

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-8281

(P2014-8281A)

(43) 公開日 平成26年1月20日(2014.1.20)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 6/00 (2006.01)	A 6 1 B 6/00 3 3 0 Z	2 G 0 8 8
A 6 1 B 6/03 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 6 0 Q	2 G 1 8 8
G 0 6 T 1/00 (2006.01)	G 0 6 T 1/00 2 9 0 B	4 C 0 9 3
G 0 6 T 3/00 (2006.01)	G 0 6 T 1/00 3 1 5	5 B 0 5 7
G 0 1 T 7/00 (2006.01)	G 0 6 T 3/00 3 0 0	
審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2012-147719 (P2012-147719)
 (22) 出願日 平成24年6月29日 (2012. 6. 29)

(71) 出願人 000250339
 株式会社リガク
 東京都昭島市松原町3丁目9番12号
 (74) 代理人 110000154
 特許業務法人はるか国際特許事務所
 (72) 発明者 表 和彦
 東京都昭島市松原町3丁目9番12号 株
 式会社リガク内
 (72) 発明者 武田 佳彦
 東京都昭島市松原町3丁目9番12号 株
 式会社リガク内
 Fターム(参考) 2G088 EE02 FF02 KK33
 2G188 AA02 BB02 EE37

最終頁に続く

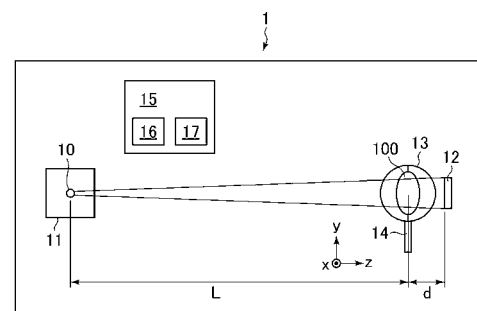
(54) 【発明の名称】 X線画像化装置及びX線画像化方法

(57) 【要約】

【課題】 2次元検出器に対する試料の異なる位置において2次元検出器が検出する透過画像を合成することが出来る、X線画像化装置及びX線画像化方法の提供。

【解決手段】 試料に対してほぼ平行となるX線を照射する、X線発生部と、前記試料の透過画像を検出する検出領域を有する、2次元検出器と、支持台を搭載し、前記2次元検出器の前記検出領域の平面に沿って、前記支持台を面内移動させることが可能な、ステージと、前記2次元検出器が検出する前記試料の複数の透過画像に基づいて、合成透過画像データを生成する、画像化制御部と、を備えるX線画像化装置であって、前記画像化制御部は、前記試料の異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、合成透過画像データを生成する、ことを特徴とする。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料に対してほぼ平行となる X 線を照射する、X 線発生部と、
前記試料に対して前記 X 線発生部の反対側に配置されるとともに、前記試料の透過画像を検出する検出領域を有する、2 次元検出器と、
前記試料を配置する、支持台と、
前記支持台を搭載し、前記 2 次元検出器の前記検出領域の平面に沿って、前記支持台を面内移動させることが可能な、ステージと、
前記 2 次元検出器が検出する前記試料の複数の透過画像に基づいて、合成透過画像データを生成する、制御部と、
を備える、X 線画像化装置であって、
前記制御部は、前記試料の異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、合成透過画像データを生成する、
ことを特徴とする、X 線画像化装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の X 線画像化装置であって、
前記支持台は、前記検出領域の平面に沿う方向を回転軸として、所定数の角度配置それぞれに前記試料を回転移動させることが可能な、回転駆動系を備え、
前記制御部は、
前記所定数の角度配置それぞれにおいて、前記試料の異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、合成透過画像データを生成し、
生成される前記所定数の合成透過画像データに画像再構成することにより、3 次元 X 線 CT 画像を画像化する、
ことを特徴とする、X 線画像化装置。

20

【請求項 3】

請求項 2 に記載の X 線画像化装置であって、
前記ステージが、前記支持台を順に移動させて、前記試料を前記異なる複数の位置のうちいずれかの位置とし、
該位置の配置において、前記回転駆動系が前記試料を順に回転移動させて、前記試料を前記所定数の角度配置のうちいずれかの角度配置とし、
当該配置において、前記 2 次元検出器が前記試料の透過画像を検出し、
前記所定数の角度配置それぞれにおける、前記試料の異なる複数の位置における複数の透過画像が検出される、
ことを特徴とする、X 線画像化装置。

30

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の X 線画像化装置であって、
前記試料の光学画像を検出する、光学撮影部と、
前記 X 線発生部と前記支持台との間に配置され、前記 X 線発生部からの X 線を前記試料へ透過させるとともに前記検出領域の平面の法線方向に沿って前記試料から進む光を反射して前記光学撮影部へ入射させる、光学ミラーと、
をさらに備える、X 線画像化装置。

40

【請求項 5】

請求項 4 に記載の X 線画像化装置であって、
前記光学ミラーは、前記 X 線発生部から 2 次元検出器 1 2 の検出領域に達する X 線を通過させる開口部を有している、
ことを特徴とする、X 線画像化装置。

【請求項 6】

請求項 4 に記載の X 線画像化装置であって、
前記光学ミラーは、金属薄膜ミラーである、
ことを特徴とする、X 線画像化装置。

50

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の X 線画像化装置であって、
前記 X 線発生部から前記試料までの距離を L 、前記試料から前記 2 次元検出器までの距離を d とするとき、 d/L が 0.1 以下であることを特徴とする、
X 線画像化装置。

【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の X 線画像化装置であって、
前記試料に入射して、前記試料を貫通して、前記 2 次元検出器の前記検出領域へ達する X 線について、試料の入射箇所から出射箇所までの距離を t 、前記検出領域の法線方向と X 線の進行方向がなす角を θ とするとき、 t が前記 2 次元検出器の空間分解能より十分に大きく、 $t \cdot \theta$ が前記 2 次元検出器の空間分解能程度以下である、
ことを特徴とする、X 線画像化装置。

10

【請求項 9】

試料に対してほぼ平行となる X 線を照射する、X 線発生部と、
前記試料に対して前記 X 線発生部と反対側に配置されるとともに、前記試料の透過画像を検出する検出領域を有する、2 次元検出器と、
前記試料を配置する、支持台と、
前記支持台を搭載し、前記 2 次元検出器の前記検出領域の平面に沿って、前記支持台を面内移動させることが可能な、ステージと、
前記 2 次元検出器が検出する前記試料の複数の透過画像に基づいて、合成透過画像を生成する、制御部と、
を用いる、X 線画像化方法であって、
前記制御部は、前記試料の異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、合成透過画像データを生成する、
ことを特徴とする、X 線画像化方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、X 線画像化装置及び X 線画像化方法に関し、特に、2 次元検出器の検出領域よりも試料の透過画像が大きい場合の X 線画像化に関する。

30

【背景技術】

【0002】

X 線透過画像撮影の分野において、2 次元検出器が用いられている。2 次元検出器の検出領域と分解能は有限であるために、分解能の高い透過画像を得るためには、微小焦点の X 線源を用いて、試料を X 線源に近づけることにより、拡大投影された試料の透過画像を従来、撮影していた。すなわち、X 線源から試料までの距離を小さくし、試料から検出器までの距離を十分にとることにより、分解能を高めることが出来る。そして、その距離関係を調整することにより、拡大倍率を調整することが出来る。特許文献 1 に、発散角の大きい X 線が試料を透過して生成される拡大画像を検出する技術が開示されている。

【先行技術文献】

40

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 9-101270 号公報

【特許文献 2】特開 2012-80963 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

試料を X 線源に近づけることにより、分解能の高い透過画像が得られるが、1 回の透過画像の撮影において、2 次元検出器が検出できる撮影可能領域（測定可能領域）は小さくなってしまふ。試料が当該撮影可能領域より大きい場合には、得られる X 線画像は試料の

50

一部分を撮影したものとなる。すなわち、撮影される透過画像の分解能向上と、撮影可能領域の拡大とを、両立させることは困難である。

【0005】

画像の分解能を向上させつつ、より広い範囲のX線画像を得るために、2次元XYステージを備えるX線画像化装置を発明者らは検討をした。これを比較例1に係るX線画像化装置とする。2次元XYステージには、試料が搭載され、2次元検出器の検出領域の平面に平行な平面（xy平面）内で試料を移動させることが可能である。2次元XYステージにより試料を順に移動させて、それに伴って、順に透過画像を撮影し、複数の透過画像を張り合わせて、合成透過画像データを生成することが出来れば、より広い範囲（例えば、試料全体）であって高い分解能のX線画像の画像化が実現する。しかし、試料は、2次元検出器の検出領域に垂直な方向（z方向）に沿って有限の厚みを有しており、以下の問題が生じてしまう。

【0006】

図9は、比較例1に係るX線画像化装置の駆動を示す模式図である。X線源110が射出するX線により拡大投影されるX線画像では、試料200のxy平面において同じ位置にあってz方向において異なる位置にある2点を、2次元検出器112は異なる場所で検出する。ここで試料は平板形状しているとし、xy平面において同じ位置にあって、X線源側の平面上にある点Aと、2次元検出器側の平面上にある点Bとを考える。図9（a）では、これら2点はX線源110に対して、図中上側に位置するので、X線源110側にある点Aを貫くX線は2次元検出器112側にある点Bを貫くX線よりさらに上側に発散され、得られるX線画像では、点Aの像は点Bの像より図中上側に位置することとなる。これに対して、図9（b）では、これら2点はX線源に対して、図中下側に位置するので、点Aを貫くX線は点Bを貫くX線よりさらに下側に発散され、点Aの像は点Bの像より図中下側に位置することとなる。よって、これら2枚の透過画像をつなぎ合わせようとして、例えば点Aの像の位置で画像を張り合わせても、点Bの像は位置ずれを起こしてしまい、当該比較例1に係るX線画像化装置では、広い範囲であって高い分解能のX線画像の画像化は実現できない。

【0007】

本発明はかかる課題を鑑みてなされたものであり、2次元検出器に対する試料の異なる位置において2次元検出器が検出する透過画像を合成することが出来る、X線画像化装置及びX線画像化方法の提供を、その目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

（1）上記課題を解決するために、本発明に係るX線画像化装置は、試料に対してほぼ平行となるX線を照射する、X線発生部と、前記試料に対して前記X線発生部の反対側に配置されるとともに、前記試料の透過画像を検出する検出領域を有する、2次元検出器と、前記試料を配置する、支持台と、前記支持台を搭載し、前記2次元検出器の前記検出領域の平面に沿って、前記支持台を面内移動させることが可能な、ステージと、前記2次元検出器が検出する前記試料の複数の透過画像に基づいて、合成透過画像データを生成する、制御部と、を備える、X線画像化装置であって、前記制御部は、前記試料の異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、合成透過画像データを生成する、ことを特徴とする。

【0009】

（2）上記（1）に記載のX線画像化装置であって、前記支持台は、前記検出領域の平面に沿う方向を回転軸として、所定数の角度配置それぞれに前記試料を回転移動させることが可能な、回転駆動系を備え、前記制御部は、前記所定数の角度配置それぞれにおいて、前記試料の異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、合成透過画像データを生成し、生成される前記所定数の合成透過画像データに画像再構成することにより、3次元X線CT画像を画像化してもよい。

【0010】

(3) 上記(2)に記載のX線画像化装置であって、前記ステージが、前記支持台を順に移動させて、前記試料を前記異なる複数の位置のうちいずれかの位置とし、該位置の配置において、前記回転駆動系が前記試料を順に回転移動させて、前記試料を前記所定数の角度配置のうちいずれかの角度配置とし、当該配置において、前記2次元検出器が前記試料の透過画像を検出し、前記所定数の角度配置それぞれにおける、前記試料の異なる複数の位置における複数の透過画像が検出されてもよい。

【0011】

(4) 上記(1)乃至(3)のいずれかに記載のX線画像化装置であって、前記試料の光学画像を検出する、光学撮影部と、前記X線発生部と前記支持台との間に配置され、前記X線発生部からのX線を前記試料へ透過させるとともに前記検出領域の平面の法線方向に沿って前記試料から進む光を反射して前記光学撮影部へ入射させる、光学ミラーと、をさらに備えてもよい。

【0012】

(5) 上記(4)に記載のX線画像化装置であって、前記光学ミラーは、前記X線発生部から2次元検出器12の検出領域に達するX線を通過させる開口部を有していてもよい。

【0013】

(6) 上記(4)に記載のX線画像化装置であって、前記光学ミラーは、金属薄膜ミラーであってもよい。

【0014】

(7) 上記(1)乃至(6)のいずれかに記載のX線画像化装置であって、前記X線発生部から前記試料までの距離をL、前記試料から前記2次元検出器までの距離をdとするとき、 d/L が0.1以下であってもよい。

【0015】

(8) 上記(1)乃至(7)のいずれかに記載のX線画像化装置であって、前記試料に入射して、前記試料を貫通して、前記2次元検出器の前記検出領域へ達するX線について、試料の入射箇所から出射箇所までの距離をt、前記検出領域の法線方向とX線の進行方向がなす角を θ とするとき、tが前記2次元検出器の空間分解能より十分に大きく、 $t \cdot \theta$ が前記2次元検出器の空間分解能程度以下であってもよい。

【0016】

(9) 本発明に係るX線画像化方法は、試料に対してほぼ平行となるX線を照射する、X線発生部と、前記試料に対して前記X線発生部と反対側に配置されるとともに、前記試料の透過画像を検出する検出領域を有する、2次元検出器と、前記試料を配置する、支持台と、前記支持台を搭載し、前記2次元検出器の前記検出領域の平面に沿って、前記支持台を面内移動させることが可能な、ステージと、前記2次元検出器が検出する前記試料の複数の透過画像に基づいて、合成透過画像を生成する、制御部と、を用いる、X線画像化方法であって、前記制御部は、前記試料の異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、合成透過画像データを生成してもよい。

【発明の効果】

【0017】

本発明により、2次元検出器に対する試料の異なる位置において2次元検出器が検出する透過画像を合成することが出来る、X線画像化装置及びX線画像化方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】 本発明の第1の実施形態に係るX線画像化装置の構造を示す模式図である。

【図2】 本発明の第1の実施形態に係るX線発生部が発生するX線を説明する模式図である。

【図3】 本発明の第3の実施形態に係るX線画像化装置の構造を示す模式図である。

【図4】 本発明の第3の実施形態に係るX線画像化装置が検出する光学画像と透過画像を示す模式図である。

10

20

30

40

50

【図 5】本発明の第 4 の実施形態に係る X 線画像化装置の測定方法を説明する模式図である。

【図 6】本発明の第 4 の実施形態に係る測定方法で取得される透過画像を説明する模式図である。

【図 7】本発明の第 4 の実施形態に係る X 線画像化装置の 3 次元 X 線 C T 画像の画像化方法を説明する模式図である。

【図 8】本発明の第 4 の実施形態に係る測定方法で取得される透過画像を説明する模式図である。

【図 9】比較例 1 に係る X 線画像化装置の駆動を示す模式図である。

【図 10】比較例 2 に係る X 線画像化装置の駆動を示す模式図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下に、図面に基づき、本発明の実施形態を具体的かつ詳細に説明する。ただし、以下に示す図は、あくまで、当該実施形態の実施例を説明するものであって、図に示す縮尺と実施例記載の縮尺は必ずしも一致するものではない。なお、以下に示す図において、同一の機能を有する部材には同一の符号を付し、必要があるときを除き、その繰り返しの説明は省略する。

【0020】

[第 1 の実施形態]

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る X 線画像化装置 1 の構造を示す模式図である。当該実施形態に係る X 線画像化装置 1 は、2 次元 X 線透過画像の X 線画像化装置である。X 線源 10 を含む X 線発生部 11 と、2 次元検出器 12 と、試料 100 を支持する支持台 13 と、支持台 13 を搭載する 2 次元 X Y ステージ 14 と、制御部 15 と、を備えている。

20

【0021】

当該実施形態に係る X 線画像化装置 1 の主な特徴は、X 線発生部 11 より試料 100 に照射する X 線の発散が抑制され、ほぼ平行な X 線となっていることと、2 次元検出器 12 の検出領域の平面に沿って試料 100 を移動させるステージを備えることにある。これにより、当該 X 線画像化装置 1 は、試料 100 を 2 次元検出器 12 に対して異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、合成透過画像データ（大視野透過画像）を生成することが出来る。本発明に係る X 線画像化装置を用いることにより、試料 100 全体の透過画像が 2 次元検出器 12 の検出領域より広くなる場合に、顕著な効果を奏する。

30

【0022】

以下、当該実施形態に係る X 線画像化装置 1 の構成について説明する。

【0023】

X 線発生部 11 が含む X 線源 10 は、有限な焦点サイズを有する実験室で用いられる X 線源であり、例えば、Cu（銅）、Mo（モリブデン）又は W（タングステン）などの金属をターゲットとして用いている。また、X 線源 10 は、理想的な平行ビーム光源であるシンクロトロン放射による放射光を用いるものであってもよい。

【0024】

40

2 次元検出器 12 は、例えば、CCD（Charge Coupled Device）であり、平面となる検出領域を有している。なお、2 次元検出器 12 は、CCD に限定されることはなく、試料 100 の透過画像を検出することが出来る X 線検出器であればよい。2 次元検出器 12 は、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の高い空間分解能を有しているが、空間分解能は $7\text{ }\mu\text{m}$ 以下が望ましく、さらに $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下がさらに望ましい。2 次元検出器 12 は、試料 100 に対して X 線発生部 11 の反対側に配置されている。ここで、2 次元検出器 12 の検出領域の平面を xy 平面として、検出領域の平面の法線方向を z 方向とする。2 次元検出器 12 の検出領域の中心から法線方向（z 方向）に伸びる直線が、試料 100 を貫き、X 線源 10 に達するように、2 次元検出器 12 が配置されるのが望ましい。

【0025】

50

支持台 13 に試料 100 が配置される。2 次元 X Y ステージ 14 は支持台 13 を搭載して、x y 平面の面内で、支持台 13 を移動させることが出来る。すなわち、2 次元 X Y ステージ 14 は、2 次元検出器 12 に対して異なる複数の位置に試料 100 を配置することが出来る。

【0026】

制御部 15 は、測定制御部 16 と、画像化制御部 17 とを備えている。測定制御部 16 は、X 線発生部 11、2 次元検出器 12、2 次元 X Y ステージ 14 などの制御を行うことにより、試料の透過画像の情報を取得する。画像化制御部 17 は、2 次元検出器 12 が検出する試料 100 の異なる複数の位置における透過画像に基づいて、合成透過画像データを生成する。

【0027】

X 線発生部 11 は、試料 100 に対してほぼ平行となる X 線を照射する。本明細書において、ほぼ平行となる X 線とは、以下のことを言う。図 1 に示す通り、X 線発生部 11 ではなく 2 次元検出器 12 の近傍に試料 100 が配置されている。2 次元検出器 12 の検出領域から平面の法線方向 (z 方向) に伸びて、試料 100 を貫き、X 線源 10 に達する直線を考える。該直線のうち、X 線発生部 11 の X 線源 10 から試料 100 の中心までの線分の長さを、X 線発生部 11 から試料 100 までの距離 L とし、試料 100 の中心から 2 次元検出器 12 の検出領域までの線分の長さを、試料 100 から 2 次元検出器までの距離 d とする。d / L が 1 に比べて十分に小さいときに、試料 100 に照射される X 線をほぼ平行とすることが実現される。ここで、d / L が 1 に比べて十分に小さいとは、0.1 以下であることであり、望ましくは 0.05 以下である。なお、試料に対してほぼ平行となる X 線を照射する技術については、特許文献 2 に記載されている。

【0028】

試料 100 に照射される X 線がほぼ平行となっていることにより、2 次元検出器 12 が検出する透過画像には、試料 100 の z 方向の位置の違いによる位置ずれが抑制される。よって、試料 100 が 2 次元検出器 12 の空間分解能 Δ と比べて十分に大きい厚み t を有する場合であっても、2 次元検出器 12 が検出する透過画像に、試料 100 の z 方向の位置の違いによる位置ずれが発生しない程度に、X 線の発散が抑制されていれば、複数の透過画像に基づいて、合成透過画像データを生成することが出来る。ここで、厚み t が空間分解能 Δ と比べて十分に大きいとは、t が Δ の 10 倍以上のことを指すが、当該実施形態に係る X 線画像化装置 1 は、ほぼ平行となる X 線を試料 100 に照射することにより、空間分解能 Δ の 100 倍以上となる厚い試料 100 についても、X 線画像化が可能である。

【0029】

図 2 は、当該実施形態に係る X 線発生部 11 が発生する X 線を説明する模式図である。X 線発生部 11 の X 線源 10 からの X 線は、試料を貫通して、2 次元検出器 12 の検出領域に達している。X 線の試料 100 への入射箇所 101 から出射箇所 102 までの線分の長さを t と、当該 X 線が検出領域の法線方向 (z 方向) となす角度を θ とする。試料 100 の z 方向の位置の違いによる位置ずれの最大は $t \cdot \sin \theta$ $t \cdot \theta$ となる。ここで、 $t \cdot \theta$ を (数式 1) とする。t $\cdot \theta$ が 2 次元検出器 12 の空間分解能 Δ 程度以下であれば、検出される透過画像に発生する当該位置ずれは抑制されている。ここで、空間分解能 Δ 程度以下であるとは、少なくとも空間分解能 Δ の 3 倍以下を指し、望むべくは空間分解能 Δ の 2 倍以下、さらに望むべくは空間分解能 Δ の 1 倍以下である。試料 100 の透過画像に発生する位置ずれが、2 次元検出器 12 の空間分解能 Δ の 3 倍であるとき、複数の透過画像に基づいて生成される合成透過画像データの像は、試料 100 の厚み t によりぼやけが生じる程度に位置ずれの影響が抑制される。空間分解能 Δ の 2 倍であるとき、合成透過画像データの像は、試料 100 の厚み t により、部位と部位の境界線が太くなる程度に位置ずれの影響が抑制される。そして、空間分解能 Δ の 1 倍以下であるとき、合成透過画像データの像は、試料 100 の厚み t による影響はさらに抑制されることとなる。よって、t $\cdot \theta$ がおよそ空間分解能 Δ 程度以下に、X 線の発散が抑制されているのが望ましい。2 次元検出器 12 の検出領域の中心から伸びる法線が X 線源 10 を貫く場合には、X 線源

10から検出領域の縁へ達するX線の角度 θ が最も大きく、試料100のz方向の厚み t は試料100の形状によって変化する。よって、試料100の配置などにより、 $t \cdot \theta$ は様々な値をとり得るが、その中で最大値となる $t \cdot \theta$ が空間分解能 Δ 程度以下であれば、検出される透過画像に発生する位置ずれは抑制されており、複数の透過画像に基づいて合成透過画像データを生成することが出来る。

【0030】

測定制御部16は、隣り合う透過画像の一部が重なり合うオーバーラップ量に基づいて、2次元XYステージ14の移動量を決定する。測定制御部16は、さらに、2次元XYステージ14に、該移動量に対応して支持台13を順に移動させ、2次元検出器12に透過画像を検出させる。検出される透過画像には試料100の厚み t に起因する像の位置ずれは生じていないので、画像化制御部17は、異なる複数の位置における透過画像を、オーバーラップ量に基づいて張り合わせて、合成透過画像データを生成することが出来る。

【0031】

[第2の実施形態]

本発明の第2の実施形態に係るX線画像化装置1は、3次元X線CT画像を画像化するX線画像化装置である。当該実施形態に係るX線画像化装置1は、支持台13が回転駆動系を備えている点と、制御部15が3次元X線CT画像の画像化のための測定と画像再構成を行う点で、第1の実施形態に係るX線画像化装置1と異なっているが、それ以外については、第1の実施形態に係るX線画像化装置1と同じ構造をしている。

【0032】

支持台13の回転駆動系は、2次元検出器12の検出領域の平面に沿う方向（ここでは、x方向）を回転軸として、試料100を当該回転軸に対して回転移動させることが出来る。測定制御部16は、2次元XYステージ14に、前述の移動量に対応して支持台13を移動させ、支持台13の回転駆動系に、所定数の角度配置それぞれの角度配置に試料100を順に角度移動させ、2次元検出器12に、それぞれの角度配置における透過画像を検出させる。画像化制御部17は、所定数の角度配置それぞれにおいて、異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、合成透過画像データを生成する。さらに、所定数の角度配置における合成透過画像データを画像再構成することにより、3次元X線CT画像を画像化する。

【0033】

当該実施形態に係るX線画像化装置1の効果を説明する前に、比較例2に係るX線画像化装置について説明する。従来、3次元X線CT画像を画像化するX線画像化装置は、例えば、回転軸（x方向）に対して回転する回転駆動系に試料を配置して、回転駆動系により試料を回転させる。所定数の角度配置それぞれにおいて透過画像を撮影し、撮影される複数枚の透過画像より画像再構成を行って、3次元CT画像を得る。試料全体の透過画像が2次元検出器の検出領域より大きい場合に、得られる3次元CT画像は、試料の一部分の画像となる。よって、より広い範囲の3次元CT画像を得るために、本発明に先立って、発明者らは比較例2に係るX線画像化装置について検討を行った。

【0034】

比較例2に係るX線画像化装置は、3次元X線CT画像を画像化するX線画像化装置であり、3次元XYZステージを備える。3次元XYZステージは、試料が配置される回転駆動系を3次元的に（xyz方向）移動させることが可能である。前述の通り、試料サイズが2次元検出器の検出領域より大きい場合に、得られる3次元CT画像は、試料の一部分となるので、3次元XYZステージにより試料が配置される回転駆動系を順に移動させて、それぞれの位置において、3次元X線CT画像の画像化を行うことにより、試料の各々の部分についての3次元CT画像を得る。

【0035】

図10は、比較例2に係るX線画像化装置の駆動を示す模式図である。図には、回転駆動系の回転軸方向（x方向）に垂直な平面（yz平面）が示されている。前述の通り、試料全体の透過画像が2次元検出器112の検出領域よりも大きいので、ある位置における

3次元CT画像は試料の一部となる。図10には、現在の位置における測定可能領域Aが斜線で示されている。試料のサイズを、支持台113に搭載できる最大の領域とすると、図10に示す通り、試料サイズがある位置における測定可能領域より大きいので、試料全体を含むように、複数の測定可能領域の配置を考える。図10に示す試料のy方向に長さは1つの測定可能領域の約3倍（ n 倍）ほどとなっており、そのために、試料をカバーするためには、9（ 3×3 ）箇所（ n^2 箇所）での測定が必要となっており、図10には、9箇所の測定可能領域Aが実線で示されている。さらに、ある位置における測定可能領域は、断面が円となるために、円を順にyz平面に並べても、間に隙間が生じてしまう。試料のかかる隙間の部分の3次元CT画像を得るために、yz方向に 2×2 （ $=4$ 箇所）に並ぶ測定可能領域Aの中心を結んで作る正方形の中心の位置を、さらに測定可能領域Bとして、かかる位置における3次元X線CT画像の画像化をする必要が生じる。図10に示す場合、4（ $=2 \times 2$ ）箇所（ $(n-1)^2$ 箇所）での測定が必要となっており、図10には、4箇所の測定可能領域Bが破線で示されている。よって、合計で13箇所（ $n^2 + (n-1)^2$ 箇所）の位置での3次元CT画像の画像化が必要となる。

【0036】

これに対して、当該実施形態に係るX線画像化装置1の場合、y方向において、2次元検出器の検出領域の長さが、試料（支持台13）の長さよりも3倍（ n 倍）である場合、試料100を3箇所（ n 箇所）の位置において測定すればよく、所望の領域を測定するために必要な透視画像の撮影の測定箇所は、当該実施形態に係るX線画像化装置が、比較例2に係るX線画像化装置と比較して、格段に少なく済む。試料が2次元検出器の検出領域よりも十分に大きいとき（ n が十分に大きいとき）、比較例2に係るX線画像化装置だと、当該実施形態に係るX線画像化装置よりも、 $\{n^2 + (n-1)^2\} / n^2 (n-1)$ 倍の測定箇所が必要となる。なお、回転駆動系の回転軸方向（x方向）については、当該実施形態に係るX線画像化装置と比較例2に係るX線画像化装置とで異なる点はなく、x方向において、2次元検出器の検出領域の長さが試料の長さよりも3倍（ n 倍）であれば、3箇所（ n 箇所）の測定箇所が必要となる。

【0037】

比較例2に係るX線画像化装置において撮影される透過画像は、測定箇所の測定可能領域以外の部分の透過情報を含んでいるために、得られる3次元CT画像にはアーチファクト（偽像）が含まれることとなる。そして、試料のある位置におけるアーチファクトの出現程度は、その位置を含む複数の3次元CT画像において異なってしまう。よって、比較例2に係るX線画像化装置において、測定可能領域が試料をすべて含むように複数の測定箇所で3次元X線CT画像の画像化を行ったにもかかわらず、試料全体の3次元CT画像の画像化を実現するために、複数の3次元X線CT画像を張り合わせて試料全体の3次元X線CT画像を生成することが出来ないか、出来るとしても非常に困難な作業が必要となってしまう。

【0038】

これに対して、当該実施形態に係るX線画像化装置1においては、異なる複数の位置における透過画像を張り合わせて、先に、試料全体を含む合成透過画像データ（大視野透過画像）を生成し、所定数の角度配置における合成透過画像データを画像再構成して3次元X線CT画像の画像化を行っているので、比較例2に係るX線画像化装置において発生する、アーチファクトに起因する画像合成の問題は生じていない。

【0039】

なお、当該実施形態に係るX線画像化装置1は、3次元X線CT画像を画像化するX線画像化装置であり、回転駆動系が試料を回転させて3次元CT測定を行っている。それゆえ、支持台13に搭載できる試料のサイズの最大（測定可能領域）は、回転駆動系の回転軸（x方向）に垂直な断面（yz面）では、図1に示す支持台13に示す通り、円となる。すなわち、当該実施形態に係るX線画像化装置1の測定可能領域（測定可能な試料のサイズの最大）は、円柱形状となっており、円の直径は2次元検出器12の検出領域のy方向の長さより長く、同時に、当該y方向の長さより大きい厚み t の試料100が測定可能

である必要がある。かかる試料 100 の厚み t に対して、上記（数式 1）である $t \cdot \theta$ の最大値が、2 次元検出器 12 の空間分解能 Δ 程度以下であればよい。

【0040】

[第 3 の実施形態]

本発明の第 3 の実施形態に係る X 線画像化装置 1 は、光学撮影部 21 と光学ミラー 22 とを、さらに備えて、制御部 15 が、光学撮影部 21 が検出する光学画像（光学イメージ）に基づいて、測定を制御する点で、第 1 の実施形態に係る X 線画像化装置 1 と異なっているが、それ以外については、同じ構造をしている。なお、ここで、光学画像とは、可視光領域の光による画像を指しているがそれに限定されることはなく、例えば、赤外線領域や紫外線領域などの領域の光による画像であってもよい。

【0041】

図 3 は、当該実施形態に係る X 線画像化装置 1 の構造を示す模式図である。図 3 には説明を簡単にするために一部が図示されていないが、光学撮影部 21 及び光学ミラー 22 以外の構成は、図 1 に示されている。光学撮影部 21 は、例えば光学カメラであり、光学ミラー 22 によって反射される試料 100 の光学画像（光学イメージ）を検出する。光学ミラー 22 は、X 線発生部 11 と支持台 13 との間に配置され、X 線発生部 11 から試料 100 を貫き 2 次元検出器 12 の検出領域に達する X 線を、試料側へ透過させる。2 次元検出器 12 の検出領域の平面の法線方向（ z 方向）に沿って（すなわち、図の左向きに）試料 100 から進む光を反射して、光学撮影部 21 へ入射させる。ここで、光学ミラー 22 は、X 線発生部 11 から試料 100 を貫き 2 次元検出器 12 の検出領域に達する X 線を遮らず透過させるよう、当該 X 線が通過する領域に開口部（数 mm 程度の穴）を有している。しかし、光学ミラー 22 の構造はこれに限定されることはなく、例えば、光学ミラー 22 は、数十 μm 程度の金属薄膜を利用したミラーであってもよいし、多層膜を利用したミラーであってもよい。かかる金属薄膜や多層膜であれば、透過画像の撮影に影響を与えない程度の低い X 線吸収率であり、光学撮影部 21 が光学画像を検出するのに十分な程度に、試料 100 からの光に対して高い反射率となっている。また、低エネルギーの X 線成分を低減するための厚さ数百 μm 程度のフィルタを光学ミラーとして使用してもよい。

【0042】

例えば、第 1 又は第 2 の実施形態に係る X 線画像化装置 1 では、試料の一部分の透過画像しか、2 次元検出器 12 は一度に検出することが出来ず、測定開始の段階で、試料全体の画像を得ることは出来ない。例えば、試料全体を含む合成透過画像データ（大視野透過画像）の生成を所望する場合、必要となる複数の透過画像のための複数の位置は何かを決定することとなる。光学撮影部 21 が検出する試料 100 の光学画像は、2 次元検出器 12 が検出する透過画像と同軸上を進む光による光学画像であり、当該光学画像を利用することにより、制御部 15 が測定条件の決定や制御などを容易に行うことが出来る。

【0043】

図 4 は、当該実施形態に係る X 線画像化装置 1 が検出する光学画像 OA と透過画像 XA を示す模式図である。図 4 には、光学画像 OA と透過画像 XA とが示されている。光学画像 OA は試料 100 全体の像を含んでいる。透過画像 XA を光学画像 OA と重ね合わせるにより、現在における試料 100 と 2 次元検出器 12 の位置関係を高精度で決定することが出来る。光学画像 OA に含まれる試料 100 の像に基づいて、生成する合成透過画像データの領域 TOT を決定すると、領域 TOT と 1 枚の透過画像 XA に基づいて、必要となる透過画像の枚数（ x 方向及び y 方向それぞれの枚数）と、隣り合う透過画像に適当なオーバーラップ量を計算することが出来る。領域 TOT の幅を d_1 、透過画像 XA の幅を d_2 とすると、 x 方向（横方向）に張り合わせる透過画像の枚数 m は、 $m = \text{int}(d_1 \div d_2) + 1$ とすればよく、隣り合う透過画像のオーバーラップ量 Δd は、 $\Delta d = (m \times d_2 - d_1) \div (m - 1)$ とすればよく、ステージ移動量 Δx は、 $\Delta x = d_2 - \Delta d$ とすればよい。例えば、領域 TOT の幅が 1.0 mm であり、透過画像 XA の幅が 0.4 mm である場合に、 $1.0 \div 0.4 = 2.5$ となり、 x 方向（横方向）に 3 枚の透過画像を撮影すればよく、その際に、 $(0.4 \times 3 - 1.0) \div (3 - 1) = 0.1 \text{ mm}$ をオーバ

ーラップ量 Δd とし、 $0.4 - 0.1 = 0.3 \text{ mm}$ を x 方向のステージ移動量 Δx とすればよい。 y 方向（縦方向）についても同様である。なお、ここで説明した測定条件の決定方法は一例に過ぎず、必要に応じて、測定枚数をさらに増やしてオーバーラップ量を増やしてもよいし、逆に、オーバーラップ量を減らして、領域 TOT よりさらに広い範囲を含む測定条件としてもよい。

【0044】

制御部 15 の測定制御部 16 は、必要な複数の位置の情報（測定枚数、オーバーラップ量、ステージ移動量など）が外部より入力され、該情報に基づいて、2 次元 XY ステージ 14 を制御して、透過画像の測定を行ってもよいし、上記方法により、該情報を算出して、算出された情報に基づいて、測定の制御を行っても良い。また、画像化制御部 17 は、撮影された複数の透過画像を、該情報に基づいて張り合わせて、合成透過画像を生成するが、その際に、光学画像 OA を参照して、透過画像の張り合わせを行うことにより、さらに高精度の合成透過画像が得られる。

【0045】

〔第 4 の実施形態〕

本発明の第 4 の実施形態に係る X 線画像化装置 1 は、3 次元 X 線 CT 画像を画像化する X 線画像化装置であり、第 3 の実施形態に係る光学撮影部 21 及び光学ミラー 22 を、第 2 の実施形態に係る X 線画像化装置 1 に適用したものである。

【0046】

図 5 は、当該実施形態に係る X 線画像化装置 1 の測定方法を説明する模式図である。第 3 の実施形態で説明した通り、光学画像 OA に含まれる試料 100 の像に基づいて、生成する合成透過画像データ（大視野透過画像）の領域 TOT を、外部入力により又は測定制御部 16 により、決定する（ステップ A1）。測定制御部 16 は、決定された合成透過画像データの領域 TOT と、1 枚の透過画像 XA とに基づいて、1 枚の合成透過画像データを生成するのに必要な透過画像の測定回数 M （ M 個の測定位置）と、移動量（ステージ移動量）と、を計算する（ステップ A2）。

【0047】

必要な測定条件が決定されると、測定制御部 16 は測定を開始する。まず、測定制御部 16 は、2 次元 XY ステージ 14 に支持台 13 を移動させ、試料 100 を最初の測定位置にする（ステップ A3）。 M 回の測定、すなわち、 M 個の測定位置における測定が次のようになされる。 i を 1 以上 M 以下の整数として、 i 回目の測定（ i 番目の測定位置における測定）について説明する。

【0048】

i 回目の測定において、試料 100 は i 番目の測定位置に配置されている。この測定位置の配置において、測定制御部 16 は、支持台 13 の回転駆動系に、試料 100 を順に回転移動させる。所定数を N として、 N 箇所の角度配置それぞれにおいて、測定制御部 16 は、2 次元検出器 12 に、透過画像を検出させ（ステップ A4）、測定制御部 16 は、透過画像のデータを制御部 15 に備わる記憶部に記憶する。ここで、360 度画像再構成のための透過画像の測定であれば、角度は $0 \sim 360$ 度の範囲で一定間隔にある角度配置である。 $N = 120$ であるならば、隣り合う角度配置の角度間隔は、 $360 \div 120 = 3$ 度であり、 j を 1 以上 N 以下の整数として、 j 番目の角度配置は、 $\theta = 3 \times (j - 1)$ （ $j = 1, 2, \dots, 120$ ）である。 i 回目の測定（ i 番目の測定位置における測定）において、 N 枚の透過画像データが得られる。測定制御部 16 は、2 次元 XY ステージ 14 に支持台 13 を移動させ、試料 100 を次（ $i + 1$ 番目）の測定位置に配置させて（ステップ A5）、同様の測定をする。これを、 M 回の測定について繰り返し行うことにより、当該実施形態に係る測定は終了する。なお、最後の測定（ M 回目の測定）において、透過画像測定の後には試料 100 の位置移動はなされない。

【0049】

i 回目（ i 番目の測定位置）の測定における、 j 番目の角度配置における透過画像を、 $Image_{i,j}(x, y)$ と表すこととする。制御部 15 は、 M 個の測定位置それぞれ

において、 N 個の透視画像のデータを取得する。すなわち、合計で、 $M \times N$ 個の透視画像データ $\text{Image}_{i,j}(x,y)$ を取得する。

【0050】

図6は、当該実施形態に係る測定方法で取得される透過画像を説明する模式図である。 i 回目の測定と、 $i+1$ 回目の測定と、それぞれにおいて、 N 箇所の角度配置における透過画像が示されている。すなわち、図6(a)に示す透過画像データが、 $\text{Image}_{i,j}(x,y)$ であり、図6(b)に示す透過画像データが、 $\text{Image}_{i+1,j}(x,y)$ である。

【0051】

図7は、当該実施形態に係るX線画像化装置1の3次元X線CT画像の画像化方法を説明する模式図である。 M 回の測定における M 個の測定位置のうち、隣り合う2個の測定位置におけるそれぞれ N 枚の透過画像データを張り合わせ、すべての隣り合う2個の測定位置に対して繰り返すことにより、 N 枚の合成透過画像データ（大視野透過画像）を生成することが出来、 N 枚の合成透過画像データを画像再構成することにより、大画面3次元X線CT画像を画像化することが出来る。

【0052】

ここでは、 i 番目の測定位置と $i+1$ 番目の測定位置が、隣り合う2個の測定位置である場合に、図6に示す i 番目の測定位置における N 枚の透過画像データ $\text{Image}_{i,j}(x,y)$ と、 $i+1$ 番目の測定位置における N 枚の透過画像データ $\text{Image}_{i+1,j}(x,y)$ と、をそれぞれ張り合わせる過程について説明する。

【0053】

図8は、当該実施形態に係る測定方法で取得される透過画像を説明する模式図である。 i 回目の測定と、 $i+1$ 回目の測定の、それぞれ j 番目の角度配置における透過画像が示されている。

【0054】

j 番目の角度配置（ j は $1 \sim N$ ）における、2枚の透過画像データ $\text{Image}_{i,j}(x,y)$ と $\text{Image}_{i+1,j}(x,y)$ それぞれの信号強度分布を調べて、2枚の透過画像データの重ね合わせ部分（オーバーラップ量）について計算する（ステップB1）。 i 回目の座標（ x,y ）における信号強度と、 $i+1$ 回目の座標（ x',y' ）における信号強度と、の差の2乗和が最小になるように、 j 番目の角度配置における画像のオーバーラップ量 Δ_j を求める（最小2乗法）。これを N 箇所の角度配置すべてに対して行うことにより、それぞれの角度配置における透過画像の張り合わせ位置を決定する（ステップB2）。ここでは、支持台13の回転駆動系の角度精度が、2次元XYステージ14の位置精度よりも良いので、各角度配置におけるオーバーラップ量は等しい（ $\Delta_1 = \dots = \Delta_j = \Delta_{j+1} \dots = \Delta_N$ ）として、 i 回目の座標（ x,y ）における信号強度と、 $i+1$ 回目の座標（ x',y' ）における信号強度と、の差の2乗和を、 N 箇所の透視画像データのすべてのデータに対して求め、最小となるオーバーラップ量 Δ を求めている。これを、すべての隣り合う2個の測定位置それぞれに行うことにより、 N 枚の合成透過画像データ（大視野透過画像）を生成する（ステップB3）。 N 枚の合成透過画像データを公知の画像再構成処理を行う（ステップB4）ことにより、所望の3次元X線CT画像の画像化が完了する。

【0055】

当該実施形態に係る3次元X線CT装置の3次元CT測定の特徴は、2次元XYステージ14が、支持台13を順に移動させて、試料100を i 番目の位置配置とし、試料100を i 番目の位置配置に固定して、該位置配置において、支持台13の回転駆動系が試料100を回転させて、 N 枚の透視画像を検出し、これを M 箇所の位置配置に対して繰り返して、3次元CT測定をするところにある。かかる測定方法とすることにより、回転駆動系の角度配置に固定して、2次元XYステージ14が試料100を複数の位置配置に移動させて、 M 枚の透過画像を検出し、これを N 箇所の角度配置に対して繰り返す場合と比較して、測定時間を短縮することが可能であるとともに、より高精度の測定をすることが出

10

20

30

40

50

来る。支持台 1 3 の回転駆動系の角度精度が、2 次元 X Y ステージ 1 4 の位置精度よりも良く、回転駆動系の回転駆動は、2 次元 X Y ステージの移動駆動よりも、高速で行うことが出来るからである。

【0056】

当該実施形態ではかかる 3 次元 C T 測定方法とすることにより、当該実施形態に係る 3 次元 X 線 C T 画像の画像化方法では、隣り合う 2 個の測定配置における、それぞれ N 枚の透視画像データの張り合わせ位置 Δ を、これらすべての透視画像データに最小 2 乗法を適用することにより、オーバーラップ量 Δ を計算することが出来る。隣り合う 2 個の測定位置でそれぞれ得られる N 枚の透過画像データをすべて活用して、隣り合う 2 個の測定位置における透過画像データの張り合わせをすることにより、高精度で容易に張り合わせ位置を決定することが出来ている。また、光学撮影部 2 1 が撮影する光学画像を記憶部に記憶し、隣り合う 2 個の測定位置における透視画像データのオーバーラップ量を求める際に、該光学画像を用いてオーバーラップ量の微調整などを行ってもよい。

10

【0057】

なお、N 箇所の角度配置の移動と、M 個の測定位置の移動（並行移動）との、順序を入れ替えても、本発明は適用することが出来る。すなわち、試料 1 0 0 を j 番目の角度配置に固定して、該角度配置において、2 次元 X Y ステージ 1 4 が試料 1 0 0 を M 個の測定位置それぞれに移動させて、M 枚の透視画像を検出し、これを、N 箇所の角度配置に対して繰り返ししてもよい。こうして得られる $M \times N$ 枚の透視画像データより、図 7 に示す 3 次元 X 線 C T 画像の画像化方法を用いて、N 枚の合成透過画像データ（大視野透過画像）を生成し、N 枚の合成透過画像データを画像再構成することにより、大画面 3 次元 X 線 C T 画像を画像化することが出来る。

20

【0058】

以上、本発明に係る X 線画像化装置と X 線画像化方法について説明した。ここでは、1 枚の合成透過画像（大視野透過画像）の画像化と、複数枚の合成透過画像より再構成される 3 次元 X 線 C T 画像の画像化とを例に説明したが、これに限定されることはない。例えば、微小部 X 線回折装置、走査型蛍光 X 線分析装置などに、広く応用することが出来る。

【0059】

また、本発明の実施形態に係る X 線発生部 1 1 は、X 線源 1 0 から放射される X 線を直接試料 1 0 0 へ入射させていたが、これに限定されることはない。例えば、X 線発生部 1 1 が、反射湾曲面が放物線の一部となっている多層膜ミラーなどを備えることにより、X 線の発散が抑制（平行化）され、ほぼ平行となる X 線が試料に照射されてもよい。

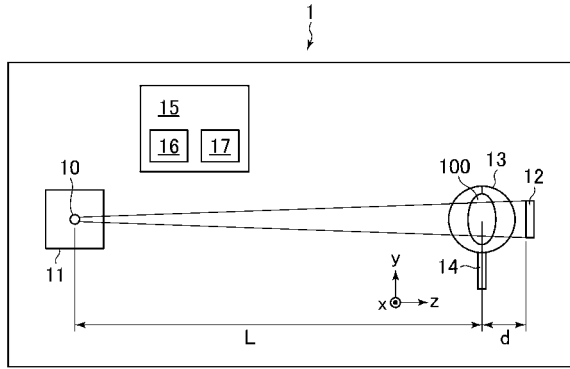
30

【符号の説明】

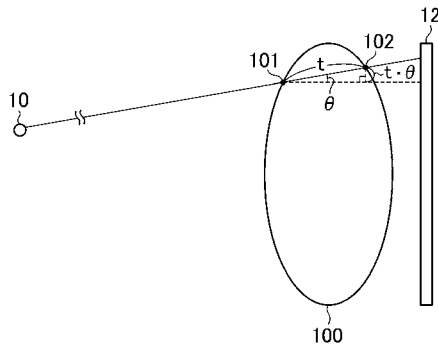
【0060】

1 X 線画像化装置、1 0 X 線源、1 1 X 線発生部、1 2 2 次元検出器、1 3 支持台、1 4 2 次元 X Y ステージ、1 5 制御部、1 6 測定制御部、1 7 画像化制御部、2 1 光学撮影部、2 2 光学ミラー。

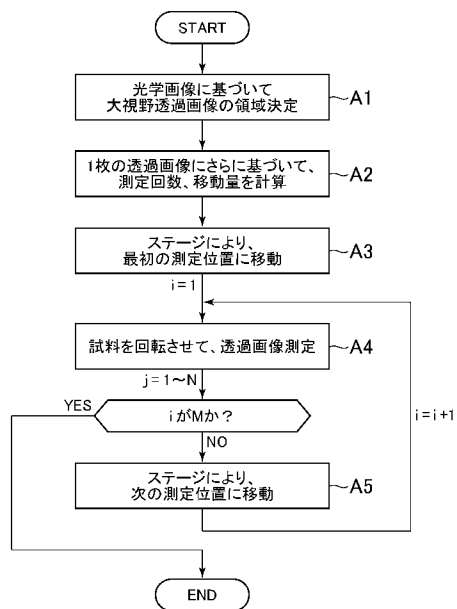
【図 1】



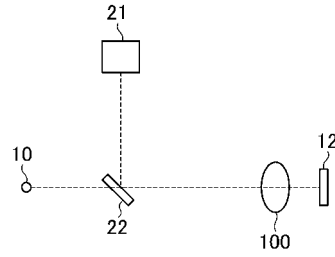
【図 2】



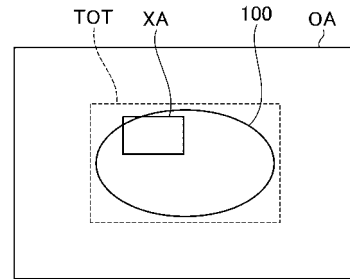
【図 5】



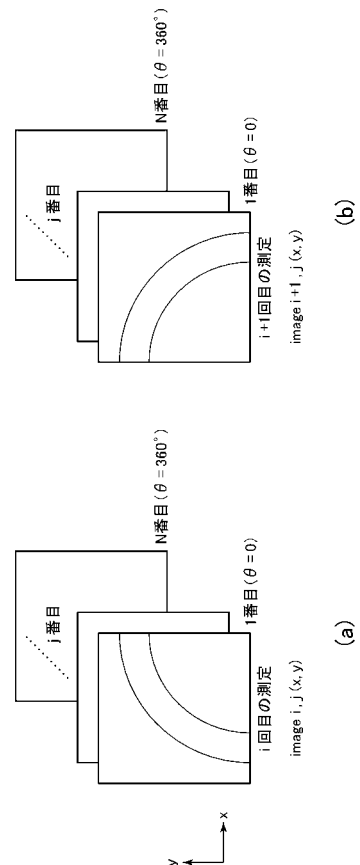
【 図 3 】



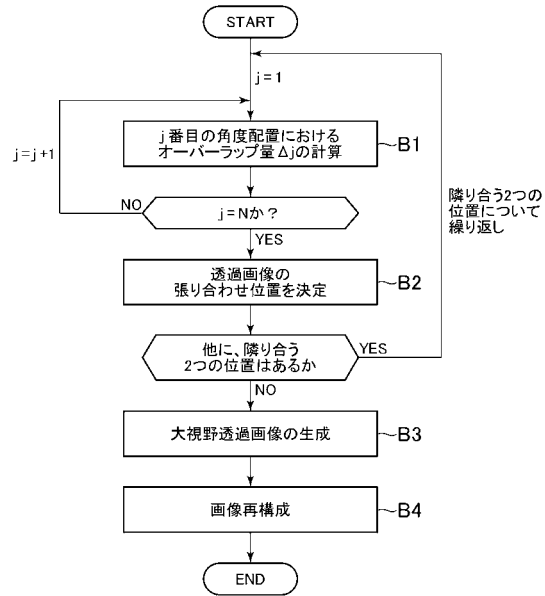
【図 4】



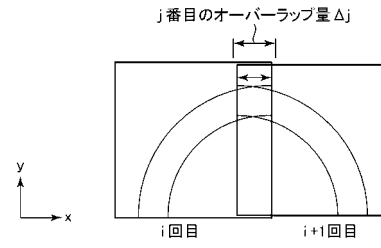
【図 6】



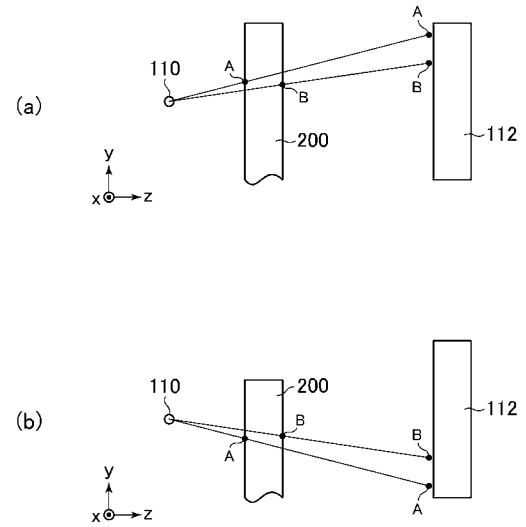
【図 7】



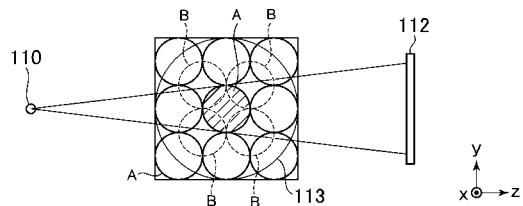
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
G 0 1 T 7/00 C

Fターム(参考) 4C093 AA01 AA22 CA23 EA02 EB17 ED04 FA36 FA53 FA55 FE01
FE14 FF35 FF37 FF42
5B057 AA09 BA03 BA19 CA02 CA08 CA13 CA16 CB02 CB08 CB13
CB16 CE08