

凸型炉心形状による再臨界防止固有安全高速炉の研究開発 (6) 軸芯燃料の材料的成立性

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

(6) Feasibility of a MOX fuel pellet with central axis absorber

* 舘 義昭¹, 高木 直行², 矢野 眞理², 若林 利男³

¹原子力機構, 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。熔融時に軸芯部の中性子吸収体を均質に分散させるため、代替物質による評価試験を通して適切な軸芯燃料構造を検討し、軸芯燃料の材料的な成立性を評価した。

キーワード：軸芯燃料、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、液相中の中性子吸収体の分散性に着目し、代替物質を用いた評価試験を実施し、その知見に基づき軸芯燃料構造を検討することによって再臨界防止用軸芯燃料の材料的成立性を評価する。

2. 軸芯燃料の材料的成立性

2-1. 中性子吸収体

軸芯燃料の中性子吸収体には、中性子吸収能とともに燃料熔融時には熔融燃料内に均質に分散する性能が必要であり、また、通常運転時には MOX 燃料の軸芯部での安定性が求められる。これらについて中性子吸収元素の融点、沸点、高温安定性の調査を実施し、中性子吸収体の主成分を Gd_2O_3 とした。粘性の異なる複数のシリコンオイルとアルミナ粒子を用いた混合試験の結果、液相中への均質分散には固相粒子とすることが有効であると考え、 Gd_2O_3 を W で被覆することで燃料熔融時（約 $2,800^\circ\text{C}$ ）に固相粒子を維持させることとした。W 被覆の表層を WC 化し、通常運転状態の高温下で粒子同士が固着しても燃料熔融時には分離することとした。さらに、粒径の小さい粒子は液相に浮上・凝集し易いことから、W 被覆 Gd_2O_3 粒子の粒径は $100\mu\text{m}$ 程度に設定し、MOX 燃料よりも密度が高くなるように W 被覆の厚みを調製することとした。W 被覆を $10\mu\text{m}$ 、そのうちの表層 $1\mu\text{m}$ を WC とすることで、直径 $100\mu\text{m}$ の W 被覆 Gd_2O_3 粒子は MOX 燃料の約 1.2 倍の密度を有する中性子吸収体とすることができる。

2-2. 軸芯燃料の構造と中性子吸収体分散性の評価

中性子吸収体を保持する燃料部分は直径 2mm の中心空孔を持つ中空燃料とし、軸芯部に上記の W 被覆 Gd_2O_3 粒子を充填する（図 1）。通常運転時の中心空孔温度は約 2000°C と想定され、W 被覆 Gd_2O_3 粒子は固相を維持しつつも固着が想定されるが、W 被覆表層の WC 化により燃料熔融時には個々に分離し、分散することが期待できる。液相中の固相粒子の分散性については、Cu、Ru、Nb、Fe を用いた試験により液相と固相の密度差が固相粒子の移動の駆動力になることを確認した。また、 Gd_2O_3 を被覆する W は MOX 燃料成分との反応が無いいため、通常運転時の高温下においても燃料側への侵入は無いと考えられる。

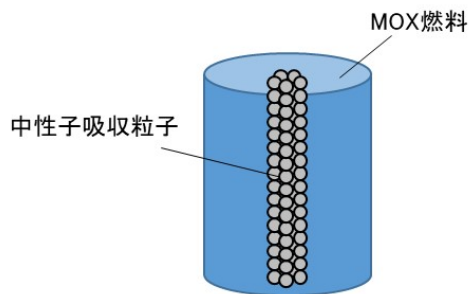


図 1 軸芯燃料ペレット

3. 結論

上記のことから、中性子吸収能の高い Gd_2O_3 を高融点金属である W で被覆し、その表面を WC 化した W 被覆 Gd_2O_3 粒子を中空 MOX 燃料の軸芯部分に充填した軸芯燃料とすることで、通常運転時の安定性を維持しながら、燃料熔融時には熔融燃料中に分散して再臨界を防止する機能を発揮する軸芯燃料の材料的な成立性を確認した。

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 29 年度及び平成 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。

*Yoshiaki TACHI¹, Naoyuki TAKAKI², Mari YANO² and Toshio WAKABAYASHI³

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