

論文の内容の要旨

論文題目 原子燃料照射挙動の数理モデルによる研究
氏名 木下幹康

本論文では、核分裂反応における核分裂片の運動エネルギーを熱化して工学的に用いる原子燃料について、とくに商用発電炉における軽水炉燃料を対象として、工学的に重要な問題についてその基盤となる現象の数理モデルを構築し、検証ならびに工学的適用を進めた結果を報告した。

軽水炉の燃料では1970年代に、しばしば燃料セラミックスペレット(UO_2)とジルコニウム合金でできた被覆管とのあいだでの機械的な相互作用(Pellet-Cladding Mechanical Interaction: PCMI)によって破損が発生した。これに対処するため、現象解明の実験と、計算コードをつかった解析技術の開発が進められた。その研究開発のバックボーンとなった数理的なモデルについて第II章でその歴史的経緯を概観する。そのうち報告者が行った内容について、第III、第IV章では、原子炉内での供与中の燃料棒ふるまいを対象とした研究を、また第V、第VI章は燃料材料のふるまいを対象とした研究をまとめた。

とくに第III章ではPCMIの詳細解析コードFEMAXI-IIコードの開発の中で行った被覆管および燃料セラミックスペレットのPCMI現象を解析するための有限要素法をベースとしたクリープモデルと解析手法の開発と検証を記述した。第IV章では燃料ふるまいの中でとくに重要な、非線形的に発生する燃料温度不安定性について、その基本プロセスのひとつであり解析の鍵となる稀ガスの移流拡散モデルの開発と検証および実機燃料への適用と、その帰結を記述した。

とくに解析的表式（定常解および特定条件での過渡解）によって不安定性の状態が選別できることについて記した。第 V 章は燃料材料についての研究であり、高燃焼度（70 MWd/kgM 以上）で二酸化ウランセラミックスの結晶組織の変化として生じる細粒化・リム組織について、その発生条件（温度しきい値）を実験結果を燃料ふるまい解析コードによって解析し、解明した結果を記した。第 VI 章では同じく細粒化・リム組織について、その発生メカニズムの理論的研究の結果を記した。この現象は核分裂照射と燃焼生成元素の蓄積の複合作用によるものと推定される。そこで、原子燃料の特徴である核分裂反応による照射損傷と燃焼生成物である希ガスの蓄積に注目し、反応拡散モデルを構築しその特性を調べ、不安定条件を満たした場合に実現象に類似した形態形成メカニズムが発生する結果を得た。すなわちこの細粒化・リム組織の形成プロセスを、核分裂による照射下での非平衡の反応拡散による自己組織化現象として明らかにすることができた。