

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲	第 11054 号
------	-----	-----------

氏 名 西川原 理仁

論 文 題 目

マルチスケール気液二相熱流動解析に基づくループヒートパイプ熱
輸送機構の解明と高性能化に関する研究

論文審査担当者

主査	名古屋大学	准教授	長野 方星
委員	名古屋大学	教授	笠原 次郎
委員	名古屋大学	教授	辻 義之
委員	名古屋大学	准教授	森 浩一

論文審査の結果の要旨

西川原理仁君の論文「マルチスケール気液二相熱流動解析に基づくループヒートパイプ熱輸送機構の解明と高性能化に関する研究」では、次世代熱輸送技術として有望な気体液相変化を利用した熱輸送素子、ループヒートパイプ (LHP) に関して、熱輸送機構の解明および高性能化を目的とし、蒸発器多孔体内気液二相流の詳細な 3 次元解析を含む LHP 解析モデルの構築、蒸発器構造による高性能化方法の提案、樹脂多孔体を用いた LHP 熱性能におけるウィック熱伝導率の影響について論じられている。各章の概要は以下の通りである。

第 1 章は、序論であり、これまでの背景、先行研究を述べるとともに、十分に確立できていない LHP の過渡状態での熱流動解析や、蒸発器多孔体内の気液相変化過程の解明の重要性について述べている。その後、本論文の目的について示している。

第 2 章では、従来の金属に代わり低熱伝導樹脂である PolyTetraFluoroEthylene の多孔体をウィックに適用した LHP の設計・製作・地上実験による性能評価について示した。起動を含む LHP の非定常特性を明らかにするため、一次元の運動量、エネルギー保存式を基にした過渡解析モデルを構築した。実験結果との比較により、解析の妥当性を評価した。さらなる高精度解析のためには、蒸発器多孔体内の詳細な熱流動シミュレーションの必要性が示された。高熱負荷での蒸発器熱伝達率の低下を抑制するため、ウィックと蒸発器加熱面との間にマイクロオーダーの隙間を導入した LHP を製作し、その有効性を実験により評価した。

第 3 章では、蒸発器設計の高精度化および蒸発器熱輸送機構の解明および高性能化を目的としたポアネットワークモデル (PNM) を用いたマイクロスケールの 3 次元気液二相熱流動解析モデルを構築した。低熱流束下と高熱流束下の二つの流動形態およびその遷移に関して解析を行った。液で満たされたウィックから気液二相状態のウィックへの遷移における界面形状を示し、高熱流束では凹凸を持った多孔体内の気液界面分布が示された。従来の二次元 PNM モデルとの比較を行い、低熱伝導性ウィックでは本モデルの方が蒸発器ケースの過熱度が低くなる傾向を示した。ウィックの中の対流の影響を調べた結果、ペクレ数が比較的大きくなる低熱伝導ウィックにおいては、多孔体内の対流項の影響で気相領域の拡大が抑えられることが明らかになった。

第 4 章では、蒸発器解析と LHP 解析とのモデル統合を行い、LHP システムとしての蒸発器性能を評価した。低熱伝導ウィック LHP においては、グループ本数の影響が支配的で、蒸発器容器、ウィック、グループが共有する三相界線に熱流束が集中することが示された。また、低熱流束下においては気液界面面積の増加により熱伝達率が上昇し、高熱流束下においては気相領域深さの増加により熱伝達率が低下することが明らかとなった。三次元解析をもとに低熱伝導ウィックを用いた蒸発器形状による高性能化を実験により検証した。三相界線を長くしたウィックで熱流束 $27,000 \text{ W/m}^2$ において熱伝達率 $2,600 \text{ W/m}^2\text{K}$ を達成し、三相界線長さが蒸発器熱伝達率に大きく影響を与えることが実験的にも明らかになった。

第 5 章では、本論文での結論を述べた後、今後の課題、将来の展望について記した。

以上のように本論文ではループヒートパイプ過渡解析モデルの構築、および蒸発器熱伝達向上、ならびに多孔体内気液二相流動の理解に基づく最適ウィック構造を提案しており、これら得られた知見は、省エネルギー熱輸送技術を実現するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である西川原理仁君は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があると判断した。