

## 5-2 使用済み核燃料キャニスターの非破壊核種分析 — $\gamma$ 線透過 NRF 法の 1F 事故溶融燃料への適用可能性を実証—

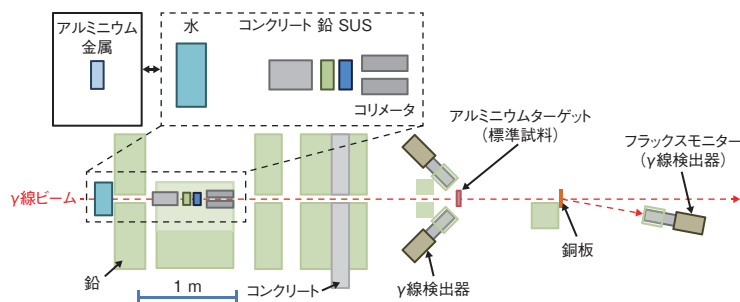


図 5-7 TMI-2 キャニスターに対する吸収 NRF 分析実験の図面

実験では、 $\gamma$ 線ビームが水、コンクリート、鉛（ウランを模擬）、SUS の被測定物を透過した後、アルミニウム標準試料による  $\gamma$ 線の NRF の強さを測定しました。透過  $\gamma$ 線ビームのフラックスは、銅板からのコンプトン散乱を測定することで求めました。被測定物をアルミニウム金属に交換し、アルミニウムの共鳴吸収量を校正しました。

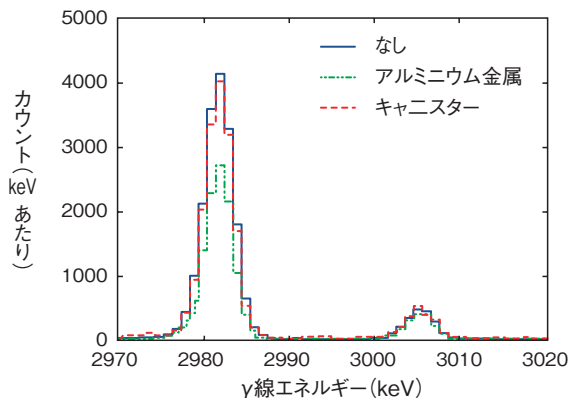


図 5-8  $^{27}\text{Al}$  の NRF ピーク

標準試料からの NRF のピーク面積は、被測定物なしの場合を基準として、被測定物中のアルミニウムの量に比例して減少します。アルミニウム (Pu を模擬) 及びキャニスターを被測定物とした場合の測定結果を示しています。

$\gamma$ 線透過原子核共鳴蛍光散乱法 (transmission Nuclear Resonance Fluorescence:  $\gamma$ 線透過 NRF 法) は使用済み核燃料中の  $^{239}\text{Pu}$  量をはじめとした核物質を精密に非破壊分析するための有望な方法です。原子核共鳴蛍光散乱 (NRF) は原子核が  $\gamma$ 線を共鳴吸収して励起し、直後に一つ以上の  $\gamma$ 線を放出して脱励起する現象です。米国スリーマイル島原子力発電所 2 号機 (TMI-2) 事故では、取り出した溶融燃料をキャニスターに収納し将来の再汚染の可能性を最小にする措置が取られました。そこで用いられた TMI-2 キャニスターは、東京電力福島第一原子力発電所 (1F) の廃止措置においても溶融燃料収納容器として用いられる可能性があります。私たちは、TMI-2 キャニスター内の物質 (例: Pu) の非破壊分析に対して透過 NRF 法の適用可能性を実証するために、米国ノースカロライナ州のデューク大学 HI $\gamma$ S (レーザー・コンプトン・ $\gamma$ 線施設) で実験を行いました (図 5-7)。

実証実験では  $^{239}\text{Pu}$  と同様の共鳴特性を持つ  $^{27}\text{Al}$  を模擬物質とし、TMI-2 キャニスターと等価なコンクリート、鉛、ステンレス鋼 (SUS) を  $\gamma$ 線ビームライン上に

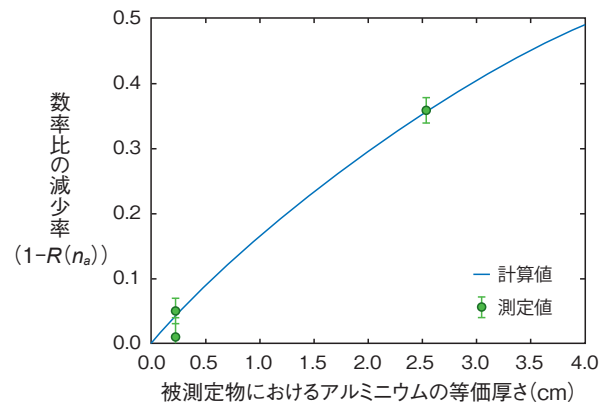


図 5-9 2982 keV 核状態の吸収量

被測定物中のアルミニウムの等価厚さと 2982 keV  $\gamma$ 線の吸収率 (被測定物の有無の計数率の比、 $1-R(n_a)$ ) の計算値 (—線) 及び測定値 (●) です。測定値は、キャニスター及びコンクリート (厚さ 0.2 cm) とアルミニウム金属 (厚さ 2.5 cm) におけるものです。

並べました。キャニスター内の物質に対して、鉛 (ウランを模擬) と水も並べました。 $\gamma$ 線透過 NRF 法では、ビームライン上流の被測定物における共鳴吸収の大きさを、下流に配置した標準試料 (ここでは  $^{27}\text{Al}$ ) からの共鳴散乱の減少量により評価します。共鳴散乱の減少量は、被測定物内部の  $\gamma$ 線経路上の対象核種の量に比例します。模擬 TMI-2 キャニスター及びコンクリートやアルミニウム金属等、複数の同位体を含んだ被測定物について、アルミニウムによる  $\gamma$ 線吸収量を 2980 keV の  $\gamma$ 線エネルギーにて測定しました。

図 5-8 は、 $\gamma$ 線フラックスで規格化した標準試料からの散乱  $\gamma$ 線スペクトルです。上流の被測定物の違いによる共鳴散乱ピークの減少が確認できます。被測定物の有無の計数率の比 ( $R(n_a)$ ) は、被測定物の組成と核データから予想した値と一致しています (図 5-9)。TMI-2 キャニスターに  $\gamma$ 線透過 NRF 法による核種分析を適用する場合、複数核種の共鳴の重複が分析の妨げとならないことを実証しました。これは、Pu を測定するとき、ほかの物質の存在が測定の妨害とならないことを示しています。

### ●参考文献

Angell, C. T. et al., Demonstration of a Transmission Nuclear Resonance Fluorescence Measurement for a Realistic Radioactive Waste Canister Scenario, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, vol.347, 2015, p.11-19.