

(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 I	テーマコード (参考)
G 0 1 T 1/167 (2006.01)	G O 1 T 1/167 C	2 G 1 8 8
G 0 1 T 1/16 (2006.01)	G O 1 T 1/16 A	
G 0 1 T 1/36 (2006.01)	G O 1 T 1/36 A	
G 0 1 T 3/00 (2006.01)	G O 1 T 3/00 H	
G 0 1 T 3/06 (2006.01)	G O 1 T 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)
 (22) 出願日 平成26年3月27日 (2014.3.27)

(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
 (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

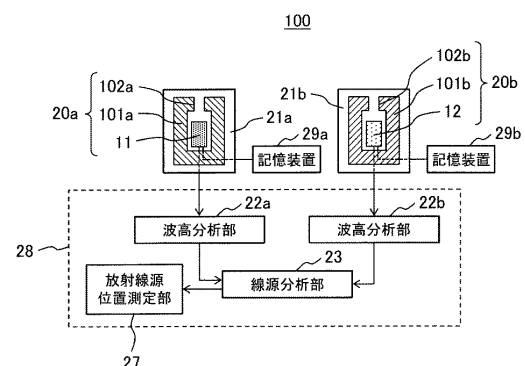
(57) 【要約】 (修正有)

【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とに基づいてガンマ線源の 3 次元的位置を特定し、

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とに基づいて中性子源の 3 次元的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。

【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。

【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。

【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 C d T e 又は C Z T 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。

【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ク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。核燃料の一部を探索する際には、ガンマ線源の探索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。探索範囲が広く、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員の被ばくが懸念されるため、効率的に線源の探索を行う必要がある。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、
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、

20

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。

【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。

40

【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挙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 次元的位置が算出される。

【0015】

(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】

10

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に示した巡回駆動部によって巡回させ、任意の方向を探索した結果、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（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（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。

20

【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】

30

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、ガンマ線的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。

40

【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

50

。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上の全吸収ピークは、ガンマ線検出器 11 に入射したガンマ線がガンマ線検出器 11 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。

【0022】

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 211a 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 211b 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 12 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

【0023】

上記したように線源 200 がガンマ線源であった場合、ガンマ線検出器 11 および中性子検出器 12 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。

【0024】

次に線源 200 が中性子源だった場合について説明する。

【0025】

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 202a と中性子源を観測している時のエネルギースペクトル 202b の大きな違いは、エネルギースペクトル 202b では、エネルギースペクトル 202a 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

【0026】

ガンマ線検出器 11 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 11 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。

【0027】

本実施形態では、ガンマ線検出器 11 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,) 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 202b 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

40

50

を検出することで、前記ガンマ線検出器 11 に中性子が入射したと判断することができる。

【0028】

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 11 で検出し易い適切な反応を選択することが好ましい。

10

【0029】

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 11 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

【0030】

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 12 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 12 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。

【0031】

30

本実施形態では、中性子検出器 12 の一例として、 BF_3 検出器を用いた場合について説明する。 BF_3 検出器は BF_3 （三フッ化ホウ素）ガスを封入した検出器である。前記 BF_3 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、 BF_3 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

【0032】

ここでは、中性子検出器を BF_3 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。

【0033】

以上説明したように、ガンマ線検出器 11 及び中性子検出器 12 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いてもよい。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 >

40

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。

【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、中性子吸収材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には、ガンマ線検出器 1 1 および中性子検出器 1 2 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 1 1 及び中性子検出器 1 2 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 1 0 3 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 1 0 3 の周囲に中性子吸収材 1 0 4 および中性子減速材 1 0 5 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。

【 0 0 4 1 】

中性子が放射線検出器 1 0 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 1 0 5 が減速させて熱中性子とし、中性子吸収材 1 0 4 が該熱中性子を吸収する。熱中性子と中性子吸収材 1 0 4 の反応によって放出される 2 次粒子は、ガンマ線遮蔽体 1 0 3 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 1 0 に影響を及ぼすことを防ぐことができる。

【 0 0 4 2 】

中性子減速材 1 0 5 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 1 0 4 としては、 B_4C や Gd_2O_3 が好適である。

【 0 0 4 3 】

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。

【 0 0 4 4 】

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 1 0 5 を省略してもよい。

【 0 0 4 5 】

< 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。

【 0 0 4 6 】

図 8 において、ガンマ線検出器 1 1 は、放射線を検出する検出面 1 1 0 a 以外が遮蔽体 1 0 1 a で覆われ、指向性を有するように検出面 1 1 0 a の前面に放射線入射部 1 0 2 a を備えている。同様に中性子検出器 1 2 は放射線を検出する検出面 1 1 0 b 以外が遮蔽体 1 0 1 b で覆われ、指向性を有するように検出面 1 1 0 b の前面に放射線入射部 1 0 2 b を備えている。また、第 1 の光学カメラ 1 3 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 2 0 0 が存在し、ガンマ線検出器 1 1 と中性子検出器 1 2 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。

【 0 0 4 7 】

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 1 3、旋回角演算部 2 5 及び制御部 2 6 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。

【 0 0 4 8 】

図 9 において、ガンマ線検出器 1 1 は旋回駆動部 2 1 a によって、中性子検出器 1 2 は旋回駆動部 2 1 b 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 1 1 で得られた検出信号は、データ処理装置 2 8' 内の波高分析部 2 2 a によって、中性子検出器 1 2 で得られた検出信号は、データ処理装置 2 8' 内の波高分析部 2 2 b 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 2 3 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。

【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、不必要な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。

【0054】

30

< 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。

【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。

【0056】

40

第 1 の実施形態において、中性子検出器 12 を B⁻¹⁰ 検出器、BF₃ 検出器又は He⁻³ 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。

【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。

【0058】

50

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、 BF_3 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。

【0062】

20

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

【 0 0 7 9 】

< 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 1 5 を用いて説明する。図 1 5 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。

【 0 0 8 0 】

図 1 5 は、第 3 の実施形態（図 9 ）において、観測エリア表示画面 3 0 1 中に、構造物 3 0 4 が存在し、第 1 の光学カメラ 1 3 （図示せず）から構造物 3 0 4 へ向けた視線の延長上に線源 2 0 0 （図示せず）が存在している状況である。

【 0 0 8 1 】

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。

【 0 0 8 2 】

線源探索により線源が見つかり、観測エリア表示画面 3 0 1 上に線源表示 3 0 5 が示される。線源表示 3 0 5 は構造物 3 0 4 と重なって表示されるが、放射線源位置測定部 2 7 によって得られた奥行き方向の情報がデータ表示画面 3 0 2 に距離として表示される。データ表示画面 3 0 2 には、例えば第 1 の光学カメラ 1 3 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 1 1 で得られたエネルギースペクトルおよび中性子検出器 1 2 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 3 0 3 に表示される。

【 0 0 8 3 】

データ表示画面 3 0 2 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 3 0 5 が構造物 3 0 4 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。

【 0 0 8 4 】

従って、本実施形態によれば、第 1 の光学カメラ 1 3 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。

【 0 0 8 5 】

< 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 1 6 を用いて説明する。図 1 6 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。

【 0 0 8 6 】

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 1 3 の他に、第 2 の光学カメラ 1 4 と、3 次元形状構成部 3 1 を有することである。

【 0 0 8 7 】

図 1 6 に示したように、本実施形態の放射線計測装置 1 0 0 ' ' は、第 1 の光学カメラ 1 3 に加えて第 2 の光学カメラ 1 4 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 3 1 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。

【 0 0 8 8 】

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、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可能となる。

【 0 0 8 9 】

< 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 1 7 を用いて説明する。図 1 7 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。

【 0 0 9 0 】

観測エリアの 3 次元情報を元に線源 2 0 0 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、C A D 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

10

20

30

40

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）があった時に、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ことが示された。

【 0 1 0 1 】

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。

【 符号の説明 】

【 0 1 0 2 】

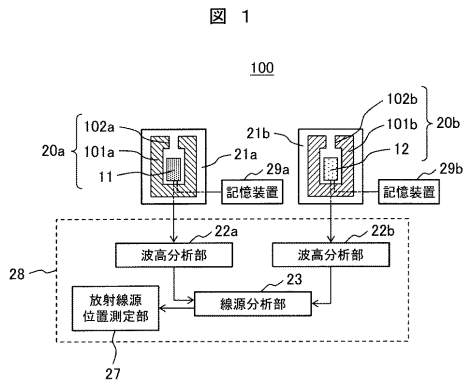
1 0 ... 放射線検出器、1 1 ... ガンマ線検出器、1 2 ... 中性子検出器、1 3 ... 第 1 の光学カメラ、1 4 ... 第 2 の光学カメラ、2 0 a , 2 0 b , 3 0 , 4 0 , 5 0 a , 5 0 b , 6 0 a , 6 0 b ... 放射線検出部、2 1 a , 2 1 b ... 放射線検出器旋回駆動部、2 2 a , 2 2 b ... 波高分析部、2 3 ... 線源分析部、2 4 ... 表示部、2 5 ... 旋回角演算部、2 6 ... 制御部、2 7 ... 放射線源位置測定部、2 8 , 2 8 ' , 2 8 ' ' ... データ処理装置、2 9 a , 2 9 b ... 記憶装置、3 1 ... 3 次元形状構成部、1 0 0 , 1 0 0 ' , 1 0 0 ' ' ... 放射線計測装置、1 0 1 a , 1 0 1 b ... 放射線遮蔽体、1 0 2 , 1 0 2 a , 1 0 2 b ... 放射線入射部、1 0 3 ... ガンマ線遮蔽体、1 0 4 ... 中性子吸収材、1 0 5 ... 中性子減速材、1 1 0 , 1 1 0 a , 1 1 0 b ... 放射線検出面、1 1 1 ... コンバータ物質、1 2 1 a , 1 2 1 b ... 減速材、2 0 0 ... 放射線源、2 0 1 a ... 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、2 0 1 b ... 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、2 0 2 a , 2 3 1 a ... 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、2 0 2 b , 2 3 1 b ... 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、2 1 2 a , 2 2 1 a 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、2 1 2 b , 2 2 1 b ... 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、2 1 1 a ... 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、2 1 1 b ... 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、3 0 1 , 4 1 1 , 4 1 2 ... 観測エリア表示画面、3 0 2 ... データ表示画面、3 0 3 ... スペクトル表示画面、3 0 4 , 4 0 1 ... 構造物、3 0 5 , 4 0 2 a , 4 0 2 b ... 線源表示、5 0 1 ... ピンホールコリメータ、5 1 1 ... アレイ型ガンマ線検出器、5 2 0 a , 5 2 0 b , 5 2 0 c ... 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。

10

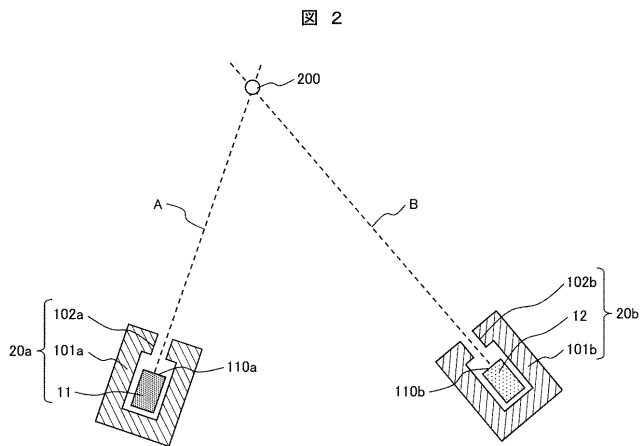
20

30

【図 1】

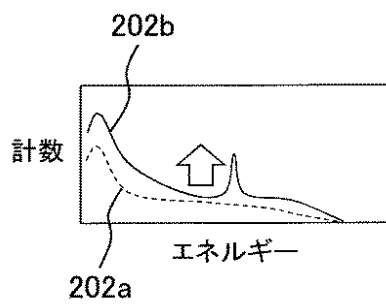


【図 2】



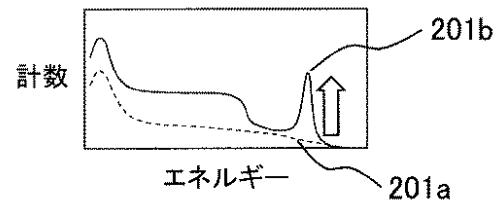
【図 5】

図 5



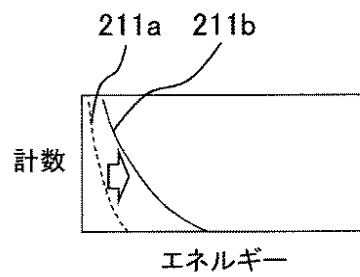
【図 3】

図 3



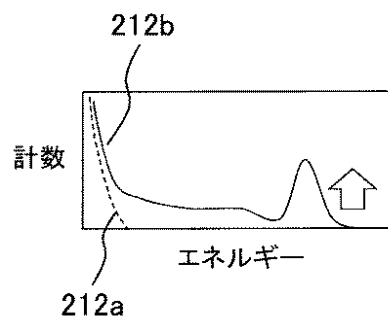
【図 4】

図 4

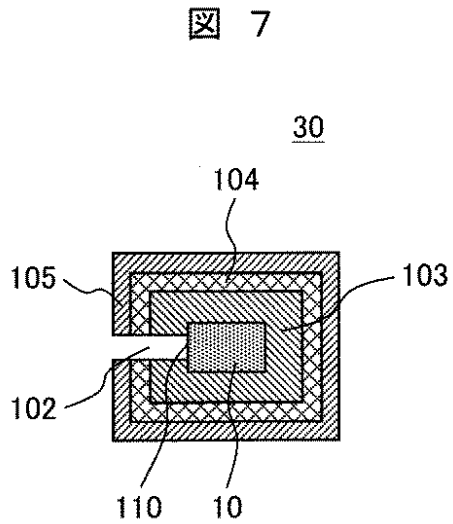


【図 6】

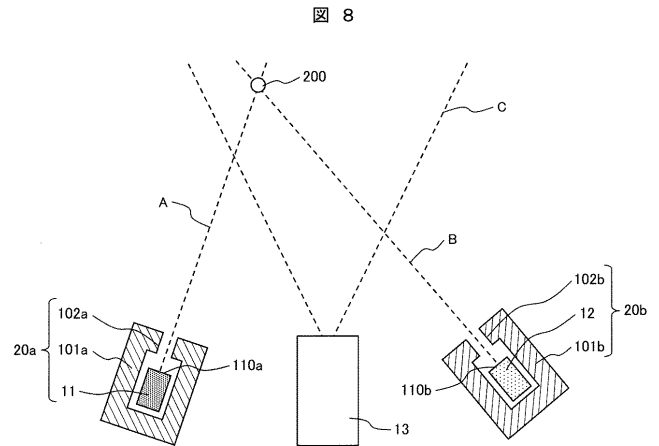
図 6



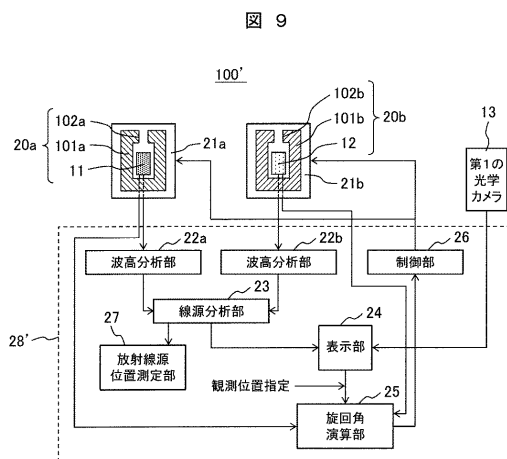
【圖 7】



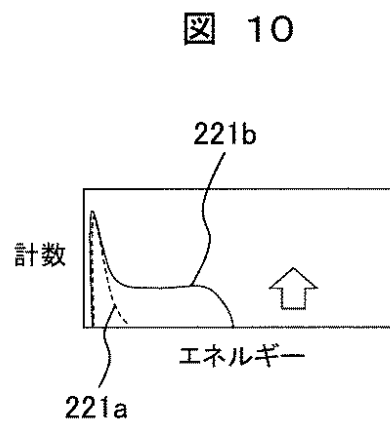
【 図 8 】



【 図 9 】

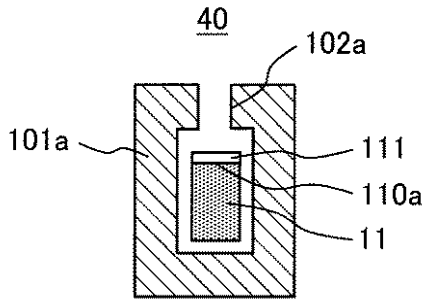


【 ☒ 1 0 】



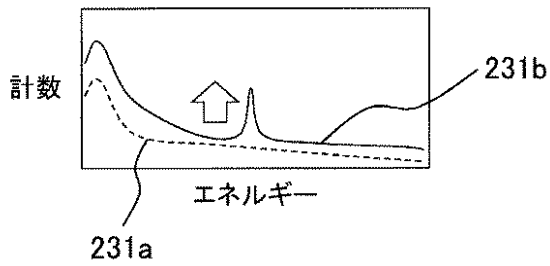
【図 1 1】

図 11



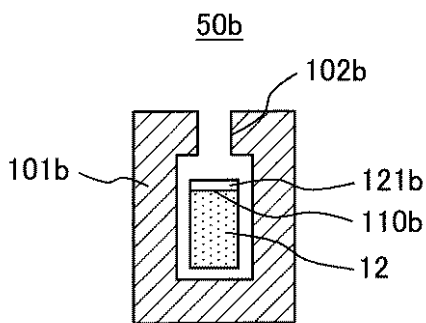
【図 1 2】

図 12



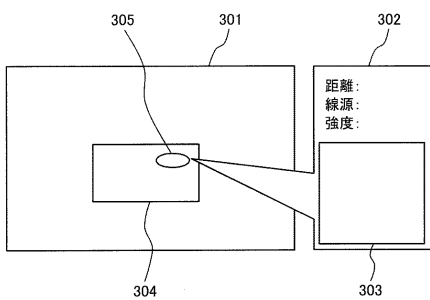
【図 1 4】

図 14



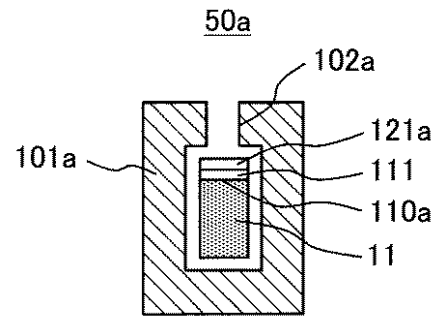
【図 1 5】

図 15



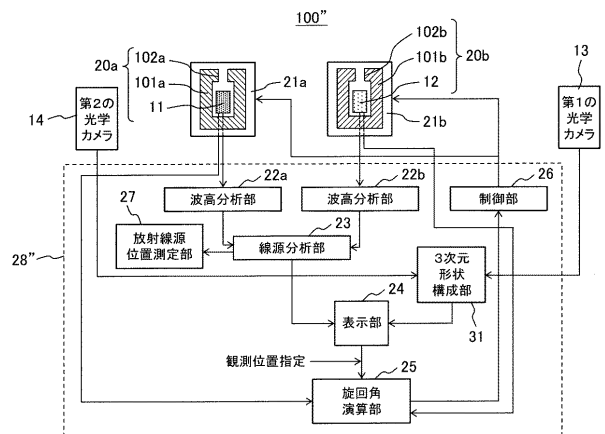
【図 1 3】

図 13



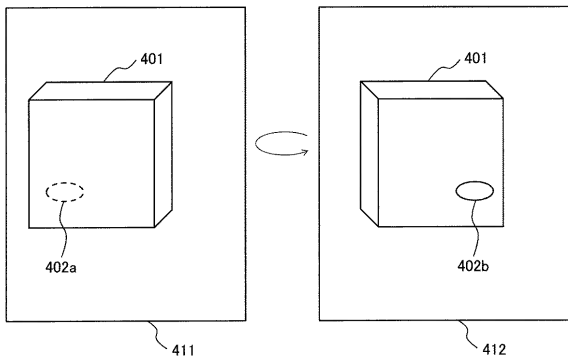
【図 1 6】

図 16



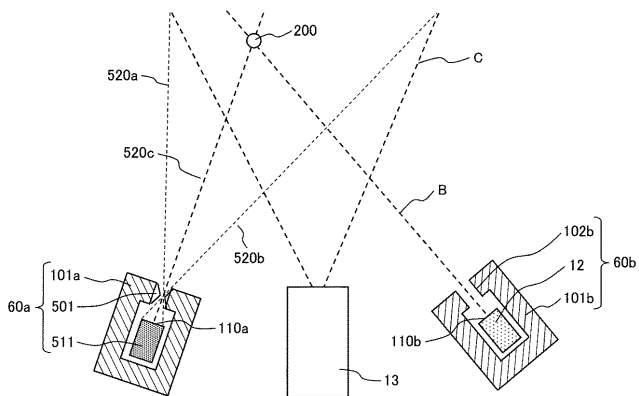
【 図 1 7 】

図 17



【 図 1 8 】

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