C114

脈動を伴う二液混合微小流路内の界面構造の可視化

田中 利昌[○] (九州工業大学大学院), 速水 洋, 荒巻 森一朗 (九州大学)

永山 勝也, 田中 和博 (九州工業大学)

Visualization of Interface Between Oscillatory Mixing Two Liquids in a Micro Channel

Toshimasa TANAKA, Hiroshi HAYAMI, Shinichiro ARAMAKI

Katsuya NAGAYAMA, Kazuhiro TANAKA

ABSTRACT

An oscillatory flow was employed to improve the highly effective mixing process in a micro-channel. In the present study, it is clarified on numerically and experimentally that a decrease in frequency and/or an increase in amplitude contribute to increase in the interfacial area between two liquids.

Keywords: Flow visualization, Micro channel, Oscillating flow, Mixing

1. 緒 論

近年, μ -TAS (Micro Total Analysis System) に代表される総合的な生化学分析を目指したマイクロ流体デバイスの研究が盛んである。マイクロ化は, マクロな装置に比べ体積当たりの界面面積が増大し, 拡散距離が短くなるため, 高速かつ高精度の分析を可能とする。しかしながら, 低レイノルズ数領域であり乱流混合が期待できないため, 微小流路内での混合は界面構造に大きく左右されると思われる¹⁾²⁾。

本稿では, Y字およびT字合流流路 (以後Y字, T字と呼ぶ) を用いて, 脈動の周波数および流量の制御によって界面構造がいかに変化するかを実験と数値計算の両面から検証した。

2. 実験方法 および 数値解析モデル

2.1 実験方法

図1(a)(b)に用いたY字, T字流路を示す。Y字流路はガラス板にPDMS製流路を圧着したもので, T字流路はガラス製で両入口部 $200 \times 100 \mu\text{m}$, 合流部 $400 \times 100 \mu\text{m}$ の矩形流路である。作動流体は水と蛍光染料 Fluorescein 水溶液 (励起波長/蛍光波長 = $490/520$, 濃度 200 ppm) を用い, 波長 532 nm のレーザー照射により蛍光染料を励起させ, 顕微鏡に接続した高速度カメラで撮影し可視化画像を取得した。

シリジポンプとチャンネルの結合は, Y字チャンネルは弾性チューブで, T字チャンネルはフレキシブルチューブで行っており, 両方のチューブへの断続的な一定

の加減圧 (位相差 180°) によって脈動を発生させた。表1に示す Case A~F の条件下で脈動の周波数と流量の制御を行い, 図1に示す合流部下流 $200 \mu\text{m}$ から $400 \mu\text{m}$ おきに撮影領域を5箇所設けて, 合計 $2000 \mu\text{m}$ 領域の界面構造を可視化した。各5箇所は同時刻撮影ではない為定量的ではないが, 定性的な検証は行えると考ええる。

2.2 数値解析モデル

二液の界面は三次元的な広がりを持つ¹⁾²⁾が, その可視化は難しく, 界面構造がどのように変化しているのか測定

Table 1 Sample of Table

Type	Case	Frequency[Hz]	Q[ml/h]
Y or T	A	5	1.0
	B	10	1.0
	C	15	1.0
	D	5	0.5
	E	10	0.5
	F	15	0.5

(a) Y-type

(b) T-type

Fig.1 Schematic of micro channel

する事は非常に困難である。そこで市販の数値解析ソフトFluent6.2を用いて解析し、FieldView8.2を用いて可視化表示を行った。

解析モデルの流路幅および形状は実験と同値であり、入口部、合流部共に長さは6 mmである。格子は構造格子を使用し、格子間隔は最小10 μm、計算総点数は約60万点である。流入条件は実験と同様で、実験と数値解析結果を合わせるため、 $\angle Q/Q$ (脈動流量振幅/時間平均流量)=6とし2)、時間に対して正弦波的脈動を逆位相で与えた。境界条件は出口圧力を大気圧、タイムステップは周波数の1/64とした。作動流体は水、片側の入口より染料を0.2 kg/m³で混入し、水と染料の拡散係数は1.0 × 10⁻⁹ m²/secとした。

3. 実験 および 数値解析結果

図2(a)(b)(c)にT字流路合流管内の流路高さ中央断面での濃度分布を示す。条件は表1のCase A,B,Eで、全て合流部下流200 μmから2000 μm領域の観測部内の画像を表示し、白線で流路形状を、破線で境界線を示している(図T字流路Case C,D,F, Y字流路省略)。

周波数5~15Hzで時間平均流量Q=1.0 mlの場合、界面構造は全て縞状となり、周波数が高いほど界面の間隔は狭くなるが、時間平均流量Q=0.5 mlとし周波数を徐々に高くすると、界面構造は縞状から波状へ変わる状態を確認できた。

図2と同様に、図3に(a)T字流路(b)Y字流路の数値解析での濃度分布を示す。条件はCase B,Cで、形状の違いによる流れの差異を表示したものである。

図3より実験と同様、時間平均流量Q=1.0 mlにおける脈動周波数の増加(f=5~15 Hz)は、縞状の界面間隔を徐々に狭くする。時間平均流量Q=0.5 mlにおいては、縞状と波状の界面構造の遷移状態を検証できた。また合流部での逆流量はY字流路に比べてT字流路の方が大きく、界面間隔も狭くなることがわかった。

したがって、界面構造は脈動周波数および脈動流量振幅によって変化し、さらに微小流路形状もその反応・混合の高効率化に寄与することが考えられる。

今後は、さらに流路形状による混合促進の違いを詳細に解明する必要があると思われる。

4. 結 言

異なる形状Y字, T字流路を用い、脈動の周波数と流量の制御を行うことで二液混合の界面構造を可視化し、以下の結論を得た。

- 1) 低周波数領域(5~15Hz)において時間平均流量(0.5, 1.0 ml)を変えることによって、界面構造の違いを可視化することができた。
- 2) 微小流路形状(Y字, T字流路)の違いは、界面構造による反応・混合の高効率化に寄与する。

Fig.2 Oscillatory flow, experiments, phase 0°

Fig.3 Oscillatory flow, CFD, phase 0°, 1.0ml

参考文献

- 1) 速水 洋, 片山 健太, 荒巻 森一朗: 微小流路における脈動流による二液混合促進, 可視化情報, Vol.25 Suppl, No.2 pp.307-310, 2005
- 2) 片山 健太, 速水 洋, 荒巻 森一朗: マイクロチャンネル内の混合促進を目的とした流動様式制御, 可視化情報, Vol.26 Suppl, No.2 pp.243-244, 2006