

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	燃料連続移動シャッフリングを用いたブリードバーン型高速炉の設計研究
Title(English)	
著者(和文)	桑垣一紀
Author(English)	Kazuki Kuwagaki
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11518号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小原 徹,千葉 敏,赤塚 洋,相樂 洋,片淵 竜也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11518号, Conferred date:2020/3/26, 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		桑垣一紀	
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	片渕竜也	准教授
	審査員	千葉 敏	教授			
		赤塚 洋	准教授			
		相楽 洋	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「燃料連続移動シャッフリングを用いたブリードバーン型高速炉の設計研究」と題し、7章より構成されている。

第1章「序論」では、はじめにブリードバーン型高速炉(B&B 炉)の概要と実用化への課題について述べている。B&B 炉では、天然ウランまたは劣化ウランを燃料とし再処理を用いずにウラン資源を有効に利用できるという優れた特徴を持つ炉心概念であるものの、天然ウラン燃料領域や核分裂生成物が多く含まれる燃焼済み領域といった臨界性を悪化させる領域が炉心内に存在するため臨界を維持するには中性子経済に優れた炉心である必要があり、また核分裂が活発な領域が移動するため運転中に出力分布が変化するという問題があると指摘している。ここで燃料要素を連続的にかつ適切に移動させる燃料シャッフリングを採用することで燃焼領域をほぼ一定の位置に保つと同時に原子炉の臨界を維持できる可能性を指摘し、このような炉心概念の B&B 炉の成立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「解析手法」では、燃料連続移動シャッフリングを用いた B&B 炉の炉心解析手法について述べている。炉心燃焼計算には、連続エネルギーモンテカルロコード MVP/MVP-BURN 及び核データライブラリには JENDL-4.0 を用い、燃料連続移動シャッフリングを適用した炉心燃焼解析を行うため燃料の移動パターンにあわせて燃料集合体の組成を入れ替えるプログラムを、プログラミング言語 Python を用いて開発したことを述べている。また燃料セルの定常熱流動解析はソフトウェア COMSOL Multiphysics を用いて行ったことを述べている。

第3章「燃料連続移動シャッフリングを用いた定在波型ブリードバーン高速炉の成立性」では、金属燃料及び鉛・ビスマス共晶合金を冷却材に用いた炉心に、円周回転型に燃料集合体を移動させる燃料シャッフリングを適用した場合の燃焼解析の結果について述べている。解析の結果、この方法により燃焼領域が定在しかつ中性子利用効率の良い B&B モード燃焼状態が実現できることを明らかにしている。同時により現実的な設計に向けて、被覆管の最高温度が金属燃料との相互作用温度を低く抑える必要があること、また被覆管の照射損傷が基準値を超えていることを解決する必要があることを述べている。

第4章「必要最小燃焼度での定在波型ブリードバーン高速炉の設計」では、円周回転型燃料シャッフリング法の課題を解決するため燃料移動パターンを最適化した結果について述べている。被覆管の照射損傷を低減するために燃料の取り出し燃焼度を下げ、被覆管の最高温度低減のため炉心出力を下げると同時に燃料ピンのピッチを広げるよう炉心設計を変更し、本炉心に新たに考案したスパイラル型に燃料が移動する燃焼シャッフリングを用いることで、第3章で指摘した問題点を解決できることを明らかにしている。

第5章「ブリードバーン高速炉の取り出し燃料の特性」では、B&B 炉の取り出し燃料の一般的な特性を明らかにするため、第3章及び第4章で設計した B&B 炉の使用済み燃料について、核拡散抵抗性、崩壊熱、放射性といった観点から解析を行い、軽水炉や一般的な高速炉との比較を行った結果について述べている。B&B 炉では、天然ウランを再処理なしで高燃焼度まで燃焼させるため燃料に多くの核分裂生成物が蓄積され使用済み燃料の崩壊熱が高くなることがないか確かめる必要があり、また同時に使用済み燃料の核拡散抵抗性を確認することも重要であることを指摘し、それに加え使用済み燃料の地層処分を考慮する場合はその毒性の経年変化も重要な観点であると指摘している。これらの B&B 炉の使用済み燃料と一般的な軽水炉及び酸化物燃料ナトリウム冷却高速炉の使用済み燃料に対して、燃焼解析コード ORIGEN を用いて解析を行い、B&B 炉の取り出し燃料は核拡散抵抗性、崩壊熱、放射性の経年変化といった指標が、一般的な軽水炉及び酸化物燃料ナトリウム冷却高速炉の使用済み燃料と比較して悪化することはないことを明らかにし、本 B&B 炉の使用済み燃料の処分が既存の炉型にくらべ困難となることはなく、同時に高い燃焼度により廃棄物の物量が低減されるという利点があることを明らかにしている。

第6章「被覆管照射損傷の低減方策」では、燃料被覆管の照射損傷を低減するために、炉内の一部領域の中性子スペクトルを軟化させることで転換領域にある燃料被覆管の照射損傷を低減する方法を考案しその有効性について述べている。炉内の中性子スペクトルを軟化させるために、第4章で設計した炉心の一部の集合体を黒鉛に置き換え解析を行った結果、第4章で設計した炉心と比較して、23.2%の dpa 値の上昇で燃焼度を 66.8%向上できることが明らかになり本手法による燃料被覆管照射損傷低減の有効性を明らかにしている。

第7章「結論」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、本論文はブリードバーン型高速炉の持つ種々の課題を解決する手法を考案しその有効性を明らかにし、さらにその使用済み燃料の特性の指標が既存の原子炉の使用済み燃料に比べ悪化することはないことを明らかにすることで次世代の高速炉の新しい概念を提示しその有用性を明らかにしており、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。