

軽元素不純物を多く含む Pu 酸化物の Pu-240 実効質量測定における DDSI 法の適用可能性

Applicability of DDSI assay technique for Pu-240 effective mass quantification
in Pu wastes including light-element impurities

*中嶋 翔¹, 相楽 洋¹, 韓 治暎¹, 長谷 竹晃^{2,1}

¹ 東京工業大学, ² 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

本研究では、MOX 製造工程で発生する軽元素不純物の多い Pu 酸化物(Pu スクラップ等)における Pu-240 実効質量測定手法の開発と適用可能性を明らかにすることを目的としている。本発表では DDSI 解析モデルの構築および妥当性評価結果を示す。さらに軽元素不純物の多い Pu 酸化物体系で中性子源の違いによる α_{Rossi} への影響を示す。

キーワード：非破壊測定, Pu 酸化物, 計量管理, DDSI 法

1. 緒言

核物質の適正管理技術として非破壊測定技術開発が強く求められている。軽元素不純物の多い Pu 酸化物では、形状、重量のみならず内部中性子源として(α, n)中性子の割合が無視できず、従来の全中性子法や同時計数法では Pu-240 実効質量の測定が困難である。本研究では、内部自発核分裂中性子を自己問いかけ活用する Differential Die-Away Self-Interrogation(DDSI)法に Rossi-alpha(α_{Rossi})法を組み込み、軽元素不純物の多い Pu 酸化物における Pu-240 実効質量測定手法を開発し適用可能性を明らかにすることを目的としている。

2. 解析手法

Pu 中の Pu-240 実効質量(m_{240})測定は一般的に全中性子計数率 S 、中性子同時計数率 D の測定結果を用いて以下の式から導出される。

$$S = m_{240} * F_{240} * \varepsilon * M_L * v_{s1}(1 + \alpha) \quad (\text{式 1})$$

$$D = \frac{m_{240} * F_d * \varepsilon^2 * M_L^2}{2!} [v_{s2} + \left(\frac{M_L - 1}{v_{i1} - 1}\right) v_{s1}(1 + \alpha) v_{i2}] \quad (\text{式 2})$$

m_{240} : ^{240}Pu 実効質量(g), F_{240} : ^{240}Pu 核分裂回数(fis/s-g), F_d : ダブルゲートフラクション, ε : 中性子検出効率, M_L : 中性子もれ増倍率, α : (α, n)中性子と自発核分裂中性子との比, v_{s1} , v_{s2} : ^{240}Pu 自発核分裂中性子分布の 1 次、2 次換算モーメント, v_{i1} , v_{i2} : 誘発核分裂中性子分布の 1 次、2 次換算モーメント(ここでは ^{239}Pu を仮定)

両式のうち未知数は m_{240} 、 α 、 M_L となる。一般に M_L は既知の外部線源を用いて測定するが、DDSI では D 値の時間依存測定結果を活用することにより、自発核分裂と誘発核分裂の異なる α_{Rossi} が得られ M_L の推定が可能となる。本研究ではまず中性子源の違い ((α, n)中性子と自発核分裂中性子) による α_{Rossi} への影響を評価し、軽元素不純物の多い Pu 酸化物体系で Rossi-alpha を DDSI 法に組み込み可能であることを検証する。続いて、 α 、 M_L のみの関数となる D/S と α の相関性を評価し、軽元素不純物量が未知の体系での α 推定可能性を評価する。最後にこれらの α 、 M_L 推定値を用い m_{240} を導出し、DDSI 法の適用可能性を明らかにする。解析には MCNP6.2 コードの同時計数検出タリー(f8)を用いた。

3. 結果

本研究はまず DDSI 法を用いた先行研究として LANL で実施された実験[1]を参照し解析モデルを構築し、Cf-252 標準線源を測定対象とした S 値、 D 値および実効質量を計算し、実験結果と比較した妥当性評価により十分な解析精度が得られることを明らかにした。次に軽元素不純物の多い Pu 酸化物として、Pu 富化度を変化(10~30%)させた均質 MOX 粉末収納管を設定し(図 1)、種類の違う中性子源を用いた場合の D 値及び α_{Rossi} の時間依存性を計算した。図 2 の縦軸に D 値を、横軸に核分裂中性子の初めの 1 つ (トリガー中性子) が検出された時刻を 0 として、その経過時間を示す。中性子源の種類により D 値の絶対値に違いは見られたものの、時間依存の対数傾き(α_{Rossi})の違いは最大 5%と、影響は非常に限定的だった。また 0~25 μs までとそれ以降の D 値の傾きに違いが確認され、源中性子と誘発核分裂中性子とで異なる α_{Rossi} を導出可能であることを明らかにした。

4. 結論

Pu 酸化物体系で中性子源の違いによる α_{Rossi} への影響は <5%と限定的だった。今後、自発・誘発核分裂起因とする α_{Rossi} から M_L の導出、 D/S と α の相関性を明らかにし、 m_{240} 測定への DDSI 法の適用可能性を評価する。

謝辞 本研究は科研費(JSPS Kakenhi JP17K07005)の成果を含む。

参考文献 ¹A. C. TRAHAN et al., Proc. 55th Ann. Mtg. INMM, (2016). ²T. NAGATANI et al., Energy Procedia, vol. 131, p.258–263 (2017).

*Sho Nakaguki¹, Hiroshi Sagara¹, Chi Young HAN¹ and Taketeru Nagatani^{2,1}

¹Tokyo Tech., ²JAEA.

ステンレス缶(半径: 20cm, 高さ: 1m)

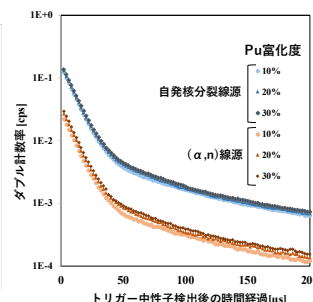
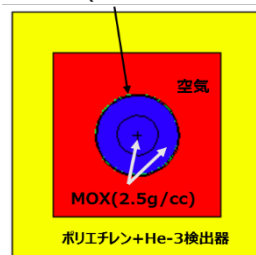


図1 解析モデル体系図(XY) 図2 異なる線源による D 値