

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	高い固有安全・核不拡散性を有する ケイ化物燃料装荷中小型軽水炉の研究
Title(English)	
著者(和文)	三星夏海
Author(English)	Natsumi Mitsuboshi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12459号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:相樂 洋,小原 徹,千葉 敏,片淵 竜也,木倉 宏成
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12459号, Conferred date:2023/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	三星 夏海	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	相楽 洋	准教授	木倉 宏成	准教授
	審査員	小原 徹	教授		
		千葉 敏	教授		
	片渕 竜也	准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「高い固有安全・核不拡散性を有するケイ化物燃料装荷中小型軽水炉の研究」と題し6章から構成されている。

第1章「序論」では、世界で進められている中小型軽水炉研究開発を概観し、固有安全性の強化が図られる一方で、遠隔地など多様な立地における核不拡散上の実効性の課題を指摘し、高い重金属密度、熱伝導性、化学的安定性を有するケイ化物燃料を装荷した中小型軽水炉の核熱特性および核不拡散性を定量的に明らかにし、高い固有安全・核不拡散性を有する新しい中小型軽水炉システム概念を提案することを目的とし、本研究の位置づけ、意義を述べている。

第2章「ケイ化物燃料の核熱特性」では、ケイ化物燃料の中小型 PWR における基本的な核熱特性を、2次元実効燃料ピンセルモデルを用いた核・熱解析により評価している。まず、典型的な PWR 燃料集合体仕様に基づいた U ケイ化物燃料の中性子輸送・燃焼計算を行い、高い重金属密度により同じ U 濃縮度の酸化燃料よりも燃焼可能期間が 17%増加すること、マイナーアクチノイド (MA) の微量添加により初期余剰反応度、燃焼反応度変化の抑制および燃焼可能期間を増加することを明らかにしている。次に一体型中小型 PWR を参照し、オンサイト燃料交換型炉 (1 バッチ 2 年、3 バッチサイクル)、およびオンサイト燃料交換を行わない可搬型炉 (1 バッチ 10 年) における燃料設計条件を導出し、ドップラー係数、減速材温度係数、実効遅発中性子割合の評価により核的安全性を確認している。定常運転時の安全性評価として燃料ピン内温度分布を核熱解析コードにより評価し、ケイ化物燃料ピン内の最高温度は酸化燃料よりも 500 K 以上低く安全裕度が大きいことを明らかにしている。

第3章「核セキュリティ性」では、ケイ化物燃料を装荷したオンサイト燃料交換型炉および可搬型炉システムの核セキュリティ性を評価している。システム内の核物質の核爆発装置製造への不正利用価値を評価し、ケイ化物燃料からの Pu 単離において多段の清澄工程を要し、酸化物に比べ処理の複雑さを増大させることを明らかにしている。またケイ化物燃料に MA や  $^{241}\text{Am}$  を 0.3~1% 添加することにより、燃焼を通じて生成される Pu の不正利用価値を引き下げることが明らかにしている。さらにケイ化物装荷中小型 PWR システムの設計基準事故シナリオおよび設計基準外事故シナリオに基づく安全-セキュリティ複合事象を想定し、妨害破壊行為に対する重要設備評価を行い、固有安全性の強化が重要設備の簡素化にも繋がる相乗効果を明らかにすると共に、複数原子炉ユニットが共有する原子炉プールが共通起因事象となり得る、モジュラー炉特有の新たな課題を見出している。

第4章「核拡散抵抗性」では、ケイ化物燃料を装荷しオンサイト燃料交換型炉および可搬型炉システムに対して、施設の不正使用および核物質の転用経路解析を行い、核拡散抵抗性を評価している。オンサイト燃料交換型炉では、従来の大型炉同様にプール貯蔵核燃料の転用経路が脆弱であり、単位出力当たりの査察業務量が大型炉に比べ大幅に増加する。一方、可搬型炉においては工場にて燃料装荷・封印し、使用済燃料への直接接近が困難になり、大型炉より少ない査察業務量にまで合理化可能であることを明らかにしている。一方、長期運転期間に渡り保障措置を封じ込め・監視に依存するため、核物質や原子炉内情報の直接取得のための非破壊測定技術開発が今後の重要な課題となることを指摘している。

第5章「高い固有安全と核不拡散性を有するケイ化物燃料装荷中小型軽水炉システムの概念設計」では、第2章から第4章までの議論で得られた知見を基に、ケイ化物燃料装荷中小型軽水炉システム概念設計を行っている。まず、熱出力 160 MW 一体型 PWR のオンサイト燃料交換型炉と可搬型炉炉心概念を、ケイ化物燃料装荷炉心の核熱解析に基づき設計している。また、核セキュリティシステムとして、核物質および重要設備を含む物理的防護の設計並びに保障措置設計を行い、等級別アプローチに基づく合理的な規制を提案している。さらに、ケイ化物燃料サイクルを提示し、安全性および核不拡散性を向上させた新たな軽水炉利用のかたちを示している。最後に、商業レベルでのケイ化物燃料の再処理技術開発や可搬型炉に対する直接検認手法開発の必要性、および輸送上の課題を指摘している。

第6章「結論」では、各章によって得られた結果を総括し、本論文の結論としている。

これを要するに本論文は、ケイ化物燃料を装荷した高い固有安全・核不拡散性を有する新しい中小型軽水炉システム概念により、高い中性子経済性と安全、核セキュリティおよび保障措置の強化並びに合理化が可能であることを明らかにしており、これは原子力平和利用に対し技術的に資するものであり、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分価値のあるものとして認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。