

(別記様式第5号)

論文審査の結果の要旨

報 告 番 号	博（生）乙 第 1 3 号	氏 名	山 田 山 召
学 位 審 査 委 員		主査	茂地 徹
		副査	石田 正弘
		副査	植木 弘信
		副査	林 秀千人
		副査	桃木 悟
論文審査の結果の要旨			
山田 山召氏は、昭和 42 年 3 月に長崎造船短期大学（3 年制）を卒業し、民間の会社勤務を経た後、昭和 42 年 12 月 1 日付けで長崎大学工学部機械工学科研究補助員に採用され、昭和 57 年 3 月 1 日付けで工学部助手に昇任し、現在に至っている。 同氏は、長崎大学工学部の専任教員（助手）として 25 年 6 ヶ月の期間、熱力学および伝熱工学の研究に従事している。その成果に基づいて、平成 19 年 5 月に主論文「水平の底面と上面を有する垂直円柱まわりの膜沸騰熱伝達に関する研究」を完成させ、参考論文 36 編（うち審査付き学術論文 11 編）を付して、長崎大学大学院生産科学研究科に博士（工学）の学位の申請をした。 長崎大学大学院生産科学研究科教授会は、平成 19 年 7 月 18 日の定例教授会において、資格審査委員会による資格審査の結果の報告に基づいて、論文提出による学位論文の提出資格を審査し、本論文を受理しても差し支えないものと認め、上記の学位審査委員を選定した。学位審査委員会は主査を中心に論文内容を慎重に審議し、公開論文発表会を実施するとともに、口頭による基礎および専門分野の試験と外国語（英語とドイツ語の二ヶ国語）の能力判定を行い、論文審査および試験及び試問の結果を平成 19 年 9 月 12 日の生産科学研究科教授会に報告した。 提出された論文は、水平の底面と上面を有する垂直円柱まわりの膜沸騰熱伝達を理論と実験の両面から解明し、伝熱工学の新しい知見を取り纏めたものである。 金属の焼入れ、材料の製造工程、緊急冷却時の原子炉等で発生する 3 次元物体まわりの膜沸騰熱伝達を適切に予測することは実用上重要な課題である。金属の焼入れの伝熱に関しては多くの実験研究が行われているが、理論的な解明は遅れている。現状では、3 次元物体まわりの膜沸騰熱伝達特性を十分な精度で推定することは困難であり、沸騰特性の予測法も確立されていない。高温に加熱された物体を液体中で冷却する場合、初期の段階では物体は蒸気膜で覆われ膜沸騰が不可避免的に発生する。従って、材質の制御に関係する冷却速度を正確に予測するためには、膜沸騰による冷却の機構を明らかにし、実用的な伝熱整理式を作成する必要がある。 本論文では、まず、垂直に置かれた有限円柱の底面を構成する有限の下向き水平伝熱面から静止した飽和液体およびサブクール液体への膜沸騰熱伝達の実験と理論解析を行い、理論解析結果は伝熱面まわりに形成される蒸気膜形状の観察結果と一致すること、およびヌッセルト数(対流熱伝達特			

性)は液体サブクール度の増加とともに大きくなることを定量的に明らかにしている。さらに、大気圧のサブクール水 (30℃～100℃) に対して、直径 50mm の円形伝熱面に対する膜沸騰熱伝達の実験データを取得・蓄積するとともに、測定値を±15%の精度で相関できる伝熱整理式を提案している。

次に、水平の底面と上面を有する有限長さの垂直円柱まわりの膜沸騰の熱伝達機構を解明するために新しい伝熱整理法を提案し、その妥当性を検証している。提案された伝熱整理法は、有限の垂直円柱を伝熱面まわりの蒸気の流動の起動力に注目して、円柱底面(下向き水平面)、円柱側面(垂直面)および円柱上面(上向き水平面)の3面で構成される系としてモデル化し、各面での対流熱伝達係数を評価し、有限長さの垂直円柱全面からの平均熱流束を予測するものである。円柱底面端部と円柱側面下端部における蒸気の質量流量の連続性も考慮されている。円柱の垂直側面で蒸気膜が波状界面を有する部分には、予測精度を高めるために蒸気膜ユニットモデルを導入している。実験では、銀製円柱を大気圧の飽和水中でゆっくり冷却する過渡的な手法を採用し、直径 100mm・長さ 8mm のディスク状の円柱から直径 8mm・長さ 160mm の細い棒状の円柱を含む 18 種類の形状に対して、冷却曲線および沸騰曲線を確定している。円柱全面からの平均熱流束の予測値は、円柱が長い程、また直径が小さい程、大きくなることを明らかにしている。理論と実験の比較検討結果から、最終的に 18 種類の供試円柱の測定値を±15%以内で相関できる伝熱整理式を提案している。また、飽和膜沸騰下限界点における伝熱面過熱度は円柱のアスペクト比に依存せず 136K となることを明らかにし、飽和膜沸騰下限界点の熱流束の測定値を±8%の精度で相関できる整理式を作成している。

液体が飽和温度より低く、サブクールされている場合に対しても、実験と理論解析を行い、飽和液体の場合に提案された伝熱解析方法を適用して、各面の熱伝達係数に及ぼす液体サブクール度の効果を推定している。比較的熱容量の大きい7種類の銀製円柱を使用し、2K から 30K の範囲で液体サブクール度を設定して実験を行い、実験結果から、円柱全面の平均熱流束は液体サブクール度が増大するにつれて高くなること、および膜沸騰下限界点は高過熱度側へ移動し遷移沸騰領域への移行が早まることなどを明らかにしている。理論と実験の比較検討結果から、すべての測定値を±15%以内で相関する有効な伝熱整理式を作成している。また、垂直円柱のサブクール膜沸騰下限界点での過熱度および熱流束に及ぼす液体サブクール度の影響についても明らかにしている。

最後に、上記の理論と実験に基づいて作成された膜沸騰熱伝達の整理式の有効性を検証するために、有限長さの円柱(金属)を焼き入れする実用上の場合を想定して、作成した飽和およびサブクール膜沸騰熱伝達の伝熱整理式を円柱表面の対流境界条件として採用する2次元非定常熱伝導数値解析を行い、垂直円柱の冷却速度と円柱内部の温度分布を推定している。直径 45mm・長さ 45mm の円柱を用い、円柱の材質として熱伝導率が銀より小さいアルミニウム、炭素鋼(S35C, S45C)およびステンレス鋼を追加して実験を行い、円柱中心部で計測される冷却曲線の測定値は予測値と良く一致することを確認している。

以上のように本論文は、水平の底面と上面を有する有限長さの垂直円柱まわりの膜沸騰熱伝達に関する新しい知見を提供するとともに、材料の製造過程等の伝熱設計の基礎資料としても有用であり、伝熱工学に多大の寄与をするものと評価できる。研究科教授会は、審査委員会の報告に基づいて審議した結果、本論文は伝熱工学の分野において極めて有益な成果を得るとともに、工学の進歩発展に貢献するところが大きく、博士(工学)の学位に値するものとして、合格と判定した。