

(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2020-159984
(P2020-159984A)

(43) 公開日 令和2年10月1日(2020.10.1)

(51) Int. Cl.
G01N 27/90 (2006.01)

F I
G O I N 27/90

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 6 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2019-62223 (P2019-62223)
(22) 出願日 平成31年3月28日(2019.3.28)

特許法第30条第2項適用申請有り 日本原子力研究開発機構 新技術説明会、平成31年1月31日

(71) 出願人 505374783
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地
1
(74) 代理人 100214260
弁理士 相羽 昌孝
(74) 代理人 100139114
弁理士 田中 貞嗣
(74) 代理人 100139103
弁理士 小山 卓志
(74) 代理人 100119220
弁理士 片寄 武彦
(74) 代理人 100088041
弁理士 阿部 龍吉

最終頁に続く

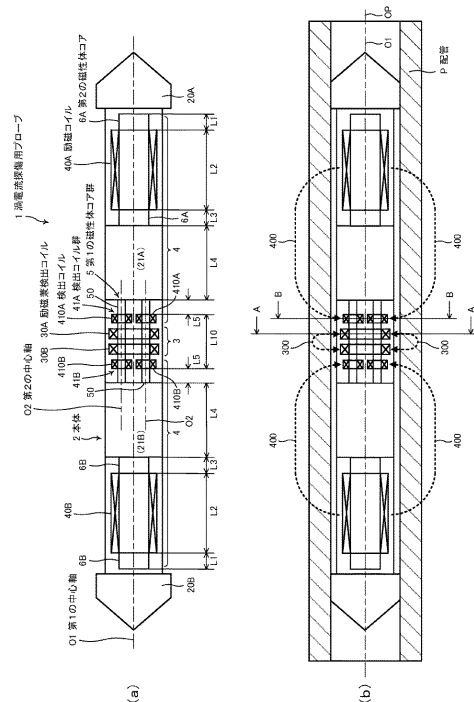
(54) 【発明の名称】 渦電流探傷用プローブ及び渦電流探傷装置

(57) 【要約】

【課題】配管の内面及び外面に形成された微小欠陥や欠陥形状を的確に検出することができる渦電流探傷用プローブを提供する。

【解決手段】渦電流探傷用プローブ1は、本体2の第1の中心軸O1に沿って、直接磁場を利用した第1の渦電流探傷系3と、間接磁場を利用した第2の渦電流探傷系4とを備える。第1の渦電流探傷系3は、第1の中心軸O2と平行な軸方向に並列して配置された一対の励磁兼検出コイル30A、30Bを備え、第2の渦電流探傷系4は、一対の励磁兼検出コイル30A、30Bの軸方向外側にそれぞれ配置された一対の検出コイル群41A、41Bと、一対の検出コイル群41A、41Bの軸方向外側にそれぞれ配置された一対の励磁コイル40A、40Bとを備え、一対の検出コイル群40A、40Bの各々は、第1の中心軸1を中心として周方向に所定の間隔でそれぞれ配置された複数の検出コイル400A、400Bにより構成されている。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

配管内に挿入されて前記配管と同軸に配置される本体の第 1 の中心軸に沿って、直接磁場を利用した第 1 の渦電流探傷系と、間接磁場を利用した第 2 の渦電流探傷系とを備える渦電流探傷用プローブであって、

前記第 1 の渦電流探傷系は、

前記第 1 の中心軸に沿って前記第 1 の中心軸と平行な軸方向に並列して配置されて、前記第 1 の中心軸をコイルの中心とする一対の励磁兼検出コイルを備え、

前記第 2 の渦電流探傷系は、

前記第 1 の中心軸に沿って前記一対の励磁兼検出コイルの前記軸方向外側にそれぞれ配置された一対の検出コイル群と、

前記第 1 の中心軸に沿って前記一対の検出コイル群の前記軸方向外側に配置されて、前記第 1 の中心軸をコイルの中心とする励磁コイルとを備え、

前記一対の検出コイル群の各々は、

前記第 1 の中心軸を中心として周方向に所定の間隔でそれぞれ配置されて、前記第 1 の中心軸に平行な複数の第 2 の中心軸をコイルの中心とする複数の検出コイルにより構成されている、

ことを特徴する渦電流探傷用プローブ。

【請求項 2】

前記一対の励磁兼検出コイル及び前記一対の検出コイル群が巻回された第 1 の磁性体コア群をさらに備え、

前記第 1 の磁性体コア群は、

前記複数の第 2 の中心軸に沿ってそれぞれ配置されて、前記複数の検出コイルと同数の複数の第 1 の磁性体コアにより構成されており、

前記一対の励磁兼検出コイルの各々は、

前記複数の第 1 の磁性体コアに外接するように巻回されており、

前記一対の検出コイル群の各々を構成する前記複数の検出コイルの各々は、

前記複数の第 1 の磁性体コアにそれぞれ巻回されている、

ことを特徴する請求項 1 に記載の渦電流探傷用プローブ。

【請求項 3】

前記複数の第 1 の磁性体コアの各々は、

周方向に 4 つの周溝を有するとともに、軸方向が前記複数の第 2 の中心軸に沿ってそれぞれ配置された棒状部材により構成されており、

前記一対の励磁兼検出コイルの各々は、

前記 4 つの周溝のうち前記軸方向内側の一対の内側周溝に外接するように巻回されており、

前記一対の検出コイル群の各々を構成する前記複数の検出コイルの各々は、

前記 4 つの周溝のうち前記軸方向外側の一対の外側周溝にそれぞれ巻回されている、

ことを特徴する請求項 2 に記載の渦電流探傷用プローブ。

【請求項 4】

前記励磁コイルとして、前記第 1 の中心軸に沿って前記一対の検出コイル群の前記軸方向外側にそれぞれ配置された一対の励磁コイルを備える、

ことを特徴する請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか一項に記載の渦電流探傷プローブ。

【請求項 5】

前記励磁コイルが巻回された第 2 の磁性体コアをさらに備える、

ことを特徴する請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の渦電流探傷用プローブ。

【請求項 6】

請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか一項に記載の渦電流探傷用プローブと、

前記渦電流探傷用プローブにより検出された検出信号を処理する処理装置とを備える、

ことを特徴する渦電流探傷装置。

10

20

30

40

50

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、渦電流探傷用プローブ及び渦電流探傷装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来、磁性材料で形成された配管の探傷試験において、配管内に渦電流探傷用プローブを挿入し、配管の内面及び外面に対する探傷試験を行う渦電流探傷装置が用いられている。

【0003】

例えば、特許文献1には、直接磁場を利用した渦電流探傷試験（Eddy Current Testing：ECT）を行うETプローブ7と、間接磁場を利用した渦電流探傷試験（Remote Field Eddy Current Testing：RF-ECT）を行うRFETプローブ3とを備える渦電流探傷装置が開示されている。

10

【0004】

特許文献1に開示された渦電流探傷装置は、ETプローブ7を構成するET励磁コイル8及びET検出コイル9と、RFETプローブ3を構成するRFET励磁コイル5及びRFET検出コイル6とを同軸に配置するとともに、ETプローブ7とRFETプローブ3との間に、磁場の干渉を防止するシールド材12を設けたものである。

【先行技術文献】

20

【特許文献】**【0005】**

【特許文献1】特開平10-318987号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

特許文献1に開示された渦電流探傷装置では、ETプローブ7とRFETプローブ3との間にシールド材12を設けたものであり、シールド材12が存在する分だけETプローブ7とRFETプローブ3との間の距離を近づけることができない。したがって、ETプローブ7とRFETプローブ3とが離れて配置された状態では、配管の同一場所を同一条件で探傷試験を行うことができず、ETプローブ7及びRFETプローブ3がそれぞれ検出した信号には、軸方向のずれ量が含まれている。そのため、このずれ量を信号処理等によって補正する必要がある。しかし、ETプローブ7及びRFETプローブ3が配管内を通過するとき、両者の速度や姿勢は微妙に異なることから、上記のように補正したとしてもずれ量が僅かに存在するため、ETプローブ7及びRFETプローブ3により微小欠陥の検出や欠陥形状の評価を行うことは極めて困難である。

30

【0007】

また、特許文献1に開示された渦電流探傷装置では、ET検出コイル9及びRFET検出コイル6は、所謂、ボビンコイル型と呼ばれるものであり、1つの検出コイルで配管の全周に亘って渦電流の変化を検出するものである。しかし、ボビンコイル型では、その構造上、配管の周方向に対する検出性能を向上させるには限界があるため、ETプローブ7及びRFETプローブ3により微小欠陥の検出や欠陥形状の評価を行うことは極めて困難である。

40

【0008】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、配管の内面及び外面に形成された微小欠陥の検出や欠陥形状の評価を的確に行うことができる渦電流探傷用プローブ及び渦電流探傷装置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】**【0009】**

本発明は、上記課題を解決するものであって、本発明の一実施形態に係る渦電流探傷用

50

プローブは、

配管内に挿入されて前記配管と同軸に配置される本体の第1の中心軸に沿って、直接磁場を利用した第1の渦電流探傷系と、間接磁場を利用した第2の渦電流探傷系とを備える渦電流探傷用プローブであって、

前記第1の渦電流探傷系は、

前記第1の中心軸に沿って前記第1の中心軸と平行な軸方向に並列して配置されて、前記第1の中心軸をコイルの中心とする一対の励磁兼検出コイルを備え、

前記第2の渦電流探傷系は、

前記第1の中心軸に沿って前記一対の励磁兼検出コイルの前記軸方向外側にそれぞれ配置された一対の検出コイル群と、

前記第1の中心軸に沿って前記一対の検出コイル群の前記軸方向外側に配置されて、前記第1の中心軸をコイルの中心とする励磁コイルとを備え、

前記一対の検出コイル群の各々は、

前記第1の中心軸を中心として周方向に所定の間隔でそれぞれ配置されて、前記第1の中心軸に平行な複数の第2の中心軸をコイルの中心とする複数の検出コイルにより構成されている、ことを特徴する。

【0010】

また、上記渦電流探傷用プローブは、

前記一対の励磁兼検出コイル及び前記一対の検出コイル群が巻回された第1の磁性体コア群をさらに備え、

前記第1の磁性体コア群は、

前記複数の第2の中心軸に沿ってそれぞれ配置されて、前記複数の検出コイルと同数の複数の第1の磁性体コアにより構成されており、

前記一対の励磁兼検出コイルの各々は、

前記複数の第1の磁性体コアに外接するように巻回されており、

前記一対の検出コイル群の各々を構成する前記複数の検出コイルの各々は、

前記複数の第1の磁性体コアにそれぞれ巻回されている、ことを特徴する。

【0011】

また、上記渦電流探傷用プローブにおいて、

前記複数の第1の磁性体コアの各々は、

周方向に4つの周溝を有するとともに、軸方向が前記複数の第2の中心軸に沿ってそれぞれ配置された棒状部材により構成されており、

前記一対の励磁兼検出コイルの各々は、

前記4つの周溝のうち前記軸方向内側の一対の内側周溝に外接するように巻回されており、

前記一対の検出コイル群の各々を構成する前記複数の検出コイルの各々は、

前記4つの周溝のうち前記軸方向外側の一対の外側周溝にそれぞれ巻回されている、ことを特徴する。

【0012】

また、上記渦電流探傷用プローブは、

前記励磁コイルとして、前記第1の中心軸に沿って前記一対の検出コイル群の前記軸方向外側にそれぞれ配置された一対の励磁コイルを備える、ことを特徴する。

【0013】

また、上記渦電流探傷用プローブは、

前記一対の励磁コイルがそれぞれ巻回された一対の第2の磁性体コアをさらに備える、ことを特徴する。

【0014】

また、本発明の一実施形態に係る渦電流探傷装置は、

上記渦電流探傷用プローブと、

前記渦電流探傷用プローブにより検出された検出信号を処理する処理装置とを備える、

10

20

30

40

50

ことを特徴する。

【発明の効果】

【0015】

本発明の一実施形態に係る渦電流探傷用プローブ及び渦電流探傷装置によれば、直接磁場を利用した第1の渦電流探傷系が、第1の中心軸に平行な軸方向に並列して配置された一対の励磁兼検出コイルを備え、間接磁場を利用した第2の渦電流探傷系が、一対の励磁兼検出コイルの軸方向外側にそれぞれ配置された一対の検出コイル群を備えるので、第1の渦電流探傷系及び第2の渦電流探傷系により配管の同一の場所に対してECT及びRF-ECTを同時に行うことで、配管の内面及び外面に存在する微小欠陥の検出や欠陥形状の評価を的確に行うことができる。

10

【0016】

また、一対の検出コイル群の各々は、第1の中心軸を中心として周方向に所定の間隔で配置された複数の検出コイルにより構成されているので、配管の周方向に対する欠陥検出分解能を向上させることができ、配管Pの内面及び外面に存在する微小欠陥の検出や欠陥形状の評価を的確に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の実施形態に係る渦電流探傷装置100の全体構成の一例を示す模式図である。

【図2】本発明の実施形態に係るプローブ1の一例を示し、(a)はプローブ1が配管Pに挿入されていない状態、(b)はプローブ1が配管Pに挿入された状態を示す模式図である。

20

【図3】本発明の実施形態に係るプローブ1の内部構造を示す斜視図である。

【図4】本発明の実施形態に係るプローブ1の内部構造を示し、(a)はA-A線断面図、(b)はB-B線断面図である。

【図5】本発明の実施形態に係る第1の磁性体コア50の一例を示し、(a)は斜視図、(b)は正面図である。

【図6】本発明の実施形態に係るプローブ1及び処理装置11の接続状態を示すブロック図である。

【図7】本発明の実施形態に係る処理装置11を示すブロック図である。

30

【図8】本発明の実施形態に係る渦電流探傷装置100により配管支持構造物Sで支持された配管Pに対して渦電流探傷試験を行った検出結果(X信号及びY信号)を示し、(a)は、欠陥がない配管Pに対する第1の渦電流探傷系3による検出結果、(b)は、欠陥がある配管Pに対する第1の渦電流探傷系3による検出結果、(c)は、欠陥がない配管Pに対する第2の渦電流探傷系4による検出結果、(d)は、欠陥がある配管Pに対する第2の渦電流探傷系4による検出結果を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明の一実施形態について添付図面を参照しつつ説明する。

【0019】

図1は、本発明の実施形態に係る渦電流探傷装置100の全体構成の一例を示す模式図である。渦電流探傷装置100は、被検体である配管P内に挿入可能な渦電流探傷用プローブ(以下、「プローブ」という)1と、プローブ1にケーブル12を介して接続された処理装置11とを備える。

40

【0020】

配管Pは、例えば、磁性材料で形成されており、原子力プラントの各種熱交換器の伝熱管や、石油プラント、化学プラント等の各種プラントの小口径配管として用いられる。配管Pは、例えば、二重伝熱管であり、その外径R1が、19.0mm程度、その内径R2が、12.8mm程度、管肉厚が、3.1mm程度である。また、配管Pは、所定の間隔で配管支持構造物Sにより支持されている。

50

【 0 0 2 1 】

プローブ 1 は、配管 P の内径 R 2 よりも小径の円筒状に形成された本体 2 を備え、配管 P 内に挿入されたとき、本体 2 の第 1 の中心軸 O 1 が、配管 P の配管中心軸 O P と同軸に配置される。また、プローブ 1 は、本体 2 の第 1 の中心軸 O 1 に沿って、直接磁場を利用した自己比較方式の第 1 の渦電流探傷系 3 と、間接磁場を利用した自己比較方式の第 2 の渦電流探傷系 4 とを備える。

【 0 0 2 2 】

処理装置 1 1 は、プローブ 1 により検出された検出信号を処理する装置である。具体的には、処理装置 1 1 は、第 1 の渦電流探傷系 3 に励磁電流を出力する第 1 の励磁出力部 1 1 0 と、第 2 の渦電流探傷系 4 に励磁電流を出力する第 2 の励磁出力部 1 1 1 と、第 1 の渦電流探傷系 3 により検出された信号を入力する第 1 の検出入力部 1 1 2 と、第 2 の渦電流探傷系 4 により検出された信号を入力する第 2 の検出入力部 1 1 3 と、第 1 の検出入力部 1 1 2 及び第 2 の検出入力部 1 1 3 に入力された信号を処理する信号解析部 1 1 4 と、信号解析部 1 1 4 により処理された処理結果を各種表示形式で表示する表示部 1 1 5 とを備える。なお、処理装置 1 1 は、第 1 の検出入力部 1 1 2 及び第 2 の検出入力部 1 1 3 に入力された信号、並びに、信号解析部 1 1 4 により処理された処理結果を記憶する記憶部を備えていてもよい。

【 0 0 2 3 】

図 2 は、本発明の実施形態に係るプローブ 1 の一例を示し、(a) はプローブ 1 が配管 P に挿入されていない状態、(b) はプローブ 1 が配管 P に挿入された状態を示す模式図である。図 3 は、本発明の実施形態に係るプローブ 1 の内部構造を示す斜視図である。図 4 は、本発明の実施形態に係るプローブ 1 の内部構造を示し、(a) は A - A 線断面図、(b) は B - B 線断面図である。

【 0 0 2 4 】

プローブ 1 は、上記したように、本体 2 と、第 1 の渦電流探傷系 3 と、第 2 の渦電流探傷系 4 とを備える。

【 0 0 2 5 】

第 1 の渦電流探傷系 3 は、第 1 の励磁兼検出コイル 3 0 A 及び第 2 の励磁兼検出コイル 3 0 B からなる一対の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B を備える。

【 0 0 2 6 】

一対の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B は、図 2 (a)、図 3 に示すように、第 1 の中心軸 O 1 に沿って第 1 の中心軸 O 1 に平行な軸方向に並列して配置されている。また、一対の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B は、所謂、ボビンコイル型と呼ばれるものであり、図 4 (a) に示すように、第 1 の中心軸 O 1 をコイルの中心として、巻線が巻回されている。

【 0 0 2 7 】

一対の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B は、ケーブル 1 2 を介して第 1 の励磁出力部 1 1 0 に接続されているとともに、差動結線により第 1 の検出入力部 1 1 2 に接続されている。一対の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B の外周は、例えば、絶縁性シート等により被覆されて保護されている。

【 0 0 2 8 】

第 1 の渦電流探傷系 3 では、第 1 の励磁出力部 1 1 0 から一対の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B に所定の周波数（例えば、1 0 k H z ~ 1 0 0 0 k H z 程度）の交流電流が励磁電流として供給されることにより、図 2 (b) に示すように、一対の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B は、配管 P の内面領域に流れる磁束 3 0 0 の流路（直接磁場）を形成する。そして、一対の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B は、磁束 3 0 0 により配管 P 内に発生する渦電流の変化（欠陥が存在する場合には、渦電流の流れが乱れる）を検出することにより、直接磁場を利用した渦電流探傷試験（E C T）を行う。

【 0 0 2 9 】

第 2 の渦電流探傷系 4 は、第 1 の励磁コイル 4 0 A 及び第 2 の励磁コイル 4 0 B からな

10

20

30

40

50

る一対の励磁コイル 40A、40Bと、第1の検出コイル群 41A及び第2の検出コイル群 41Bからなる一対の検出コイル群 41A、41Bとを備える。

【0030】

一対の検出コイル群 41A、41Bは、図2(a)、図3に示すように、第1の中心軸 O1に沿って一対の励磁兼検出コイル 30A、30Bの軸方向外側にそれぞれ配置されている。一対の励磁コイル 40A、40Bは、図2(a)、図3に示すように、第1の中心軸 O1に沿って一対の検出コイル群 41A、41Bの軸方向外側にそれぞれ配置されて、第1の中心軸 O1をコイルの中心として、巻線が巻回されている。

【0031】

一対の検出コイル群 41A、41Bは、所謂、マルチコイル型と呼ばれるものである。すなわち、一対の検出コイル群 41A、41Bの各々は、図4(b)に示すように、第1の中心軸 O1を中心とする所定の半径 R3の円周上に対して周方向に所定の間隔でそれぞれ配置された複数の検出コイル 410A、410Bにより構成されている。そして、複数の検出コイル 410A、410Bの各々は、第1の中心軸 O1に平行な複数の第2の中心軸 O2をコイルの中心として、巻線が巻回されている。

10

【0032】

なお、本実施形態では、第1の検出コイル群 41Aを構成する複数の検出コイル 410Aの個数は12個、第2の検出コイル群 41Bを構成する複数の検出コイル 410Bの個数は12個であるものとして説明するが、検出コイル 410A、410Bの個数は、8個でもよいし、9個でもよいし、これら以外の個数でもよい。

20

【0033】

一対の励磁コイル 40A、40Bは、ケーブル 12を介して第2の励磁出力部 111に接続されている。一対の検出コイル群 41A、41Bは、ケーブル 12を介して差動結線により第2の検出入力部 113に接続されている。一対の励磁コイル 40A、40B及び一対の検出コイル群 41A、41Bの外周は、例えば、絶縁性シート等により被覆されて保護されている。

【0034】

第2の渦電流探傷系 4では、第2の励磁出力部 111から一対の励磁コイル 40A、40Bに所定の周波数(例えば、100Hz~1000Hz程度)の交流電流が励磁電流として供給されることにより、図2(b)に示すように、一対の励磁コイル 40A、40Bは、配管 Pを貫通して配管 Pの外側に沿って流れた後に一対の検出コイル群 41A、41Bが配置された位置で配管 P内に流れ込む磁束 400の流路(間接磁場)を形成する。そして、一対の検出コイル群 41A、41Bは、磁束 400により配管 P内に発生する渦電流の変化(欠陥が存在する場合には、渦電流の流れが乱れる)を検出することにより、間接磁場を利用した渦電流探傷試験(RF-ECT)を行う。

30

【0035】

したがって、プローブ 1は、第1の渦電流探傷系 3と、第2の渦電流探傷系 4とを併用し、配管 Pの同一の場所に対してECT及びRF-ECTを同時に行うことにより配管 Pの内面及び外面に対する探傷試験を行う。

【0036】

本体 2は、図2(a)に示すように、本体 2の軸方向外側端部に取り付けられたガイド部 20A、20Bと、第1の励磁コイル 40A及び第1の検出コイル群 41Aの間を連結する第1の連結部 21Aと、第2の励磁コイル 40B及び第2の検出コイル群 41Bの間を連結する第2の連結部 21Bと、ケーブル 12を挿通可能な筒状部 22とを備える。

40

【0037】

ガイド部 20A、20Bは、配管 Pの直径 R2よりも大径であって、弾性を有する材料で形成されている。ガイド部 20A、20Bは、配管 P内に挿入されたときに小径に弾性変形することにより、図2(b)に示すように、本体 2の第1の中心軸 O1が、配管 Pの配管中心軸 OPと同軸に配置される。

【0038】

50

第1の連結部21A及び第2の連結部21Bは、ケーブル12を挿通可能な円筒状であって、例えば、樹脂材料等で形成されている。筒状部22は、第1の連結部21A及び第2の連結部21Bに取り付けられることで、第1の中心軸O1に沿って配置されている。また、筒状部22は、図4(a)、(b)に示すように、一对の励磁兼検出コイル30A、30B及び一对の検出コイル群41A、41Bの内側に配置されている。

【0039】

また、プローブ1は、図2(a)、図3に示すように、一对の励磁兼検出コイル30A、30B及び一对の検出コイル群41A、41Bが巻回された第1の磁性体コア群5と、一对の励磁コイル40A、40Bがそれぞれ巻回された一对の第2の磁性体コア6A、6Bとをさらに備える。

【0040】

第1の磁性体コア群5及び一对の第2の磁性体コア6A、6Bは、例えば、フェライト、パーマロイ、ケイ素鋼板等の透磁率が高い磁性材料で形成されている。本実施形態では、フェライトで形成されているものとして説明する。

【0041】

第1の磁性体コア群5は、図4(a)、(b)に示すように、複数の検出コイル410A、410Bと同数(本実施形態では、12個)の複数の第1の磁性体コア50により構成されている。複数の第1の磁性体コア50の各々は、第1の中心軸O1を中心とする所定の半径R3の円周上に対して周方向に所定の間隔で配置されており、本実施形態では、第1の中心軸O1を中心とする円周上において、隣接する第1の磁性体コア50と第1の中心軸O1との間のなす角度が30度となるように配置されている。

【0042】

一对の励磁兼検出コイル30A、30Bの各々は、図4(a)に示すように、複数の第1の磁性体コア50に外接するように巻回されている。一对の検出コイル群41A、41Bの各々を構成する複数の検出コイル410A、410Bの各々は、図4(b)に示すように、複数の第1の磁性体コア50にそれぞれ巻回されている。

【0043】

一对の第2の磁性体コア6A、6Bの各々は、図3に示すように、ケーブル12を挿通可能な円筒状に形成されており、第1の中心軸O1に沿って配置されている。

【0044】

図5は、本発明の実施形態に係る第1の磁性体コア50の一例を示し、(a)は斜視図、(b)は正面図である。複数の第1の磁性体コア50の各々は、例えば、断面が円形状の棒状部材500により構成されている。複数の棒状部材500の各々は、棒状部材500の周方向に対して全周に亘って形成された4つの周溝501A、501B、502A、502Bを有する。なお、棒状部材500は、周溝501A、501B、502A、502Bの軸方向外側に対して鐮状に形成された鐮状部(巻線を巻くためのポピンケースとして機能する)を備えていてもよい。

【0045】

また、複数の棒状部材500の各々は、その軸方向両端部が、例えば、第1の連結部21A及び第2の連結部21Bに取り付けられることで、棒状部材500の軸方向が複数の第2の中心軸O2に沿ってそれぞれ配置されている。

【0046】

一对の励磁兼検出コイル30A、30Bの各々は、4つの周溝501A、501B、502A、502Bのうち軸方向内側の一对の内側周溝501A、501Bに外接するように巻回されている。

【0047】

一对の検出コイル群41A、41Bの各々を構成する複数の検出コイル410A、410Bの各々は、4つの周溝501A、501B、502A、502Bのうち軸方向外側の一对の外側周溝502A、502Bにそれぞれ巻回されている。

【0048】

10

20

30

40

50

ここで、プローブ 1 A の外形、特に軸方向の長さについて、図 2 (a)、図 5 (b) を参照しつつ説明する。まず、図 2 (a) に示すように、励磁コイル 4 0 A、4 0 B のコイル長さ L 2 は、例えば、3 0 mm ~ 1 0 0 mm 程度であり、コイル直径は、配管 P の内径 R 2 よりも小さく、例えば、6 mm ~ 1 0 mm 程度である。第 2 の磁性体コア 6 A、6 B は、励磁コイル 4 0 A、4 0 B の軸方向両側に対して第 2 のコア長さ L 1、L 3 だけ長く配置されており、第 2 の磁性体コア 6 A、6 B の第 2 のコア長さ L 1、L 3 は、例えば、1 mm ~ 5 mm 程度である。第 1 の連結部 2 1 A 及び第 2 の連結部 2 1 B の長さ、すなわち、第 1 の磁性体コア群 5 と第 2 の磁性体コア 6 A、6 B との間のコア間長さ L 4 は、例えば、2 0 mm ~ 5 0 mm 程度である。

【 0 0 4 9 】

図 5 (b) に示すように、一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B を構成する検出コイル 4 1 0 A、4 1 0 B のコイル長さ L 6 は、0 . 5 mm ~ 3 mm 程度であり、コイル直径は、例えば、1 mm ~ 2 mm 程度である。励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B のコイル長さ L 8 は、0 . 5 mm ~ 3 mm 程度であり、コイル直径は、例えば、配管 P の内径 R 2 よりも小さく、例えば、6 mm ~ 1 0 mm 程度である。

【 0 0 5 0 】

第 1 の検出コイル群 4 1 A を構成する検出コイル 4 1 0 A と第 1 の励磁兼検出コイル 3 0 A との間のコイル間長さ L 7、及び、第 2 の検出コイル群 4 1 B を構成する検出コイル 4 1 0 B と第 2 の励磁兼検出コイル 3 0 B との間のコイル間長さ L 7 は、例えば、0 . 5 mm ~ 3 mm 程度である。第 1 の励磁兼検出コイル 3 0 A と第 2 の励磁兼検出コイル 3 0 B との間のコイル間長さ L 9 は、例えば、0 . 5 mm ~ 3 mm 程度である。

【 0 0 5 1 】

第 1 の磁性体コア群 5 を構成する第 1 の磁性体コア 5 0 は、検出コイル 4 1 0 A、4 1 0 B の軸方向外側に第 1 のコア長さ L 5 だけ長く配置されており、第 1 の磁性体コア 5 0 の第 1 のコア長さ L 5 は、例えば、1 mm ~ 1 0 mm 程度である。したがって、棒状部材 5 0 0 において、一对の外側周溝 5 0 2 A、5 0 2 B は、軸方向両端部 5 0 3 A、5 0 3 B から第 1 のコア長さ L 5 だけ軸方向内側の位置にそれぞれ形成されている。

【 0 0 5 2 】

図 6 は、本発明の実施形態に係るプローブ 1 及び処理装置 1 1 の接続状態を示すブロック図である。

【 0 0 5 3 】

第 1 の渦電流探傷系 3 において、一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B は、芯線 1 2 0 a 及びシールド線 1 2 0 b を介して第 1 の励磁出力部 1 1 0 に接続されるとともに、芯線 1 2 2 a 及びシールド線 1 2 2 b を介して差動結線により第 1 の検出入力部 1 1 2 に接続される。

【 0 0 5 4 】

第 1 の励磁出力部 1 1 0 は、励磁電流を一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B に出力すると、この励磁電流が一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B を流れることにより直接磁場を生成する。この直接磁場による電磁誘導作用によって配管 P 内に渦電流が発生し、この渦電流により発生する磁束が、一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B に電圧を誘起することにより検出電流を発生する。この検出電流が、第 1 の検出信号として第 1 の検出入力部 1 1 2 に入力される。なお、配管 P に欠陥が存在する場合には、第 1 の検出信号に乱れ (欠陥による渦電流の乱れ) が発生する。

【 0 0 5 5 】

第 2 の渦電流探傷系 4 において、一对の励磁コイル 4 0 A、4 0 B は、芯線 1 2 1 a 及びシールド線 1 2 1 b を介して第 2 の励磁出力部 1 1 1 に接続される。また、一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B は、芯線 1 2 3 a 及びシールド線 1 2 3 b を介して差動結線により第 2 の検出入力部 1 1 3 に接続される。

【 0 0 5 6 】

第 2 の励磁出力部 1 1 1 は、励磁電流を一对の励磁コイル 4 0 A、4 0 B に出力すると

10

20

30

40

50

、この励磁電流が一对の励磁コイル40A、40Bを流れることにより生成された間接磁場を生成する。この間接磁場による電磁誘導作用によって配管P内に渦電流が発生し、この渦電流により発生する磁束が、一对の検出コイル群41A、41Bに電圧を誘起することにより検出電流を発生する。この検出電流が、第2の検出信号として第2の検出入力部113に輸入される。配管Pに欠陥が存在する場合には、第2の検出信号に乱れ（欠陥による渦電流の乱れ）が発生する。

【0057】

なお、芯線120a～123a及びシールド線120b～123bは、ケーブル12を構成する。また、図6では図示していないが、第2の検出入力部113は、合計24個の入力チャンネル（1個の入力チャンネルは、芯線42b及びシールド線43bが接続可能な1組の入力端子で構成される）を備え、各入力チャンネルには、第1の検出コイル群41Aを構成する12個の検出コイル410Aと、第2の検出コイル群41Bを構成する12個の検出コイル410Bとが独立に接続されて、合計24個の検出コイル410A、410Bの各々から検出信号が独立して入力される。

10

【0058】

図7は、本発明の実施形態に係る処理装置11を示すブロック図である。処理装置11は、信号解析部114として、第1の渦電流探傷系3に対する第1の処理回路1140と、第2の渦電流探傷系4に対する第2の処理回路1141と、判定回路1142とを備える。

【0059】

第1の処理回路1140は、励磁信号発振器1140a、位相器1140b、ブリッジ回路1140c、増幅回路1140d、位相検波回路1140e、フィルタ1140f、及び、XY処理回路1140gを備える。第2の処理回路1141は、励磁信号発振器1141a、位相器1141b、ブリッジ回路1141c、増幅回路1141d、位相検波回路1141e、フィルタ1141f、及び、XY処理回路1141gを備える。

20

【0060】

第1の処理回路1140では、励磁信号発振器1140aの発振出力を、一对の励磁兼検出コイル30A、30Bと、位相器1140bに分配して入力する。一对の励磁兼検出コイル30A、30Bに輸入された励磁信号は、一对の励磁兼検出コイル30A、30Bに励磁電流を流して直接磁場を発生させる。

30

【0061】

位相器1140bは、励磁信号発振器1140aから入力された励磁信号をシフトして位相検波用の基準信号を生成する。ブリッジ回路1140cは、一对の励磁兼検出コイル30A、30Bと、可変抵抗器で構成し、可変抵抗器を変化させることで配管Pの系全体でバランスが取れるように調整されており、配管Pに欠陥が存在する場所では、ブリッジ回路1140cのバランスが崩れ、一对の励磁兼検出コイル30A、30Bのインピーダンス変化に応じた電圧（第1の検出信号）が得られるように構成する。この第1の検出信号（電圧）は、非常に小さいことから、増幅回路1140dにより増幅する。

【0062】

位相検波回路1140eは、位相器1140bの出力信号と、増幅回路1140dの出力信号の位相を比較して検出信号として出力し、フィルタ1140fで直接磁場に基づく検出信号成分のみを抽出し、XY処理回路1141gにより検出信号の位相のずれを処理して、X信号及びY信号として出力する。

40

【0063】

第2の処理回路1141では、励磁信号発振器1141aの発振出力を一对の励磁コイル40A、40Bと、位相器1141bに分配して入力する。一对の励磁コイル40A、40Bに輸入された励磁信号は、一对の励磁コイル40A、40Bに励磁電流を流して間接磁場を発生させる。

【0064】

位相器1141bは、励磁信号発振器1141aから入力された励磁信号をシフトして

50

位相検波用の基準信号を生成する。ブリッジ回路 1 1 4 1 c は、一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B と可変抵抗器で構成し、可変抵抗器を変化させることで配管 P の系全体でバランスが取れるように調整しておくことにより、配管 P に欠陥が存在する場所ではブリッジ回路 1 1 4 1 c のバランスが崩れ、一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B のインピーダンス変化に応じた電圧（第 2 の検出信号）が得られるように構成する。この第 2 の検出信号（電圧）は、非常に小さいことから、増幅回路 1 1 4 1 d により増幅する。

【 0 0 6 5 】

位相検波回路 1 1 4 1 e は、位相器 1 1 4 1 b の出力信号と、増幅回路 1 1 4 1 d の出力信号の位相を比較して検出信号として出力し、フィルタ 1 1 4 1 f で間接磁場に基づく検出信号成分のみを抽出し、X Y 処理回路 1 1 4 1 g により検出信号の位相のずれを処理して、X 信号及び Y 信号として出力する。

10

【 0 0 6 6 】

判定回路 1 1 4 2 は、第 1 の処理回路 1 1 4 0 から出力された X 信号及び Y 信号と、第 2 の処理回路 1 1 4 1 から出力された X 信号及び Y 信号とを、平滑化して評価することにより、配管 P に欠陥があるか否かを判定する。そして、判定回路 1 1 4 2 は、欠陥があると判定した場合には、その欠陥が、配管 P における外面の傷か内面の傷かを判定する。具体的には、判定回路 1 1 4 2 は、第 1 の渦電流探傷系 3 と第 2 の渦電流探傷系 4 の双方により欠陥が検出されたときには、内面の傷と判定し、第 2 の渦電流探傷系 4 のみにより欠陥が検出されたときには、外面の傷と判定する。

【 0 0 6 7 】

図 8 は、本発明の実施形態に係る渦電流探傷装置 1 0 0 により配管支持構造物 S で支持された配管 P に対して渦電流探傷試験を行った検出結果（X 信号及び Y 信号）を示し、（a）は、欠陥がない配管 P に対する第 1 の渦電流探傷系 3 による検出結果、（b）は、欠陥がある配管 P に対する第 1 の渦電流探傷系 3 による検出結果、（c）は、欠陥がない配管 P に対する第 2 の渦電流探傷系 4 による検出結果、（d）は、欠陥がある配管 P に対する第 2 の渦電流探傷系 4 による検出結果を示す図である。なお、図 8（a）～（d）に示すグラフは、表示部 1 1 5 に表示される。

20

【 0 0 6 8 】

第 1 の渦電流探傷系 3 は、配管 P の内面領域を通る直接磁場を利用するものであるため、図 8（a）に示すように、第 1 の処理回路 1 1 4 0 から出力された X 信号及び Y 信号において、配管支持構造物 S や配管 P の外面に付着するナトリウムによる影響は小さい。そのため、配管 P に欠陥がある場合には、図 8（b）に示すように、欠陥による X 信号及び Y 信号の変化が相対的に大きくなる。

30

【 0 0 6 9 】

第 2 の渦電流探傷系 4 は、配管 P の外側を通る間接磁場を利用するものであり、図 8（c）に示すように、第 2 の処理回路 1 1 4 1 から出力された X 信号及び Y 信号において、配管支持構造物 S や配管 P の外面に付着するナトリウムによる影響は大きい。そのため、配管 P に欠陥がある場合には、図 8（d）に示すように、欠陥による X 信号及び Y 信号の変化が相対的に小さくなる。

【 0 0 7 0 】

したがって、処理装置 1 1 は、配管支持構造物 S で支持されていない場所では、第 1 の処理回路 1 1 4 0 から出力された X 信号及び Y 信号の変化と、第 2 の処理回路 1 1 4 1 から出力された X 信号及び Y 信号の変化とに基づいて欠陥の有無を判定し、配管支持構造物 S で支持された場所では、処理装置 1 1 は、第 1 の処理回路 1 1 4 0 から出力された X 信号及び Y 信号の変化に基づいて欠陥の有無を判定することが可能である。

40

【 0 0 7 1 】

以上のように、本発明の実施形態に係るプローブ 1 及びプローブ 1 を備える渦電流探傷装置 1 0 0 によれば、直接磁場を利用した第 1 の渦電流探傷系 3 が、第 1 の中心軸 O 1 に平行な軸方向に並列して配置された一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B を備え、間接磁場を利用した第 2 の渦電流探傷系 4 が、一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B の軸方

50

向外側にそれぞれ配置された一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B を備えるので、第 1 の渦電流探傷系 3 及び第 2 の渦電流探傷系 4 により配管 P の同一の場所に対して E C T 及び R F - E C T を同時に行うことで、配管 P の内面及び外面に存在する微小欠陥の検出や欠陥形状の評価を的確に行うことができる。

【 0 0 7 2 】

また、一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B の各々は、第 1 の中心軸 O 1 を中心として周方向に所定の間隔で配置された複数の検出コイル 4 1 0 A、4 1 0 B により構成されているので、配管 P の周方向に対する欠陥検出分解能を向上させることができ、配管 P の内面及び外面に存在する微小欠陥の検出や欠陥形状の評価を的確に行うことができる。

【 0 0 7 3 】

また、直接磁場を利用した第 1 の渦電流探傷系 3 (一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B) は、軸方向内側に配置されており、間接磁場を利用した第 2 の渦電流探傷系 4 (一对の励磁コイル群 4 0 A、4 0 B 及び一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B) は、軸方向外側に配置されているので、第 1 の渦電流探傷系 3 及び第 2 の渦電流探傷系 4 による双方の磁場が互いに悪影響を与えることなく、E C T 及び R F - E C T を行うことができる。

【 0 0 7 4 】

また、プローブ 1 は、第 1 の磁性体コア群 5 をさらに備え、第 1 の磁性体コア群 5 は、複数の検出コイル 4 1 0 A、4 1 0 B と同数の複数の第 1 の磁性体コア 5 0 により構成されており、一对の励磁兼検出コイル 3 0 A、3 0 B の各々は、図 4 (a) に示すように、複数の第 1 の磁性体コア 5 0 に外接するように巻回されており、一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B の各々を構成する複数の検出コイル 4 1 0 A、4 1 0 B の各々は、図 4 (b) に示すように、複数の第 1 の磁性体コア 5 0 にそれぞれ巻回されているので、磁性体により磁化力を高めることにより、S / N 比を向上させることができるとともに、軸方向に並列して配置された複数のコイル間でコアを共通化して複数のコイルを一体化することにより、複数の第 1 の磁性体コア 5 0 の内側にケーブル 1 2 を配置する空間を確保しつつ、渦電流を検出する検出部分の構造の簡素化及び小型化を図ることができる。

【 0 0 7 5 】

例えば、上記実施形態では、第 1 の励磁兼検出コイル 3 0 A が 1 個、第 2 の励磁兼検出コイル 3 0 B が 1 個、第 1 の検出コイル群 4 1 A を構成する検出コイル 4 1 0 A が 1 2 個、第 2 の検出コイル群 4 1 B を構成する検出コイル 4 1 0 B が 1 2 個であるから、渦電流の検出部分には、全部で 2 6 個のコイルが配置されているが、複数のコイル間でコアを共通化して複数のコイルを一体化することにより、第 1 の磁性体コア群 5 は、1 2 個の第 1 の磁性体コア 5 0 により構成されている。また、1 2 個の第 1 の磁性体コア 5 0 の内側には、ケーブル 1 2 が配置する空間が確保されている。

【 0 0 7 6 】

また、複数の第 1 の磁性体コア 5 0 の各々は、周方向に 4 つの周溝を有する棒状部材 5 0 0 により構成されているので、簡単な加工で製造することができる。

【 0 0 7 7 】

また、プローブ 1 は、一对の励磁コイル 4 0 A、4 0 B がそれぞれ巻回された一对の第 2 の磁性体コア 6 A、6 B をさらに備えるので、磁性体により磁化力を高めることにより、S / N 比を向上させることができる。

【 0 0 7 8 】

(他の実施形態)

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

【 0 0 7 9 】

例えば、上記実施形態では、第 2 の渦電流探傷系 4 は、第 1 の中心軸 O 1 に沿って一对の検出コイル群 4 1 A、4 1 B の軸方向外側にそれぞれ配置された一对の励磁コイル 4 0 A、4 0 B を備えるものとして説明したが、第 2 の渦電流探傷系 4 は、一对の励磁コイル 4 0 A、4 0 B のうち、いずれか一方の励磁コイルを備えるようにしてもよい。

【符号の説明】

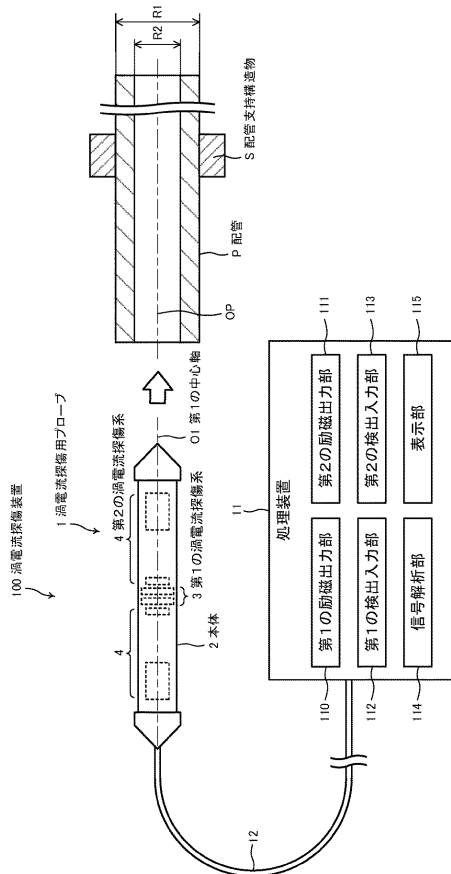
【0080】

- 1 渦電流探傷用プローブ、2 本体、3 第1の渦電流探傷系、
- 4 第2の渦電流探傷系、5 第1の磁性体コア群、6 A、6 B 第2の磁性体コア、
- 11 処理装置、12 ケーブル、20 A、20 B ガイド部、
- 21 A 第1の連結部、21 B 第2の連結部、22 筒状部、
- 30 A 第1の励磁兼検出コイル、30 B 第2の励磁兼検出コイル、
- 40 A 第1の励磁コイル、40 B 第2の励磁コイル、
- 41 A 第1の検出コイル群、41 B 第2の検出コイル群、
- 50 第1の磁性体コア、100 渦電流探傷装置、
- 110 第1の励磁出力部、111 第2の励磁出力部、112 第1の検出入力部、
- 113 第2の検出入力部、114 信号解析部、115 表示部、
- 120 a ~ 123 a 芯線、120 b ~ 123 b シールド線、
- 300 磁束、400 磁束、410 A、410 B 検出コイル、500 棒状部材、
- 501 A、501 B 内側周溝、502 A、502 B 外側周溝、
- 503 A、503 B 端部、
- 1140 第1の処理回路、1140 a 励磁信号発振器、1140 b 位相器、
- 1140 c ブリッジ回路、1140 d 増幅回路、1140 e 位相検波回路、
- 1140 f フィルタ、1140 g X Y 処理回路、
- 1141 第2の処理回路、1141 a 励磁信号発振器、1141 b 位相器、
- 1141 c ブリッジ回路、1141 d 増幅回路、1141 e 位相検波回路、
- 1141 f フィルタ、1141 g X Y 処理回路、1142 判定回路、
- O1 第1の中心軸、O2 第2の中心軸、OP 配管中心軸、
- P 配管、S 配管支持構造物

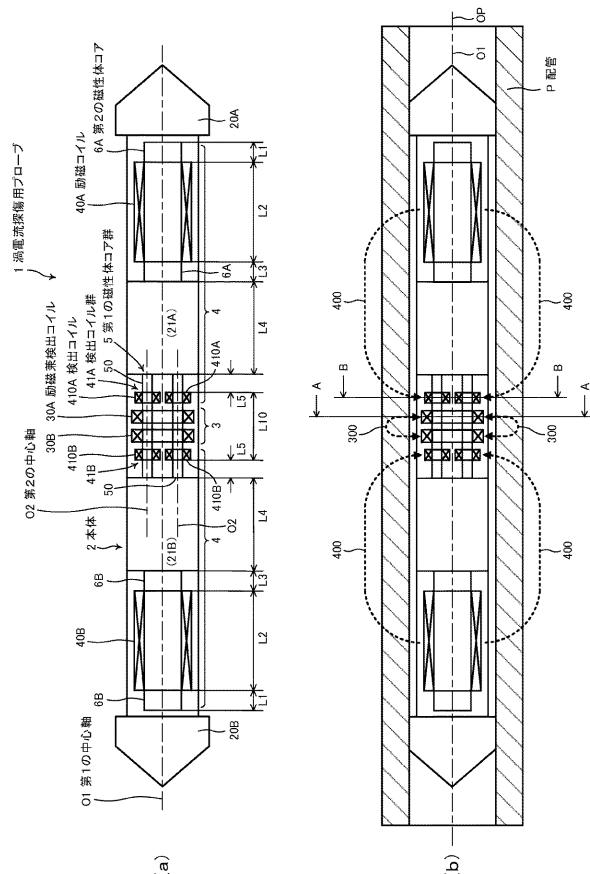
10

20

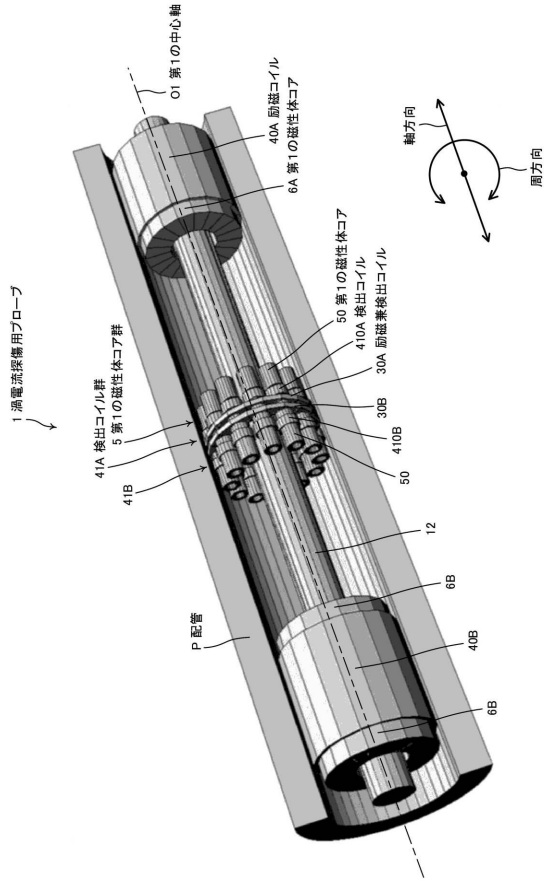
【図1】



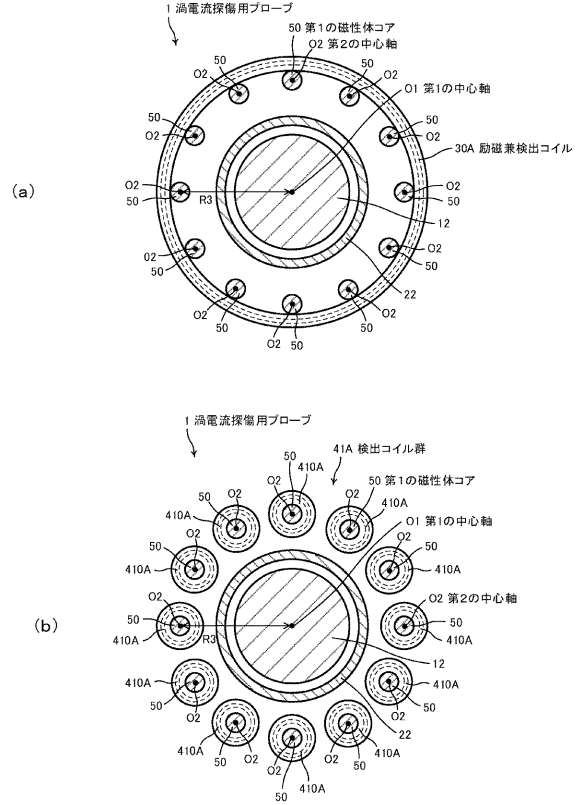
【図2】



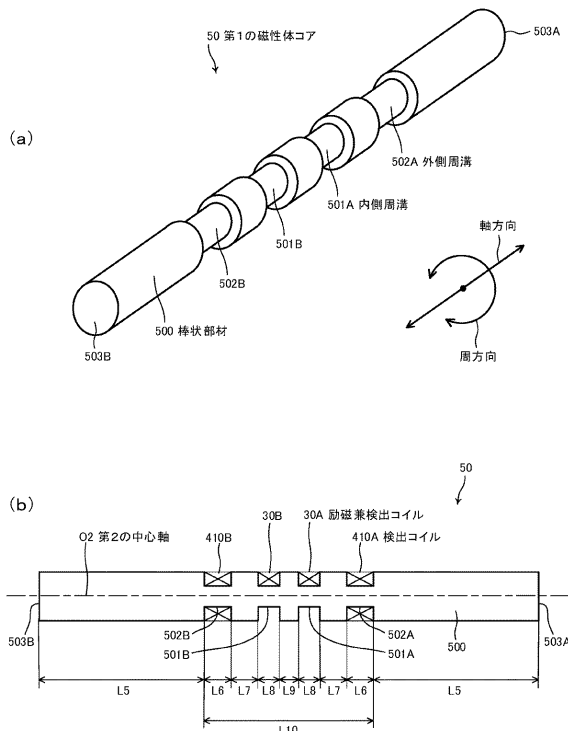
【図3】



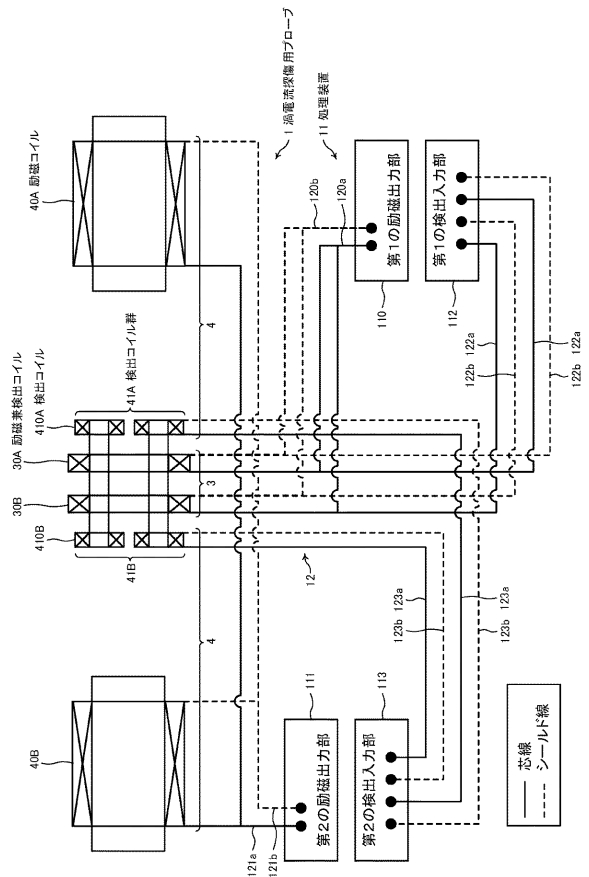
【図4】



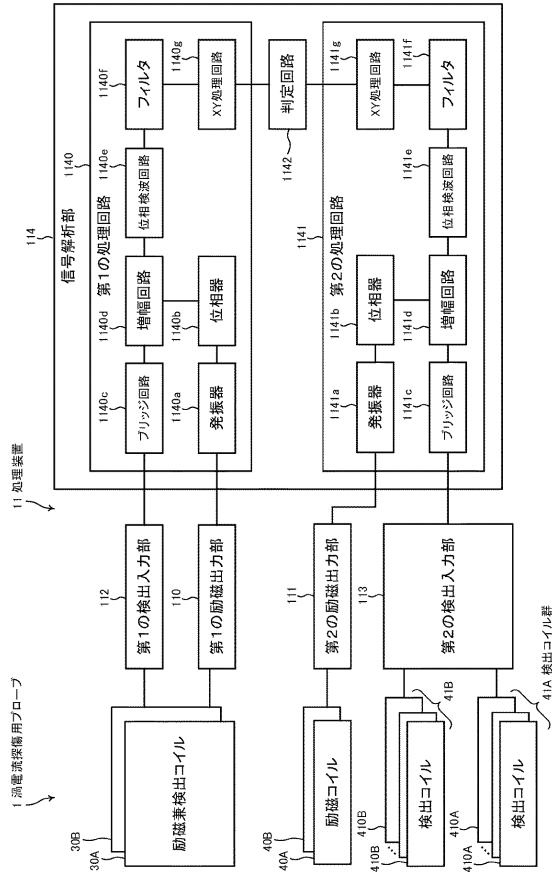
【図5】



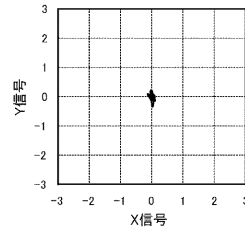
【図6】



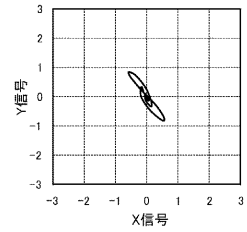
【図7】



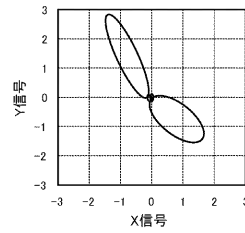
【図8】



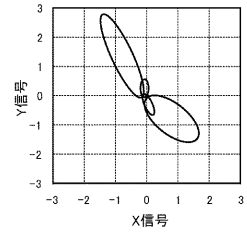
配管P(欠陥なし)に対する
第1の渦電流探傷系3の検出結果
(a)



配管P(欠陥あり)に対する
第1の渦電流探傷系3の検出結果
(b)



配管P(欠陥なし)に対する
第2の渦電流探傷系4の検出結果
(c)



配管P(欠陥あり)に対する
第2の渦電流探傷系4の検出結果
(d)

フロントページの続き

(72)発明者 山口 智彦

福井県敦賀市木崎65号20番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 敦賀総合技術開発
センター内

(72)発明者 ミハラケ オビデウ

福井県敦賀市木崎65号20番地 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 敦賀総合技術開発
センター内

Fターム(参考) 2G053 AA11 AB21 BA03 BA12 BA26 BC02 BC14 CA03 CA18 CB05
CB16 CB24 CB25 DA01 DA03 DA09 DA10 DB04 DB27