

U-Pu シリサイド燃料を用いた高い固有安全性・核不拡散性を有する軽水炉の研究

Feasibility study on light water reactor using U-Pu silicide fuel

with inherent safety and nonproliferation features

*天野 宰¹, 相楽 洋¹

¹東京工業大学

事故耐性燃料の一つであるシリサイド燃料で、Pu 燃焼を想定した U-Pu シリサイド燃料を軽水炉に適応した場合の基本核特性・安全性・核不拡散性の向上効果を MOX 燃料と比較によって報告する。

キーワード：事故耐性燃料，シリサイド燃料，核不拡散性，核セキュリティ，原子力安全

1. 緒言

福島第一原子力発電所事故以降、軽水炉の安全性向上を狙った U_3Si_2 燃料研究やその燃料サイクル研究が進められており、燃料の固有特性により軽水炉の性能を損なうことなく、安全性の向上が期待される。本研究では、Pu を燃焼させることを想定した U-Pu シリサイド燃料を軽水炉で用いた場合の核特性・安全性・核不拡散性の向上効果を MOX 燃料との比較によって明らかにする。

2. 研究手法

中性子輸送計算及び燃焼計算にはそれぞれ MVP^[1]/MVP-BURN、核データライブラリには JENDL-4.0 を用いる。典型的な PWR 燃料仕様を基に作成した 2 次元ピンセルモデルにおいて、7%Pu 負荷度及び幾何形状を固定した 1 バッチ燃焼条件での $(U,Pu)_3Si_2$ 燃料を従来の MOX 燃料と比較する。次に、安全性評価として反応度係数(燃料温度係数、減速材温度係数、減速材密度係数)及び定常運転時の一次元熱伝導解析により燃料内の温度分布を導出し核的安全性及び熱的安全性評価を行う。また、核不拡散性評価として対国家並びに対非国家主体を想定し、核物質の物性そのものによる核爆発装置(NED)への転用困難性を示す Material Attractiveness(不正利用価値)^[2]を用い評価する。想定した脅威(国家主体、または非国家主体)に対し、核物質の「取得」、NED 利用の最終形態(金属 U または金属 Pu)まで転換する「処理」、そして NED を製造する「使用」の各段階で重要な核物質の物性値を求める。求められた物性値の評価における指標は、NED への転用困難性として定義された「Preferred」、「Potentially usable, but not preferred」、「Impractical, but not impossible」、「Impossible」をそれぞれ 1 から 4 のグレードとし、定量的かつ包括的に評価する。

3. 結果及び考察

図 1 に U-Pu シリサイド燃料と MOX 燃料の燃焼反応度曲線を示す。U-Pu シリサイド燃料を利用した場合ではその高い核種密度による Pu 装荷量が増えた事によって、 $k_{\infty}=1$ となる最大取り出し燃焼期間が MOX 燃料と比較して約 12%向上した。また、余剰反応度が MOX 燃料と等しい 9.5%Pu シリサイド燃料では、約 50% 向上した。余剰反応度が抑制されたことについては、シリサイド燃料の高重金属密度によって ^{238}U による共鳴吸収反応率が増加し、中性子スペクトルが硬化したことによるものだと考えられる。

安全性評価として、シリサイド燃料は MOX 燃料と同等の反応度係数を有すること、また高熱伝導率によって燃焼初期から末期にいたるまで燃料内の温度勾配を大きく抑えることを確認した。

核不拡散性評価として、図 2 に非国家主体の脅威を想定した不正利用価値評価結果を示す。U-Pu シリサイド燃料を用いることにより新燃料であっても Pu 抽出の為に硝酸に溶解後、遠心分離による Si 分離工程^[3]が要求され、多段の化学処理を要しない MOX 燃料と比べ、処理段階における不正利用価値を使用済み燃料並みまで引き下げた。

以上より、U-Pu シリサイド燃料の特徴である高重金属密度、高熱伝導性、化学的安定性により、核特性・安全性・核不拡散性の向上効果を MOX 燃料との比較により定量的に示した。

参考文献

[1] Y. Nagaya, et al. JAERI 1348 (2005)., [2] C. G. Bathke et al., Global 2013 (2013)., [3] C. Eysseric et al., RRFM2014, Transactions.

*Tsukasa Amano¹, Hiroshi Sagara¹

¹Tokyo Institute of Technology.

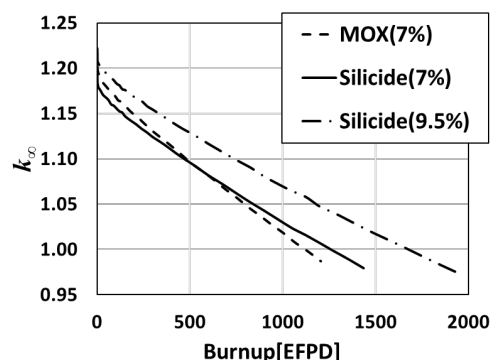


図 1 MOX 及びシリサイド燃料の燃焼反応度曲線

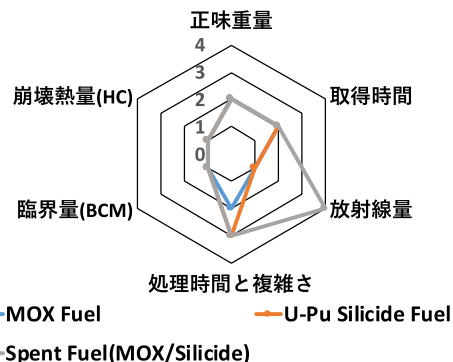


図 2 NED 製造を目的とした非国家主体の脅威を想定した不正利用価値評価結果