

審査の結果の要旨

氏名 木下 幹康

本論文は、軽水炉燃料についての数理モデルを構築し、検証し、より信頼性の高い核燃料技術の確立に貢献した結果の報告である。1970年代にしばしば発生した軽水炉燃料 PCMI(Pellet-Cladding Mechanical Interaction)破損の解析のための計算コード開発から現在の開発課題である高燃焼度燃料のふるまいまでを対象とし、基盤となった物理的、機械的、熱的、材料学的なモデルを複雑な事象である核燃料ふるまいモデルへと統合した成果を、数理モデルの観点からまとめている。

第1章は研究目的について述べている。多様なプロセスが複雑に絡み合い、無数のシナリオに沿って進む複合現象、総称して「燃料ふるまい」について、原子炉としての性能向上を図りつつ核燃料の健全性を保証しつづけるためのモデリング研究の成果をまとめたものとしている。

第2章では燃料ふるまい解析コード開発の歴史的経緯を概観している。

第3章、第4章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であり、第3章では、ペレットの鼓型変形による燃料と被覆管の機械的相互作用 PCMI についての詳細解析コード FEMAXI-II コード開発で行ったクリープモデルの開発と検証結果をまとめている。燃料材料と被覆管材料とにクリープモデルを導入し、その歪増速度を表す関数の一階微分 (Jacobian) を用いて接平面にそった構成方程式を定式化 (完全陰解法) することによって急激なクリープ変形に追従できる計算能力をコードに付与し、被覆管の肉厚増加による拘束力が永久変形へ与える効果を再現できるようになったとしている。第4章では燃料セラミックスペレットからの希ガス放出にともない非線形的に発生する燃料温度不安定性 (温度フィードバック現象) の発現について、その基本プロセスのひとつであり解析に重要な希ガスの過渡的空間的な伝播 (燃料棒内部の長手方向への輸送) を移流拡散方程式で記述し、モデルの開発と検証を行い、実機燃料へと適用し、その帰結をまとめている。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を指摘している。

第5、第6章は燃料材料のふるまいを対象とした研究である。第5章では燃料材料について大幅な高燃焼度(70MWd/kgM以上)で燃料セラミックスに新たに生じる微細組織である細粒化・リム組織についての発生条件を計算コード解析によって提示し、試験炉で5年間照射した高燃焼度燃料棒についての照射後試験と解析を組み合わせ、細粒化・リム組織の形成しきい温度をはじめて評価し推定したとしている。第6章では核分裂照射と燃焼生成元素の蓄積の複合作用による細粒化・リム組織の発生メカニズムについて、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た結果、不安定条件を満たした場合に細粒化現象に類似した形態形成メカニズムが発生することを明らかにした。特にリム組織の特徴的な形態について、なぜその形が選択されたのか、変化の中にある「分岐」の構造、数学的な特性を調べた結果を示している。

第7章、第8章は以上の研究のまとめである。

以上を要するに、本論文は、核燃料ふるまいに関する数理モデルについての研究開発を行い、核燃料の健全性の向上に貢献したものであり、原子力工学、とくに核燃料工学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。