

氏名	はま 濱	かつ 勝	ひこ 彦
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)		
学位記番号	論 エ ネ 博 第 45 号		
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 23 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当		
学位論文題目	Film Boiling Heat Transfer in Various Liquids Under Natural Convection and Forced Convection Conditions (自然対流及び強制対流の状態での種々の液体における膜沸騰熱伝達の研究)		
論文調査委員	(主査) 教授 塩津正博	助教授 白井康之	教授 宅田裕彦

### 論 文 内 容 の 要 旨

膜沸騰は、通常液体の場合、核沸騰状態の上限である臨界熱流束に到達して温度ジャンプが起こったあとの沸騰状態として、あるいは、金属の焼き入れ初期などに観察され、液中の過熱固体が蒸気で包まれた熱伝達の非常に悪い沸騰形態である。軽水炉冷却水喪失事故時の再冠水過程の安全解析には、垂直上昇流における膜沸騰熱伝達の正確な知識が必要である。一方、超流動ヘリウム (He II) は常流動ヘリウム (He I) に比して優れた冷却特性を持ち、核融合炉や加速器などの大型超伝導マグネットの冷媒として期待されており、安定性評価や安全解析には膜沸騰熱伝達の正確な知識が必要である。本研究論文は、こうした事象に対する基礎データを得ることを目標として、垂直円柱の強制対流膜沸騰熱伝達や、プール He II 中の膜沸騰熱伝達を求め、熱流動現象を実験的・解析的に論じた結果をまとめており、5章からなっている。主な内容は以下のとおりである。

第1章は序論で、通常液体や He II の沸騰熱伝達について、これまでの実験的及び解析的研究の歴史、通常液体とは全く異なった He II の物性や熱輸送特性とそれを記述する2流体モデル等について説明を行い、軽水炉冷却水喪失事故時の安全解析や超伝導マグネットの冷却設計のデータベースとして、膜沸騰熱伝達解明の必要性を指摘し、これを研究の目的としている。

第2章は、垂直円形流路中心におかれた垂直円柱発熱体における水および物性値の影響を見るための参照流体としてフレオン113の強制対流サブクール膜沸騰熱伝達について、発熱体温度、圧力、流速、サブクール度を変えて詳細な実験を行い、ある流速(飽和状態では約1 m/s)以下(第1領域)では熱伝達の流速依存性が殆ど無く、それ以上の流速(第2領域)では流速上昇とともに熱伝達が向上すること、第1領域では熱伝達係数は円柱高さに依存しないが、第2領域では高さの $-1/4$ 乗に比例すること、この傾向は、従来発表されている水平円柱発熱体に直交して液が流れる場合の、流速とともに単純に熱伝達が向上する結果と全く傾向が異なり、流速依存性が小さいことを明らかにしている。次に、第1領域には、すでに報告されているプール膜沸騰熱伝達の一般的表示式が適用可能であることを示し、第2領域については、2相層流境界層膜沸騰モデルの近似解析解を実験結果に基づいて修正して熱伝達表示式を導出し、これらを組み合わせ更に放射伝熱の影響を組み込んだ垂直円柱強制対流膜沸騰熱伝達の一般的表示式を提示し、実験結果を良く記述しうることを示している。

第3章は、He II 中の水平円柱発熱体における膜沸騰熱伝達を、広範囲な発熱体表面過熱度について、発熱体直径、圧力、液温を変えて求め、熱伝達係数は、過熱度が低い程、発熱体直径が小さい程、液温が低い程、また、系が飽和状態では、発熱体上の液位が大きい程高くなることを明らかにしている。また、境界層近似を適用した層流膜沸騰モデルと、著者が2流体モデルに基づいて新しく導出した気・液界面から He II 中への熱流束評価式を用いて数値解析を行い、広範囲なパラメータに対する数値解析結果を記述する無次元表示式を導出し、これを実験結果に基づいて修正した新しい膜沸騰熱伝達表示式を提示してその有効性を確かめている。

第4章は、大気圧下 He II 中の垂直平板発熱体における膜沸騰熱伝達を、広範囲な発熱体表面過熱度について、発熱体寸法、液温を変えて求め、熱伝達係数の過熱度依存性や液温依存性の傾向は円柱の場合と類似であるが、発熱体幅や高さ

は殆ど依存しないことを明らかにしている。また、重力の効果が異なる以外は水平円柱と同様な層流膜沸騰モデルと、2流体モデルに基づく気・液界面から He II 中への熱流束評価式を用いて数値解析を行い、広範囲なパラメータに対する数値解析結果を記述する無次元表示式を導出し、これを実験結果に基づいて僅かに修正した新しい膜沸騰熱伝達表示式を提示してその有効性を確かめている。

第5章は、本論文で得られた成果を総括して結論としている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、軽水炉冷却水喪失事故時の再冠水過程の安全解析や He II 冷却超伝導マグネットの冷却設計や安定性解析のための基礎データを得ることを目標として、垂直円柱に並行して水やフロン113が流れる場合の強制対流膜沸騰熱伝達や、プール He II 中の膜沸騰熱伝達を実験的・解析的に研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

- 1) 垂直円形流路中心におかれた垂直円柱発熱体における水及びフロン113の強制対流膜沸騰熱伝達実験を、発熱体温度、圧力、流速、サブクール度を変えて行い、ある流速（飽和状態では約 1 m/s）以下（第1領域）では熱伝達の流速依存性が殆ど無く、それ以上の流速（第2領域）では流速上昇とともに熱伝達が向上することを明らかにした。従来発表されていた水平円柱発熱体に直交して液が流れる場合の膜沸騰熱伝達実験では、上述の第1領域に相当する低流速域で、流速とともに単に熱伝達が向上する結果が得られていたが、それとは全く傾向が異なり、流速依存性が殆どないことを明らかにしている。次に、第1領域には、すでに報告されていたプール膜沸騰熱伝達の一般的表示式が適用可能であることを示し、第2領域については、2相層流境界層膜沸騰モデルの近似解析解を実験結果に基づいて修正して熱伝達表示式を導出し、これらを組み合わせ更に放射伝熱の影響を組み込んだ垂直円柱強制対流膜沸騰熱伝達の一般的表示式を提示し、実験結果を良く記述しうることを示している。
- 2) He II 中の水平円柱発熱体における膜沸騰熱伝達実験を、広範囲な発熱体表面過熱度、発熱体直径、圧力、液温に対して行い、熱伝達係数は、過熱度が低い程、発熱体直径が小さい程、液温が低い程、また、系が飽和状態では、発熱体上の液位が大きい程高くなることを明らかにしている。
- 3) 境界層近似を適用した水平円柱層流膜沸騰モデルと、申請者が2流体モデルに基づいて新しく導出した円柱状の気・液界面から He II 中への熱流束評価式を用いて数値解析を行い、広範囲なパラメータに対する数値解析結果を記述する無次元表示式を導出し、これを実験結果に基づいて修正した新しい膜沸騰熱伝達表示式を提示して、実験結果と20%以内で一致することを示し、その有効性を確かめている。
- 4) 大気圧下 He II 中の垂直平板発熱体における膜沸騰熱伝達を、広範囲な発熱体表面過熱度について、発熱体寸法、液温を変えて求め、熱伝達係数の過熱度依存性や液温依存性の傾向は円柱の場合と類似であるが、発熱体巾や高さには殆ど依存しないことを明らかにしている。
- 5) 重力の効果が異なる以外は水平円柱と同様な層流膜沸騰モデルと、2流体モデルに基づく平板状の気・液界面から He II 中への熱流束評価式を用いて数値解析を行い、広範囲なパラメータに対する数値解析結果を記述する無次元表示式を導出し、これを実験結果に基づいて僅かに修正した新しい膜沸騰熱伝達表示式を提示して、実験結果と20%以内で一致することを示し、その有効性を確かめている。

以上要するに、本論文は通常液体の強制対流膜沸騰熱伝達及びプール He II 中の膜沸騰熱伝達に関して、採用しうる幅広い冷却条件に対する熱流動特性を実験的・解析的に明らかにしたもので、得られた成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成18年2月27日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。