

## 審査の結果の要旨

氏名 伊藤 浩二

本論文は、「気液二相流の流動様式と遷移モデル」と題し、等温系垂直上昇流れの気泡流から環状流までの流動様式とその遷移に関し、統一的な考えに基づいた簡易なモデルを構築し、これら流動様式と類似した流れ軸方向にできる気液の分布パターンをシミュレートすることにより、流動様式の決定に関わる基本的事項及び物理的支配要素を明らかとすることを目的として行った研究であり、論文の構成は全5章よりなっている。

第1章は「序論」であり、従来の研究を概観し、流動様式の予測や判定に関する研究はこれまでに数多くあるものの、流動様式の発生に関する研究が少ないこと、気液二相流にそもそも何故に様々な流動様式が現れるのか、その遷移のメカニズムが十分には明らかにされていないこと、これまでの研究が特定の流動様式とその遷移を対象として個別に行われており全ての流動様式を統一的な考え方でとらえる研究がないことを指摘し、これらの問題の解決が本研究の主たる目的であることを記している。

第2章は「流動様式の遷移モデル」であり、構築した簡易モデルについて説明している。すなわち、本モデルは、局所空間内に存在する気泡あるいは気泡群を、気泡の総体積と等しい1個の円筒型気泡とみなし、その気泡の大きさと縦列のパターンとを流動様式と対応させたものである。そして、流動様式の決定に関わる基本的事項として気相の質量移動を考え、また、物理的支配要素として気泡の後流効果、気相の圧縮性、幾何学的制限条件を取り入れている。まず、気相の質量移動についてみると、等温系の場合、支配方程式は気相の質量保存式となる。そして、移流速度は流れ場の平均速度、流れ場に対する円筒型気泡の上昇速度、および気泡の後流効果の総和として与えられるとしているが、流れ場の平均速度は二相流の平均密度を気相の体積流束比の関数として与え、気液各相のエネルギーの総和は保存されとの考えから求め、流れ場に対する円筒型気泡の上昇速度は、同気泡を質点ととらえた運動方程式と二相流の体積流束は管路断面において一定という関係式とを連立させて見積もり、また、気泡の後流効果は、気泡の後方にできる後流内の最大速度欠陥を基礎として、その効果割合と影響範囲等を定めて評価している。次に、気相の圧縮性に関してであるが、等温変化を仮定し、管内に存在する気相については、非圧縮として気相が移流した後に直ちに圧縮性効果が及ぶという二段階過程を考えている。幾何学的制限条件は、気液両相の存在可能空間が管径の大きさによって制限されることを考慮したものであるが、特に環状流では管壁に薄い液膜が存在することから、局所ボイド率の有効範囲を定め、局所ボイド率の値

がこの範囲を逸脱する場合は、その過不足分だけ下流側の局所ボイド率が変化すると考え、管内の局所ボイド率が常に規定した有効範囲内にあるよう調整されている。

第3章は「流動様式遷移シミュレーション」であり、本モデルに基づいたシミュレーションを行った結果について述べている。すなわち、まず気液の体積流束を変化させたとき、流動様式と類似した4つのパターンが現れることを示している。そして、これらパターンをボイド率の確率密度関数の分布形状特性に基づいて客観的に識別し、その結果が Mishima-Ishii の流動様式線図とよく一致することを示している。また、本シミュレーションから得られる摩擦損失勾配が Lockhart と Martinelli の相関関係に対する Chisholm の実験式と比較して、両者がよく一致すること示し、本モデルの妥当性を確認している。なお、各パターンの確率密度関数の分布形状特性は、従来報告されている気泡流から環状流の流動様式とよく対応すること、本モデルで考慮した流動様式決定に関わる物理的支配要素と出現するパターンとの関係について考察し、流動パターンが気相の管内供給量と移流速度との関係から決定されることを示している。また、本モデルで定めたパラメタの影響についても考察を加え、その影響によってパターンの遷移がどのように変化するかについても論じている。さらに、本モデルの適用範囲については、今後の詳細な実験的検討を要するものの、管内径が10 mmから26 mm程度までの範囲であれば十分適用可能であることを物理的考察とパラメトリックな計算結果を行って確認している。

第4章は「実験」であり、流動様式の差圧変動に関する実験を行い、差圧変動の極値を用いたリターンマップ分布特性と本シミュレーション結果とを比較して、本モデルの妥当性を実験的に確認している。また、流動様式の現れる系の複雑さの程度（非線形特性）についても解析を行い、本モデルと実際の現象との相違を明らかにするとともに、流動様式の非線形特性を議論する場合には、測定した差圧変動にある種のフィルタリングを行なってパターンに関する情報のみを抽出する必要性のあることを示している。

第5章は「結論」であり、上記の研究を総括し、得られた主要な結果についてまとめている。

以上要するに、本論文は、学術的のみならず実用的にも重要な気液二相流の流動様式およびその遷移に関し、簡易なモデルを構築し、気泡流から環状流に至る流動様式の変化を統一的な考え方に基づいて説明することに成功しており、この成果は流体工学、熱工学、機械工学の発展に寄与するところ大である。よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。