

機関番号：12601
 研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20560179
 研究課題名(和文) マイクロチャネルスラグ流の薄液膜挙動に関する実験的研究
 研究課題名(英文) Experimental research on liquid film thickness in microchannel slug flow
 研究代表者
 鹿園 直毅 (SHIKAZONO NAOKI)
 東京大学・生産技術研究所・教授
 研究者番号：30345087

研究成果の概要(和文)：

管径 0.3～1.3mm の細径を用いて、液スラグ後方に生じるミクロンオーダーの非定常な薄液膜厚さをレーザー共焦点変位計を用いて測定した。液膜厚さに及ぼす断面形状、寸法、乾き度、慣性力、表面張力、粘性力等の影響を明らかにした。得られたデータを整理し、キャピラリー数 Ca 、ウェーバー数 We 、レイノルズ数等の無次元パラメータを用いた無次元液膜厚さの予測式を提案した。

研究成果の概要(英文)：

The liquid film thickness in a micro tube is measured by laser confocal displacement meter. From the scaling analysis, empirical correlation for the dimensionless initial liquid film thickness based on capillary number, Reynolds number and Weber number is proposed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研究費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：「エネルギー効率化」「省エネルギー」「燃料電池」「ヒートポンプ」「廃熱利用」

1. 研究開始当初の背景

近年のエネルギー・素材価格の高騰や、地球温暖化に代表される環境問題等への意識の高まりに伴い、新たなエネルギー機器への期待が益々高まってきている。また、我が国のエネルギー消費の約 1/4 を占める運輸部門においても、今後は排気エネルギーの熱回収が必須になることなどから、超小型で高効率

な熱エネルギー機器へのニーズが非常に強くなってきている。このようなニーズに応えるためには、従来のマクロスケールでの熱設計技術では性能や容積の面で不十分であり、微細なマイクロチャネルを利用したマイクロリアクターやマイクロ熱交換器等に大きな期待が集まっている。マイクロ化の主たる利点は、代表寸法の小型化による熱物質輸送

の促進にあるが、マイクロチャネルを利用した機器が真の意味で社会に有用な形で導入されるためには、サンプル処理量の少ない生化学分析チップ等への応用にとどまらず、総量として大きな物質量やエネルギー量を扱う機器へ適用される必要があり、その視点からの研究アプローチが重要である。このためには、マイクロチャネルにおける熱流動、特に大流量・大熱流束条件での流動様式や伝熱機構に関する基礎的な理解に基づいた高度な設計技術の構築が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、0.5mm 程度以下の細径・マイクロチャネル二相流の系統的な実験評価を行い、液スラグ後方に生じるミクロンオーダーの非定常な薄液膜挙動に及ぼす断面形状、寸法、乾き度、加速度、慣性力、表面張力、粘性力等の影響を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

速度と加速度の影響を独立に制御して評価するために、様々な断面形状のマイクロチャネル内に形成されたメニスカスや液スラグを、ステップモータを利用して移動させることで、壁面上に形成される薄液膜の厚さ測定を行う。レーザー反射干渉法とレーザー共焦点変位計を用いて液膜厚さをサブミクロンオーダーで精度良く測定し、得られたデータをキャピラリー数 Ca 、ウェーバー数 We 、系の加速度で定義された修正ボンド数 Bo 等の無次元パラメータを用いて定量的に表現する。さらに、加熱条件での実験を行い、熱伝達と液膜厚さの関係を実験的に評価する。

4. 研究成果

平成20年度は、液膜厚さに及ぼす断面形状、寸法、乾き度、慣性力、表面張力、粘性力等の影響を明らかにした。

管内径 0.5, 0.7, 1.0mm のガラス管を用いて実験を行った。図1に内径 0.5mm 管の断面図を示す。表1に用いたガラス管の諸元を示す。管出入口での内径差は1%以内である。

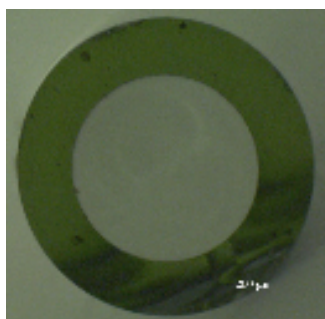


図1 内径 0.487 mm管の断面図

表1 実験に用いたガラス管の諸元

Circular tube		
I.D. (mm)	O.D. (mm)	Length (mm)
0.995	1.6	250
0.715	1.0	250
0.487	0.8	250

図2に実験装置の概要を示す。ガラス管の一端にシリンジを接続し、アクチュエータモータで駆動した。アクチュエータの速度は0.0~0.2m/sなので、ガラス管内の流速が0~7m/sとなるようにシリンジの断面積を調整した。ガラス管内の気液界面速度は高速度カメラを用いて測定した。

液膜厚さはレーザー共焦点変位計を用いて測定した。測定対象の位置は共焦点変位計の対物レンズの変位によって測定される。焦点が合った位置で反射光強度が最大となる。焦点の平面内の分解能は2mm, 厚み方向の分解能は0.01mm, 時間分解能は640 μ sである。測定データはDC \pm 10Vに変換され GPIB を介して PC に取り込まれ、LabVIEW を用いて解析した。

レーザー光がガラス壁を通過する際に、ガラス壁の軸方向および周方向の曲率の影響を受ける。ガラスの屈折率 ($n=1.474$) と近い屈折率をもつグリセリン ($n=1.47$) とカバーガラスを利用して、図3のように屈折の影響を補正した。エタノール、水、FC-40 の1気圧 25 $^{\circ}$ Cの屈折率は、それぞれ 1.36, 1.33, 1.29 なので、内壁面と気液界面の位置を同時に検出するのは困難である。そこで、液体がない状態で内壁位置を測定し、その流体を流した状態で気液界面位置を測定した。液膜厚さは両者の差から求めた。

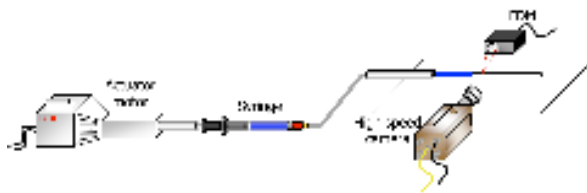


図2 実験装置の概要

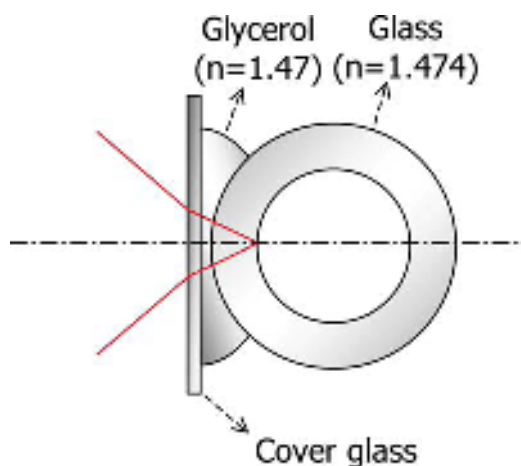


図3 屈折率の補正

表2 1気圧, 25°Cにおける作動流体の物性値

	Water	Ethanol	FC-40
ρ (kg/m ³)	997	785	1849
μ (mPa·s)	889	1088	3260
σ (mN/m)	70.0	22.3	16.0
n	1.33	1.36	1.29

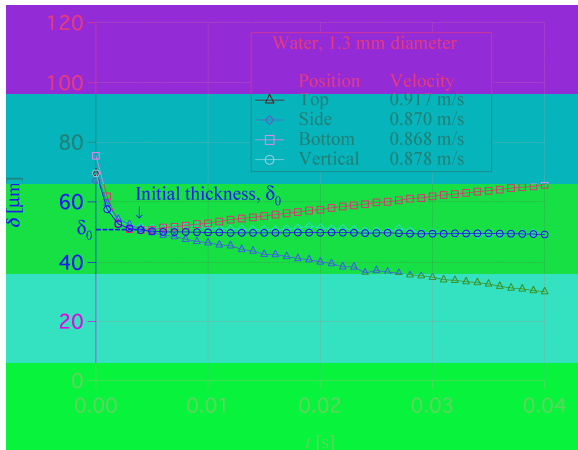


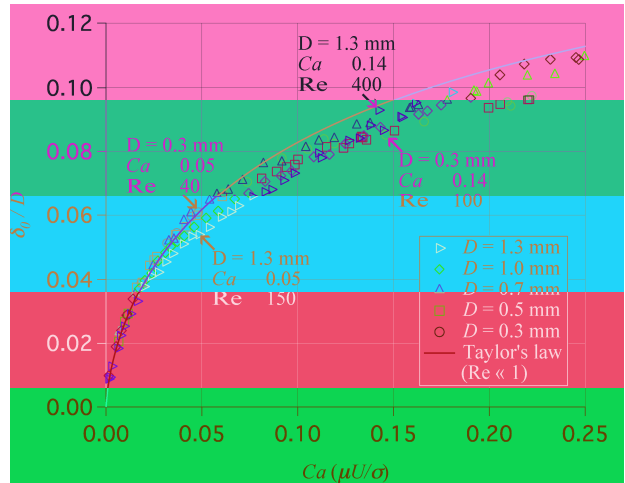
図4 液膜厚さの時間経過

作動流体として、エタノール、水およびFC-40を用いた。実験は大気圧、室温にて実施した。表2に、25°C、1気圧における各流体の物性値を示す。また、図4にはそれぞれの流体を表1に示したガラス管に用いた場合のレイノルズ数とキャピラリー数の関係を示す。エタノールのレイノルズ数はFC-40の約6倍、水のレイノルズ数はエタノールの約6倍となる。このように、3種の冷媒と3種の径の異なる管を用いることで、広範囲の物性値の影響を系統的に評価することができる。

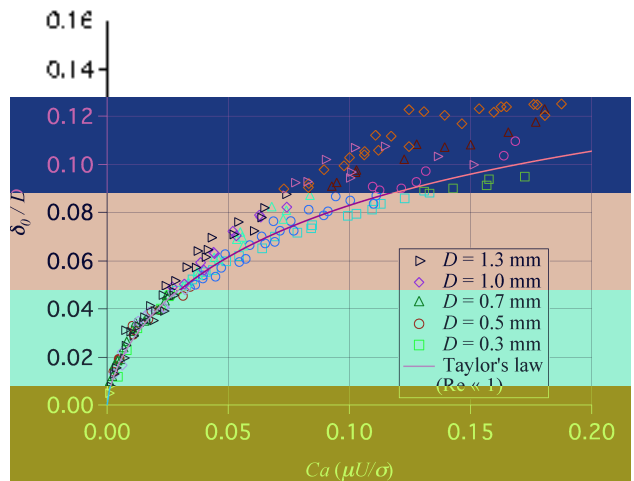
図4に測定データの例を示す。気液界面が到達する以前は、ガラス管は液体で満たされているためデータは得られないが、気液界面が通過すると同時に気液界面位置が検出される。検出後の気液界面厚さは初期に急激な減少をみせるが、これは気泡先端部と液膜部の遷移領域に相当する。本研究では、初期の液膜厚さ減少を経過した後の値を初期液膜厚さと定義した。

図5に初期液膜厚さの無次元整理を示す。管内径で無次元化された初期液膜厚さは、キャピラリー数によってよく整理できることを確認した。しかしながら、レイノルズ数が大きくなるにつれて無次元初期液膜厚さは厚くなる傾向が見て取れる。本データをもと

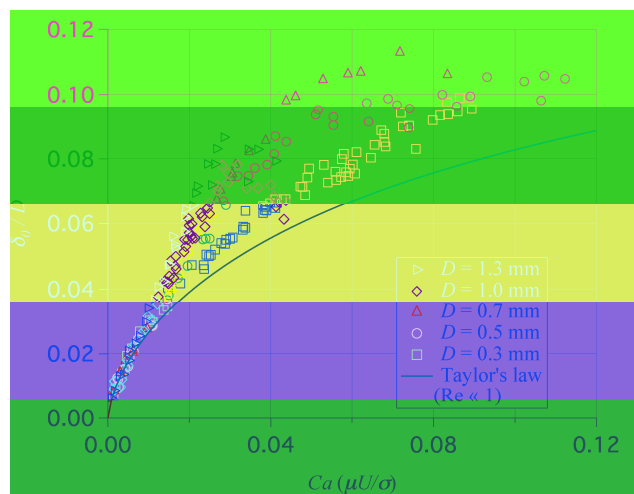
に慣性力の影響を考慮した無次元予測式を提案した。



(a) FC-40



(b) Ethanol



(c) water

図5 初期液膜厚さの無次元整理

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〕(4件)

- (1) Han, Y., Shikazono, N. and Kasagi, N., Measurement of liquid film thickness in a micro parallel channel with interferometer and laser focus displacement meter, International Journal of Multiphase Flow, 査読有, 37巻, 2011, pp.36-45
- (2) Han Y. and Shikazono N., Effect of Bubble Acceleration on the Liquid Film Thickness in Micro Tubes, International Journal of Heat and Fluid Flow, 査読有, 31巻, 2010, pp.630-639
- (3) Han, Y. and Shikazono, N., Measurement of the liquid film thickness in micro tube slug flow, Int. J. Heat Fluid Flow, 査読有, 30巻, 2009, pp.842-853
- (4) Han, Y. and Shikazono, N., Measurement of liquid film thickness in micro square channel, Int. J. Multiphase Flow, 査読有, 35, 2009, pp.896-903

〔学会発表〕(計11件)

- (1) Han, Y., Shikazono, N. and Kasagi, N., The Effect of Liquid Film Evaporation on Flow Boiling Heat Transfer in a Micro Tube, The 14th International Heat Transfer Conference, 2010年8月12日, Washington DC, USA
- (2) Kanno, H., Han, Y., Saito, Y. and Shikazono, N., Measurement of liquid film thickness in micro tube annular flow, he 14th International Heat Transfer Conference, 2010年8月12日, Washington DC, USA
- (3) Han, Y., Shikazono, N. and Kasagi, N., Stabilization of flow boiling in a micro tube with air injection, International Conference of Multiphase Flow 2010, 2010年6月3日, Florida, USA
- (4) 韓榮培, 鹿園直毅, マイクロ管内スラグ流強制対流沸騰における薄液膜厚さ, 第47回日本伝熱シンポジウム, 2010年5月26日, 札幌
- (5) 菅野普, 韓榮培, 鹿園直毅, マイクロ管内環状流の液膜厚さに関する研究, 第47回日本伝熱シンポジウム, 2010年5月26日, 札幌
- (6) Shikazono, N. and Han, Y., Liquid Film Thickness in Micro Channel Slug Flow, 7th Int. Conf. Nanochannels, Microchannels and Minichannels (ICMM2009), 2009年6

月24日, 韓国 Pohang

- (7) Han, Y. and Shikazono, N., Liquid Film Thickness in Micro Tube Under Flow Boiling Condition, Proc. 7th Int. Conf. Nanochannels, Microchannels and Minichannels, 7th Int. Conf. Nanochannels, Microchannels and Minichannels (ICMM2009), 2009年6月23日, 韓国 Pohang
- (8) 韓榮培, 鹿園直毅, マイクロ管内スラグ流の液膜厚さに及ぼす加速度の影響, 第46回日本伝熱シンポジウム, 2009年6月3日, 京都
- (9) Han, Y. and Shikazono, N., Thickness of liquid film formed in micro channel slug flow, Proc. the 7th JSME-KSME Thermal Fluids Engineering Conference (TFEC-7), 2008年10月15日, 札幌
- (10) Han, Y. and Shikazono, N., Thickness of thin liquid film formed in slug flow in micro tube, Proc. Int. Conf. on Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale, 2008年9月22日, カナダバンクーバー
- (11) 韓榮培, 鹿園直毅, マイクロチャネルスラグ流の薄液膜厚さに関する研究, 第45回日本伝熱シンポジウム, 2008年5月22日, つくば市

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
- 取得状況(計0件)

〔その他〕

6. 研究組織

(1)研究代表者

鹿園直毅

東京大学・生産技術研究所・教授

研究者番号: 30345087

(2)研究分担者

(3)連携研究者