

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6934769号
(P6934769)

(45) 発行日 令和3年9月15日 (2021.9.15)

(24) 登録日 令和3年8月26日 (2021.8.26)

| | |
|-------------------------------|----------------------|
| (51) Int.Cl. | F I |
| A 6 1 B 6/00 (2006.01) | A 6 1 B 6/00 3 0 0 S |
| | A 6 1 B 6/00 3 3 3 |
| | A 6 1 B 6/00 3 5 0 S |

請求項の数 9 (全 17 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2017-146801 (P2017-146801) | (73) 特許権者 | 000001007 |
| (22) 出願日 | 平成29年7月28日 (2017.7.28) | | キヤノン株式会社 |
| (65) 公開番号 | 特開2019-24926 (P2019-24926A) | | 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 |
| (43) 公開日 | 平成31年2月21日 (2019.2.21) | (74) 代理人 | 110003281 |
| 審査請求日 | 令和2年7月13日 (2020.7.13) | | 特許業務法人大塚国際特許事務所 |
| | | (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 | 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 |
| | | (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 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射線撮像装置および放射線撮像方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の画素を有する画素アレイと、前記画素アレイから信号を読み出す読出回路とを備える放射線撮像装置であって、

放射線源から放射された放射線または前記放射線源から提供される情報に基づいて前記放射線源による放射線の照射の開始を検出する検出部と、

前記検出部によって放射線の照射の開始が検出される度に、互いに異なる複数のエネルギーにおける放射線画像が得られるように前記複数の画素の各々における複数回のサンプルホールドのタイミングを決定する制御部と、を備え、

前記複数回のサンプルホールドのうち少なくとも1回のサンプルホールドのタイミングは、放射線の照射期間におけるタイミングであり、

前記複数の画素の各々は、放射線を電気信号に変換する変換素子と、前記制御部によって決定された前記複数回のサンプルホールドのタイミングに従って前記変換素子からの信号を複数回にわたってサンプルホールドするサンプルホールド回路とを含む、

ことを特徴とする放射線撮像装置。

【請求項 2】

前記複数の画素の各々は、前記変換素子をリセットするリセット部を更に有し、

前記複数の画素の各々において、前記複数回のサンプルホールドのうち最初のサンプルホールドと前記複数回のサンプルホールドのうち最後のサンプルホールドとの間の期間中は、前記リセット部が前記変換素子をリセットしない、

10

20

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】

前記検出部は、前記画素アレイから得られる電気信号に基づいて前記放射線源による放射線の照射の開始を検出する、

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 4】

前記検出部は、前記放射線源における放射線の発生のための駆動電流に基づいて前記放射線源による放射線の照射の開始を検出する、

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 5】

前記画素アレイとは別に設けられた放射線検出センサを更に備え、

前記検出部は、前記放射線検出センサからの出力に基づいて前記放射線源による放射線の照射の開始を検出する、

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 6】

前記放射線検出センサは、エネルギー分解能を有し、

前記検出部は、前記放射線検出センサによって検出された放射線のエネルギーに基づいて、前記放射線源による放射線の照射の開始を検出する、

ことを特徴とする請求項 5 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 7】

前記制御部は、フレームレートが一定になるように、前記複数の画素を制御する、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の放射線撮像装置。

【請求項 8】

前記制御部は、複数のフレームにおいて、前記複数の画素における蓄積時間が一定になるように前記複数の画素を制御する、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 9】

前記放射線源を制御する曝射制御装置に対して曝射許可信号を送信する制御装置を更に備え、前記放射線源は、前記曝射許可信号に応じて放射線を放射する、

ことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の放射線撮像装置。

【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方法に関する。

【背景技術】

【0002】

放射線撮像装置を応用した撮影方法としてエネルギーサブトラクション法がある。エネルギーサブトラクション法は、被検体に照射する放射線のエネルギーを異ならせて複数回にわたって撮像して得た複数の画像を処理することによって新たな画像（例えば、骨画像および軟部組織画像）を得る方法である。複数の放射線画像を撮像する時間間隔は、例えば、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検体が動くと、その動きによる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検体の放射線画像をエネルギーサブトラクション法によって得ることは困難であった。

【0003】

特許文献 1 には、デュアルエネルギー撮影を行うシステムが記載されている。このシステムでは、撮影の際に X 線源の管電圧が第 1 kV 値にされた後に第 2 kV 値に変更される。そして、管電圧が第 1 kV 値であるときに第 1 副画像に対応する第 1 信号が積分され、積分された信号がサンプル・ホールドノードに転送された後に、積分がリセットされる。

10

20

30

40

50

その後、管電圧が第2 kV値であるときに第2副画像に対応する第2信号が積分される。これにより、積分された第1信号の読み出しと第2信号の積分が並行して行われる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特表2009-504221公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1の方法で複数回にわたってX線を曝射して複数フレームの動画撮像を行う場合、X線を曝射してからサンプル・ホールドノードへの信号の転送を行うまでの時間がフレームごとに異なる可能性がある。これによって、フレーム間で第1副画像のエネルギーおよび線量が互いに異なり、またフレーム間で第2副画像のエネルギーおよび線量が互いにことなることになり、エネルギーサブラクションの精度が低下しうる。

【0006】

本発明は、放射線の照射開始から信号のサンプルホールドまでの時間の変動を低減するため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】

【0007】

本発明の1つの側面は、複数の画素を有する画素アレイと、前記画素アレイから信号を読み出す読出回路とを備える放射線撮像装置に係り、前記放射線撮像装置は、放射線源から放射された放射線または前記放射線源から提供される情報に基づいて前記放射線源による放射線の照射の開始を検出する検出部と、前記検出部によって放射線の照射の開始が検出される度に、互いに異なる複数のエネルギーにおける放射線画像が得られるように前記複数の画素の各々における複数回のサンプルホールドのタイミングを決定する制御部と、を備え、前記複数回のサンプルホールドのうち少なくとも1回のサンプルホールドのタイミングは、放射線の照射期間におけるタイミングであり、前記複数の画素の各々は、放射線を電気信号に変換する変換素子と、前記制御部によって決定された前記複数回のサンプルホールドのタイミングに従って前記変換素子からの信号を複数回にわたってサンプルホールドするサンプルホールド回路とを含む。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、放射線の照射開始から信号のサンプルホールドまでの時間の変動を低減するために有利な技術が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の第1実施形態の放射線撮像装置の構成を示す図。

【図2】撮像部の構成例を示す図。

【図3】1つの画素の構成例を示す図。

【図4】拡張モード1（比較例）における放射線撮像装置の動作を示す図。

【図5】拡張モード1（比較例）における課題を説明する図。

【図6】拡張モード2における放射線撮像装置の動作を示す図。

【図7】検出部が放射線源からの放射線の照射の開始を検出する方法を示す図。

【図8】拡張モード2におけるフレームレートを説明する図。

【図9】拡張モード3における放射線撮像装置の動作を示す図。

【図10】拡張モード4における放射線撮像装置の動作を示す図。

【図11】本発明の第2実施形態の放射線撮像装置の構成を示す図。

【図12】本発明の第3実施形態の放射線撮像装置の構成を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、添付図面を参照しながら本発明をその例示的な実施形態を通して説明する。

【0011】

図1には、本発明の第1実施形態の放射線撮像装置1の構成が示されている。放射線撮像装置1は、複数の画素を有する画素アレイ110を含む撮像部100と、撮像部100からの信号を処理する信号処理部352とを備える。撮像部100は、例えば、パネル形状を有する。信号処理部352は、図1に例示されるように、制御装置350の一部として構成されてもよいし、撮像部100と同一筐体に収められてもよいし、撮像部100および制御装置350とは異なる筐体に収められてもよい。放射線撮像装置1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装置である。エネルギーサブトラクション法は、被検体に照射する放射線のエネルギーを異ならせて複数回にわたって撮像して得た複数の画像を処理する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。放射線という用語は、例えば、X線、γ線、α線、β線、粒子線、宇宙線を含みうる。

10

【0012】

放射線撮像装置1は、放射線を発生する放射線源400、放射線源400を制御する曝射制御装置300、および、曝射制御装置300（放射線源400）および撮像部100を制御する制御装置350を備える。制御装置350は、前述のように、撮像部100から供給される信号を処理する信号処理部352を含みうる。制御装置350の機能の全部または一部は、撮像部100に組み込まれうる。あるいは、撮像部100の機能の一部は、制御装置350に組み込まれうる。制御装置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。信号処理部352は、該プログラムの一部によって構成されうる。あるいは、信号処理部352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。制御装置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。制御装置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。

20

【0013】

制御装置350は、放射線源400による放射線の放射（曝射）を許可する場合に、曝射制御装置300に対して曝射許可信号を送信する。曝射制御装置300は、制御装置350から曝射許可信号を受信すると、曝射許可信号の受信に応答して、放射線源400に放射線を放射（曝射）させる。動画を撮像する場合は、制御装置350は、曝射制御装置300に対して複数回にわたって曝射許可信号を送信する。この場合において、制御装置350は、曝射制御装置300に対して所定の周期で複数回にわたって曝射許可信号を送信してもよいし、撮像部100による次のフレームの撮像が可能になる度に曝射制御装置300に対して曝射許可信号を送信してもよい。

30

【0014】

放射線源400は、放射線の連続的な放射期間（照射期間）においてエネルギー（波長）が変化する放射線を放射しうる。このような放射線を用いて、互いに異なる複数のエネルギーのそれぞれにおける放射線画像を得て、これらの放射線画像をエネルギーサブトラクション法によって処理することによって1つの新たな放射線画像を得ることができる。

40

【0015】

あるいは、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してもよい。放射線源400は、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する機能を有する。

【0016】

撮像部100の画素アレイ110を構成する複数の画素の各々は、放射線を電気信号（例えば、電荷）に変換する変換素子と、該変換素子をリセットするリセット部とを含む。各画素は、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、放射線を可視光等の光に変換した後に該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

50

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。

【0017】

図2には、撮像部100の構成例が示されている。撮像部100は、複数の画素112を有する画素アレイ110および画素アレイ110の複数の画素112から信号を読み出すための読出回路RCを含む。複数の画素112は、複数の行および複数の列を構成するように配列されうる。読出回路RCは、行選択回路120、制御部130、バッファ回路140、列選択回路150、増幅部160、AD変換器170および検出部190を含みうる。

【0018】

行選択回路120は、画素アレイ110の行を選択する。行選択回路120は、行制御信号122を駆動することによって行を選択するように構成されうる。バッファ回路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から信号をバッファリングする。バッファ回路140は、画素アレイ110の複数の列信号伝送路114に出力される複数列分の信号をバッファリングする。各列の列信号伝送路114は、列信号線対を構成する第1信号線および第2列信号線を含む。第1列信号線には、画素112のノイズレベル（後述の通常モード時）、または、画素112で検出された放射線に応じた放射線信号（後述の拡張モード時）が出力されうる。第2列信号線322には、画素112で検出された放射線に応じた放射線信号が出力されうる。バッファ回路140は、増幅回路を含みうる。

【0019】

列選択回路150は、バッファ回路140によってバッファリングされた1行分の信号対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対を増幅する増。ここで、増幅部160は、信号対（2つの信号）の差分を増幅する差動増幅器として構成されうる。AD変換器170は、増幅部160から出力される信号OUTをAD変換してデジタル信号DOUT（放射線画像信号）を出力するAD変換器170を備えうる。

【0020】

検出部190は、放射線源400から放射される放射線に基づいて、放射線源400による放射線の照射の開始を検出する。検出部190は、例えば、放射線源400によって画素アレイ110に照射される放射線を画素アレイ110から読出回路RCによって読み出される信号に基づいて検出することによって、放射線源400による放射線の照射の開始を検出しうる。あるいは、検出部190は、各画素にバイアス電圧を供給するバイアス線を流れる電流に基づいて、放射線源400による放射線の照射の開始を検出しうる。検出部190は、放射線源400による放射線の照射の開始を検出すると、それを示す同期信号を発生し制御部130に供給する。

【0021】

図3には、1つの画素112の構成例が示されている。画素112は、例えば、変換素子210、リセットスイッチ220（リセット部）、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（保持部）270、280、出力回路310を含む。画素112は、撮像方式に関するモードとして、通常モードおよび拡張モードを有しうる。拡張モードは、エネルギーサプトラクション法によって放射線画像を得るためのモードである。

【0022】

変換素子210は、放射線を電気信号に変換する。変換素子210は、例えば、複数の画素で共有されうるシンチレータと、光電変換素子とで構成されうる。変換素子210は、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。

【0023】

増幅回路230は、MOSトランジスタ235、236、電流源237を含みうる。M

10

20

30

40

50

ＭＯＳトランジスタ２３５は、ＭＯＳトランジスタ２３６を介して電流源２３７に接続されている。ＭＯＳ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。ＭＯＳ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て、ＭＯＳ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。

【００２４】

変換素子２１０の電荷蓄積部およびＭＯＳ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 V_{res} に接続されている。リセット信号 $PRES$ が活性化されるとリセットスイッチ２２０がオンして、電荷電圧変換部の電位がリセット電位 V_{res} 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 V_{res} 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。

【００２５】

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から出力される信号（放射線信号）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ＭＯＳ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ＭＯＳトランジスタ２６２をオフさせることによってなされる。

【００２６】

クランプ容量２６１の出力側は、ＭＯＳトランジスタ２６３のゲートに接続されている。ＭＯＳトランジスタ２６３のソースは、ＭＯＳトランジスタ２６４を介して電流源２６５に接続されている。ＭＯＳ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。ＭＯＳ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 EN_0 が活性化されることによってオンして、ＭＯＳ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。

【００２７】

出力回路３１０は、ＭＯＳトランジスタ３１１、３１３、３１５、行選択スイッチ３１２、３１４を含む。ＭＯＳトランジスタ３１１、３１３、３１５は、それぞれ、列信号線３２１、３２２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。

【００２８】

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は、サンプルホールド回路２８０によってサンプルホールド（保持）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を有しうる。スイッチ２８１は、行選択回路１２０によってサンプルホールド信号 TS が活性化されることによってオンする。クランプ回路２６０から出力される放射線信号は、サンプルホールド信号 TS 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。

【００２９】

通常モードでは、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、ＭＯＳ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２６

10

20

30

40

50

0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（保持）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を有しうる。スイッチ271は、行選択回路120によって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TN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、拡張モードでは、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使用されうる。

【0030】

行選択信号VSTが活性化されると、サンプルホールド回路270、280に保持されている信号に応じた信号が列信号伝送路114を構成する第1列信号線321、第2列信号線322に出力される。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放射線信号）に応じた信号NがMOSトランジスタ311および行選択スイッチ312を介して列信号線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信号に応じた信号SがMOSトランジスタ313および行選択スイッチ314を介して列信号線322に出力される。

10

【0031】

画素112は、複数の画素112の信号を加算するための加算スイッチ301、302を含んでもよい。加算モード時は、加算モード信号ADDN、ADD Sが活性化される。加算モード信号ADDN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（ノイズレベルまたは放射線信号）が平均化される。加算モード信号ADD Sの活性化により複数の画素112の容量282同士が接続され、放射線信号が平均化される。

20

【0032】

画素112は、感度変更部240を含みうる。感度変更部240は、スイッチ241、242、容量243、244、MOSトランジスタ245、246を含みうる。第1変更信号WIDEが活性化されると、スイッチ241がオンして、電荷電圧変換部CVCの容量値に第1付加容量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。更に第2変更信号WIDE2も活性化されると、スイッチ242もオンして、電荷電圧変換部CVCの容量値に第2付加容量244の容量値が付加される。これによって画素112の感度が更に低下する。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。第1変更信号WIDEが活性化される場合には、イネーブル信号ENWが活性化されてもよい。この場合、MOSトランジスタ246がソースフォロア動作をする。なお、感度変更部240のスイッチ241がオンしたとき、電荷再分配によって変換素子210の電荷蓄積部の電位が変化しうる。これにより、信号の一部が破壊されうる。

30

【0033】

上記のリセット信号Pres、イネーブル信号EN、クランプ信号PCL、イネーブル信号EN0、サンプルホールド信号TN、TS、行選択信号VSTは、行選択回路120によって制御（駆動）される制御信号であり、図2の行制御信号122に対応する。また、行選択回路120は、制御部130から供給されるタイミング信号に従って、リセット信号Pres、イネーブル信号EN、クランプ信号PCL、イネーブル信号EN0、サンプルホールド信号TN、TS、行選択信号VSTを発生する。

40

【0034】

図3に示されたような構成の画素112では、サンプルホールドの際に変換素子210の電荷蓄積部等で信号の破壊が起こらない。即ち、図3に示されたような構成の画素112では、放射線信号を非破壊で読み出すことができる。このような構成は、以下で説明するエネルギーサブトラクション法を適用した放射線撮像に有利である。

【0035】

以下、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拡張モードについて説明する。拡張モードは、以下の4つのサブモード（拡張モード1、2、3、4）を含みう

50

る。ここでは、拡張モード１は比較例であり、拡張モード２、３、４は比較例１の改良例である。

【００３６】

図４には、拡張モード１（比較例）における放射線撮像装置１の動作が示されている。図４において、横軸は時間である。「放射線エネルギー」は、放射線源４００から放射され撮像部１００に照射される放射線のエネルギーである。「PRESS」は、リセット信号R P E Sである。「TS」は、サンプルホールド信号T Sである。「DOU T」は、A D変換器１７０の出力である。放射線源４００からの放射線の放射および撮像部１００の動作の同期は、曝射許可信号を発生する制御装置３５０によって制御されうる。撮像部１００における動作制御は、制御部１３０によってなされる。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。

10

【００３７】

図４に例示されるように、放射線源４００から放射される放射線８００のエネルギー（波長）は、放射線の放射期間において変化する。これは、放射線源４００の管電圧の立ち上がり、および、立ち下がりが鈍っていることに起因しうる。そこで、放射線８００が、立ち上がり期間における放射線８０１、安定期間における放射線８０２、および、立ち下がり期間における放射線８０３からなるものとして考える。放射線８０１のエネルギーE １、放射線８０２のエネルギーE ２、放射線８０３のエネルギーE ３は、互いに異なりうる。これを利用してエネルギーサブトラクション法による放射線画像を得ることができ

20

【００３８】

制御部１３０は、以下の第１期間T １、第２期間T ２、第３期間T ３が、それぞれ、立ち上がり期間、安定期間、立ち下がり期間に対応するように、第１期間T １、第２期間T ２および第３期間T ３を規定する。各画素１１２は、第１期間T １において変換素子２１０で発生した電気信号に応じた第１信号を出力する動作を実行する。また、各画素１１２は、第１期間T １および第２期間T ２において変換素子２１０で発生した電気信号に応じた第２信号を出力する動作を実行する。また、各画素１１２は、第１期間T １、第２期間T ２および第３期間T ３において変換素子２１０で発生した電気信号に応じた第３信号を出力する動作を実行する。第１期間T １、第２期間T ２および第３期間T ３は、互いに異なる期間である。第１期間T １において、第１エネルギーE １を有する放射線が照射され、第２期間T ２において第２エネルギーE ２を有する放射線が照射され、第３期間T ３において第２エネルギーE ３を有する放射線が照射されることが予定されている。

30

【００３９】

拡張モード１では、放射線８００が照射される照射期間T Tにおいて、画素１１２の変換素子２１０がリセットされない（リセット信号P r e sが活性化されない）。よって、放射線８００が照射される照射期間T Tでは、入射した放射線に応じた電気信号（電荷）が変換素子２１０に蓄積され続ける。放射線８００が照射される照射期間T Tにおいて、画素１１２の変換素子２１０がリセットされないことは、撮像に寄与しない放射線の照射を減らしつつ、より短時間でエネルギーサブトラクション法のための放射線画像を得るために有利である。

40

【００４０】

放射線８００の放射（撮像部１００への照射）前に、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、これによって変換素子２１０がリセットされる。この際に、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にリセットレベル（ノイズレベル）がクランプされる。

【００４１】

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た後に、曝射制御装置３００から放射線源４００に対して曝射許可信号が送信され、この曝射許可信号に応答して放射線源４００から放射線が放射される。リセット信号P R E Sが所定期間にわたって活性化さ

50

れてから所定期間が経過した後に、サンプルホールド信号 T_N が所定期間にわたって活性化される。これによって、エネルギー E_1 の放射線 801 の照射を受けて画素アレイ 110 の画素 112 の変換素子 210 が発生した電気信号に応じた信号 (E_1) が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る。

【0042】

サンプルホールド信号 T_N が所定期間にわたって活性化されてから所定期間が経過した後に、サンプルホールド信号 T_S が所定期間にわたって活性化される。これによって、エネルギー E_1 の放射線 801 およびエネルギー E_2 の放射線 802 の照射を受けて画素アレイ 110 の画素 112 の変換素子 210 が発生した電気信号に応じた信号 ($E_1 + E_2$) がサンプルホールド回路 280 によってサンプルホールドされる。

10

【0043】

次いで、サンプルホールド回路 270 でサンプルホールドされた信号 (E_1) とサンプルホールド回路 280 でサンプルホールドされた信号 ($E_1 + E_2$) との差分に相当する信号が第 1 信号 805 として読出回路 RC から出力される。なお、図 4 において、“N” 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、第 1 列信号線 321 に出力される信号を示し、“S” は、サンプルホールド回路 280 によってサンプルホールドされ、第 2 列信号線 322 に出力される信号を示す。

【0044】

次いで、サンプルホールド信号 T_S が所定期間にわたって活性化されてから所定期間が経過した後（エネルギー E_3 の放射線 803 の照射（放射線 800 の照射）が終了した後）に、サンプルホールド信号 T_S が所定期間にわたって再び活性化される。これによって、エネルギー E_1 、 E_2 、 E_3 の放射線 801、802、803 の照射を受けて画素アレイ 110 の画素 112 の変換素子 210 が発生した電気信号に応じた信号 ($E_1 + E_2 + E_3$) がサンプルホールド回路 280 によってサンプルホールドされる。

20

【0045】

次いで、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た信号 (E_1) とサンプルホールド回路 280 によってサンプルホールドされた信号 ($E_1 + E_2 + E_3$) との差分に相当する信号が第 2 信号 806 として読出回路 RC から出力される。

【0046】

次いで、リセット信号 $PRES$ が所定期間にわたって活性化され、更に、サンプルホールド信号 T_N が所定期間にわたって活性化される。これによって、サンプルホールド回路 270 によってリセットレベル (0) がサンプルホールドされる。次いで、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た信号 (0) とサンプルホールド回路 280 によってサンプルホールドされた信号 ($E_1 + E_2 + E_3$) との差分に相当する信号が第 3 信号 807 として読出回路 RC から出力される。

30

【0047】

以上のような動作を複数回にわたって繰り返すことによって、複数フレームの放射線画像（即ち、動画）を得ることができる。

【0048】

信号処理部 352 は、以上のようにして、第 1 信号 805 (E_2)、第 2 信号 806 ($E_2 + E_3$)、第 3 信号 807 ($E_1 + E_2 + E_3$) を得ることができる。信号処理部 352 は、第 1 信号 805、第 2 信号 806、第 3 信号 807 に基づいて、エネルギー E_1 の放射線 801 の照射量 e_1 、エネルギー E_2 の放射線 802 の照射量 e_2 、エネルギー E_3 の放射線 803 の照射量 e_3 を得ることができる。具体的には、信号処理部 352 は、第 1 信号 805 (E_2) と第 2 信号 ($E_2 + E_3$) との差分 ($(E_2 + E_3) - E_2$) を演算することによって、エネルギー E_3 の放射線 803 の照射量 e_3 を得ることができる。また、信号処理部 352 は、第 2 信号 806 ($E_2 + E_3$) と第 3 信号 ($E_1 + E_2 + E_3$) との差分 ($(E_1 + E_2 + E_3) - (E_2 + E_3)$) を演算することによって、エネルギー E_1 の放射線 801 の照射量 e_1 を得ることができる。また、第 1 信号 805 (E_2) は、エネルギー E_2 の放射線 802 の照射量 e_2 を示している。

40

50

【 0 0 4 9 】

したがって、信号処理部 3 5 2 は、エネルギー E 1 の放射線 8 0 1 の照射量 e 1、エネルギー E 2 の放射線 8 0 2 の照射量 e 2、エネルギー E 3 の放射線 8 0 3 の照射量 e 3 に基づいて、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ことができる。エネルギーサブトラクション法としては、種々の方法から選択される方法を採用することができる。例えば、第 1 エネルギーの放射線画像と第 2 エネルギーの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、第 1 エネルギーの放射線画像と第 2 エネルギーの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、第 1 エネルギーの放射線画像と第 2 エネルギーの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、第 1 エネルギーの放射線画像と第 2 エネルギーの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 5 0 】

図 5 を参照しながら拡張モード 1 (比較例) における課題を説明する。図 5 に例示されるように、制御装置 3 5 0 が曝射制御装置 3 0 0 に対して曝射許可信号を送信してから、放射線源 4 0 0 が放射線の放射 (曝射) を開始するまでの時間 (これを「曝射ディレイ」と呼ぶ) は、フレームごとに異なりうる。図 5 の例では、第 (n + 1) フレームにおける曝射ディレイが第 n フレームにおける曝射ディレイより大きい。

【 0 0 5 1 】

曝射ディレイがフレームごとに異なることは、図 4 を参照して説明すると、放射線 8 0 0 の照射が開始されてからサンプルホールド回路 2 7 0、2 8 0 がサンプルホールドを完了するまでの期間 T 1、T 2 がばらつくことを意味する。したがって、第 1 信号 8 0 5、第 2 信号 8 0 6、第 3 信号 8 0 7 として検出される放射線のエネルギーおよび照射量 (線量) がフレーム間で変化する。これは、照射量 e 1、照射量 e 2、照射量 e 3 として検出される放射線のエネルギーおよび照射量 (線量) がフレーム間で変化する、照射量 e 1、照射量 e 2、照射量 e 3 に基づくエネルギーサブトラクションの精度が低下しうることを意味する。これによって、動画にアーチファクトおよび / または明滅が生じうる。

20

【 0 0 5 2 】

図 6 には、拡張モード 2 における放射線撮像装置 1 の動作が示されている。拡張モード 2 として言及しない事項は、拡張モード 1 に従いうる。拡張モード 1 (比較例) における課題を解決するためには、曝射許可信号ではなく、放射線源 4 0 0 から実際に放射された放射線に同期して、画素 1 1 2 のサンプルホールド回路 2 7 0、2 8 0 にサンプルホールドを行わせる必要がある。制御部 1 3 0 は、検出部 1 9 0 から同期信号 5 0 1 が供給される度に、画素アレイ 1 1 0 の複数の画素 1 1 2 の各々における複数の回のサンプルホールド S H 1、S H 2、S H 3 のタイミングを決定する。換言すると、制御部 1 3 0 は、検出部 1 9 0 によって放射線の照射の開始が検出される度に、画素アレイ 1 1 0 の複数の画素 1 1 2 の各々における複数の回のサンプルホールド S H 1、S H 2、S H 3 のタイミングを決定する。複数の回のサンプルホールド S H 1、S H 2、S H 3 のうち最初のサンプルホールド S H 1 と複数の回のサンプルホールド S H 1、S H 2、S H 3 のうち最後のサンプルホールド S H 3 との間の期間中は、リセットスイッチ 2 2 0 が変換素子 2 1 0 をリセットしない。

30

40

【 0 0 5 3 】

ここで、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に、複数の回のサンプルホールドのタイミング S H 1、S H 2、S H 3 における少なくとも 1 回のサンプルホールドのタイミングは、放射線の照射期間 T T におけるタイミングである。第 1 実施形態では、3 回のサンプルホールドのタイミング S H 1、S H 2、S H 3 における 2 回のサンプルホールド S H 1、S H 2 のタイミングは、放射線の照射期間 T T におけるタイミングである。複数の回のサンプルホールド S H 1、S H 2、S H 3 のタイミングは、それぞれ、同期信号からの経過時間 t 1、t 2、t 3 に従って決定されうる。よって、フレーム間において、放射線の照射の開始からサンプルホールド S H 1 の終了までの期間が一定にさ

50

れる。また、フレーム間において、放射線の照射の開始からサンプルホールド S H 2 の終了までの期間が一定にされる。また、フレーム間において、放射線の照射の開始からサンプルホールド S H 3 の終了までの期間が一定にされる。これにより、エネルギーサブトラクションの精度の低下を抑制し、これにより、動画におけるアーチファクトおよび / または明滅を低減することができる。

【 0 0 5 4 】

図 7 には、検出部 1 9 0 が放射線源 4 0 0 からの放射線の照射の開始を検出する方法が例示されている。リセット信号 P R E S の活性化によってリセットスイッチ 2 2 0 がオンし、変換素子 2 1 0 の電荷蓄積部の「リセット」の後に、曝射検出駆動がなされ、曝射検出駆動において放射線の照射の開始が検出されると、エネルギーサブトラクション駆動に移行する。曝射検出駆動は、画素 1 1 2 のサンプルホールド回路 2 7 0、2 8 0 による「サンプルホールド」および読出回路 R C による画素 1 1 2 からの信号の「読出」の繰り返しを含む。曝射検出駆動およびエネルギーサブトラクション駆動は、制御部 1 3 0 によって制御される。検出部 1 9 0 は、読出回路 R C によって画素 1 1 2 から読み出された信号が閾値を越えると、放射線源 4 0 0 による放射線の照射が開始されたと判断して同期信号 5 0 1 を発生する。これにตอบสนองして、制御部 1 3 0 は、エネルギーサブトラクション駆動を開始する。エネルギーサブトラクション駆動は、図 5 における同期信号 5 0 1 にตอบสนองした駆動、即ち、複数の画素 1 1 2 のサンプルホールド回路 2 7 0、2 8 0 による複数回のサンプルホールド S H 1、S H 2、S H 3 および読出回路 R C による読出動作を含む。ここで、読出回路 R C による読出動作は、第 1 信号 8 0 5、第 2 信号 8 0 6、第 3 信号 8 0 7 を出力する動作を含む。

【 0 0 5 5 】

曝射検出駆動における「サンプルホールド」と「読出」の繰り返しは、高速（例えば、 μ s オーダー）で行われることが好ましい。これは、「サンプルホールド」および「読出」に要する時間分だけ、放射線の照射の開始が検出されるタイミングが遅れるためである。高速化のために、曝射検出駆動の期間中は、読出の際のビニング（画素の加算数）を変更してもよい。ビニング 2×2 、 4×4 、 8×8 、 \dots のように加算数が増加するほど、読出時間を短縮することができる。曝射検出駆動において読み出しによって得られる画像は、放射線の照射の開始を判定する X 線の曝射の有無を判定するためにあるため、解像度を考慮する必要はない。したがって、 32×32 ビニングのように解像度を大きく下げ、読み出しに要する時間を短縮してもよい。また、読出対象の画素 1 1 2 の個数を限定してもよい。例えば、一部の行の画素からのみ信号を読み出すために、他の行をスキップしうる。

【 0 0 5 6 】

検出部 1 9 0 が同期信号 5 0 1 を出力したら、曝射検知動作からエネルギーサブトラクション駆動に移行するので、ビニング等の設定は、エネルギーサブトラクション駆動に変更される。この際に、サンプルホールド回路 2 7 0 はリセットされてもよいし、リセットされなくてもよい。

【 0 0 5 7 】

上記とは異なる例では、同期信号 5 0 1 は、画素アレイ 1 1 0 から読出回路 R C によって読み出される信号が第 1 閾値を越えたことに応じて発生され、それに応じてサンプルホールド S H 1 のタイミングが決定されうる。その後、画素アレイ 1 1 0 から読出回路 R C によって読み出される信号が第 2 閾値を越えたことに応じてサンプルホールド S H 2 のタイミングが決定されうる。また、画素アレイ 1 1 0 から読出回路 R C によって読み出される信号が第 3 閾値を越えたことに応じてサンプルホールド S H 3 のタイミングが決定されうる。

【 0 0 5 8 】

図 8 に示されるように、拡張モード 2 では、曝射ディレイに応じてフレーム期間が決定されるので、フレーム間においてフレーム期間が異なりうる。また、拡張モード 2 では、リセット信号 P R E S が活性化されてから放射線の照射の開始までの期間が曝射ディレイ

に依存する。これは、リセット信号 P R E S が活性化されてから放射線の照射の開始されるまでに変換素子 2 1 0 において蓄積されるノイズレベルが曝射ディレイに依存することを意味する。よって、拡張モード 2 では、フレーム間でノイズレベルが異なりうる。

【 0 0 5 9 】

図 9 には、拡張モード 3 における放射線撮像装置 1 の動作が示されている。拡張モード 3 として言及しない事項は、拡張モード 1 に従いうる。拡張モード 3 では、拡張モード 2 における課題、即ち、フレーム間においてフレーム期間が異なりうるとの課題を解決したモードである。拡張モード 3 では、フレームレートは、曝射ディレイに依存することなく一定である。拡張モード 3 では、制御部 1 3 0 は、第 3 信号 8 0 7 の出力が完了するタイミングがフレーム間で共通になるように読出回路 R C を制御する。制御部 1 3 0 は、例えば、読出回路 R C によって第 2 信号 8 0 6 の読出を開始するタイミングまたは読出回路 R C によって第 2 信号 8 0 6 の読出を開始するタイミングがフレーム間で一定になるように読出回路 R C の駆動タイミングを制御する。これによって、第 3 信号 8 0 7 の出力が完了するタイミングをフレーム間で一定にすることができる。

10

【 0 0 6 0 】

制御部 1 3 0 は、上記の方法に代えて、第 3 信号 8 0 7 の読出の完了から次のフレームが開始するタイミング（例えば、リセット信号 P E S を活性化させるタイミング）までの時間を調整することによってフレームレートを一定にしてもよい。

【 0 0 6 1 】

拡張モード 3 においても、複数回のサンプルホールド S H 1、S H 2、S H 3 のうち最初のサンプルホールド S H 1 と最後のサンプルホールド S H 3 との間の期間中は、リセットスイッチ 2 2 0 が変換素子 2 1 0 をリセットしない。

20

【 0 0 6 2 】

図 1 0 には、拡張モード 4 における放射線撮像装置 1 の動作が示されている。拡張モード 4 として言及しない事項は、拡張モード 1 に従いうる。拡張モード 4 では、リセット信号 P R E S の活性化からサンプルホールド S H 1 の終了までの蓄積時間がフレーム間で一定である。また、拡張モード 4 では、リセット信号 P R E S の活性化からサンプルホールド S H 2 の終了までの蓄積時間がフレーム間で一定である。また、拡張モード 4 では、リセット信号 P R E S の活性化からサンプルホールド S H 3 の終了までの蓄積時間がフレーム間で一定である。したがって、変換素子 2 1 0 において蓄積されるノイズレベルが曝射ディレイに依存することなく、フレーム間で一定である。なお、上記の拡張モード 4 では、フレームレートが一定ではないが、拡張モード 3 のように、拡張モード 4 においてもフレームレートが一定にされてもよい。

30

【 0 0 6 3 】

拡張モード 4 においても、複数回のサンプルホールド S H 1、S H 2、S H 3 のうち最初のサンプルホールド S H 1 と最後のサンプルホールド S H 3 との間の期間中は、リセットスイッチ 2 2 0 が変換素子 2 1 0 をリセットしない。

【 0 0 6 4 】

上記の説明では、エネルギーが互いに異なる 3 種類の画像を取得する形態を説明した。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、サンプルホールドの回数を増やし、エネルギーが互いに異なる 4 種類の画像を取得してもよい。あるいは、サンプルホールドの回数を減らし、エネルギーが互いに異なる 2 種類の画像を取得してもよい。あるいは、互いにエネルギーが異なる 3 種類の画像から互いにエネルギーが異なる 2 種類の画像を得てもよい。

40

【 0 0 6 5 】

上記の例では、放射線源 4 0 0 の管電圧の立ち上がり、立ち下がりが鈍っていることを利用して互いにエネルギーが異なる複数の画像を得て、該複数の画像に基づいて新たな放射線画像を形成する。互いにエネルギーが異なる複数の画像は、放射線源 4 0 0 の管電圧の波形を意図的に調整することによってもなされうる。あるいは、エネルギー帯域（波長帯域）が広い放射線を放射線源 4 0 0 から放射させ、複数のフィルタの切り替えによって

50

放射線のエネルギーを変更してもよい。

【 0 0 6 6 】

第 1 実施形態では、検出部 1 9 0 は、放射線源 4 0 0 から放射される放射線に基づいて、放射線源 4 0 0 による放射線の照射の開始を検出する。以下で説明する第 2 実施形態および第 3 実施形態では、検出部 1 9 0 は、放射線源 4 0 0 から提供される情報に基づいて、放射線源 4 0 0 による放射線の照射の開始を検出する。つまり、検出部 1 9 0 は、放射線源 4 0 0 から放射される放射線または放射線源 4 0 0 から提供される情報に基づいて、放射線源 4 0 0 による放射線の照射の開始を検出するように構成されうる。

【 0 0 6 7 】

図 1 1 には、本発明の第 2 実施形態の放射線撮像装置 1 の構成が示されている。第 2 実施形態として言及しない事項は、第 1 実施形態に従いうる。第 2 実施形態では、放射線源 4 0 0 は、例えば、モニター線 4 1 0 を介して、制御装置 3 5 0 に対して、放射線の発生のための駆動電流を示す駆動電流情報を提供する。放射線源 4 0 0 は、曝射制御装置 3 0 0 を介して制御装置 3 5 0 に対して駆動電流情報を提供するように構成されてもよい。駆動電流は、放射線源 4 0 0 の陰極と陽極との間を流れる電流であって、放射線源 4 0 0 に組み込まれた電流計によって検出されうる。検出部 1 9 0 は、例えば、制御装置 3 5 0 に設けられてもよいし、撮像部 1 0 0 に設けられてもよいし、制御装置 3 5 0 および撮像部 1 0 0 とは別に設けられてもよい。検出部 1 9 0 が撮像部 1 0 0 に設けられた場合は、駆動電流情報は、放射線源 4 0 0 から制御装置 3 5 0 を介して、または直接に、検出部 1 9 0 に提供されうる。検出部 1 9 0 は、放射線源 4 0 0 から提供される駆動電流情報等の情報が示す値が閾値を越えた場合に、放射線源 4 0 0 による放射線の照射の開始を検出し同期信号 5 0 1 を発生しうる。

【 0 0 6 8 】

図 1 2 には、本発明の第 3 実施形態の放射線撮像装置 1 の構成が示されている。第 3 実施形態として言及しない事項は、第 1 実施形態に従いうる。第 3 実施形態の放射線撮像装置 1 は、画素アレイ 1 1 0 とは別に設けられた放射線検出センサ 5 0 0 を備えている。放射線検出センサ 5 0 0 は、撮像部 1 0 0 に配置されてもよいし、放射線源 4 0 0 と撮像部 1 0 0 との間の経路に配置されてもよい。検出部 1 9 0 は、放射線検出センサ 5 0 0 からの出力に基づいて放射線源 4 0 0 による放射線の照射の開始を検出し、同期信号 5 0 1 を発生する。

【 0 0 6 9 】

放射線検出センサ 5 0 0 は、エネルギー分解能を有してもよい。この場合、検出部 1 9 0 は、放射線検出センサ 5 0 0 によって検出された放射線のエネルギーに基づいて、放射線源 4 0 0 による放射線の照射の開始を検出するように構成されうる。このような構成によれば、放射線源 4 0 0 によって照射される放射線のエネルギーの立ち上がりがばらつく場合や、該エネルギーのパルスの幅がばらつく場合であっても、安定して放射線画像を得ることができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 0 】

1 : 放射線撮像装置、1 1 0 : 画素アレイ、R C : 読出回路、1 9 0 : 検出部、1 3 0 : 制御部、2 1 0 : 変換素子、2 7 0、2 8 0 : サンプルホールド回路

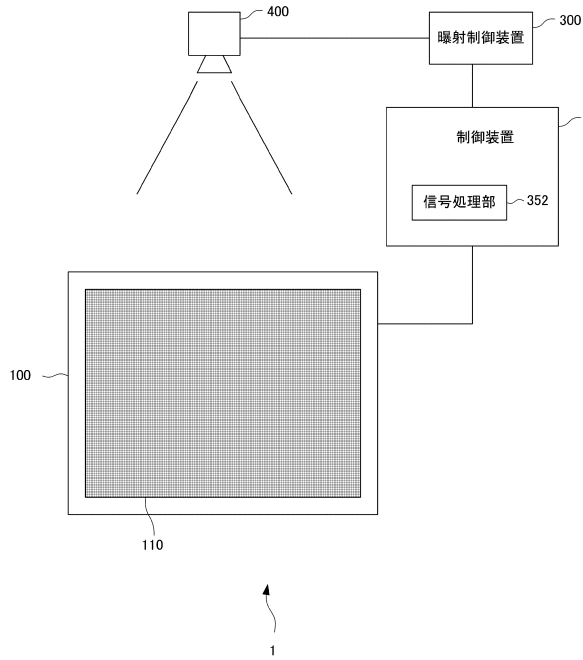
10

20

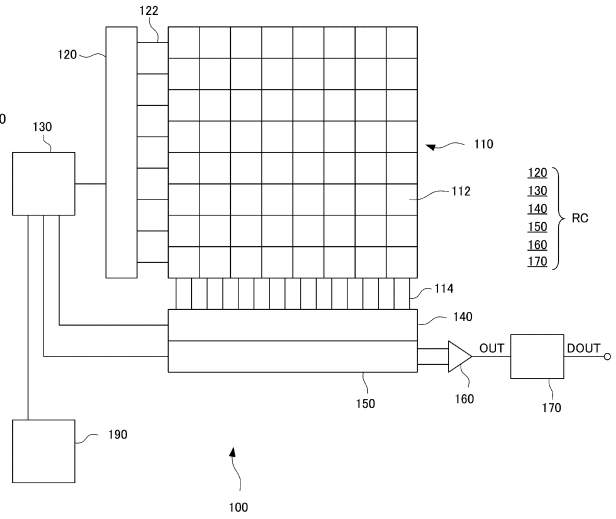
30

40

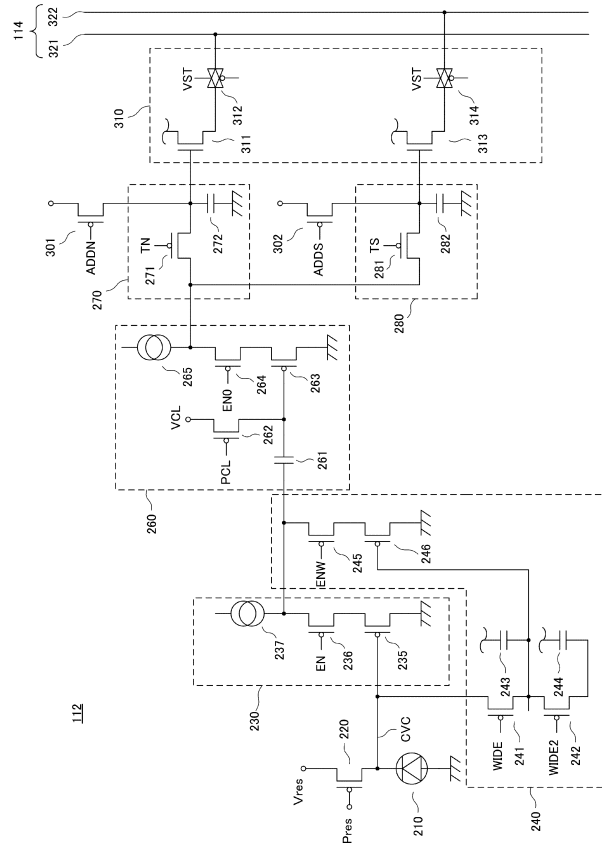
【図 1】



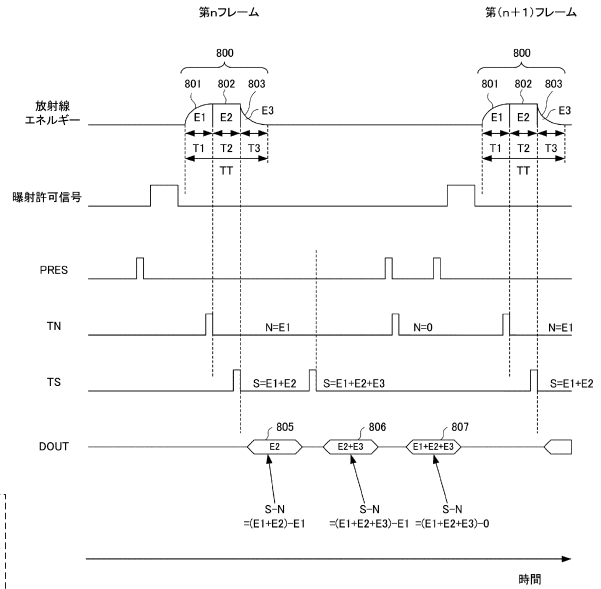
【図 2】



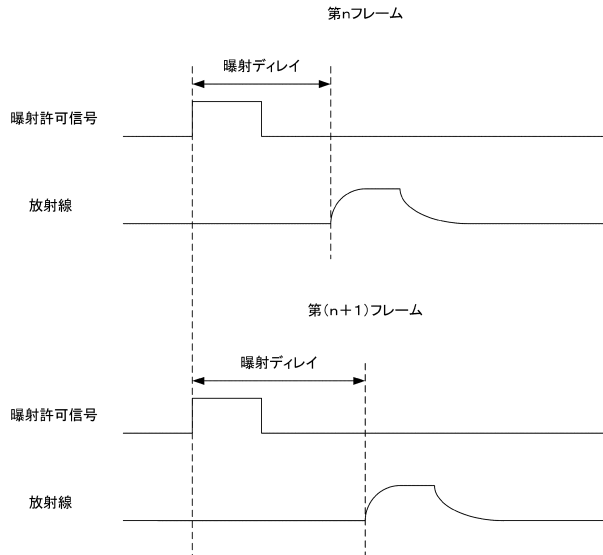
【図 3】



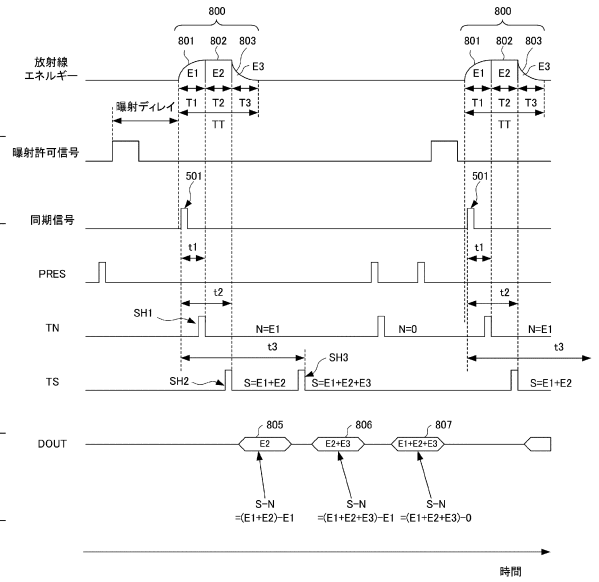
【図 4】



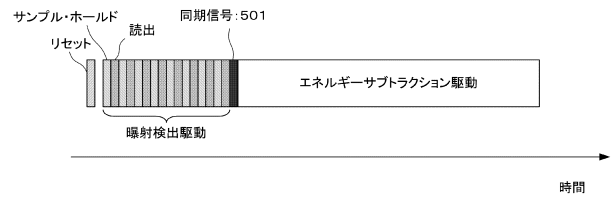
【図 5】



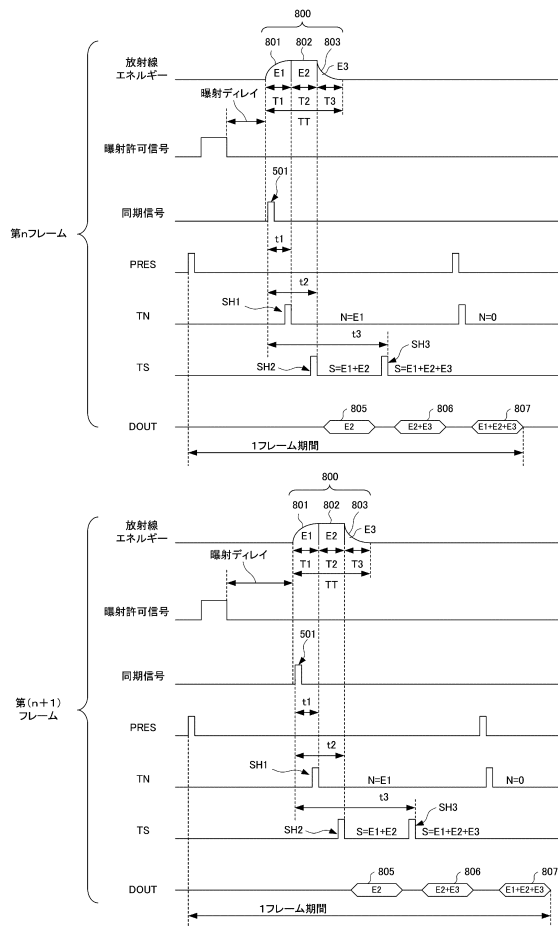
【図 6】



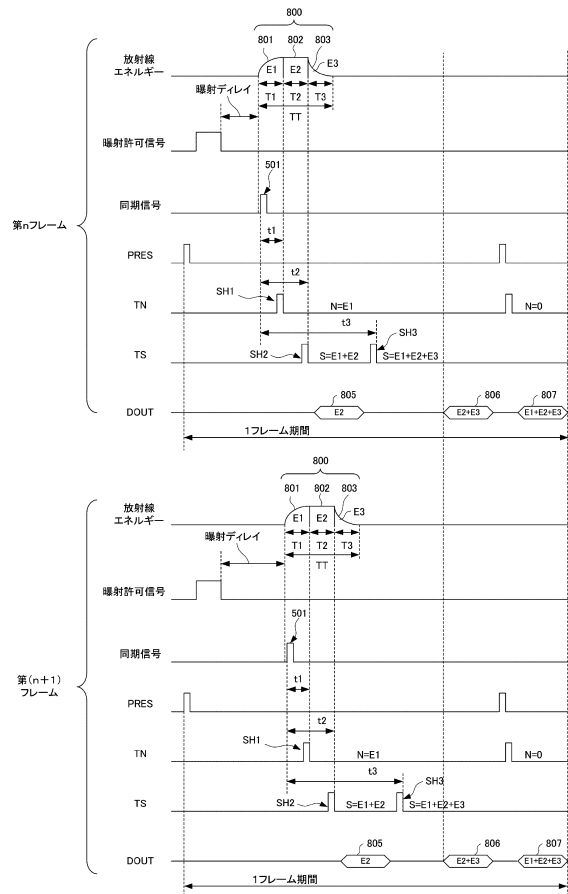
【図 7】



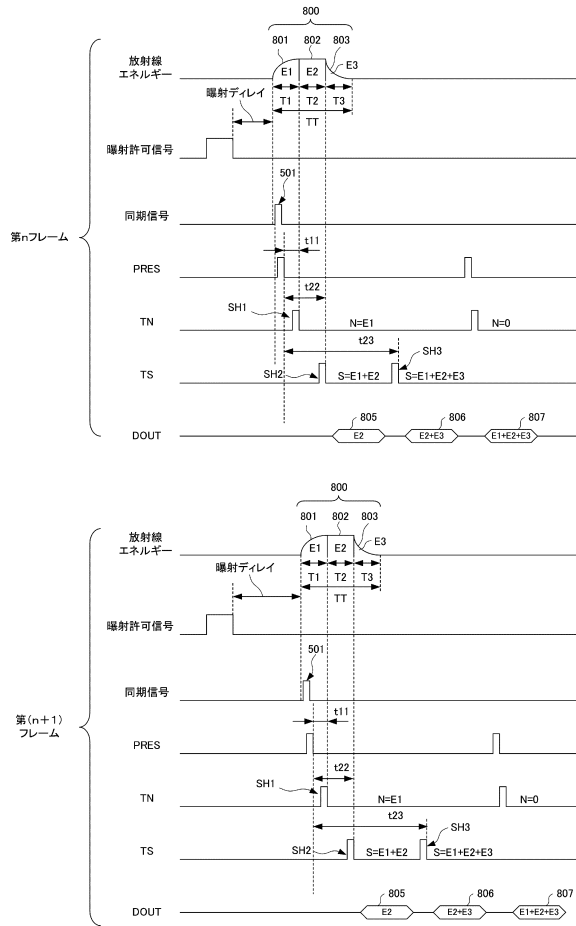
【図 8】



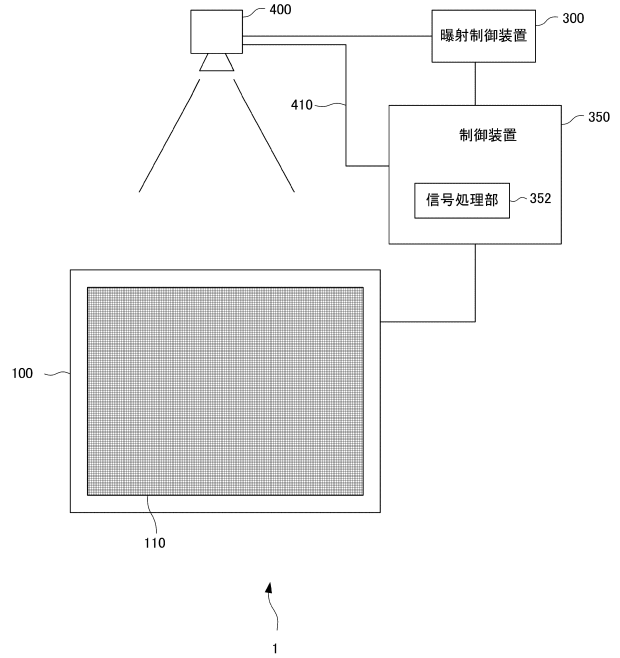
【図 9】



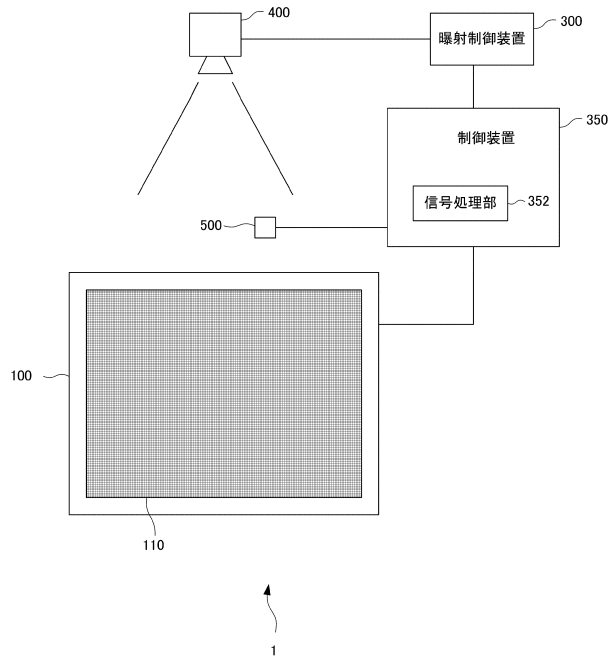
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(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

審査官 遠藤 直恵

(56)参考文献 特開2017-83408(JP,A)
国際公開第2012/032801(WO,A1)
特開2013-141559(JP,A)
特開2005-287773(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 6/00 - 6/14