

事故耐性の高い軽水炉用制御棒の開発

(3) 新型中性子吸収材の反応度測定

Development of accident tolerant control rod

(3) Reactivity measurement of candidate neutron absorbing materials

*太田宏一¹, 名内泰志¹, 中村勤也¹, 佐野忠史²

¹電中研, ²京大炉

軽水炉用新型中性子吸収材の性能確認試験の一環として、サマリウム(Sm_2O_3)、ユーロピウム(Eu_2O_3)、ハフニウム(HfO_2)、ジルコニア(ZrO_2)およびこれらの混合酸化物の反応度を京都大学臨界集合体(KUCA)において実測した。その結果、これらの単体または混合物が概ね予測された反応度を有し、新型制御材として利用できる見通しが得られた。

キーワード: 軽水炉、事故耐性燃料、中性子吸収材、希土類酸化物、ハフニウム、ジルコニア、臨界集合体

1. 緒言

原子力の継続的な安全性向上への取り組みとして、過酷事故発生後の事象進展抑制の確保、非凝集性ガスの発生量低減、放射性物質の排出抑制などが期待される「事故耐性燃料・炉心構成材」の開発が国内外で行われている。電中研では、炉停止余裕や核的寿命といった通常時の制御棒性能を向上するとともに、過酷事故時に燃料棒に先行して溶融・脱落せず、大規模な炉心溶融時にも燃料物質と共存し続けることで再臨界リスクの低減が期待される新型中性子吸収材($\text{RE}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ または $\text{RE}_2\text{O}_3\text{-HfO}_2$, RE: Sm, Eu, Gd)を用いた制御棒を提案している。これまでに、新型中性子吸収材と現行のスチール製制御棒被覆管との高温共存性や凝縮水または1200℃の高温水蒸気中における物理・化学的安定性を確認している。また、炉心反応度解析によって $\text{RE}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ や $\text{RE}_2\text{O}_3\text{-HfO}_2$ が従来制御材(炭化ホウ素や銀-インジウム-カドミウム合金)と同等の価値を有することも評価されている。一方で、原子炉の出力調整や炉停止機能の重要性から、制御材としての利用実績がほとんどないREの反応度価値を臨界実験によって検証することが必要と考えられる。本研究では、SmとEuを対象に RE_2O_3 単体および $\text{RE}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ または $\text{RE}_2\text{O}_3\text{-HfO}_2$ の混合物の反応度価値を実測した。

2. 試験条件

京都大学臨界集合体実験装置(KUCA)の固体減速架台(A架台)において、 ^{235}U 濃縮度93%のウランアルミニウム合金板1枚とポリエチレン板3枚を基本セル(5.08cm×5.08cm×1.085cm)とする図1のような熱中性子臨界体系(E3炉心)を構築した。炉中心の燃料体Sの中央高さに設置した内寸1.2cm(直径)×1.969cm(深さ)の試料ホルダーに、 Sm_2O_3 、 Eu_2O_3 、 HfO_2 、 ZrO_2 の単体またはこれらの均質混合粉末を装荷し、C3制御棒による臨界調整と引き抜き時の炉周期測定によって反応度を測定した。また、E3炉心体系を模擬した各試料の反応度解析を連続エネルギーモンテカルロコードMVP-3によって行った。ヒストリー数は23億とし、核データライブラリーにはJENDL-4.0を用いた。

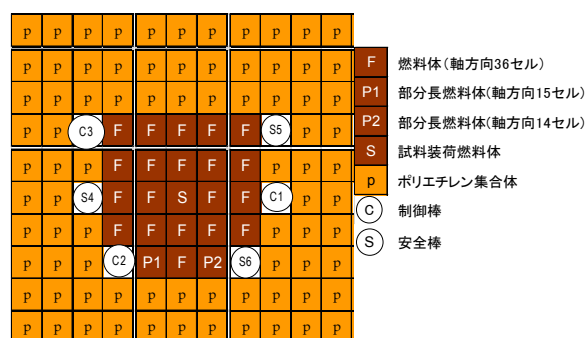


図1 KUCA(A架台)で構築したE3炉心の平面図

3. 試験結果

図2に RE_2O_3 と ZrO_2 の混合粉末試料の反応度測定結果を試料中の Eu_2O_3 重量に対して示す。 Eu_2O_3 の強力な中性子吸収による自己遮蔽効果により、装荷量の増加に対する反応度の変化が大幅に抑えられ、試料ホルダーに1.5-2.0g(スミヤ密度=8.5-10%TD)以上の Eu_2O_3 を装荷しても、反応度価値はほとんど変化しなくなる。図2中には、解析結果(C)と測定結果(E)の差を示している(表I)。いずれの場合も、C-Eは十分小さく、実測値がよく再現されていることから、試料粉末は均質に混合されており、解析モデルや核データの妥当性が確認できた。同様に $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{-HfO}_2$ 、 $\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 、 $\text{Sm}_2\text{O}_3\text{-HfO}_2$ の各混合物も概ね予測された反応度を有することが検証でき、新型制御材として利用できる見通しが得られた。

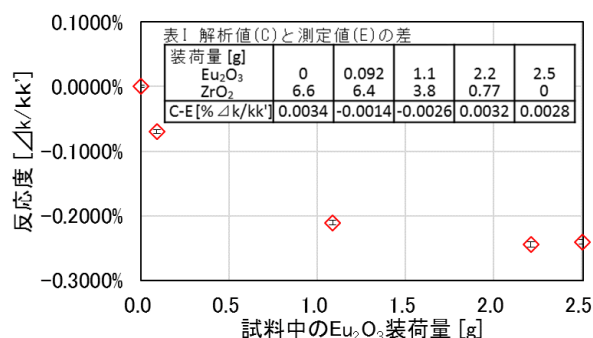


図2 Eu_2O_3 と ZrO_2 混合物の反応度測定結果

*Hirokazu Ohta¹, Yasushi Nauchi¹, Kinya Nakamura¹ and Tadafumi Sano²

¹CRIEPI, ²KURRI.