

## 審査の結果の要旨

氏名 李俊諺

ナトリウム冷却高速増殖炉における炉心損傷事故においては、損傷した燃料は炉内下部プレナムに設置された炉内コアキャッチャに落下し、ナトリウムの自然対流を利用して冷却される。この時、コアキャッチャ上に、円錐状に積層した粒子状のデブリは、崩壊熱による対流もしくは沸騰によって移流し平坦化されることが期待されており、セルフレベリングと呼ばれている。円錐状に堆積する場合に比べて、平坦化された場合のほうが冷却性能が向上するとともに、再臨界の可能性も小さくなる。一方、デブリ粒子は組成が均一ではなく、燃料を多く含む重たい粒子がセルフレベリングによって下部に密集すると、逆に再臨界を起こしやすくなる懸念がある。そこで、本研究では、粒子密度が異なる条件における粒子挙動を評価するとともに、再臨界が起きない条件を探る事を目的としている。本論文は5章にて構成されている。

第1章では、ナトリウム冷却高速増殖炉において、現在検討されている熔融燃料の挙動に関してまとめている。特にコアキャッチャ上に落下したのちの冷却性能と再臨界評価が重要であることを示している。このためにセルフレベリングが重要であるが、現状の検討は均一なデブリを仮定しているが、デブリの重量は、現実には均一でなく異なる。この不均一性によるセルフレベリングへの影響を調査することの必要性を示すとともに、本研究の目的を記載している。

第2章では、本研究における、セルフレベリングの課題を解決するための手法についてまとめている。まず、核計算と熱流動計算を行い、実機について総合的に評価する事を示している。

第3章では、核計算についてまとめている。デブリ重量が異なる事、もしくは落下する順番が異なる事により、コアキャッチャ上でデブリが成層化すると仮定し、様々な条件における実効増倍率を計算コードによって求めている。その結果、重たい燃料デブリが中心に集まるように成層化すると実効増倍率が大きくなることを定量的に示すとともに、空隙率や積層円錐角度をパラメータとした実効増倍率に関する特徴を明らかにしている。

第 4 章では、セルフレベリングによるデブリ挙動を評価するため、密度の異なる粒子が存在する流動場における実験を実施するとともに、計算コードの検証を実施している。実験では、水と屈折率が等しい FEP(フッ素樹脂)を用いた円柱状のペレットを軽量デブリ、鉄球を重量デブリに見立てて実験を行っている。冷却材としては水を用いているため、軽量デブリは見え、鉄球のみが可視化される。2 方向から同期されたビデオ撮影を実施し、画像解析を行って水ジェットを吹き込んだ後の鉄球の挙動を計測している。この実験データを検証データとして用い、計算コードである StarCCM+ の DEM-CFD モデル(離散要素法-数値流体力学モデル)により、解析を行っている。具体的には、鉄球挙動の統計量、および周波数特性を比較して、密度の異なるデブリの挙動を、解析によりシミュレートできることを示している。特にデブリ粒子の抗力を表す相関式を比較し、実験とよく一致する相関式を求めている。

第 5 章では、実機のコアキャッチャを想定し、円錐形に積層したデブリを初期条件として、核計算及び熱流動計算を実施している。この時、均一なデブリと重たいデブリが下部に成層化している 2 条件を評価し、いずれにおいても冷却性能、未臨界性能は大きく変わらない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、ナトリウム冷却高速増殖炉の過酷事故時におけるデブリの再臨界及び冷却性能に関して、密度が異なるデブリが存在する場合を対象とし、実験による計算コードの検証を行うとともに、計算コードによって実機の性能を評価するなど、ナトリウム冷却高速増殖炉の過酷事故時安全性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。