

(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2005-292047

(P2005-292047A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005. 10. 20)

(51) Int.Cl.⁷

G01N 23/04

F I

G01N 23/04

テーマコード (参考)

2 G001

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2004-110306 (P2004-110306)
 (22) 出願日 平成16年4月2日(2004. 4. 2)

(71) 出願人 000002185
 ソニー株式会社
 東京都品川区北品川6丁目7番35号
 (74) 代理人 100122884
 弁理士 角田 芳末
 (74) 代理人 100113516
 弁理士 磯山 弘信
 (72) 発明者 篠原 康雄
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ
 ニー株式会社内
 (72) 発明者 宮澤 達雄
 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソ
 ニー株式会社内

最終頁に続く

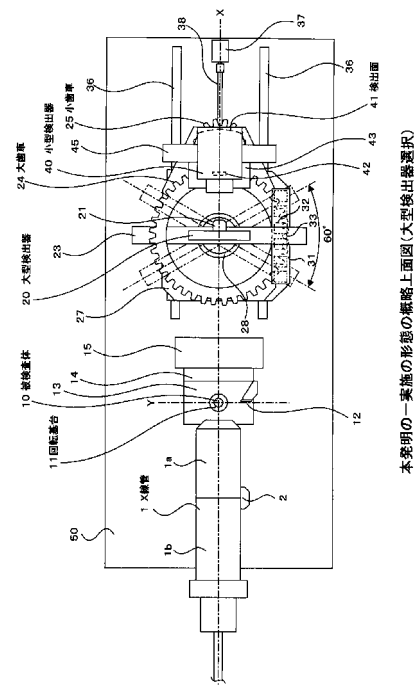
(54) 【発明の名称】 X線断層撮像装置及びX線断層撮像方法

(57) 【要約】

【課題】 被検査体の全体投影像とともに特定部位のみ高解像度の部分投影像を比較的短時間で取得し、また2つの検出器から得られた投影画像の合成処理を容易にし、さらに非金属(軽金属含む)及び重金属の被検査体いずれにも対応できるようにする。

【解決手段】 1台のX線撮像装置に特性の異なる2種の検出器20、40を搭載し、それぞれの特徴を生かし、交替的に投影データを取得して、被検査体10特定部位の再構成画像の解像度を向上させ、また、軽元素のみからなる被検査体10は2種の検出器20、40のうち軟線でも透過し得る入射窓を持つ検出器40のみを用い、例えば直径が10mm以上の重金属が混在する被検査体10の場合は検出面積が広いが画素の粗い検出器20の方を選択することが可能な駆動機構を有する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X線源と、被検査体の透過X線を撮像する二次元検出手段と、前記X線源のX線焦点と前記二次元検出手段との間に配置され前記被検査体を載置して所定角度変位で回転する回転基台とを有し、各角度位相毎に撮像した投影像より前記被検査体の内部構造データを再構成するX線断層撮像装置であって、

前記二次元検出手段として、第1検出器と、該第1検出器より検出面積及び画素サイズの小さい第2検出器と、

前記X線焦点から前記被検査体回転軸に直角に交わる直線の延長線上に前記第1検出器と前記第2検出器を選択的に配置するとともに、前記X線焦点から前記第2検出器の検出面までの距離と前記第2検出器の撮像位置における検出面をその面内に含む仮想平面までの距離とが等しい位置に前記第1検出器を移動させる駆動機構と、

前記第1検出器より得られる全体投影像の所定部位を、前記第2検出器より得られる部分投影像で置換する投影像置換手段とを備える

ことを特徴とするX線断層撮像装置。

【請求項 2】

前記駆動機構は、前記回転基台回転軸と平行かつ前記第1検出器の水平面内における略中心を回転中心とする回転軸を有し、上面に前記第2検出器が設置された第1回転手段と

、前記第1回転手段と係合し前記第1回転手段を回転させる第2回転手段とを備える

ことを特徴とする請求項1記載のX線断層撮像装置。

【請求項 3】

前記第2検出器は、前記第1検出器の入射窓では透過されない低エネルギーX線を透過する入射窓を持つ

ことを特徴とする請求項1記載のX線断層撮像装置。

【請求項 4】

前記駆動機構は、前記第1及び第2検出器をそれぞれの検出面に平行な面内に水平移動させるとともに、少なくとも前記第1及び第2検出器の一方を垂直方向へ移動させ、所定位置に設けられた基準検査体の投影像を利用して、前記第1及び第2検出器の検出面に平行な面内において前記第1及び第2検出器の相互位置合わせを行う

ことを特徴とする請求項1記載のX線断層撮像装置。

【請求項 5】

前記駆動機構は、前記X線焦点から前記被検査体回転軸に直角に交わる直線の延長線上に前記被検査体回転軸と平行な回転軸を持ち、上面の前記回転軸からそれぞれの検出面までの距離が等しい位置に前記第1検出器及び前記第2検出器が設置された第1回転手段と

、前記第1回転手段と係合し前記第1回転手段を回転させる第2回転手段とを備える

ことを特徴とする請求項1記載のX線断層撮像装置。

【請求項 6】

X線源と、被検査体の透過X線を撮像する二次元検出手段と、前記X線源のX線焦点と前記二次元検出手段との間に配置され前記被検査体を載置して所定角度変位で回転する回転基台とを有し、各角度位相毎に撮像した投影像より前記被検査体の内部構造データを再構成するX線断層撮像方法であって、

前記二次元検出手段は、第1検出器と、該第1検出器より検出面積及び画素サイズの小さい第2検出器とから構成され、

前記第2検出器により前記被検査体の部分投影像を所定拡大率で前記所定角度変位毎に撮像し、

前記第2検出器に換えて前記X線焦点から前記第2検出器までの距離と等しい位置に前記第1検出器を配置し、

前記第1検出器により前記被検査体の全体投影像を前記所定角度変位毎に撮像し、

10

20

30

40

50

前記第 1 検出器より得られた各角度位相毎の前記全体投影像の所定部位を、前記第 2 検出器より得られた各角度位相毎の部分投影像で置換して合成投影像を作成し、

前記各角度位相毎に作成された合成投影像を基に前記被検査体の内部構造データを再構成する

ことを特徴とする X 線断層撮像方法。

【請求項 7】

前記第 2 検出器は、前記第 1 検出器の入射窓では透過されない低エネルギー X 線を透過する入射窓を持つ

ことを特徴とする請求項 6 に記載の X 線断層撮像方法。

【請求項 8】

前記第 2 検出器による前記被検査体撮像時に、所定位置に設けられた基準検査体の投影像を撮像し、

前記第 1 検出器による前記被検査体撮像時に、前記基準検査体の投影像を撮像し、

前記基準検査体の 2 つの投影像を重ね合わせて、前記第 1 及び第 2 検出器の検出面に平行な面内において前記第 1 及び第 2 検出器の相互位置合わせを行う

ことを特徴とする請求項 6 に記載の X 線断層撮像方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、X 線を用いて被検査体の内部構造を検査する X 線断層撮像装置及び X 線断層撮像方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、産業分野において微小被検査体内部に存在するひび割れや断線等を検査するため非破壊三次元分析が要求されている。その検査手法のひとつとして、X 線を使用したコンピュータ断層撮像装置（以下、X 線断層撮像装置と称する。）を用いる方法がある。

【0003】

X 線断層撮像装置は、例えば、X 線源と、この X 線源より X 線焦点を経て被検査体にコーンビーム状に照射されて透過した X 線を検出する例えばフラットパネルディテクタ（以下、FPD という。）からなる二次元検出器と、この二次元検出器との間に被検査体を載置するとともに X 線焦点からこの検出手段の受光面に降ろした垂線に直交する回転軸を備え設定に基づく所定の角度変位で回転する回転基台を有し、被検査体の透過 X 線を二次元検出器により撮像してデジタル化された各角度位相毎の複数の画像データとして処理し、これら各画像データより内部構造データを再構成することによって被検査体内部を検査及び観察等行うことができる。

【0004】

上述のような産業用 X 線断層撮像装置を用いて精緻なアーチファクトの少ない再構成画像を得ようとするとき、従来、例えば被検査体の大きさが直径 10 mm 以上もありかつ要求される空間分解能が 10 μ m 以下であるような場合には、二次元検出器の大きさに制限があるため、被検査体回転機構を例えば 4 周以上（360° \times 4 回転以上）させて 360°毎に二次元検出器を移動させて被検査体の 4 分割（あるいは 8 分割）された部分投影を合成し全投影を得る方法があった。

【0005】

また、一つの検出器を使用し X 線焦点に近く拡大率が小さい位置と、X 線焦点から遠ざかり拡大率が大きい位置の 2 箇所で、拡大率が異なる 2 種の投影データを取得して、それらを合成しアーチファクトが軽減された再構成画像を得る方法があった。

【0006】

また、第 1 及び第 2 の放射線検出手段を放射線入射方向に対し重ねるように配置することで、1 回の放射線照射で特性の異なる 2 種の放射線画像を同時に得ることを可能としたものが提案されている（例えば、特許文献 1 参照。）。

10

20

30

40

50

【特許文献 1】特開平 9 - 1 9 7 5 8 5 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、上述の被検査体回転機構を例えば 4 周以上（ $360^{\circ} \times 4$ 回転以上）させて 360° 毎に二次元検出器を移動させて被検査体の 4 分割（あるいは 8 分割）された部分投影を合成し全投影を得る方法によると、特定部位を高い空間分解能で観察することができるものの、被検査体の 4 周分以上の全投影データを得るには膨大な時間が必要であるという課題があった。

【0008】

また、一つの検出器を使用し X 線焦点に近く拡大率が小さい位置と、X 線焦点から遠ざかり拡大率が大きい位置の 2 箇所で、拡大率が異なる 2 種の投影データを取得して、それらを合成しアーチファクトが軽減された再構成画像を得る方法によると、X 線焦点から二次元検出器までの距離が 2 箇所の位置で大きく異なって、X 線強度が X 線焦点からの距離の 2 乗に反比例する逆 2 乗則に従うため 2 種の画像のそれぞれの輝度を合成時に整合させるキャリブレーションが難しいという課題があった。

【0009】

また、特許文献 1 に記載のものは、1 回の放射線照射で 2 種の画像を得ることができるので効率的であるが、被検査体特定部位のみの再構成画像の解像度を向上させることはできないとともに、2 つの放射線検出手段のうちの一方のみを選択して投影することはできないという課題があった。

【0010】

またさらに、被検査体が分子量の低い軽元素ばかりで構成されている物質であった場合、上記 FPD の透過 X 線入射窓はアルミニウム（Al）から構成されたものが主流であり、X 線源管電圧 40 kV 未満の設定では入射窓自体の X 線吸収作用により被検査体の投影データを入手することは不可能であった。逆に、大型 FPD よりも画素サイズが小さく、波長の長い低エネルギー X 線を透過し得る入射窓を持つ例えばイメージインテンシファイア管などからなる小型検出器では、一般に検出面積が狭く、被検査体全投影が検出面に収まらなかったという課題があった。

【0011】

斯かる点に鑑み、本発明は、被検査体の全体投影像とともに特定部位のみ高解像度の部分投影像を比較的短時間で取得し、また 2 つの検出器から得られた投影画像の合成処理を容易にし、さらに非金属（軽金属含む）及び重金属の被検査体いずれにも対応できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決し、目的を達成するため、本発明は、X 線源と、被検査体の透過 X 線を撮像する二次元検出手段と、X 線源の X 線焦点と二次元検出手段との間に配置され被検査体を載置して所定角度変位で回転する回転基台とを有し、各角度位相毎に撮像した投影像より被検査体の内部構造データを再構成するものであって、この二次元検出手段は、第 1 検出器と、この第 1 検出器より検出面積及び画素サイズの小さい第 2 検出器とから構成され、第 2 検出器により被検査体の部分投影像を所定拡大率で所定角度変位毎に撮像し、第 2 検出器に換えて X 線焦点から第 2 検出器までの距離と等しい位置に第 1 検出器を配置し、この第 1 検出器により被検査体の全体投影像を所定角度変位毎に撮像し、第 1 検出器より得られた各角度位相毎の全体投影像の所定部位を、第 2 検出器より得られた各角度位相毎の部分投影像で置換して合成投影像を作成し、各角度位相毎に作成された合成投影像を基に被検査体の内部構造データを再構成することの特徴とする。

【0013】

好ましくは、上述の第 2 検出器は第 1 検出器の入射窓では透過されない低エネルギー X 線を透過する入射窓を持つことが好適である。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

斯かる本発明によれば、検出面積が及び画素サイズが小さい第2検出器により被検査体の部分投影像を所定拡大率で所定角度変位毎に撮像し、第2検出器に換えてX線焦点から第2検出器までの距離と等しい位置に第1検出器を配置し、この第1検出器により被検査体の全体投影像を所定角度変位毎に撮像し、第1検出器より得られた各角度位相毎の全体投影像の所定部位を、第2検出器より得られた各角度位相毎の部分投影像で置換して合成投影像を作成し、各角度位相毎に作成された合成投影像を基に被検査体の内部構造データを再構成するので、被検査体の全体投影像とともに特定部位のみ高解像度の部分投影像を比較的短時間で取得できる。また、2つの検出器の拡大率を等しくして撮像処理を行うので画像合成処理が容易になる。また、第2検出器は低エネルギーX線を透過する入射窓を備えているので、非金属の被検査体の透過X線投影像を撮像できる。 10

【 発明の効果 】

【 0 0 1 5 】

本発明によれば、検出面積が及び画素サイズが小さい第2検出器により被検査体の部分投影像を所定拡大率で所定角度変位毎に撮像し、第2検出器に換えてX線焦点から第2検出器までの距離と等しい位置に第1検出器を配置し、この第1検出器により被検査体の全体投影像を所定角度変位毎に撮像し、第1検出器より得られた各角度位相毎の全体投影像の所定部位を、第2検出器より得られた各角度位相毎の部分投影像で置換して合成投影像を作成し、各角度位相毎に作成された合成投影像を基に被検査体の内部構造データを再構成するので、被検査体の全体投影像とともに特定部位のみ高解像度の部分投影像を比較的短時間で取得できる効果がある。また、2つの検出器の拡大率を等しくして撮像処理を行うので2つの検出器から得られた投影画像の合成処理が容易になる効果がある。 20

【 0 0 1 6 】

また、第2検出器は低エネルギーX線を透過する入射窓を備えるようにした場合、非金属からなる被検査体の透過X線投影像を撮像でき、非金属及び重金属の被検査体いずれにも対応できるという効果がある。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 7 】

以下、図1～図11を参照して、本発明の一実施の形態の例について説明する。図中、対応する部分には同一符号を付して示す。 30

【 0 0 1 8 】

図1は、X線を用いて微小被検査体の内部構造を検査する非破壊検査の用途に使用されるX線断層撮像装置の概略上面図であり、図2は同概略側面図である。図1及び図2ともに二次元検出器20が選択された場合を示している。なお、図1において後述する二次元検出器20の巡回駆動機構を透視したような図としてあり、図2において大歯車及びその周辺を透視したような図としてある。

【 0 0 1 9 】

図1及び図2に示されるX線断層撮像装置は大きく、X線源1、X線が照射される被検査体10を載置する回転基台11、被検査体10を透過したX線を検出する比較的大きな検出面を有する二次元検出手段（以下、大型検出器と称する。）20、大型検出器20より検出面積及び画素サイズが小さい二次元検出手段（以下、小型検出器と称する。）40、そしてそれぞれを支持し移動可能な各駆動機構、及びこれら一切を載置し振動除去機能を備えた定盤50から構成される。 40

【 0 0 2 0 】

X線管1は、例えばコーンビーム状のX線を発生する公知のマイクロフォーカスX線源であり、X線管1から被検査体10に対しコーンビーム状のX線を出射し被検査体10全体にX線を照射する。図2に示されるように、このX線管1本体は、前部筐体1aと後部筐体1bがヒンジ2により連結された構成とされ、X線焦点近傍のL字状ブラケット3とX線管1の重量の重心1cの直下のブラケット3水平面上に設けられたVブロック4とによって定盤50上に支持されている。 50

【 0 0 2 1 】

図 3 は、図 2 の A - A 線に沿う矢視図であり、X 軸方向から見た V ブロック 4 の概略図である。図 3 及び図 2 に示されるように、V ブロック 4 はブラケット 3 上の回転支点 7 を軸に回転可能な V ブロック受け台 6 に弾性体 5 を介して載置される。このようにブラケット 3 と重心 1 c の直下に V ブロック 4 を置くことにより、X 線管 1 のカソード（図示略）の位置出しが容易となるばかりでなく、ヒンジ 2 による連結を解除しカソードを交換する際、X 線管 1 の後部筐体 1 b を弾性力で支持するので、カソード座標調整などの精密な機械作業が水平置の姿勢でも容易となる。X 線管 1 本体連結部のヒンジ 2 の回転軸と V ブロック受け台 6 の回転支点 7 は略同軸上にある。

【 0 0 2 2 】

図 1 に示される被検査体 1 0 は、被検査体 1 0 を回転させるための例えば駆動モータ及び軸受け（図示略）等より構成される回転基台 1 1 上に保持され、X 線管 1 の X 線焦点から後述する大型検出器 2 0 及び小型検出器 4 0 の検出面に降ろした垂線と直角に交わる回転軸を中心に回転する。また、回転基台 1 1 と締結され Z 軸方向に可動する Z 軸可動部 1 3 と、Y 軸方向に可動する Y 軸可動部 1 4 と、定盤 5 0 に固定された直動案内 1 5 によって、Z 軸方向への駆動機構及び Y 軸方向への駆動機構が構成されており、Z 軸可動部 1 3 に載置された被検査体 1 0 が Z 軸方向及び Y 軸方向へ移動可能となっている。

【 0 0 2 3 】

さらに回転基台 1 1 は、例えば空気軸受け（図示略）によって支持されて、この空気軸受けに同軸上に直結された例えば 0.2 分以下の角度位置決め精度を持つサーボモータ（図示略）及び回転位相検出手段（図示略）により、これらサーボモータ及び回転位相検出手段の分解能に応じた各角度変位において、再構成に必要な上記投影データの取り込み期間に同期して静止される。回転基台 1 1 の軸受けの回転軸は X 線管 1 の焦点から大型検出器 2 0 及び小型検出器 4 0 の検出面へ降ろした垂線と直交している。本例では回転基台 1 1 を微小角度変位制御できる空気軸受けよりなるが、これに限るものではなく、回転基台 1 1 を支持し滑らかに回転して微小角度変位制御できるものであればよい。

【 0 0 2 4 】

図 4 は、図 2 の B - B 線に沿う矢視図であり、X 軸方向から見た被検査体 1 0 駆動機構の概略図である。Z 軸可動部 1 3 上には、例えば直角に張られた細いワイヤのようないわゆるファントムモデルと呼ばれる基準検査体 1 2 が被検査体 1 0 中心と略同じ高さに設置されており、後述する大型検出器 2 0 及び小型検出器 4 0 の相互位置合わせに使用される。

【 0 0 2 5 】

図 2 に示される大型検出器 2 0 は、被検査体 1 0 を透過した X 線を検出し投影データを取得するのに用いられるフラットパネルディテクタ（以下、F P D という。）であり、本例では、例えば検出面が A 4 判サイズ以上の面積で、画素サイズが $120\ \mu\text{m} \times 120\ \mu\text{m}$ 以上、検出可能な X 線管 1 の管電圧レンジを $40 \sim 150\ \text{kV}$ としている。本例では大型検出器 2 0 を例えば公知の F P D から構成するものとしているが、周知技術を用いて X 線を検出し画素毎に処理して画像信号を得られるものであればよい。

【 0 0 2 6 】

図 1 及び図 2 に示されるように、大型検出器 2 0 は、回転基台 1 1 回転軸と平行でかつ大型検出器 2 0 の水平面内における略中心を回転軸とする回転手段の大歯車 2 4 の中央部に収納され、この大歯車 2 4 は小型検出器 4 0 が載置された回転手段小歯車 2 5 と係合し軸受け 2 6 を介して回転するようになされている。

【 0 0 2 7 】

大型検出器 2 0 の検出面は支持体 2 1 によって X 線管 1 の X 線焦点から被検査体略中心を通る直線と直角となるように設置され、この支持体 2 1 は大型検出器 2 0 を垂直方向に移動可能とする駆動機構を備えている。さらに、支持体 2 1 と締結された直動機構を構成する水平可動部 2 2 が直動案内 2 3 上を水平方向に移動することによって大型検出器 2 0 を検出面と平行な水平方向へ移動させることができる。

10

20

30

40

50

【0028】

さらに小型検出器40を回転させるための駆動モータが取り付けられたステージ27を支持するステージ29の中央部には、大型検出器20を収納するとともに回転可能とするための孔28が穿設されている。大型検出器20を水平方向に移動させるのに使用される水平可動部23下面の端部近傍に凸部（カムフォロワー）33が設けられており、この凸部33を例えば溝を有する係合部材32と係合させ、係合部材32を検出器基台34に設けられた回転案内31上で直線的にスライド移動させることにより、直動案内23上に搭載された大型検出器20を直動案内23と一体に、例えばY軸に対し $\pm 30^\circ$ の角度未満で回転基台11の回転軸と平行な軸に対し回転させることができる。このときの回転角度は回転軸30に直結されたエンコーダ35の指示値に基づき制御される。

10

【0029】

本例では、大型検出器20の回転駆動を従来用いられていたダイレクトドライブモータ（インデックスモータ）で行わず、より角度精度を出しやすく衝突や暴走の懸念のない例えばボールネジ駆動（直動）機構などを回転駆動系に用いている。

【0030】

上述の大型検出器20を回転させるための駆動機構を利用し、被検査体10の領域を分割して撮像することで特定部位を高い空間分解能で観察することができる。例えば、被検査体の一部分が二次元検出器に投影されるよう回転基台及び/又は二次元検出器の位置を調整し、この被検査体の一部分を各角度位相毎に撮像して例えば左半分の部分投影像群を得、次に被検査体の残り部分が二次元検出器に投影されるよう回転基台及び/又は二次元検出器の位置を調整し、この被検査体の残り部分を各変位毎に撮像して右半分の部分投影像群を得、これら左半分及び右半分の部分投影像群から、普通に撮像された投影像と比して約2倍の被検査体全体の拡大内部構造データを算出する。なお左右半分ずつの2分割でなく、左右半分のさらに分割し被検査体を4分割した投影像撮像により約4倍の拡大率の拡大内部構造データを得ることもできる。

20

【0031】

また図2に示される小型検出器40は、被検査体10の所望の特定部位の内部構造データを得るために使用されるものであり、例えばイメージインテンシファイア管（以下、I-I管という。）から構成する。この小型検出器40は、例えば、検出面の検出面積が100mm×100mm未満で、画素サイズは100 μ m×100 μ m未満とする。一般に、非金属の物質においては、管電圧が40kV前後以上のときに発生する比較的短波長のX線を照射すると真っ白な投影像が得られる。逆に、非金属の投影像を撮像しようとして管電圧を下げて波長の長いX線を照射すると検出器の入力窓の材質によっては入力窓でX線が吸収されて出力蛍光面42に到達しない。本例では、上述の大型検出器20よりも低い40kV未満のX線管1管電圧により発生する制動放射線でも透過し得る低エネルギーX線透視に対応したものとして、例えばベリリウム（Be）入射窓を採用する。

30

【0032】

なお、小型検出器40は、上述大型検出器20よりも検出面積及び画素サイズが小さく、かつ大型検出器20では検出できない低エネルギーX線の検出が可能なものであればよく、この例に限るものではない。

40

【0033】

また小型検出器40を回転させるための小歯車25は、ステージ27に固定された駆動モータ47の駆動軸46と直結され位置決めされるとともに、大歯車24と係合するようになされている。さらに小型検出器40は水平可動部44上に締結され、水平可動部44がステージ43上の直動案内45上を移動することにより検出面に平行な面内の水平移動が可能になっている。

【0034】

ここで、図5は小型検出器40を選択した場合のX線断層撮像装置の概略上面図、図6は同概略側面図を示すものである。駆動モータ47により小歯車25を回転させることにより大歯車24が小歯車25に追従して回転する。これにより小型検出器40をステー

50

ジ４３と一体に１８０°旋回させることができ、小型検出器４０を大型検出器２０の前方に移動させて小型検出器４０の入力蛍光面４１がＸ線焦点に対峙可能となる。したがって、Ｘ線焦点から被検査体１０回転軸に直角に交わる直線の延長線上に小型検出器４０と大型検出器２０を選択的に配置することができる。

【００３５】

これら大型検出器２０及び小型検出器４０を載置する検出器基台３４は、駆動部３７を駆動させることにより駆動軸３８を介してレール３６上をＸ軸方向（光軸主線方向）に移動することができるので、Ｘ線焦点と大型検出器２０及び小型検出器４０までの距離調整が可能である。

【００３６】

本例では、２種の二次元検出器すなわち大型検出器２０をＦＰＤ、小型検出器４０をＩ－Ｉ管の組み合わせとしたが、被検査体１０を透過したＸ線を検出し画素毎に処理して画像信号を得られるものであればよい。大型検出器２０を大型で画素の粗いＦＰＤとし小型検出器４０を小型で大型検出器２０より画素の細かいＦＰＤとした組み合わせでもよい。また小型検出器４０の画素数は大型検出器４０の画素数より少なくても構わない。

【００３７】

図７は、本発明の一実施の形態の構成例を示すブロック図を示す。Ｘ線管１は回転基台１１上に載置された被検査体１０に対しＸ線を照射するものである。このとき照射されるＸ線の強度、焦点サイズ等は、Ｘ線制御手段であるＸ線制御部６１を通じて制御操作手段である制御操作卓６４により制御される。

【００３８】

回転基台１１の位置、回転角度ピッチ、初期回転角等は、回転基台１１を載置したＺ軸可動部１３、Ｙ軸可動部１４、直動案内部１５の動きを制御する機構制御部６２を通じて制御操作卓６４により制御される。回転基台１１に載置された被検査体１０は制御操作卓６４によって指定された角度回転され、その投影像は二次元検出手段である大型検出器２０又は小型検出器４０により撮像される。

【００３９】

制御操作卓６４は、キーボードやマウス等の入力手段、機器動作状態や入力値等を表示するＧＵＩ（Graphical User Interface）を備えた表示手段、入力操作信号の処理やＲＯＭ（図示略）等に格納されたプログラムに従い後述する所定の制御等を行うプロセッサからなる制御手段を有する。そして、制御操作卓６４は、Ｘ線管１より出射されるＸ線のＸ線強度等の情報を制御操作卓６４に取り込み表示手段に表示し、被検査体１０の適切な位置出しを行うにあたり機構制御部６２を通じて回転基台１１に指令を出し、大型検出器２０又は小型検出器４０を選択しそれぞれの駆動系に対して指令を出すなどする。

【００４０】

制御操作卓６４で選択された大型検出器２０又は小型検出器４０は、被検査体１０を透過したＸ線投影像を投影像記憶部６５に送出する。この投影像は制御操作卓６４からの指示により、デジタル化された投影データとして大容量の磁気記録装置等からなる投影像記憶部６５に、撮像時の回転角度や初期回転角、Ｘ線強度等の情報と対応して保存される。そして投影像記憶部６５に記憶された投影データは、これと接続された再構成計算部６６に供給される。この投影像記憶部６５は投影データを記録できる記録容量を有するものであればこれに限るものではなく、光ディスクや半導体メモリ等のリムーバブルな記録媒体などを含め、さまざまなものを適用することができる。

【００４１】

再構成計算部６６では入力された投影データより内部構造データを再構成計算し、再構成した内部構造データを投影像記憶部６５あるいは外部記録媒体等に記憶するとともに、図示しない表示メモリを介して表示手段である再構成結果表示部６７に出力し、ＣＲＴモニタ等のディスプレイに表示する。また再構成計算部６６は大型検出器２０で撮像された投影データの特定部位を、小型検出器４０で撮像された投影データで置換する投影像置換処理も行う。この再構成計算部６６は、入力される投影データを収集して内部構造データ

10

20

30

40

50

を再構成できる演算処理能力があればよく、制御操作卓 6 4 の制御手段と共用でもよい。また、再構成結果表示部 6 7 の表示手段は制御操作卓の表示手段と共用であってもよい。

【 0 0 4 2 】

以上のような構成により、被検査体 1 0 の内部構造データが再構成結果表示部 6 7 に入力されて内部構造が表示され、微小な電子部品素子等の被検査体内部のひび割れや断線などの欠陥の有無を視覚的に確認することができる。

【 0 0 4 3 】

次に、上述した X 線断層撮像装置による被検査体合成画像の取得方法について説明する。以下に述べる例では、被検査体 1 0 は分子量の低い軽元素から構成された物質とする。

【 0 0 4 4 】

図 8 は被検査体合成画像取得処理を示すフローチャートである。まず始めに検査対象物質の被検査体 1 0 を回転基台 1 1 上に取り付ける（ステップ S 1）。このときの被検査体 1 0 の位置を角度原点位置とする。そして制御操作卓 6 4 に対し入力操作を行い、まず検出面積が小さく画素の細かい、かつ低エネルギー X 線を検出できる小型検出器 4 0 を選択し図 1 に示す状態から 1 8 0 ° 旋回させ、図 5 に示すように入力蛍光面 4 1 を X 線焦点に対面させる（ステップ S 2）。そして駆動部 3 7 を駆動させて小型検出器 4 0 を X 軸方向に移動して X 線焦点からの距離を調整し、所定の拡大率に設定（ステップ S 3）する。

【 0 0 4 5 】

ここで Y 軸可動部 1 4 を動かして基準検査体 1 2 を Y 軸方向に移動させ、Y 軸可動部 1 4 に設置された基準検査体 1 2 を角度原点位置設定時の被検査体 1 0 と同じ位置に配置して小型検出器 4 0 の透視野へ映し出す。そしてこのときの基準検査体 1 2 の投影像を取得して投影像記憶部 6 5 に記憶しておき、投影像取得後は被検査体 1 0 を元の位置に戻す。

【 0 0 4 6 】

次に X 線管 1 をオンにして（ステップ S 4）、被検査体 1 0 の投影像撮像を開始し、回転基台 1 1 を回転させて被検査体 1 0 を所定角度旋回させて静止させる（ステップ S 5）。X 線を被検査体 1 0 に照射し、小型検出器 4 0 により部分投影像を撮像して投影データを投影像記憶部 6 5 に保存する（ステップ S 6）。制御操作卓 6 4 の制御手段は、必要とする所定枚数の部分投影データの取得が完了したかどうかを判断し（ステップ S 7）、部分投影データの取得が完了していない場合、ステップ S 5 の処理に戻り、所定枚数の部分投影データの取得が完了するまで被検査体 1 0 の所定角度変位毎の部分投影データを取得する処理を繰り返す。一方、部分投影データの取得が完了した場合には X 線管 1 をオフにして X 線照射を停止する（ステップ S 8）。

【 0 0 4 7 】

次に、制御操作卓 6 4 に対し入力操作を行い、大型検出器 2 0 を選択し 1 8 0 ° 旋回させ、大型検出器 2 0 の検出面を X 線焦点に対面させる（ステップ S 9）。

【 0 0 4 8 】

図 9 及び図 1 0 は、X 線焦点から小型検出器 4 0 及び大型検出器 2 0 のそれぞれの検出面までの距離調整の説明に供する図である。拡大率を等しくするためには、X 線焦点から小型検出器 4 0 の検出面までの距離と小型検出器 4 0 の撮像位置における検出面をその面内に含む仮想平面までの距離とが等しい位置に大型検出器 2 0 を移動させる必要がある。すなわち、図 9 に示されるように小型検出器 4 0 を選択時の X 線焦点から検出面 4 1 までの距離 A、X 線焦点から被検査体 1 0 までの距離 B とした場合、図 1 0 に示される大型検出器 2 0 を選択時においても X 線焦点から検出面 2 0 a までが距離 A であり、X 線焦点から被検査体 1 0 までが距離 B となるように、駆動軸 3 7 を駆動し大型検出器 2 0 を X 軸方向（光軸主線方向）に移動させて上述の X 線焦点からの距離を調整して等しくする（ステップ S 1 0）。

【 0 0 4 9 】

このように X 線焦点から 2 種の検出器の検出面までの距離を等しくすることによって被検査体投影像の拡大率が等しくなり、後に行う 2 種の検出器から得られた投影データの画像合成処理が容易になる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 0 】

ここで、再び Y 軸可動部 1 4 を動かして基準検査体 1 2 を Y 軸方向に移動させ、Y 軸可動部 1 4 に設置された基準検査体 1 2 を被検査体 1 0 に換えて同じ位置に配置し、大型検出器 2 0 の透視野へ映し出す。そしてこのときの基準検査体 1 2 の投影像を取得して投影像記憶部 6 5 に記憶する。

【 0 0 5 1 】

図 1 1 は画像合成の説明に供する図であり、A は基準検査体 1 2 を使用して行われる相互位置合わせ、B は画像合成処理後の合成画像の例を表している。図 1 1 A に示されるように、先の小型検出器 4 0 により撮像された部分投影像 8 0 及び大型検出器 2 0 により撮像された全体投影像 7 0 のそれぞれのアライメントマーク（基準検査体 1 2 の投影像）1 2 a を重ねるようにして相互位置合わせを行い、例えば、2 つのアライメントマーク 1 2 a がずれている場合は大型検出器 4 0 を検出面に平行な面内で移動させて各アライメントマーク 1 2 a の位置を合わせ、小型検出器 2 0 及び大型検出器 4 0 相互の X 線焦点に対する撮像位置を同じにする。同時に、各アライメントマーク 1 2 a の位置合わせを行うことにより、小型検出器 4 0 による部分投影像 8 0 と大型検出器 2 0 による全体投影像 7 0 を同じ拡大率に調整することができる。

10

【 0 0 5 2 】

このように、基準検査体 1 2 を設けその X 線投影像を基に小型検出器 4 0 及び大型検出器 2 0 の相互位置合わせを行うことによって、X 線焦点から小型検出器 4 0 及び大型検出器 2 0 のそれぞれの検出面までの距離調整及び位置合わせをより高精度に行うことができる。

20

【 0 0 5 3 】

上述の小型検出器 4 0 及び大型検出器 2 0 の相互位置合わせ終了後、被検査体 1 0 を元の角度原点位置に戻す（ステップ S 1 1 ）とともに、X 線管 1 をオンにする（ステップ S 1 2 ）。続いて回転基台 1 1 を回転させて被検査体 1 0 を上述小型検出器 4 0 のときと同様の所定角度旋回させて静止させる（ステップ S 1 3 ）。そして、X 線を被検査体 1 0 に照射し、大型検出器 2 0 により全体投影像を撮像して投影データを投影像記憶部 6 5 に保存する（ステップ S 1 4 ）。制御操作卓 6 4 の制御手段は、必要とする所定枚数の全体投影データの取得が完了したかどうかを判断し（ステップ S 1 5 ）、全体投影データの取得が完了していない場合、ステップ S 1 3 の処理に戻り、所定枚数の全体投影データの取得が完了するまで被検査体 1 0 の所定角度変位毎の全体投影データを取得する処理を繰り返す。一方、全体投影データの取得が完了した場合には X 線管 1 をオフにして X 線照射を停止する（ステップ S 1 6 ）。

30

【 0 0 5 4 】

次に、各角度位相毎に撮像された部分投影像及び全体投影像について、全体投影像の一部を部分投影像に置換し、合成画像を作成する（ステップ S 1 7 ）。大型検出器 2 0 により取得した全体投影像 7 0 の一部を小型検出器 4 0 により取得した部分投影像 8 0 と置換することにより、図 1 1 B に格子表示による画素サイズのイメージを示すように、被検査体特定部位について精緻な解像度を持つ画像データを得ることができる。

【 0 0 5 5 】

そして、再構成計算部 6 6 にて上述の各角度位相毎に作成された合成画像を基に再構成計算して被検査体 1 0 の合成内部構造データを算出し（ステップ S 1 8 ）、処理を終了する。

40

【 0 0 5 6 】

以上述べた一実施の形態の例によれば、画素の細かい小型検出器 4 0 の検出面で被検査体 1 0 の特定部位について 3 6 0 ° 分の所定角度変位毎の部分投影像を取得し、さらに小型検出器 4 0 のときと同じ所定角度毎に小型検出器 4 0 検出面を含む平面と同一平面内に小型検出器 4 0 より画素が粗く大きな検出面を持つ大型検出器 2 0 によって被検査体 1 0 の全体投影像を同じ拡大率にて取得する。然るのちに、大型検出器 2 0 で取得した全体投影像を、大型検出器 2 0 と全く同じ被検査体角度位相の小型検出器 4 0 で取得した部分投

50

影像と部分的に置換し、その結果得られた被検査体 10 の全体投影像を欠けることなく合成された投影データを用いて再構成計算し内部構造データを算出する。

【0057】

したがって、例えば底面直径が 10 mm 以上の円筒形状のような大きな被検査体であり、また再構成画像の例えば空間分解能 10 μ m 未満の細緻な解像度を要求される被検査体であっても、被検査体全体の再構成画像を取得しつつ特定部位の再構成画像の取得を短時間で行うことができる。

【0058】

また、本例において被検査体 10 を構成する物質が軽元素群のみである場合、X 線管 1 の管電圧を例えば 40 kV 未満に設定し、かつアルミニウム以外の特定の入射窓、例えばベリリウム入射窓を持つ小型検出器 40 を選択し、その検出面に所定の拡大率で被検査体 10 の全体投影が入るように被検査体 10 を寸断し、被検査体回転基台 11 に載置し旋回せしめることによって軽元素群から構成される被検査体 10 の投影像を取得することができる。したがって、例えば軽元素のみからなる被検査体は 2 種の検出器のうち軟 X 線でも透過し得る入射窓を持つ小型検出器 40 のみを用い、例えば直径 10 mm 以上の重金属が混在する被検査体の場合は画素が粗いが検出面積が広い検出面を持つ検出器を選択することができるので、非金属（軽金属含む）及び重金属の被検査体いずれにも対応することができる。

10

【0059】

また、小型検出器 40 による部分投影像と大型検出器 20 による全体投影像の拡大率が同一となるよう調整したことにより、これら 2 種の検出器に照射される X 線強度が等しくなり画像合成時のキャリブレーションにおいて 2 種の検出器から得られる各画像データの輝度を容易に整合させることができる。

20

【0060】

さらに、本例において被検査体 10 の特定部位を高い空間分解能で観察することが、従来技術に記載にした被検査体回転機構を例えば 4 周以上（360° \times 4 回転以上）させて 360°毎に二次元検出器を移動させて被検査体の 4 分割（あるいは 8 分割）された部分投影を合成し全投影を得るという方法の約半分未満の時間で可能であるばかりでなく、例えば上記特定部位が被検査体 10 の回転中心軸の回りをまわる位置であった場合は、水平可動部 44 により被検査体 10 の投影像を小型検出器 40 の視野角に入るように追従させて投影データを取得した後、大型検出器 20 の投影データと合成させることができる。

30

【0061】

さらにまた、上述の大型検出器 20 を旋回させるための駆動機構を利用し被検査体 10 の領域を分割して撮像することで特定部位を高い空間分解能で観察することができる技術と本発明の技術を組み合わせ、例えば被検査体 10 を 4 分割して投影像を投影し大型検出器 4 枚分の拡大視野で観察しつつ、さらにその内部の特定部位のみを小型検出器 40 で撮影し、大型検出器 20 と小型検出器 40 の画素サイズの比の高い分解能で特定部位の再構成画像を得ることもできる。

【0062】

次に、本発明の他の実施の形態の例について説明する。図 12 は X 線断層撮像装置の他の実施の形態を示し、大型検出器が選択されている場合の概略上面図を表している。図 12 において、図 1 に対応する部分には同一符号を付して示している。図 12 に示されるように、大型検出器 20 の載置場所が大歯車 24 の回転と独立した位置から大歯車 24 上面に変更されている点が図 1 との大きな相違点であり、その他は図 1 と同様の構成である。

40

【0063】

図 12 において、ステージ 90 は大歯車 24 の上面に小型検出器 40 を載置するステージ 43 と 180°対向して設置され、ステージ 43 と同様に小歯車 25 に係合して回転する大歯車 24 の回転に応じて旋回する。またステージ 90 は直動案内 91 を載置し、小型検出器 40 はその検出面に平行な面内の水平移動ができるように構成されている。

【0064】

50

図 1 2 に示されるように、ステージ 9 0 に載置された大型検出器 2 0 とステージ 4 3 に載置された小型検出器 4 0 は、それぞれの検出面から大歯車 2 4 回転中心軸までの距離 L_1 と L_2 が等しい。したがって、図 8 に示すステップ S 9 の処理において、小型検出器 4 0 による投影像撮像終了後、小歯車 2 5 により大歯車 2 4 を 180° 回転させるだけで小型検出器 4 0 に換えて大型検出器 2 0 を同じ位置に配置できるので、小型検出器 4 0 のときと同じ拡大率での投影像の撮像が実行可能である。

【0065】

以上述べたように本例は、大型検出器 2 0 を載置するステージ 9 0 と小型検出器 4 0 を載置するステージ 4 3 を一枚の回転体である大歯車 2 4 の上面に設置し、大歯車 2 4 が 180° 回転するのみにより上記 2 種の検出器が同じ拡大率で投影データを取得することができる機構となっている。したがって、X 線焦点から各検出面までの距離調整のための駆動部 3 7 及び駆動軸 3 8 の機構を介在させないので、機械的精度を向上させることができる。その他、本例は上述した一実施の形態の例と同様の作用効果を奏する。

10

【0066】

なお、本発明は上述した実施の形態の例に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱することなくその他種々の構成を取り得ることは勿論である。

【図面の簡単な説明】

【0067】

【図 1】本発明の一実施の形態の概略上面図（大型検出器選択）である。

【図 2】本発明の一実施の形態の概略側面図（大型検出器選択）である。

20

【図 3】図 2 の A - A 線に沿う矢視図である。

【図 4】図 2 の B - B 線に沿う矢視図である。

【図 5】本発明の一実施の形態の概略上面図（小型検出器選択）である。

【図 6】本発明の一実施の形態の概略側面図（小型検出器選択）である。

【図 7】本発明の一実施の形態の構成例を示すブロック図である。

【図 8】本発明の一実施の形態の被検査体合成画像取得処理を示すフローチャートである。

【図 9】X 線焦点から小型検出器の検出面までの距離調整の説明に供する図である。

【図 10】X 線焦点から大型検出器の検出面までの距離調整の説明に供する図である

【図 11】本発明の一実施の形態の画像合成の説明に供する図である。

30

【図 12】本発明の他の実施の形態の概略上面図（大型検出器選択）である。

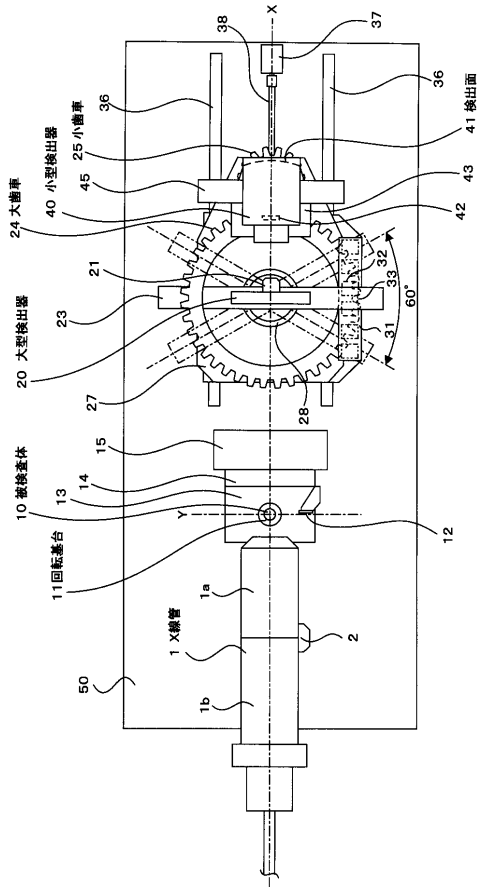
【符号の説明】

【0068】

1 ... X 線管、10 ... 被検査体、11 ... 回転基台、12 ... 基準検査体、12a ... アライメントマーク、13 ... Z 軸可動部、14 ... Y 軸可動部、15 ... 直動案内内部、20 ... 大型検出器、20a ... 検出面、21 ... 検出器支持体、22 ... 水平可動部、23 ... 直動案内内部、24 ... 大歯車、25 ... 小歯車、26 ... 軸受け、27 ... ステージ（上側）、28 ... 孔、29 ... ステージ（下側）、30 ... 回転軸、31 ... 旋回案内内部、32 ... 係合部材、33 ... 凸部、34 ... 検出器基台、35 ... エンコーダ、36 ... レール、37 ... 駆動部、38 ... 駆動軸、40 ... 小型検出器、41 ... 入力蛍光面（検出面）、42 ... 出力蛍光面、43 ... ステージ、44 ... 水平可動部、45 ... 直動案内内部、46 ... 駆動軸、47 ... 駆動モータ、61 ... X 線制御部、62, 63 ... 機構制御部、64 ... 制御操作卓、65 ... 投影像記憶部、66 ... 再構成計算部、67 ... 再構成結果表示部、70 ... 全体投影像、80 ... 部分投影像、90 ... ステージ、91 ... 直動案内内部

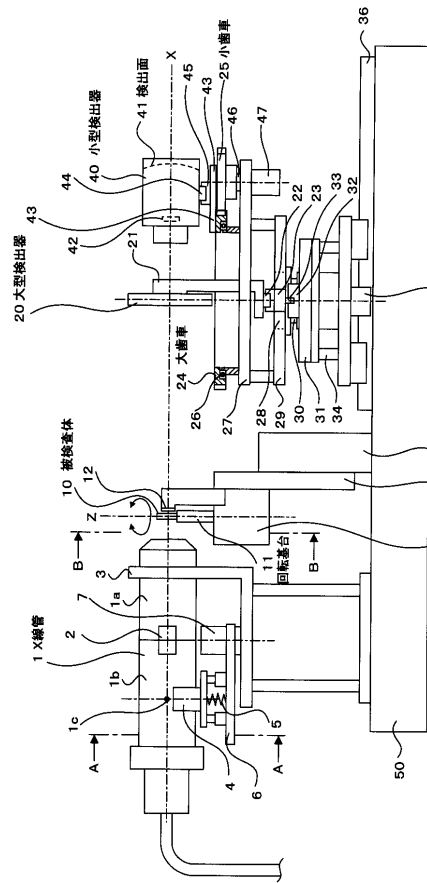
40

【 図 1 】



本発明の一実施の形態の概略上面図(大型検出器選択)

【 図 2 】



本発明の一実施の形態の概略側面図(大型検出器選択)

【 図 3 】

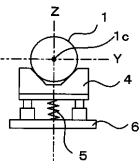
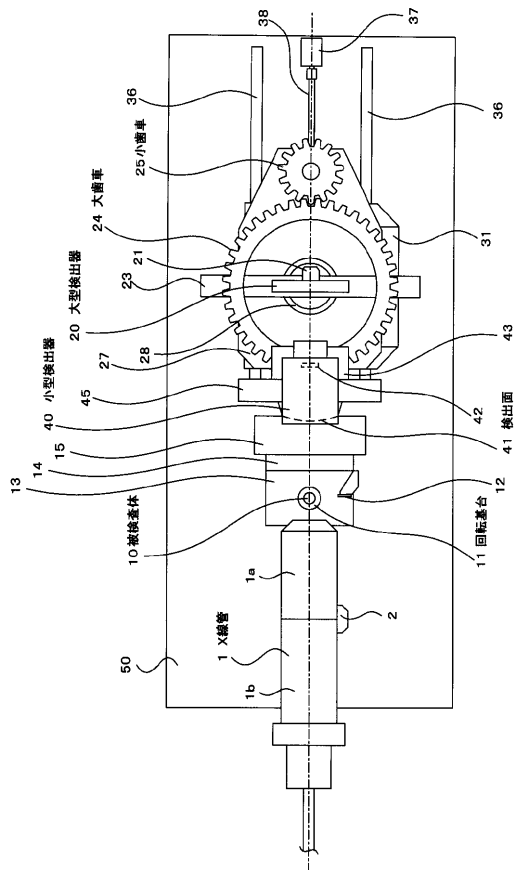


図2のA-A線に沿う矢視図

【 図 5 】



本発明の一実施の形態の上面図(小型検出器選択)

【 図 4 】

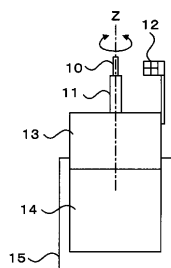
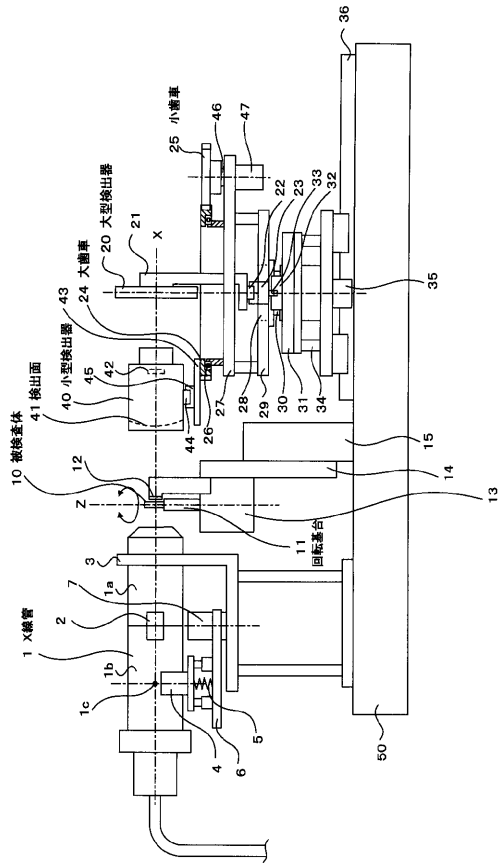


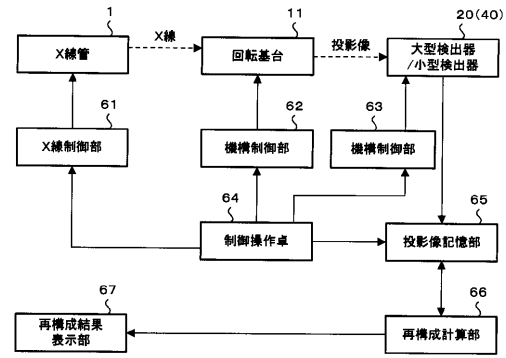
図2のB-B線に沿う矢視図

【図 6】



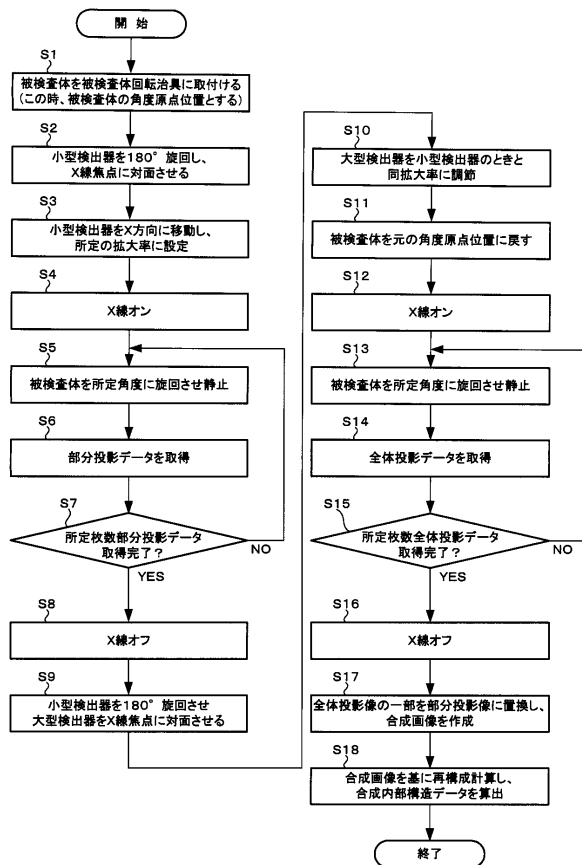
本発明の一実施の形態の概略側面図(小型検出器選択)

【図 7】



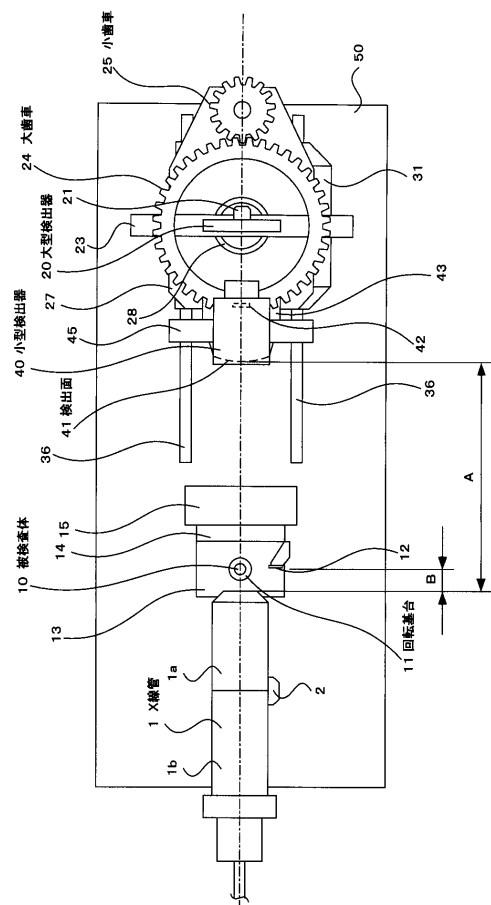
本発明の一実施の形態の構成図

【図 8】



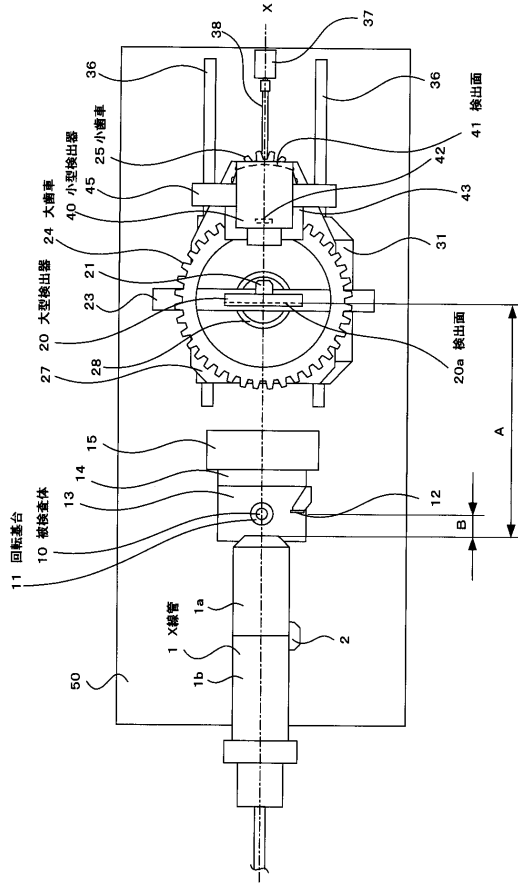
被検査体合成画像の取得方法

【図 9】



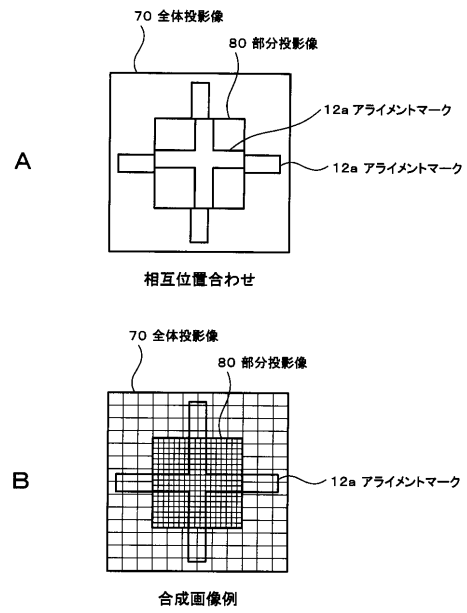
小型検出器の拡大率調節の説明図

【図 10】



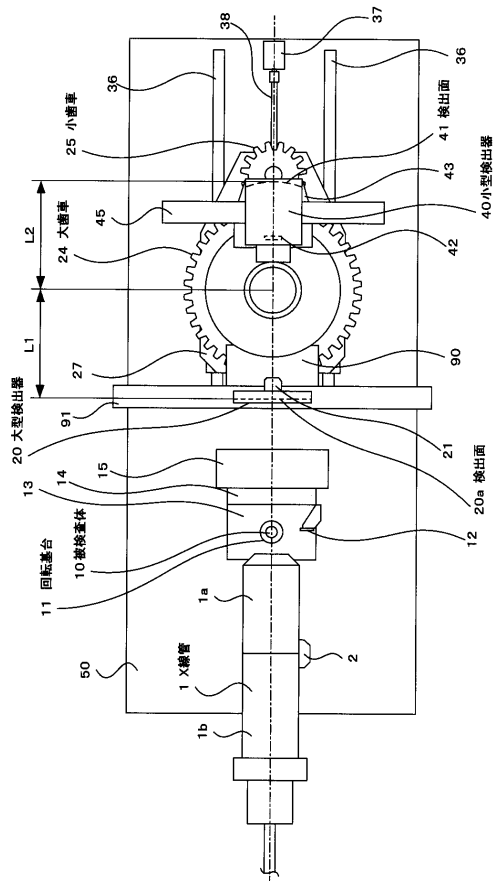
大型検出器の拡大率調節の説明図

【図 11】



画像合成の説明に供する図

【図 12】



本発明の他の実施の形態の形態の概略上面図 (大型検出器選択)

フロントページの続き

(72)発明者 筒井 亜希子

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

(72)発明者 田中 稔

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社内

Fターム(参考) 2G001 AA01 BA11 CA01 DA09 HA07 HA13 HA14 JA06 KA03 PA12