

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4338177号
(P4338177)

(45) 発行日 平成21年10月7日(2009.10.7)

(24) 登録日 平成21年7月10日(2009.7.10)

(51) Int.Cl.	F I
GO 1 T 1/20 (2006.01)	GO 1 T 1/20 G
GO 1 T 1/161 (2006.01)	GO 1 T 1/20 B
	GO 1 T 1/20 D
	GO 1 T 1/161 A

請求項の数 7 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2003-67094 (P2003-67094)	(73) 特許権者	301032942
(22) 出願日	平成15年3月12日 (2003. 3. 12)		独立行政法人放射線医学総合研究所
(65) 公開番号	特開2004-279057 (P2004-279057A)		千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
(43) 公開日	平成16年10月7日 (2004. 10. 7)	(73) 特許権者	000001993
審査請求日	平成17年9月28日 (2005. 9. 28)		株式会社島津製作所
			京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地
		(73) 特許権者	000236436
			浜松ホトニクス株式会社
			静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100089978
			弁理士 塩田 辰也
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元放射線位置検出器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光入射面へ入射した光の入射位置および強度に応じた電気信号を出力する受光素子と、前記受光素子の光入射面上に設けられ、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させる直方体形状のシンチレータセルがM行N列（ただし、M，Nは3以上の整数）に2次元配列されてなるシンチレータアレイをK層（ただし、Kは2以上の整数）含み、これらK層のシンチレータアレイが前記受光素子の光入射面に積層されたシンチレータユニットと、

を備え、

前記K層のシンチレータアレイそれぞれにおいて、隣り合う2シンチレータセル間の媒質が前記シンチレーション光に対して反射材および透過材の何れか一方のみであり、

前記K層のシンチレータアレイのうちの第k層のシンチレータアレイにおいて第m行第n列に配置されたシンチレータセルを $C_{k,m,n}$ （ただし、 $1 \leq k \leq K, 1 \leq m \leq M, 1 \leq n \leq N$ ）と表したときに、

前記K層のシンチレータアレイのうちの第k-1層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k-1,m,n}$ と、第k層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k,m,n}$ とで、少なくとも1つの同一側面の光学条件が互いに異なり（ただし、ここでは、 $1 < m < M, 1 < n < N$ ）、

第m行第n列に配置されたシンチレータセル $C_{k,m,n}$ の4つの側面における前記透過材および前記反射材の配置の組み合わせが前記第k-1層のシンチレータアレイと前記第

10

20

k 2 層のシンチレータアレイとの間で異なる（ただし、ここでは、 $1 < m < M$, $1 < n < N$ ）、

ことを特徴とする 3 次元放射線位置検出器。

【請求項 2】

光入射面へ入射した光の入射位置および強度に応じた電気信号を出力する受光素子と、前記受光素子の光入射面上に設けられ、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させる直方体形状のシンチレータセルが M 行 N 列（ただし、M, N は 3 以上の整数）に 2 次元配列されてなるシンチレータアレイを K 層（ただし、K は 2 以上の整数）含み、これら K 層のシンチレータアレイが前記受光素子の光入射面に積層されたシンチレータユニットと、

10

を備え、

前記 K 層のシンチレータアレイのうちの第 k 層のシンチレータアレイにおいて第 m 行第 n 列に配置されたシンチレータセルを $C_{k, m, n}$ （ただし、 $1 \leq k \leq K$, $1 \leq m \leq M$, $1 \leq n \leq N$ ）と表したときに、

前記 K 層のシンチレータアレイのうちの第 k 1 層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k-1, m, n}$ と、第 k 2 層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k+1, m, n}$ とで、少なくとも 1 つの同一側面の光学条件が互いに異なり（ただし、ここでは、 $1 < m < M$, $1 < n < N$ ）、

前記 K 層のシンチレータアレイそれぞれにおいて、隣り合う各 2 シンチレータセル間の媒質の全体が前記シンチレーション光に対して反射材および透過材の何れか一方のみである、

20

ことを特徴とする 3 次元放射線位置検出器。

【請求項 3】

光入射面へ入射した光の入射位置および強度に応じた電気信号を出力する受光素子と、前記受光素子の光入射面上に設けられ、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させる直方体形状のシンチレータセルが M 行 N 列（ただし、M, N は 3 以上の整数）に 2 次元配列されてなるシンチレータアレイを K 層（ただし、K は 2 以上の整数）含み、これら K 層のシンチレータアレイが前記受光素子の光入射面に積層されたシンチレータユニットと、

30

を備え、

前記 K 層のシンチレータアレイのうちの第 k 層のシンチレータアレイにおいて第 m 行第 n 列に配置されたシンチレータセルを $C_{k, m, n}$ （ただし、 $1 \leq k \leq K$, $1 \leq m \leq M$, $1 \leq n \leq N$ ）と表したときに、

前記 K 層のシンチレータアレイのうちの第 k 1 層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k-1, m, n}$ と、第 k 2 層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k+1, m, n}$ とで、少なくとも 1 つの同一側面の光学条件が互いに異なり（ただし、ここでは、 $1 < m < M$, $1 < n < N$ ）、

前記第 k 1 層のシンチレータアレイにおいて、シンチレータセル $C_{k-1, p, n}$ とシンチレータセル $C_{k-1, p+1, n}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{k-1, m, q}$ とシンチレータセル $C_{k-1, m, q+1}$ との間の媒質が、前記シンチレーション光に対して反射材であり、他のシンチレータセル間の媒質が、前記シンチレーション光に対して透過材であり（ただし、p および q それぞれは公差が 2 の等差数列の各整数値。 $1 \leq p < M$, $1 \leq q < N$ ）、

40

前記第 k 2 層のシンチレータアレイにおいて、シンチレータセル $C_{k+1, r, n}$ とシンチレータセル $C_{k+1, r+1, n}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{k+1, m, s}$ とシンチレータセル $C_{k+1, m, s+1}$ との間の媒質が、前記シンチレーション光に対して反射材であり、他のシンチレータセル間の媒質が、前記シンチレーション光に対して透過材である（ただし、r および s それぞれは公差が 2 の等差数列の各整数値。 $1 \leq r < M$, $1 \leq s < N$ 。「p r」または「q s」）、

ことを特徴とする 3 次元放射線位置検出器。

50

【請求項 4】

前記シンチレータユニットで発生したシンチレーション光が前記受光素子の光入射面に入射して前記受光素子から出力された電気信号を入力し、この電気信号に基づいて、前記シンチレータユニットにおける放射線吸収位置を求める演算部を更に備えることを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れか 1 項に記載の 3 次元放射線位置検出器。

【請求項 5】

前記受光素子が、前記電気信号を出力する複数の出力端子を有し、
前記演算部が、前記受光素子の複数の出力端子それぞれから出力される電気信号を処理して、前記受光素子へのシンチレーション光の入射位置を求め、そのシンチレーション光の入射位置に基づいて、前記シンチレータユニットにおける放射線吸収位置を求める、
ことを特徴とする請求項 4 記載の 3 次元放射線位置検出器。

10

【請求項 6】

前記受光素子が、前記電気信号を出力する複数の出力端子を有し、
前記演算部が、前記受光素子の複数の出力端子それぞれから出力される電気信号の値の和に基づいて、前記シンチレータユニットにおける放射線吸収エネルギーを求める、
ことを特徴とする請求項 4 記載の 3 次元放射線位置検出器。

【請求項 7】

前記演算部がシンチレータセル毎に放射線吸収エネルギーを求めることを特徴とする請求項 4 記載の 3 次元放射線位置検出器。

【発明の詳細な説明】

20

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、シンチレータユニットと受光素子とを含む 3 次元放射線位置検出器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

3 次元放射線位置検出器は、例えば P E T (positron emission tomography) 装置において、陽電子放出アイソトープ (R I 線源) が投入された被検体内における電子・陽電子の対消滅に伴って発生し互いに逆方向に飛行する 1 対の 線光子 (エネルギー 5 1 1 k e V) を検出する放射線検出器として用いられる。P E T 装置は、放射線検出器により 線光子対を同時計数法により検出し、この同時計数情報を蓄積してヒストグラムを作成する。そして、P E T 装置は、この作成されたヒストグラムに基づいて、測定空間における 線光子対の発生頻度の空間分布を表す画像を再構成する。この P E T 装置は核医学分野等で重要な役割を果たしており、これを用いて例えば生体機能や脳の高次機能の研究を行うことができる。

30

【0003】

このような P E T 装置の放射線検出器として好適に用いられ得る 3 次元放射線位置検出器は、シンチレータユニットおよび受光素子を含む (例えば特許文献 1 や非特許文献 1 を参照)。このうち、受光素子は、光入射面へ入射した光の入射位置および強度に応じた電気信号を出力する。また、シンチレータユニットは、受光素子の光入射面上に設けられ、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させるシンチレータセルが 2 次元配列されてなるシンチレータアレイを K 層 (ただし、K は 2 以上の整数) 含み、これら K 層のシンチレータアレイが受光素子の光入射面に垂直な方向に積層されたものである。

40

【0004】

特に、特許文献 1 に開示された 3 次元放射線位置検出器では、K 層のシンチレータアレイは、シンチレータセル配置ピッチの 1 / K ずつ行方向または列方向にずれて積層されている。また、非特許文献 1 に開示された 3 次元放射線位置検出器では、第 1 層および第 3 層のシンチレータアレイと、第 2 層および第 4 層のシンチレータアレイとでは、異なる蛍光減衰時定数のシンチレータセルが用いられている。

【0005】

50

このような3次元放射線位置検出器は、シンチレータユニットにおける放射線吸収位置を、受光素子の光入射面に平行な2次元平面上の位置として求めることができるだけでなく、この光入射面からの距離としても求めることができる。すなわち、複数のシンチレータセルが3次元配列されてなるシンチレータユニットにおいて何れのシンチレータセルでシンチレーション光が発生したかを、受光素子の光入射面に到達したシンチレーション光の重心位置に基づいて判別することができる。

【0006】

【特許文献1】

特開平1-229995号公報

【非特許文献1】

N. Inadama, et al., "A Depth of Interactive Detector for PET with GSO Crystals Doped with Different Amounts of Ce", IEEE Transaction of Nuclear Science, Vol.49, No.3, pp.629-633 (2002)

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の特許文献1に開示された3次元放射線位置検出器では、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させたシンチレータセルの位置が受光素子の光入射面から遠いほど、受光素子の光入射面に到達するシンチレーション光の強度分布の幅が広い。受光素子の光入射面において、シンチレーション光の強度分布の幅が広いと、重心位置に基づいて対応シンチレータセルを判定することが困難となる。それ故、シンチレータ

【0008】

また、上記の非特許文献1に開示された3次元放射線位置検出器では、積層方向に見たときに各シンチレータアレイの同一位置にあるシンチレータセルそれぞれで発生したシンチレーション光は、受光素子の光入射面において重心位置が互いに近いものとなる。それ故、この場合にも、シンチレータアレイの積層数を多くするにも限界があり、また、放射線吸収位置検出精度の点でも限界がある。

【0009】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、シンチレータアレイの積層数を増やすことが可能であって放射線吸収位置検出精度が優れた3次元放射線位置検出器を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る3次元放射線位置検出器は、(1)光入射面へ入射した光の入射位置および強度に応じた電気信号を出力する受光素子と、(2)受光素子の光入射面上に設けられ、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させる直方体形状のシンチレータセルがM行N列(ただし、M, Nは3以上の整数)に2次元配列されてなるシンチレータアレイをK層(ただし、Kは2以上の整数)含み、これらK層のシンチレータアレイが受光素子の光入射面に積層されたシンチレータユニットと、を備える。そして、K層のシンチレータ

【0011】

このように構成される3次元放射線位置検出器では、シンチレータユニットに放射線(例えば線)が入射して、シンチレータユニット内の何れかのシンチレータセルで該放射線が吸収されると、その放射線を吸収したシンチレータセルにおいて、放射線吸収エネルギー

に応じた強度のシンチレーション光が発生する。そのシンチレーション光は、その発生点からは全方位に向かって進むものの、反射材により反射されることでガイドされ、やがて受光素子の光入射面に入射する。受光素子の光入射面へのシンチレーション光入射の重心位置は、シンチレーション光発生位置（すなわち放射線吸収位置）に対応したものである。

【0012】

そして、第 k 1層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k1,m,n}$ と、第 k 2層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k2,m,n}$ とで、少なくとも1つの同一側面の光学条件（例えば、反射率、透過率、粗度、など）が互いに異なることにより、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させたシンチレータセルの位置が受光素子の光入射面から遠くても、受光素子の光入射面に到達するシンチレーション光の強度分布の幅は狭い。また、積層方向に見たときに各シンチレータアレイの同一位置にあるシンチレータセルそれぞれで発生したシンチレーション光は、受光素子の光入射面において重心位置が十分に離れたものとなる。それ故、シンチレータアレイの積層数を増やすことが可能であり、また、放射線吸収位置検出精度が優れたものとなる。

10

【0013】

本発明に係る3次元放射線位置検出器は、シンチレータセルの形状が直方体であるので、シンチレータユニットにおいて多数のシンチレータアレイを3次元配置する際に効率的である。

【0014】

さらに、本発明に係る3次元放射線位置検出器は、 K 層のシンチレータアレイそれぞれにおいて、隣り合う2シンチレータセル間の媒質がシンチレーション光に対して反射材および透過材の何れか一方のみであり、第 m 行第 n 列に配置されたシンチレータセル $C_{k,m,n}$ の4つの側面における透過材および反射材の配置の組み合わせが第 k 1層のシンチレータアレイと第 k 2層のシンチレータアレイとの間で異なることを特徴とする（ただし、ここでは、 $1 < m < M$ 、 $1 < n < N$ ）。

20

或いは、本発明に係る3次元放射線位置検出器は、 K 層のシンチレータアレイそれぞれにおいて、隣り合う各2シンチレータセル間の媒質の全体がシンチレーション光に対して反射材および透過材の何れか一方のみであることを特徴とする。

或いは、本発明に係る3次元放射線位置検出器は、(1) 第 k 1層のシンチレータアレイにおいて、シンチレータセル $C_{k1,p,n}$ とシンチレータセル $C_{k1,p+1,n}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{k1,m,q}$ とシンチレータセル $C_{k1,m,q+1}$ との間の媒質が、シンチレーション光に対して反射材であり、他のシンチレータセル間の媒質が、シンチレーション光に対して透過材であり、(2) 第 k 2層のシンチレータアレイにおいて、シンチレータセル $C_{k2,r,n}$ とシンチレータセル $C_{k2,r+1,n}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{k2,m,s}$ とシンチレータセル $C_{k2,m,s+1}$ との間の媒質が、シンチレーション光に対して反射材であり、他のシンチレータセル間の媒質が、シンチレーション光に対して透過材であって、(3) p 、 q 、 r および s それぞれは公差が2の等差数列の各整数値であり、 $1 < p < M$ 、 $1 < q < N$ 、 $1 < r < M$ 、 $1 < s < N$ 、「 p r 」または「 q s 」であることを特徴とする。

30

これらの場合には、受光素子の光入射面へのシンチレーション光入射の重心位置は、シンチレーション光発生位置（すなわち放射線吸収位置）に対応したものであり、しかも、受光素子の光入射面におけるシンチレーション光の強度分布の幅は十分に狭く、各々の光入射の重心位置は十分に弁別が可能である。

40

【0015】

本発明に係る3次元放射線位置検出器は、シンチレータユニットで発生したシンチレーション光が受光素子の光入射面に入射して受光素子から出力された電気信号を入力し、この電気信号に基づいて、シンチレータユニットにおける放射線吸収位置を求める演算部を更に備えるのが好適である。本発明に係る3次元放射線位置検出器は、受光素子が、電気信号を出力する複数の出力端子を有し、演算部が、受光素子の複数の出力端子それぞれから

50

出力される電気信号を処理して、受光素子へのシンチレーション光の入射位置を求め、そのシンチレーション光の入射位置に基づいて、シンチレータユニットにおける放射線吸収位置を求めるのが好適である。本発明に係る3次元放射線位置検出器は、受光素子が、電気信号を出力する複数の出力端子を有し、演算部が、受光素子の複数の出力端子それぞれから出力される電気信号の値の和に基づいて、シンチレータユニットにおける放射線吸収エネルギーを求めるのが好適である。本発明に係る3次元放射線位置検出器は、演算部がシンチレータセル毎に放射線吸収エネルギーを求めるのが好適である。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。また、各図において説明の便宜の為にx y z直交座標系が示されている。

10

【0017】

先ず、本発明に係る3次元放射線位置検出器の第1実施形態について説明する。図1は、第1実施形態に係る3次元放射線位置検出器1の構成図である。この図に示される3次元放射線位置検出器1は、シンチレータユニット10、受光素子20および演算部30を備える。図1では、シンチレータユニット10および受光素子20については斜視図で示され、演算部30についてはブロック図で示されている。

【0018】

受光素子20は、光入射面へ入射した光の入射位置および強度に応じた電気信号を出力するものである。x y z直交座標系のx y平面は、光入射面に平行に設定されている。受光素子20は、例えば、位置検出型の光電子増倍管である。また、位置検出型光電子増倍管としてマルチアノード型のものが好適に用いられる。マルチアノード型の光電子増倍管は、2次元配列された複数のアノードと、各アノードに対応したアノード端子とを備え、各アノード端子と4つの出力端子 $21_1 \sim 21_4$ とが抵抗器を介して接続されていて、各アノードからの電気信号を最終的に4つの出力端子 $21_1 \sim 21_4$ から出力する(特開2000-180551号公報(特に図5)を参照)。これら4つの出力端子 $21_1 \sim 21_4$ から出力される電気信号の値の比は、光入射面への光の入射位置に応じたものとなり、また、これら4つの出力端子 $21_1 \sim 21_4$ から出力される電気信号の値の和は、光強度に応じたものとなる。

20

30

【0019】

シンチレータユニット10は、受光素子20の光入射面上に設けられており、この光入射面に垂直な方向(z軸方向)に4つのシンチレータアレイ11~14が順に積層されて構成されている。なお、シンチレータユニット10は、受光素子20の光入射面上に直接に設けられてもよいし、或いは、光学カップリング材(屈折率整合材)、ファイバアレイおよび空気層など介して設けられてもよい。また、4つのシンチレータアレイ11~14それぞれは、複数(本実施形態では 8×8 個)のシンチレータセルが2次元配列されて構成されている。このシンチレータセルの配列の方向はx軸方向およびy軸方向である。

【0020】

シンチレータセルは、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させるものであり、例えば、Ceがドープされた Gd_2SiO_5 (GSO)や $Bi_4Ge_3O_{12}$ (BGO)が用いられる。シンチレータセルの形状は直方体である。また、4つのシンチレータアレイ11~14のうちの何れか2つのシンチレータアレイの間でシンチレータセルの組成が互いに異なり蛍光減衰時定数が互いに異なってもよいが、全シンチレータセルの組成が同一であってもよい。

40

【0021】

ここで、4つのシンチレータアレイ11~14のうちの受光素子20側から数えて第k層目のシンチレータアレイ1kにおいて第m行第n列に配置されたシンチレータセルを $C_{k,m,n}$ と表す。図1では、4層 \times 8行 \times 8列に3次元配列された256個のシンチレータセルのうちの幾つかについてのみ符号 $C_{k,m,n}$ が付されている。

50

【 0 0 2 2 】

演算部 3 0 は、比演算回路 3 1、和演算回路 3 2 および信号処理回路 3 3 を含み、受光素子 2 0 の 4 つの出力端子 $2 1_1 \sim 2 1_4$ それぞれから出力された電気信号を入力して、この電気信号に基づいて所定の演算を行う。ここで、出力端子 $2 1_1$ (図 1 では不図示) はシンチレータセル $C_{1,1,1}$ の側の角にあり、出力端子 $2 1_2$ はシンチレータセル $C_{1,8,1}$ の側の角にあり、出力端子 $2 1_3$ はシンチレータセル $C_{1,1,8}$ の側の角にあり、また、出力端子 $2 1_4$ はシンチレータセル $C_{1,8,8}$ の側の角にあるとする。

【 0 0 2 3 】

比演算回路 3 1 は、受光素子 2 0 の 4 つの出力端子 $2 1_1 \sim 2 1_4$ それぞれから出力された電気信号の値の比に基づいて、受光素子 2 0 の光入射面への光の入射位置を求める。具体的には、出力端子 $2 1_1$ から出力される電気信号の値を I_1 とし、出力端子 $2 1_2$ から出力される電気信号の値を I_2 とし、出力端子 $2 1_3$ から出力される電気信号の値を I_3 とし、出力端子 $2 1_4$ から出力される電気信号の値を I_4 としたときに、比演算回路 3 1 は、受光素子 2 0 の光入射面への光の入射位置 (x, y) を、

$$x = (I_1 + I_3) / I_{all} \quad \dots (1a)$$

$$y = (I_1 + I_2) / I_{all} \quad \dots (1b)$$

$$I_{all} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \quad \dots (1c)$$

なる式に基づいて求める。また、和演算回路 3 2 は、受光素子 2 0 の 4 つの出力端子 $2 1_1 \sim 2 1_4$ それぞれから出力された電気信号の値の和 I_{all} に基づいて、受光素子 2 0 の光入射面へ入射した光の強度を求める。

【 0 0 2 4 】

信号処理回路 3 3 は、比演算回路 3 1 および和演算回路 3 2 それぞれにおける上記の結果を入力して、シンチレータユニット 1 0 における放射線吸収位置および放射線吸収エネルギーを求め、その求めた結果を出力する。また、演算部 3 0 は、シンチレータセル毎に放射線吸収エネルギーを求めるのが好適である。

【 0 0 2 5 】

図 2 ~ 図 7 それぞれは、第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 に含まれるシンチレータユニット 1 0 の断面図である。図 2 は、第 1 行 ($m = 1$) のシンチレータユニット 1 0 の yz 断面図である。図 3 は、第 1 列 ($n = 1$) のシンチレータユニット 1 0 の xz 断面図である。図 4 は、第 1 層 ($k = 1$) のシンチレータアレイ 1 1 の xy 断面図である。図 5 は、第 2 層 ($k = 2$) のシンチレータアレイ 1 2 の xy 断面図である。図 6 は、第 3 層 ($k = 3$) のシンチレータアレイ 1 3 の xy 断面図である。また、図 7 は、第 4 層 ($k = 4$) のシンチレータアレイ 1 4 の xy 断面図である。なお、これらの図において、幾つかのシンチレータセルについてのみ符号 $C_{k,m,n}$ が付されているが、符号が付されていないシンチレータセルについては符号 $C_{k,m,n}$ の添え字 k, m, n の何れかが順次 1 増して付される。

【 0 0 2 6 】

第 1 層のシンチレータアレイ 1 1 では、シンチレータセル $C_{1,2,n}$ とシンチレータセル $C_{1,3,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{1,4,n}$ とシンチレータセル $C_{1,5,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{1,6,n}$ とシンチレータセル $C_{1,7,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{1,m,2}$ とシンチレータセル $C_{1,m,3}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{1,m,4}$ とシンチレータセル $C_{1,m,5}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{1,m,6}$ とシンチレータセル $C_{1,m,7}$ との間の媒質は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。ただし、 m および n それぞれは 1 以上 8 以下の各整数である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

【 0 0 2 7 】

第 2 層のシンチレータアレイ 1 2 では、シンチレータセル $C_{2,1,n}$ とシンチレータセル $C_{2,2,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{2,3,n}$ とシンチレータセル $C_{2,4,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{2,5,n}$ とシンチレータセル $C_{2,6,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{2,7,n}$ とシンチレータセル $C_{2,8,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{2,m,2}$ とシンチレー

10

20

30

40

50

タセル $C_{2,m,3}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{2,m,4}$ とシンチレータセル $C_{2,m,5}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{2,m,6}$ とシンチレータセル $C_{2,m,7}$ との間の媒質は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

【0028】

第3層のシンチレータアレイ13では、シンチレータセル $C_{3,2,n}$ とシンチレータセル $C_{3,3,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{3,4,n}$ とシンチレータセル $C_{3,5,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{3,6,n}$ とシンチレータセル $C_{3,7,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{3,m,1}$ とシンチレータセル $C_{3,m,2}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{3,m,4}$ とシンチレータセル $C_{3,m,4}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{3,m,5}$ とシンチレータセル $C_{3,m,6}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{3,m,7}$ とシンチレータセル $C_{3,m,8}$ との間の媒質は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

10

【0029】

第4層のシンチレータアレイ14では、シンチレータセル $C_{4,1,n}$ とシンチレータセル $C_{4,2,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{4,3,n}$ とシンチレータセル $C_{4,4,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{4,5,n}$ とシンチレータセル $C_{4,6,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{4,7,n}$ とシンチレータセル $C_{4,8,n}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{4,m,1}$ とシンチレータセル $C_{4,m,2}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{4,m,4}$ とシンチレータセル $C_{4,m,4}$ との間の媒質、シンチレータセル $C_{4,m,5}$ とシンチレータセル $C_{4,m,6}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{4,m,7}$ とシンチレータセル $C_{4,m,8}$ との間の媒質は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

20

【0030】

また、シンチレータユニット10の全体の外面のうち、受光素子10の光入射面と接する面は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T で覆われており、他の面は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R で覆われている。なお、図1では、シンチレータユニット10の外面にある反射材 R は図示されていない。また、第1層シンチレータアレイ11と第2層シンチレータアレイ12との間の媒質、第2層シンチレータアレイ12と第3層シンチレータアレイ13との間の媒質、および、第3層シンチレータアレイ13と第4層シンチレータアレイ14との間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である、

30

反射材 R は、透過材 T と比較して、シンチレーション光を高い反射率で反射させるものである。また、透過材 T は、反射材 R と比較して、シンチレーション光を高い透過率で透過させるものである。反射材 R は、例えば $BaSO_4$ からなるものである。また、透過材 T は、例えば、シンチレータセルと同組成の材料からなるものであり、或いは、シリコングリリス等の光学結合材からなるものであり、或いは、空気等の気体からなるものである。図2～図7それぞれでは、反射材 R については共通のハッチングで示されており、透過材 T についても共通のハッチング（反射材 R とは異なるハッチング）で示されている。

【0031】

以上のように、シンチレータユニット10では、第k1層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k1,m,n}$ と、他の第k2層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k2,m,n}$ とで、少なくとも1つの同一側面の光学条件が互いに異なる（ただし、ここでは、 $1 < m < 8$, $1 < n < 8$ ）。

40

【0032】

特に第1実施形態では、4つのシンチレータアレイ11～14のうちの第k1層のシンチレータアレイにおいて、シンチレータセル $C_{k1,p,n}$ とシンチレータセル $C_{k1,p+1,n}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{k1,m,q}$ とシンチレータセル $C_{k1,m,q+1}$ との間の媒質が、シンチレーション光に対して反射材 R であり、他のシンチレータセル間の媒質が、シンチレーション光に対して透過材 T である。また、他の第k2層のシンチレータアレイに

50

において、シンチレータセル $C_{k2,r,n}$ とシンチレータセル $C_{k2,r+1,n}$ との間の媒質、および、シンチレータセル $C_{k2,m,s}$ とシンチレータセル $C_{k2,m,s+1}$ との間の媒質が、シンチレーション光に対して反射材 R であり、他のシンチレータセル間の媒質が、シンチレーション光に対して透過材 T である。そして、 p, q, r および s それぞれは公差が 2 の等差数列の各整数値であり、「 p, r 」または「 q, s 」である。

【0033】

第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 は以下のように動作する。この 3 次元放射線位置検出器 1 のシンチレータユニット 10 に放射線（例えば γ 線）が入射して、シンチレータユニット 10 内の何れかのシンチレータセルで該放射線が吸収されると、その放射線を吸収したシンチレータセルにおいて、放射線吸収エネルギーに応じた強度のシンチレーション光が発生する。そのシンチレーション光は、その発生点からは全方位に向かって進むものの、反射材 R により反射されることでガイドされ、やがて受光素子 20 の光入射面に入射する。

【0034】

受光素子 20 の光入射面へのシンチレーション光入射の重心位置は、シンチレーション光発生位置（すなわち放射線吸収位置）の x 座標値および y 座標値（すなわち、 m 値および n 値）に対応したものである。しかも、反射材 R および透過材 T が適切に配置されていることにより、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させたシンチレータセルの位置が受光素子 20 の光入射面から遠くても、受光素子 20 の光入射面に到達するシンチレーション光の強度分布の幅は狭い。また、積層方向に見たときに各シンチレータアレイの同一位置にあるシンチレータセルそれぞれで発生したシンチレーション光は、受光素子 20 の光入射面において重心位置が十分に離れたものとなる。それ故、シンチレータアレイの積層数を増やすことが可能であり、また、放射線吸収位置検出精度が優れたものとなる。

【0035】

図 8 は、第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 の受光素子 20 の光入射面へのシンチレーション光入射の重心位置の説明図である。図中で、 \square 印は、第 1 層のシンチレータアレイ 11 に含まれる各シンチレータセル $C_{1,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置 $P_{1,m,n}$ を示す。 \square 印は、第 2 層のシンチレータアレイ 12 に含まれる各シンチレータセル $C_{2,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置 $P_{2,m,n}$ を示す。 \square 印は、第 3 層のシンチレータアレイ 13 に含まれる各シンチレータセル $C_{3,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置 $P_{3,m,n}$ を示す。また、 \square 印は、第 4 層のシンチレータアレイ 14 に含まれる各シンチレータセル $C_{4,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置 $P_{4,m,n}$ を示す。なお、この図において、幾つかの重心位置についてのみ符号 $P_{k,m,n}$ が付されているが、符号が付されていない重心位置については符号 $P_{k,m,n}$ の添え字 k, m, n の何れかが順次 1 増して付される。この図に示されるように、シンチレータユニット 10 において 3 次元配列された多数のシンチレータセルそれぞれで発生したシンチレーション光は、受光素子 20 の光入射面上の互いに異なる重心位置に入射し、しかも、各々の光入射の重心位置は十分に弁別が可能である。

【0036】

図 9 は、第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 の受光素子 20 の光入射面へ入射する光の波高分布を示す図である。ここでは、シンチレータユニット 10 に入射する放射線のエネルギーが一定であるとして、シンチレータセル $C_{1,1,1} \sim C_{1,1,4}$ 、 $C_{2,1,1} \sim C_{2,1,4}$ 、 $C_{3,1,1} \sim C_{3,1,4}$ および $C_{4,1,1} \sim C_{4,1,4}$ それぞれにおいて放射線が吸収されたときに、受光素子 20 の光入射面へ入射する光の波高分布が示されている。

【0037】

したがって、比演算回路 31 により、受光素子 20 の 4 つの出力端子 $21_1 \sim 21_4$ それぞれから出力された電気信号の値から、上記 (1a) ~ (1c) 式に基づいて受光素子 20 の光入射面へのシンチレーション光の入射位置を求め、予め作成され比演算回路 31 内のメモリに

10

20

30

40

50

格納されている受光素子 20 の光入射面の光入射位置とシンチレータユニット 10 での放射線吸収位置との対応を示すテーブル（例えば図 8）を参照して、シンチレータユニット 10 において 3 次元配列された複数のシンチレータセルのうちの何れで放射線が吸収されたかを弁別することができる。また、和演算回路 32 により、受光素子 20 の 4 つの出力端子 $21_1 \sim 21_4$ それぞれから出力された電気信号の値の和に基づいて、放射線吸収エネルギーを求めることができる。

【0038】

次に、本発明に係る 3 次元放射線位置検出器の実施例について説明する。実施例の 3 次元放射線位置検出器では、シンチレータユニットは、シンチレータアレイが 4 層に積層され、各シンチレータアレイは、 6×6 個のシンチレータセルが 2 次元配列されたものである。図 10 は、実施例の 3 次元放射線位置検出器の受光素子の光入射面へのシンチレーション光入射の強度分布を示す図である。図 11 は、実施例の 3 次元放射線位置検出器の受光素子の光入射面へ入射する光の波高分布を示す図である。ここでは、シンチレータユニットに入射する放射線のエネルギーが一定であるとし、また、放射線が一様に入射とした。図 11 では、シンチレータセル $C_{1,3,3} \sim C_{2,3,3}$ および $C_{1,5,4} \sim C_{4,5,4}$ それぞれにおいて放射線が吸収されたときに、受光素子 20 の光入射面へ入射する光の波高分布が示されている。

【0039】

図 12 は、比較例の 3 次元放射線位置検出器の受光素子の光入射面へのシンチレーション光入射の強度分布を示す図である。この比較例の 3 次元放射線位置検出器は、従来の技術の欄で挙げた非特許文献 1 に開示された構成のものである。

【0040】

実施例（図 10）と比較例（図 12）とを比較してわかるように、第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 では、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させたシンチレータセルの位置が受光素子の光入射面から遠くても、受光素子の光入射面に到達するシンチレーション光の強度分布の幅は狭い。また、積層方向に見たときに各シンチレータアレイの同一位置にあるシンチレータセルそれぞれで発生したシンチレーション光は、受光素子の光入射面において重心位置が十分に離れたものとなる。それ故、シンチレータアレイの積層数を増やすことが可能であり、また、放射線吸収位置検出精度が優れたものとなる。したがって、この 3 次元放射線位置検出器 1 を PET 装置に使用することにより、高感度・高解像度・高速に被検体を測定することができる。

【0041】

次に、本発明に係る 3 次元放射線位置検出器の第 2 実施形態について説明する。第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器は、図 1 に示されたものと略同様の構成であるが、シンチレータユニット 10 の構成が相違している。すなわち、第 2 実施形態におけるシンチレータユニット 10 は 6 層のシンチレータアレイ 11 ~ 16 を含み、これらシンチレータアレイ 11 ~ 16 それぞれはシンチレータセルが 12 行 12 列に 2 次元配列されている（ $K = 6$, $M = N = 12$ ）。また、シンチレータセル間の反射材 R および透過材 T の配置の様子が第 1 実施形態と異なる。

【0042】

図 13 ~ 図 20 それぞれは、第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器に含まれるシンチレータユニット 10 の断面図である。図 13 は、第 1 行（ $m = 1$ ）のシンチレータユニット 10 の yz 断面図である。図 14 は、第 1 列（ $n = 1$ ）のシンチレータユニット 10 の xz 断面図である。図 15 は、第 1 層（ $k = 1$ ）のシンチレータアレイ 11 の xy 断面図である。図 16 は、第 2 層（ $k = 2$ ）のシンチレータアレイ 12 の xy 断面図である。図 17 は、第 3 層（ $k = 3$ ）のシンチレータアレイ 13 の xy 断面図である。図 18 は、第 4 層（ $k = 4$ ）のシンチレータアレイ 14 の xy 断面図である。図 19 は、第 5 層（ $k = 5$ ）のシンチレータアレイ 15 の xy 断面図である。また、図 20 は、第 6 層（ $k = 6$ ）のシンチレータアレイ 16 の xy 断面図である。なお、これらの図において、幾つかのシンチレータセルについてのみ符号 $C_{k,m,n}$ が付されているが、符号が付されていないシ

10

20

30

40

50

ンチレータセルについては符号 $C_{k,m,n}$ の添え字 k, m, n の何れかが順次 1 増して付される。

【 0 0 4 3 】

第 1 層のシンチレータアレイ 1 1 では、シンチレータセル $C_{1,p,n}$ とシンチレータセル $C_{1,p+1,n}$ との間の媒質 (p は 2, 4, 6, 8 および 10 の各整数)、および、シンチレータセル $C_{1,m,q}$ とシンチレータセル $C_{1,m,q+1}$ との間の媒質 (q は 2, 4, 6, 8 および 10 の各整数) は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。ただし、 m および n それぞれは 1 以上 12 以下の各整数である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

【 0 0 4 4 】

第 2 層のシンチレータアレイ 1 2 では、シンチレータセル $C_{2,p,n}$ とシンチレータセル $C_{2,p+1,n}$ との間の媒質 (p は 1 ~ 11 の各整数)、および、シンチレータセル $C_{2,m,q}$ とシンチレータセル $C_{2,m,q+1}$ との間の媒質 (q は 2, 4, 6, 8 および 10 の各整数) は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

【 0 0 4 5 】

第 3 層のシンチレータアレイ 1 3 では、シンチレータセル $C_{3,p,n}$ とシンチレータセル $C_{3,p+1,n}$ との間の媒質 (p は 1, 3, 5, 7, 9 および 11 の各整数)、および、シンチレータセル $C_{3,m,q}$ とシンチレータセル $C_{3,m,q+1}$ との間の媒質 (q は 2, 4, 6, 8 および 10 の各整数) は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

【 0 0 4 6 】

第 4 層のシンチレータアレイ 1 4 では、シンチレータセル $C_{4,p,n}$ とシンチレータセル $C_{4,p+1,n}$ との間の媒質 (p は 2, 4, 6, 8 および 10 の各整数)、および、シンチレータセル $C_{4,m,q}$ とシンチレータセル $C_{4,m,q+1}$ との間の媒質 (q は 1 ~ 11 の各整数) は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

【 0 0 4 7 】

第 5 層のシンチレータアレイ 1 5 では、シンチレータセル $C_{5,p,n}$ とシンチレータセル $C_{5,p+1,n}$ との間の媒質 (p は 2, 4, 6, 8 および 10 の各整数)、および、シンチレータセル $C_{5,m,q}$ とシンチレータセル $C_{5,m,q+1}$ との間の媒質 (q は 1, 3, 5, 7, 9 および 11 の各整数) は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

【 0 0 4 8 】

第 6 層のシンチレータアレイ 1 6 では、シンチレータセル $C_{6,p,n}$ とシンチレータセル $C_{6,p+1,n}$ との間の媒質 (p は 1, 3, 5, 7, 9 および 11 の各整数)、および、シンチレータセル $C_{6,m,q}$ とシンチレータセル $C_{6,m,q+1}$ との間の媒質 (q は 1, 3, 5, 7, 9 および 11 の各整数) は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R である。他のシンチレーション間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である。

【 0 0 4 9 】

また、シンチレータユニット 10 の全体の外面のうち、受光素子 10 の光入射面と接する面は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T で覆われており、他の面は、シンチレーション光に対して高反射率である反射材 R で覆われている。また、第 1 層シンチレータアレイ 1 1 と第 2 層シンチレータアレイ 1 2 との間の媒質、第 2 層シンチレータアレイ 1 2 と第 3 層シンチレータアレイ 1 3 との間の媒質、第 3 層シンチレータアレイ 1 3 と第 4 層シンチレータアレイ 1 4 との間の媒質、第 4 層シンチレータアレイ 1 4 と第 5 層シンチレータアレイ 1 5 との間の媒質、および、第 5 層シンチレータアレイ 1 5 と第 6

10

20

30

40

50

層シンチレータアレイ 16 との間の媒質は、シンチレーション光に対して高透過率である透過材 T である、

反射材 R は、透過材 T と比較して、シンチレーション光を高い反射率で反射させるものである。また、透過材 T は、反射材 R と比較して、シンチレーション光を高い透過率で透過させるものである。図 13 ~ 図 20 それぞれでは、反射材 R については共通のハッチングで示されており、透過材 T についても共通のハッチング（反射材 R とは異なるハッチング）で示されている。

【0050】

以上のように、シンチレータユニット 10 では、第 k 1 層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k1,m,n}$ と、他の第 k 2 層のシンチレータアレイに含まれるシンチレータセル $C_{k2,m,n}$ とで、少なくとも 1 つの同一側面の光学条件が互いに異なる（ただし、ここでは、 $1 < m < 12$, $1 < n < 12$ ）。特に第 2 実施形態では、6 層のシンチレータアレイ 11 ~ 16 それぞれにおいて、隣り合う 2 シンチレータ間の媒質がシンチレーション光に対して反射材 R および透過材 T の何れかであり、第 k 1 層のシンチレータアレイにおいて反射材 R で囲われた領域と、他の第 k 2 層のシンチレータアレイにおいて反射材 R で囲われた領域とが、積層方向に見たときに互いに異なる。

【0051】

図 21 は、第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器の受光素子 20 の光入射面へのシンチレーション光入射の重心位置の説明図である。図中で、符号「1」は、第 1 層のシンチレータアレイ 11 に含まれる各シンチレータセル $C_{1,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置を示す。符号「2」は、第 2 層のシンチレータアレイ 12 に含まれる各シンチレータセル $C_{2,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置を示す。符号「3」は、第 3 層のシンチレータアレイ 13 に含まれる各シンチレータセル $C_{3,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置を示す。符号「4」は、第 4 層のシンチレータアレイ 14 に含まれる各シンチレータセル $C_{4,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置を示す。符号「5」は、第 5 層のシンチレータアレイ 15 に含まれる各シンチレータセル $C_{5,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置を示す。また、符号「6」は、第 6 層のシンチレータアレイ 16 に含まれる各シンチレータセル $C_{6,m,n}$ で発生したシンチレーション光の光入射面への入射の重心位置を示す。この図に示されるように、シンチレータユニット 10 において 3 次元配列された多数のシンチレータセルそれぞれで発生したシンチレーション光は、受光素子 20 の光入射面上の互いに異なる重心位置に入射し、しかも、各々の光入射の重心位置は十分に弁別が可能である。

【0052】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、シンチレータユニットにおけるシンチレータアレイの層数は、上記実施形態では 4 または 6 であったが、2, 3 または 5 であってもよく、また、7 以上であってもよい。また、シンチレータアレイによってシンチレータセルの蛍光減衰時定数が互いに異なるものであってもよく、この場合には、シンチレータユニットにおけるシンチレータアレイの層数を更に増やすことが可能である。

【0053】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る 3 次元放射線位置検出器では、受光素子の光入射面へのシンチレーション光入射の重心位置は、シンチレーション光発生位置（すなわち放射線吸収位置）に対応したものであり、しかも、各シンチレータセルの光学条件が適切に設定されていることにより、放射線の吸収に応じてシンチレーション光を発生させたシンチレータセルの位置が受光素子の光入射面から遠くても、受光素子の光入射面に到達するシンチレーション光の強度分布の幅は狭い。また、積層方向に見たときに各シンチレータアレイの同一位置にあるシンチレータセルそれぞれで発生したシンチレーション光は、受光素子の光入射面において重心位置が十分に離れたものとなる。それ故、シンチレー

10

20

30

40

50

タアレイの積層数を増やすことが可能であり、また、放射線吸収位置検出精度が優れたものとなる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 の構成図である。

【図 2】第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 1 行のシンチレータユニット 10 の y z 断面図である。

【図 3】第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 1 列のシンチレータユニット 10 の x z 断面図である。

【図 4】第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 1 層のシンチレータアレイ 11 の x y 断面図である。

10

【図 5】第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 2 層のシンチレータアレイ 12 の x y 断面図である。

【図 6】第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 3 層のシンチレータアレイ 13 の x y 断面図である。

【図 7】第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 4 層のシンチレータアレイ 14 の x y 断面図である。

【図 8】第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 の受光素子 20 の光入射面へのシンチレーション光入射の重心位置の説明図である。

【図 9】第 1 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器 1 の受光素子 20 の光入射面へ入射する光の波高分布を示す図である。

20

【図 10】実施例の 3 次元放射線位置検出器の受光素子の光入射面へのシンチレーション光入射の強度分布を示す図である。

【図 11】実施例の 3 次元放射線位置検出器の受光素子の光入射面へ入射する光の波高分布を示す図である。

【図 12】比較例の 3 次元放射線位置検出器の受光素子の光入射面へのシンチレーション光入射の強度分布を示す図である。

【図 13】第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 1 行のシンチレータユニット 10 の y z 断面図である。

【図 14】第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 1 列のシンチレータユニット 10 の x z 断面図である。

30

【図 15】第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 1 層のシンチレータアレイ 11 の x y 断面図である。

【図 16】第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 2 層のシンチレータアレイ 12 の x y 断面図である。

【図 17】第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 3 層のシンチレータアレイ 13 の x y 断面図である。

【図 18】第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 4 層のシンチレータアレイ 14 の x y 断面図である。

【図 19】第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 5 層のシンチレータアレイ 15 の x y 断面図である。

40

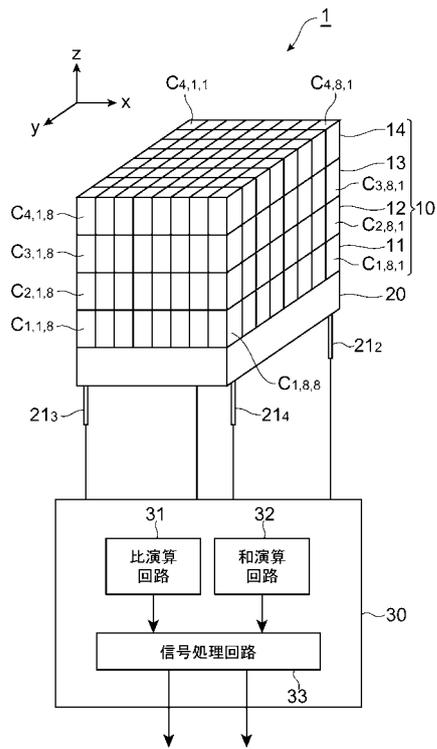
【図 20】第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器に含まれるシンチレータユニット 10 のうち第 6 層のシンチレータアレイ 16 の x y 断面図である。

【図 21】第 2 実施形態に係る 3 次元放射線位置検出器の受光素子 20 の光入射面へのシンチレーション光入射の重心位置の説明図である。

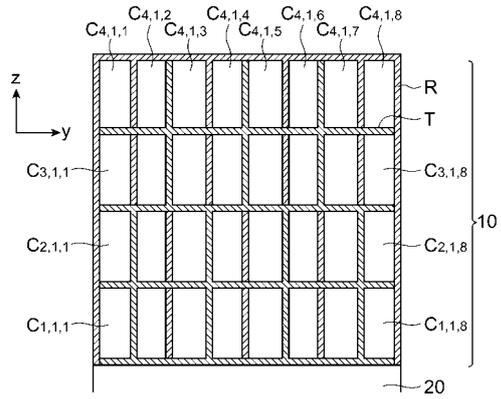
【符号の説明】

1 ... 3 次元放射線位置検出器、10 ... シンチレータユニット、11 ~ 14 ... シンチレータアレイ、C ... シンチレータセル、R ... 反射材、T ... 透過材、20 ... 受光素子、21 ... 出力端子、30 ... 演算部、31 ... 比演算回路、32 ... 和演算回路、33 ... 信号処理回路。

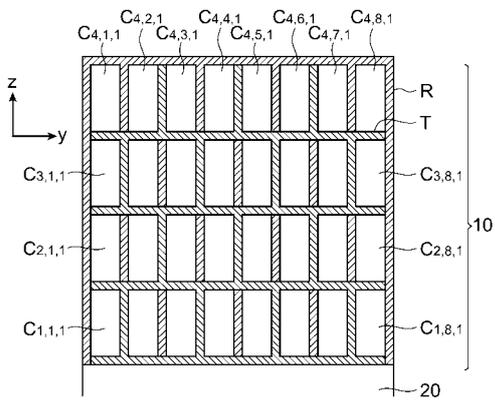
【 図 1 】



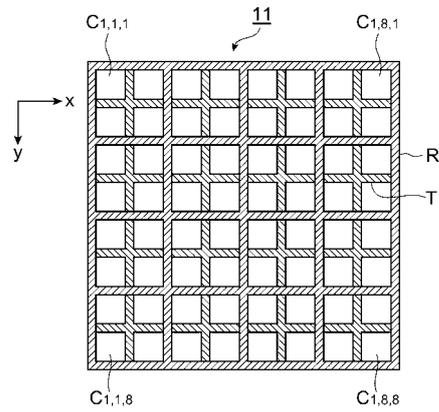
【 図 2 】



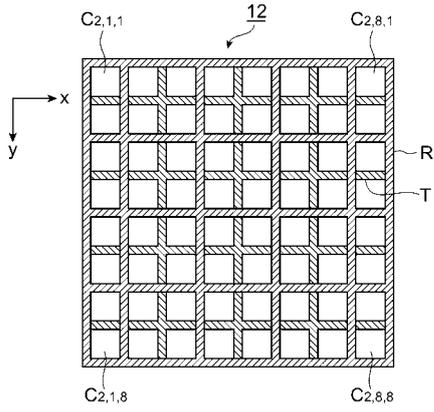
【 図 3 】



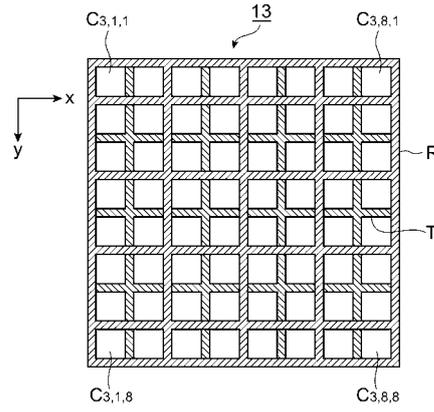
【 図 4 】



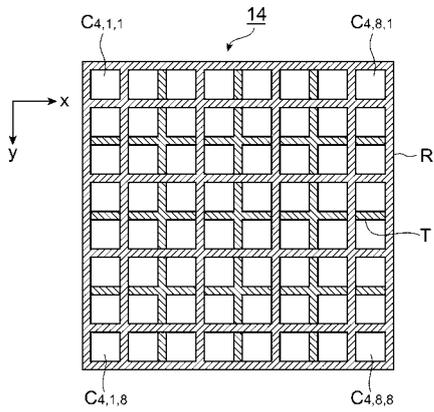
【 図 5 】



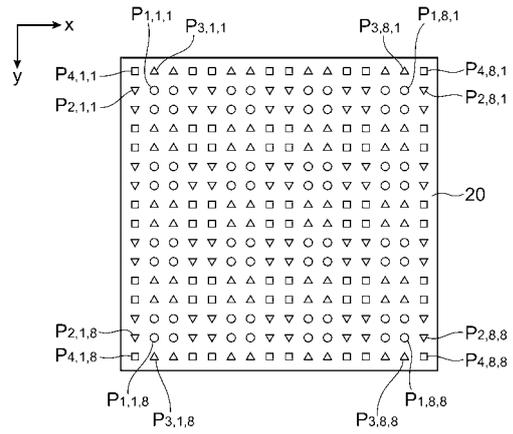
【 図 6 】



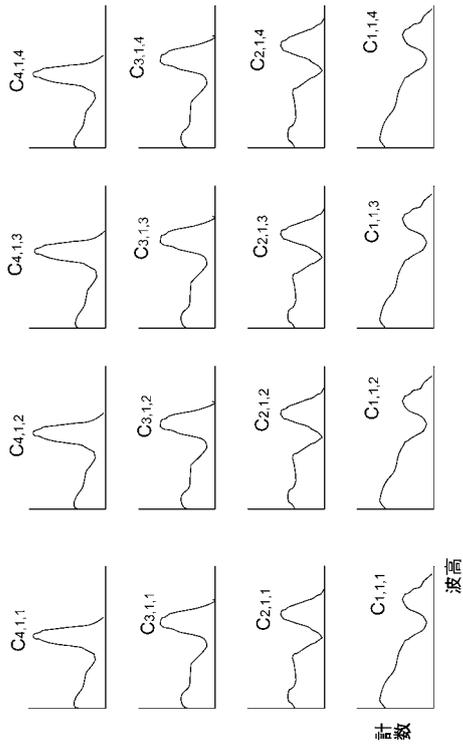
【 図 7 】



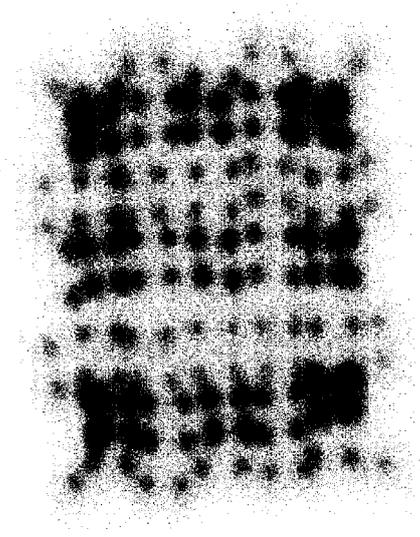
【 図 8 】



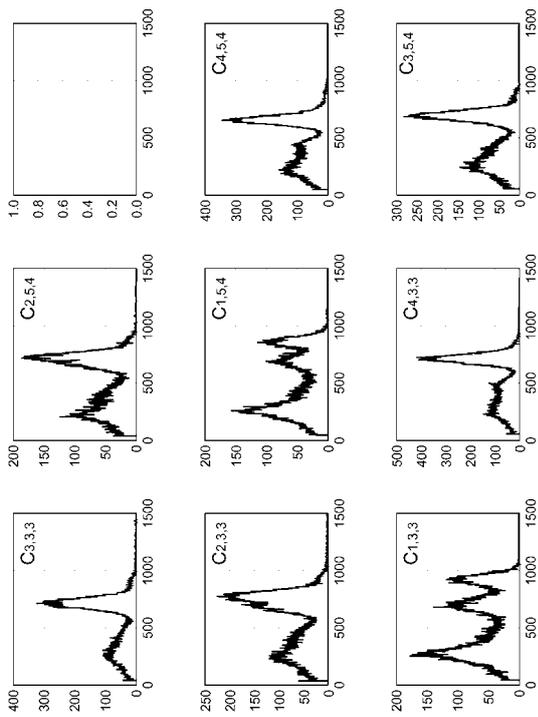
【 図 9 】



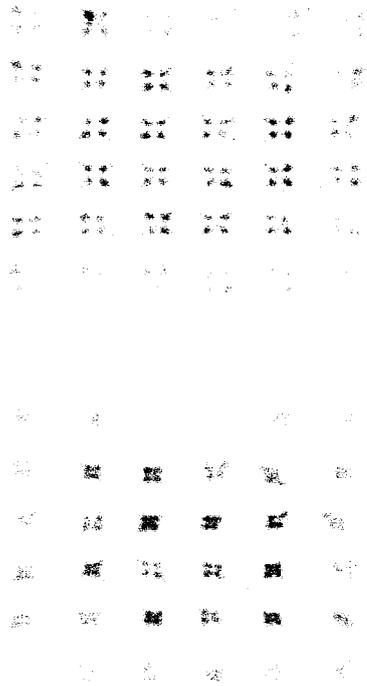
【 図 10 】



【 図 11 】



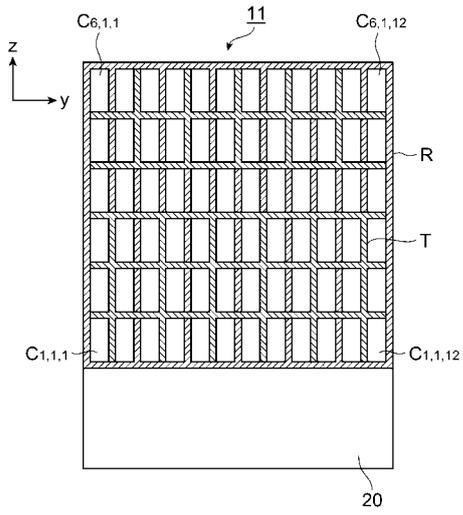
【 図 12 】



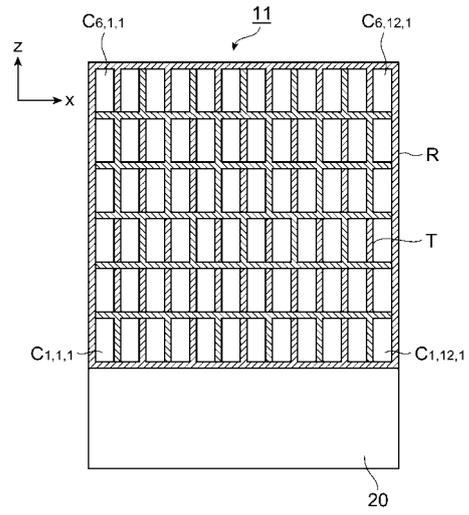
(a)

(b)

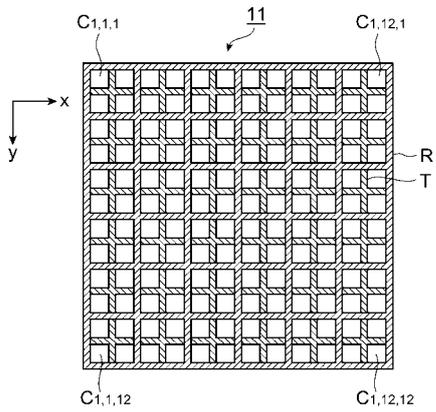
【 図 1 3 】



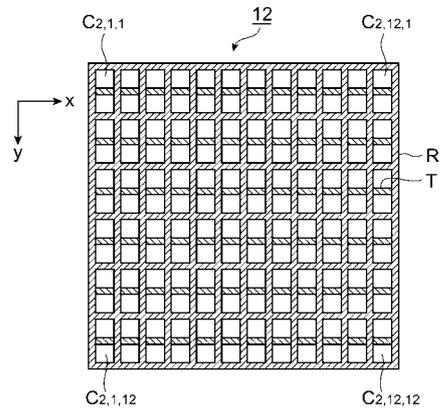
【 図 1 4 】



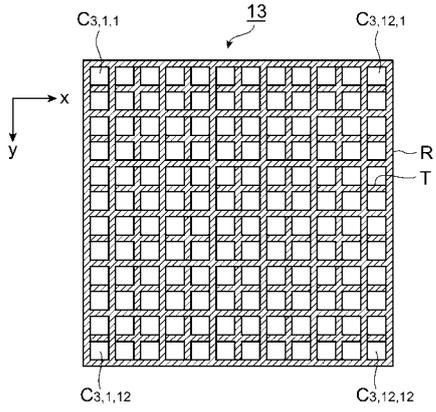
【 図 1 5 】



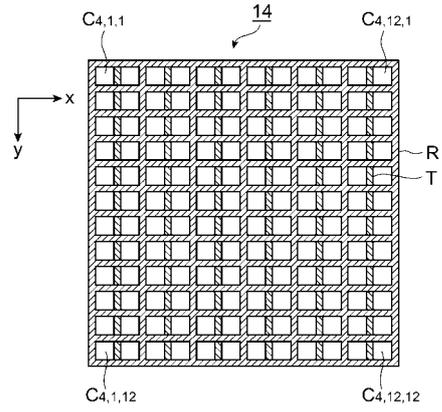
【 図 1 6 】



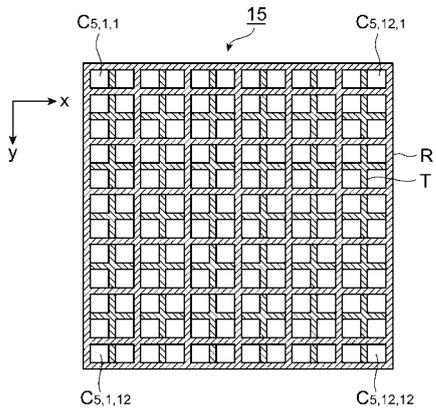
【 図 17 】



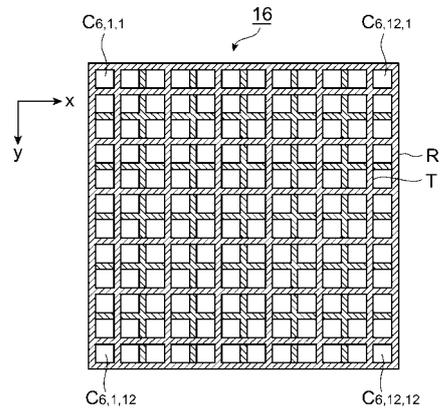
【 図 18 】



【 図 19 】



【 図 20 】



【 2 1 】

5	5	2	6	6	2	5	5	2	6	6	2	5	5
5	5	2	6	6	2	5	5	2	6	6	2	5	5
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1	1	2	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1
1	1	2	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	2	6	6	2	5	5	2	6	6	2	5	5
5	5	2	6	6	2	5	5	2	6	6	2	5	5
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1	1	2	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1
1	1	2	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	2	6	6	2	5	5	2	6	6	2	5	5
5	5	2	6	6	2	5	5	2	6	6	2	5	5

フロントページの続き

(74)代理人 100110582

弁理士 柴田 昌聰

(72)発明者 村山 秀雄

千葉県千葉市稲毛区穴川4丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内

(72)発明者 稲玉 直子

千葉県千葉市稲毛区穴川4丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内

(72)発明者 北村 圭司

京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内

(72)発明者 山下 貴司

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 中塚 直樹

(56)参考文献 特開平11-142524(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T 1/20