

(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2020-5918

(P2020-5918A)

(43) 公開日 令和2年1月16日 (2020.1.16)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
A 6 1 B 6/00 (2006.01) A 6 1 B 6/00 3 3 3 4 C 0 9 3
 A 6 1 B 6/00 3 5 O P

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2018-130010 (P2018-130010)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成30年7月9日 (2018.7.9)		キヤノン株式会社
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号
		(74) 代理人	100076428
			弁理士 大塚 康德
		(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

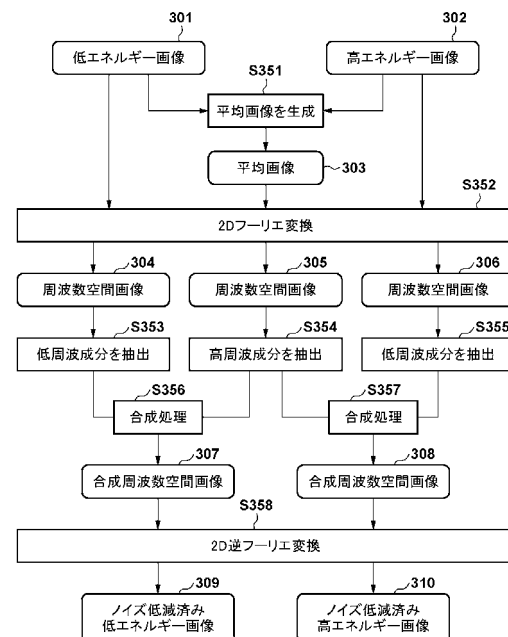
(54) 【発明の名称】 画像処理装置およびその制御方法

(57) 【要約】

【課題】複数の放射線画像を撮影する際の被検者の被曝線量の増加を抑えながら画像のノイズを低減する。

【解決手段】画像処理装置は、エネルギーの異なる放射線を照射して得られた複数の画像を取得する取得部と、複数の画像を合成して処理画像を生成する生成部と、複数の画像のうちの一つの画像の低周波成分を強調し、処理画像の高周波成分を強調するように、当該一つの画像と処理画像とを合成して合成画像を生成する合成部と、を備える。

【選択図】 図 5



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

エネルギーの異なる放射線を照射して得られた複数の画像を取得する取得手段と、
前記複数の画像を合成して処理画像を生成する生成手段と、
前記複数の画像のうちの一つの画像の低周波成分を強調し、前記処理画像の高周波成分を強調するように、前記一つの画像と前記処理画像を合成して合成画像を生成する合成手段と、を備えることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 2】

前記生成手段による前記複数の画像の合成は、前記複数の画像を加算することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

10

【請求項 3】

前記生成手段による前記複数の画像の合成は、前記複数の画像における信号の強度とノイズの強度の少なくとも何れかに基づいた重み付けを行って前記複数の画像を加算することを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記合成手段は、前記一つの画像の周波数空間画像から低周波成分画像を抽出し、前記処理画像の周波数空間画像から高周波成分画像を抽出し、前記低周波成分画像と前記高周波成分画像を合成して実空間の画像に変換することにより前記合成画像を得ることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 5】

20

前記合成手段は、フーリエ変換またはウェーブレット変換を用いて、前記一つの画像と前記処理画像をそれぞれの周波数空間画像に変換することを特徴とする請求項 4 に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

前記合成手段は、前記低周波成分画像と前記高周波成分画像を合成する際の比率を変更する第 1 変更手段をさらに備えることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の画像処理装置。

【請求項 7】

前記高周波成分と前記低周波成分の境界を設定する設定手段をさらに備えることを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

30

【請求項 8】

前記合成手段は、前記高周波成分画像と前記低周波成分画像の接続部分に窓関数を適用することを特徴とする請求項 4 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 9】

前記合成手段は、実空間において前記一つの画像の低周波成分を強調した第 1 の画像と、実空間において前記処理画像の高周波成分を強調した第 2 の画像とを生成し、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像を合成して前記合成画像を生成することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記合成手段は、前記一つの画像について移動平均を計算することにより低周波成分を強調することを特徴とする請求項 9 に記載の画像処理装置。

40

【請求項 11】

前記合成手段は、前記処理画像にラプラシアンを用いることで高周波成分を強調することを特徴とする請求項 9 または 10 に記載の画像処理装置。

【請求項 12】

前記合成手段は、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像について重み付けを行って合成することを特徴とする請求項 9 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 13】

前記合成手段は、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像の画素値の対数を用いて、前記第 1 の画像と前記第 2 の画像の合成を行うことを特徴とする請求項 9 乃至 12 のいずれか 1 項

50

に記載の画像処理装置。

【請求項 14】

エネルギーの異なる放射線を照射して得られた複数の画像を取得する取得工程と、
前記複数の画像を合成して処理画像を生成する生成工程と、
前記複数の画像のうちの一つの画像の低周波成分を強調し、前記処理画像の高周波成分を強調するように、前記一つの画像と前記処理画像を合成して合成画像を生成する合成工程と、を備えることを特徴とする画像処理装置の制御方法。

【請求項 15】

コンピュータを、請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置の各手段として機能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、放射線画像を処理する画像処理装置及びその制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、時分割型スペクトルイメージングという撮影技術が知られている。時分割型スペクトルイメージングでは、短時間に平均エネルギーの異なる複数の放射線を被写体に照射し、被写体を透過したそれぞれの平均エネルギーの放射線が放射線計測面へ到達した割合を計測することで被写体の構成物質の弁別を行う。このような時分割型スペクトルイメージングは、医療用の放射線画像の生成にも用いられている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 05 - 236351 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

時分割型スペクトルイメージングでは同一部位を短時間に複数枚撮影する必要がある。そのため、通常の撮影と同等の撮影線量で同一部位の撮影を繰り返すと被検者の被曝量が増大する。必要な画像の枚数は物質弁別の目的により異なるが、時分割型スペクトルイメージングは最低でも 2 枚の画像を必要とし、被検者の被曝線量は単純には画像の枚数分増加する。そこで、被検者への被曝線量の増加を抑えるために、放射線の線量を低減して画像一枚あたりの被曝線量を抑制することが考えられる。しかしながら、放射線の線量を低減するとノイズの強度が増加し、各画像の画質が低下する。

【0005】

特許文献 1 では、胸部エックス線撮影において骨除去画像を作成するデュアルエネルギー画像において、ノイズ低減を目的として中間生成画像に平滑化処理を行うことが提案されている。特許文献 1 では収集した複数の画像の放射線のエネルギーの差を大きく取ることができず、良好なスペクトルイメージング画像を生成することが困難である。

【0006】

本発明は、複数の放射線画像を撮影する際の被検者の被曝線量を抑えながら画像のノイズを低減することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様による画像処理装置は以下の構成を備える。すなわち、
エネルギーの異なる放射線を照射して得られた複数の画像を取得する取得手段と、
前記複数の画像を合成して処理画像を生成する生成手段と、
前記複数の画像のうちの一つの画像の低周波成分を強調し、前記処理画像の高周波成分を強調するように、前記一つの画像と前記処理画像を合成して合成画像を生成する合成手

10

20

30

40

50

段と、を備える。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、複数の放射線画像を撮影する際の被検者の被曝線量を抑えながら画像のノイズを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施形態による放射線撮影システムの全体的な構成例を示す図。

【図2】実施形態による放射線撮影装置の画素の等価回路図。

【図3】放射線撮影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示す図。

【図5】実施形態による撮影処理を示すフローチャート。

【図6】実空間から周波数空間への変換処理を説明する図。

【図7】周波数空間から実空間への変換処理を説明する図。

【図8】画像の合成時における処理を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、添付の図面を参照して本発明の実施形態を説明する。なお、以下の実施形態において、放射線という用語は、X線その他、例えば、 α 線、 β 線、 γ 線、粒子線、宇宙線などを含み得る。

【0011】

（第1実施形態）

現在、放射線による医療画像診断や非破壊検査に用いる撮影装置として、半導体材料によって形成された平面検出器（Flat Panel Detector、以下FPDと略す）を用いた放射線撮影装置が普及している。このような放射線撮影装置は、例えば医療画像診断においては、一般撮影のような静止画撮影や、透視撮影のような動画撮影を行うデジタル撮影装置として用いられている。一般に、FPDでは、入射した放射線量子により発生した電荷の総量を計測する、積分型のセンサが放射線の検出に用いられる。この際の画像に出現するノイズは、光子（以下、フォトン）の量の揺らぎによる量子ノイズと信号読み取りに使用する電気回路から発生する電気ノイズに起因する。

【0012】

時分割型スペクトラルイメージングを行う場合には、同一部位の極めて短時間の連続撮影が必要である。量子ノイズを通常の撮影と同様の強度に抑えるためには、連続撮影した画像それぞれに通常の撮影と同等の放射線量を照射する必要があり、被検者の被曝線量は撮影枚数に比例して増加する。ところで、連続して撮影された画像においては、それぞれ平均エネルギーが異なる放射線が照射されているため、被写体における放射線の透過率が物質により異なり、各画像のコントラストはそれぞれ異なる。しかしながら、短期間で撮影されることから、画像における被写体の形状はほぼ同じである。本実施形態では、このこと（複数の画像間で被写体の形状が同じであること）を利用して、被検者への被曝線量を抑えつつ、ノイズの影響を抑えた画像を作成する。以下、実施形態による放射線撮影システムについて説明する。

【0013】

図1は、第1実施形態に係る放射線撮影システムの構成を示すブロック図である。本実施形態の放射線撮影システムは、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、放射線撮影装置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発生する。制御用コンピュータ103は、プロセッサ121がメモリ122に格納されているプログラムを実行することにより、各種処理を行う。例えば、制御用コンピュータ103は放射線撮影に関わる各種制御、スペクトラルイメージングのための画像処理などを行う。取得部131、生成部132、合成部133については後述する。放射線撮影装置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 を有する。二次元検出器 106 は、放射線量子を検出する画素 20 が X 列 × Y 行のアレイ状に配置されたセンサであり、画像情報を出力する。

【0014】

図 2 に、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りうる。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。

【0015】

光電変換素子 201 は、電荷蓄積部を含み、該電荷蓄積部は、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。

【0016】

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 204a のゲートが共通のノードを構成していて、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。電荷電圧変換部には、該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 PRES がアクティブレベルになると、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。

【0017】

クランプ回路部 206 は、リセットされた電荷電圧変換部の電位に応じて増幅回路部 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、上述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 EN0 がアクティブ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。

【0018】

光電変換素子 201 の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、光信号サンプリング信号 TS がアクティブレベルになることによってスイッチ 207Sa を介して容量 207Sb に光信号として書き込まれる。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は、クランプ電圧である。クランプ電圧は、ノイズサンプリング信号 TN がアクティブレベルになることによってスイッチ 207Na を介して容量 207Nb にノイズとして書き込まれる。このノイズは、クランプ回路部 206 のオフセット成分を含む。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、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。サンプルホールド回路部 207 は、信号サンプル

10

20

30

40

50

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。

【0019】

駆動回路部が行選択信号をアクティブ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 21S 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 21N に出力される。MOS トランジスタ 208Sa は、信号線 21S 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 21N 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、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。

10

【0020】

画素 20 は、隣接する複数の画素 20 の光信号を加算する加算スイッチ 209S を有してもよい。加算モード時には、加算モード信号 ADD がアクティブレベルになり、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。同様に、画素 20 は、隣接する複数の画素 20 のノイズを加算する加算スイッチ 209N を有してもよい。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て、ノイズが平均化される。加算部 209 は、加算スイッチ 209S と加算スイッチ 209N を含む。

20

【0021】

また、画素 20 は、感度を変更するための感度変更部 205 を有してもよい。画素 20 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 がアクティブレベルになる場合には、イネーブル信号 ENw をアクティブレベルにして、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もよい。

30

【0022】

放射線撮影装置 104 は、以上のような画素回路の出力を読み出し、不図示の AD 変換器でデジタル値に変換した後、制御用コンピュータ 103 に画像を転送する。

【0023】

次に本実施形態の放射線撮影システムの駆動について説明する。図 3 は、本実施形態による放射線撮影動作のタイミングチャートである。図中の波形は横軸を時間として、放射線の照射の期間、データ読み出しの期間を表している。本実施形態の放射線撮影システムは、放射線照射期間（XW）、画像読み出し期間（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。画像読み出し期間（XR）では、画素 20 に蓄積された電荷の情報が制御用コンピュータ 103 に順次転送される。さらに、画像読み出し期間（XR）で取得された信号値からオフセット読み出し期間（FR）で取得された信号値を差し引くことで、不要なオフセット情報が補正される。

40

【0024】

図 4 は、本実施形態に係る放射線フォトンエネルギーとセンサ出力の関係を示す。放

50

射線撮影装置 104 は、放射線を可視光フォトンに変換する蛍光体層（蛍光体 105）と、可視光フォトンを経荷に変換する光電変換層（二次元検出器 106）と、さらにその電荷を電圧に変換し、デジタル値にする出力回路とを備える。放射線フォトンが蛍光体層に吸収されると、蛍光体層内で可視光フォトンが発生する。このときに生じる可視光フォトンの数は蛍光体層が吸収し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、エネルギーが大きいほど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。このため、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。

【0025】

スペクトルイメージング撮影を行うには放射線撮影装置 104 に放射線を照射して複数の画像を取得する。ここで、複数の画像を取得するための複数回の撮影は短時間に行われ、その間に被写体は動かないものとする。このとき、被写体が均一であったとして、複数の画素を含む任意の範囲を選択する。すると理想的には画素値は一定となるはずだが、実際にはバラツキが生じる。このバラツキには、電子回路のノイズ（システムノイズ）と、放射線フォトンの蛍光面への到達数の揺らぎ等による量子ノイズが含まれる。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。

【0026】

量子ノイズは、蛍光体層に到達し吸収された放射線フォトンにより発生した可視光フォトンの数に対し、ポアソン分布で推定される。平均値 A のポアソン分布は分散も A となる。オフセット信号の電気ノイズを無視すれば、平均値が半分の A / 2 になると分散も A / 2 となり、結果としてノイズ成分の信号強度は $\sqrt{2}$ 倍に増加し、画質は低下する。ポアソン分布によれば可視光フォトン数が A と A / 2 のときの量子ノイズの比率 R1（＝[可視光フォトン数 A の時の量子ノイズの強度]：[可視光フォトン数 A / 2 の時の量子ノイズの強度]）は以下の[数 1]で求められる。

【0027】

【数 1】

$$R1 = \frac{\sqrt{A}}{A} : \frac{\sqrt{\frac{A}{2}}}{\frac{A}{2}} = \sqrt{A} : 2\sqrt{\frac{A}{2}} = \sqrt{A} : \sqrt{2A} = 1 : \sqrt{2}$$

【0028】

同様に可視光フォトン数が 1 / 3 の A / 3 になると分布も A / 3 となり、量子ノイズの強度は $\sqrt{3}$ 倍に増加する。

【0029】

そのため、スペクトルイメージングで使用する画像の量子ノイズの強度を、通常の一枚撮影と同程度にしたければ、一回当たりの撮影で蛍光体が発光する可視光フォトンの数を通常の一枚撮影と同程度にする必要がある。結果、スペクトルイメージングの計算に N 枚（N > 1）の画像を必要とする場合、放射線の平均エネルギーの差による放射線吸収係数の変化があるものの単純には N 倍に被曝線量が増大することになる。そこで被曝線量を通常の一枚撮影と同等にすることを目標に蛍光体層で発生する可視光フォトンの数を 1 / N とすれば、一枚あたりの量子ノイズは $\sqrt{N}$ 倍となる。すなわち、被曝線量は抑えられるものの画質が劣化しスペクトルイメージングの計算精度も低下する。

【0030】

ここで、スペクトルイメージングの計算のための、同一部位の複数の画像の撮影は、極めて短時間に行われる。従って、照射される放射線の異なる平均エネルギーに応じて画像の信号強度は画素の位置に投影される被写体の構成物質の種類・総量・割合に影響を受けるが、投影される被写体の形状はほとんど変化しないことに注目する。

【0031】

短時間で同一部位を撮影して得られた複数のデジタル値をすべて使用して 1 枚の画像を

10

20

30

40

50

作成した場合のノイズについて考える。たとえば単純に 1 回撮影時の可視光フォトン数を B として 2 枚の撮影を短時間（同時）に行えば、可視光フォトン数は 2 倍の $2B$ となる。なお、複数枚の画像のデジタル値をすべて使用する画像とは複数の画像を単に加算して得ても良いし、画像全体もしくは注目する画像の一部のデジタル値の差を勘案して、重み付け加算を行ってもよい。ここで可視光フォトン数が B と 2 倍の $2B$ の時の量子ノイズの比率 R_2 （＝可視光フォトン数 B の時の量子ノイズの強度：可視光フォトン数 $2B$ の時の量子ノイズの強度）は以下の [数 2] のように求められる。

【 0 0 3 2 】

【 数 2 】

$$R_2 = \frac{\sqrt{B}}{B} : \frac{\sqrt{2B}}{2B} = \sqrt{B} : \frac{1}{2}\sqrt{2B} = \sqrt{B} : \sqrt{\frac{B}{2}} = 1 : \frac{1}{\sqrt{2}}$$

10

【 0 0 3 3 】

各画像のデジタル値の強度の差を無視できるものとして、2 枚の画像を単純に加算すれば画像に含まれる量子ノイズは $1/\sqrt{2}$ に低減される。同様に 3 枚の画像を加算すれば、量子ノイズの強度は $1/\sqrt{3}$ に低減する。

【 0 0 3 4 】

このとき量子ノイズは、大きな揺らぎを持つことは少なく、画像を構成する成分の内、各画素単位で個別に発生する。そのため、量子ノイズは、画像の低周波成分に影響をあまり与えず、高周波成分側に多く発生する。また、画像に撮影される被写体は画素単位に比べ大きな構造であることから、そのコントラスト成分は量子ノイズに比べ低周波成分側に多く発生している。

20

【 0 0 3 5 】

以上の検討に基づいて、本実施形態の制御用コンピュータ 103（取得部 131、生成部 132、合成部 133）は、複数の画像を撮影する際の放射線被曝量の抑制と量子ノイズの抑制を両立するように処理を行う。取得部 131 は、放射線撮影装置 104 から、エネルギー（例えば平均エネルギー）の異なる放射線を照射して得られた複数の画像を取得する。なお、放射線撮影装置 104 により得られた画像を不図示の格納装置に一旦格納する構成としてもよく、その場合、取得部 131 は、格納装置から複数の画像を取得するようにしてもよい。生成部 132 は、取得された複数の画像を合成して処理画像を生成する。例えば、生成部 132 では、量子ノイズが低減された処理画像が得られるような合成処理が行われる。上述したように、複数の画像を加算する処理は、量子ノイズを低減する合成処理の一例である。合成部 133 は、複数の画像のうちの一つの画像の低周波成分を強調し、処理画像の高周波成分を強調するように、一つの画像と処理画像を合成して合成画像を生成する。複数の画像を撮影するのに要する放射線線量を低減しつつ、合成画像において各画像のコントラストが維持される。以下、生成部 132、合成部 133 の処理の具体例をより詳細に説明する。

30

【 0 0 3 6 】

本実施形態では、複数の画像として低エネルギー画像と高エネルギー画像の 2 つの画像が取得される構成について説明する。生成部 132 は、低エネルギー画像と高エネルギー画像のデジタル値を加算もしくは平均することにより、量子ノイズが低減された処理画像を作成する。合成部 133 は、処理画像を周波数成分に変換して高周波部分を抽出し、また、低エネルギー画像と高エネルギー画像をそれぞれ周波数成分に変換してそれぞれの低周波成分を抽出する。合成部 133 は、処理画像の高周波部分と低エネルギー画像の低周波部分を合成し、逆周波数変換を行って実空間画像を得る。こうして、量子ノイズが低減され、コントラストが維持された低エネルギー画像が生成される。同様に、合成部 133 は、処理画像の高周波部分と高エネルギー画像の低周波部分を合成し、逆周波数変換を行って実空間画像を得る。こうして、量子ノイズが低減され、コントラストが維持された高エネルギー画像が生成される。なお、高周波部分と低周波部分の合成では、両部分に隙間

40

50

の無いように合成することが好ましい。

【0037】

上述した処理のさらに具体的な例を図5のフローチャートに示す。ここでは放射線フォtonsの平均エネルギーの異なる2枚の画像（低エネルギー画像と高エネルギー画像）からスペクトルイメージング画像を生成する例を説明する。

【0038】

まず照射する放射線の平均エネルギーを変更し、比較的低い放射線エネルギーで撮影した低エネルギー画像301と、比較的高い放射線エネルギーで撮影した高エネルギー画像302とを撮影する。このとき放射線の平均エネルギーを変更するには、放射線発生装置101の放射線管に印加する管電圧を変更するのが一般的である。それ以外には、例えばX線の場合、X線管から発生したX線が連続したエネルギーのフォトンが混在した白色光であることを利用するようにしてもよい。その場合、アルミや銅などの金属等を用いたフィルターを用いて低エネルギーのX線フォトンを高エネルギーのX線に比べ多く吸収させても良いし、双方を複合してX線の平均エネルギーを変更しても良い。

【0039】

S351において、生成部132は、収集された低エネルギー画像301と高エネルギー画像302を平均して量子ノイズが低減された平均画像303を取得する。2枚の画像のデジタル値を平均することは、2枚の画像の加算を含むので、平均画像303は上述した処理画像（量子ノイズが低減された画像）の一例である。なお、量子ノイズが低減された処理画像としては、たとえば、複数の画像を加算して得られた加算画像、各画像に重み付けをして得られた平均画像または加算画像が用いられ得る。ここで、重み付けは、例えば、複数の画像における信号の強度（画素値、濃度）とノイズの強度（分散）の少なくとも何れかに基づいて行われる。例えば、信号の強度が大きいほど大きい重みを付与する、或は、ノイズの強度が大きいほど小さい重みを付与することが考えられる。

【0040】

なお、後の周波数空間での信号の合成時における不整合の発生を防止するために、平均画像303の信号強度はその元となった低エネルギー画像301および高エネルギー画像302と同等の信号強度であることが望ましい。そのために、例えば、平均画像を生成する前に、低エネルギー画像301と高エネルギー画像302の信号強度が同等の値になるようにそれらを変更するようにしても良い。或は、平均画像303の信号強度を低エネルギー画像301と高エネルギー画像302のそれぞれにあわせて変更するようにしても良い。

【0041】

次に、合成部133は、S352～S355において、一つの画像（低エネルギー画像301、高エネルギー画像302）の周波数空間画像から低周波成分画像を抽出し、処理画像（平均画像303）の周波数空間画像から高周波成分画像を抽出する。そして、合成部133は、S356～S357において、低周波成分画像と高周波成分画像を合成して実空間の画像に変換することにより合成画像を得る。以下、具体的に説明する。

【0042】

S352において、合成部133は、低エネルギー画像301、高エネルギー画像302、平均画像303を、それぞれ2Dフーリエ変換を用いて周波数空間に変換し、周波数空間画像304、305、306を得る。S353において、合成部133は、低エネルギー画像301を周波数空間に変換した周波数空間画像305から低周波成分を抽出して低周波成分画像を得る。S354において合成部133は、平均画像303を周波数空間に変換した周波数空間画像306から高周波成分を抽出し、高周波成分画像を得る。そして、S356において、合成部133は、S353とS354で抽出された低周波成分画像と高周波成分画像を隙間なく合成し、合成周波数空間画像307を生成する。S358において、合成部133は、合成周波数空間画像307に2D逆フーリエ変換を行う。こうして、合成周波数空間画像307を実画像空間に戻すことにより、量子ノイズが抑えられ、かつ、低エネルギー画像301のコントラストを強く反映したノイズ低減済み低エネ

10

20

30

40

50

ルギー画像 309 が生成される。

【0043】

同様に、S355において、合成部133は、高エネルギー画像302を周波数空間に変換した周波数空間画像306から低周波成分を抽出し、低周波成分画像を得る。そして、S357において、合成部133は、S355で抽出された低周波成分画像とS354で抽出された高周波成分画像を隙間なく合成し、合成周波数空間画像308を生成する。S358において、合成部133は、合成周波数空間画像308に2D逆フーリエ変換を行う。こうして、合成周波数空間画像308を実画像空間に戻すことにより、量子ノイズが抑えられ、かつ、高エネルギー画像302のコントラストを強く反映したノイズ低減済み高エネルギー画像310が生成される。

10

【0044】

平均画像の量子ノイズの強度は、[数2]に示したように、一枚あたりの放射線フォトン数をBとすると $1/\sqrt{2}$ に低減されることになる。ノイズ低減済み低エネルギー画像309とノイズ低減済み高エネルギー画像310とが、理想的に平均画像と同等の量子ノイズの強度に変換されたとする。この場合、ノイズ低減済みの低エネルギー画像309とノイズ低減済み高エネルギー画像310において目的とする量子ノイズの強度を得るためには、[数1]を考慮するとそれぞれ1/2の放射線フォトン数で可能である。従って、図5に示した処理を用いれば、時分割型スペクトルイメージングのために複数枚の放射線撮影を行った場合、各画像の量子ノイズの強度は、合計の可視光フォトン数に依存することになる。そのため、複数枚の放射線撮影時の線量を低減しても一連の複数枚の放射線撮影における合計の可視光フォトン数が、目的とする量子ノイズの強度となる可視光フォトン数と同等であれば、各画像の量子ノイズの強度を目的とする強度に維持できる。結果、スペクトルイメージング撮影において同一部位の複数枚の撮影が必要であっても、複数枚の合計で可視光フォトン数が維持できればよいことになり、各画像での被曝低減が可能になる。

20

【0045】

以下、実際の処理例について図6と図7を参照して説明する。図6は実空間から周波数空間への変換処理例を示す図であり、図7は周波数空間から実空間への変換処理例を示す図である。

【0046】

図6において、生成部132は、低エネルギー画像301と高エネルギー画像302の平均画像303を生成する(S351)。そして、合成部133は、低エネルギー画像301と高エネルギー画像302と平均画像303について2Dフーリエ変換を行う(S352)。結果、低エネルギー画像301の周波数空間画像304、平均画像303の周波数空間画像305、高エネルギー画像302の周波数空間画像306が得られる。

30

【0047】

図7において、合成部133は、低エネルギー画像301の周波数空間画像304から低周波成分を抽出することにより低周波成分画像321を作成する(S353)。同様に、合成部133は、高エネルギー画像302の周波数空間画像306から低周波成分を抽出することにより低周波成分画像323を作成する(S355)。また、合成部133は、平均画像303の周波数空間画像305から高周波成分を抽出することにより高周波成分画像322を作成する(S354)。

40

【0048】

合成部133は、低周波成分画像321と高周波成分画像322とを重なりがないように合成して合成周波数空間画像307(図5)を生成する(S356)。そして、合成部133は、合成周波数空間画像307に2D逆フーリエ変換を行い(S358)、実空間の画像に戻すことにより、ノイズ低減済み低エネルギー画像309を生成する。また、合成部133は、低周波成分画像323と高周波成分画像322とを重なりがないように合成して合成周波数空間画像308(図5)を生成する(S357)。そして、合成部133は、合成周波数空間画像308に2D逆フーリエ変換を行い(S358)、実空間の画

50

像に戻すことによりノイズ低減済み高エネルギー画像 310 を生成する。

【0049】

さらに、制御用コンピュータ 103 は、ノイズ低減済み低エネルギー画像 309 と、ノイズ低減済み高エネルギー画像 310 とを使用してスペクトラルイメージング画像を生成する。合成周波数空間画像 307、308 に対して 2D 逆フーリエ変換 358 を行った後の各画素の信号（出力データ）は、周波数空間上で数値を変更しているため、2D フーリエ変換（S352）で変換された複素数のままになる。制御用コンピュータ 103 は、最終的に当該複素数の絶対値を求めて画素値とする。

【0050】

なお、上述した処理は、コンピュータ（プロセッサ 121）が所定のプログラムを実行することにより実現されてもよいし、処理の全てあるいは一部が専用のハードウェア（回路）を用いて実現されてもよい。

【0051】

なお、合成周波数空間画像 307、308 を生成する処理（S356、S357）において、モアレの防止、コントラスト情報の維持、ノイズの強度の調整などを目的として、高周波成分と低周波成分を合成する比率を変化させるようにしてもよい。例えば、図 8（a）に示されるように、低周波成分画像と高周波成分画像の境界において、両画像の信号値が等しくなるように低周波成分および/または高周波成分の合成の比率を設定するようにしてもよい。また、S356、S357 により合成周波数空間画像 307、308 を生成する際に、モアレの防止を目的に窓関数を導入してもよい。例えば、低周波成分画像と高周波成分画像の境界に近づくにつれて低周波成分と高周波成分のそれぞれの信号値が減少し、境界位置で信号値がゼロになるように窓関数が適用される。窓関数の一例を図 8（b）に示す。図 8（b）の窓関数は、高周波成分と低周波成分の接続部分である境界位置 801 において、係数が 0 となっている。

【0052】

また、上記実施形態では、低周波成分画像 321、323 と高周波成分画像 322 の境界を形成する図形の形状を正方形としたが、長方形、正円、楕円等の形状が用いられてもよい。また、境界を形成する図形の面積が可変であってもよい。さらに、低周波成分と高周波成分の境界をユーザが設定できるようにしてもよく、その場合、ユーザは上述した図形の形状を選択したり、面積を設定したりすることができる。

【0053】

また、実空間と周波数空間との間の変換を行う処理として、2D フーリエ変換（S352）と 2D 逆フーリエ変換（S358）を用いたがこれに限られるものではない。例えば、ウェーブレット変換等のフーリエ変換以外の周波数処理を用いて高周波成分と低周波成分を分離・合成するようにしてもよい。

【0054】

また、周波数空間を使用せず、実空間での演算手法によってノイズ低減済み低エネルギー画像 309 とノイズ低減済み高エネルギー画像 310 を得るようにしてもよい。すなわち、合成部 133 は、実空間において一つの画像（例えば、低エネルギー画像 301 または高エネルギー画像 302）の低周波成分を強調した第 1 の画像を生成する。また、合成部 133 は、実空間において処理画像（例えば、平均画像 303）の高周波成分を強調した第 2 の画像を生成する。そして、合成部 133 は、第 1 の画像と第 2 の画像を合成することにより、コントラストを維持しつつ量子ノイズが低減された合成画像（ノイズ低減済み低エネルギー画像 309、ノイズ低減済み高エネルギー画像 310）を得る。

【0055】

例えば、合成部 133 は、2D フーリエ変換と 2D 逆フーリエ変換を行う代わりに、移動平均等の手法を用いて低エネルギー画像 301 と高エネルギー画像 302 の高周波成分を減少させることで、低周波成分を強調する。また、合成部 133 は、例えばラブラシアンの手法を用いて平均画像 303 の高周波成分を強調する。合成部 133 は、こうして得られた、低エネルギー画像 301 の低周波成分を強調させた画像と平均画像 303 の高周

10

20

30

40

50

波成分を強調させた画像とを合成することにより、ノイズ低減済み低エネルギー画像 309 を得る。同様に、合成部 133 は、高エネルギー画像 302 の低周波成分を強調させた画像と平均画像 303 の高周波成分を強調させた画像とを合成することにより、ノイズ低減済み高エネルギー画像 310 を得る。また、このような画像の合成には、単純な加算などの四則演算処理が用いられてもよいし、対数を用いた処理が用いられてもよい。

【0056】

さらに、上記実施形態では、スペクトラルイメージング画像を生成するために平均エネルギーが異なる 2 枚の画像を用いたがこれに限られるものではなく、3 枚以上の画像を用いる場合にも上述した処理を適用可能である。すなわち、 N 枚 ($N \geq 2$) の平均エネルギーの異なる画像から作成された平均画像の高周波成分と、 N 枚の画像の各々の低周波成分を用いて画像を合成することにより、各画像の量子ノイズを低減させることができる。

10

【0057】

以上説明したように、上記実施形態によれば、放射線のエネルギー分別をするスペクトラルイメージング画像を得るために複数の放射線画像を撮影しても、通常の一枚撮影と同等の放射線量で、同等の量子ノイズの画像を提供することができる。

【0058】

(その他の実施例)

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ける 1 つ以上のプロセッサ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。

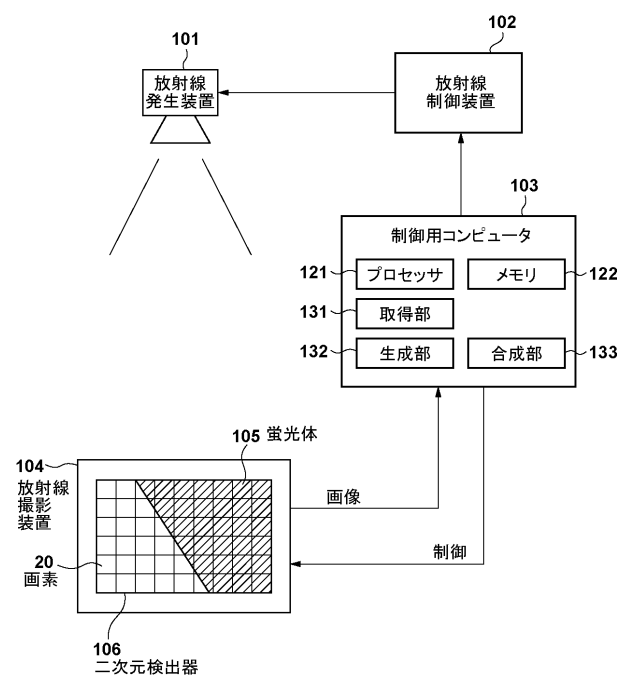
20

【符号の説明】

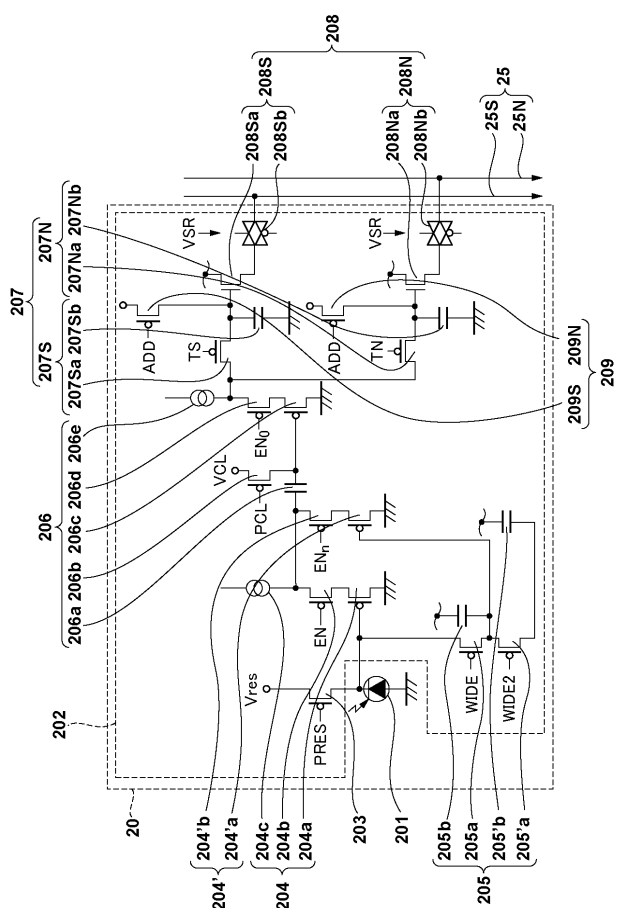
【0059】

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：放射線撮影装置、20：画素

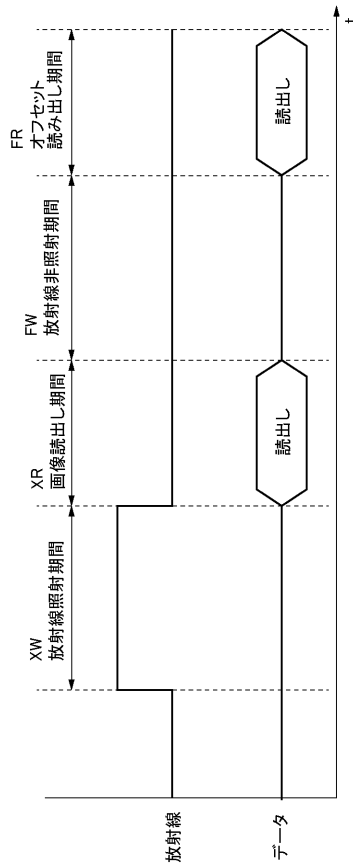
【図 1】



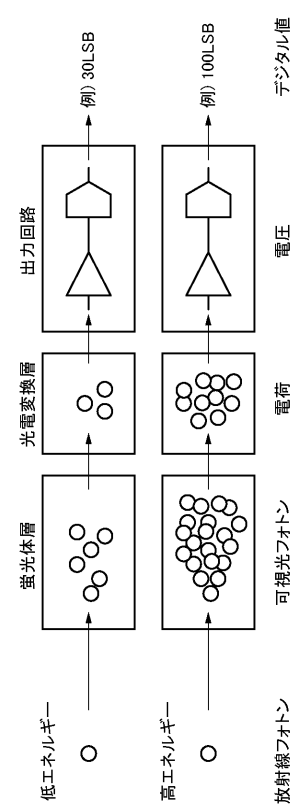
【図 2】



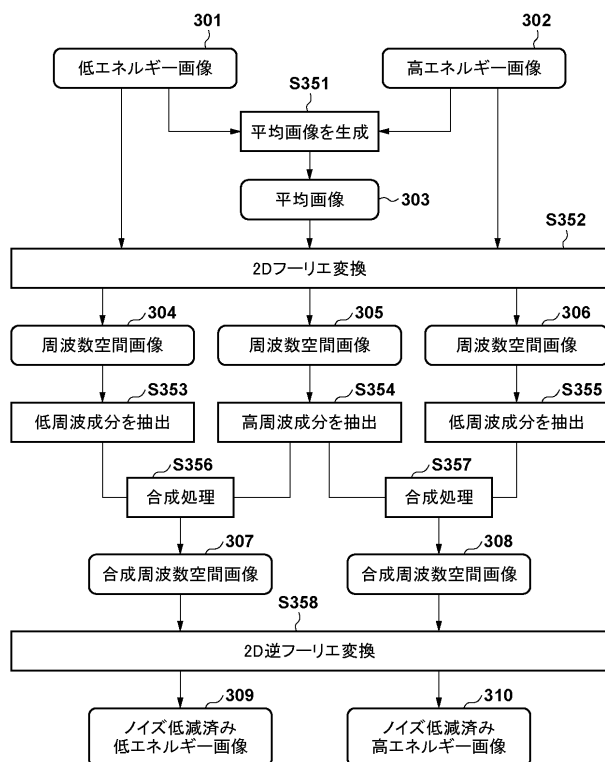
【図 3】



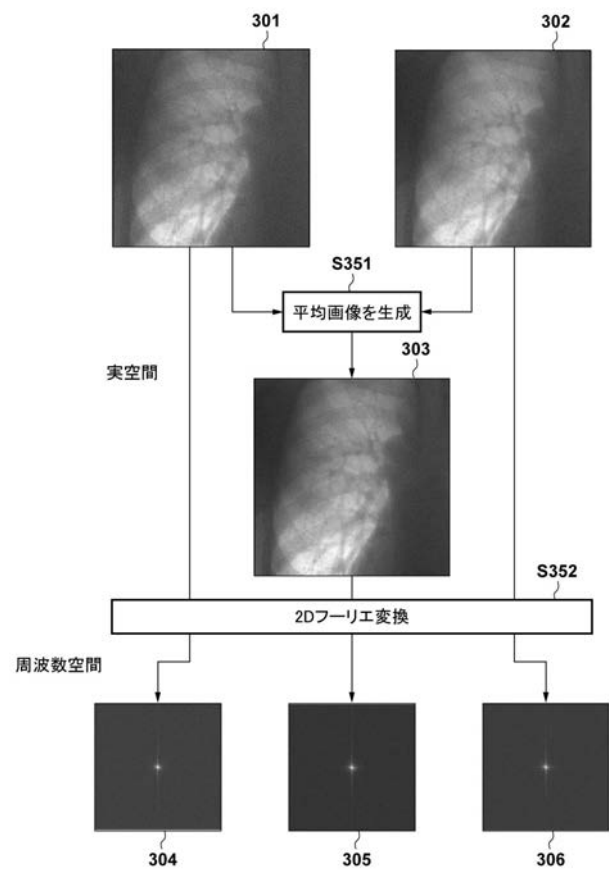
【図 4】



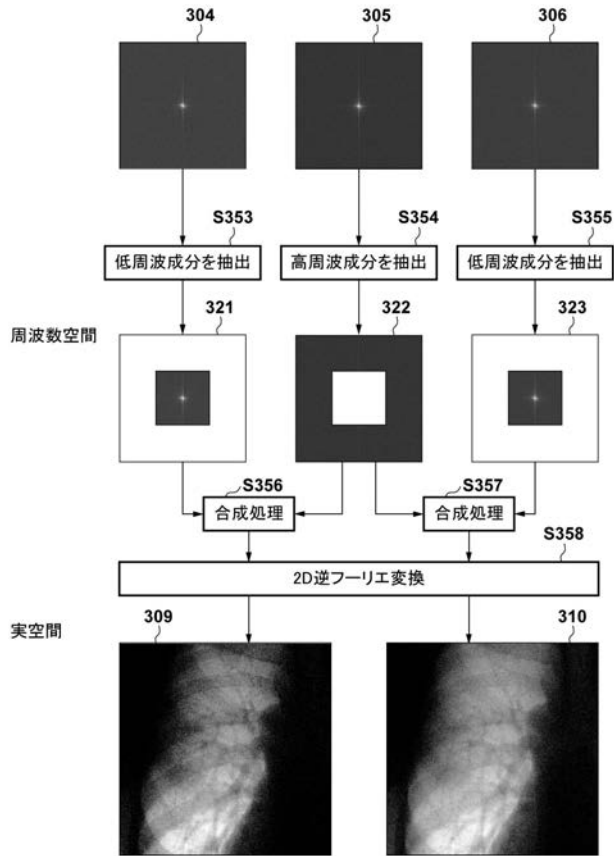
【図 5】



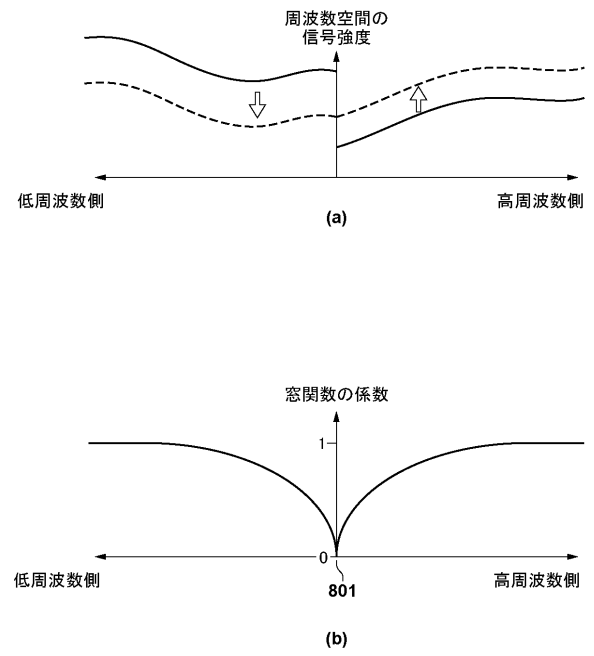
【図 6】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(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

Fターム(参考) 4C093 AA07 CA04 CA34 EA07 EB12 EB13 EB17 FF03 FF09 FF34
FF35