

柔軟性の高い MA 回収・核変換技術の開発

(9)高濃度 MA 含有金属燃料装荷高速炉の燃料および炉心設計

Development of highly flexible technology for recovery and transmutation of minor actinide

(9) Design study on fuel and core for sodium-cooled fast reactors loading highly concentrated

MA-containing metal fuel

*大釜 和也¹, 太田 宏一², 原 俊治², 永沼 正行¹, 大木 繁夫¹, 飯塚 政利²¹ 日本原子力研究開発機構, ² 電力中央研究所

柔軟性の高い MA 回収・核変換技術開発の一環として、高濃度 MA を含有する U-Pu-MA-Zr 合金燃料を装荷した高い MA 核変換効率および柔軟なサイクルシナリオ適応性を有する高速炉炉心設計を実施した。

キーワード：金属燃料，MA 核変換，ナトリウム冷却高速炉，燃料挙動，炭化ケイ素(SiC)

1. 緒言

湿式再処理・MOX 燃料を利用した高速炉サイクルに、比較的容易に MA の扱いが可能で、かつ、小規模でも経済性に優れる等の特長を有する金属燃料-乾式再処理を加えることにより、MA 核変換および Pu 需給ニーズに柔軟に対応できる技術開発を行っている。これまでに高濃度 MA 含有金属燃料の製造性条件を確認し、早期実現性に着目した高濃度 MA 含有金属燃料装荷・MOX 燃料炉心や、SiC/SiC 複合材装荷高効率 MA 核変換金属燃料炉心の設計を行った[1]。本検討では、以上の成果等を踏まえ、幅広いサイクルシナリオに対する柔軟性を有する炉心の設計および同炉心燃料の照射健全性確認を行った。

2. 検討条件・解析方法

既往研究で設計した 750MWe 金属燃料炉心を基準炉心とし、核データライブラリ JENDL-4.0 および MODIF コードによる 3 次元拡散燃焼計算により炉心特性を評価した。得られた出力履歴を用い、金属燃料挙動解析コード ALFUS により燃料健全性を評価した。

3. 検討結果

幅広いサイクルシナリオを想定すると、近未来の MA 核変換、また、高速炉平衡期における Pu 自給～増殖(増殖比 1.00～1.10 程度)が高速炉の性能として要求される。本研究では、上記要求に同一プラントによる炉心配置変更で対応できる金属燃料高速炉概念を検討した。はじめに、既往研究で設計した一般的な金属燃料炉心仕様にに基づき、高速炉平衡期に想定される、高速炉多重リサイクル組成(フィッサイル率が高く、MA をほとんど含まない)を用い、ブランケット燃料を用いずに増殖比 1.03 を上回る炉心形状(炉心高さ 95cm)を得た(図 1(a))。なお、SiC/SiC 複合材ラップ管を使用することで、被覆管の最大中性子照射量を緩和し、運転サイクルを約 10%延長できた。また、既往設計経験を踏まえると、本炉心の燃料上部に軸方向ブランケットを追加することで 1.10 程度の増殖比を達成できる見込である。次に、同炉心の形状で、SiC/SiC 複合材製の減速集合体を分散装荷した高効率 MA 核変換金属燃料炉心を構築した(図 1(b))。同炉心は、冷却材 Na ボイド反応度およびドップラ係数の改善のため、SiC/SiC 複合材ラップ管燃料および同材の減速集合体を装荷した炉心であり、約 20wt% の高濃度 MA 含有金属燃料を全炉心に装荷できる。SiC/SiC 減速集合体を分散装荷することで出力ピーキングを改善し、成立性を確保した。平衡期炉心および MA 核変換炉心の特性を表 1 に示す。また、同炉心の中で最も照射条件が厳しくなる燃料ピンを対象に、ALFUS コードにより燃料挙動を評価し、健全性が確保できることを確認した。以上により、減速集合体と燃料集合体を置換して炉心配置を変更することにより、幅広いシナリオ要求に柔軟に対処できる金属燃料炉心概念を得た。

参考文献 [1]大釜他, 柔軟性の高い MA 回収・核変換技術の開発(6), 日本原子力学会 2019 年秋の大会, 3J05, (2019).

※本研究は文部科学省原子力システム研究開発事業「柔軟性の高い MA 回収・核変換技術の開発」の成果である。

*Kazuya Ohgama¹, Hirokazu Ohta², Toshiharu Hara², Masayuki Naganuma¹, Shigeo Ohki¹ and Masatoshi Iizuka²

¹ JAEA, ² CRIEPI.

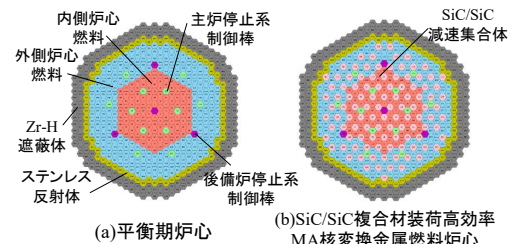


図.1 平衡期および MA 核変換炉心の炉心配置

表.1 750MWe 平衡期および MA 核変換炉心の特性

炉心仕様・特性	単位	(a)平衡期炉心	(b)MA核変換炉心
炉心高さ	cm	95	—
燃料集合体(内側/外側)	体	120/231	78/165
SiC/SiC減速集合体(内側/外側)	体	-	42/66
運転サイクル長さ	日	780	709
Pu/MA富化度 ^{*1}	%	12.5/0.4	18.8/18.8
燃焼反応度	%Δk/k'	0.7	-0.2
増殖比	-	1.04	0.78
最大線出力(内側/外側)	W/cm	306/339	377/412
取出平均燃焼度	GWd/t	100	133
最大高速中性子照射量(E _n >0.1MeV)	×10 ²³ n/cm ²	5.4	4.2
β _{eff}	-	3.7×10 ⁻³	2.5×10 ⁻³
冷却材Naボイド反応度	\$	5.7	6.6
ドップラ係数	Tdk/dT	-4.6×10 ⁻³	-2.9×10 ⁻³
V/D比 ^{*2}	\$/10 ⁻³ Tdk/dT	1.2	2.2
MA核変換量 ^{*3}	kg/GWe-y	-2(-2)	490(461)

^{*1} 内側及び外側炉心燃料のTRU富化度を同一としている炉心。

^{*2} 既往ULOF-SASS解析からV/D比 2.4\$/10⁻³Tdk/dT程度以下を暫定目安。

^{*3} (内)は、定検期間45日を考慮。3wt%MA均質装荷MOX燃料炉心では58(53)kg/GWe-y。