

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2015-187567

(P2015-187567A)

(43) 公開日 平成27年10月29日(2015.10.29)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
GO1T 1/167 (2006.01)	GO1T 1/167	C 2G188
GO1T 1/16 (2006.01)	GO1T 1/16	A
GO1T 1/36 (2006.01)	GO1T 1/36	A
GO1T 3/00 (2006.01)	GO1T 3/00	H
GO1T 3/06 (2006.01)	GO1T 3/06	

審査請求 未請求 請求項の数 20 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2014-64921 (P2014-64921)	(71) 出願人	507250427 日立GEニュークリア・エナジー株式会社 茨城県日立市幸町三丁目1番1号
(22) 出願日	平成26年3月27日 (2014.3.27)	(74) 代理人	110000350 ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	岡田 耕一 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72) 発明者	名雲 靖 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72) 発明者	田所 孝広 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】放射線計測装置

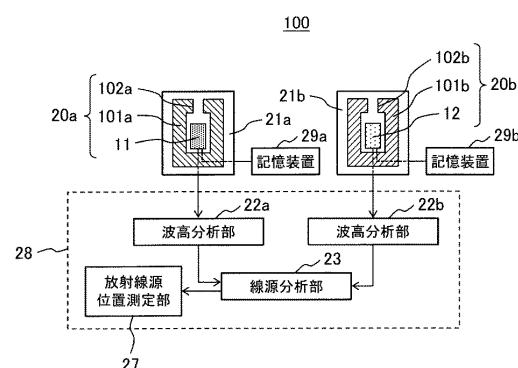
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】任意の方向からの複数種類の放射線を検出し、得られた検出信号から複数の放射線源の3次元的な位置及び種類の特定を行うことが可能な放射線計測装置を提供する。

【解決手段】放射線計測装置は、指向性を有する複数の放射線検出部20a, 20bと、前記放射線検出部がそれぞれ任意の方向からの放射線を観測できるように、前記複数の放射線検出部を互いに異なる位置から互いに独立して旋回可能とした放射線検出部旋回駆動部21a, 21bと、前記放射線検出部で得られた放射線の検出信号を処理するためのデータ処理装置28とを備え、前記放射線検出部は、ガンマ線又は中性子を検出して検出信号を生成し、前記データ処理装置は、前記放射線検出部の観測方向と前記ガンマ線及び中性子の検出信号とから放射線源の3次元的な位置及び種類を特定することを特徴とする。

【選択図】図1

図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

指向性を有する複数の放射線検出部と、

前記放射線検出部がそれぞれ任意の方向からの放射線を観測できるように、前記複数の放射線検出部を互いに異なる位置から互いに独立して旋回可能とした放射線検出部旋回駆動部と、

前記放射線検出部で得られた放射線の検出信号を処理するためのデータ処理装置とを備え、

前記放射線検出部は、ガンマ線又は中性子を検出して検出信号を生成し、

前記データ処理装置は、前記放射線検出部の観測方向と前記ガンマ線及び中性子の検出信号とから放射線源の3次元的な位置及び種類を特定することを特徴とする放射線計測装置。10

【請求項 2】

前記放射線検出部は放射線検出器を含み、

前記放射線検出器としてガンマ線検出器及び中性子検出器を含み、

前記データ処理装置は、前記ガンマ線検出器で得られたガンマ線の検出信号からガンマ線のエネルギースペクトルを算出し、前記中性子検出器で得られた中性子の検出信号から中性子のエネルギースペクトルを算出し、

前記ガンマ線のエネルギースペクトル中に現れる前記ガンマ線由来の全吸収ピークと前記中性子のエネルギースペクトルの最大エネルギー及び全計数に基づいてガンマ線源の3次元的な位置を特定し、20

前記ガンマ線のエネルギースペクトル中に現れる前記ガンマ線由来の全吸収ピークに基づいて前記ガンマ線源の核種を特定し、

前記ガンマ線のエネルギースペクトル中に現れる前記中性子由来の全吸収ピークと前記中性子のエネルギースペクトル中に現れる前記中性子由来のピークに基づいて中性子源の3次元的な位置を特定することを特徴とする請求項1に記載の放射線計測装置。

【請求項 3】

前記ガンマ線のエネルギースペクトル中に現れる前記中性子由来の全吸収ピークは、前記ガンマ線検出器のセンサ物質と前記中性子とが反応して生成したガンマ線の全吸収ピークであることを特徴とする請求項2に記載の放射線計測装置。30

【請求項 4】

前記放射線検出部は放射線検出器を含み、

前記放射線検出器は、放射線と反応するセンサ物質を含む放射線検出面を有し、

前記放射線検出部に指向性を持たせるために、前記放射線検出器の前記放射線検出面以外を覆う放射線遮蔽体と、前記放射線検出面の前面に設けられた放射線入射部とを備えることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の放射線計測装置。

【請求項 5】

前記放射線検出部は放射線検出器を含み、

前記放射線検出器としてガンマ線検出器を含み、

前記ガンマ線検出器の前記放射線検出面の前面と前記放射線入射部との間に、前記中性子と反応を起こすコンバータ物質を備えることを特徴とする請求項4に記載の放射線計測装置。40

【請求項 6】

前記放射線検出面の前面及び前記放射線入射部との間に中性子減速材を備えることを特徴とする請求項4又は5に記載の放射線計測装置。

【請求項 7】

さらに、前記放射線検出部の観測領域を表示するための光学カメラを備えることを特徴とする請求項1乃至請求項6のいずれか1項に記載の放射線計測装置。

【請求項 8】

前記データ処理装置は、前記光学カメラで取得した画像を表示するための表示部と、50

前記放射線検出部の観測方向と前記放射線検出部から前記表示装置の画像において指定された観測領域への方向とがなす角度を算出するための旋回角演算部と、

前記放射線検出部旋回駆動部に対し、前記旋回角演算部で算出された角度の旋回を指示するための制御部とを更に備えることを特徴とする請求項 7 に記載の放射線計測装置。

【請求項 9】

前記データ処理装置は、前記放射線源の3次元的な位置から、前記放射線源の種類の分布及び／又は前記放射線源の強度の分布を算出することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載の放射線計測装置。

【請求項 10】

前記表示部は、前記光学カメラで取得した画像上に前記放射線源の種類の分布及び／又は前記放射線源の強度の分布を表示させる機能を有することを特徴とする請求項 8 に記載の放射線計測装置。 10

【請求項 11】

前記放射線源位置測定部は、さらに前記光学カメラで取得した画像上の構造物と前記放射線検出部との距離を計測し、

前記表示部は、前記放射線源と前記放射線検出部との距離及び前記構造物と前記放射線検出部との距離を表示することを特徴とする請求項 8 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の放射線計測装置。

【請求項 12】

前記光学カメラを 2 台備えて 3 次元の画像を取得することを特徴とする請求項 7 乃至請求項 11 のいずれか 1 項に記載の放射線計測装置。 20

【請求項 13】

前記表示部は、前記 3 次元の画像に前記放射線源の種類の分布及び／又は前記放射線源の強度の分布を重ねて表示することを特徴とする請求項 12 に記載の放射線計測装置。

【請求項 14】

前記データ処理装置は、あらかじめ観測領域の3次元構造データを有していることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 13 のいずれか 1 項に記載の放射線計測装置。

【請求項 15】

さらに、前記放射線検出部で得られた放射線の検出信号を記憶するための記憶装置を備え、

前記記憶装置に記憶された前記放射線の検出信号を、前記記憶装置からデータ媒体を介して前記データ処理装置に移動し、前記検出信号を処理して放射線源の3次元的な位置及び種類を特定することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 14 のいずれか 1 項に記載の放射線計測装置。 30

【請求項 16】

前記放射線検出部は放射線検出器を含み、

前記放射線検出器としてガンマ線検出器を含み、

前記ガンマ線検出器のセンサ物質が $CdTe$ 又は CZT であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 15 のいずれか 1 項に記載の放射線計測装置。

【請求項 17】

前記放射線検出部は放射線検出器を含み、

前記放射線検出器として中性子検出器を含み、

前記中性子検出器のセンサ物質が、 ^{10}B 、 BF_3 、 3He 又は有機シンチレータのいずれかであることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 16 のいずれか 1 項に記載の放射線計測装置。 40

【請求項 18】

前記放射線検出器の前記放射線検出面は複数の画素を有し、前記放射線入射部がピンホールコリメータであることを特徴とする請求項 4 乃至請求項 17 のいずれか 1 項に記載の放射線計測装置。

【請求項 19】

10

20

30

40

50

前記複数の放射線検出部は放射線検出器を含み、

前記放射線検出器として2台のガンマ線検出器を含み、

前記データ処理装置は、前記2台のガンマ線検出器のそれぞれで得られたガンマ線の検出信号からガンマ線のエネルギースペクトルをそれぞれ算出し、

前記ガンマ線のエネルギースペクトル中に現れる前記ガンマ線由来の全吸収ピーに基づいてガンマ線源の3次元的な位置及び前記ガンマ線源の核種を特定し、

前記ガンマ線のエネルギースペクトル中に現れる前記中性子由来のピークから中性子源の3次元的な位置を特定することを特徴とする請求項1乃至請求項18のいずれか1項に記載の放射線計測装置。

【請求項20】

前記複数の放射線検出部は放射線検出器を含み、

前記放射線検出器として2台の中性子検出器を含み、

前記データ処理装置は、前記2台の中性子検出器のそれぞれで得られた中性子の検出信号から中性子のエネルギースペクトルを算出し、

前記中性子のエネルギースペクトルの最大エネルギー及び全計数に基づいてガンマ線源の3次元的な位置を特定し、

前記中性子のエネルギースペクトルに現れる前記中性子由来のピークから中性子源の3次元的な位置を特定することを特徴とする請求項1乃至請求項22のいずれか1項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装置に関し、特に放射線を検出し、得られた検出信号から放射線源の3次元的な位置及び種類を特定する装置に関する。

【背景技術】

【0002】

放射線の分布を立体的に計測する放射線計測方法として、例えば、特許文献1に記載のような複数台の放射線検出器を用いる方法がある。

【0003】

特許文献1に記載の線量分布測定方法は、離間させて配置した複数台の放射線計測装置により、異なる位置から被測定物の線量測定を行うものである。この構成により、被測定物の立体的な線量分布を求めている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2002-6052号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

空間線量率などから空間中に放射線が存在することはわかっているが、放射線源（以下、線源とも称する）の位置および種類が不明な場合がある。例えば、放射線取扱施設や原子炉施設を解体する際の汚染や放射化位置を特定する場合や、原子炉の事故により、核燃料が飛散した場合の燃料位置を特定する場合である。また、放射線源がガンマ線源の場合と中性子源の場合とでは対策が異なる。具体的には、遮蔽を設ける場合、核種ごとに異なるエネルギーを放出するので、エネルギーに対応した遮蔽体を設ける必要がある。除染する場合は、核種が取り得る化学形態を考慮して除染方法を決める必要がある。核燃料の一部を探査する際には、ガンマ線源の探査では特定できない可能性があり、中性子を検知する必要がある。探査範囲が広く、複数のガンマ線源、中性子源が存在する環境では、膨大な作業時間や作業者の被ばくが懸念されるため、効率的に線源の探査を行う必要がある。このような事情から、複数の放射線源（ガンマ線源及び中性子源等）の3次元的な位置の

10

20

30

40

50

特定及び種類（核種）の特定を1つの装置で実施し、探査作業時間を短縮化することが望まれる。

【0006】

そもそも単一の放射線検出器による探査では、3次元的な位置の特定はできず、ある構造物に放射線源があるとわかったとしても、その表面なのか内部なのか背面なのかという情報を得ることはできない。

【0007】

前述の特許文献1の線量分布測定方法は、放射線検出器を2台以上用いることで表面だけでなく、内部や背面も含めて放射線源位置を3次元的に特定できるものとして放射線測定の効率化の一助となる技術である。しかしながら、特許文献1には放射線検出器として種々の放射線検出器を適用可能であることは記載されているものの、具体的に複数の放射線源の3次元的な位置及び種類の特定を1つの装置で行うことについては記載が無く、またそれを実現するための手段についても明らかにされていない。

10

【0008】

本発明の目的は、上記事情に鑑み、任意の方向からの複数種類の放射線を検出し、得られた検出信号から複数の放射線源の3次元的な位置及び種類を特定することが可能な放射線計測装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明は、上記目的を達成するため、指向性を有する複数の放射線検出部と、

20

前記放射線検出部がそれぞれ任意の方向からの放射線を観測できるように、前記複数の放射線検出部を互いに異なる位置から互いに独立して旋回可能とした放射線検出部旋回駆動部と、

前記放射線検出部で得られた放射線の検出信号を処理するためのデータ処理装置とを備え、

前記放射線検出部は、ガンマ線又は中性子を検出して検出信号を生成し、

前記データ処理装置は、前記放射線検出部の観測方向と前記ガンマ線及び中性子の検出信号とから放射線源の3次元的な位置及び種類を特定することを特徴とする放射線計測装置を提供する。

30

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、1つの装置で任意の方向からの複数種類の放射線を検出し、得られた検出信号から複数の放射線源の3次元的な位置及び種類を特定することが可能な放射線計測装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施形態における放射線計測装置を模式的に示す図である。

【図2】図1の放射線検出部20a, 20bを模式的に示す図である。

40

【図3】ガンマ線検出器によってガンマ線を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。

【図4】中性子検出器によってガンマ線を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。

【図5】ガンマ線検出器によって中性子を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。

【図6】中性子検出器によって中性子を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。

【図7】本発明の第2の実施形態における放射線検出部の構成の断面を示す模式図である。

【図8】本発明の第3の実施形態における放射線計測装置の構成の一部を模式的に示す図

50

である。

【図9】本発明の第3の実施形態における放射線計測装置の構成を模式的に示す図である。

【図10】本発明の第4の実施形態において中性子検出器によって中性子を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。

【図11】本発明の第5の実施形態における放射線検出部の構成の断面を模式的に示す図である。

【図12】本発明の第5の実施形態においてガンマ線検出器によって中性子を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。

【図13】本発明の第6の実施形態における放射線検出部の構成の断面を模式的に示す図である。

【図14】本発明の第6の実施形態における放射線検出部の構成の断面を模式的に示す図である。

【図15】本発明の第7の実施形態における表示部の表示画面の一例を模式的に示す図である。

【図16】本発明の第8の実施形態における放射線計測装置の構成を模式的に示す図である。

【図17】本発明の第9の実施形態における表示部の表示画面の一例を模式的に示す図である。

【図18】本発明の第10の実施形態における放射線検出部の構成の断面を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明に係る放射線計測装置の実施形態を、図面を用いて説明する。ただし、本発明はここで取り上げた実施形態に限定されるものではなく、その発明の技術的思想を逸脱しない範囲で適宜組み合わせや改良が可能である。

【0013】

<第1の実施形態>

図1は本発明の第1の実施形態における放射線計測装置を模式的に示す図である。以下、本発明に係る放射線計測装置の第1の実施形態を、図1を用いて説明する。図1に示したように、本発明に係る放射線計測装置100は、指向性を有する放射線検出部20a, 20bと、放射線検出部20a, 20bを旋回させる放射線検出部旋回駆動部（以下、旋回駆動部と称する）21a, 21bと、放射線検出部20a, 20bで得られた検出信号を処理して線源の種類（核種）の特定を行い、かつ放射線検出器の観測方向から線源の3次元的な位置の特定を行うデータ処理装置28とを有する。本実施形態では、放射線検出部20a, 20bを構成する放射線検出器11及び12が、それぞれガンマ線検出器及び中性子検出器であるとする。なお、本発明において「指向性を有する」とは、特定方向のみの放射線を検出することを意味する。

【0014】

ガンマ線検出器11は旋回駆動部21aによって、中性子検出器12は旋回駆動部21bによって、観測方向を決めることができる。すなわち、ガンマ線検出器11及び中性子検出器12は、旋回駆動部を用いて任意の方向に旋回することができ、任意の方向からの放射線を検出することができる。ガンマ線検出器11で得られた放射線の検出信号は、データ処理装置28内の波高分析部22aによって、中性子検出器12で得られた信号は波高分析部22bによって波高分析され、それぞれのエネルギースペクトルが得られる。得られたエネルギースペクトルを元に線源分析部23によって線源の有無及び線源の種類が分析（特定）される。また、線源の有無及びガンマ線検出器11と中性子検出器12の観測方向とから、放射線源位置測定部27によって放射線源（以下、線源とも称する）の3次元的な位置が算出される。

【0015】

10

20

30

40

50

(放射線源の3次元的な位置の特定)

次に、本発明に係る放射線計測装置を用いて線源の位置を特定する方法について、より具体的に説明する。図2は図1の放射線検出部20a, 20bを模式的に示す図である。図2に示したように、放射線検出部20aは、指向性を有するために、ガンマ線検出器11の放射線を検出する放射線検出面(以下、検出面とも称する)110a以外が遮蔽体101aで覆われ、検出面110aの前面(放射線が入射する面)に放射線入射部102aを備えている。同様に放射線検出部20bは、中性子検出器12の放射線を検出する検出面110b以外が遮蔽体101bで覆われ、指向性を有するように検出面110bの前面に放射線入射部102bを備えている。

【0016】

図2では、ガンマ線検出器11および中性子検出器12を図1に示した旋回駆動部によって旋回させ、任意の方向を探査した結果、ガンマ線検出器11及び中性子検出器12によって線源200に基づく信号が得られた状況である。ガンマ線検出器11及び中性子検出器12にて線源の有無がどのような信号として検出されるかは、追って詳述する。

【0017】

ガンマ線検出器11による観測結果だけを用いると、線源200はガンマ線検出器11の観測方向(視線)A上に存在することはわかるが、奥行きの位置は不明である。同様に、中性子検出器12による観測結果だけを用いると、線源200は中性子検出器12の観測方向B上に存在することはわかるが、奥行きの位置は不明である。しかし、これら2種類の検出器の情報を合わせれば、線源200の奥行きを含めた3次元的な位置は、ガンマ線検出器11の視線Aと中性子検出器12の視線Bが交わる位置であることがわかる。放射線源位置測定部27は、ガンマ線検出器11及び中性子検出器12の観測方向から、両者が交わる点の位置(座標)を算出し、線源200の3次元的な位置を特定する。

【0018】

(放射線源の有無及び種類の特定)

上記した構成により線源の3次元的な位置を明らかにするためには、ガンマ線検出器11及び中性子検出器12により、線源に関する情報を得る必要がある。本発明に係る放射線計測装置によって線源の有無及び種類を特定する方法を図3から図6を用いて説明する。

【0019】

まず、線源200がガンマ線源である場合について説明する。ガンマ線源の線源位置特定は、ガンマ線検出器11によって計測されたガンマ線のエネルギースペクトルと中性子検出器12によって計測されたガンマ線信号によって行う。ガンマ線検出器11の視線上にガンマ線源が存在した場合、ガンマ線スペクトル上に全吸収ピークが現れる。ガンマ線のエネルギーは核種ごとに固有であるため、ガンマ線の全エネルギー付与である全吸収ピークのエネルギーより、視線上にある核種を分析できる。一方、中性子検出器でガンマ線が検出された場合、エネルギースペクトル上に計数(バックグラウンドの増加)が現れる。従って、中性子検出器で計数が増加した時に視線上にガンマ線源があると考えられる。したがって、ガンマ線検出器11の観測方向と中性子検出器12の観測方向の交点にガンマ線源があることがわかり、さらにガンマ線検出器11で得られたエネルギースペクトルの全吸収ピークから核種を特定することができる。

【0020】

以下、より具体的に説明する。図3はガンマ線検出器によってガンマ線を検出したときの検出信号(エネルギースペクトル)の一例を示す図である。ガンマ線源を観測していない時のエネルギースペクトル201aとガンマ線源を観測している時のエネルギースペクトル201bの大きな違いは、エネルギースペクトル201bでは、エネルギースペクトル201aでは見られなかった全吸収ピーク(図3中、矢印の左隣のピーク)が見られることである。

【0021】

ガンマ線放出核種は、核種の種類によって固有のエネルギーを持つガンマ線を放出する

10

20

30

40

50

。また、ガンマ線検出器 1 1 で得られたエネルギースペクトル上の全吸収ピークは、ガンマ線検出器 1 1 に入射したガンマ線がガンマ線検出器 1 1 中に全エネルギーを付与した時に現れるピークである。従って、基本的には、全吸収ピークのエネルギーはガンマ線放出核種が放出したガンマ線のエネルギーに相当する。このため、全吸収ピークのエネルギー分析により、ガンマ線源の核種を特定することができる。

【 0 0 2 2 】

図 4 は中性子検出器によってガンマ線を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。図 4 に示したように、ガンマ線源を観測していない時のエネルギースペクトル 2 1 1 a とガンマ線源を観測している時のエネルギースペクトル 2 1 1 b の違いは、ガンマ線の入射に伴うスペクトルの上限エネルギーと全計数である。中性子検出器では、入射するガンマ線量が増加すると中性子検出器のセンサ部で検出する信号の量が増加し、1 回の検出を行う間に複数のガンマ線に伴う信号を検出する。このため、1 回の検出で検出器に付与されるエネルギーは 1 回の検出の間に入射した複数のガンマ線が検出器に付与するエネルギーの和となるため、入射するガンマ線が増加すると、ガンマ線に伴うスペクトルの上限エネルギーが大きくなる。従って、ガンマ線に伴うエネルギーの上限レベルが増加することによって、視線上にガンマ線源が存在することがわかる。なお、中性子を観測した際も中性子検出器 1 2 での計数の増加は見られるが、この場合はエネルギースペクトル上に中性子検出に伴う特有の構造が現れるため、ガンマ線検出による計数の増加と中性子検出による計数の増加を判別することは可能である。

10

20

30

【 0 0 2 3 】

上記したように線源 2 0 0 がガンマ線源であった場合、ガンマ線検出器 1 1 および中性子検出器 1 2 のエネルギースペクトルにガンマ線源に由来する変化が現れる。このため、2 種類の検出器の観測方向とエネルギースペクトルから、ガンマ線源の 3 次元的な位置及び種類を特定することができる。

【 0 0 2 4 】

次に線源 2 0 0 が中性子源だった場合について説明する。

【 0 0 2 5 】

図 5 はガンマ線検出器によって中性子を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。中性子源を観測していない時のエネルギースペクトル 2 0 2 a と中性子源を観測している時のエネルギースペクトル 2 0 2 b の大きな違いは、エネルギースペクトル 2 0 2 b では、エネルギースペクトル 2 0 2 a では見られなかった全吸収ピーク（図 5 中、矢印の右隣のピーク）が見られることである。

30

【 0 0 2 6 】

ガンマ線検出器 1 1 で使用されるセンサ物質と中性子が反応すると、2 次電子や 2 次ガンマ線、荷電粒子などが放出される。この 2 次ガンマ線をガンマ線検出器 1 1 で検出することで、ガンマ線検出器のエネルギースペクトル上に上記反応（センサ物質と中性子の反応）に伴う特有の構造が現れる。

40

【 0 0 2 7 】

本実施形態では、ガンマ線検出器 1 1 の一例として CdTe 半導体検出器を用いた場合について説明する。CdTe 半導体検出器を構成する Cd には複数の同位体があり、そのうち Cd 113 は中性子と中性子捕獲反応を起こし、558 keV のエネルギーを持つガンマ線を放出する（出典：Nuclear Physics A Volume 412, Issue 1, 2 January 1984, Pages 113–140 “The level structure of 114Cd from (n, n) and (d, p) studies”）。このガンマ線を CdTe 半導体検出器自身で検出すると、図 5 に示したエネルギースペクトル 2 0 2 b のようにエネルギースペクトル上に全吸収ピークが現れる。前述のようにガンマ線のエネルギーは核種ごとに固有であるため、Cd 113 が中性子捕獲反応を起こして発生したガンマ線のエネルギーも固有であり、558 keV のガンマ線を検知したことにより、中性子と Cd 113 の中性子捕獲反応が起こったと判断することができる。従って、558 keV の全吸収ピーク

50

を検出することで、前記ガンマ線検出器 1 1 に中性子が入射したと判断することができる。

【 0 0 2 8 】

ここでは、Cd 113の中性子捕獲反応で放出するガンマ線のエネルギーを 558 keVとして説明したが、例えば 651 keV や 805 keV など、Cd 113 及び中性子が中性子捕獲反応を起こして放出されるガンマ線が持つエネルギーであれば何でも良い。また、反応する元素は Cd 113 ではなく、Cd 116などのCd 同位体でも良く、Te 130などのTe 同位体でもよい。さらに、CdTe ではなく、CZTなどの他のセンサ物質でも良い。その際、反応の種類は、中性子捕獲反応以外でも良く、センサで使用されている物質ごとに中性子との反応確率が高く（同位体比及び反応断面積が大きく、励起しやすいもの）、ガンマ線検出器 1 1 で検出し易い適切な反応を選択することが好みしい。

10

【 0 0 2 9 】

各元素及び中性子の反応で放出されるエネルギーは、例えばNNDC (National Nuclear Data Center) が発表しているENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File) を参照することで得ることができる。上記文献等を参照し、ガンマ線検出器 1 1 のセンサ物質を構成する元素と中性子とが反応して放出するエネルギーをあらかじめ把握しておくことで、ガンマ線検出器で中性子由来のピーク（2次ガンマ線の全吸収ピーク）の検出の有無を判断することができる。

20

【 0 0 3 0 】

図 6 は中性子検出器によって中性子を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。図 6 は、線源 200 が中性子源である時に中性子検出器 1 2 で得られるエネルギースペクトルの一例である。中性子源を観測していない時のエネルギースペクトル 212a と中性子源を観測している時のエネルギースペクトル 212b の違いは、前記エネルギースペクトル 212b では、前記エネルギースペクトル 212a では観測されないエネルギー範囲に計数（図 6 中、矢印の左隣のピーク）が現れることである。このように中性子検出器 1 2 では、中性子の検出に伴い、ガンマ線計測時とは異なる構造がエネルギースペクトル上に現れる。

30

【 0 0 3 1 】

本実施形態では、中性子検出器 1 2 の一例として、BF₃ 検出器を用いた場合について説明する。BF₃ 検出器はBF₃（三フッ化ホウ素）ガスを封入した検出器である。前記BF₃ガスを構成するホウ素の同位体であるB 10 は熱中性子との反応確率が高く、中性子と反応して粒子を放出する。粒子はガスを電離し、電子イオン対を生成する。この電子イオン対が検出器で検知され、電気信号として検出される。粒子がガス中を透過することによって発生する電子イオン対の数は粒子がガス中を透過する際に失ったエネルギーに依存する。従って、電気信号の大きさは粒子が検出器に付与したエネルギーに相当する。また、粒子の飛程は短いので、多くの場合粒子の全エネルギーが検出器中に付与される。従って、BF₃ 検出器から得られるエネルギースペクトルでは、粒子のエネルギーに相当するエネルギー領域にピークが現れる。これは、ガンマ線を検出器した時に見られる連続スペクトルとは異なるため、中性子由来のピークとガンマ線由来の最大エネルギー及び全計数の増加をエネルギースペクトル上で判別することができる。

40

【 0 0 3 2 】

ここでは、中性子検出器をBF₃ 検出器としたが、B 10 検出器やHe 3 検出器などの中性子検出器であっても同様に、中性子検出に伴ったエネルギースペクトル上の構造により中性子検出を判断することができる。

【 0 0 3 3 】

以上説明したように、ガンマ線検出器 1 1 及び中性子検出器 1 2 共に線源 200 の種類ごとに検出されるエネルギースペクトルの形状が異なり、それぞれの検出器がガンマ線及び中性子の両方を検出可能なため、線源 200 がガンマ線源であっても中性子源であって

50

も、2つの検出器の観測方向からガンマ線又は中性子を検出し、ガンマ線又は中性子の3次元的な位置を特定することができる。また、線源200がガンマ線源である場合には、ガンマ線検出器11で得られるエネルギースペクトルを分析することで、核種の特定を行うことができる。

【0034】

したがって、本発明の放射線計測装置によれば、1つの装置で（ガンマ線用、中性子用と異なる装置を使用することなく）任意の方向からの複数種類の放射線を検出し、得られた検出信号から複数の放射線源の3次元的な位置及び種類を特定することが可能であるため、線源の3次元的な位置及び種類の特定にかかる作業時間を大幅に短縮化することが可能となる。したがって、作業者が被ばくするおそれを大幅に低減することができる。

10

【0035】

図1においては、データ処理装置28が放射線検出器11, 12と接続された態様を示しているが、データ処理装置28は放射線検出器（放射線検出部）とは別に設けられていてもよい。例えば、図1に示したように、放射線検出器11, 12に記憶装置29a, 29bを設け、放射線検出器11, 12で測定した放射線信号及び観測方向に関するデータを記憶しておき、該データをデータ媒体を介して放射線検出器11, 12とは別に設けられたデータ処理装置に移動して、線源の3次元的な位置及び核種の特定を行うような構成としてもよい。

【0036】

上述した実施形態では放射線計測装置に2台の放射線検出器（ガンマ線検出器11及び中性子検出器）を搭載する場合について説明したが、線源の3次元的な位置の特定を行うことができる構成を有していれば、放射線検出器は何台搭載されてもよい。また、同種類の放射線検出器を複数台備えていてもよい。例えば、ガンマ線源の種類（核種）を特定する必要が無く、ガンマ線源の3次元的な位置の特定及び中性子源の3次元的な位置の特定を行う場合には、中性子検出器2台を備えたものであってもよく、またガンマ線検出器2台を備えて、ガンマ線源の3次元的な位置及び種類の特定及び中性子源の3次元的な位置の特定を行うようにしてもよい。

20

【0037】

放射線検出部旋回駆動部21a, 21b、遮蔽体101a, 101b及び放射線入射部102a, 102bとしては特に限定は無く、公知の技術を用いることができる。例えば、放射線検出部旋回駆動部21a, 21bとして電動アクチュエータを用いることができる。また、放射線検出部旋回駆動部は自動で駆動されるものに限定されず、手動で駆動されるものであってもよい。遮蔽体101a, 101bとしては、鉛を好ましく用いることができる。放射線入射部102a, 102bとしてはコリメータを用いることができる。また、指向性を有する放射線検出部20a, 20bとしては、図1のように放射線検出器11, 12と遮蔽体101a, 101bと放射線入射部102a, 102bとで構成されるものでもよいし、遮蔽体101a, 101bとコンプトンカメラとで構成されるものであってもよい。

30

【0038】

<第2の実施形態>

本発明に係る放射線計測装置の第2の実施形態を、図7を用いて説明する。図7は本発明の第2の実施形態における放射線検出部の構成の断面を示す模式図である。本実施形態では、主に遮蔽体について説明する。遮蔽体以外の構成については、第一の実施形態と同様である。

40

【0039】

図7において、放射線検出部30は、指向性を有するように、放射線検出器10（ガンマ線検出器又は中性子検出器）の検出面110以外がガンマ線遮蔽体103、中性子吸收材104及び中性子減速材（以下、減速材とも称する）105に覆われ、検出面110の前面にコリメータ102を備えている。

【0040】

50

上述した第1の実施形態のように、ガンマ線及び中性子の両方を検出できる構成とする場合では、ガンマ線検出器11および中性子検出器12がガンマ線と中性子の両方に対して指向性を有する必要がある。言い換えると、ガンマ線検出器11及び中性子検出器12の検出器の検出面以外は、ガンマ線と中性子の両方に対して遮蔽能力を有する必要がある。従って、鉛などのガンマ線遮蔽体103のみでは、中性子に対する遮蔽能力が十分ではない場合もある。このため、ガンマ線遮蔽体103の周囲に中性子吸収材104および中性子減速材105を設置し、中性子に対しても遮蔽能力を有する構造とすることが好ましい。

【0041】

中性子が放射線検出器10に向けて照射されている時、本実施形態の構造によれば、高速中性子を中性子減速材105が減速させて熱中性子とし、中性子吸収材104が該熱中性子を吸収する。熱中性子と中性子吸収材104の反応によって放出される2次粒子は、ガンマ線遮蔽体103によって吸収されるため、遮蔽体を通る中性子が放射線検出器10に影響を及ぼすことを防ぐことができる。

【0042】

中性子減速材105としては、特に限定は無いが、ポリエチレン又はポリプロピレンが好適である。また、中性子吸収材104としては、 B_4C や Gd_2O_3 が好適である。

【0043】

本実施形態の構成によって、ガンマ線および中性子の両方に対して十分な遮蔽能力を有する遮蔽体を提供することができる。

【0044】

なお、放射線を観測する環境が、中性子が減速される環境（例えば、水中）であれば、中性子減速材105を省略してもよい。

【0045】

<第3の実施形態>

本発明に係る放射線計測装置の第3の実施形態を、図8及び9を用いて説明する。図8は本発明の第3の実施形態における放射線計測装置の構成の一部を模式的に示す図であり、図9は本発明の第3の実施形態における放射線計測装置の構成を模式的に示す図である。

【0046】

図8において、ガンマ線検出器11は、放射線を検出する検出面110a以外が遮蔽体101aで覆われ、指向性を有するように検出面110aの前面に放射線入射部102aを備えている。同様に中性子検出器12は放射線を検出する検出面110b以外が遮蔽体101bで覆われ、指向性を有するように検出面110bの前面に放射線入射部102bを備えている。また、第1の光学カメラ13は観測領域Cを観測しており、放射線検出器の視野内に線源200が存在し、ガンマ線検出器11と中性子検出器12による探査により、線源の位置と種類を特定した状況である。

【0047】

図9は本発明の第3の実施形態における放射線計測装置の構成を模式的に示す図である。本実施形態が第1の実施形態と異なる点は、第1の光学カメラ13、旋回角演算部25及び制御部26が具備されていることである。従って、本実施形態においては、これらの構成について説明する。その他の構成については、第1の実施形態又は第2の実施形態と同様である。

【0048】

図9において、ガンマ線検出器11は旋回駆動部21aによって、中性子検出器12は旋回駆動部21bによって、観測方向を決めることができる。ガンマ線検出器11で得られた検出信号は、データ処理装置28'内の波高分析部22aによって、中性子検出器12で得られた検出信号は、データ処理装置28'内の波高分析部22bによって波高分析され、それぞれのエネルギースペクトルが得られる。得られたエネルギースペクトルを元に線源分析部23によって線源の有無及び線源の種類が特定される。特定された結果は、

10

20

30

40

50

第1の光学カメラ13によって得られた光学画像と共に表示部24で表示される。作業者は表示部24を見ながら観測領域を指示することができる。旋回角演算部25は、放射線検出器の観測方向と放射線検出器から観測領域への方向とがなす角度を算出し、制御部26に旋回角を伝達する。制御部26は伝達された角度だけ旋回駆動部21a及び21bを旋回させる。

【0049】

前述したように、放射線源の探査において線源の種類および場所が不明な環境で実施されることがある。その際、観測対象とする空間の情報が無いことも想定される。例えば、本発明に係る放射線計測装置を移動メカに搭載して使用する場合などは、使用する時々によって観測する対象（線源や構造物）が変わる。

10

【0050】

第1の光学カメラ13により得られた光学画像により、作業者は観測対象を周囲の環境と共に可視化して認識することが可能である。さらに図8のように線源200の位置を特定することができた場合には、観測対象のどの位置に線源200が存在するかを作業者が認識することができる。

20

【0051】

本実施形態のように第1の光学カメラ13によって得られた画像を元に作業者が探査位置を指示することで、不必要的探査を実施する必要がなくなり、作業効率が向上する。その際、作業者が指定した観測領域をガンマ線検出器11および中性子検出器12が観測する必要がある。

20

【0052】

そこで、表示部24によって映し出された光学画像を元に、観測者が観測対象を認識し、観測対象中の探査する場所（観測領域）を指示する。指示された観測領域を検出器が観測するように旋回角演算部25が旋回角を算出し、該算出結果を元に、制御部26が旋回駆動部21a及び旋回駆動部21bを駆動させるため、作業者の指示に従って、観測領域を決めることができる。

【0053】

以上説明したように、第1の光学カメラ13、旋回角演算部25及び制御部26の機能により、観測対象が不明な環境においても、効率的に作業を実施することができる。

30

【0054】

<第4の実施形態>

本発明の放射線計測装置の第4の実施形態を、図10を用いて説明する。図10は本発明の第4の実施形態において中性子検出器によって中性子を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。図10は第1の実施形態において、BF₃検出器ではなく、有機シンチレータを用いて中性子を観測した場合に中性子検出器から得られるエネルギースペクトルの一例である。

30

【0055】

本実施例では、中性子検出器12について説明する。その他の機能および構造については、他の実施例と同様である。

40

【0056】

第1の実施形態において、中性子検出器12をBF₃検出器、BF₃検出器又はHe₃検出器に代表される熱中性子検出器として説明した。しかし、中性子源が高速中性子であることが想定される場合もある。そのような場合、中性子検出器12としては、高速中性子の検出に優れた有機シンチレータを用いることができる。

40

【0057】

中性子源を観測していない時のエネルギースペクトル221aと中性子源を観測している時のエネルギースペクトル221bの違いは、エネルギースペクトル221bでは、エネルギースペクトル221aとは異なるエネルギー範囲に計数（図10中、矢印の左隣のピーク）が存在していることである。

50

【0058】

有機シンチレータは発光減衰時間が短いため、高計数率環境においても、複数の信号が重なる現象が起こり難い。従って、観測範囲にガンマ線源を観測した時、BF₃のように、エネルギースペクトル上でガンマ線に基づく連続スペクトルの上限エネルギーが上昇する現象が見られない可能性がある。しかし、ガンマ線源より放出されたガンマ線の計数率が増加するため、図10のエネルギースペクトル221aの計数が増加する。

【0059】

従って、有機シンチレータにより、中性子源を観測した場合は、エネルギースペクトルに構造の変化が見られるため中性子源を観測していると判断でき、ガンマ線源を観測した場合は、構造の変化が見られなかったとしても、低エネルギーの計数の増加が起こるため、ガンマ線源を観測していると判断することができる。

10

【0060】

以上より、ガンマ線検出器11と高速中性子を検出可能な中性子検出器12として有機シンチレータを用いることにより、線源の種類と位置を特定することができる。

【0061】

<第5の実施形態>

本発明の放射線計測装置の第5の実施形態を、図11及び図12を用いて説明する。図11は本発明の第5の実施形態における放射線検出部の構成の断面を模式的に示す図であり、図12は本発明の第5の実施形態においてガンマ線検出器によって中性子を検出したときの検出信号（エネルギースペクトル）の一例を示す図である。

20

【0062】

本実施形態では、放射線検出部40の構成について説明する。その他の機能および構造については、他の実施形態と同様である。

【0063】

図11において、放射線検出部40は、指向性を有するように、ガンマ線検出器11の検出面110a以外が遮蔽体101aに覆われ、検出面110aの前面に放射線入射部102aを備え、さらに検出面110aの前面と放射線入射部102aとの間にコンバータ物質111を具備している。

【0064】

ここでは、ガンマ線検出器11としてCdTe半導体検出器、コンバータ物質111としてGdを用いた場合について説明する。なお、ガンマ線検出器11はCdTeに限られるものではなく、コンバータ111は、中性子と反応して2次粒子を放出する物質であればよく、Gdに限られるものではない。

30

【0065】

第1の実施形態で述べたように、CdTe半導体検出器で中性子を検出する場合、CdTeを構成する同位体と中性子の反応によって放出されるガンマ線を再びCdTe半導体検出器で検出する必要がある。

【0066】

ガンマ線はエネルギーが高いほど物質を透過する能力が高いため、上記過程によって発生したガンマ線は低エネルギーであるほど、検出は容易である（短時間で済む）。言い換えるれば、2次ガンマ線のエネルギーが高いとエネルギースペクトル上でピークを形成するために長い計測時間が必要である。

40

【0067】

Gdは中性子捕獲反応によって、80keV又は181keV等の比較的低エネルギーのガンマ線を放出する。従って、Gdと中性子の反応によって発生したガンマ線をCdTe半導体検出器で検出することは、CdTeと中性子の反応によって発生したガンマ線よりも検出し易い場合がある。

【0068】

図12に示したように、中性子源を観測していない時のエネルギースペクトル231aと中性子源を観測している時のエネルギースペクトル231bの違いは、エネルギースペクトル231bでは、エネルギースペクトル231aでは見られないピーク（図10中、

50

矢印の右隣のピーク)が存在することである。

【0069】

本実施形態で検出するピークは低エネルギーであるため、周囲からより高いガンマ線が入射する場合、エネルギーの高いガンマ線の検出に基づくコンプトン散乱成分にGdと中性子の核反応由来のガンマ線のピークが重なり、図12のエネルギースペクトル231bのようなスペクトルとなる。

【0070】

しかしながら、中性子とコンバータ物質の反応によって、コンバータ物質の種類ごとに固有のエネルギーを持ったガンマ線が放出されるため、着目するエネルギー範囲にコンバータ物質111由来の固有のエネルギーのピークが見られるのであれば、中性子を検出したと判断することができる。10

【0071】

<第6の実施形態>

本発明の放射線計測装置の第6の実施形態を、図13及び図14を用いて説明する。図13及び14は本発明の第6の実施形態における放射線検出部の一例を模式的に示す図である。

【0072】

図13において、放射線検出部50aは、ガンマ線検出器11の放射線を検出する検出面110a以外が遮蔽体101aによって覆われ、指向性を有するように検出面110aの前面に放射線入射部102aを備える構造である。また、検出面110aの前面と放射線入射部102aとの間には、コンバータ物質111が具備されており、さらにコンバータ物質111と放射線入射部102aとの間には中性子減速材121aが具備されている。20

【0073】

図14において、放射線検出部50bは、中性子検出器12の放射線を検出する検出面110b以外が遮蔽体101bによって覆われ、指向性を有するように検出面110bの前面に放射線入射部102bを備える構造である。検出面110bと放射線入射部102bとの間には中性子減速材121bが具備されている。

【0074】

本実施形態の特徴は、減速材121a, 121bを設けたことにある。これらの構成以外は他の実施形態と同様であり、コンバータ物質111は省略してもよい。30

【0075】

減速材121a, 121bは中性子と反応して、中性子の速度を減速させ、熱化させる。従って、本実施形態では、環境中に存在する中性子が熱外又は高速中性子であったとしても、ガンマ線検出器11、中性子検出器12あるいはコンバータ物質111には、熱中性子が入射する構造である。

【0076】

本実施形態により、例えば、観測範囲中の線源200とガンマ線検出器11又は中性子検出器12の間に減速作用を及ぼす物質が無く、線源200が熱外又は高速中性子源であったとしても、ガンマ線検出器11および中性子検出器12において熱中性子を検出することができる。40

【0077】

中性子減速材121a, 121bとしては水、ポリエチレンなどの物質が好ましく、これらはガンマ線に対する遮蔽能力は小さい。従って、ガンマ線検出器11の検出面110aの前面に減速材121aがあったとしてもガンマ線検出に対する影響は小さく、同様に、中性子検出器12の検出面110bの前面に減速材121bがあったとしても、ガンマ線検出に対する影響は小さい。

【0078】

本実施形態で示した構成を用いると、中性子に対する減速作用の少ない環境中においても線源の種類及び位置を特定することができる。50

【0079】

<第7の実施形態>

本発明の放射線計測装置の第7の実施形態を、図15を用いて説明する。図15は本発明の第7の実施形態における表示部の表示画面の一例を模式的に示す図である。

【0080】

図15は、第3の実施形態(図9)において、観測エリア表示画面301中に、構造物304が存在し、第1の光学カメラ13(図示せず)から構造物304へ向けた視線の延長上に線源200(図示せず)が存在している状況である。

【0081】

本実施例では、表示画面について説明する。表示画面以外の構成については、上記した第3の実施形態と同様である。

10

【0082】

線源探査により線源が見つかると、観測エリア表示画面301上に線源表示305が示される。線源表示305は構造物304と重なって表示されるが、放射線源位置測定部27によって得られた奥行き方向の情報がデータ表示画面302に距離として表示される。データ表示画面302には、例えば第1の光学カメラ13からの距離、線源の種類及び線源の強度が表示される。また、ガンマ線検出器11で得られたエネルギースペクトルおよび中性子検出器12で得られたエネルギースペクトルがスペクトル表示画面303に表示される。

20

【0083】

データ表示画面302に示された距離の情報と、例えばレーザー距離計などで得られた構造物との距離の情報から、線源表示305が構造物304の表面なのか、内部なのか、背面なのか、背後なのかという情報を得ることができる。

【0084】

従って、本実施形態によれば、第1の光学カメラ13で取得した2次元画像を用いて、3次元の核種分布の情報を提供することができる。

【0085】

<第8の実施形態>

本発明の放射線計測装置の第8の実施形態を、図16を用いて説明する。図16は本発明の第8の実施形態における放射線計測装置の構成を模式的に示す図である。

30

【0086】

本実施形態と第1の実施形態及び第3の実施形態との違いは、第1の光学カメラ13の他に、第2の光学カメラ14と、3次元形状構成部31を有することである。

【0087】

図16に示したように、本実施形態の放射線計測装置100'は、第1の光学カメラ13に加えて第2の光学カメラ14を備えることで、観測対象エリアの光学画像を2方向から得る。2方向から取得した光学画像に基づいて、3次元形状構成部31により、観測対象エリア中の構造物の3次元形状を構成することができる。

【0088】

このような装置構成とすることで、線源の位置だけでなく、観測対象エリアの情報も3次元として得ることができるために、3次元の構造物の形状情報に3次元の線源位置情報を対応させて記録することができる。

40

【0089】

<第9の実施形態>

本発明の放射線計測装置の第9の実施形態を、図17を用いて説明する。図17は本発明の第9の実施形態における表示部の表示画面の一例を模式的に示す図である。

【0090】

観測エリアの3次元情報を元に線源200の位置を示す方法として、3次元の構造物の図を表示する方法がある。この時、3次元情報を得る方法は、第8の実施形態で示した方法でも良いし、CADなどのデータをあらかじめデータベースとして装置内に保持し、読

50

みだす機能を有していても良い。

【0091】

図17は、観測エリア中に存在するある構造物401上に線源200(図示せず)があつた時に、表示部24(図示せず)により出力される線源位置表示の一例である。表示画面411では、構造物401は3次元の図として表示され、その構造物401上に線源表示402aが構造物401の表示上の前面以外の場所に示されている。本実施形態の表示部24は、画面上に表示された構造物や視線を回転させる機能を有しており、表示画面411の視線を回転させ、表示画面412が得られる。表示画面412では、線源表示402bが構造物401の表示上の前面に現れている。

【0092】

本実施形態によれば、ガンマ線検出器11と中性子検出器12によって特定した線源200(図示せず)の3次元空間上の位置を表示することができる。

【0093】

<第10の実施形態>

本発明の放射線計測装置の第10の実施形態を、図18を用いて説明する。図18は本発明の第10の実施形態における放射線検出部の構成の断面を模式的に示す図である。

【0094】

図18において、アレイ型ガンマ線検出器511は、遮蔽体101aで覆われ、アレイ型ガンマ線検出器511が画素ごとに指向性を有するように放射線入射部にピンホールコリメータ501を備えている。同様に中性子検出器12は遮蔽体101bで覆われ、指向性を有するように周囲の1方向にコリメータ102bを備えている。また、光学カメラ13は観測領域Cを観測しており、視野内に線源200が存在し、アレイ型ガンマ線検出器11と中性子検出器12による探査により、線源の位置と種類を特定した状況である。

【0095】

図17では、アレイ型ガンマ線検出器11のいずれかの画素が観測する範囲は視線520aから視線520bの間であり、そのうち一つの画素の視線520cが線源200を観測している。画素は紙面に対して垂直な方向にも複数あり、紙面に平行な方向、垂直な方向のいずれに対しても画素数に制限はない。

【0096】

本実施例の構成では、光学カメラの観測範囲とアレイ型ガンマ線検出器511の観測範囲がほぼ一致しているため、アレイ型ガンマ線検出器511を旋回させる必要はない。従って、旋回駆動部は中性子検出器12用のものだけで良い。

【0097】

このため、アレイ型ガンマ線検出器511で線源方向が特定された後、中性子検出器12を、線源が存在する視線上を順次観測することで、線源の位置の特定に係る作業時間を短縮することができる。

【0098】

本実施形態では、ガンマ線検出器を複数画素で構成される検出器としたが、中性子検出器を複数画素で構成される検出器としても良く、両検出器を複数画素で構成した場合は、検出器の駆動機構が無くても良い。また、複数画素で構成される検出器を用いた場合であっても、駆動機構を有していても良い。

<第11の実施形態>

本発明の放射線計測装置の第11の実施形態を説明する。

【0099】

本発明の放射線計測装置の検出器として、ガンマ線検出器11と中性子検出器12を用いた。しかし、既に説明したように、ガンマ線検出器11はガンマ線と中性子を検出する機能を有している。従って、中性子検出器12の代わりにガンマ線検出器11を用いたとしても、中性子源とガンマ線源の特定は可能である。

【0100】

以上、説明したように、本発明に係る放射線計測装置によれば、1つの装置で任意の方

10

20

30

40

50

向からの複数種類の放射線を検出し、得られた検出信号から複数の放射線源の3次元的な位置及び種類を特定することが可能な放射線計測装置を提供することができる事が示された。

【0101】

なお、上述した実施形態や実施例は、本発明の理解を助けるために説明したものであり、本発明は、記載した具体的な構成のみに限定されるものではない。例えば、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。すなわち、本発明は、本明細書の実施形態や実施例の構成の一部について、削除・他の構成に置換・他の構成の追加をすることが可能である。

10

【符号の説明】

【0102】

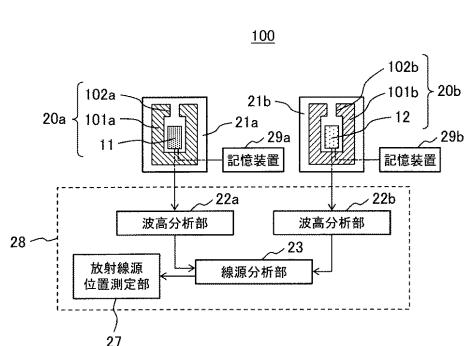
10 ... 放射線検出器、11 ... ガンマ線検出器、12 ... 中性子検出器、13 ... 第1の光学カメラ、14 ... 第2の光学カメラ、20a, 20b, 30, 40, 50a, 50b, 60a, 60b ... 放射線検出部、21a, 21b ... 放射線検出器旋回駆動部、22a, 22b ... 波高分析部、23 ... 線源分析部、24 ... 表示部、25 ... 旋回角演算部、26 ... 制御部、27 ... 放射線源位置測定部、28, 28', 28'' ... データ処理装置、29a, 29b ... 記憶装置、31 ... 3次元形状構成部、100, 100', 100'' ... 放射線計測装置、101a, 101b ... 放射線遮蔽体、102, 102a, 102b ... 放射線入射部、103 ... ガンマ線遮蔽体、104 ... 中性子吸収材、105 ... 中性子減速材、110, 110a, 110b ... 放射線検出面、111 ... コンバータ物質、121a, 121b ... 減速材、200 ... 放射線源、201a ... ガンマ線検出器におけるガンマ線源非観測時のエネルギースペクトル、201b ... ガンマ線検出器におけるガンマ線源観測時のエネルギースペクトル、202a, 231a ... ガンマ線検出器における中性子非観測時のエネルギースペクトル、202b, 231b ... ガンマ線検出器における中性子観測時のエネルギースペクトル、212a, 221a 中性子検出器における中性子非観測時のエネルギースペクトル、212b, 221b ... 中性子検出器における中性子観測時のエネルギースペクトル、211a ... 中性子検出器におけるガンマ線非観測時のエネルギースペクトル、211b ... 中性子検出器におけるガンマ線観測時のエネルギースペクトル、301, 411, 412 ... 観測エリア表示画面、302 ... データ表示画面、303 ... スペクトル表示画面、304, 401 ... 構造物、305, 402a, 402b ... 線源表示、501 ... ピンホールコリメータ、511 ... アレイ型ガンマ線検出器、520a, 520b, 520c ... アレイ型ガンマ線検出器の画素の視線、A ... ガンマ線検出器観測方向、B ... 中性子検出器観測方向、C ... 光学カメラ観測領域。

20

30

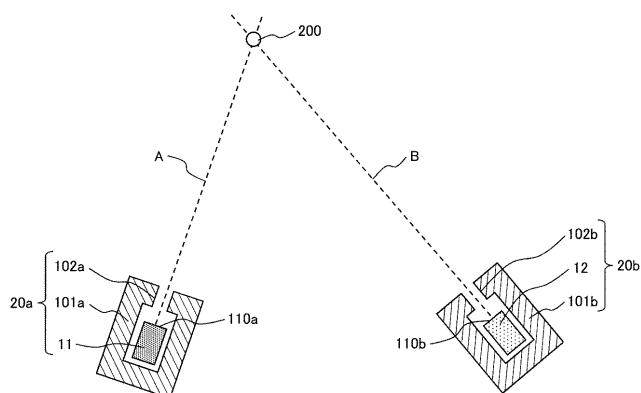
【図 1】

図 1



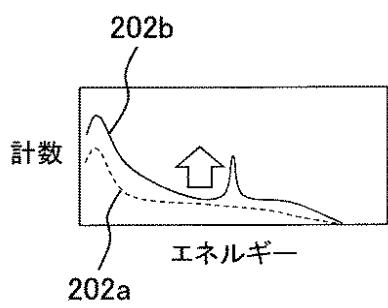
【図 2】

図 2



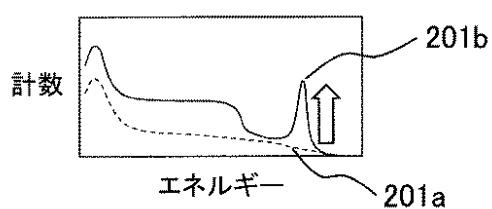
【図 5】

図 5



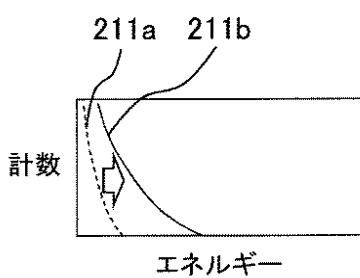
【図 3】

図 3



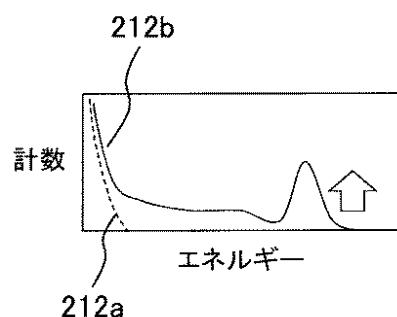
【図 4】

図 4



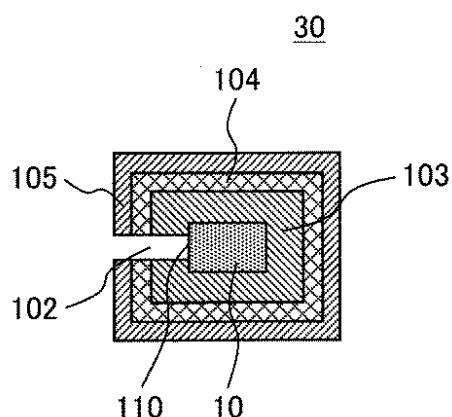
【図 6】

図 6



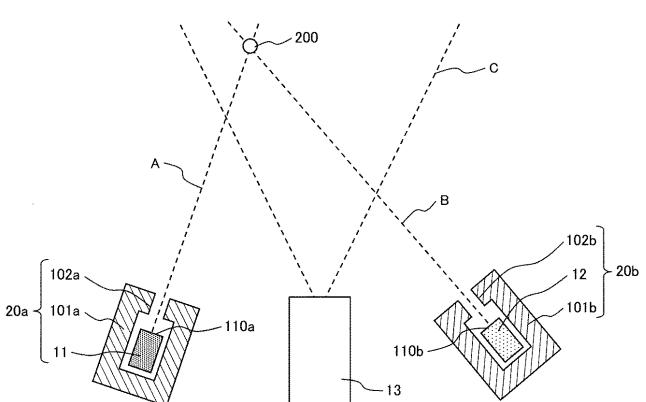
【図 7】

図 7



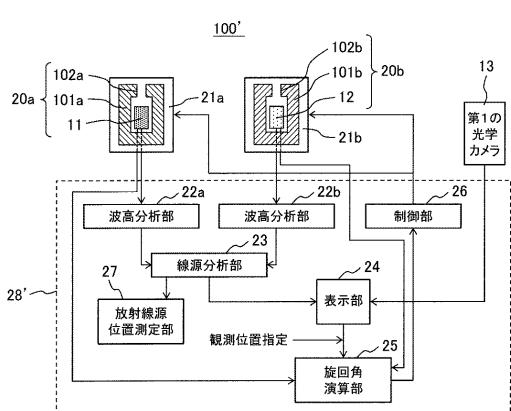
【図 8】

図 8



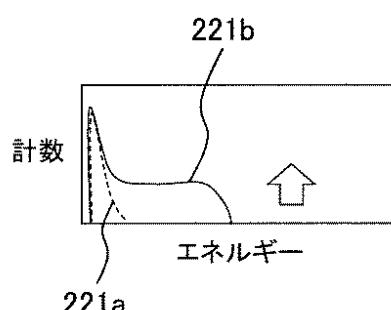
【図 9】

図 9



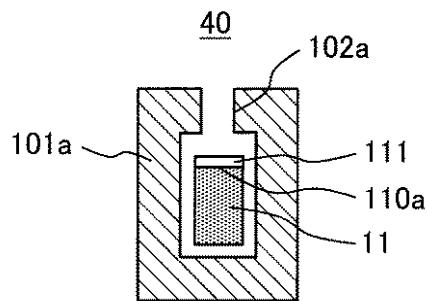
【図 10】

図 10



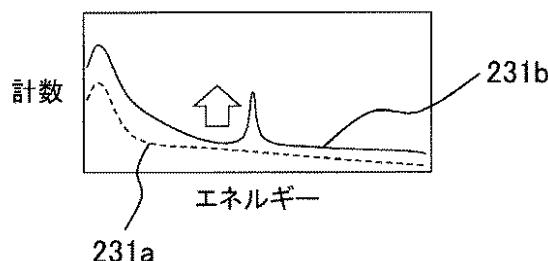
【図 11】

図 11



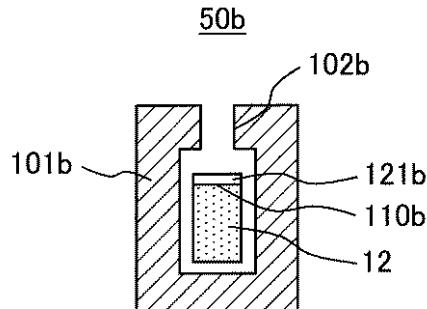
【図 12】

図 12



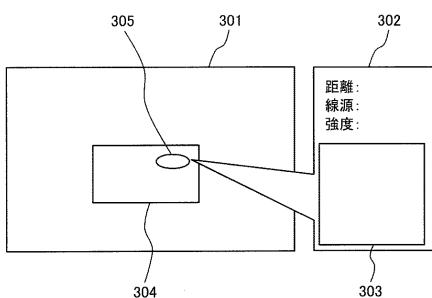
【図 14】

図 14



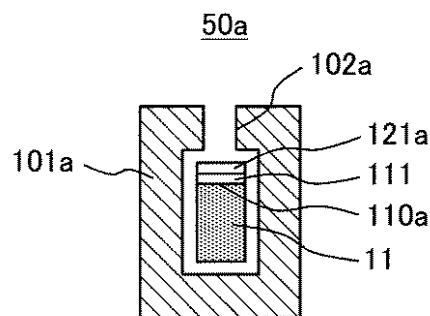
【図 15】

図 15



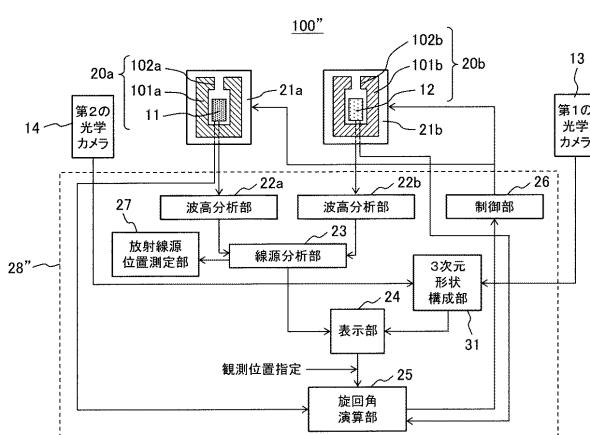
【図 13】

図 13



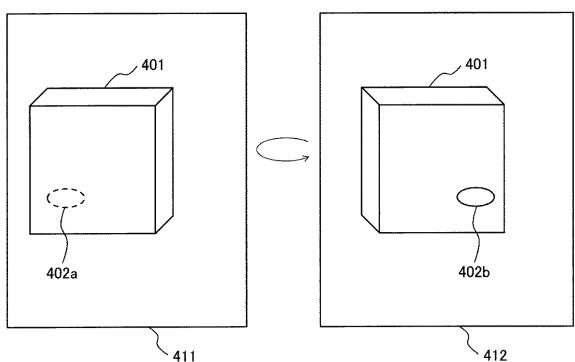
【図 16】

図 16



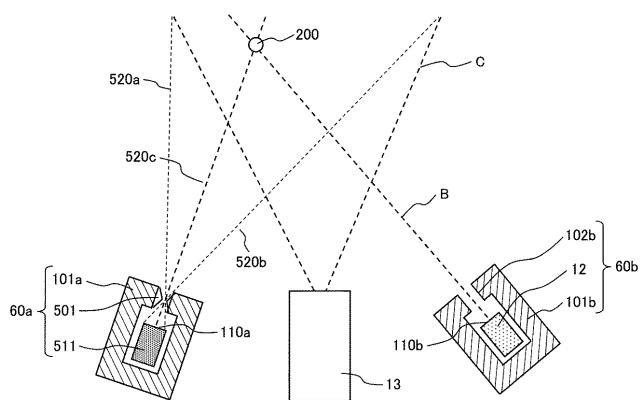
【図 17】

図 17



【図 18】

図 18



フロントページの続き

(72)発明者 上野 雄一郎

東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内

(72)発明者 石津 崇章

東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内

(72)発明者 高橋 勲

東京都千代田区丸の内一丁目 6 番 6 号 株式会社日立製作所内

F ターム(参考) 2G188 AA19 AA23 BB04 BB06 BB09 BB15 BB18 CC05 CC08 CC29

DD16 DD23 DD24 DD30 DD31 EE01 EE14 EE25 EE28 GG01

GG02 GG06