

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5400546号
(P5400546)

(45) 発行日 平成26年1月29日(2014.1.29)

(24) 登録日 平成25年11月1日(2013.11.1)

(51) Int.Cl. F 1
A 6 1 B 6/03 (2006.01) A 6 1 B 6/03 3 5 0 G

請求項の数 4 (全 18 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2009-223335 (P2009-223335) | (73) 特許権者 | 000153498 株式会社日立メディコ 東京都千代田区外神田四丁目14番1号 |
| (22) 出願日 | 平成21年9月28日(2009.9.28) | (74) 代理人 | 100064414 弁理士 磯野 道造 |
| (65) 公開番号 | 特開2011-67554 (P2011-67554A) | (74) 代理人 | 100111545 弁理士 多田 悦夫 |
| (43) 公開日 | 平成23年4月7日(2011.4.7) | (72) 発明者 | 鈴木 敦郎 東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内 |
| 審査請求日 | 平成23年6月2日(2011.6.2) | (72) 発明者 | 渡辺 史人 東京都千代田区外神田四丁目14番1号 株式会社日立メディコ内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線CT装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

X線を照射するX線管と、前記X線の照射領域を制限するコリメータと、前記X線を検出する複数の検出器を有する1以上の検出モジュールと、前記検出器に設置され、前記X線が被写体に照射された場合に前記被写体からの散乱線を除去するグリッドと、記憶装置と、前記検出器の出力を元に感度補正データを作成する前処理装置と、前記感度補正データを用いて前記検出器の出力を補正して、前記補正した出力に基づき前記被写体の画像を再構成する画像再構成処理装置と、前記画像再構成処理装置で再構成した画像を表示する画像表示装置と、を備えたX線CT装置であって、

前記前処理装置は、

前記被写体が無い状態において、前記X線管の位置となる焦点位置を変え、焦点位置毎における各検出モジュールのX線入射率を取得する手段と、

前記被写体が無い状態において、参照信号と前記取得した各検出モジュールのX線入射率との関係を求める手段と、

前記求めた関係を前記記憶装置に記憶する手段と、

前記被写体の撮像時において、被写体撮像時の参照信号と前記記憶された関係を用いて、各検出モジュールの被写体撮像時のX線入射率を算出する手段と、

前記算出された被写体撮像時のX線入射率を用いて、焦点位置毎の感度補正データを求める手段と、

前記焦点位置毎の感度補正データと前記検出器の固有感度に基づいて、該検出器の検出

値を補正する手段と、を有し、

前記グリッドとして、スライス方向に対して垂直な方向の散乱線を除去する 1 次元グリッドを用い、

前記被写体の複数スライス収集モードの撮像を行う場合、前記焦点位置毎の感度補正データは端部スライスにおいて求める

ことを特徴とする X 線 CT 装置。

【請求項 2】

前記前処理装置は、

前記検出モジュールの単位で前記関係を求める

ことを特徴とする請求項 1 に記載の X 線 CT 装置。

10

【請求項 3】

前記参照信号は、前記被写体を通過しない X 線を検出する検出器の出力を用い、

前記取得された焦点位置毎における各検出モジュールの X 線入射率は、前記参照信号の多項式で近似され、

前記関係は、前記多項式の係数である

ことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の X 線 CT 装置。

【請求項 4】

前記参照信号は、前記焦点位置を表す値を用いる

ことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の X 線 CT 装置。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、焦点移動により生じる感度変化を補正する X 線 CT 装置に関する。

【背景技術】

【0002】

X 線 CT (Computed Tomography) は、被写体の多方向の X 線投影データからコンピュータによる再構成により断層面の各点の X 線吸収係数を算出し、被写体の断層像を得る手法である。被写体に照射する X 線には、電子線をターゲット金属に入射したときに発生する特性 X 線と連続 X 線が用いられる。このとき、電子線のエネルギー付与により機器は熱伸を生じ、X 線の発生位置である焦点は体軸方向へ移動してしまう。焦点の移動に伴って X 線の照射範囲も移動してしまう。

30

【0003】

この焦点位置の移動に伴う問題として、検出器が体軸方向にずれを生じている場合に、端部スライスの画像において発生するアーチファクトが挙げられる。もしも焦点位置が固定であるならば、検出器位置ずれによる X 線入射率の変化は感度補正データによって補正することが可能である。ここで、X 線入射率とは、被写体が無い状態において、焦点から検出器を見込む領域に照射される X 線量に対する、実際に検出器に入射する X 線量の割合である。例えば、焦点から検出器を見込む領域にコリメータが存在すれば、X 線入射率は 100% よりも小さくなる。ところが、感度補正データ収集時における焦点位置と患者データ収集時における焦点位置が異なっていると、検出器の X 線入射率が変化するため、感度補正は不完全となり画像にアーチファクトが生じる。コリメータの開口幅を広く設定することでアーチファクトを低減できるが、無効被ばくが生じる。

40

この対策として、特許文献 1 或いは特許文献 2 に記載されるように、焦点移動範囲をいくつかに分割し、それぞれの小範囲毎に予め X 線検出器感度補正データを収集、保管しておき、被検体のデータ収集時の焦点位置に対応する X 線検出器感度補正データを用いて、X 線検出器感度を補正する方法がある。

【0004】

焦点位置の移動に伴うもう一つの問題として、被写体の散乱線を除去する 2 次元グリッドを用いた場合に、画像の全てのスライスにおいて発生するアーチファクトが挙げられる。

50

前記の問題の対策として、特許文献 3 に記載されるように、スライス方向の収集ピッチよりも小さい複数の X 線検出器をグリッド間に配置し、不感領域を測定によって求めた焦点位置に対応して変化させる方法がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開平 6 - 269443 号公報

【特許文献 2】特開平 10 - 234724 号公報

【特許文献 3】特開 2000 - 93418 号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献 1 及び特許文献 2 に記載された方法では、X 線源である焦点移動が連続的であるのに対して感度補正データは離散的であるため、補正の精度が低下してしまうという問題がある。

また、焦点位置に対応した感度補正データが検出器毎に必要であり、X 線 CT 装置が有する記憶装置内に記憶しなければならないデータ数は膨大となる。

また、特許文献 3 に記載された方法では、実際の収集ピッチよりも小さい複数の検出器を用いる必要があり、それに付随して処理しなければならない信号の数は増大し、全体の装置構成が複雑となる。

20

【0007】

本発明は、以上の点に鑑みてなされたものであり、焦点位置が移動した状態における感度補正データを高い精度で且つ簡便な処理により推定する X 線 CT 装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

前述した目的を達成するために本発明は、X 線を照射する X 線管と、前記 X 線の照射領域を制限するコリメータと、前記 X 線を検出する複数の検出器を有する 1 以上の検出モジュールと、前記検出器に設置され、前記 X 線が被写体に照射された場合に前記被写体からの散乱線を除去するグリッドと、記憶装置と、前記検出器の出力を元に感度補正データを作成する前処理装置と、前記感度補正データを用いて前記検出器の出力を補正して、前記補正した出力に基づき前記被写体の画像を再構成する画像再構成装置と、前記画像再構成装置で再構成した画像を表示する画像表示装置と、を備えた X 線 CT 装置であって、前記前処理装置は、前記被写体が無い状態において、前記 X 線管の位置となる焦点位置を変え、焦点位置毎における各検出モジュールの X 線入射率を取得する手段と、前記被写体が無い状態において、参照信号と前記取得した各検出モジュールの X 線入射率との関係を求める手段と、前記求めた関係を前記記憶装置に記憶する手段と、前記被写体の撮像時において、被写体撮像時の参照信号と前記記憶された関係を用いて、各検出モジュールの被写体撮像時の X 線入射率を算出する手段と、前記算出された被写体撮像時の X 線入射率を用いて、焦点位置毎の感度補正データを求める手段と、前記焦点位置毎の感度補正データと前記検出器の固有感度に基づいて、該検出器の検出値を補正する手段と、を有し、前記グリッドとして、スライス方向に対して垂直な方向の散乱線を除去する 1 次元グリッドを用い、前記被写体の複数スライス収集モードの撮像を行う場合、前記焦点位置毎の感度補正データは端部スライスにおいて求めることを特徴とする X 線 CT 装置である。

30

40

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、焦点位置が移動した状態における感度補正データを高い精度で且つ簡便な処理により推定することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0010】

50

【図 1】本発明の第 1 の実施形態に係る X 線 CT 装置の概略構成図である。

【図 2】第 1 の実施形態に係る検出器と 1 次元グリッドから構成されるモジュールを示す図である。

【図 3】第 1 の実施形態に係るモジュールの円弧状配置の一例を示す図である。

【図 4】第 1 の実施形態に係る N_s スライス収集における X 線照射範囲を示す図である。

【図 5】第 1 の実施形態に係る照射範囲が移動することで X 線入射率が変化することを説明するための図である。

【図 6】第 1 の実施形態に係る 2 スライス収集における照射範囲を示す図である。

【図 7】第 1 の実施形態に係る最大スライスモード収集における補正のためのモジュール配置を示す図である。

【図 8】第 2 の実施形態に係る X 線 CT 装置の概略構成図である。

【図 9】第 3 の実施形態に係る X 線 CT 装置の概略構成図である。

【図 10】第 3 の実施形態に係る検出器と 2 次元グリッドから構成されるモジュールを示す図である。

【図 11】第 3 の実施形態に係る一部の 2 次元グリッドを除去したモジュールを示す図である。

【図 12】第 4 の実施形態に係る X 線 CT 装置の概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0011】

第 1 の実施形態

以下に、添付図面を参照しながら、本発明の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、以下の説明および添付図面において、略同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略することとする。

【0012】

図 1 は、X 線 CT 装置 100 の概略構成図である。

X 線 CT 装置 100 は、検出器 1、X 線管 2、コリメータ 3、1 次元グリッド 4、データ収集装置 6、前処理装置 7、記憶装置 8、画像再構成処理装置 9、画像表示装置 10 を含む構成である。

X 線管 2 は X 線を照射する。以下の説明では X 線管 2 を焦点とも呼び、その位置を焦点位置とする。コリメータ 3 は、照射された X 線を所定の照射範囲（例えば、ビーム形状）に制限する。コリメータ 3 によって照射範囲を絞られた X 線は、被射体 5 や寝台（図示せず）を透過する。

【0013】

1 次元グリッド 4 は、被写体 5 から発生する x 方向の散乱線を除去する。検出器 1 は、被写体 5 を透過した X 線を検出する。データ収集装置 6 は、検出器 1 からの出力をアナログ信号からデジタル信号に変換する。前処理装置 7 は、焦点位置に対応した感度補正データを推定する。記憶装置 8 は、被写体 5 を通過しない X 線を検出するリファレンス検出器における X 線入射率と他の検出器における X 線入射率との関係を記憶する。画像再構成処理装置 9 は、収集データに対して感度補正や CT 値調整などの様々な補正処理を実行後、画像再構成演算を実行する。画像表示装置 10 は、再構成画像を表示する。

【0014】

X 線 CT 装置 100 では次のように被写体 5 の撮像が行われる。

X 線管 2 から発生する X 線は被写体 5 を通過した後、検出器 1 によって検出される。このときの入射 X 線量と検出器 1 で検出される X 線量から、X 線の被写体 5 による減衰率 D を求める。被写体 5 を通過する X 線の減衰率 D は指数関数により以下のように表される。

【0015】

【数 1】

$$D = \exp\left\{-\int \mu \cdot dL\right\} \quad \dots \text{式(1)}$$

【0016】

10

20

30

40

50

ここで、 μ は被写体5の減弱係数であり、指数関数の線積分はX線管2の位置(X線の発生位置)と検出器1を結ぶ直線上で行われる。したがって、この減衰率Dの対数をとることによって、ある方向における減弱係数 μ の積分値のプロファイルを求めることができる。さらに、X線管2と検出器1を被写体5の周りを回転させながらX線を測定することで、全方向における減弱係数 μ の積分値のプロファイルを求める。これらのプロファイルから画像再構成することによって、被写体5内の減弱係数 μ の分布を画像として取得することができる。

【0017】

次に、前処理装置7で実行する、焦点位置に対応した感度補正データの推定方法について説明する。

10

本実施形態におけるX線CT装置100の検出器1は、モジュール単位で実装される。図2は、検出器1と1次元グリッド4から構成されるモジュールを示す図である。図2に示すように、1つの検出器モジュールにはz方向に N_z 個、x方向に N_x 個の検出器が配置されている。

図3は、X線CT装置100におけるモジュールの配置の一例を示す図である。図3に示すように、X線CT装置100の検出器モジュール11は、x方向に円弧状に N_m 個並んでいるものとする。

ここで、被写体5が無い状態においてX線を照射した場合、検出器1で測定されるX線量は次式で表される。

【0018】

20

【数2】

$$X(z, x, m, f) = I \cdot S(z, x, m) \cdot R(z, x, m, f) \quad \dots \text{式}(2)$$

【0019】

ここで、Iは照射するX線の強度、Sは検出器1の固有感度、RはX線入射率である。mはモジュール番号(1 m N_m)、zはモジュールm内のz方向の検出器番号(1 z N_z)、xはモジュールm内のx方向の検出器番号(1 x N_x)である。また、fはz方向の焦点位置を表す。

【0020】

ここで、X線CT装置100による撮像を N_s スライス収集モードで撮像するとする。図4は、 N_s スライス収集におけるX線照射範囲を示す図である。図4における焦点12は図1におけるX線管2である。 N_s スライス収集モードでは、z方向の検出器番号が($N_z/2 - N_s/2 + 1$) ~ ($N_z/2 + N_s/2$)における検出器での出力を用いて画像再構成を行う。

30

焦点12の位置がz方向に移動してしまうと、コリメータ3が照射領域を覆ってしまうため、端部スライスとなるz方向の検出器番号($N_z/2 + N_s/2$)の検出器1におけるX線入射率Rは100%よりも小さくなってしまふ。

【0021】

さらに、検出器1がz方向に互いに位置ずれを生じている場合、感度補正データ収集時の焦点位置と被写体5の撮像時の焦点位置とが異なると、画像にアーチファクトが生じてしまふ。

40

図5は、照射範囲が移動することでX線入射率が変化することを説明するための図である。例えば、図5に示すモジュール番号(m+1)のモジュールでは、端部スライスにおける検出器1のz方向のずれは生じていないが、モジュール番号mのモジュールでは、端部スライスにおける検出器1のz方向のずれが生じるため、モジュール番号mのモジュールではX線入射率が変わってしまい、結果、再構成画像にアーチファクトが生ずることになる。

このように、実際の検出器1のずれはモジュール単位で起こることが多いため、本実施形態においてもモジュール毎にずれが発生している場合を考える。

従ってX線入射率Rはモジュール内のx方向の位置に依存しない関数となり、(式2)

50

は次式のようになる。

【 0 0 2 2 】

【数 3】

$$X(z, x, m, f) = I \cdot S(z, x, m) \cdot R(z, m, f) \quad \dots \text{式(3)}$$

【 0 0 2 3 】

即ち、端部スライスにおける X 線入射率 R がモジュール毎に求めれば、アーチファクトを生じないデータを取得することができる。

次に、リファレンス検出器における X 線入射率 R から他のモジュールにおける X 線入射率 R を求める方法について説明する。リファレンス検出器は、照射された X 線を直接検出するための検出器である。そのため、被写体 5 に覆われる可能性が少ない x 方向の端部の検出器 1 がリファレンス検出器として用いられる。

10

【 0 0 2 4 】

本実施例では、モジュール番号 $m = 1$ におけるモジュールの x 方向の検出器番号 1 ~ 4 の検出器をリファレンス検出器に設定する。例えば、 N_s スライス収集モードにおける端部スライス ($z = N_z / 2 + N_s / 2$) におけるリファレンス検出器の出力として、 $m = 1$ 、 $z = N_z / 2 + N_s / 2$ 、 $x = 1 \sim 4$ の 4 つの検出器 (図 2 に示すモジュールが番号 $m = 1$ であるとすると、枠 A 内の検出器) の平均値を用いる。

【 0 0 2 5 】

はじめに、コリメータ 3 の開口幅を全開に設定し、被写体 5 の無い状態で検出器 1 の固有感度補正データ X_{air} を収集する。このとき、X 線照射率 R は 100% となるため、固有感度補正データ X_{air} は次式のようになる。

20

【 0 0 2 6 】

【数 4】

$$X_{air}(z, x, m) = I \cdot S(z, x, m) \quad \dots \text{式(4)}$$

【 0 0 2 7 】

ただし、検出器 1 の出力は焦点位置に依存しないとして、出力値 X の焦点位置 f を省略した。

次に、コリメータ 3 を N_s スライス収集モードにおける開口幅に設定し、焦点位置を変えながら被写体 5 の無い状態で収集すると、検出器 1 の出力値 X は次式のようになる。

30

【 0 0 2 8 】

【数 5】

$$X_f(z, x, m, f) = I \cdot S(z, x, m) \cdot R(z, m, f) \quad \dots \text{式(5)}$$

【 0 0 2 9 】

このとき、X 線管 2 の位置である焦点 1 2 そのものを移動させながら収集させてもよいが、コリメータ 3 を z 方向に移動させて照射領域を変えることで、焦点 1 2 を移動させた場合と同じ収集データを取得することができる。

X 線入射率 R は (式 4) と (式 5) とから次式のように求められる。

40

【 0 0 3 0 】

【数 6】

$$R(z, m, f) = \frac{X_f(z, x, m, f)}{X_{air}(z, x, m)} \quad \dots \text{式(6)}$$

【 0 0 3 1 】

ここで、統計精度を向上させるために、モジュール内の x 方向における平均により X 線入射率 R を求めてもよい。

次に、モジュール毎の X 線入射率 $R(z, m, f)$ をリファレンス検出器が存在するモジュール (モジュール番号 $m = 1$) の X 線入射率 $R(z, 1, f)$ によって以下のように

50

多項式で近似する。なお、 f は z 方向の焦点位置を表す。

【 0 0 3 2 】

【 数 7 】

$$R(z, m, f) \approx \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot R(z, 1, f)^n \quad \dots \text{式(7)}$$

【 0 0 3 3 】

(式7)における係数 a_n は、参照信号であるリファレンス検出器が存在するモジュールのX線入射率とモジュール毎のX線入射率との関係を示す係数である。即ち、この係数 a_n を予め最小自乗法等で求めておけば、被写体5を撮像中においても、リファレンス検出器におけるX線入射率 R から各モジュールのX線入射率 R を(式7)より推定することが可能である。係数 a_n は、端部スライス ($z = N_z/2 + N_s/2$) においてモジュール毎に求め、記憶装置8に記憶される。また、他のスライス収集モードにおいても、係数 a_n は、端部スライスにおいてモジュール毎に求める。

10

【 0 0 3 4 】

被写体5を撮像している場合、リファレンス検出器におけるX線入射率 R は、検出器1の出力値 X を固有感度 S およびX線強度 I で除することで求められる。図4に示すように N_s スライス収集モードであれば、X線強度 I は端部スライスの内側のスライスの検出器1の出力から求められる。

20

ただし、2スライス収集モード ($N_s = 2$) の場合は、2つのスライスが端部スライスとなり、内側のスライスの検出器出力が得られないことから、次のようにX線強度 I を求める。

【 0 0 3 5 】

図6は、2スライス収集モードにおける照射範囲を示す図である。

はじめに、コリメータ3の開口幅を2スライス収集モードに設定し、ある焦点位置 f におけるリファレンス検出器のX線入射率 R を(式6)により求め、それらの z 方向への積分値 R_{sum} を求める。この値 R_{sum} は、焦点位置 f によらない定数であり、記憶装置8に記憶される。被写体5の撮像時のX線強度を $I_{patient}$ とすると、このときのリファレンス検出器の出力を固有感度補正した後、 z 方向へ積分した値 I_{sum} は $(I_{patient}/I) \times R_{sum}$ となる。ここで、 I は固有感度補正データ収集時のX線の強度である。したがって、 I_{sum} を R_{sum} で割った値 ($I_{patient}/I$) で、固有感度補正後のリファレンス検出器の出力を除することで、リファレンス検出器におけるX線入射率 R を求める。

30

【 0 0 3 6 】

以上のようにして、リファレンス検出器におけるX線入射率 R を求めれば、各モジュールにおけるX線入射率も求めることが可能であり、その値を(式4)に乗じることで焦点位置毎の感度補正データ X'_{air} が次式のように得られる。

【 0 0 3 7 】

【 数 8 】

$$X'_{air}(z, x, m, f) = I \cdot S(z, x, m) \cdot R(z, m, f) \quad \dots \text{式(8)}$$

40

【 0 0 3 8 】

画像再構成処理装置9は、各焦点位置において検出器1によって検出された収集データを、前処理装置7によって作成された感度補正データ X'_{air} による感度補正やCT値調整などの各種補正を行った後に画像を再構成し、画像表示装置10はその画像を表示する。

【 0 0 3 9 】

本発明は、焦点位置に対応したX線入射率を(式7)のような連続的な関数によって求めているため、結果として得られる感度補正データ X'_{air} の精度も高くなる。

また、(式7)における多項式は実際には2次程度の近似で十分であり、記憶装置8に保持しなければならない係数 a_n の数も少なくすむ。特許文献1及び特許文献2に記載

50

されている方法では、焦点位置毎に各検出器の補正データを記憶する必要があるが、本発明では係数 a_n を記憶装置 8 に保持しておけばよい。

【0040】

また、前記のリファレンス検出器を参照信号とする方法では、コリメータ 3 の位置ずれや回転による歪みの効果も X 線入射率の変化に含まれるため、焦点移動だけでなくこれらの効果も補正できる感度補正データの推定が可能である。

また、(式 6) の X 線入射率の測定、即ち、係数 a_n の算出は装置の据付時に行えばよく、スキャン速度とチルト角度のパラメータ毎に測定する。また、モジュールや X 線管 2 の交換を行った場合にも (式 6) の X 線入射率の測定を行う。

【0041】

従来の感度補正データはスライス収集モード毎に開口幅を変えて測定する必要があったが、本発明ではコリメータ開口幅を全開に設定して 1 度だけ測定すればよく、日々の感度補正データ収集の頻度を大幅に低減できる。

本発明は、特開平 4-227238 号公報に示すような焦点位置に対応してコリメータ 3 を移動させる方法と組み合わせることも可能である。

【0042】

次に、本実施の形態に関する変形例について説明する。

前記の実施形態では、モジュール毎の X 線入射率の値は、(式 7) に示すように、同一スライスにおけるリファレンス検出器の値により近似したが、以下のように近似してもよい。

【0043】

【数 9】

$$R(z, m, f) \approx \sum_{n=0}^{\infty} a'_n \cdot \left(\sum_{z'} R(z', 1, f) \right)^n \quad \dots \text{式(9)}$$

【0044】

(式 9) に示すように、z 方向における複数のリファレンス検出器についての和で近似することも可能である。このとき、被写体 5 の撮像時におけるリファレンス検出器の X 線入射率も、複数の検出器の和で求める。z 方向に加算した X 線入射率を用いることで、統計精度を向上することができる。

【0045】

また、別の変形例として、被写体 5 の撮像時におけるリファレンス検出器の X 線入射率をビュー方向、即ち、検出器 1 の回転方向への加算平均によって求める方法がある。焦点の移動が無視できる範囲のビュー数において X 線入射率の平均を求めることで、統計精度を向上することができる。

【0046】

また、前記の実施形態では、リファレンス検出器が存在するモジュールの番号は $m = 1$ としてきたが、 $m = N_m$ におけるモジュールの検出器をリファレンス検出器に用いてもよい。どちらのモジュールにおけるリファレンス検出器を用いるかについては、検出器 1 の出力値により判断する。つまり、リファレンス検出器に入射した X 線が被写体を通過したかを判断するために閾値を設定し、この閾値よりも出力が高い (減衰が小さい) 場合のリファレンス検出器の出力を用いる。

モジュール番号 $m = 1$ 、 $m = N_m$ の両方のモジュールにおけるリファレンス検出器が有効であるならば、それぞれのリファレンス検出器における X 線入射率から、他のモジュールの X 線入射率を求め、それらの加算平均を用いて感度補正データを計算してもよい。

【0047】

また、前記の実施形態を利用して最大スライス収集モードにおける補正処理を行うことも可能である。

図 7 は、モジュールを装置に実装する際に、モジュール番号 $m = 1$ と $m = N_m$ のモジュ

10

20

30

40

50

ールをスライス中心軸よりも意図的にずらして配置したモジュール配列を示す図である。図7に示すように配置することで、最大スライス収集モードにおいても前記実施形態は適用可能となり、モジュールをずらすことにより、リファレンス検出器に対してコリメータ3の影を作ることができるため、リファレンス検出器のX線入射率と他のモジュールのX線入射率を関係付けることができる。図7に示す例では、z方向の検出器番号 $z = 1$ 、 $z = N_z$ におけるX線入射率は、それぞれモジュール番号 $m = N_m$ 、 $m = 1$ におけるリファレンス検出器の出力を用いる。

【0048】

第2の実施形態

次に、第2の実施形態について説明する。

図8は、第2の実施形態に係るX線CT装置200の概略構成図である。

X線CT装置200は、検出器1、X線管2、コリメータ3、1次元グリッド4、データ収集装置6、前処理装置7、記憶装置8、画像再構成処理装置9、画像表示装置10、焦点位置検出器13、焦点位置測定装置14を含む構成である。

検出器1、X線管2、コリメータ3、1次元グリッド4、データ収集装置6、画像再構成処理装置9、画像表示装置10は、図1に示すX線CT装置100のそれと同様の構成、機能を有する。

【0049】

焦点位置検出器13は、X線管2(焦点12)の位置を検知し、焦点位置測定装置14は焦点の位置座標を求める。

記憶装置8は、焦点位置測定装置14によって測定された焦点位置と検出器1におけるX線入射率との関係を記憶する。

【0050】

次に、前処理装置7で実行する、焦点位置に対応した感度補正データの推定方法について説明する。

X線CT装置200の検出器1はモジュール単位で実装されており、X線CT装置100の場合と同様に、1つの検出器モジュールには図2に示すように検出器1が配置され、検出器モジュールは図3に示すように円弧状に配置される。

X線CT装置200において、 N_s スライス収集モードについてモジュール毎にずれが発生した場合を考える。

X線CT装置100の場合では、(式7)に示すように、モジュール毎のX線入射率をリファレンス検出器におけるX線入射率で表したが、第2の実施形態では、モジュール毎のX線入射率 R を焦点位置 f によって表す。即ち、焦点位置検出器13、焦点位置測定装置14によって測定された焦点位置が参照信号となる。

【0051】

まず、コリメータ3の開口幅を全開に設定し、被写体5の無い状態で検出器の固有感度を収集する(式4)。次に、コリメータ3を N_s スライス収集モードにおける開口幅に設定し、焦点位置 f を変えながら被写体5の無い状態で収集する(式5)。このとき、焦点位置 f を焦点位置検出器13及び焦点位置測定装置14によって同時に測定する。こうして(式4)と(式5)から、(式6)が得られる。

次に、各モジュールにおけるX線入射率 R を焦点位置 f によって以下のように多項式で近似する。

【0052】

【数10】

$$R(z, m, f) \approx \sum_{n=0}^{\infty} b_n \cdot f^n \quad \cdots \text{式(10)}$$

【0053】

(式10)における係数 b_n は、参照信号である焦点位置 f とモジュール毎のX線入射

10

20

30

40

50

率 R との関係を示す係数である。即ち、この係数 b_n を予め最小自乗法等で求めておき、記憶装置 8 に記憶しておけば、被写体 5 を撮像中においても、各焦点位置 f から各モジュールの X 線入射率 R を (式 10) より推定することが可能である。

【 0 0 5 4 】

他のスライス収集モードにおいても、係数 b_n は、端部スライスにおいてモジュール毎に求める。

求めた X 線入射率 R を (式 4) に乗じることで、焦点位置に対応した感度補正データを作成する。収集データは、画像再構成処理装置 9 において、焦点位置 f に対応した感度補正データによる感度補正や CT 値調整などの各種補正後に画像再構成され、画像表示装置 10 によって画像が表示される。

【 0 0 5 5 】

第 2 の実施形態では、焦点位置に対応した X 線入射率を (式 10) のような連続的な関数によって求めているため、結果として得られる感度補正データ X'_{air} の精度も高くなる。

また、(式 10) における多項式は実際には 2 次程度の近似で十分であり、記憶装置 8 に保持しなければならない係数 b_n の数も少なくすむ。

また、係数 b_n は装置の据付時などに求めればよい。

【 0 0 5 6 】

本第 2 の実施形態を、特開平 4 - 2 2 7 2 3 8 号公報に記載されたような焦点位置に対応してコリメータ 3 を移動させる方法と組み合わせることも可能である。

(式 10) に示す各モジュールの X 線入射率 R を収集する際、コリメータ 3 の開口の中心は、スライス中心軸上に位置する。そのため、焦点移動に対応してコリメータ 3 を移動した場合には、測定した焦点位置 f とコリメータ開口の中心位置から、コリメータ開口の中心がスライス中心軸上に存在したときに相当する焦点位置 f' を算出し、 f' を (式 10) に代入して各モジュールにおける X 線入射率 R を計算する。この X 線入射率 R から、焦点位置に対応したビュー毎の感度補正データが求まる。

コリメータ 3 を移動させる方法では、焦点の移動を検出してからコリメータ 3 の移動の命令を発行し、移動が完了するまで遅延が生じる場合がある。この制御の遅延に起因した照射領域のずれの影響は、データ収集終了後、ビュー毎の感度補正データを用いて感度補正することで低減することができる。

【 0 0 5 7 】

第 3 の実施形態

次に、第 3 の実施形態について説明する。

図 9 は、第 3 の実施形態に係る X 線 CT 装置 300 の概略構成図である。

X 線 CT 装置 300 は、検出器 1、X 線管 2、コリメータ 3、データ収集装置 6、前処理装置 7、記憶装置 8、画像再構成処理装置 9、画像表示装置 10、2 次元グリッド 15、X 線強度検出器 16、X 線強度測定装置 17 を含む構成である。

検出器 1、X 線管 2、コリメータ 3、データ収集装置 6、記憶装置 8、画像再構成処理装置 9、画像表示装置 10 は、図 1 に示す X 線 CT 装置 100 のそれと同様の構成、機能を有する。

【 0 0 5 8 】

2 次元グリッド 15 は、被写体 5 から発生する x 方向と z 方向の散乱線を除去する。

X 線強度検出器 16 は照射される X 線強度を検出し、X 線強度測定装置 17 は、X 線強度を測定する。

【 0 0 5 9 】

次に、前処理装置 7 で実行する、焦点位置に対応した感度補正データの推定方法について説明する。

X 線 CT 装置 300 の検出器 1 は、モジュール単位で実装される。図 10 は、検出器と 2 次元グリッドから構成されるモジュールを示す図である。図 10 に示すように、1 つの検出器モジュールには z 方向に N_z 個、x 方向に N_x 個の検出器 1 が配置される。また、

10

20

30

40

50

被写体 5 から発生する x 方向と z 方向の散乱線を除去するための 2 次元グリッド 15 が検出器 1 の前面に装着される。

また、X 線 CT 装置 300 におけるモジュールは、図 3 に示すように、x 方向に円弧状に N_m 個配置されるものとする。

【0060】

前記の第 1 の実施形態及び第 2 の実施形態では、コリメータ 3 の影が生じる端部スライスにおける X 線入射率のみを考慮していたが、第 3 の実施形態では、焦点移動によって 2 次元グリッド 15 による影も生じるため、全てのスライスにおける X 線入射率を求める。

以下、X 線 CT 装置 300 において、 N_s スライス収集モードの撮像においてモジュール毎にずれが発生した場合を考える。

【0061】

第 1 の実施形態と同様に、モジュール番号 $m = 1$ のモジュールにリファレンス検出器を設け、リファレンス検出器における X 線入射率から他のモジュールにおけるスライス毎の X 線入射率を求める方法について説明する。

はじめに、コリメータ 3 の開口幅を全開に設定し、被写体 5 の無い状態で検出器の固有感度を収集する。このとき、焦点位置が必ずしもスライス中心軸上にあるとは限らないため、検出器の出力 X_{air} は次式のように焦点位置 f に依存した関数となる。

【0062】

【数 1 1】

$$X_{air}(z, x, m, f_{air}) = I \cdot S(z, x, m) \cdot R(z, m, f_{air}) \quad \dots \text{式(11)}$$

【0063】

ここで、 f_{air} は検出器の固有感度 S を収集したときの焦点位置であり、その位置での X 線入射率を $R(z, m, f_{air})$ とする。

次に、コリメータ 3 を N_s スライス収集モードにおける開口幅に設定し、焦点位置を変えながら被写体の無い状態で収集すると、焦点位置 f における検出器の出力 X_f は以下のようなになる。

【0064】

【数 1 2】

$$X_f(z, x, m, f) = I \cdot S(z, x, m) \cdot R(z, m, f) \quad \dots \text{式(12)}$$

【0065】

ここで、 $R(z, m, f)$ は焦点位置 f における X 線入射率である。

(式 11) と (式 12) より、X 線入射率 R' は次式のように表される。

【0066】

【数 1 3】

$$R'(z, m, f) = \frac{R(z, m, f)}{R(z, m, f_{air})} = \frac{X_f(z, x, m, f)}{X_{air}(z, x, m, f_{air})} \quad \dots \text{式(13)}$$

【0067】

次に、モジュール毎の X 線入射率 $R'(z, m, f)$ をリファレンス検出器が存在する番号 $m = 1$ のモジュールの X 線入射率 $R'(z, 1, f)$ によって以下の多項式で近似する。

【0068】

【数 1 4】

$$R'(z, m, f) \approx \sum_{n=0}^{\infty} c_n \cdot R'(z, 1, f)^n \quad \dots \text{式(14)}$$

10

20

30

40

50

【 0 0 6 9 】

(式14)における係数 c_n は、参照信号であるリファレンス検出器が存在するモジュールのX線入射率とモジュール毎のX線入射率との関係を示す係数である。即ち、この係数 c_n を予め最小自乗法等で求めておけば、被写体5を撮像中においても、リファレンス検出器におけるX線入射率 R' から各モジュールのX線入射率 R' を(式14)より推定することが可能である。係数 c_n は、それぞれのモジュールにおいてスライス毎に求め、記憶装置8に記憶される。また、他のスライス収集モードにおいても、係数 c_n は、それぞれのモジュールにおいてスライス毎に求められる。

【 0 0 7 0 】

被写体5を撮像している場合、リファレンス検出器におけるX線入射率 R' は、検出器の出力値 X を固有感度 S およびX線強度 I で除することで求める。X線強度 I は、X線強度検出器16、X線強度測定装置17で測定される。

このように、リファレンス検出器におけるX線入射率 R' が求めれば、各モジュールにおけるX線入射率 R' も求めることが可能であり、その値を(式11)に乗じることで焦点位置毎の感度補正データ X'_{air} が以下のように得られる。

【 0 0 7 1 】

【 数 1 5 】

$$X'_{air}(z, x, m, f) = I \cdot S(z, x, m) \cdot R(z, m, f) \quad \dots \text{式(15)}$$

【 0 0 7 2 】

画像再構成処理装置9は、各焦点位置において検出器1によって検出された収集データを、前処理装置7によって作成された感度補正データ X'_{air} による感度補正やCT値調整などの各種補正を行った後に画像を再構成し、画像表示装置10はその画像を表示する。

【 0 0 7 3 】

このように、第3の実施形態では、焦点位置に対応したX線入射率を(式14)のような連続的な関数によって求めているため、結果として得られる感度補正データ X'_{air} の精度も高くなる。

また、(式14)における多項式は実際には2次程度の近似で十分であり、記憶装置8に保持しなければならない係数 c_n の数も少なくすむ。

【 0 0 7 4 】

前記の方法では、被写体5を撮像している場合のX線強度 I をX線強度検出器16とX線強度測定装置17によって求めたが、X線強度を他の方法で求めることも可能である。

図11は、検出器と一部のグリッドを取り除いた2次元グリッドから構成されるモジュールを示す図である。

図11に示すように、モジュール番号 $m = 1$ のモジュールにおけるリファレンス検出器に対する散乱線除去用のグリッドを取り除くことで、X線強度 I をリファレンス検出器により測定することができる。この場合、図11に示すグリッドを一部取り除いたモジュール番号 $m = 1$ のリファレンス検出器はX線強度 I を測定するために利用し、(式13)に示すX線入射率 R' は、モジュール番号 $m = N_m$ におけるリファレンス検出器から求めればよい。

【 0 0 7 5 】

第4の実施形態

次に、第4の実施形態について説明する。

図12は、第4の実施形態に係るX線CT装置400の概略構成図である。

X線CT装置400は、検出器1、X線管2、コリメータ3、データ収集装置6、前処理装置7、記憶装置8、画像再構成処理装置9、画像表示装置10、2次元グリッド15、X線強度/焦点位置検出器18、X線強度/焦点位置測定装置19を含む構成である。

検出器1、X線管2、コリメータ3、データ収集装置6、画像再構成処理装置9、画像表示装置10は、図1に示すX線CT装置100のそれと同様の構成、機能を有する。

【 0 0 7 6 】

10

20

30

40

50

2次元グリッド15は、X線が被写体5に照射される際に発生するx方向とz方向の散乱線を除去するものであり、図10に示す構造を有する。

X線強度/焦点位置検出器18は、X線管2の位置(焦点位置)とX線強度を検出し、X線強度/焦点位置測定装置19は、X線管2の位置(焦点位置)とX線管2から照射されるX線強度を測定する。

【0077】

次に、前処理装置7で実行する、焦点位置に対応した感度補正データの推定方法について説明する。

X線CT装置400の検出器1はモジュール単位で実装される。図10に示すモジュールと同様、X線CT装置400の1つの検出器モジュールにはz方向に N_z 個、x方向に N_x 個の検出器1が配置される。また、被写体5から発生するx方向とz方向の散乱線を除去するための2次元グリッド15が検出器1の前面に装着される。

10

また、X線CT装置400におけるモジュール11は、図3に示すように、x方向に円弧状に N_m 個配置されるものとする。

【0078】

X線CT装置400では、X線CT装置300と同様に、焦点移動によって2次元グリッド15による影を生じるため、全てのスライスにおけるX線入射率を求める。

以下、X線CT装置400において、 N_s スライス収集モードについてモジュール毎にずれが発生した場合を考え、測定した焦点位置からそれぞれのモジュールにおけるスライス毎のX線入射率を求める方法について説明する。

20

【0079】

まず、コリメータ3の開口幅を全開に設定し、被写体5の無い状態で検出器1の固有感度を収集する(式11)。次に、コリメータ3を N_s スライス収集モードにおける開口幅に設定し、焦点位置 f を変えながら被写体5の無い状態で収集する(式12)。このとき、焦点位置 f をX線強度/焦点位置検出器18、X線強度/焦点位置測定装置19によって同時に測定する。こうして(式11)と(式12)から、(式13)が得られる。次に、各モジュールにおけるX線入射率 R' を焦点位置 f によって以下のように多項式で近似する。

【0080】

【数16】

30

$$R'(z, m, f) \approx \sum_{n=0}^{\infty} d_n \cdot f^n \quad \dots \text{式(16)}$$

【0081】

(式16)における係数 d_n は、参照信号である焦点位置 f とモジュール毎のX線入射率 R との関係を示す係数である。即ち、この係数 d_n を予め最小自乗法等で求めておき、記憶装置8に記憶しておけば、被写体5を撮像中においても、各焦点位置 f から各モジュールのX線入射率 R' を(式16)より推定することが可能である。

【0082】

40

係数 d_n は、それぞれのモジュールにおいてスライス毎に求め、記憶装置8に記憶される。また、他のスライス収集モードにおいても、係数 d_n は、それぞれのモジュールにおいてスライス毎に求められる。

(式16)により求めたX線入射率 R' の値を(式11)に乗じることで焦点位置毎の感度補正データ X'_{air} が以下のように得られる。

【0083】

【数17】

$$X'_{air}(z, x, m, f) = I \cdot S(z, x, m) \cdot R(z, m, f) \quad \dots \text{式(17)}$$

【0084】

50

ここで、X線強度 I は、X線強度/焦点位置検出器 18、X線強度/焦点位置測定装置 19 で測定される。

このように、各焦点位置 f において検出器 1 によって検出された収集データは、前処理装置 7 によって前記の処理に従って感度補正データ X'_{air} として補正され、画像再構成処理装置 9 に出力される。画像再構成処理装置 9 は、感度補正データ X'_{air} に対して CT 値調整などの各種補正を行った後、画像を再構成し、画像表示装置 10 は画像を表示する。

【0085】

このように、第4の実施形態では、焦点位置に対応したX線入射率を(式16)のような連続的な関数によって求めているため、結果として得られる感度補正データ X'_{air} の精度も高くなる。

また、(式16)における多項式は実際には2次程度の近似で十分であり、記憶装置 8 に保持しなければならない係数 d_n の数も少なくすむ。

また、係数 d_n は装置の据付時などに測定し、記憶して置けばよい。

【符号の説明】

【0086】

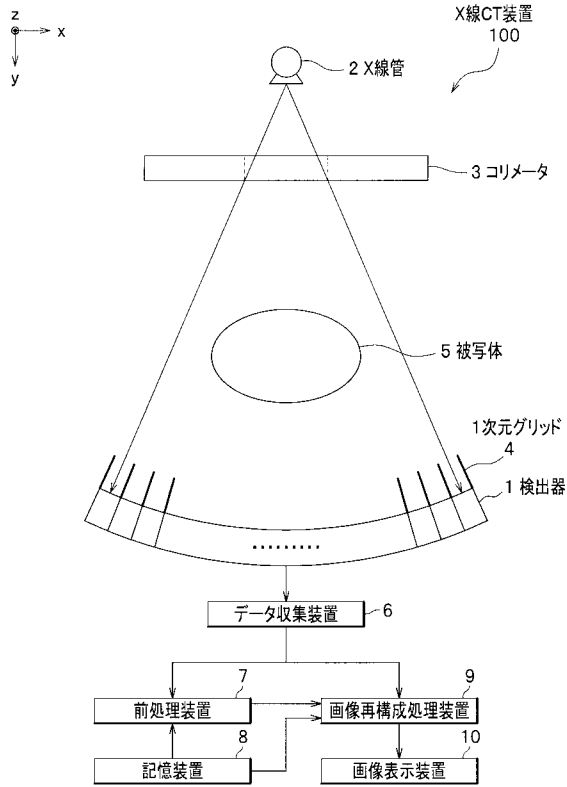
- 1 ... 検出器
- 2 ... X線管
- 3 ... コリメータ
- 4 ... 1次元グリッド
- 5 ... 被写体
- 6 ... データ収集装置
- 7 ... 前処理装置
- 8 ... 記憶装置
- 9 ... 画像再構成処理装置
- 10 ... 画像表示装置
- 11 ... モジュール
- 12 ... 焦点
- 13 ... 焦点位置検出器
- 14 ... 焦点位置測定装置
- 15 ... 2次元グリッド
- 16 ... X線強度検出器
- 17 ... X線強度測定装置
- 18 ... X線強度/焦点位置検出器
- 19 ... X線強度/焦点位置測定装置

10

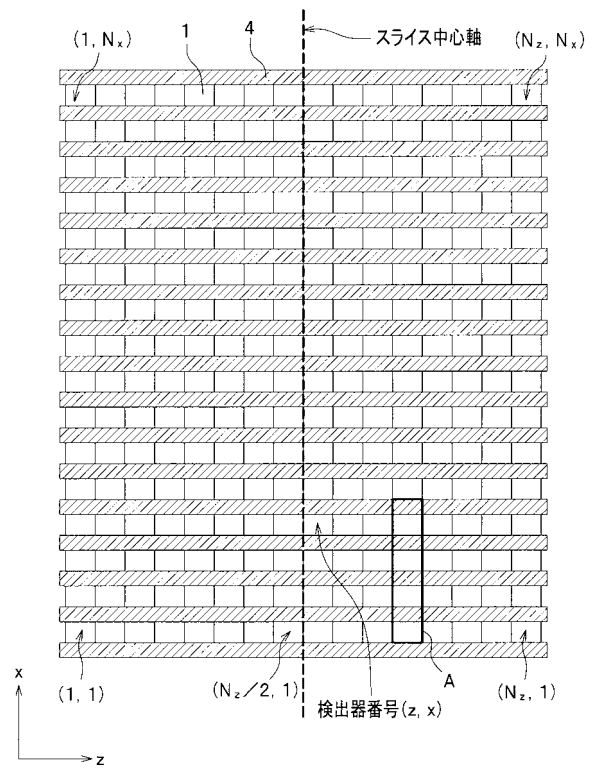
20

30

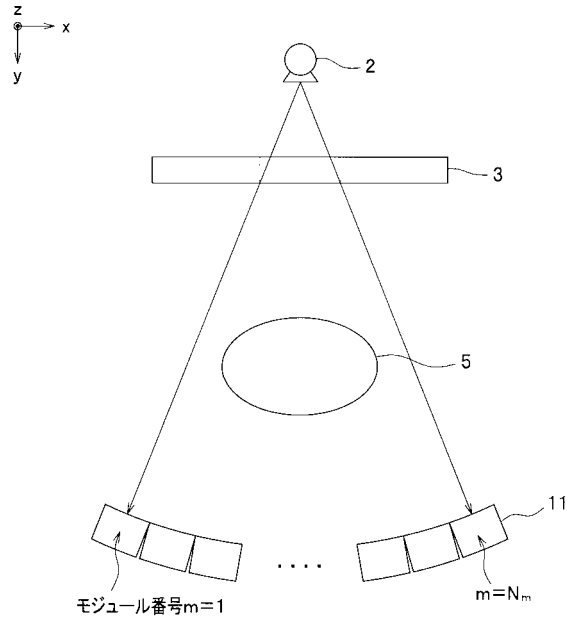
【図1】



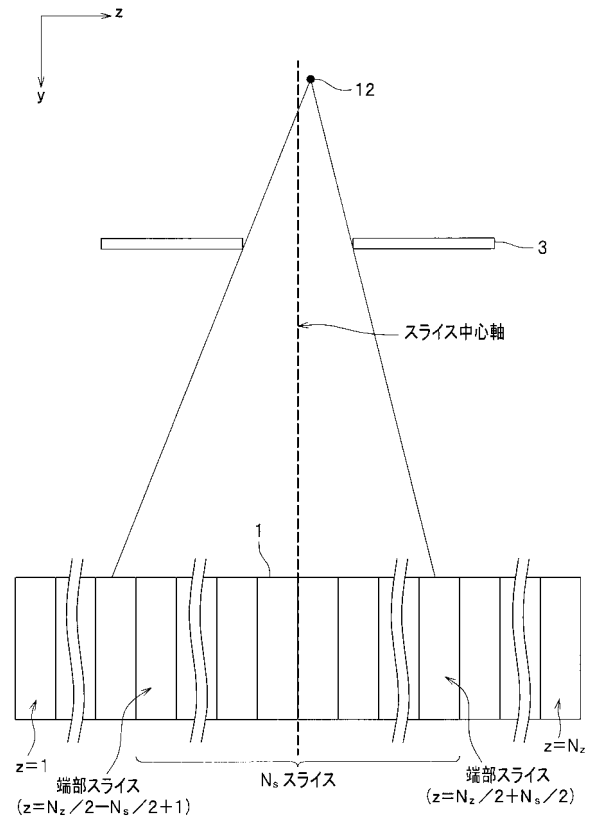
【図2】



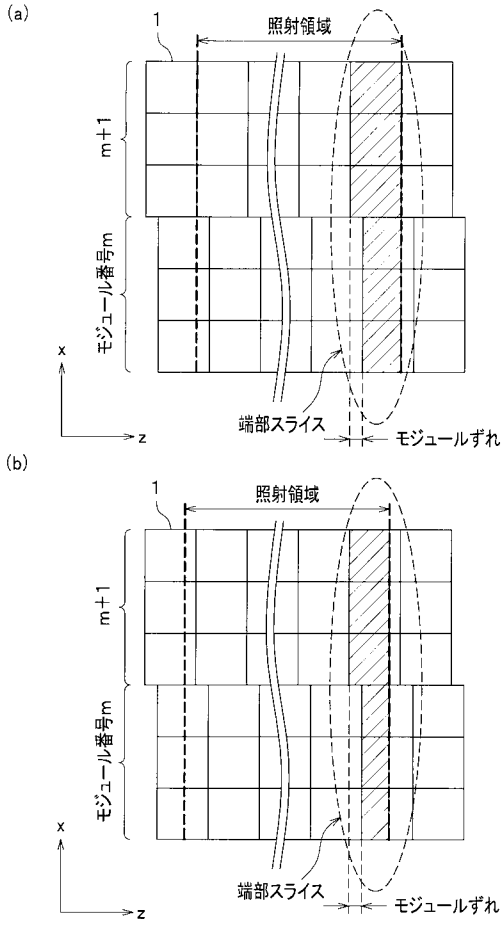
【図3】



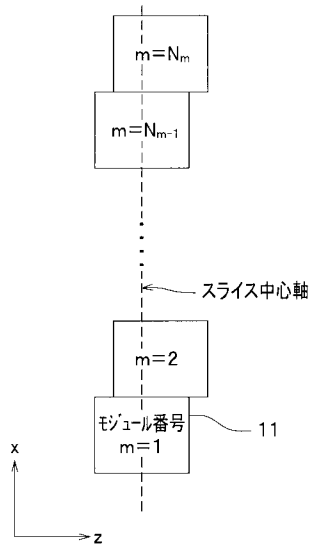
【図4】



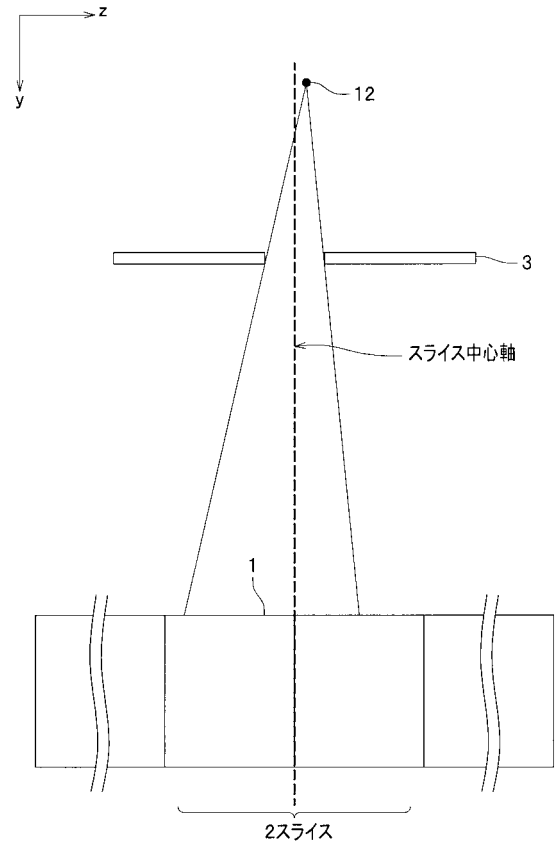
【図5】



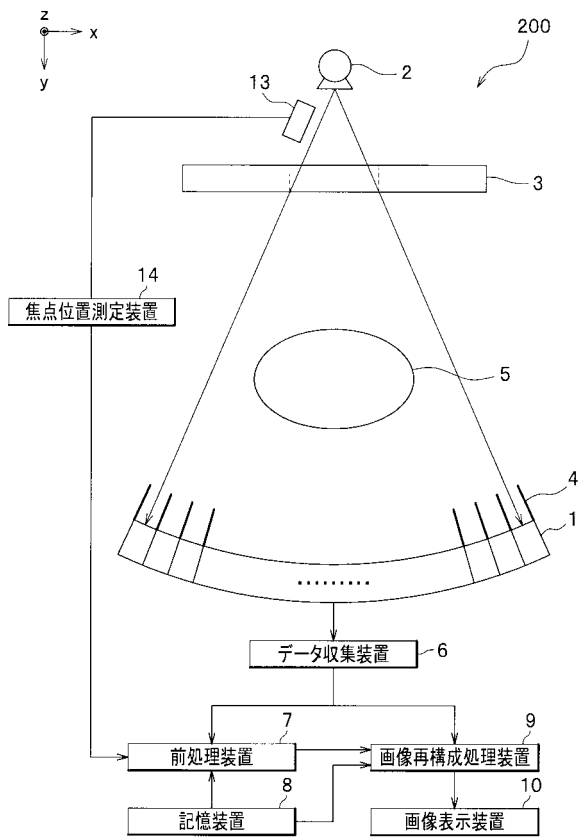
【図7】



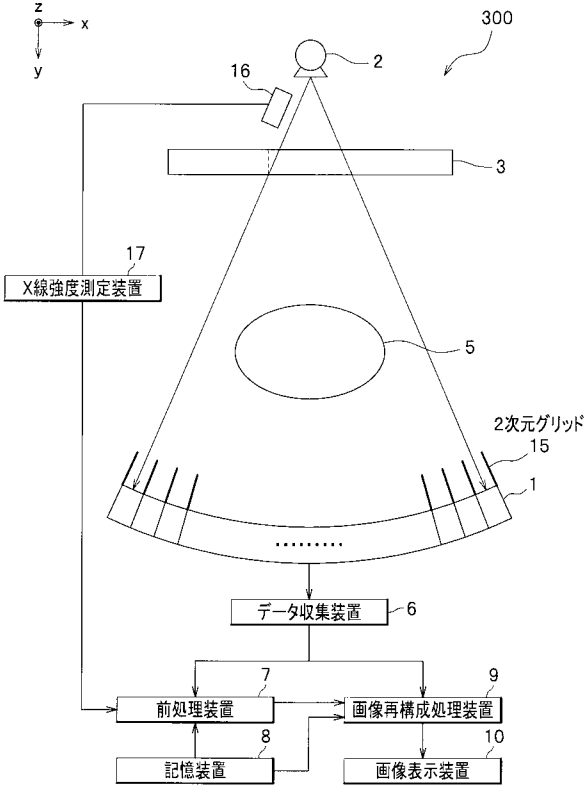
【図6】



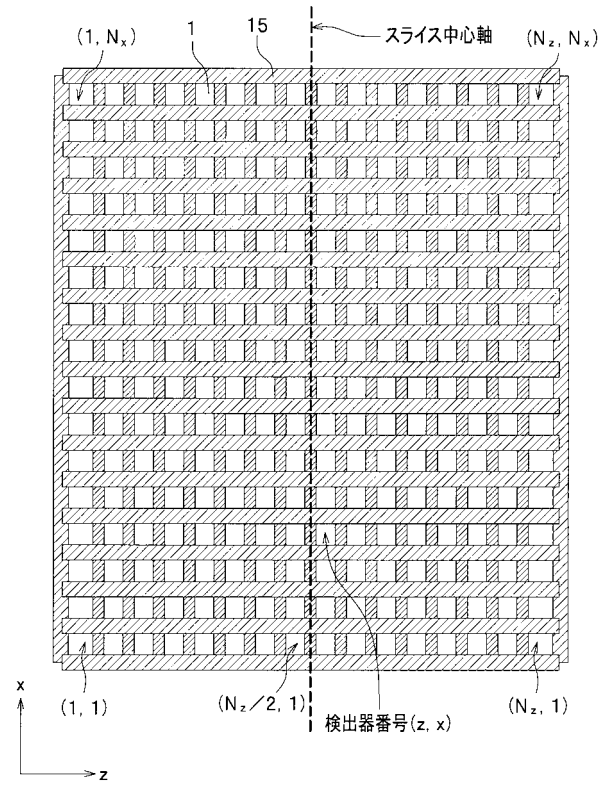
【図8】



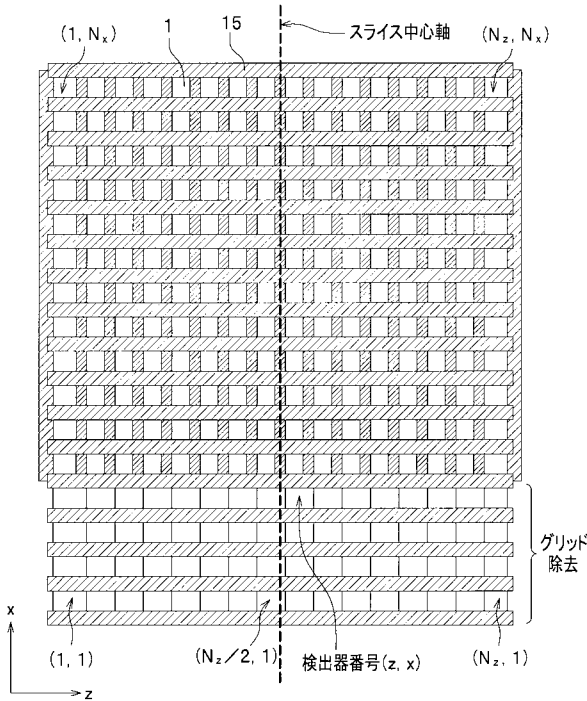
【図9】



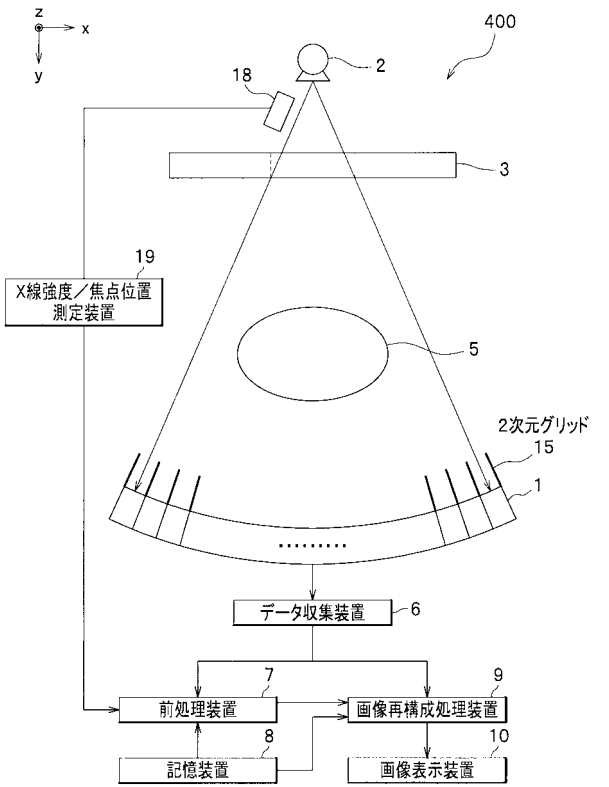
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

- (72)発明者 植木 広則
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内
- (72)発明者 昆野 康隆
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内
- (72)発明者 小嶋 進一
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内
- (72)発明者 坪田 悠史
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地 株式会社日立製作所 中央研究所内

審査官 原 俊文

- (56)参考文献 特開2000-033085(JP,A)
特開平06-269443(JP,A)
特開平10-234724(JP,A)
特開2000-126171(JP,A)
特開2000-051201(JP,A)
特開平10-005210(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 6/03