

革新的小型ナトリウム冷却高速炉の開発

(11) 軽水炉使用済み燃料由来の金属燃料を用いた MA 燃焼炉心概念

Development of an innovative small sodium-cooled fast reactor

(11) MA transmutation core concept with metallic fuel from LWR spent fuel

* 瀧田 翔¹, 藤村 幸治¹, 遠藤 慶太¹, 渡邊 大輔¹, 中原 宏尊¹, 松村 和彦¹, 太田 宏一²

¹日立 GE, ²電中研

シリーズ(10)の MA 燃焼シナリオに対応する MA 燃焼炉心を構築した。燃料製造・照射の観点で実績のある範囲内で MA を添加した金属燃料を装荷することで 75kg/GWe-y 程度の MA 燃焼量を確保した。また、MA 添加によって取出平均燃焼度や増殖比を低下させずに、ナトリウムボイド反応度の目標値を満足した。

キーワード: ナトリウム冷却高速炉, 金属燃料, マイナーアクチニド (MA), 核変換, 軽水炉使用済み燃料

1. 緒言

MA 燃焼シナリオに対応する MA 燃焼炉心を構築する必要がある。金属燃料炉心はスペクトルが硬いため MA 燃焼に有利であるが、燃料への MA 添加によって過渡時の安全性に影響を与えるナトリウムボイド反応度の増加等、反応度係数に影響を及ぼす。本検討では炉心燃料領域全体に MA 添加金属燃料を装荷した場合の MA 燃焼量やナトリウムボイド反応度等の核特性を評価した。

2. 検討条件・方法

米国で検討された小型金属燃料高速炉の仕様^{[1][2]}に基づき、原子炉出力、燃料集合体仕様を決定した。表 1 に示す炉心燃料取出平均燃焼度、増殖比の目標値を達成するため、炉心燃料とブランケット燃料の集合体数を設定した (図 1)。炉心燃料は、20 年冷却の国内軽水炉使用済み燃料^[3] (PWR-SF/BWR-SF を 1:1 で混合) を湿式再処理して回収された混合酸化物を電解還元し、Zr を添加して製造した U-TRU-Zr 燃料を想定した。なお、MA 添加金属燃料の製造・照射実績例である METAPHIX 試験 (U-Pu-Zr-5MA-5RE 燃料、[wt%], RE = 希土類元素)^[4]の結果より、本検討の燃料への MA、RE 随伴による有意な物性変化等は生じないと考えられる。FP は代表核種 (Nd-143) で模擬する核反応モデル^[5]を適用した。主要核特性は 2 次元拡散燃焼計算コード、ガス膨張モジュール (GEM) 反応度は 3 次元輸送計算コードで評価した。

3. 炉心特性評価結果

表 1 に示すようにナトリウムボイド反応度は MA 添加の影響で 1\$ 程度増加し 7.0\$ となったが、制限値として設定した 8.0\$ は下回った。また、米国で検討された小型金属燃料高速炉仕様^[1]と比較して、取出平均燃焼度や増殖比は同等以上を確保できる見通しを得た。MA 燃焼量は 75.5kg/GWe-y で、MA 燃焼シナリオへ反映した。

4. 結言

製造・照射実績の範囲で実現性の高い金属燃料を用いる MA 燃焼炉心を構築した。今後、スクラム失敗を伴う過渡事象の動特性評価や、本炉心の使用済み燃料に軽水炉由来の MA を添加して精製した金属燃料を再装荷するマルチサイクルの成立性を確認する。

参考文献

[1]B. Triplett, et al., Nuclear Technology, 175, 5, (2012), [2]A. Dubberley, et al., Proceedings of ICONE 8, 8002, (2000/4), [3]JAERI-Research 99-004 (1999). [4]H. Ohta et al., JNST., Vol 48, No.4, p.1-8(2011), [5]大木繁夫, JNC TN9400 2002-066, (2002/7), [6]藤村,他, 日本原子力学会, 2020 年秋の大会, 2I11, [7]太田,他, 電中研報告 T99090(2000).

* Sho Fuchita¹, Koji Fujimura¹, Keita Endo¹, Daisuke Watanabe¹, Hiroataka Nakahara¹, Kazuhiko Matsumura¹ and Hirokazu Ohta².

¹Hitachi-GE, ²CRIEPI.

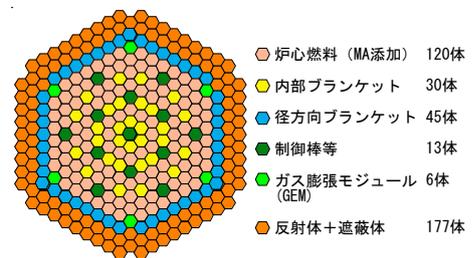


図 1 MA燃焼炉心構成

表 1 MA 燃焼炉心の主要な仕様と炉心核特性

項目	単位	核特性	目標値/備考
出力(熱/電気)	MW	840/311	米国条件 ^[1]
燃料取替え バッチ数 (炉心燃料 /IB/RB)*1, *2	—	3/2/3	
燃料集合体数 (炉心燃料 /IB/RB)*1, *2	—	120/30/ 45	
MA 添加率 (MA/HM)	wt%	4.2	5wt%以下 ^[4]
連続運転日数	EFPD	583	
最大線出力 (炉心燃料 /IB/RB)*1	W/cm	292/335 /240	500 以下 ^[6]
取出平均燃焼度 (炉心燃料/(ブ ランケット)) *2	GWd/t	106/32	約 106 (米国条件 ^[1] と 同等)
平衡サイクル 平均増殖比	—	約 1.1	1.03 以上、 米国条件 ^[1] は 1.06)
MA 燃焼量	kg/ GWe-y	75.5	
取出 MA 核変換 率	wt%	24.9	
燃焼反応度	\$	2.9	
ナトリウム ボイド反応度	\$	7.0	8.0\$以下に制 限*3、MA 添加 前は 6\$程度 ^[6]
ドブプラ係数	Tdk/ dT	-2.7 × 10 ⁻³	
GEM の反応度 (6 体当たり)	\$	-0.39	TRI-Z 輸送計算

*1: IB:内部ブランケット、RB:径方向ブランケット

*2: IB は 2 サイクル燃焼後に RB 位置に再装荷して

さらに 3 サイクル燃焼することを考慮

*3: ULOF 時 CDA 起因過程の即発臨界回避の目安^[7]