

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2009年10月22日(22.10.2009)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2009/128131 A1

- (51) 国際特許分類:
G01T 1/161 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2008/057284
- (22) 国際出願日: 2008年4月14日(14.04.2008)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 独立行政法人放射線医学総合研究所(National Institute of Radiological Sciences) [JP/JP]; 〒2638555 千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号 Chiba (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 山谷 泰賀(YAMAYA, Taiga) [JP/JP]; 〒2638555 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 Chiba (JP). 村山 秀雄(MURAYAMA, Hideo) [JP/JP]; 〒2638555 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 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 高矢 諭, 外(TAKAYA, Satoshi et al.); 〒1510053 東京都渋谷区代々木二丁目10番12号 南新宿ビル Tokyo (JP).

- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

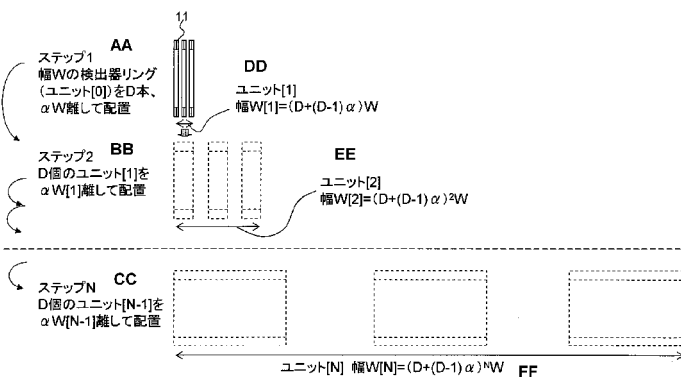
添付公開書類:

- 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: PET DEVICE AND METHOD FOR DETERMINING ARRANGEMENT OF DETECTORS

(54) 発明の名称: PET装置及び検出器の配置決定方法

[図1]



- AA STEP 1
ARRANGE D DETECTOR RINGS (UNIT [0]) WITH WIDTH W AT INTERVALS OF αW
- BB STEP 2
ARRANGE D UNITS [1] AT INTERVALS OF $\alpha W[1]$
- CC STEP N
ARRANGE D UNITS [N-1] AT INTERVALS OF $\alpha W[N-1]$
- DD UNIT [1]
WIDTH $W[1] = (D + (D-1)\alpha)W$
- EE UNIT [2]
WIDTH $W[2] = (D + (D-1)\alpha)^2 W$
- FF UNIT [N] WIDTH $W[N] = (D + (D-1)\alpha)^N W$

(57) Abstract: A PET device in which detector rings are arranged in multiple layers so as to face each other in a body axis direction. In a first ring set, a predetermined number of detector units each including a predetermined number of detector rings are arranged with a space therebetween, and the space is equal to or less than the average of widths of two detector units which form the space therebetween. A second ring set includes the predetermined number of detector units. By arranging the first ring set and the second ring set with a space equal to or less than the average of the width of the first ring set and the width of the second ring set therebetween, a field of view continuous in the body axis direction along the entire length of the first ring set and the second ring set including the space is imaged.

(57) 要約: 体軸方向に検出器リングが互いに対向するように多層に配列されたPET装置であり、各々所定数の検出器リングからなる所定数の検出器ユニットが互いに隙間を空けて配列されており、該隙間が各々隙間を形成する二つの検出器ユニット幅の平均以下である第1のリングセットと、所定数の検出器ユニットから構成される第2のリングセットが、第1のリングセットの幅

と第2のリングセットの幅の平均以下となる隙間を隔てて配列されることで、該隙間を含み、第1のリングセットと第2のリングセットの全長に渡る体軸方向に連続した視野を画像化する。

WO 2009/128131 A1

明 細 書

PET装置及び検出器の配置決定方法

技術分野

[0001] 本発明は、体軸方向に検出器リングが互いに対向するように多層に配列されたPET装置であり、各々所定数の検出器リングからなる所定数の検出器ユニットが互いに隙間を空けて配列されており、該隙間を含む体軸方向に連続した視野を画像化するようにされたPET装置及び検出器の配置決定方法に係り、特に、検出器数を増やさずに、隙間と体軸方向視野を拡大することが可能なPET装置、及び、そのための検出器の配置決定方法に関する。

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(PET)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PET装置が実用化されている。

[0003] PET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对の511keV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PET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1990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3DモードのPET装置

の開発が盛んに行われ、現代に至っている。

[0005] PET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10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、患者への手当での障害にもなる。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11、12を離して配置し、物理的に開放された視野領域(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] ここで、図3に示す如く、それぞれのマルチリング型検出器11、12の体軸方向寸法(幅とも称する)をWとすると、開放領域の体軸方向寸法(隙間とも称する)がWを超えると、画像化できる領域が体軸方向に断続してしまうため、図3(a)に示す如く、体軸方向に連続した視野を得るための開放領域隙間の最大値はWとなる。その場合、全体の体軸方向視野は3Wとなるが、開放領域の両端で極端な感度の低下が起こる。

[0007] そこで、図3(b)に示す如く、開放領域隙間を αW ($0 < \alpha \leq 1$)にして、感度をオーバーラップさせることにより、開放領域の両端の感度低下を防ぐことができる。この場合、体軸方向視野は $(2 + \alpha)W$ になる。 α を小さくする程、局所的な感度低下が抑制される一方、開放領域隙間及び体軸方向視野は減少する(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. 参照)。

[0008] 出願人が先に提案した開放型PET装置では、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は、W自体を拡大する必要があるが、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。

発明の開示

[0009] 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、開放領域隙間と体軸方向視野を拡大することを課題とする。

- [0010] 本発明においては、同一幅又は異なる幅の検出素子又は検出素子ブロックにより構成される検出器リングを、体軸方向に複数配置して、体軸方向に見て検出器末端同士にわたって長い視野を確保する。この構成全体を一体の検出器リング(リングセット又はユニットと称する)と見做して、多重化する。
- [0011] 説明上、均等幅 W の検出器リングを、一定間隔 αW ($0 < \alpha \leq 1$)で D 個配置するとして、 α 及び D がステップ毎に固定であるとする。図4は、例として D を3に固定した場合である。
- [0012] 図4のステップ1に示す如く、幅 W の検出素子又は検出素子ブロックで構成される検出器リング11をユニット[0]とし、 D 個のユニット[0]を αW の間隔を空けて配置した構成全体を、第1レベルのユニット[1]とする。このユニット[1]の幅 $W[1]$ は、 $(D + (D - 1) \alpha) W$ となる。
- [0013] 次に、図4のステップ2に示す如く、 D 個のユニット[1]を $\alpha W[1]$ の間隔を空けて配置した構成全体を、第2レベルのユニット[2]とする。このユニット[2]の幅 $W[2]$ は、 $(D + (D - 1) \alpha)^2 W$ となる。
- [0014] 上記のステップを計 N 回繰り返して、図4のステップ N に示す如く、第 N レベルのユニット[N]を得る。即ち、幅 $D^N W$ 分の検出器リングで、体軸方向視野 $(D + (D - 1) \alpha)^N W$ をカバーすることができる。
- [0015] ここで、 $\{(D + (D - 1) \alpha) / D\}^N$ を視野拡大の倍率として定義すると、例えば $D = 2$ 、 $\alpha = 0.5$ の場合、 $N = 5$ なら倍率は約3倍、 $N = 10$ なら約9倍、 $N = 20$ なら約87倍となる。
- [0016] α は、開放領域隙間及び体軸方向視野の拡大効果と、感度むらの低減効果のバランスを調整するパラメータであり、 $0 < \alpha \leq 1$ の範囲であれば、ユニット毎またはステップ毎に値を変えてもよい。 α を小さくする程、局所的な感度低下が抑制される一方、開放領域隙間及び体軸方向視野の拡大効果は減少する。逆に、 α を最大値である1に固定すれば、開放領域隙間及び体軸方向視野は最大化されるが、局所的な感度低下が強調されてしまう。
- [0017] α 固定($\alpha = 0.5$ の例)として、 $D = 2, 3, 4$ 及び5の場合において、 N を変化させて

、使用する検出器リング数 D^N と達成される体軸方向視野 $(D + (D - 1) \alpha)^N$ の関係を調べた結果を図5に示す。ここでは便宜上 $W = 1$ としている。これより、 $D = 2$ が最も倍率が高いことが分かる。 N の増加に応じて、倍率を無限に高めることができる。

[0018] なお、 W 、 D 及び α は、ステップ内及びステップ間で変化させることで、感度分布を調整することができる。

[0019] 本発明は、上記の技術思想に基づいてなされたもので、体軸方向に検出器リングが互いに対向するように多層に配列されたPET装置であり、各々所定数の検出器リングからなる所定数の検出器ユニットが互いに隙間を空けて配列されており、該隙間が各々隙間を形成する二つの検出器ユニット幅の平均以下である第1のリングセットと、所定数の検出器ユニットから構成される第2のリングセットが、第1のリングセットの幅と第2のリングセットの幅の平均以下となる隙間を隔てて配列されることで、該隙間を含み、第1のリングセットと第2のリングセットの全長に渡る体軸方向に連続した視野を画像化することで、前記課題を解決したものである。

[0020] 又、少なくとも前記第1のリングセットと前記第2リングセットを内包する第3のリングセットと、所定数の検出器ユニットから構成される第4のリングセットが、第3のリングセットの幅と第4のリングセットの幅の平均以下となる隙間を隔てて配列されることで、該隙間を含み、第3のリングセットと第4のリングセットの全長に渡る体軸方向に連続した視野を画像化することを前記課題を解決したものである。

[0021] ここで、少なくとも一つの検出器ユニットを、マルチリング型検出器とすることができる。

[0022] 又、同じリングセットを複数含むことができる。

[0023] 又、前記リングセットを構成する検出器ユニット数、検出器ユニット幅、及び、検出器ユニット間の隙間の少なくとも一つが異なるリングセットを複数含むことができる。

[0024] 又、前記リングセットの体軸方向寸法(幅)、及び/又は、リングセット間の間隔を、リングセット、及び/又は、リングセット間で変えることができる。

[0025] 又、前記検出器ユニット間又はリングセットの少なくとも一部の隙間に合わせて、ガントリの少なくとも一部を開放することができる。

[0026] 又、前記検出器ユニット又はリングセットの少なくとも一部が体軸方向に移動する構

造を持ち、少なくとも一部の隙間を可変とすることができる。

- [0027] 又、前記検出器ユニットを構成する検出素子ブロックの体軸方向寸法(幅)と、前記検出器ユニットの体軸方向寸法(幅)を同じとすることができる。
- [0028] 又、前記検出器ユニット間の間隔と同寸の隙間を空けて配置された所定数の検出素子が、一体化された検出素子ブロックを構成し、リング状に配置した該検出素子ブロックが前記リングセットを構成するようにすることができる。
- [0029] 本発明は、又、複数の検出器ユニットが互いに体軸方向に隙間を隔てて対向するように配列され、該隙間を含む体軸方向に連続した視野を画像化するようにされたPET装置の検出器リングの配置を決定する様に、幅Wの検出器又は検出素子ブロックで構成される検出器リングをユニット[0]とし、D[0]個のユニット[0]を $\alpha[0] \times W$ の間隔を空けて配置して、全体に渡り幅W[1]の連続した体軸方向視野を確保した構成全体を、ユニット[1]とするステップと、D[1]個のユニット[1]を $\alpha[1] \times W[1]$ の間隔を空けて配置して、全体に渡り幅W[2]の連続した体軸方向視野を確保した構成全体を、ユニット[2]とするステップと、上記のステップを計N回繰り返して、ユニット[N]を得るステップを含むことを特徴とする検出器の配置決定方法を提供するものである。
- [0030] なお本発明に一见類似するものとして、検出器を隙間を空けてまばらに配置することによって、同時計数線のサンプリングの粗密をまばらにして均一性を高めると共に、視野領域を広げる技術思想が提案されている(特開平9-211130号公報、特開2001-141827号公報参照)。特に、特開平9-211130号公報においては、受光面幅Wの検出器を一方向に配列し、端の検出器とその隣の検出器の受光面中心点間距離をLとし、端を除く任意の検出器の隣同士の受光面中心点間距離をL'としたとき、 $W \leq L \leq 2W$ かつ $L' = 2L$ とすることが明記されている。L'の最大値は4Wとなるが、これは、隣り合あう検出器の受光面の端から端までの距離が3Wであることを意味している。
- [0031] しかし、本技術思想は、平面撮像のポジトロンイメージング装置を対象にして考案されたものであり、画像化の原理が根本的に異なる断層撮影装置であるPET装置への適用については一切言及していない。仮に、本技術思想に従って、リング上に検出

器をまばらに配置した場合、画像再構成に必要な同時計数線が欠落してしまうため、画質の低下は避けられない。あるいは、リング上には検出器を密に配置するが、体軸方向にのみ本技術思想を応用して、個々のシングルリング型検出器をまばらに配置するPET装置とした場合、体軸方向視野の拡大率は約2倍が上限であるほか、臨床上有益な体軸方向分解能を得るためにはWを数mm程度にまで小さくする必要があり、これにより得られる隙間の最大値(3W)は僅かであり有益性はない。

[0032] 開放型PET装置は、開放空間から治療が行なえるため、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。本発明は、検出器総数を変えることなく、開放領域隙間及び体軸方向視野を拡大することができる。開放領域隙間の最大値が広がるということは、同じ開放領域隙間であれば、感度分布をよりオーバーラップさせることができるので、局所的な感度低下の抑制にも効果がある。又、広い視野とすることにより、全身を一度に診断できる全身視野のPET装置を、価格を比較的抑えて実現できる。全身視野のPET装置は、効率的な新医薬品開発を促進するために、創薬の早期段階において、超微量の化合物を投与して、人に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である。

図面の簡単な説明

- [0033] [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多重化前の開放型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]本発明の原理を示す断面図
- [図5]同じく検出器リング数と体軸方向視野の関係の例を示す図
- [図6]本発明の第1実施形態の検出器配置の決め方を示す断面図
- [図7]同じく第2実施形態の検出器配置を示す断面図及び側面図
- [図8]多重化前の開放型PET装置で開放領域を最大化した場合のシミュレーション結果を示す図
- [図9]本発明の第3実施形態におけるシミュレーション結果を示す図

[図10]多重化前の開放型PET装置で図9と同じ192mmの開放領域を確保しようとした場合のシミュレーション結果を示す図

[図11]本発明の(a)第4実施形態及び(b)第5実施形態の感度分布を示す図

[図12]同じく(a)第6実施形態及び(b)第7実施形態の感度分布を示す図

[図13]同じく第8実施形態の感度分布を示す図

[図14]感度分布を調査した対象の構成を示す断面図

[図15](a)多重化前の開放型PET装置($G_0 = 150\text{mm}$)、(b) $G_0 = 150\text{mm}$ 、 $W_{eva} = 150\text{mm}$ で最適化した結果、(c) $G_0 = 200\text{mm}$ 、 $W_{eva} = 500\text{mm}$ で最適化した結果を示す図

[図16]本発明の(a)第9実施形態及び(b)第10実施形態の感度分布を示す図

[図17]本発明の(a)第11実施形態及び(b)第12実施形態の構成を示す図

[図18]検出器リングを構成する検出素子ブロックの構成例を示す斜視図

[図19]本発明の(a)第13実施形態、(b)第14実施形態及び(c)第15実施形態の構成を示す図

発明を実施するための最良の形態

[0034] 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。

[0035] 検出器リング幅 W は均等、 α は固定とした本発明の第1実施形態の、 $D=2$ 、 $N=4$ における検出器配置の決め方を図6に示す。

[0036] まずステップ1で、幅 W の検出器リング11をユニット[0]とし、2個のユニット[0]を αW ($0 < \alpha \leq 1$)の間隔を空けて配置した構成全体を、第1レベルのユニット[1]とする。このユニット[1]の幅 $W[1]$ は、 $(2 + \alpha)W$ となる。

[0037] 次に、ステップ2で、2個のユニット[1]を $\alpha W[1]$ の間隔を空けて配置した構成全体を、第2レベルのユニット[2]とする。このユニット[2]の幅 $W[2]$ は、 $(2 + \alpha)^2 W$ となる。

[0038] 上記のステップを計4回繰り返して、ステップ4で、第4レベルのユニット[4]を得る。即ち、幅 $2^4 W$ 分の検出器リングで、体軸方向視野 $(2 + \alpha)^4 W$ をカバーすることができる。

[0039] 更に、 $\alpha = 0.5$ とした本発明の第2実施形態の検出器配置の略図を図7に示す。こ

の場合、合計の幅が 2^4W の検出器リングから、 2.5^4W の体軸方向視野が得られているため、倍率は $(2.5/2)^4 \approx 2.4$ である。

[0040] 次に、市販のPET装置を基にして、直径827mmの円周上に576個の検出素子(シンチレータ)が並んだ検出器リング(幅4.8mm)48本から構成される装置をモデル化した計算機シミュレーションを行なった。数値ファントムは、一様な円筒状線源の中に直径4.0mmのスポットを63個含むものであり、円筒とスポットのコントラスト比は1:5とした。

[0041] 図8は、出願人が先に提案した多重化前の開放型PET装置で、開放領域隙間を最大化した場合($\alpha = 1$)の結果を示す。具体的には、24本の検出器リングをユニットとして($W = 115.2\text{mm}$)、2つのユニットを115.2mm(24リング分)の隙間を空けて配置している。体軸方向視野は345.6mmである。表示している断面画像は、視認性を高める目的で、輪郭抽出処理を施している。図8中の下のグラフは、体軸上の感度分布を示した結果であり、開放領域両端において、極端な感度低下が見てとれる。

[0042] これに対して、図9は、本発明による多重化後の開放型PET装置の第3実施形態として、3本の検出器リングをユニット[0]として($W = 14.4\text{mm}$)、 $D = 2$ 、 $\alpha = 2/3$ 、 $N = 4$ の条件で開放型PET装置を多重化して検出器を配置した結果である。用いている検出器リング数は、 $3 \times D^N = 3 \times 2^4 = 48$ 本と、図8の例と一致する。これにより、装置中央に192mm(40リング分)の開放領域が確保され、全体で758.4mmの体軸方向視野を確保している。又、図8の例よりも小さい α を採用しているため、図8のような極端な感度低下も無い。

[0043] 図10は、多重化前の開放型PET装置で、図9と同じ192mm(40リング分)の開放領域を確保しようとした場合のシミュレーション結果であり、開放領域の両端に感度の無い領域が発生し、正しく画像化できないことが分かる。

[0044] 図11は、 $D = 2$ 以外の例として、3本の検出器リングをユニット[0]として、 $W = 14.4\text{mm}$ 、 $\alpha = 2/3$ 、 $N = 2$ の条件で検出器を配置した場合の感度分布であり、図11(a)は、 $D = 3$ とした第4実施形態の場合、図11(b)は、 $D = 4$ とした第5実施形態の場合である。第4実施形態の使用検出器リング総数は27、最大ギャップは43.2mm(9

リング分)、体軸方向全視野は273.6mm(57リング分)であり、第5実施形態の使用検出器リング総数は48、最大ギャップは57.6mm(12リング分)、体軸方向全視野は518.4mm(108リング分)である。

[0045] 図12は、異なるDを組合せた例である。図12(a)は、左右で検出器配置を変えた例として、配置($D=2$ 、 $\alpha=2/3$ 、 $N=3$)と、配置($D=3$ 、 $\alpha=2/3$ 、 $N=2$)を組み合わせた第6実施形態の結果である。左右非対称の検出器配置によって、装置中央の感度の集中が無くなり、開放領域にて比較的平坦な感度分布が得られている。図12(b)は、2ステップ目までは $D=3$ として、3ステップ目に $D=2$ とした第7実施形態の感度分布である。第6実施形態の使用検出器リング総数は51、最大ギャップは192mm(40リング分)、体軸方向全視野は748.8mm(156リング分)であり、第7実施形態の使用検出器リング総数は54、最大ギャップは182.4mm(38リング分)、体軸方向全視野は729.6mm(152リング分)である。

[0046] 図13は、DおよびWは固定として、 α すなわちユニット間の隙間(ギャップ)をステップ内およびステップ間で微調整して、装置中央の感度の集中を和らげた第8実施形態である。

[0047] 具体的には、 $D=2$ 、 $W=14.4$ mm(3リング分)、 $N=4$ として、1ステップ目のギャップは9.6mm(2リング分)に固定するが、2ステップ目のギャップは33.6mm(7リング分)または24mm(5リング分)、3ステップ目のギャップは62.4mm(13リング分)または81.6mm(17リング分)とした。第8実施形態の使用検出器リング総数は48、最大ギャップは192mm(40リング分)、体軸方向全視野は758.4mm(158リング分)である。

[0048] 次に、固定条件 $D=2$ 、 $N=2$ において、Wと α を変化させた例を示す。具体的には、図14に示す系において、検出器リング幅Wの合計値を $2W=300$ mmに固定し、指定した感度領域隙間 G_0 に対して、 W_1 、 W_2 ($0\sim W$ の間)、 G_1 ($0\sim G_0$ の間)を1mm単位で変化させながら感度分布を計算し($W=W_1+W_2$)、体軸方向の感度分布のばらつきが最小になるような組合せを調査した。感度分布のばらつきは、指定した評価範囲 W_{eva} 内における標準偏差値とした。

[0049] 図15(a)は、参考として、多重化前の開放型PET装置で開放領域隙間を最大化し

た結果であり、検出器リング幅 W と同じ150mmの開放領域隙間が得られている。図15(b)は、開放領域隙間 $G_0=150\text{mm}$ に対して、同じく $W_{\text{eva}}=150\text{mm}$ の範囲で感度分布のばらつきが最小になるように、 W_1 、 W_2 、 G_1 を最適化した結果である。図15(c)は、用いる検出器リング幅の合計値は変えずに、開放領域隙間を $G_0=200\text{mm}$ にして、 $W_{\text{eva}}=500\text{mm}$ の範囲で感度分布のばらつきが最小になるように、 W_1 、 W_2 、 G_1 を最適化した結果である。

[0050] 前記実施形態は、いずれも、リングセットのみが用いられていたが、例えば頭部への感度を高めたい場合には、図16(a)に示す第9実施形態(左側 $D=1$ と右側 $D=2$ 、 $N=3$ の組合せ)の如く、頭部側を分割されていない検出器リングとしたり、図16(b)に示す第10実施形態(左側 $D=2$ 、 $N=1$ と右側 $D=2$ 、 $N=3$ の組合せ)の如く、頭部側の分割数を体幹部側よりも減らすことも可能である。

[0051] 又、図17(a)に示す第11実施形態(左側 $D=1$ と右側 $D=2$ 、 $N=1$ の組合せ)や、図17(b)に示す第12実施形態(左側 $D=1$ と右側 $D=2$ 、 $N=2$ の組合せ)のように、一方(図では右側)のリングセットを1組又は2組とすることもできる。

[0052] なお、前出図5より、本発明による視野拡大及び開放領域隙間の拡大倍率は、検出器リング数が多い程、大きくなるのが分かる。即ち、合計の検出素子数が同じであるとすれば、ユニット[0]を構成する検出素子数が少ない程、最終的な拡大倍率を高められる。PET用検出器としては、従来のシンチレーション検出器に加えて、テルル化カドミウム(CdTe)半導体素子等を用いた半導体検出器がある。半導体検出器は、もともと検出素子が独立しているため、少ない(極限的には1つの)検出素子リングをユニット[0]とすることが容易である。

[0053] シンチレーション検出器は、図18(a)に例示する如く、シンチレータ30と受光器(例えば光電子増倍管32)から構成され、受光器としては、従来の光電子増倍管32に加え、アバランシェ・フォトダイオード(APD)等の半導体受光器も注目されている。光電子増倍管の場合、図18(a)に示すような検出素子ブロックがユニット[0]を構成する最小単位になる。この場合、検出素子ブロックの体軸方向寸法が、ユニット[0]の体軸方向寸法となるが、光電子増倍管の小型化には構造的に限度があるため、検出素子ブロックを小さくすることは難しい。なお、数個、又は、究極的に1つの検出素子

リングをユニット[0]として、一つの光電子増倍管上に複数のユニット[0]を隙間をあけて搭載し、検出素子ブロックをユニット[1]とすることもできるが、光電子増倍管の受光面の利用効率は良くない。

[0054] これに対して半導体受光器の場合、基板36上に比較的自由に受光素子34を配置できるため、図18(b)又は(c)に示すように、数個、又は、究極的に1つの検出素子リングをユニット[0]として、ユニット[0]の隙間と受光素子34の基板36上の間隔を合わせるようにして、複数のユニット[0]を一体化した構成も可能である。ユニット[0]における検出素子と受光素子の関係は、1対1の接続が理想的であるが、図18(b)又は(c)に示すように、受光素子数を検出素子数よりも減らして、検出器の構成を簡略化することもできる。図18(b)及び(c)の場合、検出素子ブロック14はユニット[1]に相当する。

[0055] なお、本発明は、開放型PET装置に限らず、従来の非開放型のPET装置においても、装置コストを抑えながら体軸方向視野を拡大できる点で有益である。図19(a)に示す第13実施形態は、一体化された長いトンネル状のガントリ50内に検出器が配置された非開放型のPET装置の構成である。図19(b)に示す第14実施形態は、最大の隙間に合わせてガントリ50が分断され、物理的に開放された視野領域を有する開放型PET装置の構成を示す。更に、図19(c)に示す第15実施形態は、最大の隙間と2番目に大きい隙間の計3つの隙間に合わせてガントリ50を分断し、3つの開放視野を具備した開放型PET装置の構成である。

[0056] ここで、ガントリ50は床面に固定されていてもよいが、少なくとも一部の検出器ユニットやリングセットに体軸方向に移動する構造を持たせ、 $0 < \alpha \leq 1$ の範囲で隙間を可変とすることで、臨床的な用途に応じて開放領域隙間を変えたり、検査対象に応じて感度分布を微調整したりすることが可能となる。図19(b)及び図19(c)に示す形態では、ガントリ下面の車輪52を床面のレール54上に設置して、ガントリの一部もしくは全体を体軸方向に移動させることで、開放領域隙間を可変としている。

[0057] なお、前記実施形態において、いずれも、検出器リングの体軸方向に垂直な断面が円形とされていたが、検出器リングの断面形状はこれに限定されず、楕円形や矩形であつても良い。

[0058] 又、検査対象は人間に限定されず、動物を検査することも可能である。

産業上の利用の可能性

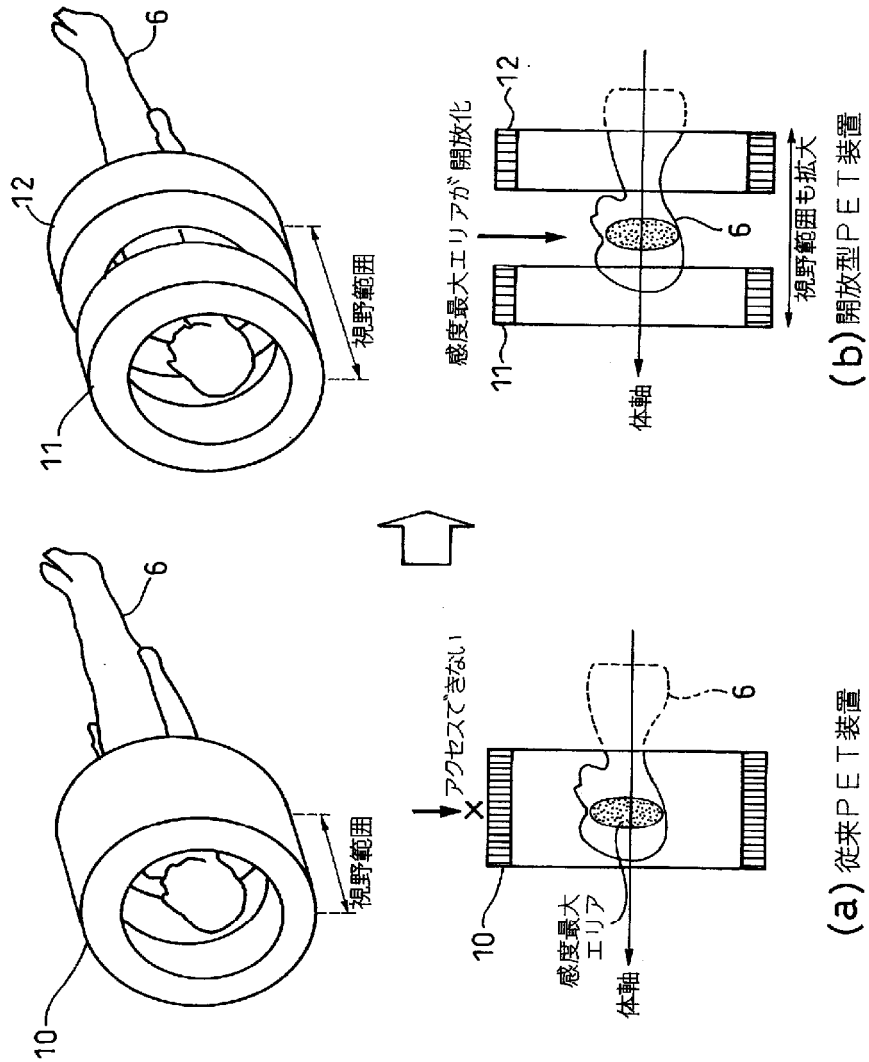
[0059] 体軸方向に検出器リングが互いに対向するように多層に配列されたPET装置であり、各々所定数の検出器リングからなる所定数の検出器ユニットが互いに隙間を空けて配列されており、該開放領域を含む体軸方向に連続した視野を画像化するようにされた開放型PET装置で、検出器数を増やさずに、開放領域隙間と体軸方向視野を拡大することができる。

請求の範囲

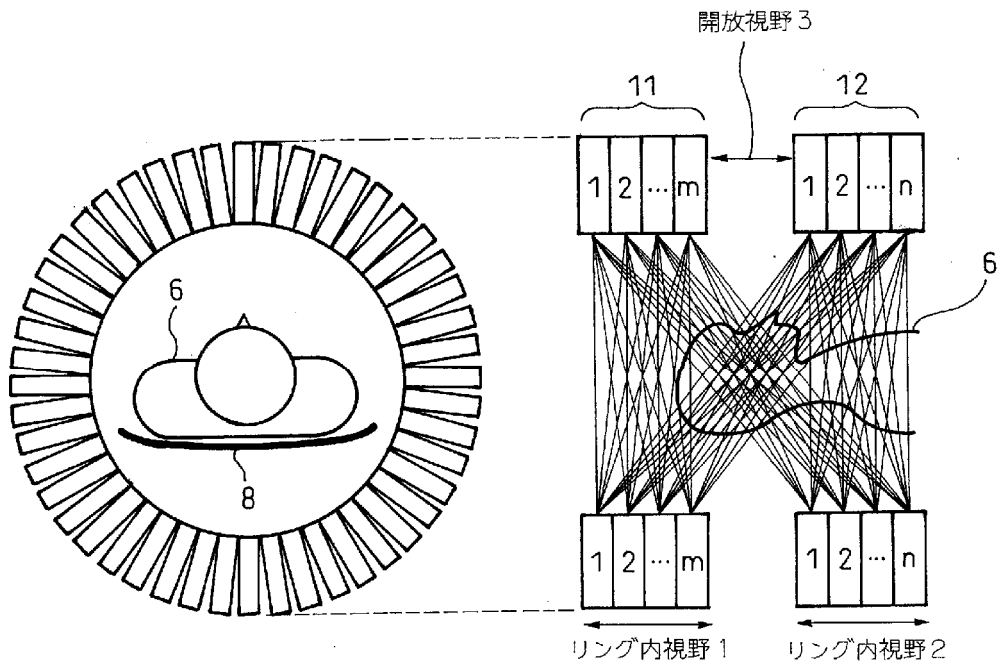
- [1] 体軸方向に検出器リングが互いに対向するように多層に配列されたPET装置であり、
各々所定数の検出器リングからなる所定数の検出器ユニットが互いに隙間を空けて配列されており、該隙間が各々隙間を形成する二つの検出器ユニット幅の平均以下である第1のリングセットと、
所定数の検出器ユニットから構成される第2のリングセットが、
第1のリングセットの幅と第2のリングセットの幅の平均以下となる隙間を隔てて配列されることで、
該隙間を含み、第1のリングセットと第2のリングセットの全長に渡る体軸方向に連続した視野を画像化することを特徴とするPET装置。
- [2] 少なくとも前記第1のリングセットと前記第2リングセットを内包する第3のリングセットと、
所定数の検出器ユニットから構成される第4のリングセットが、
第3のリングセットの幅と第4のリングセットの幅の平均以下となる隙間を隔てて配列されることで、
該隙間を含み、第3のリングセットと第4のリングセットの全長に渡る体軸方向に連続した視野を画像化することを特徴とする請求項1に記載のPET装置。
- [3] 少なくとも一つの検出器ユニットがマルチリング型検出器であることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のPET装置。
- [4] 同じリングセットを複数含むことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のPET装置。
- [5] 前記リングセットを構成する検出器ユニット数、検出器ユニット幅、及び、検出器ユニット間の隙間の少なくとも一つが異なるリングセットを複数含むことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載のPET装置。
- [6] 前記リングセットの体軸方向寸法、及び／又は、リングセット間の間隔が、リングセット、及び／又は、リングセット間で変えられてい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PET装置。

- [7] 前記検出器ユニット間又はリングセット間の少なくとも一部の隙間に合わせて、ガントリの少なくとも一部が開放されていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載のPET装置。
- [8] 前記検出器ユニット又はリングセットの少なくとも一部が体軸方向に移動する構造を持ち、少なくとも一部の隙間を可変とすることを特徴とする請求項1乃至7のいずれかに記載のPET装置。
- [9] 前記検出器ユニットを構成する検出素子ブロックの体軸方向寸法と、前記検出器ユニットの体軸方向寸法が同じであることを特徴とする請求項1乃至8のいずれかに記載のPET装置。
- [10] 前記検出器ユニット間の間隔と同寸の隙間を空けて配置された所定数の検出素子ブロックが、一体化されていることを特徴とする請求項1乃至9のいずれかに記載のPET装置。
- [11] 複数の検出器ユニットが互いに体軸方向に隙間を隔てて対向するように配列され、該隙間を含む体軸方向に連続した視野を画像化するようにされたPET装置の検出器リングの配置を決定する様に、
幅Wの検出器又は検出素子ブロックで構成される検出器リングをユニット[0]とし、
D[0]個のユニット[0]を $\alpha [0] \times W$ の間隔を空けて配置して、全体に渡り幅W[1]の連続した体軸方向視野を確保した構成全体を、ユニット[1]とするステップと、
D[1]個のユニット[1]を $\alpha [1] \times W[1]$ の間隔を空けて配置して、全体に渡り幅W[2]の連続した体軸方向視野を確保した構成全体を、ユニット[2]とするステップと、
上記のステップを計N回繰り返して、ユニット[N]を得るステップと、
を含むことを特徴とする検出器の配置決定方法。

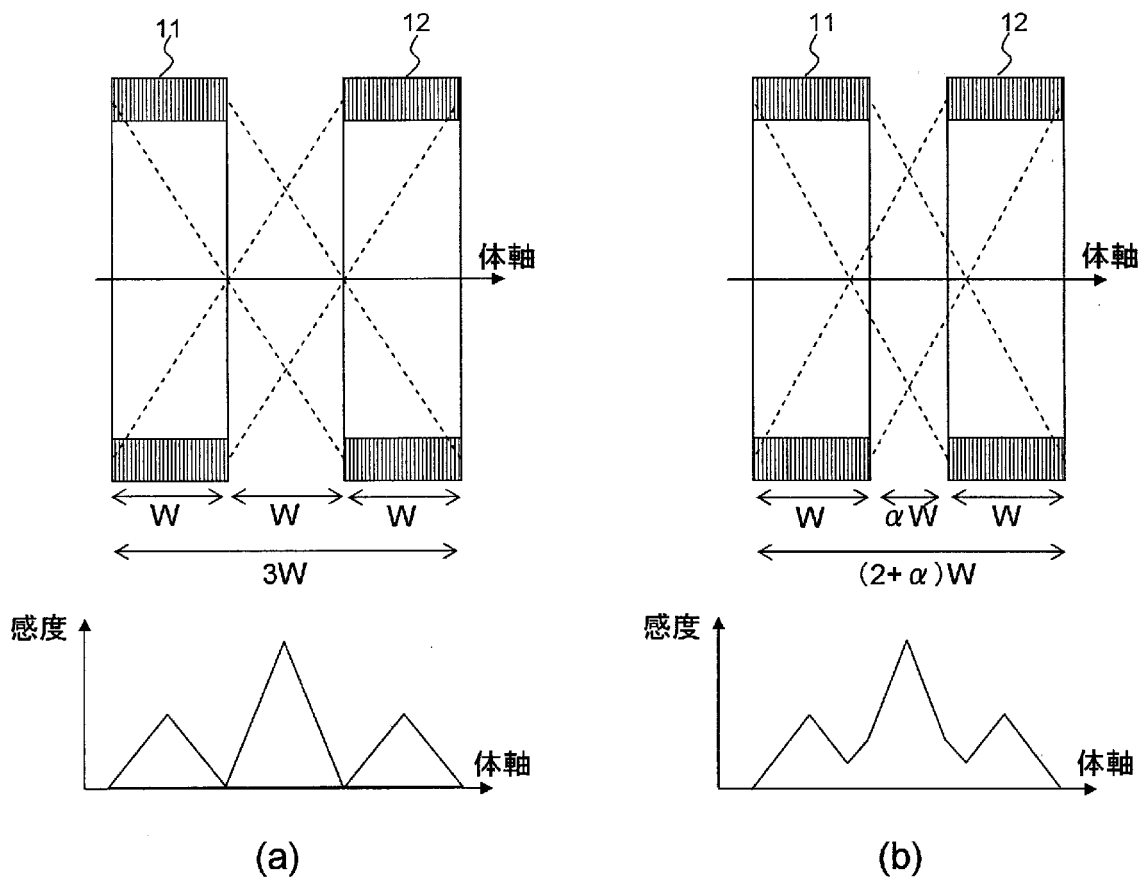
[図1]



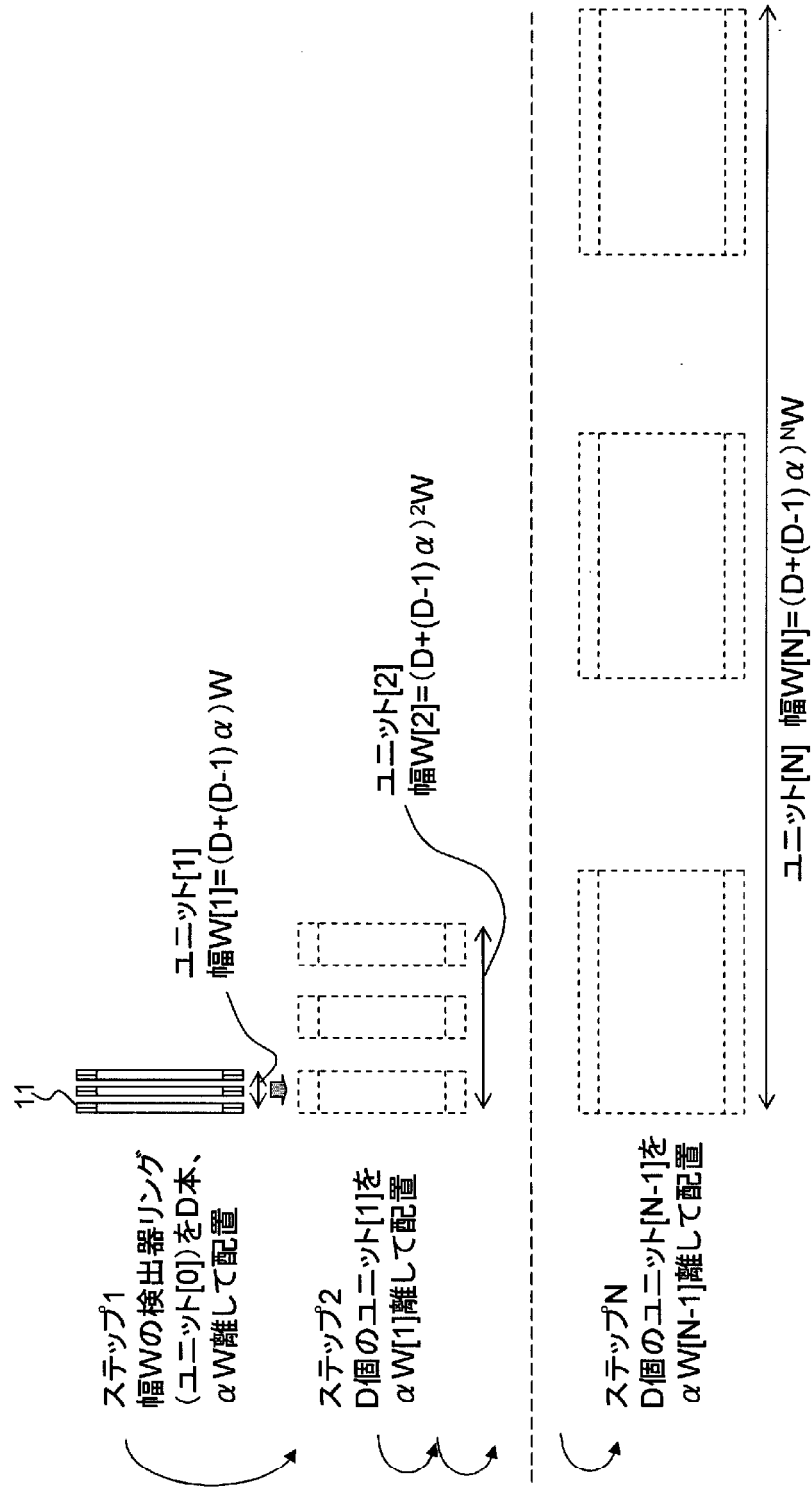
[図2]



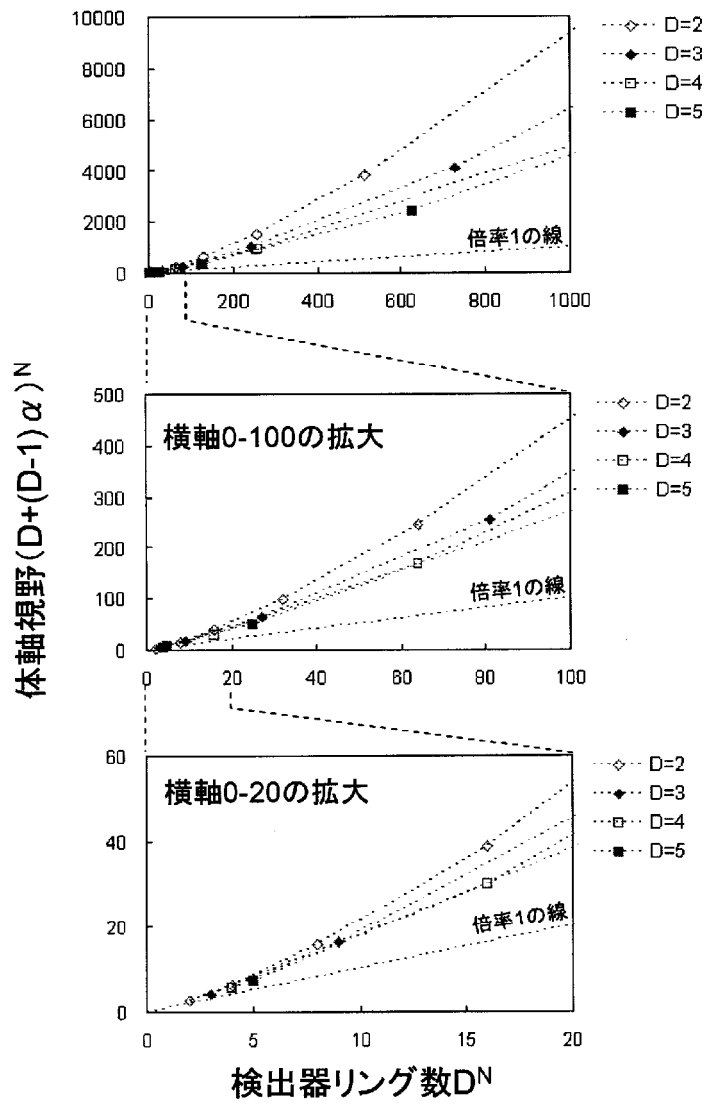
[図3]



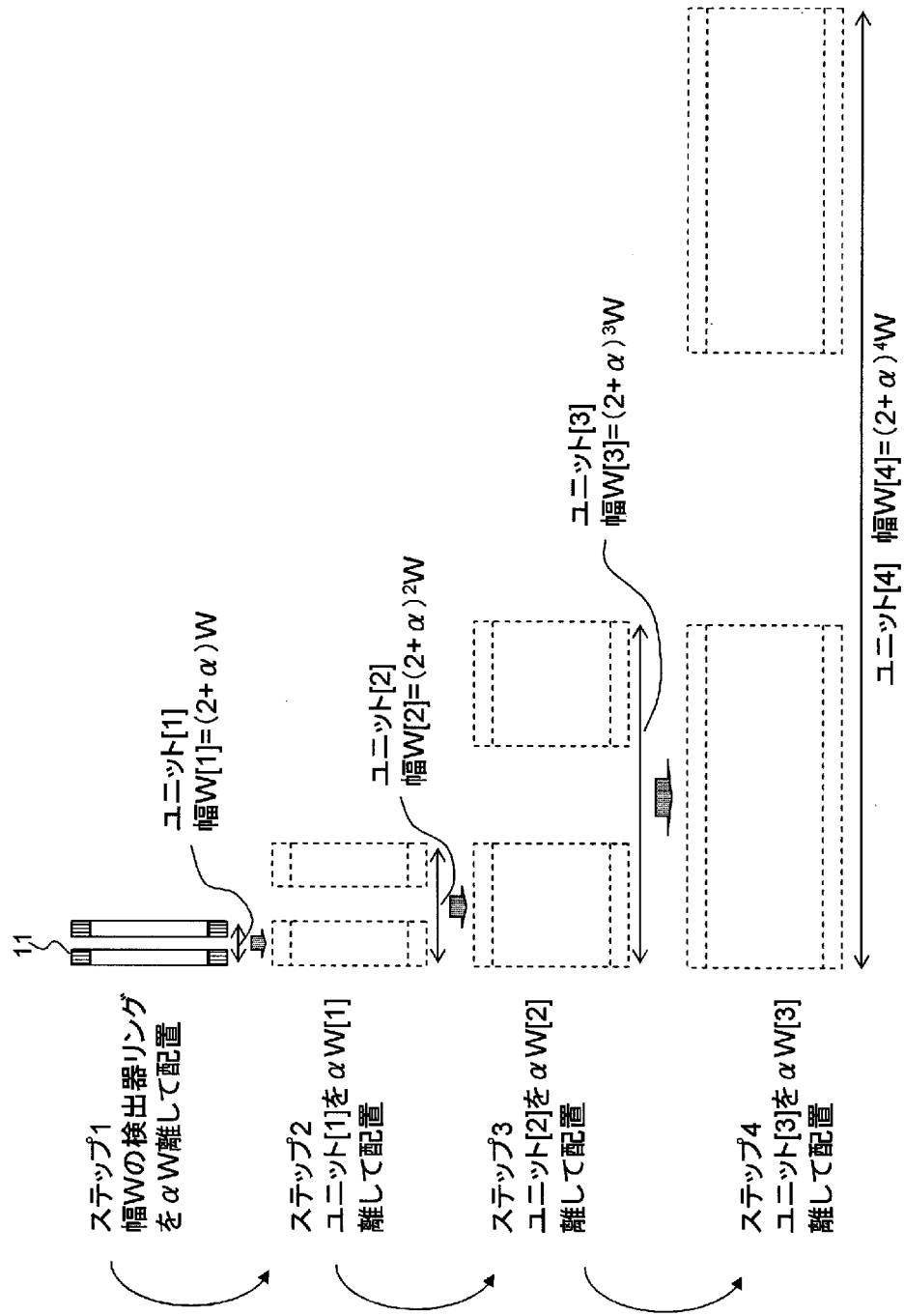
[図4]



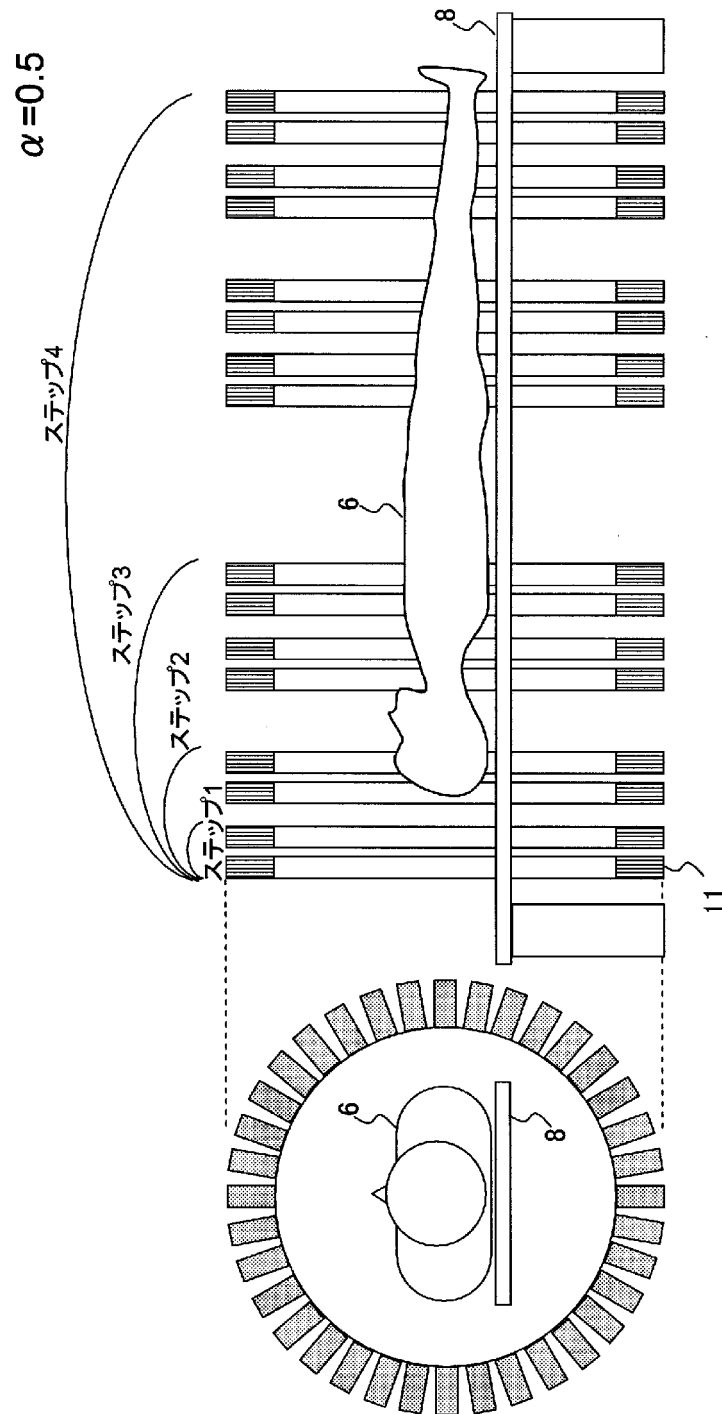
[図5]



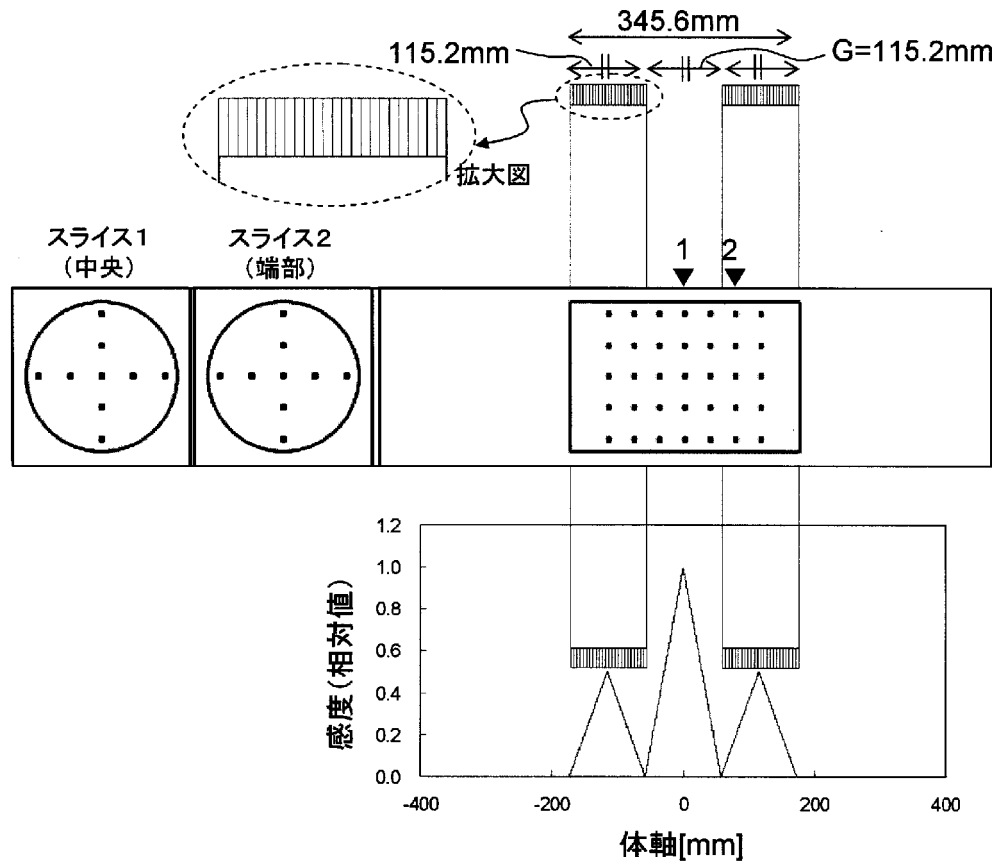
[図6]



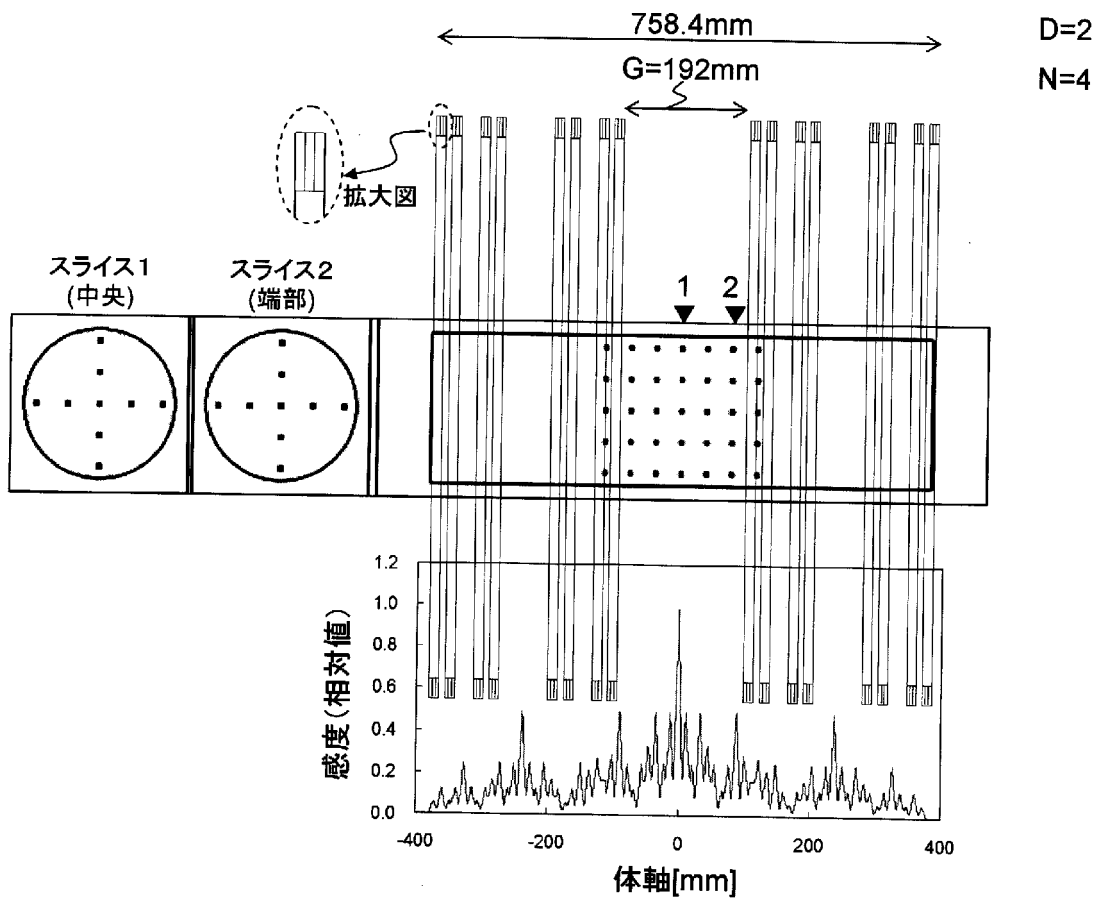
[図7]



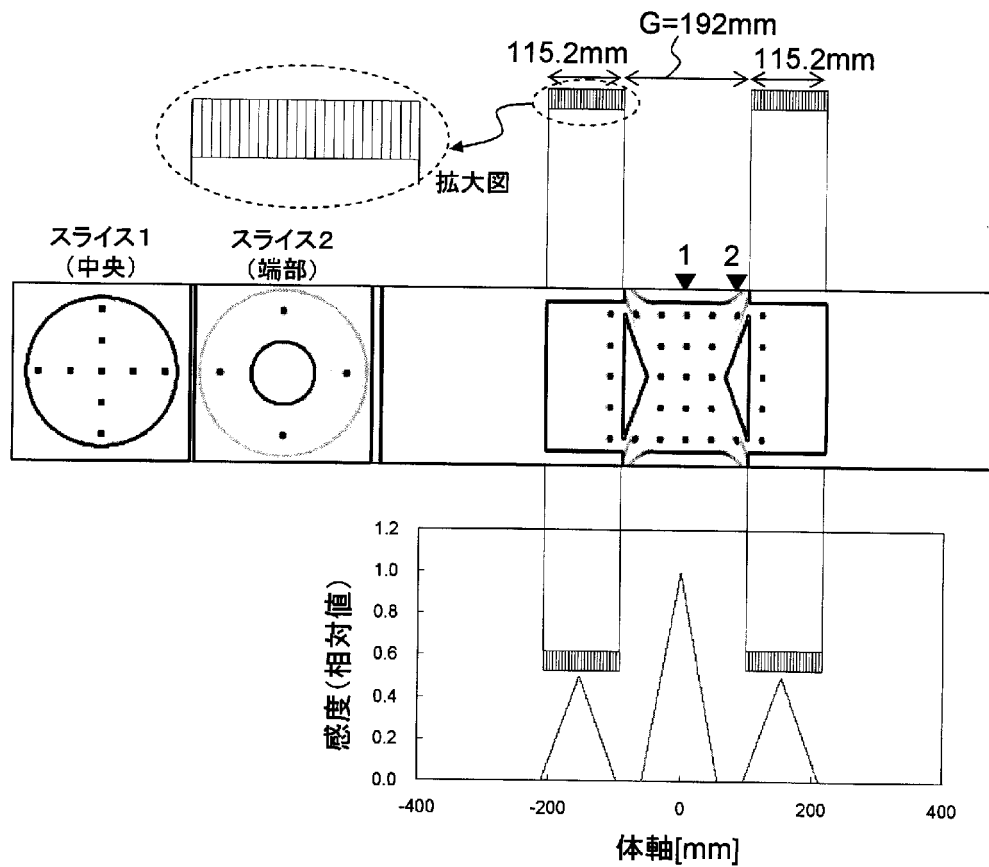
[図8]



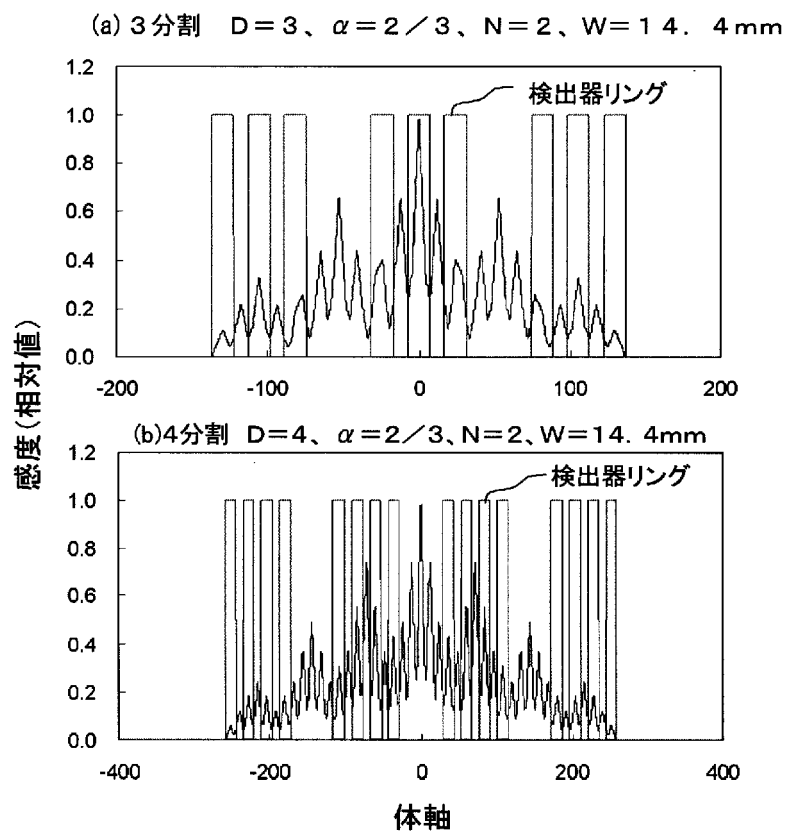
[図9]



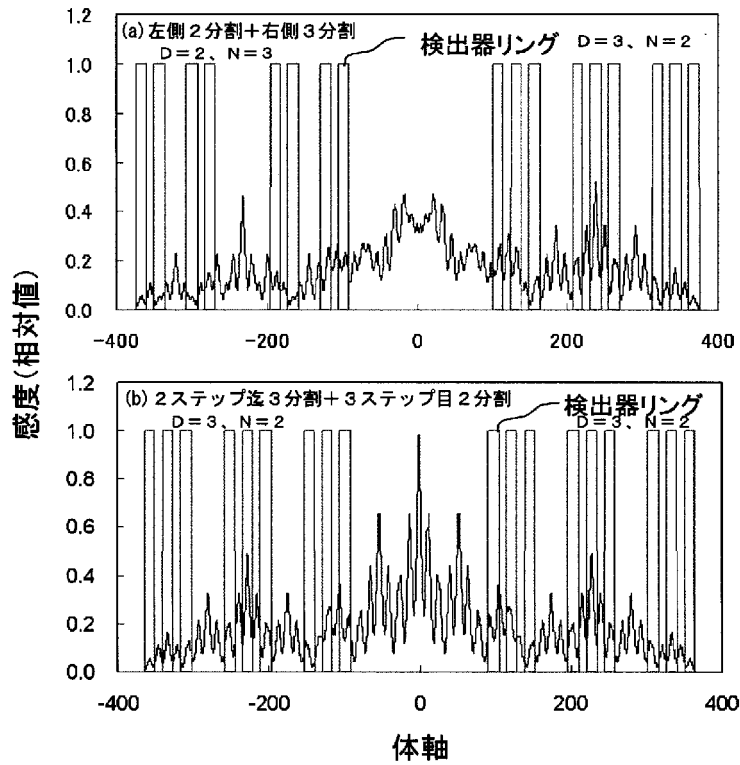
[図10]



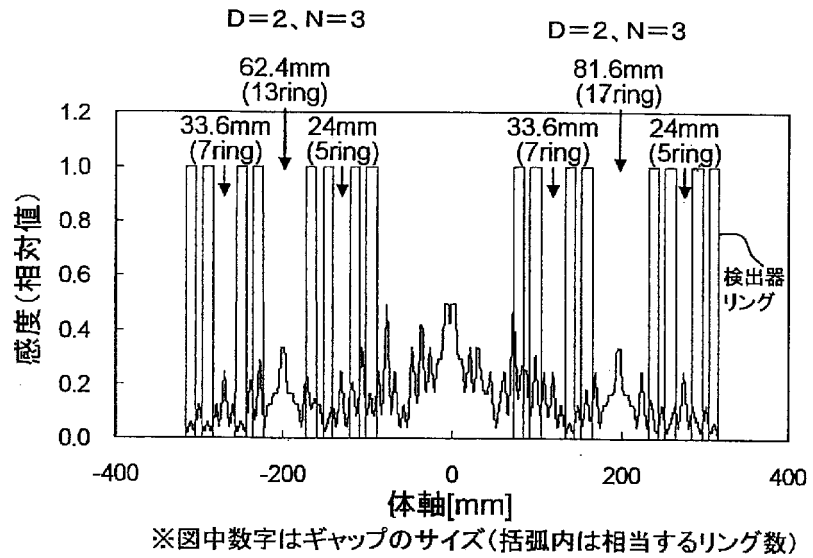
[図11]



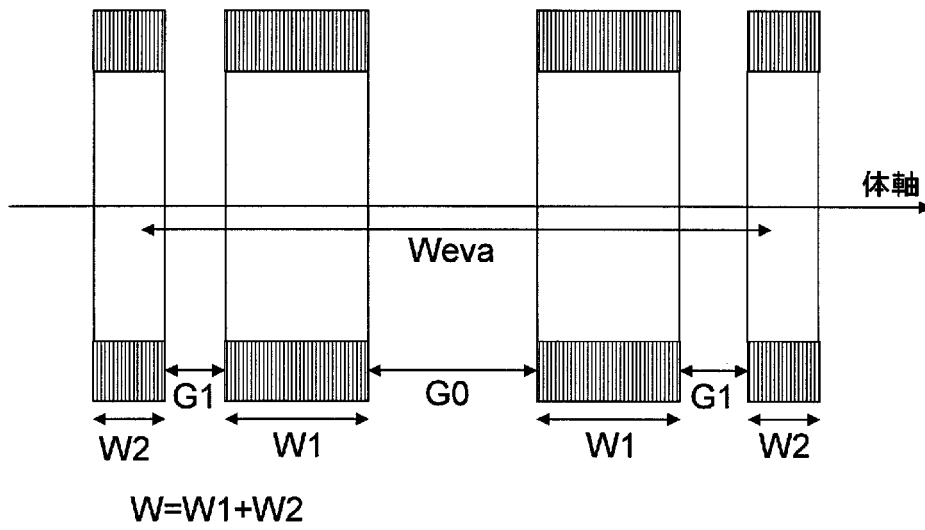
[図12]



[図13]



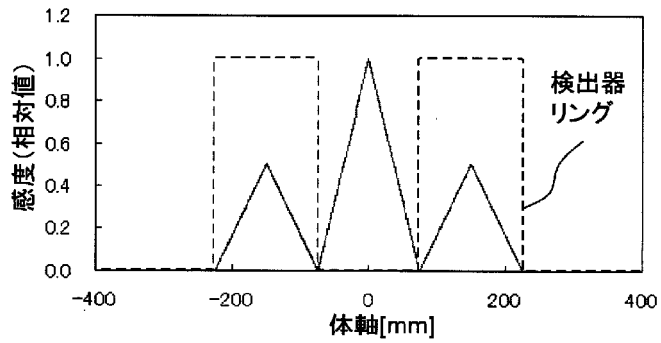
[図14]



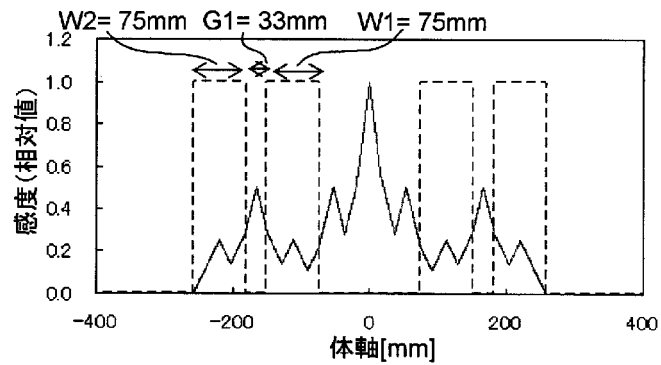
[図15]

(a) 多重化前

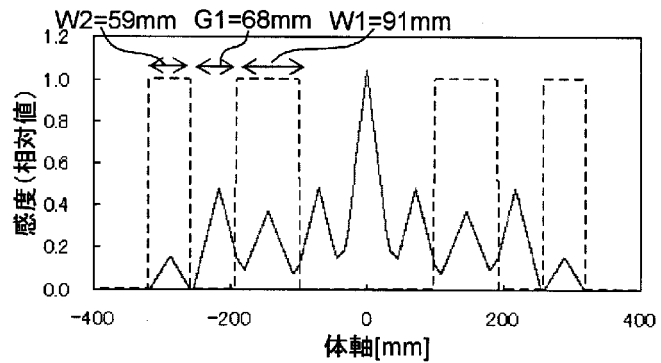
(開放領域幅
G0=150mm)



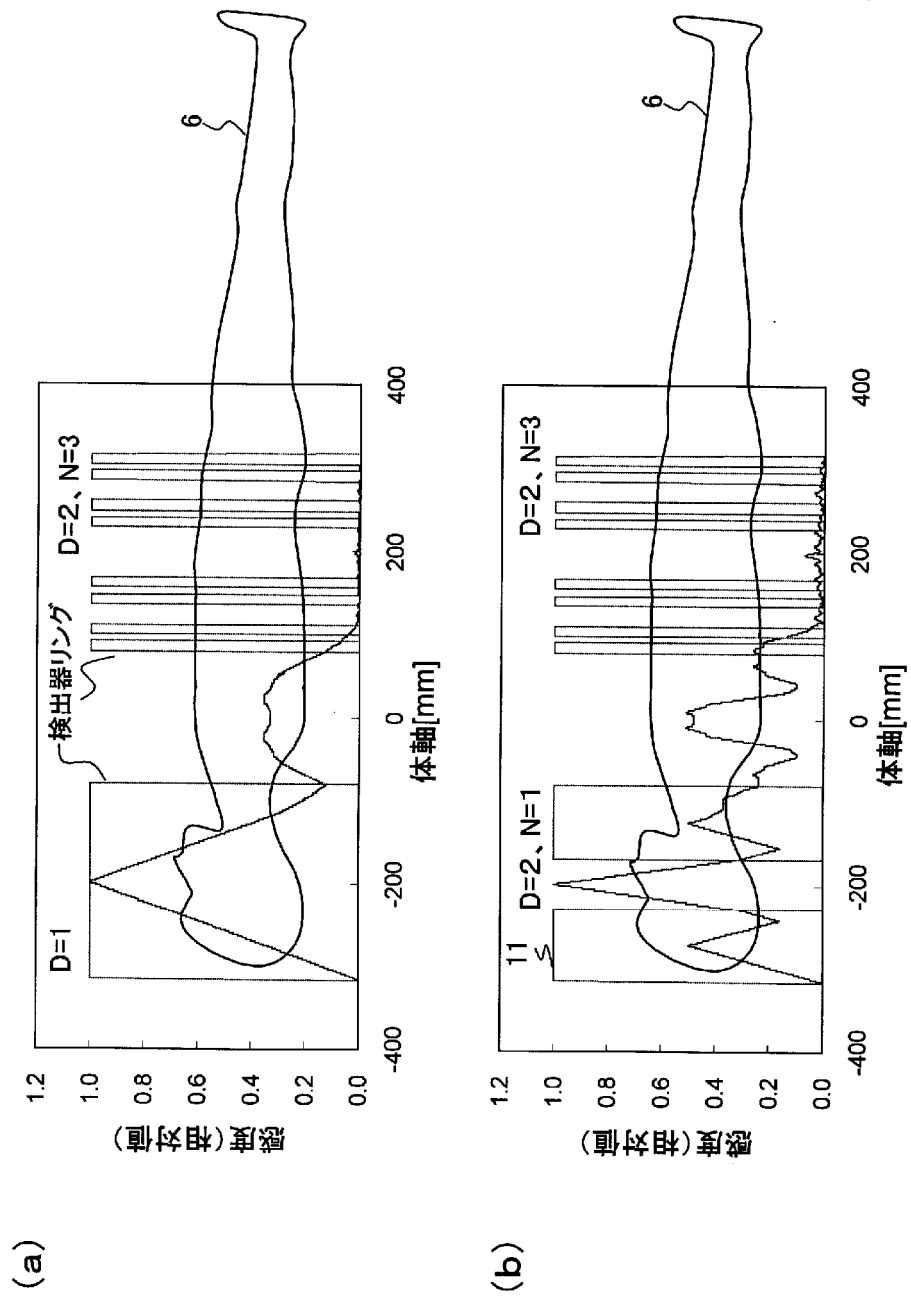
(b) G0=150mm,
Weva=150mmで
最適化した結果



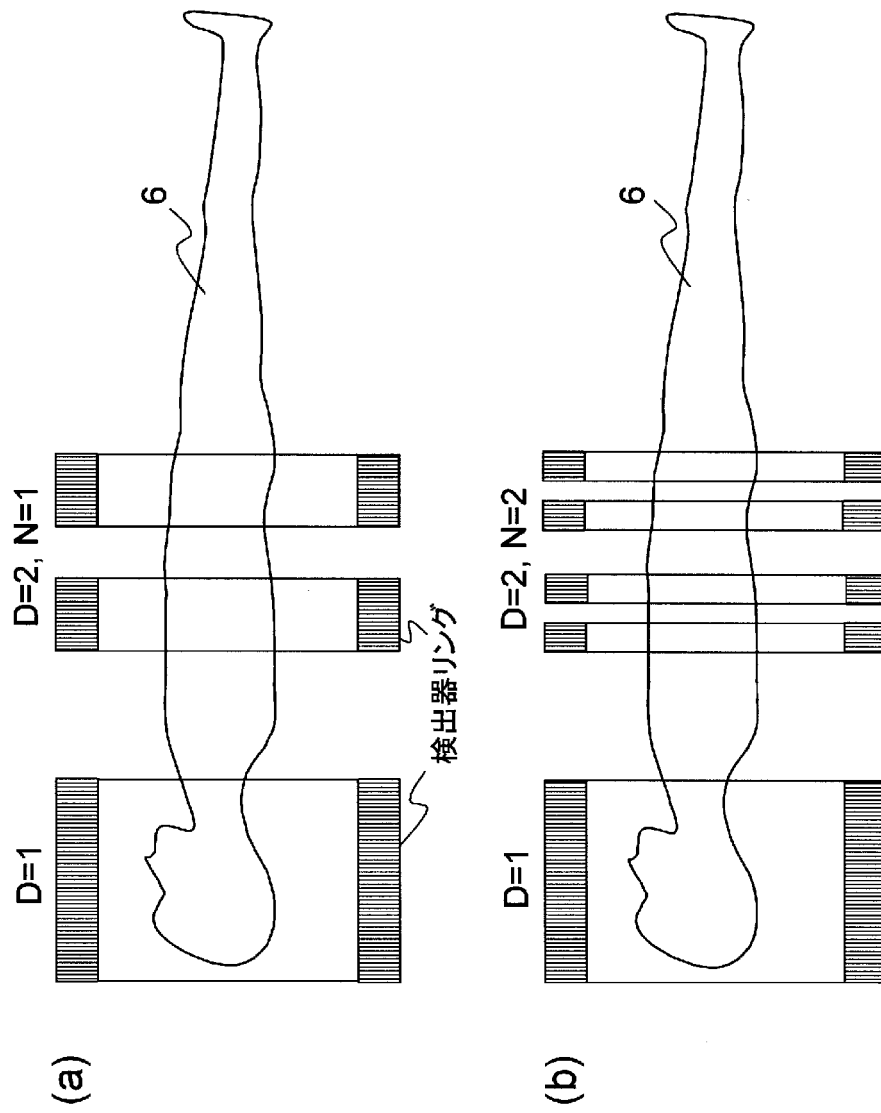
(c) G0=200mm,
Weva=500mmで
最適化した結果



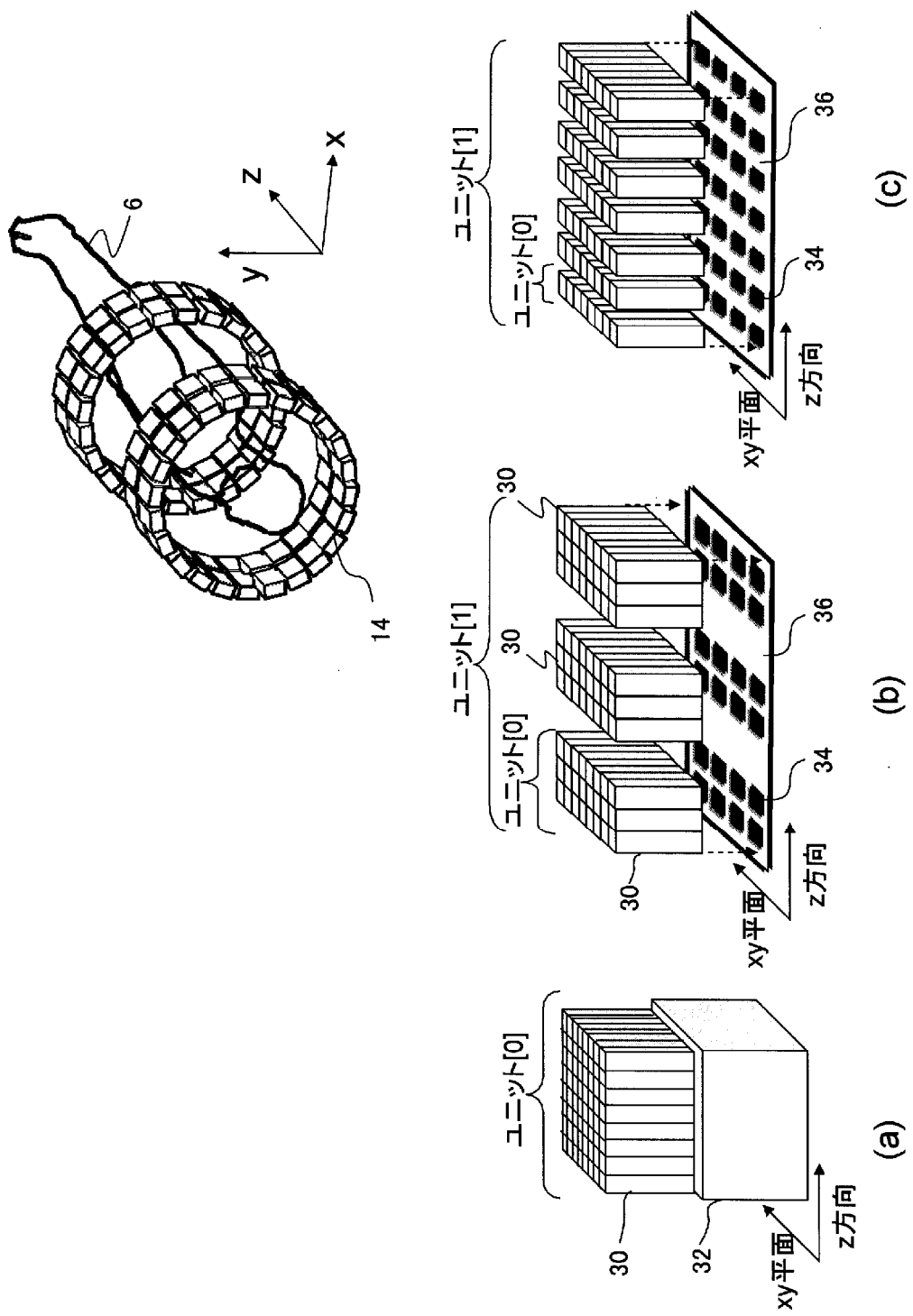
[図16]



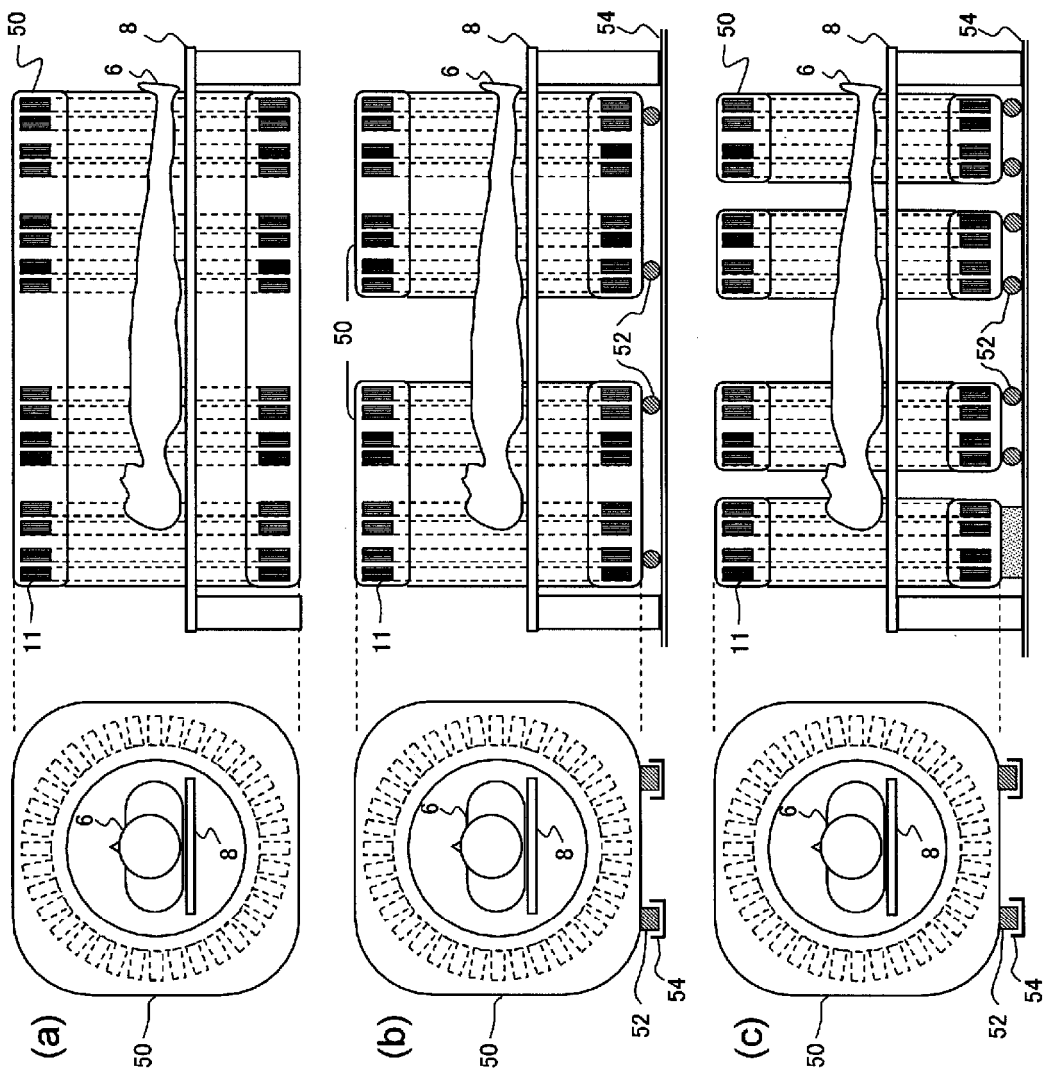
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/057284

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01T1/161(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01T1/00-7/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2008

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 9-211130 A (Shizuoka-Ken), 15 August, 1997 (15.08.97), Par. Nos. [0057] to [0100] (Family: none)	1-6, 8-10 7, 11
A	Taiga YAMAYA et al., "Open PET Sochi no Imaging Simulation", IEICE Technical Report, 18 January, 2008 (18.01.08), Vol.107, No.461, pages 383 to 387	1-11

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
11 June, 2008 (11.06.08)Date of mailing of the international search report
24 June, 2008 (24.06.08)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/057284

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

- 2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

- 3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
See extra sheet.

- 1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
- 3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

- 4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

- Remark on Protest**
- the The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2008/057284

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

The inventions of claims 1-11 have a common technical feature that "a first ring set in which a predetermined number of detector units each including a predetermined number of detector rings are arranged with a space therebetween, the space being equal to or less than the average of widths of two detector units which form the space therebetween and a second ring set which includes the predetermined number of detector units are arranged with a space equal to or less than the average of the width of the first ring set and the width of the second ring set therebetween".

However, this technical feature cannot be a special technical feature since it is disclosed in document cited in the international search report and makes no contribution over the prior art. There is no other same or corresponding special technical feature.

Therefore, there is no technical relationship among these inventions involving one or more of the same or corresponding special technical features, and therefore these inventions are not considered to be so linked as to form a single general inventive concept.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01T1/161(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01T1/00-7/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2008年
日本国実用新案登録公報	1996-2008年
日本国登録実用新案公報	1994-2008年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 9-211130 A (静岡県) 1997.08.15, 段落【0057】～【0100】 (ファミリーなし)	1-6, 8-10
A		7, 11
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, 2008.01.18, Vol.107, No.461, p.383-387	1-11

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

11.06.2008

国際調査報告の発送日

24.06.2008

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

郡山 順

2Q

3614

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、

2. 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

3. 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところの国際調査機関は認めた。
特別ページを参照。

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

請求の範囲 1-11 に係る発明は、「各々所定数の検出器リングからなる所定数の検出器ユニットが互いに隙間を空けて配列されており、該隙間が各々隙間を形成する二つの検出器ユニット幅の平均以下である第 1 のリングセットと、所定数の検出器ユニットから構成される第 2 のリングセットが、第 1 のリングセットの幅と第 2 のリングセットの幅の平均以下となる隙間を隔てて配列される」という共通の技術的特徴を有しているものである。

しかしながら、当該技術的特徴は、国際調査報告にて提示された文献に開示されているものであり、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、ほかに同一の又は対応する特別な技術的特徴が存在しない。

したがって、これらの発明は、一又は二以上の同一又は対応する特別な技術的特徴を含む技術的な関係にないから、単一の一般的発明概念を形成するように連関しているものとは認められない。