

被覆粒子燃料軽水炉の集合体燃焼解析および燃料内温度分布評価

Batch wise burnup analysis and fuel pin temperature evaluation of coated particle fuel LWR

*鈴木 貴也¹, 高木 直行¹

¹東京都市大学

長期および高燃焼度を達成する被覆粒子燃料軽水炉について、燃料交換を想定した集合体燃焼解析と燃料内温度分布評価により、炉概念の核および熱的成立性の予備的検討を行った。

キーワード： 被覆粒子燃料, 混合酸化物燃料, 平衡サイクル, 燃料内温度分布

1. 緒言 被覆粒子燃料(Coated Particle Fuel: CPF)を SiC 母材に分散させたペレットを被覆管に納めた被覆粒子燃料軽水炉(CPF-LWR)において、MOX 燃料を使用し最適な CPF の充填率(Packing Fraction: PF)を設定することで、現行軽水炉と同等以上の燃焼特性を達成できる可能性のあることが、これまでの研究のピンセル解析より明らかとなった。そこで本研究では、①計算体系をピンセルから集合体に拡大し、バッチ計算によって CPF-LWR 炉心の詳細な核特性を評価するとともに、②被覆粒子燃料内の通常運転時の温度分布を計算することで、炉心概念の核および熱的成立性の予備的検討を行った。

2. 解析方法 ①集合体燃焼解析 CPF-LWR のバッチ計算を行う最小の集合体構成として、熱出力 3,900MW の ABWR を基に周期境界条件を用いて 4 集合体体系を作成した。燃料組成は MOX 燃料(Pu 富化度 30%)を用いた。また、運転サイクル長は 13 ヶ月とした。解析には汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード MVP の燃焼計算モジュール MVP-BURN と核データライブラリには JENDL-4.0 を用いた。

また、平衡サイクルを達成する条件を検討した結果、CPF-LWR は現行軽水炉に比べ炉内重金属量が少ないため、PF=0.3, バッチ数: 4 では達成しなかった。このため、PF=0.4, バッチ数: 2 に設定した。これらの条件を用いて、平衡サイクル末期 (EOC) の集合体取出平均燃焼度や Pu 消費率といった燃焼特性および反応度係数を評価した。

②CPF 内温度分布計算 PF 変化による CPF 内温度分布への影響を調べた。本研究では CPF 表面温度から一次元定常熱伝導方程式を用いて温度分布を求めた。この時、CPF 表面温度は SiC 母材と CPF を均質とした SiC ペレット中心温度と同値とした。ただし、SiC ペレットの燃焼に伴う物性値変化に関する知見が少ないため、ガス炉用燃料コンパクトの物性値を引用した。

3. 結果 ①集合体燃焼解析 各運転サイクルの k-inf. の変化を図 1 に示す。また、EOC の集合体取出平均燃焼度と Pu 消費率を表 1 に示す。取出平均燃焼度は 180[GWd/t]となり、ABWR の燃焼度の 4 倍以上であることが分かった。この時、集合体に装荷された Pu 量は 50%消費されることを確認した。

平衡サイクル初期 (BOC) および EOC の反応度係数を表 2 に示す。いずれも負の反応度係数となった。BOC では、ボイド係数は ABWR の値とほぼ同等であり、ドップラー係数はその絶対値が 10 倍以上大きくなる傾向を示した。

②CPF 内温度分布計算 ABWR 燃料と同等の出力密度をもつ SiC ペレット中の CPF 中心温度は 940K ~ 1,130K(PF=0.3~0.05)となり従来の軽水炉燃料中心温度 (1,200K)と同等かより低くなった。

4. 結言 Pu 富化度 30%MOX 燃料を用いた CPF-LWR は、充填率をガス炉用燃料よりやや高めに設定し、燃料集合体の炉内滞在期間を 4 から 2 サイクルに短縮することで平衡サイクルを達成する。この時、現行軽水炉と比較して、CPF-LWR は同等の安全パラメータと 4 倍以上高い燃焼度を達成し、かつ低い燃料温度で運転可能であることが分かった。さらに、高い Pu 消費を達成する可能性が示された

参考文献

[1] Rachel A. Shapiro and Matthew J. Vincenzi, "OPTIMIZATION OF FULLY CERAMIC MICRO-ENCAPSULATED FUEL ASSEMBLY FOR PWR", Proc. of PHYSOR 2014, (2014)

*Takaya SUZUKI¹ and Naoyuki TAKAKI¹

¹Tokyo City Univ.

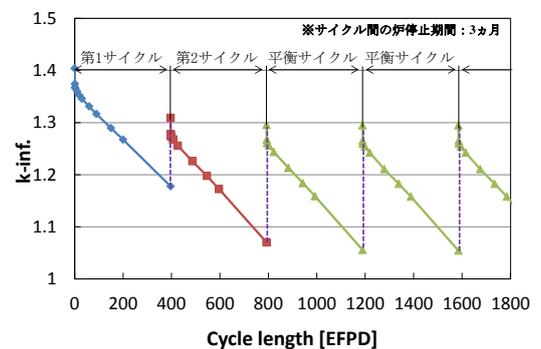


図 1. 各サイクルの k-inf. の変化 (PF=0.4, バッチ数: 2)

表 1. 集合体取出平均燃焼度と平均 Pu 消費率

	CPF-LWR	ABWR
取出平均燃焼度 [GWd/t/assembly]	180	38
平均Pu消費率 [%/assembly]	50	-

表 2. CPF-LWR の平衡サイクル初期(BOC) および末期(EOC)の反応度係数

	平衡サイクル初期 (BOC)	平衡サイクル末期 (EOC)
Doppler coefficient [$\Delta k/kk'/K$]	-1.22E-04	-1.11E-05
Void coefficient [$\Delta k/kk'/void\%$]	-6.52E-04	-1.53E-04