

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-138099

(P2017-138099A)

(43) 公開日 平成29年8月10日(2017.8.10)

(51) Int.Cl.
G01N 27/82 (2006.01)

F I
G O I N 27/82

テーマコード(参考)
2 G O 5 3

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2014-126125 (P2014-126125)
(22) 出願日 平成26年6月19日 (2014.6.19)

(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
(74) 代理人 110001254
特許業務法人光陽国際特許事務所
(72) 発明者 川村 孝一
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
Fターム(参考) 2G053 AA02 AB22 BA02 BA12 BC05
BC14 CA06 CB07 DA01 DB04

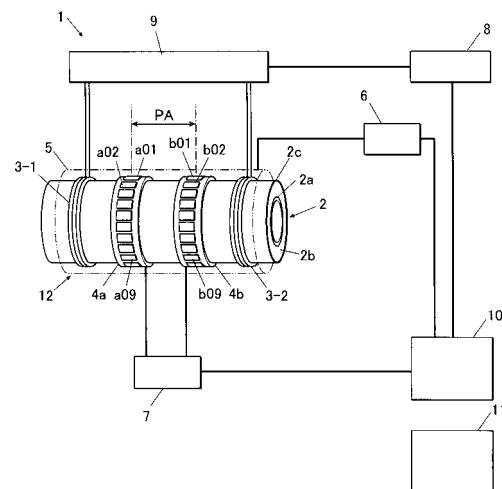
(54) 【発明の名称】 非破壊検査装置

(57) 【要約】

【課題】 励磁コイルと複数の磁気センサーが用いられ、配管の欠陥を探知する非破壊検査装置において、検査の信頼性又は空間分解能を向上する。

【解決手段】 励磁コイル3-1、3-2及び磁気センサーa01、b01を搭載し、被検査配管2の外側に配置され被検査配管の軸方向に移動する可動検査部12と、可動検査部の移動速度、励磁コイルに印加する電圧及び磁気センサーを制御する制御手段10とを備える。励磁コイルは、被検査配管が挿通され、軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、磁気センサーは、軸方向に互いに離れた励磁コイルの間で、被検査配管の円周方向に1又は複数配置され、少なくとも軸方向に所定距離を隔てた位置に配置される複数で構成される。可動検査部12の移動により同一箇所を時間差をもって異なる磁気センサーで検出することで信頼性を向上し、同時に複数の磁気センサーで検出し、補間することで空間分解能を向上する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、
励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、
前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、
前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、
前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配管の円周方向に 1 又は複数配置され、少なくとも前記軸方向に所定距離を隔てた位置に配置される複数で構成され、
前記制御手段は、前記電圧の周期又はその 2 以上の整数倍と前記可動検査部が前記所定距離分だけ移動するのに要する時間とが相等しくなるように制御することを特徴とする非破壊検査装置。

10

【請求項 2】

前記所定距離を隔てた位置に配置される複数の磁気センサーの間の区間に、1 又は 2 以上の磁気センサーが配置され、当該間の区間に配置される磁気センサーから前記軸方向に同所定距離を隔てた位置に別の磁気センサーが配置される請求項 1 に記載の非破壊検査装置。

20

【請求項 3】

前記磁気センサーにより検出した信号を解析する解析手段を備え、
前記解析手段は、被検査配管上のある位置に異なるタイミングで配置された前記所定距離を隔てた位置に配置される複数の磁気センサーにより検出した信号の組に基づき、同位置を測定点とした前記欠陥に起因した信号を解析することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の非破壊検査装置。

【請求項 4】

前記解析手段は、前記組に含まれる信号の波形同士が、ノイズが無ければ相似形であるとの仮定に基づき、当該ノイズを検出することを特徴とする請求項 3 に記載の非破壊検査装置。

30

【請求項 5】

被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、
励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、
前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、
前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、
前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配管の円周方向に並べられる複数で円周方向の列を構成し、かつ、当該円周方向の列を 2 列以上構成し、当該列に属する各磁気センサーは、隣接する他の列に属する磁気センサーに対して前記円周方向にオフセット配置されていることを特徴とする非破壊検査装置。

40

【請求項 6】

被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、
励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、
前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、
前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、

50

前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配管の円周方向及び/又は軸方向に並べられる複数で構成され、

当該複数の磁気センサーには、前記被検査配管の中心軸に平行な方向の磁場を検出する磁気センサーと、前記中心軸に対しねじれ角を有する方向の磁場を検出する磁気センサー及び/又は前記中心軸と交わる直線に平行な方向の磁場を検出する磁気センサーとが含まれていることを特徴とする非破壊検査装置。

【請求項 7】

前記被検査配管の中心軸に平行な方向の磁場を検出する磁気センサーと、前記中心軸に対しねじれ角を有する方向の磁場を検出する磁気センサー及び/又は前記中心軸と交わる直線と平行な方向の磁場を検出する磁気センサーとが、前記円周方向又は前記軸方向に交互に並べられていることを特徴とする請求項 6 に記載の非破壊検査装置。

10

【請求項 8】

被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、

前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、

前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、

前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配管の円周方向に 1 又は複数配置され、少なくとも前記軸方向に所定距離を隔てた位置に配置される複数で構成され、当該所定距離が変更可能に可動支持されていることを特徴とする非破壊検査装置。

20

【請求項 9】

被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、

前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、

前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、

30

前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配管の円周方向に 1 又は複数配置され、少なくとも前記軸方向に並べられて配置され、

前記制御手段は、前記軸方向に並べられた磁気センサーの中から選択して前記欠陥を検知するための磁場の検出に使用することを特徴とする非破壊検査装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、非破壊検査装置に関する。

【背景技術】

40

【0002】

従来、鋼材の欠陥を検査する方法として、磁気を用いた渦電流探傷方法や漏洩磁束探傷方法がある。渦電流探傷方法は、測定対象に交流の磁場を印加させて、測定対象に発生する渦電流の変化をみるものである。すなわち、測定対象に交流の磁場を印加した場合、測定対象の欠陥のない部分に対して欠陥がある部分は渦電流の分布が変化するので、渦電流が作る磁場も変化することになる。この渦電流の変化をサーチコイルや、磁気抵抗素子(MR)等の磁気センサーで検出することで欠陥検査が行われている。一方、漏洩磁束探傷方法は、測定対象に直流あるいは交流の磁場を印加させ、欠陥部から漏れ出る磁束をサーチコイルあるいは磁気センサーで検出するものである。

【0003】

50

特許文献 1 には、パルス磁気を用いた非破壊検査装置が記載されている。

詳しくは特許文献 1 には、被検査配管の欠陥を非破壊検査するパルス磁気を用いた非破壊検査装置であって、被検査配管を挿通し、当該被検査配管に対して任意の位置に配置可能な一对の励磁コイルと、当該一对の励磁コイルの少なくとも一つにパルス電圧を印加するパルス電源と、被検査配管の外周面上で、一对の励磁コイルの間に配置され、被検査配管の中心軸方向に平行な磁場を検出する磁気センサーと、一对の励磁コイルの少なくとも一つをパルス電源で駆動した際に発生するパルス磁場を磁気センサーにより検出し、当該磁気センサーにより検出したパルス磁場の応答を解析する手段と、を備えたことを特徴とするパルス磁気を用いた非破壊検査装置が開示されている。

かかる非破壊検査装置によれば、被検査配管を挿通する一对の励磁コイルにより被検査配管の所定の場所に被検査配管の中心軸方向の磁場を印加することができる。また、被検査配管の外周面上において、一对の励磁コイルの間に配置した磁気センサーを備えることにより、被検査配管中心軸方向に平行な磁場を検出することができる。励磁コイルによって発生した磁場は被検査配管を伝わって磁気センサーのところまで伝わっていく。その途中では被検査配管の中心軸方向の磁場が外部に漏れるが、腐食や欠陥によって伝搬される磁場が異なってくる。ここで、励磁コイルをパルス電源で駆動し発生する磁場をパルス磁場とすることにより、パルス磁場の立ち上がり時およびその後一定磁場を印加している時間帯で、磁気センサーで検出した立ち上がり磁気信号が時間とともに減衰する。この検出したパルス磁気信号のピーク値や減衰特性を解析することにより配管の腐食や亀裂等の欠陥をより精度よく検知することができる。

【0004】

また特許文献 1 の段落 0046 には、一对の励磁コイルのから等距離の中央部に複数の磁気センサーを円周方向に配置し、この磁気センサーの個数が多いほど空間分解能を向上させることができることが述べられるとともに、さらに励磁コイル及び磁気センサーを搭載した検査部を被検査配管が挿入された状態で動かして多点計測することにより面データを取得マッピングができることが述べられる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2014 - 044087 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、以上の従来技術にあっては次のような課題がある。

特許文献 1 に記載の複数の磁気センサーを円周方向に配置する構成にあっては、一对の励磁コイルから等距離の中央部に複数の磁気センサーを円周方向に配置するから、円周方向の磁気センサーの列は一行でしかない。

ところで、検査対象はプラント等に配置される配管が対象となり、現場での検査が求められる。

その場合、地磁気や、地震などによる検査地の自然環境に起因した磁気はもちろん、電磁気利用の装置などの人工物から発生する磁気がノイズとなり、配管を通した微弱な検査用のパルス磁気信号を精度よく検出することが困難となり得る。

このようなノイズ環境下において磁気センサーの検出信号の信頼性を向上するために、磁気センサーで同一点を複数回に亘って検査用のパルス磁気信号を検出することが考えられる。しかし、特許文献 1 に記載の発明では、励磁コイル及び磁気センサーを搭載した検査部を被検査配管が挿入された状態で動かして多点計測する際に、同一点での停止時間が必要となるから、被検査配管の軸方向に一定の距離を移動するのに長時間を要してしまい、検査時間が増大する。

また、特許文献 1 に記載の発明にあっては、同文献で述べられるように円周方向に配置する磁気センサーの個数を増やせば空間分解能が向上するが、円周方向に並んだ磁気セン

10

20

30

40

50

サーのピッチが空間分解能を決定するので、それ以上に分解能を向上することができず、磁気センサー間の隙間をゼロにしても、円周方向に沿った磁気センサーの寸法より細かな分解能は達成できないこととなる。その反面、磁気センサー間の隙間を開けることで、磁気センサーの駆動配線、駆動回路を減らすことができる。

【 0 0 0 7 】

本発明は以上の従来技術における問題に鑑みてなされたものであって、励磁コイルと複数の磁気センサーが用いられ、配管の欠陥を探知する非破壊検査装置において、検査の信頼性又は空間分解能を向上することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

以上の課題を解決するための請求項 1 記載の発明は、被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、

励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、

前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、

前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、

前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配管の円周方向に 1 又は複数配置され、少なくとも前記軸方向に所定距離を隔てた位置に配置される複数で構成され、

前記制御手段は、前記電圧の周期又はその 2 以上の整数倍と前記可動検査部が前記所定距離分だけ移動するのに要する時間とが相等しくなるように制御することを特徴とする非破壊検査装置である。

【 0 0 0 9 】

請求項 2 記載の発明は、前記所定距離を隔てた位置に配置される複数の磁気センサーの間の区間に、1 又は 2 以上の磁気センサーが配置され、当該間の区間に配置される磁気センサーから前記軸方向に同所定距離を隔てた位置に別の磁気センサーが配置される請求項 1 に記載の非破壊検査装置である。

【 0 0 1 0 】

請求項 3 記載の発明は、前記磁気センサーにより検出した信号を解析する解析手段を備え、

前記解析手段は、被検査配管上のある位置に異なるタイミングで配置された前記所定距離を隔てた位置に配置される複数の磁気センサーにより検出した信号の組に基づき、同位置を測定点とした前記欠陥に起因した信号を解析することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の非破壊検査装置である。

【 0 0 1 1 】

請求項 4 記載の発明は、前記解析手段は、前記組に含まれる信号の波形同士が、ノイズが無ければ相似形であるとの仮定に基づき、当該ノイズを検出することを特徴とする請求項 3 に記載の非破壊検査装置である。

【 0 0 1 2 】

請求項 5 記載の発明は、被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、

励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、

前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、

前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、

前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配

10

20

30

40

50

管の円周方向に並べられる複数で円周方向の列を構成し、かつ、当該円周方向の列を2列以上構成し、当該列に属する各磁気センサーは、隣接する他の列に属する磁気センサーに対して前記円周方向にオフセット配置されていることを特徴とする非破壊検査装置である。

【0013】

請求項6記載の発明は、被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、

励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、

前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、

前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、

前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配管の円周方向及び/又は軸方向に並べられる複数で構成され、

当該複数の磁気センサーには、前記被検査配管の中心軸に平行な方向の磁場を検出する磁気センサーと、前記中心軸に対しねじれ角を有する方向の磁場を検出する磁気センサー及び/又は前記中心軸と交わる直線に平行な方向の磁場を検出する磁気センサーとが含まれていることを特徴とする非破壊検査装置である。

【0014】

請求項7記載の発明は、前記被検査配管の中心軸に平行な方向の磁場を検出する磁気センサーと、前記中心軸に対しねじれ角を有する方向の磁場を検出する磁気センサー及び/又は前記中心軸と交わる直線と平行な方向の磁場を検出する磁気センサーとが、前記円周方向又は前記軸方向に交互に並べられていることを特徴とする請求項6に記載の非破壊検査装置である。

【0015】

請求項8記載の発明は、被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、

励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、

前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、

前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、

前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配管の円周方向に1又は複数配置され、少なくとも前記軸方向に所定距離を隔てた位置に配置される複数で構成され、当該所定距離が変更可能に可動支持されていることを特徴とする非破壊検査装置である。

【0016】

請求項9記載の発明は、被検査配管の欠陥を非破壊検査する磁気を用いた非破壊検査装置であって、

励磁コイル及び磁気センサーを搭載し、前記被検査配管の外側に配置され前記被検査配管の軸方向に移動する可動検査部と、

前記可動検査部の移動速度、前記励磁コイルに印加する電圧及び前記磁気センサーを制御する制御手段と、を備え、

前記励磁コイルは、前記被検査配管が挿通され、前記軸方向に互いに離れて配置される対で構成され、

前記磁気センサーは、前記軸方向に互いに離れた前記励磁コイルの間で、前記被検査配管の円周方向に1又は複数配置され、少なくとも前記軸方向に並べられて配置され、

前記制御手段は、前記軸方向に並べられた磁気センサーの中から選択して前記欠陥を探

10

20

30

40

50

知するための磁場の検出に使用することを特徴とする非破壊検査装置である。

【発明の効果】

【0017】

本件請求項1から請求項4のうちいずれか一に係る発明によれば、励磁コイル及び磁気センサーを搭載した可動検査部を移動させることで、異なる磁気センサーを被検査配管上の同位置に順次配置して磁場の検出を実行し、これにより得られた同一箇所に対する複数の検出信号に基づき解析することによって検査の信頼性を向上することができる。

【0018】

本件請求項5に係る発明によれば、磁気センサーが配置された位置に加え、磁気センサーが配置されていない位置での検出信号をその周囲の磁気センサーの検出信号に基づき補間することができ、空間分解能を向上することができる。

10

【0019】

本件請求項6又は請求項7に係る発明によれば、被検査配管の欠陥に起因した信号は、被検査配管の中心軸に平行な方向の磁場を検出する磁気センサーによって検出可能であるとともに、外乱磁場はこの方向に限らないため、同中心軸に対しねじれ角を有する方向の磁場を検出する磁気センサー及び/又は同中心軸と交わる直線に平行な方向の磁場を検出する磁気センサーによって検出することができ、外乱磁場を弁別して検査の信頼性を向上することができる。

【0020】

本件請求項8に係る発明によれば、被検査配管の軸方向についての磁気センサーの配置間隔を変更することで、本件請求項1から請求項4のうちいずれか一に係る発明のように移動速度の変更に対応することができたり、空間分解能を変更することができたりするほか、励磁コイル間の任意の位置に磁気センサーを配置して磁場を検出することができる。

20

【0021】

本件請求項9に係る発明によれば、被検査配管の軸方向に並べられた磁気センサーの中から選択して欠陥を探知するための磁場の検出に使用するので、本件請求項1から請求項4のうちいずれか一に係る発明のように移動速度の変更に対応して使用する磁気センサー間の間隔を変更することができたり、空間分解能を変更することができたりするほか、励磁コイル間の任意の位置の磁気センサーを選択して磁場を検出することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0022】

【図1】本発明の第1実施形態に係る非破壊検査装置の基本構成を示す概略図である。

【図2】本発明の第2実施形態の一構成例に係る非破壊検査装置の主要部を示す概略図である。

【図3】本発明の第2実施形態の他の一構成例に係る非破壊検査装置の主要部を示す概略図である。

【図4】本発明の第2実施形態の他の一構成例に係る非破壊検査装置の主要部を示す概略図である。

【図5】本発明の第2実施形態の他の一構成例に係る非破壊検査装置の主要部を示す概略図である。

40

【図6】(a)は本発明の第3実施形態の一構成例に係る非破壊検査装置のセンサー配置を示す平面図である。(b)は本発明の第3実施形態の他の一構成例に係る非破壊検査装置のセンサー配置を示す平面図である。

【図7】本発明の第3実施形態の他の一構成例に係る非破壊検査装置のセンサー配置を示す平面図(a1)及び矢視B図(a2)、及び本発明の第3実施形態の他の一構成例に係る非破壊検査装置のセンサー配置を示す平面図(b1)及び矢視C図(b2)である。

【図8】本発明の第4実施形態の一構成例に係る非破壊検査装置の主要部を示す概略図である。

【図9】本発明の第4実施形態の他の一構成例に係る非破壊検査装置の主要部を示す概略図である。

50

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下に本発明の一実施形態につき図面を参照して説明する。以下は本発明の一実施形態であって本発明を限定するものではない。

【0024】

〔第1実施形態〕

まず、第1実施形態につき説明する。

図1は、本発明の第1実施形態であるパルス磁気を用いた非破壊検査装置1（以下、パルス磁気検査装置1という）の基本構成を示す概略図である。

パルス磁気検査装置1は、断熱配管2にパルス磁場を印加して、断熱配管2に流れるパルス磁場の変化を検出することにより断熱配管2の欠陥を探傷する非破壊検査装置であり、一対の励磁コイル3-1、3-2と、環状の磁気センサーユニット4a、4bと、円筒状の自走型移動体5と、走行用駆動回路6と、磁気センサー用回路7と、パルス電源8と、電源切り替え回路9と、制御手段及び解析手段として機能するコンピューター10と、を備えて構成される。

【0025】

自走型移動体5に、励磁コイル3-1、3-2と、磁気センサーユニット4a、4bと、走行用駆動回路6と、磁気センサー用回路7と、パルス電源8と、電源切り替え回路9と、コンピューター10とが搭載されて、可動検査部12が構成される。すなわち、可動検査部12は断熱配管2の外側に配置され断熱配管2の軸方向に移動するものである。以下、断熱配管2の軸方向を単に「軸方向」と、断熱配管2の円周方向を単に「円周方向」という。

図示しないが可動検査部12を移動させるために、自走型移動体5には走行用駆動回路6によって駆動されるモーター、断熱配管2の外面に接触して可動検査部12の全体を支持する複数の走行用車輪等を備え、そのモーターの回転力で走行用車輪の全部又は適当な一部を回転駆動させて、断熱配管2に沿って走行するように構成されている。

コンピューター10から走行用駆動回路6に入力される制御信号に従って、軸方向に沿った可動検査部12の位置及び移動速度が制御される。これにより、断熱配管2に対する励磁コイル3-1、3-2及び磁気センサーの位置及び移動速度が制御されることになる。

【0026】

励磁コイル3-1、3-2は、断熱配管2が挿通され、軸方向に互いに離れて配置される対で構成されており、可動検査部12の移動に伴って断熱配管2に対して任意の位置に配置可能である。

【0027】

磁気センサーユニット4a、4bのそれぞれは、環状に構成され、断熱配管2が挿通される。

磁気センサーユニット4aには、複数の磁気センサーa(a01, a02, …, a09, …)が円周方向に並んで配置されている。なお、磁気センサーユニット4a上の個々の磁気センサーを特定するために符号a01, a02, …を用い、個々を特定しない場合は「磁気センサーa」という。

同様に磁気センサーユニット4bには、複数の磁気センサーb(b01, b02, …, b09, …)が円周方向に並んで配置されている。同様に磁気センサーユニット4b上の個々の磁気センサーを特定するために符号b01, b02, …を用い、個々を特定しない場合は「磁気センサーb」という。

磁気センサーa, bは、断熱配管2の外周面上で、一対の励磁コイル3-1、3-2の間に配置され、断熱配管2の中心軸に平行な方向の磁場を検出する。

磁気センサーユニット4a、4bが互いに軸方向に所定距離を隔てた位置に配置されることで、磁気センサーaと磁気センサーbとが軸方向に所定距離PAを隔てた位置に配置される。

10

20

30

40

50

【0028】

断熱配管2は、本実施形態に係るパルス磁気検査装置1により検査される円筒形の被検査材であって、断熱配管2の内部には厚さ7.2mmの鋼管2aを有する。この鋼管2aの周囲は、厚さ50mmの断熱材2bで覆われており、当該断熱材2bの周囲は外筒2cとして厚さ0.3mmの溶融亜鉛鉄板で覆われている。なお、数値は一例である。

【0029】

可動検査部12は、断熱配管2を挿入させ励磁コイル3-1、3-2を介してパルス磁場を印加するとともに、断熱配管2を伝わっていく磁場の変化を磁気抵抗素子からなる磁気センサーa、bで検出する。ここで、磁気センサーa、bとしては磁気抵抗素子(MR素子)のほか、磁気インピーダンス素子、ホール素子、フラックス・ゲート、超伝導量子干渉素子(SQUID)等の極低周波からの磁気信号を計測できる磁気センサーを使うことができる。

10

【0030】

磁気センサー用回路7は、磁気センサーa、bを駆動し、磁場を計測するための回路である。磁気センサーa、bが実装され、磁気センサーユニット4a、4bに設けられたフレキシブル配線基板を介して磁気センサー用回路7が磁気センサーa、bに電氣的に接続される。

【0031】

パルス電源8は、一对の励磁コイル3-1、3-2の少なくとも一つにパルス電圧を印加することができる。パルス電源8は、方形波を出力することができ、所定の繰り返し周波数及びデューティ比で駆動することができる。パルス電源8は、電源切り替え回路9に電氣的に接続されている。

20

【0032】

電源切り替え回路9は、一对の励磁コイルの一方の励磁コイルと他方の励磁コイルの電流の方向をそれぞれ同じ方向あるいは反対方向に切り替え、あるいは前記一对の励磁コイルの片方だけ駆動するように切り替え可能な回路である。電源切り替え回路9により、一对の励磁コイル3-1および3-2に流れる電流の方向と、両方あるいはどちらか片方だけを動作させることを選択することができる。ここで、両方の励磁コイル3-1および3-2の電流方向を同じにして動作させると、断熱配管2へは同じ方向のパルス磁場を印加することができる。

30

【0033】

コンピューター10は、一对の励磁コイル3-1、3-2の少なくとも一つをパルス電源8で駆動した際に発生するパルス磁場を磁気センサーa、bにより検出し、当該磁気センサーa、bにより検出したパルス磁場の応答を解析する解析手段として機能する。

なお、コンピューター10に入力された検出信号波形のデータを、無線通信やデータ記録媒体の移動によって他のコンピューター11に入力し、パルス磁場応答の解析を当該コンピューター11により実施してもよい。すなわち、当該解析手段をコンピューター11に構成することができ、必ずしも可動検査部12に解析手段を搭載する必要はない。

また、コンピューター10は、可動検査部12の移動速度、励磁コイル3-1、3-2に印加する電圧及び磁気センサーa、bを制御する制御手段として機能する。

40

【0034】

パルス磁気検査装置1を用いて、断熱配管2を検査する方法は、特許文献1に記載の方法を基本とする。

すなわち、パルス磁気検査装置1に適用する検査方法は、断熱配管2の欠陥を非破壊検査する方法であって、一对の励磁コイル3-1、3-2に断熱配管2を挿通し、パルス電源8により一对の励磁コイル3-1、3-2を駆動することで、断熱配管2に対してパルス磁場を印加する工程と、一对の励磁コイル3-1、3-2により発生した断熱配管2の中心軸方向に平行な磁場を磁気センサーa、bにより検出する工程と、磁気センサーa、bの出力信号におけるパルス強度および信号時間減衰を解析することで断熱配管2の欠陥を特定する工程と、を実施する。

50

【 0 0 3 5 】

さらに本実施形態では、パルス磁気検査装置 1 によって以下の方法を実施する。

パルス磁場を印加する工程と、磁場を磁気センサー a , b により検出する工程とを実施する際に、可動検査部 1 2 を軸方向に移動させる。

コンピューター 1 0 に構成される制御手段は、パルス磁場の元になる励磁コイル 3 - 1、3 - 2 に印加する電圧の周期と可動検査部 1 2 が所定距離 P A 分だけ移動するのに要する時間とが相等しくなるように制御する。又は、励磁コイル 3 - 1、3 - 2 に印加する電圧の周期の 2 以上の整数倍と可動検査部 1 2 が所定距離 P A 分だけ移動するのに要する時間とが相等しくなるように制御する。

これにより、磁気センサー a と磁気センサー b とを断熱配管 2 上の同位置に順次配置してパルス磁場の入力に同期して磁場の検出を実行することができる。これにより得られた同一箇所に対する複数の検出信号に基づき解析することで検査の信頼性を向上することができる。

磁気センサー a による磁場の検出と、それと同一箇所を磁気センサー b による磁場の検出は、同時ではなく、可動検査部 1 2 が所定距離 P A 分だけ移動するのに要する時間だけ前か後である。

一方、磁気ノイズは、磁気センサー a と磁気センサー b とに対して同時に作用する。さらには、磁気センサー a 0 1 , a 0 2 , . . . 及び磁気センサー b 0 1 , b 0 2 , . . . に対して同時に作用する。

ノイズが無ければ、同一箇所を測定点として磁気センサー a による検出信号波形と、磁気センサー b による検出信号波形とは相似形（相似比 1 : 1 を含む）であるので、ノイズを検出することができる。

したがって、同一箇所を測定点として磁気センサー a による検出信号と、磁気センサー b による検出信号とを比較することで、ノイズを検出し検査の信頼性を向上することができる。

【 0 0 3 6 】

なお、磁気センサーによる検出時に可動検査部 1 2 を停止して実施してもよいし、移動しながら磁気センサーにより検出してもよい。前者の場合、パルス磁場の入力に同期させるべき「所定距離 P A 分だけ移動するのに要する時間」に、磁気センサーによる検出のための停止時間が含まれる。

【 0 0 3 7 】

磁場の検出精度を優先する場合は、所定距離 P A を小さくして可動検査部 1 2 の移動速度を遅くすることで対応でき、検査効率を優先する場合は、所定距離 P A を大きくして可動検査部 1 2 の移動速度を速くすることで対応でき、目的、用途に応じて構成できる。

【 0 0 3 8 】

さらに付加できる磁気センサーユニットの構成につき説明する。

磁気センサーユニット 4 a , 4 b 対し、所定距離 P A を配置ピッチとしてさらに、磁気センサーユニットを増設して実施することができる。すなわち、所定距離 P A を配置ピッチとして、磁気センサーユニット 4 a , 4 b , 4 c , . . . (不図示) というように増設する。これにより、ノイズ検出のために比較する信号波形が 3 以上に増加し、さらに検査の信頼性を向上することができる。

また、所定距離 P A を隔てた位置に配置される複数の磁気センサーユニット 4 a , 4 b の間の区間に、1 又は 2 以上の磁気センサーユニット 1 0 4 a , 2 0 4 a , 3 0 4 a , . . . (不図示) が配置され、磁気センサーユニット 1 0 4 a から軸方向に同所定距離 P A を隔てた位置に別の磁気センサーユニット 1 0 4 b が、以下同様に磁気センサーユニット 2 0 4 a , 3 0 4 a , . . . から軸方向に同所定距離 P A を隔てた位置に別の磁気センサーユニット 2 0 4 b , 3 0 4 b , . . . が配置される構成を実施することができる。そして、所定距離 P A を隔てた位置に配置される複数の磁気センサーにより検出した信号の組としての第 1 組を磁気センサーユニット 4 a , 4 b , 4 c , . . . により検出した信号、第 2 組を磁気センサーユニット 1 0 4 a , 1 0 4 b , 1 0 4 c , . . . により検出した信

10

20

30

40

50

号、第3組を磁気センサーユニット204a, 204b, 204c, …により検出した信号、…としてそれぞれの組で信号を比較、解析することで検査の信頼性を向上することができるとともに、軸方向の分解能を向上することができる。

【0039】

なお、上記の「ノイズが無ければ、同一箇所を測定点として磁気センサーaによる検出信号波形と、磁気センサーbによる検出信号波形とは相似形である」と述べたところの相似比は、一对の励磁コイル3-1, 3-2の軸方向の中心から距離による。信号強度は同中心をピークとして同中心から離れるに従って減少するからである。この距離は磁気センサーユニットによって異なる場合が生じる。その場合、解析手段は、この距離に応じて信号を補正し正規化した後、信号を比較する。図1に示したように同中心からの距離が等しい磁気センサーa, bのみの場合は、そのセンサー配置の差による補正の必要はない。すなわち、この場合は、相似比が1:1だからである。

10

【0040】

また、以上の実施形態にあつては、円周方向に複数の磁気センサーを配置したので、被検査配管の軸方向の座標及び円周方向の座標を有するマッピングデータとして検査結果を生成することができる。

円周方向の座標を要しない場合は、各磁気センサーユニットに磁気センサーを1つとしてもよい。例えば、被検査配管の円周方向の特定の位置(例えば頂点位置)にのみ欠陥が生じる可能性がある場合などに有効に適用できる。また、磁気センサーの円周方向の位置をずらしながら繰り返し軸方向に走査することでマッピングデータを生成可能である。

20

【0041】

〔第2実施形態〕

次に、第2実施形態につき説明する。以下に説明する点を除き本実施形態は上記第1実施形態と同様の構成を有する。

図2(a)に示すように、磁気センサーユニット4a上に磁気センサーa01, a02, a03, …が配置される。これを平面的に描いた模式図を図2(b)に示す。

図2(b)に示すように、磁気センサーa01, a03, a05, …で円周方向の列を構成するとともに、磁気センサーa02, a04, a06, …で円周方向の列を構成する。この磁気センサーの円周方向の列を2列以上構成する。円周方向の配置ピッチPBは列によらず一定とする。

30

2列の場合図2(b)に示すように、磁気センサーa01, a03, a05, …で構成される列に対し、磁気センサーa02, a04, a06, …で構成される列の設置位置は、配置ピッチPBの2分の1だけ円周方向にオフセット配置されている。

3列の場合図2(c)に示すように、磁気センサーa01, a04, a07, …で構成される列に対し、磁気センサーa02, a05, a08, …で構成される列の設置位置は、配置ピッチPBの3分の1だけ円周方向にオフセット配置され、磁気センサーa03, a06, a09, …で構成される列の設置位置は、配置ピッチPBの3分の1だけ円周方向にオフセット配置されている。

以下同様に、4列であれば隣接する列どうしで配置ピッチPBの4分の1を順次オフセット、5列であれば隣接する列どうしで配置ピッチPBの5分の1を順次オフセット、…というようにオフセット配置する。

40

【0042】

図2(b)において丸印で示す要素は、仮想磁気センサーc01, c02, c03, …である。仮想磁気センサーc01は、実際には磁気センサーが配置されていないが、周囲の磁気センサーa01, a02, a03による検出信号に基づき補間して、仮想磁気センサーc01による検出信号を求めることができる。図2(b)に示す仮想磁気センサーc02, c03, c04, …及び図2(c)に示す仮想磁気センサーc01, c02, c03, …についても同様である。

したがって、実際に配置された磁気センサーの配置ピッチよりも空間分解能を向上する

50

ことができる。

以上は、磁気センサーユニット 4 a 上の磁気センサーで同時に磁場の検出を行う場合である。

上記第 1 実施形態のように時間差をもって同一位置を検出する方法を併せて実施する場合には、図 3 に示すように磁気センサーユニット 4 a と同様に円周方向の列を複数列有した磁気センサーユニット 4 b を軸方向に配置し、断熱配管 2 に対する同一位置において磁気センサーユニット 4 a と磁気センサーユニット 4 b とで時間差をもって検出を実行する。

【 0 0 4 3 】

さらに、図 4 及び図 5 に示すように、磁気センサー間の隙間を広げて配置した形態を実施することも可能である。図 4 は、図 2 (a) (b) に示す形態に対して磁気センサー間の隙間を広げて配置した変形形態を、図 5 は、図 3 に示す形態に対して磁気センサー間の隙間を広げて配置した変形形態を示す。また、図 4 には、磁気センサー a 0 1 , a 0 3 , . . . の列と、磁気センサー a 0 2 , a 0 4 , . . . の列とで円周方向に重なる部分がない形態を示し、図 5 には、円周方向に重なる部分がある場合を示す。いずれも、図 4 (b) 図 5 (b) に示すように仮想磁気センサー c 0 1 , c 0 2 , c 0 3 , . . . による検出信号を計算上求めることができ、空間分解能を向上することができる。

【 0 0 4 4 】

〔 第 3 実施形態 〕

次に、第 3 実施形態につき説明する。以下に説明する点を除き本実施形態は上記第 1 実施形態と同様の構成を有する。

本実施形態は図 6 に示すように、磁気センサーユニット 4 a 上に配置される磁気センサーとして、既出の被検査配管の中心軸に平行な方向の磁場を検出する磁気センサー a 0 1 , a 0 2 , . . . に加え、同中心軸に対しねじれ角 (図中では 9 0 度) を有する方向の磁場を検出する磁気センサー a 0 1 m , a 0 2 m , . . . が含まれる構成である。磁気センサー a 0 1 m , a 0 2 m , . . . の各検出軸が被検査配管の中心軸に対しねじれの位置にある配置であり、図示のようにねじれ角を 9 0 度とすることが好ましい。なお「被検査配管の中心軸に平行な方向」は、すでに使用している「軸方向」と同義である。矢印 A は軸方向を示す。

図 6 (a) に示す構成にあつては、円周方向に沿って磁気センサー a 0 1 、磁気センサー a 0 1 m 、磁気センサー a 0 2 、磁気センサー a 0 2 m . . . というように検出方向の異なる磁気センサーが交互に配置される。

図 6 (b) に示す構成にあつては、磁気センサー a 0 1 , a 0 2 , . . . による円周方向の列と、磁気センサー a 0 1 m , a 0 2 m , . . . による円周方向の列とが軸方向の異なる位置に配置される。

【 0 0 4 5 】

また本実施形態の他の例は図 7 に示すように、磁気センサーユニット 4 a 上に配置される磁気センサーとして、被検査配管の中心軸に平行な方向の磁場を検出する磁気センサー a 0 1 , a 0 2 , . . . に加え、同中心軸と (図中では 9 0 度に) 交わる直線に平行な方向の磁場を検出する磁気センサー a 0 1 n , a 0 2 n , . . . が含まれる構成である。磁気センサー a 0 1 n , a 0 2 n , . . . の各検出軸を延長した直線が被検査配管の中心軸に交わる配置であり、図示のように交差角を 9 0 度とすることが好ましい。

図 7 (a 1) (a 2) に示す構成にあつては、円周方向に沿って磁気センサー a 0 1 、磁気センサー a 0 1 n 、磁気センサー a 0 2 、磁気センサー a 0 2 n . . . というように検出方向の異なる磁気センサーが交互に配置される。

図 7 (b 1) (b 2) に示す構成にあつては、磁気センサー a 0 1 , a 0 2 , . . . による円周方向の列と、磁気センサー a 0 1 n , a 0 2 n , . . . による円周方向の列とが軸方向の異なる位置に配置される。

【 0 0 4 6 】

さらに、被検査配管の中心軸に平行な方向の磁場を検出する磁気センサー a 0 1 , a 0

2, …に加え、同中心軸に対しねじれ角を有する方向の磁場を検出する磁気センサー a 0 1 m, a 0 2 m, …及び同中心軸と交わる直線に平行な方向の磁場を検出する磁気センサー a 0 1 n, a 0 2 n, …が含まれる構成を実施してもよい。

【0047】

このような磁気センサーユニット 4 a を軸方向に 1 又は複数配置して実施する。なお、一つの磁気センサーユニット上の列数を増加して総列数を増加するか、磁気センサーユニットを増加して総列数を増加するかは任意である。列数を増加することで、上記第 1 実施形態、第 2 実施形態を同時に実施できる。

【0048】

被検査配管である鋼管 2 a の欠陥に起因した信号は、主に被検査配管の中心軸に平行な方向の磁場を検出する磁気センサー a 0 1, a 0 2, …によって検出可能である。外乱磁場はこの方向に限らないため、磁気センサー a 0 1 m, a 0 2 m, …又は磁気センサー a 0 1 n, a 0 2 n, …によっても検出可能である。外乱磁場としては、外部からのノイズのほか、外筒 2 c の異常や継ぎ目などの影響が有り得る。

磁気センサー a 0 1, a 0 2, …、磁気センサー a 0 1 m, a 0 2 m, …及び磁気センサー a 0 1 n, a 0 2 n, …の検出信号には、外乱磁場の影響があるが、磁気センサー a 0 1, a 0 2, …の検出信号と、磁気センサー a 0 1 m, a 0 2 m, …の検出信号と、磁気センサー a 0 1 n, a 0 2 n, …の検出信号とで、鋼管 2 a の欠陥に起因した影響が異なる。

したがって、解析手段によってこれらの磁気センサーの検出信号を解析することで、被検査配管である鋼管 2 a の欠陥に起因した信号を外乱磁場から弁別し、検査の信頼性を向上することができる。

なお、図 6 及び図 7 に示した例によれば、磁気センサー a 0 1 m, a 0 2 m, …及び磁気センサー a 0 1 n, a 0 2 n, …の配置密度は、磁気センサー a 0 1, a 0 2, …の配置密度に等しくなる。しかし、磁気センサー a 0 1, a 0 2, …、磁気センサー a 0 1 m, a 0 2 m, …及び磁気センサー a 0 1 n, a 0 2 n, …のうち、中心軸方向などの特定方向の磁場を検出する磁気センサーにより欠陥に起因した信号を十分に検出できる場合は、他の方向の磁場を検出する磁気センサーは適当に間引くことで、特定方向の磁場を検出する磁気センサーに対して相対的に低い密度で配置して実施することも可能である。

【0049】

〔第 4 実施形態〕

次に、第 4 実施形態につき説明する。以下に説明する点を除き本実施形態は上記第 1 実施形態と同様の構成を有する。

本実施形態は図 8 に示すように所定距離 P A が変更可能に磁気センサーユニット 4 a, 4 b が可動支持されている構成である。

可動検査部 1 2 にリニアアクチュエータ 1 3 が備えられ、リニアアクチュエータ 1 3 によって磁気センサーユニット 4 a, 4 b が可動検査部 1 2 上で可動支持される。リニアアクチュエータ 1 3 はコンピューター 1 0 からの制御指令に基づき動作し、コンピューター 1 0 は磁気センサーユニット 4 a, 4 b の位置を制御する。

これにより磁気センサー a, b を励磁コイル 3 - 1, 3 - 2 に対し任意の位置に配置して磁場を検出することが可能である。例えば、磁気センサー a と磁気センサー b との距離を変更することができ、上記第 1 実施形態における所定距離 P A を変更したり、上記第 2 実施形態における空間分解能を変更したりすることができる。

目的によって、リニアアクチュエータ 1 3 としては、個々の磁気センサーユニット 4 a, 4 b を独立して移動させるように 1 対 1 に設けられるものや、励磁コイル 3 - 1, 3 - 2 間の軸方向の中心を中心として対称的に連動動作させるもの、磁気センサーユニット 4 a, 4 b のうち一方にのみリニアアクチュエータ 1 3 を設けたものなどを実施できる。

【0050】

このような変更は、図 9 に示すように軸方向に並べられた磁気センサーの中から制御手

10

20

30

40

50

段が選択して欠陥を探知するための磁場の検出に使用することでも達成できる。但し、図 8 に示す構成では軸方向の位置制御の分解能に依存するのに対し、図 9 に示す構成では軸方向の配置ピッチに依存する。

図 9 において使用する磁気センサーとして、磁気センサーユニット 4 a , 4 b , 4 c , 4 d , 4 e , 4 f に搭載のものを選択したり、磁気センサーユニット 4 a , 4 c , 4 e に搭載のものを選択したり、（及び他の組として磁気センサーユニット 4 b , 4 d , 4 f に搭載のものを選択したり）、磁気センサーユニット 4 c , 4 d に搭載のものを選択したり、磁気センサーユニット 4 b , 4 e に搭載のものを選択したりなどの選択により、上記第 1 実施形態における所定距離 P A を変更したり、上記第 2 実施形態における空間分解能を変更したりすることができる。

【符号の説明】

【 0 0 5 1 】

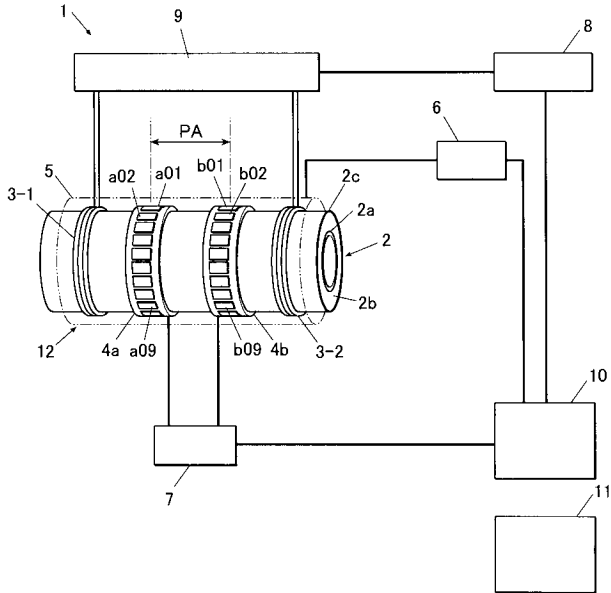
- 1 非破壊検査装置（パルス磁気検査装置）
- 2 断熱配管
- 2 a 鋼管
- 2 b 断熱材
- 2 c 外筒
- 3 - 1 励磁コイル
- 3 - 2 励磁コイル
- 4 a , 4 b , 4 c , . . . 磁気センサーユニット
- 5 自走型移動体
- 6 走行用駆動回路
- 7 磁気センサー用回路
- 8 パルス電源
- 9 電源切り替え回路
- 1 0 コンピューター
- 1 1 コンピューター
- 1 2 可動検査部
- 1 3 リニアアクチュエータ
- a 0 1 , a 0 2 , . . . 磁気センサー
- a 0 1 m , a 0 2 m , . . . 磁気センサー
- a 0 1 n , a 0 2 n , . . . 磁気センサー
- b 0 1 , b 0 2 , . . . 磁気センサー

10

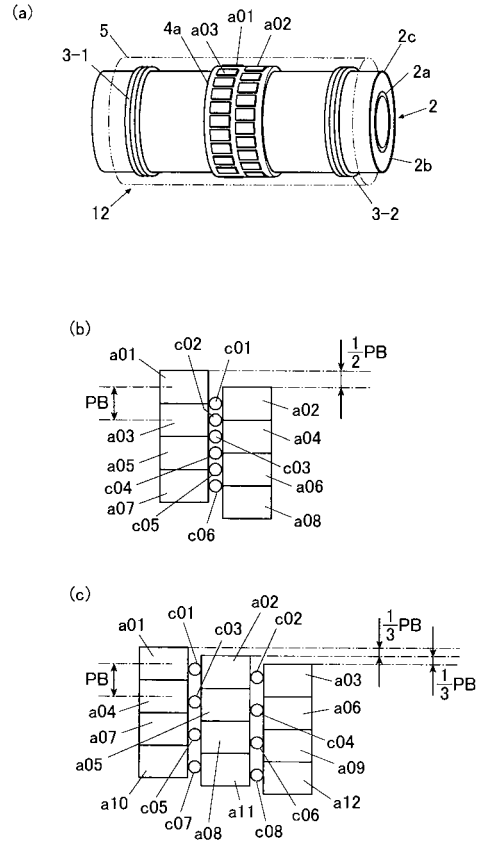
20

30

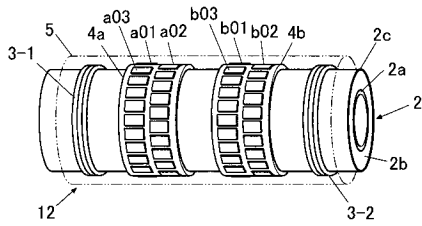
【 図 1 】



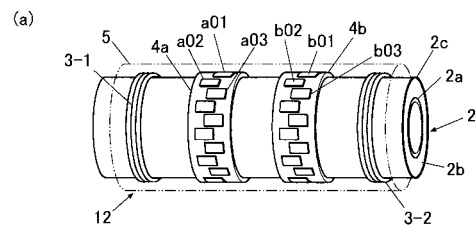
【 図 2 】



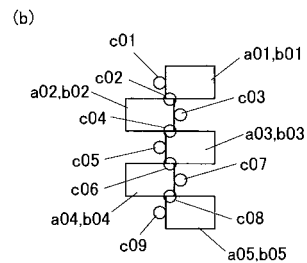
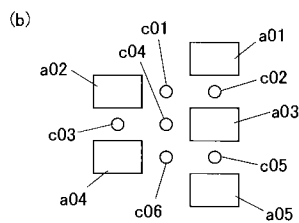
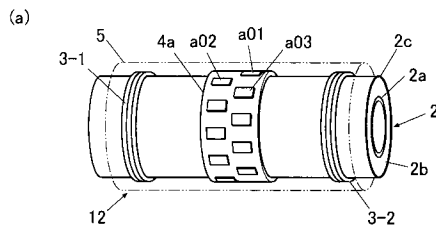
【 図 3 】



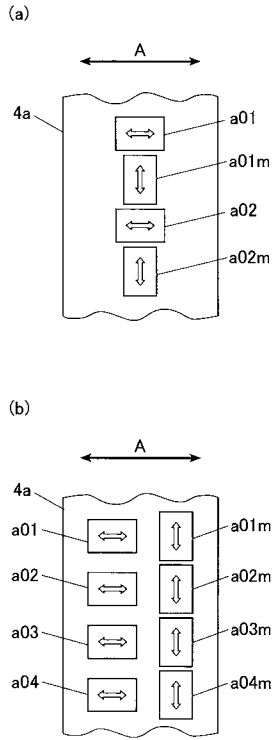
【 図 5 】



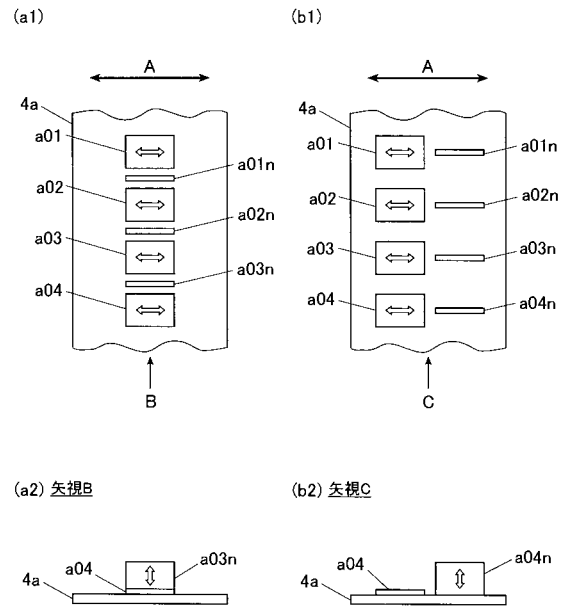
【 図 4 】



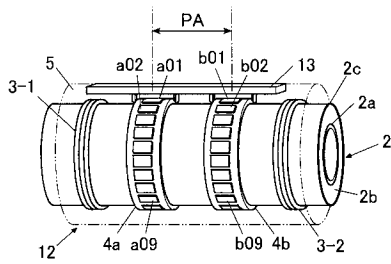
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】

