

審査の結果の要旨

氏名 王来順

シビアアクシデントの影響緩和策として、IVR(In-Vessel Retention)が検討されている。溶融燃料を原子炉容器内に閉じ込めるために、容器を水に浸して冷却する。高熱流束となることから、限界熱流束を超え、容器が溶融する懸念があり、限界熱流束向上のための様々な技術が提案されてきている。従来の研究はプール沸騰が主体であり、自然対流で発生する流動条件下における限界熱流束向上を目指した研究は必ずしも多くない。本研究では、容器下部の下向き伝熱面を想定し、強制対流条件下において限界熱流束を向上させる手法について検討を行っている。特に、ハニカム構造物を用いた伝熱特性向上とともに、実機環境で想定される放射線環境下での限界熱流束を向上させる手法を検討す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、シビアアクシデント時の影響緩和策であるIVRについて、その必要性と、伝熱特性について述べている。上向き伝熱面に対するプール沸騰実験で、伝熱面にハニカム構造物を設置することで、限界熱流束が向上することが知られている。特に、上向き伝熱面と下向き伝熱面では、重力によって気泡の挙動が大きく異なることなどをまとめている。

第2章では、第1章の序論を受けて、本研究の目的を記述している。

第3章では、実験装置、実験方法と、データ処理手法についてまとめている。強制対流実験であり、また、実験装置の輸送を行うことを考えて、コンパクトな流動ループを構成している。

第4章では、下向き平面伝熱面における限界熱流束の実験結果をまとめている。流動条件下における限界熱流束の相関式として知られているKattoの式と、 $320\sim 1,280\text{kg/m}^2/\text{s}$ の質量流量条件で良く一致することを示し、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。ステンレス板に複数の丸穴をあけたハニカム構造物と、板を焼結金属として水が透過するハニカム構造物を用いて、限界熱流束を計測してい

る。流量が少ない場合は、板に穴をあけただけでもハニカム構造物設置によって限界熱流束が大きく向上している。水が透過する焼結金属にするとさらに限界熱流束が向上する。しかしながら、流量を増加するに従い、ハニカム構造物の影響は小さくなり、 $1,280\text{kg/m}^2/\text{s}$ では、ハニカム構造物の影響は無くなることを実験的に明らかにしている。

第6章は、コバルト 60 からのガンマ線と、電子線加速器からの 2MeV 電子線を伝熱面に照射した場合の、流動条件下における下向き伝熱面の限界熱流束実験結果についてまとめている。ガンマ線の場合も電子線の場合も、照射直後には、伝熱面の濡れ性が改善されることを確認している。しかしながら、流動条件下においては、ガンマ線照射では、限界熱流束は、未照射の場合と変わらないことを確認した。これは、従来のプール沸騰における知見と異なっており、流動条件などの違いによると考えられる。一方、電子線を照射した場合に、限界熱流束が大幅に劣化することを実験的に見出した。特に、 $30\sim 100\text{kGy}$ と少ない照射量の時の劣化が著しく、 1000kGy , 3000kGy と照射量を増大すると、限界熱流束が照射前の状況に戻ってくることを確認した。沸騰伝熱面の可視化によって、電子線の照射によって、沸騰核密度が大きく変化することを見出した。さらに、照射量が増大すると、沸騰核密度が減少し、未照射の条件に近づくことを明らかにした。実験データを整理し、限界熱流束と沸騰核密度に負の相関があることを示している。これらの知見をもとに、沸騰気泡が伝熱面を覆うことで限界熱流束になるという仮定を行い、沸騰気泡の挙動に着目したモデル化を行い、沸騰核密度と限界熱流束の関係を定性的に表すことに成功している。

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の影響緩和策である IVR を想定し、実機条件に近い強制流動限界熱流束実験を下向き伝熱面で実施し、低流量条件においては、ハニカム構造物による限界熱流束向上が期待できることを確認するとともに、放射線環境下では、逆に限界熱流束を大幅に劣化させる場合があることを実験的に発見するとともに、そのメカニズムについて定性的なモデルを提案するなど、原子力発電所の安全性に影響を与える強制流動限界熱流束に対して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。