

非定常短線加熱法による液体の熱伝導率および温度伝導率の同時測定

藤井, 丕夫
九州大学機能物質科学研究所

張, 興
九州大学機能物質科学研究所

藤原, 誠之
九州大学大学院総合理工学研究科

富村, 寿夫
九州大学機能物質科学研究所

他

<https://doi.org/10.15017/6648>

出版情報 : 九州大学機能物質科学研究所報告. 8 (1), pp.99-105, 1994-11-10. 九州大学機能物質科学研究所

バージョン :

権利関係 :

非定常短線加熱法による液体の熱伝導率 および温度伝導率の同時測定

藤井 丕 夫・張 興・藤原 誠 之*
富村 寿 夫・今石 宣 之

Simultaneous Measurements of Thermal Conductivity and Diffusivity of Liquids with a Transient Short-Hot-Wire Method

Motoo FUJII, Xing ZHANG, Seiji FUJIWARA,
Toshio TOMIMURA and Nobuyuki IMAISHI

A transient short-hot-wire technique has been proposed to measure the thermal conductivity and diffusivity of liquids simultaneously. To confirm its applicability and accuracy, are used the sample liquids with well-known their thermophysical properties. In the present method, through comparing with the numerical results obtained under the same aspect ratios and boundary conditions of the experiment, the thermal conductivity can be determined from the gradient of the temperature rise against time, and the thermal diffusivity can be obtained from the gradient and the absolute temperature rise. In the present paper, three kinds of liquids are measured, and it is found that the thermal conductivity and diffusivity can be obtained within errors of 2% and 5%, respectively. Because of the simplicity and small size of the probe, it is easy to coat an electrically insulating layer and only small amount of sample liquid is required. Therefore, this method is particularly suitable for an electrically conducting liquids and valuable or expensive liquids.

1. 緒 言

流体の熱伝導率を高精度で測定する方法の一つとして非定常細線法があり、この方法の適用範囲の拡大および高精度化に関してこれまで多くの研究が行われている^{(1)~(7)}。この方法の原理は無限媒質中に置かれた無限長さの細線が一定かつ一様に発熱する場合の非定常熱伝導の解析解に基づいて媒質の熱伝導率を求めるも

のである。従って、測定を行うにあたっては非常に細くて長い線熱源すなわち大きなアスペクト比(長さ/直径)をもつ測定プローブを用いる必要がある。この方法では、試料容器が必然的に大きくなること、また測定用プローブの製作は相当注意深く行わなければならないことなど難点も多い。また、この方法によって熱伝導率を測定した例は数多く見られるが、温度伝導率を高精度に同時測定した例はほとんど見られない。

本報では、これらの難点を克服するために有限長さの細線(以下短細線と呼ぶ)からの非定常熱伝導に基づく方法を提案し、実際に測定した結果を報告する。本方法によれば、装置本体が小さくなり、測定試料が

受理日 1994年7月21日

本論文を名誉教授 藤井 哲先生に献呈する。

*九州大学大学院総合理工学研究科

少量ですむこと、さらに溶融塩等の電気伝導性のある高温融液の熱伝導率を測定するような場合、絶縁被覆層の成膜も比較的容易となる。

著者らはすでに、短細線を加熱したときの非定常熱伝導について細線の端部の影響や熱容量を考慮した数値解析を行い、アスペクト比や熱物性値の比（被測定物質の熱物性値/細線の熱物性値）および絶縁被覆層の影響などについて詳しく検討した⁽⁹⁾。さらに、数値実験を行うことにより、短細線の非定常加熱法によって液体の熱伝導率と温度伝導率を同時にしかも精度良く測定することの可能性を示した。本報では、短細線すなわちアスペクト比が約200のプロープを用いて、信頼できる物性値が与えられている蒸留水、メタノール、トルエンについて熱伝導率と温度伝導率の同時測定を行い、測定精度を検討した結果を報告する。

使用記号

A	: 温度伝導率比, 式(3)
a_1	: 無次元温度勾配
a_2	: 実測温度勾配
B	: 熱伝導率比, 式(3)
b_1	: 無次元温度線形切片
b_2	: 実測温度線形切片
$ Fo $: フーリエ数, 式(4)
$ I $: 加熱電流値
$ L $: アスペクト比 ($= l/r_i$)
$ 2l $: 細線の長さ
$ q_v $: 単位体積あたりの発熱量
$ R $: 無次元半径方向座標, 式(4) あるいは電気抵抗値, 式(11)
$ R_{lead} $: リード線部の電気抵抗値
$ R_{probe} $: プロープ全体の電気抵抗値
$ R_i $: 初期温度測定時のプロープの電気抵抗値
$ R_t(t) $: 測定時のプロープの電気抵抗値
$ R_{t_0} $: 0°Cにおけるプロープの電気抵抗値
$ r $: 半径方向座標
$ r_i $: 細線の半径
$ r_o $: 容器の半径
$ T $: 温度
$ T_0 $: 初期温度
$ T_{v_0} $: 体積平均温度 (初期温度)
$ T_v(t) $: 測定時のプロープの体積平均温度
$ t $: 時間
$ V $: プロープ細線部の電位差

$ Z $: 無次元長さ方向座標
$ z $: 長さ方向座標
$ \alpha $: 流体の温度伝導率
$ \alpha_s $: 白金の温度伝導率
$ \beta $: 抵抗の温度係数
$ \lambda $: 流体の熱伝導率
$ \lambda_s $: 白金の熱伝導率
$ \epsilon $: プロープの白金リード線部の抵抗と全電気抵抗の割合
$ \theta $: 無次元温度, 式(4)
$ \theta_v $: 無次元体積平均温度
添字	
$ f $: 流体
$ s $: 細線

2. 測定原理

本方法は無限流体中に置かれた短い細線をステップ加熱したときの細線の体積平均温度の非定常変化から、流体の熱伝導率と温度伝導率を同時に測定しようとするものである。そこで、細線の体積平均温度と流体の熱物性値の関係をあらかじめ明らかにしておく必要がある。この場合、細線端部の境界条件及び細線熱容量を考慮した解析を必要とするが、解析解は得られないので、高精度の数値解析を行う。

Fig. 1 に数値解析の物理モデルを示す。半径 r_o の円筒容器が流体で満たされており、中心軸上に半径 r_i 、長さ $2l$ の細線がフレーム（リード端子）で支持されている。細線に対しフレームの熱容量は十分に大きいので、細線両端の温度は加熱後も初期温度 T_0 に保たれ

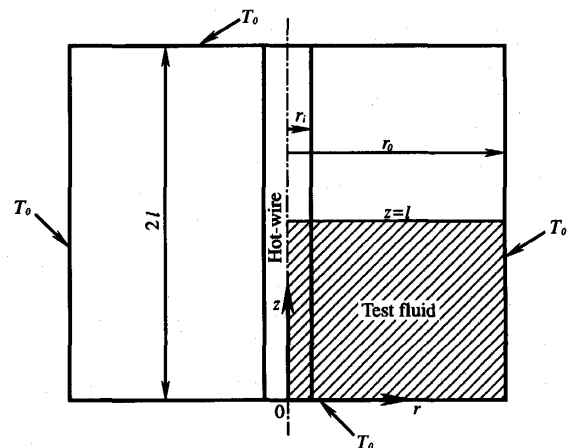


Fig. 1 Physical model

ると仮定する。また、細線の単位時間あたりの発熱量は一定かつ一様とする。発熱量の大部分は熱伝導により流体に伝えられるが、残りはフレームに伝えられる。細線の両端は初期温度 T_0 に保たれることから、 z 軸方向の温度分布は $z=l$ の面に関して対称となる。そこで斜線で示した容器の1/4の部分を解析領域とする二次元の数値解析を行った。

自然対流と熱放射による伝熱を無視すると、細線と流体に対する無次元の非定常熱伝導方程式は次式で与えられる。

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial Fo} = \frac{1}{A} \left(\frac{\partial^2 \theta_s}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \theta_s}{\partial R} + \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial Z^2} \right) + \frac{B}{A} \dots (1)$$

$$\frac{\partial \theta_f}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta_f}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \theta_f}{\partial R} + \frac{\partial^2 \theta_f}{\partial Z^2} \dots (2)$$

ここで、パラメーター A , B は、それぞれ細線に対する流体の温度伝導率比および熱伝導率比であり、次式で定義される。

$$A = \frac{\alpha}{\alpha_s}, B = \frac{\lambda}{\lambda_s} \dots (3)$$

また、各無次元量は次式で定義される。

$$\theta = \frac{T - T_0}{q_v r_i^2 / \lambda}, Fo = \frac{at}{r_i^2}, R = \frac{r}{r_i}, Z = \frac{z}{r_i} \dots (4)$$

初期条件および境界条件は以下の通りである。

初期条件 $Fo=0$ で

$$\theta_s = \theta_f = 0$$

境界条件 $Fo>0$ で

$$\theta_s = \theta_f = 0 \quad ; Z=0$$

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial Z} = \frac{\partial \theta_f}{\partial Z} = 0 \quad ; Z=L = \frac{l}{r_i} \dots (5)$$

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial R} = 0 \quad ; R=0$$

$$\frac{\partial \theta_s}{\partial R} = B \frac{\partial \theta_f}{\partial R}, \theta_s = \theta_f \quad ; R=1$$

$$\theta_f = 0 \quad ; R \rightarrow \infty$$

式(1), (2)を差分化し、陰解法により非定常の数値解を求めた。なお、差分格子の数は R 方向に201(うち細線部11) および Z 方向に151とし、 R 方向には等メッシュ、 Z 方向には不等メッシュを用いた。

Fig. 2 にアスペクト比 $L=200$ の場合の解析結果の例を示す。図の縦軸には細線の無次元体積平均温度、横軸には対数目盛で Fo がとってある。温度伝導率比 A と熱伝導率比 B が $A=5.82 \times 10^{-3}$, $B=8.55 \times 10^{-3}$ と $A=4.03 \times 10^{-3}$, $B=2.83 \times 10^{-3}$ および $A=3.48 \times 10^{-3}$, $B=1.82 \times 10^{-3}$ の場合の結果をそれぞれ実線と破線と鎖線で示してある。これらはそれぞれ、測定試

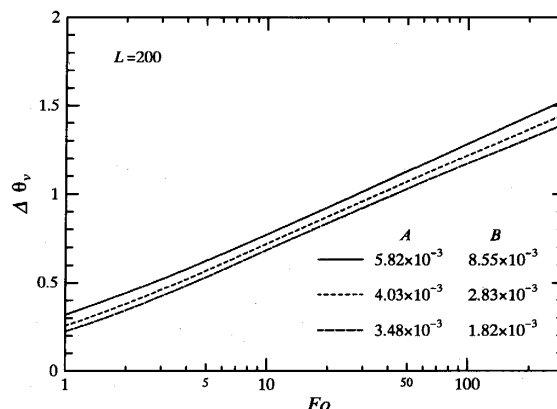


Fig. 2 Effects of parameters A and B on θ_v

料が蒸留水、メタノールおよびトルエンで細線が白金の場合に対応している。多くの液体の熱伝導率はこれらの流体の値の範囲内にある。 $Fo \approx 5 \sim 6$ から無次元温度は直線的に上昇し、蒸留水の場合 $Fo=230$, メタノールの場合 $Fo=165$, トルエンの場合 $Fo=140$ まで直線関係が保たれている。これは、実時間にして約1秒に相当する。

これらの解析結果に基づき、流体の熱伝導率および温度伝導率は以下の手順で算出される。まず、Fig. 2 で θ_v と $\ln Fo$ とが直線関係にある領域を最小二乗法によって一次式近似する。すなわち、

$$\theta_v = a_1 \ln Fo + b_1 \dots (6)$$

一方、同じアスペクト比の短細線をステップ加熱したときに測定される温度の経時変化も片対数グラフ上で直線となり、それを最小二乗法によって一次式近似する。すなわち、

$$T_v = a_2 \ln t + b_2 \dots (7)$$

次に、式(6)の θ_v と Fo を定義式によって有次元化すると次式となる。

$$T_v = \frac{q_v r_i^2}{\lambda} a_1 \ln t + \frac{q_v r_i^2}{\lambda} \left(a_1 \ln \frac{a}{r_i^2} + b_1 \right) \dots (8)$$

式(7)と式(8)とを比較することにより、次式から熱伝導率 λ と温度伝導率 α がそれぞれ求められる。

$$\lambda = q_v r_i^2 \frac{a_1}{a_2} = \frac{VI}{2\pi l} \frac{a_1}{a_2} \dots (9)$$

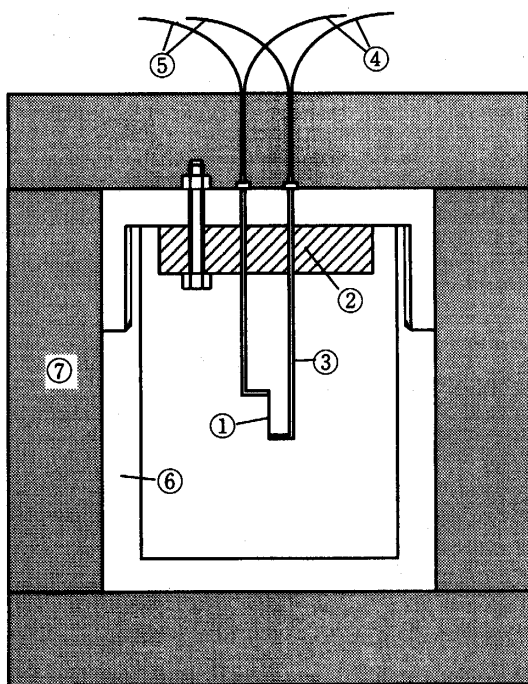
$$\alpha = r_i^2 \exp \left(\frac{b_2}{a_2} - \frac{b_1}{a_1} \right) \dots (10)$$

3. 測定装置および測定手順

測定装置は測定用プローブと試料容器および計測機

器類からなる。前者の概要を Fig. 3 に示す。プローブは直径 $50\mu\text{m}$ 、長さ 9.42mm の白金細線①で、これが直径 48mm 、厚さ 10mm のセラミック (Al_2O_3) 板②に支持された直径 1mm の2本の白金リード端子③に溶着されている。プローブの加熱用および電圧測定用リード線④⑤は直径 0.50mm の白金線で、図に示す試料容器の外側で白金リード端子に接続されている。なお白金リード端子の正味の長さは 111mm である。試料容器⑥は、内径 54mm 、高さ 70mm 、内容積 160cm^3 のテフロン製蓋付円筒容器で、耐薬品性、耐熱特性が良く、断熱性能もすぐれている。測定用プローブは支持セラミック板を介してこの容器の蓋に固定されている。

プローブの加熱は、電流リード線を介して定電流電源からの直流通電によって行う。加熱および測定回路の概略を Fig. 4 に示すが、この計測システムはパーソナルコンピュータによりすべて自動化されている。



- ① Fine platinum wire($50\mu\text{m}$ dia.)
- ② Ceramic plate (48mm dia. 10mm thickness)
- ③ Platinum lead terminal (1mm dia.)
- ④ Lead wire for voltage measurement
- ⑤ Lead wire of heating electric current
- ⑥ Test vessel (Teflon)
- ⑦ Insulating material

Fig. 3 Schematic of experiment apparatus

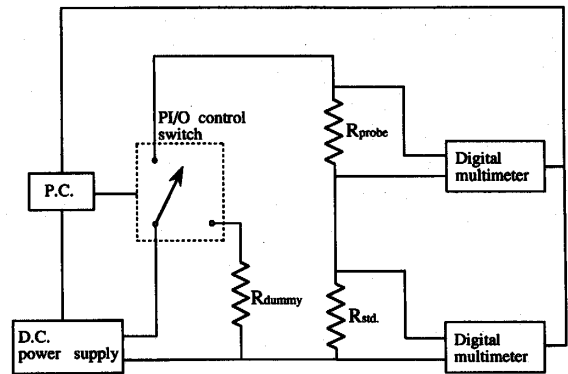


Fig. 4 Schematic of measurement system

直流定電流電源 (菊水電子工業株式会社製 PAB70-1 A 形) には、コントローラ (同, DPO2212A 形) が接続されている。この電源により $0\sim 1\text{A}$ までの電流を任意に設定して流すことができる。この電源の安定性は、電源電圧の $\pm 10\%$ 変動に対して 2mA 、出力電圧の $0\sim 100\%$ 変動に対して 10mA である。電流および電圧測定用のデジタルマルチメーターは同じもので、Keithley 社の Model 2001 であり、実際の測定時に設定したサンプリング間隔 33ms において有効な測定桁数は 6.5 桁である。なお、電流測定には横河電機製の 10Ω の標準抵抗器を用いた。

本測定において、白金の短細線部の体積平均温度の経時変化を求める必要があるが、これは 1mm 径の白金リード端子部を含むプローブ全体の電気抵抗と温度との関係をあらかじめ校正することにより、以下のようにして算出する。まず Fig. 5 にプローブ全体の電気抵抗と温度との関係の検定結果を示す。プロット点が測定値で、実線は次式で表わされる検定式である。

$$R = R_{t_0}(1 + \beta T) \dots\dots\dots(11)$$

ここで R_{t_0} は 0°C での電気抵抗値で 0.51517Ω 、 β は温度係数で $3.918 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ である。式(11)と実測値との差異は 0.0005Ω 以内である。

試料の初期温度は、容器を含めて平衡状態にあるとし、その時の電気抵抗を R_i とすると、次式で算出される。

$$T_v = \frac{1}{\beta} \left(\frac{R_i}{R_{t_0}} - 1 \right) \dots\dots\dots(12)$$

一方、加熱開始後は、短細線部の温度は上昇するものの、 1mm 径のリード端子部の温度は殆ど変化しない。すなわち、プローブ全体の状況は検定時とは異なる。従って、短細線部の体積平均温度の算出にあたっては、この初期温度に得られたリード端子部の抵抗値の影響

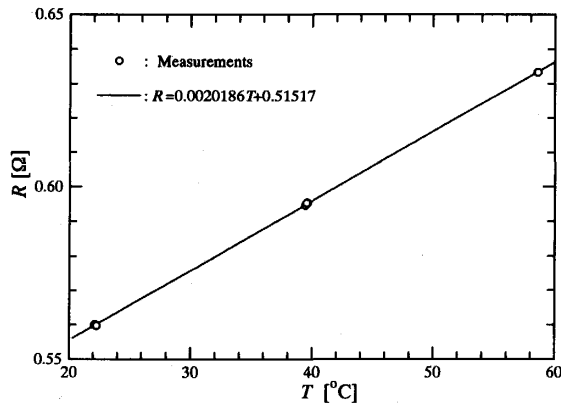


Fig. 5 Calibration of electric resistance

を補正する必要がある。ある基準温度 (0°C) におけるリード端子部と短細線部を含むプローブ全体の電気抵抗の比 R_{lead}/R_{probe} を ε とおいてこの補正を行うと、短細線部の体積平均温度は次式で算出される。

$$T_v(t) = \frac{1}{\beta} \left(\frac{Rt(t) - \varepsilon R_i}{(1 - \varepsilon) R t_0} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (13)$$

なお、本測定で用いたプローブの場合、 $\varepsilon = 0.029$ である。

測定は、以下のような手順で行った。まず流体の初期温度を計測するために、プローブ (R_{probe}) に約 3 mA の電流を印加し、次に回路のスイッチをダミー抵抗 (R_{probe} と同程度の固定抵抗 0.2Ω) 側に接続し、所定の加熱電流を発生させる。なお、約 3 mA 程度の微小電流による短細線部の体積平均温度の上昇は 0.002°C 以下と見積もられ無視できる。電流値の安定を待って後、スイッチを測定系に接続して加熱を開始する。計測時間は数秒間である。本測定では初期温度測定時間約 3 秒、電流安定待ち時間 0.5 秒および加熱時間 5 ~ 6 秒に設定した。なお、加熱電流は短細線体積平均温度の上昇が $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 程度になるように設定した。測定の再現性を確かめる測定を行う際には、30 分以上の待ち時間を設けた。

4. 測定精度の検討

第 2 章の測定原理で記したように、本測定法は短細線まわりの非定常熱伝導の数値解析結果に基づいたものである。従って、熱伝導率および温度伝導率の測定精度は通常の測定誤差だけでなく、数値解析の精度にも影響を受けることになる。数値解析の精度については、前報⁽⁸⁾で詳細に検討を行った。その結果、無限長さ

に相当する細線の場合について温度上昇の計算結果の誤差は 0.1% 以内であると評価されている。Fig. 3 に示す短細線についても同様な精度が確保されていると見なせるので、数値解析結果が 0.1% 程度の誤差を含むと考えたとき、すなわちマスタープロット (a_1 および b_1 の値) に初めから 0.1% の誤差があるとしたときの λ と α の測定誤差を評価する。一方、通常の測定誤差は本測定法の場合、式(9)、(10)から明らかなように、a) 体積発熱量 q_v 、b) 細線半径 r_i 、c) 温度の経時変化 $T_v(t)$ すなわち、式(7)における a_2 、 b_2 の測定誤差によって生ずる。

これらのすべてについて誤差の伝播を考慮した場合、 λ と α の誤差はそれぞれ次式で表わされる。

$$\frac{\delta\lambda}{\lambda} = \left\{ \left(\frac{\delta V}{V} \right)^2 + \left(\frac{\delta I}{I} \right)^2 + \left(\frac{\delta l}{l} \right)^2 + \left(\frac{\delta a_1}{a_1} \right)^2 + \left(\frac{\delta a_2}{a_2} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots (14)$$

$$\frac{\delta\alpha}{\alpha} = \left[\left(\frac{2\delta r_i}{r_i} \right)^2 + \left\{ \delta \left(\frac{b_2}{a_2} \right) \right\}^2 + \left\{ \delta \left(\frac{b_1}{a_1} \right) \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (15)$$

上式の各項について、妥当な評価を行った結果、 λ および α の誤差はそれぞれ $\pm 1.5\%$ および $\pm 4.7\%$ と見積もられる。

なお、短細線の長さの計測は溶着部の正確な位置が不明であることおよび若干のたわみがあるため、正確に行うことが不可能であった。従って、この長さは、蒸留水の測定において、 λ の値が文献値と一致するように定め、数回の測定における平均値として $l = 9.42 \pm 0.01 \text{mm}$ が得られた。

5. 測定結果

Fig. 6 に短細線の体積平均温度の経時変化の測定例を示す。縦軸には初期温度との差、横軸には対数目盛で時間がとってある。蒸留水、メタノールおよびトルエンの場合について、それぞれ約 5 秒間の測定データをプロットしてある。細線長さが短いために自然対流の現われるのが長細線の場合より早くなっているが、最も早く現われるトルエンの場合でも、1 秒以上直線関係が保たれている。熱伝導率はこの直線関係の勾配のみから算出されるので、この時間は測定にとって十分である。

これらのデータをもとに、式(9)および式(10)を用いて算出された熱伝導率および温度伝導率の値を文献値と比較して Table 1, 2 および 3 に示す。測定された熱物性値は初期温度におけるものとしてある。参照値は、文献 [9] の値を温度に関して内挿して求めたものを記

非定常短線加熱法による液体の熱伝導率および温度伝導率の同時測定

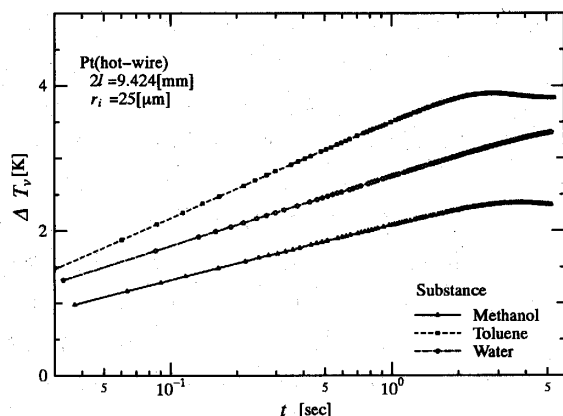


Fig. 6 Measured temperature variation

してある。蒸留水の場合については細線長さを決定する際に参照値として用いたので、文献値と一致するのは当然であるが、トルエンについても文献値と測定誤差以内で一致する結果が得られている。メタノールについては、温度伝導率の測定結果に関しては測定誤差以内で一致しているものの、熱伝導率については参照値より測定誤差範囲以上に低い値となっている。しかし、文献 [10] に示された推奨式により算出した表中括弧内の値と比較すると熱伝導率の値も測定誤差内の値となっている。

本測定法の原理は、Fig. 2 に例示した数値解析結果としてのマスタープロット θ_v vs. Fo の関係に基づいている。この関係は、細線と試料との熱物性値の比 A , B をパラメータとして得られるものである。本測定で

Table 1 Thermal conductivity and diffusivity of water

Substance	Temperature T [°C]	Ref. data α [m^2/s]	Measured α [m^2/s]	Ref. data λ [W/(m·K)]	Measured λ [W/(m·K)]	Relative errors of α & λ [%]
Water H ₂ O	22.08	1.444E-7	1.44E-7	0.6022	0.603	0, 0.1
	22.23	1.444E-7	1.44E-7	0.6025	0.606	0, 0.6
	22.25	1.444E-7	1.44E-7	0.6025	0.604	0, 0.2
	22.70	1.447E-7	1.46E-7	0.6033	0.601	0.9, -0.4
	22.78	1.447E-7	1.45E-7	0.6034	0.606	0.2, 0.4

Table 2 Thermal conductivity and diffusivity of methanol

Substance	Temperature T [°C]	Ref. data α [m^2/s]	Measured α [m^2/s]	Ref. data λ [W/(m·K)]	Measured λ [W/(m·K)]	Relative errors of α & λ [%]
Methanol CH ₃ OH	20.80	1.030E-7	1.03E-7	.2039(.192)	0.194	0, -4.9
	20.81	1.030E-7	1.01E-7	.2039(.192)	0.194	-1.9, -4.9
	21.13	1.029E-7	1.04E-7	.2038(.192)	0.194	1.1, -4.8
	21.86	1.028E-7	1.03E-7	.2036(.192)	0.195	0.2, -4.2
	23.48	1.023E-7	1.00E-7	.2031(.191)	0.194	2.2, -4.5

Table 3 Thermal conductivity and diffusivity of toluene

Substance	Temperature T [°C]	Ref. data α [m^2/s]	Measured α [m^2/s]	Ref. data λ [W/(m·K)]	Measured λ [W/(m·K)]	Relative errors of α & λ [%]
Toluene C ₆ H ₅ · CH ₃	19.69	8.932E-8	9.26E-8	0.1320	0.130	3.7, -1.5
	19.88	8.927E-8	9.05E-8	0.1319	0.130	1.4, -1.4
	20.03	8.924E-8	8.93E-8	0.1319	0.130	0.1, -1.4
	22.74	8.859E-8	8.97E-8	0.1311	0.129	1.3, -1.6
	22.81	8.857E-8	9.18E-8	0.1311	0.129	3.6, -1.6
	23.53	8.840E-8	9.20E-8	0.1309	0.130	4.1, -0.7
	23.95	8.830E-8	9.08E-8	0.1307	0.130	2.8, -0.5
	25.13	8.801E-8	8.89E-8	0.1304	0.130	1.0, -0.3

は蒸留水, メタノール, トルエンについてそれぞれの熱物性値に対応したマスタープロットを用いて熱伝導率と温度伝導率を算出したが, 本測定法の厳密な適用にあたっては, 以下のような繰り返し過程が必要となる。まず, 被測定流体の熱物性値を予測し, それに対応するパラメータ A, B を用いた数値解析を行う。これから得られたマスタープロットと測定結果の比較から熱物性値の第1近似値が求まる。次に, この第1近似値に対応するパラメータについて数値解析を行い, その結果に基づいて新しく熱物性値の第2近似値を算出する。この過程を, 熱物性値が所定の精度内の値に収束するまで繰り返す。実際には測定対象とする流体の熱物性値の概略の範囲にわたって A, B の値を数段階変化させた解析をあらかじめ行っておくことで, 上記の手順は簡略化できる。

6. 結 言

前報で提案した, 短細線非定常加熱法を用い, 実際に流体の熱伝導率および温度伝導率の同時測定を行った。測定装置の製作, 蒸留水, メタノールおよびトルエンを対象にした測定により以下の結論を得た。

- 1) 細線長さ10mm程度の測定用プローブを用いた場合でも, 少なくとも1秒間は非定常熱伝導の現象が維持されることが明らかになった。この時間は, 熱伝導率および温度伝導率の算出に十分であることが確認できた。
- 2) 標準試料を用いた補正により細線長さの測定誤差の影響を除くと, 本測定法の測定誤差は熱伝導率および温度伝導率に関して, それぞれ $\pm 1.5\%$ および $\pm 4.7\%$ と見積もることができる。ただし, デジタルマルチメータとしては高速サンプリングで高精度測定が可能なものを用いる必要がある。
- 3) 標準試料とした蒸留水を除いて, トルエンについての測定結果は熱伝導率および温度伝導率のいずれについてもほぼ本測定法の測定誤差以内で文献値と一致した。メタノールの熱伝導率については, 文献[9]の値より文献[10]の値に近い結果が得られた。
- 4) 本測定法を適用するにあたっては, あらかじめ短細線のアスペクト比および被測定流体の熱物性値に適合したパラメータ A, B についての数値解析を精度よく行う必要がある。
- 5) 測定用のプローブの製作は非常に容易で, 形状もシンプルである。従って, 電氣的絶縁を行うための被覆を行うことも従来の細線法に比べて容易となる。また, 細線の電気抵抗も小さいため端子間電圧も低い。これらのことを考慮すると, 本測定法は電気伝導性の大きな流体への適用の可能性が高い。現在, プローブを絶縁被覆し, さらに被覆層の影響を考慮した解析を行うことにより, 熔融炭酸塩の熱伝導率の測定を試みている。

引用文献

- (1) B. Stålhane and S. Pyk, Tek. Tidskr., **28** (1931) 389.
- (2) 藤井, 森岡, 九州大学生産研究所報告, **47** (1968), 19.
- (3) J. J. Healy, J. J. de Groot and J. Kestin, Physica, **82C** (1976) 392.
- (4) 長島, 村田, 滝沢, 機論 (B編), **43**, 370 (1977) 2268.
- (5) Y. Nagasaka and A. Nagashima, J. Phys. E, **14** (1981) 1435.
- (6) A. Alloush, W. B. Gosney and W. A. Wakeham, Int. J. Thermophys., **3** (1982) 225.
- (7) 斎藤 彬夫, 機論 (B編), **46**, 401 (1980) 225.
- (8) 張, 富村, 藤井, 九州大学機能物質科学研究所報告, **7-2**, (1993) 167.
- (9) 伝熱工学資料 改訂第4版, 日本機械学会, (1986).
- (10) Robert C. Reid, John M. Prausnitz and Bruce E. Poling, The Properties of Gases & Liquids, Fourth Edition, (1987).