

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第1部門第2区分

【発行日】平成17年9月15日(2005.9.15)

【公開番号】特開2004-121741(P2004-121741A)

【公開日】平成16年4月22日(2004.4.22)

【年通号数】公開・登録公報2004-016

【出願番号】特願2002-293740(P2002-293740)

【国際特許分類第7版】

A 6 1 B 6/00

G 0 1 T 1/00

G 0 3 B 42/02

G 0 6 T 1/00

【F I】

A 6 1 B 6/00 3 3 0 Z

G 0 1 T 1/00 B

G 0 3 B 42/02 A

G 0 6 T 1/00 2 9 0 A

【手続補正書】

【提出日】平成17年3月31日(2005.3.31)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】特許請求の範囲

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

被写体から距離Rの位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元方法であって、

被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において、照射された放射線の強度を検出して画素サイズが $z/3R$ 以上(z は z_i の最大値)の放射線画像情報を表す検出信号を生成する放射線検出器を用いて、前記複数の検出面における複数の放射線画像情報を表す複数の検出データを得るステップ(a)と、

前記複数の検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元することにより、位相データを求めるステップ(b)と、
を具備する位相情報復元方法。

【請求項2】

ステップ(b)において求められた位相データに基づいて、画像の明度に対応した画像データを生成するステップ(c)をさらに具備する請求項1記載の位相情報復元方法。

【請求項3】

被写体から距離Rの位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元方法であって、

被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において、被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた、前記複数の検出面における複数の放射線画像情報を表す複数の第1の検出データを取得するステップ(a)と、

前記複数の第1の検出データに対して、空間周波数が $3R/2z$ (z は z_i の最大値)より大きい成分を抑圧することにより、複数の第2の検出データをそれぞれ生成する

ステップ(b)と、

前記複数の第2の検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元することにより、位相データを求めるステップ(c)と、
を具備する位相情報復元方法。

【請求項4】

ステップ(c)において求められた位相データに基づいて、画像の明度に対応した画像データを生成するステップ(d)をさらに具備する請求項3記載の位相情報復元方法。

【請求項5】

被写体から距離Rの位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を、被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元装置であって、

照射された放射線の強度を検出して画素サイズが $z/3R$ 以上(z は z_i の最大値)の放射線画像情報を表す検出データを得る検出手段と、

被写体を透過した放射線の強度を異なる距離 z_i において検出することにより得られた複数の検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元することにより位相データを求める位相データ算出手段と、
を具備する位相情報復元装置。

をCPUに実行させる放射線撮像プログラム。

【請求項6】

被写体から距離Rの位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を、被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元装置であって、

被写体を透過した放射線の強度を異なる距離 z_i において検出することにより得られた複数の第1の検出データに対して、空間周波数が $3R/2z$ (z は z_i の最大値)より大きい成分を抑圧することにより、複数の第2の検出データをそれぞれ生成する信号処理手段と、

前記信号処理手段によって生成された複数の第2の検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元することにより位相データを求める位相データ算出手段と、

を具備する位相情報復元装置。

【請求項7】

前記位相データ算出手段により求められた位相データに基づいて、画像の明度に対応した画像データを生成する画像生成手段をさらに具備する請求項5又は6記載の位相情報復元装置。

【請求項8】

被写体から距離Rの位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元プログラムであって、

被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において、照射された放射線の強度を検出して画素サイズが $z/3R$ 以上(z は z_i の最大値)の放射線画像情報を表す検出信号を生成する放射線検出器を用いて、前記複数の検出面における複数の放射線画像情報を表す複数の検出データを得る手順(a)と、

前記複数の検出データに基づいて、位相のラプラシアンを求める手順(b)と、

位相のラプラシアンに逆ラプラシアン演算を施すことにより位相データを求める手順(c)と、

をCPUに実行させる位相情報復元プログラム。

【請求項9】

被写体から距離Rの位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放

射線の強度を検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元プログラムであって、

被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において、被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた複数の第1の検出データを取得する手順(a)と、

前記複数の第1の検出データに対して、空間周波数が $3R/2z$ (z は z_i の最大値) より大きい成分を抑圧することにより、複数の第2のデータをそれぞれ生成する手順(b)と、

前記複数の第2のデータに基づいて、位相のラプラシアンを求める手順(c)と、

位相のラプラシアンに逆ラプラシアン演算を施すことにより位相データを求める手順(d)と、

をCPUに実行させる位相情報復元プログラム。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0006

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0006】

位相コントラスト法には、干渉計やゾーンプレートを用いることにより生じた干渉X線に基づいて位相差を求める手法や、回折X線に基づいて位相差を求める手法がある。この内、回折X線に基づいて位相差を求める回折法は、次のような原理に基づいて位相差を求める。例えば、X線は、光と同様に波が進行することにより物質中を伝搬する。その伝搬する速度は、物質が有する屈折率によって異なる。このため、位相の揃ったX線を被写体に向けて照射すると、被写体における組織の違いによりX線の伝わり方に相違が生じる。これにより被写体を透過するX線の波面が歪るので、透過X線に基づいて得られたX線画像に回折縞が生じる。この回折縞のパターンは、X線を結像させるスクリーンと被写体との距離やX線の波長によって異なっている。従って、回折縞パターンの異なる2枚以上のX線画像を解析することにより、スクリーンの各位置において生じたX線の位相差を求めることができる。この位相差を明度に換算することにより、被写体における組織の違いが明確に現れたX線画像を得ることができる。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0009

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0009】

次に、位相復元の原理について、図11を用いて説明する。図11に示すように、波長を有するX線は、図の左側から入射し、物体面101を透過し、物体面101から距離 z だけ離れたスクリーン102に入射する。ここで、スクリーン102上の位置(x, y)におけるX線の強度を $I(x, y)$ 、位相を $\phi(x, y)$ とする。このとき、強度 $I(x, y)$ と位相 $\phi(x, y)$ との間には、次式に示す関係が成り立つ。ここで、強度 I は、波の振幅の2乗である。

【数2】

$$\frac{2\pi}{\lambda} \frac{\partial I(x,y)}{\partial z} = -\nabla \cdot \{I(x,y) \nabla \phi(x,y)\} \quad \cdots (2)$$

式(2)において ∇ = $\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}$ とおき、 (x, y) 成分をベクトル r に書き換えると、式

(1)に示すTIEが導かれる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0012

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0012】

これら の方法を用い、より精度の高い位相復元を行うためには、検出素子のサイズをできる限り小さくし、多くの検出素子により構成される、高精細（高解像度）のスクリーンを用いることが望ましい。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0013

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0013】

しかしながら、高解像度のスクリーンを用いると、ノイズの影響を受けやすくなるといった問題があった。ノイズの影響を減少させるためには、X線の照射量を増加させることが考えられるが、人体のような生体の場合には、被曝の恐れがあるために、照射量を増加させることができないといった問題がある。なお、下記の非特許文献1及び非特許文献2には、非生体試料を撮影しているため、このようなノイズと照射量の関係については述べられていない。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0016

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0016】

【課題を解決するための手段】

以上の課題を解決するため、本発明の第1の観点に係る位相情報復元方法は、被写体から距離Rの位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元方法であって、被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において、照射された放射線の強度を検出して画素サイズが $z/3R$ 以上（ z は z_i の最大値）の放射線画像情報を表す検出信号を生成する放射線検出器を用いて、複数の検出面における複数の放射線画像情報を表す複数の検出データを得るステップ（a）と、複数の検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元することにより、位相データを求めるステップ（b）とを具備する。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0017】

また、本発明の第2の観点に係る位相情報復元方法は、被写体から距離Rの位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元方法であって、被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において、被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた、複数の検出面における複数の放射線画像情報を表す複数の第1の検出データを取得するステップ（a）と、複数の第1の検出

データに対して、空間周波数が $3R/2$ z (z は z_i の最大値) より大きい成分を抑圧することにより、複数の第 2 の検出データをそれぞれ生成するステップ (b) と、複数の第 2 の検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元することにより、位相データを求めるステップ (c) とを具備する。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0018

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0018】

本発明の第 1 の観点に係る位相情報復元装置は、被写体から距離 R の位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を、被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元装置であって、照射された放射線の強度を検出して画素サイズが $z/3R$ 以上 (z は z_i の最大値) の放射線画像情報を表す検出データを得る検出手段と、被写体を透過した放射線の強度を異なる距離 z_i において検出することにより得られた複数の検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元することにより位相データを求める位相データ算出手段とを具備する。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0019

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0019】

また、本発明の第 2 の観点に係る位相情報復元装置は、被写体から距離 R の位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を、被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元装置であって、被写体を透過した放射線の強度を異なる距離 z_i において検出することにより得られた複数の第 1 の検出データに対して、空間周波数が $3R/2$ z (z は z_i の最大値) より大きい成分を抑圧することにより、複数の第 2 の検出データをそれぞれ生成する信号処理手段と、信号処理手段によって生成された複数の第 2 の検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元することにより位相データを求める位相データ算出手段とを具備する。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0020

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0020】

本発明の第 1 の観点に係る位相情報復元プログラムは、被写体から距離 R の位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元プログラムであって、被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において、照射された放射線の強度を検出して画素サイズが $z/3R$ 以上 (z は z_i の最大値) の放射線画像情報を表す検出信号を生成する放射線検出器を用いて、複数の検出面における複数の放射線画像情報を表す複数の検出データを得る手順 (a) と、複数の検出データに基づいて、位相のラプラシアンを求める手順 (b) と、位相のラプラシアンに逆ラプラシアン演算を施すことにより位相データを求める手順 (c) とを CPU に実行させる。

【手続補正 1 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 2 1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 2 1】

また、本発明の第2の観点に係る位相情報復元プログラムは、被写体から距離 R の位置における焦点サイズの放射線源から発生し被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた検出データに基づいて、被写体を透過した放射線の位相情報を復元する位相情報復元プログラムであって、被写体からの距離 z_i が異なる複数の検出面において、被写体を透過した放射線の強度を検出することにより得られた複数の第1の検出データを取得する手順(a)と、複数の第1の検出データに対して、空間周波数が $3R/2z$ (z は z_i の最大値)より大きい成分を抑圧することにより、複数の第2のデータをそれぞれ生成する手順(b)と、複数の第2のデータに基づいて、位相のラプラシアンを求める手順(c)と、位相のラプラシアンに逆ラプラシアン演算を施すことにより位相データを求める手順(d)とをCPUに実行させる。

【手続補正 1 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 2 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 2 4】

図2は、撮像部1の構成を示す模式図である。撮影部1は、放射線源11と、モノクロメータ12と、センサ13とを有している。放射線源11は、シンクロトロン放射光を利用し、モノクロメータ12で放射光から所定の波長成分だけを回折することにより、単色X線としている。なお、放射線源11としては、コヒーレント性及び単色性が高いビームを発生することができる放射線源を用いることが望ましい。ここで、単色性が高いビームとは、主に单一波長を有するビームのことをいうが、厳密に单一波長である必要はない。このため、本実施形態においては、放射線源11として、X線を発生するシンクロトロン放射光を用いている。シンクロトロン放射光とは、磁場中で電子を円運動させたり螺旋運動させたりすることによって発生する電磁波のことをいう。このような放射光源においては、電子の求心加速度を変更することにより、発生する放射光の波長を変更することができる。放射線源11から発生したX線は、被写体10を透過し、センサ13に入射して回折縞を生じる。

【手続補正 1 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 3 0

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 3 0】

次に、図3を参照しながら、有限の焦点サイズを持つ放射線源から発生したX線をセンサ13の検出素子で検出する検出信号について説明する。なお、本実施形態においては、センサ13において、縦横の画素サイズがそれぞれ x 及び y であるCCDカメラ20を用いており、蛍光板19に照射されたX線が発する蛍光を、蛍光板19に対して放射線源11の反対側で撮影している。

【手続補正 1 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 3 1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0031】

ここで、有限の焦点サイズ a_x を有する放射線源 11 から発生する X 線により得られる画像にはボケが生じる。その画像のボケを表すボケ関数 $f(u, v)$ は、被写体 10 と放射線源 11 との距離を R 、被写体 10 とセンサ 13 との撮像距離を z とし、放射線源の x 軸、y 軸方向の焦点サイズをそれぞれ a_x 、 a_y とすると、次式で表される正規分布となる。

【数5】

$$f(u, v) = \exp \left[-\frac{1}{2} a_x^2 u^2 - \frac{1}{2} a_y^2 v^2 \right] \cdots (5)$$

ただし、 u 、 v はそれぞれセンサ 13 における x 軸、y 軸方向の空間周波数成分であり、また、 $a_x = 2 \sqrt{x z / R}$ 、 $a_y = 2 \sqrt{y z / R}$ である。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0037

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0037】

まず、ステップ S10において、X 線撮像を行う。即ち、図 2 に示すように、放射線源 11 からの距離が R となる位置に被写体を配置し、センサ駆動部 18 は、制御部 26 の制御に基づいて、撮像距離が z_1 となる位置にセンサ 13 を配置し、被写体 10 に X 線を照射することにより、X 線撮像を行う。同様に、撮像距離が z_2 となる位置にセンサ 13 を配置し、X 線撮像を行う。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0038】

ここで、放射線源の X、Y 方向の焦点サイズを a_x 、 a_y とし、センサ 13 の検出素子の画素サイズを縦横共に a_x とし、焦点サイズ a_x 、 a_y の大きい方を a 、撮像距離の大きい方を z とすると、センサ駆動部 18 は、式(7)を満たすように、 $z = a \sqrt{z / 3 R}$ を満たす画素サイズの検出素子を用いたセンサ 13 を配置する。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0049

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0049】

さらに、本実施形態においては、被写体を撮像する際に放射光源を用いているが、放射光ではないビームを発生する放射線源を用いても良い。例えば、立命館大学が開発した電子蓄積型高輝度硬 X 線発生装置は、卓上型でありながら放射光並みに輝度及び指向性の高い X 線を発生することができる。この装置が発生する X 線はコヒーレント性を有しており、また、単一波長ではないが、単色化結晶と組み合わせることにより単色化することが可能である。また、技術研究組合フェムト秒テクノロジー研究機構 (FESTA) が開発した線源は、逆コンプトン散乱の原理に基づいて極短パルス高輝度 X 線を発生する。この線

源は、小型で持ち運びが可能であり、干渉性を有すると共に、指向性及び単色性の高いX線を発生することができる。なお、放射線源として点放射線源を用いる場合には、画像構成部においてデータ処理を行う際に、拡大率を含めて補正することが望ましい。

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0052

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0052】

まず、ステップS20において、X線撮像を行う。即ち、図2に示すように、放射線源11からの距離がRとなる位置に被写体を配置し、センサ駆動部18は、制御部26の制御に基づいて、撮像距離がz₁となる位置にセンサ13を配置し、被写体10にX線を照射することにより、X線撮像を行う。同様に、撮像距離がz₂となる位置にセンサ13を配置し、X線撮像を行う。

【手続補正19】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0055

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0055】

なお、LPF28で抑制又は除去される高空間周波数成分領域は、図4において、ボケによって信号の無い領域である。したがって、3シグマ範囲外の空間周波数成分を抑圧又は除去するため、放射線源11の縦横の焦点サイズをx、y、放射線源と被写体との距離をR、撮影距離をzとし、x、yの空間周波数成分をu, vとすると、u > 3R/2
x z, v > 3R/2 y zの空間周波数成分を抑圧又は除去すれば良い。

【手続補正20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0066

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0066】

本発明によれば、位相コントラスト法により人体等の生体の放射線画像を構成する際に、ボケによる信号の無い領域の検出信号を除去することによりX線の照射量を増加させることなく、ノイズの影響を減少させることができる。

【手続補正21】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】図面の簡単な説明

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の第1の実施形態に係る位相情報復元装置の構成を示す図である。

【図2】

図1に示す撮像部の構成を示す模式図である。

【図3】

有限の焦点サイズを持つ放射線源から発生したX線をセンサに含まれる検出素子を用いて検出することによって得られる検出信号について説明するための図である。

【図4】

空間周波数の関数としてボケ関数を示す図である。

【図5】

本発明の第1の実施形態に係る位相情報復元方法を示すフロー チャートである。

【図6】

拡大撮影を行う場合の撮像部の構成を示す模式図である。

【図7】

本発明の第2の実施形態に係る位相情報復元装置の構成を示す図である。

【図8】

本発明の第2の実施形態に係る位相情報復元方法を示すフロー チャートである。

【図9】

本発明の第2の実施形態に係る位相情報復元装置の構成の変形例を示す図である。

【図10】

図9に示す読み取り部の構成を示す模式図である。

【図11】

位相復元の原理を説明するための図である。

【符号の説明】

- 1、7 撮像部
- 2、5 画像構成部
- 3 表示部
- 4 出力部
- 6 読取り部
- 10 被写体
- 11 放射線源
- 12 モノクロメータ
- 13 センサ
- 14 保持部
- 15 レール
- 16、70 増幅器
- 17、71 A/D変換器
- 18 センサ駆動部
- 19 蛍光板
- 20 C C Dカメラ
- 21 記憶部
- 22 差分処理部
- 23 ラプラシアン処理部
- 24 逆ラプラシアン処理部
- 25 画像処理部
- 26 制御部
- 27 記録媒体
- 28 L P F
- 60 輝尽性蛍光体シート(記録シート)
- 61 モータ
- 62 シート搬送手段
- 63 レーザ光源
- 64 モータ
- 65 回転多面鏡
- 66 収束レンズ
- 67 ミラー
- 68 光ガイド
- 69 フォトマルチプライヤ(光電子増倍管)
- 101 物体面
- 102 スクリーン

【手続補正 2 2】

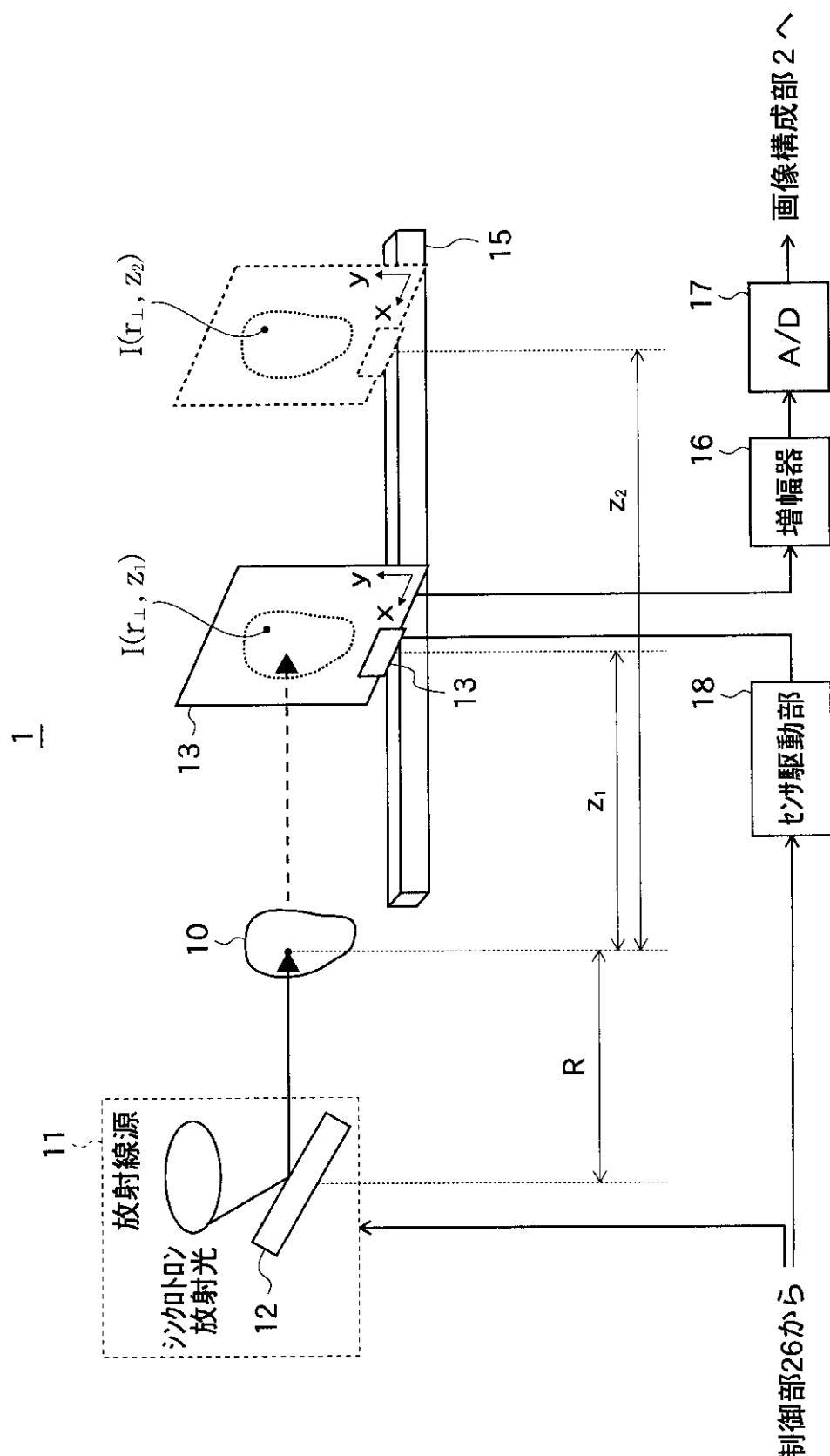
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 2

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図2】



【手続補正23】

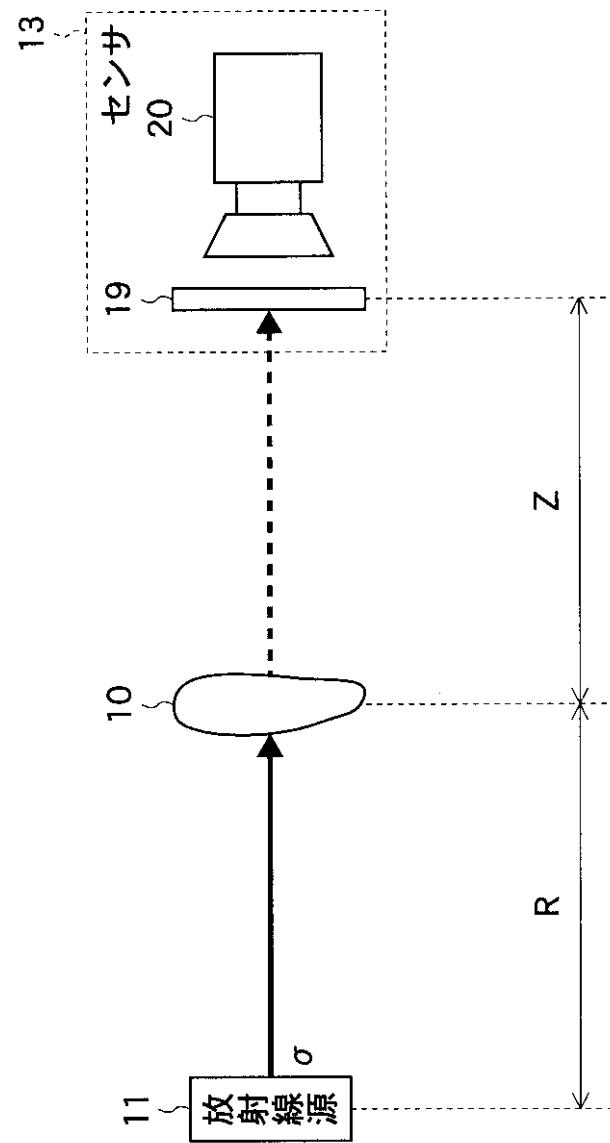
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図3

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図3】



【手続補正24】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図6

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 6】

