

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23561011

研究課題名(和文)ミニチャネル内気液二相流の界面積濃度輸送機構解明に関する研究

研究課題名(英文)A study on interfacial area transport in gas-liquid two-phase flow in mini-channels

研究代表者

沈 秀中 (SHEN, Xiuzhong)

京都大学・原子炉実験所・助教

研究者番号：20362410

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、二次元気液二相流局所計測用画像処理法と三次元気液二相流局所計測用フォーセンサープローブ法を開発・整備し、ミニチャネル(即ち狭間隙矩形管)内気液二相流における局所流動特性値(ボイド率、界面積濃度、気相速度、気泡径等)の測定と解析を行い、データベースを構築した。これらの実験データを利用して、既存の摩擦圧力損失モデル、ドリフトフラックスモデルの相関式及び界面積濃度の相関式を検証・改良した。更に、狭間隙矩形管内気泡の平たくする特性を利用して、狭間隙矩形管内気液二相流用界面積濃度輸送方程式、乱流誘起のランダム衝突による気泡合体のモデルと乱流渦衝突による気泡分裂のモデルを提案・検証した。

研究成果の概要(英文)：In this study, an imaging processing technique and a four-sensor probe method for local measurements in 2- and 3-D two-phase flows respectively were developed and verified. Local measurements of two-phase flows in mini-channels (namely narrow rectangular channels) were performed and the local flow parameters such as void fraction, interfacial area concentration (IAC) and bubble diameter were obtained. Based on the database, existing two-phase frictional multiplier correlations, existing drift-flux distribution parameter and drift velocity correlations and existing IAC correlation were verified or modified. By considering the crushed bubble characteristics, an interfacial area transport equation (IATE) was derived for the narrow rectangular channels. Random collisions between bubbles and impacts of turbulent eddies with bubbles were modeled for bubble coalescence and breakup respectively. The new IATE with the sink and source terms was evaluated to be reliable by the present database.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・原子力学

キーワード：ミニチャネル内気液二相流 気泡流の画像処理計測法 界面積濃度 ボイド率 界面積濃度輸送方程式の開発 気泡合体と分裂のモデル化 フォーセンサープローブ 国際研究者交流

1. 研究開始当初の背景

ミニチャネルの一般的な定義としては、界面張力の影響が現われる数ミリ級以下のチャネルを呼ぶことが多い。本研究の対象としているミニチャネルは隙間 1mm 程度の狭間隙矩形管である。このミニチャネル内気液二相流の流動と熱伝達は、高エネルギー粒子の発生とともに高密度の熱発生をしている加速器駆動未臨界炉 (ADSR) のターゲット部の冷却、事故時の研究炉用分散型板状燃料要素 (MTR 型) 炉心の除熱、狭間隙矩形流路が多数存在している核融合炉ブランケット内のプラズマから照射される輻射熱と中性子照射による体積発熱の輸送等に深く関連している。様々な工学システムの運転特性や効率、経済性、安全性に対して最重要研究課題となっている。

既存ミニチャネル内気液二相流実験研究は、流動様式観察、ボイド率と気泡速度及び圧力損失計測が中心である。界面積濃度に関しては、Wilmarth & Ishii (1997) がミニチャネル内完全発達流れに関して予備的な実験を行ったが、界面積濃度輸送方程式の開発に必要なデータベースはまだ構築されていない。狭間隙矩形管のようなミニチャネル内流れを 2 次元化できるので、画像処理計測法などにより、気泡流から環状流領域での界面積濃度などのデータが容易に得られる。既存の実験データベースは、流れ方向に関して定点観測 (即ち流れの発達過程が計測されていない) という問題点があるため、流れの発達過程が流動特性に及ぼす影響を検証できる研究を行う必要性が叫ばれている。ミニチャネル内気液二相流の現象理解と高精度の界面積濃度輸送方程式の開発には、流路幅、流路間隙、流れ方向位置に対して流れの発達過程を含む広範なデータベースの構築が重要である。更に、ボイド率、界面積濃度、圧力損失等の設計パラメータに関する既存の相関式の適用性調査又は改良は必要である。

二流体モデルへの界面積濃度輸送方程式の導入は、従来の流動様式線図に依存した原子炉安全解析コードと CFD コードの予測精度を飛躍的に高めるものと期待されており、関連分野において最先端研究として位置づけられている (Ishii and Hibiki, 2006)。界面積濃度輸送方程式により入口効果、未発達流れ、気泡の合一、分裂、壁面沸騰等の界面積濃度輸送に及ぼす効果を系統的に表現することが可能となり、二流体モデルを用いた流れ解析における界面輸送項の定式化に飛躍的な進歩をもたらすものと期待されている。近年、気泡分裂、合一に基づく界面積濃度輸送方程式の生成項と消滅項のモデル研究は円管と普通矩形管の気泡流に限定している。既存のミニチャネル研究は、相関式ベースの解析手法しか提案されておらず、二流体モデルに基づいた精緻な解析のためには、界面輸送項の定式化とその中の界面積濃度輸送方程式の開発が重要であるが、現在この開発研究は空

白の状態となっている。これらの研究進展に鑑み、ミニチャネル内二次元気液二相流の界面積濃度輸送方程式の開発研究の必要性があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究は工学的に重要な高性能加速器固体ターゲット、分散型板状燃料要素研究炉炉心、核融合炉ブランケット等の除熱時にみられるミニチャネル (即ち狭間隙矩形管) 内気液二相流の流動特性を高速度カメラを併用した画像処理計測法、プローブ法と差圧計法の局所計測によって系統的に調べ、気泡上昇抵抗に関連する気泡サイズの特徴を把握し、これらの気泡のボイド率、界面積濃度、気相速度、気泡径と気泡頻度のデータベース及び圧力損失分布のデータベースを構築することにより、その流れの相間相互作用と界面積濃度輸送機構を本質的に解明し、ミニチャネル内気液二相流の界面積濃度輸送方程式の開発に寄与することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究は 3 年計画で、流路間隙と流路幅の流動特性に及ぼす影響及び流れの発達過程が流動特性に及ぼす影響を検証できるミニチャネル内気液二相流の試験ループを京都大学に新たに設置し、実験的研究と理論開発を行う。本研究ではミニチャネル内気液二相流において、高速カメラを併用した画像処理局所計測法、プローブ法を新たに開発し、この新しい測定方法を用いて気泡のサイズ特徴を把握してこれらの気泡のボイド率、界面積濃度、気相速度、気泡径と気泡頻度の局所計測と差圧計法による圧力損失の局所計測を実施し、データベースを構築するとともに気液二相流の相間相互作用と界面積濃度輸送機構の変化を明らかにし、界面積濃度輸送方程式の開発及びボイド率、界面積濃度、圧力損失等の設計パラメータに関する既存の相関式の評価又は改良を行う。

4. 研究成果

(1) 流路間隙と流路幅の流動特性に及ぼす影響及び流れの発達過程が流動特性に及ぼす影響を検証可能なミニチャネル内気液二相流の試験ループを京都大学に新たに設置し、ミニチャネル (即ち狭間隙矩形管) 内気液二相流の流動特性を高速度カメラを併用した画像処理計測法、プローブ法と差圧計法の局所計測システムを開発・整備・検証し、ミニチャネル内気液二相流のデータベースを構築し、これらの流れの特徴を把握した。

(2) 本研究において、二つ計測法を新たに開発・整備・検証した。

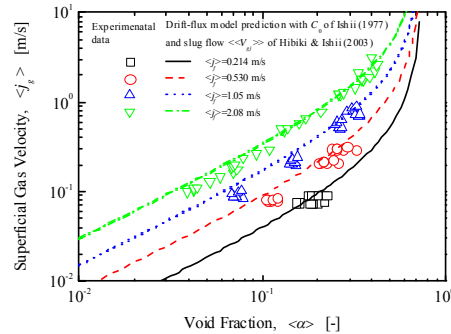
高速カメラを併用した画像処理局所計測法の開発・整備・検証。高速カメラで撮影した連続画像に対して、商用画像処理ソフトを利用して、画像強化、ノイズ除去、輝度閾値

の設定による気液二相の区別、気泡外形確定、気泡の分類および気泡のポイド率・界面積濃度の算出など処理手順で構成する画像処理手法を開発・整備した。この手法の測定結果は、差圧法など計測法で検証した。

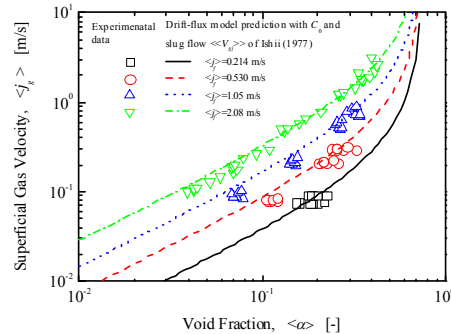
新しいフォーセンサープローブの開発と検証。一次元気液二相流以外の多次元気液二相流に対する詳細計測が可能な計測法の1つとして、4本の光ファイバ又は金属針を触針とするフォーセンサー・プローブが従来より用いられてきている。同プローブを用いた従来の界面計測法(Kataoak et al., 1986)は、気泡がプローブサイズより遥かに大きいとする仮定に依拠する平面界面の界面積濃度の計測法であり、その仮定を満たさない曲面界面の界面積濃度計測に対しての十分な精度が得られず、気泡径や気泡速度の計測が十分にできないこともあり、改善又は再開発の必要があった。本計測法は、多次元的に動く気泡に接触したプローブの4つのセンサからの信号の時間差に基づいて気泡の非球状係数を算出し、気泡を球状と非球状二種類に分類する方法と、球状気泡の三次元速度と気泡径ならびに局所界面積濃度を測定する新たな計測理論を組み合わせた実用的な計測方法を、世界初の計測法として提案した。本計測法は、従来の界面計測法が有していた小気泡計測での弱点を克服して、球状に近似できる大小の気泡を共に計測できるだけでなく、従来の界面計測法は本計測法の気泡径が無限大になった場合の特例であることを証明した。さらに、非球状で大きなサイズの気泡を従来の界面計測法で算出する方法を考案して、球状と非球状の気泡が混在する一般の気液二相流における計測精度を確保した。その結果、空気-水二相流の局所測定に本計測法を適用したところ、他の測定方法(空気流量計、平均ポイド率差圧計測、高速カメラ画像など)との対比・検証において、非常に良好な検証結果を得ることができた。

(3) 空気-水気液二相流実験用5体矩形流路試験部(隙間1.0mm×幅40mm、隙間0.5mm×幅40mm、隙間1.5mm×幅40mm、隙間1.0mm×幅10mmと隙間1.0mm×幅100mm)を新たに製作した。実験で取得した圧力損失、ポイド率、二相速度、気泡サイズと界面積濃度データから、以下のことが分かった。気泡の合一・分裂により、狭間隙矩形管内流れ方向の局所パラメーターが大きく変化している。狭間隙矩形管内の摩擦圧力損失に対して、既存のChisholm(1967), Mishima et al. (1993)とLee and Lee (2001)式が精度よく予測できている。狭間隙矩形管内ポイド率の流れ変化に対して、既存のIshii(1977)の矩形管用分布パラメーター式とIshii(1977), Hibiki and Ishii(2003)とJones and Zuber(1979)のドリフト式を利用したドリフトフラックスモデルがよく予測できる(ドリフトフラックスモデルの予測と実験データとの比較の一部は図1に

示す。) 狭間隙矩形管内界面積濃度とザウター平均気泡径の流れ変化に対して、既存のHibiki and Ishii(2002)予測モデルを狭間隙矩形管の流路幅で改良すれば、それらの予測ができる。



(a) Ishii(1977)の分布パラメーター式とHibiki and Ishii(2003)のドリフト式を利用したドリフトフラックスモデルの予測と実験データ



(b) Ishii(1977)の分布パラメーター式とドリフト式を利用したドリフトフラックスモデルの予測と実験データ

図1 ドリフトフラックスモデルの予測と実験データとの比較

(4) 界面積濃度輸送モデルの開発は、気液二相流の二流体モデルの問題完結として、非常に重要である。既存の気液二相流の界面積濃度輸送方程式は、円管内気液二相流を対象としたもので、狭間隙矩形管内気液二相流への適用が十分にできず、改善又は再開発が叫ばれている。本研究は、狭間隙矩形管内存在する気泡の平たくする特性を利用して、その気液二相流の界面積濃度輸送方程式(式(1))を構築し、その気液二相流の乱流誘起のランダム衝突による気泡合体のモデル(式(2))とその気液二相流の乱流渦衝突による気泡分裂のモデル(式(3))を提案した。

界面積濃度輸送方程式:

$$\frac{\partial a_i}{\partial t} + \nabla \cdot (a_i \mathbf{v}_g) = \Delta a_i \left[\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \mathbf{v}_g) \right] + \Delta A_i \left(\sum_j R_j + R_{ph} \right) \quad (1)$$

ここで

$$\Delta a_i = 4 \times \frac{(3\pi^2 - 16) \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2 + (3\pi^2 - 32) \frac{a_i}{\alpha} - \frac{12(\pi^2 - 8)}{s}}{(3\pi^2 - 32) s \left\{ \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2} + \frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s} \right\}}$$

$$\Delta A_i = \frac{2\pi s^2 \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2}}{3 \left\{ \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2} + \frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s} \right\}}$$

気泡合体のモデル：

$$R_C = \frac{\Gamma_C s \varepsilon^{1/3} \alpha^2}{\alpha_{\max} - \alpha} \times \left[\frac{3}{2\pi s^2} \frac{a_i}{\alpha} - \frac{6(3\pi^2 - 16)}{\pi(3\pi^2 - 32)s^3} \right. \\ \left. - \frac{9\pi}{2(32 - 3\pi^2)s^2} \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2} \right] \times \left[\left(1 - \frac{8}{3\pi}\right) s + \frac{4}{\pi^2 s} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \right]^{4/3}$$

$$\frac{3}{2\pi s^2} \frac{a_i}{\alpha} - \frac{6(3\pi^2 - 16)}{\pi(3\pi^2 - 32)s^3} - \frac{9\pi}{2(32 - 3\pi^2)s^2} \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2}$$

$$\times \exp \left\{ -K_C \sqrt{\frac{\rho_l^2 \varepsilon^2}{\sigma^3}} \times \left[\left(1 - \frac{8}{3\pi}\right) s + \frac{4}{\pi^2 s} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \right] \right\}^{5/6}$$

$$\frac{3}{2\pi s^2} \frac{a_i}{\alpha} - \frac{6(3\pi^2 - 16)}{\pi(3\pi^2 - 32)s^3} - \frac{9\pi}{2(32 - 3\pi^2)s^2} \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2} \quad (2)$$

気泡分裂のモデル

$$R_B = \frac{\Gamma_B s \varepsilon^{1/3} (1 - \alpha) \alpha}{(\alpha_{\max} - \alpha)} \times \left[\frac{3}{2\pi s^2} \frac{a_i}{\alpha} - \frac{6(3\pi^2 - 16)}{\pi(3\pi^2 - 32)s^3} \right. \\ \left. - \frac{9\pi}{2(32 - 3\pi^2)s^2} \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2} \right] \times \left[\left(1 - \frac{8}{3\pi}\right) s + \frac{4}{\pi^2 s} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \right]^{5/3}$$

$$\frac{3}{2\pi s^2} \frac{a_i}{\alpha} - \frac{6(3\pi^2 - 16)}{\pi(3\pi^2 - 32)s^3} - \frac{9\pi}{2(32 - 3\pi^2)s^2} \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2}$$

$$\times \exp \left\{ -\frac{1.52\sigma}{\eta \rho_l \varepsilon^{2/3}} \times \left[\left(1 - \frac{8}{3\pi}\right) s + \frac{4}{\pi^2 s} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \right] \right\}^{8/3}$$

$$\frac{3}{2\pi s^2} \frac{a_i}{\alpha} - \frac{6(3\pi^2 - 16)}{\pi(3\pi^2 - 32)s^3} - \frac{9\pi}{2(32 - 3\pi^2)s^2} \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2}$$

$$\times \left[\left(\frac{2}{3} - \frac{\pi^2}{8}\right) s - \frac{\pi}{4} \times \left(-\frac{8s}{3\pi} + \frac{4}{\pi^2 s} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right)\right) \right]$$

$$\frac{3}{2\pi s^2} \frac{a_i}{\alpha} - \frac{6(3\pi^2 - 16)}{\pi(3\pi^2 - 32)s^3} - \frac{9\pi}{2(32 - 3\pi^2)s^2} \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2}$$

$$+ \frac{\pi}{2} \times \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\pi s}{4} - \frac{8s}{3\pi} + \frac{4}{\pi^2 s} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right)\right) \right]^{2/3}$$

$$\frac{3}{2\pi s^2} \frac{a_i}{\alpha} - \frac{6(3\pi^2 - 16)}{\pi(3\pi^2 - 32)s^3} - \frac{9\pi}{2(32 - 3\pi^2)s^2} \sqrt{-\frac{32}{3\pi^2} \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{2}{s}\right) \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{6}{s}\right) + \left(\frac{a_i}{\alpha} - \frac{4}{s}\right)^2}$$

$$+ \left(\frac{\pi^2 - 1}{32} \frac{1}{s^2} \right)^{1/2} \left. \right\} \quad (3)$$

更に、本研究で取得した狭隙矩形管内気液二相流の実験データに基づいて、これらの界面積濃度輸送方程式、気泡合体モデル及び気泡分裂モデルを検証し、これらのモデルの有効性を確認した。それらのモデル予測の検証の一部は図2に示す。

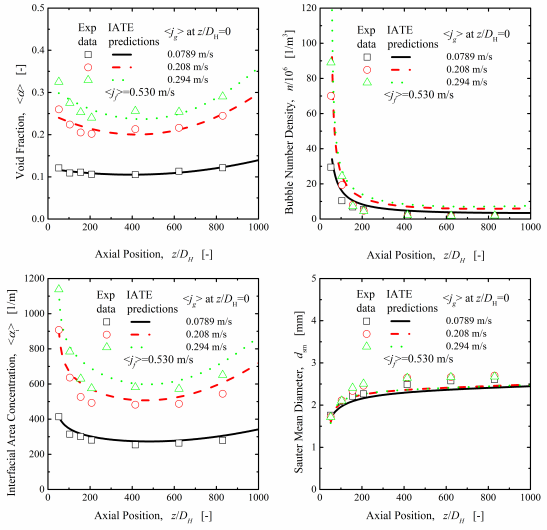


図2 界面積濃度輸送モデルの予測と実測値との比較

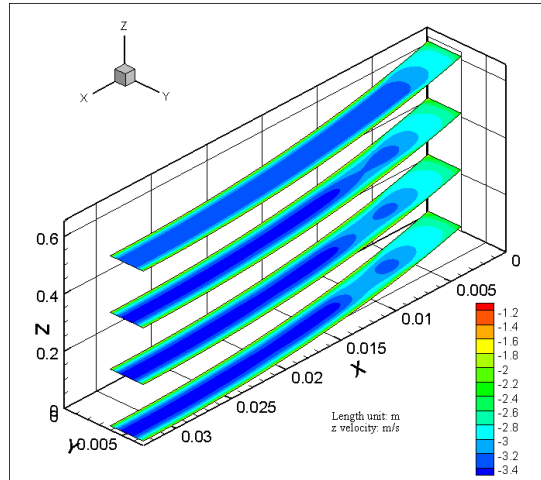


図3 狭間隙矩形流路内流体流速分布

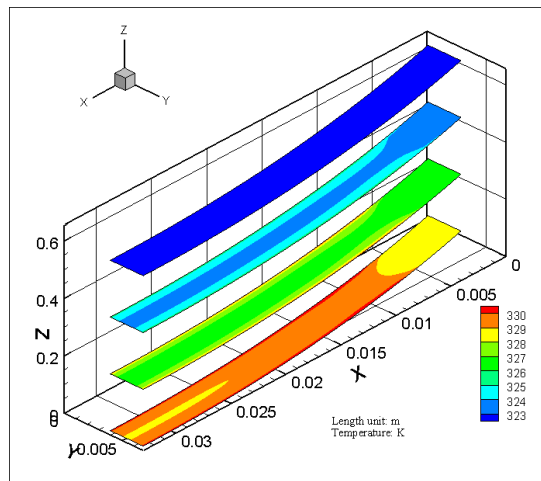


図4 狭間隙矩形流路内流体温度分布

(5) 狭間隙矩形管内の伝熱と流動特性を明らかにするために、商用数値解析ソフトANSYS FLUENTを利用して、狭間隙矩形管内流れの伝熱と流動特性の数値解析を行った。その解析結果は、図3と4に示す。それ

らの結果から、狭間隙矩形管内流れの発達状況が、管内伝熱と流動に大きく影響することが分かった。

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 8件)

Sun, Haomin; Kunugi, Tomoaki; Shen, Xiuzhong; Wu Dazhuan; Nakamura, Hideo; Upward air-water bubbly flow characteristics in a vertical square duct, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 51, No. 3, pp. 267-281, 2014. 査読有、DOI: 10.1080/00223131.2014.863718

Shen, Xiuzhong; Nakamura, Hideo; Spherical-bubble-based four-sensor probe signal processing algorithm for two-phase flow measurement, International Journal of Multiphase Flow, Vol. 60, pp. 11-29, 2014. 査読有、DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2013.11.010

Shen, Xiuzhong; Nakamura, Hideo; Local interfacial velocity measurement method using a four-sensor probe, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 67, pp. 843-852, 2013. 査読有、DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.08.064

Shen, Xiuzhong; Hibiki, Takashi; One-group interfacial area transport equation and its sink and source terms in narrow rectangular channel, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 44, pp. 312-326, 2013. 査読有、DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2013.06.010

Shen, Xiuzhong; Hibiki, Takashi; Ono, Takafumi; Sato, Kenichi; Mishima, Kaichiro; One-dimensional interfacial area transport of vertical upward bubbly flow in narrow rectangular channel, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 36, pp. 72-82, 2012. 査読有、DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2012.04.007

Shen, Xiuzhong; Hibiki, Takashi; Nakamura, Hideo; Developing structure of two-phase flow in a large diameter pipe at low liquid flow rate, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 34, pp. 70-84, 2012. 査読有、DOI: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2012.02.004

[学会発表](計 8件)

Shen, Xiuzhong, Hibiki, Takashi, Interfacial area transport of Gas-liquid bubbly flow in mini channel, The 15th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-15), Pisa Congress Palace, Pisa, Italy, May 12-17, 2013, Paper No.: NURETH15-439.

沈秀中、日引俊、研究炉安全に関する炉心模擬流路内気液二相流の界面積濃度輸送モデルの開発、第47回京都大学原子炉実験所学術講演会、京都大学原子炉実験所、大阪、論文番号:P27, pp. 166-171, 2013年1月29-30日。

沈秀中、鄧保慶、研究炉燃料要素の彎曲狭隘矩形流路内の伝熱と流動研究、第46回京都大学原子炉実験所学術講演会、京都大学原子炉実験所、大阪、論文番号:P5, pp. 95-100, 2012年2月2-3日。

Shen, Xiuzhong; Nakamura, Hideo; New Four-Sensor Probe Theory for Multi-Dimensional Two-Phase Flow Measurement, The 8th Japan-Korea Symposium on Nuclear Thermal Hydraulics and Safety (NTHAS8), Beppu International Convention Center, Beppu, Oita Japan, December 9-12, 2012, Paper No.: N8P1006.

Sun, Haomin; Kunugi, Tomoaki; Wu, Dazhuan; Zhang, Hongna; Nakamura, Hideo; Shen, Xiuzhong; Gas-Liquid Bubbly Turbulent Upward Flow in Square Duct, The 20th International Conference on Nuclear Engineer, The Disneyland Hotel, Anaheim, California, USA, July 30-August 3, 2012, Paper No.: ICONE20POWER2012-54918.

[図書](計 1件)

Shen, Xiuzhong, Schlegel, Joshua P., Chen, Shaowen, Rassame, Somboon, Griffiths, Matthew J., Hikiki, Takashi, Ishii, Mamoru, Chapter 2 Flow Characteristics and Void Fraction Prediction in Large Diameter Pipes, L. Cheng (ed.), *Frontiers and Progress in Multiphase Flow I*, pp. 55-103, Print ISBN 978-3-319-04357-9, Online ISBN 978-3-319-04358-6, Springer International Publishing Switzerland, April 15, 2014.

[産業財産権]

出願状況(計 1件)

名称: 気液2相流パラメータ測定装置及びコンピュータプログラム(フォーセンサー・プローブによる多次元気液二相流の気泡速度、気泡径、界面積濃度の計測方法及び装置)

発明者: 沈秀中

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2012-111619

出願年月日: 2012年5月15日

国内外の別: 国内

取得状況(計 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://kyouindb.iimc.kyoto-u.ac.jp/j/iL4nC>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

沈秀中 (SHEN, Xiuzhong)
京都大学・原子炉実験所・助教
研究者番号：20362410

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：