

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

(3) 軸芯燃料用中性子吸収材の検討

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

(3) Study on neutron absorber materials for fuel with central axis absorber

* 舘 義昭¹, 高木 直行², 若林 利男³, 高橋 信³

¹日本原子力研究開発機構, ²東京都市大学, ³東北大学

高速炉の燃料損傷時の再臨界防止のため、軸芯部に中性子吸収体を包含する軸芯燃料の開発を進めている。軸芯燃料に適する中性子吸収材の選定のため、物性調査や燃料熔融時の分散性を考慮した特性について模擬物質による試験評価を行った。

キーワード：中性子吸収材、MOX 燃料、再臨界、高速炉

1. 緒言

高速炉炉心の損傷事故時の再臨界防止のため、通常運転時には MOX 燃料の軸芯部（ $\phi 1\sim 2\text{mm}$ ）に留まり MOX 燃料の燃焼を妨げず、燃料熔融時に熔融燃料中に分散する中性子吸収材を包含した軸芯燃料の開発を進めている。今回、中性子捕獲断面積の大きい数種の元素について、融点、沸点などの物性調査とともに燃料熔融時の分散性を模擬物質で検討し、軸芯燃料用中性子吸収材としての適用性を検討した。

2. 軸芯燃料用中性子吸収体の検討

2-1. 中性子吸収体の候補元素

周期律表にある元素の中から比較的中性子捕獲断面積が大きく、地殻存在比[1]が高い元素として、ホウ素 (B)、サマリウム (Sm)、ユーロピウム (Eu)、ガドリニウム (Gd)、ジスプロシウム (Dy) を選択した。

2-2. 物性調査

上記元素の単体及び酸化物を中心に、融点及び沸点、高温安定性について情報を収集した。B については高速炉制御棒として実績のある B_4C も対象とした。その結果、いずれの元素についても通常運転時の MOX 燃料中心部の温度や燃料熔融時に想定される温度よりも融点が低く、液相または気相となることが判明した。また、一部の酸化物には沸点情報が無く、液相変態以降の相状態が不明であった。気相となる装荷形態は高温時に被覆管内圧力を高める危険性があり、かつ、熔融燃料中に保持できないため軸芯燃料用中性子吸収材としては適さないと考えられる。さらに Sm は、熱重量示差熱測定により 240°C 付近と 350°C 付近で 10% 超の重量減少があり、安定性における課題が判明した。

2-3. 模擬物質による分散性評価

中性子吸収材の選定においては、通常運転時や燃料熔融時の相形態の把握とともに熔融燃料中への混合性が重要となる。上記元素と熔融燃料の液相同士の混合性について熔融燃料と中性子吸収材の金属成分の相互溶解性に着目し、金属間化合物の形成の有無に類似性のある二元系として Al, Fe, Cu, Mg からなる系を選択し、それらの熔融試験から液相中の混合状態を検討した。その結果、状態図で金属間化合物の形成がある二元系は液相時にも一定の混合性が期待できるが、金属間化合物の形成が無い二元系では混合性が期待できないと推測された。そのため、このような中性子吸収材は高融点金属で被覆するなどにより燃料熔融時にも固相を維持し、密度調整で熔融燃料中に分散する構造とすることが必要であると考えられる。

3. 結論

物性調査からいずれの元素の単体及び酸化物においても融点が MOX 燃料の通常運転時の中心温度よりも低く固相が維持できないため、単一構造で適用することが困難なことが判明した。また、Sm、Eu、Dy の単体及び B_2O_3 は沸点が MOX 燃料融点よりも低いため適用自体が困難であることが判明した。分散性の評価結果も含めて検討すると、中性子吸収材としては、B、 B_4C 、Gd、 Gd_2O_3 、 Sm_2O_3 、 Dy_2O_3 を W や Re などの高融点金属で被覆したものとする必要があることが明らかとなった。

参考文献

[1] Abundance in Earth's Crust, Webelements.com. 2007.4.14

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。

*Yoshiaki Tachi¹, Naoyuki Takaki², Toshio Wakabayashi³ and Makoto Takahashi³

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