燃料デブリ中の核燃料物質量の定量のための非破壊測定試験
(3)ガンマ線非破壊測定技術を用いた核燃料物質中の不純物の特定

Measurement test of non-destructive assay for quantification of nuclear materials in fuel debris
(3) Determination of impurity in nuclear materials by using gamma-ray spectroscopy

*鈴木梨沙 [1]、能見貴佳 [1]、長谷竹晃 [1]、白茂英雄 [1]、芝知宙 [1]、冠城雅晃 [1]、奥村啓介 [1]
小菅義広 [2]、高田映 [2]、名内泰志 [3]
[1]JAEA, [2]NESI, [3] 電中研

燃料デブリに含まれるプルトニウム及びウラン（核燃料物質）を定量するための非破壊測定においては、測定に影響を与える物質の組成・量を把握し適正な補正を行うことで精度向上が期待できる。プルトニウム燃料技術開発センターでは、燃料デブリ中の核燃料物質量の測定精度向上に向けて、所有するプルトニウム酸化物試料から放出されるガンマ線スペクトルを解析することにより、中性子測定に影響を与える不純物成分を特定する手法の実証試験を実施したので、その結果を報告する。

キーワード：燃料デブリ、プルトニウム、非破壊測定、中性子測定、ガンマ線スペクトル

1. 背景

福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しにおいて、燃料デブリ収納容器内の核燃料物質を計量管理するための手法の一つとして中性子に着目した非破壊測定が考えられる。しかしながら、中性子測定における課題として、燃料デブリ中のマイナーアクチニド（MA）から放出されるアルファ線と軽元素との核反応で中性子が発生（以下、「(α, n)反応」という。）し、核燃料物質定量に必要な中性子の選択的な測定が困難になることが挙げられる。この影響を補正するため、燃料デブリのガンマ線を測定しスペクトル解析を行うことにより、含有する軽元素の組成と量を把握する手法の検討を行っている。

2. スペクトルの解析

本測定試験では、シリーズ発表（2）「プルトニウムの中性子捕獲γ線の検出」で得られたプルトニウム酸化物試料のガンマ線スペクトルについて、核データベース[1]及び文献[2][3][4]を基に解析を行った。その結果、^{19}F(α, n)に伴い生成された複数のピークが確認（図 1 参照）され、特に 1275 keV 付近に子孫核種の ^{22}Na 由来の顕著なピークが見られた。一方、(α, n)反応断面積の大きいボロンやベリリウム等の元素の放射化に伴う顕著なピークは確認されなかったことから、当該試料中における主要な(α, n)反応は ^{19}F 由来であると推察した。

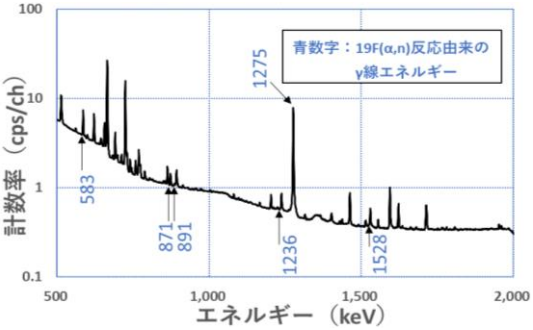

図 1 プルトニウム酸化物試料からのγ線スペクトル

3. 解析結果の妥当性確認

上記のスペクトル解析結果の妥当性を確認するため、1275 keV のガンマ線ピークから求めた ^{19}F(α, n)反応と中性子測定により求めた全(α, n)反応による中性子放出率を比較した。^{19}F(α, n)反応による中性子放出率を求めるにあたっては、当該ガンマ線放出率と中性子放出率が永続平衡の関係（図 2 参照）になるため、測定日における当該中性子放出率と ^{22}Na のガンマ線放出率が同等の関係であることを利用した。また、^{22}Na のガンマ線放出率については、当該ピーク中に含まれる ^{22}Na 以外の要因を調査し、核データベース[5]を基にそれぞれのガンマ線放出断面積を用いて当該ピークを案分し評価した。

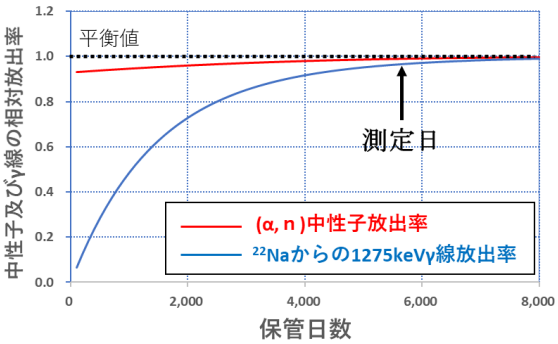

図 2 ^{19}F(α,n)中性子と 1275keV γ 線の相対放出率

評価の結果、^{19}F(α, n)反応による中性子放出率は、2.72×10^{6}/s 程度であることを確認した。これは、中性子測定により求めた全(α, n)反応による中性子放出率 2.57×10^{6} /s と近い値であった。以上のことから本試料中の(α, n)反応の主要因となった物質が ^{19}F であり、先のスペクトル解析結果の妥当性が確認された。

本実験結果より、ガンマ線スペクトル解析から物質の組成を把握する手法が確認できた。今後、ガンマ線スペクトルから物質量を把握する手法を検討することで、測定精度向上への活用が期待できる。

参考文献　[1] https://wwwndc.jaea.go.jp/NuC/sbygame.html. [2] Table of Isotope the Eighth edition. [3] SAND 2018-3369PE, [4] IEEE TRANSACTIONS ON NUCLEAR SCIENCE, VOL. 67(4), 575, 2020. [5] Nuclear Data Sheets 155 (2019) 1.

*Risa Suzuki[1], Yoshihiro Kosuge[2], Takayoshi Nohmi[1], Tomooki Shiba[1], Yasushi Nauchi[3], Taketeru Nagatani[1], Akira Takada[2], Masaaki Kaburagi[1], Keisuke Okumura[1] [1]JAEA, [2]NESI, [3]CRIEPI.