

PGA を用いた次世代高燃焼度燃料用エルビア濃度測定法の研究

(受託者)株式会社原子力エンジニアリング

(研究代表者)高松輝久 解析サービス本部

(再委託先)国立大学法人京都大学

(研究開発期間)平成21年度～22年度

1. 研究開発の背景とねらい

本事業は、次世代革新的原子炉技術として提案されているエルビア入り高燃焼度燃料のための、中性子即発ガンマ線分析(PGA)を応用した、エルビア検認手法に関する研究である。燃料製造現場での即時測定を見据えて、放射性同位体などを小型中性子源として用いたPGA装置によるエルビア検認の実現性を検証する。

次世代軽水炉の革新的原子力技術として、中性子吸収材であるエルビアを全ての燃料棒に添加した高燃焼度燃料が提案されており、この燃料において、エルビアが適切に添加されているかどうかを検認する技術が求められる。そこで本研究では、中性子を照射された試料から発せられるガンマ線を分析することで、試料中の核種を同定する即発ガンマ線分析(PGA)を用いたエルビア検認法について研究開発を行う。

従来のPGAは中性子源として一般に研究用原子炉を用いるため、装置が大型になり応用範囲が限られる。そこで本研究ではCf-252放射性同位体や加速器を用いたD-T中性子源などの小型中性子源を利用する。モンテカルロ計算による数値解析を実施し、中性子の効率的な減速、検出効率の向上などに関する検討を行って検出器や試料の配置を決定する。その結果を用いて、実験により小型中性子源を用いたPGAによるウラン試料中のエルビア検認の実現性を検証する。このような小型PGA装置は、汎用の非破壊核種分析装置としても波及効果が期待される。

2. 研究開発成果

粉末試料中のエルビア検認

初めに小線量の Cf-252 中性子源(発生率 $\sim 10^5$ n/sec)を利用し、PGA によるエルビアが検認可能なことを確かめた。実験は京都大学原子炉実験所にて実施し、ガンマ線検出器に HPGe 検出器を用いた。試料には、酸化ビスマスと酸化ネオジムの混合粉末を、ウラン燃料粉末の中性子吸収を再現するように混合比を調整して用いた。この試料や照射場の検討のために、モンテカルロ計算によるシミュレーションを用いた。さらに、D-T 中性子源(発生率 $\sim 10^8$ n/sec)を用いたPGA実験も実施し、図1、表1に示すような結果が得られ、中性子遮蔽効果の強い粉末試料中でもエルビア検認が可能なことが示された。

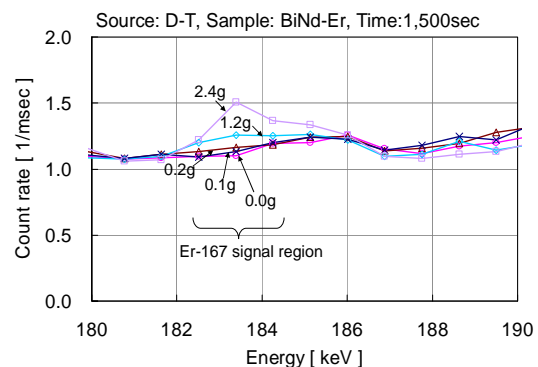


図1 ガンマ線スペクトル測定例

表1 粉末試料中のエルビア測定精度

中性子源	測定時間	統計的誤差(1 σ)
Cf-252	3,000 秒	0.38g
D-T	1,500 秒	0.20g

ウラン試料中のエルビア検認

ウラン試料は、崩壊に伴うガンマ線や中性子照射による FP ガンマ線を発生し、これは PGA 測定に対してノイズとなる。この影響を評価するため、ウラン試料(金属ウラン板、重量 48.4g)を用いて PGA 試験を行った。ウランの崩壊ガンマ線の影響を低減する体系を、シミュレーションにより検討し、図 2、3 に示すような試料-線源近接体系を設計した。D-T 中性子源を用いて、精度向上のためにパルス同期計測(後述)により測定を行った。結果を図 4 に示す。3,000 秒の測定による、エルビアの測定精度は 0.09g となり、このときのエルビア濃度に換算した測定精度は約 0.2%であった。

パルス同期計測

D-T 中性子源は中性子をパルス状に発生する(実験時の条件はパルス幅 15 μ sec、繰返し周期 1,000 μ sec)。そのため、中性子即発ガンマ線の発生率も時間的に均一でない。中性子パルスに同期した適切なタイミングでガンマ線を測定することで、即発ガンマ線以外による信号(遅発ガンマ線、中性子が検出器に入射することによる偽信号など)の影響を低減し、測定精度を改善できる。実験の結果、通常の測定とパルス同期測定を比較すると図 5 のようになり、エルビア信号の強度が向上することが確認された。

3. 今後の展望

本事業により、小型中性子源を用いた PGA によって粉末試料に含まれるエルビアを検認するための、試料-線源近接体系やパルス同期測定といった手法が開発された。その結果、崩壊ガンマ線などを発生するウラン試料中のエルビア検認が可能なが実証された。今後は、照射場等の更なる高度化による実用化に向けた開発を行うと共に、一般の小型 PGA 分析装置への応用が期待される。

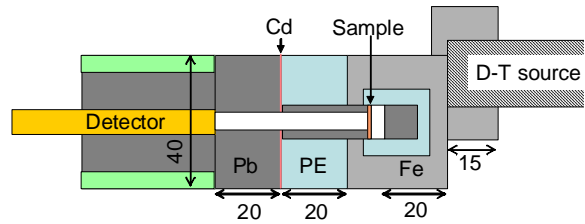


図 2 試料-線源近接 PGA 実験体系模式図

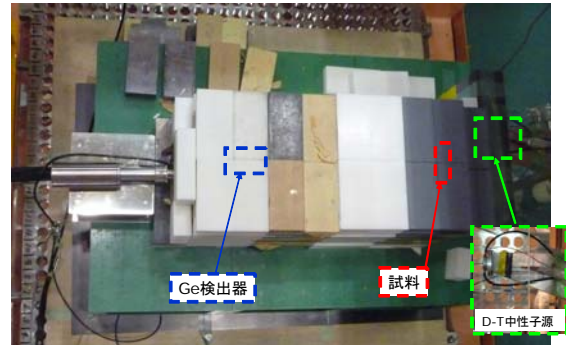


図 3 試料-線源近接 PGA 実験体系外観

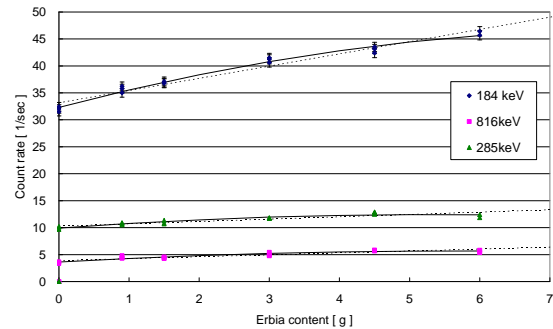


図 4 試料中のエルビア量に対するエルビア信号カウント率の変化

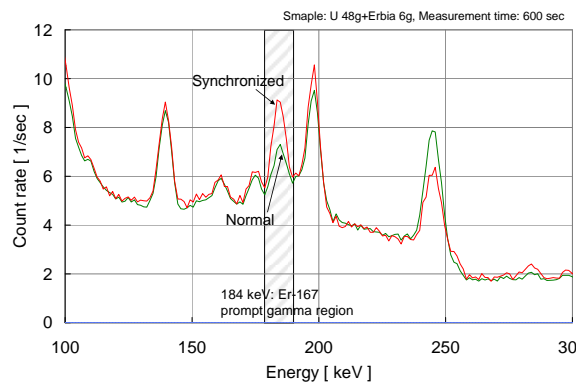


図 5 パルス同期測定によるエルビア信号強度向上