

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年4月23日(23.04.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/079919 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 23/041 (2018.01) H05G 1/52 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2019/030165
- (22) 国際出願日: 2019年8月1日(01.08.2019)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2018-194895 2018年10月16日(16.10.2018) JP
- (71) 出願人: 株式会社島津製作所 (SHIMADZU CORPORATION) [JP/JP]; 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 Kyoto (JP).
- (72) 発明者: 土岐 貴弘(DOKI, Takahiro); 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP). 木村 健士

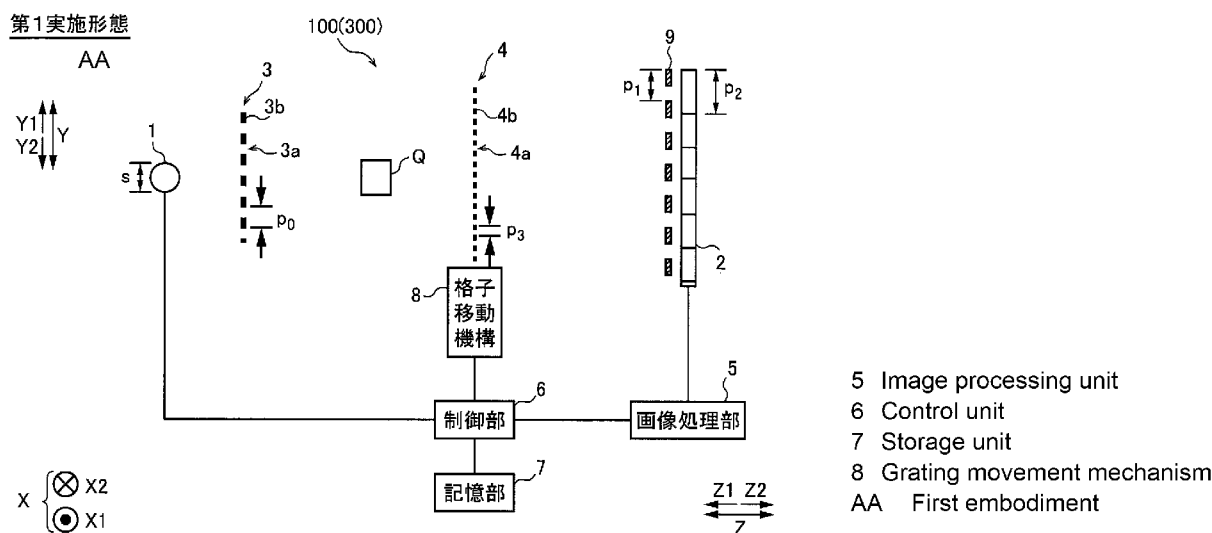
(KIMURA, Kenji); 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP). 白井 太郎(SHIRAI, Taro); 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP). 森本 直樹(MORIMOTO, Naoki); 〒6048511 京都府京都市中京区西ノ京桑原町1番地 株式会社島津製作所内 Kyoto (JP).

(74) 代理人: 宮園 博一 (MIYAZONO, Hirokazu); 〒5320011 大阪府大阪市淀川区西中島5丁目13番9号 新大阪MTビル1号館 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) Title: X-RAY PHASE IMAGING DEVICE

(54) 発明の名称: X線位相イメージング装置



(57) Abstract: This X-ray phase imaging device (100) comprises: an X-ray source (1); a detector (2); a plurality of gratings including a first grating (3) and second grating (4); and an image processing unit (5) for generating a phase contrast image (15). The relative placements of the first grating and the X-ray source or the focal spot size of the X-ray source is adjusted such that the detector does not detect an enlarged projection of the grating pattern of the first grating.

(57) 要約: このX線位相イメージング装置(100)は、X線源(1)と、検出器(2)と、第1格子(3)と第2格子(4)とを含む複数の格子と、位相コントラスト画像(15)を生成する画像処理部(5)と、を備える。そして、X線源は、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが、検出器によって検出されないように、第1格子とX線源との相対的な配置またはX線源の焦点サイズが調整される。

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH,
KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称： X線位相イメージング装置

技術分野

[0001] 本発明は、X線位相イメージング装置に関し、X線の可干渉性を高める格子を備えるX線位相イメージング装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、X線の可干渉性を高める格子を備えるX線位相イメージング装置が知られている。このようなX線位相イメージング装置は、たとえば、特開2012-16370号公報に開示されている。

[0003] 特開2012-16370号公報のX線位相イメージング装置は、X線源と、X線源の照射方向に配置された検出器と、X線源とX線画像検出器との間において、X線源の近傍に設けられたマルチスリットと、マルチスリットと検出器との間に配置された格子とを含む複数の格子と、を備えている。マルチスリットは、X線源から照射されるX線の可干渉性を高めるために設けられている。特開2012-16370号公報のX線撮像装置は、複数の格子のいずれかを格子ピッチの方向に移動させながら、X線源から照射されたX線を複数の格子を用いて干渉させることにより、検出器において検出されるX線の強度変化を表す強度変調信号を取得する。

[0004] 特開2012-16370号公報のX線撮像装置は、複数の格子の間に被写体を置かない場合の強度変調信号と、被写体を置いた場合の強度変調信号と、の位相差に基づいて、被写体内部を画像化した位相コントラスト画像を生成するように構成されている。特開2012-16370号公報に記載のような従来のX線撮像装置は、X線の吸収量ではなく、X線の位相差を利用して、被写体内を画像化することによって、X線を吸収しにくい軽元素物体や生体軟部組織を画像化することが可能である。なお、位相コントラスト画像とは、吸収像と、位相微分像と、暗視野像とを含んでいる。吸収像とは、X線が被写体を通過した際に生じるX線の減衰に基づいて画像化した像であ

る。また、位相微分像とは、X線が被写体を通過した際に発生するX線の位相のずれをもとに画像化した像である。また、暗視野像とは、物体の小角散乱に基づくV i s i b i l i t yの変化によって得られる、V i s i b i l i t y像のことである。また、暗視野像は、小角散乱像とも呼ばれる。「V i s i b i l i t y」とは、鮮明度のことである。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2012-16370号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ここで、被写体の詳細な構造を確認するために、被写体を拡大して撮像することが望まれる場合がある。この場合、鮮明度を高めることなく被写体を拡大して撮像すると、得られる画像の画質が劣化するという不都合がある。そこで、鮮明度を高めて撮像することにより、拡大した画像を撮像する場合でも、画質の低下を抑制することができる。鮮明度を高めるためには、X線源の焦点サイズを小さくすることが考えられる。しかしながら、特開2012-16370号公報では、X線源の可干渉性を高めるために、X線源にマルチスリットが設けられている。X線源にマルチスリットが備えられた構成においてX線源の焦点サイズを小さくすると、マルチスリットの格子パターンが解像され、画像上に縞模様として検出される。そのため、マルチスリットの格子パターンの縞模様によって、得られる画像の画質が劣化するという問題点がある。

[0007] この発明は、上記のような課題を解決するためになされたものであり、X線源の焦点サイズを小さくすることにより鮮明度を高めて撮像する場合でも、得られる画像の画質が劣化することを抑制することが可能なX線位相イメージング装置を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 上記目的を達成するために、この発明の一の局面におけるX線位相イメージング装置は、被写体にX線を照射するX線源と、X線源から照射されたX線を検出する検出器と、X線源と検出器との間に配置され、X線源から照射されるX線の可干渉性を高める第1格子と、第1格子からのX線が照射される第2格子とを含む複数の格子と、検出器によって検出された信号に基づいて位相コントラスト画像を生成する画像処理部と、を備え、X線源は、焦点サイズを小さくすることに起因して、X線が照射されることにより拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出される場合に、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが、検出器によって検出されないように、第1格子とX線源との相対的な配置またはX線源の焦点サイズが調整される。

[0009] この発明の一の局面におけるX線位相イメージング装置では、上記のように、X線源は、焦点サイズを小さくすることに起因して、X線が照射されることにより拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出される場合に、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが、検出器によって検出されないように、第1格子とX線源との相対的な配置またはX線源の焦点サイズが調整される。これにより、X線源の焦点サイズを小さくすることにより鮮明度を高めて撮像した場合でも、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出器によって検出されることを抑制することができる。その結果、X線源の焦点サイズを小さくすることにより鮮明度を高めて撮像する場合でも、得られる画像の画質が劣化することを抑制することができる。

[0010] 上記一の局面におけるX線位相イメージング装置において、好ましくは、X線源は、検出器によって解像されることにより、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの縞模様が検出されないように、第1格子とX線源との相対的な配置またはX線源の焦点サイズが調整される。このように構成すれば、第1格子とX線源との相対的な配置またはX線源の焦点サイズを調整することにより、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの縞模様が検出器によって解像されることを抑制することができる。その結果、たとえば、肉眼で認識できない鮮明度において、拡大されて投影された第1格子の

格子パターンの縞模様が検出器によって検出されることを抑制することが可能となるので、拡大されて投影された第1格子の格子パターンに起因して画像の画質が劣化することを、より抑制することができる。

[0011] 上記一の局面におけるX線位相イメージング装置において、好ましくは、X線源は、X線の光軸方向において、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出器によって検出されない位置に、第1格子から離間して配置される。このように構成すれば、焦点サイズを小さくすることに起因して、X線が照射されることにより拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出される場合でも、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの拡大率を小さくすることができる。その結果、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが解像されなくなるため、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出器によって検出されることを抑制することが可能となり、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出されることに起因して画像の画質が劣化することを抑制することができる。

[0012] 上記一の局面におけるX線位相イメージング装置において、好ましくは、X線源は、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの1周期が、検出器の画素サイズよりも小さくなるような拡大率となる位置に配置される。このように構成すれば、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの1周期の大きさを、検出器の画素サイズよりも小さくすることが可能となるので、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出器によって検出されることをより抑制することができる。その結果、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出されることに起因して画像の画質が劣化することをより抑制することができる。

[0013] この場合、好ましくは、X線源は、以下の式(1)～(3)を定義した場合、以下の式(4)を満たすような位置に配置される。

[数1]

$$m = R/r_0 \quad \cdots (1)$$

$$p_1 = m \times p_0 \quad \cdots (2)$$

$$n = p_1/p_2 \quad \cdots (3)$$

$$n \leq 1 \quad \cdots (4)$$

ここで、 m は、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの拡大率である。また、 R は、X線源と検出器との間の距離である。また、 r_0 は、X線源と第1格子との間の距離である。また、 p_1 は、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの周期である。また、 p_0 は、第1格子の格子周期である。また、 n は、拡大されて投影された第1格子の格子パターンに含まれる画素数である。また、 p_2 は、検出器の画素サイズである。

このように構成すれば、上記式(4)を満たす位置にX線源を配置することにより、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの1周期の大きさを、検出器の画素サイズよりも容易に小さくすることができる。その結果、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出されることに起因して画像の画質が劣化することを、より容易に抑制することができる。

[0014] 上記一の局面におけるX線位相イメージング装置において、好ましくは、X線源の焦点サイズの大きさに起因して生じる、拡大されて投影された第1格子の格子パターンのぼけ量が、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出器によって検出されなくなるぼけ量となるように、X線源の焦点サイズが設定される。このように構成すれば、焦点サイズを小さくすることに起因して、X線が照射されることにより拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出される場合でも、拡大されて投影された第1格子の格子パターンをぼけさせることができる。その結果、拡大されて投影された第1格子の格子パターンを検出器で検出できなくなるまでぼけさせることが可能となるので、拡大されて投影された第1格子の格子パターンに起因して、画像の画質が劣化することを抑制することができる。

[0015] ここで、本願発明者らが鋭意検討した結果、ぼけ量が、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの1周期の3.0倍以上となった場合に、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出器によって検出されないという知見を得た。この知見に基づいて、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出器によって検出されなくなるぼけ量となるように、X線源の焦点サイズが設定される場合、好ましくは、X線源は、ぼけ量が、拡大さ

れて投影された第1格子の格子パターンの1周期の3.0倍以上、の範囲となるように、X線源の焦点サイズが設定される。このように構成すれば、拡大されて投影された第1格子の格子パターンを、検出器によって検出されなくなるまで容易にぼけさせることができる。その結果、拡大されて投影された第1格子の格子パターンに起因して、画像の画質が劣化することを容易に抑制することができる。

[0016] 上記拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出器によって検出されなくなるぼけ量となるように、X線源の焦点サイズが設定される構成において、好ましくは、X線源は、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの1周期が、検出器の画素サイズよりも大きくなる場合に、以下の式(5)により定義されるぼけ量の大きさが、以下の式(6)を満たすように、X線源の焦点サイズが設定される。

[数2]

$$b = (R - r_0) s / r_0 \quad \dots (5)$$

$$3.0 \times p_1 \leq b \quad \dots (6)$$

ここで、 b は、上記ぼけ量である。また、 s は、X線源の焦点サイズである。

このように構成すれば、拡大されて投影された第1格子の格子パターンの1周期の大きさを、検出器の画素サイズよりも小さくすることが困難な場合でも、拡大されて投影された第1格子の格子パターンが検出器によって検出されることを容易に抑制することができる。その結果、X線源の焦点サイズ s を、上記式(6)を満たす焦点サイズに調整することにより、拡大されて投影された第1格子の格子パターンに起因して画像の画質が劣化することを容易に抑制することができる。

[0017] 上記一の局面におけるX線位相イメージング装置において、好ましくは、第2格子と、検出器との間に配置された第3格子をさらに含む。このように構成すれば、検出器の画素サイズの大きさが、第2格子の自己像の1周期の大きさよりも大きい場合でも、モアレ縞を検出することにより、位相コント

ラスト画像を生成することができる。その結果、検出器の画素サイズに依存することなく位相コントラスト画像を生成することが可能となるので、検出器の選択の自由度を向上させることができる。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、上記のように、X線源の焦点サイズを小さくすることにより鮮明度を高めて撮像する場合でも、得られる画像の画質が劣化することを抑制することが可能なX線位相イメージング装置を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]第1実施形態によるX線位相イメージング装置をX方向から見た模式図である。

[図2]第1実施形態によるX線位相イメージング装置が備える格子移動機構の斜視図である。

[図3]第1比較例による検出器によって検出される拡大されて投影された第1格子の格子パターンを説明するための模式図である。

[図4]第1比較例によるX線位相イメージング装置によって取得される吸収像の模式図（A）、位相微分像の模式図（B）および暗視野像の模式図（C）である。

[図5]第1実施形態による検出器によって検出される拡大されて投影された第1格子の格子パターンを説明するための模式図である。

[図6]第1実施形態によるX線位相イメージング装置によって取得される吸収像の模式図（A）、位相微分像の模式図（B）および暗視野像の模式図（C）である。

[図7]第2実施形態による検出器によって検出される拡大されて投影された第1格子の格子パターンのぼけ量を説明するための模式図である。

[図8]第2比較例による検出器によって検出される拡大されて投影された第1格子の格子パターンのぼけ量を説明するための模式図である。

[図9]X線源の焦点サイズを変更した場合の、拡大されて投影された第1格子

の格子パターンの変化と、フーリエ変換画像の変化とを説明するための模式図である。

[図10]変形例によるX線位相イメージング装置をX方向から見た模式図である。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、本発明を具体化した実施形態を図面に基づいて説明する。

[0021] [第1実施形態]

図1～図6を参照して、第1実施形態によるX線位相イメージング装置100の構成について説明する。

[0022] (X線位相イメージング装置の構成)

まず、図1を参照して、本発明の本実施形態によるX線位相イメージング装置100の構成について説明する。

[0023] 図1に示すように、X線位相イメージング装置100は、タルボ(Talbot)効果を利用して、被写体Qの内部を画像化する装置である。X線位相イメージング装置100は、複数の格子のうち、いずれか1つを、格子の周期方向(Y方向)に並進移動させながら被写体Qを撮像するように構成されている。

[0024] 図1に示すように、X線位相イメージング装置100は、X線源1と、検出器2と、第1格子3と第2格子4とを含む複数の格子と、画像処理部5と、制御部6と、記憶部7と、格子移動機構8と、を備えている。なお、本明細書において、X線源1から第1格子3に向かう方向をZ2方向、その逆方向をZ1方向とする。また、Z方向と直交する紙面内の左右方向をX方向とし、図1の紙面の奥に向かう方向をX2方向、図1の紙面の手前側に向かう方向をX1方向とする。また、Z方向と直交する面内の上下方向をY方向とし、上方向をY1方向、下方向をY2方向とする。

[0025] X線源1は、高電圧が印加されることにより、X線を発生させるとともに、発生されたX線を被写体Qに向けて照射するように構成されている。なお、X線源1は、焦点サイズsが調整されることにより、得られる画像の鮮明

度が調整される。焦点サイズ s を小さくした場合、得られる画像の鮮明度を高めることができる。

[0026] 第1格子3は、Y方向に所定の周期（ピッチ） p_0 で配列される複数のスリット3aおよび、X線吸収部3bを有している。各スリット3aおよびX線吸収部3bはそれぞれ、X方向に沿って直線状に延びるように形成されている。また、各スリット3aおよびX線吸収部3bはそれぞれ、互いに平行に延びるように形成されている。第1格子3は、いわゆる吸収格子である。第1格子3には、X線源1からX線が照射される。第1格子3は、各スリット3aを通過したX線を、各スリット3aの位置に対応する線光源とするように構成されている。

[0027] 第2格子4は、第1格子3と、検出器2との間に配置されており、第1格子3を通過したX線が照射される。第2格子4は、タルボ効果により、第2格子4の自己像（図示せず）を形成するために設けられている。可干渉性を有するX線が、スリットが形成された格子を通過すると、格子から所定の距離（タルボ距離）離れた位置に、格子の像（自己像）が形成される。これをタルボ効果という。

[0028] 第2格子4は、Y方向に所定の周期（ピッチ） p_3 で配列される複数のスリット4aおよび、X線位相変化部4bを有している。各スリット4aおよびX線位相変化部4bはそれぞれ、X方向に沿って直線状に延びるように形成されている。また、各スリット4aおよびX線位相変化部4bはそれぞれ、互いに平行に延びるように形成されている。第2格子4は、いわゆる位相格子である。第1格子3、第2格子4はそれぞれ異なる役割を持つ格子であるが、スリット3aおよびスリット4aはそれぞれX線を透過させる。また、X線吸収部3bはX線を遮蔽する役割を担っており、X線位相変化部4bはスリット4aとの屈折率の違いによってX線の位相を変化させる。

[0029] 検出器2は、X線を検出するとともに、検出されたX線を電気信号に変換し、変換された電気信号を画像信号として読み取るように構成されている。検出器2は、たとえば、FPD（Flat Panel Detector）

）である。検出器 2 は、複数の変換素子（図示せず）と複数の変換素子上に配置された画素電極（図示せず）とにより構成されている。複数の変換素子および画素電極は、所定の周期（画素サイズ p_2 ）で、X 方向および Y 方向にアレイ状に配列されている。また、検出器 2 は、取得した画像信号を、画像処理部 5 に出力するように構成されている。

[0030] 画像処理部 5 は、検出器 2 から出力された画像信号に基づいて、位相コントラスト画像 15（図 4 参照）を生成するように構成されている。第 1 実施形態では、画像処理部 5 は、たとえば、位相コントラスト画像 15 として、吸収像 15 a（図 4 参照）、位相微分像 15 b（図 4 参照）および暗視野像 15 c（図 4 参照）を生成する。画像処理部 5 は、たとえば、GPU（Graphics Processing Unit）または画像処理用に構成された FPGA（Field-Programmable Gate Array）などのプロセッサを含む。

[0031] 制御部 6 は、格子移動機構 8 を制御して、第 2 格子 4 を移動させるように構成されている。制御部 6 は、たとえば、CPU（Central Processing Unit）、ROM（Read Only Memory）および RAM（Random Access Memory）などを含む。

[0032] 記憶部 7 は、画像処理部 5 が生成した位相コントラスト画像 15 などを保存するように構成されている。記憶部 7 は、たとえば、HDD（Hard Disk Drive）や不揮発性のメモリなどを含む。

[0033] 格子移動機構 8 は、制御部 6 の制御の下、第 2 格子 4 を移動可能に構成されている。また、格子移動機構 8 は、第 2 格子 4 を保持している。

[0034] （格子移動機構）

図 2 に示すように、格子移動機構 8 は、X 方向、Y 方向、Z 方向、Z 方向の軸線周りの回転方向 R_z 、X 方向の軸線周りの回転方向 R_x 、および、Y 方向の軸線周りの回転方向 R_y に第 1 格子 3 を移動可能に構成されている。具体的には、格子移動機構 8 は、X 方向直動機構 80 と、Y 方向直動機構 8

1 と、Z 方向直動機構 8 2 と、直動機構接続部 8 3 と、ステージ支持部駆動部 8 4 と、ステージ支持部 8 5 と、ステージ駆動部 8 6 と、ステージ 8 7 とを含む。X 方向直動機構 8 0 は、X 方向に移動可能に構成されている。X 方向直動機構 8 0 は、たとえば、モータなどを含む。Y 方向直動機構 8 1 は、Y 方向に移動可能に構成されている。Y 方向直動機構 8 1 は、たとえば、モータなどを含む。Z 方向直動機構 8 2 は、Z 方向に移動可能に構成されている。Z 方向直動機構 8 2 は、たとえば、モータなどを含む。

[0035] 格子移動機構 8 は、X 方向直動機構 8 0 の動作により、第 1 格子 3 を X 方向に移動させるように構成されている。また、格子移動機構 8 は、Y 方向直動機構 8 1 の動作により、第 1 格子 3 を Y 方向に移動させるように構成されている。また、格子移動機構 8 は、Z 方向直動機構 8 2 の動作により、第 1 格子 3 を Z 方向に移動させるように構成されている。

[0036] ステージ支持部 8 5 は、ステージ 8 7 を下方（Y 1 方向）から支持している。ステージ駆動部 8 6 は、ステージ 8 7 を X 方向に往復移動させるように構成されている。ステージ 8 7 は、底部がステージ支持部 8 5 に向けて凸曲面状に形成されており、X 方向に往復移動されることにより、Z 方向の軸線周り（R_z 方向）に回転するように構成されている。また、ステージ支持部駆動部 8 4 は、ステージ支持部 8 5 を Z 方向に往復移動させるように構成されている。また、ステージ支持部 8 5 は底部が直動機構接続部 8 3 に向けて凸曲面状に形成されており、Z 方向に往復移動されることにより、X 方向の軸線周り（R_x 方向）に回転するように構成されている。また、直動機構接続部 8 3 は、Y 方向の軸線周り（R_y 方向）に回転可能に X 方向直動機構 8 0 に設けられている。したがって、格子移動機構 8 は、格子を Y 方向の中心軸線周りに回転させることができる。

[0037] ここで、被写体 Q を拡大して撮像する場合、鮮明度を高めることなく拡大して撮像すると、得られる位相コントラスト画像 1 5 が不鮮明となる場合がある。そこで、得られる位相コントラスト画像 1 5 の鮮明度を高めることが考えられる。X 線源 1 の焦点サイズ s を小さくすることにより、得られる位

相コントラスト画像 15 の鮮明度を高めることができる。しかしながら、X線源 1 の焦点サイズ s を小さくした場合、第 1 格子 3 が解像されることにより、検出器 2 において、第 1 格子 3 の格子パターン 9 (図 1 参照) が拡大されて投影される。拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 の周期 p_1 (図 1 参照) の大きさによっては、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 が検出器 2 によって検出される場合がある。以下、図 3 を参照して、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 が検出器 2 によって検出される場合について説明する。

[0038] (第 1 比較例)

図 3 は、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 が検出器 2 によって検出される場合の比較例による X 線位相イメージング装置 200 を X 方向から見た模式図である。図 3 に示すように、X 線位相イメージング装置 200 は、X 線源 11 と、検出器 12 と、第 1 格子 13 と、制御部 (図示せず) と、記憶部 (図示せず) と、格子移動機構 (図示せず) とを備える。なお、図 3 に示す X 線源 11 と、検出器 12 と、第 1 格子 13 とは、それぞれ、図 1 に示す X 線位相イメージング装置 100 が備える X 線源 1 と、検出器 2 と、第 1 格子 3 と、同様の構成である。

[0039] 図 3 に示す例は、X 線源 1 と、第 1 格子 13 との間の距離が、距離 R_1 となる位置に第 1 格子 13 を配置している。また、図 3 に示す例は、X 線源 11 と検出器 14 との間の距離が、距離 R_2 となる位置に検出器 14 を配置している。

[0040] 図 3 では、第 1 格子 13 は、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 19 の 1 周期 p_4 の大きさが、検出器 12 の画素サイズ p_2 の大きさよりも大きくなる例を示している。拡大されて投影された第 1 格子 13 の格子パターン 19 の 1 周期 p_4 の大きさが、検出器 12 の画素サイズ p_2 よりも大きくなる場合、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 19 が解像され、生成される位相コントラスト画像 15 において、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 が縞模様 SP (図 4 参照) として検出される。

[0041] 図4 (A) は、第1比較例によるX線位相イメージング装置200によって得られる吸収像15aの模式図である。図4 (B) は、第1比較例によるX線位相イメージング装置200によって得られる位相微分像15bの模式図である。図4 (C) は、第1比較例によるX線位相イメージング装置200によって得られる暗視野像15cの模式図である。図4 (A) ~図4 (C) に示す各位相コントラスト画像15において、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因する縞模様SPが検出される。そのため、位相コントラスト画像15の画質が劣化している。

[0042] そこで、第1実施形態では、X線源1は、焦点サイズsを小さくすることに起因して、X線が照射されることにより拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出される場合に、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が、検出器2によって検出されないように、第1格子3とX線源1との相対的な配置が調整される。具体的には、X線源1は、検出器2によって解像されることにより、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPが検出されないように、第1格子3とX線源1との相対的な配置が調整される。

[0043] 図5に示すように、第1実施形態では、X線源1は、X線の光軸方向(Z方向)において、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出器2によって検出されない位置に、第1格子3から離間して配置される。具体気には、X線源1は、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 が、検出器2の画素サイズ p_2 よりも小さくなるような拡大率 m となる位置に配置される。より具体的には、X線源1は、以下の式(1) ~ (3)を定義した場合、以下の式(4)を満たすような位置に配置される。なお、図5には、比較のために、第1比較例によるX線位相イメージング装置200におけるX線源11を破線で図示している。

[数3]

$$m = R/r_0 \quad \dots (1)$$

$$p_1 = m \times p_0 \quad \dots (2)$$

$$n = p_1/p_2 \quad \dots (3)$$

$$n \leq 1 \quad \dots (4)$$

なお、 m は、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の拡大率である。また、 R は、X線源1と検出器2との間の距離である。また、 r_0 は、X線源1と第1格子3との間の距離である。また、 p_1 は、拡大されて投影された第1格子3の周期である。また、 p_0 は、第1格子3の周期である。また、 n は、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に含まれる画素数である。また、 p_2 は、検出器2の画素サイズである。

[0044] 図5に示すように、上記式(4)を満たす位置にX線源1を配置した場合、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 が、検出器2の画素サイズ p_2 よりも小さくなる。そのため、検出器2によって拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出されなくなる。なお、X線源1と第1格子3との間の距離 r_0 を遠ざけると、検出器2に到達するX線の線量が低下する。そのため、X線の線量不足に起因する位相コントラスト画像15の画質の劣化を抑制するために、撮像時間を長くしなければならない。しかしながら、撮像時間を長くすると、被ばく量が増加するため、好ましくない。

[0045] そこで、第1実施形態では、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因する位相コントラスト画像15の画質の劣化を抑制しつつ、被ばく量を増加させないために、上記式(4)における n が1に近づくような相対位置にX線源1と第1格子3とを配置する。好ましくは、 $n=1$ となる相対位置にX線源1と第1格子3とを配置する。また、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因する位相コントラスト画像15の画質の劣化をより抑制したい場合には、 n が0.8~0.9となる位置に相対位置にX線源1と第1格子3とを配置してもよい。すなわち、 n の値が、以下の式(7)を満たすような相対位置に、相対位置にX線源1と第1格子3とを配置すればよい。

[数4]

$$0.8 \leq n \leq 1 \quad \cdots (7)$$

[0046] 図6(A)は、第1実施形態によるX線位相イメージング装置100によ

って得られる吸収像 15 a の模式図である。図 6 (B) は、第 1 実施形態による X 線位相イメージング装置 100 によって得られる位相微分像 15 b の模式図である。図 6 (C) は、第 1 実施形態による X 線位相イメージング装置 100 によって得られる暗視野像 15 c の模式図である。図 6 (A) ~ 図 6 (C) に示す各位相コントラスト画像 15 では、図 4 (A) ~ 図 4 (C) に示す各位相コントラスト画像 15 と異なり、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 に起因する縞模様 SP が検出されていない。したがって、上記式 (4) を満たす位置に X 線源 1 を配置することにより、鮮明度を高めた場合でも、位相コントラスト画像 15 の画質が劣化することを抑制することができる。

[0047] (第 1 実施形態の効果)

第 1 実施形態では、以下のような効果を得ることができる。

[0048] 第 1 実施形態では、上記のように、X 線位相イメージング装置 100 は、被写体 Q に X 線を照射する X 線源 1 と、X 線源 1 から照射された X 線を検出する検出器 2 と、X 線源 1 と検出器 2 との間に配置され、X 線源 1 から照射される X 線の可干渉性を高める第 1 格子 3 と、第 1 格子 3 からの X 線が照射される第 2 格子 4 とを含む複数の格子と、検出器 2 によって検出された信号に基づいて位相コントラスト画像 15 を生成する画像処理部 5 と、を備え、X 線源 1 は、焦点サイズ s を小さくすることに起因して、X 線が照射されることにより拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 が検出される場合に、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 が、検出器 2 によって検出されないように、第 1 格子 3 と X 線源 1 との相対的な配置が調整される。これにより、X 線源 1 の焦点サイズ s を小さくすることにより鮮明度を高めて撮像した場合でも、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 が検出器 2 によって検出されることを抑制することができる。その結果、X 線源 1 の焦点サイズ s を小さくすることにより鮮明度を高めて撮像する場合でも、得られる位相コントラスト画像 15 の画質が劣化することを抑制することができる。

[0049] また、第1実施形態では、上記のように、X線源1は、検出器2によって解像されることにより、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPが検出されないように、第1格子3とX線源1との相対的な配置が調整される。これにより、第1格子3とX線源1との相対的な配置を調整することにより、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPが検出器2によって解像されることを抑制することができる。その結果、たとえば、肉眼で認識できない鮮明度において、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPが検出器2によって検出されることを抑制することが可能となるので、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因して位相コントラスト画像15の画質が劣化することを、より抑制することができる。

[0050] また、第1実施形態では、上記のように、X線源1は、X線の光軸方向（Z方向）において、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出器2によって検出されない位置に、第1格子3から離間して配置される。これにより、焦点サイズsを小さくすることに起因して、X線が照射されることにより拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出される場合でも、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の拡大率mを小さくすることができる。その結果、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が解像されなくなるため、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出器2によって検出されることを抑制することが可能となり、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出されることに起因して画像の画質が劣化することを抑制することができる。

[0051] また、第1実施形態では、上記のように、X線源1は、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 が、検出器2の画素サイズ p_2 よりも小さくなるような拡大率mとなる位置に配置される。これにより、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の大きさを、検出器2の画素サイズ p_2 よりも小さくすることが可能となるので、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出器2によって検出されること

をより抑制することができる。その結果、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出されることに起因して位相コントラスト画像15の画質が劣化することをより抑制することができる。

[0052] また、第1実施形態では、上記のように、X線源1は、上記式(1)～(3)を定義した場合、上記式(4)を満たすような位置に配置される。これにより、上記式(4)を満たす位置にX線源1を配置することにより、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の大きさを、検出器2の画素サイズ p_2 よりも容易に小さくすることができる。その結果、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出されることに起因して位相コントラスト画像15の画質が劣化することを、より容易に抑制することができる。

[0053] [第2実施形態]

次に、図1および図7～図9を参照して、第2実施形態によるX線位相イメージング装置300(図1参照)の構成について説明する。拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出器2において検出されなくなるようにX線源1と第1格子3との間の距離 r_0 を調整する第1実施形態と異なり、第2実施形態によるX線位相イメージング装置300では、X線が照射されることにより拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が、検出器2によって検出されないように、X線源1の焦点サイズ s が調整される。なお、上記第1実施形態と同様の構成については同様の符号を付し、説明を省略する。

[0054] 図1に示すように、X線位相イメージング装置300は、X線源1と、検出器2と、第1格子3と、第2格子4と、画像処理部5と、制御部6と、記憶部7と、格子移動機構8とを備える。X線位相イメージング装置300は、X線源1と第1格子3との間の距離 r_0 およびX線源1の焦点サイズ s が異なる点を除いて、第1実施形態によるX線位相イメージング装置100と同様の構成である。

[0055] 第2実施形態では、X線が照射されることにより拡大されて投影された第

1 格子 3 の格子パターン 9 が、検出器 2 によって検出されないように、X 線源 1 の焦点サイズ s が調整される。具体的には、X 線源 1 の焦点サイズ s の大きさに起因して生じる、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 のぼけ量 b が、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 が検出器 2 によって検出されなくなるぼけ量 b となるように、X 線源 1 の焦点サイズ s が設定される。

[0056] ここで、図 7 を参照して、ぼけ量 b について説明する。図 7 に示すように、X 線源 1 の Y 1 方向側から照射される X 線 X R 1 と、X 線源 1 の Y 2 方向側から照射される X 線 X R 2 とでは、第 1 格子 3 の同一箇所に向けて照射された場合でも、検出器 2 において到達する Y 方向の位置が異なる。検出器 2 において到達する位置が異なるため、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 の輪郭がぼける。拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 の輪郭がぼける量が、ぼけ量 b である。ぼけ量 b が小さい場合、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 の縞模様 S P の輪郭が鮮明となり、縞模様 S P が鮮明に検出される。一方、ぼけ量 b が大きい場合、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 の輪郭が不鮮明となり、縞模様 S P が鮮明に検出されなくなり、ぼけ量 b が所定の大きさ以上になると、縞模様 S P として検出されなくなる。

[0057] 拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 のぼけ量 b は、以下に示す式 (5) により取得される。

[数5]

$$b = (R - r_0) s / r_0 \quad \cdots (5)$$

[0058] 鮮明度を高めて撮像することにより、位相コントラスト画像 1 5 を取得する場合、X 線源 1 の焦点サイズ s を小さくすることが考えられる。以下、図 8 を参照して、X 線源の焦点サイズを小さくした場合のぼけ量 b について説明する。

[0059] (第 2 比較例)

図 8 に示す X 線位相イメージング装置 4 0 0 は、X 線源 2 1 と、検出器 2

2と、第1格子33と、を備えている。X線源21は、焦点サイズ s_c が、上記第1実施形態によるX線源1の焦点サイズ s よりも小さい点を除いて、X線源1と同様の構成である。また、検出器22、および第1格子33は、それぞれ、上記第1実施形態による検出器2および第1格子3と同様の構成である。

[0060] 図8に示す例では、X線源21の焦点サイズ s_c が、X線源1の焦点サイズ s よりも小さい場合を示している。図8に示す構成においても、X線源21の焦点サイズ s_c とぼけ量 b_c との関係は、上記式(5)と同様である。したがって、X線源21の焦点サイズ s_c が小さくなると、拡大されて投影された第1格子13の格子パターン9のぼけ量 b_c が小さくなる。拡大されて投影された第1格子13の格子パターン9のぼけ量 b_c が小さくなると、拡大されて投影された第1格子13の格子パターン9の縞模様SP(図示せず)が鮮明となるため、位相コントラスト画像15において、拡大されて投影された第1格子13の格子パターン9の縞模様SPが検出される。

[0061] ここで、本発明の発明者らは、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b が、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の3.0倍以上の範囲となる場合に、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出器2によって検出されなくなるという知見を得た。

[0062] 上記知見に基づいて、第2実施形態では、X線源1は、ぼけ量 b が、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の3.0倍以上の範囲となるように、X線源1の焦点サイズ s が設定される。具体的には、X線源1は、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 が、検出器2の画素サイズ p_2 よりも大きくなる場合に、上記式(5)により定義されるぼけ量 b の大きさが、以下の式(6)を満たすように、X線源1の焦点サイズ s が設定される。

[数6]

$$3.0 \times p_1 \leq b \quad \cdots (6)$$

[0063] なお、X線源1および複数の格子の配置によっては、ぼけ量 b が拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の3.0倍となるようにX線源1の焦点サイズ s を調整したとしても、第1格子3の格子パターン9が検出される場合がある。そのような場合は、第1格子3の格子パターン9が検出されないようなぼけ量 b の大きさとなるように、X線源1の焦点サイズ s を調整すればよい。たとえば、ぼけ量 b の大きさが、ぼけ量 b が拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の6.5倍となるように、X線源1の焦点サイズ s を調整すればよい。また、ぼけ量 b の上限については、特に制限はないが、得られる位相コントラスト画像15の画質の劣化が許容できる範囲において、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出されないようにX線源1の焦点サイズ s を調整すればよい。

[0064] 第1実施形態では、X線源1と第1格子3との間の距離 r_0 を大きくすることにより、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9を検出器2において検出されなくする構成であった。しかしながら、たとえば、鮮明度を高めるために、X線源1の焦点サイズ s を小さく設定する際に、X線源1と第1格子3とを、上記式(4)を満たす位置にX線源1を配置できない場合がある。その場合でも、上記式(6)を満たす焦点サイズ s に設定することにより、位相コントラスト画像15の鮮明度を高めつつ、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因して位相コントラスト画像15の画質の劣化を抑制することができる。

[0065] なお、図7に示すX線源1は、第1実施形態におけるX線源1の焦点サイズ s （図1参照）および第2比較例におけるX線源21の焦点サイズ s_c （図8参照）よりも焦点サイズ s を大きく図示している。これは、第1実施形態におけるX線源1の焦点サイズ s および第2比較例におけるX線源21の焦点サイズ s_c が、鮮明度を高めるために焦点サイズ s および焦点サイズ s_c を小さくしているからである。なお、第2実施形態におけるX線源1の焦点サイズ s は、一般的なX線撮像を行う際のX線源の焦点サイズよりも小さ

く設定される。すなわち、第2実施形態におけるX線源1の焦点サイズ s は、鮮明度を高めるために、通常のX線撮影を行う際の焦点サイズよりも小さく設定され、かつ、ぼけ量 b を上記式(6)の範囲とするために、上記第1実施形態におけるX線源1の焦点サイズ s よりも大きく設定される。

[0066] (実験例)

次に、図9を参照して、上記知見を得た実験について説明する。

[0067] 図9は、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b の範囲を取得するために、X線源1の焦点サイズ s を変更して撮像したX線画像17およびX線画像17をフーリエ変換(FT)することにより得られたフーリエ変換画像18である。なお、フーリエ変換画像18には、0次ピーク30と、1次ピーク31とが写っている。フーリエ変換画像18における0次ピーク30と1次ピーク31とのうち、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPに起因するピークが1次ピーク31である。

[0068] 図9に示す実験例では、X線画像17における拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPの有無を、フーリエ変換画像18における1次ピーク31が検出されたか否かによって判定している。すなわち、肉眼において拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPが確認できない場合でも、フーリエ変換画像18において1次ピーク31が編出された場合には、X線画像17において拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPが検出されとみなす。

[0069] なお、図9に示す例では、X線源1と検出器2との間の距離 R が、1120mmとなる位置にX線源1および検出器2を配置して実験を行った。また、図9に示す例では、X線源1と、第1格子3との間の距離 r_0 が、100mmとなる位置に、X線源1および第1格子3を配置して実験を行った。また、図9に示す例では、格子周期 p_0 が、9 μ mである第1格子3を用いて実験を行った。また、図9に示す例では、画素サイズ p_2 が75 μ mである検出器2を用いて実験を行った。以上の条件により、図9に示す例では、拡大さ

れて投影された第1格子3の格子パターン9の周期 p_1 が $100.8\mu\text{m}$ となり、上記式(4)における n が、 1.34 となる条件において実験を行った。

[0070] 図9(A)に示す例は、X線源1の焦点サイズ s を $10\mu\text{m}$ に設定して撮像されたX線画像17aの模式図である。X線源1の焦点サイズ s が $10\mu\text{m}$ に設定されているため、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b が、 $102\mu\text{m}$ となった。すなわち、X線画像17aは、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b が、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の 1.01 倍となるように、X線源1の焦点サイズ s を調整した例である。X線画像17aでは、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPが確認できた。

[0071] X線画像17aをフーリエ変換して得られたフーリエ変換画像18aでは、0次ピーク30と、1次ピーク31とが確認できた。したがって、X線源1の焦点サイズ s を $10\mu\text{m}$ に設定した場合には、X線画像17aにおいて、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPを確認することができたとともに、フーリエ変換画像18aにおいても、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因する1次ピーク31が確認できた。

[0072] 図9(B)に示す例は、X線源1の焦点サイズ s を $12\mu\text{m}$ に設定したため、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b が、 $122\mu\text{m}$ となったX線画像17bの模式図である。すなわち、X線画像17bは、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b が、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の 1.21 倍となるように、X線源1の焦点サイズ s を調整した例である。X線画像17bにおいても、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPが確認できた。

[0073] X線画像17bをフーリエ変換して得られたフーリエ変換画像18bでは、0次ピーク30と、1次ピーク31とが確認できた。したがって、X線源

1の焦点サイズ s を $12\mu\text{m}$ に設定した場合には、X線画像17bにおいて、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPを確認することができたとともに、フーリエ変換画像18bにおいても、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因する1次ピーク31が確認できた。

[0074] 図9(C)に示す例は、X線源1の焦点サイズ s を $14\mu\text{m}$ に設定したため、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b が、 $143\mu\text{m}$ となったX線画像17cの模式図である。すなわち、X線画像17cは、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b が、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の1.42倍となるように、X線源1の焦点サイズ s を調整した場合の例である。X線画像17cにおいても、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPが確認できた。

[0075] X線画像17cをフーリエ変換して得られたフーリエ変換画像18cでは、0次ピーク30と、1次ピーク31とが確認できた。したがって、X線源1の焦点サイズ s を $14\mu\text{m}$ に設定した場合には、X線画像17cにおいて、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPを確認することができたとともに、フーリエ変換画像18Cにおいても、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因する1次ピーク31が確認できた。

[0076] 図9(D)に示す例は、X線源1の焦点サイズ s を $16\mu\text{m}$ に設定したため、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b が、 $163\mu\text{m}$ となったX線画像17dの模式図である。すなわち、X線画像17dは、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量 b が、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の1.62倍となるように、X線源1の焦点サイズ s を調整した場合の例である。X線画像17dにおいては、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPは確認できなかった。

[0077] X線画像17dをフーリエ変換して得られたフーリエ変換画像18dでは、0次ピーク30と、1次ピーク31とが確認できた。X線源1の焦点サイズsを $16\mu\text{m}$ に設定した場合には、X線画像17dにおいて、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPを確認することができなかった。しかし、フーリエ変換画像18bにおいては、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因する1次ピーク31が確認できた。

[0078] 図9(E)に示す例は、X線源1の焦点サイズsが $30\mu\text{m}$ に設定されているため、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量bが、 $306\mu\text{m}$ となっているX線画像17e。したがって、X線画像17eは、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量bが、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の3.04倍となるように、X線源1の焦点サイズsを調整した場合の例である。

[0079] X線画像17eをフーリエ変換して得られたフーリエ変換画像18eでは、0次ピーク30は確認できたが、1次ピーク31は確認できなかった。X線源1の焦点サイズsを $30\mu\text{m}$ に設定した場合には、X線画像17eにおいて、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の縞模様SPを確認することができなかったとともに、フーリエ変換画像18eにおいても、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9に起因する1次ピーク31が確認できなかった。

[0080] 図9(A)～図9(E)に示すように、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量bが大きくなるにつれて、X線画像17における縞模様SPが不鮮明となった。ぼけ量bが、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の1.6倍以上になった場合に、肉眼で確認することができなくなった。また、フーリエ変換画像18においては、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量bが大きくなるにつれて、1次ピーク31の強度（信号強度）が小さくなった。ぼけ量bが、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9の1周期 p_1 の3倍以上になった場合に、1次ピーク31が検出されなくなった。なお、図9に示す例で

は、便宜上、1次ピーク31の強度（信号強度）を、1次ピーク31の大きさおよび図示する線の太さで表現している。これらにより、ぼけ量bの範囲が上記式（6）に示す範囲となる場合に、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出されなくなるという実験結果を得た。

[0081] なお、第2実施形態のその他の構成は、上記第1実施形態と同様である。

[0082] （第2実施形態の効果）

第2実施形態では、以下のような効果を得ることができる。

[0083] 第2実施形態では、上記のように、被写体QにX線を照射するX線源1と、X線源1から照射されたX線を検出する検出器2と、X線源1と検出器2との間に配置され、X線源1から照射されるX線の可干渉性を高める第1格子3と、第1格子3からのX線が照射される第2格子4とを含む複数の格子と、検出器2によって検出された信号に基づいて位相コントラスト画像15を生成する画像処理部5と、を備え、X線源1は、焦点サイズsを小さくすることに起因して、X線が照射されることにより拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出される場合に、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が、検出器2によって検出されないように、X線源1の焦点サイズsが調整される。これにより、上記第1実施形態によるX線位相イメージング装置100と同様に、X線源1の焦点サイズsを小さくすることにより鮮明度を高めて撮像する場合でも、得られる位相コントラスト画像15の画質が劣化することを抑制することができる。

[0084] また、第2実施形態では、上記のように、X線源1の焦点サイズsの大きさに起因して生じる、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9のぼけ量bが、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出器2によって検出されなくなるぼけ量bとなるように、X線源1の焦点サイズsが設定される。これにより、焦点サイズsを小さくすることに起因して、X線が照射されることにより拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9が検出される場合でも、拡大されて投影された第1格子3の格子パターン9をぼけさせることができる。その結果、拡大されて投影された第1格子3の

格子パターン 9 を検出器 2 で検出できなくなるまでぼけさせることが可能となるので、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 に起因して、位相コントラスト画像 15 の画質が劣化することを抑制することができる。

[0085] また、第 2 実施形態では、上記のように、X 線源 1 は、ぼけ量 b が、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 の 1 周期 p_1 の 3.0 倍以上の範囲となるように、X 線源 1 の焦点サイズ s が設定される。これにより、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 を、検出器 2 によって検出されなくなるまで容易にぼけさせることができる。その結果、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 に起因して、位相コントラスト画像 15 の画質が劣化することを容易に抑制することができる。

[0086] また、第 2 実施形態では、上記のように、X 線源 1 は、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 の 1 周期 p_1 が、検出器 2 の画素サイズ p_2 よりも大きくなる場合に、上記式 (5) により定義されるぼけ量 b の大きさが、上記式 (6) を満たすように、X 線源 1 の焦点サイズ s が設定される。これにより、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 の 1 周期 p_1 の大きさを、検出器 2 の画素サイズ p_2 よりも小さくすることが困難な場合でも、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 が検出器 2 によって検出されることを容易に抑制することができる。その結果、X 線源 1 の焦点サイズ s を、上記式 (6) を満たす焦点サイズ s に調整することにより、拡大されて投影された第 1 格子 3 の格子パターン 9 に起因して位相コントラスト画像 15 の画質が劣化することを容易に抑制することができる。

[0087] (変形例)

なお、今回開示された実施形態および実験例は、すべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は、上記した実施形態および実験例の説明ではなく、請求の範囲によって示され、さらに請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更（変形例）が含まれる。

[0088] たとえば、上記第 1 および第 2 実施形態では、複数の格子として、第 1 格

子3および第2格子4を含む構成の例を示したが、本発明はこれに限られない。たとえば、図10に示すX線位相イメージング装置500のように、第2格子4と検出器2との間に、第3格子25を設ける構成でもよい。第3格子25は、Y方向に所定の周期（ピッチ） p_5 で配列される複数のスリット25aおよびX線吸収部25bを有している。各スリット25aおよびX線吸収部25bはそれぞれ、X方向に沿って直線状に延びるように形成されている。また、各スリット25aおよびX線吸収部25bはそれぞれ、互いに平行に延びるように形成されている。また、第3格子25は、第2格子4と検出器2との間に配置されており、第2格子4を通過したX線が照射される。また、第3格子25は、第2格子4からタルボ距離離れた位置に配置される。第3格子25は、第2格子4の自己像と干渉して、検出器2の検出表面上にモアレ縞（図示せず）を形成する。これにより、検出器2の画素サイズ p_2 の大きさが、第2格子4の自己像の1周期の大きさよりも大きい場合でも、モアレ縞を検出することにより、位相コントラスト画像15（吸収像15a、位相微分像15bおよび暗視野像15c）を生成することができる。その結果、検出器2の画素サイズ p_2 に依存することなく位相コントラスト画像15（吸収像15a、位相微分像15bおよび暗視野像15c）を生成することが可能となるので、検出器2の選択の自由度を向上させることができる。

[0089] また、上記第1および第2実施形態では、格子移動機構8が第2格子4を移動させる構成の例を示したが、本発明はこれに限られない。たとえば、格子移動機構8によって、第1格子3をY方向に移動させて撮像するように構成されていてもよい。また、複数の格子として、第3格子25（図10参照）を備える場合、格子移動機構8によって、第3格子25をY方向に移動させて撮像するように構成されていてもよい。

[0090] また、上記第1および第2実施形態では、第2格子4が位相格子である構成の例を示したが、本発明はこれに限られない。たとえば、第2格子4は、吸収格子であってもよい。

[0091] また、上記第1および第2実施形態では、格子移動機構8によって第2格

子4を移動させながら撮像する構成の例を示したが、本発明はこれに限られない。たとえば、第2格子4をX線の光軸方向周りにわずかに回転させることにより生じるモアレ縞を利用したモアレ1枚撮り手法においても、本発明を適用することが可能である。

符号の説明

- [0092]
- 1 X線源
 - 2 検出器
 - 3 第1格子
 - 4 第2格子
 - 6 画像処理部
 - 9 拡大されて投影された第1格子の格子パターン
 - 15 位相コントラスト画像
 - 25 第3格子
 - 100、300、500 X線位相イメージング装置
 - b ぼけ量
 - m 第1格子の拡大率
 - n 拡大されて投影された第1格子の格子パターンに含まれる画素数
 - p_0 第1格子の格子周期
 - p_1 拡大されて投影された第1格子の格子パターンの格子周期
 - p_2 検出器の画素サイズ
 - Q 被写体
 - R X線源と検出器との間の距離
 - r_0 X線源と第1格子との間の距離
 - s X線源の焦点サイズ
 - SP 拡大されて投影された第1格子の格子パターンの縞模様

請求の範囲

- [請求項1] 被写体にX線を照射するX線源と、
前記X線源から照射されたX線を検出する検出器と、
前記X線源と前記検出器との間に配置され、前記X線源から照射されるX線の可干渉性を高める第1格子と、前記第1格子からのX線が照射される第2格子とを含む複数の格子と、
前記検出器によって検出された信号に基づいて位相コントラスト画像を生成する画像処理部と、を備え、
前記X線源は、焦点サイズを小さくすることに起因して、X線が照射されることにより拡大されて投影された前記第1格子の格子パターンが検出される場合に、拡大されて投影された前記第1格子の格子パターンが、前記検出器によって検出されないように、前記第1格子と前記X線源との相対的な配置または前記X線源の焦点サイズが調整される、X線位相イメージング装置。
- [請求項2] 前記X線源は、前記検出器によって解像されることにより、拡大されて投影された前記第1格子の格子パターンの縞模様が検出されないように、前記第1格子と前記X線源との相対的な配置または前記X線源の焦点サイズが調整される、請求項1に記載のX線位相イメージング装置。
- [請求項3] 前記X線源は、X線の光軸方向において、拡大されて投影された前記第1格子の格子パターンが前記検出器によって検出されない位置に、前記第1格子から離間して配置される、請求項1に記載のX線位相イメージング装置。
- [請求項4] 前記X線源は、拡大されて投影された前記第1格子の格子パターンの1周期が、前記検出器の画素サイズよりも小さくなるような拡大率となる位置に配置される、請求項1に記載のX線位相イメージング装置。
- [請求項5] 前記X線源は、以下の式(1)～(3)を定義した場合、以下の式

(4) を満たすような位置に配置される、請求項 4 に記載の X 線位相イメージング装置。

[数1]

$$m = R/r_0 \quad \cdots (1)$$

$$p_1 = m \times p_0 \quad \cdots (2)$$

$$n = p_1/p_2 \quad \cdots (3)$$

$$n \leq 1 \quad \cdots (4)$$

ここで、

m : 拡大されて投影された前記第 1 格子の格子パターンの拡大率 ;

R : 前記 X 線源と前記検出器との間の距離 ;

r_0 : 前記 X 線源と前記第 1 格子との間の距離 ;

p_1 : 拡大されて投影された前記第 1 格子の格子パターンの周期 ;

p_0 : 前記第 1 格子の格子周期 ;

n : 拡大されて投影された前記第 1 格子の格子パターンに含まれる画素数 ;

p_2 : 前記検出器の画素サイズ ;

である。

[請求項6] 前記 X 線源の焦点サイズの大きさに起因して生じる、拡大されて投影された前記第 1 格子の格子パターンのぼけ量が、拡大されて投影された前記第 1 格子の格子パターンが前記検出器によって検出されなくなる前記ぼけ量となるように、前記 X 線源の焦点サイズが設定される、請求項 1 に記載の X 線位相イメージング装置。

[請求項7] 前記 X 線源は、前記ぼけ量が、拡大されて投影された前記第 1 格子の格子パターンの 1 周期の 3.0 倍以上の範囲となるように、前記 X 線源の焦点サイズが設定される、請求項 6 に記載の X 線位相イメージング装置。

[請求項8] 前記 X 線源は、拡大されて投影された前記第 1 格子の格子パターンの 1 周期が、前記検出器の画素サイズよりも大きくなる場合に、以下の式 (5) により定義される前記ぼけ量の大きさが、以下の式 (6)

を満たすように、前記X線源の焦点サイズが設定される、請求項7に記載のX線位相イメージング装置。

[数2]

$$b = (R - r_0) s / r_0 \quad \cdots (5)$$

$$3.0 \times p_1 \leq b \quad \cdots (6)$$

ここで、

b : 前記ぼけ量 ;

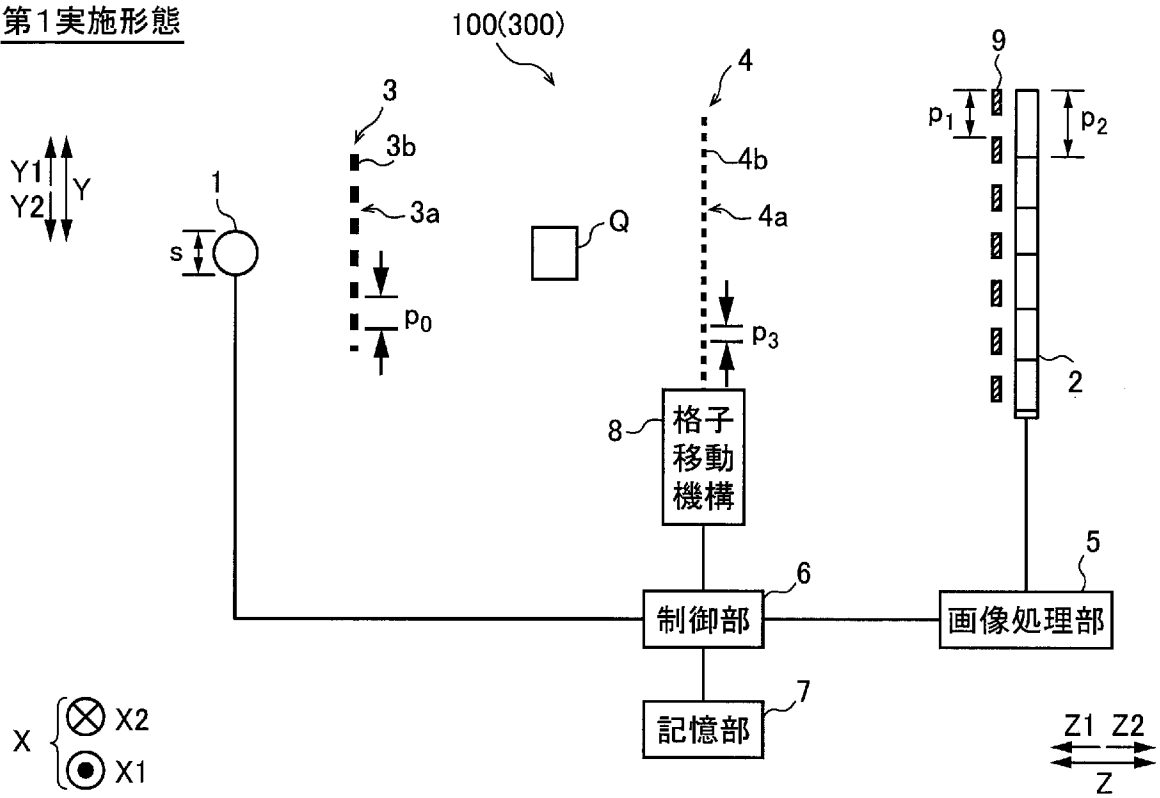
s : 前記X線源の焦点サイズ ;

である。

[請求項9] 前記第2格子と、前記検出器との間に配置された第3格子をさらに含む、請求項1に記載のX線位相イメージング装置。

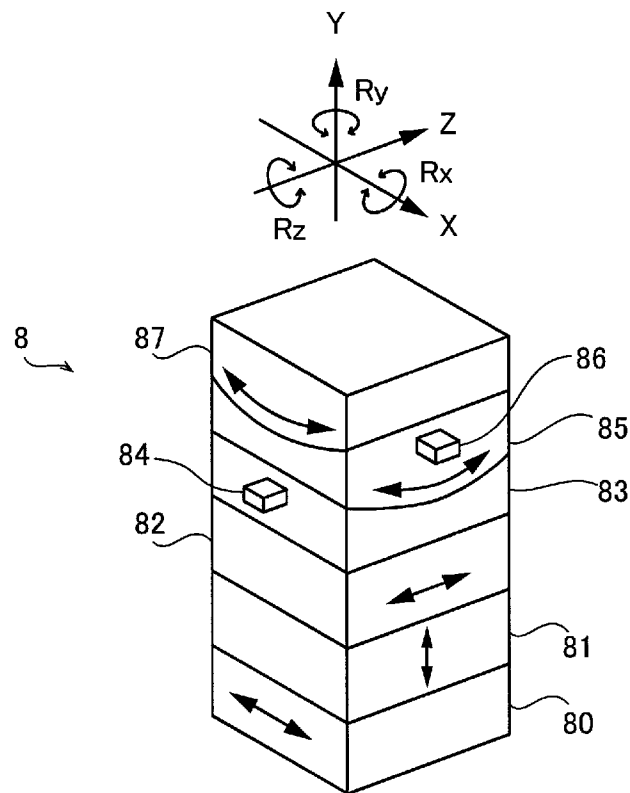
[図1]

第1実施形態



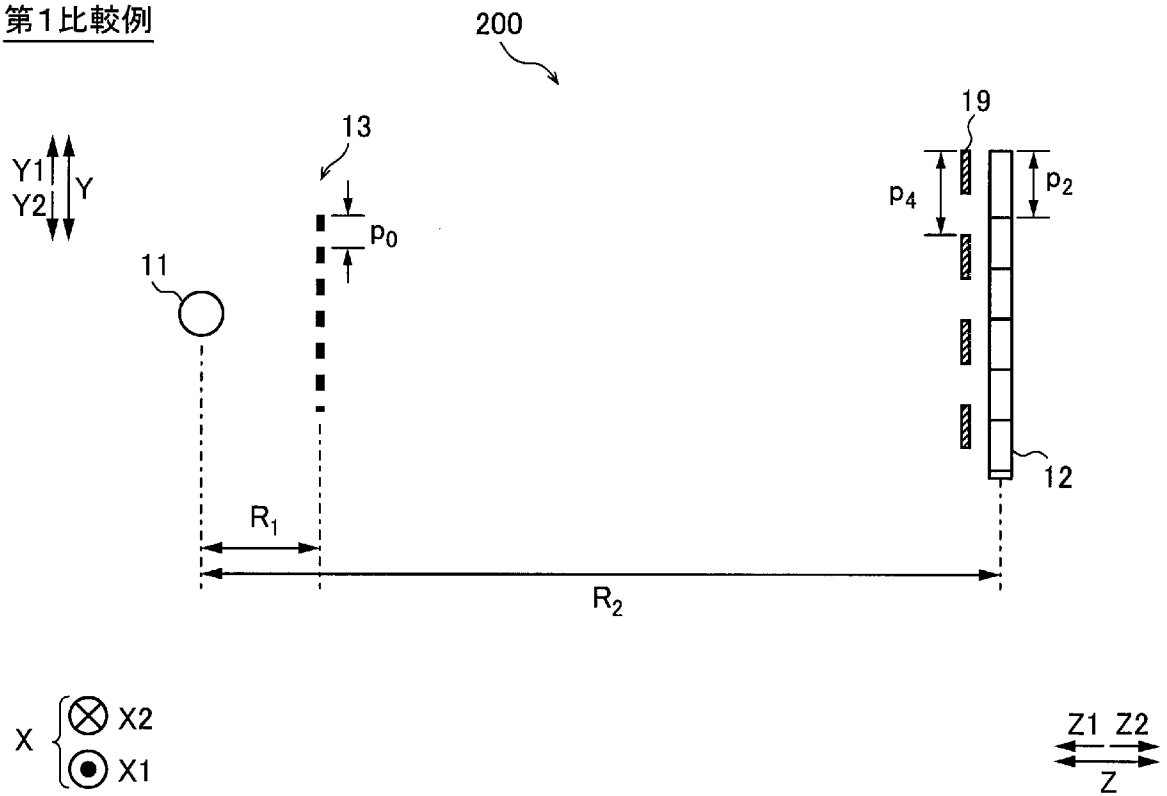
[図2]

第1実施形態



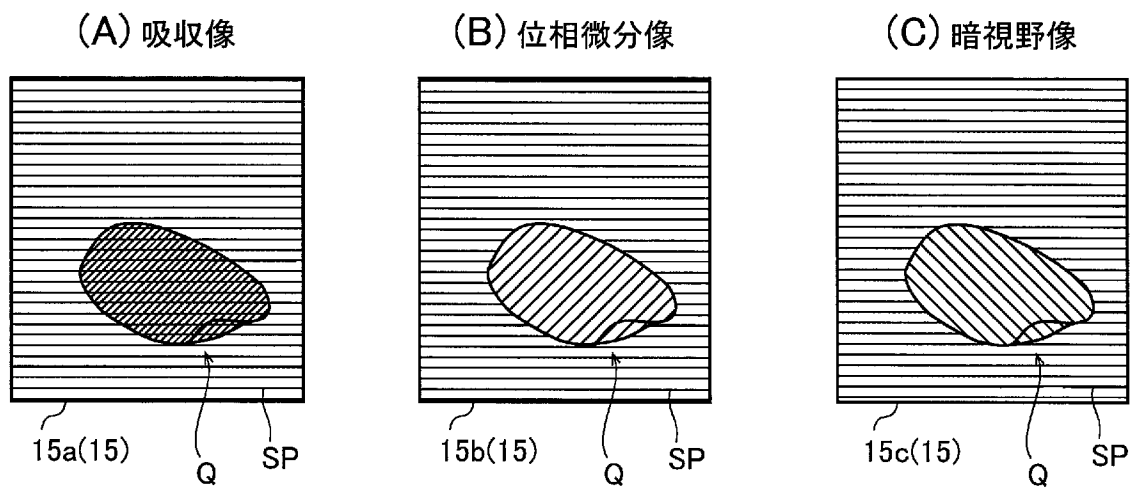
[図3]

第1比較例

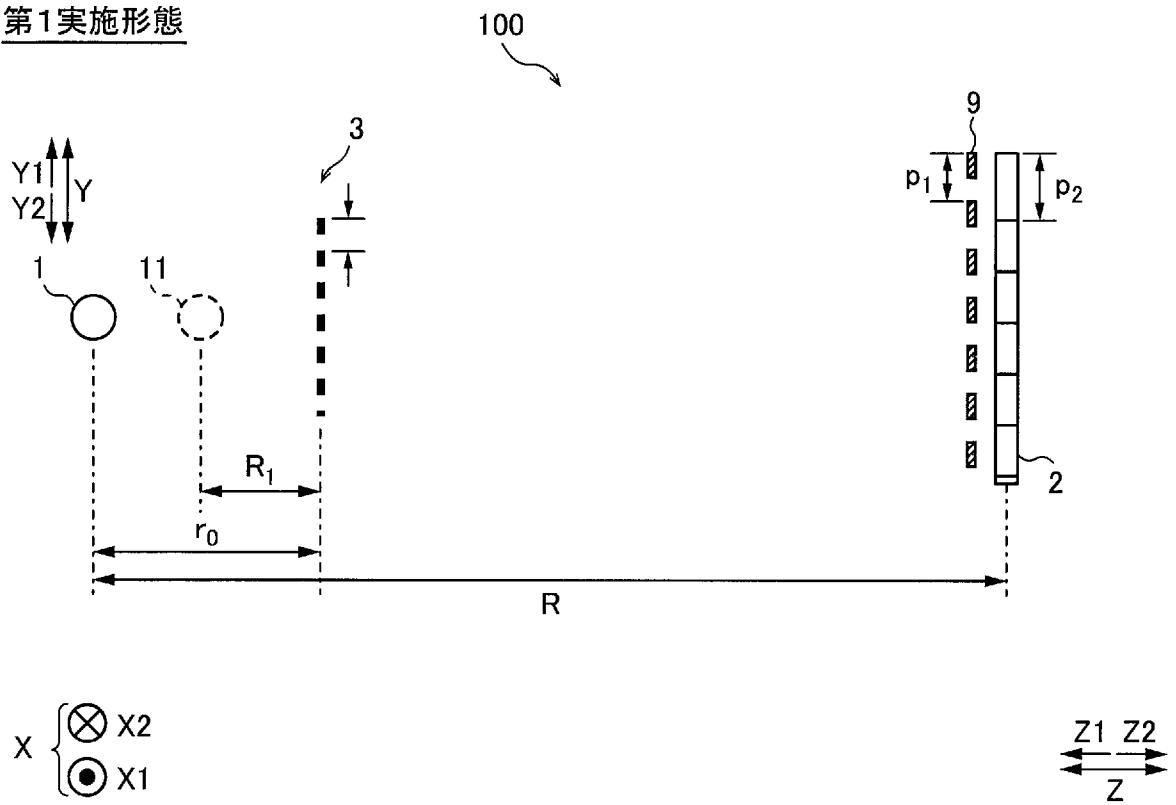


[図4]

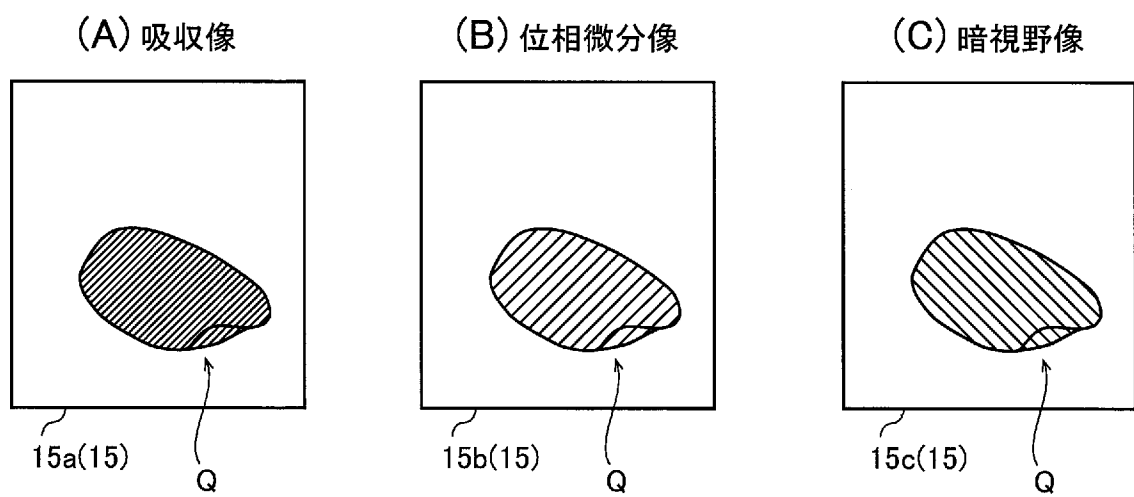
第1比較例



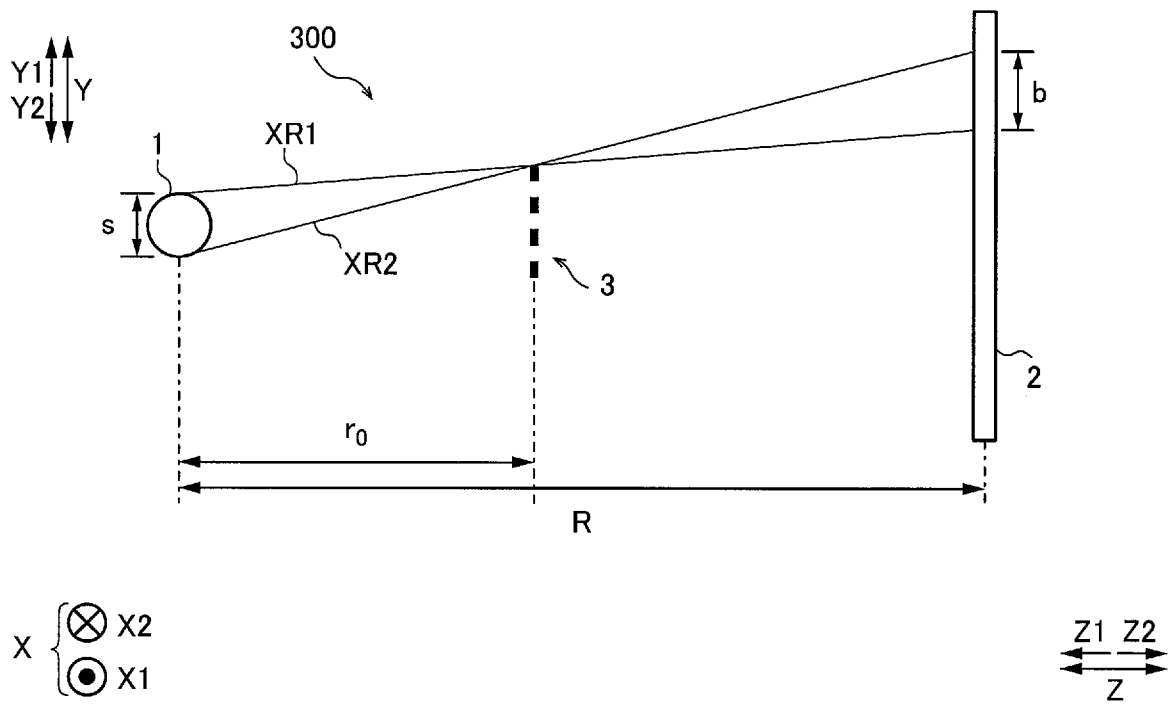
[図5]

第1実施形態

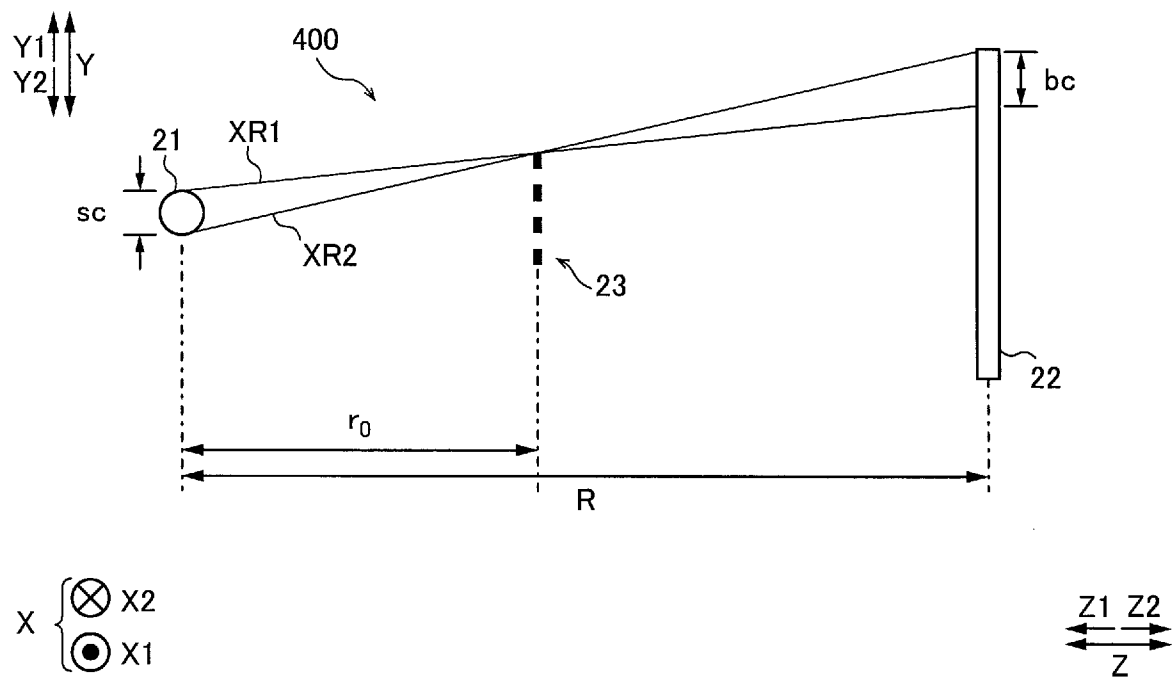
[図6]

第1実施形態

[図7]

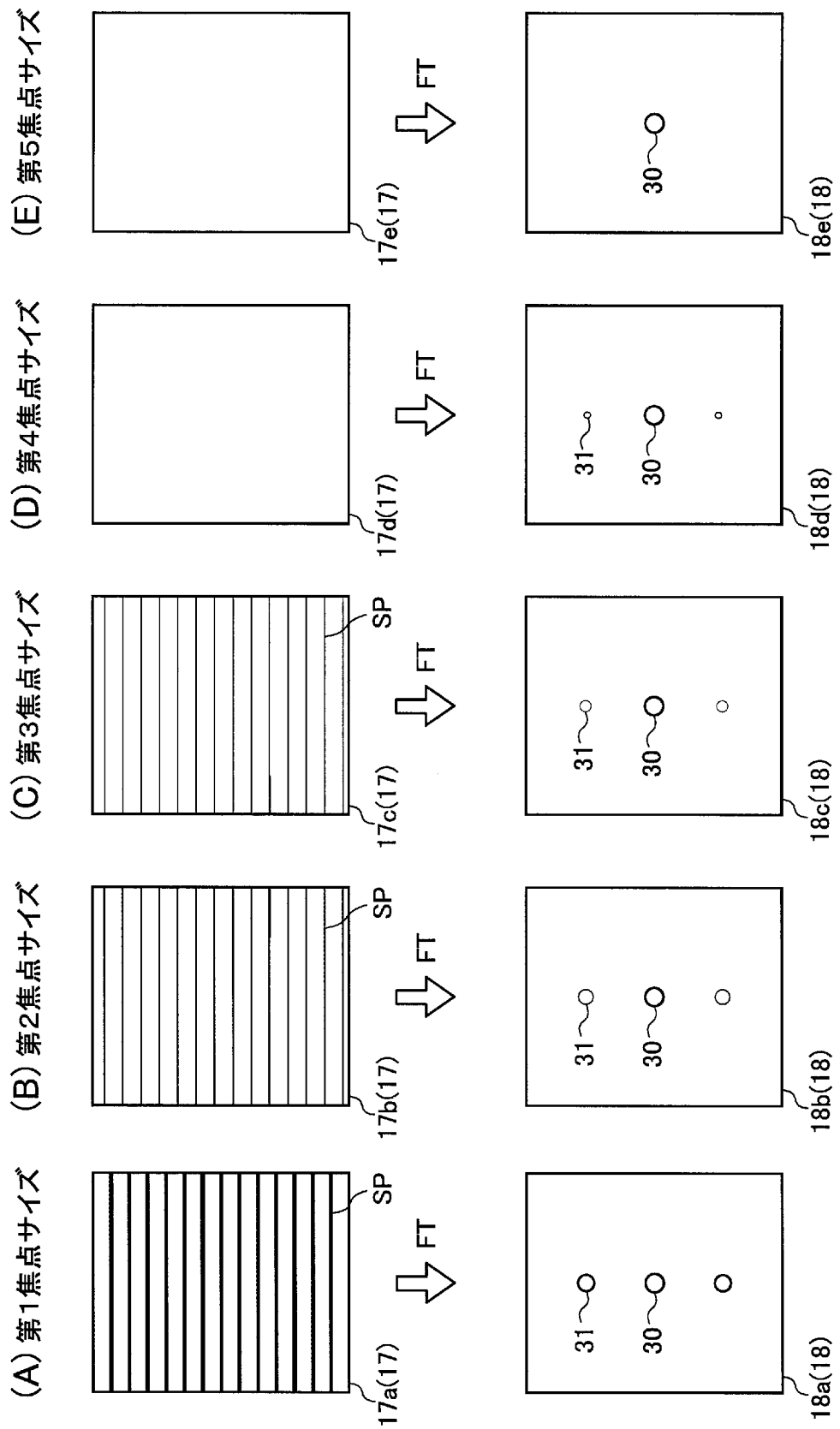
第2実施形態

[図8]

第2比較例

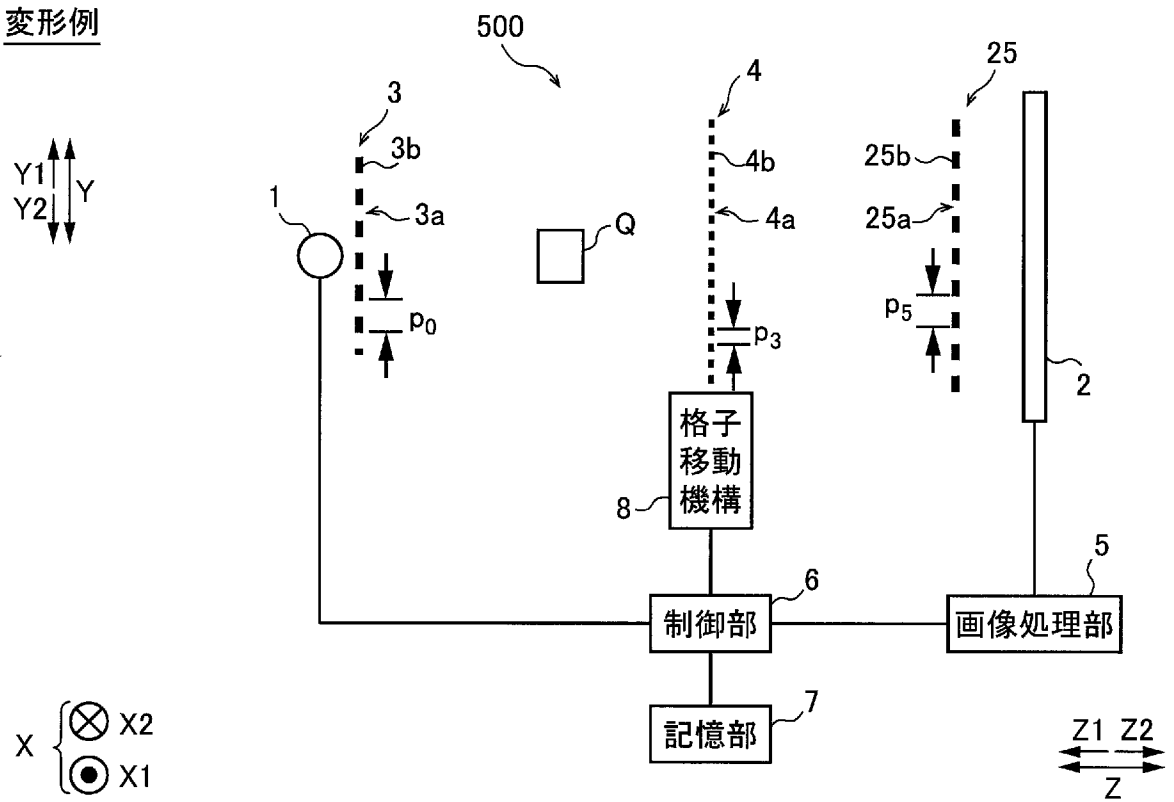
[図9]

実験例



[図10]

変形例



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/030165

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. G01N23/041 (2018.01) i, H05G1/52 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. G01N23/00-23/2276, H05G1/52

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2018-29777 A (SHIMADZU CORP.) 01 March 2018, paragraphs [0019]-[0044] (Family: none)	1-6, 9 7-8
Y	WO 2007/125833 A1 (THE UNIVERSITY OF TOKYO) 08 November 2007, paragraphs [0018]-[0044] (Family: none)	1-6, 9
Y	JP 2018-155502 A (SHIMADZU CORP.) 04 October 2018, paragraphs [0066], [0067] & US 2018/0267175 A1, paragraphs [0094], [0095] & CN 108714033 A	6
A	CN 108469443 A (UNIVERSITY OF BEIHANG) 31 August 2018 (Family: none)	1-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
30.09.2019

Date of mailing of the international search report
08.10.2019

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N23/041(2018.01)i, H05G1/52(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01N23/00-23/2276, H05G1/52

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2018-29777 A（株式会社島津製作所）2018.03.01, [0019] — [0044]（ファミリーなし）	1-6, 9 7-8
Y	WO 2007/125833 A1（国立大学法人東京大学）2007.11.08, [0018] — [0044]（ファミリーなし）	1-6, 9
Y	JP 2018-155502 A（株式会社島津製作所）2018.10.04, [0066] — [0067] & US 2018/0267175 A1 [0094]-[0095] & CN 108714033 A	6

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

30.09.2019

国際調査報告の発送日

08.10.2019

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

田中 秀直

2W

3409

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	CN 108469443 A (UNIV BEIHANG) 2018.08.31, (ファミリーなし)	1-9