

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-117993

(P2018-117993A)

(43) 公開日 平成30年8月2日(2018.8.2)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
<b>A61B 6/00</b> (2006.01)	A 61 B 6/00	350Z 2G188
<b>G01T 1/20</b> (2006.01)	A 61 B 6/00	300S 4C093
<b>G01T 1/24</b> (2006.01)	A 61 B 6/00	330Z 5C024
<b>H04N 5/225</b> (2006.01)	A 61 B 6/00	333 5C122
<b>H04N 5/232</b> (2006.01)	G 01 T 1/20	F

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2017-13452 (P2017-13452)	(71) 出願人	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成29年1月27日 (2017.1.27)	(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康徳

(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
(74) 代理人	100130409 弁理士 下山 治
(74) 代理人	100134175 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

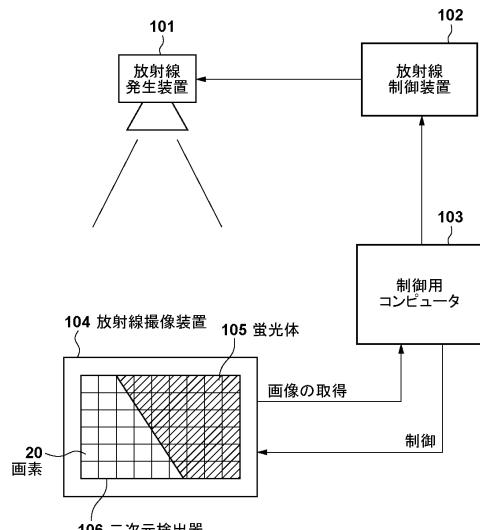
(54) 【発明の名称】情報処理装置およびその制御方法

## (57) 【要約】

【課題】フォトンカウンティング技術などにより得られる統計画像を動画の形態で提供可能にする。

【解決手段】情報処理装置は、放射線を検出して画像を出力する二次元検出器により得られた情報に基づいて画像を時系列に取得する取得部と、取得部により取得された時系列に並ぶ所定数の画像から得られる各画素の複数の画素値に基づいて、各画素に照射されたフォトンの平均エネルギーを推定する推定部と、推定部が推定した各画素の平均エネルギーを用いて統計画像を生成する生成部とを備える。生成部は、所定数の画像を逐次更新し、更新された所定数の画像から得られる各画素の複数の画素値に基づいて統計画像を生成する。

【選択図】 図1A



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

放射線を検出して画像を出力する二次元検出器により得られた情報に基づいて画像を時系列に取得する取得手段と、

前記取得手段により取得された時系列に並ぶ所定数の画像から得られる各画素の複数の画素値に基づいて、各画素に照射されたフォトンの平均エネルギーを推定する推定手段と、

前記推定手段が推定した各画素の平均エネルギーを用いて統計画像を生成する生成手段と、を備え、

前記生成手段は、前記所定数の画像を逐次更新し、更新された前記所定数の画像から得られる各画素の複数の画素値に基づいて統計画像を生成することを特徴とする情報処理装置。 10

**【請求項 2】**

前記生成手段により時系列に生成された統計画像を動画として表示する表示手段をさらに備えることを特徴とする請求項 1 に記載の情報処理装置。

**【請求項 3】**

前記所定数の画像において被検体の動きが発生したことを検知する検知手段をさらに備え、

前記推定手段は、前記検知手段が前記被検体の動きを検知した場合に前記所定数の画像を破棄し、その後に、前記取得手段により取得された時系列に並ぶ所定数の画像を用いて前記推定を再開することを特徴とする請求項 1 に記載の情報処理装置。 20

**【請求項 4】**

前記検知手段は、前記推定手段により推定された平均エネルギーの変化に基づいて被写体の動きを検知することを特徴とする請求項 3 に記載の情報処理装置。

**【請求項 5】**

前記検知手段は、前記生成手段により生成された複数の画像から各画素のエネルギーの分散値を算出し、算出された分散値が所定の閾値を超えた画素の数に基づいて前記被検体の動きが発生したことを検知することを特徴とする請求項 3 に記載の情報処理装置。

**【請求項 6】**

前記検知手段は、選択された画素についてエネルギーの分散値を算出することを特徴とする請求項 5 に記載の情報処理装置。 30

**【請求項 7】**

前記検知手段は、前記取得手段により取得された画像から被写体の存在しない領域を認識し、前記領域の形状の変化に基づいて前記被検体の動きが発生したことを検知することを特徴とする請求項 3 に記載の情報処理装置。

**【請求項 8】**

前記生成手段により時系列に生成された統計画像を動画として表示する表示手段をさらに備え、

前記表示手段は、前記推定手段が前記所定数の画像を破棄してから前記推定を再開することにより得られた統計画像を表示するまでの間は、

前記生成手段により最後に生成された統計画像を表示する、

画像の表示を消す、

前記取得手段により取得された画像を表示する、

のいずれかを行うことを特徴とする請求項 3 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

**【請求項 9】**

前記生成手段は、近傍の複数の画素について得られた平均エネルギーの平均値を用いて低解像度の統計画像を生成し、前記低解像度の統計画像を前記取得手段により取得された画像に重ねることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

**【請求項 10】**

10

20

30

40

50

前記推定手段は、前記所定数の画像の各々において隣接する複数の画素の画素値を平均して一つの画素として用いることを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の情報処理装置。

#### 【請求項11】

前記推定手段は、前記所定数の画像のうち最も古い画像における各画素の値と、前記所定数の画像に新たに加わる画像における各画素の値とを用いて、更新後の前記所定数の画像を対象とした各画素の推定された平均エネルギーを算出することを特徴とする請求項1乃至10のいずれか1項に記載の情報処理装置。

#### 【請求項12】

各画素についてフォトンのエネルギーと個数の情報を有する画像を時系列に取得する取得手段と、

前記取得手段により取得された時系列に並ぶ所定数の画像から得られる各画素の情報に基づいて、各画素に照射されたフォトンの平均エネルギーを算出する算出手段と、

前記算出手段により算出された各画素の平均エネルギーを用いて統計画像を生成する生成手段と、を備え、

前記生成手段は、前記所定数の画像を逐次更新し、更新された前記所定数の画像から得られる各画素の情報に基づいて統計画像を生成する、ことを特徴とする情報処理装置。

#### 【請求項13】

放射線を検出して画像を出力する二次元検出器により得られた情報に基づいて画像を時系列に取得する取得工程と、

前記取得工程で取得された時系列に並ぶ所定数の画像から得られる各画素の複数の画素値に基づいて、各画素に照射されたフォトンの平均エネルギーを推定する推定工程と、

前記推定工程で推定された各画素の平均エネルギーを用いて統計画像を生成する生成工程と、を有し、

前記生成工程では、前記所定数の画像を逐次更新し、更新された前記所定数の画像から得られる各画素の複数の画素値に基づいて統計画像を生成する、ことを特徴とする情報処理装置の制御方法。

#### 【請求項14】

各画素についてフォトンのエネルギーと個数の情報を有する画像を時系列に取得する取得工程と、

前記取得工程で取得された時系列に並ぶ所定数の画像から得られる各画素の情報に基づいて、各画素に照射されたフォトンの平均エネルギーを算出する算出工程と、

前記算出工程で算出された各画素の平均エネルギーを用いて統計画像を生成する生成工程と、を有し、

前記生成工程では、前記所定数の画像を逐次更新し、更新された前記所定数の画像から得られる各画素の情報に基づいて統計画像を生成する、ことを特徴とする情報処理装置の制御方法。

#### 【請求項15】

請求項12または13に記載された情報処理装置の制御方法の各工程をコンピュータに実行させるためのプログラム。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は、フォトンカウンティング技術を用いた放射線画像の生成に関する。

##### 【背景技術】

##### 【0002】

医療用の放射線撮像装置及び放射線撮像システムは、医療診断における一般撮影を含む静止画撮影、透視撮影を含む動画撮影などに用いられる。放射線撮像には、低線量で高画質が得られるフォトンカウンティング技術が知られている。フォトンカウンティング技術には、計数型フォトンカウンティング技術と統計型フォトンカウンティング技術がある。

10

20

30

40

50

計数型フォトンカウンティング技術では、放射線照射源からの発光量を調整し、各センサに光子が単体で入射した場合の蛍光体の発光量を基に入射した光子のエネルギーを推定する。また、統計型フォトンカウンティング技術では、同一被写体の複数の画像の平均値と分散から入光した光子の平均エネルギーを推定する。

#### 【0003】

平面検出器(Flat Panel Detector、以下FPDと略す)で用いられる放射線の検出方式としては、入射した放射線フォトンにより発生した電荷の総量を計測する、エネルギー積分型のセンサが一般的である。特許文献1では、このようなFPDを用いた統計型のフォトンカウンティング技術として、所定領域ごとに平均画像濃度情報と画像濃度の分散情報を算出し、放射線フォトンの個数や平均エネルギーを推定する方法が提案されている。

#### 【0004】

また、入射した放射線フォトンの個数を計測する、フォトンカウンティング型のセンサが存在する。フォトンカウンティング型のセンサでは、放射線フォトンのエネルギー(波長)を識別して、それぞれのエネルギーの放射線フォトンの個数を数えることができる。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0005】

#### 【特許文献1】特開2009-285356号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

フォトンカウンティング技術により得られた統計画像はその解析に複数の画像を使用することから、複数枚の画像を蓄積後、計算処理され静止画として表示される。そのため、統計画像は、動画としてリアルタイムに画像を表示させるような用途、たとえば撮影方向を随時変更しながら観察する用途や造影剤を注入して時間的変化を観察する用途には適さない。特許文献1では、1枚の画像から所定領域ごとに放射線フォトンの個数や平均エネルギーを推定する。そのため、画像を生成するのに多くの計算時間が必要となり、動画として実用的なフレームレートを得ることが難しい。

#### 【0007】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、フォトンカウンティング技術などにより得られる統計画像を動画の形態で提供可能にすることを目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

上記の目的を達成するための本発明の一態様による情報処理装置は以下の構成を備える。すなわち、

放射線を検出して画像を出力する二次元検出器により得られた情報に基づいて画像を時系列に取得する取得手段と、

前記取得手段により取得された時系列に並ぶ所定数の画像から得られる各画素の複数の画素値に基づいて、各画素に照射されたフォトンの平均エネルギーを推定する推定手段と、

前記推定手段が推定した各画素の平均エネルギーを用いて統計画像を生成する生成手段と、を備え、

前記生成手段は、前記所定数の画像を逐次更新し、更新された前記所定数の画像から得られる各画素の複数の画素値に基づいて統計画像を生成する。

#### 【発明の効果】

#### 【0009】

本発明によれば、フォトンカウンティング技術などにより得られる統計画像を動画の形態で提供することが可能になる。

#### 【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

## 【0010】

【図1A】実施形態による放射線撮像システムの構成を示す図。

【図1B】実施形態による制御用コンピュータのハードウェア構成例を示すブロック図。

【図2】二次元検出器の画素の等価回路を示す図。

【図3】放射線撮像システムにおける撮像動作のタイミングチャート。

【図4】放射線フォトンのエネルギーとセンサ出力の関係を説明する図。

【図5】量子ノイズを説明する図。

【図6】実施形態によるエネルギー推定の原理を説明する図。

【図7】動画像表示のタイミングを説明する図。

【図8】被写体の動きを検知した場合の動画像表示のタイミングを説明する図。 10

【図9】制御用コンピュータ103の機能構成例を示すブロック図。

【図10】制御用コンピュータ103による画像の生成処理を示すフローチャート。

【発明を実施するための形態】

## 【0011】

(第1実施形態)

図1Aは第1実施形態に係る放射線撮像システムの構成例を示すブロック図である。第1実施形態の放射線撮像システムは、放射線発生装置101、放射線制御装置102、制御用コンピュータ103、放射線撮像装置104を備える。放射線発生装置101は、放射線制御装置102の制御下で放射線を曝射する。制御用コンピュータ103は画像情報の取得、フォトンカウンティング技術による統計画像の生成、及び各種の制御を行う。放射線撮像装置104は、放射線を可視光に変換する蛍光体105と、可視光を検出する二次元検出器106を備える。二次元検出器106は、放射線フォトンを検出する画素20をX列×Y行のアレイ状に配置したセンサであり、画像情報を出力する。 20

## 【0012】

図1Bは、制御用コンピュータ103のハードウェア構成例を示すブロック図である。CPU11は、読み取り専用のメモリであるROM12または同時に読み書きが可能なメモリであるRAM13に記憶されているプログラムを実行することにより、各種処理を実現する。インターフェース14は、放射線制御装置102および放射線撮像装置104を制御用コンピュータ103に通信可能に接続する。入力部15は、ユーザによる各種指示を受け付ける。表示部16は、CPU11の制御下で各種表示を行う。格納部17は、たとえば、ハードディスクなどの大容量の記憶装置である。制御用コンピュータ103は、放射線撮像装置104から取得される画像情報に基づいて、各画素に照射された放射線フォトンのエネルギーを推定し、フォトンカウンティング技術による画像(統計画像)を生成する情報処理装置として動作する。 30

## 【0013】

次に、放射線撮像装置104が有する二次元検出器106を構成する画素20について説明する。図2に、第1実施形態に係る画素20の等価回路図を示す。画素20は、光電変換素子201と、出力回路部202とを含む。光電変換素子201は、典型的にはフォトダイオードである。出力回路部202は、増幅回路部204、クランプ回路部206、サンプルホールド回路部207、選択回路部208を含む。 40

## 【0014】

光電変換素子201は、電荷蓄積部を含む。この電荷蓄積部は、増幅回路部204のMOSトランジスタ204aのゲートに接続されている。MOSトランジスタ204aのソースは、MOSトランジスタ204bを介して電流源204cに接続されている。MOSトランジスタ204aと電流源204cとによってソースフォロア回路が構成されている。MOSトランジスタ204bは、そのゲートに供給されるイネーブル信号ENがアクティブルレベルになるとオンしてソースフォロア回路を動作状態にするイネーブルスイッチである。

## 【0015】

図2に示す例では、光電変換素子201の電荷蓄積部およびMOSトランジスタ204

10

20

30

40

50

a のゲートが共通のノードを構成している。このノードは、該電荷蓄積部に蓄積された電荷を電圧に変換する電荷電圧変換部として機能する。即ち、電荷電圧変換部には、電荷蓄積部に蓄積された電荷  $Q$  と電荷電圧変換部が有する容量値  $C$  とによって定まる電圧  $V$  ( $= Q / C$ ) が現れる。電荷電圧変換部は、リセットスイッチ 203 を介してリセット電位  $V_{res}$  に接続されている。リセット信号 PRE がアクティブルレベルになると、リセットスイッチ 203 がオンして、電荷電圧変換部の電位がリセット電位  $V_{res}$  にリセットされる。

#### 【0016】

クランプ回路部 206 は、リセットした電荷電圧変換部の電位に応じて增幅回路部 204 によって出力されるノイズをクランプ容量 206a によってクランプする。つまり、クランプ回路部 206 は、光電変換素子 201 で光電変換により発生した電荷に応じてソースフォロア回路から出力された信号から、このノイズをキャンセルするための回路である。このノイズはリセット時の KTC ノイズを含む。クランプは、クランプ信号 PCL をアクティブルレベルにして MOS トランジスタ 206b をオン状態にした後に、クランプ信号 PCL を非アクティブルレベルにして MOS トランジスタ 206b をオフ状態にすることによってなされる。クランプ容量 206a の出力側は、MOS トランジスタ 206c のゲートに接続されている。MOS トランジスタ 206c のソースは、MOS トランジスタ 206d を介して電流源 206e に接続されている。MOS トランジスタ 206c と電流源 206e とによってソースフォロア回路が構成されている。MOS トランジスタ 206d は、そのゲートに供給されるイネーブル信号 EN<sub>0</sub> がアクティブルレベルになるとオンしてソースフォロア回路を動作状態にするイネーブルスイッチである。

10

20

30

#### 【0017】

光電変換素子 201 で光電変換により発生した電荷に応じてクランプ回路部 206 から出力される信号は光信号である。この光信号は、光信号サンプリング信号 TS がアクティブルレベルになることによって、スイッチ 207Sa を介して容量 207Sb に書き込まれる。電荷電圧変換部の電位をリセットした直後に MOS トランジスタ 206b をオン状態とした際にクランプ回路部 206 から出力される信号（クランプ電圧）は、ノイズ信号である。このノイズ信号は、ノイズサンプリング信号 TN がアクティブルレベルになることによってスイッチ 207Na を介して容量 207Nb に書き込まれる。このノイズ信号には、クランプ回路部 206 のオフセット成分が含まれる。スイッチ 207Sa と容量 207Sb によって信号サンプルホールド回路 207S が構成される。また、スイッチ 207Na と容量 207Nb によってノイズサンプルホールド回路 207N が構成される。以上のように、サンプルホールド回路部 207 は、信号サンプルホールド回路 207S とノイズサンプルホールド回路 207N とを含む。

#### 【0018】

駆動回路部（不図示）が行選択信号をアクティブルレベルに駆動すると、容量 207Sb に保持された信号（光信号）が MOS トランジスタ 208Sa および行選択スイッチ 208Sb を介して信号線 25S に出力される。また、同時に、容量 207Nb に保持された信号（ノイズ）が MOS トランジスタ 208Na および行選択スイッチ 208Nb を介して信号線 25N に出力される。MOS トランジスタ 208Sa は、信号線 25S に設けられた不図示の定電流源とソースフォロア回路を構成する。同様に、MOS トランジスタ 208Na は、信号線 25N に設けられた不図示の定電流源とソースフォロア回路を構成する。MOS トランジスタ 208Sa と行選択スイッチ 208Sb によって信号用選択回路部 208S が構成される。MOS トランジスタ 208Na と行選択スイッチ 208Nb によってノイズ用選択回路部 208N が構成される。選択回路部 208 は、信号用選択回路部 208S とノイズ用選択回路部 208N とを含む。

40

#### 【0019】

また、画素 20 には、加算スイッチ 209S と加算スイッチ 209N を有する加算部 209 が設けられている。加算スイッチ 209S は、隣接する複数の画素 20 の光信号を加算するためのスイッチである。加算モード時には、加算モード信号 ADD がアクティブ

50

レベルになり、加算スイッチ 209S がオン状態になる。これにより、隣接する画素 20 の容量 207Sb が加算スイッチ 209S によって相互に接続されて、光信号が平均化される。加算スイッチ 209N は、隣接する複数の画素 20 のノイズを加算するためのスイッチである。加算スイッチ 209N がオン状態になると、隣接する画素 20 の容量 207Nb が加算スイッチ 209N によって相互に接続され、ノイズ信号が平均化される。

#### 【0020】

さらに、画素 20 は、感度を変更するための感度変更部 205 を有する。感度変更部 205 は、例えば、第 1 感度変更スイッチ 205a および第 2 感度変更スイッチ 205'a、並びにそれらに付随する回路素子を含みうる。第 1 変更信号 WIDE がアクティブルレベルになると、第 1 感度変更スイッチ 205a がオンして、電荷電圧変換部の容量値に第 1 付加容量 205b の容量値が追加される。これによって画素 20 の感度が低下する。第 2 変更信号 WIDE2 がアクティブルレベルになると、第 2 感度変更スイッチ 205'a がオンして、電荷電圧変換部の容量値に第 2 付加容量 205'b の容量値が追加される。これによって画素 20 の感度が更に低下する。このように画素 20 の感度を低下させる機能を追加することによって、より大きな光量を受光することが可能となり、ダイナミックレンジを広げることができる。第 1 変更信号 WIDE がアクティブルレベルになる場合には、インバブル信号 EN<sub>n</sub> をアクティブルレベルにして、MOS トランジスタ 204a に変えて MOS トランジスタ 204'a をソースフォロア動作させてよい。

10

#### 【0021】

放射線撮像装置 104 は、以上のような画素 20 の出力を読み出し、不図示の A/D 変換器でデジタル値に変換することにより得られた画像情報を制御用コンピュータ 103 に転送する。

20

#### 【0022】

次に、以上のような構成を備えた本実施形態の放射線撮像システムの動作について説明する。図 3 は、本実施形態に係る二次元検出器 106 の駆動タイミングを示す図である。図 3 では、放射線の照射の期間とデータ読み出しの期間を表しており、横軸は時間を表している。放射線撮像システムは、放射線照射期間 (XW)、放射線読み出し期間 (XR)、放射線非照射期間 (FW)、オフセット読み出し期間 (FR) を 1 フレームとして、静止画あるいは動画を取得する。放射線読み出し期間では、放射線照射期間における放射線の照射によって画素 20 に蓄積された電荷に基づく信号が読み出される。読み出された信号に基づいて生成された画像情報は、制御用コンピュータ 103 に順次転送される。オフセット読み出し期間では、放射線の照射を行わずに画素 20 に蓄積された電荷に基づく信号が読み出される。読み出された信号に基づいて生成されたオフセット画像情報は、制御用コンピュータ 103 に順次転送される。制御用コンピュータ 103 は、放射線読み出し期間 (XR) で取得された画像情報からオフセット読み出し期間 (FR) で取得されたオフセット画像情報を差し引くことでオフセットを補正する。

30

#### 【0023】

次に、本実施形態の放射線撮像システムにおいて、放射線フォトンの個数や平均エネルギーを推定する方法について説明する。

40

#### 【0024】

図 4 に、本実施形態に係る放射線フォトンのエネルギーとセンサ出力の関係を示す。放射線撮像装置 104 は、放射線を可視光フォトンに変換するシンチレータ (蛍光体 105)、可視光フォトンを電荷に変換する光電変換層 (光電変換素子 201)、その電荷を電圧に変換し、デジタル値にする回路部分 (出力回路部 202) を含む。放射線フォトンが蛍光体 105 に吸収されると、蛍光体 105 内で可視光フォトンが発生する。このとき生じる可視光フォトンの数は吸収された放射線フォトンのエネルギーによって変化する。具体的には、放射線フォトンのエネルギーが大きいほど蛍光体 105 で可視光フォトンが多く発生する。また、光電変換層で生じる電荷の数は可視光フォトンの数によって決まる。回路部分から最終的に出力されるデジタル値は、この電荷量を電圧に変換し、デジタル値にしたものである。なお、 LSB とは、回路部分が有する A/D コンバータの最小単位で

50

ある。

【0025】

次に、図5、図6の参照により、本実施形態における放射線フォトンの平均エネルギーを推定する方法について説明する。上述の特許文献1では、所定領域ごとに平均画像濃度情報と画像濃度の分散情報を用いて、1枚の画像から放射線フォトンの個数や平均エネルギーを推定するセンサが提案されている。本実施形態では、時系列に並ぶ複数の所定数の画像から各画素の放射線フォトンの個数や平均エネルギーを推定する。

【0026】

図5は、量子ノイズについて説明する図である。制御用コンピュータ103は、放射線撮像装置104に放射線を照射することにより複数枚の画像を取得する(図5(a))。ただし、この撮像の間、被写体は動かさないものとする。図5(b)は、取得された複数枚の画像の各々から任意の同位置の一画素を選択し、選択された画素の画素値を時系列に並べた様子を示している。理想的にはこれらの画素値は一定となるはずだが、実際には図5(b)に示されるようにバラツキが生じる。このバラツキには、電子回路のノイズ(システムノイズ)と量子ノイズが含まれる。なお、以降では、説明を簡略化するため、システムノイズを無視する。

【0027】

次に、画素に入射した放射線フォトンのエネルギー推定の原理について図6を参照して説明する。量子ノイズは、単位時間当たりの放射線フォトンの数がばらつくことによって生じる。この放射線フォトンの数のバラつきは、パラメータのポアソン分布に従う。例えば、単位時間当たりに一つの画素に到達する放射線フォトンの数の期待値が10個であるとき、実際に到達する放射線フォトンの数は、12個、5個、13個、11個・・・といったように、バラつく。従って、一個の放射線フォトンのエネルギーをデジタル値に変換したとき30 LSBであったとすると、画素値は、360 LSB、150 LSB、390 LSB、330 LSB・・・といったようにバラつく。サンプル数を無限に増やすと、画素値の期待値は300 LSBに、分散は9000 LSBになる(図6(a))。

【0028】

一方、単位時間当たりに一つの画素に到達する放射線フォトン数の期待値が3個であり、一個の放射線フォトンのエネルギーをデジタル値に変換したとき100 LSBであったとする。この場合、サンプル数を無限に増やすと、画素値の期待値は300 LSBに、分散は30000 LSBになる(図6(b))。図6(a)(b)に示されるように、画素値の平均値が同じであっても、エネルギーが大きい放射線フォトンで形成された画像のほうが、画素値の分散が大きくなる。本実施形態では、このことを利用して、放射線フォトンのエネルギーを推定する。

【0029】

まず、連続撮影してT枚の画像を取得したものとする。t枚目のーの画素の画素値をI(t)とし、T枚の画像の当該ーの画素に到達した放射線フォトンの数の合計をN個、放射線フォトンのエネルギーをEとすると、以下の(1)式が成り立つ。

【数1】

$$E \times N = \sum I(t) \quad \cdots (1)$$

【0030】

よって、当該ーの画素の画像一枚あたりの放射線フォトン数の相加平均Aveは、以下の(2)式で表される。

【数2】

$$Ave = \frac{N}{T} = \frac{\sum I(t)}{ET} \quad \cdots (2)$$

【0031】

また、当該ーの画素の画像一枚あたりの放射線フォトン数の標本分散Varは、以下

10

20

30

40

40

50

の(3)式で表される。

【数3】

$$Var = \frac{\sum \left\{ \frac{I(t)}{E} - Ave \right\}^2}{T} \quad \dots(3)$$

【0032】

ポアソン分布では、期待値および分散がパラメータに等しい。また、サンプル数が大きくなるほど、相加平均 Ave は期待値に近づき、標本分散 Var は分散に近づく。そこで、相加平均 Ave と標本分散 Var が等しいものと近似すると、以下の(4)式が導かれる。

【数4】

$$Ave = Var = \frac{\sum I(t)}{ET} = \frac{\sum \left\{ \frac{I(t)}{E} - Ave \right\}^2}{T} \quad \dots(4)$$

【0033】

(4)式を整理すると、以下の(5)式が導かれる。

【数5】

$$E = \frac{\sum I(t)^2}{\sum I(t)} - \frac{\sum I(t)}{T} \quad \dots(5)$$

【0034】

このようにして、時系列に並ぶT個の画像から一の画素に関して得られるT個の画素値 I(t)に基づいて放射線フォトンのエネルギー E を計算することができる。また、上記の一の画素の画素値の相加平均 Ave' と画素値の標本分散を Var' は、それぞれ以下の式(6)、式(7)で表される。

【数6】

$$Ave' = Ave \times E \quad \dots(6)$$

【数7】

$$Var' = Var \times E^2 \quad \dots(7)$$

【0035】

従って、一の画素に入射した放射線フォトンのエネルギー E は、以下の式(8)でも表される。

【数8】

$$E = \frac{Var'}{Ave'} \quad \dots(8)$$

【0036】

実際には、二次元検出器106に到達する放射線フォトンのエネルギーは単一ではない。一般的に、たとえば放射線発生装置101で管電圧を100kVに設定して放射線を照射すると、100keV以下の様々なエネルギーの放射線フォトンが生じる。このような放射線であっても、(5)式が成り立つものと近似することで、放射線フォトンの平均エネルギーを推定できる。また、(1)式によって、放射線フォトンの平均エネルギーと画素値から、一の画素に入射した放射線フォトンの数を推定できる。

【0037】

本実施形態では、各画素での放射線フォトンのエネルギー E を推定する際に、二次元検出器106から連続して収集される複数の画像の最終画像を t 、平均エネルギー E の計算

に用いる画像の枚数を  $T$  としたとき、(5)式より(9)式が求められる。

【数9】

$$E = \frac{\sum_{k=t-(T-1)}^t I(k)^2}{\sum_{k=t-(T-1)}^t I(k)} - \frac{\sum_{k=t-(T-1)}^t I(k)}{T} \quad \dots(9)$$

【0038】

この時、図7に示すように最終画像  $t$  は(9)式の計算と並行して順次更新され、画面に表示される。放射線フォトンのエネルギー  $E$  の画像の計算は、新たに画像が1枚撮影されるごとに行われてもよいし、計算時間および／または動画像表示の要求から一定数の画像が新たに撮像されるごとに行われてもよい。

10

【0039】

(9)式を用いることで、 $T$  枚の画像が逐次更新される際には、新たに加わる画像の画素値と除外される古い画像の画素値との差分およびそれら画素値の二乗の差分を用いるだけでよくなる。すなわち、所定数の画像のうち最も古い画像における各画素の値と、所定数の画像に新たに加わる画像における各画素の値とを用いて、更新後の所定数の画像を対象とした各画素の推定された平均エネルギーが算出される。よって、(3)式のような分散値の再計算を行う必要がなくなり、計算にかかるコストが大きく削減される。そのため信号の精度を上げるために  $T$  の枚数を増やしても計算時間はほとんど変わることがない。

【0040】

このようにして画素毎にエネルギー  $E$  が算出されたら、直前に表示していたエネルギー  $E$  の値を更新し、画像を作成し表示することにより観察者に動画を提示する。また、画像のノイズを低減させるため、リカーシブルフィルター等の動画処理を行うことも可能である。

20

【0041】

なお、本実施形態では、放射線撮像装置104は蛍光体を用いた間接型の放射線センサとした。しかしながら本発明はこのような形態に限定されない。CdTe等の直接変換材料を用いた直接型の放射線センサを用いてもよい。この場合、パラメータ  $A$  は直接変換材料における信号の拡散を示すパラメータとなる。

30

【0042】

図9は、制御用コンピュータ103の、フォトンカウンティング技術による画像生成のための機能構成例を示すブロック図である。画像取得部51は、放射線を検出して画像を出力する二次元検出器106により得られた情報に基づいてエネルギー積分型の画像を取得する。なお、画像取得部51では、図3の放射線読み出し期間(XR)で読み出された画像からオフセット読み出し期間(FR)で読み出された画像を差し引いたオフセット補正後の画像が取得される。推定部52は、画像取得部51により取得された時系列に並ぶ所定数の画像から得られる各画素の複数の画素値に基づいて、各画素に照射された放射線フォトンの平均エネルギーを推定する。本実施形態では、推定部52は、所定数の画像として、画像取得部51が取得した画像のうちの時系列に並ぶ  $T$  個の画像を用いて各画素の放射線フォトンのエネルギー値を推定する。生成部53は、推定部52が推定した各画素の平均エネルギーを用いてフォトンカウンティング型の画像である統計画像を生成する。

40

【0043】

生成部53は、所定数の画像の古い順に新たなエネルギー積分型の画像に入れ替えることにより更新された所定数の画像を対象として推定部52が推定した各画素の平均エネルギーを用いることにより、時系列にフォトンカウンティング型の画像を生成する。すなわち、推定部52は、たとえば、上述の(9)式を用いて、所定数( $T$ )の画像のうち最も古い画像を新たな画像で更新して得られる新たな所定数の画像を対象として各画素における放射線フォトンの平均エネルギーを新たに推定する。そして、生成部53は、各画素の平均エネルギーを用いてフォトンカウンティング型の画像を生成する。出力部54は、生成部53により生成された画像を表示部16や格納部17に出力する。例えば、出力部5

50

4は、表示部16に、生成部53により時系列に生成されたフォトンカウンティング型の画像を動画として表示させる。

【0044】

図10は、制御用コンピュータ103による、放射線フォトンの平均エネルギーによる画像の生成処理を説明するフローチャートである。ステップS101において、画像取得部51は、放射線撮像装置104から取得される画像情報の数をカウントするためのカウンタkを0にリセットする。また、推定部52は、画素ごとに設けられた変数A、Bをゼロにセットする。ステップS102、ステップS103において、画像取得部51は、カウンタkを1つ増加するとともに、放射線撮像装置104から画像情報を取得する。

【0045】

ステップS104において、推定部52は、カウンタkの値がTより大きいか否かを判定する。カウンタkがT以下の場合(ステップS104でNO)、推定部52は、ステップS105において、現在のAの値に取得された画像情報の画素値を二乗した値( $I(k)^2$ )を加算することによりAを更新する。また、推定部52は、現在のBの値に取得された画像情報の画素値( $I(k)$ )を加算することによりBを更新する。

【0046】

他方、ステップS104においてkがTより大きい場合(ステップS104でYES)、処理はステップS106へ進む。ステップS106において、推定部52は、T個の画像群に新たに加わる最新の画像の画素値( $I(k)$ )と、T個の画像群で最も古い画像(T個の画像群から除外されることになる画像)の画素値( $I(k-1)$ )とを用いて変数A、Bを更新する。具体的には、推定部52は、Aの現在値に、 $I(k)^2 - I(k-T)^2$ を加算し、Bの現在値に $I(k) - I(k-T)$ を加算する。

【0047】

ステップS107において、推定部52は、k>Tか否かを判定する。k < Tの場合(ステップS107NO)は、上述したステップS102以降の動作が繰り返される。k>Tの場合(ステップS107でYES)、ステップS108において推定部52は、画像(k)における各画素の放射線フォトンのエネルギー値を推定する。より具体的には、ステップS105、S106で更新されたA、Bを用いて、 $E = A / B - B / T$ を計算する。この計算により、上記(9)式と同等の演算が実行され、エネルギーEが求まる。

【0048】

ステップS109において、生成部53は、推定部52により推定された各画素のエネルギー値を用いて画像を生成する。出力部54は、生成された画像をたとえば表示部16に出力して表示するとともに、格納部17に格納する。

【0049】

以上のように、第1実施形態によれば、更新後の所定数(T個)の画像を用いて平均エネルギーを推定する際に、更新前の所定数の画像のうち最も古い画像における各画素の値と、所定数の画像に新たに加わる画像における各画素の値とが用いられる。すなわち、(9)式によりエネルギーの推定を行うことにより、少ない計算量でエネルギーを推定することができ、フォトンカウント技術による動画表示を実現することができる。

【0050】

(第2実施形態)

第1実施形態では、二次元検出器106として、入射した放射線フォトンにより発生した電荷の総量を計測する、積分型のセンサを用いたがこれに限られるものではなく、フォトンカウンティング型のセンサが用いられてもよい。フォトンカウンティング型のセンサでは、放射線フォトンが一個吸収されるたびに読み出しを行い、センサ出力から放射線フォトンのエネルギーを得ることが可能である。フォトンカウンティング型のセンサは、放射線フォトンのエネルギー(波長)を識別し、それぞれのエネルギーの放射線フォトンの個数を数えている。よって、フォトンカウンティング型のセンサにより得られる画像情報は、各画素における放射線フォトンの数とそのエネルギーの情報を含む。

【0051】

10

20

30

40

50

したがって、フォトンカウンティング型のセンサにより得られる所定数の画像を用いて各画素でのエネルギーの積算値を計算することで、各画素における放射線フォトンの平均エネルギーを取得することができる。所定数の画像情報は、新たな画像情報が取得されると、最も古い画像情報が破棄される。エネルギーの積算値は、新たに加わる画像情報により示されるエネルギー値と、破棄される画像情報により示されるエネルギー値との差分を用いて更新され得る。なお、上記の所定数は任意に変更できる。

#### 【0052】

例えは、図9の機能ブロックにおいて、画像取得部51は、各画素について放射線フォトンのエネルギーと個数の情報を有する画像を時系列に取得する。推定部52は、画像取得部51により取得された、時系列に並ぶ所定数の画像から得られる各画素の情報に基づいて、各画素に照射された放射線フォトンの平均エネルギーを算出する。生成部53は、推定部52により算出された各画素の平均エネルギーを用いてフォトンカウンティング型の画像を生成する。ここで、生成部53は、所定数の画像の古い順に新たな画像に入れ替えることにより更新された所定数の画像を対象として、推定部52が算出した各画素の平均エネルギーを用いることにより、時系列にフォトンカウンティング型の画像を生成する。

10

#### 【0053】

以上のように、第2実施形態によれば、フォトンカウンティング型のセンサにより画像を得る場合にも、複数の画像から得られる各画素における放射線フォトンの平均エネルギーを算出することができる。また、差分値を用いて平均エネルギーが更新されるので、計算量が少なく、高いフレームレートで動画を提示することが可能である。

20

#### 【0054】

##### (第3実施形態)

第1実施形態では被験者もしくは被検体の動きがあった時に、被写体の構造により放射線の信号値が大きく変化することが予測される。そのため(7)式のVar'が大きく変化し算出される放射線フォトンのエネルギーE値が実際の値よりも大きくなってしまう可能性がある。第3実施形態ではこのような課題に対処する。

30

#### 【0055】

第3実施形態では、推定部52が、各画素のエネルギーEの値を時系列的に評価することにより被検体の動きを検知する検知部(不図示)をさらに有する。すなわち、検知部は、推定部52により推定された平均エネルギーの変化に基づいて被写体の動きを検知する。検知部によって被検体の動きが検知された場合には、たとえば、図10のフローチャートにおいて処理をS101まで戻すことにより、それまでのT個の画像情報に関わる情報を破棄する。こうして、推定部52は、検知部が被検体の動きを検知した場合に所定数の画像を破棄し、その後に、画像取得部51により取得された時系列に並ぶ所定数の画像を用いて推定を再開する。

30

#### 【0056】

検知部による被検体の動きの検知は、たとえば、新たな画像情報の加入後に算出されたある画素の平均エネルギーと、少なくとも直前に算出された当該画素の平均エネルギーの値との差を用いて変動を評価することにより行われる。できれば直前の複数の画像を用いて放射線フォトンのエネルギーの変化を確認することにより被写体の動きを検知するが望ましい。たとえば生成部53が生成した最新の画像を加えた複数の所定枚数の画像のある画素に注目し、放射線フォトンの平均エネルギーEの値の分散値がある閾値を超えた場合に注目点としてカウントする。このような注目画素を画像中に複数個設定しておき、カウント数が画像全体で一定の値を上回った場合に被検体に動きがあったと認識する。なお、画像中の全画素がそのような注目画素として用いられてもよいし、画像中の選択された画素が注目画素として用いられてもよい。また、注目画素をユーザが設定できるようにしてもよい。また、画像中の任意の領域をしていることにより、その領域内の画素が注目画素として用いられるようにしてもよい。このように注目画素の領域をユーザが設定できるようにすれば、局所的に被検体の移動(変化)を検知することができる。

40

50

## 【0057】

以上のようにして被検体の動きが検知されると、図8に示すように放射線フォトンのエネルギーEの画像表示を停止させる。その後の連続画像が計算に必要なT枚蓄積されるのを待って放射線フォトンのエネルギーEの計算を実行し、画像の表示を再開させる。また、推定部52が所定数の(T個の)画像を破棄してから推定を再開するまでの間は、平均エネルギーを用いた画像(フォトンカウンティング型の画像)の表示が停止される。なお、放射線フォトンのエネルギーEの画像の表示を停止する場合には、

- ・生成部53によって最後に生成された画像を提示し続ける、
- ・画像の表示を消す、
- ・通常の放射線画像(画像取得部51により得られるエネルギー積分型の画像)を表示する、等の処置を選択することができる。

10

## 【0058】

これにより血管内の造影剤などの局所変化による一時的な放射線フォトンのエネルギーEの変化などに過敏に反応せず放射線フォトンのエネルギーEの画像を連続して表示できる。

## 【0059】

## (第4実施形態)

第3実施形態では、検知部が、フォトンカウンティング型の画像におけるエネルギー値に基づいて被写体の動きを検知するようにしたがこれに限られるものではない。たとえば、検知部が、放射線フォトンのエネルギーEの計算のために取得されたエネルギー積分型の画像において被写体の存在しない領域を認識し、その形状がある一定範囲以上で変化した場合に被写体の動きがあったと判断するようにしてもよい。被写体の動きが検知されると、第3実施形態と同様に、それまでのT個の画像情報に関する情報は破棄される。また、放射線フォトンのエネルギーEの表示は停止される。なお、フォトンカウンティング型の画像の表示が停止される期間の表示形態は第3実施形態で述べたとおりである。その後、エネルギーの計算に必要なT個の画像情報に関する情報が蓄積されるのを待ってエネルギーE値の計算が実行され、画像の表示が再開される。これにより画像の巣抜け部が多い場合に被検体の動きが過小評価されることを防ぐことができる。

20

## 【0060】

## (第5実施形態)

30

放射線フォトンのエネルギーEの値を算出する際に被検体の構造の変化が激しい場所ではわずかな位置移動が大きなE値の変化として現れる。そのため、近傍の複数の画素のエネルギーEの値の平均値等を用いて解像度を落としたフォトンカウンティング型の画像(低解像度の画像)を生成し、これを通常の画像(エネルギー積分型の画像)と重ね合わせて表示するようにしてもよい。このような構成によれば、エネルギー値の変化による構造の把握と、通常の放射線画像による詳細な構造の把握が可能となり、ユーザの観察が容易になる。

## 【0061】

## (第6実施形態)

40

上記の放射線フォトンのエネルギーEの値を算出する際に周辺の値との平均値を求めて表示させる等、高解像度が不要な場合には(9)式を求める際に、周辺の画素の平均値を使用してもよい。このように、所定数(T個)の画像の各々において、隣接する複数の画素の画素値を平均して一つの画素として用いることにより、(9)式による計算量を低減させることができる。

## 【0062】

なお、上述した処理は、好適にはプログラムを用いて処理されることが望ましいが、処理の全て、あるいは一部を、回路を用いて実施してもよい。

## 【0063】

本発明は、上述の実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにお

50

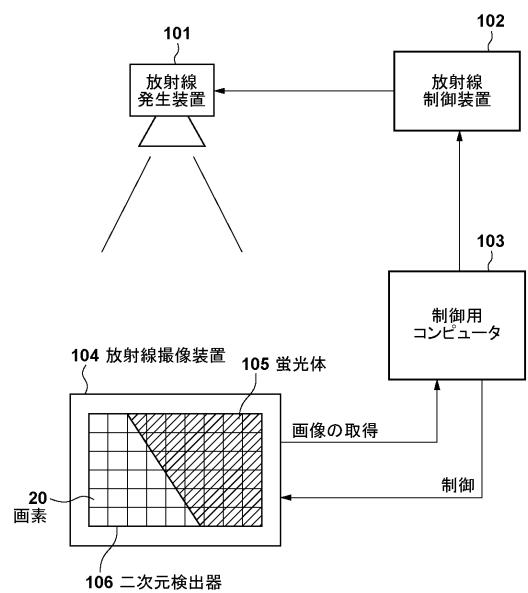
ける1つ以上のプロセッサーがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路（例えば、ASIC）によっても実現可能である。

【符号の説明】

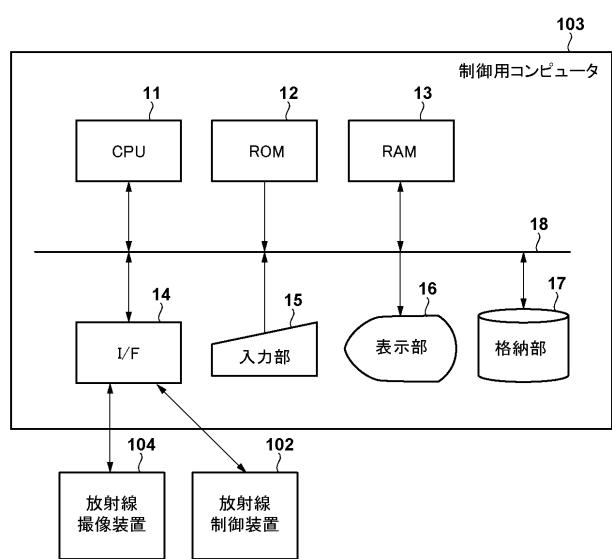
【0064】

101：放射線発生装置、102：放射線制御装置、103：制御用コンピュータ、104：放射線撮像装置、105：蛍光体、106：二次元検出器、51：画像取得部、52：推定部、53：生成部、54：出力部

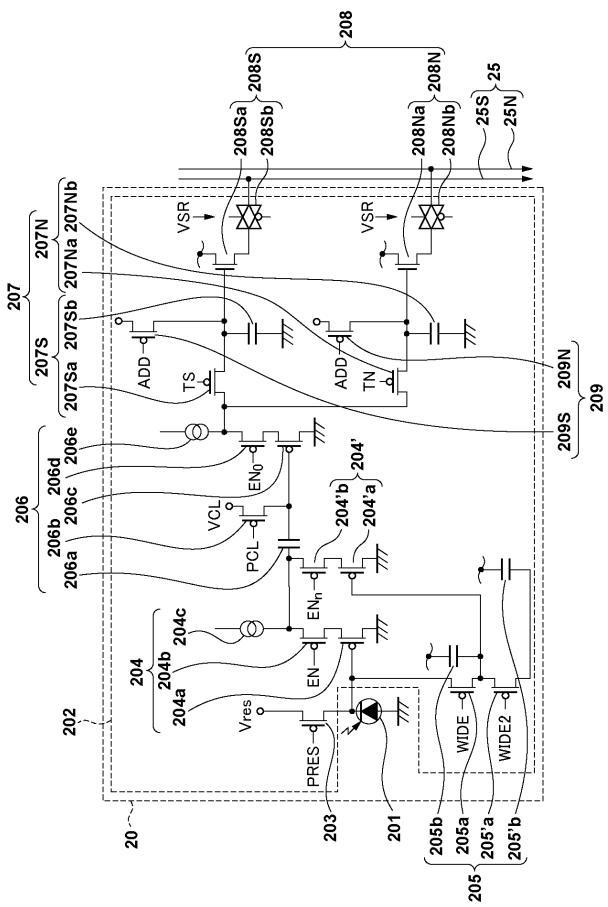
【図1A】



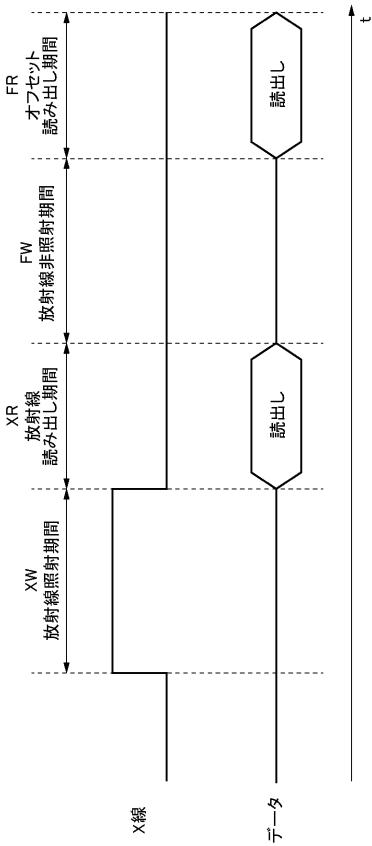
【図1B】



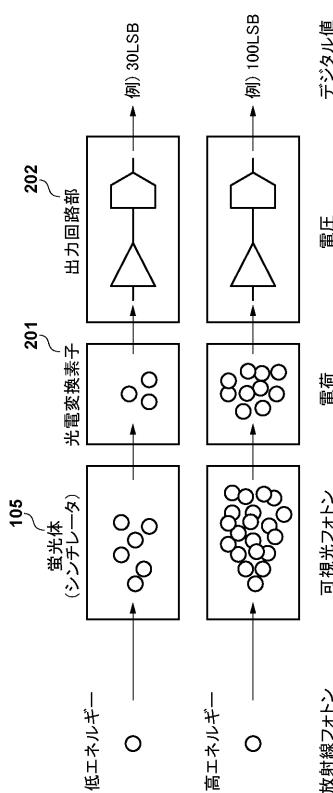
【 図 2 】



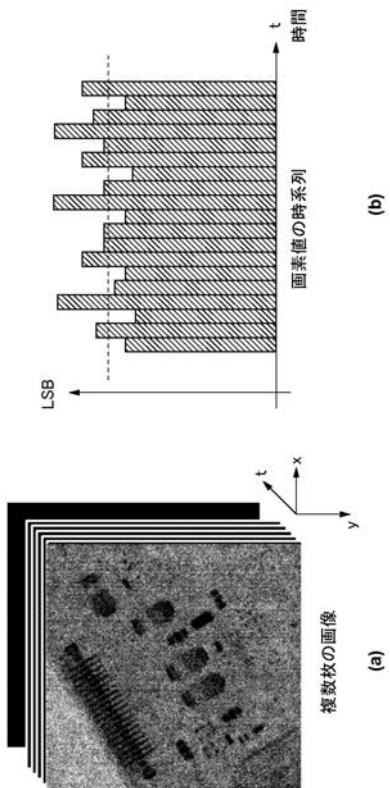
【 図 3 】



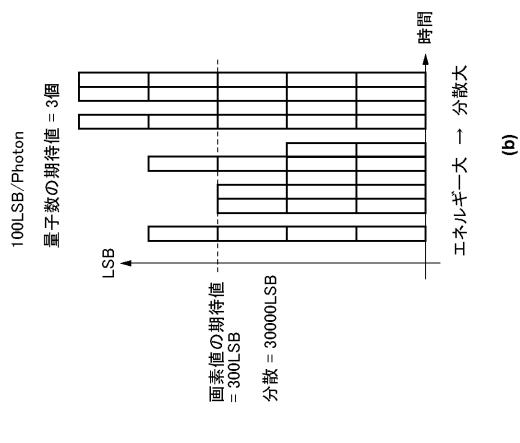
【 図 4 】



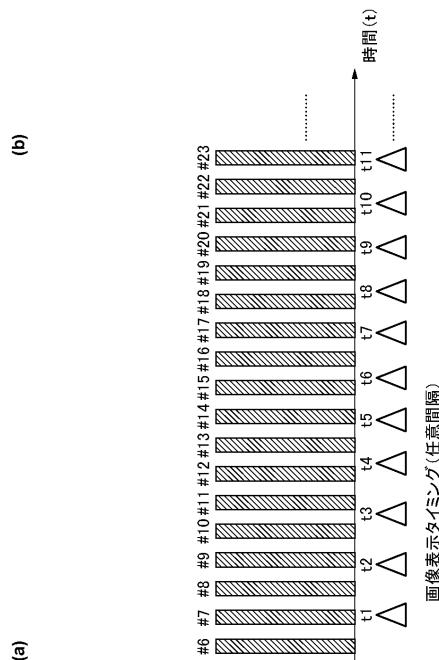
【 図 5 】



【図 6】



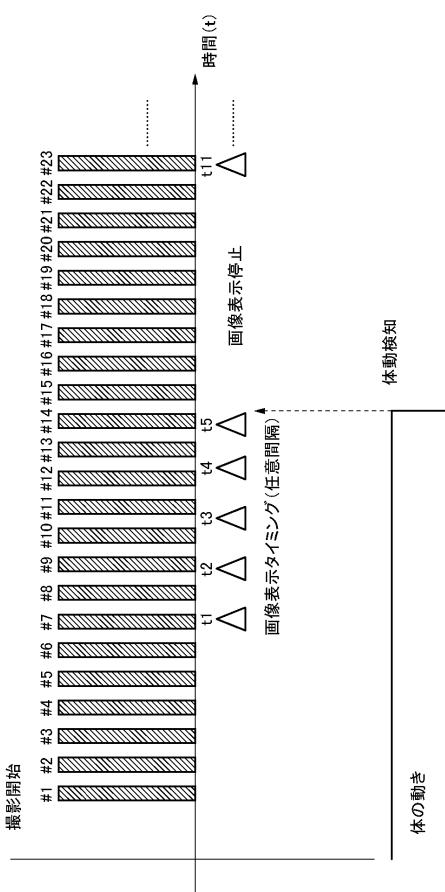
【図 7】



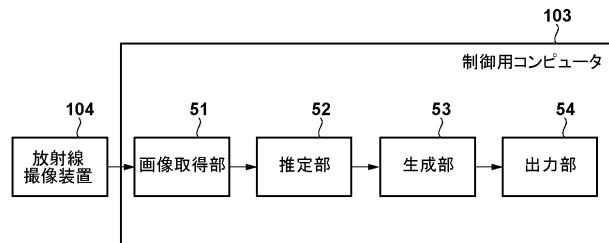
(a)

(b)

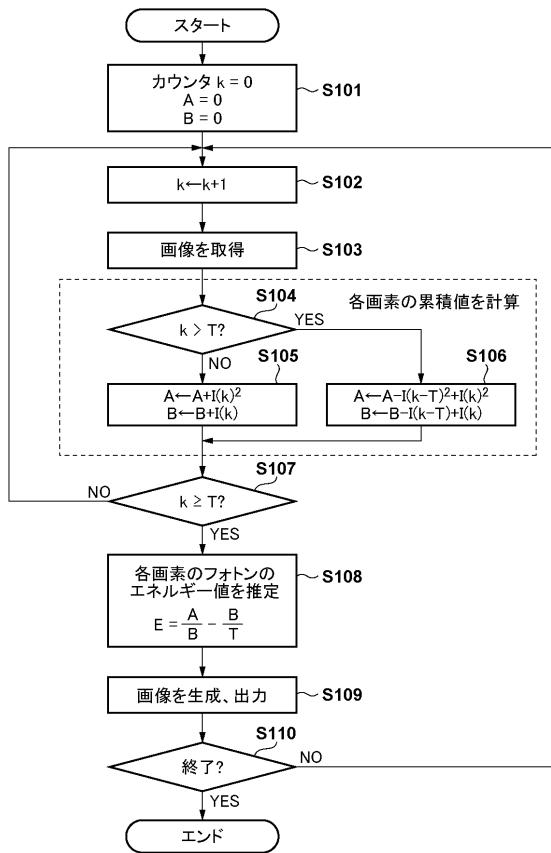
【図 8】



【図 9】



【図10】



## フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
<i>H 04N 5/32 (2006.01)</i>	G 01T 1/20	E
	G 01T 1/20	G
	G 01T 1/24	
	H 04N 5/225	Z
	H 04N 5/232	Z
	H 04N 5/32	

(72)発明者 島田 哲雄  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 岩下 貴司  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

F ターム(参考) 2G188 AA03 CC22 CC32 DD05 EE07 EE25 EE31 EE36 FF12 FF18  
FF22 GG06  
4C093 AA04 AA07 AA13 CA03 EA07 EB12 EB13 EB17 FC19 FD03  
FD11 FD13 FF19 FF21 FF24 FF34 FF35  
5C024 AX11 CY15 GX03 GX09 GX16 GX18 GY31 GZ28 HX50 JX41  
5C122 DA03 DA17 EA68 FC02 FC06 FC10 FH11 FH12 FK23 HA86  
HA88 HB01 HB02 HB10