

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Study on Burnup Performance of Small Pebble Bed Reactors with Accumulative Fuel Loading Scheme
著者(和文)	シマヌルラン イルワン リアプト
Author(English)	Irwan Liapto Simanullang
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10649号, 授与年月日:2017年9月20日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小原 徹,高橋 実,千葉 敏,赤塚 洋,相樂 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10649号, Conferred date:2017/9/20, 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

(博士課程)

## 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	IRWAN LIAPTO SIMANULLANG	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	小原 徹	教授	相楽 洋	准教授
	審査員	高橋 実	教授		
		千葉 敏	教授		
		赤塚 洋	准教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Study on Burnup Performance of Small Pebble Bed Reactors with Accumulative Fuel Loading Scheme (燃料蓄積型小型ペブルベッド型炉の燃焼特性に関する研究)」と題し、6章より構成されている。

第1章「Introduction」では、ペブルベッド型高温ガス炉(PBR)について概観し受動的安全性能に優れているという特長について述べた後、燃料の装荷交換方式に、何回も燃料を使用するマルチパス方式、1回のみ燃料を使用するオート方式、炉心下部から燃料を排出しない蓄積方式があることを述べ、蓄積方式はペブルベッド型炉の燃料排出系での問題を解決できる概念であるとしている。さらに、本原子炉はその目的に応じてウラン酸化物(UO<sub>2</sub>)燃料、混合酸化物(MOX)燃料、岩石型ウラン(U-ROX)燃料、岩石型プルトニウム(Pu-ROX)燃料などの様々な組成の燃料要素を用いることが可能かつそれぞれにおいて優れた燃焼特性が期待できることを述べた後、燃料蓄積型小型ペブルベッド型炉において異なる組成の燃料要素を用いた場合の燃焼特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「Burnup performance of UO<sub>2</sub> fuel in PBR with accumulative fuel loading scheme」では、連続エネルギーモンテカルロコード MVP 及び燃焼解析コード MVP-BURN に独自に開発したプログラムを加えるという本炉心概念の燃焼解析手法について述べた後、最大炉心高さ 10 m、半径 1.5 m、熱出力 110 MW の小型原子炉に対し、軽水炉において現在広く使われている UO<sub>2</sub> を燃料に用いた場合の燃焼特性の解析を行った結果について述べている。取り出し燃料の燃焼度が高くなるよう燃料組成を最適化した結果、ペブルあたりの装荷重金属重量 6 g、濃縮度 20% とした場合取り出し燃料の最大燃焼度 223 GWd/t、運転期間 10.2 年と優れた燃焼特性となることを明らかにしている。さらに本原子炉の特徴の1つである運転初期の大きな余剰反応度を抑制するため初期装荷燃料の濃縮度を下げる方法を用いる場合は、余剰反応度を小さくする点では効果的であるものの燃焼度、運転期間といった燃焼特性が悪化することを明らかにしている。また初期装荷燃料に可燃性毒物を用いる方法による場合は B<sub>4</sub>C 及び Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の粒子状可燃性毒物を用いるのもっとも効果的で、燃焼特性が悪化することはないものの、余剰反応度の最小化には限界があることを明らかにしている。これらのどちらを選択するかは余剰反応度抑制と燃焼特性のどちらに設計の重点をおくかによると結論づけている。

第3章「Burnup performance of MOX fuel in PBR with accumulative fuel loading scheme」では、プルトニウムの有効利用の観点から本小型原子炉に MOX 燃料を用いた場合の燃焼特性の解析を行った結果について述べている。燃料として用いるプルトニウムを軽水炉からの取り出しプルトニウム、装荷燃料のプルトニウム割合を 30%、ペブルあたりの重金属装荷量を 5 g とした場合にもっとも高い燃焼度が期待でき最大燃焼度 172 GWd/t、運転期間 5 年となることを明らかにしている。さらに運転初期の余剰反応度の抑制については、MOX 燃料を使用した場合は可燃性毒物によっては初期余剰反応度抑制を効果的に行うことはできず、反射体領域の制御棒によって運転初期の余剰反応度の抑制が可能であることを明らかにしている。

第4章「Burnup performance of U-ROX fuel in PBR with accumulative fuel loading scheme」では、核不拡散性及び直接地層処分の場合の放射性物質の保持性能が期待できる U-ROX 燃料を本原子炉概念に用いた場合の燃焼特性解析の結果について述べている。解析の結果、燃料をイットリア安定化ジルコニウム(YSZ)と UO<sub>2</sub> の混合物とし、濃縮度 20%、ペブルあたりの重金属装荷量を 5 g とした場合にもっとも高い燃焼度が期待でき、最大燃焼度 218 GWd/t、運転期間 8.4 年となることを明らかにしている。さらに期待される燃焼特性が UO<sub>2</sub> 燃料に比べ劣る原因について検討し、U-ROX 燃料では燃料の 81.75 モル%が YSZ でありこれによる中性子吸収の効果が無視できないためであるとしている。さらに、運転初期余剰反応度抑制方法についても解析を行い、可燃性毒物を用いる場合は粒子状の B<sub>4</sub>C のみを用いることが有効であることを明らかにしている。

第5章「Burnup performance of Pu-ROX fuel in PBR with accumulative fuel loading scheme」では、余剰プルトニウムの効果的な燃焼と核不拡散性、直接地層処分の際の放射性物質の保持性能が期待される Pu-ROX 燃料を本原子炉に用いた場合の燃焼特性を解析した結果について述べている。解析の結果、燃料を YSZ と軽水炉取り出しプルトニウムの混合物とし、ペブルあたりの重金属装荷量を 3 g とした場合に最も高い燃焼度が期待でき、最大燃焼度 550 GWd/t、運転期間 11.4 年となることを明らかにしている。また、運転初期の余剰反応度抑制について解析を行った結果、MOX 燃料の場合と同様に可燃性毒物によって余剰反応度を効果的に抑制することはできず、反射体に制御棒を設置することによってのみ可能となることを明らかにしている。

第6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、本論文は燃料蓄積型小型ペブルベッド型炉がその目的に応じた様々な種類の燃料を用いた際、いずれの燃料においても優れた燃焼特性を期待できることを明らかにした上で、今後の高温ガス炉開発を進める上で有効な知見となる種々の燃料での燃焼特性と効果的な余剰反応度抑制方法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。