

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	岩石型酸化物燃料要素を用いたペブルベッド型モジュラー高温ガス冷却炉の設計研究
Title(English)	Design Study for Modular Pebble Bed High Temperature Gas-cooled Reactor with Rock-like Oxide Fuel Element
著者(和文)	Ho Hai Quan
Author(English)	Hai Quan Ho
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10172号, 授与年月日:2016年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小原 徹,井頭 政之,高橋 実,加藤 之貴,相楽 洋
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10172号, Conferred date:2016/3/26, 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	Ho Hai Quan		
		氏 名	職 名		氏 名	職 名
論文審査 審査員	主査	小原 徹	教授	審査員	相楽 洋	准教授
	審査員	井頭政之	教授			
		高橋 実	教授			
		加藤之貴	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「Design Study for Modular Pebble Bed High Temperature Gas-cooled Reactor with Rock-like Oxide Fuel Element」と題し、5章より構成されている。

第1章「Introduction」では、ペブルベッド型モジュラー高温ガス炉開発について概観し、本原子炉が被覆粒子燃料と黒鉛減速材の使用により高い受動的安全性能を有していることを指摘している。さらに既往研究において化学的安定性に優れた岩石型酸化燃料(ROX)が開発されていることを述べ、本燃料によりワンスルー燃料サイクルでの使用済み燃料の地層処分の際の安全性の向上が期待できることを指摘し、同時に燃料要素の重金属密度が下がるため燃焼特性が悪化することが予想されることを指摘している。さらに余剰反応度がほとんど無いため高い中性子経済が期待できるペブルベッド型高温ガス炉に本燃料を適用することで本問題が解決できる可能性を指摘し、使用済み燃料の安全性を高め優れた燃焼特性を有する岩石型酸化燃料を用いたペブルベッド型モジュラー高温ガス炉の概念を示し、そ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 OTTO cycle Pebble Bed Reactors with ROX fuel」では、ペブルベッド型モジュラー高温ガス炉で燃料を炉内で1回だけ通過させて使用する OTTO (Once Through Then Out)サイクルを用い、イットリア安定化ジルコニア(YSZ)を用いた岩石型酸化燃料を使用した場合の燃焼特性解析について述べている。OTTO サイクルのペブルベッド型高温ガス炉の燃焼解析用に開発された MCPBR コードを用い平衡燃焼状態での特性を解析した結果、岩石型酸化燃料を用いても平衡燃焼時に原子炉を臨界とすることが可能であるものの、燃焼度を表す指標である FIFA (Fissions per Initial Fissile Atom) が同量の重金属核種を装荷した場合通常の酸化燃料に比べ 10~15%程度悪化することを明らかにしている。一方で出力ピーク係数及びペブル燃料要素あたりの出力は酸化燃料に比べ低くなり、この効果により FIFA 低下の効果を相殺することができ、岩石型酸化燃料を用いても通常の酸化燃料を用いた場合と同等な燃焼性能を達成することが可能であることを明らかにしている。

第3章「Design concept for a small pebble bed reactor with ROX fuel」では、岩石型酸化燃料を用いたペブルベッド型モジュラー高温ガス炉の炉心概念を示し、その燃焼特性解析について述べている。使用する被覆粒子燃料は高燃焼度照射実績のある AGR-1 型 TRISO 被覆粒子燃料とし、はじめに無限体系での解析により燃料組成の最適化をおこなった後に燃料の移動を伴わない全炉心体系での燃焼解析により最終的な燃料組成を決定し、炉内での燃料の移動も模擬した OTTO サイクル全炉心解析により1ペブル燃料要素あたりの重金属の装荷量を 2g としウラン濃縮度を 20%とした場合、取り出し燃料の燃焼度は 145GWd/t となり FIFA は 75%という高い値が達成できることを明らかにしている。さらに、炉心高さの最適化を行い、ピーク出力密度をペブルベッド型炉 PBMR の設定値である 10W/cm²以下とした結果、炉心高さ 6m、炉心半径 1.5m、上部空洞厚さ 1m、反射体厚さ 1m の炉心で熱出力 120MW が達成できることを明らかにしている。

第4章「Burnup performance of ROX fuel in molten salt coolant」では、岩石型酸化燃料をペブルベッド型モジュラー高温ガス炉の冷却材にヘリウムに代わり熔融塩を用いた場合の核的特性解析について述べている。熔融塩は LiF-BeF₂ (flibe)とし、無限体系での核的特性を解析した結果、熔融塩を冷却材に用いることで炉内の中性子スペクトルをやわらかくする効果がある一方で、熔融塩が吸収体として核的特性に無視できない影響を与えるが、ペブル燃料要素に装荷する重金属の量を増やし中性子スペクトルを固くすることで熔融塩による中性子吸収効果を小さくすることができることを明らかにしている。さらに第3章と同じ炉心体系で燃料移動を取り入れた全炉心解析を行った結果、ペブル燃料要素あたりの重金属装荷量を 4.5g、ウラン濃縮度 20%とすることで、取り出し燃料の燃焼度 145GWd/t、FIFA で 74%とヘリウム冷却材の場合と同等の燃焼特性が達成でき冷却性能の向上により原子炉熱出力を 200MW とできることを明らかにしている。また、燃料、減速材、冷却材の温度係数、冷却材ボイド係数が常に負であることを解析により示し、安全性を考える上での特性も優れてい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、本論文は使用済み燃料の化学的安定性に優れた岩石型酸化燃料を用いたペブルベッド型モジュラー高温ガス炉の炉心概念を示し、その燃焼特性を解析することで本原子炉概念がヘリウム冷却材または熔融塩冷却材を用いた場合において優れた燃焼特性を有すること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。