

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 17 日現在

機関番号：34416
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2010～2012
 課題番号：22560179
 研究課題名（和文）
 X線ステレオ撮影によるマイクロチャンネル内の混相流の3次元流動計測
 研究課題名（英文）
 3D-PTV Measurement of Bubbly Flows in a Micro-channel Using X-ray Stereo-Imaging Technique
 研究代表者
 植村 知正（ UEMURA TOMOMASA ）
 関西大学・システム理工学部・教授
 研究者番号：70029536

研究成果の概要（和文）：微細管内を気体と液体が混じって流れる場合気泡が栓状になって移動するパターンが多いが、化学反応や熱移動が伴う場合には管内を微小な気泡が分散して流れることがある。その流れの状態を詳しく調べるには管内の速度や気泡の流動を3次元的に把握する必要がある。本研究ではそのような流れを計測するために放射光X線を利用して細管内の微小気泡の3次元流動を計測する技術を開発して、実際に計測できることを示している。

研究成果の概要（英文）：Multiphase flows in a micro-channel have been interested with relation to application of heat transfer, chemical reaction and mixing. In the case of gas-liquid multiphase flow, most researches are associated with slug flows. And study on dispersed bubble flow is scarcely found. Experimental study of the micro-scale flows is not easy, and 3D measurement of such flows is further difficult. In this study, in order to investigate such flows, a new experimental technique has been developed and applied to the micro-scale bubbly flows.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：混相流、X線PIV

1. 研究開始当初の背景

本研究はマイクロチャンネルにおける二相流の速度分布と分散相（気泡あるいは微小液滴）の分布、分裂と合体現象の実験計測を行うことを目的としている。気泡流れの流動現

象の実験研究については芹沢らや川路らの研究[1, 2]が比較的早い時期に報告されているが、それらは熱移動現象に着目した流れのマクロな現象に関する研究である。従来のマイクロチャンネル内を流れる気液二相流の

研究の多くはプラグ流かスラグ流を扱っている。

マイクロチャンネル内のマイクロバブル流れについては収録されていないが、2009年2月に出版された展望では広い分野で多く人が研究や開発に携わっていることが分かる。

一方、マイクロチャンネル内の单相流に関しては2流体の混合問題を種々の視点から扱った研究が存在するが、混相流の3次元流動に関する実験的研究はあまり行われていない。2008年にイタリアで開催されたMicro-fluidicsに関するシンポジウムではマイクロチャンネル中の混相流の関連では、1) Two-Phase flows in Microsystems, 2) Microdroplets management, 3) Micromixing, 4) Microflow Visualization and Measurements などのトピックスが挙げられている。

- (1) Serizawa, A., Feng, Z., and Kawara, Z., 2002, Two-Phase Flow in micro-channels, Exp. Therm. Fluid Sci., 26 (6-7), 703-714.
- (2) Kawaji, M., Mori, K., and Bolintineanu, D., 2005, The effects of inlet geometry on gas-liquid two-phase flow in microchannels, Keynote paper No. ICMM2005-146087, Proc. ICMM-2005, ASME 3rd Intl. Conf. on Microchannels and Minichannels, June 13-15, 2005.

2. 研究の目的

本研究はステレオX線PTV技術を利用してマイクロチャンネルを流れる混相流の3次元速度分布と分散相の挙動を調べることが目的としている。

(1) マイクロチャンネル内の気液混相流の速度分布を3次元PTV計測するために申請者らが開発した放射光X線によるステレオ撮影を放射光研究施設SPRING8において実施する。

(2) マイクロチャンネル内に流すマイクロバブルの生成法の開発。X線撮影に適したトレーサの選定。ステレオPTVデータ処理ソフトの作成。

(3) マイクロバブルが分散した気液二相流のマイクロチューブ内流れを計測対象として、速度分布、分散相の分布、分裂・合体などを計測する。

3. 研究の方法

本研究では放射光X線によるステレオ画像撮影技術と3次元マイクロPTVの画像解析手法を組み合わせるマイクロチャンネルにおける気液混相流の分散相の挙動（空間分布、速度、合体など）を計測して特性を明らかにする予定であった。

実際には、いくつかの予定外の出来事によって研究計画（特にスケジュール）は何度も変更を余儀なくされた。最大の誤算はスプリング8（放射光実験施設）に申請した課題が採択されず、初年度の実験を行えなかったことである。それに伴って、X線を分割し交叉させるダブルラウエクリスタルを発注できなくなった。次年度には放射光実験施設で予備実験を実施し、クリスタルを発注した。しかし、本実験の予定された週に施設が故障して実験を実施できなくなった。

その結果、実験を実施できたのは最終年度に1回だけであった。実験実施の遅れは院生の卒業などの形で研究チームの構成にも影響がでた。放射光実験施設における実験実施の遅れにも関わらず、本研究で予定した実験は内容的には一応実施できた。

(1) 最初に、X線を分割して交叉させる要素の製作と混相流の実験装置の準備をする。混相流の実験装置は放射光X線の実験室に設置してリモートコントロールまたは制御操作不要で実験できるものを製作する。

(2) 主として解析に適した画像の撮影条件を検討しながら試行錯誤的にマイクロチャンネル流れを撮影する。

(3) 計測結果は3次元PTVの手法で解析するが、その計測精度は画像の質に強く依存するので画像の画質向上のために、使用機器の選択、撮影条件の改良に努める。

(4) 気液二相流においては分散相の濃度と空間分布の関係、分散相の寸法と空間分布の関係を計測する。流動速度と速度分布はPTVで計測する。

4. 研究成果

(1) ステレオX線撮影のために、ダブルラウエクリスタルを用いて交叉する放射光X線を生成し、放射光X線によるステレオビデオ画像を撮影できた。

(2) 細管内でのマイクロ気泡分散流の生成。放射光実験施設の実験チャンバー内でマイクロチューブ内にマイクロ気泡の分散流を生成する方法を開発した。

図1は細管内を流動するマイクロ気泡のステレオインラインホログラフィ画像。

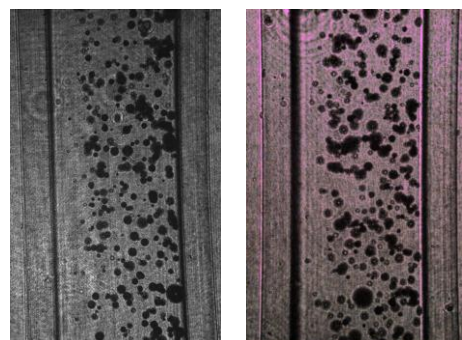


図1 マイクロ気泡分散流

(3) マイクロチューブ内の二相流のステレオX線画像の撮影。

ダブルラウエクリスタルを用いて交叉する放射光X線を生成できたが、そのままではX線像が二重になる現象が発生した。この問題を解決して明瞭な画像を撮影できるようになった。図2に撮影した画像例を示す。

(4) P I V計測に適したトレーサの選定 X線で明瞭に撮影できるP T V計測用トレーサの条件を検討した。プラスチック系の材料ではX線像が不明瞭になる。中空ガラス球や金属コーティング粒子、シラス粒子などが適している。

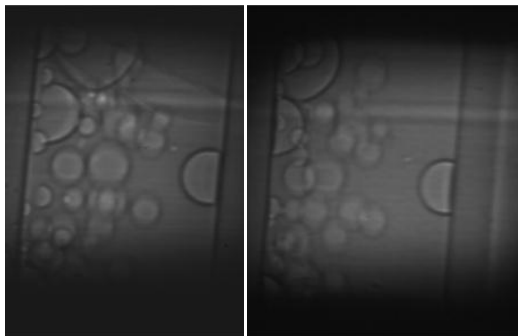


図2 気泡分散流のステレオX線画像

(4) P I V計測に適したトレーサの選定 X線で明瞭に撮影できるP T V計測用トレーサの条件を検討した。プラスチック系の材料ではX線像が不明瞭になる。中空ガラス球や金属コーティング粒子、シラス粒子などが適している。

(5) マイクロバブル流れの速度計測 細管内のマイクロバブルの分散流をステレオ撮影できた。図3に計測した気泡の速度ベクトルの例を示す。図4は気泡の速度ベクトルを管断面に再配置したものであり、気泡の断面位置と速度分布を推定できる。

(6) マイクロバブルの分散流をP T V計測して、管内の速度と気泡位置を計測できた。

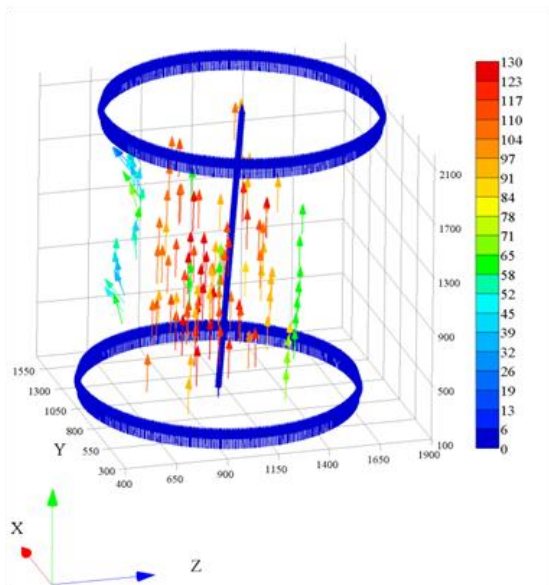


図3 細管内を流れる気泡の速度ベクトル

(7) 今後の展望

本研究によって、放射光X線によるP T V用のステレオX線像を撮影する技術を開発できた。流れの性質や気泡の挙動を明らかにするためには流れの条件を変えてもっと多くのデータを採る必要がある。

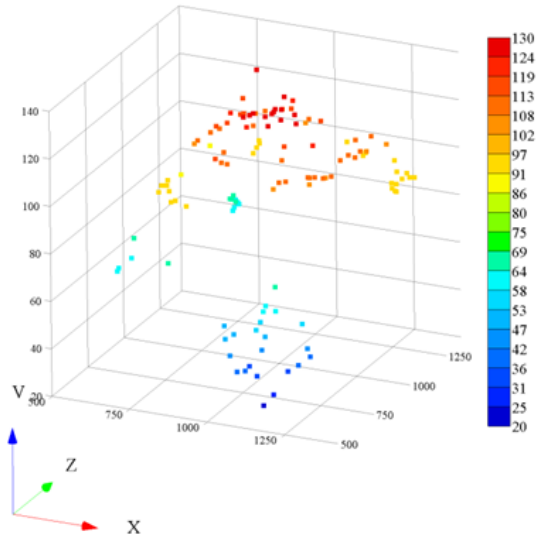


図4 管断面内の気泡速度分布

研究では3人で3シフト(24時間)の実験を実施したが、結果を検討して条件を変えて再実験する余裕がなかった。よりよい結果を得るためには人員と実験時間を増やして余裕をもって実験を実施することが望ましい。

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1件)

- ① W-K Lee, T. Uemura, Three Dimensional X-ray Micro-Velocimetry, Journal of Synchrotron Radiation, vol.18, 2011, 302-304,査読有.

[学会発表] (計5件)

- ① T.Uemura, T. Okita, T. Takimoto, and M. Iguchi, 3D Measurement of Multiphase Flow in a Micro-Tube Using Stereo-PTV, ISTEP23, The University of Auckland NEW ZEALAND, 2012年11月20日
- ② 沖田翼、山本恭史、植村知正、細管内を流れる気泡分散流のステレオ撮影、可視化情報学会全国講演会、姫路商工会議所, 2012年10月5日
- ③ 沖田翼、山本恭史、植村知正、ステレオオンラインホログラフィを用いた微細管内の分散気泡流の3次元計測、実験力学学会年次講演会、豊橋技科大学, 2012年7月15日

④ 瀧本崇、山本恭史、植村知正、細管内を流れる短い炭素繊維の挙動と分布の計測、実験力学学会年次講演会、豊橋技科大学、2012年7月15日

⑤ 植村知正、山本恭史、羽賀祐樹、福益一樹、細管を流れる分散気泡流の生成と3次元計測、可視化情報シンポジウム、東京・工学院大学、2011年7月19日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

植村 知正 (UEMURA TOMOMASA)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：70029536

(2) 研究分担者

山本 恭史 (YAMAMOTO YASUFUMI)

関西大学・システム理工学部・准教授

研究者番号：90330175