

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5191011号
(P5191011)

(45) 発行日 平成25年4月24日(2013.4.24)

(24) 登録日 平成25年2月8日(2013.2.8)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 T 1/161 (2006.01) GO 1 T 1/161 A

請求項の数 9 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2010-509987 (P2010-509987)	(73) 特許権者	301032942
(86) (22) 出願日	平成20年5月2日(2008.5.2)		独立行政法人放射線医学総合研究所
(86) 国際出願番号	PCT/JP2008/058432		千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
(87) 国際公開番号	W02009/133628	(74) 代理人	100080458
(87) 国際公開日	平成21年11月5日(2009.11.5)		弁理士 高矢 諭
審査請求日	平成23年4月6日(2011.4.6)	(74) 代理人	100076129
			弁理士 松山 圭佑
		(74) 代理人	100089015
			弁理士 牧野 剛博
		(72) 発明者	山谷 泰賀
			千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目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	村山 秀雄
			千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号
			独立行政法人放射線医学総合研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 開放型PET装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

体軸方向に並んだマルチリングでなる複数の検出器リングを含む開放型PET装置において、

少なくとも1つの検出器リングを被検者に対して相対的に体軸方向に移動させながら放射線計測を行なうに際して、

少なくとも1つの一定幅の開放領域隙間が、放射線計測中に被検者に対して位置が固定されていることを特徴とする開放型PET装置。

【請求項2】

体軸方向に並んだマルチリングでなる複数の検出器リングを含む開放型PET装置において、

少なくとも1つの検出器リングを被検者に対して相対的に体軸方向に移動させながら放射線計測を行なうに際して、

移動する検出器リングがガントりに内包され、ガントリ自体は放射線計測中に被検者に対して固定されていることを特徴とする開放型PET装置。

【請求項3】

検出器リングが4以上とされ、内側の2つの検出器リングが固定されていることを特徴とする請求項1又は2に記載の開放型PET装置。

【請求項4】

検出器リングが6以上とされ、内側と外側の4つの検出器リングが固定されていること

10

20

を特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の開放型 P E T 装置。

【請求項 5】

検出器リングの移動によって時々刻々変化する開放領域隙間の少なくとも一部が、放射線計測中に常に重なるようにされていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の開放型 P E T 装置。

【請求項 6】

検出器リングの移動方向や移動速度を、各々の検出器リングによって変えることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の開放型 P E T 装置。

【請求項 7】

複数の検出器リングを互いに接近及び／又は離隔させることを特徴とする請求項 6 に記載の開放型 P E T 装置。

10

【請求項 8】

複数の検出器リングを体軸方向の距離を一定に保ったまま移動させることを特徴とする請求項 6 に記載の開放型 P E T 装置。

【請求項 9】

複数の検出器リングを同じ方向に片道または往復で移動させつつ、互いに接近及び／又は離隔させることを特徴とする請求項 6 に記載の開放型 P E T 装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マルチリングでなる複数の検出器リングを含む開放型 P E T 装置に係り、特に検出器数を増やさずに、局所的な感度低下を抑制したり、検出器リング間の開放領域隙間や体軸方向視野を拡大したりすることが可能な開放型 P E T 装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

癌や脳血管障害、認知症等の早期診断に有効と注目されている陽電子放射断層撮像法 (P E T) は、極微量の陽電子放出核種で標識した化合物を投与し、体内から放出される消滅放射線を検出することで、糖代謝等、代謝機能を画像化し、病気の有無や程度を調べる検査法であり、これを実施するための P E T 装置が実用化されている。

【0003】

30

P E T の原理は次のとおりである。陽電子崩壊によって陽電子放出核種から放出された陽電子が周囲の電子と対消滅し、それによって生じる一対の 5 1 1 k e V の消滅放射線を、対の放射線検出器で同時計数の原理によって測定する。これにより、核種の存在位置を、対の検出器同士を結ぶ 1 本の線分 (同時計数線) 上に特定することができる。患者の頭から足の方向に向かう軸を体軸と定義すると、体軸と垂直に交わる平面上の核種の分布は、その平面上において様々な方向から測定された同時計数線のデータから、2 次元画像再構成によって求められる。

【0004】

よって、初期の P E T 装置は、視野とする平面上に、視野を囲むように密に検出器をリング状に配置したシングルリング型検出器から構成されていた。その後、多数のシングルリング型検出器を体軸方向に密に配置したマルチリング型検出器の登場によって、2 次元の視野が 3 次元化された。更に 1 9 9 0 年代に入ると、検出器リング間においても同時計数測定を行うことによって、感度を大幅に高めた 3 D モードの P E T 装置の開発が盛んに行われ、現代に至っている。

40

【0005】

P E T 装置の感度を高めるためには、図 1 (a) に例示する如く、検出器をトンネル状に密に配置してマルチリング型検出器 1 0 を構成し、立体角を高める必要があるが、長いトンネル状の患者ポートは、検査中の患者 6 の心理的ストレスを高めると共に、患者への手当ての障害にもなる。これに対して、出願人は、図 1 (b) に例示する如く、患者 6 の体軸方向に複数に分割したマルチリング型検出器 1 1 、 1 2 を離して配置し、物理的に開

50

放された視野領域（開放視野とも称する）を有する開放型PET装置を提案している。開放領域は、図2に示す如く、残存するマルチリング型検出器11、12間の同時計数線から、画像が再構成される。図において、8はベッドである。

【0006】

これまでに、図1(b)や図2に示すように、検出器を均等幅に2分割した開放型PET装置の設計が行なわれている（Taiga Yamaya, Taku Inaniwa, Shinichi Minohara, Eiji Yoshida, Naoko Inadama, Fumihiko Nishikido, Kengo Shibuya, Chih Fung Lam and Hideo Murayama, "A proposal of an open PET geometry," Phy. Med. Biol., 53, pp. 757-773, 2008.）。

【0007】

ここで、図3に示す如く、それぞれの検出器11、12の体軸方向寸法（幅とも称する）をWとして、間の開放領域の体軸方向寸法（隙間とも称する）をGとすると、体軸方向視野は $2W + G$ となる。図3(c)に示す如く、開放領域隙間GがWを越えると、画像化できる領域が体軸方向に断続してしまうため、体軸方向に連続した視野を得るための開放領域隙間Gの上限は、図3(b)に示す如く、Wとなる。しかし、開放領域の中央に感度が集中し、開放領域の周辺で感度が極端に低下してしまう。開放領域の両端における極端な感度低下を抑制するためには、図3(a)に示すように、GをWより小さく設定する必要があるが、開放領域隙間及び体軸方向視野が減少してしまう（上記文献参照）。

【0008】

このように、出願人が先に提案した開放型PET装置では、開放領域の中央に感度が集中し、開放領域の周辺で感度が極端に低下してしまう問題があるため、この局所的な感度低下を抑制するためには、Gに対して相対的にWを拡大する必要がある。また、開放領域隙間及び体軸方向視野の最大値は、それぞれW及び3Wに制限されるため、開放領域隙間や体軸方向視野を更に拡大するためにも、W自体を拡大する必要がある。しかし、いずれにおいても、1つのマルチリング型検出器を構成する検出器数の増加により、装置が高価格化、複雑化してしまうという問題点を有していた。

【0009】

開放型ではない従来のPET装置においては、限られた視野の検出器リングで、より広い視野を計測する目的で、ベッドまたはPET装置自体を相対的に移動させながら放射線計測を行う方法が用いられている（特開2007-206090号公報、Kitamura K, Takahashi S, Tanaka A et al: 3D continuous emission and spiral transmission scanning for high-throughput whole-body PET. Conf. Rec. IEEE NSS & MIC. M3-2, 2004）が、開放型PET装置の問題点を解決するものでは無かった。

【発明の開示】

【0010】

本発明は、前記従来の問題点を解決するべくなされたもので、検出器数を増やすことなく、局所的な感度低下を抑制したり、検出器リング間の開放領域隙間や体軸方向視野を拡大したりすることを課題とする。

【0011】

本発明では、体軸方向に並んだマルチリングでなる複数の検出器リングを含む開放型PET装置において、少なくとも1つの検出器リングを被検者に対して相対的に体軸方向に移動させながら放射線計測を行なうに際して、少なくとも1つの一定幅の開放領域隙間が、放射線計測中に被検者に対して位置が固定されていることを特徴とする開放型PET装置を提供する。

本発明では、又、体軸方向に並んだマルチリングでなる複数の検出器リングを含む開放型PET装置において、少なくとも1つの検出器リングを被検者に対して相対的に体軸方向に移動させながら放射線計測を行なうに際して、移動する検出器リングがガントリに内包され、ガントリ自体は放射線計測中に被検者に対して固定されていることを特徴とする開放型PET装置を提供する。

ここで、検出器リングが4以上である場合は、内側の2つの検出器リングを固定するこ

10

20

30

40

50

とができる。

あるいは、検出器リングが6以上である場合は、内側と外側の4つの検出器リングを固定することができる。

【0012】

ここで、検出器リングの移動によって時々刻々変化する開放領域隙間の少なくとも一部が、放射線計測中に常に重なるようにすることができる。

【0014】

又、検出器リングの構成、移動方向や移動速度を最適化することによって、感度分布のむらの低減、開放領域隙間の拡大、体軸方向視野の拡大を可能とすることができる。

【0015】

又、複数の検出器リングを互いに接近及び/又は離隔させることができる。

【0016】

又、複数の検出器リングを体軸方向の距離を一定に保ったまま移動させることができる。

【0017】

又、複数の検出器リングを同じ方向に片道または往復で移動させつつ、互いに接近及び/又は離隔させることができる。

【0019】

本発明は、体軸方向に並んだマルチリングでなる複数の検出器リングを含む開放型PET装置において、少なくとも1つの検出器リングを被検者に対して相対的に体軸方向に移動させながら放射線計測を行うことで、開放領域を横切る同時計数線を分散させる点に特徴がある。

【0020】

図4に、検出器リングの構成及び移動方向について、代表的なパターンを例示する。図4(a)は、2分割した検出器リング11、12の両者を可動とし、その間を開放領域とする構成である。図4(b)は、2分割した検出器リング(21、22)、(23、24)を左右に配置し、外側の2つの検出器リング21、24を可動とし、固定した中央の2つの検出器リング22、23で挟まれる空間を開放領域とする構成である。図4(c)は、3分割した検出器リング(31、32、33)、(34、35、36)を左右に配置し、外側の2つの検出器リング31、36と中央の2つの検出器リング33、34を固定とし、残る2つの検出器リング32、35を可動とする構成である。この場合、中央の固定検出器リング33、34に挟まれる空間が開放領域となる。

【0021】

いずれの場合にも、可動検出器リングの移動方向については、図4に示すように、両者を遠ざけるように移動する方法(隙間を拡大)、近づけるように移動する方法(隙間を縮小)、一定距離を保ってシフトする方法(平行)、同じ方向に移動しつつ間隙を拡大又は縮小する方法等が考えられ、それぞれ片道または往復の移動をすることができる。

【0022】

図5は、可動検出器リングの数や分割数を増やした構成例である。

【0023】

図4、図5は、ベッドを固定させて検出器リングのみを移動させる場合を図示しているが、ベッドと検出器リングを相対的に移動させてもよい。

【0024】

移動は、連続的に移動しながら計測する方法と、静止・計測のステップを細かく繰り返す方法がある。更に、移動速度を変化させたり、ステップ幅を変化させることもできる。

【0025】

開放型PET装置は、頭部のPET検査において、被検者が受ける視覚的な圧迫によるストレスを低減できる。又、開放空間から例えば癌治療を行うなど、これまでは不可能であった治療中のPET診断を可能にすると期待される。

【0026】

10

20

30

40

50

本発明は、開放領域の局所的な感度低下を抑制することで、開放空間の中央だけでなく周辺も含めて、開放空間全体の画質を高めることができる。

【0027】

本発明は、検出器総数を変えずに視野範囲を拡大できることも可能であり、全身を一度に診断できるPET装置を比較的価格を抑えて実現できる。全身同時視野のPET装置は、医薬品の開発効率を高める方法として近年注目されているマイクロドージング試験の推進に不可欠とされる。マイクロドージング試験は、効率的な新医薬品開発を促進するために、開発の早期段階において、超微量の化合物を投与して、ヒトにおいて最適な薬物動態を示す開発候補の化合物を選択する方法である。

【図面の簡単な説明】

10

【0028】

【図1】(a)従来一般的なPET装置、及び、(b)出願人が先に提案した開放型PET装置の構成を示す斜視図及び断面図

【図2】開放型PET装置における画面再構成の原理を示す断面図

【図3】開放型PET装置の開放領域隙間と感度の関係を示す断面図及びグラフ

【図4】本発明の構成例を示す図

【図5】同じく他の構成例を示す図

【図6】本発明の構成例における(a)接近シフト、(b)平行シフト及び(c)片側シフトの状態を示す図

【図7】接近シフトにおける(a)感度分布と(b)開放領域隙間の縮小・拡大パターンを示す図

20

【図8】平行シフトにおける(a)感度分布と(b)平行シフトのパターンを示す図

【図9】片側シフトにおける(a)感度分布と(b)検出器中心の体軸上位置の座標を示す図

【図10】同じく他の(a)感度分布と(b)検出器中心の体軸上位置の座標を示す図

【図11】本発明の実施例の構成を示す図

【図12】実施例で最適化したパラメータと感度分布の例を示す図

【図13】本発明の第1実施形態を示す図

【図14】同じく第2実施形態を示す図

【発明を実施するための最良の形態】

30

【0029】

以下図面を参照して、本発明の実施形態を詳細に説明する。

【0030】

市販のPET装置を基にして、図6に示す如く、直径827mmの円周上に576個の検出素子(シンチレータ)が並んだ32本の検出素子リング(幅4.8mm)から構成される検出器リング11、12を左右に離して配置した計算機シミュレーションを行なった。検出器リング幅Wは153.6mmである。

【0031】

移動方向は、図6(a)に示すように開放領域隙間Gを縮小・拡大する場合と、図6(b)に示すように開放領域隙間Gを一定に保ったまま左右の検出器リングをSだけシフトする場合と、図6(c)に示すように片側だけシフトする場合をテストした。

40

【0032】

図7は、接近シフトを試行した結果である。図7(a)は、AからEまでの5通りの移動方法による感度分布の結果であり、図7(b)は開放領域隙間Gの時間変化を図示したものである。AはG=153mmのまま検出器リングを移動させない従来の場合であり、感度分布に極端な低下が見られる。B及びCは、Gを153mmからそれぞれ77mm及び0mmまで一定速度で縮小させた後、再び153mmまで一定速度で拡大した場合であり、従来の場合で見られた感度低下が抑制されることが分かる。Eは、Cにおいて移動速度を2倍にすると共に、G=0mmにおける静止を追加した場合であり、検出器リングの装置中央での滞在時間を増やすことによって、感度特性が更に改善されることを示してい

50

る。なおDは、Cにおいて移動速度に緩急をつけた例であり、Eと同様に感度特性が改善されると共に、検出器リングを折り返す際の機械的な負担を低減することも期待できる。いずれの場合においても、接近シフトでは感度分布の中央のピーク値は変わらない点が特徴的である。

【0033】

図8は、 $G = 307\text{ mm}$ に固定して、平行シフトを試行した結果である。図8(a)は、AからEまでの5通りの移動方法による感度分布の結果であり、図8(b)は平行シフトのパターンを図示したものである。一定の移動速度にて、往復で検出器リングをシフトさせている。Aは $G = 307\text{ mm}$ のまま検出器リングを移動させない従来の場合であり、感度分布の極端な低下及び感度ゼロの領域が見られる。BからDは、それぞれ77mm、153mm、230mmだけシフトさせた場合であり、シフト量を増やすほど感度分布のピーク値が分散され、感度分布の一様性が高まることが分かる。Eは307mmまでシフトさせた場合であるが、Dと比べ、むしろ感度のピークが新たに発生してしまうことがわかる。

10

【0034】

図9は、片側シフトを試行した結果である。図9(a)は、AからCまでの3通りの移動方法による感度分布の結果であり、図9(b)は左右の検出器リング(検出器1及び検出器2)の検出器中心の体軸上位置の座標を図示したものである。いずれの場合も検出器1は固定、検出器2のみ可動とし、時刻0における隙間は $G = 153\text{ mm}$ である。AからCは、それぞれ隙間を0mm、77mm、115mmまで縮めた場合であり、シフトさせた側(図の右側)の検出器2の感度ピークを分散させることで、開放領域の局所的な感度低下が抑制される。

20

【0035】

図10は、片側シフトにおいて、固定する検出器リングを入れ替えて試行した結果である。図10(a)は、AからCまでの3通りの移動方法による感度分布の結果であり、図10(b)は左右の検出器リング(検出器1及び検出器2)の検出器中心の体軸上位置の座標を図示したものである。いずれの場合も、時刻0から10の間では検出器1を固定、検出器2を可動とし、時刻10から時刻20の間では検出器2を固定、検出器1を可動とした。時刻0における隙間は $G = 153\text{ mm}$ とし、AからCは、それぞれ最小の隙間を0mm、77mm、115mmとした場合である。感度ピークが分散されて局所的な感度低下が抑制されており、その効果は左右対称であり、かつシフト量が大きいほど大きいことが分かる。

30

【0036】

2分割の検出器リングによる開放型PET装置では、感度分布は、中央ピークに加えて左右に半分程度のピークを持つ。接近シフトは、中央ピークを維持したまま、左右のピークを中央よりにシフトさせることで感度の溝を埋めることから、開放領域に絞って画質を高めようとする方法である。一方、平行シフトは、それぞれの感度ピークを削って感度の溝を埋める効果があることから、開放領域だけでなく体軸視野全体において画質を高める方法である。よって、接近シフトは治療融合に、平行シフトは全身同時視野イメージングに適していると言える。

40

【0037】

次に、2分割の検出器リングを左右に配置した計4分割の検出器リングにおいて、内側の2検出器リングを固定し、外側の2検出器リングを可動にした場合において、検出器構成および移動方向・量を最適化した例を示す。具体的には、図11に示すように、開放領域隙間を G_0 、内側の固定検出器リング22、23の幅を W_1 、固定検出器リング22、23から隙間 G_1 を隔てて配置した外側の可動検出器リング21、24の幅を W_2 として、 G_1 を $G_{1\text{ start}}$ から $G_{1\text{ end}}$ まで変化させた。そして、 $G_0 = 150\text{ mm}$ 、 $W_1 + W_2 = 150\text{ mm}$ の条件下において、開放領域内における感度分布の標準偏差(ばらつき)が最小になる W_1 、 W_2 、 $G_{1\text{ start}}$ 、 $G_{1\text{ end}}$ の組み合わせを求めた。

【0038】

50

図12に最適化したパラメータと感度分布を示す。図12(a)は、参考として、検出器リングをシフトさせない($G_{1\text{start}} = G_{1\text{end}}$)条件下において、 W_1 、 W_2 、 G_1 を最適化した結果である。図3(b)の感度分布に示されるような開放領域両端における極端な感度低下は無いものの、感度の鋭いピークと谷が存在している。これに対し、図12(b)は、 $G_{1\text{end}}$ の最大値を140mmに設定してパラメータの最適化を行った結果であり、幅 $W_2 = 110\text{mm}$ の可動検出器リング21、24を、 $G_{1\text{start}} = 0\text{mm}$ から $G_{1\text{end}} = 140\text{mm}$ まで平行にシフトする構成が、開放領域における感度分布のばらつきを最小化することが示された。又、検出器シフトは、局所的な感度低下の抑制に加えて、体軸方向視野の拡大にも効果的であることが分かる。

【0039】

10

次に、本発明による検出器シフトを実装する実施形態について述べる。検出器リングを内包するガントリ自体を移動させてもよいが、被検者に対して相対的にガントリがシフトするため、被検者に対して不動な開放領域を十分に確保することが難しい他、ガントリと被検者や操作者との接触を回避するための安全装置の装着が必要となる等、装置の構成が複雑化してしまう。

【0040】

よって、ガントリ自体は少なくとも計測中は被検者に対して固定された状態にあって、検出器リングの移動はガントリの内部で行われる方式が望ましい。

【0041】

図13は、図12(b)で最適化したパラメータに基づいて、ガントリ100内部で検出器リングをシフトさせる方式を実装した第1実施形態である。図において、102は車輪、104はサーボモータである。

20

【0042】

一定の開放領域が確保される他、被検者と接触する可能性のある可動部が無く、検出器リング移動に関わる安全装置を簡略化することができる。

【0043】

図14は、検出器リングを6分割(3分割した検出器リングを左右に配置)し、端(図では左端)から数えて2番目と5番目の検出器リング32、35のみを可動とする構成を例にとって、ガントリ100内部で検出器リングをシフトさせる方式を実装した第2実施形態である。

30

【0044】

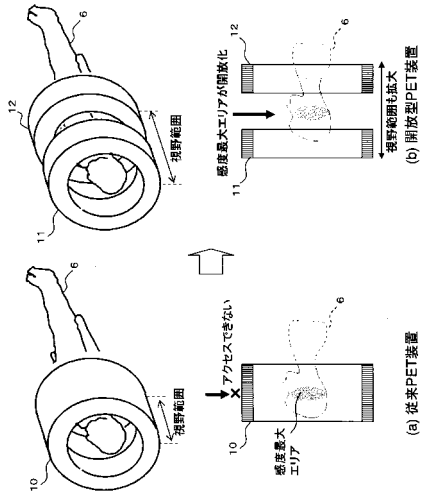
前記実施形態においては、いずれも、移動検出器リング(21、24)(32、35)がガントリ100に内包され、ガントリは固定されているので、安全性が高い。なお、ガントリを移動することも可能である。

【産業上の利用の可能性】

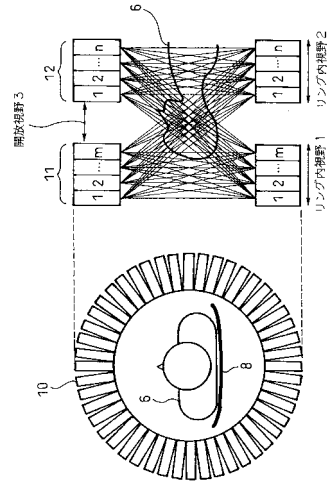
【0045】

体軸方向に並んだマルチリングでなる複数の検出器リングを含む開放型PET装置で、検出器数を増やさずに、局所的な感度低下を抑制したり、検出器リング間の開放領域隙間や体軸方向視野を拡大したりすることができる。

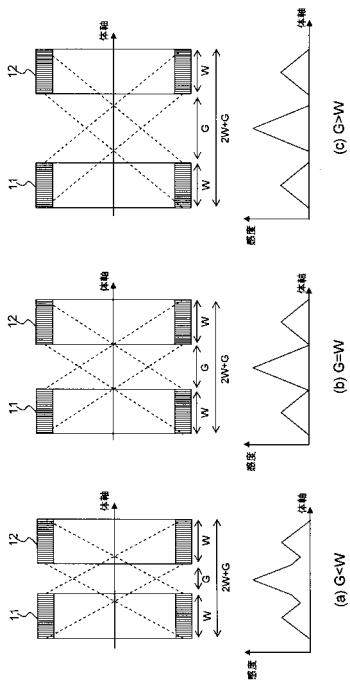
【図1】



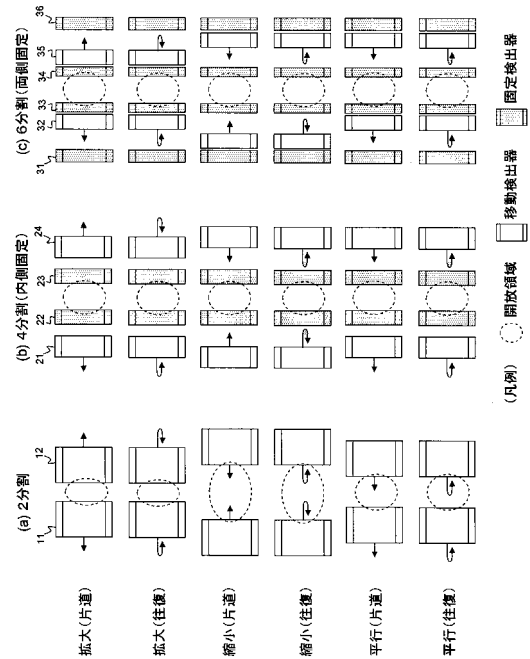
【図2】



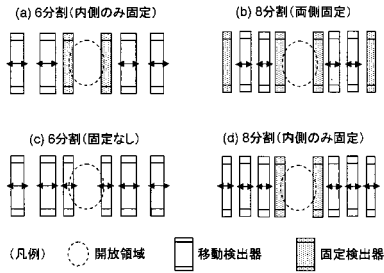
【図3】



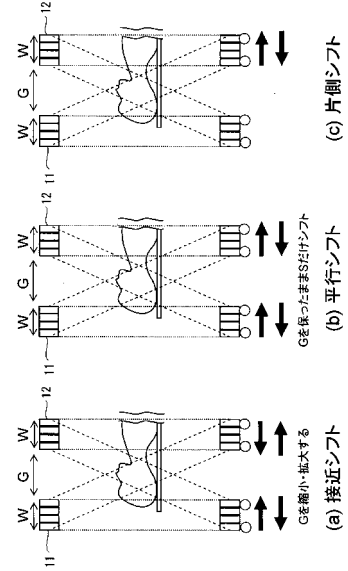
【図4】



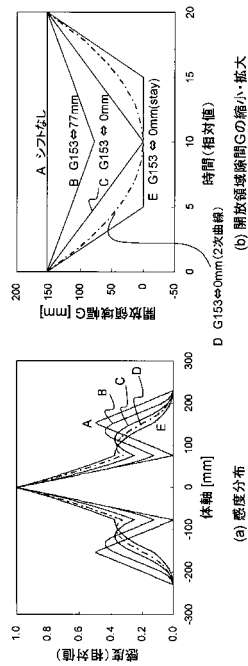
【 図 5 】



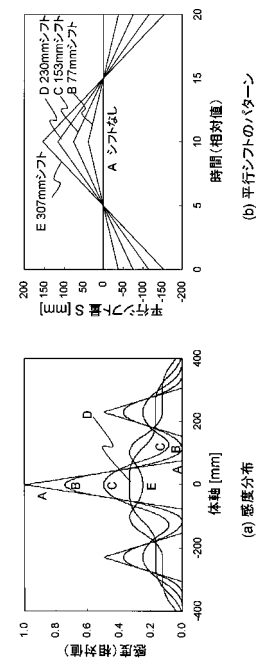
【 図 6 】



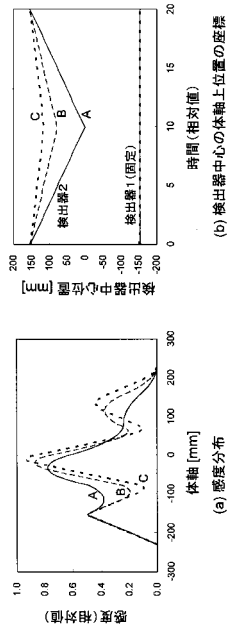
【 図 7 】



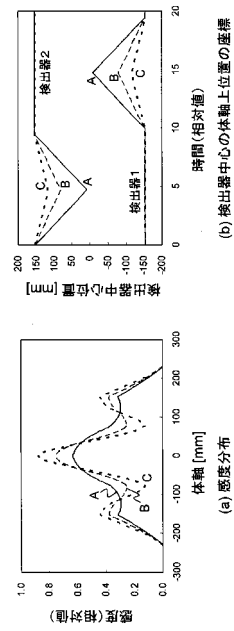
【 図 8 】



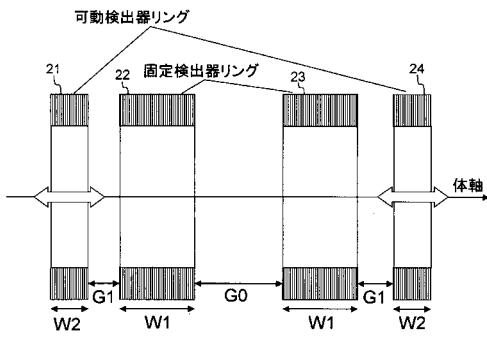
【図9】



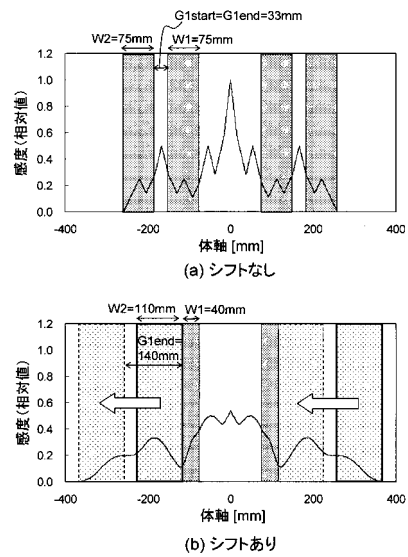
【図10】



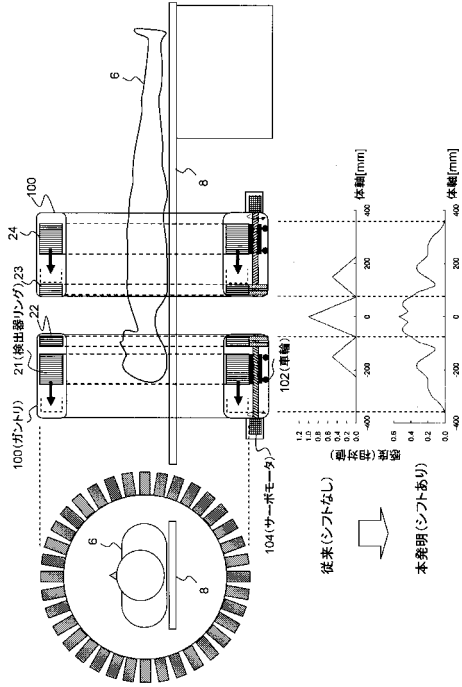
【図11】



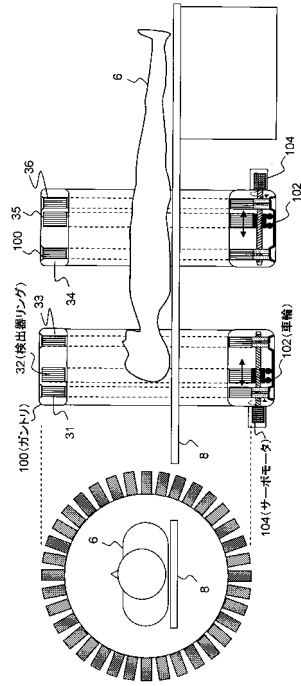
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 森 慎一郎

千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 独立行政法人放射線医学総合研究所内

審査官 井上 香緒梨

(56)参考文献 特開2008-134205(JP,A)

山谷泰賀,外6名,オープンPET装置のイメージングシミュレーション,電子情報通信学会技術研究報告,2008年1月18日,Vol.107, No.461, p.383-387

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01T 1/161

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)