

図1 超高位置分解能α線イメージング検出器とプルトニウム粒子のα線の可視化

電子増倍 CCD カメラと光学顕微鏡を組み合わせ  $16\mu\text{m}^*$ <sup>1)</sup> の位置分解能で一つ一つのα線を重なることなくリアルタイムに可視化できる超高位置分解能α線イメージング検出器。

プルトニウム粒子から放出されたα線はシンチレータによって光として可視化される。このα線をリアルタイムに計数することでプルトニウムの量が分かり、その粒子の大きさを評価することができる。位置分解能が高いほど、隣接するプルトニウム粒子との識別が容易となる。

## α線を放出する粒子の大きさをリアルタイムに計測

### —超高位置分解能α線イメージング検出器を開発—

日本原子力研究開発機構(以下「原子力機構」という。)福島研究開発部門 廃炉環境国際共同研究センター(CLADS)は、東北大学・三菱電機と共同で、医療分野等で開発が進められているα線イメージング検出器を基にして、原子力施設に適用するために極めて薄いシンチレータ<sup>2)</sup>と電子増倍 CCD(Charge Coupled Device)カメラ、光学顕微鏡を組み合わせた「超高位置分解能α線イメージング検出器」を開発しました。

本装置は厚みの薄い(約  $8\mu\text{m}$ ) ZnS(Ag)シンチレータによってプルトニウム(Pu)<sup>3)</sup>粒子から放出されるα線のみをシンチレーション光へと変換し、このシンチレーション光を光学顕微鏡を介して電子増倍 CCD カメラで撮像することにより可視化するものです。実際に  $\text{PuO}_2$  試料に適用したところ、一つ一つのα線をリアルタイムに可視化することに成功しました。また、α線の位置分解能<sup>4)</sup>として、 $16\mu\text{m}$  が得られ、従来の検出器を上回る性能が確認できました。

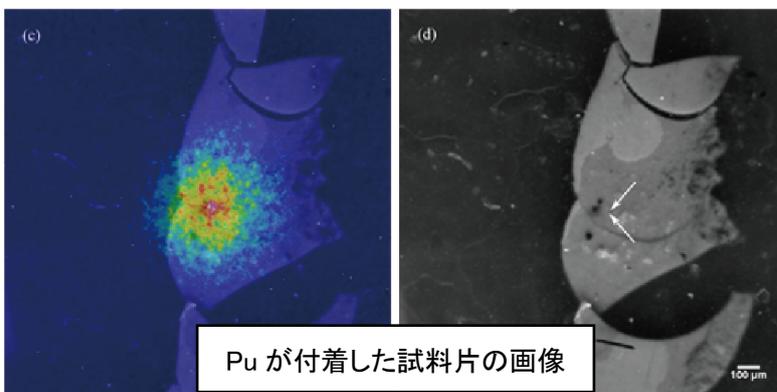
## ◇開発の概要

原子力施設などにおいて、どの程度の大きさの $\alpha$ 線を放出する粒子が作業現場に存在しているかを知ることは、作業者の内部被ばく評価に重要です。従来の検出器では、リアルタイムの測定ができず、また、 $\alpha$ 線以外の放射線にも感度を有するものもあり、 $\alpha$ 線とその他の線種の放射線(X線、 $\gamma$ 線、 $\beta$ 線、中性子線など)との識別が必要でした。

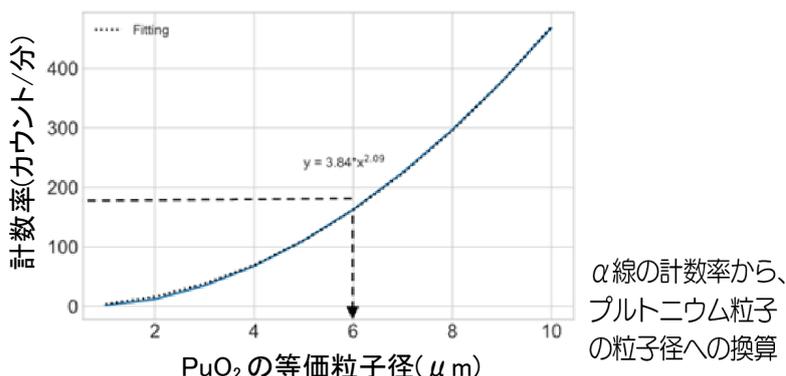
超高位置分解能 $\alpha$ 線イメージング検出器に実際の $\text{PuO}_2$ 試料を用いて検出を行ったところ、一つ一つの $\alpha$ 線が重なることなくリアルタイムに可視化することができました。また、 $\alpha$ 線の位置分解能として $16\ \mu\text{m}$ が得られました。測定原理が異なるので単純な比較はできませんが、従来の $25\ \mu\text{m}$ を上回る細かさで $\alpha$ 線の検出位置の情報を識別できる性能が確認できました。これにより隣接する異なるPu粒子の識別が容易となります。

下図は実際のPu粒子( $\text{PuO}_2$ )による撮像結果です。 $\text{PuO}_2$ 試料の光学画像とPu粒子の存在位置が正確に特定できました。

本装置では、一つ一つの $\alpha$ 線位置が可視化できるため、その $\alpha$ 線の数から個々のPu粒子の計数率(カウント率)を直接的に評価することができます。この結果を利用し、粒子の大きさ(等価粒子径<sup>\*5)</sup>)を求める手法も考案しました。



左：試料の光学画像とプルトニウム粒子の $\alpha$ 線の分布の重ね合わせ  
右：重ね合わせによりプルトニウム粒子の存在位置が正確に特定可能



$\alpha$ 線の計数率から、プルトニウム粒子の粒子径への換算

粒子径<sup>\*5)</sup>)を求める手法も考案しました。

Pu粒子の粒径は、その放射能に対応した $\alpha$ 線の計数率から解析できますが、粒子径を正確に求めるためには、 $\alpha$ 線粒子による自己遮蔽(しゃへい)効果や汚染防止フィルムによる減衰を考慮する必要があります。そこでこれらの効果を考慮した計算を行い、計数率から粒径を解析する換算曲線を求めました。これにより、リアルタイムで測定した $\alpha$ 線の計数率からPu粒子の等価粒子径への換算ができます。今回測定したPu粒子の等価粒子径は、従来の手法で測定された結果と比較しても矛盾はなく、妥当性が確認されました。

従来の方法では、 $\alpha$ 線の放射エネルギーによって10分から1時間の測定時間のほか、読み取り処理の時間も必要でした。また、測定した画像を確認してみないと、Puの分布の偏りなどは分からず、再測定が必要となることもありましたが、今回の検出器の開発により、リアルタイムの粒子径測定に繋がりました。

## ◇今後の計画

読み取り処理を必要とせず、作業現場でリアルタイムに粒径分布を評価できる「超高位置分解能 $\alpha$ 線イメージング検出器」の開発により、Pu粒子の迅速な粒径分布測定が可能となり、原子力発電所や核燃料施設で働く作業者の内部被ばく線量評価の精度向上に役立つと考えています。

今後は、PuO<sub>2</sub>以外の様々な試料に適用することでデータを拡充し、他の粒径測定方法と比較することにより、さらなる換算精度の向上とその実証を進めます。また、福島第一原子力発電所の実試料の測定に適用し、作業現場の $\alpha$ 核種の粒径分布を評価することを最優先に進めたいと考えています。これらの測定を通して、内部被ばく線量評価の精度向上や作業現場の放射線防護に貢献して参ります。

### 【用語解説】

- \*1)  $\mu\text{m}$  : 長さの単位で「マイクロメートル」と読む。1  $\mu\text{m}$  は、0.001mm(ミリメートル)
- \*2) シンチレータ: 放射線が入射すると、その放射線エネルギーが吸収されて発光する物質のこと。ZnS(Ag)シンチレータは、 $\alpha$ 線の測定に広く用いられる銀活性硫化亜鉛を用いたシンチレータ。白色の粉末状で透明基盤上に薄く塗布し、 $\alpha$ 線の検出に用いる。
- \*3) プルトニウム(Pu): 原子力発電所の運転中に、燃料であるウランの一部が変化して生まれる放射性物質で、プルトニウム238、239、240などがある。元素記号は「Pu」。プルトニウムが放出する $\alpha$ (アルファ)線は、空気中では数センチしか飛ばず、紙1枚でさえぎることができるので外部被ばくの抑制は容易だが、口や鼻などから吸い込み、体内に入ると細胞に大きな影響(内部被ばく)をおこすので、Pu粒子は厳重な管理が必要である。日本では単体でのプルトニウムは使用できないため、ウランとの混合粉末で二酸化プルトニウム(PuO<sub>2</sub>: 本文中のPuO<sub>2</sub>と同じ)として燃料を作製している。
- \*4)  $\alpha$ 線の位置分解能: 分解能とは、測定対象となる信号がどの程度細かく検出できるかの能力(識別限界)を言う。ここでは、画像上の $\alpha$ 線が検出された位置をどこまで細かく分解できるかを示す指標のこと。
- \*5) 等価粒子径: 同じ体積の球形粒子の直径のこと。

---

本記事は、2021年8月3日にプレス発表した内容を編集したものです。

#### Topics 福島 No.105

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(Japan Atomic Energy Agency)

福島研究開発部門 福島事業管理部

〒970-8026 福島県いわき市平字大町7-1 平セントラルビル8階

TEL: 0246-35-7650 FAX: 0246-24-4031

HP: <https://fukushima.jaea.go.jp/>

