

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5530295号
(P5530295)

(45) 発行日 平成26年6月25日(2014.6.25)

(24) 登録日 平成26年4月25日(2014.4.25)

(51) Int.Cl. F I
A 6 1 B 6/03 (2006.01) A 6 1 B 6/03 3 2 0 J
A 6 1 B 6/06 (2006.01) A 6 1 B 6/03 3 2 0 S
 A 6 1 B 6/06 3 3 1

請求項の数 14 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2010-175541 (P2010-175541)	(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22年8月4日(2010.8.4)	(74) 代理人	100064414 弁理士 磯野 道造
(65) 公開番号	特開2012-34745 (P2012-34745A)	(74) 代理人	100111545 弁理士 多田 悦夫
(43) 公開日	平成24年2月23日(2012.2.23)	(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
審査請求日	平成24年5月2日(2012.5.2)	(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線焦点位置からX線を発生するX線源と、
 前記X線を検出するためのX線検出素子がセパレータを隔てて第1及び第2の方向へ二次元配列されているX線検出素子アレイと、
 前記X線検出素子アレイと前記X線焦点位置の間に配置され、X線透過部材とX線遮蔽部材が交互に前記第1及び第2の方向に配列され、前記X線遮蔽部材が前記X線焦点位置へ指向する傾斜角を有する散乱線防止グリッドと、
 前記X線検出素子アレイを単位として、一つ以上のX線検出器モジュールと、
 を備えたX線CT装置であって、
 前記セパレータが前記散乱線防止グリッドのX線遮蔽部材によって生じるX線の影の領域に収まる範囲内で、前記セパレータの上底の中心と下底の中心を結ぶ直線の方向が前記第1及び第2の方向と直交する第3の方向に対して傾斜していること
 を特徴とするX線CT装置。

【請求項2】

前記傾斜における傾斜角が、一つの前記X線検出器モジュールで共通の傾斜角であること
 を特徴とする請求項1に記載のX線CT装置。

【請求項3】

前記傾斜角は、前記領域に収まる範囲内で最大の値となるように設定されていること

を特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の X 線 CT 装置。

【請求項 4】

X 線焦点位置から X 線を発生する X 線源と、

前記 X 線を検出するための X 線検出素子がセパレータを隔てて第 1 及び第 2 の方向へ二次元配列されている X 線検出素子アレイと、

前記 X 線検出素子アレイと前記 X 線焦点位置の間に配置され、X 線透過部材と X 線遮蔽部材が交互に前記第 1 及び第 2 の方向に配列され、前記 X 線遮蔽部材が前記 X 線焦点位置へ指向する傾斜角を有する散乱線防止グリッドと、

前記 X 線検出素子アレイを単位として、一つ以上の X 線検出器モジュールと、

を備えた X 線 CT 装置であって、

前記セパレータが前記散乱線防止グリッドの X 線遮蔽部材によって生じる X 線の影の領域を内包する範囲内で、前記セパレータの上底の中心と下底の中心を結ぶ直線の方向が前記第 1 及び第 2 の方向と直交する第 3 の方向に対して傾斜していること

を特徴とする X 線 CT 装置。

10

【請求項 5】

前記傾斜における傾斜角が、一つの前記 X 線検出器モジュールで共通の傾斜角であること

を特徴とする請求項 4 に記載の X 線 CT 装置。

【請求項 6】

前記傾斜角は、前記領域に収まる範囲内で最大の値となるように設定されていること

を特徴とする請求項 4 または請求項 5 に記載の X 線 CT 装置。

20

【請求項 7】

X 線焦点位置から X 線を発生する X 線源と、

前記 X 線を検出するための X 線検出素子がセパレータを隔てて第 1 及び第 2 の方向へ二次元配列されている X 線検出素子アレイと、

前記 X 線検出素子アレイと前記 X 線焦点位置の間に配置され、X 線透過部材と X 線遮蔽部材が交互に前記第 1 及び第 2 の方向に配列され、前記 X 線遮蔽部材が前記 X 線焦点位置へ指向する傾斜角を有する散乱線防止グリッドと、

前記 X 線検出素子アレイを単位として、一つ以上の X 線検出器モジュールと、

を備えた X 線 CT 装置であって、

前記セパレータが前記散乱線防止グリッドの X 線遮蔽部材によって生じる X 線の影の領域に収まる範囲内で、前記第 1 及び第 2 の方向と直交する第 3 の方向が、前記 X 線検出器モジュールの中心と前記 X 線焦点位置を結ぶ直線の方向に対して傾斜していること

を特徴とする X 線 CT 装置。

30

【請求項 8】

前記セパレータの上底の中心と下底の中心を結ぶ直線の方向に対する前記第 3 の方向からの平均の傾斜角が最大となるように、前記 X 線検出器モジュールが前記第 3 の方向に対して傾斜していること

を特徴とする請求項 7 に記載の X 線 CT 装置。

【請求項 9】

X 線焦点位置から X 線を発生する X 線源と、

前記 X 線を検出するための X 線検出素子がセパレータを隔てて第 1 及び第 2 の方向へ二次元配列されている X 線検出素子アレイと、

前記 X 線検出素子アレイと前記 X 線焦点位置の間に配置され、X 線透過部材と X 線遮蔽部材が交互に前記第 1 及び第 2 の方向に配列され、前記 X 線遮蔽部材が前記 X 線焦点位置へ指向する傾斜角を有する散乱線防止グリッドと、

前記 X 線検出素子アレイを単位として、一つ以上の X 線検出器モジュールと、

を備えた X 線 CT 装置であって、

前記セパレータが前記散乱線防止グリッドの X 線遮蔽部材によって生じる X 線の影の領域を内包する範囲内で、前記第 1 及び第 2 の方向と直交する第 3 の方向が、前記 X 線検出

40

50

器モジュールの中心と前記 X 線焦点位置を結ぶ直線の方向に対して傾斜していることを特徴とする X 線 CT 装置。

【請求項 10】

前記セパレータの上底の中心と下底の中心を結ぶ直線の方向に対する前記第 3 の方向からの平均の傾斜角が最大となるように、前記第 3 の方向が、前記直線の方向に対して傾斜していること

を特徴とする請求項 9 に記載の X 線 CT 装置。

【請求項 11】

前記散乱線防止グリッドの X 線遮蔽部材と X 線透過部材が、前記 X 線検出素子の平均ピッチの 2 倍以上の整数倍のピッチで並べられた構造を備えたこと

を特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の X 線 CT 装置。

【請求項 12】

前記セパレータの、前記 X 線焦点方向の一端部もしくは両端部で、隣り合う前記 X 線検出素子が繋がっている構造を有すること

を特徴とする請求項 1 乃至請求項 11 のいずれか 1 項に記載の X 線 CT 装置。

【請求項 13】

複数の前記 X 線検出器モジュールが、前記セパレータの前記 X 線焦点方向からの傾斜角に関し、鏡反転対称に配置されること

を特徴とする請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか 1 項に記載の X 線 CT 装置。

【請求項 14】

前記 X 線の影の領域が、全ての X 線が遮蔽される本影領域であることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載の 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 装置に関する。

【背景技術】

【0002】

X 線 CT (Computed Tomography) 装置とは、被写体に X 線を照射する X 線源と、その X 線源と対向する位置に、被写体を透過した X 線を検出する X 線検出器とを有し、被写体の周りを回転撮像することによって得た複数方向の投影データをもとに、被写体内部の X 線減衰率の違いを、データ処理系を用いて画像として再構成するための装置である。

X 線源には、通常、高電圧で加速された電子を陽極に照射し、X 線を発生させる X 線管球が用いられる。X 線検出器は一度に広範囲を高速に撮影するために、X 線検出素子を 2 次元状に並べた構成をしており、X 線検出器の X 線源側には、被写体で発生した散乱 X 線を除去するための散乱線防止グリッドが配置されている。

【0003】

近年、検出器の多スライス化、高空間分解能化のために検出素子サイズのより微小なものが開発される傾向がある。しかし検出素子サイズが小さくなることで、X 線検出素子間に存在する X 線の不感領域が相対的に増大し、X 線検出器全体としての検出効率が低下する。そのため、検出効率を維持する技術が必要となる。

しかし、X 線検出素子間のセパレータ幅を狭くすることで検出効率を向上させる方法は、X 線検出素子間で信号が漏洩・交錯するクロストークと呼ばれる現象が生じ、空間分解能劣化を引き起こすという問題がある。

したがって、X 線検出素子間のクロストークを許容値以下に保つためには、X 線検出素子間距離もしくは X 線検出素子間セパレータ幅はある程度以上とる必要がある。

【0004】

従来、検出効率を向上させる技術としては、例えば特許文献 1 や特許文献 2 が開示されている。

また、特許文献 3 にはクロストークを抑えつつ検出効率を向上させる方法として、検出

10

20

30

40

50

素子間のセパレータをX線入射方向に対して傾斜させ、セパレータが作るX線不感領域のX線焦点から見た立体角を低減させる方法が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2002-22678号公報

【特許文献2】特開2006-145431号公報

【特許文献3】特開2007-125086号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

前記した特許文献3に開示されているX線検出素子間のセパレータをX線入射方向に対して傾斜させ、セパレータが作るX線不感領域のX線焦点から見た立体角を低減させる方法は、セパレータのX線焦点側に散乱線防止グリッドが配置される場合には、セパレータ傾斜角の増加に伴って散乱線防止グリッドによって影になるX線検出器体積が増え、かえって検出効率が低下するという問題がある。

また、X線管球の電極の熱膨張によりX線焦点位置が変動する現象が観測されており、このX線焦点の熱移動によって、散乱線防止グリッドで生じるX線の影の領域が変化し、X線検出素子に大きな感度変化を引き起こし、CT画像に偽像（アーチファクト）を発生させる可能性があるという問題がある。

【0007】

そこで、本発明は、散乱線防止グリッドが配置されるX線検出器およびX線CT装置において、X線検出素子間のクロストーク及びX線焦点の熱移動によるX線検出素子の感度変化を抑制しつつ、X線検出器の検出効率を向上させることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

前記の課題を解決して、本発明の目的を達成するために以下のように構成した。

すなわち、本発明のX線CT装置は、X線焦点位置からX線を発生するX線源と、

前記X線を検出するためのX線検出素子がセパレータを隔てて第1及び第2の方向へ二次元配列されているX線検出素子アレイと、

前記X線検出素子アレイと前記X線焦点位置の間に配置され、X線透過部材とX線遮蔽部材が交互に前記第1及び第2の方向に配列され、前記X線遮蔽部材が前記X線焦点位置へ指向する傾斜角を有する散乱線防止グリッドと、

前記X線検出素子アレイを単位として、一つ以上のX線検出器モジュールと、

を備えたX線CT装置であって、

前記セパレータが前記散乱線防止グリッドのX線遮蔽部材によって生じるX線の影の領域に収まる範囲内で、前記セパレータの上底の中心と下底の中心を結ぶ直線の方向が前記第1及び第2の方向と直交する第3の方向に対して傾斜していることを特徴とする。

または、前記セパレータが前記散乱線防止グリッドのX線遮蔽部材によって生じるX線の影の領域を内包する範囲内で、前記セパレータの上底の中心と下底の中心を結ぶ直線の方向が前記第1及び第2の方向と直交する第3の方向に対して傾斜していることを特徴とする。

または、前記セパレータが前記散乱線防止グリッドのX線遮蔽部材によって生じるX線の影の領域に収まる範囲内で、前記第1及び第2の方向と直交する第3の方向が、前記X線検出器モジュールの中心と前記X線焦点位置を結ぶ直線の方向に対して傾斜していることを特徴とする。

または、前記セパレータが前記散乱線防止グリッドのX線遮蔽部材によって生じるX線の影の領域を内包する範囲内で、前記第1及び第2の方向と直交する第3の方向が、前記X線検出器モジュールの中心と前記X線焦点位置を結ぶ直線の方向に対して傾斜していることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

かかる構成により、散乱線防止グリッドで生じる X 線の影の領域が、X 線焦点の熱移動があっても X 線検出素子アレイはその影響を受けない。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 0 】

本発明に係る X 線 CT 装置によれば、X 線検出素子間のクロストーク及び X 線焦点の熱移動による X 線検出素子の感度変化が抑制され、X 線検出器の検出効率が向上する。さらに、それによって良質な X 線 CT 画像が得られる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 1 】

【 図 1 】本発明の実施形態における X 線 CT 装置を体軸方向から見た概略の構造を示す図である。

【 図 2 】本発明の実施形態における X 線検出器モジュールと散乱線防止グリッドの基本構造を示した図である。

【 図 3 A 】散乱線防止グリッドが X 線検出器モジュールに作る影の領域を説明するにあたって散乱線防止グリッドとセパレータを示した図である。

【 図 3 B 】散乱線防止グリッドが X 線検出器モジュールに作る影の領域を説明するにあたって散乱線防止グリッドと影の領域を示した図である。

【 図 4 A 】X 線焦点の熱移動による感度変化を抑制するためのセパレータ形状で、セパレータが本影領域の内部に収まる構造を示した図である。

【 図 4 B 】X 線焦点の熱移動による感度変化を抑制するためのセパレータ形状で、セパレータが半影領域を全て内包する構造を示した図である。

【 図 5 A 】セパレータが本影領域の内部に収まる構造であって、セパレータを最も傾斜させるための第 1 の傾斜方法を示した図である。

【 図 5 B 】セパレータが本影領域の内部に収まる構造であって、セパレータを最も傾斜させるための第 2 の傾斜方法を示した図である。

【 図 5 C 】セパレータが半影領域を全て内包する構造であって、セパレータを最も傾斜させるための第 1 の傾斜方法を示した図である。

【 図 5 D 】セパレータが半影領域を全て内包する構造であって、セパレータを最も傾斜させるための第 2 の傾斜方法を示した図である。

【 図 6 】X 線検出器モジュールの両端部と基準法線との距離を示す図である。

【 図 7 】セパレータで隣り合う X 線検出素子が繋がる X 線検出器構造を表し、(a) では上部で、(b) では下部で繋がる構造を示した図である。

【 図 8 A 】X 線検出器モジュールの基準法線からの距離であるスライス位置に対する、X 線入射角とセパレータの最大許容傾斜角関係を表し、1 X 線検出器モジュールあたり 6 4 スライスの場合を示した図である。

【 図 8 B 】X 線検出器モジュールの基準法線からの距離であるスライス位置に対する、X 線入射角とセパレータの最大許容傾斜角関係を表し、1 X 線検出器モジュールあたり 1 6 スライスの場合を示した図である。

【 図 9 】X 線検出器モジュール全体を傾斜させる方法を表した図である。

【 図 1 0 】セパレータの幅とセパレータの X 線焦点方向からの傾斜角の関係による影になる検出器体積を表し、(a)、(c) は傾斜角が小さい場合、(b)、(d) は傾斜角が大きい場合の図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 2 】

本発明の実施形態を次に説明する。

(第 1 の実施形態)

本発明の第 1 の実施形態を図 1 から図 8 (A、B) を参照して説明する。本実施形態における特徴は図 4 (A、B) および図 5 (A、B、C、D) に示すセパレータ 7 の構造である。しかし、解りやすさの観点から、まず、図 1 を参照して「X 線 CT 装置の概略の構成

10

20

30

40

50

」、図2を参照して「X線検出器モジュールと散乱線防止グリッドの基本構造」、図3を参照して「散乱線防止グリッドがX線検出器モジュールに作る影の領域」について先に説明する。

その後、図4(A、B)、図5(A、B、C、D)、図6、図7、図8(A、B)を参照して本実施形態の特徴であるセパレータの構造と、それに関連する事項を説明する。

以上について、順に述べる。

【0013】

< X線CT装置の概略の構成 >

以下、図1を用いて本発明に係るX線CT装置100の概略の構成を説明する。

図1は、本発明に係るX線CT装置100の構造を体軸方向から見た図である。X線CT装置100の図示しないガントリ(Gantry: 溝台)の中央部には被写体3が進入できる開口部2が設けられている。また、X線CT装置100のスキヤナ装置には、X線源であるX線管球1と、X線検出器4とが備えられ、開口部2の中心を回転中心軸としてガントリに回転可能に支持されている。このような構成により、開口部2内の被写体3を回転撮像することが可能となる。

10

【0014】

X線源1であるX線管球1は、X線管球1内にある有限の大きさを持つX線焦点9からX線を発生する。

被写体3を挟んでX線管球1と対向する位置にX線検出器4が配置される。

X線検出器4は複数のX線検出器モジュール8に分割されている。各X線検出器モジュール8はX線焦点9を中心として円弧状もしくはフラットパネル状に配置されている。

20

X線検出器モジュール8のX線管球1側には、被写体3等で発生した散乱X線を除去するために、散乱線防止グリッド5が配置されている。

【0015】

また、記憶装置101はX線検出器4で検出されたデータを記憶する。演算装置102は前記検出されたデータの画像化処理と、前記スキヤナ装置の制御動作に必要な演算を行う。制御装置103は前記スキヤナ装置を含むX線CT装置100の制御を行う。また、制御装置103は前記スキヤナ装置を含むX線CT装置100に係る移動機構も備えている。

【0016】

30

< X線検出器モジュールと散乱線防止グリッドの基本構造 >

図2にX線検出器モジュール8と散乱線防止グリッド5の基本構造を示す。

X線検出器モジュール8は、一度の被写体3へのX線照射で多数のX線減弱率のデータを同時に得るために、X線検出素子6がスキヤナ回転方向(チャンネル方向(第1の方向))ともいう)及び体軸方向(スライス方向(第2の方向))ともいう)に対して、セパレータ7を隔てて2次元状に多列複数配置される。このX線検出素子6が2次元状に多列複数配置された状態をX線検出素子アレイ(6)と表記する。

ここで、X線検出素子6とは、例えば、シンチレータ(Scintillator: X線や電離放射線を受けて蛍光を発する)とフォトダイオード(蛍光などの光を電気に変換する)を組み合わせたものである。以下、X線検出器モジュール8の2次元平面に対して垂直な方向を、X線検出器モジュール8の法線方向(第3の方向)と呼ぶ。法線方向はX線焦点9(図1、図3A参照)側を正とする。

40

【0017】

散乱線防止グリッド5はX線遮蔽部材51とX線透過部材52(通常は空気)とが、チャンネル方向及び/またはスライス方向に並べられている各X線検出素子の平均ピッチの整数倍のピッチで交互に並べられた構造を持つ。

また散乱線防止グリッド5のX線遮蔽部材51は、X線焦点9(図1)への焦点方向を指向するように作られている。散乱線防止グリッド5はX線遮蔽部材51とX線透過部材52とから成るが、以下、特に断りがない場合は、X線遮蔽部材51を指して散乱線防止

50

グリッド 5 と呼ぶ。

セパレータ 7 は、X 線検出器モジュール 8 の法線方向に対して、チャンネル方向及び / またはスライス方向に傾斜角 θ を持つ。傾斜角 θ は X 線検出器モジュール 8 毎に異なっていてよい。また傾斜角 θ はチャンネル方向とスライス方向で異なっていてよい。

【 0 0 1 8 】

< 散乱線防止グリッドが X 線検出器モジュールに作る影の領域 >

以下、図 3 A、図 3 B を用いて、スライス方向への前記傾斜角 θ の求め方を説明する。

図 3 A、図 3 B は共にある X 線検出器モジュール 8 をチャンネル方向から見た断面図である。図 3 A には注目する散乱線防止グリッド 5 とセパレータ 7 のみを図示してある。図 3 B には注目する散乱線防止グリッド 5 とそれによって X 線が遮蔽されてできる影の領域のみを図示してある。

なお各部のパラメータ値は異なるが、チャンネル方向の傾斜角の求め方も同様である。

はじめに、それぞれの幾何学的な配置について説明する。

【 0 0 1 9 】

X 線焦点

X 線焦点 9 はスライス方向に大きさ $F S$ の広がりを持つものとする。X 線焦点 9 の位置とはこの広がりを中心を指すものとする。X 線焦点 9 はある基準位置 $F 0$ から熱移動によって、スライス方向の正方向へ $\pm d F$ 移動しうるものとする。また最も移動する位置である $d F S$ を次式の (式 1) で定義する。

$$d F S = d F + F S / 2 \quad \cdots (式 1)$$

【 0 0 2 0 】

また、モジュールの法線方向に伸ばした直線が X 線焦点 9 の基準位置 $F 0$ を通る時、その直線を特に基準法線と呼ぶ。X 線焦点 9 の基準位置 $F 0$ から、X 線遮蔽部材 5 1 と X 線透過部材 5 2 とから成る散乱線防止グリッド 5 までの基準法線に沿った距離を $F G D$ とする。

X 線焦点 9 の基準位置 $F 0$ から、X 線検出素子 6 とセパレータ 7 とから成る X 線検出器モジュール 8 までの基準法線に沿った距離を $F D D$ とする。

【 0 0 2 1 】

散乱線防止グリッド

散乱線防止グリッド 5 をチャンネル方向から見た断面は、一般に台形の形状を持つ。台形の平行な二辺は、X 線検出器モジュール 8 の法線方向に垂直である。散乱線防止グリッド 5 の X 線焦点 9 側の底面を上底、X 線検出器 4 側の底面を下底と呼ぶ。散乱線防止グリッド 5 は、その上底の中心位置 $G u$ と下底の中心位置 $G l$ を結ぶ直線が、X 線焦点 9 の基準位置 $F 0$ を通るように作られる。上底のスライス方向の幅を $2 \times d G u$ 、下底のスライス方向の幅を $2 \times d G l$ とする。また台形の高さを $G h$ とする。また $G u$ 、 $G l$ は基準法線からのスライス方向の距離を表わすものとする。

【 0 0 2 2 】

X 線検出素子及びセパレータ

X 線検出素子 6 及びセパレータ 7 をチャンネル方向から見た断面は、一般に台形の形状である。台形の平行な二辺は、X 線検出器モジュール 8 の法線方向に垂直である。X 線検出素子 6 及びセパレータ 7 の X 線焦点 9 側の底面を上底、X 線検出器 4 側の底面を下底と呼ぶ。これらの台形の高さを $D h$ とする。

セパレータ 7 の傾斜角 θ とは、セパレータ 7 の上底の中心と下底の中心を結ぶ直線と、X 線検出器モジュール 8 の法線とのなす角とする。

【 0 0 2 3 】

影の領域

X 線焦点 9 から発生した X 線は、散乱線防止グリッド 5 によって遮蔽されることで、X 線検出器モジュール 8 に影の領域を作る。X 線検出器モジュール 8 に作られる影の領域を

チャンネル方向から見た断面は、一般に台形の形状である。台形の平行な二辺は、X線検出器モジュール8の法線方向に垂直である。台形のX線焦点9側の底面を上底、X線検出器4側の底面を下底と呼ぶ。

【0024】

図3Bに示すように、X線検出器モジュール8に作る影は、X線焦点9が理想的な点源として扱えず、大きさを有するために、X線焦点9の一部分からのX線のみが遮蔽される半影領域11と、全てのX線が遮蔽される本影領域10の二種類に分かれる。なおここで遮蔽されるのは、X線焦点9から直接、X線検出素子6に入射する直達のX線に関してであって、被写体3等で散乱したX線を必ずしも遮蔽するわけではない。またX線焦点9が熱移動することによって、本影領域10と半影領域11は変化する。

10

【0025】

ここではX線焦点9が熱移動する間、常に本影領域10である領域をあらためて本影領域10と定義し、一時でも半影領域11である領域を改めて半影領域11と定義する。

影の領域はその上底の中心位置 S_u と下底の中心位置 S_l を結ぶ直線が、X線焦点9の基準位置 F_0 を通るように作られる。

なお、上底の中心位置 S_u と下底の中心位置 S_l における添え字の u と l はそれぞれupper、lowerの頭文字に由来する。また後記する d_{Su} 、 $d_{Su'}$ 、 d_{Sl} 、 $d_{Sl'}$ 、 d_{Ru} 、 d_{Rl} における添え字における u と l はそれぞれ上底、下底に関連している。

【0026】

20

また S_u 、 S_l はそれぞれ基準法線からのスライス方向の距離を表わすものとする。本影領域10の上底のスライス方向の幅を $2 \times d_{Su}$ 、下底のスライス方向の幅を $2 \times d_{Sl}$ とし、半影領域11の上底のスライス方向の幅を $2 \times d_{Su'}$ 、下底のスライス方向の幅を $2 \times d_{Sl'}$ とする。定義から常に、 $d_{Su} < d_{Su'}$ 、 $d_{Sl} < d_{Sl'}$ である。また台形の高さは D_h である。

【0027】

影の領域における諸関係式

以上の記号の定義から、次の幾何学的関係が成り立つ(式2)。

$$G_u : G_l : S_u : S_l = FGD : (FGD + Gh) : FDD : (FDD + Dh) \quad \dots (式2)$$

30

【0028】

X線の入射角 i_n は次のように定義される(式3)。

$$i_n = \arctan(S_u / FDD) \quad \dots (式3)$$

【0029】

散乱線防止グリッド5の上底が作る影は、前記のように定義した d_{Su} 、 $d_{Su'}$ 、 d_{Sl} 、 $d_{Sl'}$ を用いて表すと次のように求まる(式4)~(式7)。

40

$$d_{Su} = S_u + d_{FS} - (G_u - d_{Gu} + d_{FS}) \times FDD / FGD \quad \dots (式4)$$

$$d_{Su'} = S_u - d_{FS} - (G_u - d_{Gu} - d_{FS}) \times FDD / FGD \quad \dots (式5)$$

$$d_{Sl} = S_l + d_{FS} - (G_u - d_{Gu} + d_{FS}) \times (FDD + Dh) / FGD \quad \dots (式6)$$

$$d_{Sl'} = S_l - d_{FS} - (G_u - d_{Gu} - d_{FS}) \times (FDD + Dh) / FGD \quad \dots (式7)$$

【0030】

また、散乱線防止グリッド5の下底が作る影は、前記のように定義した d_{Su} 、 d_{Su}

50

、 $dS1$ 、 $dS1'$ を用いて表すと次のように求まる (式8) ~ (式11)。

$$dSu = Su + dFS - (G1 - dG1 + dFS) \times FDD / (FGD + Gh) \quad \dots (式8)$$

$$dSu' = Su - dFS - (G1 - dG1 - dFS) \times FDD / (FGD + Gh) \quad \dots (式9)$$

$$dS1 = S1 + dFS - (G1 - dG1 + dFS) \times (FDD + Dh) / (FGD + Gh) \quad \dots (式10)$$

$$dS1' = S1 - dFS - (G1 - dG1 - dFS) \times (FDD + Dh) / (FGD + Gh) \quad \dots (式11)$$

10

【0031】

なお、実際には (式4) と (式8)、(式5) と (式9)、(式6) と (式10)、(式7) と (式11) における dSu 、 dSu' 、 $dS1$ 、 $dS1'$ のそれぞれの数値の大きな方の影が実現する。

【0032】

影に対するセパレータの構造

X線焦点9の熱移動によってX線検出素子6が感度変化を受けるのは、焦点移動によってX線検出素子6に入射する半影領域11のX線量が増加するからである。これを抑制するためには、セパレータ7とX線検出素子6の境界が半影領域11にかからないように配置すればよく、図4A、図4Bに示すように二通りの形状が考えられる。

20

[A]ここで、図4Aは「セパレータ7が本影領域10の内部に収まる構造」である。

[B]ここで、図4Bは「セパレータ7が半影領域11を全て内包する構造」である。

【0033】

また、ここでセパレータ7の上底の大きさを $2 \times dRu$ 、下底の大きさを $2 \times dRl$ として、セパレータ7の傾斜角 θ を次に求める。なお、セパレータ7が平行六面体状である時には、 $dRu = dRl$ とおけばよい。

これらの記号を用いると、セパレータ7とX線検出素子6の境界が半影領域11にかからないように配置するためには、図4Aで示す[A]の構造では、次の(式12)を満たさねばならず、図4Bで示す[B]の構造では(式13)を満たさねばならない。

30

【0034】

$$dSu \leq dRu, \text{ かつ } dS1 \leq dRl \quad \dots (式12)$$

$$dSu' \leq dRu, \text{ かつ } dS1' \leq dRl \quad \dots (式13)$$

【0035】

セパレータの構造1

上記[A]の構造を満たしセパレータ7を最も傾斜させるためには、図5A、図5Bに示すように二通りの傾斜方法があり、X線検出器モジュール8の法線から測る最大許容角度は次式のそれぞれ(式14)と(式15)で与えられる。

40

なお、(式14)における θ_{A+} は図5Aの方法における最大許容角度を示す。

また、(式15)における θ_{A-} は図5Bの方法における最大許容角度を示す。

$$\theta_{A+} = \arctan [\{ (S1 - dS1 + dRl) - (Su + dSu - dRu) \} / Dh] \quad \dots (式14)$$

$$\theta_{A-} = \arctan [\{ (S1 + dS1 - dRl) - (Su - dSu + dRu) \} / Dh] \quad \dots (式15)$$

【0036】

50

セパレータの構造 2

上記 [B] の構造を満たしセパレータ 7 を最も傾斜させるためには、図 5 C、図 5 D に示すように二通りの傾斜方法があり、X線検出器モジュール 8 の法線から測る最大許容角度は次式で与えられる。

$$B_{+} = \arctan \left[\frac{\{ (S l - d S l' + d R l) - (S u + d S u' - d R u) \}}{D h} \right] \quad \dots (式 16)$$

$$B_{-} = \arctan \left[\frac{\{ (S l + d S l' - d R l) - (S u - d S u' + d R u) \}}{D h} \right] \quad \dots (式 17)$$

10

【 0 0 3 7 】

セパレータ 7 の傾斜角 θ は [A] の構造では次に示す (式 18 A)、また [B] の構造では次に示す (式 18 B) で表される角度の範囲内に収まるように設定すればよい。なお、(式 18 A) と (式 18 B) を併せて (式 18) と表す。

$$A_{-} \leq \theta \leq A_{+} \quad \dots (式 18 A)$$

$$B_{-} \leq \theta \leq B_{+} \quad \dots (式 18 B)$$

【 0 0 3 8 】

20

< X線検出器モジュールでの共通のセパレータ傾斜角 θ の決定手順 >

一つの X線検出器モジュール 8 で共通のセパレータ 7 の傾斜角 θ を用いるには、以下の手順に従えばよい。

図 6 は X線検出器モジュール 8 の両端部 (M D 1、M D 2) から基準法線への距離の関係を示した図である。

X線検出器モジュール 8 のスライス方向の両端部の基準法線からの距離を、M D 1、M D 2 とする。

[1] 前記した S u を M D 1 もしくは M D 2 に置き換えて、(式 1) ~ (式 18) に従って、傾斜角 θ の範囲を計算する。

【 0 0 3 9 】

30

[2] 求めた X線検出器モジュール 8 の両端部における傾斜角範囲の共通部分を取り、その範囲に収まるように傾斜角 θ を決める。

$$\text{MAX} [\theta_{-} (M D 1), \theta_{-} (M D 2)] \leq \theta \leq \text{MIN} [\theta_{+} (M D 1), \theta_{+} (M D 2)] \quad \dots (式 19)$$

なお、ここで、 θ_{-} は A_{-} または B_{-} であり、 θ_{+} は A_{+} または B_{+} である。セパレータ 7 の傾斜角 θ をこのように決めることで、X線焦点 9 の熱移動による X線検出素子 6 への感度変化を効果的に抑制できる。

【 0 0 4 0 】

40

散乱線防止グリッドが各 X線検出素子の整数倍のピッチを持つ場合

また、図 2 に示すように、散乱線防止グリッド 5 が各 X線検出素子 6 の平均ピッチの 2 倍以上の整数倍のピッチを持つ場合には、散乱線防止グリッド 5 の影がかからないセパレータ 7 は X線の入射方向に対して、なるべく大きく傾斜させた方が X線の検出効率が向上する。そのため、(式 19) で与えられる範囲のうち、X線検出器モジュール 8 の平均の X線入射角 $\theta_{i n (a v g)}$ との差が最も大きくなるような傾斜角 θ を選ぶことが望ましい。

【 0 0 4 1 】

つまり、次式の (式 20) となるように選択し、設定する。

50

$$= \text{MAX} [| \sin(\text{avg}) - \text{MIN} [\sin(\text{MD1}), \sin(\text{MD2})] | , | \sin(\text{avg}) - \text{MAX} [\sin(\text{MD1}), \sin(\text{MD2})] |] \dots (\text{式 } 20)$$

なお、ここで、 \sin は A_{-} または B_{-} であり、 \sin は A_{+} または B_{+} である。

【0042】

このようにセパレータ7の傾斜角 θ を選ぶことで、X線焦点9の熱移動による感度変化を抑制しながら、効果的に検出効率を向上させることができる。

但し、傾斜角は大きな方が効果的であるが、設計値からの製作誤差、配置誤差を考慮して、数値にマージンを設けておいてもよい。

また、散乱線防止グリッド5の影にかかるセパレータ7の上底、下底の大きさと、影のかからないセパレータ7の上底、下底の大きさは異なってもよい。

また、図7(a)、(b)のようにセパレータ7の上部や下部で、隣り合うX線検出素子6が繋がっている構造と組み合わせて実施することで、より効果的に検出効率を向上させることもできる。

【0043】

<スライス位置とX線入射角 θ 及びセパレータ傾斜角 α との関連を示す特性図>

前記したX線検出器モジュール8の変数に所定のパラメータを代入し、X線検出器モジュール8の基準法線からの距離(スライス数単位で測ったスライス位置)に対する(式3)で与えられるX線入射角 θ と、(式14)と(式15)で与えられる A_{+} と A_{-} をプロットすると、例えば図8A、図8Bのようになる。

図8AはX線焦点9の熱移動による感度変化を考慮したセパレータ傾斜角 α の最大許容角度とスライス位置との関連の一例を示した特性図である。

【0044】

図8Aに示すように、セパレータ7の傾斜角 α がX線検出器モジュール8法線に平行、つまり傾斜角 α が0度である場合、X線斜め入射角の大きな ± 32 スライス以上の位置で、前記のようにプロットした特性線 A_{+} と特性線 A_{-} の範囲(図8Aの $\alpha = 0$ 度の場合の矢印の範囲)から外れる。つまり、X線焦点9の熱移動による感度変化の影響が始めることが分かる。

【0045】

したがって、64スライス以上の多スライス化を行うためには、従来の傾斜角の無いセパレータ7では、スライス方向に複数のX線検出器モジュール8を多角形が構成されるように配置(ポリゴン化)するしかなくなる。

なお、傾斜角 α をセパレータ7に設ければ、図8Aに示すように特性線 A_{+} と特性線 A_{-} の範囲は変化する。

【0046】

本実施形態では、セパレータ7に傾斜角 α を設けることによって、散乱線防止グリッド5やセパレータ7の幅寸法を変えることなく、より多スライスのX線検出器をポリゴン化することなく実現できる。

図8Aの例ではセパレータ7に+2度の傾斜角を設け、64スライスのX線検出器モジュール8を作成し、この二つのX線検出器モジュール8を基準法線に対して、鏡反転対称に配置すればよい。反転対称に配置された側のX線検出器モジュール8は図8Aにおいて、セパレータ7に-2度の傾斜角を設けたことに相当する。

【0047】

したがって、セパレータ7に+2度の傾斜角を設けた64スライスのX線検出器モジュール8と、セパレータ7に-2度の傾斜角を設けた64スライスのX線検出器モジュール8との合計128スライスのX線検出器モジュール8が、特性線 A_{+} と特性線 A_{-} の範囲にあって、X線焦点9の熱移動による感度変化を受けずにすむことになる。

つまり、この方法で合計128スライスのX線検出器を作成できる。また、この場合、基準法線に近い、中心スライスの検出効率をより良く向上させることができる。

【 0 0 4 8 】

また、図 8 B は X 線焦点 9 の熱移動による感度変化を考慮したセパレータ傾斜角 の最大許容角度とスライス位置との関連において、X 線検出器モジュール 8 をさらに細分割した場合の一例を示した特性図である。

図 8 B のように、X 線検出器モジュール 8 を 16 スライス等に細分割し、それぞれセパレータ 7 の傾斜角を変える（図 8 B では、- 5 度、- 4 度、- 3 度、- 2 度、+ 2 度、+ 3 度、+ 4 度、+ 5 度）ことで、セパレータ傾斜角 の X 線入射角 θ_{in} からの差を大きくでき、より検出効率を向上させることができる。

【 0 0 4 9 】

以上の図 8 A、図 8 B の特性線 A_+ と特性線 A_- の算出にあたっては、(式 14) と (式 15) を用いている。これは、[A] である図 4 A の「セパレータ 7 が本影領域 10 の内部に収まる構造」の場合である。

また、[B] である図 4 B の「セパレータ 7 が半影領域 11 を全て内包する構造」の場合には、(式 16) と (式 17) を用いることになる。しかし、セパレータ 7 に傾斜角を設ける方がよい特性が得られるという結論は同じである。

【 0 0 5 0 】

< 効果 >

以上をまとめると、本発明の第 1 の実施の形態に係る X 線 CT 装置 100 によって、以下の効果が得られる。

[1] セパレータ 7 の傾斜角を、散乱線防止グリッド 5 の本影領域 10 に収まる範囲とする、もしくは半影領域 11 を全て内包する範囲とすることで、X 線焦点の熱移動による感度変化を抑制できる。

[2] 単一の X 線検出器モジュール 8 内で同一のセパレータ 7 の傾斜角を利用することで、X 線検出素子 6 毎の特性の不均一性を最小限にできる。また特にセパレータ 7 が平行六面体状である場合には、X 線検出器 4 の製作コストも従来水準を維持可能である。

[3] セパレータ 7 を X 線焦点 9 方向から傾斜させることで X 線検出効率が向上する。

[4] 傾斜したセパレータ 7 を持つ X 線検出器モジュール 8 を基準法線に対して鏡反転対称に配置することで、X 線焦点 9 の熱移動による感度変化の影響を受けず、かつ X 線検出器モジュール 8 のポリゴン化なしに、X 線検出器 4 の多スライス化が可能である。またこの場合、中心スライスの検出効率をより良く向上させることができる。また X 線検出器モジュール 8 を細分化することで更なる検出効率の向上が図れる。

【 0 0 5 1 】

なお、以上において、第 1 の実施形態として説明したが、以上の実施形態の中に、

[1] 図 4 A に示したようにセパレータ 7 が、散乱線防止グリッド 5 の X 線遮蔽部材 51 によって生じる X 線の影の領域に収まる場合と、

[2] 図 4 B に示したようにセパレータ 7 が、散乱線防止グリッド 5 の X 線遮蔽部材 51 によって生じる X 線の影の領域を内包する場合と、

がある。ここで以降は、あらためて [1] の図 4 A に示した場合を第 1 の実施形態とし、[2] の図 4 B に示した場合を第 2 の実施形態と表記するものとする。

【 0 0 5 2 】

また、第 1 の実施形態における傾斜角 θ は (式 18 A) を用いて定め、第 2 の実施形態における傾斜角 θ は (式 18 B) を用いて定める。

【 0 0 5 3 】

(参考)

以上において、第 1 の実施形態 (第 2 の実施形態を含む) を説明したが、これらの実施形態が従来の方法よりも、優れていることを示すために、参考図として図 10 を示す。

クロストークを抑えつつ検出効率を向上させる方法としては前記した特許文献 3 にもあるように、X 線検出素子 6 間のセパレータ 7 を X 線入射方向に対して傾斜させ、セパレータ 7 が作る X 線不感領域の X 線焦点から見た立体角を低減される方法がある。

図 10 はこの方法を図示したものである。図 10 において、(a)、(b) の組は、(

10

20

30

40

50

a) に示すセパレータ 7 の幅が X 線の照射される幅よりも狭い状態で (b) に示すように傾けた場合であり、(c)、(d) の組は、(c) に示すセパレータ 7 の幅が X 線の照射される幅よりも広い状態で (d) に示すように傾けた場合である。

【0054】

このとき、(b)、(d) いずれの場合でも、図 10 に示すようにセパレータ 7 の X 線焦点 9 側に散乱線防止グリッド 5 が配置される場合には、セパレータ傾斜角の増加に伴って散乱線防止グリッド 5 によって、影になる X 線検出器体積がかえって増えてしまうということが起きる。したがって、検出効率はかえって低下するので、検出効率を高めるといふ目的は達成されない。

【0055】

(第 3 の実施形態)

本発明の第 3 の実施形態を図 9 を参照して説明する。

図 9 はセパレータ 7 を傾斜させるのではなく、X 線検出器モジュール 8 全体を (式 18) で定まる角度 だけ傾斜させたものである。

この方法によっても、X 線入射角とセパレータ傾斜角との相対的な関係は変わらないため、前記したことと同様の効果が得られる。

この場合において、セパレータ 7 は従来通りモジュール法線に平行に作成できるという利点がある。但し、散乱線防止グリッド 5 は X 線検出器モジュール 8 が傾斜することを考慮して、焦点方向を指向するように構成する必要がある。

【0056】

なお、以上において、第 3 の実施形態として説明したが、以上の実施形態の中に、
[3] セパレータ 7 が、散乱線防止グリッド 5 の X 線遮蔽部材 51 によって生じる X 線の影の領域に収まる場合と、

[4] セパレータ 7 が、散乱線防止グリッド 5 の X 線遮蔽部材 51 によって生じる X 線の影の領域を内包する場合と、

がある。ここで以降は、あらためて [3] のセパレータ 7 が X 線の影の領域に収まる場合を第 3 の実施形態とし、[4] のセパレータ 7 が X 線の影の領域を内包する場合を第 4 の実施形態と表記するものとする。

【0057】

また、第 3 の実施形態における傾斜角 は (式 18A) を用いて定め、第 4 の実施形態における傾斜角 は (式 18B) を用いて定める。

【符号の説明】

【0058】

- 1 X 線管球 (X 線源)
- 2 開口部
- 3 被写体
- 4 X 線検出器
- 5 散乱線防止グリッド
- 6 X 線検出素子、(X 線検出素子アレイ)
- 7 セパレータ
- 8 X 線検出器モジュール
- 9 X 線焦点
- 10 本影領域
- 11 半影領域
- 51 X 線遮蔽部材、散乱線防止グリッド
- 52 X 線透過部材
- 100 X 線 CT 装置
- 101 記憶装置
- 102 演算装置
- 103 制御装置 (移動機構)

10

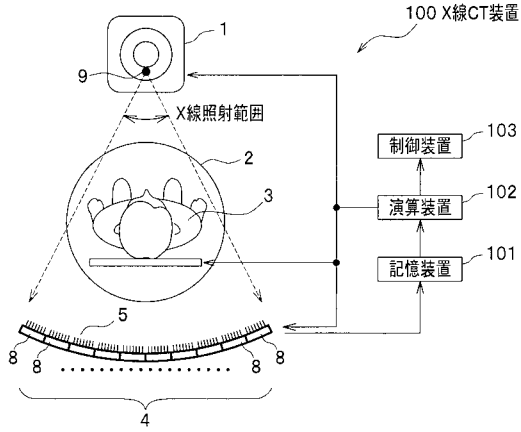
20

30

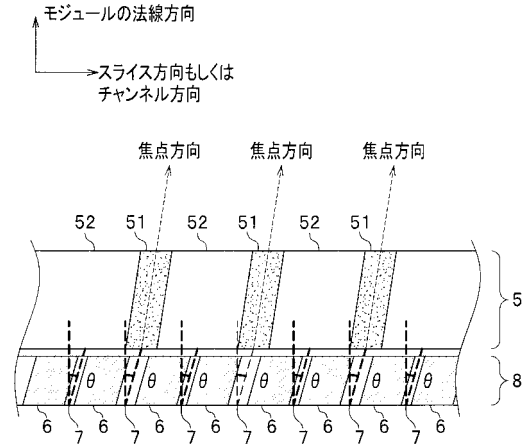
40

50

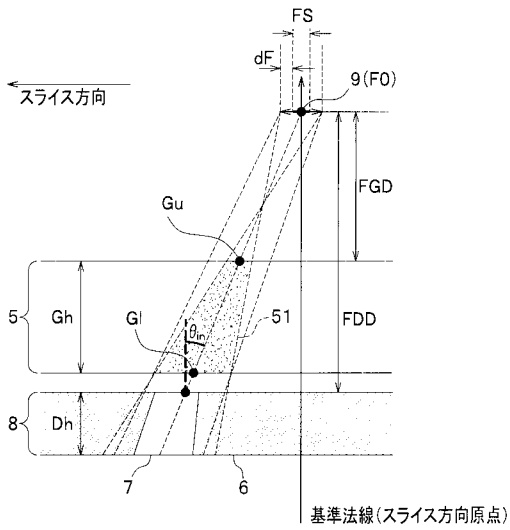
【図1】



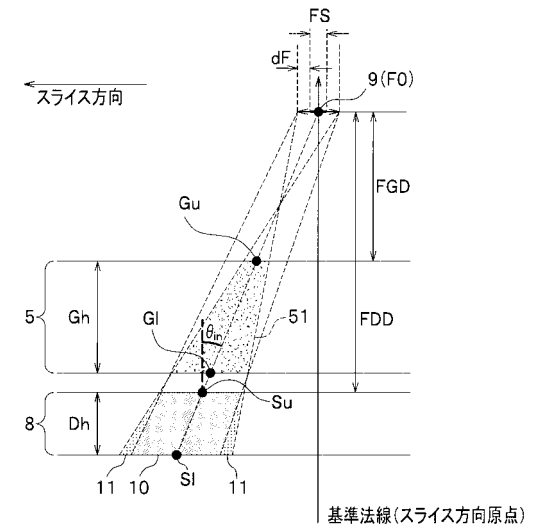
【図2】



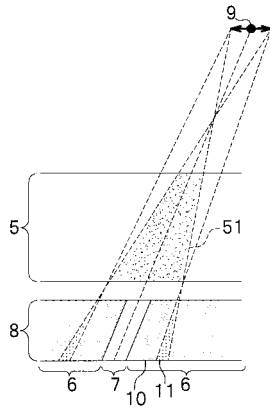
【図3 A】



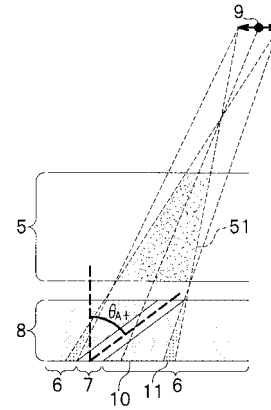
【図3 B】



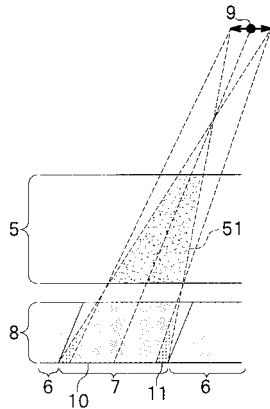
【図4A】



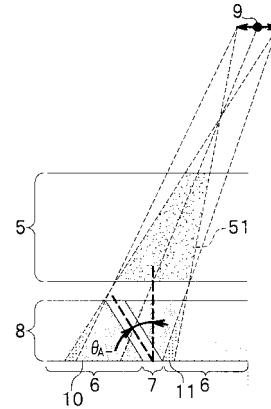
【図5A】



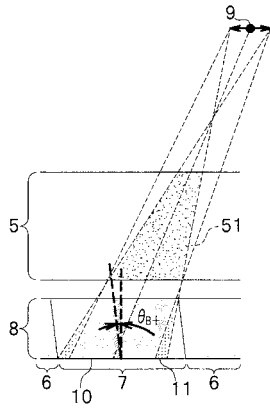
【図4B】



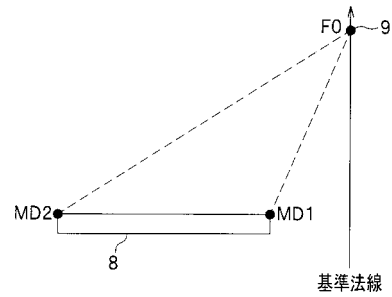
【図5B】



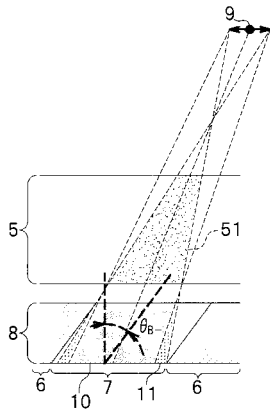
【図5C】



【図6】

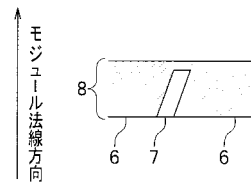


【図5D】

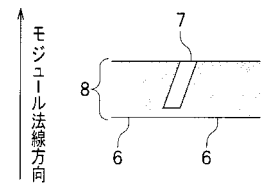


【図7】

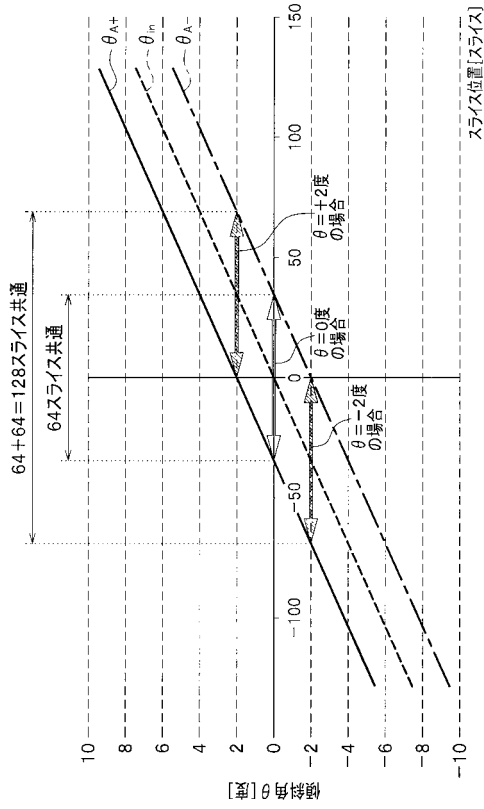
(a)



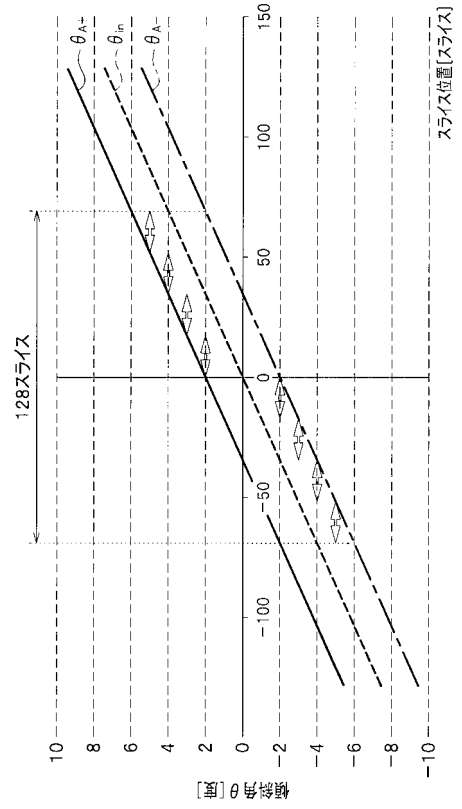
(b)



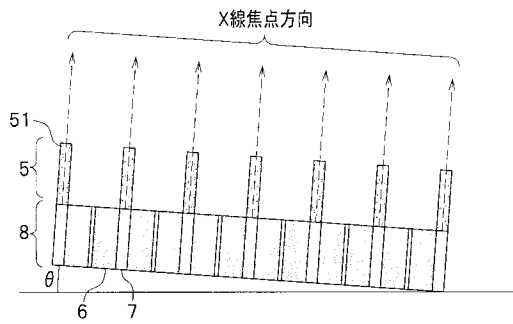
【図 8 A】



【図 8 B】

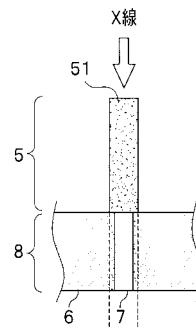


【図 9】

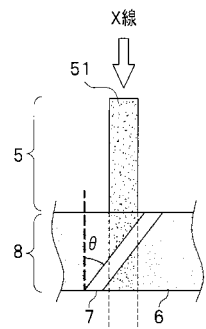


【図 10】

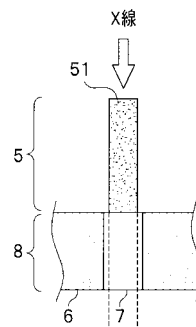
(a)



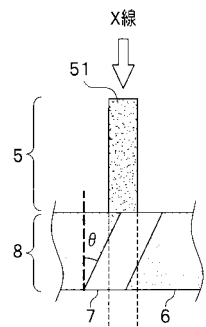
(b)



(c)



(d)



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

審査官 亀澤 智博

- (56)参考文献 特開平02-201188(JP,A)
特開平11-276470(JP,A)
特開平05-256950(JP,A)
特開2007-125086(JP,A)
特開2002-022678(JP,A)
特開2006-145431(JP,A)
特開2004-093489(JP,A)
特開2009-050654(JP,A)
特開2008-224302(JP,A)
特開2004-028815(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 6/03

A61B 6/06