

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号
特開2024-109474
(P2024-109474A)

(43)公開日 令和6年8月14日(2024.8.14)

(51)国際特許分類		F I		テーマコード (参考)	
G 0 1 T	1/20 (2006.01)	G 0 1 T	1/20	F	2 G 1 8 8
G 0 1 T	1/161(2006.01)	G 0 1 T	1/20	J	4 C 1 8 8
		G 0 1 T	1/20	E	
		G 0 1 T	1/20	G	
		G 0 1 T	1/161	C	
		審査請求	未請求	請求項の数	7
				O L	(全16頁)
				最終頁に続く	
(21)出願番号	特願2023-14284(P2023-14284)	(71)出願人	301032942		
(22)出願日	令和5年2月1日(2023.2.1)		国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構		
			千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号		
		(74)代理人	110000338		
			弁理士法人 HARAKENZO WORLD PATENT & TRADE MARK		
		(72)発明者	吉田 英治		
			千葉県千葉市稲毛区穴川四丁目9番1号		
			国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構内		
		(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		
			国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構内		
				最終頁に続く	

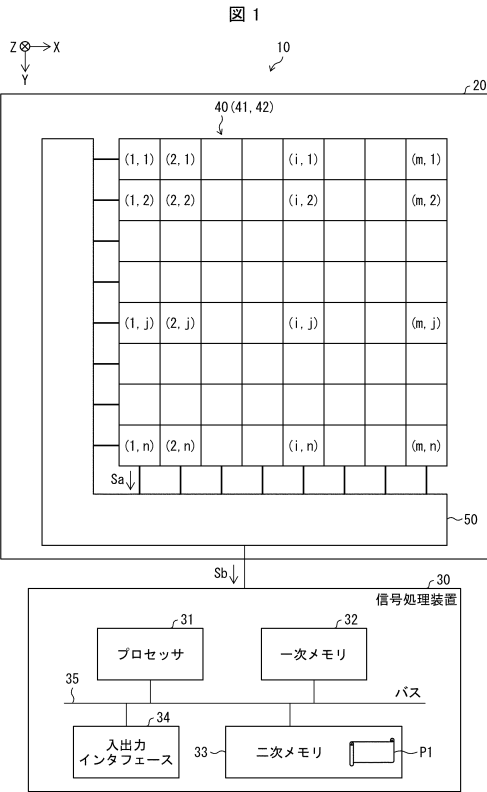
(54)【発明の名称】 信号処理装置、信号処理方法、信号処理プログラム、および陽電子放出断層撮影装置

(57)【要約】

【課題】受光素子での検出タイミングを効率的に補正可能な信号処理装置を実現する。

【解決手段】信号処理装置は、複数の検出ユニットの各々により検出された蛍光強度の重心位置を算出し、算出された重心位置に基づいて、放射線が入射した検出ユニット、及び、放射線が属するエネルギーウィンドウを特定し、特定された検出ユニット、及び、エネルギーウィンドウに基づいて、放射線が検出ユニットに入射した時刻を補正する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マトリクス状に配置された複数の検出ユニットを含み、各検出ユニットがシンチレータと該シンチレータからの蛍光を検出する受光素子とにより構成された放射線検出装置からの出力信号を処理する信号処理装置であって、

前記複数の検出ユニットの各々により検出された蛍光強度の重心位置を算出する算出処理と、

前記算出処理にて算出された重心位置に基づいて、放射線が入射した検出ユニット、及び、前記放射線が属するエネルギーウィンドウを特定する特定処理と、

前記特定処理にて特定された検出ユニット、及び、前記特定処理にて特定されたエネルギーウィンドウに基づいて、前記放射線が当該検出ユニットに入射した時刻を補正する補正処理と、を実行するプロセッサを備えている、
ことを特徴とする信号処理装置。

10

【請求項 2】

前記重心位置は、前記複数の検出ユニットの各々に対応する領域に区間された二次元面であって、前記複数の領域の各々が複数のエネルギーウィンドウの各々に対応する小領域に区画された二次元面上の位置であり、

前記特定処理において、前記プロセッサは、前記複数の領域のうち前記重心位置を含む領域に対応する検出ユニットを、前記放射線が入射した検出ユニットとして特定すると共に、前記複数の小領域のうち前記重心位置を含む小領域に対応するエネルギーウィンドウを、前記放射線が属するエネルギーウィンドウとして特定し、

20

前記補正処理において、前記プロセッサは、前記複数の検出ユニットの各々、及び、前記複数のエネルギーウィンドウの各々に対応する補正係数のうち、前記特定処理にて特定された検出ユニット、及び、前記特定処理にて特定されたエネルギーウィンドウに対応する補正係数を用いて、前記時刻を補正する、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の信号処理装置。

【請求項 3】

前記プロセッサは、前記放射線検出装置からの出力信号、及び、前記放射線検出装置と同様に構成された他の放射線検出装置であって、前記放射線検出装置と対向して配置された他の放射線検出装置からの出力信号に基づいて、前記複数の検出ユニットの各々、及び、前記複数のエネルギーウィンドウの各々に対応する補正係数を校正する校正処理を更に実行する、

30

ことを特徴とする請求項 2 に記載の信号処理装置。

【請求項 4】

前記放射線は、 γ 線である、

ことを特徴とする請求項 1 ～ 3 の何れか一項に記載の信号処理装置。

【請求項 5】

マトリクス状に配置された複数の検出ユニットを含み、各検出ユニットがシンチレータと該シンチレータからの蛍光を検出する受光素子とにより構成された放射線検出装置からの出力信号を処理する信号処理方法であって、

40

プロセッサが、前記複数の検出ユニットの各々により検出された蛍光強度の重心位置を算出する算出処理と、

前記プロセッサが、前記算出処理にて算出された重心位置に基づいて、放射線が入射した検出ユニット、及び、前記放射線が属するエネルギーウィンドウを特定する特定処理と、

前記プロセッサが、前記特定処理にて特定された検出ユニット、及び、前記特定処理にて特定されたエネルギーウィンドウに基づいて、前記放射線が当該検出ユニットに入射した時刻を補正する補正処理と、を含んでいる、

ことを特徴とする信号処理方法。

【請求項 6】

50

コンピュータを請求項 1 に記載の信号処理装置として動作させるための信号処理プログラムであって、前記コンピュータが備えるプロセッサに、前記算出処理、前記特定処理、及び前記補正処理を実行させる、ことを特徴とする信号処理プログラム。

【請求項 7】

請求項 4 に記載の信号処理装置と、前記放射線検出装置と、を備えている、ことを特徴とする陽電子放出断層撮影装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、信号処理装置、信号処理方法、信号処理プログラム、および陽電子放出断層撮影装置に関する。

【背景技術】

【0002】

測定対象（例えば、人体）から放射される放射線（例えば、 γ 線）を計測して、測定対象の状態を観測する放射線撮影装置（例えば、PET 装置）が知られている（特許文献 1 参照）。

【0003】

放射線撮影装置は、放射線を光（蛍光）に変換する変換素子と、変換素子によって変換された光を検出する複数の受光素子と、を有する。複数の受光素子それぞれでの蛍光の検出のタイミングの差（TOF）に基づいて、測定対象上での放射線の発生個所を特定することができる。このため、各受光素子での検出タイミングを特定することが重要となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2019-56700 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、受光素子での検出タイミングには、例えば、タイムウォーク（Time walk）、タイムスキュー（time skew）に起因する誤差がある。ここで、各受光素子での検出信号毎に検出タイミングを補正することが考えられるが、専用のハードウェアを用いて、誤差要因ごとに補正を実施する等、処理が煩雑となる。

【0006】

本発明の一態様は、受光素子での検出タイミングを効率的に補正可能な信号処理装置を実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る信号処理装置は、マトリクス状に配置された複数の検出ユニットを含み、各検出ユニットがシンチレータと該シンチレータからの蛍光を検出する受光素子とにより構成された放射線検出装置からの出力信号を処理する信号処理装置であって、前記複数の検出ユニットの各々により検出された蛍光強度の重心位置を算出する算出処理と、前記算出処理にて算出された重心位置に基づいて、放射線が入射した検出ユニット、及び、前記放射線が属するエネルギーウィンドウを特定する特定処理と、前記特定処理にて特定された検出ユニット、及び、前記特定処理にて特定されたエネルギーウィンドウに基づいて、前記放射線が当該検出ユニットに入射した時刻を補正する補正処理と、を実行するプロセッサを備えている。

【発明の効果】

【0008】

本発明の一態様によれば、受光素子での検出タイミングを効率的に補正可能な信号処理

10

20

30

40

50

装置を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の一実施形態に係る放射線撮影装置の構成を示す図である。

【図2】放射線撮影装置の放射線検出装置の構成を示す図である。

【図3】信号処理方法での処理の流れを示すフロー図である。

【図4】タイムウォークを表す図である。

【図5】検出部に対応する領域での放射線の検出結果の一例を表す図である。

【図6】図5の領域を拡大して表す図である。

【図7】 γ 線のエネルギースペクトルを表す図である。

【図8】検出マップを表す図である。

【図9】校正時の放射線検出装置の配置の一例を表す図である。

【図10】素子番号、ROI番号と補正係数の関係を表す図である。

【図11】重畳したアナログ検出信号を表す図である。

【図12】領域A_{i,j}の区分数が異なる検出マップを表す図である。

【図13】重畳したアナログ検出信号を表す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の一実施形態について、図1を参照して詳細に説明する。図1は、本発明の一実施形態に係る放射線撮影装置10の構成を示す図である。図1の左右方向、上下方向、紙面の表裏方向それぞれに、X方向、Y方向、Z方向が設定されている。図2は、放射線撮影装置10の放射線検出装置20の構成を示す図である。図2は、図1のY正方向から放射線検出装置20を見た図である。

【0011】

放射線撮影装置10は、放射線検出装置20、信号処理装置30を有する。放射線撮影装置10は、放射線（例えば、 γ 線）を用いて測定対象を撮像する、例えば、陽電子放出断層撮影（PET：Positron Emission Tomography）装置である。

【0012】

放射線検出装置20は、検出部40、検出回路50を有する。

【0013】

検出部40は、マトリクス状に配置された複数の検出ユニット40（ i, j ）を含み、検出ユニット40（ i, j ）それぞれが放射線を検出したアナログ検出信号 S_a を出力する。ここでは、検出部40は、X方向に m 個、Y方向に n 個の、検出ユニット40（1, 1）～40（ n, m ）を含む（ m, n は、2以上の整数、 i は、1以上、 m 以下の整数、 j は、1以上 n 以下の整数）。ここでは、 m, n は、8であり、検出部40は、 $8 \times 8 = 64$ 個の検出ユニット40（ i, j ）を有する。

【0014】

検出ユニット40（ i, j ）は、シンチレータ41（ i, j ）と、受光素子42（ i, j ）を有する。シンチレータ41（ i, j ）は、受光素子42（ i, j ）と1対1で光学接続されている。具体的には、シンチレータ41（ i, j ）の底面は、受光素子42（ i, j ）の受光面に光学接続されている。この結果、シンチレータ41（ i, j ）で発生した蛍光は、受光素子42（ i, j ）に到達して、検出信号が出力される。すなわち、シンチレータ41（ i, j ）に入射した放射線が検出される。

【0015】

シンチレータ41（ i, j ）は、放射線（例えば、 γ 線）を光（蛍光）に変換する変換素子（例えば、結晶）である。シンチレータ41（ i, j ）は、X方向に m 個、Y方向に n 個配置され、シンチレータアレー41を構成する。なお、シンチレータ41（ i, j ）の間に反射材43が配置されてもよい。

【0016】

本実施形態では、シンチレータ41（ i, j ）に、Fast-LGSO（Ce：Lu_xG

10

20

30

40

50

$d(2-x)SiO_5$)を用いる。その他のシンチレータ材料として、LYSO (Lutetium Yttrium Orthosilicate)、GAGG ($Gd_3(Ga, Al)_5O_{12}(Ce)$)及びLFS (Lutetium Fine Silicate)が挙げられる。

【0017】

受光素子42(i, j)は、受光素子42(i, j)から発生する蛍光を増幅した後、受光して、アナログ検出信号Saを出力する。受光素子42(i, j)は、X方向にm個、Y方向にn個配置され、受光素子アレー42を構成する。アナログ検出信号Saは、検出ユニット40(i, j)が放射線を検出したことを表す信号として、検出部40から出力される。

【0018】

本実施形態においては、受光素子42(i, j)として、SiPM (Silicon Photo Multiplier)の一種であるMPPC (Multi Pixel photon counter)を用いているが、その他のSiPMも利用可能である。

【0019】

検出回路50は、受光素子42(i, j)から出力されるアナログ検出信号SaをAD変換してデジタル検出信号Sbを出力する。デジタル検出信号Sbは、素子識別子Ide、蛍光強度I、検出時刻Td (タイムスタンプ値)を含む。

素子識別子Ideは、蛍光を検出した受光素子42(i, j)、すなわち、放射線を検出した検出ユニット40(i, j)を識別する情報である。素子識別子Ideは、例えば、受光素子42(i, j)に付与した素子番号kである。素子番号kは、例えば、「 $k = i + (j - 1) * n$ 」と規定できる。

【0020】

蛍光強度Iは、受光素子42(i, j)が検出した蛍光の強度である。

検出時刻Tdは、受光素子42(i, j)が蛍光を検出した時刻、いわゆるタイムスタンプ値である。既述のように、検出時刻Tdは、タイムウォーク、タイムスキュー等に起因する誤差を含む。

【0021】

ここで、デジタル検出信号Sbは、受光素子42(i, j)毎に、1イベント、すなわち、1の放射線の入射に対応する時間幅 (例えば、psオーダ)を単位として、アナログ検出信号Saを処理することで生成される。放射線検出装置20上で、より多くのイベントを処理するためである。

【0022】

信号処理装置30は、検出回路50から出力されるデジタル検出信号Sbを処理する装置であり、プロセッサ31、一次メモリ32、二次メモリ33、入出力インタフェース34、バス35を有する。プロセッサ31、一次メモリ32、二次メモリ33、及び入出力インタフェース34は、バス35を介して相互に接続されている。

【0023】

二次メモリ33には、信号処理プログラムP1と、後述の検出マップM0、および補正係数R(k, p)とが格納 (不揮発記憶)されている。プロセッサ31は、二次メモリ33に格納されている信号処理プログラムP1を一次メモリ32上に展開する。そして、プロセッサ31は、一次メモリ32上に展開された信号処理プログラムP1に含まれる命令に従って、後述する信号処理方法S1に含まれる各ステップを実行する。

【0024】

プロセッサ31として利用可能なデバイスとしては、例えば、CPU (Central Processing Unit)を挙げることができる。また、一次メモリ32として利用可能なデバイスとしては、例えば、半導体RAM (Random Access Memory)を挙げることができる。また、二次メモリ33として利用可能なデバイスとしては、例えば、HDD (Hard Disk Drive)を挙げることができる。

【0025】

入出力インタフェース34には、入力デバイス及び／又は出力デバイスが接続される。

10

20

30

40

50

入出力インタフェース 34 に接続される入力デバイスとしては、例えば、キーボードなどが挙げられる。また、入出力インタフェース 34 に接続される出力デバイスとしては、例えば、ディスプレイが挙げられる。ディスプレイは、例えば、後述する信号処理結果を出力するために利用される。

【0026】

入出力インタフェース 34 として利用可能なインタフェースとしては、例えば、P C I (Peripheral Component Interconnect) インタフェースや U S B (Universal Serial Bus) などを挙げることができる。

【0027】

なお、信号処理プログラム P 1 は、コンピュータ読み取り可能な一時的でない有形の記録媒体に記録され得る。この記録媒体は、二次メモリ 33 であってもよいし、その他の記録媒体であってもよい。例えば、テープ、ディスク、カード、半導体メモリ、プログラムブル論理回路などが、その他の記録媒体として利用可能である。

【0028】

(信号処理方法の流れ)

信号処理装置 30 が実施する信号処理方法 S 1 の流れについて、図 3 を参照して説明する。図 3 は、信号処理方法 S 1 での処理の流れを示すフロー図である。

【0029】

信号処理方法 S 1 は、算出処理 S 11、特定処理 S 12、および補正処理 S 13 を含み、検出回路 50 から出力されるデジタル検出信号 T b を処理して、検出時刻を補正する。

【0030】

ここで、デジタル検出信号 T b の検出時刻 T d に含まれる誤差について説明する。この誤差要因には、タイムウォーク、タイムスキューを挙げることができる。

【0031】

タイムウォークは、アナログ検出信号 S a の波高、すなわち、蛍光強度に起因する、検出時刻の誤差を意味する。図 4 は、タイムウォークを表す図である。波高の異なるアナログ検出信号 S a の波形 P W 1、P W 2 が表される。波形 P W 1、P W 2 が所定の閾値 T h に到達した時刻を検出時刻 T d としている。図に示すように、ピークとなる時刻が同一であっても、波高の高い波形 P W 2 が波高の低い波形 P W 1 よりも先に閾値 T h に達し、波形 P W 1、P W 2 間でタイムウォーク T w だけの検出時刻 T d のずれが発生する。すなわち、エネルギーが低い波形は、検出時刻 T d が遅れる傾向となる。

【0032】

タイムスキューは、基本的には、受光素子 42 (i , j) から出力された検出信号が検出回路 50 に至る時間の相違に起因する検出時刻 T d の誤差を意味する。タイムスキューは、例えば、受光素子 42 (i , j) から検出回路 50 に至る配線長等に応じて変化する。

【0033】

検出時刻 T d の誤差は、タイムウォーク、およびタイムスキューのみならず、検出素子や受光素子自体の個性に起因しても、発生する。このため、検出時刻 T d の誤差は、検出素子や受光素子自体の個性をも含めた、受光素子 42 (i , j) に応じて変化する検出時刻 T d の誤差として把握することが合理的である。

【0034】

図 5 は、検出部 40 に対応して、k 個の入力を重心演算によって 2 次元に投影した領域 A 0 上での放射線の検出結果の一例を表す図である。領域 A 0 は、検出ユニット 40 (i , j) に対応する領域 A i j に区分される。図 6 の (a) は、図 5 の領域 A i j を拡大して表す図である。

【0035】

ガンマ線の作用は、受光素子 42 (i , j) に全エネルギーを付与する光電吸収と一部のエネルギーのみを付与するコンプトン散乱とに分類される。図 5 に示すように、光電吸収は、領域 A 0 上にシンチレータごとに局所的に分布する。コンプトン散乱は、エネルギ

10

20

30

40

50

ーウィンドウによって、その大部分は、ノイズとして除去される。しかし、コンプトン散乱には、複数の受光素子 42 で検出され、最終的に全エネルギーを付与するイベント（結晶内散乱 ICS）も存在し、この結晶内散乱 ICS は、放射線検出装置 20 のエネルギーウィンドウでは除去できない。すなわち、図 6 に示すように、領域 A i j で発生した蛍光は、結晶内散乱 ICS によって、一般に、隣接する領域 A i j に散乱される。このため、1 のイベント（1 の γ 線の入射）に対して、互いに隣接する複数の受光素子 42 がこの γ 線からの蛍光を受光することになる。この結果、後述のように、1 のイベントの範囲で重心演算を行うと（後述の式（1）参照）、重心位置（ x ， y ）は、領域 A i j の中心からずれる傾向となる。

【0036】

10

図 6 に示すように、領域 A i j は、領域 A i j の中心を基準とする領域 ROI 1，ROI 2，ROI 3 に区分される。領域 ROI 1 の外側に、領域 ROI 2 が、領域 ROI 2 の外側に、領域 ROI 3 が配置される。ここでは、領域 A i j を 3 つの領域 ROI 1～ROI 3 に区分しているが、この区分の数は、2、または 4 以上としてもよい。

【0037】

図 7 は、 γ 線のエネルギースペクトルを表す図である。図 7 には、素子番号 1～k の受光素子 42 それぞれのエネルギースペクトル SP 1～SP k と、放射線検出装置 20 のエネルギースペクトル SPT が示される。なお、蛍光を検出しなかった受光素子 42 は、エネルギースペクトル SP を出力しない。エネルギースペクトル SP 1～SP k を加算することで、エネルギースペクトル SPT が得られる。ここで、エネルギーウィンドウ W 1～W 3 の範囲は、個々の受光素子 42 でのエネルギースペクトルを分割したものである。エネルギーウィンドウ W 1、W 2、W 3 は、この順に、エネルギーが大きい。放射線検出装置 20 で取得するイベントは、エネルギーウィンドウ W 4 内のイベントであり、エネルギーウィンドウ W 4 内には結晶内散乱 ICS も含まれる。

20

【0038】

ここで、図 6 に示す領域 ROI 1～ROI 3 は、図 7 に示す γ 線のエネルギースペクトルのエネルギーウィンドウ W 1～W 3 と対応する。すなわち、エネルギーの高い γ 線での重心位置（ x ， y ）は、領域 A i j の中心に近く、エネルギーの低い γ 線での重心位置（ x ， y ）は、領域 A i j の中心から離れる傾向となる。 γ 線のエネルギーは、蛍光のエネルギーと対応するため、領域 ROI 1～ROI 3 は、蛍光のエネルギー、さらには、タイムウォークと対応することになる。

30

【0039】

（1）算出処理 S 1 1

プロセッサ 31 は、複数の検出ユニット 40（ i ， j ）の各々により検出された蛍光強度（放射線の強度） I_{ij} の重心位置（ x ， y ）を算出する。重心位置（ x ， y ）は、次の式（1）に基づく重心演算によって算出できる。なお、この重心位置の演算は、時間を区切って、1 イベントの範囲で行われる。

$$\begin{aligned} x &= \sum_i^n \sum_j^m (i * I_{ij}) / \sum_i^n \sum_j^m (I_{ij}) \\ y &= \sum_i^n \sum_j^m (j * I_{ij}) / \sum_i^n \sum_j^m (I_{ij}) \quad \cdots \text{式 (1)} \\ I_{ij} &: \text{検出ユニット 40 (i, j) で検出された蛍光の強度} \end{aligned}$$

40

【0040】

（2）特定処理 S 1 2

プロセッサ 31 は、算出された重心位置（ x ， y ）に基づいて、放射線が入射した検出ユニット 40（ i ， j ）、及び、領域 ROI 1～ROI 3 を特定する。すなわち、重心位置（ x ， y ）が属する領域 A i j および領域 A i j 内での領域 ROI 1～ROI 3 が特定される。

【0041】

重心位置（ x ， y ）は、検出部 40 に対応する平面を有する検出マップ M 0 上に表すことができる。図 8 は、検出マップ M 0 を表す図である。検出マップ M 0 は、検出部 40 上の平面を検出ユニット 40（ i ， j ）の各々に対応する領域 A i j に区分した二次元面で

50

ある。領域 A_{ij} は、領域 $ROI1 \sim ROI3$ に区分される。検出マップ $M0$ 上に重心位置 (x, y) を表すことで、重心位置 (x, y) が属する領域 A_{ij} 、 $ROI1 \sim ROI3$ を特定できる。既述のように、検出マップ $M0$ は、二次メモリ 33 に記憶されている。

【0042】

(3) 補正処理 $S13$

プロセッサ 31 は、特定処理にて特定された検出ユニット $40(i, j)$ 、及び、領域 $ROI1 \sim ROI3$ に基づいて、放射線が検出ユニット $40(i, j)$ に入射した時刻（検出時刻 Td ）を補正する。

【0043】

プロセッサ 31 は、複数の検出ユニット $40(i, j)$ の各々、及び、領域 $ROI1 \sim ROI3$ の各々に対応する補正係数 R を用いて、検出時刻 Td を補正する。

【0044】

具体的には、次の式（2）に基づいて検出時刻 Td を補正できる。

$$Td1(k, p) = Td0(k, p) + R(k, p) \quad \dots \text{式 (2)}$$

$Td0$ ：補正前の検出時刻 Td

$Td1$ ：補正後の検出時刻 Td

R ：補正係数

k ：素子番号（ $k = (j - 1) * m + i$ ）

p ： ROI 識別子（ $1: ROI1, 2: ROI2, 3: ROI3$ ）

【0045】

B. 校正処理

以下、放射線検出装置 20 に対応して補正係数を校正する校正処理を一对の放射線検出装置 20 からなるシンプルな系を用いて説明する。

(1) 校正用デジタル検出信号 $Sb1$ 、 $Sb2$ の取得

放射線検出装置 $20a$ からの出力信号（デジタル検出信号 $Sb1$ ）、及び、放射線検出装置 $20a$ と対向して配置された他の放射線検出装置 $20b$ からの出力信号（デジタル検出信号 $Sb2$ ）を取得する。放射線検出装置 $20b$ は、放射線検出装置 $20a$ と同様に構成される。

【0046】

校正用線源 SP からの放射線（具体的には、後述の同時計測線）を放射線検出装置 $20a$ 、 $20b$ によって検出することで、校正用デジタル検出信号 $Sb1$ 、 $Sb2$ を取得する。図9は、校正時の放射線検出装置 $20a$ 、 $20b$ の配置の一例を表す図である。図8に示すように、複数の放射線検出装置 20 がリング状に配置される。この内、放射線検出装置 $20a$ 、 $20b$ （検出部 $40a$ 、 $40b$ ）は、校正用線源 SP を挟んで互いに対向し、校正用線源 SP からの放射線を検出する。このとき、放射線検出装置 $20a$ 、 $20b$ は、校正用線源 SP からの距離が略等しいことが好ましい。また、放射線検出装置 $20a$ 、 $20b$ は、略同等の装置であることが好ましい。ここでは、複数の放射線検出装置 20 をリング状に配置したが、他の配置としてもよい。例えば、1対の放射線検出装置 $20a$ 、 $20b$ を対向配置してもよい。

【0047】

校正用線源 SP から一对の放射線（例えば、 γ 線）が逆方向に同時に発せられることがある。例えば、 γ 線源は、電子、陽電子の衝突によって、1対の γ 線を逆方向に放射する。この一对の放射線は、検出部 $40a$ 、 $40b$ において、事実上同一時刻に検出され得るため、同時計数線と呼ばれる。この同時計数線を用いることで、デジタル検出信号 Sb の校正が可能となる。

【0048】

校正用線源 SP は、ここでは、 γ 線源である ^{22}Na の点線源とするが、回転する線源、円筒線源でもよい。なお、回転する線源、円筒線源は、点線源よりも多様な同時計測線のデータを取得できる。

【0049】

10

20

30

40

50

放射線検出装置 20a、20b からの出力信号（デジタル検出信号 S_{b1} 、 S_{b2} ）に基づいて、複数の検出ユニット 40（ i, j ）の各々、及び、複数のエネルギーウィンドウ $W1 \sim W3$ の各々に対応する補正係数 R を校正する。具体的には、次のように、（2）重心演算、（3）重心位置（ x, y ）の区分、（4）補正係数 R の特定が行われる。

【0050】

（2）重心演算

複数の検出ユニット 40（ i, j ）の各々により検出された蛍光強度（放射線の強度） I_{ij} の重心位置（ x, y ）が算出される。この算出は、算出処理 S_{11} と同様、式（1）を用いることができる。なお、算出処理 S_{11} では、1 のイベントについて、重心位置（ x, y ）を算出すれば足りたのに対して、ここでは、複数のイベントそれぞれについて、重心位置（ x, y ）を算出する。この結果、多数の重心位置（ x, y ）が算出される。

10

【0051】

（3）重心位置（ x, y ）の区分

演算された各重心位置（ x, y ）を検出ユニット 40a、40b の領域 A_{ij} 、および領域 $ROI1 \sim ROI3$ に区分する。1 対の同時計測線は、同一のエネルギーを有し、重心位置（ x, y ）は、領域 A_{ij} が異なっているにもかかわらず、基本的に同一の領域 $ROI1 \sim ROI3$ に配置されると考えられる。

【0052】

（4）補正係数 R の特定

以上のように分類された領域 A_{ij} および領域 $ROI1 \sim ROI3$ 毎に、同時計測線の検出時刻のずれに基づき、補正係数 R_{kl} を特定する。例えば、同時計測によって取得される検出時間差分布（タイミングヒストグラム）のピーク中心が検出ユニット 40a の素子番号 $k1$ の領域 ROI_p および素子番号 $k2$ の領域 ROI_p である場合、これらの間での検出時刻の差は、両者の補正係数 $R(k1, p)$ 、 $R(k2, p)$ の差に対応すると考えられる。なお、検出時間差分布（タイミングヒストグラム）は、同時計数によって算出した時間差をヒストグラム化したものである。個々の補正係数 R の特定は、複数の同時計測線を用いて、種々の素子番号 k （および領域 ROI_p ）での結果を統計的に処理することで行うことができる。

20

【0053】

図 10 は、素子番号 k 、 ROI 番号 p と補正係数 R の対応関係を表す図である。（a1）～（c1）は、素子番号 12, 64 で、 $ROI1$ のとき、（a2）～（c2）は、素子番号 12, 64 で、 $ROI2$ のとき、（a3）～（c3）は、素子番号 12, 64 で、 $ROI3$ のときのタイミングヒストグラム、補正係数 R_{kp} を表す。

30

【0054】

このように本実施形態では、検出ユニット 40（ i, j ）に対応する領域 A_{ij} をエネルギーウィンドウに対応する略同心円の領域 $ROI1 \sim ROI3$ に区分し、区分した領域毎に補正係数を割り当てることでタイムウォーク及びタイムスキューを一括で補正できる。

【0055】

図 11 は、重畳したタイミングヒストグラムを表す図である。領域 $ROI1 \sim ROI3$ でのタイミングヒストグラムを重ね合わせている。（a）では、検出時刻 T_d を補正せずにタイミングヒストグラムを重ね合わせ、（b）では、検出時刻 T_d を補正したタイミングヒストグラムを重ね合わせている。（a）と（b）を比較すれば、判るように、検出時刻 T_d を補正することでタイミングヒストグラムの幅が減少し、時間分解能が向上していることが分かる。

40

【0056】

図 12 は、領域 A_{ij} の区分数が異なる検出マップを表す図である。（a）は、領域 A_{ij} を区分せず、（b）～（d）では領域 A_{ij} を 2～4 に区分している。図 13 は、重畳したタイミングヒストグラムを表す図である。図 13（a）～（d）は、図 12（a）～（d）に対応する。このように、領域 A_{ij} の区分数を増やすことで、時間分解能が向

50

上し、区分数を4とすることで、区分しない場合と比べて、時間分解能が53.2ps向上した。なお、図13にも示されるように、区分数を増加するにつれて、時間分解能の向上の程度は低減する。すなわち、統計誤差との兼ね合いもあり、区分数の増加による時間分解能の向上には限界がある。

【0057】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

【0058】

(まとめ)

【0059】

態様1の信号処理装置は、マトリクス状に配置された複数の検出ユニットを含み、各検出ユニットがシンチレータと該シンチレータからの蛍光を検出する受光素子とにより構成された放射線検出装置からの出力信号を処理する信号処理装置であって、前記複数の検出ユニットの各々により検出された蛍光強度の重心位置を算出する算出処理と、前記算出処理にて算出された重心位置に基づいて、放射線が入射した検出ユニット、及び、前記放射線が属するエネルギーウィンドウを特定する特定処理と、前記特定処理にて特定された検出ユニット、及び、前記特定処理にて特定されたエネルギーウィンドウに基づいて、前記放射線が当該検出ユニットに入射した時刻を補正する補正処理と、を実行するプロセッサを備えている。これにより、特定された検出ユニット、及び、エネルギーウィンドウに基づいて、放射線が入射した時刻を効率的に補正できる。

【0060】

態様2の信号処理装置は、態様1の信号処理装置において、前記重心位置は、前記複数の検出ユニットの各々に対応する領域に区間された二次元面であって、前記複数の領域の各々が複数のエネルギーウィンドウの各々に対応する小領域に区画された二次元面上の位置であり、前記特定処理において、前記プロセッサは、前記複数の領域のうち前記重心位置を含む領域に対応する検出ユニットを、前記放射線が入射した検出ユニットとして特定すると共に、前記複数の小領域のうち前記重心位置を含む小領域に対応するエネルギーウィンドウを、前記放射線が属するエネルギーウィンドウとして特定し、前記補正処理において、前記プロセッサは、前記複数の検出ユニットの各々、及び、前記複数のエネルギーウィンドウの各々に対応する補正係数のうち、前記特定処理にて特定された検出ユニット、及び、前記特定処理にて特定されたエネルギーウィンドウに対応する補正係数を用いて、前記時刻を補正する。これにより、特定された検出ユニット、及び、エネルギーウィンドウに対応する補正係数を用いて、放射線が入射した時刻を効率的に補正できる。

【0061】

態様3の信号処理装置は、態様2の信号処理装置において、前記プロセッサは、前記放射線検出装置からの出力信号、及び、前記放射線検出装置と同様に構成された他の放射線検出装置であって、前記放射線検出装置と対向して配置された他の放射線検出装置からの出力信号に基づいて、前記複数の検出ユニットの各々、及び、前記複数のエネルギーウィンドウの各々に対応する補正係数を校正する校正処理を更に実行する。これにより、特定された検出ユニット、及び、エネルギーウィンドウに対応する補正係数を用いて、放射線が入射した時刻を効率的に補正できる。

【0062】

態様4の信号処理装置は、態様1～3何れかの信号処理装置において、前記放射線は、 γ 線である。これにより、特定された検出ユニット、及び、エネルギーウィンドウに対応する補正係数を用いて、 γ 線が入射した時刻を効率的に補正できる。

【0063】

態様5の信号処理方法は、マトリクス状に配置された複数の検出ユニットを含み、各検出ユニットがシンチレータと該シンチレータからの蛍光を検出する受光素子とにより構成された放射線検出装置からの出力信号を処理する信号処理方法であって、プロセッサが、

前記複数の検出ユニットの各々により検出された蛍光強度の重心位置を算出する算出処理と、前記プロセッサが、前記算出処理にて算出された重心位置に基づいて、放射線が入射した検出ユニット、及び、前記放射線が属するエネルギーウィンドウを特定する特定処理と、前記プロセッサが、前記特定処理にて特定された検出ユニット、及び、前記特定処理にて特定されたエネルギーウィンドウに基づいて、前記放射線が当該検出ユニットに入射した時刻を補正する補正処理と、を含んでいる。これにより、特定された検出ユニット、及び、エネルギーウィンドウに基づいて、放射線が入射した時刻を効率的に補正できる。

【0064】

態様6の信号処理プログラムは、コンピュータを態様1～4何れかの信号処理装置として動作させるための信号処理プログラムであって、前記コンピュータが備えるプロセッサに、前記算出処理、前記特定処理、及び前記補正処理を実行させる。これにより、コンピュータを用いて、放射線が入射した時刻を効率的に補正できる。

10

【0065】

態様7の陽電子放出断層撮影装置は、態様1～4いずれかに記載の信号処理装置と、前記放射線検出装置と、を備えている。これにより、陽電子放出断層撮影装置において、 γ 線が入射した時刻を効率的に補正できる。

【符号の説明】

【0066】

10 放射線撮影装置
20 放射線検出装置
30 信号処理装置
31 プロセッサ
32 一次メモリ
33 二次メモリ
34 入出力インタフェース
35 バス
40 検出部
40 (i, j) 検出ユニット
41 シンチレータアレー
41 (i, j) シンチレータ
42 受光素子アレー
42 (i, j) 受光素子
43 反射材
50 検出回路
S a アナログ検出信号
S b デジタル検出信号

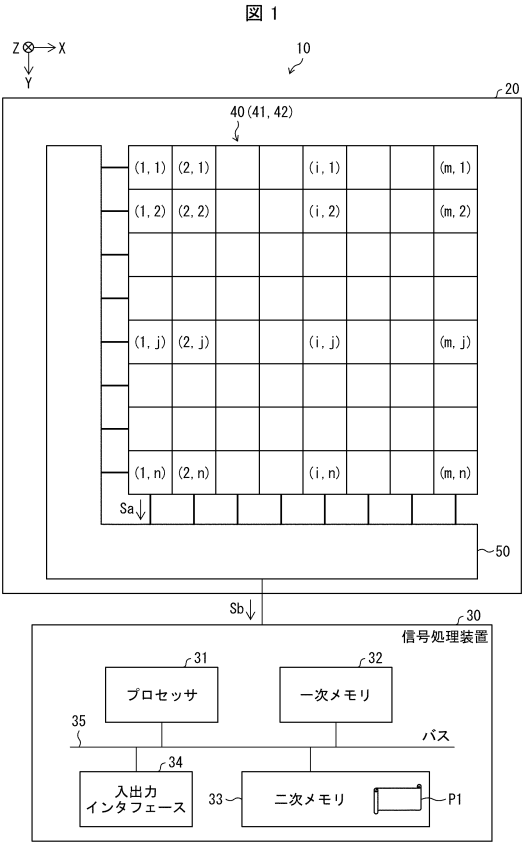
20

30

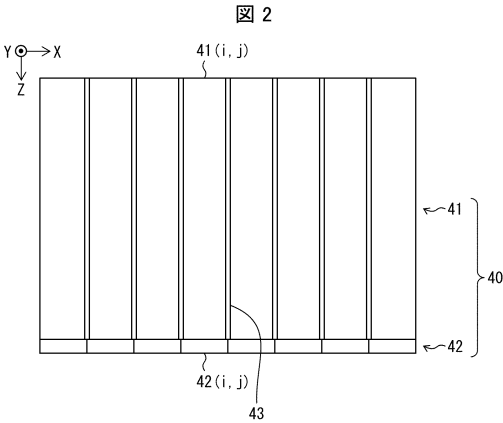
40

50

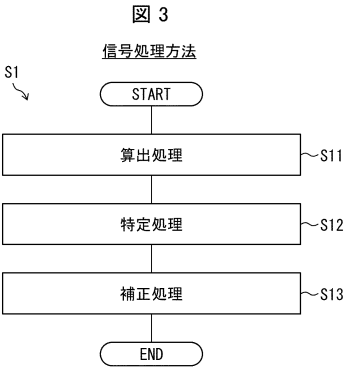
【図面】
【図 1】



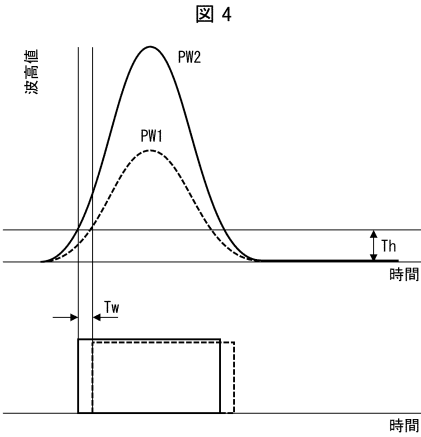
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

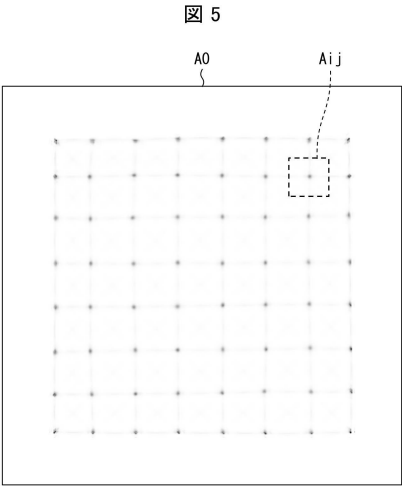
20

30

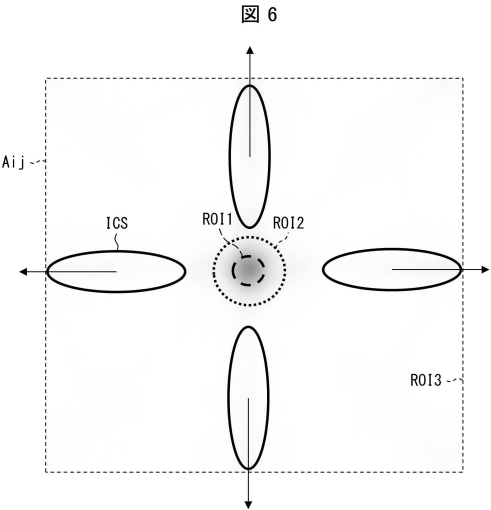
40

50

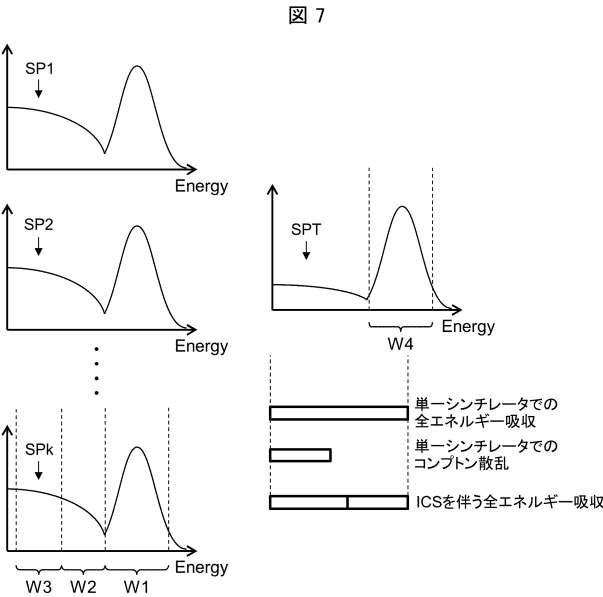
【図 5】



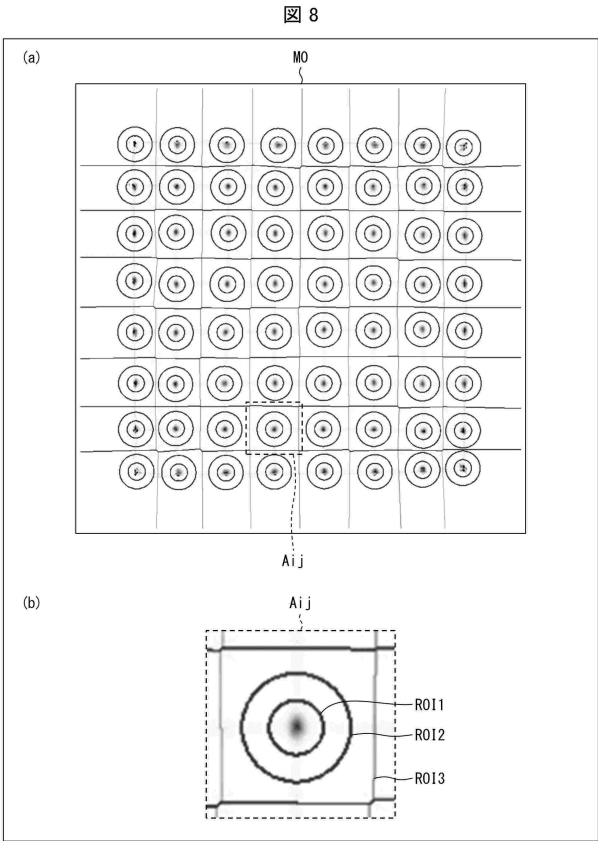
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

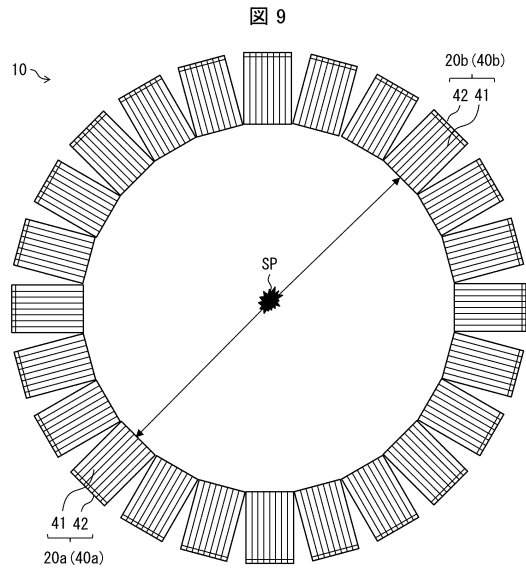
20

30

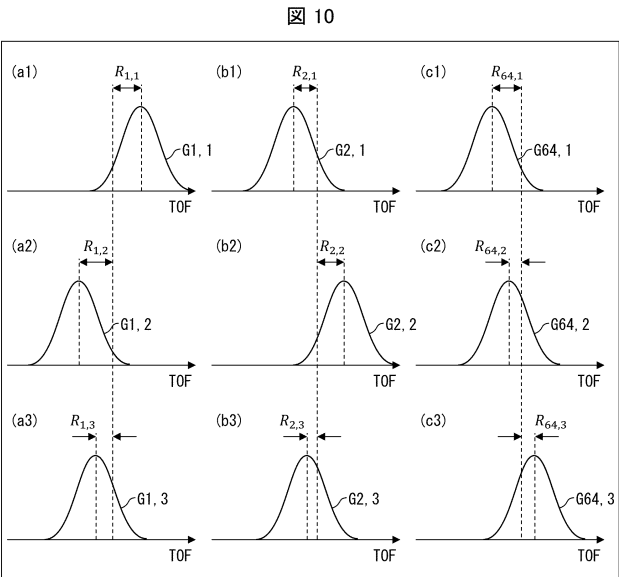
40

50

【 図 9 】

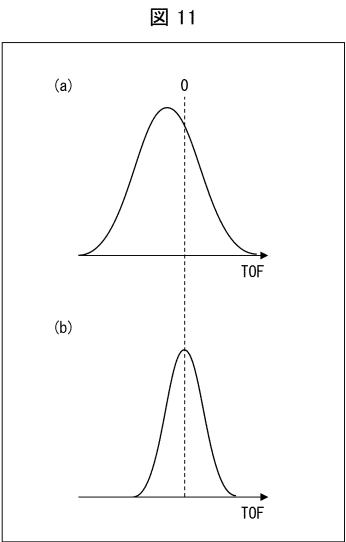


【 図 1 0 】

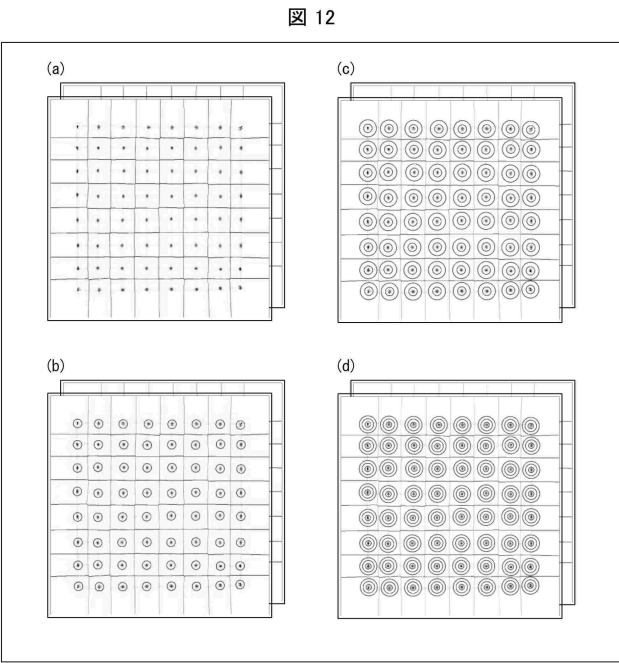


10

【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



20

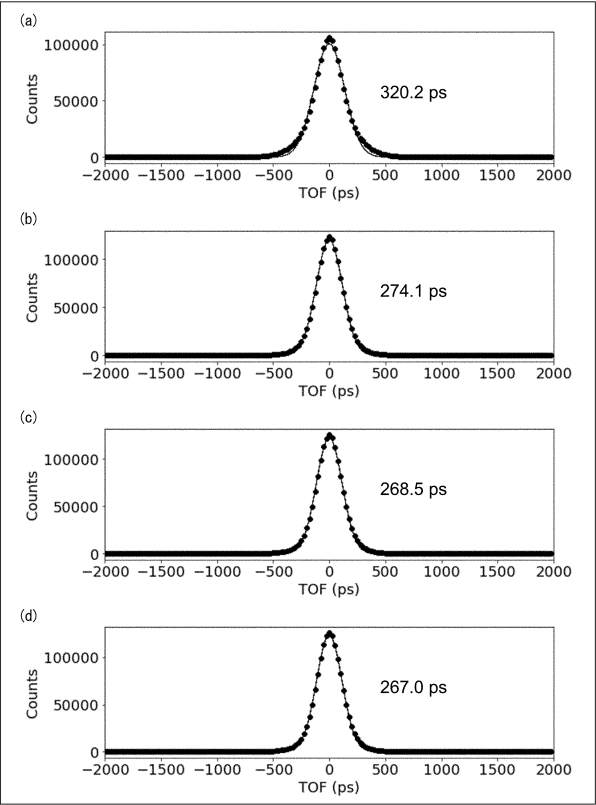
30

40

50

【図 13】

図 13



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I
G O 1 T

1/161

A

テーマコード (参考)

機構内

F ターム (参考)

2G188

AA02 BB04 BB07 BB15 CC23 DD05 EE12 EE16 EE29 EE39
FF16 FF30

4C188

EE02 FF07 GG19 JJ02 KK01 KK09 KK15 KK21 KK33 KK35