# 福島第一原子力発電所における燃料デブリ中の核燃料物質定量に関する候補技術の特性研究Ⅱ －（４）アクティブガンマ法 －

Characterization Study of Candidate Technologies for Nuclear Material Quantification in Fuel Debris at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station II - (4) Active Gamma Method-

*名内　泰志[1]
[1]電中研

収納容器内に燃料デブリをランダムに配置した体系に対し中性子照射時のγ線波高応答を計算した。
**キーワード**：燃料デブリ、核燃料物質定量、非破壊測定、中性子照射γ線スペクトル測定

**1. 緒言** 電中研では収納容器に回収した燃料デブリの核物質量を推定する手法として、$^{238}$U、$^{240}$Pu の存在が確認できる中性子照射γ線スペクトル測定(NIGS)を開発している[1]。燃料デブリは収納容器中でジルカロイやステンレス等の構造材、水とともにランダムに配置する。本報告では配置の不確かさに起因する NIGS の応答のばらつきを評価するため、3 次元数値シミュレーションを実施した。

**2. 計算シミュレーションの概要** 燃料の組成や燃料：構造材：水の比の異なる 10 条件(表 1)に対し、燃料、構造材、水の 1 辺 3.7cm の立方体を収納容器中にランダムに配置したモデル体系を 20 個ずつ作成した[2]。鉛直方向は 19 層である。各条件は収納容器の内外に水のある湿式と、水のない乾式に大別され、燃料集合体の平均組成を標準として、標準から吸収材含有量や燃焼度、あるいは水密度を変化させて設定した。これらのモデル体系に対して NIGS の応答を計算した。NIGS では収納容器の外から中性子を照射し、照射箇所から発生するγ線をコリメータを通して Ge 検出器等で測定する。検出器の視野に入る領域は鉛直方向 3 層程度である。(図 1 参照)。燃料デブリの核反応を増やすため、d-D 中性子源をコリメータ中心軸に配置した。容器を 3.7cm 毎に昇降させ、上下端を除く 17 層に対して MCNP で 1.85cm×1.85cm×3.7cm の計算メッシュ毎に核分裂・中性子捕獲反応率を計算した。次に文献[3][4]に従ってγ線のスペクトルを決定し、そのγ線の検出器までの輸送計算を行い、最後に検出器内部のγ線-電子輸送計算でγ線波高応答を評価した。

**3. 結果** 17 層の計算値を合算した Ge 検出器波高応答の例を図 2 に示す。湿式、乾式条件に依らず $^{238}$U からのγ線(4.060MeV)は明瞭だが、湿式では $^{240}$Pu からのγ線((3.945MeV)はピーク部/平坦部の計数率比が大きくはない。乾式条件では計数率は小さいが、同計数率比は大きい。燃料デブリの 10 条件×20 個の配置モデルに対し、応答計算値から $^{240}$Pu/$^{238}$U 捕獲反応率比を評価し、それらと中性子輸送計算による $^{240}$Pu/$^{238}$U 捕獲反応率比を表 1 で比較した。$^{240}$Pu 成分が確認できない低燃焼度条件を除き、平均値は誤差 10%以内で合致しているが、湿式ではランダムな配置による標準偏差が大きい。この標準偏差にはピーク積分値の統計誤差の影響が大きいので、湿式条件での NIGS による $^{240}$Pu/$^{238}$U 捕獲反応率評価精度向上にはピーク部/平坦部の計数率比の改善が重要と考えられる。一方、乾式条件については標準偏差も小さく、現状の測定条件でも有望である。

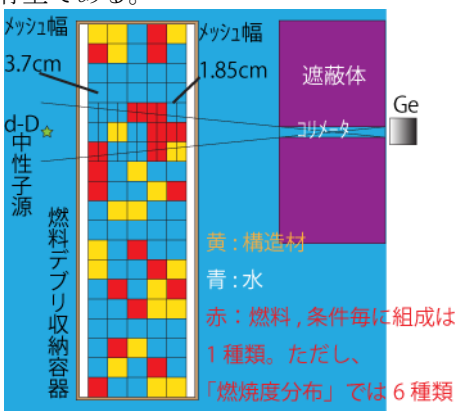


図 1: NIGS 応答の計算体系(湿式の例)

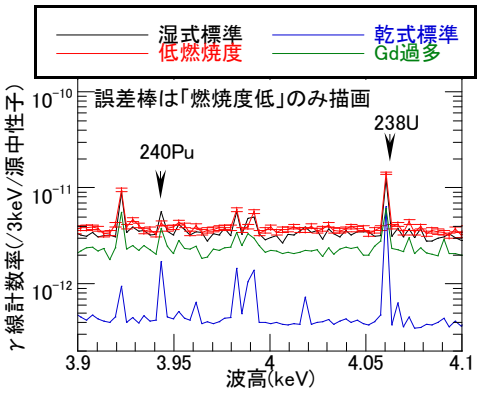


図 2 Ge 検出器の波高応答計算値

表 1 応答関数計算値に基づく $^{240}$Pu/$^{238}$U 捕獲反応率比と中性子輸送計算値に基づく $^{240}$Pu/$^{238}$U の比

| 条件 | 湿式 | | | | | | | 乾式 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 標準 | $^{10}$B 過多 | Gd 過多 | 低燃焼度 | 水密度 40% | 水密度 60% | 燃焼度分布 | 標準 | Gd 過多 | 燃焼度分布 |
| 平均値 | 1.033 | 1.021 | 1.105 | 1.400 | 0.970 | 1.048 | 1.055 | 1.058 | 1.043 | 1.023 |
| 標準偏差 | 0.131 | 0.158 | 0.192 | 1.522 | 0.157 | 0.143 | 0.164 | 0.036 | 0.051 | 0.047 |
| ピーク積分誤差 | 0.100 | 0.117 | 0.151 | 0.460 | 0.102 | 0.113 | 0.101 | 0.028 | 0.029 | 0.030 |

**参考文献** [1]名内、2017 年春の年会予稿集 2D-22。[2] 長谷他、本シリーズ発表(1)。[3] J.M.Verbeke 他, UCRL-AR-228518、[4] J. K. Tuli, http://www.nndc.bnl.gov/capgam/

* Yasushi NAUCHI[1],
Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)