

事故耐性の高い軽水炉用制御棒の開発 — 新型中性子吸収材の反応度価値解析 —

Development of Accident Tolerant Control Rod
- Reactivity Analysis of innovative neutron-absorbing materials -

*太田 宏一, 尾形 孝成, 中村 勤也
電力中央研究所

冷却材喪失などの事故時に、炉心損傷に先行して溶融、脱落することがなく、さらに炉心崩落後も燃料物質と共存し続けることで、非ボロン水を緊急注水しても再臨界の発生を防止できる新型制御棒の反応度価値を解析し、現行炉の通常運転に影響しない制御材の組成を明らかにした。

キーワード：事故耐性，重大事故，再臨界，希土類元素，反応度，制御棒

1. 緒言

軽水炉の重大事故につながる事故事象において、制御棒が挿入された炉停止後に、冷却不全の状態が長期に渡って継続すると、燃料の破損や溶融が生じる前に制御棒が溶融し、脱落すると考えられる。この時、緊急冷却措置として真水や海水を注入し、炉心燃料が冠水すると再臨界に至る懸念がある[1]。そこで、事故時にも炉心損傷に先行して溶融、脱落することなく、炉心崩落後も燃料物質と分離しない中性子吸収材として、ガドリニア(Gd_2O_3)やユーロピア(Eu_2O_3)等の希土類酸化物を含む事故耐性の高い制御棒(ATCR)の開発を進めている。

2. 新型制御材の吸湿性に対する安定化

ATCR用の中性子吸収材として有望な希土類酸化物は、吸湿性が高く、冷却水や水蒸気と接触すると水酸化物を生成し粉体化する[2]。そこで、溶融温度が高く、燃料物質との共存性に優れたジルコニア(ZrO_2)やハフニア(HfO_2)を50at.%以上の割合で混合して焼結することで、希土類酸化物の析出相が生じることを防ぎ、冷却水や水蒸気中での安定性の向上を図った。 $Eu_2O_3-xZrO_2$ または $Eu_2O_3-xHfO_2$ ($x=50at.%, 67at.%$)の混合焼結体を室温 $\sim 100^\circ C$ の水中でおよそ1週間静置したのち、大気中で3ヶ月保管したところ、いずれにおいても形状や重量に有意な変化は生じず、安定であることが確認された。

3. ATCRの反応度解析

ATCR候補物質の焼結体の製造実績[3]から制御材ペレットの密度を95%TDとした。現行のPWRおよびBWR用制御棒の寸法仕様をもとに制御材ペレット-被覆管ギャップ幅を0.1mmと暫定してATCRの反応度価値を解析し、現行制御棒と同等の全挿入反応度が得られる制御材の組成を求めた。結果を表1にまとめる。解析には連続エネルギーモンテカルロコード(MVP)を用い、128万ヒストリー/バッチ $\times 240$ バッチの計算を行い、初めの40バッチ分を除いて統計処理を行った。核データライブラリーにはJENDL-4.0を用いた。図1は同等の制御棒価値を有するATCRと現行制御棒の全挿入反応度に対する挿入深度依存性を示している。PWRとBWRのいずれにおいても、ATCRの反応度価値は挿入深度によらず従来制御棒と非常に良く一致することがわかる。したがって、現行軽水炉における通常運転条件に影響を与えることなくATCRが導入できる見通しが得られた。一方でPWRの場合には、 Gd_2O_3 や Eu_2O_3 の濃度を高めたATCRを利用することで、現行のAg-In-Cd合金制御棒に比べ、より高い反応度価値を確保することも可能となる。

4. まとめ

冷却水や水蒸気と接触した場合においても、高い安定性が期待される中性子吸収材を用いたATCRの反応度解析を行い、現行軽水炉の通常運転に影響を与えない制御材組成を明らかにした。

参考文献

- [1] W. B. Scott, et al., NUREG/CR-4671 (1989) [2] 足立吟也 編者「希土類の科学」科学同人
[3] 平成27年度 経済産業省発電用原子炉等安全対策高度化技術整備事業 安全性向上に資する新型燃料の既存軽水炉への導入に向けた技術基盤整備 成果報告書 平成28年3月

表1 ATCRおよび現行制御棒の全挿入反応度の解析結果

制御材組成	全制御棒挿入反応度[% $\Delta k/k'$]	
	PWR	BWR
Gd_2O_3 -67at.% HfO_2 ¹	-5.317 $\pm$ 0.004	-
Eu_2O_3 -87at.% ZrO_2 ¹	-5.291 $\pm$ 0.003	-
Eu_2O_3 -67at.% HfO_2 ²	-	-18.616 $\pm$ 0.008
Eu_2O_3 -50at.% ZrO_2 ²	-	-18.501 $\pm$ 0.008
Ag-In-Cd	-5.299 $\pm$ 0.004	-
B_4C	-	-18.568 $\pm$ 0.008

1: ペレット密度=95%TD、被覆管内径=8.72mm、ギャップ幅=0.1mm

2: ペレット密度=95%TD、被覆管内径=4.2mm、ギャップ幅=0.1mm

*Hirokazu Ohta, Takanari Ogata and Kinya Nakamura
Central Research Institute of Electric Power Industry

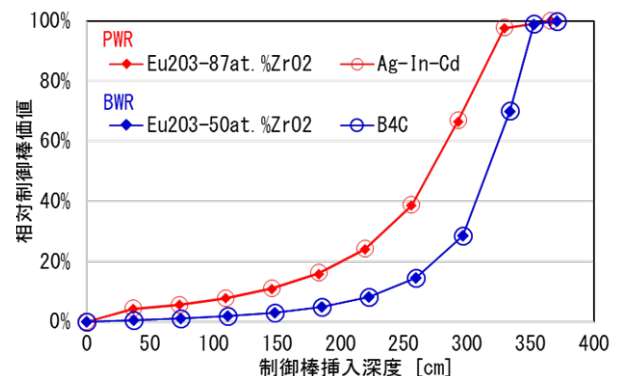


図1 ATCRと現行制御棒の全挿入反応度に対する挿入深度依存性