

審査の結果の要旨

氏名 山内 大典

東京電力福島第一原子力発電所事故時に、3号機のサブプレッションプールにおいて、温度成層化現象が発生したと考えられている。これは、サブプレッションプールの圧力上昇が、崩壊熱から計算される値よりも早く増加していることから推定されている。温度成層化現象が発生すると、格納容器圧力の上昇が早くなるだけでなく、炉心への注水温度上昇や、放射性物質除去性能劣化などといった様々な課題が発生する。しかしながら、温度成層化発生メカニズムについては、まだ未解明な点が多い。このことから、本研究においては、実機で発生したと考えられている温度成層化現象に着目し、その発生と消滅に関するメカニズムを明らかにすることを目的としている。本論文は5章にて構成されている。

第1章では、福島第一原子力発電所における格納容器圧力挙動に着目し、その事象進展と温度成層化に関する過去の知見を整理している。サブプレッションプールにおいて発生するのは、蒸気の直接接触凝縮現象であり、様々な基礎研究が進められてきている。さらに、福島第一原子力発電所事故後には、温度成層化に関する様々な研究が進められてきており、特に局所的な浮力と慣性力の比となるリチャードソン数に着目した研究のレビューを行っている。しかしながら、過去の研究では、慣性力に対応する凝縮振動を、個々の条件ごとに画像計測によって求めており、実機への適用性が悪いという課題がある事を示している。これらの背景の下で、本論文においては、温度成層化現象の発生及び消滅を支配するメカニズムを明らかにするとともに、実機における温度成層化現象について評価する事を目的とすることを述べている。

第2章では、実機規模の凝縮ノズルを用いた、イタリアでの実験結果についてまとめている。特に、ノズル内部までに及ぶ、大きな凝縮振動（チャギング現象）の発生と、温度成層化の関係を調べている。チャギングが停止する条件が、質量流量とサブクール度だけではなく、直接接触凝縮の流動様式に依存する事を示している。

第3章では、リチャードソン数を求める際に必要な、凝縮振動の振動数と蒸気気泡径を、蒸気流量、サブクール度、ノズル径をパラメータとする、単純なモデル化により求める方法を提案している。このモデルを、実機ノズル径と同等の実験装置によって検証し、定性的に評価が可能であることを示している。また、実験定数を用いる必要があるが、ある程度定量的にも模擬できている。モデル化された振動数と気泡径を用いて、リチャードソン数を求める事ができる事を示している。

さらに、従来の垂直吹き出しノズルだけではなく、水平吹き出しノズルに対しても同様の考え方で温度成層化を評価する事の出来る修正リチャードソン数の考え方を提案している。具体的には、自然対流や凝縮振動により生成される対流によって、温度成層界面を破壊しようとする力をモデル化し、その力と浮力との比としての修正リチャードソン数を定義している。小型スラブ状実験装置の実験から、修正リチャードソン数が0.01~0.1において、温度成層化発生の限界値がある事を示している。

第4章では、実機につなげるために、トーラス状の実験装置における温度成層化現象を評価し、スラブ状実験とトーラス状実験での温度成層化発生時の流動パターンが同一であることを見出している。つまり、スラブ状実験により、実機トーラス形状を模擬できることを確認している。さらに、凝縮ノズル部の実機規模の実験により、修正リチャードソン数によって温度成層化を評価できることを確認している。これらの結果から、実機3号機の修正リチャードソン数を評価し、温度成層化が発生していたことを確認している。

第6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、福島第一原子力発電所事故時に発生したと考えられている、蒸気凝縮により生成される温度成層化現象について、修正リチャードソン数を提案し、複数の実験によって修正リチャードソン数が温度成層化現象を支配するパラメータである事を確認する事で、そのメカニズムを評価している事など、原子力発電所の安全性に影響を与えるサプレッションプール挙動評価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。