

異方的物質に対する異方的熱伝導率の同時決定法

材料物性工学専攻 池部研究室 岡本龍哉

<はじめに>

低温工学の分野において、酸化物超伝導体単結晶やFRPなどのように構造が異方的な材料は数多く存在し、それらの材料の異方的物質に対する異方的な熱伝導率、熱拡散率の値は装置設計や物性理解のために重要である。しかし、例えば酸化物超伝導体では、ab面方向の熱伝導率 κ_{ab} は定常熱流法で比較的容易に測定できるが、c軸方向の熱伝導率 κ_c はc軸方向に厚い試料の作製が困難であるため測定が難しく、端子間距離の見積り誤差および ΔT の測定誤差の影響が大きくなり、熱拡散率測定の場合は試料と熱浴間の接触熱抵抗の影響も無視できない。また、一方向に繊維を施したFRPの繊維方向の熱伝導率 κ_{\parallel} と繊維と垂直方向の熱伝導率 κ_{\perp} を測定する場合には、両方向に細長い試料を作製し、均一に熱流を与えなければならないなどの測定上の問題が存在する。そこで、本研究では、異方的物質に対する異なる方向の熱伝導率を同一セッティングで、しかも、一度の測定で求める方法を提案し、検討を行った。考えた方法は段階的に3パターンあり、第一段階として、一方向の熱伝導率が既知の場合、二次元熱伝導方程式を無次元化して解き、もう一方向の熱伝導率を算出する方法、第二段階では二次元熱伝導方程式を有次元のまま解き熱伝導率を算出する方法、そして最終段階として、二次元熱伝導方程式中の二方向の熱伝導率をフィッティング・パラメーターとして扱い二方向の熱伝導率を同時に算出する方法について検討した。以下には、最終段階の方法についての詳細を示す。

<異方的熱伝導率の同時決定法について>

Fig.1に本研究における熱伝導率決定の概念図を示す。x方向に長い試料の上端の一方の側面にHeater（高温部）、下端のもう一方の側面にCold Head（低温部）を接続し、斜めに熱流 Q を与え、試料の温度分布が定常状態になったところで、点P1-P2間でx方向の温度差 ΔT_x を、点P1-P3間で ΔT_y を10Kから200Kの温度範囲で測定する。

次に、Fig.2に示すように、試料をメッシュ状に分割したモデルを考え、実際にHeaterからの試料に与えた熱流 Q の値、温度差 ΔT_x 、 ΔT_y を測定した時の試料のサイズ、HeaterおよびCold Head接続位置などと等しい条件の元で二次元熱伝導方程式、

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\kappa_x}{dC} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\kappa_y}{dC} \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \dots (1)$$

(d:密度、C:比熱、t:時間、T:温度)

を差分式化して解き、Fig.2上の実際に温

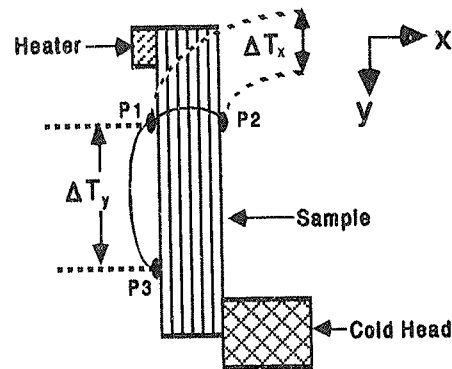


Fig.1 試料セッティングの概略

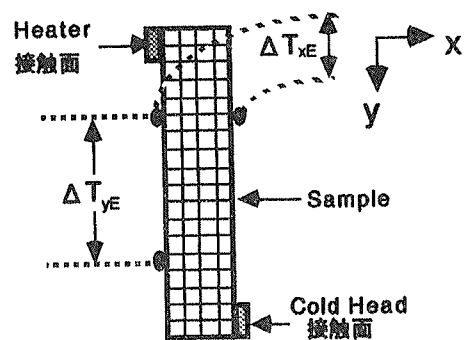


Fig.2 解析モデルの考え方

度差を測定した位置にあたる位置で ΔT_x 、 ΔT_y と等しくなるような解析値 ΔT_{xB} 、 ΔT_{yE} を見積もる。(1)式を解く過程で、二次元熱伝導方程式中のそれぞれの方向の熱伝導率 κ_x 、 κ_y をフィッティング・パラメータとして扱い、同時に変化させることで、実測値の温度差 ΔT_x 、 ΔT_y と等しくなるような解析値 ΔT_{xB} 、 ΔT_{yE} を求めることができ、 $\Delta T_x = \Delta T_{xB}$ および $\Delta T_y = \Delta T_{yE}$ となったところで、それぞれの方向の熱伝導率の解析値 κ_{xB} 、 κ_{yE} を同時に決定することができるという原理である。この原理について、Fig.3を用いて説明すると、 κ_x 、 κ_y は、それぞれの方向に対してFig.3のような ΔT 曲面を一つずつ与え、そのそれぞれの方向の ΔT 曲面上に存在する測定値の温度差 ΔT_x 、 ΔT_y を同時に与えるような κ_x 、 κ_y の交点を探すということである。以上で述べた方法について検証実験を行った。

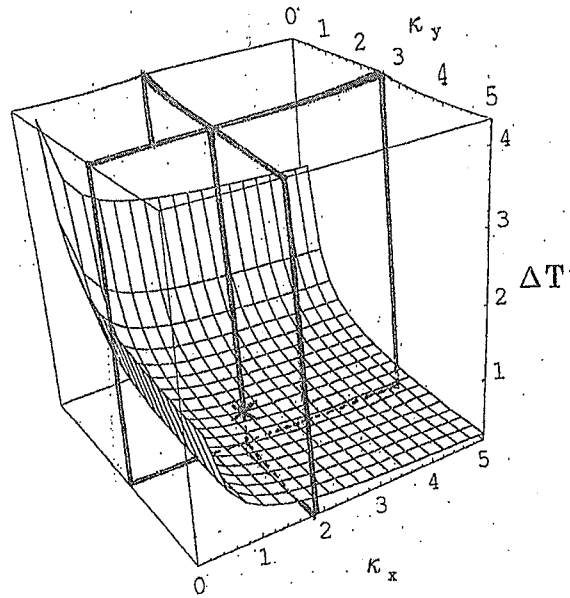


Fig.3 κ_x, κ_y が与える ΔT 曲面

<検証実験結果>

検証実験の結果をFig.4に示す。試料は一方方向にカーボン繊維を施したCFRP($V_f=60\%$)を用い、検証には繊維方向(y方向)に長い試料を使用した。Fig.4中の κ_{yE} (□)、 κ_{xB} (▲)が解析により見積もったそれぞれの方向の熱伝導率であり、 κ_y (実線)、 κ_x (点線)は、見積もった熱伝導率の正確性をチェックするために、それぞれの方向に対し長い試料を準備し、一次的に定常熱流法で測定したそれぞれの方向の熱伝導率である。解析値と実測値を比較すると、どちらの方向においてもばらつきはほとんどなく、非常によく一致しているのがわかる。

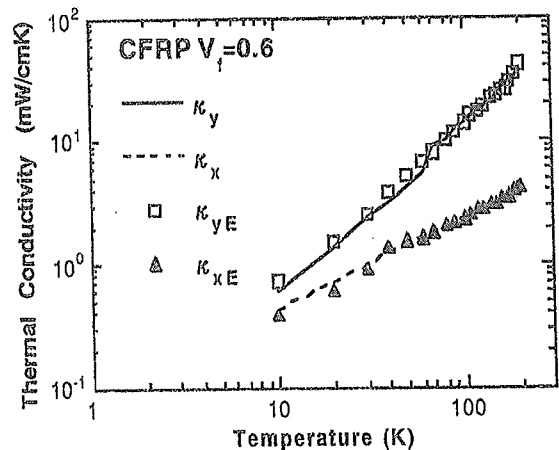


Fig.4 検証実験結果
CFRPに対する
熱伝導率の温度依存性

<まとめ>

二次元熱伝導方程式中の二方向の熱伝導率をフィッティング・パラメータとして扱うことで、異方的物質に対する異方的熱伝導率を同一セッティングにより、しかも、一度の測定により同時に求める方法を提案した。その方法について繊維方向と繊維に垂直な方向とで熱伝導率に異方性が存在するCFRPを用いて検証実験を行った結果、原理的に、両方向の熱伝導率を同時に求めることが実証された。