

(19)日本国特許庁(JP)

## (12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7009230号  
(P7009230)

(45)発行日 令和4年1月25日(2022.1.25)

(24)登録日 令和4年1月14日(2022.1.14)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 N	23/203 (2006.01)	G 0 1 N	23/203	
B 6 6 B	31/00 (2006.01)	B 6 6 B	31/00	D
B 6 6 B	31/02 (2006.01)	B 6 6 B	31/02	Z
G 0 1 T	7/00 (2006.01)	G 0 1 T	7/00	B
G 2 1 K	3/00 (2006.01)	G 2 1 K	3/00	M

請求項の数 14 (全15頁)

(21)出願番号	特願2018-9071(P2018-9071)	(73)特許権者	000232955 株式会社日立ビルシステム 東京都千代田区神田淡路町二丁目101番地
(22)出願日	平成30年1月23日(2018.1.23)	(74)代理人	110002365 特許業務法人サンネクスト国際特許事務所
(65)公開番号	特開2019-128204(P2019-128204 A)	(72)発明者	馬場 理香 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(43)公開日	令和1年8月1日(2019.8.1)	(72)発明者	米山 明男 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
審査請求日	令和2年7月1日(2020.7.1)	審査官	佐藤 仁美

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 非破壊検査装置及び非破壊検査方法

## (57)【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

X線を照射するX線源と、  
被写体の位置を基準として前記X線源の近傍側に設置されており前記X線源から照射されたX線が前記被写体で散乱した後方散乱X線を検出する検出器と、  
前記検出器と前記被写体との間における前記検出器の前に設置されたソーラスリットと、  
前記X線源と前記被写体との間における前記X線源の前に設置された第1のフィルタと、  
前記検出器と前記被写体との間における前記検出器の前に設置された第2のフィルタと、  
前記検出器による検出結果をクラスタリングした実行結果に基づく後方散乱X線で表される前記被写体の内部の断面構造を表す後方散乱X線画像を所定基準と比較することで正常及び異常の判定を実施する処理部と、  
を備えることを特徴とする非破壊検査装置。

## 【請求項2】

前記第1のフィルタは、  
前記X線源のターゲットから発生する前記照射X線のエネルギーを特性X線が入射しない第1の帯域に限定して該第1の帯域外のエネルギーの特性X線をフィルタリングする金属を材質とすることを特徴とする請求項1に記載の非破壊検査装置。

## 【請求項3】

前記第1のフィルタは、  
前記X線源のターゲットの材質を構成する元素の一つ下の原子番号の元素を材質とするこ

とを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 4】

前記第 2 のフィルタは、

前記被写体から発生し前記検出器に入射する X 線のエネルギーを蛍光 X 線が入射しない第 2 の帯域に限定して該第 2 の帯域外のエネルギーの蛍光 X 線をフィルタリングする金属を材質とすることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 5】

前記第 2 のフィルタは、

前記被写体の材質を構成する元素の一つ下の原子番号の元素を材質とすることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

10

【請求項 6】

前記ソーラスリットは、

複数のスリット板が一方に並列に配列する構造であることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 7】

前記ソーラスリットは、

複数のスリット板が互いに垂直な 2 方向に並列に配列する格子状の構造であることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 8】

前記ソーラスリットを構成しているスリット板のピッチが前記検出器の画素ピッチの倍数であることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

20

【請求項 9】

前記検出器は、各画素が 1 次元に配列するライン状の検出器であることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 10】

前記検出器は、各画素が 2 次元に配列するエリア状の検出器であることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 11】

前記ソーラスリットが前記被写体への X 線の入射方向に対して 45 度であることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

30

【請求項 12】

前記ソーラスリットと前記検出器との組み合わせが複数設置されており、前記ソーラスリットと前記検出器の複数の組み合わせが、前記被写体への X 線の入射方向に対して線対称な位置に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 13】

前記ソーラスリットと前記検出器との組み合わせが複数設置されており、前記ソーラスリットと前記検出器との複数の組み合わせが、前記被写体への X 線の入射方向に対して前記被写体を中心として放射状に設置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 14】

X 線源が X 線を照射する照射ステップと、

被写体の位置を基準として前記 X 線源の近傍側に検出器を配置する検出器配置ステップと、

前記検出器と前記被写体との間における前記検出器の前にソーラスリットを設置するソーラスリット配置ステップと、

前記 X 線源と前記被写体との間における前記 X 線源の前に第 1 のフィルタを設置する第 1 のフィルタ配置ステップと、

前記検出器と前記被写体との間における前記検出器の前に第 2 のフィルタを設置する第 2 のフィルタ配置ステップと、

前記検出器を用いて、前記 X 線源から照射された X 線が前記被写体で散乱した後方散乱 X

40

50

線を検出する検出ステップと、  
 処理部が、前記検出器による検出結果をクラスタリングした実行結果に基づく後方散乱X線  
線で表される前記被写体の内部の断面構造を表す後方散乱X線画像を所定基準と比較する  
 ことで正常及び異常の判定を実施する処理ステップと、  
 を有することを特徴とする非破壊検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、後方散乱X線を検出することにより内部構造を破壊することなく検査する非破壊  
 検査装置及び非破壊検査方法に関し、特に、例えば、エスカレータのハンドレール、配  
 管の亀裂、ジョイント部のずれ、または、壁若しくは床面の探傷に関して一方向から内部  
 を検査する技術に関する非破壊検査装置に適用して好適なものである。

10

【背景技術】

【0002】

従来より、内部構造を非破壊で検査するニーズは大きく、医療及び工業分野において超音  
 波、磁気、レーザ、赤外線、X線など様々な電磁波を用いたX線検査技術が開発されてい  
 る。これらのうちX線を用いた検査（以下「X線検査」という）は、リアルタイムで高精  
 細な画像を得ることができることから、医療分野では救急対応及び治療支援に用いられて  
 いる。近年、カテーテル手術及び内視鏡手術の普及に伴い、その利用の場が拡大している  
 。工業分野においても、被写体の状態を保ったまま異常及び劣化を動画または断面像によ  
 って観察可能であるため、X線検査は製品の品質管理において重要な役割を担っている。

20

【0003】

例えばエスカレータのメンテナンスにおいても、ハンドレールの故障を未然に防ぐための  
 点検手段としてX線検査装置が用いられている。従来のX線検査装置では、被写体である  
 ハンドレールに対してX線を照射してその内部を通過した透過X線を計測したり、ハンド  
 レールの内部で吸収された吸収X線を計測する。そのような検査を実施する際には、ハンド  
 レールをエスカレータ本体から取り外してこれをX線源と検出器との間に挟んで検査を  
 実施する必要があるため、検査作業が煩雑となり時間が掛かっていた。

【0004】

上述のように透過X線や吸収X線を計測する以外にも、後方散乱X線を計測して検出する  
 方法が存在している。このような後方散乱X線を計測する方法としては、1次元の円形構  
 造に複数のピンホールが形成されているスリットを用いて後方散乱X線が発生した位置を  
 検出する手法（特許文献1参照）、1次元の円形構造にピンホールが形成されているスリ  
 ットを用いて後方散乱X線を受光して得た後方散乱X線画像に基づいてトンネルのコンク  
 リートの欠陥を検出する手法（特許文献2参照）、及び、1次元の平行スリットを用いて  
 、後方散乱X線を受光して得た燃料棒の後方散乱X線画像に基づいて検査する手法（特許  
 文献3参照）が存在している。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2003-121392号公報

特開2001-208705号公報

特開平7-063881号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、これら従来の手法を用いて得られる後方散乱X線画像は、透過X線を用い  
 て得られる透過X線画像と比べると分解能が低いばかりでなく、測定値の定量化がなされ  
 ていないため、検査員の主観による判定で検査が実施されている。

【0007】

40

50

本発明は以上の点を考慮してなされたもので、後方散乱X線を用いて高い分解能で定量的な測定を可能とするとともに、その測定結果に基づく判定を自動化することができる非破壊検査装置及び非破壊検査方法を提案しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

かかる課題を解決するため、本発明においては、X線を照射するX線源と、前記被写体の位置を基準として前記X線源の近傍側に設置されており前記X線源から照射されたX線が前記被写体で散乱した後方散乱X線を検出する検出器と、前記検出器と前記被写体との間における前記検出器の前に設置されたソーラスリットと、前記X線源と前記被写体との間における前記X線源の前に設置された第1のフィルタと、前記検出器と前記被写体との間における前記検出器の前に設置された第2のフィルタと、前記検出器による検出結果に基づく後方散乱X線画像に関して判定を実施する処理部と、を備えることを特徴とする。

10

【0009】

また、本発明においては、X線源がX線を照射する照射ステップと、前記被写体の位置を基準として前記X線源の近傍側に検出器を配置する検出器配置ステップと、前記検出器と前記被写体との間における前記検出器の前にソーラスリットを設置するソーラスリット配置ステップと、前記X線源と前記被写体との間における前記X線源の前に第1のフィルタを設置する第1のフィルタ配置ステップと、前記検出器と前記被写体との間における前記検出器の前に第2のフィルタを設置する第2のフィルタ配置ステップと、前記検出器を用いて、前記X線源から照射されたX線が前記被写体で散乱した後方散乱X線を検出する検出ステップと、処理部が、前記検出器による検出結果に基づく後方散乱X線画像に関して判定を実施する処理ステップと、を有することを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、後方散乱X線を用いて透過X線と同様に高分解能で定量的な測定を可能とし、その測定結果に基づく判定の自動化や経時変化による劣化を予測することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】第1の実施の形態によるX線検査装置の構成例を示す概念図である。

【図2】被写体に対する照射X線のエネルギー分布について第1のフィルタによるエネルギー限定の一例を示す概念図である。

30

【図3】被写体からの散乱X線のエネルギー分布について第2のフィルタの例を示す概念図である。

【図4】図1に示すソーラスリットのバリエーションの一例を示す概念図である。

【図5】第2の実施の形態によるX線検査装置の構成例を示す概念図である。

【図6】第3の実施の形態によるX線検査装置の構成例を示す概念図である。

【図7】第4の実施の形態によるX線検査装置の構成例を示す概念図である。

【図8】第5の実施の形態によるX線検査装置の構成例を示す概念図である。

【図9】第6の実施の形態によるX線検査装置の構成例を示す概念図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0012】

以下、図面について、本発明の一実施の形態について詳述する。

【0013】

(1) 本実施の形態

図1は、第1の実施の形態によるX線検査装置の構成例を示す概念図である。第1の実施の形態によるX線検査装置は、X線を照射するX線源1、検出器2、ソーラスリット3、第1のフィルタ4、第2のフィルタ5及び処理部9を備える。なお、処理部9の詳細については後述する。

【0014】

検出器2は、検査対象である被写体Tの位置を基準としてX線源1と同じ側(X線源1の

50

近傍側)に設置されている。検出器2は、X線源1から照射されて被写体Tで散乱した後方散乱X線XR1を検出する。

【0015】

ソーラスリット3は、検出器2と被写体Tとの間における検出器2の前に設置されている。ソーラスリット3は、詳細は後述するが、要求される仕様に応じて様々な構成を採用することができる。

【0016】

第1のフィルタ4は、X線源1と被写体Tとの間におけるX線源1の前に設置されている。第2のフィルタ5は、検出器2と被写体Tとの間における検出器2の前に設置されている。

10

【0017】

X線源1から照射されたX線は、X線源1の前に配置された第1のフィルタ4を通過し、被写体Tに入射する。被写体Tに入射したX線は、被写体Tの内部で散乱X線を発生する。この散乱X線は、ソーラスリット3を構成する隣り合うスリット板同士の隙間を通過し、その一部が検出器2に入射する。この際、各スリット板に平行方向に向かう散乱X線のみがソーラスリット3を通過する。

【0018】

X線源1の前に設置された第1のフィルタ4は、照射X線のエネルギーを特性X線が入射しない帯域(後述する図2の帯域W1に相当)に限定する金属を材質とする。第1のフィルタ4は、X線源1のターゲットの材質を構成する元素の一つ下の原子番号の元素を材質とする。これにより、ターゲットの材質の元素に吸収端を持つので、ターゲットから発生される特性X線を除去することができる。

20

【0019】

検出器2の前に設置された第2のフィルタ5は、検出器2に入射するX線のエネルギーを蛍光X線が入射しない帯域(後述する図3の帯域W2に相当)に限定する金属を材質とする。第2のフィルタ5の材質を被写体Tの材質を構成する元素の一つ下の原子番号の元素とする。これにより、被写体Tの材質の元素に吸収端を持つので、被写体Tから発生される蛍光X線を除去することができる。

【0020】

検出器2は、各画素を備えており、入射する散乱X線を各画素に蓄積し、その蓄積状況に応じて検出結果としてこの散乱X線を表す信号をデータとして処理部9に対して出力する。

30

【0021】

処理部9は、検出器2が出力したデータについてクラスタリング処理を実行し、その実行結果に基づく後方散乱X線で表される被写体Tの内部の断面構造を表す画像(以下「後方散乱X線画像」という)に基づいて予め設定された基準との比較によって異常/正常の判定を実施する。このクラスタリング処理では、GMM(Gaussian Mixture Model)またはEM(expectation maximization)アルゴリズムが用いられる。

【0022】

この処理部9は、後方散乱X線を用いた上記比較によって高い分解能で定量的な測定を可能とするとともに、その測定結果に基づく判定を自動化する一方、このような判定の自動化によって経時変化による被写体Tの劣化を予測することができる。

40

【0023】

図2は、被写体Tに対する照射X線のエネルギー分布について第1のフィルタ4によるエネルギー限定の一例を示す概念図である。縦軸は、相対光子数[任意単位]であり、横軸は、光子エネルギー[k e V]である。なお、図示の例では、管電圧が110kVであり、管電流が1mAである。

【0024】

前述したようにX線源1の前に設置された第1のフィルタ4は、照射X線のエネルギーを特性X線が入射しない帯域W1に限定する金属を材質とすることから、図示の例では、こ

50

の帯域W 1において特性X線Cxを透過しないフィルタ特性となっている。

【0025】

図3は、上述した照射X線に対して被写体Tから発生する散乱X線のエネルギー分布について第2のフィルタ5によるエネルギー限定の一例を示す。縦軸は、相対光子数[任意単位]であり、横軸は、光子エネルギー[k e V]である。なお、図示の例では、管電圧が110kVであり、管電流が1mAである。

【0026】

前述したように検出器2の前に設置された第2のフィルタ5は、検出器2に入射するX線のエネルギーを蛍光X線が入射しない帯域(後述する図3の帯域W2に相当)に限定する金属を材質とするため、図示の例では、この帯域W2において蛍光X線を透過しないフィルタ特性となっている。

10

【0027】

図4(A)~図4(E)は、それぞれ、図1に示すソーラスリット3の構成に関するバリエーションの一例を示す概念図である。なお、ソーラスリット3を通過する後方散乱X線は、線図が表された平面の手前から奥方向に向かって入射するものとする。以下の説明では、図4(A)~図4(E)に示す構成の各ソーラスリットを総称する場合に「3」という符号を付してソーラスリット3と称する。

【0028】

図4(A)及び図4(B)は、検出器2が、各画素が1次元に少なくとも1行並んでいるライン状の検出器である場合を示し、図4(C)、図4(D)及び図4(E)は、それぞれ、検出器2が、各画素が2次元に並んでいるエリア状の検出器である場合を示す。なお、エリア状の検出器は、一定の面範囲に亘って後方散乱X線を検出可能である一方、ライン状の検出器は、それ自身がまたは被写体Tがそのラインに垂直な方向に移動されることによってそのラインを一辺として含む一定の面範囲に亘って後方散乱X線を検出可能となる。

20

【0029】

図4(A)に示すソーラスリットでは、複数の遮蔽板3Aが一方向に互いに平行に配列しており、図示の左右方向に拡散する後方散乱X線は遮蔽されるが、図示の上下方向に拡散する後方散乱X線は通過する。しかしながら、検出器2がライン状の検出器であるため、この検出器2に一度に入射する後方散乱X線の線量は少ない。さらに図示の上下方向に拡散する散乱X線も遮蔽したい場合には、図4(B)に示すソーラスリットのように複数の遮蔽板3Aの手前及び奥側にそれぞれコリメータ3Bを設けることで遮蔽することが可能である。

30

【0030】

図4(C)に示すソーラスリットでは、図4(A)に示すソーラスリットと同様に、複数の遮蔽板3Aが一方向に互いに平行に配列しており、図示の左右方向に拡散する後方散乱X線は遮蔽されるが、図示の上下方向に拡散する後方散乱X線は通過する。検出器2がエリア状の検出器であるため、図示の上下方向に拡散された後方散乱X線は検出器2に入射する。

【0031】

この場合、図4(D)に示すソーラスリットのように遮蔽板3Aの手前及び奥側にそれぞれコリメータ3Bを設けると、検出器2がエリア状の検出器である利点を多少享受し難くなるものの、図示の上下方向の後方散乱X線を遮蔽することができる。

40

【0032】

また、図4(E)に示すソーラスリットのように互いに垂直な2方向に複数の遮蔽板3Aを並行に配列した格子状とすると、図示の左右方向及び上下方向に拡散する後方散乱X線を遮蔽することができる。

【0033】

本実施の形態では、ソーラスリット3の遮蔽板3Aのピッチと検出器2の画素ピッチで、得られる後方散乱X線画像の分解能が決まる。後方散乱X線の空間的な広がりソーラ

50

ースリット3で限定され、一方、後方散乱X線画像上の位置の区切りが検出器2によって限定される。

【0034】

従って、ソーラスリット3を構成する各遮蔽板3Aのピッチが検出器2の画素ピッチのn倍であると、分解能の低下を抑制することができる。ここで、nは整数(1, 2, 3, ...)、または、整数を分母とする分数(1/2, 1/3, 1/4, ...)である。

【0035】

以上説明したように本実施の形態では、被写体Tと検出器2との間で合って検出器2の前にソーラスリット3を設置することにより、検出器2に入射する後方散乱X線の方向を限定し、後方散乱X線のボケを抑制することで、分解能を向上させている。

10

【0036】

また、上述のように本実施の形態では、X線源1の前に金属を材質とする第1のフィルタ4を設置して被写体Tに入射する照射X線のエネルギーを限定して特性X線が入射しないようにすることで、被写体Tを構成する元素に対して最もコントラストの高い後方散乱X線を生じさせることができる。

【0037】

また、上述のように本実施の形態では、検出器2の前に金属を材質とする第2のフィルタ5を設置して検出器2に入射する後方散乱X線のエネルギーを限定して蛍光X線が入射しないようにすることで、この検出器2に、最も高いコントラストが得られる後方散乱X線を検出させることができる。

20

【0038】

これらは、それぞれ、後方散乱X線がコンプトン散乱により発生していること、かつ、その発生量は照射X線のエネルギーと、被写体Tを構成する元素と、発生した後方散乱X線を検出する方向(散乱角度)と、に依存することに基づいている。

【0039】

より具体的に説明すると、本実施の形態における被写体Tの一例としてエレベータのハンドレールに適用した場合には、このハンドレールを高速かつ高い精度で点検可能となるばかりでなく、点検結果に関する判定の自動化が可能となる。また、本実施の形態では、ハンドレールに対してX線源1と同じ側(X線源1の近傍側)に検出器2を設置することにより、X線源1と検出器2との配置調整が容易となるため、検出器2としてライン状の検出器を採用することができるようになり、空間分解能が向上すると共に、データの読み出しが高速化できる。また、上述した実施の形態によれば、ハンドレールをフレームから取り外して検査装置本体に挟み込ませる必要がなくなるため、検査の作業効率が向上するとともにメンテナンス作業時間を短縮することができる。また、上述のようにX線検査装置は、ハンドレールを挟み込む形態でなくなるため、全体として検査装置本体を小型化及び軽量化を図ることができるばかりでなく、このように検査装置本体が小型化、軽量化されることで操作性が向上して検査の作業効率をさらに高め、メンテナンスの作業時間を短縮することができる。

30

【0040】

以上のように本実施の形態によれば、後方散乱X線を用いて高い分解能で定量的な測定を可能とするとともに、その測定結果に基づく判定を自動化することができるとともに、このような判定の自動化によって経時変化による被写体Tの劣化を予測することができる。

40

【0041】

(2) 第2の実施の形態

第2の実施の形態によるX線検査装置は、第1の実施の形態によるX線検査装置とほぼ同様の構成及び動作については説明を省略し、以下、両者の相違点を中心として説明する。

【0042】

図5は、第2の実施の形態によるX線検査装置の構成例を示す概念図である。第2の実施の形態では、被写体Tから戻った後方散乱X線の検出器としてスポット検出器2Aを使用する一方、X線源1から出力される照射X線XRを、前述の第1のフィルタ4を用いる代

50

わりにピンホール7を用いて絞って被写体Tに照射する。

【0043】

スポット検出器2Aは、被写体Tで発生した後方散乱X線を検出する各画素が一点に集中的に配置するように構成されている。スポット検出器2Aは、被写体Tに向かう方向に垂直な2軸方向にX線源1とともに相対的に移動されて被写体Tを走査することにより、後方散乱X線XR1, XR2のうち部分的に散乱X線XR1のみを検出する機能を有する。

【0044】

すなわち、被写体Tで散乱した後方散乱X線XR1, XR2のうち散乱X線XR2は、スポット検出器2Aに入射しないため、検出されない。一方、被写体Tで散乱した後方散乱X線XR1, XR2のうち散乱X線XR1のみがスポット検出器2Aに入射して検出される。

10

【0045】

本実施の形態によれば、第1の実施の形態とほぼ同様な効果を発揮するとともに、ピンホール7で一方向に絞った照射X線XRを、一方向のみに絞り込まれた後方散乱X線XR1としてスポット検出器2Aを用いて検出することで、第1の実施の形態のように被写体Tとスポット検出器2Aとの間であってスポット検出器2Aの前に前述のソーラスリット3を設置しなくても、高解像度の後方散乱X線XR1を計測することができる。

【0046】

(3) 第3の実施の形態

第3の実施の形態によるX線検査装置は、上述した各実施の形態によるX線検査装置とほぼ同様の構成及び動作については説明を省略し、以下、両者の相違点を中心として説明する。

20

【0047】

図6は、第3の実施の形態によるX線検査装置の構成例を示す概念図である。第3の実施の形態では、上述した各実施の形態とは異なり、後方散乱X線の検出器2Bとして、後方散乱X線を線状に検出するライン状の検出器、または、後方散乱X線を面状に検出するエリア状の検出器を使用する。

【0048】

X線源1は、上述した各実施の形態とは異なって第1のフィルタ4やピンホール7を通過させず、直接、発散光のX線XRを被写体Tに照射する。被写体Tで散乱した後方散乱X線のうち、後方散乱X線XR2は、ソーラスリット3で遮蔽されるため、検出器2Bに入射せず検出されない一方、散乱X線XR1のみが検出器2Bに入射して検出される。

30

【0049】

この際、被写体Tに入射するX線XRの進行方向に対してソーラスリット3の方向が例えば45度である場合、他の角度の後方散乱X線が入射し難いので、検出器2Bが出力するデータの定量化された測定値を得るためには望ましい。

【0050】

まず、検出器2Bがライン状の検出器である場合、図示の線図が表された平面及び被写体Tに向かう方向に垂直な平面における一方向に沿って各画素が配列している。被写体TがX線源1及び検出器2Bに対して相対的に上記垂直な平面に沿って移動することで、処理部9によって被写体Tに関する2次元の後方散乱X線画像が取得される。

40

【0051】

本実施の形態を被写体Tの一例としてエスカレータのハンドレールに適用する場合、例えば、これらX線源1及び検出器2Bの相対的な移動方向がハンドレールの長手方向になるように設置する。すなわち、通常エスカレータのハンドレールは自走させることができるため、ライン状の検出器である検出器2Bの各画素の配列方向がハンドレールの幅方向に平行になるように(上記自走方向に垂直になるように)した状態とすれば、処理部9は、自走するハンドレールの内部状態を表す後方散乱X線画像を自動的に取得することができる。

【0052】

50

一方、検出器 2 B がエリア状の検出器である場合、上記垂直な平面に沿って各画素が 2 次元に配列している。この場合、ハンドレールを移動しなくても、検出器 2 B を用いてハンドレールについて計測し、処理部 9 がそのハンドレールについて 2 次元の後方散乱 X 線画像を取得することができる。

【 0 0 5 3 】

このように本実施の形態をエスカレータのハンドレールの非破壊検査に適用した場合、ハンドレールの長手方向に検出器 2 B を相対的に移動させると、ハンドレールの後方散乱 X 線画像を連続して取得することが可能となる。

【 0 0 5 4 】

処理部 9 は、ハンドレール（被写体 T）の同様な深さの内部に関して得られた後方散乱 X 線画像の各画素の測定値を加算平均することで S / N 比を向上することができる。特にエスカレータのハンドレールは自走させることができるため、エリア状の検出器である検出器 2 B を用いると、S / N 比が高い後方散乱 X 線画像を取得することができる。

10

【 0 0 5 5 】

（ 4 ）第 4 の実施の形態

第 4 の実施の形態による X 線検査装置は、上述した各実施の形態による X 線検査装置とほぼ同様の構成及び動作については説明を省略し、以下、両者の相違点を中心として説明する。

【 0 0 5 6 】

図 7 は、第 4 の実施の形態による X 線検査装置の構成例を示す概念図である。第 4 の実施の形態では、ソーラスリット 3 と検出器 2 A A との組、及び、ソーラスリット 3 と検出器 2 A B との組のように、複数の組を設置する形態とし、被写体 T に入射する X 線 X R の入射方向に対してソーラスリット 3 の方向が線対象になるように設置する。

20

【 0 0 5 7 】

図示の例では、2 個の検出器 2 A A , 2 A B を用いる場合を示している。2 個の検出器 2 A A , 2 A B として、それぞれ、第 3 の実施の形態において言及したライン状の検出器またはエリア状の検出器を採用する。

【 0 0 5 8 】

X 線源 1 は、第 3 の実施の形態と同様に直接、発散光の X 線 X R を被写体 T に照射する。被写体 T で散乱した後方散乱 X 線のうち、ソーラスリット 3 を通過する散乱 X 線 X R 1 のみが検出器 2 A A , 2 A B に入射して検出される。即ち、一方の散乱 X 線 X R 1 が検出器 2 A A で検出される一方、他方の散乱 X 線 X R 1 が検出器 2 A B で検出される。

30

【 0 0 5 9 】

このような構成とすると、第 1 の実施の形態とほぼ同様な効果を発揮するとともに、同時に検出される後方散乱 X 線の散乱量が 2 倍になるため、第 3 の実施の形態において前述のように加算平均することで S / N 比を向上することができる。その際、被写体 T に入射する X 線の方向に対するソーラスリット 2 のスリットの形成方向が平行に近いほど、後方散乱 X 線 X R 1 の散乱方向が揃うため、検出器 2 A A , 2 A B がそれぞれ出力するデータに基づく定量値を得るためには望ましい。

【 0 0 6 0 】

（ 5 ）第 5 の実施の形態

第 5 の実施の形態による X 線検査装置は、上述した各実施の形態による X 線検査装置とほぼ同様の構成及び動作については説明を省略し、以下、両者の相違点を中心として説明する。

40

【 0 0 6 1 】

図 8 は、第 5 の実施の形態による X 線検査装置の構成例を示す概念図である。なお、図 8 では、構成の説明を簡素化するため、処理部 9 及びソーラスリット 3 の図示が省略されているが、実際には、上述した各実施の形態と同様に処理部 9 は検出器 2 などに接続されており、図示しないが、検出器 2 と被写体 T との間における検出器 2 の前には、上述した各実施の形態と同様な構成のソーラスリット 3 が配置されている。なお、前述した各フ

50

フィルタについても適宜図示を省略している。

【 0 0 6 2 】

第 5 の実施の形態では、X 線源 1 と不図示のソーラースリット 3 と検出器 2 との組が複数設置されており、被写体 T への X 線の入射方向に関して、ソーラースリット 3 が被写体 T を中心として放射状に配置される。

【 0 0 6 3 】

本実施の形態では、被写体 T を固定しつつ、X 線源 1 とソーラースリット 3 と検出器 2 との組を被写体 T を中心として回転させる。これにより、検出器 2 は、上述した放射状に配置される各位置から、X 線源 1 から照射 X 線 X R が入射される被写体 T を中心として多方向に発生する後方散乱 X 線を計測することができる。なお、X 線源 1 と不図示のソーラースリット 3 と検出器 2 との組を固定し、被写体 T を回転させるようにしても良いことは言うまでもない。

10

【 0 0 6 4 】

不図示の処理部 9 は、検出器 2 によって出力されるデータを前述したように演算処理することにより、被写体 T に関する後方散乱 X 線画像を取得し、これに基づいて上記各実施の形態と同様に判定を実施することができる。

【 0 0 6 5 】

本実施の形態によれば、前述した各実施の形態と同様の効果を発揮することができるとともに、被写体 T についてより他方向からより詳細な内部構造に関する検査を実施することができる。

20

【 0 0 6 6 】

( 6 ) 第 6 の実施の形態

第 6 の実施の形態による X 線検査装置は、上述した各実施の形態による X 線検査装置とほぼ同様の構成及び動作については説明を省略し、以下、両者の相違点を中心として説明する。

【 0 0 6 7 】

図 9 は、第 6 の実施の形態による X 線検査装置の構成例を示す概念図である。なお、図 9 では、構成の説明を簡素化するため、処理部 9 及びソーラースリット 3 の図示が省略されているが、実際には、上述した第 5 の実施の形態と同様に処理部 9 は検出器 2 などに接続されており、図示しないが、検出器 2 と被写体 T との間における検出器 2 の前には、上述した各実施の形態と同様な構成のソーラースリット 3 が配置されている。なお、前述した各フィルタについても適宜図示を省略している。

30

【 0 0 6 8 】

第 6 の実施の形態では、不図示のソーラースリット 3 と検出器 2 との組を組とし、X 線源 1 と被写体 T との相対的な配置関係を固定した状態で、被写体 T を中心としてこれら不図示のソーラースリット 3 と検出器 2 との組を回転させる。これにより、検出器 2 は、上述した放射状に配置される各位置から、X 線源 1 から照射 X 線 X R が入射される被写体 T を中心として多方向に発生する後方散乱 X 線を計測することができる。

【 0 0 6 9 】

不図示の処理部 9 は、検出器 2 によって出力されるデータを前述したように演算処理することにより、被写体 T に関する後方散乱 X 線画像を取得し、これに基づいて上記各実施の形態と同様に判定を実施することができる。また、様々な方向から得られた後方散乱 X 線画像を 3 次元再構成演算処理することにより、被写体 T の断面像を得ることができる。

40

【 0 0 7 0 】

本実施の形態によれば、前述した各実施の形態と同様の効果を発揮することができるとともに、被写体 T についてより他方向からより詳細な内部構造に関する検査を実施することができる。

【 0 0 7 1 】

( 7 ) その他の実施形態

上記実施形態は、本発明を説明するための例示であり、本発明をこれらの実施形態にのみ

50

限定する趣旨ではない。本発明は、その趣旨を逸脱しない限り、様々な形態で実施することができる。例えば、上記実施形態では、エスカレータのハンドレールを例として説明したが、これに限定されるものではない。被写体 T の表面に検査装置を添わせることで検査が可能であることから、上述したエスカレータのハンドレールの他にも、配管の亀裂若しくはジョイント部のずれ、または、壁若しくは床面の探傷へ適用することができる。

【産業上の利用可能性】

【0072】

本発明は、後方散乱 X 線を用いて内部構造を破壊することなく検査を実施する非破壊検査装置及び非破壊検査方法に広く適用することができる。

【符号の説明】

【0073】

2、2A、2B、2AA、2AB……検出器、3……ソーラスリット、4……第1のフィルタ、5……第2のフィルタ、9……処理部。

10

20

30

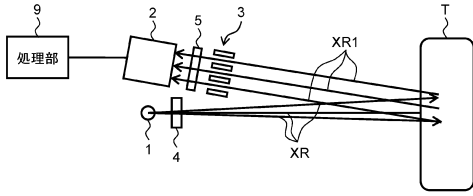
40

50

【図面】

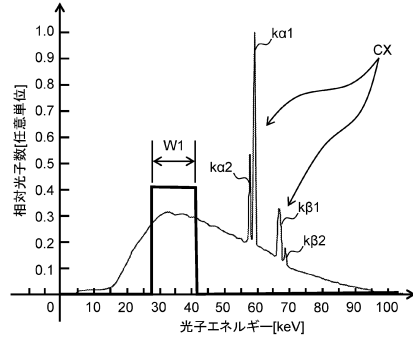
【図 1】

図 1



【図 2】

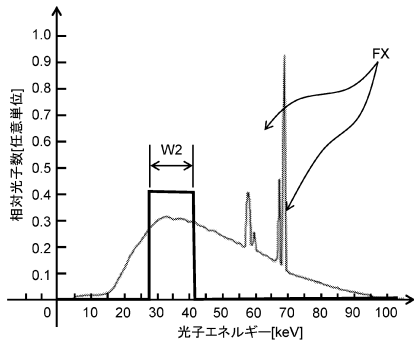
図 2



10

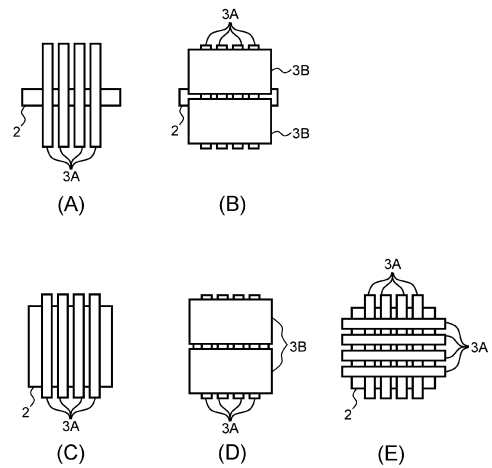
【図 3】

図 3



【図 4】

図 4



20

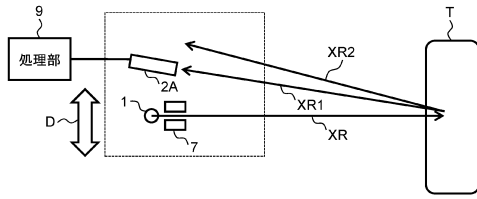
30

40

50

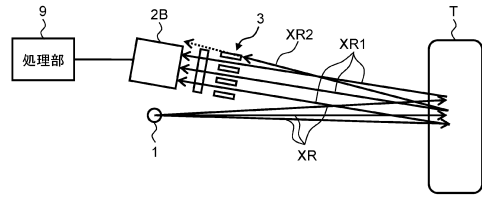
【 図 5 】

図 5



【 図 6 】

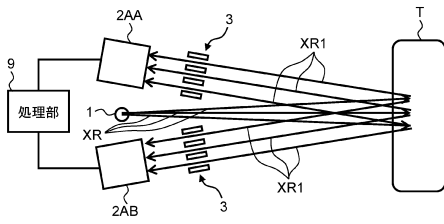
図 6



10

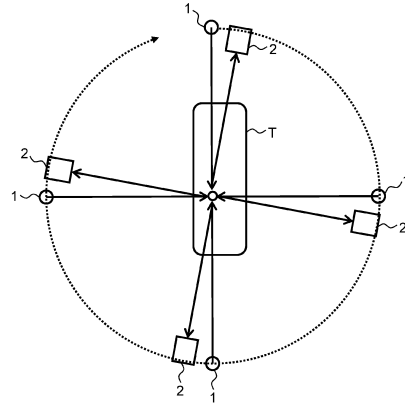
【 図 7 】

図 7



【 図 8 】

図 8



20

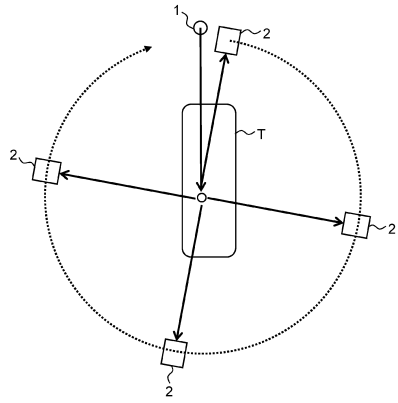
30

40

50

【 図 9 】

図 9



10

20

30

40

50

## フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2013-253969(JP,A)  
特開2008-203245(JP,A)  
特開2012-013423(JP,A)  
特開2000-055839(JP,A)  
特開2001-091699(JP,A)  
特開2007-010559(JP,A)  
特開2017-009356(JP,A)  
特表2017-510827(JP,A)  
特開2001-208705(JP,A)  
米国特許第09001970(US,B2)  
特開昭58-032200(JP,A)  
特開2017-142261(JP,A)

## (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

IPC  
G01N 23/00 - G01N 23/2276、  
G01T 1/00 - G01T 1/16、  
G01T 1/167 - G01T 7/12、  
G21K 1/00 - G21K 3/00、  
G21K 5/00 - G21K 7/00