A103

エバネッセント光を用いた マイクロ流れの可視化に関する研究

神田 健介[○](東京都立大学), 田内 久真(東京都立大学), 楊 明(東京都立大学)

A study on micro flow visualization using evanescent light source

Kensuke KANDA, Hisamasa TAUCHI and Ming YANG

ABSTRACT

This study aims at visualization of the flow near the wall surface in microchannel using evanescent wave on a near-field optical microscope. A system was developed for the visualization, which consists of total reflection fluorescent microscopy, Intensified CCD camera, PIV image processing system, microchannel, syringe pump. Including Brownian motion of particle with diameter of 100nm or less was evaluated. Flow analysis near the surface of a wall was performed. The influential factors on visualization of micro-flow were evaluated quantitatively. The flow rate near the surface in a microchannel is measured. The validity of developed experimental system was shown. On the other hand, using 60nm diameter fluorescent particles, flow analysis was performed. The technique is applicable for analyzing bio-fluid with bio-molecules tracer.

Keywords: Micro Visualization, Evanescent light source, μ PIV

1. 結 論

近年注目されている μ TAS やマイクロ医療デバイスでは、これらが小さな代表寸法を持つため表面の影響が慣性に対して相対的に大きくなる¹⁾。このような流れの可視化や速度場分析には粒子追跡を用いた μ PIV が有効であり、着目されてきた。Santiago らは 300nm のポリスチレン粒子を用いてマイクロチャンネルにおける流れに対して μ PIV を行った²⁾。また、Meinhart らは 200nm のポリスチレン粒子を用いてより高い空間分解能のマイクロチャンネル内の流れの速度解析を行った³⁾。しかしながら、表面近傍の流速の測定は表面から離れた位置の速度場から推測されており、表面から 450nm の位置が限界であり、表面の位置もまた離れた位置の速度場から決定されており、特に表面近傍の現象を知るためには問題点が多い。

エバネッセント光は全反射する光によって表面から垂直方向に滲み出す光であり、表面からの距離に対して指数関数的にその強度を減少させることが知られている⁴⁾。これを用いることで、上記の問題を解決しようと考えられる。本研究では、より小さな粒子を用いた表面近傍の流れの可視化を目的とする。エバネッセント光を用いた蛍光粒子追跡により、壁面近傍の流れの可視化を行い、特にブラウン運動の影響について調査を行った。

2. エバネッセント光を用いた粒子追跡

図1にシステム構成を示す。Ar レーザー(波長 488nm)を入射角調整可能な全反射型蛍光顕微鏡に導入する。全反射により生じたエバネッセント光はマイクロチャンネル中を流れる蛍光粒子を励起し、粒子が蛍光を発する(ピーク波長 570nm)。この蛍光は対物レンズを通して Intensified CCD カメラに導入され、蛍光像が粒子追跡ソフトウェアによって画像処理される。この際、背景光や入射レーザーによる散乱光はフィルタにより除去される。また、入射角を垂直にすることで通常の蛍光顕微鏡システムとしても利用可能である。

追跡粒子には、将来的に流れ中の生体分子そのものの追跡を可能にすることや流れを確実に追跡できることを考慮して粒子径 60, 100nm の蛍光粒子を用いた。

Fig.1 Configuration of measurement apparatus

マイクロチャンネルを半導体製造プロセスにより製作した。シリコンウエハ上にフォトリソグラフィによって流路パターンを転写し、これに対してプラズマエッチングを施すことによって矩形流路を掘り込む。このチップに光学研磨されたPyrexガラスを陽極接合することでチャンネルチップを製作した。また、流体導入用の樹脂ホルダーをエポキシ樹脂によって入口、出口に接合した。製作したマイクロチャンネルは幅 80, 160 μm 、深さ 43 μm 、長さ 30mm である。

3. ブラウン運動の影響

微小粒子を用いた流れ解析ではブラウン運動の影響が大きくなるため、これを評価した。静止流体中における直径 60, 100, 500nm の粒子運動をエバネッセント光源により測定した。得られた粒子像の時系列データから移動量を粒子追跡により得た。時系列画像データは 640 $\times$ 480pixel、時間間隔 1/30sec、撮像枚数 124 枚であり、1/30sec における粒子の単位時間当たりの移動量を図 2 にプロットした。粒子径が小さくなると移動量やそのばらつきが大きくなることがわかる。また、この際の移動量の頻度はガウシアン分布に沿っており、十分な量のデータが所得できたといえる。また、結果は拡散係数から算出される理論値よりも小さな移動量を示した。これはブラウン運動が壁面によって阻害された⁵⁾ことが原因として考えられる。

4. 流れ解析

壁面近傍の流れは非常に遅いため、ブラウン運動による移動と移流によるものとの区別が困難である。流量 0.2 $\mu\text{L}/\text{min}$ の流れに関して、単位時間当たりの X 方向、Y 方向に関する粒子移動量の散布図および頻度を図 3 に示す。ブラウン運動による移動量の分散は図 2 と図 3 でほぼ同じ値を示したことから、これらを減算したものが移流による流れである。また、散布図は若干 Y 方向にシフトしているが、これは図 2 でも確認されており、エバネッセント光による放射圧の影響である。これによって得られた速度は 60, 100nm の粒径でそれぞれ X 方向に 6, 9 $\mu\text{m}/\text{min}$ であった。粒径により得られた流速は異なるが、これ Z 方向における観察位置が異なっていた可能性が考えられる。これについては観察ジグの改良等、装置の改良により解決可能である。

5. まとめ

壁面の極近傍の流れ場を可視化できるエバネッセント光源を用いた μPIV システムを構築した。壁面近傍の流れ追跡ではブラウン運動の影響が大きいため、この影響を評価した。さらにこの影響を排除して表面近傍(表面か

ら 100nm 以下)の流速を得ることに成功した。また、本研究では従来のよりもはるかに小さい直径 60nm の蛍光粒子を用いた可視化に成功したが、このことは流体中の生体分子そのものの可視化も可能であることを示しており、壁面近傍での生体分子の反応の可視化にも応用が期待できる。

参考文献

- 1) Manz, A., Graber, N., and Widmer, H. M., 'Miniaturized total chemical analysis systems: a novel concept for chemical sensing, Sensors and Actuators B1, (1990), pp.244-248.
- 2) Tretheway, D. C. and, Meinhart, C. D.: Apparent fluid slip at hydrophobic microchannel walls., Physics of Fluid, Vol.14, No.3 (2002) pp.L9-12.
- 3) Santiago, J. G., Wereley, S. T., Meinhart, C. D., Beebe, D. J., and Adrian, R. J.: A particle image Velocimetry system for Microfluidics, Experiments in Fluids Vol.25, (1998) pp. 316-319
- 4) 大津元一, 小林潔, 近接場光の基礎 ナノテクノロジーのための新光学, オーム社 (2003)
- 5) 酒井啓二, 細田真姫子, 高木堅志郎, 界面近傍のブラウン運動の計測, 光学, Vol. 7, no. 30 (2001) pp. 434-439

Fig. 2 Distribution of particles with (a) 60nm and (b) 100nm diameter due to Brownian motion

Fig. 3 Displacement of particle in flow with Brownian motion