

# 論文審査の結果の要旨

氏名 宋 大憲

東京電力福島第一原子力発電所事故は、津波によって電源が全て失われ、原子炉の崩壊熱除去ができなくなったことによって、炉心の大規模な損傷を起し、結果的に放射性物質の大量放出に繋がった事故である。このようなシビアアクシデントにおける炉心の挙動を評価し、何が起こったのかを分析することは、原子力発電所の安全を向上するために重要な課題である。しかしながら、炉心の挙動は非線形で複雑であり、また、電源喪失によって計測データもほとんどないため、現状でもその詳細については良くわかっていない。2号機および3号機においては、炉心で発生する蒸気を利用するタービンポンプによって注水が継続されていた。この蒸気は格納容器内のサプレッションプールで凝縮するが、サプレッションプールにおいて、温度成層化が起きていた可能性が指摘されている。温度成層化により、凝縮性能に寄与する水の量が想定よりも減少し、事象進展を大きく変化させた可能性がある。この温度成層化については、従来は想定されておらず、その挙動を把握することは、将来の事故時におけるプラント挙動を評価する上でも重要である。本論文においては、蒸気の直接接触凝縮により形成される温度成層化現象について、実験及び解析的なアプローチから評価を行う。さらに、温度成層化現象の発生の有無についての物理的な挙動を評価し、発生を決定する物理量を求めることを目的としている。本論文は7章にて構成されている。

第1章では、福島第一原子力発電所事故及び温度成層化現象に関する従来の研究をレビューし、その課題についてまとめている。特に直接接触凝縮に関する過去の実験的研究についてまとめている。これらの評価を踏まえて本論文の位置づけを明確化するとともに目的を示している。

第2章では、温度成層化現象についてまとめるとともに、本論文において考える実機評価へのアプローチをまとめている。縮小モデルによる実験と解析を行う事により、実機評価にスケールアップしていくための考え方を整理している。

第3章では、2次元スラブ状の縮小試験装置を用いた実験と解析についてまとめている。温度成層化現象を観測するために、容器内に自由液面を持った水を張り、そこに蒸気を供給する。この時の温度分布を熱電対で、また速度分布をPIV(粒子画像流速測定法)によって求める。温度成層化に重要なパラメータであるサブクール度を制御するために、圧力をコントロールし、減圧環境下での実験を行う事を提案している。実験結果をまとめるとともに、温度成層化現象と直接接触凝縮の流動パターンについて検討している。

さらに、数値流体シミュレーションコードである CFX を用いて、シミュレーションによって現象を再現することを試み、そのままでは速度分布などが大きく異なることを示している。

第4章では、上記シミュレーションが実験とあわない理由について考察し、直接接触凝縮に伴う運動量の付与が重要であることを明らかにしている。具体的には、可視化結果から直接接触凝縮における蒸気気泡挙動を評価し、運動量モデルとして CFX コードに導入することによって、速度分布や温度分布を合わせることができていることを示している。

第5章では、上記の運動量モデルを用いて、縮小3次元実験への適用性について議論している。実験は実機サプレッションプールの縮小モデルで実施し、その温度分布と運動量モデルを導入した CFX コードの解析結果を比較することによって、ある程度の予測が可能であることを示している。

第6章では、上記の実験や解析結果から得られる知見から、温度成層化現象を支配する物理パラメータに関して議論を行っている。具体的には、浮力と慣性力の比であるリチャードソン数を用いて整理することを提案するとともに、その代表長さとしてノズル先端からプール底部までの距離、代表速度として直接接触凝縮における蒸気気泡の運動から求まる速度をモデル化して用いることを提案している。このリチャードソン数で、実験結果を整理することができることを示している。具体的には、 $Ri > 2$  で温度成層化を起こし、 $Ri < 0.1$  で温度成層化を起こさない。

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、直接接触凝縮によるサプレッションプール内の温度成層化現象について、実験と解析的アプローチをベースとして、その発生の有無を支配する無次元数を提案するなど、環境学、特に伝熱流動が支配的な熱流体環境学へ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（環境学）の学位請求論文として合格と認められる。