

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：82110

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15482

研究課題名（和文）線バックグラウンド下で動作可能な遠隔 空気モニタリング装置の開発

研究課題名（英文）Development of a remote alpha/beta monitoring system for under high gamma background

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・福島研究開発部門 福島研究開発拠点 廃炉環境国際共同研究センター・研究職

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）：本研究では、線、線、線を同時に弁別可能な検出器を用いた線バックグラウンド下で動作可能な遠隔 / 空気モニタリング装置を開発した。本研究で開発する検出器は、2層のシンチレータとSiPMで構成する。線は5.5MeVの単一エネルギーであるため、エネルギースペクトルにピークが確認できる。線は連続エネルギーであるため、連続的にエネルギーが分布していることが確認できる。90Srの低エネルギー領域と90Yの高エネルギー領域が確認できる。線は662keVの光電ピークとコンプトン連続部が確認できる。ラドン子孫核種を測定し、線、線、線を同時測定・弁別可能であることを実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発した小型ダストモニタは、線と線線が分離ができることから、高線量の線BG環境下での線、線モニタリングに有用と考えられる。また、重量が2.0 kg未満であり、様々な自走式ロボットあるいは飛行ロボットに搭載し、人が立ち入れない環境での放射性物質のモニタリングに威力を発揮すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, a radiation detector capable of discriminating alpha particles, beta particles, and gamma rays was developed by combining the developed detector with a personal dust monitor. The developed detector consisted of two scintillators and a Silicon Photomultiplier (SiPM). The first layer of the scintillators was stilbene for detecting alpha particles and beta particles. The second layer of the scintillators was a Ce-doped Gd₃Al₂Ga₃O₁₂ (GAGG) scintillator for detecting gamma rays. 5.5 MeV alpha peak can be confirmed in the measured alpha energy spectrum. Since beta particles are continuous energy, a continuous energy spectrum was confirmed in the measured beta energy spectrum. A low energy part of 90Sr and a high energy part of 90Y were confirmed. The photopeak of 662 keV and the Compton continuum part were confirmed in the measured gamma energy spectrum. Alpha particles, beta particles, and gamma rays from the radon progeny can be simultaneously measured and discriminated.

研究分野：放射線計測

キーワード：線弁別型検出器 パルス波形弁別 プルトニウム ラドン子孫核種

1. 研究開始当初の背景

プルトニウムやウラン等の線放出核種(以下、核種)やストロンチウム等の線放出核種(以下、核種)は人体に取り込まれると内部被ばくをもたらす。従ってそれらによる空気汚染のモニタリングは極めて重要である。空気汚染のモニターはダストモニターとも呼ばれ、これは空気をサンプリングによりろ紙上に集塵し、そのろ紙を放射線検出器により連続的に測定する。ダストモニターは従来は大型で、ある一点の場所でのモニタリングしか行うことができず、また設備箇所の移動も許認可を要する場合があり、容易ではなかった。そのため広範囲にわたる空気モニタリングは困難であった。また、一般にダストモニター用の放射線検出器として線用に ZnS(Ag)シンチレーション検出器が、線用には GM 計数管が用いられたため、核種と核種をモニタリングするために、2つのダストモニターで別々に測定する必要があった。汚染の可能性の高い場所にダストモニターやサンプリングを運ぶのは汚染リスクの高い作業であり、内部被ばくを避けるためには極力避けるのが望ましいが、そのような目的に適応したダストモニターはこれまで開発されていなかった。

2. 研究の目的

これまで、申請者は Pulse shape discrimination (以下、PSD) 技術を用いた弁別型検出器を開発してきた。この検出器は、シンチレータにスチルベンという有機シンチレータを用い、光検出器に Silicon Photomultiplier (以下、SiPM) を用いて構成した。SiPM から出力される信号はデジタイザーという波形解析装置に入力され、線と線の弁別が行われた。この検出器は、良好な線と線の弁別性能を有する上、一回の測定で、線と線のエネルギースペクトル情報が同時取得可能であった。さらに光検出器に SiPM を用いており、SiPM は小型・軽量であることから検出器全体の厚みが 10mm 程度とコンパクトかつ軽量であった。図 2 に開発した弁別型検出器と 2 次元 PSD グラフ、及びアルファ線とベータ線のパルス波高スペクトルを示す。線と線の 2 次元プロットが明確に弁別できている。しかし、シンチレータをスチルベン 1 つのみしか用いておらず、線と線(線との相互作用により生ずる電子)は同じ波形情報として出力されることから、線と線の弁別は出来なかった。そこで、本研究の目的は、線検出用のシンチレータを開発した検出器に組み合わせることで、線、線、線を同時に弁別する検出器を開発する。更にこの検出器をパーソナルダストモニターの検出器に用いることで、線バックグラウンド下で動作可能な遠隔 / 空気モニタリング装置の開発をすることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究で開発する検出器は、2層のシンチレータと SiPM で構成する。一層目は線及び線検出器に用い、有機シンチレータであるスチルベンを用いる。二層目はガンマ線検出に用い、Ce 添加 Gd₃Al₂Ga₃O₁₂ (以下、GAGG) シンチレータを用いる。GAGG シンチレータは線の検出のために用いる。SiPM から出力される信号はデジタイザーに入力し、1つ1つの放射線情報が電圧の波形としてパソコンに保存される。線と線の弁別については、スチルベンをシンチレータに用いることで弁別する。線と線の弁別について、線は検出器内で相互作用し生じた電子が発光に寄与するため、単一のシンチレータでは線と線を弁別できない。そこで高原子番号を有し、かつ発光の減衰時間がスチルベンと異なる GAGG シンチレータを用いる。線はスチルベンの中で完全にストップし、早い発光として出力される。一方、線は密度が 1.16g/cm³ と低いスチルベンでは全吸収されず、GAGG は密度が 6.63g/cm³ と高いため GAGG で吸収される。スチルベンは 4.5 ns と GAGG は 88ns と発光減衰時間が異なるため、出力波形情報を解析することにより線と線を弁別することが可能になる。図 1 に 2 種のシンチレータとそれを用い開発した検出器を示す。この検出器上に線源 (²⁴¹Am)、線源 (⁹⁰Sr-⁹⁰Y)、線源 (¹³⁷Cs) をそれぞれセットし、測定を行った。

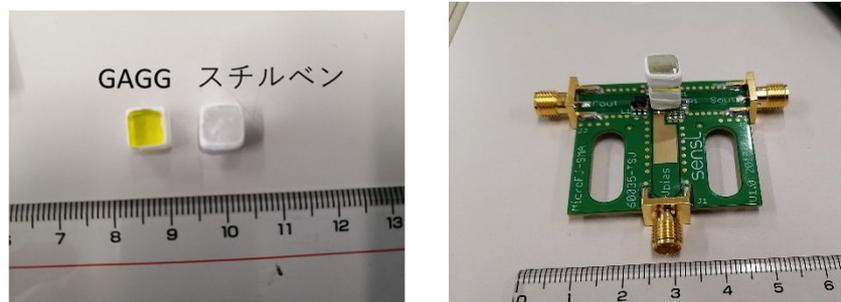


図 1 発光減衰時間が異なる 2 種のシンチレータ (左) とそれを用い開発した検出器 (右)

この検出器をパーソナルダストモニターのろ紙ホルダ部に取り付けることによりロボットに搭載可能な小型ダストモニターを構成する。図 2 に開発した小型ダストモニターとダストモニターをロボ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

ットに搭載した例を示す。小型ダストモニタをラドン濃度が比較的高い環境 (約 $200\text{Bq}/\text{cm}^3$) に設置し、約 3 時間連続測定を実施した。

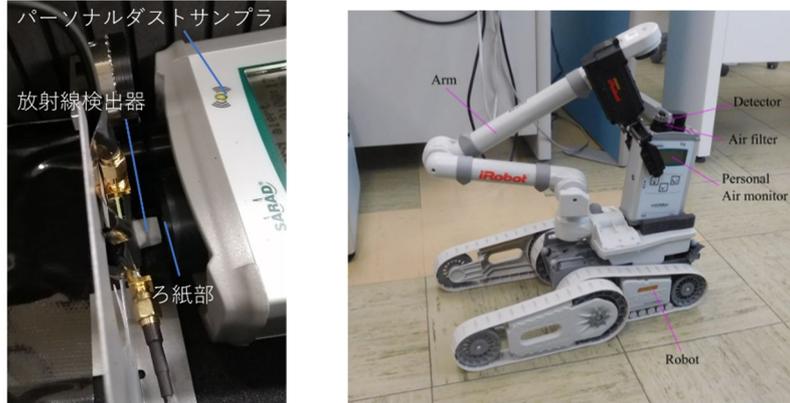


図 2 開発した小型ダストモニタとダストモニタをロボットに搭載した例

4. 研究成果

図 3 に 線、線、線の出力電圧波形を示す。電圧波形の立ち下りの早さがそれぞれ異なっており、線が最も早く減衰し、次に線、線は最も減衰が遅いことがわかる。一方、立ち上がりも線、線、線の順に立ち上がっていることがわかる。この波形に対し、Tail integral と Total integral という 2 つの積分時間を適用することにより、各放射線を弁別する。Tail integral は波形のピークから 26 ns とした。

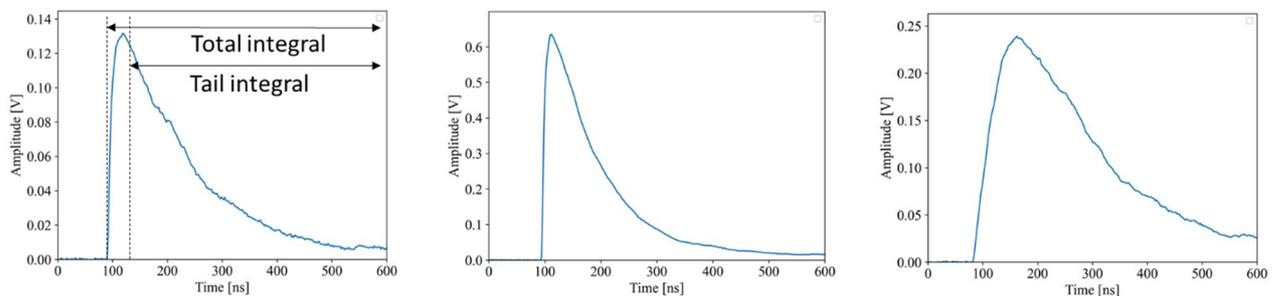


図 3 線 (左) 線 (中央) 線 (右) の出力電圧波形

図 4 に 2 次元 PSD グラフを示す。横軸が波形の積分値 (放射線のエネルギーに相当) 縦軸に Tail integral と Total integral の比を示している。線は 5.5MeV の単一エネルギーであるため、分布が 1 か所に確認できる。線は連続エネルギーであるため、連続的にエネルギーが分布していることが確認できる。 ^{90}Sr の低エネルギー領域と ^{90}Y の高エネルギー領域が確認できる。

線は 662keV の光電ピークとコンプトン連続部が確認できる。また、線の場合 1 層目のスチルベンでの計数も確認される。線が 1 層目でもエネルギー付与したため、もしくは ^{137}Cs の線を計数したためと考えられる。図 5 に各エネルギースペクトルを示す。

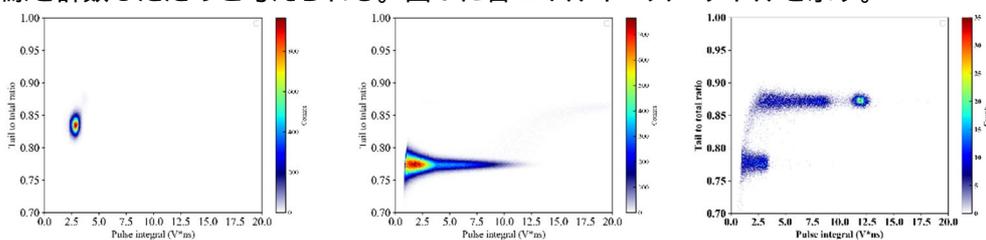


図 4 2 次元 PSD グラフ。線源 (^{241}Am) (左), 線源 (^{90}Sr - ^{90}Y) (中央), 線源 (^{137}Cs) (右)

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

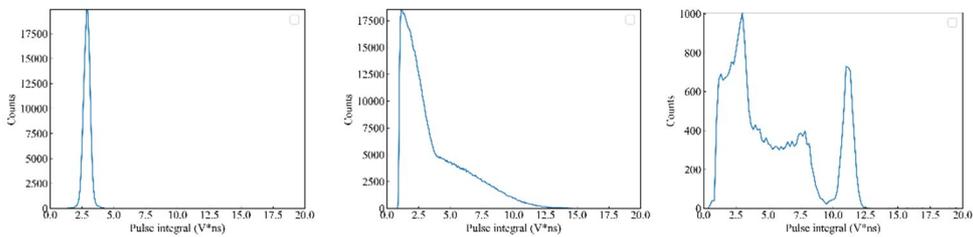


図5 エネルギースペクトル。線源 (^{241}Am) (左), 線源 (^{90}Sr - ^{90}Y) (中央), 線源 (^{137}Cs) (右)

図6 に開発した小型ダストモニタを用いてラドン濃度が比較的高い環境で約3時間連続測定した2次元 PSD グラフを示す。ラドン子孫核種の γ 線、 α 線、 β 線がそれぞれ分離できていることがわかる。 α 線の領域に ^{214}Po のピークが確認できる。また、 ^{214}Bi 等の γ 線及び β 線が確認できる。

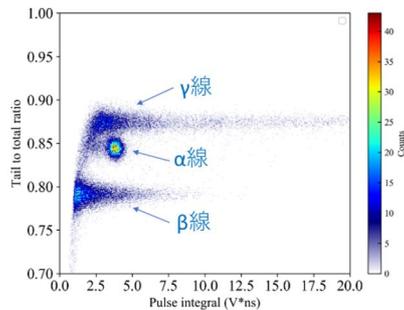


図6 開発した小型ダストモニタを用いてラドン濃度が比較的高い環境測定した2次元 PSD グラフ。

これらの結果から、開発した小型ダストモニタは γ 線、 α 線、 β 線を同時測定・弁別可能であることから、原子力施設等での放射性物質の連続ダストモニタリングに有用と考えられる。また、 α 線と分離ができることから、高線量の γ 線 BG 環境下での α 線、 β 線モニタリングに有用と考えられる。また、開発した小型ダストモニタは重量が2.0 kg 未満であり、様々な自走式ロボットあるいは飛行ロボットに搭載し、人が立ち入れない環境での放射性物質のモニタリングに威力を発揮すると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Morishita Yuki, Usami Hiroshi, Furuta Yoshihiro, Aoki Katsunori, Tsurudome Koji, Hoshi Katsuya, Torii Tatsuo	4. 巻 0
2. 論文標題 A REMOTE CONTINUOUS AIR MONITORING SYSTEM FOR MEASURING AIRBORNE ALPHA CONTAMINATION	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Radiation Protection Dosimetry	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/rpd/ncaa028	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morishita Yuki	4. 巻 140
2. 論文標題 Development of an alpha- and beta-imaging detector using a thin-stilbene plate for radon-222 progeny measurements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Radiation Measurements	6. 最初と最後の頁 106511 ~ 106511
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.radmeas.2020.106511	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 宇佐美博士、森下祐樹、古田禄大、青木克憲、鶴留浩二、星勝也、鳥居建男
2. 発表標題 遠隔で空气中 汚染を測定するための遠隔 ダストモニタリングシステムの開発
3. 学会等名 日本原子力学会2020年春の年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 核物質分布測定装置	発明者 森下祐樹	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、14233	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------