

平成 21 年 5 月 27 日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2007 ～ 2008

課題番号：19760140

研究課題名（和文）極微量ピコリットル液体の粘性率測定法の開発

研究課題名（英文）Development of Measurement Technique for Liquid Viscosity of Pico-Litter Volume

研究代表者

元祐 昌廣 (MOTOSUKE MASAHIRO)

東京理科大学・工学部・助教

研究者番号：80434033

## 研究成果の概要：

本研究は、微量液体試料の粘性率の光センシング手法を原理から新たに開発することを目的としている。液中に混入したナノ微粒子の挙動から、画像解析によって粘性率に依存した信号を取得し、粘性率を反映した相関緩和信号を得ることができた。粒子径によって緩和時間は変化し、粒子濃度に依存しないことを実験的に示した。グリセリン水溶液を用いた実験では粘性率の増加により相関緩和時間が増加し、粘性率測定法としての可能性を確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	0	2,200,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	330,000	3,630,000

研究分野：熱流体工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学 (5005)

キーワード：粘性率、マイクロ流体、微量計測、熱物性

## 1. 研究開始当初の背景

近年、機械、エネルギー、医療、生化学などの多様な分野において、小型、高効率、低環境負荷などの利点を有するマイクロ熱流体デバイスの応用に期待が高まっている。そのなかで、デバイス内部での熱流動現象にはスケール効果が存在し、内部で発生する現象の詳細な解明が切望されている。とリアル買流体の容量も mL $\sim$  $\mu$ L オーダから nL $\sim$ pL オーダへと微量化の道を進んでいる。デバイス

製作技術や応用技術のダウンサイジング化に比べて物性計測のスケールダウンは追いついていない現状があり、反応、分離反応における物性評価はバルク量でしか行うことができない。

微小液体試料の物性を迅速かつ簡便に計測できれば、反応生成物の評価や、コンビナトリアル手法を用いたハイスループットでの新物質・材料開発などがオンチップで可能となるため、今後はさらにマイクロデバイスが普及して応用範囲が拡大する状況を鑑み

ると、微量液体試料の物性計測技術の開発は急務だといえる。特にマイクロチップ内の流動場は粘性支配のため、粘性率計測の重要性は極めて高い。

## 2. 研究の目的

本研究ではマイクロチップ内極微量液体の粘性率計測技術の開発を目指し、現状の粘性率測定法での必要試料量  $\mu\text{L}\sim\text{mL}$  よりさらに微量な、 $\text{nL}\sim\text{pL}$  オーダの粘性率測定が可能な計測原理及びシステムの開発を目的とする。原理の開発から実験装置の構築、予備検討による特性評価を行い、測定法としての可能性を明らかにし、多次元計測や分布計測等の応用展開への道について検討することを遂行内容として含む。

## 3. 研究の方法

(1) 極微量液体試料の粘性率測定法を新たに開発するため、まずはシミュレーションによるパラメトリックスタディを行う。液中に混入させた微粒子の並進 Brown 運動をモデリングし、影響因子を抽出する。

(2) 続いて実験装置の構築を行う。蛍光顕微鏡に温度調節装置及び油浸対物レンズを組み込み、安定した粒子挙動観察が可能な装置を開発する。

(3) 構築した実験装置を用いて、粘性率測定法の開発を行う。液中に微粒子を混入すると、粒子と液体との相互作用による並進 Brown 運動の結果、粒子はランダムに揺れ動く。本研究ではこの挙動を画像として連続的に撮影し、時系列輝度情報画像より相関緩和信号を取得する。緩和時間は液体温度及び粘性率に依存する。温度情報を得ることで緩和信号より粘性率を測定することが可能である。流体温度が一定の場合は周辺に配置した温度センサ情報を、分布が存在する場合には、液体温度分布をレーザー誘起蛍光法 (LIF) によって測定しておくことで粘性率分布の測定が原理的に可能である。

## 4. 研究成果

(1) 液体中に存在するナノ粒子の挙動をシミュレーションし、パラメトリックスタディを行った所、当初の予定通り温度の影響が非常に強いことが明らかとなった。さらに、粒子径等のパラメータを変化させても粘性と温度の情報の切り離しは難しく、温度を別途計測する必要があることが分かった。

(2) デバイスに温度センサを取り付けることで温度一定条件の場合には適用可能である

が温度が不均一な場合には対応できない。流体温度を局所的に計測し、その温度情報を粘性率導出に用いることで、温度分布が存在する系にも適用でき、より高い汎用性を有する計測手法につながるため、温度と粘性率の局所測定が可能な装置開発を行った。

(3) 構築した実験装置の概要を図 1 に示す。倒立顕微鏡をベースとしており、励起光源には波長  $488\text{ nm}$  の全固体励起小型ブルーレーザを用いている。試料台は、厚さ  $200\ \mu\text{m}$  のマイクロチャネル 5 層を接合した恒温プレートを恒温水循環装置に接続しており、高精度での温度調節が可能な構成とした。油浸対物レンズを用いることで薄片での粒子画像の取得が可能である。

(4) 流体の温度分布を計測するため、マイクロ LIF (レーザー誘起蛍光法) を用いた温度計測システムを開発した。蛍光染料の発光強度の温度依存性 (図 2) を利用し、温度範囲  $10\sim 60\ \text{degC}$ 、空間分解能  $530\text{ nm}$  で温度分布計測が可能であることを確認した。

(5) 続いて液体中に直径  $720\text{ nm}$  の蛍光ポリスチレン粒子を混入して実験を行った。図 3 に撮像した粒子画像の一例を示す。時系列輝度解析による相関緩和時間は試料の粘性率に

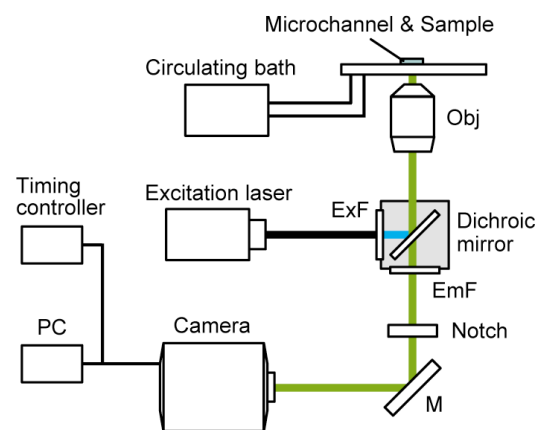


図 1 実験装置概略図

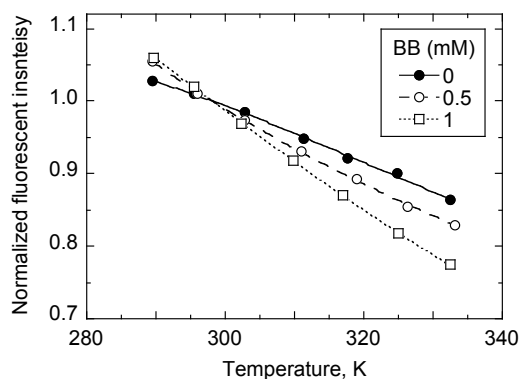


図 2 蛍光強度の温度依存性

対応するため、緩和時間へ及ぼす各種パラメータの依存性を評価し、画像内に粒子数が確保される条件においては粒子濃度の影響はほとんどみられないことを確認した。粒径は緩和時間に大きく影響を及ぼし、粒子サイズが大きいくほど相関緩和時間が長くなる。これらは理論と同様の傾向であり、本計測原理の有効性を確認した。

続いて、濃度を変化させたグリセリン水溶液を用いて実験を行った。グリセリン濃度の増加に伴い相関緩和時間が長くなることを確認し、粘性変化に対応した信号の取得に成功した(図4)。ガラス及びポリイミドを用いて、必要試料容量 100 nL、測定部容量 100 pL の物性計測用微小デバイスを製作し、本デバイスを用いた場合でもこれまでの mL オーダー容量の場合と同様に有意な信号を取得することができ、これより極微量液体試料の可能性を示すことができた。

(6) 続いて、応用展開の可能性について検討を行った。画像内の解析領域を限定した実験を行った結果、解析空間容量 25 pL においても限定前と同様の減衰信号を得ることができ、分布計測の可能性を示すことができた。また、同試料に流動を付与して PIV (粒子画像流速測定法) によって流速測定を行い、速度の算出が十分可能であることを確認し、多次元計測への適用性を示した。

(7) 最後に研究を総括し、本手法を用いることでマイクロチャンネル内での熱・物質移動を伴う系での多次元情報の計測が可能なマイクロプロセスモニタリングチップへの発展

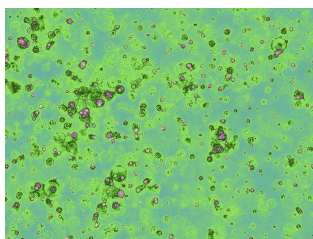


図3 撮影画像

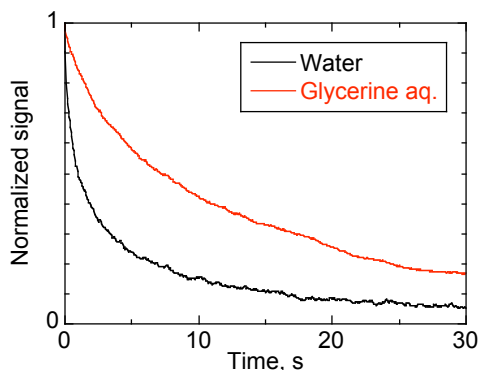


図4 信号波形

が可能になることを示した。

#### 【国内外における位置付けとインパクト】

現在、マイクロデバイスを用いた微量計測分野では光吸収や分光、ラマン散乱等を用いた手法の開発や計測用 MEMS チップ開発が進んでいるが、流体物性の計測例は少ない。流体物性計測用の MEMS デバイス開発は数例存在するが、単体でのみの機能に限られ、物性分布や多次元計測等の応用は不可能である。特に、分析精製用チップ等に用意に組み込み可能な技術は国内外において全く存在しない状況である。本研究の遂行によって、マイクロ熱流体デバイス内において、温度・速度・濃度等の情報に加えて粘性という情報が計測可能であることが示され、より詳細な現象解明へとつながり、今後のマイクロチップ技術のさらなる発展が期待できる。

#### 【今後の展望】

本研究では、計測領域全域で温度・粘性一定条件でのみで実験を行った。温度については LIF によって分布計測が可能であることを確認しており、解析空間を限定した場合での信号取得についても確認していることから、物性分布が存在する場合にも適用可能である。しかしながら分布計測は行っていない。流速と粘性の多次元計測についても独立して行っており、同時計測を行っていない。今後は物性分布の計測や温度・速度場との同時計測が可能な実験装置開発へと発展させたい。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① M. Motosuke, D. Akutsu, S. Honami, Temperature Measurement of Microfluids with High Temporal Resolution by Laser Induced Fluorescence, Journal of Mechanical Engineering and Technology, (2009) 査読有 (in press)
- ② M. Motosuke and Y. Nagasaka, Real-Time Sensing of the Thermal Diffusivity for Dynamic Control of Anisotropic Heat Conduction of Liquid Crystals, International Journal of Thermophysics, Vol. 29, No. 6, pp. 2025-2035, (2008), 査読有
- ③ M. Motosuke, Y. Nagasaka and S. Honami, Time-resolved and Micro-scale Measurement of Thermal Property for Intermolecular Dynamic Using an Infrared Laser, Journal of Thermal Science, Vol. 3, No. 1, pp. 123-132, (2008), 査読有

〔学会発表〕（計 7 件）

- ① D. Akutsu, M. Motosuke, S. Honami, Temperature Measurement of Microfluids with High Temporal Resolution by Laser Induced Fluorescence, 7th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC), 2008 年 10 月 13 日, 札幌.
- ② 元祐昌廣, 嶋川純, 本阿弥眞治, 光誘起粘性分布によるマイクロ流動制御の可能性, 第 29 回日本熱物性シンポジウム, 2008 年 10 月 8 日, 東京.
- ③ 阿久津大, 元祐昌廣, 本阿弥眞治, レーザ誘起蛍光法を用いた高い時間分解能を有するマイクロ流体温度場計測, 日本機械学会 2008 年度年次大会, 2008 年 8 月 4 日, 横浜.
- ④ J. Shimakawa, M. Motosuke, S. Honami, Local Microflow Control Using Photothermal Viscosity Distribution, 6th International Conference on Nanochannels, Microchannels & Minichannels (ICNMM), 2008 年 6 月 23 日, Darmstadt (Germany).
- ⑤ 元祐昌廣, 嶋川純, 本阿弥眞治, 流体の局所的な温度変化を利用した光学的物質移動技術に関する研究, 日本機械学会熱工学コンファレンス, 2007 年 11 月 23 日, 京都.
- ⑥ 嶋川純, 元祐昌廣, 本阿弥眞治, レーザを用いた流体局所加熱によるマイクロチャンネル内流動制御, 日本機械学会 2007 年度年次大会, 2007 年 8 月 4 日, 大阪.
- ⑦ M. Motosuke, J. Shimakawa, S. Honami, Microflow Behavior of Liquid in the Presence of Laser-induced Temperature Gradient, 5th International Conference on Nanochannels, Microchannels & Minichannels (ICNMM), 2007 年 6 月 18 日, Puebla (Mexico).

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

- 出願状況（計 0 件）
- 取得状況（計 0 件）

〔その他〕

特になし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

元祐 昌廣 (MOTOSUKE MASAHIRO)

東京理科大学・工学部・助教

研究者番号：80434033

### (2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者  
なし