

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Design Concepts of Small CANDLE Reactor with the Melt-Refining Process
著者(和文)	Van Khanh Hoang
Author(English)	Van Khanh Hoang
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10968号, 授与年月日:2018年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小原 徹,千葉 敏,赤塚 洋,片淵 竜也,相樂 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10968号, Conferred date:2018/9/20, 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	Hoang Van Khanh	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	小原 徹	教授	相樂 洋	准教授
	審査員	千葉 敏	教授		
		赤塚 洋	准教授		
		片渕竜也	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Design Concepts of Small CANDLE Reactor with the Melt-Refining Process (メルトリファインプロセスを用いた小型 CANDLE 炉の設計概念)」と題し、7 章より構成されている。

第 1 章「Introduction」では、まず原子力利用において投資リスクと安全性の観点から小型モジュール炉(SMR)の意義が高まることを指摘し、同時に CANDLE 燃焼方式の高速炉が優れた燃焼性能が期待できることが先行研究により明らかになっていることを踏まえ小型 CANDLE 型原子炉の開発の意義を述べている。一方で CANDLE 型原子炉は、高燃焼度における燃料被覆材の健全性確保が課題であるとし、これは米国において建設された高速炉 EBR-II で用いられた金属燃料の被覆材を除去した後燃料を加熱溶解後再形成を行うメルトリファインプロセスを適用することで解決できることを指摘し、燃料被覆材の照射損傷が現在までに健全性が確認されている 200dpa 以下となるメルトリファインプロセスを用いた小型 CANDLE 型原子炉の設計概念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「Reference Small CANDLE Reactor」では、基準炉心として出力 300MWt の小型 CANDLE 型原子炉の設計概念を提示している。CANDLE 型原子炉で必要となる高中性子経済を達成するために金属燃料を用い冷却材は鉛ビスマス共晶合金として、燃料ピンサイズ及びピッチを最適化した結果、半径 130cm、高さ 220cm の炉心で CANDLE 燃焼が実現可能であることを明らかにし、同時に定常運転状態での除熱も可能であることを明らかにしている。

第 3 章「Effects of the Melt-Refining Process on the Performance of Small CANDLE Reactor」では、第 2 章で提示した小型 CANDLE 型原子炉の基準炉心に対して、メルトリファインプロセスを適用した場合の燃焼特性に与える効果について述べている。炉内をいくつかの領域に分けメルトリファインによる燃料均質化の影響、メルトリファインによる希ガス及び揮発性核分裂生成物除去の効果、メルトリファインプロセス前後の冷却期間・待機期間の影響について解析を行い、その結果メルトリファインによって炉心のメルトリファインをする領域内の核種密度分布が失われることにより負の反応度が入るものの、核分裂生成物除去の効果はこれを補償するに十分の正の反応度をもたらす、冷却期間・待機期間による Pu-241 の崩壊による効果を考慮しても原子炉の臨界を維持することは可能で、取り出し燃料の燃焼度は 520GWd/t となり、基準炉心より 20%向上させることが可能であることを明らかにしている。また、この条件において取り出し燃料の照射損傷は 230dpa となり、200dpa という条件をやや超えることを明らかにしている。

第 4 章「Core Design Improvement of Small CANDLE Reactor with the Melt-Refining Process」では、メルトリファインプロセスを用いた小型 CANDLE 炉心デザインの最適化の結果について述べている。メルトリファインプロセスは原子炉の燃焼特性に種々の影響を与えるためたとえ原子炉が臨界となり継続した運転が可能であっても、基準炉心のデザインは最適なものではないという点を指摘した上で、炉心デザインの最適化の検討を行っている。その結果、燃料ピンピッチの最適化により、炉心半径を 100cm と基準炉心より小さくすることが可能な上、この場合の取出し燃料の平均燃焼度は基準炉心より 21%大きくなり、さらに燃料被覆材の照射損傷は 200dpa 以下とすることが可能であることを明らかにしている。さらにこの炉心の燃料温度係数、冷却材温度係数を評価し、安全上問題がないことを明らかにしている。

第 5 章「Compensating for Fuel Losses during the Melt-Refining Process」では、メルトリファインプロセスの際の、燃料の損失が燃焼に与える影響とその対策の有効性について述べている。メルトリファインプロセスでは、一定量の燃料の損失が考えられることを指摘し、EBR-II での経験をもとに燃料損失を 10%とし、メルトリファインを行う際に損失分を天然ウランにより補充した場合及び使用済み燃料で補充した場合の燃焼特性への影響を解析した結果、どちらの手法においても燃料交換周期の調整により原子炉を臨界とすることができることを明らかにし、使用済み燃料による補充の場合は、最終処分とする使用済み燃料を減らすことが可能であることを明らかにしている。さらに、損失分を炉心のブリード領域に装荷して補填する場合も、同様な効果が期待できることを明らかにしている。

第 6 章「Special Consideration for Burnup Performance Improvement by the Neutron Energy Spectrum Shift」では、小型 CANDLE 炉心の燃焼特性を向上させる方策としてブリード領域のスペクトルをやわらかくすることで燃料転換を促進する効果の有効性について述べている。仮想的な体系での解析により有効性を検討した結果、ブリード領域のスペクトルシフトにより燃焼特性向上の効果が見られ、小型 CANDLE 型原子炉の燃焼特性向上に有効である可能性があることを明らかにしている。

第 7 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、本論文は小型 CANDLE 型原子炉にメルトリファインプロセスを用いた場合の炉心特性について検討し、この方法が燃料被覆材の照射限界の問題の解決及び燃焼特性の向上に有効であること及びメルトリファインプロセスでの燃料の損失も補償可能であることを明らかにして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、東工大リサーチポータル(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。