

審査の結果の要旨

氏名 カーン アブドゥル レーマン

東京電力福島第一原子力発電所事故は、炉心の大規模な損傷により、原子炉容器だけではなく、格納容器を破損させ、大量の放射性物質を放出した。スリーマイル島原子力発電所事故のように、万一の事故においても、原子炉容器内に溶融燃料をとどめる事ができれば、放射性物質の放出を限定的にすることが可能である。この事を目的とし、事故時に原子炉容器の外側を水で浸し、溶融燃料を冷却するシステム(IVR; In-vessel Retention)が考えられ AP-1000 等では導入されている。より大きな発電量を持つ新型炉では、水による除熱限界(限界熱流束:CHF; Critical Heat Flux)があることから、IVR の成立が難しくなっており、CHF の増大を図るために様々な研究が進められている。本論文においては、IVR に特徴的な、下向き伝熱面を対象とし、フィンにより CHF を増大させることを提案している。実験により、CHF に与えるフィンの効果を定量的に求めるとともに、IVR の成立性に対して知見を与える事を目的としている。本論文は 7 章にて構成されている。

第 1 章では、原子力発電所の過酷事故時の対策としての IVR をレビューし、その現状をまとめるとともに、限界熱流束(CHF)が、IVR の成立性を左右する事を示している。特に、IVR が導入されている 100 万 kW クラスの AP-1000 と、さらに大きな 170 万 kW クラスの CAP-1700 等を比較し、大きな炉では、CHF の向上が必要であることを示している。

第 2 章では、第 1 章の背景を受け、本研究の目的をまとめている。熱伝達向上対策としてのフィンに着目し、このフィンによる CHF 向上を定量的に評価する事を目的としている。

第 3 章では、フィンによる CHF 向上策提案の背景をまとめている。表面にマイクロスケールの形状を与える事で、伝熱面積を増大する効果がある。また、BWR (沸騰水型軽水炉: Boiling Water Reactor)の下部鏡には、制御棒駆動機構が林立して貫通している。これらの機構が IVR においては、フィンの役割を果たす事も示し、本研究におけるフィンの結果を BWR に演繹する可能性についても議論

している。

第4章では、フィン付伝熱面を用いた過去の研究や、伝熱面の向きに関する過去の研究例をまとめ、本研究の位置づけを明らかにしている。

第5章では、まずサブクール条件における強制対流実験を示している。銅ブロックを用いた下向き伝熱面の試験装置を作成するとともに、強制対流流量が、沸騰伝熱性能に与える影響を実験的に求めている。サブクール度が大きいいため、CHFが大きくなり、実験上は、最低流量条件でしか発生していない。しかし、その発生条件を可視化する事で、フィンの後流に発生する渦によって、沸騰気泡がフィンの後ろに集まり、伝熱を阻害し、CHFを起こしうることを発見した。すなわち、フィンには、伝熱を向上させるだけでなく、CHFを劣化させる可能性がある事を実験的に示した。この知見は、気泡が伝熱面に捕捉されやすい、下向き伝熱面に特有の現象であるが、IVRを設計する上では非常に重要な、新しい知見である。

第6章では、飽和沸騰条件における強制対流実験を示している。系の圧力を0.5気圧に減圧する事で、80度での飽和沸騰条件を実現している。この条件においては、幅広い流量条件でCHFを観測している。フィンの無い平板の下向き伝熱面については、流量の関数としてCHFを求めており、垂直平板におけるCHF相関式であるKatto-Kurata式を修正することで、下向き伝熱面のCHF相関式を求めている。また、フィン付伝熱面についてのCHF実験を行い、CHFが平均60%増加する事を見出した。フィンによる熱伝達率向上効果は、ほぼフィンの面積に相当する20%である事も実験的に示している。20%の伝熱性能増加に対して、CHFが60%増加する理由については、沸騰曲線を用いて定性的に説明を行っている。CHFを起こす伝熱面の表面温度が、フィンの有無によって大きく変化しない事を示すとともに、沸騰曲線が低温側に20%動くことによって、CHFが大きく増加する事を示している。わずかな表面形状の工夫により、大幅なCHF向上が期待できることを示した。なお、低流量においては、サブクール沸騰の時と同様に、CHFが劣化する事も示している。これは、サブクール沸騰と同様に、フィンの後流に気泡が集まるためであると考えられる。これらの知見は、IVRの設計において重要な知見を与える成果である。

第7章では、結論であり、本論文の成果をまとめている。

以上、本論文は、アクシデントマネジメント策として検討されているIVRに対して、下向き伝熱面のフィンによるCHF向上を示すとともに、逆にCHF劣化をする条件があることを示したものであり、IVRの成立性について重要な知見を与えるなど、原子力工学の進展に寄与するところが少なくない。

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。