

革新的小型ナトリウム冷却高速炉の開発

(8) マルチリサイクル金属燃料を装荷した国内導入炉心概念

Development of an innovative small sodium-cooled fast reactor

(8) Core concept of sodium-cooled fast reactor for domestic deployment with multi-recycled metal fuel

* 瀧田 翔¹, 藤村 幸治¹, 遠藤 慶太¹, 藤又 和博¹, 渡邊 大輔¹, 中原 宏尊¹¹ 日立 GE

シリーズ(6)の国内導入シナリオにおける平衡期を想定して、(7)のマルチリサイクル時の乾式再処理および金属燃料製造の検討を基に評価した燃料組成を用いたナトリウム冷却金属燃料炉心を構築し、炉心特性を評価した。その結果、安全性・経済性の観点から設定したボイド反応度や取出平均燃焼度、増殖比の目標を達成し、過渡解析でULOFやUTOP時でも冷却材沸騰回避や燃料ピンの健全性維持は可能と評価した。

キーワード：高速炉，金属燃料，マルチリサイクル，ULOF（流量喪失時スクラム失敗），UTOP（出力上昇時スクラム失敗）

1. 緒言

本研究ではシリーズ(6)で検討された小型ナトリウム冷却高速炉導入シナリオの平衡期を対象に、核特性に変化がなくなるまで燃焼と再処理を繰り返した金属燃料を用いた炉心概念を構築して炉心特性を評価する。また、ULOF、UTOP時の過渡解析を実施し、冷却材沸騰回避や燃料ピンの健全性維持は可能か評価する。

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)。国内の燃料条件を考慮し、表1に示すPu富化度の制限の範囲内で臨界条件や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、内部ブランケット、径方向ブランケット集合体の数を設定した(図1)。乾式再処理で新燃料に随伴するFPは代表核種(炉心燃料：Nd-143、ブランケット燃料：Mo-95)で模擬する核反応モデル^{[3][4]}を適用した。炉心燃料は軽水炉由来のMOX粉を金属転換した組成^[3]を出発点とし、取出燃料を乾式再処理して再度装荷することを、平衡サイクル末期の炉心特性に変化がなくなるまで繰り返した。取出燃料組成は同位体生成消滅計算コード、主要核特性は2次元拡散計算コード、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に示すように炉心特性が平衡に達した炉心は取出平均燃焼度や増殖比の目標を達成した。ナトリウムボイド反応度は6.2\$となった。新燃料に含まれるMA割合は約0.7wt%で平衡となっており、炉心で生成されたMAは乾式再処理によってほぼ全量が新燃料に移行し、炉内で保持・核変換されることから、高レベル放射性廃棄物の有害度低減が期待できる。

4. ULOF、UTOP 概略評価結果

炉心特性評価で得られた反応度係数を用いて1点炉動特性方程式に基づくULOF、UTOP時の過渡解析を実施した。集合体湾曲や制御棒駆動軸伸長に伴う反応度は考慮しないものとした。ULOF時は、GEMによる負の反応度効果によって冷却材温度のピークが650℃以下となり、冷却材沸騰は回避できる。UTOP時は、投入される反応度を20¢以下とすればピーク出力が定格の2倍以下となり、米TREAT炉で実施された過出力試験で得られた知見^[5]を考慮して燃料ピンの健全性維持は可能と評価した。

参考文献

[1] B. Triplett, et al., Nuclear Technology, 175, 5, (2012),

[2] A. Dubberley, et al., Proceedings of ICON8, 8002, (2000/4), [3]藤村,他, 日本原子力学会, 2020年秋の大会, 2I11,

[4]大木繁夫, JNC TN9400 2002-066, (2002/7), [5] Theodore H. Bauer, et al., Nuclear Technology, Vol.92-3, pp.325-352, (1990).

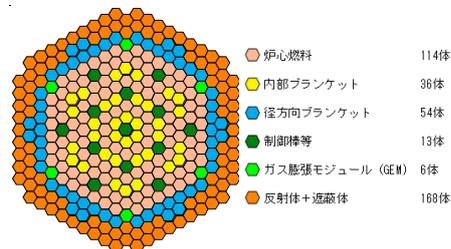
* Sho Fuchita¹, Koji Fujimura¹, Keita Endo¹, Kazuhiro Fujimata¹, Daisuke Watanabe¹ and Hirotaka Nakahara¹/ ¹Hitachi-GE.

図1 平衡期炉心構成

表1 主要な仕様と炉心核特性

項目	単位	炉心特性	目標値/備考
出力(電気/熱)	MW	311/840	
燃料取替えバッチ数(炉心燃料/IB/RB)*	—	3/2/3	
燃料集合体数(炉心燃料/IB/RB)	—	114/36/54	
新燃料の乾式再処理された回数	回	12	平衡サイクル末期の核特性が平衡となった時
Pu富化度((Pu+Np)/HM)	wt%	23.4	25以下[3]
PuF率((Pu-239+241)/Pu)	wt%	74	MOX粉組成は62
連続運転日数	EFPD	567.5	
最大線出力(炉心燃料/IB/RB)*	W/cm	300/307/204	500以下[3]
平衡サイクル平均出力分担率(燃料/IB/RB)*	%	77.9/9.6/12.5	
取出平均燃焼度(炉心燃料/IB/RB)*	GWd/t	106.3/12.5/16.5	約106[3](米国条件[1]と同等)
平衡サイクル平均増殖比	—	1.09	1.03以上
平衡時新燃料のMA含有率	wt%	0.7	
燃焼反応度	\$	4.0	
Naボイド反応度	\$	6.2	8\$以下**
GEMの反応度(6体当たり)	\$	-0.43	TRI-Z輸送計算

* IB:内部ブランケット、RB:径方向ブランケット

** ULOF時の過剰な機械的エネルギー発生防止の目安値