

高い固有安全性・核不拡散性を有する革新的中小型軽水炉の研究

(1) MA および回収ウランを用いたシリサイド燃料

Feasibility study on innovative small and medium modular reactor with inherent nuclear safety and non-proliferation features

(1) Uranium silicide fuel with MA and/or RepU

*三星 夏海¹, 相楽 洋¹

¹東京工業大学

本研究では、高熱伝導率・化学的安定性を有するシリサイド(U_3Si_2)燃料に回収ウラン(RepU)や少量のマイナーアクチノイド(MA)を用いることで照射生成 Pu 同位体比を制御し、炉心小型化による出力・核物質インベントリの低減によって高い固有安全性と核不拡散性を有する中小型軽水炉の炉心特性を明らかにした。

キーワード: 原子力安全, 核セキュリティ, 保障措置, 小型炉, 事故耐性燃料, シリサイド燃料

1. 緒言

近年、分散型かつ安定的なエネルギー供給を可能にし、様々な需要に答える原子炉として中小型炉に対する関心が高まっている。一方で分散型中小型炉の普及により国際保障措置活動の総量増加が見込まれ、中小型炉の固有安全性と核不拡散性に基づく等級別アプローチ(Graded Approach)の導入が重要である。本研究では、事故耐性燃料の一つである U_3Si_2 燃料に RepU や少量の MA を用いることによる中小型軽水炉の基本核特性や安全性、核不拡散性への影響を明らかにすることを目的とする。

2. 研究手法

中性子輸送計算コード MVP^[1]、燃焼計算コード MVP-BURN、核データライブラリ JENDL-4.0 を用いて、 U_3Si_2 燃料及び RepU 利用 U_3Si_2 燃料、MA 添加 U_3Si_2 燃料の核特性を UO_2 燃料と比較した。次に、各燃料の反応度係数および定常運転時の燃料要素内温度分布を導出し、核的及び熱的安全性評価を行った。また、核不拡散性評価として対国家及び対非国家主体を想定し、核爆発装置(NED)への転用困難性を示す不正利用価値(Material Attractiveness^[2])を用いて評価した。さらに、炉心サイズと出力規模をパラメータとした核特性評価を行い、 U_3Si_2 初期燃料仕様の範囲を検討した。

3. 結果・考察

図 1 に各燃料毎の燃焼反応度変化を示す。 U_3Si_2 燃料は高いウラン密度により UO_2 燃料よりも長い燃焼可能期間を示した。 U_3Si_2 燃料の RepU 利用や MA 添加により反応度が抑制されたが、高いウラン密度により UO_2 燃料と同等以上の燃焼可能期間を示すことを明らかにした。核的安全性評価では、 U_3Si_2 燃料及び RepU 利用 U_3Si_2 燃料、MA 添加 U_3Si_2 燃料の各反応度係数は UO_2 燃料と同等の値となった。熱的安全性評価では、 U_3Si_2 燃料の高い熱伝導率により定常運転時の燃料中心温度が UO_2 燃料よりも 300 K 以上低くなった。核不拡散性評価では、NED の設計・製造を妨げる取得、処理、製造の各段階での核物質物性値を評価し、その影響の度合いを参照基準値との比較により 4 段階(High, Medium, Low, Very Low, High)が最も不正利用価値が高い)で評価した。 U_3Si_2 燃料集合体は U_3Si_2 燃料の化学的安定性により U と Si の分離工程が必要となるため、 UO_2 燃料集合体よりも処理段階の複雑さが増加した。また、RepU 利用 U_3Si_2 燃料、MA 添加 U_3Si_2 燃料は照射生成 ^{238}Pu 同位体比向上により、 U_3Si_2 燃料や UO_2 燃料よりも NED 製造段階における崩壊熱量不正利用価値が High から Medium に引き下げられた。また、炉心サイズをパラメータとした核特性評価では、仮定した運転条件(1 バッチ燃焼、運転期間 2 年間)を到達する UO_2 燃料および U_3Si_2 燃料のウラン濃縮度を導出し、例えば直径 1 m、高さ 2 m の炉心に要求されるウラン濃縮度が U_3Si_2 燃料では UO_2 燃料よりも 0.4 wt% 低くなり、 U_3Si_2 燃料の利用により UO_2 燃料よりもウラン濃縮度を低減できる可能性を見出した。

参考文献

[1] JAERI-1348(2005). [2] C.G. Bathke, H. Sagara et al., Global 2013(2013).

*Natsumi Mitsuboshi¹, Hiroshi Sagara¹

¹Tokyo Institute of Technology

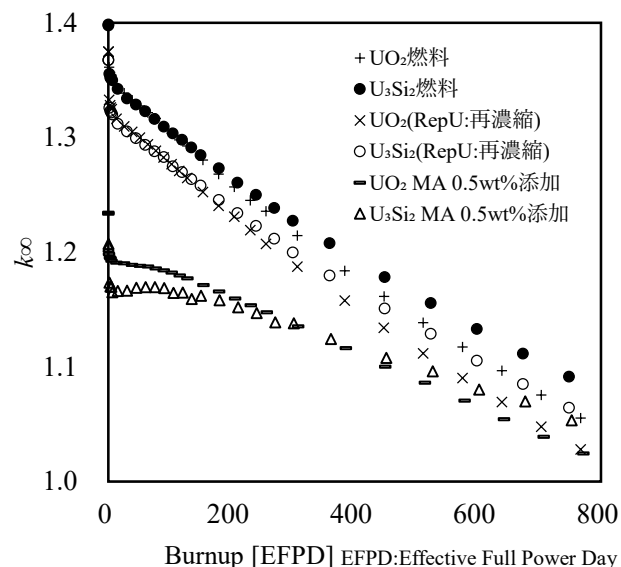


図 1 燃焼反応度曲線