

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7038506号

(P7038506)

(45)発行日 令和4年3月18日(2022.3.18)

(24)登録日 令和4年3月10日(2022.3.10)

(51)国際特許分類

A 6 1 B 6/00 (2006.01)

F I

A 6 1 B 6/00 3 3 3

A 6 1 B 6/00 3 5 0 S

請求項の数 13 (全21頁)

(21)出願番号	特願2017-162693(P2017-162693)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	平成29年8月25日(2017.8.25)		キヤノン株式会社
(65)公開番号	特開2019-37581(P2019-37581A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43)公開日	平成31年3月14日(2019.3.14)	(74)代理人	110003281
審査請求日	令和2年7月7日(2020.7.7)		特許業務法人大塚国際特許事務所
前置審査		(72)発明者	鳥居 聡太
			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	照井 晃介
			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	佃 明
			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
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 放射線撮像装置、放射線撮像システムおよび放射線撮像装置の作動方法

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

アレイ状に複数の行および複数の列を構成するように配された複数の画素を含む撮像部と、制御部と、を含む放射線撮像装置であって、  
前記複数の画素のそれぞれは、入射する放射線に応じた画像用信号を生成するための変換部および前記変換部で生成された画像用信号を保持するためのサンプルホールド回路を備え、  
前記制御部は、  
前記撮像部に1つのエネルギーサブトラクション画像を生成するための第1の撮像および前記第1の撮像の後に行われる第2の撮像を行わせ、  
被写体の厚さを含む情報を用いて決定された放射線の照射条件を用いて、前記第1の撮像において前記複数の画素のそれぞれの前記サンプルホールド回路が第1の画像用信号をサンプリングするタイミングを制御し、  
前記第1の画像用信号のうち所定の領域の画像用信号に基づいて決定した前記第1の画像用信号に含まれるノイズ量と、被写体の厚さを含む情報を用いて決定された前記放射線の照射条件と、を用いて、前記第2の撮像において前記複数の画素のそれぞれの前記サンプルホールド回路が第2の画像用信号をサンプリングするタイミングを制御することを特徴とする放射線撮像装置。

## 【請求項2】

前記放射線の照射条件が、前記第1の撮像および前記第2の撮像における放射線のエネルギー

ギ値および放射線の照射時間を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 3】

前記第 1 の撮像および前記第 2 の撮像が、1 回の放射線の照射の間に行われることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 4】

前記放射線の照射条件が、放射線のエネルギーの時間変化を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

【請求項 5】

前記放射線撮像装置は読出回路をさらに含み、

前記制御部は、前記複数の画素のそれぞれの前記サンプルホールド回路に保持された前記第 1 の画像用信号を前記第 2 の撮像を行う間に前記読出回路に読み出させることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

10

【請求項 6】

前記制御部は、前記第 1 の画像用信号のうち所定の領域の画像用信号の標準偏差に基づいて前記第 1 の画像用信号に含まれるノイズ量を決定することを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

【請求項 7】

前記制御部は、前記第 1 の画像用信号のうち透過線量が少ない領域の画像用信号を前記所定の領域の画像用信号として用いることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

20

【請求項 8】

前記第 1 の画像用信号および前記第 2 の画像用信号を前記複数の画素のそれぞれの前記サンプルホールド回路がサンプリングするタイミングが、所定の関係式に基づいて決定されることを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

【請求項 9】

前記放射線撮像装置は、信号処理部をさらに含み、

前記信号処理部は、エネルギーサブトラクション画像を生成する際に前記第 2 の画像用信号に補正係数を適用し、

前記制御部は、補正係数が適用された前記第 2 の画像用信号のノイズ量が前記第 1 の画像用信号のノイズ量の  $1/3$  倍以上かつ  $3$  倍以下になるタイミングで、前記複数の画素のそれぞれの前記サンプルホールド回路が前記第 1 の画像用信号および前記第 2 の画像用信号をサンプリングするように制御することを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

30

【請求項 10】

前記第 1 の撮像が、前記第 2 の撮像よりも高エネルギーの放射線を用いて行われることを特徴とする請求項 1 乃至 9 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

【請求項 11】

被写体の厚さを含む情報が、被写体の物質に関する情報をさらに含むことを特徴とする請求項 1 乃至 10 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

【請求項 12】

請求項 1 乃至 11 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置と、

放射線を照射するための放射線源と、

を含む放射線撮像システム。

40

【請求項 13】

アレイ状に複数の行および複数の列を構成するように配された複数の画素を含む撮像部と、制御部と、を含み、

前記複数の画素のそれぞれは、入射する放射線に応じた画像用信号を生成するための変換部および前記変換部で生成された画像用信号を保持するためのサンプルホールド回路を備え、

前記撮像部が、1 つのエネルギーサブトラクション画像を生成するための第 1 の撮像および

50

前記第 1 の撮像の後に行われる第 2 の撮像を行う工程を含む放射線撮像装置の作動方法であって、

前記制御部は、

被写体の厚さを含む情報を用いて決定された放射線の照射条件を用いて、前記第 1 の撮像において前記複数の画素のそれぞれの前記サンプルホールド回路が第 1 の画像用信号をサンプリングするタイミングを制御し、

前記第 1 の画像用信号のうち所定の領域の画像用信号に基づいて決定した前記第 1 の画像用信号に含まれるノイズ量と、被写体の厚さを含む情報を用いて決定された前記放射線の照射条件と、を用いて、前記第 2 の撮像において前記複数の画素のそれぞれの前記サンプルホールド回路が第 2 の画像用信号をサンプリングするタイミングを制御することを特徴とする放射線撮像装置の作動方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線撮像装置および放射線撮像システムに関する。

【背景技術】

【0002】

医療画像診断や非破壊検査において、半導体材料によって構成される平面検出器（フラットパネルディテクタ：FPD）を用いた放射線撮像装置が広く使用されている。FPDを用いた撮影方法のひとつに、エネルギー成分が異なる放射線を用いてエネルギーサブトラクション画像を取得する方法が知られている。複数の放射線画像を撮像する時間間隔は、静止画撮像用の放射線撮像装置では数秒以上、通常の動画用の放射線撮像装置では100ミリ秒程度であり、高速の動画用の放射線撮像装置でも10ミリ秒程度である。この時間間隔において被写体が動くと、その動きによってアーチファクトが生じてしまう。したがって、心臓などのように動きが速い被写体のエネルギーサブトラクション画像を得ることは難しい。特許文献1には、動きが速い被写体のエネルギーサブトラクション画像を得るために、先の撮像の信号をサンプルホールドノードに転送し、次の撮像の信号を蓄積する間に先の信号をサンプルホールドノードから読み出すことが示されている。特許文献1のX線撮影のシステムは、先の撮像の信号の読み出しと、次の撮像の信号の蓄積とを並列に行うことによって、2つの撮像の間隔を短くし、動きが速い被写体のエネルギーサブトラクション画像を取得する。

20

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特表2009-504221号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

エネルギーサブトラクション画像に含まれるノイズは、高エネルギーの放射線で撮像した放射線画像と低エネルギーの放射線で撮像した放射線画像とのそれぞれのノイズ量に依存する。エネルギーサブトラクション画像の画質を向上するためには、高エネルギー画像と低エネルギー画像とのそれぞれの画像に含まれるノイズ量を考慮する必要がある。特許文献1には、それぞれの撮像で得られる信号に含まれるノイズ量について言及していない。

40

【0005】

本発明は、放射線撮像装置において、エネルギーサブトラクション画像の画質の向上に有利な技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題に鑑みて、本発明の実施形態に係る放射線撮像装置は、アレイ状に複数の行および複数の列を構成するように配された複数の画素を含む撮像部と、制御部と、を含む放射

50

線撮像装置であって、複数の画素のそれぞれは、入射する放射線に応じた画像用信号を生成するための変換部および変換部で生成された画像用信号を保持するためのサンプルホールド回路を備え、制御部は、撮像部に１つのエネルギーサブトラクション画像を生成するための第１の撮像および第１の撮像の後に行われる第２の撮像を行わせ、被写体の厚さを含む情報を用いて決定された放射線の照射条件を用いて、第１の撮像において複数の画素のそれぞれのサンプルホールド回路が第１の画像用信号をサンプリングするタイミングを制御し、第１の画像用信号のうち所定の領域の画像用信号に基づいて決定した第１の画像用信号に含まれるノイズ量と、被写体の厚さを含む情報を用いて決定された放射線の照射条件と、を用いて、第２の撮像において複数の画素のそれぞれのサンプルホールド回路が第２の画像用信号をサンプリングするタイミングを制御することを特徴とする。

10

【発明の効果】

【０００７】

上記手段によって、放射線撮像装置において、エネルギーサブトラクション画像の画質の向上に有利な技術を提供する。

【図面の簡単な説明】

【０００８】

【図１】本発明の実施形態に係る放射線撮像装置を用いた放射線撮像システムの構成例を示す図。

【図２】図１の放射線撮像装置の構成例を示す図。

【図３】図１の放射線撮像装置の画素の構成例を示す図。

20

【図４】図１の放射線撮像システムの動作例を示す図。

【図５】図１の放射線撮像システムにおいて、エネルギーサブトラクション画像を撮像する際の放射線の照射条件の例を示す図。

【図６】高エネルギー画像と低エネルギー画像とのノイズと、エネルギーサブトラクション画像のノイズと、の関係を示す図。

【図７】図１の放射線撮像装置を用いたエネルギーサブトラクション画像の撮像のフローを示す図。

【図８】放射線の波形例を示す図。

【図９】図１の放射線撮像装置を用いたエネルギーサブトラクション画像の撮像のフローを示す図。

30

【図１０】図１の放射線撮像システムの動作例を示す図。

【図１１】画像用信号を高エネルギー画像用信号と低エネルギー画像用信号とに振り分ける概略を示す図。

【発明を実施するための形態】

【０００９】

以下、本発明に係る放射線撮像装置の具体的な実施形態を、添付図面を参照して説明する。以下の説明及び図面において、複数の図面に渡って共通の構成については共通の符号を付している。そのため、複数の図面を相互に参照して共通する構成を説明し、共通の符号を付した構成については適宜説明を省略する。また、本発明における放射線には、放射線崩壊によって放出される粒子（光子を含む）の作るビームである線、線、線などの他に、同程度以上のエネルギーを有するビーム、例えばX線や粒子線、宇宙線なども含む。

40

【００１０】

第１の実施形態

図１～６を参照して、本発明の実施形態による放射線撮像装置の構成および動作について説明する。図１は、本発明の第１の実施形態における放射線撮像装置１００を用いた放射線撮像システム１０１の構成例を示す図である。本実施形態において、放射線撮像装置１００を用いた放射線撮像システム１０１は、エネルギーサブトラクション法によって放射線画像を得るためのシステムである。エネルギーサブトラクション法は、被写体に異なるエネルギーを有する放射線を用いた複数回の撮像によって得られた複数の放射線画像を処理する

50

ことによって、新たな放射線画像（例えば、骨画像および軟部組織画像）を得る方法である。放射線撮像システム 101 は、放射線撮像装置 100 に入射する放射線から変換される光学像を電氣的に撮像し、放射線画像を生成するための電氣的な信号（画像用信号）を得るように構成される。

#### 【0011】

放射線撮像システム 101 は、放射線撮像装置 100、放射線を照射するための放射線源 400、放射線源 400 を制御する曝射制御部 300、曝射制御部 300（放射線源 400）および放射線撮像装置 100 を制御するシステム制御部 350 を含む。

#### 【0012】

システム制御部 350 は、コンピュータ（プロセッサ）と、該コンピュータに提供するプログラムを格納したメモリとによって構成されうる。また、システム制御部 350 は、放射線撮像装置 100 から供給される信号を処理する信号処理部 352 を含む。信号処理部 352 は、システム制御部 350 のメモリに格納されたプログラムの一部によって構成されうる。また、信号処理部 352 は、システム制御部 350 から独立して配され、コンピュータ（プロセッサ）と、該コンピュータに提供するプログラムを格納したメモリとによって構成されてもよい。システム制御部 350 の全部または一部は、デジタルシグナルプロセッサ（DSP）、または、プログラマブルロジックアレイ（PLA）によって構成されてもよい。システム制御部 350 および信号処理部 352 は、その動作を記述したファイルに基づいて論理合成ツールによって設計され製造されてもよい。また、システム制御部 350 は、放射線撮像システム 101 のユーザインタフェースとして機能してもよい。この場合、システム制御部 350 は、例えば、ユーザが放射線画像を取得するための撮像の条件を入力するための入力部や、入力した情報を確認するためのディスプレイなどの表示部を含みうる。

#### 【0013】

曝射制御部 300 は、放射線源 400 による放射線の照射を制御する。曝射制御部 300 は、例えば、曝射スイッチを有し、曝射スイッチがユーザによってオンされることに応じて放射線源 400 に放射線を放射させるとともに、放射線が放射されるタイミングを示す情報をシステム制御部 350 に通知してもよい。また、曝射制御部 300 は、システム制御部 350 からの指令に応じて放射線源 400 に放射線を放射させてもよい。

#### 【0014】

放射線源 400 は、放射線のエネルギー（波長）を変更する機能を有する。放射線源 400 は、曝射制御部 300 の制御に従って、例えば、管電圧（放射線源 400 の陰極と陽極との間に印加する電圧）を変更することによって、放射線のエネルギーを変更しうる。放射線源 400 は、互いに異なる複数のエネルギー値を有する放射線を放射することができる。

#### 【0015】

放射線撮像装置 100 は、複数の画素を含む画素アレイ 110 を備える。複数の画素のそれぞれは、入射する放射線を電気信号（例えば、電荷）に変換する変換部と、変換部をリセットするリセット部と、変換部で生成された画像用信号を保持するためのサンプルホールド回路と、を含む。それぞれの画素は、放射線を直接に電気信号に変換するように構成されてもよいし、放射線を可視光などの光に変換した後に、変換された光を電気信号に変換するように構成されてもよい。後者においては、放射線を光に変換するためのシンチレータが利用されうる。シンチレータは、画素アレイ 110 を構成する複数の画素によって共有されうる。

#### 【0016】

図 1 に示される構成例において、放射線撮像装置 100 とシステム制御部 350 とは、互いに独立した形で配されているが、システム制御部 350 の機能の全部または一部が、放射線撮像装置 100 に組み込まれていてもよい。また、放射線撮像装置 100 の機能の一部が、システム制御部 350 に組み込まれていてもよい。

#### 【0017】

図 2 は、放射線撮像装置 100 の構成例を示す。放射線撮像装置 100 は、撮像部 111

10

20

30

40

50

と撮像部 111 を制御するための制御部 130 とを含む。撮像部 111 は、複数の画素 112 を有する画素アレイ 110、行選択回路 120、読出回路 140、列選択回路 150、増幅部 160、A/D変換器 170を含む。

【0018】

画素アレイ 110 において、複数の画素 112 は、アレイ状に複数の行および複数の列を構成するように配される。図 2 に示す構成において、画素アレイ 110 には、8 行 × 8 列の画素 112 で構成されているが、実際には、より多くの画素 112 が配されうる。一例において、画素アレイ 110 は、17 インチの寸法を有し、約 3000 行 × 約 3000 列の画素 112 を有する。

【0019】

行選択回路 120 は、複数の画素 112 の配された画素アレイ 110 のうち信号を出力する行を選択する。行選択回路 120 は、行制御信号線 122 を駆動することによって行を選択する。読出回路 140 は、画素アレイ 110 の複数の行のうち行選択回路 120 によって選択された行の画素 112 から信号を読み出す。読出回路 140 は、画素アレイ 110 の複数の列信号線 114 に出力される複数列分の信号を読み出す。それぞれの列の列信号線 114 は、例えば、画素 112 で検出された複数の画像用信号を伝達する複数の信号線を含みうる。列信号線 114 に含まれる複数の信号線には、例えば、画素 112 で検出された放射線に応じた画像用信号、画素 112 の熱雑音などのノイズレベルが、それぞれ出力されうる。読出回路 140 は、列信号線 114 に出力された画像用信号とノイズレベルとをそれぞれ読み出すように構成されうる。列選択回路 150 は、読出回路 140 によって画素アレイ 110 の選択された行の画素 112 から読み出された複数列分の信号を所定の順に選択する。増幅部 160 は、列選択回路 150 によって選択された信号を増幅する。ここで、読出回路 140 が画素 112 から画像用信号およびノイズレベルの対を読み出す場合、増幅部 160 は、対をなす画像用信号とノイズレベルとの差分を増幅する差動増幅器として構成されてもよいし、それらを個別に増幅するように構成されてもよい。A/D変換器 170 は、増幅部 160 から出力される信号 OUT を A/D 変換し、画像用信号としてデジタル信号 DOUT を出力する。制御部 130 は、行選択回路 120、読出回路 140、列選択回路 150 および増幅部 160 を制御し、撮像部 111 の画素アレイ 110 に配された画素 112 で生成される画像用信号を放射線撮像装置 100 から出力させる。

【0020】

図 3 は、画素アレイ 110 に配される 1 つの画素 112 の構成例を示す。画素 112 は、変換素子 210、リセットスイッチ 220、増幅回路 230、感度変更部 240、クランプ回路 260、サンプルホールド回路 270、280、290、出力回路 310 を含む。

【0021】

変換素子 210 は、入射する放射線を電気信号（画像用信号）に変換する変換部として機能する。変換素子 210 は、例えば、複数の画素で共有される放射線を光に変換するシンチレータと、変換された光を電気信号に変換する光電変換素子と、で構成されうる。変換素子 210 は、放射線から変換された電気信号（電荷）、即ち放射線に応じた電気信号を蓄積する電荷蓄積部を有し、電荷蓄積部は、増幅回路 230 の入力端子に接続されている。

【0022】

増幅回路 230 は、トランジスタ 235、236、電流源 237 を含む。トランジスタ 235 は、トランジスタ 236 を介して電流源 237 に接続されている。トランジスタ 235 および電流源 237 によってソースフォロア回路が構成される。トランジスタ 236 は、イネーブル信号 EN が活性化されることによってオンし、トランジスタ 235 および電流源 237 によって構成される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。変換素子 210 の電荷蓄積部およびトランジスタ 235 のゲートは、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 CVC として機能する。即ち、電荷電圧変換部 CVC には、電荷蓄積部に蓄積された電荷 Q と電荷電圧変換部 CVC 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 CVC は、リセットスイッチ 220 を介してリセット電位 VRES に接続されている。リセット信号 PRE

10

20

30

40

50

Sが活性化されるとリセットスイッチ220がオンして、電荷電圧変換部CVCの電位がリセット電位VRESにリセットされる。リセットスイッチ220は、変換素子210の電荷蓄積部に接続された第1主電極(ドレイン)と、リセット電位VRESが与えられる第2主電極(ソース)と、制御電極(ゲート)とを有するトランジスタを含みうる。該トランジスタは、該制御電極にオン電圧が与えられることによって該第1主電極と該第2主電極とを導通させて変換素子210の電荷蓄積部をリセットする。

#### 【0023】

クランプ回路260は、クランプ容量261、トランジスタ262、263、264、電流源265を含む。クランプ回路260は、リセットされた電荷電圧変換部CVCの電位に応じて増幅回路230から出力されるリセットノイズレベルをクランプ容量261によってクランプする。クランプ回路260は、変換素子210で変換された電荷(電気信号)に応じて増幅回路230から出力される画像用信号からリセットノイズレベルをキャンセルするための回路である。リセットノイズレベルは、電荷電圧変換部CVCのリセット時のkTCノイズを含む。クランプ動作は、クランプ信号PCLを活性化することによってトランジスタ262をオンさせた後に、クランプ信号PCLを非活性化することによってトランジスタ262をオフさせることによってなされる。クランプ容量261の出力側は、トランジスタ263のゲートに接続されている。トランジスタ263のソースは、トランジスタ264を介して電流源265に接続されている。トランジスタ263と電流源265とによってソースフォロア回路が構成されている。トランジスタ264は、そのゲートに供給されるイネーブル信号EN0が活性化されることによってオンして、トランジスタ263と電流源265とによって構成される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。

#### 【0024】

出力回路310は、トランジスタ311、313、315、行選択スイッチ312、314、316を含む。トランジスタ311、313、315は、それぞれ、列信号線114の信号線321、322、323に接続された不図示の電流源とともにソースフォロア回路を構成する。

#### 【0025】

変換素子210で発生した電荷に応じてクランプ回路260から出力される画像用信号は、サンプルホールド回路280によって保持(サンプルホールド)されうる。サンプルホールド回路280は、スイッチ281および容量282を含む。スイッチ281は、サンプルホールド信号TS1が活性化されることによってオンする。クランプ回路260から出力される画像用信号は、サンプルホールド信号TS1が活性化されることによって、スイッチ281を介して容量282に書き込まれる。図3に示される構成では、画素112は、画像用信号を書き込むための追加のサンプルホールド回路290を含みうる。サンプルホールド回路290には、サンプルホールド回路280がサンプリングした画像用信号とは別の画像用信号がサンプリングされてもよい。変換素子210で発生した電荷に応じてクランプ回路260から出力される画像用信号は、サンプルホールド回路290によってサンプルホールドされうる。サンプルホールド回路290は、スイッチ291および容量292を含む。スイッチ291は、サンプルホールド信号TS2が活性化されることによってオンする。クランプ回路260から出力される画像用信号は、サンプルホールド信号TS2が活性化されることによって、スイッチ291を介して容量292に書き込まれる。画素112は、画像用信号を書き込むためのさらに追加のサンプルホールド回路を有してもよい。つまり、画素112は、画像用信号を書き込むために、任意の個数のサンプルホールド回路を有していてもよい。リセットスイッチ220によって電荷電圧変換部CVCの電位がリセットされ、トランジスタ262がオンした状態では、クランプ回路260からは、クランプ回路260の熱雑音などのノイズレベル(オフセット成分)が出力される。クランプ回路260のノイズレベルは、サンプルホールド回路270によってサンプルホールドされうる。サンプルホールド回路270は、スイッチ271および容量272を含む。スイッチ271は、サンプルホールド信号TNが活性化されることによってオ

10

20

30

40

50

ンする。クランプ回路 260 から出力されるノイズレベルは、サンプルホールド信号 T N が活性化されることによって、スイッチ 271 を介して容量 272 に書き込まれる。また、本実施形態では、サンプルホールド回路 270 は、変換素子 210 で発生した電荷に応じてクランプ回路 260 から出力される信号である放射線信号を保持するためにも使用されてもよい。行選択信号 V S T が活性化されると、サンプルホールド回路 270、280、290 に保持されている信号に応じた信号が、列信号線 114 を構成する信号線 321、322、323 にそれぞれ出力される。具体的には、サンプルホールド回路 270 によって保持されている信号（ノイズレベルまたは画像用信号）に応じた信号 N が、トランジスタ 311 および行選択スイッチ 312 を介して信号線 321 に出力される。また、サンプルホールド回路 280 によって保持されている画像用信号に応じた信号 S 1 が、トランジスタ 313 および行選択スイッチ 314 を介して信号線 322 に出力される。また、サンプルホールド回路 290 によって保持されている画像用信号に応じた信号 S 2 が、トランジスタ 315 および行選択スイッチ 316 を介して列信号線 323 に出力される。

10

**【0026】**

画素 112 は、複数の画素 112 の間で信号を加算するための加算スイッチ 301、302、303 を含んでもよい。複数の画素 112 の間で信号を加算する加算モード時は、加算モード信号 A D D N、A D D S 1、A D D S 2 が活性化される。加算モード信号 A D D N の活性化により複数の画素 112 の容量 272 同士が接続され、信号が平均化される。加算モード信号 A D D S 1 の活性化により複数の画素 112 の容量 282 同士が接続され、信号が平均化される。加算モード信号 A D D S 2 の活性化により複数の画素 112 の容量 287 2 同士が接続され、信号が平均化される。

20

**【0027】**

さらに、画素 112 は、感度変更部 240 を含む。感度変更部 240 は、スイッチ 241、242、容量 243、244、トランジスタ 245、246 を含む。変更信号 W I D E が活性化されると、スイッチ 241 がオンし、電荷電圧変換部 C V C の容量値に容量 243 の容量値が付加される。これによって、画素 112 の感度が低下する。変更信号 W I D E が活性化される場合には、イネーブル信号 E N W が活性化されてもよい。さらに、変更信号 W I D E 2 も活性化されると、スイッチ 242 もオンし、電荷電圧変換部 C V C の容量値に容量 244 の容量値が付加される。これによって画素 112 の感度がさらに低下する。画素 112 の感度を低下させる機能を追加することによって、ダイナミックレンジを広げることができる。感度変更部 240 に配される容量の数は、1 つであってもよいし、3 つ以上であってもよい。放射線撮像装置 100 に要求されるダイナミックレンジに応じて、適宜設定すればよい。

30

**【0028】**

上述のリセット信号 P R E S、イネーブル信号 E N、クランプ信号 P C L、イネーブル信号 E N 0、サンプルホールド信号 T N、T S 1、T S 2、行選択信号 V S T は、制御部 130 の制御によって行選択回路 120 から出力される制御信号である。これらの制御信号は、図 2 に示されるように、行選択回路 120 から、行制御信号線 122 を介して、画素 112 の対応するトランジスタやスイッチに入力される。

**【0029】**

次いで、本実施形態の放射線撮像装置 100 を用いた放射線撮像システム 101 の動作について、図 4 を用いて説明する。図 4 において、横軸は時間を示す。「放射線エネルギー」は、放射線源 400 から放射され、放射線撮像装置 100 に照射される放射線の波形を示す。「P R E S」は、リセット信号 R P E S を示す。「T S 1」は、サンプルホールド信号 T S 1 を示す。「D O U T」は、A D 変換器 170 の出力を示す。

40

**【0030】**

放射線源 400 からの放射線の放射および放射線撮像装置 100 の動作の同期は、システム制御部 350 によって制御される。放射線撮像装置 100 における動作制御は、制御部 130 によってなされる。

**【0031】**

50



まず、システム制御部 350 に対するユーザの操作に応じて、放射線源 400 の管電圧、管電流といった放射線のエネルギー値や放射線の照射時間などの放射線画像を撮像する際の放射線の照射条件が設定される。次いで、リセット信号 P R E S が活性化される期間にクランプ信号 P C L も所定期間にわたって活性化されて、クランプ回路 260 にノイズレベルがクランプされる。また、リセット信号 P R E S が所定期間にわたって活性化されることによって変換素子 210 がリセットされる。

#### 【0032】

次いで、システム制御部 350 からの制御によって放射線源 400 は、互いに異なるエネルギー値を有する放射線 511 および放射線 512 を照射する。本実施形態において、システム制御部 350 の制御によって放射線源 400 は、まず、低エネルギーのエネルギー値を有する放射線 511 を照射し、次いで、放射線 511 よりも高エネルギーのエネルギー値を有する放射線 512 を照射する。しかしながら、照射する放射線のエネルギーの順番は、これに限られることはなく、先に高エネルギーのエネルギー値を有する放射線を放射線源 400 が照射してもよい。また、放射線 511 と放射線 512 とは時間的に連続して照射されてもよいし、互いの放射線 511、512 の照射の間に時間間隔があってもよい。放射線 511、512 の照射条件は、例えば、図 5 に示すような照射条件のテーブルが、システム制御部 350 に配された記憶部 354 に保存され、ユーザが被写体に応じて適宜選択してもよい。また、放射線撮像装置 100 が被写体の厚さを測定するためのカメラやゲージなどを備えていてもよい。この場合、制御部 130 が、検出された被写体の厚さなどの情報に応じて、テーブルから放射線 511、512 の照射条件を選択してもよい。また例えば、放射線の照射条件を選択するために、低線量で事前に被写体の撮像を行い、透過線量から被写体厚などを推定し、制御部 130 が、推定される被写体厚などに応じて、テーブルから放射線 511、512 の照射条件を選択してもよい。本実施形態において、2 回の放射線の照射が行われるが、これに限られることはない。図 8 に示すように、1 回の放射線 801 の照射の間に放射線の立ち上がり、立ち下がりを利用して、1 回目のサンプルホールド信号 T S 1 の動作前後で放射線 800 による撮像、放射線 802 による撮像が行なわれてもよい。

#### 【0033】

放射線源 400 からの放射線の照射に応じて、制御部 130 は、撮像部 111 に 1 つのエネルギーサブトラクション画像を生成するための 1 回目の撮像および 1 回目の撮像の後に行われる 2 回目の撮像を行わせる。まず、放射線 511 の照射後、放射線 512 の照射の前に、制御部 130 からのサンプルホールド信号 T S 1 に従って、サンプルホールド回路 280 は、放射線 511 の照射によって画素 112 で生成される画像用信号をサンプリングする。その後、リセット信号 P R E S が所定期間にわたって活性化されることによって変換素子 210 がリセットされる。

#### 【0034】

次いで、放射線 512 の照射による 2 回目の撮像が行われる。この間、制御部 130 は、サンプルホールド回路 280 に保持された 1 回目の撮像で取得した放射線 512 の照射による画像用信号を、放射線 512 の照射による 2 回目の撮像を行う間に読出回路 140 に読み出させる。その後、放射線 511 の照射による画像用信号は、列選択回路 150、増幅部 160、A D 変換器 170 を経て画像用信号 513 として出力される。放射線 512 の照射による画像用信号がサンプルホールド回路 280 から読出回路 140 に読み出された後、サンプルホールド信号 T S 1 に従って、サンプルホールド回路 280 は、放射線 512 の照射によって画素 112 で生成される画像用信号をサンプリングする。放射線 512 の照射によって生成された画像用信号は、放射線 511 の照射によって生成された画像用信号と同様に処理され、A D 変換器 170 から画像用信号 514 として出力される。このように、1 回目の撮像の信号の読み出しと、2 回目の撮像の信号の蓄積とを並列に行うことによって、放射線撮像装置 100 は、2 つの撮像の間隔を短くできる。このため、動きが速い被写体のエネルギーサブトラクション画像の取得など、サンプルホールド回路 280 を設けることによって、放射線撮像装置 100 の性能を向上することが可能となる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 5 】

システム制御部 3 5 0 の信号処理部 3 5 2 は、画像用信号 5 1 3 および画像用信号 5 1 4 をエネルギーサブトラクション法に従って処理することによって、サブトラクション画像を取得する。ここで、エネルギーサブトラクション法としては、種々の方法を採用することができる。例えば、低エネルギーの放射線（放射線 5 1 1）による放射線画像と高エネルギーの放射線（放射線 5 1 2）による放射線画像との差分を演算することによって骨画像と軟部組織画像とを得ることができる。また、低エネルギーの放射線による放射線画像と高エネルギーの放射線による放射線画像に基づいて非線形連立方程式を解くことによって骨画像と軟部組織画像とを生成してもよい。また、低エネルギーの放射線による放射線画像と高エネルギーの放射線による放射線画像とに基づいて造影剤画像と軟部組織画像とを得ることもできる。また低エネルギーの放射線による放射線画像と高エネルギーの放射線による放射線画像とに基づいて電子密度画像と実効原子番号画像とを得ることもできる。

10

## 【 0 0 3 6 】

次に、図 5 に示す放射線の照射条件のテーブルの作成方法について詳細に説明する。図 5 に示すように、放射線の照射条件は、例えば、2 回の撮像を行う際に照射される放射線のエネルギー値を設定するための管電圧、管電流の値および放射線を照射する照射時間を含む。ここで、高エネルギー画像と低エネルギー画像との四則演算後のエネルギーサブトラクション画像のノイズ量は、以下に示される式（1）、式（2）、式（3）で算出することが可能である。ここで、 $M_1$  は高エネルギー画像の画素値、 $\varepsilon_1$  は高エネルギー画像のノイズ値、 $M_2$  は低エネルギー画像の画素値、 $\varepsilon_2$  は低エネルギー画像のノイズ値である。

20

## 【 0 0 3 7 】

## 【数 1】

$$(M_1 \pm \varepsilon_1) \pm (M_2 \pm \varepsilon_2) = (M_1 \pm M_2) \pm \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2} \cdots (1)$$

## 【 0 0 3 8 】

## 【数 2】

$$(M_1 \pm \varepsilon_1) \times (M_2 \pm \varepsilon_2) = (M_1 \times M_2) \pm \sqrt{(M_2 \times \varepsilon_1)^2 + (M_1 \times \varepsilon_2)^2} \cdots (2)$$

30

## 【 0 0 3 9 】

## 【数 3】

$$(M_1 \pm \varepsilon_1) / (M_2 \pm \varepsilon_2) = \left( \frac{M_1}{M_2} \right) \pm \sqrt{\left( \frac{1}{M_2} \times \varepsilon_1 \right)^2 + \left( \frac{M_1}{M_2^2} \times \varepsilon_2 \right)^2} \cdots (3)$$

## 【 0 0 4 0 】

本明細書において、エネルギーサブトラクション処理の代表的な処理として、ボーンサプレッション処理を行う場合について説明する。ボーンサプレッション処理は、低エネルギー画像と高エネルギー画像とを用いて、得られた放射線画像から骨部を除去する画像処理である。ボーンサプレッション処理において、一般的に、式（4）を用いて画像処理されることが多い。ここで、 $M_{cor}$  はエネルギーサブトラクション画像の画素値、 $\varepsilon_{cor}$  はエネルギーサブトラクション画像のノイズ値、 $I$  は放射線の照射線量、 $\alpha$  は高エネルギー画像と低エネルギー画像との重みづけするための補正係数（定数）である。

40

## 【 0 0 4 1 】

## 【数 4】

$$M_{cor} \pm \varepsilon_{cor} = (M_1 \pm \varepsilon_1) - \alpha \times (M_2 \pm \varepsilon_2) \cdots (4)$$

50

【 0 0 4 2 】

エネルギーサブトラクション画像のノイズ値  $\varepsilon_{cor}$  は、式 ( 4 ) に式 ( 1 ) を適用することによって式 ( 5 ) のように表される。

【 0 0 4 3 】

【数 5】

$$\varepsilon_{cor} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + (\alpha \times \varepsilon_2)^2} \cdots (5)$$

【 0 0 4 4 】

相加相乗平均の関係式 ( 式 ( 6 ) ) から、式 ( 5 ) においてエネサブ画像のノイズ値  $\varepsilon_{cor}$  を最小にするには、式 ( 7 ) を満たさなければならない。

【 0 0 4 5 】

【数 6】

$$\varepsilon_1^2 + (\alpha \times \varepsilon_2)^2 \geq 2\alpha\varepsilon_1\varepsilon_2 \cdots (6)$$

【 0 0 4 6 】

【数 7】

$$\varepsilon_1^2 = (\alpha \times \varepsilon_2)^2 \cdots (7)$$

【 0 0 4 7 】

つまり、次に示す式 ( 8 ) を満たす必要がある。

【 0 0 4 8 】

【数 8】

$$\varepsilon_1 = \alpha \times \varepsilon_2 \cdots (8)$$

【 0 0 4 9 】

【数 9】

$$\varepsilon \propto \sqrt{I} \cdots (9)$$

【 0 0 5 0 】

式 ( 9 ) には、放射線粒子の到達個数がポアソン分布に従うことから、放射線画像のノイズは透過線量の二乗根に比例することが示される。ここで、被写体の被曝線量を増加させずにエネルギーサブトラクション画像のノイズのみを低減させることを考えると、式 ( 7 ) 、式 ( 9 ) を用いて放射線の照射条件を求めることが可能となる。しかしながら、被写体の厚みや物質ごとに高エネルギー画像、低エネルギー画像のそれぞれのノイズ量であるノイズ値  $\varepsilon_1$  、  $\varepsilon_2$  は異なる。このため、必ずしも理想的な放射線の照射条件で撮像が行えるとは限らない。そこで、例えば  $\varepsilon_1 / (\alpha \times \varepsilon_2)$  が、  $1/3 \sim 3$  の範囲に入るように、放射線の照射条件のテーブルを作成する。図 6 は、低エネルギー画像のノイズ量と高エネルギー画像のノイズ量とに対するエネルギーサブトラクション画像のノイズ量の推移を示したグラフである。図 6 から分かるように、  $\varepsilon_1 / (\alpha \times \varepsilon_2)$  が、  $1/3 \sim 3$  の範囲に入るように設定できれば、最適なエネルギーサブトラクション画像のノイズ量から 10 % 程度以下のノイズ量の増加に抑えることが可能である。このように、画像用信号のノイズ量が、四則演算における誤差伝播の関係式 ( 式 ( 1 ) 、式 ( 2 ) 、式 ( 3 ) ) に基づいて決定される。

【 0 0 5 1 】

ユーザのシステム制御部 350 への入力などによって放射線の照射条件が設定され、制御部 130 に照射条件が送信される。制御部 130 は、この予め設定された放射線の照射条

10

20

30

40

50

件に応じて、1回目の撮像によって取得される画像用信号に含まれるノイズ量と2回目の撮像によって取得される画像用信号に含まれるノイズ量との差が小さくなるように、サンプルホールド回路280を制御する。具体的には、制御部130は、1回目の撮像において、放射線511の照射によって生成される画像用信号が取得できるように、サンプルホールド回路280が画像用信号をサンプリングするタイミングをサンプルホールド信号TS1によって制御する。制御部130は、同様に、制御部130は、2回目の撮像において、放射線512の照射によって生成される画像用信号が取得できるように、サンプルホールド回路280が画像用信号をサンプリングするタイミングをサンプルホールド信号TS1によって制御する。

#### 【0052】

図8に示すように、1回の放射線の照射の間の放射線の立ち上がり、立ち下がりを利用して、1回目のサンプルホールド信号TS1の動作前後で放射線800を用いた撮像、放射線802を用いた撮像を行う場合も同様である。この場合、放射線の照射条件は、放射線のエネルギー値を設定するための管電圧、管電流の値、放射線を照射する照射時間および放射線のエネルギーの時間変化の情報を含む。放射線のエネルギーの波形の時間変化の情報は、放射線の複数のエネルギー値などの条件に応じて記憶部354などに記憶しておき、エネルギー値の設定がされるとともに、記憶部354から読み出されてもよい。ユーザのシステム制御部350への入力などによって放射線の照射条件が設定され、制御部130に照射条件が送信される。制御部130は、予め設定された放射線の照射条件に応じて、1回目の撮像によって取得される画像用信号に含まれるノイズ量と2回目の撮像によって取得される画像用信号に含まれるノイズ量との差が小さくなるように、サンプルホールド回路280を制御する。制御部130は、予め設定された照射条件に応じて、ノイズ量の差が小さくなるように、サンプルホールド信号TS1、リセット信号PRESを用いてサンプルホールド回路280が画像用信号をサンプリングするタイミングを制御する。具体的には、制御部130は、放射線801の照射中、サンプルホールド信号TS1を用いて放射線800のタイミングで、サンプルホールド回路280に、1つ目の画像用信号をサンプリングさせる。次いで、制御部130は、リセット信号PRESを用いて変換素子210をリセットする。さらに、制御部130は、サンプルホールド信号TS1を用いて放射線802のタイミングで、サンプルホールド回路280に、2つ目の画像用信号をサンプリングさせる。例えば、補正係数が適用された低エネルギーの放射線の画像用信号のノイズ量が、高エネルギーの画像用信号のノイズ量の1/3倍以上かつ3倍以下になるタイミングで画像用信号をサンプリングするように、制御部130はサンプルホールド回路280を制御する。

#### 【0053】

本実施形態では、低エネルギー画像と高エネルギー画像とを差分処理するなどして、骨画像と軟部組織画像とを分離するなどの処理を行う形態を説明した。しかしながら、本発明はこのような形態に限定されない。例えば、低エネルギー画像と高エネルギー画像とを用いて、非線形連立方程式を解くなどして、骨画像と軟部組織画像とを分離する場合や、電子密度画像と実効原子番号画像とに分離するなどの場合にも適用できる。また、本実施形態では、放射線のエネルギー値を放射線源400の管電圧、管電流を変更することで変化させているが、これに限られることはない。例えば、放射線源400の管電圧や管電流を変更せずに、ビームハードニングフィルターなどの挿入の有無によって、それぞれ異なるエネルギーの放射線による画像を取得してもよい。

#### 【0054】

本実施形態において、2つの異なるエネルギーの放射線を用いた撮像で生成される画像用信号において含まれるノイズ量に応じて、サンプルホールド回路280が画像用信号をサンプリングするように、制御部130が放射線撮像装置100の制御を行う。これによって、エネルギーサブトラクション画像のノイズを抑制し、良好な画質のエネルギーサブトラクション画像を取得することが可能となる。また、本実施形態は、放射線を照射する条件のテーブルを記憶部354に保持するだけで、被ばく線量を増やすことなく、サブトラクショ

10

20

30

40

50

ン画像のノイズを低減することが可能である。照射条件のテーブルを保持する以外、放射線撮像システム 101 に特別な構成を追加する必要がないため、システム構築が容易となる利点がある。

#### 【0055】

#### 第2の実施形態

図7を参照して、本発明の実施形態による放射線撮像装置の構成および動作について説明する。図7は、本発明の第2の実施形態における放射線撮像装置100を用いた被写体の撮像からエネルギーサブトラクション画像を表示するまでの処理のフロー図である。放射線撮像装置100や放射線撮像システム101の構成は、上述の第1の実施形態と同様であってもよいので、ここでは説明を省略する。

#### 【0056】

まず、ステップS701において、システム制御部350に対するユーザの操作に応じて、放射線源400の管電圧、管電流といった放射線のエネルギー値や放射線の照射時間、照射される放射線の波形の時間変化などの撮像時の放射線の照射条件が設定される。放射線撮像装置100が記憶部354を備える場合、ユーザは、被写体に応じて記憶部354に記憶された放射線の照射条件から適当な条件を選んでよい。1回の放射線の照射の場合、放射線源400の特性に応じた放射線のエネルギー値や波形の時間変化、および、放射線の照射される照射時間などの条件が記憶部354から読み出され設定される。また、2回の放射線の照射の場合、上述のような照射条件のテーブルから適当な条件が記憶部354から読み出され設定される。また、放射線撮像装置100が被写体の厚さを測定するためのカメラやゲージなどを備えていてもよい。この場合、制御部130が、検出された被写体の厚さなどの情報に応じて、記憶部354に記憶された放射線の照射条件から適当な条件を選んでよい。また例えば、放射線の照射条件を選択するために、低線量で事前に被写体の撮像を行い、透過線量から被写体厚などを推定し、制御部130が、推定される被写体厚などから適当な放射線の照射条件を決定してもよい。放射線の照射条件が設定されると、設定された照射条件に応じて、制御部130は、1回目の撮像において、サンプルホールド回路280に画像用信号をサンプリングさせるタイミングを決定する。また、このとき、制御部130は、2回目の撮像において、サンプルホールド回路280に画像用信号をサンプリングさせるタイミングを仮決定してもよい。

#### 【0057】

ステップS701で、放射線の照射条件の設定を行った後、ステップS702において、1回目の放射線画像の撮像が行なわれる。生成された画像用信号は、信号処理部352に出力される。ステップS703において、制御部130は、ステップS702で取得し信号処理部352に出力された1回目の撮像によって取得した放射線画像の画像用信号に含まれるノイズ量を解析する。ノイズ量の解析を行う関心領域は、撮像部111のうち所定の領域の画像用信号を解析してもよい。制御部130は、領域抽出技術などを用いて撮像部111のうち任意の部分の画像用信号を選択してもよい。例えば、制御部130は、骨の厚さが厚い腰椎などの透過線量が少ない領域を所定の領域として選択してもよい。また例えば、撮像部111の視野内に適当なフィルタなどを配し、ユーザがフィルタの配された場所を所定の領域として選択してもよい。また、視野内にフィルタなどが配される場合、制御部130がフィルタの配された場所を、透過線量が少ない領域として認識し、所定の領域として選択してもよい。制御部130は、高エネルギー画像の画像用信号のうち所定の領域の画像用信号の標準偏差（ノイズ）を求めるなどの処理を行うことによって、1回目に撮像された放射線画像の画像用信号に含まれるノイズ量を決定する。

#### 【0058】

次に、ステップS704において、制御部130は、ステップS703の1回目の撮像によって取得した放射線画像に含まれるノイズ量の解析結果から決定したノイズ量を基に、2回目の撮像条件、具体的には画像用信号をサンプリングするタイミングを決定する。ステップS701において2回目の撮像のサンプリングのタイミングを仮決定していた場合、決定したノイズ量に応じて、サンプリングのタイミングを修正してもよい。2回目の撮

10

20

30

40

50

像での画像用信号のサンプリングのタイミングは、エネルギーサブトラクション画像のノイズを最小にするように、上述の第1の実施形態で説明した方法で求める。このように、本実施形態においても、四則演算における誤差伝播の関係式(式(1)、式(2)、式(3))に基づいて決定されるノイズ量に基づいて、制御部130がサンプルホールド回路280によって画像用信号をサンプリングするタイミングが決定される。

【0059】

2回目の撮像におけるサンプリングするタイミングを決定した後、ステップS705において、制御部130は、撮像部111を制御し、2回目の撮像を行う。このとき、所望の透過線量になると放射線の照射を停止させるAEC(Auto Exposure Control)機能や、フォトタイマーなどを用いて放射線の照射される線量を制御しても良い。この場合、ユーザなどによって予め設定された領域の透過線量が所望の線量となったとき、制御部130は、システム制御部350に放射線源400からの放射線の照射を停止するための信号を出力してもよい。この信号に応じて、システム制御部350は、放射線の照射が停止するように放射線源400を制御する。

【0060】

ステップS706において、撮像部111から出力された2つの撮像によって取得された画像用信号を用いて、信号処理部352はエネルギーサブトラクション処理を行う。エネルギーサブトラクション処理されたエネルギーサブトラクション画像は、ステップS707において、信号処理部352から出力され、ディスプレイなどの表示装置(不図示)に表示される。このとき、エネルギーサブトラクション画像だけでなく、それぞれ異なる放射線のエネルギー値で撮像された放射線画像なども信号処理部352から出力され、表示装置において表示されてもよい。

【0061】

本実施形態において、1回目の撮像で生成される画像用信号において含まれるノイズ量を決定する。その後、ノイズ量に応じて、2回目の撮像における画像用信号をサンプルホールド回路によってサンプリングするタイミングの設定が行われる。これによって、上述の第1の実施形態よりもエネルギーサブトラクション画像に含まれるノイズを抑制し、良好な画質のエネルギーサブトラクション画像を取得することが可能となる。しかしながら、信号処理部352で1回目に撮像された放射線画像の解析を行う必要があり、放射線撮像システム101の構成が、第1の実施形態と比較して複雑になりうる。また、本実施形態において、制御部130と信号処理部352との間の通信が上述の第1の実施形態よりも増加しうる。このため、信号処理部352のうち放射線画像のノイズ量の解析を行う機能部分を、例えば、放射線撮像装置100内または制御部130内に配してもよい。

【0062】

また、上述の第1の実施形態および本実施形態において、2つの放射線画像からエネルギーサブトラクション画像を生成する例を示したが、3回以上の撮像を行い、3つ以上の放射線画像からエネルギーサブトラクション画像を生成してもよい。この場合も、上述したように生成されるエネルギーサブトラクション画像のノイズ量が小さくなるように、制御部130が、それぞれの撮像における画像用信号のサンプリングのタイミングを制御すればよい。

【0063】

第3の実施形態

図8~11を参照して、本発明の実施形態による放射線撮像装置の構成および動作について説明する。上述の2つの実施形態において、制御部130は、取得される2つの画像用信号のノイズ量が小さくなるようにサンプルホールド回路280が画像用信号をサンプリングするタイミングを制御した。本実施形態において、サンプルホールド回路280を用いることによって、1回の放射線の照射中に複数回の撮像を行い、取得した複数の画像用信号からノイズ量の少ないエネルギーサブトラクション画像を生成する方法について説明する。放射線撮像装置100や放射線撮像システム101の構成は、上述の第1および第2の実施形態と同様であってもよいため、ここでは説明を省略する。

【0064】

図 8 に示すように、1 回の放射線 8 0 1 の照射の間の放射線の立ち上がり、立ち下がりを利用して、サンプルホールド信号 T S 1 およびリセット信号 P R E S の動作前後で異なるエネルギーの放射線の照射として 1 回の放射線の照射中に複数回の撮像を行う場合を考える。図 8 に示すように、サンプルホールド信号 T S 1 のタイミングによって、それぞれの撮像において照射される放射線の線量とエネルギー値が変化する。一般的に、サブトラクション画像は、2 つの放射線画像のエネルギー差が大きい方がノイズ量は少なくなる。

【 0 0 6 5 】

図 8 の上側のように 1 回の放射線 8 0 1 の照射を、放射線 8 0 0 と放射線 8 0 2 の照射の組み合わせになるように、制御部 1 3 0 がサンプリングするタイミングを制御する場合を考える。この場合、放射線 8 0 0 のように立ち上がり波形すべてを用いて放射線画像を生成するための画像用信号を取得すると、線量を稼ぐことができるが、放射線 8 0 2 によって取得した画像用信号から生成される放射線画像とのエネルギー差が小さくなる。

10

【 0 0 6 6 】

一方、図 8 の下側のように 1 回の放射線 8 0 1 の照射を、放射線 8 0 4 と放射線 8 0 6 の照射の組み合わせになるように、制御部 1 3 0 がサンプリングするように制御する場合を考える。この場合、放射線 8 0 4 のように立ち上がり波形の途中で放射線画像を生成するための画像用信号を取得すると、放射線 8 0 6 によって取得された画像用信号から生成される放射線画像とのエネルギー差を稼ぐことができる。しかしながら、放射線 8 0 4 の放射線の線量が少なくなり、エネルギーサブトラクション画像のノイズ量が増加しうる。そのため、2 つの放射線画像のエネルギー差とそれぞれの画像用信号に含まれるノイズ量とを適切に調節する必要がある。2 つの放射線画像のエネルギー差とノイズ量との調節方法について、図 9 を用いて詳細に説明する。

20

【 0 0 6 7 】

図 9 は、本発明の第 3 の実施形態における放射線撮像装置 1 0 0 用いた被写体の撮像からエネルギーサブトラクション画像を表示するまでの処理のフロー図である。ステップ S 9 0 1 において、撮像条件の設定を行う。撮像条件は、上述の各実施形態と同様に、放射線のエネルギー値や放射線の照射時間、放射線のエネルギーの波形の時間変化などの情報を含みうる。また、撮像条件は、1 回の放射線の照射の間に撮像を行う回数を含む。

【 0 0 6 8 】

撮像条件の設定が行われた後、ステップ S 9 0 2 において、設定された条件に従って、放射線源 4 0 0 は放射線を照射する。また、図 1 0 に示すように、放射線撮像装置 1 0 0 の制御部 1 3 0 は、撮像部 1 1 1 に、1 回の放射線の照射中に複数回の撮像を行わせる。制御部 1 3 0 は、複数回の撮像のそれぞれにおいてサンプルホールド回路 2 7 0、2 8 0、2 9 0 がサンプリングした複数の画像用信号を、読出回路 1 4 0 に読み出させる。放射線撮像装置 1 0 0 はサンプルホールド回路 2 7 0、2 8 0、2 9 0 を有する。このため、先の撮像の信号の読み出しと、次の撮像の信号の蓄積とを並列に行うことによって、放射線撮像装置 1 0 0 は、2 つの撮像の間隔を短くできる。さらに、放射線撮像装置 1 0 0 は複数のサンプルホールド回路 2 7 0、2 8 0、2 9 0 を備えるため、1 回の放射線の照射の間に、より短い間隔で、多くの画像用信号を取得することが可能となる。

30

【 0 0 6 9 】

複数回の撮像によって生成され、読出回路 1 4 0 によって読み出された画像用信号は、信号処理部 3 5 2 に転送される。図 1 0 に示される構成では、1 回の放射線の照射の間に 1 4 回の撮像を行い 1 4 個の画像用信号を取得しているが、取得される画像用信号の数はこれに限られることはない。取得される画像用信号の数は、1 3 以下であってもよいし、1 5 以上であってもよい。また、撮像を行う間隔は等間隔でなくてもよく、任意のタイミングで制御部 1 3 0 からの制御によってサンプルホールド回路 2 7 0、2 8 0、2 9 0 は画像用信号をサンプリングできる。

40

【 0 0 7 0 】

次いで、ステップ S 9 0 3 において、図 1 1 に示すように、取得した放射線画像を信号処理部 3 5 2 はエネルギーの情報に基づいてソートする。例えば、放射線のエネルギーの情報と

50

して、複数の画像用信号のそれぞれの放射線のエネルギーが高い部分と低い部分との差の順に応じて、複数の画像用信号をソートしてもよい。この場合、被写体が人体であれば、骨部分と脂肪部分との透過率の違いを用いてもよい。また、例えば、放射線のエネルギーの情報として、複数の画像用信号のそれぞれの放射線のエネルギーが高い部分のエネルギー値の順に応じて、複数の画像用信号をソートしてもよい。ここで、エネルギーが高い部分のエネルギー値とは、得られた画像用信号のうち最もエネルギーが高い部分に対応する画素の画素値であってもよい。また、例えば、エネルギーが高い部分のエネルギー値とは、得られた画像用信号のうちエネルギーが高い部分 20 % に対応する画素の画素値の平均値であってもよい。

#### 【0071】

1 枚目に撮像された画像用信号は、放射線の立ち上がり部分で構成されるため低エネルギー画像の画像用信号となりうる。一方、放射線の立ち上がり後に撮像された画像用信号は、高エネルギー画像の画像用信号となりうる。さらに、最後に撮像された画像用信号は、放射線の立ち下がり部分で構成されるため低エネルギー画像の画像用信号となりうる。

#### 【0072】

次いで、ステップ S 904 において、信号処理部 352 は、ソートされた複数の画像用信号を、低エネルギー画像に用いる画像用信号と高エネルギー画像に用いる画像用信号とに振り分ける。振り分けられた画像用信号は、それぞれ低エネルギー画像用の画像用信号および高エネルギー用の画像信号として合成される。低エネルギー画像用の画像用信号および高エネルギー用の画像信号は、複数の画像用信号のうち低エネルギー画像用の画像用信号および高エネルギー用の画像信号として合成される信号をそれぞれ平均化または加重平均化することによって生成される。

#### 【0073】

ソートされた複数の画像用信号を振り分ける際、信号処理部 352 は、任意のエネルギー値をしきい値として 2 つに振り分けられてもよい。また、信号処理部 352 は、後の工程において得られるエネルギーサブトラクション画像を考慮し、それぞれの画像用信号に含まれるノイズ量に応じて振り分けられてもよい。例えば、合成された低エネルギー画像用の画像用信号および高エネルギー用の画像信号にそれぞれ含まれるノイズ量の差が、所定の範囲内にあるように振り分けられてもよい。例えば、上述のように、誤差伝播の関係式に基づいて、合成された低エネルギー画像用の画像用信号に含まれるノイズ量が、高エネルギー画像用の画像信号に含まれるノイズ量の 1 / 3 倍以上かつ 3 倍以下になるように、複数の画像用信号を振り分けられてもよい。このとき、ノイズ量の差が所定の範囲内にある、複数の合成された低エネルギー画像用の画像用信号および高エネルギー用の画像信号の組み合わせが生成されてもよい。以下では、複数の組み合わせがある場合について説明する。

#### 【0074】

画像用信号の合成を行った後、ステップ S 905 において、合成された低エネルギー画像用の画像用信号および高エネルギー用の画像信号を用いて、それぞれの組み合わせに応じたエネルギーサブトラクション画像を生成する。次いで、ステップ S 906 において、信号処理部 352 は、生成されたエネルギーサブトラクション画像の所定の部分の画素値の標準偏差などを用いて、それぞれのエネルギーサブトラクション画像に含まれるノイズ量を解析する。例えば、信号処理部 352 が、透過線量が少ない領域を所定の領域として選択してもよい。第 2 の実施形態において説明した場合と同様の方法を用いて、信号処理部 352 はノイズ量の解析を行うことができる。解析値は、後で参照できるように、記憶部 354 に保存する。

#### 【0075】

次いで、ステップ S 907 において、信号処理部 352 は、得られた低エネルギー画像用の画像用信号および高エネルギー用の画像信号のすべての組み合わせにおいてエネルギーサブトラクション画像の生成が実施されたか判定する。未実施の場合は、ステップ S 904 に戻り、未実施の組み合わせパターンで合成画像を作成する。すべての組み合わせでエネルギーサブトラクション画像の生成が実施されている場合、ステップ S 908 に移行する。ただし、施行する組み合わせは任意であり、必ずしもすべての組み合わせにおいて、エネルギー



サブトラクション画像の生成を行う必要はない。

【 0 0 7 6 】

次いで、ステップ S 9 0 8 において、複数の組み合わせから生成されたエネルギーサブトラクション画像のうち含まれるノイズ量の最も小さいエネルギーサブトラクション画像を信号処理部 3 5 2 は出力する。出力されたエネルギーサブトラクション画像は、ディスプレイなどの表示装置（不図示）に表示される。

【 0 0 7 7 】

本実施形態において、実際に出力されるエネルギーサブトラクション画像に含まれるノイズ量を最小化するように、複数の画像用信号を合成する組み合わせを信号処理部 3 5 2 が決定する。そのため、確実にノイズが低減されたエネルギーサブトラクション画像を取得することが可能となる。しかしながら、本実施形態は、信号処理部 3 5 2 で多くの画像処理を行うため、撮像からサブトラクション画像の表示までに時間がかかりうる。また、本実施形態において、多くの撮像を行い、複数の画像用信号を信号処理部 3 5 2 に出力する必要があるため、放射線撮像装置 1 0 0 内に信号処理部 3 5 2 が配されていてもよい。また、本実施形態において、複数回の撮像の間にリセット動作を行った場合、リセット動作期間は画像用信号の生成に寄与しない無効曝射となる。このため、リセット動作を行わずにサンプルホールド回路 2 7 0、2 8 0、2 9 0 が生成された信号を複数回サンプリングし、それぞれの信号の差分を、画像用信号として用いてもよい。

【 0 0 7 8 】

以上、本発明に係る実施形態を示したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、上述した実施形態は適宜変更、組み合わせが可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 9 】

1 0 0 : 放射線撮像装置、1 1 1 : 撮像部、1 1 2 : 画素、1 3 0 : 制御部、2 7 0 , 2 8 0 , 2 9 0 : サンプルホールド回路

10

20

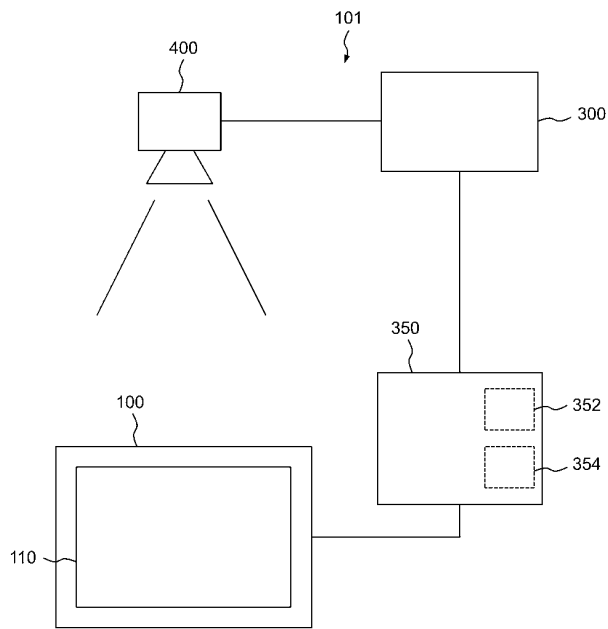
30

40

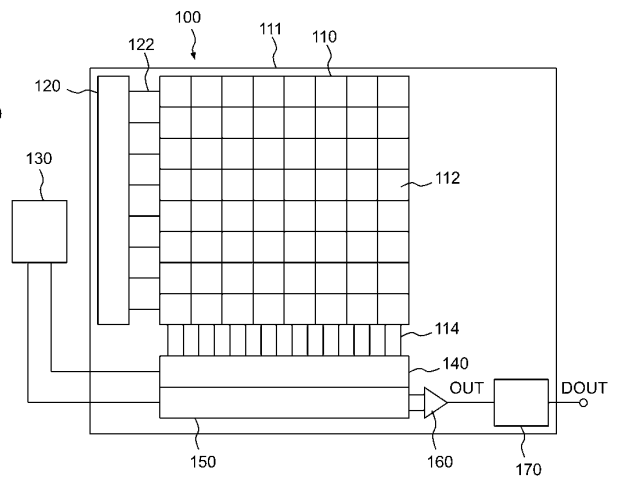
50

【 図面 】

【 図 1 】



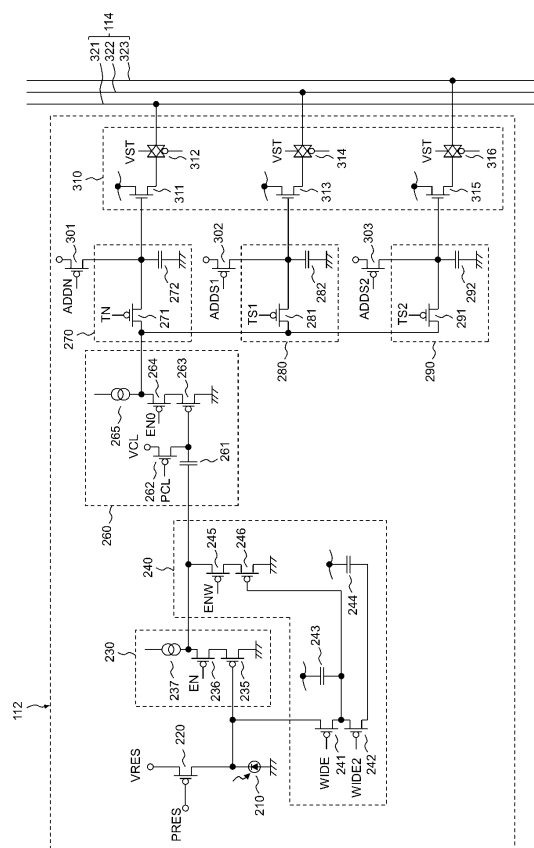
【 図 2 】



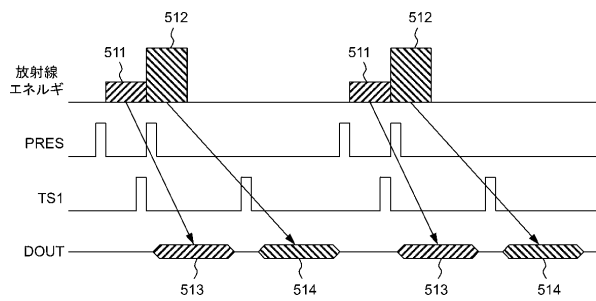
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】



30

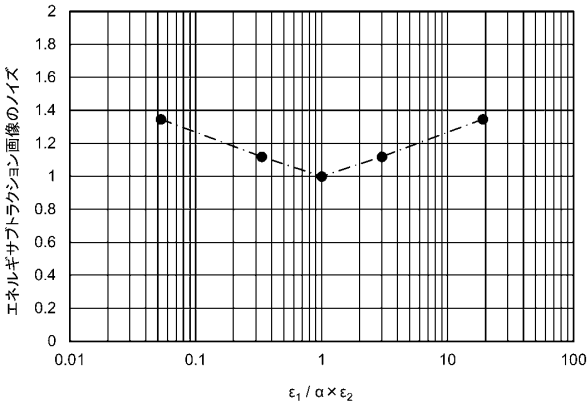
40

50

【 図 5 】

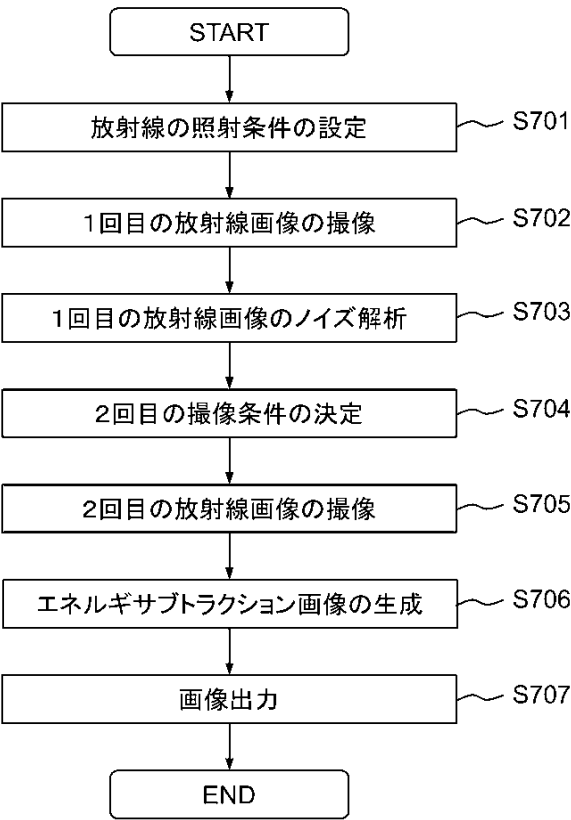
体厚	照射条件	
	高エネルギー画像	低エネルギー画像
薄い	140kV 10mA 10ms	100kV 50mA 20ms
普通	140kV 10mA 20ms	100kV 70mA 40ms
厚い	140kV 10mA 40ms	100kV 90mA 80ms

【 図 6 】

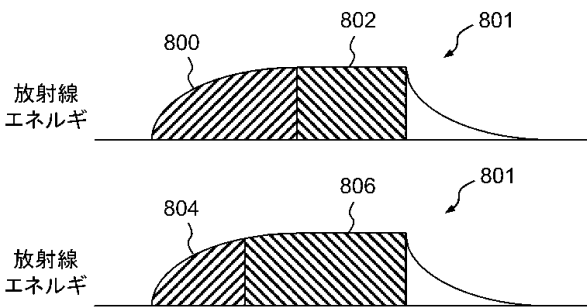


10

【 図 7 】



【 図 8 】



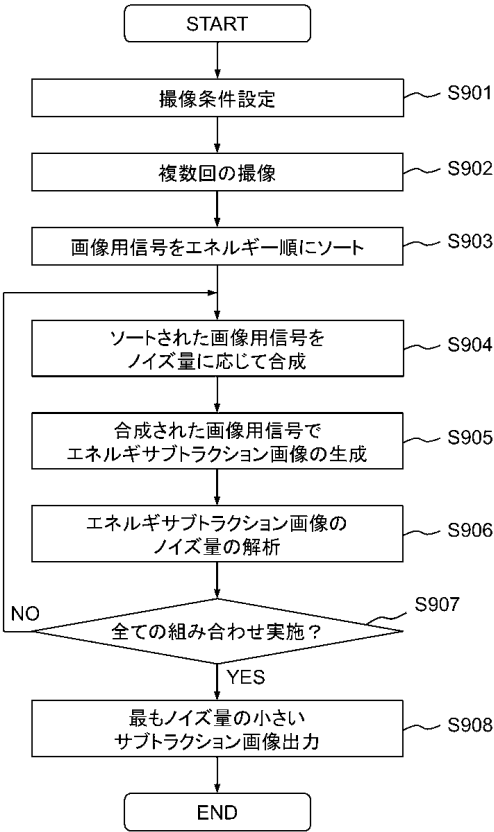
20

30

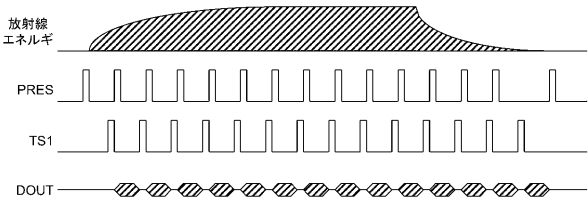
40

50

【図 9】



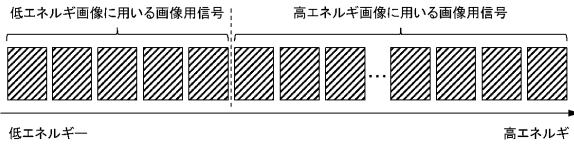
【図 10】



10

20

【図 11】



30

40

50

## フロントページの続き

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

審査官 山口 裕之

- (56)参考文献 特開2009-131464(JP,A)  
特開2011-078103(JP,A)  
特開2017-073756(JP,A)  
特開2011-152280(JP,A)  
特開2010-284350(JP,A)  
特開2009-082174(JP,A)  
特開昭63-049142(JP,A)  
特開2008-148886(JP,A)  
特開2008-279153(JP,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
A61B 6/00