

非核燃料物質に対する中性子照射 γ 線スペクトル測定への応答

NIGS Response to Non-Nuclear Material

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

¹電中研、²JAEA、³NESI

福島第一原子力発電所 1~3 号格納容器から回収される燃料デブリ・廃棄物を中性子照射 γ 線スペクトル測定(NIGS)で仕分け、計量する際、非核燃料物質が定量性に影響する。この非核燃料物質に対する NIGS の応答を JAEA/Pu 燃料技術開発センターで測定・調査した。特にジルコニウムとホウ素に対する測定を報告する。

キーワード: 燃料デブリ、回収物、中性子照射 γ 線スペクトル測定、 $^{91}\text{Zr}(n, \gamma)$ 、 ^{11}B 非弾性散乱脱励起

1. 緒言 福島第一原子力発電所 1~3 号機のベドスタル内外には燃料デブリと核燃料物質を含まない廃棄物が分布している。これらを回収し安全かつ効率よく保管するため、回収物中の核燃料物質の特定・定量が求められる。筆者らは FP と識別可能な高エネルギーの γ 線を放出し、数 100 グラム以上の回収物に適用できる中性子照射 γ 線スペクトル測定(NIGS)に着目し、捕獲 γ 線測定で ^{238}U 、 ^{239}Pu を検出できる見通しを得た[1, 2]。NIGS と重量測定を組み合わせ核燃料物質を計量するには、さらに回収物中の非核燃料物質も特定し、非核燃料物質の中性子増倍や γ 線遮蔽への影響を補正することがのぞましい。これまでの実験で ^1H 、 ^{12}C 、 ^{16}O 、 ^{27}Al 、 ^{35}Cl 、 $^{52,53}\text{Cr}$ 、 $^{54,56}\text{Fe}$ 、 ^{58}Ni 、 ^{113}Cd 等を示す γ 線を測定してきた。本研究ではさらに燃料デブリに含まれると想定される物質への NIGS 実験を JAEA/Pu 燃料技術開発センターで行い、コンクリート、モーター及び信号線、可燃性毒物、燃料被覆管、制御棒に含まれる物質を示す γ 線の測定を行った。以下ではジルコニウムとホウ素の検出について記す。

2. $^{91}\text{Zr}(n, \gamma)$ 反応の測定 ジルコニウムは燃料デブリの重量の主要素ながら、中性子吸収反応断面積が小さい。このため Zr 板(10cm×10cm×1cm)を ^{252}Cf 中性子源で照射した実験でも、むしろ試料による γ 線遮蔽効果が顕著となった(図 1)。しかし、Zr 板を配置した測定では 6295keV にピークがあり、6295+511keV 上にピークがないことから、6295keV が光電ピークであることを確認した。6295keV は $^{91}\text{Zr}(n, \gamma)$ 反応の主要 γ 線である。NIGS で ^{91}Zr を確認できることにより、核燃料物質の計量でのジルコニウムの影響の評価が期待できる。

3. ^{11}B 脱励起線の測定 ホウ素は中性子増倍への影響が大きいので、NIGS や active 中性子法による核燃料物質の計量にはホウ素の定量が望ましい。ホウ素の検出には $^{10}\text{B}(n, \alpha_1)^7\text{mLi}$ の脱励起線 478keV の測定が知られるが、 ^{137}Cs の 662 keV γ 線高バックグラウンド下では同 γ 線の検出は困難である。2MeV 以上の γ 線を放出し得るエネルギー準位の有無を調査し、中性子反応率を計算した結果、 ^{11}B の非弾性散乱(第 1 励起準位)からの脱励起 γ 線 2124.5keV の検出が有望と判断した。そこで直径 10cm、厚さ 2cm の円盤状の B_4C サンプルを準備し、この近傍に ^{252}Cf を配置し、中性子を減速させずに入射させ、 γ 線を測定した。図 2 のように 2124.5keV を中心にエネルギー幅をもった γ 線スペクトルが検出された。この反応では散乱された ^{11}mB が停止する前に第 1 励起準位から γ 線が放出されるため、ドップラー広がりが生じたと考えられる。同 γ 線は ^{154}Eu (1274, 1596keV)よりもエネルギーが高く、検出は可能と期待される。この反応率は $^{10}\text{B}(n, \alpha_1)$ に比べ水分量への依存性が小さく、ホウ素の定量に有利と考えられる。

参考文献 [1] Nauchi 他, Proc. ICNC2019, [2]名内、能見、他、2021 年秋の大会予稿集、[3]名内他、2020 年秋の大会予稿集。

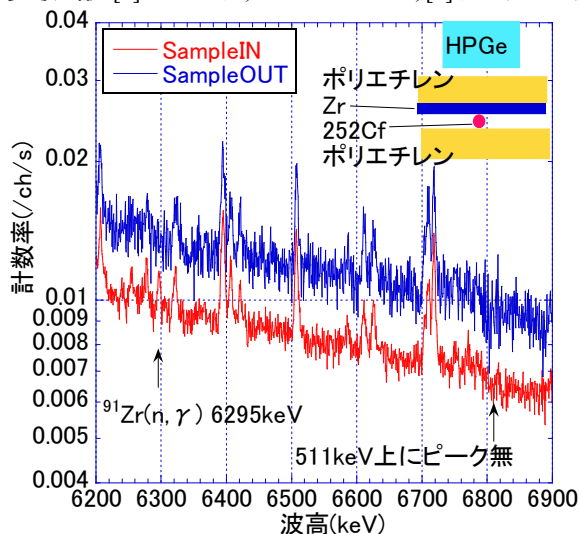


図 1 $^{91}\text{Zr}(n, \gamma)$ 6285keV の検出。

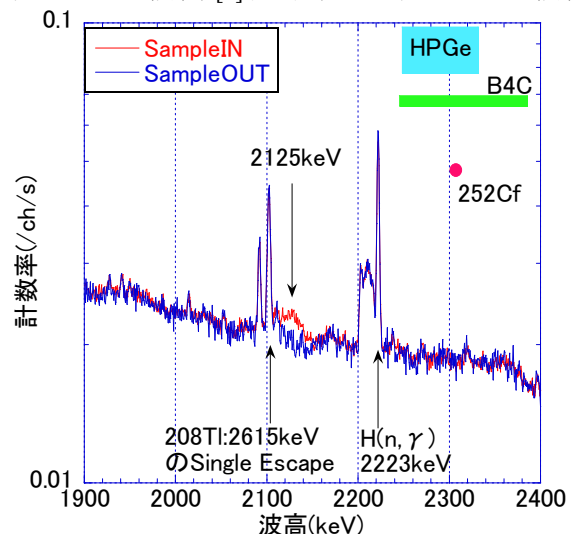


図 2 $^{11}\text{B}(n, n')^{11\text{m}}\text{B}$ 非弾性散乱脱励起線の検出。

*Yasushi Nauchi¹, Takayoshi Nohmi², Risa Suzuki², Yoshihiro Kosuge³, Tomooki Shiba², Akira Takada³, Masaaki Kaburagi², Keisuke Okumura², ¹CRIEPI, ²JAEA, ³NESI inc.