

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6040930号  
(P6040930)

(45) 発行日 平成28年12月7日(2016.12.7)

(24) 登録日 平成28年11月18日(2016.11.18)

(51) Int.Cl. F I  
**GO 1 N 21/892 (2006.01)** GO 1 N 21/892 C

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2013-270881 (P2013-270881)	(73) 特許権者	00001258
(22) 出願日	平成25年12月27日(2013.12.27)		J F E スチール株式会社
(65) 公開番号	特開2015-125089 (P2015-125089A)		東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(43) 公開日	平成27年7月6日(2015.7.6)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成27年7月27日(2015.7.27)		弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	大野 絃明
			東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
			F E スチール株式会社内
		(72) 発明者	腰原 敬弘
			東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
			F E スチール株式会社内
		(72) 発明者	尻玉 俊文
			東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J
			F E スチール株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面欠陥検出方法及び表面欠陥検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

移動中の鋼材の表面欠陥を光学的に検出する表面欠陥検出方法であって、  
 少なくとも許容される画像の位置ずれ量に基づいて発光時間が設定された2つ以上の弁別可能な光源を互いの発光タイミングが重ならないよう繰り返し発光させることによって、  
 同一の検査対象部位に異なる方向から照明光を照射する照射ステップと、  
 各照明光の反射光による画像を取得し、取得した画像間で差分処理を行うことによって前記検査対象部位における表面欠陥を検出する検出ステップと、  
 を含むことを特徴とする表面欠陥検出方法。

【請求項2】

前記発光時間が、許容される画像の位置ずれ量に加えて、画像の最小分解能及び前記鋼材の移動速度に基づいて設定されていることを特徴とする請求項1に記載の表面欠陥検出方法。

【請求項3】

前記発光時間、前記許容される画像の位置ずれ量、画像の最小分解能、及び鋼材の移動速度の関係が、次に示す数式(1)を満足することを特徴とする請求項1に記載の表面欠陥検出方法。

## 【数 1】

発光時間 $d(\text{sec}) \leq$

最小分解能 $(\text{mm}/\text{画素}) \times$ 許容される位置ずれ $(\text{画素})/\text{ライン搬送速度}(\text{mm}/\text{sec})$

・・・ (1)

## 【請求項 4】

前記各照明光の反射光による画像は、光軸が同軸となるように調整された複数の撮像装置を利用して取得されることを特徴とする、請求項 1 ~ 3 のうち、いずれか 1 項に記載の表面欠陥検出方法。

10

## 【請求項 5】

前記検出ステップは、ハーフミラー、ビームスプリッター、及びプリズムのうちのいずれかを用いて、前記複数の撮像装置の光軸が同軸となるように調整するステップを含むことを特徴とする請求項 4 に記載の表面欠陥検出方法。

## 【請求項 6】

前記検出ステップは、前記差分処理を行うことによって前記検査対象部位におけるスケール及び無害模様の画像信号を除去することにより、検査対象部位における凹凸性の表面欠陥を検出するステップを含むことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のうち、いずれか 1 項に記載の表面欠陥検出方法。

## 【請求項 7】

前記検査対象部位に対する各光源の照明光の入射角が  $25^\circ$  以上  $55^\circ$  以下の範囲内にあることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のうち、いずれか 1 項に記載の表面欠陥検出方法。

20

## 【請求項 8】

移動中の鋼材の表面欠陥を光学的に検出する表面欠陥検出装置であって、少なくとも許容される画像の位置ずれ量に基づいて発光時間が設定された 2 つ以上の弁別可能な光源を互いの発光タイミングが重ならないよう繰り返し発光させることによって、同一の検査対象部位に異なる方向から照明光を照射する照射手段と、

各照明光の反射光による画像を取得し、取得した画像間で差分処理を行うことによって前記検査対象部位における表面欠陥を検出する検出手段と、

を備えることを特徴とする表面欠陥検出装置。

30

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、鋼材の表面欠陥を光学的に検出する表面欠陥検出方法及び表面欠陥検出装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、鉄鋼製品の製造工程では、大量不適合防止による歩留まり向上の観点から、熱間又は冷間で鋼材の表面欠陥を検出することが求められている。ここで述べる鋼材とは、継目無鋼管、溶接鋼管、熱延鋼板、冷延鋼板、厚板等の鋼板や形鋼をはじめとする鉄鋼製品、及びこれら鉄鋼製品が製造される過程で生成されるスラブ等の半製品のことを意味する。このため、鋼材の表面欠陥を検出する方法として、継目無鋼管の製造工程におけるピレットに光を照射して反射光を受光し、反射光の光量によって表面欠陥の有無を判別する方法が提案されている（特許文献 1 参照）。また、熱間鋼材から放射される自発光と相互に影響を及ぼさず、互いに影響を及ぼしあうことのない複数の波長域の可視光を、熱間鋼材表面の法線に対し互いに対称な斜め方向から照射し、合成反射光による像及び個々の反射光による像を熱間鋼材表面の法線方向で得て、これらの像の組み合わせから熱間鋼材の表面欠陥を検出する方法も提案されている（特許文献 2 参照）。

40

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

50

## 【 0 0 0 3 】

【特許文献1】特開平11-37949号公報

【特許文献2】特開昭59-52735号公報

## 【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

## 【 0 0 0 4 】

特許文献1記載の方法によれば、無害模様やスケールの反射率が地鉄部分の反射率とは異なることから、健全な無害模様やスケールを表面欠陥と誤検出してしまう可能性がある。このため、特許文献1記載の方法では、ピレットの形状が直線状であることを利用してピレットとスケールとを弁別している。しかしながら、鋼材の表面欠陥は直線状だけでなく円形状等の様々な形状を有している。このため、特許文献1記載の方法を鋼材の表面欠陥の検出処理に適用することは難しい。一方、特許文献2記載の方法では、欠陥、スケール、無害模様等の種類が膨大にあることから、単純に像を組み合わせるだけではスケールや無害模様と表面欠陥とを弁別することは困難である。また、膨大な像の組み合わせに対応した検出口ジックを構築することは現実的には困難である。

10

## 【 0 0 0 5 】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであって、その目的は、スケールや無害模様と表面欠陥とを精度よく弁別可能な表面欠陥検出方法及び表面欠陥検出装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

20

## 【 0 0 0 6 】

本発明に係る表面欠陥検出方法は、鋼材の表面欠陥を光学的に検出する表面欠陥検出方法であって、2つ以上の弁別可能な光源を利用して同一の検査対象部位に異なる方向から照明光を照射する照射ステップと、各照明光の反射光による画像を取得し、取得した画像間で差分処理を行うことによって前記検査対象部位における表面欠陥を検出する検出ステップと、を含むことを特徴とする。ここで述べる差分処理とは、単純な画像間の差分だけでなく、画像間を比較し差異もしくは差異の程度を抽出する処理を指す。

## 【 0 0 0 7 】

本発明に係る表面欠陥検出方法は、上記発明において、前記検出ステップは、前記差分処理を行うことによって前記検査対象部位におけるスケール及び無害模様の画像信号を除去することにより、検査対象部位における凹凸性の表面欠陥を検出するステップを含むことを特徴とする。

30

## 【 0 0 0 8 】

本発明に係る表面欠陥検出方法は、上記発明において、前記照射ステップは、2つ以上のフラッシュ光源を互いの発光タイミングが重ならないよう繰り返し発光させることによって照明光を照射するステップを含むことを特徴とする。

## 【 0 0 0 9 】

本発明に係る表面欠陥検出方法は、上記発明において、前記照射ステップは、2つ以上の互いに波長領域が重ならない光源の照明光を同時に照射するステップを含み、前記検出ステップは、混ざり合った各照明光の反射光を照明光の波長と同じ波長を有する光を透過するフィルターを用いて分離することによって各照明光の反射光による画像を取得するステップを含むことを特徴とする。

40

## 【 0 0 1 0 】

本発明に係る表面欠陥検出方法は、上記発明において、前記照射ステップは、互いに直交する直線偏光特性を有する2つの光源の照明光を同時に照射するステップを含み、前記検出ステップは、混ざり合った各照明光の反射光を互いに直交する直線偏光特性を有する2つの偏光板を用いて分離することによって各照明光の反射光による画像を取得するステップを含むことを特徴とする。

## 【 0 0 1 1 】

本発明に係る表面欠陥検出方法は、上記発明において、前記検査対象部位に対する各光

50

源の照明光の入射角が $25^\circ$ 以上 $55^\circ$ 以下の範囲内にあることを特徴とする。

【0012】

本発明に係る表面欠陥検出方法は、上記発明において、前記検出ステップは、ハーフミラー、ビームスプリッター、及びプリズムのうちのいずれかを用いて、各照明光の反射光による画像を取得する複数の撮像装置の光軸が同軸となるように調整するステップを含むことを特徴とする。

【0013】

本発明に係る表面欠陥検出装置は、鋼材の表面欠陥を光学的に検出する表面欠陥検出装置であって、2つ以上の弁別可能な光源を利用して同一の検査対象部位に異なる方向から照明光を照射する照射手段と、各照明光の反射光による画像を取得し、取得した画像間で差分処理を行うことにより前記検査対象部位における表面欠陥を検出する検出手段と、を備えることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0014】

本発明に係る表面欠陥検出方法及び表面欠陥検出装置によれば、スケールや無害模様と表面欠陥とを精度よく弁別することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、本発明の一実施形態である表面欠陥検出装置の構成を示す模式図である。

20

【図2】図2は、図1に示すエリアセンサの変形例の構成を示す模式図である。

【図3】図3は、図1に示す光源とエリアセンサとの駆動タイミングを示すタイミングチャートである。

【図4】図4は、表面欠陥とスケール及び無害模様とを撮影した2つの2次元画像及びその差分画像の一例を示す図である。

【図5】図5は、照明光の入射角と健全部（地鉄部分）の反射率との関係を調査する実験に用いた装置の構成を示す模式図である。

【図6】図6は、レーザーの入射角とパワーメーターの受光量との関係を示す図である。

【図7】図7は、本発明の第2の実施形態である表面欠陥検出処理を説明するための模式図である。

30

【図8】図8は、本発明の第3の実施形態である表面欠陥検出処理を説明するための模式図である。

【図9】図9は、実施例で利用した装置の構成を示す模式図である。

【図10】図10は、実施例の表面欠陥検出処理結果を示す図である。

【図11】図11は、スケールが発生した部分に対する表面欠陥検出処理結果を示す図である。

【図12】図12は、本発明の一実施形態である表面欠陥検出装置の変形例の構成を示す模式図である。

【図13】図13は、本発明の一実施形態である表面欠陥検出装置の他の変形例の構成を示す模式図である。

40

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、図面を参照して、本発明の一実施形態である表面欠陥検出装置の構成及びその動作について説明する。

【0017】

〔表面欠陥検出装置の構成〕

始めに、図1を参照して、本発明の一実施形態である表面欠陥検出装置の構成について説明する。

【0018】

図1は、本発明の一実施形態である表面欠陥検出装置の構成を示す模式図である。図1

50

に示すように、本発明の一実施形態である表面欠陥検出装置 1 は、図示矢印方向に搬送される円筒形状の鋼管 P の表面欠陥を検出する装置であり、光源 2 a , 2 b、ファンクションジェネレータ 3、エリアセンサ 4 a , 4 b、画像処理装置 5、及びモニター 6 を主な構成要素として備えている。

【 0 0 1 9 】

光源 2 a , 2 b は、ファンクションジェネレータ 3 からのトリガー信号に従って鋼管 P の表面上の同一の検査対象部位に弁別可能な照明光 L を照射する。光源 2 a , 2 b は、検査対象部位に対して対称に配置されることが望ましい。従って、光源 2 a , 2 b は、鋼管 P 表面の法線ベクトルに対して同一の角度だけずらし、照明光 L の照射方向ベクトルと鋼管 P 表面の法線ベクトルとが同一平面状となるように配置されている。ここで述べる入射角の同一性とは、異なる方向の光源を弁別したときに光学条件をできるだけ等しくし、スケールや無害模様を含む健全部の信号を差分処理によって大きく低減することを目的とする。また、健全部の信号は対象の表面性状に大きく依存し、同一性を一概に一定角度で保証することは困難である。従って、25 ~ 55 ° の範囲内であれば、多少角度が異なっても健全部の信号を差分処理によって低減できている限り同一角と表現する。なお、本実施形態では、光源の数を 2 つとしたが、弁別可能であれば光源の数を 3 つ以上にしてもよい。ここで述べる弁別可能な光源とは、対象から得られる反射光についてそれぞれの光源別に反射光量を求めることが可能となる光源を示す。

10

【 0 0 2 0 】

エリアセンサ 4 a , 4 b は、ファンクションジェネレータ 3 からのトリガー信号に従って光源 2 a , 2 b から照射された照明光 L の反射光による 2 次元画像を撮影する。エリアセンサ 4 a , 4 b は、撮影した 2 次元画像のデータを画像処理装置 5 に入力する。エリアセンサ 4 a , 4 b は、それぞれの撮像視野を確保した状態で可能な限り検査対象部位の法線ベクトル上に設置することが望ましい。

20

【 0 0 2 1 】

なお、位置合わせの問題を解決するため、エリアセンサ 4 a , 4 b をできる限り近づけ、それぞれの光軸をできる限り互いに平行にすることが望ましい。また、図 2 に示すように、ハーフミラー、ビームスプリッター、及びプリズムのうちのいずれかをを用いてエリアセンサ 4 a , 4 b の光軸が同軸になるように調整してもよい。これにより、後述する差分画像を精度よく取得することができる。

30

【 0 0 2 2 】

画像処理装置 5 は、エリアセンサ 4 a , 4 b から入力された 2 つの 2 次元画像間で後述する差分処理を行うことによって検査対象部位における表面欠陥を検出する装置である。画像処理装置 5 は、エリアセンサ 4 a , 4 b から入力された 2 次元画像や表面欠陥の検出結果に関する情報をモニター 6 に出力する。

【 0 0 2 3 】

このような構成を有する表面欠陥検出装置 1 は、以下に示す表面欠陥検出処理を実行することによって、検査対象部位におけるスケールや無害模様と表面欠陥とを弁別する。ここで述べる表面欠陥とは凹凸性の欠陥とする。また、スケールや無害模様とは、厚さ数 ~ 数十  $\mu\text{m}$  程度の地鉄部分とは光学特性の異なる表面皮膜や表面性状を有する部分のことを意味し、表面欠陥検出処理においてノイズ要因となる部分である。以下、本発明の第 1 から第 3 の実施形態である表面欠陥検出処理について説明する。

40

【 0 0 2 4 】

〔 第 1 の実施形態 〕

始めに、図 3 から図 6 を参照して、本発明の第 1 の実施形態である表面欠陥検出処理について説明する。

【 0 0 2 5 】

図 3 は、光源 2 a , 2 b とエリアセンサ 4 a , 4 b との駆動タイミングを示すタイミングチャートである。図中、d は光源 2 a , 2 b の発光時間、T はエリアセンサ 4 a , 4 b による 2 次元画像の撮影周期を表す。本発明の第 1 の実施形態である表面欠陥検出処理で

50

は、光源 2 a , 2 b をフラッシュ光源として、フラッシュ光源を互いの発光タイミングが重ならないように繰り返し発光させることによって光源 2 a , 2 b を弁別する。

【 0 0 2 6 】

すなわち、図 3 に示すように、本実施形態では、始めに、ファンクションジェネレータ 3 が光源 2 a 及びエリアセンサ 4 a にトリガー信号を送信し、光源 2 a が照明光 L を照射し、時間 d 以内にエリアセンサ 4 a が 2 次元画像の撮影を完了する。そして、エリアセンサ 4 a による 2 次元画像の撮影完了後にファンクションジェネレータ 3 が光源 2 b とエリアセンサ 4 b とにトリガー信号を送信し、同様に 2 次元画像を撮影する。本実施形態によれば、時間差 d で光量低下を発生することなく各光源から照射された照明光 L に対する個々の反射光による 2 次元画像を撮影することができる。

10

【 0 0 2 7 】

なお、鋼管 P の搬送速度が速い場合には、フラッシュ光源は発光時間 d が短いものであることが望ましい。これは、発光時間 d が短ければ短いほど、エリアセンサ 4 a , 4 b によって得られる 2 つの 2 次元画像間のシャッター遅延が小さくなり、シャッター遅延による 2 次元画像の位置ズレを小さくできるためである。また、個々の反射光による 2 次元画像の差分画像を用いて表面欠陥を検出することを目的とした時、フラッシュ光源の発光時間 d は以下の数式 ( 1 ) に示す条件を満足する必要がある。

【 0 0 2 8 】

【数 1】

$$\begin{aligned} & \text{発光時間}d(\text{sec}) \leq \\ & \text{最小分解能}(\text{mm}/\text{画素}) \times \text{許容される位置ずれ}(\text{画素}) / \text{ライン搬送速度}(\text{mm}/\text{sec}) \\ & \dots (1) \end{aligned}$$

20

【 0 0 2 9 】

検出目標の表面欠陥の大きさを例えば 2 0 m m とすると、経験上、表面欠陥を検出するためには最小 5 角画素の信号が必要になるので、4 m m / 画素の分解能があればよい。また、この場合、許容される照明光 L の照射タイミングによる位置ずれは、経験上、0 . 2 画素以内とする必要があるので、鋼管 P の搬送速度が 1 , 3 , 5 m / s である場合、光源 2 a , 2 b の発光時間はそれぞれ、8 0 0 , 2 7 0 , 1 6 0 μ s e c 以下でなくてはならない。なお、鋼管 P の搬送速度や搬送方向が一定である場合には、この位置ずれは 2 次元画像の撮影後に補正できる。

30

【 0 0 3 0 】

本実施形態では、画像処理装置 5 は、エリアセンサ 4 a , 4 b から入力された 2 次元画像に対して予め導出しておいたカメラパラメータを用いてキャリブレーション、シェーディング補正やノイズ除去等の画像処理を施した後、2 次元画像間で差分処理を行うことによって検査対象部位における表面欠陥を検出する。

【 0 0 3 1 】

具体的には、光源 2 a から照明光 L を照射した時の 2 次元画像 I a を構成する各画素の輝度値を I a ( x , y ) ( 但し、画素数 X × Y とし、x 座標を 1 x X、y 座標を 1 y Y とする)、光源 2 b から照明光 L を照射した時の 2 次元画像 I b を構成する各画素の輝度値を I b ( x , y ) とした時、その差分画像 I \_ d i f f の各画素の輝度値 I \_ d i f f ( x , y ) は以下に示す数式 ( 2 ) で表される。

40

【 0 0 3 2 】

【数 2】

$$I\_diff(x,y) = Ia(x,y) - Ib(x,y) \quad \dots (2)$$

【 0 0 3 3 】

ここで、表面欠陥と欠陥で無いスケール及び無害模様を撮像した 2 次元画像 I a、I b 及びその差分画像 I \_ d i f f の例をそれぞれ図 4 ( a ) , ( b ) , ( c ) に示す。図 4 ( a ) , ( b ) , ( c ) に示すように、健全部では、スケールや無害模様に関わらず法線

50

ベクトルと光源 2 a の成す角と法線ベクトルと光源 2 b の成す角とが等しいため、輝度値  $I_a(x, y) = \text{輝度値 } I_b(x, y)$ 、すなわち輝度値  $I_{diff}(x, y) = 0$  となる。しかしながら、表面欠陥部分では、表面が凹凸形状を有するため、法線ベクトルと光源 2 a の成す角と法線ベクトルと光源 2 b の成す角とが等しくない箇所が必ず存在し、輝度値  $I_a(x, y) \neq \text{輝度値 } I_b(x, y)$ 、すなわち輝度値  $I_{diff}(x, y) \neq 0$  となる。

【0034】

従って、差分器 11 によって 2 つの 2 次元画像の差分画像を生成することによって欠陥で無いスケールや無害模様が除去され、表面欠陥のみを検出することができる。そして、このようにして表面欠陥のみを検出し、様々な特徴量により表面欠陥が有害かどうか最終的な評価を行い、モニター 6 に評価結果を表示する。

10

【0035】

なお、2 つの 2 次元画像間に位置ズレがあり、差分画像に影響を与える場合には、2 次元ローパスフィルタをかけ、2 次元画像間の位置ズレの影響を軽減させることが望ましい。この場合、2 次元ローパスフィルタを H とすると、差分画像の輝度値  $I'_{diff}(x, y)$  は以下に示す数式 (3) で表される。

【0036】

【数 3】

$$I'_{diff}(x, y) = H * (I_a(x, y) - I_b(x, y)) \quad \dots (3)$$

20

【0037】

また、光源 2 a, 2 b は同一のものを用いて、各光源はなるべく均一な平行光となるように照射し、検査対象部位は平面に近い方がよい。しかしながら、表面が多少均一でない場合や鋼管 P のようななだらかな曲面に対する適用においても、一般的なシェーディング補正により表面欠陥を検出することができる。

【0038】

また、照明光 L の入射角に関しては健全部の反射光に鏡面反射成分が入らず、且つ、十分な光量を確保できる範囲にすることが望ましい。本発明の発明者らは、照明光 L の入射角と健全部（地鉄部分）の反射率との関係を調査する実験を行った。実験に用いた装置の構成を図 5 に示す。図 5 に示すように、本実験では、パワーメーター 12 を鋳片サンプル 14 の真上の位置に固定し、レーザー 13 の入射角を  $0^\circ$  から  $90^\circ$  まで変化させた時のパワーメーター 12 の受光量を計測した。実験結果を図 6 に示す。図 6 に示すように、入射角が  $0^\circ$  から  $20^\circ$  の範囲内では、鏡面反射成分が含まれているためにパワーメーター 12 の受光量は大きい、入射角が  $60^\circ$  以上になるとパワーメーター 12 の受光量は大きく低下する。従って、照明光 L の入射角は検査対象部位の法線ベクトルに対して  $25^\circ$  から  $55^\circ$  の範囲内にすることが望ましい。

30

【0039】

検査対象部位の深さ方向の分解能は、欠陥の傾斜角及びエリアセンサ 4 a, 4 b の分解能に依存する。ここで、欠陥の傾斜角とは、「欠陥部の法線ベクトル」を「検査対象部位の健全部表面の法線ベクトルと光源方向ベクトルとが成す平面」に正射影し、正射影されたベクトルと健全部表面の法線ベクトルとの成す角を取ったものである。検査対象部位の表面性状にも依存するが、例えば入射角  $45^\circ$  で入射光を照射したとき、欠陥の傾斜角が光源方向に対して約  $10^\circ$  以上であれば、差分処理によって欠陥信号を検出できることが確認されている。従って、1 画素の分解能を  $0.5 \text{ mm}$  と仮定すると、理論上  $0.5 \times \tan 10^\circ = 0.09 \text{ mm}$  程度の深さ方向の分解能を持つことになる。

40

【0040】

〔第 2 の実施形態〕

次に、図 7 を参照して、本発明の第 2 の実施形態である表面欠陥検出処理について説明する。

【0041】

50

本発明の第2の実施形態である表面欠陥検出処理では、光源2a, 2bを互いに波長領域が重ならない光源とすることによって光源2a, 2bを弁別する。具体的には、図7に示すように、光源2a, 2bに波長領域が重ならない2種類の波長選択フィルター20a, 20bを設置し、照明光Lの波長領域を選択する。また、同一の波長選択特性を有する波長選択フィルター21a, 21bをエリアセンサ4a, 4bに設置する。

【0042】

このような構成によれば、光源2aからの照明光Lの反射光は波長選択フィルター20a, 21aによってエリアセンサ4aのみで受光され、光源2bからの照明光Lの反射光は20b, 21bによってエリアセンサ4bのみで受光される。従って、エリアセンサ4a, 4bの撮影タイミングを一致させることにより、位置ずれなく光源2a, 2bからの照明光Lの反射光による2次元画像を撮影することができる。2次元画像を撮影した後の処理は第1の実施形態と同様である。

10

【0043】

なお、検査対象部位の移動速度が大きい場合には、検査対象部位の移動による位置ずれを防止するために光源2a, 2bをフラッシュ光源とし、光源2a, 2bの照射タイミングを変化させずに2次元画像の撮影時間を短縮させてもよい。また、波長選択フィルター20aを青色透過フィルター、波長選択フィルター20bを緑色透過フィルターとし、1台のカラーカメラを用いて2次元画像を撮影することにより、青チャンネルには光源2aからの照明光Lの反射光のみが受光され、緑チャンネルには光源2bからの照明光Lの反射光のみが受光されるといったように構成してもよい。

20

【0044】

〔第3の実施形態〕

次に、図8を参照して、本発明の第3の実施形態である表面欠陥検出処理について説明する。

【0045】

本発明の第3の実施形態である表面欠陥検出処理では、光源2a, 2bを互いに直交する直線偏光特性を有する光源とすることによって光源2a, 2bを弁別する。具体的には、図8に示すように、光源2a, 2bに直線偏光板30a, 30bを $\theta$ 及び $(\theta + 90)$ ° ( $\theta$ は任意の角度)で設置し、それぞれ互いに直交する偏光成分の光のみ透過させる。ここで、直線偏光板とは、入射光に対して一定方向の直線偏光成分のみ透過させるフィルターのことを意味する。また、直線偏光板30a, 30bと同一の直線偏光特性を有する直線偏光板31a, 31bを $\theta$ 及び $(\theta + 90)$ °でエリアセンサ4a, 4bに設置する。

30

【0046】

このような構成によれば、光源2aからの照明光Lの反射光はエリアセンサ4aのみで受光され、光源2bからの照明光Lの反射光はエリアセンサ4bのみで受光される。従って、エリアセンサ4a, 4bの撮影タイミングを一致させることにより、位置ずれなく各光源からの照明光の反射光による2次元画像を撮影することができる。

【0047】

なお、計測対象部位の移動速度が大きい場合には、光源2a, 2bをフラッシュ光源とし、光源2a, 2bの照射タイミングを変化させずに2次元画像の撮影時間を短縮させてもよい。以下、位置合わせ及び2次元画像撮影後の処理は第1及び第2の実施形態と同様である。

40

【0048】

〔実施例〕

本実施例では、図9に示すように、光源2a, 2bとしてフラッシュ光源を用い、光源2a, 2bの発光タイミングを変化させる方法を用いて鋼管Pの表面欠陥を検出した。エリアセンサ4a, 4bは並列させて2次元画像を撮影し、画像処理により位置合わせを行った。図10に表面欠陥の検出結果を示す。図10(a)が光源2aから照明光を照射した時の2次元画像、図10(b)が光源2bから照明光Lを照射した時の2次元画像、図

50

10 (c) が図 10 (a) に示す 2 次元画像と図 10 (b) に示す 2 次元画像との差分画像である。図 10 (a) ~ (c) に示す画像の S/N 比は順に 3.5、3.5、6.0 であり、単に一方向から照明光を照射した場合よりも差分画像の S/N 比が向上した。

【0049】

図 11 は、スケールが発生した鋼管部分に対する表面欠陥検出処理結果を示す図である。図 11 (a) が光源 2a から照明光を照射した時の 2 次元画像、図 11 (b) が光源 2b から照明光 L を照射した時の 2 次元画像、図 11 (c) が図 11 (a) に示す 2 次元画像と図 11 (b) に示す 2 次元画像との差分画像である。図 11 (a), (b) に示す 2 次元画像全体に広がっている黒斑点がノイズとなるスケールである。スケールの形状は平らであるので、差分画像を取得することによってスケールの画像は除去された。また、差分画像では、単に一方向から照明光を照射した場合と比較して、ノイズとなるスケールの信号が 1/4 程度に低減された。

10

【0050】

〔変形例 1〕

図 12 は、本発明の一実施形態である表面欠陥検出装置の変形例の構成を示す模式図である。図 12 に示すように、本変形例は、1つの光源 2a から照射した照明光を複数のミラー 40a, 40b, 40c, 40d により分割し、最終的に 2 方向から鋼管 P1 の検査対象部位に照明光を照射する。この場合、照明光の各光路に波長選択フィルター 20a, 20b や直線偏光板 30a, 30b を設置することにより、第 2 及び第 3 の実施形態と同様の効果を得ることができる。なお、本変形例は照明光を 2 方向から照射するものであるが、3 方向以上から照明光を照射する場合も同様である。

20

【0051】

〔変形例 2〕

図 13 は、本発明の一実施形態である表面欠陥検出装置の他の変形例の構成を示す模式図である。図 13 に示すように、本変形例は、本発明の第 2 の実施形態である表面欠陥検出装置であって、波長選択フィルター 20a, 20b によって光源の波長を限定するのではなく、パルスレーザー 51a, 51b と拡散板 50a, 50b とを用いて光源の波長を限定するものである。本変形例では、互いに波長領域が異なる 2 つのパルスレーザー 51a, 51b からのレーザー光を検査対象部位の左右方向から照射して光源を弁別する。このとき、パルスレーザー 51a, 51b から照射されたレーザー光を検査対象部位全域に照射するためにレーザー光の光路に拡散板 50a, 50b を挿入する。なお、本変形例は 2 方向から照明光を照射するものであるが、3 方向以上から照明光を照射する場合も同様である。

30

【0052】

〔変形例 3〕

本変形例は、図 7 に示す本発明の第 2 の実施形態である表面欠陥検出装置であって、エリアセンサ 4a, 4b に設置する波長選択フィルター 21a, 21b の代わりにダイクロックミラーを用いるものである。ダイクロックミラーとは、特定の波長成分の光を反射し、その他の波長成分の光を透過するミラーのことである。ダイクロックミラーを用いることによって波長選択フィルターが不要となる。なお、本変形例は 2 方向から照明光を照射するものであるが、3 方向以上から照明光を照射する場合も同様である。

40

【0053】

以上、本発明者らによってなされた発明を適用した実施の形態について説明したが、本実施形態による本発明の開示の一部をなす記述及び図面により本発明は限定されることはない。すなわち、本実施形態に基づいて当業者等によりなされる他の実施の形態、実施例、及び運用技術等は全て本発明の範疇に含まれる。

【符号の説明】

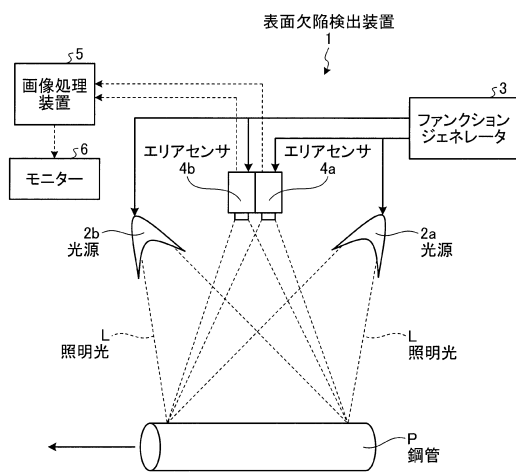
【0054】

- 1 表面欠陥検出装置
- 2a, 2b 光源

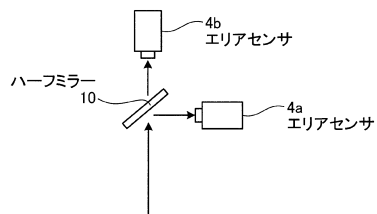
50

- 3 ファンクションジェネレータ
- 4 a , 4 b エリアセンサ
- 5 画像処理装置
- 6 モニター
- L 照明光
- P 鋼管

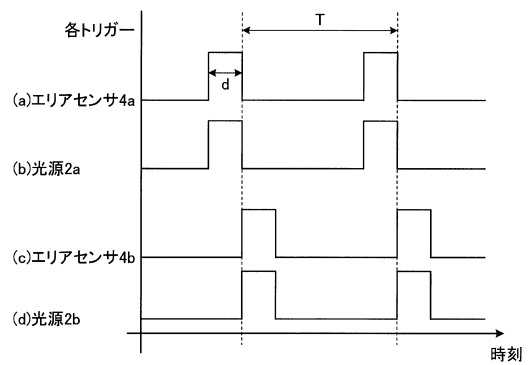
【図1】



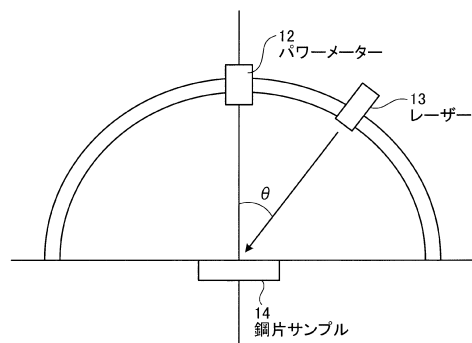
【図2】



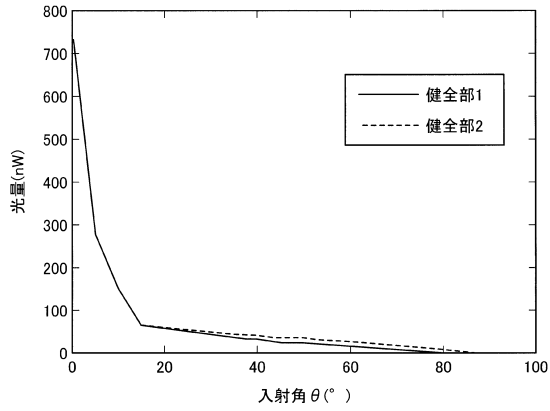
【図3】



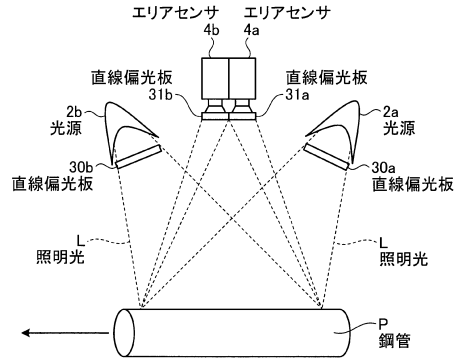
【図5】



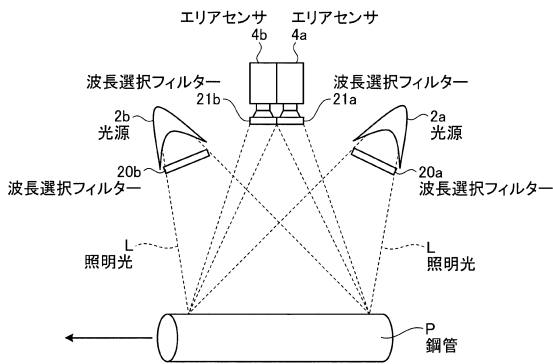
【図 6】



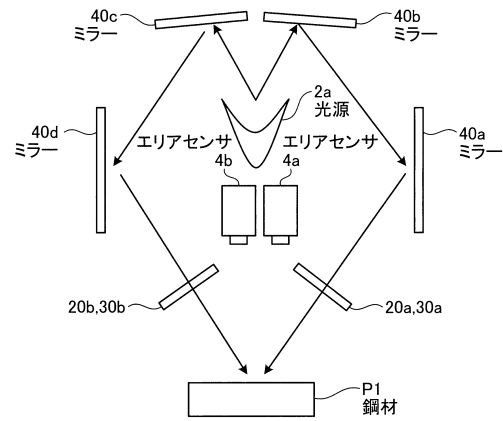
【図 8】



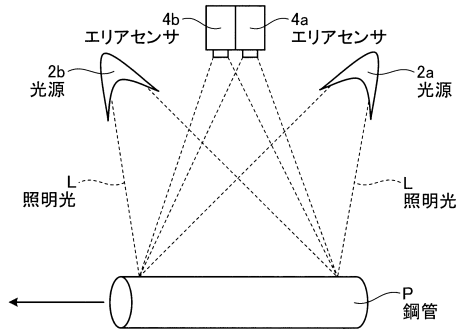
【図 7】



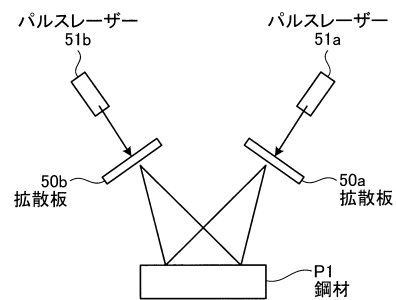
【図 12】



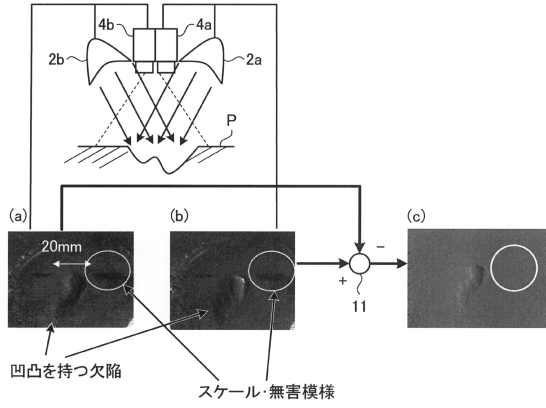
【図 9】



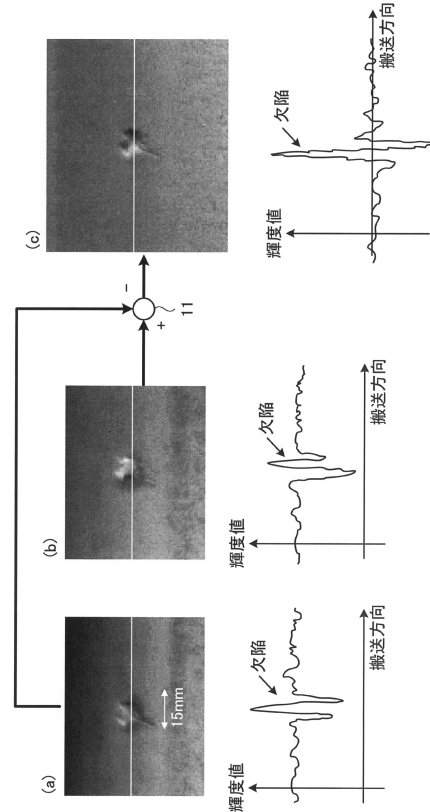
【図 13】



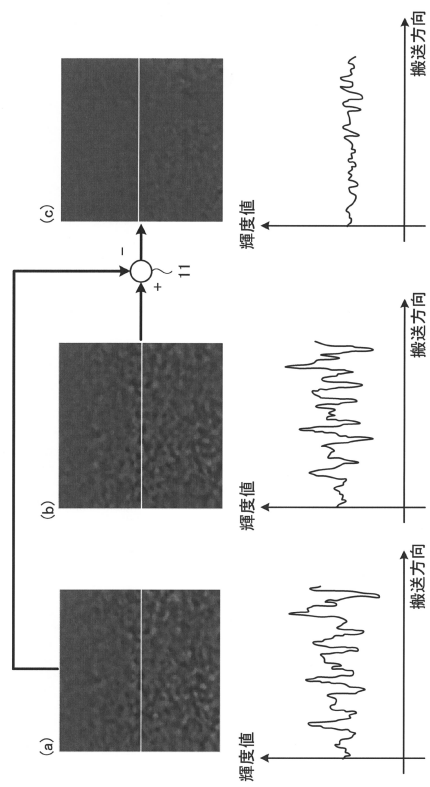
【図4】



【図10】



【図11】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 飯塚 幸理  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内
- (72)発明者 小川 晃弘  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 JFEスチール株式会社内

審査官 森口 正治

- (56)参考文献 特開2010-223621(JP,A)  
特開2011-117788(JP,A)  
特開昭59-052735(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G01N 21/84 - 21/958