

燃料デブリから放出される中性子の特性評価 Characterization of neutrons emitted from fuel debris

*松村 太伊知, 坂本 雅洋, 寺島 颯一, Eka Sapta Riyana, 奥村 啓介

JAEA

福島第一原子力発電所からの試験的取り出しが予定されている燃料デブリを想定し、自発核分裂と(α , n)反応の中性子強度とエネルギースペクトルを SOURCES 4C コードによって計算し、燃料デブリから放出される中性子の特性評価を行った。

キーワード：福島第一原子力発電所・燃料デブリ・中性子強度・自発核分裂中性子・(α , n)反応・中性子エネルギースペクトル

1. 緒言：これまでの原子炉格納容器(PCV)内部調査から、福島第一原子力発電所(1F)の1~3号機には、燃料と被覆管等が溶融した後に固化した燃料デブリが存在すると考えられている[1]。2023年には、2号機(1F2)から数g程度の燃料デブリ試料の試験的取り出しが予定されている[1]。燃料デブリの検知において中性子が検出されれば燃料デブリであると推定できるため、燃料デブリから放出される中性子の特性評価を行うことは重要である。そこで、 UO_2 燃料のみで構成されていた1F2と本格取り出し時期での対象とされMOX燃料を部分的に含んでいた3号機(1F3)からの取り出し燃料デブリに対する検出器開発や中性子応答の物理的解釈に資するため、1F2(広範囲燃焼度 UO_2)、1F3(低燃焼度MOX)、TMI-2(低燃焼度 UO_2)の3種類の代表的な燃料デブリモデルに対し、それぞれの燃焼履歴に基づく核種インベントリデータと SOURCES 4C コード[2]を用いて、燃料デブリから放出される自発核分裂(遅発中性子を含む)と(α , n)反応によって放出される中性子の特性評価を行った。

2. 計算方法：取り出し燃料デブリの重量は試験的取り出しを見据えて1gと仮定し、その性状の多様性として以下の条件の組み合わせを考慮した：1) 取り出し時期：2023年12月、2) 組成タイプ：溶融燃料デブリ($(U_{0.5}, Zr_{0.5})O_2$ 、 $(MOX_{0.5}, Zr_{0.5})O_2$ (1F3 MOX燃料))、3) 線源とターゲットの分布：均質、4) 燃焼度：TMI-2と1F3(MOX)は低、1F2は低、炉心平均は高、5) 揮発性FP放出モデル：Phebus-FPT4試験結果に基づくFP放出率。TMI-2、1F2と1F3(MOX)燃料の燃焼計算結果を基に、取り出し時期までの放射性核種の崩壊と揮発性FP放出を模擬した放射性核種のインベントリを評価し、 α 崩壊と自発核分裂(SF)を起こす核種の{ α 線強度(I) \times 平均エネルギー(E_m)}とSF放射能の値を基に各積算値が全体の99.9%以上となる α 崩壊核種と自発核分裂核種を選定した。また(α , n)反応のターゲット核種は ^{17}O と ^{18}O を対象とした。

3. 結果：一例として図1に、 ^{244}Cm 生成量が比較的少ない1F2低燃焼度の燃料デブリから放出される(α , n)反応、SF、合計((α , n)反応+SF)の中性子スペクトルを示す。(α , n)反応とSFの各スペクトルは形状が大きく異なり、最大ピーク強度は(α , n)反応がSFを上回った。 E_{av} は(α , n)反応：2.28MeV、SF：1.84MeV、合計：2.08MeVである。また、中性子線源強度については、SF： $(\alpha, n) = 56\% : 44\%$ であり、低燃焼度燃料由来の燃料デブリでは、(α , n)反応の寄与は必ずしも無視できないことが分かった。

参考文献

[1] IRID, TEPCO, "Status of Unit 1 PCV internal investigation", (2022). [2] W.B. Wilson, et al., "SOURCES 4C: A Code for Calculating (α , n), Spontaneous Fission, and Delayed Neutron Sources and Spectra". (2002).

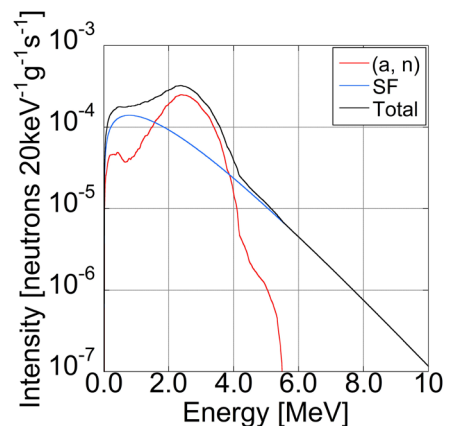


図1 1F2低燃焼度の燃料デブリから放出される中性子のエネルギースペクトル

*T. Matsumura, M. Sakamoto, K. Terasima, E. Riyana, K. Okumura, Japan Atomic Energy Agency (JAEA)