

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K21618

研究課題名(和文)狭隘部測定を可能にする可搬型小型線検出器の開発

研究課題名(英文)Development of a portable small alpha particle detector to enable measurement for narrow spaces

研究代表者

森下 祐樹 (Morishita, Yuki)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部・研究員

研究者番号：20631401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：原子力施設の廃止の際のクリアランスに有用となる、狭隘部のPu汚染の測定が可能な新型の線検出器を開発した。この検出器は厚みが従来のものより薄く、柔軟なアームにより従来は測定が不可能であった狭隘部の線測定を可能にした。開発した検出器はPu汚染を検出するのに十分な検出効率を有し、線の2次元分布とエネルギースペクトルを同時に取得可能であった。実際のPu粒子を測定し、精度よくその放射能が評価できることを確認した。また、妨害となる天然核種のラドン子孫核種との弁別が可能であることを確認した。本研究成果は放射線計測分野のジャーナルに論文が掲載された。

研究成果の概要(英文)：We developed a portable small alpha particle detector for measurement of Plutonium contamination in narrow spaces, and it was valuable for a clearance of nuclear facilities. This detector was thin and enabled alpha-particle measurement in narrow spaces by a flexible arm. It has sufficient detection efficiency and acquire 2-dimensional distribution and energy spectrum of alpha particle. Also, we confirmed that it could distinguish Radon progeny from Plutonium. A paper of this result was published on a journal of radiation measurement.

研究分野：総合工学

キーワード：プルトニウム汚染 ラドン子孫核種 線 シリコンフォトマル 狭隘部 グローブボックス

1. 研究開始当初の背景

我が国の原子力施設は古いものでは稼働後 40 年を超えるものがあり、老朽化が進んでいるため、今後大規模な原子力施設の廃止措置が行われる。原子力施設の廃止の際には、多種多様ながれきや、金属屑やコンクリート等の多量の固体廃棄物が発生する。これら固体廃棄物は放射能を測定した後、明らかに放射性でないものと放射性のものに分類され、さらに、放射性のものうち放射能濃度が十分に低く、人体の影響が無視できる場合（クリアランスレベル）、一般の廃棄物と同様の処分、再利用がされる。この制度をクリアランスといい、廃止の際に生ずる多量の放射性廃棄物の量を減らし、処理、処分の際の負担を軽減するため重要となる。クリアランスレベルは放射性核種毎に与えられており、その中にはプルトニウム（以下、Pu という。）の同位体等の線放射核種も含まれる。線は空気中の飛程が約 4cm 程度と短いため、線放射核種に対し ZnS(Ag)サーベイメータをできる限り近づける必要がある。しかし、ZnS(Ag)サーベイメータはその検出器の大きさのため、測定する廃棄物の形状によって測定に限界がある。例えば配管のフランジ部、L 字鋼の角など狭隘部の測定には限界がある。そのため、現状では切断により測定可能な形状に加工して測定が行われているが、測定のための切断には多大な労力を必要とするだけでなく、切断そのものが不可能な場合もある。切断・加工による測定が不可能な場合、放射性廃棄物として処分されることになり、生ずる放射性廃棄物が膨大となってしまう。

また、天然核種であるラドンの子孫核種が線を放出するため、Pu との弁別が必要であるが、ZnS(Ag)サーベイメータは線の計数率の情報しか有さないため、ラドン子孫核種との弁別ができない。

以上のことから、廃棄物の狭隘部であっても測定可能で、かつラドン子孫核種との弁別が可能な小型の線検出器が今後本格化する原子力施設の廃止において必要とされている。しかし、現状、そのような線測定器は存在しない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、廃棄物の狭隘部であっても Pu が精度良く測定可能な小型の線検出器を開発し、クリアランスに役立てることにより、最終的には生ずる放射性廃棄物を低減させることである。

3. 研究の方法

狭隘部の測定が可能な可搬型小型線検出器の開発を行った。検出器部は、厚みが 10 mg/cm² の ZnS(Ag)シンチレータ、ライトガイド、光検出器で構成した。この ZnS(Ag)シンチレータは線エネルギー測定のために厚みを最適化したものである。光検出器には浜

松ホトニクス社のシリコンフォトマルチレー (SiPM Array) の TSV-MPPC (S12642-0404PA-50) を用いた。シンチレータは遮光を目的とした薄い 2 重のアルミ蒸着マイラーで覆った。検出器部はケースに封入され、検出器サイズは 26mm × 26 mm × 15 mm と、ZnS(Ag)サーベイメータの約 1/5 の厚みであった。検出器を封入するケースには可動のアームを取り付けた。これにより柔軟に、狭隘部の直接の測定を可能にした。

線が検出器に入射すると、ZnS(Ag)シンチレータで発光し、その光がライトガイドを通り、SiPM Array へ導かれる。SiPM Array からの出力電圧信号が積み付け加算された後、デジタル信号に変換され、FPGA (field-programmable gate array) で位置情報が計算される。最終的にパソコン上の線の 2 次元分布とエネルギースペクトルの情報が同時に得られる。

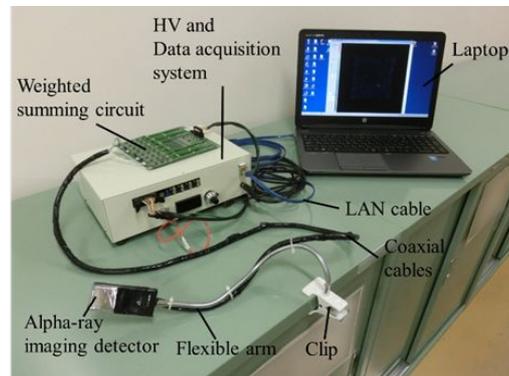


図 1 開発した可搬型小型線検出器

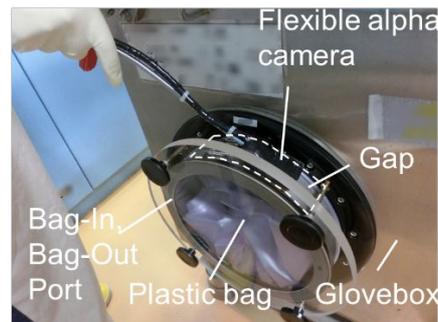


図 2 現場の設備の測定の様子

4. 研究成果

(1) 開発した検出器の性能

検出器のエネルギー分解能は、5.5 MeV 線に対し約 40 %FWHM であった。表面放射率が既知の線源を用い機器効率を評価し、2 方向に対し 85.3% であった。検出器の検出下限放射能 (MDA) をバックグラウンドの測定結果からキュリーの式を用い評価した。バックグラウンドの測定は 30 分測定で行い、MDA は 0.014Bq と評価された。

(2) Pu 粒子とラドン子孫核種捕集ろ紙の測定

Pu 粒子の測定のため、過去の Pu 汚染時に

採取した Pu 粒子（以下、Pu 試料という）を 4 種類用意した。Pu 試料を検出器の上に置き、測定は 30 分測定で行った。ラドン子孫核種捕集する紙も同様に検出器の上に置き 30 分測定を行った。

図 3 に測定した Pu 粒子とラドン子孫核種の線の 2 次元分布を示す。Pu 粒子はスポット様の、ラドン子孫核種は一様な分布が確認された。この 2 次元分布から強度プロファイルを取り、そこから検出器の空間分解能を評価した。空間分解能は 0.39 mm であった。この空間分解能の値を基にスポット径の閾値を設定し、ImageJ のプラグイン機能により Pu 粒子のスポットの位置とその放射能を自動で得られるようにした。

図 4 に現場で従来から Pu 粒子の放射能測定に用いられている線放射能測定装置で測定した Pu 試料の放射能と、開発した検出器で評価した Pu 試料の放射能の比較を示す。両者の放射能は 4.3 %以内で一致した。

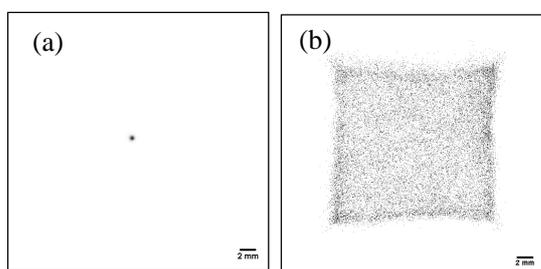


図 3 測定した Pu 粒子(a)とラドン子孫核種(b)の線の 2 次元分布

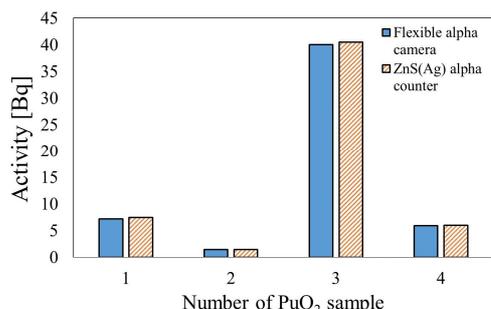


図 4 放射能測定装置と本研究で開発した装置で測定した Pu 試料の放射能の比較

図 5 に開発した検出器で測定した Pu 試料とラドン子孫核種捕集紙のエネルギースペクトルを示す。Pu 試料のスペクトルは 20 ~ 60 チャンネルに計数が確認され、一方ラドン子孫核種は 20 ~ 120 チャンネルに計数が確認された。これは、²³⁸Pu は 5.5MeV、²³⁹Pu が 5.15MeV の線エネルギーなのに対し、ラドン子孫核種のうち主になる ²¹⁴Po は 7.7MeV の線エネルギーであるためである。従って 60 チャンネル以上の計数を除外することにより、ラドン子孫核種の計数を除去できる。

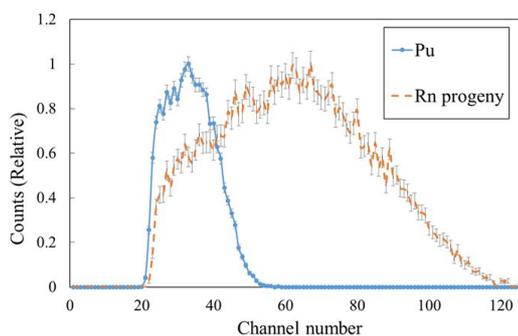


図 5 Pu 試料とラドン子孫核種捕集紙のエネルギースペクトルの比較

(3)まとめ

開発した線検出器は、小型で設備の狭隘な部分を柔軟に測定でき、かつ線の 2 次元分布とエネルギースペクトルを同時に取得することができる。開発した検出器の空間分解能は 0.39 mm と、過去に開発された線位置検出器より優れ、エネルギー分解能はそこまで高くないものの、Pu 試料とラドン子孫核種捕集紙の線エネルギースペクトルをみると両者をおある程度弁別することが可能であった。これらの結果より、開発した線検出器は原子力施設の廃止の際に生じる固体廃棄物のクリアランスに非常に有効であると考えられる。

(4)得られた成果の発表

本研究成果は放射線計測分野のジャーナルである Radiation measurements に掲載された。また、放射線計測分野で権威のある国際会議である IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Science (NSS/MIC) で発表した。

(5)今後の展開

線に対しエネルギー分解能の良好なシンチレータを本検出器に用いることで、プルトニウムとラドン子孫核種の弁別性能のさらなる向上が期待できる。現在、他のシンチレータを用いた性能評価やその最適化のための研究を進めているところである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

Yuki Morishita, Seiichi Yamamoto, Kenji Izaki, Junichi H. Kaneko, Norio Nemoto, “Flexible alpha camera for detecting plutonium contamination” Radiation Measurements, in press, (2017), DOI:<https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2017.04.009>, 査読有

〔学会発表〕(計2件)

Yuki Morishita, Seiichi Yamamoto, Takumaro Momose, Junichi H. Kaneko, and Norio Nemoto, "Development of a nasal monitor to evaluate an activity of plutonium in the nasal cavity", 2016 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 2016 10/29~11/5, フランス(ストラスブール)

Yuki Morishita, Seiichi Yamamoto, Kenji Izaki, Junichi H. Kaneko, Norio Nemoto, and Yoshio Kashimura, "Development of flexible alpha camera and actual measurement of plutonium specimen", 2015 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference, 2015 10/31~11/7, 米国(サンディエゴ)

〔図書〕

なし

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

森下 祐樹 (MORISHITA, Yuki)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所

放射線管理部・研究員

研究者番号：20631401

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし