

福島第一原子力発電所における燃料デブリ中の核燃料物質定量に関する候補技術の特性研究

(6) - 検出器応答を用いた核燃料物質のインベントリ評価手法の検討 -

Characterization Study of Candidate Technologies for Nuclear Material Quantification in Fuel Debris at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station

(6) - Study on Inventory Evaluation Method of Nuclear Fuel Material Using Detector Responses -

*奥村 啓介¹, 佐藤 若英³, 長谷 竹晃¹, 米田 政夫¹, 芝 知宙¹, 名内 泰志², 高田 映³
¹原子力機構, ²電中研, ³NESI

福島第一原子力発電所(1F)における燃料デブリ中の核燃料物質定量技術開発に資するため、非破壊測定シミュレーションによる検出器応答と燃焼計算の結果に基づき、燃料デブリ中の核燃料物質量を評価するための手法と予測精度の検討を行った。

キーワード：福島第一原子力発電所, 燃料デブリ, 核燃料物質定量, 非破壊測定, 燃焼計算

1. 緒言 パッシブ中性子法、パッシブ γ 法、アクティブ中性子法、アクティブ γ 法で測定される諸量は、それぞれ、 ^{244}Cm 実効質量、 ^{154}Eu 等の FP 量、核分裂性物質(主に $^{235}\text{U} + ^{239}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu}$)、 $^{240}\text{Pu}/^{238}\text{U}$ 重量比といったものである。一方、最終的に評価が求められる量は、ウラン総量($^{234}\text{U} + ^{235}\text{U} + ^{238}\text{U}$)、プルトニウム総量($^{238}\text{Pu} + ^{239}\text{Pu} + ^{240}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu} + ^{242}\text{Pu}$)と同位体比、および核分裂性物質($^{235}\text{U} + ^{239}\text{Pu} + ^{241}\text{Pu}$)である。よって、各非破壊測定技術で直接測定できない評価量については、燃料のインベントリ計算(燃焼計算)の結果などを利用して間接的に評価を行う必要がある。本発表では、測定量と 1F に対する燃焼計算の結果を組み合わせて核燃料物質量を評価する場合の手法と予測精度について検討した結果を報告する。

2. 評価方法 非破壊測定シミュレーションで共通モデルとして使用した燃料デブリの組成データは、1号機に対するもので、燃焼度とボイド率の分布(6バッチ燃料装荷領域 \times 軸方向25分割領域)を考慮した3次元燃焼計算[1][2]の結果を利用して作成している。この組成データを使用して、パッシブ γ 法を例に、プルトニウム(Pu)総量を評価する手法を考える。その前提として、燃料デブリ中の ^{154}Eu は Pu にほぼ随伴し、更に、揮発性のセシウム(Cs)は、溶融過程で放出されても、残存 Cs の $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比は事故前の燃焼度情報を保持している(Csはデブリ間で交換されない)ものと仮定する。図1は、1号機内の150領域に対して得られた ^{154}Eu 量と燃焼度との相関を示したものである。 ^{154}Eu は燃焼度に対して2次式に近い曲線で生成するが、この相関には有意な幅が生ずる。これは、主に軸方向ボイド率の分布(0%~約70%)による影響であり、その影響は装荷回数とともに蓄積され、燃焼度とともに相関の幅は大きくなる。実際には燃焼度は測定されないため、例えば図2に示すように、事故直前に崩壊補正した $^{154}\text{Eu}/\text{Pu}$ 重量比と $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 重量比(または放射能比)で相関を作成する。これを使用して、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比と ^{154}Eu の測定量から Pu 量を評価することができるが、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比から推定される $^{154}\text{Eu}/\text{Pu}$ 比は大きな幅を有する(炉心平均値で28%)。これは、ボイド分布の影響に加え、1号機運転中のサイクル間炉停止期間が長く[3]、この間の ^{134}Cs の崩壊により $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比が燃焼度指標として悪くなっているためである。

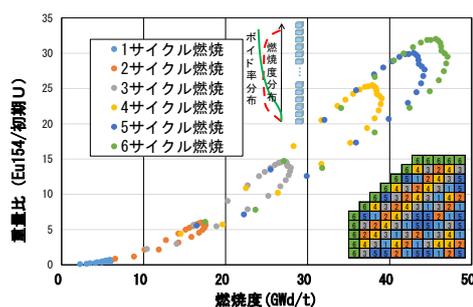


図1 ^{154}Eu の燃焼度相関(1F)

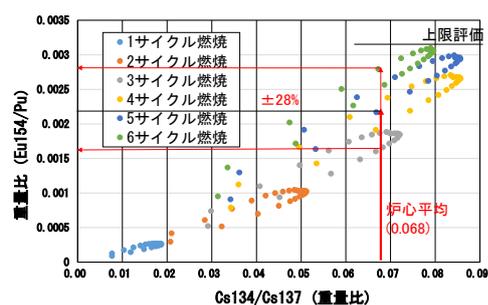


図2 $^{154}\text{Eu}/\text{Pu}$ と $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ との相関(1F)

3. 結言 TMI-2 やチェルノブイリに比べて、燃焼度の範囲が広く、炉内中性子スペクトルの変化も大きい 1F の燃料デブリでは、非破壊測定量と燃焼計算の結果を組み合わせて核燃料物質量を評価する際、使用できる燃焼度相関の悪さに起因して期待する予測精度が得られない可能性がある。これを改善するためには、複数の非破壊測定手法を組み合わせて、複数かつ独立した燃焼度相関を利用する評価手法の開発が望ましい。また、評価の前提とする ^{154}Eu と U, Pu との随伴性や $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比の有効性などは、事前に実デブリのサンプリング分析などにより確認しておく必要がある。

参考文献

[1]岡本他, 2012 年秋の大会(Q14), [2]K. Okumura, et al., JAEA-Conf 2013-002, pp15-20, [3]西原他 JAEA-Data/Code 2012-018

*Keisuke Okumura¹, Wakaei Sato³, Taketeru Nagatani¹, Masao Komeda¹, Tomooki Shiba¹, Yasushi Nauchi², Takada Akira³

¹Japan Atomic Energy Agency (JAEA), ²Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI), ³NESI