

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

(1) 研究意図と炉心設計

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

(1) Intension and core design

*高木 直行¹, 若林 利男², 高橋 信², 舘 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

炉心幾何形状の工夫により、炉心崩壊時に負の反応度が挿入される固有安全Na冷却高速炉心を検討した。

キーワード：FBR、再臨界、炉心形状、炉心崩壊事故、凸型炉心

1. 緒言

軽水炉など、熱中性子原子炉の炉心はほぼ最大反応度体系で設計される一方、高速炉の炉心は一般に最大反応度配置ではないため、炉心溶融を伴うようなシビアアクシデント時に燃料が凝集した際、再臨界となり機械的エネルギーが発生する可能性がある(図1)。このためJAEAを中心に検討されているJSFR(Japan Sodium-cooled Fast Reactor)では、燃料溶融時、早期に集合体から燃料を排出する集合体概念であるFAIDUS(Fuel Assembly with Inner Duct Structure)の導入が検討されている。

本研究では、JSFRと同規模のMOX燃料Na冷却大型高速炉を対象に、出力過渡後の大規模な燃料溶融・凝集時に溶融燃料排出を期待すること無く、「炉心幾何形状の変化」によって再臨界を防止する、固有安全Na冷却高速炉心の検討を目的とする。同時に、燃料溶融時に中性子吸収効果を発揮する軸芯燃料の有効性評価とその開発を行う。

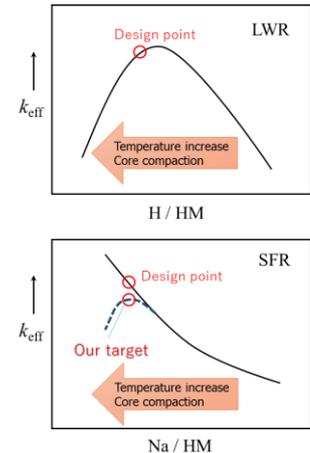


図1 軽水炉と高速炉の反応度特性

2. 炉心形状の検討

例えば、体積に対する表面積が最小である球形状炉心では、燃料が大規模に溶融・崩壊し円筒状のプールへと形状を変化させると、バックリング B_g^2 変化に伴う中性子漏洩増大により大きな負の反応度(コンパクション反応度 ρ_c)が挿入される。本研究では、標準的な円筒型炉心であるJSFRをベースに、同体積のまま半球に近い凸型形状とした炉心について ρ_c が最小(大きな負の値)となる仕様を検討した。その結果、凸部である内側炉心の高さとの比 $H_{in}/D_{in} \approx 0.7$ が最適であることがわかった[1, 2]。続いて健全時炉心の中性子漏洩をさらに小さくすることを意図して、断面形状がより球形に近くなるように外側炉心と内側炉心の高さ中心をそろえた上下凸型炉心形状としたところ、 ρ_c をさらに低減できる見通しを得た[3]。

3. 炉心設計

上下凸型炉心の出力分布平坦化のため、内側・外側炉心をそれぞれ同体積で二分割した径方向4領域炉心とし各領域のPu富化度調整を行った。中性子インポートンスの高い中心部の低富化度化は、健全時の臨界性低下や ρ_c の増大(正值化)を招き、出力平坦化と負の ρ_c を両立する仕様は見い出せなかった。

そこで、Pu富化度は全領域一定とし、インポートンスの高い炉心内側ほどピン径を細径化した炉心構成を検討した。この炉心はPu富化度調整と同様の出力平坦化効果の他、炉心高が高くかつ線出力が高い内側炉心で流路断面が大きく低圧損化が図れるとともに、HMインベントリ減少により溶融プールとなった場合のプール高さが低減するため ρ_c をさらに負側とできる効果を有する傾向が確認された。今後はこの「ピン径調整型上下凸型炉心」の仕様を確定し、基本核特性や熱流力特性の確認を行う予定である。

参考文献

- [1] E. Suetomi, S. Nakano, H. Takezawa and N. Takaki, "Core geometry for recriticality prevention against CDA in sodium-cooled fast reactor", Energy Procedia, Volume 131, December 2017, Pages 45-52
- [2] Keiko Chitose, Hiroyasu Mochizuki, Naoyuki Takaki, Thermal-hydraulic Feasibility Study of a Convex shaped Fast Reactor Core, Energy Procedia, Volume 131, December 2017, Pages 86-93
- [3] 仲野智、末富英一、高木直行、竹澤宏樹、「炉心崩壊事故時に再臨界を生じないナトリウム冷却高速炉心形状に関する研究」原子力学会 2017 春の大会、2F-19

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27年度及び平成28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。

*Naoyuki Takaki¹, Toshio Wakabayashi², Makoto Takahashi² and Yoshiaki Tachi³

¹Tokyo City Univ., ²Tohoku Univ., ³JAEA