

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高速炉サイクルシナリオにおける Pu量及び質管理による核不拡散性向上に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	藤岡里英
Author(English)	Rie Fujioka
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11195号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:相樂 洋,小原 徹,千葉 敏,林崎 規託,片淵 竜也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11195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)	要約
Type(English)	Outline

論文要約

本論文では核不拡散の社会的ニーズを考慮した柔軟な Pu 管理方策に応じた Pu 量及び質管理を可能にする高速炉炉心概念を提示し、核不拡散性向上に与える影響を明らかにした。

まず第 2 章では柔軟な Pu 管理方策に応じた Pu 燃料管理シナリオの策定のために、Pu 燃料サイクルに対する核不拡散上の社会的要請として、(1)分離 Pu の迅速な処理・低減、(2)サイクル中の Pu 絶対量の低減、(3)核不拡散性の高い高速炉多重サイクルによる Pu 平衡利用の 3 項目から、これらを達成するために Pu 管理目標として (a)Pu 質管理 (分離 Pu の照射済 Pu への改質)、(b) Pu 質管理 (Pu 同位体改質)、(c) Pu 量管理 (Pu 量低減) の 3 項目を設定し、核不拡散上特に重要な 7 つの燃料管理シナリオを提示した。またナトリウム冷却大型 MOX 燃料高内部転換型炉心 JSFR (熱出力 3570 MW_{th}) を基本炉心とし、炉心及びブランケットの設計変更をすることで各燃料管理シナリオに応じた基本的な高速炉炉心特性を主に Pu 装荷量、Pu 量低減率、使用済燃料中 Pu の臨界量当たりの崩壊熱量の 3 つの指標に対して明らかにした。Pu 量低減率の観点では、炉心 Pu 富化度を上げることで基本炉心の -0.09 から従来の LWR と同程度の 0.26 まで向上可能であることが分かった。Pu 装荷量の観点では、Pu 富化度を上げることで基本炉心の 15.4 t から RMWR と同程度の 25.5 t まで向上可能であることが分かった。最後に Pu 同位体改質の観点では、ブランケットに U-MA 燃料及び減速材導入することで生成する ²³⁸Pu 量に比例して Pu 自身の発熱を増大させることが分かった。

第 3 章では分離 Pu の迅速な照射改質 Pu への転換の目標に対し、分離 Pu の照射済 Pu への改質を可能にする炉心概念検討を行った。炉心に長期保管され ²⁴¹Am が蓄積され且つ高 Pu 富化度の MOX を装荷、径方向ブランケットを遮蔽体に置換、軸方向ブランケットをガスプレナムに置換した炉心に対し、経年 Pu の使用並びに Pu 幾何配置の最適化により、余剰反応度、出力ピーキング係数、炉心反応度係数 (ボイド係数、ドップラー係数) について基本炉心程度を担保しつつ、Pu 装荷量を 14.1 t から 17.2 t に最大化し分離 Pu を迅速に照射済 Pu へ改質する炉心概念を導出した。

第 4 章では Pu 量低減と Pu 同位体改質の両目標に対し、炉心部で核分裂を通じた Pu 絶対量を低減し、ブランケット部で Pu 同位体改質した Pu の生成する、Pu 量及び質管理を同時に行う炉心概念検討を行った。Pu 同位体改質目標として、核爆発装置製造を困難にする Pu 崩壊熱による技術基準を国家及び非国家主体脅威に共通に採用し、ブランケット U-MA 燃料の燃焼解析の結果から MA を 3 at.% 以上添加しかつ非均質減速材 (ZrH_{1.65}) 棒を導入したブランケット燃料集合体が有効であることを明らかにした。炉心部では、経年 Pu MOX 富化度を炉心内 6 領域に細分化して装荷すること及び、²⁴¹Am が蓄積した長期保管 MOX 燃料の利用により Pu 低減率を 8.4 % から 28 % まで増加させることを明らかにした。以上より基本炉心の運転性能と核的安全性を担保しつつ Pu 量及び質管理を同時に行う炉心概念を導出した。

第 5 章では軽水炉使用済燃料中 Pu 量の低減の目標に対し、MOX 燃料装荷軽水炉における

多様な中性子スペクトルが目標や運転性、安全性に与える感度を解析した上で、最適な炉心仕様を明らかにした。中小型軽水炉炉心(500MW_{th})を基にピンセルモデルを用いて減速材対燃料体積比(V_m/V_f)、Pu 富化度、MOX 燃料保管期間が中性子スペクトル、反応度及び物質収支に与える感度を評価した。 V_m/V_f を0.5から5まで増加させた柔らかい中性子スペクトル場ではPu低減率を0.03から0.43まで増加し、一方でPu富化度を5 wt.%から50 wt.%まで増加させた硬い中性子スペクトル場ではPu低減率が0.37から0.11まで低下することを明らかにした。PWR炉心設計の最適化では、三次元全炉心拡散・燃焼計算と遺伝的アルゴリズムを基にした多目的最適化手法を用いて、Pu低減率最大化、燃焼期間最大化及び出力ピーキング係数最小化を同時達成する燃料パラメータ(V_m/V_f 、Pu富化度、MOX燃料貯蔵期間)の最適解群を導出した。同最適解群の分析の結果、Pu低減率が最大16%となる燃料パラメータ(V_m/V_f :1.72、MOX燃料Pu富化度:約25 wt.%、新MOX燃料貯蔵期間:8.19年)を明らかにした。

最後に第6章では第2章から第5章の結果を受け、これらの炉心が燃料サイクル中の物質収支と核不拡散性に与える影響を明らかにした。まず分離Puの迅速な処理・低減の社会的要請に対し、第3章の提案高速炉1基を用いることにより19.5年で分離Pu47.9tを迅速に照射改質できることを明らかにした。次にPu量低減とPu同位体改質により核不拡散性の高い高速炉多重サイクル構築への社会的要請に対し、日本の核燃料サイクルに第4章の提案高速炉を導入した場合の日本における現実的な原子力利用シナリオ200年間の評価を行った結果、提案高速炉4基を2045年より順次導入することでPuを低減しながらブランケットにおける同位体改質Puを生成し、約70年後には同位体改質Puのみで新たに4基程度の大型高速増殖炉を立ち上げ可能であることを明らかにした。

以上より本論文では、炉心MOX燃料設計と炉心内幾何装荷配置及びブランケット設計により、核不拡散上の社会的要請に応える柔軟なPu量及び質管理を可能にする高速炉炉心概念を提示した。