

論文審査の結果の要旨

報告番号	博(生)甲第186号	氏名	豊田 香
学位審査委員	主査 副査 副査 副査	茂地 徹 石田 正弘 植木 弘信 桃木 悟	
論文審査の結果の要旨 豊田 香氏は、2006 年 4 月に長崎大学大学院生産科学研究科博士後期課程に社会人学生として入学し、現在に至っている。同氏は、生産科学研究科に入学以降、物質科学を専攻して所定の単位を修得するとともに、底面と上面を有する有限垂直円柱まわりの膜沸騰熱伝達に関する研究に従事し、その成果を 2008 年 12 月に主論文「半球状の凸底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」として完成させ、参考論文 6 編を付して、長崎大学大学院生産科学研究科教授会に博士(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、2008 年 12 月 17 日の定例教授会において論文内容の要旨を検討し、本論文を受理して差し支えないものと認め、上記の審査委員を選定した。委員は主査を中心に論文内容について慎重に審議し、公開論文発表会を実施するとともに、最終試験を行い、論文審査および最終試験の結果を 2009 年 2 月 18 日の生産科学研究科教授会に報告した。 3 次元形状の高温物体の液体冷却において、初期の段階で見られる膜沸騰は金属の焼入や材料の製造工程等で不可避免的に発生するため、その熱伝達特性を適切に予測することが実用上重要な課題となっている。膜沸騰熱伝達特性を十分な精度で推定するには、物体まわりに形成される連続した蒸気膜の形状や厚さに関する情報が不可欠である。単一伝熱面からの膜沸騰に関してはこれまで数多くの研究が報告されているが、これらの研究成果を参照しても、複数の面で構成される 3 次元形状物体の伝熱面間の境界(端部など)の蒸気膜の接続条件や物体まわりの気液界面の形状や様相を推定することは困難である。底面が水平な場合の有限垂直円柱に関しては、既に山田らの研究で膜沸騰伝熱特性が明らかにされているが、原子炉の緊急冷却等の熱的安全設計に必要な凸底面を有する有限垂直円柱全体からの膜沸騰熱伝達特性に関する知見が不足している。 提出された論文は、半球状凸底面を有する垂直円柱の底面まわりの上向き蒸気流れは気液の密度差による体積力で駆動されることに注目して理論を構築し、実験結果との比較検討を通して、熱伝達特性を合理的に把握し、予測する方法を提案している。さらに、山田らが報告している底面が水			

平な場合の熱伝達特性との比較検討により、水平底面を有する垂直円柱に固有な円柱側面下端部の角が、物体が蒸気膜で覆われるサブクール膜沸騰熱伝達において重要な効果を及ぼすことを明らかにしている。

本論文で得られた新しい知見は次の通りである。

- (1) 半球状の凸底面を有する垂直円柱まわりの膜沸騰熱伝達に関して、飽和およびサブクール条件下で大気圧水の膜沸騰実験を行い、冷却曲線、沸騰曲線および膜沸騰下限界点の実測値を取得・確定するとともに、有限垂直円柱まわりに形成される蒸気膜の挙動を明らかにしている。
- (2) 底面・側面・上面で構成される垂直等温円柱まわりの飽和およびサブクール膜沸騰に対して、各面に対して蒸気の駆動力と気液界面の性状（平滑か波状）に適応した伝熱モデルを構築し、理論解析を試みている。特に、蒸気膜の気液界面が平滑な部分に蒸気膜とその外側の薄い液体層をそれぞれ層流境界層とみなす 2 相境界層理論を適用して解析し、層流膜沸騰熱伝達の予測精度の向上を図っている。
- (3) 実験結果と理論解析結果の比較から、2 相境界層理論を適用した平滑界面の部分の理論解析から定まる平均熱伝達係数に界面の乱れ等を考慮して 1.7 の補正係数を乗ずることにより、液体サブクール度が 0K から 30K の範囲で、直径 32mm・全長 48mm の垂直円柱まわりの膜沸騰熱伝達を±15%以内の精度で予測できることを明らかにしている。
- (4) 有限垂直円柱まわりの膜沸騰熱伝達に及ぼす底面形状の影響をみるために、山田らが報告している底面が水平である場合との比較検討を行い、飽和膜沸騰においては水平底面下に形成される蒸気膜が厚いため円柱側面下端部の角の効果は弱い、サブクール膜沸騰においては液体サブクールが大きくなるにつれて底面で発生する蒸気量が少なくなるため、円柱側面下端部付近の蒸気膜が薄くなり熱伝達が促進されることにより、膜沸騰熱伝達はサブクール度が 30K の場合、半球状の凸底面の場合より約 25%高くなることを明らかにしている。

以上のように本論文は、半球状の凸底面を有する有限垂直円柱まわりの膜沸騰熱伝達に関して新しい知見を提供するとともに、原子炉等の安全設計に有用な基礎資料を提供し、伝熱工学に多大の寄与をするものと評価できる。

審査委員会は、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であり、博士（工学）の学位に値するものとして合格と判定した。