

固体材料の熱物性値計測の現状と課題

(産総研¹) ○阿子島 めぐみ¹

Current Situations and Issues of Thermophysical Property Measurement of Solid Materials
(¹*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*)

○Megumi Akoshima

Toward the realization of a low-carbon society, there is a need to solve social issues related to heat and energy and the reliability of the thermophysical properties used for this purpose. Typical thermophysical properties include coefficient of thermal expansion, thermal conductivity, thermal diffusivity, and specific heat capacity. There are various measurement methods and techniques, and it is important to select the measurement method/technique that is appropriate for the object to be measured and to master the use of the measurement device. The thermal diffusivity measurement by the flash method provides reliable results with two significant digits by simple operation, but National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) has achieved reliability with three significant digits by examining methods to obtain material-specific thermal diffusivity through uniform pulse light intensity distribution, analysis considering heat loss, and pulse heating intensity dependence. The National Metrology Institute of Japan (NMIJ), AIST, has developed and provided various reference materials with this refined measurement technology.

Keywords : Thermal Diffusivity, Thermal Conductivity, Laser Flash Method, Certified Reference Materials

低炭素社会の実現に向けて、電子機器の高集積化、各種機器の省エネ設計、モビリティの電動化、住宅の快適性・エネルギー高効率化、発電所や工場、航空・宇宙産業における安全性やエネルギー効率を考慮した熱設計、地球環境問題などへの取り組みでは、熱物性値を使用したシミュレーションが行われ、温度と熱物性値から熱の流れを推測して新しい機種やシステムが設計・開発されている。また、熱的な機能を向上させた新しい材料の開発も盛んであり、その材料評価の一環で多様な熱物性値の測定が行われている。すなわち、低炭素化社会実現には、熱・エネルギーに関する社会課題解決とそれに利用される熱物性値の信頼性が必要とされている。

ここでは、主にバルクの固体材料の熱拡散率・熱伝導率の計測について紹介する。固体材料の熱伝導率は、フラッシュ法[2]で熱物性値は“熱に関わる物質の性質”であり、材料の基本特性である。代表的な熱物性値には、温度変化による伸び縮み易さを示す熱膨張率、熱の伝わり易さを示す熱伝導率や熱拡散率、温まり易さを示す比熱容量がある。これらの熱物性値の測定方法・測定技術は様々なものがあるが、信頼できる熱物性値を得るためには、測定対象に合った測定方法・測定技術の選択と測定装置の使いこなしが重要である。測定結果の信頼性は、測定方法や測定装置の健全性評価や標準物質を用いた妥当性評価で確認することができる。現在、産業技術総合研究所計量標準総合センターから各種熱物性値計測装置の妥当性評価や校正に使用できる標準物質を提供している[1]。

計測された熱拡散率に、比熱容量と密度を掛けて算出されることが多い。フラッシュ法では、レーザーまたはキセノンランプからのパルス光を厚さ d [mm]の平板試料の表面に照射して加熱し、照射面の反対面（裏面）の温度の時間変化を非接触の温度センサーで観測する。裏面の温度がどのくらい速く上昇したか（熱拡散時間 τ_0 [s]）を測定することで熱拡散率 α [m²/s]= d^2/τ_0 が得られる（図 1）。フラッシュ法は非接触・短時間測定という利点から広く普及している。測定原理が簡潔なので、測定装置に平板試料（例えば、直径 10 mm 厚さ 1 mm）をセットしてスイッチを押せば結果が得られるような実用測定装置を用いて簡単な測定を実施しても有効数字 2 桁の信頼性は容易に確保できる。一方で、社会課題解決に向けてはより高精度な測定結果が求められており、産総研では国家標準の開発の一貫として取り組んできた。熱拡散率は長さや時間の関数であるので、試料形状は整っていて厚さが十分な精度で（マイクロメートルの桁まで）測定する必要がある。また、熱拡散時間を求める際には、裏面温度の時間変化が理想に近い状態で得られるように、パルス光の強度分布の均一化や熱損失を考慮した理論式の適用等の最適化を検討してきた[3]。更に、熱拡散率は温度に依存する物性値であることから、測定が行われた温度も精確に定義することが重要である。パルス加熱によって測定中は試料の温度が変化するが、産総研では、パルス加熱強度を変えて得た熱拡散率をプロットしてパルス加熱強度ゼロに外挿することで温度上昇をさせない時の熱拡散率、すなわち測定条件の一つであるパルス加熱に依存しない材料固有の熱拡散率を求める方法を提案して実証した[4]（図 2）。このような精密な技術の積み上げにより、フラッシュ法による熱拡散率測定は拡張不確かさが約 3 %、すなわち有効数字 3 桁目までの信頼性確保を実現し[5]、標準物質も開発している。

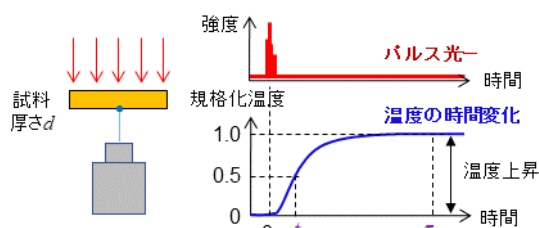


図 1 フラッシュ法の原理図

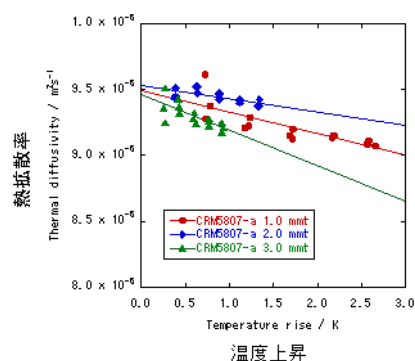


図 2 材料固有の熱拡散率を得る方法

- 1) <https://unit.aist.go.jp/qualmanmet/refmate/>
- 2) W. J. Parker, R. J. Jenkins, C. P. Butler, G. L. Abbott: J. Appl. Phys., 32 (1961) 1679-1684.
- 3) T. Baba, A. Ono, Measurement Science and Technol., 12 (2001) 2046-2063.
- 4) M. Akoshima, B. Hay, M. Neda, M. Grelard, Int. J. Thermophys., 34 (2013) 778-791.
- 5) M. Akoshima, T. Baba, Int. J. Thermophys., 27 (2006) 1189 - 1203.