

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7295523号
(P7295523)

(45)発行日 令和5年6月21日(2023.6.21)

(24)登録日 令和5年6月13日(2023.6.13)

(51)Int.Cl.

G 0 1 N 27/904 (2021.01)

F I

G 0 1 N 27/904

請求項の数 5 (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)
 (65)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)
 審査請求日 令和4年2月3日(2022.2.3)

特許法第30条第2項適用 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

(73)特許権者 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 片寄 武彦
 (74)代理人 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)【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おり、

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、

10

20

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、

ことを特徴する渦電流探傷用プローブ。

【請求項2】

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1に記載の渦電流探傷用プローブ。

【請求項3】

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又は請求項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3のいずれか一項に記載の渦電流探傷用プローブ。

【請求項5】

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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【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: E C T)を行うE T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: R F - E C T)を行うR F E T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。

40

【0004】

特許文献1に開示された渦電流探傷装置は、E Tプローブ7を構成するE T励磁コイル8及びE T検出コイル9と、R F E Tプローブ3を構成するR F E T励磁コイル5及びR F E T検出コイル6とを同軸に配置するとともに、E Tプローブ7とR F E T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】

【特許文献】

【0005】

50

【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 R F E T 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 R F E T 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 R F E T 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 R F E T 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 R F E T 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 R F E T 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。10

【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 R F E T 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 R F E T 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。20

【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、30

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、40

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50

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、

10

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。

20

【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、ことを特徴する。

30

【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。

【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。

40

【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。

50

【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。

【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。
10

【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。
20

【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。

【0021】

プローブ1は、配管Pの内径R2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O1が、配管Pの配管中心軸OP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O1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。
30

【0022】

処理装置11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11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110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111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112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113と、第1の検出入力部112及び第2の検出入力部113に入力された信号を処理する信号解析部114と、信号解析部114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115とを備える。なお、処理装置11は、第1の検出入力部112及び第2の検出入力部113に入力された信号、並びに、信号解析部114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。
40

【0023】

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、
50

(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 30 A 及び第 2 の励磁兼検出コイル 30 B からなる一対の励磁兼検出コイル 30 A、30 B を備える。

【 0 0 2 6 】

一对の励磁兼検出コイル 30 A、30 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、一对の励磁兼検出コイル 30 A、30 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。10

【 0 0 2 7 】

一对の励磁兼検出コイル 30 A、30 B は、ケーブル 12 を介して第 1 の励磁出力部 110 に接続されるとともに、差動結線により第 1 の検出入力部 112 に接続されている。一对の励磁兼検出コイル 30 A、30 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 110 から一对の励磁兼検出コイル 30 A、30 B に所定の周波数（例えば、10 kHz ~ 1000 kHz 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、一对の励磁兼検出コイル 30 A、30 B は、配管 P の内面領域に流れる磁束 300 の流路（直接磁場）を形成する。そして、一对の励磁兼検出コイル 30 A、30 B は、磁束 300 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（ECT）を行う。20

【 0 0 2 9 】

第 2 の渦電流探傷系 4 は、第 1 の励磁コイル 40 A 及び第 2 の励磁コイル 40 B からなる一对の励磁コイル 40 A、40 B と、第 1 の検出コイル群 41 A 及び第 2 の検出コイル群 41 B からなる一对の検出コイル群 41 A、41 B とを備える。30

【 0 0 3 0 】

一对の検出コイル群 41 A、41 B は、図 2 (a)、図 3 に示すように、第 1 の中心軸 O 1 に沿って一对の励磁兼検出コイル 30 A、30 B の軸方向外側にそれぞれ配置されている。一对の励磁コイル 40 A、40 B は、図 2 (a)、図 3 に示すように、第 1 の中心軸 O 1 に沿って一对の検出コイル群 41 A、41 B の軸方向外側にそれぞれ配置されて、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 3 1 】

一对の検出コイル群 41 A、41 B は、所謂、マルチコイル型と呼ばれるものである。すなわち、一对の検出コイル群 41 A、41 B の各々は、図 4 (b) に示すように、第 1 の中心軸 O 1 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 410 A、410 B により構成されている。そして、複数の検出コイル 410 A、410 B の各々は、第 1 の中心軸 O 1 に平行な複数の第 2 の中心軸 O 2 をコイルの中心として、巻線が巻回されている。40

【 0 0 3 2 】

なお、本実施形態では、第 1 の検出コイル群 41 A を構成する複数の検出コイル 410 A の個数は 12 個、第 2 の検出コイル群 41 B を構成する複数の検出コイル 410 B の個数は 12 個であるものとして説明するが、検出コイル 410 A、410 B 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。

【 0 0 3 3 】

一对の励磁コイル 40 A、40 B 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。一对の検出コイル群 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。一对の励磁コイル 40A、40B 及び一对の検出コイル群 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 から一对の励磁コイル 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、一对の励磁コイル 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对の検出コイル群 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、一对の検出コイル群 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。10

【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 を備える。20

【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】

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。30

【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。40

【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鍔状に形成された鍔状部（巻線を巻くためのボビンケースとして機能する）を備えていてもよい。

10

【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。

20

【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対の内側周溝 501A、501B に外接するよう巻回されている。

【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対の外側周溝 502A、502B にそれぞれ巻回されている。

30

【0048】

ここで、プローブ 1A 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 40A、40B のコイル長さ L2 は、例えば、30mm ~ 100mm 程度であり、コイル直径は、配管 P の内径 R2 よりも小さく、例えば、6mm ~ 10mm 程度である。第 2 の磁性体コア 6A、6B は、励磁コイル 40A、40B の軸方向両側に対して第 2 のコア長さ L1、L3 だけ長く配置されており、第 2 の磁性体コア 6A、6B の第 2 のコア長さ L1、L3 は、例えば、1mm ~ 5mm 程度である。第 1 の連結部 21A 及び第 2 の連結部 21B 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 6A、6B との間のコア間長さ L4 は、例えば、20mm ~ 50mm 程度である。

30

【0049】

図 5 (b) に示すように、一对の検出コイル群 41A、41B を構成する検出コイル 410A、410B のコイル長さ L6 は、0.5mm ~ 3mm 程度であり、コイル直径は、例えば、1mm ~ 2mm 程度である。励磁兼検出コイル 30A、30B のコイル長さ L8 は、0.5mm ~ 3mm 程度であり、コイル直径は、例えば、配管 P の内径 R2 よりも小さく、例えば、6mm ~ 10mm 程度である。

40

【0050】

第 1 の検出コイル群 41A を構成する検出コイル 410A と第 1 の励磁兼検出コイル 30A との間のコイル間長さ L7、及び、第 2 の検出コイル群 41B を構成する検出コイル 410B と第 2 の励磁兼検出コイル 30B との間のコイル間長さ L7 は、例えば、0.5mm ~ 3mm 程度である。第 1 の励磁兼検出コイル 30A と第 2 の励磁兼検出コイル 30B との間のコイル間長さ L9 は、例えば、0.5mm ~ 3mm 程度である。

50

【0051】

第1の磁性体コア群5を構成する第1の磁性体コア50は、検出コイル410A、410Bの軸方向外側に第1のコア長さL5だけ長く配置されており、第1の磁性体コア50の第1のコア長さL5は、例えば、1mm～10mm程度である。したがって、棒状部材500において、一対の外側周溝502A、502Bは、軸方向両端部503A、503Bから第1のコア長さL5だけ軸方向内側の位置にそれぞれ形成されている。

【0052】

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11の接続状態を示すブロック図である。

【0053】

第1の渦電流探傷系3において、一対の励磁兼検出コイル30A、30Bは、芯線120a及びシールド線120bを介して第1の励磁出力部110に接続されるとともに、芯線122a及びシールド線122bを介して差動結線により第1の検出入力部112に接続される。

10

【0054】

第1の励磁出力部110は、励磁電流を一対の励磁兼検出コイル30A、30Bに出力すると、この励磁電流が一対の励磁兼検出コイル30A、30B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、一対の励磁兼検出コイル30A、30B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112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。

20

【0055】

第2の渦電流探傷系4において、一対の励磁コイル40A、40Bは、芯線121a及びシールド線121bを介して第2の励磁出力部111に接続される。また、一対の検出コイル群41A、41Bは、芯線123a及びシールド線123bを介して差動結線により第2の検出入力部113に接続される。

30

【0056】

第2の励磁出力部111は、励磁電流を一対の励磁コイル40A、40Bに出力すると、この励磁電流が一対の励磁コイル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、一対の検出コイル群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に入力される。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。

40

【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。

40

【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、增幅回路1140d、位相検波回路1140e、フィルタ1140f、

50

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。

【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、一対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。一対の励磁兼検出コイル30A、30Bに入力された励磁信号は、一対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。

【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、一対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、一対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。

10

【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。

20

【0063】

第2の処理回路1141では、励磁信号発振器1141aの発振出力を一対の励磁コイル40A、40Bと、位相器1141bに分配して入力する。一対の励磁コイル40A、40Bに入力された励磁信号は、一対の励磁コイル40A、40Bに励磁電流を流して間接磁場を発生させる。

30

【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位相検波用の基準信号を生成する。ブリッジ回路1141cは、一対の検出コイル群41A、41B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1141cのバランスが崩れ、一対の検出コイル群41A、41B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1141dにより増幅する。

30

【0065】

位相検波回路1141eは、位相器1141bの出力信号と、増幅回路1141d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1141fで間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

【0066】

判定回路1142は、第1の処理回路1140から出力されたX信号及びY信号と、第2の処理回路1141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1142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1142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。

【0067】

図8は、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、（

50

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 115 に表示される。

【 0068 】

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 1140 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。10

【 0069 】

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 1141 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。

【 0070 】

したがって、処理装置 11 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 1140 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 1141 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し、配管支持構造物 S で支持された場所では、処理装置 11 は、第 1 の処理回路 1140 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。20

【 0071 】

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 100 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 O1 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 30A、30B を備え、間接磁場を利用した第 2 の渦電流探傷系 4 が、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 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 ECT 及び RF - ECT 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。30

【 0072 】

また、一対の検出コイル群 41A、41B の各々は、第 1 の中心軸 O1 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 410A、410B 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。

【 0073 】

また、直接磁場を利用した第 1 の渦電流探傷系 3 (一対の励磁兼検出コイル 30A、30B) 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 (一対の励磁コイル群 40A、40B 及び一対の検出コイル群 41A、41B) 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、ECT 及び RF - ECT を行うことができる。40

【 0074 】

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 410A、410B と同数の複数の第 1 の磁性体コア 50 により構成されており、一対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 に外接すように巻回されており、一対の検出コイル群 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50の内側にケーブル12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できる。

【0075】

例えば、上記実施形態では、第1の励磁兼検出コイル30Aが1個、第2の励磁兼検出コイル30Bが1個、第1の検出コイル群41Aを構成する検出コイル410Aが12個、第2の検出コイル群41Bを構成する検出コイル410Bが12個であるから、渦電流の検出部分には、全部で26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、12個の第1の磁性体コア50により構成されている。また、12個の第1の磁性体コア50の内側には、ケーブル12が配置する空間が確保されている。10

【0076】

また、複数の第1の磁性体コア50の各々は、周方向に4つの周溝を有する棒状部材500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。

【0077】

また、プローブ1は、一対の励磁コイル40A、40Bがそれぞれ巻回された一対の第2の磁性体コア6A、6B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。20

【0078】

(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。

【0079】

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た一対の励磁コイル40A、40B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、一対の励磁コイル40A、40B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。

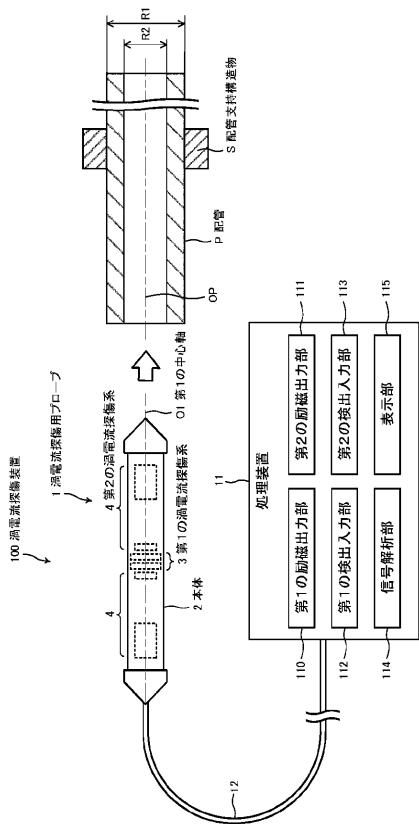
【符号の説明】

【0080】

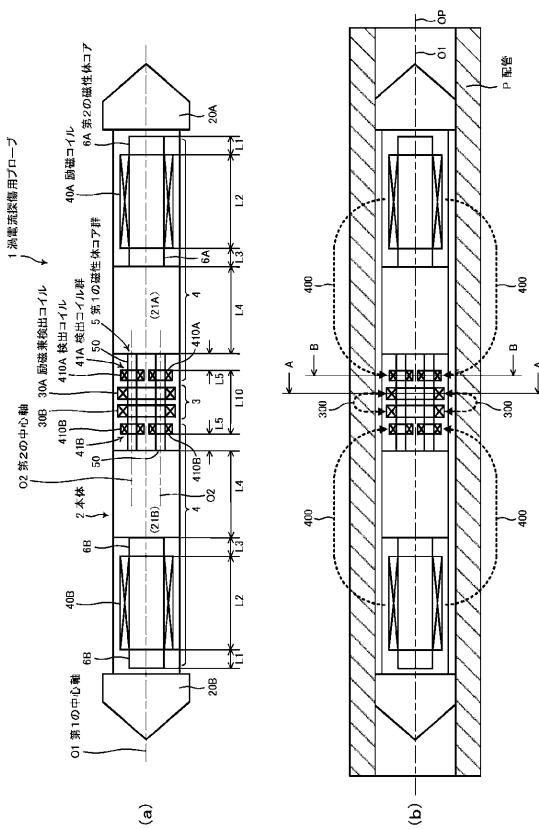
- 1 渦電流探傷用プローブ、2 本体、3 第1の渦電流探傷系、30
- 4 第2の渦電流探傷系、5 第1の磁性体コア群、6A、6B 第2の磁性体コア、
- 11 処理装置、12 ケーブル、20A、20B ガイド部、
- 21A 第1の連結部、21B 第2の連結部、22 筒状部、
- 30A 第1の励磁兼検出コイル、30B 第2の励磁兼検出コイル、
- 40A 第1の励磁コイル、40B 第2の励磁コイル、
- 41A 第1の検出コイル群、41B 第2の検出コイル群、
- 50 第1の磁性体コア、100 渦電流探傷装置、
- 110 第1の励磁出力部、111 第2の励磁出力部、112 第1の検出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

O 1 第1の中心軸、O 2 第2の中心軸、O P 配管中心軸、
 P 配管、S 配管支持構造物

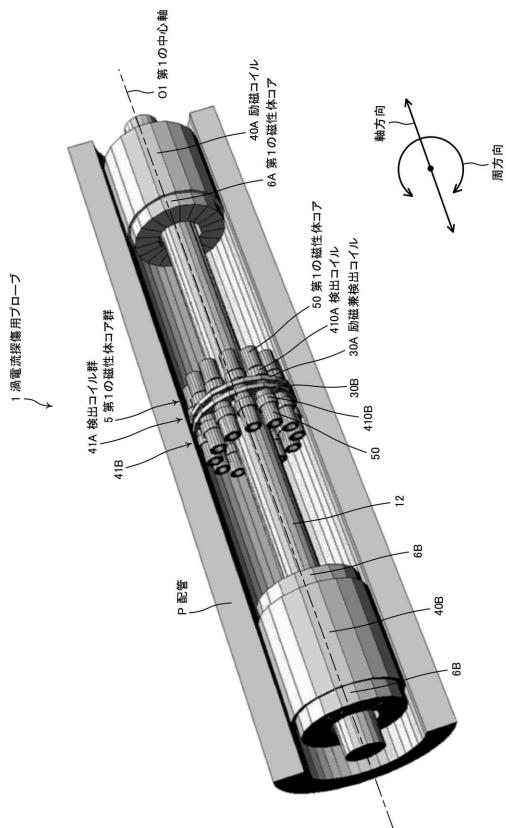
【図 1】



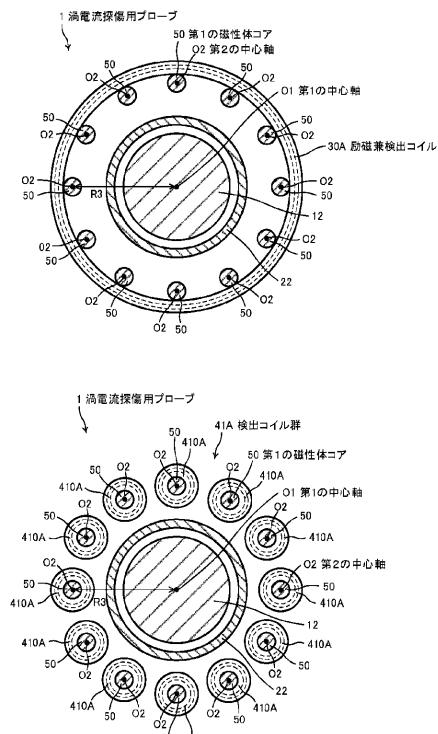
【図 2】



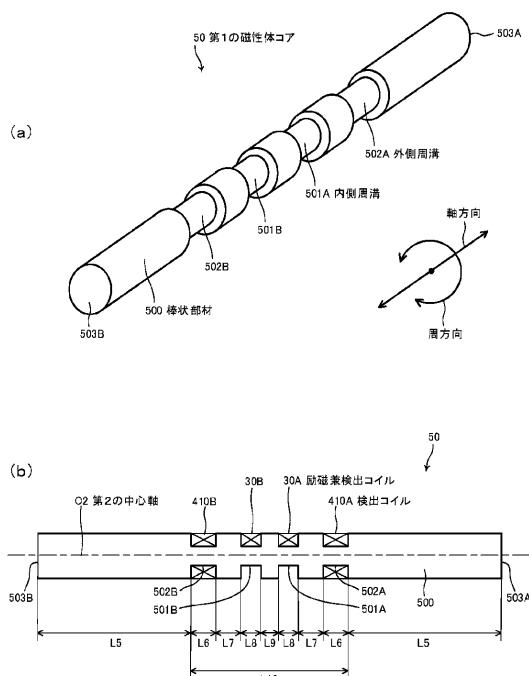
【図3】



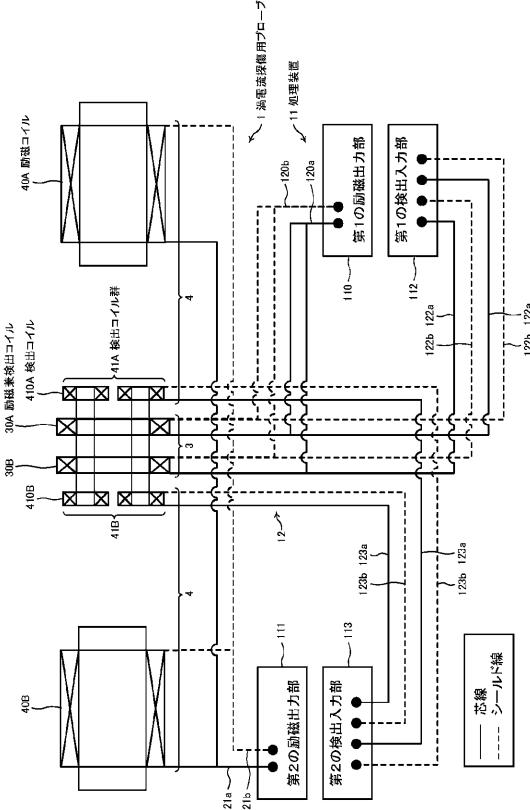
【図4】



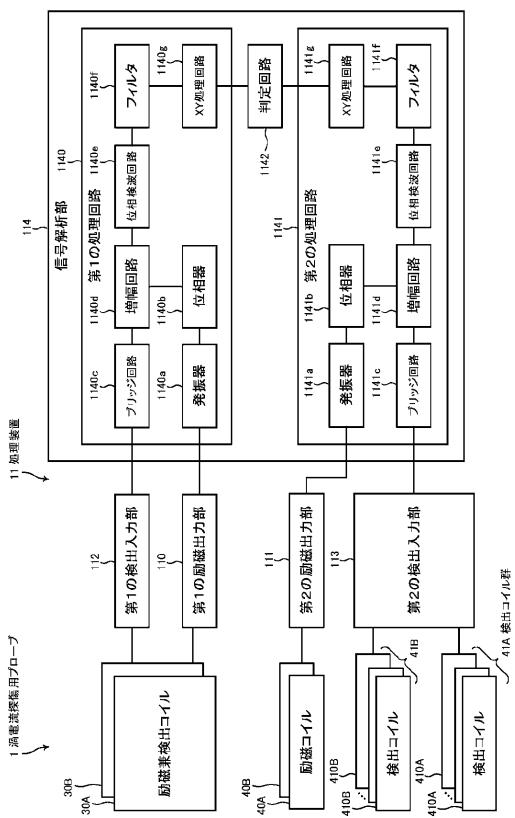
【図5】



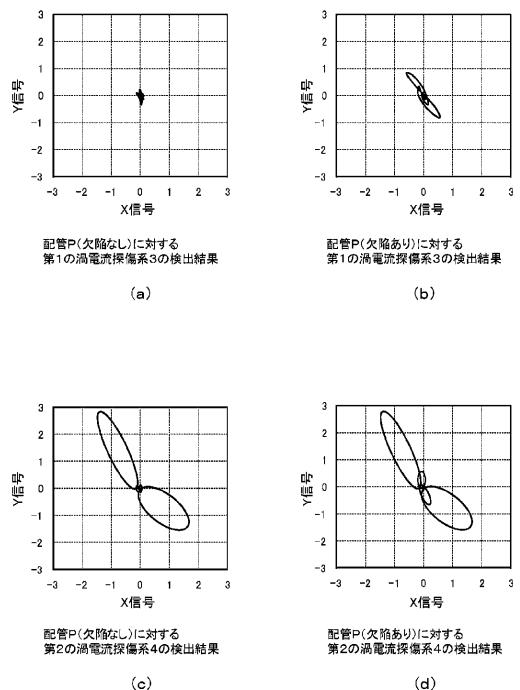
【図6】



【図7】



【図8】



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

審査官 田中 洋介

(56)参考文献 特開平10-318987(JP,A)

特開2009-092388(JP,A)

特許第2898681(JP,B2)

特開2010-127665(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 27/72 - 27/9093