

10年以上冷却した使用済燃料に対する $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比の測定と燃焼解析

Measurement and burnup analysis of $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ activity ratio for spent fuel cooled more than 10 years

*佐藤 駿介¹, 名内 泰志¹, 早川 岳人², 木村 康彦³, 須山 賢也³

¹電中研, ²量研機構, ³原子力機構

10年以上冷却した使用済燃料に対して、半減期の短い ^{106}Ru や ^{144}Ce のガンマ線を測定することは困難であるが、ポリエチレンを透過するガンマ線を測定することで検出効率を変化させ、両核種の測定を可能とした。燃焼度指標となる $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比の測定値は、履歴を考慮した燃焼計算結果と一致した。

キーワード: $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比, 燃焼度クレジット, 使用済燃料, ガンマ線測定, 燃焼計算

1. 緒言

燃焼度クレジット適用時には炉管理データの燃焼度を実測により確認することが求められる[1]。本研究では、従来とは異なる新たな燃焼度指標として $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比に着目した。 ^{106}Ru と ^{144}Ce から放出されるガンマ線は主要な FP 核種から放出されるガンマ線よりもエネルギーが高く、透過力が高いため、より集合体内部の情報が測定値に反映され、集合体の代表的な値が測定可能であると考えられる。しかし、10年以上冷却した燃料では、半減期の短い ^{106}Ru (半減期 372d)及び ^{144}Ce (同 285d)は大きく減衰しているため計数率上の S/N が悪く、検出器が正常に動作する計数率にも制限がある。先行的に実施した気中測定では両核種を定量できなかった。本測定では、ポリエチレン透過線を測定することで燃焼度指標測定時の実環境と想定される水中での測定を模擬し、 $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比が測定可能かどうかを検証した。

2. 実験

JAEA の燃料試験施設にて、高純度 Ge 検出器を用いて使用済燃料試料から放出されるガンマ線の波高スペクトルを測定した。本燃料試料は国内の原子力発電所で先行照射された高燃焼度 BWR 燃料(9×9 燃料(B 型))[2]の UO_2 燃料棒から切り出されており、取出しから約 12 年が経過している。検出器と燃料試料の間に 60cm のポリエチレンブロックを設置することにより水中での測定を模擬した。これにより高エネルギー領域のガンマ線と比較して低エネルギー領域のガンマ線が相対的に減衰し、計数率上の S/N が向上する。測定により得られた波高スペクトルを Fig. 1 に示す。 ^{106}Ru 及び ^{144}Ce の各ピーク面積と粒子輸送計算コード PHITS により計算した検出効率から両核種の相対放射能強度を求め、 $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比を導出した。

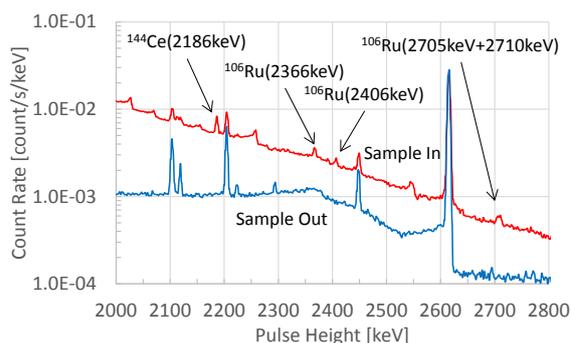


Fig. 1 Measured Pulse Height Spectrum

測定により得られた波高スペクトルを Fig. 1 に示す。 ^{106}Ru 及び ^{144}Ce の各ピーク面積と粒子輸送計算コード PHITS により計算した検出効率から両核種の相対放射能強度を求め、 $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比を導出した。

3. 燃焼計算

燃焼計算コード MVP-BURN を用いて、出力履歴[2]をトレースした 2 次元集合体体系での燃焼計算を実施した。この際、径方向は UO_2 燃料棒が 4 分割、 $\text{UO}_2\text{-Gd}_2\text{O}_3$ 燃料棒は 8 分割とし、集合体の 1/8 対称性を考慮した。また、燃料試料高さにおけるボイド率は、軸方向出力分布を仮定し推定した。核データライブラリには JENDL-4.0 及び ENDF/B-VII.0 を使用し、燃焼チェーンには ChainJ40 の汎用チェーンを用いた。その結果、 $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比の実験値(E)と計算値(C)は、両ライブラリ共に $C/E=1.046\pm 0.063$ で一致した。

4. 結論

本測定手法により、約 12 年冷却した燃料に対しても ^{106}Ru と ^{144}Ce が測定可能であることを示し、 $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比の測定値が履歴を考慮した燃焼計算結果と測定の統計誤差の範囲内で一致することを確認した。したがって、燃焼度確認時の燃焼度指標として $^{106}\text{Ru}/^{144}\text{Ce}$ 放射能比を利用できる可能性が示された。

参考文献

[1] IAEA, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, TS-R-1.

[2] JNES, 高燃焼度 9×9 型燃料信頼性実証成果報告書, 07 基炉報-002.

*Shunsuke Sato¹, Yasushi Nauchi¹, Takehito Hayakawa², Yasuhiko Kimura³ and Kenya Suyama³

¹CRIEPI, ²QST, ³JAEA