

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 宮 海光

次世代原子炉である AP-1000 などにおいては、シビアアクシデントが発生することを前提として、その条件においても、燃料を冷却して放射性物質の放出を抑えるための影響緩和策として、IVR(In-Vessel Retention, 溶融燃料炉内閉じ込め) が考えられている。原子炉容器下部を水につけることによって、原子炉容器内に溶融燃料を閉じ込める対策である。このとき、高温の容器を水で安定的に冷やすために、限界熱流束(CHF, Critical Heat Flux)を向上させることが必要となっており、様々な研究がなされている。本研究においては、実機で想定される下向き伝熱面に対して、プール沸騰を対象とし、伝熱面表面の改質により限界熱流束を向上することを目的としている。過去には様々な手法が提案されているが、本研究においては、特に下向き伝熱面で有効となる可能性の高い、ハニカム構造物による伝熱性能向上と、放射線照射による伝熱性能向上に着目して、限界熱流束に関する実験的研究を実施した。本論文は 7 章にて構成されている。

第 1 章では、シビアアクシデントの影響緩和策である IVR について、その必要性と、伝熱特性を述べている。原子炉出力の大型化に伴い、発熱量に対する表面積割合が減るため、除熱すべき熱流束が大きくなる。一方、水による沸騰除熱には限界熱流束が存在し、その限界熱流束を向上させることが重要であることを明らかにしている。

第 2 章では、前章の背景を受けて、本研究の目的を記述するとともに、IVR 成立性に向けた本研究の位置づけを明確化している。

第 3 章では、実験についてまとめている。実験装置、伝熱面などのほか、高速ビデオカメラや熱電対などの計測システムについてまとめるとともに、実験結果として得られる熱流束の計測誤差に関してまとめている。

第 4 章では、参照データとしての、平面状伝熱面における実験結果をまとめている。限界熱流束の実験データが、過去に行われた研究と同等であることを確認し、本実験の妥当性を確認している。

第5章では、ハニカム構造物を伝熱面に設置した場合の限界熱流束についてまとめている。ハニカム構造物としては、水を通す焼結金属板に複数の丸穴をあけたもののほか、水を通さないステンレス板に同様の穴をあけたものを用いている。完全な下向きでは実験誤差が大きくなるため、5度傾けた状態について、実験を行い、水を通さないステンレス板のハニカム構造物であっても、限界熱流束が改善することを見出した。これは、ステンレス板が伝熱を阻害する物として働くだけではなく、沸騰気泡を整列させて排出させる効果が大いであることを示している。また、水を通す焼結金属を用いたハニカム構造物では、さらなる限界熱流束の向上を確認している。沸騰気泡の排出だけではなく、焼結金属を通して、伝熱面に水が供給されることが重要であることを示している。ハニカム構造物の穴の大きさや配置(ピッチ)をパラメータとして実験を行い、開口部面積比が限界熱流束に重要な影響を与えることを見出した。さらに、開口部面積比と限界熱流束の関係を、圧力バランスから定性的に説明している。

第6章は、伝熱面及びハニカム構造物に放射線を照射した場合の限界熱流束についてまとめている。5度傾けた下向き伝熱面について、平面状伝熱面では、ガンマ線照射の場合も、電子線照射の場合も1000kGyを超える照射量を与えることで、限界熱流束が改善することを見出している。しかし、10度以上に傾けると、放射線照射の影響は見えなくなる。また、ハニカム構造物を付けた場合は、それだけで限界熱流束が大幅に増大するため、放射線照射による効果はほとんどわからなくなる。放射線照射による限界熱流束向上よりも、ハニカム構造物による限界熱流束向上が大きく寄与することを見出している。

第7章は、結論であり、本論文の成果をまとめている。

以上、本論文は、シビアアクシデント緩和策として想定されているIVRについて、実機で想定される下向き伝熱面及び放射線環境下という条件下で、より除熱性能を向上させる手法について検討を行い、ハニカム構造物による限界熱流束向上効果が大きいことを実験的に見出すとともに、その要因を分析することや、放射線環境下における限界熱流束に関して基礎的なデータを取得するなど、原子力発電所の安全性に影響を与えるIVRの成立性に重要な知見を与えることから、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。