B143 T字型マイクロチャンネルを用いた気液二相流の研究

羽成 敏秀[○], 池田 耕, 柴田 裕一(茨城高専)

Visualization Study on Two-phase Flow in a Micro T-junction

Toshihide HANARI, Koh IKEDA and Yuichi SHIBATA

ABSTRACT

The field of microfluidics is developing rapidly with advances in MEMS and μ TAS technologies. In various devices, it is required to control the flow rate of liquid or gas accurately at micro or nano liter volume. In T-shaped micro channel with a rectangular cross section, the liquid-gas two-phase flow was observed. To investigate the interfacial behavior of liquid-gas flow, the T-junction and the outlet were visualized using a high-speed CCD camera attached to a microscope system. From visualization study, the deformation of the interface and period of the breakage were observed. Though the mechanism of breakage was deterministic, the period of breakage was not periodic. This instability is considered to be caused by huge expansion at the outlet. Since the mechanism of breakage is stable, the possibility of the controlling flow rate was suggested.

Keywords: Microfluidics, Two-phase flow, Micro T-junction

1. 緒論

近年, MEMS (Micro Electro Mechanical System) や μ TAS (Micro Total Analysis System) の技術革新に伴い, マイクロフルイディクスは急速に発展した^{1) 2)}. そして, マイクロフルイディックデバイス内では, マイクロ・ナノオーダーでの正確な流量制御が要求されてきている. その要求を満たすためにはマイクロ流れの基本的な性質を理解しなければならない. そこで, 本研究では T 字型マイクロチャンネル内の気液二相流の性質を調べ, 流量制御への適用可能性を検討する.

2. 実験方法

実験装置の概略を図 1 に示す. テストセクションは, その断面が $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ の矩形のガラス製 T 字型マイクロチャンネルを使用した. 実験に使用する流体として, 液体に蒸留水, 気体に空気を使用した. 蒸留水は T 字部のメインストリート部から流入させ, 空気はブランチ側から流入させた. 水と空気はそれぞれシリンジポンプを用いて, 供給した. 流量は, 水は $Q_w=20\mu\text{l}/\text{min}$ ($Re=0.22$), 空気は $Q_a=20\mu\text{l}/\text{min}$ ($Re=3.3$) で実験を行った. 今回は, T 字部 ($360\mu\text{m} \times 360\mu\text{m}$) と出口部 ($312\mu\text{m} \times 150\mu\text{m}$) 付近の水と空気の界面の挙動を顕微鏡に取り付けた高速度 CCD カメラを用いて可視化した. 可視化における各種パラメータを表 1 に示す.

(a) Schematics of experimental system

(b) Test section dimension (mm)

Fig.1 Schematics of the experimental system

Table 1. Optical parameter

Observed region	The T-junction	The Outlet
Frame rate [kHz]	4.5	2.0
N.A.	0.13	0.1
Resolution [$\mu\text{m}/\text{pixel}$]	1.40	1.22

3. 結果と考察

図2にT字部付近の可視化画像を示す。気液二相の相互作用による界面の変化は2段階に分けられる。第1段階として、気相部（空気）がストレート部の壁面へまっすぐ向かってくる（stage I, 図2 (a)）。次に空気が壁面に達すると、空気はストレート部へ流れ込む。そして、気液界面がT字の下流側のコーナー（コーナーA）へ達すると空気は切断され、スラグ流れとなる。空気がストレート部の壁面に達してからここまでの第2段階になる（stage II, 図2 (b)）。この間、T字部付近において水と空気の混合は見られなかった。

さらに定量的に調べるために、気液界面の形と位置の解析を行った。水の体積から計算された流量 dV/dt を図3に示す。流量 dV/dt は

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$

として定義される。Vは界面の後方にとどまる水の体積である。 Q_{in} はシリンジポンプのピストンの移動量から計算された流量で、 Q_{out} は管の角にできる水のリンクを通り、気相の前方に出ていく流量である。流量 Q_{out} は、 Q_{in} のほぼ50%以上になった。 Q_{out} から計算されたリンク内の水の流速は約660mm/sであり、それと並行している空気の流速は約50mm/sであった。

T字部の界面の形を時系列に並べたものを解析した結果、得られた界面の形状はstage IIにおいてもさらに2段階あることが分かった。Stage IIではまず、界面の壁面と接しているエッジが下流方向へスリップしていく（stage IIa）。そして、エッジがある位置で止まり、界面がコーナーAへ曲がる（stage IIb）。界面がある位置に達すると、界面の变形は大きく変化する。この時、界面のエッジが止まる位置を求めた。一度の撮影で得られた380ケースのデータを平均したところ、界面が壁面に固定される位置はストレート部 L_1 =約 $224.0 \pm 0.42 \mu m$ 、ブランチ部 L_2 =約 $29.6 \pm 0.52 \mu m$ となった。この分散の値は使用したカメラの分解能よりも小さいので、界面の固定される位置は安定していると言える。したがって、気相部の破断のメカニズムは決定論的であると考えられる。図4に気相部の破断の周期を示す。この周期の不安定性は、出口側の圧力変動が影響していると考えられる。

次に前述した出口部の影響を調べるために、出口部付近の可視化を行った。ここでも、水と空気の混合は見られなかった。しかし、空気が出口に達すると空気の一部が突然切断される現象が周期的に見られた。空気が出口を通り抜ける周期を図4に示す。空気の一部が突然切断される時、その周期は長くなった。これらを比較すると、双方とも同様の間隔で周期変動が起きていることが分かった。そのため、この出口部での乱れがマイクロチャンネル内の圧力変動を引き起こし、T字部での不安定性に強い影響を与えていると考えられる。

(a) (b) (c)
Fig.2 Visualized images near the T-junction

Fig.3 Comparison of flow rate

Fig.4 Comparison of the period of air breakage at the T-junction and air outflow at the outlet

4. 結論および今後の課題

可視化実験から、界面の变形と気相部の破断の周期が得られた。破断の周期は一定ではなく、出口側の流れに強く影響されているが、気液の相互作用による気相部の破断のメカニズムは安定している。そのため、出口部を適切に改善することにより、T字型マイクロチャンネルを用いた気液二相流による流量制御への適用の可能性が示された。

今後の課題として出口部を改善し、気相部の破断の周期を安定させなければならない。

参考文献

- 1) Chih-Ming Ho & Yu-Chong Tai : "Micro-electro-mechanical-system(MEMS) and fluid flows", Annual Review of Fluid Mechanics 30(1998), 579-612
- 2) Manz A., Graber N., Widmer H. M. : "Miniaturized total chemical analysis system", A novel concept for chemical sensing, Sensor & Actuators Vol.B1(1990), 244-248