

[20]

| | |
|------------|------------------------------------|
| 氏名 | 中村典子 |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学) |
| 学位記番号 | 理工博第13号 |
| 学位授与の日付 | 平成26年3月31日 |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 |
| 学位論文題目 | テイラー気泡後流が後続気泡速度変化に与える効果についての研究 |
| 論文審査委員 | 主査教授 梅川尚嗣 副査教授 齋藤賢一 副査教授 小澤守 |

論文内容の要旨

本論文は、沸騰機器で重要となる気液二相流を対象としているが、その中でも主要な流動様式となるスラグ流においてテイラー気泡後流が後続する気泡の上昇速度に与える影響評価を行うことを目的としている。この先行気泡後流による後続気泡速度の変化、ならびにそれによる後続気泡の引き込み現象は、スラグ流域における気液流動を支配する主要な因子であるとともに、スラグ流域以外の気液二相流全般での流動構造変化の基本機構を内包していると考えうることからその詳細を理解することは非常に有益である。特に近年の自然エネルギー利用に対する要求にともないスラグ流域での流動がより重視される低加熱熱流束熱源の利用が進むと考えられることから、本研究の成果は今後さらに重要になるものと考えられる。

連続テイラー気泡列中での後続気泡速度変化については、Moissisらの研究以来多く報告されているが、本論文で対象とするような実機利用で必要となる知見を得るまでには至っていない。本論文では、管傾斜角や先行気泡体積、気泡個数に対する包括的な知見を得るため、系統的に実験を行うとともに評価手法を提案した。以下、本論文の内容を章構成に従い概説する。

第一章は本論文の緒言および研究動機、研究目的であり、昨今の自然エネルギー利用の広がりの中でのスラグ流の知見の有用性、気泡後流と後続気泡速度に対するこれまでの研究の概説、傾斜スラグ流、先行気泡が気泡後流中での現象に注視している本研究の意義を論じている。

第二章は本研究に関連する理論の説明であり、垂直管内テイラー気泡の単一気泡速度、気泡液膜流の流速相関式、傾斜流中での単一テイラー気泡速度、気泡形状等の諸特性について従来得られている知見の総括を詳細に行っている。

第三章は、本論文における議論の前提となる実験結果に大きく影響する実験装置と実験方法の説明であり、実験系の構成、実験手法、計測機器、計測精度、実験条件の設定手法についての詳細を述べている。

第四章は、本論文の主要部であり、詳細な気泡速度計測実験の結果に基づく議論をおこなっている。ここでは、まず基準となる垂直上昇流における単一気泡特性を評価、さらに垂直も含めた管傾斜角度の影響を検討した結果を詳細に評価したうえで、二連続気泡速度分布、さらに三連続気泡列の議論に展開している。また、気泡後流による影響評価に際しては、最大速度、最大速度距離、後流影響範囲という特徴点の抽出ならびに評価パラメータを提案したうえで、その評価手法に基づく詳細な検討を行っている。

具体的には垂直管並びに傾斜管で測定した単一気泡速度を、分布パラメータ、フルード数に注視することで基準となる上昇特性を評価。この特性に対して連続する気泡が与える影響を克明に調べ、後続気泡による先行気泡にたいする影響はないこと、後続気泡の速度が先行気泡の大きさならびに距離で変化することを示し、変化特性が後流の構造によるものとした。さらに管が傾斜することで最大速度が低下すること、影響範囲が伸長することを示した。特に本比較に際しては、Moissisらの結果を元に評価相関式を提案しその結果を示した。これらの評価を通して気泡間隔、気泡サイズ、管傾斜角度による影響の一般特性を明らかにするとともに、特異な特性に対しても気泡界面形状の変形で説明ができることを示した。また、垂直流れについては三連続気泡にまで議論を展開し、先行気泡が複数存在することによる影響を評価し、最大速度のさらなる低下、気泡速度の顕著な増加が確認できるものの、中間気泡の形状には影響を与えないことを示し、最後尾気泡速度の変化の要因が中間気泡の激しい変形にあるのは無く、気泡周囲液膜流の流れの変化に原因があるとした。

さらに上記で得られた特性を、最大速度距離と後流影響範囲の相関に注目して整理し、最大速度距離から影響範囲が求められる可能性を示唆、減衰率については噴流速度分布を最大速度と代表長さによって無次元化した分布に対して算出す方法を示した。また、最大気泡速度と液膜平均流速の相関を取り、垂直流、傾斜流それぞれに対してではあるが、相関が得られることを示した。さらにこれらの評価に適するパラメータの検討を行い、本系に対する液膜レイノルズ数を提案し、液膜流の最大速度と影響範囲との関係が定量的に評価できることを示した。

第五章はPTV法を用いて計測した後流の速度分布にもとづき第四章での考察結果に対する定量的評価を加えている。単一気泡流速分布は、垂直流中では特に気泡体積が大きい時、気泡後端直下に現れる強力なトロイダル渦の後方に、それとは逆回転の渦が確かに観測され、これが前述の後続気泡速度の管直径の2倍の距離 $z=2D$ 付近でのマイナス化の原因であることが明確に示された。またその領域では逆に壁面近傍での流速が増大しており、後続の気泡は先行気泡体積の大きい時、管中心の強い下向き流れに押し返されながらも、管壁付近の上向き流速をとらえ、管壁から先行気泡へと急速に近づいていることが示された。

傾斜流については、液膜厚さが大きく、大質量の液膜流が $z=5D$ 付近まで緩やかに減衰しながら到達する様子ならびに、気泡中心軸上のレイノルズ応力が、垂直流中と比べて高い値を保ったまま遠くまで続いていることを実測した。こ

の結果より、傾斜流中では気泡背後の後流はかなり乱れの強いものとなり、それが大きな流速の障害、そして気泡背後の抗力の低下につながり、垂直流中に対して後続気泡最大速度が大きく低下した理由としている。

同様に三連続気泡列中の最後尾気泡速度分布の特異性に関しても、二連続気泡列後続気泡の後流流速分布を、垂直流中において計測、気泡がその先行する気泡の後流中にいることにより、気泡後端直下の渦流れが大きく崩れ、管軸中心軸上の高流速部が鈍化され、後流の最大流速が大きく低下することを示し、これが最後尾気泡最大速度の低下の原因であるとした。また各乱流成分の分布を調べると、単一気泡後流に比べ、乱流成分の値の増加が見られ、特に管軸上での流れの平均エネルギーと乱流エネルギーの収支を比較したところ、乱流エネルギーの支配的となる領域が、先行気泡が後流中にあることにより増大、乱流による流体駆動力により、後流の影響がより広範囲にまで渡ったと評価できることを示した。また先行気泡先端の乱流度の強さに対して速度分布の比較を行い、乱流度の高い方が気泡後端直下の渦構造の歪みが激しく、また管断面最大速度分布が増すことを示した。 $z=2D$ 付近での後続気泡速度増加は、先行気泡先端の乱流度が高いほど、つまり先行気泡とそのさらに先行する気泡との間隔が近いほど大きいと言え、四章で展開したボイド率波形比較との結果と整合することを示した。

第六章は上記を総括している。

本論文の議論により気泡速度を特徴づけるパラメータの定義が可能となり、これらのパラメータに対する影響因子を明確にすることが出来た。これらの結果は今後スラグ気泡の上昇速度の定式化を行うにあたって重要な知見を与えるものである。

論文審査結果の要旨

本論文で対象としているスラグ気泡の合体现象は、先行気泡で発生する後流による後続気泡の引き込みにより発生する。つまり後流が後続気泡の速度に与える影響評価が重要となることは明らかであり種々研究が行われているが、従来その評価はかなり限定されたものとなっている。本論文はこれらの議論を、気泡サイズ、管の傾斜角度、気泡間距離、さらには複数のスラグ気泡が与える影響評価にまで拡張することを目的としている。

この評価には、緻密で膨大なデータを的確に評価する必要があることから、本分野に対する高度な知見が要求される。申請者はこれらの要求に十分に答え、的確な評価手法を提案するとともにその手法に基づく検討を実施した。また、提出論文内でもこれらの検討結果の妥当性をさらに異なる手法で検証しているが、さらに公聴会における討論でも、これらの結論が本論文に記載されていない多岐にわたる検討事実を裏打ちされたものであることが示された。

よって、本論文は博士論文として価値があるものと認める。