

## フィッシュントラック法による 環境試料中の核物質検出

原子力基礎工学研究部門  
環境・原子力微量分析研究グループ  
李 致圭

保障措置環境試料分析法は国際原子力機関 (IAEA) の保障措置の強化・効率化策の一環として 1995 年導入された分析法である。これは、原子力施設の床面、壁面、装置表面などから拭き取りにより採集した試料 (スワイプ試料) 中に含まれる極微量のウラン等の核物質の同位体比を分析することで、未申告原子力活動を検知することを目的とした新たな保障措置手法である。この分析法には、スワイプ試料に含まれているすべての核物質の全体的な特性を調べるバルク分析法と、粒子ごとの特性を調べるパーティクル分析法に大別される。特に、パーティクル分析法は過去から現在に至るまでのその施設の原子力活動の内容を推定することができるので、保障措置上有効な分析手法となっている。

フィッシュントラック (FT) - 表面電離質量分析 (TIMS) 法によるパーティクル分析法は、2 次イオン質量分析器 (SIMS) では測定が難しい粒径  $1 \mu\text{m}$  (ウランの場合、約  $4 \text{ pg}$  に相当) 以下の核分裂性物質を含む微小粒子に対しても同位体比分析が可能である。フィッシュントラック法では熱中性子照射により起こる核分裂の痕跡 (フィッシュントラック、飛跡) から核分裂性物質を高感度に検出できる。 $^{235}\text{U}$  のような核分裂性物質に熱中

性が当たると、その原子核は熱中性子を捕獲し、高励起状態の複合核を生じ、核分裂を起こす。この時、原子核が分裂して生成した核種を核分裂生成物あるいは核分裂片という。一般に、核分裂により解放されるエネルギーは約  $210 \text{ MeV}$  であるが、その殆どは核分裂片の運動エネルギーとして消費される。核分裂片がエネルギー失って停止するまでの痕が FT である。本研究では、このような FT 及び、それに対応する粒子を効率よく検出するために、2 層式 FT 試料作製法を開発した。<sup>1)</sup> 本法では、2 段式粒子吸引法によりスワイプ試料に含まれている粒子をポリカーボネート製メンブランフィルター上に回収する。粒子を回収したフィルターを溶剤で溶かし、薄く延ばすことにより粒子を閉じ込めたフィルム - 試料を作製する。この試料にポリカーボネート製の FT 検出器を重ね、熱中性子照射後、検出器をエッチングすることにより、FT が優先的にエッチングされ光学顕微鏡下で観察される。その例を図 1 に示す。図は種々の保障措置環境試料から回収した粒子の分析結果で、熱中性子照射 (フルエンス:  $8 \times 10^{14} \text{ n/cm}^2$ ) により検出された粒径が約  $1 \mu\text{m}$  のウラン粒子の FT 形状を示している。このような FT を検出することにより、スワイプ試料から回収した粒子の中で、それに対応する核分裂性物質を含む粒子を見つけ出すことができる。

通常、ウランにおいて熱中性子照射により核分裂が起きるのは  $^{235}\text{U}$  であるので、FT の数は粒子の濃縮度だけではなく粒径にも依存する。熱中性子の数と粒径が同等

である場合、FT のエッチング速度は FT の数が多い高濃縮度のウラン粒子ほど早い。<sup>2)</sup> これは、高濃縮度のウラン粒子ほど短い時間で検出されることを意味し、エッチング時間の制御によってウラン粒子の濃縮度別検出が可能であることを示唆する。図 2 はウラン粒子の濃縮度とエッチングにより FT が現れるまでの時間との関係を示しており、濃縮度の増加と共に FT 検出のためのエッチング時間は短くなるのが分かる。例えば、エッチング時間を 2.5 分で止めれば、約 10% 以上のウランは検出されるが、それ以下のウランは検出されないことを意味する。<sup>3)</sup>

エッチング時間の制御による濃縮度別検出法は保障措置上重要な意味を有する高い濃縮度のウラン粒子を優先的に検出できる方法として期待される。

### 参考文献

- 1) Chi-Gyu. LEE, *et al.*, Jan. J. Appl. Phys., 45 (2006) L294.
- 2) C. G. LEE, *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. B 245 (2006) 440.
- 3) Chi-Gyu. LEE, *et al.*, Jan. J. Appl. Phys., 45 (2006) L1121.

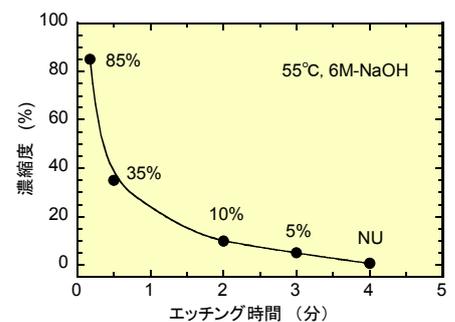


図 2 ウラン粒子の濃縮度とエッチングにより FT が検出するまでの時間との関係

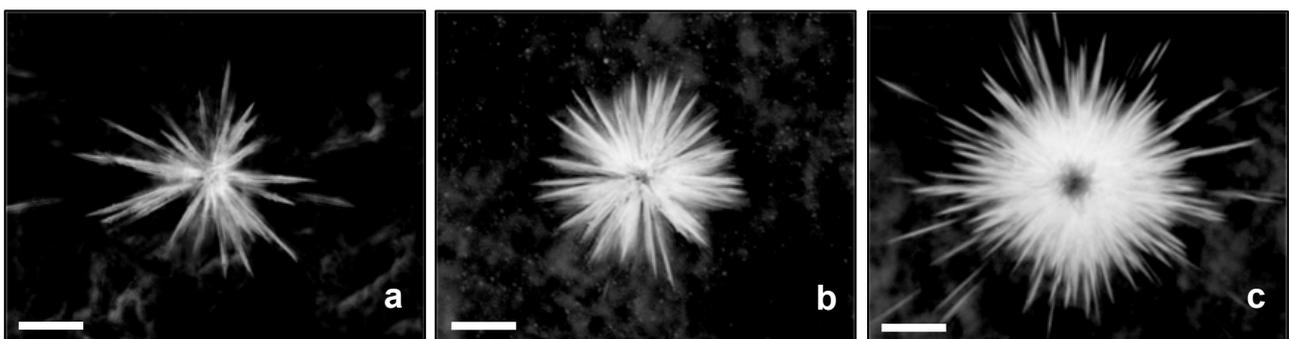


図 1 ウラン粒子の熱中性子照射によるフィッシュントラック形状の例 (スケールバー:  $10 \mu\text{m}$ )  
a) 天然組成ウラン、b) 10%濃縮ウラン、c) 85%濃縮ウラン