



| | |
|--------------|---|
| Title | 管群を対象とした気液二相流の界面積濃度輸送に関する研究 |
| Author(s) | 石川, 温士 |
| Citation | 大阪大学, 2016, 博士論文 |
| Version Type | |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/56002 |
| rights | |
| Note | やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。 |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (石 川 温 士)

論文題名

管群を対象とした気液二相流の界面積濃度輸送に関する研究

論文内容の要旨

(第1章) 気液二相流を利用するプラントや各種機器において、その性能評価や安全設計の観点から、気液二相流のシミュレーションによる予測精度向上が望まれている。気液二相流は、気液界面を通して、質量、運動量、エネルギーの伝達がなされることから、気液界面の多さを表わす『気液界面積濃度』（気液二相流単位体積[m³]あたりの気液界面の面積[m²])は、ボイド率と並んで重要なパラメータとなる。

従来の気液二相流に関する研究は、円管流路や環状流路、サブチャンネルなどの比較的単純な形状を対象としたものが多い。また、気液界面積濃度の輸送方程式に関する研究は世界的に実施されているものの、PWR/SGやケトル型熱交換器に代表される水平管群まわりを流れる気液二相流を対象としたモデル化は実施されていない。なお、汎用コードに搭載されている気液界面積濃度の輸送方程式があるものの、流れ方向についての保存式の形をしており、流れに垂直な方向についての気液界面積濃度の拡散などは考慮されていない。本論文では、実機でみられる水平管まわりを流れる気液二相流を対象として、気液界面積濃度が流れに垂直な方向に拡散する効果を含めた輸送方程式の定式化ならびに、当該方程式を検証するための膨大なベンチマークデータ取得を行なった結果を報告する。

(第2, 3章) ベンチマークデータとして、大気圧下、空気-水系の垂直上昇気液二相流（アクリル製流路、高さ：約5m, ①円管：内径50mm, ②矩形管：50mm×50mm）について、流れに垂直な方向のボイド率および気液界面積濃度の分布を計測した。計測には、2針式の導電式ボイドセンサーを用いた。気泡混入の方法や、流路障害物となる水平円柱（単数、複数）のレイアウトなどを変化させて実験を行なった。実験の結果、気液二相流の流れ方向に発達する過程が流量条件によって変化することや、水平円柱がボイド率および気液界面積濃度の分布に与える影響などを、ボイドセンサーによる分布計測結果ならびにアクリル流路を通しての観察から確認することができた。

(第4, 5章) 気液界面積濃度の輸送方程式では、流れ方向の保存式に加えて、気泡流では『気泡の拡散』と『揚力』を考慮し、チャーン流スラグ流では『大気泡後流の乱流渦』による影響を考慮した。実験データを用いて、輸送方程式の検証を行なった結果、気液界面積濃度の流れに垂直方向の分布が変化する様子を概ね捉えられることを確認した。

(第6章) また、気泡の合体、分裂による気液界面積濃度の生成・消滅を輸送方程式に加えることで予測精度の向上を図った。なお、既往の研究では非常に多くの物理量を含む煩雑な式が提案されているが、本研究では、合理的かつ実用的な式の構築を目指し、合体、分裂それぞれについて一つの物理量（合体：ボイド率の関数、分裂：液相流速の関数）を代表パラメータとしてモデル化を試みた。実験と解析の乖離は小さくなったものの、気泡の合体、分裂については十分なデータによる検証がなされておらず、今後更なる検証が望まれる。

(第7章) 解析モデルの適用範囲をPWR/SGに代表される高温・高圧の気液二相流に拡張することを目的として、実機相当の気液二相流を模擬できる試験装置を製作し、ボイド率および気液界面移動速度を計測した。今後、本装置を用いた実験データの蓄積を行ない、解析モデルの検証を進める計画がある。

論文審査の結果の要旨及び担当者

| 氏 名 (石 川 温 士) | | | | |
|-----------------|-----|-----|----|---------------|
| 論文審査担当者 | | (職) | 氏 | 名 |
| | 主 査 | 准教授 | 吉田 | 憲司 |
| | 副 査 | 教 授 | 赤松 | 史光 |
| | 副 査 | 教 授 | 芝原 | 正彦 |
| | 副 査 | 教 授 | 片岡 | 勲 (福井工業大学工学部) |

論文審査の結果の要旨

気液二相流を利用するプラントや各種機器において、その性能評価や安全設計の観点から、気液二相流のシミュレーションによる予測精度向上が望まれている。気液二相流は、気液界面を通して、質量、運動量、エネルギーの伝達が行なわれることから、気液界面の多さを表わす『気液界面積濃度』(気液二相流単位体積あたりの気液界面の面積)は、ボイド率と並んで重要なパラメータとなる。

従来の気液二相流に関する研究は、円管流路や環状流路、サブチャンネルなどの比較的単純な形状を対象としたものが多い。また、気液界面積濃度の輸送方程式に関する研究は世界的に実施されているものの、加圧水型原子炉の蒸気発生器やケトル型熱交換器に代表される水平管群まわりを流れる気液二相流を対象としたモデル化は実施されていない。なお、汎用二相流解析プログラムに搭載されている気液界面積濃度の輸送方程式があるものの、流れ方向についての保存式の形をしており、流れに垂直な方向についての気液界面積濃度の拡散などは考慮されていない。本論文では、実機でみられる水平管まわりを流れる気液二相流を対象として、気液界面積濃度が流れに垂直な方向に拡散する効果を含めた輸送方程式の定式化ならびに、広範囲な条件下での実験を行いその結果に基づいて輸送方程式の検証をおこなった。

気液界面積濃度輸送の実験として、大気圧下、空気－水系の垂直上昇気液二相流(アクリル製流路、高さ：約 5m、①円管：内径 50mm、②矩形管：50mm×50mm)について、流れに垂直な方向のボイド率および気液界面積濃度の分布を計測した。計測には、2 針式の導電式ボイドセンサーを用いた。気泡混入の方法や、流路障害物となる水平円柱(単数、複数)のレイアウトなどを変化させて実験を行なった。実験の結果、気液二相流の流れ方向に発達する過程が流量条件によって変化することや、水平円柱がボイド率および気液界面積濃度の分布に与える影響などを、ボイドセンサーによる分布計測結果ならびにアクリル流路を通しての観察から明らかにした。

気液界面積濃度の輸送方程式では、流れ方向の保存式に加えて、気泡流では『気泡の拡散』と『揚力』を考慮し、チャーレン流スラグ流では『大気泡後流の乱流渦』による影響を考慮した。実験データを用いて、輸送方程式の検証を行なった結果、気液界面積濃度の流れに垂直方向の分布が変化を正確に予測できることを明らかにした。

また、気泡の合体、分裂による気液界面積濃度の生成・消滅を輸送方程式に加えることで予測精度の向上を図った。なお、既往の研究では非常に多くの物理量を含む煩雑な式が提案されているが、本研究では、合理的かつ実用的な式の構築を目指し、合体、分裂それぞれについて一つの物理量(合体：ボイド率の関数、分裂：液相流速の関数)を代表パラメータとしてモデル化を行った。これを用いることにより実験結果をより高精度で予測できることを示した。

以上のように、本論文は気液界面積濃度の輸送現象を実験と解析により明らかにしたものである。この結果は基礎的な学術分野においても、また実際の機器への応用においても極めて有用なものである。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。