

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3583567号
(P3583567)

(45) 発行日 平成16年11月4日(2004.11.4)

(24) 登録日 平成16年8月6日(2004.8.6)

(51) Int. Cl.⁷

A 6 1 B 6/03

F I

A 6 1 B 6/03 3 2 O Y

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願平8-303027	(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
(22) 出願日	平成8年11月14日(1996.11.14)	(74) 代理人	100083552 弁理士 秋田 収喜
(65) 公開番号	特開平10-137234	(72) 発明者	河合 浩之 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
(43) 公開日	平成10年5月26日(1998.5.26)	(72) 発明者	植田 健 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13年8月20日(2001.8.20)	(72) 発明者	馬場 理香 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線断層撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被検体に照射する円錐状又は角錐状のX線を発生するX線源と、複数の二次元X線検出器を接合した二次元X線検出器配列と、前記X線源と前記二次元X線検出器配列とを前記被検体の周りに回転しながら複数の投影角度で撮像した二次元X線像から前記被検体の断層像を再構成し、前記断層像を表示手段に表示するX線断層撮像装置であって、前記二次元X線検出器を接合した時の間隙は、前記X線源と前記二次元X線検出器配列の回転中心軸に平行であり、前記X線源のX線焦点と前記回転中心軸とを含む平面に対して非対称の位置に配置され、第1の前記投影角度で撮像した前記二次元X線像に欠落する前記間隙の部分のデータが、前記第1の投影角度において前記X線焦点と前記間隙とを結ぶ線分と前記X線焦点と回転中心とを結ぶ線分とがなす角度を t とする時、前記第1の投影角度に $(-2 \times t)$ の角度を加算した値をもつ第2の前記投影角度で撮像した前記二次元X線像のデータにより補充されることを特徴とするX線断層撮像装置。

10

【請求項2】

請求項1に記載のX線断層撮像装置に於いて、前記二次元X線検出器配列は、同じ大きさの前記二次元X線検出器から構成されることを特徴とするX線断層撮像装置。

【請求項3】

請求項1に記載のX線断層撮像装置に於いて、前記二次元X線検出器配列は、異なる大きさの前記二次元X線検出器から構成されることを特徴とするX線断層撮像装置。

【請求項4】

20

請求項 1 に記載の X 線断層撮像装置に於いて、前記二次元 X 線検出器の画素ピッチを d_p 、 n を整数とするとき、前記二次元 X 線検出器の前記平面と垂直に交わる画素と前記平面とが、 $d_p \times (n + 1 / 4)$ の位置で交差することを特徴とする X 線断層撮像装置。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の X 線断層撮像装置に於いて、前記被検体に照射する X 線の照射角度を前記平面に対して対称に設定することを特徴とする X 線断層撮像装置。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の X 線断層撮像装置に於いて、前記平面に対し対称となるように前記 X 線の放射角を制限するコリメータを前記 X 線源と前記被検体の間に配置することを特徴とする X 線断層撮像装置。

10

【請求項 7】

請求項 1 に記載の X 線断層撮像装置に於いて、第 1 の前記投影角度で撮像した前記二次元 X 線像における間隙の部分の欠落したデータを、第 2 の前記投影角度で撮像した前記二次元 X 線像のデータにより補充することを特徴とする X 線断層撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、X 線断層撮像装置に関し、特に、二次元 X 線撮像手段を 2 個以上接合した X 線撮像手段の配列に適用して有効な技術に関するものである。

【0002】

20

【従来の技術】

従来の X 線断層撮像装置は、たとえば、図 9 に示すように、計測を行なう計測部 1 と、計測により得たデータを処理するデータ処理部 2 とから構成されていた。

【0003】

計測部 1 は、走査駆動部 3、X 線源 4、二次元検出器 5 および被検体 7 を搭載する図示しない天板を有する寝台を有していた。一方、データ処理部 2 は、前処理部 11、再構成演算手段 12 および画像化手段 13 から有していた。

【0004】

計測部 1 の走査駆動部 3 上には、X 線源 4 および二次元検出器 5 が被検体 7 をはさんで互いに対向する位置に配置されていた。

30

【0005】

X 線源 4 は、X 線焦点 6 から被検体に対して、コーンビーム状の X 線 8 を放射するように設定されていた。

【0006】

被検体 7 を透過した X 線は、二次元検出器 5 によってその強度が計測される。

【0007】

走査駆動部 3 は、回転中心軸 9 を回転中心として、被検体 7 のまわりを回転する。

【0008】

本願明細書中においては、特に、X 線焦点 6 の回転軌道が描く平面をミッドプレーン 10 と記す。

40

【0009】

このとき、走査駆動部 3 が微小角度回転するごとに、X 線の投影と透過 X 線強度の計測とを行なう構成となっていた。

【0010】

前述する微小角度の回転ごとの X 線投影と透過 X 線強度の計測とを全周分繰り返し、百から数百組の透過 X 線強度データを収集していた。ただし、予め設定した位置から所定の投影における走査駆動部 3 の位置までの回転角を投影角と記す。

【0011】

次に、被検体 7 の全周分の透過 X 線強度データをデジタル化し、データ処理部 2 に送っていた。

50

【 0 0 1 2 】

データ処理部 2 では、まず、前処理部 1 1 において、ガンマ補正、画像歪み補正、対数変換および感度むら補正等のいわゆる前処理を行っていた。

【 0 0 1 3 】

次に、前述の前処理によって得られた全投影データをもとに、再構成演算手段 1 2 において、被検体 7 の視野領域内の 3 次元的な X 線吸収係数分布を再構成していた。この再構成画像を画像化手段 1 3 は、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施した後、被検体 7 の断層像を図示しない表示手段に表示していた。

【 0 0 1 4 】

前述の再構成演算手段 1 2 による画像の再構成演算方法としては、たとえば、F e l d k a m p によるコーンビーム再構成演算法等が知られている (L . A . F e l d k a m p e t a l . P r a c t i c a l c o n e b e a m a l g o r i t h m , J . O p t . S o c . A m . A , V o l . 1 , N o . 6 , p p 6 1 2 - 6 1 9 , 1 9 8 4) 。

【 0 0 1 5 】

しかしながら、図 9 に示す従来の X 線断層撮像装置では、二次元検出器 5 が技術的な困難さから、被検体 7 の身体全体を納められるだけの十分な視野サイズを確保できなかった。

【 0 0 1 6 】

たとえば、高さおよび幅がそれぞれ 3 0 センチ程度の正方形の二次元検出器を用いた場合、全方向の投影の視野に含まれる領域は、計測系全体の幾何的な構成にもよるが、直径および高さが 2 0 センチメートル程度の円柱状の領域であった。

【 0 0 1 7 】

すなわち、従来の X 線断層撮像装置では、前述の視野からはみ出した部分が欠落した投影データしか得られなかった。

【 0 0 1 8 】

このため、F e l d k a m p の方法による再構成演算に伴い、3 次元再構成データには、シェーディングアーチファクトが生じていた。したがって、欠落した投影データから再構成した再構成データは、被検体 7 の X 線吸収係数分布を正しく再現していないため、これをもとに正確な診断はできなかった。

【 0 0 1 9 】

この問題の回避方法としては、限られた大きさのパネル状の二次元検出器を複数枚組み合わせ、二次元検出器の全体的な検出視野を拡大する方法があった。

【 0 0 2 0 】

図 1 0 は、二次元検出器を 3 枚組み合わせ構成した二次元検出器を用いた X 線断層撮像装置の概略構成を示すブロック図である。

【 0 0 2 1 】

この X 線断層撮像装置では、3 枚の二次元検出器 5 をミッドプレーンと平行となる方向に組み合わせた二次元検出器配列 1 4 によって、被検体 7 を透過した X 線強度を計測する構成となっていた。

【 0 0 2 2 】

このとき、二次元検出器配列 1 4 を駆動する際のバランス保持の容易さ、計測データ読み出し手段の単純さ等の理由から、X 線源 4 の X 線焦点 6 と走査駆動部 3 すなわち二次元検出器配列 1 4 の回転中心軸 9 とを含む平面に対して、二次元検出器配列 1 4 が対称となるように構成されていた。

【 0 0 2 3 】

また、他の X 線断層撮像装置として、図 1 1 に示す X 線断層撮像装置のように、被検体 7 の体軸方向に複数枚の二次元 X 線検出器 5 を接合することによって、被検体 7 の体軸方向の撮影範囲を拡大していた。ただし、図 1 1 は、二次元 X 線検出器 5 が 2 枚の場合を示した。

【 0 0 2 4 】

10

20

30

40

50

この場合の二次元検出器配列は、図 12 に示すように、互いに接合された二次元検出器 5 間の間隙がミッドプレーンと平行になるように配置されていた。

【0025】

また、他の方法としては、同一出願人に係わる特願平 7 - 10322 号公報に記載の「X 線断層撮影装置」がある。

【0026】

この X 線断層撮像装置では、二次元検出器の視野外のために欠落してしまった部分の投影データを円弧状の曲線を用いて外挿することにより、二次元検出器の視野外の投影データの連続性を確保し、再構成演算によるシェーディングアーチファクトの発生を回避するというものである。

10

【0027】

【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。

【0028】

図 10 に示す X 線断層撮像装置では、各二次元検出器 5 を接合した接合部分には、所定の間隙ができ、透過 X 線を検出することができなかった。このため、この間隙の部分の投影データは損なわれることになり、再構成演算時に再構成データ上でリング状のアーチファクト（以下、リングアーチファクトと記す）が生じるという問題があった。

【0029】

以下、図 13 に基づいて、再構成データに発生するリング状アーチファクトの発生原理を説明する。

20

【0030】

図 13 において、 d_0 、 d_1 、 d_2 は二次元検出器 5、 G_1 、 G_2 はそれぞれ二次元検出器 d_0 と d_1 、 d_0 と d_2 間の間隙、 S は X 線焦点 6 の位置、 O は回転中心 9、 b_1 、 b_2 は S と G_1 、 S と G_2 とを結ぶ X 線光路を示す。

【0031】

なお、図 13 では、簡単のためにミッドプレーン 10 上でのデータ欠落のみを説明する。

【0032】

ただし、二次元検出器 d_0 、 d_1 、 d_2 は、X 線焦点 6 - 回転中心軸 9 を含む平面とミッドプレーン 10 との交線（以下、直線 SO と記す）に対して対称に配置されている。

30

【0033】

このとき、 G_1 、 G_2 は二次元検出器間の間隙なので、X 線光路 b_1 、 b_2 を通る投影データを計測することができない。しかも、二次元検出器 d_0 、 d_1 、 d_2 の配置の対称性により、走査駆動部 3 が回転し、どの投影角をとろうと、X 線光路 b_1 、 b_2 に相当する投影データを計測することができない。 O を中心とし b_1 、 b_2 に接する円を c とすれば、円 c の全ての接線上の投影データは、全投影角分収集することはできないことになる。

【0034】

したがって、前述の再構成演算法を用いた場合、関心領域中の各点に関して、全投影角度分の投影データがなくては正しい再構成が行なえない。すなわち、再構成データ上でリングアーチファクトが生じることとなる。

40

【0035】

また、図 12 に示す X 線断層撮影装置における二検出器配列 14 の配列では、Fieldkamp による再構成アルゴリズムの処理において、投影データ上のミッドプレーンに平行に並ぶ部分のデータをひと組として、順次、フィルタ補正を行なう。このため、たとえば、直線 p_1 上の投影データをひと組とした場合、フィルタ補正すべきひと組のデータ全てが揃っているので問題なくフィルタ補正を行なうことができる。一方、直線 p_2 上のひと組の投影データを利用する場合、直線 p_2 は、二次元検出器 5 間の間隙に重なるのでデータが存在しない。したがって、近傍の間隙上でない投影データより内挿することでこの直線 p_2 上の投影データとすることは可能であるが、内挿範囲が大きくなるので、投影データの精度が低下してしまうという問題があった。

50

【0036】

一方、特願平7-10322号公報に記載の「X線断層撮影装置」で外挿するデータは近似的なものである。このため、場合によっては（同様な場合か？（補充をする））外挿したデータによって再構成画像の濃度値を不正確なものにしてしまい、正確な再構成データおよび再構成画像を得ることができないと言う問題があった。

【0037】

本発明の目的は、2以上の二次元検出器を接合したX線検出器で撮像したX線像からアーチファクトのない再構成画像を得ることが可能なX線断層撮像装置を提供することにある。

【0038】

本発明の他の目的は、広い視野角の高画質な3次元再構成画像を得ることが可能なX線断層撮像装置を提供することにある。

10

【0039】

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。

【0040】

【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。

【0041】

(1)円錐状もしくは角錐状にX線を照射するX線源と、2以上の二次元X線撮像手段を接合した広視野角X線撮像手段とを有し、前記X線源と前記広視野角X線撮像手段X線像とを被検体の周りに回転しながら撮像した2次元X線像から前記被検体の断層像を再構成し、該断層像を表示手段に表示するX線断層撮像装置であって、前記広視野角X線撮像手段における二次元X線撮像手段のそれぞれの接合線は、前記X線源と前記広視野角X線撮像手段の回転中心軸とを含む平面のそれぞれ反対側にあつて、前記平面に対する所定の垂線上に存在しないかあるいは該垂線上におけるそれぞれの接合線と前記平面との距離が異なる。

20

【0042】

(2)前述する(1)に記載のX線断層撮像装置において、前記広視野角X線撮像手段は、同じ大きさの二次元X線撮像手段で構成される。

30

【0043】

(3)前述する(1)に記載のX線断層撮像装置において、前記広視野角X線撮像手段は、異なる大きさの二次元X線撮像手段から構成される。

【0044】

(4)前述する(1)ないし(3)の内のいずれかに記載のX線断層撮像装置において、第1の投影角度で撮像したときに前記二次元X線撮像手段の接合線部分で欠落したX線像を、前記第1の投影角度に所定の角度を加算した第2の投影角度で撮像したX線像で補う画像情報補充手段を具備する。

【0045】

(5)前述する(1)ないし(4)の内のいずれかに記載のX線断層撮像装置において、前記二次元X線撮像手段の画素ピッチを dp としたときに、前記平面と該平面に垂直に交わる画素とが、 $dp \times (n + 1 / 4)$ の位置で交差するように前記広視野角X線撮像手段を配置する。

40

【0046】

(6)前述する(1)ないし(5)の内のいずれかに記載のX線断層撮像装置において、前記X線源のX線の放射角は、前記平面に対して対称に設定する。

【0047】

(7)前述する(1)ないし(5)の内のいずれかに記載のX線断層撮像装置において、前記X線源と前記被検体との間にコリメータを設け、前記平面に対して対称となるように

50

、X線の放射角を制限する。

【0048】

前述した(1)から(4)の手段によれば、2以上の二次元X線撮像手段を接合した時の間隙が描く接合線が、X線源と広視野角X線撮像手段の回転中心軸とを含む平面のそれぞれ反対側にあつて、該平面に対する所定の垂線上に存在しないあるいは該垂線上におけるそれぞれの接合線と平面との距離が異なるように、広視野角X線撮像手段を配置する。すなわち、平面に対して広視野各X線撮像手段の接合線が対称とならないように、広視野角X線撮像手段を設置することによって、所定の投影角すなわち第1の投影角で収集できなかった接合線部分の投影データが、他の投影角すなわちX線源および広視野角X線撮像手段がほぼ180°回転したときの投影角(第2の投影角)で収集する時には収集できる。

10

【0049】

したがって、画像情報補充手段が第2の投影角での投影データで、第1の投影角の投影データの接合線部分の投影データを補充することによって、被検体の全周分の投影データを収集することができるので、2以上の二次元検出器を接合したX線検出器で撮像したX線像からアーチファクトのない再構成画像を得ることができる。

【0050】

したがって、広い視野角の高画質な3次元再構成画像を得ることができる。

【0051】

また、3次元再構成像を高画質化できるので、医師の診断効率を上げることが可能となる。

20

【0052】

前述した(5)の手段によれば、二次元X線撮像手段の画素ピッチを d_p としたときに、平面と該平面に垂直に交わる画素とが、 $d_p \times (n + 1 / 4)$ の位置で交差するように前記広視野角X線撮像手段を配置しているので、X線源と二次元X線撮像手段とを周知のファンビームX線断層撮像装置における高画質化の方法であるオフセット検出器方式と同様に駆動することによって、二次元X線撮像手段で撮像した投影像の解像度を二次元X線撮像手段の解像度よりも大きくできる。

【0053】

したがって、高画質な3次元再構成画像を得ることができる。

【0054】

また、3次元再構成像を高画質化できるので、医師の診断効率を上げることが可能となる。

30

【0055】

前述した(6)および(7)の手段によれば、X線源から照射するX線の照射角を、X線源と二次元X線撮像手段の回転中心軸とを含む平面に対して対称に設定するので、二次元X線撮像手段で撮像した投影像の投影データを無駄なく使用できる。

【0056】

したがって、高画質な3次元再構成画像を得ることができる。

【0057】

また、3次元再構成像を高画質化できるので、医師の診断効率を上げることが可能となる。

40

【0058】

【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。

【0059】

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。

【0060】

(実施の形態1)

50

図1は本発明の実施の形態1のコーンビームX線断層撮像装置の概略構成を示すブロック図であり、1は計測部、2は画像処理部、3は走査駆動部、4はX線源、5は二次元検出器(二次元X線撮像手段)、6はX線焦点、7は被検体、8はX線、9は走査駆動部の回転中心軸、10はミッドプレーン、11は前処理部(画像情報補充手段)、12は再構成演算手段、13は画像化手段、14は二次元検出器配列(広視野角X線撮像手段)を示す。

【0061】

本実施の形態1のX線断層撮像装置では、被検体7を透過したX線を撮像する二次元検出器配列14は、3枚の二次元検出器5を走査駆動部3の回転円周に沿うように配置している。このとき、二次元検出器5を接合した際の間隙すなわち接合線は、X線源4のX線焦点6と回転中心軸9を含む平面のそれぞれ反対側において、この平面に対する所定の垂線上における各接合線と平面との距離が異なるように配置されている。すなわち、二次元検出器5を接合したときの2本の間隙が、X線焦点6と回転中心軸9を含む平面の左右にそれぞれ1本ずつ位置すると共に、該間隙が平面に対して対称とならないように(非対称となるように)、二次元検出器配列14が配置されている。

10

【0062】

次に、図1に基づいて、本実施の形態1のX線断層撮像装置による計測時の動作を説明する(ただし、本実施の形態1のX線断層撮像装置において、被検体のX線像の計測は、従来法と同様、以下のように行なわれる)。

【0063】

なお、本実施の形態1のX線断層撮像装置におけるX線源4、二次元検出器5、走査駆動部3は周知の機構および装置を用いる。

20

【0064】

X線源4は、X線焦点6を頂点とするコーンビーム状のX線8を被検体7に向けて放射する。被検体7を透過したX線は、二次元X線検出器配列14に入射し、該X線強度がそれぞれの二次元検出器5によって計測される。走査駆動部3は、回転中心軸9を回転中心として被検体7のまわりを回転することによって、該走査駆動部3に取り付けられるX線源4および二次元X線配列14を被検体7の周りに回転させる。このとき、走査駆動部3が微小角度回転するごとに、X線の投影と透過X線強度の計測とを行なう。この投影と計測とを被検体7の全周分繰り返して行い、百から数百組の透過X線強度データすなわち投影データを収集する。

30

【0065】

次に、計測した透過X線強度信号を、従来のX線断層撮像装置と同様の方法で、デジタル化した後、該デジタル化した透過X線強度信号(以下、透過X線強度データと記す)をデータ処理部2に出力する。なお、本願明細書中においては、前処理部11による処理の結果として得られたデータを、全投影角分の投影データと記す。

【0066】

データ処理部2では、前処理部11が、まず、得られた全投影角分の投影データ(全投影像)をもとに、所定の投影角における二次元X線配列14の接合線の欠像データ部分を、他の投影角の投影データで補充する。次に、前処理部11は、補充後の投影データに対して、周知のガンマ補正、画像歪み補正、対数変換および感度むら補正等の前処理を行い、処理後のデータ(前処理後の投影データ)を再構成演算手段12に出力する。なお、前処理部11による欠像データの補充についての詳細は、後述する。

40

【0067】

次に、再構成演算手段12は、補充後の全投影角分の投影データから被検体7の視野領域内の3次元的なX線吸収係数分布(3次元再構成画像)を再構成する。

【0068】

次に、画像化手段13が、3次元再構成画像に対して、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施した後、該画像化処理後のデータをビデオ信号に変換し図示しないモニタに表示することにより、被検体7の断層像を操作者に対して表示

50

する。

【0069】

ただし、前述する再構成演算方法としては、Feldkampによるコーンビーム再構成演算法等が知られている(L. A. Feldkamp et al. Practical cone beam algorithm, J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 1, No. 6, pp 612-619, 1984)。

【0070】

次に、図2にミッドプレーンでの本実施の形態の二次元X線検出器配列とX線源および回転中心軸を含む平面との位置関係を説明するための図を、図3に欠落データの補充原理を説明するための図を示し、以下、図2および図3に基づいて、二次元X線検出器の接合部

10

【0071】

図2および図3において、 d_0 、 d_1 、 d_2 はX線焦点6が位置Sに位置するときの二次元X線検出器の位置、 G_1 はX線焦点6が位置Sに位置するときの二次元検出器 d_0 と d_1 とを接合した際の間隙の位置、 G_2 はX線焦点6が位置Sに位置するときの二次元検出器 d_0 と d_2 とを接合した際の間隙の位置、 b_1 は間隙 G_1 に入射するX線路、 b_2 は間隙 G_2 に入射するX線路、 c_1 は間隙 G_1 による投影データの欠落部分が描く軌跡、 c_2 は間隙 G_2 による投影データの欠落部分が描く軌跡、 H_1 はX線焦点6が位置Sに位置するときのX線焦点6および回転中心軸9を含む平面とミッドプレーン10との交線、 H_2 は二次元X線検出器 d_0 の中心位置、 t_1 は交線 H_1 とX線路 b_1 とがなす角度、 O は二

20

【0072】

図2に示すように、本実施の形態1のX線断層撮像装置においては、交線 SO に対して、

30

【0073】

次に、図3に基づいて、図2に示す間隙 G_1 の欠落データの補充原理を説明する。

【0074】

まず、全投影方向分の投影データの計測を行う過程において、X線焦点6が位置 S' に達した時(このとき、二次元検出器は各々 d_0' 、 d_1' 、 d_2' の位置に来る)、X線路 b_1 は、位置 S' と点Pを結ぶX線路と重なる。このとき、交点Pは二次元検出器 d_2' 上の点であるので、X線路 $S'P$ を撮影することによって、X線路 b_1 を撮影したことになる。すなわち、X線路 $S'P$ の投影データによって、間隙 G_1 に伴い投影データが欠落したX線路 b_1 における投影データを計測できる。このようにして、本発明においては、 O を中心として、 b_1 に接する円 c_1 上の投影データは、全投影角度分収集することが可能である。

40

【0075】

次に、間隙 G_1 に伴う欠落データを補充する時に使用する投影データの回転角 u_1 の計算方法について、図3に基づいて説明する。

【0076】

前述するように、間隙 G_1 に対するX線路 b_1 と交線 H_1 とがなす角度すなわちX線焦点6の位置Sを頂点とする角 G_1SO を t_1 、X線焦点6の位置Sの時の投影角を w 、X線

50

焦点 6 が位置 S' の時の投影角を w' とした場合、投影角 w , w' の間には、下記の数 1 の関係が成立する（なお、図 3 は投影角 $w = 0$ の時を示している）。

【 0 0 7 7 】

【 数 1 】

$$w' = w + u_1 = w + (\quad - 2 \times t_1)$$

したがって、本実施の形態 1 の X 線断層撮像装置では、前述する数 1 を満たす投影角 w' の投影データによって、投影角 w における間隙 G 1 の欠落データを補充するので、投影データの欠落に伴う再構成画像中のアーチファクトの発生を防止できる。

【 0 0 7 8 】

また、X 線光路 b_2 および円 c_2 に関する欠落データを補充する場合の同様に、前述する手順と同様によって、補正に使用する投影角を計算できる。 10

【 0 0 7 9 】

ただし、前述する手順での欠落データの補充は、厳密にはミッドプレーン 10 上でのみ成り立つものである。しかしながら、ミッドプレーン 10 からの仰角が小さな範囲内に収まっていれば、近似的に上記の関係が成立するので、前述の手順によって、欠落した投影データを補うことができる。

【 0 0 8 0 】

本実施の形態 1 の X 線断層撮像装置では、前述する X 線検出器配列 14 に加え、二次元検出器 5 の画素が、X 線焦点 6 と回転中心軸 9 とを含む平面の垂直方向に $1/4$ 画素分ずれた位置に配列されている。 20

【 0 0 8 1 】

図 4 にこの画素のずれ位置を説明するための図を示し、以下、図 4 に基づいて、画素のずれ量およびその効果を説明する。

【 0 0 8 2 】

図 4 は二次元検出器 5 を拡大したときの図であり、各マスはそれぞれ二次元検出器の画素を示している。

【 0 0 8 3 】

図 4 から明らかなように、本実施の形態 1 の X 線断層撮像装置では、二次元検出器 5 の画素ピッチを d_p としたとき、二次元検出器 5 の画素が、X 線焦点 6 と回転中心軸 9 とを含む平面の垂直方向に、 $d_p \times (n + 1/4)$ （ただし、 n は整数である）の位置に配列するように設定されている。 30

【 0 0 8 4 】

したがって、従来のファンビーム X 線断層撮影装置において、検出素子の配列ピッチの $1/4$ 分シフトした検出器を用いて高画質化を実現する方法（オフセット検出器方式）と同様によって、二次元検出器の見かけ上の解像度を上げることができるので、二次元検出器 5 で撮影した投影データを高画質化できる。ただし、高画質化の詳細については、たとえば、T. M. Peters and R. M. Lewitt, "Computed tomography with fan beam geometry", J. Comput. Assist. Tomogr., vol. 1, no. 4, pp. 429 - 436, 1977. を参照されたい。 40

【 0 0 8 5 】

以上説明したように、本実施の形態 1 の X 線断層撮像装置では、3 枚の二次元検出器 5 を接合して 1 枚の大きな X 線検出器配列 14 として、該 X 線検出器配列 14 を X 線源 4 と共に被検体 7 の周囲に回転して被検体 7 の全周分の投影データを収集する際に、X 線源 4 と X 線検出器配列 14 との回転中心軸すなわち走査駆動部 3 の回転中心軸 9 と、X 線源 4 の X 線焦点 6 とを含む平面に対して、二次元 X 線検出器 5 を接合した際の接合線（間隙）が対称にならないように二次元 X 線検出器 5 をそれぞれ配列した二次元検出器配列 14 を使用することによって、所定の投影角 w で撮影した投影データに含まれる接合線部分の欠落データが、他の投影角 w' で撮影した投影データで補充できる。

【 0 0 8 6 】

したがって、再構成演算手段 1 2 で再構成演算を行う前に、この欠落データを他の投影角 w' の投影データで補充することによって、被検体 7 の全周分の投影データを作成することができるので、該補充後の投影データに基づいて再構成演算手段 1 2 が再構成演算を行うことによって、3 枚の二次元 X 線検出器 5 を接合した際の接合線による欠落データに伴うアーチファクトの発生を除去できる。

【0087】

さらには、本実施の形態 1 の X 線断層撮像装置では、二次元 X 線検出器 5 の画素が X 線焦点 6 と回転中心軸 9 とを含む平面の垂直方向に対して、 $dp \times (n + 1 / 4)$ (ただし、 n は整数である) の位置となるように配列する。

【0088】

被検体 7 の全周分の投影データを計測する時には、周知のファンビーム X 線断層撮像装置における、検出器素子の配列ピッチの $1 / 4$ 分シフトした検出器を用いて高画質化する方法であるオフセット検出器方式と同様に、走査駆動部 3 を駆動することによって、二次元検出器 5 の見かけ上の解像度を上げることができる。

【0089】

したがって、二次元検出器 5 で撮影した投影データを高画質化でき、本実施の形態 1 の X 線断層撮像装置で、二次元 X 線検出器 5 の解像度よりも高い解像度の再構成画像を得ることができる。

【0090】

これにより、医師の診断効率を上げることができるという効果もある。

【0091】

さらには、本実施の形態 1 の X 線断層撮像装置では、全て同じ大きさの二次元検出器 5 を 3 枚組み合わせるとして X 線検出器配列 1 4 とする構成とすることにより、二次元検出器 5 を量産できるので、二次元 X 線検出器 5 の製造コストを低くできる。したがって、X 線断層撮像装置のさらに安価にできるという効果もある。

【0092】

(実施の形態 2)

図 5 は、本発明の実施の形態 2 の X 線断層撮像装置の二次元検出器配列および該二次元検出器配列と X 線源との関係を説明するための図であり、 q_1 は走査駆動部 3 の回転中心軸 9 を示す中心 O と X 線焦点 6 とを含む平面とミッドプレーンとが交差したときの交線 H 1 と二次元 X 線検出器 d 1 の接合側でない一端 (二次元検出器配列 1 4 の一端) とがなす角度、 q_2 は交線 H 1 と二次元 X 線検出器 d 2 の接合側でない一端 (二次元検出器配列 1 4 の他端) とがなす角度を示す。

【0093】

また、本実施の形態 2 の X 線断層撮像装置は、二次元 X 線検出器 5 の大きさおよび X 線源 4 の照射野が異なるのみで、他の構成は実施の形態 1 の X 線断層撮像装置と同じである。

【0094】

したがって、本実施の形態 2 の説明においては、異なる部分の説明のみを行う。

【0095】

本実施の形態 2 の X 線断層撮像装置では、大きさの異なる二次元検出器 5 を 3 枚組み合わせるとして二次元検出器配列 1 4 を構成している。しかしながら、実施の形態 1 の二次元検出器配列 1 4 と同様に、本実施の形態においても、二次元 X 線検出器 5 を接合したときの接合線 (間隙) G 1, G 2 は、X 線焦点 6 と回転中心軸 9 とを含む平面と平行である。

【0096】

また、X 線焦点 6 から見た時の全体のコーンビーム状 X 線 8 の放射角 q_1 , q_2 は、X 線焦点 6 と回転中心軸 9 とを含む平面に対して対称 ($q_1 = q_2$) になるように設定されている。ただし、このときの X 線 8 の照射角は、X 線源 4 と被検体 7 との間においた図示しないコリメータによって、決定している。

【0097】

さらには、二次元 X 線検出器 d 0 の中心すなわち接合線 G 1, G 2 の中心は、X 線焦点 6

10

20

30

40

50

と回転中心軸 9 とを含む平面と一致しない、すなわち、該平面に対して接合線 G 1 , G 2 が対称とならないように、二次元 X 線検出器 5 が接合され配置されている。

【 0 0 9 8 】

本実施の形態 2 の X 線断層撮像装置で撮影した被検体 7 の全周分の投影データから被検体 7 の断層像を再構成する手順については、実施の形態 1 と同様となるので、その説明は省略する。

【 0 0 9 9 】

以上説明したように、本実施の形態 2 の X 線断層撮像装置では、X 線源 4 と被検体 7 との間においたコリメータによって、X 線源 4 からの X 線 8 の全体の放射角 q_1 , q_2 が、X 線焦点 6 と回転中心軸 9 とを含む平面に対して対称 ($q_1 = q_2$) になるように設定することにより、収集した全投影データを過不足なく再構成演算に利用できる、すなわち、二次元検出器配列 1 4 を撮影領域を無駄なく使用できるので、再構成演算手段 1 2 によって再構成した再構成画像の解像度をさらに高くできるという効果がある。

【 0 1 0 0 】

ただし、他の構成は実施の形態 1 の X 線断層撮像装置と同じ構成となるので、実施の形態 1 の X 線断層撮像装置と同じ効果があることは言うまでもない。

【 0 1 0 1 】

(実施の形態 3)

図 6 は本発明の実施の形態 3 の X 線断層撮像装置の概略構成を示すブロック図であり、本実施の形態 3 においては、2 枚の二次元 X 線検出器 5 を被検体の体軸方向すなわち回転中心軸 9 の方向に配列した X 線断層撮像装置である。

【 0 1 0 2 】

図 6 の本実施の形態 3 の二次元検出器配列では、回転中心軸 9 の方向に互いに接合した二次元検出器 5 間の間隙 (接合線) と、ミッドプレーンに平行な平面との交差する部分が一点になるように配置する。ただし、実際は回転中心軸 9 の方向に互いに接合した二次元検出器 5 間の間隙と、ミッドプレーンに平行な平面との交差する部分が、幾何学的な意味での一点になることはないので、本願明細書中において、一点になるとは実装上可能な限り微小な領域にするということの意味するものである。

【 0 1 0 3 】

典型的には、図 6 から明らかなように、回転中心軸 9 の方向に互いに隣接する二次元検出器 5 間の間隙がミッドプレーンに対し、所定の角度の傾きを持つように配列する (ただし、同図では説明を簡単にするため、回転中心軸方向に並べたパネル状二次元検出器 5 を 2 枚分しか示していない。実際には、複数枚の二次元検出器 5 を回転中心軸方向、円周方向に並べる) 。

【 0 1 0 4 】

図 7 に本発明の実施の形態 3 の X 線断層撮影装置の二検出器配列 1 4 を説明するための図を示し、以下、図 7 に基づいて、実施の形態 3 の X 線断層撮像装置の動作を説明する。

【 0 1 0 5 】

ただし、図 7 では、円周方向に配列した二次元検出器 5 間の間隙は省略し、回転中心軸方向に互いに接合した二次元検出器 5 間の間隙のみを示す。

【 0 1 0 6 】

実施の形態 1 の X 線断層撮像装置のように、Fieldkamp による再構成アルゴリズムによれば、その処理において、投影データ上のミッドプレーンに平行に並ぶ部分のデータをひと組として、順次、フィルタ補正を行なう。たとえば、直線 p 3 上の投影データをひと組とした場合、フィルタ補正すべきひと組のデータ全てが揃っているので問題なくフィルタ補正を行なうことができる。

【 0 1 0 7 】

一方、直線 p 4 上のひと組の投影データの場合では、この一組のデータにおいて、二次元検出器 5 間の間隙によって欠落するのは、点 A で示す最小限の部分にとどめることができるので、たとえば、直線 p 4 上の前後のデータから周知の線形補間等によって、この部分

10

20

30

40

50

を内挿する。この内挿は、前述の第3の従来型コーンビーム断層撮影装置における投影データの内挿に比べ高い精度で行なうことができる。

【0108】

したがって、再構成演算手段12によって得られる被検体7の断層画像にアーチファクトが発生することを防止できるので、被検体7の正確な断層画像を得ることができる。この結果として、医師による診断効率を向上することができる。

【0109】

他の実施の形態として、回転中心軸方向に互いに隣接する二次元検出器5間の間隙が、直線状にならず、その他の曲線状になっていてもよいことは言うまでもない。

【0110】

以上の説明では、X線断層撮像装置の二次元検出器配列14として、2枚あるいは3枚の二次元X線検出器から構成する場合についてその作用および効果を説明したが、本発明はこれに限定されることはなく、2以上の二次元X線検出器5を用いて二次元検出器配列14を構成してもよいことは言うまでもない。

【0111】

また、本発明を適用したX線断層撮像装置では、二次元検出器配列14の間隙の幅が大きい場合であっても、該間隙を補充する第2の投影角 w' で前記欠落像部分が撮像可能であるならば、間隙による欠落像によるアーチファクトの発生を防止できる。

【0112】

前述する二次元X線検出器5の典型的な例としては、たとえば、図8に示す周知のTFT (Thin Film Transistor) マトリックスを利用した検出器(以下、TFT検出器と記す)が挙げられる。

【0113】

図8において、801は受光部、802はTFT、803は切り替え手段、804は増幅器、805はマルチプレクサ、806はA/D変換器を示す。

【0114】

このTFT検出器において、各画素は、フォトダイオード等の受光部とスイッチングの役割を持つTFTとからなり、切り換え手段803およびマルチプレクサ805が、それぞれ縦および横方向に走査することによって、各画素の検出データが順次読み出されていく。

【0115】

なお、TFT検出器の詳細について、たとえば、L. E. Antonuk et al, LARGE AREA, FLAT-PANEL, AMORPHOUS SILICON IMAGERS, SPIE Vol. 2432, Medical Imaging: Physics of Medical Imaging, pp. 216-227, 1996を参照されたい。

【0116】

さらには、本実施の形態では、コーンビーム状すなわち円錐状のX線を照射するX線源を用いた場合について、動作およびその効果を説明したが、X線源はこれに限定されることはなく、たとえば、角錐状のX線を照射するX線源を用いてもよいことは言うまでもない。

【0117】

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。

【0118】

【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。

【0119】

10

20

30

40

50

(1) 2以上の二次元検出器を接合したX線検出器で撮像したX線像からアーチファクトのない再構成画像を得ることができる。

【0120】

(2) 広い視野角の高画質な3次元再構成画像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1のX線断層撮像装置の概略構成を示すブロック図である。

【図2】ミッドプレーンでの本実施の形態1の二次元X線検出器配列とX線源および回転中心軸を含む平面との位置関係を説明するための図である。

【図3】欠落データの補充原理を説明するための図である。

【図4】本発明の実施の形態の二次元X線検出配列の画素のずれ位置を説明するための図である。 10

【図5】本発明の実施の形態2のX線断層撮像装置の二次元検出器配列および該二次元検出器配列とX線源との関係を説明するための図である。

【図6】本発明の実施の形態3のX線断層撮像装置の概略構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の実施の形態3のX線断層撮像装置の二検出器配列を説明するための図である。

【図8】TF Tマトリックスを利用した二次元X線検出器の概略構成を示すブロック図である。

【図9】従来のX線断層撮像装置の概略構成を示すブロック図である。

【図10】二次元検出器を3枚組み合わせ構成した二次元検出器を用いたX線断層撮像装置の概略構成を示すブロック図である。 20

【図11】被検体の体軸方向に2枚の二次元X線検出器を接合した従来のX線断層撮像装置の概略構成を示すブロック図である。

【図12】二次元X線検出器を被検体の体軸方向に接合した二次元検出器配列による投影データの欠落原理を説明するための図である。

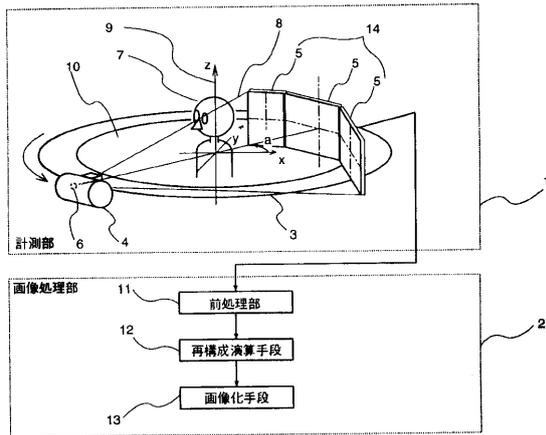
【図13】再構成データに発生するリング状アーチファクトの発生原理を説明するための図である。

【符号の説明】

1 ... 計測部、 2 ... 画像処理部、 3 ... 走査駆動部、 4 ... X線源、 5 ... 二次元検出器、 6 ... X線焦点、 7 ... 被検体、 8 ... X線、 9 ... 走査駆動部の回転中心軸、 10 ... ミッドプレーン、 11 ... 前処理部、 12 ... 再構成演算手段、 13 ... 画像化手段、 14 ... 二次元検出器配列。 30

【 図 1 】

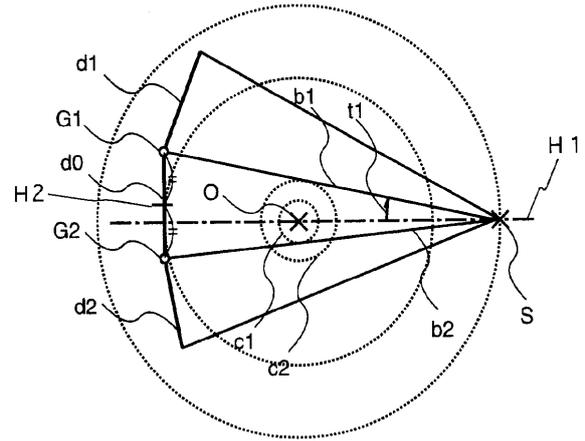
図 1



1…計測部、2…画像処理部、3…走査駆動部、4…X線源
 5…二次元検出器、6…X線焦点、7…被検体、8…X線
 9…走査駆動部の回転中心軸、10…ミッドプレーン、

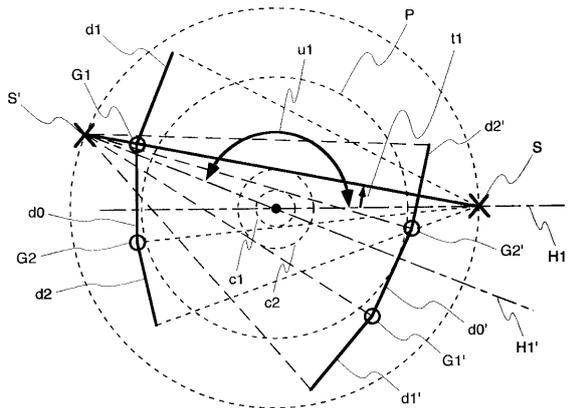
【 図 2 】

図 2



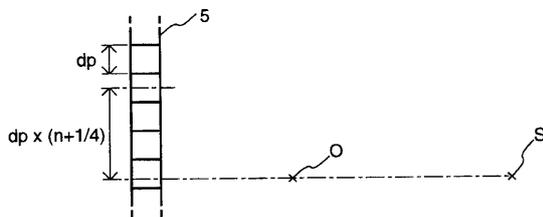
【 図 3 】

図 3



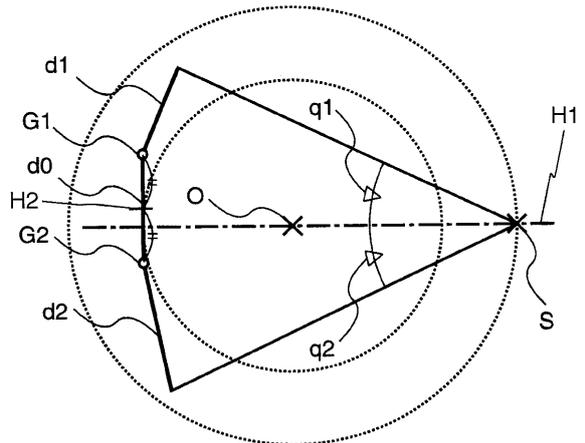
【 図 4 】

図 4

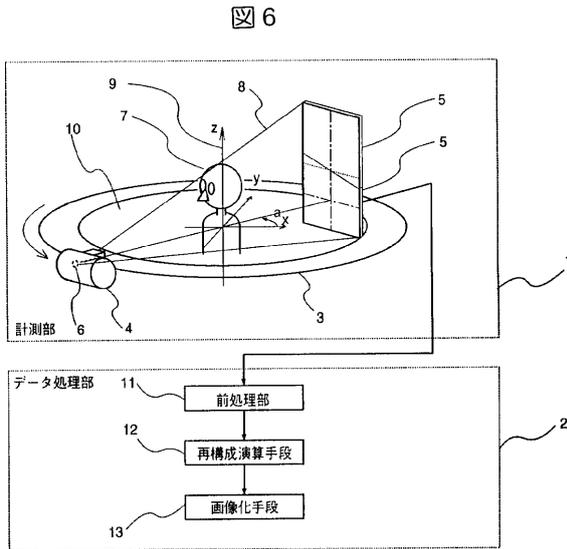


【 図 5 】

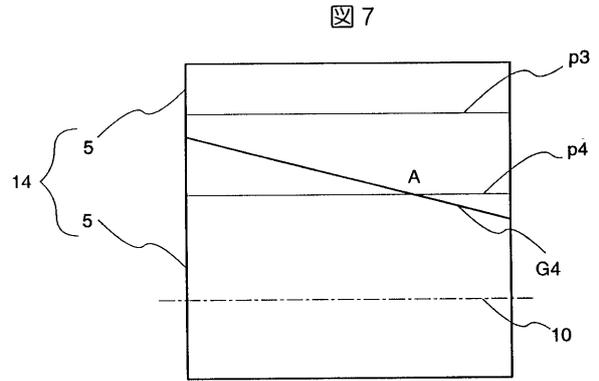
図 5



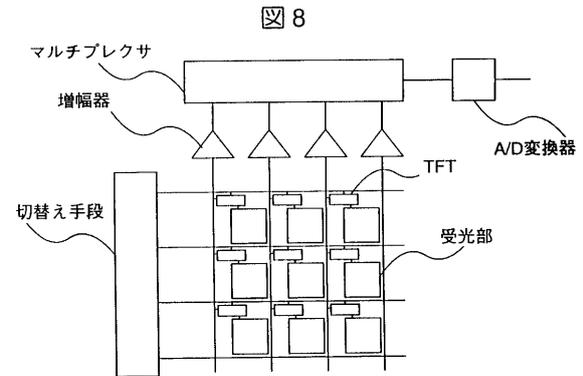
【図6】



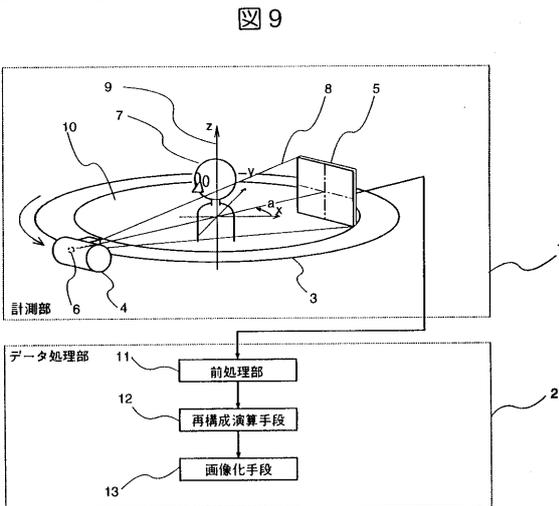
【図7】



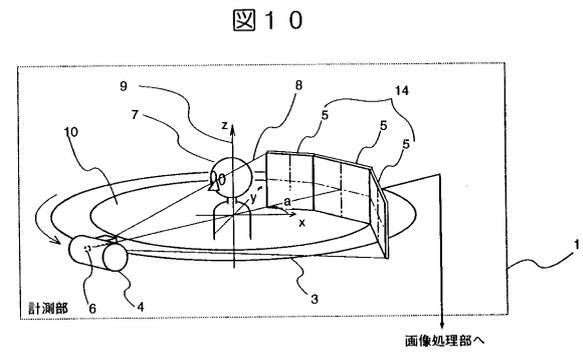
【図8】



【図9】



【図10】



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 川口 文男
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

審査官 小田倉 直人

- (56)参考文献 特開平04-130291(JP,A)
特開平03-205034(JP,A)
特開平08-229030(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
A61B 6/03