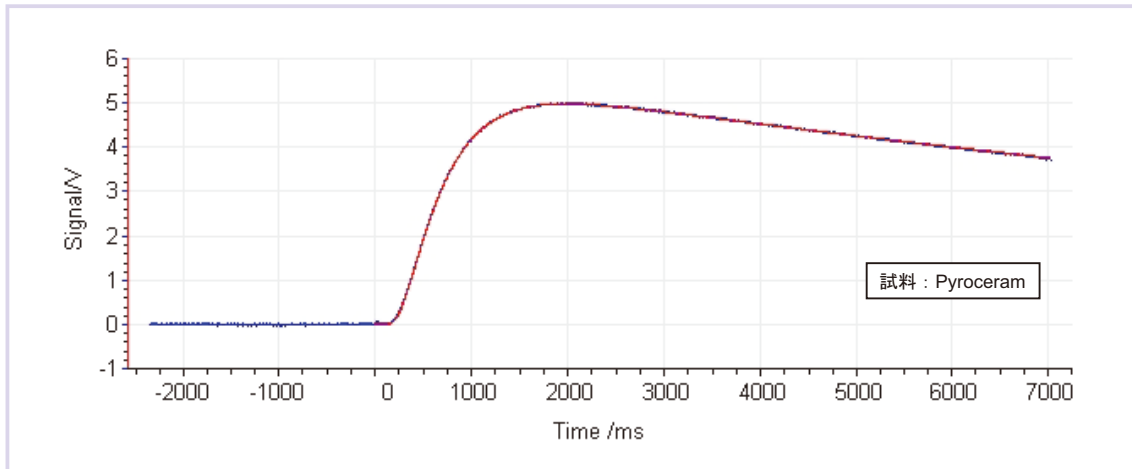


図2 レーザーフラッシュ法を使用した熱拡散率評価事例 (赤外線検出器による試料背面の温度上昇曲線)

これらの熱対策に用いられる材料の機能を示す熱物性値が“熱伝導率”であり、各種材料固有の特性であるとともに、材料の内部構造に起因する異方性や温度依存性を示す。

### 3.1 熱伝導率の評価方法

一般的に熱伝導率の評価方法には、断熱材料向けの熱流計法、煉瓦などの大型バルク体向けの熱線法、薄い材料向けの周期加熱法、そして様々な試料形態への汎用性が高いフラッシュ法がある。

中でもフラッシュ法は、パルス状のキセノン光やレーザー光を試料表面に照射・吸収させ、それに伴って変化する試料裏面側の温度変化を赤外線検出器で計測するという熱伝導率計測技術の中で唯一の“非接触法”である。

図2にレーザーフラッシュ法の測定で得られる試料背面の温度上昇曲線を示す。実測値の青線に対し、理論的に算出される曲線(赤線)をフィッティングさせることで未知材料の熱拡散率を解析することができる。

また、この手法は、測定時の伝熱方向が光照射側から温度変化の検出側まで直線的(1方向)であることから、測定に供する試験片の向き、或いは温度変化の検出位置を変えることで試料構造に起因する異方性評価が可能である。さらに、測定装置の試料設置場所温度(炉体温度)を変化させることも容易であることから、他の手法より幅広い温度範囲での温度依存性評価が可能となる。

### 3.2 熱伝導率測定の事例紹介

レーザーフラッシュ法によるグラファイトシートの熱伝導率異方性評価の結果を図3に示す。

測定の結果、面内方向の熱伝導率は、厚み方向に対して、100倍以上高い数値となった。

グラファイトの構造は、結晶構造が面内方向に蜂の巣状の規則的な配列を成し、共有結合で炭素が強固に結合している。その一方、厚み方向はファンデルワールス力で結合した層状構造を成していると言われている。

すなわち、元素が強固に結合し、かつ結晶性が規則的な面内方向においては、入力した熱が損失無く効率的に伝播する一方で、厚み方向は各層の結合力が弱く、その界面の熱抵抗により、熱伝導性を低下させているため、このような熱伝導現象の著しい異方性が生じているものと推測される。

電子機器の放熱材料としてグラファイトシートが最も汎用的に用いられているが、その理由は、面内方向への熱伝導性が非常に高い特性を有しているためであると考えられる。

このように、材料の熱伝導率異方性評価を行うことにより、

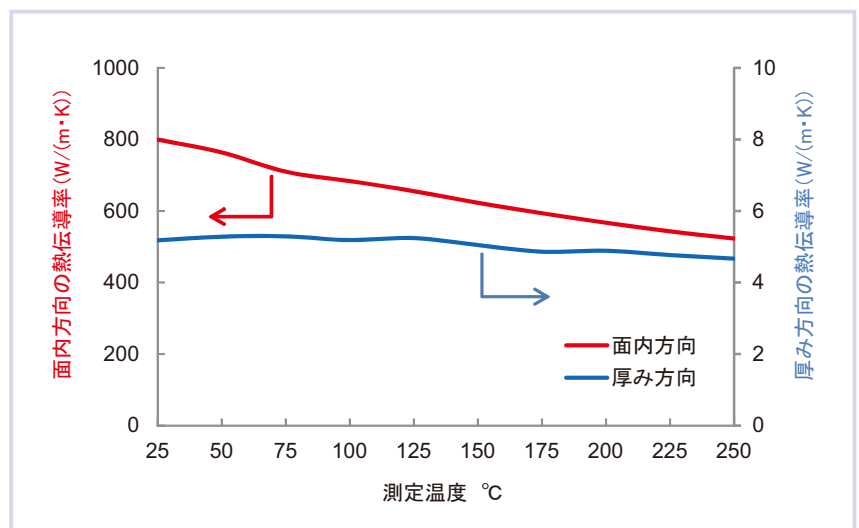


図3 グラファイトシートの熱伝導率異方性評価

小型機器の限られたスペース内において熱源からの熱を効率的に周囲に分散させ、駆動発熱による部品の温度上昇量を抑制するなど、特定の材料の機能性を有効的に活用することによって、製品自体の寿命・信頼性を向上させることが出来る。本熱分析手法は、材料の開発段階における機能性の検証に大いに役立つと言える。

## 4 熱膨張、および熱応力

金属などの異種材料と接合、或いは物理的にネジ止めされた閉鎖的な環境で使用されるFRPは、熱に対する寸法安定性が製品の寿命を決める重要な要素とされている。例えば、熱膨張量が小さい材料（金属系）と熱膨張量が多い材料（樹脂系）が接合されている場合、両者の熱膨張量差が大きいため、接合されている部位で局所的な歪みが発生し、「加熱⇄常温」の温度変化と同時に発生する繰り返し応力によって、最終的には材料、或いは接合部位が疲労破壊を起こし、製品の故障や機能の低下が生じる。

したがって、製品を構成する材料の熱膨張量とともに、熱膨張によって生じる応力を把握し、それらを抑制、或いは分散・緩和させるための対策を施すことは、製品のライフサイクルの長期化に重要である。

### 4.1 熱膨張率測定

図4にTMAの測定原理を示す。

TMAにより求められる熱膨張率（線膨張係数）は、基本的には室温における初期寸法（試料の高さ）を基準として、環境温度に対する寸法の変化量で得られる熱物性値であり、熱伝導率同様に各種材料固有の特性であるとともに、材料の内部構造に起因する異方性を示す。

熱膨張率は、定型の試験片上にプローブを一定荷重で接触させ、試験片の熱膨張、或いは熱収縮に伴って移動するプローブの位置

を試料の寸法変化量として計測し、試料温度に対する熱膨張曲線の変曲点からガラス転移点や軟化点を解析することもできる。

### 4.2 熱応力測定

TMAによる熱応力の測定は、熱膨張計測時に移動量として計測したプローブ位置を初期位置で固定し、試験片の膨張に伴ってプローブを押し上げる荷重、或いは収縮に伴って引っ張る荷重を計測することで定量的に数値化することができる。

また、試料の熱膨張・収縮時に発生する応力だけではなく、材料が成型加工された時の熱履歴、或いは歪みの緩和挙動で不可逆的に生じる応力や、加熱による焼成・緻密化による収縮応力を評価することも可能である。

### 4.3 TMAの事例紹介

炭素繊維が一方向に配向している一方性の炭素繊維強化樹脂（Carbon Fiber-Reinforced Plastics：CFRP）の熱膨張率と熱応力の異方性評価の結果を図5に示した。

一方性CFRPにおける熱膨張・熱応力を3方向で測定を行った結果、繊維配向方向の熱膨張率と熱応力が繊維配向方向に対する垂直方向と厚み方向より低い数値を示した。

この原因は、母材の樹脂材料と比較して、添加されている炭素繊維の熱膨張率が低いため、熱膨張と熱膨張応力の発生を抑制しているものと考えられる。

CFRPの開発目的は、“金属系材料からの代替”である。従来から用いられていた金属系材料は熱膨張・熱応力が少ないため、その材料を利用する場合は熱物性が問題視されてはいなかった。しかし、樹脂系材料であるCFRPは、熱膨張・熱応力が非常に大きいので、特性の改善が材料開発の重要な課題となっている。

そのため、製造したCFRPが要求される材料特性（低膨張性、

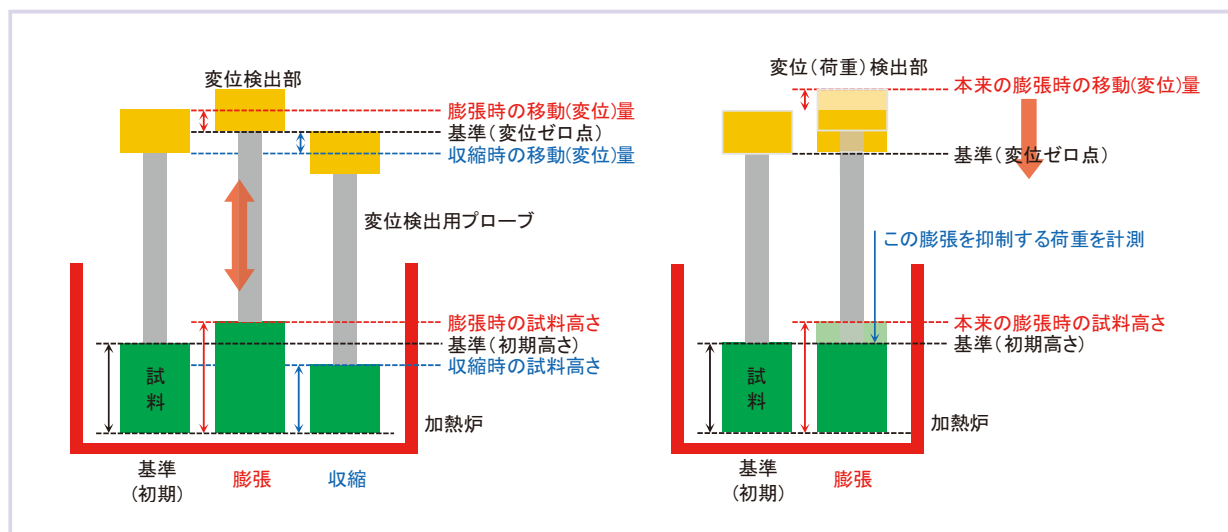


図4 TMAの原理（左：熱膨張量計測モード、右：熱応力測定モード）

低応力性)を有しているかを評価するためには、TMAを用いた熱膨張と熱応力の異方性評価が重要である。

## 5 熱物性の複合化

近年、製品の熱マネジメントを目的として、計算科学による熱流体シミュレーションを活用した伝熱解析、応力解析が盛んに行われており、そのパラメータには、“熱伝導率”や“熱膨張率”の熱物性値が用いられている。

つまり、それぞれのパラメータとなる熱物性値の計測精度がシミュレーションの精度に直接的に影響するため、シミュレーションの精度を向上させるためには、熱物性値の高精度な測定技術が必要となる。

例えば熱伝導率を評価するレーザーフラッシュ法は、測定の工程において、試験片厚みを室温環境下で計測し、その厚みを“定数”として温度依存性を評価する方法が一般的である。しかし、世の中に存在するほぼ全ての材料は加熱によって多少なりとも膨張、或いは収縮し、寸法変化が生じるため、室温で計測した厚みを定数として熱伝導率を解析した場合は、その変化した試験片の厚み分の誤差が含まれることになる。

そこで、試験片厚みの温度依存性をTMAで事前評価し、その結果を熱伝導率の解析に反映させた。測定結果を図6に示す。

試験片厚みの熱膨張量を補正することにより、補正後の熱伝導率値は、熱膨張の大きい高温域で補正前の結果から大きく変化し、試験片厚みによる解析誤差を低減し、より高精度な結果が得られた。

実際の製品における熱対策シミュレーションを高精度に行うためには、このように複数の熱分析技術を組み合わせた高精度な熱物性値の計測が必要であり、本事例で示したような熱伝導率測定の高精度化技術は有用な手法となり得るものと考えられる。

## 6 おわりに

車載用部品・材料の熱マネジメントは、カーエレクトロニクスの発展に伴い、今後ますます重要になると予想される。

複合材料など、これまでに無かった新たな機能を有する新素材を研究・開発するためには、基礎となる熱物性の把握は必須である。

今後も、高精度な熱分析技術を提供するとともに、熱分析技術の複合化による多角的な総合解析を行い、お客様の材料・製品開発に貢献したいと考えている。

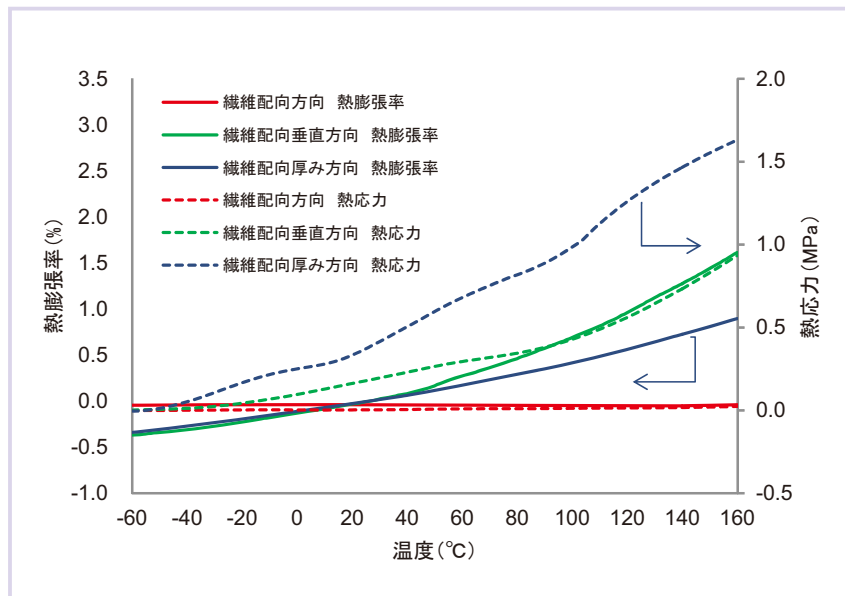


図5 CFRPの熱膨張率及び熱応力の異方性評価

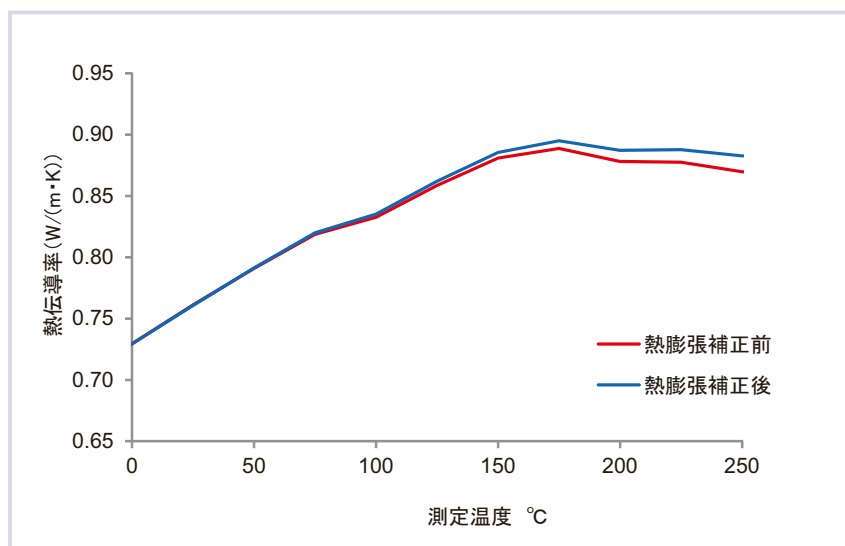


図6 エポキシ樹脂の熱膨張補正による熱伝導率への影響



伊和 拓也  
(しずくいし たくや)  
千葉ラボトリー