原子炉燃料の健全性評価のための非破壊分析技術の開発
（4）Self-indication 法を用いた中性子共鳴濃度分析

Development of Nondestructive Methods Adopted for Integrity Test of Next Generation Nuclear Fuels

(4) Neutron Resonance Densitometry using a Self-indication Method

*堀　順一[1]，佐野　忠史[1]，高橋　佳之[1]，中島　健[1]

[1]京都大学原子炉実験所

Seld-indication 法を用いた中性子共鳴濃度分析について、京大炉ライナックでの実験及び数値計算の結果に基づいて本手法の適用範囲の検討を行った。検討の結果、^{238}U の場合、複数の共鳴を利用することで、測定可能な核種厚さの範囲を 10^{-6}～10^{-2}(/b)まで拡張できる見通しを得た。

キーワード：非破壊分析法、共鳴、核燃料物質、Self-indication 法、京大炉電子ライナック

1. 緒言

MA 含有 TRU 燃料の健全性評価のために、パルス中性子・制動 X 線混在場を用いた非破壊分析技術の研究開発を実施している。研究開発項目の一つとして挙げているのは、共鳴吸収を利用した核種濃度定量技術の高度化である。特に MA 含有 TRU 燃料のように高い放射能を有する被検体の分析に有利な Self-indication 法の適用について検討を行う。Self-indication 法とは、十分にコリメートされたパルス中性子ビーム軸上に被検体と測定対象核種から成る indicator を並べて配置し、indicator から放出される反応生成物（中性子捕獲ガンマ線）を測定することによって、試料を透過した中性子スペクトルを間接的に取得する方法である。本手法は、測定対象核種の共鳴エネルギーに対してのみ高感度で透過中性子を測定可能であり、被検体からの崩壊ガンマ線の影響を受けることなく測定できるのが特徴である。核種固有の共鳴吸収による透過中性子数の変化量から核種濃度を迅速且つ簡便に定量することを目指している。

2. 実験

京大炉電子ライナックにおいて､天然ウランを用いた self-indication 法の検証実験を行った｡本実験では、電子の加速エネルギーを約 30MeV、パルス幅を 47ns、周波数を 250Hz とし、一つ前のバーストで生じた低エネルギー中性子のオーバーラップを防ぐために、ビームラインの途中に厚さ 0.5mm のカドミニウム板を挿入した。被検体及び indicator には厚さ約 7.3×10^{-3} (/b)の天然ウラン板を用いた。飛行距離 10.1m の位置に indicator を設置した。indicator からの中性子捕獲ガンマ線測定は、ビームに対して垂直に配置された 2 台の BGO 検出器を用いて測定し、TOF スペクトルを取得した。

3. 結果

indicator 上流に被検体を置いた場合と置かない場合の TOF スペクトルの比較を図に示す。被検体による共鳴吸収は共鳴ピークの減少として観測された。また、indicator 内での捕獲反応率をモンテカルロ・シミュレーション計算によって算出し、被検体厚さと共鳴ピーク計数の関係を求めたところ、実験から得られた共鳴ピーク計数の減少割合から核種の実効厚さの定量が可能であり、その測定範囲は複数の共鳴を利用することで 10^{-6}～10^{-2}(/b)まで拡張できる見通しを得た。

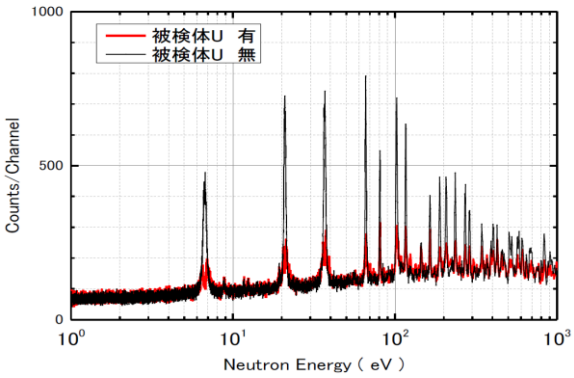

図　被検体がある場合とない場合の TOF スペクトルの比較

本研究は、特別会計に関する法律（エネルギー対策特別会計）に基づく文部科学省からの受託事業として、京都大学が実施した平成 28 年度「次世代原子炉燃料の健全性評価のための非破壊分析技術の開発」の成果である。

*Jun-ichi Hori[1],Tadafumi Sano[1], Yoshiyuki Takahashi[1] and Ken Nakajima[1]

[1]Kyoto University Research Reactor Institute