

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7582507号
(P7582507)

(45)発行日 令和6年11月13日(2024.11.13)

(24)登録日 令和6年11月5日(2024.11.5)

(51)国際特許分類	F I
G 0 1 N 23/04 (2018.01)	G 0 1 N 23/04
G 0 1 N 23/083 (2018.01)	G 0 1 N 23/083
G 0 1 N 23/18 (2018.01)	G 0 1 N 23/18
G 0 1 T 1/20 (2006.01)	G 0 1 T 1/20 A

請求項の数 9 (全16頁)

(21)出願番号	特願2023-558814(P2023-558814)	(73)特許権者	000003159 東レ株式会社 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号
(86)(22)出願日	令和5年8月3日(2023.8.3)	(74)代理人	110002147 弁理士法人酒井国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2023/028447	(72)発明者	山村 歩輝 滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社 滋賀事業場内
(87)国際公開番号	WO2024/043034	(72)発明者	林 将平 滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社 滋賀事業場内
(87)国際公開日	令和6年2月29日(2024.2.29)	(72)発明者	佐久間 敦士 滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社 滋賀事業場内
審査請求日	令和6年3月28日(2024.3.28)	審査官	比嘉 翔一
(31)優先権主張番号	特願2022-132549(P2022-132549)		
(32)優先日	令和4年8月23日(2022.8.23)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		
早期審査対象出願			

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 X線検査装置及びX線検査方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定対象に向けてX線を放射するX線放射装置と、
前記測定対象を介して入射した前記X線を可視光に変換するシンチレータと、
前記シンチレータからの前記可視光を撮像してX線画像を生成する撮像装置とを備え、
前記シンチレータは、
前記X線が入射する入射面と前記入射面に交差する第1の側面との境界が前記X線の放射範囲内に位置するように配置され、
前記撮像装置は、
前記第1の側面の全領域を、前記境界を含む第1の領域と、前記第1の領域を除く第2の領域との2つの領域に区画した場合に、前記第1の側面に対向するように配置されるとともに、前記第1の側面の全領域のうち前記第1の領域から出射される前記可視光を撮像し、
前記X線放射装置及び前記シンチレータは、
前記X線放射装置のX線焦点から前記測定対象までの距離をL1[mm]、前記X線焦点から前記シンチレータまでの距離をL2[mm]、及び前記X線焦点の直径をR[μm]とした場合に、 $(L2 - L1) \times R / L1$ で示される半影の幅が30μm以下となるように設置されているX線検査装置。

【請求項2】

前記入射面の全領域を、前記境界を含む第3の領域と、前記第3の領域を除く第4の領

10

20

域との2つの領域に区画した場合に、前記測定対象と前記シンチレータとの間に配置されるとともに、前記入射面の全領域のうち前記第4の領域に入射する前記X線を遮蔽するX線遮蔽部材をさらに備える請求項1に記載のX線検査装置。

【請求項3】

前記シンチレータは、

前記第1の側面と表裏をなす第2の側面と前記第1の側面との間の寸法が $30\mu\text{m}$ 以上、 $500\mu\text{m}$ 以下に設定されている請求項1に記載のX線検査装置。

【請求項4】

前記X線画像を解析する画像解析装置をさらに備え、

前記画像解析装置は、

前記X線画像における前記X線の入射方向に沿う前記可視光の輝度分布に基づいて、前記測定対象に存在する異常箇所の特徴量を推定する請求項1に記載のX線検査装置。

【請求項5】

前記測定対象を前記第1の側面の略垂直方向に、前記X線放射装置、前記シンチレータ、及び前記撮像装置に対して相対的に移動させる、または当該相対的な移動と停止とを繰り返す搬送装置をさらに備える請求項1に記載のX線検査装置。

【請求項6】

シンチレータにおけるX線が入射する入射面と前記入射面に交差する第1の側面との境界がX線の放射範囲内に位置するように前記シンチレータを配置するシンチレータ配置工程と、

前記第1の側面に対向するように撮像装置を配置する撮像装置配置工程と、

X線放射装置から測定対象に向けて前記X線を放射するX線放射工程と、

前記測定対象を介した前記X線が前記シンチレータに入射し、前記シンチレータにて変換された可視光を前記撮像装置にて撮像してX線画像を生成する撮像工程と、

前記X線放射装置と前記シンチレータとの位置関係を調整する位置関係調整工程とを備え、

前記撮像工程では、

前記第1の側面の全領域を、前記境界を含む第1の領域と、前記第1の領域を除く第2の領域との2つの領域に区画した場合に、前記第1の側面の全領域のうち前記第1の領域から出射される前記可視光を前記撮像装置にて撮像し、

前記位置関係調整工程では、

前記X線放射装置のX線焦点から前記測定対象までの距離を L_1 [mm]、前記X線焦点から前記シンチレータまでの距離を L_2 [mm]、及び前記X線焦点の直径を R [μm]とした場合に、 $(L_2 - L_1) \times R / L_1$ で示される半影の幅が前記測定対象に対して検出すべき欠点の径の $1/6$ 以下となるように前記X線放射装置と前記シンチレータとの位置関係を調整するX線検査方法。

【請求項7】

前記入射面の全領域を、前記境界を含む第3の領域と、前記第3の領域を除く第4の領域との2つの領域に区画した場合に、前記第4の領域に入射する前記X線を遮蔽するために、前記測定対象と前記シンチレータとの間に前記X線を遮蔽するX線遮蔽部材を配置するX線遮蔽部材配置工程をさらに備える請求項6に記載のX線検査方法。

【請求項8】

前記X線画像を解析する画像解析工程をさらに備え、

前記画像解析工程では、

前記X線画像における前記X線の入射方向に沿う前記可視光の輝度分布に基づいて、前記測定対象に存在する異常箇所の特徴量を推定する請求項6に記載のX線検査方法。

【請求項9】

前記測定対象を前記第1の側面の略垂直方向に、前記X線放射装置、前記シンチレータ、及び前記撮像装置に対して相対的に移動させる、または当該相対的な移動と停止とを繰り返す搬送工程をさらに備える請求項6に記載のX線検査方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】**【0001】**

本発明は、X線検査装置及びX線検査方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、測定対象にX線を放射し、当該測定対象を介したX線をシンチレータにて可視光に変換（当該X線により蛍光発光して可視光を出射）し、当該可視光を撮像装置にて撮像してX線画像を生成するX線検査装置が知られている（例えば、特許文献1, 2参照）。

特許文献1に記載のX線検査装置は、所謂、透過撮像型のX線検査装置である。具体的に、当該透過撮像型のX線検査装置は、シンチレータにおけるX線が入射する入射面と表裏をなす面から出射された可視光を撮像してX線画像を生成する。

10

特許文献2に記載のX線検査装置は、所謂、反射撮像型のX線検査装置である。具体的に、当該反射撮像型のX線検査装置は、シンチレータにおけるX線が入射する入射面から出射された可視光を撮像してX線画像を生成する。

【先行技術文献】**【特許文献】****【0003】**

【文献】特開平1-262451号公報

【文献】特開2020-160079号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】**【0004】**

しかしながら、特許文献1に記載の透過撮像型のX線検査装置では、X線がシンチレータに入射されると、当該シンチレータにて変換された可視光は、当該シンチレータの内部を進行するため、当該内部で吸収される。このため、入射面と表裏をなす面から出射される可視光の輝度が低いものとなり、X線画像が暗い画像となってしまう。また、粒子型のシンチレータを採用した場合には、当該シンチレータの内部を進行する可視光は、当該内部で散乱し易い。このため、X線画像は、不鮮明な画像となってしまう。

すなわち、特許文献1に記載の透過撮像型のX線検査装置では、X線画像が暗い画像や不鮮明な画像となってしまう、検査に適したX線画像を得ることが難しい、という問題がある。

30

【0005】

また、特許文献2に記載の反射撮像型のX線検査装置では、シンチレータにおけるX線が入射する入射面から出射された可視光を撮像装置に向けて進行させる必要があるため、当該シンチレータを測定対象に対して傾ける必要がある。このため、測定対象とシンチレータとの間の距離が比較的に大きくなる。その結果、X線画像に生じるボケ（半影）が大きくなり、当該X線画像は、不鮮明な画像となってしまう。

すなわち、特許文献2に記載の反射撮像型のX線検査装置では、X線画像が不鮮明な画像となってしまう、検査に適したX線画像を得ることが難しい、という問題がある。

そこで、検査に適したX線画像を得ることができる技術が要望されている。

40

【0006】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、検査に適したX線画像を得ることができるX線検査装置及びX線検査方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】**【0007】**

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係るX線検査装置は、測定対象に向けてX線を放射するX線放射装置と、前記測定対象を介して入射した前記X線を可視光に変換するシンチレータと、前記シンチレータからの前記可視光を撮像してX線画像を生成する撮像装置とを備え、前記シンチレータは、前記X線が入射する入射面と前記入射面に交差する第1の側面との境界が前記X線の放射範囲内に位置するように配置され、

50

前記撮像装置は、前記第1の側面の全領域を、前記境界を含む第1の領域と、前記第1の領域を除く第2の領域との2つの領域に区画した場合に、前記第1の側面に対向するように配置されるとともに、前記第1の側面の全領域のうち前記第1の領域から出射される前記可視光を撮像する。

【0008】

また、本発明に係るX線検査装置では、上記発明において、前記入射面の全領域を、前記境界を含む第3の領域と、前記第3の領域を除く第4の領域との2つの領域に区画した場合に、前記測定対象と前記シンチレータとの間に配置されるとともに、前記入射面の全領域のうち前記第4の領域に入射する前記X線を遮蔽するX線遮蔽部材をさらに備える。

【0009】

また、本発明に係るX線検査装置では、上記発明において、前記シンチレータは、前記第1の側面と表裏をなす第2の側面と前記第1の側面との間の寸法が $30\mu\text{m}$ 以上、 $500\mu\text{m}$ 以下に設定されている。

【0010】

また、本発明に係るX線検査装置では、上記発明において、前記X線画像を解析する画像解析装置をさらに備え、前記画像解析装置は、前記X線画像における前記X線の入射方向に沿う前記可視光の輝度分布に基づいて、前記測定対象に存在する異常箇所の特徴量を推定する。

【0011】

また、本発明に係るX線検査装置では、上記発明において、前記X線放射装置及び前記シンチレータは、前記X線放射装置のX線焦点から前記測定対象までの距離を $L1[\text{mm}]$ 、前記X線焦点から前記シンチレータまでの距離を $L2[\text{mm}]$ 、及び前記X線焦点の直径を $R[\mu\text{m}]$ とした場合に、 $(L2 - L1) \times R / L1$ で示される半影の幅が $30\mu\text{m}$ 以下となるように設置されている。

【0012】

また、本発明に係るX線検査装置では、上記発明において、前記測定対象を前記第1の側面の略垂直方向に、前記X線放射装置、前記シンチレータ、及び前記撮像装置に対して相対的に移動させる、または当該相対的な移動と停止とを繰り返す搬送装置をさらに備える。

【0013】

また、本発明に係るX線検査方法は、シンチレータにおけるX線が入射する入射面と前記入射面に交差する第1の側面との境界がX線の放射範囲内に位置するように前記シンチレータを配置するシンチレータ配置工程と、前記第1の側面に対向するように撮像装置を配置する撮像装置配置工程と、X放射装置から測定対象に向けて前記X線を放射するX線放射工程と、前記測定対象を介した前記X線が前記シンチレータに入射し、前記シンチレータにて変換された可視光を前記撮像装置にて撮像してX線画像を生成する撮像工程とを備え、前記撮像工程では、前記第1の側面の全領域を、前記境界を含む第1の領域と、前記第1の領域を除く第2の領域との2つの領域に区画した場合に、前記第1の側面の全領域のうち前記第1の領域から出射される前記可視光を前記撮像装置にて撮像する。

【0014】

また、本発明に係るX線検査方法では、上記発明において、前記入射面の全領域を、前記境界を含む第3の領域と、前記第3の領域を除く第4の領域との2つの領域に区画した場合に、前記第4の領域に入射する前記X線を遮蔽するために、前記測定対象と前記シンチレータとの間に前記X線を遮蔽するX線遮蔽部材を配置するX線遮蔽部材配置工程をさらに備える。

【0015】

また、本発明に係るX線検査方法では、上記発明において、前記X線画像を解析する画像解析工程をさらに備え、前記画像解析工程では、前記X線画像における前記X線の入射方向に沿う前記可視光の輝度分布に基づいて、前記測定対象に存在する異常箇所の特徴量を推定する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 6 】

また、本発明に係る X 線検査方法では、上記発明において、前記 X 線放射装置と前記シンチレータとの位置関係を調整する位置関係調整工程をさらに備え、前記位置関係調整工程では、前記 X 線放射装置の X 線焦点から前記測定対象までの距離を L_1 [mm]、前記 X 線焦点から前記シンチレータまでの距離を L_2 [mm]、及び前記 X 線焦点の直径を R [μ m] とした場合に、 $(L_2 - L_1) \times R / L_1$ で示される半影の幅が前記測定対象に対して検出すべき欠点の径の $1/6$ 以下となるように前記 X 線放射装置と前記シンチレータとの位置関係を調整する。

【 0 0 1 7 】

また、本発明に係る X 線検査方法では、上記発明において、前記測定対象を前記第 1 の側面の略垂直方向に、前記 X 線放射装置、前記シンチレータ、及び前記撮像装置に対して相対的に移動させる、または当該相対的な移動と停止とを繰り返す搬送工程をさらに備える。

10

【発明の効果】

【 0 0 1 8 】

本発明に係る X 線検査装置及び X 線検査方法によれば、検査に適した X 線画像を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 9 】

【図 1】図 1 は、実施の形態 1 に係る X 線検査装置を示す図である。

20

【図 2】図 2 は、X 線検査方法を示すフローチャートである。

【図 3】図 3 は、ステップ S 1 を説明する図である。

【図 4】図 4 は、ステップ S 5 を説明する図である。

【図 5】図 5 は、実施の形態 2 に係る X 線検査装置を示す図である。

【図 6】図 6 は、実施の形態 2 の効果を説明する図である。

【図 7】図 7 は、実施の形態 3 に係る X 線検査装置を示す図である。

【図 8】図 8 は、実施の形態 3 の効果を説明する図である。

【図 9】図 9 は、実施の形態 1 ~ 3 の変形例を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 0 】

30

以下に、図面を参照して、本発明を実施するための形態（以下、実施の形態）について説明する。なお、以下に説明する実施の形態によって本発明が限定されるものではない。さらに、図面の記載において、同一の部分には同一の符号を付している。

【 0 0 2 1 】

（実施の形態 1）

〔 X 線検査装置の構成 〕

図 1 は、実施の形態 1 に係る X 線検査装置 1 を示す図である。

X 線検査装置 1 は、フィルムや繊維等の測定対象 $O B$ （図 1）に X 線を放射し、当該測定対象 $O B$ を透過した X 線を可視光に変換し、当該可視光を撮像して X 線画像を生成する。そして、X 線検査装置 1 は、当該 X 線画像を解析することにより、測定対象 $O B$ に混入している金属異物等の欠点 $D E$ （図 3 参照）の特徴量を推定する。

40

なお、測定対象 $O B$ としては、フィルムや繊維に限らず、紙、樹脂、及び集積回路等を採用しても構わない。

【 0 0 2 2 】

この X 線検査装置 1 は、図 1 に示すように、X 線放射装置 2 と、搬送装置 3 と、シンチレータ 4 と、撮像装置 5 と、表示装置 6 と、制御装置 7 とを備える。

なお、以下では、X 線検査装置 1 の構成を説明するにあたって、鉛直方向に沿う軸を Z 軸とし、当該 Z 軸に直交する 2 つの軸を X 軸及び Y 軸とする。図 1 では、Z 軸は、上下方向に沿う軸である。また、X 軸は、左右方向に沿う軸である。さらに、Y 軸は、図 1 の紙面に直交する軸である。

50

【 0 0 2 3 】

X線放射装置2は、制御装置7による制御の下、X線焦点21(図1)から測定対象OBに向けて円錐状のX線ビーム(コーンビーム)を放射する。図1では、当該円錐状のX線ビームの放射範囲SPをドットで表現している。本実施の形態1では、X線放射装置2からのX線の放射方向は、-Z軸方向(図1中、下方向)である。

なお、X線放射装置2としては、密閉型でも開放型でもよく、また、ミリフォーカス型でもマイクロフォーカス型でも構わない。

【 0 0 2 4 】

搬送装置3は、搬送ローラやベルトコンベア等を有し、制御装置7による制御の下、測定対象OBを保持しつつ、当該測定対象OBを搬送する。本実施の形態1では、測定対象OBの搬送方向は、-X軸方向(図1中、右方向)である。当該-X軸方向は、後述する第1の側面42の略垂直方向である。

10

【 0 0 2 5 】

シンチレータ4は、図1に示すように、平面視矩形状の板体で構成され、板面がXY平面に略平行な姿勢で測定対象OBに対して-Z軸側に配置されている。そして、シンチレータ4は、測定対象OBを透過した後に入射したX線を可視光に変換(当該X線により蛍光発光)する。

ここで、シンチレータ4において、+Z軸側(図1中、上方側)の板面は、測定対象OBを透過したX線が入射し、本発明に係る入射面41(図1)に相当する。また、シンチレータ4において、-X軸側の側面は、入射面41に交差し、本発明に係る第1の側面42(図1)に相当する。

20

なお、シンチレータ4としては、粒子型でも単結晶型でも構わない。

【 0 0 2 6 】

撮像装置5は、入射した光を受光して電気信号に変換するCCD(Charge Coupled Device)またはCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)等の撮像素子を含み、シンチレータ4からの可視光を撮像してX線画像を生成するカメラである。そして、撮像装置5は、生成したX線画像のデータを制御装置7に出力する。

なお、撮像装置5としては、ラインセンサカメラでも、エリアセンサカメラでも、時間遅延積分型カメラでも構わない。

【 0 0 2 7 】

表示装置6は、液晶または有機EL(Electro Luminescence)等を用いた表示ディスプレイで構成され、制御装置7による制御の下、X線画像等の各種の画像を表示する。

30

【 0 0 2 8 】

制御装置7は、X線検査装置1全体の動作を統括的に制御する。この制御装置7は、図1に示すように、プロセッサ71と、記憶部72と、入力部73とを備える。

プロセッサ71は、CPU(Central Processing Unit)やMPU(Micro Processing Unit)等のコントローラによって、記憶部72に記憶された各種のプログラムが実行されることにより実現され、X線検査装置1全体の動作を制御する。

なお、プロセッサ71としては、CPUやMPUに限らず、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)やFPGA(Field-Programmable Gate Array)等の集積回路によって構成されても構わない。当該プロセッサ71の機能については、後述する「X線検査方法」において説明する。

40

【 0 0 2 9 】

記憶部72は、プロセッサ71が実行する各種のプログラムの他、当該プロセッサ71が処理を行うときに必要なデータ等を記憶する。

入力部73は、作業者によるユーザ操作を受け付けるボタン、スイッチ、タッチパネル等で構成され、当該ユーザ操作に応じた操作信号をプロセッサ71に出力する。なお、入力部73の機能の一部または全部がタッチパネルとして表示装置6の表示画面に配置されても構わない。

【 0 0 3 0 】

50

〔 X線検査方法 〕

次に、上述した X線検査装置 1 を用いた X線検査方法について説明する。

図 2 は、 X線検査方法を示すフローチャートである。

まず、作業者は、 X線検査装置 1 の初期設定を行う（ステップ S 1 ）。

図 3 は、ステップ S 1 を説明する図である。具体的に、図 3 は、 X線放射装置 2、測定対象 O B、及びシンチレータ 4 の位置関係を示す図である。図 3 において、符号「 R 」は、 X線焦点 2 1 の直径[μm]である。また、符号「 L 1 」は、 X線焦点 2 1 から測定対象 O B までの距離[mm]である。さらに、符号「 L 2 」は、 X線焦点 2 1 からシンチレータ 4 までの距離[mm]である。また、符号「 r 」は、半影（ボケ） S H の幅[μm]である。

【 0 0 3 1 〕

ここで、 X線検査における半影 S H について説明する。

X線検査において、測定対象 O B からシンチレータ 4 までの距離（ L 2 - L 1 ）を大きくし、放射された X線による当該測定対象 O B に混入している金属異物等の欠点 D E の影を幾何学的に大きくした場合には、微小な欠点 D E の検出感度が低くなってしまふ。

具体的に、 X線焦点 2 1 は、有限の直径 R [μm]を有している。このため、本来、欠点 D E の影となるべき領域に X線が入り込んでしまい、半影 S H（図 3）が生じる。すなわち、本来、欠点 D E の影となる部分に半影 S H が生じることにより、当該欠点 D E を高精度に検出することが難しくなる。

【 0 0 3 2 〕

ところで、半影 S H は、欠点 D E の両端部で発生する。このため、欠点 D E の影は、本来よりも $2 \times r$ 分だけ小さくなる。ここで、半影 S H の幅 r は、 $(L 2 - L 1) \times R / L 1$ で示される。

本願の発明者は、鋭意検討を進めた結果、安定的に欠点 D E を検出するためには、半影 S H の幅 r を欠点 D E の径の $1 / 6$ 以下にすることが必要であることを見出した。本実施の形態 1 において、欠点 D E の径は、 $30 \mu\text{m}$ 以上、 $200 \mu\text{m}$ 以下である。

そして、作業者は、ステップ S 1 において、測定対象 O B に対して検出すべき欠点 D E の径を $180 \mu\text{m}$ 程度とし、距離 L 1、L 2 を調整することにより、半影 S H の幅 r が当該 $180 \mu\text{m}$ の $1 / 6$ （ $30 \mu\text{m}$ ）以下となるように設定する。

【 0 0 3 3 〕

また、作業者は、ステップ S 1 において、シンチレータ 4 における入射面 4 1 と第 1 の側面 4 2 との境界 B O（図 1）が X線の放射範囲 S P 内に位置するように当該シンチレータ 4 を配置する。

さらに、作業者は、ステップ S 1 において、第 1 の側面 4 2 に対向するように撮像装置 5 を配置する。

以上のように、ステップ S 1 は、本発明に係る位置関係調整工程、シンチレータ配置工程、及び撮像装置配置工程に相当する。

【 0 0 3 4 〕

ステップ S 1 の後、作業者は、入力部 7 3 に対して、 X線検査を開始する操作を行う。これにより、プロセッサ 7 1 は、以下に示す処理を実行する。

まず、プロセッサ 7 1 は、搬送装置 3 を動作させ、測定対象 O B を所定の速度で搬送する（ステップ S 2：搬送工程）。

ステップ S 2 の後、プロセッサ 7 1 は、 X線放射装置 2 を動作させる。そして、 X線放射装置 2 は、測定対象 O B に向けて X線を放射する（ステップ S 3： X線放射工程）。

【 0 0 3 5 〕

ステップ S 3 の後、プロセッサ 7 1 は、撮像装置 5 を動作させる。そして、撮像装置 5 は、測定対象 O B を介した X線がシンチレータ 4 に入射し、当該シンチレータ 4 にて変換された可視光を撮像して X線画像を生成する（ステップ S 4：撮像工程）。また、撮像装置 5 は、当該生成した X線画像のデータを制御装置 7 に出力する。

ここで、第 1 の側面 4 2 の全領域を、境界 B O を含む第 1 の領域 A r 1（図 4 参照）と、当該第 1 の領域 A r 1 を除く第 2 の領域 A r 2（図 4 参照）との 2 つの領域に区画した

10

20

30

40

50

場合を想定する。この場合には、ステップS4では、第1の側面42の全領域のうち第1の領域Ar1から出射される可視光を撮像装置5にて撮像する。すなわち、ステップS4では、第1の側面42の全領域のうち、境界BO近傍の領域(第1の領域Ar1)から出射される可視光を撮像装置5にて撮像する。

【0036】

ステップS4の後、プロセッサ71は、ステップS4にて生成されたX線画像のデータを撮像装置5から取得し、当該X線画像を解析する(ステップS5:画像解析工程)。この後、プロセッサ71は、ステップS2に戻る。

図4は、ステップS5を説明する図である。具体的に、図4の(a)は、測定対象OBに混入している欠点DEの厚みが大きい場合または当該欠点DEの密度が高い場合でのX線画像F1を示している。図4の(b)は、測定対象OBに混入している欠点DEの厚みが小さい場合または当該欠点DEの密度が低い場合でのX線画像F2を示している。なお、図4では、X線による欠点DEの影となる領域ArS1, ArS2内において、当該X線が変換された可視光の輝度が低いほど、ドットの密度を高くしている。また、図4では、説明の便宜上、第1の側面42において、領域ArS1, ArS2以外の領域については、当該ドットを付していない。

【0037】

ところで、欠点DEが混入している場合には、図4に示すように、当該欠点DEによってX線が吸収され、当該欠点DEの影となる領域ArS1, ArS2が生じる。当該領域ArS1, ArS2において、入射面41に近い領域では、欠点DEによるX線の吸収により、当該X線が変換された可視光の輝度は、低いものとなる。そして、当該領域ArS1, ArS2において、-Z方向に向かうにしたがって、当該領域ArS1, ArS2以外の領域からの可視光の影響により、徐々に可視光の輝度が高くなり、最終的に、当該領域ArS1, ArS2以外の領域の可視光の輝度と略同一となる。

【0038】

ここで、図4の(a)と図4の(b)とを比較して分かるように、欠点DEの厚みや密度が異なる場合には、領域ArS1, ArS2のZ軸方向の長さ等のZ軸方向に沿う可視光の輝度分布が異なるものとなる。具体的に、領域ArS1のZ軸方向の長さは、領域ArS2のZ軸方向の長さよりも長い。すなわち、欠点DEの厚みや密度等の特徴量と、X線画像におけるZ軸方向(X線の入射方向)に沿う可視光の輝度分布とは、相関関係がある。そして、記憶部72には、当該相関関係を示す相関情報が記憶されている。

なお、このZ軸方向に沿う可視光の輝度分布は、欠点DEのY軸方向の長さにも依存する。このため、記憶部72に記憶される相関情報を構成する特徴量に、欠点DEの厚みや密度の他、当該欠点DEのY軸方向の長さを含めても構わない。

【0039】

ステップS5では、プロセッサ71は、ステップS4にて生成されたX線画像から、Z軸方向に沿う可視光の輝度分布(受光量プロファイル)を取得し、記憶部72に記憶された相関情報を参照し、当該輝度分布に対応する特徴量を推定する。すなわち、制御装置7は、本発明に係る画像解析装置に相当する。

【0040】

ここで、シンチレータ4におけるZ軸方向(図4中、上下方向)の長さ寸法は、ステップS5において、受光量プロファイルを取得するために、200 μ m以上であることが好ましい。また、シンチレータ4におけるY軸方向(図4中、左右方向)の長さ寸法は、60~100mm程度である。

【0041】

以上説明した本実施の形態1によれば、以下の効果を奏する。

本実施の形態1に係るX線検査装置1では、シンチレータ4は、境界BOをX線の放射範囲SP内に位置するように配置されている。また、撮像装置5は、第1の側面42に対向するように配置されるとともに、当該第1の側面42の全領域のうち境界BOを含む第1の領域Ar1から出射される可視光を撮像する。

10

20

30

40

50

すなわち、撮像装置 5 は、特許文献 1 に記載の透過撮像型の X 線検査装置のようにシンチレータを透過した可視光を撮像するのではなく、第 1 の側面 4 2 における第 1 の領域 A r 1 から出射された可視光を撮像する。言い換えれば、撮像装置 5 は、シンチレータ 4 の内部での吸収や散乱の影響が少ない可視光を撮像する。このため、明るく、かつ、鮮明な X 線画像を生成することができる。

また、特許文献 2 に記載の反射撮像型の X 線検査装置のようにシンチレータを測定対象に対して傾ける必要がないため、シンチレータ 4 を測定対象 O B に近付けることができる。このため、X 線画像に生じる半影 S H の幅 r を小さくすることができ、鮮明な X 線画像を生成することができる。

以上のことから、本実施の形態 1 に係る X 線検査装置 1 によれば、検査に適した X 線画像を得ることができる。

10

【 0 0 4 2 】

ところで、特許文献 2 に記載の反射撮像型の X 線検査装置では、撮像装置は、シンチレータの入射面を撮像する必要がある。このため、撮像装置の撮像視野に測定対象が入り、当該測定対象によりシンチレータの入射面が遮られ易く、当該撮像装置の設置位置の設定が難しいものとなる。

これに対して、本実施の形態 1 に係る X 線検査装置 1 では、撮像装置 5 は、第 1 の側面 4 2 に対向するように配置され、当該第 1 の側面 4 2 における第 1 の領域 A r 1 から出射される可視光を撮像する。このため、測定対象により当該第 1 の領域 A r 1 が遮られることがなく、撮像装置 5 を容易に設置することができる。また、撮像装置 5 を第 1 の側面 4 2 に対向するように設置することで、当該撮像装置 5 は、X 線による被ばくがない状態となる。このため、撮像装置 5 の長寿命化を図ることができる。

20

【 0 0 4 3 】

また、本実施の形態 1 に係る X 線検査装置 1 では、X 線放射装置 2 及びシンチレータ 4 は、半影 S H の幅 r が測定対象 O B に対して検出すべき欠点 D E の径である $180\ \mu\text{m}$ の $1/6$ ($30\ \mu\text{m}$) 以下となるように設置されている。

このため、安定的に欠点 D E を検出することができる。

【 0 0 4 4 】

また、本実施の形態 1 に係る X 線検査装置 1 では、プロセッサ 7 1 は、X 線画像 F 1 , F 2 における X 線の入射方向に沿う可視光の輝度分布 (受光量プロファイル) に基づいて、測定対象 O B に存在する欠点 D E の特徴量を推定する。

30

このため、簡単な処理で容易に欠点 D E の特徴量 (厚さや密度) を推定することができる。

【 0 0 4 5 】

(実施の形態 2)

次に、本実施の形態 2 について説明する。

以下の説明では、上述した実施の形態 1 と同様の構成には同一符号を付し、その詳細な説明は省略または簡略化する。

図 5 は、図 1 に対応した図であって、実施の形態 2 に係る X 線検査装置 1 A を示す図である。なお、図 5 では、説明の便宜上、搬送装置 3、撮像装置 5、表示装置 6、及び制御装置 7 の図示を省略している。

40

本実施の形態 2 に係る X 線検査装置 1 A では、図 5 に示すように、上述した実施の形態 1 において説明した X 線検査装置 1 に対して、X 線遮蔽部材 8 が追加されている。

【 0 0 4 6 】

X 線遮蔽部材 8 は、例えばアルミニウムや鉄等によって構成され、X 線を遮蔽する板体である。そして、X 線遮蔽部材 8 は、図 5 に示すように、測定対象 O B とシンチレータ 4 との間に配置され、入射面 4 1 の全領域のうち、一部の領域に入射する X 線を遮蔽する。

【 0 0 4 7 】

本実施の形態 2 に係る X 線検査方法では、上述した実施の形態 1 において説明した X 線検査方法に対して、ステップ S 1 で X 線遮蔽部材 8 を配置する。

50

ここで、入射面 4 1 の全領域を、境界 B 0 を含む第 3 の領域 A r 3 (図 5) と、当該第 3 の領域 A r 3 を除く第 4 の領域 A r 4 (図 5) との 2 つの領域に区画した場合を想定する。この場合には、作業者は、ステップ S 1 において、第 4 の領域 A r 4 に入射する X 線を遮蔽するために、測定対象 O B とシンチレータ 4 との間に X 線遮蔽部材 8 を配置する。

すなわち、ステップ S 1 は、本発明に係る位置関係調整工程、シンチレータ配置工程、及び撮像装置配置工程の他、X 線遮蔽部材配置工程に相当する。

【 0 0 4 8 】

第 3 の領域 A r 3 における X 軸方向 (図 5 中、左右方向) の長さ寸法は、欠点 D E の径を考慮し、 $30\mu\text{m}$ 以上、 $500\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。

【 0 0 4 9 】

以上説明した本実施の形態 2 によれば、上述した実施の形態 1 と同様の効果の他、以下の効果を奏する。

図 6 は、実施の形態 2 の効果を説明する図である。具体的に、図 6 は、X 線遮蔽部材 8 と、シンチレータ 4 と、撮像装置 5 との位置関係を示している。なお、図 6 において、符号「V L」によって指し示す円は、シンチレータ 4 で X 線が変換された可視光を表現したものである。

【 0 0 5 0 】

例えば、上述した領域 A r S 1 , A r S 2 の可視光として、欠点 D E を透過した X 線がシンチレータ 4 にて変換された可視光 V L (図 6 では実線の円で表現) の他、当該欠点 D E を透過していない X 線が当該シンチレータ 4 にて変換された可視光 V L ' (図 6 では一点鎖線の円で表現) を含む場合を想定する。この場合には、可視光 V L の輝度が可視光 V L ' の輝度により埋もれてしまい、欠点 D E の特徴量を高精度に推定することが難しい。

そこで、本実施の形態 2 に係る X 線検査装置 1 A は、入射面 4 1 の全領域のうち第 4 の領域 A r 4 に入射する X 線を遮蔽する X 線遮蔽部材 8 をさらに備える。すなわち、X 線遮蔽部材 8 を配置することで上述した可視光 V L ' の発生を防止する。このため、欠点 D E の特徴量を高精度に推定することができる。

【 0 0 5 1 】

(実施の形態 3)

次に、本実施の形態 3 について説明する。

以下の説明では、上述した実施の形態 1 と同様の構成には同一符号を付し、その詳細な説明は省略または簡略化する。

図 7 は、図 1 に対応した図であって、実施の形態 3 に係る X 線検査装置 1 B を示す図である。なお、図 7 では、説明の便宜上、搬送装置 3、撮像装置 5、表示装置 6、及び制御装置 7 の図示を省略している。

本実施の形態 3 に係る X 線検査装置 1 B では、図 6 に示すように、上述した実施の形態 1 において説明した X 線検査装置 1 に対して、シンチレータ 4 とは異なる形状のシンチレータ 4 B が採用されている。

【 0 0 5 2 】

シンチレータ 4 B は、図 7 に示すように、平面視矩形形状の板体で構成され、板面が X Z 平面に略平行な姿勢で測定対象 O B に対して - Z 軸側に配置されている。

ここで、シンチレータ 4 B において、+ Z 軸側 (図 7 中、上方側) の端面は、測定対象 O B を透過した X 線が入射し、本発明に係る入射面 4 1 B に相当する。また、シンチレータ 4 B において、- X 軸側 (図 7 中、右側) の板面は、入射面 4 1 B に交差し、本発明に係る第 1 の側面 4 2 B に相当する。さらに、シンチレータ 4 B において、+ X 軸側 (図 7 中、左側) の板面は、第 1 の側面 4 2 B と表裏をなし、本発明に係る第 2 の側面 4 3 B に相当する。

【 0 0 5 3 】

本実施の形態 3 に係る X 線検査方法は、上述した実施の形態 1 において説明した X 線検査方法と同様である。

すなわち、ステップ S 1 では、作業者は、上述した実施の形態 1 において説明したよう

10

20

30

40

50

に、シンチレータ 4 B における入射面 4 1 B と第 1 の側面 4 2 B との境界 B O (図 7) が X 線の放射範囲 S P (図 7) 内に位置するように当該シンチレータ 4 B を配置する。

【 0 0 5 4 】

ここで、シンチレータ 4 B における第 1 , 第 2 の側面 4 2 B , 4 3 B 間の厚み寸法は、欠点 D E の径を考慮し、 $30\ \mu\text{m}$ 以上、 $500\ \mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。また、シンチレータ 4 B における Z 軸方向 (図 7 中、上下方向) の長さ寸法は、ステップ S 5 において、受光量プロファイルを取得するために、 $200\ \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。さらに、シンチレータ 4 B における Y 軸方向 (図 7 の紙面に直交する方向) の長さ寸法は、 $60\sim 100\ \text{mm}$ 程度である。

【 0 0 5 5 】

以上説明した本実施の形態 3 によれば、上述した実施の形態 1 と同様の効果の他、以下の効果を奏する。

図 8 は、実施の形態 3 の効果を説明する図である。具体的に、図 8 は、シンチレータ 4 B と、撮像装置 5 との位置関係を示している。なお、図 8 において、符号「V L」によって指し示す円は、図 6 と同様に、シンチレータ 4 B で X 線が変換された可視光を表現したものである。

【 0 0 5 6 】

本実施の形態 3 に係る X 線検査装置 1 B では、シンチレータ 4 B は、第 1 , 第 2 の側面 4 2 B , 4 3 B 間の厚み寸法が $30\ \mu\text{m}$ 以上、 $500\ \mu\text{m}$ 以下に設定されている。

このため、欠点 D E を透過していない X 線がシンチレータ 4 B にて変換された可視光 V L' (図 8 では一点鎖線の円で表現) の発生を防止し、上述した領域 A r S 1 , A r S 2 の可視光を、当該欠点 D E を透過した X 線が当該シンチレータ 4 B にて変換された可視光 V L (図 8 では実線の円で表現) によって構成することができる。このため、上述した実施の形態 2 と同様に、欠点 D E の特徴量を高精度に推定することができる。

【 0 0 5 7 】

(その他の実施形態)

ここまで、本発明を実施するための形態を説明してきたが、本発明は上述した実施の形態 1 ~ 3 によってのみ限定されるべきものではない。

上述した実施の形態 1 ~ 3 では、測定対象 O B を搬送しながら撮像装置 5 にて撮像を行っていたが、これに限らない。搬送装置 3 は、搬送工程 S 2 において、撮像装置 5 にて撮像を行う際にのみ、一旦、測定対象 O B の搬送を停止しても構わない。

また、上述した実施の形態 1 ~ 3 では、搬送装置 3 は、搬送工程 S 2 において、測定対象 O B を搬送 (移動) させていたが、これに限らない。搬送装置 3 は、搬送工程 S 2 において、測定対象 O B を第 1 の側面 4 2 の略垂直方向に、X 線放射装置 2、シンチレータ 4 (4 B)、及び撮像装置 5 に対して相対的に移動させればよく、当該測定対象 O B は移動させずに、当該 X 線放射装置 2、シンチレータ 4 (4 B)、及び撮像装置 5 を移動させても構わない。

【 0 0 5 8 】

図 9 は、実施の形態 1 ~ 3 の変形例を説明する図である。

上述した実施の形態 1 ~ 3 では、シンチレータ 4 (4 B) では、図 9 の (a) に示すように、入射面 4 1 と第 1 の側面 4 2 とが直交するように交差していたが、これに限らない。例えば、図 9 の (b) に示すように、入射面 4 1 と第 1 の側面 4 2 とが鈍角で交差しても構わない。また、例えば、図 9 の (c) に示すように、入射面 4 1 と第 1 の側面 4 2 との角部分を C 面取りしても構わない。さらに、例えば、図 9 の (d) に示すように、入射面 4 1 と第 1 の側面 4 2 との角部分を R 面取りしても構わない。

【 符号の説明 】

【 0 0 5 9 】

- 1 , 1 A , 1 B X 線検査装置
- 2 X 線放射装置
- 3 搬送装置

10

20

30

40

50

4 , 4 B	シンチレータ	
5	撮像装置	
6	表示装置	
7	制御装置	
8	X線遮蔽部材	
2 1	X線焦点	
4 1 , 4 1 B	入射面	
4 2 , 4 2 B	第1の側面	
4 3 B	第2の側面	
7 1	プロセッサ	10
7 2	記憶部	
7 3	入力部	
A r 1	第1の領域	
A r 2	第2の領域	
A r 3	第3の領域	
A r 4	第4の領域	
A r S 1 , A r S 2	領域	
B O	境界	
D E	欠点	
F 1 , F 2	X線画像	20
L 1 , L 2	距離	
O B	測定対象	
r	幅	
S H	半影	
S P	放射範囲	
V L , V L ′	可視光	

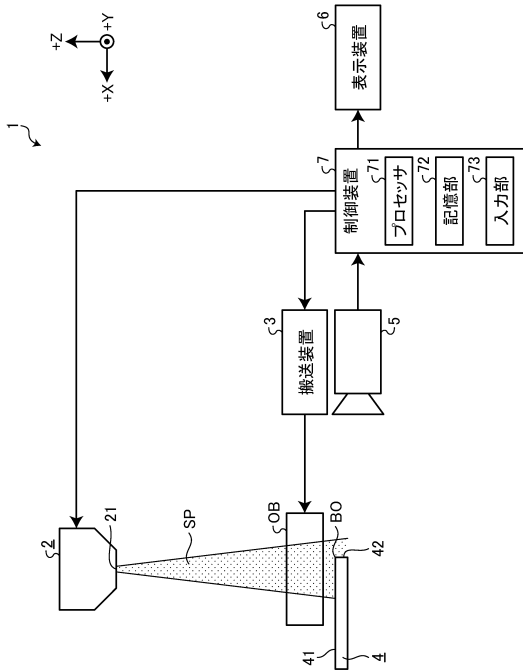
30

40

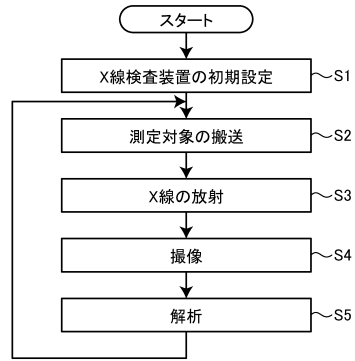
50

【図面】

【図 1】



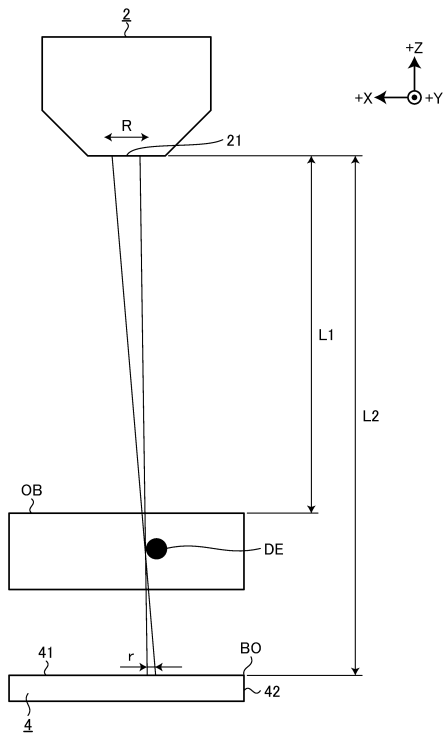
【図 2】



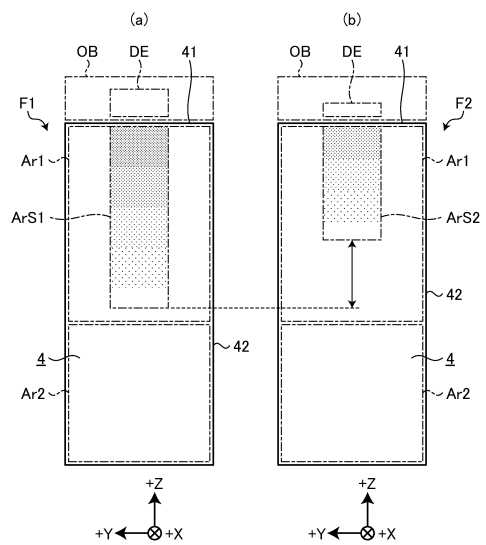
10

20

【図 3】



【図 4】

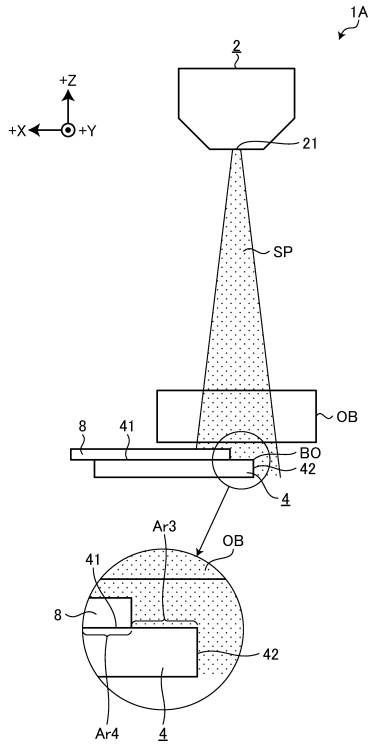


30

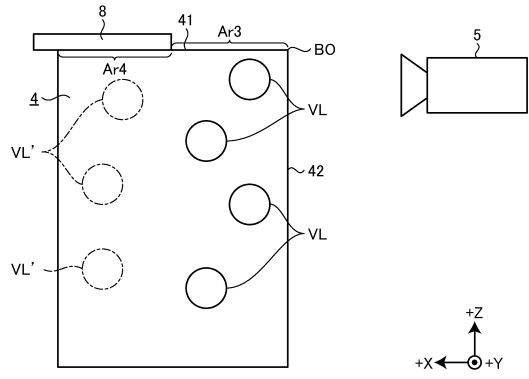
40

50

【 図 5 】



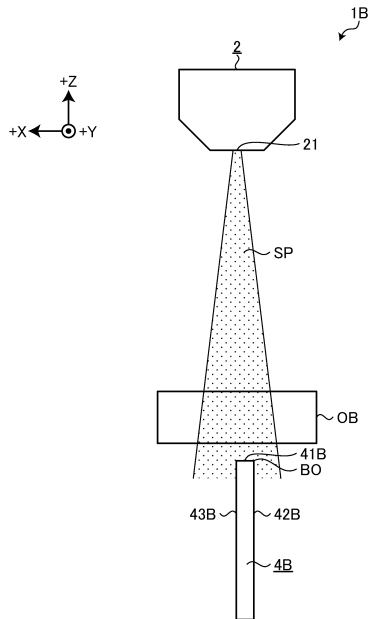
【 図 6 】



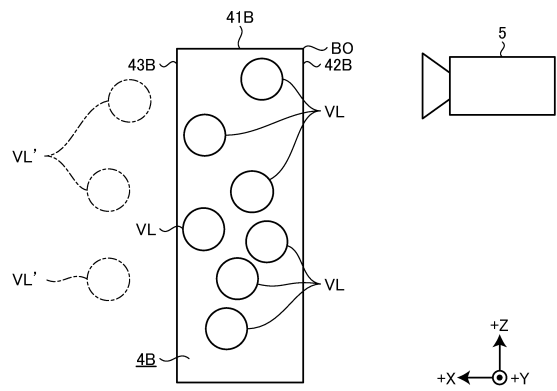
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

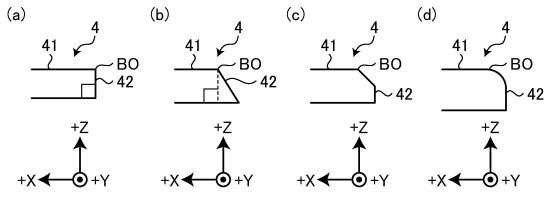


30

40

50

【 図 9 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2013-178242(JP,A)

特開2007-155653(JP,A)

特開2018-013369(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01N23/00 - G01N23/2276

G01B15/00 - G01B15/08

A61B6/00 - A61B6/58

G01T1/00 - G01T7/12

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDream3)