

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	軽水炉取り出しプルトニウムを起動炉心に用いたCANDLE燃焼高速炉
Title(English)	
著者(和文)	大里洋輝
Author(English)	Hiroki Osato
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11194号, 授与年月日:2019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11194号, Conferred date:2019/3/26, 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	大里 洋輝	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小原 徹	教授	片淵竜也	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、「軽水炉取り出しプルトニウムを起動炉心に用いた CANDLE 燃焼高速炉」と題し、6 章より構成されている。  
第 1 章「序論」では、燃焼領域が自律的に徐々に伝搬していく革新的原子炉概念である CANDLE 燃焼高速炉の原理と燃焼特性について概観した後、日本が現在保有しているプルトニウムについて述べ、その有効な活用方法として CANDLE 燃焼高速炉の起動炉心に用いることを提案し、軽水炉使用済燃料由来のプルトニウムを用い装荷するプルトニウム量が最小でかつ運転期間中の実効増倍率が常に 1 以上となる CANDLE 燃焼高速炉の起動炉心の設計条件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「解析方法」では、CANDLE 燃焼高速炉の炉心設計および解析に用いた計算コードと解析方法について述べている。解析では、CANDLE 燃焼高速炉の燃料として燃料の密度が大きい金属燃料を、冷却材および反射体として炉内で硬い中性子スペクトルが期待できる鉛ビスマス共晶合金を採用し、原子炉熱出力を 3000 MW としたことを述べている。また、軽水炉使用済燃料由来プルトニウムの同位体比として、改良型加圧水型軽水炉の燃焼度 49 GWd/t の使用済燃料を 5 年間冷却した後の同位体比を採用したとしている。核計算においては、中性子束分布及び燃料組成の変化の解析が比較的少ない計算量で可能な決定論的手法を採用し、燃焼度依存の巨視的断面積テーブル作成のための格子燃焼計算に SRAC コード、全炉心燃焼計算に COREBN コード、断面積ライブラリに JENDL-4.0 を使用したと述べている。

第 3 章「軽水炉プルトニウムを用いた起動炉心設計」では、軽水炉使用済燃料由来プルトニウムを用いた CANDLE 燃焼高速炉の起動炉心の設計について述べている。まず、本解析の前の予備解析として、プルトニウム燃料を円盤状に装荷した起動炉心の設計を行い、その後平衡燃焼状態のプルトニウム分布を模擬した起動炉心の設計を行った結果について述べている。プルトニウム燃料を円盤状に装荷した起動炉心設計においては、初期装荷プルトニウムの最小量は 3.58 t であり、そのときの初期炉心の構成条件は、プルトニウム燃料のプルトニウム富化度：13%、プルトニウム-ウラン燃料領域の厚さ：40 cm、炉心最上部の天然ウラン燃料領域の厚さ：5 cm となることを明らかにしている。また平衡燃焼状態のプルトニウム分布を模擬した起動炉心設計では、原子炉起動用のスタータ燃料および運転期間中の実効増倍率の減少を埋め合わせるブースタ燃料の 2 種類の燃料を用いた起動炉心を設計し、この設計においては 2.76 t のプルトニウムで CANDLE 燃焼高速炉を起動できることを明らかにしている。

第 4 章「炉心特性評価」では、第 3 章で設計した平衡燃焼状態のプルトニウム分布を模擬した CANDLE 燃焼高速炉の炉特性評価を行った結果について述べている。燃焼特性解析、温度係数評価、静的熱流動解析、燃料被覆管健全性評価、使用済燃料の崩壊熱、放射性毒性および核拡散抵抗性評価を行った結果、平衡燃焼状態での使用済燃料の平均燃焼度は 446 GWd/t に達し、温度係数評価は運転初期では負となるがその後は正となることを明らかにしている。また静的熱流動解析では、COMSOL Multiphysics を用いて解析を行い、起動炉心から平衡燃焼状態までの移行過程において、燃料の最高温度が制限値を超えないよう原子炉熱出力の最適化を行っている。使用済燃料評価では ORIGEN コードを用いて使用済燃料の崩壊熱および放射性毒性を計算し、それを軽水炉使用済燃料のものと比較検討し、単位燃焼度あたりでは毒性、崩壊熱とも軽水炉使用済燃料より小さくなることを明らかにしている。また核拡散抵抗性評価ではプルトニウム同位体比を評価することにより、CANDLE 燃焼高速炉の使用済燃料は原子炉級に分類されることを明らかにしている。

第 5 章「メルトリファイニング法の適用」では、第 3 章で設計した平衡燃焼状態のプルトニウム分布を模擬した CANDLE 燃焼高速炉の運転期間中の中性子照射による燃料被覆管損傷の課題を解決するため、起動炉心から平衡燃焼状態への移行過程において燃料にメルトリファイニング法を適用した場合の解析を行った結果について述べている。解析では、起動炉心から平衡燃焼への移行過程において被覆管の dpa 値が 200 を超過する直前に燃料にメルトリファイニング法を適用するとし、均質化、ガスおよび揮発性核分裂生成物の除去、冷却および待ち時間、質量損失のそれぞれの効果および影響を検討している。解析の結果、均質化は臨界性の低下をもたらす、ガスおよび揮発性核分裂生成物の除去は臨界性を向上させ、燃料の冷却および装荷までの待ち時間は臨界性を低下させ、質量損失も臨界性を低下させることを明らかにしている。さらに、冷却期間 7 年、均質化、核分裂生成物の除去、装荷までの待ち時間 1 年および質量損失 1% という条件において、CANDLE 燃焼高速炉は常に臨界を維持したまま平衡燃焼状態となることが可能で、起動炉心から平衡燃焼状態までの間に適切にメルトリファイニング法を適用することにより、燃料被覆管の健全性の維持が可能であることを明らかにしている。

第 6 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 CANDLE 燃焼高速炉において、軽水炉使用済燃料由来のプルトニウムの装荷量が少なくかつ起動炉心から平衡燃焼状態まで常に臨界の維持が可能となる設計条件を明らかにすることで国内で保有するプルトニウムを CANDLE 燃焼高速炉によって有効に活用することが可能であることを示し、同時にこの炉心の燃焼特性、使用済燃料の特性及び燃料被覆管の健全性維持の方法を明らかにすることで将来の革新的な高速炉システム概念を明確に提示しており、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。