

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6524484号
(P6524484)

(45) 発行日 令和1年6月5日(2019.6.5)

(24) 登録日 令和1年5月17日(2019.5.17)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 T 1/169 (2006.01)	GO 1 T 1/169 C
GO 1 T 1/167 (2006.01)	GO 1 T 1/167 C
	GO 1 T 1/167 H

請求項の数 4 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2015-28396 (P2015-28396)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成27年2月17日 (2015.2.17)		国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2016-151454 (P2016-151454A)		茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地
(43) 公開日	平成28年8月22日 (2016.8.22)		1
審査請求日	平成30年2月8日 (2018.2.8)	(73) 特許権者	504173471
			国立大学法人北海道大学
			北海道札幌市北区北8条西5丁目
		(74) 代理人	100139114
			弁理士 田中 貞嗣
		(74) 代理人	100092495
			弁理士 蛭川 昌信
		(74) 代理人	100139103
			弁理士 小山 卓志
		(74) 代理人	100094787
			弁理士 青木 健二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射線計測方法及び放射線計測装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

管理対象放射性物質と、前記管理対象放射性物質以外の放射性物質とを含む塵埃を捕集することで得られた集塵ろ紙やスミヤろ紙などの測定試料に対向させることにより該測定試料に付着している放射性物質に感応して検出信号を発生する多数の検出ピクセルを平面状に並べて放射線検出面を構成した放射線検出器の前記多数の検出ピクセルから出力される検出信号を、前記放射線検出面を複数の領域に分割して各分割領域に該当する検出ピクセルから出力される検出信号を検出処理し、分割領域毎に検出される放射線検出結果を出力することができる放射線計測装置を用いて該測定試料中の放射性物質の放射線量を計測する放射線計測方法において、

分割領域毎に検出される放射線検出結果では、前記管理対象放射性物質による放射線量の分布と、前記管理対象放射性物質以外の放射性物質による放射線量の分布とが異なることに基づいて、前記管理対象放射性物質による放射線量を計測することを特徴とする放射線計測方法。

【請求項 2】

前記放射線検出面の領域分割は、放射線検出面の領域分割数を変えて放射線検出処理を行って各領域分割数における放射線検出結果を出力表示し、出力表示された放射線検出結果を参照して目的とする放射線計測に好ましい分割領域の数を設定して放射線計測を行うことを特徴とする請求項 1 に記載の放射線計測方法。

【請求項 3】

管理対象放射性物質と、前記管理対象放射性物質以外の放射性物質とを含む塵埃を捕集することで得られた集塵ろ紙やスミヤク紙などの測定試料に対向させることにより該測定試料に付着している放射性物質に感応して検出信号を発生する多数の検出ピクセルを平面状に並べて放射線検出面を構成した放射線検出器と、複数種類の信号処理機能を備え、前記放射線検出器の前記多数の検出ピクセルから出力される検出信号を入力し、前記放射線検出面を複数の領域に分割した各分割領域に該当する検出ピクセルから出力される検出信号を処理して分割領域毎に検出される放射線検出結果を出力する信号処理装置と、前記信号処理装置が実行する信号処理機能を選択的に指定して設定する指示入力器とを備えた放射線計測装置において、

分割領域毎に検出される放射線検出結果では、前記管理対象放射性物質による放射線量の分布と、前記管理対象放射性物質以外の放射性物質による放射線量の分布とが異なることに基づいて、前記管理対象放射性物質による放射線量を計測することを特徴とする放射線計測装置。

【請求項 4】

前記放射線検出面の領域分割は、放射線検出面の領域分割数を変えて放射線検出処理を行って各領域分割数における放射線検出結果を出力表示し、出力表示された放射線検出結果を参照して目的とする放射線計測に好ましい分割領域の数を設定して放射線計測を行うことを特徴とする請求項 3 に記載の放射線計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線計測方法及び放射線計測装置に関する。

【背景技術】

【0002】

自然界には天然の放射性核種（以下、「天然核種」という）が存在しており、また、地域によっては原子力発電所の事故等に伴う人工放射性核種（以下、「人工核種」という）が存在する場所もある。

【0003】

放射性物質の汚染管理では、汚染管理対象の放射性物質（以下、「管理対象放射性物質」という）のみをそれ以外の放射性物質（天然核種や原発事故起因の人工核種など）と区別して評価することが必要である。管理対象物質を他の放射性物質と区別して計測する方法として、放射線計測機器にエネルギー弁別技術を適用したり、天然核種の減衰を待ってから計測したりするなどしてきたが、エネルギー弁別技術では、天然核種の影響を完全に無くすことはできず、また、天然核種の減衰を待つ方法では、その放射能にもよるが、3日程度の長時間を要している。

【0004】

例えば、プルトニウムなどの線放出核種の汚染管理において、表面障壁型 Si 半導体検出器による線エネルギー弁別を適用した場合は、測定試料の状態にもよるが、放射線管理用ろ紙に放射性物質を集塵した場合、放射線計測上では7割程度しか天然核種の計数を除去することができない。更に、ダストモニタで連続モニタリング（空気汚染の監視）を行う場合には、ダストモニタ指示値には天然核種による計数が含まれているため、その計数値変動によって誤警報が吹鳴しないように警報基準設定値を高めに設定しなければならず、数ベクレル程度の軽微な汚染を検出することが困難である。

【0005】

昨今では、線と線の放出タイミングを統計的に解析しながら天然核種による計数を取り除く「時間間隔解析技術」を取り入れたモニタリング技術などの新技術の開発が進められているが、計数データの統計処理が必要であるために、計数率（放射能）が低い場合には、放射能汚染の有無の判定に長時間を要することがある。

【0006】

一方で、測定計測試料中では、天然核種が全面に均一に分布しているのに対し、管理対

10

20

30

40

50

象放射性物質は局所的に分布することを利用して、放射能汚染の有無を判定する技術も利用されている。この技術には、オートラジオグラフィやイメージングプレートが用いられるが、これらは放射線の数を実数するのではなく、放射線によって受けたエネルギー量を蓄積して評価するものであり、また、イメージングプレートにおいてはフェーディングの影響もあるため、放射能（1秒間当たりの壊変数）の評価が難しく、放射線計測（放射線計測装置）への適用は不向きである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】国際公開第2012/133796号

10

【非特許文献】

【0008】

【非特許文献1】「ZnS(Ag)シンチレーション検出器による線波高弁別に関する検討」、JAEA Research 2008 107 p30 31

【非特許文献2】「時間間隔解析技術を用いた長半減期放射性物質の定量」サイクル機構技報 No.24 2004.9 p39 45

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

従来の放射線計測方法及び計測装置は、管理対象放射性物質とそれ以外の放射性物質が混在する環境において、管理対象放射性物質に由来する放射線を短時間に計測して評価することが困難である。

20

【0010】

本発明の1つの目的は、環境中に管理対象放射性物質とそれ以外の放射性物質が混在する場合であっても、管理対象放射性物質に起因する放射能汚染を短時間に計測して評価することができる放射線計測方法及び放射線計測装置を実現することにある。

【0011】

本発明の他の目的は、環境中に管理対象放射性物質とそれ以外の放射性物質が混在する場合であっても、管理対象放射性物質に起因する数ベクレル程度の放射能汚染を短時間に計測して評価することにより、作業員に対する早期退避指示や作業の安全性確保を指示することができる放射線計測方法及び放射線計測装置を実現することにある。

30

【0012】

本発明の更に他の目的は、管理対象放射性物質に起因する汚染原因の推定や対策の検討が早い段階で行えるようにすることを可能にする放射線計測方法及び放射線計測装置を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明は、管理対象放射性物質と、前記管理対象放射性物質以外の放射性物質とを含む塵埃を捕集することで得られた集塵ろ紙やスミヤろ紙などの測定試料に対向させることにより該測定試料に付着している放射性物質に感応して検出信号を発生する多数の検出ピクセルを平面状に並べて放射線検出面を構成した放射線検出器の前記多数の検出ピクセルから出力される検出信号を、前記放射線検出面を複数の領域に分割して各分割領域に該当する検出ピクセルから出力される検出信号を検出処理し、分割領域毎に検出される放射線検出結果を出力することができる放射線計測装置を用いて該測定試料中の放射性物質の放射線量を計測する放射線計測方法において、分割領域毎に検出される放射線検出結果では、前記管理対象放射性物質による放射線量の分布と、前記管理対象放射性物質以外の放射性物質による放射線量の分布とが異なることに基づいて、前記管理対象放射性物質による放射線量を計測することを特徴とする放射線計測方法及び放射線計測装置である。

40

また、本発明は、前記放射線検出面の領域分割は、放射線検出面の領域分割数を変えて放射線検出処理を行って各領域分割数における放射線検出結果を出力表示し、出力表示さ

50

れた放射線検出結果を参照して目的とする放射線計測に好ましい分割領域の数を設定して放射線計測を行うことを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

本発明は、放射線検出器の放射線検出面を任意に領域分割（区分）して分割領域毎に検出信号を検出処理して測定試料中の放射性物質の放射能分布を計測することにより、環境中に管理対象放射性物質とそれ以外の放射性物質が混在する場合であっても、管理対象放射性物質に起因する放射能汚染を短時間に計測して評価することができる放射線計測方法及び放射線計測装置を実現することができる。

【0015】

本発明は、更に、放射線検出面の領域分割数を計測目的に応じて設定することにより、環境中に管理対象放射性物質とそれ以外の放射性物が混在する場合であっても、管理対象放射性物質に起因する数ベクレル程度の低レベルの放射能汚染を短時間に計測して評価することにより、作業員に対する早期退避指示や作業の安全性確保を指示することができる放射線計測方法及び放射線計測装置を実現することができる。

【0016】

本発明は、更に、放射線検出面の領域分割数を計測目的に応じて設定することにより、管理対象放射性物質に起因する汚染原因の推定や対策の検討が早い段階で行えるようにすることを可能にする放射線計測方法及び放射線計測装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】測定試料上に付着する放射性物質の分布状態を示す模式図である。

【図2】本発明の放射線計測装置の実施例を示すブロック図である。

【図3】図2に示した放射線計測装置における放射線検出器の縦断側面図である。

【図4】従来の検出信号計測処理と図2に示した放射線計測装置の検出信号計測処理による検出例を示す棒グラフである。

【図5】ダストモニタを用いて空気中の塵埃をろ紙に捕集しながら線を2分間隔で計測したデータの折れ線グラフである。

【図6】放射性物質（プルトニウム）が付着したろ紙を測定試料として5分間計測したときの放射線検出信号を放射線検出面の領域分割数を変えて処理したときの検出結果を示す棒グラフである。

【図7】放射線検出面の領域分割数をできるだけ細かくして測定試料の放射線を長時間計測した際の計数分布図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

本発明の放射線計測方法及び放射線計測装置は、測定試料に対向させることにより該測定試料に付着している放射性物質に感応して検出信号を発生する多数の検出ピクセルを平面状に並べて放射線検出面を構成した放射線検出器の前記多数の検出ピクセルから出力される検出信号を、前記放射線検出面を複数の領域に分割して各分割領域に該当する検出ピクセルから出力される検出信号を検出処理し、分割領域毎に検出される放射線検出結果を出力することができる放射線計測装置を用いて測定試料中の放射性物質の放射能を計測するものであり、

前記放射線検出面の領域分割は、放射線検出面の領域分割数を変えて放射線検出処理を行って各領域分割数における放射線検出結果を出力表示し、出力表示された放射線検出結果を参照して目的とする放射線計測に好ましい分割領域の数を設定して放射線計測を行うものである。

【実施例】

【0019】

放射能汚染管理において、管理対象放射性物質と、管理対象放射性物質が発生する放射線の計測において妨害因子となる放射線を発生する天然核種等は、測定試料上に付着する

10

20

30

40

50

物質の分布が異なり、図 1 に示すように、前者は放射性物質 1 b が測定試料 1 a 上に局所的に存在 (a) するのに対し、後者は放射性物質 1 c が測定試料 1 a 上の全面に均一に存在 (b) している。本発明は、この分布の違いを利用した汚染管理・計測技術である。

【 0 0 2 0 】

本発明の放射線計測方法で使用する放射線計測装置は、図 2 に示すように、測定試料に付着している放射性物質が発生する放射線に感応して該放射線に相応する検出信号を出力する放射線検出器 2 と、この放射線検出器 2 から出力する検出信号を処理する複数種類の信号処理機能を有する信号処理装置 3 と、この信号処理装置 3 に対して特定の信号処理機能の実行を選択的に指示する指示入力器 4 と、前記信号処理装置 3 による信号処理状況及び信号処理 (検出) 結果を出力 (表示、印刷、データ保存など) する出力器 5 を備える。 10

【 0 0 2 1 】

前記放射線検出器 2 は、測定試料に対向させることにより該測定試料に付着している放射性物質が発生する放射線に感応して検出信号を発生する多数の検出ピクセルを平面状に並べて放射線検出面を構成し、前記多数の検出ピクセルがそれぞれ感応した放射線量に応じた検出信号をそれぞれ出力するように構成する。具体的には、図 3 に示すように、測定試料に対向して該測定試料に付着している放射性物質が発生する放射線に感応して発光する感応面を形成するシンチレータ 2 a と、感応面を形成するシンチレータ 2 a に対向するように並べて設置されて該シンチレータ 2 a の発光を電気信号 (検出信号) に変換する多数の光電素子 2 b と、シンチレータ 2 a の発光を該発光位置に対向して位置する光電素子 2 b に伝達する光ガイド 2 c と、シンチレーション光以外の外光が光電素子 2 b に入力しないように遮光する遮光膜 2 d と、光電素子 2 b が発生する検出信号を信号処理装置 3 に出力する信号出力回路 2 e を備える。前記信号出力回路 2 e は、光電素子 2 b が発生する検出信号を出力するが、前記検出信号は前記シンチレータ 2 a の発光位置に相応する位置情報を有する。 20

【 0 0 2 2 】

ここで、線や線を検出可能な放射線検出器 2 とするためには、前記遮光膜 2 d は線や線を遮へいしないように極めて薄い膜とすることが望ましい。

【 0 0 2 3 】

ここで、前記光電素子 2 b は、既知の位置有感型光電子増倍管 (PSPMT ; Position Sensitive Photo Multiplier Tubes) や半導体素子 (Si PMT) 等を用いて実現する。 30

【 0 0 2 4 】

また、前記多数の検出ピクセルは、この実施例では、前記シンチレータ 2 a と多数の光電素子 2 b と光ガイド 2 c によって構成され、各光電素子 2 b から出力する電気信号が検出信号となり、この検出信号は、前記放射線検出面を複数の領域に分割して各分割領域に対向するように位置する複数の検出ピクセルから出力される検出信号を 1 つの群として群毎に検出処理することができるようにする。分割領域の大きさは、検出信号の処理による分別も含めて、例えば、放射線検出面を縦 8、横 8 (縦横 8 × 8) に分割した大きさ、縦横 1 6 × 1 6 に分割した大きさ、縦横 3 2 × 3 2 に分割した大きさ、縦横 2 5 6 × 2 5 6 に分割した大きさとなるように可変的に設定することができるようにする。 40

【 0 0 2 5 】

この実施例の放射線計測装置では、5 c m × 5 c m の大きさの放射線検出面の放射線計数分布 (2 5 6 × 2 5 6 程度の解像度) を信号処理装置 3 における信号処理上で任意に区画した分割領域毎に纏めることで、最大で装置が有する解像度と同じ数に放射線検出面を分割することができるようにする。

【 0 0 2 6 】

図 3 に示す放射線検出器 2 おいて、シンチレータ 2 a は、1 枚の板状のシンチレータ板を用いる構成と、アレイ状のシンチレータ板を用いる構成を想定することができる。1 枚板のシンチレータ板を利用する場合には、位置有感型光電子増倍管を使用した光電素子 2 b をシンチレータ 2 a に直接接着するとアノードの位置に偏った画像となる。このため、シンチレータ 2 a と光電素子 2 b の間に 3 m m 程度のライトガイド 2 c を設けることによ 50

り、画像の偏りを解消するようにすることが望ましい。また、アレイ状のシンチレータ板を使用した場合は、アレイの数が検出面の領域分割数 (= 解像度) に等しくなるため、イメージングなど詳細な画像 (放射線計測分布) を得るには不向きとなる。

【 0 0 2 7 】

更に、この放射線計測装置の利用目的である管理対象放射性物質から発生する放射線と天然核種から発生する放射線との弁別精度を向上させるためには、検出面領域分割 (検出位置) に加えてエネルギー弁別機能を付加することが望ましいことから、それが可能なシンチレータを使用することが望ましい。

【 0 0 2 8 】

エネルギー弁別を行う場合には、計測対象が α 線の場合は、エネルギースペクトルが線スペクトルとなることから弁別が比較的容易であるが、 β 線の場合には連続スペクトルであり、最大エネルギーでの弁別となることから弁別精度は悪く、弁別できるのは⁹⁰Y (イットリウム) から放出される β 線などのように高エネルギーの β 線に限定される。

【 0 0 2 9 】

放射線検出面の領域分割については、複数の放射線検出器を並べて各放射線検出器の放射線検出面を1つの分割領域とする構成でもよく、また、検出信号処理上で検出信号の位置情報に基づいて分割領域を特定することが可能な放射線検出器を用いて実現する構成でもよい。また、放射線の検出原理は、シンチレーション検出器や半導体検出器などに限定されるものではない。

【 0 0 3 0 】

前記信号処理装置3は、プロセッサと複数種類の信号処理プログラムを組み合わせることで複数種類の信号処理機能を選択的に実現することができるように構成され、信号出力回路2eを介して光電素子2bから入力した検出信号をその位置情報と波高値を有する検出データに変換処理し、この検出データを処理して測定試料における放射線検出位置と検出波高値の算出及び図形表示編集等を行う。例えば、特定の分割領域に属する検出データを集計して該分割領域に存在する放射性物質が発生する放射線量を示す棒グラフを作成して表示する処理を行う。

【 0 0 3 1 】

指示入力器4は、オペレータにより操作され、信号処理装置3が所定の信号処理機能を実現するように実行する信号処理プログラムの選択を指示入力する。

【 0 0 3 2 】

このような構成の放射線計測装置は、信号処理装置3において、検出位置情報 (放射線検出面の領域分割数は任意) を有した放射線検出データ (計数値) を作成し、この検出データを任意の形態で表示・保存する複数種類の信号処理機能を選択的に設定して実行する。例えば、放射線検出データを作成する信号処理機能では、放射線検出面の領域分割数、検出信号弁別波高値、検出信号計数時間、検出信号計数間隔等の計測条件を指示入力器4からの入力によって任意に設定または選択設定して信号処理することを可能にし、検出データを表示・保存する信号処理機能では、数表図形、棒グラフ図形 (2次元棒グラフまたは3次元棒グラフ)、折れ線グラフ図形等の表示・保存条件を指示入力器4からの入力によって任意に設定または選択設定して処理することを可能に構成する。

【 0 0 3 3 】

このような検出面分割型の放射線計測装置を用いて、局所的に検出される放射線を計測することによって、管理対象放射性物質に着目した評価が容易に可能となる。

【 0 0 3 4 】

従来の放射線計測装置は、放射線検出面を分割する形態で検出信号を処理していないことから、均一に分布する管理対象放射性物質以外の放射性物質 (天然核種等) から発生する放射線も全て一括して検出してしまいが、この実施例の放射線計測装置では、天然核種から発生する放射線の計数が放射線検出面の領域分割数に応じて分散されることから、その計数値を低く抑えることが可能である。これに対して、管理対象放射性物質から発生する放射線は付着部位が局部的に高くなることから、対応する分割領域において集中的に計

10

20

30

40

50

測され、放射線検出面の領域分割を行っても付着部位に対向する分割領域における計数値の低下は少ないので、目的とする放射線の計測は支障なく実現することができる。

【 0 0 3 5 】

放射線検出面の適切な領域分割数については、計測環境によって異なることから、計測環境に応じて変更することができるように構成する。また、測定時間の単位（1分、2分）についても、短いほど迅速に汚染検出が可能となるが、一方では、計測時間を短くすると計数値が小さくなって信頼性が落ちることになるので、計測環境と計測目的に応じて変更することができるように構成する。

【 0 0 3 6 】

図4は、放射線検出器2の放射線検出面を144（12×12）の領域に分割した場合の検出（計数）例を示す棒グラフである。従来の計測技術では、放射線検出面を領域分割して検出信号を計数処理していないことから、（a）に示すように、計数値は264カウントという情報のみとなり、僅かに含まれる管理対象放射性物質による放射能汚染の有無を評価することができない（天然核種1cから発生する放射線の計数1cn 238カウントと放射能汚染管理対象の放射性物質1bから発生する放射線の計数1bn 26カウントを区別して評価することができない）。

一方、この実施例の計測技術では、（b）に示すように、天然核種1cから発生する放射線の1分割領域当りの計数1cnは概ね一様に3カウント程度であるのに対して、測定試料中に混在した2つの人工核種から発生する放射線の1分割領域当りの計数1bnは18カウント、8カウントとなることから、管理対象放射性物質に由来する放射線とそれ以外の放射性物質に由来する放射線を容易に区別して評価することができる。

【 0 0 3 7 】

このように放射線検出面を領域分割して分割領域毎に放射線を計数すると、天然核種などの一様に分布する放射性物質から発生する放射線の計数を低く抑えることが可能になることから、線放出核種の場合、数ベクレル程度の局所的な放射能汚染であれば、数分間で分別して評価することが可能となる。また、放射線検出面の領域分割数を多く設定すれば、放射線のイメージングが可能となり、放射能汚染物質の存在形態が分かるようになる。但し、イメージングの場合は、放射線検出面の分割領域を細かくする必要があり、その場合には、1分割領域当りの計数率が低くなることから、計測時間を長くすることが必要となる。

【 0 0 3 8 】

放射線検出面の適切な領域分割数については、適用する放射線計測によって異なる。以下、検出面の全体の大きさを5cm角とした場合について述べる。

【 0 0 3 9 】

例えば、放射能測定装置やダストモニタのように、測定試料と放射線検出器の放射線検出面の間に5mm程度の空間が生じる第1の仕様例では、測定試料から放出される放射線は放射線検出面に到達するまでに広がりを持ってしまうことから、放射線検出面を細かく分割しても意味がない。この第1の仕様例の場合は、64分割（8×8）（=1つの分割領域は6mm角）程度が適した領域分割数となる。

【 0 0 4 0 】

一方、測定試料中に含まれる放射能汚染物質の有無を迅速に検出したい第2の仕様例では、256分割（16×16）（=1つの分割領域は3mm角）又は1,024分割（32×32）（=1つの分割領域は1.6mm角）程度が適している。

【 0 0 4 1 】

更に、放射能分布のイメージングを行う第3の仕様例では、計測装置の位置分解能に応じた放射線検出面の領域分割数が必要であり、16,384分割（128×128）（=1つの分割領域は0.4mm角）程度が適している。但し、第2及び第3の仕様例の場合は、測定試料と放射線検出面を密着させて測定する構成であることが必要であり、放射能汚染拡大防止のために、測定試料又は放射線検出面を養生する必要がある。

【 0 0 4 2 】

10

20

30

40

50

次に、第1の仕様例から第3仕様例に示した手法について、具体例を説明する。

【0043】

第1の仕様例（放射線検出面と測定試料との間に5mm程度の空間が生じる場合）の具体例として、ダストモニタに適用した場合の放射能汚染検知方法について説明する。

【0044】

図5は、ダストモニタを用いて空気中の塵埃をろ紙に捕集しながら線を2分間隔で計測したデータの折れ線グラフであり、ろ紙上には天然核種が約40Bq（ベクレル）程度付着している状態である。また、線放出核種の放射能汚染の検出を再現するため、これとは別に計測した約1.2Bq程度のプルトニウム試料の計測データを途中（15：00から）から足し合わせている。

10

【0045】

従来技術によるダストモニタ指示値では、ろ紙全体を測定（計数）しているために、僅かな指示値上昇の原因が天然核種の変動なのか、放射能汚染物質であるプルトニウムが新たに付着したのかを判別することができないことが分かる。

【0046】

一方、本発明を適用したダストモニタの場合（図5では放射線検出面の領域を64分割している）、放射線検出面を分割することによりデータ数は増えるが、天然核種の計数はいずれも低い値（3カウント程度）で一定している。ここに約1.2Bqのプルトニウムが付着した場合には、付着部位に対向する付近の複数の分割領域の検出ピクセルでプルトニウムからの線を計数するが、最も高く検出する検出部位（分割領域）で10カウント程度の計数（天然核種を合わせると13カウント程度）があり、プルトニウム汚染が発生したことを容易に区別して検出できることが分かる。

20

【0047】

また、本発明を適用したダストモニタでの放射能汚染検出方法としては、基本的には各放射線検出面で一律に警報設定値を定めて行うのが簡易的で分かりやすいが、より低いレベルの放射能汚染を検出したい場合は、「隣り合う検出部位（分割領域）で同時に検出する」、「連続したデータで警報設定値を超える」などの信号処理条件を付加することにより実現可能となる。

【0048】

次に、第2の仕様例（測定試料中に含まれる放射能汚染物質を迅速に検出したい場合）の具体例として、ろ紙上の放射能汚染の検出方法について説明する。

30

【0049】

この第2の仕様例の手法は、第1の仕様例において「汚染のおそれがあると判断された測定試料（集塵ろ紙やスミヤろ紙など）」について、その詳細な計測を実施し、放射能汚染の有無及びその放射能を評価するときなどに使用することができる。この計測では、測定試料に放射線検出器を密着させて計測を行うことにより、より局所的な放射能を計測することができるようになる。しかし、放射能汚染した測定試料に放射線検出器を密着させて計測する際は、計測作業時の放射能汚染の拡大を防ぐために、測定試料又は放射線検出面を養生してから計測を行うようにすることが望ましい。

【0050】

図6は、放射能が約50Bqの天然核種（ラドン子孫核種）と、放射能が1Bqの管理対象放射性物質（プルトニウム）がろ紙上に存在する測定試料を5分間計測したときの検出信号を放射線検出面の領域分割数を変えて処理したときの検出結果を示す棒グラフである。放射線検出面を細かく領域分割していくと、天然核種の計数が分散されるために管理対象放射性物質による計数がより確認しやすくなるが、過度に細かくすると、管理対象放射性物質の計数値も分割されてしまい、短時間の測定では放射能汚染を発見しにくくなる傾向を呈する。

40

【0051】

図6に例示した検出結果から判断すると、5分程度の計測で放射能汚染の有無を判定する場合は、放射線検出面の領域分割は、16×16あるいは32×32程度の分割数が適

50

していることになる。但し、適切な領域分割数は、天然核種の濃度等によって異なる（天然核種の濃度が低ければ領域分割数が少なくても識別可能となる）ことから、放射線計測装置は、計測準備段階または計測中に、オペレータに操作される指示入力器 4 からの指示入力に基いて、放射線検出器の放射線検出面の複数種類の領域分割について各領域分割数での検出結果を出力器 5 に見本表示し、オペレータが表示見本を観察して計測目的に適切な検出結果が得られる領域分割数を選択的に設定することができるようにする。

【 0 0 5 2 】

この手法では、得られた各検出部位（分割領域）の計数値と検出効率から放射能の評価が可能となるだけでなく、計数値分布から大まかな放射能汚染の広がり状況を把握することができるため、汚染状況の把握や汚染原因の推定など、その後の対応に役立てることができる情報を一度に得ることができる。

【 0 0 5 3 】

第 3 の仕様例（放射能分布のイメージングを行う場合）は、第 2 の仕様例で得られた計数分布を更に詳しく調査する際の手法として実行することができる。計測方法自体は第 2 の仕様例と同じであるが、より詳細な分布を計測するためには、放射線検出面の領域分割をできるだけ細かくすることが望ましい。

【 0 0 5 4 】

図 3 に示した放射線検出器 2 の場合は、固有分解能は 0.8 mm 程度であるため、領域分割数は 16, 384 分割（ 128×128 ）（= 1 つの検出部位は 0.4 mm 角）ないし 65, 536 分割（ 256×256 ）（= 1 つの検出部位は 0.2 mm 角）が適したものととなる。但し、検出部位 1 箇所あたりの面積が小さくなると計測での計数値も少なくなるため、詳細分布を得るには長時間の計測が必要となる。図 7 は、この手法を用いて汚染試料を計測（20 分間計測）した際の計数分布図である。この図 7 の分布図形を観察すると、放射能汚染状態（広がり、形状）が分かるとともに、各部位の放射エネルギーも評価することができる。

【 0 0 5 5 】

このような本発明の放射線計測方法及び放射線計測装置は、以下に説明するように、「汚染検査モード」（未知の測定試料に付着している放射性物質の放射線を計測する場合）と「ダストモニタモード」（測定試料に付着している放射能汚染を連続的に監視する場合）の計測モードでの実用化が考えられる。

【 0 0 5 6 】

汚染検査モード（1回測定モード）

この計測モードは、測定試料中に含まれる人工核種（核燃料物質等の放射性物質）の有無を判断し、その放射能を評価することが可能である。また、一方で、測定試料上に存在する管理対象放射性物質の付着の状況（スポット状に存在、液体が付着したような状態、粉末が飛び散ったような状態など）も確認できるようになる。

【 0 0 5 7 】

放射能を評価する場合、主たる計測対象である管理対象放射性物質の形状・放射能と、計測上の妨害因子である天然核種の放射能によって、放射線検出面の適切な領域分割数が異なるため、計測中に放射線検出面の領域分割数を変更しながら計測データ（計数値分布）を確認することで、より迅速に放射能汚染（管理対象放射性物質の付着）の有無を判断することができる。また、同時にエネルギースペクトル（パルス波高分布）を確認し、適切な波高弁別を行うことで、つまり、計測したい放射性物質からの放射線のエネルギーに計測対象を絞ることで、更に放射能汚染の有無の判断時間を短縮することができる。このためには、放射線検出器 2 にエネルギー弁別可能なシンチレータを使うのが有効である。

【 0 0 5 8 】

この計測モードでの実用化の場合、放射線検出面の領域分割数は、概ね 32×32 までで済むが、測定試料上の核燃料物質等の形状を確認する場合（イメージングをする場合）は、より細かい領域分割数が必要となる。ただし、1 ピクセルあたりの計測数は激減する

ことから、計測時間を長くすることが必要となる。

【0059】

これにより、従来技術である放射線測定装置、スペクトル測定装置、オートラジオグラフィの3つの装置による計測は、この発明の装置1つで対応することができるようになり、放射能管理対応全体の合理化が図れるようになる。

【0060】

ダストモニタモード（繰り返し測定モード）

この計測モードは、作業環境中の塵埃をろ紙に集塵しながら連続的に該ろ紙上の放射線を計測するモードであり、核燃料物質等がろ紙へ新たに付着するのを発見することによって、管理対象放射性物質による空気汚染を検出するものである。

10

【0061】

従来技術では、放射線検出面が分割されていないために計測値は1つであるが、本発明技術では、放射線検出面の分割数に応じて計測データの数が増える。計測データ数が増えると、計測値も分散されるので各計測値は減少するが、核燃料物質が付着した領域に対応する分割領域のみは計数値が高いため核燃料物質が付着していることを識別することができ、従来技術に比較して、極めて低いレベルの放射能汚染をも検出することができるようになる。

【0062】

放射線検出面の適切な領域分割数については、計測環境によって異なることから、計測中に検出面の領域分割数を変更しながら計測データ（計数値分布）を確認することで、より迅速に放射能汚染（核燃料物質の付着）の有無を判断することができる。

20

【0063】

また、計測時間の単位（1分、2分）についても、短いほど迅速に放射能汚染の検出が可能となるが、一方では、計数値が小さくなって信頼性が落ちることになるので、必要に応じて変更するようにする。

【0064】

本発明技術では、放射能の評価も同時に実施することができるように、計数値から放射線エネルギーへの換算するための「換算係数」を登録又は算出できるようにし、予め求めた換算係数を設定する機能と、線源を複数回測定することによって換算係数（検出効率）が自動的に求められるような機能など、計測装置の校正が行える機能を設けることが望ましい。

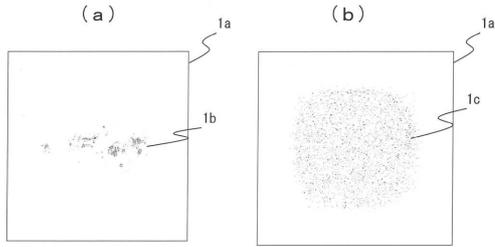
30

【符号の説明】

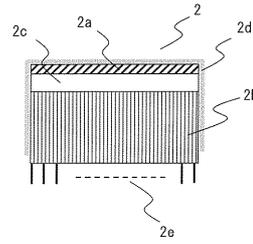
【0065】

1 a 測定試料 1 b 放射性物質 1 c 放射性物質 2 放射線検出器 2 a シンチレータ 2 b 光電素子 2 c 光ガイド 2 d 遮光膜 2 e 信号出力回路 3 信号処理装置 4 指示入力器 5 出力器。

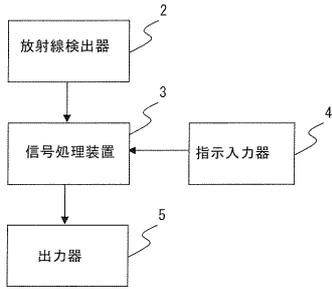
【図1】



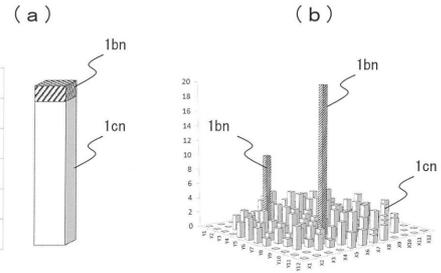
【図3】



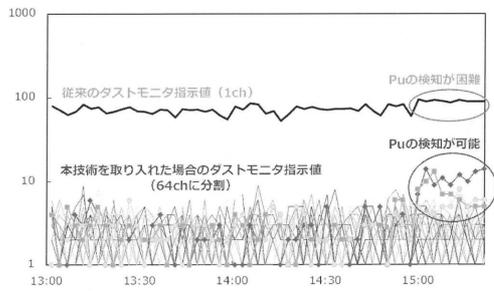
【図2】



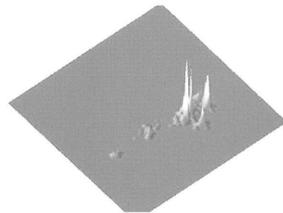
【図4】



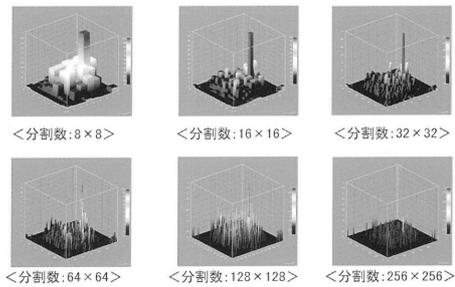
【図5】



【図7】



【図6】



フロントページの続き

- (74)代理人 100097777
弁理士 葦澤 弘
- (74)代理人 100091971
弁理士 米澤 明
- (74)代理人 100119220
弁理士 片寄 武彦
- (72)発明者 井 崎 賢二
茨城県那珂郡東海村村松4番地33 独立行政法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学
研究所内
- (72)発明者 森下 祐樹
茨城県那珂郡東海村村松4番地33 独立行政法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学
研究所内
- (72)発明者 山崎 巧
茨城県那珂郡東海村村松4番地33 独立行政法人日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学
研究所内
- (72)発明者 金子 純一
北海道札幌市北区北8条西5丁目 国立大学法人北海道大学内
- (72)発明者 樋口 幹雄
北海道札幌市北区北8条西5丁目 国立大学法人北海道大学内
- (72)発明者 坪田 陽一
北海道札幌市北区北8条西5丁目 国立大学法人北海道大学内
- (72)発明者 山本 誠一
愛知県名古屋市中種区不老町1番 国立大学法人名古屋大学内
- (72)発明者 石橋 浩之
茨城県ひたちなか市足崎1380-1 日立化成株式会社内

審査官 南川 泰裕

- (56)参考文献 特開2013-142545(JP,A)
特開2003-250791(JP,A)
特開2013-033009(JP,A)
特開2008-292166(JP,A)
特開2002-257938(JP,A)
特開平08-292008(JP,A)
特開2012-013498(JP,A)
特開平09-015336(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T 1/00-7/12