凸型炉心形状による再臨界防止固有安全高速炉に関する研究開発 (4)炉心形状や中性子吸収体導入の効果

Study on intrinsic safe fast reactor to prevent re-criticality by convex core shape

(4) Effects of core shape optimization and absorber material introduction

*高木 直行[1]、矢野 眞理[1]、若林 利男[2]、館 義昭[3]

[1]東京都市大学, [2]東北大学, [3]日本原子力研究開発機構

原子力システム研究開発事業(安全基盤技術研究開発)として2015年度から4年にわたり実施してきた「凸型炉心形状による再臨界防止固有安全高速炉に関する研究開発」の成果をシリーズで報告する。

キーワード：高速増殖炉，再臨界、炉心形状、中性子吸収材

1. 緒言

一般的に高速炉の炉心は最大反応度体系として設計されないため、炉心崩壊事故で燃料が凝集した際には再臨界が生じ機械的エネルギーが発生する可能性がある。本大会では、4年にわたり実施してきた凸型炉心の研究成果をまとめ、炉心形状の工夫や炉心下部への中性子吸収体導入の効果、外側炉心への軸心燃料装荷の効果、そして軸心燃料の構造や材料的成立性についての検討結果を3件のシリーズとして報告する。

2. 凸型炉心の基本的アプローチ

本研究の基本概念は、健全時の炉心形状を一般的な円筒（パンケーキ）型から中性子漏洩の少ない凸型とすることにより、炉心崩壊に伴う幾何学的バックリング B_g^2 の増大幅を大きくし、コンパクション反応度 ρ_c を負とすることである。炉心形状という極めて基本的な炉心仕様の工夫により、過酷事故時の燃料凝集の問題を緩和する検討である。

図1はJAEAを中心に検討されているJSFR(Japan Sodium-cooled Fast Reactor)相当の出力を持つ大型高速炉心を対象に、炉心コンパクション（炉心を構成する材料が溶融・落下し冷却材であるNaを排除してその高さを減じること）による B_g^2 の変化を、球型炉心、円筒型炉心そして凸型（上下凸型）炉心について示している。反応度評価の結果、球、円筒ともに ρ_c は正となるが、内側炉心を外側より高くした凸型炉心では、健全時の B_g^2 を円筒炉心よりも低減でき、ρ_c を負値とすることができた。

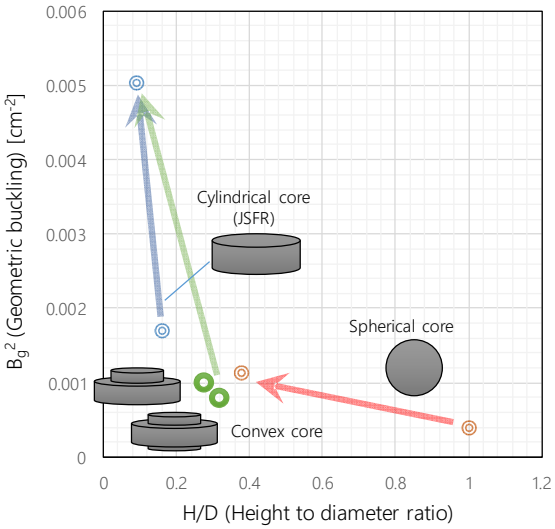

図1 炉心崩壊に伴う幾何学的バックリングの変化

但し、径方向出力分布の平坦化のため、インポータンスの高い内側炉心のPu富化度を低下させ外側を増加すると、炉心反応度が著しく低下し ρ_c は正に転じたため、全炉心でPu富化度を一定とし炉心内側ほどピン径を細くするピン径調整型上下凸型炉心(Graded pin-size convex core)を最終仕様とした[1]。

3. さらなる負の ρ_c 追求

コンパクション後の B_g^2 を更に増大させるため、溶融炉心プールが炉心直径を超えて広がる径方向ブランケット下部削除炉心(Core with short length radial blankets)[2]や、内側炉心下部軸ブランケット領域へ中性子反射体と中性子吸収材を配置することにより内側炉心のみ溶融時にも吸収材混合によって負の ρ_c 投入となる内側炉心下部吸収体配置炉心(Core with lower axial reflector and absorber)[3]を提案しその効果を評価した。両概念とも、凸型炉心比べてJSFRへの設計インパクトを小さく抑えつつ、-20$程度の負のコンパクション反応度投入となる見通しを得た。

謝辞 本研究は原子力システム研究開発事業の下で文部科学省からの受託事業として東京都市大学が実施した平成30年度「凸型炉心形状による再臨界防止固有安全高速炉に関する研究開発」の成果である。

参考文献 [1] Keiko Chitose and Naoyuki Takaki, "Convex shaped FBR core with graded size pins to prevent re-criticality during Core Disruptive Accident", Annals of Nuclear Energy Vol.127 (2019), [2]持丸 貴則、千歳 敬子、高木 直行、「再臨界防止固有安全高速炉の炉心形状に関する研究」、日本原子力学会2018年秋の大会, 3L11, [3] 千歳 敬子、持丸 貴則、高木 直行、「同（その2）-下部軸ブランケット領域での中性子吸収材の効果-」、日本原子力学会2019年春の大会, 1K05

* Naoyuki Takaki [1], Mari Yano[1], Toshio Wakabayashi[2], Yoshihiro Tachi[3]

[1] Tokyo City University, [2] Tohoku University, [3]JAEA