

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6772084号
(P6772084)

(45) 発行日 令和2年10月21日(2020.10.21)

(24) 登録日 令和2年10月2日(2020.10.2)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 N 21/952 (2006.01) GO 1 N 21/952

請求項の数 6 (全 16 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-18706 (P2017-18706) (22) 出願日 平成29年2月3日(2017.2.3) (65) 公開番号 特開2017-146302 (P2017-146302A) (43) 公開日 平成29年8月24日(2017.8.24) 審査請求日 平成30年9月20日(2018.9.20) 審査番号 不服2019-14469 (P2019-14469/J1) 審査請求日 令和1年10月30日(2019.10.30) (31) 優先権主張番号 特願2016-25235 (P2016-25235) (32) 優先日 平成28年2月12日(2016.2.12) (33) 優先権主張国・地域又は機関 日本国(JP)</p>	<p>(73) 特許権者 000001258 J F E スチール株式会社 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 (74) 代理人 110002147 特許業務法人酒井国際特許事務所 (72) 発明者 児玉 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 (72) 発明者 岩崎 謙一 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</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 表面欠陥検査装置および表面欠陥検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

円筒状または円柱状の被検査体を撮像する撮像装置と、
 前記撮像装置によって撮像された複数の画像の輝度変化に基づいて前記被検査体の表面欠陥を検出する画像処理装置と、
 を備える表面欠陥検査装置において、
 製造ライン上に設けられ、前記被検査体を所定の傾斜に沿って転動させながら搬送する搬送装置と、
 前記搬送装置と前記撮像装置との間に配置され、前記被検査体を照明する間接照明装置と、
前記撮像装置の視野内において、前記被検査体に対して前記撮像装置とは反対側に配置され、かつ前記被検査体の転動方向と平行に設けられた補助照明装置と、
 を備え、
 前記撮像装置は、
前記被検査体の軸方向に沿って複数台配置されており、
前記搬送装置によって搬送されており、前記間接照明装置によって照明されており、かつ前記補助照明装置によって前記撮像装置とは反対側から照明されている前記被検査体を、
所定の撮像周期で連続的に撮像し、
前記補助照明装置は、一台の撮像装置につき一台の補助照明装置が視野に入るように複数配置されていることを特徴とする表面欠陥検査装置。

【請求項 2】

前記間接照明装置は、
凹面側が光の反射面となる半円筒状の反射材と、
前記反射材の反射面側に配置された光源と、
を備え、

前記光源からの光を前記反射材の反射面で反射することにより、前記搬送装置によって搬送されている前記被検査体を照明することを特徴とする請求項 1 に記載の表面欠陥検査装置。

【請求項 3】

前記反射材は、その軸方向が前記被検査体の軸方向と平行になるように配置され、
前記反射材においてその軸方向と直交する方向の幅は、前記被検査体の周長よりも大きいことを特徴とする請求項 2 に記載の表面欠陥検査装置。

10

【請求項 4】

前記光源は、前記反射材の軸方向に線状に設けられていることを特徴とする請求項 2 または請求項 3 に記載の表面欠陥検査装置。

【請求項 5】

前記撮像装置は、前記反射材の軸方向および幅方向の中心に配置されたエリアセンサカメラであることを特徴とする請求項 2 から請求項 4 のいずれか一項に記載の表面欠陥検査装置。

【請求項 6】

円筒状または円柱状の被検査体を、前記被検査体の軸方向に沿って複数台配置された撮像装置によって所定の撮像周期で連続的に撮像する撮像ステップと、

前記撮像ステップにおいて撮像された複数の画像の輝度変化に基づいて前記被検査体の表面欠陥を検出する画像処理ステップと、

を含む表面欠陥検査方法において、

前記撮像ステップは、製造ライン上に設けられた搬送装置によって、所定の傾斜に沿って転動しながら搬送され、かつ間接照明装置によって照明されている前記被検査体を撮像し、

20

前記撮像ステップは、前記撮像装置の視野内において、前記被検査体に対して前記撮像装置とは反対側に配置され、かつ前記被検査体の転動方向と平行に設けられた補助照明装置によって、前記撮像装置とは反対側から照明されている前記被検査体を撮像し、

30

前記画像処理ステップは、前記補助照明装置によって照明されている前記被検査体の画像に基づいて、前記被検査体の位置を検出し、

前記補助照明装置は、一台の撮像装置につき一台の補助照明装置が視野に入るように複数配置されていることを特徴とする表面欠陥検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、円筒状または円柱状の被検査体の表面欠陥検査装置およびその方法に係り、特に鋼管や丸棒等の表面欠陥を光学的に検査する表面欠陥検査装置およびその方法に関する。

40

【背景技術】

【0002】

鋼管の製造工程においては、鋼管表面にカキ疵、割れ、異物付着、汚れ等の欠陥が発生することがあり、これらの表面欠陥を全長全周に亘って自動的に検査することは品質保証上、または品質管理上極めて重要である。例えば、表面にめっき処理を施す鋼管でめっき付着不良があると、露出した部分が錆びて孔食し、搬送流体の漏洩といったトラブルが発生する懸念がある。

【0003】

このため、従来の鋼管表面の欠陥検査は、各種非破壊検査（NDI：Non Destructive

50

Inspection) 手法による検査の他、目視やカメラ等を用いた光学的検査によって行われてきた。そしてこのような鋼管の表面欠陥検査方法としては、例えば特許文献1～3に示すように、鋼管表面をカメラで撮影し画像を得て、得られた画像内の輝度変化部分を欠陥部分として抽出することにより表面欠陥を検出する装置の開発が行われている。

【0004】

例えば特許文献1には、鋼管正面を照明する明視野照明と、明視野照明と直交する真横方向から鋼管両側面を照明する一対の暗視野照明を設け、明視野照明と同じ方向からカメラで鋼管表面を撮影し画像を得て、その画像の輝度変化部分を欠陥部分として抽出する技術が記載されている。この特許文献1における技術では、特に300mm以下の小径の鋼管あるいは棒鋼の場合に、明視野照明だけでは鋼管表面の明るい領域が狭くなるため、両側面からの暗視野照明を併用することによって明るい領域を増やし、鋼管表面のほぼ上半分全体を照明できるようにしている。

10

【0005】

また、特許文献2には、鋼管の軸心方向に沿って長く伸びる1対の長尺集光照明を鋼管両側の斜め上から鋼管側縁部に照射することにより、鋼管表面の上部と側縁部との輝度をほぼ均等にし、両照明の中央位置からテレビカメラで鋼管表面を撮影し画像を得て、その画像の輝度変化部分を欠陥部分として抽出する技術が記載されている。この特許文献2における技術は、鋼管をその軸心を中心として回転しながら検査するものであり、表面の傷痕、汚れおよび形状不良等の欠陥が検査可能とされている。

20

【0006】

また、特許文献3には、軸方向に搬送される鋼管の搬送パス上部に、2次元カメラと1次元カメラと複数のハロゲンランプを軸心方向に沿って配設し、2次元カメラで計測した鋼管表面からの反射光量を用いて、1次元カメラによる鋼管表面検査データを輝度補正して検査する技術が記載されている。この特許文献3における技術では、鋼管を回転させながら搬送することにより、鋼管の全長全周の検査も可能とされている。

【0007】

また、上記特許文献1～3の他にも、発明者らは、特許文献4に示すように、被検査体である鋼管の全周をカバーする撮像領域を有する撮像部と複数の線状光源を用いた表面欠陥検査装置であって、視野内における鋼管位置を特定するラインセンサカメラを併用したものを提案している。

30

【0008】

また、特許文献5には、内面が反射面とされ、被検査体(線材)に近づくとつれて未だがりドーム形状をなすドーム部材と、ドーム部材の開口部に配置されたカメラと、ドーム部材の下側開口端内側に等間隔に設けられ、カメラ側に向けて光を照射することにより、反射面で反射させた光を線材表面に均一に照射させる光源と、を備える線材表面探傷装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】特開2006-292580号公報

40

【特許文献2】特許第2962125号公報

【特許文献3】特許第4023295号公報

【特許文献4】特開2015-64301号公報

【特許文献5】特開2011-163954号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、特許文献1の方法では、鋼管の全面を検査するために鋼管を軸方向に移動させず周方向に回転させる必要があるが、通常の製造ラインではそのような設備はないため検査専用の鋼管回転機構等を設ける必要がありコストアップになる。また、検査工程

50

が搬送効率を低下させ、ひいてはラインの生産性低下が懸念され、また鋼管の撓みや扁平によりカメラと鋼管表面の距離が変動するなどの外乱が懸念されるという問題があった。これは特許文献2の方法でも同様である。

【0011】

また、特許文献3は鋼管を螺旋状に搬送しながら検査する手法であり、超音波検査等では広く用いられているが、本質的には周方向の1か所しか測定しないため、検査視野と回転速度、搬送速度の調整を厳密に制御しないと検査抜け(未検査領域)が発生し、また特許文献1, 2と同様に、鋼管の撓みや扁平が今度は螺旋状搬送の精度に影響し、結果として検査に影響が出るという問題があった。

【0012】

また、特許文献4の方法では、鋼管の表面光沢が検査結果に与える影響が大きく、例えば鏡面性の強い鋼管を検査する場合は、光源からの光が鋼管に映りこんでハレーションが発生し、検査に影響が出るという問題があった。

【0013】

さらに、特許文献4の方法では、表面光沢の影響を低減させるためには鋼管からの反射光の強度分布を周方向に対して均一に近づける必要があるが、このような対策は、同文献の特徴であるラインセンサカメラによる鋼管位置の特定の感度を低下させてしまうという問題があった。

【0014】

また、特許文献5の方法では、被検査体を軸方向に搬送(縦送り)する検査を想定しており、ドーム部材の開口部に配置されたカメラの死角となる部位は検査することができないという問題があった。また、特許文献5で開示されたドーム部材および光源からなるドーム照明を、例えば鋼管をその軸方向と直交する方向に転がして搬送する搬送装置に設置して鋼管の検査を行おうとした場合、転がり位置によって鋼管の軸方向の照射長さが変化するため、鋼管全体の外表面の検査ができないという問題があった。

【0015】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、円筒状または円柱状の被検査体の表面欠陥を検査する際に、簡易な構成で精度高く表面欠陥検査を行うことができる表面欠陥検査装置および表面欠陥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】

【0016】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る表面欠陥検査装置は、円筒状または円柱状の被検査体を撮像する撮像装置と、前記撮像装置によって撮像された画像の輝度変化に基づいて前記被検査体の表面欠陥を検出する画像処理装置と、を備える表面欠陥検査装置において、製造ライン上に設けられ、前記被検査体を所定の傾斜に沿って転動させながら搬送する搬送装置と、前記搬送装置と前記撮像装置との間に配置され、前記被検査体を照明する間接照明装置と、を備え、前記撮像装置は、前記搬送装置によって搬送されており、かつ前記間接照明装置によって照明されている前記被検査体を撮像することを特徴とする。

【0017】

また、本発明に係る表面欠陥検査装置は、上記発明において、前記間接照明装置は、凹面側が光の反射面となる半円筒状の反射材と、前記反射材の反射面側に配置された光源と、を備え、前記光源からの光を前記反射材の反射面で反射することにより、前記搬送装置によって搬送されている前記被検査体を照明することを特徴とする。

【0018】

また、本発明に係る表面欠陥検査装置は、上記発明において、前記反射材は、その軸方向が前記被検査体の軸方向と平行になるように配置され、前記反射材においてその軸方向と直交する方向の幅は、前記被検査体の周長よりも大きいことを特徴とする。

【0019】

また、本発明に係る表面欠陥検査装置は、上記発明において、前記光源は、前記反射材

10

20

30

40

50

の軸方向に線状に設けられていることを特徴とする。

【0020】

また、本発明に係る表面欠陥検査装置は、上記発明において、前記撮像装置は、前記反射材の軸方向および幅方向の中心に配置されたエリアセンサカメラであることを特徴とする。

【0021】

また、本発明に係る表面欠陥検査装置は、上記発明において、前記撮像装置の視野内において、前記被検査体に対して前記撮像装置とは反対側に配置され、かつ前記被検査体の転動方向と平行に設けられた補助照明装置をさらに備え、前記撮像装置は、前記補助照明装置によって、前記撮像装置とは反対側から照明されている前記被検査体を撮像することを特徴とする。

10

【0022】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る表面欠陥検査方法は、円筒状または円柱状の被検査体を撮像装置によって撮像する撮像ステップと、前記撮像ステップにおいて撮像された画像の輝度変化に基づいて前記被検査体の表面欠陥を検出する画像処理ステップと、を含む表面欠陥検査方法において、前記撮像ステップは、製造ライン上に設けられた搬送装置によって、所定の傾斜に沿って転動しながら搬送され、かつ間接照明装置によって照明されている前記被検査体を撮像することを特徴とする。

【0023】

また、本発明に係る表面欠陥検査方法は、上記発明において、前記撮像ステップは、前記撮像装置の視野内において、前記被検査体に対して前記撮像装置とは反対側に配置され、かつ前記被検査体の転動方向と平行に設けられた補助照明装置によって、前記撮像装置とは反対側から照明されている前記被検査体を撮像し、前記画像処理ステップは、前記補助照明装置によって照明されている前記被検査体の画像に基づいて、前記被検査体の位置を検出することを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、間接照明装置によって被検査体を照明しながら画像を撮像することにより、被検査体の表面光沢の影響を受けずに表面欠陥の検査が可能となる。また、製造ライン上に設けた搬送装置によって被検査体を転動させながら表面欠陥の検査を行うことにより、被検査体を全長および全周にわたって検査できるため、例えば検査専用の被検査体回転機構等を設ける必要や、その設置スペースまたは被検査体の搬送経路等を別途追加する必要がなく、安価な設備投資で被検査体の検査が可能となる。従って、本発明によれば、円筒状または円柱状に形成された被検査体の表面欠陥を検査する際に、簡易な構成で精度高く表面欠陥検査を行うことができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】図1は、本発明の実施形態に係る表面欠陥検査装置の構成を模式的に示す図である。

【図2】図2は、本発明の実施形態に係る表面欠陥検査装置の間接照明装置の構成を模式的に示す斜視図である。

40

【図3】図3は、本発明の実施形態に係る表面欠陥検査装置の間接照明装置の動作原理を示す図である。

【図4】図4は、従来の光源（直接照明）を用いた場合における被検査体（鋼管）表面の反射光と均一照射幅を説明するための説明図である。

【図5】図5は、本発明の実施形態に係る表面欠陥検査装置の間接照明装置を用いた場合における被検査体（鋼管）表面の反射光と均一照射幅を説明するための説明図である。

【図6】図6は、本発明の実施形態に係る表面欠陥検査装置による被検査体（鋼管）の撮像画像群の一例を示す図である。

【図7】図7は、図6に示した被検査体（鋼管）の撮像画像群を、被検査体の一周分の展

50

開図に合成した図である。

【図 8】図 8 は、本発明の実施形態に係る表面欠陥検査装置の処理手順を示すフローチャートである。

【図 9】図 9 は、複数の撮像装置および複数の間接照明装置を備える、本発明の実施形態に係る表面欠陥検査装置の変形例 1 の構成を模式的に示す斜視図である。

【図 10】図 10 は、複数の撮像装置、複数の間接照明装置および複数の補助照明装置を備える、本発明の実施形態に係る表面欠陥検査装置の変形例 2 の構成を模式的に示す斜視図である。

【図 11】図 11 は、従来の方法によって撮像した鋼管の画像である。

【図 12】図 12 は、図 11 の A - A' 線に沿った輝度分布を示すグラフである。

10

【図 13】図 13 は、本発明の実施形態に係る表面欠陥検査装置によって撮像した鋼管の画像である。

【図 14】図 14 は、図 13 の B - B' 線に沿った輝度分布を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、本発明に係る表面欠陥検査装置および表面欠陥検査方法の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、本発明は以下の実施形態に限定されるものではない。また、以下の実施形態における構成要素には、当業者が置換可能かつ容易なもの、あるいは実質的に同一のものが含まれる。

【0027】

20

[表面欠陥検査装置]

表面欠陥検査装置は、円筒状または円柱状の被検査体の表面欠陥を検査するためのものである。表面欠陥検査装置 1 は、図 1 に示すように、搬送装置 10 と、間接照明装置 20 と、撮像装置 30 と、画像処理装置 40 と、表示装置 50 と、を備えている。なお、表面欠陥検査装置 1 の被検査体としては、鋼管や丸棒等が挙げられるが、以下では図 1 に示すように鋼管 P を用いた例について説明する。

【0028】

搬送装置 10 は、鋼管 P を搬送するものである。搬送装置 10 は、鋼管 P の製造ライン上に設けられており、具体的には図 1 に示すように、所定の傾斜が設けられた搬送スロープである。搬送装置 10 は、鋼管 P を傾斜に沿って転動させながら搬送する。

30

【0029】

ここで、鋼管 P を始めとする円筒状または円柱状の製品の製造ラインでは、これらをその軸方向と直交する方向に搬送する際に、図 1 に示すように傾斜が設けられた搬送装置（搬送スロープ）10 を利用することが一般的に行われている。従って、このような搬送装置 10 上で表面欠陥の検査を行うことにより、検査専用の鋼管回転機構や検査台等を新たに設ける必要がなくなる。なお、搬送時に鋼管 P と接触する搬送装置 10 の表面は、後記する画像処理の際に鋼管 P との識別を容易にするために、鋼管 P の表面とは色調が異なり、かつ反射を抑えた材質、例えば艶消しの白色または黒色に塗装したり、あるいは黒色のゴム板等を敷くことが望ましい。

【0030】

40

間接照明装置 20 は、搬送装置 10 によって搬送される鋼管 P を反射光によって間接的に照明するものである。間接照明装置 20 は、図 1 に示すように、搬送装置 10 の上方であって、搬送装置 10 と撮像装置 30 との間に配置されている。また、間接照明装置 20 は、図 2 および図 3 に示すように、反射材 21 と、光源 22 と、を備えている。

【0031】

反射材 21 は、図 2 に示すように、断面が半円筒状に形成されている。この反射材 21 の材料としては、半円筒状に形成可能な材料であれば金属、木材、樹脂等、種類を問わずに利用可能であるが、可視光に関する拡散反射率が良好な材料を用いることが望ましい。

【0032】

反射材 21 の上部には、撮像装置 30 が配置される貫通孔 21a が形成されている。こ

50

の貫通孔 2 1 a は、反射材 2 1 の軸方向および幅方向の中心に、撮像装置 3 0 の視野を確保できる程度の最小限の大きさで形成される。また、反射材 2 1 は、図 3 に示すように、凹面側が光源 2 2 からの光の反射面 2 1 b となり、この反射面 2 1 b によって光源 2 2 からの光を鋼管 P 側に反射する。

【 0 0 3 3 】

反射材 2 1 は、その軸方向が鋼管 P の軸方向と平行になるように配置されている。また、反射材 2 1 の幅、すなわち反射材 2 1 においてその軸方向と直交する方向の幅は、鋼管 P の周長よりも大きく形成されている。

【 0 0 3 4 】

光源 2 2 は、図 2 に示すように、反射材 2 1 の軸方向に線状に設けられた線状光源（棒状光源）である。光源 2 2 は、図 3 に示すように、反射材 2 1 の反射面 2 1 b 側に合計 2 本、左右一対で配置されており、当該反射面 2 1 b に向けて光を照射する。これにより、その反射光および多重反射光が拡散し、図 1 の実線矢印に示すように、鋼管 P に対して様々な方向から光が照射される。

【 0 0 3 5 】

光源 2 2 としては、蛍光灯やライトガイド、あるいは近年改良が進んでいる LED 素子を配列させた線状光源等が利用可能である。なお、光源 2 2 の配置は図 1 に示すものに限定されず、さらに光源 2 2 の本数も 2 本以上であってもよいが、撮像の際の光軸（同図の実線矢印参照）が左右対称になるように光源 2 2 の配置および本数を設定することが望ましい。

【 0 0 3 6 】

間接照明装置 2 0 は、以上のような構成を備えることにより、図 1 に示すように、光源 2 2 からの光を反射材 2 1 の反射面 2 1 b で反射し、搬送装置 1 0 によって搬送されている鋼管 P を間接的に照明する。

【 0 0 3 7 】

撮像装置 3 0 は、搬送装置 1 0 によって搬送されており、かつ間接照明装置 2 0 によって照明されている鋼管 P を撮像するものである。撮像装置 3 0 は、図 2 に示すように、反射材 2 1 の軸方向および幅方向の中心に形成された貫通孔 2 1 a の位置に配置されており、反射材 2 1 の下側で搬送装置 1 0 によって搬送される鋼管 P を所定の撮像周期で撮像する。そして、撮像装置 3 0 は、撮像した複数の画像を画像処理装置 4 0 に対して出力する。

【 0 0 3 8 】

撮像装置 3 0 としては、CCD あるいは CMOS 等のエリアセンサカメラを用いることができる。ここで、撮像装置 3 0 の画素数および画角は、検出が必要な表面欠陥の大きさと検査視野、あるいは場合によっては視野をカバーするために複数配置される撮像装置 3 0（後記図 9 参照）等を勘案して決定する。

【 0 0 3 9 】

一般に、撮像装置 3 0（具体的にはエリアセンサカメラ）の画素数は、水平方向の画素（ N_x ）の方が垂直方向の画素（ N_y ）より大きく、「 $N_x : N_y = 4 : 3$ 」程度であるため、視野の水平方向を鋼管 P の軸方向に、視野の垂直方向を鋼管 P の搬送方向（転動方向）に一致させることが望ましい。そして、視野の垂直方向は、鋼管 P の外径よりも少し長い範囲をカバーする必要がある一方で、1 画素当たりの視野は、検出が必要な表面欠陥の大きさの半分～ $1/5$ 程度の細かさにした方が望ましい。

【 0 0 4 0 】

例えば外径が 1 0 0 mm の鋼管 P を検査して、2 mm の表面欠陥（例えば疵）を検出したい場合、鋼管 P の搬送方向の視野は「 $x 1 0 0 = 3 1 4 \text{ mm}$ 」必要であり、1 画素当たりの解像度は「 $2 x (1/5) = 0.4 \text{ mm}$ 」となる。従って、撮像装置 3 0 の垂直方向の視野は 3 2 0 mm 程度、垂直方向の画素数は「 $3 2 0 \div 0.4 = 8 0 0 \text{ 画素}$ 」程度あれば十分となる。

【 0 0 4 1 】

10

20

30

40

50

一方、撮像装置30の垂直方向の視野を320mmとした場合、前記した「 $N_x : N_y = 4 : 3$ 」の関係より、撮像装置30の水平方向の視野（鋼管Pの軸方向の視野）が「 $320 \div 3 \times 4 = 430$ mm」程度となる。そのため、例えば鋼管Pが数mに亘る長尺体の場合は、撮像装置30が多数必要となってしまふ。このような場合、解像度を維持したまま撮像装置30の台数が数台で収まるように、前記した画素数と視野の設定を修正すればよい。

【0042】

例えば、軸方向の長さが5000mm（5m）の鋼管Pを4台の撮像装置30で検査する場合、撮像装置30の水平方向の視野を「 $5000 / 4 = 1250$ mm」、1画素当たりの解像度を0.4mm、撮像装置30の水平方向の画素数を3200画素とする。そしてこの場合、撮像装置30の垂直方向の画素数は「 $3200 \times (3 / 4) = 2400$ 画素」となる。このような3200画素×2400画素の撮像装置30は、市販されているエリアセンサカメラを利用すれば実現可能である。

10

【0043】

ここで、図1において、撮像装置30から伸びる3本の一点鎖線のうち、真ん中の一点鎖線は撮像装置30のレンズの中心軸であり、両側の2本の一点鎖線は撮像装置30の視野（垂直方向の視野）を示している。撮像装置30は、同図に示すように、その視野内を転動する鋼管Pが周長分移動する間に連続的に撮像を行う。そして、後記する画像処理装置40によって、複数の画像から表面欠陥が検出される。なお、撮像装置30が視野内で鋼管Pを撮像する撮像周期は、例えば鋼管Pの搬送速度（転動速度）や搬送方向の均一照射幅等を勘案して決定すればよい。

20

【0044】

前記した「均一照射幅」とは、間接照明装置20によって照明された鋼管Pの表面の画像の照度が均一とみなされる幅のことを示している。前記した特許文献4では、鋼管の曲率や照明の配置間隔等から均一照射幅を決定して用いていたが、本実施形態に係る表面欠陥検査装置1では、間接照明を用いたことでこの均一照射幅がかなり広がっている。

【0045】

例えば図4は、特許文献4のように直接照明を用いた場合における鋼管Pの均一照射幅の一例を示す図、図5は、本実施形態のように間接照明を用いた場合における鋼管Pの均一照射幅の一例を示す図である。そして、図4および図5において、Wは均一照射幅、Dは鋼管Pの直径を示している。

30

【0046】

特許文献4のように直接照明を用いた場合、鋼管Pの直径Dが100mm（周長を320mmとする）だとすると、均一照射幅Wは15mm程度であった。従って、撮像装置30は、鋼管Pがその視野内を15mm転動するごとに撮像する必要があり、撮像回数は「 $320 \div 15 = 21.3$ 22回」となる。

【0047】

一方、本実施形態のように間接照明を用いた場合、鋼管Pの直径Dが100mm（周長を320mmとする）だとすると、均一照射幅Wは35mm程度であった。従って、撮像装置30は、鋼管Pがその視野内を35mm転動するごとに撮像すればよく、撮像回数は「 $320 \div 35 = 9.14$ 10回」となる。このように、本実施形態のように間接照明を用いることで、直接照明を用いる場合と比較して、撮像装置30による撮像回数が大幅に減少する。

40

【0048】

ここで、鋼管Pの均一照射幅Wごとの移動を撮像した画像から検出する場合、例えば画像のある水平ラインの輝度が明るい部分を重心演算する等により検出することができる。一方、データ処理の煩雑さを避けるために、図1に示すように、近接センサ61とトリガ回路62を別途設け、近接センサ61によって撮像装置30の視野内に入った鋼管Pを検出した場合に、トリガ回路62からのトリガ信号を撮像装置30に出力し、鋼管Pを撮像してもよい。

50

【 0 0 4 9 】

または、前記したトリガ回路 6 2 と、鋼管 P の搬送距離を計測するレーザ距離計とを別途設け、一定の搬送距離ごとにトリガ回路 6 2 からのトリガ信号を撮像装置 3 0 に出力して撮像してもよい。さらに、搬送装置（搬送スロープ）1 0 の傾斜が緩やか等の理由により、鋼管 P の転動が一定速度とみなせる場合は、近接センサ 6 1 で鋼管 P が撮像装置 3 0 の視野内に入るタイミングのみを検出し、後は予め設定した時間間隔で所定回数画像を撮像するようにしてもよい。

【 0 0 5 0 】

このようにして鋼管 P が撮像装置 3 0 の視野内を転動している際に連続的に撮像することにより、図 6 に示すように、鋼管 P の表面の画像が複数採取される。同図は、搬送装置 1 0 によって搬送されており、かつ間接照明装置 2 0 によって照明されている鋼管 P を撮像装置 3 0 によって撮像した画像群であり、(1) ~ (2 5) は、撮像の順番を示している。また、同図に示した鋼管 P には、表面欠陥の代わりに円形の印をマーキングしている。

10

【 0 0 5 1 】

ここで、図 6 の例では、鋼管 P の回転による移動よりも撮像周期が短いため、複数の画像に鋼管 P の同一位置が撮像されている。このような撮像条件では、鋼管 P に欠陥がある場合は同一の欠陥を複数回撮像してしまう。従って、重複検出を避けるために、画像相互のマッチングを施して重複部分をカットする重複チェックが必要となる。但し、反対に撮像周期が長すぎると、欠陥の見逃しを招くおそれがあるため、撮像周期はなるべく短く設定することが望ましい。

20

【 0 0 5 2 】

画像処理装置 4 0 は、撮像装置 3 0 によって撮像された鋼管 P の画像を画像処理し、当該画像の輝度変化に基づいて鋼管 P の表面欠陥を検出するものである。画像処理装置 4 0 は、撮像装置 3 0 から入力された各画像に対してシェーディング補正、2 値化処理等の周知の欠陥検出処理を行い、画像内の輝度変化部を表面欠陥として検出する。

【 0 0 5 3 】

画像処理装置 4 0 は、検出した表面欠陥の種類や発生位置についても算出する。例えば、画像処理装置 4 0 は、欠陥特徴量に基づいて表面欠陥の種類を算出する。また、画像処理装置 4 0 は、画像内における表面欠陥の水平方向位置に基づいて表面欠陥の軸方向発生位置を算出する。また、画像処理装置 4 0 は、連続的に撮像された n 枚の画像のうち、どの画像で表面欠陥が検出されたかという情報と、その画像内における表面欠陥の垂直方向位置に基づいて表面欠陥の軸方向発生位置を算出する。そして、画像処理装置 4 0 は、算出した表面欠陥の種類および発生位置を表示装置 5 0 に出力する。

30

【 0 0 5 4 】

表示装置 5 0 は、鋼管 P における表面欠陥の種類および発生位置を、例えば数値または図表等によって表示するものである。表示装置 5 0 は、図 7 に示すように、例えば画像処理装置 4 0 における重複チェックを経た画像群（図 6 参照）から、鋼管 P の全周分の画像を展開図として合成した画像を表示する。

【 0 0 5 5 】

以上のような構成を備える表面欠陥検査装置 1 によれば、間接照明装置 2 0 によって鋼管 P を照明しながら画像を撮像することにより、鋼管 P の表面光沢の影響を受けずに表面欠陥の検査が可能となる。すなわち、間接照明を利用することにより、直接照明の際に問題となる光源の映り込みを防止し、照度が均一な領域（均一照射幅 W）を拡大することができるため、高精度な検査が実現可能となる。

40

【 0 0 5 6 】

また、製造ライン上に設けた搬送装置 1 0 によって鋼管 P を転動させながら表面欠陥の検査を行うことにより、鋼管 P を全長および全周にわたって検査できるため、例えば検査専用の鋼管回転機構等を設ける必要や、その設置スペースまたは鋼管 P の搬送経路等を別途追加する必要がなく、安価な設備投資で鋼管 P の検査が可能となる。従って、表面欠陥

50

検査装置 1 によれば、円筒状または円柱状に形成された鋼管 P の表面欠陥を検査する際に、簡易な構成で精度高く表面欠陥検査を行うことができる。

【 0 0 5 7 】

[表面欠陥検査方法]

前記した表面欠陥検査装置 1 を用いた表面欠陥検査方法について、図 8 を参照しながら説明する。表面欠陥検査方法は、検出ステップと、撮像ステップと、画像処理ステップと、表示ステップと、を行う。

【 0 0 5 8 】

まず、検出ステップにおいて、近接センサ 6 1 は撮像装置 3 0 の視野内に入った鋼管 P の有無を検出する (ステップ S 1)。そして、鋼管 P が検出されない場合 (ステップ S 1 で N o)、近接センサ 6 1 はステップ S 1 の処理を繰り返す。一方、鋼管 P が検出された場合 (ステップ S 1 で Y e s)、トリガ回路 6 2 は撮像装置 3 0 に対してトリガ信号を出力する (ステップ S 2)。

【 0 0 5 9 】

続いて、撮像ステップにおいて、撮像装置 3 0 は、トリガ信号に基づいて、搬送装置 1 0 によって搬送されており、かつ間接照明装置 2 0 によって照明されている鋼管 P を所定の撮像周期で撮像する (ステップ S 3)。続いて、画像処理ステップにおいて、画像処理装置 4 0 は、撮像装置 3 0 によって撮像された画像の輝度変化に基づいて鋼管 P の表面欠陥を検出する (ステップ S 4)。最後に、表示ステップにおいて、表示装置 5 0 は、鋼管 P における表面欠陥の検出結果 (表面欠陥の種類および発生位置) を表示する (ステップ S 5)。

【 0 0 6 0 】

[表面欠陥検査装置の変形例 1]

ここで、前記したように、鋼管 P の長さが撮像装置 3 0 の水平方向の視野 (鋼管 P の軸方向の視野) よりも大きい場合は、例えば図 9 に示す表面欠陥検査装置 1 A のように、撮像装置 3 0 を鋼管 P の軸方向に沿って複数台配置し、間接照明装置 2 0 もそれに対応して複数セット配置すればよい。また、同図に示すように間接照明装置 2 0 を複数セット配置する場合、隣接する反射材 2 1 同士の境界部で検査洩れや光量のアンバランスが発生しないように、隣接する撮像装置 3 0 同士で水平方向の視野がオーバーラップするように設計することが望ましい。

【 0 0 6 1 】

また、間接照明装置 2 0 の反射材 2 1 については、図 9 に示すように複数配置するのではなく、例えば鋼管 P の長さに合わせて設計し、反射材 2 1 の内部に実装する光源 2 2 を、鋼管 P の軸方向に沿って複数本継ぎ足すようにしてもよい。

【 0 0 6 2 】

[表面欠陥検査装置の変形例 2]

変形例 2 に係る表面欠陥検査装置 1 B は、図 1 0 に示すように、前記した表面欠陥検査装置 1 A の構成に対して、複数の補助照明装置 7 0 が追加されている。

【 0 0 6 3 】

補助照明装置 7 0 は、撮像装置 3 0 の視野内に配置されており、1 台の撮像装置 3 0 につき 1 本の補助照明装置 7 0 が視野に入るように配置されている。また、補助照明装置 7 0 は、鋼管 P に対して撮像装置 3 0 とは反対側、すなわち鋼管 P の下側に配置されており、当該鋼管 P を下側から照射する。また、補助照明装置 7 0 は、鋼管 P の転動方向と平行な方向に、線状に設けられている。補助照明装置 7 0 としては、光源 2 2 と同様に、蛍光灯やライトガイド、あるいは L E D 素子を配列させた線状光源等が利用可能である。

【 0 0 6 4 】

表面欠陥検査装置 1 B において、撮像装置 3 0 は、補助照明装置 7 0 によって撮像装置 3 0 とは反対側から照明されている鋼管 P を撮像する。そして、画像処理装置 4 0 は、補助照明装置 7 0 によって照明されている鋼管 P の画像に基づいて、鋼管 P の位置 (本変形例 2 の場合は、エッジ位置) を検出する。

10

20

30

40

50

【0065】

ここで、図11は、補助照明装置70を備えない表面欠陥検査装置によって撮像した鋼管Pの画像であり、図12は、図11のA-A'線に沿った輝度分布を示すグラフである。図11および図12に示すように、画像中において鋼管Pが存在する部分は、鋼管Pの周辺の背景部よりも輝度が高くなっている。一方、両図から判るように、本来検出したい鋼管Pのエッジ位置E1、E2に相当する部分C、Dにおける輝度は、その周辺の背景部に相当する画素の輝度とほぼ同じである。本発明に係る表面欠陥検査装置のおかれている環境、特に明るさによっては、図11のような画像しか得られない場合がある。この場合は、閾値の設定等による検出が難しく、また、背景に映り込んでいる物体の輝度の影響を受ける等、不安定となりやすい。

10

【0066】

一方、図13は、図10に示す表面欠陥検査装置1Bによって撮像した鋼管Pの画像であり、図14は、図13のB-B'線に沿った輝度分布を示すグラフである。図13および図14に示すように、画像中において鋼管Pが存在する部分は、鋼管Pの周辺の背景部よりも輝度が低くなっている。すなわち、表面欠陥検査装置1Bでは、補助照明装置70から鋼管Pに向けて光を照射することにより、撮像装置30の視野内において、補助照明装置70からの光の一部が鋼管Pによって遮られる。これにより、鋼管Pのエッジ位置E3、E4に相当する部分E、Fにおける輝度と、その周辺の背景部に相当する画素の輝度との差を、より大きくすることができる。

【0067】

20

従って、表面欠陥検査装置1Bによれば、撮像装置30によって撮像した画像を画像処理装置40で画像処理することにより、撮像装置30の視野内における鋼管Pの位置を、本発明に係る表面欠陥検査装置がおかれている環境によらず、より容易に検出することが可能となる。さらに、鋼管Pの全周分の画像を合成することも、より容易となる。

【0068】

また、表面欠陥検査装置1Bによれば、鋼管Pが補助照明装置70からの光を遮った時点で鋼管Pの正確な位置を検出することが可能であるため、前記した図1に示すような、鋼管Pの位置を検出する近接センサ61やトリガ回路62等も不要となる。従って、表面欠陥検査装置1Bによれば、円筒状または円柱状に形成された鋼管Pの表面欠陥を検査する際に、より簡易な構成で精度高く表面欠陥検査を行うことが可能となる。

30

【実施例】

【0069】

以下、実施例を挙げて本発明をより具体的に説明する。本実施例では、前記した図9に示したように、長尺の鋼管に対応した表面欠陥検査装置(変形例1)を用いた。具体的には、直径100mmで長さ5mの鋼管の製造ラインにおいて、既設の搬送スロープ(搬送装置)に撮像装置および間接照明装置を設置し、鋼管の表面欠陥(具体的には疵)を検査した。

【0070】

撮像装置としては、3200画素×2400画素のCMOSエリアセンサカメラを用い、分解能は0.4mm、視野サイズは水平方向1280mm、垂直方向400mmとした。間接照明装置の光源は、図9に示すように両側から撮像装置を挟むように、かつ鋼管の軸方向と平行に200mm間隔で配置した。さらに鋼管の全長に亘って検査するために、撮像装置と光源を鋼管の軸方向に4台並べて設置した。

40

【0071】

近接センサとしては、LED透過光方式のコールドメタルディテクターを用い、画像の入出力および画像処理は、パソコンに搭載されたデジタル入出力(DIO)の入力機能、画像キャプチャーボード、およびパソコン内で機能するソフトウェア等によって行った。

【0072】

以上のような装置構成により、鋼管が1回転する間に28回の撮像を行った。得られた

50

画像の重複をチェックし、10枚分の画像を選定した。これら選定した画像を繋ぎ合わせて、鋼管全周の表面欠陥を検査した。その結果、従来は長時間に亘る目視検査でしか検出できなかった有害な表面欠陥を、検査のための余分な所要時間や作業を一切使わずに、上記装置構成により100%検出できることが確認された。

【0073】

また、前記した図10に示した表面欠陥検査装置(変形例2)を用いて、鋼管が1回転する間に28回の撮像を行い、得られた画像の重複をチェックして10枚分の画像を選定し、これら選定した画像を繋ぎ合わせて、鋼管全周の表面欠陥を検査した。この場合も、表面欠陥を100%検出できることが確認された。

【0074】

以上、本発明に係る表面欠陥検査装置および表面欠陥検査方法について、発明を実施するための形態および実施例により具体的に説明したが、本発明の趣旨はこれらの記載に限定されるものではなく、特許請求の範囲の記載に基づいて広く解釈されなければならない。また、これらの記載に基づいて種々変更、改変等したのも本発明の趣旨に含まれることはいうまでもない。

【符号の説明】

【0075】

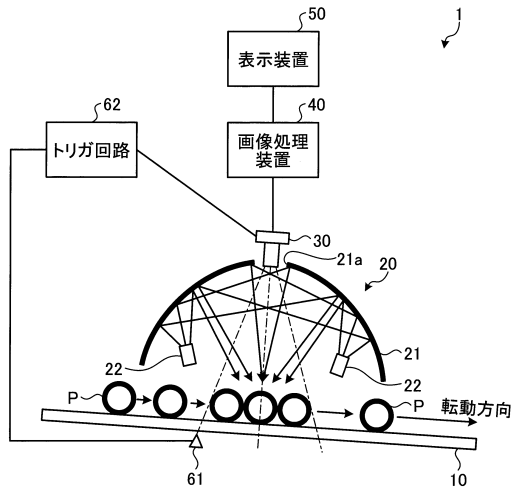
- 1, 1A, 1B 表面欠陥検査装置
- 10 搬送装置(搬送スロープ)
- 20 間接照明装置
- 21 反射材
- 21a 貫通孔
- 21b 反射面
- 22 光源
- 30 撮像装置(エリアセンサカメラ)
- 40 画像処理装置
- 50 表示装置
- 61 近接センサ
- 62 トリガ回路
- 70 補助照明装置
- P 鋼管(被検査体)

10

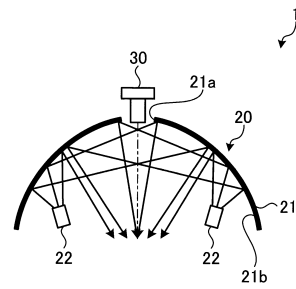
20

30

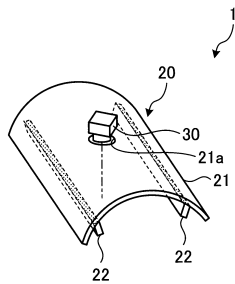
【図1】



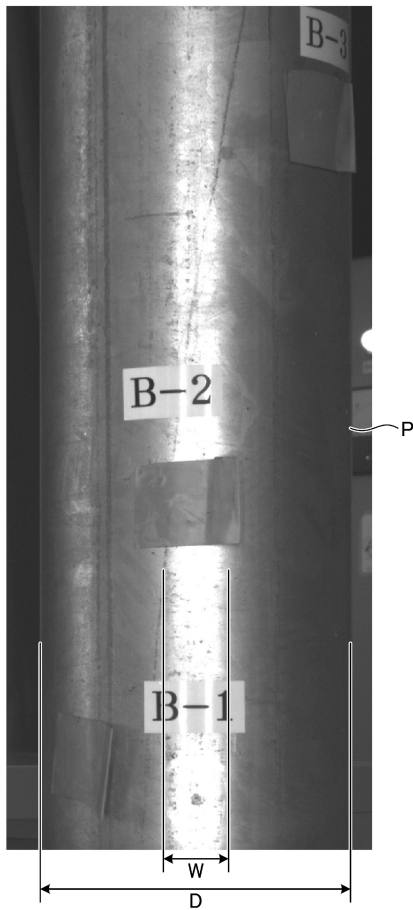
【図3】



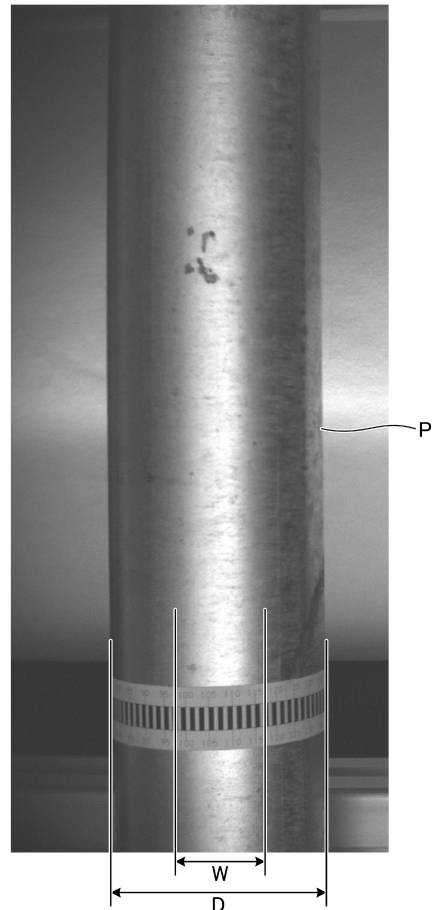
【図2】



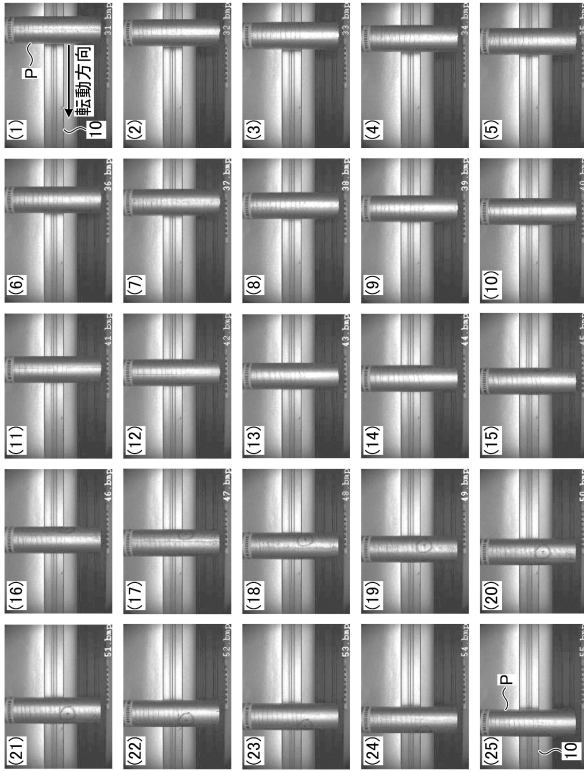
【図4】



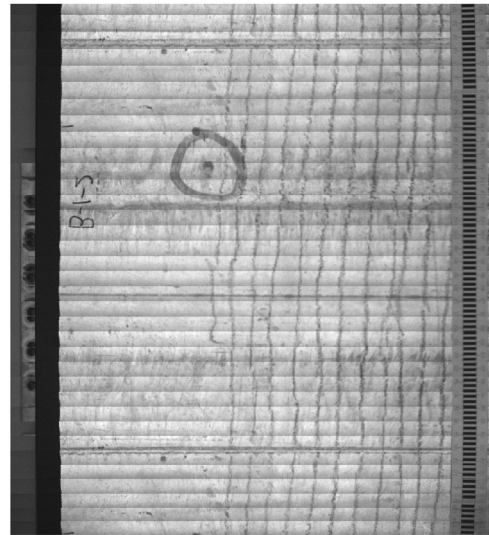
【図5】



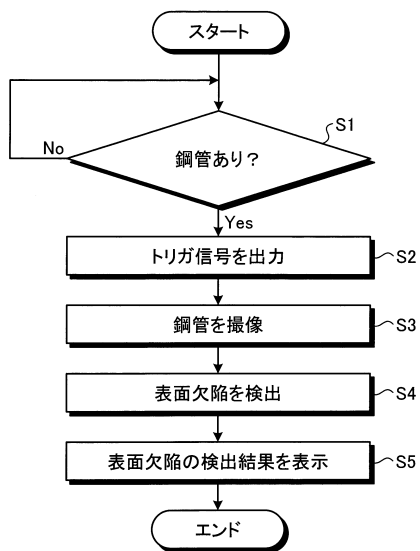
【図6】



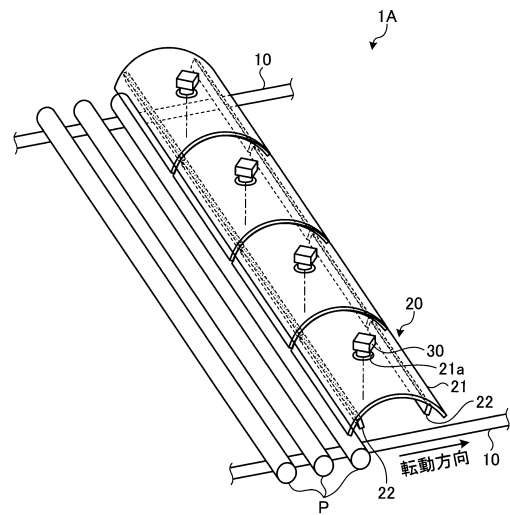
【図7】



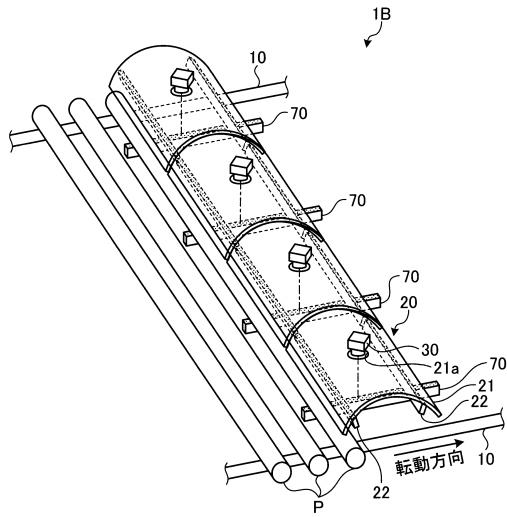
【図8】



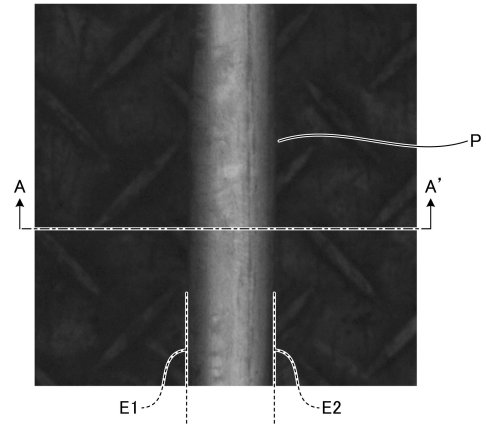
【図9】



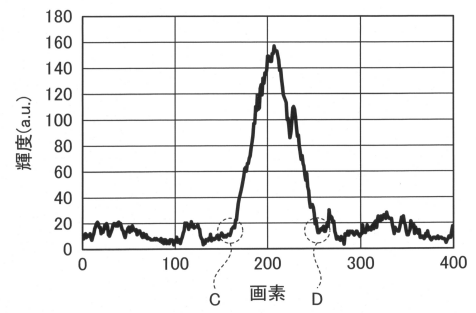
【図10】



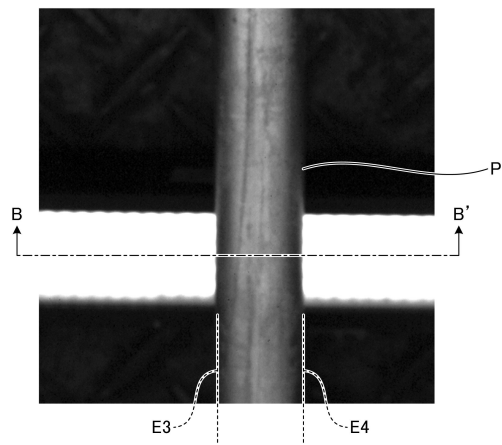
【図11】



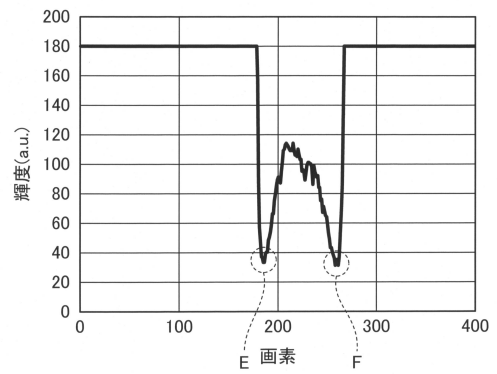
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

合議体

審判長 森 竜介

審判官 福島 浩司

審判官 渡戸 正義

- (56)参考文献 特開2015-64301(JP,A)
国際公開第2012/005337(WO,A1)
特許第2962125(JP,B2)
特開平11-242005(JP,A)

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