A 3 1 3

加熱により発生した気泡によるマイクロ流体素子での 混合の促進

山口 正義[○](東洋大学)、柳沢 康裕 (東洋大学)、加藤 洋治 (東洋大学)

Acceleration of mixing of two fluids in micro fluidic device by bubbles

M. Yamaguchi, Y. Yanagisawa, and H. Kato

ABSTRACT

The Reynolds number of the flow in a micro fluidic device is low. Therefore, it is necessary to promote the mixing by some methods. This paper reports on the research to promote mixing by bubbles generated by an electric heater. A typical flow channel width of a micro fluidic device is 40 to 80 μ m. This size is not easy to fabricate or to visualize the flow. First, we performed the visualization with the flow channel 10 times as large as the actual device to overcome these difficulties. Two fluids, colored with white and black paints respectively, were mixed in the micro fluidic device. Brightness of the fluid was observed with a CCD microscope. The image was analyzed with a personal computer, and the mixing rate was examined quantitatively.

Keywords: micro fluidic device, bubble, mixture, heating

1. はじめに

最近、化学反応や生体の検査（例えば血液検査）などを極微量の試料を用いて行うことが考えられ、研究されている。このとき LSI のように 1 つのチップの上で反応や検査を終了できれば都合が良い。この時反応する流体のレイノルズ数は 1 より小さくなることが考えられ、乱流による反応の促進は考えられない。そこで反応を促進させるために何らかの工夫が必要である。

このようなマイクロ化学分析システム (μ -TAS) の分野では流路形状による混合法や液滴の運動を利用した混合法などがある。

流路形状による混合方法はいろいろ提案されているが、単に一方の液体を多くの噴出口から噴出させたり、流路の形状を細かく分けただけのものが多く、また液滴を空気圧で揺動させるものは、面白い工夫であるが、操作が面倒である。そこで私たちは流路内にマイクロヒーターを取り付け、気泡を発生させることによって流れを乱し混合・反応を促進させ、その結果を定量的に比較・検討することにした。

2. 実験装置、実験方法

2.1 実験装置

マイクロ流体素子については、Y 字型の流路形状にした。さらに混合を行うヒーター部分は流路よりも大きくして、混合ポイントを設けた。これはヒーターにより発生した気泡が細い流路内に詰まるのを防ぐためと、電流が流れたときは気泡が膨張し、電流が流れないときには

発生していた気泡が収縮するため、発生した気泡の膨張・収縮を自由にさせることにより、より効果的な液体の混合ができると考え、このような構造にした。

マイクロ流体素子とヒーターはネジで圧着できるように設計した。この流体素子は Fig. 1 に示すように、プリント基板で作成したマイクロヒーターと Y 字型の流路があるアクリル基板をねじによって接合したものである。

マイクロヒーターは、ガラスエポキシの厚さ 35 μ m の銅が貼ってあるプリント基板にエッチングにより 2 つの端子をつくり、その端子に液体の流れに対し、直角に直径 30 μ m、長さは 6mm の白金線をハンダでつけたものである。流路の幅は 1 mm で合流後は 2 mm である。したがって、合流の前後での平均流速は等しい。流路深さは 0.5 mm である。

Fig. 1 Micro fluidic device

2.2 実験方法

蒸留水に、それぞれ黒・白絵具をまぜた 2 液をつくり高精度微量、低流量で動くエイコムのシリンジポンプ ESP-64 型で Fig. 1 に示したマイクロ流体素子に流入さ

せ、実験した。マイクロ流体素子内の流れは高感度冷却 CCDカメラで観察でした。シリンジポンプを流量 30.0 $\mu\text{L}/\text{min}$ (流速 1mm/s)、60.0 $\mu\text{L}/\text{min}$ (流速 2mm/s)、90.0 $\mu\text{L}/\text{min}$ (流速 3mm/s) で作動し、流れが安定したら、0.5 A、1A、1.5A とマイクロヒーターに電流を流し気泡を発生させる。熱流束はそれぞれ、0.5A 時 $0.531 \times 10^6 \text{ W}/\text{m}^2$ 、1A 時 $2.123 \times 10^6 \text{ W}/\text{m}^2$ 、1.5A 時 $4.777 \times 10^6 \text{ W}/\text{m}^2$ となっている。また、シンセサイザーを使用することにより電流の流れる時間を DUTY10%、DUTY50%、DUTY90% と変化させ気泡の発生間隔を調整した。ここで DUTY10% なら 10 秒間に 1 秒電流を流すことを意味する。電流を流してから一分間の流路内の流れをそれぞれ高感度冷却 CCDカメラで観察し、10 秒毎の混合の様子を撮影し解析アプリケーションによって解析した。

3. 解析方法

流路出口の色を高感度冷却 CCDカメラで撮影し、パソコンで解析した。混合度 M (%) とし、一般的に使用される以下の式を定義する。

$$M = \left[1 - \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2 / n} \right] \times 100$$

ここで C_i は計測点における濃度、 $\bar{C}$ は計測断面における平均濃度、 n は断面内での計測点数とする。

黒色と白色の絵の具を使って黒色の溶液と白色の溶液を作り基準液の基本とした。黒溶液のみの液を 100% とし、次は黒溶液 90% に白溶液 10% を混ぜた液、黒溶液 80% に白溶液 20% というように黒溶液の割合を 10% ずつ変化させた混合液を合計 11 種作りそれを基準溶液とした。基準溶液の値より濃度値を求める Fig. 2 のようなキャリブレーション曲線を作成し、この曲線からサンプル毎の濃度値 C_i を決定した。

Fig.2 Approximation curve

4. 実験結果、考察

熱流束が小さい場合には、気泡は発生せず、混合促進効果も小さかったが、電流 1A、 $2.12 \times 10^6 \text{ (W}/\text{m}^2)$ でヒーターに気泡が発生した。発生した気泡は離脱するとヒーター上より流路中心に向かい激しく運動した。

Fig. 3 は DUTY を変化させた結果、Fig. 4 は電流を変化させた結果である。Fig. 3、4 より DUTY が高い方が、また電流量が大

きい方が混合率が増加するという結果が出た。これは DUTY が高い方が気泡の発生時間が長く、また電流量が大きい方が高い熱流束を得ることができるからだと考えられる。実験結果より気泡の発生により、混合が促進されていることが分かる。

Fig.3 Effect of duty on mixing rate

Fig.4 Effect of electric current on mixing rate

Fig.3、Fig.4 から混合が最も促進されたのは、DUTY50%・流速 2mm/s・電流 1.5A で混合率は約 80% だった。10 秒間に発生するヒーターの発熱量は 10.5 J で、Fig. 3 の DUTY90%・2mm/s・1A の方が 10.8 J と若干高いが、瞬間的に大きな熱流束を得た方が混合しやすいという興味ある結果が得られた。

5. 結論

加熱により気泡を発生させマイクロ流体素子内の流体の混合を試みた。得られた結論は下記のようなものである。

- (1) 瞬間的に大きい熱流束を得た方が気泡の成長が早く、混合率は高くなる。
- (2) 熱流束が大きくなると気泡の拡大・収縮だけでなく、気泡の運動により混合率が増加する。
- (3) 流速が遅いほうが気泡の成長が早く、また流体が気泡の影響を受けやすいため、混合率が高い。
- (4) 解析により混合の度合いを定量的に評価する事ができた。

6. 参考文献

- (1) H.Kato and O.Hamanaka "ACCELERATION OF MIXING AND CHEMICAL REACTION IN A MICRO-FLUIDIC DEVICE" ISMME (2003) 333-338
- (2) 新宅博文、川野聡恭、神野伊策、小寺秀俊『極低レイノルズ数流れにおける脈動を用いた混合方』日本機械学会 2004 年度次大会講演論文集(2) 67-68