

研究の全体概要

保障措置環境試料分析: 未申告の原子力利用の検知を目的とし、原子力施設に対する査察で採取された環境試料に含まれる極微量核物質(ウランやプルトニウム)の同位体組成を分析する。

1. 環境サンプリング法の導入背景

核兵器不拡散条約(NPT)

IAEA 申告 査察 NPT加盟非核兵器保有国

1990年北朝鮮の核開発疑惑
1991年イラクの未申告施設

発覚

保障措置の強化が必要に

2. 環境サンプリング法



3. 環境試料の分析

拭き取り試料 試料を汚染しないようにクリーンルーム内で処理

TIMS LG-SIMS ICP-MS

様々な質量分析装置で分析

当グループでは、IAEAより依頼される環境試料分析、および環境試料の分析に必要な分析技術開発を実施

保障措置環境試料の分析技術開発

研究背景

- 保障措置環境試料に含まれる極微小粒子の同位体比を測定する技術の発展、新規の分析技術開発が求められている。
- 同位体比分析に必要な同位体標準粒子で、購入可能なものは核種、組成に限られており、既存の方法で粒子を作成するには専用の施設、設備が必要。

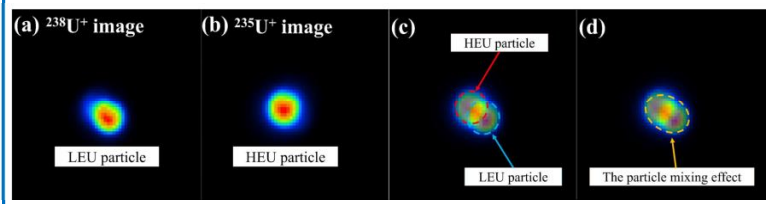
研究内容

- 試料前処理にマイクロマニピュレーションを利用した新手法によるSIMSスクリーニングの精度向上
- 既存法よりも簡単に様々な同位体組成の粒子を作成する技術の開発

正確なSIMSスクリーニング結果が得られる新手法の開発

【ねらい】異なる同位体組成のウラン粒子の凝集体が単一粒子として検出され、誤った同位体比分析結果を示す原因となる粒子のミキシングを排除し、正確なSIMSスクリーニング(APM: Automated Particle Measurement)結果が得られる新手法を開発する。

【粒子のミキシング】



SIMSによる同位体比分析の結果は(a), (b)に示す2つの粒子の同位体組成が平均化された値となり、分析の正確さを低下させる。

【マイクロマニピュレーションを組み合わせた新手法で正確なAPMの結果を得る】
・実験: 4種の同位体標準粒子を混合した試験試料に従来法と新手法でAPMを行う

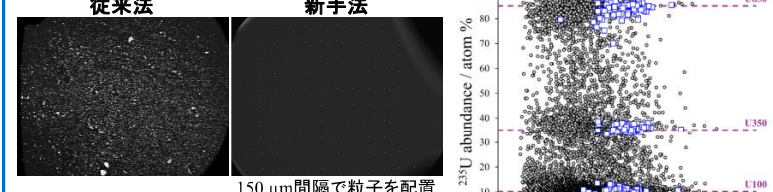
スワイプ布 U010(235U atom%-1.0) U100(235U atom%-10) U350(235U atom%-35) U850(235U atom%-85)

U粒子のミキシングを排除

APMで試験試料の同位体組成分布を取得

U粒子のマニピュレーション

【従来法と新手法の粒子状態とAPMへの影響】



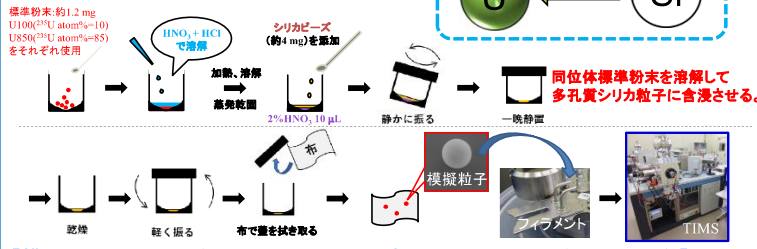
- ① 従来法(●): U粒子6992個を検出
・試験試料に含まれない組成分布を示す
 - ② 新手法(□): 分離したU粒子101個を検出
・試験試料の組成(U010,U100,U350,U850)を捉える
- 新手法のAPMでは粒子のミキシングを排除した正確な組成分布が得られた。

[Reference]
R. Tomita et al., "Improvement in automated particle measurement using micromanipulation and large geometry secondary ion mass spectrometry to remove the particle mixing effect of uranium particles", Journal of Nuclear Science and Technology, 2025, 62, 939-948.

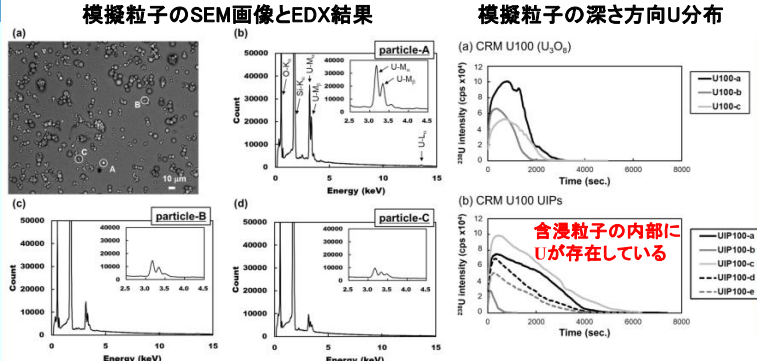
同位体組成既知の粒子を作成する簡便な手法の開発

【ねらい】より簡便な手法で同位体組成が既知の模擬粒子を作成する。多孔質シリカ粒子に同位体標準溶液を含浸させる方法を考案し、作成した粒子の同位体比分析を通して、その性能を検証する。

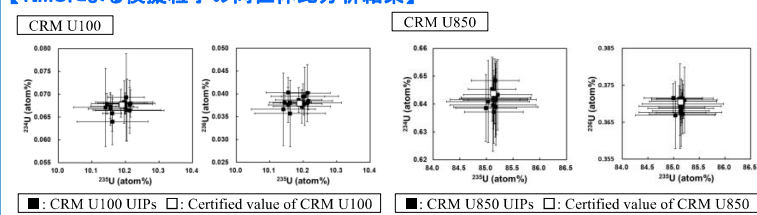
【含浸法によるウラン模擬粒子の作成】



【模擬粒子のSEM画像、EDXによる元素分析及SIMSの深さ方向ウラン分布】



【TIMSによる模擬粒子の同位体比分析結果】



(a)U100含浸粒子、(b)U850含浸粒子の測定結果はともに拡張不確かさ(k=2)の範囲で含浸させた同位体標準の保証値と一致。
含浸法で様々な核種、組成を持つ模擬粒子を作り、分析技術開発に利用可能に

[Reference]
J. Tomita et al., "Simple technique for the preparation of uranium-impregnated porous silica particles and their application as working standard particles for analysis of the safeguards environmental samples", Journal of Nuclear Science and Technology, 2025, in press.

謝辞: 本発表には、原子力規制庁から委託を受けて実施した「保障措置環境分析調査」の成果の一部が含まれる