

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 波津久 達也

本論文は、レーザーフォーカス変位計という新しい機器を用いて流路内液膜界面発達特性を測定する手法を開発し、またこの手法によって得られた新たな実験的知見をまとめている。

気液二相流の界面構造は流路条件や軸方向の流れの発達によって大きく変化するため、現在の解析コードに適用されているような定常完全発達流れを仮定した界面構造の取扱いでは限界が生じ、過渡的な流れや未発達流れを適切に模擬できない。このような状況を打開する手段として、界面面積濃度輸送方程式あるいは界面追跡法を既存モデルと併用する試みがなされており、そのためには、精度の高い局所流れ場の界面構造データを、特に流れ方向に整理していく必要性が指摘されている。

ここで流路内壁面近傍に形成される液膜の界面構造に関しては、管中心の主要流れの境界条件ともなるために、多くの計測がこれまでになされている。しかしながら、これらの既存の計測手法には、流れを乱す、情報が電極間の空間平均値である、界面が平滑でないなど計測できにくいなど、時空間分解能、適用性の点でそれぞれに原理的短所がある。特に液膜の破断・再生機構と密接に関わるサブミクロン厚さの液膜の局所変動やミクロン単位の細かい波の挙動はこれらの計測法では計測することはできず、さらに多くの場合センサーをテスト管に固定しなければならないため、時空間平均量においても流れ方向の発達に関する計測はほとんど行われていない。

これら、上記気液二相流解析法の発展を妨げている液膜計測手法に起因する問題を解決するために、本論文においては、元来 IC などの固体表面の細かな傷などを検出する電子計測機器であるレーザーフォーカス変位計(LFD, Laser Focus Displacement meter)を用いて透明平板もしくは円管流路内を流れる液膜界面を高時空間分解能で計測する手法を開発している。透明円管内の液膜を測定する場合は、管曲率によりレーザー光が液膜界面上で焦点を結ばず測定不可能となるが、管外壁面を平滑化することで検知レベル以上の散乱反射光量を得ることができ、液膜界面位置を導く屈折補正式を理論的、実験的に示した。平板及び円管の補正式は、静的、動的な模擬液膜位置および画像解析結果と比較され、それぞれ1%の計測誤差及び測定径  $2\mu\text{m}$ 、空間分解能  $1.4\mu\text{m}$ 、応答時間  $1.1\text{ms}$  の高時空間分解能精度で液膜を計測できる。

またこのLFDによる手法を用いて、平板上と円管内壁に沿って流下する液膜および上昇環状流液膜の局所液膜界面を軸方向全域に渡り計測した。これらの高精度計測により、こ

れまで厳密に評価されてなかった流下液膜及び上昇環状流液膜の発達特性が主として次のように明らかにされた。

流下液膜の計測では、最大液膜厚さ、標準偏差及び平均波高の測定結果から、乱流遷移点以下の領域では助走距離の影響はほとんど見られない。膜流量が大きかつ助走距離が小さい範囲では液膜厚さの標準偏差は非常に小さく、助走距離が大きくなると大きな波立ちに発達していくが、助走距離が非常に大きくなっても、波の成長は止まらない。従って、流下液膜解析において大きな液流量では定常流を仮定することは適当でない。一方、最小液膜厚さは液膜流量によらずほぼ一定の値になり、触針法によって計測された厚さよりも低い。

環状流の計測では、局所液膜厚さの挙動と擾乱波通過特性を助走距離に対して整理した。液膜厚さは助走距離の増加に伴い減少する。これは、軸方向圧力損失勾配のために下流では気相密度が小さくなり、従って気液の相対速度が大きくなるためである。最大液膜厚さと擾乱波通過頻度は、流量条件ごとに異なった特性の増減を伴いながら、助走距離の増加に従って減少していくこと、これらの変化が軸方向の圧力偏在によって生じている可能性があることを解析結果から示した。LFD により得られたデータをもとに、液相レイノルズ数と界面せん断力から最小液膜厚さを予測する実験相関式を得た。この式は本実験条件範囲において±5%以内の誤差で最小液膜厚さを予測できる。

またこれらの計測結果の平均量は過去の多くの計測結果と比較され、ほとんど一致していること、よって作成されたデータベースの信頼性が十分に高いことが示された。

このように LFD による流路内液膜界面の高時空間分解能計測技術は、世界的にも初めて開発されたものであり、その独創性及び新規性は際だっている。またこの計測技術は前述のように、液膜界面の流路方向の発達を詳細にかつ容易に知ることのできるほとんど唯一の計測技術である。従ってこの研究分野における本質的貢献性及び実用性も十分に高い。

論文自体は、過去の研究レビューに始まり、液膜界面の高精度計測の必要性、現状の計測法の問題点を示し、LFD の特性、屈折補正式、誤差評価を行い、流下液膜及び環状流液膜の高精度データベースの構築及び実験結果に対する討論をもってまとめられている。よって論文の完成度は十分である。

以上審査の結果、本論文の独創性・新規性、本質的貢献性及び実用性は高く、内容の信頼性、完成度も十分であると認められる。

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。