(19)日本国特許庁(JP)　(12)特 許 公 報(B2)　(11)特許番号 特許第4408664号 (P4408664)

(45)発行日 平成22年2月3日(2010.2.3)　(24)登録日 平成21年11月20日(2009.11.20)

(51)Int.Cl.
A61B 6/03 (2006.01)
A61B 6/00 (2006.01)

F I
Ａ６１Ｂ 6/03 ３５０Ｓ
Ａ６１Ｂ 6/03 Ｆ
Ａ６１Ｂ 6/03 ３５０Ｇ
Ａ６１Ｂ 6/03 ３５０Ｈ
Ａ６１Ｂ 6/00 ３９０Ａ

請求項の数 3 (全 17 頁)

(21)出願番号 特願2003-289681 (P2003-289681)
(22)出願日 平成15年8月8日 (2003.8.8)
(65)公開番号 特開2005-58309 (P2005-58309A)
(43)公開日 平成17年3月10日 (2005.3.10)
審査請求日 平成18年7月3日 (2006.7.3)

(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
(72)発明者 岡部 正和
東京都千代田区内神田１丁目１番１４号 株式会社日立メディコ内
(72)発明者 植田 健
東京都千代田区内神田１丁目１番１４号 株式会社日立メディコ内

審査官 今浦 陽恵

最終頁に続く

(54)【発明の名称】コーンビームＸ線ＣＴ装置及びそれに用いるファントム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

被検体にＸ線を照射するＸ線源と、そのＸ線源に対向して配置され被検体のＸ線透視像を得る２次元Ｘ線検出器と、これらの２次元Ｘ線検出器とＸ線源を同一回転中心の円軌道面上で回転移動させながら、回転中心軸上に配置された被検体のＸ線透視像を前記２次元Ｘ線検出器により得、得られたＸ線透視像を基に３次元的Ｘ線ＣＴ像を画像再構成する画像再構成手段と、画像再構成された３次元的ＸＣＴ像を表示する表示手段を備えたコーンビームＸ線ＣＴ装置において、

前記回転移動の回転中心軸、前記回転移動の回転開始角度及び回転角度ピッチに含まれる誤差を、前記回転中心軸に略平行に配置した複数本のワイヤーを含むファントムの再構成画像を用いて計算する誤差計算手段とを備え、前記画像再構成手段は、該計算された誤差を用いて、前記Ｘ線透視像を逆投影し、３次元的ＸＣＴ像を画像再構成することを特徴とするコーンビームＸ線ＣＴ装置。

【請求項２】

前記２次元Ｘ線検出器の前面に予めホールチャートファントムを設定し、設置されたホールチャートファントムについてＸ線透視像を、前記２次元Ｘ線検出器により撮影し、その撮影されたホールチャートの前記被検体の体軸方向に沿った軸と、前記回転中心軸の前記２次元Ｘ線検出器の投影像の座標ねじれ角を計算する座標ねじれ角計算手段を備え、

前記画像再構成手段は、該計算された座標ねじれ角を用い、前記Ｘ線透視像を補正することを特徴とする請求項１に記載のコーンビームＸ線ＣＴ装置。

【請求項３】
前記複数本のワイヤーを含むファントムの再構成画像に基づいて、前記回転中心軸の方向と、前記２次元Ｘ線検出器により撮影された前記Ｘ線透視像との座標ねじれ角を計算する座標ねじれ角計算手段を備え、
前記画像再構成手段は、該計算された座標ねじれ角を用い、前記Ｘ線透視像を回転補正する座標ねじれ角補正手段を備えることを特徴とする請求項１に記載のコーンビームＸ線ＣＴ装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、X線CT装置に関し、特に、アーチファクトの原因となる機械的製作誤差等を好適に補正する技術に関する。
【背景技術】
【０００２】
コーンビームX線CT装置は、X線源とこのX線源に対向して配置される2次元X線検出器（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を含む。）とを同一回転中心の円軌道面上で回転移動させながら、回転中心軸上に位置する被検体のX線透視像を2次元検出器で撮影し、更に前記X線透視像を基に画像再構成演算を行うことによって、3次元的X線CT像を得るものである。
このような2次元X線検出器を用いたコーンビームX線CT装置の画像再構成演算アルゴリズムとして、フェルドカンプの方法が代表的である（例えば、非特許文献1参照。）。
【０００３】
【非特許文献１】「Practical Cone-Beam Algorithm; L.A.Feldkamp, et al.; J.Optical Society of America, A/Vol. 1(6), (1984), pp.612-619」。
【０００４】
また、コーンビームX線CT装置では機械的製作誤差に伴うアーチファクトのない3次元的X線CT像を得るために、2次元X線検出器の画像上での座標軸と実際の回転中心軸との角度の差（以下、座標ねじれ角と称す。）や回転中心軸の設計位置とのずれ等をパラメータ（以下、幾何学パラメータと称す。）として求め、画像再構成演算において補正しながら演算することがあるが、幾何学パラメータを求める方法として、特許文献1および特許文献2記載の従来技術がある。
【０００５】
【特許文献１】特開平9-173330号公報
【特許文献２】特開2000-201918号公報
【０００６】
特許文献1の従来技術は、棒状の支持体にX線吸収係数の大きい小金属球を複数個入れたファントムを回転中心軸に平行に配置して、360度回転撮影し、その金属球が2次元X線投影像上に描く楕円軌道を利用して、座標ねじれ角等を決定する方法である。一方特許文献2記載の従来技術は、棒状の支持体にX線吸収係数の大きい1本の細い金属線を張ったファントムを回転中心軸に平行に配置して、360度回転撮影し、その再構成画像における金属線の鮮明度を評価関数として、その評価関数が最適となるようにすることによって、精度良く回転中心軸の位置を求める方法である。
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
本発明者は、上記従来技術を検討した結果、以下の問題点を見い出した。すなわち、コーンビームX線CT装置ではX線源や2次元X線検出器を支えるためにCアームを利用する場合があるが、Cアームを利用したコーンビームX線CT装置では、一方にX線源を、他方に2次元X線検出器を備えた構造を持つ。その場合、Cアームの両端の重量に偏りがあるため、重量の重い2次元検出器を一番低い位置からCアームの回転をして持ち上げて真上に来るまでと

、真上に来てから反対側に降ろすまででは、Cアームのたわみ等の原因で幾何学パラメータに違いが生じる問題がある。360度回転させる前半と後半で全く同じ幾何学パラメータだとして再構成演算をしてしまうと位置ずれが生じ、そのことによる画像のアーチファクトが生じる問題がある。

【０００８】

本発明の目的は、回転する角度範囲によって幾何学パラメータに偏りがある場合において、アーチファクトの原因となる機械的製作誤差等を好適に求め補正することが可能なCアーム方式コーンビーム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】

【０００９】

本発明によれば、被検体にＸ線を照射するＸ線源と、そのＸ線源に対向して配置され被検体のＸ線透視像を得る２次元Ｘ線検出器と、これらの２次元Ｘ線検出器とＸ線源を同一回転中心の円軌道面上で回転移動させながら、回転中心軸上に配置された被検体のＸ線透視像を前記２次元Ｘ線検出器により得、得られたＸ線透視像を基に３次元的Ｘ線ＣＴ像を画像再構成する画像再構成手段と、画像再構成された３次元的Ｘ線ＣＴ像を表示する表示手段を備えたコーンビームＸ線ＣＴ装置において、前記回転移動の回転中心軸、前記回転移動の回転開始角度及び回転角度ピッチに含まれる誤差を、前記回転中心軸に略平行に配置した複数本のワイヤーを含むファントムの再構成画像を用いて計算する誤差計算手段とを備え、前記画像再構成手段は、該計算された誤差を用いて、前記Ｘ線透視像を逆投影し、３次元的Ｘ線ＣＴ像を画像再構成することを特徴とするコーンビームＸ線ＣＴ装置が提供される。

【００１１】

また本発明によれば、前記２次元Ｘ線検出器の前面に予めホールチャートファントムを設定し、設置されたホールチャートファントムについてＸ線透視像を、前記２次元Ｘ線検出器により撮影し、その撮影されたホールチャートの前記被検体の対軸方向に沿った軸と、前記回転中心軸の前記２次元Ｘ線検出器の投影像の座標ねじれ角を計算する座標ねじれ角計算手段を備え、前記画像再構成手段は、該計算された座標ねじれ角を用い、前記Ｘ線透視像を補正することを特徴とするコーンビームＸ線ＣＴ装置が提供される。

【００１２】

また本発明によれば、前記複数本のワイヤーを含むファントムの再構成画像に基づいて、前記回転中心軸の方向と、前記２次元Ｘ線検出器により撮影された前記Ｘ線透視像との座標ねじれ角を計算する座標ねじれ角計算手段を備え、前記画像再構成手段は、該計算された座標ねじれ角を用い、前記Ｘ線透視像を回転補正する座標ねじれ角補正手段を備えることを特徴とするコーンビームＸ線ＣＴ装置が提供される。

【発明の効果】

【００１３】

本発明によれば、回転する角度範囲によって幾何学パラメータに偏りがある場合において、アーチファクトの原因となる機械的製作誤差等を好適に求め補正することが可能なCアーム方式コーンビームX線CT装置を提供することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００１４】

以下、本発明について、本発明の実施の形態（実施例）とともに図面を参照して説明する。

なお、発明の実施の形態を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【００１５】

図1は本発明の一実施の形態に係わるCアーム方式コーンビームX線CT装置の概略構成を示すブロック図である。Cアーム方式コーンビームX線CT装置は主に、計測部50と、計測部50を制御する計測部制御手段100と、計測部50で得られた計測データを基に3次元再構成を行う3次元再構成手段200と、計測部50の機械的製作上の誤差を数値的に表わし、3次元再

構成手段200における3次元再構成の際の補正として用いる幾何学パラメータを求めるための幾何学パラメータ計算手段300より構成されている。またその他に、計測部50で得られたX線透過像を収集して記録する画像収集手段110と、3次元再構成手段200で得られた再構成画像を表示する画像表示手段210を備えている。

【００１６】

先ず計測部50は、被検体3を載せる寝台4と、寝台4の上に載せられた被検体3にX線を照射するX線管1と、X線管1に設置されX線管1によるX線の照射の方向を制御するコリメータ2と、X線管1に対して被検体3と反対側の対向する位置に配置され、X線管1から照射され被検体3を透過してくるX線透過像を撮像し、これを可視光像に変換するX線イメージインテンシファイア5と、X線イメージインテンシファイア5で変換された可視光像を取り込むテレビカメラ6と、X線照射側（X線管1及びコリメータ2）とX線撮像側（X線イメージインテンシファイア5及びテレビカメラ6）を機械的に接続するCアーム10と、Cアーム10を保持するCアーム保持体11と、Cアーム保持体11を天井に取り付ける天井支持体12と、天井支持体12をレール上に動かせることにより、Cアーム全体を移動させる天井レール13を備えている。ただし、図1において8は回転中心軸、7はX線源の焦点の軌道を含む平面である回転軌道面（ミッドプレーン）、9は回転中心軸8と回転軌道面7の交点（以下、回転中心と呼ぶ。）を示す。

【００１７】

また計測部制御手段100は、Cアーム10の回転中心軸8を中心に回す回転（回転中心軸8の周りを回す回転をプロペラ回転と呼ぶ。）を制御するCアーム回転制御手段101と、天井支持体12の天井レール13上での位置を制御しCアーム全体の位置を2次元的に制御する撮影系位置制御手段102と、X線管1に流す管電流のON、OFF等を制御するX線照射制御手段103と、寝台4の位置を制御して被検体の位置を制御する被検体位置制御手段104と、X線イメージインテンシファイア5とテレビカメラ6によるX線透過像の撮像を制御する撮像系制御手段105等を備えている。

【００１８】

また3次元再構成手段200は、計測部50及び計測部制御手段100によって計測され、画像収集手段110に記録されたX線透視像を基に画像再構成演算を行い3次元的X線CT像を得るものであり、前処理手段201と、画像歪み補正手段202と、座標ねじれ角補正手段203と、フィルタリング手段204と、逆投影手段205と、3次元画像重ね合わせ手段206を備えている。それらを以下順に詳細に説明する。

【００１９】

前処理手段201は、画像収集手段110で収集して記録されたX線透過像をX線吸収係数の分布像に変換する公知の手段である。本実施の形態では先ず、被検体3及び寝台4を撮影視野内に配置しない状態で予め撮影された空気のX線透過像の各画素データに対して自然対数変換演算を施す。次に被検体3を寝台4を載せた状態でX線透過像を撮影した各画素データに対して自然対数変換演算を施す。上記2つの画像の差分を取ることにより、被検体3及び寝台4のX線吸収係数の分布像を得る。

【００２０】

画像歪み補正手段202は、特開平8-24248号公報に記載の公知の手段であり、X線吸収係数の分布像の画像歪みを補正する。この画像歪みは、X線イメージインテンシファイア5によってX線透過像を可視光像に変換する際に生じる画像歪みであり、後述する画像歪み補正テーブル保管手段302に格納されている画像歪み補正テーブルに基づき、前処理手段201で得られたX線吸収係数の分布像の画像歪みを補正する。

座標ねじれ角補正手段203は、2次元X線検出器の画像上での座標軸と実際の回転中心軸との角度の差（座標ねじれ角）の補正を行う画像回転手段である。

【００２１】

ここで、図2を用い座標ねじれ角を説明する。20はホールチャート、21は回転中心軸8の投影、7は回転軌道面、22はホールチャート上の縦軸、23はホールチャート上の横軸、24は座標ねじれ角bである。ホールチャート20は、後述する画像歪み補正テーブル生成手段3

01においてキャリブレーションデータを取得するために用いるファントムで、等間隔の格子点上に微小な点（ピンホール）を空けた金属板である。ホールチャート20をX線イメージインテンシファイア5の前面に固定してホールチャート歪み投影像を収集するが、ホールチャート上の縦軸22と回転中心軸8の投影21、またはホールチャート上の横軸23と回転軌道面7が座標ねじれ角bだけずれていると、画像歪み補正手段202で画像歪み補正後の画像はねじれ角bだけずれる。この座標ねじれ角ｂを、後述する座標ねじれ角計算手段306で求め、X線画像を座標ねじれ角bとは逆方向に回転してこれを補正する。ただし、本実施の形態ではX線撮像系としてX線イメージインテンシファイア5およびテレビカメラ6を用いたが、TFT素子等を用いた2次元X線検出器に置き換える場合には、X線検出器の取り付け角度のずれが座標ねじれ角ｂになる。

【００２２】

フィルタリング手段204は、X線CT画像再構成におけるフィルタリング処理を行う公知の手段である。

逆投影手段205は、フィルタリングの後の画像データに対して、文献1に記載のフェルトカンプの方法を用いて逆投影処理を行う公知の手段である。ただし本実施の形態では、[0007]で述べたように、回転前半と回転後半で幾何学パラメータが異なると考え、それぞれの幾何学パラメータを用いて、それぞれのX線透過像を用いて逆投影処理を行う。

【００２３】

3次元画像重ね合わせ手段206は、逆投影手段205により回転前半と回転後半のそれぞれの幾何学パラメータでそれぞれに逆投影処理された3次元的X線CT像を加算する手段である。加算により本実施の形態では前半と後半合わせて200度の方向からの2次元X線投影データを用いた3次元的X線CT像が生成される。生成された3次元的X線CT像は画像表示手段210により表示される。

【００２４】

次に幾何学パラメータ計算手段300は、3次元再構成手段200で画像再構成を行う際に補正として取り入れるコーンビームX線CT装置の機械的製作誤差を幾何学パラメータとして用意するものであり、画像歪み補正テーブル生成手段301と、画像歪み補正テーブル保管手段302と、回転軌道面（ミッドプレーン）再構成手段303と、回転中心軸位置及び回転角度ピッチ計算手段304と、回転開始角度及び重ね合わせ基準位置計算手段305と、座標ねじれ角計算手段306を備えている。それらを以下順に詳細に説明する。

【００２５】

画像歪み補正テーブル生成手段301は、特開平8-24248号公報に記載の公知の手段であり、画像歪み補正手段202で使用する画像歪み補正テーブルを生成する。まず、X線イメージインテンシファイア5の前面にホールチャート20を固定してホールチャート歪み投影像を撮影する。ホールチャート歪み投影像に前処理手段201を施し、ピンホール状のホールの投影位置を検知し、補正後のホールチャート投影像のピンホールが格子点上に配列するようなホールチャート画像歪み補正テーブルを計算する。

【００２６】

画像歪み補正テーブル保管手段302は、画像歪み補正テーブル生成手段301で計算した画像歪み補正テーブルを磁気ディスク等に格納すると共に、画像歪み補正手段202が投影画像データの歪みを補正するときに、磁気ディスクから画像歪み補正テーブルを読み出しすることを可能とした公知の手段である。

【００２７】

回転軌道面再構成手段303は、逆投影手段205において、回転軌道面（ミッドプレーン）7内の平面に限定した再構成画像を生成する手段である。

ここで、回転軌道面（ミッドプレーン）7とは、[0016]ではX線源の焦点の軌道を含む平面であると定義したが、次の定義でも特徴づけられる平面である。被検体上の点（x，y，z）に着目する。回転によりX線源と点（x，y，z）との距離は変化するため、2次元検出器面への投影点は遠近法の原理から分かるように一般に上下方向にも移動する。しかしながら、X線源を含み回転中心軸に垂直な面では、回転によりＸ線源と点（x，y，z）との距離

が変化しても2次元検出器面への投影点は上下方向には移動しない。このような面と定義しても回転軌道面（ミッドプレーン）7は特徴づけられる。

【００２８】

回転中心軸位置及び回転角度ピッチ計算手段304は、回転軌道面再構成手段303で生成される画像を基に、逆投影手段205で使用する回転中心軸の実際の位置と回転角度ピッチの実際の値を算出する手段である。これにより、回転中心軸及び回転角度ピッチが設計値通りでない場合、補正を行うための幾何学パラメータが求められ、逆投影手段205での逆投影処理に用いることができる。

【００２９】

回転開始角度及び重ね合わせ基準位置計算手段305は、ミッドプレーン再構成手段303で生成される画像を元に、3次元画像重ね合わせ手段206で使用する回転開始角度と重ね合わせ基準位置の実際の値を算出する手段である。これにより、回転開始角度および重ね合わせ基準位置が設計値通りでない場合、補正を行うための幾何学パラメータを求め、3次元画像重ね合わせ手段206での、例えば回転前半と回転後半の100度ずつでの3次元的X線CT像を重ね合せる際に用いることができる。座標ねじれ角計算手段306は、座標ねじれ角補正手段203で用いる座標ねじれ角bの大きさを算出する手段である。

【００３０】

以上構成のCアームを利用したコーンビームX線CT装置において、実際の寸法は、例えばＸ線管1の焦点と回転中心9との距離は800mm、回転中心9とX線イメージインテンシファイア5のX線入力面との距離は400mmである。また、Cアーム10はCアーム回転制御手段101によって、被検体3（回転中心軸8）の周りをいわゆるプロペラ回転される。本実施の形態では、Cアームの回転全角度は完全に360度ではなく、X線イメージインテンシファイア5及びテレビカメラ6は、始め被検体3の左手の方向（－100°）にあり、天井方向（0°）を通過し、被検体3の右手方向（＋100°）に移動する。Cアーム10の回転速度の代表例は1秒当たり40度で、スキャン時間は5秒である。また本実施の形態では、200度の回転撮影は連続して行われるが、天井方向を境に前半100度と後半100度の機械的製作誤差の傾向が異なり、よって幾何学パラメータも前半と後半で異なるものと想定する。

【００３１】

次に撮影時における動作の説明を以下に行う。撮影に入ると、先ずCアーム回転制御手段101はCアーム10の回転を開始する。回転加速期間を経ると、X線照射制御手段103はX線管1よりX線を発生させ、撮像系制御手段105はテレビカメラ6による可視光像の撮像を開始する。X線管1から照射されたX線は被検体3を透過した後、X線イメージインテンシファイア5へ入射する。X線透過像はX線イメージインテンシファイア5で可視光像に変換され、テレビカメラ6に取り込まれる。テレビカメラ6はＸ線透過像をビデオ信号に変換した後、A／D変換を行い、得られたデジタル画像は画像収集手段110に記録される。テレビカメラ6の標準走査モードは、例えば毎秒30フレーム、走査線数512本である。また、回転角度ピッチの公称値は1.33度で、5秒間に150枚のX線画像を取得する。200度の回転撮影が完了すると、X線照射制御手段103はX線管1からのX線の発生を終了させ、Cアーム回転制御手段101は回転を停止する。一方、3次元再構成手段200は撮影に併行して、あるいは撮影終了後に画像収集手段110からデジタル画像を読み出し、後述する3次元再構成処理によって被検体3の3次元的X線CT像の再構成演算を行い、画像表示手段210に表示する。ただし、画像表示手段210は、画像収集手段110に記録されたX線画像を直接表示することも可能である。

【００３２】

次に、3次元再構成手段200および幾何学パラメータ計算手段300における各手段の動作説明を行う。ただし、上述したように前処理手段201、画像歪み補正手段202、フィルタリング手段204、逆投影手段205、画像歪み補正テーブル生成手段301、画像歪み補正テーブル保管手段302は公知の手段であり、それ以外の手段、すなわち座標ねじれ角補正手段203、3次元画像重ね合わせ手段206、ミッドプレーン再構成手段303、回転中心軸位置及び回転角度ピッチ計算手段304、回転開始角度及び重ね合わせ基準位置計算手段305、座標ねじれ角計算手段306には本発明の特徴が含まれる。従って、以下の説明では本発明の特徴が

含まれる手段に重点を置いて、3次元再構成手段200および幾何学パラメータ計算手段300の説明を行う。

【００３３】

幾何学パラメータ計算手段300において幾何学パラメータを計算するためには、図3に示すファントムを用いる。図3は被検体3を足方向からみた図であり、30はワイヤー状ファントムである。簡単のため、X線管1とコリメータ2と、寝台4、X線イメージインテンシファイア5とテレビカメラ6のみを示し、他は省略した。本実施の形態においてワイヤー状ファントム30は、複数のワイヤーを回転中心軸に平行に張り、3次元的X線CT像の回転軌道面（ミッドプレーン）7に平行な断面像を生成するとその中のワイヤーの位置が縦横に並ぶように配置したものである。ただし、図3では5×5でワイヤーを配置したものとして例を図示している。このワイヤー状ファントム30と、図2で説明したホールチャート20を用い収集されるキャリブレーションデータに基いて、幾何学パラメータ計算手段300では幾何学パラメータの計算処理を行う。

【００３４】

次に図4に、幾何学パラメータ計算手段300における幾何学パラメータ計算処理のフローチャートを示す。各ステップを順に説明する。ただし以下、本実施形態においてステップNoを示すのに、図中ではS20，S301等と表記するものとする。

（ステップ20）先ず、ホールチャート20をX線イメージインテンシファイア5の前面に固定して回転撮影を行い、各角度におけるホールチャート歪み投影像、例えば150枚の収集を行う。

（ステップ301）次に画像歪み補正テーブル生成手段301により、（ステップ20）で得られた150枚のホールチャート画像歪み投影像を基にホールチャート画像歪み補正テーブルの計算を行う。

（ステップ302）次に画像歪み補正テーブル保管手段302に、（ステップ301）で計算されたホールチャート画像歪み補正テーブルを保管する。ここで保管されたホールチャート画像歪み補正テーブルは、画像歪み補正手段202でX線透視像の画像歪みを補正する際に用いられる。

【００３５】

（ステップ30）図3で示したワイヤー状ファントムを、ワイヤーの方向が回転中心軸の方向と同じになるようにして、更に奇数個×奇数個配列されたワイヤーの最も中央のもの（3×3のワイヤー状ファントムの場合には、縦2列目、横2列目のもの、5×5のワイヤー状ファントムの場合には、縦3列目、横3列目のもの）が概ね回転中心軸上に載るように配置して、Cアーム方式コーンビームX線CT装置の回転撮影を行い、X線透視像を得る。

（ステップ304）回転中心軸位置及び回転角度ピッチ計算手段304により、回転中心軸位置及び回転角度ピッチの実際の値（設計値との差）を計算する。計算の具体的な処理の詳細は、図6を用い後述する。ここで求められた実際の回転中心軸位置及び回転角度ピッチは、逆投影手段205で実際のX線透視像を逆投影処理をする際に用いられる。

【００３６】

（ステップ305）回転開始角度及び重ね合わせ基準位置計算手段305により、回転開始角度 及び重ね合わせ基準位置の実際の値（設計値との差）を計算する。計算の具体的な処理の詳細は、図14を用い後述する。ここで求められた回転開始角度及び重ね合わせ基準位置は、3次元画像重ね合わせ手段206で前半と後半の100度ずつでの再構成画像を重ね合せる際に用いられる。

（ステップ306）座標ねじれ角計算手段306により、[0021]で説明した座標ねじれ角を計算する。計算の具体的な処理の詳細は、図15を用い後述する。ここで求められた座標ねじれ角は、座標ねじれ角補正手段203で座標ねじれ角を補正する際に用いられる。

【００３７】

上記図4の幾何学パラメータ計算処理のフローチャートの内（ステップ304）および（ステップ305）では、計算の計算時間短縮のために回転軌道面（ミッドプレーン）7上の投影データに限定した再構成演算処理を行い、その結果を用いる。次に回転軌道面（ミッドプ

レーン）7上に限定した再構成演算処理（回転軌道面再構成演算処理）の手順を図5のフローチャートを用い説明する。

（ステップ201）回転軌道面（ミッドプレーン）7に限定した投影データを用いて、前処理手段201で前処理を行う。

【００３８】

（ステップ202）（ステップ201）で回転軌道面（ミッドプレーン）7に限定して前処理を行ったデータについて、画像歪み補正手段202で画像歪み補正処理を行う。

（ステップ204）（ステップ202）で回転軌道面（ミッドプレーン）7に限定して画像歪み補正処理を行ったデータについて、フィルタリング手段204でフィルタリング処理を行う。

（ステップ205）（ステップ204）で回転軌道面（ミッドプレーン）7に限定してフィルタリング処理を行ったデータについて、逆投影手段205で逆投影処理を行う。

【００３９】

以上（ステップ201）から（ステップ205）までの各手順により回転軌道面（ミッドプレーン）7における再構成画像が得られる。ただし、本実施の形態ではCアームのプロペラ回転の前半100度と後半100度で機械的製作誤差の傾向が異なると仮定しているので、（ステップ304）および（ステップ305）では回転前半と回転後半のそれぞれの投影データより上記回転軌道面再構成画像を求め、それぞれによって幾何学パラメータを求める。

【００４０】

次に図6に、回転中心軸位置及び回転角度ピッチ計算手段304における回転中心軸位置計算及び回転角度ピッチ計算処理のフローチャートを示す。各ステップを順に説明する。ただし、回転前半と回転後半でそれぞれ同様の手順によって回転中心軸位置及び回転角度ピッチを計算するので、回転前半のみについて説明し、回転後半については省略する。

【００４１】

（ステップ401）まず、図4の（ステップ30）で収集したワイヤー状ファントム投影像から、回転前半の投影データを選択する。

（ステップ402）撮影系ジオメトリパラメータの1つである回転角度ピッチの初期値を、例えば1.33°（＝200°/150枚）に設定する。

（ステップ403）回転中心軸位置（以下、centerと称す）を初期位置（設計位置）に設定する。

（ステップ303）ワイヤー状ファントムの回転前半の投影データによる回転軌道面画像再構成を行う。

【００４２】

ここで、回転中心軸の初期位値が機械的製作誤差を持つ場合にどのような再構成画像が得られるかの模式図を図7および図8に示す。ただし、図7および図8はワイヤー状ファントム30のワイヤー数が3×3の場合である。また、図7および図8は被検体3の足方向からみたもので、簡単のためX線イメージインテンシファイア5及びテレビカメラ6のみを示し、他は省略した。今説明しているのは回転前半部であるので、X線イメージインテンシファイア5及びテレビカメラ6は被検体の左手の方向から、天井の方向まで移動する。図7は、検出器上での回転中心軸の投影が実際より＋u方向に誤差を持つ（32の実線の位置）として画像再構成処理をした場合の再構成画像である。この場合、再構成画像のワイヤー像は点にはならず、右から下方向に包絡線からなる弧を描き、その半径は（ステップ402）で設定したcenterの正しい位置からのずれに概ね等しくなる。一方、図8は、検出器上での回転中心軸の投影が実際より－u方向に誤差を持つ（32の実線の位置）として画像再構成処理をした場合の再構成画像である。この場合、再構成画像のワイヤー像は点にはならず、左から上方向に包絡線からなる弧を描き、その半径は（ステップ402）で設定したcenterの正しい位置からのずれに概ね等しくなる。

【００４３】

（ステップ404）（ステップ303）で得られた再構成画像について、閾値処理を行いワイヤー領域を抽出する。

（ステップ410）再構成画像には複数のワイヤー断面が縦横に配置されているが、回転中心軸位置計算処理においては、最も画像上中央付近に配置されているワイヤーに注目する。そして、この中心ワイヤーの半径を算出する。

（ステップ411）（ステップ410）で算出した弧の半径がゼロと見なせるかを判定する。見なせれば（ステップ420）へ、見なせなければ（ステップ412）へ移行する。

（ステップ412）（ステップ411）で弧の半径がゼロと見なせなかった場合、図7の場合か図8の場合かを判断し、それに応じてcenterが正しくなるよう加減算して補正する。そして、（ステップ303）からの過程を再度行う。（ステップ411）で弧の半径がゼロと見なせた場合、回転角度ピッチの計算に移行する。

【００４４】

図9と図10に、実際と異なる回転角度ピッチでミッドプレーン再構成を行った場合の、ワイヤー状ファントムの再構成画像を示す。ただし、図9および図10はワイヤー状ファントム30のワイヤー数が3×3の場合である。また、図9および図10は被検体3の足方向からみたもので、簡単のためX線イメージインテンシファイア5及びテレビカメラ6のみを示し、他は省略した。図9は、回転中心軸の位置（center）は正しいが、回転角度ピッチは実際より小さい値でミッドプレーン再構成を行った場合の、再構成画像である。この場合、回転中心を通りスキャン角度範囲のちょうど真ん中の方向を通る線上、図では、右上、中心、左下のワイヤー断面は結像するが、その線上から離れるつれ、ワイヤー断面は外側に広がるような弧を描く。一方、図10は回転中心軸の位置（center）は正しいが、回転角度ピッチは実際より小さい値でミッドプレーン再構成を行った場合の、ワイヤー再構成画像である。この場合も、回転中心を通りスキャン角度範囲のちょうど真ん中の方向を通る線上ではワイヤー断面は結像するものの、その外側では図9とは反対に、回転中心を囲むような弧を描く。

【００４５】

(ステップ420)周辺ワイヤー、すなわち回転中心を通りスキャン角度範囲のちょうど真ん中の方向を通る線上から最も離れたワイヤー、図では左上または右下のワイヤーの再構成画像の弧の半径を算出する。

(ステップ421)(ステップ420)で算出した周辺ワイヤーの弧の半径がゼロと見なせるかを判定する。見なせれば再構成画像は図11のようになり、回転前半の回転中心軸位置および回転角度ピッチの計算を終了し、見なせなければ(ステップ422)へ移行する。(ただし、図11において、ワイヤーの再構成画像の断面が斜めの棒状で、点状に結像しないのは、左上から右下方向への投影データが欠落しているためである。)

(ステップ422)(ステップ421)で弧の半径がゼロと見なせなかった場合、図9の場合か図10の場合かを判断し、それに応じて回転角度ピッチが正しくなるよう加減算して補正する。そして、(ステップ303)からの過程を再度行う。

【００４６】

同様のフローチャートによって回転後半についても、回転中心軸位置及び回転角度ピッチを計算する。すると、図12のようなワイヤー再構成画像が得られる。回転前半と回転後半の幾何学パラメータが同一ならば、図11と図12の再構成画像の加算により図13のように点状に結像したワイヤー像が得られるが、本実施の形態では回転前半と回転後半の幾何学パラメータが異なるため、再構成画像を加算する際に回転、平行移動等の重ね合わせ処理が必要であり、これは3次元画像重ね合わせ手段206において、回転開始角度及び重ね合わせ基準位置計算手段305で求めた幾何学パラメータを基に行われる。

【００４７】

次に図14に、回転開始角度及び重ね合わせ基準位置計算手段305において、回転前半と回転後半の再構成画像を重ねる際に必要な幾何学パラメータを求める処理のフローチャートを示す。各ステップを順に説明する。初めに、回転前半のワイヤー画像再構成において、ワイヤー断面が水平に配置されるように、調整する。具体的には、再構成演算における回転開始角度方向を実際に合わせるように調整することによって、ワイヤー断面が水平になるようにする。

（ステップ501）先ず、再構成演算における回転開始角度方向を設計値−100°とする。
（ステップ502）回転前半の投影データから図11に示すような回転軌道面再構成画像を生成する。

【００４８】
（ステップ503）閾値処理により再構成画像からワイヤー領域を抽出する。
（ステップ504）（ステップ503）で抽出されたワイヤー領域より各々のワイヤー断面の重心座標を算出する。
（ステップ505）ワイヤーの再構成断面が正確に水平に配置されているか、すなわち横方向に並ぶワイヤー断面の重心の上下座標が等しいかを判定し、等しければ（ステップ510）へ、等しくなければ（ステップ506）へ移行する。
（ステップ506）（ステップ505）で横方向に並ぶワイヤー断面の重心の上下座標が等しくないと判定された場合、再構成演算における前半回転開始角度方向をその等しくない程度に応じて加減算し、（ステップ502）からの過程を再度行う。

【００４９】
（ステップ505）で横方向に並ぶワイヤー断面の重心の上下座標が等しいと判定された場合、回転後半のワイヤー再構成画像において、ワイヤー断面が水平に配置され、かつその重心が回転前半のワイヤー再構成画像と一致するように、後半の回転開始の角度方向と重ね合わせ基準位置の計算に移る。

【００５０】
（ステップ510）先ず回転後半の重ね合わせ基準位置を設計値通り（回転前半と回転後半でずれがない）とする。
（ステップ511）更に、回転後半の開始角度を天井方向0°に設定する。
（ステップ512）回転後半の投影データから図12に示すようなミッドプレーン再構成画像を生成する。
（ステップ513）閾値処理により再構成画像からワイヤー領域を抽出する。

【００５１】
（ステップ514）（ステップ513）で抽出されたワイヤー領域より各々のワイヤー断面の重心座標を算出する。
（ステップ515）ワイヤーの再構成断面が正確に水平に配置されているか、すなわち横方向に並ぶワイヤー断面の重心の上下座標が等しいかを判定し、等しければ（ステップ520）へ、等しくなければ（ステップ516）へ移行する。
（ステップ516）（ステップ515）で横方向に並ぶワイヤー断面の重心の上下座標が等しくないと判定された場合、再構成演算における後半回転開始角度方向を加減算し、（ステップ512）からの過程を再度行う。
（ステップ520）（ステップ515）で回転後半のワイヤーの再構成断面が正確に水平に配置されていると判断された場合、回転前半のワイヤーの再構成断面と回転後半のワイヤーの再構成断面を重ね合わせる。

【００５２】
（ステップ521）回転前半の再構成断面のワイヤー重心座標と回転後半の再構成断面のワイヤー重心座標が一致しているかを判定し、一致していると見なせれば、投影開始角度及び基準位置計算を終了し、見なせなければ（ステップ522）へ移行する。
（ステップ522）（ステップ521）で回転前半の再構成断面のワイヤー重心座標と回転後半の再構成断面のワイヤー重心座標が一致していないと判定された場合、重心座標のずれの分だけ重ね合わせ基準位置を補正して、（ステップ512）からの過程を再度行う。

【００５３】
次に図15に、座標ねじれ角計算手段306において、座標ねじれ角を計算する処理のフローチャートを示す。各ステップを順に説明する。
（ステップ601）初めに、座標ねじれ角の初期値を0°に設定する。
（ステップ602）上記各手段で求めた幾何学パラメータを使用して、回転軌道面7に限らず、全ワイヤー投影データより3次元画像再構成処理を行う。

【００５４】

（ステップ603）回転軌道面7に平行で、回転軌道面7から回転中心軸方向に離れた再構成断面を選択する。図2から分かるように、座標ねじれ角bがゼロでないと、回転軌道面7のu平面上では再構成像が結像しても、そこから再構成断面が離れるにつれ、歪み補正後画像の縦軸22が回転中心軸の投影21からずれるため、再構成画像のワイヤー断面は図7または図8に示したような軌跡を描く。

（ステップ604）閾値処理により再構成画像からワイヤー領域を抽出する。

（ステップ605）ワイヤーの弧の半径を算出する。

【００５５】

（ステップ606）ワイヤーの弧の半径をゼロと見なせるかを判定する。ワイヤーの弧の半径がゼロと見なせれば、座標ねじれ角計算処理を終了し、見なせなけば、（ステップ607）へ移行する。

（ステップ607）（ステップ606）でワイヤーの弧の半径をゼロと見なせない場合、弧の向きに応じて座標ねじれ角の値を増減し、（ステップ602）からの過程を再度行う。

【００５６】

以上実施形態によれば、Cアーム方式コーンビームX線CT装置において、回転する角度範囲によって機械的製作誤差等を表す幾何学パラメータに偏りがある場合において、ワイヤー状ファントムを用いて各角度範囲における幾何学パラメータを各手段で求め、更に各手段で求めた幾何学パラメータを用いて3次元的X線CT像を画像再構成し、各角度範囲で得られた3次元的X線CT像を好適に重ね合わせることができるので、アーチファクトの原因となる上記誤差等を好適に求め補正することが可能となる。

【００５７】

本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々に変形できる。例えば、上記実施の形態では回転前半と回転後半で幾何学パラメータが異なる場合を示したが、3つ以上の幾何学パラメータの異なる角度範囲を持つCアーム方式コーンビームX線CT装置にも、必要なステップを追加する等のことにより、本発明は適用可能である。また、2次元X線検出器としてX線イメージインテンシファイア5及びテレビカメラ6からなる系を用いたが、例えばこのX線検出器をTFT素子を用いた2次元X線検出器等に置き換えた場合にも、本発明は適用可能である。また、本発明はCアーム方式でないコーンビームX線CT装置にも適用可能である。また、上記実施形態では回転撮影全角度が200度である場合であったが、その他の角度、例えば全角度が360度の場合にも、本発明を適用可能である。

【図面の簡単な説明】

【００５８】

【図１】本発明の実施の形態におけるCアーム方式コーンビームX線CT装置の概略構成を示すブロック図。

【図２】座標ねじれ角を説明するための図。

【図３】幾何学パラメータ計算手段300において幾何学パラメータを計算するために用いるファントムを説明するための図（縦5×横5でワイヤーを配置する場合）。

【図４】本発明の実施の形態における幾何学パラメータ計算処理の手順を示すフローチャート。

【図５】本発明の実施の形態における回転軌道面再構成演算処理の手順を示すフローチャート。

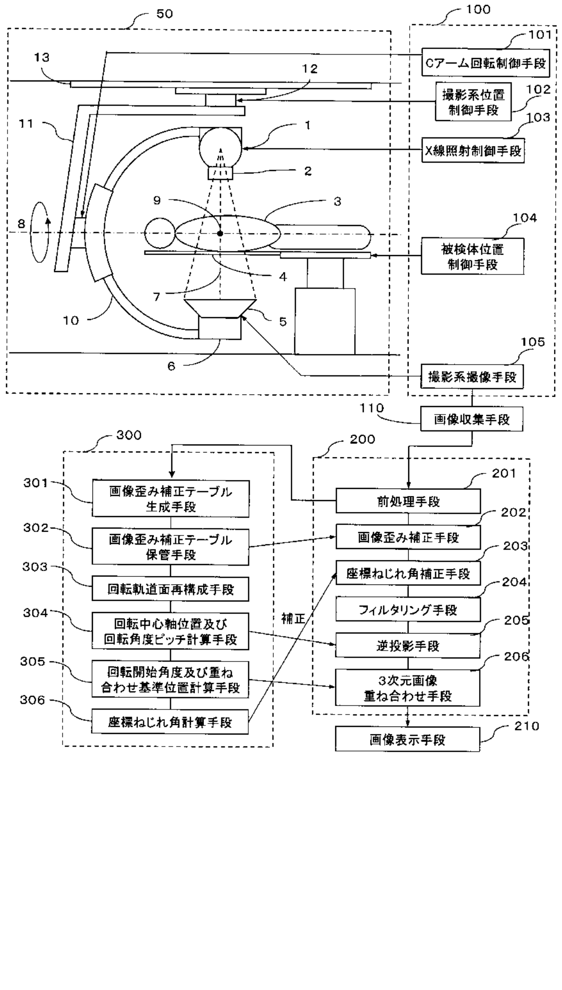
【図６】本発明の実施の形態における回転中心軸位置計算及び回転角度ピッチ計算処理の手順を示すフローチャート。

【図７】回転中心軸の初期位値が機械的製作誤差を持つ場合にどのような再構成画像が得られるかの模式図（検出器上での回転中心軸の投影が実際より＋u方向に誤差を持つとして画像再構成処理をした場合）。

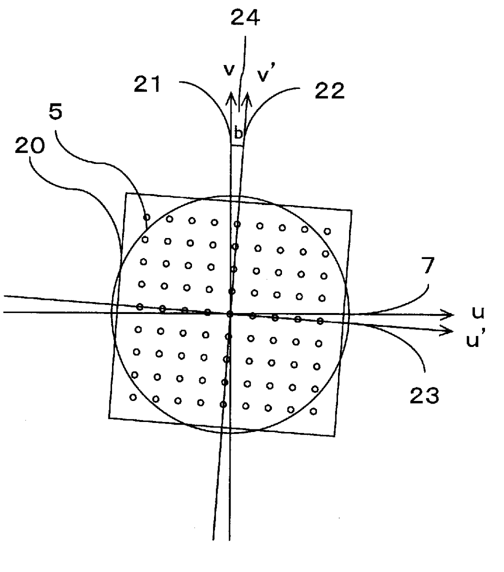
【図８】回転中心軸の初期位値が機械的製作誤差を持つ場合にどのような再構成画像が得られるかの模式図（検出器上での回転中心軸の投影が実際より－u方向に誤差を持つとし

て画像再構成処理をした場合）
【図９】実際と異なる回転角度ピッチで回転軌道面再構成を行った場合の、ワイヤー状ファントムの再構成画像（回転角度ピッチが実際より小さい値で回転軌道面再構成を行った場合）。
【図１０】実際と異なる回転角度ピッチで回転軌道面再構成を行った場合の、ワイヤー状ファントムの再構成画像（回転角度ピッチが実際より小さい値で回転軌道面再構成を行った場合）。
【図１１】本実施の形態において、回転前半の投影データから、回転中心軸の位置および回転角度ピッチが幾何学的に正しい値で回転軌道面再構成を行った場合の再構成像を示す模式図。
【図１２】本実施の形態において、回転後半の投影データから、回転中心軸の位置および回転角度ピッチが幾何学的に正しい値で回転軌道面再構成を行った場合の再構成像を示す模式図。
【図１３】本実施の形態において、全投影データから、回転中心軸の位置および回転角度ピッチが幾何学的に正しい値で再構成を行った場合の再構成像を示す模式図である。
【図１４】回転前半と回転後半の再構成画像を重ねる際に必要な幾何学パラメータを求める処理の手順を示すフローチャート。
【図１５】座標ねじれ角を計算する処理の手順を示すフローチャート。
【符号の説明】
【００５９】
304…回転中心軸位置及び回転角度ピッチ計算手段
305…回転開始角度及び重ね合わせ基準位置計算手段
306…座標ねじれ角計算手段

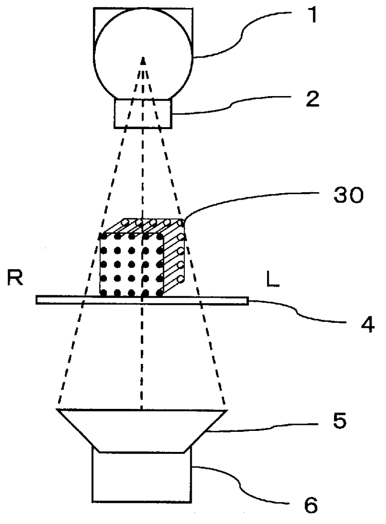
【図１】



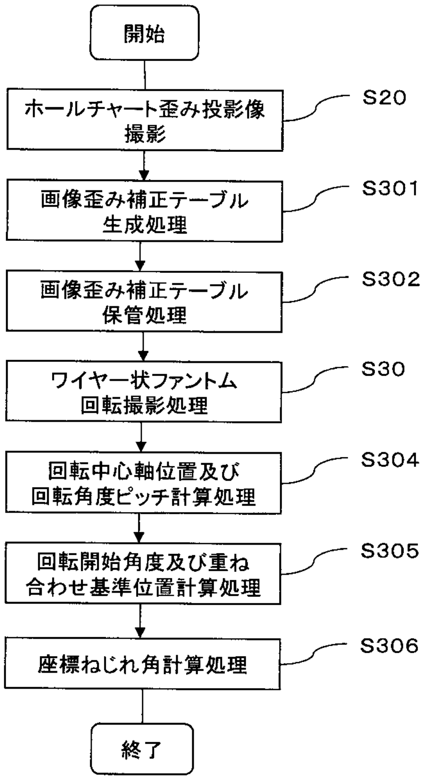
【図２】



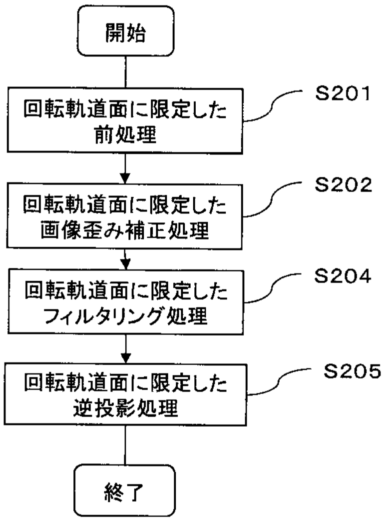
【図３】


1
2
30
R
L
4
5
6

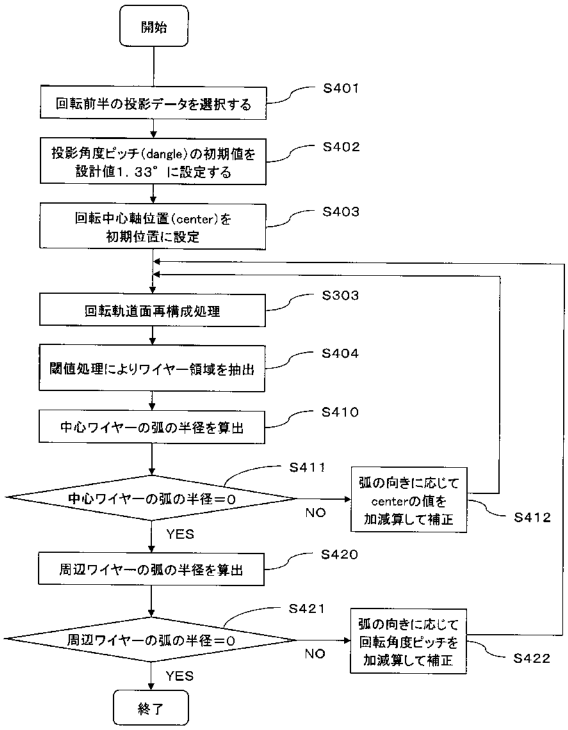
【図４】


開始
ホールチャート歪み投影像撮影
S20
画像歪み補正テーブル生成処理
S301
画像歪み補正テーブル保管処理
S302
ワイヤー状ファントム回転撮影処理
S30
回転中心軸位置及び回転角度ピッチ計算処理
S304
回転開始角度及び重ね合わせ基準位置計算処理
S305
座標ねじれ角計算処理
S306
終了

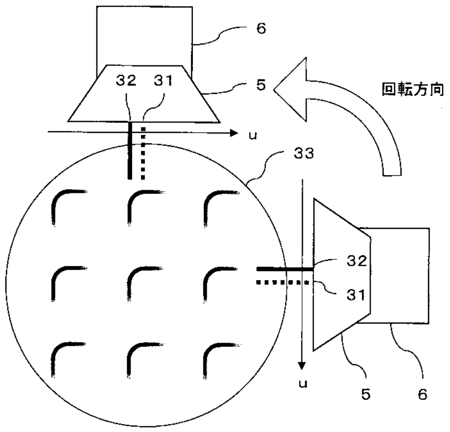
【図５】


開始
回転軌道面に限定した前処理
S201
回転軌道面に限定した画像歪み補正処理
S202
回転軌道面に限定したフィルタリング処理
S204
回転軌道面に限定した逆投影処理
S205
終了

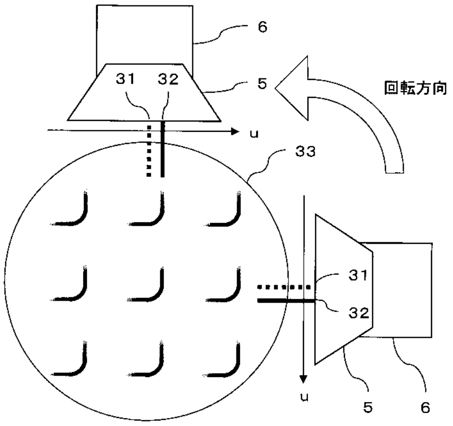
【図６】


開始
回転前半の投影データを選択する
S401
投影角度ピッチ(dangle)の初期値を設計値1．33°に設定する
S402
回転中心軸位置(center)を初期位置に設定
S403
回転軌道面再構成処理
S303
閾値処理によりワイヤー領域を抽出
S404
中心ワイヤーの弧の半径を算出
S410
中心ワイヤーの弧の半径＝0
S411
NO
弧の向きに応じてcenterの値を加減算して補正
S412
YES
周辺ワイヤーの弧の半径を算出
S420
周辺ワイヤーの弧の半径＝0
S421
NO
弧の向きに応じて回転角度ピッチを加減算して補正
S422
YES
終了

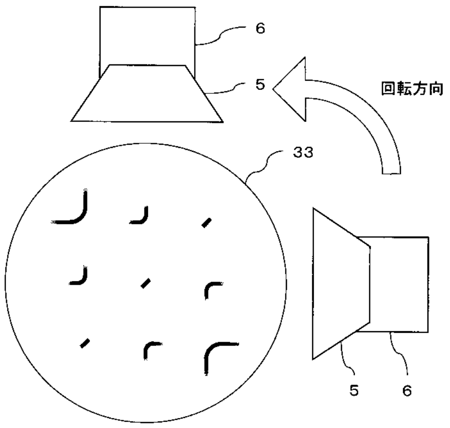
【図７】


6
5
32
31
回転方向
u
33
32
31
u
5
6

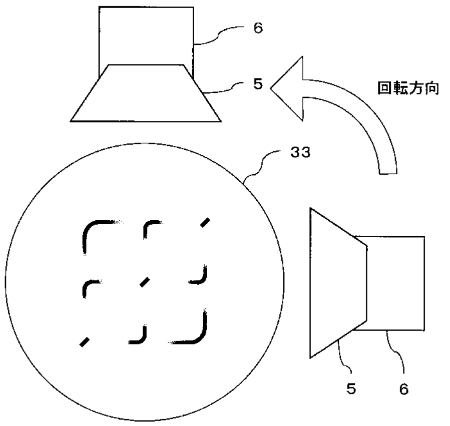
【図８】


6
5
31
32
回転方向
u
33
31
32
u
5
6

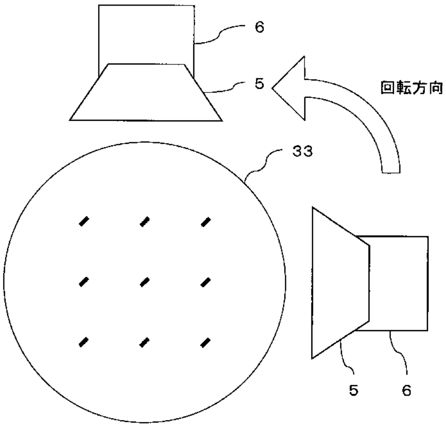
【図９】


6
5
回転方向
33
5
6

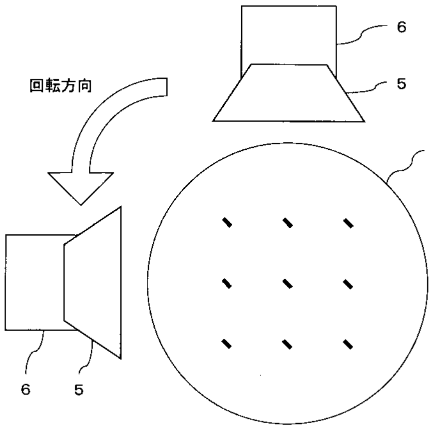
【図１０】


6
5
回転方向
33
5
6

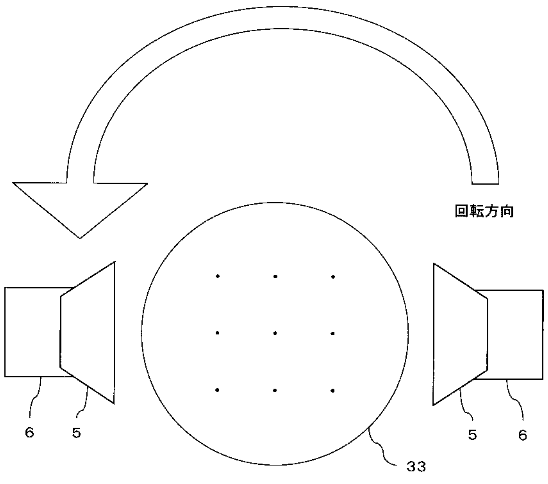
【図１１】



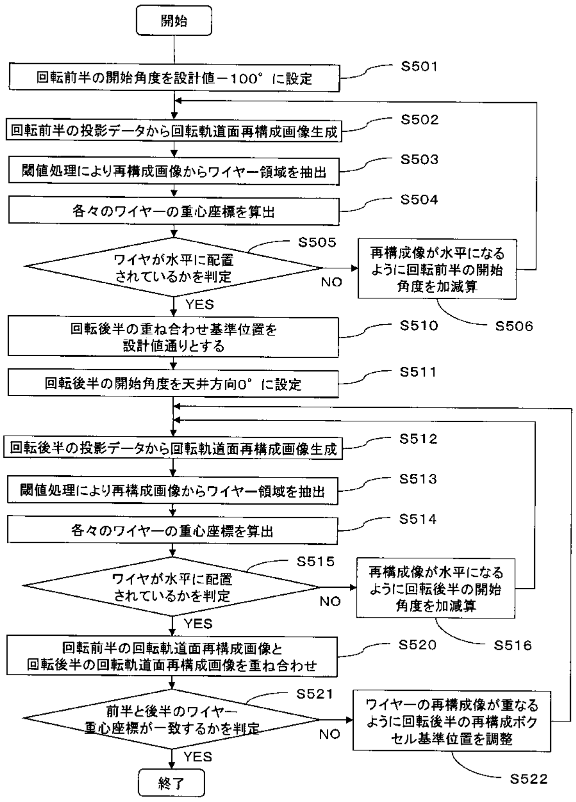
【図１２】



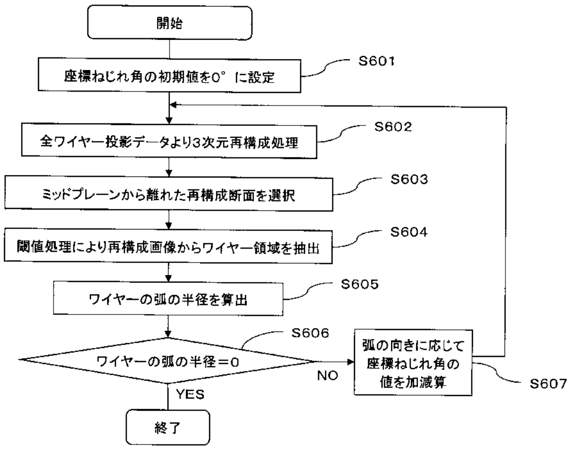
【図１３】



【図１４】



【図１５】


開始
座標ねじれ角の初期値を0°に設定
S601
全ワイヤー投影データより3次元再構成処理
S602
ミッドプレーンから離れた再構成断面を選択
S603
閾値処理により再構成画像からワイヤー領域を抽出
S604
ワイヤーの弧の半径を算出
S605
ワイヤーの弧の半径＝0
S606
NO
弧の向きに応じて座標ねじれ角の値を加減算
S607
YES
終了

フロントページの続き

(56)参考文献　特開平０８－０２４２４８（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－０３３９６０（ＪＰ，Ａ）
特開２００３－０６１９４４（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－３３６２３７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ａ６１Ｂ　　　６／０３
Ａ６１Ｂ　　　６／００