

重水冷却低減速トリウム炉における集合体集合に伴う反応度低下に関する考察

Consideration of reactivity decrease by assembling fuel assemblies in a heavy water-cooled reduced-moderation reactor

*篠原 知篤¹、櫻井 祐希¹、石田 大樹^{1,2}、高木 直行¹

¹東京都市大学、²東芝プラントシステム

一般的に原子炉の臨界性は、炉心内の集合体数増加に伴い大きくなるが、水冷却低減速炉ではその逆の傾向となる。この現象は炉心燃料管理上の問題をもたらすため、その原因と対策について考察を行った。

キーワード：外部減速効果、トリウム炉、重水冷却、低減速、集合体

1. 緒言

当研究室では数年来、トリウム燃料を用いた水冷却増殖炉の研究を行っている。先行研究^[1]で概念設計を行った重水冷却低減速トリウム炉の集合体系を図1に、炉心仕様を表1に示す。この集合体一体での重水中の臨界性を調べたところ k_{eff} が1を超え1.30であった。炉心全体では1.08のため、この炉心では装荷集合体数を増加させると臨界性が減少すると予想される。本検討ではこの現象について検証を行った。

2. 装荷集合体数による反応度変化の解析条件・結果

水冷却低減速炉に装荷する燃料として ^{232}Th - $^{233}\text{UO}_2$ (濃縮度 9.5%) および $^{238}\text{UO}_2$ - $^{235}\text{UO}_2$ (5%) を、減速材には軽水および重水を想定し、それらを組み合わせた体系で「装荷体数と k_{eff} の関係」を解析した。臨界計算には、汎用中性子・光子輸送計算モンテカルロコード MVP-3.0、核データは JENDL-4.0 を用いた。

解析の結果を図2に示す。減速材が重水の場合(図内実線)、両燃料とも装荷集合体数の増加に伴い k_{eff} が減少する傾向が見られた。(なお、装荷層数を1層(1体)から2層(7体)へ増やした範囲では k_{eff} が増大) 一方、減速材が軽水の場合(破線)、 k_{eff} は集合体数とともに増加する一般的傾向となった。

この原因を調べるため、重水減速材での集合体内の中性子束分布をみると、外周の燃料ピンほど熱中性子束が高くなっていることが分かった。軽水に比べ減速能が約一桁小さい重水内に置かれた、ピンピッチの短い低減速集合体においては、集合体内部では十分な減速が行われず、外部の重水領域に漏れ出た中性子が減速・拡散し集合体に流入する。この「外部減速効果」により重水内では少数集合体で反応度が大きくなると考えられる。

3. 重水中単一集合体における未臨界確保の解析条件・結果

集合体の中でも外周に近いピンの富化度を減少させることにより、その効果を抑制し、単一集合体時の臨界性を減少させることを検討した。

解析の結果、集合体最外層となる第8層の ^{233}U 富化度を0%、第7層を3.5%、第6層を14%、第5層を15.9%、1~4層を18.13%とすることで、重水中での単体集合体の未臨界確保とともに、無限体系における1~6層までの出力平坦化を達成した。

4. 結言

重水冷却低減速炉は、「外部減速効果」により集合体数の増加に伴い反応度が減少する傾向を示す。集合体外周ピンの富化度を下げることによって、単一集合体時の未臨界確保および集合体内出力ピーキングを低減できる可能性がある。

参考文献：

- [1] 石田 大樹 「持続型低減速トリウム炉の炉心特性と移行シナリオ」東京都市大学 修士論文 (2021)
- [2] N.Takaki et, al, "Core Design and Deployment Strategy of Heavy Water Cooled Sustainable Thorium Reactor", Sustainability, 4, 1933-1945, (2012)

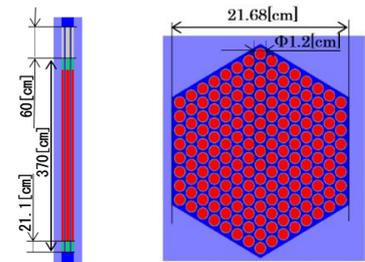


図.1 重水冷却低減速トリウム炉集合体の体系
表.1 重水冷却低減速トリウム炉の仕様

炉心直径[cm]	363
炉心圧力[kPa]	101.3
集合体数/炉心	271
ピン本数/集合体	169
燃料長[cm]	370
プレナム長[cm]	60
軸ブランケット厚[cm]	21.1
集合体ピッチ[cm]	21.68
ピンピッチ[cm]	1.621
燃料ペレット直径[cm]	1.19
被覆管厚[cm]	0.119
被覆管 (温度[K])	ジルカロイ 4L (293)

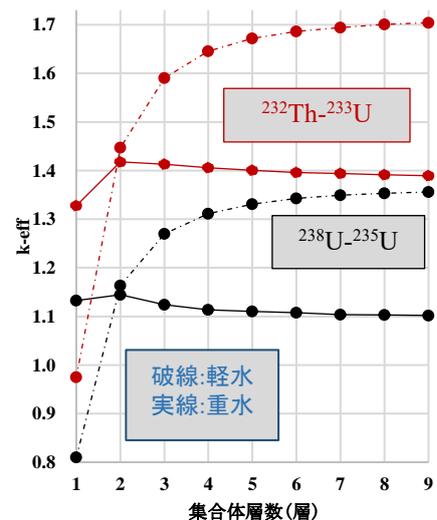


図.2 装荷集合体層数と k_{eff} の関係

*T. Shinohara¹, Y. Sakurai¹, H. Ishida^{1,2}, N. Takaki¹

¹Tokyo City University, ²Toshidai Plant Systems & Services Corporation