(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3548306号
(P3548306)
(45)発行日　平成16年7月28日(2004.7.28)　(24)登録日　平成16年4月23日(2004.4.23)

(51)Int.Cl.[7]　F I
A61B 6/03　A61B 6/03 320Y
A61B 6/03 350H

請求項の数 2　(全 16 頁)

(21)出願番号　特願平7-334865
(22)出願日　平成7年12月22日(1995.12.22)
(65)公開番号　特開平9-173330
(43)公開日　平成9年7月8日(1997.7.8)
審査請求日　平成13年2月9日(2001.2.9)

(73)特許権者　000153498
株式会社日立メディコ
東京都千代田区内神田１丁目１番１４号
(74)代理人　100083552
弁理士　秋田　収喜
(72)発明者　河合　浩之
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地
株式会社日立製作所　中央研究所内
(72)発明者　関原　謙介
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地
株式会社日立製作所　中央研究所内
(72)発明者　刀禰　正茂
東京都千代田区内神田一丁目１番１４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線断層撮影装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
円錐状のＸ線を被検体に照射するＸ線源と、該Ｘ線源に対向して配置される２次元Ｘ線検出手段とを前記被検体の周囲の回転軌道上で回転中心軸の周りに回転させながら前記被検体を透過したＸ線による画像を得る計測部と、前記２次元Ｘ線検出手段に起因する前記画像の歪みを補正するための補正定数を格納する補正テーブルと、前記補正定数に基づき、前記画像を前記２次元Ｘ線検出手段に予め定めた直交座標に変換する変換手段と、予め定められた手順に基づき前記補正テーブルを作成する補正テーブル作成手段とを具備し、
前記補正テーブル作成手段は、前記直交座標が前記回転中心軸に平行及び直交となる変換定数を作成する座標軸補正テーブル作成手段、及び、前記回転中心軸にほぼ平行、かつ、前記回転中心軸から５ｃｍ程度離れた位置に補正用ファントムを固定し撮影した画像の歪みを補正した後の画像上での前記回転中心軸の位置及び前記回転中心軸の傾き角度を前記変換定数として算出する変換定数算出手段とを有し、
前記変換定数算出手段は、前記補正用ファントムを撮影した複数枚の画像から前記基準点の描く楕円軌跡をそれぞれ計算する楕円軌跡計算手段と、該楕円軌跡計算手段が計算した楕円の長軸と短軸との中心位置を計算する中心位置計算手段と、前記中心位置が描く直線を計算する直線計算手段と、前記直線の前記直交座標との傾きを前記傾き角度として計算する角計算手段と、前記楕円軌跡から楕円の短軸長が０となる前記楕円軌跡の中心位置を前記回転中心軸の位置とする回転中心計算手段とを有し、
前記楕円軌跡計算手段は、前記補正用ファントムを撮影した複数枚の画像を加算して１枚

の加算画像を作成する画像加算手段と、前記加算画像に撮影される前記基準点を通る複数個の楕円を抽出する楕円軌跡抽出手段とを有し、
前記回転中心軸の位置及び前記回転中心軸の傾き角度の補正を含む前記補正テーブルが作成され、
前記補正用ファントムは、棒状の形状をもつ支持材と、該支持材の軸方向に取り付けられた金属からなる複数の球体とを有し、
該球体を基準点とすることを特徴とするＸ線断層撮影装置。
【請求項２】
請求項１に記載のＸ線断層撮影装置において、前記加算画像における前記回転中心軸の方向をｖ軸、前記回転中心軸と垂直となる方向をｕ軸とするとき、投影角がａのときの画像歪み補正前の前記加算画像をＰ０（ａ，ｕ，ｖ）、前記補正テーブルによる画像歪み補正後の画像をＰ１（ａ，ｕ，ｖ）、前記傾き角度による画像歪み補正後の画像をＰ２（ａ，ｕ，ｖ）、としたとき、Ｐ２（ａ，ｕ，ｖ）＝Ｐ１（ａ，ｕ’，ｖ’）＝Ｐ０（ａ，Ｕ，Ｖ）とし、前記補正テーブルをＵ＝Ｕ１（ａ，ｕ’，ｖ’），Ｖ＝Ｖ１（ａ，ｕ’，ｖ’）とし、前記回転中心軸の位置を（u_{ct}，v_{mp}）、前記傾き角度をｂとするとき、Ｕ２（ａ，ｕ，ｖ），Ｖ２（ａ，ｕ，ｖ）を数１によって求め、前記補正テーブルとすることを特徴とするＸ線断層撮影装置。
【数１】

$$U2(a,u,v)=U1(a,(u-u_{ct})COSb-(v-v_{mp})SINb+u_{ct},\ (u-u_{ct})SINb+(v-v_{mp})COSb+v_{mp}))$$

$$V2(a,u,v)=V1(a,(u-u_{ct})COSb-(v-v_{mp})SINb+u_{ct},\ (u-u_{ct})SINb+(v-v_{mp})COSb+v_{mp}))$$

【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、Ｘ線源とこのＸ線源に対向して設置される２次元検出器とを同一回転中心の円軌道面上で回転移動させながら被検体のＸ線透視画像を撮影するＸ線断層撮影装置に関し、特に、２次元検出器で撮影されるＸ線透視画像を前述する同一回転中心に平行、かつ、前記円軌道面に垂直な画像に補正するための技術に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
従来のコーンビームＸ線断層撮影装置は、図９に示すように、まず、Ｘ線源５とこのＸ線源５に対向して設置される２次元検出器９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１０に位置する被検者８のＸ線透視画像を２次元検出器９で撮影する。
【０００３】
２次元検出器９で撮影されたＸ線透視画像は図示しないＡ／Ｄ変換器でデジタルの画像情報に変換され、画像処理手段２に転送される。
【０００４】
画像処理手段２に転送された画像情報は、まず、前処理手段１１で計測データに含まれる暗電流バイアス、感度むら等の補正が行われ、次に、この画像情報はＸ線の減衰率の分布に変換するための周知の対数変換が行われることにより、いわゆる投影データに変換され、画像歪み補正手段１２に出力される。
【０００５】
画像歪み補正手段１２では、後述するように、画像情報が２次元検出器９の図示しない検出面が回転中心軸１０と平行、かつ、Ｘ線源５と２次元検出器９との回転面である円軌道面とに垂直となるように、画像情報に補正を行う。
【０００６】

次の再構成演算手段１３は、前述する画像の補正が施された全画像情報に対して、たとえば、Ｆｅｌｄｋａｍｐの方法によるコーンビーム画像再構成演算（Ｌ．Ａ．Ｆｅｌｄｋａｍｐ　ｅｔ　ａｌ．　Ｐｒａｃｔｉｃａｌ　ｃｏｎｅ　ｂｅａｍ　ａｌｇｏｒｉｔｈｍ，Ｊ．Ｏｐｔ．Ｓｏｃ．Ａｍ．Ａ，Ｖｏｌ．１，Ｎｏ．６，　ｐｐ６１２－６１９，　１９８４）を行うことにより、被検体８の体軸と垂直となる方向から撮影された投影データを、被検体８のＸ線吸収係数の３次元的な分布データ（ＣＴ画像データ）に変換する。

【０００７】

なお、このとき得られるＸ線吸収係数の分布データは、一般の人間の目で識別できる濃淡レベルである６４階調に対して、±１０００程度の濃淡レベル（ＣＴ値）を有している。

【０００８】

画像化手段１４は、周知のボリュームレンダリング処理あるいは最大値投影処理等の画像化処理をＸ線吸収係数の分布データに対して行うことにより、Ｘ線吸収係数の分布データを人間の目で識別可能な濃淡レベルの画像に変換し、図示しない表示手段に表示する。

【０００９】

次に、図１０および図１１に画像歪み補正手段１２による投影データの歪み補正の手順を説明するための図を示し、以下、図１０および図１１に基づき歪み補正の手順を説明する。

【００１０】

まず、図１０に基づき、従来のコーンビームＸ線断層撮影装置における計測系の幾何学的な構成を説明する。

【００１１】

図１０において、２次元検出器９の代わりに、その位置に仮想的な２次元平面をおき、この平面を投影面１５と記すと共に、Ｘ線源５から円錐状に照射されるＸ線（コーンビーム）のＸ線焦点６と投影面１５とが、回転中心軸１０を中心に回転するときのＸ線焦点６の回転軌道面をミッドプレーン１６と記すものとする。

【００１２】

回転中心軸１０が投影面１５に投影されてつくる直線を回転中心軸投影１７、ミッドプレーン１６が投影面１５に投影されてつくる直線、すなわち、ミッドプレーン１６と投影面１５との交線をミッドプレーン投影１８と記す。

【００１３】

また、投影面１５において、回転中心軸１０と平行すなわち回転中心軸投影１７と平行に座標軸ｖ、ミッドプレーン１６と平行すなわちミッドプレーン投影１８と平行に座標軸ｕをとり、投影角ａを用いて、投影像をＰ（ａ，ｕ，ｖ）とする。

【００１４】

一方、２次元検出手段９としては、Ｘ線イメージインテンシファイア（Ｘ線Ｉ．Ｉ．）で被検体８を透過したＸ線を画像に変換し、この画像をテレビカメラで撮影して電気信号に変換するＸ線Ｉ．Ｉ．－ＴＶカメラ系が一般的に使用されている。

【００１５】

しかしながら、前述するＸ線Ｉ．Ｉ．－ＴＶカメラ系は、Ｘ線Ｉ．Ｉ．の入力面の形状が非平面であることに起因する画像の歪み、および、電子ビームが地磁気等により偏向されることに伴う画像の歪みが生じてしまうという問題があった。

【００１６】

このため、従来のコーンビームＸ線断層撮影装置では、２次元検出手段９で撮影した画像から断層画像を再構成するにあたり、画像の歪み補正を行った後に、３次元再構成を行い断層画像を得ていた。

【００１７】

次に、従来の画像の歪み補正の方法を図１１に基づき説明すると、まず、Ｘ線Ｉ．Ｉ．－ＴＶカメラ系による画像歪みを補正する画像歪み補正テーブルを作成するために、等間隔の格子点上に微小な穴（ピンホール）をあけた金属版２１（以下、ホールチャートと記す）を２次元検出手段９の前面に固定したまま、Ｘ線源５と２次元Ｘ線検出手段９を動作・

回転させ、全投影角度分のホールチャートの画像（以下、ホールチャート歪投影像と記す）を撮影する。

【００１８】

各投影角度ａ毎に、ホールチャート歪投影像上のピンホールの位置（Ｕｐ，Ｖｐ）と、任意に設定した画像歪み補正後のピンホールの位置（ｕｐ，ｖｐ）とから、画像歪み補正テーブルＵ（ａ，ｕ，ｖ），Ｖ（Ａ，ｕ，ｖ）を作成していた。

【００１９】

一方、文献（１）の「Ａ．Ｒｏｕｇｅｅ ｅｔ ａｌ．Ｇｅｏｍｅｔｒｉｃａｌ ｃａｌｉｂｒａｔｉｏｎ ｆｏｒ ３Ｄ Ｘ－ｒａｙ ｉｍａｇｉｎｇ，Ｐｒｏｃ．ＳＰＩＥ，ｖｏｌ．１８９７，Ｍｅｄ．Ｉｍａｇ．，ｐｐ．１６１－１６９（１９９３）」に示すように、回転中心軸１０に設置した補正用ファントムを撮影した画像情報から、回転中心軸投影１７とミッドプレーン投影１８とを決定していた。

【００２０】

【発明が解決しようとする課題】

本発明者は、前記従来技術を検討した結果、以下の問題点を見いだした。

【００２１】

従来、画像の再構成を行う場合の基準となる座標軸は、図１０に示す投影面１５上のｖ軸、および、ｕ軸である。

【００２２】

しかしながら、従来のＸ線断層撮影装置の画像歪み補正テーブルの作成方法では、ホールチャート２１を２次元Ｘ線検出手段９の前面に取り付けるに際して、ピンホールの並び方向（格子方向）を厳密に回転中心軸１０と平行に設定することが困難であった。

【００２３】

すなわち、従来のコーンビームＸ線断層撮影装置では、その構造から明らかなように、回転中心軸１０およびミッドプレーン１６の位置を直接示す基準点、あるいは、構成要素が存在しないので、回転中心軸１０およびミッドプレーン１６とホールチャート２１との位置関係を特定することができなかった。

【００２４】

同様に、補正用ファントムと回転中心軸１０とを平行に設置することができなかった。

【００２５】

このため、従来の方法で作成した画像歪み補正テーブルによって画像歪みを補正した画像のｖ軸およびｕ軸が、それぞれ回転中心軸１０およびミッドプレーン１６と平行な画像を得ることができない。

【００２６】

この画像上の座標軸と、回転中心軸１０とのなす角をねじれ角と呼ぶことにする。

【００２７】

このように、ねじれ角があるため、画像の再構成を行うための３次元再構成演算の過程において、再構成画像上にアーチファクトと言われる疑似画像が発生してしまうという問題があった。

【００２８】

本発明の目的は、２次元Ｘ線検出手段で撮影した画像を回転中心軸に平行かつ、ミッドプレーンに垂直な画像に補正することが可能なＸ線断層撮影装置を提供することにある。

【００２９】

本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述及び添付図面によって明らかになるであろう。

【００３０】

【課題を解決するための手段】

本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、下記のとおりである。

【００３１】

（１）円錐状にＸ線を照射するＸ線源と、該Ｘ線源に対向して配置され、被検体を透過するＸ線を撮影する２次元Ｘ線撮影手段と、前記Ｘ線源と前記２次元Ｘ線撮影手段とを同一回転中心の円軌道上で回転移動させる回転手段と、前記２次元Ｘ線撮影手段に起因する前記画像の歪みを補正するための補正定数を格納する補正テーブルと、前記補正テーブルに格納される補正定数に基づき、前記２次元Ｘ線撮影手段が撮影した画像を前記２次元検出手段に予め定めた直交座標に変換する変換手段と、予め定められた手順に基づき前記補正テーブルを作成する補正テーブル作成手段とを具備するＸ線断層撮影装置であって、前記補正テーブル作成手段は、前記直交座標が前記回転中心軸と平行および垂直となる変換定数を作成する座標軸補正テーブル作成手段を具備する。

【００３２】

（２）前述する（１）のＸ線断層撮影装置において、前記座標軸補正テーブル作成手段は、画像歪みを補正した補正用ファントムを撮影した画像から、画像上の回転中心位置および回転角を算出し、前記変換定数を作成する変換定数算出手段を具備する。

【００３３】

（３）前述する（２）のＸ線断層撮影装置において、前記補正用ファントムは、Ｘ線を吸収しないあるいはＸ線吸収係数の小さい支持材と、Ｘ線吸収係数の大きい少なくとも２個以上の基準点とから構成される。

【００３４】

（４）前述する（３）のＸ線断層撮影装置において、前記支持材は棒状の形状であり、前記基準点は前記支持材の軸方向に沿って取り付けられる。

【００３５】

（５）前述する（３）もしくは（４）のＸ線断層撮影装置において、前記基準点は、タングステン、白金、あるいは、鉄－ニッケル－クロム合金等のＸ線吸収係数が大きい球体からなる。

【００３６】

（６）前述する（３）ないし（５）のいづれか一項のＸ線断層撮影装置において、前記補正用ファントムは、複数の異なる角度から撮影される場合、前記基準点が前記回転中心軸上に並ばないように、前記補正用ファントムを固定する固定手段を具備する。

【００３７】

（７）前述する（１）ないし（６）のいづれか一項のＸ線断層撮影装置において、前記変換定数算出手段は、前記補正用ファントムを撮影した複数枚の画像から基準点の描く楕円軌跡をそれぞれ計算する楕円軌跡計算手段と、該楕円軌跡計算手段が計算した楕円の長軸と短軸との中心位置を計算する中心位置計算手段と、前記中心位置が描く直線を計算する直線計算手段と、前記加算画像の直交座標との傾きを回転角度として計算する回転角計算手段と、前記楕円軌跡から楕円の短軸長が０となる前記楕円軌跡の中心位置を回転中心とする回転中心計算手段とを具備する。

【００３８】

（８）前述する（７）のＸ線断層撮影装置において、前記楕円軌跡計算手段は、補正用ファントムを撮影した複数枚の画像を加算して１枚の加算画像を作成する画像加算手段と、前記加算画像に撮影される前記基準点を通る複数個の楕円を抽出する楕円軌跡抽出手段とを具備する。

【００３９】

（９）前述する（７）もしくは（８）のＸ線断層撮影装置において、前記回転角計算手段は、それぞれの前記楕円軌跡の長軸と短軸との中心位置を計算する中心位置計算手段と、該中心位置計算手段により計算したそれぞれの前記中心位置を通る直線を最小二乗法により計算する直線計算手段と、該直線計算手段により計算した前記直線と前記加算画像の直交座標とのなす角度を計算する角度計算手段とを具備する。

【００４０】

（１０）前述する（７）ないし（９）のいづれか一項のＸ線断層撮影装置において、前記中心位置計算手段は、前記楕円軌跡の長軸の両端の座標位置を計算する長軸座標計算手段

と、該長軸座標計算手段が計算した座標位置から前記長軸の中点を計算する中点計算手段とを具備し、前記中点計算手段により計算した座標位置を該当する前記楕円軌跡の中心とする。

【００４１】

（１１）前述する（１０）のＸ線断層撮影装置において、前記加算画像における前記回転中心軸方向をｖ軸、前記回転軸と垂直となる方向をｕ軸とするとき、前記長軸座標計算手段は、それぞれの前記楕円軌跡上でｕ軸方向の座標値が最大および最小となる位置の座標値を該当する前記楕円軌跡の長軸の両端の座標値とする。

【００４２】

（１２）前述する（７）ないし（１１）のいづれか一項のＸ線断層撮影装置において、前記回転中心計算手段は、前記直線推定手段が計算した前記楕円軌跡の中心を結ぶ直線と前記楕円との交点の座標値を計算し、該座標値の点を結ぶ線分をそれぞれの楕円の短軸とみなし、前記短軸長が０となる前記直線上の位置を計算する。

【００４３】

（１３）前述する（７）ないし（１１）のいづれか一項のＸ線断層撮影装置において、前記加算画像における前記回転中心軸方向をｖ軸、前記回転軸と垂直となる方向をｕ軸とするとき、前記回転中心計算手段は、それぞれの楕円のｖ軸方向の座標値が最大および最小となる点を該当する楕円の短軸の両端とし、それぞれの楕円の重心の位置と前記短軸の長さの変化とから、前記短軸の長さが０となる楕円の中心位置を計算する手段を具備する。

【００４４】

（１４）前述する（２）ないし（１３）のいづれか一項のＸ線断層撮影装置において、前記加算画像における前記回転中心軸方向をｖ軸、前記回転軸と垂直となる方向をｕ軸とするとき、投影角がａのときの画像歪み補正前の前記画像をＰ０（ａ，ｕ，ｖ）、前記第１の補正テーブルによる画像歪み補正後の画像をＰ１（ａ，ｕ，ｖ）、前記第２の補正テーブルによる画像歪み補正後の画像をＰ２（ａ，ｕ，ｖ）、としたとき、Ｐ２（ａ，ｕ，ｖ）＝Ｐ１（ａ，ｕ’，ｖ’）＝Ｐ０（ａ，Ｕ，Ｖ）とし、前記第１の補正テーブルをＵ＝Ｕ１（ａ，ｕ’，ｖ’），Ｖ＝Ｖ１（ａ，ｕ’，ｖ’）とし、前記回転中心位置を（u_{ct}，v_{mp}）、前記回転角をｂとすれば、前記第２の補正テーブルＵ２（ａ，ｕ，ｖ），Ｖ２（ａ，ｕ，ｖ）を数２によって求め、前記補正テーブルとする。

【００４５】

【数２】

$$U2(a,u,v)=U1(a,((u-u_{ct})COSb-(v-v_{mp})SINb+u_{ct},(u-u_{ct})SINb+(v-v_{mp})COSb+v_{mp}))$$

$$V2(a,u,v)=V1(a,((u-u_{ct})COSb-(v-v_{mp})SINb+u_{ct},(u-u_{ct})SINb+(v-v_{mp})COSb+v_{mp}))$$

前述した手段によれば、従来の歪み補正として、たとえば、ホールチャートを２次元Ｘ線検出手段の前面に設置して撮影した全周画像に基づいて計算した補正テーブルに対して、Ｘ線断層撮影装置の回転手段の回転中心付近に設置した補正用ファントムを全周にわたり撮影した画像を、前述する補正テーブルに基づき補正した後、１枚の画像に加算（合成）し、加算画像とすることにより、補正用ファントムに設けたＸ線吸収係数が大きい複数個の基準点が複数個の楕円軌跡を描く。

【００４６】

このとき、この各楕円軌跡は２次元Ｘ線検出手段が３６０°の全周にわたり順番に撮影したものであるため、各楕円軌跡は該当する基準点が回転手段の回転中心からどの程度離れているかを示すことになる。

【００４７】

したがって、各楕円軌跡の中心位置を計算し、各中心位置を通る直線を計算することにより、加算画像における回転中心軸と平行となる直線、すなわち、回転中心軸投影を計算できる。

【００４８】

この回転中心軸投影と加算画像の座標軸とのなす角度が、すなわち、ねじれ角に等しいので、全周にわたり撮影した各画像に対して、このねじれ角を補正する座標軸補正テーブルを座標軸補正手段を作成することにより、２次元Ｘ線検出手段が撮影した画像の歪み等を補正すると共に、従来のホールチャート等を用いる方法では補正することができなかった回転中心軸投影の画像上でのねじれを補正する補正テーブルを作成することができる。

【００４９】

【発明の実施の形態】

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

【００５０】

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。

【００５１】

図１は本発明の一実施の形態のＸ線断層撮影装置の概略構成を示すブロック図であり、１は計測手段、２はデータ処理手段（変換手段）、３は画像歪み補正テーブル作成手段（補正テーブル作成手段）、４は走査駆動手段（回転手段）、５はＸ線源、６はＸ線焦点、７はＸ線源から照射されるＸ線、８は被検体、９は２次元Ｘ線検出手段、１０は回転中心軸、１１は前処理手段、１２は画像歪み補正手段、１３は再構成演算手段、１４は画像化手段、１９は画像歪み補正テーブル発生手段（座標軸補正テーブル作成手段）、２０は画像歪み補正テーブル保管手段、２４は画像加算処理手段（画像加算手段）、２８は回転中心軸投影およびミッドプレーン投影推定手段（楕円軌跡抽出手段、中心位置計算手段、回転中心計算手段）、３０は座標ねじれ角推定手段（変換定数算出手段、角度計算手段）を示す。

【００５２】

図１において、計測手段１は、走査駆動手段４、Ｘ線源５、Ｘ線焦点６、被検体８、２次元Ｘ線検出手段９、および、後述する補正用ファントムを固定するための図示しない固定手段からなり、被検体８の体軸方向に垂直な方向からのＸ線透視画像を撮影する。

【００５３】

なお、前記各手段は公知のものを用いる。

【００５４】

データ処理手段２は、前処理手段１１、画像歪み補正手段１２、再構成演算手段１３、および、画像化手段１４からなり、２次元Ｘ線検出手段９で撮影した被検体８の体軸方向と垂直な方向から撮影した画像から、被検体８のＸ線吸収係数の３次元的な分布データを反映する画像に変換する。

【００５５】

画像歪み補正テーブル作成手段３は、画像歪み補正テーブル発生手段１９、画像歪み補正テーブル保管手段２０、画像加算処理手段２４、回転中心軸投影およびミッドプレーン投影推定手段２８、座標ねじれ角推定手段３０からなり、周知の手順で撮影したホールチャート歪投影像と、後述する補正用ファントムを撮影した画像とから補正テーブルを作成する。

【００５６】

走査駆動手段４は、Ｘ線源５とＸ線源５に対向する２次元Ｘ線検出手段９とを回転中心軸１０の周りに、回転させる周知の走査駆動手段である。

【００５７】

Ｘ線源５は、円錐状のＸ線（コーンビーム）を照射する周知のＸ線源であり、Ｘ線焦点６をコーンビームの頂点とするＸ線を発生して、照射する。

【００５８】

被検体８は図示しない周知の寝台天板に固定されている。

【００５９】

２次元Ｘ線検出手段９は、周知の２次元Ｘ線画像検出手段であり、たとえば、周知のＸ線

Ｉ．Ｉ．と周知のテレビカメラとからなり、被検者８を透過したＸ線強度データを電気信号に変換する。

【００６０】

前処理手段１１は、図示しないＡ／Ｄ変換手段によりデジタル信号に変換された２次元Ｘ線検出手段９で撮影したＸ線画像の暗電流バイアス、感度むら等の補正を行った後、画像の再構成の前処理である、Ｘ線画像をＸ線の減衰率の分布に変換するための周知の対数変換を行うことにより、いわゆる投影データに変換する。

【００６１】

画像歪み補正手段１２は、周知の画像歪み補正手段であり、画像歪み補正テーブル保管手段２０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１１の対数変換で得られた投影データの歪みを補正する。

【００６２】

再構成演算手段１３は、周知の再構成演算を行う手段であり、たとえば、文献（２）の（Ｌ．Ａ．Ｆｅｌｄｋａｍｐ ｅｔ ａｌ． Ｐｒａｃｔｉｃａｌ ｃｏｎｅ ｂｅａｍ ａｌｇｏｒｉｔｈｍ, Ｊ．Ｏｐｔ．Ｓｏｃ．Ａｍ．Ａ，Ｖｏｌ．１，Ｎｏ．６， ｐｐ ６１２－６１９， １９８４）に記載されるフェルドカンプの方法により、歪み補正後の投影データの再構成演算を行う。

【００６３】

画像化手段１４は、周知の画像化手段であり、周知のボリュームレンダリング処理あるいは最大値投影処理等の画像化処理を、再構成演算手段１３により得られたＸ線吸収係数の分布データに対して行うことにより、Ｘ線吸収係数の分布データを人間の目で識別可能な濃淡レベルの画像に変換し、図示しない表示手段に表示する。

【００６４】

画像歪み補正テーブル発生手段１９は、前述するように、まず、２次元検出手段９の前面にホールチャート２１を固定して撮影したホールチャート歪投影像を、ピンホールが格子点上に並ぶように定めた補正後のホールチャート投影像へ変換するためのホールチャート歪補正関数を計算する。

【００６５】

次に、画像歪み補正テーブル発生手段１９は、回転中心軸投影およびミッドプレーン投影推定手段２８が計算した回転中心軸の位置、ミッドプレーンの位置、および、座標ねじれ角推定手段３０が計算したホールチャート投影像のねじれ角から、ねじれ角の補正を考慮したホールチャート歪およびねじれ角補正関数を計算する。

【００６６】

画像歪み補正テーブル保管手段２０は、画像歪み補正テーブル発生手段１９で計算した変換関数を図示しない記憶手段に格納すると共に、画像歪み補正手段１２の指示が投影データの歪みを補正する場合に、図示しない記憶手段から変換関数を読み出す周知の手段である。

【００６７】

画像加算処理手段２４は、後述する補正用ファントムを所定の角度毎に撮影した複数枚の投影データを１枚の合成投影データに合成するための周知の手段である。

【００６８】

回転中心軸投影およびミッドプレーン投影推定手段２８は、前述する合成投影データから、前述する回転中心軸投影１７およびミッドプレーン投影１８を計算する。

【００６９】

座標ねじれ角推定手段３０は、後述する手順により、ホールチャート歪補正関数で補正できない前述するねじれ角を計算するための手段である。

【００７０】

図２は、本発明の実施の形態の補正用ファントム２２の概略構成を説明するための図であり、２０１は支持部（支持材）、２３は基準点をしめす。

【００７１】

図２において、支持部２０１は、Ｘ線吸収係数の小さい、たとえば、アクリル樹脂、塩化ビニル、ポリカーボネート等のプラスチック材料・高分子樹脂、あるいは、木材に代表されるＸ線を透過すると共に、機械的破壊に対する強度が強い材料で棒状に構成される。

【００７２】

基準点２３は、支持部２０１の軸方向に複数個取り付けられており、さらには、タングステン、白金、あるいは、鉄－ニッケル－クロム合金等のＸ線吸収係数の大きな材料からなる。

【００７３】

また、補正用ファントムとしては、直径１ｃｍ程度の棒状の支持部２０１の軸方向に、基準点２３として、直径が１～２ｍｍ程度の鉄球を２ｃｍ程度の間隔で埋め込んだものがよい。

【００７４】

基準点の大きさ、および、間隔は投影像上で明瞭に判別できることと、２次元Ｘ線検出手段９の視野角内に十分な数の基準点２３が入ればよいことは言うまでもない。

【００７５】

次に、図３～図８に本発明の実施の形態における画像歪みおよびねじれ角補正関数を求める手順を説明するための図を示し、以下、図３～図８に基づき、実施の形態のＸ線断層撮影装置の動作を説明する。

【００７６】

なお、図３～８において、ｘｙ座標系は、ミッドプレーン１６上の任意の座標系であると共に、ミッドプレーン上に示す点線は、回転中心軸１０から所定の距離にある２次元Ｘ線検出手段９の代わりに導入した投影面１５が描く軌跡を示す。

【００７７】

まず、図３に基づき、座標のねじれ角を補正に使用する画像を得るための画像の撮影方法を説明すると、まず、Ｘ線断層撮影装置の回転中心軸１０にほぼ平行、かつ、回転中心軸１０から５ｃｍ程度離れた位置に補正用ファントム２２を固定し、次に、Ｘ線源５および２次元Ｘ線検出手段９を回転させ、全周からの歪投影像を撮影する。

【００７８】

このとき撮影される歪投影像には、補正用ファントム２２の基準点２３が図３に示すように、回転中心軸投影とほぼ平行なｖ軸方向に並んで撮影される。

【００７９】

なお、補正用ファントム２２の固定位置、および、回転中心軸１０に対する角度の設定は厳密でなくともよく、全ての投影角において十分な数の基準点２３の投影が２次元Ｘ線検出手段９の視野角に含まれていればよい。

【００８０】

このとき、２次元Ｘ線検出手段９の図示しないＸ線Ｉ．Ｉ．の入力面形状等が原因となる、歪投影像の画像歪を補正するための画像歪みテーブルは、前述する周知の手順により作成されているものとする。

【００８１】

次に、撮影した全周分の歪投影像を前処理手段１１および画像歪み補正手段１２により補正した後、画像加算処理手段２４で１枚の画像に合成することにより、図５に示す合成画像（加算画像）を作成する。

【００８２】

なお、このとき用いる画像歪み補正テーブルは、図９に示す従来のＸ線透視撮影装置と同様に、ホールチャート２１により得られた画像補正テーブルを用いる。

【００８３】

ここで、まず、回転中心軸１０と画像上の座標軸とのねじれを考慮しない場合の、回転中心軸投影１７とミッドプレーン投影１８との求め方を述べる。

【００８４】

図４に基づいて、回転中心軸投影１７およびミッドプレーン投影１８を計算するための回

転中心軸投影およびミッドプレーン投影推定手段２８の動作を説明すると、まず、基準点２３が描く複数個の楕円軌跡２６の中心２７を計算し、ｕ軸方向の座標値の平均値（平均位置）u_{ct}を計算して、直線$u=u_{ct}$を回転中心軸投影１７とする。

【００８５】

一方、それぞれの楕円軌跡２６の短軸長は、ミッドプレーン１８からの距離に比例しているので、楕円軌跡２６の短軸長が０（ゼロ）となるｖ方向の座標位置v_{mp}を計算し、直線$v=v_{mp}$をミッドプレーン投影１８とする。

【００８６】

このとき、楕円軌跡２６から計算された回転中心軸投影１７とミッドプレーン投影１８は、前述するように、回転中心軸１０の近傍に設置した補正用ファントム２２を全周で撮影した画像を合成して得られた結果から計算しているので、直線$u=u_{ct}$は回転中心１０と平行であり、直線$v=v_{mp}$はミッドプレーン１６と投影面１５との交差する直線、すなわち、ミッドプレーン投影１８を示す。

【００８７】

以上で求めた回転中心軸投影１７およびミッドプレーン投影１８は、回転中心軸１０と画像上の座標軸とのねじれを考慮していないものであった。

【００８８】

ここで、あらためて前述するように決定された前述する画像上の座標をｕ’ｖ’座標と定義し、前述するねじれを補正した正しい座標系をｕｖ座標と、定義し直すことにする。

【００８９】

すなわち、ホールチャート２１による画像歪み補正から計算された回転中心軸投影およびミッドプレーン投影に基づく投影面を示すｕ’ｖ’座標系と、ねじれ角の補正により求めるべき投影面を示すｕｖ座標系とのずれ量を角度ｂで表すと、図５に示すようになる。

【００９０】

次に、図５に示すｕｖ座標系とｕ’ｖ’座標系とのねじれを示す図６に基づいて、正確なすなわち座標ねじれを反映した回転中心軸投影１７、および、ミッドプレーン投影１８を推定するために、まず、基準点２３の楕円軌跡２６の中心２７を求める。

【００９１】

これは周知の画像認識技術を用いて行なってもよいし、オペレータによる対話的な操作によって指定するようにしてもよい。

【００９２】

この中心２７の検出のためには、補正用ファントム加算投影像方法として、一般に座標ねじれ角２９は十分小さいので、楕円軌跡２６上でｕ’座標が最も小さくなる点と、最も大きくなる点とを長軸の両端の点として求め、次に、周知の処理によりその中点を楕円軌跡２６の中心２７とすればよい。

【００９３】

このようにして、各楕円軌跡２６に対する中心点列を求める。

【００９４】

次に、この中心点列に対し、周知の最小二乗法によって、直線をフィッティングする。

【００９５】

この直線を回転中心軸投影１７とする。

【００９６】

次に、各楕円軌跡２６の中心位置２７に対する短軸長の変化を調べる。

【００９７】

この方法としては、例えば図８に示すように、中心位置のｖ’方向の位置（ｖ’座標値）を横軸に、各楕円軌跡２６の短軸長を縦軸にとったグラフに、各楕円軌跡２６の短軸長をプロットする。

【００９８】

この短軸長は、前段階で得た回転中心軸投影１７と、楕円軌跡２６との交点の座標から求める。

【００９９】
あるいは、一般に座標ねじれ角２９は十分小さいので、単に楕円軌跡２６上でｖ’座標が最も小さくなる点と最も大きくなる点とを短軸の両端の点とすればよい。
【０１００】
ただし、ミッドプレーン１６に近い位置の楕円軌跡２６は、短軸が非常に潰れた形になり、補正用ファントム加算投影像２５上でこれを検出するのが困難なので、ミッドプレーン１６から離れた位置の楕円軌跡２６に関する短軸長のみを求めれば十分である。
【０１０１】
ここで、図８の丸印で示すように、補正用ファントム加算投影像２５上で下部（ｖ’が小さい領域）にある楕円に関しては、便宜上、その短軸長に－１を掛けた値をプロットする。
【０１０２】
このようにプロットした点列に対し、たとえば、最小二乗法によってフィットする直線を求める。
【０１０３】
この直線とグラフのｖ’軸との交点の座標をv_{mp}とする。
【０１０４】
このとき、補正用ファントム２２の基準点２３がちょうどミッドプレーンに位置していれば、その基準点２３のつくる楕円軌跡２６の短軸長はゼロになる。
【０１０５】
よって、直線ｖ’＝v_{mp}と回転中心軸投影１７の交点を求め、これを回転中心軸投影１７とミッドプレーン投影１８との交点とする。
【０１０６】
この点を通り、回転中心軸投影１７に垂直な直線を、ミッドプレーン投影１８とする。
【０１０７】
次に、座標ねじれ角推定手段３０において、回転中心軸投影１７と前述する画像歪み補正後の投影像のｖ’軸との傾きをもとめ、これを回転中心軸１０とホールチャート２１のホール並び方向との座標ねじれ角とする。
【０１０８】
以上に示す手順により、回転中心軸投影１７、ミッドプレーン投影１６、および、座標ねじれ角２９を得る。
【０１０９】
次に、図７に基づき、画像歪み補正テーブル発生手段１９が、座標ねじれ角をも補正する画像歪み補正テーブルを作成する手順を説明する。
【０１１０】
まず、図７に示すように、回転中心軸投影１７とミッドプレーン投影１８との交点を（u_{ct}，v_{mp}）、座標ねじれ角をｂで表すことにする。
【０１１１】
座標ねじれ分を補正するために、画像歪み補正後の投影像を、（u_{ct}，v_{mp}）を中心に角度－ｂだけ回転させればよい。
【０１１２】
ただし、画像歪み補正後の投影をさらに回転させるのは、画像処理を２回繰り返すことになり、計算量（時間）の面でも画質の面でも無駄であるので、画像歪み補正時に座標ねじれ分をも補正するような画像歪み補正テーブルを作成する。
【０１１３】
画像歪み補正前の歪投影像をＰｏｒｇ（ａ，ｕ，ｖ）とし、画像歪み補正後の画像をＰｄｉｓｔ（ａ，ｕ，ｖ）であらわすことにする。
【０１１４】
Ｐｄｉｓｔ（ａ，ｕ，ｖ）＝Ｐｏｒｇ（ａ，Ｕ，Ｖ）とする。
【０１１５】

ｕ方向、ｖ方向の画像歪み補正テーブルを用いれば、Ｕ＝Ｕ（ａ，ｕ，ｖ），Ｖ＝Ｖ（ａ，ｕ，ｖ）である。

【０１１６】

座標ねじれを補正するには、図７に示すように、画像歪み補正後の投影像Ｐｄｉｓｔ（ａ，ｕ，ｖ）を（u_{ct}，v_{mp}）を中心に角度－ｂだけ回転させればよいわけであるから、座標ねじれ補正後の投影像Ｐｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ）とし、Ｐｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ）＝Ｐｄｉｓｔ（ａ，ｕ’，ｖ’）とすると、数３のように表すことができる。

【０１１７】

【数３】

$u' = (u - u_{ct})\mathrm{COS}b - (v - v_{mp})\mathrm{SIN}b + u_{ct}$

$v' = (u - u_{ct})\mathrm{SIN}b - (v - v_{mp})\mathrm{COS}b + v_{mp}$

以上より、数４が成立する。

【０１１８】

【数４】

$$\begin{aligned}\mathrm{Pskew}(a,u,v) &= \mathrm{Pdist}(a,(u-u_{ct})\mathrm{COS}b-(v-v_{mp})\mathrm{SIN}b+u_{ct},\\ &\qquad (u-u_{ct})\mathrm{SIN}b-(v-v_{mp})\mathrm{COS}b+v_{mp})\\ &= \mathrm{Porg}(a,U(a,(u-u_{ct})\mathrm{COS}b-(v-v_{mp})\mathrm{SIN}b+u_{ct},\\ &\qquad (u-u_{ct})\mathrm{SIN}b+(v-v_{mp})\mathrm{COS}b+v_{mp}),\\ &\qquad V(a,(u-u_{ct})\mathrm{COS}b-(v-v_{mp})\mathrm{SIN}b+u_{ct},\\ &\qquad (u-u_{ct})\mathrm{SIN}b+v-v_{mp})\mathrm{COS}b+v_{mp}))\end{aligned}$$

よって、新たに座標ねじれ分をも補正する画像歪み補正テーブルＵｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ），Ｖｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ）を、数５に従って作成する。

【０１１９】

【数５】

Ｕｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ）＝Ｕ（ａ，（ｕ－u_{ct}）ＣＯＳｂ－（ｖ－v_{mp}）ＳＩＮｂ＋u_{ct}，（ｕ－u_{ct}）ＳＩＮｂ＋（ｖ－v_{mp}）ＣＯＳｂ＋v_{mp}）

Ｖｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ）＝Ｖ（ａ，（ｕ－u_{ct}）ＣＯＳｂ－（ｖ－v_{mp}）ＳＩＮｂ＋u_{ct}，（ｕ－u_{ct}）ＳＩＮｂ＋（ｖ－v_{mp}）ＣＯＳｂ＋v_{mp}）

座標ねじれ分をも補正する画像歪み補正は、画像歪み補正手段１２において、前述するようにして作成した画像歪み補正テーブルＵｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ），Ｖｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ）を用いて（テーブル参照）、Ｐｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ）＝Ｐｏｒｇ（ａ，Ｕｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ），Ｖｓｋｅｗ（ａ，ｕ，ｖ））に従って行なう。

【０１２０】

実際には、原画像Ｐｏｒｇ（ａ，ｕ，ｖ）はａ，ｕ，ｖに関して離散的な点においてしかデータが存在しないので、Ｕ’＝ｉｎｔ（Ｕ’（ａ，ｕ，ｖ）），Ｖ’＝ｉｎｔ（Ｖ’（ａ，ｕ，ｖ））（ただし、ｉｎｔ（ｘ）は、ｘの小数点以下を切り捨てる関数である）とし、数６に従って、座標ねじれ分をも補正する画像歪み補正を行なう。

【０１２１】

【数６】

$$\begin{aligned}\mathrm{Pskew}(a,u,v) &= (1-U'(a,u,v)+U')(1-V'(a,u,v)+V')\cdot\mathrm{Porg}(a,U',V')\\ &\quad +(U'(a,u,v)-U')(1-V'(a,u,v)+V')\cdot\mathrm{Porg}(a,U'+1,V')\\ &\quad +(1-U'(a,u,v)+U')(V'(u,v)-V')\cdot\mathrm{Porg}(a,U',V'+1)\\ &\quad +(U'(a,u,v)-U')(V'(a,u,v)-V')\cdot\mathrm{Porg}(a,U'+1,V'+1)\end{aligned}$$

以上のようにして、画像歪み補正手段１２において、計測されたデータの画像歪み補正を行ない、再構成演算手段１３において、画像歪み補正後の投影データを用いて再構成演算

を行なう。

【０１２２】

この時は従来と全く同様の画像歪み補正処理および再構成演算処理を行なうだけで、座標ねじれも補正され、正確な再構成画像を得ることができる。

【０１２３】

以上、本発明者によってなされた発明を、前記発明の実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は、前記発明の実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは勿論である。

【０１２４】

【発明の効果】

本願において開示される発明のうち代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば、下記の通りである。

【０１２５】

２次元Ｘ線検出手段で撮影した画像を回転中心軸に平行かつ、ミッドプレーンに垂直な画像に補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施の形態のＸ線断層撮影装置の概略構成を示すブロック図である。

【図２】本発明の実施の形態の補正用ファントムの概略構成を説明するための図である。

【図３】本発明の実施の形態におけるホールチャート歪およびねじれ角補正関数を求める手順を説明するための図である。

【図４】本発明の実施の形態におけるホールチャート歪およびねじれ角補正関数を求める手順を説明するための図である。

【図５】本発明の実施の形態におけるホールチャート歪およびねじれ角補正関数を求める手順を説明するための図である。

【図６】本発明の実施の形態におけるホールチャート歪およびねじれ角補正関数を求める手順を説明するための図である。

【図７】本発明の実施の形態におけるホールチャート歪およびねじれ角補正関数を求める手順を説明するための図である。

【図８】本発明の実施の形態におけるホールチャート歪およびねじれ角補正関数を求める手順を説明するための図である。

【図９】従来のコーンビームＸ線断層撮影装置の概略構成を示すブロック図である。

【図１０】従来のコーンビームＸ線断層撮影装置の画像歪み補正手段による投影データの歪み補正の手順を説明するための図である。

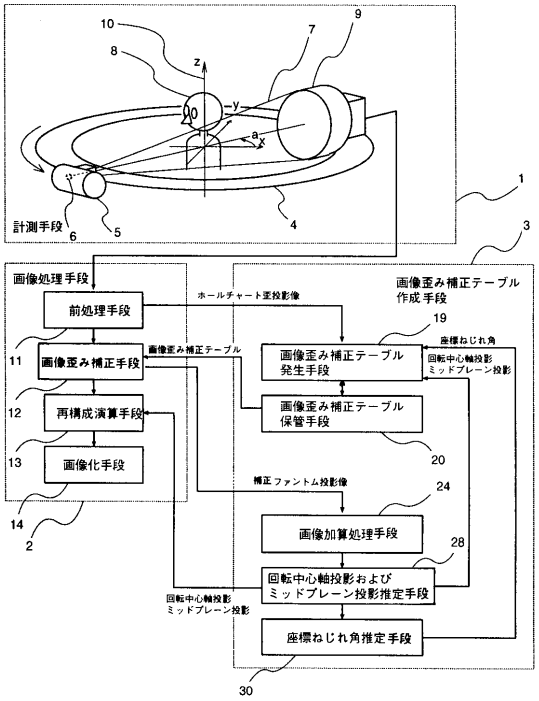
【図１１】従来のコーンビームＸ線断層撮影装置の画像歪み補正手段による投影データの歪み補正の手順を説明するための図である。

【符合の説明】

１…計測手段、２…データ処理手段、３…画像歪み補正テーブル作成手段、４…走査駆動手段、５…Ｘ線源、６…Ｘ線焦点、７…コーンビーム状Ｘ線、８…被検体、９…２次元Ｘ線検出手段、１０…回転中心軸、１１…前処理手段、１２…画像歪み補正手段、１３…再構成演算手段、１４…画像化手段、１５…投影面、１６…ミッドプレーン、１７…回転中心軸投影、１８…ミッドプレーン投影、１９…画像歪み補正テーブル発生手段、２０…画像歪み補正テーブル保管手段、２１…ホールチャート、２２…補正用ファントム、２３…基準点、２４…画像加算処理手段、２５…補正用ファントム加算画像、２６…補正用ファントム加算画像上の基準点の楕円軌道、２７…補正用ファントム加算画像上の基準点の楕円軌道の中心、２８…回転中心軸投影およびミッドプレーン投影推定手段、２９…座標ねじれ角、３０…座標ねじれ角推定手段、２０１…支持部。

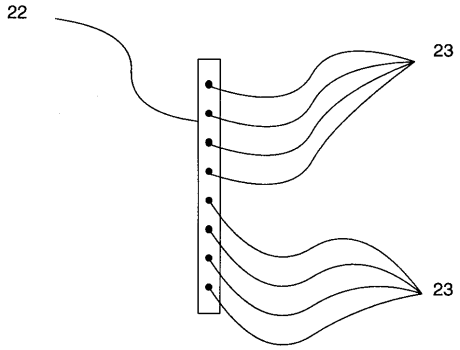
【図１】

図１



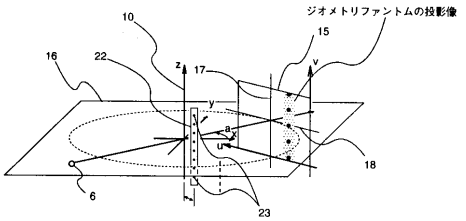
【図２】

図２



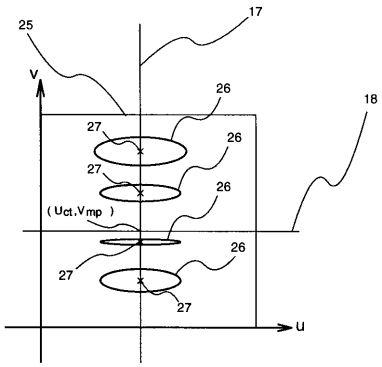
【図３】

図３



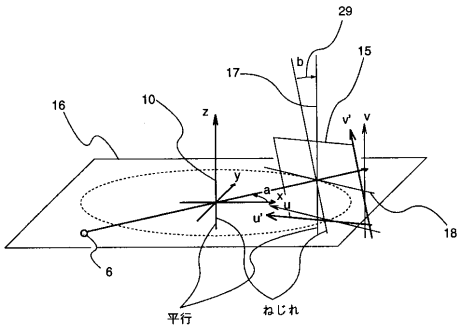
【図４】

図４



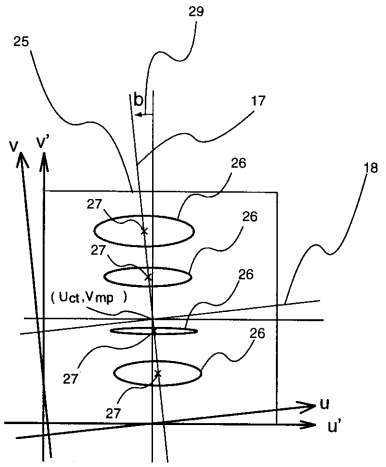
【図５】

図５



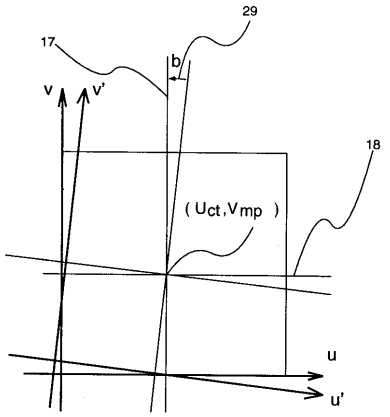
【図６】

図６



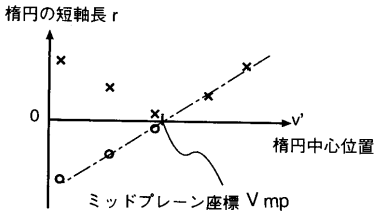
【図７】

図７



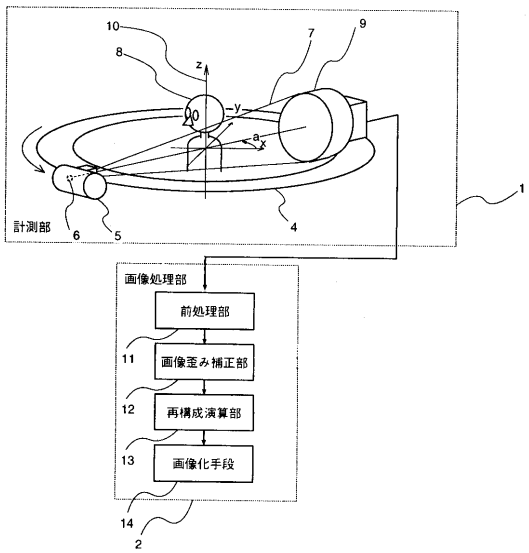
【図８】

図８



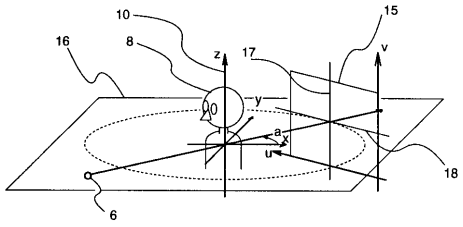
【図９】

図９



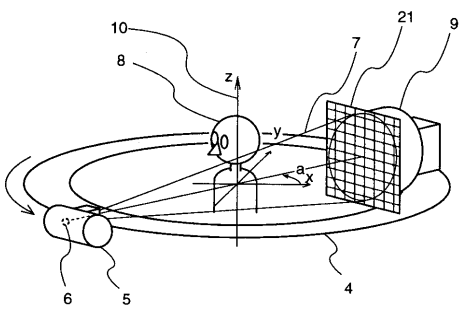
【図１０】

図１０



【図１１】

図１１



フロントページの続き

審査官　小田倉　直人

(56)参考文献　特開平０７－０１６２２０（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－２５９５４１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
A61B　6/03