

「現場」で「瞬時」に核燃料由来のアルファ線放出核種を測定する技術を開発

1F 廃炉作業の円滑な推進に貢献へ

廃炉国際共同研究センターは、東京電力ホールディングス福島第一原子力発電所（以下、「1F」）の円滑な廃炉作業に向けて、アルファ線¹⁾ 放出核種による汚染を高い精度で検出可能な「アルファ核種可視化検出器」を開発しました。この検出器を用いて 1F 原子炉建屋内の床面での拭取りにより採取されたスミヤ試料²⁾ に付着した放射性物質の測定を行った結果、核燃料由来と考えられるアルファ線放出核種の分布状況を高い精度で検知することに成功しました。

本検出器はアルファ線放出核種を含む粒子の位置分布とアルファ線のエネルギー分布を同時に検知することが可能なため、廃炉作業を円滑に進める上で重要となるアルファ線放出核種の分布状況の把握や作業環境の放射線管理、作業員の放射線防護などへの応用が期待できます。

■ 開発した検出器は現状とどう違うのか？

1F 事故により、放射性物質が原子炉建屋の内外に放出されました。これまで関心を集めていたのは主に放射性セシウムから放出されるガンマ線ですが、放射性物質の中にはアルファ線を放出するものがあります。代表的なものは原子炉内で生成されるプルトニウム³⁾、ウラン等です。これらが体内に摂取されると体内の組織・臓器が継続的にアルファ線にさらされることになり、内部被ばくをもたらします。そのため、これらアルファ線放出核種の検知は、廃炉作業に従事する作業者にとって非常に重要です。

しかし、現在 1F の現場で用いられている市販の ZnS (Ag) サーベイメータ(右写真)ではアルファ線の強さ(計数率)の情報しか取得できず、エネルギー測定ができないため、自然界に存在するラドン等の天然核種とプルトニウムやウランとの弁別ができません。また、それら粒子の位置や分布を特定することも不可能です。



今回、開発した「アルファ核種可視化検出器」を用いて 1F 原子炉建屋内で採取されたスマヤ試料を測定した結果、従来の ZnS (Ag) サーベイメータでは不可能であったアルファ線放出核種の位置分布及びエネルギー分布検知への有用性が実証されました。

■ アルファ線をどう計測するのか？(“天然核種”と“核燃料由来の核種”を弁別)

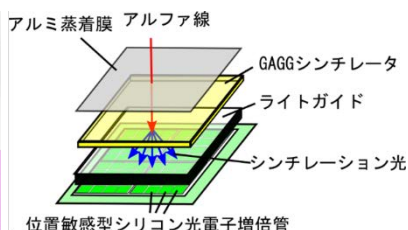
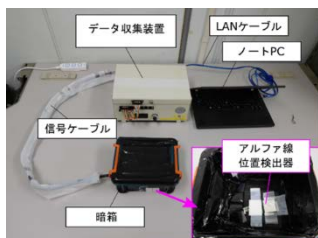


図1 開発したアルファ核種可視化検出器(左)とアルファ核種可視化検出器の原理(右)(検出面は上向き。測定時は暗箱の中に封入される)

図1が開発したアルファ核種可視化検出器です。アルファ線はベータ線・ガンマ線に比べて飛ぶ距離(飛程)が極めて短いという性質を持つため、アルファ線を精度よく計測するため、薄膜(厚さ 50 ミクロン)

の GAGG⁴⁾ シンチレータ⁵⁾ とライトガイド、光検出器である位置敏感型シリコン光電子増倍管を用いました。アルファ線が GAGG シンチレータに入射すると発光し、その光がライトガイドを介して位置敏感型シリコン光電子増倍管へと導かれます。この位置敏感型シリコン光電子増倍管により電気信号に変換されることにより、アルファ線が入射した位置が面的(2次元)に可視化されます。また、本検出器はアルファ線のエネルギー情報も同時に測定できることから、アルファ線放出核種が天然核種か人工核種かの識別が可能です。

今般、本検出器の実証試験として東京電力ホールディングス株式会社の協力により、1F 原子炉建屋内で採取されたスミヤ試料に付着した放射性物質の測定を行いました（図2）。アルファ線とベータ線のスペクトルを識別するため、検出器とスミヤ試料間に紙を置くことによりアルファ線のみが遮蔽され、ベータ線は通過するので、紙ありなしの差分を取ることで、アルファ線のみを測定することができます。

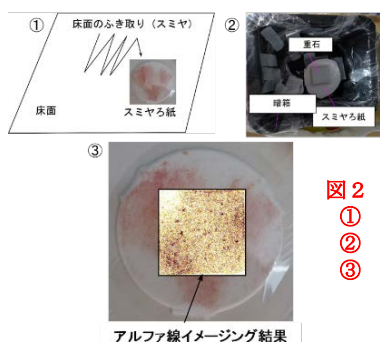


図2 1F 原子炉建屋で採取されたスミヤ試料。測定の手順は次の通り。
 ① スミヤろ紙を使って、原子炉建屋の床面のふき取りを行う。
 ② 採取後のスミヤろ紙をアルファ核種可視化検出器の検出面上にセットし測定。
 ③ スミヤろ紙上のアルファ線放出核種を含む粒子の2次元分布が得られる。同時にエネルギースペクトルが得られる。

本検出器を用いて1Fで採取されたスミヤ試料を測定した結果、以下のことが分かりました。

- (1) 1F スミヤ試料と原子力機構の核燃料施設で採取したサンプルのアルファ線のエネルギースペクトルを比較したところ、両者は非常によく一致していることが分かりました（図3）。

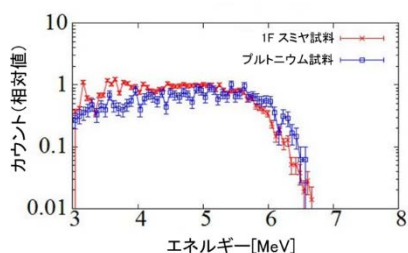


図3 スミヤ試料とプルトニウム試料のアルファ線エネルギースペクトルの比較（プルトニウムのアルファ線エネルギー（5.5MeV）付近において両者のスペクトルが一致している）

- (2) アルファ線を放出している粒子の面的な広がり（アルファ線イメージング結果）をみると、局所的な分布（粒状）と一様分布（微粒子状）が混在していることが分かりました（図2）。この原因はまだ不明ですが、これまで市販の検出器では粒子分布の把握が困難であり、アルファ線放出核種がどのように分布しているか分かりませんでした。今後、その原因や詳細な粒子分布の調査を行っていきます。

今般、開発した本検出器はアルファ線放出核種を含む粒子の位置分布とアルファ線のエネルギー分布を同時に検知するため、廃炉作業を円滑に進める上で重要となるアルファ線放出核種の分布状況の把握や作業環境の放射線管理、作業員の放射線防護などへの応用が期待できることから、1F 廃炉作業の進展に貢献したいと考えています。今後、現場作業に迅速に適用できるよう鋭意改良を行っていきます。

■ 研究者より

本研究を行っている廃炉国際共同研究センターの森下祐樹研究員は、約 3 年かけて 1F での実証試験にこぎ着けたことについて、その苦労を次のように述べています。「元々この検出器は核燃料施設のプルトニウム汚染を検出するために開発してきましたが、今回それを 1F の試料の測定に応用することで核燃料由来のアルファ線放出核種を検知することに成功しました。測定は真冬に屋外の倉庫で行い、測定中、突然装置が動作しなくなるトラブルがありましたが、経験を積む中で解決してきました。今回、東京電力ホールディングス株式会社の方々のご協力を得て、1F で測定を行わせていただき、得られたアルファ線放出核種の分布はこれまでのとは異なる特徴を有していることが分かりました。今後は、その特徴を明らかにするために更なる検出器の改良に取り組む予定です」。

【用語解説】

1) アルファ線

アルファ線は電離放射線の一種で、ヘリウムの原子核。空気中で数 cm、体内組織中では数十 μm の距離しか飛ばない。したがって、その短い距離に大きなエネルギーを付与するため、体内に取り込んだ場合に人体に与える影響(内部被ばく)が大きい。

2) スミヤ試料

表面汚染を採取するための円形のろ紙。これで対象物の表面を擦り表面汚染を採取する。

3) プルトニウム

放射性物質であり、アルファ線放出核種の一つ。一般的に酸化物(PuO_2)として存在する。吸入や経口摂取することにより人体に侵入する。吸入することが最もリスクが高く、吸入すると体内の組織がアルファ線に曝され続けることになる。

4) GAGG シンチレータ

シンチレータ結晶のひとつ。組成は、ガドリニウム、アルミニウム、ガリウム、ガーネットである。発光量が大きく、発光波長もシリコン光電子増倍管と相性が良いため、アルファ線に対して高いエネルギーの分解能が得られている。また、潮解性もなく空気中の水分による劣化の心配もないため、長期間安定して使用することができる。

5) シンチレータ

放射線によって発光(シンチレーション光)する蛍光物質。シンチレーション光を電気信号に変換して、入射放射線数、エネルギーを計測する。

本記事は、平成 31 年 2 月 22 日にプレス発表した内容を編集したものです。

Topics 福島 No.91

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 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/>