

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

WO2016/080229

発行日 平成29年8月31日 (2017.8.31)

(43) 国際公開日 平成28年5月26日 (2016.5.26)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
GO 1 N 27/82 (2006.01) GO 1 N 27/82 2 G 0 5 3

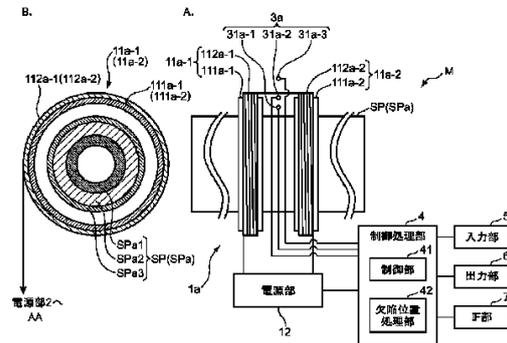
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 22 頁)

<p>出願番号 特願2016-560151 (P2016-560151)</p> <p>(21) 国際出願番号 PCT/JP2015/081486</p> <p>(22) 国際出願日 平成27年11月9日 (2015.11.9)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2014-236335 (P2014-236335)</p> <p>(32) 優先日 平成26年11月21日 (2014.11.21)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p>	<p>(71) 出願人 000001270 コニカミノルタ株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号</p> <p>(74) 代理人 100067828 弁理士 小谷 悦司</p> <p>(74) 代理人 100115381 弁理士 小谷 昌崇</p> <p>(74) 代理人 100111453 弁理士 櫻井 智</p> <p>(72) 発明者 加川 哲哉 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コ ニカミノルタ株式会社内</p> <p>Fターム(参考) 2G053 AA11 AB21 AB22 BA02 BA12 BC02 BC03 BC14 CA03</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 磁気探傷装置および磁気探傷方法

(57) 【要約】

本発明にかかる磁気探傷装置および磁気探傷方法は、被検査物に磁界を印加し、前記被検査物の外面から互いに異なる複数の第1検出位置で磁気を検出し、これら各検出結果に基づいて、前記被検査物に対し離接する第1方向に沿った、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求める。



- 4 Control processing unit
- 5 Input unit
- 6 Output unit
- 7 IF unit
- 12 Power source unit
- 41 Control unit
- 42 Defect position processing unit
- AA To the power source 2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検査物に磁界を印加する磁界印加部と、

前記被検査物の外面上に、前記被検査物に対し離接する第 1 方向に沿って、前記外面から互いに異なる距離の複数の第 1 検出位置に配置され、磁気を検出する複数の第 1 磁気検出部を備える第 1 群検出部と、

前記第 1 群検出部における前記複数の第 1 磁気検出部の各検出結果に基づいて、前記第 1 方向に沿った、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求める欠陥位置処理部とを備えること

を特徴とする磁気探傷装置。

10

【請求項 2】

前記欠陥位置処理部は、下記条件 1 および条件 2 を用いることによって、前記第 1 群検出部における前記複数の第 1 磁気検出部の各検出結果に基づいて、前記被検査物の前記外面以内であって前記第 1 方向に沿った前記外面から互いに異なる距離の複数の被観測位置における各磁界強度を求め、前記求めた前記複数の被観測位置における各磁界強度に基づいて、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求めること

を特徴とする請求項 1 に記載の磁気探傷装置。

条件 1 ; 前記第 1 磁気検出部の検出結果は、前記複数の被観測位置での各磁界が前記複数の被観測位置から当該第 1 磁気検出部の第 1 検出位置まで伝播してきた前記各磁界の各磁界強度の和であること

20

条件 2 ; 前記磁界強度は、前記被観測位置および前記第 1 検出位置間の距離と特定の関係があること

【請求項 3】

前記被検査物は、互いに径の異なる複数の筒状体を径方向で複数多重した多重構造管であり、

前記欠陥位置処理部は、前記第 1 群検出部における前記複数の第 1 磁気検出部のうちの 2 個の第 1 磁気検出部を選択し、前記選択した 2 個の第 1 磁気検出部のうちの前記第 1 方向に沿った前記外面からの距離が遠い第 1 磁気検出部の検出結果から、前記選択した 2 個の第 1 磁気検出部のうちの前記第 1 方向に沿った前記外面からの距離が近い第 1 磁気検出部の検出結果を前記遠い第 1 磁気検出部の前記外面からの距離の二乗で除した除算結果を減算し、前記減算した減算結果と所定の判定閾値とを比較することによって、前記複数の筒状体のうちの最外側に位置する筒状体を除く他の筒状体に欠陥があるか否かを、前記被検査物における所定の欠陥の位置として求めること

30

を特徴とする請求項 1 に記載の磁気探傷装置。

【請求項 4】

前記被検査物の外面上に、前記第 1 方向に沿って、前記外面から互いに異なる距離の複数の第 2 検出位置に配置され、磁気を検出する複数の第 2 磁気検出部を備える第 2 群検出部をさらに備え、

前記第 2 群検出部は、前記第 1 群検出部に対し、前記第 1 方向に直交する第 2 方向を軸とする軸回りの周方向に沿って所定の角度間隔を空けて配置され、

40

前記欠陥位置処理部は、前記第 1 群検出部における前記複数の第 1 磁気検出部および前記第 2 群検出部における前記複数の第 2 磁気検出部の各検出結果に基づいて、前記第 1 方向に沿った前記被検査物における所定の欠陥の位置であって前記周方向に沿った前記被検査物における所定の欠陥の前記位置を求めること

を特徴とする請求項 1 ないし請求項 3 のいずれか 1 項に記載の磁気探傷装置。

【請求項 5】

前記被検査物の外面上に、前記第 1 方向に沿って、前記外面から互いに異なる距離の複数の第 3 検出位置に配置され、磁気を検出する複数の第 3 磁気検出部を備える第 3 群検出部をさらに備え、

前記第 3 群検出部は、前記第 1 群検出部に対し、前記第 1 方向に直交する第 2 方向に沿

50

って所定の間隔を空けて配置され、

前記欠陥位置処理部は、前記第1群検出部における前記複数の第1磁気検出部および前記第3群検出部における前記複数の第3磁気検出部の各検出結果に基づいて、前記第1方向に沿った前記被検査物における所定の欠陥の位置であって前記第2方向に沿った前記被検査物における所定の欠陥の前記位置を求めること

を特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか1項に記載の磁気探傷装置。

【請求項6】

被検査物に磁界を印加する磁界印加工程と、

前記被検査物の外面上で前記被検査物に対し離接する第1方向に沿って互いに間隔を空けた複数の検出位置それぞれで磁気を検出する磁気検出工程と、

前記磁気検出工程で検出された各検出結果に基づいて、前記第1方向に沿った、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求める欠陥位置演算工程とを備えること

を特徴とする磁気探傷方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、磁気を検出する磁気検出部を用いることによって被検査物における所定の欠陥（異常）を探傷する磁気探傷装置および磁気探傷方法に関する。

【背景技術】

【0002】

鋼管、鉄管およびアルミ管等の金属管の傷や薄肉化（減肉）等の欠陥（異常）の有無を検査する方法は、目視による外観観察の他、主に、超音波を利用した超音波探傷法や、磁気を利用した磁気探傷法等がある。この磁気探傷法として、一般に、被検査物に直流磁場（直流磁界）または交流磁場（交流磁界）を与え欠陥によって生じた磁束（欠陥漏洩磁束）を検出する漏洩磁束探傷法（例えば特許文献1参照）、および、被検査物に交流磁場で誘起される渦電流における欠陥による変化を検出する渦電流探傷法（例えば特許文献2参照）が知られており、さらに、近年では、空間的に均質な磁場（磁界）を発生させるヘルムホルツコイルを用いた磁気探傷装置（ヘルムホルツ型磁気探傷装置）も提案されている（例えば特許文献3参照）。

【0003】

ところで、磁性体や導体等の材料によって形成された互いに径の異なる複数の筒状体を径方向で複数多重した、例えば断熱管等の多重構造管を被検査物として探傷する場合、前記特許文献1や前記特許文献2に開示された方法では、最も外側に位置する管の方がそれよりも内側に位置する管に較べて著しく磁場変化が大きく、内側の管を探傷することが難しい。一方、前記特許文献3に開示されたヘルムホルツコイル型磁気探傷装置は、二重構造管の断熱管を被検査物として探傷しているが、磁場の変化で欠陥を検出したとしても、断熱管の外周面上に配設された1個の磁気センサではこの欠陥が内側の管に生じているのか外側の管に生じているのかを区別することが難しい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平11-83808号公報

【特許文献2】特開平5-164745号公報

【特許文献3】特開2014-44087号公報

【発明の概要】

【0005】

本発明は、上述の事情に鑑みて為された発明であり、その目的は、被検査物に対し離接する第1方向に沿った、被検査物における所定の欠陥の位置を求めることができる磁気探傷装置および磁気探傷方法を提供することである。

【発明の効果】

【 0 0 0 6 】

本発明にかかる磁気探傷装置および磁気探傷方法は、被検査物に対し離接する第1方向に沿った、被検査物における所定の欠陥の位置を求めることができる。

【 0 0 0 7 】

本発明にかかる磁気探傷装置および磁気探傷方法は、被検査物に磁界を印加し、前記被検査物の外面から互いに異なる複数の第1検出位置で磁気を検出し、これら各検出結果に基づいて、前記被検査物に対し離接する第1方向に沿った、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求める。

【 0 0 0 8 】

上記並びにその他の本発明の目的、特徴及び利点は、以下の詳細な記載と添付図面から明らかになるであろう。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 9 】

【 図 1 】 実施形態における磁気探傷装置の構成を示す図である。

【 図 2 】 実施形態の磁気探傷装置で検査される被検査物の外観を示す斜視図である。

【 図 3 】 実施形態の磁気探傷装置における欠陥の位置の算出方法を説明するための図である。

【 図 4 】 実施形態の磁気探傷装置における第1変形形態の構成を示す図である。

【 図 5 】 実施形態の磁気探傷装置における第2変形形態の構成を示す図である。

【 図 6 】 実施形態の磁気探傷装置における第3変形形態の構成を示す図である。

【 図 7 】 実施形態の磁気探傷装置における第4変形形態の構成を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 0 】

以下、本発明にかかる実施の一形態を図面に基づいて説明する。なお、各図において同一の符号を付した構成は、同一の構成であることを示し、適宜、その説明を省略する。また、本明細書において、総称する場合には添え字を省略した参照符号で示し、個別の構成を指す場合には添え字を付した参照符号で示す。

【 0 0 1 1 】

図1は、実施形態における磁気探傷装置の構成を示す図である。図1Aは、全体構成を示し、図1Bは、磁界印加部周辺の断面図である。図2は、実施形態の磁気探傷装置で検査される被検査物の外観を示す斜視図である。図3は、実施形態の磁気探傷装置における欠陥の位置の算出方法を説明するための図である。

【 0 0 1 2 】

実施形態における磁気探傷装置は、検査対象の被検査物に、磁界を印加し、被検査物の所定の欠陥（異常）に起因して生じる磁場の変化を、被検査物に対し離接する第1方向に沿って、被検査物の外面から互いに異なる距離の複数の第1検出位置それぞれで検出し、これら各検出結果に基づいて、第1方向に沿った、被検査物における所定の欠陥の位置を求める装置である。このような実施形態における磁気探傷装置Mは、例えば、図1に示すように、磁界印加部1aと、第1群検出部3aと、欠陥位置処理部42を備える制御処理部4と備え、図1に示す例では、さらに、入力部5と、出力部6と、インターフェース部（IF部）7とを備える。

【 0 0 1 3 】

磁界印加部1aは、被検査物SPに磁界を印加する装置である。被検査物SPは、好ましくは、鋼管、鉄管およびアルミ管等の金属管SPaであり、より好ましくは、例えば磁性体や導体等の材料によって形成された互いに径の異なる複数の筒状体を径方向で複数多重した多重構造管である。図1に示す例では、被検査物SPは、図2に示す二重構造管の断熱管SPaである。この断熱管SPaは、図2に示すように、例えば、内側に位置する鋼管SPa1と、前記鋼管SPa1の外周を所定の厚さで覆う断熱材SPa2と、前記断熱材SPa2の外周を覆う、外側に位置する外装板金である溶融亜鉛鉄板SPa3とを備えて構成される。磁界印加部1aは、励磁コイル11aと、電源部12とを備える。

10

20

30

40

50

【0014】

励磁コイル11aは、電源部12から電力の供給を受けることによって、磁場を生成し、この生成した磁場を被検査物SPに与える装置である。励磁コイル11aは、漏洩磁束探傷法や渦電流探傷法等の探傷方法に応じて種々の公知の装置を用いることができる。例えば、漏洩磁束探傷法では、励磁コイル11aは、直流磁場または交流磁場を与えることによって被検査物SP内に磁束を生じさせるように構成される。また例えば、渦電流探傷法では、励磁コイル11aは、交流磁場を与えることによって被検査物SPに渦電流を生じさせるように構成される。本実施形態では、第1態様としての励磁コイル11aは、図1に示す1対の第1および第2励磁コイル11a-1、11a-2を備える。

【0015】

これら1対の第1および第2励磁コイル11a-1、11a-2は、断熱管SPAをその各芯部に挿通させ、断熱管SPAにおける軸方向に沿って所定の間隔で離間して配置される。前記所定の間隔は、適宜に設定され、例えば、ヘルムホルツコイルを構成するために、第1および第2励磁コイル11a-1、11a-2の半径に略等しい長さである。第1励磁コイル11a-1は、比較的短い高さ（短高）の筒状体である第1コイルボビン111a-1に、例えば断面丸形や断面角形等の長尺な電気伝導性を持つ線材である第1導体部材112a-1を、例えば樹脂や油紙等の絶縁材料を介して巻回すことによって形成される。同様に、第2励磁コイル11a-2は、短高の筒状体である第2コイルボビン111a-2に、例えば断面丸形や断面角形等の長尺な電気伝導性を持つ線材である第2導体部材112a-2を、例えば樹脂や油紙等の絶縁材料を介して巻回すことによって形成される。第1および第2コイルボビン111a-1、111a-2は、例えば樹脂材料等の非磁性絶縁体で形成される。このような第1および第2励磁コイル11a-1、11a-2のターン数は、第1および第2励磁コイル11a-1、11a-2によって生成したい所望の磁場の強度等に応じて適宜に設定される。第1および第2導体部材112a-1、112a-2それぞれは、例えば、銅やアルミニウム等の比較的高い導電性を持ち、樹脂で絶縁被覆された導体線である。第1および第2励磁コイル11a-1、11a-2は、互いに直列に接続されている。より具体的には、第1励磁コイル11a-1の一方端は、電源部12に接続され、その他方端は、第2励磁コイル11a-2の一方端に接続され、その他方端は、電源部12に接続される。

【0016】

電源部12は、制御処理部4に接続され、制御処理部4の制御に従って、励磁コイル11aに電力を給電することによって磁気（磁界）を発生させるための装置である。電源部12は、直流電流、交流電流およびパルス電流等の、探傷方法に応じた所定の電流を1対の第1および第2励磁コイル11a-1、11a-2に給電することによって直流磁場、交流磁場およびパルス状の磁場（パルス磁場）等の、前記探傷方法に応じた所定の磁場を発生させる。なお、電源部2は、1対の第1および第2励磁コイル11a-1、11a-2に、逆相の電流や一方のみに電流を給電するために、第1および第2励磁コイル11a-1、11a-2への各通電路を適宜に切り換える切替回路を備えて良い。

【0017】

第1群検出部3aは、磁気を検出する複数の第1磁気検出部31aを備える。これら複数の第1磁気検出部31aは、1対の励磁コイル11a-1、11a-2間であって、被検査物SPの外面上（直上および上方を含む。ここで、上方とは、外面から外側へ離れる方向を意味する。）に、被検査物SPに対し離接する第1方向に沿って、前記外面から互いに異なる距離の複数の第1検出位置に配置される。これら複数の第1磁気検出部31aそれぞれは、制御処理部4に接続され、探傷方法に応じた磁気を検出し、その検出結果を制御処理部4へ出力する。例えば、漏洩磁束探傷法では、欠陥によって生じた漏洩磁束に起因する磁気を検出される。また例えば、渦電流探傷法では、欠陥によって生じた渦電流の変化に起因する磁気を検出される。図1に示す例では、第1群検出部3aは、3個の第1磁気検出部31a-1～31a-3を備えて構成される。これら3個の第1磁気検出部31a-1～31a-3は、1対の励磁コイル11a-1、11a-2間であって、断熱

10

20

30

40

50

管 S P a の外周面上に、断熱管 S P a の径方向に沿って、前記外周面から互いに異なる第 1 ないし第 3 距離の 3 個の第 1 検出位置に配置されている。

【 0 0 1 8 】

第 1 磁気検出部 3 1 a として、各種の磁気センサが利用可能である。より具体的には、第 1 磁気検出部 3 1 a には、磁場により電気抵抗が変化する磁気抵抗効果を利用した磁気抵抗素子 (M R 素子) を用いた磁気センサ、高透磁率合金磁性体の表皮効果で磁場によりインピーダンスが変化する磁気インピーダンス効果を利用した磁気インピーダンス素子を用いた磁気センサ、ホール効果を利用したホール素子を用いた磁気センサ、高透磁率材料の磁化飽和性を利用したフラックス・ゲートを用いた磁気センサ、および、2 箇所にジョセフソン接合を持つ超伝導体のリングを利用した超伝導量子干渉素子 (S Q U I D 、 S u p e r c o n d u c t i n g Q u a n t u m I n t e r f e r e n c e D e v i c e) を用いた磁気センサ素子等が用いられる。

10

【 0 0 1 9 】

入力部 5 は、制御処理部 4 に接続され、例えば、被検査物 S P の測定を指示するコマンド等の各種コマンド、および、例えば被検査物 S P における識別子 (例えば被検査物の整理番号等) の入力等の測定する上で必要な各種データを磁気探傷装置 M に入力する機器であり、例えば、所定の機能を割り付けられた複数の入力スイッチや、キーボードや、マウス等である。出力部 6 は、制御処理部 4 に接続され、制御処理部 4 の制御に従って、入力部 5 から入力されたコマンドやデータ、および、磁気探傷装置 M によって測定された被検査物 S P の測定結果 (例えば、磁気検出部 3 の測定データ、欠陥の有無および欠陥の位置) 等を出力する機器であり、例えば C R T ディスプレイ、L C D (液晶ディスプレイ) および有機 E L ディスプレイ等の表示装置やプリンタ等の印刷装置等である。

20

【 0 0 2 0 】

なお、入力部 5 および出力部 6 からタッチパネルが構成されてもよい。このタッチパネルを構成する場合において、入力部 5 は、例えば抵抗膜方式や静電容量方式等の操作位置を検出して入力する位置入力装置であり、出力部 6 は、表示装置である。このタッチパネルでは、表示装置の表示面上に位置入力装置が設けられ、表示装置に入力可能な 1 または複数の入力内容の候補が表示され、ユーザが、入力したい入力内容を表示した表示位置を触れると、位置入力装置によってその位置が検出され、検出された位置に表示された表示内容がユーザの操作入力内容として磁気探傷装置 M に入力される。このようなタッチパネルでは、ユーザは、入力操作を直感的に理解し易いので、ユーザにとって取り扱い易い磁気探傷装置 M が提供される。

30

【 0 0 2 1 】

I F 部 7 は、制御処理部 4 に接続され、制御処理部 4 の制御に従って、外部機器との間でデータの入出力を行う回路であり、例えば、シリアル通信方式である R S - 2 3 2 C のインターフェース回路、B l u e t o o t h (登録商標) 規格を用いたインターフェース回路、I r D A (I n f r a r e d D a t a A s s o c i a t i o n) 規格等の赤外線通信を行うインターフェース回路、および、U S B (U n i v e r s a l S e r i a l B u s) 規格を用いたインターフェース回路等である。

【 0 0 2 2 】

制御処理部 4 は、磁気探傷装置 M の各部を当該各部の機能に応じてそれぞれ制御するための回路である。制御処理部 4 は、例えば、C P U (C e n t r a l P r o c e s s i n g U n i t) 、メモリおよびそれら周辺回路を備えたマイクロコンピュータを備えて構成される。制御処理部 4 には、プログラムを実行することによって、制御部 4 1 および欠陥位置処理部 4 2 が機能的に構成される。

40

【 0 0 2 3 】

制御部 4 1 は、磁気探傷装置 M の各部を当該各部の機能に応じてそれぞれ制御するためのものである。

【 0 0 2 4 】

欠陥位置処理部 4 2 は、第 1 群検出部 3 a における複数の第 1 磁気検出部 3 1 a の各検

50

出結果に基づいて、前記第1方向に沿った、被検査物SPにおける所定の欠陥の位置を求めるものである。上述の例では、欠陥位置処理部42は、第1群検出部3aにおける3個の第1磁気検出部31a-1~31a-3の各検出結果に基づいて、断熱管SPaの径方向に沿った、断熱管SPaにおける所定の欠陥の位置を求めるものである。

【0025】

そして、好ましくは、欠陥位置処理部42は、下記条件1および条件2を用いることによって、第1群検出部3aにおける複数の第1磁気検出部31aの各検出結果に基づいて、被検査物SPの外周面以内であって前記第1方向に沿った前記外周面から互いに異なる距離の複数の被観測位置における各磁界強度を求め、この求めた複数の被観測位置における各磁界強度に基づいて、被検査物SPにおける所定の欠陥の位置を求めるものである。

条件1；第1磁気検出部31aの検出結果は、複数の被観測位置での各磁界が複数の被観測位置から当該第1磁気検出部31aの第1検出位置まで伝播してきた各磁界の各磁界強度の和であること

条件2；前記磁界強度は、被観測位置および第1検出位置間の距離と特定の関係があること

【0026】

より詳しくは、欠陥位置処理部42は、次のように、欠陥の位置を求めている。一般に、被観測位置の磁界強度を $M I_0$ とすると、第1検出位置における磁界強度 $M I$ は、上記条件2として、被観測位置および第1検出位置間の距離 L の二乗に反比例して減衰する($M I = k \times (M I_0 / L^2)$ 、 k は比例定数)。このため、断熱管SPaにおいて、図3に示すように、横軸 X を、鋼管SPa1の外周面を座標原点とした、鋼管SPa1の外周面からの径方向に沿った距離とし、縦軸 Y を磁界強度 $M I$ とし、鋼管SPa1での磁界強度 $M I$ を $M I_0 1$ とし、外装板金の溶融垂鉛鉄板SPa3での磁界強度 $M I$ を $M I_0 2$ とし、鋼管SPa1の外周面から溶融垂鉛鉄板SPa3の外周面までの距離を X_0 とした場合、鋼管SPa1の外周面からの径方向に沿った距離 X_1 の第1検出位置に配置された第1磁気検出部31a-1は、上記条件1を満たし、 $(X_1) = k \times (M I_0 1 / X_1^2) + k \times (M I_0 2 / (X_1 - X_0)^2)$ を検出する。同様に、鋼管SPa1の外周面からの径方向に沿った距離 X_2 の第1検出位置に配置された第1磁気検出部31a-2は、上記条件1を満たし、 $(X_2) = k \times (M I_0 1 / X_2^2) + k \times (M I_0 2 / (X_2 - X_0)^2)$ を検出する。鋼管SPa1の外周面からの径方向に沿った距離 X_3 の第1検出位置に配置された第1磁気検出部31a-3は、上記条件1を満たし、 $(X_3) = k \times (M I_0 1 / X_3^2) + k \times (M I_0 2 / (X_3 - X_0)^2)$ を検出する。ここで、比例定数 k および距離 X_0 、 X_1 、 X_2 、 X_3 は、既知であり、各検出結果 (X) は、第1磁気検出部31a-1~31a-3の測定で測定値として得られるので、上記3個の式のうちの2個の式を用いることで、鋼管SPa1での磁界強度 $M I_0 1$ および溶融垂鉛鉄板SPa3での磁界強度 $M I_0 2$ が求められる。あるいは、第1磁気検出部31a-1~31a-3の各検出結果に、最も合う(フィットする)曲線 (X) が例えば最小二乗法等によって求められ、この求めた曲線 (X) から、予め設定された互いに異なる所定の2箇所の位置 X_A 、 X_B (X_A 、 $X_B > 0$)で、2個の式、 $(X_A) = k \times (M I_0 1 / X_A^2) + k \times (M I_0 2 / (X_A - X_0)^2)$ 、 $(X_B) = k \times (M I_0 1 / X_B^2) + k \times (M I_0 2 / (X_B - X_0)^2)$ が生成され、これら2個の式を用いることで、鋼管SPa1での磁界強度 $M I_0 1$ および溶融垂鉛鉄板SPa3での磁界強度 $M I_0 2$ が求められてもよい。なお、図3に示す曲線1 (X) は、被観測位置を鋼管SPa1の外周面とした場合、その磁場における磁界強度1 (X) と外周面からの距離 X との関係を示し、曲線2 (X) は、被観測位置を溶融垂鉛鉄板SPa3の外周面とした場合、その磁場における磁界強度2 (X) と外周面からの距離 X との関係を示し、曲線 (X) は、外周面からの距離 X の位置に位置する第1磁気検出部3aで検出される磁界強度 (X) 、すなわち、 $(X) = 1(X) + 2(X)$ を示す。

【0027】

そして、断熱管SPaに欠陥の無い状態で、予め求められた鋼管SPa1での磁界強度

M I r e f 1 とこの求めた鋼管 S P a 1 での磁界強度 M I 0 1 とが比較され、欠陥の有無が判定される。この判定の結果、鋼管 S P a 1 での磁界強度 M I r e f 1 と磁界強度 M I 0 1 との差異が、ノイズを考慮した所定の第 1 範囲 t h 1 内である場合には、欠陥が無いと判定され、鋼管 S P a 1 での磁界強度 M I r e f 1 と磁界強度 M I 0 1 との差異が、前記所定の第 1 範囲 t h 1 を越えている場合には、欠陥があると判定され、相対的に径方向内側に位置する内管の鋼管 S P a 1 に欠陥があると判定される。断熱管 S P a に欠陥の無い状態で、予め求められた溶融亜鉛鉄板 S P a 3 での磁界強度 M I r e f 2 とこの求めた溶融亜鉛鉄板 S P a 3 での磁界強度 M I 0 2 とが比較され、欠陥の有無が判定される。この判定の結果、溶融亜鉛鉄板 S P a 3 での磁界強度 M I r e f 2 と磁界強度 M I 0 2 との差異が、ノイズを考慮した所定の第 2 範囲 t h 2 内である場合には、欠陥が無いと判定され、溶融亜鉛鉄板 S P a 3 での磁界強度 M I r e f 2 と磁界強度 M I 0 2 との差異が、前記所定の第 2 範囲 t h 2 を越えている場合には、欠陥があると判定され、相対的に径方向外側に位置する外管の溶融亜鉛鉄板 S P a 3 に欠陥があると判定される。すなわち、径方向に沿った欠陥の位置が判定できる。あるいは、後述するように、周方向に複数の第 2 群検出部 3 b (図 4 参照) を備える場合には、欠陥の有無の判定は、周方向の各位置で求められた鋼管 S P a 1 での各磁界強度 M I 0 1 を相互に比較することによって、実施されても良く、相違する場合に、その位置で鋼管 S P a 1 に欠陥があると判定され、そして、周方向の各位置で求められた溶融亜鉛鉄板 S P a 3 での各磁界強度 M I 0 2 を相互に比較することによって、実施されても良く、相違する場合に、その位置で溶融亜鉛鉄板 S P a 3 に欠陥があると判定される。また、後述するように、軸方向に複数の第 3 群検出部 3 c (図 5 参照) を備える場合には、欠陥の有無の判定は、軸方向の各位置で求められた鋼管 S P a 1 での各磁界強度 M I 0 1 を相互に比較することによって、実施されても良く、相違する場合に、その位置で鋼管 S P a 1 に欠陥があると判定され、そして、軸方向の各位置で求められた溶融亜鉛鉄板 S P a 3 での各磁界強度 M I 0 2 を相互に比較することによって、実施されても良く、相違する場合に、その位置で溶融亜鉛鉄板 S P a 3 に欠陥があると判定される。予め求められた欠陥のない状態の断熱管 S P a のデータが存在する場合は、前述の実測データに測定値そのものではなく上記欠陥のない状態との差分を用いても良い。この場合は、そのまま磁界強度 M I 0 1 と磁界強度 M I r e f 1、磁界強度 M I 0 2 と磁界強度 M I r e f 2 を比較することができる。

10

20

30

【 0 0 2 8 】

このように磁気探傷装置 M は、これら求めた複数の被観測位置における各磁界強度と、欠陥の無い正常状態の磁界強度と比較することで、欠陥の有無を判定でき、その結果、欠陥の位置を求めることができる。

【 0 0 2 9 】

また好ましくは、被検査物 S P は、互いに径の異なる複数の筒状体を径方向で複数多重した多重構造管であり、欠陥位置処理部 4 2 は、第 1 群検出部 3 a における複数の第 1 磁気検出部 3 1 a のうちの 2 個の第 1 磁気検出部 3 1 a を選択し、この選択した 2 個の第 1 磁気検出部 3 1 a のうちの第 1 方向に沿った前記外面からの距離が遠い第 1 磁気検出部 3 1 a の検出結果から、前記選択した 2 個の第 1 磁気検出部 3 1 a のうちの第 1 方向に沿った前記外面からの距離が近い第 1 磁気検出部 3 1 a の検出結果を前記遠い第 1 磁気検出部 3 1 a の前記外面からの距離の二乗で除した除算結果を減算し、この減算した減算結果と所定の判定閾値とを比較することによって、被検出物 S P における複数の筒状体のうちの最外側に位置する筒状体を除く他の筒状体に欠陥があるか否かを、被検査物 S P における所定の欠陥の位置として求めるものである。

40

【 0 0 3 0 】

より詳しくは、欠陥位置処理部 4 2 は、次のように、欠陥の位置を求めている。例えば、第 1 磁気検出部 3 1 a - 1 が溶融亜鉛鉄板 S P a 3 の外周面から距離 1 m m の第 1 検出位置に位置し、第 1 磁気検出部 3 1 a - 2 が溶融亜鉛鉄板 S P a 3 の外周面から距離 5 m m の第 1 検出位置に位置する場合、欠陥位置処理部 4 2 は、これら 2 個の第 1 磁気検出部 3 1 a - 1、3 1 a - 2 のうちの径方向に沿った前記外周面からの距離 X が遠い第 1 磁気

50

検出部 3 1 a - 2 の検出結果 (5 mm) から、これら 2 個の第 1 磁気検出部 3 1 a - 1、3 1 a - 2 のうちの径方向に沿った前記外周面からの距離 X が近い第 1 磁気検出部 3 1 a - 1 の検出結果 (1 mm) を前記遠い第 1 磁気検出部 3 1 a - 2 の前記外周面からの距離 5 mm の二乗で除した除算結果 (1 mm) / 25 を減算し ((5 mm) - (1 mm) / 25 = s u b)、この減算した減算結果 s u b と所定の判定閾値 t h 3 とを比較することによって、断熱管 S P a における相対的に外側に位置する外管の溶融垂鉛鉄板 S P a 3 を除く他の管、すなわち、相対的に内側に位置する内管の鋼管 S P a 1 に欠陥があるか否かを、被検査物 S P における所定の欠陥の位置として求める。磁界強度が距離の二乗に反比例して減衰するので、内管の鋼管 S P a 1 に欠陥がなく外管の鋼管 S P a 3 に欠陥があれば、第 1 磁気検出部 3 1 a - 1 の検出結果 (1 mm) と第 1 磁気検出部 3 1 a - 2 の検出結果 (5 mm) との差が相対的に大きく、内管の鋼管 S P a 1 に欠陥があり外管の鋼管 S P a 3 に欠陥がなければ、第 1 磁気検出部 3 1 a - 1 の検出結果 (1 mm) と第 1 磁気検出部 3 1 a - 2 の検出結果 (5 mm) との差が相対的に小さいとの考えから、前記判定閾値 t h 3 は、磁界印加部 1 a で印加される磁界の磁界強度に応じて適宜な値 (例えば 0 に近い値等) に設定される。したがって、欠陥位置処理部 4 2 は、減算結果 s u b が判定閾値 t h 3 以上である場合には、内管の鋼管 S P a 1 に欠陥があると判定し、減算結果 s u b が判定閾値 t h 3 未満である場合には、内管の鋼管 S P a 1 に欠陥が無いと判定し、欠陥の位置を求める。なお、好ましくは、第 1 磁気検出部 3 1 a - 1 ~ 3 1 a - 3 の各検出結果に、最も合う (フィットする) 曲線 (X) が例えば最小二乗法等によって求められ、この求めた曲線 (X) から、第 1 磁気検出部 3 1 a - 1 の検出結果 (1 mm) および第 1 磁気検出部 3 1 a - 2 の検出結果 (5 mm) は、求められる。また、最外側に位置する溶融垂鉛鉄板 S P a の外周面からの距離は、検出結果 (X) に強く影響し、溶融垂鉛鉄板 S P a が変形している場合もあるので、各第 1 磁気検出部 3 1 a - 1 ~ 3 1 a - 3 における溶融垂鉛鉄板 S P a の外周面からの距離 X は、距離計等によって実測されても良い。

【 0 0 3 1 】

このような磁気探傷装置 C M は、磁界強度が距離の二乗に反比例して減衰することを利用して、最外側の筒状体よりも内側の筒状体での欠陥の有無を、被検査物 S P における所定の欠陥の位置として簡易に求めることができる。特に、上述したように、断熱管 S P a のように二重構造管の場合、相対的に外側に位置する外管 (この例では溶融垂鉛鉄板 S P a 3) での欠陥か、相対的に内側に位置する内管 (この例では鋼管 S P a 1) での欠陥かを判別すれば足りるので、上記磁気探傷装置 C M は、被検査物 S P が二重構造管である場合に、好適である。

【 0 0 3 2 】

このような磁気探傷装置 M では、断熱管 S P a 等の被検査物 S P を探傷する場合、まず、ユーザ (オペレータ) によって被検査物 S P の 1 対の第 1 および第 2 励磁コイル 1 1 a - 1、1 1 a - 2 が所定の間隔を空けて配置される。そして、ユーザによって図略の電源スイッチがオンされると、制御処理部 4 は、必要な各部の初期化を実行し、プログラムの実行によって、制御処理部 4 には、制御部 4 1 および欠陥位置処理部 4 2 が機能的に構成される。

【 0 0 3 3 】

ユーザによる探傷開始の指示を入力部 5 を介して受け付けると、制御部 4 1 は、電源部 2 によって 1 対の第 1 および第 2 励磁コイル 1 1 a - 1、1 1 a - 2 に探傷方法に応じた電流を給電する。これによって 1 対の第 1 および第 2 励磁コイル 1 1 a - 1、1 1 a - 2 は、探傷方法に応じた磁界 (磁場) を生成し、被検査物 S P に磁界を印加する。この磁界は、被検査物 S P を伝わり、この磁界に起因する磁界が第 1 群検出部 3 a の複数の第 1 磁気検出部 3 1 a によって検出され、複数の第 1 磁気検出部 3 1 a は、各検出結果を制御処理部 4 へ出力する。そして、欠陥位置処理部 4 2 は、複数の第 1 磁気検出部 3 1 a の各検出結果に基づいて被検査物 S P における所定の欠陥の有無を判定し、第 1 方向に沿った欠陥の位置を判定する。制御部 4 1 は、複数の第 1 磁気検出部 3 1 a の各検出結果、欠陥の

有無および第1方向に沿った欠陥の位置を出力部6へ出力する。なお、制御部41は、必要に応じて、複数の第1磁気検出部31aの各検出結果、欠陥の有無および第1方向に沿った欠陥の位置をIF部7を介して図略の外部機器へ出力しても良い。

【0034】

以上説明したように、本実施形態における磁気探傷装置Mおよびこれに実装された磁気探傷方法は、被検査物SPの外面上から互いに異なる複数の第1検出位置で第1群検出部3aにおける複数の第1磁気検出部31aによって磁気を検出できるから、欠陥位置処理部42によって、この各検出結果に基づいて、被検査物SPに対し離接する第1方向(上述の例では径方向)に沿った、被検査物SPにおける所定の欠陥の位置を求めることができる。上述の例では、径方向の内側に位置する鋼管SPa1に欠陥が有るのか、径方向の外側に位置する溶融亜鉛鉄板SPa3に欠陥が有るのかが求められる。

10

【0035】

図4は、実施形態の磁気探傷装置における第1変形形態の構成を示す図である。図5は、実施形態の磁気探傷装置における第2変形形態の構成を示す図である。

【0036】

なお、上述の磁気探傷装置Mにおいて、磁気探傷装置Mは、図4に示すように、被検査物SPの外面上に、第1方向に沿って、前記外面上から互いに異なる距離の複数の第2検出位置に配置され、磁気を検出する複数の第2磁気検出部31bを備える第2群検出部3bをさらに備えてもよい。この第2群検出部3bは、第1群検出部3aに対し、前記第1方向に直交する第2方向を軸とする軸回りの周方向に沿って所定の角度間隔を空けて配置されている。そして、この場合では、欠陥位置処理部42は、第1群検出部3aにおける複数の第1磁気検出部31aおよび第2群検出部3bにおける複数の第2磁気検出部31bの各検出結果に基づいて、前記第1方向に沿った被検査物SPにおける所定の欠陥の位置であって前記周方向に沿った被検査物SPにおける所定の欠陥の前記位置を求める。より具体的には、第2群検出部3bは、1個でも良いが、断熱管SPaの全周に亘って所定の欠陥を探傷するために、図4に示す例では、第2群検出部3bは、11個の第2群検出部3b-1~3b-11を備えて構成されている。これら11個の第2群検出部3b-1~3b-11それぞれは、断熱管SPaの外面上に、径方向に沿って、断熱管SPaの外面上から互いに異なる距離の3箇所の第2検出位置に配置された、3個の磁気検出部31b-1~31b-3を備える。これら第2磁気検出部31b-1~31b-3は、上述の第1磁気検出部31aと同様であるので、その説明を省略する。そして、第2群検出部3b-1は、第1群検出部3aに対し、径方向に直交する断熱管SPの中心軸AX周りに周方向に沿って約30度の角度間隔を空けて配置され、これら11個の第2群検出部3b-1~3b-11は、順次に、断熱管SPaの中心軸AX周りに周方向に沿って約30度の角度間隔を空けて配置されている。すなわち、第1群検出部3aおよび11個の第2群検出部3b-1~3b-11は、順次に、断熱管SPaの中心軸AX周りに周方向に沿って約30度の角度間隔を空けて(つまり等間隔で)配置されている。このような第1変形形態における磁気探傷装置CMは、第1群検出部3aに対し、周方向に沿って配置された第2群検出部3bを備えるので、周方向に亘って欠陥の位置を求めることができる。特に、図4に示す例の磁気探傷装置CMは、断熱管SPaの全周に亘って欠陥の位置を求めることができる。

20

30

40

【0037】

また、これら上述の磁気探傷装置Mにおいて、磁気探傷装置Mは、図5に示すように、被検査物SPの外面上に、第1方向に沿って、前記外面上から互いに異なる距離の複数の第3検出位置に配置され、磁気を検出する複数の第3磁気検出部31cを備える第3群検出部3cをさらに備えてもよい。この第3群検出部3cは、第1群検出部3aに対し、前記第1方向に直交する第2方向に沿って所定の間隔を空けて配置されている。そして、この場合では、欠陥位置処理部42は、第1群検出部3aにおける複数の第1磁気検出部31aおよび第3群検出部3cにおける複数の第3磁気検出部31cの各検出結果に基づいて、前記第1方向に沿った被検査物SPにおける所定の欠陥の位置であって前記第2方向に

50

沿った被検査物 S P における所定の欠陥の前記位置を求める。第 3 群検出部 3 c は、1 個でも良いが、断熱管 S P における軸方向に沿った所定の範囲に亘って所定の欠陥を探傷するために、図 5 に示す例では、第 3 群検出部 3 c は、4 個の第 3 群検出部 3 c - 1 ~ 3 b - 4 を備えて構成されている。これら 4 個の第 3 群検出部 3 c - 1 ~ 3 b - 4 それぞれは、断熱管 S P a の外面上に、径方向に沿って、断熱管 S P a の外面から互いに異なる距離の 3 箇所の第 3 検出位置に配置された、3 個の第 3 磁気検出部 3 1 c - 1 ~ 3 1 c - 3 を備える。これら第 3 磁気検出部 3 1 c - 1 ~ 3 1 c - 3 は、第 1 磁気検出部 3 1 a と同様であるので、その説明を省略する。そして、第 3 群検出部 3 c - 1 は、第 1 群検出部 3 a に対し、径方向に直交する断熱管 S P a の中心軸 A X の軸方向に沿って所定の間隔を空けて配置され、これら 4 個の第 3 群検出部 3 c - 1 ~ 3 b - 4 は、順次に、断熱管 S P a の中心軸 A X の軸方向に沿って所定の間隔を空けて配置されている。すなわち、第 1 群検出部 3 a および 4 個の第 3 群検出部 3 c - 1 ~ 3 c - 4 は、順次に、断熱管 S P a の中心軸 A X の軸方向に沿って所定の間隔を空けて（つまり等間隔で）配置されている。このような第 2 変形形態における磁気探傷装置 C M は、第 1 群検出部 3 a に対し、第 2 方向（図 5 に示す例では軸方向）に沿って配置された第 3 群検出部 3 c を備えるので、第 2 方向に亘って欠陥の位置を求めることができる。特に、図 5 に示す例の磁気探傷装置 C M は、断熱管 S P a の軸方向に沿った所定の範囲に亘って欠陥の位置を求めることができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

磁気探傷装置 C M は、第 1 態様の群検出部 3 a に代え、第 2 態様の群検出部 3 B と第 3 態様の群検出部 3 C とを組み合わせた群検出部を備えて構成されても良い。このような磁気探傷装置 M は、径方向にも軸方向にも亘って欠陥の位置を求めることができる。

【 0 0 3 9 】

上述の磁気探傷装置 M における磁界印加部 1 は、1 対の励磁コイル 1 1 a - 1、1 1 a - 2 を備えた第 1 態様の磁界印加部 1 a が用いられたが、これに代え、第 2 態様の磁界印加部 1 b または第 3 態様の磁界印加部 1 c が用いられても良い。

【 0 0 4 0 】

図 6 は、実施形態の磁気探傷装置における第 3 変形形態の構成を示す図である。図 6 A は、全体構成を示し、図 6 B は、励磁コイル周辺の断面図である。図 7 は、実施形態の磁気探傷装置における第 4 変形形態の構成を示す図である。図 7 A は、励磁コイル周辺の正面図を示し、図 7 B は、励磁コイル周辺の断面図である。

【 0 0 4 1 】

第 2 態様の磁界印加部 1 b は、第 1 態様の磁界印加部 1 a と同様に、被検査物 S P に磁界を印加する装置であり、図 6 に示すように、励磁コイル 1 1 b と、電源部 1 2 とを備える。第 2 態様の磁界印加部 1 b における電源部 1 2 は、第 1 態様の磁界印加部 1 a における電源部 1 2 と同様であるので、その説明を省略する。

【 0 0 4 2 】

励磁コイル 1 1 b は、第 1 態様の励磁コイル 1 1 a と同様に、電源部 1 2 から電力の供給を受けることによって、磁場を生成し、この生成した磁場を被検査物 S P に与える装置である。本第 2 態様では、励磁コイル 1 1 b は、図 6 に示す 1 対の第 1 および第 2 励磁コイル 1 1 b - 1、1 1 b - 2 を備える。

【 0 0 4 3 】

第 1 および第 2 励磁コイル 1 1 b - 1、1 1 b - 2 は、それぞれ、磁気遮蔽部 1 1 1 b - 1、1 1 1 b - 2 と、導体部材 1 1 2 b - 1、1 1 2 b - 2 とを備える。第 1 および第 2 励磁コイル 1 1 b - 1、1 1 b - 2 は、互いに同形であるため、磁気遮蔽部 1 1 1 b、導体部材 1 1 2 b および励磁コイル 1 1 b と総称して以下に説明する。

【 0 0 4 4 】

磁気遮蔽部 1 1 1 b は、磁気を遮蔽するための部材であり、湾曲した板状に形成されている。磁気遮蔽部 1 1 1 b は、好ましくは、断熱管 S P a の形状に応じて湾曲している。より具体的には、磁気遮蔽部 1 1 1 b は、例えば、軸方向に沿って切断した円筒（中空な円柱）の一部であり、軸方向に直交するその断面が弧状（環の一部の形状）となっている

。磁気遮蔽部 111b は、断熱管 S P a の外周面に沿うように、その弧状の断面は、断熱管 S P a における断面の一部と相似形である。磁気遮蔽部 111b の中心角は、断熱管 S P a の外周面上（直上（外周面に当接配置）および上方（外周面から離間配置）を含む）に配置可能とするために、180度以下であることが好ましい。なお、その弾性変形によって配置可能であるため、磁気遮蔽部 111b の中心角は、180度を若干超えることも可能である。図6に示す例では、断熱管 S P の外周を無理なく最大限に覆うことができるように、180度になっている。なお、磁気遮蔽部 111b の中心角は、120度、90度および60度のうちのいずれかであっても良い。このような中心角を持つ磁気遮蔽部 111b は、180度の場合も含めて、後述するように断熱管 S P の全周を囲む場合、同じ形状の複数の励磁コイル 11b で実行できる。したがって、同じ形状の励磁コイル 11b を量産すれば良いので、量産効果によって励磁コイル 11b の低コスト化を図ることができる。

10

【0045】

このような磁気遮蔽部 111b は、例えば、電磁鋼板、好ましくは、積層した複数の電磁鋼板で形成される。また例えば、磁気遮蔽部 111b は、絶縁皮膜を持つ軟磁性粉末を圧縮形成することによって形成される。

【0046】

導体部材 112b は、断面丸形や断面角形等の長尺な電気伝導性を持つ線材であり、例えば樹脂や油紙等の絶縁材料を介して磁気遮蔽部 111b の外周面に沿って巻回され、コイルを形成する。導体部材 112b は、例えば銅やアルミニウム等の比較的高い導電性をもち、樹脂で絶縁被覆された導体線である。

20

【0047】

このような第1励磁コイル 11b - 1 は、湾曲板状の第1磁気遮蔽部 111b - 1 に長尺な第1導体部材 112b - 1 を巻回して形成されるので、第1導体部材 112b - 1 の一部が径方向で第1磁気遮蔽部 111b - 1 を介して重なる重畳部分を持つ。同様に、第2励磁コイル 11b - 2 は、湾曲板状の第2磁気遮蔽部 111b - 2 に長尺な第2導体部材 112b - 2 を巻回して形成されるので、第2導体部材 112b - 1 の一部が径方向で第2磁気遮蔽部 111b - 2 を介して重なる重畳部分を持つ。

【0048】

第1励磁コイル 11b - 1 における第1導体部材 112b - 1 の一方端は、電源部 12 に接続され、前記第1導体部材 112b - 1 の他方端は、第2励磁コイル 11b - 2 における第2導体部材 112b - 2 の一方端に接続され、そして、前記第2導体部材 112b - 2 の他方端は、電源部 12 に接続される。このように第1および第2励磁コイル 11b - 1、11b - 2 は、直列に接続される。なお、第1および第2励磁コイル 11b - 1、11b - 2 に互いに逆方向の電流（逆相の電流）を通電可能とするために、また、第1および第2励磁コイル 11b - 1、11b - 2 のうちの一方のみに電流を通電可能とするために、図6に破線で示すように、第1励磁コイル 11b - 1 における第1導体部材 112b - 1 の一方端および他方端は、それぞれ、電源部 12 に接続され、第2励磁コイル 11b - 2 における第2導体部材 112b - 2 の一方端および他方端は、それぞれ、電源部 12 に接続されてもよい。

30

40

【0049】

このような第2態様の磁界印加部 1b を備える磁気探傷装置 C M は、湾曲した板状の磁気遮蔽部 111b - 1、111b - 2 に絶縁材料を介して長尺な導体部材 112b - 1、112b - 2 を巻回すことによって形成された1対の励磁コイル 11b - 1、11b - 2 を備えている。このため、1対の励磁コイル 11b - 1、11b - 2 それぞれにおける各断面形状は、それぞれ、弧状となる。したがって、検査のために、例えば管等の被検査物 S P の外周上に、各励磁コイル 11b - 1、11b - 2 の凹んだ各曲面を沿わせて1対の励磁コイル 11b - 1、11b - 2 を配置できる。一般に、配管は、比較的長尺であり、検査箇所が配管の中央付近にあると、第1態様の磁界印加部 1a では、配管の端部から検査箇所まで前記1対の励磁コイル 11a - 1、11a - 2 を移動しなければならず、煩わ

50

しく、手間がかかる。また、実際に配設されている配管を検査する場合、配管の固定具や支持具によって前記1対の励磁コイル11a-1、11a-2が検査箇所まで移動できないことも生じ得る。このため、第1態様の磁界印加部1aでは、各励磁コイル11a-1、11a-2を開環可能するために、電気的なコネクタが導体部材112a-1、112a-2に設けられても良いが、前記電気的なコネクタで不具合が生じることも考えられる。しかしながら、第2態様の磁界印加部1bは、上述したように、断熱管SPa等の配管に配置できるため、前記事情を回避できる。

【0050】

上述の第2態様の磁界印加部1bは、1対の励磁コイル1を1組備えて構成されたが、これに限定されず、1対の励磁コイル11bを複数組備えて構成されても良い。このような磁気探傷装置Mは、1対の励磁コイル11bを複数組備えるので、複数組の1対の励磁コイル11bを、被検査物SPの長さ方向に沿って配置でき、これによって長さ方向で被検査物SPのより広い範囲を探傷できる。また、上記磁気探傷装置Mは、複数組の1対の励磁コイル11bを、被検査物SPの周方向に沿って配置でき、これによって周方向で被検査物SPのより広い範囲を探傷できる。

10

【0051】

そして、磁気探傷装置Mが複数組の1対の励磁コイル11bを備えて構成される場合に、前記複数組の1対の励磁コイル11bは、円筒状となるように配置されることが好ましい。このような磁気探傷装置Mは、円筒状となるように周方向に順次に隣接させて配置された複数組の1対の励磁コイル11bを備えるので、上記磁気探傷装置Mは、前記複数組の1対の励磁コイル11bで略ヘルムホルツコイルを構成でき、ヘルムホルツコイルのように前記1対の励磁コイル11b間であって周方向全体に亘ってより均一な磁場を形成できる。

20

【0052】

第3態様の磁界印加部11cは、円筒状となるように配置された2組の1対の励磁コイル11bと、図略の電源部12とを備えたものである。第3態様の磁界印加部1cにおける前記図略の電源部12は、第1態様の磁界印加部1aにおける電源部12と同様であるので、その説明を省略する。より具体的には、第3態様の磁界印加部11cは、図7に示すように、1対の第1および第2励磁コイル11b-1、11b-2および1対の第3および第4励磁コイル11b-3、11b-4からなる2組の1対の励磁コイル11bを備えて構成される。この図7に示す例では、1対の第1および第2励磁コイル11b-1、11b-2は、直列に接続され、図略の電源部12に接続される。同様に、1対の第3および第4励磁コイル11b-3、11b-4は、直列に接続され、図略の電源部12に接続される。そして、周方向で互いに隣接する励磁コイル11b同士における各導体部材112bの隣接部分は、好ましくは、径方向に沿って互いに平行となるように配置される。図7に示す例では、周方向で互いに隣接する第1励磁コイル11b-1と第3励磁コイル11b-3における各導体部材112b-1、112b-3の隣接部分P1、P2は、径方向に沿って互いに平行となるように配置されている。同様に、周方向で互いに隣接する第2励磁コイル11b-2と第4励磁コイル11b-4における各導体部材112b-2、112b-4の図略の隣接部分P3、P4は、径方向に沿って互いに平行となるように配置されている。より具体的には、中心角180度の半円筒形状である第1および第3磁気遮蔽部111b-1、111b-3における軸方向に平行な各端面は、径方向に沿うように平坦に形成される。このような形状の第1および第3磁気遮蔽部111b-1、111b-3に第1および第3導体部材112b-1、112b-3を巻回すことによって、前記隣接部分P1、P2では、第1および第3導体部材112b-1、112b-3は、互いに略平行となる。同様に、中心角180度の半円筒形状である第2および第4磁気遮蔽部111b-2、111b-4における軸方向に平行な各端面は、径方向に沿うように平坦に形成される。このような形状の第2および第4磁気遮蔽部111b-2、111b-4に第2および第4導体部材112b-2、112b-4を巻回すことによって、前記隣接部分P3、P4では、第2および第4導体部材112b-2、112b-4は、互い

30

40

50

に略平行となる。このような磁気探傷装置 M では、周方向で互いに隣接する励磁コイル 1 1 b - 1、1 1 b - 3 ; 1 1 b - 2、1 1 b - 4 同士における各導体部材 1 1 2 b - 1、1 1 2 b - 3 ; 1 1 2 b - 2、1 1 2 b - 4 に互いに逆方向に流れる電流を通電することによって、これら各導体部材 1 1 2 b - 1、1 1 2 b - 3 ; 1 1 2 b - 2、1 1 2 b - 4 の隣接部分 P 1、P 2 ; P 3、P 4 が径方向に沿って互いに平行となるように配置されているので、その電流によって誘起される前記隣接部分 P 1、P 2 ; P 3、P 4 の磁場は、互いに逆方向となり、打ち消し合う（キャンセルされる）。このため、上記磁気探傷装置 M は、前記 2 組の 1 対の励磁コイル 1 1 b - 1、1 1 b - 2 ; 1 1 b - 3、1 1 b - 4 を用いてより均一な磁場を形成できる。

【 0 0 5 3 】

本明細書は、上記のように様々な態様の技術を開示しているが、そのうち主な技術を以下に纏める。

【 0 0 5 4 】

一態様にかかる磁気探傷装置は、被検査物に磁界を印加する磁界印加部と、前記被検査物の外面上に、前記被検査物に対し離接する第 1 方向に沿って、前記外面から互いに異なる距離の複数の第 1 検出位置に配置され、磁気を検出する複数の第 1 磁気検出部を備える第 1 群検出部と、前記第 1 群検出部における前記複数の第 1 磁気検出部の各検出結果に基づいて、前記第 1 方向に沿った、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求める欠陥位置処理部とを備える。

【 0 0 5 5 】

このような磁気探傷装置は、被検査物の外面から互いに異なる複数の第 1 検出位置で前記第 1 群検出部における複数の第 1 磁気検出部によって磁気を検出できるから、前記欠陥位置処理部によって、この各検出結果に基づいて、前記被検査物に対し離接する第 1 方向に沿った、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求めることができる。

【 0 0 5 6 】

他の一態様では、上述の磁気探傷装置において、前記欠陥位置処理部は、下記条件 1 および条件 2 を用いることによって、前記第 1 群検出部における前記複数の第 1 磁気検出部の各検出結果に基づいて、前記被検査物の前記外面以内であって前記第 1 方向に沿った前記外面から互いに異なる距離の複数の被観測位置における各磁界強度を求め、この求めた前記複数の被観測位置における各磁界強度に基づいて、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求める。

条件 1 ; 前記第 1 磁気検出部の検出結果は、前記複数の被観測位置での各磁界が前記複数の被観測位置から当該第 1 磁気検出部の第 1 検出位置まで伝播してきた前記各磁界の各磁界強度の和であること

条件 2 ; 前記磁界強度は、前記被観測位置および前記第 1 検出位置間の距離と特定の関係があること

【 0 0 5 7 】

このような磁気探傷装置は、複数の第 1 磁気検出部の各検出結果に、前記条件 1 および条件 2 を用いることによって、複数の被観測位置での磁界強度（磁場強度）に関する複数の関係式を生成でき、これを解析することによって、前記複数の被観測位置における各磁界強度を求めることができる。したがって、上記磁気探傷装置は、これら求めた複数の被観測位置における各磁界強度と、欠陥の無い正常状態の磁界強度と比較することで、欠陥の有無を判定でき、その結果、欠陥の位置を求めることができる。

【 0 0 5 8 】

他の一態様では、上述の磁気探傷装置において、前記被検査物は、互いに径の異なる複数の筒状体を径方向で複数多重した多重構造管であり、前記欠陥位置処理部は、前記第 1 群検出部における前記複数の第 1 磁気検出部のうちの 2 個の第 1 磁気検出部を選択し、前記選択した 2 個の第 1 磁気検出部のうちの前記第 1 方向に沿った前記外面からの距離が遠い第 1 磁気検出部の検出結果から、前記選択した 2 個の第 1 磁気検出部のうちの前記第 1 方向に沿った前記外面からの距離が近い第 1 磁気検出部の検出結果を前記遠い第 1 磁気検

10

20

30

40

50

出部の前記外面からの距離の二乗で除した除算結果を減算し、前記減算した減算結果と所定の判定閾値とを比較することによって、前記複数の筒状体のうちの最外側に位置する筒状体を除く他の筒状体に欠陥があるか否かを、前記被検査物における所定の欠陥の位置として求める。

【0059】

このような磁気探傷装置は、磁界強度が距離の二乗に反比例して減衰することを利用して、最外側の筒状体よりも内側の筒状体での欠陥の有無を、前記被検査物における所定の欠陥の位置として簡易に求めることができる。特に、二重構造管の場合、相対的に外側に位置する外管での欠陥か、相対的に内側に位置する内管での欠陥かを判別すれば足りるので、上記磁気探傷装置は、被検査物が二重構造管である場合に、好適である。

10

【0060】

他の一態様では、これら上述の磁気探傷装置において、前記被検査物の外面上に、前記第1方向に沿って、前記外面から互いに異なる距離の複数の第2検出位置に配置され、磁気を検出する複数の第2磁気検出部を備える第2群検出部をさらに備え、前記第2群検出部は、前記第1群検出部に対し、前記第1方向に直交する第2方向を軸とする軸回りの周方向に沿って所定の角度間隔を空けて配置され、前記欠陥位置処理部は、前記第1群検出部における前記複数の第1磁気検出部および前記第2群検出部における前記複数の第2磁気検出部の各検出結果に基づいて、前記第1方向に沿った前記被検査物における所定の欠陥の位置であって前記周方向に沿った前記被検査物における所定の欠陥の前記位置を求める。

20

【0061】

このような磁気探傷装置は、第1群検出部に対し、周方向に沿って配置された第2群検出部を備えるので、周方向に亘って欠陥の位置を求めることができる。

【0062】

他の一態様では、これら上述の磁気探傷装置において、前記被検査物の外面上に、前記第1方向に沿って、前記外面から互いに異なる距離の複数の第3検出位置に配置され、磁気を検出する複数の第3磁気検出部を備える第3群検出部をさらに備え、前記第3群検出部は、前記第1群検出部に対し、前記第1方向に直交する第2方向に沿って所定の間隔を空けて配置され、前記欠陥位置処理部は、前記第1群検出部における前記複数の第1磁気検出部および前記第3群検出部における前記複数の第3磁気検出部の各検出結果に基づいて、前記第1方向に沿った前記被検査物における所定の欠陥の位置であって前記第2方向に沿った前記被検査物における所定の欠陥の前記位置を求める。

30

【0063】

このような磁気探傷装置は、第1群検出部に対し、第2方向に沿って配置された第3群検出部を備えるので、第2方向に亘って欠陥の位置を求めることができる。

【0064】

他の一態様にかかる磁気探傷方法は、被検査物に磁界を印加する磁界印加工程と、前記被検査物の外面上で前記被検査物に対し離接する第1方向に沿って互いに間隔を空けた複数の検出位置それぞれで磁気を検出する磁気検出工程と、前記磁気検出工程で検出された各検出結果に基づいて、前記第1方向に沿った、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求める欠陥位置演算工程とを備える。

40

【0065】

このような磁気探傷方法は、被検査物の外面から互いに異なる複数の検出位置で磁気検出工程によって磁気を検出できるから、前記欠陥位置処理工程によって、この各検出結果に基づいて、前記被検査物に対し離接する第1方向に沿った、前記被検査物における所定の欠陥の位置を求めることができる。

【0066】

この出願は、2014年11月21日に提出された日本国特許出願特願2014-236335を基礎とするものであり、その内容は、本願に含まれるものである。

50

【0067】

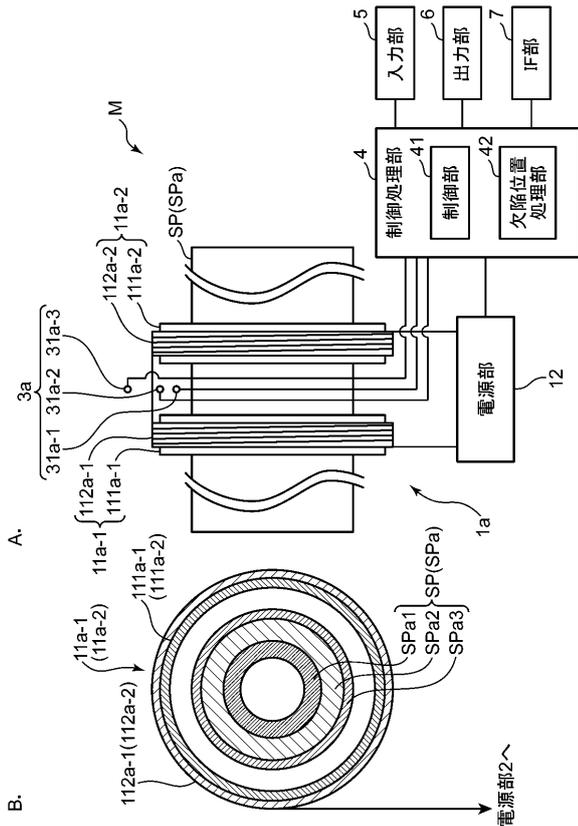
本発明を表現するために、上述において図面を参照しながら実施形態を通して本発明を適切且つ十分に説明したが、当業者であれば上述の実施形態を変更および/または改良することは容易に為し得ることであると認識すべきである。したがって、当業者が実施する変更形態または改良形態が、請求の範囲に記載された請求項の権利範囲を離脱するレベルのものでない限り、当該変更形態または当該改良形態は、当該請求項の権利範囲に包括されると解釈される。

【産業上の利用可能性】

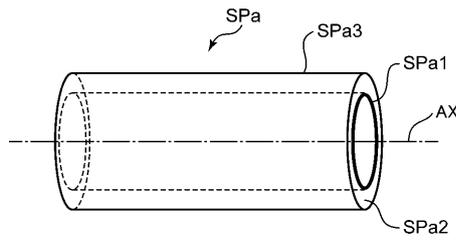
【0068】

本発明によれば、磁気探傷装置および磁気探傷方法を提供できる。

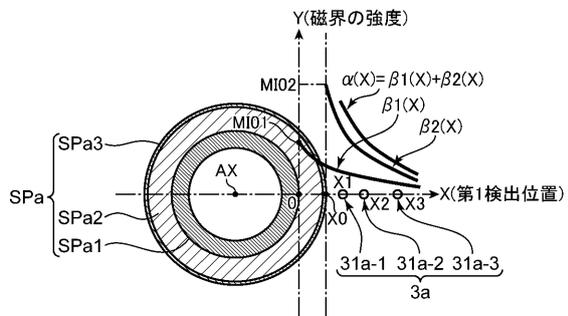
【図1】



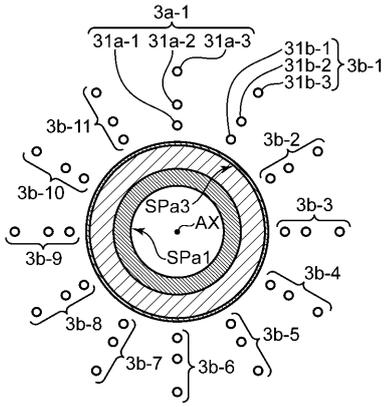
【図2】



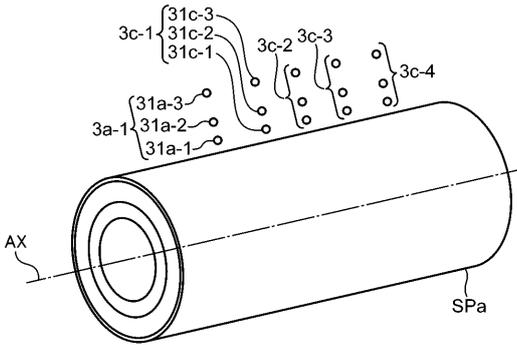
【図3】



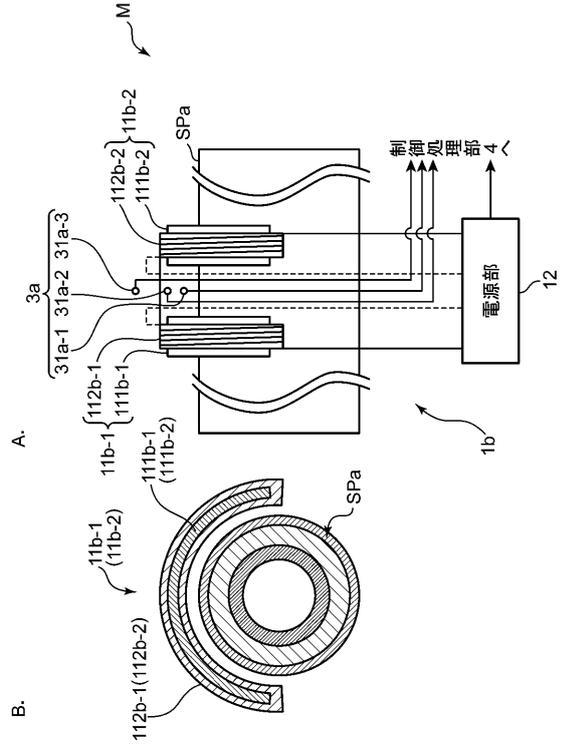
【 図 4 】



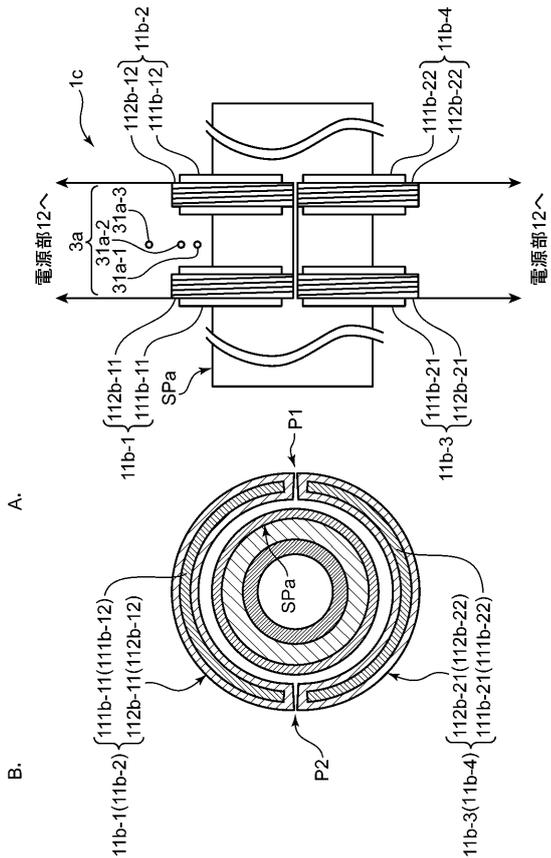
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2015/081486
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01N27/83(2006.01)i, G01N27/90(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01N27/72-27/90 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2008-506931 A (V & M Deutschland GmbH), 06 March 2008 (06.03.2008), paragraphs [0032] to [0037]; fig. 1 to 2 & US 2008/0042645 A1 paragraphs [0038] to [0044]; fig. 1 to 2 & WO 2006/007807 A1 & EP 1769239 A & DE 102004035174 A & CN 1985164 A & CA 2573597 A & RU 2007105736 A & AR 49983 A & MX 2007000593 A	1, 6 4-5
Y	JP 2014-44087 A (Okayama University), 13 March 2014 (13.03.2014), paragraphs [0044] to [0047]; fig. 7 (Family: none)	4
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 27 January 2016 (27.01.16)		Date of mailing of the international search report 09 February 2016 (09.02.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/081486

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-13087 A (Okayama University), 20 January 2011 (20.01.2011), paragraphs [0041] to [0043]; fig. 6 & US 2012/0109565 A1 paragraphs [0119] to [0123]; fig. 6 & WO 2011/001771 A1 & EP 2450700 A1	5
A	JP 2008-151744 A (Toshiba Corp.), 03 July 2008 (03.07.2008), (Family: none)	1-6
A	US 2013/0124109 A1 (JENTEK SENSORS, INC.), 16 May 2013 (16.05.2013), (Family: none)	1-6

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 5 / 0 8 1 4 8 6	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N27/83(2006,01)i, G01N27/90(2006,01)i			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01N27/72-27/90			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2016年 日本国実用新案登録公報 1996-2016年 日本国登録実用新案公報 1994-2016年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	
X	JP 2008-506931 A (ファウ・ウント・エム・ドイチュラント・ゲゼルシャフト・ミット・ベシユレンクテル・ハフツング)	1,6	
Y	2008.03.06, 段落 [0032] - [0037], 図 1-2 & US 2008/0042645 A1, 段落 [0038] - [0044], 図 1-2 & WO 2006/007807 A1 & EP 1769239 A & DE 102004035174 A & CN 1985164 A & CA 2573597 A & RU 2007105736 A & AR 49983 A & MX 2007000593 A	4-5	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー		の日の後に公表された文献	
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの		「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの		「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)		「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献		「&」同一パテントファミリー文献	
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願			
国際調査を完了した日 27.01.2016		国際調査報告の発送日 09.02.2016	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 蔵田 真彦	2W 3602
		電話番号 03-3581-1101 内線 3250	

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 5 / 0 8 1 4 8 6
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2014-44087 A (国立大学法人 岡山大学) 2014.03.13, 段落 [0044] - [0047], 図7 (ファミリーなし)	4
Y	JP 2011-13087 A (国立大学法人 岡山大学) 2011.01.20, 段落 [0041] - [0043], 図6 & US 2012/0109565 A1, 段落 [0119] - [0123], 図6 & WO 2011/001771 A1 & EP 2450700 A1	5
A	JP 2008-151744 A (株式会社東芝) 2008.07.03 (ファミリーなし)	1-6
A	US 2013/0124109 A1 (JENTEK SENSORS, INC) 2013.05.16 (ファミリーなし)	1-6

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(注) この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。