

令和 2 年 6 月 1 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07009

研究課題名（和文）ロッドバンドル内気液二相流の界面積濃度輸送・気相拡散機構解明に関する研究

研究課題名（英文）Study on the interfacial area transport and gas phase diffusion in gas-liquid two-phase flows in a rod bundle flow channel

研究代表者

沈 秀中（Shen, Xiuzhong）

京都大学・複合原子力科学研究所・助教

研究者番号：20362410

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、燃料集合体を模擬する6×6ロッドバンドル流路に入口境界条件（気相空間分布）を局所的に制御可能な気相導入装置を装着し、入口境界条件の異なる複雑な気液二相流を発生させ、先進ダブルセンサー・プローブとフォーセンサー・プローブ法を用いた局所ボイド率、界面積濃度、気泡径及び三次元界面速度の計測を行い、気液二相流の気相拡散特性データベースを構築した。更に、既存のドリフトフラックスモデルと界面積濃度輸送方程式用気泡合体・分裂モデルを評価した上で、ロッドバンドル内気液二相流の気相拡散機構と界面積濃度輸送機構を解明し、新しいドリフトフラックスモデルと気泡合体・分裂モデルを開発・検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、気相の均一・非均一導入と気泡拡散が流れの流動特性に及ぼす影響を検証可能な6×6垂直ロッドバンドル内上昇気液二相流の実験ループを設置し、三年間に渡って実験的研究とモデリング研究を行った。構築した高精度実験データベースは原子炉熱流動シミュレーションの質量、運動量、エネルギー保存則を閉じるための構成方程式の高度化とそのシミュレーション結果の妥当性検討（V&V）に重要である。開発した新しいドリフトフラックスモデルと気泡合体・分裂モデルは、原子炉熱流動シミュレーションの予測精度向上に貢献できるため、原子力エネルギーの効率化及び経済性、安全性と使用済み燃料低減の問題解決に寄与することである。

研究成果の概要（英文）：This study has constructed a 6×6 rod bundle flow channel equipped with a gas phase introduction device capable of locally controlling the gas inlet boundary condition to simulate a fuel assembly. The complicated gas-liquid two-phase flows are generated by controlling the gas inlet boundary conditions, and their local parameters of void fraction, interfacial area concentration, bubble diameter and interfacial velocity are measured using the double- and four-sensor probes. A database reflecting the gas phase diffusion in the two-phase flow has been accordingly established for the rod bundle. Furthermore, the existing drift-flux models and bubble coalescence and breakup models for the interfacial area transport equation have been evaluated with the experimental data. After having elucidated the gas phase diffusion and interfacial area transport mechanisms of gas-liquid two-phase flow, new drift-flux model and bubble coalescence and breakup model have been developed and verified finally.

研究分野：工学

キーワード：熱流動 ロッドバンドル流路 気液二相流 気相拡散 界面積濃度輸送方程式 気液二相流計測 データベース構築 国際研究者交流

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

熱流動シミュレーションの高度化には、図1のように質量、運動量、エネルギー保存則を閉じるための構成方程式の高度化とシミュレーション結果の妥当性検討(V&V)を行うための高精度データベース構築が必要である。これまで炉心熱流動現象を理解するために、数多くの試験がなされてきたが、その多くが、「均一」入口条件及び発達条件を対象としている。均一入口及び発達条件データを用いた場合、シミュレーションコードモデルが最適化されていなくても、ある程度の予測精度を得ることが可能である

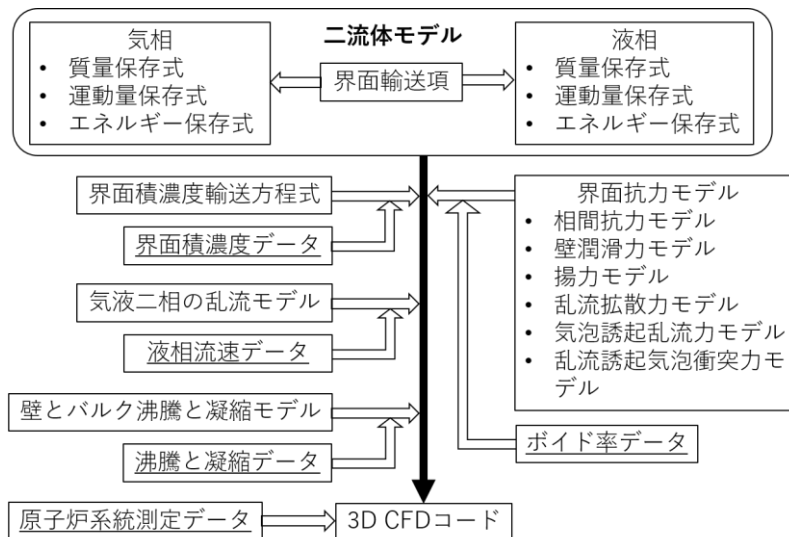


図1 3D CFDコードベンチマーク手順

が、「非均一」入口及び未発達条件を対象とした場合、複雑な三次元流れに対応可能なシミュレーションコードモデルの高度化が必要である。一例をあげると、米国パデュー大学では、三次元CFDコードの船用原子炉への適用性を検討するために、非均一入口条件を模擬した高アスペクト比の矩形管内二相流試験が行われ、そのボイド率と界面積濃度の発達過程は、同一流量条件下であっても、入口条件により大きく変化することが指摘されている(Liu et al., 2013)。さらに、その実験データを用いて、三次元コードの予測精度確認計算が行われ、従来の界面輸送項モデルでは、入口非均一及び未発達条件による気泡拡散を模擬できず、既存の界面抗力(相間抗力、壁潤滑力、揚力、乱流拡散力及び気泡誘起乱流応力)モデル以外に新たな気泡衝突による運動量交換モデルを開発、コード実装することが必要であると指摘されている(Sharma et al., 2016)。このように非均一入口及び未発達条件を模擬した試験データは、コードのベンチマークデータとして有用であるとともに、相分布機構の解明、モデリングに重要である。

2. 研究の目的

気泡が流れに沿って高濃度領域から低濃度領域に拡散する現象は広く知られている。本研究は、燃料集合体を模擬するロッドバンドル流路の入口条件(気相流速空間分布)を局所的に制御可能な気相導入装置を用いて入口境界条件の異なる複雑な気液二相流れ場を発生させ、先進ダブルセンサー・プローブとフォーセンサー・プローブ法を用いた局所ボイド率、界面積濃度、気泡径及び三次元界面速度の計測によって系統的に気液二相流の発達特性データベースの構築を行い、燃料集合体内三次元気液二相流の気相拡散機構と界面積濃度輸送機構の解明、局所流動パラメーター分布の高精度予測を可能とするドリフトフラックスモデルと乱流誘起気泡衝突モデルを含む界面積濃度輸送方程式の評価・開発を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、気相の非均一導入と気泡拡散が流れの流動特性に及ぼす影響を検証可能な6×6垂直ロッドバンドル内上昇気液二相流の実験ループを京都大学に設置し、三年間に渡って実験的研究と解析的研究を行う。実験研究では、ロッドバンドル内気液二相流において、(1)ダブルセンサー・プローブ法を用いて、高液相流速条件のボイド率、界面積濃度、気泡ザウター平均径、気泡上昇速度などの局所計測と(2)フォーセンサー・プローブ法を用いて、低液相流速の多次元流動条件のボイド率、界面積濃度、気泡径、三次元気泡速度などの局所計測を実施し、データベースを構築する。理論解析研究では、データ解析により気液二相流の気泡拡散と界面積濃度輸送機構を明らかにした上で、ロッドバンドル内気液二相流のドリフトフラックスモデルと乱流誘起気泡衝突モデルを含む界面積濃度輸送方程式の開発を行う。

4. 研究成果

(1) 本研究では、最新のスケーリング手法を用い、図2に示すような気相の導入を制御する混合器を利用したロッドバンドル内気液二相流の実験装置(即ち原子炉燃料集合体の模擬体)を京都大学に新たに設置した。この装置の試験部は、直径10mm長さ3.8mのステンレスロッドをピッチ16.7mmにて正方格子状に配置した6×6ロッドバンドルと内部辺長10cmの正方形断面のチャンネルボックスから構成される。気相の導入を制御する混合器では、液相は貫通孔が均一配布された多孔板を通して均一に流入する。気相はインジェクター部分を3つプレナム(A(青)、B(黄)、C(赤))に分け、複数の細管を通してA(青)、B(黄)、C(赤)、AB(青黄)、AC(青赤)、BC(黄赤)、

ABC(青黄赤)と7通りの導入が可能である。ロッドバンドル内気液二相流の流動特性を測定可能なダブルセンサー・プローブ法、フォーセンサー・プローブ法、高速度カメラを併用した画像処理計測法と差圧計測法の局所計測システムを開発・整備・検証した。更に、6×6 ロッドバンドルの試験部において、空気-水気液二相流の計測実験を行い、局所圧力損失、ボイド率、気相速度、気泡サイズと界面積濃度など実験データを取得し、この流れの流動特徴と界面輸送機構を明らかにした。

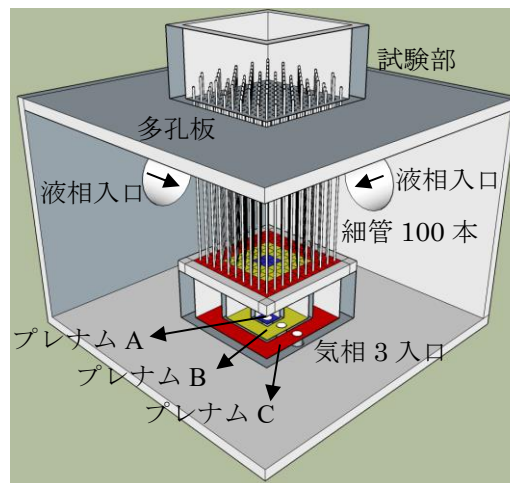


図2 気液混合器の構造

(2) ダブルセンサー・プローブの実験データ

2本光ファイバーで構成するダブルセンサー・プローブは、上昇気泡の界面通過時刻を記録し、一次元気液二相流の局所パラメーターを計測できる。本研究では、気相を非均一的に導入した高液相流速流動条件において、ダブルセンサー・プローブを用いたロッドバンドル試験部の局所計測を実施し、ボイド率(α)、界面積濃度(a_i)、気泡サウター平均径(D_{Sm})、気泡上昇速度(v_{asz})などの流動特性値データを測定し、データベースを構築した。その中の一例(流動条件: 液相見かけ速度 $\langle j_f \rangle = 0.199$ m/s、気相見かけ速度 $\langle j_g \rangle = 0.0874$ m/s)は図3に示す。このプローブで測定したボイド率と界面積濃度はドリフトフラックスモデルと界面積濃度相関式の予測と比較し、両者の一致を確認した。

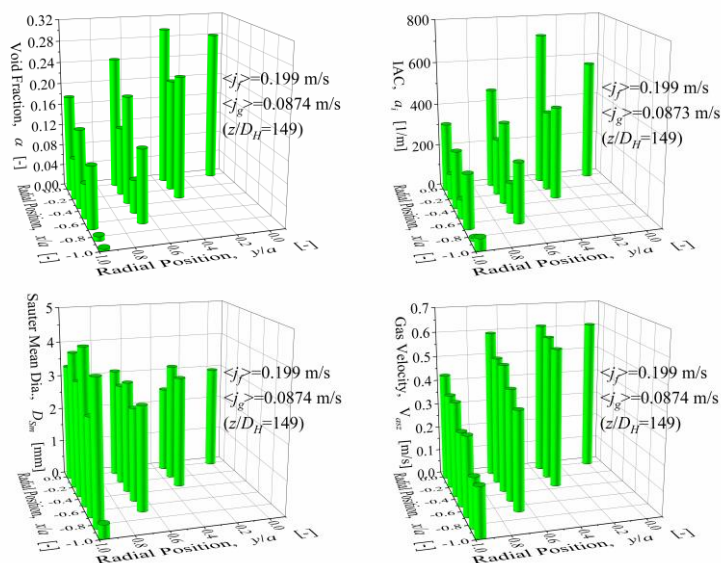


図3 ダブルセンサー・プローブの実験データの一例

(3) フォーセンサー・プローブの実験データ

4本光ファイバーで構成するフォーセンサー・プローブは、多次元的に動く気液二相の界面信号を捕捉し、多次元気液二相流の局所パラメーターを計測できる重要なツールである。本研究は、広範囲流動条件において、気相を極端非均一的に試験部に導入し、フォーセンサー・プローブを用いた試験部流れ方向の局所計測を実施し、ボイド率(α)、界面積濃度(a_i)、気泡径(D_b)、三次元気泡速度(v_{gx} , v_{gy} , v_{gz})などの流動特性値データを取得し、データベースを構築した。その中の一例(流動条件: 液相見かけ速度 $\langle j_f \rangle = 0.587$ m/s、気相見かけ速度 $\langle j_g \rangle = 0.104$ m/s)は図4に示す。広範囲の均一、非均一入口条件で測定した局所実験データベースの分析により、異なる入口流動条件誘起の気泡拡散がロッドバンドル

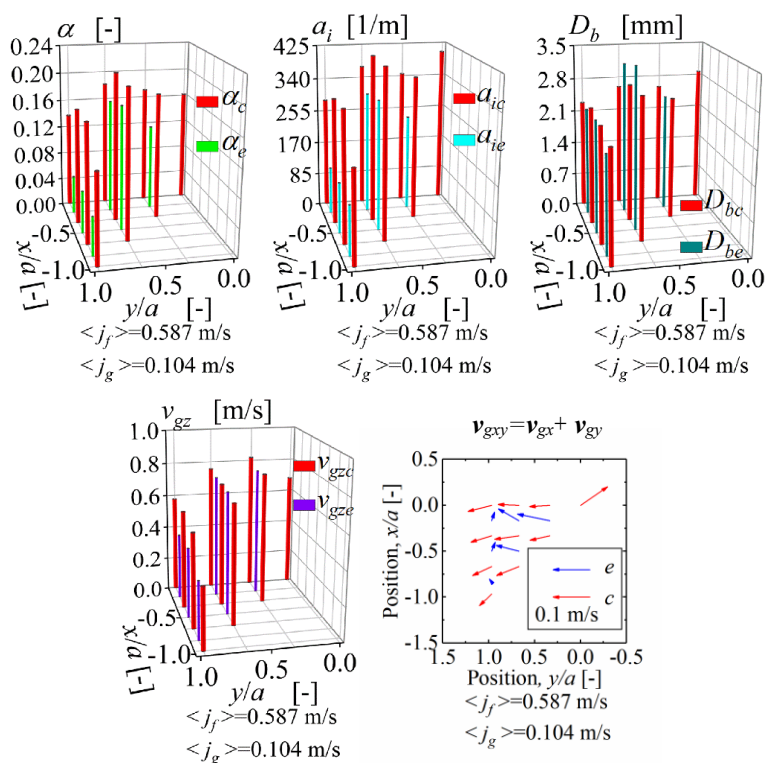
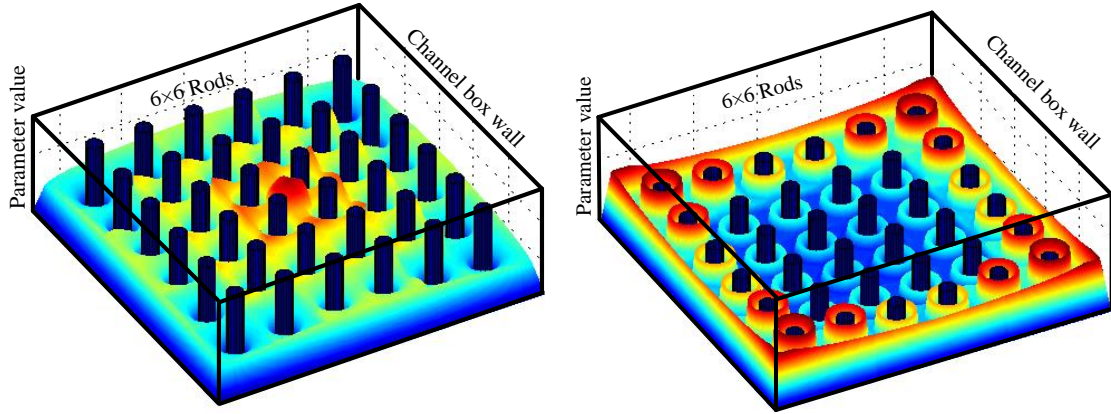


図4 フォーセンサー・プローブの実験データの一例

内気液二相流のボイド率など局所パラメーターの断面分布遷移に影響を及ぼすが、図 5 のような典型的なロッドバンドル流路断面内半径方向のコアと壁ピーク分布のパターンが広く存在していることが確認できた。



(a) 半径方向コアピーク分布のパターン (b) 半径方向壁ピーク分布のパターン
図 5 典型的なロッドバンドル流路断面内半径方向のコアと壁ピーク分布のパターン

(4) 気泡合体と分裂モデルの開発

界面積濃度輸送方程式は、ロッドバンドル内気液二相流の入口効果、未発達流れ、気泡の合体、分裂、壁面沸騰等が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るので、二流体モデルへの界面積濃度輸送方程式の導入はロッドバンドル内熱流動現象シミュレーションコードの予測能力を飛躍的に高めるものと期待されている。界面積濃度輸送方程式の導入には、気泡合体と分裂による二相界面面積の消滅と生成のモデル化が必要である。気相の非均一導入と気泡拡散が気液二相流の気泡合体と分裂特性に影響を及ぼす。本研究では、広範囲な調査を行い、ロッドバンドル内気液二相流を含む多種多様な流路内気液二相流の実験データと既存の気泡合体と分裂モデルを収集し、実験データで既存の気泡合体と分裂モデルの妥当性を評価し、これらのモデルの特徴と問題点を明らかにした。更に、この評価結果を踏まえて気液二相流の入口効果を考慮した次の新気泡合体と分裂モデルを開発した。

① 乱流誘起気泡衝突による気泡分裂モデル

$$\langle \phi_{II} \rangle = K_{II} \frac{\varepsilon^{1/3} (1-\alpha) a_i^{5/3}}{\alpha^{2/3} (\alpha_{max} - \alpha)} \exp \left[-C_{II} \frac{\sigma}{\rho_f \varepsilon^{2/3}} \left(\frac{a_i}{6\alpha} \right)^{5/3} \right] \quad (1)$$

② 気泡ランダム衝突による気泡合体モデル

$$\langle \phi_{RC} \rangle = K_{RC} \frac{\varepsilon^{1/3} \alpha^{1/3} a_i^{5/3}}{\alpha_{max} - \alpha} \exp \left[-C_{RC} \frac{\rho_f^{1/2} \varepsilon^{1/3}}{\sigma^{1/2}} \left(\frac{6\alpha}{a_i} \right)^{5/6} \right] \quad (2)$$

③ エントレインメントによる気泡合体モデル

$$\langle \phi_{WE} \rangle = K_{WE} \left[\frac{8(\rho_f - \rho_g) g \alpha (1-\alpha)}{\rho_f} \right]^{1/3} v_r^{1/3} a_i^{5/3} \exp \left[-C_{WE} \frac{\rho_f^{1/2} \varepsilon^{1/3}}{\sigma^{1/2}} \left(\frac{6\alpha}{a_i} \right)^{5/6} \right] \quad (3)$$

ここで

$$v_r = \frac{1-C_0 \alpha}{1-\alpha} \frac{j_g}{\alpha} - C_0 \frac{j_f}{1-\alpha} \quad (4)$$

$$C_0 = \begin{cases} \left(1.2 - 0.2 \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_f}} \right) \left[1 - \exp \left(-\frac{132\alpha}{D_H a_i} \right) \right] & D_H < 40 \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_f - \rho_g)}} \\ \exp \left[0.475 \left(\frac{j_g}{j_f + j_g} \right)^{1.69} \right] \left(1 - \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_f}} \right) + \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_f}}, \frac{j_g}{j_f + j_g} < 0.9 & D_H \geq 40 \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_f - \rho_g)}} \\ \left[-2.88 \left(\frac{j_g}{j_f + j_g} \right) + 4.08 \right] \left(1 - \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_f}} \right) + \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_f}}, \frac{j_g}{j_f + j_g} \geq 0.9 & \end{cases} \quad (5)$$

式(1-3)にある $K_{II}=0.000168$ 、 $C_{II}=2.56$ 、 $\alpha_{max}=0.741$ 、 $K_{RC}=-0.000238$ 、 $C_{RC}=2.98$ 、 $K_{WE}=-0.576$ 、 $C_{WE}=2.98$ 。新しく開発した気泡合体と分裂モデルが界面積濃度輸送方程式の界面輸送予測パフォーマンスを大幅に向上させたこと（平均予測誤差：17.1%）を確認した。

(5) ドリフトフラックスモデルの開発

現在ロッドバンドル流路内気液二相流のボイド率予測には 二相の相分布と相間相対運動を考慮したドリフトフラックスモデルが広く利用されている。本研究では、広範囲の均一、非均一入口条件のロッドバンドル内気液二相流の実験データ（本研究の実験データと既存の他の研究者の実験データ）と既存の17ドリフトフラックス構成式（即ち分布定数及びドリフト速度の構成式）を収集し、実験データで既存のドリフトフラックス構成式の妥当性を評価し、これらの構成式の問題点と改善できる点を明らかにした。更に、この評価結果を踏まえてロッドバンドル内気液二相流の気泡拡散を評価できる新ドリフトフラックスモデルを開発した。新しく開発した分布定数(C_0)及びドリフト速度($\langle\langle v_{gj} \rangle\rangle$)の構成式は次の通りである。

① 分布定数構成式

$$C_0 = C_\infty - (C_\infty - 1)(\rho_g/\rho_f)^{0.5} \quad (6)$$

ここで

$$C_\infty(Re_f, Re_g) = \begin{cases} C_{\infty,H} & Re_g \geq Re_{g,crit} \\ C_{\infty,L} & Re_g < Re_{g,crit} \end{cases} \quad (7)$$

$$Re_{g,crit} = 0.0560Re_f + 5710D_h \quad (8)$$

$$C_{\infty,L} = ((C_{\infty,H}(Re_{g,crit}) - 1)/Re_{g,crit})Re_g + 1 \quad (9)$$

$$C_{\infty,H} = 1.10 + 3.03 \exp(-0.0000131Re_f - 1.33(Re_g/1000)^{0.510}) \quad (10)$$

② ドリフト速度構成式

$$\langle\langle v_{gj} \rangle\rangle = \begin{cases} \langle\langle v_{gj,B} \rangle\rangle \exp(-1.39 \langle j_g^+ \rangle) + \langle\langle v_{gj,P} \rangle\rangle (1 - \exp(-1.39 \langle j_g^+ \rangle)) & \text{for bubbly flow} \\ \langle\langle v_{gj,P} \rangle\rangle & \text{for cap - bubbly flow} \\ \sqrt{2}(\sigma g(\rho_f - \rho_g)/\rho_f^2)^{0.25} & \text{for churn flow} \\ \frac{1-\langle\alpha\rangle}{\langle\alpha\rangle + \left(\frac{1+75(1-\langle\alpha\rangle)\rho_g}{\sqrt{\langle\alpha\rangle}} \rho_f\right)^{0.5}} \left(\frac{g(\rho_f - \rho_g)D_h(1-\langle\alpha\rangle)}{0.0150\rho_f}\right)^{0.5} & \text{for annular flow} \end{cases} \quad (11)$$

ここで

$$\langle\langle v_{gj,B} \rangle\rangle = \sqrt{2}(\sigma g(\rho_f - \rho_g)/\rho_f^2)^{0.25} (1 - \langle\alpha\rangle)^{1.75} \quad (12)$$

$$\langle\langle v_{gj,P} \rangle\rangle = \begin{cases} 0.0019(L^*)^{0.809}(\rho_g/\rho_f)^{-0.157} N_{\mu_f}^{-0.562} (g\sigma(\rho_f - \rho_g)/\rho_f^2)^{0.25}, N_{\mu_f} \leq 0.00225 \text{ and } L^* \leq 30. \\ 0.030(\rho_g/\rho_f)^{-0.157} N_{\mu_f}^{-0.562} (g\sigma(\rho_f - \rho_g)/\rho_f^2)^{0.25}, N_{\mu_f} \leq 0.00225 \text{ and } L^* \geq 30. \\ 0.92(\rho_g/\rho_f)^{-0.157} (g\sigma(\rho_f - \rho_g)/\rho_f^2)^{0.25}, N_{\mu_f} \geq 0.00225 \text{ and } L^* \geq 30. \end{cases} \quad (13)$$

$$L^* = L / \left(\sigma / \left(g(\rho_f - \rho_g) \right) \right)^{0.5} \quad (14)$$

$$N_{\mu_f} = \mu_f / \left(\sigma \rho_f \left(\sigma / \left(g(\rho_f - \rho_g) \right) \right)^{0.5} \right)^{0.5} \quad (15)$$

新しく開発したドリフトフラックスモデルによるロッドバンドル流路内空気-水と水蒸気-水気液二相流実験データの平均予測誤差は、それぞれ7.68%と7.86%であるので、この新ドリフトフラックスモデルの有効性を確認できた。

<引用文献>

- ① Y. Liu, T. Roy, D.Y. Lee, M. Ishii, J.R. Buchanan Jr, “Experimental study of non-uniform inlet conditions and three-dimensional effects of vertical air-water two-phase flow in a narrow rectangular duct”, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 39, pp. 173-186, 2013.
- ② S.L. Sharma, T. Hibiki, M. Ishii, C.S. Brooks, J.P. Schlegel, Y. Liu, J.R. Buchanan Jr, “Turbulence-induced bubble collision force modeling and validation in adiabatic two-phase flow using CFD”, Nuclear Engineering and Design, Vol. 312, pp. 399-409, 2017.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 6件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Xiuzhong Shen, Shuichiro Miwa, Yigeng Xiao, Xu Han, Takashi Hibiki	4. 巻 1
2. 論文標題 Local measurements of upward air-water two-phase flows in a vertical 6×6 rod bundle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Experimental and Computational Multiphase Flow	6. 最初と最後の頁 186-200
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1007/s42757-019-0031-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Han Xu, Shen Xiuzhong, Yamamoto Toshihiro, Nakajima Ken, Sun Haomin, Hibiki Takashi	4. 巻 144
2. 論文標題 Experimental study on local interfacial parameters in upward air-water bubbly flow in a vertical 6×6 rod bundle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 118696 ~ 118696
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118696	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shen Xiuzhong, Hibiki Takashi	4. 巻 109
2. 論文標題 Bubble coalescence and breakup model evaluation and development for two-phase bubbly flows	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Multiphase Flow	6. 最初と最後の頁 131 ~ 149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.07.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hibiki, Takashi; Ozaki, Tetsuhiro; Shen, Xiuzhong; Miwa, Shuichiro; Kinoshita, Ikuo; Hazuku, Tatsuya; Rassame, Somboon	4. 巻 127
2. 論文標題 Constitutive equations for vertical upward two-phase flow in rod bundle	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Mass Transfer	6. 最初と最後の頁 1252-1266
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.08.067	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shen, Xiuzhong; Sun, Haomin; Deng, Baoqing; Hibiki, Takashi; Nakamura, Hideo	4. 巻 67
2. 論文標題 Experimental study on interfacial area transport of two-phase bubbly flow in a vertical large-diameter square duct	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 International Journal of Heat and Fluid Flow	6. 最初と最後の頁 168-184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ijheatfluidflow.2017.08.006	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shen, Xiuzhong; Schlegel, Joshua P.; Hibiki, Takashi; Nakamura, Hideo	4. 巻 333
2. 論文標題 Some characteristics of gas-liquid two-phase flow in vertical large-diameter channels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Engineering and Design	6. 最初と最後の頁 87-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nucengdes.2018.04.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 韓旭、沈秀中、山本俊弘、中島健、日引俊
2. 発表標題 A two-phase flow database in a light-water-reactor-simulated rod bundle
3. 学会等名 第54回京都大学複合原子力科学研究所学術講演会, 論文番号: P32, pp. 46, 2020年2月5-6日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xu Han, Xiuzhong Shen, Toshihiro Yamamoto, Ken Nakajima, Takashi Hibiki
2. 発表標題 Flow characteristics of upward two-phase flows in a rod bundle geometry
3. 学会等名 The 28th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE28) at Anaheim, California, USA, Paper No.: ICONE28-POWER2020-14568, August 2-6, 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 肖毅コン、沈秀中、三輪修一郎、孫昊旻、日引俊
2. 発表標題 稠密バンドル内における局所気液二相流動特性に関する研究
3. 学会等名 混相流シンポジウム2018 (論文番号: D214, 東北大学, 宮城県仙台市)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shen, Xiuzhong, Hibiki, Takashi
2. 発表標題 An evaluation of one-group interfacial area transport equation with its constitutive bubble coalescence and breakup models in bubbly two-phase flows
3. 学会等名 The 12th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics, Operation and Safety (NUTHOS-12) at Qingdao, China, Paper No.: 568 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 沈秀中、三輪修一郎、肖毅コン、孫昊旻、日引俊
2. 発表標題 垂直ロッドバンドル流路内における局所界面積濃度の特性に関する研究
3. 学会等名 第53回京都大学複合原子力科学研究所学術講演会 (論文番号: P8, pp. 16)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 沈秀中、日引俊、中村秀夫
2. 発表標題 大口径流路内多次元気液二相流の流動機構解明に関する研究
3. 学会等名 第53回京都大学複合原子力科学研究所学術講演会 (トピックス講演論文番号: T6, pp. 78-80) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shen, Xiuzhong; Schlegel, Joshua P.; Hibiki, Takashi; Nakamura, Hideo
2. 発表標題 Multi-dimensional gas-liquid two-phase flow in vertical large-diameter channels
3. 学会等名 Proceeding of the 11th Japan-U.S. Seminar on Two-Phase Flow Dynamics at Sapporo, Hokkaido, Japan, June 22-24, 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shen, Xiuzhong; Sun, Haomin; Deng, Baoqing; Hibiki, Takashi; Nakamura, Hideo
2. 発表標題 Axial flow characteristics of bubbly flow in a vertical large-diameter square duct
3. 学会等名 Proceeding of the 17th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-17) at Xi'an, Shaanxi, China, Paper No.: NURETH-17-20863, September 3-8, 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 沈秀中、日引俊
2. 発表標題 燃料集合体チャンネルボックス内気泡拡散現象の実験研究
3. 学会等名 第52回京都大学原子炉実験所学術講演会(52nd Annual Conference of Kyoto University Research Reactor Institute), 論文番号: P18, pp. 32, 2018年1月25-26日
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

京都大学教育研究活動データベース 沈秀中ホームページ
<http://kyouindb.iimc.kyoto-u.ac.jp/j/iL4nC>
 京都大学教育研究活動データベース 沈秀中ホームページ
<http://kyouindb.iimc.kyoto-u.ac.jp/j/iL4nC>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----