

機関番号 : 32660

研究種目 : 若手研究 (B)

研究期間 : 2009 ~ 2010

課題番号 : 21760164

研究課題名 (和文) 光圧と局所物性操作を駆使した微小物質輸送

研究課題名 (英文) Transportation of small particles using optical force and local property control

研究代表者

元祐 昌廣 (MASAHIRO MOTOSUKE)

東京理科大学・工学部・助教

研究者番号 : 80434033

研究成果の概要 (和文) :

本研究の目標は、光放射圧と局所的な物性勾配を利用した微小物質輸送の新規技術を提案することである。光圧による物質駆動デバイス及び計測システムを構築し、光線工学モデルに基づいた理論との比較検討を行った。その結果、照射光を液体に吸収させることで局所的に粘性率を低下させることで輸送効率を最大 60%増加させることが可能であることを明らかにした。また、微細電極を用いて交流電場を印加することで、導電率の温度勾配を利用した物質輸送が可能であることを確認した。

研究成果の概要 (英文) :

The purpose of this research project is to establish a novel technology to transport small particles using an optical radiation pressure and a locally controlled property variation. A microdevice controlling particles by the optical force and a measurement system were developed. It is confirmed that the ability to manipulate particles by the optical pressure is enhanced by 60% using locally reduced viscosity due to absorption of the light energy irradiated into the liquid. Additionally, applying alternating-current electric fields to an electrode array results in a particle transportation caused by the temperature dependent electrical conductivity.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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 : マイクロ流体, ナノ粒子, 光放射圧, 局所物性操作, フォトサーマル効果

1. 研究開始当初の背景

近年、マイクロ流体デバイスには高い関心が寄せられており、小型・軽量・高反応効率などの利点から環境・エネルギー分野では環境分析デバイスとしての有用性が指摘されて

おり、採取から分析プロセスまでの一連の処理を 1 チップで実現する超小型水質/大気分析デバイス期待されている。小型チップの流路内に混入・発生する微小物質は、目詰まりや抵抗増大、反応・分析効率の低下につながる

り、デバイス性能や寿命低下、安定動作の障害となる。多孔質フィルタや遠心分離、電気泳動などの既存技術は十分ではなく、広範な対象へ適用可能な新たな物質輸送技術の開発は必須である。

そこで本研究では光放射圧に着目し、これを利用して、局所物性制御と組み合わせた新たな微小物質輸送技術を提案する。

2. 研究の目的

光散乱力と局所物性分布を組み合わせた新たな非接触ナノ物質輸送技術の提案を目指し、実験装置を構築し、予備的実験を通じて各種現象を明らかにし、その特性を評価し、輸送促進効果の定量化を行い、光と熱・電気物性局所操作を組み合わせた物質輸送現象を体系化することを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

以下に示す内容を実施する。

- (1) 光圧実験装置の開発
- (2) 粘性変化下での光圧による物質輸送現象の解明及び定量化
- (3) 電気物性勾配下での物質輸送現象の解明及び定量化
- (4) 粘性、電気両物性勾配による光圧物質輸送現象の制御

4. 研究成果

以下では「3 研究の方法」の記述順に従って成果を報告する。

(1) 光圧実験装置の開発

マイクロ流路の側面から微小プリズムを用いて光入射を行う側方入射光学系を構築し、既存の micro-PIV/LIF システムに組み込み、実験装置を開発した (図 1)。光源は可視 (635 nm) と近赤外 (1064 nm) で選択可能である。

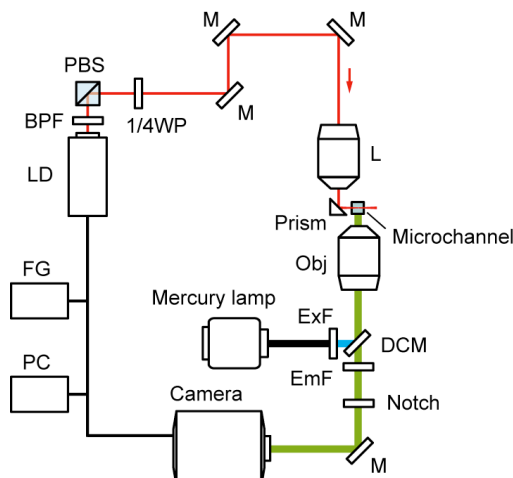


図 1 開発した光圧実験装置

(2) 粘性変化下での光圧による物質輸送現象の解明及び定量化

微小流路の流れと垂直にレーザー光を照射し、そのときの粒子挙動を PIV/PTV によって計測した。流れ垂直方向の速度分布を図 2 に示す。光照射方向に粒子が移動しており、これは光散乱力によるものである。光吸収性を持つ増感剤を分散させて同様の実験を行うと、粒子移動速度が増加することが分かった。これはフォトサーマル効果による局所的な流体粘性の低下が主要因であり、粘性低下によって粒子の移動が促進されることが明らかになった。光吸収の有無による粒子移動速度、並びに粘性低下の影響を組み込んだ理論を用いて導出した速度を図 3 に示す。理論と実験は良い一致を示し、局所粘性変化による粒子輸送現象を確認し、モデルを構築することができた。

流路材質に関して、ガラス及び PDMS について同種の実験を行った結果、PDMS での輸送促進効果の方が高いことが分かった。この原因は、PDMS の熱伝導率がガラスに比べて低いいため、光吸収による温度上昇の散逸が弱く、その結果流体内に形成される温度変化が大きいことにあることを実験及び解析の双

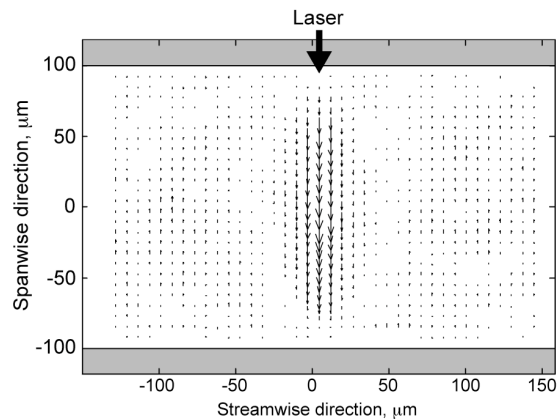


図 2 光散乱力による粒子移動の様子

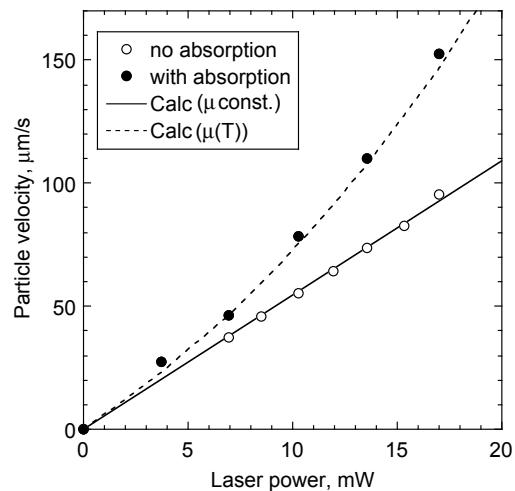


図 3 局所粘性変化と光圧による粒子輸送促進

方から明らかにした。

(3) 電気物性勾配下での物質輸送現象の解明及び定量化

ガラス基板の上にITO製の透明電極をパターンニングして、PDMS製マイクロ流路を形成したデバイスを作成した。これに交流電圧を印加すると、微小なジュール発熱が誘起する電気物性勾配と電界が作用した結果、流動が発生する。図4に側方観察マイクロPIVによる基板垂直断面の速度分布計測結果を示す。この現象について検討を行った結果、流速は電圧の約4乗に比例し、誘電率と導電率の温度依存性が影響することが分かり、数値シミュレーションによるパラメトリックスタディによって導電率の影響が最も支配的であることが明らかになった。図5に数値シミュレーションによって求めた温度・速度分布を示す。流体温度上昇は2度程度と非常に小さいにも関わらず、局所物性変化の影響によって特徴的な流れが発生することが分かった。

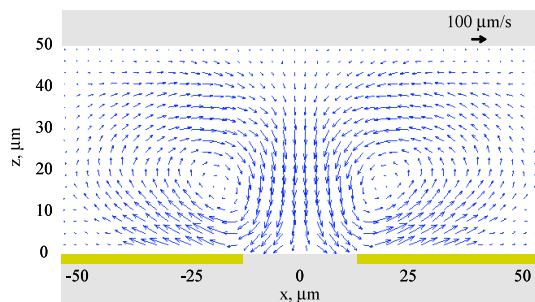


図4 交流電界が誘起する流動の速度分布

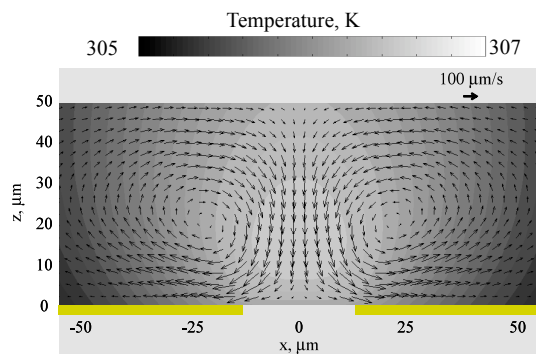


図5 温度・速度分布の数値計算結果

(4) 粘性、電気両物性勾配による光圧物質輸送現象の制御

これまでに確認した両現象、粘性及び電気物性の局所変化を組み合わせた現象について検討を行った。ITO電極に光吸収性液体を流し、微弱電界を印加した状態で光を照射したところ、光照射部のみで強い攪拌効果を持つ流動を誘起させることができた。これは光照射部でフォトサーマル効果が起き、粘性・

電気物性が誘起され、電場誘起流が増強され、さらに光圧の影響により粒子が輸送されることによる攪拌効果であり、両物性の局所操作によってのみ発生する現象であることを確認した。上流から粒子を含む溶液と含まない溶液を流して合流させ、流路の半分のみ粒子溶液が流れるようにして光誘起攪拌効果を可視化した画像を図6に示す。流路幅は200 μm であり、光未照射時は下半分が粒子溶液、上半分が溶液となる。本現象は光照射時のみに発生する、即ち光をトリガとしたミキサであり、物性制御により粒子輸送を制御できる可能性を示すことができた。

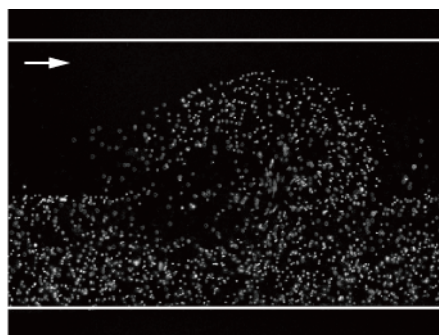


図6 光誘起攪拌現象の様子

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 5 件)

1. H. Takeuchi, M. Motosuke, S. Honami, Noncontact Bubble Manipulation in Microchannel by Using Photothermal Marangoni Effect, *Heat Transfer Engineering* (accepted). 査読あり
2. M. Motosuke, J. Shimakawa, D. Akutsu, S. Honami, Noncontact Manipulation of Microflow by Photothermal Control of Viscous Force, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 31, No. 6, pp. 1005-1011 (2010) 査読あり
3. 元祐昌廣, 嶋川純, 本阿弥真治, 光誘起局所粘性分布下におけるマイクロ流動構造の解明, 日本機械学会論文集(B編), Vol. 76, No. 764, pp. 588-594 (2010) 査読あり
4. 竹内洋之, 元祐昌廣, 本阿弥真治, 光熱マランゴニ効果による微小流路内気泡の操作特性, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 76, No. 768, pp. 1939-1941 (2010) 査読あり
5. M. Motosuke, D. Akutsu, S. Honami, Temperature Measurement of Microfluids with High Temporal Resolution by Laser Induced Fluorescence, *Journal of*

Mechanical Science and Technology, Vol. 23, No. 7, pp. 1813-1820 (2009). 査読あり

〔学会発表〕(計 17 件)

1. M. Motosuke, S. Honami, Effect of photothermal phenomena by focused light on liquid flow and particle behavior in small domain, *2nd European Conference on Microfluidics*, 2010.12.9, Toulouse, France.
2. H. Toki, M. Motosuke, S. Honami, AC electroosmotic flow for transportation of particle in microchannel, *2nd European Conference on Microfluidics*, 2010.12.9, Toulouse, France.
3. M. Motosuke, S. Honami, Microfluidic flow characterized by light-induced local viscosity distribution, *63rd Annual Meeting of the American Physical Society's Division of Fluid Dynamics*, 2010.11.23, Long Beach, CA, USA.
4. 元祐昌麿, 土岐光, 阿久津大, 本阿弥眞治, 電場誘起流計測のための側方観察マイクロ PIV, 可視化情報シンポジウム, 2010.7.21, 東京.
5. M. Motosuke, D. Akutsu, H. Toki, S. Honami, Lateral Micro-PIV for Visualization of Electrokinetic Flow in Microfluidic Chip, *14th International Symposium on Flow Visualization*, 2010.6.21, Daegu, Korea.
6. 土岐光, 阿久津大, 元祐昌麿, 本阿弥眞治, 電気物性の温度依存性を利用したマイクロ流体輸送, 第 47 回日本伝熱シンポジウム, 2010.5.27, 札幌.
7. 星麻美, 竹内洋之, 元祐昌麿, 本阿弥眞治, 光熱マランゴニ効果を用いた微小気泡操作へ及ぼす流路の影響, 第 47 回日本伝熱シンポジウム, 2010.5.27, 札幌.
8. M. Motosuke, J. Shimakawa, S. Honami, Particle migration by optical scattering force in microfluidic system with light-absorbing liquid, *2nd Micro/Nanoscale Heat and Mass Transfer International Conference*, 2009.12.21, 上海, 中国.
9. 阿久津大, 元祐昌麿, 本阿弥眞治, 高周波交流電現象を利用したマイクロチャンネル内粒子操作に関する研究, 日本機械学会流体工学部門講演会, 2009.11.8, 名古屋.
10. M. Motosuke, H. Takeuchi, S. Honami, Optical Methodology for Flexible Bubble Manipulation in Microfluidic Device based on Photothermal Marangoni Effect, *13th International Conference on Miniaturized*

Systems for Chemistry and Life Science, 2009.11.3, 済州島, 韓国.

11. 元祐昌麿, 嶋川純, 本阿弥眞治, 局所粘性分布存在下でのマイクロ流路内流動構造の可視化, 可視化情報学会全国講演会, 2009.10.25, 山形.
12. 竹内洋之, 元祐昌麿, 本阿弥眞治, 光熱マランゴニ効果による微小流路内気泡の操作特性, 第 1 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 2009.10.16, 東京.
13. 元祐昌麿, 嶋川純, 本阿弥眞治, 光吸収性を有する流体中の微粒子への放射圧の作用, 日本機械学会年次大会, 2009.9.15, 盛岡, 岩手.
14. M. Motosuke, J. Shimakawa, D. Akutsu, S. Honami, Noncontact Manipulation of Microflow by Photothermal Control of Viscous Force, *7th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, 2009.7.3, Krakow, Poland.
15. D. Akutsu, M. Motosuke, S. Honami, A Novel Particle Mixing Method with Frequency Selection Based on AC Electrokinetics, *7th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics*, 2009.7.2, Krakow, Poland.
16. H. Takeuchi, M. Motosuke, S. Honami, Noncontact Bubble Manipulation in Microchannel by Using Photothermal Marangoni Effect, *7th International Conference on Nanochannels, Microchannels & Minichannels*, 2009.6.23, 浦東, 韓国.
17. 竹内洋之, 元祐昌麿, 本阿弥眞治, 光誘起マランゴニ対流を利用したマイクロチャンネル内気泡の操作, 第 46 回日本伝熱シンポジウム, 2009.6.3, 京都.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 1 件)

名称: 粒子濃縮装置及び粒子濃縮・抽出装置

発明者: 元祐昌麿, 本阿弥眞治

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2010-200246

出願年月日: 2010.9.7

国内外の別: 国内

○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