

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 韋 宏洋

東京電力福島第一原子力発電所事故時には、溶融した炉心燃料が原子炉容器下部に移行し、その後原子炉容器外に落下したと考えられている。この溶融炉心燃料(コリウム)の原子炉容器下部プレナムにおける挙動は、その後の事象進展を大きく左右するため、そのメカニズムを把握する事が重要である。一方、BWRにおいては、下部プレナムに多数の制御棒駆動機構装置(CRDM)が存在しており、コリウムの挙動に大きく影響する。しかしながら、従来の下部プレナム挙動評価は、TMI 事故を基準に検討されてきていたため、このような多数の構造材との相互作用については検討が進んでいない。コリウムが下部プレナムに落下する時点では、下部プレナムには水が存在している。また、下部プレナム下部に落下したコリウムは、CRDM などの炉容器を貫通する部材との相互作用を行うと考えられる。例えば、CRDM などが損傷する事による、早期の減圧につながる事が考えられている。これらの挙動を解析するために、シビアアクシデント解析コード(SAMPSON)の DCA モジュールが用いられる。本研究においては、コリウムの下部プレナムにおける挙動に着目し、実験と解析によって、DCA モジュールの改良を進める事で、コリウムの挙動を評価する事を目的としている。本論文は 6 章にて構成されている。

第 1 章では、コリウムが下部プレナムへの移行挙動に関する従来の研究についてまとめている。過去に実施された、様々な実験によって評価されている、下部プレナムにおけるコリウム挙動に関する知見をまとめるとともに、これらのシミュレーションに関する現状をまとめている。特に、コリウムが水中に落下する際に、粒子状になるジェットブレイクアップと呼ばれる現象や、下部プレナム下部にクラストを形成する現象などに着目して、これらの現象に与える、CRDM などの構造物の影響に関する知見が、必ずしも十分でない事を議論している。これらの背景の下で、本論文においては、原子炉下部プレナムにおけるコリウムの挙動、特に BWR のような構造材が多数存在する場合の挙動について、実験と DCA モジュールを改良する事で、評価する事を目的とすることを述

べている。

第2章では、DCA モジュールの検証を進めている。特に、下部プレナム内コリウム挙動を模擬した LIVE 実験におけるクラスト生成挙動を評価する事を試みている。オリジナルの DCA では、クラスト厚を入力データとして仮定しているが、エネルギーバランスを解く事でクラスト生成をモデル化し、DCA の改良を行っている。この改良を行う事で、実験を定量的に模擬できることを示し、DCA の改善と検証を進めている。

第3章では、ジェットブレイクアップモデルを DCA に組み込んでいる。ケルビンヘルムホルツ不安定性を元にしたモデルを組み込み、実機を模擬して実圧下で実施された FARO 実験で得られる凝固後の粒子量を定量的に比較する事で、改良モデルの検証を進めている。

第4章では、多数の CRDM が林立する BWR 条件におけるジェットブレイクアップに関して実験的な評価を行っている。粒子生成が主として流動条件に依存する事から、等温実験として、大気圧下で 80 度に加熱した水中に、50 度以上で液体となる液体金属ジェットを注入する。この時、水と屈折率の等しい、プラスチック円柱を CRDM 模擬材として設置し、ジェットに与える CRDM の影響を可視化する事に成功している。屈折率が等しいため、CRDM が存在しても液体金属挙動が可視化できる。この結果として、CRDM の存在によってジェットの流動が妨げられ、微粒子の生成率が大きく減少する事を見出している。実機と相似形状の実験では、その生成率は 20% となる事を見出し、DCA モジュールに組み込んでいる。

第5章では、下部プレナム底に落下したコリウムがプールを形成する際に、CRDM がヒートシンクとしてどのようなふるまいをするかをモデル化している。オリジナルの DCA では、複数の CRDM をまとめてモデル化しているが、これを個々の CRDM、及び、さらに細い計装管をモデル化し、下部プレナム損傷に与える影響を定量的に評価している。CRDM などの熔融時間が、従来の計算よりも早くなり、減圧開始時間などに大きな影響を与える事を見出している。

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、シビアアクシデント時に重要な下部プレナムにおけるコリウムの挙動について、特に BWR に特有の多数の CRDM が存在する影響を定量的にモデル化し検証したものであり、シビアアクシデント事象進展評価や下部プレナム内コリウム移行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。