

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Small rotational fuel shuffling breed and burn fast reactor with nitride fuel and sodium coolant
著者(和文)	AMARJARGALTsendsuren
Author(English)	Tsendsuren Amarjargal
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12582号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小原 徹,赤塚 洋,片渕 竜也,相樂 洋,筒井 広明
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12582号, Conferred date:2023/9/22, 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		Tsendsuren AMARJARGAL	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	小原 徹		教授	審査員	筒井広明	准教授
	審査員	赤塚 洋		准教授			
		片渕竜也		准教授			
		相楽 洋		准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「Small rotational fuel shuffling breed-and-burn fast reactor with nitride fuel and sodium coolant」と題し、5 章より構成されている。

第 1 章「Introduction」では、はじめにこれまで研究されてきたブリードバーン高速炉について概観し、近年研究が進められている Rotational Fuel-shuffling Breed-and-Burn fast reactor (RFBB) の概念について述べ、RFBB はこれまで開発されてきた高速炉の構造を変えることなく、天然ウランまたは劣化ウランを用いた燃料集合体を炉心外周部に装荷し一定期間出力運転をしたのちに隣接した位置に燃料集合体を移動させ無限増倍率が大きい燃料集合体を中性子インポートランスの大きい炉心中心部に配置するようにすることにより臨界を維持し同時に高い燃焼度の達成を可能とする原子炉であり、天然ウラン資源の有効利用と使用済み燃料の減少を図ることができる原子炉であることを指摘している。また、ナトリウムは高速炉の冷却材として技術的に確立されており、窒化物燃料は酸化物燃料に比べ重金属密度が高くかつ熱伝導度が大きいため高い中性子経済が期待できるため、これらを用いることで小型の RFBB が設計できる可能性があるものの、その成立性の研究は行われていないことを指摘し、窒化物燃料ナトリウム冷却材を用いた小型 RFBB の実現の可能性を明らかにするという本研究の目的を述べている。

第 2 章「Core concept of small Rotational Fuel-shuffling Breed-and-Burn Fast Reactor with nitride fuel and sodium coolant」では、窒化物燃料ナトリウム冷却材を用いた基準炉心を設計し小型 RFBB の成立性を検討した結果について述べている。検討した基準炉心は、熱出力 450 MW、炉心高さを 220 cm とし、168 体の燃料集合体を用いた炉心としている。また炉心の周囲は単純化のためナトリウムが存在しているとしている。モンテカルロコード Serpent 2.1 及び核データライブラリー ENDF/B-VII.0 とともに独自に開発した燃料のシャッフリングを模擬するプログラムを用い、平衡状態での炉特性を求めたところ、平衡状態で原子炉は臨界になり、取出し燃料の平均燃焼度は約 187 MWd/kg-HM で、さらにシャッフリングの前後で炉内の半径方向の出力分布がほとんど変化しないことを明らかにしている。また、燃料被覆材の DPA は最大で約 660 であり、最大出力の燃料セルでの定常熱解析を行った結果、燃料、被覆材、冷却材の最大温度は許容できる範囲であることを明らかにしている。以上の基準炉心での解析により、窒化物燃料ナトリウム冷却材小型 RFBB の成立の可能性があることを明らかにしている。

第 3 章「Coolant void coefficient in a sodium-cooled rotational fuel-shuffling breed-and-burn fast reactor」では、窒化物燃料ナトリウム冷却材を用いた小型 RFBB の冷却材ボイド反応度の検討を行っている。RFBB は中性子経済を最大限に高める炉心設計であるため、冷却材にナトリウムを用いた場合、冷却材ボイドにより大きな正の反応度が入る可能性を指摘し、第 2 章で解析した基準炉心に対し、Serpent 2.1 コード及び核データライブラリー ENDF/B-VII.0 を用い、炉心内の種々の冷却材ボイドの状況を仮定して冷却材ボイド反応度を解析により求めた結果、ボイド反応度は最も大きくなる場合でも 4\$程度であり、これまで設計されたナトリウム冷却高速炉のボイド反応度が 4〜6\$程度であることから、窒化物燃料ナトリウム冷却材小型 RFBB のボイド反応度特性が従来設計されてきたナトリウム冷却高速炉に比べ劣ることはないことを明らかにしている。

第 4 章「Small Rotational Fuel-shuffling Breed-and-Burn Sodium-cooled and Nitride-fueled Fast Reactor with LBE reflectors」では、第 2 章で解析を行った基準炉心は燃料集合体がダクトを持たずまた制御棒のチャンネルを有しない仮想的な炉心であったため、現実的な炉心として燃料集合体ダクトと制御棒チャンネルを持った炉心を設計し小型 RFBB としての成立性を検討した結果について述べている。解析した炉心の熱出力、炉心高さは基準炉心と同じとし、210 体の燃料集合体と 6 体の制御棒チャンネルを有し炉心周囲に鉛ビスマス合金反射体を設置した炉心を設計し、第 2 章と同様な手法を用いて解析をした結果、平衡状態において原子炉は臨界となり、取出し燃料の平均燃焼度は約 299 MWd/kg-HM で、平衡状態で半径方向の出力分布がほとんど変化がなく、定常状態での燃料、被覆材、冷却材の温度も許容範囲であり、制御棒全挿入時の実効増倍率は 0.98、冷却材ボイド反応度は最大で 4.3\$程度であり、いずれも許容されるものであることを明らかにしている。また取出し燃料被覆管の DPA は最大で 740 程度となることを明らかにしている。これらのより現実的な設計の炉心の解析によって窒化物燃料ナトリウム冷却材小型 RFBB が成立可能であることを明らかにしている。

第 5 章「Conclusions」では、以上の各章で得られた成果を総括し、結論を述べている。

これを要するに、本論文は天然ウラン資源の有効利用と使用済み燃料の低減が可能な窒化物燃料ナトリウム冷却材小型 RFBB が成立することを高度かつ詳細な数値解析により明らかにしており、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あるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(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。