使用済燃料中¹⁵⁴Eu 放出 γ線スペクトルによる Pu 質量の推定 -3次元中性子・光子輸送計算による Pu 定量法の検証-

Estimation of Pu mass with ¹⁵⁴Eu gamma ray spectra in spent fuels -3D neutron and photon transport calculations and verification of Pu quantitative method-東海大学 *大矢重宗, 亀山高範

3次元中性子輸送・燃焼計算により高燃焼度まで燃料内の詳細な核種組成分布を求め、それらをもとに3次 元光子輸送計算により核分裂性核種から放出されるγ線波高を取得し、Puを定量する方法を検証した。 キーワード:計量管理、使用済燃料、SWAT3.1、PHITS2、連続エネルギーモンテカルロ法

<u>1. 背景・目的</u>

福島第一原子力発電所事故で発生した燃料デブリを取り出す際、燃料デブリに含まれるPuなどの核分裂性 核種の質量を特定する必要がある(計量管理)。Puから放出されるγ線エネルギー強度は低く、直接測定が困 難であるため、過酷事故の燃料溶融過程でも揮発性の低いFPのうち¹⁵⁴Euから放出される高エネルギーγ線 を計測することでPu質量を定量できるとされている¹⁾。¹⁵⁴Eu/Pu比は減速材ボイド率に依存せず燃焼度での み決定され、溶融燃料中のPu量は¹⁵⁴Eu/Pu比と燃焼度によって推定される。本研究では、使用済燃料中Pu の計量管理を目的として、軽水炉から健全に取出された燃料を対象に連続エネルギーモンテカルロ計算コー ドによる3次元中性子ならびに光子輸送計算を行い、¹⁵⁴Euの特性γ線によるPu定量法について計算機実験

を行う。 2. 解析手法

計算機実験には、JAEA が開発した 3 次元連続エネルギーモンテ カルロ法コードの、統合化燃焼計算コードシステム SWAT3. 1²と重 イオン輸送統合コードシステム PHITS2³⁾を使用し、核データライ ブラリには JENDL-4.0 版を使用した。図 1 に Pu 質量導出のフロー を示す。①燃焼計算の対象は、PWR17x17 高燃焼度燃料(以下 PWR 燃 料)、BWR9x9 高燃焼度燃料(以下 BWR 燃料)の無限配列をそれぞれ 選定した。②光子輸送計算の対象は、JAEA 原子力科学研究所にあ る燃料試験施設 RFEF⁵⁾の $\alpha \gamma$ コンクリート No.1 セルの計測実験体 ¹⁵⁴Eu/Pu(%) 系とした。12 並列計算による高速化の結果、計算時間は燃焼計算^{0.5}

3. 結果

 ①SWAT3.1 による PWR 燃料の燃焼計算から得た¹⁵⁴Eu/Pu 質量比の0.3
燃焼度変化を図2に示す。ウラン燃料(以下 U02燃料)中、ガドリニ ア添加ウラン燃料(以下 U02-Gd203燃料)中の¹⁵⁴Eu/Pu 質量比は共に^{0.2}
ア添加ウラン燃料(以下 U02-Gd203燃料)中の¹⁵⁴Eu/Pu 質量比は共に^{0.2}
炉内位置や炉形状に係らず、局所燃焼度によってのみ一意に変化0.1
したが、U02燃料中と U02-Gd203燃料では異なる関係式を示した。
PWR 燃料の燃焼計算値について JAEA が公開しているデータベース 0
SFCOMP0⁶)高浜原子力発電所3号機の標準燃焼度燃料実測値と比較
し、Pu 質量について²³⁸Pu を除いて 10%以内、²³⁸Pu 質量は 15%以内 Y(cm)

で一致した。燃焼計算は十分な精度を持っている。

②燃焼計算により得られた PWR 燃料を 10 年冷却後、燃料から小片 を取り出し、アルミ製試験管に封入し、燃料から放出されるγ線 を PHITS2 により計算した。 図 3 に燃料から放出されるγ線分布を 示す。y線は試験管から放出後、コリメートされ Ge 検出器に入射-20 し、図4のγ線スペクトルが計測される。計測された¹³⁴Cs・¹³⁷Cs・ ¹⁵⁴Eu の波高分布から¹³⁴Cs/¹³⁷Cs、¹⁵⁴Eu/¹³⁷Cs 放射能比を求めた。 ③使用済燃料片から放出される各γ線から求めた放射能比を燃料 取出直後に補正した値を、燃焼計算によって得た近似式に代入す1/cm2/(total source) ることで、¹³⁴Cs/¹³⁷Cs 放射能比から燃焼度を、¹⁵⁴Eu/¹³⁷Cs 放射能比 10-5 から¹⁵⁴Eu 質量をそれぞれ導出できる。得た燃焼度から図 2 の 10-4 ¹⁵⁴Eu/Puの燃焼度変化の近似式により、¹⁵⁴Eu/Pu 質量比を導出し、 ¹⁵⁴Eu 質量を除することにより Pu 質量を定量する。その結果、PWR 燃料の Pu 質量を約 10%以内の誤差で定量されることを確認した。 BWR 燃料では Pu 質量を UO2 燃料中で約 15%以内、UO2-Gd2O3 燃料中 10-7 は約 65%以内の誤差で定量されることを確認した。本計算機実験 10-3 から¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹⁵⁴Euから放射されるγ線を計測することで、実際





に Pu 質量を定量できる見通しを得た。 参考文献: 1)JNST,vol.51,No1(2014). 2)JAEA,JAEA-Data/Code2009-002(2009). 3)JAEA,PHITSver2.80(2015). 4)JAEA,JAERI1348(2005).5)CRIEPI,L14003(2014).6)JAEA,JAERI-Data/Code,2001-020,SFCOMPO(2001). *OYA Shigemune, KAMEYAMA Takanori. Tokai Univ.