

審査の結果の要旨

氏名 韓 栄 培

本論文“Liquid Film Thickness in Micro Channel Slug Flow (マイクロチャネル内スラグ流の液膜厚さに関する研究)”は、細径管内の気液二相流の典型的な流動様式の一つであるスラグ流を対象に、その熱および物質輸送特性を特徴づける薄液膜厚さに関する実験的研究について纏めたものである。熱交換技術は、近年のエネルギー資源問題の顕在化に伴って小型化、省資源化、高効率化が益々強く求められるようになってきているが、細径管を用いることで実装密度の向上とともに、熱抵抗の大幅な低減が達成されることが期待されている。スラグ流は細径管内二相流の主要な流動様式の一つであり、気泡と壁面の間形成される薄液膜は、その熱物質輸送において重要な因子である。例えば、細径管内の沸騰現象において薄液膜蒸発は主要な伝熱機構となっており、多くのモデルの中で重要なパラメータとして用いられている。しかしながら、細径管内の液膜厚さに関する定量的な研究は少ない。これは、局所的かつ瞬間的な測定を高精度に行うことが従来は困難であったためである。本論文では、共焦点レーザー変位計を用いて、支配パラメータを広い範囲で系統的に変化させ、定量的な実験データを取得することに成功した。また、得られたデータをもとに、表面張力、粘性力、慣性力、非定常性を考慮した液膜厚さの予測式を提案した。以下、本論文の主な内容を紹介する。

第 1 章では、本研究で対象とする細径管内の薄液膜厚さの重要性、またそれに対する本研究の意義と目的について述べている。細径管内二相流を特徴づけるパラメータを挙げた上で、従来の測定法の長所および短所について整理し、局所的かつ瞬間的な測定の重要性を述べている。第 2 章では、実験方法に関して、異なる断面形状管（円管、高アスペクト比矩形管、正方形管）の緒元、理想形状からのずれの補正方法、キャピラリー数とレイノルズ数を系統的に変化させるために用いた 3 種の液体の物性について述べている。さらに、実験装置の構成、共焦点レーザー変位計の原理、ガラス管表面の曲率の補正法、干渉縞測定法との比較による精度検証について解説している。第 3 章では、共焦点レ

レーザー変位計による円管内の非加熱定常流れの測定結果について述べている。流体の流れ方向、レーザー変位計の測定方向、液スラグ長さ、気泡長さの影響について、本研究で対象とする条件ではその影響が小さいことを確認した上で、無次元液膜厚さをキャピラリー数の関数として整理した。液スラグのレイノルズ数が 2000 以下であっても、強いレイノルズ数依存性があることを明らかにし、液スラグのレイノルズ数が 2000 を超えると液スラグ内が乱流に遷移し、液膜厚さがほぼ一定の値をとることを示した。さらに、液相の運動量のオーダー評価を行い、無次元液膜厚さをキャピラリー数、レイノルズ数、ウェーバー数の関数として実験式を提案した。本実験式は全てのデータを±15%以内の精度で予測することが可能である。なお、水力直径を用いることで、高アスペクト比の矩形管にも円管の予測式が適用できることを示した。第 4 章では、流体が加速する場合の円管内液膜厚さについて実験を行い、その結果について述べている。加速時には、気泡前縁での気液界面の曲率半径が変化し、液膜厚さは定常の場合よりも薄くなることを明らかにした。流れの加速度で定義されたボンド数を用いることで、曲率半径の変化が良く整理できることを示し、加速時の無次元液膜厚さの整理式を提案した。定常時と加速時を合わせた全てのデータを±15%以内の精度で予測することが可能である。第 5 章では、定常な正方形断面管の場合について結果と考察を示している。正方形断面管においては、代表的な液膜厚さとして角部および側面部の値を測定した。実際の断面形状に外接する正方形を用いて液膜厚さを定義することで、液膜厚さが良く整理できることを示した。オーダー評価を行い、気液界面半径の実験式を提案した。第 6 章では、加熱された円管内スラグ流の液膜厚さについて測定を行い、非加熱実験の結果から得られた予測式を用いて、相変化時の液膜厚さについて予測と実測値の比較を行っている。温度の影響を強く受ける粘性係数については壁面温度での値を用いるとデータが良く整理されること、加速度の影響を考慮した断熱時の実験式によって、加熱時の液膜厚さが予測できることを示した。第 7 章では、本研究で得た結論を述べている。

このように、本論文はマイクロ管内の熱物質輸送において重要なパラメータである液膜厚さを系統的かつ定量的に測定したものであり、学術的な価値はもちろんのこと、実用的にも有用なものである。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。