

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5060862号  
(P5060862)

(45) 発行日 平成24年10月31日(2012.10.31)

(24) 登録日 平成24年8月10日(2012.8.10)

(51) Int.Cl.  
GO 1 N 23/04 (2006.01)

F I  
GO 1 N 23/04

請求項の数 4 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-201857 (P2007-201857)	(73) 特許権者	391017540 東芝 I T コントロールシステム株式会社 東京都新宿区西新宿六丁目 2 4 番 1 号
(22) 出願日	平成19年8月2日 (2007.8.2)	(74) 代理人	100083806 弁理士 三好 秀和
(65) 公開番号	特開2009-36660 (P2009-36660A)	(74) 代理人	100100712 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦
(43) 公開日	平成21年2月19日 (2009.2.19)	(74) 代理人	100095500 弁理士 伊藤 正和
審査請求日	平成22年6月28日 (2010.6.28)	(74) 代理人	100101247 弁理士 高橋 俊一
		(74) 代理人	100098327 弁理士 高松 俊雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 断層撮影装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

放射線源から発生してテーブルに載置される被検体を透過した放射線を放射線検出器で検出して得られた透過データから、前記被検体の断層画像を再構成する断層撮影装置であって、

前記被検体と前記放射線とが、所定の回転軸に対して相対的な回転関係になるように、前記被検体、前記放射線源又は前記放射線検出器の少なくともいずれかを回転する回転手段と、

前記放射線源及び前記放射線検出器を結ぶ光軸と、前記回転軸とで成すラミノ角を変更するように、前記放射線源又は前記放射線検出器の少なくともいずれかを移動するあるいは前記回転軸を傾げる可変手段と、

前記ラミノ角が0°に設定されるとともに回転の振れ量の測定に用いる基準被検体が前記テーブルに載置された状態で、前記回転手段が一回転にわたる制御をするとき、所定の回転角度ごとに前記放射線検出器で検出された透過データから、回転の振れ量を求める算出手段と、

前記ラミノ角が0°以外に設定されて前記放射線検出器で前記被検体の透過データを検出する際、前記回転手段が回転の制御をするとき、この回転の回転角度に応じて前記テーブルあるいは前記光軸に前記回転の振れ量を打ち消す移動を与えて回転の振れを補正する補正手段と、

を有することを特徴とする断層撮影装置。

## 【請求項 2】

放射線源から発生してテーブルに載置される被検体を透過した放射線を放射線検出器で検出して得られた透過データから、前記被検体の断層画像を再構成する断層撮影装置であって、

前記被検体と前記放射線とが、所定の回転軸に対して相対的な回転関係になるように、前記被検体、前記放射線源又は前記放射線検出器の少なくともいずれかを回転する回転手段と、

前記放射線源及び前記放射線検出器を結ぶ光軸と、前記回転軸とで成すラミノ角を変更するように、前記放射線源又は前記放射線検出器の少なくともいずれかを移動するあるいは前記回転軸を傾ける可変手段と、

前記ラミノ角が $0^\circ$ に設定されるとともに回転の振れ量の測定に用いる基準被検体が前記テーブルに載置された状態で、前記回転手段が一回転にわたる制御をするとき、所定の回転角度ごとに前記放射線検出器で検出された透過データから、回転の振れ量を求める算出手段と、

前記ラミノ角が $0^\circ$ 以外に設定されて前記放射線検出器で前記被検体の透過データを検出する際、前記回転手段が回転の制御をするとき、透過データを検出する回転角度に応じて前記放射線検出器で検出された透過データに対し、前記回転の振れ量を打ち消す補正を施す補正手段と、

を有することを特徴とする断層撮影装置。

## 【請求項 3】

前記算出手段は、前記透過データ上で、中心から前記基準被検体までのベクトルを前記回転の振れ量として求めることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の断層撮影装置。

## 【請求項 4】

前記算出手段は、前記透過データ上で、前記被検体の描く軌道との差を最小とするように描かれた円軌道上の一点から、前記基準被検体までのベクトルを前記回転の振れ量として求めることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の断層撮影装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、被検体に対し放射線照射方向を円錐に沿って変化させる円形軌道タイプの断層撮影装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

断層撮影装置の一種に、放射線に対する円形軌道（円錐軌道）の制御を行いながら被検体の透過データ（断層画像）を得るトモシンセシス（Tomosynthesis）装置やラミノグラフ（Laminograph）等がある（以下、「円錐軌道タイプの断層撮影装置」）。

## 【0003】

このような円錐軌道タイプの断層撮影装置では、放射線の光軸に対して傾斜した回転軸を中心に被検体を回転したり、放射線の光軸に対して傾斜した回転軸を中心に被検体ではなく放射線源と放射線検出器を回転したりして円形軌道（円錐軌道）の制御を行い、回転中に放射線検出器で得られた二次元の透過データから被検体の断層像や三次元データを再構成している。

## 【0004】

上述のように円錐軌道タイプの断層撮影装置では回転（円形軌道）の制御が必要であり、この回転は不動の回転軸を中心とすることが要件であるが、回転中に生じる振れは、断層像や三次元データにボケ等の問題をもたらすことがある。

## 【0005】

このような円錐軌道タイプの断層撮影装置で生じる回転振れの問題を解決するため、X線検出器で得られる被検体の画像から回転振れを測定し、測定した回転振れを用いて回転振れを打ち消す方向に回転機構を移動してから透過データを取得する断層撮影装置もある

10

20

30

40

50

(例えば、特許文献1参照)。

【0006】

また、特許文献1では、回転振れの測定方法として、画像から回転振れを求めるほか、真円にした回転テーブルと回転テーブルの外周面を検知するセンサを用いて回転振れを求める技術が記載されている。

【0007】

さらに、特許文献1では、回転振れの補正方法として、回転振れを打ち消す方向に回転機構を移動するほか、放射線検出器で得られた画像(透過データ)に振れの補正を施す技術が記載されている。

【特許文献1】特開2005-106515

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

特許文献1に記載されているように放射線検出器で検出された被検体の画像(透過データ)を用いて回転振れを測定する場合、回転によって被検体の透視方向が変わったとしても画像上の特徴点が常に被検体の一点に固定している必要がある。しかし、透過画像では特徴点が被検体上の一点に固定して現れるケースはまれであり、実際の透過画像では明瞭な特徴点が被検体に固定して現れることはまれであるため、従来の画像を用いた測定方法で正確な回転振れを測定することは困難である。

【0009】

20

また、特許文献1に記載されているようにセンサを用いて回転振れを測定する場合、テーブルの外周面を真円に生成するのは困難であり、信頼性のない回転振れが測定されることがある。また、テーブルの外周面に生じた微小な傷、熱によるテーブルの変形またはテーブル上に被検体を載置した場合に生じる歪等によっても、測定される回転振れの精度は劣るため、センサを用いる測定方法で正確な回転振れを測定することは困難である。

【0010】

上記課題に鑑み本発明は、回転振れの測定を確実にするとともに、測定した回転振れによって断層像撮影時に生じる回転振れを正確に補正することのできる断層撮影装置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】

30

【0011】

上記の課題を達成するため、請求項1記載の発明は、放射線源から発生してテーブルに載置される被検体を透過した放射線を放射線検出器で検出して得られた透過データから、前記被検体の断層画像を再構成する断層撮影装置であって、前記被検体と前記放射線とが、所定の回転軸に対して相対的な回転関係になるように、前記被検体、前記放射線源又は前記放射線検出器の少なくともいずれかを回転する回転手段と、前記放射線源及び前記放射線検出器を結ぶ光軸と、前記回転軸とで成すラミノ角を変更するように、前記放射線源又は前記放射線検出器の少なくともいずれかを移動するあるいは前記回転軸を傾ける可変手段と、前記ラミノ角が0°に設定されるとともに回転の振れ量の測定に用いる基準被検体が前記テーブルに載置された状態で、前記回転手段が一回転にわたる制御をするとき、所定の回転角度ごとに前記放射線検出器で検出された透過データから、回転の振れ量を求める算出手段と、前記ラミノ角が0°以外に設定されて前記放射線検出器で前記被検体の透過データを検出する際、前記回転手段が回転の制御をすると、この回転の回転角度に応じて前記テーブルあるいは前記光軸に前記回転の振れ量を打ち消す移動を与えて回転の振れを補正する補正手段とを有することを要旨とする。

40

【0012】

図1(a)に示すように、請求項1に係る断層撮影装置1aでは、放射線源10から照射された放射線31は被検体32を透過し、二次元分解能の放射線検出器12で検出される。回転手段15は、光軸Lからラミノ角 傾斜した回転軸RAを中心に被検体32を載置するテーブル11を回転する。または、回転手段15は、テーブル11ではなく、放射

50

線源 10 と放射線検出器 12 を一体で回転することで、被検体 32 と放射線 31 とを相対的に回転してもよい。可変手段 13 は、光軸 L を傾げるか、あるいは回転軸 RA を傾げることでラミノ角  $\theta$  を変更する。

【0013】

断層撮影装置 1a では、まず断層撮影に先立ち、図 1 (b) に示すようにラミノ角  $\theta = 0^\circ$  に設定し、テーブル 11 に載置した基準被検体 33 を回転軸 RA の近傍に移動させて、一回転にわたって所定角度ステップおきの所定回転角度で透過データ (透過画像) を得る。算出手段 19 は、得られた透過データから回転角度ごとの基準被検体 33 の透過画像の像振れを算出し、像振れを拡大率で除算して回転の振れ量を求めて記憶する。ここで、回転角度はテーブルの原点からの回転角度 (回転の位置) を意味し、ステップ角度のことではない。

10

【0014】

また、断層撮影装置 1a では、断層撮影時には、ラミノ角  $\theta = 0^\circ$  に設定し、テーブル 11 に被検体 32 を載置して撮影する。このとき、補正手段 14 は、回転角度ごとに、算出手段 19 が算出した対応する回転角度の回転の振れ量を打ち消す移動を放射線 31 と被検体 32 に相対的に与える。すなわち、補正手段 14 は、被検体 32 を移動させるか光軸 L を移動させて回転の振れを打ち消すように補正する。再構成手段 18 は、このよう一回転にわたって複数の回転角度 (回転の位置) で回転の振れを補正して得た透過データから被検体 32 の断層像を生成する。

【0015】

これにより、請求項 1 に係る断層撮影装置 1a では、再現性のある回転振れに対し、振れを補正して良好な断層像を得ることができる。

20

【0016】

また、請求項 2 に記載の発明は、放射線源から発生してテーブルに載置される被検体を透過した放射線を放射線検出器で検出して得られた透過データから、前記被検体の断層画像を再構成する断層撮影装置であって、前記被検体と前記放射線とが、所定の回転軸に対して相対的な回転関係になるように、前記被検体、前記放射線源又は前記放射線検出器の少なくともいずれかを回転する回転手段と、前記放射線源及び前記放射線検出器を結ぶ光軸と、前記回転軸とで成すラミノ角を変更するように、前記放射線源又は前記放射線検出器の少なくともいずれかを移動するあるいは前記回転軸を傾げる可変手段と、前記ラミノ角が  $0^\circ$  に設定されるとともに回転の振れ量の測定に用いる基準被検体が前記テーブルに載置された状態で、前記回転手段が一回転にわたる制御をするとき、所定の回転角度ごとに前記放射線検出器で検出された透過データから、回転の振れ量を求める算出手段と、前記ラミノ角が  $0^\circ$  以外に設定されて前記放射線検出器で前記被検体の透過データを検出する際、前記回転手段が回転の制御をするとき、透過データを検出する回転角度に応じて前記放射線検出器で検出された透過データに対し、前記回転の振れ量を打ち消す補正を施す補正手段とを有することを要旨とする。

30

【0017】

図 2 (a) に示すように、請求項 2 に係る断層撮影装置 1b は、図 1 で上述した請求項 1 に係る断層撮影装置 1a と比較して、補正手段 14 に代えて補正手段 20 を備えている点で異なるが、他の構成は同一である。

40

【0018】

断層撮影装置 1b でも、まず断層撮影に先立ち、図 2 (b) に示すように断層撮影装置 1a の場合と同様に算出手段 19 は基準被検体 33 を用いて得られた透過データから回転角度ごとの回転の振れ量を求めて記憶する。

【0019】

また、断層撮影装置 1b でも、断層撮影時には、ラミノ角  $\theta = 0^\circ$  に設定し、テーブル 11 に被検体 32 を載置し、被検体 32 の透過データを得る。このとき、補正手段 20 は、算出手段 19 が算出した対応する回転角度の回転の振れ量によって、得られた透過データをずらすことで補正する。再構成手段 18 は、このよう一回転にわたって複数の回転

50

角度で得られ、回転の振れが補正された透過データから被検体 3 2 の断層像を生成する。

【 0 0 2 0 】

これにより、請求項 2 に係る断層撮影装置 1 b では、再現性のある回転振れに対し、振れを補正して良好な断層像を得ることができる。

【発明の効果】

【 0 0 2 1 】

本発明によれば、再現性のある回転振れの測定を確実にするとともに、測定した回転振れによって断層像撮影時に生じる回転振れを正確に補正することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 2 】

以下で、図面を用いて本発明の各実施形態に係る断層撮影装置に付いて図面を用いて説明する。以下の説明において、同一部分には同一符号を用いて説明を省略し、類似部分については類似記号を用いて説明する。

【 0 0 2 3 】

第 1 の実施形態

図 3 を用いて説明する第 1 の実施形態に係る断層撮影装置 2 a は、放射線として X 線を用いて被検体の断層像を撮影する断層撮影装置である。図 3 に示すように、断層撮影装置 2 a は、X 線管 1 0、テーブル 1 1、X 線検出器 1 2、X Y 機構 1 4、回転機構 1 5、x z 機構 1 6、検出器移動機構 1 3、機構制御部 1 7、再構成部 1 8 及び算出部 1 9 を備えている。

【 0 0 2 4 】

X 線管 1 0 は、X 線ビーム 3 0 を発生させる放射線源である。この X 線管 1 0 は透過型マイクロフォーカス X 線管であって、 $1 \mu\text{m}$  程度の微小な X 線焦点 F を有する。X 線管 1 0 から発生した X 線ビーム 3 0 の一部 ( X 線ビーム 3 1 ) はテーブル 1 1 に載置される被検体 3 2 を透過し、X 線検出器 1 2 で検出される。

【 0 0 2 5 】

X 線検出器 1 2 は、検出面 1 2 a で二次元分解能で X 線を検出する放射線検出器であって、X 線 I.I. ( X 線イメージインテンシファイア ) とテレビカメラを組み合わせたものや、FPD ( フラットパネル型検出器 ) 等である。X 線検出器 1 2 は、検出器移動機構 1 3 により、図 3 中の紙面で現される検出器傾動面 S 内で移動されて位置設定される。X 線検出器 1 2 は、検出器移動機構 1 3 より x d 方向に移動されるとともに、検出面 1 2 a が常に X 線焦点 F に向くように首振り制御されている。なお、検出器移動機構 1 3 は、X 線検出器 1 2 を直線的に移動させても、円弧状に移動させてもよい。

【 0 0 2 6 】

検出器移動機構 ( 可変手段 ) 1 3 により、X 線検出器 1 2 を X 線ビーム 3 0 の範囲内で移動することで、回転軸 R A と X 線光軸 L の成す角度であるラミノ角  $\theta$  は、 $0^\circ \sim$  約  $70^\circ$  の範囲で可変される。この X 線光軸 L は、X 線源となる X 線焦点 F と検出面 1 2 a の中心 D を結ぶ直線 F D である。ラミノ角  $\theta$  を変えたとき、x z 機構 1 6 により、被検体 3 2 ( 及び回転軸 R A ) が移動され、X 線光軸 L が回転軸 R A と被検体内の一点 ( C 点 ) で交わるようにされる。

【 0 0 2 7 】

X Y 機構 1 4 は、x y 方向にテーブル 1 1 を移動させる。X Y 機構 1 4 は、テーブル 1 1 を x y 方向に移動させることで、被検体 3 2 の所望の検査領域を回転軸 R A 上に移動させることができる。また、断層撮影装置 2 a では、この X Y 機構 1 4 がテーブル 1 1 を x y 方向に移動させることで、本発明で目的とする回転振れの補正を実現することができる。

【 0 0 2 8 】

回転機構 1 5 は、回転軸 R A を中心として、テーブル 1 1 を回転させる。回転機構 1 5 は、透視を行う時にはテーブル 1 1 を回転させることによって傾斜角 ( 透視角度 )  $\alpha$  の傾斜方位を変更し、断層撮影の時は被検体 3 2 の回転により円錐軌道スキャンを行う。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 9 】

x z 機構 1 6 は、x z 方向にテーブル 1 1 を回転軸 R A とともに移動させる。x z 機構 1 6 は、テーブル 1 1 を x z 方向に移動させることで、検査倍率（拡大率）を設定したり、傾斜角 が変化したりしたときに被検体 3 2 の検査領域が X 線光軸 L 上からずれないように視野ずれ補正をする。

## 【 0 0 3 0 】

機構制御部 1 7 は、検出器移動機構 1 3、X Y 機構 1 4、回転機構 1 5 及び x z 機構 1 6 に電力を供給するとともに、各機構 1 3 ~ 1 6 を制御する。

## 【 0 0 3 1 】

再構成部 1 8 は、X 線検出器 1 2 によって検出した被検体 3 2 の透過データを利用して、被検体 3 2 の断層像を生成する。具体的には、再構成部 1 8 は、ラミノ角  $0^\circ$  のとき、X 線検出器 1 2 で得られた回転軸 R A を中心とする一回転にわたる所定角度のステップごとに被検体 3 2 の透過データ（透過画像）を入力し、この透過データから被検体 3 2 の断層像を生成する。

10

## 【 0 0 3 2 】

算出部 1 9 は、回転の振れを補正するために使用する回転の振れ量を算出する。具体的には、算出部 1 9 は、ラミノ角  $= 0^\circ$  のとき、X 線検出器 1 2 で得られた基準被検体の透過データから一回転にわたる所定角度のステップごとの回転の振れ量を求め、予めメモリ（図示せず）に記憶させる。また、算出部 1 9 は、メモリに記憶した回転角度ごとの回転の振れ量を機構制御部 1 7 に出力する。

20

## 【 0 0 3 3 】

機構制御部 1 7 は、断層撮影時に回転機構 1 5 によってテーブル 1 1 が回転されたとき、算出部 1 9 から入力した各回転角度ごとの回転の振れ量を用いて X Y 機構 1 4 を制御して x y 方向にテーブル 1 1 を移動させ、回転によって生じた回転振れを補正する。

## 【 0 0 3 4 】

断層撮影装置 2 a では、上述した構成の他、X 線管 1 0、x z 機構 1 6 及び検出器移動機構 1 3 等を固定するとともに X 線を遮蔽するための筐体（図示せず）等の通常の断層撮影装置に必要な構成を備えている。

## 【 0 0 3 5 】

## 《振れ量の算出》

図 4 ( a ) は、算出部 1 9 で回転振れを算出する際の断層撮影装置 2 a の状態を示し、図 4 ( b ) は、図 4 ( a ) の状態で撮影された基準被検体 3 3 の透過画像 P を示している。また、図 5 は、断層撮影装置 2 a において、基準被検体 3 3 が図 4 ( a ) に示す状態にあるときの焦点 F および X 線検出器 1 2 との関係を示す図である。

30

## 【 0 0 3 6 】

断層撮影装置 2 a では、被検体 3 2 の断層撮影に先立ち、図 4 ( a ) に示すようにラミノ角  $= 0^\circ$  に設定し、被検体 3 2 の代わりに基準被検体 3 3 を回転軸 R A の近傍（望ましくは回転軸 R A 上）に設置し、一回転すなわち、 $360^\circ$  にわたって所定角度のステップでテーブル 1 1（基準被検体 3 3）を回転軸 R A を中心にして回転させて基準被検体 3 3 の透過データ（透過画像）を得る。

40

## 【 0 0 3 7 】

基準被検体 3 3 は、例えば図 4 ( a ) に示すように、X 線を透過しやすい板 3 3 a 上に X 線を透過しにくい金属ボール 3 3 b を接着したものである。この金属ボール 3 3 b が回転軸 R A に近くなるよう（望ましくは回転軸 R A 上）に載置し、また測定精度を上げるために X 線管 1 0 に近づけて撮影の拡大率（ $f d d / f c d$ ）を高くする。金属ボール 3 3 b が回転軸 R A 上に位置するようにすることで、図 4 ( b ) に示すように、検出面 1 2 a の中心 D で金属ボール 3 3 b の透過画像が検出されることとなる。

## 【 0 0 3 8 】

算出部 1 9 は、基準被検体 3 3 の透過データから回転角度 ごときの基準被検体 3 3 の透過画像の像振れを算出する。具体的には、算出部 1 9 は、図 4 ( b ) に示す透過画像 P に

50

含まれる金属ボール 3 3 b の重心  $O_1$  を求め、基準位置として設定される透過画像 P の中心  $C_1$  からの金属ボール 3 3 b の重心  $O_1$  の像振れを求める。すなわち、回転振れがないときには検出面 1 2 a 上の中心 D で金属ボール 3 3 b の透過画像が検出されることとなるため重心  $O_1$  は中心  $C_1$  にあるはずである。しかし、図 5 に示すように検出面 1 2 a の中心 D で金属ボール 3 3 b の透過画像が検出されない。したがって、重心  $O_1$  が中心  $C_1$  にないとき、中心  $C_1$  から重心  $O_1$  までのずれが、回転振れによって生じる像振れとなる。

【 0 0 3 9 】

この像振れは、画素単位で得られるので、算出部 1 9 は、求められる像振れに検出面 1 2 a 上での 1 画素のサイズ (mm/画素) を掛けることで、検出面 1 2 a 上での像振れ  $x_0$ 、 $y_0$  (mm) を求めることができる。その後、算出部 1 9 は、像振れを拡大率 (  $f$   $d d / f c d$  ) で除算して、回転角度 ごとに振れ量  $x$  ( )、 $y$  ( ) を求め、回転振れ量を回転振れベクトル  $S$  ( ) としてメモリに記憶させる。

10

【 0 0 4 0 】

《断層像の撮影》

断層撮影装置 2 a では、上述したように回転振れベクトル  $S$  ( ) が求められた後に被検体 3 2 の断層撮影が行われる。

【 0 0 4 1 】

断層撮影時には、まず、検出器移動機構 1 3 によってラミノ角  $0^\circ$  に設定されるとともに被検体 3 2 が載置されると、XY 機構 1 4 が被検体 3 2 の検査領域を回転軸 RA 上に移動し、xz 機構 1 6 で拡大率の設定と視野合わせがされ、この後、回転機構 1 5 でテーブル 1 1 を回転させながら断層撮影が開始される。

20

【 0 0 4 2 】

機構制御部 1 7 はこの断層像撮影時の各角度のステップ (回転角度 ) ごとに、算出部 1 9 から入力する回転の振れ量 (回転振れベクトル  $S$  ( ) ) を用いて XY 機構 1 4 を制御し、角度を回転させるごとに対応する回転角度の回転振れベクトル  $S$  ( ) と逆方向 (  $-S$  ( ) ) に被検体 3 2 を移動させ、回転の振れを打ち消す。

【 0 0 4 3 】

断層撮影装置 2 a では、回転の振れを打ち消すように被検体 3 2 が移動された後に X 線検出器 1 2 で検出された被検体 3 2 の透過データを断層像の再構成に使用する透過画像とする。

30

【 0 0 4 4 】

《断層像の再構成》

断層撮影装置 2 a では、上述したように撮影された透過画像から断層像を再構成する方法として、Feldkamp のコーンビーム CT 再構成アルゴリズム (L.A.Feldkamp, L.C.Davis and J.W.Kress, Practical cone-beam algorithm, J.Opt.Soc.Am.A/ Vol.1, No.6/ June 1984) 等を用いる。

【 0 0 4 5 】

図 6 を参照して、Feldkamp のコーンビーム CT 再構成アルゴリズムを利用して断層像を再構成する方法を簡単に説明する。

【 0 0 4 6 】

再構成部 1 8 は、検出面 1 2 a 上で収集した多数の透過画像を回転角度 ごとに、対数変換して、この対数変換した透過画像 P ( ) それぞれに空間フィルタ処理をする。空間フィルタ処理は、検出器傾動面 S に沿った方向  $v$  にハイカット処理、直交方向  $u$  に高域強調処理 (CT で利用される Ramachandran & Lakshminarayanan フィルタ処理等) を行う。

40

【 0 0 4 7 】

その後、再構成部 1 8 は、図 7 ( a ) に示すように、空間フィルタ処理した透過画像 P ( ) を、C 点を通る  $x y$  平面上のマトリックス  $4 0 \times X$  線焦点 F に向けて点 A1 が点 A2 へ、回転角度 ごとに三次元的に逆投影して透過画像 P c ( ) (センタリング画像) を生成する。

【 0 0 4 8 】

50

このセンタリング画像の生成は、より詳しくは、二次元マトリックス40上の全ての点に対し、一点(A2)ごとに検出面12a上への射影点A1を求め、射影点A1の最近傍の4点のデータ点で補間した透過画像値P( )を一点(A2)での投影画像Pc( )の値とすることで行われる。なお、センタリング画像は、最終の断層像より小さなマトリックスサイズで作られる。

【0049】

次に、再構成部18は、図7(b)に示すように、透過画像Pc( )の記述座標をx, yからx', y'に角度θ回転させる。すなわち、透過画像Pc( )のデータ点を被検体32に固定した座標x', y'に沿ったマトリックス41に変換して透過画像Pr( )を生成する。さらに、透過画像Pr( )を被検体32に固定した座標x', y', z'に沿った三次元のマトリックス42へ、X線経路に沿って焦点Fに向けてあるいは離れる方向へ点A2を点A3へ三次元的に逆投影し、角度θについて互いに積算することで被検体32の断層像(三次元画像)を得る。

10

【0050】

この逆投影は、より詳しくは、三次元マトリックス42上の全ての点に対し、一点(A3)ごとに二次元マトリックス41上への射影点(A2)を求め、射影点(A2)の最近傍の一点のデータ点の透過画像値Pr( ) (あるいは最近傍の四点の補間値)を一点(A3)へ積算することで行われる。また、逆投影するとき、Pr( )に対し、逆投影密度の補正として、F-A3間距離をRとして、 $1/R^2$ のウェイトが掛けられる。

【0051】

20

上述したように、本発明の第1の実施形態に係る断層撮影装置2aでは、ラミノ角θ = 0°で基準被検体の透過画像を回転角度ごとに撮影して回転振れ量を求め、これを記憶し、ラミノ角θ = 0°で断層撮影時には、記憶した回転振れ量を用いて回転角度ごとに被検体を移動させて補正する。これによって、垂直透視で金属ボールの重心の振れを測定するので、断層撮影装置2aでは、再現性のある回転振れの測定をより確実にし、正確な回転振れ補正を可能とした断層撮影装置を提供することができる。

【0052】

また、第1の実施形態に係る断層撮影装置2aでは、拡大率やラミノ角θによらず、断層撮影時には回転振れを測定することなく回転振れ補正が可能である。

【0053】

30

第2の実施形態

図7を用いて、本発明の第2の実施形態に係る断層撮影装置2bについて説明する。第2の実施形態でも放射線としてX線を用いて被検体の断層像を撮影する断層撮影装置2bについて説明する。図7に示すように、断層撮影装置2bは、第1の実施形態で上述した断層撮影装置2aが備える構成に加え、補正部20を備えている点で異なる。

【0054】

断層撮影装置2bでも断層撮影装置2aと同様に、算出部19が予め基準被検体33を利用して所定角度のステップ(回転角度θ)ごとの回転の振れ量(ベクトルS( ))を求め、予めメモリに記憶する。

【0055】

40

この断層撮影装置2bでは、補正部20は、所定角度のステップ(回転角度θ)ごとに算出部19から入力した対応する回転角度の回転の振れベクトルS( )を用いて透過データ(透過画像)に対して補正を加える。具体的には、補正部20は、図8に示すように、回転の振れベクトルS( )をX線検出器12の検出面12aに射影したベクトル(ベクトルSg( ))を打ち消す方向(-Sg( ))に透過データをずらすことで透過データを補正する。

【0056】

再構成部18は、補正部20によって補正された透過データから第1の実施形態で上述した方法で被検体32の断層像を生成する。

【0057】

50

すなわち、第1の実施形態に係る断層撮影装置2aでは、透過データの取得前に物理的にテーブル11をx y方向に移動させて回転振れを補正していたが、第2の実施形態に係る断層撮影装置2bでは、テーブル11を移動するのではなく、取得した透過データを補正することで回転振れを補正する。

【0058】

上述した第2の実施形態に係る断層撮影装置2bによれば、拡大率やラミノ角によらず、断層撮影時には回転振れを測定することなく回転振れ補正が可能である。

【0059】

また、上述した第2の実施形態に係る断層撮影装置2bによれば、機械的な補正でなく、透過データをずらして補正するので、微小な回転振れも正確に補正することができる。

10

【0060】

第1の変形例

上述した断層撮影装置2a, 2bでは、透過画像上で回転振れを求める際、図4(b)のように透過画像Pの中心C1を基準位置として、画像の中心C1からの像振れを求めた例で説明したが、基準位置は画像の中心C1でなくてもよい。例えば、回転に同期して描かれる円(基準円軌道)上の点を基準点とすることができる。この基準円軌道は、例えば、所定半径の円軌道上からの振れの一回転分の軌道の二乗和が最小となる円軌道を最小二乗法で求め、選択することができる。これは、補正量を最小にすることができる理想的な方法である。

【0061】

20

図9は、第1の変形例における最小化した回転振れ量である回転振れベクトルS0'( )を求める説明図である。軌道51は透過画像P上の金属ボール33bの重心の描く軌道である。軌道51はまた、測定した画面の中心C1を基準としたときの回転振れベクトルS0( )の描く軌道である。

【0062】

基準円軌道52は基準点(基準ベクトルR0( ))の描く軌道であり、円中心座標(xc, yc)、半径(r)、フェーズ(phi0)によって決まる軌道である。具体的には、基準円軌道52であるベクトルR0( )は、式(1)及び式(2)に示すようにx成分とy成分とを分けて表わされる。

【数1】

30

$$R_{0x}(\Phi) = xc + r \cdot \cos(\Phi - \Phi_0) \quad \dots\dots (1)$$

$$R_{0y}(\Phi) = yc + r \cdot \sin(\Phi - \Phi_0) \quad \dots\dots (2)$$

【0063】

また、回転振れベクトルS0'( )は、式(1)、式(2)による基準ベクトルR0( )を用いて式(3)で表わされる。

【数2】

$$S_0'(\Phi) = S_0(\Phi) - R_0(\Phi) \quad \dots\dots (3)$$

【0064】

40

ところで、基準ベクトルR0( )は回転振れベクトルS0'( )を最小化するように選ぶ必要がある。このため、回転振れベクトルS0'( )の絶対値の二乗の一回転分の和が最小となる基準円軌道R0( )を最小二乗法で選ぶ。具体的には、式(3)から、回転振れベクトルS0'の絶対値の二乗和は、式(4)で表わされる。

【数3】

$$\sum_{\Phi} |S_0'(\Phi)|^2 = \sum_{\Phi} \{ (S_{0x}(\Phi) - R_{0x}(\Phi))^2 + (S_{0y}(\Phi) - R_{0y}(\Phi))^2 \} \quad \dots\dots (4)$$

【0065】

この式(4)に式(1)と式(2)を代入すると回転振れベクトルS0'の絶対値の二

50

乗和は  $x_c, y_c, r, \theta_0$  の関数として表される。ここで、よく知られている最小二乗法の一般的な手法によって正規方程式を利用することで、回転振れベクトル  $S_0'$  の絶対値の二乗和を最小とする  $x_c, y_c, r, \theta_0$  を求めることができる。これで、 $S_0'$  ( ) を最小化する基準円軌道 52 である  $R_0$  ( ) が確定し、式 (3) を用いて最小化した回転振れベクトル  $S_0'$  ( ) を求めることができる。

【0066】

このように所定の円軌道を基準として求める回転振れベクトル  $S_0'$  ( ) を、画像の中心  $C_1$  を基準として求める回転振れベクトル  $S_0$  ( ) の代わりに使用することで、XY 機構 14 又は補正部 20 で補正する補正量を最小にすることができる。

【0067】

なお、上述した説明では基準円軌道  $R_0$  ( ) は、 $S_0'$  ( ) の絶対値の二乗の一回転分の和が最小となるように選んだが、絶対値の二乗の一回転分を最小となるようにする方法に限られず、たとえば、 $S_0'$  ( ) の絶対値の一乗の一回転分の和が最小となるように選んでもよい。この場合は、式 (4) を変更するが、式 (1) ~ 式 (3) 等の他の点では同一である。

【0068】

#### 第2の変形例

上述した断層撮影装置 2b では、補正手段 20 は、再構成前の透過データに対して回転振れを補正したが、再構成途中の透過データに対して補正してもよい。

【0069】

再構成途中の透過データを補正する場合、補正手段 20 は、例えば、対数変換後又は空間フィルタ処理後の透過画像  $P$  ( ) に対して補正を施す。この場合、再構成部 18 は、処理途中の透過画像を補正部 20 に出力し、補正部 20 は、再構成前に補正する場合と同様に検出面 12a 上で振れベクトル  $S_g$  ( ) を打ち消すようにずらす補正をした後、再びデータを再構成部 18 に出力する。再構成部 18 は、この回転振れが補正された透過画像を使用して再構成処理を継続する。

【0070】

また、補正手段 20 は、処理途中の透過画像  $P_c$  ( ) (センタリング画像) を補正してもよい。この場合、再構成部 18 は、透過画像  $P_c$  ( ) を補正部 20 に出力する。補正部 20 は、この処理途中の透過画像  $P_c$  ( ) を算出部 19 から入力した対応する回転角度の回転の振れベクトル  $S$  ( ) を用いて  $xy$  平面上で振れベクトル  $S$  ( ) を打ち消すように (  $-S$  ( ) だけ ) ずらす補正をした後、再びデータを再構成部 18 に出力する。再構成部 18 は、この補正済みの透過画像を使って再構成処理を続ける。

【0071】

#### 第3の変形例

上述した断層撮影装置 2a, 2b では、検出器移動機構 13 が X 線検出器 12 を移動してラミノ角を可変とする構成であるが、ラミノ角可変は、X 線検出器 12 の移動に限られない。すなわち、特許請求の範囲で記載の可変手段は、X 線焦点  $F$  と X 線検出器 12 のどちらか一方又は両方を移動させることで X 線光軸  $L$  を傾けることが可能であれば、回転軸  $RA$  を傾けてラミノ角 を変化させることもできる。

【0072】

また、上述した断層撮影装置 2a, 2b では、画像撮影の際の所定の角度ごとのステップ回転を回転機構 14 が回転テーブル 11 (被検体 32) を回転することで行っているが、回転テーブル 11 の回転に限られない。回転軸  $RA$  に対し被検体 32 と X 線ビーム 31 が相対的な回転関係となるように、被検体 32、X 線管 10 (X 線焦点  $F$ ) 又は X 線検出器 12 の少なくともいずれかを回転して等価な透過データを得るようにすることもできる。例えば、回転テーブル 11 を固定し、回転手段 (図 3、図 7 で図示せず) によって、回転軸  $RA$  を中心に X 線管 10 (X 線焦点  $F$ ) と X 線検出器 12 とを回転させてもよい。この場合、相対的には放射線 31 と被検体 32 とが回転テーブル 11 を回転した場合と同様な関係となるため、回転テーブル 11 を回転した場合と同様の透過データを得ることがで

10

20

30

40

50

きる。

【 0 0 7 3 】

さらに、上述した断層撮影装置 2 a では、回転機構 1 5 の上に配置した X Y 機構 1 4 で被検体 3 2 を算出部 1 9 によって算出された回転振れ量を打ち消すように移動させ、X Y 移動のみで回転振れを補正しているが、X Y 機構 1 4 による補正に限られない。例えば、回転機構 1 5 の下に回転振れを補正する補正用の移動機構を配置して、この補正用の移動機構によって回転振れを補正してもよい。または、X 線管 1 0 と X 線検出器 1 2 のいずれかあるいは両方を移動することで、光軸 L を回転振れ量を打ち消すように移動させて補正してもよい。

【 0 0 7 4 】

第 4 の変形例

上述した断層撮影装置 2 a , 2 b において、回転はステップ回転でも連続的な滑らかな回転でもよい。ただし、どちらの場合でも、所定角度のステップおきに透過データを収集する。

【 0 0 7 5 】

連続回転の場合の透過データ収集は、連続回転を続けながら回転機構のエンコーダパルスのタイミングで透過データを収集する。また、連続回転の場合、補正手段 1 4 は、連続回転を続けながら、テーブル 1 1 に対して回転角度  $\theta$  に応じて振れ量  $S(\theta)$  を打ち消す移動を連続的に与えて回転の振れを補正する。

【 0 0 7 6 】

また、透過データを収集する角度のステップは、振れ量算出時と断層撮影時で異なってもよい。この場合、断層撮影時の回転角度  $\theta_1$  に最近傍の二つの回転角度での振れ量  $S(\theta_1)$  ,  $S(\theta_2)$  を補間して  $S(\theta)$  を得て補正に用いる。

【 0 0 7 7 】

また、透過データを収集する角度のステップは、厳密に一定角度でなくてもよい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 8 】

【図 1】本発明の請求項 1 に係る断層撮影装置の概念図である。

【図 2】本発明の請求項 2 に係る断層撮影装置の概念図である。

【図 3】本発明の第 1 の実施形態に係る断層撮影装置の概念図である。

【図 4】図 3 の断層撮影装置における画像振れ量の算出について説明する図である。

【図 5】図 3 の断層撮影装置における画像振れ量の算出について説明する他の図である。

【図 6】図 3 の断層撮影装置における画像の再構成について説明する図である。

【図 7】本発明の第 2 の実施形態に係る断層撮影装置の概念図である。

【図 8】図 7 の断層撮影装置における画像振れの補正について説明する図である。

【図 9】第 1 の変形例に係る断層撮影装置における画像振れの算出について説明する図である。

【符号の説明】

【 0 0 7 9 】

1 a , 1 b , 2 a , 2 b ...断層撮影装置

1 0 ... X 線管 (放射線源)

1 1 ...テーブル

1 2 ... X 線検出器 (放射線検出器)

1 2 a ...検出面

1 3 ...検出器移動機構 (可変手段)

1 4 ... X Y 機構 (補正手段)

1 5 ...回転機構 (回転手段)

1 6 ... x z 機構

1 7 ...機構制御部

1 8 ...再構成部 (再構成手段)

10

20

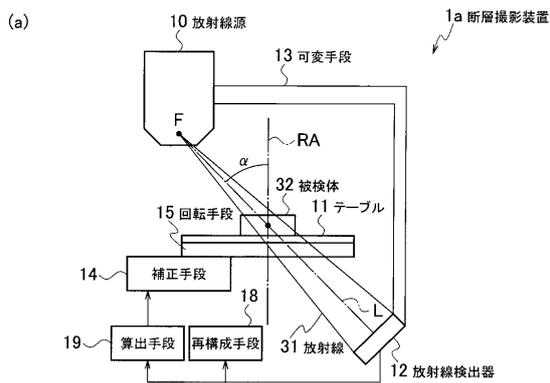
30

40

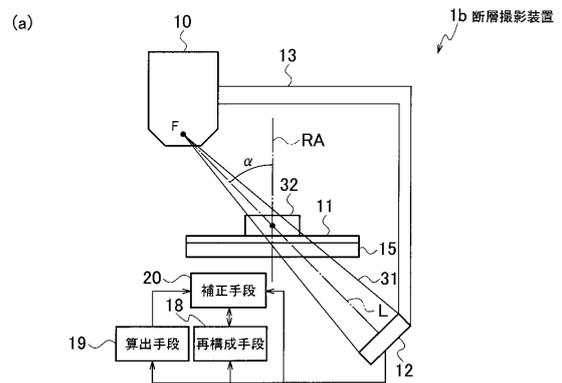
50

- 19 ... 算出部 (算出手段)
- 20 ... 補正部 (補正手段)
- 30 ... X線ビーム
- 31 ... X線ビーム (放射線)
- 32 ... 被検体
- 33 ... 基準被検体
- 33 a ... 板
- 33 b ... 金属ボール

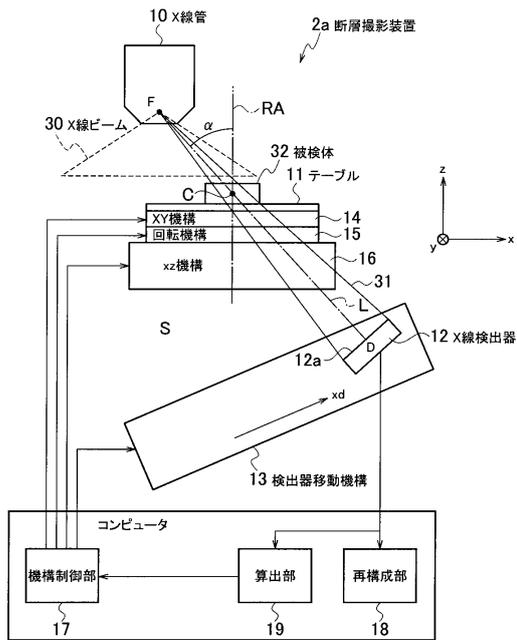
【図1】



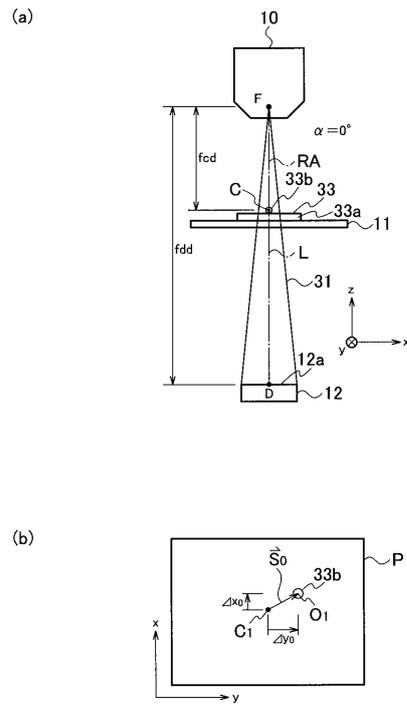
【図2】



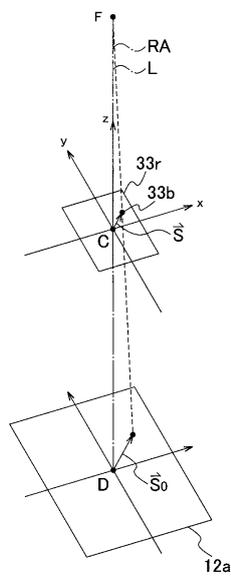
【図3】



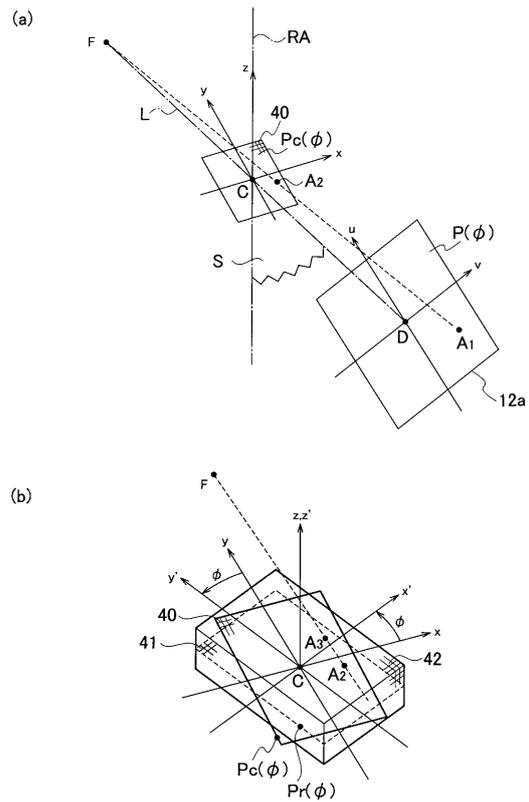
【図4】



【図5】



【図6】





## フロントページの続き

- (72)発明者 ツル 祥司  
東京都府中市東芝町1番地 東芝ITコントロールシステム株式会社 東芝府中事業所内
- (72)発明者 宇山 喜一郎  
東京都府中市東芝町1番地 東芝ITコントロールシステム株式会社 東芝府中事業所内
- (72)発明者 畑 仁司  
東京都府中市東芝町1番地 東芝ITコントロールシステム株式会社 東芝府中事業所内
- (72)発明者 栗原 則和  
東京都府中市東芝町1番地 東芝ITコントロールシステム株式会社 東芝府中事業所内

審査官 比嘉 翔一

- (56)参考文献 特開2005-233760(JP,A)  
特開2003-61944(JP,A)  
特開平7-153803(JP,A)  
特開2001-249086(JP,A)  
特開2000-329710(JP,A)  
特開2005-106515(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01N 23/00 - 23/227  
G01B 15/00 - 15/08  
A61B 6/00 - 6/14  
JSTPlus(JDreamII)