

Self-indication 法を用いた中性子共鳴濃度測定の高制度化

Improvement of Neutron Resonance Densitometry using a Self-indication Method

*堀 順一¹、佐野 忠史²、高橋 佳之¹、八島 浩¹、李 在洪¹

¹京大複合研、²近大原研

Self-indication 法を用いた中性子共鳴濃度測定を燃料デブリ中に含まれる核物質の定量に適用するために、京都大学電子ライナックを用いて予備実験を行うと共に、数値計算によって小型定常中性子源を用いた非破壊分析の可能性について検討した。

キーワード：非破壊核種分析、核燃料物質、共鳴吸収、Self-indication 法

1. 緒言 福島第一原子力発電所の燃料デブリを炉外に取り出した後に適切に管理するためには、保障措置の観点から核燃料物質の定量が重要な課題である。ところが、燃料デブリには核燃料物質の U, Pu 以外にも燃焼によって蓄積したマイナーアクチニド (MA)、核分裂生成物 (FP)、制御材等が含まれているため、被検体中の不純物や放射能の影響を受けることなく、迅速且つ簡便に核物質を非破壊で定量できる分析法が必要である。Self-indication 法は、試料を透過した中性子を測定対象核種から成る indicator に照射し、その indicator からの反応生成物を測定することにより、間接的に透過中性子を測定する手法である。本手法は測定対象核種の共鳴エネルギーの中性子を選択的に高感度で測定できるという特徴を持つ。これまでの研究では、²³⁸U を indicator とした実験によって本手法の有効性を明らかにした[1, 2]。本発表では、核分裂性核種を indicator とした Self-indication 法について予備実験と数値計算を行ったので、その結果を報告する。

2. 予備実験及び数値計算 予備実験は京都大学複合原子力科学研究所の電子線形加速器の 12m ビームラインにおいて行った。被検体には高濃縮ウランアルミニウム合金板 (HU, 厚さ 1/16")、indicator には核分裂チェンバー内に装荷した高濃縮ウラン電着膜 (10μg) を用いた。加速器の運転条件は、パルス幅 4μs、繰り返し周波数 50Hz、電子の加速エネルギー約 30MeV、平均ビーム電流約 100μA とした。測定は被検体を indicator 上流に置いた場合と置かない場合それぞれに対して約 40 時間ずつ行い、核分裂事象に対する TOF スペクトルを取得した。一方、数値計算では、核分裂中性子を円柱型の水モデレータで減速し Gd フィルターによって熱中性子成分を除去した漏えい中性子を、厚さの異なる ²³⁹Pu 試料に照射し、透過中性子を indicator の ²³⁹Pu に照射したときの核分裂率をモンテカルロ・シミュレーション計算によって求めた。

3. 結果 予備実験で得られた TOF スペクトルの比較を図 1 に示す。ビーム上流に HU を置いたことによって、U-235 の 1.1, 3.1, 7.0, 9.7eV 共鳴による吸収が観測され、熱外中性子領域では約 15% の計数率の減少が見られた。数値計算の結果を図 2 に示す。Indicator に ²³⁹Pu を用いた場合、0.3eV の第一共鳴による吸収が顕著に観測され、10⁻³ b の厚さの ²³⁹Pu に対して、全計数率が約 50% 減少することが分かった。このことから、パルス中性子源を用いた TOF 測定を行わなくても、小型定常中性子源を用いた全計数率の変化から ²³⁹Pu を定量できる見通しが得られた。

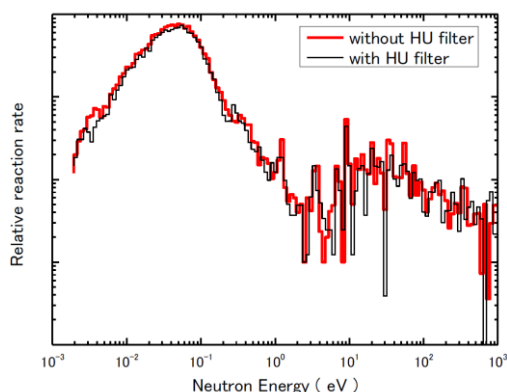


図 1 U-235 indicator の TOF スペクトルの比較

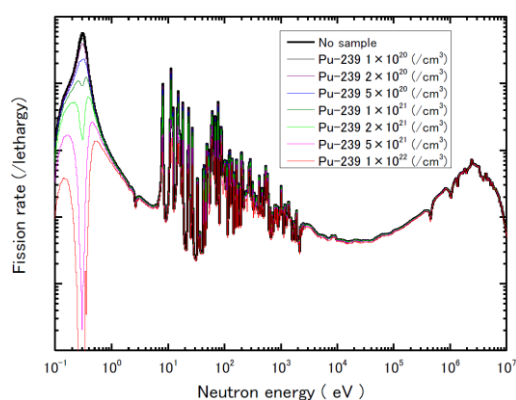


図 2 Pu-239 indicator の TOF スペクトルの比較 (数値計算)

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP17K07012 の助成を受けたものである。

[1] 堀他、日本原子力学会 2016 年秋の大会、2N01、[2] 堀他、日本原子力学会 2018 年春の年会、2I19

*Jun-ichi Hori¹, Tadafumi Sano², Yoshiyuki Takahashi¹, Hiroshi Yashima¹, Jaehong Lee¹

¹Institute for Integrated Radiation and Nuclear Science, Kyoto University, ²Kindai University Atomic Energy Research Institute