

令和 2 年 5 月 20 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K17562

研究課題名(和文) 気液界面輸送機構V&Vによる次世代熱流体解析手法高度化に関する研究

研究課題名(英文) V&V of Interfacial Transport Mechanisms for Advanced Thermal-Hydraulic Analysis

研究代表者

三輪 修一郎 (Shuichiro, Miwa)

北海道大学・工学研究院・助教

研究者番号：00705288

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究提案は、気液界面輸送機構V&Vによる次世代熱流体解析手法高度化に関する研究を提案し、既存の界面力モデルと界面積濃度項の検証(Verification)と妥当性(Validation)確認を目的とするものである。本助成により、高温高压の流れ場を室温大気圧条件下にて再現可能な気液二相流実験装置を構築した。流路内の局所データを取得するため、マルチセンサープローブの開発を行い、局所ボイド率分布等のパラメータ取得に成功した。得られたデータベースより、既存の原子炉安全解析コードや、多次元数値解析に使用される二相流モデルの検証を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

二相流CFDや原子炉熱水力安全解析コードに使用されている二流体モデルの精度は、数々の実験相関式への依存度が高いのが現状であるが、その多くは大気圧条件下、定常流れにおけるデータベースより構築されている。実機相当の環境下における既存モデルの妥当性検証は今後益々重要になると考えられ、本研究提案により得られた知見と、そのデータベースは既存モデルの改良ならびに高度化に役立つとともに、解析の「品質」を評価する上での重要な役割を担うと考えられる。

研究成果の概要(英文)： The objective of the current project is to conduct verification and validation of the interfacial transport terms embedded in two-fluid model, which is a commonly utilized governing equations in modern reactor thermal hydraulics code and multi-dimensional computational fluid dynamics codes. Based on the proper scaling analysis, new two-phase flow experimental facility was designed and constructed at Hokkaido University, which is capable of reproducing high-pressure and high-temperature prototypical condition in an atmospheric pressure and room temperature conditions. In order to develop the database consist of local two-phase flow parameters, the multi-sensor probe and its signal conditioning unit was newly designed and developed. Important geometrical parameters such as void fraction was measured in the current experiment and the database was utilized to verify the existing interfacial transfer models.

研究分野：原子力工学

キーワード：混相流

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

福島第一原発事故以降、既存の原子力発電所や次世代原子炉においては、より一層高度な安全性及び、正確な炉内事象解析技術の確立が求められている。中でも、既存の軽水炉をはじめ、次世代型軽水炉や小型炉の炉内安全性評価に使用される三次元二相流数値解析(以下、二相流 CFD)や原子炉安全解析コードの研究開発は、近年世界的に著しく急ピッチで発展している。二相流 CFD 技術は原子炉の安全性を評価する上で重要な解析手法として知られており、演算処理性能の向上により詳細な計算が可能となった今日、著しい発展を遂げている。しかしながら、本シミュレーション手法が原子炉設計・安全評価における根幹技術として認知されるには高精度の実験データを基にしたモデル検証(Verification)と妥当性確認(Validation)が重要となる。この評価方法を、(それぞれの頭文字から)V&V 標準と呼び、解析の「品質」を評価する上での重要な指針となっている。

二相流 CFD や原子炉熱水力安全解析コードにおいては、炉内熱流体ならびに気液二相流現象の解析手法として二流体モデルが用いられる。二流体モデルは、気相・液相それぞれにおいて質量・運動量・エネルギー保存の計 6 式より成り立つ詳細な方程式系であるが、二流体モデルが複雑な三次元流れ場にてその真価を発揮するには、運動量保存式を閉じるために必要な界面力項(界面積濃度 × 駆動力)の適切なモデル化が必須となる。二相流 CFD 技術を高度化させ、次世代熱流体解析へ用いるためには、(1)実機相当の圧力条件下、(2)三次元流れ場にて想定される不均一な気泡分布条件下にて取得される局所ボイド率分布と界面積濃度データを取得し、界面力モデルと界面積濃度項の不確かさ検証(V&V)を礎に改良させる必要がある。

2. 研究の目的

本研究においては、気液界面輸送機構 V&V による次世代熱流体解析手法高度化に関する研究を提案し、既存の界面力モデルと界面積濃度項の検証(Verification)と妥当性(Validation)確認を目的とする。本研究提案である気液界面輸送機構 V&V による次世代熱流体解析手法の高度化においては、原子炉実機相当の流れ場における局所ボイド率ならびに界面積濃度の測定と、既存の二相流モデルの検証を実施した。

3. 研究の方法

初年度には沸騰水型原子炉(BWR)実機相当の流れ場をラボスケールで実施するための試験装置を設計した。熱水力スケール則を用いることにより、高温高圧条件下における気液密度比を大気圧室温条件下と同等に調整することで、高温高圧の流れ場が再現可能な試験装置を構築した。これは、実験室にて使用する流体と装置寸法を、実機データ(高温高圧蒸気)を用いたスケール則に基づいて決定することで可能となる。本試験装置に用いた二相インジェクターは 4 つの独立した弁を有し、不均一な流体注入を可能とした。

2 年目には局所ボイド率ならびに界面積濃度計測に使用するマルチセンサープローブ及び電子回路の設計・製作を実施した。マルチセンサープローブはプローブ中心に位置する先端センサー(Leading Sensor)と、その周囲に位置する 3 本の後端センサー(Trailing Sensor)により構成される。気泡が 4 センサーと接触する際、気相と液相の電気伝導差により電気出力信号に変化が生じる現象を利用し、3 方向の界面速度ベクトルを計測するものである。プローブによる計測精度を検証するため、研究者が保有する高速度ビデオカメラを使用し、プローブと可視化情報による計測値の比較検証を実験前に実施した。以上の計測ツールから、局所ボイド率、界面積濃度の計測を行った。幅広い流動様式の網羅するのに加え、界面積濃度項が重要な役割を担う気泡の合体・分裂等の現象を検証するため、気泡流とキャップ気泡流遷移領域に照準を充て、局所データベースを構築した。

4. 研究成果

2019 年度においては、初年度に新規構築した気液二相流試験装置を用い、室温にて高温高圧の流れ場に近い気液密度比において実験を継続し、データベースの拡充を行った。本助成 2 年目に開発したマルチセンサープローブ系を用い、局所ボイド率、界面積濃度の計測を行い、流れ軸方向ならびに半径方向における詳細なデータの取得に成功した。

本実験にて着目した流動様式は気泡流とキャップ気泡流の二種類であり、流動様式近傍における気泡の相互干渉に着目し、高速度カメラによる可視化観測による比較検証も並行して行った。高温高圧条件下においては気泡の膨張が抑制されるため、大気圧条件下と比較し、気泡相互作用等のモデル検証に適した条件となるためであるため、得られたデータベースをもとに、現在提案されている界面積濃度輸送方程式のソース項の検証を実施した。本実験装置の特徴の一つである不均一条件下における流体注入を実現させるため、長い日数を費やしたが、試験装置内の流れを安定化させることができず、信頼性の高いデータ取得には至らなかった。不均一条件下におけるデータ取得は今後の課題として継続的に取り組む予定である。

本研究の結果から、現在使用されている輸送項の修正が必要であることが示唆され、ソース項モデルの改良ならびに新規提案に向け解析を継続しているところである。特に、既存の二相流モデルの多くが大気圧条件下におけるデータベースに依存しているため、本研究により得られた

知見とノウハウを通してモデルの改良ならびに高度化が可能であるとともに、産業界に見られる様々な高温高圧条件下の二相流現象への適用も可能と考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
--	---------------------------	-----------------------	----