

パッシブ γ 線測定を用いた MOX 軽水炉使用済燃料の 簡便な燃焼度推定手法に関する研究

Feasibility study on burn-up estimation technique of spent LWR-MOX fuel
by simple passive gamma spectrometry

*鍋田 陽之輔, 相樂 洋

東京工業大学

Cs の燃料残存性に影響を受けない使用済燃料の燃焼度推定手法の MOX 燃料への適用性を評価し、適用範囲と課題を定量的に明らかにすることを目的とした。軽水炉用 MOX 使用済燃料の破壊分析結果と集合体中の核種重量空間分布及び γ 線源スペクトル計算結果を用いて、燃焼度推定に重要な $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 、 $^{154}\text{Eu}/^{144}\text{Ce}$ 、 $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$ 、 $^{154}\text{Eu}/^{134}\text{Cs}$ を用いた燃焼度推定精度を明らかにした。

キーワード：パッシブ γ 線、燃焼度、MOX 燃料、ランタノイド

1. 緒言 使用済燃料の燃焼度推定手法として ^{137}Cs の γ 線量測定が一般的であるが、燃料の部分破損時には Cs やその親核種である Xe の燃料残存性が不確かとなり適用することが難しい。これまで Cs に影響を受けない推定手法の提案がなされ、ウラン使用済燃料への適用性が示された[1,2]。本研究では、本手法の MOX 燃料への適用性を評価し、適用範囲と課題を定量的に明らかにすることを目的とする。

2. 研究手法 過去に実施された MOX 使用済燃料の詳細な照射後破壊分析結果である ARIANE Program[3] を調査し、燃焼計算コード(ORIGEN-ARP)の燃焼計算手法の精度確認を行った。次に同実験解析結果から PWR 及び BWR 用 MOX 使用済燃料集合体の核種重量を作成（以降 MOX-PWR、MOX-BWR と記載）し、燃焼度推定手法の MOX 燃料への適用性を核種重量の観点から定量的に評価した。また、計算手法精度の一因である核データ起因要素を明らかにするため、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs 、 ^{154}Eu 、 ^{144}Ce の生成プロセスに着目し、核分裂収率及び(n, γ)反応断面積の核データの不確かさが燃焼度推定手法に与える影響を ENDFB/VII の共分散データを用い定量的に評価した。更に、 γ 線スペクトルを ORIGEN-ARP 及び ENSDF データを組み合わせて作成し、MCNP5 を用いて使用済燃料集合体からの γ 線測定可能性を LaBr3、NaI、HPGe の3つの異なる γ 線検出器で評価した。

3. 結果・考察 ORIGEN-ARP で作成した MOX-PWR 及び MOX-BWR の核種重量比の一例として $^{154}\text{Eu}/^{144}\text{Ce}$ と燃焼度の相関図を図1、2に示す。それぞれ、 $^{154}\text{Eu}/^{144}\text{Ce}$ の比が燃焼度と相関性を確認し、これから燃焼度推定のための近似式を導出した。燃焼度が既知の破壊試験結果を用いて精度検証を行ったところ、MOX-PWR では-12%、MOX-BWR では 1%及び-2%の不確かさであった。また他の燃焼度推定手法 ($^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 、 $^{154}\text{Eu}/^{137}\text{Cs}$ 、 $^{154}\text{Eu}/^{134}\text{Cs}$ 及び ^{137}Cs 単体)についても同様の精度検証を行った。また、核データの不確かさによる感度解析結果により、 $^{154}\text{Eu}/^{144}\text{Ce}$ に対し ^{154}Eu の生成不確かさ約 6%が支配的であることが分かった。照射済み燃料集合体からの放出 γ 線に対する3つの異なる検出器による応答解析結果を図3に示す。今回燃焼度推定手法に用いている ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{154}Eu 及び ^{144}Ce の親核種である ^{144}Pr

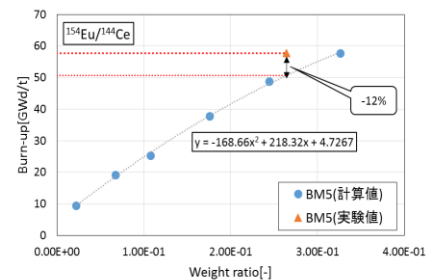


図1.燃焼度推定結果(MOX-PWR)

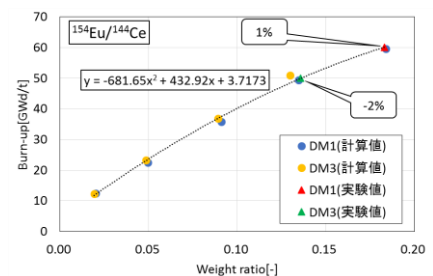


図2.燃焼度推定結果(MOX-BWR)

の4核種のピークが確認され、特に $^{154}\text{Eu}/^{144}\text{Ce}$ 比の導出には、 ^{154}Eu の 1.27MeV、 ^{144}Pr 1.49MeV の γ 線ピークを NaI、LaBr3、HPGe いずれの検出器を用いても同定できる見通しを得た。

参考文献

- [1]H. SAGARA, et al., JNST (2014) [2] 中原, AESJ 予稿集 (2015)
[3] Belgonucléaire, ARIANE Program - Final report (2000)

*Yonosuke Nabeta, Hiroshi Sagara
Tokyo Institute of Technology.

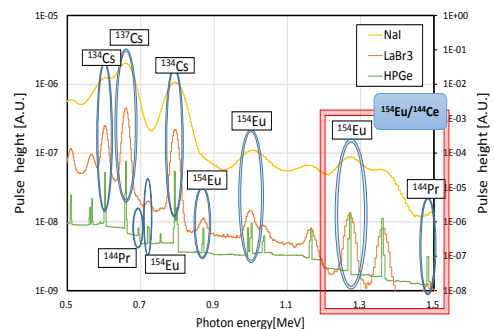


図3. γ 線検出可能性解析結果