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 (2)プルトニウムの中性子捕獲γ線の検出

Measurement test of non-destructive assay for quantification of nuclear materials in fuel debris

(2) Detection of gamma rays from capture reaction of plutonium

*名内泰志¹、小菅義広²、能見貴佳³、鈴木梨沙³、長谷竹晃³、芝知宙³、高田映²、冠城雅晃³、 奥村啓介³

¹電中研、²NESI、³JAEA

プルトニウム(Pu)試料を計量装置 ENMC 内に配置し、ENMC から漏洩する γ 線を HP-Ge 検出器でスペクトル 測定した。この結果、中性子が 239 Pu に捕獲された際に生じる γ 線が検出された。

キーワード:捕獲γ線、²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, HP-Ge, プルトニウム燃料技術開発センター

- 1. **緒言** 未燃焼 MOX 燃料中のプルトニウム(Pu)核種は 129.3keV などの γ 線測定で同定できるが、使用済燃料は 137 Cs 等の核分裂生成核種(FP)の γ 線量が大きいため、 62 keV より低エネルギー γ 線の測定が困難である。一方、中性子誘導反応で生じる γ 線の多くは FP よりも高エネルギーの γ 線を生じる。そこで、これを測定し核物質を同定する中性子照射 γ 線スペクトル測定 (NIGS) に注目している。数値シミュレーションにより、燃料デブリで 238 U、 240 Pu(n, γ) γ 線が検出できることが示唆され[1]、またウラン(U)未臨界体系で 238 U(n, γ) 4060 keV γ 線の定量がなされた[2]。一方、この数値シミュレーションの根拠とした熱中性子捕獲 γ 線データベース CapGam[3]において、 2020 年に 240 Pu 捕獲反応あたりの γ 線発生数情報が Unknown に修正された。このため、Pu 試料への NIGS 測定でどの核種が同定し得るかを改めて調査する必要が生じた。本研究では JAEA のプルトニウム燃料技術開発センターで JAEA がこの測定を行い、JAEA と電中研で同データを分析した。
- 2. 実験 軽水炉使用済燃料から再処理された Pu 酸化物試料を封入した鋼製の缶を塩化ビニル製袋に密閉し、これを Pu 計量装置である ENMC の試料室に 252 Cf とともに配置した。ENMC は正方柱のポリエチレンブロックの中央に円筒状の試料室を設け、その試料室を囲うように多数の 3 He 比例計数管を円周状に並べたもので、計数管群の外側は Cd 板が設置されている。ENMC からは中性子と γ 線が漏洩する。中性子をさらに厚さ 10 Cm のポリエチレンで減衰させ、また Pu 酸化物試料中の 241 Am 由来の低エネルギー 10 7線(200 keV)を厚さ 241 Am 由来の低エネルギー 10 7線を相対効率> 35 9の HP-Ge 検出器で 35 16 (Real time)スペクトル測定した。
- 3. 結果 図 1 にスペクトルの全体図を示す。Pu 酸化 物試料中の (α,n)反応及び、Pu 核種と 252Cf の自発核 分裂で生じた中性子が ENMC のポリエチレン等で 減速し、水素、¹¹³Cd、³He 検出器の管材(²⁷Al)、塩化 ビニル製袋(35CI)、鋼製の缶(58Ni, 56Fe, 53Cr)に捕獲さ れたことを示すγ線が検出され、さらに核分裂即発γ 線が確認された。波高 3.8~4.0MeV 領域と 5~5.6MeV 領域の拡大を図 2 に示す。文献[3]に記載された ²⁴⁰Pu(n, γ) 反応の主要γ線である 3.884, 3.945, 3.988MeV に相当する波高に構造が観察されたが、統 計精度は十分ではなかった。他方 5~5.6MeV では核 分裂即発γ線影響が小さいため文献[3]に記載された ²³⁹Pu(n, γ)5.124、5.575MeV のγ線が確認された。本 結果から、使用済燃料に対しては²³⁹Pu(n, γ)反応によ るγ線が測定できる可能性があること、²⁴⁰Pu(n, γ)の検 出には相当の中性子照射が必要となることが示唆さ れた。

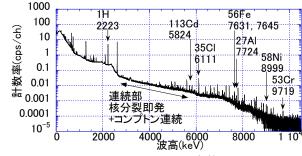
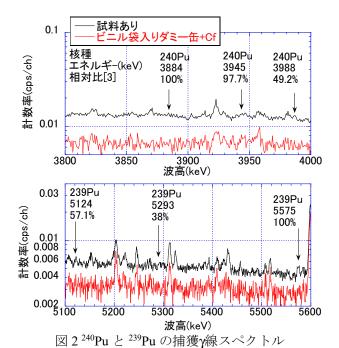


図1 スペクトル全体図



参考文献 [1] T. Nagatani, et al., Energy Procedia, 131, Page 258-263, 2017. [2] Y. Nauchi, et al., Proc. ICNC2019, Sep. 15-20. 2019, Paris, France. [3] Thermal Neutron Capture γ's (CapGam), https://www.nndc.bnl.gov/caogam/, browse on May01, 2021.

^{*} Yasushi Nauchi¹, Yoshihiro Kosuge², Takayoshi Nohmi³, Risa Suzuki³, Taketeru Nagatani³, Tomooki Shiba³, Akira Takada², Masaaki Kaburagi³, Keisuke Okumura³, ¹CRIEPI, ²NESI, ³JAEA.