

審査の結果の要旨

氏名 村松 憲志郎

電子機器の出力密度は年々増加する傾向にあり、素子冷却のための高性能な熱輸送デバイスが求められている。このような高性能熱輸送デバイスとして、自励振動型ヒートパイプが注目されているが、その動作原理は完全に解明されているとは言えず、未だに製品設計できる状況には至っていない。原理解明のためには、マイクロ管内スラグ流の伝熱現象、特に壁面と気泡の間に形成される液膜の厚さの挙動を正確に見積もることが求められる。ただし、自励振動型ヒートパイプの実使用条件における流動は一定速度から加速もしくは減速する流れ、脈動する流れなど非常に複雑である。このような複雑非定常スラグ流における液膜厚さを正しく予測することが重要である。しかしながら、従来研究においては、定常および静止状態からの加速流れにおける液膜厚さの予測にとどまっており、上述のような複雑な非定常スラグ流液膜厚さを予測する方法は提案されていない。本研究は、数値解析によって初速をもつ加減速スラグ流の流動現象および液膜厚さについて明らかにするとともに、得られた知見から、より一般的な条件において速度および加速度が変化する非定常スラグ流の液膜厚さモデル式を提案することを目的としたものである。

本研究においては、気液二相流の数値解析法として **Phase Field** 法を採用した。まず、定常スラグ流の数値解析によって、レイノルズ数が液膜厚さに与える影響を評価している。同キャピラリー数においても、レイノルズ数が大きいほど液膜厚さが厚くなることが計算においても確認した。流れ場を詳細に検討した結果、液相内では二次流れによる慣性力と壁面摩擦力が気泡先端から後端方向への力を与え、それとバランスするように圧力勾配が発生していることがわかった。レイノルズ数が大きいほど二次流れの慣性力の影響が強くなり、液相側の気液界面上の差圧が大きくなる。そのため、気泡先端の曲率は大きくなり、結果として液膜が厚くなることが明らかとなった。

続いて、定常スラグ流の計算結果を初期条件として、加速および減速するスラグ流の数値解析を行い、初速および加速度が、流れ場や液膜厚さに与える影響を評価した。定常条件に比べて加速条件では液膜が薄く、減速条件では厚く

なることがわかった。加速や減速初期には液膜厚さはほとんど変化せず、定常スラグ流の液膜厚さとの乖離が大きくなった。加速度が小さいほど、液膜厚さの定常との乖離は小さい。液スラグ中の速度分布について見ると、加速条件においては、定常条件と比較して壁面境界層が薄くなり、減速条件では厚くなる、つまり、同キャピラリー数における二次流れの強さが定常条件に比べて変化していることが明らかとなった。この二次流れの変化によって、気泡先端における気液界面速度および液相側の圧力が変化し、そのため気泡先端の曲率や液膜厚さが変化することが示された。

以上の結果から、非定常スラグ流における液膜厚さを予測するためには、液スラグにおける二次流れの強さの変化を予測することが重要となると考え、非定常スラグ流の液スラグにおける速度分布の予測を行った。定常スラグ流では、液スラグ中心での速度分布は单相流の解析解とほぼ一致するため、上述の非定常单相流解析解を用いて、二次流れの強さを表す指標として軸中心速度で定義した排除厚さを導入した。最終的に、排除厚さとレイノルズ数の関数として非定常液膜厚さをモデル化した。提案した液膜厚さモデルは、各初速度および加減速度の数値解析結果に対して、誤差 15%以内で一致することを確認した。本モデルは、より複雑な流れである、定常から加速し定常に戻る流れ、脈動流れについても高い精度で予測が可能であり、モデルの汎用性が確認できた。

以上を要するに、本論文は、非定常スラグ流の液膜厚さへのレイノルズ数および二次流れの影響を明らかにし、それらを組み込んだ汎用性の高い非定常スラグ流液膜厚さのモデル式を提案したものである。提案した液膜モデルは、数値解析を行うことなく非定常スラグ流の液膜厚さを予測することが可能であり、自励振動型ヒートパイプの内部挙動把握に大きな役割を果たすものである。また、マイクロ管内気液二相スラグ流を用いた様々な工業製品の伝熱設計などに使用することができ、製品設計の時間を大きく短縮することが可能であると考えられ、工学的有用性が高いものである。

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。